

变 电 站 配 电 室
运 行 维 护 管 理

内蒙古人民出版社

前 言

本书根据三十多年变电站和工矿企业配电室电气设备运行推广经验,并结合各地区的实际,比较全面、系统地论述了电气设备安全、经济运行和维护技术以及经营管理。可作为变电、配电运行检修维护工人的培训教材和电业专业技术人员参考材料。内容共分十四章。第一章~第三章为高压电气设备的通用部分;第四章~第十三章按设备种类分述;第十四章为运行维护的管理。

本书在编著过程中,得到了有关部门的大力支持。初稿自一九七七年以来,先后在北京、上海、沈阳、广州等地组织了讨论,有些章节曾在《农村电气化》、《华北电力》等刊物上发表过,较为广泛地征求了供电部门和用户单位的意见,反复进行了修改,并经华北电业管理局高级工程师周达身同志,专业工程师王天佑等同志的审阅,张新民同志的校订,在此一并致谢。

由于本人经验及水平所限,书中难免存在错误,恳切希望读者批评指正。

陈芝涛

一九八三年十月一日于北京

目 录

前言

第一章 电气设备固定式载流接头

的运行与维护..... 1

第一节 接头的运行温度和额定电流 3

第二节 接头在运行中的检查 9

第三节 接头的故障和产生的原因 17

第四节 接头的安装、验收和维护 35

第二章 绝缘子的运行与维护 61

第一节 绝缘子的沿面放电现象 64

第二节 绝缘子的测量 70

第三节 绝缘子污秽闪络事故的分析及防止对策 78

第四节 绝缘子运行中损伤的原因及检查 和处理措施 103

第三章 注油设备中绝缘油的运行与维护..... 114

第一节 油位、油色的检查..... 115

第二节 绝缘油添加抗氧化剂和再生..... 123

第三节。变压器隔膜密封式油枕..... 126

第四节 注油设备渗漏油缺陷的检查与处理 134

第五节 油面位置的标准及其控制和补油方法 140

第六节 绝缘油的管理 145

第七节 气相色谱法分析变压器的故障 149

第四章 变压器的运行与维护..... 157

第一节	变压器的巡视检查	158
第二节	变压器的响声	161
第三节	变压器的温度温升和负荷	163
第四节	变压器的运行电压及电压调整	169
第五节	变压器的冷却装置和保护装置	179
第六节	变压器结线及并列运行和经济运行	202
第七节	变压器检修项目及检修、安装后的验收	212
第八节	变压器铁芯多点接地与一点接地故障 的原因及处理方法	215
第九节	预防变压器事故的技术措施	220
第五章	断路器的运行与维护	230
第一节	断路器的运行与操作检查	230
第二节	断路器一般故障及其原因	233
第三节	断路器检修周期与检修项目及调整数据	239
第四节	断路器常见缺陷的原因和处理方法	249
第五节	断路器检修中间及竣工验收	266
第六节	断路器的事故预防措施	268
第六章	隔离开关的运行与维护	277
第一节	隔离开关运行中的一般检查	279
第二节	隔离开关的操作	280
第三节	活动触头的工作条件及基本要求	283
第四节	隔离开关的故障原因及防止措施	291
第五节	隔离开关的验收与调整	302
第六节	GW6—220型单柱隔离开关的动作原理 及运行操作中的注意事项	312
第七章	导线、电力电缆的运行与维护	314
第一节	导线和电力电缆的一般检查	315
第二节	导线与电力电缆的允许温度和载流量	318

