



设备电气 控制与应用



SHE BEI DIAN QI KONG ZHI YU YING YONG

张建锐 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



设备电气 控制与应用



SHE BEI DIAN QI KONG ZHI YU YING YONG

张建锐 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

随着电子技术、计算机技术、控制技术的迅猛发展,机电控制技术已经成为当前工业领域的关键技术。本书吸取了最新的技术成果,介绍了有关机械电气控制方面的新技术。本书内容包括:常用低压电气介绍、电气控制线路基本环节、电气控制电路的设计方法、可编程控制器控制的设计、可编程控制器在机械设备中的应用等。

本书从机械电气控制的实际情况出发,突出科学性和系统性,可供设备电气控制专业以及有关人员参阅,也可供本科院校相关学科师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

设备电气控制与应用 / 张建锐著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2019.1
ISBN 978-7-5170-7457-1

I. ①设… II. ①张… III. ①机械设备—电气控制
IV. ①TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第031174号

责任编辑: 陈 洁

封面设计: 王 伟

书 名	设备电气控制与应用 SHEBEI DIANQI KONGZHI YU YINGYONG
作 者	张建锐 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.con.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.con.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市元兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 19.75印张 345千字
版 次	2019年4月第1版 2019年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	89.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

随着电子技术、计算机技术、控制技术的迅猛发展，机电控制技术已经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。

本书吸取了最新的技术成果，介绍了有关机械电气控制方面的新技术，如电气逻辑控制系统的分析、设计方法，先进、实用的 PLC 典型功能电路，数控机床的电气控制系统等。

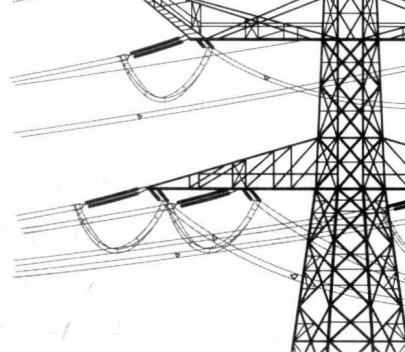
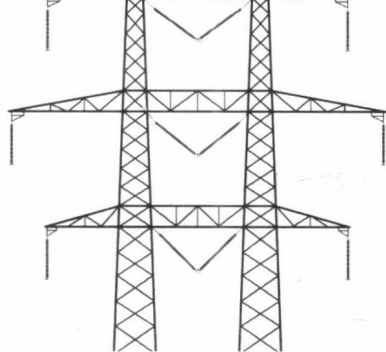
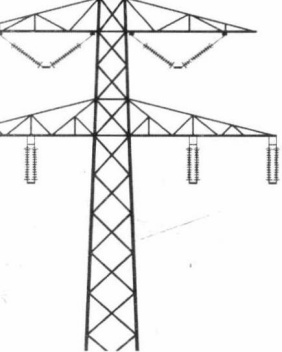
本书从机械电气控制的实际情况出发，突出科学性和系统性，理论联系实际，实用性强，内容新颖、系统和详尽，原理介绍深入浅出，图文并茂，难易适度，便于自学和实践。

全书共分十二章，主要包括：常用低压电器的工作原理及选用，机械电气控制设备的基本电路，电气控制电路的设计方法，常用机床、桥式起重机的电气控制电路，可编程控制器及其工作原理，FX 系列可编程控制器的编程元件及基本指令和功能指令系统，可编程控制器控制设计方法及其在机械设备控制中的典型应用等。

