

电气工人适用

# 电工应用基础

王大为 主编

DIANGONG  
YINGYONG  
JICHU



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

电气工人适用

# 电工应用基础

王大为 主编

2



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书以《中华人民共和国职业技能鉴定规范》中不同行业电气类工种的“知识要求”为依据编写。

全书共两篇,包括第一篇电路的基本理论,讲述电路的基本概念和基本定律、电阻电路的常用分析计算方法和定理、电与磁的基本知识、直流磁路,介绍了电路的模型理论和建立在电路模型理论基础上的分析计算方法;第二篇交流电路,电路的过渡过程,讲述正弦电路、基本控制电路、周期性非正弦交流电路、线性电路的过渡过程、交流磁路。

本书注重电路基础知识的阐述,并且列举了大量的典型应用实例。各章后都有一定数量的复习题,书末附有复习题的提示及解答。

本书可作为不同行业中各技术等级电气工人的电路知识培训教材及掌握电路知识的学习用书,可供职业技能鉴定、考核使用和自学使用。还可作为中等职业学校电气类专业的教材,并可供高等职业学校有关专业的学生作课外学习用书,亦可供职业技术学校教师和工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电工应用基础/王大为主编. —北京:中国电力出版社,  
2009

电气工人适用

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8847 - 2

I. 电… II. 王… III. 电工—基本知识 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 075171 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 32 开本 17.75 印张 683 千字

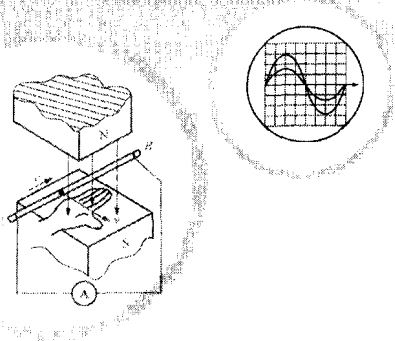
印数 0001—3000 册 定价 34.00 元

## 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



# 前言

## 构思依据和写作目的

劳动保障部颁布的《中华人民共和国职业技能鉴定规范》(以下简称《职业技能鉴定规范》)是广大工人进行培训、考核、上岗、转岗、定级、晋级和给予相应待遇的重要依据。按照《职业技能鉴定规范》的要求,不断提高工人的理论及技术水平是各企业进行培训的重要内容之一,是提高工人的理论知识、实际操作能力、安全生产能力、分析及处理故障能力、技术改造、节能降耗、人尽其才的重要措施之一。本书以《职业技能鉴定规范》的相关要求为依据编写,读者主要为电气工人,适应电气工人培训和学习电路理论及自学的需要,为技能鉴定及考核、生产现场服务。

## 内容的组织

《职业技能鉴定规范》是按行业划分的。在《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》中,把对工人的理论和技术要求分为“知识要求”和“技能要求”两类,“知识要求”又分为基础知识和专业知识两项,并以表格形式逐条列出对不同行业中不同专业的不同工种各技术等级的定性或定量要求,本书的内容仅限于《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》中“知识要求”的基础知识部分。由于各行业不同电气工种“知识要求”的基础知识不同,编写本书时,以《职业技能鉴定规范·电力行业》中对各电气工种“知识要求”的基础知识为主,兼顾其他行业的电气工种之需求。

在编写本书前,首先以《职业技能鉴定规范·电力行业》各电气工种的“知识要求”为主,并参考了冶金、煤炭、化工等行业的电气工种“知识要求”,对其中涉及电路的基础知识进行逐条摘抄,然后分类归纳,取其通用部分,形成本书的章、节目录。以此为准,写出每节内容的详细条目,力求紧扣《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》。

《〈职业技能鉴定规范〉说明》中明确提出“初级技能阶段应掌握的知识和技能,不在中级技能阶段出现,中级的内容也不在高级技能阶段简单重复,各项要求步步深入,适度扩展,逐级递进”。换言之,中级工要掌握初级工的知识,高级工要掌握初级工和中级工的知识,依此类推。全书的内容按这种方式编写。

