

· 应用型系列教材 ·

总主编 吴国华

工厂电气控制设备

主 编 王友林 郭东旭 朱璐璐
副主编 王晓博 张新玉 马祥坤



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

· 应用型系列教材 ·

工厂电气控制设备

主 编	王友林	郭东旭	朱璐瑛
副 主 编	王晓博	张新玉	马祥坤

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书以大学本科教育工科类专业为背景,内容紧密结合各类工厂的实际情况,介绍工厂目前广泛应用的低压电器、电气控制线路,以及电气控制系统的设计、安装和调试方法。

全书分为10章,内容主要包括常用低压电器,电气控制线路基础,三相异步电动机的电力拖动,常用机床电气控制线路及常见故障的排查,变频器的基础知识,变频器的常用控制功能,通用变频器在典型控制系统中的应用,变频器选用、安装与维护,三相异步电动机变频器调速控制线路,实验项目。

本书注重实用技能的操作与训练,每一章的知识都结合工厂实例进行叙述。例如,在介绍常用机床电气控制的基础上,还对数控机床的电气控制线路进行分析,并在最后列出了9个工厂电气控制设备的实验来强化前面所学的知识,提高动手能力。

本书既可作为高等教育自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、电力系统自动化、机械制造及其自动化、机电一体化技术等相关专业的教材,也可作为电力系统领域的广大工程技术人员和科技工作者的学习参考书籍。

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

工厂电气控制设备 / 王友林, 郭东旭, 朱璐瑛主编. —北京: 电子工业出版社, 2017.6

ISBN 978-7-121-30705-8

I. ①工… II. ①王… ②郭… ③朱… III. ①工厂—电气控制装置—高等学校—教材 IV. ①TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 311357 号

策划编辑: 朱怀永

责任编辑: 胡辛征

印 刷: 三河市兴达印务有限公司

装 订: 三河市兴达印务有限公司

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: 19 字数: 529 千字

版 次: 2017 年 6 月第 1 版

印 次: 2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 45.80 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,(010) 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254608, zhy@phei.com.cn。

序——加快应用型本科教材建设的思考

一、应用型高校转型呼唤应用型教材建设

教学与生产脱节,很多教材内容严重滞后,所学难以致用。这是我们在进行毕业生跟踪调查时经常听到的对高校教学现状提出的批评意见。由于这种脱节和滞后,造成很多毕业生及其就业单位不得不花费大量时间“补课”,既给刚踏上社会的学生无端增加了很大压力,又给就业单位白白增添了额外的培训成本。难怪学生抱怨“专业不对口,学非所用”,企业讥讽“学生质量低,人才难寻”。

2010年,我国《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指出:要加大教学投入,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模。2014年,《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》进一步指出:要引导一批普通本科高等学校向应用技术类型高等学校转型,重点举办本科职业教育,培养应用型、技术技能人才。这表明国家已发现并着手解决高等教育供应侧结构不对称问题。

转型一批到底是多少?据国家教育部披露,计划将600多所地方本科高校向应用技术、职业教育类型转变。这意味着未来几年我国将有50%以上的本科高校(2014年全国本科高校1202所)面临应用型转型,更多地承担应用型人才,特别是生产、管理、服务一线急需的应用技术型人才的培养任务。应用型人才培养作为高等教育人才培养体系的重要组成部分,已经被提上我国党和国家重要的议事日程。

军马未动、粮草先行。应用型高校转型要求加快应用型教材建设。教材是引导学生从未知进入已知的一条便捷途径。一部好的教材既是取得良好教学效果的关键因素,又是优质教育资源的重要组成部分。它在很大程度上决定着学生在某一领域发展起点的远近。在高等教育逐步从“精英”走向“大众”直至“普及”的过程中,加快教材建设,使之与人才培养目标、模式相适应,与市场需求和时代发展相适应,已成为广大应用型高校面临并亟待解决的新问题。

烟台南山学院作为大型民营企业南山集团投资兴办的民办高校,与生俱来就是一所应用型高校。2005年升本以来,其依托大企业集团,坚定不移地实施学校地方性、应用型的办学定位。坚持立足胶东,着眼山东,面向全国;坚持以工为主,工管经文艺协调发展;坚持产教融合、校企合作,培养高素质应用型人才。初步形成了自己校企一体、实践育人的应用型办学特色。为加快应用型教材建设,提高应用型人才培养质量,今年学校推出的包括“应用型本科系列教材”在内的“百部学术著作建设工程”,可以视为南山学院升本10年来教学改革经验的初步总结和科研成果的集中展示。

