



以授人以渔的方法指导读者掌握先进的设计理念和应用方法
大量实际工程应用和维护案例，给读者以示范和启迪
内容翔实、图文并茂，可读性、可操作性和实践性强
工学结合、理实并重、“教—学—做”一体化



典型工控电气设备 应用与维护自学手册

高安邦 石磊 张晓辉 主编
邵俊鹏 田敏 李贻玲 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

典型工控电气设备 应用与维护自学手册

高安邦 石磊 张晓辉 主 编

董泽斯 褚雪莲 韩维民 副主编

崔冰 佟星 冯坚 参 编

邵俊鹏 田敏 李贻玲 主 审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 简 介

自学需要在没有接受指导和教育的情况下掌握某种技能。要有效地自学,需要一部知识渊博、易学好懂的书。

本书是一部全面介绍当代典型工控电气设备应用与维护的精品佳作。全书分为7章,内容包括传统电气控制设备、新型 PLC 控制设备、直流调速系统、单片微机控制系统、机电伺服系统、现代交流变频调速系统、现代智能控制系统等的应用与维护。其宗旨是引领当代工控电气设备工程技术人员,熟练掌握典型工控电气设备的应用与维护技术,完成卓越工程师和高技能人才的理论培养和实践训练。

本书内容翔实、图文并茂,阐述清晰透彻,可读性高,实用性强,既可作为电气设备技术人员及工控工程师的应用指导书和培训教材,也可作为理工科大学电气自动化等本/专科专业的实用教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

典型工控电气设备应用与维护自学手册/高安邦,石磊,张晓辉主编. —北京:中国电力出版社,2015.4

ISBN 978-7-5123-6445-5

I. ①典… II. ①高…②石…③张… III. ①电气设备-自动控制系统-手册 IV. ①TM762-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 217750 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 4 月第一版 2015 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 45.5 印张 1583 千字

印数 0001—3000 册 定价 98.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

历史的车轮已经驶入了 21 世纪。我国高等教育的规模已是世界之最，2011 年就达到了 3105 万人，进入到高等教育大众化阶段。根据教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神，职业教育要积极构建与生产劳动和社会实践相结合的学习模式，把工学结合作为各类职业教育人才培养模式改革的重要切入点，带动专业调整与建设，引导课程设置、教学内容和教学方法改革。由此，我国职业教育的教学改革也进入了一个崭新阶段。

我国的职业教育是一种新型的专科教育模式，其培养的人才应当是应用型、操作型人才，是高级蓝领。新型的教育模式需要我们改变原有的教育模式和教学方法，改变没有相应的专用教材和相应的新型师资队伍力量的现状。

为了使职业教育的办学更有特色，毕业生更有专长，需要建立“以就业为导向”的新型人才培养模式。为了达到这样的目标，教育部提出了“以就业为导向，要从教材异样化开始”的改革思路，打破传统教育使用教材的统一性，根据各职业院校专业和生源的差异性，因材施教。为此，着重编写实用、适用职业教育不同类型的专业教材，同时根据各院校所在地经济条件的不同和学生兴趣的差异，编写出形式活泼、授课方式灵活、满足社会需求的各类技术丛书是当务之急。

为了更有效地推进我国的职业教育，完成“投巨资创建万人学校，集众智打造职教航母”的战略部署和雄伟目标，淮安信息职业技术学院和海南省三亚高级技工学校为重拳出击，狠抓师资培养内涵建设的同时，还大胆决策引进了一批高层次的专家教授，形成本院校优质办学和创示范性高等职业院校的整体合力。高安邦教授就是该两院校引进的人才之一。

高安邦教授不负众望，他从 2005 年开始就以主人翁的态度，积极参与了淮安信息职业技术学院的教学评估创优和创建江苏省首批示范性高职院校的工作，竭尽全力做出了力所能及的贡献：

(1) 发挥特聘教授“传帮带”作用，创建了江苏省首批优秀教学团队，培养了大批中青年教授和高层次骨干教师。

(2) 大胆引进世界高科技，凸显了职教办学和创示范的高品位。

(3) 以引进的两项世界高科技为支撑，成立了省级科研机构，成功申报并完成了多项国家与省市“十一五”规划教学与科研课题，获得了一批优秀教学与科研成果。

(4) 校企合作共建了高新技术研发中心和大学生创新实践训练基地。

(5) 积极参加创建省级特色专业/精品课程/精品教材和国家级精品课程建设，在教学发展上有所新突破。

(6) 大力开展大学生创新实践主体活动，荣获了省/市创新大赛和省/院毕业设计多项大奖。

(7) 主持著书立说和发表学术论文、大力开展学术交流活动，努力提高学院的学术水平和地位。

(8) 积极参加高档次的国家级学术交流活动，把改革建设和创新发展的新成果推向全国乃至世界，竭力提高学院的知名度和影响力。

(9) 为了“机电一体化”新专业的可持续发展，积极建议将“机电一体化”新专业调整到电气工程系来办，实现以“机械”为主体、“控制”和“计算机”为技术核心，“机械+电气+计算机”三分天下的教学格局；为创建“机电一体化”品牌专业做了一些准备，支撑着目前该系的生存和发展。

