



全国高等农业院校教材

# 农村发电厂 变电站电气部分

● 王世新 主编

● 农业电气化自动化和农村电力系统及其自动化专业用

农业出版社

全国高等农业院校教材

# 农村发电厂变电站电气部分

王世新 主编

11012/22

农业电气化自动化和农村  
电力系统及其自动化专业用

农业出版社

(京)新登字060号

全国高等农业院校教材

农村发电厂变电站电气部分

王世新 主编

\* \* \*

责任编辑 陈万里

农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm16开本 12印张 270千字

1993年5月第1版 1993年5月北京第1次印刷

印数 1—1,350册 定价 3.20元

ISBN 7-109-02382-6/TM·9

## 前 言

本书是根据全国高等农业院校教材指导委员会“七五”—“八五”规划教材会议精神和“农业电气化自动化”专业的培养目标以及《农村发电厂变电站电气部分》课程的教学大纲编写的。

按照理论紧密结合实际的原则，本书主要介绍农村发电厂和农村变电站的电气部分。农村发电厂、变电站是属于小型的，它有很多与大中型发电厂变电站不同的特点和要求，本书充分地反映了这一特点和要求，以与大中型发电厂变电站相区别。根据农村电气化事业迅速发展的需要，本书吸收国内外先进技术和设备，如我国农村模式变电站、自动重合器、分段器、可控气吹开断器和10kV SF<sub>6</sub>断路器。

参加本教材编写的有：沈阳农业大学朴在林（一、五、八章），东北农学院赵玉林（六、七、九章），东北农学院王世新（绪论、二、三、四章）。全书由王世新主编，沈阳农业大学张英书教授主审。

本书在编审过程中，得到东北农学院教授吴承祜、沈阳农业大学副教授丁毓山、黑龙江省农村电气化局副局长工程师孙俊生和哈尔滨市农村电气化管理处高级工程师范珩等大力支持和帮助，提供了资料和有益的建议，张英书教授对本书全面的审阅校核付出了很大的精力，在此一并表示衷心感谢。

## 主要符号意义

$A$ —能量	$t$ —时间
$a$ —系数, 距离	$U$ —电压
$B$ —磁感应强度	$u$ —电压
$b$ —厚度	$W$ —截面系数
$C$ —电容, 比热, 系数	$X$ —电抗
$d$ —直径	$Z$ —阻抗, 综合投资
$F$ —力, 运行费	$\alpha$ —电价
$f$ —单位长度上的力	$\beta$ —系数
$H$ —高度	$L$ —跨度
$h$ —宽度	$l$ —长度
$I$ —电流	$M$ —弯矩
$i$ —电流	$m$ —质量
$J$ —经济电流密度	$N$ —年限
$K$ —系数, 当量	$n$ —台数
$P$ —有功功率	$\nu$ —密度
$Q$ —热脉冲, 无功功率	$\theta$ —温度
$R$ —电阻	$\rho$ —电阻率
$r$ —半径	$\sigma$ —应力
$S$ —视在功率, 面积	$\tau$ —时间, 温升
$T$ —时间常数	$\Phi$ —磁通

## 主要角注意义

<i>a</i> ——衰减	<i>s</i> ——水平, 实际, 偿还
<i>B</i> ——变压器	<i>t</i> ——时间, 同时
<i>b</i> ——标准, 变压器	<i>w</i> ——电网, 无功
<i>c</i> ——长期, 衬垫, 电容	<i>x</i> ——相, 形状, 线路
<i>ch</i> ——冲击	<i>xt</i> ——系统
<i>d</i> ——短路, 动稳定, 定子	<i>xh</i> ——熄弧、消弧线圈
<i>dz</i> ——等值	<i>y</i> ——允许
<i>e</i> ——额定	<i>j</i> ——极限, 接触, 经济
<i>F</i> ——发电机	<i>jd</i> ——接地
<i>f</i> ——分段, 分流, 风	<i>js</i> ——计算
<i>fz</i> ——非周期	<i>jf</i> ——介质恢复
<i>g</i> ——工作, 固有	<i>k</i> ——跨步
<i>h</i> ——电弧	<i>kd</i> ——开断
<i>hu</i> ——燃弧	<i>l</i> ——临界, 电缆, 励磁
<i>hf</i> ——恢复	<i>m</i> ——母线, 负荷增长率
<i>o</i> ——空载	<i>n</i> ——年数
<i>p</i> ——平均, 破坏	<i>z</i> ——周期, 自然, 转子
<i>q</i> ——起动, 起始, 气体	<i>zd</i> ——最大
<i>r</i> ——人, 热	<i>zx</i> ——最小
<i>rq</i> ——熔断器	<i>θ</i> ——温度
<i>rj</i> ——熔件	

