



中等职业学校教学用书(电子技术专业)

电工原理

(第4版)

◎ 苏永昌 孙立津 主编

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

中等职业学校教学用书（电子技术专业）

电工原理

（第4版）

苏永昌 孙立津 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据教育部颁布的中等职业学校电工电子类教学大纲,结合行业的职业技能鉴定标准相关知识,以及近几年中等职业教育教学改革状况,在《电工原理》(第3版)的基础上修订编写的。在编写过程中适当吸收、补充当前电工电子技术领域中的新知识、新技术、新工艺、新方法,图文并茂,版式活跃。

本书共分6章,主要内容包括电路的基本知识、直流电路、电磁基本定律、电容器和电感器、正弦交流电路和三相交流电路。

本书配有《电工原理辅导与练习》,可作为中等职业学校电工电子类教学用书,也可作为相关行业培训教材或自学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工原理/苏永昌,孙立津主编.—4版.—北京:电子工业出版社,2007.8
中等职业学校教学用书.电子技术专业
ISBN 978-7-121-04860-9

I. 电… II. ①苏…②孙… III. 电子—理论—专业学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124946 号

策划编辑:蔡葵

责任编辑:韩玲玲

印刷:北京市通州大中印刷厂

装订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:15 字数:358千字

印次:2007年8月第1次印刷

印数:6000册 定价:22.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

中等职业学校教材工作领导小组

主任委员：陈 伟 信息产业部信息化推进司司长

副主任委员：辛宝忠 黑龙江省教育厅副厅长

李雅玲 信息产业部人事司处长

尚志平 山东省教学研究室副主任

马 斌 江苏省教育厅职社处处长

黄才华 河南省职业技术教育教学研究室主任

苏渭昌 教育部职业技术教育中心研究所主任

王传臣 电子工业出版社副社长

委 员：（排名不分先后）

唐国庆 湖南省教科院

张志强 黑龙江省教育厅职成教处

李 刚 天津市教委职成教处

王润拽 内蒙古自治区教育厅职成教处

常晓宝 山西省教育厅职成教处

刘 晶 河北省教育厅职成教处

王社光 陕西省教育科学研究所

吴 蕊 四川省教育厅职成教处

左其琨 安徽省教育厅职成教处

陈观诚 福建省职业技术教育中心

邓 弘 江西省教育厅职成教处

姜昭慧 湖北省职业技术教育研究中心

李栋学 广西壮族自治区教育厅职成教处

杜德昌 山东省教学研究室

谢宝善 辽宁省基础教育教研培训中心职教部

安尼瓦尔·吾斯曼 新疆维吾尔自治区教育厅职成教处

秘 书 长：李 影 电子工业出版社

副 秘 书 长：柴 灿 电子工业出版社

前 言



随着中等职业教育的不断发展和教育教学改革的进一步深入,以就业为导向的职业教育课程和教材改革日趋凸现,为了适应中等职业教育教学改革,满足教师和学生课堂教学的需求,本书在《电工原理》(第3版)的基础上进行修订。本次修订力求做到体现“以学生为主体,以能力为本位,以应用为目的,以就业为导向”的现代职业教育理念,突出实用性、先进性和趣味性。

本次修订做了如下一些尝试。

1. 在教材体系上:渗透职业道德和职业意识教育,培养学生正确的择业观和创业精神;注意与相应的职业资格标准衔接,满足职业岗位“应知,应会”的需要;适量增加学生实验,强化技能训练;设立几个活动板块,如“做一做”、“说一说”、“试一试”、“想一想”等,引导学生主动学习、积极思考和探究,增强教学互动;……如此体现新时期的职业教育特点。

2. 在教材内容上:用科学与现代的观点组织和重构传统知识内容,增加反映新知识、新技术、新工艺、新材料、新设备的内容,体现先进性;本着“必需,够用”的原则,删减部分理论性推导、复杂运算和较难的内容,对有些内容或直接给出结论,或通过实验引出结论,增加应用实例,体现实用性;增添“小资料”、“读一读”等,以扩展学生的知识面,体现趣味性。

