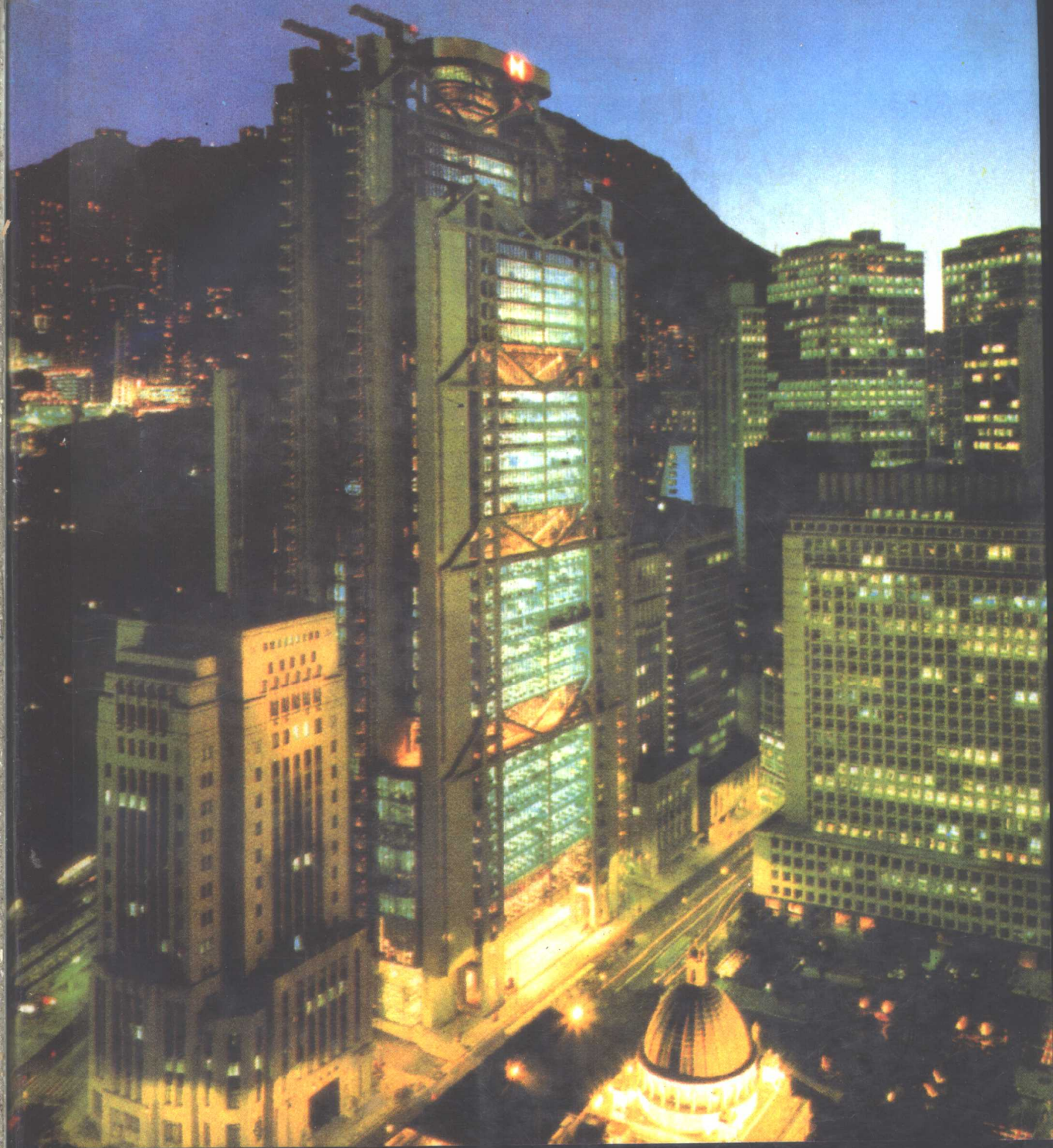




建筑电工手册

建筑电工手册

陈一才 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本手册介绍建筑电气装置的安装、调试和维修技术。内容包括建筑电工基础知识、建筑机械的电力驱动、建筑供电、建筑工地的自备电源、建筑照明、电子技术及其应用、建筑工地的通信设施、建筑工程常用电工测量仪表、建筑工程的特殊用电、安全用电与建筑物防雷、建筑工地电气设备的维修、建筑常用电工材料等；并附有必要的计算公式、图表和常用参考资料，是建筑电气专业的一本常用工具书。

本手册可供从事建筑电气安装、调试、维修及管理人员使用，对建筑电气设计人员和工矿企业的电气专业人员也有参考价值。也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

责任编辑：强十渤

技术设计：马江燕

建 筑 电 工 手 册

陈一才 编著

*

中国建筑工业出版社 出版、发行（北京西郊百万庄）

新华书店经销

河北省蔚县印刷厂印装

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：45³/₄ 字数：1113千字

1992年6月第一版 1992年6月第一次印刷

印数：1—16100册 定价：24.80元

ISBN7-112-01516-2/TU·1132

(6551)

前 言

十多年来，我国城乡社会主义建设事业蓬勃发展，建筑施工的机械化、电气化、自动化水平不断提高；引进国外许多新技术和新设备，制订了一批新的国家标准和规程、规范，为加快施工速度、保证工程质量提供了可靠保证。科学技术的进步，电工产品的更新换代，使建筑电气领域发生深刻的变化。为适应建筑电工技术发展的需要，编写了这本《建筑电工手册》，以帮助建筑部门的电气专业人员解决实际工作中所遇到的各种问题。