本套书分两册，一册是《电工应用基础》，包括两篇，共十章。第一篇是电路的基本概念和基本理论，主要讲述电路的模型理论和建立在模型理论基础上的基本定理和定律、电路的基本分析计算方法、电与磁的基本知识、直流磁路；第二篇侧重于正弦电路、基本控制电路、线性电路的过渡过程、交流磁路。另一册是《电子技术应用基础》，包括三篇，其中第一篇是半导体器件和模拟电子电路，主要包括常用半导体器件的工作原理、由晶体管和场效应管组成的各种放大电路、集成运算放大电路；第二篇是数字电路，以逻辑电路、触发器、数字装置为主，并简单介绍了数字计算机和计算机监控系统；第三篇电力电子电路基础，主要内容为直流稳压、晶闸管可控整流、逆变、变频、直流斩波、交流调压。

本书从工程实用出发，介绍工程估算中的常用方法，全书始终贯穿电路模型理论，以便使广大工人接触和理解电路基础理论知识，在信息化的今天，这样做是必要的；同时为有志于今后深造的工人做一个铺垫。

在具体内容写作上，以满足工人培训及技能鉴定中对电路知识的要求为主。始终强调对电路现象的物理过程进行定量解释和叙述；对于定理和定律，通过举例说明其运用。尽可能做到突出实用、由浅入深、重点明确、涵盖面广、图文并茂、易教易学、适合自学，并且列举了大量的典型应用实例。尝试运用这种方法，搭建理论和实践相结合的平台，使工人感到学有所用，学以致用。书中极少量内容超过了《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》的要求，之所以写作这些内容，是因为《职业技能鉴定规范》颁布于20世纪90年代，颁布后的这些年中，科学技术快速发展，新技术广泛应用，对工人的要求进一步提高，这些内容也是为那些真正想学好电路知识且学有兴趣或学有余力的工人服务的。

全书各章都有一定数量的复习题，供培训教师在备课和辅导时参考和选用，供自学者作为作业使用。复习题的题型多样，复习题的难易程度参考了《〈职业技能鉴定规范〉试卷样例》。大部分复习题是基础知识（概念、定义、定理、定律）的重现；一部分复习题是基础知识和基本方法的运用；少部分复习题需灵活、综合地运用所学知识；还有极少量复习题超过了《〈职业技能鉴定规范〉试卷样例》的难度，这些题同样是为那些真正想学好电路知识工人准备的。

书末附有各章复习题的提示及解答，解答的重点放在努力体现对书中相关知识的运用上，因此解答的过程未必是最佳或最简的。通过答疑解惑，方便工人检查自己掌握有关电路知识的程度和水准，加深工人对相关知识的理解，提升工人的学习能力和应对考核能力。

为了区分不同技术等级的知识内容，反映高级工的内容，在其前均加注“\*”；反映技师的内容，在其前均加注“△”。未加标注的是初、中级工的内容，这些内容大部分是电路的入门知识。由于不同行业的同一工种对电路理论知识的要求一般不完全相同，而不同工种对电路理论知识的要求更存在差距，因此上述

划分是粗略和大概的。

### **适用的读者**

改革开放以来,教育和培训事业快速发展,三十年后的今天,广大工人的文化和科技知识有了很大提高,作为使用本书的工人应具有高中或同等学历,或学完电学和磁学的基础知识。

本书是为不同行业的各电气工种编写的,由于电路知识应用的广泛性,本书还适用于发电厂非电气类各工种,建筑、冶金、煤炭、化工、机械制造等企业的相关工种的培训及学习用书;计算机、自动化、通信和信息行业的工人培训及学习用书;作为中等职业学校电气、电子、自动化类专业的教材或教师的教学参考书;作为高等职业学校电气、电子、自动化类专业学生的课外学习用书或教师的教学参考书;作为有关专业的工程技术人员参考书。

### **作者简介**

本书由以下作者协作完成,这些作者是:

亿城集团王畅 编写第一、二章和这两章的复习题解答;

大同煤业集团刘玉琛 编写第三、四章和这两章的复习题解答;

