五年制高等职业教育通用教材

技术物理

下　册

段超英　李　杰　主编
李　杰　王文治　编
邵世敏　段超英
王　雄　主审

高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

策划编辑　邵　勇
责任编辑　杨树东
封面设计　于文燕
责任绘图　杜晓丹
版式设计　王艳红
责任校对　尤　静
责任印制

内容提要

本教材根据五年制高职六门公共课程基本要求的精神编写。全书分上、下两册，精选力学、热学、电磁学、光学、原子和原子核物理学的基本概念和规律，突出了物理在技术上的应用，如能源技术、静电技术、磁技术、核技术等。“物理学与高新技术”单列一章，强调了物理与现代高新技术的联系，这有利于学生综合素质的形成和科学思维方法的培养。

本书充分考虑了高职教育与中职教育的有机结合，以基础知识为主，又有适当的提高。内容浅显易懂，适合学生的年龄、心理特点和认识水平，具有职业教育特色。本书内容覆盖面广，既可供五年制高等职业教育各专业选用，去掉加“＊”号的内容，也可以作为中职教材使用。

图书在版编目（CIP）数据

技术物理．下册/段超英，李杰主编．—北京：高等教育出版社，2004．1
ISBN 7－04－013144－7

Ⅰ．技… Ⅱ．①段…②李… Ⅲ．工程物理学－高等学校：技术学校－教材 Ⅳ．TB13

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 098330 号

出版发行 高等教育出版社
社　　址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总　　机 010－82028899

购书热线 010－64054588
免费咨询 800－810－0598
网　　址 http://www.hep.edu.cn
http://www.hep.com.cn

经　　销 新华书店北京发行所
印　　刷

开　　本 787×1092　1/16
印　　张 14
字　　数 340 000
插　　页 1

版　　次　　年　月第 1 版
印　　次　　年　月第　次印刷
定　　价 18.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有　侵权必究

前　言

本书根据教育部高等教育司《关于加强五年制高等职业教育管理工作的通知》精神和全国五年制高职教育公共课开发指导委员会《技术物理基础课程基本要求》编写。在编写中，努力贯彻全面推进素质教育，培养有实践能力、创业能力和创新精神的高等技术应用性专门人才的思想。

遵循“知识、素质与能力的有机结合”、“基础性与应用性的有机结合”、“物理与工程的适当结合”的原则，我们在内容选择、编排和编写上作了一些改革。适当增加了与技术应用联系密切的内容，强调了物理基础知识在技术上的应用，如能源技术、静电技术、磁技术、核技术等。“物理学与高新技术”单列一章，希望通过这一章的学习使学生认识物理与现代高新技术的联系，并了解相关的现代科技知识。考虑到原子结构与发光机制的联系，把原子物理的有关内容放在“光的本性”一章。为了降低难度，对基本概念和规律的引入，尽量避免复杂的推导。精简了一些偏难的传统内容，如相对折射率、平均结合能等。本书增加了一些数表，如长度、速度、能量、电场、磁场等，目的是开阔学生的眼界，并不要求学生记忆。全书突出了能量的思想，增加了波的能量、电场能量、磁场能量等，强调了能量的转换和利用。“物理学家”和“阅读材料”等栏目的设置，有的是对教材内容的适当加宽和加深，有的是为了培养学生的能力和物理精神。

本教材分上、下两册，上册包括力学、热学，下册包括电磁学、光学和原子核物理基础。考虑到五年制高职教育的特点和各专业的不同要求，按照统筹考虑高等教育课程和中等教育课程的要求，我们把高出中职物理教学大纲的内容加上了“*”号，供各有关学校、专业选用。《技术物理实验与实训》与本教材配套。

通过技术物理课程的学习，应使学生具有必备的物理基础知识，了解科学技术的发展与物理学的相互联系，学会观察物理现象，培养学生运用物理知识分析、解决实际问题的能力，掌握基本的实验技能，提高动手能力。通过学习，逐步形成科学的世界观和严谨的工作作风。在这方面做一些贡献，是本教材编者的愿望。

全书使用国际单位制，物理学所用名词符合全国自然科学名词审定委员会公布的《物理学名词》。

本教材由张玉华（第1、2章）、董芸芸（第3、4章）、段超英（第5、6、15、16章、绪论和附录）、牛金生（第7、8章）、李杰（第9、10章）、王文治（第11、12章）、邵世敏（第13、14章）编写。段超英、牛金生任上册主编，郝超任上册主审；段超英、李杰任下册主编，王雄任下册主审；全书由段超英统稿。

