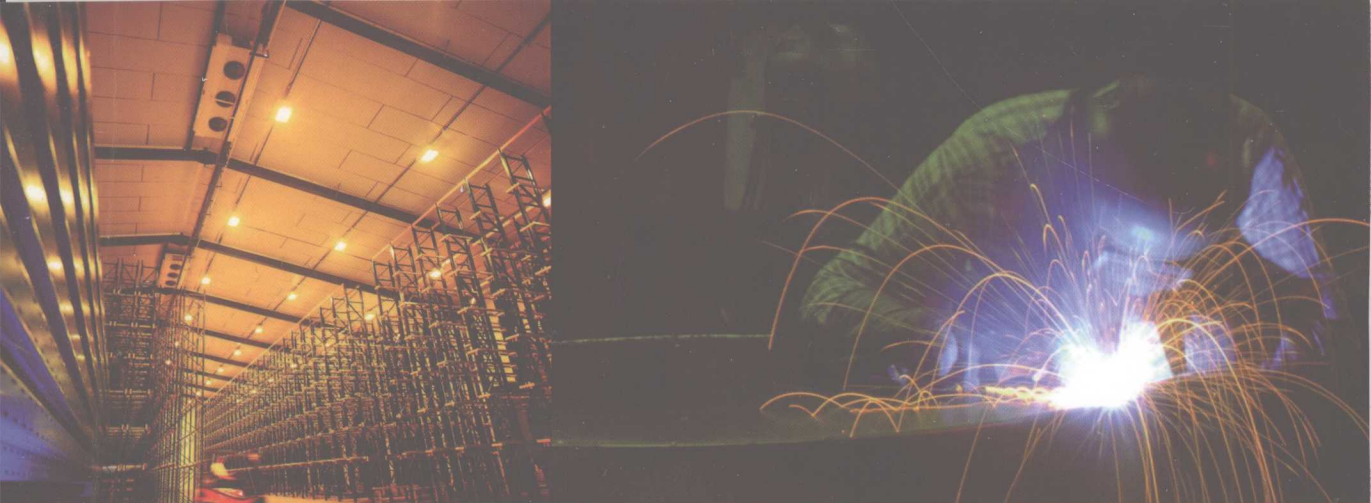




工厂常用电气设备 运行与维护

GONGCHANG CHANGYONG DIANQISHEBEI
YUNXING YU WEIHU

张方庆 李 敏 刘 琦 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

工厂常用电气设备 运行与维护

张方庆 李 敏 刘 琦 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

现代工业中,工厂、企业电气自动化程度越来越高,电气设备随之不断的改进、更新,对于新上岗者,在电气设备的运行、维护中往往对一些常见的故障隐患缺乏快速处理能力,以致造成误判断、误处理;即便是拥有一定工作年限的专业技术人员,也难以全面掌握各种电气设备故障的维护及排除技术。

本书内容涉及面广,通俗实用,所列实例也是结合目前工厂、企业的实际情况总结出来的。除了详细介绍了工厂常用电气设备装置的运行与维护注意事项、常见故障的原因及其处理方法等,同时对预防性试验的方法及试验结果的分析判断也做了相关介绍,最后还辅以电气设备的安全管理及防火与防爆。

本书共分十四章,具体为:电力系统及工厂电气设备概述,电弧及触点的基本知识,高压断路器的运行与维护,高压隔离开关、负荷开关和高压熔断器的运行与维护,电力变压器的运行与维护,互感器的运行与维护,绝缘子、母线、电力电缆的运行与维护,电力电容器的运行与维护,工厂防雷保护装置及其运行与维护,工厂常用二次回路运行与维护,工厂继电保护及其装置检验和整组调试,常用低压电器设备的运行与维护,直流系统的运行与维护,电气设备的安全管理及防火与防爆。

本书可供从事工厂、企业电气设备运行与维护的专业技术人员使用,亦可作为高职高专供用电技术、工业电气自动化等电气工程类的师生学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

工厂常用电气设备运行与维护 / 张方庆, 李敏, 刘琦编. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8036-0

I. 工… II. ①张…②李…③刘… III. ①工厂-电气设备-运行②工厂-电气设备-维护 IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 160389 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 483 千字

印数 0001—3000 册 定价 38.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

「前 言」



工厂常用电气设备运行与维护

随着我国电力工业迅速发展,工厂、企业电气自动化程度越来越高,电气设备随之不断的改进、更新,但由于电气设备在运行过程中的故障或事故时有发生,一些维护方面的误判断、误处理,使得可以避免的事故没能防止或使事故扩大,造成不应有的损失,直接影响到企业的经济效益。因此,在生产过程中,如何加强对工厂、企业电气设备的运行与维护、正确果断处理设备的异常现象,并防止同类事故的再次发生,确保电气生产设备长期稳定运行,为企业创造最大的经济效益,是每一个电气技术人员所需要做的工作和考虑的问题。

本书结合目前我国工厂、企业的实际情况,详细介绍了工厂、企业常见的高压断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器、变压器、互感器、绝缘子、母线、电力电缆、电力电容器、工厂防雷保护装置、工厂常用二次回路、工厂继电保护装置、常用低压电器、直流系统等运行与维护的实用知识,以及上述各种设备装置的运行与维护注意事项,常见故障的原因及其处理方法、预防性试验的方法及试验结果的分析判断,并介绍了电气设备的安全管理及防火与防爆。

本书力求内容完整,通俗易懂,并在编写过程中,参考、查阅了大量的文献资料,从中吸取了多年从事电气设备运行与维护的技术人员的经验和成果,在此向参考文献中所示的所有作者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,本书难免存在缺点和错误,敬请读者提出批评和指教,编者将不胜感激!