大同电力高级技工学校董跃中 编写第五、六章和这两章的复习题解答。

大同电力高级技工学校王大为 担任主编,编写其余四章和这四章的复习题解答。

由于各位参编对《〈职业技能鉴定规范〉鉴定内容》的理解程度不尽相同,写作风格各异,从理解和尊重参编出发,经与各位参编充分协商,全书由王大为整理和统稿。

### **致谢**

首先真诚感谢各位参编,他们对统稿后由其写作的相应章节内容均进行了仔细地阅读,并提出了中肯的意见。

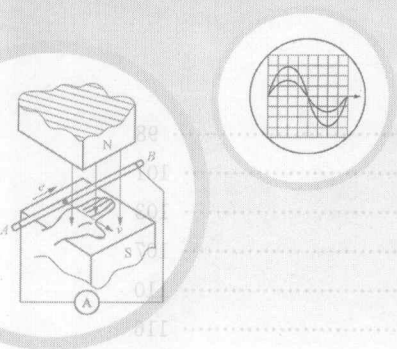
感谢大同供电公司的闫军先生和晋能大同能源发展有限公司的肖明先生,他们在改进本书的内容方面提出了有益的建议。

最后感谢洪汝玲女士,在统稿的整个过程中,她对各位参编提供的大量图稿和内容进行了细心的核对和整理,使主编的工作有所减轻,缩短了完稿时间。

限于我们的水平,书中难免存在不足和错误,祈盼使用本书的读者批评和指正。

**编者**

2009.12



# 目 录

## 前言



## 第一篇 电路的基本理论

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>第一章 电路的基本概念和基本定律</b> .....     | 2  |
| 第一节 物质的导电性 .....                  | 2  |
| 第二节 电场 .....                      | 5  |
| 第三节 置于电场中的导体、绝缘体 .....            | 10 |
| 第四节 电路的组成及电路的模型 .....             | 12 |
| 第五节 电流、电压和电位 .....                | 18 |
| 第六节 电阻器、电阻元件的欧姆定律 .....           | 34 |
| 第七节 电源电动势 .....                   | 39 |
| 第八节 电能和电功率 .....                  | 41 |
| 第九节 电压源与电流源 .....                 | 45 |
| 第十节 受控源 .....                     | 53 |
| 第十一节 反电动势负载 .....                 | 56 |
| 第十二节 基尔霍夫定律 .....                 | 58 |
| 第十三节 电流、电压的基本波形 .....             | 63 |
| 复习题 .....                         | 67 |
| <b>第二章 分析计算电阻电路的常用方法和定理</b> ..... | 78 |
| 第一节 电阻串、并、混联电路及应用 .....           | 78 |
| *第二节 电阻的星形连接和三角形连接及其等效变换 .....    | 89 |
| 第三节 支路电流法 .....                   | 93 |
| *第四节 网孔电流法 .....                  | 94 |
| *第五节 回路电流法 .....                  | 97 |

|            |                       |            |
|------------|-----------------------|------------|
| *第六节       | 节点法 .....             | 98         |
| *第七节       | 应用电源的等效变换化简电路 .....   | 101        |
| *第八节       | 含受控源电路的分析计算简介 .....   | 103        |
| 第九节        | 叠加定理 .....            | 107        |
| *第十节       | 戴维南定理和诺顿定理 .....      | 110        |
| 第十一节       | 非线性电阻电路简介 .....       | 116        |
| *第十二节      | 替代定理 .....            | 120        |
|            | 复习题 .....             | 122        |
| <b>第三章</b> | <b>电与磁的基本知识 .....</b> | <b>133</b> |
| 第一节        | 储存电荷的器件——电容器 .....    | 133        |
| 第二节        | 电容元件及其充、放电 .....      | 137        |
| *第三节       | 电容元件的串联和并联 .....      | 145        |
| 第四节        | 磁场 .....              | 148        |
| 第五节        | 磁场对载流导体的作用 .....      | 156        |
| 第六节        | 指示类电气仪表简介 .....       | 158        |
| 第七节        | 万用表简介 .....           | 162        |
| 第八节        | 电磁感应 .....            | 169        |
| 第九节        | 绝缘电阻表简介 .....         | 174        |
| 第十节        | 产生磁场的元件——电感元件 .....   | 178        |
| 第十一节       | 直流电动机简介 .....         | 187        |
| 第十二节       | 正弦交流电动势的产生 .....      | 191        |
| 第十三节       | 互感电动势和互感电压 .....      | 194        |
| △第十四节      | 互感元件的连接 .....         | 199        |
| 第十五节       | 变压器简介 .....           | 202        |
| 第十六节       | 涡流、集肤效应、邻近效应 .....    | 207        |
|            | 复习题 .....             | 211        |
| <b>第四章</b> | <b>直流磁路 .....</b>     | <b>224</b> |
| 第一节        | 磁路和磁路的欧姆定律 .....      | 224        |
| 第二节        | 铁磁物质的磁化曲线 .....       | 227        |
| *第三节       | 磁路的基尔霍夫定律 .....       | 231        |
| *第四节       | 直流磁路的计算简介 .....       | 232        |
| 第五节        | 电磁铁 .....             | 236        |
|            | 复习题 .....             | 237        |