本手册取材新颖，内容全面，包括建筑电气装置的设计、安装、调试和维修等方面常用的参数资料，收集了我国近年科研和生产实践中涌现的先进经验和革新成果，具有实用性强、使用方便等特点。

在编写过程中，得到许多建设、施工和设计单位的支持。许多同志和朋友们也给予热情鼓励和帮助，在此谨致深切的谢意。

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请批评指正。

目 录

前言

1. 建筑电工基础知识	(1)
1.1 电磁	(1)
1.1.1 磁感应强度	(1)
1.1.2 磁场强度	(1)
1.1.3 磁通量	(1)
1.1.4 磁场对载流导体的作用力	(2)
1.1.5 全电流定律	(2)
1.1.6 磁屏蔽	(3)
1.1.7 电磁铁吸力的计算	(3)
1.1.8 稳定磁场的计算	(4)
1.1.9 感应电动势	(5)
1.1.10 电磁感应定律	(5)
1.1.11 自感和互感	(6)
1.2 电场	(8)
1.2.1 库仑定律	(8)
1.2.2 电场强度	(9)
1.2.3 电容率	(9)
1.2.4 电容	(10)
1.2.5 电压与电位	(12)
1.2.6 高斯定理	(13)
1.2.7 电流强度	(14)
1.3 磁路	(15)
1.3.1 磁介质和磁化曲线	(15)
1.3.2 磁路和磁路定律	(16)
1.3.3 磁路计算	(17)
1.4 电路	(21)
1.4.1 电阻与电导	(21)
1.4.2 欧姆定律	(22)
1.4.3 基尔霍夫定律	(23)
1.4.4 电能与电功率	(23)
1.4.5 交流电路	(24)
1.4.6 电路的谐振	(28)
1.5 电学计量单位	(29)
1.5.1 基本单位	(29)
1.5.2 电工常用名词和计量单位	(30)
1.6 常用计算公式	(32)
1.6.1 交、直流电路常用公式	(32)

1.6.2 非正弦周期电路有关公式	(35)
1.7 电工图形符号及文字符号	(36)
1.7.1 电气图常用图形符号	(36)
1.7.2 常见电气图形符号对照	(40)
1.7.3 电工设备常用基本文字符号	(47)
1.7.4 专用文字符号	(47)
1.8 触点逻辑电路基础	(56)
1.8.1 布尔代数	(56)
1.8.2 基本门电路	(57)
1.8.3 卡诺图	(57)
1.8.4 译码电路	(59)
1.8.5 记忆电路	(61)
1.8.6 顺序控制器	(62)
1.9 额定电压与额定电流等级	(63)
1.9.1 额定电压	(63)
1.9.2 额定电流	(64)
2. 建筑机械的电力驱动	(66)
2.1 电力驱动的基本知识	(66)
2.1.1 电力驱动的特点	(66)
2.1.2 负载的变化特征	(66)
2.1.3 工作机械运行方式的持续性	(67)
2.1.4 电动机的机械特征	(67)
2.1.5 电力驱动稳定工作的条件	(67)
2.1.6 电力驱动的运动基本方程式	(68)
2.2 建筑机械常用电动机	(73)
2.2.1 三相异步电动机	(74)
2.2.2 鼠笼型变极电动机	(88)
2.2.3 交流换向器变速电动机	(91)
2.2.4 电磁调速异步电动机	(93)
2.2.5 单相异步电动机	(96)
2.2.6 直流电机	(101)
2.2.7 电动机的选择	(106)
2.2.8 电动机的安装和接线	(114)
2.3 电动机的起动、制动和调速	(116)
2.3.1 电动机的起动方式和起动条	

件	(116)	3.1 概述	(195)
2.3.2 绕线型异步电动机的起动 ..	(118)	3.1.1 电力负荷的分级	(195)
2.3.3 电动机的制动	(119)	3.1.2 对供电系统的要求	(196)
2.3.4 电动机的调速方式	(123)	3.1.3 编制供电设计的内容及程 序	(195)
2.4 常用低压电器	(127)	3.2 电力负荷的计算	(196)
2.4.1 低压电器的分类及型号说 明	(127)	3.2.1 设备功率的确定	(196)
2.4.2 刀开关	(128)	3.2.2 用需要系数法确定计算负 荷	(197)
2.4.3 自动空气断路器	(132)	3.2.3 二项式法确定计算负荷	(197)
2.4.4 低压熔断器	(135)	3.2.4 利用系数法确定计算负荷 ..	(200)
2.4.5 接触器	(143)	3.2.5 单相负荷计算	(204)
2.4.6 起动器	(148)	3.2.6 变压器容量的确定	(205)
2.4.7 继电器	(156)	3.3 功率因数的改善	(206)
2.4.8 凸轮控制器	(159)	3.3.1 提高功率因数的意义	(206)
2.4.9 主令电器	(162)	3.3.2 提高自然功率因数的措施 ..	(206)
2.4.10 制动用电气设备	(164)	3.3.3 采用静电电容器补偿	(207)
2.5 电气控制系统	(166)	3.3.4 移相电容器的补偿方式	(210)
2.5.1 电气控制方案的选择	(166)	3.3.5 功率因数自动补偿装置	(211)
2.5.2 电动机的基本控制原则	(167)	3.4 供电电源	(212)
2.5.3 建筑机械常用的保护线路 ..	(172)	3.4.1 电源的选用原则	(212)
2.5.4 电气原理图的设计	(172)	3.4.2 电源电压及接线方式	(213)
2.5.5 绘制电路图的一般规则	(172)	3.4.3 电压调整的目的与方法	(214)
2.6 建筑机械的典型控制电路	(173)	3.4.4 低压配电系统	(217)
2.6.1 混凝土骨料上料和称量设备 的控制电路	(173)	3.5 变电所	(217)
2.6.2 散装水泥自动称量的控制电 路	(174)	3.5.1 变电所数量及位置的选择 ..	(217)
2.6.3 混凝土搅拌机的控制电路 ..	(175)	3.5.2 变压器容量的选择	(217)
2.6.4 混凝土泵控制电路	(175)	3.5.3 变电所的结构型式	(218)
2.6.5 振捣器控制电路	(176)	3.5.4 变压器的保护	(219)
2.6.6 皮带运输机的控制电路	(178)	3.6 变压器	(221)
2.6.7 塔式起重机的控制电路	(178)	3.6.1 变压器的分类	(221)
2.6.8 附墙升降机的控制电路	(184)	3.6.2 变压器的工作原理	(222)
2.7 电梯	(186)	3.6.3 变压器的运行性能	(222)
2.7.1 电梯的分类	(186)	3.6.4 变压器的主要技术参数	(223)
2.7.2 电梯的结构	(187)	3.6.5 小型单相变压器的设计计 算	(236)
2.7.3 电梯的电气设备	(188)	3.7 高压电器	(238)
2.7.4 曳引电动机的选择	(189)	3.7.1 常用高压电器	(238)
2.7.5 电梯的保护装置	(190)	3.7.2 高压电器的选择	(250)
2.7.6 电梯的信号电路	(191)	3.8 输电及配电	(251)
2.7.7 自动平层装置	(192)	3.8.1 输配电方式	(251)
2.7.8 控制电路的工作过程	(192)	3.8.2 导线和电缆的选择	(252)
3. 建筑供电	(195)	3.8.3 架空线路	(273)