3. 在编写形式上:每章开篇增加本章内容简介,以实例介绍本章将要学习什么;内容导入,尽量首先建立物理模型,或实验,或图片,或实例,或故事,给学生一个感性认识;增加与教材内容相关的图片、图表资料等,插图尽量以照片形式出现,增强真实性和可读性。

本书还配有《辅导与练习》,对教材中的重点、难点和学生容易混淆的内容及其应用进行系统的分析与归纳。

本书由苏永昌策划并主持修订工作,孙立津、王惠珍、张艳瑶等老师修订,孙立津、苏永昌统稿。在修订中,参考和采用了有关文献资料,因篇幅有限不一列出,特在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中还会存在这样或那样的问题,敬请读者提出宝贵意见,以便再版时改正和进一步完善。

编 者

2007年3月



目 录



第 1 章 电路的基本知识	1
1.1 电荷与电场	1
1.1.1 电荷	1
1.1.2 电场	2
1.1.3 静电现象	4
练习与作业	6
1.2 电流与电路	7
1.2.1 电流	7
1.2.2 电路	9
练习与作业	11
1.3 电源、电动势、电压与电位	12
1.3.1 电源	12
1.3.2 电动势	13
1.3.3 电压	14
1.3.4 电位	15
练习与作业	15
1.4 电阻与电阻定律	16
1.4.1 电阻	16
1.4.2 电阻定律	16
1.4.3 常用电阻器	16
练习与作业	18
1.5 欧姆定律	18
1.5.1 部分电路欧姆定律	18
1.5.2 全电路欧姆定律	18
1.5.3 电源的外特性	20
练习与作业	20
1.6 电功与电功率	21
1.6.1 电功	21
1.6.2 电功率	21
1.6.3 电流的热效应	22
练习与作业	23
学生实验	24

本章要点	27
本章复习题	28
第2章 直流电路	31
2.1 电阻串联电路	31
2.1.1 电阻串联电路的特点	32
2.1.2 实例分析	33
练习与作业	33
2.2 电阻并联电路	34
2.2.1 电阻并联电路的特点	35
2.2.2 实例分析	36
练习与作业	37
2.3 电阻混联电路	37
2.3.1 电阻混联电路的图形整理	38
2.3.2 电阻混联电路的计算	39
练习与作业	41
2.4 电池的连接	42
2.4.1 电池的串联	43
2.4.2 电池的并联	43
2.4.3 电池的混联	44
练习与作业	46
2.5 电路中电位的计算	46
2.5.1 多电源无分支串联电路	46
2.5.2 电路中各点电位的计算方法	47
练习与作业	50
2.6 基尔霍夫定律	51
2.6.1 基尔霍夫第一定律——节点电流定律	52
2.6.2 基尔霍夫第二定律——回路电压定律	53
2.6.3 用基尔霍夫定律分析与计算复杂电路	54
练习与作业	55
2.7 电压源与电流源、星形电路与三角形电路	56
2.7.1 电压源与电流源	56
2.7.2 星形电路与三角形电路	58
练习与作业	59
2.8 叠加原理与戴维南定理	60
2.8.1 叠加原理	60
2.8.2 戴维南定理	62
练习与作业	63
2.9 电源最大输出功率定理与电桥电路	64
2.9.1 电源最大输出功率定理	64

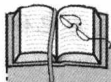
2.9.2 电桥电路	66
练习与作业	67
※2.10 万用表基本电路	68
2.10.1 指针式万用表表头特性	68
2.10.2 指针式万用表基本电路	69
练习与作业	71
学生实验	72
本章要点	78
本章复习题	80
第3章 电磁基本定律	83
3.1 磁感应强度和磁通	83
3.1.1 磁现象的基本知识	83
3.1.2 磁感应强度	86
3.1.3 磁通	87
练习与作业	88
3.2 磁导率和磁场强度	88
3.2.1 磁导率	88
3.2.2 磁场强度	89
练习与作业	90
3.3 铁磁物质的磁化和磁滞回线	91
3.3.1 铁磁物质的磁化	91
3.3.2 起始磁化曲线和磁滞回线	91
3.3.3 铁磁材料的分类	92
练习与作业	93
3.4 磁路的欧姆定律	93
3.4.1 磁路的概念	93
3.4.2 磁路欧姆定律	94
3.4.3 磁路与电路的比较	95
练习与作业	96
3.5 磁场对电流的作用	96
3.5.1 磁场对通电直导体的作用力	96
3.5.2 磁场对通电线圈的力矩	97
3.5.3 磁场对运动电荷的力——洛仑兹力	98
练习与作业	100
3.6 电磁感应	101
3.6.1 直导体中的感应电动势	101
3.6.2 线圈回路中的感应电动势	103
练习与作业	107
学生实验	109

