

山东省高职高专系列教材

设备电器控制与PLC技术

陈红康 王兆晶 主编

 山东大学出版社

山东省高职高专系列教材

设备电气控制与 PLC 技术

主 编	陈红康	王兆晶			
副主编	李新华	吴广祥	傅晓霞	李 立	
	王晓卫	高中军	郭 成		

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

设备电气控制与 PLC 技术/陈红康,王兆晶主编. — 济南:山东
大学出版社,2006.1
ISBN 7-5607-3146-5

I. 设…

II. ①陈…②王…

III. ①电气控制—高等学校:技术学校—教材 ②可编程序控制器—高等学校:
技术学校—教材

IV. ①TM921.5②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 002802 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

济南景升印业有限公司印刷

787×1092 毫米 1/16 14.5 印张 335 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印数:1 6500 册

定价:25.00 元

版权所有,盗印必究

购书电话:0531—88364808

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

山东省高职高专系列教材

编委会成员名单

主 任 邢宪学

委 员 (按姓氏笔画为序)

于纪玉	马克杰	王元恒	刘德增
牟善德	孙庆珠	李允祥	苏永勤
杨忠斌	张子泉	张卫华	张保卫
柳耀福	郝宪孝	荀方杰	侯印浩
徐 冬	钱乃余	夏季亭	崔振民
常立学	温金祥		

内容摘要

本书是针对高等职业教育“机电一体化”、“机械制造与自动化”和“数控技术应用”等专业的“设备电气与 PLC 技术”、“机电控制技术”等专业课程的要求而编写的。全书共分八章,第一章讲述电气控制技术的发展概况,设备电力拖动的基本概念,发电、输电、配电及安全用电知识。第二章介绍电器基本知识,常用低压电器结构、工作原理、电器元件参数及选用。第三章重点介绍三相异步电动机的典型控制线路,电气原理图的画法规则等。第四章针对典型通用机床、桥式起重机和数控机床的电气控制系统进行了分析。第五章介绍电气控制系统设计原则、方法、注意事项及典型机床电气控制系统设计。第六章介绍机床电路故障的一般检查方法、典型机床电路组成及原理分析、常见故障及检修方法。第七章介绍无级变速概念、技术指标及交直流无级变速系统。第八章介绍可编程控制器的的发展、原理及特点,分别介绍了三菱 FX_{2N} 系列、欧姆龙 C 系列、松下 FP1 系列 PLC 的系统组成、编程指令及应用。各章都附有思考与练习,供读者参考、练习与实践。

本书为高职机电一体化、机械制造与自动化、数控技术应用专业的专业教材,亦可作为其他机械类、制造类专业的对应课程教材,同时对从事电气控制与 PLC 技术人员的培训、成人教育、职业教育等也适用。

出版说明

江泽民同志在党的十六大报告中指出：“教育是发展科学技术和培养人才的基础，在现代化建设中具有先导性全局性作用，必须摆在优先发展的战略地位。……加强职业教育和培训，发展继续教育，构建终身教育体系。”职业教育作为我国教育事业的一个重要的组成部分，改革开放以来，尤其是近年来获得了长足发展。据不完全统计，目前全国各类高等职业学校有近千所，仅山东省就有五十多所，为国家和地方培养了一大批高素质的劳动者和专门人才。与此相适应，教材建设也硕果累累，各出版社先后推出了多部具有高职特色的高职高专教材。但总体上看，与迅猛发展的高职教育相比，教材的出版相对滞后，这不仅表现在教材品种相对较少，更表现在内容的针对性不强，某些方面与高职的专业设置、培养目标相去甚远。同时，地方性、区域性的高职教材也稍嫌不足。以山东省为例，作为一个经济强省、人口大省、教育大省，迄今为止，居然没有一套统编的，与山东省社会、经济、文化发展相适应的高职教材，严重地制约了我省高职高专教育的发展。

有鉴于此，我们在山东省教育厅的领导与支持下，依据教育部《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》，并结合我省高职院校及专业设置的特点，组织省内二十余所高职院校长期从事高职高专教学和研究的专家、教授，编写了这套“山东省高职高专系列教材”。该教材充分借鉴近年来国内高职高专院校教材建设的最新成果，认真总结和汲取省内高职院校和成人高校在教育、培养新时期技术应用性专门人才方面所取得的成功经验，以适应高职院校教学改革的需要为目标，重点突出实用性、针对性，力求从内容到形式都有一定的突破和创新。本系列教材拟分批出版，约一百余种。出齐后，将涵盖山东省高职高专教育的基础课程和主干课程。

