

电子与电气控制专业



职业教育职业培训 **改革创新教材**

全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材

电机调速技术与技能训练

◎ 王镇宇 王荣欣 主 编
◎ 石志勇 副主编
◎ 李乃夫 黄晓华 主 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

职业教育职业培训 改革创新教材

全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材

电子与电气控制专业

电机调速技术 与技能训练

王镇宇	王荣欣	主 编
	石志勇	副主编
李乃夫	黄晓华	主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书根据全国高等职业院校、技师学院“电子与电气控制专业”的教学计划和教学大纲,以“国家职业标准”为依据,按照“以工作过程为导向”的课程改革要求,以典型任务为载体,从职业分析入手,切实贯彻“管用”、“够用”、“适用”的教学指导思想,把理论教学与技能训练很好地结合起来,并按技能层次分模块逐步介绍交流、直流调速系统组成、原理等相关内容的学习和技能操作训练。本书较多地编入新技术、新设备、新工艺的内容,还介绍了许多典型的应用案例,便于读者借鉴,以缩短学校教育与企业需求之间的差距,更好地满足企业用人需求。

本书可作为高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校、中等职业学校电子与电气相关专业的教材,也可作为企业技师培训教材和相关设备维修技术人员的自学用书。

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

电机调速技术与技能训练 / 王镇宇,王荣欣主编. —北京:电子工业出版社,2013.4

职业教育职业培训改革创新教材 全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材. 电子与电气控制专业

ISBN 978-7-121-17875-7

I. ①电… II. ①王… ②王… III. ①电机—调速—高等职业教育—教材 IV. ①TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 187042 号

策划编辑:关雅莉 杨 波

责任编辑:郝黎明 文字编辑:裴 杰

印 刷:北京市李史山胶印厂

装 订:北京市李史山胶印厂

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:787×1 092 1/16 印张:17.5 字数:448 千字

印 次:2013 年 4 月第 1 次印刷

定 价:33.00 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。

职业教育职业培训改革创新教材
全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材
电子与电气控制专业 教材编写委员会

主任 委员：史术高 湖南省职业技能鉴定中心（湖南省职业技术培训研究室）

副主任委员：（排名不分先后）

尹南宁	衡阳技师学院
罗亚平	衡阳技师学院
屈美凤	衡阳技师学院
许泓泉	衡阳技师学院
唐波微	衡阳技师学院
谭 勇	衡阳技师学院
彭庆丽	衡阳技师学院
王镇宇	湘潭技师学院
黄 钧	湖南省机械工业技术学院（湖南汽车技师学院）
刘紫阳	湖南省机械工业技术学院（湖南汽车技师学院）
谢红亮	湖南省机械工业技术学院（湖南汽车技师学院）
郑生明	湖南潇湘技师学院
冯友民	湖南潇湘技师学院
何跃明	郴州技师学院
刘一兵	邵阳职业技术学院
赵维城	冷水江市高级技工学校
吴春燕	冷水江市高级技工学校
李荣华	冷水江市高级技工学校
叶 谦	湖南轻工高级技工学校
凌 云	湖南工业大学
王荣欣	河北科技大学
李乃夫	广东省轻工业技师学院（广东省轻工业高级技工学校）
黄晓华	广东省南方技师学院
廖 勇	广东省南方技师学院
王 湘	永州市纺织厂

委 员：（排名不分先后）

刘 南	湖南省职业技能鉴定中心（湖南省职业技术培训研究室）
李辉耀	湖南省机械工业技术学院（湖南汽车技师学院）
陈锡文	湖南省机械工业技术学院（湖南汽车技师学院）
马果红	湖南省机械工业技术学院（湖南汽车技师学院）
王 炜	湖南工贸技师学院
罗少华	湘潭技师学院
苏石龙	湘潭技师学院
田海军	湘潭技师学院

陈铁军	湘潭技师学院
何钻明	郴州技师学院
黄先帜	郴州技师学院
刘志辉	郴州技师学院
刘建华	湖南轻工高级技工学校
伍爱平	湖南轻工高级技工学校
易新春	湖南轻工高级技工学校
蔡蔚蓝	湖南轻工高级技工学校
严 均	湖南轻工高级技工学校
石 冰	湖南轻工高级技工学校
徐金贵	冷水江市高级技工学校
刘矫健	邵阳市商业技工学校
王向东	邵阳市高级技工学校
刘石岩	邵阳市高级技工学校
何利民	湖南省煤业集团资兴矿区安全生产管理局
唐湘生	锡矿山闪星锑业有限责任公司
唐祥龙	湖南山立水电设备制造有限公司
石志勇	广东省技师学院
梁永昌	茂名市第二高级技工学校
刘坤林	茂名市第二高级技工学校
卢文升	揭阳捷和职业技术学校
李 明	湛江机电学校
刘竹明	湛江机电学校
魏林安	临洮县玉井职业中专
郭志元	古浪县黄羊川职业技术学校
王为民	广东省技师学院
徐湘和	湖南郴州技师学院
耿立迎	肥城市高级技工学校