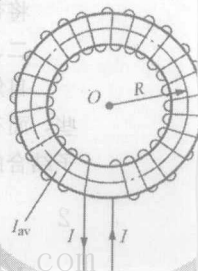
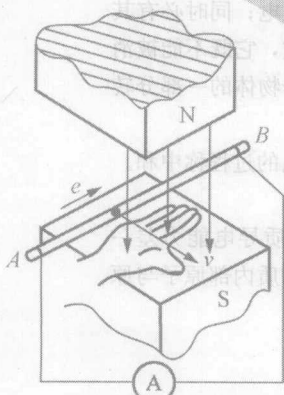
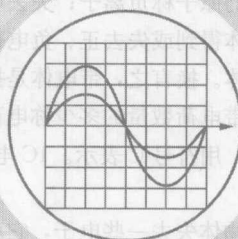
## 第二篇 交流电路、电路的过渡过程

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第五章 单相正弦电路</b> .....       | 242 |
| 第一节 正弦量的相量图及其运算.....          | 242 |
| 第二节 相量法.....                  | 255 |
| 第三节 电阻、电感、电容串联电路的相量法求解.....   | 260 |
| *第四节 电阻、电感、电容并联电路的相量法求解.....  | 266 |
| 第五节 功率因数的提高.....              | 271 |
| *第六节 有互感的正弦电路的计算.....         | 276 |
| 第七节 相量法的应用举例.....             | 281 |
| 复习题.....                      | 285 |
| <b>第六章 三相正弦电路</b> .....       | 294 |
| 第一节 三相电源和三相负载的连接及电压、电流关系..... | 294 |
| 第二节 三相电路的功率.....              | 305 |
| *第三节 对称三相电路的计算.....           | 308 |
| *第四节 不对称三相电路的计算.....          | 313 |
| △第五节 不对称三相电路的对称分量.....        | 319 |
| 第六节 三相旋转磁场简介.....             | 331 |
| 第七节 异步电动机的工作原理.....           | 333 |
| *第八节 电力电路的中性点运行方式.....        | 339 |
| *第九节 接地和接零简介.....             | 345 |
| 复习题.....                      | 350 |
| <b>第七章 基本控制电路简介</b> .....     | 358 |
| 第一节 电气二次回路简介.....             | 358 |
| 第二节 常用控制电器和设备.....            | 361 |
| 第三节 三相异步电动机的基本控制电路.....       | 373 |
| 第四节 断路器、隔离开关的基本控制电路.....      | 385 |
| 第五节 识读基本控制电路接线图.....          | 392 |
| *第六节 输电线路的自动重合闸简介.....        | 413 |
| 复习题.....                      | 418 |
| <b>第八章 周期性非正弦交流电路</b> .....   | 422 |
| 第一节 周期性非正弦量的产生和表示方法.....      | 422 |

|                     |                           |            |
|---------------------|---------------------------|------------|
| *第二节                | 周期性非正弦量的有效值、平均值、波形因数····· | 425        |
| *第三节                | 周期性非正弦电路的计算·····          | 427        |
| *第四节                | 对称三相电路的高次谐波·····          | 430        |
| 复习题                 | ·····                     | 435        |
| <b>第九章</b>          | <b>线性电路的过渡过程·····</b>     | <b>439</b> |
| 第一节                 | 过渡过程产生的原因、换路定律·····       | 439        |
| *第二节                | 求解一阶直流电路过渡过程的三要素法·····    | 443        |
| *第三节                | 零输入响应·····                | 444        |
| *第四节                | 零状态响应·····                | 449        |
| *第五节                | 一阶电路的全响应·····             | 452        |
| △第六节                | 正弦激励下的一阶电路简介·····         | 455        |
| 复习题                 | ·····                     | 457        |
| <b>△第十章</b>         | <b>交流磁路简介·····</b>        | <b>462</b> |
| 第一节                 | 交流磁路与直流磁路的比较·····         | 462        |
| 第二节                 | 交流铁芯线圈的电压、电流、磁通关系·····    | 463        |
| 第三节                 | 交流铁芯线圈的铁损和铜损·····         | 466        |
| 第四节                 | 交流铁芯线圈的电路模型、电磁铁·····      | 467        |
| 第五节                 | 电力变压器简介·····              | 470        |
| △复习题                | ·····                     | 476        |
| <b>各章复习题解答·····</b> |                           | <b>479</b> |
| <b>参考文献·····</b>    |                           | <b>555</b> |