第三节	导线的安全距离.....	335
第四节	导线和电力电缆的维护.....	342
第五节	导线和电力电缆的验收.....	351
第八章	电压互感器和电流互感器的运行与维护.....	360
第一节	正常运行中的一般检查.....	365
第二节	电流互感器一次电流过载的监视.....	366
第三节	电流互感器二次开路故障.....	369
第四节	电压互感器保险及保险熔断故障与线路故障的判断.....	374
第五节	电流互感器的选择、安装与验收.....	380
第六节	电压互感器、电流互感器故障的原因和预防措施.....	384
第九章	直流电源设备的运行与维护.....	389
第一节	蓄电池、硅整流器和充电机组的一般检查.....	389
第二节	蓄电池电压、电流、电解液、极板和温度.....	392
第三节	蓄电池的故障和处理.....	400
第四节	硅整流器的使用.....	404
第五节	直流电机的运行与维护.....	413
第六节	直流系统的绝缘检查与故障查找方法.....	422
第十章	继电保护、仪表、二次回路等设备的运行与维护.....	433
第一节	继电保护、测量与计量仪表、二次回路等设备的检查维护.....	433
第二节	二次回路改动的要求.....	451
第三节	二次回路中的迂回回路及防止措施.....	460
第四节	中间继电器线圈断线原因及防止措施.....	467
第十一章	过电压及其保护装置的运行与检查.....	471

第一节	过电压保护装置的一般检查	472
第二节	变电站的直击雷保护和进线保护	476
第三节	主要电气设备的过电压保护装置及其接线	493
第四节	避雷器的运输、安装和试验	502
第五节	电力系统的内过电压及消除措施	507
第六节	消弧线圈的运行	520
第十二章	无功补偿设备的运行与维护及补偿电容量 的选择	530
第一节	调相机的运行与维护	533
第二节	并联电容器的运行与维护	548
第三节	补偿电容器容量的选择	562
第十三章	电气设备倒闸操作和防止错误操作 的措施	567
第一节	倒闸操作的程序和规定	568
第二节	倒闸操作的管理	584
第三节	典型操作实例	587
第四节	防止电气误操作的技术措施	596
第五节	错误操作事故实例	619
第十四章	变电站运行维护的管理	629
第一节	负荷的管理	629
第二节	巡视检查工作的管理	635
第三节	设备缺陷和异常现象的管理	637
第四节	运行分析工作及其管理	639
第五节	电力损失的管理	644
第六节	设备评级工作及其管理	648
第七节	设备维护、检修和管理	664
第八节	运行维护工作年历	677
第九节	规程、制度、资料、报表的管理	687

第一章 电气设备固定式载流 接头的运行与维护

用连接件和紧固件（如压板、压管、过渡板、螺栓、螺母等）将两个设备（如导线与导线、导线与电器、电器与电器）连接端头互相连接起来，形成的固定式接触部件，通称固定式接头。固定式接头在运行中长期通过电流时，称固定式载流接头（以下简称接头）。

接头的种类很多。按形式和结构，一般可分为六种：

1. T形接头

T形接头分螺栓型、压接型、钳接型三种。在压接型中又分，可卸式和不可卸式两种。

2. 铜铝过渡接头

铜铝过渡接头，分螺栓型、压接型、过渡板型三种。

3. 电器接头

电器接头，分螺栓型、压接型、螺纹型三种。在螺栓型中又分 0° 单孔、双孔和 45° 单孔、双孔两种；在压接型中，又分 0° 双孔和 45° 双孔两种。

4. 导线搭接接头

导线搭接接头，分螺栓型、压接型、绑接型三种。

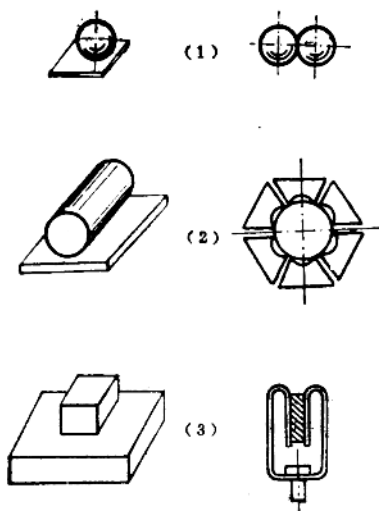
5. 伸缩接头

伸缩接头分压接型和焊接型两种。

6. 组合导线接头

组合导线接头，一般均采用压接型。

按接头的接触面外形的几何形状，可分为三类，如图 1-1 所示。



(图1-1接触形式)

(1) 点接触；(2) 线接触；(3) 面接触

接头是电气设备和载流回路中一个重要部件，无论在正常情况或异常情况，它均应安全可靠地工作，否则，就有可能引起事故，甚至大面积停电，造成重大经济损失，因此，接头在运行中必须满足下列基本要求：