# 目 录

绪 论 .....	1
第一章 发电厂、变电站电气一次设备 .....	5
第一节 开关电器的用途和分类 .....	5
第二节 交流开关电器的灭弧 .....	5
第三节 油断路器 .....	10
第四节 SF <sub>6</sub> 断路器 .....	15
第五节 真空断路器 .....	18
第六节 重合器和分段器 .....	20
第七节 隔离开关 .....	27
第八节 熔断器 .....	28
第九节 低压自动空气开关 .....	32
第十节 电流互感器 .....	34
第十一节 电压互感器 .....	39
小 结 .....	43
思考题 .....	44
第二章 发电厂、变电站电气主接线 .....	45
第一节 主接线的基本形式 .....	45
第二节 主接线的设计要求和原则 .....	50
第三节 设计主接线的原始资料和步骤 .....	52
第四节 发电厂主接线 .....	53
第五节 发电厂的厂用电接线 .....	55
第六节 变电站主接线 .....	57
第七节 主接线设计的经济计算 .....	61
小 结 .....	65
思考题 .....	66
习 题 .....	66
第三章 电气设备的发热和电动力计算 .....	69
第一节 电气设备的允许温度 .....	69
第二节 导体的长期发热计算 .....	71
第三节 导体短路时的发热计算 .....	73
第四节 导体短路时的电动力计算 .....	78
小 结 .....	82
思考题 .....	83
习 题 .....	83

<b>第四章 电气设备的选择</b> .....	84
第一节 电气设备选择的一般条件 .....	84
第二节 母线的选择 .....	86
第三节 电力电缆的选择 .....	93
第四节 高压断路器和隔离开关的选择 .....	96
第五节 高压熔断器的选择 .....	99
第六节 绝缘子的选择 .....	102
第七节 电压互感器的选择 .....	106
第八节 电流互感器的选择 .....	110
小 结 .....	115
思考题 .....	115
习 题 .....	115
<b>第五章 配电装置</b> .....	118
第一节 配电装置的分类和基本要求 .....	118
第二节 屋内配电装置 .....	119
第三节 屋外配电装置 .....	123
小 结 .....	127
思考题 .....	128
<b>第六章 保护接地装置</b> .....	129
第一节 保护接地的作用 .....	129
第二节 接地装置的接地电阻允许值 .....	132
第三节 接地装置的布置 .....	133
第四节 两线一地制系统的接地装置 .....	135
第五节 保护接零 .....	136
第六节 接地装置的计算 .....	137
小 结 .....	146
思考题 .....	146
<b>第七章 高压断路器的运行</b> .....	148
第一节 断路器的基本技术参数 .....	148
第二节 断路器的运行管理 .....	151
第三节 断路器切断小电感电流的运行状态 .....	153
第四节 断路器切断电容电流的运行状态 .....	155
小 结 .....	157
思考题 .....	158
<b>第八章 变压器运行</b> .....	159
第一节 变压器正常运行 .....	159
第二节 变压器非正常运行 .....	161
第三节 变压器经济运行 .....	163
小 结 .....	168
思考题 .....	169
习 题 .....	169



