

全国勘察设计注册工程师 公共基础考试用书

电气与信息技术基础 (第三册)

住房和城乡建设部执业资格注册中心 组编



本书适用于以下专业考试的备考人员

- ★ 注册一级、二级结构工程师
- ★ 注册土木工程师（岩土、港口与航道工程、水利水电工程）
- ★ 注册公用设备工程师（暖通空调、动力、给水排水）
- ★ 注册电气工程师（发输变电、供配电）
- ★ 注册化工工程师
- ★ 注册环保工程师
- ★ 注册道桥工程师（新增，待考）
- ★ 注册机械工程师（新增，待考）
- ★ 注册石油天然气工程师（新增，待考）
- ★ 注册采矿矿物工程师（新增，待考）
- ★ 注册冶金工程师（新增，待考）



内含考试
新大纲



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国勘察设计注册工程师公共基础考试用书

电气与信息技术基础 (第三册)

住房和城乡建设部执业资格注册中心 组编



机械工业出版社

本书是由住房和城乡建设部执业资格注册中心组编, 由全国勘察设计注册工程师考试委员会主编, 根据最新修订的 2009 版的《勘察设计注册工程师公共基础考试大纲》同步编写的一套辅导丛书中的一本——《电气与信息技术基础》。本书分电工电子技术、信号与信息技术、计算机技术共三章, 完全按照考试大纲要求的知识点、深度和广度对这三门基础课进行了系统且简明扼要的阐述, 并穿插了历年的有代表性考题配合讲解, 以便考生能在最短的时间内熟悉并掌握考试要点和解题诀窍, 从而在繁忙的工作之余有效地抓住要点, 梳理出脉络, 进行备考复习, 顺利通过考试。

本书适合于所有全国勘察设计注册工程师各专业考试的备考人员。

图书在版编目 (CIP) 数据

全国勘察设计注册工程师公共基础考试用书. 电气与信息技术基础/住房和城乡建设部执业资格注册中心组编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2010. 3

ISBN 978 - 7 - 111 - 29975 - 2

I. ①全… II. ①住… III. ①建筑工程 - 地质勘探 - 资格考核 - 自学参考资料②电工技术 - 工程技术人员 - 资格考核 - 自学参考资料③电子技术 - 工程技术人员 - 资格考核 - 自学参考资料④电子计算机 - 工程技术人员 - 资格考核 - 自学参考资料 IV. ①TU19

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 035701 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 薛俊高 责任编辑: 薛俊高 版式设计: 霍永明

责任校对: 吴美英 封面设计: 张 静 责任印制: 乔 宇

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 3 月第 2 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.75 印张 · 1 插页 · 360 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 29975 - 2

定价: 46.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

编委会组成人员

主任委员 赵春山

副主任委员 陶建明 林孔元

委 员 张 旭 吴宗泽 李万琼 胡展飞 王 萍

前 言

本丛书是在全国勘察设计注册工程师管理委员会的指导下，由住房和城乡建设部执业资格注册中心组织编写的，其目的在于进一步帮助勘察设计行业广大专业技术人员更准确、更清晰地了解勘察设计注册工程师执业资格考试对他们的科学与技术基础知识的具体要求。

新考试大纲将勘察设计注册工程师公共基础知识要求定位在“工程科学基础”、“现代工程技术基础”和“现代工程管理基础”三个方面，其中包含理论性、方法性、技术性和知识性四个层次的基本要求。

上述的三个方面和它们所包含的四个层次知识要求是从勘察设计注册工程师执业资格考试的角度提出的，是对工程师执业所必须具备的基本素养的检验。它有别于高校基础课程教学的要求，但又和他们所受教育的背景有关；它不是对应考者学历资格的重复检验，但又必须和我国高等工程教育的状况保持必要的衔接。

从工程师公共基础知识检验的角度，编者在丛书中力图体现新考试大纲的下述基本精神：

1. 对理论性问题，重基本概念

描述物质世界基本规律的定理、定律，以及和从事工程设计工作的工程师们密切相关的社会和经济运行的基本规律是人们终身收益的知识精髓，是保证工程师能够跟上科学技术的发展，作到“与时俱进”的重要条件，工程师们必须对此具有清晰的概念和深刻的认识，要求“招之即来，来之能用”。对于更进一步的要求，如奇异现象解释、疑难问题处理、综合问题求解等则不做要求；

2. 对方法性问题，重要领

方法指的是处理问题基本的科学方法，包括数学的、物理的、力学的、化学的，以及社会和经济等各个基础学科的基本描述与分析方法，如问题的描述与建模、模型求解、统计方法、数值计算，映射变换，物理实验，化学分析等等。这些普遍的科学方法也都是人们终身受益的科学精髓，工程师们对这些基本方法的核心思想必须深刻领悟，对这些方法的基本要领必须掌握。但不强调解题技巧、难题求解以及复杂问题的综合分析等。