# 第一篇

## 电路的基本理论





# 电路的基本概念和基本定律

## 第一节 物质的导电性

### 一、物质的结构

物质由分子组成,各种分子由原子构成。根据物理和化学的有关知识,原子是由一个原子核和若干核外电子构成的,核外电子分层并沿一定的轨道绕核旋转,其中绕核旋转的最外层电子,离原子核最远,受原子核的吸引力相对较弱,这些最外层电子称价电子。原子核由质子和中子两种基本粒子构成,一个质子带有一个单位正电荷,质子带的一个单位正电荷是最小的正电荷,称基本正电荷,又称基本正电粒子;中子不带电。核外电子也是基本粒子,一个核外电子带一个单位负电荷,称基本负电荷,又称基本负电粒子。基本正电粒子和基本负电粒子的电性相反。一般情况下,原子的核外电子数等于原子核内的质子数,即基本负电粒子数与基本正电粒子数相等,而它们的电性相反,正、负电荷的作用相互抵消,整个原子呈中性,对外不显电性,原子不带电。分子由原子构成,原子不带电,决定了分子不带电;由此可推出,一般情况下,物体不带电。

实验证明,自然界中存在着正、负两种带电粒子,正、负两种带电粒子的电荷互为异号电荷。

获得电子的原子称负离子;失去电子的原子称正离子。

中性的物体得到或失去正、负电荷的过程称物体带电,具有多余正、负电荷的物体称带电体。换言之,带电体是指本身的“净电荷”不为零。

带电体所带电荷数量的多少称电荷量,用符号  $Q$  或  $q$  表示,电荷量的单位是库仑,简称库,用符号  $C$  表示。 $1C$  电荷量等于  $6.24 \times 10^{18}$  个电子或质子所带的电荷量。

如果一个物体失去一些电子,它就减少了一些负电荷而带正电;同时必有其他的物体得到这些电子而带负电。可见,电荷是客观存在的物质,它既不能被消灭,也不能被创造,只能从一个物体转移到其他物体,或从一个物体的一部分转移到另一部分,这一结论称电荷守恒定律。

将带等量异号电荷的两个带电体接触,使两个带电体不带电的过程称中和。

### 二、导体、绝缘体、半导体

自然界中的各种物质,其中有些物质很容易导电,有些物质导电能力差一些,而有些物质很不容易导电,出现上述情况的根本原因在于物质内部原子与原子结合的方式以及原子本身的结构。



### 1. 导体

导体中存在着大量可以自由移动的带电粒子，这些带电粒子参与导电过程，称载流子。

一般情况下，固态金属导体如铜、铝、银的原子按一定的规则排列而形成晶体，所谓晶体是指具有规则几何形状的物体。而金属原子的价电子容易脱离其轨道，方便地从金属导体内的一点移动到另一点，形成可以在金属导体内部自由移动的电子，这些可以自由移动的电子称自由电子。当在金属导体两端施加电压时，这些自由电子参与导电过程。

液体导电分为液态金属导电和酸、碱、盐等电解质熔融成液体的导电以及电解质的水溶液即电解液的导电。以电解液的导电为例，说明导电机理。电解质在水溶液中受到水分子的作用，会离解成可以自由移动的正离子和负离子，例如氯化钠（化学式  $\text{NaCl}$ ）在水溶液中存在着如下离解过程



如果把加有电压的正、负两个电极插入电解液，溶液中的正、负离子将参与导电过程。

### 2. 绝缘体

在绝缘体的结构中，原子核对最外层电子的吸引力很强，只有能量足够大的极少数最外层电子才能挣脱原子核束缚，形成自由电子。由于自由电子数量极少，因此绝缘体的导电性能极差。正常情况下，塑料、陶瓷、云母、玻璃、胶木、空气、变压器油、六氟化硫等都是绝缘体。

