

电机与电气控制项目教程

总主编：明立军

主 编：孙 彤 朱 军



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电机与电气控制项目教程

总主编	明立军		
主 编	孙 彤	朱 军	
副主编	王媛波	刘丹丹	
主 审	刘雅琴		
参 编	胡巧言	周 旋	苗铁壮
	王鹤澄	吴 全	邵玉新
	贾 铮	孟军红	佟茉莉
	李 丽		

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据我国职业教育的现状和发展趋势,针对当前教学改革的需要,对现有的课程进行有机整合的基础上编写而成。全书共分7个项目,主要内容包括安全用电、直流电机、变压器、三相异步电动机、异步电动机的拖动控制、气压传动控制和低压电气控制系统的设计与检修等。全书编写采用项目化方式,内容以必需、够用为度,减少了原有课程教学内容中的重复部分。本书的特点是讲解透彻,深入浅出,便于教学。

本书可作为职业院校、专科院校、成人高校、民办院校等相关专业的教学用书,并可作为相关社会从业人员的业务参考书及培训用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制项目教程 / 孙彤, 朱军主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2013. 11
ISBN 978 - 7 - 5640 - 8280 - 2

I. ①电… II. ①孙… ②朱… III. ①电机学 - 中等专业学校 - 教材②电气控制 - 中等专业学校 - 教材 IV. ①TM3②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 200914 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 天津紫阳印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 17

字 数 / 467 千字

版 次 / 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

定 价 / 49.00 元

责任编辑 / 陈 竑

文案编辑 / 胡卫民

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

中高职衔接示范教材 编写委员会

主 任：明立军

副主任：刘玉娟 朱 军 葛 岳 刘雅琴 王淑君

委 员：（排名不分先后）

吴 全	邵玉新	孙 彤	李 丽	佟茉莉
王媛波	贾 铮	周 旋	柴 微	韩 光
张环宇	那 欣	胡巧言	王鹤澄	苗铁壮
吴 琼	张 电	邵惠东	郑 微	张晓峰
刘 博	才 涛	梁小廷	王立忠	郑 闯
孙雪丽	赵兴鹏	孙雅军	栾永华	周 海

我国职业教育的根本任务是培养适合我国现代化建设和经济发展的技术应用型人才,所以,职业教育在对工业电气自动化、仪表自动化、生产过程自动化、机电一体化、电气自动化设备安装与维修等技术应用型相关专业人才的培养过程中,应使学生掌握电机与电气控制技术的基本知识和基本技能,为在今后的生产实践中灵活地运用电机与电气控制解决实际问题打下良好的理论和实践基础,“电机与电气控制项目教程”就成为教学中的必修课之一。本教材可作为职业院校、专科院校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院的相关专业的教学用书,也可作为相关社会从业人员的业务参考书及培训用书。

本书内容包括安全用电、直流电机、变压器、三相异步电动机、异步电动机的拖动控制、气压传动控制和低压电气控制系统设计与检修等内容。其中以三相交流电动机与拖动控制为重点,以电气控制基本环节为主线,每个项目都是一个单独的个体,将内容分为电力拖动技术、常用工厂电气设备的电气控制技术、相对应的电机以及电气控制系统等几方面内容,各部分内容均从应用角度进行阐述,注重理论联系实际,通过典型应用实例进行电路原理分析,强化对学生职业技能的培养与训练,以期培养学生分析、解决实际生产问题的能力和构建简单的电气控制系统的能力。

本书力求体现以下特色:

(1) 以学生发展为出发点,重视培养学生的综合素质和职业能力,以适应专业的快速发展带来的职业岗位变化,为学生的可持续发展奠定基础。

(2) 充分考虑职业院校学生的认知特点,以项目教学法进行编写,按照“项目描述→知识目标→技能目标→项目小结→思考与练习题”的顺序,将理论知识和实际应用有机结合,力求做到学做合一、理实一体,体现创新性和实用性。

(3) 以就业为导向,坚持“够用、实用、会用”的原则,弱化了数理论证,以掌握概念、突出实际应用、培养技能为重点,力争做到概念准确、内容精练、重点突出,体现实用性。