编写本书时，参考了许多文献资料，在此对有关资料的编著者表示深切的谢意。

欢迎职教物理教师、学生和其他有关专家、读者提出宝贵意见。

编者

2003年3月

目　录

第 9 章　静电场　静电技术 …… 1
9－1　真空中的库仑定律 …… 1
[物理学家]库仑 …… 4
习题 9－1 …… 5
9－2　电场 …… 5
习题 9－2 …… 9
9－3　电势 …… 10
习题 9－3 …… 13
9－4　电势差和电场强度 …… 13
习题 9－4 …… 15
9－5　静电场中的导体 …… 15
9－6　电容 …… 18
[阅读材料]照相闪光灯 …… 21
习题 9－6 …… 22
9－7　电荷在电场中的运动 …… 22
习题 9－7 …… 24
*9－8　电介质　电场能量 …… 24
9－9　静电技术的应用 …… 26
[阅读材料]压电现象 …… 28
小结 …… 29
自我检测题 9 …… 31
第 10 章　恒定电流 …… 34
10－1　电流　电阻 …… 34
[阅读材料]超导 …… 37
习题 10－1 …… 38
10－2　电功　电热　电功率 …… 39
[物理学家]焦耳 …… 41
习题 10－2 …… 43
10－3　电阻的连接 …… 43
习题 10－3 …… 46
10－4　电源的电动势 …… 47
[阅读材料]温差电现象 …… 49
习题 10－4 …… 51
10－5　全电路欧姆定律 …… 52
[物理学家]欧姆 …… 54
习题 10－5 …… 55
*10－6　电阻的测量 …… 55
小结 …… 58
自我检测题 10 …… 60
第 11 章　磁场　磁技术 …… 63
11－1　磁场 …… 63
习题 11－1 …… 67
11－2　电流的磁场 …… 67
习题 11－2 …… 71
11－3　磁场对电流的作用 …… 71
[物理学家]安培 …… 74
习题 11－3 …… 75
11－4　磁场对运动电荷的作用 …… 76
习题 11－4 …… 78
*11－5　磁现象在技术中的应用 …… 79
小结 …… 80
自我检测题 11 …… 82
第 12 章　电磁感应 …… 84
12－1　电磁感应现象 …… 84
习题 12－1 …… 86
12－2　法拉第电磁感应定律 …… 87
[物理学家]法拉第 …… 90
习题 12－2 …… 91
12－3　自感和互感 …… 92
[阅读材料]远距离输电 …… 95
习题 12－3 …… 96
12－4　电磁感应的应用 …… 96
12－5　电磁场和电磁波 …… 100
[物理学家]麦克斯韦 …… 103
[阅读材料]无线电波的发射、传播和接收 …… 104

需要全本请访问 www.ertongbook.com

习题 12－5 …… 106
* 12－6 电磁场的能量 电磁污染及控制 …… 106
小结 …… 108
自我检测题 12 …… 109
第 13 章 几何光学 …… 112
13－1 光的折射 …… 112
[物理学家]墨翟 …… 115
习题 13－1 …… 116
13－2 光纤传光原理 …… 116
[阅读材料]蜃景 …… 119
习题 13－2 …… 120
13－3 常用光学元件 …… 120
习题 13－3 …… 122
13－4 透镜公式 …… 123
习题 13－4 …… 125
13－5 常用光学仪器 …… 125
习题 13－5 …… 128
* 13－6 光的能量 …… 128
[阅读材料]光学中的高科技产品 …… 130
小结 …… 132
自我检测题 13 …… 133
第 14 章 光的本性 …… 136
14－1 光——原子能量的发射 …… 137
习题 14－1 …… 139
14－2 光的波动性 …… 139
习题 14－2 …… 142
14－3 电磁波谱 …… 143
习题 14－3 …… 145
14－4 光的粒子性 …… 145
[阅读材料]康普顿效应 …… 148
[阅读材料]光电控制 …… 148
习题 14－4 …… 149
14－5 光的波粒二象性 …… 150
习题 14－5 …… 150
14－6 激光及其应用 …… 151
习题 14－6 …… 152
小结 …… 153
自我检测题 14 …… 154
第 15 章 原子核物理基础 …… 156
15－1 天然放射性 …… 156
[物理学家]贝可勒尔 居里夫人 …… 160
习题 15－1 …… 161
15－2 原子核的人工转变 …… 162
[阅读材料]“基本”粒子 …… 164
习题 15－2 …… 167
15－3 核能 …… 167
[物理学家]爱因斯坦 …… 168
习题 15－3 …… 169
15－4 重核裂变 核电站 …… 170
习题 15－4 …… 172
15－5 轻核聚变 …… 173
[阅读材料]恒星的演化 …… 174
习题 15－5 …… 177
* 15－6 核武器 放射性污染的控制 …… 177
[阅读材料]辐射的计量 …… 179
习题 15－6 …… 181
小结 …… 181
自我检测题 15 …… 183
* 第 16 章 物理学与高新技术 …… 185
16－1 物理检测技术 …… 185
习题 16－1 …… 190
16－2 纳米科学技术 …… 191
习题 16－2 …… 193
16－3 生物物理技术 …… 193
16－4 物理与军事高技术 …… 196
习题 16－4 …… 200
16－5 物理与环境保护 …… 200
习题 16－5 …… 203
附录 B …… 205
B－1 计量单位表（下册） …… 205
B－2 物理学词汇（下册） …… 207
B－3 习题参考答案（下册） …… 213
参考文献 …… 216
元素周期表

