

高职高专国家示范性院校机电类专业课改教材



电气控制及可编程控制器应用

曹桂玲 主 编
段向军 王春峰 副主编
张国华 任秋成 主 审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专国家示范性院校机电类专业课改教材

电气控制及可编程控制器应用

曹桂玲 主 编

段向军 王春峰 副主编

张国华 任秋成 主 审

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

全书除绪论外共分7章,第1、2章介绍了常用的低压电器、电气制图标准、基本电气控制线路和典型设备的电气线路分析,作为学习PLC的基础;第3、4章介绍了PLC的结构、特点和工作原理,为正确使用PLC做准备;第5、6、7章介绍了PLC的基本指令、步进指令和功能指令的编程及应用。各章后附有习题、拓展题和实训项目。附录包括部分应用较多的电气标准的相关内容 & 文中关键词语的中英文对照表。

本书可作为高职高专院校的机电一体化技术、数控技术、电气自动化技术和应用电子技术等专业的教材,也可作为相关技能鉴定机构的培训教材及相关工程技术人员参考书。

★ 本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制及可编程控制器应用 / 曹桂玲主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2012.8

高职高专国家示范性院校机电类专业课改教材

ISBN 978-7-5606-2818-9

I. ① 电… II. ① 曹… III. ① 电气控制器—高等职业教育—教材 ② 可编程序控制器—高等职业教育—教材 IV. ① TM571.2 ② TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 117734 号

策 划 陈 婷

责任编辑 王 斌 陈 婷

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 18.5

字 数 433千字

印 数 1~3000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-2818-9/TM • 0089

XDUP 3110001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

根据全面推进素质教育的指导思想及高等职业教育的培养目标,建立具有高职特色的专业课程教学目标、课程模式和评价方式是培养学生综合职业素质的关键。“电气控制与PLC”作为机电一体化技术等专业的重点专业课,在整个专业课程体系中,起着承上启下的作用。加强该课程的建设,特别是加强该课程实践教学改革的改革对培养学生的专业技术应用能力有着非常重要的作用。

本书是笔者结合多年企业工作经历以及教学实践经验编写而成的,内容的选取和组织形式注重与其他专业知识体系的衔接,常用的专业术语用双语表达,涉及电气制图与设计的内容采用最新国家标准,突出技术的先进性和实用性。本书选用日本三菱公司生产的FX系列PLC产品为例进行讲述,该系列产品进入中国市场较早,目前在电子产品的生产制造设备中应用仍然较多。为提升学生的职业岗位能力,适应高职高专院校教学需求,本书的章节编排突出理论与实践相结合,注重实用性,每章后均有典型的实训项目,为实践技能的培养和训练提供指导。

本书以应用能力培养为目的,理论内容的讲解与实践应用紧密结合,内容浅显实用。书中内容从电气控制基础知识和低压配电系统的使用开始,通过每章的学习导入,引入课程教学内容。每部分内容都有应用实例和设计思路分析,便于读者自学。

本书由南京信息职业技术学院的曹桂玲老师主编并编写了绪论、第1、2、5章及附录,段向军老师编写了第6、7章,王春峰老师编写了第3、4章。全书由曹桂玲老师统稿,南京聚优节能科技有限公司张国华总工程师和南京长江机器制造集团任秋成研究员对全书的内容进行了审定。南京信息职业技术学院机电一体化技术专业的刘海婷、王梦阳同学参与了附录的整理工作。

本书在编写过程中得到南京信息职业技术学院施泽波教授、韩满林教授和张裕荣教授的大力支持,此外还参阅了多位专家的教材、著作和厂家的编程手册,在此一并表示感谢!