(10) 2012 年，他又被海南省三亚高级技工学校聘请为特聘教授、教授顾问委员会委员，其主要任务就是要倾力打造职业教育航母，协助筹建技师学院。

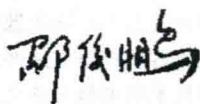
为了更深层次地推动我国当代典型工控电气设备应用和维护技术的发展，提升海南省三亚高级技工学校

的学术水平和群体整体综合实力，大力培养双师型高技能高素质专业教师队伍，促进学校的跨越式发展，配合创建维修电工国家级技能大师工作室的中心任务，他又主持编写这部应用型专业技术丛书。该书立足于卓越工程师和高技能人才培养目标，遵循主动适合社会发展需要，突出实用性和针对性，着重加强工程实践能力、工程设计能力的培养原则，与专业基础课、专业课的理论教材相配套，作为理论教材的扩展和延伸。该书集设计、制作、工程实践操作、工程应用、工程训练等能力培养为一体，体系新颖，内容可选择性强。本书的最大特点：

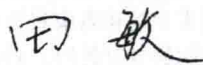
(1) 内容全面、体系完备，体现了专业的系统性和完整性。本书从不同层面和深度，详尽介绍了当代典型工控电气设备工程应用开发设计和维护的全过程，内容翔实，覆盖面广；既注意到一般设计方法和过程的介绍，同时对工业控制的生产型设计和过程也进行了大量的解析。

(2) 实践性强、案例典型。作为通向工业现场的一座桥梁，本书很多内容均来源于科研和生产实践，通过对科研和生产企业的广泛调研，收集了大量有实用意义的资料，使内容更加贴近现场，贴近实践。本书既注重工程设计能力的传授，以动手能力、工程实践能力为培养主线，重点放在电气操作技能的训练上，培养读者分析和解决实际问题的能力。书中所有案例都已经过验证，均可实现，并具有较强的代表性，读者可通过案例对相应技术点有清晰直观的了解。

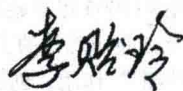
(3) 把握新知、结合实际。本书取材充分考虑了内容的先进性，以新技术、新元件、新材料、新工艺充实到工程应用实践中；对当代典型工控电气设备的新知识、新特性、新功能做了详尽的介绍。书中很多技术点都是编者已经在实际工作中大量运用的，它们是开发经验的提炼和总结，相信会给读者启迪和帮助。



哈尔滨理工大学机械动力工程学院院长/教授/博士/博士生导师



淮安信息职业技术学院院长/教授/博士/研究员级高级工程师



三亚技师学院和三亚学院特聘教授/黑龙江农垦职业学院教授

2015年2月

百年风雨沧桑，百年磨砺奋进。我国的电气工程及其自动化专业从传统的“电力工程”逐渐发展成包括“强电”和“弱电”（甚至包括计算机专业）的庞大“电”类专业群，成为工科专业中学生人数最多、也是最受学生欢迎和喜爱的热门紧俏专业。从国家领导人到两院院士，从学术带头人到普通工程师，从两弹一星到嫦娥奔月，从三峡平湖到西电东送……到处活跃着电气技术工作者的身影。百年积淀，再铸辉煌，携手扬帆新百年，我国的工控电气设备已经历了从传统的“继电器-接触器”控制、直/交流调速系统，到 PLC 控制、单片机控制、工控机控制、现代智能网络控制的转变；目前正在向着“弱电”控制“强电”，机（机械）、电（电气）、液（液压）、仪（仪器仪表）、光（激光）、信（信息）、计（计算机）等多学科交叉融合的方向快速发展。在“十二五规划”的关键之年，教育部又提出和正在深入贯彻落实“卓越工程师教育培养计划”，要在工科的本科生、硕士研究生、博士研究生三个层次上，大力培养现场工程师、设计开发工程师和研究型工程师等多种类型的工程师后备人才。要启动和实施“卓越计划”，就要打造出一套学以致用、学以能用、学以好用的高水平专业教材和技术丛书。

本书由维修电工国家级技能大师工作室组织编写，着眼于教育部“卓越工程师培养计划”的要求，从突显行业指导、校企合作、工学结合、学用一致、理实并重，“教、学、做”一体化的现代教学特色，注重对大学生进行素质和技能培养与提高的实用角度出发，以当代典型工控电气设备为对象，全面而详尽地介绍它们的应用和维护技术。这是一部既有理论高度，更突出“四新”（新技术、新元件、新材料、新工艺）在工程实践中应用的精品佳作，其目的就是要培养当代卓越工程师和高技能人才。