编写这套教材，在我们是一次粗浅的尝试，也是一次学习、探索和提高的机会。由于我们水平有限，加之编写时间仓促，本教材无论在内容还是形式上



都难免会存在这样那样的缺憾或不足,敬请专家和读者批评指正。

山东省高职高专系列教材编写委员会

2005 年 12 月

前 言

随着电子技术、计算机技术、控制技术的迅猛发展,机电控制技术已成为当前工业领域的关键技术。同时,机械产品性能日益提高,控制功能越来越趋向于自动化,从而使设备电气与 PLC 技术被赋予了更新的技术内容和内涵,成为设备控制与应用的重要技术。

对高等职业院校的机电技术类、机械制造类、数控技术类职业教育现状的调研发现,虽然各工科职业院校均开设了相关机电控制类课程,加大了对机电控制技术人才的培养。但针对高职教育重视实践技能、加强技术应用的特点,需要不断丰富教材形态,及时更新教育教学内容,增强教材的先进性和适用性。

根据山东省教育厅安排,结合设备电气控制技术教学的需要,我们组织了山东省内高职院校多年从事机电控制技术教学的教师和实验人员,编写了这本教材,旨在加强培养设备电气与 PLC 方面的应用型人才。

在本书编写过程中,充分考虑到学生的自学能力及基础知识,编写力求简洁明了,学生可以在教师指导下自学,鼓励学生主动学习,勤于思考,学会学习,掌握分析问题的方法,提高解决问题的能力。

本书的重点内容是设备电气控制技术和可编程序控制器在生产中的应用,对于构成电气控制电路的各种器件及可编程序控制器本身,则注重其应用特性,淡化其内部机理,特别是对器件内部复杂的结构和工作原理,以“了解”层次为主体,而将重点放在电气控制线路原理应用和可编程序控制器梯形图的设计与分析、读图能力上,强化学生应用能力的培养。在内容安排上,以典型设备电气控制系统为主,同时兼顾了新技术的发展,在电气控制技术中介绍了典型机床电气控制系统。可编程序控制器则选取了功能先进的三菱 FX_{2N} 系列、欧姆龙 C 系列、松下 FP1 系列为例进行介绍,突出了先进性和实用性结合的特点。

本书由济南铁道职业技术学院陈红康、山东劳动职业技术学院王兆晶任主编,参加编写的有李新华、吴广祥、傅晓霞、李立、王晓卫、高中军、郭成、陈月凤。



本书在编写过程中得到了有关学校领导和同行们的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

由于我们水平所限,再加上时间仓促,书中难免有欠妥之处,敬请广大师生和读者批评指正。

编 者

2006年1月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 电气控制技术的发展概况	(1)
第二节 设备电力拖动的基本概念	(2)
第三节 发电、输电、配电和安全用电	(3)
思考与练习	(8)
第二章 常用低压电器	(9)
第一节 低压电器的基本知识	(9)
第二节 常用低压电器	(11)
思考与练习	(28)
第三章 电气控制线路基本环节	(30)
第一节 机床电气原理图的画法规则	(30)
第二节 电气控制线路的逻辑表示及运算	(34)
第三节 三相异步电动机控制线路	(38)
第四节 绕线式电动机控制线路	(50)
第五节 电动机的保护环节	(54)
思考与练习	(55)
第四章 典型设备电气控制线路分析	(57)
第一节 设备电气系统组成及分析原则	(57)
第二节 C650 卧式车床电气线路分析	(59)
第三节 X62W 卧式万能铣床电气线路分析	(65)
第四节 T68 型卧式铣镗床的电气控制线路分析	(72)
第五节 桥式起重机电气控制线路分析	(79)
第六节 数控机床电气控制系统简介	(84)
思考与练习	(90)