第 9 章　静电场　静电技术

干燥的天气里，用塑料梳子梳头发，头发会随梳子的运动飘起来，当手接触过毛衣或化学纤维合成物品后，再触摸物体或人体会感到电击。这都是电场对电荷作用的结果。

在这一章里，我们要讨论静止电荷间相互作用时产生的现象，还要学习静电力（电场力）、电场、电势和电容的性质及静电技术的简单应用。

静电场的特性和作用规律是电磁学的基本理论，是学习电工学、电子学等课程的基础。



静电使人毛发耸立

9－1　真空中的库仑定律

玻璃棒和丝绸摩擦、硬橡胶棒和毛皮摩擦，摩擦后能吸引纸屑等轻小物体，能使验电器的两片金属箔张开，说明这些物体带了电荷。带电的物体叫带电体，除摩擦外还有其他方式也能使物体带电或称为起电。自然界中只有两种电荷：正电荷和负电荷。上述实验中玻璃棒和毛皮带的是正电荷，丝绸和硬橡胶棒带的是负电荷。两个物体相互摩擦，使一个物体失去了电子而带正电，另一个物体得到对方失去的电子而带负电。带电过程是电荷在物体间的转移，并没有产生新电荷。

物体所带电荷的多少称为电荷或电荷量，用 Q 或 q 表示。电荷量的 SI 单位是库仑，符号是 C。经测定，质子和电子分别带有等量的正、负电荷。表 9－1 给出了它们的电荷量和质量。

表 9－1 质子和电子的电荷量与质量

粒子	电荷量 Q/C	质量 m/kg
质子	1.602×10^{-19}	1.67×10^{-27}
电子	-1.602×10^{-19}	9.11×10^{-31}

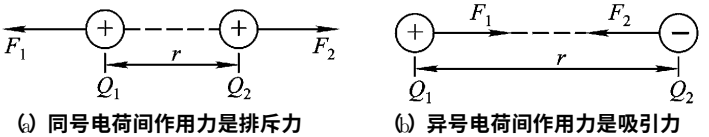
至今还没发现比质子、电子的所带电荷量更小的正电荷和负电荷，因此将它们所带电荷的绝对值称为元电荷，用 e 表示，$e=1.602\times10^{-19}$ C。任何带电物体所带电荷量都是元电荷的整数倍，即 $Q=ne$，n 为整数。$n>0$，物体带正电；$n<0$，物体带负电。

点电荷 研究表明，电荷间的相互作用与两个带电体的所带电荷量、带电体之间的距离、带电体的形状、大小及电荷在它们上面的分布有关，还与它们周围的介质有关，情况相当复杂。为了使问题简化，我们引入点电荷的概念。若带电体的线度比它们之间的距离小很多时，这个带电体的形状、大小和电荷的分布对电荷间的相互作用的影响已无关紧要，可以把这个带电体看作一个带电的点。这样的带电体称为点电荷。点电荷是突出主要因素，忽略次要因素，经过科学抽象的物理模型。物理学中经常用各种物理模型研究一些复杂问题。

真空中的库仑定律 1785 年，法国物理学家库仑总结出点电荷间作用的规律：真空中两个点电荷 Q_1 和 Q_2 之间相互作用力的大小与 Q_1、Q_2 的乘积成正比，与它们之间的距离 r 的二次方成反比；作用力的方向在两个点电荷的连线上。即

$$F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2} \tag{9-1}$$

这就是真空中的库仑定律。比例系数 k 称为静电力恒量，由实验测得，当式中各量都使用 SI 单位时，$k\approx9\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$。电荷之间的这种相互作用力称为静电力或库仑力。同号电荷相互排斥，异号电荷相互吸引（图 9－1）。



(a) 同号电荷间作用力是排斥力　　(b) 异号电荷间作用力是吸引力

图 9－1 电荷间的相互作用力

式（9－1）仅适用于点电荷，一般带电体之间的相互作用力，要用叠加原理或积分进行计算。计算表明，两个均匀带电球体之间的相互作用力，恰好也能用式（9－1）计算，这时 r 表示两球心之间的距离。

库仑定律是电学中第一个定量定律，电学的研究由此进入定量阶段，完成了电学发展史上的第一次飞跃。

* 电介质中的库仑定律 若把两个点电荷 Q_1、Q_2 放到电介质（绝缘体）中，它们之间的静电力为

$$F = k\frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_r r^2} \tag{9-2}$$

这称为电介质中的库仑定律。式中 ε_r 为一纯数，称为电介质的相对介电常数，或相对电容率。电介质不同，相对介电常数不同，表 9－2 列出几种电介质的相对介电常数。

表 9－2　几种电介质的相对介电常数

电介质	相对介电常数 ε_r
真空	1
氦	1.000 064
空气	1.000 55
石蜡	2
变压器油（20 ℃）	2.24
聚乙烯	2.3
尼龙	3.5
云母	4～7
纸	约为 5
陶瓷	6～8
玻璃	5～10
水（20 ℃，1.013×10^5 Pa）	80
钛酸钡	约 $10^3\sim10^4$
钛酸钡锶	约 10^4

