

安全规范 总结实践经验

图文并茂 指导实际操作

10kV 配电线路 带电作业 实操技术

李孟东 王月鹏 彭新立 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

10kV 配电线路 带电作业实操技术

李孟东 王月鹏 彭新立 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是由具有几十年实际工作经验的专业技术人员编写的,旨在提高供电企业配电线路带电作业的工作水平,帮助配电线路带电作业职工进行业务培训,以提高配电线路的安全、可靠、经济运行,从而更好地服务于广大用电客户。

本书共分五章,分别为带电作业的技术发展及基本原理、带电作业常用绝缘材料和工器具、配电线路带电作业用绝缘斗臂车的使用和检测、绝缘遮蔽罩和安全防护用具、配电线路带电作业操作。

本书文字简明扼要,图文并茂,通俗易懂,既可作为从事配电线路带电作业职工的培训教材,也可作为实际操作的实用参考工具书,还可作为用电客户的咨询助手。

图书在版编目(CIP)数据

10kV 配电线路带电作业实操技术 / 李孟东, 王月鹏, 彭新立编. —北京: 中国电力出版社, 2011.11

ISBN 978-7-5123-2318-6

I. ①李… II. ①李… ②王… ③彭… III. ①配电线路—带电作业 IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 229996 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

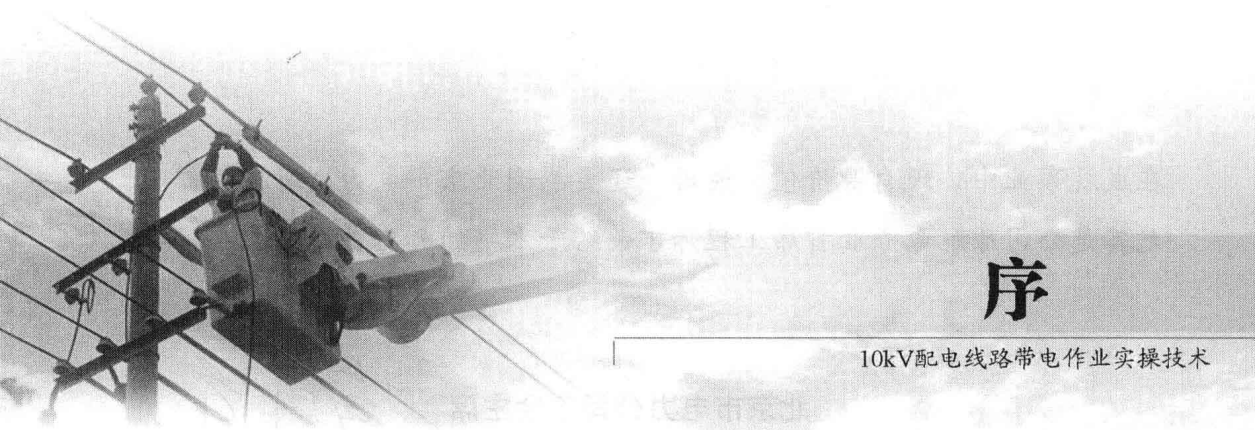
*

2012 年 5 月第一版 2012 年 5 月北京第一次印刷
710 毫米×980 毫米 16 开本 20.5 印张 371 千字
印数 0001—3000 册 定价 58.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



序

10kV配电线路带电作业实操技术

“十二五”期间，国家电网公司要初步建成世界一流电网，国际一流企业，建成员工和企业共同成长、企业与社会共同发展的和谐企业。这为北京市电力公司提供了前所未有的发展机遇，也为广大员工展现了广阔的舞台。

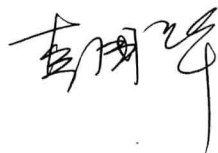
培训是员工进步和素质提升的基础，北京市电力公司历来鼓励适合一线职工、贴近生产实际、可操作性强的培训教材的编写工作。《10kV 配电线路带电作业实操技术》正是这样一本由工作在生产一线的多名技师，根据他们几十年工作经验和智慧，立足现场工作实际合作编写而成的培训教材。