本书的编写既是海南三亚高级技工学校创建国家级重点技工学校/国家中等职业教育改革发展示范建设学校/国家高技能人才培养示范基地的标志性成果之一，又是学院“十二五”发展规划所确定的“倾力打造职业航母，着手筹建技师学院，努力创建国家级技能大师工作室，大力开展理实一体化示范教学，创建精品课程和样板教材”之急需；既是编者多年来从事教学研究和科研开发实践经验的概括和总结，又博采了目前各教材和著作之精华。参加本书编写工作的高安邦教授（编写大纲及第2章大部分内容），石磊（第1章），冯坚（第2章的2.1~2.3.3之3），佟星（第2章的2.3.3之4），褚雪莲（第3章），韩维民（第4章），董泽斯（第5章），崔冰（第6章），张晓辉（第7章）。全书由高安邦负责统稿。哈尔滨理工大学邵俊鹏教授、淮安信息职业技术学院院长田敏教授和黑龙江农垦职业学院李贻玲教授担任本书的主审，他们对本书的编写提供了大力支持，并提出了最宝贵的编写意见；杨帅、薛岚、陈银燕、关士岩、陈玉华、刘晓艳、毕洁廷、姚薇、王玲等老师，以及邱少华、王宇航、马鑫、陆智华、余彬、邱一启、张纺、武婷婷、司雪美、朱颖、杨俊、周伟、陈忠、陈丹丹、杨智炜、霍如旭、张旭、宋开峰、陈晨、丁杰、姜延蒙、吴国松、朱兵、杨景、赵家伟、李玉驰、张建民、施赛健等同学也为本书编写做了大量的辅助性工作，在此表示最衷心的感谢！本书编写得到了海南省三亚高级技工学校、淮安信息职业技术学院、保定电力职业技术学院、三亚市老教授协会和哈尔滨理工大学的大力支持，在此也表示最真诚的感激之意！任何一本新书的出版都是在认真总结和引用前人的知识和智慧的基础上创新发展起来的，本书的编写无疑也参考和引用了许多前人优秀教材与研究成果的结晶和精华。在此向本书所参考和引用的资料、文献、教材和专著的编著者表示最

诚挚的敬意和感谢!

当代工控电气设备中的新技术、新元件、新材料、新工艺层出不穷,应用的领域十分广泛,现场条件千变万化,控制方案多种多样,本书提供了思路、方法和样板,只有坚持不懈地、全面地进行学习,掌握技术的要领,并经过丰富的现场工程实践,才能将其学透、用熟、融会贯通,做出高质量的工程设计,做好电气设备的维护工作。

本书编写涉及的技术面广,要突出现代教育特色,要求更高、难度更大,而技术处于不断发展和完善过程中,鉴于编者的水平和经验有限,书中存在诸多错误、疏漏和不足,恳请读者和专家们不吝批评、指正、赐教,有待今后更好地完善、充实和提高。

编 者

2015 年 2 月

序
前言

第1章 传统电气控制设备的应用与维护	1
1.1 传统电气控制的三相交流异步电动机	1
1.1.1 交流异步电动机的结构组成	1
1.1.2 交流异步电动机的工作原理	2
1.1.3 交流异步电动机的铭牌	3
1.1.4 交流异步电动机的电磁转矩与机械特性	4
1.1.5 交流异步电动机的工作特性	8
1.1.6 交流异步电动机的运行控制	8
1.1.7 异步电动机的一般故障维修	14
1.2 传统电气控制常用的低压电器和图形符号说明	15
1.2.1 概述	15
1.2.2 信号及控制电器	18
1.2.3 执行电器	29
1.2.4 保护电器	35
1.2.5 电气控制中常用的其他器件	41
1.3 传统电气控制的基本环节与典型电路	43
1.3.1 电气制图与识图基础	43
1.3.2 传统电气控制常用的基本环节和典型电路	46
1.4 传统电气控制设备的应用设计	64
1.4.1 电气控制系统设计的基本内容和一般原则	65
1.4.2 拟定任务书,确定电力拖动方案 and 选择电动机	68
1.4.3 电气控制线路的经验设计法和逻辑设计法	71
1.4.4 选择电器元件	76
1.4.5 生产设备电气控制系统的工艺设计	80
1.4.6 典型 C6163 型卧式车床电气控制系统的应用设计	81
1.5 传统电气控制设备的维修	87
1.5.1 如何进行传统电气控制设备常见故障的维修	87
1.5.2 典型生产设备常见故障的类型分析	90
1.5.3 CA6140 型普通车床电气控制线路故障检修实例	92
习题与思考题 1	93
第2章 新型PLC控制设备的应用与维护	95
2.1 PLC 基础知识	95

2.1.1	PLC 的基本结构及工作原理	95
2.1.2	PLC 的技术性能	102
2.1.3	PLC 的编程语言	105
2.1.4	PLC 的特殊功能	106
2.2	典型工控设备中常用的 5 大公司代表性 PLC 的硬/软件资源	110
2.2.1	三菱 FX _{2N} 系列 PLC 的硬/软件资源	110
2.2.2	欧姆龙 CPM1A 系列 PLC 的主要硬/软件资源	117
2.2.3	西门子公司 S7-200 系列 PLC 的主要硬/软件资源	127
2.2.4	法国施耐德公司 Twido 系列 PLC 的主要硬/软件资源	141
2.2.5	美国 A-B 公司 SLC-500 和 PLC-5/3/2 系列 PLC 的主要硬/软件资源	150
2.3	常用的微机图形编程器及其使用	155
2.3.1	概述	155
2.3.2	三菱 FX _{2N} 系列 PLC 编程工具软件 SWOPC-FXGP/WIN-C 的使用说明	157
2.3.3	西门子公司 PLC 编程软件 STEP7-Micro/WIN 的使用说明	168
2.3.4	施耐德编程 PLC 编程工具软件 Twido 简介	194
2.4	PLC 的编程规则与技巧	197
2.4.1	梯形图的特点	197
2.4.2	S7-200 PLC 程序的结构	197
2.4.3	PLC 梯形图的编程规则和技巧	198
2.5	PLC 控制中最常用的基本电路编程环节	203
2.5.1	自锁、互锁和连锁控制	203
2.5.2	电动机的单按钮“按起按停”控制	204
2.5.3	电动机正/反转控制	205
2.5.4	行程开关控制的工作台自动循环控制电路	206
2.5.5	电动机的软起动控制	206
2.5.6	电动机 Y/ Δ 降压起动控制	207
2.5.7	三相电动机的能耗制动控制	208
2.5.8	电动机串电阻降压起动和反接制动控制	210
2.5.9	用比较指令编程的电动机顺起/逆停的 PLC 控制	210
2.5.10	用移位寄存器指令编程的四台电动机 M1~M4 的顺序控制	212
2.5.11	时间控制	213
2.5.12	脉冲触发控制	216
2.5.13	分频控制	217
2.5.14	报警控制	218
2.5.15	计数控制	219
2.5.16	顺序控制	221
2.5.17	循环控制	223
2.5.18	PLC 的初始化控制	224
2.5.19	PLC 故障控制	224
2.5.20	PLC 的复电输出禁止控制	226
2.5.21	PLC 系统的多工况选择控制	226
2.5.22	控制系统设计及编程常用图	227
2.6	PLC 控制系统的应用设计	230
2.6.1	PLC 控制系统设计的基本原则	230
2.6.2	PLC 控制系统设计的基本内容	230
2.6.3	PLC 控制系统设计的一般步骤	230