3. 对技术性问题，重要点

技术性问题，如技术名词、术语的含义、技术设备的基本原理、应用系统

的基本组成和主要功能等，要求具有明晰的概念和清楚的认识，而一些具体的细节问题，如技术设备和系统的设计方法与实现手段，以及和运行操作、维护管理有关的问题等，本丛书并不做特别的强调。

鉴于现代电气与信息技术已经成为各个专业领域核心技术中重要的、共有的组成部分，新大纲强调了对该技术领域知识的检验，在本丛书中也给予了特别的重视。

4. 对知识性问题，重知识面

知识性问题是指那些对工程师而言是重要的、必要的常识性问题。知识性问题注重检验工程师们的知识面和应对科技进步挑战的潜力，并不要求对多学科、多领域知识的系统掌握和深入理解。知识性问题遍布大纲的各个部分，在信息与计算机、经济与法律法规部分则有更多体现。丛书对知识性内容以简要、通俗的方式予以叙述或介绍。

应当指出，上述所不特别强调的问题或内容只是从对工程师公共基础知识背景检验或认定的角度考虑的，并不是说这些问题或内容对工程师不重要。相反，这些问题和内容是重要的，但它们应当在专业基础以及专业知识和能力的检验中去体现。

根据上述的基本精神和处理原则，读者不难理解本丛书的下述性质和作用：

1. 丛书是对大纲条目内涵和外延的具体界定和详尽说明，它是一套准确反映考试要求的详解手册而不是教科书。对于已有的知识，读者可以从中得到温故知新；对于或缺的知识，读者可以从中得到进一步学习的指导，从而有效地加以补充。

2. 执业资格考试的性质决定了它有别于学校培养人才的合格性认定，它不是对学历背景的重新检验，所以考试大纲不是高校基础课程教学大纲的简单集合，它既包含高校课程的核心内容，也包括对勘察设计工程师基本素质的特定要求。读者必须按照考试大纲的要求，逐条落实自己的应考准备，不可因盲目通读大学课本而事倍功半。本丛书将对此提供有益的帮助。

3. 执业资格考试实质上是一种国家设立的某一专业领域资格的认定标准，内容结构既有公共性，也有专业性，公共部分内容要求原则上不考虑个体差异的消弭或不同学历背景间的平衡。本丛书也不是教科书，并不提供考试大纲条目内容所涉及知识体系的全貌，它只是一份详细的提纲，为应考者提供脉络清晰的备考指导。读者还必须根据自身的情况做出自己的安排，作好切实的准备，该复习的复习、该补充的补充，没有捷径可走。

为便于读者使用，丛书分四册编写：

1. 第1册《数理化基础》：本册构成本丛书工程科学基础的前3章，即数学基础、物理基础和化学基础3章，是工程科学基础要求的核心部分，包含描述

物质结构和运动规律的基本理论和基本方法的提要和必要的讲解。对于学历基础厚实的读者,只要浏览本册,了解具体要求即可;对于基础欠缺的读者则需要认真补充并深入理解有关的基础概念、理论和方法。

2. 第2册《力学基础》:本册构成本丛书工程科学基础的后3章,即第4~6章。它根据勘察设计注册工程师对工程力学基础的特殊要求编写,包含理论力学、材料力学和流体力学三个学科的基本理论、方法和应用的提要与讲解。建议所有读者都应精读本册并认真准备,借应考之机全面充实自身的力学知识,提高力学修养,加强运用力学知识分析工程问题的能力。

3. 第3册《电气与信息技术基础》:现代工程技术基础包括诸多方面,但作为勘察设计行业各个专业共同的基础,则非电气与信息技术莫属。电气与信息包括电工技术、电子技术和计算机技术三个领域,它们的核心任务都是处理信息,所以本丛书以信息为主线,将它们作为一个整体集中于一册中加以说明。本册共分三章编写,即丛书的第7~9章,分别阐述对电工电子、信号与信息,以及计算机三个方面的知识性要求,其中信号与信息是信息处理的核心概念,电工电子是信息处理的核心技术,而计算机则是信息处理的主要工具。读者对本册的内容会感到似曾相识却又相距甚远,觉得自己的知识不甚完整、概念不甚明晰。所以,尽管本册的内容是知识性的,还是应当予以足够重视,通过必要的学习建立现代信息技术更清晰的概念,获取现代信息技术更全面的知识,增强自己运用信息技术的能力。