(4) 编写教材时,部分内容采用提出问题、分析问题、解决问题,最后总结出概念并推广到一般的写作方法,体现创新性。

(5) 教材中编入了一些新技术内容,体现了先进性和适用性。

(6) 在各项目末附有项目小结和思考与练习题,便于学生自检自测,体现了创新性和实用性。

(7) 书中配有大量的例题、思考题和习题,便于学生巩固应掌握的基本知识,体现了实用性。

本教材按 80~120 课时编写,采用项目化教学方式,各学校根据不同的教学课时可以选择重点的项目进行讲解。

本教材由孙彤、朱军担任主编,王媛波、刘丹丹担任副主编。参加编写的有:孙彤(绪论和项目 2),胡巧言、周旋(项目 1),王媛波(项目 3),苗铁壮、王媛波(项目 4),刘丹丹、吴全、朱军(项目 5),刘丹丹、王鹤澄(项目 6),刘丹丹、邵玉新(项目 7)。此外,贾铮、孟军红、佟茱薇、李丽也参与了本教材部分内容的编写。全书由孙彤统稿,刘雅琴教授在百忙中对全书进行了仔细、认真的审阅,在此表示真诚致谢。

由于编者的学术水平和实践经验有限,书中的疏漏及不足之处在所难免,恳切希望有关专家和广大读者批评指正。

绪论	1
任务1 了解电能和电机	1
一、电能	1
二、电机	1
任务2 常用的基本电磁定律	1
一、安培定则	1
二、左手定则	2
三、楞次定律	2
四、法拉第电磁感应定律	3
五、直导线切割磁感线产生感应电动势方向判定和计算	3
六、磁路欧姆定律	4
任务3 本课程的性质、任务和内容	4
任务4 本课程的特点和学习方法	4
项目1 安全用电	5
任务1 学习安全用电的基本常识	6
一、电流对人体的伤害	6
二、人体触电的类型与原因	7
三、触电的现场处理	9
四、防止触电的技术措施	12
任务2 电气火灾与现场处理	15
一、电气火灾的原因	15
二、电气火灾的现场处理	16
三、电气火灾的防范措施	17
四、安全使用电器的行为规范	18
任务3 常用电工工具的使用	18
一、测电笔	18
二、电工刀	21
三、螺丝刀	21
四、扳手	22

目 录

五、钢丝钳	22
六、尖嘴钳和斜口钳	23
七、剥线钳	23
八、绝缘夹钳	24
九、电烙铁	24
十、绝缘手套、绝缘靴和绝缘鞋、绝缘垫	25
十一、标示牌	25
十二、万用表	26
十三、钳形电流表	27
十四、兆欧表	28
任务4 认识实习实训室	30
一、电工实训室装置简介与使用	30
二、电工实训室安全操作规定	34
项目小结	34
思考与练习	35
项目2 直流电机	36
任务1 了解直流电机的结构和工作原理	36
一、直流电机的基本结构	36
二、直流电机的工作原理	39
三、直流电机的铭牌数据	40
任务2 查看直流电机的电枢电动势和电磁转矩	42
一、直流电机的电枢电动势	42
二、直流电机的电磁转矩	43
任务3 了解直流电机的运行	44
一、直流电机的励磁方式	44
二、直流电机中的损耗	44
三、直流发电机的运行	45
四、直流电动机的运行	46
任务4 诊断直流电动机运行中出现的问题	48
一、直流电动机的电刷火花故障	48
二、直流电动机的发热故障	49
三、直流电动机的机械故障	50
四、直流电动机的绕组故障	50
五、直流电动机安装运行的注意事项	50
任务5 了解直流电动机的机械特性和负载特性	51
一、他励直流电动机的机械特性	51
二、直流电动机的负载特性	53