本书配有电子课件供读者和教师使用,也可发电子邮件到 caogl@njcit.cn 进行联系,索取模拟试卷、习题集等教学文件。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏与不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012年1月

绪 论

【学习导入】

我们先从日常生活中的简单例子说起。请大家观察一下，家里照明用的日光灯是如何控制的？校园里的路灯是如何控制的？建筑物外墙装饰的各色霓虹灯或者是舞台上的艺术彩灯又是如何控制的呢？

0.1 电气控制技术的应用

电气控制技术在我们的日常生活和工业生产中无处不在。如控制电风扇的摇头和定时、行车的起吊和移动、电子产品总装生产线的运行、机械手搬运工件等。

随着科学技术的发展及生产工艺要求的提高，电气控制技术得到了不断发展。在控制方法上，从手动控制到自动控制；在控制功能上，从简单的控制单台设备到复杂的控制系统；在控制原理上，从有触点的继电接触器控制系统到以计算机为核心的“软件”控制系统。20 世纪 70 年代以来，随着微电子技术和计算机技术的飞速发展，电气控制技术发生了巨大的变化，新型控制技术如可编程逻辑控制器(PLC)、变频器等被广泛应用在工业生产和生活的诸多领域。现代的电气控制技术已经综合了计算机、自动控制、电子技术和精密测量等许多先进的科学技术成果，PLC、CAD/CAM(计算机辅助设计/计算机辅助制造)和 Robot(机器人)已成为工业自动化领域的三大技术支柱。

我们知道，工业生产的各个领域，都有大量的数字量和模拟量信号。数字量又称为开关量，如电动机的启停、阀门的开闭、按钮或位置检测开关的通断状态等；模拟量又称为连续变化的量，如温度、速度、压力、流量等。对这些信号和对象的处理就要使用电气自动控制技术来完成。

20 世纪 70 年代以前，电气控制的任务基本上都是由继电接触器控制系统来完成的。该控制系统主要由继电器、接触器、按钮、指示灯等控制电器组成，它取代了原来的手动控制方式。由于这种控制系统具有结构简单、价格低廉和操作方便等优点，所以当时应用得十分广泛，至今仍在许多简单的机械设备中使用。但是这种控制系统的缺点也是非常明显的，它采用固定的硬接线方式来完成各种控制逻辑，实现系统的各种控制功能，因此灵活性差；另外，由于控制电器的机械式触点工作频率低，易损坏，因此可靠性不高。

随着大规模集成电路和微处理器的发展和应用，在 1969 年出现了世界上第一台以软件手段来实现各种控制功能的革命性控制装置——PLC，它综合了计算机功能强、通用性好、灵活性好的优点，以及继电接触器控制系统的操作使用方便、价格低廉等的优点，并且特

别针对于工业环境使用而设计,抗干扰能力强。现在,PLC 已经是一种广泛应用于工业现场的新型通用控制装置,除具有逻辑控制功能外,还具有完成算术运算、数据转换、过程控制、数据通信等大型而复杂的控制任务的能力。PLC 作为工业自动化的技术支柱之一,在工业生产的自动控制领域占有十分重要的地位。

0.2 课程的性质和学习目标

电气控制技术在生产过程、科学研究、日常生活等诸多领域应用十分广泛。为了更好地适应企业生产一线的技术应用型或技能型相关工作岗位要求,对机电或电气类专业的高职院校学生,急需进行工程实践能力的训练和培养,以便尽快掌握电气自动控制的实用技术,以适应工厂企业现代化生产的需要。

本课程是一门实用性很强的专业课。课程的主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍继电器接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、设计方法和实际应用。继电器接触器控制是电气控制系统的基础,在简单的电气控制设备中仍然普遍使用。PLC 的强大功能使它成为实现工业自动化的主要手段之一,但并不意味着继电器接触器控制系统就不重要了。尽管 PLC 可以取代继电器的逻辑控制,但对电气控制系统中的信号采集和驱动输出部分仍然要由控制电器及电气控制线路来完成,所以对继电器接触器控制系统的学习非常必要。本课程通过系统、全面、浅显地内容讲解,让大家掌握一门非常实用的工业控制技术,以培养和提高大家的实际应用和动手能力。本课程的学习目标是:

(1) 知识目标。了解工厂低压配电系统和常用电气标准,掌握常用低压电器的基本结构、工作原理、电气符号;掌握电气控制基本线路的组成、工作过程、保护环节的分析;掌握设备的故障报警处理方法;掌握 PLC 的硬件结构组成和工作原理,掌握 PLC 的基本指令系统和典型电路的编程,掌握 PLC 程序的几种典型设计方法;掌握顺序功能图的编程方法;了解功能指令的使用;了解 PLC 的实际应用程序的设计步骤和方法。