3.8.4	电缆线路	(286)	5.3.1	照明方式及其选用原则	(364)
3.8.5	电缆附件	(291)	5.3.2	照明种类及其选用原则	(365)
3.8.6	车间及建筑物内的低压线 路	(300)	5.4	照明器的选择与布置	(365)
3.8.7	吊车滑触线的安装	(307)	5.4.1	按周围环境条件和生产要求 选择照明器	(365)
4.	建筑工地的自备电源及不间断供 电系统	(314)	5.4.2	选择照明器须注意的事项 ..	(366)
4.1	柴油发电机组	(314)	5.4.3	照明器布置	(366)
4.1.1	机组的特点和类型	(314)	5.5	照度计算	(367)
4.1.2	机组的主要技术规格	(315)	5.5.1	照度标准	(367)
4.1.3	机组的选择	(315)	5.5.2	用逐点计算法计算照度	(368)
4.1.4	柴油发电站的电气接线	(321)	5.5.3	用单位容量法计算照度	(370)
4.1.5	机组的控制与保护	(324)	5.5.4	投光灯照明的计算	(371)
4.1.6	机组的并列运行	(326)	5.6	照明线路	(371)
4.1.7	机房设计	(327)	5.6.1	照明线路的一般要求	(371)
4.2	蓄电池组	(331)	5.6.2	照明线路的基本形式	(372)
4.2.1	蓄电池的原理、类型及性 能	(331)	5.6.3	电气照明施工图举例	(374)
4.2.2	起动用铅酸蓄电池	(332)	5.7	照明器安装	(375)
4.2.3	固定型铅酸蓄电池	(332)	5.7.1	一般照明器的安装	(375)
4.2.4	牵引车辆及其他用途的铅蓄 电池	(334)	5.7.2	霓虹灯工程	(375)
4.2.5	铅酸蓄电池电解液的配制 ..	(334)	5.7.3	道路照明	(378)
4.2.6	铅酸蓄电池的使用和维护 ..	(335)	5.7.4	障碍照明灯	(378)
4.2.7	镉—镍和铁—镍蓄电池	(336)	6.	电子技术及其应用	(380)
4.2.8	蓄电池的容量计算	(338)	6.1	半导体二极管整流电路	(380)
4.2.9	蓄电池的充电电源	(340)	6.1.1	半导体二极管的特性	(381)
4.2.10	蓄电池组的布置与安装	(341)	6.1.2	半导体二极管的主要参数 ..	(381)
4.3	不间断供电系统	(343)	6.1.3	各种整流电路的参数计算 ..	(381)
4.3.1	不间断供电系统的几种形 式	(343)	6.1.4	电源滤波器	(381)
4.3.2	不间断供电系统的选用	(345)	6.2	晶体管电路	(387)
4.3.3	典型的不间断供系统	(347)	6.2.1	晶体管的基本结构和特性 ..	(387)
5.	建筑照明	(350)	6.2.2	晶体管的主要参数	(388)
5.1	概述	(350)	6.2.3	晶体管放大电路	(389)
5.1.1	照明技术的基本概念	(350)	6.2.4	反馈与反馈放大电路	(393)
5.1.2	材料的光学性质	(351)	6.2.5	晶体管开关电路	(396)
5.1.3	照明光源	(351)	6.2.6	晶体管应用线路	(400)
5.2	照明器	(356)	6.3	晶闸管及其应用	(401)
5.2.1	照明器的种类	(356)	6.3.1	晶闸管的结构和工作原理 ..	(401)
5.2.2	照明器的配光作用	(361)	6.3.2	晶闸管主要参数的定义	(402)
5.2.3	眩光的限制	(361)	6.3.3	晶闸管的型号和主要参数 ..	(405)
5.3	照明方式及种类	(364)	6.3.4	保护装置	(405)
			6.3.5	晶闸管元件电流、电压额定 值的选择	(410)
			6.3.6	晶闸管的主回路	(411)
			6.3.7	晶闸管的触发电路	(416)