通常把空气的相对介电常数近似取为 1。可以看出，在电介质中，两个电荷间的相互作用力要比在同样条件下放在真空中的作用力小。

如果一个点电荷同时受到两个以上点电荷的作用，每个电荷对它的作用力仍可由库仑定律计算。而这个电荷受到的合力，则是其他电荷对它作用力的矢量和。

求两个点电荷间相互作用力的步骤是：

⑴ 利用式 (9－1) 或 (9－2) 计算力的大小，计算时电荷量用绝对值代入。

⑵ 确定作用力的方向：同性电荷间的作用力是排斥力，异性电荷间的作用力是吸引力。

应强调的是：电荷间的相互作用力是一对作用力和反作用力。

例题　两个正、负点电荷相距 10 cm，电荷量分别为 4×10^{-8} C 和 -6×10^{-8} C，它们在真空中的作用力是多少？若把它们放到 $\varepsilon_r=3$ 的煤油中相互作用力又是多少？方向如何？

解　已知 $Q_1=4\times10^{-8}$ C，$Q_2=-6\times10^{-8}$ C，$r=10$ cm$=0.1$ m，则在真空中，力的大小为

$$F = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 9\times10^9\times\frac{4\times10^{-8}\times6\times10^{-8}}{(1\times10^{-1})^2}\text{N}$$

$$=2.16\times10^{-3}\text{N}$$

由于 Q_1、Q_2 是异号电荷，作用力为引力，方向如图 9－2 所示。在煤油中 $\varepsilon_r=3$，则有

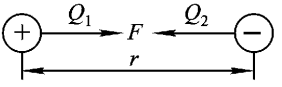


图 9－2　例题图

$$F_\varepsilon=k\frac{Q_1Q_2}{\varepsilon_r r^2}$$

$$F_\varepsilon=\frac{F}{\varepsilon_r}=\frac{2.16\times10^{-3}}{3}\ \mathrm{N}=7.2\times10^{-4}\mathrm{N}$$

F_ε 小于真空中的作用力，仍为引力。

[小实验]

不听话的绒线

把若干根干燥细毛绒线的一端捆扎在一起，再把每根绒线四周的绒毛剪掉。手拿捆扎端，让另一端自由竖直下垂。用干燥的手将这些下垂的绒线捋几下，自由端不但不聚拢在一起，反而会散开。自己动手做一做，解释看到的现象。

[物理学家]

库　仑

（Charles-Augustin de Coulomb，1736—1806）

库仑是法国物理学家，法国科学院院士。他年轻时曾先后在马扎林学院和法国公学上学。1757 年加入了蒙彼利埃科学协会，开始研究天文学和数学。1761 年毕业于军事工程学院，之后在军队里服役，任军事工程师。1774 年库仑发表了第一篇科学论文，1777 年发表了有关磁针研究的论文。1779 年在巴黎开始系统地从事科学研究。1781 年发表有关摩擦的论文，获科学院双重一等奖。



库仑

库仑在物理学中最主要的贡献是建立了著名的库仑定律。1784 年，库仑参照米切尔在 1750 年使用的扭秤并结合自己的思考设计了一台扭秤（人称库仑扭秤）：在一条轻的水平铁片的中点上，系一根长铁丝，把它挂在玻璃匣内。把一个带电的球放在铁片一端，再拿一个带电的球与它接近，铁片即发生扭转；拿一块磁铁换去铁片，并用另一块磁铁和它接近，也可使磁铁发生扭转。他发现电力和磁力都有随距离的二次方而减少的反比关系，并且证明这些力与牛顿万有引力定律有同样的关系。特别值得一提的是，当时还没有公认的测量电荷量的方法，而库仑利用对称性，找到了等分电荷量的方法：用两个相同的金属球，使其中一个带电、另一个不带电，二者互相接触之后，各自带原来电荷量的一半。再用这个办法依次得到了带原来电荷量的二分之一、四分之一、八分之一、十六分之一……的电荷。库仑证明：两个带电球相互作用时，如果其中一个球的带电荷量减少一半，两球的作用力减

少到原来的二分之一 如果两球的带电荷量都减少一半，两球的作用力减少为原来的四分之一，发现可以用电力量度电荷，提出了力和电荷量间的关系：$F = kQ_1 Q_2 / r^2$。这就是我们说的库仑定律。库仑还对电荷在导体中的分布进行了详细研究。

此外，库仑还做了一系列关于滑动摩擦的实验，在另一位科学家阿芒汤研究成果的基础上建立了库仑摩擦定律：摩擦力和作用在物体表面上的正压力成正比。他还证明了摩擦因数和物体的材料有关。

库仑于 1806 年 8 月 23 日去世，享年 70 岁。为了纪念他，电荷量的单位命名为“库仑”。

习　题　9－1

1. 1 C 电荷量含有多少元电荷？

2. 将电荷量分别为 1×10^{-4} C 和 -1×10^{-5} C 的两个点电荷放在真空中，相距 1 m。求它们之间的静电力是多少？是排斥力还是吸引力？

3. 一根与毛皮摩擦过的硬橡胶棒获得的电荷为 -3.2×10^{-10} C，毛皮获得的电荷量是多少？是正电荷还是负电荷？

4. 真空中有两个带电荷量分别是 1×10^{-9} C 和 5×10^{-7} C 的点电荷，电荷间的相互作用力是 1.8×10^{-3} N，求两电荷间的距离。