秘 书 处：刘 南 杨 波 刘学清

出版说明

百年大计，教育为本。教育是民族振兴、社会进步的基石，是提高国民素质、促进人的全面发展的根本途径，寄托着亿万家庭对美好生活的期盼。2010年7月，国务院颁发了《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》。这份《纲要》把“坚持能力为重”放在了战略主题的位置，指出教育要“优化知识结构，丰富社会实践，强化能力培养。着力提高学生的学习能力、实践能力、创新能力，教育学生学会知识技能，学会动手动脑，学会生存生活，学会做人做事，促进学生主动适应社会，开创美好未来。”这对学生的职前教育、职后培训都提出了更高的要求，需要建立和完善多层次、高质量的职业培养机制。

为了贯彻落实党中央、国务院关于大力发展高等职业教育、培养高等技术应用型人才的战略部署，解决技师学院、技工及高级技工学校、高职高专院校缺乏实用性教材的问题，我们根据企业工作岗位要求和院校的教学需要，充分汲取技师学院、技工及高级技工学校、高职高专院校在探索、培养技能应用型人才方面取得的成功经验和教学成果，组织编写了本套“全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材”丛书。在组织编写中，我们力求使这套教材具有以下特点。

以促进就业为导向，突出能力培养：学生培养以就业为导向，以能力为本位，注重培养学生的专业能力、方法能力和社会能力，教育学生养成良好的职业行为、职业道德、职业精神、职业素养和社会责任。

以职业生涯发展为目标，明确专业定位：专业定位立足于学生职业生涯发展，突出学以致用，并给学生提供多种选择方向，使学生的个性发展与工作岗位需要一致，为学生的职业生涯和全面发展奠定基础。

以职业活动为核心，确定课程设置：课程设置与职业活动紧密关联，打破“三段式”与“学科本位”的课程模式，摆脱学科课程的思想束缚，以国家职业标准为基础，从职业（岗位）分析入手，围绕职业活动中典型工作任务的技能和知识点，设置课程并构建课程内容体系，体现技能训练的针对性，突出实用性和针对性，体现“学中做”、“做中学”，实现从学习者到工作者的角色转换。

以典型工作任务为载体，设计课程内容：课程内容要按照工作任务和工作过程的逻辑关系进行设计，体现综合职业能力的培养。依据职业能力，整合相应的知识、技能及职业素养，实现理论与实践的有机融合。注重在职业情境中能力的养成，培养学生分析问题、解决

问题的综合能力。同时，课程内容要反映专业领域的新知识、新技术、新设备、新工艺和新方法，突出教材的先进性，更多地将新技术融入其中，以期缩短学校教育与企业需要之间的差距，更好地满足企业用人的需要

以学生为中心，实施模块教学：教学活动以学生为中心、以模块教学形式进行设计和组织。围绕专业培养目标和课程内容，构建工作任务与知识、技能紧密关联的教学单元模块，为学生提供体验完整工作过程的模块式课程体系。优化模块教学内容，实现情境教学，融合课堂教学、动手实操和模拟实验于一体，突出实践性教学，淡化理论教学，采用“教”、“学”、“做”相结合的“一体化教学”模式，以培养学生的能力为中心，注重实用性、操作性、科学性。模块与模块之间层层递进、相互支撑，贯彻以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，切实落实“管用”、“够用”、“适用”的教学指导思想。以实际案例为切入点，并尽量采用以图代文的编写形式，降低学习难度，提高学生的学习兴趣。

此次出版的“全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材”丛书，是电子工业出版社作为国家规划教材出版基地，贯彻落实全国教育工作会议精神和《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020 年）》，对职业教育理念探索和实践的又一步，希望能为提升广大学生的就业竞争力和就业质量尽自己的绵薄之力。