6.3.8 晶闸管应用线路	(418)	8.1.1 电工测量仪表的分类和准确 度等级	(488)
6.4 稳压电路	(420)	8.1.2 常用电工仪表的结构型式及 性能	(488)
6.4.1 硅稳压管的特性和主要参数	(420)	8.1.3 电工测量指示仪表和附件的 符号	(488)
6.4.2 硅稳压管稳压电路	(421)	8.1.4 电工仪表产品的型号标志	(494)
6.4.3 晶体管稳压电路	(423)	8.2 开关板式电工仪表	(497)
6.5 数字显示电路	(426)	8.2.1 电流表和电压表	(497)
6.5.1 二十进制计数器	(426)	8.2.2 功率表	(500)
6.5.2 显示和译码	(428)	8.2.3 电量变送器	(502)
6.6 数字集成电路	(437)	8.2.4 电度表	(503)
6.6.1 数字集成电路的分类	(437)	8.2.5 相位表	(507)
6.6.2 集成电路“与非”门	(437)	8.3 电工检修用仪表	(509)
6.6.3 集成电路触发器	(438)	8.3.1 兆欧表	(509)
6.6.4 集成运算放大器	(442)	8.3.2 万用电表	(511)
6.7 可编程序控制器	(446)	8.3.3 电桥	(515)
6.7.1 可编程序控制器的基本构 成	(446)	8.3.4 钳形电表	(516)
6.7.2 编程方法	(447)	8.3.5 数字式仪表	(517)
6.7.3 可编程序控制器的功能	(447)	8.3.6 示波器	(520)
6.7.4 可编程序控制器的选用	(451)	9. 建筑工程的特殊用电	(522)
6.7.5 可编程序控制器应用举例	(453)	9.1 电弧焊机	(522)
7. 建筑工地的通信设施	(456)	9.1.1 电弧焊机的种类	(522)
7.1 电话通信	(456)	9.1.2 电弧焊机的选用	(523)
7.1.1 交换机的基本组成和功能	(456)	9.1.3 电弧焊电源	(523)
7.1.2 电话交换机的选择	(457)	9.1.4 常用交直流弧焊机的技术数 据	(527)
7.1.3 程控交换机实例介绍	(458)	9.1.5 电焊机空载自动节电装置	(528)
7.1.4 交换机的辅助设备	(464)	9.2 电阻焊机	(530)
7.1.5 话机	(465)	9.2.1 电阻焊机的组成及种类	(530)
7.2 无线电话机通信系统	(465)	9.2.2 常用电阻焊机	(531)
7.2.1 无线电话机通信工作方式	(465)	9.2.3 电阻焊机的控制装置	(533)
7.2.2 无线呼叫系统的种类	(467)	9.2.4 电阻焊机焊接时的电压波 动	(534)
7.2.3 无线呼叫系统的设备	(467)	9.3 电动工具	(535)
7.2.4 无线呼叫系统应用示例	(468)	9.3.1 常用电动工具	(535)
7.3 有线广播	(469)	9.3.2 无线电干扰及其抑制	(539)
7.3.1 有线广播系统及主要设备	(469)	9.4 电气加热	(539)
7.3.2 广播站电源要求	(473)	9.4.1 混凝土的电气加热	(539)
7.3.3 有线广播网	(474)	9.4.2 砖砌体的电气加热	(541)
7.3.4 有线广播网的分路	(478)	9.4.3 土壤的电气加热	(542)
7.3.5 广播网的电气参数计算	(479)	9.4.4 冻结管道的电气加热	(543)
7.4 闭路电视	(485)	9.4.5 木材的干燥、浸渍和胶合	(543)
7.4.1 闭路电视系统	(485)		
7.4.2 主要设备的选择	(486)		
8. 建筑工程常用电工测量仪表	(488)		
8.1 电工测量仪表的基本知识	(488)		

