

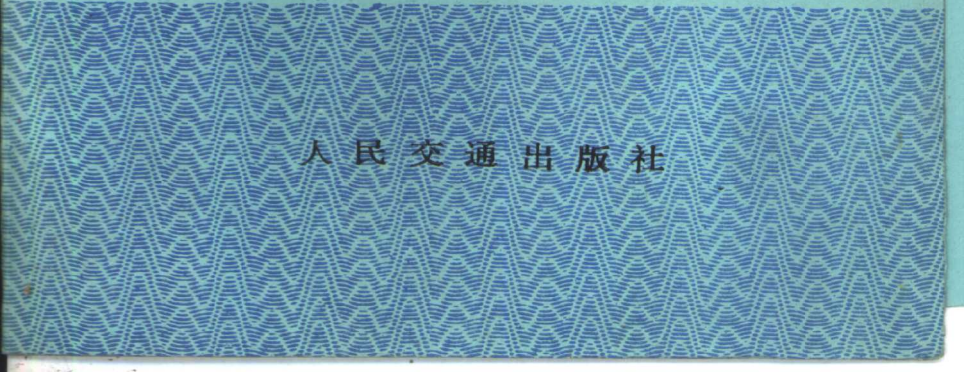
海河港口工人技术培训教材



港区供变电值班电工

上册

青岛港务局 编



人民交通出版社

海河港口工人技术培训教材

港区供变电值班电工

Gangqu Gongbiandian Zhiban Diangong

上 册

青岛港务局 编

人 民 交 通 出 版 社

海河港口工人技术培训教材

港区供变电值班电工

上 册

青岛港务局 编

人民交通出版社出版

本 社 发 行

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 10.875 字数: 237千

1983年9月 第1版

1983年9月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—2,100册 定价: 1.10元

内 容 提 要

为了适应工人技术培训需要，交通部教育局组织上海、天津、青岛、湛江港务局和大连港装卸联合公司编写了这套海河港口工人技术培训教材，共十三种，供装卸机械司机、机械修理工、电工、充电工等学习使用。

本书重点讲述60千伏以下港区变电所（站）主要设备的用途、结构、性能、运行维护知识。全书分上下两册。本册为上册，内容包括高低压电器、港区供电、变电所（站）的变配电装置、一次电路图。本册由青岛港务局杨家全主编，其中第一章由刘基坛编写，全书由大连港装卸联合公司刘洪发、冯焕新、梁其禹审核。

依据交通部《海河港口专业工种技术等级标准》，本书为一至三级变电所（站）值班电工必读，亦可供中级（四至六）值班电工学习参考。

目 录

第一章 高压电器	1
第一节 电弧的形成及灭弧.....	1
第二节 电气触头.....	7
第三节 高压断路器.....	13
第四节 高压断路器的操作机构.....	26
第五节 高压油断路器常见故障和维护.....	40
第六节 高压隔离开关和负荷开关及其传动机构.....	42
第七节 高压熔断器及选择.....	48
第八节 高压避雷器.....	54
第九节 电抗器.....	59
练习题.....	61
第二章 低压电器	63
第一节 低压熔断器.....	64
第二节 自动开关.....	106
第三节 接触器.....	146
第四节 刀开关、控制按钮、组合开关.....	174
第五节 万能转换开关.....	205
第六节 电磁锁、击穿保险器、位置指示器、信 号灯、光字牌.....	220
第七节 电铃、蜂鸣器及其它.....	231
练习题.....	239
第三章 港区供电系统	243
第一节 概述.....	243

第二节	港区电力系统的电压等级·····	248
第三节	电力系统的中性点运行方式·····	253
第四节	港区码头供电方式·····	259
第五节	总降压变电站的一次接线·····	266
第六节	码头变电所的一次接线·····	276
练习题	·····	283
第四章	变电所的变配电装置·····	284
第一节	高低压成套配电装置·····	285
第二节	屋内变配电装置·····	314
第三节	屋外变配电装置·····	329
练习题	·····	342