(2) 技能目标。能识别、检查和正确使用常用低压电器,会正确操作常用电工工具;能识读典型设备的电气控制线路图,会熟练搭接继电器接触器控制线路并完成通电调试,能自主分析和排除调试过程中出现的常见故障;会熟练使用三菱 FX 系列 PLC,能正确连接 PLC 外部的 I/O 设备,能完成一般顺序控制系统 PLC 程序的设计和调试。

(3) 素质养成目标。通过一体化的训练,培养大家实际搭接和调试一般电气控制系统的能力,使学生初步具备分析和解决电子产品自动生产线中实际电气控制问题的能力,并在教学实施过程中培养学生的安全文明生产意识和团结协作精神。

目 录

绪论	1
0.1 电气控制技术的应用	1
0.2 课程的性质和学习目标	2
第1章 电气控制基础知识	3
1.1 控制电器概述	3
1.1.1 控制电器的分类和应用特点	3
1.1.2 工厂低压配电电压及中性点运行方式	4
1.2 常用低压电器	7
1.2.1 低压电器的定义和分类	7
1.2.2 电磁式低压电器的基本结构和工作原理	9
1.2.3 接触器	11
1.2.4 继电器	14
1.2.5 开关电器	20
1.2.6 熔断器	23
1.2.7 主令电器	25
1.2.8 其他电器	33
习题	35
拓展题	35
实训项目 控制电器的认识	36
第2章 电气制图和电气控制线路	37
2.1 电气图的类型及相关标准	37
2.1.1 电气图的一般特点	37
2.1.2 电气图中的图形符号和文字符号	38
2.1.3 常用电气图的绘制原则	40
2.2 基本电气控制线路	44
2.2.1 三相异步电动机	44
2.2.2 三相鼠笼式异步电动机的直接启动	45
2.2.3 三相鼠笼式异步电动机的降压启动	56
2.2.4 三相鼠笼式异步电动机的制动	58
2.2.5 三相鼠笼式异步电动机的调速	60
2.3 电气控制线路的分析与设计方法	65
2.3.1 电气控制线路的分析方法	65
2.3.2 电气控制线路设计的原则和方法	66

2.4 典型设备的电气控制线路分析	69
习题	73
拓展题	75
实训项目 2-1 电动机的单向连续运行控制	75
实训项目 2-2 电动机的正/反转控制	78
实训项目 2-3 电动机的自动顺序控制	81
第 3 章 PLC 的基本结构和工作原理	84
3.1 PLC 概述	84
3.1.1 PLC 的产生和定义	84
3.1.2 PLC 的特点	85
3.1.3 PLC 的分类	86
3.1.4 PLC 的主要性能指标	88
3.1.5 PLC 的应用领域和发展趋势	89
3.1.6 初步认识 PLC	90
3.2 PLC 的硬件组成和软件系统	91
3.2.1 PLC 的硬件组成	91
3.2.2 PLC 的软件系统	95
3.2.3 PLC 常用的编程语言	95
3.3 PLC 的基本工作原理	97
3.3.1 PLC 的工作过程	98
3.3.2 扫描周期	100
3.3.3 I/O 响应时间	100
3.3.4 PLC 控制的等效电路	100
习题	102
拓展题	102
实训项目 FX 系列 PLC 的认识	103
第 4 章 FX 系列 PLC	106
4.1 FX 系列 PLC 的概述	106
4.1.1 三菱小型 PLC 的发展	106
4.1.2 FX 系列 PLC 型号的含义	106
4.1.3 FX 系列 PLC 的主要性能指标	107
4.2 几种 FX 系列 PLC 的产品规格	108
4.3 FX 系列 PLC 中的软元件	111
4.3.1 输入继电器 X	111
4.3.2 输出继电器 Y	112
4.3.3 辅助继电器 M	113
4.3.4 状态继电器 S	115
4.3.5 定时器 T	115