本章要点	110
本章复习题	111
第4章 电容器和电感器	114
4.1 电容器和电容量	114
4.1.1 电容器	114
4.1.2 电容器的电容量	115
4.1.3 电容量的计算	116
4.1.4 电容器的主要参数	117
练习与作业	118
4.2 电容器的充电和放电	119
4.2.1 电容器的充电、放电现象	119
4.2.2 电容器的充、放电电流	119
练习与作业	120
4.3 电容器的连接	121
4.3.1 电容器的串联	121
4.3.2 电容器的并联	122
4.3.3 电容器的混联	123
练习与作业	123
4.4 电感器与电感量	124
4.4.1 电感器	124
4.4.2 电感器的电感量	124
4.4.3 电感量的计算	125
4.4.4 电感器的主要参数	125
练习与作业	126
4.5 自感现象与自感电动势	127
4.5.1 自感现象	127
4.5.2 自感电动势	127
练习与作业	129
4.6 互感现象与互感电动势	129
4.6.1 互感现象	129
4.6.2 互感电动势	129
4.6.3 互感线圈的同名端	130
练习与作业	132
4.7 变压器	133
4.7.1 变压器的种类及构造	133
4.7.2 变压器的工作原理	134
4.7.3 变压器的阻抗变换作用	135
练习与作业	136
4.8 电场能与磁场能	136

4.8.1	电容器中储存电场能	136
4.8.2	电感器中储存磁场能	137
4.8.3	电场能与磁场能的相互转换	138
	练习与作业	139
4.9	电路的过渡过程和换路定律	139
4.9.1	过渡过程的概念	139
4.9.2	换路定律及其应用	140
	练习与作业	141
4.10	RC 电路的过渡过程	142
4.10.1	RC 电路接通直流电源	142
4.10.2	电容器通过电阻放电	143
	练习与作业	144
4.11	RL 电路的过渡过程	145
4.11.1	RL 电路接通直流电源	145
4.11.2	RL 电路的“放电”	147
	练习与作业	148
	学生实验	148
	本章要点	151
	本章复习题	153
第 5 章	正弦交流电路	155
5.1	正弦交流电路的基本概念	155
5.1.1	正弦交流电的产生	155
5.1.2	正弦交流电的周期、频率和角频率	156
5.1.3	正弦交流电的瞬时值、最大值和有效值	157
5.1.4	正弦交流电的相位、初相位和相位差	158
5.1.5	正弦交流电的三要素	159
	练习与作业	159
5.2	正弦量的矢量表示法	160
5.2.1	正弦量的矢量表示法	160
5.2.2	矢量运算法则	162
	练习与作业	164
5.3	基本正弦交流电路	164
5.3.1	纯电阻正弦交流电路	164
5.3.2	纯电感正弦交流电路	166
5.3.3	纯电容正弦交流电路	169
	练习与作业	171
5.4	RLC 串联电路	172
5.4.1	RL 串联电路	172
5.4.2	RC 串联电路	175

5.4.3 RLC 串联电路	176
练习与作业	179
5.5 RLC 并联电路	181
练习与作业	183
5.6 正弦交流电路的功率	184
5.6.1 瞬时功率	184
5.6.2 平均功率 (有功功率)	185
5.6.3 无功功率	186
5.6.4 视在功率	187
练习与作业	188
5.7 功率因数	188
5.7.1 功率因数	188
5.7.2 提高功率因数的意义与方法	189
练习与作业	191
5.8 谐振	191
5.8.1 串联谐振电路	192
5.8.2 并联谐振电路	194
练习与作业	197
学生实验	197
本章要点	202
本章复习题	204
第 6 章 三相交流电路	207
6.1 三相交流电源	207
6.1.1 三相交流对称电动势	207
6.1.2 三相交流电动势的相序	208
6.1.3 三相交流电源的连接	208
6.1.4 相电压和线电压	209
练习与作业	211
6.2 三相交流负载	211
6.2.1 三相负载的星形 (Y 形) 连接	212
6.2.2 三相负载的三角形 (Δ 形) 连接	215
练习与作业	217
6.3 三相交流电路的功率	217
6.3.1 三相交流电路的功率	217
6.3.2 负载对称的三相电路的功率	218
练习与作业	220
学生实验	220
本章要点	222
本章复习题	223