2.6.4 PLC 控制系统经典设计实例	232
2.7 PLC 控制系统的安装、维修与调试	243
2.7.1 S7-200 PLC 的安装与维修	243
2.7.2 PLC 控制系统的调试	251
习题与思考题 2	257

第3章 直流调速系统的应用与维护

3.1 直流调速中直流电动机	258
3.1.1 直流电动机的结构组成与工作原理	258
3.1.2 直流电动机的一般调速方法	259
3.1.3 直流电动机自动调速系统的分类	261
3.2 电气控制系统设计中常用的电力电子器件	261
3.2.1 晶闸管 (SCR)	262
3.2.2 其他电力半导体器件	265
3.2.3 电力半导体器件的发展现状	267
3.3 单闭环控制的直流调速系统应用设计	269
3.3.1 直流电动机的调速方法和可控直流电源	269
3.3.2 开环调速系统	272
3.3.3 转速负反馈单闭环直流调速系统	276
3.3.4 电压反馈电流补充控制的调速系统	290
3.4 双闭环控制的直流调速系统设计	292
3.4.1 双闭环调速系统的组成及其静特性	292
3.4.2 双闭环直流调速系统的数学模型和动态性能分析	295
3.4.3 调节器的工程设计方法	297
3.4.4 按工程设计方法设计双闭环调速系统	307
3.4.5 转速超调的抑制——转速微分负反馈	316
3.4.6 弱磁控制的直流调速系统	317
3.4.7 数字控制器的实现及其工程整定	319
3.5 可逆控制的直流调速系统设计	323
3.5.1 V-M 系统的可逆运行和回馈制动	323
3.5.2 两组晶闸管装置可逆线路中的环流	327
3.5.3 有环流可逆系统	329
3.5.4 无环流可逆调速系统	333
3.5.5 双闭环可逆直流脉冲宽调速系统	338
3.5.6 工程设计举例	342
3.6 直流调速装置的安装与调试	345
3.6.1 电控设备检验依据标准	345
3.6.2 电控装置的安装	345
3.6.3 电控设备现场调试	346
3.6.4 直流调速装置的现场调试	349
3.7 直流调速装置的维护	352
3.7.1 晶闸管主电路与触发电路故障检修	352
3.7.2 德国 SIMOREG-V5 直流调速系统应用、维修与改造	354
习题与思考题 3	367

第4章 单片微机控制系统的应用与维护

4.1 单片微机控制系统概述	369
----------------------	-----

4.1.1	单片机控制系统的结构组成	369
4.1.2	常用典型单片机的硬件资源	373
4.1.3	常用典型单片机的软件系统	373
4.1.4	常用典型单片机的开发应用方法	379
4.2	单片机控制系统中最常用的典型设计实例	383
4.2.1	单片机的最小控制系统设计	383
4.2.2	单片机扩展控制系统设计	385
4.2.3	单片机最常用的典型实用控制环节电路设计	388
4.3	新型实用天车电脑秤的应用设计	399
4.3.1	新型实用天车电脑秤的组成和主要功能	399
4.3.2	新型实用天车电脑秤的硬件系统设计	399
4.3.3	新型实用天车电脑秤的软件系统设计	402
4.3.4	新型实用天车电脑秤系统设计	402
4.4	交流电动机电脑控制柜的设计	408
4.4.1	交流电动机电脑控制柜的组成和主要功能	408
4.4.2	交流电动机电脑控制柜的硬件系统设计	409
4.4.3	交流电动机电脑控制柜的软件系统设计	410
4.4.4	交流电动机电脑控制柜系统设计	410
4.5	单片机系统的调试与维修	420
4.5.1	静态测试仪器	420
4.5.2	动态测试仪器	421
4.5.3	传统的调试方法	427
4.5.4	单片机控制系统的维护	432
	习题与思考题 4	439