4. 第4册《工程经济与法律法规》:本册构成丛书的最后两章,即第10章、第11章。工程经济与法律法规是工程设计的社会要素,它和前面那些科学与技术要素具有同等的重要性,所以,新大纲强化了这方面知识的考核要求也就不言而喻了。尽管在我国的高等工程教育中设立了经济与法规的相关课程,但在学生的学习进程中却往往得不到足够的重视,所以,读者要特别关注本册的内容,通过强化学习来增强自身的社会意识,做一个基础知识全面、综合素质优秀的合格的设计工程师。

本丛书的编写是全国勘察设计注册工程师公共基础考试大纲修订工作的一个重要组成部分,编写的思路是明晰的,谅必会有益于读者。但是,由于编写时间紧促,必定存在诸多不完善之处,还望读者及各方面人士不吝指教。

赵春山

2009年5月

目 录

前言

第7章 电工电子技术 1

7.1 电磁基本知识 1

7.1.1 电荷与电场 1

7.1.2 库仑定律 2

7.1.3 高斯定理 3

7.1.4 电流与磁场 4

7.1.5 安培环路定律 7

7.1.6 电磁感应定律 8

7.1.7 洛伦兹力 9

7.2 电路知识 10

7.2.1 电路组成 10

7.2.2 电路的基本物理效应 11

7.2.3 理想电路元件及其约束关系 11

7.2.4 电路模型 13

7.2.5 基尔霍夫定律 16

7.2.6 电压源模型与电流源模型的 等效互换 18

7.2.7 支路电流法 19

7.2.8 等效电源定理 22

7.2.9 叠加原理 25

7.2.10 正弦交流电的时间函数描述 26

7.2.11 阻抗 28

7.2.12 正弦交流电的相量描述 29

7.2.13 复数阻抗 31

7.2.14 正弦交流电路中特殊的电压 关系和特殊的电流关系 34

7.2.15 正弦交流电路稳态分析的相 量法 35

7.2.16 正弦交流电路的功率 36

7.2.17 功率因数 38

7.2.18 三相电路及三相电路的用电 安全 39

7.2.19 电路的暂态 43

7.2.20 一阶电路暂态特性 44

7.2.21 电路频率特性 46

7.3 变压器与电动机 49

7.3.1 理想变压器 49

7.3.2 变压器的电压变换、电流变 换和阻抗变换 49

7.3.3 三相异步电动机的转矩 52

7.3.4 三相异步电动机的接线、 启动、反转及调速方法 53

7.3.5 三相异步电动机的运行特性 56

7.3.6 基本的继电-接触控制电路 57

7.4 模拟电子技术 63

7.4.1 晶体二极管 63

7.4.2 二极管单相整流电路（半波、 全波） 63

7.4.3 双极型晶体三极管 65

7.4.4 共射极放大电路 67

7.4.5 输入阻抗与输出阻抗 69

7.4.6 射极跟随器与阻抗变换 71

7.4.7 运算放大器 74

7.4.8 反相运算放大器 76

7.4.9 同相运算放大器 78

7.4.10 基于运算放大器的比较电路 80

7.5 数字电子技术 81

7.5.1 基本逻辑门及其逻辑功能 81

7.5.2 简单组合逻辑电路 83

7.5.3 D 触发器 84

7.5.4 JK 触发器 86

7.5.5 数据寄存器和数据移位寄 存器 88

7.5.6 脉冲计数器 90

第8章 信号与信息技术 94

8.1 信号与信息 94

8.1.1 信息、信号和数据 94

8.1.2 信号的分类 95

8.1.3 模拟信号与信息 99

8.1.4 数字信号与信息 99

8.2 模拟信号的描述 102

8.2.1 模拟信号的时间域描述 102

8.2.2 模拟信号分析与频率域描述 103

8.3 模拟信号的处理	108	9.2.6 二进制数的运算	153
8.3.1 模拟信号增强	108	9.2.7 进位计数制	155
8.3.2 模拟信号滤波	108	9.2.8 不同计数制之间的转换	157
8.3.3 模拟信号变换	110	9.2.9 数值数据在计算机内的表示	161
8.3.4 模拟信号识别	111	9.2.10 非数值数据在计算机内 的表示	163
8.4 数字信号处理	111	9.2.11 多媒体数据在计算机内的 表示	165
8.4.1 数字信号的逻辑演算	112	9.2.12 信息存储单位	168
8.4.2 数字信号的数值运算	115	9.2.13 信息安全	170