本书的作者李孟东、王月鹏、彭新立都是我们身边既普通又特别的职工，说他们普通，是因为他们常年扎根生产一线，默默无闻地为了配网的安全、稳定、经济运行辛勤工作；说他们特别，是因为他们勤于思考、善于总结，在带电作业领域上成为国家电网公司技能专家、北京市高级技术能手。他们通过不懈的努力，可以像学者一样著书立说，为企业留下了宝贵财富。在他们身上承载着勇于担当的责任意识，凝聚着“努力超越、追求卓越”的企业精神，展现了普通员工的成才之路。他们的成就也认证了一条真理——世上无难事，只要肯攀登！

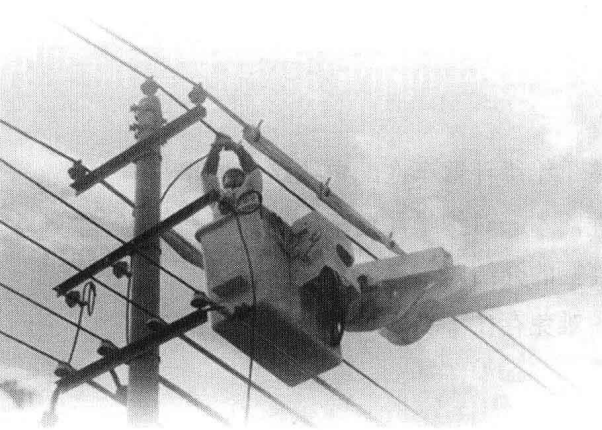
希望更多的员工以他们为榜样，认真学习专业知识，钻研工作业务，

在成就事业中体现自身价值。最后，还要感谢北京市电力公司相关部门，尤其是公司原配电专业首席工程师丁荣给予本书的大力支持。

北京市电力公司工会主席



2012年5月



前言

10kV配电线路带电作业实操技术

覆盖面最大的 10kV 架空配电线路网络承担着输电线路网络与各个用户之间的主要连接作用。由于该电压等级线路的绝缘水平较低，在大气过电压、污秽或其他外界因素作用下易发生故障，并且由于部分地区配电线路设施陈旧老化，设备存在众多隐患，加之社会经济快速的发展，不断增加的企业报装用电，基础设施建设引起的 10kV 架空配电线路的迁改逐年增多，这都会影响配电网持续供电的可靠性。而要减少停电线路和停电时间，提高配电网供电的可靠性，主要的手段就是大力、全面、安全地开展配电带电作业。

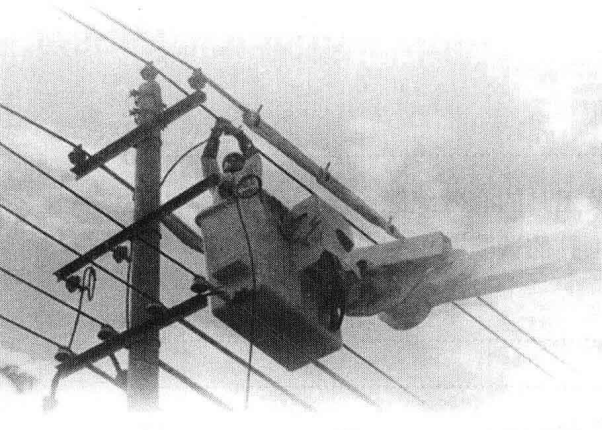
我国的带电作业起步于 20 世纪 50 年代，但由于社会生产力低，缺乏合适的人身安全防护用具且作业方式不成熟，因此其开展的范围比较小。十一届三中全会后我国将中心转移到经济发展上来，电力越来越成为社会经济发展支柱力量之一。10kV 配电线路是直接面向广大电力用户的电力基础设施，社会对电力的持续供电要求越来越高，为了提高配电线路的安全、可靠、经济运行，更好地服务于广大电力用户，开展带电作业工作是提高供电可靠性和满足用户要求的一条重要途径，大力开展 10kV 配电线路的带电作业工作势在必行。