第5章 机电伺服系统的应用与维护 440

5.1	伺服系统设计概述	440
5.1.1	伺服系统及其基本构成	440
5.1.2	工程上对伺服系统设计的技术要求	440
5.1.3	伺服系统设计的内容和步骤	441
5.1.4	伺服系统设计方案的选择	442
5.2	执行电动机的选择	445
5.2.1	执行电动机选择的基本依据	445
5.2.2	单轴传动的执行电动机选择	447
5.2.3	多轴传动的执行电动机选择	448
5.2.4	步进电动机的选择	451
5.2.5	直线电动机的选择	453
5.2.6	执行电动机选择应注意的事项	453
5.3	电动机的功率驱动装置设计	456
5.3.1	两相异步电动机功率放大装置的设计	456
5.3.2	直流电动机驱动装置的设计	458
5.3.3	直流脉冲脉宽调制(PWM)驱动装置设计	468
5.3.4	无换向器电动机驱动装置设计	470
5.3.5	步进电动机驱动装置设计	474
5.3.6	执行电动机功率驱动装置设计时应注意的事项	478
5.4	执行电动机的伺服系统设计	479

5.4.1 开环控制的伺服系统设计	479
5.4.2 闭环控制的伺服系统设计	486
5.4.3 复合控制的伺服系统设计	495
5.4.4 伺服系统设计时应注意的事项	498
5.5 伺服系统的维修	501
5.5.1 伺服系统故障的类型和特点	501
5.5.2 伺服系统的故障诊断方法	503
5.5.3 伺服系统故障诊断的一般步骤	505
5.5.4 维修器具/技术资料的使用	507
习题与思考题 5	509

第6章 现代交流变频调速系统的应用与维护

6.1 概述	510
6.1.1 异步电动机调速系统的基本类型	510
6.1.2 同步电动机调速系统的基本类型	512
6.2 调压调速的交流调速系统应用设计	512
6.2.1 转速负反馈闭环的交流调压调速系统	512
6.2.2 系统的静态特性	513
6.2.3 系统动态特性分析	514
6.2.4 异步电动机调压调速系统应用举例	516
6.3 变频调速的交流调速系统应用设计	522
6.3.1 变频调速的基本控制方式	523
6.3.2 变频器简介	524
6.3.3 正弦波脉宽调制变频器	525
6.3.4 异步电动机变频调速时的机械特性	531
6.3.5 转速开环、电压闭环恒压频比控制的变频调速系统	534
6.3.6 转差频率控制的转速闭环变频调速系统	539
6.3.7 异步电动机矢量控制的变频调速系统	541
6.4 富士变频器的应用实例	546
6.4.1 富士变频器结构分析	546
6.4.2 富士变频器应用技术	554
6.5 西门子 6SE70 变频器应用实例	562
6.5.1 6SE70 变频装置的结构	562
6.5.2 6SE70 变频装置的调速控制功能	563
6.5.3 6SE70 变频装置的操作	563
6.5.4 6SE70 变频装置的网络设置	564
6.6 高压变频器的应用实例	565
6.6.1 大功率节能调速传动的合理电压等级	565
6.6.2 大功率高性能逆变器的主回路结构	566
6.7 西门子 G110 变频器的应用实例	569
6.7.1 G110 接线端子	569
6.7.2 BOP 的按钮及其功能	571
6.7.3 参数的设置操作方法	571
6.7.4 G110 变频器运行控制方式设定	573
6.7.5 变频器的调试	574
6.8 西门子 MicroMaster 440 (MM440) 变频器的实际应用	580

6.8.1	MM440 变频器的特点	580
6.8.2	MM440 变频器的电路结构	581
6.8.3	MM44 变频器的调试	582
6.8.4	MM440 变频器基本应用的操作控制电路	589
6.9	变频调速系统的维护与检修	599
6.9.1	变频器的日常检查	600
6.9.2	变频器的定期检修	600
6.9.3	变频器的维修	602
6.9.4	变频器调速系统常见异常及处理方法	622
	习题与思考题 6	627
第 7 章	现代智能控制系统的应用与维护	628
7.1	自动控制技术的发展	628
7.1.1	自动控制技术发展的机遇与挑战	628
7.1.2	智能控制及智能控制理论	631
7.1.3	智能控制的发展	634
7.1.4	智能控制方法与应用	637
7.2	电弧炉炼钢过程的智能控制	644
7.2.1	电弧炉炼钢工艺过程及对自动控制提出的要求	644
7.2.2	电弧炉炼钢过程电极升降智能复合控制系统	645
7.2.3	电弧炉炼钢过程的数学模型及终点自适应预报系统	650
7.2.4	电弧炉炼钢过程智能自适应预测操作指导系统的设计	661
7.2.5	电弧炉炼钢过程闭环控制研究	669
7.3	基于 LonWorks 技术的现代智能测控系统设计	671
7.3.1	现场总线综述	671
7.3.2	LonWorks 技术	673
7.3.3	基于 LonWorks 技术的现代智能测控系统设计	676
	习题与思考题 7	711
	参考文献	712

传统电气控制设备的应用与维护

1.1 传统电气控制的三相交流异步电动机

交流异步电动机按照转子的结构型式分为笼型异步电动机和绕线转子异步电动机。笼型异步电动机因具有结构简单、制造方便、价格低廉、坚固耐用、转子惯量小、运行可靠等优点，在机床中得到了极其广泛的应用。绕线式异步电动机因其转子采用绕线方式，具有调速简单、成本低的优点，在中小型工控设备中得到极其广泛的应用。