8.4.3 数字信号的符号信息处理	118	9.2.14 信息保密	177
8.5 数字信号的存储	121	9.2.15 计算机犯罪	178
8.6 模拟信号与数字信号的相互转换	121	9.3 Windows 操作系统	179
8.6.1 信号的采样与采样定理	121	9.3.1 Windows 的发展	179
8.6.2 模拟/数字转换 (A/D; Analog-to-Digital)	123	9.3.2 进程和处理器管理	180
8.6.3 数字/模拟转换 (D/A; Digital-to-Analog)	124	9.3.3 存储管理	183
第9章 计算机技术	126	9.3.4 设备管理	185
9.1 计算机系统的组成	126	9.3.5 文件管理	186
9.1.1 计算机的发展	126	9.3.6 作业管理	188
9.1.2 计算机的分类	129	9.4 计算机网络	189
9.1.3 计算机系统的组成	130	9.4.1 计算机与计算机网络	189
9.1.4 计算机硬件系统的组成	131	9.4.2 计算机网络的概念	189
9.1.5 计算机软件系统的组成	136	9.4.3 计算机网络的功能	190
9.1.6 支撑软件	143	9.4.4 计算机网络的分类	191
9.1.7 应用软件	144	9.4.5 计算机网络的组成	192
9.1.8 计算机语言	145	9.4.6 网络体系结构与协议	194
9.1.9 常用的程序设计语言	149	9.4.7 局域网	200
9.2 信息表示	150	9.4.8 广域网	201
9.2.1 信息是什么	151	9.4.9 网络互连	203
9.2.2 信息的定义	151	9.4.10 因特网	204
9.2.3 信息在计算机内的表示	151	9.4.11 网络管理	213
9.2.4 信息的特征	151	9.4.12 网络安全	215
9.2.5 二进制数操作的优点	152	9.4.13 Windows XP 中的网络应用	217

第7章

电工电子技术

7.1 电磁基本知识

原子组成分子，分子构成物质，原子由中心的原子核和外围的电子组成，原子核带正电荷，外围电子带负电荷；两者带电总量相等，极性相反，所以一个完整的原子对外并不带电，只有在外围电子受某种激励而脱离原子核的束缚时原子才显现带电现象。

当电荷处于静止状态时，在其周围可观测到电场的存在；当电荷处于运动状态时，在其周围可观测到磁场的存在。所以，电荷、电场和磁场其实都是物质存在的基本形态。

7.1.1 电荷与电场

电子所具有的电荷量的绝对值是最小电量单位： $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ (库仑)。任何电量都只能是电子电量 e 的整数倍，所以电量是一个量子化的量。

静止电荷周围的电场称为静电场。置于电场中的任何带电体都要受到力的作用，这个力称为电场力。电场力是电场存在的一种证明；带电体在电场力的作用下就会移动做功，这说明电场具有能量，也是电场物质性的一个例证。

一个孤立点电荷周围的电场在空间呈辐射状分布。当点电荷为正电荷时，电场起始于正电荷，终止于无限远处；当点电荷为负电荷时则相反，电场起始

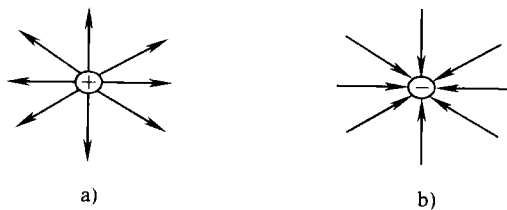


图 7.1-1 孤立点电荷电场分布
a) 正电荷电场分布 b) 负电荷电场分布

于无限远处，终止于负电荷，如图 7.1-1a 和图 7.1-1b 所示。一对正负点电荷周围的电场分布状况不同于孤立点电荷的电场分布，它起始于正电荷，终止于负电荷，如图 7.1-2 所示。

【例 7.1-1】 带电物体之间的作用力是

(A) 电磁力 (B) 电场力 (C) 磁场力 (D) 洛伦兹力

答案: (B)。

解: 带电物体之间的作用力是它们所带电荷之间的作用力, 而电荷之间的作用力又是电荷电场之间的作用力, 所以是电场力。

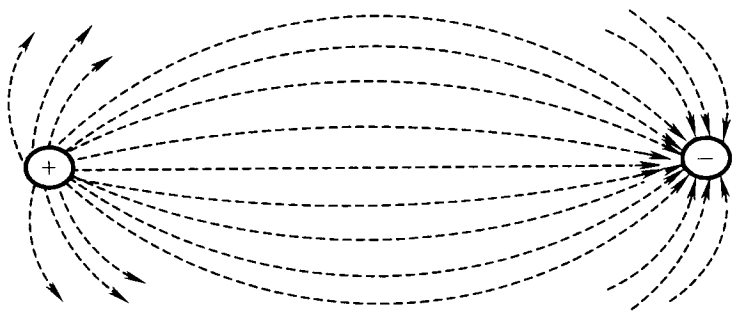


图 7.1-2 一对点电荷的电场分布

7.1.2 库仑定律

1. 库仑定律

库仑定律给出真空中两个带电体之间作用力的定量关系。前面已经指出, 处于电场中的带电体要受电场力的作用。由于电场是由另外的电荷建立的, 所以电场力的作用表现为两个带电体电荷之间的作用力。

