

第一篇

高压开关柜二次线路的设计 安装、运行维护总论

第一章 配电网和配电设备概述

第一节 配电网

一、配电网在电力系统中的地位

电能是现代工农业、交通运输、科学技术、国防建设和人民生活等方面的主要(二次)能源。由发电厂、输配电线路、变电设备、配电设备和用电设备等组成的有机联系的总体称为电力系统,如图 1-1 所示。发电厂生产的电能,除一小部分供给本厂厂用电及附近用户外,大部分要经过升压变电所将电压升高,由高压输电线路送至距离较远的用户中心,然后经降压变电所降压,由配电网分配给用户。因此,配电网是电力系统中的一个重要组成部分,它是由配电线路和配电变电所组成,其作用是将电能分配到工厂、矿山、城市和农村的用电器具(如电动机、电灯、电热设备等)中去。电压为 3~10kV 的高压大功率用户可以从高压配电线路直接取得电能,380/220V 的低压用户,需经配电变压器将 3~10kV 再次降压后由低压配电线路供电。

配电线路分为架空线路和电缆线路两种。架空配电线路,由于造价便宜,取材方便,容易施工,也容易出现故障点,而且便于检修,所以得到广泛应用。但在大城市中采用架空配电线路时,既会影响行人和交通安全,又影响市容的美观,尤其在多雷地区易遭雷害,所以在城市房屋密集的地方或风景区可采用电缆线路。

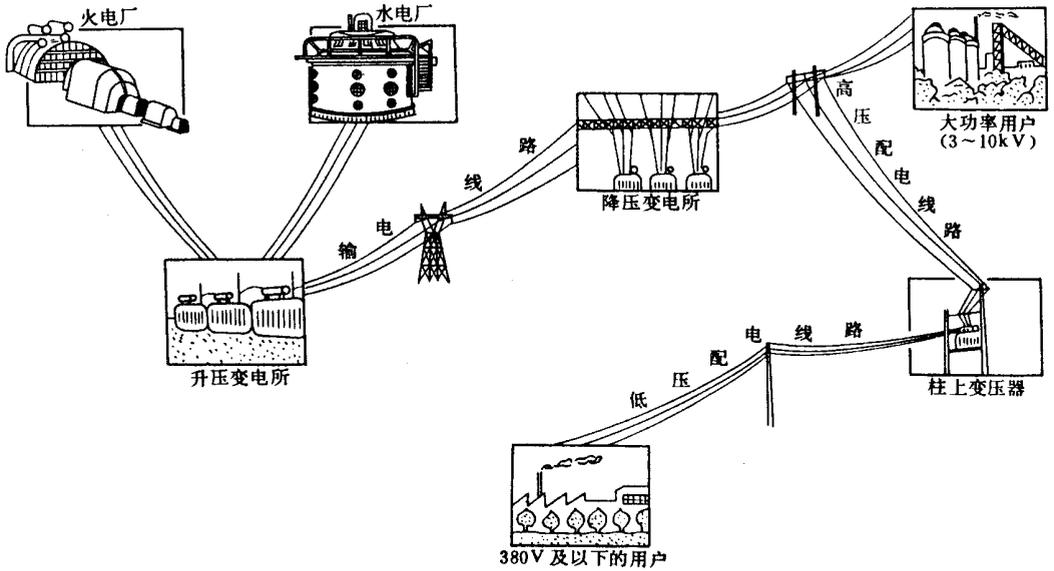


图 1-1 电力系统示意图

配电变电所一般分为配电室和柱上变压器两种。对于 30kVA 及以下的变压器,宜采用单柱式变压器台;40~315kVA 的变压器宜采用双柱式变压器台;315kVA 以上的变压器,宜采用落地式变压器台;更大容量的变压器可设配电室。所以配电室是设在用电量较大的工矿企业和事业单位中,而柱上变压器适用于用电量较小的用户,它可以同时供给几个单位使用。

配电室中安装的电气设备除配电变压器外,还有 3~10kV 高压和 0.4kV 低压配电装置。高压配电装置通常采用定型的高压开关柜,其中分别装有断路器、隔离开关、互感器和避雷器等高压设备。低压配电装置通常采用多种低压配电屏和动力配电箱,其中分别装有隔离开关、熔断器、自动空气开关、互感器和计量表计等低压电器。

二、几种常用的配电网络接线

配电网的接线均应满足供电的安全可靠、操作方便和运行经济等要求。

根据用户对供电可靠性的要求,用电负载一般分为三级。

I 级负载 突然停电会造成人身伤亡或引起设备严重损坏且难以修复,或给国民经济造成重大损失者。这种负载要求网络接线能保证供电可靠性很高,应由两个及以上的独立电源供电,如图 1-2 所示。

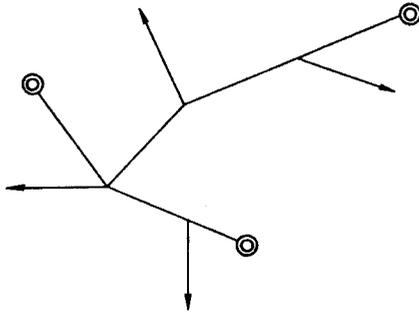


图 1-2 三电源配电网

Ⅱ级负载 突然停电将使大量产品和原材料报废,或可能发生重大设备损坏事故,但采取适当措施又能够避免的负载。这种负载对网络接线的要求较Ⅰ级负载为低,在条件允许的情况下采用两电源(见图 1-3)双回路(见图 1-4)或环形(见图 1-5)配电网供电。如果有困难者,也可采用单回专用线路供电。

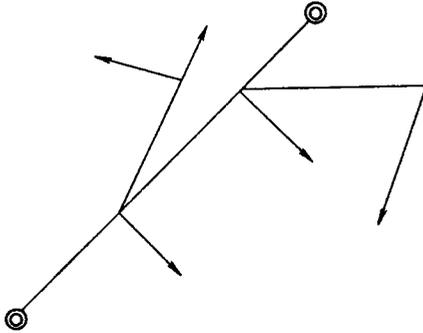


图 1-3 两电源配电网

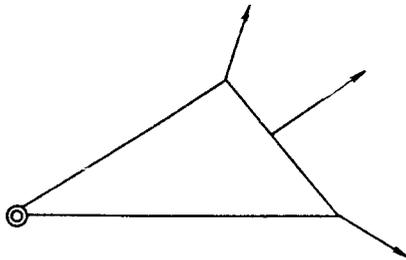


图 1-4 双回路配电网

Ⅲ级负载 所有不属于Ⅰ级和Ⅱ级负载的用电设备,一般由单电源供电。单端供电通常称为开式配电网,两端供电和环形供电通常称为闭式配电网。

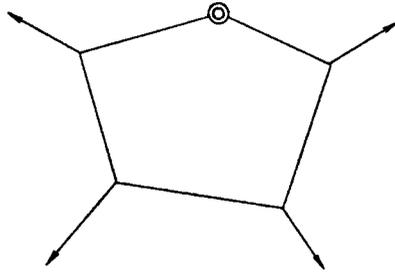


图 1-5 环形配电网络

总之，配电网络的接线方式，一般可根据配电变电所的位置、用电容量、负载等级、投资费用以及附近用户的合理分配等情况来确定。下面介绍几种常用的配电网络接线。

1. 放射式配电网络

这种网络主要由降压变电所 $3 \sim 10\text{kV}$ 侧引出许多单独线路组成。每一单独线路均向一个或几个配电变电所供电，如图 1-6 所示。配电变电所的进线可根据配电变压器 B 的容量、负载等级等，配备安装油断路器 DL 、隔离开关 GK 、负荷开关 FK 和高压熔断器 RD 等电气设备。

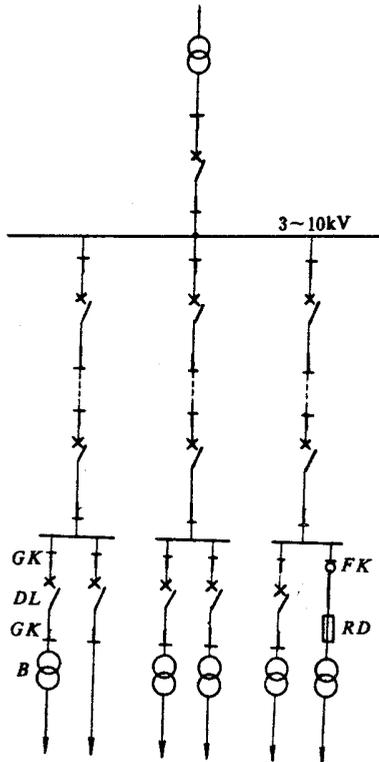


图 1-6 放射式配电网络

放射式配电网的特点是维护方便、保护简单、便于发展,但可靠性和灵活性较差,线路及设备发生故障或检修时,就要中断供电。

2. 树干式配电网

这种网络是由降压变电所 $3 \sim 10\text{kV}$ 侧引出一条或几条主干线路,每条主干线路可供几个配电变电所,如图 1-7 所示。

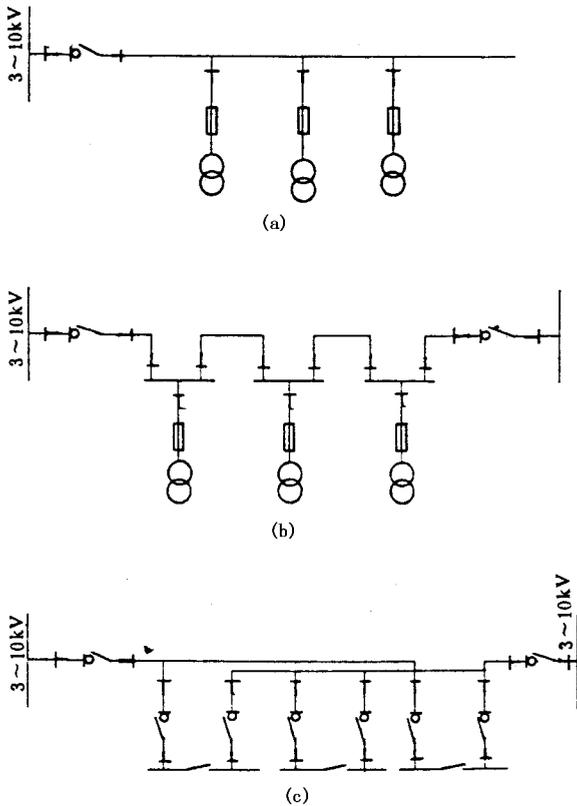


图 1-7 树干式配电网

(a)单回路树厂式 (b)双侧供电单回路树干式 (c)双侧供电双回路树干式

树干式配电网的特点是接线比较灵活,易于增加或减少配电变电所的数目,比放射式网络使用设备少,可使网络简化。任何一个配电变电所中的变压器均有切断设备,当某一台配电变压器故障时,并不影响其它配电变电所的供电。当主干线上发生故障时,连接这条主干线上的负载均要停电。通常用来配电给Ⅲ级负载,每条干线上安装的变压器约 5 台以内,总容量不超过 2000kVA 。

3. 断开的环状干线式配电网

环状干线式(简称环式)配电网,一般分为两种运行方式,一种是开环运行,另一种

是闭环运行。闭环运行形成两端供电,当任一线段故障时,将使两干线进线端的断路器 $1DL$ 、 $2DL$ 均跳闸,造成全部停电,所以环式配电网一般均采用开环运行方式,如图 1-8 所示。这种网络在正常运行时分支点 GK 断开,使环状干线分为两部分单独运行。此时当某一干线发生故障时,先使该干线进线端断路器 $1DL$ 或 $2DL$ 跳闸,然后打开故障处最邻近的两侧隔离开关,合上分支点处隔离开关 GK ,最后把进线端断路器合上,所有的配电变电所即可恢复正常运行。

分支点 GK 的选择原则是,正常运行时,分支点 GK 的电压差最小。通常要使两干线所担负的容量尽可能地相接近,干线所用的导线截面也要相同。

断开的环状干线式配电网的特点是供电的可靠性较高,当干线某处发生故障时,只需使所有配电变电所短时停电(约 $30 \sim 40\text{min}$)。但这种网络要求操作水平较高,否则易发生误操作。为了提高这种网络的供电可靠性,两干线的电源最好由降压变电所 $3 \sim 10\text{kV}$ 侧分段母线供电(见图 1-8)。这时当某一段母线检修或发生故障,所有配电变电所可从未检修或未故障的母线段获得电源。

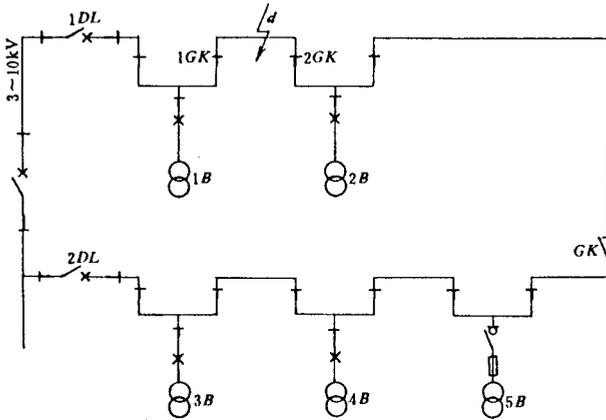


图 1-8 断开的环状干线式配电网

4. 混合式配电网

这种网络的接线具有公共备用干线和工作干线的混合式配电网。正常运行时由 $3 \sim 10\text{kV}$ 的各条干线供电给各配电变电所,公共备用干线(见图 1-9 中的虚线)经常处于不带电状态。当工作干线的每一段发生故障或检修时,将分段断路器 1 和该段进线端断路器 2 断开,手动或自动投入备用干线,即可恢复供电。

具有公共备用干线的混合式配电网的特点是供电可靠,可满足 II 级负载的需要,如果备用干线由另一电源供电,而且采用自动投入装置时,可满足 I 级负载的需要。缺点是敷设线路和建造配电变电所需要的投资很大,所以在选择这种网络接线时,一定要

进行经济技术方面的比较。

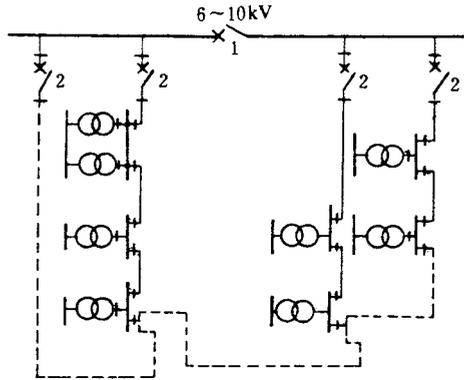


图 1-9 具有公共备用干线的混合式配电网络

以上四种配电网络的选择原则是：

- (1) 凡是负载围绕电源分布,负载等级为 II、III 级时,可采用放射式配电网络;
- (2) 凡是负载集中分布在电源同一方向,负载等级为 II、III 级时,可采用树干式配电网络或采用断开的环状干线式配电网络;
- (3) 凡是因停电,可能造成人身伤亡或重大经济损失的特殊用户,应考虑采用混合式配电网络。

此外,在我国曾经推广过“四合一”环形配电网络,即工厂与工厂之间用电合一、工厂与居民用电合一、工厂的动力与照明用电合一和工厂的电网与地方电网合一。它的特点是可提高现有系统的供电能力,减少电能损耗,供电网络简单合理,安全可靠,并能简化网络接线,节省电气设备。但因维护和管理的工作量大,所以现在保留下来的“四合一”环形配电网络很少。

“四合一”环形配电网络的接线特点是可以在高压侧(即 $3 \sim 10\text{kV}$)接成环形,也可以在低压侧(即 $380/220\text{V}$)接成环形,采用哪种环形接线,这要看实际情况而定。

第二节 配电设备

一、配电设备的作用

这里讲的配电设备,主要是指 10kV 及以下的电气设备,并简单叙述 35kV 作为配电

用的电气设备,现将各种配电设备的作用介绍如下。

(1)配电变压器。它在配电变电所内起变换电压的作用,常用来将 35kV 或 3~10kV 的电压变换成 380/220V 电压以适应用户需要。

(2)开关设备。开关设备是指 35kV 或 3~10kV 的高压开关设备和 380/220V 的低压开关设备。它的作用是开断或接通电路。

(3)母线。母线分为 35kV 或 3~10kV 高压母线和 380/220V 低压母线。它的作用是汇集和分配电能。

(4)绝缘子。绝缘子的作用是支持和固定载流导体,并使载流导体之间或载流导体与地之间绝缘。

(5)避雷器。避雷器的作用是保护其它电气设备不被雷电通过击穿。

(6)电容器。配电设备中的电容器,主要是用来移相、补偿无功电流和提高网络功率因数等。

(7)互感器。互感器是分电压互感器和电流互感器两种,它是用来变换交流电压和电流的设备,用来分别向测量仪表、继电器的电压线圈和电流线圈供电,从而正确反映设备和网络的正常运行和故障情况。

(8)熔断器。它是一种最简单的保护电器,当网络发生过载或短路故障时,熔断器能单独地自动断开电路,从而达到保护电气设备的目的。

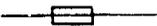
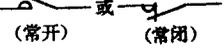
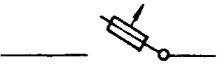
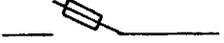
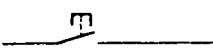
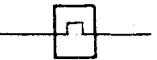
(9)电抗器。电抗器的作用是限制短路电流,使电抗器后面的电气设备可采用轻型电器,以降低设备的投资。

此外,还有计量用的电工仪表、保护网络设备的保护装置以及用作预防性试验的设备等。

为了便于配电变电所的识图与绘图,将主要配电设备的电气符号列于表 1-1 中。

表 1-1 配电变电所主要配电设备符号表

配电设备名称	图形符号	文字符号
电力变压器		B
断路器		DL
隔离开关		GK
负荷开关		FK

配电设备名称	图形符号	文字符号
熔断器		RD
移相电容器		C
阀型避雷器		BL
接触器		CJ
跌落式熔断器		RD
自动空气断路器		ZD
一般开关		HK
熔断器式开关		DK
电压互感器		YH
电流互感器		LH
按钮		AN
热继电器		RJ

二、配电设备的几个主要额定值

配电设备的额定值,是指制造厂对该设备所规定的工作制下工作的,并指示在设备铭牌上的值,称为该种设备的额定值,一般有电流、电压、频率和功率等。

(1) 额定电压值。电气设备的额定电压是指该设备在长期正常运行时获得最佳经济效果所规定的电压,即标在设备铭牌上的电压。所有的电气设备应根据额定电压设计,以便统一生产用电器具。配电设备规定的额定电压值,如表 1-2 和表 1-3 所示。

表 1-2 低压配电设备额定电压表

用电设备的额定电压(V)			发电机的额定电压(V)		变压器的额定电压(V)			
直流	三相交流		直流	三相交流	三相交流		单相交流	
	线电压	相电压		线电压	一次绕组	二次绕组	一次绕组	二次绕组
110	—	—	115	—	—	—	—	—
	127	127	—	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	220	230	230	220	(230)	220	230
	380	—	—	400	380	400	380	—
440	—	—	460	—	—	—	—	—

注 括号内电压只适用于矿井下或其它保安条件要求较高的场所。

表 1-3 高压配电设备额定电压表

受电设备额定电压 (kV)	发电机电电压 (kV)	变压器线电压(kV)	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11

注 1. 变压器一次绕组栏内 3.15、6.3、10.5kV 适用于和发电机直接连接的升压变压器及降压变电所；

2. 变压器二次绕组栏内 3.3、6.6、11kV 适用于短路电压值在 7.5% 及以上的降压变压器。

在三相电气设备中，一般均取线电压为额定电压。

一般要求配电线路应按用电器具的额定电压供电，但由于线路中有电压损失，所以接在线路中的用电器具不可能恰好得到额定电压值。以电灯负载为例，接在电源附近的灯就比离电源远的灯电压高、亮度大。当在均布负载情况时，线路电压的变化可用图 1-10 中的直线 1-2 表示。由图 1-10 可见，线路的始端电压 U_1 比其额定电压 U_e 高 5%，线路末端电压 U_2 比额定电压 U_e 低 5%。由于用电设备工作电压与线路额定电压相差愈小，它们的工况也会愈好，所以用电设备的额定电压应按配电线路始、末两端电压的算术平均值来制造。这个算术平均值，也就是线路的额定电压，即 $U_e = \frac{U_1 + U_2}{2}$ 。

例如图 1-10 中， $U_1 = 400V$ ， $U_2 = 360V$ 时，则

$$U_e = \frac{400 + 360}{2} = 380(V)$$

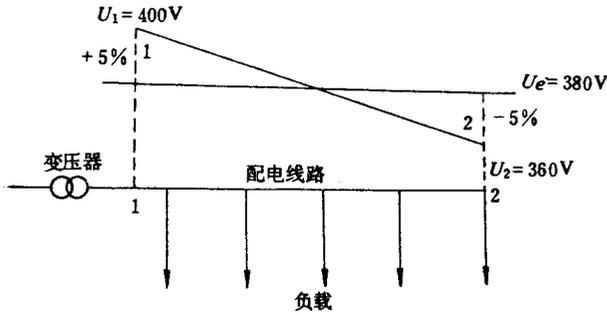


图 1-10 配电线路的额定电压示意图

一般线路中的电压损失约为 10%。因此,发电机的额定电压比线路的额定电压高 5%。例如在额定电压为 10kV 的线路中,发电机的额定电压为 10.5kV,所以线路始端电压是 10.5kV,比线路的额定电压高 5%。而线路末端电压则是 9.5kV,比线路额定电压低 5%。因而,在线路电压损失为 10% 时,可以保证线路中任何点的用电设备都能得到与线路额定电压非常接近的电压。

(2) 额定电流值。是指在一定周围媒质计算温度下,允许长期通过的最大电流值。此时设备的绝缘和载流部分的长期发热温度不应超过国家标准规定的允许值。

(3) 额定容量。发电机、变压器等各种电器均规定有额定容量或额定功率,通常将变压器的额定容量以单相或三相视在功率表示,单位为 VA 或 kVA。旋转电机则以有功功率表示,单位为 W 或 kW。

事实上一般电气设备的功率因数几乎不可能等于 1,通常小于 1。这是因为电气设备中存在电感负载以致产生一个滞后的电流所引起的。在确定某些交流设备的参数时,除考虑额定容量外,还必须说明功率因数。额定容量乘以功率因数,通常表示为额定功率。

(4) 额定频率。设备的额定频率是指设备运行在最佳状态的工作频率。我国电力系统的额定频率是 50Hz。

电压和频率是衡量电力系统电能质量的标准,一般对用户的供电电压是:低压供电为单相 220V,三相 380V;高压供电的三相线电压为 3、6、10kV 和 35kV 几种。通常要求供电电压与设备额定电压的偏差值应不超过下列范围。

- 1) 高压配电线路始末端的压降不大于额定电压的 5% ;
- 2) 低压配电线路始末端的压降不大于额定电压的 4%。

电压偏离额定值的原因是:①通过线路、变压器输送电力时,由于存在阻抗,将产生电压降,使距离电源远的用户电压偏离值超过允许范围;②用户的有功和无功负载对电

压有影响 ;③无功负载在网络中形成的电流经各级变配电设备时 ,也会产生较大的电压降 ,造成用户的电压偏低。

大多数国家规定的频率允许偏差值 ,一般在 $\pm 0.1 \sim 0.3\text{Hz}$ 间。频率偏离额定值的原因是 :①当负载超过或低于电厂出力时 ,系统频率要降低或升高引起频率偏差 ;②当电厂出力变动时 ,也会引起频率偏差。

(5)温升和极限允许温升。设备被测量部分的温度与周围介质温度之差称为温升。例如 ,变压器绕组对油的温升为 25°C ;油对空气的平均温升为 40°C 。在额定工况下 ,设备的一定部分所允许的最大温升称为该部分极限允许温升。例如 ,变压器的上层油对周围空气极限允许温升为 55°C 。低压电器零部件的极限允许温升应符合表 1-4 的规定。

表 1-4 低压电器零部件的极限允许温升

不同材料和零部件名称		极限允许温升($^{\circ}\text{C}$)		备 注
		长期工作制	间断长期或反复短时工作制 ^①	
绝缘线圈及包有绝缘材料的金属导体	A 级绝缘	65	80	电压线圈 ^② 及多层电流线圈用电阻法测量 ,金属导体用热电偶法测量
	E 级绝缘	80	95	
	B 级绝缘	90	105	
	F 级绝缘	115	130	
	H 级绝缘	140	155	
各类触头或插头 ^②	铜及铜基合金的自力式触头 ^③ 、插头 ,无防蚀层	35		热电偶法测量
	铜及铜基合金的它力式触头 ^④ 、插头 ,无防蚀层	45	65	
	铜及铜基合金它力式触头、插头 ,有厚度 $6 \sim 8\mu\text{m}$ 的银防蚀层	80	—	
	铜及铜基合金它力式触头、插头 ,有厚度 $6 \sim 8\mu\text{m}$ 的锡防护层	60	—	
	银及银基合金触头	以不伤害相邻部件为限 ^⑤		
与外部连接的接线端头	接线端头有锡(或银)防护层 ,当指明引入导体为铝也有锡(或银)防蚀层时	55		热电偶法测量
	接线端头为铜及铜基合金材料 ,无防蚀层 ,当指明引入导体为铜式有防腐层的铝时	45		

不同材料和零部件名称		极限允许温升(℃)		备 注
		长期工作制	间断长期或反复短时工作制 ^①	
与外部连接的 接线端头	接线端头为铜及铜基金合材料,有锡防蚀层,当指明引入导体为铜也有锡防蚀层时		60	热电偶法测量
	接线端头为铜及铜基金合材料,有银防蚀层,当指明引入导体为铜也有银防蚀层时		80,还应不伤害相邻部件为限 ^⑤	
产品内部的导体 连接处 ^⑦	铝材对铝材、铜材对铝材紧固接合处,两者均有锡防蚀层		55	热电偶法测量
	铝对铝材、铜材对铝材紧固接合处,两者均有银防蚀层		60	
	铜材对钢材紧固接合处,无防蚀层		45	
	铜材对铜材紧固接合处,有锡防护层		60	
	钢材对钢材、紧固接合处,两者均有银防护层		以不伤害相邻部件为限 ^⑤	
	铝材对铝材、铝材对钢材、铜材对铜材焊接的导体		以不伤害相邻部件为限 ^⑤	
其 它	浸入有机绝缘油中工作的部件		60	温度计法或热电偶法等测量
	操作时手接触部件	金属材料	15	
		绝缘材料	25	
	起弹簧作用的部件		以不伤害材料的弹性,且不伤害相邻部件为限 ^⑤	
电 阻 元 件		由所用材料决定,且不伤害相邻部件为限 ^⑤		

①主要用于间断长期工作制或反复短时工作制的电器,如用于长期工作制时,其线圈温升按间断长期式反复短时工作制允许温升值考核。

②对有主弧触头电器,其弧触头的温升以及熔断器触刀、触座的温升由产品标准或产品技术条件另行规定。

③自力式触头指由触头(包括触桥)材料本身产生弹力作接触压力触头。

④它力式触头指靠其它弹性材料产生接触压力的触头。

⑤如相邻部件为绝缘材料,则极限允许温升按表中相应等级线圈的极限允许温升。

⑥高压线圈的温升是指额定工作电压下的稳定值。

⑦高发热元件(如电阻元件、熔断器、热元件等)连接处的极限允许温升由产品标准或产品技术条件另行规定;与发热部件相邻近的绝缘材料耐热等级低于A级(如热塑性塑料)时,则其极限允许温升为该材料连续耐热温度与40℃之差。

(6)稳定温度和极限温度。设备在长期及间断长期工作制下,其温升在 1h 内不超过 1℃时的温度称为稳定温度。在额定工作制下,设备的任何一部分的最高稳定温度称为极限温度。

小 结

配电网络是电力系统中的一个重要组成部分,它是由配电线路和配电变电所组成。配电线路分为架空配电线路和电缆配电线路两种。配电变电所分为配电室和柱上变压器两种。

配电网络的接线方式,可根据配电变电所的位置、用电容量、负载等级、投资费用以及附近用户的合理分配等情况来确定。常用的配电网络接线有放射式、树干式、断开的环状干线式和混合式四种。

常用的配电设备有配电变压器、开关、熔断器、母线、绝缘子、避雷器、电容器、互感器和电抗器等。其主要额定值有额定电压、额定电流、额定容量、额定频率、温升与极限温升、稳定温度与极限温度等几种。

第二章 配电变压器的设计 安装、运行维护

第一节 变压器的基本原理和结构

一、变压器的用途和分类

1. 变压器的用途

变压器的用途是很广泛的,以电力系统而言,变压器是一个主要设备。在电力系统中,要将大功率的电能输送到很远的地方去,利用低电压大电流传输是有困难的。这是因为,一方面由于电流大会引起输电线路电能的极大损耗,另一方面输电线路的电压降也致使电能输送不出去。为此,需要用升压变压器将电源的电压升高,当输电距离越远,输送功率越大时,要求输电电压越高。当电能输送到用户附近时,又必须将这种高电压降低到配电网的电压,这就需要利用配电变压器(或称降压变压器)来实现。

此外,在工矿企业事业单位中,各种电气设备的电能利用,以及在其它各种场合,如通信广播、自动控制等,变压器都得到广泛的应用。因此,为了不同的目的而制造的变压器差别很大,它们的容量范围可从几伏安至几百兆伏安,电压可从几伏至几百千伏。

2. 变压器的分类

变压器的种类很多,可按不同的依据予以分类。

(1)根据变压器的用途可分为 ①电力变压器,主要用在电力系统内,作变换电压用 ②

特殊用途变压器,包括电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等;③调压变压器;④测量用变压器,包括电压互感器、电流互感器;⑤试验变压器;⑥控制变压器,用于自动控制系统。

(2)根据变压器本身的绕组数,可分为双绕组变压器、三绕组变压器和自耦变压器。

(3)根据变压器的相数,可分为单相变压器和三相变压器。

(4)根据变压器的绝缘材料,可分为油浸变压器和用塑料树脂浇注作主绝缘的干式变压器。

此外,还可以根据冷却方式、工作频率等方面进行分类。本书讨论的配电变压器,通常是指三相油浸式循环自冷式电力变压器。这种变压器在电力系统中的地位是很重要的,不仅需要的数量多,而且要求性能好,运行安全可靠。

二、变压器的基本工作原理

变压器是根据电磁感应原理工作的,如图 2-1 所示,在构成闭合回路的铁芯上绕有两个绕组 1 和 2。绕组 1 接到交流电源,称一次绕组(或原绕组);绕组 2 接负载 Z ,称二次绕组(或副绕组)。将变压器的一次绕组接在交流电源上,于是在一次绕组中就通过交变电流 i_1 ,由于 i_1 的激磁作用,将在铁芯中产生交变主磁通 ϕ 。又因为一次、二次绕组在同一个铁芯上,所以铁芯中的主磁通 ϕ 同时穿过一次、二次绕组。根据电磁感应原理,这个主磁通 ϕ 分别在两个绕组中产生感应电动势。这时在二次绕组中接上负载便有电流 i_2 流出,负载端电压即为 U_2 ,因此就有电能输出。显然,这时在二次绕组中感应的电动势,对于负载而言,即是电源电动势。根据负载不同,它可以将电能转变为机械能,也可以将电能转变为光能和热能等。

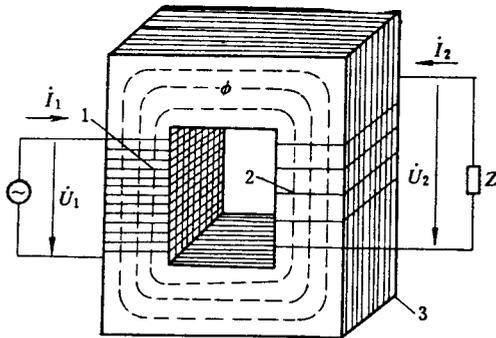


图 2-1 单相变压器工作原理图

1—一次绕组 2—二次绕组 3—铁芯

由于主磁通 ϕ 同时穿过一次、二次绕组,每一匝绕组中感应出的电势 E 应该是相等的。但因为一次、二次绕组的匝数不相等,所以感应电势 E_1 和 E_2 的大小也不相同。若忽略内阻抗的压降不计,感应电势就等于端电压。所以,变压器一次、二次绕组的端电压不同,这就是变压器能变换电压的原理。

综上所述,负载所消耗的电能是通过变压器铁芯中交变磁通获得的。根据电磁感应原理,铁芯中的磁通是传递能量的桥梁,它把能量从一个绕组传递到另一个绕组。根据能量守恒定律,变压器只能传递能量,而不能产生能量,如果不考虑变压器的损耗,二次绕组输出的功率等于一次绕组输入的功率。这样,二次侧电压和电流的乘积就等于一次侧电压和电流的乘积。因此,电压高的一侧,电流就小;电压低的一侧,电流就大。故变压器在变换电压的同时,电流大小也随着改变。

三、变压器的结构

油浸式配电变压器的外形和结构如图 2-2 和图 2-3 所示。由图可见,配电变压器是由油枕(储油柜)1、加油栓 2、低压套管 3、高压套管 4、温度计 5、调压开关 6、油面计 7、吊环 8、散热器 9、放油阀 10、绕组 11、铁芯 12、油箱 13 和变压器油 14 等组成。变压器的铁芯和绕组是变压器的主要部分,称为变压器的器身。

1. 铁芯

铁芯是变压器的磁路,又是变压器的机械骨架。铁芯是由铁芯柱和铁轭两部分组成。铁芯柱上套装绕组,铁轭使整个铁芯构成闭合回路。运行时变压器的铁芯必须可靠接地。

(1)铁芯材料。为了减少铁芯中磁滞和涡流的损耗,铁芯通常采用高导磁系数的磁性材料(硅钢片)叠成。配电变压器铁芯所用的硅钢片,厚度通常为 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$ 。硅钢片的两面涂以 $0.01 \sim 0.13\text{mm}$ 厚的漆膜,使片与片之间绝缘,以便增加铁芯电阻,限制涡流途径。

(2)铁芯形式。按照铁芯的结构,变压器可分为心式和壳式两类。心式变压器的铁芯柱被绕组所包围,如图 2-4(a)所示。壳式变压器是铁芯包围绕组,如图 2-4(b)所示。壳式变压器的机械强度较好,但制造复杂,铁芯用料较多。心式变压器比较简单,绕组的装配及绝缘处理也比较容易。因此,国产电力变压器的铁芯多采用心式结构。图 2-5 为国产三相心式变压器器身结构图。

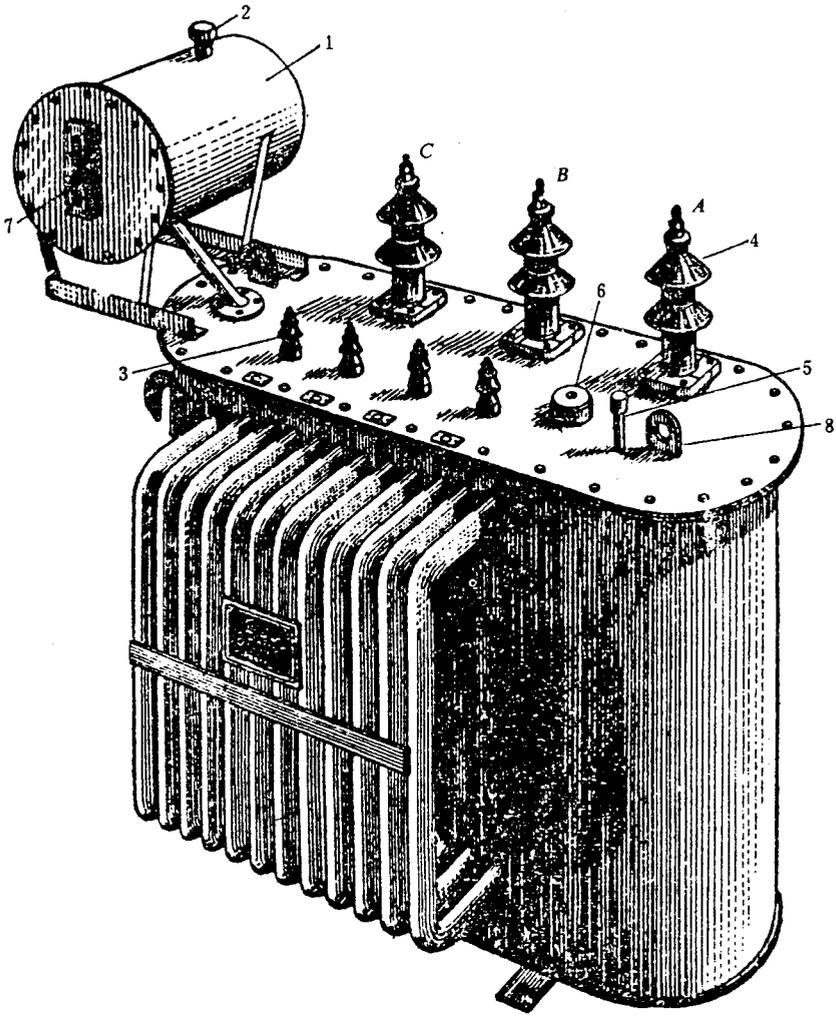


图 2-2 配电变压器外形图

(3)铁芯叠装。一般先将硅钢片裁成条形,然后按一定格式叠装而成。在叠片时,为了减小接缝间隙(以减小激磁电流),通常采用叠接式,如图 2-6 所示。为了将上层和下层叠片接缝错开,减少叠装工时,通常采用 3、4 片作一层。1、3、5……层按(I)叠装,2、4、6……层按(II)叠装。

叠装好的铁芯,如图 2-7 所示。其铁轭用槽钢或用焊接夹件由螺杆固定,如图 2-8 所示。铁芯柱现已广泛采用环氧树脂玻璃粘带绑扎。从而提高了硅钢片的利用率,改善了空载性能。

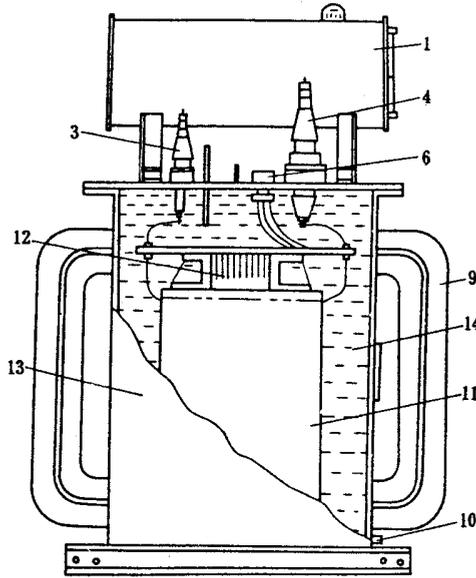


图 2-3 油浸式配电变压器结构图

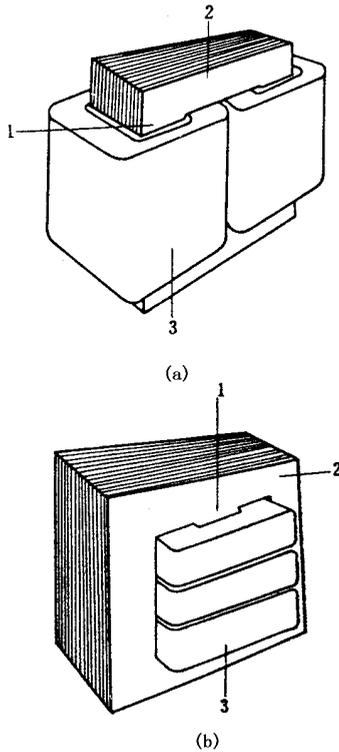


图 2-4 铁芯形式

(a)心式变压器绕组 (b)壳式变压器绕组

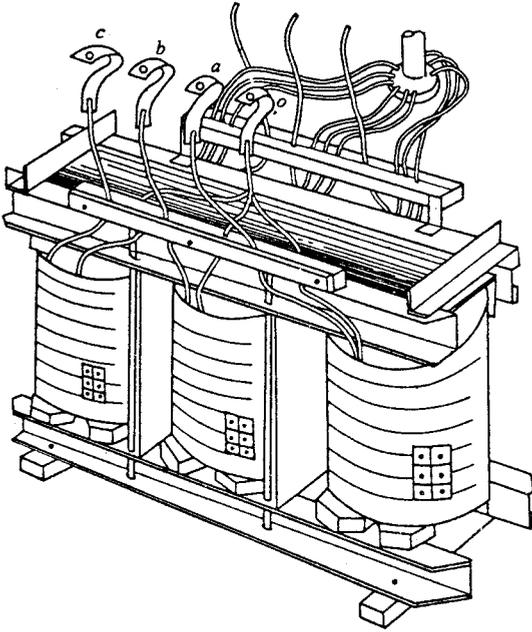


图 2-5 三相心式变压器器身结构

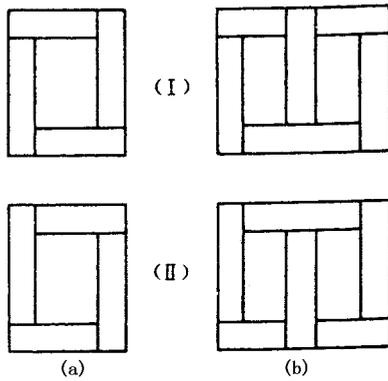


图 2-6 叠接式铁芯的叠片装法
(a)单相铁芯 (b)三相铁芯

铁芯由铁芯柱和铁轭两部分组成。通常将连接铁芯柱的部分称铁轭,其截面为矩形,如图 2-7 的 $B-B$ 截面所示。套绕组的部分称为铁芯柱,其截面为阶梯形,如图 2-7 的 $A-A$ 截面所示。阶梯形的级数越多,截面形状就越接近圆形,在一定的直径下铁芯柱的有效截面也越大。

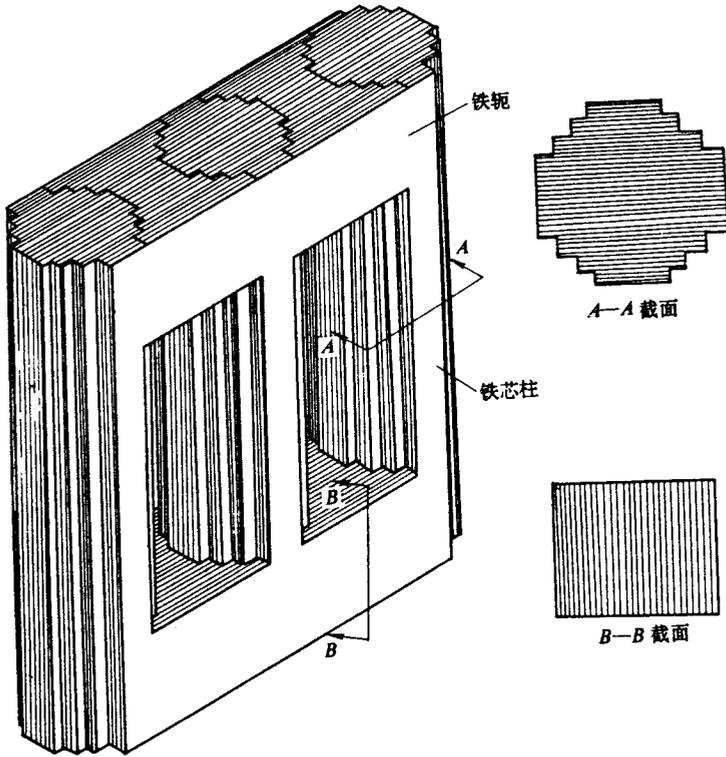


图 2-7 已叠装好的叠接式铁芯

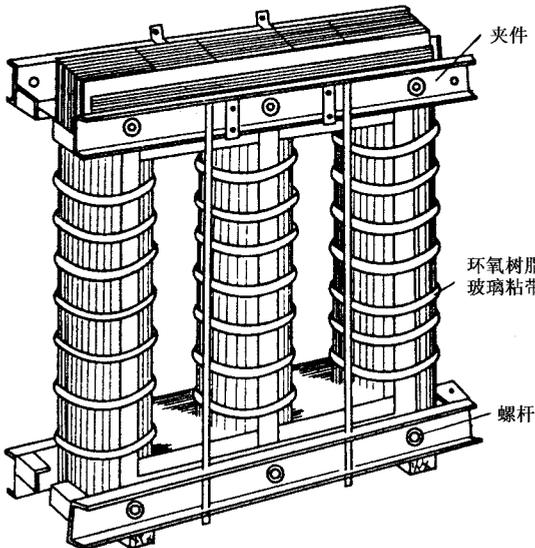


图 2-8 铁轭和铁芯柱装配图

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分。为了保证变压器有足够的使用年限,对绕组的电气性能、耐热性能和机械强度都有严格的要求。一般配电变压器多采用同心式绕组。同心式绕组(见图 2-9)的一次、二次绕组绕成两个直径不同的圆筒形,低压绕组 1 放在里面靠近铁芯 3,高压绕组 2 套在外面。由于这种绕组结构简单,制造比较方便,所以应用比较广泛。同心式绕组分有圆筒式和连续式两种,现分述如下。

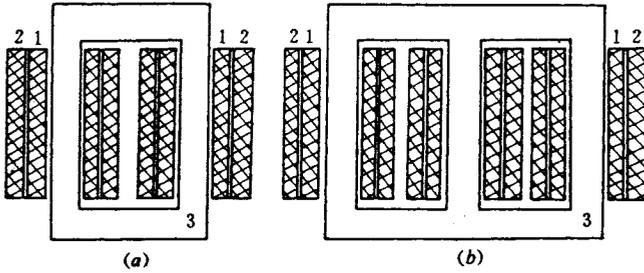


图 2-9 同心式绕组结构

(a)单相变压器 (b)三相变压器

1—低压绕组 2—高压绕组 3—铁芯

(1)圆筒式绕组。低压双层圆筒式绕组如图 2-10(a)所示。高压多层圆筒式绕组如图 2-10(b)所示。绕组层间用绝缘纸绝缘并用绝缘撑条隔开,形成油道,改善散热条件。圆筒式绕组绕制方便,但机械强度较差,一般用于每柱容量在 200kVA 以下的变压器中。

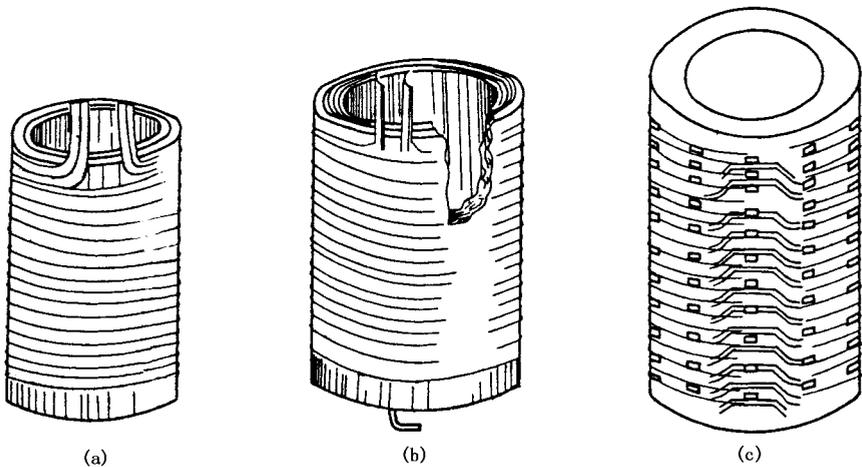


图 2-10 同心式绕组

(a)双层圆筒式绕组 (b)多层圆筒式绕组 (c)连续式绕组

(2)连续式绕组。是由单根或多根(一般不超过4根)并联扁导线连续绕制若干线饼组成的绕组。从一线饼到另一线饼的连接线不用焊接,而用特殊的翻线方法连续绕制而成。连续式绕组主要用作三相容量为630kVA以上配电变压器的高压绕组。

我国生产的变压器传统形式是铁芯截面为多级圆形,绕组截面为圆环形。国外有些国家的配电变压器的铁芯为矩形,相应的绕组亦为矩形。

3. 绝缘结构

变压器的绝缘分为外部绝缘和内部绝缘。外部绝缘是指油箱外部的绝缘,主要是由高、低压绕组引出的瓷绝缘套管和空气间隙绝缘;内部绝缘是指油箱内部的绝缘,主要是绕组绝缘和绕组与外壳间的绝缘,通常采用的是变压器油。内部绝缘又细分为主绝缘和纵绝缘。主绝缘是指绕组与绕组之间、绕组与铁芯和油箱之间的绝缘。纵绝缘是指绕组的匝间、层间的绝缘。匝间绝缘主要是指导线绝缘,一般为漆包或纸包绝缘。

4. 油箱与套管

变压器的油箱是用钢板焊成的,油浸变压器的器身是装在充满变压器油的油箱内(见图2-3)。变压器油既是一种绝缘介质,又是一种冷却介质。为了使变压器油能较长久地保持良好的状态,一般在变压器的油箱上装有圆筒形油枕。油枕通过连通管与油箱连通,油枕中的油面高度随着变压器油的热胀冷缩而变动,因此使变压器油与空气接触面积减少,从而减少油的氧化和水分的侵入。

油箱的结构与变压器的容量和发热情况密切相关。变压器的容量愈大,发热问题就愈严重。20kVA以下的小型变压器采用平壁式油箱,容量较大的变压器可加装散热管。散热管一般采用1~3排扁管,借以增加油的冷却面。

油箱盖上还装有调压开关,用来改变高压绕组的匝数,从而调节变压器的输出电压。

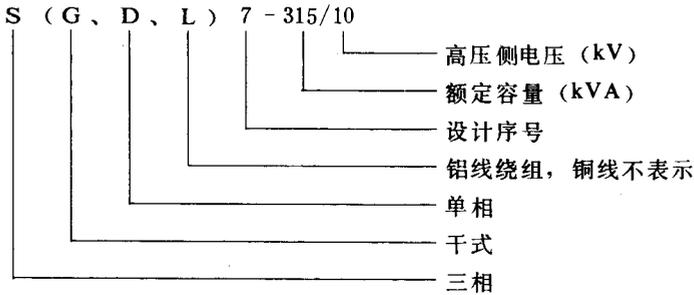
变压器套管由带电部分和绝缘部分组成。它是将变压器内部的高、低压引线引到油箱外部的出线装置,不但作为引线对地绝缘,而且担负着固定引线的作用。因此,必须具有规定的电气强度和足够的机械强度。配电变压器通常采用单体瓷绝缘导杆式套管。

四、变压器的型号和额定值

1. 变压器的型号

目前我国变压器产品系列和种类繁多,随着容量、材料及结构形式等不同,变压器的种类也各有不同。变压器的额定容量系列是按 $\sqrt[10]{10}$ 倍数增加的,称为 R_{10} 系列,其额定容量等级为:10、20、30、40、50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150、……、360000kVA。

变压器的产品型号 现已推行按新的国家标准 其型号含义表示如下：



例如 SL7 - 315/10 型为三相铝线双绕组油浸自冷式并为第 7 次序列设计的变压器 其容量为 315kVA ,高压侧额定电压为 10kV。S9 - 160/35 型为三相双绕组油浸自冷式并为第 9 次序列设计的变压器 其容量为 160kVA ,高压侧额定电压为 35kV。

2. 变压器的额定值

在配电变压器的铭牌上 通常标注配电变压器的额定值(或铭牌值)。变压器的额定值主要有：

(1) 额定容量 S_e 。变压器的额定容量是表明该台变压器在额定状态下变压器的输出能力(视在功率)的保证值 单位以 VA 或 kVA 表示。对于三相变压器 额定容量是指三相容量和。

(2) 额定电压 U_e 。变压器的额定电压表示绕组处于空载状态 分接头在额定情况下电压的保证值 单位以 V 或 kV 表示。三相变压器的额定电压是指线电压。

(3) 额定电流 I_e 。变压器的额定电流是根据额定容量和额定电压所计算出的线电流值 单位以 A 表示。

对于单相变压器 ,一次、二次绕组的额定电流为

$$I_{e1} = \frac{S_e}{U_{e1}} \quad (2-1)$$

$$I_{e2} = \frac{S_e}{U_{e2}} \quad (2-2)$$

对于三相变压器 ,一次、二次绕组的额定电流为

$$I_{e1} = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_{e1}} \quad (2-3)$$

$$I_{e2} = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_{e2}} \quad (2-4)$$

例如,一台变压器的型号为 S7-100/10 型,二次绕组额定电压为 0.4kV,其一次、二次绕组的额定电流为

$$I_{e1} = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_{e1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10} = 5.78(\text{A})$$

$$I_{e2} = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_{e2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 0.4} = 144.5(\text{A})$$

(4) 额定频率 f_e 。我国生产的变压器规定工作频率为 50Hz。

此外,在变压器的铭牌上还标有该台变压器的型号、效率、温升、该台变压器的相数、连接组别和接线图,以及短路电压或短路阻抗的标么值、使用条件(长期工作制或短期工作制)与冷却方式等。为了便于运输,铭牌上还标出变压器的油重和总重量以及外形尺寸等常用数据。

第二节 变压器空载运行

变压器的一次绕组接到额定电压和额定频率的电网上,二次绕组开路时的运行方式称为空载运行。空载运行时,二次绕组无电流,所以分析变压器工作情况时,应先从空载运行开始,然后推及带负载运行等较复杂的情况。

一、空载运行时的电势

图 2-11 是一台单相变压器空载运行示意图。图中 \dot{U}_1 为一次绕组电压, \dot{U}_{02} 为二次绕组空载电压, w_1 和 w_2 分别为一次、二次绕组的匝数。

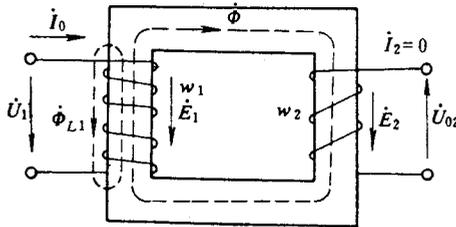


图 2-11 单相变压器空载运行示意图

当变压器的一次绕组接上电压为 \dot{U}_1 的交流电源时,在一次绕组中便有一个交流电

流 i_0 通过。由于二次绕组是开路的,二次绕组中无电流,即 $i_2 = 0$ 。此时一次绕组中电流 i_0 称为空载电流(激磁电流或励磁电流)。这个电流在一次绕组中产生一个交变磁势 $I_0 w_1$,并在铁芯中建立交变主磁通 ϕ 。磁通 ϕ 既穿过一次绕组也穿过二次绕组。另外有很小部分磁通,大约占主磁通 0.25% 左右,经过一次绕组附近的空气闭合,这部分磁通,称为一次绕组的漏磁通,用 ϕ_{L1} 表示。假设一次、二次绕组之间是完全耦合的,即忽略漏磁通,则根据电磁感应定律,磁通 ϕ 在一次、二次绕组中感应电势的瞬时值 e_1 和 e_2 为

$$e_1 = - w_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2-5)$$

$$e_2 = - w_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (2-6)$$

在变压器中,电压、电流、磁通和电势的大小和方向都是随时间交变的。为了正确表示它们之间的相互关系,必须考虑它们的正方向。其正方向的规定,通常按“电工惯例”来判别,也称为习惯正方向,判别方法如下:

(1) 在同一支路内,电压降的正方向与电流正方向一致。

(2) 主磁通 ϕ 的正方向与电流的正方向符合右手螺旋定则。

(3) 由交变的主磁通 ϕ 产生的感应电势 e ,其正方向与产生它的主磁通 ϕ 之间符合右手螺旋定则。

(4) 一次绕组是用于输入电能的,所以流入绕组的电流作为电流的正方向。电流的正方向确定后,可按“电工惯例”规定出电压、磁通和电势的正方向。

(5) 二次绕组电势的正方向,在绕向相同时,与一次绕组电势方向相同。

当电源电压 \dot{U}_1 按正弦规律变化,则磁通按正弦规律 $\phi = \Phi_m \sin \omega t$ 变化,其感应电势的瞬时值为

$$e_1 = - w_1 \frac{d\phi}{dt} = - w_1 \frac{d(\Phi_m \sin \omega t)}{dt} = - w_1 \omega \Phi_m \cos \omega t$$

令 $w_1 \omega \Phi_m = E_m$, 又因 $-\cos \omega t = \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$, 则

$$e_1 = E_{1m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

同理

$$e_2 = E_{2m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

从上式可以看出,两绕组的感应电势也按正弦规律变化,且在相位上较磁通滞后 $\frac{\pi}{2}$ 弧度,或 $\frac{1}{4}$ 周期。

感应电势的有效值,应是最大值除以 $\sqrt{2}$,即

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{w_1 \omega \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f w_1 \Phi_m = 4.44 f w_1 \Phi_m \quad (2-7)$$

同理
$$E_2 = 4.44 f w_2 \Phi_m \quad (2-8)$$

如将上两式相除,则得

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad (2-9)$$

上式说明变压器绕组感应电势之比,等于绕组匝数之比,也称为变压器的变比。

变压器空载运行时,一次绕组的漏磁通 Φ_{L1} 很小,铁损也很小,一次绕组的电阻 R_1 和空载电流 i_0 也很小,因此,一次绕组的漏磁电势和电阻压降可以忽略不计,那么外加电压 u_1 几乎等于一次绕组感应电势 e_1 ,即

$$u_1 = e_1 \quad \text{或} \quad \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 \quad (2-10)$$

在二次绕组中,仅有主磁通 Φ 感应的电势 \dot{E}_2 ,所以变压器空载时二次绕组的端电压 \dot{U}_{02} 与 \dot{E}_2 相等,即

$$\dot{U}_{02} = \dot{E}_2 \quad \text{或} \quad \dot{U}_2 = \dot{E}_2 \quad (2-11)$$

由式(2-10)和式(2-11)可知

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_{01}} \approx \frac{E_1}{E_2} = K$$

所以变压器的变比等于空载时两侧电压之比,故变比又称为变压比。对于三相变压器,变比应为线电压之比。

二、空载运行时的相量图

实际上变压器空载运行时,当空载电流 i_0 (\dot{I}_0)流过一次绕组时,由于一次绕组本身具有电阻 R_1 ,将产生一个电阻压降 $i_0 R_1$ ($\dot{I}_0 R_1$),它的方向可看作一个反电势 $e_{R1} = i_0 R_1$ ($\dot{E}_{R1} = \dot{I}_0 R_1$)。又因一次绕组的漏磁通 Φ_{L1} 所经磁路具有的漏电感 L_1 为一常数,故感应漏磁电势 e_{L1} 为

$$e_{L1} = -L_1 \frac{di_0}{dt} = -\sqrt{2} I_0 \omega L_1 \cos \omega t = \sqrt{2} I_0 \omega L_1 \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2-12)$$

或写成
$$\dot{E}_{L1} = -j \dot{I}_0 \omega L_1 = -j I_0 X_{L1} \quad (2-13)$$

可见漏磁电势 E_{L1} 的相位滞后于空载电流 I_0 90° ,它的数值等于绕组通过空载电流时的漏磁压降 $I_0 X_{L1}$ 。式(2-13)中的 X_{L1} 称为一次绕组的漏电抗,是一个常数,不随负

荷的大小而变化。

根据克希荷夫定律,加于一次绕组上的电压,在任何瞬间都被电势的总和所平衡,即

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -(\dot{E}_1 + \dot{E}_{R1} + \dot{E}_{L1}) = -(\dot{E}_1 - \dot{I}_0 R_1 - j\dot{I}_0 X_{L1}) \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_0(R_1 + jX_{L1}) = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_{L1}\end{aligned}\quad (2-14)$$

式中 R_1 ——一次绕组的内电阻;

Z_{L1} ——一次绕组的内阻抗, $Z_{L1} = R_1 + jX_{L1}$ 。

在二次绕组中 $\dot{U}_{02} = \dot{E}_2$

空载电流 \dot{I}_0 的作用是为了建立主磁通 $\dot{\Phi}$, \dot{I}_0 值一般为一次侧额定电流的 2% ~ 10%, 主要取决于铁芯绕组的电抗和铁芯损耗。因此具有有功和无功两个分量,其中无功分量起激磁作用。

空载电流 \dot{I}_0 除含无功激磁电流 \dot{I}_{0w} 外, 还含一个因铁损造成的有功电流 \dot{I}_{0y} 。因此空载电流 \dot{I}_0 将超前 $\dot{\Phi}$ 一个角度 δ , δ 称为铁损角(见图 2-12)。空载电流有效值的计算式为

$$I_0 = \sqrt{I_{0w}^2 + I_{0y}^2}\quad (2-15)$$

通常 $I_{0y} < 10\% I_0$, 所以 $I_0 \approx I_{0w}$ 。

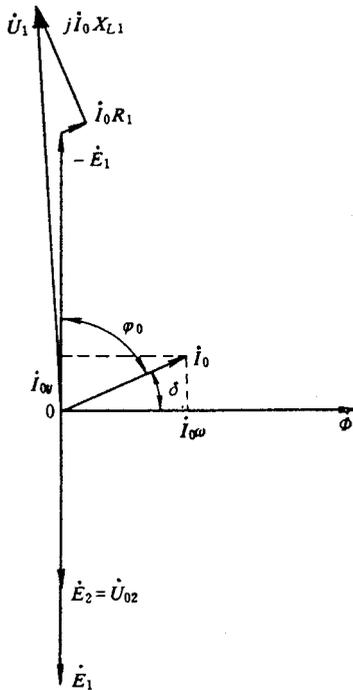


图 2-12 变压器空载运行相量图

变压器空载运行相量图是用来直观反映变压器空载运行时各物理量之间的大小和相位关系。如图 2-12 所示,变压器空载运行相量图的画法如下:

(1) 自坐标原点 O 朝横轴正方向按比例画出主磁通相量 $\dot{\Phi}$ 。

(2) 滞后主磁通相量 $\dot{\Phi} 90^\circ$ 的纵轴上按比例画出一、二次绕组的感应电势 \dot{E}_1 和 \dot{E}_2 , 因为绕组感应电势滞后于产生感应电势的交变主磁通 $\dot{\Phi} 90^\circ$ 。

(3) 由于激磁电流无功分量 \dot{I}_{0w} 与主磁通 $\dot{\Phi}$ 同方向, 故在相量 $\dot{\Phi}$ 的同方向上画出 \dot{I}_{0w} 。并在超前 $\dot{I}_{0w} 90^\circ$ 的纵轴上按比例画出激磁电流的有功分量 \dot{I}_{0y} 。用 \dot{I}_{0w} 和 \dot{I}_{0y} 作平行四边形, 这平行四边形的对角线就是激磁电流相量 \dot{I}_0 。

(4) 根据 $\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 R_1 + j\dot{I}_0 X_{L1}$, 首先将 \dot{E}_1 旋转 180° 得 $-\dot{E}_1$, 自 $-\dot{E}_1$ 的顶端加上 $\dot{I}_0 R_1$ (与 \dot{I}_0 同方向) 和 $\dot{I}_0 X_{L1}$ (超前 $\dot{I}_0 90^\circ$) 就得到加在一次绕组上电压相量 \dot{U}_1 。

三、空载运行的等值电路

变压器空载运行时, 实际上是一个带铁芯的电感线圈, 从式 (2-14) 可知, 空载时的变压器实际上可看成两个阻抗线圈串联的电路。其中一个可看成没有铁芯的线圈阻抗, 表示一次绕组的内阻抗 $Z_{L1} = R_1 + jX_{L1}$, 空载电流流过 Z_{L1} 产生压降 $\dot{I}_0 Z_{L1}$; 另一个可以看成带铁芯的线圈阻抗 Z_m , 用以表示变压器由于铁芯中磁滞和涡流引起的铁损和主磁通效应, 即把 \dot{I}_0 流过 Z_m 产生的压降看成 \dot{E}_1 , 这就组成了变压器空载运行时的等值电路, 如图 2-13 所示。

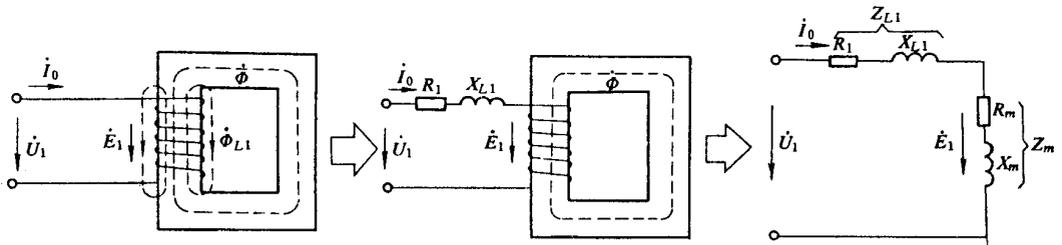


图 2-13 变压器空载运行的等值电路

R_1 —一次绕组的电阻; X_{L1} —一次绕组漏抗;

R_m —激磁电阻或称铁损电阻; X_m —激磁电抗

铁损电阻表示反映铁芯中损耗的一个等值电阻, 激磁电抗表示与主磁通 $\dot{\Phi}$ 相对应的电抗, 这个电抗值与铁芯上绕组匝数的平方及主磁路的磁导成正比。由于铁磁材料的磁化曲线是非线性的, 即导磁系数 μ 随铁芯饱和程度的提高而减小。因而严格地说 X_m 和

R_m 不是常量,但由于电源电压一般变化不大,故在一般计算时可以近似地认为 Z_m 是个常量。

四、空载试验

变压器的空载实验是变压器基本试验之一。通过空载实验可以确定空载电流 I_0 、空载损失 P_0 及激磁阻抗 Z_m 。

变压器空载试验的接线如图 2-14 所示。因为变压器铁芯中的磁通是相同的,所以可以在任一侧做空载试验(只要加于该侧是额定电压值)。但为了试验方便,一般都在低压侧加上低压额定电压,高压侧开路。这是因为高压侧接电源有困难,操作也不安全,空载电流值太小,仪表读数困难也不准确。

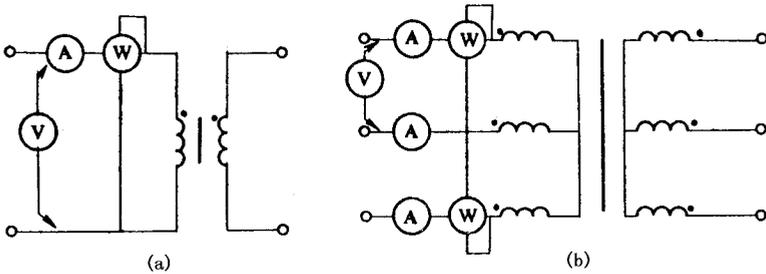


图 2-14 变压器空载试验接线图

(a)单相变压器试验接线 (b)三相变压器试验接线

单相变压器试验接线如图 2-14(a)所示,试验时低压侧加额定电压 U_{e2} ,高压侧开路。通过表计测出 U_1 、 U_{02} 、 I_0 和 P_0 ,则变比 $K = \frac{U_1}{U_{02}}$,铁损 $P_{ii} = P_0$ 。三相变压器试验接线如图 2-14(b)所示,在试验时,由于三相磁路不对称,中间相与两边相磁路不相等,所以各相的 I_0 、 P_0 值也不相等,在读 I_0 、 P_0 值时,可以取各相电流、功率的平均值。

变压器的空载试验,可按表 2-1 所规定的项目测得试验数据,并加以计算,最后将试验和计算数据填入相应栏内。

表 2-1 变压器空载试验数据

试验数据			计算数据		
U_{e2}	I_0	P_0	Z_m	X_m	R_m

根据试验测得的 U_{e2} 、 I_0 、 P_0 数值,可以用公式计算下列参数。

$$(1) \text{ 激磁阻抗} \quad Z_m \approx Z_0 = \frac{U_{e2}}{I_0}$$

$$(2) \text{ 激磁电阻} \quad R_m \approx R_0 = \frac{P_0}{I_0^2}$$

$$(3) \text{ 激磁电抗} \quad X_m \approx X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$$

注意,上面计算式与表 2-1 所列均是单相变压器的试验数值,如求三相变压器的参数时,必须换算成一相的损耗和相电压、相电流来计算。

【例 2-1】三相变压器,一次、二次绕组均接成星形, $S_e = 100\text{kVA}$, $U_{e1}/U_{e2} = 10000/(230 \sim 400)\text{V}$, $I_{e1}/I_{e2} = 5.75/144\text{A}$,空载损失 $P_0 = 600\text{W}$,在低压侧做试验时,激磁电流 I_0 为 I_{e2} 的 6.5% 等于 9.37A,频率 $f = 50\text{Hz}$,试计算一相数据。

解 因为一次、二次侧都接成星形,所以相电压为

$$U_{1\text{xg}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} = 5750(\text{V}), U_{2\text{xg}} = 230(\text{V})$$

$$\text{所以变比为} \quad K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1\text{xg}}}{U_{2\text{xg}}} = \frac{5750}{230} = 25$$

$$\text{已知空载电流} \quad I_0 = 9.37(\text{A})$$

$$\text{每相损耗} \quad P_{0\text{x}} = \frac{600}{3} = 200(\text{W})$$

$$\text{激磁阻抗} \quad Z_m \approx Z_0 = \frac{U_{e0}}{I_0} = \frac{230}{9.37} = 24.5(\Omega)$$

$$\text{激磁电阻} \quad R_m \approx R_0 = \frac{P_0}{I_0^2} = \frac{200}{9.37^2} = 2.28(\Omega)$$

$$\text{激磁电抗} \quad X_m \approx X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \approx Z_0 = 24.5(\Omega)$$

五、短路试验

1. 变压器的短路试验

当变压器的一次绕组施加额定电压运行时,二次绕组突然发生短路,称为故障短路,此时将产生很大的短路电流,其结果将产生很严重的破坏作用。变压器的短路试验是不产生破坏作用的试验,是指降低施加于一次绕组上的电压,使一次绕组的电流不超过额定电流来进行的试验。

变压器短路试验的目的是用来分析和研究变压器的特性参数。根据短路试验,可以

测定短路电流 I_d 或 I_{el} 、短路电压 U_d 和短路损耗 P_d ，从而用来计算短路参数。

变压器短路试验的接线图如图 2-15 所示。试验时将变压器的一个绕组(通常是低压绕组)短路,而另一绕组加以额定频率降低了的电压。试验时用调压器逐渐升高电压,使变压器一次绕组中的电流达到额定电流 I_{el} ,此时功率表读数为额定电流 I_{el} 时的短路损耗 P_d ,由于一次绕组的外施电压 U_d 很小,仅为额定电压的 4%~10%左右,因此铁芯中的主磁通 Φ 比额定状态下小得多,铁损可以忽略不计。这时变压器没有输出,所以短路时全部输入功率基本上是消耗在变压器一次、二次绕组的电阻上,这种损耗就是变压器的铜损。电压表的读数为额定短路电压 U_d 。变压器的短路试验数据和计算数据见表 2-2。

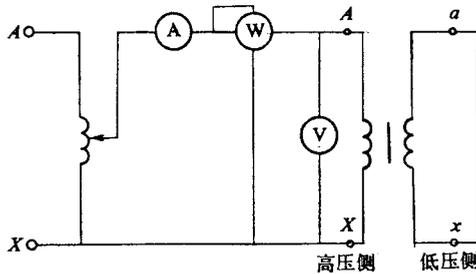


图 2-15 变压器短路试验的接线图

表 2-2 变压器短路试验数据和计算数据

试验数据			计算数据							
			环境温度			换算到 75℃				
U_d	$I_d(I_{el})$	P_d	Z_d	X_d	R_d	$R_d(75℃)$	$Z_d(75℃)$	$P_d(75℃)$	$U_d(75℃)$	$\cos\phi_d(75℃)$

2. 短路参数的温度换算值

由于绕组的电阻随温度而变,而短路试验通常在室温下进行,故所测得电阻必须换算到基准工作温度时的数值。按国家标准规定,油浸式变压器的短路电阻值应按式换算到 75℃ 时的数值。

$$\left. \begin{aligned}
 \text{对于铝线变压器} \quad R_{d75℃} &= R_d \frac{228 + 75}{228 + t} \\
 \text{对于铜线变压器} \quad R_{d75℃} &= R_d \frac{235 + 75}{235 + t}
 \end{aligned} \right\} (2-16)$$

式中 t ——试验时的室温(°C)

由于短路时主要考虑铜损,铁损可以忽略不计,故 75°C 时的短路阻抗为

$$Z_{d75^{\circ}\text{C}} = \sqrt{R_{d75^{\circ}\text{C}}^2 + X_d^2}$$

短路时所加的电压 U_d 全部降在变压器绕组的漏磁阻抗上,即

$$U_{d75^{\circ}\text{C}} = I_d Z_{d75^{\circ}\text{C}} \quad (2-17)$$

而短路时的阻抗百分数 $Z_d\%$ 为

$$Z_d\% = \frac{Z_{d75^{\circ}\text{C}}}{Z_e} \times 100\%$$

式中 Z_e ——变压器的额定阻抗,其数值等于额定电压 U_{e1} 除以额定电流 I_{e1} 。

经过数学推导可以得到

$$Z_d\% = \frac{Z_{d75^{\circ}\text{C}} I_{e1}}{Z_e I_e} \times 100\% = \frac{U_{d75^{\circ}\text{C}}}{U_{e1}} \times 100\% = U_d\% \quad (2-18)$$

由式(2-18)可见,变压器短路阻抗百分数等于短路电压百分数。故变压器铭牌上所示短路电压值即为短路阻抗值。短路损耗 P_d 和短路电压 U_d 也应换算到 75°C 时的数值,即

$$P_{d75^{\circ}\text{C}} = I_{e1}^2 R_{d75^{\circ}\text{C}} \quad (2-19)$$

$$U_{d75^{\circ}\text{C}} = I_{e1} Z_{d75^{\circ}\text{C}} \quad (2-20)$$

3. 三相变压器短路参数计算

三相变压器短路试验的参数计算,与单相变压器计算一样,必须折合到某一相值来计算。

我国生产的三相电力变压器的短路电压值,可参见表 2-3。

表 2-3 三相电力变压器的短路电压值

S_d (kVA)	U_d (kV)	U_d^* (或 Z_d^*)
10 ~ 630	6, 6.3, 10	4%
630 ~ 1600	6, 6.3, 10	4.5%
1600 ~ 6300	6, 6.3, 10	5.5%

【例 2-2】 一台三相变压器,型号为 S9-100/6 型,连接组别为 Y,yn0, $U_{e2} = 0.4\text{kV}$, $I_{e1}/I_{e2} = 9.63/144\text{A}$,在高压侧做短路试验测得: $I_d = 9.4\text{A}$, $U_d = 317\text{V}$, $P_d = 1920\text{W}$ 。试验时的室温 $t = 25^{\circ}\text{C}$,试求一相的短路参数。

解 由已知 $I_d = 9.4\text{A}$, $U_d = 317\text{V}$, $P_d = 1920\text{W}$ 求得

$$\text{相电压} \quad U_{\text{dsg}} = \frac{317}{\sqrt{3}} = 183(\text{V})$$

$$\text{相电流} \quad I_{\text{dsg}} = I_{\text{d}} = 9.4(\text{A})$$

$$\text{每相损耗} \quad P_{\text{dsg}} = \frac{P_{\text{d}}}{3} = \frac{1920}{3} = 640(\text{W})$$

$$\text{短路阻抗} \quad Z_{\text{d}} = \frac{U_{\text{dsg}}}{I_{\text{dsg}}} = \frac{183}{9.4} = 19.5(\Omega)$$

$$\text{短路电阻} \quad R_{\text{d}} = \frac{P_{\text{dsg}}}{I_{\text{dsg}}^2} = \frac{640}{9.4^2} = 7.24(\Omega)$$

$$\text{短路电抗} \quad X_{\text{d}} = \sqrt{Z_{\text{d}}^2 - R_{\text{d}}^2} = \sqrt{19.5^2 - 7.24^2} = 18.1(\Omega)$$

按规定折合到 75℃ 时的计算值为

$$\text{短路电阻} \quad R_{\text{d}75^{\circ}\text{C}} = R_{\text{d}} = \frac{235 + 75}{235 + t} = 7.24 \times \frac{235 + 75}{235 + 25} = 8.63(\Omega)$$

$$\text{短路阻抗} \quad Z_{\text{d}75^{\circ}\text{C}} = \sqrt{R_{\text{d}75^{\circ}\text{C}}^2 + X_{\text{d}}^2} = \sqrt{8.63^2 + 18.1^2} = 20(\Omega)$$

$$\text{额定短路损耗} \quad P_{\text{de}} = 3 I_{\text{e1}}^2 R_{\text{d}75^{\circ}\text{C}} = 3 \times 9.63^2 \times 8.63 = 2400(\text{W})$$

$$\text{额定短路电压} \quad U_{\text{de}} = \sqrt{3} I_{\text{e1}} Z_{\text{d}75^{\circ}\text{C}} = \sqrt{3} \times 9.63 \times 20 = 334(\text{V})$$

$$\text{短路电压百分数} \quad U_{\text{de}}^* = \frac{U_{\text{de}}}{U_{\text{e}}} \times 100\% = \frac{334}{6000} \times 100\% = 5.57\%$$

第三章 配电网的短路电流计算方法

第一节 配电网短路的一般概念

安全可靠地向用户供电是电力系统正常运行的主要任务,而正常运行遭到破坏,绝大多数是由短路故障引起的。为了防止配电网(其中包括配电线路和配电设备)短路故障的发生,我们在本节中着重分析配电网短路的原因、种类和后果,并对配电网短路电流计算的特点给予必要的阐述。

一、短路的原因、种类和后果

(一)引起短路的原因

电力系统由于电压等级不同,网络接线一般分为中性点直接接地系统和中性点不直接接地系统。在配电网中,10~35kV的高压配电网为中性点不直接接地系统,380/220V低压配电网为中性点直接接地系统。配电网的短路故障,主要是由于相与相或相与地直接接触造成的,短路故障发生的主要原因有以下几种。

(1)由于配电网中的线路或电气设备载流部分的绝缘损坏而造成短路故障。引起绝缘损坏的原因有过电压、直击雷、暴风雨、绝缘材料老化、设备维护不周以及机械的直接损坏(如架空线路断线等)。

(2)由于工作人员误操作,也常引起短路故障,这种故障是完全可以避免的。

(3)鸟兽跨越在裸露的载流部分上时,也会引起短路故障。

(二) 短路故障的种类

三相系统中可能发生的短路故障主要有三种类型：

(1) 三相短路(对称短路),以符号表示为 $d^{(3)}$,即为三相导体直接接触造成的；

(2) 两相短路,以符号表示为 $d^{(2)}$,两相短路又分为两相导体直接接触造成的和两相导体同时接地造成的两种形式；

(3) 单相接地短路,以符号表示为 $d^{(0)}$,只可能发生在中性点接地配电系统和中性线引出的三相四线制配电系统,即是由某相导体与接地部分直接接触造成的。两相短路和单相接地短路均称为不对称短路。

三相短路造成的短路电流最大。运行经验表明,这种短路故障约占各种短路故障的5%。单相接地短路,在中性点直接接地的系统中危害较大,因为它能够通过大地构成短路电流回路,造成很大短路电流。它也是各种短路故障中机会最多的一种,约占各种短路故障的65%。但对中性点不直接接地系统,当发生单相接地时,由于不能形成短路电流回路,此时电网仍可持续短时间运行,在此运行期间内应尽快排除接地故障,以免再有一点接地而形成两相短路,使电网停止运行。单相和两相短路电流通常都小于三相短路电流,仅当短路发生在发电机附近时,两相短路的稳态电流才可能大于三相短路的稳态电流。

(三) 短路故障的后果

网络发生短路故障的后果,与发生短路的地点(距电源的远和近)和持续的时间长短有关。具体的后果如下。

(1) 在绝缘损坏处发生短路时,常常因电弧作用使元件过热损坏。短路电流愈大,持续的时间愈长,故障元件损坏的程度愈严重。

(2) 短路电流可以引起很大的电动力。电流流过导体时产生的电动力与电流平方成正比。在短路刚开始瞬间,电流达到最大值(即冲击电流),这时电动力最大,如果导体和它的固定支架不够坚韧,则可能导致导体和支架的破坏。

(3) 短路故障发生时,网络的电压降低,可以使非故障受电器的正常工作遭到破坏。例如异步电动机,其转矩与外加电压平方成正比,当电压降低很多时,转矩可能不足以使被带动的机械负载工作,致使电动机停转。

(4) 由于短路电流往往超过故障支路额定电流许多倍,即使短路故障切除很快,也会使设备的绝缘因过热而损坏。

(5) 可能使并列运行的发电机失去同步,短路点离发电机愈近,这种可能性愈大。

(6) 当发生不对称短路时,不平衡电流产生的磁通,将在附近的电路中感应很大的电

势,产生干扰。

总之,发生短路故障造成的短路电流很大,其后果是严重的。特别是在短路故障瞬间(往往不到 1s)的暂态过程,短路电流大而不稳定。因此我们必须对短路故障引起高度重视,掌握它的规律,采取一定的技术措施,防止短路故障的发生以及在发生短路故障时限制短路电流和故障地区的扩大。例如采用高压防雷装置,防止由于雷击引起的短路事故,另外,采用继电保护和高压熔断器,使短路限制在一定范围内,以及快速切除故障部分。

二、配电网短路电流计算的目和特点

(一)计算短路电流的主要目的

- (1)校验所选择的配电设备(如断路器、母线、绝缘子和电缆等)的热稳定和动稳定。
- (2)整定继电保护装置。
- (3)为合理选择电气回路接线等提供技术理论数据。
- (4)研究限制短路电流大小。

(二)配电网短路电流计算的特点

在短路过程中,短路电流是变化的,变化的情况决定于系统电源容量的大小、短路点离电源的远近以及系统内发电机是否带有电压自动调整装置等因素。按短路电流的变化情况,通常把电力系统分为无限容量系统和有限容量系统两大类。一般配电网多数由降压变电所供电(个别由地方发电厂供电除外),在网络的任意一点发生短路故障与在发电机输出端发生短路故障是不同的。短路点离发电机愈远,短路回路的阻抗愈大,短路电流值愈小,这种情况对发电机的影响也就愈小,甚至没有影响。配电网在电力系统中通常是离发电机较远的部分,当某处发生短路时,电源母线电压维持不变,即短路的稳态分量在整个短路过程中不衰减。在工程计算中,一般认为,如果电源部分的阻抗不超过短路回路总阻抗的 5% ,甚至 10% ,或者以供电电源总容量为基准的短路回路总阻抗标么值大于或等于 3 时,在计算配电网短路电流时,可以认为是无限大功率电源供电,或此系统可按无限容量系统考虑。反之,应按有限容量系统来考虑。

1. 高压配电网短路电流计算

在计算时只考虑对短路电流值有重大影响的一些元件的电阻值。对其它元件的电阻一般可不考虑,仅考虑计算其感抗即可。但对于较长的架空线路或电缆线路,当其短路回路的总电阻大于总电抗的 $\frac{1}{3}$ (即 $R_{\Sigma} > \frac{1}{3} X_{\Sigma}$)时,则应考虑其电阻。此外,在计算中不考虑架空线路和电缆线路的容抗。

2. 1kV 以下低压配电网短路电流计算

对于这种配电网的短路电流计算可考虑以下几个特点。

(1) 如果低压配电网中变压器容量不超过供电电源容量的 3% ,在短路电流计算时 ,可认为降压变压器的一次侧端电压不变 ,二次侧短路电流不衰减。

(2) 对于低压配电网的短路电流计算 ,一般不允许忽略电阻。

(3) 为了简化计算 ,可使短路电流值较为偏大 ,在计算总的短路回路阻抗中 ,允许不考虑占短路回路总阻抗不超过 10% 的元件。

(4) 一般采用有名值计算。

第二节 配电网的短路电流计算

配电网在正常运行时 ,电路中的电流大小决定于电源的电势和回路中所有元件的总阻抗。如果网络中某点突然发生短路故障时 ,短路回路中总阻抗突然减小很多 ,短路回路中的电流必然要急剧增加 ,短路点的电压也要突然降低 ,这将使该配电网中的各元件在发热严重和电动力作用下受到严重破坏。在所有的短路故障中以三相对称短路为最严重 ,所以在本节中将着重讨论三相短路电流计算。

一、无限大功率电源系统的三相短路电流计算

(一) 标么制

标么制是一种相对单位制 ,电气参数的标么值为其有名值与基准值之比 ,即

$$\text{容量标么值} \quad S_* = \frac{S}{S_j} \quad (3-1)$$

$$\text{电压标么值} \quad U_* = \frac{U}{U_j} \quad (3-2)$$

$$\text{电流标么值} \quad I_* = \frac{I}{I_j} \quad (3-3)$$

$$\text{电抗标么值} \quad X_* = \frac{X}{X_j} \quad (3-4)$$

式中 S 、 U 、 I 、 X ——容量、电压、电流、电抗的有名值 ;

S_j 、 U_j 、 I_j 、 X_j ——容量、电压、电流、电抗的基准值。

在工程计算中 ,首先选定基准容量 S_j 和基准电压 U_j ,然后通过公式求出其基准电流

I_j 和基准电抗 X_j

$$I_j = \frac{S_j}{\sqrt{3} U_j} \quad (3-5)$$

$$X_j = \frac{U_j}{\sqrt{3} I_j} = \frac{U_j^2}{S_j} \quad (3-6)$$

根据式(3-4)和式(3-6),在三相电力系统中,电路元件电抗的标么值 X_* 可表示为

$$X_* = \frac{\sqrt{3} I_j X}{U_j} = \frac{S_j X}{U_j^2} \quad (3-7)$$

基准值可以任意选定。但为了方便起见,基准容量可选取向短路点馈送短路电流的发电机额定总容量 S_{Σ} 作为基准容量。基准电压 U_j 应采用各电压级的平均额定电压(指线电压) U_{ep} 。

采用标么值计算短路回路的总阻抗时,必须先将元件电抗的有名值或相对值按同一基准容量换算为标么值,而基准电压采用各元件所在级的平均额定电压。

(二) 有单位制

用有单位制(欧姆制)计算短路回路的总阻抗时,必须把短路回路中各元件阻抗的相对值换算成欧姆值,并把短路回路中通过变压器互相连接的各电压级元件的欧姆值,通过公式(3-2)换算到短路点所在级平均额定电压下的欧姆值。

(三) 网络简化

由于配电网中接线较复杂,所以在计算配电网的三相短路电流时,为了使计算简化,应将网络简化。网络简化后,便可顺利地计算出整个网络对短路点的合成阻抗 Z_{Σ} ,这里主要介绍配电网简化的几个原则和方法。

1. 网络简化的原则

在网络简化的过程中,应尽量注意利用网络阻抗与短路点局部或全部对称关系,以便将同电位的点连接起来,并利用串、并联电路的计算原则,求得短路点到各电源的短路阻抗。

2. 网络简化的方法

(1) 网络串联阻抗的简化。如图 3-1(a)所示的网络,可简化成如图 3-1(b)所示。

其计算公式为

$$\text{总电抗} \quad X_{\Sigma} = X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (\Omega) \quad (3-8)$$

$$\text{总电阻} \quad R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (\Omega) \quad (3-9)$$

$$\text{总阻抗} \quad Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} \quad (\Omega) \quad (3-10)$$

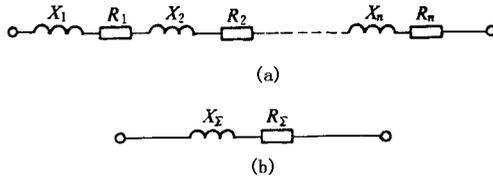


图 3-1 网络串联阻抗的简化图

(a)简化前网络 (b)简化后网络

(2)网络并联阻抗的简化。如图 3-2(a)所示的网络,可简化成如图 3-2(b)所示。

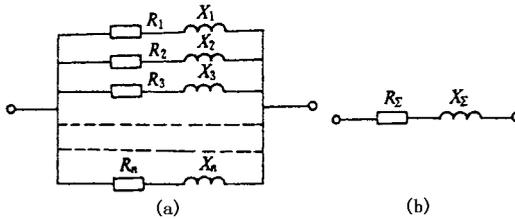


图 3-2 网络并联阻抗的简化图

(a)简化前网络 (b)简化后网络

其计算公式为

$$\text{总电抗} \quad X_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}} \quad (\Omega) \quad (3-11)$$

$$\text{总电阻} \quad R_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} \quad (\Omega) \quad (3-12)$$

$$\text{总阻抗} \quad Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} \quad (\Omega) \quad (3-13)$$

当只有两个并联支路时,其计算公式为

$$X_{\Sigma} = \frac{X_1 X_2}{X_1 + X_2} \quad (3-14)$$

$$R_{\Sigma} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3-15)$$

(3)将三角形网络(见图 3-3(a))变换成等值的星形网络(见图 3-3(b))时,则星形网络各支路的电抗和电阻所组成的阻抗为

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= \frac{Z_{12} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \quad (\Omega) \\ Z_2 &= \frac{Z_{12} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \quad (\Omega) \\ Z_3 &= \frac{Z_{23} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \quad (\Omega) \end{aligned} \right\} \quad (3-16)$$

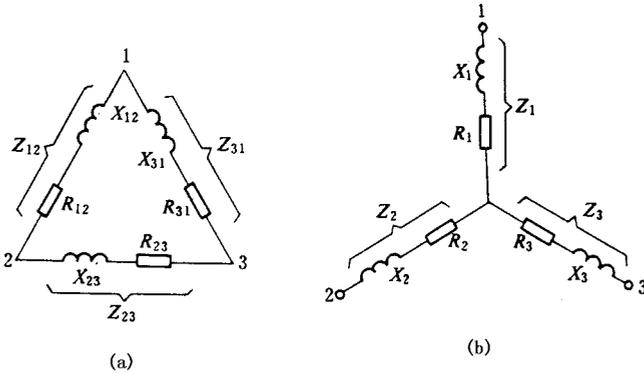


图 3-3 三角形网络变换成星形网络

(a)简化前网络 (b)简化后网络

(4) 将星形网络(见图 3-4 a)变换成等值的三角形网络(见图 3-4 b), 则三角形网络各支路的阻抗分别为

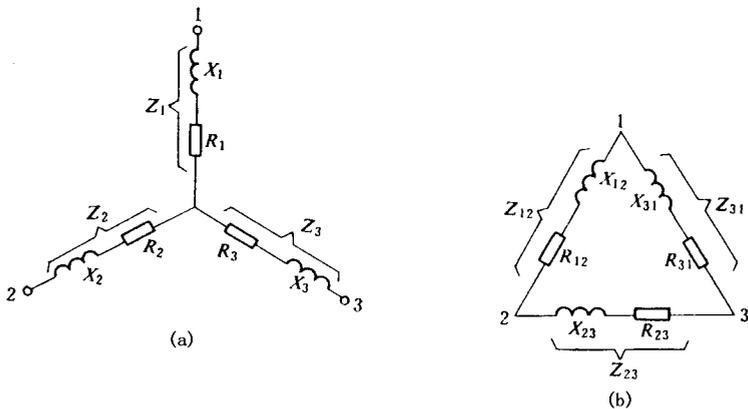


图 3-4 星形网络变换成三角形网络

(a)简化前网络 (b)简化后网络

$$\left. \begin{aligned} Z_{12} &= Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3} \quad (\Omega) \\ Z_{23} &= Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} \quad (\Omega) \\ Z_{31} &= Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 Z_1}{Z_2} \quad (\Omega) \end{aligned} \right\} \quad (3-17)$$