第1章 电路的基本知识



“电”和人们的学习、工作、生活息息相关。我们总会听到诸如电路、电流、电压、电阻等一些名词；会看到通电的灯泡发光、通电的电暖气发热、通电的洗衣机转动等一些现象。这是电能与其他形式的能之间的相互转换。在这一章，我们先来学习电学的基本物理量、欧姆定律及电路工作状态等关于电路的基础知识。

1.1 电荷与电场

1.1.1 电荷

自然界中的一切物质都是由大量分子组成的，分子又由原子组成，原子又由原子核和电子组成。原子核带正电，它在原子的中心，其带电粒子叫质子；电子带负电，分别在若干层不同的轨道上围绕着原子核不停地运动。如果一个物体所含的电子总数与质子总数相同，则它呈中性，我们说它不带电；如果一个物体所含的电子总数大于质子总数，则它呈负性，我们说它带负电；如果一个物体所含的电子总数小于质子总数，则它呈正性，我们说它带正电。



做一做

用手帕摩擦塑料尺子，摩擦后的尺子可以吸起小纸片。



由于摩擦等原因，会使某物体上的部分电子移到另一个物体上。这样，其中一个物体因失去了电子而带正电荷，另一个物体因得到了电子而带负电荷。例如，用毛皮摩擦橡胶棒，会使毛皮上的一部分电子移到橡胶棒上，使橡胶棒带负电荷，而毛皮带正电荷；用绸子摩擦玻璃棒，会使玻璃棒上的一部分电子移到绸子上，使玻璃棒带正电荷，而绸子带负电荷。通过物体的相互摩擦使物体带电，叫摩擦起电。摩擦起电并不是创造了电，而只是电子发生了转移。

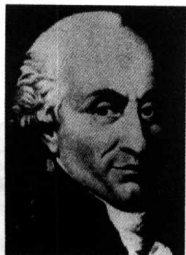
电荷是一种客观存在的物质，它不会凭空地产生或消失，只能从一个物体移到另一个物体上，这叫电荷守恒定律。物体得到或失去的电子个数越多，它所带的电荷数量也越多。通常把物体所带电荷数量的多少叫做电量，用 Q 表示，其单位为库仑(C)。1 库仑的电量是 6.25×10^{18} 个电子所带的电量，因此，一个电子的电量为

$$e = -1.6 \times 10^{-19} \text{C} \quad (\text{其中“} - \text{”表示负电荷})$$



小资料

库仑 (Charles-Augustin de Coulomb, 1736~1806 年) ——法国物理学家。1736 年生于法国昂古莱姆, 1806 年在巴黎病逝。库仑一生中在力学和电学上都做出了重大的贡献,



最主要的贡献是 1785~1789 年库仑用自己发明的扭秤建立了静电学中著名的库仑定律。他通过精密的实验对电荷间的作用力做了大量的研究, 以自己一系列的著作丰富了电学与磁学研究的计量方法。库仑的研究为电磁学的发展、电磁场理论的建立开拓了道路。

为了纪念库仑对电磁学研究的贡献, 人们以他的姓氏命名了电荷的单位“库仑”。



读一读

库仑定律

在真空中两个点电荷间的作用力的大小与它们所带电荷量的乘积成正比, 与它们之间距离的平方成反比, 作用力的方向在它们的连线上。静止的点电荷之间的作用力叫做静电力或库仑力。

若两个电荷量分别为 q_1 、 q_2 的点电荷, 它们之间的距离为 r , F 为两个点电荷之间的静电力, 则

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

式中, k 是静电恒量, $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$; q_1 、 q_2 的单位是库仑 (C); r 的单位是米 (m); F 的单位是牛顿 (N)。