在真空中, 两个带电体之间作用力 F 的大小和下列几个因素有关:

- (1) 两个带电体的电量 q_1 和 q_2 。
- (2) 两个带电体之间的距离 r 。

库仑定律给出了这种关系:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (7.1-1)$$

式中, $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (库仑²·牛顿⁻¹·米⁻²); ϵ_0 是真空中介电常数。

两个带电体之间作用力的方向和电荷的极性有关, 并遵循“同性相吸、异性相斥”规律。对于点电荷, 作用力沿着两者连线的方向相吸或相斥, 如图 7.1-3 所示。

由于带电体 q_1 和 q_2 都有各自的电场, 所以两者之间的作用力可以理解为 q_1 的电场对 q_2 的作用力和 q_2 的电场对 q_1 的作用力, 或者理解为 q_1 的电场和 q_2 的电场之间的作用力。

2. 电场强度

电场的强弱以电场强度来度量。电场中某一

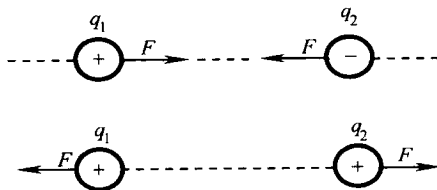


图 7.1-3 点电荷间作用力方向

点的电场强度 E 根据库仑定律来定义:

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (7.1-2)$$

式中, 电场力 F 由库仑定律得到, 电量 q_0 是在该点做测试用的带电体所带正电荷的电量。测试用带电体的体积很小, 带电量也很小, 它的引入以不破坏原有电场的分布为原则。

显然, 电场中某点电场强度的大小等于单位正电荷在该点所受电场力的大小, 它的方向与正电荷的受力方向相同。

电场强度的单位是 $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$, 即牛顿·库仑 $^{-1}$, 通常还采用 $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$, 即伏特·米 $^{-1}$ 为单位, 两者具有相同的量纲。

【例 7.1-2】 静电场中库仑定律的表述形式是 $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$, 式中, ϵ_0 是

- (A) 真空中的介电常数
- (B) 空气中的介电常数
- (C) 蒸馏水中的介电常数
- (D) 任何介质的介电常数

答案: (A)。

解: 库仑是在真空中做实验总结出库仑定律的, 所以 ϵ_0 是真空中的介电常数。不同介质的介电常数是不同的。

7.1.3 高斯定理

高斯定理从另一个角度给出电荷与电场的关系, 它的表述形式为

$$\Phi = \oint_s E \cdot dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (7.1-3)$$

式 7.1-3 的含义是: 在真空介质中, 通过任意闭合曲面 s 的电通量 Φ 等于该闭合曲面所包围的所有电荷的代数和 $\sum_{i=1}^n q_i$ 与真空中介电常数 ϵ_0 的商, 而与闭合曲面外的电荷无关, 也和闭合面的形状无关。式中

(1) 闭合曲面内电荷的代数和 $\sum_{i=1}^n q_i$ 是指正、负电荷的代数和, 即正电荷取正号, 负电荷取负号;

(2) 电通量是电场中电场强度 E 对它所穿越过的空间某一曲面面积 (S) 的累积, 表示为 $\Phi = \oint_s E \cdot dS$ 。其中 E 是曲面上任意一点上的电场强度, dS 是曲面上与该点电场强度相垂直的一个面元的面积;

(3) 闭合曲面上的电通量表示为 $\Phi = \oint_s E \cdot dS$, 其中, E 是闭合曲面上任意一点上的电场强度, dS 是闭合曲面上与该点电场强度相垂直的一个面元的面积。此处规定: 穿出 dS 的 E 取正号; 穿入 dS 的 E 取负号。

电通量的引入是高斯的重要贡献, 它是电场、磁场、电磁场以及其他场问题研究中的一个重要概念。

【例 7.1-3】 电场中有个闭合球面, 球面所包围的电荷电量为 $+q_1$, 球面外电荷的电量为 $-q_2$, 则通过该球面的电通量 Φ 是

- (A) $\Phi = \frac{1}{\varepsilon_0}(q_1 + q_2)$ (B) $\Phi = \frac{1}{\varepsilon_0}(q_1 - q_2)$
 (C) $\Phi = \frac{1}{\varepsilon_0}q_1$ (D) $\Phi = -\frac{1}{\varepsilon_0}q_2$