4.3.6 计数器 C	117
4.3.7 数据寄存器 D	123
4.3.8 指针 P/I	124
4.3.9 变址寄存器 V/Z	125
4.3.10 常数 K/H	125
习题	125
拓展题	125
实训项目 4-1 手持式编程器的使用	126
实训项目 4-2 PLC 实训系统的使用	142
第 5 章 基本指令及应用	145
5.1 基本指令	145
5.1.1 取指令、取反指令和线圈输出指令 LD、LDI、OUT	146
5.1.2 触点的串联指令 AND、ANI	146
5.1.3 触点的并联指令 OR、ORI	147
5.1.4 电路块连接指令 ORB、ANB	148
5.1.5 栈指令 MPS、MRD、MPP	149
5.1.6 主控和主控复位指令 MC、MCR	151
5.1.7 置位和复位指令 SET、RST	153
5.1.8 脉冲指令 PLS、PLF	154
5.1.9 脉冲式触点指令 LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP、ORF	155
5.1.10 逻辑运算结果取反指令 INV	156
5.1.11 空操作指令 NOP 和程序结束指令 END	156
5.2 编程的注意事项	157
5.3 基本电路的编程	161
5.3.1 启停控制	161
5.3.2 联锁控制	163
5.3.3 顺序控制	165
5.3.4 自动循环控制	166
5.3.5 自动和手动控制的切换	166
5.3.6 定时器和计数器的应用	167
5.3.7 二分频电路	171
5.4 梯形图程序设计的技巧	172
5.4.1 转换法	172
5.4.2 经验法	177
5.4.3 时序图法	180
习题	182
拓展题	186
实训项目 5-1 GX Developer 编程软件的使用	186

实训项目 5-2 电动机循环正反转的 PLC 控制	196
实训项目 5-3 电动机 Y- Δ 启动的 PLC 控制	199
实训项目 5-4 数码管循环点亮的 PLC 控制	201
实训项目 5-5 舞台艺术灯的 PLC 控制	205
第 6 章 步进梯形图指令及应用	209
6.1 顺序功能图和步进梯形图指令	209
6.1.1 顺序功能图	209
6.1.2 步进梯形图指令	211
6.2 多分支顺序功能图	212
6.2.1 单一顺序的 SFC 图	212
6.2.2 选择顺序的 SFC 图	215
6.2.3 并行顺序的 SFC 图	217
6.2.4 跳转顺序的 SFC 图	220
6.3 SFC 图编程的注意事项	221
6.4 步进指令的应用实例	222
习题	231
拓展题	233
实训项目 6-1 单流程的 SFC 应用——机械手的 PLC 控制	234
实训项目 6-2 选择性流程的 SFC 应用——分拣与分配生产线的 PLC 控制	237
实训项目 6-3 并行性流程的 SFC 应用——十字路口交通灯的 PLC 控制	239
第 7 章 功能指令及其应用	243
7.1 功能指令的表示	243
7.1.1 功能指令的表示形式	243
7.1.2 数据长度和指令类型	244
7.1.3 操作数	245
7.2 功能指令的介绍	246
7.2.1 程序流程控制指令	246
7.2.2 传送与比较指令	251
7.2.3 算术运算与逻辑运算指令	255
7.2.4 循环与移位指令	259
7.2.5 数据处理指令	262
7.2.6 高速处理指令	263
7.2.7 外部设备 I/O 指令	266
7.2.8 触点比较指令	269
7.3 功能指令的综合应用	270
习题	272
拓展题	272
实训项目 7-1 功能指令实现数码管循环点亮	273

实训项目 7-2 功能指令实现交通灯的控制	274
附录 A 关键词中英文对照表	277
附录 B 低压电器产品型号编制方法	280
附录 C 电气设备常用文字符号	283
参考文献	285

绪 论

【学习导入】

我们先从日常生活中的简单例子说起。请大家观察一下，家里照明用的日光灯是如何控制的？校园里的路灯是如何控制的？建筑物外墙装饰的各色霓虹灯或者是舞台上的艺术彩灯又是如何控制的呢？

