

供电中级工培训教材

带电作业

东北电业管理局 教材编审委员会
供电中级工培训
辽宁省职工教育教材编审委员会

工人出版社

编著者：方 年 安 刘 国 扬
刘 士 一
审稿者：太史瑞昌
责任编辑：张 宗 源 滕 驥

东电供电中级工培训教材编委会

主 任：张 风 逸
副主任：胡 恩 喜 刘 宗 祥
编 委：范 克 文 郭 索 容
郭 嘉 毅 冀 升 山
高 莉

供电中级工培训教材
带 电 作 业

东北电管局供电中级工培训教材编委会
辽宁省职工教育教材编审委员会
工人出版社出版（北京安外六铺炕）
沈阳图书服务部发行
沈阳六〇六印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：20.375 字数：433千字
1986年8月第1版 1986年8月第1次印刷
印数：1—25,180册
统一书号：15007·27 定价：3.50 元

前 言

为适应电力工业中级工培训的需要,供电中级工培训教材和读者见面了。这套教材是根据水利电力部指示,由东北电业管理局供电中级工培训教材编审委员会组织东北电管局机关、供电企业、学校的高级工程师、工程师、讲师编写校核、审定,由辽宁省职工教育教材编审委员会编辑、发行,工人出版社出版。全套教材包括:《数学》、《无机化学》、《有机化学》、《工程力学》、《机械制图》、《电工基础》、《电子技术基础》、《电气设备》、《变压器》、《高电压技术》、《继电保护自动装置》、《电气仪表》、《分析化学》、《绝缘油及监督》、《送电线路电气及机械计算》、《调相机》、《配电设备》、《高压并联电容器》、《带电作业》等共二十种,供不同专业、工种选用。

这套教材适用于供电系统各主要技术工种、用电单位和企业电工、农村电工;部分教材也适用于水火电厂、地方热电厂、企业自备电厂以及电力建设单位相应的技术工种;亦可作为有关技工学校、职业学校的参考教材。同时,可供从事电气运行、检修、安装的各级技术工人自学。

带电作业是一门发展中的边缘学科,我国各地区有许多具体做法一时还难以统一,理论认识上也还有待深化。本教材在编写中力求博采众家之长,结合国内外近期的信息和较公认的理论加以叙述,同时也尽量照顾各地区的习惯做法和用语。

由于有关标准、规程和规定也都处于不断充实、完善之

中，因而教材中提供的数据仅供参考，具体应用时应以国家最新颁发的有关规定为准。

《带电作业》由锦州电业局工程师方年安主编，大连电业局刘国扬及鞍山电业局刘士一参编，由东北电业管理局工程师太史瑞昌审阅、校订。在编写过程中，得到了有关部门领导和同志们的大力支持，在此致以衷心感谢。由于时间仓促和我们的水平有限，书中不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

东北电业管理局 教材编审委员会
供电中级工培训

辽宁省职工教育教材编审委员会

一九八六年八月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 电的基本知识

第一章 简单直流电路	(6)
§1.1.1 物质结构的电子理论	(6)
§1.1.2 电路的基本概念	(8)
§1.1.3 电阻电路的简单计算	(17)
第二章 静电场及磁场	(34)
§1.2.1 静电场	(34)
§1.2.2 电容和电容量	(43)
§1.2.3 磁场	(53)
第三章 简单交流电路	(62)
§1.3.1 正弦交流电路的基本概念	(62)
§1.3.2 交流电路的阻抗及运算	(68)
§1.3.3 三相正弦交流电路	(80)
§1.3.4 电路中的过渡过程	(88)
第四章 过电压的概念	(97)
§1.4.1 大气过电压	(98)
§1.4.2 内过电压	(103)
§1.4.3 绝缘配合	(106)