库仑定律只适用于计算两个点电荷间的相互作用力。非点电荷间的相互作用力, 库仑定律不适用。

1.1.2 电场

1. 什么是电场



做一做

用绸子摩擦过的两个玻璃棒之间相互推斥, 用毛皮摩擦过的两个橡胶棒之间也相互推斥, 如图 1.1 (a) 所示; 用绸子摩擦过的玻璃棒与用毛皮摩擦过的橡胶棒之间相互吸引, 如图 1.1 (b) 所示。这说明在电荷之间存在着相互的作用力, 同性电荷相斥, 异性电荷相吸。

上述实验中, 两棒并没有直接接触, 却出现排斥或吸引的现象, 即在两棒之间存在排斥力或吸引力。那么, 两棒之间的力是如何作用的呢?

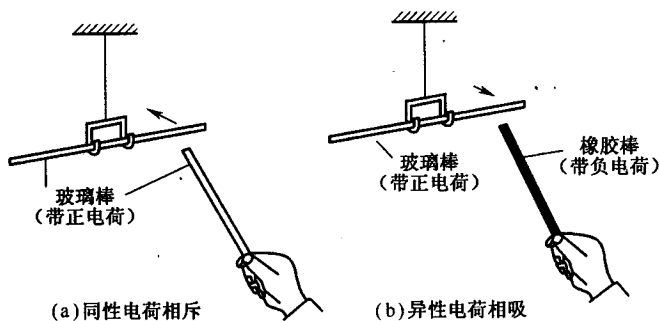


图 1.1 电荷间的作用力

力是物体间的相互作用，这种相互作用是通过物体的直接接触或通过别的物质做媒介而产生的。例如，人拉车有两种方式，一种是人手与车直接接触，另一种是人通过别的物质（如绳子）做媒介来拉车。两个带电体并没有接触，但相互之间存在着作用力，这说明它们之间存在着一种特殊（看不见，摸不到）的物质。这种存在于电荷周围空间对电荷有作用力的特殊物质叫**电场**。电荷周围存在电场。通常把静止的电荷产生的电场称为**静电场**。

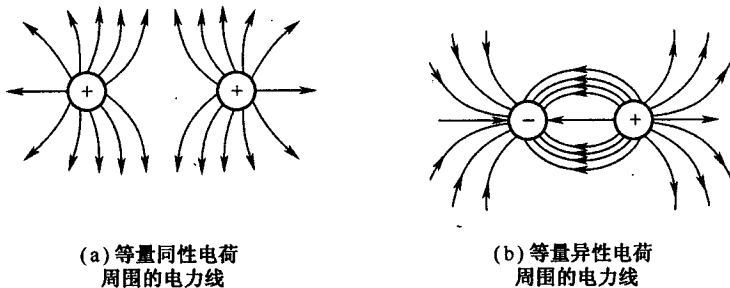
2. 电场的特性

电场具有两个特性，一个是力的特性，电场对处于电场中的电荷都有作用力，这个力叫**电场力**（也称静电力）；另一个是能量特性，电场力使电场中的带电体移动时，电场力做了功，说明电场具有能量，这个能量叫**电场能**。

电场可用**电场强度**（用 E 表示）来描述。电场强度是一个**矢量**，即有大小和方向的量。其大小等于单位正电荷在电场中某一点所受力的**大小**。实验证明，距产生电场的带电体越近处，电场强度就越强；带电体所带电量越多，它周围的电场强度也越强。电场中某点电场强度的方向规定为**正电荷**在该点所受电场力的方向。

3. 电力线

电场是看不见、摸不到的特殊物质，为了形象地描述它，可采用假想的**电力线**来描述。电力线上每一点的切线方向表示该点的电场强度方向，电力线越密的地方表示此处的电场强度越强。如图 1.2 所示为一些带电体周围的电力线图形。



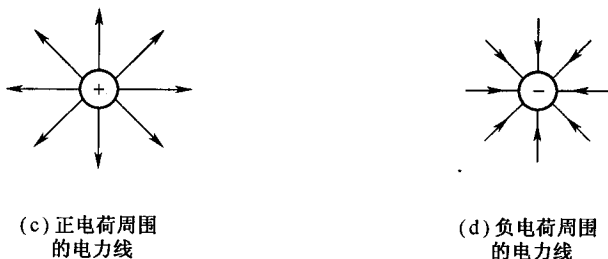


图 1.2 电力线



想一想

分析这些电力线图形, 可以得出电力线有哪些特征?