答案: (C)。

解: 根据高斯定理

$$\Phi = \oint_S E \cdot dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i$$

可知, 通过球面的电通量等于它所包围电量的代数和与真空介电常数的商, 而与球面外的电荷无关。所以唯有答案 C 正确。

7.1.4 电流与磁场

1. 电流

电荷的定向流动形成电流。在电学理论中, 电流的方向规定为正电荷流动的方向, 而负电荷流动形成的电流方向与正电荷流动的方向相反。例如在导体中, 电流是由自由电子定向流动形成的, 但电流的方向与自由电子流动的方向相反。

电流的大小以单位时间里所流动的电荷总量即电荷的流量来度量, 称为电流强度, 通常用符号 I 来表示。在导体中, 电流强度 I 定义为单位时间里通过导体任意一个横截面的电荷总量, 即

$$I = \frac{q_s}{t} \quad (7.1-4)$$

式中, q_s 是通过导体横截面的电荷电量, 它的方向定义为正电荷通过横截面的方向。电流强度 I 通常简称为电流, 它的单位是 A (安培), $1\text{A} = 1\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

【例 7.1-4】 导体中的电流强度

$$I = \frac{q_s}{t}$$

的含义是:

- (A) 电流强度等于单位时间里通过导体单位横截面的电荷电量, 方向同正电荷流动方向
 (B) 电流强度等于单位时间里通过导体横截面的正电荷电量, 方向同正电荷流动方向
 (C) 电流强度等于单位时间里通过导体单位横截面的自由电子电荷电量, 方向同自由电子流动方向
 (D) 电流强度等于单位时间里通过导体横截面的自由电子电荷电量, 方向同自由电子流动方向

答案: (B)。

解: 电流强度的方向规定为正电荷流动方向, 其大小为单位时间通过导体横截面的电荷总量。所以唯有答案 B 正确。

2. 磁场

在恒定电流流动路径的周围空间中存在磁场, 因此, 处于该空间中的磁针会受到力的作用而发生偏转, 这种力称为磁力。在磁场中的某一位置上, 磁针的指向 (S→N) 定义为该点磁场的方向, 磁针在所在位置受磁力的大小代表该点磁场的强弱。

磁场的强弱以单位磁针在磁场中受力的大小来度量, 称为磁感应强度, 用 B 来表示。 B 的单位是 T (特斯拉), $1\text{T} = 1\text{N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 。磁感应强度也用 G (高斯) 做单位, $1\text{T} = 10^4\text{G}$ 。

磁场在电流周围的分布状况以磁针在不同位置上所受力的大小和方向来描述。和电场有首有尾 (起始于正电荷终止于负电荷) 的分布状况不同, 磁场是围绕电流周围无首无尾呈环形分布的, 如图 7.1-4 所示。

电流方向与磁场方向关系用右手螺旋定则来确定。对于一根直导线 (图 7.1-5a), 伸开右手拇指指向电流方向, 则弯曲的四指指向磁场的方向; 对于一个线圈 (图 7.1-5b), 弯曲的四指指向电流的方向, 则伸开的拇指指向磁场的方向。

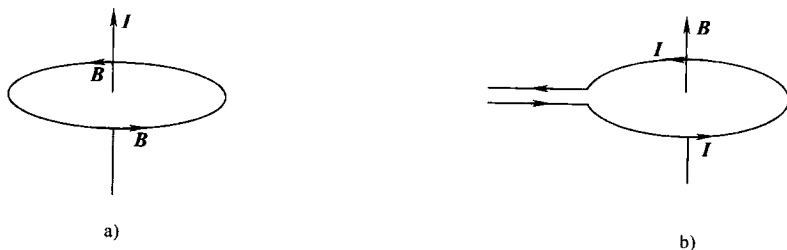


图 7.1-4 电流与磁场的方向关系
a) 直导线的电流磁场 b) 线圈的电流磁场

【例 7.1-5】 磁场中的磁力是

- (A) 电荷在磁场中所受的力
- (B) 运动电荷在磁场中所受的力
- (C) 载流导体在磁场中所受的力
- (D) 磁针或载流线圈在磁场中所受到的力

答案: (D)。

解: 磁场中的磁力是磁场对磁场的作用力, 它表现为磁针或通电线圈在磁场中所受的力, 而磁针或通电线圈都有各自的磁场。

3. 毕-萨定律

毕-萨定律揭示了电流 I 和磁感应强度 B 之间的定量关系, 它的表述形式为

$$\vec{B} = \int_l d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{I} dl \times \hat{r}}{r^2} \quad (7.1-5)$$