但是在带电作业工作的同时，我们也应清醒地注意到 10kV 架空配电线路由于线间间距较小，大量存在与低压线路同杆并架，与周围建筑、树木距离较近等不利因素。这就要求我们在开展带电作业的同时，一定要把人身安全放在第一位，一定要使用与之相适应的作业方法、作业工具、安全防护用具和实际操作技术等，确保带电作业的安全。本书就是出于这个目的，由彭新立编写第一章至第四章、王月鹏编写第五章第一节、北京市电力公司从事带电作业工作多年的李孟东编写第五章第二节，由北京市电力公司原配电首席工程师丁荣进行审核，把我们从事配电带电作业工作的经验介绍给大家，对配电线路的特点、作业原理、作业方法、作业工器具、

安全防护用具和实际操作技术等进行阐述。鉴于绝缘斗臂车在配电线路带电作业中应用越来越广泛，以及安全防护用具的重要性，本书对绝缘斗臂车、绝缘工具和应用绝缘斗臂车的带电作业方法也进行了较大篇幅的介绍。

由于编写较为仓促，加之水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者指正，以利配电线路带电作业工作更好地开展。

编 者



目 录

10kV配电线路带电作业实操技术

序 前言

第一章 带电作业的技术发展及基本原理	1
第一节 我国带电作业技术发展	1
第二节 带电作业有关基础知识	3
第三节 带电作业基本原理	13
第四节 配电线路带电作业方法及其特点	19
第二章 带电作业常用绝缘材料和工器具	22
第一节 绝缘材料	22
第二节 工器具	30
第三节 工器具的采购、试验、保管、运输及使用	33
第三章 配电线路带电作业用绝缘斗臂车的使用和检测	42
第一节 概述	42
第二节 使用与操作	42
第三节 注意事项	43
第四节 维护与保养	44
第五节 检测方法	45
第六节 选购	46
第四章 绝缘遮蔽罩和安全防护用具	48
第一节 绝缘遮蔽罩	48

第二节	安全防护用具	50
第三节	配电线路带电作业的安全距离及工具的有效绝缘长度	53
第四节	绝缘遮蔽罩、安全防护用具和工具的试验要求	54
第五章	配电线路带电作业操作	68
第一节	使用绝缘工具作业	68
第二节	使用绝缘斗臂车（绝缘手套）作业	131

带电作业的技术发展及基本原理

第一节 我国带电作业技术发展

保证连续不间断供电,是我国和世界各国对电力部门的基本要求。为此,我国的电力部门早在新中国成立初期就提出了“安全第一,可靠供电”,把供电可靠性放在了第一位。而为了提高供电可靠性,带电作业工作又是一条重要的途径。带电作业与停电检修相比有着诸多的优越性,主要优点如下:

- (1) 能保证可靠地、不间断地向用户供电。
- (2) 能保证电力系统处在最佳工况,并保证发电机在经济工况下运行。
- (3) 能及时消除架空线路的缺陷,消除隐患,大大提高线路的供电可靠性。
- (4) 由于停电检修要改变原有的供电方式,而带电作业却不用改变,因此带电作业可以减少因停电检修、供电方式改变而造成的电能损失。
- (5) 由于带电作业的及时性和灵活性,减少了不必要的加班和停电检修。