### 3. 半导体

常用的半导体材料有硅、锗、砷化镓，纯度很高的半导体称纯净半导体。以纯净的硅为例，说明导电机理。由化学知识可知，硅的原子序号是 14，一个硅原子有 14 个电子，排列在三层轨道上，第一层有 2 个电子，第二层有 8 个电子，最外层有 4 个电子，如图 1-1 (a) 所示。原子核与受原子核束缚很强的第一、二层共计 10 个电子形成稳定的结构，称惯性核，惯性核带 4 个正电荷。为了突出最外层 4 个价电子的作用，硅原子的结构示意图又画成如图 1-1 (b) 所示。由于硅原子有 4 个价电子，所以硅是四价元素。

将纯净的硅制成单晶硅后，硅原子就由杂乱无章状态变成非常整齐的排列。硅原子之间的距离都相等，每个硅原子最外层的 4 个价电子不仅受自身原子核的束缚，同时还受周围相邻的 4 个原子的影响，最终使得价电子为相邻的硅原子共用，形成一对共用电子

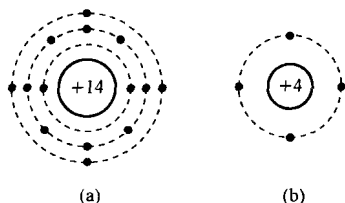


图 1-1 硅的原子结构示意图  
(a) 硅的原子结构；(b) 用惯性核表示硅的原子结构



子,电子对中的任何一个电子,既围绕自身原子核运动,又出现在相邻原子的轨道上,这对共用电子是束缚电子,这种具有共用电子对的结构称晶体的共价键,如图 1-2 (a) 所示。在硅的共价键中,束缚电子受到两个原子核的吸引,其特点是束缚电子所受束缚力较弱,在一定条件(如一定温度、光照)下,束缚电子获得能量会挣脱原子核的束缚,脱离共价键,成为自由电子,同时留下一个空位置,这个空位置称空穴,如图 1-2 (b) 所示。

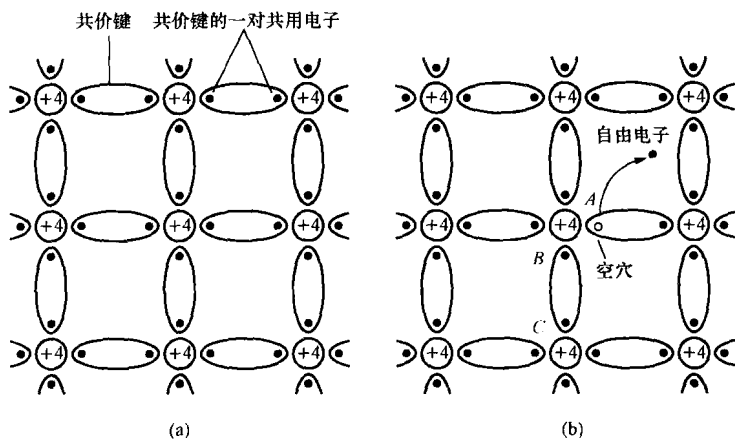


图 1-2 硅单晶的结构与电子—空穴对的产生

(a) 硅单晶的共价键结构; (b) 硅单晶在 A 处产生的电子—空穴对

当在单晶硅两端施加电压时,一方面自由电子参与导电,另一方面空穴附近共价键中的束缚电子会来填补这个空穴,从而在新的位置留下新的空穴,在图 1-2 (b) 中,如果 B 处的束缚电子填补了 A 处的空穴,则空穴由 A 处移动到 B 处,若 C 处的束缚电子又填补了 B 处的空穴,则空穴由 B 处移动到 C 处,这种运动无论从现象上还是效果上,都可以看成一个带正电荷的粒子在运动。因为空穴是中性硅原子失去一个束缚电子后留下的空位,显然在纯净的单晶半导体中,自由电子和空穴参与导电过程,称电子—空穴对。一方面由于热运动,在单晶半导体中,不断产生电子—空穴对;另一方面,自由电子和空穴在运动中,又会不断相遇重新结合而消失,称自由电子和空穴的重新结合为复合。在一定温度条件下,当电子—空穴对的产生和复合达到动态平衡时,单晶半导体中维持着一定数量的电子—空穴对。