提示: (1) 静电场中的电力线从哪儿起始、到哪儿终止?

(2) 任何两条电力线之间会相交吗?

结论:

(1) 静电场中的电力线始于_____、止于_____。

(2) 任何两条电力线都_____相交。

4. 匀强电场

如果电场中各点的电场强度的大小及方向均相同, 则这个电场叫**匀强电场**。匀强电场中的电力线是一组方向相同、分布均匀的平行直线。例如, 两个带异性电荷的平行极板间的电场就是匀强电场。



试一试

你能依照电力线的特征, 画出两个带异性电荷的平行极板间匀强电场的电力线吗? 请试着在图 1.3 中画出。

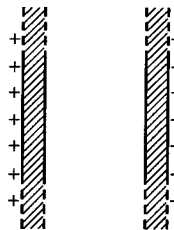


图 1.3 两个带异性电荷的平行极板间的匀强电场

1.1.3 静电现象

1. 静电感应与静电平衡

能够传导电荷的物体叫**导体**, 各种金属物体都是导体。在金属导体中, 原子最外层轨道上的电子受到原子核的吸引力最小, 很容易脱离原子核的束缚, 形成可以在金属物体中自由移动的电子, 这种电子叫**自由电子**。当金属物体置于电场中时, 自由电子会在电场力的作用下移动, 形成电荷的重新分布, 这种现象叫**静电感应**。当金属物体内部的电场为零、金属内不再有电荷移动时, 称金属导体处于**静电平衡状态**。

2. 静电屏蔽

利用导体静电平衡时其内部电场强度为零这一特性, 可以实现**静电屏蔽**, 即使空腔导体内不受外电场的影响, 空腔导体内的电场也不影响导体外的空间。

静电屏蔽应用面很广。如在电子技术应用中, 将晶体三极管管芯用金属壳罩起来, 可



避免外界电场的影响；将线圈用金属壳罩起来并接地，可消除线圈产生的电场对外部的影响。此外，仪器的探头、信号的传输线等都有金属包皮，也是为了消除内、外电场的影响。

如图 1.4 所示，是几幅静电屏蔽的应用实例图片。

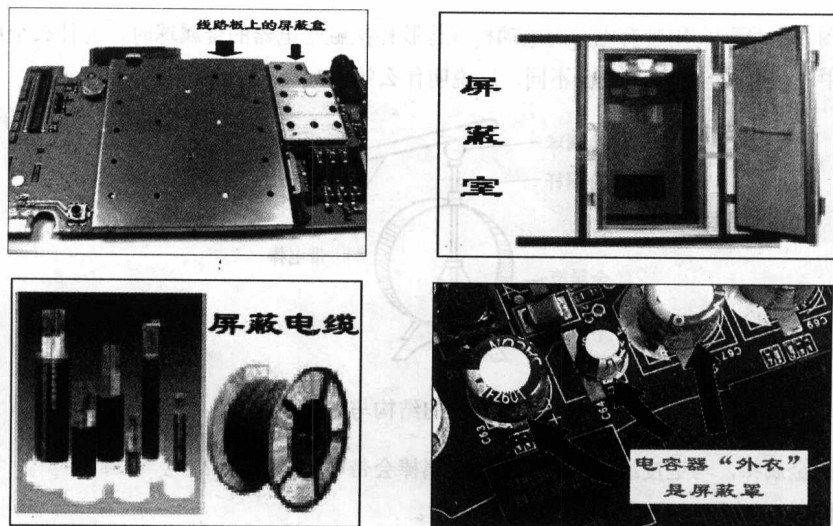


图 1.4 静电屏蔽的应用



说一说

你还知道哪些静电屏蔽的应用实例？



读一读

静电屏蔽中的对外屏蔽和对内屏蔽

将一个空腔导体放入静电场中，电力线将垂直并终止于导体外表面而不能穿过导体进入空腔内，使空腔导体内的电场强度为零，不受外界电场的影响，如图 1.5 所示，形成对外屏蔽。