我国的带电作业起步于 20 世纪 50 年代。新中国刚刚成立时,国民经济处于全面恢复和发展的阶段,各行各业对电力的需求日益急迫,尤其对电力部门提供连续不间断的高质量电能的要求更是被提上了议事日程。当时,鞍山是我国最大的钢铁工业基地,是国家重工业的核心,对电力的要求更高、需求更急。电力是先行官,为此,鞍山电业局的职工在 1953 年大胆提出了不停电检修技术,开展了带电清扫、更换和拆装配电设备引线的工作;1954 年取得 3.3kV 架空线路带电更换横担、木杆和瓷绝缘子的成绩;1956 年开展了带电更换 44~66kV 的木质直线杆、横担和瓷绝缘子的工作;1957 年底,154~220kV 超高压线路不停电更换瓷绝缘子的全套工具和操作办法研制成功。与此同时,沈阳电力中心试验所开展了人体直接接触导线进行检修作业的试验研究,解决了高压电场的屏蔽问题,成功地进行了人体直接接触 220kV 带电导线的等电位试验,在 220kV 线路上完成了等电位更换导线和修补导线的工作。我国的等电位作业技术从此开始推广应用。1979 年,我国在建设 500kV 输变电工程的同时,500kV 带电更换绝缘子、更换耐张串、修补导线等工作的操作办

法和带电工器具也研制成功，并予以实施。在此期间，全国范围的不停电检修工作也如火如荼地开展起来。各地的电力部门在学习鞍山带电作业的基础上，结合本地区的具体条件和生产任务进行了改革和创新，带电作业方法除了进行间接作业和等电位作业外，还开展了带电水冲洗、带电爆炸压接等工作。带电作业工具也从最初的支、拉、吊杆等较笨重的工器具向轻便化、绳索化改进，绝缘软梯、绝缘滑车组和绝缘斗臂车也被广泛地应用。

国家对带电作业的开展给予了大力支持。1964 年 11 月，在天津举办了带电检修表演会，大大促进了全国推广带电作业新技术的进行；1966 年，水电部在鞍山召开了全国带电作业现场观摩表演大会，把带电作业向更新、更深的方向做了推进，同时展现出全国带电作业的广泛普及；1973 年，水电部在北京召开了第二次全国带电作业经验交流会，讨论并研究制定了带电作业相关规程的必要性和可行性；1977 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，我国带电作业开始与国际交往，派员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；1984 年 5 月，成立中国带电作业标准化委员会；1986 年，成立带电作业工器具设备质量检验检测中心；1988 年，成立全国带电作业组织协调领导小组和中国带电作业技术中心；1990 年，颁布《带电作业技术管理制度》、《带电作业操作导则》和《带电作业工作安全制度》等。

10kV 配电线路带电作业是电力带电作业工作中的一个重要组成部分。6~10kV 配电网络是直接面向广大电力用户的电力基础设施。由于配电网络绝缘水平较低，因此在污秽环境或大气过电压情况下，很容易发生故障；加之国内部分地区配电供电设施陈旧老化，设备完好率较低，使得事故隐患加大。为了提高配电网络的安全、可靠、经济运行，更好地服务于广大电力用户，大力开展 10kV 配电线路的带电作业工作势在必行。但是在大力开展 10kV 架空配电线路带电作业工作的同时，也应注意到 10kV 架空配电线路由于线间间距较小，大量存在与低压线路同杆并架，与周围建筑、树木距离较近等不利的因素。这就要求在大力开展配电线路带电作业的同时，一定要把安全放在第一位，一定要使用与之相适应的作业方法、作业工具、安全防护用具和实际操作技术等。

总之，我国的带电作业工作是从实际需要出发，并不断研究、改进和提高的，虽然起步较晚（例如，美国在 20 世纪 30 年代就开始进行带电作业），但是步子迈得较快，基本与国内运行电压的等级同步进行，比较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。我国的带电作业水平与国际相比差距并不是很大，但