二、无限大功率电源的短路电流计算

无限大功率电源系统是指电源的容量较大,当发生短路时,其端电压变动很小,近似地认为电源不受短路故障的影响,其端电压为恒定值。即电源的功率 $S_e = \infty$,有效电阻 $R_c = 0$,有效电抗 $X_c = 0$ 。虽然实际电源的功率和阻抗总是有一定大小的,但是网络中的许多元件的功率比起系统的功率是小得多,而网络的阻抗又比系统的阻抗要大得多,所以当遇到网络某元件发生短路时,此时供电电源母线上的电压变化很小。因此,对于电压为 $10 \sim 35\text{kV}$ 及以下的配电网,可以认为供电电源是无限大功率电源系统。

计算无限大功率电源系统的三相短路电流时,可以认为短路电流的稳态分量在整个短路过程中不发生衰减。另外由于三相对称,网络发生三相短路后仍然是对称的(因为一个对称的三相电源向阻抗相等的三相负载供电,三相负载电流是对称的),因此可以取一相来计算。其计算方法有:

(1)用标么制计算,三相短路电流稳态分量有效值 I_w 为

$$I_{*w} = S_{*d} = \frac{1}{X_{*\Sigma}} \quad (3-18)$$

$$I_w = I_{*w} \cdot I_j = \frac{I_j}{X_{*\Sigma}} \quad (3-19)$$

$$S_d = S_{*d} S_j = I_{*w} S_j = \frac{S_j}{X_{*\Sigma}} \quad (3-20)$$

式中 I_{*w} ——短路电流稳态分量有效值的标么值;

S_{*d} ——短路容量(功率)标么值;

$X_{*\Sigma}$ ——短路回路总电抗标么值;

I_w ——短路电流稳态分量有效值(kA);

S_d ——短路容量(功率)(kVA或MVA);

I_j ——基准电流(A或kA);

S_j ——基准容量(kVA或MVA)。

(2)用有名单位制计算时,三相短路电流稳态分量有效值 I_w 为

$$I_w = I_d^{(3)} = \frac{U_p}{\sqrt{3}Z_\Sigma} = \frac{U_p}{\sqrt{3}\sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}} \quad (3-21)$$

如果忽略 R_Σ 则

$$I_w = I_d^{(3)} = \frac{U_p}{\sqrt{3}X_\Sigma} \quad (3-22)$$

式中 U_p ——短路点所在等级的网络平均额定电压(kV);

Z_Σ ——短路回路总阻抗(Ω);

R_Σ ——短路回路总电阻(Ω);

X_Σ ——短路回路总电抗(Ω)。

为了计算短路电流大小,应了解短路电流的变化规律。在含有电感的电路内,电流不能立即改变,电路内阻抗的任何改变将引起电流变化的暂态过程,如图3-5所示。在这个过程期间,电路中的电流由一种稳态值(初值) i_{ch} 逐渐变化到另一种新的稳态值 i_w 。

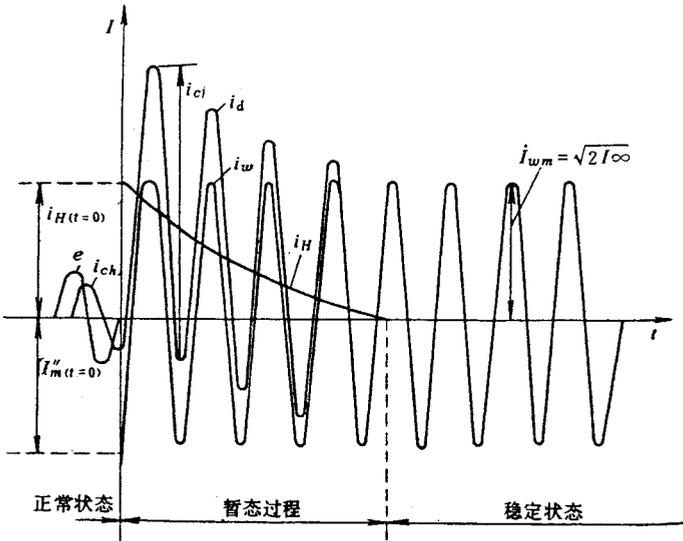


图3-5 短路电流 I_d 的变化曲线

图3-5表示短路电流 i_d 的变化曲线,其中 e 和 i_{ch} 是短路前正常工作的稳态电势和电流。由于短路电流回路的电抗往往大于电阻,所以在一般情况下短路回路视为纯电感电路。因此,当电势(或电压)经过零时,电流达到最大值,此时也即为对称短路时的最严重情况。

在选择电器时,应该根据最严重情况的短路计算值,即根据最恶劣的一相作为计算用的数据来进行校验。

刚开始短路时,短路电流的周期分量瞬时值称为次暂态短路电流,其有效值用 I'' 表示,最大值用 I''_m 表示。此时短路电流的非周期分量为 $i_{ik(t=0)}$ (见图 3-5)。由于电路中有电阻, $i_{ik(t=0)}$ 按 $e^{-\frac{t}{\tau}}$ 的规律衰减,其中 τ 称为衰减时间常数,由下式表示

$$\tau = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{X_{\Sigma}}{314R_{\Sigma}} \quad (3-23)$$

式中 L_{Σ} ——短路回路总电感;
 R_{Σ} ——短路回路总电阻;
 X_{Σ} ——短路回路总电抗。

由式(3-23)可以看出,电阻 R_{Σ} 越大时 τ 越小, i_{ik} 就衰减得越快。一般经 0.2s 就会全部衰减完了,此后可以认为电路中只剩有稳态(周期)分量,暂态过程结束, $i_d = i_{\infty}$ 电路进入稳定的持续短路状态。

从图 3-5 中可以看出,发生短路后经半个周期(当频率 $f = 50\text{Hz}$,时间为 0.01s)时,短路电流达最大值,这个电流称为冲击电流,用 i_{cj} 表示。 i_{cj} 对选择电气设备,考虑短路电流的电动力效应是一个最重要的数据,可用下式计算

$$i_{cj} = K_{cj} \sqrt{2} I'' \quad (3-24)$$

其中 $K_{cj} = 1 + e^{-\frac{0.01}{\tau}}$

式中, K_{cj} 为短路电流的冲击系数,一般取 $K_{cj} = 1.8$ 。所以,冲击电流和短路电流的最大有效值分别为

$$i_{cj} = 1.8\sqrt{2} I'' = 2.55 I'' \quad (3-25)$$

$$I_{cj} = \sqrt{1 + \chi(1.8 - 1)^2} I'' = 1.52 I'' \quad (3-26)$$

短路瞬变过程结束后的短路电流称为稳态短路电流 i_w , $i_w = i_{\infty}$,其有效值用 I_{∞} 表示。 I_{∞} 是校验短路电流热效应的重要数据。此外,为了选择设备,有时还要计算短路后不同时间,如 $t = 0.2\text{s}$ 、 $t = 2\text{s}$ 、 $t = \infty$ (短路最终时)的短路电流值。对于无限大功率电源系统供电的网络,由于电源的端电压在短路过程中认为是恒定值,所以一般可以认为暂态过程以后所有时间的短路电流完全相同,即

$$I'' = I_{0.2} = I_2 = \dots = I_{\infty} \quad (3-27)$$

从式(3-27)可以看出,不同时间的短路电流值也即为稳态短路值($t = 0$ 除外),并与短路的次暂态电流 I'' 计算完全相同,也称为暂态周期分量。

以上介绍的各种短路电流值,主要用来选择设备,通常分别应用在以下几方面。

- (1) i_{cj} 和 I_{cj} : 用来校验电气设备的动稳定度;
- (2) I'' 和 I_{∞} : 用来校验电气设备的载流部分的热稳定度和整定继电保护装置;
- (3) I_t 和 S_t : 短路发生后经过 t (s) 的短路电流和短路功率,用来选择断路器

$$I_{0.2} = I_{\infty}, S_{0.2} = \sqrt{3} U_p I_{0.2}$$

式中 U_p —— 电网平均电压。

三、计算实例

【例 1】某用户电源来自地区电网和发电厂,系统接线和元件参数如图 3-6 所示。求 d 点短路三相短路电流。

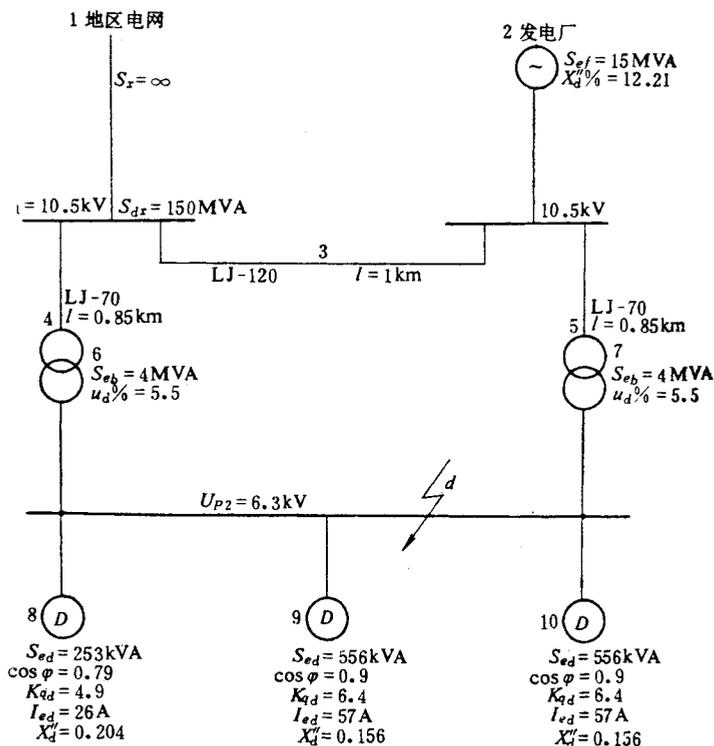


图 3-6 [例 1] 短路电流计算图

解 1. 用标么制计算

(1) 计算短路阻抗。取基准容量 S_j 为 100 MVA, 各元件有效电阻值较小, 不予考虑。为了简便起见, 略去阻抗标么值符号中的下角注“*”, 则归算的等值电路电抗, 如图 3-7 (a) 所示。

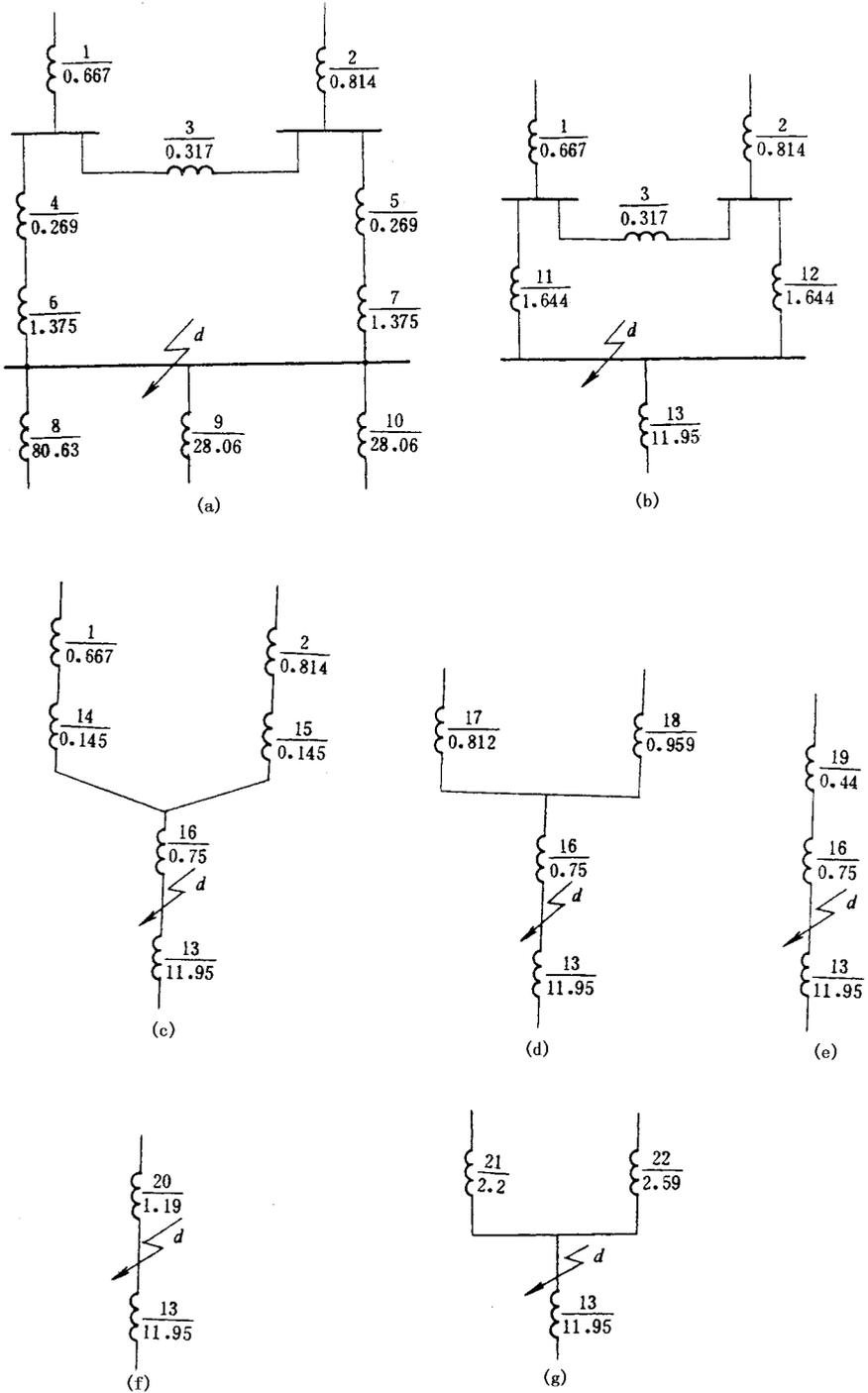


图 3-7 标么值电抗等值电路图

(a)等值电路电抗图 (b)~(f)电路简化过程图 (g)两个电源支路的等值电抗图

地区电网归算到 10kV 母线上的短路电抗为

$$X_1 = \frac{S_j}{S_{dx}} = \frac{100}{150} = 0.667$$

发电机的电抗为

$$\begin{aligned} X_2 &= \frac{X''_d \%}{100} \cdot \frac{S_j}{S_{ef}} = \frac{12.21}{100} \times \frac{100}{15} \\ &= 0.814 \end{aligned}$$

LJ-120 线路 1km 的电抗为

$$X_3 = Xl \frac{S_j}{U_{pl}^2} = 0.35 \times 1 \times \frac{100}{10.5^2} = 0.317$$

LJ-70 线路 0.85km 的电抗为

$$X_4 = X_5 = Xl \frac{S_j}{U_{pl}^2} = 0.35 \times 0.85 \times \frac{100}{10.5^2} = 0.269$$

变压器的电抗为

$$X_B = \frac{u_d \%}{100} \cdot \frac{S_j}{S_{eB}} = \frac{5.5}{100} \times \frac{100}{4} = 1.375$$

253kVA 电动机电抗为

$$X_8 = X''_d \frac{S_j}{S_{ed}} = 0.204 \times \frac{100}{0.253} = 80.63$$

556kVA 电动机电抗

$$\begin{aligned} X_9 = X_{10} &= X''_d \frac{S_j}{S_{ed}} = 0.156 \times \frac{100}{0.556} \\ &= 28.06 \end{aligned}$$

电路简化过程见图 3-7(b)~图 3-7(f)

$$X_{11} = X_{12} = X_4 + X_6 = X_5 + X_7 = 0.269 + 1.375 = 1.644$$

$$\begin{aligned} X_{13} &= \frac{X_8 X_9 X_{10}}{X_8 X_9 + X_9 X_{10} + X_8 X_{10}} \\ &= \frac{80.63 \times 28.06 \times 28.06}{80.63 \times 28.06 + 28.06 \times 28.06 + 80.63 \times 28.06} = 11.95 \end{aligned}$$

X_3 、 X_{11} 、 X_{12} 组成 \triangle 形网络要变换成 γ 形网络。

$$\begin{aligned} X_{14} = X_{15} &= \frac{X_3 X_{11}}{X_3 + X_{11} + X_{12}} = \frac{X_3 X_{12}}{X_3 + X_{11} + X_{12}} \\ &= \frac{0.317 \times 1.644}{0.317 + 1.644 + 1.644} = 0.145 \end{aligned}$$

$$X_{16} = \frac{X_{11} X_{12}}{X_3 + X_{11} + X_{12}} = \frac{1.644 \times 1.644}{0.317 + 1.644 + 1.644} = 0.75$$

$$X_{17} = X_1 + X_{14} = 0.667 + 0.145 = 0.812$$

$$X_{18} = X_2 + X_{15} = 0.741 + 0.145 = 0.959$$

$$X_{19} = \frac{X_{17} X_{18}}{X_{17} + X_{18}} = \frac{0.812 \times 0.959}{0.812 + 0.959} = 0.44$$

$$X_{20} = X_{19} + X_{16} = 0.44 + 0.75 = 1.19$$

因地区电网与发电机属于不同类型的电源,要按分布系数法求出两个电源支路的等值电抗 X_{21} 、 X_{22} ,见图 3-7(g)

地区电网支路的分布系数为

$$c_1 = \frac{X_{19}}{X_{17}} = \frac{0.44}{0.812} = 0.54$$

发电机支路分布系数为

$$c_2 = \frac{X_{19}}{X_{18}} = \frac{0.44}{0.959} = 0.46$$

所以

$$X_{21} = \frac{X_{20}}{c_1} = \frac{1.19}{0.54} = 2.2$$

$$X_{22} = \frac{X_{20}}{c_2} = \frac{1.19}{0.46} = 2.59$$

(2) 计算由地区网络供给 d 点的短路电流。基准容量为 100MVA,基准电流为 $I_j =$

$$\frac{S_j}{\sqrt{3} U_{p2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 6.3} = 9.16(\text{kA})$$

冲击系数取 1.8,则

$$I_{dl} = \frac{I_j}{X_{21}} = \frac{9.16}{2.2} = 4.16(\text{kA})$$

$$S_{dl} = \frac{S_j}{X_{21}} = \frac{100}{2.2} = 45.45(\text{MVA})$$

$$i_{q1} = \sqrt{2} K_{qj} I_{dl} = \sqrt{2} \times 1.8 \times 4.16 = 10.56(\text{kA})$$

(3) 计算由发电机供给 d 点的短路电流。发电机支路的等值电抗换算到以发电机容量为基准值时的标么值为

$$X_{jf} = X_{22} \frac{S_{ef}}{S_j} = 2.59 \times \frac{15}{100} = 0.389$$

根据标么值 X_{jf} 可从图 3-8 查短路电流运算曲线得各电流的标么值为

$$I_{*d2} = 2.56, I_{*0.2} = 2.02, I_{*\infty} = 2.07$$

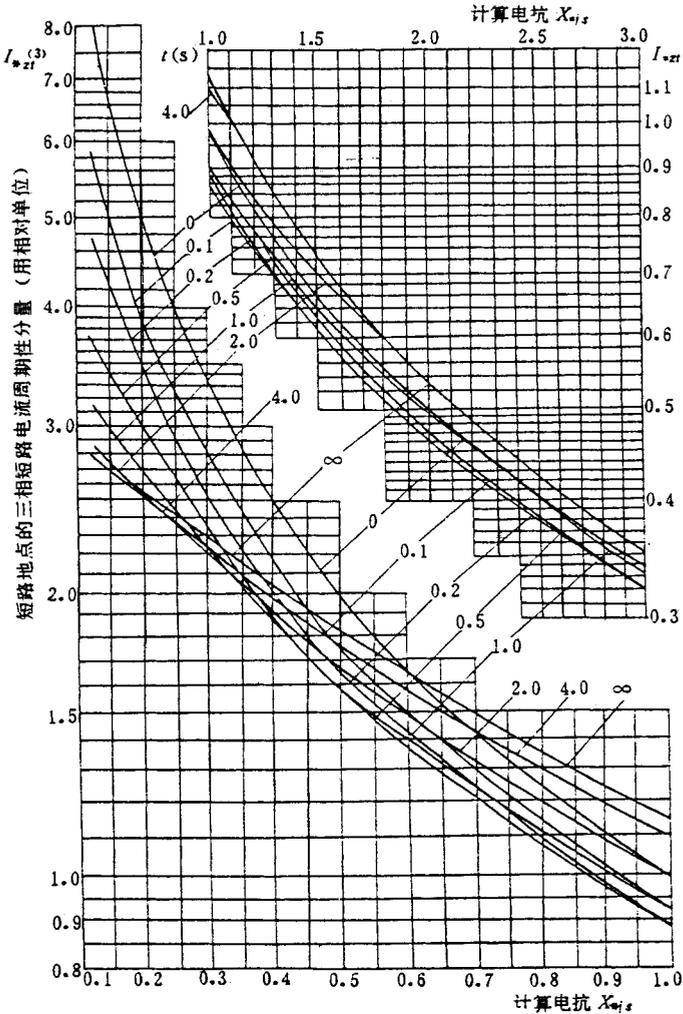


图 3-8 具有电压自动调整器的标准型汽轮发电机短路电流运算曲线

X_{*js} —是以发电机额定总容量 $S_{e\Sigma}$ 为基准容量的短路电路总电抗的标么值； $I_{*z}^{(3)}$ —为所求三相短路电流周期分量有效值的标么值

换算到电压 U_{p2} 的发电机额定电流

$$I_{ef} = \frac{S_{ef}}{\sqrt{3} U_{p2}} = \frac{15}{\sqrt{3} \times 6.3} = 1.375(\text{kA})$$

$$I_{d1} = I_{*d2} I_{ef} = 2.56 \times 1.375 = 3.52(\text{kA})$$

$$I_{0.2} = I_{*0.2} I_{ef} = 2.02 \times 1.375 = 2.78(\text{kA})$$

$$I_{\infty} = I_{* \infty} I_{ef} = 2.07 \times 1.375 = 2.85(\text{kA})$$

$$S_{d2} = \sqrt{3} U_{p2} I_{d2} = \sqrt{3} \times 6.3 \times 3.52 = 38.35(\text{MVA})$$

$$i_{q2} = \sqrt{2} K_{c2} I_{c2} = \sqrt{2} \times 1.8 \times 3.52 = 8.93(\text{kA})$$

(4) 计算由异步电动机向 d 点供给的短路电流

$$I_{d3} = \frac{I_j}{X_{13}} = \frac{9.16}{11.95} = 0.77(\text{kA})$$

$$S_{d3} = \frac{S_j}{X_{13}} = \frac{100}{11.95} = 8.37(\text{MVA})$$

由异步电动机馈送的短路电流冲击系数,一般可取 $1.4 \sim 1.7$,其短路电流为

$$i_{q3} = \sqrt{2} K_{c3} I_{d3} = \sqrt{2} \times 1.7 \times 0.77 = 1.85(\text{kA})$$

(5) 计算 d 点的总短路电流

$$I_d = I_{d1} + I_{d2} + I_{d3} = 4.16 + 3.52 + 0.77 = 8.45(\text{kA})$$

$$S_d = S_{d1} + S_{d2} + S_{d3} = 45.45 + 38.35 + 8.37 = 92.17(\text{MVA})$$

$$i_{qj} = i_{q1} + i_{q2} + i_{q3} = 10.56 + 8.93 + 1.85 = 21.34(\text{kA})$$

2. 用有名单位制计算

(1) 计算图 3-6 短路电路各元件的电抗有名值。短路电路各元件的电抗有名值计算结果见图 3-9(a)

地区电网电抗为

$$X_1 = \frac{U_{p2}^2}{S_{dx}} = \frac{6.3^2}{150} = 0.265(\Omega)$$

发电机电抗为

$$X_2 = X''_d \frac{U_{p2}^2}{S_{ef}} = 0.1221 \times \frac{6.3^2}{15} = 0.323(\Omega)$$

LJ-120 线路 1km 的电抗为

$$X_3 = Xl \left(\frac{U_{p2}}{U_{p1}} \right)^2 = 0.35 \times 1 \times \left(\frac{6.3}{10.5} \right)^2 = 0.126(\Omega)$$

LJ-70 线路 0.85km 的电抗为

$$X_4 = X_5 = Xl \left(\frac{U_{p2}}{U_{p1}} \right)^2 = 0.35 \times 0.85 \left(\frac{6.3}{10.5} \right)^2 = 0.107(\Omega)$$

变压器的电抗为

$$X_B = \frac{U_d \%}{100} \frac{U_{p2}^2}{S_B} = \frac{5.5}{100} \times \frac{6.3^2}{4} = 0.546(\Omega)$$

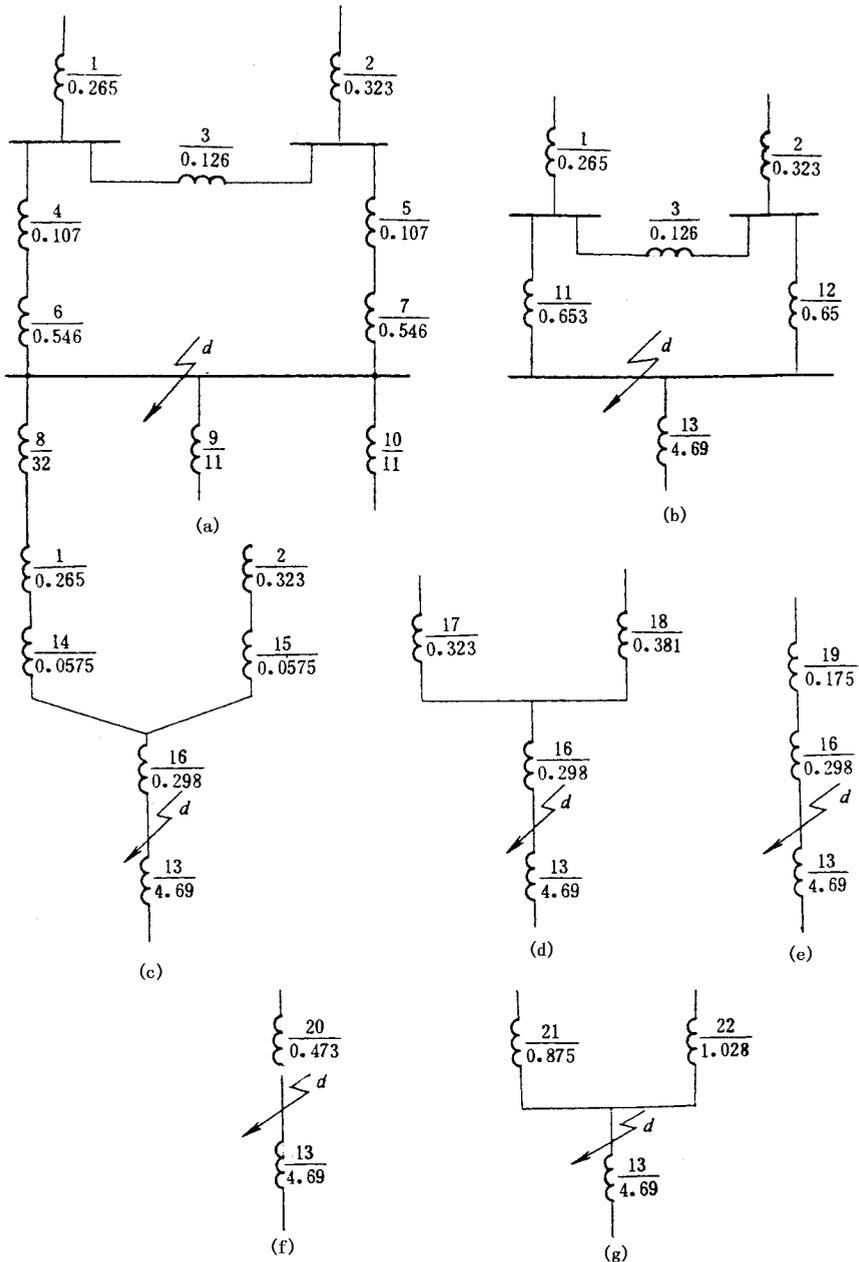


图 3-9 有名值电抗等值电路图

253kVA 电动机的电抗为

$$X_8 = X''_d \frac{U_{p2}^2}{S_e} = 0.204 \times \frac{6.3^2}{0.253} = 32(\Omega)$$

556kVA 电动机的电抗为

$$X_9 = X_{10} = X''_d \frac{U_{p2}^2}{S_e} = 0.156 \times \frac{6.3^2}{0.556} = 11(\Omega)$$

电路简化过程见图 3-9(b)至图 3-9(f)

$$X_{11} = X_{12} = X_4 + X_6 = X_5 + X_7 = 0.107 + 0.546 = 0.653(\Omega)$$

$$X_{13} = \frac{X_8 X_9 X_{10}}{X_8 X_9 + X_9 X_{10} + X_8 X_{10}} = \frac{32 \times 11 \times 11}{32 \times 11 + 11 \times 11 + 32 \times 11} = 4.69(\Omega)$$

X_3 、 X_{11} 、 X_{12} 组成 Δ 形网络要变换成 Y 网络 则

$$\begin{aligned} X_{14} = X_{15} &= \frac{X_3 X_{11}}{X_3 + X_{11} + X_{12}} = \frac{X_3 X_{12}}{X_3 + X_{11} + X_{12}} \\ &= \frac{0.126 \times 0.653}{0.126 + 0.653 + 0.653} = 0.0575(\Omega) \end{aligned}$$

$$X_{16} = \frac{X_{11} X_{12}}{X_3 + X_{11} + X_{12}} = \frac{0.653 \times 0.653}{0.126 + 0.653 + 0.653} = 0.298(\Omega)$$

$$X_{17} = X_1 + X_{14} = 0.265 + 0.0575 = 0.323(\Omega)$$

$$X_{18} = X_2 + X_{15} = 0.323 + 0.0575 = 0.381(\Omega)$$

$$X_{19} = \frac{X_{17} X_{18}}{X_{17} + X_{18}} = \frac{0.323 \times 0.381}{0.323 + 0.381} = 0.175(\Omega)$$

$$X_{20} = X_{19} + X_{16} = 0.175 + 0.298 = 0.473(\Omega)$$

因地区电网与发电机属于不同类型的电源,要按分布系数求出两个电源支路的等值电抗。

地区电网支路的分布系数为

$$c_1 = \frac{X_{19}}{X_{17}} = \frac{0.175}{0.323} = 0.54$$

发电机支路分布系数为

$$c_2 = \frac{X_{19}}{X_{18}} = \frac{0.175}{0.381} = 0.46$$

所以

$$X_{21} = \frac{X_{20}}{c_1} = \frac{0.473}{0.51} = 0.875$$

$$X_{22} = \frac{X_{20}}{c_2} = \frac{0.473}{0.46} = 1.028$$

(2) 计算由地区电网供给 d 点的短路电流

$$I_{d1} = I_{0.2} = I_{\infty} = \frac{U_{p2}}{\sqrt{3} X_{21}} = \frac{6.3}{\sqrt{3} \times 0.875} = 4.16(\text{kA})$$

$$S_{d1} = \sqrt{3} U_{p2} I_{d1} = \sqrt{3} \times 6.3 \times 4.16 = 45.4 (\text{MVA})$$

(3) 计算由发电机供给 d 点的短路电流

$$I_{d2} = \frac{U_{p2}}{\sqrt{3} X_{22}} = \frac{6.3}{\sqrt{3} \times 1.028} = 3.54 (\text{kA})$$

$$S_{d2} = \sqrt{3} U_{p2} I_{d2} = \sqrt{3} \times 6.3 \times 3.54 = 38.6 (\text{MVA})$$

由于发电机是有限容量电源,如要计算 $I_{0.2}$ 和 I_{∞} ,尚需将发电机支路的等值电抗有名值换算成以发电机容量为基准值的电抗标么值,即

$$X_{*j1} = X_{22} \frac{S_{ef}}{U_{p2}^2} = 1.028 \times \frac{15}{6.3^2} = 0.388$$

根据 X_{*j1} 求算 $I_{0.2}$ 和 I_{∞} 的方法和步骤,参见本例标么制计算部分。

(4) 计算由异步电动机向 d 点供给的短路电流

$$I_{d3} = \frac{U_{p2}}{\sqrt{3} X_{13}} = \frac{6.3}{\sqrt{3} \times 4.69} = 0.78 (\text{kA})$$

$$S_d = \sqrt{3} U_{p2} I_{d3} = \sqrt{3} \times 6.3 \times 0.78 = 8.5 (\text{MVA})$$

由地区电网、发电厂和异步电动机供给短路点 d 的短路冲击电流 i_{q1} 、 i_{q2} 、 i_{q3} ,以及通过短路点 d 的总短路电流 I_d 、 i_{qj} 、 S_d 的计算,均可参见本例标么制计算部分。

四、不对称短路时短路电流计算

在配电网中,除可能发生三相对称短路外,也可能发生不对称短路即两相短路、两相接地短路和单相接地短路。这种不对称短路,占短路故障的比例很大。在中性点不接地网络,两相接地时虽有两点接地,自成回路,但不能与电源中性点构成回路,形成零序电流通路,所以这种情况与两相短路相同。两相短路的短路电流值往往小于三相短路的短路电流值。至于单相接地短路发生在中性点不接地网络,只有网络对地的电容电流,不能形成零序电流的通路。若单相接地短路发生在中性点接地网络,就形成零序电流通路,流过零序电流。

(一) 两相短路电流计算

一般来说,配电网两相短路稳态电流 $I_d^{(2)}$ 与三相短路稳态电流 $I_d^{(3)}$ 的比值关系视短路点与电源的距离远近而定。

(1) 在发电机出口处发生短路时,短路电流为

$$I_d^{(2)} = 1.51 I_d^{(3)} \quad (\text{kA}) \quad (3-28)$$

(2) 在离发电机远距离发生短路,即 $X_* > 3$ 时,短路电流为

$$I_d^{(2)} = 0.866 I_d^{(3)} \quad (\text{kA}) \quad (3-29)$$

(3) 一般可以这样估算

$$\left. \begin{aligned} X_* > 0.6 \text{ 时 } I_d^{(2)} < I_d^{(3)} \\ X_* = 0.6 \text{ 时 } I_d^{(2)} < I_d^{(3)} \\ X_* < 0.6 \text{ 时 } I_d^{(2)} > I_d^{(3)} \end{aligned} \right\} \quad (3-30)$$

综上所述,一般情况下,两相短路电流值小于三相短路电流,所以,通常对电气设备的动稳定及热稳定校验时所用的短路电流值,均以三相短路电流为准。而在校验继电保护装置对短路动作灵敏度时所考虑的最小短路电流,则采用两相短路电流值。

(二) 单相短路电流(零序电流)计算

在三相四线制网络中,若一相接地短路,就形成零序电流的通路,这种短路电流的计算方法,通常采用相零回路电流法,其计算公式为

$$I_d^{(1)} = \frac{U_p}{Z_{\Sigma\Sigma}} = \frac{U_p}{\sqrt{3} \sqrt{R_{\Sigma\Sigma}^2 + X_{\Sigma\Sigma}^2}} \quad (3-31)$$

式中 U_p ——低压网络平均额定线电压(V);

$R_{\Sigma\Sigma}$ 、 $X_{\Sigma\Sigma}$ 、 $Z_{\Sigma\Sigma}$ ——短路回路各元件相零总电阻,相零总电抗、相零总阻抗
(mΩ)

【例2】图3-10为低压配电网单相短路电流计算电路图,试计算d点的单相短路电流值。

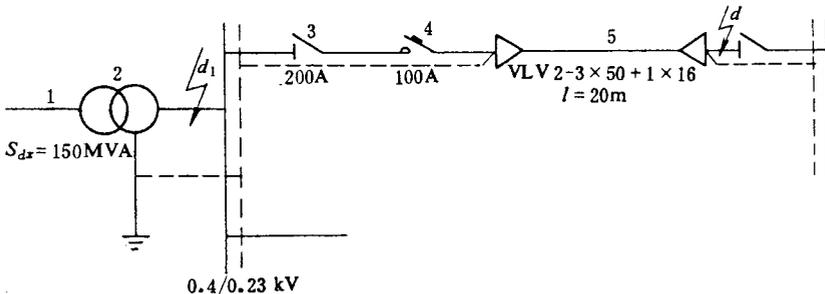


图 3-10 低压配电网单相短路电流计算图

各元件的电抗和电阻(即相电抗和相电阻)分别为

发电机 $X_1 = 1.07 \text{ m}\Omega$, $R_1 = 0$

变压器 $X_2 = 6.82 \text{ m}\Omega$, $R_2 = 2.32 \text{ m}\Omega$

闸刀开关触头 $X_3 = \Omega, R_3 = 0.4\text{m}\Omega$

自动开关触头 $X_4 = 0, R_4 = 0.75\text{m}\Omega$

自动开关线圈 $X'_4 = 0.86\text{m}\Omega, R'_4 = 1.3\text{m}\Omega$

电缆线路 $X_5 = 1.58\text{m}\Omega, R_5 = 15.08\text{m}\Omega$

各元件的零序电抗 X_0 和零序电阻 R_0 (高压系统中无零序电流流过,故不计及零序阻抗) 的值如下:

$X_{02} = 46\text{m}\Omega, R_{02} = 34\text{m}\Omega; R_{03} = R_3 = 0.4\text{m}\Omega;$

$R_{04} = R_4 = 0.75\text{m}\Omega; X_{04}' = X'_4 = 0.86\text{m}\Omega, R_{04}' = R_4 = 1.3\text{m}\Omega。$

电缆线路相线 $X_{0x} = 2.02\text{m}\Omega, R_{0x} = R_5 = 15.08\text{m}\Omega$

电缆线路零线 $X_{0l} = 2.7\text{m}\Omega, R_{0l} = 46.18\text{m}\Omega$

线路零序电抗 $X_{05} = X_{0x} + 3X_{0l} = 2.02 + 3 \times 2.7 = 10.12(\text{m}\Omega)$

线路零序电阻 $R_{05} = R_{0x} + 3R_{0l} = 15.08 + 3 \times 46.18 = 153.62(\text{m}\Omega)$

d 点单相短路时短路回路的相零回路电抗 $X_{x\Sigma}$ 为

$$\begin{aligned} X_{x\Sigma} &= \frac{1}{3}(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}) \\ &= \frac{1}{3}[(1.07 + 6.82 + 0.86 + 1.58) + (1.07 + 6.82 + 0.86 + 1.58) \\ &\quad + (46 + 0.86 + 10.12)] \\ &= 25.88(\text{m}\Omega) \end{aligned}$$

d 点单相短路时短路回路的相零回路电阻 $R_{x\Sigma}$ 为

$$\begin{aligned} R_{x\Sigma} &= \frac{1}{3}(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0\Sigma}) \\ &= \frac{1}{3}[(2.32 + 0.4 + 0.75 + 1.3 + 15.08) + (2.32 + 0.4 + 0.75 + 1.3 + 15.08) \\ &\quad + (34 + 0.4 + 0.75 + 1.3 + 153.63)] \\ &= 76.59(\text{m}\Omega) \end{aligned}$$

d 点单相短路时短路回路的相零回路阻抗 $Z_{x\Sigma}$ 为

$$Z_{x\Sigma} = \sqrt{R_{x\Sigma}^2 + X_{x\Sigma}^2} = \sqrt{76.59^2 + 25.88^2} = 80.84(\text{m}\Omega)$$

d 点单相短路电流为

$$\begin{aligned} I_d^{(1)} &= \frac{U_p}{\sqrt{3}Z_{x\Sigma}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 80.84} \\ &= 2.86(\text{kA}) \end{aligned}$$

(三) 单相接地时电容电流的计算

中性点不接地网络单相接地时,相间电压没有变化,设备仍可以短时间运行,此时流过接地点的电流是网络对地的电容电流。网络中的单相接地电容电流由电力线路和电力设备(如同步发电机、大容量同步电动机和变压器等)两部分的电容电流组成,但是电力设备的电容电流比线路的电容电流小得多,故一般工程设计中可忽略不计。

单相接地短路电容电流的计算公式为

$$I_C = 3 U_{xg} \omega C \quad (3-32)$$

式中 U_{xg} ——网络的相电压;

C ——网络对地电容,主要是与电网的结构(电缆线路或架空线路)和长度有关。

近似的估算可采用下列公式。

(1) 电缆线路的单相接地电容电流按下式计算

$$6\text{kV 电缆线路} \quad I_C = \frac{95 + 2.84S}{2200 + 6S} U_{el} \quad (\text{A}) \quad (3-33)$$

$$10\text{kV 电缆线路} \quad I_C = \frac{95 + 1.44S}{2200 + 0.23S} = U_e l \quad (\text{A}) \quad (3-34)$$

电缆线路的单相接地电容电流还可以按下式计算

$$I_C = 0.1 U_{el} \quad (\text{A}) \quad (3-35)$$

式中 S ——电缆芯线的标称截面(mm^2);

U_e ——线路的额定线电压(kV);

l ——线路的长度(km)。

(2) 架空线路单相接地电容电流按下式计算

$$\text{无架空地线单回路} \quad I_C = 2.7 U_{el} \times 10^{-3} \quad (\text{A}) \quad (3-36)$$

$$\text{有架空地线单回路} \quad I_C = 3.3 U_{el} \times 10^{-3} \quad (\text{A}) \quad (3-37)$$

架空线路的单相接地电容电流还可以按下式计算

$$I_C = \frac{U_e l}{350} \quad (\text{A}) \quad (3-38)$$

小 结

10~35kV 的高压配电网络为中性点不直接接地系统,380/220V 低压配电网络为中性点直接接地系统。配电网络的短路故障,主要是由于相与相或相与地直接接触造成的。

计算短路电流的主要目的是 校验设备的热稳定和动稳定 ,整定继电保护装置 ,合理选择电气接线和限制短路电流的大小。

配电网可认为是无限大功率电源供电。无限大功率电源系统是指电源的容量较大 ,当发生短路时 ,其端电压变动很小 ,近似地认为电源不受短路故障的影响 ,端电压恒定。

标么制是一种相对单位制 ,电气参数的标么值为有名值与基准值之比。

三相对称短路电流的计算公式为

$$I_d^{(3)} = \frac{U_p}{\sqrt{3}Z_\Sigma} = \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}} \quad (3-39)$$

如果忽略 R_Σ ,则

$$I_d^{(3)} = \frac{U_p}{\sqrt{3}X_\Sigma} \quad (3-40)$$

式中 I'' ——次暂态短路电流 ,即短路开始时 ,短路电流的周期分量有效值 ;

i_{cj} ——冲击电流 ,是短路电流的最大值 , $i_{cj} \approx K_{cj}\sqrt{2}I''$;

$I_{0.2}$ 、 I_2 、 I_∞ ——不同时间的稳态短路电流值。

不对称短路 ,指两相短路、两相接地短路和单相接地短路。

两相短路电流的计算公式是

$$I_d^{(2)} = \frac{\sqrt{3}E}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma}} \quad (3-41)$$

单相短路电流(零序电流)计算公式是

$$I_d^{(1)} = \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{x\Sigma}^2 + X_{x\Sigma}^2}} \quad (3-42)$$

第四章 配电系统开关设备与电弧理论

第一节 电弧的形成和熄灭

为了安全可靠地使用各种开关电器,首先必须掌握开关电器在断开电路时,其中所发生的过程。当开关电器断开具有电流的电路时,特别是高压电路、互相分开的开关触头间,会有电弧产生。电路中的电流借此电弧导通,就会使开关触头断不开电路,因而烧毁设备,危及人身安全。尤其在电路发生短路故障时,如不快速断开短路电流,就会造成大面积的停电事故,影响整个系统的可靠供电。

本节着重从理论上探讨电弧形成的原因和快速熄灭电弧的方法和措施,借助于这方面的知识来更好地了解开关设备的作用。

一、发生电弧的几个因素

(一) 电弧现象

电弧实际上是一种气体游离的放电现象。当断路器切断有电流的电路时,如果触头间的电压大于 $10 \sim 20\text{V}$ 、电流大于 $80 \sim 100\text{mA}$,在切断电路的瞬间,触头就会产生电弧。此时因触头间存在电弧,断开的电路仍然处于接通状态。只有待电弧熄灭后,电路才算真正断开。在配电网各种配电设备(如发电机、变压器、电动机、架空和电缆线路等)正常运行时,需要可靠地接通或断开;在改变运行方式时,又需要灵活地进行切换操作;当网络发生故障时,又必须迅速地切除故障部分,使无故障部分继续运行。这些断开和接通电路的任务必须由开关电器来承担。在配电网中承担这项任务的有断路器、隔离开

关、熔断器、自动开关、接触器和负荷开关等。而这些开关电器在断开会具有一定电压和电流的电路时,相互分开的开关触头之间产生一种强烈的白光,这种白光称为电弧。

由于电弧能量集中、温度高、亮度强,当用 10kV 少油断路器断开 20kA 的电流时,电弧功率可高达 10000kW 以上,这样高的能量几乎全部变为热能。所以电弧持续不息,就会烧坏设备触头和触头附近的绝缘,这不仅延长了断路时间,甚至使断路器内部压力剧增,引起油断路器爆炸。因此,高压开关电器在切断高压电路时,怎样使电弧迅速熄灭是一个重要问题,为此我们首先应了解电弧是怎样形成的。

(二)形成电弧的四因素

1. 强电场发射

当开关触头刚分开的瞬间,触头之间的距离很近,所以分开的缝隙间电场强度 E (V/cm) 很大,在此强电场作用下,电子从阴极表面被拉出而奔向阳极,这种现象称为强电场发射。电场强度愈大,这种金属表面发射电子量也愈增加。但随着触头的逐渐分开,触头之间的距离增大,电场强度 E 随之减小,发射电子量也就迅速减小了。

2. 热电发射

当触头分开瞬间,由于触头间的压力减小,使其接触电阻和发热迅速增大,这时在电极上出现强烈的炽热点。与此同时,正离子迅速移向电(阴)极,其能量被电极吸收,使阴极表面温度升高,便发射出电子,因而弧隙中电子数目增加,这种现象称为热电发射。

3. 碰撞游离

奔向阳极的自由电子,因具有很大的动能,在运动的过程中,如果碰到中性原子,所持的一部分动能就传给原子,若自由电子所持能量足够大时,可将中性原子的外围电子撞击出来,使它也成为自由电子。新产生的自由电子和原来电子一起继续受到电场的作用而运动,又继续获得新的动能,再次碰撞出新的自由电子。如此继续碰撞,在弧隙中的自由电子和离子浓度不断增强,成为游离状态,这种游离过程称为碰撞游离。当开关触头间积聚的自由电子和离子达到一定浓度时,触头间有足够大的电导,使触头间的介质击穿,开始弧光放电,此时电路仍有电流通过,这就是电弧产生的主要原因。

4. 热游离

热游离是维持电弧燃烧的主要原因。在弧光放电和触头拉开距离增大后,弧柱的电场强度减小,碰撞游离减弱。这时由于弧光放电产生的高温使弧心有大量的电子移动,弧心的温度可达 10000℃ 以上,而电弧表面的温度可达到 3000 ~ 4000℃ 以上。电弧的高温,依靠通过它的电流所产生的热来维持,即依靠电网的电能来维持。

因为弧心部分的气体(介质)温度很高,在弧心区域内,气体中的质点将发生迅速而

又不规则的热运动。在这样高温下,如果具有足够动能的高速中性质点互相碰撞时,中性质点将会被电离,形成自由电子和正离子,这种现象称为气体的热游离,弧柱的导电性主要靠这种现象来维持。

上述电弧形成的四因素,实际上是个连续过程。当触头刚开始分开时,强电场发射和热电发射所产生的自由电子,在电场作用下移向阳极。以后,电子在运动的过程中,产生碰撞使弧道中的气体游离,进而产生电弧。由于游离现象的存在和电弧的产生又使热游离继续进行,电弧持续不断的燃烧。其实,电弧形成的这些因素都是贯穿在电弧形成的整个过程中,只不过在某一过程中哪个因素起主要作用而已,切不要把电弧的形成过程误解为一个单独因素作用的结果。

(三) 电弧的伏安特性

图 4-1 为电弧的伏安特性曲线,表示电弧的电流和电压关系,即 $u_{hu} = f(i_{hu})$ 。由图可见,随着电弧电流的增大,电弧电压(维持电弧的电压)降低。这是因为电弧电流的增大,使热游离加剧,而电弧电阻的变化与电流平方成反比,即 $R_{hu} \propto \frac{1}{i_{hu}^2}$ 。曲线与纵轴相交点的电压值 U_F 称为发弧电压,即比 U_F 值小的电压就不能点燃电弧。发弧电压的大小与触头间的距离、弧隙温度与压力以及触头的材料等因素有关。

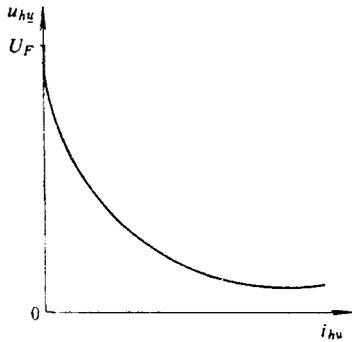


图 4-1 电弧的伏安特性曲线

二、游离和去游离条件

上面在讲述气体游离的过程中也同时存在着相反的过程,这就是去游离过程。因此在电弧中连续发生两个相反的过程,即形成新的带电质点的游离过程以及消除或中和带电质点的去游离过程。弧隙的去游离是靠离子的复合和扩散两种形式进行的。下面我们就对两种形式分别予以讨论。

(一)带电质点的复合

所谓带电质点的复合(或称为再结合)就是带正电的离子和带负电的离子交换本身的多余电荷,成为中性质点。而电子和正离子之间复合的可能性很小,电子往往只能借助于与中性原子结合成负离子后才能与正离子进行复合,因为电子运动的速度约为离子运动速度的1000倍。然而正负离子的质量和运动速度大致相等,所以两者复合的几率很高。复合的几率一般决定以下几个方面。

(1)电场强度愈小,离子运动速度愈慢,复合的机会愈多;

(2)电弧截面积愈小,也就是弧柱愈细,复合的作用愈强;

(3)电弧的温度愈低,离子的运动速度愈慢,复合的机会也愈多;

(4)与电弧接触的固体介质表面,也容易发生带电质点强烈复合。这是因为电子是较活泼的质点,它先使得介质表面充电到某一负电位,因而使负离子和电子从固体介质表面离开,而正离子则被吸引到固体介质表面上,复合成中性质点。复合的过程常是在与电弧直接接触的管子或狭缝的内壁间进行的。

(二)带电质点的扩散

扩散是弧柱中的自由电子及正离子,由于热运动而从弧柱内部逸出进入周围介质的一种现象。弧隙中发生扩散的主要原因,是由于电弧与周围介质的温度相差很大,或者是由于电弧内和周围介质中离子的浓度相差很大。扩散到周围介质中的主要是正离子,它与气体中的电子或负离子进行复合,而失去带电性,所以说带电质点的扩散使弧隙中的正离子减少,有助于电弧熄灭。

扩散的速率决定于电弧表面带电质点的数目,因此与电弧直径成反比。这样随着电弧截面的减小,复合和扩散均加强了,这对熄灭电弧是很有利的。例如,在交流电弧中当电流接近零值时,电弧的截面减小很多,去游离过程也就很强烈。

此外,用任何一种较冷的、未游离的气体吹动电弧时,将使扩散加强。因为这时电弧周围介质温差增大,并不断有新的气流和自由电子接近电弧,使扩散出去的离子复合加强。同理,使电弧在周围介质中移动也会得到同样结果。

(三)电弧的熄灭过程

电弧的熄灭过程取决于电弧发生游离和去游离过程。要熄灭电弧,就必须剧烈地削弱游离,加强去游离。为此,必须减弱或完全终止热游离,并加强带电质点的复合和离子向周围介质扩散。

当切断交流电路时,在开关触头间便产生了交流电弧。因为交流电流以50Hz的频率作正弦变化,电流的方向每半周期改变一次,每秒钟要通过零点100次($2f$),电弧不可

能在没有电流的情况下燃烧,所以电弧每半周熄灭一次,然后重新燃烧。在交流电经过零时,正好是去游离的好时机,这就说明交流电弧比直流电弧容易熄灭。

游离和去游离表现为弧隙内部有两个相互对立的过程同时进行,一个是弧隙中的介质强度的恢复过程;另一个是弧隙电压(电弧电压)的恢复过程。

1. 介质强度

介质强度是弧隙中介质能承受不被击穿的最大电压,或称抗电强度。当电流通过零值的瞬间,弧隙中的游离状态并不能立即消失,但很弱。在这个期间,正是介质强度的最好恢复时间,而且恢复最快。介质强度决定于介质特性(如气体介质的导热系数、介电强度、热游离温度和热容量等),也决定于介质的种类(如空气、油、 SF_6 等),还决定于弧长的大小、弧隙的冷却条件等等。

2. 电弧电压

电弧电压是维持电弧燃烧的电压。电弧电压的恢复过程,就是当电流经过零值后电弧熄灭时,弧隙间电压增大至电源电压的过程。对于纯电阻电路,电弧熄灭,电路断开,电弧电压立即等于电源电压。对于电感或电容性电路,由于电流与电压的相位不同,因而电弧电压的恢复过程比较复杂,这与电弧能否重燃有密切关系。

如果两种过程同时进行期间,触头上正在恢复的电弧电压高于介质强度的击穿电压,电弧将重新燃烧;相反,如果介质强度的击穿电压高于电弧恢复电压时,电弧将熄灭,电路保持断开状态。

(四) 电弧电压的分布

维持稳定电弧的电压称为静态电弧电压。电弧电压沿电弧的分布如图4-2所示。现将电弧电压分为三部分,即

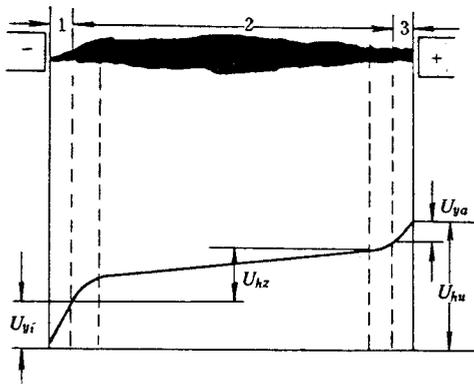


图4-2 沿电弧分布的电弧电压

$$U_{hu} = U_{yi} + U_{hz} + U_{ya}$$

式中 U_{yi} ——阴极电压降；

U_{ya} ——阳极电压降；

U_{hz} ——弧柱电压降。

电弧的阴极区 1 和阳极区 3 范围很小,在大气中约为 10^{-4} cm 左右,因为电极附近的效应,造成了靠电极附近的电位梯度很高,即电压变化较大。在阴极区 1 附近,阴极电压降为 U_{yi} ;在阳极区 3 附近,阳极电压降为 U_{ya} 。阴极电压降 U_{yi} 的大小,决定于电极材料和电弧在其中燃烧的介质,一般不超过 10 ~ 20V。阴极附近的电位梯度为 $10^5 \sim 10^6$ V/cm,此值大小与电弧电流无关。其原因是在阴极附近的电子较少,即一部分电子从阴极发射出来后,很快获得较高速度离开阴极区,还有一部分电子从阴极出来后,立即与正离子结合。而运动速度缓慢的正离子则集中在阴极区域内,成为空间电荷,形成集中的电场,致使阴极区内电位梯度较高。

阳极电压降一般小于阴极电压降($U_{ya} < U_{yi}$),而且阳极电压降的变化较大,在很大程度上决定电弧电流的大小。当电流很大时,阳极电压降接近于零。

沿弧柱 2 的电压变化是均匀的,在弧柱中,最主要的物理现象是热游离,热游离是维持电弧燃烧的主要因素。稳定电弧的弧柱,其中游离与去游离的过程是平衡的,即弧柱区内单位长度上的正、负电荷大约相等。因此,沿弧柱的电位梯度为一常数,并且只有当加到电极上电压总是大于阴极电压降时,电极间电弧才会存在。

长度为几厘米以上的电弧,通常称为长弧。长弧的电弧电压主要由弧柱电压降组成,而阴极和阳极电压降可以忽略不计。高压断路器中电弧绝大多数是长弧,电弧长度与触头分开的距离有关。

三、熄灭电弧的方法

在现代开关电器中,根据上述电弧产生的因素和熄灭过程,广泛采取了下面几种灭弧方法。

(一) 利用纵向或横向吹动电弧的方法灭弧

当油断路器中的变压器油受到电弧的高温作用时,便分解、蒸发并在电弧周围形成高压的气流。利用这种高压气流在触头间纵向吹冷电弧(见图 4-3 a),称为纵向吹弧;利用这种高压气流在触头间横向吹冷电弧(见图 4-3 b),称为横向吹弧。如果横向吹弧时,在电弧的侧面(正对着气吹的方向)装有绝缘材料制成的隔板时(见图 4-3 c),隔板能阻碍电弧沿气流方向的自由移动,使空气和电弧更紧密的接触,促使气流渗入弧柱中

去,并使电弧的长度和表面积更大,同时又使电弧与固体介质不断接触,这样使电弧的去游离过程更加强烈。可见高压气流除吹冷电弧外,还可以利用气流的压力提高介质强度。一般来说,横吹电弧的效果比纵吹电弧好。有横向绝缘隔板的横吹电弧效果更好。

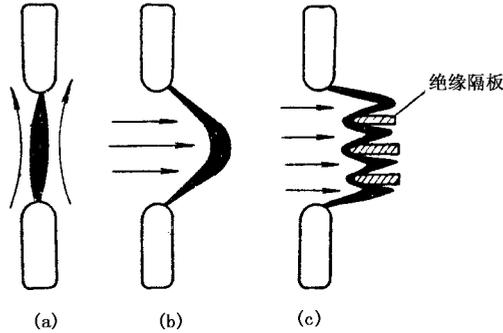


图 4-3 气体吹弧

(a)纵向吹弧 (b)横向吹弧 (c)有横向绝缘隔板的横向吹弧

例如 SN10-10 型少油断路器,是采用纵、横气吹和机械油吹联合作用的灭弧结构,使触头不断接受新鲜油冷却,以减少烧损。

(二) 电弧在周围介质中移动灭弧

这种灭弧方法主要用在低压开关电器中。电弧在周围介质中移动也能得到气体吹弧的同样效果,例如。

(1)如图 4-4(a)所示,在各部分电弧电流之间的电动力 F 的相互作用下,所产生的热气流可促使电弧向上拉长熄灭。

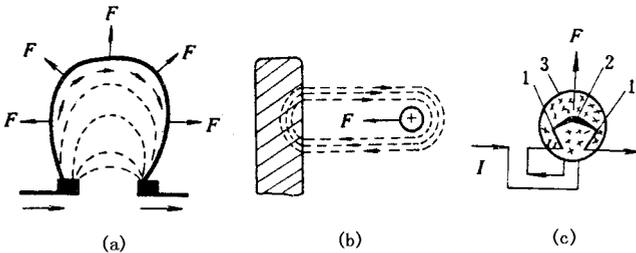


图 4-4 电弧在周围介质中移动

(a)电弧在电动力影响下伸展 (b)电弧在磁性材料影响下移动 (c)电弧在磁吹动影响下移动

1—触头 2—电弧 3—磁吹螺管线圈

(2)如图 4-4(b)所示,在电弧电流与任何磁性材料的相互作用下灭弧。这种灭弧作

用是因为电弧的磁通在磁性材料影响下移动而产生的,而电弧的移动力求使磁通具有最小的磁阻位置。

(3) 利用磁吹动灭弧(见图 4-4 c)。磁吹动原理是当触头 1 分开时,在触头 1—1 间产生电弧 2,磁吹螺管线圈 3 放置得使线圈磁通和电弧垂直,当磁吹螺管线圈 3 中通入电流 I 时,所产生的磁场方向是垂直书面向里,按左手定则,电弧在磁场中所受的电磁力 F ,使电弧向上运动,致使电弧拉长熄灭。我国生产的 CN2 系列自动灭磁开关的灭弧系统,就是利用磁吹动原理灭弧的。

(三) 在固体材料制成的狭缝或狭沟中灭弧

电弧与固体介质紧密接触时,使电弧的去游离大大加强。这是因为在固体介质表面的带电质点强烈复合,狭缝或狭沟中压力增大以及固体介质对电弧冷却的结果。

在某些灭弧装置中,所采用的固体有机物质,在电弧的高温作用下,分解出氢气、二氧化碳和水蒸汽,这些气体均可起到吹散电弧的作用,其中以氢气的灭弧性能较好。

有些开关电器的灭弧罩、灭弧栅和沟壁就是利用能产生气体的固体材料(如纤维、有机玻璃等)制成的。这些材料在电弧高温作用下所产生的气体,使狭缝中压力增大,并加强了电弧的去游离,因而灭弧效果较好。图 4-5 是应用狭沟灭弧的低压开关灭弧栅示意图。灭弧栅是由一排与电弧垂直放置的灭弧绝缘片 3 制成,如果利用磁吹线圈(见图 4-4 的 3)可使电弧在固定触头 1 和可动触头 2 之间的灭弧栅中迅速移动熄灭。应用灭弧栅灭弧时,如果通过开关的电流不超过其最大容许切断电流时,则电弧不会越出灭弧栅之外。目前我国生产的 DW 系列的自动开关和 HD 系列的刀型开关多采用灭弧栅进行灭弧。

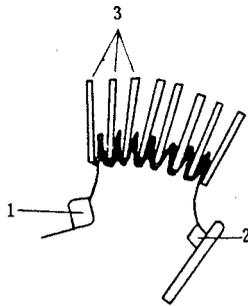


图 4-5 用灭弧绝缘片组成的灭弧栅

此外,在配电装置中应用充有石英砂的熔断器,当其熔体烧断时,电弧发生在熔体形成的狭沟中与石英砂紧密接触,因此电弧便很快地去游离而熄灭,目前我国生产的 RT0

系列熔断器 就是利用这种原理进行灭弧的。

(四) 将长电弧分成若干个短电弧灭弧

如图 4-6(a) 所示, 在固定触头 1 和可动触头 2 之间发生的电弧, 进入由几个与电弧垂直放置的金属片 3 所制的灭弧栅内。这样一个长电弧便被一串短电弧所代替。适当地选择金属片的数目, 使加到开关触头上的电压小于所有短电弧的阴极和阳极电压降之和时, 则这电压不足以维持这些短电弧。电弧即迅速被熄灭。而且灭弧栅的金属片也能使电弧冷却, 有助灭弧。我国生产的 DZ 系列自动开关的灭弧室, 就是用金属薄片分割电弧, 消除游离电子灭弧的。

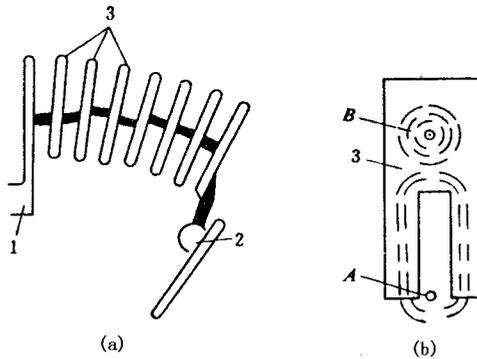


图 4-6 用金属片制成的灭弧栅

如果栅片用钢制成, 为了使电弧迅速进入灭弧栅内, 需要用磁吹, 该装置比较复杂。如图 4-6(b) 所示, 若钢制栅片有矩形缺口时, 电弧便被自己的磁通移动所造成的力吸入栅内。在开关触头分开的初期, 电弧在栅片矩形缺口的 A 处形成, 以后电弧沿缺口不断上升, 趋于 B 位置 (因为在 B 位置的电弧磁通的磁阻为最小)。因此在位置 B 的电弧就分成了一串短电弧, 这样就省去了磁吹装置。

(五) 利用多断开点灭弧

这种方法是在开关电器的同一相内, 可制成两个或更多个断开点。图 4-7 为开关电器的一相内有几个断开点的触头示意图。当触头制成几个断开点后, 则在一相内便形成了几个串联电弧, 所有电弧的全长为一个断开点电弧的几倍 (当可动触头的运动速度相同时)。图 4-7(a) 表示为只有一个断开点的情况, 电弧的形状短而粗。图 4-7(b) 为两个断开点的情况, 此时电弧形状变得较长而细。图 4-7(c) 为四个断开点的情况, 这时的电弧形状变得更加长和细。可见在其它条件相同时, 具有多个断开点的开关电器, 能很快灭弧, 并可在很高电压下切断很大电流。我国生产的 SN3-10 型少油断路器, 就是利用这种原理进行灭弧的。

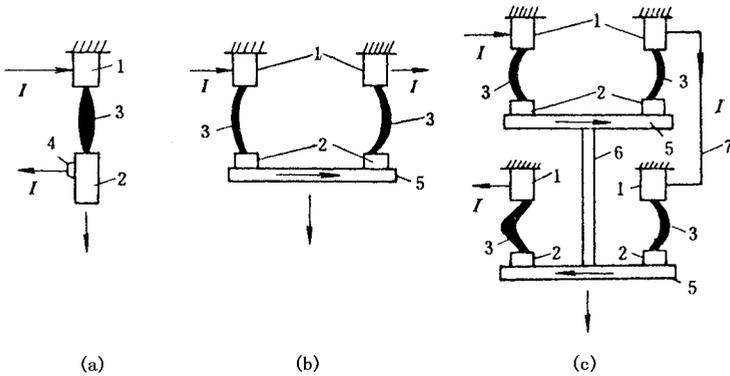


图 4-7 开关电器的一相内有几个断开点的触头示意图

(a)一个断开点 (b)两个断开点 (c)四个断开点

1—固定触头 2—可动触头 3—电弧 4—滑动触头 5—触头的横担 6—绝缘杆 7—载流连接条

(六) 真空电弧及其熄灭

以上讨论的是在 0.1MPa (一个标准大气压) 及以上的气体中燃烧的电弧, 通常称为气体电弧。下面再讨论在 $1.33 \times 10^{-2}\text{Pa}$ 以下的真空容器内燃烧的电弧, 称为真空电弧。真空电弧实际上是在触头材料产生高密度的金属蒸气中燃烧的电弧, 所以也称为金属蒸气电弧。

1. 真空电弧的分类

真空电弧的分类, 按其形态可分为扩散型和聚集型两种。

(1) 扩散型电弧。就是当采用一般电极, 开断电流为 $5 \sim 6\text{kA}$ 及以下时出现的电弧。这种电弧在阴极表面上有许多分裂而明亮的阴极斑点, 这些斑点互相排斥, 并且作无规则的高速运动。阴极的平均温度通常是在触头材料的熔点以下。阳极触头只是起接收电子的作用, 而不存在阳极区。由于电弧的生成物少, 弧柱区的金属蒸气压力也降低, 而且带电粒子密度减小, 所以中性金属原子和电子的碰撞几率很小, 电弧电压低, 电弧能量小。在电流过零后, 触头不会再产生阴极斑点, 触头间的介质绝缘强度恢复十分迅速, 因此在触头开距足够大时, 扩散性电弧很容易被熄灭。

(2) 聚集型电弧。就是采用一般电极, 开断电流为 6kA 以上时出现的电弧。这种电弧是扩散型电弧受磁力作用聚集在一起而形成的。阴极上分散的阴极斑点, 受磁力相互吸引作用而重新聚集, 最后形成明亮而运动速度缓慢的阴极斑点。此时触头温度高, 阴极和阳极表面均可能发生严重的局部熔化和烧损现象。聚集型电弧的生成物多, 弧柱的金属蒸气压力高, 带电粒子的密度大, 中性的金属原子和电子碰撞几率多, 电弧电压明显

增加,比扩散型电弧电压要高得多。电流过零后,由于电极高温仍能继续向弧柱区域输送金属蒸气和带电粒子,因此触头间的介质强度恢复缓慢,易导致电弧复燃或重新击穿。聚集型电弧难以熄灭,应设法避免。

2. 真空电弧的熄灭

这种电弧的熄灭主要取决于触头的阴极现象和阳极发热程度以及等离子体向周围空间迅速扩散的作用。它是利用电流过零这一有利条件,即在灭弧室的真空度为 $1.33 \times 10^{-6} \sim 1.33 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 范围内,由于弧柱区的压力较高,则易导致弧柱等离子体向四周空间迅速扩散而灭弧。近来研究的成果表明,可以利用增大触头有效表面积的方法,提高扩散型电弧的临界电流,以避免产生聚集型电弧。按照这种灭弧原理制造的 ZN5-10 系列的真空断路器,已经广泛地应用在频繁操作及故障较多的场所,如控制电炉变压器、投切电容器组及高压电动机等。

第二节 断路器

断路器是一种很重要的开关设备,它的用途是使 1000V 以上的高压电路在正常负载下断开或接通,以及电路在发生短路故障时,通过继电保护装置的作用,将电路自动断开,因此它是一种担负控制和保护双重任务的电器。无论在发电厂、变电所或配电室内,常会看到数量较多的各种电压等级和各种不同类型的断路器在运行。由此可见,断路器是电力系统中重要设备之一。

断路器是高压配电装置中的主要电器,为了确保上述作用的实现,断路器应满足下列基本要求。

1. 工作可靠

断路器在电力系统中起着重要的控制和保护作用,如果产品质量不高,在电路发生故障时,断路器不能正常可靠地跳闸,则事故得不到控制,影响范围就会迅速扩大,造成大面积停电。例如一台 10~35kV 的断路器发生故障,可能造成几个或几十个工矿企业停电。因此,断路器的正常运行,是电力系统可靠供电的重要因素之一,所以要求断路器的工作必须有高度的可靠性。

2. 能承受很大的瞬时功率

电力系统的故障电流,往往是额定电流的几倍或几十倍,持续时间达几秒钟。因此

断路器应能承受开断及关合该类故障电流的能力。

3. 动作时间快

开断故障电流的快慢,会直接影响电力系统输送功率的大小和运行的稳定性。为此,电力系统要求断路器得到继电保护装置的動作信号后,应在百分之几秒内断开故障电流,并在连续的“合”、“分”操作中,触头短接时间应在 0.1s 以内。

由于要求断路器既能断、合正常负载,又可切除短路故障,所以断路器中最主要的问题是如何熄灭触头分开瞬间所产生的电弧,即必须具备一种可靠的灭弧装置。根据所采用灭弧介质的不同,通常将断路器分为:多油断路器、少油断路器、真空断路器、固体产气断路器等多种。本节主要介绍配电网中常用的各种断路器结构、工作原理、技术参数和特点。

一、多油断路器

(一) DW10-10 型多油断路器

这是一种 $3\sim 10\text{kV}$ 高压配电网中常见的柱上油断路器,它的外形如图4-8所示。这种断路器通常装在电杆上,并用钩棒和绳索在地面操作。

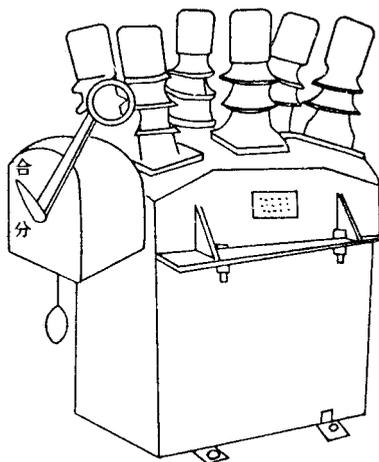


图 4-8 DW10-10 型柱上油断路器的外形图

图4-9是DW10-10型多油断路器的结构和动作图,这种断路器是三相共箱式,每相有一个简单的刀形断口(触头),油箱里的油既可作为灭弧介质又可作为导电部分对地绝缘之用。

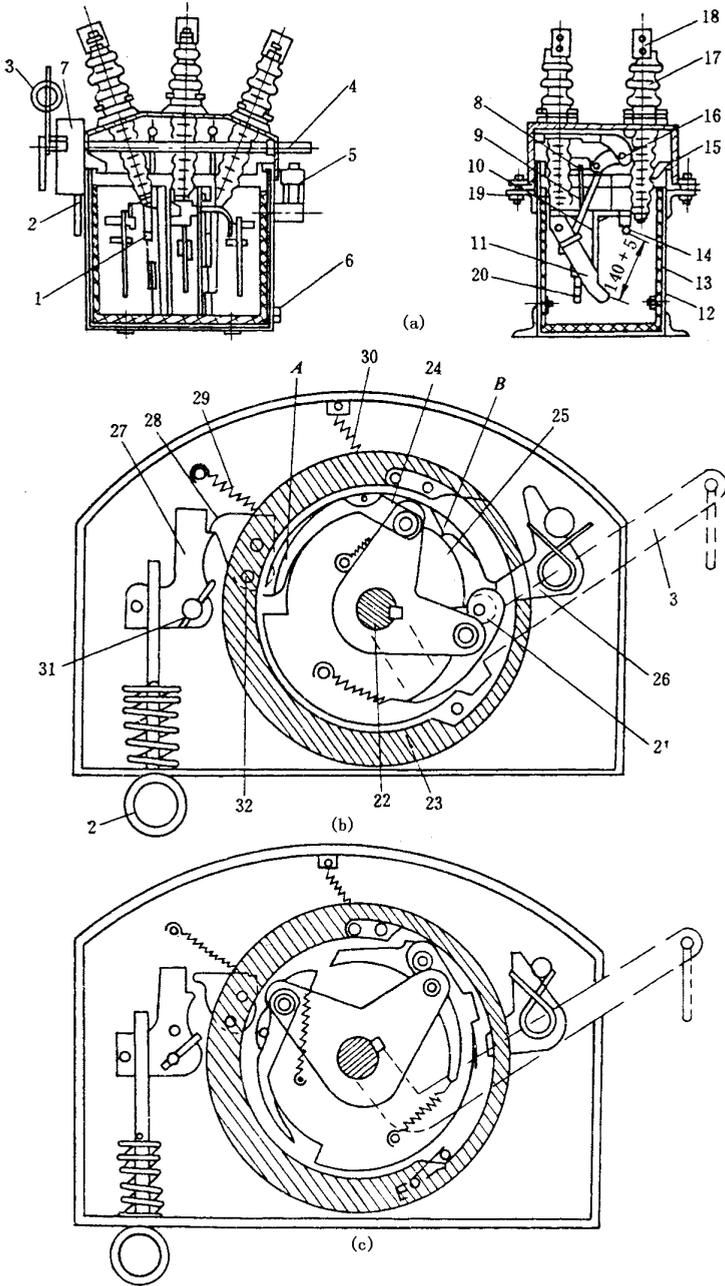


图 4-9 DW10-10 型多油断路器结构和动作原理图

(a) DW10-10 型油断路器结构 (b) 操作机构合闸位置 (c) 操作机构分闸位置

1—脱扣器 2—手动分闸环 3—合闸手柄 4—排气或加油阀 5—油面指示器 6—放油螺栓 7—操作机构箱 8—脱扣小轴 9—绝缘推杆 10—绝缘拉杆 11—闸刀 12—油箱 13—隔弧衬套 14—静触头 15—箱盖 16—转动大轴 17—瓷套管 18—接线端子 19—安装螺栓 20—脱扣调节螺栓 21—滚轮 22—主轴 23—操作机构盖 24、25、27、28—掣子 26—定位件 29、30—复位弹簧 31、32—销子

DW10-10型断路器的结构主要由脱扣器1、手动分闸环2、合闸手柄3、排气阀或加油阀4、油面指示器5、放油螺栓6、操作机构箱7、脱扣小轴8、绝缘推杆9、绝缘拉杆10、闸刀11、油箱12、隔弧衬套13、静触头14、箱盖15、转动大轴16、瓷套管17、接线端子18、安装螺栓19和调节脱扣用螺栓20等组成。操作机构箱7中装有手动和过载、短路保护的操作机构,其机构的结构主要由滚轮21、主轴22、操作机构盖23、掣子24和25、定位件26、掣子27和28、复位弹簧29和30及销子31和32等组成。

断路器的油箱盖上装有6只空心瓷套管,导电杆从瓷套管的中心穿出,导电杆的两端用螺帽紧固在瓷套管上。箱外瓷套管端的导电杆上有接线端子,箱内瓷套管端的导电杆上串联自动过载脱扣器的一次线圈和延时装置。操作机构装在箱盖前端与断路器本身联成一体。

DW10-10型多油断路器的动作原理分述如下。

(1)手动合闸时。将合闸手柄3向下拉,机构盖23带动机构掣子24、25及主轴22作顺时针转动,断路器触头闭合。定位件26顶住滚轮21,以保持合闸位置。合闸手柄3在合闸完毕后靠复位弹簧30返回,手动合闸操作完成。

(2)手动分闸时。将手动分闸环2向下拉,使掣子27、28分开,在复位弹簧29的作用下掣子28上的销子32碰撞掣子24上的A点,而使咬合点B分开,滚轮21便滑出定位件26的止位斜面,断路器在分闸弹簧和触头重力的作用下分闸。分闸时,动、静触头之间产生的电弧,靠电弧高温产生的高压气流吹弧及机械拉长加速去游离使电弧熄灭。

(3)过载和短路保护。当网络出现过负载或短路事故超过脱扣器的整定电流时,脱扣器的动铁芯向上运动,推动绝缘推杆9,使脱扣小轴8反时针方向转动,通过小轴8上的销子31把掣子27拨开,则掣子28被释放,然后重复上述手动分闸过程,断路器分闸。

(4)分闸延时作用。当网络上过载电流达到或超过脱扣器整定值时,在动铁芯运动过程中,由于油杯的活塞与动铁芯相联,而受到一定的阻尼作用,使动铁芯慢慢吸合,而达到延时分闸的目的。如果过载电流持续时间在延时脱扣器分闸延时时间以内,则断路器不动作,以避免不必要的停电。

DW10-10型柱上油断路器的主要技术数据,见表4-1。

表4-1 DW10-10型柱上油断路器的主要技术参数

额定电压 (kV)	最高工作 电压 (kV)	额定电流 (A)	额定断流容量 (MVA)	额定开断电流 (kA)	极限通过电流 (峰值,kA)	脱扣器动作 电流倍数	产品质量(kg)	
							不带油	油质量
10	11.5	50 100 200 400	30	1.73	4.5	1.2~2	96	35

(二) DW11-10 型户外多油断路器

这是一种新型的户外多油断路器,用于 10kV、三相高压配电网中;具有分闸不重燃,合闸不弹跳,可频繁操作以及使用维护方便等优点;主要用于合、分电容器组和频繁操作的场所。

图 4-10 是 DW11-10 型多油断路器的外形结构及尺寸图。这种断路器也为三相共箱式,断路器的本体与操作机构箱共同安装在由角钢焊成的框架上,箱盖上的 6 只瓷套管 5 内的导电杆,其上端通过接线端子 4 作为引出线用,其下端装触座、静触指及灭弧室,动触杆固定在提升杆的下端。三相绝缘提升杆与固定在箱盖下面的联动机构用铁夹板连成一体,通过操作机构完成分、合闸操作。套管式电流互感器分别装在 6 只瓷套管上。箱盖上部有排气孔 6 及注油阀,箱底有放油阀 7,油箱内壁包以绝缘套筒,油箱有升降机构,箱体由 4 只大螺栓与嵌装在框架上的箱盖固定。

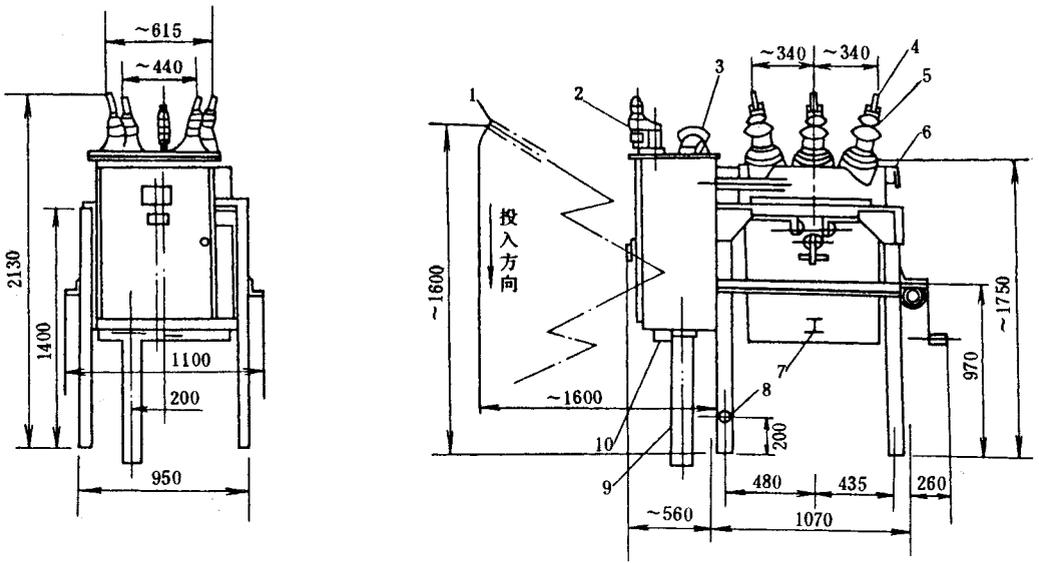


图 4-10 DW11-10 型多油断路器外形结构及尺寸图

- 1—手动操作杆 2—分合指示灯 3—分合指示器 4—接线端子 5—瓷套管;
6—排气孔 7—放油阀 8—接地螺丝 9—电线管 10—手动分闸杆

DW11-10 型多油断路器的技术数据,见表 4-2。

DW11-10 型多油断路器的操作机构由 CD15-X 型直流电磁操作机构、直流接触器、计数器、辅助开关、接线端子、刀开关、加热器、合分指示灯及合分指示器组成。操作机构箱与断路器本体安装在共同的框架上。操作机构的控制原理见图 4-11。当万能转换开关 KK 转至合闸位置(9、10、11、12 接通),直流接触器 ZCO 线圈励磁,合上触点,使

合闸线圈 HQ 带电, 辅助开关 DL 的常开触点合上, 常闭触点打开, 此时合闸指示灯 HD 亮。分闸时先将万能转换开关 KK 转至分闸位置(13、14、15、16 接通), 分闸线圈 FQ 带电, 并联在分闸线圈两端的电磁计数器 JS 动作, 常开触点打开, 常闭触点合上, 分闸指示灯 LD 亮。

表 4-2 DW11-12 型多油断路器的技术数据

额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)		动稳定电流 (峰值, kA)	热稳定电流 (4s, kA)	关合电流 (峰值, kA)	固有分闸时间 (不大于, s)	合闸时间 (不大于, s)	切合电容器组容量 (Mvar)	可连续开断电容电流次数 (不小于, 次)	质量 (kg)		机械寿命 (次)
			分-180S —合分— 180s—合分 分	分—0.5s— 合分—180s —合分							油质量	总质量		
10	11.5	630 800	25	20	63	25	63	0.09	0.5	1~10	500	200	1100	3000

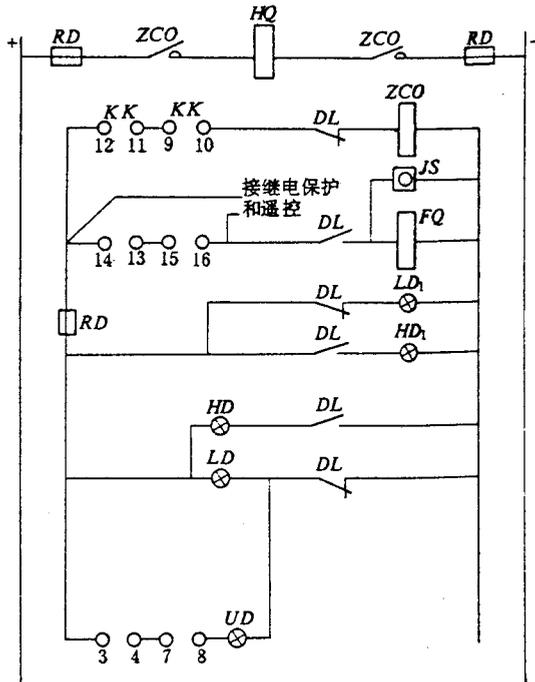


图 4-11 直流电磁操作机构的控制原理

HQ—合闸线圈 ;FQ—分闸线圈 ;JS—电磁计数器 ;ZCO—直流接触器 ;
LD—分闸指示灯 ;HD—合闸指示灯 ;DL—辅助开关 ;RD—熔断器 ;
KK—万能转换开关 ;UD—远控分闸指示灯

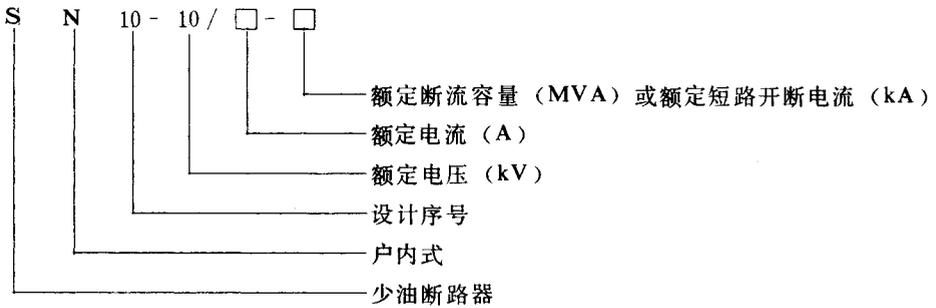
二、少油断路器

少油断路器的油只作为灭弧介质,所以油量较少。其导电部分和灭弧室对地绝缘,是用瓷或有机材料制作。这种断路器的结构简单,制造方便,目前在户内配电装置中应用较多。SN10-35型和SN10-10型户内式少油断路器是户内配电装置中常见的两种,而且产品已定型,所以我们对这两种型号断路器作为分析对象,其中以SN10-10型为主。

(一) SN10-10型少油断路器的结构原理

SN10-10型少油断路器适用于3~10kV配电网,作为保护和控制用的高压电气设备,也可以用于频繁操作的场所和用来切断电容器组。

SN10-10型少油断路器的型号含义如下:



例如,SN10-10/1000-500型少油断路器是指额定电压为10kV,额定电流为1000A和额定断流容量为500MVA的三相户内式少油断路器。

1. SN10-10/1250-750型结构原理

图4-12是SN10-10/1250-750型少油断路器的结构图。由图可见,断路器主要由框架1、传动部分2及油箱3三大部分组成。框架是采用角钢及钢板焊接而成。在框架上装有分闸定位4和支承主轴承5,主轴6上焊有几个拐臂7用绝缘拉杆8与拐臂9相连,组成四连杆机构,主轴上的拐臂与分闸弹簧10相连。在框架上还装有由6个M16螺栓固定的6个绝缘子11,以用来固定3个油箱。框架下部有接地螺栓12。油箱上帽设有注油孔13和排气喷口14,油箱上部装有油标指示器15,油箱的底罩上装有合闸缓冲器16和放油阀17。

SN10-10/1250-750型少油断路器的顶罩盖上的排气喷口安装时,要符合图4-12中的定向喷气所示的方向。

2. SN10-10/1000-300型原理结构

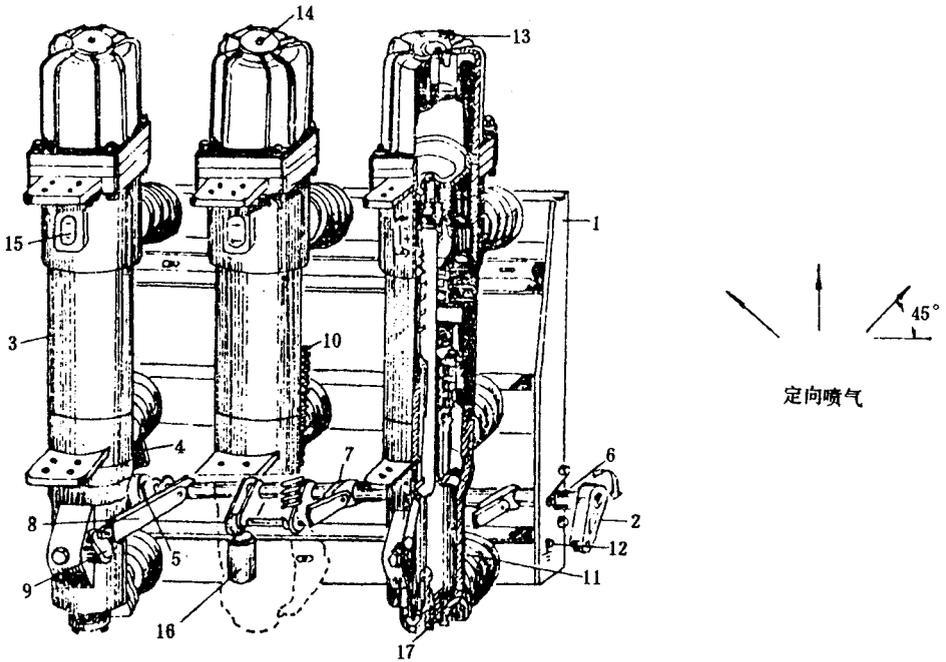


图 4-12 SN10-10/1250-750 型少油断路器结构图

1—框架 2—传动部分 3—油箱 4—分闸定位 5—支承主轴承 6—主轴；
7—拐臂 8—绝缘拉杆 9—拐臂 10—分闸弹簧 11—绝缘子 12—接地螺栓；
13—注油孔 14—排气喷口 15—油标指示器 16—合闸缓冲器 17—放油阀

图 4-13 是 SN10-10/ $\frac{600}{1000}$ -300 型少油断路器的基本结构图。断路器是由分闸弹

簧 1、绝缘拉杆 2、拐臂 3、轴承 4、主轴 5、绝缘子 6、放油螺栓 7、底罩 8、油缓冲活塞杆 9、弹性销 10、转轴 11、主拐臂 12、缓冲橡皮垫 13、橡皮密封圈 14、下接线座 15、紫铜滚轮 16、下压环 17、导电杆 18、绝缘筒 19、灭弧室 20、油面指示器 21、上压环 22、上接线座 23、引弧片 24、上帽 25、油气分离器 26 和静触座 27 组成。

断路器油箱下部的底罩 8 是由高强度的球墨铸铁制成的，在底罩下部有可拆卸的放油螺栓 7，放油时需将放油螺栓全拧下。放油螺栓上部装有油缓冲器的活塞杆 9，当断路器分闸时，导电杆 18 的下端正好插入缓冲器孔内起到缓冲作用，即将导电杆分闸动作过程结束时的动能，转化为油缓冲器的热能，以保证在制动过程中不产生危及设备正常运行的冲击力。在底罩的突起部分装有转轴 11，用弹性销 10 与主拐臂口及连臂相连，拧下外部螺栓可以装卸弹性销 10。在连臂上装有防止过大冲程而遭意外损坏的橡皮垫 13。底罩的上部固定着下接线座 15，并用橡皮密封圈 14 进行密封。导电杆与接线座为滚动接触形式，它是由触头架及两对紫铜滚轮（即滚动触头）和压缩弹簧组成。滚轮在压缩弹簧的作用下与导电杆 18 及下接线座 15 紧密相接触（即圆柱面与圆锥面的接触），同时还具有很小的摩擦阻力。