任务6 让直流电动机转动起来	55
一、直流电动机的直接启动	55
二、直流电动机的串电阻启动	56
三、直流电动机的降压启动	57
任务7 了解直流电动机的制动和反转	57
一、直流电动机的能耗制动	57
二、直流电动机的反接制动	58
三、直流电动机的回馈制动	59
四、直流电动机的反转	59
任务8 直流电动机的调速	60
一、调速性能指标	60
二、直流电动机的调速方法	61
项目小结	63
思考与练习	63
 项目3 变压器	 66
任务1 了解变压器的基本原理和结构	66
一、变压器的构造和种类	66
二、变压器的基本工作原理	69
三、变压器的铭牌数据	70
任务2 理解单相变压器的空载运行和负载运行	70
一、单相变压器的空载运行	70
二、单相变压器的负载运行	71
任务3 了解三相变压器	76
一、三相变压器的磁路	76
二、变压器的联结组	76
任务4 了解其他用途的变压器	81
一、三相电力变压器	81
二、小功率电源变压器	81
三、自耦变压器	82
四、仪用互感器	82
五、弧焊变压器	83
任务5 学习变压器特性测试及故障检修	84
一、技能训练	84
二、变压器的常见故障分析与处理	87
项目小结	89
思考与练习	89

项目4 三相异步电动机	91
任务1 认识三相异步电动机	91
一、三相异步电动机的结构和工作原理	92
二、三相异步电动机的铭牌数据	96
任务2 理解三相异步电动机的拖动方式	98
一、三相异步电动机的功率和转矩	98
二、三相异步电动机的机械特性	100
三、三相异步电动机的启动、制动和调速	104
任务3 了解三相异步电动机故障的判断和处理方法	112
任务4 了解其他类型的电动机	117
一、单相异步电动机	117
二、交流测速发电机	119
三、交流伺服电动机	120
四、步进电动机	121
项目小结	123
思考与练习	123
项目5 异步电动机的拖动控制	125
任务1 了解电气控制的基本知识	126
一、低压电器	126
二、电气图	128
三、电气控制线路的制作方法	130
任务2 学习异步电动机的典型控制	134
一、单向点动控制	134
二、单向长动控制	142
三、正反向启动控制	148
四、技能训练	155
任务3 理解异步电动机的减压启动控制	159
一、定子串接电阻或电抗减压启动控制	160
二、自耦变压器减压启动控制	166
三、异步电动机的Y- Δ 减压启动控制	169
四、技能训练	171
任务4 进行异步电动机的制动控制任务及实现	177
一、反接制动控制	177
二、能耗制动控制	181
三、技能训练	184
任务5 明确异步电动机的保护	189
一、短路保护	189

二、过载保护	189
三、过电流保护	189
四、欠压保护	189
五、零电压（失电压）保护	190
六、漏电保护	190
项目小结	190
思考与练习	191
 项目 6 气压传动控制	193
任务 1 学习气压传动的基本知识	193
一、气动系统的组成	193
二、压力的概念及单位	194
三、压力表	195
四、压缩机——气源产生装置	195
任务 2 气源处理装置工作原理及检查要点	196
一、空气过滤器	196
二、自动排水阀	196
三、减压阀	197
四、油雾器	199
任务 3 常用气动元件原理及检查要点	200
一、气动执行元件	200
二、气动控制元件	204
任务 4 熟悉典型的气动控制回路	207
一、往复控制回路	207
二、速度控制回路	207
三、位置控制回路	208
四、技能训练	208
项目小结	214
思考与练习	214
 项目 7 低压电气控制系统的设计与检修	216
任务 1 学习电气控制系统设计的基本知识	216
一、电气控制系统设计的基本原则	217
二、电气控制系统的设计	217
三、生产机械设备对电气控制线路的基本要求	222
任务 2 了解电气控制线路故障诊断与检修	225
一、电气设备的维护和保养	225
二、电气控制线路的故障检修	228

目 录

任务3 熟悉 PDH 型电动葫芦电气控制线路与故障检修	235
一、PDH 型电动葫芦电气控制线路	235
二、PDH 型电动葫芦的故障检修	236
任务4 熟悉 CA6140 型车床电气控制线路与故障检修	239
一、CA6140 型车床电气控制线路	239
二、CA6140 型车床的故障检修	240
任务5 熟悉 X62W 万能铣床电气控制线路与故障检修	242
一、X62W 万能铣床电气控制线路	242
二、X62W 万能铣床的故障检修	247
任务6 熟悉 T68 型镗床电气控制线路与故障检修	250
一、T68 型镗床电气控制线路	250
二、T68 型镗床的故障检修	254
项目小结	257
思考与练习	257
参考文献	259