二、应用型本科教材研编原则

编写一本好教材比一般人想象的要难得多。它既要考虑知识体系的完整性,又要考虑知识

体系如何编排和建构；既要有利于学生“学”，又要有利于教师“教”。教材编得好不好，首先取决于作者对教学对象、课程内容和教学过程是否有深刻的体验和理解，以及能否采用适合学生认知模式的教材表现方式。

应用型本科作为一种本科层次的人才培养类型，目前使用的教材大致有两种情况：一是借用传统本科教材。实践证明，这种借用很不适宜。因为传统本科教材内容相对较多，理论阐述繁杂，教材既深且厚。更突出的是其忽视实践应用，很多内容理论与实践脱节。这对于没有实践经验，以培养动手能力、实践能力、应用能力为重要目标的应用型本科生来说，无异于“张冠李戴”，严重背离了教学目标，降低了教学质量。二是延用高职教材。高职与应用型本科的人才培养方式接近，但毕竟人才培养层次不同，它们在专业培养目标、课程设置、学时安排、教学方式等方面均存在很大差别。高职教材虽然也注重理论的实践应用，但“小才难以大用”，用低层次的高职教材支撑高层次的本科人才培养，实属“力不从心”，尽管它可能十分优秀。换句话说，应用型本科教材贵在“应用”二字。它既不能是传统本科教材加贴一个应用标签，也不能是高职教材的理论强化，其应有相对独立的知识体系和技术技能体系。

基于这种认识，我认为研编应用型本科教材应遵循三个原则：一是实用性原则。即教材内容应与社会实际需求相一致，理论适度、内容实用。通过教材，学生能够了解相关企业当前的主流生产技术、设备、工艺流程及科学管理状况，掌握企业生产经营活动中与本学科专业相关的基本知识和专业知识、基本技能和专业技能。以最大限度地缩短毕业生知识、能力与企业现实需要之间的差距。烟台南山学院研编的《应用型本科专业技能标准》就是根据企业对本科毕业生专业岗位的技能要求研究编制的基本文件，它为应用型本科有关专业进行课程体系设计和应用型教材建设提供了一个参考依据。二是动态性原则。当今社会科技发展迅猛，新产品、新设备、新技术、新工艺层出不穷。所谓动态性，就是要求应用型教材应与时俱进，反映时代要求，具有时代特征。在内容上应尽可能将那些经过实践检验成熟或比较成熟的技术、装备等人类发明创新成果编入教材，实现教材与生产的有效对接。这是克服传统教材严重滞后、理论与实践脱节、学不致用等教育教学弊端的重要举措，尽管某些基础知识、理念或技术工艺短期内并不发生突变。三是个性化原则。即教材应尽可能适应不同学生的个体需求，至少能够满足不同群体学生的学习需要。不同的学生或学生群体之间存在的差异，显著地表现在对不同知识理解和技能掌握并熟练运用的快慢及深浅程度上。根据个性化原则，可以考虑在教材内容及其结构编排上既有所有学生都要求掌握的基本理论、方法、技能等“普适性”内容，又有满足不同的学生或学生群体不同学习要求的“区别性”内容。本人以为，以上原则是研编应用型本科教材的特征使然，如果能够长期得到坚持，则有望逐渐形成区别于研究型人才培养的应用型教材体系特色。

三、应用型本科教材研编路径

1. 明确教材使用对象

任何教材都有自己特定的服务对象。应用型本科教材不可能满足各类不同高校的教学需求，其主要是为我国新建的包括民办高校在内的本科院校及应用技术型专业服务的。这是因为：近10多年来我国新建了600多所本科院校（其中民办本科院校420所，2014年）。这些本科院校大多以地方经济社会发展为其服务定位，以应用技术型人才为其培养模式定位。它们的学生毕业后大部分选择企业单位就业。基于社会分工及企业性质，这些单位对毕业生的实践应用、

技能操作等能力的要求普遍较高,而不刻意苛求毕业生的理论研究能力。因此,作为人才培养的必备条件,高质量应用型本科教材已经成为新建本科院校及应用技术类专业培养合格人才的迫切需要。