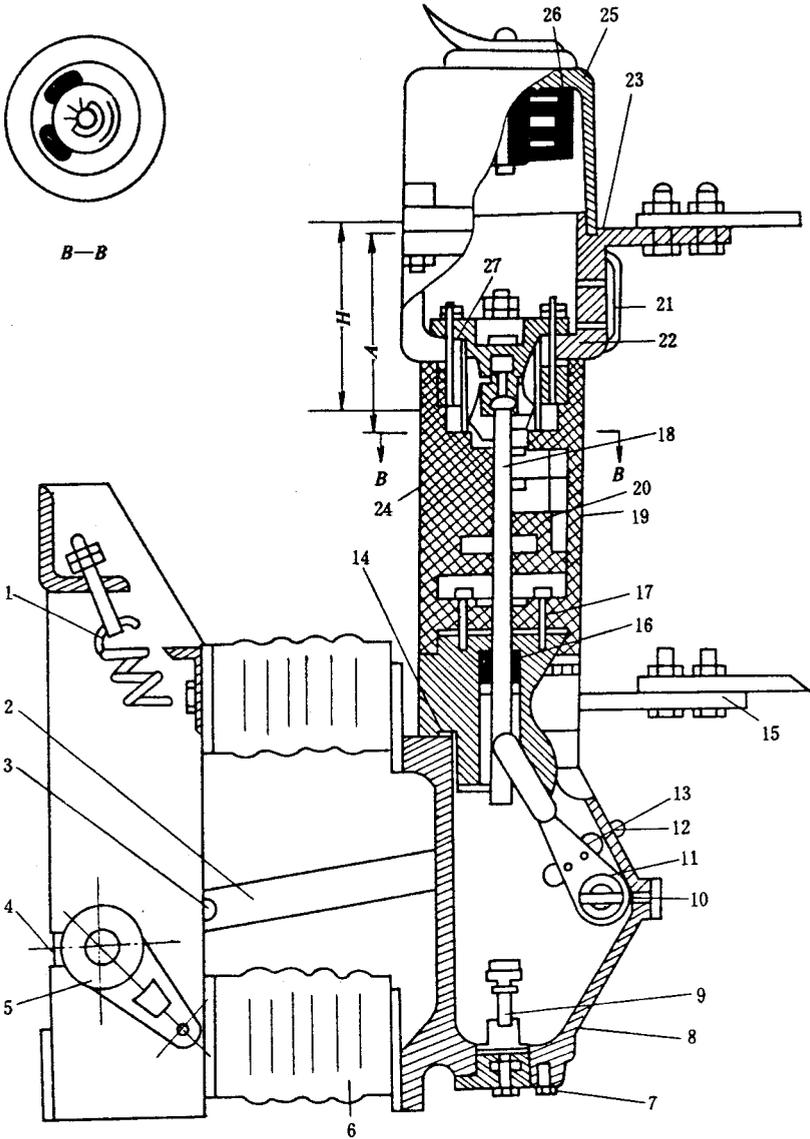


图 4-13 SN10-10/1600-300 型少油断路器的基本结构图

- 1—分闸弹簧 2—绝缘拉杆 3—拐臂 4—轴承 5—主轴 6—绝缘子；
 7—放油螺栓 8—底罩 9—油缓冲活塞杆 10—弹性销 11—转轴 12—主拐臂；
 13—缓冲橡皮垫 14—橡皮密封圈 15—下接线座 16—紫铜滚轮 17—下压环；
 18—导电杆 19—绝缘筒 20—灭弧室 21—油面指示器 22—上压环；
 23—上接线座 24—引弧片 25—上帽 26—油气分离器 27—静触座

导电杆 18 通过连臂与主拐臂 12 相连，并穿在两对滚轮中间，导电杆 18 上端有可更换的铜钨合金的动触头，并用弹簧压紧防松。

断路器框架上装有合闸缓冲器,在合闸时起缓冲作用。在下接线座 15 上面安装有高强度玻璃钢绝缘筒 19,此筒用压环 17 由 4 个内六角螺栓经下接线座紧固在底罩 8 上。下接线座 15 与绝缘筒 19 连接中间仍用橡皮密封圈来密封,绝缘筒内装有 6 片不同形状的耐弧塑料制成的灭弧片 20。为了在开断时将电弧迅速拉向喷口,以减轻触片的烧伤,最上面的灭弧片靠喷口方向嵌有引弧片 24。在绝缘筒 19 上部装有上压环 22,用以压紧灭弧片,达到片与片之间的严密接触。

在绝缘筒上端,用上接线座 23 与它相连,其间也有密封圈。上接线座内装有瓣形静触头 27,触片借以隔栅和弹簧片固定在触座上,在靠近引弧片 24 喷口处的三片触片顶端嵌有铜钨合金。上接线座外侧装置有机玻璃的油面指示器 21,用以观察断路器内部的油面高度。

断路器最上部是上帽 25,里面装有油气分离器 26(内腔为空气室),并用一个 M12 螺钉固定在帽上部。在灭弧过程中,电弧蒸发和分解产生的气体经过吹弧道向外排出,并穿过灭弧室上面的油层到达缓冲空间,然后经过油气分离器排到大气中。惯性式油气分离器,它由三片带着许多斜孔的油气分离片组成。它的原理是利用油与气体比重不同,当油与气的混合物的速度方向改变时,油与气体所受惯性力也不同,比重大的油滴被甩到周围壁上,而比重小的气体继续向上运动,这样油与气体就分离了,最后气体经罩上排气孔排出。

在静触座中间装有一个小钢球式的逆止阀(见图 4-16),起单向阀门作用,主要防止触头断开时,电弧烧伤触片的内表面。

断路器的导电回路是由上接线座经瓣形静触头,导电杆、滚轮至下接线座。

3. SN10-10 系列断路器灭弧室结构

这种系列断路器的灭弧室结构,均系采用纵横气吹和机械油吹联合作用的灭弧原理。灭弧方法是采用逆弧原理,即在开断电路时,导电杆向下运动,电弧向上运动。图 4-14(a)为 SN10-10/1250-750 型断路器的灭弧室结构图。灭弧室由 6 片灭弧片组成,其结构特点是三级横吹,一级纵吹。灭弧片 1 的中心孔为凸圆形,用以产生预排油,提前吹弧;灭弧片 2 的油囊与中间触头处的油相通,可以形成体积补偿,并在开断小电流时因有油吹作用而增强熄弧能力;灭弧片 2、3、4 的横吹弧口呈喇叭形,而且相互成 45° ,左边耐弧绝缘瓦片的作用是防止高温气体烧伤绝缘筒。图 4-14(b)为 SN10-10/1000-500 型断路器的灭弧室结构图,它与 750MVA 的结构相似,为三级横吹,二级纵吹。但 3 片油囊均与中间触头处的油相通,灭弧片 1 在吹口方向上部有引弧铁片,以吸引电弧。图 4-14(c)为 SN10-10/600-300 型断路器的灭弧室结构图,它为二级横吹,一级纵吹,二道横吹弧口布置在同一方向。以上三种灭弧室各灭弧片,均有定位销,以防装错。

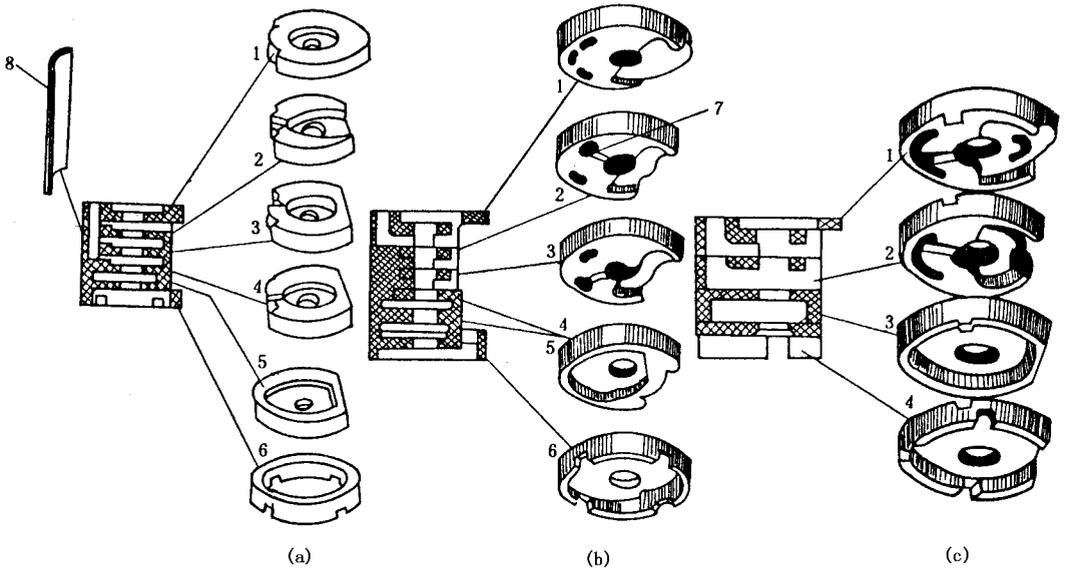


图 4-14 SN10-10 系列断路器的灭弧室结构图

(a) SN10-10/1250-750 型 (b) SN10-10/1000-500 型 (c) SN10-10/600-300 型

1~6—灭弧片 7—油囊 8—绝缘瓦片

在开断满容量的大电流时,由于电弧能量很大,灭弧室内产生高压,气吹效果很强,一般在第一横吹道打开后,电弧就能熄灭。在开断较小电流(如在开断 30%~60% 容量的电流)时,由于气吹效果较差,在第一横吹道打开后电弧还不能迅速熄灭,因此在导电杆继续向下运动,拉长电弧,即第二、第三横吹道又相继打开后,气吹效果加强,电弧才能熄灭。在开断更小的电流(如空载线路)时,需要经过如图 4-15 所示的 4 个阶段,其 4 个阶段分述如下。

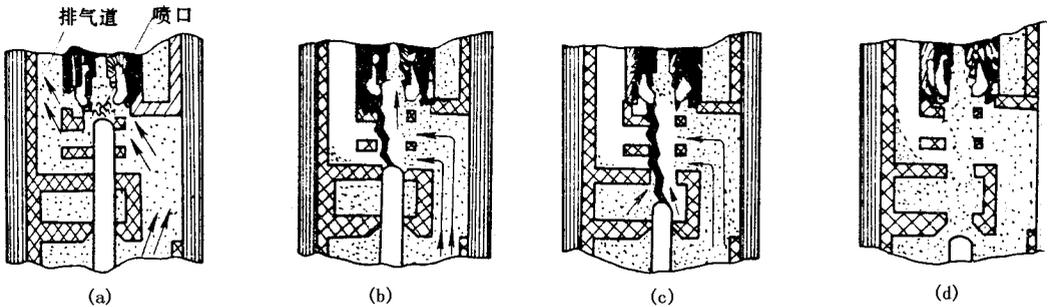


图 4-15 SN10-10 型少油断路器开断小电流过程

(a) 封闭气流阶段 (b) 横吹阶段 (c) 纵吹、横吹阶段 (d) 熄灭后回油阶段

(1) 封闭气流阶段。图 4-15(a) 为动、静触头分离, 产生电弧的情况。此时由于压力差的作用, 油气通过喷口、排气道向上帽排出, 因排气道上部有油层, 气流被封闭状态, 排气的速度受到限制, 所以气流在喷口附近对电弧的作用很弱, 因此在这个阶段, 电弧很难熄灭。

(2) 横吹阶段。如图 4-15(b) 所示, 当动触头分开经过一段时间后, 触头开距增大, 排气道完全打开, 气流高速度横吹电弧并冲向上帽, 在喷口附近使电弧强烈冷却、去游离。

(3) 纵吹、横吹阶段。如图 4-15(c) 所示, 由于电流小, 灭弧能力不够, 动触头继续向下运动到纵吹口以下, 同时利用纵吹和横吹作用, 当电流过零时, 电弧才能熄灭。

(4) 熄弧后的回油阶段。如图 4-15(d) 所示, 残存的气体继续排向上帽, 上部油回流到动静触头间隙, 为下次开断做好准备。

与此同时, 在上述电弧熄灭过程中, 由于导电杆不断快速向下运动, 迫使与导电杆同体积的油压入灭弧室内, 形成机械油吹。

4. SN10-10 型少油断路器的触头和缓冲器

(1) SN10-10 型少油断路器采用插入式的可分触头, 它分为动触头和静触头两部分。动触头(见图 4-16, a)由耐弧触头 1 及动触杆 2 组成, 它由触头架 4 和滚轮 3 引导做直线的上下运动, 合闸时向上, 分闸时向下。静触头(见图 4-16, b)装在油箱顶部, 主要由触指 5, 触头弹簧 6, 触头座 7 三部分组成。动、静触头上的耐弧复合材料, 一般采用铜钨合金(铜 20%, 钨 80%), 铜钨能使合金的硬度大、熔点高, 保证开断时的烧损减少。

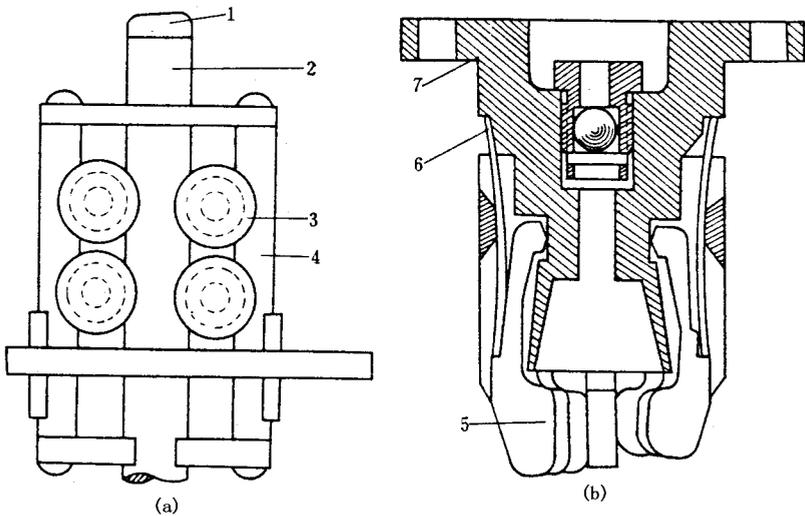


图 4-16 SN10-10 型少油断路器的触头

(a) 动触头 (b) 静触头

1—耐弧触头 2—动触杆 3—滚轮 4—触头架 5—触指 6—触头弹簧 7—触头座

(2)断路器合闸时采用弹簧式合闸缓冲器(见图4-17 a)。当断路器合闸时,动触杆端部推动顶杆1,通过拐臂3使合闸缓冲弹簧2压缩储能;分闸时,弹簧释放,反时针推动拐臂3,用以提高动触杆的刚分速度。断路器分闸时,采用铁撞击板和橡皮板做成的缓冲器(见图4-17 b)。分闸时主轴拐臂3落下撞击在撞击板4上,撞击板将冲击力传到橡皮板5、铁片6和固定板7起到缓冲作用。这种断路器分闸动能不大,缓冲能量较小。开断容量较大的断路器,分闸缓冲器可采用油缓冲器。

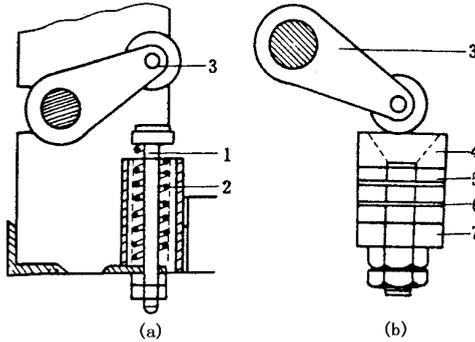


图4-17 SN10-10型少油断路器合、分闸缓冲器

(a)合闸缓冲器 (b)分闸缓冲器

1—顶杆 2—合闸缓冲弹簧 3—拐臂 4—撞击板 5—橡皮板 6—铁片 7—固定板

5. SN10-10型少油断路器的传动机构

SN10-10型少油断路器采用四连杆式机械传动机构,如图4-18所示。这种机构的动作是通过操作机构或合闸弹簧的作用力传递到拉杆上,当拉杆向下运动时,带动拐臂1、轴2、拐臂3和4,轴5和拐臂6作顺时针转动,致使动触杆直线向上运动,这种机构使转动变为动触杆直线运动,所以称为变直四连杆机构。

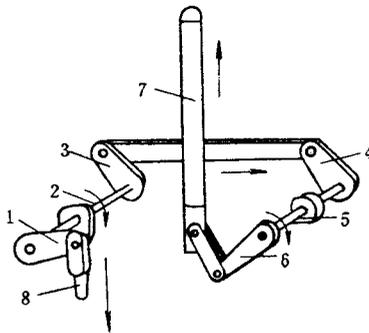


图4-18 SN10-10型少油断路器传动方式

1、3、4、6—拐臂 2、5—轴 7—动触杆 8—拉杆

断路器在分闸或合闸状态下,应该使动触杆 7 可靠地保持在原有位置。分闸时是依靠弹簧的预拉力和运动部分本身的重力,使触杆保持在分闸位置;合闸时是依靠操作机构的锁扣扣住,以克服分闸弹簧的拉力及运动部分的重力,使机构保持在合闸位置。这种传动机构的动作原理如下。

(1)合闸。操作机构通过传动臂连杆将力传到框架的拐臂上,并由主轴推动 3 根绝缘拉杆使三相动触杆向上作直线运动,最后插入静触头中。此时主轴拐臂碰上并压缩合闸缓冲器,直至合闸最终位置时,由操作机构锁扣扣住,使断路器保持在合闸位置。与此同时,框架上的主轴挂住分闸弹簧的拐臂(参见图 5-12)将分闸弹簧 10 拉伸并储能。

(2)分闸。当操作机构由电动或手动脱扣时,由于分闸弹簧及合闸缓冲器弹簧力的作用,使框架上的主轴转动,带动绝缘拉杆等环节使动触杆向下运动。分闸过程至一定位置时,动触杆底部的分闸缓冲器开始阻尼,使动触杆的速度逐渐减慢,最后由分闸弹簧预拉力的作用,使框架的主轴拐臂紧靠在分闸定位件上,致使断路器保持在分闸位置。

(二) SN10-35 型少油断路器的结构原理

SN10-35 型少油断路器的结构原理基本与 SN10-10 型相同。其特点是这种断路器采用小车式装置(见图 4-19),分为手车和筒车两种类型。所谓筒车就是简化了的手车,适用于 35kV 三相交流配电网络,作为保护和控制用的高压电气设备。

目前常用的这种断路器有 SN10-35 I 型和 SN10-35 II 型两种。其额定电流均为 1250A, I 型的额定开断电流为 16kA, II 型的额定开断电流为 20kA。

此种断路器的相间绝缘由空气保证,相间纯空气隙应不小于 300mm。当断路器在正常状态或故障状态进行分断时,产生电弧,电弧的高温使变压器油分解,顺次打开消弧室的 6 个横吹口,然后在动触头继续向下运动到纵吹口以下时,横吹、纵吹和机械油吹共同作用,使电弧尽快熄灭。

SN10-35 型少油断路器一般配备 CD10 型操作机构,进行电动合闸、电动分闸和手动分闸,也可以进行自动重合闸。

(三) SN10-10 型少油断路器的安装与维护

1. SN10-10 型少油断路器安装

SN10-10 型少油断路器安装时必须注意以下几方面。

(1)断路器应安装在水平垂直的金属构架上。安装后必须保持其垂直度,如发现断路器有歪斜、倾倒等情况可调节 4 个安装螺栓下垫圈来达到水平和垂直位置。

(2)导电母线的固定螺丝要拧紧,上下引线的长度要配置合适。

(3)该断路器出厂后已经由制造厂经过严格装配、调整和试验。故一般情况下,其内

部不需要再拆卸进行重新装配调整,只需要对断路器进行以下几项外部检查即可。

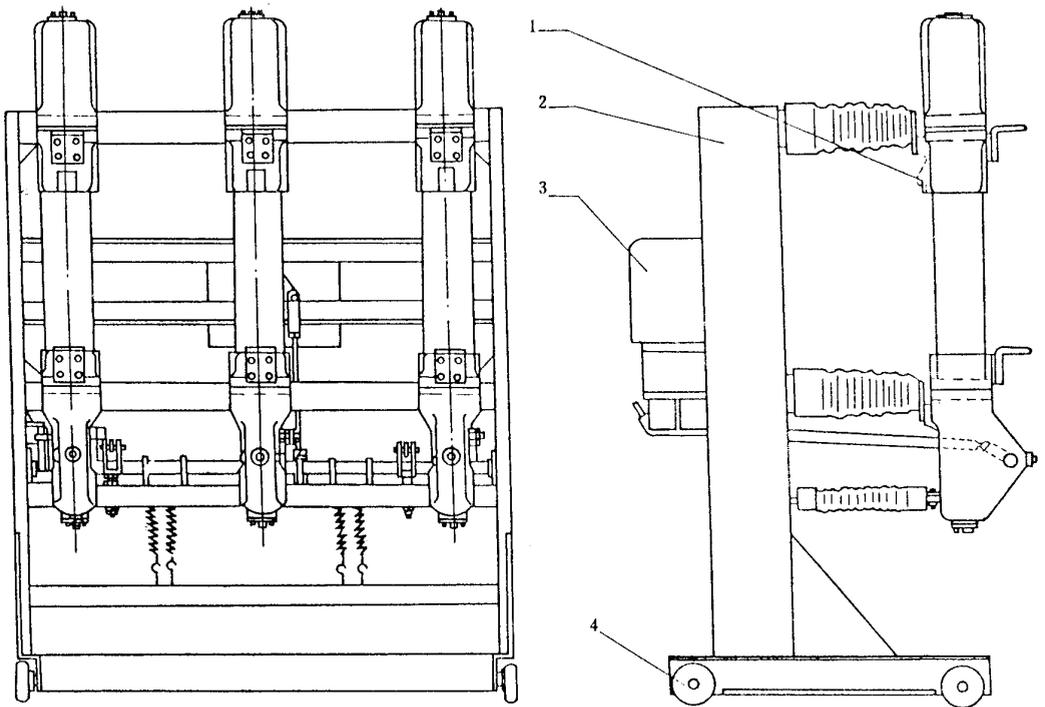


图 4-19 SN10-35/1250-16 型少油断路器外形图

1—油标 2—车架 3—CD10 操作机构 4—车轮

- 1) 检查各端子、螺丝、螺帽、连接板等有无缺陷,固定触点螺丝必要时紧一紧;
- 2) 检查、清扫油面计玻璃,并检查油面计指示是否正确;
- 3) 检查断路器的接地是否正确可靠;
- 4) 检查外壳是否有漏油和渗油现象,排气孔是否完好;
- 5) 清除断路器外壳上的污秽和锈;
- 6) 检查转动部分的润滑情况,酌情适当补充润滑油,南方地区选一般润滑油即可,东北地区选用低温润滑油;
- 7) 将断路器手动合闸时应无摩擦和滞塞现象;
- 8) 在手动检查断路器跳闸时,注意操作机构的动作,并观察触头动作时的声音应当是清晰的;
- 9) 应特别注意,当断路器内未注入充足的变压器油时,因为此时油缓冲器不起作用,所以不准进行快速分合闸操作;

10)检查断路器的操作机构的连接是否正确,跳闸与合闸指示器的动作指示是否正确(包括检查信号牌);

11)在慢速分合闸动作正常后,再进行快速分合闸,并以80%的额定电压及65%的额定电压合分几次,检查动作是否正常、灵活。然后以110%的额定电压及120%的额定电压进行分合闸1~2次,进一步鉴定动作的可靠性。当断路器的合分闸速度达不到要求时,可适当调整分闸弹簧。

(4)安装完毕以后,检查断路器各相中心距离尺寸:固定式应为 $250 \pm 2\text{mm}$;小车式应为 $190 \pm 2\text{mm}$ 。带电部分与金属接地部分之间最小空气隙按制造厂规定不小于100mm(有关规程规定值为125mm);相间带电部分最小空气隙按制造厂规定也应不小于100mm(有关规程规定值为125mm)。

2. 投入运行前的准备工作

断路器投入运行前必须做好下列准备工作。

(1)注入合格的变压器油(南方地区使用25[#]变压器油,北方地区使用45[#]变压器油)至规定油位的高度,检查油表是否畅通,各密封处是否有渗油现象。注入变压器油的耐压试验标准是:当工作电压在6kV以上时,耐压必须大于30kV;当工作电压低于6kV时,耐压必须大于25kV。

(2)绝缘件应擦干净,断路器及操作机构的机械摩擦部分,应涂油润滑。

(3)对断路器进行操作试验,以确定其动作是否正常,并对断路器的回路电阻、行程和超行程以及固有分、合闸时间等项按开关检修工艺规定进行检查。应注意当采用电压降法测量回路电阻时,所通过的直流电流最好是100A。

3. 断路器使用与维护

SN10-10型少油断路器的使用与维护应按表4-3所规定的主要技术参数执行,并注意下列事项。

表4-3 3~10kV少油断路器技术数据

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	断流容量 (mVA)			额定 断流量 (kA)	极限通过电流 (kA)		热稳定电流 (kA)			固有分 闸时间 (s)	固有合 闸时间 (s)
			3kV	6kV	10kV		峰值	有效值	1s	5s	10s		
SN10-10 I	10	600	—	—	350	20.2	50	30	—	20.2 (4s)	—	0.05	0.2
SN10-10 II	10	1000	—	—	500	28.9	74	42	—	28.9 (4s)	—	0.05	0.2

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	断流容量 (mVA)			额定断流量 (kA)	极限通过电流 (kA)		热稳定电流 (kA)			固有分闸时间 (s)	固有合闸时间 (s)
			3kV	6kV	10kV		峰值	有效值	1s	5s	10s		
SN10-10Ⅲ	10	3000	—	—	—	40	130	—	—	43.3 (4s)	—	0.06	0.2
SN8-10/600	10	600	—	—	200	11.6	33	19	—	11.6 (4s)	—	0.05	0.25
SN3-10/3000	10	3000	—	300	500	29	75	43.5	43.5	30	21	0.14	0.5
SN9-10/600	10	600	—	—	250	14.4	36.8	—	—	14.4 (4s)	—	0.05	0.2
SN4-10G/5000	10	5000	—	1800	1800	105	300	173	173	120	85	0.15	0.65

(1)经常注意保持断路器的油面高度(上、下油表线之间)。

(2)运行时应注意有无局部发热或其它异常现象。

(3)断路器在一般情况下需要定期检查。检查时先拧开帽上4个M12螺钉,然后取出静触头,观察其烧伤程度。要观察动触头时,须将断路器处于分闸位置,才能观察到动触头的烧伤程度,若烧伤极其严重时应予以更换。在检查过程中不必拆卸母线,也不允许快速分合闸。检查安装情况,应先缓慢分、合闸各2次,检验安装是否正确。

(4)在表4-3中所规定为断路器断流容量下,能断开的最大开断电流的操作循环(分—0.5s合分—180s合分)以内,则断路器不需要检修。若开断严重短路电流次数超过规定循环以外,就需要进行大修。其大修可按下列顺序进行。

1)逐个卸下断路器的帽、静触头和灭弧室。注意各处的调节垫不要搞乱或丢失,拆下的零件经清洗后依次放入干净的零件箱中,不要碰伤漆膜,以保证大修工作的胜利完成。

2)仔细检查动、静触头、灭弧室和绝缘筒是否损坏。根据损坏程度决定是否修理或更换。在检修触头时,要求静触头的触指接触面应光滑,接触良好,弹簧片无变形,触指压力均匀。若触指烧损致使有效接触面的长度不够7mm,应予以更换,若大于7mm并有适量烧损时,可用砂纸或细锉除去烧伤部分,即可继续使用。动触头应上、下垂直动作,其耐弧合金头与动触杆应装配紧固,若耐弧铜钨合金头烧损达3mm以上者应予以更换,更换新触头后,应调整使其对准动触杆中心。

检修后的触头,应测其接触电阻以鉴别接触是否良好,其允许接触电阻值可根据制造厂规定或参照表4-4执行。

表 4-4 断路器触头接触电阻参照值

额定电压 (kV)	额定电流 (A)	接触电阻(mΩ)	
		大修后的	运行中的
3~10	200	300~350	400
3~10	600	100~150	200
3~10	1000	80~100	150
3~10	2000及以上	50~75	100

在检修灭弧室时,首先用干抹布将灭弧室的绝缘筒、灭弧片等零件的碳化层擦净,并保持清洁。绝缘筒和灭弧片不应有裂纹及剥裂现象,因为在灭弧时,这种裂纹及剥裂会造成灭弧室的爆炸。

灭弧室的灭弧片要排列整齐(见图4-14),不能颠倒或把方向弄错,否则灭弧能力降低,同时也容易烧损静触头。灭弧室的紧固螺丝必须坚固,而且要分布均匀。

灭弧片和绝缘零件有严重烧损(如喷口损坏过多、破裂和起层等)时必须更换。绝缘零件若受潮,须在80~90℃的烘箱中烘24h。若绝缘筒或灭弧片部分表面发生轻微碳化时,应用刮刀、砂纸和玻璃片等将其刮掉,并在被碳化部分用绝缘漆涂上。若绝缘筒或灭弧片烧损较严重,必须更换。更换的绝缘筒或灭弧片的质量必须符合要求。

3)用清洁的变压器油清洗绝缘筒及底罩内部。

4)对断路器油箱内部进行检查、清理和检修后,要按拆卸时相反顺序进行装配,装配图如图4-20所示。装配时应注意:检查绝缘筒的4个内六角螺栓是否松动;各灭弧片间的定位销必须完全插入,并在安装最下面一片时,调准定位缺口的位置,使3个横吹与上接线座的出线方向相反并对称,按图4-13检查A、H尺寸是否符合表4-5所给定的数值。

5)装配下出线时,须检查油封橡皮垫是否完好,油封面是否光洁,装配时必须细心,以防渗油、漏油。

6)在装配上盖时,为了避免造成闪络,应将上帽罩上的排气孔的定向喷气方向(见图4-15)背离母线安装。

7)检修后,试验测得的导电回路电阻不应超过80μΩ。

8)若支持绝缘子或绝缘拉杆等影响传动性能的部件损坏时必须更换。更换后应按表4-5中各项规定的数值进行检查。

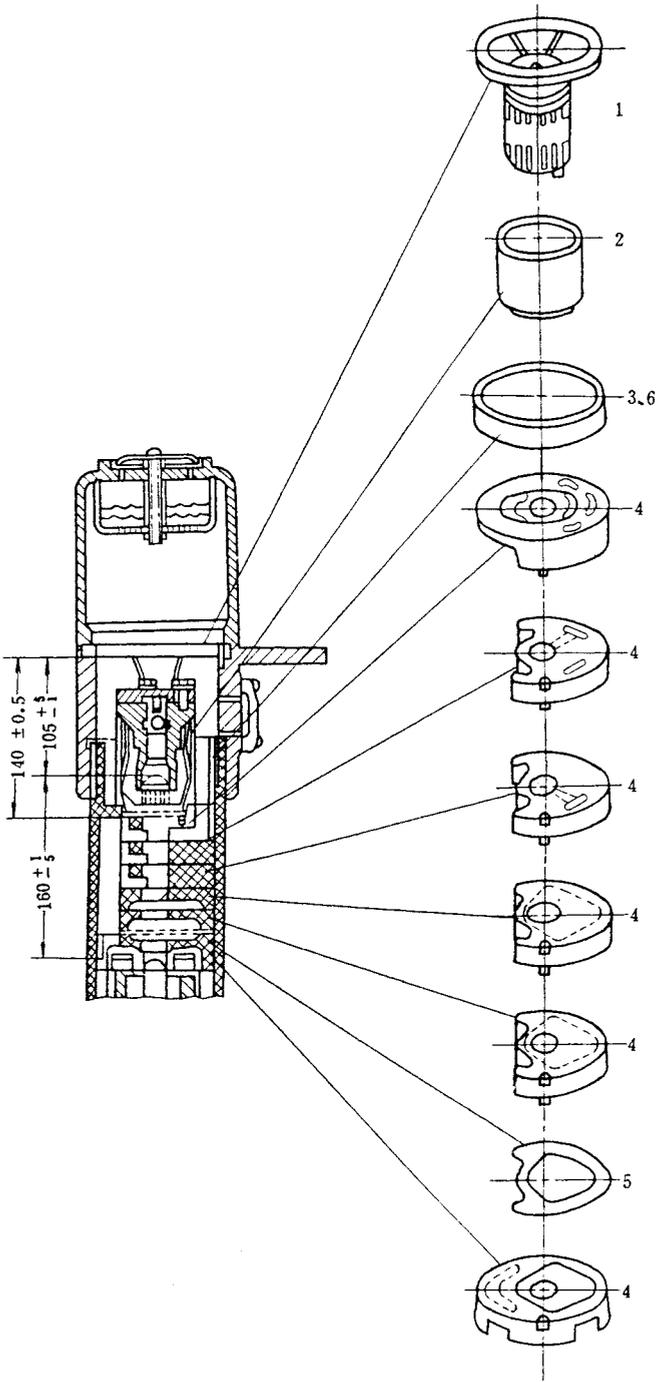


图 4-20 SN10-10 型少油断路器油箱内部装配图

1—静触头 2—金属压圈 3、6—衬筒 4—灭弧片 5—调整垫

表 4-5 SN10-10/1000-500 型少油断路器其它技术要求

序号	名称	数值(mm)	
1	导电杆行程	160^{+1}_5	
2	H 尺寸(见图 4-13 标准)	117^{+1}_1	
3	A 尺寸(见图 4-13 标准)	129 ± 1	
4	三相间 H 尺寸差值不大于	3	
5	相邻两相间的中心距离	固定式 SN10-10 型	250 ± 2
		小车式 SN10-10C 型	190 ± 2
6	动触头在触头刚分后 0.01s 内行程	≥ 40	
7	动触头在触头刚接触 0.01s 内行程	≥ 40	

9)在检修过程中,必须注意不得将小零件或杂物丢失在绝缘筒或底罩内,以免运行后发生危险。若须清洗出沉积于底罩内的脏物、碎片或其它小零件时,可将罩下放油阀底盖的三个螺钉拧出后取出。

10)断路器其它部分的紧固螺钉一般不需拆卸,以免影响运行性能。

11)调整断路器动作时间是检修断路器的一项重要工作,调整断路器动作时间的要求有:①分、合闸的动作时间应按铭牌值要求;②三相必须同期(即三相动作时间一致)。

三相是否同期,可采用图 4-21 灯泡试验法进行试验。每相中分别串联一只或两只灯泡,然后接在低压电源上。试验时用手动操作机构使断路器分、合闸动作,观察各相灯泡亮灭顺序,以判断三相是否同期。

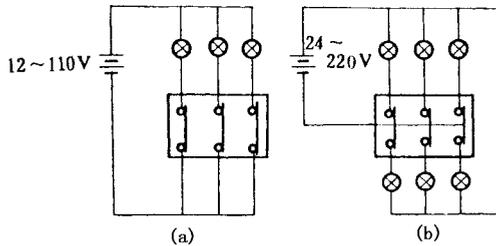


图 4-21 灯泡试验法

(a)单断口断路器试验接线 (b)双断口断路器试验接线

调整断路器同期和分、合闸速度的方法很多,但主要是用调整水平和垂直拉杆、分闸弹簧和动、静触头的方法。

在调整水平和垂直拉杆以前,要掌握操作机构中各拉杆之间的关系,然后进行调整。调整分闸弹簧,主要调整其松紧度。而动、静触头,主要是利用改变三相触头行程的方法来进行调整。

当三相不同期时,可先调整 A 相与 B 相同期,然后调整 C 相与 A、B 相同期,直至三相同期。如果三相已调整到同期,但合闸时间较规定的时间快或慢,可适当伸长或缩短三相垂直拉杆或水平拉杆。

调整后的触头行程要符合要求,动、静触头相互压紧之后,横梁和灭弧室间应留有一定空隙,以防止合闸时撞坏套管和灭弧室。此外,在调整中动过的螺栓和螺钉一定要拧紧。

12)用电磁振荡器直接在动触头上测量分闸速度时,先取下逆止阀和帽上的螺钉,将纸带或环氧树脂板条,通过支架固定在导电杆上。然后将电磁振荡器(电源频率为 50Hz)的笔尖与纸带或环氧树脂板条接触,进行分、合闸操作,其平均速度的计算如图 4-22 所示。图中以 25mm 处确定 A 点,然后在 A 点往右波形上找出 A 点前相应的 B 点,则 AB 距离为刚分(合)速度。

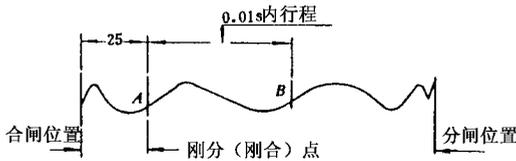


图 4-22 用电磁振荡器测量的刚分(合)速度

13)检修时必须遵照电业安全规程的规定进行,以保证检修人员的安全。

三、真空断路器

真空断路器是指触头在真空中开断电路的断路器。它是 50 年代后期才发展起来的新型断路器。前面讲灭弧方法时曾作过交待,真空断路器是以真空($1.33 \times 10^{-2} \sim 1.33 \times 10^{-2} \text{ Pa}$)作为灭弧的绝缘介质。真空具有很高的绝缘强度,有利于熄灭电弧。

图 4-23 是 ZN10/1000A/300MVA 真空断路器的外形图,这是三相联动的户内式高压断路器。这种断路器通常配有电磁操作机构和电动储能弹簧操作机构,可作为:配电网频繁操作的配电开关;电容器组的保护开关;电厂厂用电开关;电炉及其它负载控制开关等。它具有体积小、重量轻、寿命长、检修维护量少和适用于频繁操作等优点。

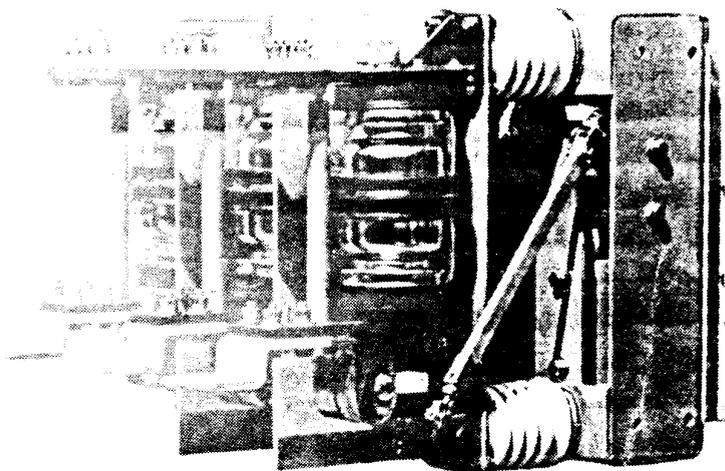


图 4-23 ZN10/1000A/300MVA 真空断路器外形图

(一) 真空断路器的结构原理

如图 4-24(a)所示,真空断路器主要由真空开关管 1(或称真空灭弧室)、绝缘支架 2 和电磁操作机构 3 三部分组成。此外,还有由主轴 4、支持件 5、动触杆 6、合闸线圈 7、衔铁 8 和分闸弹簧 9 等部件组成。3 只真空开关管 1 固定在绝缘支架 2 上,电磁操作机构 3 置于角钢、钢板焊制成的基座内。当操作机构合闸线圈 7 通电后,衔铁 8 动作,主轴 4 转动,固定在主轴上的 3 只支持件 5 分别推动三相开关管的动触杆 6 向上运动,断路器合闸。当断路器处于合闸位置时,合闸线圈 7 断电,衔铁被释放,由于分闸弹簧 9 的作用,拐臂 10 带动动触杆向下运动,断路器分闸。

图 4-24(b)为典型的真空开关管结构图,它是由外壳 11、静触头 12、金属屏蔽罩 13、可伐环 14、波纹管的金属屏蔽罩 15、动触头 16、静导电杆 17、动触杆 18 和金属波纹管 19 组成。管内有一对触头,触头一般采用对接式。静触头 12 焊在静触杆 17 上,动触头 16 焊在动触杆 18 上,动触杆借助于金属波纹管 19 实现密封。为了防止电弧生成物烧伤波纹管,波纹管外侧加金属屏蔽罩 15。触头周围的金属屏蔽罩 13,主要是用来吸附燃弧时触头上蒸发的金属蒸气。对于工作电压高、容量大的真空断路器,可采用多层或多个金属屏蔽罩。真空开关管的外壳一般采用玻璃、陶瓷或玻璃陶瓷材料制成。屏蔽罩 13 焊在可伐环 14 上,动、静端的玻璃外壳与可伐环封在一起组成一个密封腔,经过抽真空,使灭弧室内的气体压力降到 1.33×10^{-4} Pa 以下。在操作机构驱动力的作用下,动触杆借助于金属波纹管在灭弧室内沿纵向移动,从而分、合电路。

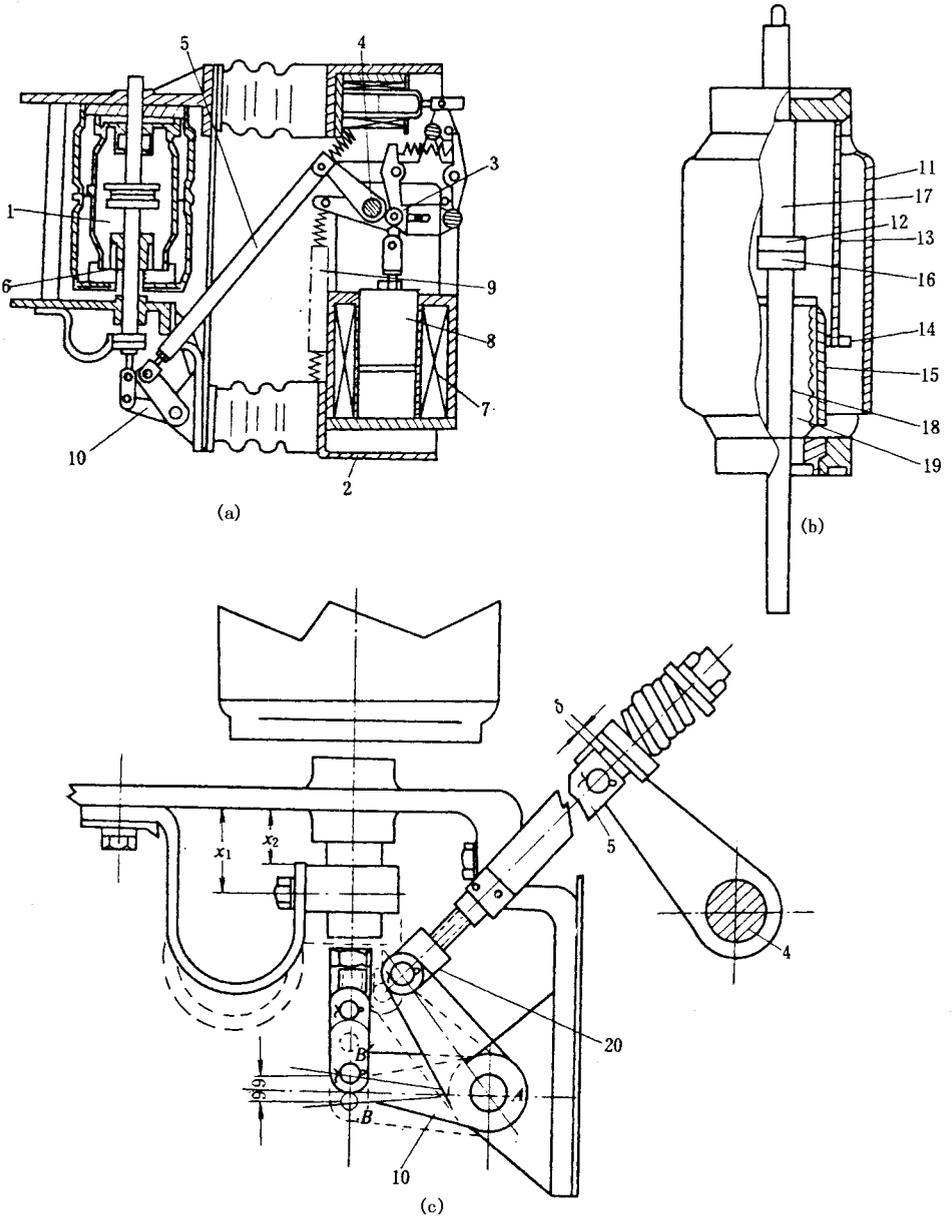


图 4-24 ZN10/1000A/300MVA 真空断路器与真空管结构

(a)真空断路器结构 (b)真空开关管结构 (c)触头行程与超行程调整示意图

1—真空开关管 2—绝缘支架 3—操作机构 4—主轴 5—支持件 6—动触杆 7—合闸线圈；
8—衔铁 9—分闸弹簧 10—拐臂 11—外壳 12—静触头 13—屏蔽罩 14—可伐环 15—波纹管
屏蔽罩 16—动触头 17—静导电杆 18—动触杆 19—金属波纹管 20—调节调整螺钉

分、合闸时通过动触杆运动,拉长或压缩波纹管,因而不致破坏灭弧室的真空度。

真空开关的动、静触头是采用磁吹对接式的。在动、静触头的旋弧面上,开有 3 条螺旋槽,利用短路电流产生的强大磁场,驱使电弧高速旋转,从而避免触头的局部过热,以致在电流过零时,迫使电弧熄灭。

电磁操作机构是由线圈、衔铁、主轴、支持件等组成。衔铁(拍合式线圈衔铁)的动作,是通过主轴、支持件使开关管动触头作上下垂直的分、合闸动作。

绝缘部件:真空开关管导电部分由绝缘子和绝缘杆对地绝缘,真空开关管相间由绝缘罩壳绝缘。

为了便于选择,现将国产 10kV 真空断路器与少油断路器在某些方面的技术参数作比较,如表 4-6 所示。

表 4-6 10kV 断路器技术参数比较

断路器型号	真空断路器 ZN2-10	少油断路器 SN10-10	少油断路器 SN1-10
主要参数	10kV, 600A, 200MVA	10kV, 600A, 300MVA	10kV, 600A, 200MVA
断路器本体体积(m ³)	0.19	0.29	0.74
断路器及操作机构质量(kg)	75	145	190
电磁操作机构合闸电压、电流	220V, 40A	220V, 102A	220V, 86A
带负载允许操作次数	10000 次	几十次	几十次

(二)真空断路器的使用和维修

1. 监视真空开关管

真空断路器在运行中,应当随时监视开关管。如果发现开关管中触头未接通或仅有一个触头带电时,而且开关管内壁有红色或乳白色辉光出现,就表明管内真空度已降低,不能够继续使用,应当立即更换。

2. 定期加润滑油

应经常检查断路器的操作机构分、合闸部分的磨损情况,如有异常,应及时维修。机构的传动部分应定期加润滑油。

3. 触头行程的调整

触头行程和超行程的调整,可参见图 4-24(c),按以下步骤进行。

(1)在合闸位置时,调整三相拐臂 10 两端 A、B 两轴销的中心位置,相差应为 6mm,然后调节调整螺钉 20,使三相超行程为 3^{+1} mm,并测得 x_2 值记下。

(2)在分闸位置时,同理按上述步骤,测得 x_1 值,三相行程应为 $x_1 - x_2$ 值。

若三相行程均在 $12 \pm 1\text{mm}$ 范围内,而且三相行程的误差小于 1.5mm ,说明行程已调整完毕,则可拧紧各部分螺母。

若三相行程误差值相差较小(如小于 1mm),而三相行程均大于 13mm 或均小于 11mm ,则可以增加或减少主轴缓冲器的垫圈来予以调整行程误差值。

若三相行程的误差值相差较大(如大于 2mm),则应将相差较大一相的拐臂卸下,用可调螺钉旋入或旋出动触杆来减少或增加行程。但此时超行程会相应地增大或减少,这时可重新调节可调螺钉,使超行程为 3^{+1}mm 即可。

4. 真空开关管的更换

更换开关管可按下列顺序进行。

(1)在使用真空开关管的过程中,其真空度是否下降,是否需要更换,目前还不能直接检查,只能用工频耐压试验间接检查。对于 10kV 的真空断路器,一般在其触头断口间加 38kV 的工频电压(1min),管内若无闪络现象发生就没有问题。如有闪络现象发生,说明真空度已下降,需要更换真空开关管。

(2)卸下开关管。在卸下开关管以前,先卸下断路器的连接母线、绝缘拉杆和绝缘加强件,然后卸下开关管动端的可调螺钉、拐臂的连接轴、导电夹、导电套和静端的 4 个固定螺钉,再卸下开关管。

(3)装上新的开关管。首先将开关管的动、静触杆插入导电套中,并将静端固定在支架上。然后固定导电套和导电夹,使动触杆处于波纹管的中心,以免波纹管受侧向应力。这时用手拉动动触杆应活动灵活,无阻滞现象。如果上述要求不能达到时,可在静端与上支架之间或导电套与支持件间垫以少量薄铜片加以调整。然后拧上可调螺钉,并用轴与拐臂连接起来,并连接绝缘拉杆和绝缘的加强杆。最后接上断路器的连接母线。

5. 采取限制过电压措施

真空断路器切断小电感电流时,载流值较高,特别是切断小容量高压电动机的空载电流时,会产生较高的操作过电压。例如 $\text{ZN3}-10$ 型真空断路器切断 3kV 、 200kW 鼠笼感应电动机的空载电流时,对地过电压的平均值达相电压的 1.75 倍,而最高值达相电压的 3.33 倍。因此,对于切断容量较大的高压电动机,真空断路器应采取限制过电压的措施。

(三)真空断路器的优缺点和发展方向

真空断路器的优缺点是:①触头开距(10kV 断路器开距为 $12 \sim 16\text{mm}$)小,动作快;②燃弧时间短,触头烧伤轻;③体积小,重量轻;④维修工作量小;⑤防火防爆;⑥操作噪音小;⑦适合于频繁操作,特别适合于断开容性负载电流电路;⑧价格比其它同容量的断路

器贵。

真空断路器目前主要用于频繁操作(如控制高压电动机、电弧炼钢炉)和故障较多的配电系统,也用于切合并联电容器组、大型无线电发射台、地下变电所(或地下配电室)及高大建筑物的配电室等场所。

随着这种断路器在触头结构方面采用了磁吹触头(开断 10kA 以上的电流),故吹弧方向分为横吹和纵吹两种,触头的开距将随开断容量增大而增加。此外,为了保证屏蔽罩的冷凝效果,它必须有足够大的热容量和良好的散热条件,所以要选用导热性能好,并对金属蒸气视合力较强的金属材料,如无氧铜镍、不锈钢等。真空断路器由于采用了上述新技术,其应用范围也愈来愈广。

(四) ZW10/400-6.3 型柱上真空开关组合电器

ZW10/400-6.3 型柱上真空开关组合电器是 10kV,额定电流为 400A,额定开断电流为 6.3kA 的组合式三相户外负荷开关。它主要用作 10kV 架空线路的带负荷操作、过载及短路保护和配电网保护等,尤其适用于户外电容器组的切、合操作。

该开关装在电杆上,用钩棒和绳索在地面上进行操作,它有手动储能、手动合闸、手动脱扣和过电流脱扣等功能。

ZW10/400-6.3 型开关的结构如图 4-25 所示。它以真空断路器为主体,附设电流互感器 1,隔离开关插头座 2。断路器与隔离开关之间有连锁装置 11,当断路器与隔离开关同时处于合闸位置时,隔离开关处于扣锁状态,隔离开关不能分闸。当断路器单独处于合闸位置,隔离开关处于分闸扣锁状态时,隔离开关不能合闸,但是隔离开关不论处于什么位置,断路器都能自由分、合闸。隔离开关刀口由内装电流互感器 1 的绝缘瓷柱 13 支持,瓷柱可绕下部支点转动。电流互感器为贯穿式,由环氧树脂浇注而成,插入瓷柱内,为防止光线照射引起老化,由等电位的金属罩屏蔽光线。

弹簧机构壳体内装有分闸弹簧 8,触头压力弹簧 9 和传动主轴 10。真空断路器装于弹簧机构的壳体上,由三相联轴通过绝缘杆带动真空灭弧室 3 进行分、合闸。真空灭弧室 3 用瓷套 4 密封,以防雨和起外绝缘作用,内充干燥的石英粉以防凝露。灭弧室导电杆通过滑动触指 5、导电板、隔离开关插头座 2,进行电流的接通和分断。

ZW10/400-6.3 型柱上真空开关组合电器的接线,如图 4-26 所示,专用电流互感器变比为 600/5 和 300/5 两种。

四、SF₆ 断路器

SF₆ 断路器是利用 SF₆(六氟化硫)气体作为绝缘介质和灭弧介质的断路器。

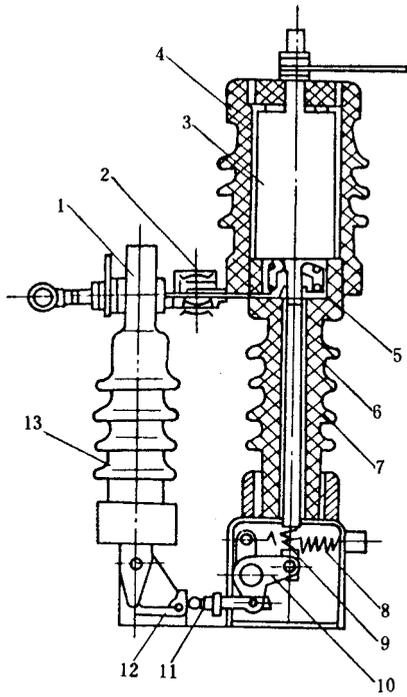


图 4-25 ZW10/400-6.3 型柱上真空开关组合电器结构图

- 1—电流互感器 2—隔离开关插头座 3—真空灭弧室 4—瓷套 5—滑动触指；
6—绝缘拉杆 7—断路器绝缘支柱 8—分闸弹簧 9—触头压力弹簧 10—传动主轴；
11—连锁装置 12—隔离开关机构 13—电流互感器绝缘瓷柱

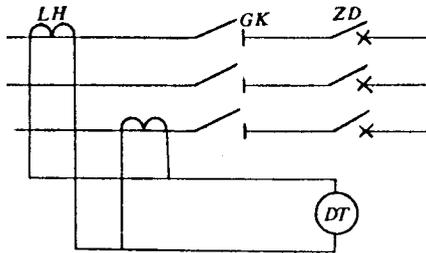


图 4-26 ZW10/400-6.3 型柱上真空开关组合电器接线

ZD—真空断路器；GK—隔离开关；LH—电流互感器；DT—分闸电磁铁

SF_6 气体是无色、无臭、不燃烧、无毒的惰性气体，它的比重是空气的 5.1 倍。 SF_6 的分子有特殊性能，它能在电弧间隙的游离气体中吸附自由电子，在分子直径很大的 SF_6 气体中，电子的自由行程是不大的，在同样的电场强度下产生碰撞游离的机会减少了，因此 SF_6 气体有其优异的绝缘及灭弧能力，与普通空气相比，它的绝缘能力约高 2.5 ~ 3

倍,灭弧能力则高近百倍。因此采用 SF_6 作电气设备的绝缘介质或灭弧介质,既可以大大缩小电气设备的外形尺寸,又可以利用简单的灭弧结构达到很大的开断能力。此外,电弧在 SF_6 中燃烧时,电弧电压特别低,燃弧时间短,因而 SF_6 断路器每次开断后触头烧损很轻微,不仅适用于频繁操作,同时也延长了检修周期。因此 SF_6 断路器发展速度很快。 SF_6 的缺点是它的电气性能受电场均匀程度及水份等杂质影响特别大,因此对 SF_6 断路器的密封结构、元件结构及 SF_6 本身质量的要求相当严格。

LN2-10/1250-25 型户内 SF_6 断路器是一种具有开断性能好、燃弧时间短、不重燃、电寿命长、可频繁操作、机械可靠性高以及检修周期长等特点。可供 10kV 配电网作为保护和控制电气设备,并可以作为联络断路器,还可以装在 10kV 固定式和手车式开关柜内。

LN2-10/1250-25 型 SF_6 断路器的结构是三极装在一个箱底上,内部相通(见图 4-27),箱内有 1 根三相联动轴,通过 3 个主拐臂,3 个绝缘拉杆操动导电杆。每极分为上下两个绝缘筒,构成断口和对地的外绝缘,内绝缘则用 SF_6 气体。LN2-10/1250-25 型 SF_6 断路器的结构如图 4-28 所示。

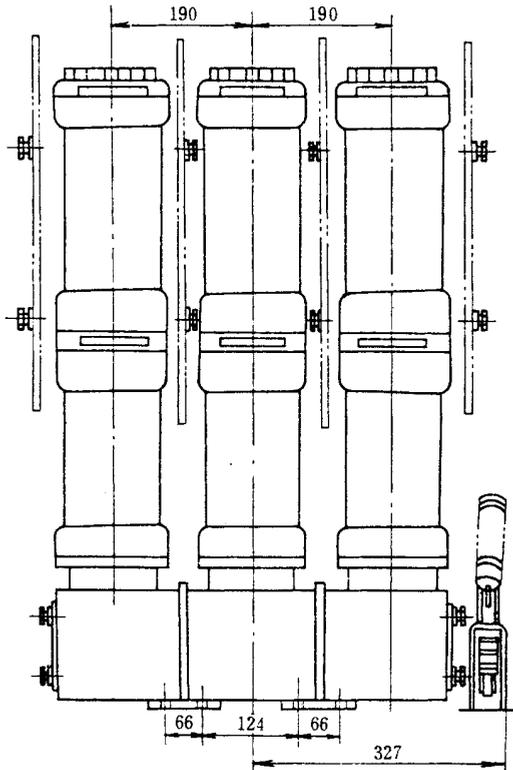


图 4-27 LN2-10/1250-25 型 SF_6 断路器外形图

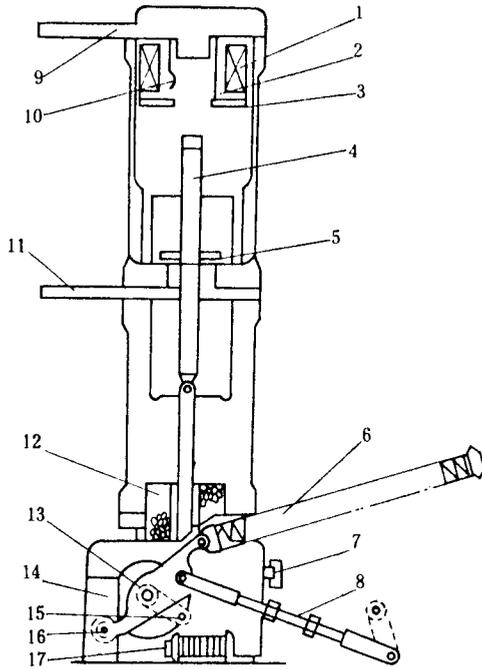


图 4-28 LN2-10/1250-25 型 SF₆ 断路器结构示意图

- 1—线圈 2—弧触指 3—环形电极 4—动触头(导电杆) 5—磁吹装置；
6—分闸弹簧 7—自封阀盖 8—推杆 9—上接线座 10—静触指 11—下接线座；
12—吸附器 13—主轴 14—分闸缓冲 15—主拐臂 16—拐臂 17—合闸缓冲

合闸时,在弹簧机构操动下,推杆 8 使主轴 13 作逆时针转动,通过主拐臂 15,使导电杆 4 向上运动,直到拐臂 16 上的滚子撞上合闸缓冲器为止。分闸时,在分闸弹簧 6 作用下,主轴 13 作顺时针转动,从而使导电杆向下运动,直到拐臂 16 上的滚子撞上分闸缓冲器为止。

在上接线座 9 和下接线座 11 中,既有普通的静触指 10,又有镶有铜钨合金的弧触指 2。动触头 4 的顶端也装有铜钨合金,提高断路器的电寿命。

分闸时动触头 4 向下移动,电弧在动静触头的弧触指 2 之间起弧,随之电弧就从弧触指转移至环形电极 3 上,然后电弧电流通过环形电极流过线圈,产生磁场,磁场和电弧电流相互作用,使电弧旋转,同时加热气体,待气体升压到一定压力,在喷口就形成气流,将电弧冷却;当介质强度恢复足够时,电弧在电流过零时熄灭,这种灭弧过程称为旋弧纵吹灭弧原理或压气原理灭弧。

当开断小电流时,产生的气压可能不够,所以在动触头上装一个小磁吹装置 5。由它

产生的压力升高至吹弧压力,因此在开断大小电流时,它均有较强的灭弧能力和较短的燃弧时间。由于弧柱在触头上旋转,故烧损轻微,使断路器具有开断大小电流最长的燃弧时间都予缩短,并可频繁操作。

LN2-10/1250-25型SF₆断路器技术数据,见表4-7。

表4-7 LN2-10/125D-25型SF₆断路器技术数据

额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)	额定操作顺序	额定关合电流(峰值,kA)	动稳定电流(峰值,kA)	4s热稳定电流(有效值,kA)	热稳定时间(s)	额定失步开断电流(kA)	电寿命(次)	
										开断额定电流次数	开断额定开断电流
10	11.5	1250	25	分—0.3s —合分— 180s—合分	63	63	25	4	6.5	4000	11

五、断路器的主要技术参数

断路器的工作能力是由许多参数决定的,这些参数对了解断路器的性能,并按要求选择合适的断路器是很重要的。国家标准规定的技术参数一般都标于断路器的产品铭牌上,下面就对一些主要技术参数加以介绍。

1. 额定电压

断路器的额定电压是指允许连续工作的线电压,也即标在铭牌上的额定电压。断路器可以在低于额定电压下工作,但不能在高于额定电压下工作。断路器的额定电压是由断路器的绝缘尺寸和灭弧能力所决定的。对于用在配电网内的断路器,按国家标准规定的额定电压有3.6和10kV等。

2. 最高工作电压

由于考虑到电网的电压降落,变压器出口端电压应高于线路的额定电压,位于变压器出口位置的断路器可能在高于额定电压下长期工作,因此规定断路器有一最高工作电压与额定电压相对应。在配电网内,断路器的最高工作电压有3.5、6.9和11.5kV等。

3. 额定电流

额定电流是指断路器中长期允许通过的工作电流,在该电流下各部分的温升不得超过断路器规定的容许数值。国家标准规定断路器的额定电流有30、630、1000、1250、2000和3000A等。

4. 额定开断电流

在额定电压下断路器能安全无损地断开的最大电流(一般是指短路电流),称为额定开断电流。当电压低于额定电压时,容许开断电流可以超过额定开断电流,但不是按电压降低成比例地无限增长,而是有一个极限值。这个极限值是由某一种断路器的灭弧能力和承受内部气体压力的机械强度所决定的,这个极限值为极限开断电流。额定开断电流和极限开断电流的单位都是 kA,国家标准规定有:16、31.5 和 40kA 等,并标在断路器产品铭牌上。

5. 断流容量

断路器在一定电压下的开断电流与该电压的乘积,再乘以 $\sqrt{3}$ 后,所得值即为在该电压下的断流容量。由额定电压和额定开断电流算得的值即为额定断流容量。断流容量表明了在一定电压下的最大断流能力。国家标准规定断路器的断流容量有:15、30、50、100、150、200、250、300、400 和 500MVA 等。

6. 极限通过电流

极限通过电流是指断路器在合闸位置时容许通过的最大短路电流。这个数值是由各导电部分所能承受最大电动力能力所决定的,单位为 kA。

7. 热稳定电流

断路器在合闸位置,在一定时间内通过短路电流时,不会因为发热而造成触头熔焊或机械破坏,这个电流值称为一定时间(如 1s、4s、5s 和 10s 等)的热稳定电流。此电流通过断路器的时间愈短,热稳定电流愈大,但最大不能超过极限通过电流值。

8. 合闸时间

对有操作机构的断路器,自发出合闸信号起,到线路被接通时为止所经过的时间,称为断路器的合闸时间。

9. 开断时间和固有分闸时间

断路器的开断时间是从加上分闸信号起,到三相中电弧完全熄灭时为止所经过的时间。开断时间是由固有分闸时间和电弧燃烧时间两部分组成的。固有分闸时间是指从加上开断信号起,直到触头开始分离时为止的一段时间;电弧燃烧时间是指从触头开始分离起,直到三相中电弧完全熄灭时为止的一段时间。

10. 无电流休止时间

断路器在自动重合闸操作中,从开关各相电弧熄灭起,到任意相电流重新通过时为止的一段时间。

11. 开关触头行程

在断路器操作过程中,开关触头从起始位置到终止位置所走的距离。

12. 开关触头超行程

断路器合闸过程中,动、静触头接触后,动触头继续前进的距离,等于行程与开距之差,称为开关触头超行程。

13. 刚分速度

断路器分闸过程中,动触头在刚分离时的速度。一般刚分速度推荐用刚分后 0.01s 内的平均速度表示。

14. 最大分闸速度

断路器分闸过程中,分闸速度的最大值。

15. 刚合速度

断路器合闸过程中,触头刚接触时动触头所具有的速度。

此外,还有断路器分合闸三相不同期性、油质量和总质量等项技术参数。

六、断路器的选择

(一) 断路器选择的要求和技术条件

1. 断路器选择的要求

如前所述断路器是配电装置中主要的电气设备之一。它不但要接通和开断 1000V 以上高压电路中的正常负载电流,而且在电路发生短路时也要接通和开断电路中的短路电流。为此断路器应有足够的开断能力,尽可能短的动作时间和高度的动作可靠性,并且具有足够的防火和防爆能力。在断路器的结构上也要力求体积小、重量轻、物美价廉,以便于运行操作和检修等。此外,断路器还应能在不调节其机构或更换其部件的情况下,保证所规定的安全操作次数。

2. 断路器选择的技术条件

断路器及其操作机构选择的技术条件有:①额定电压;②额定电流;③频率;④绝缘水平;⑤开断电流;⑥短路关合电流;⑦动稳定电流;⑧热稳定电流和持续时间;⑨操作循环;⑩机械负载;⑪操作次数;⑫分合闸时间;⑬过电压;⑭操作机构形式、操作气压、电压和相数。

对选定的断路器应作使用环境条件的校验,其校验项目有:①环境温度;②日温差;③最大风速;④相对温度;⑤污秽程度;⑥海拔高度;⑦地震烈度。

(二) 断路器的选择方法

1. 断路器的初步选择

断路器的主要技术参数均在它的铭牌上标出,例如 SN 系列少油断路器的铭牌,如图

4-29 所示。现将初步选择断路器的方法叙述如下。

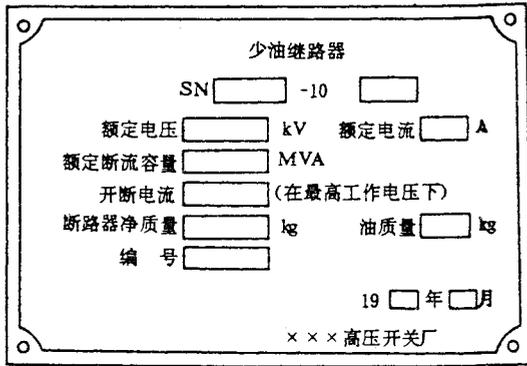


图 4-29 断路器铭牌

(1) 型式选择。3~10kV 配电装置用断路器,户内式一般选用 SN10-10 型;户外式一般选用 DW10-10 型或 DW11-10 型;35kV 户内式一般选用 SN10-35 型。

(2) 按额定电压选择。即根据断路器所在处电网的电压选择。若断路器安置在发电厂和变电所出口处,可按断路器的最高工作电压选择。3、6kV 电网电压可选用额定电压为 10kV 的断路器,但应考虑开断能力也相应降低。

(3) 按额定电流选择。即按断路器实际工作地点的电网线电流进行选择,选择时应按电网最大运行方式下的工作电流来考虑。

(4) 按使用技术性能来选择。10kV 断路器有多种,虽然均能满足正常负载条件,但各种断路器有它自己的特点。例如,对于处在特别恶劣环境中的户外断路器,可以选择加强绝缘结构或选择高一级的电压。

为了正确选用断路器,下面将各种 10kV 断路器的特点归纳如下。

少油断路器:①对地绝缘主要依靠固体介质;②结构比较简单,制造比较方便;③开断电流大,开断时间短,可以开断空载长线路,易于维护,噪音小;④只适用于户内,灭弧室油易劣化,需要一套油处理装置。除此之外,少油断路器的断流容量与操作机构的型式有关,当配置电磁操作机构或弹簧储能操作机构时,其断流容量可取额定值。如果配置手力操作机构,其断流容量应适当降低,如 SN10-10 型少油断路器当配置手动操作机构时,其开断电流不应大于 6kA。

多油断路器:①触头系统和灭弧用油装在接地的油箱中,主要用油作为对地绝缘介质;②结构简单,制造方便,运行经验较多,易于维护,噪音小,既可用于户外柱上也可用于成套配电装置;③额定电流不易过大,一般开断小电流时,燃弧时间长,动作速度慢,和

少油断路器一样需要油处理装置。

真空断路器 ①体积小,重量轻,能进行频繁操作,开断电容电流性能好,可连续多次重合闸;②运行维护简单,无爆炸可能,噪音小;③灭弧室工艺及材料要求较高,而且断口电压不易太高,因此目前只能制作额定电压为 10kV 的断路器。

SF₆ 断路器 这种断路器是近年来发展起来的新产品,它具有 ①开断性能好;②燃弧时间短;③不重燃;④可频繁操作;⑤机械可靠性高;⑥电寿命长;⑦无火灾和爆炸危险;⑧可开断异相接地故障;⑨可投切电容器组;⑩可控制高压电动机等优点,是全国统一设计的产品。

2. 断路器的校验

初步选择断路器后,要根据三相短路电流来校验断路器的动稳定、热稳定和断流能力。必须指出,在确定短路电流时,应考虑取用流过断路器的最大三相短路电流值。

(1) 断路器的动稳定校验。当短路冲击电流 i_{cj} 通过断路器时,在断路器内部不应产生妨碍继续正确工作的任何永久变形,我们就认为这台断路器在电动方面是稳定的。此外,当冲击电流 i_{cj} 流过时,断路器的触头也不应熔接。

通常断路器的动稳定是由制造厂提供的允许极限通过电流的有效值 I_{cj} 和峰值 i_{cj} 来表示。选用断路器时,必须满足下列条件

$$I_{dw} \geq I_{cj}^{(3)} \quad \text{或} \quad i_{dw} \geq i_{cj}^{(3)} \quad (4-1)$$

即断路器允许的动稳定电流 (I_{dw}) 不小于流过断路器的最大三相短路冲击电流 ($I_{cj}^{(3)}$)。

(2) 断路器的热稳定校验。当短路电流通过断路器时(这电流是在指定时间 t 内不使断路器各部分加热到短时最高允许温度的电流),所发出的热量不应大于 t 时间内由热稳定电流 I_{rw} 所发出的热量,在工程上常用稳态短路电流 I_{∞} 在一假想时间 t_j 内所发出的等效热量来代替。这样,热稳定的条件可用下式表示,即

$$I_{rw}^2 t \leq I_{\infty}^2 t_j \quad (4-2)$$

式中 I_{rw} ——制造厂规定的热稳定电流;

t ——制造厂规定的热稳定电流时间;

I_{∞} ——稳态短路电流;

t_j ——假想时间。

为了计算方便,应将假想时间分为 t_{jz} 和 t_{jz} 两部分,即

$$t_j = t_{jz} + t_{jz} \quad (4-3)$$

式中 t_{jz} ——短路电流周期分量的假想时间;

t_{jz} ——短路电流非周期分量的假想时间。

周期分量的假想时间 t_{jz} 与实际切除短路故障的时间 t 及次暂态电流的有效值和稳态短路电流的有效值比值 $\beta'' = \frac{I''}{I_\infty}$ 有关,即

$$t_{jz} = f(\beta'', t) \quad (4-4)$$

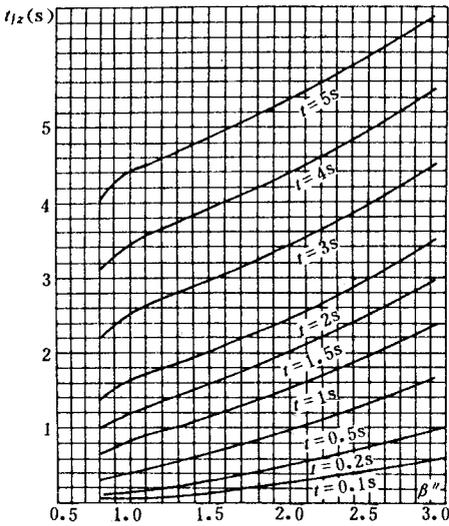
比值 β'' 愈大,假想时间也愈长。在发电机未装设自动电压调整器时, t_{jz} 常大于 t ; 有自动电压调整器时, t_{jz} 可能大于或小于 t , 也可能等于 t , 依 β'' 值大小而异。

图 4-30(a) 和 (b) 是按不同的 t 和 β'' 值画出的 t_{jz} 曲线, 并假定暂态过程的延续时间为 5s。如 $t > 5s$, 则

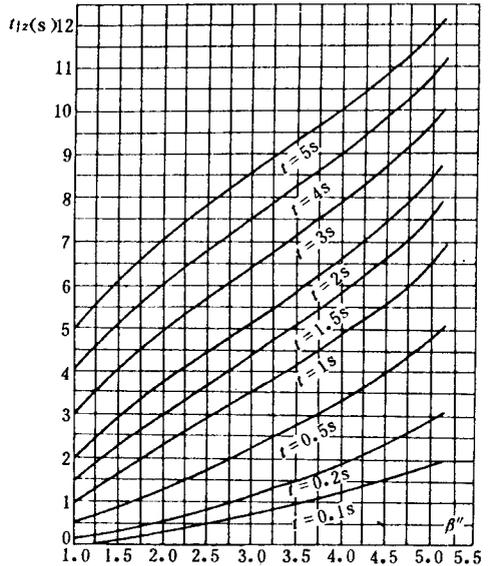
$$t_{jz} = t_{jz}(5s) + (t - 5) \quad (4-5)$$

式中 $t_{jz}(5s)$ —— $t = 5s$ 的假想时间, 可由曲线(见图 4-30)查得。

如 $I'' = I_\infty$ 则 $t_{jz} = t$, 由 t 及 β'' 值, 即可从曲线查出对应的假想时间 t_{jz} 。



(a)



(b)

图 4-30 短路电流周期分量的假想时间曲线

(a) 有自动电压调整器时 (b) 无自动电压调整器时

非周期分量的假想时间按下式求得

$$t_{jz} = \tau (\beta'')^2 \quad (4-6)$$

式中 τ ——非周期分量衰减时间常数。在实际计算中,可取 $\tau = 0.05s$ 。

当短路电流通过的实际时间 $t > 1\text{s}$ 时,断路器的发热主要由周期分量决定。因此,在此情况下可不计非周期分量的影响。

(3) 断路器的开断能力校验。初选断路器的允许开断电流或容量,不应小于流过断路器的最大三相短路次暂态值。若将断路器的允许断流能力用额定开断电流 I_{ek} 或额定断流容量 S_{ed} 来表示,则有

$$I_{ek} \geq I_{dt}^{(3)} \quad \text{或} \quad S_{ed} \geq S_{dt} \quad (4-7)$$

式中 $I_{dt}^{(3)}$ ——流过断路器的最大三相短路次暂态电流的有效值;

S_{dt} ——流过断路器的最大三相短路次暂态断路容量。

为了求得任意时间的 $I_{dt}^{(3)}$,必须确定断路器的切断电路的计算时间 t_c 。这个计算时间值为断路器本身的固有动作时间 t_{ed} 和继电保护动作时间 t_{gd} 之和,即

$$t_c = t_{gd} + t_{ed} \quad (4-8)$$

(4) 断路器还应能在最大短路电流下可靠地合闸。要求断路器的额定关合电流,不应小于短路电流最大冲击值。

选择带有自动重合闸装置的断路器时,应考虑其重合闸时断流容量的降低情况,该情况的降低系数一般由制造厂提供。

第三节 断路器的操作机构

一、操作机构的作用及分类

1. 操作机构的作用和要求

断路器的操作机构是用来使断路器合闸、维持在合闸状态和分闸的设备。因此,操作机构包括合闸机构、维持合闸状态的机构(搭钩)和分闸机构。

断路器在运行中发生的事故,很大一部分是由操作机构的故障而引起的,因此必须给予足够的重视。

由于相同的操作机构可能配用不同型号的断路器本体,因此操作机构通常与断路器本体分离,而且有独立的型号。

在工作性能上,断路器操作机构的要求有下列几方面。

(1) 合闸。断路器操作机构在各种规定的使用条件下,均应使断路器可靠地关合线

路。断路器在关合短路过程的最后阶段,操作机构还必须克服某些断路器触头间被击穿后产生的气体压力和短路电流电动力等形成的反作用力。

(2)合闸保持。断路器在合闸完毕后,其操作机构应使触头可靠地保持在合闸位置,并且在短路电动力和振动力作用的情况下,均不引起触头分离。

(3)分闸。断路器操作机构在接到分闸命令后,应快速分闸,并要求操作机构在分闸时尽可能地省力。对于手动机构,要求在合闸过程中的任何位置都可以脱扣分闸。

(4)复位。断路器分闸操作后,其操作机构各部件应能自动(手动机构可经过简单操作)恢复到准备合闸位置。

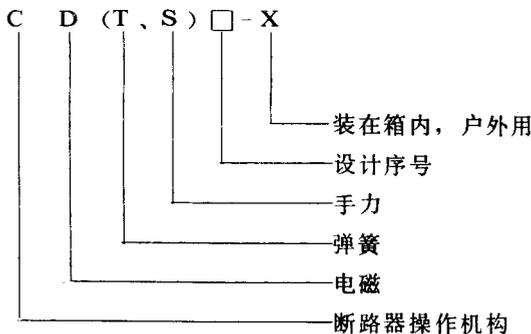
(5)防跳跃。断路器在关合线路过程中,如遇到故障,则应在继电保护作用下会立即分闸,此时可能合闸命令尚未撤除,操作机构可能又立即自动合闸,出现了触头跳跃现象,这种现象是不允许的。因此要求操作机构具有防跳跃措施,避免再次或多次合、分故障线路。

2. 操作机构的分类和特点

根据开关设备对操作机构性能的要求,可以分为断路器操作机构和隔离开关操作机构两大类。负荷开关、接地短路器的操作机构,有的类似于前者,有的类似于后者,因此可归入相应的类别。

断路器的操作机构按其能量来源分可有多种类型,但对配电网中的断路器的操作机构一般可分为:电磁式、弹簧储能式和手动式三种

断路器操作机构的型号含义如下。



按操作机构电源,可分为直流电磁操作机构和交流电磁操作机构两种,即有直流供电和交流供电两种操作机构。它们均是借助于分、合闸线圈产生的电磁力来驱动操作机构的,其供电电压为 110V 和 220V 两种,用来在变电所和配电室内作远距离操作。

为了满足断路器能够分、合电路,迅速切除故障电流及快速重合闸等性能要求,断路

器操作机构的特点是 ①结构较为复杂 ;②操作功率大 ;③传动部分运动速度高 ,动作过程快。而隔离开关本体的传动环节不能承受较大的冲击力 ,故隔离开关操作机构的特点是 ①结构简单 ;②没有脱扣等环节 ,操作功率小 ;③运动速度慢 ,动作时间较长。

二、CD10 型直流电磁操作机构

CD10 型直流电磁操作机构为户内装置 ,系供操作 SN10 - 10 型少油断路器之用。这种机构装有电磁脱扣线圈 ,以保证线路的自动分闸 ,这种电磁脱扣线圈也可供手动脱扣用。该操作机构可以进行电动合闸、电动分闸和手动分闸 ,也可以进行自动重合闸。机构合闸、分闸采用直流电源 ,其控制部分是由外接的 CZO - 40 $\frac{C}{D}$ 型低压直流接触器来完成。机构的表面有铁罩封盖 ,罩的中间有一圆孔 ,指示“分”、“合”位置。

1. 操作机构的结构

CD10 型电磁操作机构(见图 4 - 31)是由合闸机构、分闸机构、自由脱扣装置的传动件、铸铁支架和辅助开关等组成。

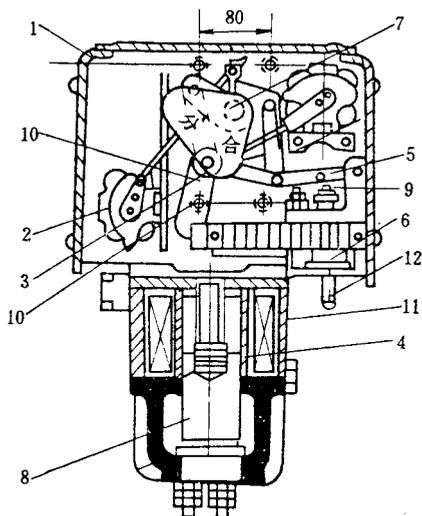


图 4 - 31 CD10 型电磁操作机构结构图

1—支架 2—辅助开关 3—滚轮 4—合闸线圈 ;

5—自由脱扣装置的传动件 6—分闸线圈 7—主轴 8—合闸铁芯及顶杆 ;

9—螺栓 ;10—掣子 ;11—手力合闸装置 ;12—分闸铁芯

合闸机构包括合闸线圈 4、合闸铁芯及顶杆 8 及手力合闸装置 11。

分闸机构包括分闸线圈 6、分闸铁芯 12 及螺栓 9。

自由脱扣装置及传动件包括主轴 7、自由脱扣装置的传动件 5、滚轮 3 及掣子 10。

电磁系统位于操作机构的中部,铸铁支架下面的板和底座的上部分别构成磁路的上、下部分,方形磁轭作为磁路的外围部分,为使合闸线圈内表面不被合闸铁芯擦伤,在合闸线圈与合闸铁芯之间装有一个黄铜圆筒。磁系统的活动部分是由圆柱形铁芯和旋入铁芯内部的顶杆组成,顶杆穿过支架下部的孔来推动操作机构的滚轮进行合闸。为避免电动合闸时,铁芯上升至顶部后,因剩磁作用与支架下面的板粘着不能落下,故在板的下面垫一块黄铜板,并在顶杆上套一压缩弹簧。

自由脱扣机构安装在机构上部的铸铁支架上,是由几对连板组成的四连杆机构,铸铁支架下面的板构成合闸电磁铁磁路的一部分,其右面装有脱扣电磁铁,动铁芯露在外面可用于手力脱扣。铸铁支架的左面和右上侧装有辅助开关,在铸铁支架的前面装有接线板,整个自由脱扣机构、辅助开关及接线板用一个可拆卸的外壳罩住,外壳正面有一个窗孔可以观察表示操作机构位置的指示牌。

底座是一个铸铁件,位于操作机构的下部,它用 4 根螺杆同方形铁轭一起装在操作机构的铸铁支架上,底座内部的下面装有橡皮垫,用以缓和合闸后铁芯落下时的冲击,底座下部装有手力合闸曲柄,可供人力进行合闸操作。

2. 操作机构的动作原理

图 4-32 为操作机构的动作原理图。操作系统由主轴 1、摇臂(拐臂和连杆)2、连板 3、7 和 12、滚轮 5、掣子 4、连板 10 和 11、顶杆 6、脱扣铁芯 9 及螺栓 8 等组成。

合闸时,电磁合闸线圈(见图 4-31)接通电源,动铁芯被吸起,铁芯顶杆 6 顶着滚轮 5 向上运动,在此过程中,轴 O_1 不动,连板 7 绕 O_1 旋转,摇臂 2 由于连板 3 的作用使机构主轴 1 沿顺时针方向旋转(见图 4-32 b)。掣子 4 沿滚轴 O_2 表面滑动并向左转动,在完全合闸后,滚轮 5 即滑至掣子的上端,并与掣子端面暂时构成少许间隙(约在 1~2.5mm 范围内),合闸后,掣子顶住滚轮,维持合闸状态,如图 4-32 c)所示。合闸后螺栓 8 阻止连板 10 和 11 向下移动,此时合闸线路的电路因 F4-2 II/W 型辅助开关作用而断开,合闸铁芯就落到底座的橡皮垫上,如图 4-32 d)所示。

分闸时,脱扣线圈通电,脱扣铁芯 9 被吸起,其上端冲击连板 10,于是连板 10 和 11 离开死点,暂时固定的轴 O_1 失去平衡,向右运动,摇臂 2 和连板 3、7 和 12 开始移动,从此操作机构在断路器分闸弹簧的作用下分闸。操作机构在分闸过程(见图 4-32 e)中,轴 O_2 离开掣子 4 顶端向下降落,直到掣子的凹口中时止。这时脱扣线圈电路立即被 F4-2 II/W 型辅助开关切断,脱扣铁芯下落,并使连板 10 和 11 在扭簧的作用下回到原来位置,机构复位,如图 4-32 a)所示。

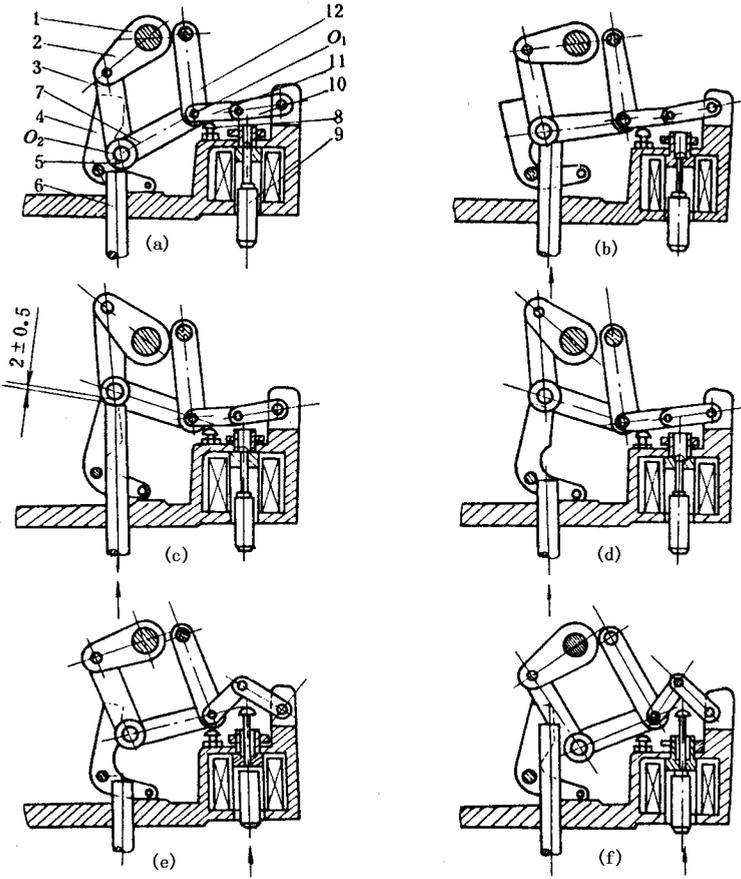


图 4-32 CD10 型操作机构的动作原理图

(a)准备合闸前的分闸位置 (b)合闸过程 (c)合闸位置(铁芯未落下);

(d)已合闸位置 (e)合闸过程中 (f)自由脱扣状态

1—主轴 2—摇臂 3、7、10、11、12—连板 4—掣子 5—滚轮;

6—顶杆 8—螺栓 9—脱扣铁芯

在断路器分闸过程中,轴 O_2 自支肘上脱开并向下冲至支肘的内凹缺口中,回到原来的位置。当轴 O_2 尚未到达指示器“分”的位置,由于支肘的机械特性,不能作合闸动作。只有当机构完全停留在“分”的位置时,才能作第二次合闸动作。

如果合闸时电网处于短路状态,则当顶杆 6 还在上面位置时,也会发生自动断开的作用,因为当脱扣铁芯 9 的冲击杆作用在连板 10 和 11 上,使轴 O_1 向右移动,滚轮 5 从顶杆 6 的顶部落下,因此保证了操作机构运动部分的可动性,实现了自由脱扣的作用,自由脱扣使断路器在接通短路时能迅速分闸。

采用手动合闸时,用套在手力合闸装置 11(见图 4-31)上的管子转动操作柄,与此同时使合闸铁芯 1 上升,于是断路器合闸。一般情况下该操作机构不使用手力合闸装置,只有在安装或检修时,对操作机构和断路器作试验和调整的情况下,才采用手力合闸装置。而运行中用手力使断路器合闸接通是绝对不允许的。

3. 操作机构的控制回路

图 4-33 为 CD10 型电磁操作机构控制回路实际接线图,其原理接线图如图 4-34 所示。电路由直流电源经电缆接至控制回路。接线图上各元件为油断路器处于合闸位置。

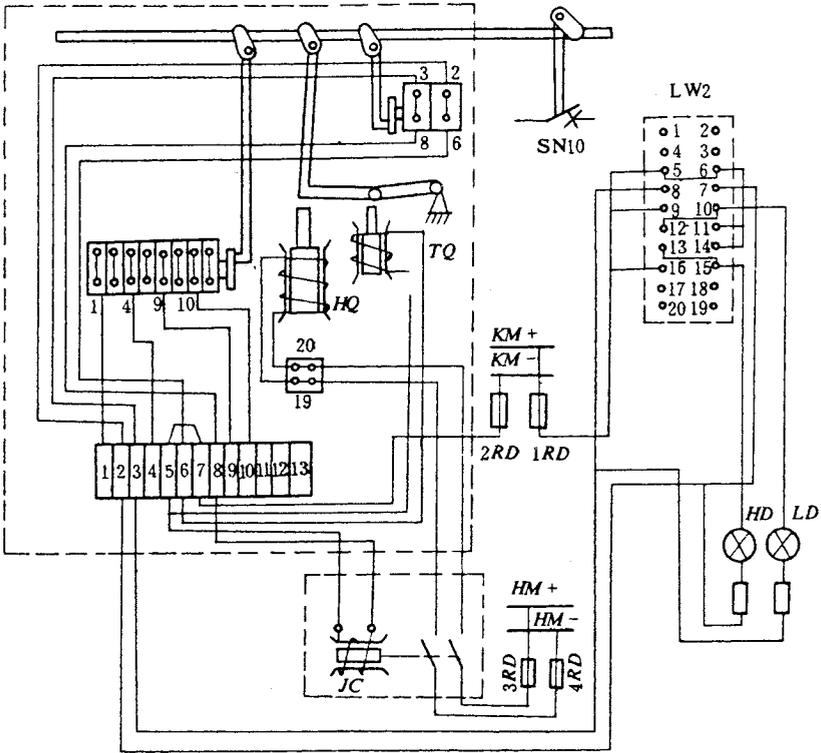


图 4-33 CD10 型操作机构控制回路实际接线图

SN10—断路器 ;LW2—万能转换开关 ;HQ—合闸电磁铁 ;TQ—跳闸电磁铁 ;HD—红色指示灯 ;
LD—绿色指示灯 ;JC—接触器 ;KM—控制小母线 ;HM—合闸母线