如果在空腔导体内放入一个带正电荷的物体，则由于静电感应，使空腔导体内壁感应出负电荷，空腔导体外壁感应出正电荷。如果空腔导体外壁接地，则外壁正电荷消失，对外的电力线也消失，如图 1.6 所示，从而使空腔导体内的电场对空腔导体外部空间无影响，形成对内屏蔽。

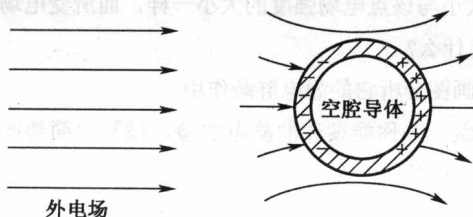


图 1.5 空腔导体对外电场的屏蔽

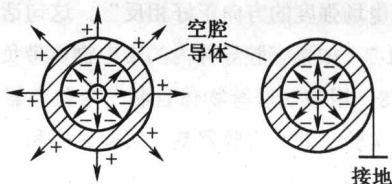


图 1.6 空腔导体对内电场的屏蔽



练习与作业

1-1-1 如图 1.7 所示,用带有电荷的玻璃棒或橡胶棒接触验电器的金属球时,为什么金属箔会张开一定的角度?实验中,金属箔张开的角度会不同,这说明什么问题?

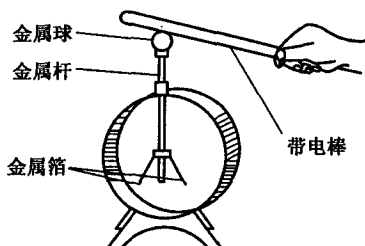


图 1.7 验电器的结构与验电实验

1-1-2 手握金属棒,与毛皮或丝绸摩擦后,金属棒会带电吗?为什么?

1-1-3 在图 1.8 中标出电荷受到的电场力的方向。

1-1-4 为什么说“任何两条电力线不会相交”?

1-1-5 说明图 1.8 中各图的哪点电场强度最强?哪点电场强度最弱?

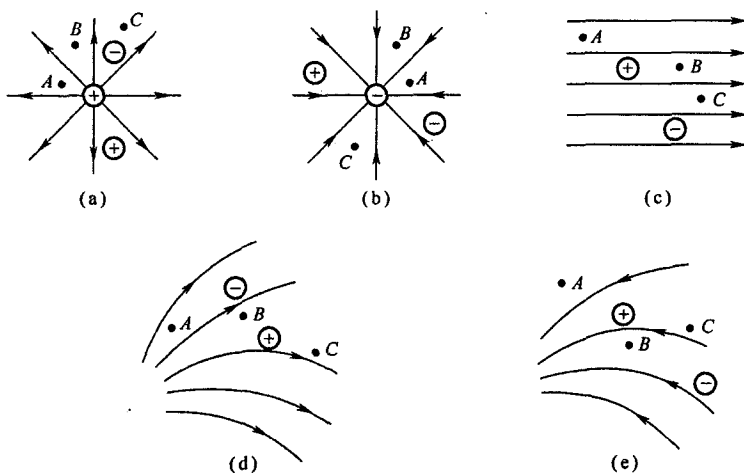


图 1.8 电荷在电场中的受力分析

1-1-6 “一个电子在电场中某点所受的电场力的大小与该点电场强度的大小一样,而所受电场力的方向与该点电场强度的方向正好相反”。这句话正确吗?为什么?

*1-1-7 如果空腔导体内的带电物体带负电荷,请画图分析它的静电屏蔽作用。

1-1-8 用玻璃瓶等物体自制一个验电器,并用它做一些你能设计的静电实验,试写出简要的实验报告,包括实验目的、实验器具、实验过程和实验结果及分析等。

1-1-9 解释下列名词:

电荷、摩擦起电、电量、电场、匀强电场、静电场、电力线、电荷守恒、库仑、电能、电场力、电场强度、导体、静电感应、静电平衡、静电屏蔽。