编 者

2008 年 10 月

「目 录」



工厂常用电气设备运行与维护

前言

第一章 电力系统及工厂电气设备概述	1
第一节 电力系统概述	1
第二节 工厂电气设备概述	5
第二章 电弧及触点的基本知识	7
第一节 电弧现象及电弧的形成	7
第二节 交流电弧的熄灭方法	9
第三节 电气触头的基本知识	11
第三章 高压断路器的运行与维护	16
第一节 高压断路器的作用、分类及技术参数	16
第二节 工厂常用断路器及其操动机构外形与结构	18
第三节 高压断路器的日常维护与故障处理	24
第四节 高压断路器的试验及其结果分析与判断	36
第四章 高压隔离开关、负荷开关和高压熔断器的运行与维护	42
第一节 高压隔离开关及其运行与维护	42
第二节 高压负荷开关及其运行与维护	51
第三节 高压熔断器及其运行与维护	52
第五章 电力变压器的运行与维护	56
第一节 变压器的作用及基本结构	56
第二节 变压器的运行、操作管理	58
第三节 变压器常见故障的原因及处理方法	66
第四节 变压器的检修	84
第五节 变压器的试验及其结果分析与判断	108
第六章 互感器的运行与维护	118
第一节 电流互感器及其产品类型	118
第二节 电压互感器及其产品类型	123
第三节 互感器的运行与故障处理	131
第四节 互感器的试验及其检修	143
第七章 绝缘子、母线、电力电缆的运行与维护	149
第一节 绝缘子的运行与维护	149

第二节	母线及其安装与维护	153
第三节	电力电缆及其终端与中间接头的制作	159
第四节	电力电缆的常见故障及其处理方法	181
第五节	绝缘子、母线、电力电缆试验及其结果分析与判断	190
第八章	电力电容器的运行与维护	195
第一节	电力电容器的结构及接线	195
第二节	电力电容器的运行与维护	198
第三节	电力电容器的试验及其结果分析与判断	204
第九章	工厂防雷保护装置及其运行与维护	209
第一节	防雷保护装置	209
第二节	防雷保护装置运行及维护	212
第三节	防雷保护装置试验及其结果分析与判断	212
第十章	工厂常用二次回路运行与维护	218
第一节	二次回路的基本概念	218
第二节	高压断路器控制回路和信号回路	223
第三节	工厂常用电测仪表的运行与维护	231
第十一章	工厂继电保护及其装置检验和整组调试	244
第一节	工厂继电保护的基本知识	244
第二节	工厂常规继电保护	247
第三节	工厂常用继电保护装置检验及整组调试	266
第十二章	常用低压电器设备的运行与维护	271
第一节	常用低压电器简述	271
第二节	常用低压电器的运行与维护	275
第十三章	直流系统的运行与维护	286
第一节	操作电源概述	286
第二节	蓄电池概述	288
第三节	蓄电池的运行及维护	291
第十四章	电气设备的安全管理及防火与防爆	294
第一节	电气设备的安全管理	294
第二节	用电事故的调查和管理	299
第三节	电气装置的防火与防爆	301
参考文献		309

电力系统及工厂电气设备概述

工厂常用电气设备运行与维护

第一节 电力系统概述

一、电力系统的构成

电力从生产到供给用户应用,通常都要经过发电、输电、变电、配电、用电五个环节。电力从生产到应用的全过程,客观上就形成了电力系统。严格来说,由发电厂的发电部分、输配电线路、变配电系统及用户的各种用电设备组成的整体称为电力系统,常简称系统,其示意图如图 1-1 所示。

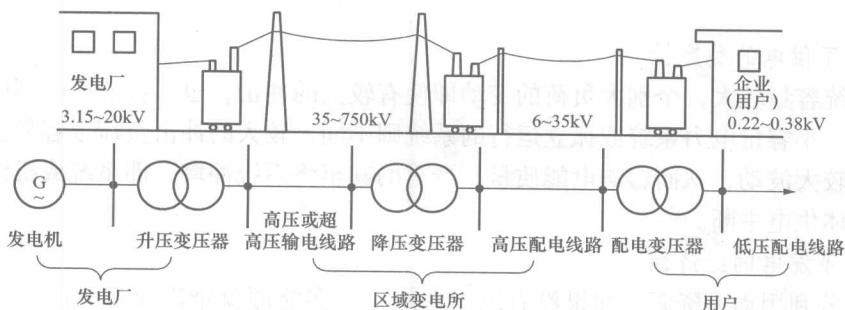


图 1-1 电力系统示意图

发电厂是电力系统的中心环节,它是将其他形式的一次能源转变成二次能源的一种特殊工厂。按原动机的类别分为火力发电厂、水力发电站、潮汐发电站、风力发电站和核能发电厂等。此外还有地热发电,太阳能发电和沼气发电等新能源发电。按发电厂的规模和供电范围又可分为区域性发电厂、地方发电厂和自备专用发电厂等。