电子工业出版社 职业教育分社

2012 年 8 月

前 言

本书根据全国高等职业院校、技师学院“电子与电气控制专业”的教学计划和教学大纲，以“国家职业标准”为依据，按照“以工作过程为导向”的课程改革要求，以典型任务为载体，从职业分析入手，切实贯彻“管用”、“够用”、“适用”的教学指导思想，把理论教学与技能训练很好地结合起来，并按技能层次分模块逐步介绍交流、直流调速系统组成、原理等相关内容的学习和技能操作训练。本书较多地编入新技术、新设备、新工艺的内容，还介绍了许多典型的应用案例，便于读者借鉴，以缩短学校教育与企业需求之间的差距，更好地满足企业用人需求。

本书可作为高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校、中等职业学校电子与电气相关专业的教材，也可作为企业技师培训教材和相关设备维修技术人员的自学用书。

本书的编写符合职业学校学生的认知和技能学习规律，形式新颖，职教特色明显；在保证知识体系完备、脉络清晰、论述精准深刻的同时，尤其注重培养读者的实际动手能力和企业岗位技能的应用能力，并结合大量的工程案例和项目来使读者更进一步灵活掌握及应用相关的技能。

● 本书内容

全书分为 3 篇包括 18 个任务、20 个实训，内容由浅入深，全面覆盖了交流、直流调速系统的知识及相关的操作技能实训。第一篇电力电子技术，主要介绍电力电子器件及其驱动和保护，交流一直流（AD-DC）变换，直流一直流（DC-DC）变换；第二篇直流电机调速技术，主要介绍直流电机的原理和结构，直流电机的继电控制，单闭环直流调速系统，速度、电流双闭环直流调速系统，开环直流脉宽调速系统，集成电路 PWM 调速，单片机控制的 PWM 直流可逆调速系统；第三篇交流电机调速技术，主要介绍三相交流异步电机的调速，多速异步电动机的控制线路，绕线转子异步电动机的控制线路，通用变频器的基础知识和控制原理，变频器的多段调速及应用，变频器的 PID 控制及应用，PLC 的 PID 控制及应用。本书附录还介绍了可控整流电路的调试步骤和方法。

● 配套教学资源

本书提供了配套的立体化教学资源，包括专业建设方案、教学指南、电子教案等必需的文件，读者可以通过华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）下载使用或与电子工业出版社联系（E-mail: yangbo@phei.com.cn）。

● 本书主编

本书由湘潭技师学院王镇宇、河北科技大学王荣欣主编，广东省技师学院石志勇副主编，广东省轻工业技师学院（广东省轻工业高级技工学校）李乃夫、广东省南方技师学院黄晓华主审，湘潭技师学院罗少华、苏石龙、田海军、陈铁军等参与编写。由于时间仓促，作者水平有限，书中错漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

● 特别鸣谢

特别鸣谢湖南省人力资源和社会保障厅职业技能鉴定中心、湖南省职业技术培训研究室对本书编写工作的大力支持，并同时鸣谢湖南省职业技能鉴定中心（湖南省职业技术培训研究室）史术高、刘南对本书进行了认真的审校及建议。

主 编

2013 年 3 月

目 录

第一篇 电力电子技术

任务一	电力电子器件	3
1.1	不可控型器件——电力二极管	4
1.2	半控型器件——晶闸管	8
1.3	典型全控型器件	15
实训 1	电力电子器件的认识与判别	26
任务二	电力电子器件的驱动和保护	31
2.1	晶闸管的触发电路	31
2.2	全控型器件的驱动电路	40
2.3	电力电子器件的保护	47
实训 2	触发电路安装与测试	54
实训 3	驱动电路安装与测试	58
任务三	交流-直流 (AC-DC) 变换	62
3.1	单相可控整流电路	62
3.2	三相可控整流电路	71
实训 4	单相桥式全控整流电路	82
实训 5	三相桥式全控整流电路	86
任务四	直流-直流 (DC-DC) 变换	91
实训 6	直流斩波电路	94

第二篇 直流电机技术

任务一	直流电机的原理和结构	98
1.1	直流电机的种类及其特性	98
1.2	直流电机的结构	100
1.3	直流电机的工作原理	103
1.4	直流电动机的铭牌	105