0.1 电气控制技术的应用

电气控制技术在我们的日常生活和工业生产中无处不在。如控制电风扇的摇头和定时、行车的起吊和移动、电子产品总装生产线的运行、机械手搬运工件等。

随着科学技术的发展及生产工艺要求的提高，电气控制技术得到了不断发展。在控制方法上，从手动控制到自动控制；在控制功能上，从简单的控制单台设备到复杂的控制系统；在控制原理上，从有触点的继电接触器控制系统到以计算机为核心的“软件”控制系统。20 世纪 70 年代以来，随着微电子技术和计算机技术的飞速发展，电气控制技术发生了巨大的变化，新型控制技术如可编程逻辑控制器(PLC)、变频器等被广泛应用在工业生产和生活的诸多领域。现代的电气控制技术已经综合了计算机、自动控制、电子技术和精密测量等许多先进的科学技术成果，PLC、CAD/CAM(计算机辅助设计/计算机辅助制造)和 Robot(机器人)已成为工业自动化领域的三大技术支柱。

我们知道，工业生产的各个领域，都有大量的数字量和模拟量信号。数字量又称为开关量，如电动机的启停、阀门的开闭、按钮或位置检测开关的通断状态等；模拟量又称为连续变化的量，如温度、速度、压力、流量等。对这些信号和对象的处理就要使用电气自动控制技术来完成。

20 世纪 70 年代以前，电气控制的任务基本上都是由继电接触器控制系统来完成的。该控制系统主要由继电器、接触器、按钮、指示灯等控制电器组成，它取代了原来的手动控制方式。由于这种控制系统具有结构简单、价格低廉和操作方便等优点，所以当时应用得十分广泛，至今仍在许多简单的机械设备中使用。但是这种控制系统的缺点也是非常明显的，它采用固定的硬接线方式来完成各种控制逻辑，实现系统的各种控制功能，因此灵活性差；另外，由于控制电器的机械式触点工作频率低，易损坏，因此可靠性不高。

随着大规模集成电路和微处理器的发展和应用，在 1969 年出现了世界上第一台以软件手段来实现各种控制功能的革命性控制装置——PLC，它综合了计算机功能强、通用性好、灵活性好的优点，以及继电接触器控制系统的操作使用方便、价格低廉等的优点，并且特

别针对于工业环境使用而设计,抗干扰能力强。现在,PLC 已经是一种广泛应用于工业现场的新型通用控制装置,除具有逻辑控制功能外,还具有完成算术运算、数据转换、过程控制、数据通信等大型而复杂的控制任务的能力。PLC 作为工业自动化的技术支柱之一,在工业生产的自动控制领域占有十分重要的地位。

0.2 课程的性质和学习目标

电气控制技术在生产过程、科学研究、日常生活等诸多领域应用十分广泛。为了能更好地适应企业生产一线的技术应用型或技能型相关工作岗位要求,对机电或电气类专业的高职院校学生,急需进行工程实践能力的训练和培养,以便尽快掌握电气自动控制的实用技术,以适应工厂企业现代化生产的需要。

本课程是一门实用性很强的专业课。课程的主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍继电器接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、设计方法和实际应用。继电器接触器控制是电气控制系统的基础,在简单的电气控制设备中仍然普遍使用。PLC 的强大功能使它成为实现工业自动化的主要手段之一,但并不意味着继电器接触器控制系统就不重要了。尽管 PLC 可以取代继电器的逻辑控制,但对电气控制系统中的信号采集和驱动输出部分仍然要由控制电器及电气控制线路来完成,所以对继电器接触器控制系统的学习非常必要。本课程通过系统、全面、浅显地内容讲解,让大家掌握一门非常实用的工业控制技术,以培养和提高大家的实际应用和动手能力。本课程的学习目标是:

(1) 知识目标。了解工厂低压配电系统和常用电气标准,掌握常用低压电器的基本结构、工作原理、电气符号;掌握电气控制基本线路的组成、工作过程、保护环节的分析;掌握设备的故障报警处理方法;掌握 PLC 的硬件结构组成和工作原理,掌握 PLC 的基本指令系统和典型电路的编程,掌握 PLC 程序的几种典型设计方法;掌握顺序功能图的编程方法;了解功能指令的使用;了解 PLC 的实际应用程序的设计步骤和方法。