(1) 具有足够的机械强度，以及抵抗外界腐蚀的能

力；

(2) 工作性能可靠，接触电阻稳定；

(3) 当长期通过额定电流时，温升不超过一定的数值；

(4) 当通过短路电流时，有足够的热稳定性和动稳定性。

第一节 接头的运行温度和额定电流

(一) 接头运行中的最大允许温度

电气设备在工作中都会发热的，例如运行中的变压器、同步调相机等，如果用手摸这些设备的外壳，就会感觉到其温度比周围环境温度要高一些。接头也不例外，由于接头本身具有一定的电阻（材料电阻和接触电阻）值，所以电流通过接头就产生能量损耗，即电能的一部分转换成热能，使接头发热、温度升高，热量的一部分向周围介质散失出去。接头温度升高又促使接头接触电阻增加，造成恶性循环。根据试验，接头的接触电阻 R_c 与温度的关系式如下：

$$R_c = R_0 \left[1 + \frac{2}{3} \alpha \theta \right]$$

式中

R_0 —0℃时的接触电阻；

α —接触金属的温度系数；

θ —发热温度（℃）。

为了保证接头在使用年限内安全、可靠的工作，必须限

制各种材料接头的发热温度，使其不超过规定的数值，这个温度称为最大允许发热温度，简称最大允许温度。

接头的各种材料，在长期工作时最大允许温度和温升（允许温升为允许温度与环境温度之差）的有关规定见表1-1。

表1-1 接头在空气中长期工作时的最大允许
发热温度和温升

序号	名 称	最大允许发热温度 (°C)	在环境温度为40°C 时的允许温升(°C)
1	(1)铜、铝（包括紫铜带）无 镀层	80	40
	(2)铜、铝镀（搪锡）	90	50
	(3)铜镀银	105	65
	(4)铜镀银、厚度大于50微米 或镀镍片	120	(80)
	(5)铜编织线	75	35
2	与绝缘材料接触的金属部分， 当绝缘材料等级为：		
	Y	85	45
	A	100	60
	E	110	70
	B、F、H和C	110	70

注：表中括号内数值，作为推荐使用值。

从表中看出，对于不同材料，不同工作部位，允许的工作温度是不相同的。为什么这样规定呢？以下介绍几个主要依据。

1. 金属材料的允许温度

金属材料的允许温度决定于材料的机械强度是否发生变化及变化的程度。温度过高，材料会软化，机械强度明显下降，例如铜在不同温度下的抗拉强度如图1-2所示。由图可见，铜在长期工作时，当温度大于100℃以上时，它的机械

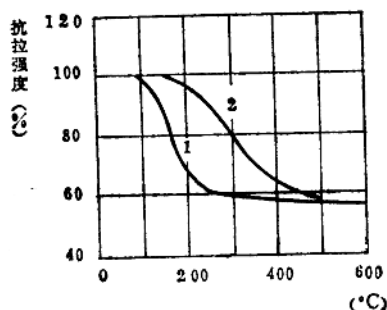


图1-2 铜的抗拉强度与温度的关系

1—长期工作；2—短时工作

强度就有明显的下降，在短时发热情况下，300℃左右时机械强度才有明显下降。因此，铜在长期工作和短时工作时的允许温度，就必须考虑到上述情况。

2. 接触点的允许温度

接触点的允许温度一般要求要比同样材料制做的其它零件的允许温度低一些。这主要是考虑到接触材料与周围介质（空气、水分、油和污物等）的化学作用，会在接触表面生成金属氧化物等。这些氧化物多是半导体，导电率很小，如表1-2所示。

表1-2 金属及其氧化物电阻率的比较

金 属	电阻率 (欧·厘米)	金 属 氧 化 物	电阻率 (欧·厘米)
Ag	1.6×10^{-6}	Ag ₂ O	1×10^2
Cu	1.75×10^{-6}	Cu ₂ O	5×10^{10}
Al	2.9×10^{-6}	Al ₂ O ₃	1×10^{12}