9.5 静电除尘	(545)	10.5.2 电气设备的防雷措施	(588)
9.5.1 静电除尘的原理	(545)	10.5.3 一般建(构)筑物的防雷措施	(589)
9.5.2 静电除尘的种类	(545)	10.5.4 特殊建(构)筑物的防雷措施	(593)
9.5.3 静电除尘器的高压电源及控制方式	(546)	10.5.5 防雷装置	(595)
9.5.4 静电除尘整流所的负荷计算及设备选择	(546)	10.5.6 避雷针保护范围的计算	(599)
9.6 静电喷漆	(547)	10.6 电气火灾的扑救	(601)
9.6.1 静电喷漆	(547)	10.6.1 灭火方法	(601)
9.6.2 静电粉末喷涂	(548)	10.6.2 几种常用的灭火器	(603)
9.7 电热器	(548)	10.6.3 火灾报警系统	(604)
9.7.1 加热元件材料及其选用	(548)	11. 建筑工地电气设备的维修	(605)
9.7.2 电热合金	(550)	11.1 变压器的维修	(605)
9.7.3 金属加热元件的设计计算	(552)	11.1.1 变压器的检修内容	(605)
9.7.4 电炉功率的确定	(555)	11.1.2 变压器故障的确定	(605)
9.7.5 电炉供电和炉温自动控制	(556)	11.1.3 变压器铁心的检修	(606)
10. 安全用电与建筑物防雷	(560)	11.1.4 线圈的修理	(607)
10.1 触电及其预防	(560)	11.1.5 变压器的装配和干燥	(607)
10.1.1 电流对人体的作用	(560)	11.1.6 变压器油的处理	(608)
10.1.2 安全电压	(560)	11.1.7 变压器的试验	(609)
10.1.3 防止触电的措施	(562)	11.2 异步电动机的维修	(615)
10.2 触电的急救	(563)	11.2.1 异步电动机的故障检查	(615)
10.2.1 脱离电源	(563)	11.2.2 异步电动机的定期维修	(615)
10.2.2 脱离电源后的急救	(563)	11.2.3 异步电动机常见故障及修理	(620)
10.2.3 人工呼吸法	(563)	11.2.4 异步电动机绕组的重绕	(621)
10.3 漏电保护装置	(565)	11.2.5 异步电动机的重绕计算	(624)
10.3.1 漏电保护装置的分类	(565)	11.2.6 异步电动机的试验	(629)
10.3.2 漏电自动开关	(565)	11.3 直流电机的维修	(633)
10.3.3 漏电继电器	(567)	11.3.1 直流电机常见故障及处理方法	(633)
10.3.4 漏电保护装置的选择	(568)	11.3.2 换向器的维修	(635)
10.3.5 漏电保护装置的安装与维护	(568)	11.3.3 直流电机的试验	(636)
10.4 接地和接零	(569)	11.4 低压电器的维修	(639)
10.4.1 接地接零的类型	(569)	11.4.1 低压电器常见故障及处理方法	(639)
10.4.2 接地接零的作用	(570)	11.4.2 低压电器的修理	(644)
10.4.3 接地保护与接零保护的几种连接方式	(571)	11.4.3 低压电器的检查与试验	(646)
10.4.4 接地装置和接零装置	(572)	11.5 电梯的维修	(649)
10.4.5 接地电阻的计算	(574)	11.5.1 曳引机的维修保养	(649)
10.4.6 接地线的安装	(583)	11.5.2 电梯常见故障及处理方法	(650)
10.4.7 接地电阻的测量	(584)	11.6 蓄电池常见故障的处理	(654)
10.5 建(构)筑物的防雷	(588)	11.6.1 固定型铅蓄电池一般故障的	
10.5.1 雷的危害	(588)		

处理方法.....	(654)	12.4.1 绝缘材料的特性.....	(682)
11.6.2 移动型铅蓄电池一般故障的 处理方法.....	(656)	12.4.2 绝缘材料的耐热等级.....	(682)
12. 建筑常用电工材料	(659)	12.4.3 常用绝缘材料.....	(684)
12.1 导电材料.....	(659)	12.4.4 常用电瓷.....	(692)
12.1.1 铜.....	(659)	12.5 磁性材料.....	(698)
12.1.2 铝.....	(661)	12.5.1 软磁材料.....	(698)
12.1.3 复合金属导体和裸导体制 品.....	(662)	12.5.2 硬磁材料.....	(704)
12.1.4 电磁线.....	(662)	12.6 管材.....	(705)
12.2 电触头材料.....	(674)	12.6.1 低压流体输送钢管.....	(705)
12.2.1 常用强电触头材料的物理性 能、用途和特点.....	(675)	12.6.2 电线管.....	(706)
12.2.2 强电用触头材料选用举例...	(676)	12.6.3 硬聚氯乙烯管.....	(706)
12.2.3 电触头的尺寸和形状.....	(677)	12.6.4 软聚氯乙烯管.....	(706)
12.3 电刷.....	(678)	12.6.5 自熄塑料电线管及配件.....	(706)
12.3.1 电刷的种类.....	(678)	附录 一般参考资料	(710)
12.3.2 电刷型号的选择.....	(680)	一、空气的相对湿度和露点.....	(710)
12.4 绝缘材料.....	(682)	二、大气压力、温度与海拔高度的关 系.....	(710)
		三、优先数的基本系列.....	(711)
		四、全国主要城市气象资料数据表.....	(712)

1 建筑电工基础知识

1.1 电 磁

1.1.1 磁感应强度

在稳定电流周围的磁场中,运动的电荷除在某一个方向之外,都会受到磁场力的作用,这个方向就是磁场的方向。利用这个受力现象可以确定磁场每一点的磁感应强度 B 。

在磁场中某点上,单位正电荷以单位速度向与磁场方向相垂直的方向运动时,所受到的磁场力(即最大磁场力)称为该点的磁感应强度,以 B 表示,即

$$B = \frac{F}{qv} \quad (1.1-1)$$

B 是一个矢量,它的方向就是磁场的方向,它同磁场力与速度的方向符合右螺旋定则,即从磁场力 F 的方向经 90° (或小于 180°)角旋转到正电荷运动 v 的方向,这时右螺旋前进的方向就是 B 的方向,见图1.1-1。

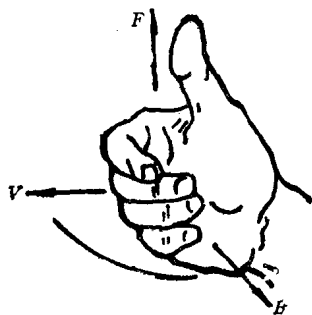


图 1.1-1 F 与 v 、 B 间的方向关系

在MKSA制中, B 的单位是韦伯/米²,又称特斯拉。在实际计算中,磁感应强度常用较小的单位——高斯来量度,它们之间的关系是:

$$1 \text{ 高斯} = 10^{-4} \text{ 韦伯/米}^2$$

1.1.2 磁场强度

磁场强度 H 是描述磁场的另一个物理量,它与磁感应强度 B 的关系是:

$$H = \frac{B}{\mu_0} - H_i \quad (1.1-2a)$$

式中 μ_0 ——真空磁导率,亨/米;