(2) 技能目标。能识别、检查和正确使用常用低压电器,会正确操作常用电工工具;能识读典型设备的电气控制线路图,会熟练搭接继电器接触器控制线路并完成通电调试,能自主分析和排除调试过程中出现的常见故障;会熟练使用三菱 FX 系列 PLC,能正确连接 PLC 外部的 I/O 设备,能完成一般顺序控制系统 PLC 程序的设计和调试。

(3) 素质养成目标。通过一体化的训练,培养大家实际搭接和调试一般电气控制系统的能力,使学生初步具备分析和解决电子产品自动生产线中实际电气控制问题的能力,并在教学实施过程中培养学生的安全文明生产意识和团结协作精神。

第1章 电气控制基础知识

[学习导入]

请大家思考：电器和电气这两个词语有何不同？什么是控制电器？什么是电气控制？周围工厂的电压是多少？电能是如何输送到用户端的？

1.1 控制电器概述

简单地说，控制电器就是一种能控制电，使电按照人们的要求安全地为人们工作的工具。控制电器用于各种控制电路和控制系统中，按照功能要求进行组合以达到一定的控制目标，完成确定的控制功能。利用控制电器可以完成对设备的控制，如由时间继电器和开关组合完成对电风扇定时运行的控制，由按钮和交流接触器组合，完成对电动机转动的控制等。

1.1.1 控制电器的分类和应用特点

1. 标准电压等级

国家标准 GB/T 156—2007《标准电压》中规定，我国标准频率为 50 Hz 的三相交流输电、配电、用电系统的标准电压有 1000 kV、750 kV、500 kV、330 kV、220 kV、110 kV、66 kV、35 kV、20 kV、10 kV、6 kV、3 kV、660 V、380 V，这些数值均指线电压值。低于 1000 V 的三相四线或三相三线交流系统的标准电压为 220/380 V、380/660 V、1000/1140 V，同一组数据中较低的数值是相电压，较高的数值是线电压；只有一个数值者是指三相三线系统的线电压，1140 V 仅限于某些行业内部系统使用。交流低于 120 V 或直流低于 750 V 的设备额定电压的优选值，直流有：1.2 V、1.5 V、6 V、12 V、24 V、36 V、48 V、60 V、72 V、96 V、110 V、220 V、440 V，交流有：6 V、12 V、24 V、48 V、110 V。

三相交流标准电压等级的应用场合，35 kV 以上者主要是用于输、变电，(6~10) kV 一般为中型工厂的电源进线配电电压，6 kV、3 kV 也直接用于超大功率高压用电设备电压；380 V 是主要的生产、生活用电；在特定行业如石化、采矿等，也采用其他电压，如矿井下的运输机用 660 V、采煤机用 1140 V 等。

单相交流电压等级最常见的为 220 V，机床、热工仪表和矿井照明等采用 127 V 电压等级，其他交流电压等级如 6 V、12 V、24 V、36 V、42 V、48 V 等一般用于安全场所的照明、信号灯以及作为控制电压。

直流常用电压等级中，110 V、220 V 和 440 V 主要动力，6 V、12 V、24 V、36 V 主

要用于控制；在电子线路中还有 5 V、9 V、15 V 等电压等级。

2. 控制电器的分类

1) 按工作电压分

电力系统电压高低的划分依据是：针对人身，《电业安全工作规程》中规定，设备对地电压小于等于 250 V 为低压，设备对地电压大于 250 V 为高压，36 V 以下为安全电压；针对设备，《电力系统设计制造规程》规定交流 1000 V 是划分高、低压的界限。

用于交流 50 Hz、额定电压为 1000 V 及以下，直流额定电压为 1500 V 及以下的电路中的电器称为低压电器，反之则称为高压电器。

在我们的工业现场，所用的控制电器绝大部分是低压电器，这我国的配电系统有关。

2) 按电能的性质分

按电能的性质可分为直流电器和交流电器。由于交流电压升、降压较容易，因此大部分场合使用的都是交流电器。而在一些特殊场合使用直流电器，如控制领域(控制直流电机)、微电子领域。