氧化物使接触电阻大为增加，当接触点温度过高时，接触电阻剧烈增加，如表 1 - 3 所示。

表1-3 接触电阻氧化时间与电阻增加倍数的关系

序 号	接 触 材 料	在70°C下氧化时间(以日计)	接触电阻增加的倍数
1	铜—铜	36	15000
2	铜—黄铜	38	1765
3	铜—铝	41	1290
4	铝—铝	54	70
5	铝—黄铜	58	100
6	黄铜—黄铜	46	820

因此，接触点的允许温度要规定得比同样材料导体的允许温度低一些。

3. 绝缘材料的允许温度

接头在电器中的安装位置多数均靠近有机绝缘。如接头温度过高，会使绝缘材料逐渐变脆、老化，材料的机械强度与绝缘性能也随之下降。以A级绝缘材料为例，在一定温度范围内，每增8~10℃，材料的使用寿命将缩短一半。电瓷温度过高，击穿强度明显下降。图 1 - 3 的电瓷的击穿电位

梯度与温度的关系。电瓷温度过高，还可能引起电瓷爆炸事故。

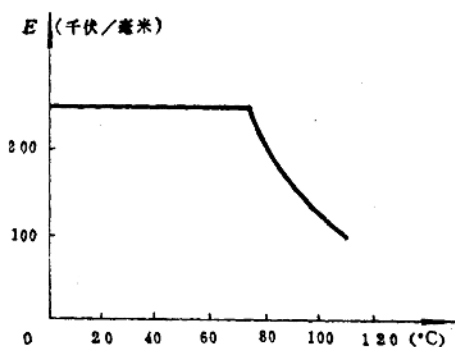


图1-3 电瓷击穿电位梯度与温度的关系

(二) 接头的额定电流

接头的温度除与接触电阻、散热条件等有关外，还与通过的电流值有关。当大电流通过时，温度会迅速上升。根据焦耳-楞次定律，发热量公式：

$$Q = 0.24 I^2 R t$$

式中

Q ——电流在电阻上产生的热量（卡）；

I ——通过接头的电流（安）；

R ——接头的接触电阻（欧）；

t ——电流通过的时间（秒）；

0.24——热功当量。

从上式看出，当电阻值和电流通过的时间不变时，接头发热量与电流的平方成正比。通过的电流越大，发热量越高，接触电阻显著增大。严重时，将引起接头故障。因此，任何接头长期通过电流都应有一定限值，这个限值称为额定电流。

根据实际运行试验，铜-铜固定接头的电流密度 j_{cn} ，可由下式求得：

$$j_{cn} = [0.31 - 1.05 \times 10^{-4} (I - 200)] \cdot (\text{安/毫米}^2)$$
式中 I ——通过接头的电流（安）。

上式适用于200到2000安的情况。当通过接头的电流小于200安时，电流密度为0.3安/毫米²；当通过接头的电流大于2000安时，电流密度变为0.12安/毫米²。

当固定接头为其它材料时，电流密度 j_q 可按下列式求得：

$$j_q = j_{cu} \sqrt{\frac{r}{r_{cu}}}$$

式中 r_{cu} 、 r ——分别为铜和其它材料的电导率。

电流密度与电器的工作条件、接触表面状态、接触压力和连接螺栓的数目有关。当用螺栓连接时，接触面上单位面积的压力，可按表1-4选用。连接螺栓允许的最大工作力可按表1-5选用。

表1-4 固定接头处，单位接触面所选用的压力

接触连接材料	铜(搪锡)	铜、黄铜、青铜(未搪锡)	铝	铜(搪锡)	铜(未搪锡)
压力 千克力/厘米 ²	50~100	60~120	250	100~150	600

表1-5

螺栓允许的最大工作力

螺 栓 规 格		M8	M10	M12	M16
最大工作力 (千克力)	材料A ₃	420	675	975	1960
	材料A ₄	450	740	1065	2070