第二篇 有关力学的基本知识

第一章 静力学	(109)
§ 2.1.1 基本概念与物体的受力分析.....	(109)
§ 2.1.2 平面汇交力系.....	(124)
§ 2.1.3 平面一般力系的平衡条件.....	(131)
§ 2.1.4 摩擦及重心.....	(143)
第二章 材料力学知识	(159)
§ 2.2.1 内力与应力.....	(159)
§ 2.2.2 拉伸与压缩.....	(164)
§ 2.2.3 剪切与挤压.....	(171)
§ 2.2.4 弯曲.....	(177)
§ 2.2.5 扭转.....	(192)
第三章 导线应力计算	(196)
§ 2.3.1 柔索的计算.....	(196)
§ 2.3.2 导线的比载.....	(199)
§ 2.3.3 直线瓶串上的荷重.....	(202)
§ 2.3.4 耐张瓶串的荷重.....	(204)
§ 2.3.5 导线兼有集中荷载的计算.....	(209)
§ 2.3.6 过牵引计算.....	(214)

第三篇 绝缘材料及金属材料的基本知识

第一章 常用绝缘材料	(219)
§ 3.1.1 绝缘材料的介电性能.....	(219)
§ 3.1.2 绝缘材料的机械性能.....	(228)
§ 3.1.3 绝缘材料的其它性能.....	(230)
§ 3.1.4 绝缘材料的分类.....	(231)
§ 3.1.5 绝缘层压制品.....	(232)

§ 3·1·6	塑料·····	(243)
§ 3·1·7	绝缘材料的粘接和涂料·····	(248)
§ 3·1·8	绝缘绳索·····	(253)
第二章	常用金属材料·····	(264)
§ 3·2·1	金属材料的性能·····	(265)
§ 3·2·2	黑色金属及其合金·····	(267)
§ 3·2·3	有色金属及其合金·····	(270)
§ 3·2·4	热处理简释·····	(273)

第四篇 带电作业原理和方法

第一章	带电作业的技术条件·····	(275)
§ 4·1·1	触电的伤害及人体对电流的耐受力·····	(275)
§ 4·1·2	电场对人体的作用·····	(279)
第二章	带电作业方法·····	(285)
§ 4·2·1	带电作业方法的分类·····	(286)
§ 4·2·2	间接作业法(零电位法)·····	(289)
§ 4·2·3	等电位作业法(同电位法)·····	(295)
§ 4·2·4	中间电位法·····	(301)
§ 4·2·5	分相检修法·····	(303)
§ 4·2·6	绝缘服作业法·····	(308)
§ 4·2·7	带电水冲洗·····	(310)
§ 4·2·8	雨天带电作业·····	(314)

第五篇 带电作业安全技术

第一章	过电压的防护措施——安全距离·····	(318)
§ 5·1·1	带电作业各种安全间距的定义·····	(318)

§ 5.1.2	空气、绝缘子串和绝缘工具的绝缘特性…	(322)
§ 5.1.3	安全距离的确定……………	(339)
§ 5.1.4	安全距离不足的补救措施……………	(354)
§ 5.1.5	用统计法确定安全距离及其安全水平…	(356)
第二章	强电场的防护措施……………	(370)
§ 5.2.1	带电作业环境中的高压电场……………	(371)
§ 5.2.2	高压电场的防护内容……………	(384)
§ 5.2.3	屏蔽服的技术指标……………	(391)
§ 5.2.4	防护感应电压的措施……………	(394)
第三章	有关电流的防护措施……………	(402)
§ 5.3.1	绝缘通道中的泄漏电流……………	(402)
§ 5.3.2	在载流设备上工作时的旁路电流……………	(406)
§ 5.3.3	断接空载电流、环流的措施……………	(407)
第四章	水冲洗的安全技术……………	(416)
§ 5.4.1	水柱的泄漏电流……………	(416)
§ 5.4.2	水柱的闪络问题……………	(423)
§ 5.4.3	被冲洗设备的闪络问题……………	(431)
§ 5.4.4	水质的选择及处理……………	(437)
第五章	有关安全的其它问题……………	(438)
§ 5.5.1	气象条件与安全的关系……………	(439)
§ 5.5.2	停用重合闸问题……………	(441)
§ 5.5.3	停用继电保护问题……………	(444)
§ 5.5.4	雷管在电场中自爆问题……………	(444)
§ 5.5.5	提高爆压气团绝缘问题……………	(446)

