



# 带电

# 作业

柏克寒 主编

水利电力出版社

### 内 容 提 要

书中对带电作业原理、绝缘材料、工具结构与试验、操作方法以及安全等方面作了较详细的阐述,以期通过这些问题的介绍,使读者建立带电作业基本概念,较全面地理解带电作业的有关问题。

此外,作者还收集了在线路、变电、测试方面的作业工具和作业项目,介绍了操作步骤,并附有作业图片。全书共分五章和九个附录。

本书的主要读者对象是供电部门、电厂从事带电作业的工人和检修、运行人员,也可供有关技术人员、生产管理人员参考。

### 带 电 作 业

柏克尊 主编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

(根据电力工业出版社原稿重印)

850×1168毫米 32开本 10.75印张 282千字 1插页

1981年10月第一版

1985年四月第一次印刷 1984年11月北京第一次印刷

印数·0001—9340册 定价1.90元

书号 15143·5493

## 前 言

在我国推广带电作业已有二十多年的历史。我们从总结二十多年来带电作业的经验教训入手，编写了《带电作业》一书。

书中对带电作业原理、绝缘材料、工具结构与试验、操作方法以及安全等方面作了较详细的阐述，以期通过这些问题的介绍，使读者建立起带电作业基本概念，较全面地理解带电作业有关问题。

此外，我们还搜集了在线路、变电、测试方面的作业工具和作业项目，介绍了操作步骤，并附有作业图片，以期使读者理解其施工方法，达到既广泛交流经验，又促进带电作业向深度和广度发展的目的。

本书的主要对象是供电部门、电厂从事带电作业的工人和检修、运行人员，也可供技术人员、生产管理干部参考。本书对送变电基建施工单位和厂矿企业的工人和技术人员也有一定的参考价值。

本书第一章、第五章第二节及附录二、七、八由广西壮族自治区电力工业局李如虎执笔；第四章第一、二、三、五、六、九节由广州供电局党应伟、薛磊执笔；第三章由武汉供电局余松立、王传英、詹必川执笔；其余各章、节及附录均由柏克寒执笔。全书由柏克寒主编，李如虎参加了统稿和定稿工作。

本书在编写过程中，得到了不少单位如鞍山、沈阳、旅大、锦州、丹东、成都、兰州、西安、宝鸡、天水、郑州、咸阳、运城、上海、合肥、赣州等电业局（供电局）和陕西省电业管理局中心试验所的热情帮助，提供了作业照片和资料。东北电业管理局技术改进局东光烈同志审查了全书，电力工业部电力科学研究

院高压所同志审查了第一、四章及有关附录，天津电业局高压供电所周宝柱同志审查了水冲洗部分，在此一并表示感谢。

由于我们的水平有限，错误和缺点在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1981年2月于北京

---

# 目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 带电作业基本原理	3
第一节 间接作业	3
第二节 等电位作业	6
第三节 沿耐张绝缘子串进入强电场的作业—— 等电位作业的一种特殊方法	13
第四节 分相接地作业	15
第五节 对设备进行全绝缘作业	18
第二章 带电作业常用绝缘材料	20
第一节 带电作业对绝缘材料的要求	20
第二节 绝缘材料的分类	24
第三节 绝缘层压制品	24
第四节 塑料	28
第五节 绝缘粘结和涂料	39
第六节 绝缘绳索	43
第七节 其他	45
第三章 带电作业常用工具	48
第一节 均压服	48
第二节 绝缘梯架	51
第三节 操作杆及其工作部件	56
第四节 卡具	59
第五节 承力工具	61
第六节 绝缘遮盖工具	68
第七节 断接引工具	69