实训 7 直流电机的拆装	105
任务二 直流电机的继电控制	108
2.1 并励直流电动机的基本控制线路	108
2.2 串励直流电动机的基本控制线路	110
实训 8 安装调试并检修并励直流电动机正反转及能耗制动控制线路	114
任务三 单闭环直流调速系统分析调试与维护	117
3.1 调速的基本概念和方法	117
3.2 电气调速系统性能指标	117
3.3 直流调速的三种基本方法	119
3.4 单闭环有静差直流调速系统	120
3.5 转速负反馈有静差调速系统	122
3.6 单闭环调速系统的限流保护——电流截止负反馈	124
3.7 单闭环无静差调速系统	125
实训 9 单闭环直流调速系统调试	126
任务四 速度、电流双闭环直流调速系统	129
4.1 单闭环调速系统存在的问题	129
4.2 转速、电流双闭环调速系统的组成	129
4.3 双闭环调速系统的静特性	130
4.4 系统各变量的稳态工作点和稳态参数计算	131
4.5 双闭环调速系统动态特性	132
实训 10 双闭环直流调速系统调试	134
任务五 PWM 控制技术	138
5.1 PWM 控制的基本原理	138
5.2 PWM 逆变电路及其控制方法	139
5.3 PWM 跟踪控制技术	151
5.4 PWM 整流电路及其控制方法	154
实训 11 开环直流脉宽调速系统	157
任务六 集成电路 PWM 调速	162
6.1 SG3525A 脉宽调制器控制电路简介	162
6.2 直流脉宽调速主电路	167
6.3 脉宽调速系统的开环机械特性	170
6.4 直流脉宽调速逻辑延时环节	171
实训 12 闭环可逆直流脉宽调速系统	171
任务七 单片机控制的 PWM 直流可逆调速系统	178
7.1 系统总体设计框图及单片机系统	178
7.2 PWM 信号发生电路	183
7.3 功率放大驱动电路	187
7.4 主电路设计	188

7.5 测速发电机	190
7.6 滤波电路	191
7.7 A/D 转换	191
7.8 系统软件部分的设计	192

第三篇 交流电机调速技术

任务一 三相交流异步电动机的调速	197
1.1 调速的原理	197
1.2 调速的基本方法	197
任务二 多速异步电动机的控制线路	200
2.1 双速异步电动机的控制线路	200
2.2 三速异步电动机的控制线路	202
实训 13 安装与检修时间继电器控制双速电动机的控制线路	204
任务三 绕线转子异步电动机的控制线路	206
3.1 转子绕组串接电阻启动控制线路	206
3.2 转子绕组串接频敏变阻器启动控制线路	210
3.3 凸轮控制器控制线路	212
实训 14 安装与检修绕线转子异步电动机	214
任务四 通用变频器的基础知识和控制原理	217
4.1 变频器及其分类	217
4.2 通用变频器的基本结构	218
4.3 变频器的工作原理和功能	220
实训 15 变频器功能参数设置与操作	228
实训 16 三相异步电机的变频开环调速	230
任务五 变频器的多段调速及应用	232
5.1 变频器的多段调速	232
5.2 注意事项	233
5.3 PLC 控制系统实现电机的多段速度运行应用实例	233
实训 17 电梯轿厢开关门控制系统	236
任务六 变频器的 PID 控制及应用	241
6.1 PID 控制概述	241
6.2 变频器的 PID 功能	242
6.3 PID 控制实例	245
实训 18 变频器 PID 控制的恒压供水系统	247
任务七 PLC 的 PID 控制及应用	251
7.1 PLC 的 PID 指令	251
7.2 模拟输入/输出模块 FX _{0N} —3A	252

实训 19 基于 PLC 模拟量方式的变频器闭环调速	254
实训 20 PLC 的 PID 控制的恒压供水系统	256

附录 A 可控整流电路的调试步骤和方法

A.1 晶闸管整流电路的主要调试步骤	261
A.2 调试的主要方法和常见问题	263

第一篇

电力电子技术

电力电子技术是 20 世纪后半叶诞生和发展的一门崭新的技术。随着 21 世纪电力电子技术的迅猛发展，电力电子技术与运动控制、计算机技术已经成为当今科学技术的两大支柱。电力电子技术的应用范围十分广泛。它不仅广泛应用于工矿企业，也广泛应用于交通运输、电力系统、通信系统、计算机系统、新能源系统等，在照明、空调等家用电器及其他领域中也有着广泛的应用。

电力电子技术是建立在电子学、电工原理和自动控制三大学科上的新兴学科，它是大功率的电子技术，是使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术，即应用于电力拖动、电力电源之电力领域的电子技术。电力电子技术变换的“电力”可大到数百兆瓦甚至吉瓦，也可小到数瓦甚至毫瓦。与电子技术不同，电力电子技术变换的电能是作为能源而不是作为信息传输的载体。电力电子技术是电气工程学科中最为活跃的一个分支。