5. 在真空中一个电荷量是 2×10^{-9} C 的点电荷 q，受到另一个点电荷 Q 的吸引力为 9×10^{-3} N，q 与 Q 间的距离为 0.1 m，求 Q 的电荷量。

9－2　电　　场

射向空中的枪弹最终会落向地面，高山上的瀑布总是飞流直下……实验和理论研究都证明，地球周围存在着特殊的物质——重力场，是它传递了地球对周围物体间的引力（重力），才出现上述现象。重力场实际是地球的引力场，任何物体周围都有引力场。同一个物体在地球不同位置上受的引力大小不同，离地面越远，引力越小。地球的引力场范围是有限的，离地球越远，引力越弱，直至消失。与物体有引力场类似，电荷周围也存在一种特殊物质——电场。电荷间的作用力是通过电场传递的。例如：电荷 A 对电荷 B 的作用力，是 A 通过自己的电场对 B 施加了作用；同样，B 对 A 的作用力是 B 的电场对 A 的作用。当电荷 A、B 彼此远离对方，即远离对方的电场时，电荷间的作用力也逐渐减小。电场对电荷的作用称为电场力。与重力场类似，电场也是有方向的：正电荷在电场中某点所受电场力的方向规定为该点电场方向。由静止电荷产生的电场称为静电场，产生电场的电荷叫场源电荷。用来检验电场的点电荷叫检验电荷（试探电荷）①。

电场强度　电场的最基本性质之一是对进入电场中的电荷有力的作用。在电场中的不同点，电场力也不相同。为了描述电场的这一性质，我们把放入电场中某点的检验电荷受到的电场力跟它的电荷量的比称为该点的电场强度。用 E 表示电场强度，则

① 检验电荷通常用电荷量很小的正点电荷，以使它的存在不致影响原电场。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

$$E=\frac{F}{q} \tag{9-3}$$

式中 F 为电场力，q 为检验电荷的电荷量。

电场强度是矢量，电场中某一点电场强度的方向，就是该点的电场方向。

电场强度的 SI 单位是牛顿每库仑，符号是 N/C。

电场强度是描述电场的物理量，电场强度的大小表示电场的强弱，电场强度的方向表示该点电场的方向。

在电场中的不同点，检验电荷 q 受到的电场力一般不同。例如，将 q 放到距场源 Q 较近的 D 点，受到的电场力 F_D 较大，说明 D 点的电场强度 E_D 较大，D 点电场较强；q 放到距 Q 较远的 B 点，受电场力 F_B 较小，电场强度 E_B 也较小，B 点电场较弱（图 9－3）。在电场中任意一点，不同的检验电荷 q 在该点受的电场力 F 与电荷量 q 的比值都相同，说明电场中一个确定点的电场强度是一个常量，即：电场的强弱与检验电荷无关，只与电场本身的性质有关。

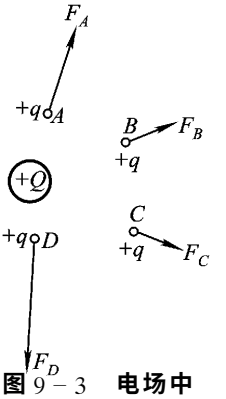


图 9－3 电场中各点的电场强度

表 9－3 列出几种电场的电场强度值。

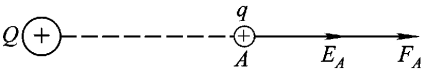
表 9－3 几种电场的电场强度值

电 场	电场强度 E/（N·C^{-1}）
铀核表面	2×10^{21}
氢原子内电子轨道处	6×10^{11}
X 射线管内	5×10^{6}
空气的电击穿电场强度	3×10^{6}
范德格拉夫静电加速器内	2×10^{6}
电视机的电子枪内	10^{5}
闪电内	10^{4}
雷达发射器近旁	7×10^{3}
晴天大气中（地表面附近）	1×10^{2}
小型激光器发射的激光束内（平均）	1×10^{2}
日光灯管内	10
无线电波内	约 10^{-1}
家用电器线路内	约 3×10^{-2}

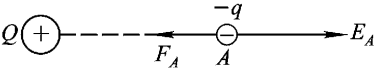
如果已知电场中某点的电场强度，即可求出电荷 q 在该点所受电场力：

$$F=Eq \tag{9-4}$$

正电荷所受电场力的方向与该点电场强度方向相同，负电荷所受电场力的方向与该点电场强度方向相反，如图 9－4。



(a) 正点电荷受电场力与该点电场强度方向相同

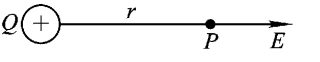


(b) 负点电荷受电场力与该点电场强度方向相反

图 9－4　电场力的方向

点电荷的电场强度　点电荷 Q 的电场在真空中某点电场强度可由式 (9－1) 和式 (9－3) 求得。距 Q 为 r 的 P 点电场强度为

$$E = k\frac{Q}{r^2} \qquad (9-5)$$



如果场源电荷 Q 是正电荷，那么电场中 P 点的电场强度 E 的方向是沿 QP 的连线背离 Q 如果 Q 是负电荷，则 P 点的电场强度方向沿着 QP 连线指向 Q，如图 9－5 所示。