1.1.2 工厂低压配电电压及中性点运行方式

发电厂往往离用电中心较远，因此必须用高压输电线路进行远距离输电。把电能从发电厂输送到用户的输变电模式概略图(Overview Diagram)如图 1-1 所示。

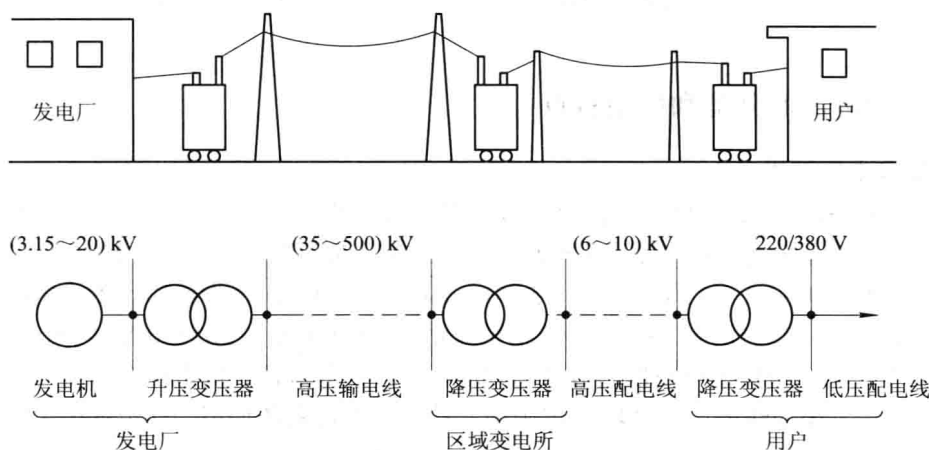


图 1-1 我国的输变电模式概略图

1. 工厂低压配电电压

工厂的低压配电电压，一般采用 220/380 V，其中线电压 380 V 接三相动力设备(如电动机)及 380 V 的单相设备(如大负载的接触器)，相电压 220 V 接一般照明灯具及其他 220 V 的单相设备。

在少数部门(如大型采矿、石油、化工等企业)采用 380/660 V 作为低压配电电压。例如矿井下，因负荷中心往往离变电所较远，所以为保证负荷端的电压水平而采用 660 V 电压配电。采用 660 V 电压配电，较之采用 380 V 配电，减少了线路的电压损耗，提高了负荷的电压水平，增大了配电半径。380/660 V 低压配电电压可供 660 V 三相用电设备、660 V

的单相用电设备以及 380 V 的单相用电设备使用。

由于我国一般采用的是 220/380 V 配电系统, 电器制造部门制造的控制电器多以三相 380 V、单相 220 V 为额定电压, 因此, 在大部分电气控制场合均采用低压电器。

2. 220/380 V 配电系统的中性点运行方式

发电机或变压器三相绕组 A、B、C 按星形连接时, 将三个末端连在一起, 这个连接点 O 称为中性点, 如图 1-2 所示。

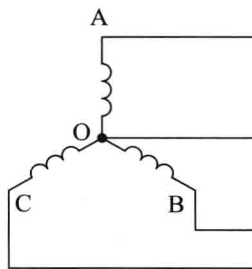


图 1-2 中性点

作为供电电源的发电机和变压器的中性点, 有以下三种运行方式: 一种是电源中性点不接地, 一种是中性点经阻抗接地, 再有一种是中性点直接接地。前两种合称为小接地电流系统, 用于高压系统中。后一种中性点直接接地系统, 称为大接地电流系统, 工厂用电多数采用这种系统。

我国 220/380 V 低压配电系统, 广泛采用中性点直接接地的运行方式, 而且引出有中性线(Neutral Wire, 代号 N)、保护线(Protective Wire, 代号 PE)或保护中性线(PEN Wire, 代号 PEN)。

中性线(N 线)的功能, 一是用来接额定电压为相电压的单相用电设备, 二是用来传导三相系统中的不平衡电流和单相电流, 三是减小负荷中性点的电位偏移。

保护线(PE 线)的功能, 是为保障人身安全、防止发生触电事故。系统中所有设备的外露可导电部分(指正常不带电压, 但在故障情况下可能带电且易被触及的导电部分, 如金属外壳、金属构架等)通过保护线(PE 线)接地, 可在设备发生接地故障时减小触电危险。