火电厂是利用煤、石油、天然气等燃料的热能将锅炉中的水变成高温高压蒸汽,推动汽轮机,带动发电机发电的电厂。

水电站是利用河流上下游落差产生的势能,推动水轮机,带动发电机发电的工厂。水电站的装机容量与水头(上下游落差)、流量及水库的库容有关。

核电站是利用核燃料在反应堆中产生的热能,将汽锅中的水变为高温高压蒸汽推动汽轮机发电的电厂。

电力网按供电范围、输送功率和电压等级分为地方电力网和区域电力网。地方电力网一般电压等级为 110kV 及以下;区域电力网为 110kV 以上,供电范围广,输送功率大;10kV 及以下的电力网一般称为配电网。电力网按结构特征又分开式和闭式两种。凡用户只能从单

方向得到供电的叫开式电力网；用户可从两个或两个以上方向得到供电的叫闭式电力网。另外，按电压等级电力网分为低压（1kV 及以下）、高压（1 ~ 330kV）、超高压（330 ~ 1000kV）和特高压（1000kV 以上）几种。

变电站是电力网的重要组成部分，它是汇集电源、升降电压和分配电力的场所，是联系发电厂和用户的中间环节。变电站有升压和降压之分。升压变电站通常是发电厂的升压部分，紧靠发电厂；降压变电站通常远离发电厂而靠近负荷中心。根据变电站在电力网结构中所处的地位和供电的范围分为区域变电站、地方变电站和终端变电站等。

电力线路也是电力网的重要组成部分，它担负着输送电能和分配电能的任务。由电源向电力负荷中心输送电能的线路，称为输电线路或送电线路，其电压等级一般在 35kV 及以上。主要担负分配电能、电压较低的线路称为配电线路。

二、电力系统的优越性

把各个运行的发电厂通过电力网连接起来形成电力系统后，将在技术经济上带来很大好处，现分析如下：

1. 提高了供电的可靠性

系统中一个发电厂发生故障时，其他发电厂照样可以向用户供电；一条输电线路发生故障时，用户还可以从系统中的不同部位取得电源。因而具有合理结构的电力系统的可靠性将大为增高。

2. 提高了供电的稳定性

电力系统容量较大，个别大负荷的变动即使有较大的冲击，也不会造成电网电压和频率的明显变化。小容量电力系统或孤立运行的系统则不同，较大的冲击负荷很容易引起电网电压和频率的较大波动，从而影响电能质量。严重的甚至将系统冲垮，即系统或机组间发生解列，造成整体供电中断。

3. 提高了发电的经济性

（1）充分利用动力资源。如果没有电力系统，很多能源就难以充分利用。在电力系统中可实现水电火电之间的相互调度，丰水季节可多发水电，少发火电，节约燃料；枯水期则多发火电以补充水电。其他如具有不同调节性能和特性的水电之间，以及风力、潮汐、太阳能和核电站等，只有与较大的系统相接，才能相互配合，实现经济调度，达到合理利用资源，提高经济效益的目的。

（2）提高发电的平均效率和其他经济指标。只有在大的电力系统内才能采用大容量的机组，从而获得较高的发电效率、较低的相对投资和较低的运行维护费用。此外，在电力系统中，在各发电厂之间可以通过合理的分配负荷，让效率高的机组多发电，在提高平均发电效率上实现经济调度。

（3）减小总装机容量。电力系统中的综合最大负荷常小于各发电厂单独供电时各片最大负荷的总和。这是因为不同地区间负荷性质的差别、负荷的东西时差和南北季节差等，有利于错开各地区的高峰负荷，导致减小系统中的综合最大负荷，从而减小了总工作容量。

三、对电力系统运行的基本要求

由于电能不能储存，电力流程与其他产品的流程相比具有不同的特点：电能的生产、分配、输送、再分配直至消耗必须在同一时刻完成，这就是电力流程的连续性。根据这一特性，要使电力流程的最后环节——电能的消费得以维持，就必须随时保证电力流程的消费前

环节不致中断。又由于电能的重要性,它已成为现代工业、农业生产和人民日常生活不可缺少的二次能源,成为整个国民经济的“粮食”,对国民经济的发展起着强烈的制约作用。

基于电能的上述特点和电力工业在国民经济中的作用和地位,电力系统应满足下述基本要求:

1. 保证供电的安全可靠

确保用户能够随时得到供电,叫做电力系统的可靠性。

电力系统因故停电会给工农业生产和人民生活带来不同程度的损失,可能使产量下降,产品报废,生产计划不能完成,生活受到干扰;严重的可导致设备和人身伤亡。

为了保证供电的可靠性,必须做到安全生产和安全用电。为此,要保证电力系统中各元件的质量,及时搞好设备的正常维护及定期的检修与试验;加强和完善各项安全技术措施,提高电力系统的运行和管理水平,杜绝可能发生的直接或间接的人员责任事故。