电力电子技术在电气工程中的应用：高压直流输电、静止无功补偿、电力机车牵引、交直流电力传动、电解、电镀、电加热、高性能交直流电源。

电力电子技术的作用如下。

(1) 优化电能使用。通过电力电子技术对电能的处理，使电能的使用达到合理、高效和节约，实现了电能使用最佳化。例如，在节电方面，针对风机水泵、电力牵引、轧机冶炼、轻工造纸、工业窑炉、感应加热、电焊、化工、电解等 14 个方面的调查，潜在节电总量相当于 1990 年全国发电量的 16%，所以，推广应用电力电子技术是节能的一项战略措施，一般节能效果可达 10%~40%，我国已将许多装置列入节能的推广应用项目。

(2) 改造传统产业和发展机电一体化等新兴产业。据发达国家预测，今后将有 95% 的电能要经电力电子技术处理后再使用，即工业和民用的各种机电设备中，有 95% 与电力电子产业有关，特别是，电力电子技术是弱电控制强电的媒体，是机电设备与计算机之间的重要接口，它为传统产业和新兴产业采用微电子技术创造了条件，成为发挥计算机作用的保证和

基础。

(3) 电力电子技术高频化和变频技术的发展, 将使机电设备突破工频传统, 向高频化方向发展。实现最佳工作效率, 将使机电设备的体积减小几倍、几十倍, 响应速度达到高速化, 并能适应任何基准信号, 实现无噪声且具有全新的功能和用途。

(4) 电力电子智能化的进展, 在一定程度上将信息处理与功率处理合一, 使微电子技术 with 电力电子技术一体化, 其发展有可能引起电子技术的重大改革。有人甚至提出, 电子学的下一项革命将发生在以工业设备和电网为对象的电子技术应用领域, 电力电子技术将把人们带到第二次电子革命的边缘。

任务一 电力电子器件

电力电子器件 (Power Electronic Device) 又称为功率半导体器件, 用于电能变换和电能控制电路中的大功率 (通常指电流为数十至数千安, 电压为数百伏以上) 的电子器件。

同处理信息的电子器件相比, 电力电子器件的一般特征如下:

- (1) 能处理电功率的能力, 一般远大于处理信息的电子器件。
- (2) 电力电子器件一般都工作在开关状态。
- (3) 电力电子器件往往需要由信息电子电路来控制。
- (4) 电力电子器件自身的功率损耗远大于信息电子器件, 一般都要安装散热器。

电力电子系统由控制电路、驱动电路和以电力电子器件为核心的主电路组成如图 1-1-1 所示。

控制电路按系统的工作要求形成控制信号, 通过驱动电路去控制主电路中电力电子器件的通或断, 来完成整个系统的功能。

有的电力电子系统中, 还需要有检测电路, 对主电路某些参数进行检测并加以控制。

主电路中的电压和电流一般都较大, 而控制电路的元器件只能承受较小的电压和电流, 因此, 在主电路和控制电路连接的路径上, 如驱动电路与主电路的连接处或者驱动电路与控制信号的连接处, 以及主电路与检测电路的连接处, 一般需要进行电气隔离, 而通过其他手段, 如光、磁等来传递信号。

由于主电路中往往有电压和电流的过冲, 而电力电子器件一般比主电路中普通的元器件要昂贵, 但承受过电压和过电流的能力却要差一些, 因此, 在主电路和控制电路中附加一些保护电路, 以保证电力电子器件和整个电力电子系统正常可靠运行, 这往往是非常必要的。

器件一般有三个端子 (或称极), 其中两个连接在主电路中, 而第三端称为控制端 (或控制极)。器件通断是通过在其控制端和一个主电路端子之间加一定的信号来控制的, 这个主电路端子是驱动电路和主电路的公共端, 一般是主电路电流流出器件的端子。

按照器件能够被控制的程度, 电力电子器件分为以下三类。

(1) 半控型器件——通过控制信号可以控制其导通而不能控制其关断。例如, 晶闸管 (Thyristor) 及其大部分派生器件就是半控型器件, 器件的关断由其在主电路中承受的电压和电流决定。