第八节	清扫工具	71
第九节	多用枪(射绳、断线、打孔、断接引)	74
第十节	断线工具	75
第十一节	液压绝缘斗臂车	78
<b>第四章</b>	<b>带电作业安全技术</b>	<b>80</b>
第一节	过电压的概念	80
第二节	空气的绝缘强度	85
第三节	带电作业最小安全距离(间隙)的确定	90
第四节	保护间隙	93
第五节	间接带电作业静电感应的问题	97
第六节	绝缘工具最短有效绝缘长度的确定	97
第七节	泄漏电流问题	98
第八节	带电作业工具的试验	99
第九节	工具的保管	104
第十节	水冲洗的安全措施	105
第十一节	带电爆炸压接	109
第十二节	气象条件与安全的关系	122
第十三节	带电作业的组织措施	122
<b>第五章</b>	<b>带电作业实例选编</b>	<b>124</b>
第一节	线路	124
<b>甲、杆塔</b>		<b>124</b>
一、	更换220千伏线路整体铁塔	124
二、	220千伏线路铁塔整体加高	127
三、	扩大220千伏线路铁塔头部间隙	129
四、	升高220千伏线路铁塔塔头	131
五、	拉大110千伏线路Ⅱ型杆根开	135
六、	更换110千伏线路大转角Ⅱ型水泥杆	136
七、	更换110千伏线路Ⅱ型下节直线水泥杆	139
八、	提高110千伏线路水泥杆	142
九、	加高110千伏线路Ⅱ型直线杆塔头	144
十、	110千伏线路档距中加立水泥杆	146

十一、35千伏线路II型转角杆移位	148
<b>乙、地线</b>	151
一、220千伏线路单地线改为双地线	151
二、220千伏线路地线更换	152
三、110千伏线路升压为220千伏时地线的更换	158
四、35千伏线路升压为110千伏时地线的施工	161
五、35千伏线路V形地线架设	164
<b>丙、导线</b>	166
一、220千伏导线移位	166
二、220千伏线路直线压接管预绞丝爆压补强	168
三、220千伏线路导线不良压接管更换	169
四、220千伏线路大跨越导线地面遥控涂油	175
五、110千伏线路多档导线更换	177
六、用地线轮换代替三相导线运行来更换110千伏线路导线	179
七、110千伏线路导线开断重接	183
八、110千伏线路升压为220千伏线路时带电移位	185
九、导线爆炸压接和补修	188
<b>丁、横担</b>	194
一、220千伏线路带拉线单杆铁横担改为瓷横担	194
二、110千伏线路II型耐张杆和换位终端杆铁横担加长	198
三、110千伏线路耐张铁塔横担加长	202
四、110千伏线路II型直线杆水泥横担升高	203
五、110千伏线路上字型直线杆横担更换	206
六、35千伏线路直线杆木横担换成铁横担	207
七、35千伏线路水泥单杆耐张双木横担更换	208
八、35千伏线路耐张单杆双木横担换为铁横担	209
九、35千伏线路鸟骨型木横担更换	210
十、35千伏线路鸟骨型横担换为瓷横担	211
十一、10千伏配电线路直线横担更换	212
<b>戊、绝缘子</b>	212
一、沿绝缘子串进入强电场更换单片绝缘子	212
二、220千伏线路耐张单串绝缘子更换	214
三、220千伏线路直线单片绝缘子更换之一	215

四、220千伏线路直线单片绝缘子更换之二 .....	216
五、220千伏线路直线单片绝缘子更换之三 .....	217
六、220千伏线路直线V形串单片绝缘子更换 .....	218
七、110千伏线路升压为220千伏线路时直线串增加绝缘子 .....	219
八、110千伏线路升压为220千伏线路时耐张串增加绝缘子 .....	220
九、110千伏线路耐张整串(或单片)绝缘子更换 .....	220
十、110千伏线路耐张双串单片绝缘子更换 .....	221
十一、110千伏线路直线单片绝缘子更换 .....	222
十二、110千伏线路上字型直线杆绝缘子更换 .....	223
十三、35千伏线路耐张绝缘子更换 .....	224
十四、35千伏线路直线悬垂绝缘子串更换 .....	225
十五、10千伏线路耐张绝缘子更换 .....	225
十六、10千伏线路转角杆针式绝缘子(或横担)更换 .....	226
十七、10千伏线路直线杆针式绝缘子(或横担)更换 .....	228
<b>己、特殊作业</b> .....	229
一、跨越 .....	229
二、断、接引 .....	233
三、水冲洗 .....	236
四、雨天带电作业 .....	241
五、拉线更换 .....	245
<b>第二节 变电</b> .....	245
一、母线单片或整串绝缘子更换 .....	245
二、10千伏汇流排支柱绝缘子更换 .....	246
三、阻波器更换 .....	247
四、户外开关设备短接 .....	248
五、套管加油 .....	250
<b>第三节 测试</b> .....	251
一、绝缘子检测 .....	251
二、用 $\gamma$ 射线探测压接管内部钢芯断股 .....	254
三、用红外测温仪测量电气接头温升 .....	258
四、用激光法测量变压器绕组温度 .....	262
<b>第四节 330千伏输变电带电作业</b> .....	263
<b>附录一 220千伏耐张绝缘子串正常电位分布和被短接</b>	