控制回路是通过 F2 型辅助开关进行分、合闸的,当完成动作后,自动停止供给合闸及分闸电磁铁电源。信号设备回路是通过 F2 型辅助开关在断路器合闸时,一个触点闭合,另一个触点断开。这样操作机构本身需要有 4 根连接辅助开关的电路,其余的电路根据需要选用。

表 4-8 CD10 型操作机构的主要技术数据

项 目	机 构 型 号		CD10 I		CD10 II		CD10 III
	所配断路器型号		SN10-10 I / 630-16 / 1000	SN10-10 II / 1000-31.5	SN10-35 / 1250-16	SN10-10 III / 1250-43.3	SN10-10 III / 3000-43.3
220V	电流 (A)	98			120		147
合闸线圈	电阻 (Ω)	2.22 ± 0.18			1.82 ± 0.15		1.5 ± 0.12
110V	电流 (A)	196			240		294
合闸线圈	电阻 (Ω)	0.56 ± 0.05			0.46 ± 0.04		0.38 ± 0.03
110V	电流 (A)				5		
分闸线圈	电阻 (Ω)				22 ± 1.1		
220V	电流 (A)				2.5		
分闸线圈	电阻 (Ω)				88 ± 4.4		
24V	电流 (A)				37		
分闸线圈	电阻 (Ω)				0.65 ± 0.03		
48V	电流 (A)				18.5		
分闸线圈	电阻 (Ω)				2.6 ± 0.13		

注 表内电阻均为20℃时的值。

三、CT8 型弹簧储能操作机构

CT8 型弹簧储能操作机构是户内型电动机或人力储能弹簧机构,供操作 SN10-10 型少油断路器用,CT8 I 型是具有电动机储能和人力储能的机构,CT8 II 型是只有人力储能的机构。

CT8 型弹簧操作机构同时具有手动按钮和电动(电磁铁)合闸操作两种方式。在分闸操作中,它具有:①用手动按钮操作和用独立电源供电的分闸电磁铁操作;②用手动按钮操作和用过电流脱扣器操作;③用手动按钮操作与过电流脱扣器操作和独立电源供电的分闸电磁铁操作;④用手动按钮操作及过电流脱扣器操作和欠电压脱扣器操作等 4 种方式。

CT8 型弹簧储能式操作机构是由储能、合闸、分闸三部分组成。图 4-35 为 CT8 III 型弹簧储能操作机构的结构图,该机构是由辅助开关 1、储能电机 2、半轴 3、驱动棘爪 4、

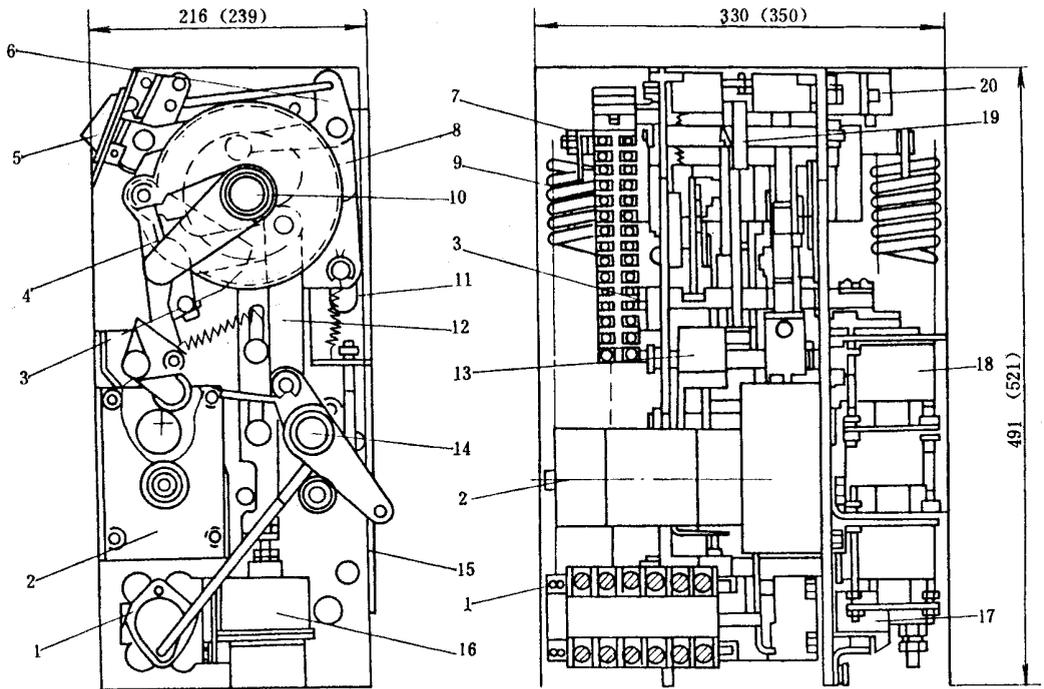


图 4-35 CT8 III 型弹簧储能操作机构结构图

- 1—辅助开关 2—储能电机 3—半轴 4—驱动棘爪 5—按钮 6—定位件 7—接线端子 8—保持棘爪 9—合闸弹簧 10—储能轴 11—合闸连锁板 12—连杆 13—分、合指示牌 14—输出轴 15—角钢 16—合闸电磁铁 17—欠电压脱扣器 18—过电流脱扣器及分闸电磁铁 19—储能指示 20—行程开关

按钮 5、定位件 6、接线端子 7、保持棘爪 8、合闸弹簧 9、储能轴 10、合闸连锁板 11、连杆 12、分合指示牌 13、输出轴 14、角钢 15、合闸电磁铁 16、欠电压脱扣器 17、过电流脱扣器及分闸电磁铁 18、储能指示 19、行程开关 20 等组成。

1. 储能部分的动作原理

图 4-36 CT8 III 型操作机构储能部分的动作示意图。由电动机或人力储能手柄带动偏心轮 1 顺时针转动,通过紧靠在偏心轮上的滚轮 2 推动操作块 3 作左右摆动,从而带动驱动棘爪 5 上下摆动,推动棘轮 7 按顺时针方向转动。由于棘轮与储能轴 11 是空套的,因此储能开始由电动机只带动棘轮作空转,当转到固定在棘轮上的销 12 与固定在储能轴 11 上的驱动板 10 靠着后,棘轮就通过驱动板带动储能轴作顺时针方向转动。挂簧拐

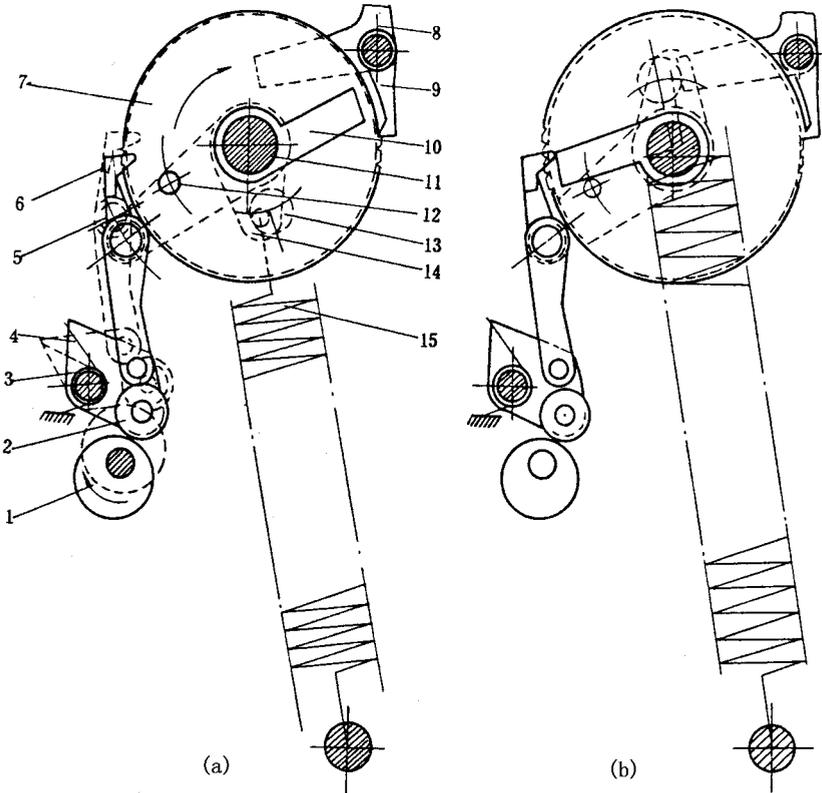


图 4-36 CT8 III 型操作机构储能部分的动作示意图

(a)合闸弹簧处于未储能位置 (b)合闸弹簧处于已储能位置

1—偏心轮 2—滚轮 3—操动块 4—操动块复位弹簧 5—驱动棘爪 6—靠板;
7—棘轮 8—定位件 9—保持棘爪 10—驱动板 11—储能轴 12—销 13—滚轮;
14—挂簧拐臂 15—合闸弹簧

臂 14 与储能轴是键连接,储能轴的转动带动挂簧、拐臂也作顺时针方向转动,将合闸弹簧拉长储能。

当合闸弹簧拉到最长位置再向前转一点(约 3°) 固定在与储能轴键连接的凸轮上的滚轮 13 就靠紧在定位件 8 上,将合闸弹簧的储能状态维持住,储能动作就到此结束。

当合闸弹簧拉到最长位置的同时,一方面挂簧拐臂推动行程开关切断储能电动机的电源,另一方面驱动板通过驱动棘爪上的靠板 6,将驱动棘爪抬起,保证驱动棘爪与棘轮可靠脱离。

2. 合闸操作部分的动作原理

图 4-37 是为 CT8 III 型操作机构合闸操作的动作示意图。合闸操作过程如下:

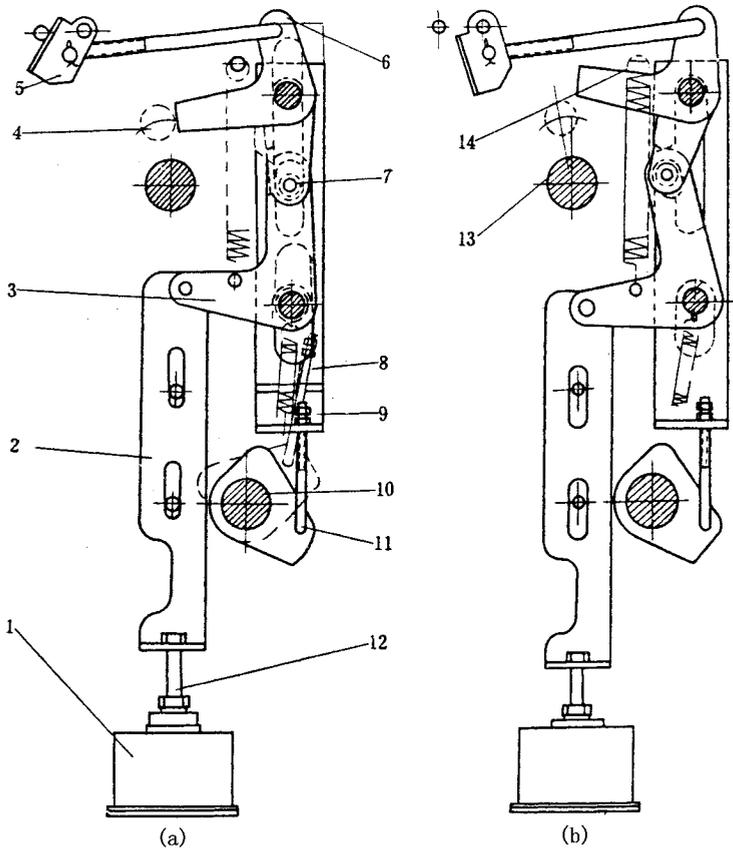


图 4-37 CT8 III 型操作机构合闸操作动作示意图

(a) 机构处于分闸并已储能状态 (b) 表示操作系统实行“合闸操作状态”

1—合闸电磁铁 2—导板 3—杠杆 4—凸轮上的滚轮 5—脱扣板 6—定位件 7—滚子;
8—连锁板 9—复位弹簧 ;10—输出轴 ;11—拉杆 ;12—螺栓 ;13—凸轮 ;14—合闸弹簧

(1)合闸电磁铁操作。机构接到合闸信号后,合闸电磁铁的动铁芯被吸向下运动,并拉着导板2也向下运动,使杠杆3向逆时针方向转动,杠杆3的转动带动固定在定位件6上的滚子7运动,推动定位件顺时针转动,解除储能维持,完成合闸操作。

当操作机构处于合闸位置时,连锁板8被复位弹簧9带动向上运动,连锁板上的槽将滚子7挡住,这样定位件不能作顺时针转动,达到机械连锁的目的,保证操作机构处于合闸位置时不能再实现合闸操作。

(2)手动按钮操作。安装在面板上的合闸按钮往里按动时,推动脱扣板5,通过调节螺杆推动定位件作顺时针转动,完成合闸操作。

(3)凸轮连杆机构的合闸动作,如图4-38所示。当操作机构处于分闸并合闸弹簧已储能的位置时(见图4-36,b),凸轮连杆机构的扇形板4由复位弹簧1拉动,复位到图示位置,半轴2由本身复位弹簧带动复位到图示位置,这时凸轮连杆机构完成了合闸的全部准备动作,一旦接到合闸信号,定位件6抬起,解除储能维持,凸轮5在合闸弹簧带动下向顺时针方向转动,推动滚子7向右下方运动,同时滚子7通过连板3带动扇形板4作顺时针转动,直到扇形板与半轴扣住为止。这时 O_1 受约束不能运动, $O_1、A、B、O_2$ 成为四连杆机构,从动臂 O_2B 在凸轮推动下向逆时针方向转动,通过操作机构与断路器连杆,使断路器合闸,当凸轮转到等圆面上时,便完成了合闸动作,如图4-38(c)所示。

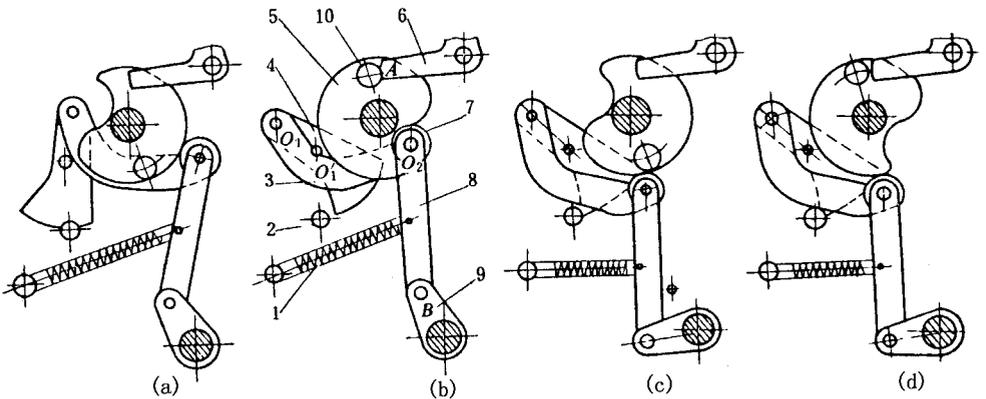


图4-38 凸轮连杆机构动作示意图

(a)处于分闸并合闸弹簧未储能位置 (b)处于分闸并合闸弹簧已储能位置 (c)处于合闸并合闸弹簧已储能位置 (d)处于合闸并合闸弹簧未储能位置

- 1—复位弹簧 2—半轴 3—连板 4—扇形板 5—凸轮 6—定位件;
- 7—滚子 8—连板 9—输出轴 ;10—滚轮

(4) 凸轮连杆机构的重合闸动作。操作机构完成合闸动作后, 凸轮连杆机构处于如图 4-38(c) 所示的位置, 这时机构可以进行储能操作。因凸轮和滚子相连触于凸轮等圆面上, 所以在整个储能过程中, 输出轴始终处于图 4-38(c) 所示的位置, 对断路器合闸位置毫无影响。

储能结束后, 凸轮连杆机构处于如图 4-38(d) 所示的位置。这时如果接到分闸信号并完成分闸动作, 凸轮连杆机构便恢复到图 4-38(b) 所示的位置, 只要接到合闸信号, 便立即完成合闸动作, 实现一次自动重合闸操作。

3. 分闸操作部分的动作原理

图 4-39 为 CT8 III 型操作机构手分按钮分闸操作示意图。手分按钮分闸操作过程如下: 图 4-39 中扇形板 2 与半轴 3 的位置是处于合闸状态; 当用手分按钮推动手分脱扣板 1 时, 半轴向顺时针方向转动; 当半轴转动到一定位置时, 扇形板与半轴的扣接触解除, 扇形板向顺时针方向转动, 完成分闸动作。

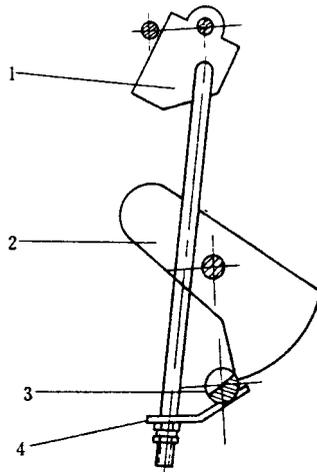


图 4-39 CT8 III 型操作机构手分按钮分闸操作示意图

1—手分脱扣板 2—扇形板 3—半轴 4—脱扣板

图 4-40 为过电流脱扣器和欠电压脱扣器分闸操作示意图, 其分闸电磁铁是由独立电源供电。

(1) 过电流脱扣器分闸操作。过电流脱扣器(或过电流脱扣电磁铁, 由独立电源供电的分闸电磁铁)进行分闸操作过程如下: 在图 4-40(a) 中, 半轴 1 的位置为操作机构处于合闸状态时的位置, 当半轴下方的脱扣器(过电流脱扣器或过电流脱扣电磁铁, 由独立电源供电的分闸电磁铁)中任何一个线圈接到分闸信号时, 该脱扣器的动铁芯 15 就被吸合

向上运动,推动顶杆 16,并通过脱扣板 17 使锁扣 6 向逆时针方向转动,解除锁扣 4 与锁扣 6 的扣接,这样锁扣 4 在弹簧 3 的带动下向逆时针方向转动(见图 4-40 b),解除了半轴对扇形板的约束,完成了分闸动作。

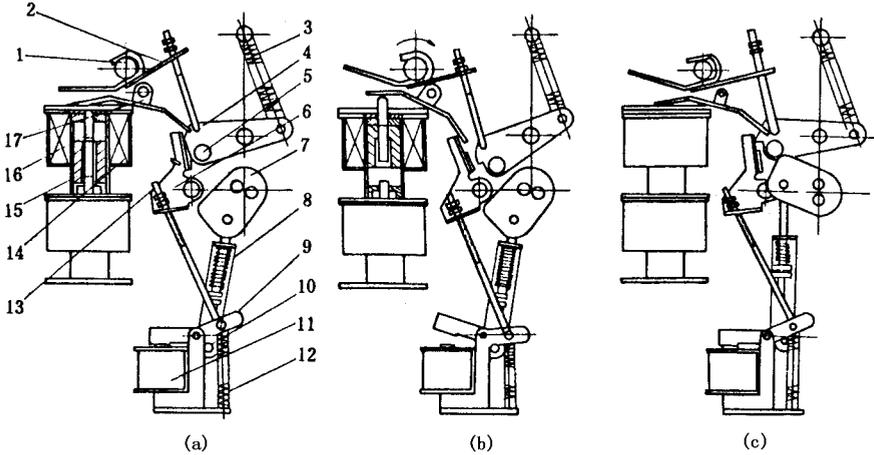


图 4-40 过电流脱扣器和欠电压脱扣器分闸操作示意图

(a)半轴位置处于合闸状态 (b)解除半轴对扇形板约束 (c)恢复吸合状态

1—半轴 2—脱扣板 3—弹簧 4—锁扣 5—滚轮 6—锁扣 7—凸轮板 8—失压复位弹簧 9—失压脱扣器动铁芯 10—销轴 11—失压脱扣器电磁铁 12—失压脱扣器弹簧 13—锁扣复位弹簧 14—脱扣器线圈 15—动铁芯 16—顶杆 17—脱扣板

(2)失压脱扣器分闸操作。失压脱扣器进行分闸操作过程如下:图 4-40(a)为操作机构处于合闸位置,失压脱扣器处于吸合状态时的情况,这时锁扣 4 和锁扣 6 在扣接处扣住,弹簧 3 被拉长,半轴 1 处于合闸位置。一旦失压脱扣器线圈失压或欠压,失压脱扣器动铁芯 9 就被失压脱扣器弹簧 12 拉动,向顺时针方向转动并通过拉杆带动锁扣 6 向逆时针方向转动,解除锁扣 4 和锁扣 6 的扣接,这样锁扣 4 就在弹簧 3 的带动下向逆时针方向转动,通过拉板和脱扣板 2 使半轴 1 向顺时针方向转动(见图 4-40 b),解除了半轴对扇形板的约束,完成了分闸动作。

失压脱扣器的动铁芯 9 和弹簧 3 在完成了分闸操作后不能自行复位,所以在操作机构输出轴上装了一块凸轮板 7。在机构分闸过程中,凸轮板向顺时针方向转动,一方面凸轮板上顶住滚轮 5 将锁扣 4 抬起,使弹簧 3 再拉长,并将锁扣 4 复位到可以与锁扣 6 再行扣接的位置,这时锁扣 6 由其复位弹簧 13 带动到自行扣接的位置。另一方面凸轮板 7 通过失压复位弹簧 8 将销轴 10 拉起,销轴 10 又将失压脱扣器动铁芯 9 恢复到吸合状态,这样就完成了失压脱扣器动铁芯的复位,如图 4-40(c)所示。

在失压脱扣器线圈端头无电压时进行合闸操作,在合闸过程中,凸轮板 7 向逆时针方向转动,销轴 10 向下移动离开动铁芯,失压脱扣器即重复分闸动作,机构实现自由脱扣。

(3) 凸轮连杆机构的分闸动作。合闸动作完成后,一旦接到分闸信号半轴 α (见图 4-38) 在脱扣力的作用下,向顺时针方向转动,半轴对扇形板的约束解除,扇形板在断路器分闸弹簧力的作用下,也向顺时针方向转动,完成分闸动作。

如果在合闸过程中接到分闸信号,半轴和扇形板也同樣向顺时针方向转动,这时 O'_1 不再受约束,四连杆 $O'_1、A、B、O_2$ 变成五连杆 $O_1、O'_1、A、B、O_2$ 。由于五连杆的主动臂和从动臂之间没有确定的运动特性,所以尽管这时凸轮仍在转动,但从动臂 O_2B 不再受凸轮影响,而在断路器分闸弹簧力的作用下完成分闸动作,即实现自由脱扣。

4. 操作机构的辅助开关

操作机构的辅助开关采用由机构输出轴直接带动的传动方式,传动关系见图 4-35。辅助开关选用 F4-12 III 型,有 6 对常开触点和 6 对常闭触点。

5. 操作机构的控制回路

操作机构控制回路的电气原理见图 4-41。当机构处于未储能状态时,行程开关 CK 常闭触点接通,这时如果组合开关 HK 闭合,中间继电器 ZJ_1 线圈接通, ZJ_1 的常开触点闭合,电动机接通电源,合闸弹簧开始储能。储能完成后,行程开关 CK 的常闭触点打开,切断中间继电器 ZJ_1 的线圈电源,从而切断电机电源,使电机停转。行程开关 CK 还装有常开触点,可接储能信号指示用。

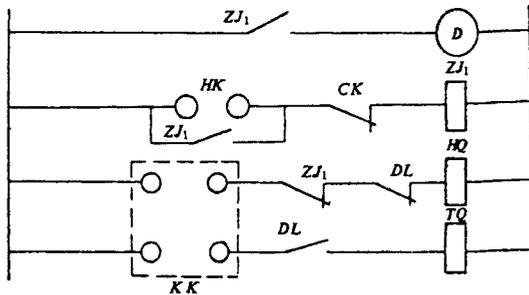


图 4-41 控制回路电气原理接线图

合闸弹簧储能结束后,中间继电器 ZJ_1 常闭触点接通,这时机构如果处于分闸位置,只要控制开关 KK 投向合的位置,合闸电磁铁线圈 HQ 通电,机构进行合闸操作。在合闸过程中辅助开关常闭触点断开,切断合闸电磁铁电源。在合闸弹簧储能过程中,中间

继电器 ZJ_1 的常闭触点打开,这时即使控制开关 KK 投向合的位置,合闸电磁铁线圈 HQ 也不能通电,以避免误操作。操作机构辅助开关 DL 的另一对常开触点可供合闸信号指示用。

操作机构合闸后,辅助开关 DL 的常开触点闭合,这时如果控制开关 KK 投向分的位置,分闸电磁铁线圈 TQ 通电,机构进行分闸操作。分闸完成后,辅助开关常开触点打开,切断分闸电磁铁线圈电源。机构辅助开关的另一组常闭触点可供分闸信号指示用。

6. 操作机构的技术参数

(1) 储能电机。一般采用单相交流、直流两用串激电动机,其技术参数,见表 4-9。

表 4-9 储能电机技术数据

型 号		HDZ-113	HDZ-213	HDZ-313
额定电压(V)		≈110	≈220	~380
额定输入功率(W)		不大于450		
正常工作电压范围		85%~110%额定电压		
额定电压下储能时间 (s)	CT8 I、CT8 II	≤6		
	CT8 III	≤10		

(2) 人力储能操作力。CT8 II 型操作机构采用 300mm 长的储能手柄时,最大操作力小于 200N。

CT8 III 型机构采用 350mm 长的储能手柄时,最大操作力小于 300N。

(3) 合闸电磁铁。采用螺旋管式电磁铁,其技术数据,见表 4-10。

表 4-10 螺旋管式电磁铁技术数据

额定电压(V)	操作机构型号	~110	~220	~380	-48	-110	-220
额定电流 (A)	CT8 I、CT8 II	≥9.5	≥5	≥3	6	2.3	1.2
	CT8 III		≥5	≥3	6.6	6	3.2
额定电功率 (W)	CT8 I	≥1045	≥1100	≥1140	288	253	264
	CT8 I	≥1045	≥1100	≥1140	316	660	704
20℃时线圈电阻值 (Ω)	CT8 I	约 3.65	约 14.7	约 44.6	约 8.1	约 44.6	约 170.5
	CT8 I	约 3.65	约 14.7	约 44.6	约 7.2	约 18.4	约 67.6
正常工作电压范围		85%~110%额定电压					

(4) CT8 型操作机构与 SN10-10 型少油断路器的匹配、动作时间及合闸功,见表 4-11。

表 4-11 CT8 型操作机构与 SN10-10 型少油断路器的匹配、动作时间及合闸功

所配断路器型号		SN10-10 I / 630 - 16 1000	SN10-10 II / 1000 - 31.5 SN10-10 II / 1250 - 40	SN10-10 III / 2000 - 40 3000
项目名称				
合闸时间(s)		不大于 0.15		
分闸时间 (s)	最低操作电压	不大于 0.1	不大于 0.1(主筒)	
	额定操作电压	不大于 0.06	不大于 0.06(主筒)	
	最高操作电压	不大于 0.06	不大于 0.06(主筒)	
合闸功(J)		250	350	

CT12 型弹簧储能式操作机构,用于 LN2 系列户内 SF₆ 断路器进行分、合闸操作。机构合闸弹簧储能方式有电动机储能和手力储能两种。CT12 I 型配合 LN2-10 型 SF₆ 断路器。CT12 II 型配合 LN2-35 型 SF₆ 断路器。

操作机构的合闸操作方式有合闸电磁铁和手动按钮两种,分闸操作机构除手动按钮外,还具有分闸电磁铁(分励脱扣器)、瞬时过流脱扣器及失电压脱扣器,各种脱扣器可根据具体要求选用。

CT12 型弹簧储能操作机构的结构,除合闸弹簧为一根外,CT12 II 型无失压脱扣器,其余的均与 CT8 型操作机构相同。

第四节 隔离开关

隔离开关是一种没有专门灭弧装置的开关设备,所以它不能用来开断负载电流和短路电流。它的触头全部敞露在空气中,所以分闸状态有明显可见的断口。在合闸状态时,能可靠地通过正常工作电流和短路故障电流。它可以满足配电装置在不同接线方式和不同场地条件下达到合理分布,故在配电装置中应用量很大。

一、隔离开关的作用和分类

(一) 隔离开关的作用

1. 隔离电源

利用隔离开关断口的可靠绝缘能力,使需要检修的高压设备或线路与带电的设备或线路隔开,造成一个明显的断开点以保证工作人员安全。如图 4-42 所示,如果要检修

线路,应将断路器 DL 断开,检修线路虽然与母线脱离,但没有明显的断开标志(断路器的触头在油箱里面),这就需要断开隔离开关 $1G$ 和 $2G$,才能得到明显的断开点,使检修线路与母线隔离。

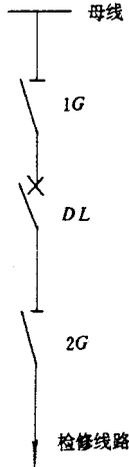


图 4-42 具有隔离开关的接线图

2. 倒换母线

隔离开关断点两端接近等电位的条件下,可以在不断开负载的情况下进行分、合闸。图 4-43 为某些变电所或配电室采用双母线接线,在正常运行时,Ⅰ母线工作,Ⅱ母线备用。工作母线Ⅰ和备用母线Ⅱ利用母线联络断路器 DL_M 连接, DL_M 平时是断开的。当工作母线Ⅰ需要检修时,必须将全部电源和引出线转移到备用母线Ⅱ上工作,这一操作过程称为倒闸操作。在倒闸操作过程中,就利用隔离开关为操作电器,其步骤如下。

(1)合上隔离开关 $3G$ 、 $4G$,再合上母线联络断路器 DL_M ,这时备用母线Ⅱ带电。

(2)依次合上各回路中备用母线侧的母线隔离开关 $1G$ 、 $2G$,再依次断开各回路中工作母线侧的隔离开关 $5G$ 、 $6G$ 等。因为当接通母线联络断路器后,两组母线的电压相同,隔离开关的闸刀和固定触头的电位相等,并不切断电流,所以不会产生电弧,这样操作就没有任何危险。

(3)将母线联络断路器断开,随之断开母线联络断路器两侧的隔离开关 $3G$ 、 $4G$,则工作母线Ⅰ便退出工作,备用母线Ⅱ投入运行。由此可见,隔离开关起了倒换母线的作用。

3. 分、合空载线路

利用隔离开关的断口在分开时将电弧拉长熄灭的原理,可分合一定长度的电缆或架空线路的电容电流,也可分、合一定容量的变压器空载励磁电流,还可分、合电压互感器和阀型

避雷器。对于用隔离开关分、合三相空载变压器的规定是：①电压 3kV，容量在 180kVA 以下；②电压 10kV，容量在 320kVA 以下。对于 10kV 以下高压电容器的分、合容量限制，根据经验不应超过 30kvar；对于分、合电缆线路的分、合容量具体规定数据见表 4-12。

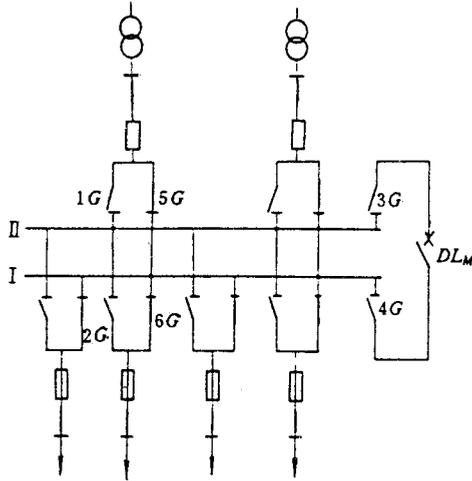


图 4-43 双母线接线

表 4-12 10kV 隔离开关分合空载电缆线路长度

长度 (m)	截面 (mm ²)	3 × 35	3 × 50	3 × 70	3 × 95	3 × 120	3 × 150	3 × 185	3 × 240
开关类型									
室外单相隔离开关		4400	3900	3400	3000	2800	2500	2200	1900
室内三相隔离开关		1500	1500	1200	1200	1000	1000	800	

(二) 隔离开关的分类

- (1) 根据安装地点不同，隔离开关分为户内式和户外式两种；
- (2) 根据极数和相数不同，隔离开关分为单极和三极，单相和三相；
- (3) 根据使用的特性不同，隔离开关分为母线型和穿墙套管型两种。

二、隔离开关与断路器的连锁装置

因为隔离开关不能带负载进行分合闸操作，因此必须利用带连锁装置的机构来保证隔离开关的操作按正确步骤进行。连锁装置的类型很多，这里仅介绍几种较典型、常用的连锁装置。

(一)机械连锁装置

为保证断路器与隔离开关按正确顺序操作,可以在操作机构上加装机械连锁装置。如图4-44所示,断路器的操作机构A与隔离开关的操作机构B、C之间借杠杆2的机械联系起连锁作用。即断路器在合闸位置时,断路器操作机构A的手柄4抵住杠杆2的下端,使与杠杆2上端连接的挡块3凸起。由于在操作机构B、C的固定部分各有一销钉8借弹簧9的作用插入操作机构手柄的孔中,在操作隔离开关前,必须将销钉8自孔中拔出才行。而在断路器处于合闸位置时,挡块3凸起,阻止了销钉8从孔中拔出,所以隔离开关手柄1不能在断路器分闸前拉开,而只有在断路器分闸后,挡块3缩回,才能把销钉8拔出,将隔离开关拉开。

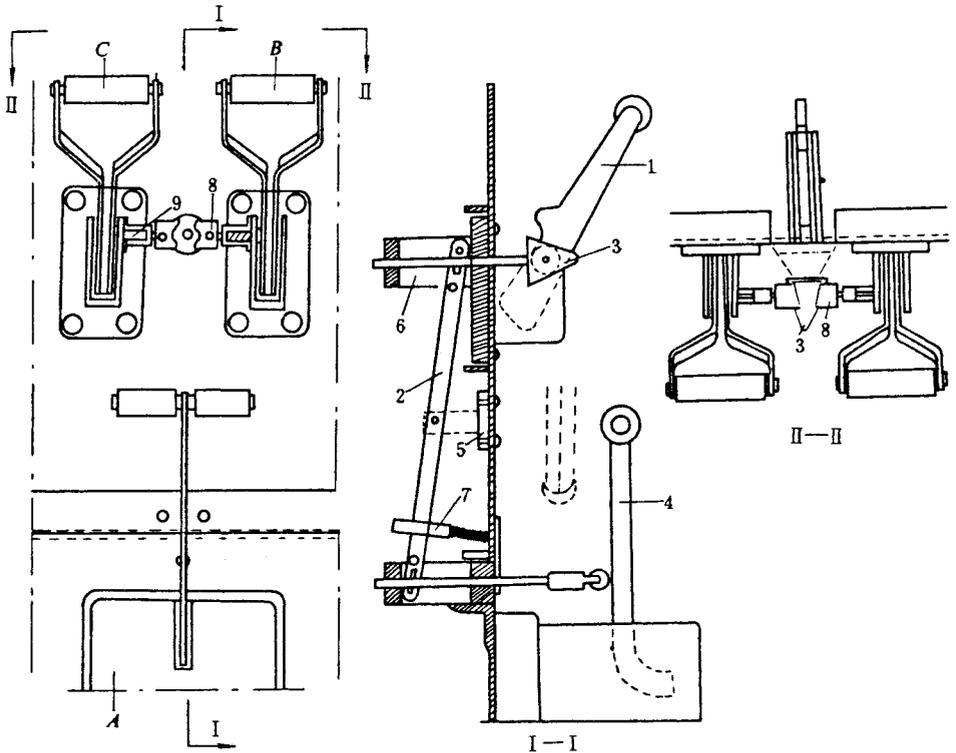


图4-44 机械连锁装置

- 1—隔离开关手柄 2—杠杆 3—挡块 4—断路器操作机构手柄 5—杠杆支点基座；
6—杠杆座 7—隔离开关合闸弹簧 8—销钉 9—弹簧

此外,为了防止不拆除临时接地线而把隔离开关合闸,发生短路故障。可利用在隔离开关操作机构上加装自行车锁的方法,把隔离开关锁在分闸位置上,并把钥匙放在不拆除临时接地线就无法取出的地方,这种简易方法如认真执行,效果较好。

(二)电磁连锁装置

在一些变电所和配电室中,应用电钥匙和电磁锁(即为电磁连锁装置)进行闭锁操作。电磁连锁装置的原理如图4-45所示,电钥匙的结构包括铁芯1、线圈2、插头3和按钮4。电钥匙不固定在任何地方,而电磁锁固定在隔离开关的操作机构上,锁销5插在隔离开关操作柄7的孔中,从而限制了隔离开关的操作。电磁锁的插孔串联于隔离开关的连锁控制回路中,控制回路的常闭触点F是由断路器的位置决定的,当断路器处于跳闸位置时,常闭触点F接通。在将电钥匙插在电磁锁插孔6之后,若断路器处于跳闸位置,显然将电流流过电钥匙的线圈2,于是铁芯1产生的电磁吸力将锁销5吸出,隔离开关的操作手柄可以操作,若是断路器处于合闸位置,则由于触点F是断开的,所以线圈2里无电流,锁销不能拔出,隔离开关也就无法操作,因而起到了连锁作用。这种电磁连锁装置除了结构简单外,它比起机械连锁有着极大的灵活性,因此应用较为广泛。

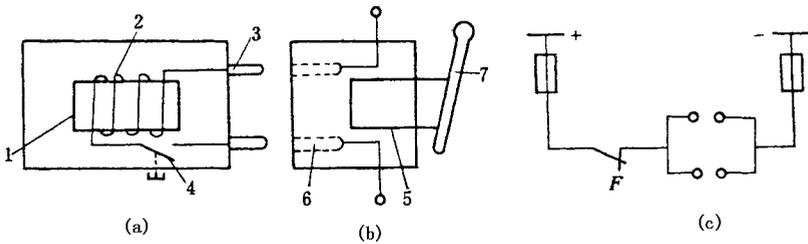


图4-45 电磁连锁装置的原理图

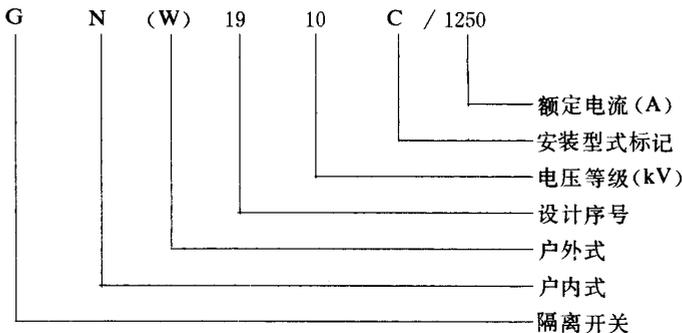
(a)电钥匙 (b)电磁锁 (c)控制回路

1—铁芯 2—线圈 3—插头 4—按钮 5—锁销 6—插孔 7—操作柄

三、隔离开关选择

(一)隔离开关型号

隔离开关的型号含义如下：



国产 GW1 系列户外隔离开关有 GW1 - 6/200 型、GW1 - 6/400 型、GW1 - 10/200 型、GW1 - 10/400 型和 GW1 - 10/600 型五种,都是三极联动,手动操作。由于这种隔离开关的闸刀(动触头)不长,所以没有专门的破冰结构。图 4 - 46 是 GW1 - 6/200 型户外隔离开关的一极示意图,它的结构是由支架 1、固定瓷瓶 2、活动瓷瓶 3、定触头 4、动触头(闸刀)5、传动轴 6 和弧角 7 组成,弧角 7 可起着防止开断小电流时烧损主闸刀的作用。

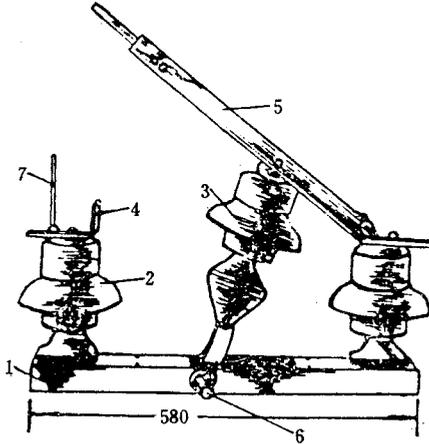


图 4 - 46 GW1 - 6/200 型户外隔离开关的一极示意图

1—支架 2—固定瓷瓶 3—活动瓷瓶 4—定触头 5—动触头 6—传动轴 7—弧角

在国产 GN 系列隔离开关中,其中 GN 6 型为母线式,GN 8 型为穿墙套管式,额定电流有 200、400 和 600A 三种,图 4 - 47 为 GN 6 - 6/400 型户内隔离开关的外形图。

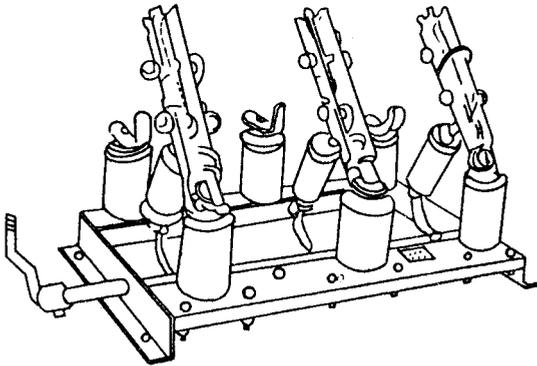


图 4 - 47 GN6 - 6/400 型户内隔离开关的外形图

GN19 系列隔离开关是 10kV 户内式近期生产的产品。额定电流有 1000 和 1250A 两种,其结构特点是每相导电部分通过两个支柱绝缘子固定在底架上,三相平行安装。

每相动触头中间均有拉杆瓷瓶, 拉杆瓷瓶与底架上的主轴相连。主轴通过拐臂与连杆及 CS6-1T 操作机构连接, 以对隔离开关进行操作。图 4-48 为 GN19-10/1000、1250 型隔离开关外形图。

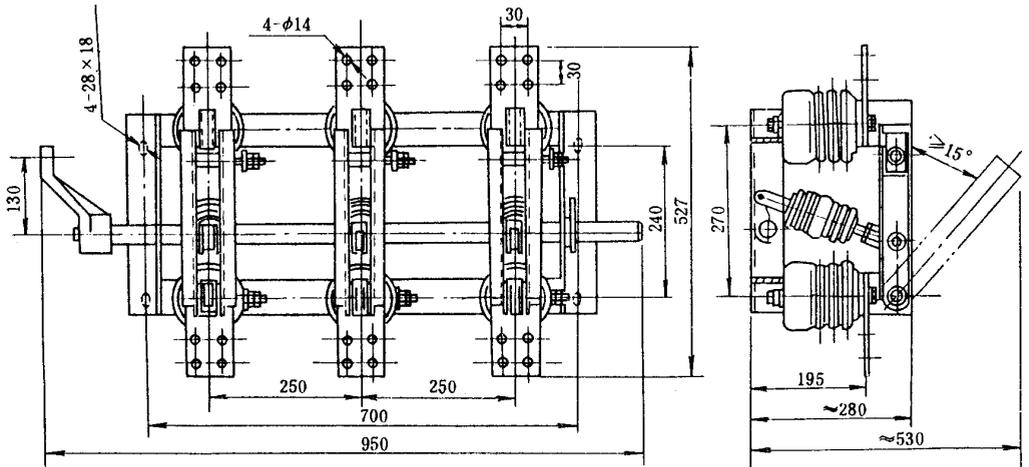


图 4-48 GN19-10/1000、1250 型隔离开关外形图

导电部分主要是由动触头与静触头组成, 静触头装在两端的支柱绝缘子上, 每相动触头由两片槽形铜片组成, 这种动触头不仅增大了动触头的散热面积, 有利于降低温升, 而且提高了动触头的机械强度和开关的动稳定性。动触头的一端通过轴销(螺栓)安装在静触头上, 转动动触头的另一端与静触头成可分连接, 而闸刀与静触头的接触压力靠两端接触弹簧来维持。

GN19-10 型隔离开关为平装型; GN19-10C 型为穿墙套管型; GN19-10C1 型隔离开关为动触头转动侧装套管绝缘子; GN19-10C2 型隔离开关为静触头侧装套管绝缘子; GN19-10C3 型隔离开关为动触头转动侧与静触头侧都装套管绝缘子。

GN19-10/1000、1250 型(见图 4-48)及 GN19-10C/1000、1250 型, 在动触头与静触头接触处安装了磁锁压板。当很大的短路电流通过动触头时, 磁锁压板加强了槽形两片触刀之间的吸引力, 增加了接触压力, 因而提高了开关的动、热稳定性。

(二) 隔离开关技术参数

隔离开关的技术参数一般都标在铭牌上, 它包括: 额定电压、额定电流、极限通过电流和热稳定电流等项目。前两项是按正常条件选择的数据, 极限通过电流是校核隔离开关动稳定性的依据。当通过隔离开关的电流不超过此值时, 在隔离开关的结构上不会产生影响其继续正确工作的任何永久变形; 热稳定电流是用来校验隔离开关的热稳定性, 即通过隔离开关的 $5s$ 热稳定电流不超过此值, 则不致使隔离开关各部分过热。

表 4-13 GN19-10 型户内隔离开关的技术数据表

型号	额定电压 (kV)	最高工作 电压 (kV)	额定电流 (A)	4s热稳定 电流 (有效值, kA)	动稳定 电流 (峰值, kA)	额定绝缘水平		质量 (kg)
						1.2/50 μ s全波冲击电流 相对地、相间和断口间 (峰值, kV)	工频耐压 1 min 相对地、相间和断口间 (有效值, kV)	
GN19-10/400-12.5 GN19-10/630-20	10	11.5	400	12.5	31.5	75	30	27
630			20	50	34			28
GN19-10/1000-31.5 GN19-10/1250-40	10	11.5	1000	31.5	80	85	30	46.8
1250			40	100	34			52
GN19-10C1/400-12.5 GN19-10C1/630-20	10	11.5	400	12.5	31.5	75	30	39
630			20	50	34			40
GN19-10C1/1000-31.5 GN19-10C1/1250-40	10	11.5	1000	31.5	80	85	30	58
1250			40	100	34			70
GN19-10C2/400-12.5 GN19-10C2/630-20	10	11.5	400	12.5	31.5	75	30	39
630			20	50	34			40
GN19-10C2/1000-31.5	10	11.5	1000	31.5	80	85	30	39
GN19-10C2/1250-40 GN19-10C3/400-12.5 GN19-10C3/1250-40	10	11.5	1250	40	100	85	30	70
400			12.5	31.5	34			48
1250			40	100	34			88
GN19-10/600-40G GN19-10/600-40G	10	11.5	600	16		85	30	70
600			16		34			48

此外,6kV 和 10kV 的隔离开关开断空载变压器的电感性激磁电流大约为 4A,开断空载线路的电容性电流为 2A。

GN19-10 型户内隔离开关的技术数据,见表 4-13。

四、GN8-10 型隔离开关和 CS6-1T 型操作机构的动作原理及安装

(一)GN8-10 型隔离开关的结构和动作原理

1. 结构

一般常用的隔离开关为 GN₈₋₁₀⁶⁻⁶H 型三极闸刀式、三极联动的结构。这种隔离开关的动触头(闸刀)方向与支持绝缘子的轴垂直,并且大多数为线触头。

图 4-49 为 GN8-10H/200(400,600)-I 型隔离开关的结构图,隔离开关每相(极)导电部分通过支持绝缘子 6 和瓷套管 7 固定在底架 8 上。隔离开关的动触头 1 是靠拉杆绝缘子 2 转动的,拉杆绝缘子 2 与动触头 1 及轴 4 上的杆 3 铰接。三相隔离开关有专门联动的操作机构,它是通过一些铰接的连杆与隔离开关轴 4 上的传动杆 5 连接,对隔离开关进行操作。

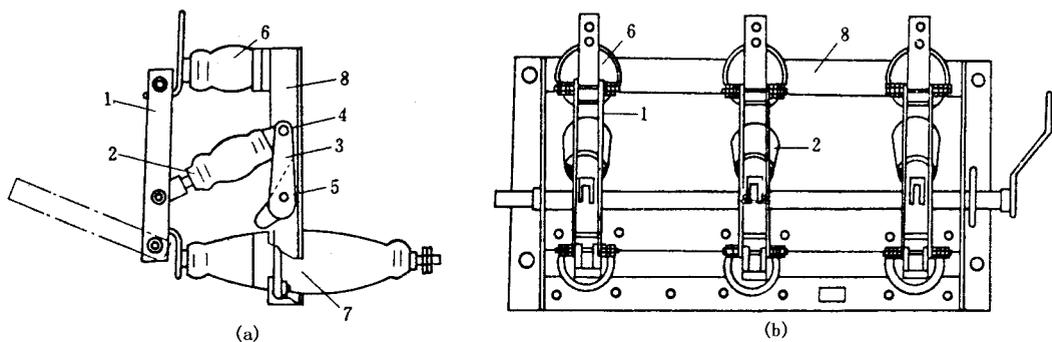


图 4-49 GN8-10H/200(400,600)-I 型隔离开关的结构图

(a)单相图 (b)三相图

1—闸刀 2—拉杆绝缘子 3—杆 4—轴 5—传动杆 6—支持绝缘子 7—瓷套管 8—底架

2. 动作原理

当传动杆 5 围绕轴 4 转动时,轴 4 也随之转动,并带动与轴 4 铰接的拉杆绝缘子 2 进行升降,从而使动触头 1 进行分闸或合闸。

(二)CS6-1T 操作机构的动作原理

1. 连杆机构的结构

如图 4-50 所示,机构的前轴承轴 O_1 上装着操作手柄 1,手柄的下部有连杆 7,机构后轴承 O_2 上,装着彼此硬性连接的连杆 5 和连杆 6。连杆 6 及连杆 7 在 c, d 绞接点处与连杆 2 铰接。连杆 5 和轴 O_3 上的连杆 4 都在 a, b 绞接点处与连杆 3 铰接。

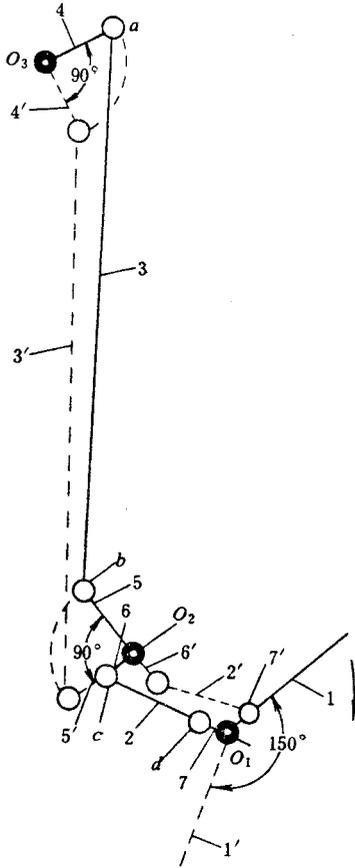


图 4-50 连杆机构动作原理

1—操作手柄 2~7—连杆 ;1'—操作手柄(分闸位置) 2'~7'—连杆(分闸位置)

在连杆系统 7—2—6 中,连杆 7 是引动的,连杆 2 是传动的,而连杆 4 是被动的环节。

2. 操作机构的动作原理

图 4-50 中的实线表示隔离开关合闸时的位置,虚线表示隔离开关分闸时的位置,箭头表示隔离开关分闸时操动手柄的转动方向。由于连杆传动,当操作手柄 1 向下转过 150° 时,连杆 7 也转过 150° ,但连杆 5 随扇形连杆 6 只转过 90° ,转连杆 4 也只转过 90° 。

隔离开关在接通位置上,传动连杆 4 与连杆 3 之间夹角接近 90° ,因此在合闸的过程结束时,或分闸过程开始时,隔离开关轴上的力矩接近最大值。

在合闸位置时,引动连杆 7 和 5 及相应地转动连杆 2 和 3 处于靠死点的位置。因此,可防止短路电流通过隔离开关时,动触头因受电动力的作用而自动断开。

操作机构上面装有 F_1 型的辅助开关触点的接线盒,接线盒中装有 2—12 对触点,这些触点随着操作手柄转动通常用于指示信号及自动装置等电路中。

图 4-51 便是利用连锁触点 LS 和两个信号灯分别指示隔离开关合、分的信号回路。

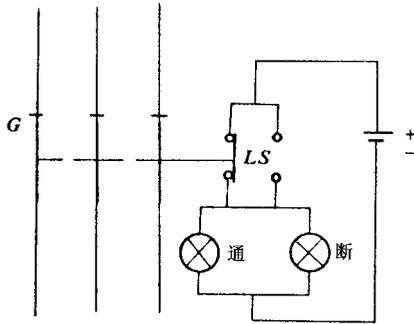


图 4-51 指示隔离开关的信号回路

(三) GN8-10 型隔离开关与 CS6-1T 型操作机构的安装

1. 安装方法

一般将隔离开关垂直、水平或倾斜地安装在高压开关柜内或墙上,并在安装前将所有导电部分涂上工业凡士林油。

CS6-1T 型操作机构垂直安装于高压开关柜面板或墙上时,操作机构手柄的转动角度应与隔离开关“分”、“合”时主轴转动角度相配合(见图 4-52)。

2. 安装步骤

隔离开关与操作机构按下列顺序进行安装。

(1) 连接隔离开关 1 和操作机构 4 用连杆 3,采用连杆叉头螺杆 5 和 $\phi 3/4$ ”钢管组成。钢管的一端与叉头焊接,钢管的另一端与螺杆焊接,连杆的另一叉头拧在螺杆 5 上。根据隔离开关和操作机构的相对位置可确定钢管的长度,如果操作机构的输出臂 6 与隔离开关主轴上的拐臂 2 不在同一平面上时,可以将连杆(钢管)弯曲,钢管一端的连杆叉头可由螺杆 5 调节长短,以便使操作机构输出臂 6 与隔离开关主轴上的拐臂 2 达到正确连接。

(2) 根据安装位置确定隔离开关主轴上拐臂的初步角度,然后钻孔打入定位销固定拐臂。

(3) CS6-1T 型手动操作机构从合闸到分闸位置,应与隔离开关主轴上限位板的开始和终止位置相应地达到底架上的角钢面上。此时主轴转动角度应为 60° (见图 4-52),

否则可利用操作机构中扇形连接板 7 上的连接孔来调节。

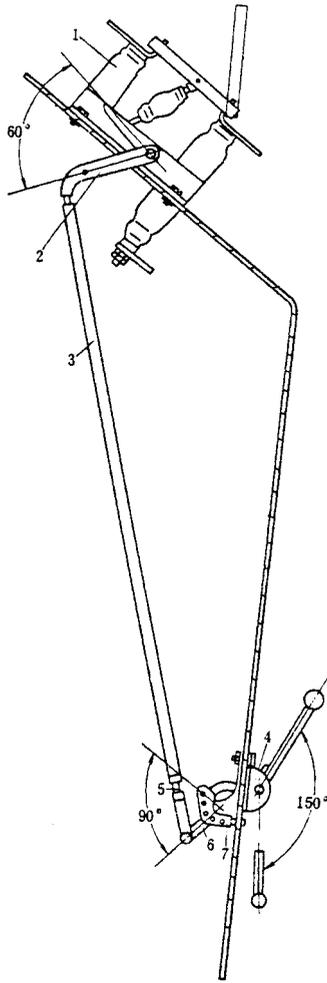


图 4-52 GN8-10 型隔离开关与 CS6-1T 型操作机构的安装

1—隔离开关 2—拐臂 3—连杆 4—操作机构；

5—连杆叉头螺杆 6—操作机构输出臂 7—扇形连接板

(4) 隔离开关调整后,进行 3~5 次操作,不准有卡住或其它妨碍动作的不正常现象。

(5) 接上地线,地线与底架的接触必须良好。

(6) 接上母线,母线与静触头接线板的接触必须良好,引线的长度要配置适当。

3. 安装后的检查

隔离开关在安装调整完毕后,还须进行下列检查,方可投入运行。

(1) 应将隔离开关和操作机构的导电接触部分及传动摩擦部分涂上工业凡士林油。

- (2) 检查各部件的机械连接是否牢固,接地是否安全可靠。
- (3) 在安装过程中出现的损坏是否修理好。
- (4) F_1 型辅助开关触点连锁信号指示是否正确。

第五节 负荷开关

负荷开关是一种结构比较简单,具有一定开断或关合能力的高压开关设备。对于额定电压为 10kV 的负荷开关,其额定电流一般在 400A 以下。这种开关多用于容量较小,供电要求不太高的配电网中。由于负荷开关造价较低,使用方便,因此应用很广。在容量较小的配电网中,也可将负荷开关与熔断器串联,以代替断路器使用。

一、负荷开关的用途和结构特点

(一) 负荷开关的用途

通常将负荷开关用来开断和关合电网的负荷电流,因此它具有简单的灭弧装置。但是它不能开断电网的短路电流,这是负荷开关和一般断路器的主要区别,用负荷开关开断电容器组特别有效。

(二) 负荷开关的结构特点

负荷开关的结构比较简单,相当于隔离开关和简单灭弧装置的结合。具有比隔离开关大得多的开断能力。图 4-53 为 FN2-10 型户内式高压负荷开关的外形图。

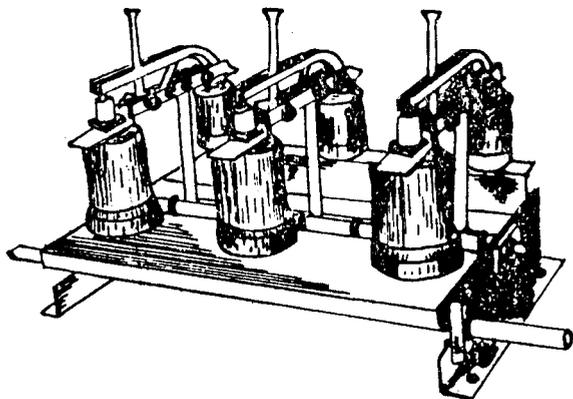


图 4-53 FN2-10 型户内式高压负荷开关外形图

虽然负荷开关不能用来开断短路电流,但如果将它和高压熔断器串联成一体(如 FN2-10R 型),用负荷开关开断负荷电流,用高压熔断器作为过载和短路保护,即可代替断路器工作。这种综合负荷开关开断能力较好,即使在大容量的配电网中有时也可应用。此外在配电网中,也常用负荷开关来开断小电流,如变压器的激磁电流、供电线路对地电容电流等。在以上这些方面,负荷开关比隔离开关优越,不会因灭弧问题而引起故障。

二、MFF-10 型全绝缘负荷开关

MFF-10 型全绝缘负荷开关是由负荷开关和熔断器(特殊需要时也可以加装避雷器)组合而成。它适用于额定电流为 200A 的 10kV 交流配电网,作为主回路关合与开断之用,尤其适用于环形网络及多回路配电网等。

MFF-10 型全绝缘负荷开关借助专用绝缘操作手柄进行操作。

(一) MFF-10 型全绝缘负荷开关的结构与原理

负荷开关除引出线部分外,所有带电部分均用环氧树脂封闭。负荷开关与熔断器之间还装有机械连锁,即只有操作人员开断负荷开关后,熔断器在不带电的情况下才能检查或更换。

负荷开关静触座中有一永久磁铁,分、合闸操作时,用一专用合闸手柄,手柄内装有合闸弹簧,此弹簧力与永久磁铁的吸力不大于 294N。分、合闸时只要操作力大于此值就能保证了分、合闸速度。负荷开关处于开断位置时,有明显的可见断口,图 4-54 为触头部分结构示意图。

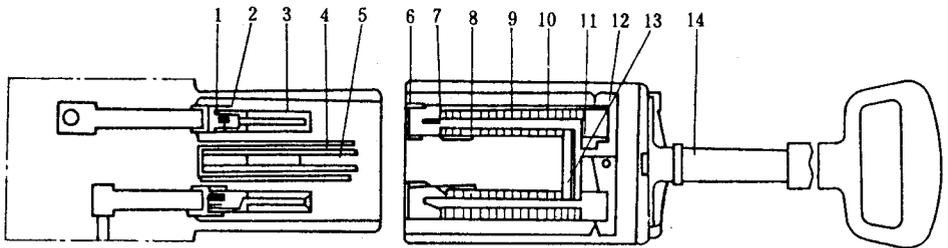


图 4-54 负荷开关触头部分结构示意图

- 1—静触头 2—静弧触头 3—灭弧管 4—导磁板 5—永久磁铁 6—动触头;
7—动弧触头 8—制动部分 9—开断弹簧 10—弧触头压缩弹簧 11—软连接线;
12—动触头座 13—衔铁 14—操作手柄

负荷开关装有短路指示器,便于检修人员寻找故障点。当负荷开关合闸时,永久磁铁 5 与衔铁 13 相吸合,静触头 1 与动触头 6 插接在一起,依靠动主触头上的弹簧维持动静主触头的接触压力,静弧触头 2 和动弧触头 7 相接触,依靠弧触头的压缩弹簧 10 维持接触压力,此时负荷开关处于合闸位置,开断弹簧 9 处于预压缩状态。

分闸时,专用操作手柄 14 插在动触座上。向外拉出动触座时,主触头先分离,而衔铁与磁铁仍吸合在一起,所以动、静触头仍接触。只是当开断弹簧 9 被压缩至极限位置,继续向外拉动触座,则主触头上的制动部分 8 将已吸合的衔铁拉开。动弧触头在开断弹簧的作用下,以一定速度与静触头分开,因此分闸速度与操作者无关。动、静触头分离时,其间出现电弧,灭弧管中的电弧热量使灭弧管分解出大量的气体,这股气体沿灭弧管冲击,使电弧熄灭,负荷开关分闸。动触座与操作手柄一起移开静止部分出现一明显的断口。

图 4-55 是用操作手柄合闸示意图。合闸时,把动触座左侧的弹簧片 2 放在静触头的槽内,沿箭头方向推操作手柄,弹簧片碰到静触座上的凸起部分 1 而使动触座停止运动。继续推操作手柄,使合闸弹簧 3 受压储能,当推力使弹簧片压缩到凸起部分不能继续阻止动触座运动时,动触座便在合闸弹簧力作用下,以一定速度合闸。合闸时主触头比弧触头先接触,这样就保证了当关合短路电流时,主触头承受短路电流。合闸速度也与操作者无关。

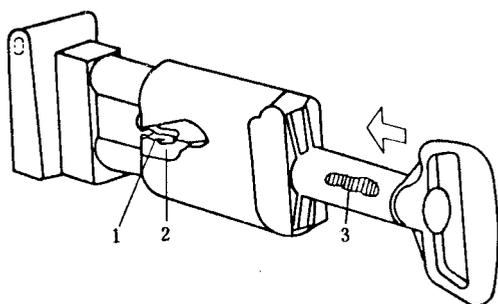


图 4-55 操作手柄合闸过程示意图

1—静触座上的凸起部分 2—动触座的左侧的弹簧片 3—合闸弹簧

图 4-56 是短路指示器复位示意图。指示器 1 上有一小块永久磁铁和一个红色标牌,当短路电流通过主回路时,短路电流产生的磁场与指示器中的小磁铁相互作用,使红色标牌旋转成水平位置(从动触座端部的孔中可看到红色标牌),短路指示器可帮助维修人员判明故障点。若要标牌复位,可用复位的永久磁铁 2 使指示器中的标牌复位。

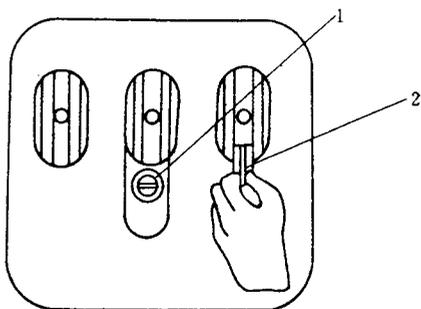


图 4-56 短路指示器复位示意图

1—指示器 2—永久磁铁

检修、测试或试验电缆时，应安装接地保护装置，其方法是先断开电源，拿掉负荷开关的动触头，用接地操作杆将接有接地线的接地动触头合在负荷开关的静触座上，用接地条将三相接地动触头短路。

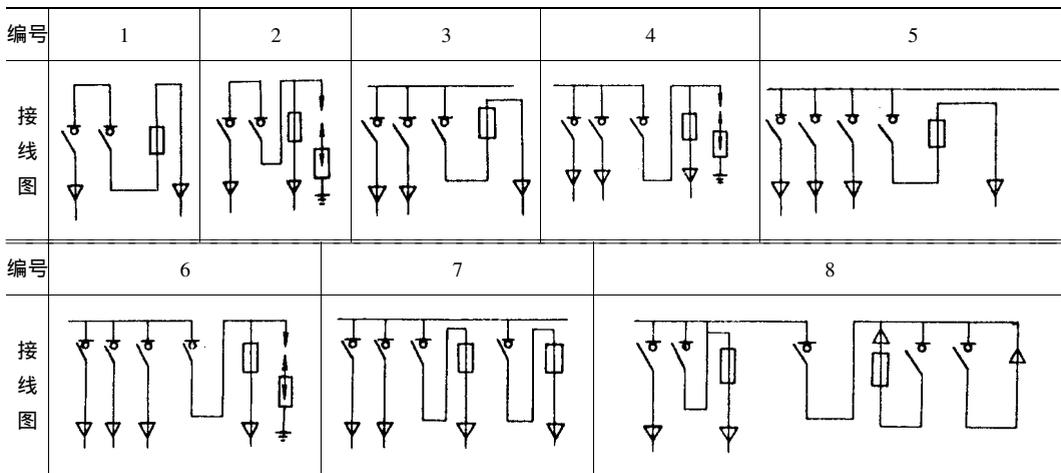
(二) MFF-10 型全绝缘负荷开关的技术参数及接线方案

MFF-10 型全绝缘负荷开关的技术参数和接线方案分别见表 4-14 和表 4-15。

表 4-14 MFF-10 型全绝缘负荷开关的技术数据

额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 $\cos\varphi = 0.7$ (A)	2s 热稳定电流 (kA)	动稳定电流 (峰值, kA)	关合短路电流 (峰值, kA)	熔断器极限断流容量 (MVA)	最大电缆截面 (mm ²)	质量 (kg)
10	11.5	200	400	12.5	31.5	31.5	200	3 × 120	150

表 4-15 MFF-10 型负荷开关接线方案



第六节 熔断器

熔断器是一种最简单的保护电器,通常用于保护功率较小和保护性能要求不高的场所。用在低压配电时,熔断器与闸刀配合可代替自动空气开关;用在高压配电时,可以与负荷开关配合代替高压断路器。因此,熔断器被广泛地应用在高、低压配电网中,本节主要着重讨论高、低压熔断器的用途、工作原理、结构和选择。

一、熔断器的用途及工作原理

(一)熔断器的用途

熔断器是一种结构简单、制造容易的保护电器,在配电网中用它来保护配电线路和配电设备,即当网络发生过载或短路故障时,熔断器能单独地自动断开电路,从而达到保护电气设备的目的。

随着电力工业的不断发展,由于配电网的容量在不断地增加,因此要求熔断器的额定电流和开断能力也应相应增大。

在电力工业中,很早就使用熔断器作为高、低压配电线路和电气设备的保护。由于熔断器的安装和维护简单,体积小,价格低廉,断流能力较大,并且有些特殊结构的熔断器还具有切断时间短和限流效应大等优点,因此至今在保护性能要求不高的地方仍广泛用来作为过载和短路保护的电器。

(二)熔断器的工作原理

熔断器能自动断开电路的工作原理是:利用熔点较低的金属丝(或金属片),即称为熔体的导体,串联在被保护的电路中,当电路或电路中的设备发生过载或短路故障时,低熔点的金属丝(片)被灼热而熔化,从而切断电路。熔体在切断电路的过程中,往往产生强烈的电弧,同时使灼热的金属蒸气向四周喷溅和发生爆炸声。为了安全和有效的熄灭电弧,所以将金属丝(片)装在一个封闭的盒子或管子内组成一个整体。

熔断器的工作过程大致可分为:①熔断器的熔体因过载或短路加热到熔化温度;②熔体开始熔化和气化;③间隙的击穿并产生电弧;④电弧熄灭,电路被开断。熔断器的动作时间即为上述这些过程所用时间的总和。显然,熔断器的断流能力决定熄灭电弧能力的大小。

1. 安秒特性

通常将熔断器的动作时间 t 与通过熔断器电流 I 的关系,称为安秒特性。如图 4-57 所示,该特性曲线表明了熔断器重要的特性,随着负荷性质的不同,对熔断器的要求也不同。

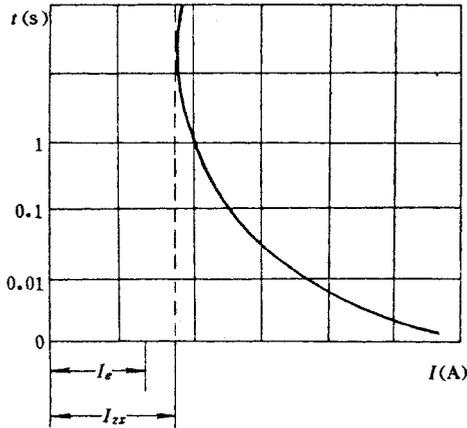


图 4-57 熔断器熔件的安秒特性曲线

I_e —额定电流; I_{zx} —最小熔化电流

根据安秒特性选择熔体,就可以得到熔断器动作的选择性。如图 4-58 所示,在线路中,熔断器 1 作为熔断器 2 的后备保护,要使熔断器 1 的动作时间大于熔断器 2,只要选择熔断器 1 的安秒特性高于熔断器 2 即可。

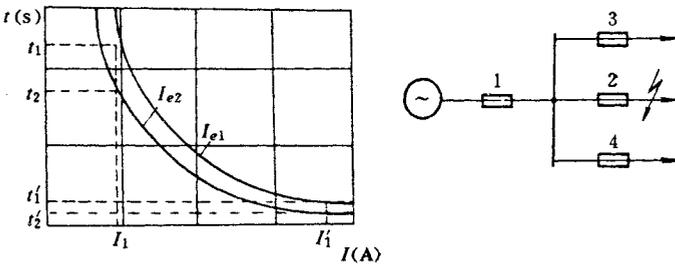


图 4-58 熔断器对线路保护的安秒特性配合

I_{e1} —熔断器 1 熔体的额定电流; I_{e2} —熔断器 2 熔体的额定电流

在理论上,当最小熔化电流 I_{zx} 通过熔体时,动作的时间为无限大。若将最小熔化电流 I_{zx} 选择得仅仅比熔体额定电流 I_e 稍大一点,则当负载稍有变动时就可能造成不必要的熔断,反之选择太大时又会失去应有的保护作用。一般取 I_{zx} 为额定电流 I_e 的 1.2 ~

1.5 倍,即 $I_{zx} = 1.25 I_c$ 。

熔体的最小熔化电流 I_{zx} 与熔体的截面积、材料、结构以及散热条件等许多因素有关,对于熔体可用下列公式进行计算。

(1) 在具有空气的盒内或纤维管中

$$I_{zx} = 52 d^{1.2} \quad (\text{A}) \quad (4-9)$$

(2) 在填有石英砂的管中

$$I_{zx} = 78 d^{1.2} \quad (\text{A}) \quad (4-10)$$

上两式中 d ——熔体直径 (mm)。

应用上式计算时,均以铜为熔体。若熔体是银时,还需乘以系数 0.5。

2. 熔体的熔化

当通过熔体的电流很大时,由于熔体熔断后形成不导电的间隙,使电路的电阻迅速增加,而电流被迫下降,于是在开断点的两端形成过电压(由于线路中的电感造成的)。当通过熔体电流很大时,熔体则是全长迅速熔化;当通过熔体电流很小时,熔体只能在某几段逐渐熔化。熔化的部位便产生电弧,金属在弧道中因受高温而气化。因为这些金属蒸气的游离电压比空气低,所以对灭弧是很不利的。因此,在高压熔断器(跌落式熔断器)中,均避免使用低熔点高电阻系数的材料(如铅、锌)。因为在同样的额定电流下,由铅、锌制成的熔体要比用高熔点低电阻系数的材料(如铜、银)制成的熔体截面大,而且熔断时金属蒸气也多,对灭弧不利。

但在使用高熔点的金属作熔体的高压熔断器中,过载时因其熔化温度很高,所以熔断时间要长,并且可能使熔断器其它部分过热。因此,通常在银丝或铜丝上焊有小锡球,这样就解决了熔体开断时熔断器过热的问題。

在低压熔断器中,电弧问题不严重,故常用低熔点高电阻系数的铅、锌一类材料。

3. 限流和不限流

熔断器是由熔体、熔管或外壳和接触零件等组成,其额定电流是根据设计要求所规定的,但熔体的额定电流不能超过熔断器的额定电流。

按开断电流的性质,熔断器可分为限流和不限流两种,所谓限流熔断器是指当短路电流还未达到最大值 I_{dkt} 时,已完成气化、击穿,以及间隙产生电弧和熄灭电弧的全过程,并将电流 i 突然下降到零;所谓不限流熔断器是指电路中电流 i 不断上升。如果在直流电路中,当电流达到接近短路电流的稳定状态后,待电弧拉长到不足以维持才熄灭;如果在交流电路中,短路电流将持续到第一次电流过零瞬间熄灭电弧,有时甚至继续延到经过第二次或第三次电流过零瞬间才熄灭电弧。

二、熔断器结构

(一) 高压熔断器

在高压配电网中,通常采用 RN1、RN2 系列户内高压熔断器和 RW3、RW4 系列户外跌落式熔断器作为过电流和短路保护。

1. RN1、RN2 型熔断器

图 4-59 是 RN1 型熔断器结构。图 4-59(a) 是熔断器的总体结构,底板 4 上装置有支持绝缘子 3,支持绝缘子 3 上装有触头座 2 和接线座 5,熔管 1 被卡在两端触头座 2 内,当管内熔体熔断后,可将熔管取下并加以更换。

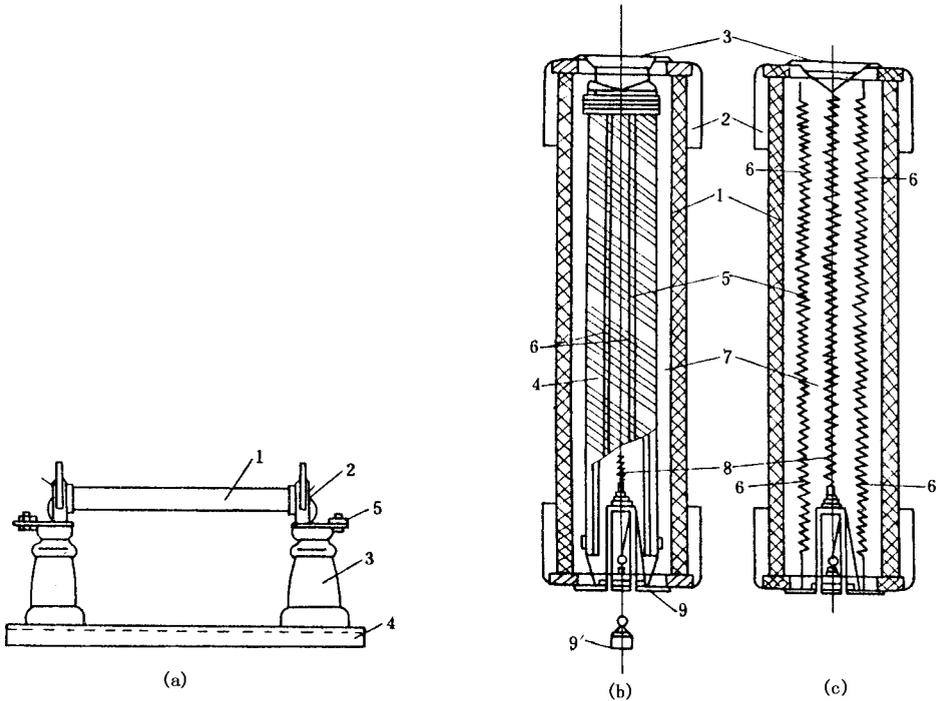


图 4-59 RN1 型熔断器结构

(a) 总体结构 (b) 7.5A 及以下熔断器结构 (c) 10A 及以上熔断器结构

1—瓷管 2—黄铜罩 3—端盖 4—陶瓷芯 5—工作熔体 6—小锡球 7—石英砂;

8—指示熔体 9—小衔铁 9'—小衔铁指示熔断位置

图 5-59(b) 是额定电流为 7.5A 及以下的熔断器结构,这种结构的特点是熔体绕在陶瓷芯上。瓷管 1 用黄铜罩 2 罩上,管内放入工作熔体 5,工作熔体 5 由一根或几根并联的镀银铜丝制成(RN2 型熔断器均为单根),在每根铜丝中间都焊有小锡球 6。工作熔体

5 绕在陶瓷芯 4 上(因为它们很细,没有陶瓷芯很难在管中固定)。在熔管内还装入具有瓷质火花间隙的辅助熔体,在火花间隙两侧的辅助熔体的截面不等(一边截面比另一边截面大 1 倍)。当工作熔体 5 熔断时产生的过电压将此火花间隙击穿,电流则全部由辅助熔体通过,使辅助熔体向两边逐渐的熔化,最后电路被切断,因而降低了过电压的数值。

图 4-59(c)是额定电流为 10A 以上的熔断器结构,这种结构的特点是具有螺旋形熔体。熔体是由几段截面不同的铜丝绞接成,在绞接处焊有小锡球 6。用不同截面的目的也是为了降低过电压的数值,因为短路时,熔体首先在截面积最小的一段熔断,过电压将该段气隙击穿后产生电弧,然后逐段将熔体熔化,避免电路立即开断,以使过电压数值得到降低。

在熔管 1 中还装有指示熔体 8,其一端与指示小衔铁 9 连接。当短路或过负载时,工作熔体先熔化,然后辅助熔体和指示熔体熔断;指示熔体熔断后,指示小衔铁在弹簧作用下弹出外面,指示出此熔断器已熔断。

用来保护电压互感器的 RN2 型熔断器无指示装置,但可从电压互感器二次回路仪表中的读数发现熔断器是否熔断。RN2 型熔断器的熔体额定电流均为 0.5A。

在 RN1 型和 RN2 型熔断器的熔管中,除了装有上述熔体外,还充满石英砂 7,当短路电流通过时,由于电压击穿间隙而引起电弧,此时电弧产生在石英砂的填料中,电弧受到石英砂颗粒间狭沟的限制,弧柱直径很小,同时电弧还受到很高的气体压力作用和填料对它的强烈冷却,所以在电流还未达到短路电流的稳定值以前,就将电弧熄灭,因此这种熔断器具有限流作用。

当过负载电流通过这种熔断器时,熔体先在焊有小锡球处熔断,随之电弧使熔体沿全长熔化,电弧在电流某次过零时最后熄灭。

2. RW3、RW4 型跌落式熔断器

跌落式熔断器或称跌落式开关是广泛应用在户外 3~10kV 的配电网中,作为过电流和短路保护的一种开关电器。

图 4-60 是 RW3-10G 型户外跌落式熔断器的外形图。这种熔断器由瓷质绝缘支柱 4 和层卷纸板制成的开口熔管 14 两个主要部分构成。在熔管端部有铜帽 17,熔管内衬以石棉套管 12。支柱 4 借助前抱箍 1、后抱箍 2 和抱箍衬垫 3 固定在支架上。为了便于跌落,在支架安装时要使熔管的轴线与铅垂线成一倾角,熔管的两端设有上弹性触片 8 和下弹性触片 15,熔体 11 穿过熔管后一端固定在下触头 16 上,另一端拉紧固定在上触头压板 10 上,利用这两个触头将熔管固定在金属支承座 18 和鸭嘴罩 7 之间,瓷质绝缘支

柱两端设有上接线螺丝 5。正常操作利用耳环 13 进行。当熔体熔断后,压板 10 在弹簧作用下顺时针转动,于是上动触头 9 从鸭嘴罩 7 的抵舌上滑脱,熔管靠其本身的重量绕轴跌落,将线路开断。

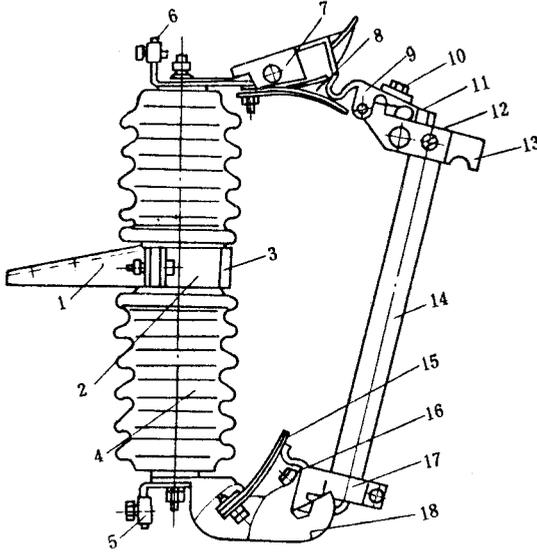


图 4-60 RW3-10G 型户外跌落式熔断器的外形图

1—前抱箍 2—后抱箍 3—抱箍衬垫 4—支柱 5—下接线螺丝 6—上接线螺丝;
7—鸭嘴罩 8—上弹性触片 9—上动触头 10—压板 11—熔体 12—石棉套管;
13—耳环 14—开口熔管 15—下弹性触片 16—下触头 17—铜帽 18—金属支承座

熔断器的配用带有规定尺寸的钮扣式熔体,其额定电流有 2、3、5、7.5、10、15、20、30、40、50、75、100、150A 和 200A 等。

熔断器的装设高度应便于地面操作。熔断器距离变压器台面的高度不宜低于 2.3m。各相熔断器间的水平距离,不应小于 0.5m。

跌落式熔断器的结构简单,价格便宜,在一定条件下和负荷开关配合使用可替代断路器。此外,为了提高供电可靠性,防止线路暂时性故障停电,目前可采用双熔管一次重合闸的跌落式熔断器。

3. RW10-10F/100 型熔断器

RW10-10F/100A 型熔断器适用于 10kV 的配电线路和配电变压器的过载和短路保护及分、合额定负荷电流之用。

图 4-61 为 RW10-10F/100A 型熔断器的外形图。熔断器由基座和消弧装置两大部分组成。工作触头 3 设计为桥形结构,灭弧管 1 的下端装有能转动的弹簧支架 2,始终

使熔体处于紧张状态,以保证灭弧管在合闸位置时自锁。当线路和变压器过载或短路时,熔体熔断,弹簧支架在扭簧的作用下,迅速将熔体从灭弧管中抽出,以减少燃弧时间和灭弧材料的消耗。灭弧管设计为逐级排气式,开断小电流时产生的气体由下端排气孔排出。当开断大电流时,气体冲开上端帽盖实现上下端的排气口同时排气,以解决在同一熔断器上开断大小电流的矛盾。

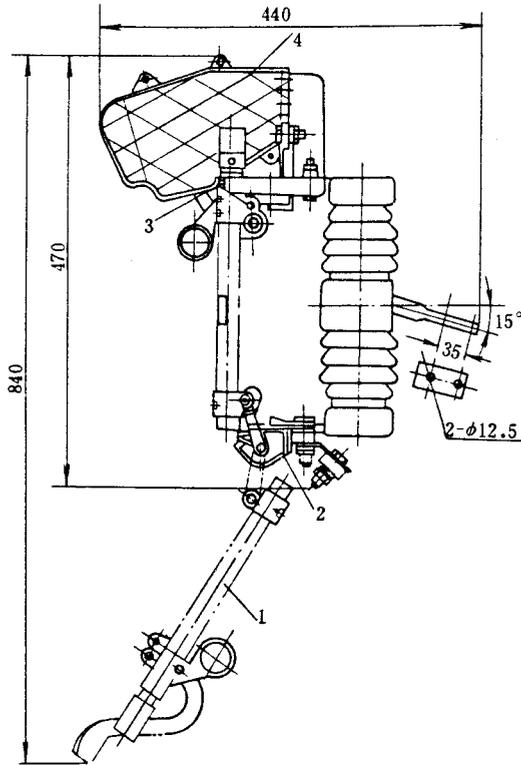


图 4-61 RW10-10F/100A 型熔断器的外形图

1—灭弧管 2—弹簧支架 3—工作触头 4—灭弧室

熔断器装有灭弧室和弧触头,可分、合额定负荷电流,起到负荷开关的作用。在分、合操作时使电弧在弧触头上产生,在灭弧室内熄灭,以保护工作触头不受电弧烧伤。灭弧室是采用新型工程塑料压制而成。

RW10-10F 型为普通型产品。RW10-10F(W) 型为防污型产品。

(二) 低压熔断器

在低压配电网中的低压熔断器有开启式、半封闭式和封闭式几种,现将常用的低压熔断器分述于下。

1. RT12 系列有填料封闭管式螺栓连接熔断器

RT12 系列熔断管为管式熔断器。如图 4-62 所示,瓷管 1 由优质瓷制成,两端铜帽 2 上焊有偏置式连接板 3,可直接安装在母线排上。熔体设计成变截面形状,两端与铜帽焊接。熔体上配置起“冶金效应”作用的低熔点钨基合金,熔管内充满灭弧的石英砂,以保证可靠地分断电路。熔管的正面或侧面、背面,有一标示红色小珠 4,它由并联于熔体金属细丝得以固定,熔断器熔断时,红色小珠就弹出。

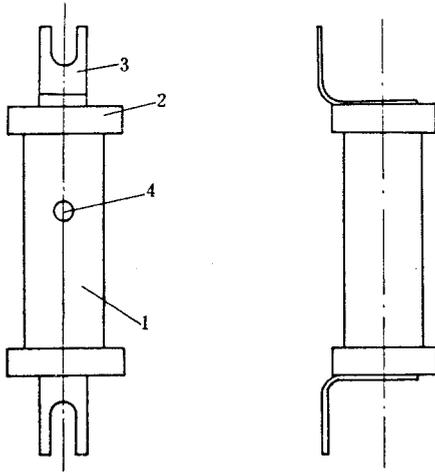


图 4-62 RT12 系列管式熔断器外形图

1—瓷管 2—铜帽 3—连接板 4—小珠

2. RC1A 型插入式熔断器

图 4-63 为 RC1A 型半封闭插入式熔断器外形图。瓷盖 5 和瓷底座 1 均用电气瓷制成,瓷盖两端装有动触头 3,两动触头间跨接熔体 4。熔体熔断后,从瓷底座 1 中拔出瓷盖 5,即可方便地更换熔体。瓷底座两端安装有静触头 6,当额定电流等于或大于 60A 时,在熔断器的底座 1 内垫以 2~3mm 厚的编织石棉带 2,用来隔开电弧,保护瓷底座,并有助于灭弧。

RC1A 型熔断器是在原 RC1 型熔断器的基础上改进的,其外形尺寸虽然未变,但性能上有很大改进。例如 60A 的 RC1 型熔断器的极限分断电流只有 1500A,而 60A 的 RC1A 型熔断器的极限分断电流可达到 3000A(均在 380V 的交流电压条件下)。RC1A 型熔断器的额定电压为 380V,额定电流为 5、10、15、30、60、100 和 200A 七个等级。

这种熔断器的特点是结构简单,更换熔体方便,但在开断过程中容易产生声光和熔化特性不稳定等缺点。RC1A 型熔断器的安秒特性曲线,如图 4-64 所示。熔断器的熔

体可以根据用户要求选用铜丝或铅丝(或市场所供应的铅合金熔丝,但当额定电流大于20A时,不宜选用铅合金熔丝)。

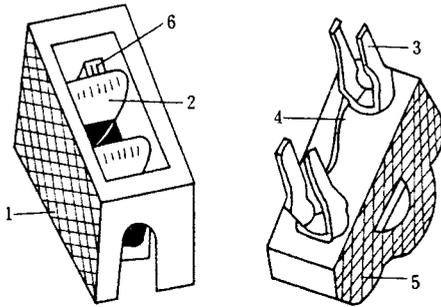


图 4-63 RC1A 型插入式熔断器的外形图

1—瓷底座 2—编织石棉带 3—动触头 4—熔体 5—瓷盖 6—静触头

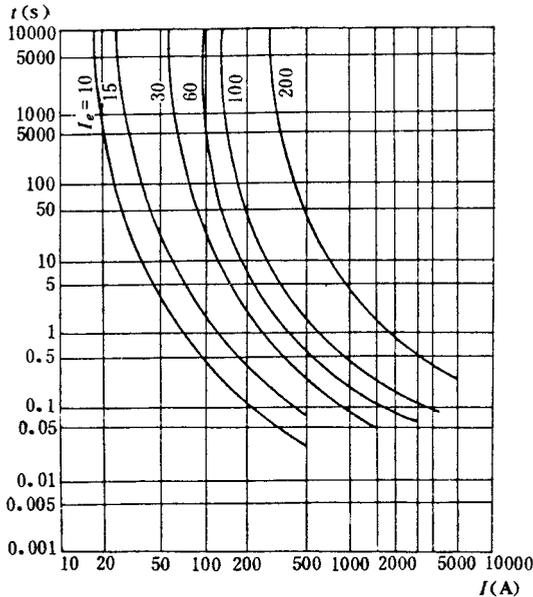


图 4-64 RC1A 型熔断器的安秒特性曲线图

3. RL1 型螺旋式熔断器

图 4-65 为 RL1-100 型封闭螺旋式熔断器的外形图。这种熔断器的额定电压是 500V, 额定电流是 15~200A, 开断能力为 20~50kA。它是由瓷帽 1、熔管 2、瓷保护圈 3、瓷底座 4 和熔断指示器 5 组成。在熔断管内装有一根或数根熔体, 并填充石英砂以加强灭弧能力。熔断指示器 5 装于熔断管 2 的上盖中, 当熔体熔断后, 指示器跳出, 可由观察孔监视。在熔体熔断后, 可旋下瓷帽 1 更换新熔断管。