---

第九章 同步发电机运行 .....	171
第一节 同步发电机的功率调整 .....	171
第二节 发电机在冷却气体温度变化时的运行 .....	173
第三节 发电机在非规定电压下运行 .....	175
第四节 发电机在频率变动时的运行 .....	177
第五节 发电机的短时过负荷 .....	178
第六节 发电机的不对称运行 .....	179
小 结 .....	180
思考题 .....	181
主要参考文献 .....	182

# 绪 论

## 一、我国电力工业发展概况

电力工业为现代化生产提供主要动力。电力科学技术的发展和广泛应用，对我国工业和农业生产的迅速发展和人民物质生活水平的日益提高，起到了巨大作用和深远影响。

解放前，我国电力工业极端落后，年发电量仅为43亿kW·h，占世界25位。农村电力工业极少。

解放后，电力工业发展很快，在城乡建设了很多新的发电厂和变电站，采用了新的装备和技术。1988年末，全国年发电量达到5 450亿 kW·h，装机容量为1亿 kW，我国跃居世界第四电力大国。我国自己设计制造的60万 kW的大型发电机已经投入运行，并且建设了330—500kV的超高压输电线路。建国40年来，特别是党的十一届三中全会以后，我国农村电力工业和电气化事业有了很大的发展。1988年县及县以下用电量达到1 753亿 kW·h，是1949年的8 765倍，占全国总用电量的32.7%。建设了一大批具有一定生产能力的农村发电厂和变电站。农村电厂总装机容量达到1 800万 kW，年发电量471亿kW·h。35—110kV变电站有11 500座，变压器容量达到8 592万 kVA。全国农村电网已有高压线路199万km，全国有94%的乡、85%的村和77.5%的农户用上了电。农村电网已经开始采用新的装备和技术，提高了供电可靠性和经济性；并建成投运一批新型的户外式、小型化、技术先进、造价低、占地面积小的农村模式变电站。

尽管我国电力工业有长足的发展，取得了很大成就，但是，我们应该看到，我国的电力工业仍满足不了国民经济迅速发展的需要。因此，需要继续大力优先发展电力工业，要求我们努力学习和掌握电力技术，不断提高电力科学技术水平，为社会主义现代化建设和改革开放作出更大的贡献。

## 二、发电厂类型

发电厂是把各种形式的能量，如燃料的化学能、水能、风能、原子能、太阳能等转换为电能的一种特殊工厂。农村发电厂均指装机容量在数万 kW以下的小型发电厂。

根据所利用能源的种类不同，发电厂可分为：火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂、太阳能发电厂等。

由于我国有丰富的煤炭和水力资源，所以目前我国电力来源主要是火力发电厂和水力发电厂，并且也开始建设原子能发电厂。农村发电厂目前以火力发电厂和水力发电厂为主；同时也逐步开发利用其他能源发电。下面简要介绍一下火力发电厂和水力发电厂。

1.火力发电厂 火力发电厂的原料主要是煤，其次是石油和天然气。按其作用分为凝汽式汽轮发电厂和供热式汽轮发电厂两种。前者单纯发电，即一般的火力发电厂。后者既发电同时又兼供热，故又称热电厂。

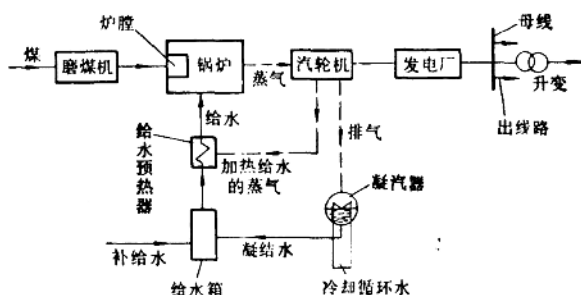


图1 凝汽式发电厂生产过程示意图

凝汽式发电厂尽量建设在燃料产地，发出的电能通过输电线路送往负荷中心，这样既经济又防止了对大城市的环境污染。

凝汽式发电厂的生产过程，如图1所示。用磨煤机将原煤磨成煤粉，由热空气带动，经喷燃器喷入锅炉膛内燃烧。把锅炉里的水变成大约 $450^{\circ}\text{C}$ 、40个大气压力的过热蒸气，并沿主蒸汽管道进入汽轮机，推动汽轮机转动，将热能变为机械能。汽轮机带动发电机旋转，又将机械能转变成电能。