	部分绝缘子后的电位分布 .....	266
附录二	操作波放电电压和工频放电电压对比试验 .....	267
附录三	220千伏圆弧形保护间隙放电特性试验 .....	271
附录四	××110千伏输电线路升压为220千伏运行后的 感电问题 .....	272
附录五	防火导流均压服研制总结报告 .....	278
附录六	部分绝缘材料电性能试验数据介绍 .....	300
附录七	绝缘操作杆结构、工艺及试验方法的探讨 .....	304
附录八	带电作业时力的估算 .....	313
附录九	带电水冲洗试验第一阶段报告 .....	321

## 绪 论

带电作业是在运行的电气设备上进行检修和改造的新技术。二十多年来的实践证明，这一新的检修方法与停电检修比较，具有下述优点。

### 一、保证了不间断供电

过去，电气设备发生故障，哪怕是坏了一片绝缘子，也要停电更换，一大片用户就得停止生产，严重影响国民经济计划的完成。带电作业这一新技术出现后，发现设备缺陷可及时处理，保证了对用户不间断供电。仅据原湘中、广州、武汉、南宁供电局（公司）两年的不完全统计，带电作业就达6000次，多供电51.78万度。

### 二、加强了检修计划性

由于停电检修与用户用电有矛盾，不能经常停电进行检修且每次停电只能有很短的时间。因此，每次检修设备缺陷多，集中劳力多，造成检修杂乱，甚至对安全带来隐患。推行带电作业这一新技术后，不受时间限制，可充分做好一切准备工作。从而提高了检修工作的计划性，保证了检修质量，更有效地保证操作人员和设备安全。

### 三、节省了检修时间

要安全地进行带电作业，要求操作人员必须有熟练的技术；工具必须在安全的前提下轻巧多用；施工方法必须大家心中有数。因此，每次作业都能迅速完成任务。如更换一片220千伏线路的耐张绝缘子只要20多分钟；更换220千伏线路直线V形串单片绝缘子只要几分钟就可以完成。与停电检修比较，既减轻了劳动强度，又大大节省了检修时间。

#### 四、给简化设备创造了条件

带电作业能在运行的电气设备上检修，就可保证对用户的不间断供电。这样，对一般用户就没有必要考虑双回路供电，节约了基建投资。同时也避免了因停电造成的倒闸操作和不合理的电网运行方式。

# 第一章 带电作业基本原理

从目前情况看，带电作业的操作方式有：间接作业、等电位作业（包括沿绝缘子串进入强电场的作业），分相接地作业及全绝缘作业等几种。按作业人员是否直接接触导体来分，基本上可分为间接和直接两大类。等电位作业、绝缘子串上作业、分相作业和人体全绝缘的作业，都属于直接作业的范围。

在进行带电作业时，不管使用哪种作业方式，都必须知道它的基本原理，才能安全地完成任任务。因此，本章先介绍带电作业的基本方式和原理。

## 第一节 间 接 作 业

间接作业就是作业人员不直接接触带电部分，对它保持一定的安全距离，而用各种绝缘工具（包括绝缘绳索）进行的作业。全部作业过程中人处于地电位，与带电部分保持一定的安全距离。由于作业人员始终处于与大地相同的零电位，所以间接作业又叫做地电位（或零电位）作业。国外称为距离作业。

根据上述定义，水冲洗和作业人员站在绝缘梯（台）上，用操作杆进行的作业也属于间接作业。但站在绝缘梯（台）上的间接作业人员处于带电体和地之间，这样人体对带电体和地将分别存在一电容。由于该电容的耦合作用，人体具有一定的电位。这个电位将高于地电位而低于带电体的电位，因此作业时应注意。

我们知道，交流电路中电压、电流和阻抗满足欧姆定律关系。即

$$I = \frac{U}{Z} \text{ (安)} \quad (1-1)$$

式中  $U$ 、 $I$  ——交流电压和交流电流值；

$Z$ ——交流电路的阻抗。

$$Z = \sqrt{R^2 + x^2} = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} \text{ (欧)} \quad (1-2)$$