(2) 全控型器件——通过控制信号既可控制其导通又可控制其关断, 又称为自关断器件。例如, 绝缘栅双极晶体管 (Insulated-Gate Bipolar Transistor, IGBT)、电力场效应晶体管 (Power MOSFET, 电力 MOSFET)、门极可关断晶闸管 (Gate-Turn-Off Thyristor, GTO) 等。

(3) 不可控型器件——不能用控制信号来控制其通断, 因此也就不需要驱动电路。例如, 电力二极管 (Power Diode), 只有两个端子, 器件的通和断由其在主电路中承受的电压和电流来决定。

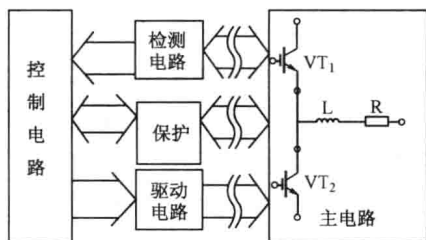


图 1-1-1 电力电子系统的组成

按照驱动电路信号的性质,分为以下两类。

(1) 电流驱动型——通过从控制端注入或者抽出电流来实现导通或者关断的控制。

(2) 电压驱动型——仅通过在控制端和公共端之间施加一定的电压信号就可实现导通或者关断的控制。

一个理想的功率半导体器件,应该具有好的静态和动态特性,在截止状态时能承受高电压且漏电流要小;在导通状态时,能流过大电流和很低的管压降;在开关转换时,具有短的开、关时间;通态损耗、断态损耗和开关损耗均要小,同时能承受高的 dI/dt 和 dU/dt , 以及具有全控功能。

1.1 不可控型器件——电力二极管

1.1.1 电力二极管的结构

电力二极管从结构上看是一个面积较大的 PN 结构成的二端半导体器件。因此,它与普通二极管一样具有 PN 结的基本特性。

从外部构成看,也分成管芯和散热器两部分。这是由于二极管工作时管芯中要通过强大的电流,而 PN 结又有一定的正向电阻,管芯要因损耗而发热。为了管芯的冷却,必须配备散热器。一般情况下,200A 以下的管芯采用螺旋型,200A 以上则采用平板型。多个电力二极管以一定结构形式封装在一起而成为模块结构。

图 1-1-2 为电力二极管的外形、结构和电气图形符号及模块外形。

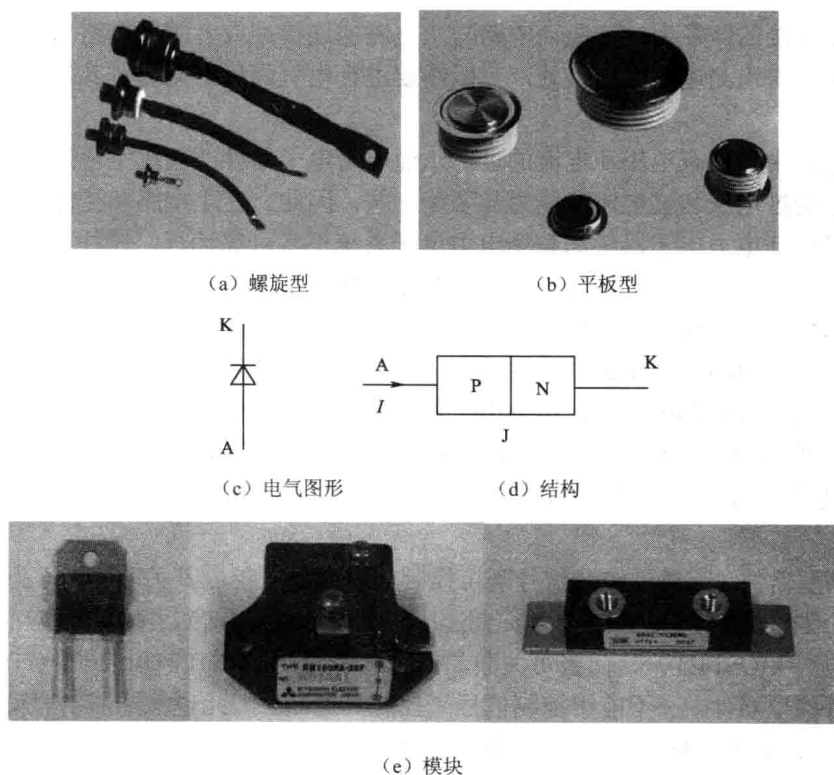


图 1-1-2 电力二极管的外形、结构和电气图形符号及模块外形