2. 加强教材作者选择

突出理论联系实际,特别注重实践应用是应用型本科教材的基本质量特征。为确保教材质量,严格选择教材研编人员十分重要。其基本要求:一是作者应具有比较丰富的社会阅历和企业实际工作经历或实践经验。这是研编人员的阅历要求。不能指望一个不了解社会、没有或缺乏行业企业生产经营实践体验的人,能够写出紧密结合企业实际、实践应用性很强的篇章;二是主编和副主编应选择长期活跃于教学一线、对应用型人才培养模式有深入研究并能将其运用于教学实践的教授、副教授等专业技术人员担纲。这是研编团队的领导人要求。主编是教材研编团队的灵魂。选择主编应特别注意理论与实践结合能力的大小,以及“研究型”和“应用型”学者的区别;三是作者应有强烈的应用型人才培养模式改革的认可度,以及应用型教材编写的责任感和积极性。这是写作态度的要求。实践中一些选题很好却质量平庸甚至低下的教材,很多是由于写作态度不佳造成的;四是在满足以上三个条件的基础上,作者应有较高的学术水平和教材编写经验。这是学术水平的要求。显然,学术水平高、教材编写经验丰富的研编团队,不仅可以保障教材质量,而且对教材出版后的市场推广将产生有利的影响。

3. 强化教材内容设计

应用型教材服务于应用型人才培养模式的改革。应以改革精神和务实态度,认真研究课程要求、科学设计教材内容,合理编排教材结构。其要点包括:

(1) 缩减理论篇幅,明晰知识结构。编写应用型教材应摒弃传统研究型人才培养思维模式下重理论、轻实践的做法,确实克服理论篇幅越来越多、教材越编越厚、应用越来越少的弊端。一是基本理论应坚持以必要、够用、适用为度。在满足本学科知识连贯性和专业课需要的前提下,精简推导过程,删除过时内容,缩减理论篇幅;二是知识体系及其应用结构应清晰明了、符合逻辑,立足于为学生提供“是什么”和“怎么做”;三是文字简洁,不拖泥带水,内容编排留有余地,为学生自我学习和实践教学留出必要的空间。

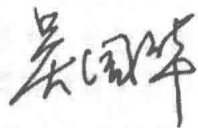
(2) 坚持能力本位,突出技能应用。应用型教材是强调实践的教材,没有“实践”、不能让学生“动起来”的教材很难产生良好的教学效果。因此,教材既要关注并反映职业技术现状,以企业岗位或岗位群需要的技术和能力为逻辑体系,又要适应未来一定期间内技术推广和职业发展要求。在方式上应坚持能力本位、突出技能应用、突出就业导向;在内容上应关注不同产业的前沿技术、重要技术标准及其相关的学科专业知识,把技术技能标准、方法程序等实践应用作为重要内容纳入教材体系,贯穿于课程教学过程的始终,从而推动教材改革,在结构上形成区别于理论与实践分离的传统教材模式,培养学生从事与所学专业紧密相关的技术开发、管理、服务等必须的意识 and 能力。

(3) 精心选编案例,推进案例教学。什么是案例?案例是真实典型且含有问题的事件。这个表述的涵义:第一,案例是事件。案例是对教学过程中一个实际情境的故事描述,讲述的是这个教学故事产生、发展的历程;第二,案例是含有问题的事件。事件只是案例的基本素材,但并非所有的事件都可以成为案例。能够成为教学案例的事件,必须包含有问题或疑难情境,并且可能包含有解决问题的方法。第三,案例是典型且真实的事件。案例必须具有典型意义、能给读者带来一定的启示和体会。案例是故事但又不完全是故事。其主要区别在于故事可以杜

撰，而案例不能杜撰或抄袭。案例是教学事件的真实再现。

案例之所以成为应用型教材的重要组成部分，是因为基于案例的教学是向学生进行有针对性的说服、思考、教育的有效方法。研编应用型教材，作者应根据课程性质、课程内容和课程要求，精心选择并按一定书写格式或标准样式编写案例，特别要重视选择那些贴近学生生活、便于学生调研的案例。然后根据教学进程和学生理解能力，研究在哪些章节，以多大篇幅安排和使用案例。为案例教学更好地适应案例情景提供更多的方便。