其中  $R$ ——电阻；

$x$ ——电抗，与电阻在角度上相差 $90^\circ$ ，如图1-1；

$x_L$ ——电感电抗，简称感抗；

$x_C$ ——电容电抗，简称容抗。

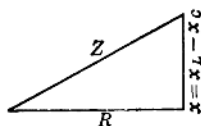


图 1-1 阻抗图

由此可见，间接作业时沿绝缘工具流经人体的电流（称为泄漏电流）与设备的最高电压成正比，而与绝缘工具、人体串联回路的总阻抗成反比。如果忽略串联回路的电抗，同时人体的电阻与绝缘工具

的电阻相比极小，流经人体的泄漏电流主要决定于工具绝缘电阻的大小。

绝缘电阻包括体积电阻和表面电阻。对于如操作杆、绝缘绳索这样的细长绝缘体，绝缘电阻主要是指表面电阻。显然，绝缘工具越长表面的绝缘电阻越大。但必须指出，它并不是成比例地增加。同时还与绝缘工具表面状况有关，如果表面脏污，特别是有含盐份的污物，又在潮湿的条件下使用，绝缘电阻将降低很多，很容易造成沿表面放电。故在制作绝缘工具时，表面要作良好的绝缘处理；使用绝缘工具前，必须用干毛巾擦干净，都是为了提高表面电阻，防止沿面放电。

所以，只要按各种电压选取不同有效绝缘长度的绝缘工具，且对绝缘工具精心制作，很好地爱护，并定期试验合格，那末，通过绝缘工具流经人体的泄漏电流将是极微小的，以致人体毫无感觉。这就是间接作业时，人为什么可以通过绝缘工具接触带电设备的原理。

间接作业时作业人员有时会发生麻电甚至于触电的情况，这不外乎两种情况：一是绝缘工具有效绝缘长度不够或者表面受潮脏污，绝缘电阻下降所造成。另一种情况就是作业人员穿绝缘

鞋，双手又离开杆塔形成静电感应所造成。这个问题在本书第四章中还要专题讨论。

根据间接作业定义，其作业方式基本上有：

### 一、升

在6~35千伏针式绝缘子或瓷横担的线路带电作业时，将顶相导线或三相三根导线同时升高，使其脱离绝缘子，以便更换绝缘子、横担或电杆。在变电站内，将设备短接退出后，引线和短接线也用升高的方法使其对人体保持足够的安全距离。

### 二、降

在35千伏及以上输电线路的直线杆塔上，往往用绝缘滑车组将导线悬挂后降低，使其完全脱离绝缘子串，以便整串清扫或更换绝缘子、横担和电杆。

### 三、吊

更换35千伏及以上输电线路的直线悬式绝缘子时，将导线用吊线杆吊住后不降低，用取瓶器更换单片或整串绝缘子。

### 四、拉

将导线、引线或跳线用绝缘绳或滑车组向外拉开以增大相间距离，或加大对作业人员的安全距离。

### 五、紧

更换耐张绝缘子时，需将导线用绝缘拉板（或拉杆，但均需配紧线丝杆或液压装置）、绝缘滑车组、扁带紧线器等收紧导线的机具将导线收紧。以承受导线拉力，使绝缘子串松弛，以便更换整串或其中一片绝缘子。作业时须配以线夹卡具、横担卡具或球头、碗头卡具，托、吊、叉瓶器等工具。

### 六、其他

仅使用操作杆就能完成的作业，如用操作杆短接开关设备、悬式绝缘子零值检测、水冲洗、套管加油等。

间接作业的操作人员应经专门训练，操作熟练；所用工具必须经过试验并合格；人身与带电体的安全距离以及绝缘工具（包括绳索）的最短有效绝缘长度应满足表1-1和表1-2的要求。作业

**表 1-1 人身与带电体间的安全距离**

电压等级 (千伏)	安全距离 (米)	电压等级 (千伏)	安全距离 (米)
10及以下	0.40	154	1.40
35(20~44)	0.60	220	1.80
60	0.70	330	2.60
110	1.00		

**表 1-2 绝缘工具、绳索最短有效绝缘长度**

电压等级 (千伏)	操作杆 有效长度 (米)	工具、绳索 有效长度 (米)	电压等级 (千伏)	操作杆 有效长度 (米)	工具、绳索 有效长度 (米)
10及以下	0.70	0.40	154	1.70	1.40
35(20~44)	0.90	0.60	220	2.10	1.80
60	1.00	0.70	330	3.00	3.00
110	1.30	1.00			