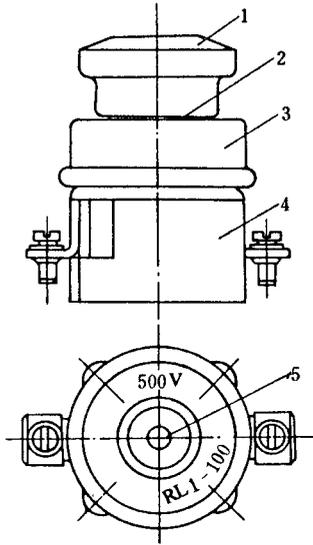


图 4-65 RL1-100 型封闭螺旋式熔断器的外形图

1—瓷帽 2—熔管 3—瓷保护圈 4—瓷底座 5—熔断指示器

这种熔断器具有较高的分断能力,并且结构简单,安装尺寸小,能切断一定的短路电流,所以它常被用于照明线路和中小型电动机保护。

4. 刀熔开关中的开启式熔断器

这种熔断器往往不单独使用,而是与闸刀组合应用。图 4-66 为目前常用的刀熔开关外形示意图。它是由闸刀手柄 1、胶木外壳 2、瓷底板 3 和熔体(熔丝)4 组成。这种熔断器结构简单,使用方便,但由于它是开启式,即当熔体熔化时没有限制电弧火焰和金属熔化后粒子喷出的装置,因此仅适用于分断短路电流不大的场合。

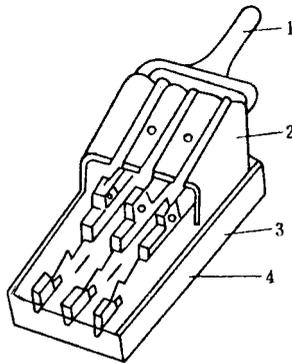


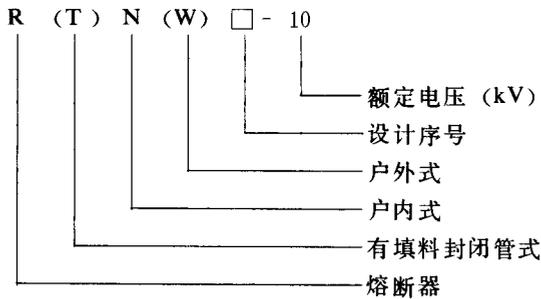
图 4-66 带有熔体装置的闸刀外形示意图

1—闸刀手柄 2—胶木外壳 3—瓷底板 4—熔体

目前随着大功率半导体整流器的发展,广泛采用快速熔断器作为硅整流器及其成套装置的短路保护。这种保护要求快速熔断器在短路故障时,必须在极短时间内安全分断并消除故障电流,进而限制半导体元件将要受到的热能,并限制通过半导体元件的电流峰值和加至正常半导体元件上的电弧电压。目前生产的有RS系列快速熔断器。

三、熔断器选择

(一)熔断器的型号含义



熔断器如需表明熔断器的额定电流值时,可将额定电流值置于型号的末尾,并用分数线隔开。如RW4-10/50型,即熔体的额定电流为50A。

(二)主要技术参数

熔断器的技术参数是保证熔断器正常运行的必要条件。为了便于选用,这里提供几种常用熔断器的技术数据,如表5-16~表5-21所示。

表4-16 RN1-10型户内管型熔断器技术数据

额定电压 (kV)	额定电流 (A)	最大开断电流 (kA)	最大开断容量 (三相,不小于,MVA)	开断极限短路电流 时最大电流 (峰值,限流,kA)
10	2、3、5、7、7.5、10、15、20	12	200	4.5
10	30、40、50	12	200	8.6
10	75、100	12	200	15.5
10	150	12	200	—
10	200	12	200	—

表 4-17 RN2-10 型户内管型熔断器技术数据

额定电压 (kV)	额定电流 (A)	最大开断电流 (kA)	最大开断容量 (三相,不小于,MVA)	开断极限短路电流 时最大电流 (峰值,kA)
3	0.5	100	500	160
6	0.5	85	1000	300
10	0.5	50	1000	1000

表 4-18 RW10-10F/100A 型熔断器技术数据

额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	额定电流 (A)	额定断流容量(MVA)		分、合负荷电流(次)		单相熔断器质量 (kg)
			上限	下限	100A	130A	
10	11.5	50 100	200	40	> 100	> 20	7

表 4-19 RW3、RW4 系列跌落式熔断器技术数据

型 号	额定电流 (A)	额定电压 (kV)	极限断流容量(三相,MVA)	
			上 限	下 限
RW3-10	3、5、7.5、10、15	10	100	30
RW3-10Z	20、25、30、40、50、 75、100、150、200			
RW4-10/50	3~50		100	5
RW4-10/100	30~100		200	10

表 4-20 RC1A 系列低压熔断器技术数据

名 称	型 号	熔管额定电压 (V)	熔管额定电流 (A)	熔体额定电流等级 (A)
瓷插式熔断器	RC1A-5	~ 380	5	2、4
	RC1A-10		10	2、4、6、10
	RC1A-15		15	6、10、15
	RC1A-30		30	15、20、25、30
	RC1A-60		60	30、40、50、60
	RC1A-100		100	60、80、100
	RC1A-200		200	100、120、150、200

表 4-21 RL1 系列低压熔断器技术数据

名 称	型 号	熔管额定电压 (V)	熔管额定电流 (A)	熔体额定电流等级 (A)
螺旋式熔断器	RL1-15	~ 500	15	2、4、5、6、10、15
	RL1-60		60	20、25、30、35、40、50、60
	RL1-100		100	60、80、100
	RL1-200		200	100、125、150、200

熔断器的主要额定参数说明如下。

1. 额定电压

额定电压是指熔断器开断后能长期承受的电压,一般来说,等于或大于被保护电气设备或线路的电压。根据国家标准的规定,允许熔断器有 $\pm 10\%$ 的电压波动或变化,因此所有的熔断器均应承受比额定电压高 10% 的耐压能力。

2. 额定电流

额定电流是指熔断器能长期通过的电流。确定其额定电流的决定因素是熔体所用材料的温升。它的要求是使熔体在通过长期工作电流后不致使材料有显著老化的现象。

3. 开断能力

开断能力是指熔断器能在故障条件下可靠地开断过载或短路电流的能力。极限开断能力,是指熔断器能开断的最大短路电流的能力,用于电力方面的熔断器,其极限开断能力有 $2、5、20、25\text{kA}$ 和 50kA 等5个等级。

(三)熔断器选择

1. 熔断器的选择原则

熔断器应根据额定电压、额定电流、开断能力、安秒特性和动作时间等技术参数进行选择。

(1) 额定电压选择。一般熔断器的额定电压可按电网的额定电压或高于电网的额定电压进行选择,但对于限流式高压熔断器不宜使用在比它的额定电压低的电网中,这是因为较低的电压会使熔断时间加长,从而产生过电压使网络中其它设备遭受损坏。

(2) 额定电流选择。熔断器熔管的额定电流应大于或等于熔体的额定电流。熔体的额定电流应按熔断器保护的安秒特性(见图4-57)来选择。为了正确选择熔体,图4-67给出了 $6\sim 35\text{kV}$ 熔体(丝)熔化的安秒特性曲线,其中额定电流为 3A 和 5A 的熔体,由于本身分散性较大,多用于配电线路的末端或作配电变压器高压侧的保护,因此 3A 和 5A 两种熔体之间不存在相互配合的问题,而且这两种熔体额定电流的允许误差范围可以宽一些,约为 $\pm 15\%$,但对其它额定电流的熔体,其允许误差范围规定为 $\pm 10\%$ 。

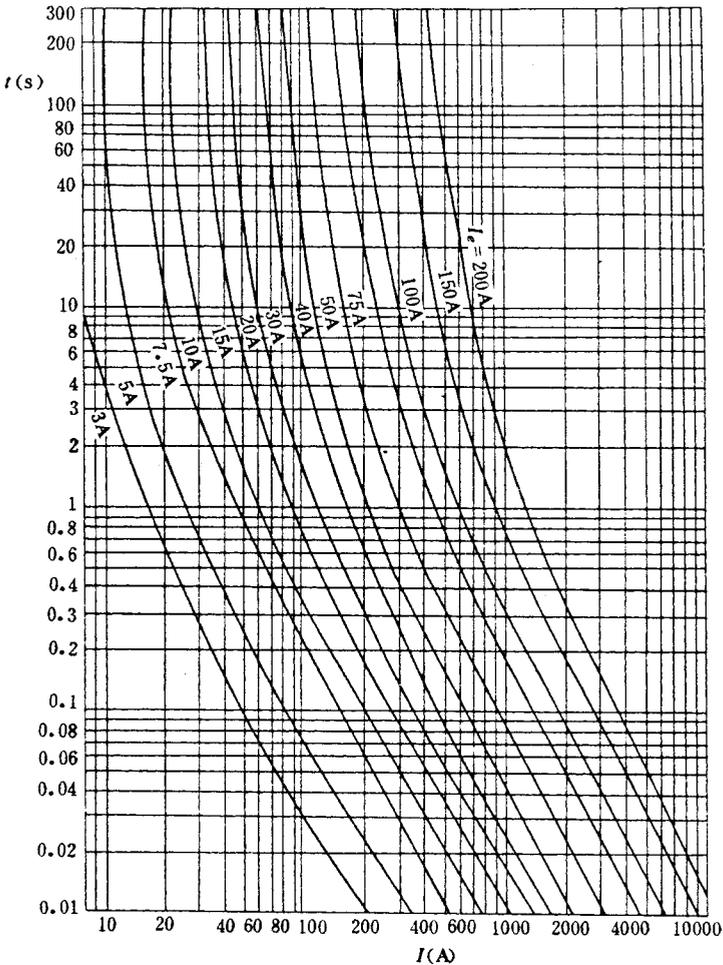


图 4-67 6~35kV 熔体(丝)熔化的安秒特性曲线图

(3) 动作具有选择性。熔断器的熔体在满足可靠性前提下,首先要满足前后两级熔断器之间或熔断器熔体与继电保护动作时间的选择性。

(4) 熔断时间要短。当在本段保护范围内发生短路时,应能在最短的时间内切除本段故障,以防止熔断时间过长而加剧被保护设备的损坏。

此外,保护电压互感器的熔断器,只需根据额定电压和开断容量进行选择即可。

对于配电变压器用高压熔断器熔体的选择应注意:①当熔体通过最大工作电流时不应熔断;②当熔体通过激磁涌流时不应熔断;③当熔体通过保护范围以外的短路电流及电动机自启动引起的冲击电流时不应熔断。

当高压熔断器的断流容量不能满足被保护回路短路容量要求时,可在被保护回路中

装设限流电阻等措施以限制短路电流。

低压熔断器熔体的额定电流要大于电路中的工作电流,为避免熔体在电动机启动时间 t 内的启动过程中被熔断,所以在选择熔体时,对启动时间 t 内所通过的电流,应为熔体额定电流的 1 倍左右。

2. 配电变压器高压侧熔断器的选择

配电变压器高压侧用熔断器按下列方法选择。

(1) 容量为 100kVA 以下的变压器,熔断器的额定电流应按变压器高压侧额定电流 I_{1e} 的 2~3 倍选择。变压器高压侧每千伏安的电流可用口诀快速计算出来,即“10kV 百 6”;“6kV 百 10”,也就是说,当高压侧为 10kV 时,要计算高压侧电流,就可以将变压器的额定容量乘以 6%,即 $I_{1e} = S_e \times 6\%$ 。例如,100kVA 的变压器,10kV 侧电流就是 $100 \times 6\% = 6A$,则该变压器的高压侧熔断器的额定电流可选用 12~18A。

(2) 容量为 100kVA 以上的变压器,高压侧熔断器的额定电流应按变压器额定电流的 1.5~2 倍选择。例如一台 6kV、320kVA 的变压器,按上述口诀计算“6kV 百 10”,即 $320 \times 10\% = 32A$,则这台变压器高压侧熔断器一般选用 48~64A。

配电变压器高压侧保护常采用 RW3 型跌落式熔断器。因为这种熔断器当熔体(指高压熔丝)熔断后能自动跌落断开电源,有明显的断开标志,特别是装在变压器台上,便于运行人员发现。

选用跌落式熔断器,除按额定参数选择外,还应将开断容量按上、下限值校验,开断电流应以短路全电流(即周期分量平方加非周期分量平方和再开方)校验。

3. 配电变压器低压侧熔断器选择

配电变压器低压侧的熔断器应按变压器低压侧额定电流 I_{2e} 来选择。低压侧额定电流也可以用“额定容量加半”的口诀计算,即低压侧线电流是变压器额定容量加上额定容量的一半,也即

$$I_{2x} = I_{2e} = S_e + \frac{S_e}{2} \quad (\text{A})$$

例如,低压侧额定电压为 380/220V,容量为 100kVA 的变压器,低压侧熔体电流为

$$100 + \frac{100}{2} = 150 \quad (\text{A})$$

若计算出的电流数值不符合熔体标准额定电流,则应选择略大于这计算值的熔体。

配电变压器高、低压侧熔体的额定电流可由表 4-22 选得。

表 4-22 配电变压器高、低压侧熔体的选择

相 别	容 量 (kVA)	熔体额定电流(A)		备 注
		高压侧	低压侧	
单相	5	5	30	(1)高压侧熔体额定电流为 $(2 \sim 3)I_{1e}$; (2)低压侧熔体额定电流为 I_{2e} ; (3)目前,高压熔体规格为 $5 \sim 100A$ (熔体采用铜银合金); (4)高压侧熔体额定电流:100kVA 及以下容量的为 $(2 \sim 3)I_{1e}$, 1000kVA 以上容量的为 $(1.5 \sim 2)I_{1e}$; (5)低压侧熔体同(2); (6)凡变压器新容量等级一律按上述要求选择熔体的额定电流
	7.5	5	30	
	10	5	50	
	15	5	75	
	20	5	100	
	25	5	100	
	30	7.5	150	
	40	10	200	
	50	10	250	
	75	20	300	
	100	25	500	
三相	10	5	20	
	20	5	30	
	30	5	50	
	40	5	75	
	50	10	75	
	70	10	100	
	80	15	125	
	100	15	150	
	135	15	250	
	180	20	300	
	200	20	300	
	240	25	350	
	320	40	500	
420	40	600		
560	50~60	—		

4. 配电线路熔断器选择

架空和电缆线路的熔断器按下列原则来选择。

- (1)装在架空分支线路上的熔断器,按分支线路中的最大负载电流来选择;
- (2)装在保护电缆线路的熔断器,按电缆长期允许电流来选择。

5. 保护电动机用的熔断器选择

- (1)对于不经常起动及加速时间不长(如一般切削机床等)的情况,熔体额定电流为

$$I_{\text{Re}} = I_{\text{Q}}(2.5 \sim 3) \quad (\text{A}) \quad (4-11)$$

式中 I_{Q} ——电动机起动电流。

(2)对于经常起动或起动时间较长(如吊车上用的电动机等)的情况,熔体的额定电流为

$$I_{\text{Re}} = I_{\text{Q}}(1.6 \sim 2.0) \quad (\text{A}) \quad (4-12)$$

【例1】图4-68为额定电压为380/220V的三相四线制低压配电网络,并向某工业企业供电。图4-68中电动机及其运行特性如表4-23所示。问如何选择配电网络中的熔断器保护?

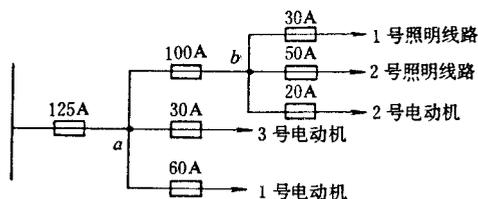


图 4-68 [例 1] 低压配电网络图

已知:1号照明线路的功率为20kW,2号照明线路的功率为30kW,低压配电网络中的电动机及其运行特性见表4-23。

表 4-23 低压配电网络中电动机及其运行特性

电动机号	1号	2号	3号
功率 P (kW)	10	10	5
型式	鼠笼式	电阻起动式	鼠笼式
起动电流倍数 N	7.5	2	6.0
满载时效率 η	0.87	0.87	0.85
功率因数 $\cos\varphi$	0.86	0.87	0.8
负载系数 K_{Lz}	0.9	1.0	0.8

解 (1)1号电动机的熔断器选择。

电动机的额定电流 I_{ed} 为

$$I_{\text{ed}} = \frac{P}{\sqrt{3} U \eta \cos\varphi} = \frac{10}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.87 \times 0.86} = 20(\text{A})$$

电动机实际负载电流为

$$I_{\text{tz}} = K_{\text{tz}} I_{\text{ed}} = 0.9 \times 20 = 18(\text{A})$$

熔断器熔体的计算电流为

$$I_{\text{jR}} = \frac{NI_{\text{ed}}}{2.5} = \frac{7.5 \times 20}{2.5} = 60(\text{A})$$

从而选择熔体的额定电流为 60A 的熔断器。

(2) 2 号电动机的熔断器选择。

电动机的额定电流 I_{ed} 为

$$I_{\text{ed}} = \frac{P}{\sqrt{3} U \eta \cos \varphi} = \frac{10}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.87 \times 0.87} = 20(\text{A})$$

电动机实际负载电流为

$$I_{\text{tz}} = K_{\text{tz}} \cdot I_{\text{ed}} = 1.0 \times 20 = 20(\text{A})$$

熔断器熔体的计算电流为

$$I_{\text{jR}} = \frac{NI_{\text{ed}}}{2.5} = \frac{2 \times 20}{2.5} = 16(\text{A})$$

从而选择熔体的额定电流为 20A 的熔断器。

(3) 3 号电动机的熔断器选择。

电动机的额定电流 I_{ed} 为

$$I_{\text{ed}} = \frac{P}{\sqrt{3} U \eta \cos \varphi} = \frac{5}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.85 \times 0.8} = 11(\text{A})$$

电动机的实际负载电流为

$$I_{\text{tz}} = K_{\text{tz}} \cdot I_{\text{ed}} = 0.8 \times 11 = 8.8(\text{A})$$

熔断器熔体的计算电流为

$$I_{\text{jR}} = \frac{NI_{\text{ed}}}{2.5} = \frac{6 \times 11}{2.5} = 26(\text{A})$$

从而选择熔体的额定电流为 30A 的熔断器。

(4) 1 号照明线路的负载电流为

$$I_{1\text{tz}} = \frac{P}{\sqrt{3} U} = \frac{20}{\sqrt{3} \times 0.38} = 30(\text{A})$$

从而选择熔体的额定电流为 30A 的熔断器。

(5) 2 号照明线路的负载电流为

$$I_{2\text{tz}} = \frac{P}{\sqrt{3} U} = \frac{30}{\sqrt{3} \times 0.38} = 45(\text{A})$$

从而选择熔体的额定电流为 50A 的熔断器。

(6)支路 ab 段线路上的熔断器选择。

支路 ab 段的负载电流为

$$I_{lx} = 30 + 45 + 20 = 95(\text{A})$$

从而选择熔体的额定电流为 100A 的熔断器。

(7)主线路上的熔断器选择。

计算主线路上的负载电流为

$$I_{lx} = 95 + 8.8 + 18 = 121.8(\text{A})$$

从而选择熔体的额定电流为 125A 的熔断器。

6. FN2 - 10R 型综合式开关上熔断器选择

这种开关是由 FN2 - 10 型负荷开关和 RN1 型熔断器组合而成。其熔断器的额定电流通常可选择 20、50A 和 100A 三种。

第七节 自动空气开关

自动空气开关又称为自动开关,是低压配电网络中重要的控制和保护电器之一,当电路发生短路、严重过载以及电压过低等故障时,它能自动切断电路。

上一节讨论的熔断器,虽然具备结构简单、制造容易、价格便宜和能得到可靠的保护等优点,但它只能反映短路和过载电流,不能反应电流的方向和电压的高低。此外,熔体每次熔断后,需要重新装入新熔体或更换新熔管,使用不便。而自动开关动作后不需要更换新元件,动作电流值可随时整定。这种开关具有工作可靠、运行安全、开断能力大、安装和使用方便等特点,目前在低压配电网络中日益得到广泛地应用。

一、自动空气开关的用途和分类

(一)自动开关的用途与特点

在 500V 以下的交流网络和更高电压的直流网络中,常用这种开关作不频繁的合、分电路。当电路中发生过负载、短路、电压消失或降低并改变直流方向时,能自动切断电路,其基本特点如下。

(1)关合和开断的能力大。自动空气开关能关合和开断的电流最大可达 50kA,基本上能开断各种接线方式(包括某些环形并联运行方式)的低压配电网络中可能出现的短

路电流,并能确保网络安全、可靠的运行。

(2)保护特性好。自动空气开关有多种脱扣器,如特大短路瞬时动作脱扣器、过载延时脱扣器、短路延时脱扣器、欠压脱扣器和分励脱扣器等。每台开关可装设其中的几种或全部。合理地选择和正确调整就能有选择地、可靠地保护低压配电线路和用电设备,以防止事故扩大和提高供电的可靠性,以满足不同保护和控制方案的需要。

(3)供电恢复好。在排除事故以后,能迅速恢复供电。

(4)操作方便。除用手动操作外,还可供远距离操作用的电动(电动机或电磁铁)操作机构。

(5)维护方便,使用安全。在规定的使用寿命期间,除进行一般维护工作外,无需调换任何零件,性能比较稳定。装置式自动空气开关的整个导电部分完全密封在塑料外壳内,结构紧凑,体积小,使用安全。

(二)自动空气开关分类

(1)根据自动开关的制造和使用习惯可分为:装置式(或称塑料外壳式)自动开关(见图4-69)、万能式(或称框架式)自动开关(见图4-70)、快速式自动开关和限流式自动开关等几种。

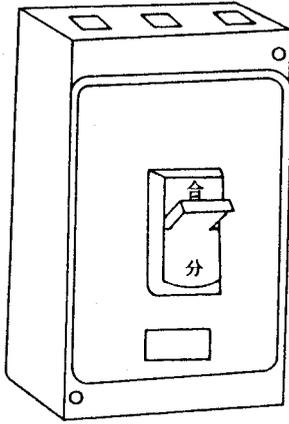


图4-69 DZ-10型装置式自动开关的外形图

(2)根据自动开关的极数可分为单、双极自动开关和三极自动开关三种。单、双极自动开关应用较少,故不在此介绍。

装置式自动开关和万能式自动开关的开断时间一般为 $0.1 \sim 0.3s$,所以被列为普通开断速度的自动开关。

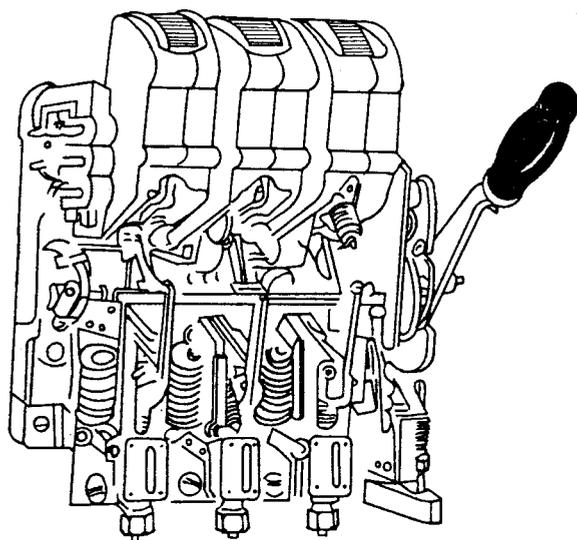


图 4-70 DW-10 型万能式自动开关的外形图

快速式自动开关的断开时间小于 0.02s ,主要用作整流器的过流保护和逆流保护 ,而且只限于直流。

限流式自动开关的特点是动作迅速 ,能将电流限制在第一个半波的峰值以内。它的动作时间一般在 1ms 以下。它是应用在交流低压网络的一种快速自动开关。

二、自动空气开关的工作原理和结构

(一) 自动开关的工作原理

图 4-71 为自动开关工作原理示意图。在正常负载情况下 ,脱扣器的顶杆 6 被弹簧向下拉 ,锁钩 3 不脱扣 ,因而触点 4 保持在闭合位置。当电流过大时 ,过载脱扣器 1 过流使衔铁 7 向下吸引顶杆 6 ,顶开锁钩 3 ,触点 4 在弹簧 5 的作用下打开。在正常电压时 ,衔铁 8 吸合释放顶杆 9 ,锁钩 3 不脱扣。在失压的情况下 ,失压脱扣器 2 失压使衔铁 8 没有吸力 ,释放顶杆 9 的弹簧迫使它的顶杆顶开锁钩 3 ,触点 4 打开 ,将电路断开。

(二) 自动开关的结构

1. 触点装置

自动开关的触点装置和其它有触点的电器一样 ,触点是一个很重要的组成部分 ,并依靠它实现电路的关合和开断。触点在工作时要受到机械撞击和电弧的破坏作用 ,很容易损坏。大容量的自动开关的每一极 ,一般由 3 个并联的触点组成(见图 4-72 中的主触点 1、副触点 2 和弧触点 3)。在关合位置时 ,主触点负担通过额定电流 ,所以主触点要

具有足够的电动稳定性和热稳定性。在开断时,首先主触点 1 与静触点 4 分开,接着是副触点 2 与其分开,最后是弧触点 3 与其分开,这时产生的电弧被灭弧装置熄灭。关合时的动作过程与开断时相反。

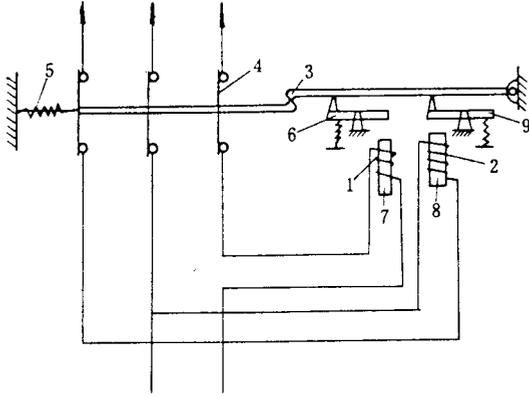


图 4-71 自动开关工作原理示意图

- 1—过载脱扣器 2—失压脱扣器 3—锁钩 4—触头；
5—弹簧 6—顶杆 7—衔铁 8—衔铁 9—顶杆

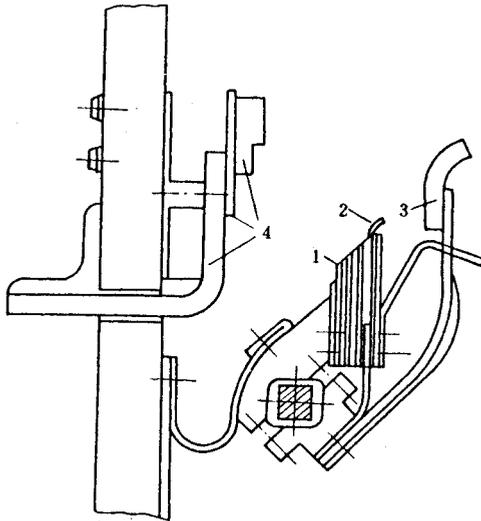


图 4-72 自动开关的触点装置

- 1—主触点 2—副触点 3—弧触点

(1) 弧触点是专门用来保护主触点免受电弧的破坏作用,因为无论是关合或是开断,电弧总是发生在弧触点上,所以弧触点一般采用耐弧材料制作。

(2)副触点是用来保护主触点可靠工作的。在弧触点损坏时,由副触点来承受电弧的作用。

(3)主触点要求具有较小的接触电阻和较大的散热表面。万能式自动开关的主触点采用块状,即在接触部分镶上银块。装置式自动开关的主触点采用粉末冶金触点(如用银钨合金、银镍合金等),以达到上述目的。

图4-73为DW10- $\frac{1000}{1500}$ 触点系统示意图。灭弧动触点1是用黄铜制成并可以更换,灭弧静触点2是用陶冶合金制成。在关合过程中,弹簧4受压力,把动触点5和静触点6紧紧压在一起,保证接触良好。

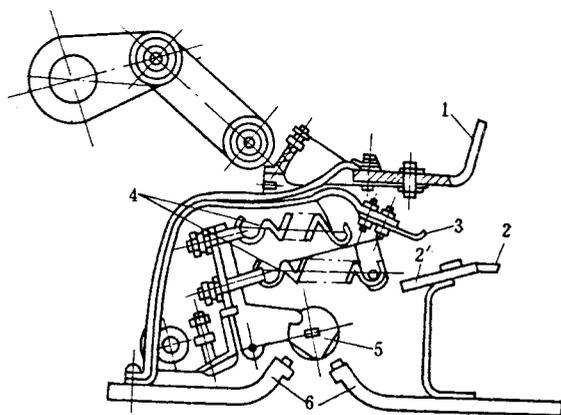


图4-73 DW10- $\frac{1000}{1500}$ 触点系统示意图

1—灭弧动触点 2—灭弧静触点 3、2'—副触点;
4—弹簧 5—工作动触点 6—工作静触点

2. 灭弧室

灭弧室的作用是熄灭电弧和防止极间电弧飞越。自动开关所采取的灭弧措施是：
①将电弧拉长,使电源电压不足维持电弧燃烧,从而使电弧熄灭,②有足够的冷却表面,使电弧能与整个冷却表面接触迅速冷却;③将电弧分成多段,使之成为短弧,每段短弧有一定的电压降,这样电弧上总的压降增加,电源电压不足以维持电弧燃烧,电弧便熄灭;④限制电弧火花喷出的距离,以免造成相间飞弧。触点在开断电流时所产生的电弧,由于电力和磁场力的作用,进入由钢片组成的灭弧栅中。当电弧进入灭弧栅后,就被灭弧栅分割为一段段短弧而很快熄灭。为了限制电弧火花的飞溅距离,有时往往在灭弧室的出口处装置许多金属片(见图4-74),也称为灭焰栅片。灭焰栅片

能有效地冷却喷出的气体,并限制电弧和弧焰的溅出。由于这种灭弧室具有迷宫式的灭弧作用,因此有助于断流容量的提高。另外,灭弧室的外壳,一般采用绝缘及耐热材料制成。

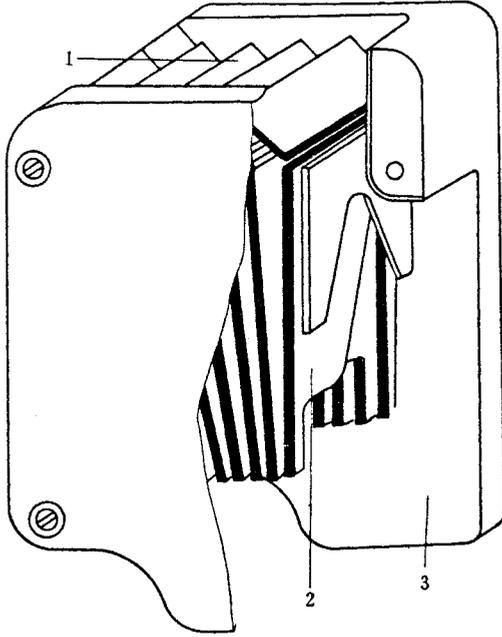


图 4-74 自动开关灭弧室示意图

1—灭焰栅片 2—灭弧栅片 3—灭弧室

3. 自由脱扣机构

自由脱扣机构是与触点装置、保护装置相连接的机构,通过它的作用可以使触点关合或开断。自由脱扣机构常制成如图 4-75 所示的四连杆机构。当自动开关在合闸位置(见图 4-75 a)时,绞链 9 稍低于绞链 7 和 8 的连接直线。当自动开关在分闸位置(见图 4-75 b)时,跳闸线圈 4 的铁芯 5 向上顶动连杆系统 6,使绞链 9 的位置移向绞链 7 和 8 的连接直线之上,连杆机构向上曲折,此时不论手柄 1 的位置如何,自动开关都能断开。要使自动开关再关合时,必须将手柄顺时针转动到对应于开关断开的位置(见图 4-75, c)绞链 9 又处于绞链 7 和 8 的直线之下,即可进行合闸操作,使动触点 3 与静触点 2 接触,电路关合。

4. 典型结构

在这里主要讨论 3 种 DZ10 型、DW10 型、DWX15 型的自动开关的结构。

(1) DZ10 型自动开关是一种塑料外壳装置式自动开关,它具有良好的保护性能,安

全可靠和轻巧美观的优点。其额定电流为 $10 \sim 600\text{A}$,开断能力为 $7 \sim 50\text{kA}$,机械寿命为 $7000 \sim 20000$ 次 ,电寿命为 $2000 \sim 10000$ 次。

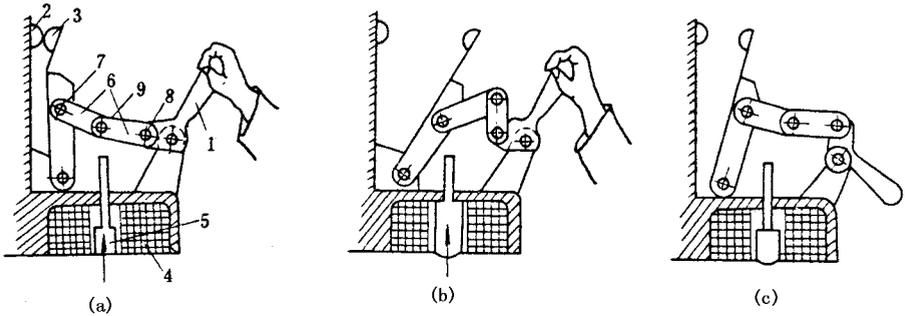


图 4-75 自动开关自由脱扣机构工作原理图

(a)自动开关合闸 (b)自动开关分闸 (c)自动开关准备合闸

1—手柄 2—静触点 3—动触点 4—跳闸线圈 5—铁芯 6—连杆 7、8、9—铰链

图 4-76 为 DZ10 型装置式自动开关结构图 ,它主要由绝缘基座、盖、触点灭弧系统、操作机构和脱扣器等几部分组成。

自动开关的绝缘基座和盖采用热固性塑料压制而成 ,它们具有良好的绝缘性能。触点采用陶冶合金制造 ,在通过大电流时不发生熔焊现象 ,并且具有抗腐蚀和耐磨等特点。灭弧室采用去离子栅片灭弧 ,室壁由反白纸板制成。

自动开关的操作机构为四连杆式 ,操作是瞬时关合与瞬时断开 ,与操作速度无关 ,故能承受较大的关合电流与开断电流。

脱扣器分为复式、电磁式和热脱扣三种。

- 1) 复式脱扣器 ,装有过载和短路保护的元件 ;
- 2) 电磁式脱扣器 ,装有短路保护元件 ;
- 3) 热脱扣器 ,装有过载保护元件。

自动开关的脱扣器 ,可按各种不同的额定电流来进行调换 ,但也可以不装脱扣器作闸刀使用。自动开关还配备有分励脱扣、辅助触点和失压脱扣装置 ,供远距离分断和自动开关本身控制回路用 ,并保证维持在一定电压范围内运行。

自动开关分板前和板后两种接线 ,除板前接线引出的接线头露出外 ,其余部分均装于硬质塑料或胶木壳内。

自动开关的动作分再扣、合闸、分闸和自由脱扣四部分。

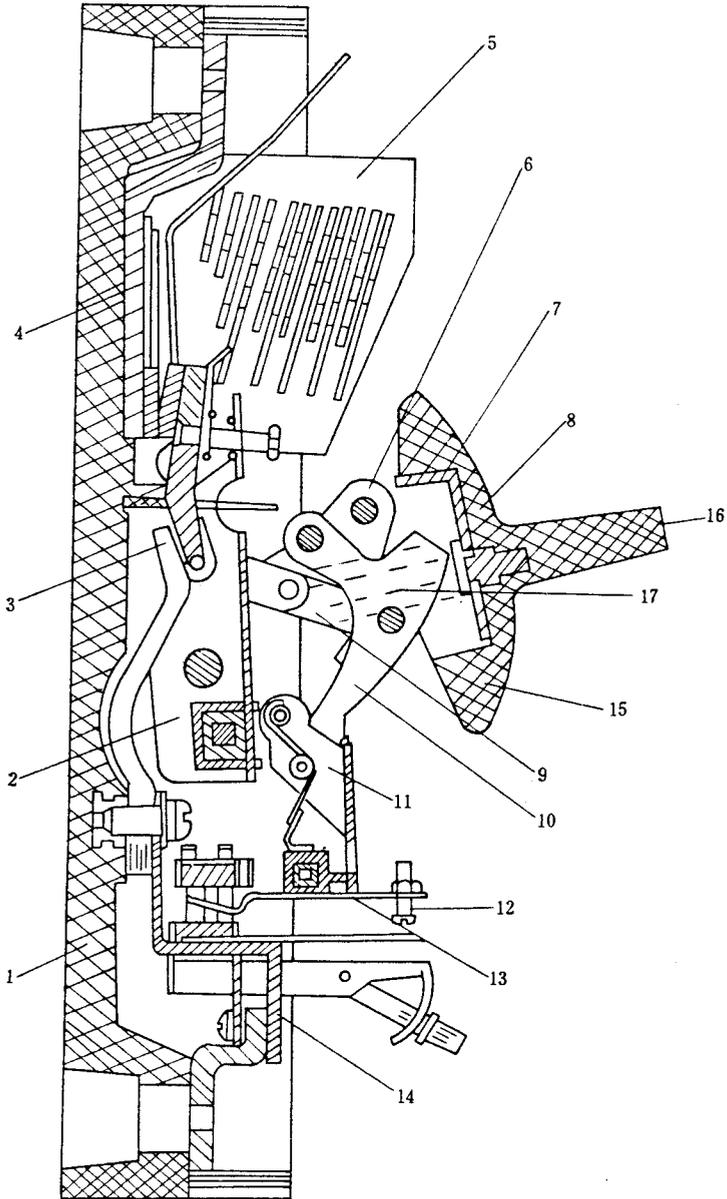


图 4-76 DZ10 型装置式自动开关结构图

- 1—基座 2—支架 3—动触点 4—静触点 5—灭弧室 6—夹板 7—杠杆 8—手柄；
9—连杆；10—跳扣；11—锁扣；12—调整螺钉；13—牵引杆；14—脱扣器；15—断开位置；
16—合闸位置；17—自由脱扣位置

(2)DW10 型万能式自动开关是一种框架式自动开关，它是目前生产的自动开关典型产品，其额定电压有交流 380V 和直流 440V 两种，额定电流等级有 200、400、600、1000、

1500、2500 和 4000A 七种 ,合闸操作方式有直接手柄操作、电磁铁操作和电动机操作三种。1500A 以下的自动开关 ,可采用手柄合闸 ,其中 200 ~ 600A 的自动开关 ,除手柄操作外 ,还可以根据需要采用电磁铁合闸 ;1000 ~ 1500A 的自动开关 ,除手柄操作外 ,还可以采用电动机合闸 ;2500 ~ 4000A 的自动开关只能用电动机合闸。

图 4 - 77 为 DW10 型万能式自动开关安装尺寸图 ,底座分为两种形式 :① 额定电流

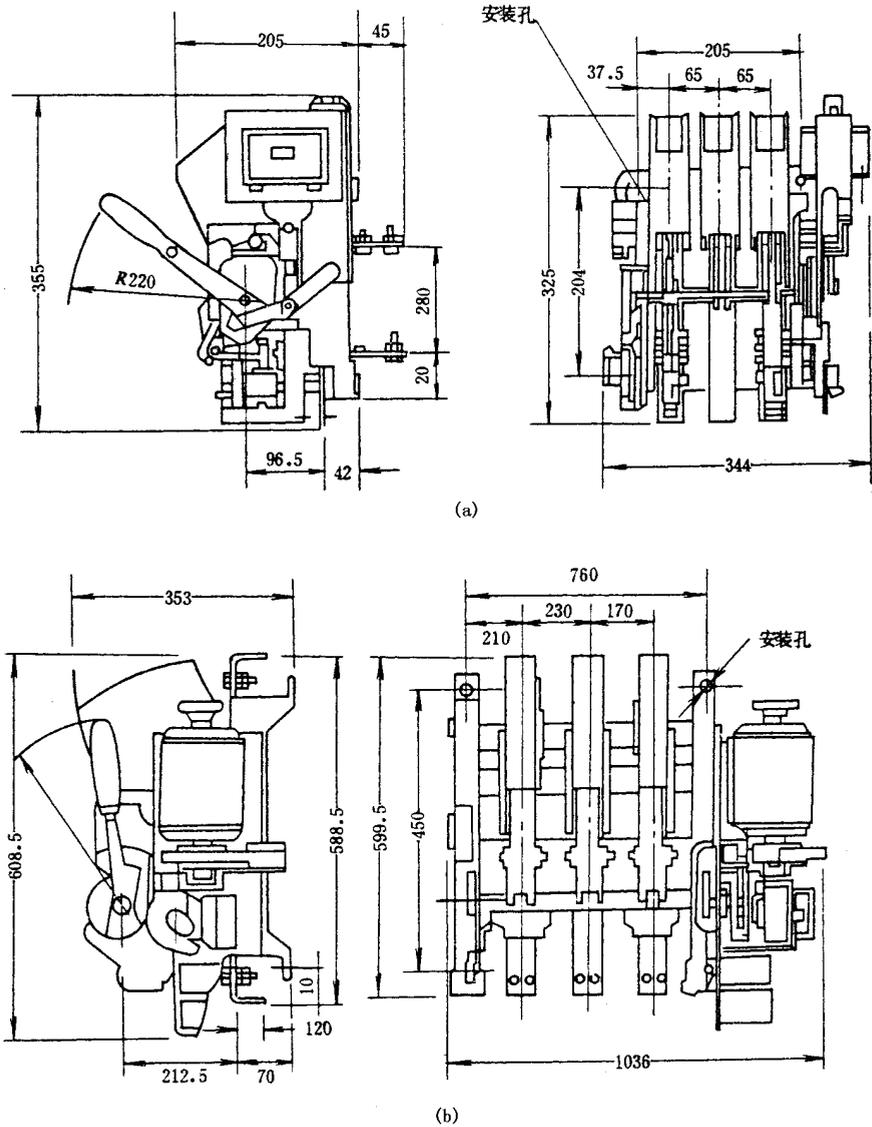


图 4 - 77 DW10 型万能式自动开关安装尺寸图

(a 额定电流为 200A 的自动开关 (b 额定电流为 400A 的自动开关

为 200 ~ 400A 的采用塑料压制 ;②1000 ~ 4000A 的采用金属底架。这种自动开关也有两极或三极的 ,其中 200A 的只有主触点 ;400 ~ 600A 的有主触点和弧触点 ;1000 ~ 4000A 的有主触点、副触点和弧触点(2500A 的每极触点采用两组 1500A 的触点元件并联 ,4000A 的每极触点采用三组 1500A 触点元件并联)。1000 ~ 4000A 的动弧触点和动副触头采用黄铜制成 ,静触点采用紫铜制成 ,其余触头均采用陶冶合金制成。

自动开关的传动部分是由四连杆及自由脱扣机构组成。自由脱扣机构能保证自动开关自由脱扣和瞬时动作。

自动开关的灭弧系统具有去离子栅片的陶土灭弧罩。

自动开关的过电流脱扣器为电磁元件 ,它能完成瞬时和延时动作(延时由钟表机构完成)。分励脱扣器和失压脱扣器也为电磁元件。

这种自动开关的关合速度与操作速度有关 ,故在手动操作时 ,必须由熟练工人操作。对额定电流为 200 ~ 600A 的自动开关常采用螺管式电磁铁操作 ,其操作电压具有交流和直流两种。图 4 - 78 为交直流电磁铁合闸操作电路图。当利用电磁铁 DC 作远距离合闸时 ,按下合闸按钮 HA ,合闸接触器线圈 JC 通电(电源 1 → HA → ZK → 线圈 JC → SJ 常闭触点 → 电源 2) ,接触器 JC 的主触点闭合 ,使合闸电磁铁线圈 DC 通电 ,在合闸电磁铁线圈 DC 所产生的电磁力作用下 ,使自动开关合闸。由于合闸电磁铁的线圈 DC 是按短时通电工作设计的 ,允许通电时间不超过 1s ,所以自动开关合闸以后 ,就必须立即使合闸电磁铁线圈 DC 断电 ,这一要求靠时间继电器 SJ 来实现。在按下合闸按钮 HA 时 ,不仅使接触器 JC 通电 ,而且使时间继电器 SJ 的线圈同时通电(电源 1 → HA → ZK → SJ 线圈 → 电源 2)。这时与合闸按钮 HA 并联的接触器 JC 的常开触点瞬时闭合 ,自保持 JC 和 SJ 的线圈通电 ,直到自动开关合闸为止。而 SJ 的常闭延时断开触点延时不到 1s 后断开 ,从而切断了接触器 JC 的线圈电路 ,保证了合闸电磁铁线圈 DC 通电时间不超过 1s。自动开关的连锁触点 ZK ,是在自动开关合闸后 ,用来保证电磁铁操作机构不再动作的。时间继电器 SJ 的常开触点是用来防止自动开关在按钮 HA 的触点被粘住时 ,多次闭合于存在着短路的电路上 ,也即防止自动开关触点“ 跳跃 ”用的。若按钮 HA 被粘住 ,而自动开关闭合于短路的电路上时 ,其过电流脱扣器瞬时动作 ,自动开关跳闸 ,但由于时间继电器的常开触点一直处于闭合状态 ,其线圈也一直通电 ,其延时断开触点是保持断开的 ,所以接触器 JC 的线圈不会通电 ,自动开关也不会再次合闸。

图 4 - 79 为 DW10 - 1000 ~ 4000 交流电动机操作原理接线图 ,当利用电动机 D 操作时 ,按下合闸按钮 HA ,合闸接触器 JC 线圈通电 ,使接触器 JC 的触点关合 ,电动机开始起动。在电动机的电动力作用下 ,自动开关进行合闸。自动开关的触点关合正常后 ,行

程开关 ZH 的触点断开,交流接触器 JC 线圈失电并触点打开,使交流电动机失电而停止运行,自动开关合闸完毕。当交流接触器 JC 的触点 JC_1 关合时,中间继电器 ZJ 的线圈通电,常开触点 ZJ_1 闭合,常闭触点 ZJ_2 打开,以防止在合闸中途,电动机的传动电路发生故障时,因失压脱扣器 TS 欠压使自动开关脱扣,而形成自动重合闸。自动开关的辅助触点 ZK 是用以保证电动机传动机构在自动开关合闸后不再动作。制动器 Z 是保证电动机的制动作用。

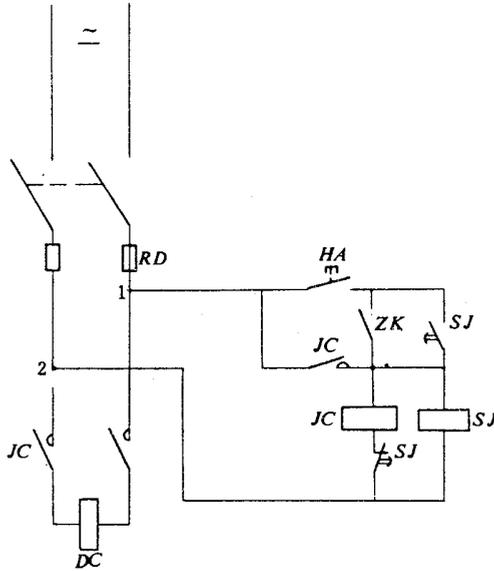


图 4-78 DW10 型自动开关交直流电磁铁合闸操作回路

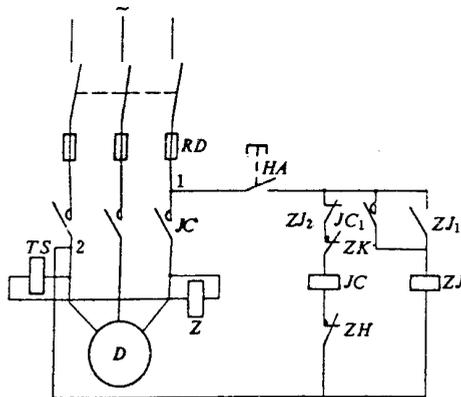


图 4-79 DW10-1000~4000 交流电动机操作原理接线图

(3)DWX15 型万能式限流自动开关一般用在 380~660V 配电网中,也可用作对线路不频繁的转换和 320kW 及以下电动机的直接起动。它具有过载、欠压和短路的保护

作用。限流自动开关还具有限流特性,在特大短路电流的电路中用作短路保护。

限流式自动开关为立体布置形式,它由触点系统、灭弧系统、操作机构、快速脱扣器、欠电压脱扣器、过载长延时脱扣器和绝缘底板等组成,其结构为积木式立体结构,进出线方式为板后进出线方式。

触点系统(见图4-80)是由静触点支架6、连杆5、杠杆9及软连接组成。静触点1

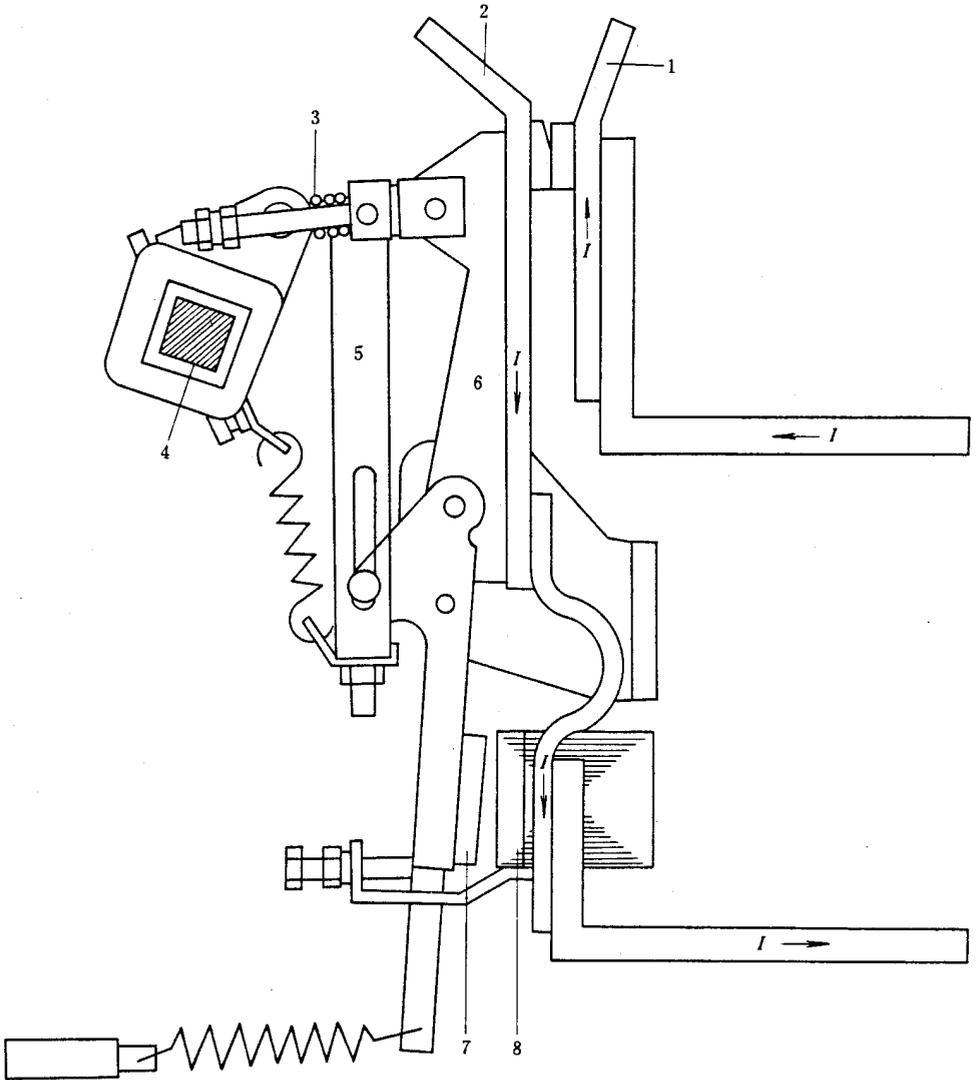


图4-80 触点系统及瞬动过电流脱扣器

- 1—静触点 2—动触点 3—触点弹簧 4—主轴 5—连杆 6—支架;
7—瞬动过电流脱扣器衔铁 8—瞬动过电流脱扣器铁芯

和动触点 2 为两根较长的平行载流导体。当存在短路电流时,动、静触点之间产生很大的电动斥力,将触点迅速断开,并把产生的电弧极快地引入灭弧室,并以极快的速度把可能出现的短路电流限制在一较小的数值,并同时把电路切断。

该限流式自动开关采用储能操作机构,闭合速度与操作力无关。操作类型分为直接传动和电磁铁传动两种。

长延时过电流脱扣器是速饱和电流互感器和热继电器组成。瞬时过电流脱扣器是由拍合式电磁铁组成(见图 4-80)。

限流式自动开关的限流系数小于 0.6。限流系数是指实际分断电流峰值与预期短路电流峰值之比。

DWX-15 型万能式限流自动开关的额定电流有 200、400、630A 三种。DWX-15 型为固定式限流自动开关,DWX-15C 型为抽屉式限流自动开关。

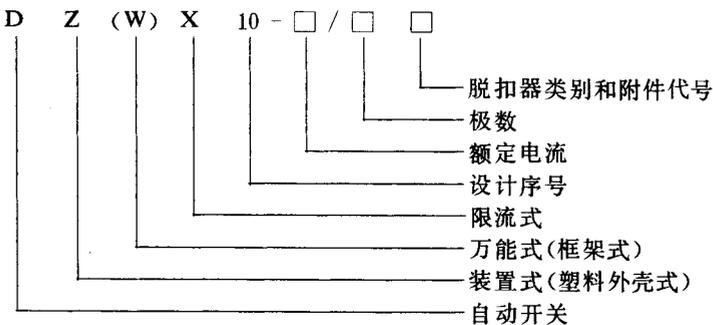
DWX-15 型框架式自动开关的额定电流有 1000、1500、2500 和 4000A 四种。结构为立体布置,每相触点系统由主触点和弧触点组成。1500A 的自动开关每相为一组触点,2500A 的自动开关每相为两组触点并联,4000A 的自动开关每相为三组触点并联。操作机构用弹簧储能合闸,所以与手操作速度无关。手动操作的自动开关有预储能的机构,则先操作手柄至储能位置后,再按面板上“合”字按钮,自动开关即闭合。背后杠杆操作的自动开关,因仅生产无预储能机构,故将手柄推至合闸位置,开关即闭合。电动操作的自动开关,则控制电动机,由电动机操作弹簧储能,当储能结束后,可远距离操作释能电磁铁,使自动开关合闸。在无电源情况下,可用检修手柄来操作自动开关。

三、自动空气开关的选择、安装与维护

(一)自动空气开关的选择

1. 自动开关的型号含义

为了便于选择自动开关,首先应正确掌握自动开关的型号含义。



2. 自动开关的技术参数

DZ10、DW10 和 DWX - 15 系列自动开关的技术数据 ,分别见表 4 - 24 ~ 表 4 - 26。

表 4 - 24 DZ10 系列装置式自动开关技术数据

型 号	脱扣器额定电流 (A)	极限开断电流(A)		
		直流 220V	交流 380V	交流 500V
DZ10 - 100	15	7000	7000	6000
	20			
	25	9000	9000	7000
	30			
	40			
	50	20000	30000	25000
	60			
	80			
	100			
DZ10 - 250	100	20000	30000	25000
	120			
	140			
	170			
	200			
	250			
DZ10 - 600	200	25000	50000	40000
	250			
	300			
	350			
	400			
	500			
	600			

表 4 - 25 DW10 系列万能式自动开关技术数据

型 号	额定电流 (A)	过电流脱扣器额定电流 (A)	过电流瞬时脱扣器整定电流范围 (A)
DW10 - 200/2 DW10 - 200/3	200	60	60 ~ 90 ~ 180
		100	100 ~ 150 ~ 300
		150	150 ~ 225 ~ 450
		200	200 ~ 300 ~ 600

型 号	额定电流 (A)	过电流脱扣器额定电流 (A)	过电流瞬时脱扣器整定电流范围 (A)
DW10 - 400/2 DW10 - 400/3	400	100	100 ~ 150 ~ 300
		150	150 ~ 225 ~ 450
		200	200 ~ 300 ~ 600
		250	250 ~ 375 ~ 750
		300	300 ~ 450 ~ 900
		350	350 ~ 525 ~ 1050
		400	400 ~ 600 ~ 1200
DW10 - 600/2 DW10 - 600/3	600	400	400 ~ 600 ~ 1200
		500	500 ~ 750 ~ 1500
		600	600 ~ 900 ~ 1800
DW10 - 1000/2 DW10 - 1000/3	1000	400	400 ~ 600 ~ 1200
		500	500 ~ 750 ~ 1500
		600	600 ~ 900 ~ 1800
		800	800 ~ 1200 ~ 2400
		1000	1000 ~ 1500 ~ 3000
DW10 - 1500/2 DW10 - 1500/3	1500	1000	1000 ~ 1500 ~ 3000
		1500	1500 ~ 2250 ~ 4500
DW10 - 2500/2 DW10 - 2500/3	2500	1000	1000 ~ 1500 ~ 3000
		1500	1500 ~ 2250 ~ 4500
		2000	2000 ~ 3000 ~ 6000
		2500	2500 ~ 3750 ~ 7500
DW10 - 4000/2 DW10 - 4000/3	4000	2000	2000 ~ 3000 ~ 6000
		2500	2500 ~ 3750 ~ 7500
		3000	3000 ~ 4500 ~ 9000
		4000	4000 ~ 6000 ~ 12000

表 4 - 26 DWK - 15 系列自动开关技术数据

型 号	额定电流 (A)	额定短路分断电流(有效值, kA)		全分断时间 (ms)
		380V	660V	
DWX - 15 - 200	100、160、200	50	20	10
DWX - 15 - 200	100、160、200	50	20	10
DWX - 15 - 400	200、315、400	50	25	10
DWX - 15C - 400	200、315、400	50	25	10
DWX - 15 - 630	315、400、630	70	25	10
DWX - 15C - 630	315、400、630	50	25	10

3. 自动开关的选择

现将自动开关选择按配电网的正常、起动和短路情况分述于下。

(1)按回路正常运行条件选择时,应使被选择的自动开关的额定电压大于配电网的额定线电压,额定电流大于网络回路的负载电流,即

$$U_{ezD} \geq U_e \quad (V) \quad (4-13)$$

$$I_{ezD} \geq I_{fz} \quad (A) \quad (4-14)$$

式中 U_{ezD} ——自动开关的额定电压(V);

U_e ——网络的额定线电压(V);

I_{ezD} ——自动开关的额定电流(A);

I_{fz} ——网络回路的计算或实际负载电流(A)。

(2)按回路起动情况校验脱扣器的额定电流,并按自动开关的额定电流 I_{ezD} 选择过电流脱扣器时,为保证自动开关的瞬时或短延时过电流脱扣器在正常起动情况下不发生误动作,要求该脱扣器的整定电流大于起动回路可能产生的最大起动电流 I_{QZD} 。

1)单独电动机回路,这种情况要求为

$$I_{TZD} \geq K_1 I_{QZD} \quad (4-15)$$

式中 I_{TZD} ——脱扣器瞬时动作电流(A);

K_1 ——考虑到脱扣器动作电流的误差及起动电流的允许变化而设的可靠系数,其值与自动开关结构形式有关,对于 DW 型可取 1.35,对于 DZ 型可取 1.5~1.7;

I_{QZD} ——电动机回路的最大起动电流(A)。

2)供电干线回路,这种情况要求如下。

当不考虑电动机自起动时

$$I_{TZD} \geq K_2 [I_Q + I_{(n-1)}] \quad (4-16)$$

式中 K_2 ——安全系数,可取 1.25~1.3;

I_Q ——网络回路中最大一台电动机的起动电流(A);

$I_{(n-1)}$ ——不考虑最大一台电动机起动电流时的干线计算电流(A)。

当考虑电动机自起动时

$$I_{TZD} \geq K_2 I_{Qn} \quad (4-17)$$

式中 I_{Qn} ——需要考虑自起动影响的所有电动机起动电流的总和(A)。

(3)按回路短路电流校验自动开关的断流能力。

1) 对于 DZ 系列自动开关或用峰值表示其极限断流能力的开关, 应要求

$$I_{DL} \geq I_{cj} \quad (4-18)$$

式中 I_{DL} ——自动开关的极限开断电流周期分量有效值, 若制造厂所提供的数据是峰值电流, 则按峰值校验(kA);

I_{cj} ——短路冲击电流的有效值(kA)。

2) 对于 DW 系列自动开关或用有效值表示其极限断流能力的开关, 应要求

$$I_{DL} \geq I_d \quad (4-19)$$

式中 I_d ——回路短路电流周期分量有效值(kA)。

4. 自动开关的电气接线

自动开关的电气接线方式通常有下列几种方式(见图 4-81)。

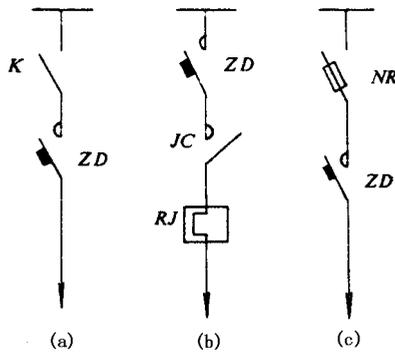


图 4-81 自动开关接线方式

(a) 自动开关与刀开关配合 (b) 自动开关与接触器配合 (c) 自动开关与熔断器式开关配合

ZD—自动开关; JC—接触器; RJ—热继电器; NR—熔断器式开关

(1) 自动开关与刀开关配合的方式, 如图 4-81(a)所示。这种接线方式适用于自变压器二次侧引出的低压配电干线电路, 或单独的非频繁操作的电动机电路。其中低压配电干线主回路中的自动开关 ZD 作为短路保护, 而电源侧的隔离开关 K 是用作检修时断开电路, 使之有一明显的断开点, 从而保证人身安全。

(2) 自动开关与接触器相配合的方式, 如图 4-81(b)所示。这是最常用的接线方式, 目前制造厂生产的成套配电屏(柜)多采用这种接线方式。其中接触器 JC 或磁力起动器用作回路的操作电器, 热继电器 RJ 用作过载保护, 而自动开关 ZD 用作短路保护。这种接线方式适用于操作频繁的场所。

(3) 自动开关与熔断器式开关配合的方式, 如图 4-81(c)所示。这种接线方式适用于仅带热脱扣装置的自动开关。这种接线中的自动开关作为过流保护(如 DZ 型), 而熔

断路器式开关作为短路保护。

(二) 自动开关的安装与维护

1. 自动开关的安装

因为这种开关多安装在成套配电屏上,这里主要讲开关的接线和安装前后的注意事项。

(1) 安装前先以 500V 摇表检查自动开关的绝缘电阻,并要求其绝缘电阻值在周围介质温度为 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度为 50% ~ 70% 时,不小于 $10\text{M}\Omega$ 。如果绝缘电阻值过低时,需要进行烘干处理。

(2) 自动开关的静触点(上进线端)应与由电源引进的导线或母线连接;而用户的导线或母线应接在下出线端上。

(3) 检查电磁操作的自动开关是否能在规定的电压范围内使自动开关可靠关合。

(4) 检查自动开关在失压时分励及过电流脱扣器是否能在规定的动作范围内使开关断开。

(5) 安装完毕后,应用手柄或其它传动装置检查自动开关的工作准确性及可靠性。

2. 自动开关的使用与维护

(1) 使用前,将磁铁工作极面的防锈油抹净;

(2) 机构的各个摩擦部分必须定期涂以润滑油;

(3) 自动开关在断开短路电流后,应检查触点(必须将电源切除),并将自动开关触点上的烟痕抹净。在检查自动开关触点时必须注意到以下两点。

1) 如果在触点表面形成小的金属微粒时,必须加以清除,并保持触点原有的形状;

2) 如果触点的厚度小于 1mm (银钨合金的厚度),则必须更换或重新调整。

(4) 在触点检查及调整完毕后,应对自动开关的其它部分(如过电流脱扣器等)进行检查;

(5) 当灭弧罩损坏时,尽管只有一个灭弧罩被碰坏或裂损,均不允许再通电使用,必须更换新的自动开关。

第八节 热继电器

一、热继电器的用途和分类

(一) 热继电器的用途

热继电器是一种应用比较广泛的电器,通常用它来作为交流三相异步电动机或线路

过载和欠压保护,反映被控制设备和发热状态。将它与交流接触器组成磁力起动器,便可以作为电动机的起动控制设备。

(二)热继电器的分类

热继电器按动作方式可分为:①双金属片式,利用具有不同线膨胀系数(金属线膨胀系数是指温度每升高 1°C 时,单位长度的金属所膨胀的长度)的两种金属片受热弯曲的原理去推动操作机构而动作;②易熔合金式,利用过载或短路发热,达到某温度时使易熔合金熔化而动作;③利用材料磁导率或电阻值随温度变化而变化的特性原理制成的热继电器。在这3种热继电器中,目前应用较广泛是双金属片热继电器,因为这种热继电器具有结构简单、体积小和成本较低,另外这种热继电器的热元件还具有良好的反时限特性。因此,下面就重点讲述双金属片式热继电器。

二、热继电器的工作原理和特性

(一)热继电器的工作原理

双金属片式热继电器是利用双金属片受热后发生弯曲的特性来断开触点的。如图4-82(a)所示,将两种线膨胀系数不同的金属片牢固地轧焊在一起,如果左侧金属片的膨胀得多,右侧金属片膨胀得少,那么双金属片就向右弯曲,即向膨胀系数小的金属片侧弯曲,如图4-82(b)所示。热继电器就是利用双金属片这个特性制成的。

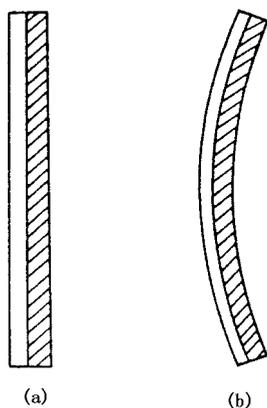


图 4-82 双金属片对温度的反应

(a)受热前 (b)受热后

图4-83为双金属片热继电器的工作原理图,加热元件2经常通过负载电流,并加热双金属片1,双金属片受热后发生弯曲,但是弯曲的程度比较小,触点仍保持闭合。当

加热元件 2 中的电流增加到一定数值时,双金属元件因温度升高而弯曲加大,片端离开了触点 3,触点被弹簧 4 拉开,使主电路得到保护。若使触点重新闭合,须经过一定的冷却时间,待双金属片温度降低后,通过复位装置才能使触点闭合。

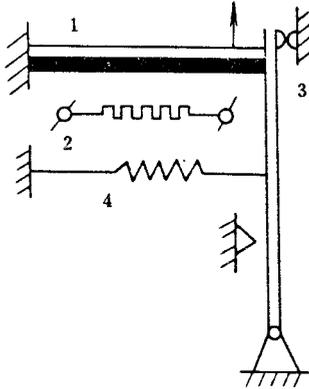


图 4-83 热继电器工作原理图

1—双金属片 2—加热元件 3—触点 4—弹簧

目前生产的双金属片,其主动层材料(弯曲大的)为铁镍铬合金,被动层(弯曲度小的)的材料为铁镍合金,由于这两种金属膨胀系数相差较大,因此这种双金属片在受热时能产生较大的变形。

(二)热继电器的特性

热继电器的基本特性是电流—时间特性(也称安秒特性),它表示热继电器动作时间和通过热继电器电流与被保护设备额定电流之比的关系,如图 4-84 所示,热继电器的电流—时间特性为反时限的,即电流倍数 I/I_e 愈大,动作时间 t 愈短。

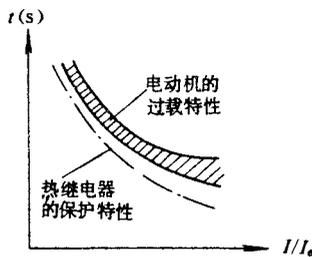


图 4-84 热继电器的安秒特性

热继电器主要用作电动机的过载保护。电动机短时过载,在电力传动中会经常遇到的,因此只要电动机绕组不超过允许温升,这种短时过载是允许的。但当电动机绕组超

过允许温升时,电动机过热会加速绝缘老化,这样就会缩短电动机的使用年限,严重时会使电动机的绕组烧坏,因此保护电动机的办法最好是用热继电器,热继电器应与电动机的特性相配合(见图4-84)。对热继电器的电流—时间特性必须满足以下几点要求:①热继电器动作时间内,被保护电动机的过载不应超过允许值;②为了充分利用电动机的过载能力,热继电器的动作时间不应过分小于电动机允许过载发热的时间,也就是要求热继电器的电流—时间特性要与电动机的热过载特性接近重合;③能够使交流感应电动机直接起动。

三、热继电器的结构

(一)JR15系列热继电器结构

图4-85为JR15系列热继电器外形图。这种热继电器为两相式结构,并具有一个温度补偿机构,因而保证热继电器在不同介质温度时,其刻度电流值几乎不变。它具有一个动作机构与触点系统,触点的动作是跳跃式的瞬时动作,动作后又能自动复位。

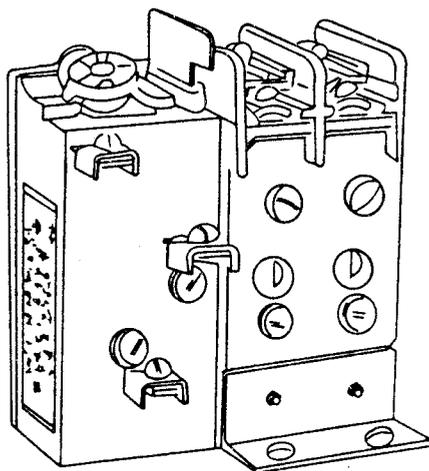


图4-85 JR15系列热继电器外形图

图4-86为JR15系列热继电器的结构图,它是由壳体1、主双金属片2、加热元件3、导板4、补偿双金属片5、常闭静触点6、常开静触点7、复位调节螺钉8、动触点9、再扣弹簧10、再扣按钮11、再扣复位弹簧12、凸轮13、支持件14、弹簧15和推杆16组成。主双金属片2与加热元件3采用联合加热法一起接入主电路内。当线路过载时,主双金属片因过热而弯曲,推动导板4,并通过推杆16将动触点9与静触点6分开,控制回路随即断电,因而保护了电气设备。

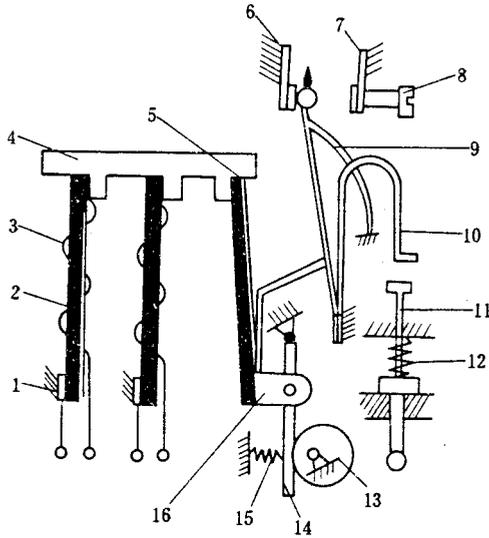


图 4-86 JR15 系列热继电器结构原理

- 1—壳体 2—主双金属片 3—加热元件 4—导板 5—补偿双金属片；
 6—常闭静触点 7—常开静触点 8—复位调节螺栓 9—动触点 10—再扣弹簧；
 11—再扣按钮 12—再扣复位弹簧 13—凸轮 14—支持件 15—弹簧 16—推杆

转动偏心结构的调整电流旋钮凸轮 13，可以改变推杆 16 的位置来调节过载保护电流的大小。

热继电器动作后，待主双金属片冷却，即可手动按下再扣复位按钮 12，推动再扣按钮 11 和再扣弹簧 10，使动触点 9 与常闭静触点 6 分开并与常开静触点 7 合上，使继电器恢复原状。此外调节复位调节螺钉 8 也可以达到自动复位的目的。

JR15 系列热继电器按额定电流分为 10、40、100 和 150A 四种，可制成两极和三极的。在电压为 500V 以下、电流达 150A 的配电网中可用这种热继电器，作为交流电动机的过载保护，也常将它与交流接触器配合组成磁力起动器使用。

(二) JR9 系列热继电器结构

图 4-87 和图 4-88 分别为 JR9 系列热继电器的外形图和结构原理图。热继电器通常制成三相式结构，所有零件都装在酚醛塑料压制的底座上。如图 4-88 所示，这种热继电器的结构可分为以下两个部分。

1. 过载保护部分

双金属片 1 由间接加热的热元件 2 通电发热后产生弯曲，从而推动动杆 3，动杆 3 拨动温度补偿双金属片 4。当温度补偿双金属片移动超过中心点时，弹簧 6 突然改变方向使触点 7 分开，断开控制电路，使主电路断电（见图 4-88 b）。冷却后，双金属片 1 恢复

原状 动杆 3 离开温度补偿双金属片 4 此片受反力弹簧的作用回到原位。当经过中心点时 弹簧 6 恢复原来的方向,使触点闭合 继电器恢复正常状态。过载保护电流的大小借 凸轮 5 来调节,转动凸轮 5 能改变温度补偿双金属片 4 与动杆 3 之间距离 A 的大小,电流的可调整值在凸轮 5 上有明显的标志。

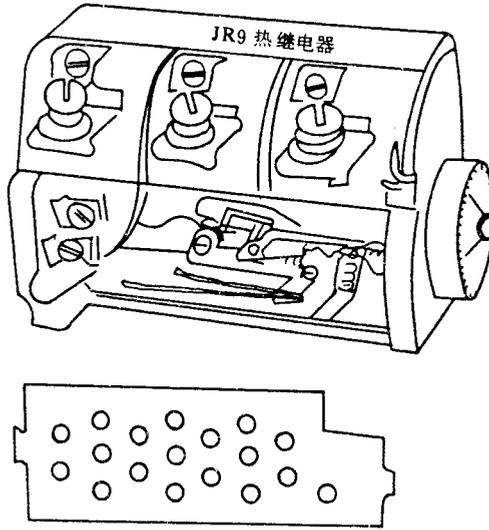


图 4-87 JR9 系列热继电器外形图

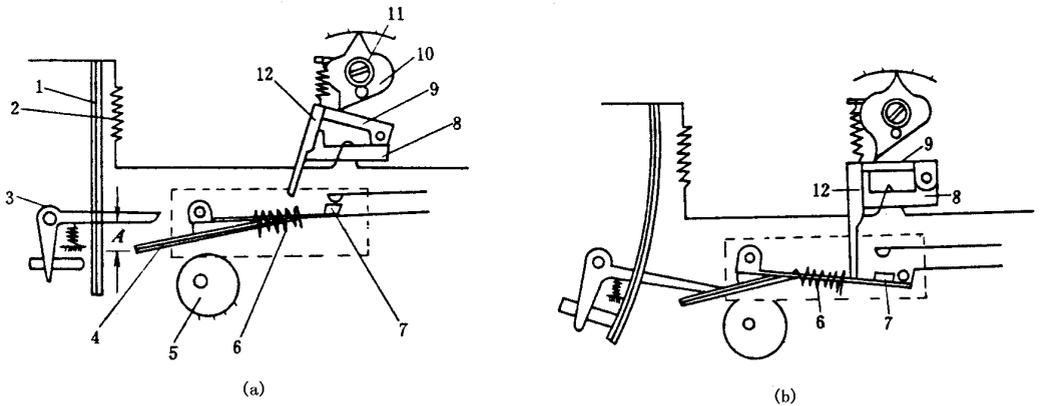


图 4-88 JR9 系列热继电器结构原理图

(a) 正常情况 (b) 动作情况

- 1—双金属片 2—热元件 3—动杆 4—温度补偿双金属片 5—凸轮 6—弹簧;
7—触点 8—静衔铁 9—转动衔铁 10—指示器 11—固定螺丝 12—衔铁杆

2. 短路保护部分

短路保护部分是由凹形的静衔铁 8 和转动衔铁 9 组成。当通过短路电流时,静衔铁 8 吸引转动衔铁 9,衔铁杆 12 推动触点 7(见图 4-88 b)而断开控制电路。断电后,衔铁受弹簧力的作用恢复原位,触点重新闭合。短路电流的大小可借指示器 10 来调节,拨动指示针时能改变衔铁的分开距离,以及改变衔铁弹簧拉力。电流的可调整范围值在指示度盘上有明显的标志。

JR9 系列限流热继电器有双金属元件和电磁元件,分别用于过载和短路保护。JR9-A 系列的热继电器只有双金属元件,所以只能用于过载保护。

四、热继电器的动作调整和试验方法

(一)热继电器试验的标准环境温度

JR15 系列热继电器试验的标准环境温度为 $+25 \pm 5^{\circ}\text{C}$;JR9-300A 型热继电器试验的标准环境温度为 $+40^{\circ}\text{C}$ 。如果在室温下进行试验,一般试验时的室温不应低于 $+10^{\circ}\text{C}$,否则需要考虑环境温度对它的影响。这两种继电器虽然都有温度补偿,但其电流仍随环境的温度变化而稍为改变。

1. JR15 系列热继电器

当周围环境温度在 $0 \sim 55^{\circ}\text{C}$ 的范围内,电流变化为 $\pm 3\%$;在 $0 \sim -30^{\circ}\text{C}$ 的范围内,电流的变化不大于 10% 。

2. JR9-300A 系列的热继电器

当试验的环境温度每升高或降低 1°C 时,其电流的减少或增加在最小刻度值时约为 0.4% ,在中间刻度值时约为 0.25% ,最大刻度值时约为 0.1% 。

(二)热继电器的调整和维护

(1)将热继电器各相用相应表 4-27 所列规格的导线串联起来,并按正常使用位置放好后,接入试验线路,试验线路的电流应能在不停电的情况下改变其大小。

表 4-27 连接磁力起动器的导线截面

磁力起动器型号	导线截面(mm^2)		出线口直径 (mm)	电线套管直径 (mm)
	铜 线	铝 线		
QC8-2	2.5	4	16.5	15
QC8-3	4	6	26.5	25
QC8-4	6	10	26.5	25

磁力起动器型号	导线截面(mm ²)		出线口直径 (mm)	电线套管直径 (mm)
	铜 线	铝 线		
QC8 - 5	16	25		
QC8 - 6	25	35	52	50
QC8 - 7	35	50	52	50

(2) 将热继电器的常闭触点串联于信号回路内,以观察和记录触点的动作时间。

(3) 将电流旋钮的位置调整到最大电流刻度值的位置,然后通入电动机的额定电流(或者使用的要求值),在 2h 以内不应动作。接着再通入 1.2 倍的额定电流,记下时间,在 3 ~ 5min 内再用手或用螺丝刀插入电流旋钮方槽内慢慢地按反时针方向旋转电流旋钮,直至触点动作为止。动作后任其自然冷却,等待触点自动复位后,再重复进行 1 ~ 2 次试验。

(4) 上述试验可以将多台热继电器串联一起进行。

(5) 当电动机与热继电器的使用环境温度不同时,在整定热继电器的电流时,应考虑上述标准环境温度的要求。

(6) 如果在额定电流下热继电器经常动作,可将电流旋钮顺时针方向转过适当角度,动作时间即可减慢。反之,动作时间即可加快。

(7) 在使用与维护过程中,应尽量保证触点的各项参数符合厂家在产品说明书中的规定值。一般来说,当触点的厚度磨损至原有厚度的 $\frac{1}{4}$ 时,应予以更换新的触点,方可继续使用。

第九节 刀型开关

刀型开关是一种最原始的开关电器。由于刀型开关的结构简单、制造容易,因此一直被广泛地应用在各种低压配电网中。目前随着电网容量的增大,刀型开关的技术性能也不断地得到改进。本节着重介绍刀型开关的用途、分类、结构原理、选择和维护等。

一、刀型开关的用途和分类

刀型开关又称为刀开关或闸刀,它是具有刀形触点与手动传动装置的电器,通常用

它来开断和关合电路。按不同的依据将刀开关分类如下：

- (1)按额定电流分为 100、200、400、600、1000 和 1500A 等 ,其中额定电流为 1500A 的刀型开关仅作隔离开关用；
- (2)按极数为单极、双极和三极三种；
- (3)按操作方法分为直接手动操作式和杠杆传动手动操作式；
- (4)按转换方向分为单投和双投；
- (5)按灭弧装置分为有灭弧室的和无灭弧室的、带有速断刀片的和带有弧触头的四种。

二、刀型开关的结构原理

(一)HK 系列胶盖瓷底板刀开关的结构原理

这是一种最简单的刀型开关 ,额定电压有 250V 和 500V 两种 ,额定电流有 10、15、30 和 60A 四种。图 4-89 为 HK 系列刀型开关的结构示意图 ,它是由操作手柄 1、刀刃 2、刀夹座 3 和绝缘底板 4 组成。图 4-89 中的箭头方向表示电流流动的路径。

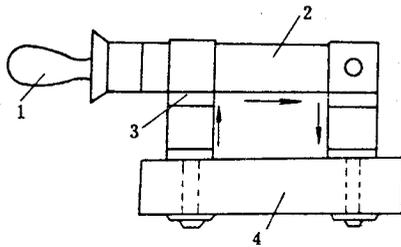


图 4-89 HK 系列刀型开关的结构示意图

1—操作手柄 2—刀刃 3—刀夹座 4—底板

- (1)底板 ,一般采用电瓷板、胶木板或经过绝缘处理的石棉水泥板制成。
- (2)刀刃 ,一般采用紫铜或黄铜制成 ,但额定电流非常小的刀开关也可用钢板制成。
- (3)刀夹座 ,通常采用具有弹性的铜制成 ,在容量较大时 ,刀夹座还需加装弹簧钢片。因为在刀刃和刀夹座之间 ,一般看来是两个平面相接触 ,但是将它们放大来看(见图 4-90)这两个平面实际上不是完全的面接触 ,而是一些点接触。这种点接触区域所形成的电阻 ,称为接触电阻。实验证明 ,接触电阻与接触处的接触压力有关 ,当加大接触压力时 ,接触电阻就会减小。在一般情况下 ,接触电阻比导体本身电阻大很多 ,当通过很大电流时 ,接触区域就会引起严重发热甚至熔焊 ,影响电器工作的可靠性。为了保证刀型开关可靠的工作 ,必须设法减小接触电阻。常用的方法是加大接触压力 ,增加接触点使之

趋近于面接触。通常刀型开关触点上的压力是依靠弹簧来产生的,一般对容量较小的刀型开关,都是利用刀夹座本身的弹性来产生接触压力(见图4-91 a);对容量较大的刀型开关,则利用弹簧钢片来产生接触压力(见图4-91 b)。为了使刀型开关能可靠地工作,通常对接触压力有一定的要求,压力过小,接触电阻很大,通过电流会严重发热而不能可靠地工作。如果压力过大,刀刃和刀夹座之间的摩擦力增大,所需要的操作力也增大,同时触点材料的磨损也会增大,所以也是不适宜的。

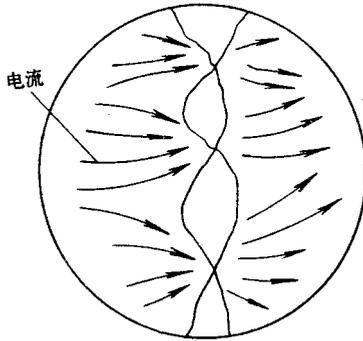


图4-90 刀刃和刀夹座接触部分的放大示意图

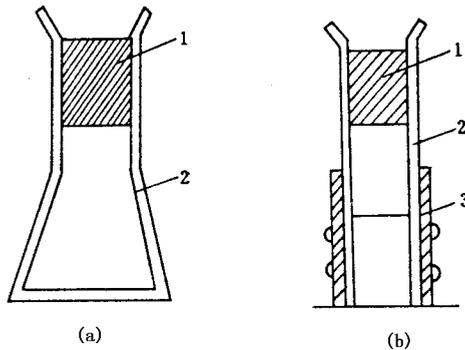


图4-91 刀型开关的两种刀夹座

(a)利用夹座本身弹性来产生接触压力 (b)利用弹簧钢片来产生接触压力

1—刀片 2—刀夹座 3—弹簧钢片

(二)HD9系列刀型开关的结构原理

HD9系列刀型开关适用于交流500V以下、额定电流为200~1500A的配电装置中,作为关合和开断电路的隔离刀闸用,这是一种带有速断刀片的刀型开关。

HD9系列刀型开关的结构图如图4-92所示,它是由底板、触点系统、灭弧装置、联动装置和操作机构组成。

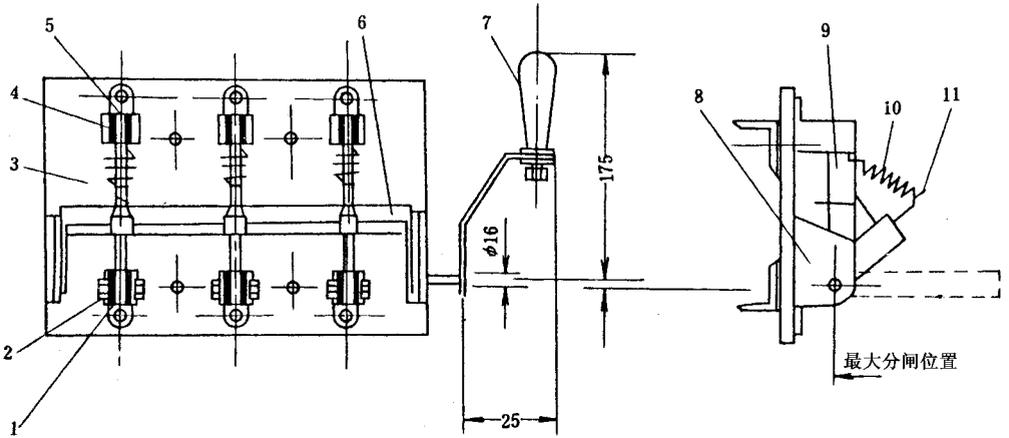


图 4-92 HD9 系列刀型开关的结构图

1—后接线板 2—后触点 3—底板 4—前触点 5—前接线板 6—绝缘支架；
7—操作手柄 8—支座 9—刀刃 10、11—分断加速弹簧

(1) 底板 3 用 20~25mm 厚并经过绝缘处理的层压板制成，用以固定触点系统、支座 8 和操作手柄 7。

(2) 触点系统是由前后接线板 5 和 1、前后触点 4 和 2、刀刃 9 组成，并装在底板上。

(3) 联动装置是用卡子将三相刀刃固定在同一绝缘支架 6 上，用以保证三相同时接触。

(4) 操作机构是由操作手柄和支座组成，用以操作开关之分合。

(5) 灭弧装置是利用分断加速弹簧 10 来达到灭弧目的。由于分闸形成的电弧是依靠电动力的纵向吹弧和机械拉断来熄灭的。当被断开的电流不大时，作用在电弧上的电动力也不大，这时电弧主要是由机械拉断来实现熄弧。因此，在电流较小的刀型开关中，为了迅速熄灭电弧，避免刀片受电弧灼伤，常采用消弧速断刀刃。

带有速断刀刃刀型开关的结构，如图 4-93 所示。当刀型开关分闸瞬间，主刀刃 1 已脱离刀夹座 2 时，速断刀刃 3 仍能暂时与刀夹座 2 保持关合状态，弹簧 4 也在逐步拉紧。当弹簧的拉力超过夹座夹住速断刀刃的摩擦力时，刀刃就被弹簧 4 迅速拉开，电弧被迅速拉长而熄灭。因此带有速断刀刃的刀型开关，能加速了电弧的熄灭过程，从而保护了主刀刃，使其免受电弧的烧灼。

(三) HD13 系列刀型开关的结构

图 4-94 为 HD13 系列刀型开关的结构图，它是一种中央杠杆操作式的单投刀型开关，操作手柄 1 位于盘的正面。由于它的额定电流大于 600A，所以每一极有两个矩形截

面的接触支座 2 (固定触点) 动触刀 3 有两个接触条(动触点),与接触支座 2 接触部分压成半圆形实部,使之成为线接触。在接触支座 2 的两侧,装有弹簧卡子,用来安装灭弧罩 4,灭弧罩 4 可随意装卸,其外形如图 4-94(b)所示。这种系列的刀型开关额定电流有 100、200、400、600A 和 1000A 五种,极数有两极和三极两种,可以单投,也可以双投。

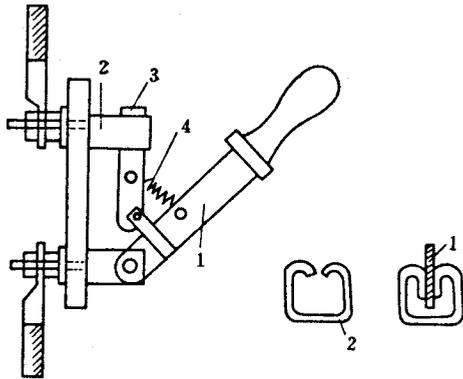


图 4-93 带有速断刀刃刀型开关的结构示意图

1—主刀刃 2—刀夹座 3—速断刀刃 4—弹簧

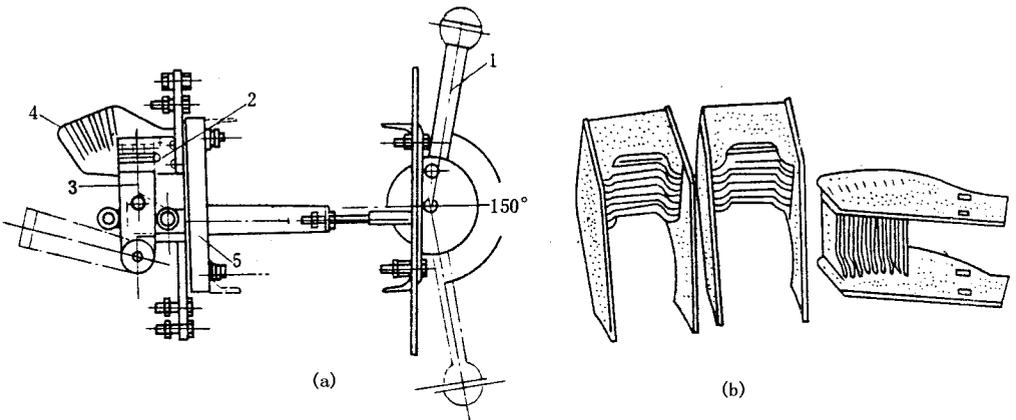


图 4-94 HD13 系列刀型开关的结构图

(a)外形结构 (b)灭弧罩外形

1—操作手柄 2—接触支座(固定触点) 3—动触刀刃 4—灭弧罩 5—底座

三、刀型开关的选择与维护

(一)刀型开关的选择

1. 根据额定电流选择刀型开关

根据额定电流选择刀型开关,需要满足下列条件。

(1)刀型开关的额定电流应大于或等于装设刀型开关的电路内长期允许的负载电流。

(2)刀型开关的额定电流是假定工作地点周围温度为 40℃时的长期允许负载电流。当周围环境温度不是 40℃时,则其长期允许的负载电流不等于额定电流。一般说来,周围温度为 45~50℃时,长期允许负载电流仅为额定电流的 70%~75%;当周围温度低于 40℃时,每降低 1℃,可增加负载电流 0.5%,但是最大不超过额定电流的 20%。