从汽轮机排出的作完功的蒸气，送入凝汽器中被循环水冷却，凝结成水。再将水送至给水箱，经过给水预热器加热后送进锅炉，继续循环使用。

由汽轮机排出的蒸气含有大量余热，这些热量在冷却过程中，被冷却循环水吸收带走，全部损失掉。另外，锅炉排出烟气的热量损失也很可观，因此，这种发电厂的热效率是不高的，一般为25—30%。效率比较高的也只能达到37—40%。

为了提高凝汽式发电厂的热能利用率，热电厂是将汽轮机排出的蒸气直接送给热力用户和一个给水加热器（加热供热力用户的用水，图2）。这样就减少了进入凝汽器中的蒸气量，从而提高了热效率，热电厂的效率可达60—70%。

热电厂一般建在城镇或工业区附近。农村火电厂初建时多为凝汽式发电厂，目前正在逐步改造为热电厂。

2. 水力发电厂（站） 水力发电厂是利用河流所蕴藏的水能资源来发电。因此，它建在有水力资源的地方。根据地形、地质、水能资源特点的不同，水力发电厂有多种型式，

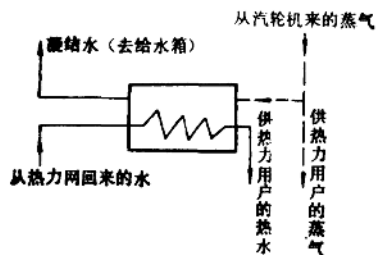


图2 给水加热器示意图

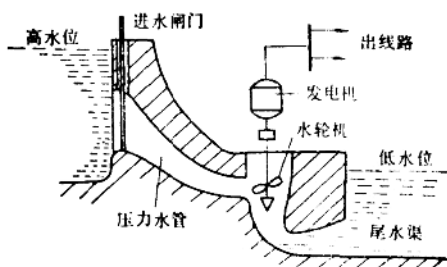


图3 水力发电厂生产过程示意图

如坝式、河床式、引水式等，但其生产过程是类同的。

图3是水力发电厂生产过程示意图。进水闸门打开后，具有高水位的水，经压力水管进入螺旋形蜗壳里，推动水轮机转子旋转，使位能变成机械能；水轮机再带动发电机转动，将机械能转变为电能。从水轮机出来的水，经过尾水管排到尾水渠或原河道。

农村水力发电站的类型有以下三种：

(1) 引水式水电站(图4)：在自然坡度比较陡的河段上游筑坝，把水位提高。再延河岸挖一条引水渠道，把水引到位于下游的水电站压力前池，形成水头。然后用压力水管把水送到电站厂房，推动水轮机旋转，带动发电机转动发出电能。

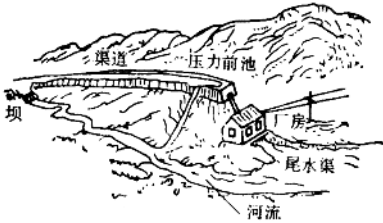


图4 引水式水电站

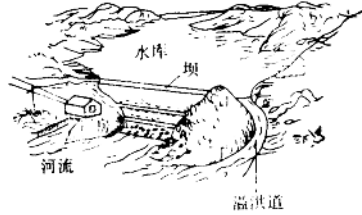


图5 坝式水电站

(2) 坝式水电站(图5)：在河流“口窄、肚大”的地方，如两山峡之间拦河筑坝，坝前面建水库，坝后建水电站厂房。水库集中了落差，水从深式进水口进入压力涵管，把水引进厂房。