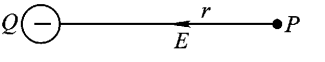


图 9－5　点电荷 Q 电场某点的电场强度方向

在几个点电荷共同形成的电场中，某一点 P 的电场强度，是每个电荷在 P 点电场强度的矢量和。

例题 1　在真空中有一个点电荷 Q，它的电荷量是 6.6×10^{-8} C，求离它 10 cm 处某一点电场强度的大小。

解　由式 (9－5) 得

$$E = k\frac{Q}{r^2} = \left(9\times10^9\times\frac{6.6\times10^{-8}}{0.1^2}\right)\text{N/C}$$
$$= 5.94\times10^4\ \text{N/C}$$

例题 2　如图 9－6，把一电荷量为 4×10^{-9} C 的点电荷 q，放在距点电荷 Q 为 0.3 m 的电场中。已知 q 受的电场力为 8×10^{-7} N，求 q 所在处的电场强度。

解　方法一　公式 $E = F/q$ 是电场强度的定义式，所以在距 Q 为 $r = 0.3$ m 处，电场强度的大小为

$$E = \frac{8\times10^{-7}}{4\times10^{-9}}\text{N/C} = 2\times10^2\ \text{N/C}$$

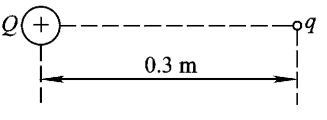


图 9－6　例题 2 图

方法二　由 $F = kQq/r^2$ 得

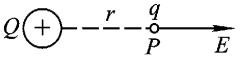
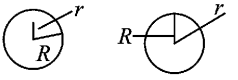
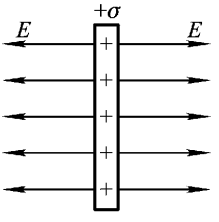
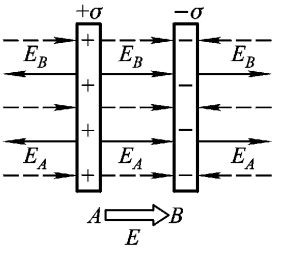
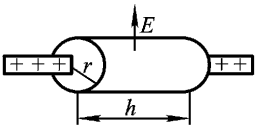
$$Q = \frac{Fr^2}{kq} = \frac{8\times10^{-7}\times0.3^2}{9\times10^9\times4\times10^{-9}}\ \text{C} = 2\times10^{-9}\ \text{C}$$

$$E = k\frac{Q}{r^2} = 9\times10^9\times\frac{2\times10^{-9}}{0.3^2}\ \text{N/C} = 2\times10^2\ \text{N/C}$$

对比可知，方法一较简便。

表 9－4 列出了几种典型电场的电场强度。

表 9－4　几种典型电场的电场强度 [真空介电常数 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ \mathrm{C^2/(N \cdot m^2)}$]

电场源	图及电场线	电场强度
点电荷		$E_P = k\dfrac{Q}{r^2} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2}$
均匀带电球体	 (a)　(b)	球内：$E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Qr}{R^3}$ $(r < R)$ 球外：$E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2}$ $(r > R)$
无限大均匀带电平板		$E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ (σ 为电荷面密度)
带等量异号电荷无限大平行板		两板间：$E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}$ 两板外：$E = 0$
无限长均匀带电直线		$E = \dfrac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r}$ (τ 为电荷线密度)

电场线　英国物理学家、化学家法拉第首先提出用场线形象地描述电场和磁场，这为电场和磁场的研究找到了一个好方法。

在电场中作出一系列从正电荷出发到负电荷或无穷远处终止的曲线，使曲线上每一点的切线方向都与该点的电场强度 E 的方向一致。这些曲线叫电场线。图 9－7 是一个电场的电场线。

电场线的形状可以通过实验模拟出来。不同电场的电场线形状各不相同。图 9.8 中 (a)、(b) 是孤立点电荷的电场线；(c) 是两等量异号电荷的电场线；(d) 是等量同号电荷的电场线。