第一章 高 压 电 器

本章介绍电弧的形成及灭弧、电气触头的形式及特点，并介绍了高压断路器及其操作机构、隔离开关和负荷开关，还有高压熔断器、高压避雷器、电抗器等。

第一节 电弧的形成及灭弧

我们知道，在常温下，金属导体内有大量的自由电子，因此，只要导体两端加上电压，带负电的自由电子在电场的作用下，就要向正极运动，形成电流，起到导电作用。气体则与金属不同，在常温下，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，所以不能起导电作用。

电弧之所以能形成导电通道，是由于电弧的弧柱中出现大量的自由电子，大量自由电子的定向运动就形成电弧。现将自由电子的产生及电弧的形成分析如下。

一、弧柱中的自由电子

(一) 电弧的电极发射出大量的自由电子

一般说来，阴极区发射的电子，对电弧的形成起决定性的作用。阴极表面发射电子有以下两种方式。

1. 热电子发射

高温的阴极表面能够向四周空间发射电子。当开关触头分离时，触头间的接触压力及接触面积逐渐减小，接触电阻

增大，接触处剧烈发热，使阴极表面温度升高而发射电子。阴极表面发射电子的多少与阴极的材料及表面的温度有关。

2. 强电场发射电子

如果阴极表面的电场强度很高，那么金属内部的电子在电场作用下也能被拉出来，即所谓强电场发射。这种金属表面发射电子的数量决定于阴极表面的电场强度。当电场强度超过 $10^5 \sim 10^6$ 伏/厘米时，即使金属表面温度不高，电子发射量也显著增加。

(二) 弧柱区的气体游离产生大量的电子和离子

在弧隙内，气体游离产生大量的自由电子。气体的游离有两种方式：电场游离和热游离。

1. 电场游离

阴极表面发射出的电子和弧隙中原有的少数电子，在电场作用下，高速向着阳极运动，并在运动过程中不断地与其他中性质点（如气体的原子、分子）发生碰撞。若运动着的自由电子具有足够大的动能，则能从中性质点中打出一个或几个电子，使中性质点游离，形成自由电子和正离子，这种现象称为气体的碰撞游离。新形成的自由电子也以高速向阳极运动，当碰撞其它中性质点时，又将产生碰撞游离，这样连续发生碰撞，其结果使介质中带电质点大量增加，弧隙中具有很大的电导，在外加电场的作用下，介质被击穿，引起电弧。

2. 热游离

静止气体中的各种质点如分子、原子、自由电子等，都处在不断的运动中，这些质点的热运动的速度大小不同，且无一定的方向。当气体温度升高，使质点的动能超过一定值时，也可产生碰撞游离，这种现象称为气体热游离。

二、电弧的形成

当断路器的触头刚分开时，由于触头间的距离很小，其间电压即使只有几百伏甚至几十伏，但电场强度却很大。在阴极表面，由于热电子发射或强电场发射产生的自由电子，在这个强电场的作用下，逐渐加速运动，在弧隙间不断与气体原子碰撞，使中性原子产生碰撞游离，因此弧隙中自由电子的数量不断增加。同时，电子与原子互相碰撞，电子的动能传递给气体原子，使弧隙中气体温度显著增加。当温度超过几千度时，弧隙中热游离成为游离的主要因素。在两种游离的作用下，触头间有大量自由电子，于是原来绝缘的气体间隙就变成了导电的通道，使介质击穿而形成电弧。

三、灭弧原理及方法

(一)去游离过程及影响去游离的因素

在电弧中，介质产生游离的同时，还产生相反的过程即“去游离过程”。去游离可使电弧中自由电子和正离子减少。这里应该指出：若游离作用大于去游离作用，则电弧电流增大；如果两者相等，则电弧电流维持不变；若去游离作用大于游离作用，则电弧电流减小，使电弧熄灭。因此，要熄灭电弧，就必须设法加强去游离，并使去游离作用大于游离作用。

去游离过程包括复合和扩散两种方式。

1. 复合

复合是正负离子互相接触时，交换多余的电荷，成为中性质点。由于电子运动的速度约为离子运动的速度的一千倍，所以电子与正离子直接复合的可能性很小。在气体内，复合是借助中性质点进行的。首先是电子碰撞中性质点时，