水库除了集中落差外，还可调节流量，即丰水期贮水，枯水期放水发电和灌溉。

(3) 河床式水电站(图6)：在集雨面积较大的平原河道中，选择河道坡度较陡、宽度较窄的地方，拦河筑坝，抬高水位。厂房建在河床上，厂房本身就是挡水墙。

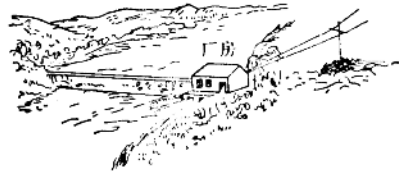


图6 河床式水电站

水力发电厂比火力发电厂有许多优点。

建设水力发电厂投资回收期短，生产过程简单，易实现全盘自动化。需要的运行维护人员少，不消耗燃料，不污染环境，还兼有防洪、灌溉、航运、养殖、旅游等综合利用的效益。水力发电机组的效率高，承受变动负荷的性能较好，故它在电力系统中运行方式较为灵活。同时，水力机组起动快，在发生事故时能迅速地发挥其后备作用。

水力发电厂的主要缺点是初投资大，建设期长。

### 三、变电站类型

按变电站在电力系统中的地位，变电站可分为：枢纽变电站、穿越变电站、终端变电站、配电变电站，如图7所示。

1. 枢纽变电站 它连接系统的高压和中压的几个部分，汇集多个大电源和大容量的联

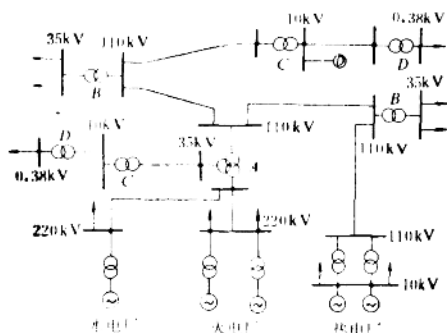


图7 电力系统中的变电站

络线，在系统中处于枢纽地位，电压等级高，变电容量大（图7A）。

2. 穿越变电站 系统有一部分功率穿过该变电站（图7B）。

3. 终端变电站 它处于输电线路末端，直接向农村、工厂企业配电变压器和高压电动机供电（图7C）。

4. 配电变电站 它直接供电给电力用户的电动机和生活照明等电器（图7D）。

#### 四、本课程的目的和任务

本课程是农业电气化自动化专业和农村电力系统及其自动化专业的专业课程之一，也是培养农村电力工程技术人才主要课程之一。本课程目的和任务如下：

通过课程讲授、课程设计和生产实习等教学环节，使学生比较全面而系统地掌握农村发电厂和变电站电气一次设备的工作原理和性能以及电气一次系统的设计和运行方面的理论知识和初步的生产实际知识；并使学生具有运用理论进行工程设计的能力。

## 第一章 发电厂、变电站电气一次设备

在发电厂和变电站中，发电机、变压器、开关电器、互感器等统称为一次设备。它们通过母线相互连接来实现接受和分配电能的作用。本章主要讲述各种开关电器和互感器的基本原理，并介绍各种类型开关电器的性能和特点，同时指出选用应考虑的基本问题。由于一次设备中的发电机、变压器在《电机学》中已经介绍过，故本章不再加以叙述。

### 第一节 开关电器的用途和分类

在电力系统中，发电机、变压器以及线路等元件，由于改变运行方式或发生故障，须将它们接入或退出时，要求可靠而灵活地进行切换操作。例如：在电路发生故障情况下，须能迅速切断故障电流，把事故限制在局部地区并使未发生故障部分继续运行，以提高电力系统运行的可靠性；在检修设备时，隔离带电部分，保证工作人员的安全等。为了完成上述操作，在电力系统中必须装设开关电器。根据开关电器的不同性能，可将其分为以下几类：