2. 保证电能的质量

衡量电能质量的指标是波形、频率和电压。通常要求电力系统的供电电压(或电流)的波形为严格的正弦波形,发电机和变压器的设计制造部门已考虑了这一要求,但在电能输送和分配过程中也要不使波形发生畸变,避免或消除再出现一些谐波源。通常系统运行中所说的电能质量指频率和电压两个指标。当频率和电压超过允许范围时(见表1-1和表1-2),可能造成企业减产,出次品、废品,影响用电设备的安全运行,甚至引起人身设备事故。频率主要取决于电力系统中有功功率的平衡,电压则取决于无功功率的平衡,可通过调频、调压和无功补偿等措施来保证频率和电压的稳定。

表 1-1

我国电网频率允许偏差值

运 行 情 况		允许频率偏差值 (Hz)
正常运行	中小容量电网	± 0.5
	大容量电网	± 0.2
事故运行	30min 以内	± 1
	15min 以内	± 1.5
	绝对不允许	-4

表 1-2

我国对用户供电电压的允许变化范围

线路额定电压 U_N	正常运行电压允许变化范围
35kV 及以上	$\pm 5\% U_N$
10kV 及以下	$\pm 7\% U_N$
低压照明及农业用电	$(-10\% \sim +5\%) \tilde{U}_N$

3. 完成足够的发电功率和发电量

根据电力对国民经济的强烈制约作用,电力必须先行。故电力系统要超前搞好规划设计,不断增加投入;同时也要充分挖掘设备潜力,最大限度地向用户提供需要的电力。

4. 保证电力系统运行的经济性

要使电能在生产、输送和分配过程中效率高、损耗小、成本低,必须降低一次能源消耗率(每千瓦时的煤耗、油耗或水耗)、厂用电率和线损率,使这三个指标达到最小,这便是

经济运行。电能成本的降低不仅节省了能源,还将有助于用户生产成本的降低,因而给整个国民经济带来效益。要实现经济运行,除进行合理规划设计之外,还须对整个系统实施最佳经济调度。

四、电力系统中性点运行方式

电力系统的中性点实际上指发电机和变压器中性点。我国电力系统目前所采用的中性点运行方式主要有三种,即中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点直接接地。采用前两种中性点运行方式的系统称为小电流接地系统;采用后一种的称为大电流接地系统,各中性点运行方式不同对电力系统的可靠性、设备的绝缘、通信的干扰以及继电保护等均有影响。

1. 中性点不接地(绝缘)系统

我国电力行业标准中规定,3~10kV 不直接连接发电机的系统以及 35、66kV 系统,当达到以下条件时,应采用不接地方式:

(1) 3~10kV 钢筋混凝土或金属杆塔的架空线路构成的系统和所有 35、66kV 系统,单相接地故障电容电流不超过 10A 时。

(2) 3~10kV 非钢筋混凝土或非金属杆塔的架空线路构成的系统,当电压为 3kV 和 6kV 时,单相接地故障电容电流不超过 30A,或电压为 10kV 时,单相接地故障电容电流不超过 20A 时。

(3) 3~10kV 电缆线路构成的系统,单相接地故障电容电流不超过 30A 时。

中性点不接地系统发生单相金属性接地故障时,有以下特点:

(1) 故障相对地电压为零,非故障相对地电压升高为线电压。因此在这种系统中对地的绝缘水平应按线电压来考虑。

(2) 线电压不变,三相系统仍然对称,可以继续运行。但为防止事故扩大,应尽快消除接地点,最多不超过 2h。

(3) 接地点通过的容性电流为正常一相对地电容电流的 3 倍,容易在接地点形成持续性电弧(当电容电流大于 30A 时)或间歇性电弧(当电容电流大于 10A 小于 30A 时)。持续性电弧可能烧坏设备,引发相间短路扩大事故;间歇性电弧将导致相与地之间产生弧光过电压,其值可达 2.5~3 倍相电压峰值,危及设备绝缘。一般要求:发电机内部电容电流小于 5A;6~10kV 网络电容电流小于 30A;35kV 及以上电容电流小于 10A。

2. 中性点经消弧线圈接地系统

在中性点不接地系统中,当接地点产生的电弧不能自行熄灭时,可在中性点与大地之间接入消弧线圈来熄灭电弧,便成为中性点经消弧线圈接地系统。

(1) 中性点经消弧线圈接地系统正常运行,且在电源对称时,三相对地电容值相等,中性点对地电位为零,消弧线圈中无电流通过,流过地中的电容电流为零。

(2) 中性点经消弧线圈接地系统发生单相接地时的电流电压变化规律与中性点不接地时一样,仍可继续运行,但在 2h 内要消除故障,以保障系统安全运行。

3. 中性点直接接地系统

将系统的中性点直接接地,当发生一相接地时,由于中性点电位为接地体所固定,基本上仍保持地电位,但必须立即切除故障线路,以免短路电流使导体发热,危及绝缘、烧坏电气设备和在接地点产生持续电弧。

中性点直接接地系统有如下优点:

(1) 不需任何消弧设备,减少设备投资,运行维护也较简单。

(2) 发生单相接地时,由于中性点电位和非故障相对地电压不升高,主绝缘水平可以以相电压为基准,这就降低了电网造价。电网电压越高,其经济效益越显著。

(3) 彻底解决了接地点的接地电弧引起过电压的问题。

这种运行方式也存在下面一些缺点:就是一相接地故障后产生强大的单相磁场,干扰邻近的通信线路。由于单相短路电流大,引起网络电压降低,以致影响系统稳定。为此,在大容量电力系统中,为了限制单相短路电流,只能将系统中的一部分变压器中性点直接接地,或在中性点加装电抗器。又由于单相短路故障必须迅速切除,导致用户供电中断。为了克服这一缺点以提高供电的可靠性,在中性点直接接地系统的线路上需要装设自动重合闸装置,即当发生单相接地故障时,继电保护动作使断路器跳闸,经过一定延时后,又在自动重合闸装置的作用下使断路器合闸。如果单相接地为永久性的,则继电保护再次加速使断路器跳闸。对一些重要用户,为保证不中断供电应装设备用电源。

第二节 工厂电气设备概述

工厂电气设备主要包括一次设备和二次设备。一次设备是指生产、输送、分配电能的设备,将一次设备按设计或现场要求连接起来的电路称为一次接线或主回路;二次设备是指对一次设备或电力拖动的生产装置进行测量、控制、保护、监视的电气装置,二次设备及相关的连接回路称为二次回路。

一、工厂一次设备

1. 能量转换设备

发电机、变压器、电动机、蓄电池等属于此类设备。其中变压器的作用是将电力系统输送过来的电能电压等级转换成工厂实际需要的电能电压等级,发电机是将其他形式的能量转换成电能供工厂电力拖动的生产装置;而电动机是将电量转换成生产机械装置需要的能量。

2. 开关设备

这类设备用于电路的接通或断开。当电路中通过电流,尤其通过很大的短路电流时,要开断电路很不容易,需要具备足够的灭弧能力。按作用及结构特点,开关设备又分为以下几种:

(1) 断路器。不仅可接通和断开正常的负荷电流,也能关合和断开短路电流。它是作用最重要、构造最复杂、功能最完善的开关设备。

(2) 熔断器。不能接通和断开负荷电流,它被设置在电路中专用于断开故障电流,切除故障回路。

(3) 负荷开关。允许带负荷接通和断开电路,但其灭弧能力有限,不足以断开短路电流。将负荷开关和熔断器串联在电路中大体上相当于断路器的功能。

(4) 隔离开关。主要用于设备或电路检修时隔离电源,造成一个可见的、足够的空气间距。

断路器和负荷开关能接通和断开负荷电流,称为操作电器。

隔离开关因没有灭弧能力,不能断开负荷电流。若在负荷电流下错误地拉开隔离开关,称为带负荷拉闸,会引起电弧短路,是一种严重的误操作,要尽量避免。有时只就功能将开

关电器分为保护电器、操作电器和隔离电器三类。上述熔断器纯属保护电器；隔离开关是隔离电器；负荷开关为操作电器，有时也兼作隔离电器；断路器则既是保护电器，又是操作电器。

3. 载流导体

该类设备有母线、绝缘子和电力电缆等，用于电气设备或装置间的连接，通过强电流来传递功率。母线是裸导体，需要用绝缘子支持和绝缘。电缆是绝缘导体，并具有密封的封包层以保护绝缘层，外面还铠装或塑料护套以保护封包。

4. 互感器

互感器分为电压互感器和电流互感器等，其作用是分别将一次侧的高电压或大电流按变比转换为二次侧的低电压或小电流，以供二次回路的测量和保护。

5. 避雷器

避雷器主要用于主要电气设备的过电压保护。

二、工厂二次设备

工厂中各种电测仪表、继电器、自动控制设备（包括控制装置及自动化元件）、信号及控制电缆等都属于二次设备。二次设备不直接参与电能的生产分配过程，但对保证主要设备的正常、有序地工作和发挥其运行经济效益，起着十分重要的作用。

一次设备主要用于高电压、强电流回路，二次设备则用在低压弱电回路。但一次设备中的小容量用电设备也多为低电压。此外，有些设备类别一次和二次都有，例如熔断器、负荷开关、母线、电缆等，名字相同，原理也相近，但实物结构却大有差异。也有部分低压设备与高压设备属于同一类别，在电路中的作用基本相同，但名字不同，如低压断路器叫自动开关，隔离开关叫闸刀开关。至于常见的低压胶盖开关、铁壳开关、转换开关、接触器等，都属于负荷开关这一类，只是某些开关增多了一些功能。例如有的转换开关可以切换电源，接触器还便于远方控制和自动控制等。

电弧及触点的基本知识

工厂常用电气设备运行与维护

第一节 电弧现象及电弧的形成

一、电弧现象

电弧就是电流流过气体介质时发生的现象。各种电气设备、线路在发生短路时,短路点处要产生强烈的电弧,当开关电器切断有电流的电路时,只要触头间的电压高于 $10 \sim 20\text{V}$ 、电流大于 $80 \sim 100\text{mA}$,在触头间也会产生电弧。开关电器在刚刚分离后,在触头间发生了电弧,就是电流从触头间流过,电路仍处于通路状态,只有当电弧彻底熄灭后,电路才真正断开。