H_i ——磁化强度,安/米。

在MKSA制中,磁场强度的单位是安/米。在实际计算中,磁场强度也常沿用安/厘米或奥斯特作为单位,它们之间的换算关系是:

$$1 \text{ 安/米} = 10^{-2} \text{ 安/厘米}$$

$$1 \text{ 安/厘米} = 0.4\pi \text{ 奥斯特}$$

对于各向同性的导磁物质

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (1.1-2b)$$

式中 μ ——向同性物质磁导率,亨/米。

所以某点的磁场强度也可以定义为该点的磁感应强度与导磁物质磁导率的比值。

1.1.3 磁通量

磁通量即磁感应强度矢量的通量，简称磁通，用 ϕ 表示。

在均匀磁场中，如图1.1-2a，通过垂直于磁场的 S 面的磁通量是：

$$\phi = BS \quad (1.1-3)$$

在MKSA制中， ϕ 的单位是韦伯。在实际计算中磁通也常沿用较小的单位——麦克斯韦，它们之间的关系是：

$$1 \text{ 韦伯} = 10^8 \text{ 麦克斯韦}$$

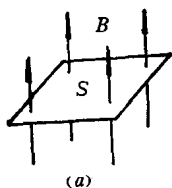


图 1.1-2 B 矢量的通量

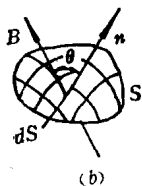
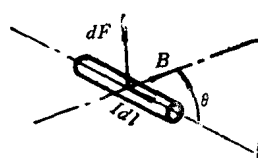


图 1.1-3 磁场对载导线段的作用力



从式(1.1-3)可以得到 $B = \frac{\phi}{S}$ ，因此，磁感应强度 B 又称为磁通密度，简称磁密。

在一般情况下，如图1.1-2b，通过面积元 dS 的磁通量为

$$d\phi = B \cos \theta dS \quad (1.1-4)$$

或

$$d\phi = B \cdot dS \quad (1.1-5)$$

式中， θ 为 dS 的法线方向 n 和磁感应强度 B 之间的夹角。通过有限曲面 S 的磁通量为

$$\phi = \int B \cdot dS \quad (1.1-6)$$

1.1.4 磁场对载流导体的作用力

载流导体在磁场中受到的力叫做电磁力或安培力，电磁力就是导体中运动的电子所受到的磁场力，因电子和原子不断地相碰撞，而传给导线的，如图1.1-3所示。

如果在导线长度为 l 的范围内磁场是均匀的，并且 B 与 l 垂直，则电磁力的大小是

$$F = BIl \quad \text{牛顿} \quad (1.1-7)$$

式中 B ——磁感应强度，韦伯/米；

I ——通电导体的电流，安；

l ——通电导体的长度，米。

电磁力的方向由左手定则决定。即伸平左手使姆指和其他四指垂直，让磁力线从手心穿进，四指顺着电流的方向，则姆指所指的方向就是磁场对载流导线作用力的方向，如图1.1-4所示。

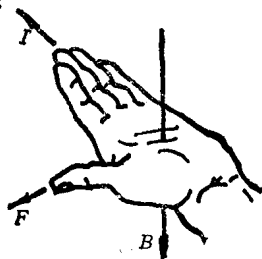


图 1.1-4 左手定则

1.1.5 全电流定律

穿过被闭合回路所包围的面内的电流代数之和，叫做全电流。

在导磁物质中，它的磁场可视为载流导体中的电流和物质的磁化电流在真空中共同产生的磁场。所以全电流定律可以写成：

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 (i + i') \quad (1.1-8)$$

式中 i —— 载流导线的电流代数和；

i' —— 磁化电流的代数和；

可以证明

$$\oint H i \cdot dl = i' \quad (1.1-9)$$

所以

$$\oint \left(\frac{B}{\mu_0} - H i \right) \cdot dl = i \quad (1.1-10)$$

令

$$H = \frac{B}{\mu_0} - H i$$

所以

$$\oint H \cdot dl = i \quad (1.1-11)$$

式中, H 为磁场强度。就是说, 磁场强度矢量沿任一闭合路径的线积分, 等于这路径所包围电流的代数和。

式 (1.1-11) 是有导磁物质时的全电流定律, 它是稳定磁场的一个基本方程。

1.1.6 磁屏蔽

由于铁磁质的磁导率 μ 很大, 当磁力线由非铁磁质穿过铁磁质时, 尽管磁力线在非铁磁质中几乎垂直于铁磁质表面但由于折射现象穿入铁磁质后几乎与表面平行。因此在外磁场作用下, 在铁磁质构成的空腔内, 磁力线很少穿入, 磁场很弱, 这种现象称为磁屏蔽, 如图 1.1-5 所示。

如在磁感应强度为 B_0 的均匀磁场中, 有外径为 b 、内径为 a 、相对磁导率为 μ_r 的空心圆筒, 当它与外磁场方向垂直放置时, 筒内的磁感应强度为

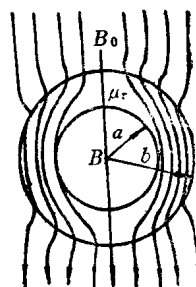


图 1.1-5 磁屏蔽

$$B = \frac{4\mu_r b^2 B_0}{(\mu_r + 1)^2 b^2 - (\mu_r - 1)^2 a^2} \approx \frac{4b^2 B_0}{\mu_r (b^2 - a^2)} \quad (1.1-12)$$