最后需要说明的是，应用型本科作为一种新的人才培养类型，其出现时间不长，对它进行系统研究尚需时日。相应的教材建设是一项复杂的工程。事实上从教材申报到编写、试用、评价、修订，再到出版发行，至少需要 3~5 年甚至更长的时间。因此，时至今日完全意义上的应用型本科教材并不多。烟台南山学院在开展学术年活动期间，组织研编出版的这套应用型本科系列教材，既是本校近 10 年来推进实践育人教学成果的总结和展示，更是对应用型教材建设的一个积极尝试，其中肯定存在很多问题，我们期待在取得试用意见的基础上进一步改进和完善。



2016 年国庆前夕于龙口

前 言

为了实现应用型技能人才的培养目标,更好地适应制造业的发展。本书根据应用型技能人才培养教学大纲的要求进行编写,以更好地适应 21 世纪科技和经济发展对电气技术应用型高级技术人才的要求。

本书在内容处理上既注意反映电气控制领域的最新技术,又注意本科学生的知识和能力结构,吸收和借鉴电气类教学改革的成功经验,同时根据南山集团轻合金三连轧引进的德国西门子及 ABB 公司的低压电气传动生产项目所涉及的主要电气控制设备和控制技术中所用到知识点,融入教材中,紧密围绕先进的自动控制项目来编写教材,使学生能够很快适应工作岗位的要求。先进性与实用性相结合。书中配有部分低压电器图,在项目中配有典型实例,使低压电器在电气控制电路图中的得到进一步的讲解,即学即用,由浅入深,通俗易懂。本书对相关章节的内容均配有一定量的技能训练,以保证理论与实践的有机结合,以便学生在做中学,学中做,边学边做,教、学、做合一,真正将企业应用很好地结合于教学内容。

本书是作者在多年从事生产技术工作中,把生产实际经验与多年相关课程的教学、教改及科研融入一体的基础上编写的,本书既可作为高等教育自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、电力系统自动化、机械制造及其自动化、机电一体化技术等相关专业的教材,(教师可以根据专业来选择需要讲解的内容)。也可作为企业培训人员、电控设备安装与维修人员,以及工厂技术人员的学习用书。

本书共分 10 章。第 1 章介绍常用低压电器;第 2 章介绍电气控制线路基础;第 3 章介绍三相异步电机的电力拖动;第 4 章介绍常用机床电气控制线路及常见故障的排查;第 5 章介绍变频器基础知识;第 6 章介绍变频器的常用控制功能;第 7 章介绍通用变频器在典型控制系统中的应用;第 8 章介绍变频器选用、安装与维护;第 9 章介绍三相异步电动机变频器调速控制线路;第 10 章为实验项目。

本书由烟台南山学院郭东旭编写第 9、10 章、辽宁石油化工大学张新玉编写第 5 章,烟台南山学院朱璐瑛编写第 4、6 章,烟台南山学院王晓博编写 2、7、8 章,山东南山铝业股份有限公司马祥坤编写第 1 章,烟台南山学院杨明编写第 3 章。全书由郭东旭统稿。

在本书编写过程中,作者参考了多位同行专家的著作和文献以及设计规范,设计标准图册等。并对在编写过程中给予大力帮助的烟台南山学院孙玉梅教授,山东南山东海热电厂王友林高级工程师表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在缺点和不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 概述	1
1.2 接触器	1
1.2.1 接触器的用途及分类	1
1.2.2 接触器的工作原理及结构	2
1.2.3 接触器的主要技术参数及型号	6
1.2.4 接触器的选择	8
1.2.5 接触器的运行维护	8
1.3 继电器	9
1.3.1 电磁式继电器	9
1.3.2 时间继电器	11
1.3.3 热继电器	16
1.3.4 温度继电器	19
1.3.5 液位继电器	19
1.3.6 固态继电器	20
1.3.7 速度继电器	24
1.4 常用的开关电器	25
1.4.1 刀开关	25
1.4.2 组合开关	25
1.4.3 开启式负荷开关	26
1.4.4 铁壳开关	27
1.4.5 倒顺开关	28
1.4.6 低压断路器与智能型断路器	28
1.5 熔断器	30
1.5.1 熔断器的结构及分类	30
1.5.2 熔断器的安秒特性	32
1.5.3 熔断器的技术参数	32
1.5.4 熔断器的选择	33
1.5.5 熔断器的运行与维修	34
1.6 主令电器	34