是在带电作业工具制造工艺水平上、人员培训考核上、带电作业管理上与国际相比还有差距，在看到成绩的同时要看到差距，要迎头赶上，为我国的带电作业作出贡献。

第二节 带电作业有关基础知识

一、电的基础知识

试验发现，不同的物体摩擦后将会带有电荷，而这些电荷是从哪里来的？我们知道，物质是由分子组成的，分子是一种能够单独存在，并且保持原有属性的最小微粒，例如，水的分子仍然是水。但是如果把分子进一步进行分解，就会发现比分子更小的原子，而原子不再具有分子的原来属性。例如，水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的，但是它们都不再具有水的属性。原子又是由原子核和电子组成的。各种元素的原子都具有以下特征：

(1) 原子核带正电荷，电子带负电荷。正常情况下，原子核所带的正电荷量与它周围电子所带的负电荷量相等，所以原子对外不显示正、负电性。

(2) 原子核处于原子的中心，依靠正负电荷的吸引力把电子群束缚在它的周围，电子群绕原子核做高速转动。

(3) 电子按一定的规则分布在不同的转道上，一般最里层有 2 个电子，第二层有 8 个电子，按 $2n^2$ 规律分布。原子的电结构见图 1-1。

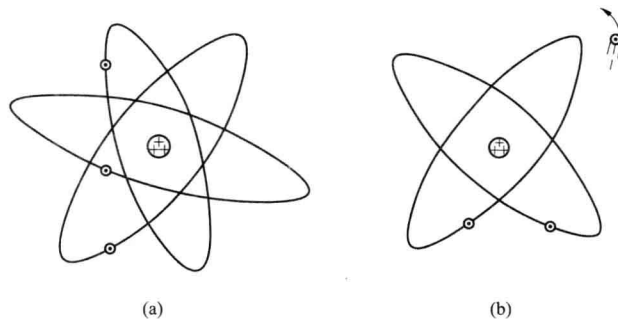


图 1-1 原子的电结构

(a) 电子围绕原子核运动；(b) 原子失去电子后，带正电

⊙—电子；⊕—原子核

处于原子核边缘轨道上的电子，因为距离原子核较远，相互的吸引力就较小，在某些外力或外因如光、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而成为自由电子。所有具有金属性物质的原子，都具有这种

很不稳定的电子，它们甚至在正常情况下也会成为自由电子。自由电子是物质传导电流的根本原因。因此，凡是金属性的物质，都被称为导体。相反，如果物质的外层电子与原子核的联系非常稳固，即使在外界因素的作用下，电子也不会摆脱原子核而成为自由电子，这些物质称为绝缘体。而介于导体和绝缘体之间的物质就称为半导体。

不管是哪种物质，凡是构成物体的原子，当它得到多余的电子时，这个物体就成为带电体了。中性原子失去电子时带正电荷，称为正离子；额外得到电子的原子带负电荷，称为负离子。中性原子失去或得到电子成为离子的过程，称为电离。物体失去或得到的电子越多，它所带的电荷量就越多。将一个电子所具有的电荷量作为计量单位来进行计量，这一个电子所具有的电荷量称为一个静电单位电量。但是由于该单位太小，使用起来很不方便，因此通常使用库仑作为电量的单位。 $1\text{ 库仑}=6.24\times10^{18}$ 静电单位电量。

电场是带电体周围空间存在的一种特殊物质，它对放在其中的任何电荷均表现为力的作用。电场对电荷的作用力称为电场力。带电体周围的空间存在电场，可以用许多条线来形象地描述电场的性质，这些线称为电力线。

假设一个带电体带有正电荷 Q ，把一个带有同样正电荷的试验电荷 q_0 放到这个带电体周围的电场中，由于 Q 和 q_0 都是带有正电荷的同性电荷，因此试验电荷 q_0 将受到电场力 f 的排斥作用，电场力的方向向外，并作用在球体中处于 q_0 的连接线上，如图 1-2 所示。