其含义是 (参阅图 7.1-5):

(1) 电流 I 在磁场中任意一点处 (P 点) 的磁感应强度 B 等于电流元 $\vec{I} dl$ 在该点的磁感应强度 $d\vec{B}$ 沿电流路径的线积分, 其中:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{I} d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

μ_0 是真空中的磁导率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$, r 是从电流元到 P 点的距离;

(2) 电流元 $\vec{I} d\vec{l}$ 是一个向量, 它的方向与电流方向一致。其中的 $d\vec{l}$ 表示电流路径上的一个微线段; $\vec{I}$ 是这个微线段上的电流;

(3) $\hat{r}$ 是一个单位向量, 它从电流元 $\vec{I} d\vec{l}$ 指向 P 点。电流元与单位向量的“叉乘” $\vec{I} d\vec{l} \times \hat{r}$ 确定了 P 点磁感应强度 $d\vec{B}$ 的方向, 图 7.1-5 中的符号 “ $\otimes$ ” 指示垂直纸面向里的方向。不难看出, 这个指向符合右手定则。

对于图 7.1-6 所表示的一根长直导线通以电流 I 的情况, 当 $l \gg x$ 时毕-萨定律可表示为

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} \quad (7.1-6)$$

即长直导线电流磁场中任意点的磁感应强度 B 与电流 I 的大小成正比, 与任意点到导线的垂直距离 x 成反比; 磁感应强度 B 的方向由右手定则确定。

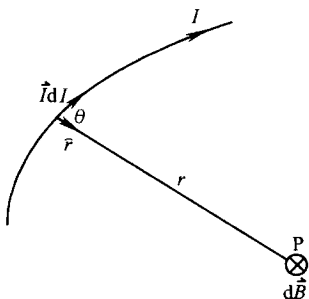


图 7.1-5 毕-萨定律

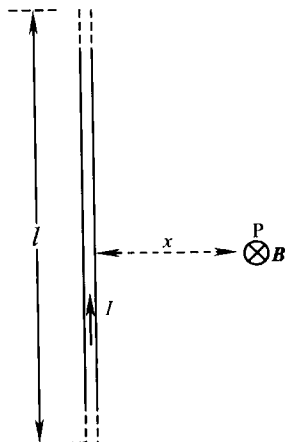


图 7.1-6 长直导线电流的磁场

【例 7.1-6】 载流长直导线周围空间各点上的磁感应强度

- (A) 与各点对导线的垂直距离成正比
- (B) 与各点对导线的垂直距离的平方成正比
- (C) 与各点对导线的垂直距离成反比
- (D) 与各点对导线的垂直距离的平方成反比

答案: (C)。

解: 因为载流长直导线周围的磁感应强度的分布规律是: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$, 式中, x 是各点与导线的垂直距离, 所以答案 (C) 正确。

4. 磁通量与磁场高斯定理

和电通量相似, 磁通量是磁感应强度对磁场空间中它所穿越的任意曲面面积 (s) 的累

积, 表示为

$$\Phi = \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

式中, 其中 $\mathbf{B}$ 是曲面上任意一点处的磁感应强度, $d\mathbf{S}$ 是曲面上与该点磁感应强度相垂直的一个面元的面积, 并规定: 穿出 $d\mathbf{S}$ 的 $\mathbf{B}$ 取正号; 穿入 $d\mathbf{S}$ 的 $\mathbf{B}$ 取负号。

磁通量的单位是 Wb (韦伯), $1\text{Wb} = 1\text{T} \cdot \text{m}^2$ 。

由于磁场是围绕在电流周围环形分布的, 磁力线是无始无终的闭合线, 所以, 对于磁场中的任何一个闭合曲面而言, 穿出该曲面的 $\mathbf{B}$ 总是和穿入该曲面的 $\mathbf{B}$ 相等。因此, 磁场高斯定律的形式表示为

$$\Phi = \oiint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (7.1-7)$$

式中, Φ 是闭合曲面的磁通量。它说明, 通过磁场中任意一个曲面的磁通量为 0。

【例 7.1-7】在磁场中, 通过任意一个闭合曲面的磁通量为 0, 即

$$\Phi = \oiint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

这是因为

- (A) 磁场是围绕电流路径无首无尾连续分布的
- (B) 磁场起始于电流所在处并终止于无限远处
- (C) 磁场起始于无限远处并终止于电流所在处
- (D) 磁场总是和电流相交链