附着在中性质点上而形成负离子，然后再与正离子结合成中性质点。

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，复合的或然率就愈大。所以在交流电弧中，在加于电弧两端的交流电压接近于零值的瞬间，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（图 1-1）。



1-1 扩散现象

弧隙中发生扩散的主要原因是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的浓度相差很大。扩散使得弧柱内带电质点减少，有助于电弧的熄灭。

在高压断路器中，常采用高压气体吹拂电弧，高压气流可以从弧柱中带走大量自由电子和正离子，这种现象也可以叫做扩散。

电弧的熄灭取决于电弧中游离和去游离的过程，加强去游离，削弱游离就能使电弧熄灭。采用有效措施冷却电弧，可以减弱热游离，并使带电质点运动速度减小，加强复合去游离。

电弧中去游离的强度，在很大程度上决定于电弧燃烧所在介质的特性，如气体介质的导热性能、电绝缘强度、热游离温度和热容量等。若上述各项数值越大，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，水蒸汽、二氧化碳和空气次之。国产新型六氟化硫高压断路器，

采用 SF_6 气体作为灭弧介质，它具有很高的介电强度和优良的灭弧性能，使断路器的断流容量增大，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很大。气体的压力愈大，单位体积中的质点数量就愈多，质点间的距离就愈小，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。

(二) 灭弧方法

在现代的开关电器中，根据以上所述影响去游离的因素，有不同的灭弧方法。

1. 利用气体吹动电弧灭弧

这种方法可分为纵吹和横吹两种。这是利用压缩空气注入弧道，使电弧受到强烈冷却和拉长，而将电弧熄灭。

图1-2(a)为纵向吹动电弧。当触头分开后，触头间的电弧受到压缩空气的猛烈吹拂，使弧柱强烈冷却，触头间的介质绝缘强度得到迅速恢复，从而熄灭电弧。

图1-2(b)为横向吹动电弧。在气流横向吹动下，使电弧的长度和表面积增大，加强了冷却和去游离作用，灭弧效果更好。

图1-2(c)为有绝缘灭弧栅的横向吹动电弧。电弧在横向吹动作用下，进入绝缘灭弧栅，大大增加了电弧长度和表面积，同时，使电弧与固体介质紧密接触，电弧的去游离过程更加强烈，灭弧效果更好。

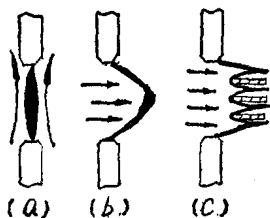


图1-2 气体吹动

2. 采用多断口灭弧

高压断路器的触头常制成每相有两个或多个串联的断口，如图1-3所示。每相断口数目的增多，将一个电弧分割成多个串联电弧，每个电弧电压降低，电弧易于熄灭，因而提高了灭弧性能。

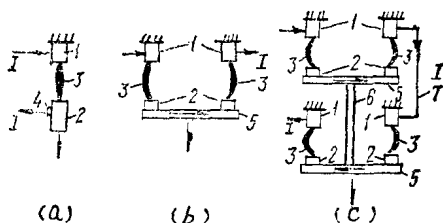


图1-3 一相内有几个断开点时的触头示意图

(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

3. 利用固体介质的狭缝或狭沟灭弧

电弧与固体介质紧密接触时，固体介质在电弧高温的作用下分解而产生气体，狭缝或狭沟中的气体受热膨胀压力增大，同时附着在固体介质表面的带电质点强烈复合，使去游离的效果显著。