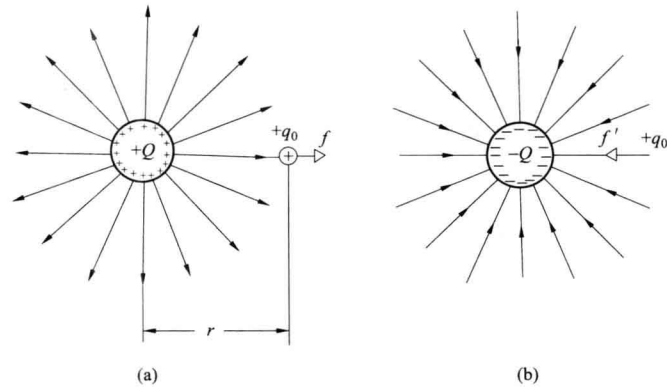


图 1-2 带电球体周围的电场

(a) 一个带正电球体周围的电场，电力线向外；(b) 一个带负电球体周围的电场，电力线向内

用电力线描述电场时，以下特点应引起注意：

(1) 电力线从正电荷（或正极）出发，到负电荷（或负极）终止。方向是由正电荷（正极）指向负电荷（负极）。

(2) 电力线垂直于带电体（导体）的表面，而且任何两条电力线都不会相交。电力线的疏密程度表示电场的强度。

(3) 电场内有某一平面上相同的点所连成的线，称为等位线。电位相同的点组成的面称为等位面。等位线（面）与电力线处处直角相交。

(4) 在画等值线（面）时，把两条等位线的电位差取为定值，等位线密的地方，表示那里的电场强度较高；等位线疏的地方，表示那里的电场强度较低。

试验证明，对于同一个试验电荷 q_0 ，在电场中不同点受到的电场力 f 的大小一般是不同的，越接近带电体，电场力越大。电场力 f 的大小和 q_0 的电量成正比， q_0 增加一倍， f 也增加一倍。由于电场力 f 和试验电荷 q_0 的电量成正比，因此 f 与 q_0 的比值就不会因 q_0 的多少而改变。用 E 来表示电场强度，则 $E=f/q_0$ 。

电场中任何一点的电场强度，在数值上等于放在该点的单位正电荷所受电场力的大小；电场强度的方向就是正电荷受力的方向。电场强度是一个既有大小又有方向的量。

电场又有均匀电场和非均匀电场之分。在均匀电场中，各点电场强度的大小、方向都相同。而在不均匀电场中，电场越不均匀，通常击穿电压越低。所以要设法减小电场的不均匀程度。

二、静电感应

如果把一个不带电荷的导体乙放在一个均匀的正电场中，将会看到导体和电场发生变化，如图 1-3 所示。

首先一定量的自由电子将逆着电力线所指示的方向移动，于是一定量的电子移到了导体乙的左边，使左边有了多余的负电荷，而右边留下了与左边数量相等的正电荷。这两种电荷在导体内部形成了一个与外电场相反的附加电场，来阻止电子的继续移动。附加电场与原有的电场在导体内部起相互抵消的作用，直到导体表面积聚了足够多的异性电荷，使两个电场强度恰好相等时，导体内的电荷移动才停止。此时，该状态称为平衡状态，也就是说，导体内部已不存在电场，而电荷仅存在于

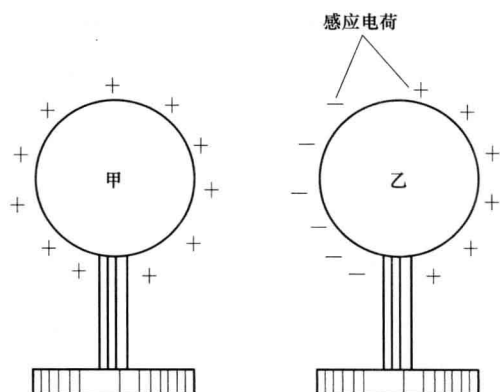


图 1-3 静电感应

导体相对的两个表面上。如果导体脱离电场，则导体中的电荷又会中和，恢复到不带电的状态。这种在电场影响下引起导体上电荷的分离现象称为静电感应。

三、静电屏蔽

如果放入电场内的导体内部有一个空腔，如图 1-4 所示，则导体中的自由电子要向 AC 方向运动。由于附加电场和原有电场方向相反，此时金属内部的电场强度减弱，直到消失为止，从而达到静电平衡，导体内部的电场强度为零。该现象称为静电屏蔽式法拉第效应。静电屏蔽是带电作业的一个很重要的定理。