1.6.1 控制按钮	34
1.6.2 万能转换开关	35
1.6.3 行程开关	35
1.6.4 接近开关	37
1.6.5 光电开关	38
本章小结	39
习题	40
第2章 电气控制线路基础	41
2.1 电气控制系统图	41
2.1.1 常用电气图的图形符号、文字符号和接线端子标记	41
2.1.2 电气原理图	41
2.1.3 电气元件布置图	43
2.1.4 电气元件接线图	44
2.2 电气控制线路基本控制规律	44
2.2.1 直接启动	44
2.2.2 电动机的正反转控制	46
2.3 三相笼型异步电动机的降压启动控制	48
2.3.1 星-三角形转换降压启动控制	48
2.3.2 定子绕组串接电阻或电抗器降压启动控制	49
2.3.3 自耦变压器降压启动控制	50
2.3.4 延边三角形降压启动控制	51
2.3.5 笼型异步电动机启动方式的小结	51
2.4 三相笼型异步电动机的制动控制	52
2.4.1 反接制动控制	52
2.4.2 能耗制动控制	53
2.5 其他典型控制环节	54
2.5.1 多地点控制启、停的联锁控制	54
2.5.2 按顺序工作时的联锁控制	55
2.5.3 正常工作与点动的联锁控制	56
2.5.4 电液控制	56
2.6 电气控制保护环节简介	59
本章小结	61
习题	61
第3章 三相异步电动机的电力拖动	63
3.1 三相异步电动机的机械特性	63
3.1.1 机械特性的物理表达式	63

3.1.2	机械特性的参数表达式	64
3.1.3	机械特性的实用表达式	69
3.2	三相异步电动机的启动	70
3.2.1	对异步电动机启动性能的要求	70
3.2.2	异步电动机的固有启动特性	71
3.2.3	鼠笼式异步电动机的启动	71
3.2.4	特种笼型转子异步电动机的启动	78
3.2.5	三相绕线转子异步电动机的启动	79
3.2.6	异步电动机启动时间和启动时能耗的计算	84
3.3	三相异步电动机的制动	88
3.3.1	能耗制动	89
3.3.2	机械特性曲线	89
3.3.3	制动过程	90
3.3.4	能耗制动经验公式	90
3.3.5	反接制动	90
3.3.6	回馈制动	92
	本章小结	94
	习题	95
第4章	常用机床电气控制线路及常见故障的排查	96
4.1	普通车床的电气控制	96
4.1.1	车床的主要结构及运动形式	96
4.1.2	电气线路分析	96
4.2	磨床的电气控制	97
4.2.1	磨床的主要结构及运动形式	98
4.2.2	磨床电气线路分析	98
4.3	摇臂钻床的电气控制	101
4.3.1	摇臂钻床的主要结构和运动形式	101
4.3.2	Z35 摇臂钻床电气线路	101
4.4	铣床的电气控制	103
4.4.1	万能铣床的主要结构与运动形式	103
4.4.2	X62W 万能铣床电气线路分析	103
4.5	镗床的电气控制	105
4.5.1	镗床的主要结构与运动形式	105
4.5.2	镗床的电气线路分析	105
	本章小结	107
	习题	107

第5章 变频器的基础知识	109
5.1 概述	109
5.1.1 变频器技术的发展	109
5.1.2 变频器技术的分类	110
5.1.3 变频器的应用	112
5.2 变频器常用电力电子器件	113
5.2.1 电力二极管	113
5.2.2 晶闸管	115
5.2.3 门极可关断(GTO)晶闸管	117
5.2.4 电力晶体管	119
5.2.5 电力场效应晶体管	121
5.2.6 绝缘栅双极型晶体管	124
5.2.7 集成门极换流晶闸管	126
5.2.8 智能功率模块	127
5.3 交-直-交变频技术	128
5.3.1 整流电路	128
5.3.2 中间电路	131
5.3.3 逆变电路	133
5.3.4 SPWM 控制技术	134
5.4 交-交变频技术	138
5.4.1 单相输出交-交变频电路	138
5.4.2 三相输出交-交变频电路	141
5.4.3 矩形波交-交变频	142
5.5 高(中)压变频器	144
5.5.1 高(中)压变频器概述	144
5.5.2 高(中)压变频器的主电路结构	146
5.5.3 高压变频器对电动机的影响及防治措施	149
本章小结	149
习题	150
第6章 变频器的常用控制功能	151
6.1 变频器的组成与功能	151
6.1.1 变频器的组成及接线端子	151
6.1.2 变频器的主要功能参数及预置	157
6.1.3 变频器的频率参数及预置	162
6.2 变频器的控制方式	165
6.2.1 U/f 控制	166