从图 9－8 中可以看出：① 电场线总是从正电荷出发终止于负

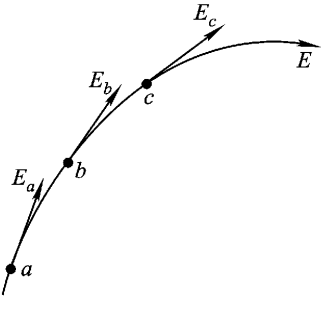
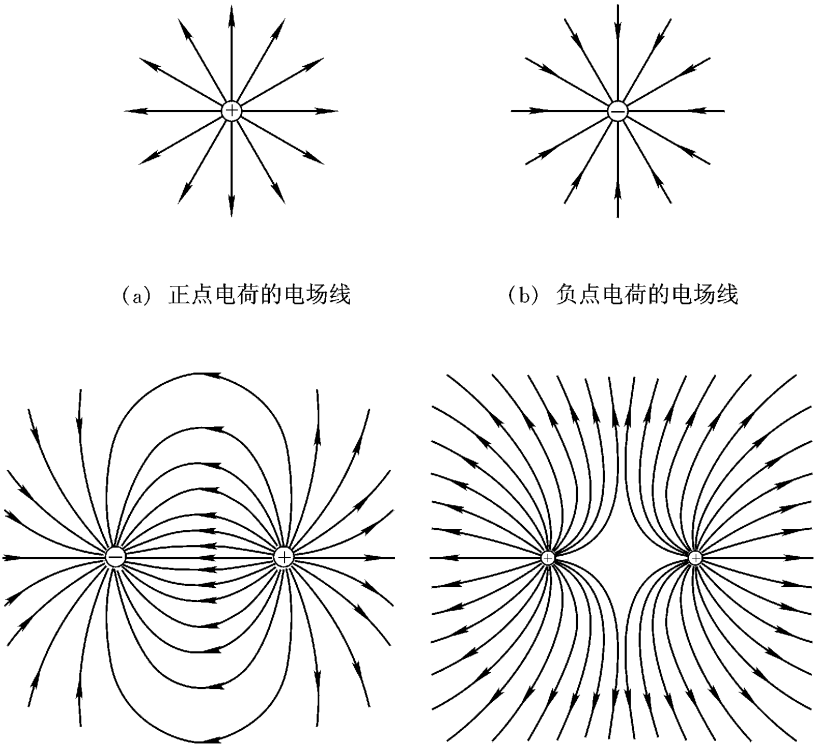


图 9－7　电场线

电荷或无穷远；② 电场线不闭合、不相交。



(a) 正点电荷的电场线　　(b) 负点电荷的电场线

(c) 两等量异号电荷的电场线　　(d) 两等量同号点电荷的电场线

图 9－8　不同电场的电场线

由电场线的分布可以形象地说明电场的性质：电场线上各点切线方向表明该点电场强度的方向；用电场线分布的疏密表示电场强度的大小，电场强处电场线密，电场弱处电场线稀。应该指出，电场中并不存在电场线，它是人们根据电场实际情况想像出来的。

匀强电场　图 9－9 是一对带等量异号电荷的平行金属板间的电场线的分布情况。在电场的中央部分，电场线是互相平行、均匀分布的直线，说明这一区域内各点电场强度的大小和方向都相同，这样的电场称为匀强电场。由于匀强电场的特殊性质，使得在实验和研究中常要用到匀强电场。

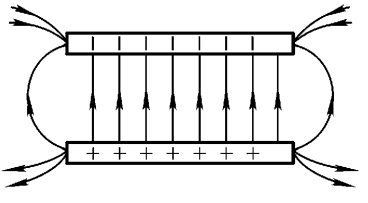


图 9－9　在两个带等量异号电荷的平行金属板间的匀强电场

习　题　9－2

1. 什么是电场力？电场的方向是怎样规定的？
2. 试比较本节中式 (9－3) 和式 (9－5) 有什么不同？
3. 什么是匀强电场？它的电场线分布有何特点？
4. 图 9－10 是某电场的电场线，请在 (a) 图中标出点电荷 $-q$ 在 P 点受电场力的方向及 P 点电场强度的方

向？在(b)图中比较 a 点和 b 点电场强度的大小。

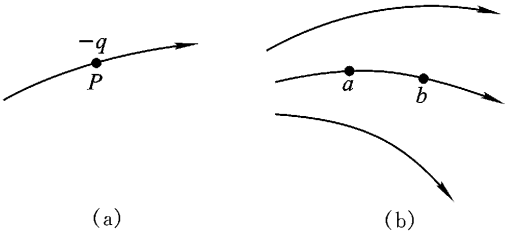


图 9－10　题 4 图

5. 在真空中有一点电荷 Q，它的电荷量是 1.5×10^{-8} C，求距它 0.1 m 处的电场强度。

9－3　电　　势

将带电的玻璃棒接触验电器金属球，金属箔片因带等量同性电荷相互排斥而张开一定角度，这是电场力对箔片上电荷做了功。电场有做功的本领，说明电场具有能量，这是电场的又一重要性质。

电势能　物体在地球的引力场中由于重力作用具有重力势能；同样，电荷在电场中受电场力作用也具有势能，称为电势能。

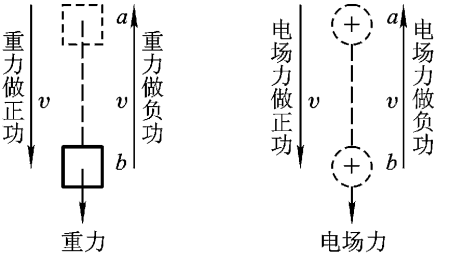
重力做正功，重力势能减少；重力做负功，重力势能增加；重力对物体做的功总是等于物体重力势能的改变量。与此类似，电场力将电荷沿电场力方向由某一位置移到另一位置做正功时，电荷的电势能减少；当逆着电场力方向移动电荷做负功时，电荷的电势能增加。电势能的改变量总是等于电场对电荷做的功，如图 9－11 所示。