电弧产生的条件很低,因此是电路断开过程中不可避免的现象。在正、负两极间燃烧的电弧可分成三部分,电弧示意图如图 2-1 所示:靠近负极一个极小的距离称为阴极区,靠近正极附近极小的距离称为阳极区,阴极区和阳极区之间叫弧柱区,其尺寸随电弧的长短而变。弧柱区发光强,温度很高,弧柱的温度在 6000°C 以上。而阴极区与阳极区由于受到电极传导散热等原因的影响,温度较低,但在阴极区与阳极区的个别点上温度特别高,特别明亮,叫做阴极斑点或阳极斑点。此外,电弧是正在导电的气体,质量小,容易变形、能迅速移动。如果在开关电器内电弧长久不熄灭,就会造成烧坏触头和触头附近绝缘的后果,并延长了断路时间,甚至使油断路器内的油不断汽化,压力不断增加,引起爆炸。我们研究电弧的目的,在于了解电弧的形成过程、特性和熄灭电弧的方法。

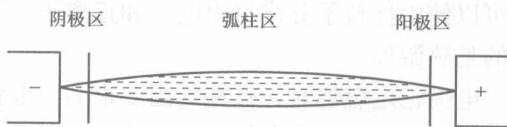


图 2-1 电弧示意图

二、电弧的形成

电弧是气体导电的现象,气体在正常条件下是绝缘介质,虽然气体的原子内也有电子存在,但这些电子受原子核中正电荷的吸引,只能在围绕原子核的轨道上运动,成为束缚电子,不能起导电作用。要导电必须有大量的带电粒子作定向运动。下面分析带电粒子,主要是自由电子的出现过程。

1. 自由电子的来源

(1) 热电子发射。高温的阴极表面能够向四周空间发射电子。当开关电器的触头分开时,触头间的接触压力及接触面积逐渐减小,接触电阻增大,触头分离到最后只剩下几处点接触,电流流过使这些点急剧发热,温度升高而发射电子,这叫热电子发射。在显像管中就利用了热电子发射现象。

(2) 强电场发射。阴极表面的电场强度很大时,金属内部的自由电子在电场力的作用下也能被拉出来,这就是强电场发射。当开关电器的动静触头刚分开、距离极小时,即使在低压电路中,触头间的电场强度 $E = U/d$ 仍可达到极大的数值,电场强度超过 $10^5 \sim 10^6 \text{ V/cm}$ 时,就有显著的强电场发射现象。

2. 碰撞游离产生电弧

触头间的自由电子,在电场的作用下,向着阳极加速运动,能量逐渐增加,并在运动的过程中,不断地与其他中性粒子(原子或分子)发生碰撞。若运动着的自由电子具有足够的动能时,则能从中性粒子中打出一个或几个电子,使中性粒子游离,形成自由电子和离子,这种现象称为气体的碰撞游离,又叫电场游离。新形成的自由电子也高速向阳极运动,当碰撞其他中性粒子时,又将产生碰撞游离。这样连续发生碰撞,使介质中带电粒子大量增加,弧隙中的电导逐渐增大,当碰撞游离达到一定强度,带电粒子累积到一定数量时,介质的导电性质发生改变,由绝缘体变成了导体,在外加电压的作用下,电流流过触头间的间隙,发生刺眼的白光,产生电弧,这种现象称为介质的击穿,而使触头间介质击穿的外加电压,又被称为破坏性放电电压。

3. 电弧中的物理过程

电弧产生以后,在电弧中的物理过程主要有热游离、产生等离子体流和去游离。

(1) 热游离。静止气体中的各种粒子,如分子、原子、自由电子等,都处在不断的运动中。这些粒子热运动的速度不同,且无一定的方向。气体温度越高,热运动的平均速度越大,粒子的平均动能也越大。当气体温度升高,使粒子的动能超过一定值时,相互碰撞,也可以使中性粒子分成自由电子和正离子,发生游离现象,称为气体的热游离,维持电流通道的是热游离。

电弧稳定燃烧时,弧柱的温度很高,电弧电压或弧柱的电场强度很低,因此,弧柱中的自由电子主要依靠强电场发射、热电发射和碰撞游离。在碰撞游离达到一定强度产生电弧以后,产生导电粒子,这时电弧电压降低,弧柱中的电场强度小,电场游离不起作用。

(2) 产生等离子体流。当电弧电流和电弧强度大于一定数值时,在电弧产生 $1 \sim 2 \mu\text{s}$ 后,就产生等离子体流。凡是由正负带电粒子所构成的物质聚集状态,只要正负电荷数目足够多且大致相等就称为等离子体流。它是物质在气态、液态、固态以外的第四态。等离子体流(或称等离子流)是由于电弧受其自身的电磁力压缩而产生的;当电弧移动、碰到绝缘板或金属板,如电弧进入具有灭弧栅的灭弧室受到压缩时,也会产生等离子体流;等离子体流集中了大量能量,它的温度比弧柱中其余部分的温度高。电弧的阴极斑点和阳极斑点由于其温度达到电极材料的沸点,会向弧内喷射电子、电极材料的正离子和中性粒子,形成一股等离子体和金属蒸气的混合气流,一般也统称为等离子体流,现已知等离子体流对电弧的燃烧和熄灭有很大的影响。