第六篇 带电作业工器具

第一章 常规带电作业工具	(448)
§ 6.1.1 带电作业工具的分类	(448)
§ 6.1.2 更换绝缘子工具	(451)
§ 6.1.3 手持操作工具	(470)
§ 6.1.4 载人工具	(477)
§ 6.1.5 屏蔽服及导流服	(487)
§ 6.1.6 断接引工具	(490)
§ 6.1.7 绝缘子清扫工具	(496)
§ 6.1.8 绝缘隔离工具及绝缘服	(504)
§ 6.1.9 其它带电作业工器具	(507)
第二章 带电作业工具的试验	(513)
§ 6.2.1 试验的种类、目的与标准	(513)
§ 6.2.2 绝缘工具的电气试验	(514)
§ 6.2.3 带电工具的机械试验	(522)
§ 6.2.4 屏蔽服的试验	(524)
§ 6.2.5 绝缘斗臂车的试验	(527)
§ 6.2.6 保护间隙的试验	(528)
§ 6.2.7 模拟试验问题	(529)
§ 6.2.8 现场的测试工作	(530)
第三章 带电作业工具的设计制作及使用保管	(533)
§ 6.3.1 带电作业工具的设计原则	(534)
§ 6.3.2 确定工具设计数据的原则	(536)
§ 6.3.3 结构选择及制作工艺应 注意的几个问题	(538)
§ 6.3.4 带电作业工具的使用与保管	(544)

第七篇 带电作业项目与操作

第一章 带电作业项目	(547)
§ 7.1.1 项目的定义及分类	(547)
§ 7.1.2 送电常规项目简介	(550)
§ 7.1.3 变电常规项目简介	(564)
§ 7.1.4 配电常规项目简介	(573)
§ 7.1.5 大型作业项目简介	(577)
§ 7.1.6 带电测试项目简介	(591)
第二章 带电作业操作与培训	(597)
§ 7.2.1 操作指导原则 (操作导则)	(597)
§ 7.2.2 带电作业操作培训与考核	(613)
第三章 带电作业管理工作	(616)
§ 7.3.1 管理体制及职能	(616)
§ 7.3.2 人员管理	(618)
§ 7.3.3 项目管理及工具管理	(621)
§ 7.3.4 资料管理	(622)
附录一 绝缘子盐密测量方法	(626)
附录二 用简化统计法计算危险率使用的曲线 $[R=f(\gamma)]$	(629)
附录三 用PC-1500计算机计算危险率的程序	(631)
附录四 送电线路空载电流(正序)实测值及换算值	(638)
附录五 绝缘子串分布电压(参考值)	(639)
附录六 标准盘式绝缘子机电性能	(640)
附录七 有关风速的资料	(641)

绪 论

我国的带电作业是在自力更生，奋发图强的方针指引下，根据电力生产的实际需要，依靠群众因地制宜地发展起来的。现在已在全国范围内，在送、变、配电设备上广泛应用。

一、发展带电作业的必要性

保证连续不断供电，是国民经济各部门对电力的基本要求。早在解放初期，我国电力工业就提出了“安全第一”的口号，把供电可靠性放在第一位。这是由于停电造成的损失，要比电力工业本身少供电量的损失大几十倍。也就是说，停电所造成的工业损失约为少供电量经济损失的40~80倍。这是指计划停电而言的。如果在企业生产过程中，由于电力系统的事故而突然停电，造成损失比这还要大得多。因此，提高供电的可靠性，减少停电，有很大的经济效益。各工业发达国家对供电可靠率都有很高的要求，一般达到了99.95%~99.98%，即每一用户的每年平均停电时间为105~250分钟。我国目前的水平还较低，但我们一直为此在做不懈的努力，发展带电作业就是这种努力的一个重要方面。

国外提高供电可靠率的主要措施是设置备用设备，使系统的发、送、变、配等各个环节都有相应大的裕度。一般说

发电设备的备用容量是实际最大需要量的30%左右，其它环节的裕度还要更多一些。我国的情况与此恰恰相反，发电设备容量比实际最大需要量要小30%左右，其它环节则比发电还要紧张，送、配电线路更是薄弱环节。在这种情况下，就更加需要发展带电作业了。