导体、半导体、绝缘体并没有严格的分界线,它们的导电性能受到使用条件的严格限制。例如耐压为 500V 的塑料皮电线,在 220V 电压下使用,塑料皮是安全的;若在电压超过 500V 的条件下使用,则塑料皮的绝缘性能变差,甚至会



被击穿而丧失绝缘性能,成为导体。长期运行中的绝缘材料,由于受到温度变化的影响、有害气体的侵蚀、电场或水分的作用,使绝缘性能变差的过程称绝缘材料的老化。

## 第二节 电 场

### 一、库仑定律

电荷之间存在着相互作用:同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引。电荷之间的这种相互作用称电场力。法国物理学家库仑根据实验结果,指出了点电荷之间电场力的规律:

在真空中,两个点电荷之间的电场力的大小与两个点电荷的电荷量乘积成正比,与它们之间的距离平方成反比,电场力的方向在它们的连线上。这一规律称库仑定律,电场力的大小用公式表示为

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

式中  $k$ ——比例常数,称静电力恒量,  $k=9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$  (牛·米<sup>2</sup>/库<sup>2</sup>);

$Q_1$ 、 $Q_2$ ——两个点电荷的电荷量,单位为 C (以下省略单位二字);

$r$ ——两个点电荷之间的距离, m (米);

$F$ ——两个点电荷之间的电场力, N (牛顿,简称牛)。

需要指出,式(1-1)适用的条件是:真空、点电荷。而真空是相对的,绝对的真空是没有的,当点电荷处于气体极其稀薄的空间时,即可当成真空。同理,点电荷也只有理论上的价值,因为任何实际的带电体都有一定的几何尺寸,所谓点电荷是指带电体本身的几何尺寸与带电体之间的距离相比较十分小时,即可把带电体作为点电荷。真空和点电荷是一种科学的抽象,点电荷是理想化的模型。

**【例 1-1】** 真空中的两个正点电荷  $Q_1$  和  $Q_2$  相距 4m 时,它们的排斥力为 32N。当排斥力变为 8N 时,两点电荷相距多远?

**解:** 两个正点电荷的电荷量分别为  $Q_1$ 、 $Q_2$ , 当  $r_1=4\text{m}$  时,  $F_1=32\text{N}$ ; 当  $F_2=8\text{N}$  时, 设两个正点电荷相距为  $r_2$ , 由式(1-1)得

$$F_1 = k \frac{Q_1 Q_2}{r_1^2} \quad ①$$

$$F_2 = k \frac{Q_1 Q_2}{r_2^2} \quad ②$$

①÷②得,  $F_1/F_2=r_2^2/r_1^2$ , 化简后得

$$r_2^2 = r_1^2 F_1/F_2 = 4^2 \times 32/8 = 64(\text{m}^2)$$



所以

$$r_2 = 8\text{m}$$

## 二、电荷的电场

力是物体间的相互作用，即力具有物质性，力不能脱离物体而独立存在。电荷之间的电场力具有力的一切共性，但是相隔一定距离的两个电荷并没有直接接触，却有电场力，那么这种电场力是如何传递的呢？大量实验证明，在电荷周围空间存在着一种特殊形态的物质，这种物质称电场。任何电荷在其周围空间都要产生电场，电场对处于其中的其他电荷都要产生作用力，这种作用力就是电场力。电荷  $Q_1$  在其周围空间产生电场，当电荷  $Q_2$  处于  $Q_1$  附近时， $Q_1$  的电场对  $Q_2$  施以电场力；同时电荷  $Q_2$  在其周围空间也产生电场，而处于  $Q_2$  电场中的  $Q_1$  也受到  $Q_2$  电场对其施以的电场力；这说明电荷之间的电场力是通过电场发生的。