6.2.2 转差频率控制	169
6.2.3 矢量控制	170
6.2.4 直接转矩控制	174
本章小结	175
习题	176

第 7 章 通用变频器在典型控制系统中的应用 177

7.1 恒压供水系统	177
7.1.1 PLC 与变频器的连接	177
7.1.2 水泵供水的基本模型与主要参数	179
7.1.3 供水系统的特性与工作点	180
7.1.4 节能原理分析	181
7.1.5 二次方根负载实现调速后如何获得最佳节能效果	183
7.1.6 变频器恒压供水调速系统的构成	184
7.1.7 训练内容	192
7.1.8 设备、工具 and 材料准备	192
7.1.9 操作步骤	193
7.2 中央空调控制系统	194
7.2.1 中央空调系统的组成	194
7.2.2 中央空调变频调速系统的基本控制原理	196
7.2.3 中央空调变频调速系统的切换方式	196
7.2.4 中央空调控制系统的自动控制运行	197
7.2.5 训练内容	197
7.2.6 设备、工具 and 材料准备	198
7.2.7 操作步骤	199
7.3 运料小车控制系统	204
7.3.1 训练内容	204
7.3.2 设备、工具 and 材料准备	207
7.3.3 操作步骤	207
本章小结	208
习题	208

第 8 章 变频器选用、安装与维护 211

8.1 通用变频器的规格与选用	211
8.1.1 通用变频器的标准规格指标	211
8.1.2 通用变频器的选型	213
8.1.3 通用变频器容量的选择	213
8.2 通用变频器的安装	214

8.2.1	通用变频器的安装环境	214
8.2.2	通用变频器的具体安装	215
8.2.3	通用变频器的接线	216
8.3	变频器的维护	218
8.3.1	变频器维护的重要性	218
8.3.2	变频器的日常检查	220
8.3.3	变频器的定期检修	220
	本章小结	223
	习题	224
第9章	三相异步电动机变频器调速控制线路	225
9.1	异步电动机变频调速工作原理	225
9.2	异步电动机的调速方式	225
9.2.1	异步电动机的调速	225
9.2.2	异步电动机的调速方式	226
9.3	对不同负载类型变频器的选择	226
9.3.1	恒转矩负载变频器的选择	226
9.3.2	恒功率负载变频器的选择	227
9.3.3	二次方律负载变频器的选择	228
9.3.4	直线律负载变频器的选择	229
9.3.5	特殊性负载变频器的选择	230
9.4	变频器调速控制电路的设计	230
9.5	变频器正反转控制线路	233
9.5.1	用低压电器控制	233
9.5.2	直接用 PLC 控制	234
9.5.3	用 PLC 加低压电器控制	235
9.6	变频器正反转自动循环控制线路	235
9.6.1	用低压电器控制	236
9.6.2	直接用 PLC 控制	237
9.6.3	用 PLC 加低压电器控制	238
9.7	小车自动往返控制线路	238
9.7.1	用低压电器控制	239
9.7.2	用 PLC 直接控制	240
9.8	变频器的多段速度控制线路	242
9.8.1	用低压电器控制	242
9.8.2	直接用 PLC 控制	243
9.8.3	用 PLC 加低压电器控制	244
9.9	自动升降速控制线路	244

9.9.1 用低压电器控制	245
9.9.2 用 PLC 直接控制	245
9.10 其他控制线路	246
9.10.1 顺序控制	246
9.10.2 延时控制	247
9.10.3 工频与变频的转换电路	248
9.11 多台电动机同步调速系统	251
9.11.1 同步信号的获取	251
9.11.2 同步信号的处理	252
9.11.3 常用的同步方法	254
9.11.4 变频器的主电路和控制电路	256
9.12 用步进逻辑公式设计控制线路	259
9.12.1 基本规定	259
9.12.2 程序步	260
9.12.3 步进逻辑公式	261
9.12.4 步进逻辑公式的使用方法	262
本章小结	263
习题	263
第 10 章 实验项目	266
实验 1 交流接触器的识别与检测	266
实验 2 热继电器的识别与检测	268
实验 3 三相笼型异步电动机点动控制线路的安装与调试	269
实验 4 面板操作实验	271
实验 5 端子操作实验	274
实验 6 启停速度选择实验	275
实验 7 多段速度选择实验	276
实验 8 直流制动实验	278
实验 9 变频器频率跳变实验	278
附录 A 常见元件图形符号、文字符号一览表	282
附录 B 元件新旧符号对照表	285
参考文献	287