二、我国带电作业发展简史

中国的带电作业起步于二十世纪五十年代初。当时正处于国民经济恢复和发展初期。由于发电量迅速增长，供电设备感到不足，大工业用户对连续供电要求日益严格，常规的停电检修因而受到了限制。当时，我国最大的钢铁基地鞍山，停电尤为困难。为解决线路要检修而用户又不能停电的矛盾，当时称之为“不停电检修技术”应运而生了。一九五三年，鞍山电业局工人开始研究制造带电清扫、更换和装拆配电设备及引线的简单工具。一九五四年，3.3千伏配电线不停电更换横担、木杆和瓷瓶的项目取得成功。一九五六年，又进一步发展到更换44~66千伏的木质直线杆、横担及瓷瓶。一九五七年底，154~220千伏超高压线路不停电更换瓷瓶的全套工具研制成功，3.3~66千伏木杆和铁塔线路的全套检修工具，也得到了改进和完善，这就为各级电压线路推行不停电检修奠定了物质和技术基础。一九五八年，当时的沈阳中心试验所（东电技改局前身）开始了人体直接接触导线检修的试验研究。在学习国外经验的基础上，解决了高压电场的屏蔽问题。并在试验场成功地进行了我国第一次人体直接接触220千伏带电导线的等电位试验，首次在220千伏松虎线、李鞍线上完成了等电位换线夹和修补导线的任务。

从此，等电位作业技术在中国带电作业中得到了广泛的应用。

一九五九年前后，鞍山局又在3.3~220千伏户外配电装置上，创造了一套不停电检修变电设备的工具。至此，中国带电作业技术已发展成为从3.3千伏至220千伏包括送、变、配三方面的综合性检修技术。

一九六零年辽吉电管局制定了指导东北地区安全工作的《高压架空线路不停电检修安全工作规程》，成为我国第一部带指导性的带电作业法规，它标志着我国带电作业已步入正轨；在此期间，全国范围内的不停电检修工作从单纯的技术推广，转入结合本地区具体条件和生产任务创新发展阶段。检修方法除了间接作业和等电位作业外，又向水冲洗、爆炸压接等方向迈进；检修工具从最初的支、拉、吊杆等较笨重工具转向轻便化、绳索化，具有东方特色的绝缘软梯和绝缘滑车组得到了广泛应用；作业项目也向换导线、架空地线，移塔和改塔头等复杂项目进军。一九六四年十一月，在天津举行了带电检修表演会，对促进全国范围内推广这些新技术产生了积极影响。

一九六六年，水电部生产司在鞍山召开了《全国带电作业现场观摩表演大会》，这次会议标志着全国带电作业发展到一个新阶段——普及阶段，同时也推动带电作业向更新更深的领域发展。

一九六八年鞍山局试验成功沿绝缘子串进入作业点的等电位作业方法。用这种方法在具备一定条件的双联耐张串上更换单片绝缘子很方便，因而，很快被推广到全国。

一九七三年，水电部又在北京召开了第二次全国带电作

业经验交流会。这次会议的技术组提出了带电作业安全技术有关专题的讨论稿，为水电部制定全国性带电作业规程奠定了技术基础。一九七七年，水电部将带电作业纳入部颁安全工作规程，进一步肯定了带电作业技术的安全性。同年，中国带电作业开始与国际交往，参加了国际电工委员会带电作业工作组的活动。成立了 IEC·TC—78 国内工作小组，从事带电作业有关标准的制定工作。一九八四年五月，成立了中国带电作业标准化委员会。

一九七九年，我国开始建设 500 千伏电压等级的输变电工程，有关单位相应开展了 500 千伏电压的带电作业研究工作，其中部分项目的方法和工具已研制成功，使中国的带电作业范围扩大至 500 千伏领域。