2. 根据刀型开关的用途选择其结构类型

(1)中央手柄操作式刀型开关为一般通用刀型开关。

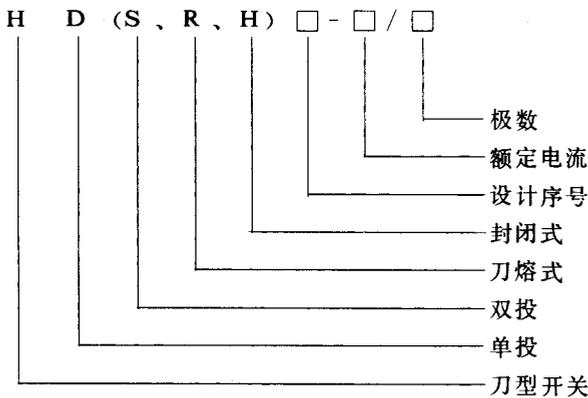
(2)侧面手柄操作式刀型开关(如铁壳开关),主要用于动力箱中。

(3)中央正面杠杆操作式刀型开关(如 HD13 系列刀型开关),主要用于正面操作。对于安装在后面维修的开关柜中的刀型开关,其操作机构应安装在柜的前方。

(4)侧面杠杆操作式刀型开关(如 HD14 系列刀型开关),主要用在两侧操作、前面维修的开关柜中,其操作机构可安装在开关柜的两侧。

(5)装有灭弧室的刀型开关,可以切断负载电流,其它系列的刀型开关一般只作隔离刀闸(开关)使用。

(6)刀型开关的型号含义如下:



其中设计序号含义为:11 表示中央手柄操作;12 表示侧面杠杆操作;13 表示中央正面杠杆操作;14 表示侧面手柄操作。

(二)刀型开关的维护

(1)刀型开关的触点和导线的连接处,必须保持良好的接触,而且必须经常注意刀刃的磨损和刀夹座的弹性情况,以便控制其接触压力的大小。

(2)定期修磨刀刃和刀夹座的接触面。因为它们的接触面在工作一定时期后,由于遭受电弧伤害,接触表面烧得凹凸不平,使接触性能恶化,甚至造成刀刃和刀夹座熔焊的危险。

小 结

电弧实际上是一种气体游离的放电现象。开关电器在断开会具有一定电压和电流的电路时,相互分开的开关触点之间产生电弧。

电弧的形成依靠强电场发射、热电发射、碰撞游离和热游离四个因素,电弧形成的这些因素都是贯穿在电弧形成的整个过程中。

电弧中连续发生两个相反的过程,即形成新的带电质点的游离过程及消除和中和带电质点的去游离过程。

长度为几厘米以上的电弧,通常称为长弧。长弧的电弧电压主要由弧柱电压降组成。高压断路器中的电弧绝大多数是长弧,电弧的长度与触头分开的距离有关。

熄灭电弧的方法有:利用纵、横吹电弧,使电弧在周围介质中移动灭弧;在固体材料制成的狭缝或狭沟中灭弧;将长电弧分成若干个短电弧灭弧;利用多断开点灭弧。

真空电弧分为扩散型和聚集型两种。扩散型电弧容易熄灭;聚集型电弧难以熄灭,所以应设法避免聚集型电弧。

断路器应满足工作可靠、能承受很大的瞬时功率、动作时间快等要求。

多油断路器的油作为灭弧介质和导电部分对地绝缘用。在配电网中多油断路器通常采用三相共箱柱式结构。

少油断路器的油只作灭弧介质,其导电部分和灭弧室对地绝缘是用瓷或有机材料制成。SN10型少油断路器的灭弧结构均采用纵横吹和机械油吹的联合作用。少油断路器的传动机构采用四连杆机构传动,使转动变为动触杆的直线运动。

真空断路器是指触点在真空中开断、关合电路的断路器,真空有很高的绝缘强度,有利于熄灭电弧。真空断路器是由真空开关管、绝缘支架和电磁操作机构三部分组成。

SF_6 断路器是利用 SF_6 气体作为绝缘和灭弧介质的, SF_6 气体有优异的绝缘性能和灭弧能力,可制成频繁操作、机械可靠性高、电寿命长的断路器。

要求掌握断路器的几种技术参数有:额定电压、额定电流、额定开断电流和断流容量等,对其它几种技术参数,也要予以了解其物理意义。

断路器的操作机构是用来使断路器合闸、维持合闸状态和分闸的设备。一般分为电磁式、弹簧储能式和手动式三种。要求掌握CD10型和CT8型操作机构的结构和动作原

理。

隔离开关是一种没有专门灭弧装置的开关设备,所以不能用来开断负载和短路电流。为了保证隔离开关操作按正确步骤进行,通常采用机械或电磁连锁装置。掌握 CN8-10 型隔离开关和 CS6-1T 型操作机构的安装方法。

负荷开关是用来开断和关合电网的负荷电流,它具有简单的灭弧装置,但是不能开断电网的短路电流。但它可以与熔断器配合起到开断短路电流的作用。

熔断器是一种结构简单,制造容易的保护电器,其工作原理是利用熔点较低的熔体串联在被保护的电路中,当发生过载或短路故障时,熔体被灼热而熔化,从而切断电路。按开断电流的性质,熔断器分为限流和不限流两种。要掌握配电变压器高压与低压熔断器、配电线路熔断器和电动机用熔断器的选择方法。

自动空气开关是低压配电网的控制和保护开关电器,是保护电路发生短路、过载和低电压的开关设备。它通常分为装置式和万能式两种,有单极、两极和三极三种。大容量自动开关的每一极是由主触点、副触点和弧触点三种并联的触点组成,它的动作分为再扣、合闸、分闸和自由脱扣四个部分。要求掌握自动开关的选择条件和选择方法。

热继电器与接触器配合可作为电动机的起动控制设备。热继电器通常采用的是双金属片式结构,利用受热后发生弯曲的特性来断开触点的。

刀型开关是一种最简单的开关电器,广泛地应用于低压配电网中。为了保证刀型开关可靠地工作,必须设法减小接触电阻,其方法是增加接触压力,增加接触点使之趋于面接触。了解刀型开关结构类型和选择方法。

第五章 母线、绝缘子及其它设备的设计安装、运行维护

第一节 母 线

在配电装置中,从电源送来的电流首先都集中汇集到母线(或称汇流排)上,然后从母线将电流分配到各条线路上,供用户使用。由于母线是汇总和分配电流的导体,所以在配电装置中占有很重要的地位。

母线在运行中,有较大的电流通过,在短路故障发生时,要承受着很大的热效应和电动效应,所以对配电装置的母线,必须经过计算、分析和技术比较后,才能合理地选用母线材料、截面形状和截面积,从而符合安全、经济运行的要求。

一、母线的分类与结构

(一)母线的分类

通常将母线按截面形状分为圆形软母线和矩形硬母线两类。圆形软母线通常采用圆形铝绞线,矩形硬母线通常采用铜排或铝排。为了节省有色金属,目前多采用铝排。

在35kV以上的户外配电装置中,为了防止产生电晕,大多数采用圆形截面母线,这也利于母线的冷却。此外,当交流电流通过母线时,由于趋肤效应的影响,矩形截面电阻要比相同面积圆形截面小一些。所以,在相同的截面积和相同的容许温度下,矩形截面母线要比圆形截面母线的容许工作电流大,也即在同一容许工作电流下,矩形截面母

线的截面积要比圆形截面母线的截面积小。因此,矩形截面母线要比圆形截面母线所消耗的金属少。

为了改善冷却条件和减少趋肤效应的影响,最好采用厚度比较小的矩形截面母线。根据这一点,并考虑母线的机械强度,通常要求矩形截面母线的两个边长之比为 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{12}$ 。矩形截面母线最大的截面积为 $10 \times 125 = 1250\text{mm}^2$ 。如果截面积的大小不能满足需要时,可用几条并列的矩形截面母线组成。

(二)母线的结构选择及使用场合

(1)在配电装置中,通常是采用没有绝缘包层的裸母线,并把它们支承在绝缘子上。这是因为裸母线具有散热较好、允许电流大、节省材料和便于安装等优点,但是由于它没有绝缘包层,这就造成安装间隔大,占据空间多等缺点。所以在空间狭小的场所,不能维持裸母线之间必要的距离时,就必须采用绝缘包层的母线。

(2)对于容量较大的母线,因为它的工作电流较大,有时单条矩形母线无法满足需要,这时每相需用多条矩形截面母线并列来增加载流量或采用槽形母线(见图5-1)。但每相用多条矩形截面母线并列时,由于母线冷却条件变差以及交流邻近效应的影响,其允许电流并不与条数成正比的增大。例如每相有3条母线时,两边母线中的电流各占相电流的40%,而中间一条只占20%,结果使金属利用率降低。因此在交流装置中,一般母线的条数不宜多于2条,3条及以上的母线可采用槽形母线代替。

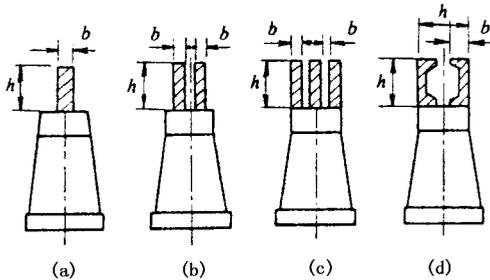


图5-1 母线结构图

(a)每相1条母线 (b)每相2条母线 (c)每相3条母线 (d)每相2条槽形母线

b —母线的宽度; h —母线的高度

(3)矩形、实心圆梗形或管形母线,一般均安装在室内。在降压变电所或配电室内,普遍将母线敷设在配电屏(柜)的支架绝缘子上。在屋外配电装置中,一般采用多股裸绞线作为母线,这种母线的结构柔软,故称为软母线。

二、母线截面选择

(一) 母线截面选择方法

配电装置的母线截面,通常是按经济电流密度或按正常工作时的最大长期负载电流进行选择,并按短路条件校验其热稳定性和机械强度。

1. 按经济电流密度选择母线截面积

当负载电流通过母线时,在母线中将引起电能损耗,这电能损耗与负载电流和母线的截面(或母线的电阻)有关。在相同的负载电流情况下,母线截面积愈大,其电能损耗就愈小,电能损耗的费用也愈小,见图 5-2 中的曲线 1。另一方面,母线截面增大,使母线的投资费用增加,母线的修理费也因此而增加,见图 5-2 中的曲线 2。

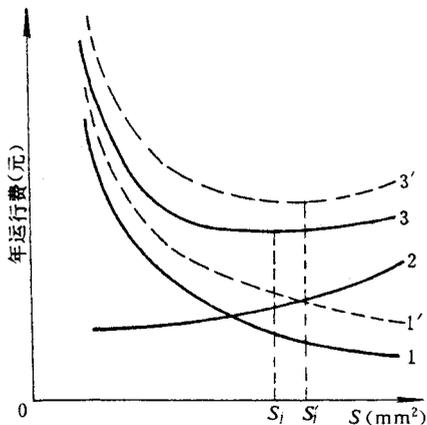


图 5-2 年运行费用与母线截面的关系曲线图

将曲线 1 和曲线 2 的纵坐标相加得曲线 3,它表明母线结构的年运行费与母线截面的关系。由图 5-2 可见,当母线为某一截面时,年运行费用为最低,这个截面就称为经济截面 S_j 。

随着母线全年平均负载的增大,在同一截面下,母线的全年电能损耗就增大,全年的电能损耗费用也因此而增大,见图 5-2 中的曲线 1'。曲线 1'和曲线 2 相加即得到曲线 3',此时,母线的经济截面将为另一个较大的截面 S'_j 。如图 5-2 所示,在相应于经济截面 S_j 附近曲线 3 是比较平稳的,即当母线截面比 S'_j 稍大或稍小一些时,年运行费用增加不多。但是,若选用较 S_j 稍小一些的截面时,就可以使母线投资费用减少很多,有色金属的耗用量也减少,总的来看,选用比 S_j 稍小一些的截面还是比较合适的。

根据经济截面的分析,规定的裸导体和母线的经济电流密度 I_j 的数值,如表 5-1 所示。

表 5-1 导体的经济电流密度 I_j 单位 :A/mm²

导体材料	最大负荷利用小时		
	3000h 以下	3000 ~ 5000h	5000h 以上
裸铝导体	1.65	1.15	0.9
裸铜导体	3.0	2.25	1.75
铝芯电缆	1.92	1.73	1.54
铜芯电缆	2.5	2.25	2.0

利用经济电流密度 I_j 可由下式决定各种配电装置中导体和母线的截面积,即

$$S = \frac{I_{fzd}}{I_j} \quad (5-1)$$

式中 I_{fzd} ——正常工作情况下电路中最大的长期负载电流(A)。

所选母线的截面应最接近于上述计算的截面。当无合适规格的母线时,允许选择小于经济电流密度的计算截面。按这种方法选择的母线截面,是考虑在最大可能节省有色金属的耗用量和投资费用的情况下,同时还能足够保证母线的经济运行。

需要指出,按经济电流密度选择母线截面时,还必须按正常工作时的最大长期负载电流校验它的发热温度。

2. 按最大的长期负载电流选择母线的截面积

按最大的长期负载电流选择母线的截面积,也就是按正常工作时最高发热温度来选择,这种方法适用于各种电压等级的总母线、电气设备的连接线或引出线以及临时性配电装置母线等的截面积选择。这种选择方法必须满足的条件是:在正常运行中,任何负载电流长期通过母线时的发热温度,不应超过母线的最高允许发热温度。按有关规程规定,裸导体和母线的最高允许发热温度为 70℃,事故情况下不超过 90℃,周围空气的计算温度为 25℃。在此温度条件下,钢芯铝绞线和矩形铝导体的长期允许载流量如表 5-2 和表 5-3 所示。

表 5-2 钢芯铝绞线长期允许载流量

单位 :A

导线型号	最高允许温度 (°C)		导线型号	最高允许温度 (°C)	
	+70	+80		+70	+80
LGJ-10		86	LGJ-70	265	280
LGJ-16	105	108	LGJ-95	330	352
LGJ-25	130	138	LGJ-120	380	401
LGJ-35	175	183	LGJ-150	445	452
LGJ-50	210	215	LGJ-185	510	531

注 表内所列数值仅与 3~35kV 配电装置有关的数值。

表 5-3 矩形铝导体长期允许载流量

单位: A

导体尺寸 ($h \times b$, mm ²)	单 条		双 条		导体尺寸 ($h \times b$, mm ²)	单 条		双 条	
	平放	竖放	平放	竖放		平放	竖放	平放	竖放
25 × 4	292	308			80 × 6.3	1100	1193	1517	1649
25 × 5	332	350			80 × 8	1249	1358	1858	2020
40 × 4	456	480	631	655	80 × 10	1411	1535	2185	2375
40 × 5	515	543	719	756	100 × 6.3	1363	1481	1840	2000
50 × 4	565	594	779	820	100 × 8	1547	1682	2259	2455
50 × 5	637	671	884	930	100 × 10	1663	1807	2613	2840
63 × 6.3	872	949	1211	1319	125 × 6.3	1693	1840	2276	2474
63 × 8	995	1082	1511	1644	125 × 8	1920	2087	2670	2900
63 × 10	1129	1227	1800	1954	125 × 10	2063	2242	3152	3426

当按最大的长期负载电流选择母线截面时,必须满足下式条件

$$I_{yx} \geq I_{fzdmax} \quad (5-2)$$

式中 I_{yx} —— 母线长期允许负载电流;

I_{fzdmax} —— 该母线所在电路中的最大长期负载电流。

必须指出,按经济电流密度选择母线截面积时,务必用式(5-2)进行校验。

在按式(5-2)考虑最大长期负载电流 I_{fzd} 时,应计及电路可能长期过负载的情况,所以在考虑母线正常运行情况时,应包括母线长期允许过负载的情况,如配电变压器的电路,在决定它的最大长期负载电流 I_{fzd} 时,应考虑到一般电力变压器可能在超载约 30% 的情况下运行 2h 左右的因素。

在计算配电装置总母线的 I_{fzd} 时,应考虑在正常运行中,各种不同运行方式时可能通过母线的最大长期负载电流。例如,在正常运行时一组母线上的变压器被切除,负载全部移到另一组母线上运行,就应考虑这种情况。

裸母线用于直流时,其允许电流比交流时大一些,这是因为直流电流没有趋肤效应的影响。此外,当矩形截面母线在水平布置并平放在支柱绝缘子上时(见图 5-3 b),因这种排列方式散热较差,母线的允许电流应小一些。随着大母线截面的继续增大,允许电流密度将减少,这是因为大截面的母线冷却条件较差,并且通过交流电流时,趋肤效应的影响也大。例如截面积 $S = 40 \times 5 = 200\text{mm}^2$ 的铝母线,母线长期允许负载电流 $I_{yx} =$

540A,所以允许电流密度 $I_{yx} = \frac{540}{200} = 2.7 \text{ (A/mm}^2\text{)}$,而截面积 $S = 100 \times 10 = 1000\text{mm}^2$ 的

铝母线, 母线长期允许负载电流 $I_{yx} = 1820\text{A}$, 所以允许电流密度 $I_{jyx} = \frac{1820}{1000} = 1.82(\text{A}/\text{mm}^2)$ 。由此可见, 大截面母线的金属利用率较低, 所以不宜采用大截面的母线。

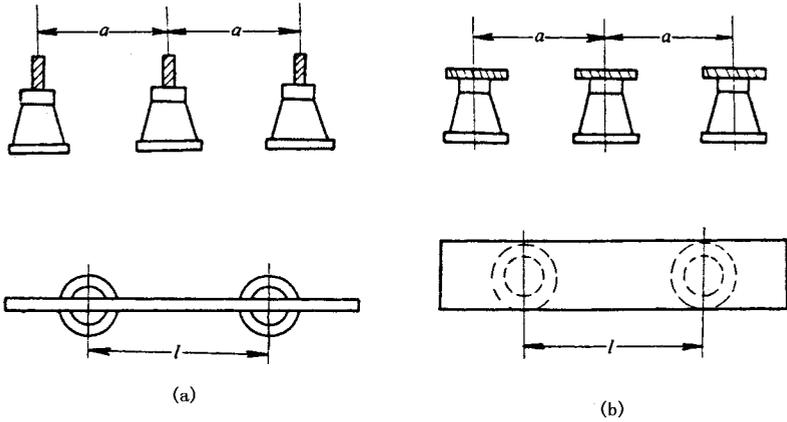


图 5-3 矩形截面母线的两种放置形式
(a) 竖放 (b) 平放

如果周围空气温度高于或低于 25°C 时, 则母线长期允许负载电流应按表 5-4 所列系数 K_1 加以修正。

表 5-4 电力电缆、母线、裸导线和绝缘导线, 考虑到土壤和空气的实际温度时, 其长期允许负载电流的修正系数 K_1 值

介质极限 温度 ($^\circ\text{C}$)	导体标准 温度 ($^\circ\text{C}$)	实际介质温度下的修正系数 K_1											
		-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1.14	1.11	1.08	1.04	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83	0.78	0.73	0.68
		1.24	1.20	1.17	1.13	1.09	1.04	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.78
25	70	1.29	1.24	1.20	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67
15	65	1.18	1.14	1.10	1.05	1.00	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	0.63	0.55
		1.32	1.27	1.22	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61
15	60	1.20	1.15	1.12	1.06	1.00	0.94	0.88	0.82	0.75	0.67	0.57	0.47
		1.36	1.31	1.25	1.20	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85	0.76	0.66	0.54
15	55	1.22	1.17	1.12	1.07	1.00	0.93	0.86	0.79	0.71	0.61	0.50	0.36
		1.41	1.35	1.29	1.23	1.15	1.08	1.00	0.91	0.82	0.71	0.58	0.41
15	50	1.25	1.20	1.14	1.07	1.00	0.93	0.84	0.76	0.66	0.54	0.37	—
		1.48	1.40	1.34	1.26	1.18	1.09	1.00	0.89	0.78	0.63	0.45	—

(二)母线的校验

1. 母线热稳定度校验

对于所选择的母线,应用三相稳态短路电流 I_{∞} 来校验母线短路时的热稳定度。校验矩形、槽形和管形硬母线的计算公式为

$$S \geq \frac{I_{\infty}}{c} \sqrt{t_j K_f} \quad (5-3)$$

式中 S ——所选母线的截面(mm^2);

c ——与导线材料及发热温度有关的系数,其值见表 5-5;

K_f ——趋肤效应系数,对于配电网一般取 $K_f = 1$;

t_j ——短路电流的假想时间(s)。

表 5-5 系数 c 值

母线材料	最大允许温度($^{\circ}\text{C}$)	c 值
铜	320	175
铝	220	97

2. 母线机械强度校验

固定在支柱绝缘子上的矩形母线,当冲击短路电流 i_{cj} 通过时,所产生的电动力将使母线发生弯曲,所以校验母线的机械强度,也就是对母线的弯曲情况进行机械计算,一般要求为

$$\sigma_{yx} \geq \sigma \quad \text{或} \quad \sigma_{yx} \geq \frac{F^{(3)}}{S} \quad (5-4)$$

式中 σ ——短路时母线的应力(Pa);

σ_{yx} ——母线允许应力(Pa);

S ——母线实际截面积(mm^2);

$F^{(3)}$ ——三相短路母线承受的最大电动力(N)。

当三相母线布置在同一平面内,并校验每相只有一条母线的机械强度时,母线发生三相短路所受的最大电动力可由下式计算

$$F^{(3)} = 0.176 i_{cj}^2 \frac{l}{a} \quad (\text{N}) \quad (5-5)$$

式中 i_{cj} ——三相短路时的冲击电流(kA);

l ——支柱绝缘子顺母线方向的跨距长度(cm);

a ——相间距离,如图 5-3 所示(cm)。

母线的发热温度是随着通过它的电流和周围空气温度的大小而变动。根据金属热胀冷缩的道理,母线发热温度的改变将引起母线长度的改变。当母线通过短路电流时,母线的发热最严重,因而母线伸长也最多。显然,如果母线是硬性的固定在每一个支柱绝缘子上,则当母线伸长时,就要发生变形(弯曲),并使支柱绝缘子受到很大弯矩。为了避免这种现象,在实际中通常采取以下措施。

(1)母线不要硬性地固定在每一个支柱绝缘子上,这样当母线由于发热温度改变而长度随之改变时,母线可以自由伸缩;

(2)在母线上适当地装设母线伸缩接头或称补偿器,如图 5-4 所示。伸缩接头是由许多与母线材料相同的、厚度为 0.2~0.5mm 的薄片叠成。一般采用薄铜片为宜,薄铜片的数量应与母线的截面相适应。当母线的厚度在 8mm 以下时,也可以用母线本身弯曲的办法,使母线得以自由伸缩。

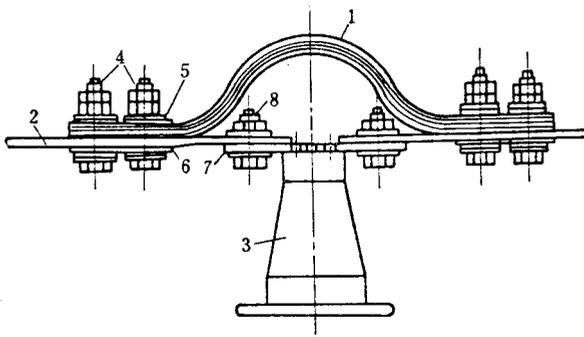


图 5-4 半圆形母线的伸缩接头

1—接头 2—母线 3—支柱绝缘子 4、8—螺栓 5—垫圈 6—衬垫 7—盖板

配电装置中的母线与电气设备的接线端子连接,一般是采用硬性连接,所谓硬性连接就是连接处接死。当母线上装有补偿器时,则仅在处于两个补偿器中间的支柱绝缘子上作硬性连接。

根据以上分析,在讨论母线的机械计算时,可以将母线看作是受均匀荷重的多跨梁,此梁仅在一端固定,并自由地放在其它支柱上。在这种情况下,作用在母线上的最大弯矩 M ,可按下列公式决定。

(1)当只有一个或两个跨距时

$$M = \frac{F^{(3)}l}{8} \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (5-6)$$

(2)当跨距数大于 2 时

$$M = \frac{F^{(3)}l}{10} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (5-7)$$

母线材料的计算弯曲应力。可按下式决定

$$\sigma_j = \frac{M}{W} \quad (\text{Pa}) \quad (5-8)$$

式中 W ——母线截面的抗弯矩(m^3)。

对于矩形母线竖放在支柱绝缘子上(见图 5-3 a)时,其抗弯矩 $W = \frac{b^2 h}{6}$;对于矩形

母线平放在支柱绝缘子上(见图 6-3 b)时,其抗弯矩为 $W = \frac{bh^2}{6}$ 。

计算所得的弯曲应力 σ_j 值,应满足下列条件

$$\sigma_j \leq \sigma_{yx} \quad (5-9)$$

式中 σ_{yx} ——母线材料的允许应力(Pa),对于硬铜 $\sigma_{yx} = 1374 \times 10^5 \text{ Pa}$;硬铝 $\sigma_{yx} = 490 \times 10^5 \sim 686 \times 10^5 \text{ Pa}$,钢 $\sigma_{yx} = 1570 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

如果计算值不能满足式(5-9)时,就必须减少 σ_j 。减少 σ_j 的方法有:①减少短路电流;②将竖放的矩形母线改为平放;③增大母线的相间距离 a ;④减小支柱绝缘子之间的跨距距离 l ;⑤增大母线的截面积 S 等。

【例 1】某变电所 10kV 配电装置母线上正常时的负载电流 $I_{lz} = 167 \text{ A}$,母线上最大长期负载电流 $I_{lzl} = 334 \text{ A}$,最大负载的利用时间 $t_{zdl} = 4000 \text{ h}$ 。当 10kV 引出线始端短路时,次暂态短路电流 $I'' = 20 \text{ kA}$, $I_\infty = 15 \text{ kA}$,继电保护的動作时间 $t_{DZ} = 1.35 \text{ s}$,开关断开时间 $t_{DK} = 0.15 \text{ s}$ 。若母线是竖直安装的, $l = 0.8 \text{ m}$, $a = 20 \text{ cm}$,跨距数大于 2,拟采用矩形截面铝母线。已知周围空气温度 $t_{zw} = 25^\circ \text{C}$,母线的长期允许发热温度 $t_{yx} = 70^\circ \text{C}$ 。试选择母线的截面积,并校验母线的热稳定性和机械强度。

解 (1)按经济电流密度选择母线截面积,并按最大长期负载电流进行校验。

由已知 $I_{lz} = 167 \text{ A}$,并由 $t_{zdl} = 4000 \text{ h}$,查表 5-1 得: $I_j = 1.15 \text{ A/mm}^2$ 。则根据式(5-1),母线计算截面为

$$S = \frac{I_{lz}}{I_j} = \frac{167}{1.15} = 146 (\text{mm}^2)$$

所以,由表 5-3 可选用单条竖放 $40 \times 4 = 160 \text{ mm}^2$ 的铝母线,其最大长期允许负载电流 $I_{yx} = 456 \text{ A}$ 。

由于最大负载电流 $I_{lz\max} = 334 \text{ A}$,故 $I_{yx} > I_{lz\max}$,所选母线的发热温度不会超过 $t_{yx} = 70^\circ \text{C}$ 。

(2) 校验母线的热稳定度。

首先计算在短路时保证母线热稳定度的最小截面积。短路电流的实际作用时间为

$$t = t_{DZ} + t_{DK} = 1.35 + 0.15 = 1.5(\text{s})$$

当 $t > 1\text{s}$ 时, 短路电流的非周期分量可不考虑。故由

$$\beta'' = \frac{I''}{I_\infty} = \frac{20}{15} \approx 1.33$$

便可从图 4-3(a) 中曲线查得: $t_{jz} = 1.42\text{s}$ 。再由表 5-5 查得: $c = 97$ 。

所以按热稳定计算的母线最小截面为

$$S_{zx} = \frac{I_\infty}{c} \sqrt{t_{jz} K_f} = \frac{15000}{97} \times \sqrt{1.42} = 184(\text{mm}^2)$$

因为上述初选截面 $S < S_{zx}$, 所以热稳定不能满足要求。故改选为 $S = 40 \times 5 = 200\text{mm}^2$ 的铝母线, 使铝排截面 $S > S_{zx}$, 即 $200\text{mm}^2 > 184\text{mm}^2$, 故可满足热稳定的要求。

(3) 校验母线的机械强度。

先计算冲击短路电流为

$$i_{cj} = 1.8\sqrt{2}I'' = 2.55 \times 20 = 51(\text{kA})$$

由式(5-7)决定母线最大弯矩为

$$M = \frac{F^{(3)}l}{10} = \frac{1420 \times 0.8}{10} = 113.6(\text{N} \cdot \text{m})$$

母线截面的抗弯矩为

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0.005 \times 0.04^2}{6} \approx 1.33 \times 10^{-6}(\text{m}^3)$$

由式(5-8)可得母线的计算弯曲应力为

$$\sigma_j = \frac{M}{W} = \frac{113.6}{1.33 \times 10^{-6}} \approx 854 \times 10^5(\text{Pa})$$

铝母线的容许应力 $\sigma_{yx} = 686 \times 10^6 \text{Pa} < \sigma_j$, 所以母线的机械强度不能满足。

如果按配电装置的结构条件, 不能变动 l 和 a 的数值时, 只有选用较大截面的母线, 所以应再改选为 $50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的铝母线。改选后母线截面的抗弯矩为

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0.005 \times 0.05^2}{6} \approx 2.08 \times 10^{-6}(\text{m}^3)$$

则

$$\sigma_j = \frac{M}{W} = \frac{113.6}{2.08 \times 10^{-6}} \approx 546 \times 10^5(\text{Pa})$$

此时因为 $\sigma_j < \sigma_{yx}$, 故 $50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的铝母线即为所选截面。

三、硬母线安装

(一) 母线加工工艺

在加工以前应了解母线的规格、材料是否符合设计要求,并检查待装母线有无机械损伤及破裂的地方,然后按下列工序进行。

1. 平直

少量母线用手工平直时,应把母线放在平坦的钢板上,用木锤锤平。如用铁锤时,须用平直的硬木或金属垫板衬垫,决不能用铁锤直接打在母线上,以免出现铁锤印或使母线变形。如遇到大量母线或大截面母线,靠手工平直有一定困难,可以用母线矫正机进行平直(见图 5-5),这种方法操作简便,节省人力。矫正时,将母线的不平整部分,放在矫正机的平台上,然后转动操作圆盘,利用丝杠压力将母线矫正。

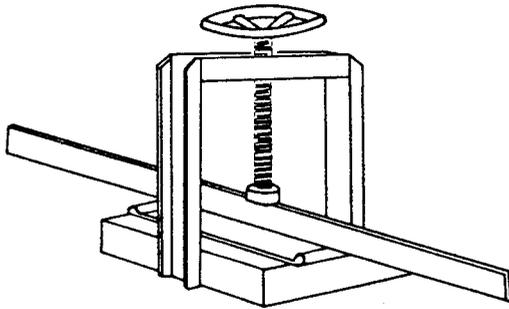


图 5-5 母线矫正机

2. 弯曲

母线弯曲是母线施工工艺要求较高的一个环节,通常有平弯、立弯和扭弯(俗称麻花弯)三种形式。

(1)一般先做好模型(常用 8# 铁线做出弯曲样板),在母线需要弯曲的地方用铅笔划上记号,以提高弯曲精确度。用手工弯曲时,可采用乙炔气、煤气和汽油喷灯加热。为使铝排的加热温度和弯曲符合要求,可在弯曲处表面涂上黑漆,加热至母线表面有红色即可,其最高允许加热温度,如表 5-6 所示。

表 5-6 母线的最高允许加热温度

母线材料	铜	铝
加热温度(℃)	350	250

(2) 弯曲生铝母线时, 加热时不可移动, 待冷却后才可以弯曲, 以免母线脆裂。

(3) 母线弯曲 90° 时应弯成圆角(见图 5-6), 母线弯曲处不得有裂纹及显著的折皱, 弯曲半径不得小于表 5-7 中所列的数据, 弯曲部分的长度不应小于母线宽度 h 的 2.5 倍。

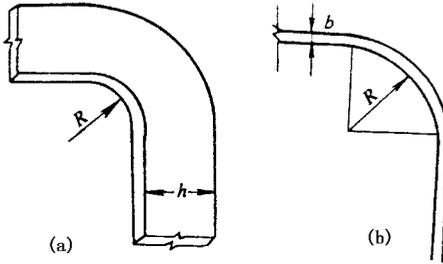


图 5-6 矩形母线弯曲图

(a) 立弯 (b) 平弯

表 5-7 硬母线弯曲半径最小允许值

弯曲种类	母线截面	最小弯曲半径	
		铜	铝
立弯	50×5 及以下	1h	1.5h
	120×10 及以下	1.5h	2h
平弯	50×5 及以下	26mm	26mm
	100×10 及以下	26mm	2.5h
圆棒	直径 16mm 及以下	50mm	70mm
	直径 30mm 及以下	100mm	150mm

(4) 母线扭弯, 如图 5-7 所示。如果采用冷弯方法, 通常只能扭弯 $100\text{mm} \times 8\text{mm}$ 及以下的铝母线, 超过这个范围, 就需要将母线弯曲部分加热后进行弯曲, 母线加热温度不允许超过表 5-6 中的数据。

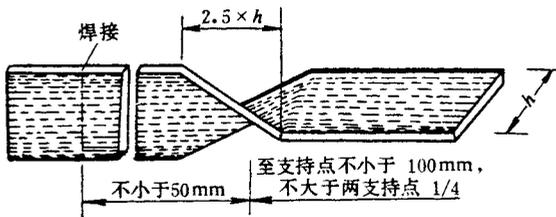


图 5-7 矩形母线扭弯图

(5) 母线对接时需要鸭脖子弯或另用夹板,将母线固定在同一水平面上。

3. 钻眼

母线钻眼应先作模板并划好中心线,然后用钢冲冲一凹形,再用电钻或在钻床上打眼,钻头不可太粗,一般比螺栓外径约大 0.5 ~ 1mm 即可。

4. 锉平

母线的连接面应用锉刀锉平或用砂布消除尘污及氧化层,使母线接触面平整。但对铝母线不能用砂布来消除,以免砂布上玻璃屑和砂子嵌入金属内,增大接触电阻。铜母线连接面锉平磨光后,应立即涂上焊锡膏,进行搪锡。处理好的连接面,如暂时不连接,应包上蜡纸保护。需要注意,用锉刀锉平或用其它加工手段弄平的连接面,其截面的减小不应超出允许值。即铜母线不应超过原截面的 3%,铝母线不应超过原截面的 5%。

5. 焊接

母线的焊接加工,主要是母线间的对焊工艺。

(1) 先将两片母线端的平面切成 45°角,焊接时片间留出 2 ~ 3mm 间隙,加高温使熔料和金属本身熔接,冷却后应比较牢固;

(2) 如果母线截面积过大时,可用预温法,一般采用氧气、乙炔龙头预温或用炉子预温,预温后再熔焊;

(3) 铝母线熔焊接好后,焊接处应用清水洗净,以免焊料腐蚀;

(4) 母线的熔接或焊接,必须牢固,不得有砂眼或裂纹,焊好后的母线需保持一直线,不得有歪曲现象。

6. 搭接

在机械张力较大地方的母线和设备之间的连接母线,或者是母线与分支线连接等,一般都应用螺栓或方型夹子进行搭接,以便检修和拆换。

(1) 母线搭接螺栓、螺帽、垫圈均应有防锈层(镀锌或烤蓝)。垫圈的厚度,不应小于 3mm。当母线电流大于 2000A 时,应用铜质螺栓搭接。

(2) 母线搭接螺栓应逐个拧紧,不应过紧或过松,螺栓长度应露出螺帽 2 ~ 5 丝扣。

(3) 母线搭接时,接触面应锉光并应垫光垫圈与弹簧垫圈。紧固时要求在低温场所拧松一点,在高温场所拧紧一点,但拧紧后的垫圈应凸出在母线外面,不得嵌入母线内,同时不准用毛垫圈,以免损伤母线。

(4) 用铁质方形夹子搭接母线时,必须注意不允许四角同时用铁螺栓,应在方型夹子的一边用两个铜螺栓,以减少涡流损失。

(5) 多片母线搭接时,应使每片母线的接头错开,不可堆在一起。

(6)铜与铁母线搭接处的表面应予镀锡。铁与铝或铜与铝的搭接,可用薄铜片镀锡作衬垫,以防两种不同金属接触后,因化学作用而受腐蚀。

(二)母线的安装

安装母线前,应将母线支架固定牢固和放平找正。然后用螺栓将母线绝缘子(或称母线瓷瓶)固定在支架上,最后将母线固定在瓷瓶上。

1. 单母线安装

单片的母线如直接用螺栓固定平装在瓷瓶上时,母线上的孔眼应钻成椭圆形,椭圆形孔的长轴必须顺母线方向。安装时注意防止母线弯曲。

2. 装置伸缩接头

母线应按设计规定装置伸缩接头,如无规定时,一般应每隔 20m 左右安装一个。伸缩接头可用薄铜片或薄铝片(用于铝母线)制作,制作伸缩接头的薄片不得有裂纹和折皱。同时应仔细除去铜或铝片间的氧化层,并将铜片镀锡,铝片涂以中性凡士林油,然后进行安装。此外,伸缩接头的总截面不应小于原母线截面。

3. 母线安装方法

安装母线用石棉水泥板作衬垫或垫圈时,必须将其烘干后放入变压器油中处理或用 70% 白蜡加 30% 松香处理,以防潮气浸入。在绝缘子上用母线卡板固定和安装母线的情况见图 5-8,在绝缘子上利用扁铁夹板固定和安装母线的情况见图 5-9。用母线卡

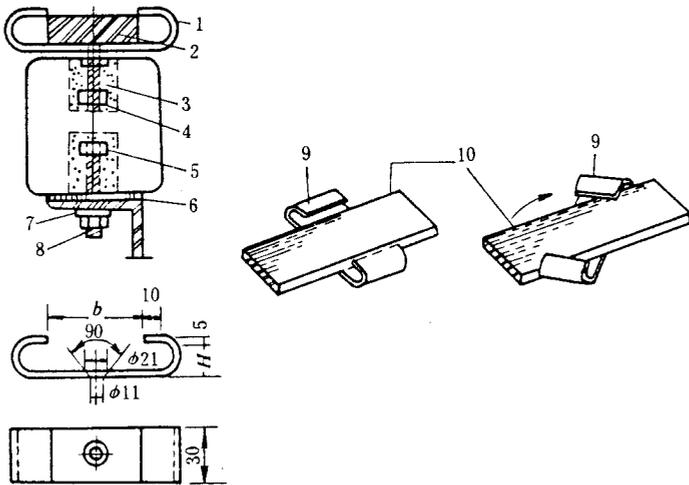


图 5-8 用母线卡板固定和安装母线的示意图

1—母线卡板 2—母线 3—沉头螺栓 4—螺母 5—水泥砂浆 6—橡皮或石棉纸垫圈;
7—弹簧垫圈 8—螺栓 9—卡板;10—母线; b 、 H —母线卡板尺寸,见表 5-8

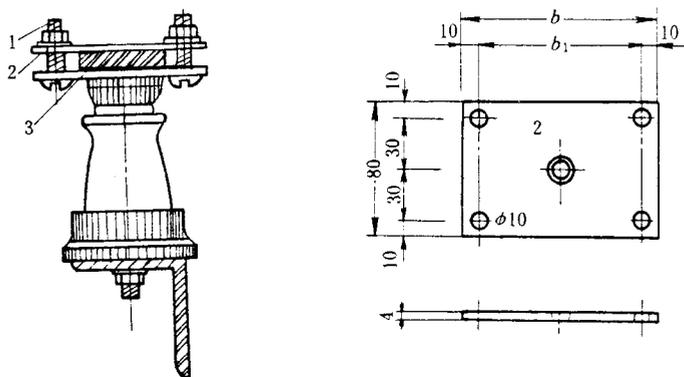


图 5-9 用扁铁夹板固定和安装母线的示意图

1—螺栓 2—扁铁夹板 3—母线 ; b 、 b_1 —扁铁夹板尺寸,见表 5-9

板固定的方法,只要把母线放入卡板的卡子内,再将卡子扭转一角度卡住母线即可。用扁铁夹板固定母线时,只要把母线穿过夹板,两边用螺栓固定即可。

母线卡板规格,如表 5-8 所示,扁铁夹板规格如表 5-9 所示。

表 5-8 母线卡板规格

单位: mm

母线截面(mm ²)	40 × 5	80 × 6 100 × 6	100 × 8
b	55	105	105
H	8	8	12
全长	130	180	190

表 5-9 扁铁夹板规格

单位: mm

母线宽度	40 ~ 80	100
b	120	140
b_1	100	120

4. 母线的排列

母线的排列应按设计规定,如无设计规定时,应按下述要求排列。

(1) 垂直布置的母线:交流 A、B、C 三相排列由上向下;直流正、负的排列由上向下。

(2) 水平布置的母线:交流 A、B、C 三相的排列由内向外(面对母线);直流正、负的排列由内向外。

(3) 引下线的排列:交流 A、B、C 三相的排列自左至右(面对母线);直流正、负的排列自左至右。

(4)各种不同电压配电装置的母线,其相位的配置应相互一致。

5. 拉紧装置的装设

装在配电室或用户的低压硬母线,通常是沿墙、跨柱、梁或屋架敷设,母线一般较长,支架间的距离较大,因此在母线终端及中间段,应分别采用终端及中间拉紧装置,如图5-10所示。

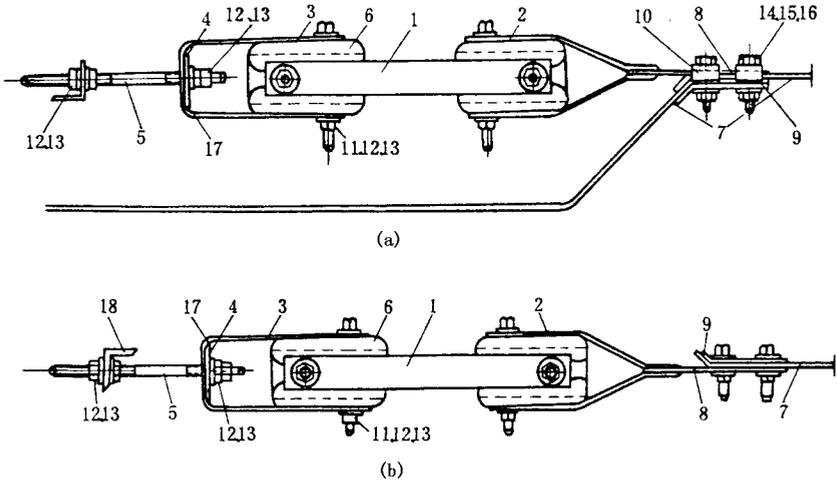


图5-10 母线拉紧装置

(a)母线中间拉紧装置 (b)母线终端拉紧装置

1—拉板 2、3、4—夹板 5—双头螺栓 6—拉紧绝缘子 7—母线 8—连接板;
9—止退垫片;10、11、14—螺栓;12、15—螺母;13、16—垫圈;17—焊接;18—支架

6. 母线刷漆

母线安装完毕后,均要刷漆。在刷漆之前应将漆调好,不可过稀或过稠,以便涂刷得均匀和美观。刷漆的目的是为了便于识别三相相序、防止腐蚀、提高母线表面散热系数等。母线应按下列规定进行刷漆。

(1)三相交流高压(10kV及以上)母线:A相刷黄色;B相刷绿色;C相刷红色;由三相高压交流母线引出的单相母线,应与引出相的颜色相同。

(2)三相交流低压(500V以下)母线:A、B、C三相均刷黑色,在母线醒目处,作相色标志,如用黄、绿、红圆形不干胶标志出A、B、C相。

(3)直流母线:正极刷赭色;负极刷蓝色。

(4)交流中性线汇流母线和直流均压汇流母线:不接地者刷白色;接地者刷紫色并带黑色横条。

(5)单片母线所有的各个侧面,多片母线所有可见到的表面,钢母线则不论其所装的片数和电流种类,均应刷漆。

(6)母线的螺栓连接处或母线夹持(如卡板或扁铁夹板)连接处,以及连接焊缝处不应刷漆。母线与电器的连接处,以及距所有连接处不小于10mm以内的地方不应刷漆。刷有测温涂料的地方也不应刷漆。

(7)供携带型接地线连接的接触面上,其不刷漆的长度等于母线的宽度或直径,但不应小于50mm,并应以宽度为10mm的黑边与母线刷漆部分隔开。

第二节 电 缆

在电能的传输和分配过程中,往往由于受空间位置的限制,需用一种既安全可靠,又节省空间位置的导体,即常用的电力电缆。由此可见,电力电缆是配电设备中重要设备之一。

随着我国现代化建设的发展,逐步在改造旧有的影响市容的蜘蛛网式配电网。这就需要城市内的架空线路改换为电缆线路供电,所以说电缆线路在配电网中愈来愈多,电缆的应用也愈来愈广泛。

一、电缆的分类与结构

(一)电缆的分类

电力电缆按具体用途、绝缘材料、电能形式、结构特征以及安装敷设的环境等进行分类。

1. 按绝缘材料分类

(1)油纸绝缘。粘性浸渍纸绝缘型(统包型、分相屏蔽型);不滴流浸渍纸绝缘型(统包型、分相屏蔽型);有油压,油浸渍纸绝缘型(自容式充油电缆、钢管充油电缆);有气压,粘性浸渍纸绝缘型(自容式充气电缆、钢管充气电缆)。

(2)塑料绝缘。聚氯乙烯绝缘型;聚乙烯绝缘型;交联聚乙烯绝缘型。

(3)橡胶绝缘。天然橡胶绝缘型;乙丙橡胶绝缘型。

2. 按传输电能形式分类

按传输电能形式分类,电缆分为交流电缆和直流电缆两种。

3. 按结构特征分类

- (1) 统包型电缆 ,即缆芯成缆后 ,在外面包有统包绝缘 ,并置于同一护套内 ;
- (2) 分相型电缆 ,主要是分相屏蔽 ,一般在 10 ~ 35kV ,有油纸绝缘和塑料绝缘 ;
- (3) 钢管型电缆 ,在电缆绝缘外面有钢管护套 ,又分为钢管充油、充气电缆和钢管油压、气压电缆 ;
- (4) 扁平型电缆 ,即三芯电缆的外形呈扁平状 ,一般用于长距离海底电缆 ;
- (5) 自容型电缆 ,这种电缆的护套内部有压力 ,又分为自容式充电电缆和自容式充气电缆。

后三种电缆专用性较强 ,只作特殊需要之用。

4. 按敷设环境条件分类

电缆按敷设环境条件 ,可分为 :①地下直埋型电缆 ;②地下管道型电缆 ;③空气型电缆 ;④水底型电缆 ;⑤矿用型电缆 ;⑥高海拔型电缆 ;⑦大高差型电缆 ;⑧多移动型电缆 ;⑨盐雾区型电缆 ;⑩潮热区型电缆等。一般环境因素对电缆护层结构的影响较大 ,有的要求机械保护 ,有的要求提高防腐能力 ,还有的要求提高柔软度等。

除电力电缆外 ,还分有操作控制电缆和高压电缆。根据电缆芯数可分为单芯电缆、三芯电缆和多芯电缆。

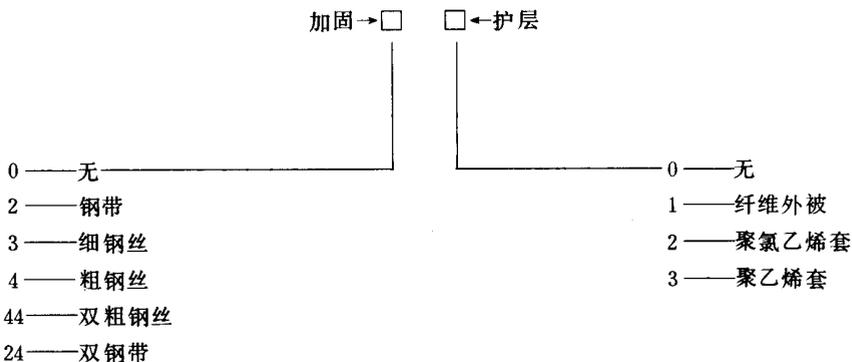
(二) 电力电缆的型号

1. 电缆型号编制原则

(1) 电缆的线芯材料、绝缘层与内护层材料 ,通常用汉语拼音的第一个大写字母表示。例如纸用 Z 表示 ,铝用 L 表示 ,铅用 Q 表示。某些电缆结构特点 ,也相应用汉语拼音字母表示 ,如分相铅包型电缆用 F 表示。

(2) 电缆外护层的结构 ,是以外护层结构的数字编号来表示 ,没有外护层的则以数字后加“0” ,作为电缆型号组成的部分。对于阻燃护套 ,在电缆型号前加“ZR”表示。

用来表示加固和护层特征的数字含义如下 :



2. 电缆型号表示方法

电缆的型号代号,由材料特征、结构特征、护套特征三部分组成。为了清晰起见,对浸渍纸绝缘电缆、塑料电缆、充油电缆分别进行介绍。其代号都按绝缘、导体、金属套、外护层顺序表达。

(1)浸渍纸绝缘电缆。代号标记为:纸绝缘(Z),铜导体(T可省略),铝导体(L),铅套(Q),铝套(L),分相电缆(F),不滴流(D)。

例如:ZQ32-6/10-3×150型。表示铜芯粘性油浸纸绝缘铅套细钢丝铠装聚氯乙烯护套电缆,电压为6或10kV,三芯,标称截面为150mm²。

ZLQFD43型,表示铝芯不滴流油浸纸绝缘分相铅套粗钢丝铠装聚乙烯护套电缆。

ZQD22型,表示铜芯不滴流油浸纸绝缘铅套钢带铠装聚氯乙烯护套电缆。

(2)塑料电缆。代号标记为:聚氯乙烯绝缘(V),聚乙烯绝缘(Y),交联聚乙烯绝缘(YJ),铜导体(T可省略),铝导体(L)。

例如:VV22型,表示铜芯聚氯乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电缆。

VLV23型,表示铝芯聚氯乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电缆。

YJLV22型,表示铝芯交联聚乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电缆。

(3)充油电缆。由于充油电缆做成单芯,不能用钢带铠装,所以护层代号与前面不同,各种代号标记为:铜导体(T可省略),纸绝缘(Z),铅套(Q),充油(Y),低油压(D)。

外护层代号:加强层,2—径向铜带加固;3—径向和纵向铜带加固。外被层,1—麻被,2—聚氯乙烯套。

例如:ZQYD22型,表示铜芯纸绝缘铅套铜带径向加强聚氯乙烯护套低油压充油电缆。

ZQYD32型,表示铜芯纸绝缘铅套铜带径向和纵向加强聚氯乙烯护套低油压充油电缆。

(三)电力电缆结构

电力电缆是由导电线芯、绝缘层和保护层三部分组成。导电线芯用来引导电能的传输方向,绝缘层则使导电线芯之间以及导电线芯与大地之间在电气上绝缘,以保证导电线芯传输电能成为可能,保护层的作用,简单说就是保护绝缘层。

1. 导电线芯

在导电线芯中通过电流,就不可能避免引起电压降落和电能损耗,而它们都是与导电线芯的电阻成正比。可见导电线芯应用低电阻率的金属制成。

电解铜是制造导电线芯用量最大的金属,因为它的电阻率低,易于加工,但由于铜的

用途很广,因此以铝代铜就成了电线、电缆制造和应用部门应考虑的问题。

电解铝的导电性能仅次于铜,其导电率约为铜的62%。但由于铝的比重($2.7\text{g}/\text{cm}^3$)比铜的比重($8.89\text{g}/\text{cm}^3$)小,在相同负载能力的情况下,虽然铝导体的截面是铜的1.5倍,但铝导体的重量却只有铜导体的0.51倍。当然,铝芯电缆由于截面大,增加了绝缘材料和保护层材料的用量,并且在连接上也存在一定困难,但这并不降低铝芯电缆在电力工业上的经济价值。

为了便于弯曲,要求导电线芯具有一定的柔软性,同时为了避免线芯松散变形,又要求线芯的结构要稳定。因此,导电线芯一般由多根经过退火处理的细单线绞合而成。近年来,由于退火技术的发展和塑料绝缘的采用,导电线芯具有单根导体的趋向。

2. 绝缘层

三相供电系统中,三芯电缆的每两芯之间,都承受着线电压,而电缆的结构又不允许导电线芯之间存在象架空线那样大的距离。因此,空气绝缘已不能满足要求,必须应用绝缘好的绝缘材料加以绝缘,这就是绝缘层。由此可见,绝缘层在电力电缆的安全供电方面,起着保证绝缘的作用。当前使用的电力电缆的绝缘层有下列三种类型。

(1)油浸纸绝缘。油浸纸绝缘电缆包括粘性浸渍纸绝缘、不滴流浸渍纸绝缘、贫油浸渍干绝缘和充油纸绝缘等几种。粘性浸渍纸绝缘是在导电线芯上绕包电缆纸,将电缆纸干燥处理后再浸以矿物油与松香复合的电缆油,因为这种电缆油在常温时粘度很大,故称为粘性浸渍绝缘。目前电力工业或其它工矿企业中,大量应用这种电缆。

10kV及以下电压等级的粘性浸渍电力电缆,为了缩小电缆截面起见,采用近似扇形结构的导电线芯,如图5-11所示。导电线芯之间根据线电压的要求加以绝缘,即在每根导电线芯上包有能承受 $1/2$ 以上线电压的绝缘层,这就是相间绝缘。在中性点接地的网络中,导电线芯和接地的护层之间作用着相电压,因此根据相电压的要求,还绕包一层统包绝缘(束带绝缘),如图5-12所示。这种电缆要注意水分的危害,因为电缆纸很容易吸水,在通常湿度下,电缆纸中含有6%~9%的水分,这些水分大大影响了电缆纸的绝缘性能。为了防止绝缘层存在气隙的危害,在将电缆纸中的水分排出之后,必须用电缆油浸渍,以免水分再次浸入和在绝缘层中出现气隙。实际上往往在浸渍十分完备的电缆绝缘中也总要有气隙,它成为油浸纸绝缘在运行中逐渐老化的主要根源。根据有关资料介绍,这种电缆常在秋天晚上被击穿,其原因是纸绝缘的外层保护当负载增加或气温变热时,电缆的各部分都要发生体积膨胀。而当负载降低或气温变冷时,电缆各部分都发生体积收缩。由于各部分膨胀、收缩的系数不同,而且有些部分会发生塑性变形,结果在电缆绝缘内部出现气体间隙,所以在这种情况下容易发生绝缘击穿。

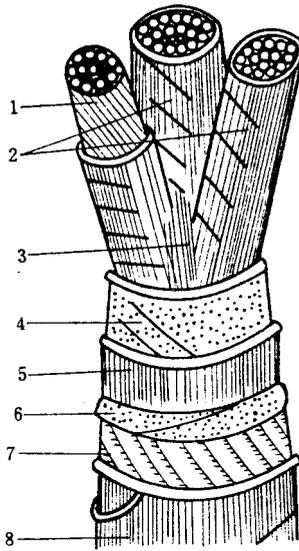


图 5-11 有扇形芯线的 ZQ 型电缆

- 1—线芯 2—电缆纸 3—黄麻填料 4—束带绝缘 5—铝包皮；
6—麻沥青纸衬垫 7—浸沥青的麻层 8—铠装

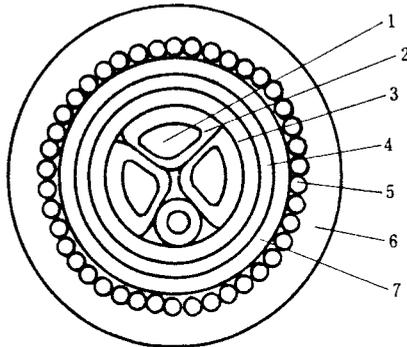


图 5-12 具有中性线的 ZLQ 型电缆

- 1—扇型紧压线芯 2—纸绝缘 3—纸带绕包(统包) 4—铅包；
5—钢纸铠装 6—麻沥青 7—塑料代纸麻沥青衬垫

粘性浸渍纸绝缘电力电缆在温度较高、敷设落差较大的情况下，浸渍剂会从电缆的上部向下流动，使电缆绝缘层内产生气隙，绝缘电气性能下降。而下部绝缘层中浸渍剂增加，压力增高，以致电缆下部的金属护套破裂或浸渍剂沿接头盒的不紧密处溢出，最后导致电缆发生故障。

不滴流电缆的结构与粘性浸渍纸绝缘电力电缆完全相同，它的特点是浸渍剂在浸渍

温度下,具有足够低的粘度以保证充分浸渍,但在电缆工作温度范围内不流动,成为塑性固体,所以不滴流电缆的敷设落差可不受限制。

35kV 电缆均采用径向型的分相铅包结构,在这种结构的电缆中,线芯表面是一等位面,铅套是另一等位面,因此电场方向均垂直于纸带表面,消除了沿纸带表面的分量,提高了电缆的击穿强度。

(2)塑料绝缘。这种绝缘电缆包括:聚氯乙烯绝缘、聚乙烯绝缘和交联聚乙烯绝缘三种。

1)聚氯乙烯绝缘。这种绝缘电缆用于低压电力电缆是可靠的。缺点是在遇到短路时,由于电流大会产生热变形。此外,由于这种电缆的介电常数和介质损耗角的正切值(即 $\tan\delta$)较大,所以多应用在 6kV 及以下的电压范围;有些农村将这种电缆用于 10kV 电压作埋地线,对 10kV 以上电压等级尚不适用。

2)聚乙烯绝缘。这种绝缘电缆的优点是它的介质损耗角的正切值和介电常数较低,热阻系数较小,缺点是耐游离放电性能差,短路时易软化,在应力作用下易于开裂。

3)交联聚乙烯绝缘。这种绝缘电缆克服了聚乙烯耐热性能差的弱点,工作温度可达 80~90℃,短路温度达 230℃。其耐候性和抗裂性也有所提高,工作电压可达 35kV 及以下,目前已成为新型电力电缆的绝缘材料。

(3)橡胶绝缘。这种绝缘电缆包括:天然橡胶绝缘型和乙丙橡胶绝缘型两种。

橡胶绝缘电缆具有以下特点。

- 1)柔软性好,易弯曲,在很大温差范围内具有弹性,适宜多次拆装的电缆线路;
- 2)耐寒性能好,适用于低寒地区;
- 3)具有较好的电气性能、机械性能和化学稳定性能;
- 4)对气体、潮气,水的渗透性较好;
- 5)耐电晕、耐臭氧、耐热、耐油的性能较差。

3. 保护层

保护层的作用是保护绝缘层,分内护层和外护层两部分。

内护层直接挤包在绝缘层上,保护绝缘不与空气、水分或其它物体接触。因此包裹得紧密无缝,并且有一定的机械强度,能承受电缆在运输和敷设时的机械力。内护层分铅包(见图 5-13 的 5)、铝包(见图 5-14 的 4)和聚氯乙烯挤包(见图 5-15 的 2)三种。铅包的优点是防潮、防水、耐腐蚀性好、熔点低、质地柔软、对电缆的弯曲影响较小;铅包的缺点是价格贵、比重大、有毒性、原料来源不丰富、机械强度低、有再结晶趋向等。目前铅包最好的代用材料是铝,铝护层的主要优点是比重小、原料来源丰富、机械强度比铅高

2~3 倍,有简化外护层的可能性,铝护层的主要缺点是耐腐蚀性差、熔点高、铝包工艺较复杂。聚氯乙烯挤包由于密封性尚不及金属,目前仅在 1kV 及以下电缆上采用。

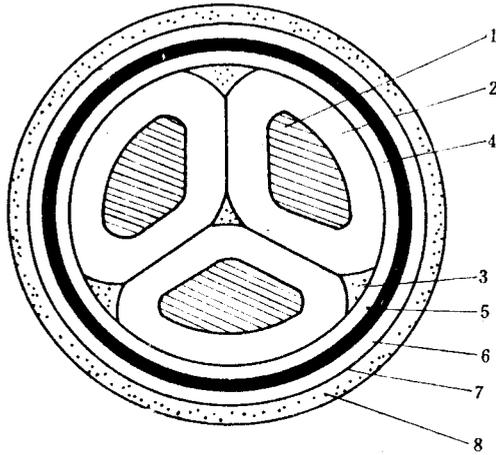


图 5-13 三相统包绝缘铠装电缆

- 1—线芯 2—相绝缘 3—相间填料 4—统包绝缘 5—铅包;
6—内黄麻衬垫 7—钢带铠装 8—外黄麻衬垫层

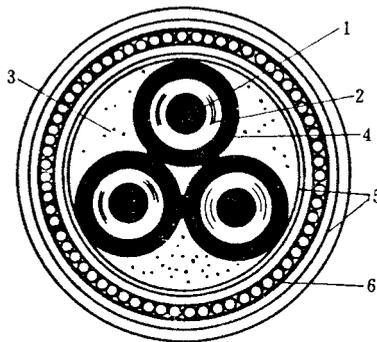


图 5-14 分相铝包电缆

- 1—线芯 2—纸绝缘 3—相间填料 4—铝包 5—黄麻层 6—钢丝铠甲

电缆外护层(见表 5-10)的作用是保护内护层不受外界机械损伤和化学腐蚀。外护层一般是由铅防腐层、内衬垫层、铠甲层和外被层组成。铅防腐层是由两层重叠绕包的预浸渍电缆纸和沥青涂料组成;内衬垫层是保护内护层不受铠甲损坏,由一层预浸电缆麻和沥青涂层组成;铠甲层是保护电缆不受机械损伤,按照电缆敷设的条件不同,铠甲层的差别很大;外被层是保护铠甲不受腐蚀,由预浸电缆麻和沥青组成。为防止电缆间或电缆与其它接触物粘在一起,最外层涂上滑石粉。外护层类型及编号见表 5-10。

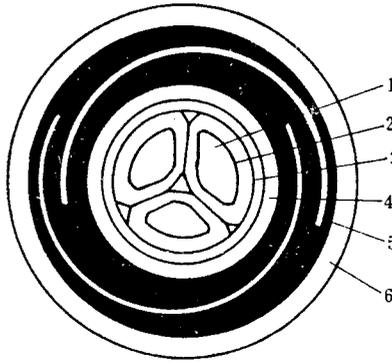


图 5-15 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆

1—线芯 2—聚氯乙烯挤包 3—塑料带绕包 4—塑料内护套；
5—钢带铠装 6—塑料外护套

表 5-10 电缆外护层的编号

编号	名称	主要用途
1	麻皮护层	用于敷设在室内、沟道中及管子内的电缆,对电缆无机机械损伤
2	钢带铠装护层	用于敷设在土壤内的电缆,能承受机械损伤,但不能承受很大拉力
20	裸钢带铠装护层	用于敷设在室内、沟道中及管子内,能承受机械损伤,但不能承受大拉力
3	细钢丝铠装护层	用于敷设在土壤内的电缆,能承受机械损伤,并能承受相当的拉力
30	裸细钢丝铠装护层	用于敷设在室内、矿井中的电缆,能承受帆机械损伤,并能承受相当的拉力
5	单层粗圆钢丝铠装护层	用于敷设在水中的电缆,能承受较大拉力
50	裸单层粗圆钢丝铠装护层	用于敷设在矿井中的电缆,能承受机械外力作用,且承受较大拉力
6	双层粗圆钢丝铠装护层	用于敷设在水中的电缆,能承受较大的拉力
60	裸双层粗圆钢丝铠装护层	用于敷设在矿井中的电缆,能承受较大的拉力

二、电缆最大允许电流

(一) 电缆最大允许电流的确定

在根据工作电压和敷设条件选定电缆的类型后,正确的确定电缆的最大允许电流,这对保证电缆工作的安全和电缆使用寿命是很重要的一项工作。电缆的最大允许电流,一般是根据电缆的温升来确定的。

电缆在运行过程中,由于电缆线芯导体发热和绝缘介质的损耗等因素的影响,使电缆温度升高。电缆所产生的热量向周围介质(如土壤、空气和水等)散发,当每秒钟导体内所产生的热量与导体周围介质所散发的热量相等时,导体的温度即达到稳定温度而不再上升。

图 5-16 为导体的温升曲线图,其中曲线的斜线部分说明,导体开始通过电流以后,由于导体温度与周围介质温差较小,向周围介质散发的热量也较少,随着通电时间的增加,导体温度上升较快,直至上升到稳定温度。导体达到稳定温度的大小,完全由导体中通过的电流大小来决定。当通过导体的电流 $I_3 > I_2 > I_1$ 时,相应的稳定温度会高低不同。因此,导体中通过的电流愈大,它具备的稳定温度也愈高。但是导体的温升是有一定极限的,这个极限值就是导体的最高允许温度,因为导体超过这一温度就会导致绝缘的损坏。不同结构的电缆,就有不同的最高允许温度。因此,必须根据电缆的最高允许温度来确定电缆的最大允许电流值。

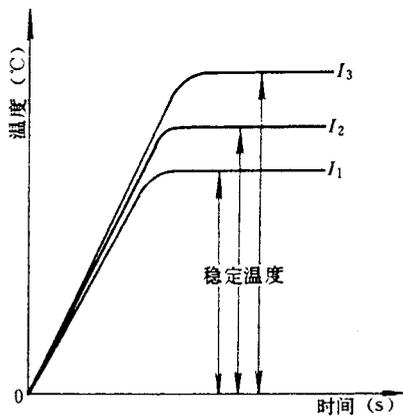


图 5-16 导体的温升曲线图

在油浸纸绝缘电缆中,限制导体温度的目的,主要为了防止电缆绝缘中的浸渍剂粘度下降而引起膨胀,造成铅包的过分伸展,使电缆产生空隙。因为在电场作用下,易使绝缘材料空隙中气体分子游离而破坏绝缘材料的性能。如果电缆的额定电压愈高,电场强度则愈大,绝缘愈厚,散热就愈困难,所以电缆的最高允许温度也就必须相应地降低。

电缆导体的长期允许工作温度,一般不应超过表 5-11 中所列的最高允许温度值。如果表 5-11 中所列的数值与制造厂规定有出入时,应以制造厂规定数值为准。

表 5-11 电缆导体最高允许温度值

单位: °C

额定电压 (kV)	电缆种类				
	天然橡胶绝缘	粘性纸绝缘	聚氯乙烯绝缘	聚乙烯绝缘	交联聚乙烯绝缘
3 及以下	65	80	65		90
6	65	65	65	70	90
10		80		70	90

导体的最高允许温度虽然已有规定,但它也不能单独确定电缆中的最大允许电流(最大允许载流量)。因为电缆和一般架空线路不同,导体周围的绝缘层较厚(绝缘层不仅有阻止电流的泄漏作用,而且也是不良的热导体),并且经常埋敷在地下,只能依靠传导方式来进行散热。因此,在导体的最高允许温度已经确定的情况下,电缆中的最大允许电流值,还必须根据散热的条件来加以考虑,即根据电缆周围介质的导热率以及周围介质的具体情况来确定。例如,周围介质具有良好的导热性能,而且温度很低,那么散热的速度就快一些,电缆的负载就可以大一些。反之,如果周围介质的导热性能很差,而且温度较高,散热的速度就慢,那么负载电流就必须降低一些。

(二)最大允许电流的计算

为了使设计和运行部门选择电缆的截面和计算不同温度下的最大允许电流(最大允许负载),制造厂均按假定的周围温度来计算。例如,埋在地下和敷设在水底的电缆,按土壤和水底的温度为 15℃ 来计算,装在隧管、隧道或沟内以及暴露在空气中的电缆,则按空气温度 25℃ 来计算。电缆线芯所通过的最大允许电流为

$$I_{zd} = \sqrt{\frac{100 S (t_{zg} - t_0)}{n \rho R_{re}}} \tag{5 - 10}$$

- 式中 t_{zg} —— 电缆线芯的最高允许温度(℃);
- t_0 —— 电缆表面介质的温度(℃);
- I_{zd} —— 电缆线芯中所允许通过的最大电流(A);
- n —— 电缆芯数;
- ρ —— 电缆线芯在 50℃ 时的电阻系数,铜 $\rho = 0.0206\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,铝 $\rho = 0.035\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;
- R_{re} —— 电缆绝缘及保护层的热阻(Ω/cm),三相圆形、扇形和保护层的热阻数值见表 5 - 12;
- S —— 电缆线芯的截面积(mm^2)。

表 5 - 12 三相电缆绝缘层及保护层热阻数值

热阻 (热 Ω/cm)		截面(mm^2)										
		10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
名称												
圆形导体	1kV	36	31	26	24	20	18	17	16	15	14	13
	3kV	50	46	37	34	30	28	24	23	22	19	17
	6kV	60	52	47	44	41	37	33	31	28	27	25
	10kV	63	62	55	52	47	44	40	37	35	33	30

热阻 (热 Ω/cm)		截面面积 (mm ²)										
		10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
名称												
扇形导体	1kV	26	21	16	14	12	10	9	9	9	8	7
	3kV	44	37	28	25	21	19	16	14	13	12	10
	6kV	53	46	40	35	32	28	23	20	18	17	17
	10kV	58	55	49	45	40	36	31	28	26	24	20
保护层	1kV	22	21	20	18	16	16	14	12	11	10	9
	3kV	20	19	18	17	15	14	12	11	11	10	9
	6kV	18	17	16	14	13	12	11	10	10	10	9
	10kV	16	14	13	11	10	10	10	9	9	9	9

对于铜导体三芯电缆的 $n = 3, \rho = 0.0206$,代入式(5-10)后化简得

$$I_{z1} = \sqrt{\frac{100^2 S(t_{zg} - t_0)}{6.18 R_{re}}} \quad (5-11)$$

对于铝导体三芯电缆的 $n = 3, \rho = 0.035$,代入式(5-10)后化简得

$$I_{z1} = \sqrt{\frac{100^2 S(t_{zg} - t_0)}{10.5 R_{re}}} \quad (5-12)$$

根据式(5-11)、式(5-12)的最大允许电流和导电线芯截面、电缆线芯的最高允许温度、电缆绝缘层和保护层热阻各物理量之间的关系,可求出任何一个物理量。表5-13为铝芯、油浸纸绝缘或不滴流油浸纸绝缘、铅包或铝包电力电缆、架空敷设与直接埋入地下两种情况的长期允许载流量。

表5-13 铝芯、油浸纸绝缘或不滴流油浸纸绝缘、铅包或铝包电力电缆,架空敷设与直接埋入地下两种情况的长期允许载流量

电缆线芯的 截面面积 (mm ²)	长期允许载流量(A)					
	1kV			三芯统包型电缆		
	单芯电缆	双芯电缆	四芯电缆	3kV及以下	6kV	10kV
2.5	3(-)	2(29.7)	2(28)	2(28)	-(-)	-(-)
4	4(53)	3(39)	3(37)	3(37)	-(-)	-(-)
6	6(68)	4(50)	4(46)	4(46)	-(-)	-(-)
10	8(90)	6(66)	5(60)	5(60)	4(55)	-(-)
16	10(120)	8(86)	7(80)	7(80)	6(70)	6(65)

电缆线芯的 截面积 (mm ²)	长期允许载流量(A)					
	1kV			三芯统包型电缆		
	单芯电缆	双芯电缆	四芯电缆	3kV 及以下	6kV	10kV
25	140(155)	105(112)	95(105)	95(105)	85(95)	80(90)
35	175(190)	128(135)	115(130)	115(130)	100(110)	95(105)
50	215(235)	160(168)	145(160)	145(160)	125(135)	120(130)
70	270(285)	197(204)	180(190)	180(190)	155(165)	145(150)
95	325(340)	235(243)	220(230)	220(230)	190(205)	180(185)
120	375(390)	270(275)	255(265)	255(265)	220(230)	205(215)
150	435(440)	307(316)	300(300)	300(300)	255(260)	235(245)
185	495(500)	-(-)	345(340)	345(340)	295(295)	270(275)
240	580(580)	-(-)	410(400)	410(400)	345(345)	320(325)

注 表中括号内数据为电缆直接埋入地下时的长期允许载流量。

根据电缆的发热情况来计算最大允许负荷电流,用这种方法选择的电缆,从过热方面考虑是合适的,但在经济运行方面并不一定合算。如果单纯按照长时间的最大允许负载电流来选择电缆截面,那么电缆上的电能损失可能过大,因而增加了电路的损失,从而增加了电能生产的成本。因此,在正常运行情况下,根据最大负载的利用小时数,按经济电流密度 I_c (见表 5-1) 来选择电缆截面。

应当指出,当电缆负载按经济电流密度计算而电缆线芯的温度超过允许值时,则必须按最高允许温度来确定其最大允许负载电流。

电缆在运行中,如果经常是满负载,而且导体已经达到最高允许温度,那么过负载就会造成过热,使电缆损坏。在这种情况下过负载是不允许的。但是,电缆在一昼夜里,满负载运行往往只有几个小时,大部分时间是处在低于最大允许电流下运行。此外,导体温度升高不是瞬时的,它必须经过一定时间的热平衡过程才能达到稳定,因此我们可以利用导体尚未达到最高允许温度以前的一段时间,对电缆加上短时过负载。要决定电缆可以过负载多少,首先必须知道电缆的温升特性(温升曲线)以及在过负载以前的运行情况。如缺乏温升特性曲线时,可以按下列规定进行过负载运行。

(1)在紧急事故时,3kV 及以下的电缆在过负载 10% 的情况下只允许连续运行 2h,6~10kV 的电缆在过负载 15% 的情况下只允许连续过负载 2h。

(2)在正常运行时,10kV 及以下电缆,如果在过负载以前 5h 内的负载率不超过表 5-14 的规定值,那么过负载可按表 5-13 中规定的允许载流量执行。

表 5-14 10kV 及以下电缆正常运行时过负载规定倍数

过负载 倍数 电缆线芯 截面 (mm ²)	过负载要求的条件		过负载前 5h 内负载率为 0		过负载前 5h 内负载率为 50%		过负载前 5h 内负载率为 70%	
			过负载时间 (h)		过负载时间 (h)		过负载时间 (h)	
	1/2	1	1/2	1	1/2			
50~95	1.15	—	—	—	—		—	
120~240	1.25	—	1.2	—	1.15		1.15	
240 以上	1.45	1.2	1.4	1.15	1.3		1.3	

三、电缆的敷设

(一) 路径选择

电缆线路的敷设,首先要确定电缆的走向和路径。确定走向和路径应从节省投资、施工方便和安全运行等方面来考虑。

(1) 尽量使电缆不致受到各种损坏,其中包括:机械性损坏、振动、化学作用、地下水流、水锈蚀、热影响和蜂蚁、鼠害等等;

(2) 便于维修;

(3) 避开规划中需要施工的地方;

(4) 使用电缆较短。

(二) 根据敷设条件合理地选择电缆

(1) 当选用油浸纸绝缘电缆时,其最高与最低点之间的差值不应超过表 5-15 的规定。超过规定时,可选用适合于高落差的电缆(如干浸纸绝缘、不滴流浸渍纸绝缘、塑料和橡皮绝缘电缆等)。

表 5-15 油浸纸绝缘电缆线路的最高与最低点之间的最大允许差值 (m)

电压 (kV)	类别	铅包	铝包
1~3	有铠装	25	25
	无铠装	20	20
6~10	有铠装及无铠装	15	15

(2) 明敷(包括架空、隧道、沟道内等)的电缆,不应有黄麻外护层,一般选用裸钢带铠装和塑料外护层电缆。在易受腐蚀地区(如空气中含有盐雾、二氧化硫或硫化氢等化学气体成分较多的地区),应选用塑料外护层电缆。当需使用钢带铠装电缆时,则外护层宜选用防腐外护层。

(3)直接敷于地下时,一般选用钢带铠装电缆。在潮湿或具有腐蚀性质土壤的地区,还应带有塑料外护层。其它地区,也可选用黄麻外护层。如果按过电压保护要求,最外层需有金属外皮时,外护层可采用钢铠外包型,在潮湿地区还需外穿金属管。

(4)在可能发生位移的土壤中(如沼泽地、流砂地层等)直接埋入地下敷设的电缆应选用钢丝铠装型。

(5)在低温严寒地区使用的塑料电缆,其绝缘或护层的材料宜选用聚乙烯或交联聚乙烯。

(6)在用电设备需经常移动的情况下,一般选用重型橡胶套等类电缆。

(三) 电缆敷设方法与要求

1. 明敷电缆

明敷电缆包括架空、隧道、沟道内敷设的电缆。一般用在变电所以及工矿企业配电室内的电缆,通常将电缆敷于室内地板下或沿着墙壁的电缆沟里,有时也将电缆挂在墙上或挂在天花板上,如图 5-17(a)所示。

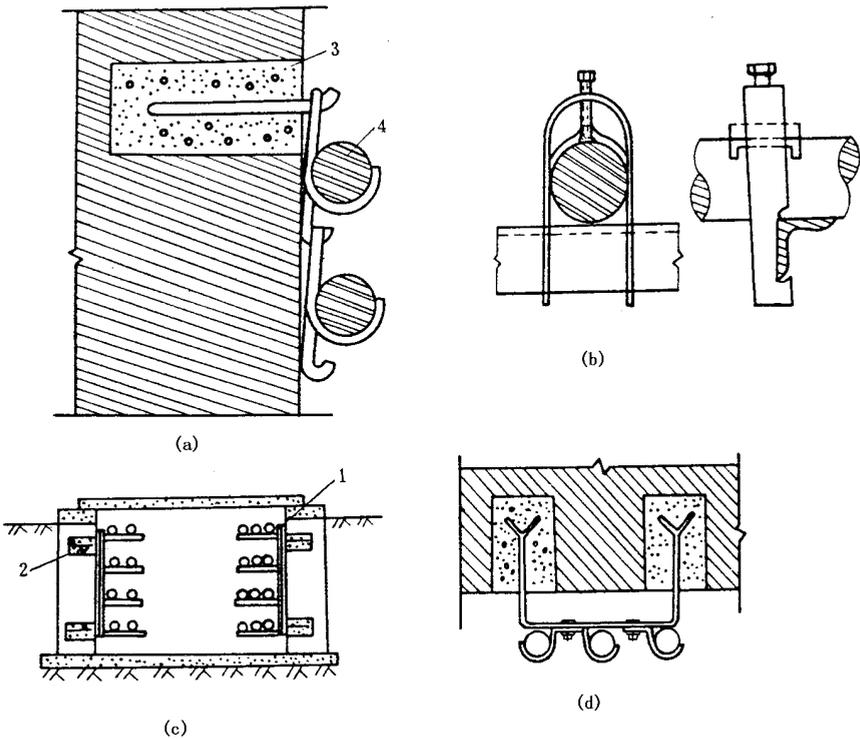


图 5-17 电缆固定方法

(a) 墙壁敷设 (b) 房屋构架上敷设 (c) 电缆沟道内敷设 (d) 天花板上敷设
1—接地线 2—底脚螺栓 3—墙壁 4—电缆

在屋内敷设电缆时,如果电缆的最外层是黄麻沥青护层,必须将这种护层剥掉,因为黄麻是一种易燃物质,同时又是一种非常不良的导热体。

敷设电缆的沟道结构,一般是用砖砌或混凝土灌成的。沟顶部和地面齐平的地方,可用薄铁板、水泥盖板和木盖板。如果采用木盖板,则木板的底面必须用耐火材料(如石棉、铁皮等)包住,以防着火。电缆在沟道内可以放在沟底或用支架承托。电缆从沟道内引出的部分,其离地面 2m 的一段必须用铁管或铁皮的盖罩加以保护,以免被外物碰坏。在沟道内的裸铅包电缆,必须注意避免铅包与所灌的水泥或潮湿的混凝土表面接触,否则电缆铅包将会因受酸、碱作用而发生化学腐蚀,以致使电缆受损而被击穿。在这种情况下,可用软土或黄沙衬垫或把电缆装在支架上。另外,电缆沟道内应保持干燥,防止水流入沟道内;为了防止冬天的冰冻,在电缆中间接头盒外的生铁或混凝土的保护盒内,应灌注细土保温。

电缆敷设在地沟内时,如两侧有电缆支架,则支架间的水平距离要求分为三种情况:①沟深小于 600mm 时,水平距离应不小于 300mm;②沟深在 600~1000mm 之间时,水平距离应不小于 500mm;③沟深大于 1000mm 时,水平距离应在 600~700mm 之间。如只有一侧有电缆支架时,支架与沟边水平距离要求也分为三种情况:①沟深小于 600mm 时为 300mm;②沟深在 600~1000mm 之间时为 450mm;③沟深大于 1000mm 时为 600mm。另外,要求电力电缆与控制电缆分开排列,当电力电缆与控制电缆敷设在同一侧电缆支架上时,应尽量将控制电缆放置在电力电缆的下面。条与条电缆之间的垂直距离允许最小值,如表 5-16 所示。

表 5-16 条与条电缆之间的垂直距离允许最小值

单位:mm

电缆敷设方式	电缆夹层	电缆隧道	电缆沟	架空(吊钩除外)
10kV 及以下电力电缆	200	200	150	150
控制电缆	120	120	100	100

装在墙上或天花板上的电缆,水平敷设每隔 750mm(控制电缆为 600mm)也需用卡子卡牢。卡子一般是用铁制的。但对于单芯电缆,则必须用非磁性材料制造的卡子,如黄铜、青铜、木材和塑料等。对于裸铅包电缆在卡子卡牢的地方,应用柔软衬垫,以防铅包受到损坏。

2. 直接埋地敷设

这种方法是沿已选定的路径挖掘壕沟,然后把电缆埋在里面,一般在电缆根数较少,且敷设距离较长时,多采用此方法。

将电缆直接埋在地下,因为不需要其它结构设施,故施工方便、造价低、土建材料也

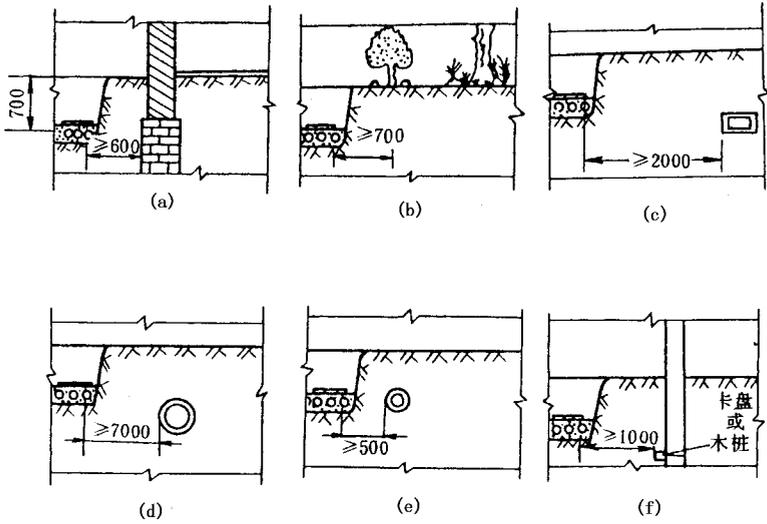


图 5-19 电缆与地下设施间接近时的净距 (mm)

- (a) 电缆与地下建筑物 (b) 电缆与树干 (c) 电缆与热力沟(管);
 (d) 电缆与石油、煤气管道 (e) 电缆与水道(管) (f) 电缆与电杆

此外, 严禁将电缆平行敷设在各种管道的上面或下面。

室外电缆的相互交叉或电力电缆与其它部门使用的电缆(包括通信电缆)相互间净距应不小于 500mm, 低压电缆应敷设在高压电缆上面(见图 5-20)。如果其中有一条电缆在交叉点前后约 1000mm 范围内, 装在管子里或用隔板隔开时, 则净距可以减为 250mm。

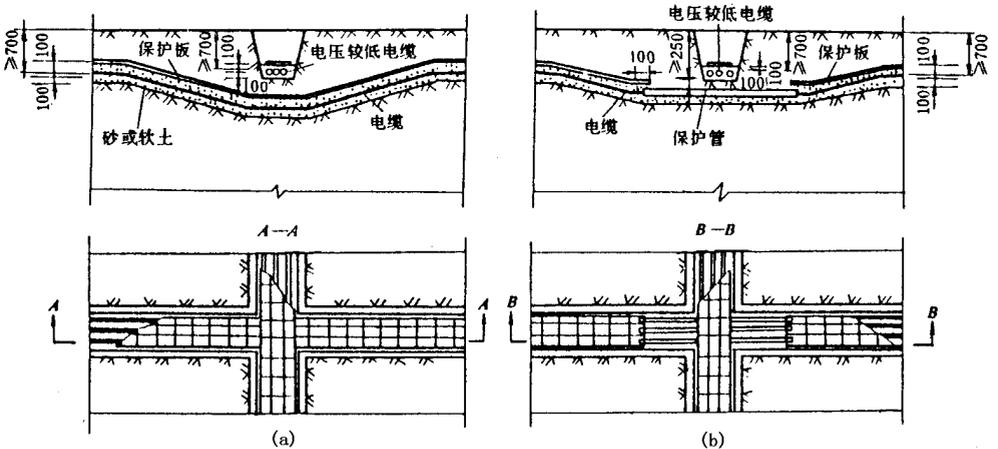


图 5-20 电缆间的交叉敷设

- (a) 电缆无保护管或隔板 (b) 电缆有保护管

电缆与地下管道交叉时的距离应不小于图 5-21 所示的数值。

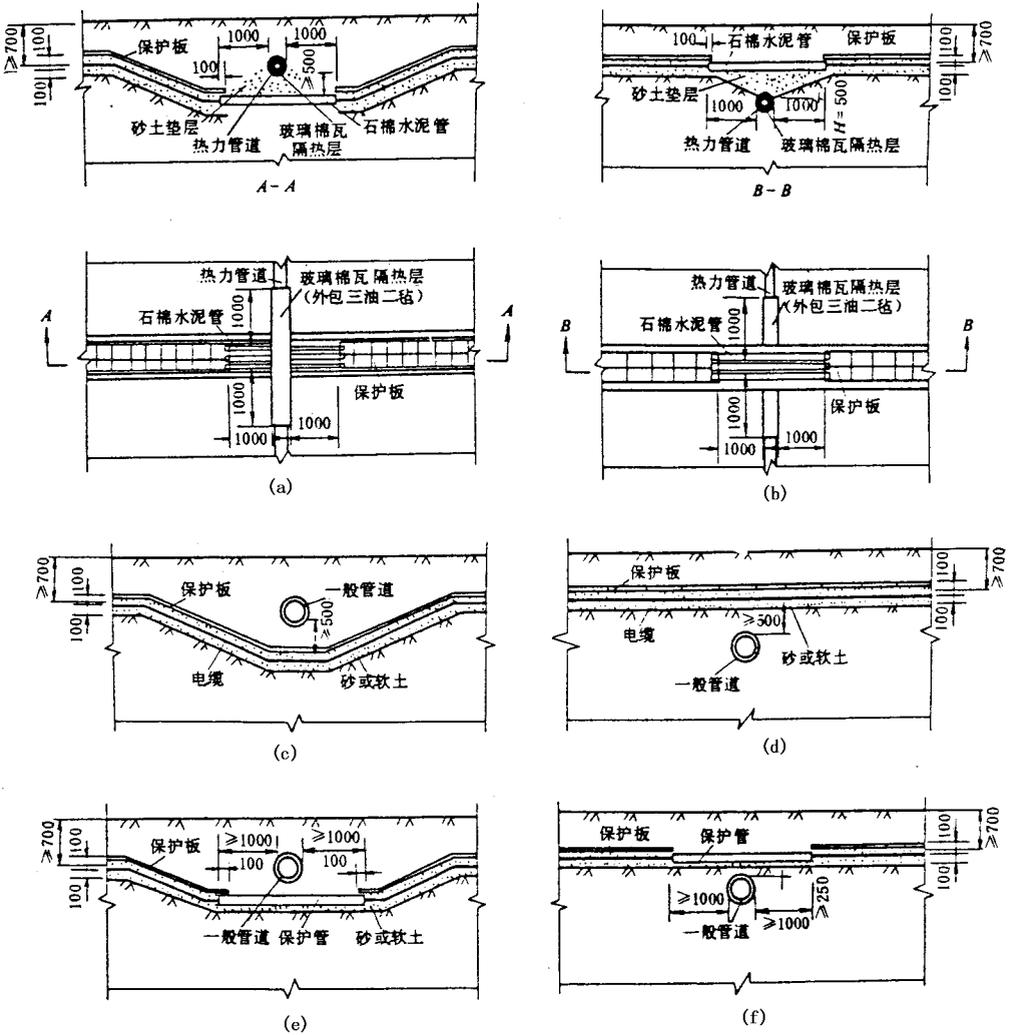


图 5-21 电缆与地下管道交叉敷设

- (a) 电缆在热力管道下面通过 (b) 电缆在热力管道上面通过;
- (c) 电缆无保护管在一般管道下面通过 (d) 电缆无保护管在一般管道上面通过;
- (e) 电缆有保护管在一般管道下面通过 (f) 电缆有保护管在一般管道上面通过

(1) 电缆与热力管道交叉时一般应将电缆敷设在热力管下面,净距应不小于 500mm,并在交叉点前后约 1000mm 范围内,先将电缆穿石棉水泥管或采用其它方法保护,后将热力管包扎上玻璃棉瓦或装置隔热板等,使电缆敷设地点的土壤温度不超过附近土壤温度 10℃ 以上,如图 5-21(a) 所示。

(2) 电缆与一般管道(水管道、石油管道、煤气管道等非热管道)交叉时净距应不小于 500mm。当电缆在交叉前后约 1000mm 范围内用管保护时,其净距可不小于 250mm。具体敷设示意图如图 5-21(b)~(f)所示。

(3) 电缆与铁路、公路交叉敷设时,应穿保护管或放在隧道内。管的内径不应小于电缆外径的 1.5 倍,且不得小于 100mm。管顶距离路轨底或公路面的深度应不小于 1000mm,距排水沟底应不小于 500mm,距城市街道路面的深度应不小于 700mm。保护管长度除与跨越公路或轨道的宽度相同外,一般还应在两端各伸出 2000mm,在城市街道,管长应伸出街道路面,如图 5-22 所示。当电缆与直流电气化铁路交叉时,还应有适当的防腐蚀措施。