1.1.1 交流异步电动机的结构组成

图 1-1 是一台三相异步电动机的结构图。它主要由定子、转子两大部分构成，定子与转子之间有一定的气隙。定子是静止不动的部分，由定子铁心、定子绕组和机座组成。转子是旋转部分，由转子铁心、转子绕组和转轴组成。

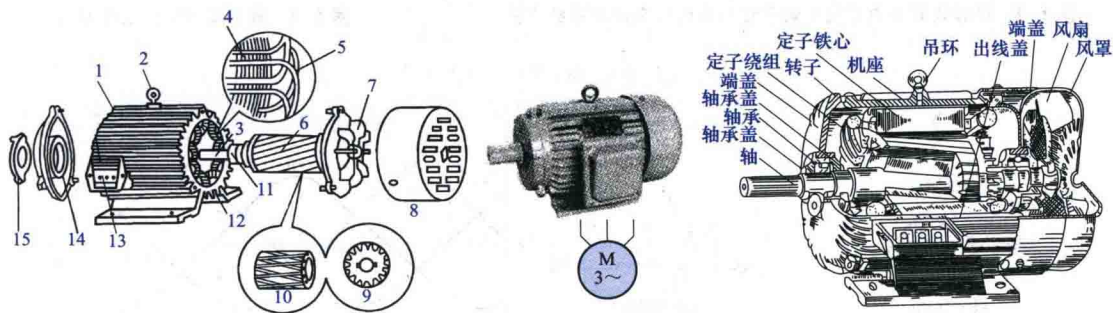


图 1-1 三相异步电动机的结构图

1—散热筋；2—吊环；3—转轴；4—定子铁心；5—定子绕组；6—转子；7—风扇；8—罩壳；
9—转子铁心；10—笼型绕组；11—轴承；12—机座；13—接线盒；14—轴承盖；15—端盖

笼型电动机的转子绕组与定子绕组大不相同，它是在转子铁心槽里插入铜条。再将全部铜条焊接在两个端铜环上，如果将转子铁心拿掉，则可看出，剩下的绕组形状像个笼子，如图 1-2 所示，因此叫笼型转子。对于中小功率电动机的绕组，多采用铝离心浇铸而成。

绕线式异步电动机的转子绕组与定子绕组一样，是将由线圈组成的绕组放入转子铁心槽里，转子可以通过电刷和集电环外串电阻以调节转子电流的大小和相位的方式进行调速，如图 1-3 所示。笼型异步电动机不能使转子电阻改变而调速，但同绕线式电动机相比要坚固而价廉，在中小型工控设备中使用的电动机当中，绝大多数是笼型异步电动机。

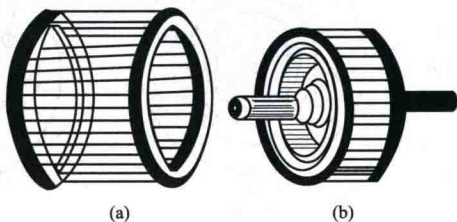


图 1-2 笼型电动机的转子结构图

(a) 笼型绕组；(b) 转子外形

1.1.2 交流异步电动机的工作原理

异步电动机的工作原理,如图1-4所示。当定子接三相对称电源后,电动机内便形成圆形旋转磁场,如图1-5所示。设其方向为顺时针旋转,假设速度为 n_0 。若转子不转,转子笼型导条与旋转磁场有相对运动,转子导条中便感应有电动势 e ,方向由右手定则确定。由于转子导条彼此在端部短路,于是导条中便有感应电流,不考虑电动势与电流的相位差时,电流方向同电动势方向。这样,载流导条就在磁场中感生电磁力 f ,形成电磁转矩 T ,用左手定则确定其方向,如图1-5所示。转子在方向与旋转磁场同方向的力 f (电磁转矩 T)的作用下,便沿着该方向跟随着旋转磁场旋转起来。

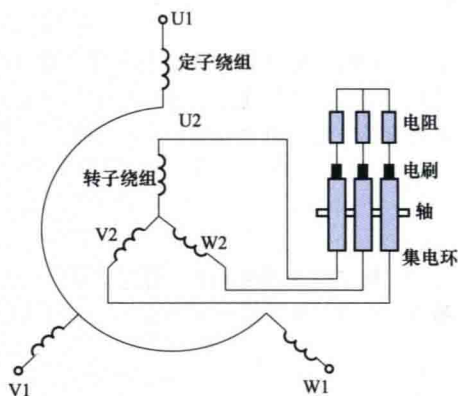


图 1-3 绕线式异步电动机定子绕组及外加电阻的接线方式

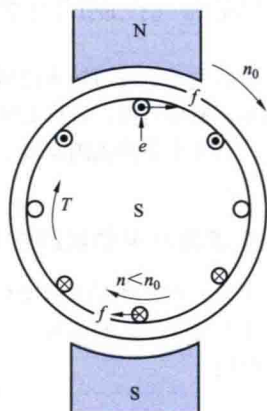
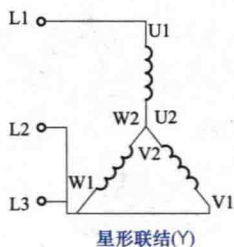
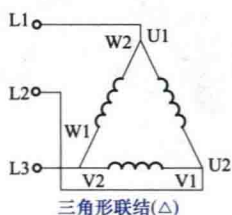