4. 将长电弧分成几个短电弧灭弧

这种方法常用于低压开关电器中，在触头间发生的电弧，进入与电弧垂直放置的金属片栅内，将一个长电弧分成一串短电弧。在交流电路中，当电流过零值时，所有短弧同时熄灭。

若用于直流电路，则利用短电弧上的阴极和阳极电压降灭弧。适当选择金属栅片的数目，使所有短电弧的阴极和阳极电压降的总和大于触头上的外加电压时，电弧就迅速熄灭。

第二节 电 气 触 头

一、电气触头的分类

在母线结构、电器和电机中，都利用导体互相接触而实现导电，这些接触导电的地方称为电气触头。电气触头按工作方式可分为三大类：

1.固定接触头是指被连接的导体之间不能相对移动。

如母线的连接，载流导体与电机、电器的连接等。

2.滑动触头是指在工作中被连接的导体总是保持接触，但容许一个接触面沿着另一个接触面滑动，如电机中的滑环与碳刷的接触等。

3.可断触头是指在工作中两部分导体可以断开和闭合，这种触头用于开关电器中，使电路接通或断开。

二、对电气触头的基本要求

1.结构可靠；

2.具有良好的导电性能和要求；

3.通过规定的电流时，发热不超过允许温升；

4.通过短路电流时，具有足够的电动稳定性和热稳定度。

三、电气触头的接触电阻

电气触头的质量，在很大程度上决定于触头的接触电阻值，因为触头在通过电流时的发热和接触电阻值有关。下面分析影响接触电阻的因素。

1.触头的材料和压力 无论怎样精细加工的触头表面，从微观上看总是凹凸不平的，当两触头重迭放置而不加外力

时，触头仅在一点接触。若加压力，则凸出部分 a 点被压平，出现小接触面。将压力加大，则原接触的小面积加大，并增加了一个新的接触面。由于触头的接触面积增大，故接触电阻 r_i 减小，所以接触面上所受的压力是影响触头接触电阻的重要因素。此外触头材料的电阻系数和抗压强度也是影响接触电阻的一个因素，电阻系数愈小，抗压强度愈小，接触电阻愈小。

2.触头接触面的氧化 用铜、铝、钢等材料制成的触头，其表面在空气中很容易氧化，氧化而生成的氧化物薄膜具有很大的电阻，使触头的接触电阻比未氧化时增大许多倍。为了减轻触头的氧化，通常将接触面镀以金属保护层（如银、锡），或在接缝处涂漆密封，或将触头浸入油内。可断触头在分合过程中，使其触头之间有少许相对滑动可以擦去氧化层，减小接触电阻，这个作用称为触头的自洁作用。

3.触头的接触形式 触头的接触形式可分为面接触，线接触和点接触三种。面接触需要较大的压力才能使接触良好，它多用于固定连接和电流较大之处。线接触即使在压力不大时，其接触处也可得到较高的压强，它被广泛用作各种开关电器的触头。点接触在很小的压力下，在其接触处都可得到较高的压强，由于只有一点接触，接触电阻较大，只能用于电流较小的场合。

影响接触电阻大小的除上述因素之外，还有运行中的因素。例如当短路电流通过时，触头上还要受到使触头分开的电动力。从图 1-4 可明显看出，在接头接触处，两触头的电流方向相反，电动力使触头之间的压力减小，因而接触电阻增大，触头将剧烈发热，易造成触头熔焊，使开关电器在事故状况下不能断开，这是绝对不允许的。在可断触头的闭合过程中，如果电路中存在短路，当触头互相接近时，其间产