放入电场中的绝缘体（也称介质），由于电子和原子核之间的吸引力很强，原子核最外层的电子被牢固地束缚在轨道上，即使在外电场的作用下，这些电荷也只能做微小的移动，因此不能像电场中的导体那样，产生足够的附加电场来完全抵消外加电场。在静电平衡的条件下，电介质的内部可以长期存在着电场，这是导体与介质的基本区别之一。

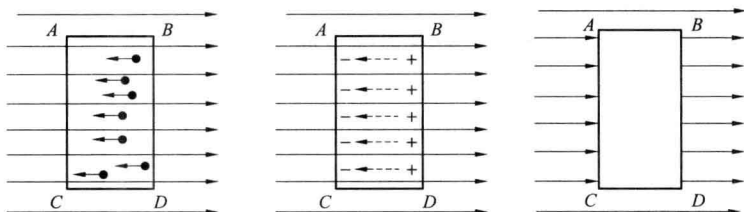


图 1-4 金属的屏蔽作用

四、尖端放电

当把导体放到电场中时，由于静电感应的原理，在导体中会出现感应电荷，这些电荷分布在导体的表面上。通过试验和观察发现，电荷在导体表面上的分布情况取决于导体的表面形状。导体表面弯曲度越大的地方，聚集的电荷越多；而导体较平坦的地方聚集的电荷就少。在导体尖端处由于电荷密集，电场强度很强，当电场强度达到一定程度，就会产生尖端放电的现象。利用尖端放电的原理，制造了避雷针来保护避雷针附近的建筑物和电器设备；还在一些高压电器的尖端部分安装球形金属罩，用来改变电场的不均状况，防止电气设备的尖端部分发生放电。

五、电容器、电容

电容器是两个导体中间既隔有绝缘介质又相互靠近的组合物。电容器有两个极板，一个极板上带正电荷，另一个极板上带有等量的负电荷。如果把电容器和直流电源接通，在电场力的作用下，电源负极的自由电子将向与它相连的 B 极板上移动，使得 B 极板带有负电荷；而另一极板 A 上的自由电子将向与它相连的电源正

极移动，使 A 极板上出现了等量的正电荷。这种电荷的移动直到极板间的电压与电源电压相等时才停止。这样在极板间的介质中建立了电场，使电容器储存了一定的电荷和电场能量。把电容器储存电荷和电场能量的过程称为电容器的充电，如图 1-5 所示。