保护中性线(PEN 线)兼有中性线(N 线)和保护线(PE 线)的功能。这种保护中性线在我国通称为“零线”, 俗称“地线”。

低压配电系统, 按保护接地形式, 分为 TN 系统、TT 系统和 IT 系统。

(1) TN 系统。TN 系统中所有设备的外露可导电部分均接公共的保护线(PE 线)或公共的保护中性线(PEN 线), 如图 1-3 所示。这种连接公共 PE 线或 PEN 线也称“接零”。如果系统中的 N 线与 PE 线全部合为 PEN 线, 则称此系统为 TN-C 系统, 如图 1-3(a)所示。如果系统中的 N 线与 PE 线全部分开, 则称此系统为 TN-S 系统, 如图 1-3(b)所示。如果系统的前一部分, 其 N 线与 PE 线合为 PEN 线, 而后一部分线路, N 线与 PE 线则全部或部分地分开, 则称此系统为 TN-C-S 系统, 如图 1-3(c)所示。

TN-C 系统属于三相四线制供电系统, 在一般三相负载基本平衡以及有专职电工负责维护管理电气装备的工业厂房采用。

TN-S 系统属于三相五线制供电系统, 用于单相试验负荷较大的科研试验单位, 或者是

电子计算机机房、生产和使用电子设备的厂房。

TN-C-S 系统用于由各单位自设变压器供电和管理的居住区民用建筑。

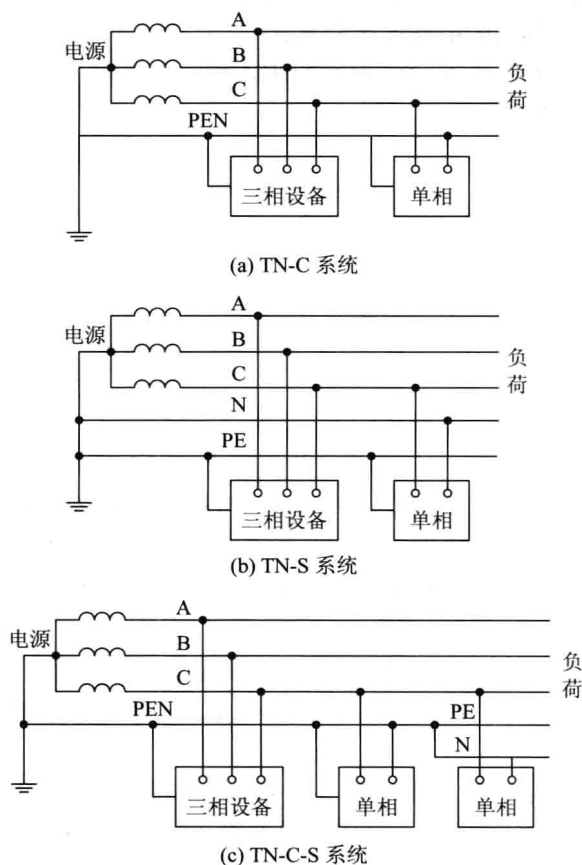


图 1-3 低压配电的 TN 系统

(2) TT 系统。TT 系统中的所有设备的外露可导电部分均各自经 PE 线单独接地，如图 1-4 所示。系统中设备受到外界干扰小，当单台设备发生故障时，对其他设备无影响。该系统属于三相四线制供电系统，适宜用在负荷小而分散的农村低压电网，以及由城市公用低压线路供电的民用建筑、工厂。

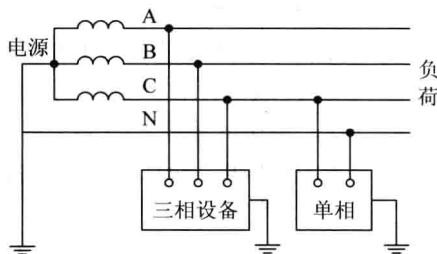


图 1-4 低压配电的 TT 系统

(3) IT 系统。IT 系统中的所有设备的外露可导电部分也都各自经 PE 线单独接地，如