接头的额定电流与周围环境温度有关，如以35℃为标准，当周围环境温度超过35℃时，它的额定电流 I_e 应当减少，减少的数值可按下式近似计算：

$$I_e = I_e' \cdot \sqrt{\frac{\theta_e - \theta_0}{\theta_e - 35}}$$

式中 I_e ——当周围环境温度为 θ_0 ℃时的连续允许电流(安)；

I_e' ——当周围环境温度为35℃时的额定电流(安)；

θ_e ——接头的允许温度(℃)；

θ_0 ——周围环境温度超过35℃时的温度。

第二节 接头在运行中的检查

接头在运行中应定期进行检查。检查的目的是了解接头的运行状况，及时发现和消除隐患，确保接头的安全运行。

(一) 巡视中的检查

1. 检查的主要内容

(1) 接头应无严重过载、过热和因过热而引起的金属熔化现象；

(2) 接头及其零件，应无断裂和严重腐蚀情况；

(3) 接头不应承受过大的拉力或弯曲力；

(4) 电器接头运行中，应不振动。

2. 检查方法

(1) 根据天气变化检查接头。在降雪或结冰天气里，如果导线上积雪或结冰瘤，而在接头上没有积雪或冰瘤，同时有水蒸气流，这表示接头已发热，将落在接头上的雪片融化，变为水蒸气和水滴。下雨的时候，如果导线是湿的，接头是干的，并在接头上面有水蒸气流，证明接头已发热。在晴天，如果接头上面有热气流流动，证明接头已严重过热，接触面已经恶化。在夜间熄灯时，如接头有火花或发红，证明接头接触情况已变坏。

(2) 根据接头金属颜色和气味检查接头。接头过热后，接头金属会因过热而变色，例如铝金属，过热后，颜色变白；铜金属，过热后，颜色变为浅红色。如果接头外部表面涂有相位漆，接头过热后，相位漆的颜色会变深，漆皮裂开或脱皮。在室内还能闻到烤糊的漆味。如果接头外部表面有绝缘油，接头过热后，在室内会有烤糊的油味。严重时，还可能产生油烟。

(3) 根据变色漆或示温蜡片的变化来检查接头。涂在接头上的变色漆，按变色温度分两种。一种是在常温下为黄色，35℃及以上为深黄色，45℃及以上为橙色，60℃及以上为橙赤色；另一种是80℃及以上为赤色，100℃及以上为褐赤色。运行人员可根据变色漆的颜色变化来检查接头的运行状况。

粘贴在接头上的示温蜡片，按熔点温度分60℃和80℃两种。当温度达到60℃或80℃时，示温蜡片熔化。运行人员可

根据示温蜡片熔化情况检查接头的运行状况。但是，在示温蜡片熔化前，蜡片还有一个软化阶段，示温蜡片软化后，其外形发生变化，这种外形变化现象，往往是接头故障的预兆。因此，运行人员必须重视示温蜡片软化变形现象的检查。

示温蜡片软化变形现象的检查内容：

①示温蜡片表面是否有光亮。粘贴在接头上的示温蜡片，如使用时间较长，温度也不高时，示温蜡片颜色暗淡，并有灰尘。如果接头温度升高使示温蜡片软化时，示温蜡片表面即出现光亮。换句话说，示温蜡片有光亮时，表示接头温度升高。

②示温蜡片外形是否有变化。图 1-4 (1) 是一个外形完整的示温蜡片。当接头温度升高使示温蜡片软化时，示温蜡片即变形。示温蜡片变形与粘贴位置有关。例如接头安装呈水平位置时，粘贴在接头上部表面的示温蜡片软化后，外形即由图 1-4 (1) 变为图 1-4 (2)，呈半圆球形状。如果示温蜡片是粘贴在接头下部表面，示温蜡片软化后，外形即变为图 1-4 (3) 的形状。如果示温蜡片是粘贴在垂直安装的接头表面上，示温蜡片软化后，底部软蜡向下流动，见图 1-4 (4)。

其次，还应检查示温蜡片粘贴的位置是否有移动现象。粘贴在垂直安装接头上的示温蜡片，当示温蜡片从底部熔化时，蜡液便沿着导体表面向下流动，未熔化部分随着流动的蜡液向下滑动。当示温蜡片滑动到一定位置，离开热点时，熔蜡凝固，此时，示温蜡片便停止滑动，于是就出现了示温蜡片粘贴位置的移动。示温蜡片位置发生移动，证明接头温