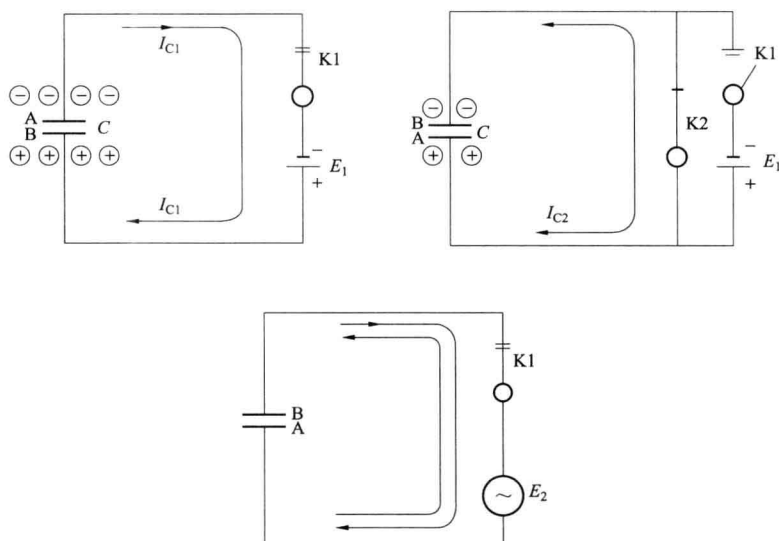


图 1-5 电容器充电

C—电容器； E_1 —直流电源； E_2 —交变电源； I_{C1} —充电电流；

I_{C2} —放电电流；K1、K2—开关

电容器充电后，如果用导线把 A、B 极板短接，B 极板上的负电荷就会经由导线与 A 极板上的正电荷互相中和。当正、负电荷完全中和时，两块极板就不再带电荷了。此时，电容器的电压下降到零，把电容器中和电荷的过程称为电容器的放电。

通过试验、观察和计算，得出电容器极板上的电荷量与外加电压成正比。对于一个电容器，极板上的电荷量与加在极板上的电压比值是个常数。这个比值称为电容器的电容，用字母 C 表示， $C=Q/U$ 。电容的基本单位称为法拉，一般简称法，用字母 F 表示。把电容器在 1 伏电压下，储存 1 库仑电量的电容称为 1 法拉，1 法拉=1 库仑/1 伏特。在实际应用中，由于 1 法拉的单位太大，因此经常使用的是微法和皮法这两个单位。1 法拉= 10^6 微法= 10^{12} 皮法。

电容器的电容量还取决于极板的大小（面积）、极板间的相对位置和极板间的介质。

1. 电容

假设有一块平板电容器，当电容器间的介质是空气、云母和绝缘纸时

$$C = \phi_r q_0 s / d$$

式中 C ——平板电容器的电容量，F；

ϕ_r ——相对介电常数（需查表）；

q_0 ——真空中的介电常数；

s ——每块极板的面积， m^2 ；

d ——极板间的距离，m。

2. 电场能量

电容器在充电过程中，两个极板上开始积累电荷，在极板间建立起电位差，形成电场。电场具有能量，这个能量是从电源吸取过来储存在电容器中的。假设电容器充电后的电压为 U_m ，则电容器储存的电容能量为 A

$$A = 1/2 \times U_m \times Q = 1/2 \times C \times U_m^2 \quad (J)$$

由此可知，电容器中的能量与电容器本身的电容量大小及充电后的电压高低成正比。电容器的能量增加时，它就需从电源吸收能量并储存起来；而当电容器两端电压降低时，电容器就把储存的能量释放出来。电容器能进行能量的储存和释放，并不消耗能量，即电容器可以作为储能元件。

3. 人体电容

在带电作业工作中，人体被视为导体。我们经常处在以人体为一极，其他金属物体为另一极，这两极之间充满着空气的工作状态。这时，人体与导线之间、人体与大地之间、人体与其他金属部件之间就构成了一个电容器，而人体的电容就是指这个电容器产生的电容。

由于人体是一个比较复杂的几何形体，要想根据公式来推算各种状态下的电容量是很难做到的，一般应根据经验公式和数据进行计算。

(1) 一个中等身材的人，当他穿着干净并干燥的鞋站在地面上时，人体对地的电容值为 $50 \sim 350pF$ ；当人站在相对地高度为 $32cm$ 的绝缘台上时，人体对地的电容值约为 $275pF$ 。

(2) 等电位时，人体与穿在身上的屏蔽服之间的电容值约为 $0.135\mu F$ 。

(3) 人体在导线上等电位工作时，人体对 $10m$ 以下的地面电容值约为 $20pF$ 。

(4) 等电位工作时，人体面部裸露部分对地的电容值约为 $0.35pF$ 。

总之，人体在各种状态下出现的电容值一般都在 $10^{-13} \sim 10^{-10}F$ 之间。也就是说，由于人体与其他部件所构成的电容很小，因此在电场中吸收的能量不会很大。