绪 论

任务 1 了解电能和电机

一、电能

人类社会的生存和发展离不开能源。能源形式多种多样,如电能、光能、热能、机械能、化学能、原子能等。其中,电能是最重要的能源之一,是现代工业生产的主要能源和动力。与其他能源形式相比,电能具有明显优点:易于由其他形式的能量转换而来,也易于转换为其他形式的能量以供应用;输送和分配既简单经济,又便于控制、调节和测量,有利于实现生产过程自动化。另外,它还是一种洁净的二次能源,对环境的污染非常小。因此,电能可在工农业生产、交通运输、科学技术、信息传输、国防建设以及日常生活等各个领域获得了极为广泛的应用。

二、电机

电机是与电能的生产、传输和使用有关的最重要的能量转换设备,不仅是工业、农业和交通运输的重要设备,而且在包括各类家电在内的日常生活中的应用也很广泛。

电机是运用电磁原理实现能量转换或传递的一种电磁装置,种类很多,按其功能可分为发电机、电动机、变压器和控制电机四种。发电机的功能是将机械能转换为电能。电动机的功能是将电能转换为机械能,可以作为拖动各种生产机械的动力,也是最主要的用电设备。变压器的作用是将一种电压等级的交流电能变换为另一种电压等级的交流电能的装置。控制电机主要用于信号的变换与传递,在自动控制系统中作为检测、校正及执行元件的特种电机,包括交、直流伺服电动机,步进电动机,直线电动机,交、直流测速发电机,感应同步电机及旋转变压器等。

任务 2 常用的基本电磁定律

电机的工作原理是利用电磁感应现象,所以在此先对常用的基本电磁定律做以简单介绍。

一、安培定则

不仅磁体能产生磁场,电流周围也存在着磁场,这种现象叫作电流的磁效应。近代科学进一步证明,产生磁场的根本原因是电流,且电流越大,它所产生的磁场就越强。

电流产生的磁场方向可用安培定则(又称为右手螺旋法则)来判断,一般分为以下两种情况。

1. 直线电流产生的磁场

用右手握住通电导体，伸直的大拇指所指方向为电流方向，则弯曲四指指向就是磁感线的环绕方向，即磁场方向，如图 0-1 (a) 所示。

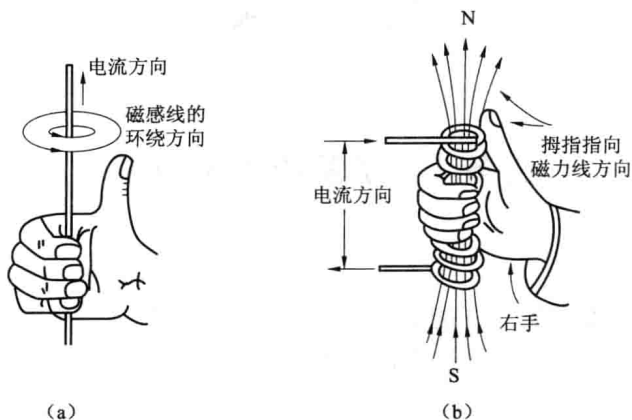


图 0-1 电流产生的磁场

(a) 直线电流产生的磁场；(b) 环形电流产生的磁场

2. 环形电流产生的磁场

用右手握住通电线圈（螺线管），以弯曲四指指向线圈电流方向，则拇指指向就是线圈内部磁感线方向，即 N 极方向，如图 0-1 (b) 所示。通电的螺线管相当于一根条形磁体。