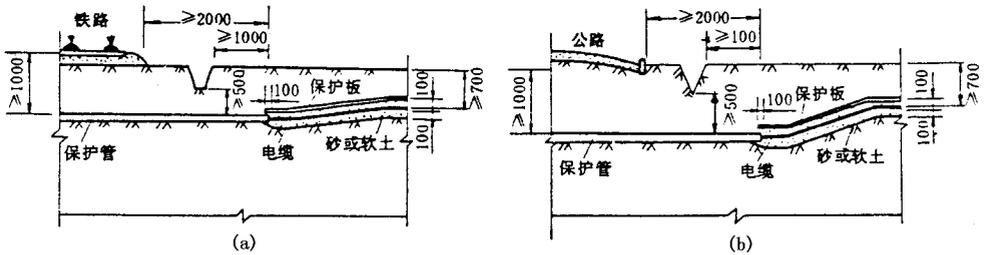


图 5-22 电缆与铁路、公路交叉敷设

(a) 电缆与铁路交叉 (b) 电缆与公路交叉

电缆由沟道内引至电杆上的敷设(见图 5-23)或引入建筑物内的敷设(见图 5-24)其电缆终端处应留 1000~1500mm 长的电缆余量,距地面上 2000mm 长的一段应用金属管或罩加以保护,管的根部应伸入地下 100mm 左右。电缆的弯曲半径 R 应符合下列规定。

- (1) 纸绝缘多芯电力电缆(铅包、铠装),应不小于电缆外径的 15 倍;
- (2) 纸绝缘单芯电力电缆(铅包、铠装或无铠装),应不小于电缆外径的 20 倍。

四、电缆头的制作方法

电缆敷设后,相邻两电缆之间相互连接的连接点,称为电缆的中间头。而电缆线路的始末端,称为电缆的终端头。电缆的中间头和终端头的主要作用是将电缆密封起来,以保证电缆的绝缘水平,使其安全可靠地运行。

(一) 电缆中间头的制作

电缆在敷设过程中,由于制造、运输和敷设施工等原因,对一根电缆的长度有所限制,在实际使用时,将需要用中间头把两根电缆连接起来。此外,由于电缆两端高度差超

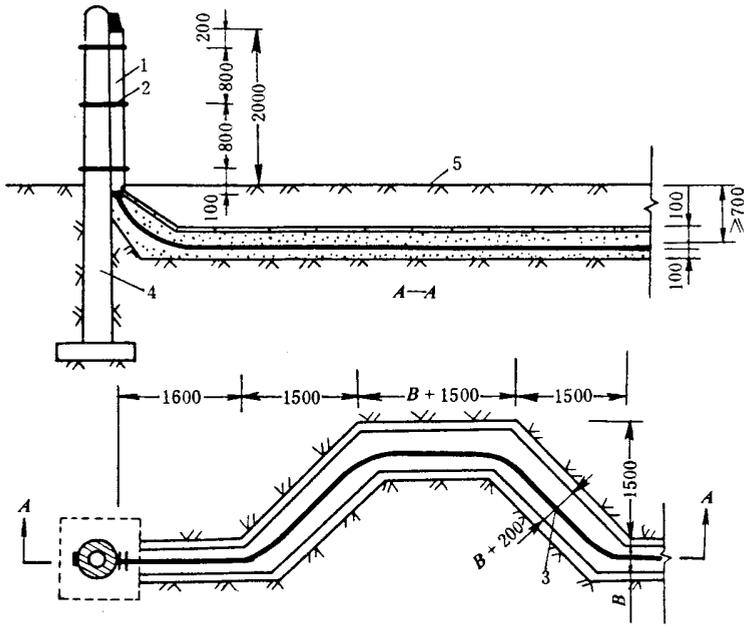


图 5-23 电缆由沟道内引至电杆上的敷设

1—保护管 2—抱箍；3—电缆弯曲处沟的宽度 4—电杆 5—地坪

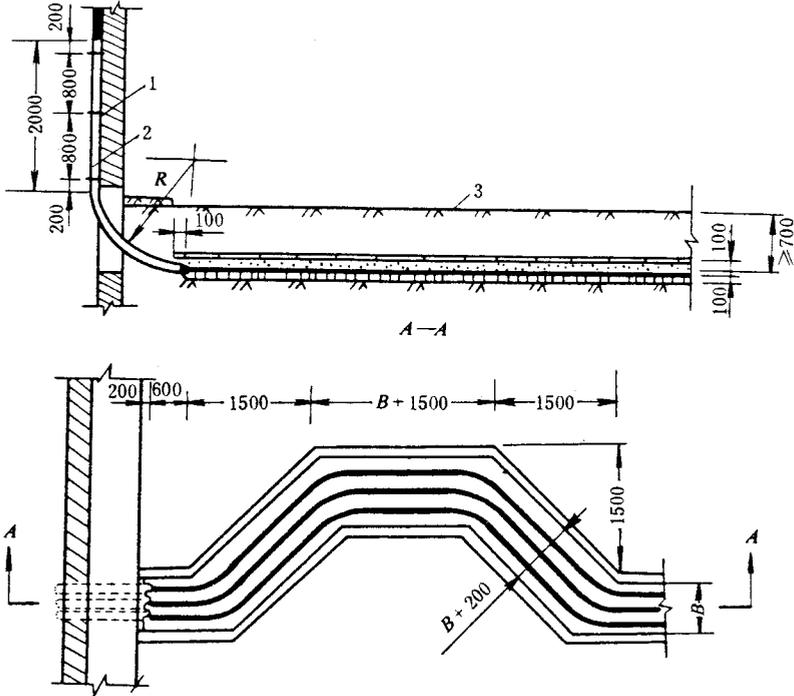


图 5-24 电缆由沟道内引入建筑物的敷设

1—U形管长 2—保护管 3—室外地坪

过规定值(如电缆敷设在矿井、高塔或山坡上),所以先将电缆的油路分成几段,这种隔断油路的接头,称作中间堵油头。

电缆中间头常用的有铅套管式、铸铁壳式、环氧树脂浇铸式和交联聚乙烯电缆热缩式四种。这里主要介绍交联聚乙烯电缆热缩式和铅套管式中间头的作法。

1. 10kV 交联聚乙烯电缆热缩式中间头的制作步骤

(1)剥切电缆。按图 5-25 尺寸剥去电缆 PVC 护套、铠装钢带、内衬垫及填充物、屏蔽钢带、电缆外半导体层和线芯末端绝缘。剥切时应注意不可伤及内层结构,线芯绝缘表面不可留有半导体残渣。

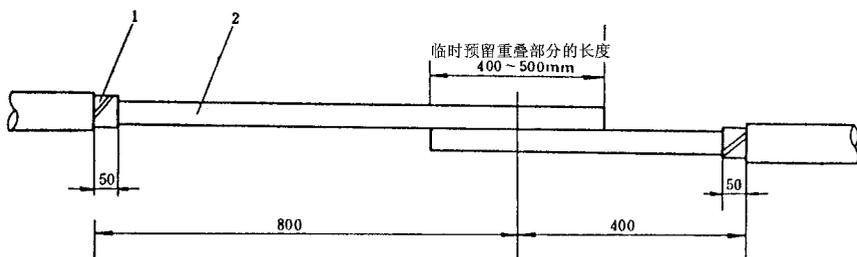


图 5-25 剥去外护套尺寸

1—钢带 2—内护层

(2)将热收缩护套管、密封管和铁皮中间盒套在电缆外护套上,再将屏蔽铜带、绝缘热收缩管分别套在每相电缆上。

(3)在线芯上套上连接管,接头尺寸见图 5-26,按规定压接。

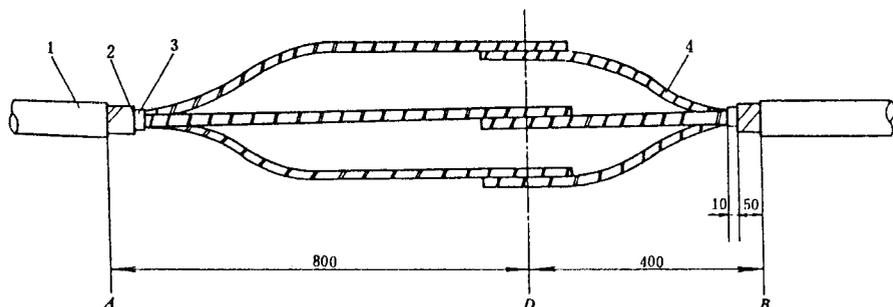


图 5-26 接头尺寸

1—PVC 护套 2—钢带 3—内护层 4—软钢带

(4)包绕电缆连接部分。用酒精或汽油擦净线芯绝缘表面和连接管表面。用半导体带将连接管压坑填平,然后用乙丙自粘带包绕。

(5)包绕应力控制带。用应力控制带从屏蔽铜带切断处开始向另一端半搭盖式(半叠式)包绕,绕时除去应力控制的隔离层,将银白色一面朝外,拉伸 $10\% \sim 15\%$,要求应力带包绕光滑均匀,并包到另一端电缆铜带屏蔽切断处搭接 10mm ,再用同样方法反方向包绕至起始点止。

在应力控制带与铜带搭盖的一段铜带上半搭盖式包绕一层半导体带。

(6)安装热收缩绝缘保护管。首先在两根电缆的铜带屏蔽末端分别包绕热熔胶带,然后将绝缘保护管套在应力控制带上均匀加热收缩。

(7)安装铜屏蔽丝网。用半导体带从电缆屏蔽末端半搭盖式包绕绝缘保护管,直至包绕到另一端,然后返回包绕至起点。再将铜屏蔽丝网套在绝缘保护管上,铜屏蔽丝网两端紧密连接电缆铜屏蔽层,用铜丝绑扎,并用锡焊牢。

用同样方法安装另外两相。

(8)安装铁皮中间盒。将铁皮中间盒推至接头处,端正安装,将两端铁皮板压向电缆,铠装用绑线扎牢,并用焊锡焊牢。

(9)安装护套管、密封管。首先在电缆接头两端外护层处包绕热熔胶带,然后将护套管推至接头处,并由中间至两头均匀加热收缩,待收缩完毕后将多余部分切掉。最后在护套管与电缆外护套处包绕热熔胶带,套入密封管,加热收缩。

根据以上步骤制作的中间头,如图5-27所示。

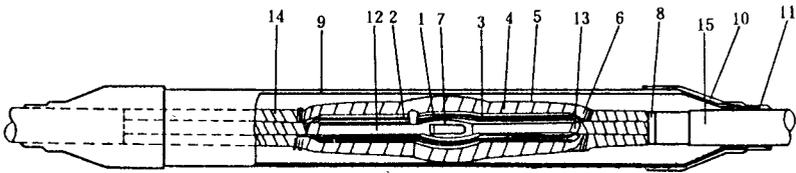


图5-27 热缩式中间头结构图

- 1—乙丙自粘带 2—应力控制带 3—收缩管 4—半导体带 5—铜屏蔽网带;
6—镀锡绑丝 7—接线管 8—塑料绝缘带 9—铁皮中间盒 10、11—密封管;
12—电缆本体绝缘 13—缆芯半导体层 14—铜屏蔽带 15—电缆护套

在制作交联聚乙烯电缆热缩式中间头过程中,使用的加热器,最好使用丙烷或丁烷煤气加热器。如采用喷灯,应注意调节喷嘴火头,使火焰柔软,呈淡黄色,以避免火焰呈现笔状蓝色火焰。火焰不要晃动,以避免烧焦材料。密封的部位要注意清理和除去油蜡。

热收缩管在收缩后应光滑,无皱折,内在部件界限清楚。

2. 10kV 及以下铅套管式中间头的制作步骤

(1) 清理好场地后,调直电缆末端,将保护管套入电缆一端,然后用约 100mm 高的木板将电缆两端头垫起并水平放置。

(2) 校验潮气。在接头以前必须校验电缆绝缘纸及导体有无潮气,其方法如下。

1) 在电缆端部约 50mm 一段分别取靠近铅皮的一层束带绝缘和靠近线芯的一层分相绝缘及线芯三种样品。取样时,工具要清洁干燥,防止引入潮气。

2) 将取得的样品放入 150~160℃ 的电缆油内煮(使用变压器油时,其加热温度不超过 130℃),如有嘶嘶声或白泡沫,即为受潮,此种方法称为油浸法。如电缆受潮,应割掉受潮的一段电缆,取样再试,直到无潮为止。

(3) 自接头中心向两边各量取 $\frac{1}{2}$ 铅套管的长度加上 175mm,用直径为 2mm 的绑线绑扎三道,切除由绑线扎口至电缆端头间的外护层麻包(见图 5-28)。然后由绑线扎口向端部各量取 50mm,用绑线扎好后,锯掉端部到扎口段的钢带(锯痕深度为钢带厚度的一半,不要锯透,防止损伤铅包)。然后用喷灯稍微烘热内护层,用刀割掉内护层的麻包及沥青防腐纸(用刀尖小心的逐层挑起撕下)。用破布蘸汽油,把铅包外面的沥青洗干净。将铅套管(见图 5-29 和表 5-17)套入电缆一端。铅套管的内壁须用蘸汽油的布擦干净。

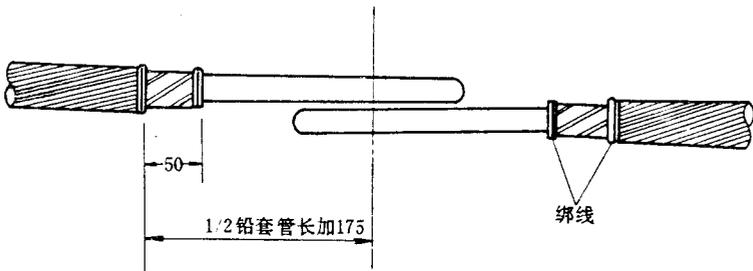


图 5-28 切除保护层尺寸(mm)

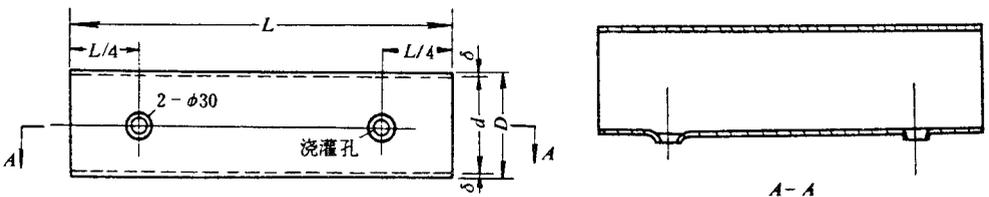


图 5-29 铅套管

表 5-17 铅套管尺寸

电缆截面积(mm ²)			铅套管尺寸(mm)			
0.38kV 四芯	10kV 三芯	6kV 三芯	<i>d</i>	<i>D</i>	δ	<i>L</i>
25 ~ 35	10	—	80	86	3	450
50 ~ 70	16 ~ 25	16 ~ 25	90	96	3	500
95 ~ 120	35 ~ 50	70 ~ 95	100	107	3.5	500
150	70 ~ 120	120 ~ 150	110	117	3.5	550
185 ~ 240	150 ~ 185	180	125	133	4	550
—	240	240	140	148	4	600

(4)如图 5-30 所示,从接头中心向两边各量出铅套管长度的 $\frac{1}{2}$ 减去 25mm 处,在铅包上刻一环形痕,用刀从电缆末端到环形痕间的铅包割一垂直的切口,剥去铅包。

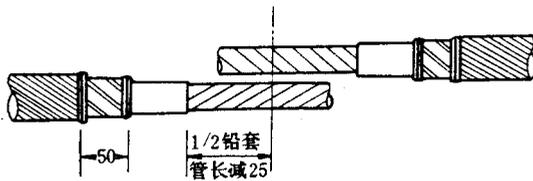


图 5-30 剥铅包尺寸

(5)用木楔或钢楔将铅包胀成 45°喇叭口。喇叭口一定要圆滑、等距和对称(见图 5-31)。胀口的速度和用力要均匀,防止断裂,并注意不得损伤绝缘纸。

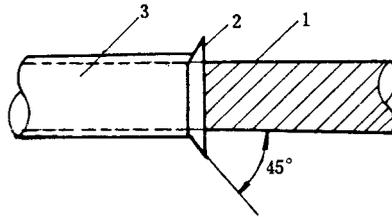


图 5-31 45°喇叭口

(6)如图 5-32 所示,距喇叭口向外 25mm 长的带绝缘纸上,依次包绕 5 层油浸纱带,最后一层绕过喇叭口 5mm 的铅包上,作为临时保护,以防在分芯时沾污绝缘和损伤绝缘。撕去其余部分的绝缘纸带和相间填料,然后在各芯表面顺绝缘纸包绕方向以半搭盖式包绕一层油浸纱带,直至包绕到距接头中心约为铅套管长度的一半再加 5mm 处为止。

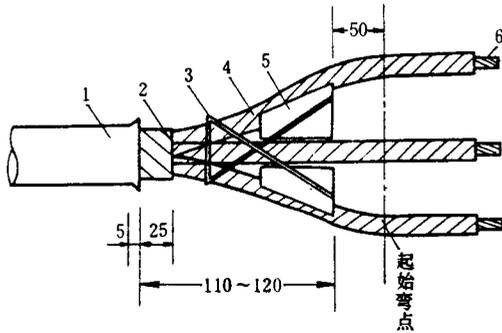


图 5-32 三角木架安装

1—铅包 2—带绝缘 3—油浸纱带 4—线芯绝缘 5—三角木架 6—线芯

(7)如图 5-32 所示,将三芯分成等边三角形,用三角木架支开三芯。在支架的外端离喇叭口约 110~120mm 处,用油浸纱带十字交叉扎紧。然后将三芯弯成一个工作间隙,其间隙宽为 80mm 左右,间隙应在木架外侧 50mm 处弯起,并注意不得弯伤绝缘纸。

(8)校对剥铅尺寸(即总剥铅长度等于铅套管长度减去 50mm)后,锯去中间头两端多余的线芯,锯断的口要平直。

(9)将各芯线末端的绝缘纸切除,使切除部分等于铝压接管长度加 5mm。为了避免损伤线芯,最后 2~3 层绝缘纸应用手剥去,以免切伤残芯。然后用蘸汽油的布擦净线芯和压接管。将线芯修整成圆,套上压接管。

(10)线芯连接。下面主要叙述铝芯电缆和铜芯电缆的连接方法。

1)铝芯电缆连接采用铝压接管局部压接法,铝压接管尺寸如图 5-33(a)和表 5-18 所示。首先放正压接管使线芯对实,压接管应在接头中心位置,然后先压接两边坑,后压接中间两坑,其压坑部位如图 5-33(b)所示。压接完后,在压坑内填满锡箔纸团,再压实并将表面用锡箔纸覆盖铺平,使其光滑圆整,不得有尖端或毛刺。压接管尺寸和压坑部位尺寸如表 5-18 所示。

2)铜芯电缆可以局部压接或焊接,如果用压接,其方法与铝芯电缆相同。如采用焊接,其焊接方法是将线芯绝缘纸比压接多切 5mm,用浸汽油的布擦去导体上的绝缘油,将线芯夹圆用绑线扎紧。扎紧线芯后,应用油浸纱带或无碱玻璃纤维带,将线芯端部的绝缘纸包缠好,以免焊接时灼伤纸绝缘。再在导体表面涂松香油,并用烧熔的焊锡来回浇,直至浇透全部线芯。随后拆除油纱布带及绑线,将镀好锡的连接管套上。然后将连接管放在接头中心位置,并将其端部包扎油浸纱带绳。在连接管缝内擦上松香油作为焊剂,开始用烧熔的焊锡浇焊,直至浇透浇满。然后用浸过汽油的布往连接管上包缠,使之冷

却后,拆除两端所扎的油浸纱带或无碱玻璃纤维带,将连接管表面锉圆,用砂纸打光滑。

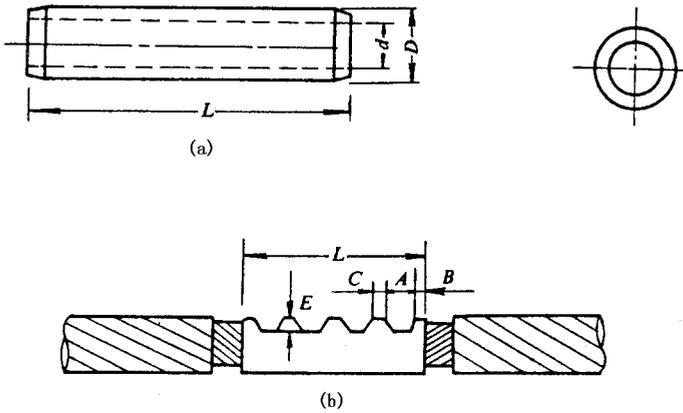


图 5-33 铝压接管尺寸和压坑部位

(a)铝压接管尺寸 (b)压坑部位

表 5-18 铝芯电缆压接尺寸及压坑部位尺寸

线芯截面 (mm ²)	铝压接管尺寸(mm)			压坑部位(mm)			
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E</i>
16	5.2	10	65	13	2	3	4.5
25	6.8	12	65	13	2	3	5.5
35	7.9	14	65	13	2	3	6.5
50	9.5	16.5	75	14	5	3	7.5
70	11.2	18	80	15	5.5	3	8.5
95	13.1	21	85	17	4	3	9.5
120	15	23	90	17	5	4	10.5
150	16.5	24.5	95	18	5.5	4	11
185	18.4	26.5	100	18	5	6	11.5
240	21	30	110	20	6	6	13

(11)用蘸汽油的棉纱擦净金属沫,拆除三角架,撕去各线芯的颜色纸。用 150℃的电缆油(或用变压器油)从两端向中心冲洗进行去潮处理。

(12)用卡钳量出接头最大直径,从带绝缘纸的端头起,用油浸黑漆带顺纸绝缘带包绕方向以半搭盖式法包至压接管,当包绕到压接管一样平后,在接头全段(包括压接管)来回包绕 3 层(380V 电缆包绕 2 层)。然后在压接管上及由管口向外延伸长度为 *A* 的全段上包缠加厚绝缘(厚度为 *C*),加厚段两端包成斜坡形,其长度为 *B*(或称梯步)。各部尺

寸如图 5-34 和表 5-19 所示。

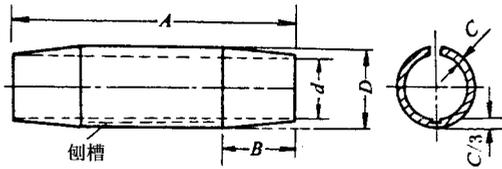


图 5-34 电缆连接后包缠加厚绝缘尺寸

表 5-19 电缆连接处包缠加厚绝缘各部尺寸

电压(kV)	A(mm)	B(mm)	C(mm)
0.38	55	25	5
6	80	30	10
10	120	45	15

做梯步就是距接头中心 10mm 处加装的三角形瓷隔离架或用黑漆带包成的楔形隔离圆筒,其厚度约为 5mm,长度为 25mm。做好梯步后,收紧三芯并用油浸纱带交叉扎紧,以便加装铅套管。

(13) 拆去带绝缘纸上的临时包带,撕去屏蔽纸,从胀口起 50mm 段上增包 8 层油浸黑漆带,并塞进胀口内,然后用热绝缘油去潮 1 次。

(14) 将铅套管移至接头中间,用木锤将两端敲成圆锥形,使铅套管口紧紧贴在铅包上(见图 5-35),并使灌胶孔向上。敲击时应在带绝缘处临时加垫铅皮,不要用力太大或集中一点,以防管口开裂或损伤内部绝缘。



图 5-35 用木锤敲铅套管端部

(15) 用喷灯慢慢烤热铅套管及电缆铅包,火焰要来回移动,不能垂直烘烤。同时在涂脂肪精去除氧化物时不能涂得太多,以防脂肪精流到套管内。用浇铅法或滴铅法封焊铅套管是一项关键操作。封焊时间越短越好,不要超过 15min,具体操作方法如下。

1) 浇铅法是先烧好的封铅慢慢浇到铅套管的圆锥处,并用擦布来回揉,浇到一定量后,再用喷灯把封铅烘成糊状。然后用羊脂浸过的细布揉成如图 5-36(b)所示的形状尺

寸(其中 $A + B$ 约为 $30 \sim 40\text{mm}$)。封铅要揉匀,做到粘附密实,不得有夹渣、砂眼和裂纹,表面应圆滑。最后用脂肪精加速冷却,在封铅没有完全冷却前,不得移动或震动电缆。

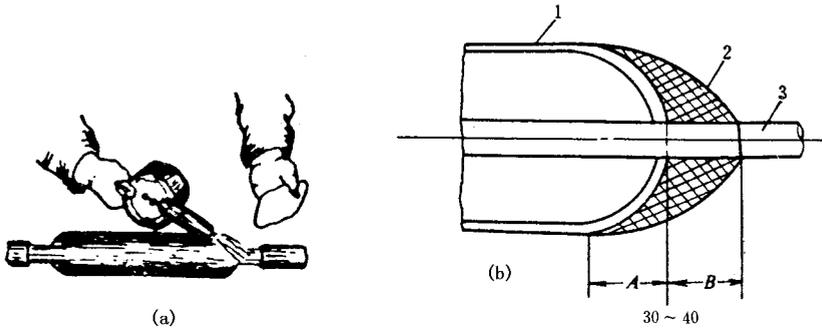


图 5-36 封焊铅套管

(a)用细布揉开封铅 (b)封铅尺寸

1—铅套管 2—封铅 3—电缆铅包 ;A—铅套管喇叭口长度 ;B—封铅长度

2)滴铅法是用喷灯将封铅条烤化,滴到铅套管的圆锥处。以下步骤和浇铅法相同,如图 5-37 所示。封铅时间不宜过长,以免因过热而影响内部纸绝缘。

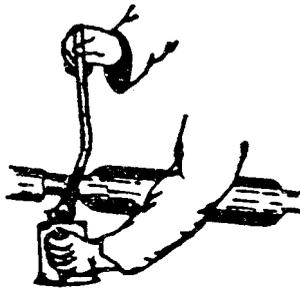


图 5-37 用滴铅法封铅套管

(16)灌电缆绝缘胶。

1)熬胶。先清除胶上的杂物,再将胶敲成小块放入铁桶中加热,使温度逐渐增加并达到要求,一般沥青基绝缘胶加热温度为 $160 \sim 180^{\circ}\text{C}$ 。在加热过程中,应不断地用金属棒搅拌,以免底部胶烧焦甚至起火燃烧。

2)在灌胶口上装上一只漏斗(应注意事先要预热),漏斗上部放一个筛子。

3)将铅套管均匀加热到 $60 \sim 70^{\circ}\text{C}$,然后用废纸遮盖铅套管,以防弄脏。

4)从漏斗往铅套管里灌胶要分三次浇灌。第一次灌至电缆铅套管容积的一半,待冷却至 $60 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 再灌第二次,最后铅套管冷却至室温后再灌第三次。在浇灌过程中,严禁

用水冷却铅套管。

(17) 在封铅帽时,首先封闭灌胶孔,后封排气孔,方法与封铅套管的滴铅法相似,如图 5-38 所示。

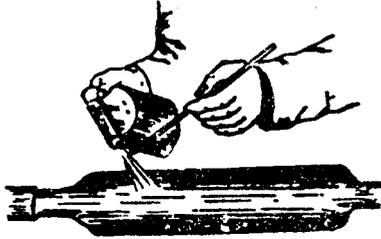


图 5-38 封焊铅套管的落胶孔

(18) 在焊地线时,先锉光钢带,涂上松香油,用喷灯烘烤铅包,用脂肪精去污,将地线各股整齐地排列在铅包上。然后用单股铜线紧扎数圈。在钢带上涂一层封铅后,再以滴铅法焊接。焊接尺寸是在钢带和铅包上长度各为 25mm,宽为 30mm。

(19) 先清除铅包和铅套管上的污物泥土,然后均匀地刷上热的电缆胶。每刷一层,每缠一层,要包缠 1 层厚度为 3~5mm 的桑皮纸。最后穿上保护钢管,并把管口密封起来。

(二) 电缆终端头制作

电缆终端头是电缆线路中的重要附件。当电缆与其它电气设备相连接时,需要一个能满足一定绝缘和密封要求的连接装置,称为电缆终端头。电缆终端头按使用场所不同,可分为户内终端头和户外终端头。户外终端头要有比较完善的密封和防水结构,以适应周围环境和气候的变化。

1. 10kV 三芯交联聚乙烯电缆热缩终端头制作步骤

(1) 剥除电缆护层、金属铠装、铜带和绝缘屏蔽。剥切时不得损伤主绝缘,屏蔽端部要平整光滑,不准有毛刺和凸缘。剥除电缆外护层及铠装尺寸,见图 5-39 和表 5-20。

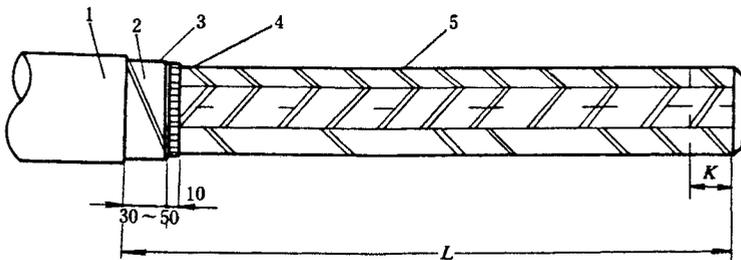


图 5-39 剥除电缆外护层尺寸

1—电缆护套 2—钢铠 3—绑扎 4—内衬层 5—铜带屏蔽

表 5-20 剥除电缆外护层及铠装尺寸

最小长度 L (mm) 型号	截面范围 (mm ²)		
	1# 25 ~ 50	2# 70 ~ 120	3# 150 ~ 240
户内 NSY	350	400	450
户外 WSY	400	450	500

(2) 彻底清洁绝缘表面,不得留有碳迹,必要时可用细砂布打磨抛光,最后还得用溶剂清洁擦净。

(3) 焊接地线。采用镀锡编织铜线作电缆钢带屏蔽引出接地线。预先将编织线拆开均分成 3 份,重新编织,分别包绕各相,绑牢焊接在铜带上。如有铠装,应将编织线用绑线绑扎后与钢铠焊牢。在密封处的接地线用锡填满编织线空隙长约为 15 ~ 20mm,形成防潮段。

(4) 填充三叉及绕包密封胶。用电缆填充料填充三芯分支处,使其外观平整。只起保护分支护套被地线或绑线刺破。清洁电缆护套表面,密封胶带应包绕 2 层长约为 60mm,再将接地线包在其中。

(5) 安装热缩附件。首先安装三芯分支护套。在安装时尽量往下,并在护套上作明显标记,以确保密封段约为 60mm 不受损伤。然后在电缆护套端部,温度加热达 110 ~ 120℃时,开始向下收缩,待完全收缩(收缩率约为 30% ~ 40%)后,端部应有适量胶液挤出。最后向上收缩,分支护套收缩完毕。

(6) 剥切铜带及绝缘屏蔽。剥切时不准损伤主绝缘,对于残留半导体层,应用细砂布打磨干净。

(7) 安装接线端子。首先确定引线长度,按端子孔深加 5mm,剥除端部绝缘。然后在压接端子时,应先用砂布或锉将其不平处锉平,清洁表面,再用填充胶填充绝缘和端子之间的压坑,使胶与绝缘和端子均搭接 5mm 左右,并平滑光洁。

(8) 安装绝缘管。首先要清洁绝缘、应力管、分支护套表面,然后安装上绝缘管。注意绝缘管的涂胶部位应和分支护套搭接,从下往上收缩。

(10) 安装密封套。先清洁绝缘管端部和接线端子,然后套入密封套收缩于端子和绝缘管之间,如图 5-40 所示。

到此步骤,户内式热缩终端头就算制作工艺完毕。

对户外式热缩终端头只须继续以下步骤。

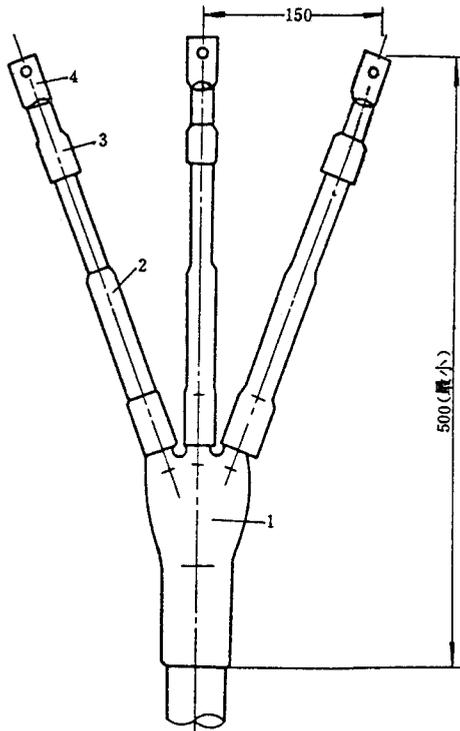


图 5-40 NSY 系列 10kV 三芯交联聚乙烯电缆热缩终端头结构图

1—分支护套 2—绝缘管 3—密封套 4—接线端子

(11) 安装雨裙。首先清洁绝缘管表面,然后套入三孔雨裙,待自由雨裙下落定位后就进行收缩工艺。其收缩工艺可按图 5-41 推荐的尺寸先安装单孔雨裙,后在端正后进行收缩。

到此步骤,户外式热缩终端头就算制作工艺完毕。

对于在制作热缩终端头中所使用的加热器,请参考制作中间头的要求。

35kV 交联聚乙烯电缆,通常是单芯的,其制作步骤可参考三芯电缆。不同的是电缆外护层的剥切尺寸:对于 NSY 系列的电缆应为 700mm;对于 WSY 系列的电缆应为 750mm。此外在最后加装雨裙时,NSY 系列加装 3 个雨裙(裙间距为 100mm);WSY 系列加装 5 个雨裙,如图 5-42 所示。

2. 10kV 油浸纸绝缘电缆户外终端头制作步骤

(1) 首先检查各部件应无砂眼,配件应齐全。然后试装盒体应吻合紧密,质量良好。再在盖封铅处进行镀锡,用汽油布擦净缆盒所有配件。最后摆正电缆,搬好做头的应力弯,将电缆固定好。

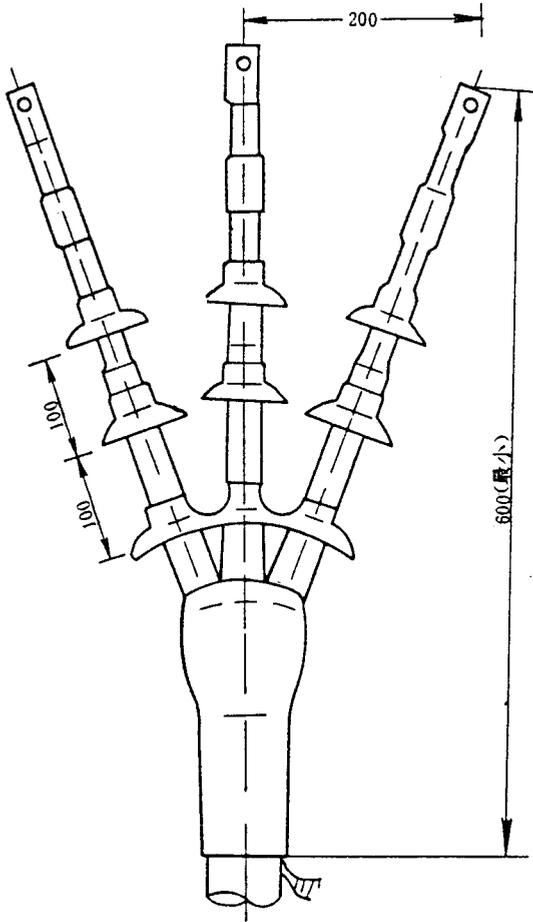


图 5-41 WSY 系列 10kV 三芯交联聚乙烯电缆热缩终端头结构

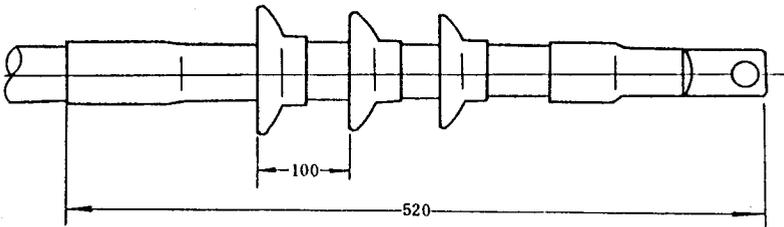


图 5-42 WSY 系列 35kV 户外热缩终端头

(2)以电缆头支架下侧的电缆头连接孔为中心,向上量出 10mm 处做头的破铅口,并以此为基点定位。按图 5-43 和表 5-21 的规定,量好尺寸扎好第一道绑线,并去掉多余的电缆。

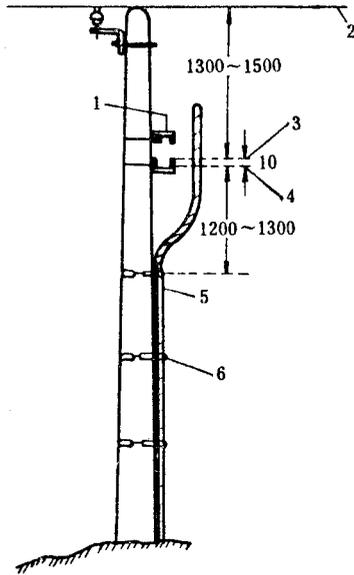


图 5-43 做头定位图

1—支架 2—架空线路 3—做头破铅口支点 4—电缆头支架下侧螺孔；
5—上杆电缆 6—电缆卡具

表 5-21 剥切尺寸表

项目 长度 (mm) 电压(kV)		破钢铠 长度	破铅包 长度	留铅包 长度	切线芯绝缘 长度	留统包绝缘 长度	两道绑线间 距
		A	B	C	F	D	E
符号		A	B	C	F	D	E
WDZ 型	铜芯	760	510	250	管深加 10mm	25	100
	铝芯	640	460	180		25	100
WD 型	铜芯	630	430	200		25	100
	铝芯	580	380	200		25	100

(3) 去掉做头部分的保护防腐层(不得使钢铠松散), 扎好第二道绑线, 并将钢铠锯掉。再用喷灯将内护层烘热后去掉, 并把铅包揩净(铅包电缆应在封铅处镀上 1 层封焊涂料)。套上封铅或压装的进线压盖, 并将压盖用布包好防止脏污。

(4) 按剥铅尺寸量好长度, 进行环痕剥铅, 然后自上而下的剥铅至 250mm 左右, 将铅包剥掉。

(5) 剥开统包纸绝缘。分开三芯, 包上临时布包, 切去线芯纸绝缘, 长度为管深加

10mm。再用干净汽油布将导体油污擦净,并将线芯绑扎严密,穿好端子头。

(6)压接端子(围压式点压),并将其修整光滑,去掉临时包布,进行第二次破铅至环痕口处。

(7)将铅包口进行涨铅,并要修整光滑,揩净金属屑,顺序地去掉全部统包屏蔽纸层。将统包纸在铅包口处保留 25mm 一段,其余的统包纸、填充料、线号纸和相带纸也均应全部剥掉。其剥切尺寸见表 5-21 和图 5-44。

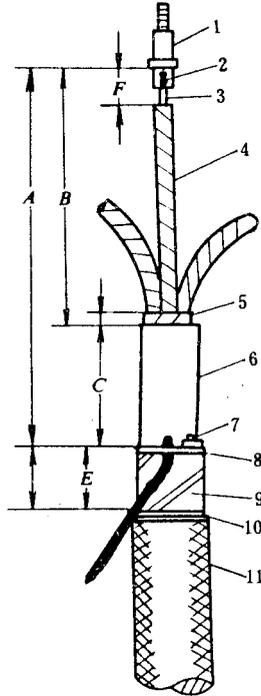


图 5-44 油浸纸绝缘电缆户外终端头剥切尺寸图

- 1—铜铅端子头 2—压接点坑 3—线芯导体 4—线芯绝缘;
5—统包纸绝缘 6—铅包 7—焊接地线处 8—第二道扎线 9—钢铠;
10—第一道扎线 11—防腐保护层

(8)带上乳胶医用手套,用油浸黑无碱玻璃丝绝缘带,按照线芯包绕的方向进行绝缘层包绕。10kV 电缆包绕 4 层,6kV 电缆包绕 2 层,统包绝缘均要包 6~8 层。

(9)组装好终端盒,垫好各部垫圈,拧紧各部螺丝。各部螺丝及配件必须吻合紧固。

(10)打开加剂孔进行封铅。应先去掉封铅处的氧化层,然后进行封铅。封铅时间不得超过 15min,封铅时要防止烧伤铅包和统包绝缘。封铅工艺要求严密、光滑,不得有砂眼,如图 5-45 所示。

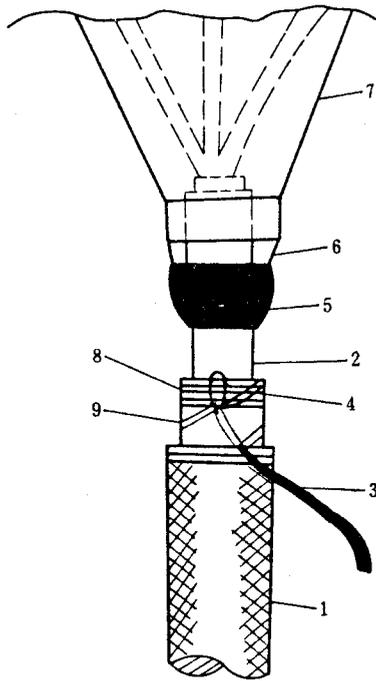


图 5-45 终端头封铅示意图

1—麻被 2—铅包 3—接地线 4—地线封焊处 5—封铅；
6—电缆头进线压盖 7—电缆头壳体 8—第二道扎线 9—钢铠

(11)焊接地线时,应先将钢铠镀上焊锡层,然后将铅包、钢铠、地线三者用封铅焊在一起,焊接要牢固严密、光滑(见图 5-45)。

(12)用长脖漏斗加灌电缆胶,要 1 次加灌到电缆瓷瓶的上口处(当有两个加剂孔时,应从偏侧孔的漏斗加灌)。加灌时要把瓶口压盖螺丝松开放气。电缆胶灌满后应及时将螺丝紧固,待电缆胶冷却到 50℃ 以下,由中间孔继续加满至漏斗,再待冷却后拆掉漏斗,封闭加剂孔螺丝并紧固。最后及时清除电缆盒外的油污(气温低于 5℃ 时,加灌胶前还要预热电缆盒的壳体)。

(13)校验电缆相位,并在帽盖上涂刷相色油。先将接地线接装好,同时将防扭吊线抱箍装好卡牢,如图 5-46 所示。然后检查电缆各部无问题后,进行试验并合格。最后核对相位并连接引线。

由此,10kV 纸绝缘电缆户外终端头的制作工艺完毕。

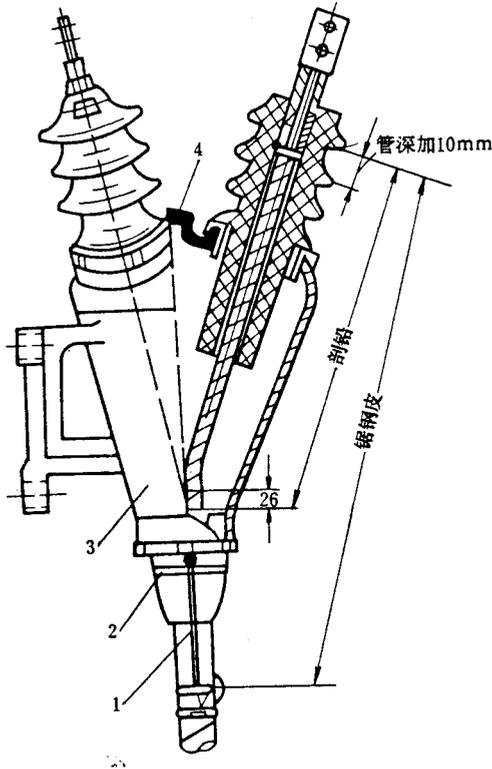


图 5-46 电缆户外终端头组装图

1—吊轧头 2—铜压盖 3—密体式壳体 4—灌胶孔

五、电缆故障的预防措施

由于电缆设备绝大部分都是埋置在地下或敷设在沟内,因此它的缺陷不易发现,所以在运行中存在的缺陷,只能从平常发生的故障类型来判明。

(一) 发生故障的原因

引起电缆故障的原因很多,一般有以下几方面。

1. 直接受外力破坏

电缆直接受外力破坏,一般有以下几种情况。

- (1) 敷设时或在建筑其它地下管道时,不慎误伤;
- (2) 敷设时电缆弯曲度过大,而使绝缘介质受到损伤;
- (3) 因地层沉陷使电缆承受过大压力;
- (4) 导体被拉断或电缆接头被拉开。

2. 绝缘受潮损坏

由于电缆接头盒或终端盒设计施工不良,制造不合格,铅包上有小孔或裂缝,而且在运行中铅包受化学腐蚀或电解穿洞,使水分侵入,致使绝缘受潮损坏。

3. 绝缘过热而损坏

由于电缆与热力管道过于接近,电缆沟的隧道通风不良,电缆的载流量和过载能力超出了电缆的长期允许最高温升等因素,均会造成电缆绝缘的过热而损坏。

此外,电缆在运行中发生的各种故障,也会造成电缆绝缘的损坏。所以要求一旦电缆发生故障,就要及时发现和处理。

(二) 电缆故障的预防措施

电缆线路的故障类型,一般有短路、断路、闪络和各种不同电阻值的接地等。发生上述故障虽有各种不同的原因,但只要消除电缆和电缆配件在设计制造与施工、运行中的缺陷,那么电缆的故障是可以预防的。

1. 设计制造方面的预防措施

在设计电缆线路时,必须考虑沿线的电缆散热情况,如果电力电缆持久地过热,那么电缆的绝缘会很快老化。对于单芯电缆,应尽可能地将其三相以紧贴成正三角形的排列方式,使铅包的损失最小,以避免在各线芯周围构成磁力线回路。为了避免电缆受到腐蚀,必须注意沿线土壤的化学成分以及电解腐蚀的可能性,其中含有有机腐烂物以及碱性的物质,如石灰、煤渣等土壤,它们腐蚀电缆铅皮最严重,所以在选电缆线路路径时,必须给予重视。此外,在电缆接头和终端头的设计方面,对绝缘承受的应力、材料的选择、机械强度的计算和防水的可靠性以及运行中可能遭受的冲击过电压和预防性的超压试验等,也应慎重考虑。

2. 施工方面的预防措施

施工人员必须严格遵守现场作业规程,建立健全验收制度,以保证电缆的施工质量。在敷设电缆时,应防止电缆的机械损伤、弯曲过度、填土不实、土沟内有尖石头、埋置深度不够、电缆上面未铺保护板等。敷设电缆的地方,应准确表明其所在位置,以免在掘土时受到破坏。在电缆的接头及终端的地方,必须注意封铅和焊锡质量,特别是对垂直或倾斜部分,浸渍纸绝缘电缆在受热时,浸渍剂变成流动的液体,如果接头处理不当,则易于流出使绝缘干枯,因而降低电缆的耐压强度,或导致绝缘介质的老化。此外,能否对绝缘材料进行正确热处理,保持缆芯纸绝缘的完整和施工过程中的清洁等方面,也应给予注意。

3. 运行方面的预防措施

许多在设计和施工中造成的缺陷,不会立即暴露出来,但在严格的运行管理制度下,这种缺陷大部分能被发现,并可加以消除。

如果电缆线路发生事故,必须加以彻底消除处理,其处理的步骤如下。

- (1)故障测试;
- (2)故障情况的检查和原因分析;
- (3)对故障电缆进行修理和修理后的试验。

第三节 绝缘子

一、绝缘子的用途和分类

(一)绝缘子的用途

绝缘子一般是用电瓷材料制成的,所以又称为瓷瓶或瓷套。绝缘子广泛应用于发电厂和变电所的配电装置、变压器和开关等电器中以及输配电线路上,用来固定和支持载流导体,使裸载流导体与地绝缘,并使装置中处于不同电位的载流导体之间绝缘。绝缘子除应具有足够的绝缘强度外,还要具有承受导体的垂直和水平荷重等机械强度、有足够的防化学物质侵蚀的能力和不易受温度急剧的影响与不易侵入水分的特点。

(二)绝缘子分类

一般按绝缘子的作用分为电站绝缘子、电器绝缘子和线路绝缘子三种;按绝缘子的额定电压分为高压绝缘子(用于电压为500V以上的网络中)和低压绝缘子(用于电压为500V以下的网络中)两种。

1. 电站绝缘子

这种绝缘子是用来支持和固定户内外配电装置的母线,并使母线与地绝缘。电站绝缘子又可分为支柱绝缘子(见图5-47 a)和套管绝缘子(图5-47 b)两种。支柱绝缘子主要是支持和固定母线用,套管绝缘子是用来固定和穿过从户内通过墙壁和天花板以及从户内向户外引出的母线或导体并起绝缘作用。为了将绝缘子固定在支架上(如钢结构或水泥结构等)和将母线或电器的载流导体固定在绝缘子上,绝缘子除具有绝缘作用的瓷件1外,还有具有牢固的固定在瓷件上的金属配件2。金属配件2和瓷件1大多是用水泥胶合剂胶在一起。绝缘瓷件的外表面涂有一层釉(棕色的或白色的),以提高绝缘子

的绝缘性能和机械性能。为了防潮的需要,金属配件 2 和瓷件 1 胶合处的外表面需涂以防潮剂。其它金属配件也都进行镀锌处理,以防氧化。支柱绝缘子和套管绝缘子的机械强度,应能承受当短路电流通过母线时所产生的最大电动力的作用,并应具有一定的裕度。所以同一电压等级的绝缘子,有些制造尺寸大一些;另一些制造尺寸小一些,这主要是由于所承受的机械强度不同。

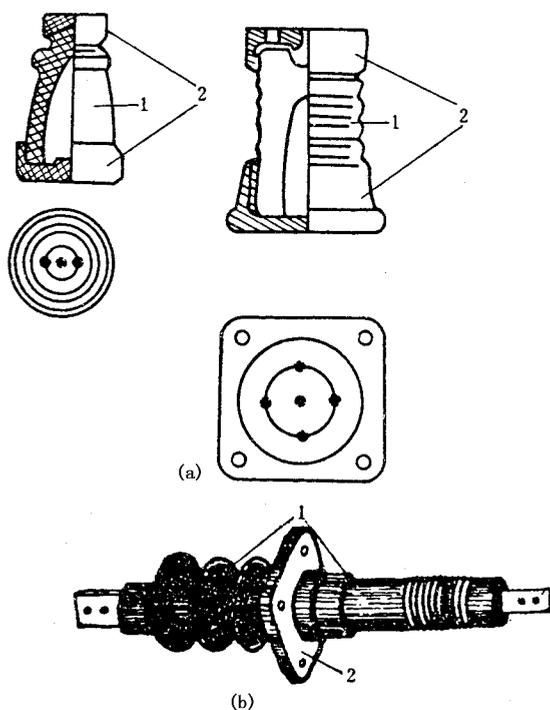


图 5-47 电站用支柱绝缘子和穿墙套管绝缘子的结构图

(a) ZA-6Y 型和 ZLD-10F 型支柱绝缘子 (b) CWLB-10 型户外穿墙套管绝缘子

1—瓷件 2—金属配件

2. 电器绝缘子

电器绝缘子是用来固定电器的载流部分,它也分支柱绝缘子和套管绝缘子两种。套管绝缘子常用于有封闭外壳的电器上,如断路器、变压器等的载流部分引出壳外(见图 5-48)时,就应用这种绝缘子。此外,有些电器绝缘子还需要有特殊式样,如柱形、牵引杆形和杠杆形等特殊形状。电器绝缘子作为电器对地的主绝缘,除应能承受短路时的电动力外,户外用绝缘子一般均有较大的伞裙,以保证在淋雨状态和潮湿状态下保持瓷套表面的绝缘性能。电器用套管绝缘子的品种繁多,按其用途可分为变压器瓷套、开关瓷套、

互感器瓷套、电容器瓷套和电缆瓷套五类绝缘子,见图 5-48。

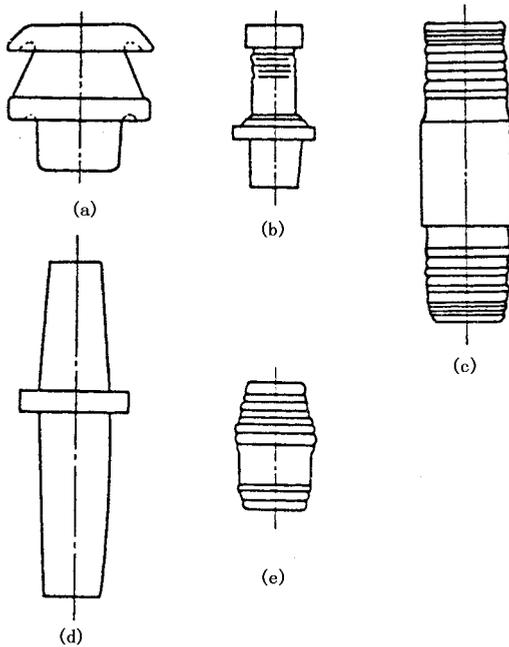


图 5-48 电器用套管绝缘子的外形结构图
(a) 变压器瓷套 (b) 开关瓷套 (c) 互感器瓷套;
(d) 电容器瓷套 (e) 电缆瓷套

3. 线路绝缘子

线路绝缘子是用来固定架空输、配电导线和户外配电装置的软母线,并使它们与接地部分绝缘。

线路绝缘子按外形可分为:针式(立瓶)绝缘子(见图 5-49 a)、悬式(悬垂)绝缘子(见图 5-49 b)和蝴蝶式(茶台)绝缘子(见图 5-49 c)三种。

(1) 针式绝缘子。它又分为低压针式绝缘子(工作电压为 1kV 及以下)和高压针式绝缘子(工作电压为 3、6、10kV 和 15kV)。绝缘子由瓷件和钢脚组成,瓷件和钢脚由胶合剂连接成整体,用以固定支持导线,并起绝缘作用。

(2) 悬式绝缘子。它是用于固定高压架空线路和配电装置中的导线或母线,并起绝缘作用。一般悬式绝缘子均串接成绝缘子串,使用在各个电压等级的场所。常用的悬式绝缘子有新、老两个系列,老系列产品是按 1h 机电负荷分为 3、4.5 和 7t 三级;新系列产品是按机电破坏负荷分成 4、6、10 和 16t 四级。

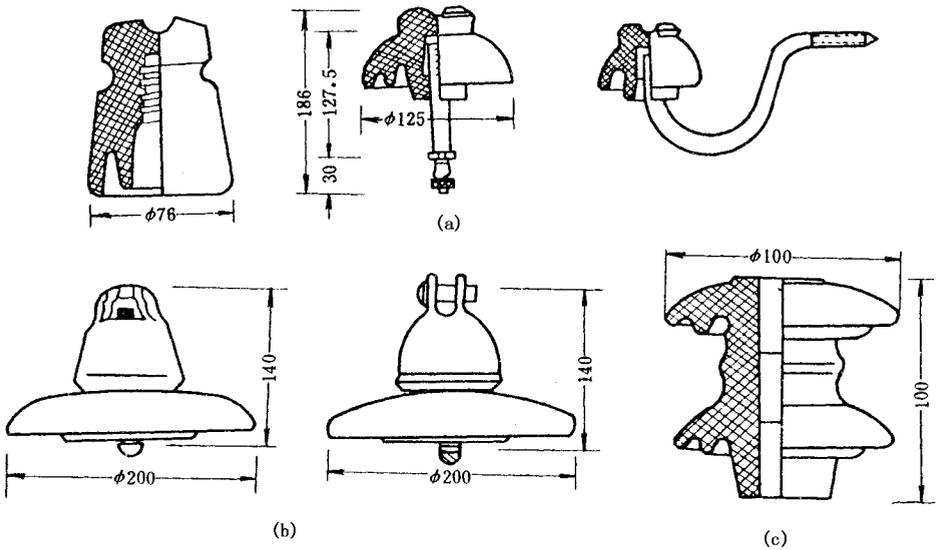


图 5-49 线路用绝缘子的外形结构图

(a)针式 (b)悬式 (c)蝴蝶式

悬式绝缘子按附件连接方式,可分为球形和槽形两种(见图 5-50)。

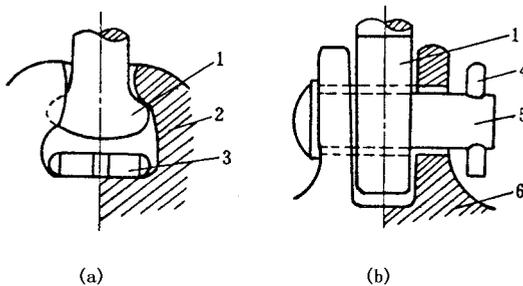


图 5-50 球形和槽形悬式绝缘子连接附件的结构图

(a)球形 (b)槽形

1—钢脚 2、6—铁帽 3—弹性销 4—开口销 5—销钉

(3)蝴蝶式绝缘子。它也分为高压和低压两种。通常将它用于高、低压架空配电线路的终端、耐张和转角杆上作为绝缘和固定导线之用。

(4)瓷横担绝缘子。它是近 20 多年来发展较快、应用较广的一种新型绝缘子,其电压等级从 400V ~ 220kV 并成一系列产品。图 5-51 为 CD-10 型瓷横担绝缘子的外形图,瓷横担绝缘子与针式、悬式绝缘子相比较具有下列优点。

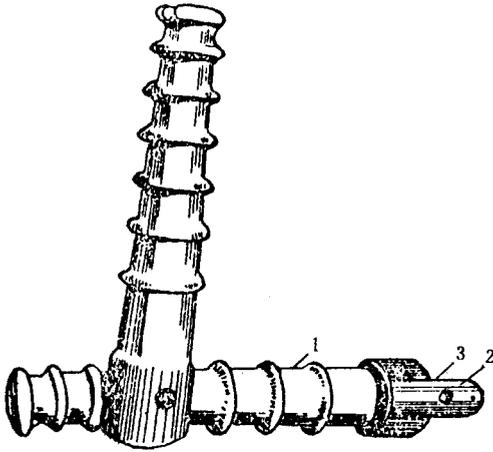


图 5-51 CD-10 型瓷横担绝缘子的外形图

1—瓷件 2—附件 3—水泥胶合物

1) 由于瓷横担绝缘子采用了转动式结构, 因此在线路断线时, 导线两端不平衡张力使瓷横担转动, 防止了事故扩大。

2) 电气性能好, 运行安全可靠, 可减少线路事故率;

3) 瓷横担具有自洁性能, 运行维护简单, 可减少线路维护工作;

4) 瓷横担结构较简单, 安装和连接方便, 可加速施工进度;

5) 节省钢材和木材, 能降低线路造价。

二、套管绝缘子与线路绝缘子

(一) 套管绝缘子

套管绝缘子通常称为绝缘套管或穿墙套管。按其结构形式, 可分为户内式和户外式两种。

1. 户内式套管绝缘子

户内式套管绝缘子有 3 种形式: ①具有矩形截面载流导体; ②具有圆形截面载流导体; ③母线型套管绝缘子。

(1) 具有矩形截面载流导体的套管绝缘子, 其额定电压为 6~10kV, 额定电流为 200~1500A, 外形结构如图 5-52 所示。它有一个空心瓷壳 1, 在瓷壳的中部用水泥胶合剂固定着方形金属法兰盘 2。法兰盘上 4 个螺孔 3, 是用来穿过螺栓将套管固结在构架或墙壁上。瓷壳里面穿过矩形截面载流导体 5, 并利用两个具有矩形孔的金属垫圈 4 将载流导体固定起来。垫圈上两个矩形孔的大小, 应与母线或其它载流导体相适应。垫圈应嵌

入套管瓷壳末端的凹口内。载流导体两端有孔,以便利用螺栓将配电装置中的母线或其它电器的载流导体与它连接起来。

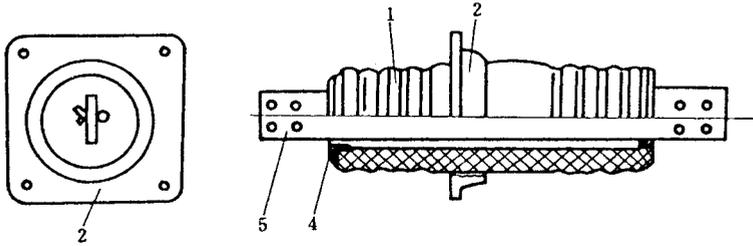


图 5-52 CLB-10/1000 型(穿墙)套管绝缘子的外形结构图

1—瓷壳 2—方形金属法兰盘 3—螺孔 4—金属垫圈 5—载流导体

矩形截面的载流导体可使套管绝缘子的结构与 6~10kV 配电装置矩形母线的连接简化。

(2)母线型套管绝缘子适用于额定电压为 20kV 及以下,额定电流大于 600A,可供母线穿过地板、墙壁以及在封闭式配电设备中作为绝缘支持物与外部母线连接用。在出厂的母线型套管绝缘子(见图 5-53)中没有载流导体,安装时需将配电装置的母线穿过套管绝缘子,套管内可以穿过一条或每相由几条组成的矩形截面的母线或载流导体。这种套管绝缘子两端具有特殊结构的帽 3,每一个帽上用两对螺栓固定着两块钢板 4。两块钢板合成矩形口,以便穿过母线,每条母线之间垫以衬垫(间隔片),其厚度一般与母线厚度相同。此外,母线型套管绝缘子还有瓷壳 1、方形法兰盘 2、接地用螺栓 5 和水泥胶合剂 6 等几个部分。

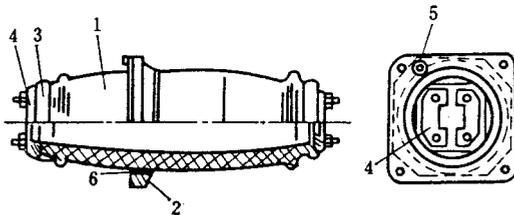


图 5-53 CMD-10 型母线型穿墙套管的外形结构图

1—瓷壳 2—方形金属法兰盘 3—帽 4—钢板 5—螺栓 6—水泥胶合剂

套管绝缘子在电气强度方面,最薄弱的环节是它的中间部分,即载流导体与接地法兰盘之间。因此,在电压较高的套管绝缘子中,为了提高套管绝缘子的绝缘强度,载流导

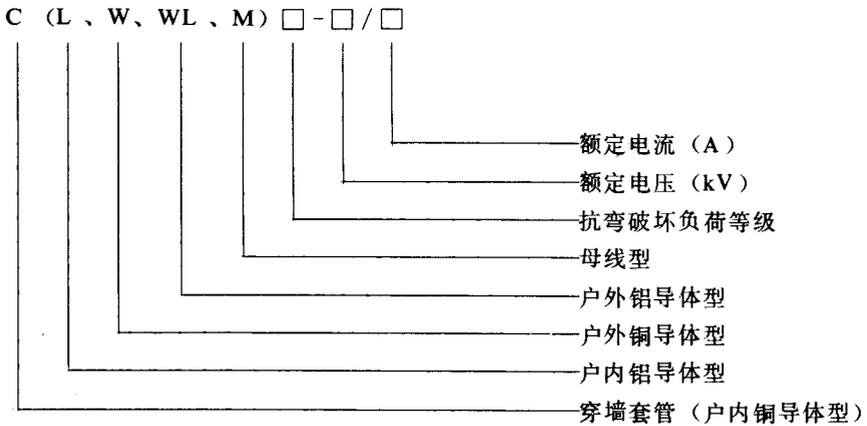
体在瓷壳内需用倍克来纸加强绝缘。

2. 户外式套管绝缘子

户外式套管绝缘子用于屋内配电装置中的载流导体与屋外载流导体相连接的地方(线路的引出端),以及屋外电气设备的载流导体由壳内向壳外引出的地方。屋外套管的载流导体有圆形和矩形两种截面。

3. 套管绝缘子的型号

套管绝缘子的型号含义如下:



现将抗弯破坏负荷等级按字母 A、B、C、D、E 及 F 的顺序,分别表示为 3750、7500、12500、20000、30000N 及 40000N。

例如,CWLC - 10/2000 型是指额定电压为 10kV、额定电流为 2000A 的铝导体、抗弯负荷等级为 12500N 的户外穿墙套管;CMLE - 10/3000 型是指额定电压为 10kV、额定电流为 3000A 的铝导体、抗弯负荷等级为 30000N 的母线型穿墙套管。

(二) 线路绝缘子

1. 针式绝缘子

国产高压针式绝缘子的型号有:P-6 型、P-10 型和 P-15 型三种;低压针式绝缘子的型号有:PD-1M 型、PD-2M 型、PD-1T 型、PD-2T 型和 PD-2W 型五种。其中,T 表示为铁横担直脚;M、W 分别表示为木横担直脚和弯脚。绝缘子是由瓷件和钢脚两部分组成,瓷件和钢脚采用水泥胶合剂或硫磺石墨胶合剂胶装,如图 5-49(a)所示。瓷珠是用来作为电气绝缘和机械支持与固定导线用的,它除有足够的绝缘强度外,还应有足够的机械强度。瓷件表面涂有 1 层棕色或白色硬质瓷釉,以提高绝缘子的电气和机械强度。

2. 悬式绝缘子

国产悬式绝缘子(见图 5-49 b)按其帽与脚的连接方法,可分为球型 X 型或 XP 型、槽型 X-C 型或 XP-C 型两种(见图 5-50),前者型号是指旧系列产品,后者型号是指新系列产品。对于有严重污染的地区,可以采用 XW 型防污悬式绝缘子。

悬式绝缘子是由瓷件、铁帽和钢脚,并用水泥胶合剂胶合而成。瓷件的表面上有 1 层棕色或白色硬质瓷釉,和针式绝缘子相同,用以提高绝缘子的电气和机械强度。金属附件表面全部热镀锌。绝缘子瓷件的头部胶合于铁帽内,钢脚胶合于瓷件孔内,以利于瓷件在帽和脚之间起支持和绝缘作用。当对绝缘子施加负荷时,负荷由钢脚或铁帽经水泥胶合剂传给瓷件。由于机械和电气同时作用在瓷件上,因此绝缘子的瓷件负荷较重,并且常因为瓷件头部的杂质、气孔或者由于绝缘子运行年限太长,造成瓷质性能老化,绝缘强度降低,甚至导致瓷件头部击穿。

绝缘子的钢脚一般采用普通碳素圆钢经锻造而成,绝缘子铁帽一般采用可锻铸铁铸成。

为了保证运行中绝缘子不致从串中脱落,每个绝缘子都附有紧锁装置,其中在球窝连接结构中采用弹性销,在槽形连接结构中采用圆柱销,并用开口销锁紧。弹性销经多次拆装后仍应具有良好的弹性,以保证锁紧作用。

悬式绝缘子通常用在 10kV 的配电线路的终端杆、耐张杆及转角杆上,与蝴蝶式绝缘子相配合,可供固定导线用。

3. 蝴蝶式绝缘子

蝴蝶式绝缘子分为高压与低压两种,蝴蝶式绝缘子的瓷件带有 2 个较大的伞裙,形如蝴蝶(见图 5-49 c)。它主要用于架空配电线路的终端杆、耐张杆及转角杆上,作为绝缘和固定导线之用。同时它也广泛被用作与悬式绝缘子相配合,作为线路金具中的一个元件,从而简化金具结构。经运行证明,蝴蝶式绝缘子耐电性能远远不及针式绝缘子,所以单独使用蝴蝶式绝缘子作为线路绝缘元件是不合适的。

4. 瓷横担绝缘子

瓷横担绝缘子是一种新型的绝缘子,既能在架空线路中作为横担使用,承担机械强度,又能作为绝缘子,起到导线对地绝缘之用。所以它担负着机械支持和电气绝缘双重任务。它的结构主要是由瓷件 1 和附件 2 两部分(低压瓷横担一般只有瓷件)组成(参见图 5-51)。在安装瓷横担时,选用安装螺栓应考虑到瓷横担受断线张力可转动的特点,使螺栓的外径略小于孔径。不带附件的瓷横担,两安装面应垫以石棉垫,用以保护瓷面不易受机械损伤。

三、绝缘子选择

(一) 线路绝缘子选择

各类线路绝缘子均应根据额定电压、装置种类和容许荷载来选择。

(1) 线路绝缘子一般可超过其额定电压 15% 运行, 所以根据额定电压选择绝缘子时, 只需满足下列条件

$$U_{ej} \geq U_{ew} \quad (5-13)$$

式中 U_{ej} ——线路绝缘子的额定电压;

U_{ew} ——网络中电气装置的额定电压。

(2) 根据电气装置的种类来选择悬式、针式或蝴蝶式绝缘子时, 应考虑悬式中选择球形还是槽形的连接件, 针式中选择铁横担直脚还是木横担直脚或弯脚等。

(3) 根据容许荷载选择线路绝缘子时, 应满足绝缘子的抗弯强度不小于 60% 绝缘子的抗弯破坏荷载, 即

$$F_{jzd} \leq 0.6 F_{jw} \quad (5-14)$$

式中 F_{jzd} ——在三相冲击短路电流下, 绝缘子所受到的最大计算荷载(N);

F_{jw} ——绝缘子的抗弯破坏荷载(N)。

(二) 套管绝缘子选择

(1) 按额定电压和额定电流选择, 即

$$U_{ej} \geq U_{ew}; \quad I_{ej} \geq I_{ex} \quad (5-15)$$

式中 U_{ej} 、 I_{ej} ——分别为套管绝缘子的额定电压、额定电流;

U_{ew} 、 I_{ex} ——分别为网络中电气装置的额定电压、额定线电流。

(2) 套管的电气参数应符合表 5-22 所列数据。

表 5-22 套管绝缘子的电气参数

额定电压 (kV)	工频电压(有效值, 不小于, kV)			全波冲击耐受电压 (幅值, 不小于, kV)
	干耐受	湿耐受	击穿	
6	36	26	58	60
10	47	34	75	80

(3) 不同额定电流铝导体的套管绝缘子应能承受 5s 热稳定电流的试验, 其电流值应符合表 5-23 中的规定。

表 5-23 不同额定电流铝导体的套管绝缘子 $5s$ 热稳定电流的规定值

额定电流 (A)	200	400	600	1000	1500	2000	3000
$5s$ 热稳定电流 (不小于 kA)	3.8	7.2	12	20	30	40	60

(4) 套管绝缘子在三相短路电流的作用下, 所受到的荷载应不小于表 5-24 中的规定值。

表 5-24 套管绝缘子抗弯破坏荷载

套管型号	抗弯破坏荷载 (不小于 kg)	套管型号	抗弯破坏荷载 (不小于 kg)
CL-6/200~600	400	CWL-10/2000、3000	800
CL-10/200~600	400	CM-10-90	400
CWL-10/200~1500	400	CM-10-160	800

第六章 配电设备的常用保护

第一节 常用保护的基本概念

一、常用保护作用

(一) 配电网的故障和异常工作状态

1. 配电网的故障

在配电网中,其主要元件有变压器、电机、配电线路以及各种配电装置等。这些元件和装置在运行中常有突然发生故障的可能性,最常见和最危险的故障是形成各种类型的短路、两相接地和不接地短路以及单相接地短路。除此之外,还可能发生线路断线、电机和变压器内部发生匝间短路或相间短路以及以上几种故障形式的组合等故障。

2. 配电网的异常工作状态

配电网中所有的元件和装置均规定有其长期允许电流和负载值,如果元件和装置在运行过程中超过规定的允许值,这种现象即称为异常工作状态。最常见的异常工作状态是网络中的元件和装置所带的负载超过额定数值(通常称为过负载)。这种过负载一般表现为过电流,它将引起设备过热,并加速绝缘老化,大大缩短使用年限,甚至引起绝缘击穿而发生故障。此外,由于小电流接地系统发生单相接地时,将使非故障相电压升高,并可能造成电弧过电压;还有,由于电力系统功率不足,而使频率下降和电压降低等,均属于异常工作状态。

(二) 保护的作用

(1) 在发生故障时,能够自动、迅速和有选择地将故障部分从供电网络中断开,以保证其它非故障部分恢复正常运行,并使故障部分免于继续遭受破坏。

(2) 当发生异常工作状态时,可立即给运行人员发出信号,使运行人员及时进行处理或自动地进行调整,以防止异常工作状态的不断扩大而引起故障的发生。

二、常用保护的基本要求

对继电保护的要求,通常有以下几个方面。

1. 选择性

当配电网中发生短路故障时,保护装置应有选择地动作,即离故障点最近的保护装置应先动作,使停电范围尽量缩小,从而保证非故障部分继续正常运行。例如,在图 6-1 中,当 d_1 点发生短路时,应由断路器 DL_1 将故障线路 1 切除,这时没有发生故障的线路 2 和 3 仍保持正常运行。当 d_2 点发生故障时,应由断路器 DL_2 切除故障线路 2,1 而线路 3 照常运行。如果在 d_1 点或 d_2 点发生故障时,不是断路器 DL_1 或 DL_2 动作,而是断路器 DL_3 先动作,这样就扩大了事故停电的范围,使用户遭到不必要的损失。此时,断路器 DL_3 的动作,通常称为越级跳闸或无选择性动作。

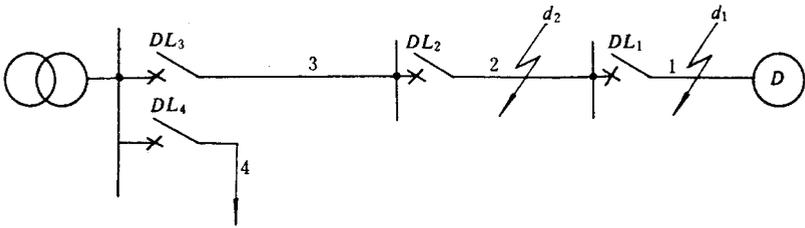


图 6-1 保护装置的选择性

在要求继电保护动作有选择性的同时,还可能遇到保护装置应动作的而未动作的情况。此时,上一级保护装置应动作,起后备保护的作用。例如, d_1 点处发生故障时,应该由断路器 DL_1 动作,切除故障。倘若由于某种原因,断路器 DL_1 的保护装置未动作,或断路器本身存在缺陷未能跳开,则 d_1 点处的故障不能切除。在这种情况下,要求上一级开关 DL_2 的保护装置作为后备保护来切除故障,即断路器 DL_2 跳闸。此时,断路器 DL_2 的继电保护装置所起的作用,称为下一级线路的“后备保护”。

2. 速动性

为了限制短路电流对电气设备的破坏作用,减少在短路时因电压降低而对用户产生

影响,使用户大多数设备(如电动机等)不致于停止运行,要求保护装置应尽快地切除故障。近代最快的速动保护装置的動作时限约为 $0.02 \sim 0.04s$ 。

对于异常工作状态(如过负载),无须要求迅速动作。因为任何电气设备均允许在某一规定时间内担负若干过负载,这种过负载可能在短时间内消失。因此,一般给予一定的时限而不立即断开电路,或仅发出信号以引起运行人员的注意。

3. 灵敏性

灵敏性是指继电保护装置对于其所保护范围内的故障及异常工作状态的反应能力,也即在其保护范围内,不管故障发生在何处和故障的性质如何,它均应动作灵敏、正确反应。但是由于它是用来防止事故范围扩大的装置,在供电系统或电气设备正常运行时,或者在不危险的过负载时,它就不应该动作。

继电保护装置灵敏与否,一般用灵敏度 K_1 来表示。关于灵敏系数的取得:对于故障时反映数值上升的保护装置(如过电流保护),其灵敏系数为保护区末端直接短路时最小的参数值(如电流)与保护装置所整定的起动值之比;对于故障时反映参数值下降的保护装置(如欠电压保护),其灵敏系数为保护装置所整定的起动值与被保护区末端直接短路时的最大参数值(如电压)之比。当在保护区内发生任一点故障时,保护装置必须准确动作,因此灵敏系数 $K_1 > 1$ 。

4. 可靠性

保护装置应做到随时准备好动作,当发生故障或异常工作状态时,能保证可靠地工作,不应有误动作或拒绝动作,否则会带来严重损失。历次烧毁电机和主变压器的事故都是由于保护装置拒绝动作所造成的。为了达到动作可靠的要求,则保护装置的结构和接线应尽可能地简单,并做到正确安装、细心维护和定期进行校验和调整等。

除以上几方面的要求以外,还要考虑到保护装置的设置和维护费用,应尽量节省投资。

第二节 几种常用的电磁式继电器

在电力系统中过去所采用各种类型的保护装置,多数是利用电磁原理制成的电磁式继电器。近 10 多年来,由于晶体管保护在电力系统中得到日益广泛的应用,而且有了很大的发展,因此在配电网中电磁式和晶体管式两种保护装置都在普遍使用。

一、继电器的分类、结构以及表示符号

电力设备最早的保护装置是熔断器,目前它在配电线路和小型变电所中仍广泛应用。随着电力系统的发展,容量增大,电压升高,仅采用简单的熔断器保护往往不能满足快速和有选择性地切除故障的要求。因此伴随着断路器的应用,作用于断路器跳闸机构的继电保护装置得到了迅速地发展。

(一) 继电器分类

(1) 继电器的分类,按照继电器的工作原理可分为:电磁式、感应式和晶体管式等。电磁式和感应式的继电器是有触点的继电器,晶体管式的继电器是无触点的继电器。

(2) 继电器分类,按照继电器所反映的参数可分为:电流继电器、电压继电器和功率继电器等。

(3) 继电器分类,按照反映量的变化可分为:欠量继电器和过量继电器两种,例如欠电压继电器、过电流继电器等等。

另外,继电器分类还可以根据继电器接入被保护回路的方法分为一次式(不经互感器直接接线的)和二次式继电器,也可根据作用于断路器的方法不同而分为直接动作式和间接动作式继电器。目前在电压不高的中小型变电所或配电室中,多采用二次间接动作式继电器,图 6-2 为二次间接动作式继电器的原理接线图。

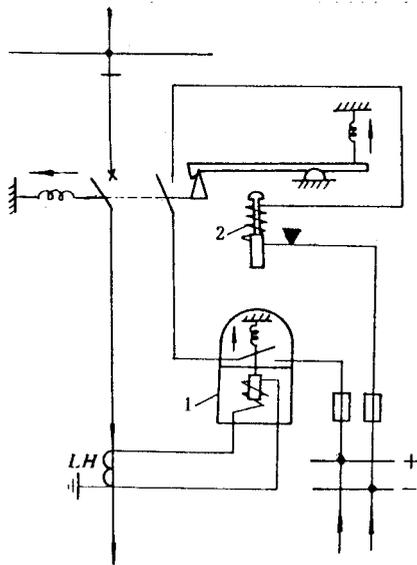


图 6-2 二次间接动作式继电器的原理接线图

图 6-2 中,继电器 1 是经过电流互感器 LH 接入电力线路的。当继电器动作之后并不直接操作断路器的传动机构 3,而是接通断路器的跳闸线圈 2,跳闸线圈通电将衔铁吸上因而使断路器跳闸。这种接线,一方面可使继电器与高压电路隔离,以便于检修和调整;另一方面因为通过跳闸线圈作用于断路器,因此继电器动作时所作的功较小,而且使继电器结构简单和能获得较高的可靠性与灵敏度,以便于统一成标准形式。但是,这种接线的继电器需要有独立的直流电源供电。

此外,还有反映非电量的继电器,如变压器保护中的气体(或瓦斯)继电器,也用于保护装置之中。

(二) 电磁式继电器的典型结构及工作原理

电磁式继电器的典型结构主要有螺管线圈式(见图 6-3 a)、吸引衔铁式(见图 6-3 b)和转动舌片式(见图 6-3 c)三种类型。每种结构均是由电磁铁 1、可动衔铁或舌片 2、触点 3、反作用弹簧 4 及止挡 5 组成。

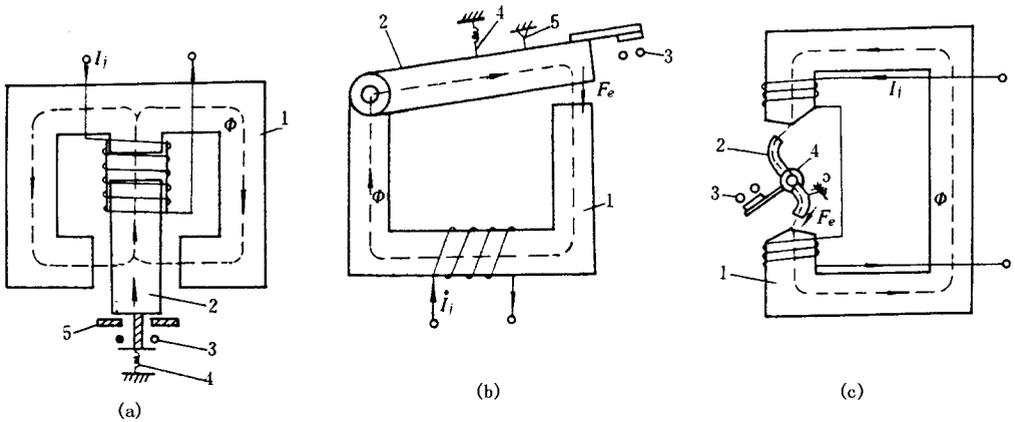


图 6-3 电磁式继电器的结构图

(a)螺管线圈式 (b)吸引衔铁式 (c)转动舌片式

1—电磁铁 2—可动衔铁式舌片 3—触点 4—反作用弹簧 5—止挡

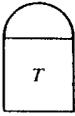
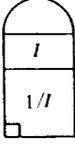
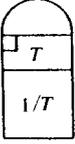
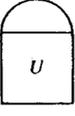
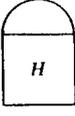
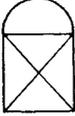
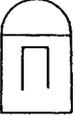
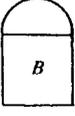
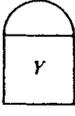
当电磁铁的线圈通过电流 I_j 时,在铁芯中建立起磁通 Φ ,磁通 Φ 经过电磁铁的铁芯、空气隙和衔铁而形成闭合回路。因此可动衔铁被磁化,而被磁极所吸引,便产生了顺时针方向的电磁转矩。当电磁力或电磁转矩大于弹簧及轴承摩擦所产生的反作用力或力矩时,就使触点闭合。

(三) 继电器的图形和符号

1. 继电器的图形

继电器是采用方块加半圆的图形,方块里的外文符号是用来表示继电器的类别,半圆内是它的触点或称为继电器的接触元件。继电器不带电时处于打开状态的触点,称为“常开触点”,继电器不带电时处于闭合状态的触点,称为“常闭触点”。常用新旧标准继电器的图形符号,如表 6-1 所示。

表 6-1 常用新旧标准继电器的图形符号表

名 称	图 形 符 号		名 称	图 形 符 号	
	新标准	旧标准		新标准	旧标准
电流继电器 (LJ)			反时限过流继电器,并带有速断装置(附有机械掉牌)		
电压继电器 (YJ)			中间继电器 (ZJ)		
时间继电器 (SJ)			信号继电器 (XJ)		

2. 继电器的文字符号

目前继电器的文字符号是采用汉语拼音表示,例如电流继电器用 LJ,电压继电器用 YJ,时间继电器用 SJ,信号继电器用 XJ 和中间继电器用 ZJ 等等。

二、各种电磁式继电器的结构

(一) 电流继电器

电磁式电流继电器的结构,如图 6-4 所示。它具有突出磁极的铁芯 1、磁极上绕有线圈 2、在两磁极间有可转动的 Z 形舌片 3,继电器的固定触点 5 安装在绝缘电木架上,在继电器的轴上固定有螺旋弹簧 4 及可动触点 6。使用调整杠杆 7 能改变继电器的整定值,并由刻度盘 8 标示出。为了避免舌片因受引力过大而被卡涩,利用螺杆 9 限制舌片的动作行程。

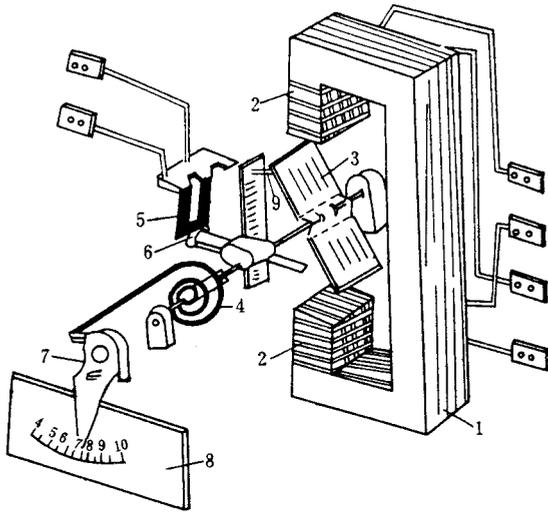


图 6-4 DL-10 型电流继电器结构图

1—铁芯 2—线圈 3—舌片 4—螺旋弹簧 5—固定触点；
6—可动触点 7—调整杠杆 8—刻度盘 9—螺杆

当线圈 2 中有电流通过时,舌片 3 便向磁极移动,这时螺旋弹簧 4 有弹力反抗舌片向磁极移动。舌片 3 所受的电磁力矩 M 与通过电流线圈 2 的电流 I_j 平方成正比,即

$$M = KI_j^2 \quad (6-1)$$

当继电器线圈中的电流增加到电磁力矩 M 大于由弹簧产生的机械反抗力矩 M_F 和轴承摩擦所引起的反抗力矩 M_Z ,即 $M > M_F + M_Z$ 时,舌片 3 被吸向磁极,并使可动触点 6 与固定触点 5 接通,继电器动作。一般为能使过电流继电器起动的最小电流称为继电器的起动电流,并用 I_Q 表示。当电磁力矩 M 小于机械反抗力矩 M_F 与轴承摩擦力矩 M_Z 之和,即 $M < M_F + M_Z$ 时,继电器的可动触点 6 与固定触点 5 断开。此时能使继电器返回到起始位置的最大电流称为继电器的返回电流,用 I_F 表示。

继电器的返回电流 I_F 与起动电流 I_Q 之比,称为继电器的返回系数,用 K_F 表示

$$K_F = \frac{I_F}{I_Q} \quad (6-2)$$

过电流继电器的返回系数 $K_F < 1$,通常为 0.85。国产 DL-10 系列电流继电器的返回系数应不小于 0.8~0.85。

电流继电器的起动电流可以用下面两种方法来调整。第一种方法是改变调整杠杆 7 的位置,当调整杠杆向右移动时,由于螺旋弹簧 4 的拉力增大,机械反抗力矩增大,要使

继电器 Z 形舌片 3 转动(即继电器动作)就必须在继电器的线圈中加入比较大的电流,从而使电磁力矩加大,继电器才能动作。相反,当调整杠杆向左移动时,起动电流就减小。如果调整杠杆 7 处在左方最终端,则将调整杠杆向右移动,就可以均匀地改变继电器的起动电流。第二种方法是利用改变继电器电流线圈的连接方法来改变继电器的起动电流值。也就是在继电器端子处引出上下两个线圈的线头,并用短路片将这两个线圈串联或并联(见图 6-5),可将继电器的起动电流变更两倍。例如,当线圈串联时起动电流较并联时小 $1/2$ 。

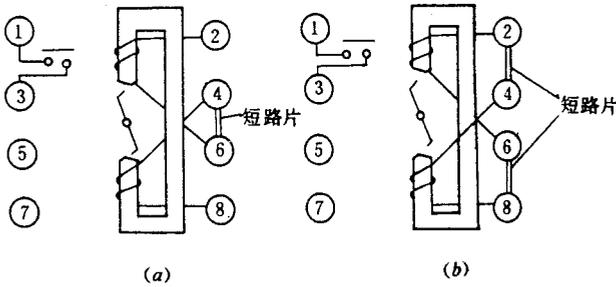


图 6-5 DL-10 型电流继电器内部接线图

(a) 串联 (b) 并联

感应式电流继电器的结构原理,如图 6-6 所示。在电磁铁 1 的两个磁极之间,有一个转动铝圆盘 2,磁极的上下两面均分成两个部分,其中的一部分放置短路环 3。当电流经过继电器线圈时,在有短路环的磁路中分别产生磁通 Φ_A 和 Φ_B 。磁通 Φ_A 穿过短路环并在其中感应一个滞后于磁通 Φ_A 为 90° 的电势 \dot{E}_d ,电势 \dot{E}_d 在短路环中产生电流 I_d ,它滞后于电势 \dot{E}_d 一个相位角 α 。电流 I_d 又产生磁通 Φ_d , Φ_A 和 Φ_d 的相量差为 Φ'_A 。可见, Φ'_A 相当于没有短路环时穿过这一支路的磁通,因此, Φ'_A 和 Φ'_B 是同相的(见图 6-6 b)。

Φ_A 和 Φ_B 在空间有一相位差,其相位角为 φ ,所以在铝圆盘上产生的转矩为

$$M = K_1 f \Phi_A \Phi_B \sin \varphi \quad (6-3)$$

式中 K_1 ——比例常数;

f ——交流频率(Hz);

Φ_A 、 Φ_B ——磁通的有效值(Wb)。

在磁路未饱和时,磁通 Φ_A 和 Φ_B 与继电器线圈中的电流 I 成正比,故式(6-3)可写成

$$M = K_2 f I^2 \sin \varphi \quad (6-4)$$

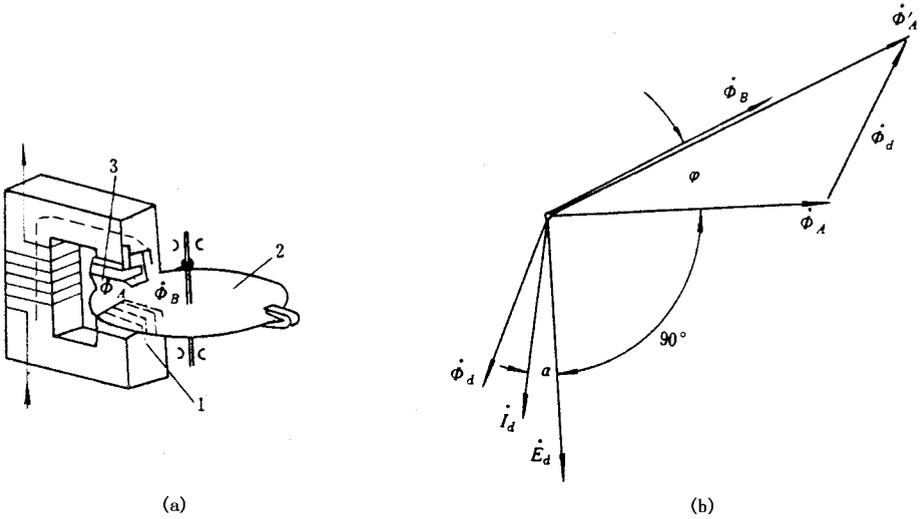


图 6-6 感应式电流继电器结构原理示意图

(a)结构图 (b)相量图

1—电磁铁 2—铝圆盘 3—短路环

对于给定的继电器, φ 和 f 为常数, 因此可得

$$M = KI^2 \quad (6-5)$$

在转矩 M 的作用下, 铝圆盘企图旋转, 而弹簧、制动磁铁、轴和轴承的摩擦产生的反抗力矩 M_F 却阻止它。当 $M > M_F$ 时, 铝圆盘便转动起来, 经过一定时间后, 装在轴上的可动触点便与固定触点接通, 继电器便完成了动作。当通过继电器线圈的电流为动作电流 I_Q 的较小倍数时, 其动作时限 t_Q 与电流的平方成反比(见图 6-7 中的 a 段)。继电器的动作时限随电流的增大而缩短的特性, 称为反时限特性。当电流增大到某一数值时, 继电器的动作时限不再随电流而变化, 并具有定时限特性(见图 6-7 中的 b 段)。此外, 当电流增大到约 10 倍的动作电流时, 继电器还有瞬动(速断)特性(见图 6-7 中的 c 段), 当电流达到瞬动电流的整定值时, 继电器便瞬时起动完成速断作用。感应式电流继电器的时限特性, 如图 6-7 所示。由此可知, 感应式继电器不需要时间继电器就可以构成延时。