生电弧，可能使触头表面熔化，所以大容量的断路器一般均制成具有通过正常工作电流的主触头和切断电弧用的辅助触头。辅助触头具有良好的耐弧性能，且便于检修和更换。

四、常用触头的结构形式

1. 可断触头的结构形式及其特点 现代断路器常用的可断触头有对接式触头，插入式触头、指形触头等多种。

1) 对接式触头的结构如图1-4、图1-5所示，这种结构在旧型的35千伏多油断路器中应用较多。对接式触头的特点是：

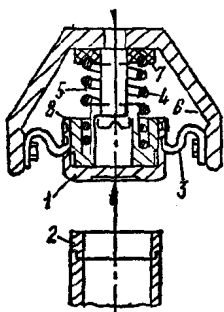


图1-4 平面对接式触头

1-静触头；2-动触头；3-软连接；
4-弹簧；5-导电杆；6-支座；7-塑料罩；8-黄铜座

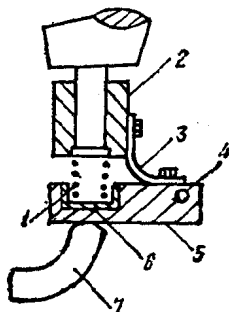


图1-5 对接式触头

1-弹簧；2-导电部分；3-软连接；
4-导杆；5-静触头；6-塑料罩，
7-动触头

(1) 结构简单，比插座式触头的断开速度快；

(2) 接触面不稳定，随压力的变化而改变较大，在分、合闸过程中无自洁作用，动触头与静触头刚接触时容易产生弹跳，需增大接触压力，其压力一般为几十公斤甚至超过100公斤；

(3) 正常导电与燃弧部位没有分开，触头容易损坏；

(4)为使触头的压力不因触头磨损和行程改变而有很大的变化,当触头闭合后,还应继续前进10~15毫米(超行程);

(5)为使黄铜座内腔的油不对触头的运动产生阻碍作用,在黄铜座上开有孔,以便油流通。

2)插座式触头的结构如图1-6、图1-7所示。国产少油断路器的触头广泛使用这种结构,种类虽多,但大同小异。插座式触头有以下优点:

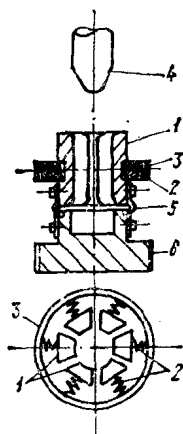


图1-6 有挠性连接的插座式触头
1-静触头片; 2-弹簧; 3-环; 4-动触头; 5-挠性连接条; 6-触头底座

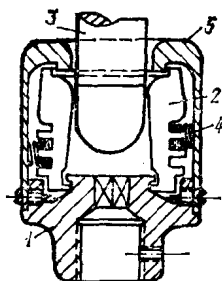


图1-7 无挠性连接的插座式触头
1-触座; 2-静触头; 3-动触头; 4-弹簧; 5-保护环

(1)在分、合闸过程中,电弧燃烧在动触头与静触头接触的端部,而合闸状态的接触面却在动触头四周与触指的内侧,并有自洁作用,因而接触电阻稳定;

(2)短路时电动稳定度高,因为触指间以及触指与触头之间的电流是同方向的,电动力是吸力,因而加大了触指和动触头之间的压力;

(3) 由于每片触指上通过的电流较小，每片的接触压力只有几公斤；

(4) 触头压力的方向和动触头的运动方向互相垂直，所以触头闭合时弹跳小；

(5) 由于触指端部焊有高熔点合金或装有保护环，触头磨损小，切断短路电流时金属蒸气少。

插座式触头的主要缺点是结构复杂，制造困难，额定电流不能过大，过大了需增加触头弹簧力，会导致操作机构的合闸功增大。此外分断时间较长。

3) 指形触头在少油断路器和隔离开关中应用较多，其结构如图 1-8 所示。指形触头的特点是：

(1) 电动稳定性较高，不受额定电流大小的限制；

(2) 分、合闸过程中，接触面有自洁作用；

(3) 由于不易与灭弧室相配合，工作表面易被电弧烧坏。

因此，这类触头一般只用作主触头，而不用作灭弧触头。SN4-10G、SN4-20G 型少油断路器的主触头就采用这种结构，它的每个触头由 8~18 片触指并联组成，额定电流可达 5000~12000 安。

2. 不可分断触头的结构形式主要用作中间触头，其结构

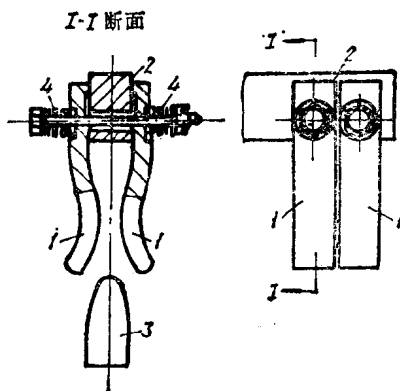


图1-8 少油断路器的指形触头

1-接触指；2-载流导体；3-楔形触头；4-弹簧