三、中国带电作业的技术水平

中国带电作业是从生产实际需要出发，不断研究和提高而应用于生产实际。虽然起步较晚（美国三十年代已开始这项工作），但步子迈得较快，成功地走出了一条具有中国特色的发展带电作业技术的路子。目前，已成为供电设备运行维护中不可缺少的检修手段之一，并在改造旧设备和工程建设中解决了许多棘手问题。中国带电作业在电力紧张的情况下，提高了供电可靠性，减少了停电损失，其经济效益超过了任何一个国家。根据近几年国际交往活动所了解的情况，中国的带电作业与发达的经济大国相比，无论是作业方法的多样性、作业项目的操作难度、普及的广泛程度，还是带电作业完成的工作量及其经济效果，我们都处在领先地位。特别是我们的带电作业工具，结构巧妙、轻便通用等特

点比较突出。但是，我们也存在着一定的差距和不足，即工具制造的工艺水平较差、标准化水平低，人员培训不够严格，管理水平低。相对地说，我们的带电作业事故也比较多。自一九八零年以来，全国已着手扭转这种局面，首先从基础工作入手，各地陆续组织编制了《带电作业安全工作规程》、《带电作业技术管理制度》和《带电作业操作导则》三本指令性规程，一些地区还编写了带电作业培训教材。这标志着中国的带电作业管理水平正向着正规化、标准化和现代化迈进。

随着我国四化建设的进展和电力企业的技术进步，中国带电作业在为四化建设服务中，有着广阔的发展前景。

第一篇 电的基本知识

第一章 简单直流电路

路（电路）和场（电场），是带电作业原理的两大基础。因为有关人体触电的认识，首先是从电路的概念中得到启示的，所以我们介绍电的基本常识，也就从电路开始。

§ 1.1.1 物质结构的电子理论

1. 物质的结构

假如我们用机械方法无限制地分割物质，那么，最终的物质单元（或微粒）就是分子。分子仍具有物质原有的一切属性，例如，水的分子仍然是水。

把分子进一步分解（非机械地），就会发现比分子更小的原子。原子不再具有分子的原来属性，如水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成，它们都不再具有水的属性。原子的类别大体与元素的种类相同。

原子又由原子核和电子组成。各种元素的原子都有下列的特征：（1）原子核带正电荷，电子带负电荷，正常情况下原子核的正电荷量等于它周围电子的负电荷量，因而原子对外不显示电性；（2）原子核处于中心，依靠正负电荷间的吸引力把电子群束缚在它的周围，电子群绕原子核作高速

转动，好象地球、金星、火星等行星围绕太阳 旋转 一样；

(3) 电子按一定的规则分布在不同的轨道上。一般最里层 2 个，第二层 8 个，第三层 18 个，……即按 $2n^2$ 规律 分布 (n 为层次数)。例如，氢、硅、铜的原子结构如图 1—1 所示。

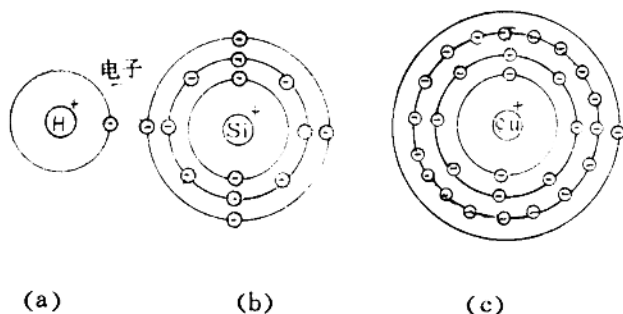


图 1—1 原子结构的示意图

2. 导体 绝缘体 半导体

值得注意的是，处于原子核边缘轨道上的电子，因距核较远，相互吸引力较小（因为吸引力与距离平方成反比）。因此，边缘轨道上的电子与核的联系较脆弱，在某些外因，如光、热、机械力或电场力的影响下，这些电子获得足够的能量后，就会摆脱原子核的束缚成为自由电子。

所有具有金属性物质的原子，都具有这种很不稳定的电子，它们甚至在正常条件下也会成为自由电子。每一立方厘米的铜约含有 8×10^{32} 个自由电子。自由电子是物质传导电流的根本原因，因此凡是金属性的物体，都被称为导体。

相反，如果物质原子的外层电子与原子核的联系非常稳固，即在外界因素作用下，电子也不会摆脱原子核成为自由电