等离子体流运动的方向垂直于电极表面,其中粒子的运动速度可达 $10^3 \sim 10^4 \text{ m/s}$,并随着与电极间距离的增大而减小。等到离子体流遇到固体障碍物时,将被反射而改变运动方向。电弧的燃烧和熄灭在很大程度上与等离子体流的运动方向有关,若两极产生的等离子体流是面对面运动,则能量聚集在弧隙中,使燃弧容易。相反,如果等离子体流运动方向是离开弧隙,并将能量从弧隙中带出,则燃弧变为困难。等离子体流的这一特点,已对电器的结构产生了影响。

(3) 去游离。在电弧中,介质的中性粒子经过热游离变成带电粒子,阴极斑点与阳极斑点喷射出等离子体流。与此同时,电弧中还存在相反的过程,即电子与离子消失的过程,这称为去游离。

去游离过程包括复合和扩散两种形式。

1) 复合。复合又叫再结合,复合是正负离子互相接触时,交换多余的电荷,成为中性粒子。由于电子运动的速度约为离子运动速度的 10 000 倍,所以电子与正离子直接复合的可能性很小。在电弧内,复合是借助中性粒子进行的。首先,当能量较低的电子碰撞中性粒子时,附着在中性粒子上形成负离子,然后再与正离子结合成中性粒子。带电粒子复合时要以光能形式放出能量,这正是电弧发出刺眼强光的原因。

复合也发生在与电弧接触的固体介质表面。较活动的分子,首先使表面充电到某一负电位,此时负离子和自由电子从这附近被排开,正离子则被吸引到表面上而失去电荷。

复合进行的快慢与电场强度有关,电场强度愈小,离子运动的速度就愈小,复合的几率就愈大。所以在交流电弧中,当加于电弧两端的电压接近零值的瞬间,复合进行得特别强烈。另外,复合的快慢还与电弧的温度和截面积有关,温度愈低,截面愈小,复合就进行得愈强烈。

2) 扩散。扩散是弧粒中的自由电子及正离子从弧粒的内部逸出,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,以及电弧内和周围介质中离子浓度相差很大。扩散出去的带电粒子在周围介质中进行复合,扩散使得弧柱内带电粒子减少,有助于电弧的熄灭。

电弧中去游离的强度,在很大程度上决定于电弧燃烧的介质的特性,如气体介质的导热系数、介质强度、热游离温度和热容量等。上述各项数值越大,则去游离过程越强烈,电弧越容易熄灭。氢气具有良好的灭弧性能,水蒸气、二氧化碳和空气次之。国产新型 SF₆ 高压断路器,采用 SF₆ 气体为灭弧介质,它具有很高的介电强度和优良的灭弧性能,使断路器的开断电流大,几何尺寸小。

电弧在气体介质中燃烧时,气体介质的压力对电弧去游离的影响也很大。气体的压力愈大,则单位体积中的粒子数量愈多,粒子间的距离就愈小,使复合加强。因此,增加气体介质的压力,电弧就容易熄灭。

触头的材料对去游离也有一定的影响,触头应采用熔点高,导热系数和热容量大的耐高温金属,以减少热电发射和电弧中的金属蒸气。

电弧的熄灭,取决于电弧中游离和去游离的过程,若热游离强度大于去游离强度,则电弧电流增大;如果两者相等,则电弧电流维持不变;若去游离强度大于热游离强度,则电弧电流减小,使电弧熄灭。因此,要熄灭电弧,就必须加强去游离,并使去游离强度大于热游离强度。至于等离子体流,可以利用它的特性促进电弧的熄灭。

第二节 交流电弧的熄灭方法

根据电弧中物理过程与特性,在高压断路器中,设有专供灭弧用的灭弧室;在低压电器中也设有灭弧栅。在开关电器中,加速电弧熄灭的基本方法主要有以下几种:

1. 利用气体吹动灭弧

在采用气体吹动电弧加速熄弧的方法中,按照气体吹动方向的不同,可分为纵向吹动(简称纵吹)和横向吹动(横吹)两种,分别如图2-2所示。

采用横向吹动灭弧时,使未游离的低温气体穿过弧柱中心区,吹动的气流带走大量的荷电质点和热量,形成强迫扩散和降温;横向吹动电弧的另一个作用是拉长电弧,增大电弧周长与截面积之比,同样加强复合与扩散。采用横向吹动灭弧时,因明显提高电弧的弧隙击穿电压而使电弧加速熄灭。

采用纵向吹动灭弧,使未游离的低温气体将沿着弧柱的表面逐渐向弧柱中心区深入,气流同样会带走许多带电质点和热量,形成强迫扩散和降温,同样明显提高电弧的弧隙击穿电压,达到较好的灭弧效果。在相同的工作条件下,纵吹灭弧较横吹灭弧效果要差一些。

利用气体或油气混合物吹动电弧是加速电弧熄灭的基本方法之一,它广泛地应用于高压断路器之中。吹弧的气体介质可用压缩空气、 SF_6 气体,或者用绝缘油、固体有机介质在电弧高温下产生的气体。