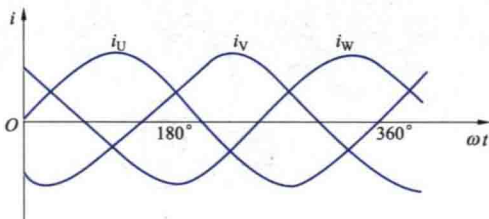
图 1-4 异步电动机的工作原理



星形联结(Y)

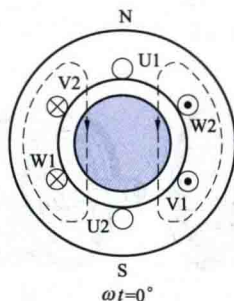


三角形联结(Δ)

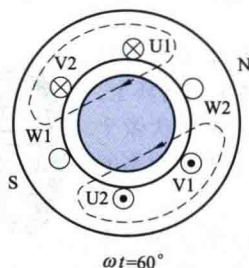


(a)

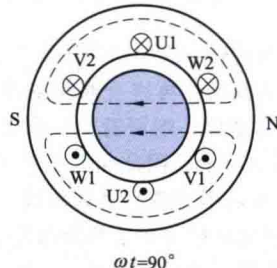
(b)



$\omega t=0^\circ$



$\omega t=60^\circ$



$\omega t=90^\circ$

图 1-5 三相交流异步电动机圆形旋转磁场的产生

(a) 定子接法; (b) 三相对称电源波形; (c) 圆形旋转磁场的产生

转子旋转后,假设其转速为 n ,只要 $n < n_0$,转子导条与磁场之间仍有相对运动,就产生与转子不转时相同方向的电动势、电流及受力 f ,电磁转矩 T 仍旧为顺时针方向,转子继续旋转,最终稳定运行在电磁转矩 T

与负载转矩 T_L 相平衡的状况下。

异步电动机内部磁场的旋转速度 n_0 被称作同步转速。在电动机运行时,电动机轴输出机械功率,异步电动机的实际转速 n 总是低于旋转磁场转速 n_0 ,也就是说转子的旋转速度 n 总是与同步转速 n_0 不等,故异步电动机的名称由此而来。另外,由于转子电流的产生和电能的传递是基于电磁感应现象,故异步电动机又称为感应电动机。

异步电动机的同步转速 n_0 与定子绕组磁极对数 P (等于磁极数的一半) 成反比,与定子侧电源频率 f_1 成正比(对于交流电动机其定子侧的物理量习惯用下标 1 或者下标 s 表示,对其转子侧的物理量习惯用下标 2 或者下标 r 表示)。故有: $n_0 = 60f_1/P$ 。

带有负载的电动机转子实际转速 n 要比电动机的同步转速 n_0 低一些,常用转差率来描述异步电动机的各种不同运行状态。转差率 s 定义为: $s = (n_0 - n)/n_0$; 故近似有 $n = n_0(1 - s)$ 。

当电动机为空载(输出的机械转矩近似为零,忽略摩擦转矩,转速近似为 n_0 时,转差率 s 近似为零。而当电动机为满负载(产生额定转矩)时,则转差率 s 一般在 1.5%~6% 范围内。转子不转时 ($n_0 = 0$), $s = 1$ 。

1.1.3 交流异步电动机的铭牌

铭牌是电动机的身份证,认识和了解电动机铭牌中有关技术参数的作用和意义,可以帮助正确地选择、使用和维护它。图 1-6 是我国使用最多的 Y 系列三相感应异步电动机铭牌的实例。铭牌中主要包含以下内容:

商标: ××××	三相异步电动机	
型号: Y-112M-4	出厂编号: ××××	接线方式: Δ
功率: 4.0kW	电压: 380V	电流: 8.7A
频率: 50Hz	转速: 1440r/min	噪声值: 74dB (A)
工作制: S1	绝缘等级: B	防护等级: IP44
质量: 49kg	标准编号: ZBK22007-88	出厂日期: ____ 年 ____ 月 ____ 日
	中华人民共和国××××电机厂制造	

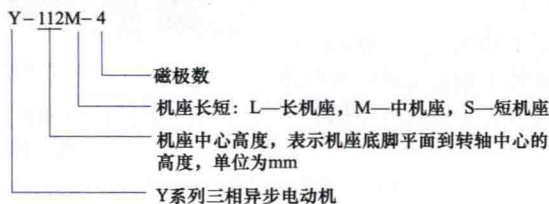


图 1-6 Y 系列三相感应电动机铭牌

(1) 型号。型号如 Y-112M-4、Y802-4。

(2) 额定值。

1) 额定功率 P_N , 指电动机在额定运行时,电动机轴上输出的机械功率,单位为千瓦(kW)。

2) 额定电压 U_N , 指额定运行状态下加在电动机定子绕组上的线电压,单位为伏(V)。

3) 额定电流 I_N , 指电动机在定子绕组上施加额定电压、电动机轴上输出额定功率时的线电流,单位为安培(A)。

可以根据电动机的额定电压、电流及功率,利用三相交流电路功率计算公式计算出电动机在额定负载时定子边的功率因数 $\cos\varphi$ 。例如图 1-6 所示铭牌的电动机在额定负载时的功率因数 $\cos\varphi = 4000/(3^{1/2} \times 380 \times 8.7) = 0.699$ 。