由上式可见, 筒壁的相对磁导率 μ_r 越大, 筒内磁场越弱; 筒壁的厚度越厚, 即 $(b^2 - a^2)$ 越大, 筒内磁场也越弱。

在工程上常利用磁屏蔽原理, 以铁磁材料制成外壳, 防止壳内设备遭受外磁场的影响。

1.1.7 电磁铁吸力的计算

电磁铁由马蹄形软磁铁芯绕有励磁线圈构成, 如图 1.1-6 所示。假设当线圈通有电流后, 在铁芯两端的空气隙内有均匀的磁场; 衔铁在力的方向上移动一个距离增量 dh 时, 磁链 ϕ 以及空气隙中的磁感应强度 B 都认为不变。每个空气隙中的磁场能量为

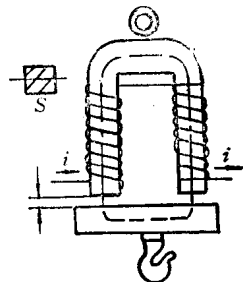


图 1.1-6 电磁铁简图

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0} S h \quad \text{焦耳} \quad (1.1-13)$$

式中 S —— 气隙处铁芯截面;

h —— 气隙长度;

电磁铁的起重力为

$$2F = -\frac{B^2 S}{\mu_0} = -\frac{\phi^2}{\mu_0 S} \quad (1.1-14)$$

1.1.8 稳定磁场的计算

稳定磁场的特性可以归结成下面三个方程式：

$$\oint B \cdot dS = 0$$

$$\oint H \cdot dl = i$$

$$H = \frac{B}{\mu_0} - H_i$$

前两个公式是稳定磁场基本方程的积分形式，分别表达了磁通的连续性原理和全电流定律。第三个公式是导磁物质的性能方程，如果导磁物质是向同性的线性物质，可用 $H = \frac{B}{\mu}$ 代替。

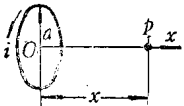
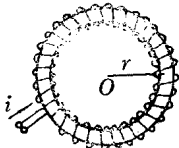
对于简单的、对称的磁场，可由基本方程的积分形式求出其结果。几种简单的、典型的磁场计算如表1.1-1所示。

几种简单的典型的磁场计算

表 1.1-1

场源情况	图形	场量	说明
无限长直圆截面导线 (假定截面上电流均匀分布)		导线外 $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r_2}$ 导线内 $B = \frac{\mu_0 i r_1}{2\pi a^2}$ $r = a$ 处 $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a}$	磁力线是以O为中心的一些同心圆
无限长直圆导管 (假定截面上电流均匀分布)		$r \leq b$ 处 $B = 0$ $b \leq r \leq a$ 处 $B = \frac{\mu_0 i (r^2 - b^2)}{2\pi r (a^2 - b^2)}$ $r \geq a$ 处 $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$	磁力线是以O为中心的一些同心圆
有限长直导线		导线外任意点P处 $B = \frac{\mu_0 i}{4\pi r} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$	磁力线是以导线为轴的同心圆，在P点的方向是穿入纸面
N匝均匀密绕的空心长直螺线管		在轴线上任意点P处 $B = \frac{\mu_0 N i}{2L} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$ 在中心点O $B = \frac{\mu_0 N i}{\sqrt{4a^2 + L^2}}$ 或 $B = \frac{\mu_0 N i}{L} \quad (L \gg a)$ 在螺线管两端点P1和P2 $B = \frac{\mu_0 N i}{2\sqrt{a^2 + L^2}}$ 或 $B = \frac{\mu_0 N i}{2L} \quad (L \gg a)$	磁力线方向是沿x轴的正方向

续表

场 源 情 况	图 形	场 量	说 明
圆形载流回路		在轴线上任意点P处 $B = \frac{\mu_0 i a^2}{2(a^2 + x^2)^{3/2}}$	磁力线方向是沿x轴的正方向
N匝均匀密绕的环形螺线管		在螺管内 $B = \frac{\mu_0 N i}{2\pi r}$ 在螺管外 $B = 0$	在螺线管内磁力线是以O为中心的同心圆

注：导体内及导体外的区域，其磁导率都假定是 μ_0 。

1.1.9 感应电动势

当导体垂直切割磁力线时：它产生的感应电动势值为

$$E = Blv \quad \text{伏} \quad (1.1-15)$$

式中 B ——与导体运动方向相垂直的磁通密度，韦伯/米²； l ——导体切割磁力线的有效长度，米； v ——导体运动速度，米/秒。

上述公式只适用于导体运动的方向与磁力线方向垂直，如果导体在磁场运动的方向不与磁力线相互垂直，而成一偏斜的角度 α ，则感应电动势应按下列式计算：

$$E = Blv \sin \alpha \quad (1.1-16)$$

导体切割磁力线时，感应电动势的方向可以用右手定则来确定。即伸平右手掌，使姆指与其余四指垂直，让磁力线从手心穿过，姆指表示导线相对于磁场的运动方向，则四指所指的方向就是感应电动势的方向，如图1.1-7所示。使用右手定则时，磁力线方向、导线运动方向和感应电动势方向三者是相互垂直的。如果磁力线方向与导线运动方向不垂直，应该取它们的垂直分量。