GL-10 型的感应式电流继电器的结构如图 6-8(a)所示, 它有: 感应系统和电磁系统两个系统, 前者动作具有时限, 后者是速动的。

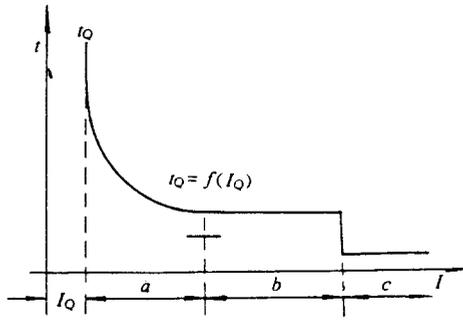


图 6-7 感应式电流继电器的时限特性

a—反时限部分 ;*b*—定时限部分 ;*c*—电流速断部分

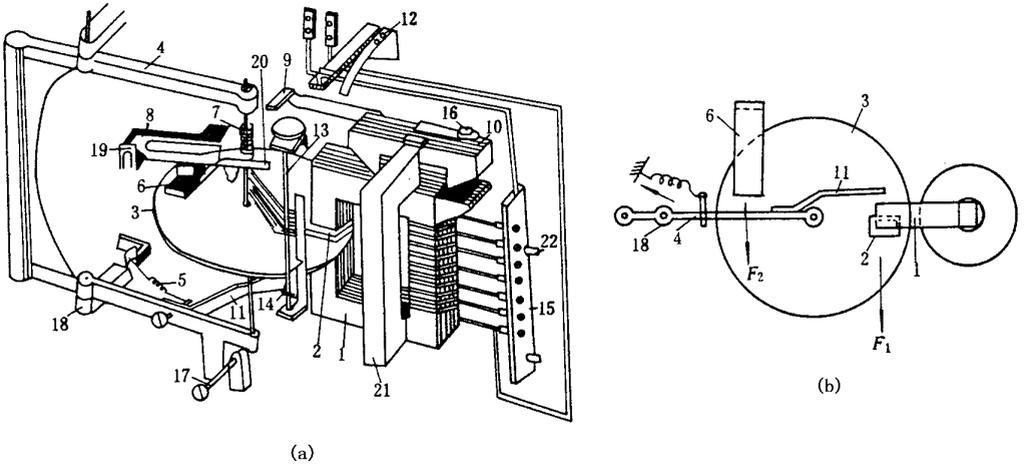


图 6-8 GL-10 型过电流继电器结构图

(a) 构造图 (b) 作用于铝圆盘上的力

- 1—电磁铁芯 2—短路环 3—铝圆盘 4—活动支架 5—弹簧 6—永久磁铁 7—蜗杆 ;
 8—扇形齿轮 9—顶板 10—衔铁 11—钢片 12—触点 13—调整动作时限螺丝 ;
 14—动作时限调整指示器 15—插板 16—调整电磁铁动作电流的螺丝 ;
 17—止挡 18—轴 19—线圈 20—杠杆 21—磁分路铁芯 22—插销

感应系统由短路环 2 的电磁铁芯 1 和铝圆盘 3 构成。铝圆盘放在永久磁铁 6 中间。当电流为整定电流的 20% ~ 40% 时,在力 F_1 的作用下,铝圆盘开始转动(见图 6-8 b)。这时继电器并不动作,因为活动支架 4 被弹簧 5 拉开,扇形齿轮 8 并未与蜗杆 7 咬合。当铝圆盘在永久磁铁 6 的间隙中转动时,使铝圆盘产生制动力 F_2 。铝圆盘转动愈快,力 F_2 愈大。当达到某一电流值时, F_1 和 F_2 的合力克服弹簧 5 的拉力,活动支架 4 便转动电

磁铁 1 ,使蜗杆 7 与扇形齿轮 8 咬合 ,此时铝圆盘转动 ,带动扇形齿轮 8 上升。当扇形齿轮 8 托起顶板 9 时 ,衔铁 10 将绕轴转动 ,衔铁右侧空气隙逐渐减小 ,衔铁被吸引 ,同时借助顶板 9 将触点 12 接通。

继电器线圈有抽头 ,接在插板 15 上 ,用来改变线圈的匝数 ,调整起动电流值。调整时必须注意电流互感器不允许开路。

此外 ,衔铁 10 和电磁铁芯 1 还构成瞬时动作的电磁式过流继电器。当电流达到相当大值时 ,衔铁右端瞬时被吸引 ,触点瞬时闭合。瞬时动作的电流数值借电磁铁芯 1 与衔铁 10 之间的气隙来调整 ,调整范围为整定电流的 2 ~ 8 倍。

(二)电压继电器

DL - 110 系列的瞬时动作电压继电器 ,也是根据电磁原理制成的 ,其结构与 DL - 10 系列电流继电器大致相同 ,不同之处是 :①电压继电器线圈的匝数较多 ,因此比电流继电器线圈的阻抗大 ,动作电流小 ;②刻度盘上表示出来的是继电器的动作电压 ,而不是动作电流。

DJ - 110 系列电压继电器与 DL - 10 系列电流继电器的动作原理相似 ,移动调整把手的位置和改变线圈的连接法(串联或并联)可以将整定值变更 4 倍。

常用的电压继电器分为过电压继电器和欠电压继电器两种。当线圈两端加上正常或低于正常值的电压时 ,过电压继电器的舌片不转动 ,这时常开触点还是断开 ,常闭触点还是闭合的。当电压升高到过电压继电器的起动电压时 ,舌片转动 ,常开触点闭合 ,常闭触点断开。

能使过电压继电器动作的最小电压 ,称为起动电压 ,用 U_Q 表示。在过电压继电器起动后 ,能使舌片返回到起始位置的最大电压值 ,称为该继电器的返回电压 ,用 U_F 表示。

返回电压与起动电压之比 ,称为返回系数 K_F ,即

$$K_F = \frac{U_F}{U_Q} \quad (6-6)$$

国产过电压继电器的返回系数应不小于 0.7。

具有常闭触点的欠电压继电器 ,当电压正常或较高时 ,触点是闭合的 ;当电压降低至起动电压时 ,舌片受弹簧作用而转动 ,继电器的触点断开。

能使欠电压继电器动作的最大电压 ,称为起动电压 ,用 U_Q 表示。在欠电压继电器起动后 ,能使舌片返回到起始位置的最低电压 ,称为该继电器的返回电压 U_F 。欠电压继电器的返回系数应大于 1 ,国产欠电压继电器的返回系数应小于 1.25。

(三)时间继电器

时间继电器用于继电保护与自动装置的接线回路中 ,作为获得一定时限的继电器。

时间继电器具有钟表机构,用以使被控制元件达到需要的延时。在保护装置中可利用它来实现主保护和后备保护的选择性配合,从而使保护装置能有选择性的动作。它的操作电源,可采用交流或直流。

DS-110和DS-120系列时间继电器的结构如图6-9所示。前一系列用于直流,后一系列用于交流。

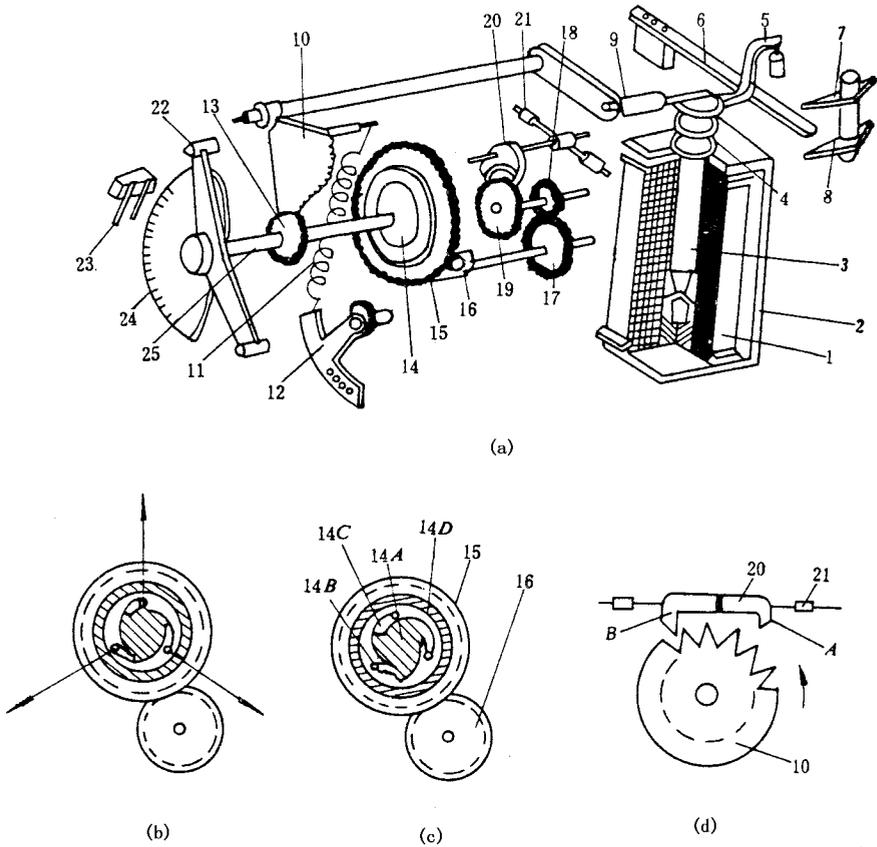


图 6-9 DS-110和DS-120型时间继电器结构

(a)结构图 (b)继电器工作状态下的摩擦离合器 (c)继电器

返回状态下的摩擦离合器 (d)带摆卡的摆轮时针机构

1—线圈 2—磁路 3—可动铁芯 4—返回弹簧 5—扎头 6—可动触点；

7、8—静触点 9—杠杆 10—扇形轮 11—反作用弹簧 12—拉板 13—齿轮；

14—摩擦离合器 (14A—凸轮, 14B—钢球, 14C—弹簧, 14D—钢环) 15—主传动轮；

16、17—轮轴 18—中间轮 19—摆轮 20—摆卡 21—重锤 22—可动触点；

23—静触点 24—刻度盘 25—继电器主轴

正常情况下,返回弹簧 4 处于延伸状态,因而杠杆 9 处于可动铁芯 3 的上部。当线圈 1 激磁后,继电器的可动铁芯 3 瞬时被吸住,因而释放了附在可动铁芯 3 上的杠杆 9。在反作用弹簧 11 的作用下,扇形轮 10 便动作并传动齿轮 13,使传动齿轮 13 与它同轴的摩擦离合器 14 逆时针方向转动。摩擦离合器 14 转动后使外层的套圈卡住主传动轮 15,因此传动轮就随着转动。由它带动钟表机构的轮轴 16 和 17,经中间轮 18 而使摆轮 19 与摆长 20 的齿 A 接触(见图 6-9 d)使之停止转动。但在摆轮 19 的压力下,摆卡 20 偏转而离开摆轮 19,所以摆轮就转过一个齿,此后又重新被摆卡 20 的齿 B 挡住而停下。当这个齿离开后,摆轮又重新转过一个齿再停下,这样使得摆轮的运动是断续的,因此限制了动触点继电器主轴 25 的运动速度 ω_p 。摆卡的摆动速度是与摆轮加在摆卡上的压力有关,也与摆卡的惯量有关。当线圈电流消失后,在返回弹簧 4 的反作用力下,继电器的铁芯 3 和杠杆 9 又返回到起始位置。返回是瞬时的,因为返回时触点杠杆轴是顺时针方向转动,因此使同轴的摩擦离合器与传动轴脱开(见图 6-9 c)。这时钟表机构不参加工作,所以触点杠杆轴的行程是没有阻碍的。

继电器延时触点的闭合时间 t_H , 决定于触点杠杆轴所转动的行程角 α 和运动速度 ω_p 。如果 ω_p 是个常数(钟表机构保证动触点的运动速度),则 $t_H = \frac{\alpha}{\omega_p}$ 。时间的调整是用改变动触点与静触点间角度的方法,也就是将静触点 23 沿刻度盘 24 移动来改变整定值。此外,继电器还有一组瞬时切换触点(6、7 和 8)。正常时,可动触点 6 与静触点 7 处于闭合状态。当可动铁芯 3 被吸入线圈内时,扎头 5 压下可动触点 6 使其与静触点 8 闭合,同时将静触点 7 断开。这组瞬动触点用在某些特殊保护中。

(四)中间继电器

中间继电器是一种辅助继电器。图 6-10 是 DZ-10 型中间继电器的结构。当线圈 2 加上 70% 以上的额定电压时,衔铁 3 被吸向铁芯,使衔铁 3 上的动触点 6 与静触点 7 闭合;当失电后,衔铁 3 受弹簧 4 的拉力而返回原位。这种继电器的线圈匝数是不可改变的,因此采用改变弹簧的反作用力和改变衔铁对铁芯之间的间隙大小来调整动作电压。

中间继电器主要用于需要增加触点数量和容量的继电保护装置和自动装置中,所以这种继电器都具有大容量的触点,可以容许闭合或断开相当大的电流。而且通常具有好几对动断触点(常闭触点)、动合触点(常开触点)和切换触点。

(五)信号继电器

在继电保护和自动装置中,常用信号继电器作为这些装置动作后的信号指示(灯光或声响),以指明该种保护装置已经动作后状态位置,以便进行分析和处理事故。

DX-11 型信号继电器的结构如图 6-11 所示。在正常情况下,继电器线圈 2 内没

有电流,衔铁 3 被螺管形弹簧 9 拉开,这时信号牌 6 挂在衔铁的边缘上,保持着水平位置。

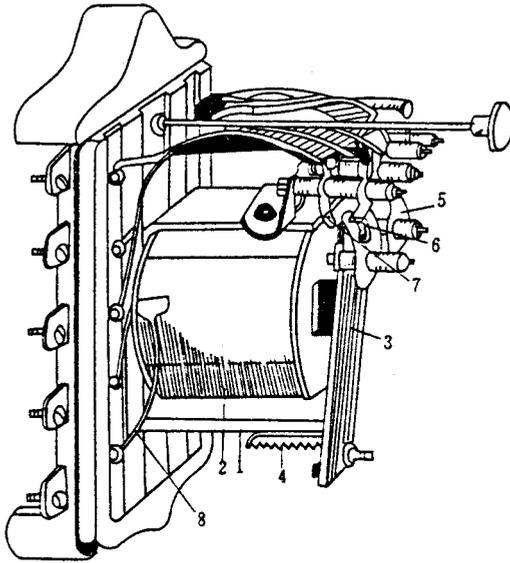


图 6-10 DZ-10 型中间继电器结构图

- 1—磁轭 2—线圈 3—衔铁 4—弹簧 5—铜片 6—动触点；
7—静触点 8—连接导线

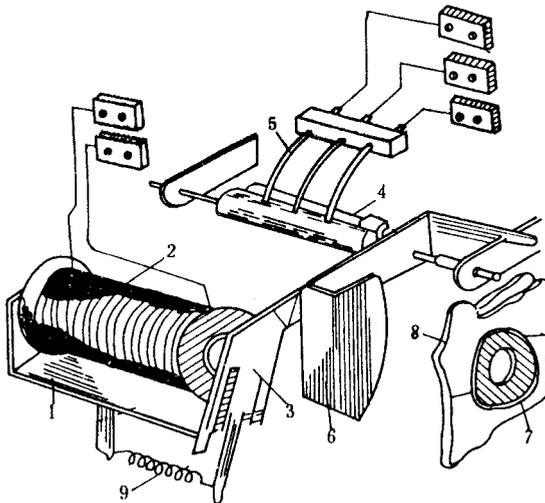


图 6-11 DX-11 型信号继电器结构图

- 1—电磁铁 2—线圈 3—衔铁 4—可动触点 5—固定触点；
6—信号牌 7—小窗 8—手柄 9—弹簧

当线圈 2 内通有电流时,衔铁 3 被电磁铁 1 吸引而动作,信号牌因失去支持而旋转下落到垂直位置,这时从小窗 7 可以看到信号牌 6。

此外,有三个连着引出线的固定触点 5 和可动触点 4,动触点 4 和信号牌装在同一轴上,并与轴绝缘。当信号牌掉下时,轴转动一个角度,可动触点 4 与固定触点 5 闭合,接通音响信号或灯光信号回路,从而发出信号指示。如果要使信号牌恢复到原来位置并使触点分开,可以转动装在继电器壳外的手柄 8,它带动装在壳内壁的钩子,将信号牌钩起来,搁在衔铁 3 的边缘上。

信号继电器线圈可制成电流线圈(匝数较少)和电压线圈(匝数较多)两种。装有电流线圈的信号继电器和断路器传动机构的跳闸线圈或中间继电器的线圈串联;装有电压线圈的信号继电器和中间继电器或时间继电器线圈并联。

第三节 过电流保护

由于在大多数情况下,配电网是单端电源供电的放射形网络,特别是在工业企业内部或是农村配电线路(这种配电线路长度一般在 0.1 ~ 10km 以内)。因此,在选择过电流保护装置时,应根据这种配电网的特点,并以力求维护方便、简单经济和运行可靠的原则进行。

对于低压配电网,可采用附有熔断器的刀开关或自动空气开关作为过电流或短路保护,熔断器比自动空气开关结构简单、便于维修、价格便宜。在采用熔断器保护的回路中,为了保证配电网熔断器能有选择性地动作,一般均要求上一级(干线)熔断器熔体的额定电流较下一级(分支线路熔断器)熔体的额定电流大 1 ~ 2 级。此外,还要根据短路电流和熔断器的安秒特性曲线进行校准,使熔断器在短路时的动作时间符合选择性要求。

在高压配电网中,一般在满足继电保护配合的前提下,可选用负荷开关或跌落式熔断器作为保护装置。但是,当发生故障时,需要自动切断较大的故障电流者,应装设高压断路器和继电保护装置。

这里所指的过电流保护,就是指当配电网发生短路故障时,电流突然增大,利用电流在增大过程中超过规定值引起电流继电器动作而形成的保护。根据其工作原理的不同,过电流保护又分为定时限过电流保护、反时限过电流保护和电流速断保护三种。

一、定时限过电流保护

(一) 定时限过电流保护原理

在一端供电的放射式网络中,通常将过电流保护装置装设在每一段线路的电源端。每一段线路应有各自独立的保护装置,当网络中任意点发生短路故障时,均能有选择性地切除故障线路。如图 6-12 所示,当网络中任意一点 d_1 短路时,短路电流流过装设在电源和故障点之间所有的过电流保护装置(1、2、3 和 4),这样所有的过电流保护装置都将动作。然而按照选择性的条件,应当只有装设在故障线路段的过电流保护装置 4 动作并使断路器 DL_4 跳闸。

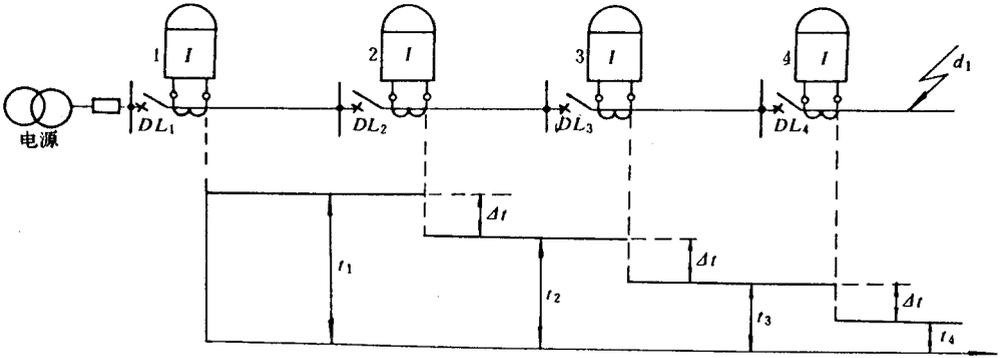


图 6-12 定时限过电流保护原理图

为了使该线路 1、2、3 和 4 各段过电流保护装置有选择性地动作,则各段过电流保护装置需相应地采取不同的时限,也即在网络中的保护装置,从发生故障开始到动作,不同段线路的过电流保护装置有不同的时限,时限的长短是从用户到电源逐级增加,愈接近电源的过电流保护装置时限则愈长,因此称这种时限选择原则为阶梯原则。每段时限之间有一定的时间差值,通常用“时间阶段” Δt 来表示。由图 6-12 可见, $t_1 = t_2 + \Delta t$; $t_2 = t_3 + \Delta t$; $t_3 = t_4 + \Delta t$ 等等。当 d_1 点发生短路时,只有相应的过电流保护装置 4 动作,将故障切除。当故障切除以后,保护装置 1、2 和 3 的电流继电器都应返回,根据断路器和继电器的类型不同,时间阶段 Δt 一般为 $0.35 \sim 0.7s$,通常取 $0.5s$ 。

由于过电流保护装置的动作时限长短是从用户到电源逐级增长的,好象一个阶梯,故称为阶梯形时限特性。又由于各过电流保护装置的动作时限是固定的,而与短路电流的大小无关,所以这种保护装置称为定时限过电流保护。

每段线路的保护装置除保护本段线路外,还应当作为相邻下一段线路的后备保护。

例如,当 d_1 点发生短路时,过电流保护装置 4 由于某种原因拒动,经过 $t_3(t_4 + \Delta t)$ 时间后,过电流保护装置 3 应动作,跳开过电流保护装置 3 的断路器 DL_3 。

(二) 定时限过电流保护装置的组成

定时限过电流保护装置的组成如图 6-13 所示,现分别叙述如下。

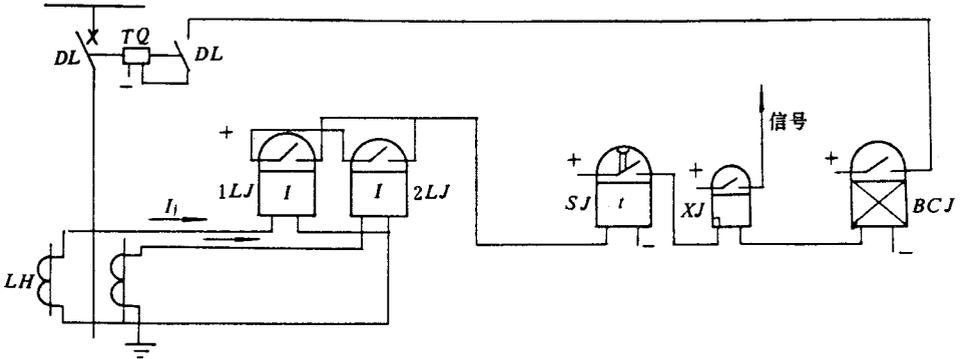


图 6-13 定时限过电流保护装置的接线原理图

1. 电磁式电流继电器 1LJ、2LJ

电流继电器 1LJ 和 2LJ 主要是完成过电流保护装置的起动任务。当电流互感器 LH 二次侧电流超过 1LJ、2LJ 的起动电流时,继电器动作。

2. 时间继电器 SJ

时间继电器 SJ 建立过电流保护装置所需要的动作时限。

3. 信号继电器 XJ

信号继电器 XJ 用于当过电流保护动作后触点闭合发出信号,并以掉牌指明过电流保护装置的動作位置状态。

4. 出口中间继电器 BCJ

当线路装有两套以上保护装置时,各保护动作均需起动出口中间继电器 BCJ,由它发出断路器跳闸脉冲。当线路中只要一套保护装置,并且时间继电器触点容量足够,可由该时间继电器触点直接接通跳闸线圈回路,这种情况可以不装设中间继电器 BCJ。

5. 电流互感器 LH

电流互感器 LH 的作用是把线路中一次侧的大电流按比例变换为数值较小的二次侧电流,通常电流互感器的二次侧电流以 5A 为标准。此外,电流互感器还起一次侧高电压与二次侧低电压设备的绝缘隔离作用。为了安全,电流互感器的二次侧必须接地。当断路器 DL 跳闸后,此时断路器的辅助触点 DL 也应断开,防止中间继电器的触点因断弧

而烧坏。

(三) 过电流保护装置的接线方式

在过电流保护装置的接线中,电流互感器和电流继电器之间可以采用三种接线方式,即:三相三继电器星形接线方式、两相两继电器不完全星形接线方式和两相差电流接线方式。下面就分别叙述这三种接线方式。

1. 三相三继电器星形接线

三相三继电器星形接线方式,如图 6-14(a)所示。它的接线系数 $K_j = 1$ 。所谓接线系数是指继电器中电流与电流互感器的二次电流之比,即

$$K_j = \frac{\text{继电器中电流 } I_j}{\text{电流互感器的二次电流 } I_{LH}} \quad (6-7)$$

由于这种接线方式流过继电器线圈里的电流与电流互感器的二次电流相同,所以接线系数 $K_j = 1$ 。

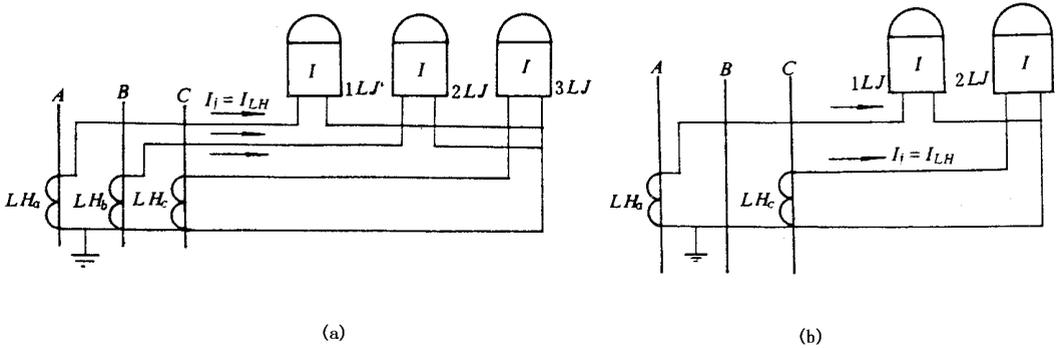


图 6-14 三相三继电器和两相两继电器的接线图

(a) 三相三继电器星形接线 (b) 两相两继电器不完全星形接线

2. 两相两继电器不完全星形接线

两相两继电器不完全星形接线方式,如图 6-14(b)所示。由图 6-14(b)可看出,它的优点是少用一个电流互感器和一个继电器,因此接线比较简单。在小电流接地系统(中性点不直接接地系统)中得到了广泛的应用。这种接线方式在同一电力系统中,必须按同相装设,就是装在 A、C 两相上。这种接线方式的接线系数 $K_j = 1$ 。

3. 两相差电流接线

两相差电流接线方式如图 6-15 所示,通常也称为两相电流差接线。这种接线方式流入继电器中的电流是 A、C 两相电流的差,即

$$I_j = I_A - I_C \quad (6-8)$$

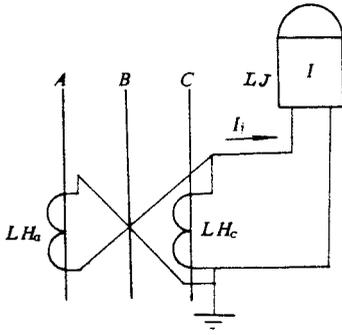


图 6-15 两相差电流接线图

(1) 当正常运行或发生三相短路时

$$\dot{I}_j = \dot{I}_A - \dot{I}_C = \sqrt{3} \dot{I}_{xg} \quad (6-9)$$

所以

$$K_j = \frac{\dot{I}_j}{\dot{I}_{LH}} = \frac{\sqrt{3} \dot{I}_{xg}}{\dot{I}_{xg}} = \sqrt{3} \quad (6-10)$$

式中 \dot{I}_{LH} ——电流互感器的二次侧电流；

\dot{I}_{xg} ——相电流。

从式(6-10)可知,当正常运行或发生三相短路时,两相差电流的接线系数是其它两种接线方式的 $\sqrt{3}$ 倍。

(2) 当装设电流互感器的 A、C 两相均发生短路时

$$\dot{I}_j = \dot{I}_A - \dot{I}_C = 2 \dot{I}_{xg} \quad (6-11)$$

所以

$$K_j = \frac{\dot{I}_j}{\dot{I}_{LH}} = \frac{2 \dot{I}_{xg}}{\dot{I}_{xg}} = 2 \quad (6-12)$$

从式(6-12)可知,当装设电流互感器的 A、C 两相发生短路时,两相差电流的接线系数是其它两种接线方式的 2 倍。

(3) 当装设互感器相与未装设互感器相发生短路时

$$\dot{I}_j = \dot{I}_A - \dot{I}_C = \dot{I}_{xg} \quad (6-13)$$

所以

$$K_j = \frac{\dot{I}_j}{\dot{I}_{LH}} = \frac{\dot{I}_{xg}}{\dot{I}_{xg}} = 1 \quad (6-14)$$

从式(6-14)可知,当装设互感器的相(A相或C相)与未装设互感器的相(B相)发生短路时,两相差电流的接线系数与其它两种接线方式相同。这就说明,这种接线方式的接线系数,随不同类型的短路故障而不相同,在 A—B 或 B—C 相间短路时灵敏度较差。

(四) 定时限过电流保护装置的整定值

定时限过电流保护装置的参数整定工作包括以下两个方面:一方面是确定继电器的

起动元件在多大电流值时开始动作,称为起动电流的整定值;另一方面是为了保证过电流保护装置的选择性,即要求保护装置是瞬时动作还是延时动作,称为时限的整定值。

1. 起动电流的整定值

过电流保护装置中的电流继电器的起动电流整定值应该比线路中最大负载电流要大,不然就要误动作。但是起动电流的整定值也不能过大,过大会使保护装置反应不灵敏(当故障电流较小时不能使它起动)。

由于过电流保护装置的起动电流,是起动元件所必须的最小电流,所以应满足

$$I_Q > I_{fzd} \quad (6-15)$$

式中 I_Q ——过电流保护装置的起动电流;

I_{fzd} ——配电线路最大的负载电流。

此外,当被保护线路段外部短路被切除后,凡已起动的继电器应能可靠地返回至起始位置。同时要考虑到故障被切除后,由于系统的电压得到恢复,一些电动机自起动,因此无故障段的电流可能出现最大负载电流。在此电流的作用下,无故障段的保护装置应当仍能返回,所以

$$I_F > I_{fzd} \quad (6-16)$$

$$I_F = K_K I_{fzd}$$

式中 I_F ——保护装置的返回电流;

K_K ——可靠系数,通常取 $K_K = 1.15 \sim 1.25$ 。

由于返回电流与起动电流之比,等于返回系数,即

$$\frac{I_F}{I_Q} = K_F \quad (6-17)$$

所以,起动电流

$$I_Q = \frac{I_F}{K_F} = \frac{K_K}{K_F} I_{fzd} \quad (6-18)$$

式中 K_F ——返回系数,通常取 $K_F = 0.8$ 左右。

如果继电器的接线系数为 K_j ,电流互感器的变比为 K_1 ,那么继电器的起动电流为

$$I_Q = \frac{K_K K_j}{K_F} \times \frac{I_{fzd}}{K_1} \quad (6-19)$$

保护装置对保护区内短路故障的反应能力,常用灵敏度(灵敏系数)来表示。它是用被保护的设备发生故障时,通过保护装置继电器中的最小短路电流与保护装置继电器的起动电流之比来表示,即

$$K_1 = \frac{I_{dzx}}{I_Q} \quad (6-20)$$

式中 K_1 ——灵敏系数；

I_{dzx} ——最小运行方式下，线路末端或下一段线路末端短路时，流过继电器的最小短路电流。

一般来说，要求在被保护线路的末端发生短路时， $K_1 \geq 1.5$ ；在特殊情况下，可降至 $K_1 = 1.25$ ；当作为相邻线路或设备的后备保护时， $K_1 \geq 1.2$ 。为什么说，按一般规定灵敏系数 K_1 必须大于 1.2 呢？这是因为考虑到一些不利于起动的因素存在，例如故障点由于不是金属性短路，而是存在过渡性电阻短路，流过继电器中的实际短路电流小于计算值，考虑到电流互感器的负误差，以及考虑一定裕度等。

2. 时限整定值

全套保护装置自感受故障现象到切除故障，要经过一段时间，这一段时间是预先确定了的。定时限过电流保护装置的时限整定，是按照阶梯形时限原则来整定的，如图 6-12 所示。在考虑确定末段保护装置的動作时限 t_4 时，一定要考虑与其它保护装置的时限配合，否则就不能满足选择性要求。

二、反时限过电流保护

(一) 反时限过电流保护特点

反时限过电流保护装置的特点是它的動作时限与线路中电流大小有关。当电流大时動作时限短，而电流小时動作时限长。其接线原理如图 6-16 所示。为了获得这一特性，在保护装置中采用两个 GL-11 型感应式电流继电器。这种继电器的主要优点是起动元件和时限元件的职能，均由同一块电流继电器来完成，并且还带有机机械掉牌装置，因而简化了接线。此外在多台电动机同时工作或同时起动时，如果电流超过了继电器的起动值，该过电流保护装置也能在时限较长的情况下动作，同时也能加速切除被保护线路始端的故障。缺点是时间配合不如定时限过电流保护简单，特别是当线路级数较多时，总的動作时限很长。

图 6-16(b) 是用交流操作的反时限过电流保护，这种保护装置也可以采用一个感应式电流继电器的两相差电流接线，在不同故障的情况下，保护装置有不同的灵敏度。

(二) 反时限过电流保护的应用

反时限过电流保护装置主要用在 3~10kV 的配电网中，作为配电线路和电动机的保护。

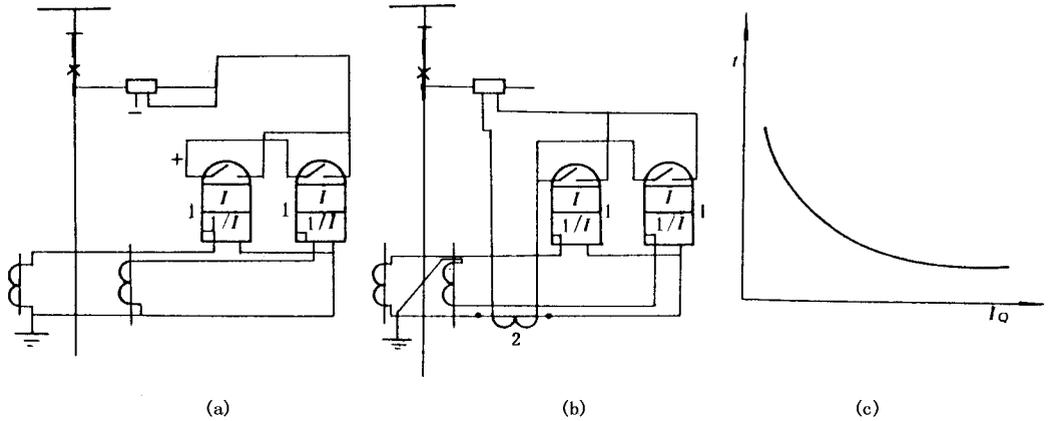


图 6-16 有限反时限过流保护接线原理图
 (a)直流操作 (b)交流操作 (c)反时限特性
 1—感应式电流继电器 2—中间饱和变压器

图 6-17 所示的配电线路中,两级均采用反时限过电流保护装置。为了配合前后两级的时限,首先应计算出保护装置 1 和 2 的起动电流 I_{Q1} 和 I_{Q2} , I_{Q1} 和 I_{Q2} 的相互配合,应为 $I_{Q1} > I_{Q2}$ 。假定保护装置 2 的时限特性已确定,即图 6-17(a)和(b)中的曲线 2。考虑保护装置 1 的时限特性时,需算出配合点即线路 X-2 的始端 d_1 处短路时的短路电流 I_{d1} 。在 I_{d1} 作用下保护装置 2 的动作时限为 t_{2d1} ,见图 6-17(a)及(b)中曲线 2 的 A 点。在 I_{d1} 作用下保护装置 1 也会起动,按选择性要求其动作时限 t_{1d1} 应比保护装置 2 的时限 t_{2d1} 大一个 Δt ,即

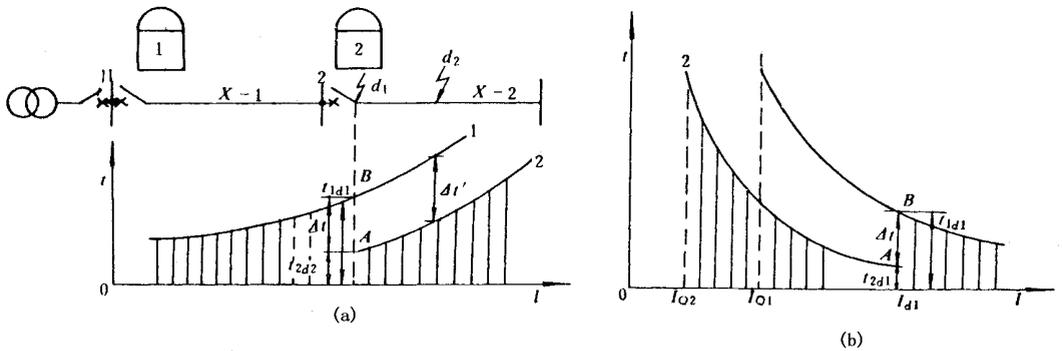


图 6-17 反时限过电流保护的时限配合
 (a)网络接线 (b)时限配合

$$t_{1dl} = t_{2dl} + \Delta t \quad (6-21)$$

考虑到感应式继电器铝圆盘有转动惯性,误差较大,所以 Δt 一般取 $0.7s_0$ 。

计算得到 t_{1dl} 后,即可按 $t_{2dl} + 0.7$ 获得保护装置1时限特性曲线上的点B。 I_{Q1} 及点B一经确定,保护装置1的时限特性曲线1即可完全确定下来。

在实际调整继电器时,首先按起动电流 I_{Q1} 选好起动电流插销(见图6-8中插板15)的位置,然后根据 I_{dl} 及 t_{1dl} 调整时限特性曲线,即将 I_{dl} 电流通入继电器中,调整时间刻度螺丝的位置,使测得时间为整定时间 t_{1dl} 即可。

在 d_1 点处取保护装置1与保护装置2的动作时限级差为 Δt ,也就保证了选择性。因为短路点离电源愈远,时限级差愈大(如 d_2 点处的时限级差 $\Delta t' > \Delta t$)。只要在 d_1 点处满足时限配合要求,在其它各点短路时,均能满足选择性要求。应当指出,实际上由于继电器特性改变,根据现场具体情况,还要进行时限选择性的配合。

反时限过电流保护除整定配合较复杂外,当短路点存在较大的电弧电阻,或在最小运行方式下,距电源较远处短路时,由于 I_{dl} 较小,保护装置的动作时限可能很长。

三、速断保护

(一)速断保护装置的特点

凡是过电流保护,其起动电流的整定值,不是按照被保护线路的最大负载电流来整定,而是按预先选择短路点的短路电流来整定的。这种保护装置称为电流速断保护。

电流速断保护装置有瞬时动作的,也有延时动作的。一般来说,使用电流速断保护可以使整个电力系统继电保护的動作时限降低,对电力系统并列运行的稳定性大有好处,同时这种保护又非常简单经济,因此在电力系统中被广泛应用。

如图6-18(a)所示,短路电流的大小随短路地点距电源距离的增加而减小,这是因为从电源到故障点的阻抗随着距离的增加而增大的缘故。

(二)速断保护装置的整定

为了使电流速断保护动作有选择性,在选择其起动电流时应该考虑到:当下一段线路上发生故障(如 d_1 点),保护装置不应起动。因此保护装置的起动电流应大于本线路末端母线上发生短路时(如 d_2 点)的最大短路电流。

$$I_Q = K_K I_{dzt} \quad (6-22)$$

式中 I_Q ——保护装置一次侧起动电流(A);

I_{dzt} ——被保护线路末端母线上短路时的最大短路电流(A);

K_K ——可靠系数,当电流速断保护装置使用DL-10型电流继电器时,取 K_K

$= 1.2 \sim 1.3$;当使用 GL-10 型电流继电器时 取 $K_K = 1.5 \sim 1.6$ 。

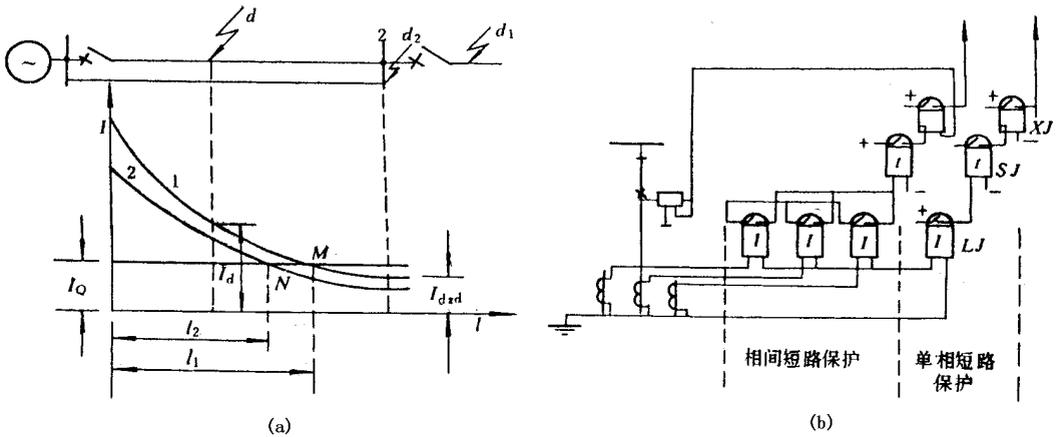


图 6-18 一端供电网络的电流速断保护原理图

(a)网络接线图 (b)保护原理图

电流速断保护装置的保护范围, 决定于 I_{dzt} 和 K_K , 而 I_{dzt} 又决定于电力系统运行方式 [图 6-18(a) 中曲线 1 为最大运行方式, 曲线 2 为最小运行方式] 和短路类型。短路电流愈大, 保护范围愈长 (图 6-18 中 $l_1 > l_2$)。因为 K_K 值选择愈小, I_Q 值愈小, 所以保护范围愈长。

电流速断保护的优点是动作迅速, 能快速断开电源附近的故障, 此外保护装置需用的设备少、成本低。其缺点是不能保护线路的全部长度, 而且保护范围受电力系统运行方式的影响, 因此必须与其它保护配合使用。

四、过电流保护装置二次接线图

过电流保护装置的二次接线图与许多因素有关, 如保护装置所反映的故障类型、电流互感器与继电器线圈的接线方式、继电器形式以及操作电源种类等。因此过电流保护装置的二次接线图是根据实际需要进行绘制的, 通常将二次接线图分为原理图、展开图和安装图三种。

(一) 原理图

图 6-19(a) 是三段式过电流保护装置的原理图。由图 6-19(a) 可见, 所有电气元件应以完整的图形符号表示, 这样能使我们对整套装置的工作原理有一个整体概念。图 6-19(a) 所示是采用两相不完全星形接线方式, 整套保护装置包括: 第一段无时限电流速断保护, 由继电器 1LJ、2LJ 和 BCJ 组成; 第二段延时电流速断保护, 由继电器 3LJ、4LJ

和 1SJ、2XJ 组成,第三段定时限过电流保护,由继电器 5LJ、6LJ、2SJ、3XJ 组成。

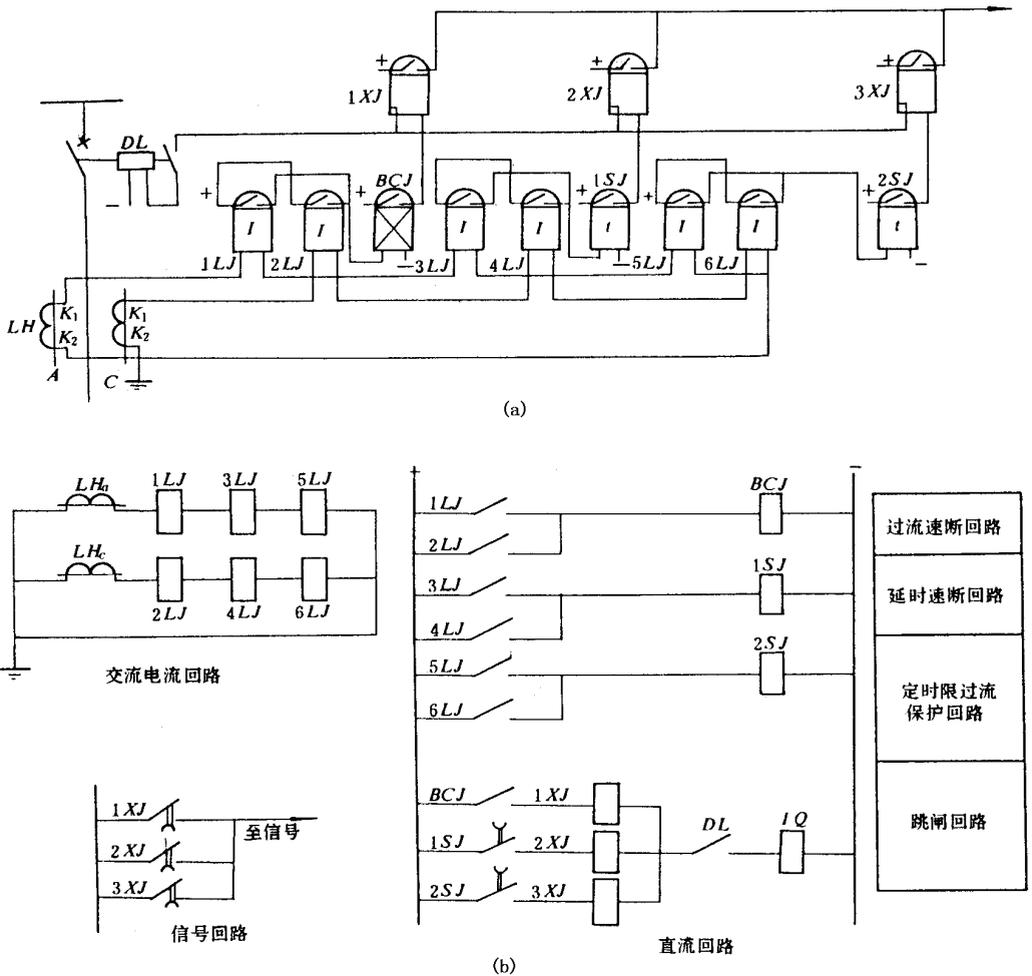


图 6-19 三段式过电流保护装置接线图

(a)原理图 (b)展开图

从图 6-19(a)看出,原理图只能表达出过电流保护装置主要元件工作的原理,而对某些细节则没有表示出来。同时,在原理图上各元件之间是以元件整体的连接表示的,没有元件内部接线,没有元件端子的编号和回路编号,导线的表示也不完善,只标有直流电源的极性,因此,不能反映保护装置的 actual 布置和连接。由于这些原因,在线路比较复杂时,阅读比较困难,对于接线中的错误也不易发现,不便于现场查找线路和调整试验。

(二)展开图

展开图的特点是继电器和其它电器(如断路器)都不作为完整的元件表示出来,而是将它们的线圈和触点,按照它们所能通过电流的性质分别表示在直流回路或交流回路中,如图6-19(b)所示。对属于同一回路的分支和同一分支中的各元件,都力求按照它们在工作时的动作顺序自左至右或自上而下地依次排列。为了避免混淆,属于同一元件的线圈和触点用相同的文字符号表示。所有元件的图形符号都按国家标准统一编制。在展开图的右侧,还有文字说明栏,以便清楚地了解各回路的作用。

现以图6-19(a)所示的三段式过电流保护原理图为例来说明展开图的绘制方法。首先绘制交流电流回路,电流从电流互感器 LH_a 和 LH_c 出来,分别经过电流继电器 $1LJ$ 、 $3LJ$ 、 $5LJ$ 和 $2LJ$ 、 $4LJ$ 、 $6LJ$ 的线圈连接起来,回到中性线;其次,绘制直流回路,将属于同一回路的各个组成部分,按照电流流经的顺序连接起来,如“+” $\rightarrow 1LJ(2LJ) \rightarrow BCJ \rightarrow$ “-”;“+” $\rightarrow 3LJ(4LJ) \rightarrow 1SJ \rightarrow$ “-”;“+” $\rightarrow 5LJ(6LJ) \rightarrow 2SJ \rightarrow$ “-”;“+” $\rightarrow BCJ \rightarrow 1XJ \rightarrow DL \rightarrow TQ \rightarrow$ “-”等等。这样就形成了许多独立回路,这些横向的独立回路,称为展开图的行,各行按先后动作顺序由上向下垂直排列,即组成整个展开图,如图6-19(b)所示。

阅读展开图时,各行由左向右看,全图由上往下看。

展开图结构简单,层次分明,便于阅读和对各元件动作顺序的正确性进行检查。同时,它对复杂回路的设计、研究以及安装调试也都非常方便,因此在生产上用得很广泛。

(三)安装图

安装图是按继电器、连接导线和辅助端子等的实际安装位置和相互连接的情况进行绘制的。但为了清楚起见,元件之间的连接线通常都不画出,而用对号的办法来表示。因此,在所有继电器及其连接导线上,都按“相对编号”原则进行编号。下面用图6-20所示三段过电流保护的安装图为例,说明编号原则及阅读图的方法。

(1)安装图是面向盘后绘制的,所以要从盘的背后看。

(2)如图6-20(a)所示,盘上的设备和盘外的连接都通过接线端子。许多端子组合在一起称为端子排,端子排上的每个端子都用顺序号1、2、3、4、...表示。如果一块盘上有几个安装单位,则每个安装单位之间需要单独的端子排,每个安装单位用罗马数字I、II、III、...来加以区别,并写在端子排的左上端。在依次画出端子的排列顺序时,如端子数量较多时,可将其分列盘的两侧。端子排的外侧,一般是用来通过电缆和其它盘连接,内侧由导线连接到盘内设备。

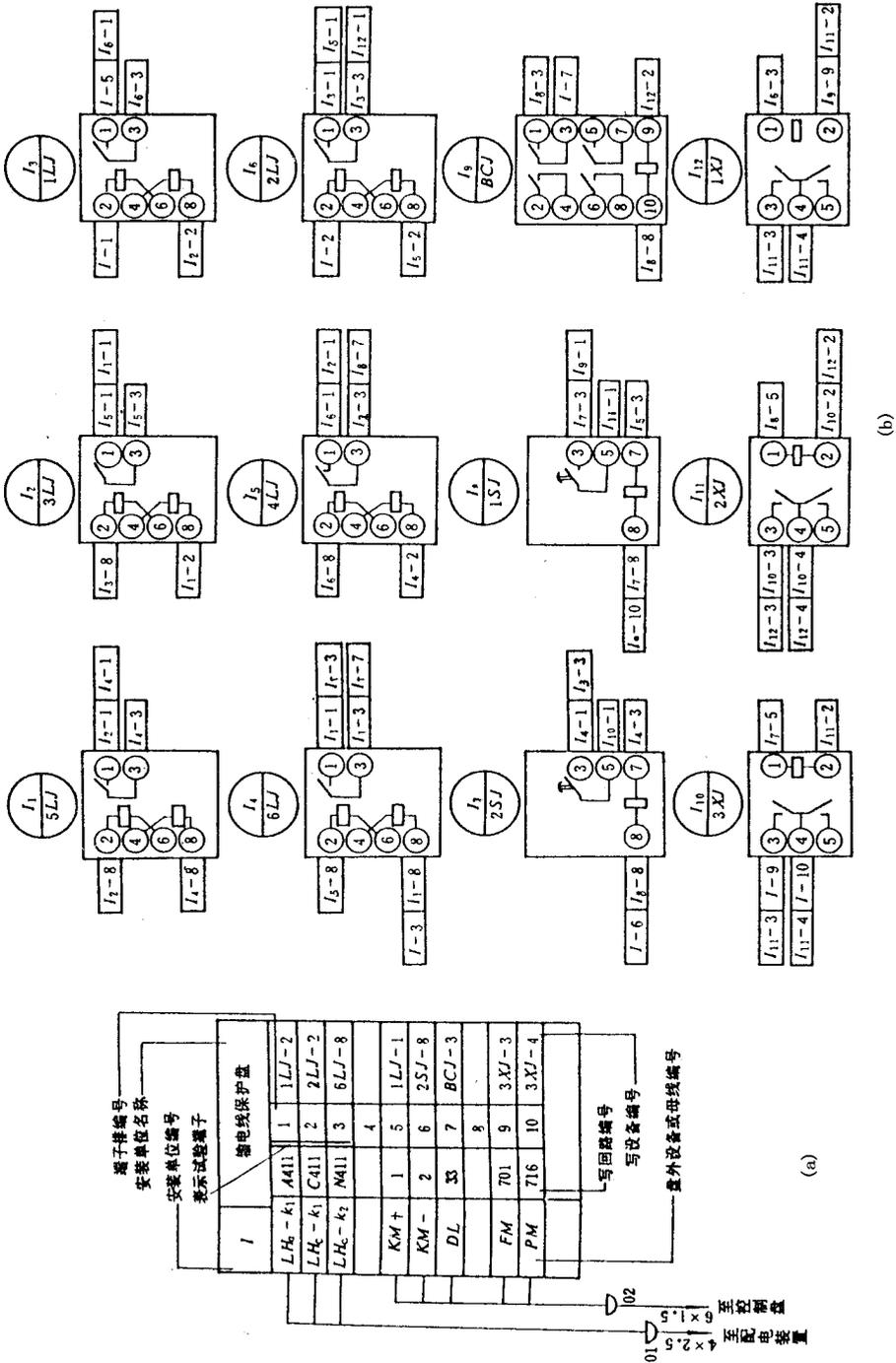


图 6-20 三段式过电流保护装置安装图
(a) 端子排编号; (b) 设备标号

(3)如图 6-20(b)所示,盘上设备的标号以圆圈表示在设备的上方,圆圈上半部分写着安装单位的编号,下标为同一单位设备的顺序号;圆圈下半部分右边写着设备的名称符号,左边写着同种设备的顺序号。

(4)接线方法是采用相对编号法,即每个设备的接线柱均应标明其与何处相连接,例如甲接线柱旁标上乙接线柱,乙接线柱旁标上甲接线柱,就表明甲和乙两接线柱之间应连接起来,这种接线称为“对面”原则。现举例如下:

1)盘内甲设备 I_1 接到盘内乙设备 I_2 的接线柱上,写上乙设备的安装单位和设备顺序号 I_2 ,再画一横线,其后写上乙设备的接线柱号,如 I_2-1 ;反过来,在乙设备的接线柱上,写上甲设备的安装单位和设备顺序号 I_1 ,以及甲设备的接线柱号,如 I_1-1 。

2)盘内设备到接线端子排之间的接线,应在盘内某设备的接线柱上的导线端写上端子排的安装单位和端子顺序号,如 $I-5$;反过来,在端子排和盘内某设备相连接的端子接线柱上的导线端写上接到盘内某设备的名称符号和顺序号,在破折号后面写上该设备的接线柱号,如 $1LJ-1$ 。其余端子的连接依次类推。

第四节 小电流接地系统的接地信号

3~10kV 高压配电网是中性点不接地网络,在正常运行时,各相对地电压是对称的,中性点对地电压为零。由于三相对地的电容 C_0 相同,在相电压的作用下,各相电容电流相等,并超前于相应相电压 90° ,如图 6-21 所示。这时变压器中性点与电容中性点同相位。

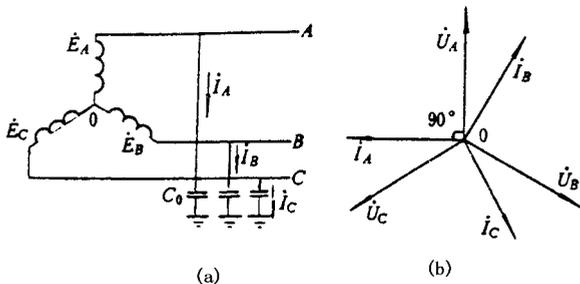


图 6-21 小电流接地网络正常运行时电容电流及相量图

(a) 电容电流 (b) 相量图

当这种小电流接地系统发生单相(如 A 相)接地时,网络的电压和电流均将发生变化,其变化情况说明如下。

一、接地时电压和电流的变化

(一) 接地时电压变化的分析

如图 6-22(b)所示,当小电流接地网络发生单相(如 A 相)接地时,设电源的三相电动势分别为 \dot{E}_A 、 \dot{E}_B 和 \dot{E}_C 。为了分析简便起见,不计电源内部的电压降和线路上的电压降,电源每相电动势的有效值 E_{xg} 等于网络正常工作时的相电压 U_{xg} ,电源两相电动势之差 E 等于电网的线电压 U_x 。在分析单相接地的零序电流、电压时,不考虑负载电流的影响。

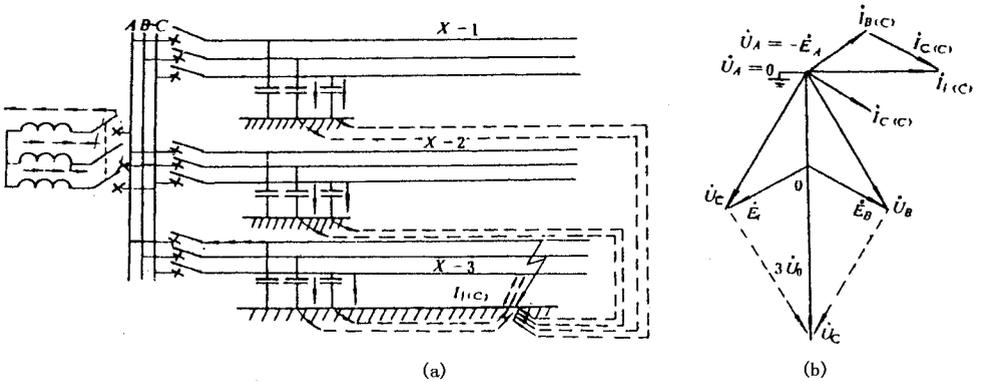


图 6-22 小电流接地系统单相接地示意图
(a) 接地时电容电流分布图 (b) 电流电压相量图

图 6-23 是分析网络 A 相接地时的电压相量,此时网络各相对地电压为:A 相对地电压 $\dot{U}_A = 0$,中性点 0 对地电压 $\dot{U}_0 = -\dot{E}_A$,所以 $\dot{U}_0 = E_{xg} = U_{xg}$;B 相对地电压 $\dot{U}_B = \dot{E}_B = \dot{E}_B - \dot{E}_A = \sqrt{3}E_A e^{-j150^\circ}$;C 相对地电压 $\dot{U}_C = \dot{E}_C + \dot{U}_0 = \dot{E}_C - \dot{E}_A = \sqrt{3}E_A e^{j150^\circ}$ 。

由此可见,在中性点不接地的网络中,发生单相接地时,接地相对地电压为零,非接地相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍,也即升高到线电压值。因此,网络出现零序电压为

$$3U_0 = U_A + U_B + U_C = 0 + \sqrt{3}E_A e^{-j150^\circ} + \sqrt{3}E_A e^{j150^\circ} = -3E_A \quad (6-23)$$

(二) 接地时电容电流分析

从图 6-22(b)可知,接地时接地相对地电容电流为零,非接地相即 B、C 相电容电流分别为

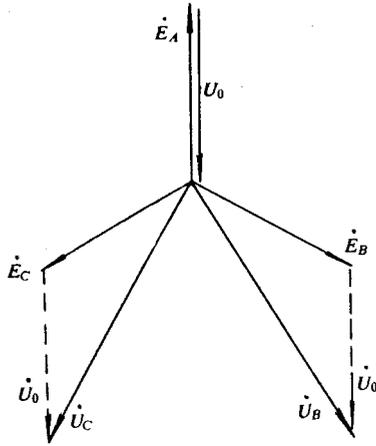


图 6-23 小电流接地系统接地时电压相量图

$$\begin{aligned} \dot{I}_{KC)} &= \frac{\dot{U}_B}{1} = j\omega C \dot{U}_B = j\omega C \sqrt{3} E_A e^{-j150^\circ} \\ &= \sqrt{3} \omega C E_A e^{-j60^\circ} \\ \dot{I}_{CC)} &= \frac{\dot{U}_C}{1} = j\omega C \dot{U}_C \\ &= \sqrt{3} \omega C E_A e^{-j120^\circ} \end{aligned}$$

式中 C ——整个系统一相对地电容；

$\dot{I}_{KC)}$ 、 $\dot{I}_{CC)}$ ——分别为整个系统 B 相与 C 相对地电容电流(见图 6-22 b)。

单相接地后,各相对地电容电流不再对称,网络所有电容电流经过大地、接地点以及线路流回电源(见图 6-22 a),接地点处的接地电容电流为

$$\begin{aligned} \dot{I}_{(C)} &= \dot{I}_{KC)} + \dot{I}_{CC)} = \sqrt{3} \omega C E_A e^{-j60^\circ} + \sqrt{3} \omega C E_A e^{-j120^\circ} \\ &= 3 \omega C E_A e^{-j90^\circ} \end{aligned} \quad (6-24)$$

如果以 C_{xg} 代表一条线路的一相对地电容,那么网络发生单相接地后,非接地线路零序电流为

$$\begin{aligned} \dot{I}_{0f} &= \dot{I}_{KC)xg} + \dot{I}_{CC)xg} = \sqrt{3} \omega C_{xg} E_A e^{-j60^\circ} + \sqrt{3} \omega C_{xg} E_A e^{-j120^\circ} \\ &= 3 \omega C_{xg} E_A e^{-j90^\circ} \end{aligned} \quad (6-25)$$

由此可见,在非接地的线路上流过的零序电流,等于本线路正常运行时每相电容电流的 3 倍。

而接地的线路则不同,其零序电流为接地后整个网络接地电容电流与非接地线路本身零序电流之差,即

$$I_{0j} = I_{f(C)} - I_{0f} = 3\omega E_A (C - C_{xg}) e^{-j90^\circ} \quad (6-26)$$

综上所述,在中性点不接地的小电流接地系统中,当单相发生接地时,不会出现大电流,且不会改变线电压的数值及对称性,所以可以带着接地点继续向负载供电,但要设法尽快找出故障点并及时处理,以防使故障扩大。

二、绝缘监视和接地保护

(一) 绝缘监视

在小电流接地网络中,任意一点接地都会出现零序电压,所以利用零序电压来实现接地保护是没有选择性的,但可以利用零序电压来监视网络的绝缘,实现这一目的的装置称为绝缘监视装置。

图 6-24 为绝缘监视装置的接线,在变电所电源母线上装有一套三相带有剩余电压线圈的电压互感器。电压互感器二次侧三相星形接线上接有 3 个电压表(或用一个电压表加一个三相切换开关)测量各相电压。二次侧的开口三角形的开口处接一个过电压继电器,用以反应网络接地时出现的零序电压。

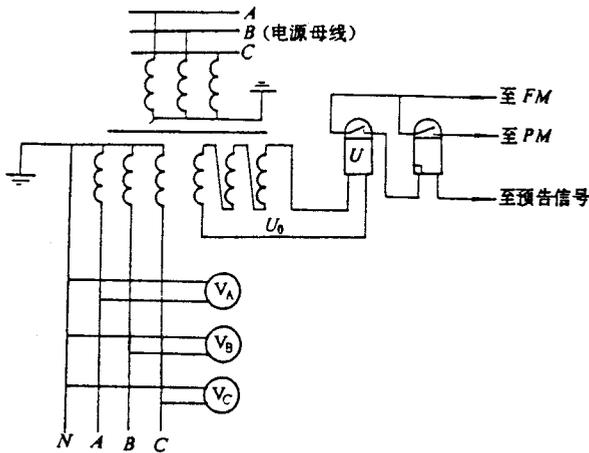


图 6-24 绝缘监视装置的接线图

PM、FM—“掉牌未复归”光字牌小母线

在正常运行时,网络的三相电压对称,没有零序电压,所以 3 个电压表的读数相等,过电压继电器也不动作。当变电所任何一条出线发生接地时,接地相电压为零,该相电

压表就没有读数,而其它两相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍,因此这两相电压表读数升高。同时,网络出现零序电压 U_0 ,使过电压继电器动作,发出接地信号。值班人员根据信号和表计指示,便可知发生接地故障和接地相别,这时可以采用依次拉开各条线路的方法来寻找具体故障线路。如拉开某条线路时,网络接地现象消失,则被拉开的线路就是故障线路。

在电网正常运行时,由于电压互感器本身有误差和高次谐波电压,所以开口三角形侧也存在不平衡电压。因此,在整定电压继电器的起动电压时,应考虑大于这一不平衡电压,通常整定为 $15V$ 。

(二) 接地保护

当网络结构比较复杂,线路比较多的情况下,采用绝缘监视装置,寻找接地故障,往往是比较困难的,因此对于这种情况需要在网络中装设有选择性的接地保护。

小电流接地系统的接地保护,是利用接地时产生的零序电容电流使保护装置动作的。通常要在所有的线路上装设零序电流互感器(见图6-25)。这种互感器的一次线圈为被保护电缆的三相导线,方形或圆形的铁芯套在电缆外面,铁芯上绕有二次线圈并接至电流继电器 LJ 。正常运行及相间短路时,一次侧电流之和为零,二次侧只有导线排列不对称时,才能引起的不平衡电流。当发生接地故障时,零序电流反应到二次侧并流入继电器,使其动作。

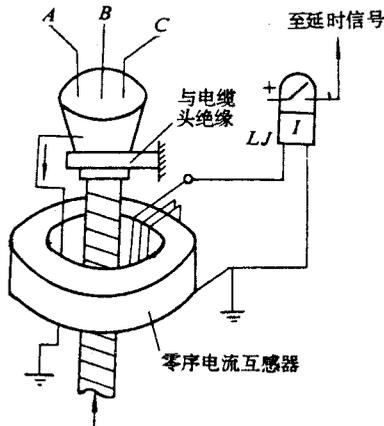


图 6-25 零序电流互感器安装接线图

为了使得接地保护有选择性地动作,接在零序电流互感器二次侧的电流继电器 LJ 的起动电流的整定,必须大于本线路的零序电容电流,即

$$I_Q = K_K 3\omega C U_{xg}$$

式中 $3\omega CU_{xg}$ ——本线路的零序电容电流；

U_{xg} ——线路的相电压；

K_K ——可靠系数。

可靠系数 K_K 的大小与保护装置动作时间有关。如果保护装置是瞬时动作,为了防止接地电容电流的暂态分量(数值很大,但衰减极快)使保护装置误动作, K_K 值应取 4~5。如果保护装置为延时动作, K_K 值可取 1.5~2.0。

采用零序电流互感器还要考虑线路发生接地故障时,接地电流不仅在地中流过,也可能沿着电缆铅皮和铠甲流通。这样,就要防止保护区外故障时,该电流可能使非故障线路误动作或使故障线路保护装置的灵敏度降低,因此要求将电缆头与支架隔离绝缘,并将电缆头的接地线穿过零序电流互感器的铁芯再接地。

第五节 低电压电器保护

配电网络中的线路和设备,在运行中有过负载的可能,但长期过负载会使设备的绝缘遭受损害,可能导致故障的发生。为了防止过负载,应装设过负载的保护装置。在配电线路和配电设备中,较普遍地应用熔断器,自动空气开关和接触器作为过负载保护装置。

一、熔断器保护

熔断器的分类、结构、工作原理和选择已在前文中介绍过,这里主要讨论利用熔断器来保护配电线路和设备的过负载问题。

(一)用熔断器来保护照明线路

通常在 220V 的照明线路中,用熔体(或熔丝)来保护照明线路的过负载。下面介绍熔体的选用。

(1)当照明线路的总熔体装于电能表出线上时,熔体的额定电流可按下式计算

$$\text{熔体额定电流} = (0.9 \sim 1.0) \times \text{电能表额定电流 (A)} \quad (6-27)$$

式(6-27)考虑了保护电能表的因素,所以总熔体的额定电流不应大于电能表的额定电流,但应大于全部电灯的工作电流。

(2)对于照明支线熔体的额定电流应按式(6-28)选择

$$\text{熔体额定电流} \geq \text{支线上所有电灯的工作电流总和 (A)} \quad (6-28)$$

低压熔体的直径选择,如表 6-2 所示。

表 6-2 常用低压熔体规格表

种类	直径 (mm)	额定电流 (A)	种类	直径 (mm)	额定电流 (A)	熔断电流 (A)
铅梯合金丝 (含铅 $\geq 98\%$, 锑 $0.3\% \sim 1.5\%$)	0.08	0.25	铅锡合金(含 铅 95% , 锡 5%)	4.91	60	—
	0.15	0.5		5.24	70	—
	0.2	0.75		—	—	—
	0.22	0.8		0.508	2	3
	0.28	1		0.559	2.3	3.5
	0.29	1.05		0.61	2.6	4
	0.35	1.25		0.71	3.3	5
	0.40	1.5		0.813	4.1	6
	0.46	1.85		0.915	4.8	7
	0.52	2		1.22	7	10
	0.54	2.25		1.63	11	16
	0.60	2.5		1.83	13	19
	0.65	3		2.03	15	22
	0.94	5		2.34	18	27
	1.16	6		2.65	22	32
	1.26	8		2.95	26	37
	1.51	10		3.26	30	44
	1.66	11		—	—	—
	1.75	12		—	—	—
	1.98	15		—	—	—
2.23	20	—	—	—		
2.78	25	—	—	—		
3.14	30	—	—	—		
3.81	40	—	—	—		
4.12	45	—	—	—		
4.44	50	—	—	—		

(二)用熔断器来保护的电力线路

对于低压动力线路常采用熔断器作为短路保护。但熔断器中的熔体电流,要考虑到避开起动时的最大电流。一般熔体电流可按电动机“千瓦数 4 倍”进行选择。熔断器可

单独装在磁力起动器前面,也可以与开关合用(如铁壳开关内附有熔断器)。若选用的熔体在使用中(或电动机起动时)出现熔断的现象,这可能是还没有躲开起动电流或由该回路发生短路造成的。此时,允许换大一级熔体(必要时也可以换大两级的),但不宜更大。低压动力线路熔断器的规格选择,可参照表 6-3。

表 6-3 低压动力线路熔断器规格

电动机容量 (kW)	熔体计算电流 (A)	可选用的熔断器型号/熔体额定电流
4.5	$4.5 \times 4 = 18$	RL1-60/20 RM10-60/20 RT0-50/30 RC1A-30/20
7	$7 \times 4 = 28$	RL1-60/30 RM10-60/35 RT0-50/30 RC1-30/30

在动力线路中熔断器的选择不同于照明线路,在选择熔断器时,必须考虑电动机起动电流值,而且熔断器熔体选择也必须考虑电动机的起动电流值。下面介绍低压动力线路熔断器选择时应考虑的几种情况。

(1)按线路正常运行情况,熔体的额定电流 I_e 应不小于线路计算电流 I_j 、

$$I_e \geq I_j \quad (6-29)$$

(2)按线路起动情况。

单台电动机线路
$$I_e \geq \frac{I_Q}{a} \quad (6-30)$$

配电干线线路
$$I_e \geq \frac{I_{Q1} + I_{(n-1)}}{a} \quad (6-31)$$

式中 I_Q ——电动机的起动电流(A);

I_e ——熔体额定电流(A);

I_{Q1} ——线路中最大一台电动机的起动电流(A);

$I_{(n-1)}$ ——线路中除去起动电流最大的一台电动机外的计算电流(额定电流的总和,A);

a ——计算系数,见表 6-4。

表 6-4 计算系数 a 值

熔断器型号	熔体材料	熔体额定电流 (A)	a 值	
			电动机轻载起动	电动机重载起动
RT0	铜	50 及以下	2.5	2
		60 ~ 200	3.5	3
		200 以上	4	3
RM10	锌	60 及以下	2.5	2
		80 ~ 200	3	2.5
		200 以上	3.5	3
RM1	锌	10 ~ 350	2.5	2
RL1	铜、银	60 及以下	2.5	2
		80 ~ 100	3	2.5
RC1A	铅、铜	10 ~ 200	3	2.5

通常要求电动机的起动电流应等于电动机的额定电流与起动电流倍数的乘积。

在低压配电箱中,熔断器之间的配合可分为两级,各分支熔断器保护和总开关熔断器保护。为了保证动作的选择性,一般要求前一级熔体电流比下一级熔体电流大 2~3 级。

在高压配电线路中采用熔断器作为保护装置时,只要根据额定参数来选择,通常采用 RN 与 RW 系列熔断器。

二、自动空气开关和接触器保护

这种保护装置的线路如图 6-26 所示,主要用在低压配电网中作为过负载保护。这种保护是以自动空气开关 1 与接触器 2 (或磁力起动器)相配合的方式,适用于操作频

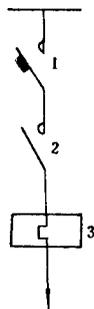


图 6-26 自动开关和接触器保护线路图

1—自动空气开关 2—交流接触器 3—热继电器

繁的回路。这种接线方式中的接触器(或磁力起动器)作为回路的操作电器,热继电器用作过载保护,而自动空气开关则作为短路保护。

第六节 低压漏电断路器

低压漏电断路器主要用于交流频率为 50Hz,额定电压为 380/220V,额定电流至 200A 的电路中,作为人身触电及设备漏电保护用,也可以用来防止因设备绝缘损坏,产生接地故障而引起的火灾危险,还可以用作线路、用电设备及电动机过载、短路等故障的保护和作线路不频繁转换与电动机不频繁起动用。

一、触电对人体的危害和触电类型

(一)触电对人体的危害

所谓触电,是指人体(或畜体)意外地直接接触了电气设备的带电部分,使电流通过人体的内部器官而发生抽筋,甚至造成生命危险的情况。

实际情况表明,当通过人体的工频电流达到 5mA 时,就会使人产生电麻感觉,超过 10mA 就难以自行摆脱,从而威胁生命安全。通过人体电流的大小是由所触及的带电设备的电压和人体的电阻决定的。人体电阻几乎完全根据皮肤表面角质层电阻的大小来决定,并不是恒定不变的。它与皮肤状况、接触面积的压力、通过电流的大小和持续时间及所受到电压有关系,如果人体皮肤干燥和完整,则人体电阻可达 10000 ~ 100000Ω;如果皮肤潮湿出汗或破损,这时人体电阻只有 800Ω 左右,这样通过人体的触电电流远远超过人所能忍受的数值。由此看来,触电时通过人体的电流和人体的电阻都与触电电压大小有关。在电压低且不会破坏皮肤表面角质时,人体电阻大,通过电流小;相反,当电压达到一定数值而破坏表面角质时,人体电阻小,通过电流大。实际上,在一般情况下,当人体触及的电压不超过 36V 时(皮肤有破损处不在触电部位),通过人体的电流不会达到危及人身安全的程度,所以通常规定 36V 以下为安全工作电压。

实际情况表明,交流电对人体的危害程度还与电流的频率有关,频率为 50Hz 左右的交流电所造成的危害最大。频率增高或降低,危险性都相应减小。所以高频交流电和直流电对人体的危害比工频交流电要小。

此外,电流经过心脏或大脑为最危险。触电时间愈长,对人体破坏愈大。因此,当发

现有人触电时,应即使触电者脱离电源,迅速采取措施使触电者脱险。

(二) 触电的类型

触电分为单相触电、两相触电、跨步电压触电和接触电压触电等四类,下面分别加以叙述。

1. 单相触电

当电源是三相四线制时,人体接触到某一相时,称为单相触电。此时,人体直接受到相电压的作用,如图 6-27 所示。

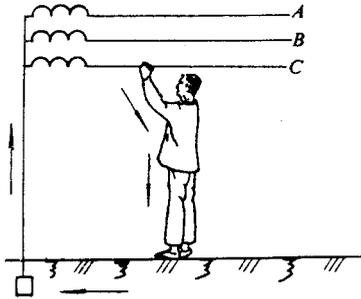


图 6-27 单相触电

2. 两相触电

两相触电是指人体同时接触带电的两相相线,此时人体直接受到线电压的作用,如图 6-28 所示。由于在这种情况下,作用于人体的电压比单相触电电压要高,电流又经过心脏,因此危险性最大。在进行线路作业时,要特别注意这一点,即使有良好的绝缘措施,也应单线操作(即两手只能同时接触同一相导线或一只手操作另一只手松开)。

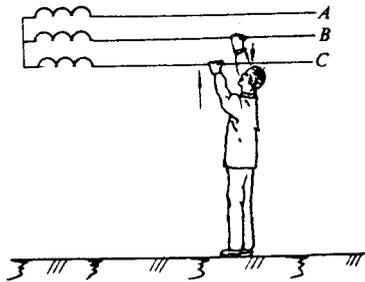


图 6-28 两相触电

3. 跨步电压触电

跨步电压触电一般是由于相线折断后落在地面,从而有电压降落在相线落地点附近

的区域,当人误入这一区域时,由于两足之间的电位差较大而发生跨步电压触电,如图 6-29 所示。

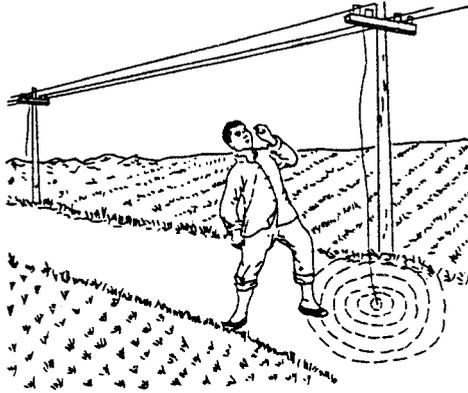


图 6-29 跨步电压触电

相线落地点附近电位差的产生,是由于相线落地后,电流由落地点向四周流去,接近入地处,电流通过的截面最小,电阻最大,因此产生的电压降也最大。离入地点的距离逐渐增大,导电的截面也逐渐增大,电阻逐渐减小,电压降也逐渐减小。在距离电流入地点 20m 以外的地方,实际上已经可以算作零电位了。这就是说,在以相线落地点为圆心的不同半径的圆周上有电位差。从实际测量表明,在距离电流入地点 1m 的范围内,电压降落了 68%,1~10m 的地段降落了 24%,10~20m 的地段降落了 8%。因此人离电流入地点愈近,受到跨步电压伤害的程度就愈大。

当人受到跨步电压作用时,电流虽未经过人体的重要器官(见图 6-29),但跨步电压较高时,双脚会因抽筋站立不稳而倒在地上,这时不仅可能使作用在人体上的电压增高,而且也有可能使电流经过人体的路径由下部改变为由头到脚,如持续时间稍长,就会有生命危险。所以当受跨步电压作用有电麻感觉时,应使双脚迅速合拢,立即单脚跳跃(背离电流入地点)至 3~4m 外。

当发现线路的相线落地后,应远离落地点 10m 以外,并应派专人看管,等候专门人员进行修理。

以上三种触电方式,均称为直接接触。直接接触方式,是指人体的任何部位与带电体直接接触造成的。

4. 接触电压触电

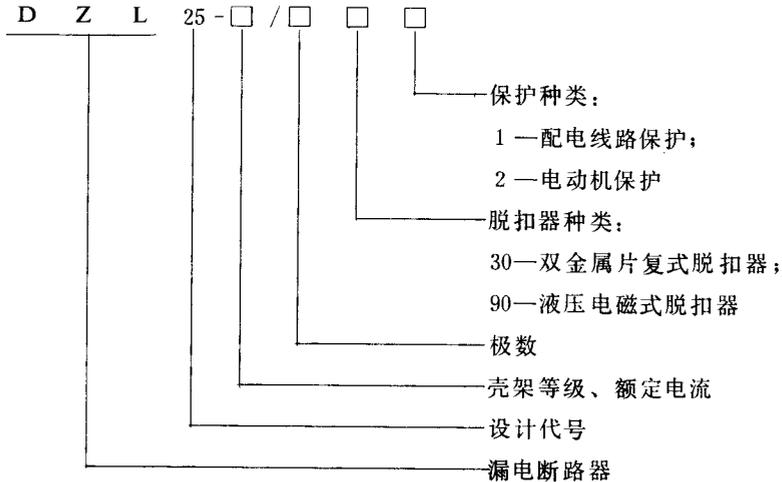
接触电压触电属于间接触电方式,即各种电气设备因绝缘损坏、腐蚀等原因,造成对不应带电的外壳、金属框架的短路后,当人接触这些部位时,就要受到接触电压的作用而

触电。

二、低压漏电断路器的构造和原理

(一) 型号意义

低压漏电断路器的型号含义如下：



(二) DZL25 系列漏电断路器的构造

DZL25 系列漏电断路器采用了平面布置，触点灭弧系统在断路器上方。操作机构、过电流脱扣器、瞬时脱扣器、分励脱扣器和试验装置在断路器的中部。漏电保护部分在断路器的下方。

触点采用单断开点，打开盖后，即可看清触点的位置和状况，便于检查和维修。

灭弧室采用金属栅片灭弧结构，它有较强的熄弧能力，提高了漏电断路器的短路分断容量。

操作机构采用了四连杆机构，手动操作。32A 等级的漏电断路器，分断能力要求低，采用了慢合、快分机构。63A 以上的漏电断路器，采用了快速分、合闸机构，它的分、合速度与人为的操作速度无关，并均能自由脱扣。过电流脱扣器采用了油阻尼液压电磁结构，或对大容量采用双金属片结构。瞬时脱扣器均采用拍合式电磁结构，它有较好的电流平衡特性。零序电流互感器的铁芯，选用了高导磁率，低矫顽力的坡莫合金带卷绕制而成。一次侧导线 1 匝穿心而过，二次侧绕组约为 300 匝。电子电路组件采用了专用集成块和单相晶闸管等主要电子元件组成的组件板，使分励脱扣器动作。

(三) DZL25 系列漏电断路器的工作原理

DZL 25 系列漏电断路器的工作原理见图 6-30。它由主断路器、过电流瞬时脱扣

器、分励脱扣器、零序电流互感器、电子电路组件和试验装置等部分组成,组装在一个绝缘外壳中。

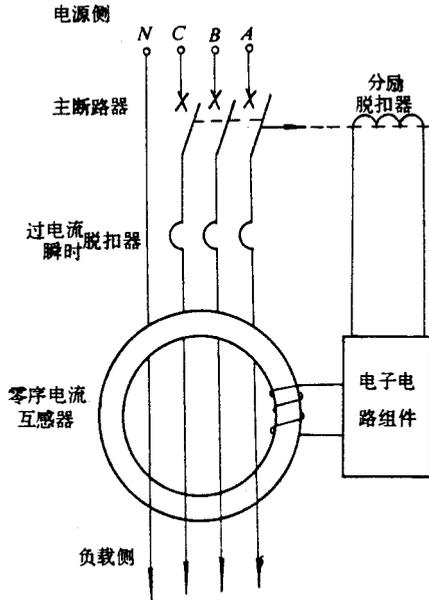


图 6-30 DZL25 系列漏电断路器工作原理图

在正常工作条件下,流过零序电流互感器的一次侧电流的相量和等于零,零序电流互感器的二次侧没有输出。当电路中有人触电或设备漏电时,流过零序电流互感器的一次侧电流相量和不再等于零,而是等于漏电电流。这时在零序电流互感器的二次侧就感应出一个电势,加到电子电路组件板上,通过专用集成电路的放大、判别,再加到晶闸管的触发极上。当触(漏)电电流达到漏电动作电流值时,晶闸管导通,使跨接在相间电源上的分励脱扣器动作,触动漏电断路器自由脱扣,将主触头打开,人或设备与电源立即脱离,从而达到触(漏)电保护的目的。

当输配电线路、用电设备或电动机发生过负载以及相间或对地短路时,过电流瞬时脱扣器动作,触动漏电断路器自由脱扣,使主断路器切断故障电流,从而避免了事故的发生。

三、DZL25 系列漏电断路器的技术性能

供电线路或电气设备在正常运行时,漏电断路器串联接入线路,它的工作可靠性如何,尚不得知。必须等到线路或设备上发生漏电或触电事故时,漏电断路器能否在规定

的时间内动作,这时可靠性问题才能表现出来,这是漏电断路器作为一种特殊的低压电器的特点之一。

漏电断路器的完好状态应该是:一旦线路或设备出现漏电故障或发生触电,漏电断路器应能正确动作(跳闸);如果线路或设备正常运行时,没有发生触电或漏电,则漏电断路器应不动作。反之,当线路或设备发生漏电或触电事故,而漏电断路器不动作,这是危害性最大的潜在故障。或者当线路和设备均完好,处于正常运行状态,而漏电断路器由于外界影响或由于本身的过失而动作,即产生误动。误动会降低供电可靠性,也是漏电断路器的一种故障状态。

漏电断路器可靠性指标可以考虑采用以下三种参数。

1. 拒动率 λ_1

漏电断路器正确动作时,所出现的拒动概率,它是在累积运行时间或累积试验时间里(或累积试验次数)发生拒动的次数

$$\lambda_1 = \text{拒动次数} / T \quad (6-32)$$

式中 T ——累积运行或试验时间。

2. 误动率 λ_2

漏电断路器不应动作时,所出现的误动概率。它是在累积运行时间或累积试验时间(或累积试验次数)里发生的误动次数

$$\lambda_2 = \text{误动次数} / T \quad (6-33)$$

3. 故障率 λ

漏电开关动作或不应动作时,所出现的拒动和误动概率的总和,它是在累积运行时间或累积试验时间(或累积试验次数)里发生拒动或误动次数的总和

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$$

DZL25 系列漏电断路器的主要技术参数,见表 6-5。

表 6-5 DZL25 系列漏电断路器主要技术参数表

型号	DZL25-32	DZL25-63	DZL25-100	DZL25-200
额定电压(V)	380		380/220	
壳架额定电流(A)	32	63	100	200
额定电流(A)	10、16、20、25、32	20、25、32、40、50、63	40、50、63、80、100	100、125、160、180、200
极数	三极	三极	三极四线	三极四线

型号	DZL25 - 32	DZL25 - 63	DZL25 - 100	DZL25 - 200
额定漏电动作电流 (mA)	10、30、50	30、50、100	50、100、50/100/200 分级可调	100、200、50/100/200、 100/200/500 分级可调
额定漏电不动作电流 (mA)	6、15、25	额定漏电动作电流的一半		

四、低压漏电断路器的使用与维护

低压漏电断路器的使用与维护按以下几方面进行。

(1)首先要检查铭牌技术数据(额定电压、额定电流、漏电动作电流、漏电动作时间、额定短路分断能力和级数等)是否符合实际使用要求,要合理选用漏电断路器。

(2)正确安装和接线,按说明书要求安装,进线端在漏电断路器的上方,即电源侧。出线端在漏电断路器的下方,即负载侧。

(3)通过漏电断路器的所有导线不能再接地,否则会产生误动作。

(4)漏电断路器的手柄在“合”(或“工”)位置,表示合闸状态,接通电源。当手柄处在“分”(或“0”)位置,表示分闸状态,断开电源。手柄处在接近“分”位置,则表示自由脱扣状态,断开电源。

(5)漏电断路器在新安装或维修后使用一个月,需按动“试验按钮”以检查漏电断路器的动作是否正常。若按下“试验按钮”后,漏电断路器不动作,则表示漏电断路器已失常,应拆下送有关部门进行修理。

(6)漏电断路器的漏电、过负载和短路保护的特性,由制造厂整定,用户不可自行开盖重新整定。

(7)当发生漏电故障使漏电断路器动作时,漏电断路器的“漏电指示”按钮会自动跳起。待排除漏电故障后,将“漏电指示”按钮重新按下复位。再操作漏电断路器手柄,先向下使其“再扣”,再推向“合闸位置”,漏电断路器才能重新投入运行。

(8)当发生过负载、短路故障时,漏电断路器也能自由脱扣动作,自动切断故障电流。当需再投入运行时,首先要消除故障,再将操作手柄扳动到分的位置,使其再扣,然后再推向“合”的位置,漏电断路器才能再次接通电源投入运行。

(9)对额定漏电动作电流可调的漏电断路器,应由专人根据气候条件、电网状况及时调整,以防漏电断路器的损坏或失去保护作用。

(10)漏电断路器因被保护电路发生短路分断后,须打开盖子进行内部清理,重点清理灭弧室及触点。清除灭弧室的内壁和栅片上的金属颗粒,清除触点表面上的毛刺和颗

粒,以保证良好的接触。只有当触点磨损到原来厚度的 $1/3$ 时,才能考虑更换触点。

(11) 漏电断路器在维修时,应在操作机构转动部位加些润滑油,以保证操作灵活。

(12) 在定期维修时,应清除附在漏电断路器上的灰尘,以保证绝缘良好。

小 结

配电设备最常见和最危险的故障是形成各种类型(三相、两相接地或两相不接地、单相接地)短路。最常见的异常工作状态是过负载、小电流接地系统发生单相接地、系统功率不足使频率和电压降低等。

常用保护是使故障部分从供电网络中断开和异常工作状态时发出信号。

对继电保护的要求是具有选择性、速动性、灵敏性和可靠性。

继电器按工作原理分为:电磁式、感应式和晶体管式三种。

定时限过电流保护是在各段保护装置采用不同的时限,时限的长短是从用户到电源逐级增加的,每段时限之间相差一个时间阶段 Δt 。它好象一个阶梯,故称为阶梯时限特性。它是保证其选择性,并且时限与短路电流大小无关的保护装置。

在电流保护装置的接线中,电流互感器和电流继电器可接成三相星形接线、两相不完全星形接线和两相电流差接线。

反时限过电流保护装置的特点是它的动作时限与线路中电流的大小有关,电流大时动作时限短,而电流小时动作时限长。

速断保护装置的特点是其起动电流的整定值,是按预先选择短路点的短路电流来整定的。它有瞬时动作、延时动作两种。

了解和熟悉过电流保护装置的原理图、展开图和安装图。

绝缘监视是在小电流接地网络中任一点接地,可以利用零序电压监视网络的绝缘,发出接地信号。

在低压配电网中,为了防止过负载,较普遍的是应用熔断器、自动空气开关和接触器来作过负载保护装置。

漏电断路器是在低压配电网中,保护漏(触)电的保护电器,它是由主断路器、过电流瞬时脱扣器、分励脱扣器、零序电流互感器和电子电路组件等部分组成,并组装在一个绝缘的外壳中。当供电线路、用电设备或电动机发生过负载、相间短路或对地短路时,切断故障电流,避免事故发生。