用 E_{pa}、E_{pb} 分别表示电荷在电场中 a、b 点的电势能，W_{ab} 表示把电荷 q 由 a 点移到 b 点时，电场力做的功，则

$$W_{ab}=E_{pa}-E_{pb} \tag{9-6}$$

和重力势能一样，电势能也是标量。电势能值是相对的，只有确定了零电势能的位置后，电荷在电场中任一位置的电势能才有确定的值。零电势能的位置可任意选取，在理论上取无穷远处的电势能为零。

电势　在电场任一位置 a，无论检验电荷的电荷量 q 怎样改变，检验电荷在该点具有的电势



(a) 重力对物体做功　　(b) 电场力对电荷做功

图 9－11　重力做功与电场力做功的对比

能 E_{pa} 与它电荷量的比值 $\frac{E_{pa}}{q}$ 总是一常量；在另一位置 b，比值 $\frac{E_{pb}}{q}$ 也是一个常量。位置不同，这个比值一般也不同，但都与检验电荷无关，只由电场本身的性质决定。我们把这个比值称为电势，用它来描述电场。即电荷在电场某点所具有的电势能 E_p 和它的电荷量 q 的比值，称为该点的电势。用 V 表示电势，则

$$V=\frac{E_p}{q} \tag{9-7}$$

电势的 SI 单位是伏特，符号是 V。若电荷量为 1 C 的电荷，在电场中某点的电势能为 1 J，该点的电势就是 1 V。1 V＝1 J/C。

电势是标量，也是相对量，只有先确定零电势的位置后，才能确定电场中其他位置的电势值。零电势的选取同零电势能点的选取一致，实际应用中常取地球的电势为零。

在电场中，取无穷远处的电势为零时，可以证明：在正电荷形成的电场中，各点的电势都是正值，越靠近正电荷电势越高；在负电荷形成的电场中，各点的电势都是负值，越靠近负电荷电势越低。

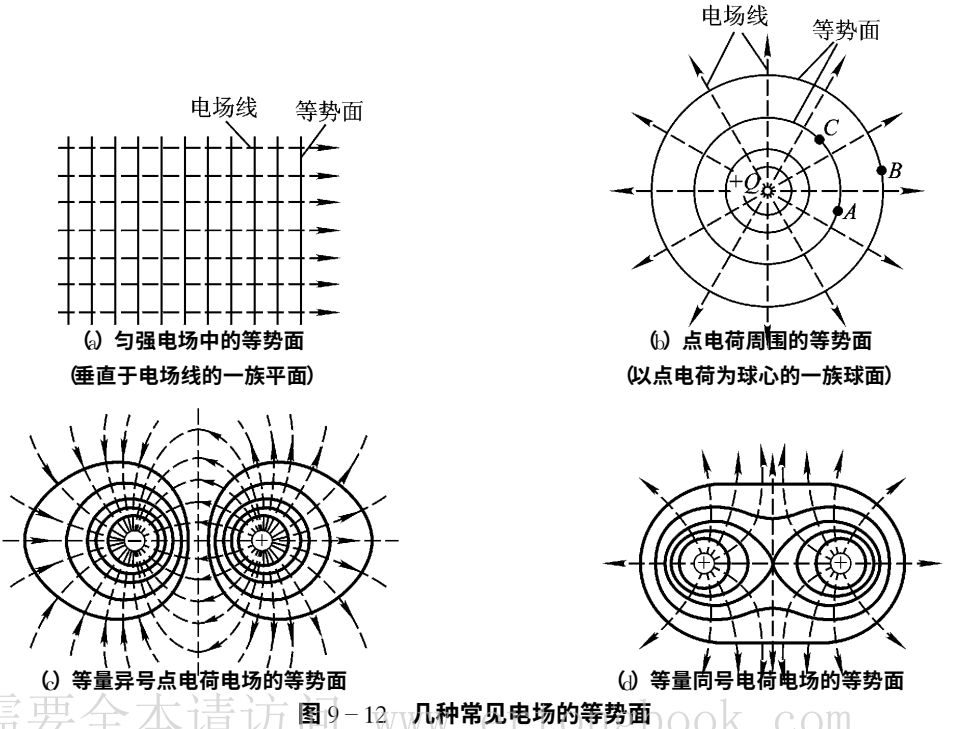
如果已知电场中各点的电势分布，可以利用式 (9－7) 求电荷 q 在某一点的电势能：

$$E_p=qV$$

等势面　在电场中常用等势面描述电势的分布和电势的高低。

电场中电势相等的点组成的面称为等势面。等势面和电场线是从不同角度来形象地描述电场的性质。理论研究表明，在同一等势面上移动电荷时电场力不做功。

图 9－12 是几种常见电场的等势面。图中虚线表示电场线，实线表示等势面。



(a) 匀强电场中的等势面
(垂直于电场线的一族平面)

(b) 点电荷周围的等势面
(以点电荷为球心的一族球面)

(c) 等量异号点电荷电场的等势面

(d) 等量同号电荷电场的等势面

图 9－12　几种常见电场的等势面

需要全本请访问 www.ertongbook.com