第五章 设备继电器—接触器控制系统设计	(92)
第一节 电气控制系统设计思路和方法	(92)
第二节 机床电气系统设计实例	(98)
思考与练习	(104)
第六章 机床电气控制线路故障检查与维修	(105)
第一节 电路故障的一般检查方法	(105)
第二节 典型机床控制线路的电路故障及检修	(108)
思考与练习	(110)
第七章 无级调速电气系统	(111)
第一节 无级调速概述	(111)
第二节 交流无级调速系统的组成及工作原理	(112)
第三节 直流无级调速系统的组成及工作原理	(118)
思考与练习	(121)
第八章 可编程序控制器	(122)
第一节 可编程序控制器概述	(122)
第二节 可编程序控制器系统组成及工作原理	(126)
第三节 三菱 FX 系列可编程序控制器	(131)
第四节 欧姆龙 C 系列可编程序控制器	(150)
第五节 松下 FP 系列可编程序控制器	(167)
第六节 可编程序控制器程序设计方法及应用举例	(179)
思考与练习	(211)
附 录 电气图常用文字、图形符号	(215)
参考文献	(222)

第一章 绪 论

第一节 电气控制技术的发展概况

电气控制技术是以生产机械的驱动装置——电动机为控制对象、以电力电子装置为执行机构而组成的电气控制系统,按给定的规律调节电动机的转速,使之满足生产工艺的最佳要求的一种技术,其应用具有提高效率、降低能耗、提高产品质量、降低劳动强度的效果。

现代机械设备之所以先进,除应用完备的电力拖动系统外,还在于电气控制技术的发展。最早的控制装置是手动控制器。早在 20 世纪的 20 年代至 30 年代,借助继电器、接触器、按钮、行程开关等组成继电器——接触器控制系统,实现对机械设备的起动、制动、反转等自动控制。继电器——接触器控制的优点是结构简单、价格低廉、维护方便、抗干扰能力强,因此,被广泛应用于各类机械设备。采用它不但可以实现生产过程自动化,而且还可以实现集中控制和远距离控制。目前,继电器——接触器控制系统,仍然是我国机械设备最基本的电气控制形式之一。继电器——接触器控制系统的缺点:一是由于固定接线形式,在进行程序控制时,改变控制程序不便,灵活性差;二是采用有触点开关,动作频率低、触点易损坏、可靠性差。到了 20 世纪 40 年代至 50 年代,出现了交磁放大机——电动机控制,这是一种闭环反馈控制系统,当输出量与给定量发生偏差时就自动调整,其控制精度、快速性都有了提高。60 年代出现了晶体管——晶闸管电气控制系统。70 年代,单片微型计算机为核心的控制系统产生,这种系统的控制规律由软件实现,只需配备少量的接口电路(例如:主电路器件的驱动电路,电压、电流、转速等反馈电路)就能形成一个完整的控制系统。通过容易更改的软件来实现不同的控制规律或性能要求。目前,这种微型计算机控制系统已普遍地应用于各种机械设备的局部控制或整机控制,减少了机械部件,提高了生产效率,减轻了工人的劳动强度,成为机械设备电气控制技术的一个发展方向。数控机床就是一个典型的例子。数控装置最早出现在 20 世纪 50 年代,但直到 70 年代微处理器应用于数控装置,才产生真正的数控机床——一种具有广泛通用性的高效率自动化机床,它综合应用了电子技术、检测技术、计算机技术、自动控制和机床综合设计等各个领域的最新技术成就。目前,在一般数控机床的基础上,附带自动换刀、自动适应等功能的复杂数控系列产品,称加工中心。它能对工件进行多道工序的连续加工,节省了夹具,缩短了装夹定位、对刀等辅助时间,提高了工效和产品质量,成功地取代了以往依靠模板、凸轮、专用夹具、刀具和定程挡板来实现顺序加工的自动机床、组合机床和专用

机床。

第二节 设备电力拖动的基本概念

在工业、农业、交通运输等部门中,广泛地使用着各种各样的生产机械。要使各种机械能正常地运转,必须有拖动机械运转的原动力。除了直接用人力、畜力外,还有风力、水力、热力、电力、原子核动力等,目前,用于拖动生产机械的原动力主要是电力,利用各种类型的电动机来拖动生产机械。这种以电动机为动力来拖动生产机械的拖动方式就叫做电力拖动。

一、电力拖动的优点

- (1) 能量远距离传输简便、经济、方便。
- (2) 电力拖动比其他形式的拖动(蒸汽、水力等)效率高,而且电动机与被拖动的生产机械联接简便。
- (3) 电动机的种类和型式很多,具有各种各样的运行特性,可以满足不同类型生产机械的需要。
- (4) 电力拖动具有很好的调速性能,起动、制动、反向和调速等控制简便而迅速,而且可以简单、完善地实现对它的保护。
- (5) 易于通过各种电气仪表、仪器来检测和记录各种参数,如电流、电压、转速等,以便对生产过程进行检测和自动控制,使其达到生产工艺要求的最合理的工作状态。
- (6) 可以实行远距离测量和控制,便于集中管理,实现局部工作自动化,乃至整个生产过程的自动化。