时还应严加监护，以确保安全。

## 第二节 等 电 位 作 业

等电位作业就是作业人员借助于各种绝缘工具对地绝缘后，直接接触带电体进行的作业。这时人体与带电体间的电位差等于零，即等（同）电位。在国外叫徒手作业。由于作业人员与导体等电位直接进行操作，所以工作方便，操作灵活，而且能解决某些其他作业方法所不能做的作业项目，因此等电位作业在带电作业中得到了广泛的应用。

### 一、等电位作业的原理及防护

在人们的思想中，好象电是绝对不能摸的，一摸就要触电死

亡，这只是问题的一个方面。另一方面，只要我们掌握了电的规律，就可以直接接触带电体而人体毫无损伤。因为使人体有麻电感觉以致死亡，不在于人体所处电位的高低，而取决于流经人体电流的大小。当然触电后通过人体电流的大小是由很多因素决定的。如接触电压的高低，人体电阻的大小，触电的方式（单相触电、两相触电或是跨步电压触电），触电时间的长短，触电者的生理状态等。

根据有关资料，使人体有各种不同感觉以致死亡的稳态电流值为：

0.5毫安左右	开始有感觉
大于0.6~1.5毫安	麻刺
大于2~3毫安	强烈麻刺疼痛
大于5~7毫安	肌肉痉挛（抽筋）
大于8~10毫安	剧痛，并难以自己脱离电源
大于20~25毫安	身体迅速麻痹，呼吸困难，自己不能脱离电源
大于50~80毫安	呼吸麻痹，心脏开始颤动
大于90~100毫安	心脏麻痹，呼吸停止

根据欧姆定律的道理，没有电位差就没有电流。等电位作业就是在人体与导体电位相等的情况下进行作业的，从理论上来说，通过人体的电流等于零。所以等电位作业是安全的，小鸟能够站在高压导线上而不会触电，就是这个道理。

在等电位作业时是不是就完全没有电流通过人体呢？也不是的。我们知道，作业人员在等电位前对导线和地都存在着电容，等电位后人体对大地和对其他相导线间也存在着电容。所以等电位作业人员无论是刚接触高压导线瞬间，或是接触之后，都有电容电流通过人体。因此，在高压设备上等电位作业必须采取分流人体电容电流的有效措施。同时，作业人员接近和接触高压导线时，还受高压电场的作用，使人产生不舒服的感觉，所以在接近高压电场作业，特别是等电位作业时还必须采取屏蔽电场的有效



措施。均压服的使用有效地解决了分流人体电容电流和屏蔽高压电场的作用。

根据欧姆定律，均压服工作原理如下（见图1-2）。在电压 $U$ 作用下，通过并联电阻 $R_1$ 、 $R_2$ 的电流 $I_1$ 、 $I_2$ 分别为：

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}。取 \frac{I_1}{I_2} 则有：$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (1-3)$$

可见，两个电阻并联，电流将按电阻的大小成反比例分配。

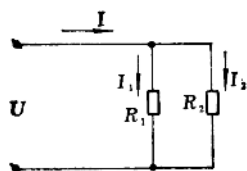


图 1-2 并联回路

作业人员穿上全套均压服后，相当于人体和均压服并联（图1-2），而人体的电阻大，合格的均压服电阻小，所以绝大部分电流流经均压服，而流经人体的电流极小，使人体无感觉。例如取人体总的电阻为1500欧<sup>①</sup>，均压服的电阻10欧，这

时流经人体的电流只是流经均压服电流的1/150。

为了说明均压服屏蔽电场的作用，下面先谈谈电场和法拉第原理。

我们在炉子周围，虽然没有接触炉子，也会感觉到炉子的热力，这是因为炉子的周围存在着热场。我们虽然看不到热场，但是通过温度能感觉到它的存在。和这种情况相似，在带电体周围存在电场。人在接近高压设备或者等电位时，在没有屏蔽的脸部会感觉到汗毛的蠕动，好象有风吹一样，这就是带电作业人员所熟悉的“吹风感”，这是由于强电场力的作用引起的。任何带电体周围一定存在着电场。电压越高，电场强度越大；电压低，电场强度就小。只是电压高时人可以感觉到电场的存在，电压低时人感觉不到，但不能说电场不存在。

<sup>①</sup> 此数值取自原水利电力部1977年编制的《电力设备接地设计技术规程》(SDJ8-76试行)修订说明第11条。