第 1 章 常用低压电器

1.1 概述

1. 低压电器的定义

凡是对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护作用的电工器械均可称为电器。用于交流 50Hz 额定电压 1200V 以下或直流额定电压 1500V 以下的电路内起通断、保护、控制或调节作用的电器称为低压电器。

2. 低压电器的分类

按用途可分为配电电器和控制电器。按动作方式可分为自动操作电器和手动操作电器。按执行机构又可分为有触点电器和无触点电器。

1.2 接触器

1.2.1 接触器的用途及分类

1. 接触器的用途

接触器是一种通用性很强的电磁式电器，它可以频繁地接通和分断交、直流主电路，并可实现远距离控制，主要用来控制电动机，也可控制电容器、电阻炉和照明器具等电力负载。

2. 接触器的分类

接触器按主触点通过电流的种类，可分为交流接触器和直流接触器。按其主触点的极数还可分为单极、双极、三极、四极和五极等多种。

接触器的文字符号和图形符号如图 1.1 所示。

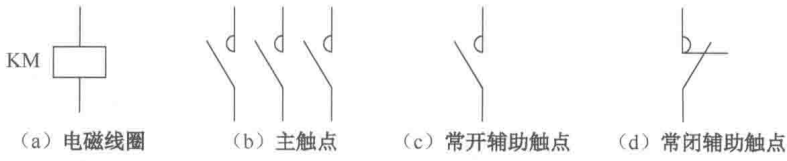


图 1.1 接触器的文字符号和图形符号

1.2.2 接触器的工作原理及结构

1. 交流接触器

结构：交流接触器主要由电磁机构、触点系统、弹簧和灭弧装置等组成。

其工作原理是：当线圈中有工作电流通过时，在铁芯中产生磁通，由此产生对衔铁的电磁力的作用。当电磁吸力克服弹簧的反作用力，使得衔铁与铁芯闭合，同时通过传动机构由衔铁带动相应的触点动作。当线圈断电或电压显著降低时，电磁吸力消失或降低，在释放弹簧的反作用力的作用下，衔铁返回，并带动触点恢复到原来的状态。

1) 电磁机构

电磁机构的主要作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触点动作，完成通断电路的控制作用。电磁机构由铁芯（静铁芯）、衔铁（动铁芯）和线圈等几部分组成。根据衔铁的运动方式不同，可以分为转动式和直动式，如图 1.2 所示。交流接触器的铁芯一般都是 E 型直动式电磁机构，如 CJ0、CJ10 系列，也有的采用衔铁绕轴转动的拍合式，如 CJ12、CJ12B 系列接触器。为了减少剩磁，保证断电后衔铁可靠地释放，E 型铁芯中柱较短，铁芯闭合后上下中柱间形成 0.1~0.2mm 的气隙。

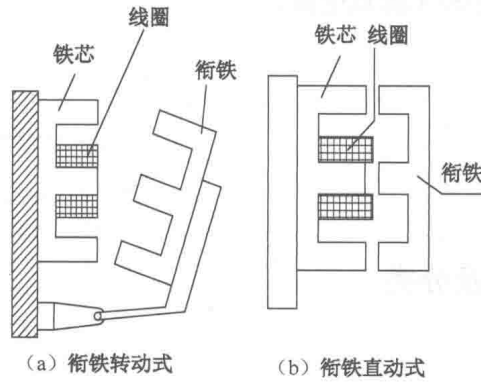


图 1.2 交流接触器电磁机构系统图

交流电磁结构特点如下。

- (1) 交流接触器的线圈中通过交流电，产生交变的磁通，并在铁芯中产生磁滞损耗和涡流损耗，使铁芯发热。一方面，为了减少交变的磁场在铁芯中产生的磁滞损耗和涡流损耗，交流接触器的铁芯一般用硅钢片叠压而成；另一方面，线圈由绝缘的铜线绕成有骨架的短而粗的形状，将线圈与铁芯隔开，便于散热。
- (2) 交流接触器的线圈中通过交流电，产生交变的磁通，其产生的电磁吸力在最大值和零之间脉动。因此当电磁吸力大于弹簧反力时衔铁被吸合，当电磁吸力小于弹簧的反力时衔铁开始释放，这样便产生振动和噪声。为了消除振动和噪声，在交流接触器的铁芯端面上装入一个