二、电气拖动基本环节

电气拖动的基本环节组成,如图 1-1 所示。

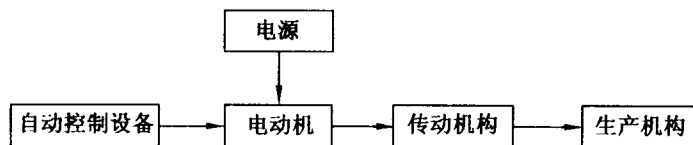


图 1-1 电力拖动的组成

1. 电动机

用来实现电能与机械能间转换的装置。通常是把电能转换成为机械能;有时也反过来把机械能转化成电能或热能,这时电动机处在制动状态下运行。这两种运行状态都是非常重要的。

2. 传动机构

它的主要作用是传递动力,并实现速度和运动方式的变换,如减速器、皮带、联轴器等。

3. 控制装置

它的主要作用是根据生产工艺的要求,按照一定的线路组成控制系统,自动控制电动机的起动、制动、反转、同步、调速、自动恒速等,还可以按给定程序或规律改变速度、转向和工作机构的位置,使工作循环自动化。

由此可见,设备电力拖动控制就是采用各种电气元件组成的控制装置控制电动机拖动生产机械的方式。电力拖动系统是否为自动控制,设备控制的自动化程度如何,主要取决于控制装置的先进性。

第三节 发电、输电、配电和安全用电

一、发电、输电概述

电能由发电厂供给。发电厂是把其他形式的能量转换成电能的特殊工厂。根据所利用的能源种类可以分为水力、火力、风力、原子能、太阳能,等等。现在世界各国建造、使用得最多的,主要是水力发电厂和火力发电厂。近二十多年来,核电站发展很快。

发电厂中的发电机几乎都是三相同步发电机。国产三相同步发电机的电压等级有 400/230V 和 3.15kV, 6.3kV, 10.5kV, 13.8kV, 15.75kV 及 18kV 等多种。

我国大中型发电厂大多建在产煤地区或水库区,往往与用电地区相距几十公里、几百公里甚至上千公里。发电厂生产的电能通常由高压输电线送到用电地区,然后,再降压分配给各用户。电能从发电厂传输到用户,要通过导线系统,该系统称为电力网。

同一地区的各种发电厂通常联合起来组成一个电力系统。这样可以提高各发电厂的设备利用率,合理调配各发电厂的负载,从而提高供电的可靠性和经济性。

输电距离越远,要求输电线的电压越高。国家标准中规定输电线的额定电压为 35 kV, 110 kV, 220 kV, 330 kV, 550 kV 等。

二、工业企业配电

从电力网末端的变电所将电能分配给各工业企业和城市。工业企业设有中央变电所和车间变电所(小规模的企业往往只有一个变电所)。中央变电所接受电力网送来的电能,然后分配到各车间,再由车间变电所或配电箱(配电板)将电能分配给用电设备。高压配电线的额定电压有 3kV, 6kV 和 10kV 三种。低压配电线的额定电压是 380/220V。用电设备的额定电压多半为 220V 和 380V,大功率电动机的电压是 3kV 和 6kV,机床局部照明的电压是 36V。

从车间变电所或配电箱(配电板)到用电设备的线路属于低压配电线路。车间配电箱是安装在地面上的一个金属柜,其中装有断路开关和管状熔断器。

低压配电线路的联接方式主要是放射式和树干式两种。

放射式配电线路如图 1-2 所示。当负载点比较分散而各个负载点又具有相当大的集中负载时,采用这种线路较为合适。

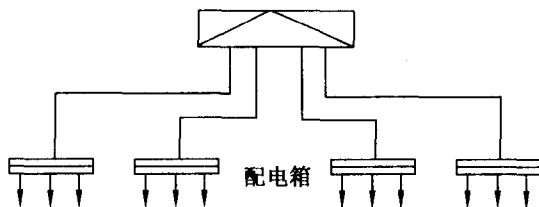


图 1-2 放射式配电线路

树干式配电线路如图 1-3 所示。当负载集中,同时各个负载点位于变电所或配电箱的同一侧,其间距离较短,如图 1-3(a)所示。若负载比较均匀地分布在一条线上,如图 1-3(b)所示。