1. 低压刀闸开关、接触器、高压负荷开关等开关电器，用来在正常工作情况下开断或闭合正常工作电流。
2. 熔断器和可燃气吹开断器等开关电器，用来开断过负荷电流或短路电流。
3. 高压隔离开关，只用来在检修时隔离电源，不允许用其开断或闭合电流。
4. 自动分段器，用来在预定的记忆时间内根据选定的计数次数在无电流的瞬间自动分段故障线路。
5. 高压断路器、低压空气开关等开关电器，既用来开断或闭合正常工作电流，也用来开断或闭合过负荷电流或短路电流。

高压断路器依其采用的灭弧介质及工作原理又分为油断路器、六氟化硫（SF<sub>6</sub>）断路器、真空断路器、自动重合器、空气断路器、自产气断路器等几种型式。

### 第二节 交流开关电器的灭弧

高压开关电器在切断负荷电流或短路电流时，开关触头间隙中（以下简称弧隙）由于强电场或热游离的作用，将出现电弧电流。电弧电流的主要特征是能量集中，温度高（弧柱温度高达上万度）。如果电弧不能及时熄灭，会烧坏触头，危及电器的绝缘部分，影响电力系统的安全运行并危及人身安全。开关电器的开断性能，即指开关电器的灭弧能力。

## 一、电弧的产生和维持

电弧是有触点开关电器在切断有载电路过程中必然产生的物理现象。现以断路器为例，说明电弧产生和维持燃烧的物理过程。

断路器的触头刚分开的瞬间，距离很小，触头间的电场强度很高，阴极表面上的电子被高电场拉出来，在触头间隙中形成自由电子。同时，由于接触压力和接触面积减小，接触电阻迅速增加，使接触处剧烈发热，因而产生热电子发射。这两种电子在电场力的作用下，向阳极作加速运动，并碰撞弧隙中的中性质点，由于电子的运动速度很高，其动能大于中性质点的游离能，故使中性质点游离为正离子和自由电子。这种游离称为碰撞游离。碰撞游离的规模由于连锁反应而不断扩大，乃至弧隙中充满了定向流动的自由电子和正离子。这就是介质由绝缘状态变为导电状态所产生的物理过程。

实验证明，高电场发射电子是产生电弧的主要条件，而碰撞游离是产生电弧的主要原因。

处在高温下的介质分子和原子产生强烈的热运动，它们相互不断发生碰撞，游离出正离子和自由电子，这种游离称为热游离。因此，电弧产生以后主要由热游离来维持电弧燃烧。同时，由于弧隙温度很高，阴极表面还发生热电子发射。在热游离和热电子发射共同作用下使电弧继续炽热燃烧。

## 二、电弧中的去游离

在电弧燃烧过程中，中性介质发生游离的同时，还存在着去游离。弧隙中带电质点自身消失或者失去电荷变为中性质点的现象称为去游离。去游离有两种方式：即复合与扩散。

1. 复合 带有异性电荷的质点相遇而结合成中性质点的现象，称为复合。

(1) 空间复合：在弧隙空间内，自由电子和正离子相遇，可以直接复合成一中性质点。但由于自由电子运动速度比离子运动速度高的很多（约高1 000倍），所以电子与正离子直接复合的机会很少。复合的主要形式是间接复合，即电子碰撞中性质点时，一个电子可能先附着在中性质点上形成负离子，其速度大大减慢，然后与正离子复合，形成两个中性质点。间接复合的过程如图1—1所示。

(2) 表面复合：在金属表面进行的复合，称为表面复合。主要有以下几种形式：电子进入阳极；正离子接近阴极表面，与从阴极刚发射出的电子复合，变为中性质点；负离子接近阳极后将电子移给阳极，自身变为中性质点。

2. 扩散 电弧中的电子和正离子，从浓度高的空间向浓度低的介质周围移动的现象，称为扩散。扩散的结果使电弧中带电质点减少，有利于灭弧。电弧和周围介质的温度差及带电质点的浓度差越大，扩散的速度就越快。若把电弧拉长或用气体、液体吹弧，带走弧柱中的大量带电质点，就能加强扩散的作用。弧柱中的带电质点逸出到冷却介质中受到冷