4) 额定频率 f_N , 我国规定工业用电的额定频率是 50Hz, 国外有些国家采用 60Hz。

5) 额定转速 n_N , 指电动机定子加额定频率的额定电压、轴端输出额定功率时电动机的转速,单位为 r/min。可以根据额定转速与额定频率计算出电动机的极数 P 和额定转差率 s_N 。

(3) 噪声值(LW)。噪声值指电动机在运行时的最大噪声。一般电动机功率越大,磁极数越少,额定转速越高,噪声越大。

(4) 工作制式。工作制式指电动机允许工作的方式,共有 S1~S10 十种工作制。其中, S1 为连续工作

制；S2 为短时工作制；其他为不同周期或者非周期工作制。

(5) 绝缘等级。绝缘等级与电动机内部的绝缘材料有关。它与电动机允许工作的最高温度有关，共分 A、E、D、F、H 五种等级。其中 A 级最低，H 级最高。在环境温度额定为 40℃ 时，A 级允许的最高温升为 105℃，H 级允许的最高温升为 140℃。

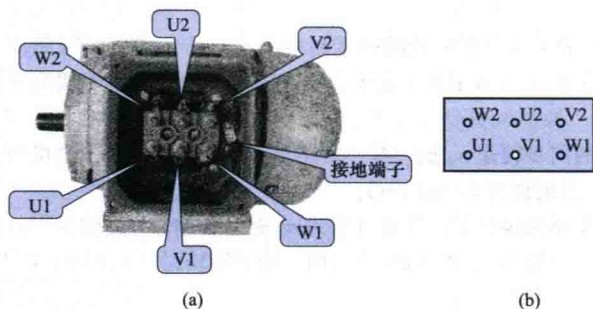


图 1-7 三相电动机交流电动机接线端子

(a) 接线端子；(b) 接线端子示意图

本的方法是采用如图 1-10 所示的 Y/△ 降压启动、启动过程中用 Y 连接 (KM1 和 KM3 闭合，KM2 断开)，启动过程结束后切换为 △ 连接 (KM1 和 KM2 闭合，KM3 断开) 运行。

(7) 防护等级。IP 为防护代号，第一位数字 (0~6) 规定了电动机防护体的等级标准。第二位数字 (0~8) 规定了电动机防水的等级标准。如 IP00 为无防护，数字越大，防护等级越高。

(8) 其他。对于绕线转子电动机还必须标明转子绕组接法、转子额定电动势及转子额定电流；有些还标明了电动机的转子电阻；有些特殊电动机还标明了冷却方式等。

(6) 连接方法。三相电动机交流电动机接线端子如图 1-7 所示，有 Y/△ 两种方式。请注意有些电动机只能固定一种接法，有些电动机可以两种切换方法工作。但是要注意工作电压，防止错误接线烧坏电动机。高压大、中型容量的异步电动机定子绕组常采用 Y 接线，只有三根引出线。对中、小容量低压异步电动机，通常把定子三相绕组的六根出线头都引出来。根据需要可接成星形或三角形，如图 1-8 和图 1-9 所示。另外，有一点需要说明的是，在电动机启动过程中，为了减小启动冲击电流 $[I_Q = (5 \sim 7)I_N]$ 对于电网的影响，一种简单、实用、低成

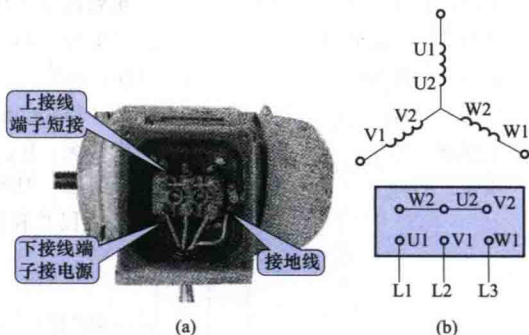


图 1-8 三相异步电动机的 Y 引出线

(a) 线端的排列；(b) Y 连接

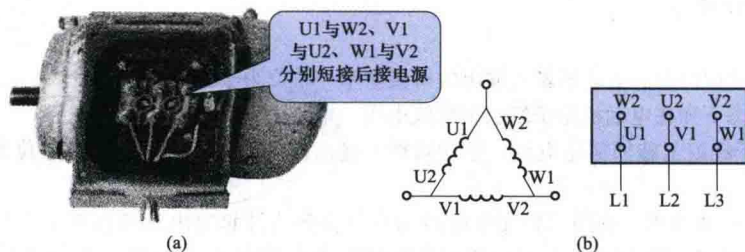


图 1-9 三相异步电动机的 △ 引出线

(a) 线端的排列；(b) △ 连接

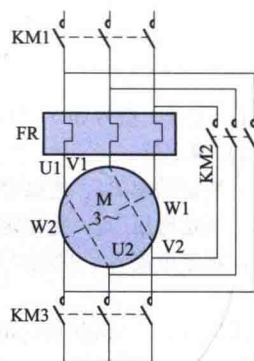


图 1-10 Y/△ 降压启动的接线图

1.1.4 交流异步电动机的电磁转矩与机械特性

1. 交流异步电动机的电磁转矩

电磁转矩 T (以下简称转矩) 是三相异步电动机最重要的参数之一，它表征一台电动机拖动生产机械能