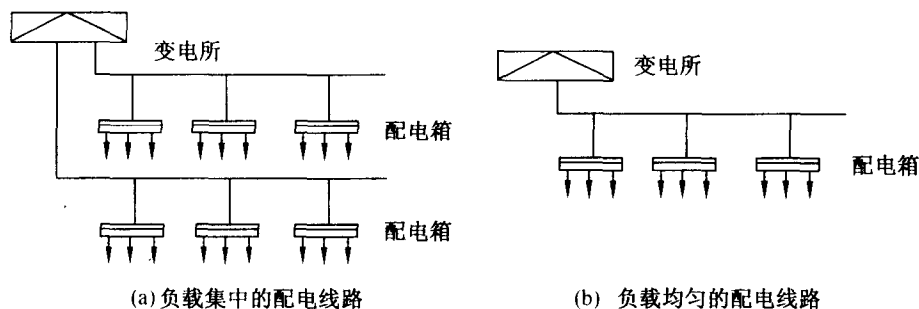


图 1-3 树干式配电线路

用电设备既可独立地接到配电箱上,也可连成链状接到配电箱上,如图 1-4 所示。距配电箱较远,但彼此距离很近的小型用电设备宜接成链状,这样能节省导线。但是,同一链条上的用电设备一般不得超过三个。

采用图 1-3(b)所示树干式配电线路时,干线一般采用母线槽。这种母线槽直接从变电所经开关引到车间,不经配电箱。支线通过出线盒引到用电设备。

放射式供电可靠,但敷设时导线较多,因此,投资较大。树干式供电可靠性较低,因为一旦干线损坏或需要修理时,就会影响连在同一干线上的负载,但是树干式灵活性较大。另外,放射式与树干式比较,前者导线细,但总线长,而后者则相反。

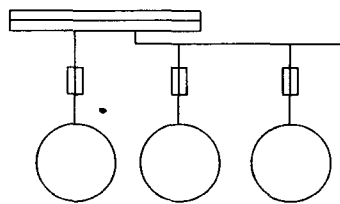


图 1-4 用电设备联接在配电箱上

三、安全用电

安全用电是劳动保护教育和安全技术中的主要组成部分之一。在实际工作中必须注意安全用电,否则可能发生触电、烧坏用电设备甚至引起火灾。

下面介绍有关安全用电的几个问题。

(一) 电流对人体的作用

由于不慎触及带电体,产生触电事故,会使人体受到各种不同的伤害。根据伤害性质可分为电击和电伤两种。

电击是指电流通过人体,使内部器官组织受到伤害。如果受害者不能迅速摆脱带电体,则最后会造成人身死亡事故。

电伤是指在电弧作用下或熔断丝熔断时,对人体外部的伤害,如烧伤、金属溅伤等。

根据大量触电事故资料的分析和实验,电击比电伤危害性更大,电击所引起的伤害程度与下列各种因素有关。

1. 人体电阻的大小

人体的电阻愈大,通入的电流愈小,伤害程度也就愈轻。根据研究结果,当皮肤有完好的角质外层并且很干燥时,人体电阻大约为 $10^4 \sim 10^5 \Omega$ 。当角质外层破坏时,则降到 $800 \sim 1000 \Omega$ 。

2. 电流通过时间的长短

电流通过人体的时间越长,则伤害越严重。

3. 电流的大小

如果通过人体的电流在 0.05A 以上,就有生命危险。一般地说,接触 36V 以下的电压时,通过人体的电流不超过 0.05A ,故把 36V 的电压作为安全电压。如果在潮湿的场所,安全电压还要规定得低一些,通常是 24V 和 12V 。

此外,触电伤害程度还与电流路径以及与带电体接触的面积和压力等有关。

(二) 触电方式

1. 接触正常带电体

(1) 电源中性点接地的单相触电,如图 1-5 所示。这时人体处于电压之下,危险性较大。如果人体与地面的绝缘较好,危险性可以大大减少。

(2) 电源中性点不接地的单相触电,如图 1-6 所示。乍看起来,似乎电源中性点不接地时,不能构成电流通过人体的回路。其实不然,要考虑到导线与地面间的绝缘可能不良(对地绝缘电阻为 R'),甚至有一相接地,在这种情况下人体中就有电流通过。在交流电的情况下,导线与地面间存在的电容也可构成电流的通路。