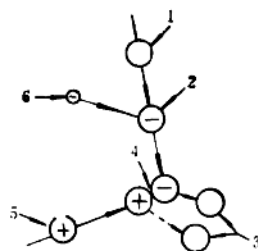


图 1—1 间接复合过程

1. 中性质点 2. 负离子 3. 中性质点  
4. 复合 5. 正离子 6. 电子

却而互相结合，成为中性质点。开关电器的主要灭弧措施即是加强去游离作用。在开断过程中使去游离作用大于游离作用，以达到灭弧的目的。

### 三、交流电弧电压和电流的波形

在交流电路中，交流电弧的电压  $U_a$  和电流  $i_a$  随时间  $t$  变化的波形如图1—2所示。交流电弧电压在半周期起始时，迅速上升到最大值  $U_{r_n}$ （燃弧电压）。电弧点燃后，电弧电压迅速下降，在电弧电流半周期的中部达到最小值，并变得比较平坦。在半周期末，电压又上升到熄弧电压  $U_{x_n}$ ，随之很快下降到零。由于在电流过零前后很短的时间内，电弧电阻变得相当大，电弧电流很小，所以波形偏离了正弦形。在电弧电流过零以前，其波形比正弦波形下降的快，而在零点附近变化缓慢，电弧电流几乎接近于零，这种现象称为电弧电流的“零休”。

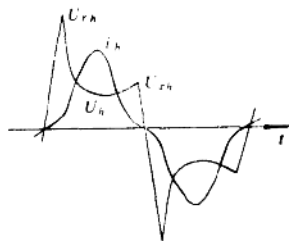


图1—2 交流电弧电压与电流波形

### 四、交流电弧的熄灭

交流电弧电流每半周期要过零一次，在过零前后很短的时间内，还出现“零休”，此时弧隙的输入能量为零或趋近于零，电弧的温度下降，弧隙将从导体逐渐变成介质，这给熄灭交流电弧创造了有利条件。交流开关电器的灭弧装置在这期间的主要任务是充分利用这个有利条件，用外能或自能强迫冷却电弧，使去游离大于游离，将电弧迅速熄灭，切断电路。

从每次电弧电流过零时刻开始，弧隙中都发生两个作用相反而又有关的过程，一个是弧隙中的介质强度恢复过程，另一个是弧隙上电压恢复过程。电弧熄灭与否取决于这两种恢复过程的速度。

1. 弧隙介质强度恢复过程 弧隙的介质强度即弧隙的绝缘能力，也就是弧隙能承受的不致引起重燃的外加电压。

电弧电流过零时，弧隙有一定的介质强度，并随着弧隙温度的不断降低而继续上升，逐渐恢复到正常的绝缘状态。使弧隙能承受电压作用而不发生重燃的过程称介质强度恢复过程。

(1) 弧柱区介质强度恢复过程：电弧电流过零前，电弧处在炽热燃烧阶段，热游离很强，电弧电阻很小。当电流接近自然过零时，电流很小，弧隙输入能量减小，散失能量增加，弧隙温度逐渐降低，游离减弱，去游离增强，弧隙电阻增大，并达到很高的数值。当电流自然过零时，弧隙输入的能量为零，弧隙散失的能量进一步增加，使其温度继续下降，去游离继续加强，弧隙电阻继续上升并达到相当高的数值，为弧隙从导体状态转变为介质状态创造条件。实践表明，虽然电流过零时弧隙温度有很大程度的下降，但由于电流过零的速度很快，电弧热惯性的作用使热游离仍然存在，因此弧隙具有一定的电导性，被称为剩余电导。在弧隙两端电压作用下，弧隙中仍有能量输入。如果此时加在弧隙上的电压足够高，使弧隙输入能量大于散失能量，则使弧隙温度升高，热游离又得到加强，弧隙电阻迅速减小，电弧重新剧烈燃烧，这就是电弧的重燃。这种重燃是由于输入弧隙的能量