答案: (A)。

解: 因为磁场是无首无尾在空间连续分布, 所以进入曲面的磁通量必等于穿出该曲面的磁通量, 从而导致通过闭合曲面的总磁通为 0。因此, 答案 A 正确。

7.1.5 安培环路定律

安培环路定律以另外的形式给出磁场中的磁感应强度 $\mathbf{B}$ 和电流 I 的关系。它的表述形式为

$$\oint_l \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \Sigma I \quad (7.1-8)$$

上式说明, 磁感应强度 $\mathbf{B}$ 沿磁场中任意一个闭合曲线的线积分与该闭合曲线所包围的各个电流的代数和成正比, 而和闭合曲线的位置与形状无关。在上述的电流中, 方向与积分路径方向符合右手定则关系的电流取正号; 方向与积分路径方向不符合右手定则关系的电流取负号。

式 (7.1-8) 是一个向量线积分表达式。其中, $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$ 是向量的点乘形式, $\mathbf{B}$ 是闭合曲线任意点上的磁感应强度, $d\mathbf{l}$ 则是按照积分巡回方向在该点切线方向上的一段长度微向量。显然, 如果在闭合曲线上的 $\mathbf{B}$ 处处相等并与 $d\mathbf{l}$ 同方向, 则上式可写成

$$B \oint_l dl = Bl = \mu_0 \Sigma I \quad (7.1-9)$$

【例 7.1-8】一根长直导线通以恒定电流 I , 如图所示。已知在以导体为中心的一个圆

柱面(半径为 r)上的磁感应强度 B 的方向处处与柱面相切,大小则处处相等。根据安培环路定律

$$\oint_l \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \sum I$$

可知该磁感应强度的大小为:

$$\begin{aligned} \text{(A)} \quad B &= 2\pi r \mu_0 I & \text{(B)} \quad B &= \frac{2\pi r}{\mu_0} I \\ \text{(C)} \quad B &= \frac{1}{2\pi r \mu_0} I & \text{(D)} \quad B &= \frac{\mu_0}{2\pi r} I \end{aligned}$$

答案:(D)。

解:根据题意,只要求得圆柱面上任意一点的磁感应强度即可。由于在闭合圆柱面上的任何一个横切面的围线上,磁感应强度处处相等并处处与该围线相切,于是

$$B \oint dl = Bl = \mu_0 \sum I$$

成立。所以

$$Bl = \mu_0 I, \quad B = \frac{\mu_0}{l} I = \frac{\mu_0}{2\pi r} I$$

答案(D)正确。

7.1.6 电磁感应定律

实验表明,当导体回路所包围面积中的磁通量 ϕ_m 发生变化时,导体回路中即产生感应电动势 ε_i , ε_i 的大小与 ϕ_m 对时间的变化率成正比,此即著名的电磁感应定律。当规定 ε_i 和 ϕ_m 的关联正方向符合右手螺旋定则(见图7.1-7)时,电磁感应定律表述为

$$\varepsilon_i = -K \frac{d\phi_m}{dt} \quad (7.1-10)$$

若 ϕ_m 的单位用Wb(韦伯),时间 t 的单位用s(秒), ε_i 的单位用V(伏特)时,比例系数 $K=1$ 。所以,电磁感应定律通常写成

$$\varepsilon_i = - \frac{d\phi_m}{dt} \quad (7.1-11)$$

ε_i 的方向是这样来确定的:当磁通量减小时

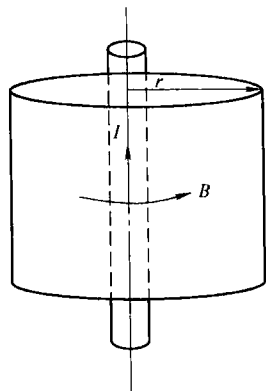
$$\frac{d\phi_m}{dt} < 0$$

ε_i 为正,方向与图示方向相同;当磁通量增加时

$$\frac{d\phi_m}{dt} > 0$$

ε_i 为负,方向与图示方向相反。

应当注意,当导体回路由 N 匝线圈构成时,导体回路的磁通量为 $N\phi_m$ 。 $N\phi_m$ 称为磁通链,通常用字母 Ψ_m 表示,即 $\Psi_m = N\phi_m$,于是,电磁感应定律通常表述为



【例7.1.8】图

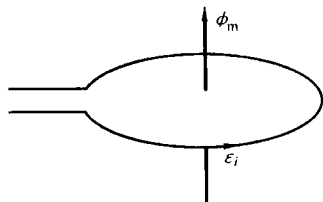


图7.1-7 电磁感应定律