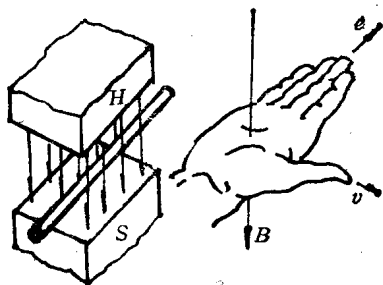


图 1.1-7 右手定则

1.1.10 电磁感应定律

电磁感应定律是：回路内的磁通量发生变化时，回路中的感应电动势等于这磁通量对时间的变化率的负值，即

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad \text{伏} \quad (1.1-17)$$

如果回路由 N 匝组成，当线匝绕得很紧密而各匝都交链相同的变动的磁通 ϕ 时，则回路的感应电动势

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad \text{伏} \quad (1.1-18)$$

在磁感应强度为 B 的均匀磁场中，长为 l 的直导线以速度 v 切割磁力线，当 v 、 l 、 B 三者方向相互垂直时，导线中的感应电动势的数值为

$$e = Blv \quad \text{伏} \quad (1.1-19)$$

式中 B ——磁感应强度，高斯；

l ——导线长度，厘米；

v ——运动速度，厘米/秒。

1.1.11 自感和互感

在没有非线性导磁物质存在的条件下，一个载流线圈的磁通量与电流成正比。因此，其磁链与电流亦成正比，可以写成

$$\psi = Li \quad (1.1-20)$$

或

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1.1-21)$$

式中，比例常数 L 叫做自感系数，简称自感。

自感 L 是表征导磁物质性能好，它和导磁物质的磁导率 μ 以及线圈周围导磁物质中磁场分布情况有关，所以也可以认为和线圈的形状、大小有关。

自感总是正值，其单位为亨利。

自感电动势于是也可以写成

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{d}{dt}(Li) = -L\frac{di}{dt} \quad (1.1-22)$$

当线圈周围有非线性导磁物质时，则磁链与电流不成正比，这时如仍沿用自感应系数 L ，则它不是常数，而是随电流 i 改变而改变的一个变量。

在磁通量与电流成正比的情况下，线圈1中的电流 i_1 产生的磁通与线圈2交链的磁链 ψ_{21} 正比于 i_1 ，其关系为

$$\psi_{21} = M_{21}i_1 \quad (1.1-23)$$

$$M_{21} = \frac{\psi_{21}}{i_1} \quad (1.1-24)$$

式中，比例常数 M_{21} 叫做线圈1对线圈2的互感系数，简称互感。

同样，线圈2对线圈1的互感系数为

$$M_{12} = \frac{\psi_{12}}{i_2} \quad (1.1-25)$$

并且可以证明

$$M_{12} = M_{21} \quad (1.1-26)$$

互感的单位也是亨利。互感值有正负，两电流对应端流入时 M 为正，反之为负。两个线圈的互感与其匝数 N_1 和 N_2 的乘积成正比，并与两个线圈的形状、大小、相互位置及周围介质的磁导率有关。

互感电动势用下列公式表示：

$$e_{21} = - \frac{d\psi_{21}}{dt} = - M_{21} \frac{di_1}{dt} \quad (1.1-27)$$

$$e_{12} = - \frac{d\psi_{12}}{dt} = - M_{12} \frac{di_2}{dt} \quad (1.1-28)$$

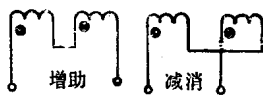
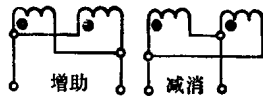
如果磁通与电流不成正比，这时如沿用互感系数 M ，则它们不是常数，而是随电流变化而变化的变量。

自感与互感合称电感，有时自感也称电感。

两个线圈的自感为 L_1 和 L_2 ，互感为 $M_{21} = M_{12} = M$ ，当互感应磁通增助时 M 取正值，当互感应磁通减消时 M 取负值。两个线圈串联成并联时总电感系数 L 如表 1.1-2所示。几种典型电感的计算公式列于表 1.1-3。

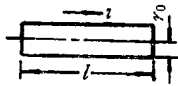
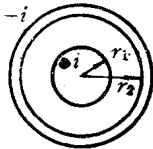
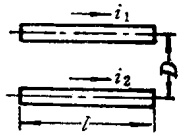
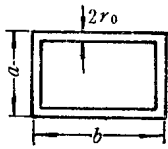
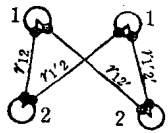
两个线圈串联或并联时的总电感

表 1.1-2

联接	接 线 图	总 电 感
串联		$L = L_1 + L_2 + 2M$
并联		$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$

几种典型电感的计算公式

表 1.1-3

项 目	图 形	电 感 H	条 件
圆截面直导线段的自感		$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r_0} - 0.75 \right)$	$r_0 \ll l$
同轴电缆的电感		$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{r_2}{r_1} \right)$	l 为电缆长度 电缆外层导体厚度忽略 不计
两平行直导线段间的互感		$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{D} - 1 \right)$	导线半径 $\ll D$ $D \ll l$
矩形线圈的自感		$L = \frac{\mu_0}{\pi} \left[a \ln \frac{2ab}{r_0(a+d)} + b \ln \frac{2ab}{r_0(b+d)} - 2(a+b-d) \right] + \frac{\mu_0}{\pi} \left(\frac{a+b}{4} \right)$	r_0 为圆形导线半径 $b = \sqrt{a^2 + b^2}$ $r_0 \ll a$ $r_0 \ll b$
两对输电线间的互感		$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{r_{12} r_{1'2'}}{r_{12'} r_{1'2}}$	l 为输电线长度 导线半径 $\ll$ 线间距离 线间距离 $\ll l$