二、左手定则

通电导体在电磁场中受到的力称为电磁力，也称安培力，用 F 表示，单位：牛（顿），用 N 表示。

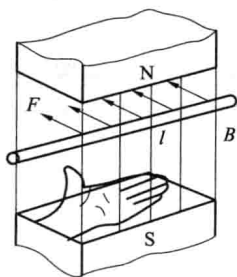


图 0-2 左手定则

如果把一根通电直导体放在磁场中，它也会受到磁力的作用。通电导体在磁场内的受力方向，可以用左手定则来判断。将左手伸平，拇指与四指垂直，磁感应线穿过手心，四指指向电流方向，则拇指的指向就是通电导体的受力方向，如图 0-2 所示。

把一段通电导线放入磁场内，当电流方向与磁场方向垂直时，电流所受的电磁力最大，即：

$$F = BIl \quad (0-1)$$

如果电流方向与磁场方向不垂直，而是有一个夹角 α ，这时通电导线的有效长度为 $l \sin \alpha$ ，电磁力的计算公式则为：

$$F = BIl \sin \alpha \quad (0-2)$$

三、楞次定律

电流能够产生磁场，一定条件下磁场也能产生电流。利用磁场产生电流的现象称为电磁感应现象。电磁感应现象产生的电流被称为感应电流。产生感应电流的电动势被称为感应电动势。

(1) 楞次定律的内容：感应电流产生的磁通总是阻碍原磁通的变化。

(2) 楞次定律是判断感应电动势或感应电流方向的普遍规律。

(3) 使用楞次定律可分三步:

① 首先判断原磁通的方向及其变化趋势。

② 根据感应电流磁场方向永远和原磁通变化趋势相反的原则, 确定感应电流的磁场方向。

③ 用安培定则判断感应电动势或感应电流的方向。

四、法拉第电磁感应定律

1. 法拉第电磁感应定律的内容

线圈中感应电动势的大小与线圈中磁通的变化率成正比。

2. 公式

$$e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (0-3)$$

若 N 匝线圈, 则 $e = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

五、直导线切割磁感线产生感应电动势方向判定和计算

1. 方向判断: 右手定则

如图 0-3 所示, 平伸右手, 拇指与其余四指垂直, 让掌心正对磁场方向, 用拇指指向表示导体运动方向, 则其余四指的指向就是感应电动势的方向 (从低电位指向高电位)。

2. 感应电动势的计算

当导体、导体运动方向和磁感线方向三者相互垂直时, 导体中感应电动势为:

$$e = Blv \quad (0-4)$$

若导体运动方向与磁感线方向有一夹角 α , 则导线中感应电动势为:

$$e = Blv \sin \alpha \quad (0-5)$$

【例 0-1】如图 0-4 所示, 导体 MN 可在导电轨道 CDEF 上垂直磁场无摩擦滑动。

(1) 试在图中标出感应电流方向。

(2) M 端和 N 端的电位哪端高?

(3) 若 $B = 0.6 \text{ T}$, $v = 10 \text{ m/s}$, MN 的有效长度 $l = 10 \text{ cm}$, 整个导电回路等效电阻 $R = 0.2 \Omega$, 则感应电流多大?

(4) 磁场作用在导体上的电磁力多大? 方向如何?

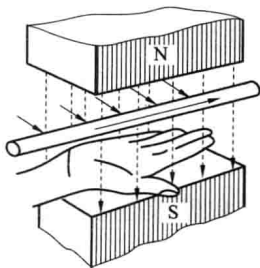


图 0-3 右手定则

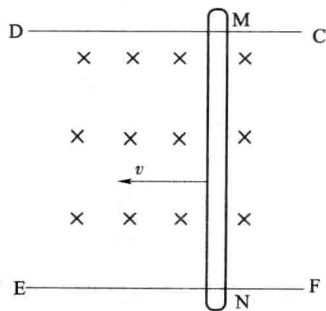


图 0-4 MN 切割磁场运动

解:

(1) 根据右手定则, 感应电流方向由 M 到 N。其可由楞次定律判断。

(2) M 点低, N 点高。

$$(3) I = \frac{e}{R} = \frac{Blv}{R} = \frac{0.6 \times 10 \times 10^{-2} \times 10}{0.2} = 3 \text{ (A)}$$

(4) $F = BIl = 0.6 \times 3 \times 10 \times 10^{-2} = 0.18 \text{ (N)}$, 方向水平向右。