2. 采用多断口灭弧

在高压断路器中,将一相触头的断点制造成两个或多个串联的断口。当断路器断开时,多断点同时断开,加速电弧熄灭,如图2-3所示,该方法称为多断口灭弧。当一相断路器触头选用 n 个断点时,在断路过程中形成 n 个电弧相串联的燃弧方式。在外电路条件不变的情况下,加至每个断口上的电压仅相当于每相为单断口的 $1/n$,显然,采用多断口灭弧即是利用降低每个断口的恢复电压从而达到加速熄弧目的的方法,其适用于加速高压长弧的熄灭。另外,当每相断口较多时(如每相断口为4~6个),为使每个断口上的恢复电压均匀一致,常在各个断口上并联接入容量相同的高压电容器进行均压(其电容量一般为1000~2000pF),断口上并联接入均压电容后,一般能保证各个断口的实际电压值与均匀分布电压值之差小于10%。

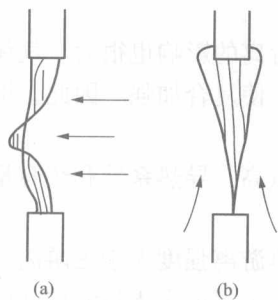


图 2-2 气体吹动灭弧
(a) 横吹灭弧; (b) 纵吹灭弧

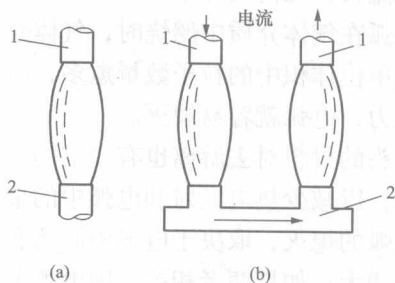


图 2-3 多断口灭弧
(a) 每相单断口; (b) 每相双断口
1—静触头; 2—动触头

3. 利用电弧与固体介质接触灭弧

当电弧与石英砂、瓷或石棉水泥等耐高温的固体介质接触时,固体介质表面的带电质点使电弧的复合速度大大加快,并加速降温,这种加速熄弧的方法被称为利用电弧与固体介质接触灭弧。利用电弧与固体介质接触灭弧的方法,主要适用于10kV及其以下的高压断路

器、低压开关和有填料的熔断器之中。

4. 将电弧分为多个串联的短电弧灭弧

将电弧分为多个串联短电弧用以加速电弧熄灭的方法称之为金属灭弧栅灭弧。利用金属灭弧栅加速熄弧，是低压开关中常用的熄弧方法之一。

利用金属灭弧栅加速熄弧的示意图如图 2-4 所示，当动、静触头之间产生电弧时，电弧 5 恰好处于金属栅片 2 的下部 [图 2-4 (b) 中的位置 A]。这时弧柱轴线位置与钢质的金属栅片 2 垂直，弧电流在弧柱周围的磁力线途经磁阻最小的路径构成回路，因此电弧在金属栅片的开口处不断上移，直到电弧抵达金属栅片上方 [图 2-4 (b) 中的位置 B] 才停止移动。这样，原有的一个电弧被多个金属栅片分割为多个串联的短电弧。当电弧被金属栅片分割为多个串联的短电弧之后，弧电流再次经过零值时所有短电弧几乎同时熄灭。电弧暂时熄灭之后，低压外电路再增加到每个短电弧的恢复电压远小于近阴极效应所要求的 150~250V 击穿电压。因此，在多个串联短弧形成以后，当弧电流再一次过零值，电弧便会彻底熄灭。

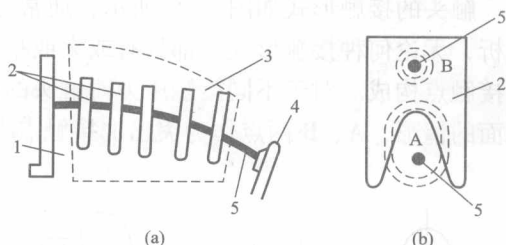


图 2-4 利用金属灭弧栅加速熄弧

(a) 灭弧栅示意图；(b) 灭弧栅片

1—静触头；2—金属栅片；3—灭弧罩；

4—动触头；5—电弧

金属栅片是用钢板冲压制成的，为了防止金属栅片腐蚀，在其外表面镀铜。运行中金属栅片与灭弧罩在电弧高温作用下会逐渐损坏，当金属栅片和灭弧装置损伤严重时，要及时更换，否则会影响其开断能力。

第三节 电气触头的基本知识

一、概述

通过接触面传导电流的两金属导体的端接部分称为电气触头或简称触头。

根据工作情况及在电路中的作用，触头可分为以下三大类：

(1) 固定触头。采取接触连接的两金属导体的端接部分相对固定不动，如母线的连接、载流导体和设备的连接等。这类触头的作用是安全可靠地传送工作电流和短路电流，并在必要时为电气连接的装、拆提供方便。

(2) 可动触头。触头的两部分（即动触头和静触头）可以相对运动，但始终不脱离接触，如电机中的滑环与炭刷。可动触头的作用是在动、静触头相对运动的接触面之间安全可靠地通过长期工作电流和短时的短路电流。

(3) 可断触头。由静触头和可以操动的动触头两部分组成，在工作中可以分断和关合。其作用不但在关合时要安全可靠地通过长期工作电流和短时的短路电流，而且在必要时安全可靠地分断和关合电路。根据其分断和关合时所起的作用，又可分为：① 不带电流分断和关合的可断触头；② 可带负荷电流分断和关合的可断触头；③ 可带短路电流分断和关合的可断触头。显然，后两种尤其是第③种可断触头是在最困难的条件下进行工作的。