大于其散失能量而引起的,称为热击穿,此阶段称热击穿阶段。热击穿阶段的弧隙介质强度为弧隙在该阶段每一时刻所能承受的外加电压,在该电压作用下,弧隙输入能量等于散失能量。如果此时加在弧隙上的电压相当小甚至为零,则弧隙温度继续下降,弧隙电阻继续增大至无穷,此时热游离已基本停止,电弧熄灭,弧隙中的带电质点转变为中性介质。当加在弧隙上的电压超过此时弧隙所能承受的电压时,则会引起弧隙重新击穿,从而使电弧重燃。由此而引起的重燃称为电击穿,电流过零后的这一阶段称为电击穿阶段。

电弧熄灭过程一般都要经过热击穿和电击穿两个阶段,两者有不同的特征。热击穿阶段的特征是:弧隙处于导通状态,具有一定数值的电阻,有剩余电流通过,弧隙仍得到能量。电击穿阶段的特征是:弧隙电阻值趋于无穷大,弧隙呈介电状态,但温度较高,弧隙的耐压强度比常温介质低的多,所以容易被击穿。

(2) 近阴极区介质强度恢复过程:实验证明,在电弧电流过零后 $0.1\sim 1\mu\text{s}$ 时间内,阴极附近的介质强度突然升高,这种现象称为近阴极效应。如图1—3所示的短弧隙,在电流过零前,左电极为正,右电极为负,弧隙间充满着电子和正离子。在电流过零之后,弧隙电极的极性发生了变化,左变负,右变正,弧隙中电子运动方向随之改变。电子向正电极方向运动,而质量比电子大得多的正离子几乎未动。因此,在阴极附近形成了不导电的正电荷空间,阻碍阴极发射电子,出现了一定的介质强度。如果此时加在弧隙上的电压低于此时的介质强度,则弧隙中不再有电流流过,因而电弧不再产生。这个介质强度值约为 $150\sim 250\text{V}$ ,称起始介质强度(在冷电极的情况下,起始介质强度约为 $250\text{V}$ ,而在较热电极的情况下约为 $150\text{V}$ )。产生近阴极效应之后,介质强度的增长速度变慢,主要取决于电弧的冷却条件。

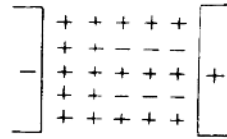


图1—3 电流过零后电荷沿短弧隙的分布

近阴极效应在熄灭低压短弧中得到了广泛应用。在交流低压开关开断过程中,把电弧引入用钢片制成的灭弧栅中,将其分割成一串短弧,这样就出现了对应数目的阴极。当电流过零后,每个短弧阴极附近都立刻形成 $150\sim 250\text{V}$ 的介质强度,如其总和大于加在触头间的电压,即可将电弧熄灭。

近阴极效应对几万伏以上的高压断路器的灭弧不起多大作用,因起始介质强度比加在弧隙上的高电压低的多。

2. 弧隙电压恢复过程 交流电弧熄灭时,加在弧隙上的电压是从熄弧电压开始逐渐变化到电源电压,这个过程称为电压恢复过程。在电压恢复过程中,加在弧隙上的电压称为恢复电压。

恢复电压由暂态恢复电压和工频恢复电压两部分组成。暂态恢复电压是电弧熄灭后出现在弧隙上的暂态电压,它可能是周期性的,也可能是非周期性的(图1—4)。主要是由电路参数(集中的或分布的电感、电容和电阻等)、电弧参数(电弧电压、剩余电导等)和工频恢复电压的大小所决定。工频恢复电压是暂态恢复电压消失后弧隙上出现的电压,即恢复电压的稳态值。

电压恢复过程仅在几十或几百 $\mu\text{s}$ 内完成,此期间正是决定电弧能否熄灭的关键时刻,因此加在弧隙上恢复电压的幅值和波形,对弧隙的工作状态具有很大的影响。如果恢复电