## 三、电场强度

电场对处于其中的电荷产生电场力，因此可以通过处于电场中的电荷受到的电场力描述电场。如图 1-3 所示，带电体  $Q$  带正电荷，将检验电荷  $q$  放入  $Q$  的电场中，所谓检验电荷是指带电量及几何尺寸都足够小的正电荷，这样检验电荷的引入才不至于对原电场的分布产生影响。将检验电荷  $q$  置于电场中的不同点，实验表明  $q$  在不同点所受电场力不同。设将  $q$  置于  $A$  点时所受电场力的大小为  $F_A$ ，方向如图 1-3 所示，则在  $A$  点  $F_A$  与  $q$  的比值为  $F_A/q$ 。将  $q$  的电荷量成比例改变时，电场力的大小也将成比例地改变，但电场力的方向不变，即当检验电荷的电荷量变为  $nq$  时，电场力的大小变为  $nF_A$ ，其比值  $nF_A/nq = F_A/q$  不变。

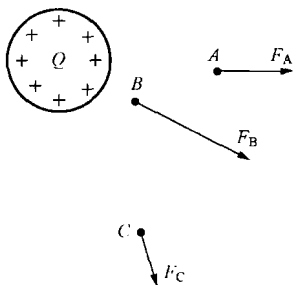


图 1-3 用检验电荷研究电场力的性质

在其他点例如  $C$  点，重复上述实验，尽管  $C$  点的比值与  $A$  点的比值不同，但  $C$  点的比值始终是  $F_C/q$ 。这说明对电场中的每一固定点，检验电荷所受电场力与其所带电荷量的比值，它的大小和方向都与检验电荷无关，完全由电荷  $Q$  形成的电场决定，反映了电场本身力的性质，这种性质称电场强度，简称场强。电场中某点场强的大小等于检验电荷在该点所受电场力的大小与检验电荷所带电荷量的比值，其方向为检验电荷（即正电荷）所受电场力的方向。即场强的大小为

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-2)$$

式中  $F$ ——电荷在电场中所受电场力的大小， $N$ ；

$q$ ——电荷的电荷量， $C$ ；

$E$ ——电场中某点电场强度的大小， $N/C$ （牛/库）。



场强是矢量，场强不由  $q$ 、 $F$  决定，即使在电场中某点不放检验电荷，该点的  $E$  仍然存在， $E$  只由产生电场的电荷和位置决定。场强反映了电场自身力的性质。

**【例 1-2】** 真空中有两个电荷量相等但异号的点电荷，电荷量均为  $Q$ ，距离为  $2r$ ，在两个点电荷连线中点处，求场强的大小和方向。

**解：**示意图如图 1-4 所示，连线中点处的场强是两个点电荷在该点形成场强的矢量和，设在中点放置检验电荷  $q$ ，则  $q$  受到两点电荷的电场力大小相等，方向都指向负点电荷。由式 (1-1) 可知， $q$  分别受到的电场力的大小为

$$F_1 = F_2 = kQq/r^2$$

总的电场力的大小为

$$F = F_1 + F_2 = 2kQq/r^2$$

由式 (1-2) 可知，中点处的场强大小为

$$E = F/q = 2kQ/r^2$$

场强  $E$  的方向指向负点电荷。

如果电场中各点的场强都相等，即各点场强的大小和方向都相同，称这种电场为均匀电场。

电荷在均匀电场中的各点受到的电场力始终相同，为  $F = Eq$ ，是恒力。

按电场中各点的场强是否相等，电场分为均匀电场和非均匀电场。

#### 四、电力线

为了形象地反映电场的强弱和方向，在电场中人为画出一系列有方向曲线，借以描绘电场的分布，这些有方向的曲线称电力线。电力线是假想曲线，是表示电场强弱和方向的曲线。电力线是按照下述规定画出的：

- (1) 电力线是从正电荷出发到负电荷终止的不间断有方向的曲线。
- (2) 沿着电力线的方向，电力线上每一点的切线方向就是该点的场强方向。
- (3) 电力线的疏密程度表示场强的大小，即垂直于场强方向的单位面积上的电力线条数越多，场强越大。
- (4) 电力线不相交，因为电场中的每一点只有一个场强方向。

常见带电体周围电场的电力线如图 1-5 所示，这些带电体的电力线是通过实验观察到的。其中图 1-5 (e) 所示的均匀电场的电力线，是一组方向由正电荷指向负电荷、分布均匀、相互平行的直线。均匀电场产生于两块面积较大、间距较小、相互平行、带等量异号电荷的金属板之间。图中其他电场的电力线，是非均匀电场产生的电力线。