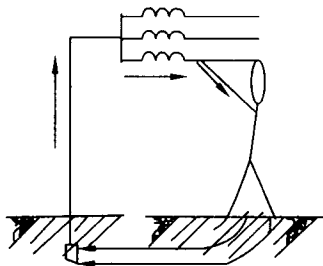


图 1-5 电源中性点接地的单相触电

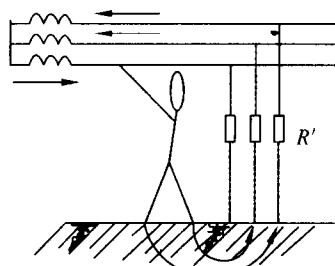


图 1-6 电源中性点不接地的单相触电

(3) 两相触电最为危险,因为人体处于线电压之下,但这种情况不常见。

2. 接触正常不带电的金属体

触电的另一种情形是接触正常不带电的部分。譬如,电机的外壳本来是不带电的,由于绕组绝缘损坏而与外壳相接触,使它也带电。人手触及带电的电机(或其他电气设备)外壳,相当于单相触电。大多数触电事故属于这一种。为了防止这种触电事故,对电气设

备采用保护接地和保护接零(接中性线)的保护措施。

(三) 接地和接零

为了人身安全和电力系统工作的需要,要求电气设备采用接地措施。按接地目的的不同,主要可分为工作接地、保护接地和保护接零三种,如图 1-7 所示。图中的接地体是埋入地中并且直接与大地接触的金属导体。

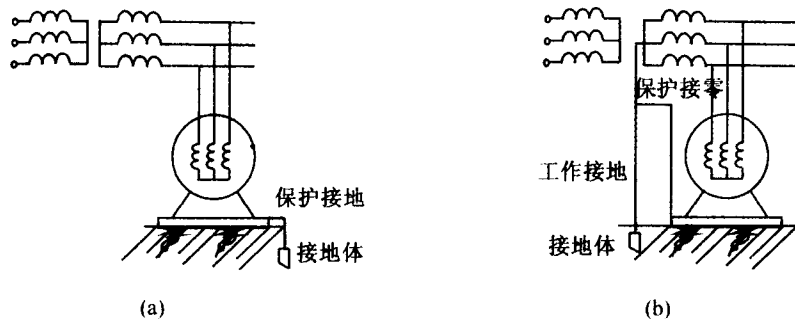


图 1-7 工作接地、保护接地和保护接零

1. 工作接地

电力系统由于运行和安全的需要,常将中性点接地,这种接地方式称为工作接地。工作接地有以下目的:

(1)降低触电电压 在中性点不接地的系统中,当一相接地而人体触及另外两相之一时,触电电压将为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍,即为线电压。而在中性点接地的系统中,则在上述情况下,触电电压就降到等于或接近相电压。

(2)迅速切断故障设备电源 在中性点不接地的系统中,当一相接地时,接地电流很小(因为导线和地面之间存在电容和绝缘电阻,也可构成电流的通路),不足以使保护装置动作而切断电源,接地故障不易被发现,若长时间持续下去,对人身不安全。而在中性点接地的系统中,一相接地后的接地电流较大(接近单相短路),保护装置迅速动作,断开电源。

(3)降低电气设备对地的绝缘水平 在中性点不接地的系统中,一相接地时将使另外两相的对地电压升高到线电压。而在中性点接地的系统中,则接近于相电压,故可降低电气设备和输电线和绝缘水平,节省投资。

但是,中性点不接地也有好处。第一,一相接地往往是瞬时的,能自动消除的,在中性点不接地的系统,就不会跳闸而发生停电事故;第二,一相接地故障允许短时存在,这样,方便寻找故障和修复。

2. 保护接地

保护接地就是将电气设备的金属外壳(正常情况下是不带电的)接地,用于中性点不接地的低压系统中。图 1-8(a)所示。可分两种情况:

(1)当电动机某一相绕组的绝缘损坏使外壳带电而外壳未接地的情况下,人体触及外壳相当于单相触电。这时接地电流 I_0 (经过故障点流入地中的电流)的大小决定于人体电阻 R_h 和接地电阻 R_0 ,当系统的绝缘性能下降时,就有触电的危险。