六、磁路欧姆定律

在磁阻 R_m 组成的磁路中, 通过磁路中的磁通 Φ 与产生该磁通的磁动势 F 成正比, 与磁路的磁阻 R_m 成反比。

即:

$$\Phi = \frac{F}{R_m} \quad (0-6)$$

任务3 本课程的性质、任务和内容

本课程是电气自动化设备安装与维修、机电一体化技术、供用电技术等专业的一门技术基础课, 它是将“安全用电”“电机学”“电力拖动”“控制电机”等课程有机结合而成的一门课程。

本课程的任务是使学生掌握安全用电、交直流电机、变压器及控制电机的基本结构和工作原理, 掌握典型的电动机控制线路等内容, 为后续课程的学习和今后从事相关专业工作准备必要的基础知识, 同时也有助于培养学生在电机与电气控制方面分析和解决问题的能力。

本课程的内容有安全用电、直流电机、变压器、三相异步电动机、异步电动机的拖动控制、气压传动控制、低压电气控制系统设计与检修共 7 个项目。

任务4 本课程的特点和学习方法

电机与电气控制技术是一门理论性很强的技术基础课, 又具有专业课的性质, 涉及的知识面广, 是电学、磁学、动力学、热学等学科知识的综合。在掌握基本理论知识的同时, 还要注意培养实验动手操作技能和计算能力, 因此实践性也较强。为了学好这门课, 学习时应注意以下几点:

(1) 要抓住知识重点, 即牢固掌握基本概念、基本原理和主要特性。

(2) 要有良好的学习方法, 可运用对比或比较的学习方法, 找出各种电机的共性和特点, 加深理解。

(3) 注重理论联系实际, 要重视实验实训和下厂实习。

(4) 针对本书的编写特点, 每个项目后均附有项目小结和思考与练习题, 方便自行复习, 建议在学习每个项目之前, 首先预习相关的思考题, 带着问题学习, 效果会更好。

项目 1

安全用电

项目描述

随着生产技术的不断进步,电能被广泛应用到生产和生活的各个领域,给人们的生活和生产带来了极大的方便和舒适。但“电”是一种看不见摸不着的物质,只能用仪表测量。“电”如果使用不合理、安装不恰当、维修不及时或者违反操作规程,都会造成电气意外,带来不良后果,严重的还将导致触电死亡和电气火灾。下面先来看看发生在生活中的电气意外。

某村一老汉在街上行走时,看到路边有一根电线,一头落在地上,一头挂在电线杆上,便好奇地上前用手捡电线,当即触电,经抢救无效死亡。

某市郊电杆上的电线被风刮断,掉在水田中,一学生把一群鸭子赶进水田,当鸭子游到落地的断线附近时,一只只死去,小学生便下田去捡死去的鸭子,未跨几步便被电击倒。爷爷赶到田边急忙跳入水中拉孙子,也被电击倒。小学生的父亲闻讯赶到,见人亡鸭死,又下田抢救也被电击倒。一家三代均死在水田中。

某镇城西路一村民家发生了悲惨一幕,53岁的村民江某在洗澡时,不慎触电倒地,丈夫发现后赶紧伸手去扶,结果也被电无情地夺走了生命。经调查发现,江家把电源插头插在浴室窗外的一个临时电源插座上,插座既没有接地线,也没有漏电保护装置,而更致命的是,电源插座内还有一段20 mm长的铜线搭在电源火线和热水器插头的接地端之间,导致短路。

以上这些事例都是因为人们缺乏电气安全知识,而造成的悲剧。因此,一定要绷紧“安全用电”这根弦,让“电老虎”乖乖地听指挥,更好地为人类服务。那么如何让“电老虎”听话呢?安全用电有哪些基本常识呢?一起来学一学吧!

知识目标

- (1) 学习安全用电的基本常识。
- (2) 了解电气火灾与现场处理的方法。
- (3) 学习常用电工工具的使用。
- (4) 认识实习实训室。

熟悉电气安全用具的基本知识及其使用。

技能目标

- (1) 掌握常用电工工具的使用方法。