在本书编写过程中，参阅了大量相关文献资料，在此一并表示衷心感谢。由于编者水平所限，加之时间仓促，书中不足之处在所难免，敬请批评指正。

张建锐

2018 年 10 月



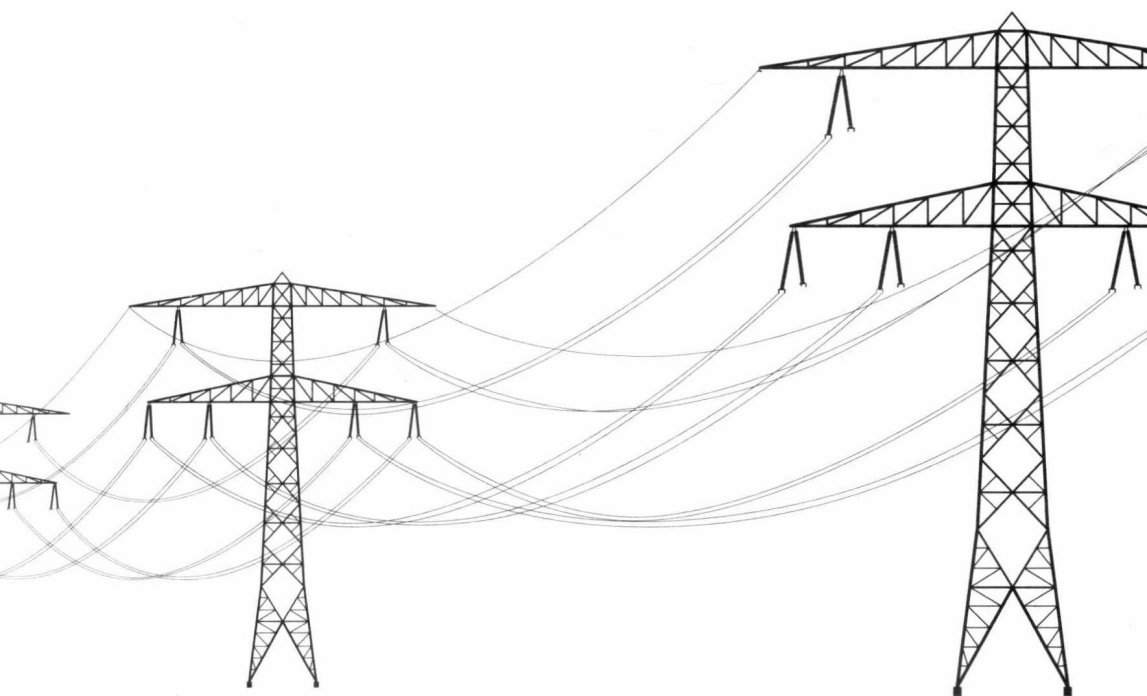
目 录

前 言	01
第一章 绪 论	1
第一节 电气控制技术的发展概况	3
第二节 设备电力拖动的基本概念	4
第三节 发电、输电、配电和安全用电	6
第二章 常用低压电器	13
第一节 低压电器的基本知识	15
第二节 常用低压电器	17
第三章 电气控制线路基本环节	29
第一节 机床电气原理图的画法规则	31
第二节 电气控制线路的逻辑表示	35
第三节 三相异步电动机控制线路	37
第四节 绕线式电动机控制线路	44
第五节 电动机的保护环节	47
第四章 电气控制电路的设计方法	51
第一节 电气控制设计的主要内容	53
第二节 电气控制设备的设计步骤	54
第三节 电力拖动方案确定及电动机选择	56

第四节	电气控制方案的确定及控制方式的选择	58
第五节	电气设计的一般原则	60
第六节	电气控制系统的一般设计方法	63
第七节	电气控制电路的逻辑设计方法	65
第八节	机床电气系统设计实例	67
第九节	电气控制的工艺设计	74
第五章	常用机械的电气控制电路	79
第一节	车床的电气控制	81
第二节	铣床的电气控制	85
第三节	摇臂钻床的电气控制	98
第四节	镗床的电气控制	106
第五节	磨床的电气控制	112
第六节	桥式起重机电气控制电路	119
第六章	机床电气控制线路故障检查与维修	135
第一节	电路故障的一般检查方法	137
第二节	典型机床控制线路的电路故障及检修	141
第七章	可编程控制器	145
第一节	可编程控制器概述	147
第二节	可编程控制器的组成及工作原理	153
第三节	FX 系列可编程控制器编程	163
第八章	可编程控制器控制的设计	173
第一节	PLC 控制系统设计原则、内容流程	175
第二节	机械设备 PLC 控制系统常用设计方法	180
第九章	可编程控制器在机械设备中的应用	187
第一节	PLC 在机床中的应用	189
第二节	PLC 在工业自动化生产线中的应用	195

第十章 数控机床的电气控制应用	205
第一节 数控机床的发展概况.....	207
第二节 数控机床的组成与分类.....	209
第三节 数控机床电气控制系统的组成与特点.....	226
第四节 进给伺服驱动系统.....	232
第五节 主轴变频伺服驱动系统.....	239
第六节 PLC 在数控机床上的应用.....	252
第十一章 印刷机械系统中电气故障分析与维护	257
第一节 印刷机械电气维修的现状.....	259
第二节 印刷中常用的低压电器和电动机.....	260
第三节 国产典型印刷机械的分析.....	265
第四节 国外典型印刷机控制系统简介.....	269
第五节 印刷机械常见的电气故障排除方法.....	274
第六节 印刷机械的电气维护与保养.....	281
第十二章 公司设备电气节能控制设计与应用	285
第一节 建筑设备电气自动化系统节能控制模式.....	287
第二节 N 公司办公中心建筑设备电气自控系统设计.....	291
第三节 结论.....	303
参考文献	304
后 记	308

■ 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。数控装置最早出现于 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这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，称为加工中心。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作电力拖动。

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连接简便。

(3) 电动机的种类和形式很多，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。

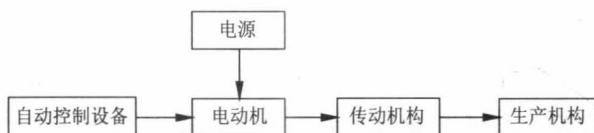


图 1-1 电力拖动的组成

1. 电动机

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

传动机构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

控制装置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。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。

低压配电线路的连接方式主要是放射式和树干式两种。

放射式配电线路如 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。

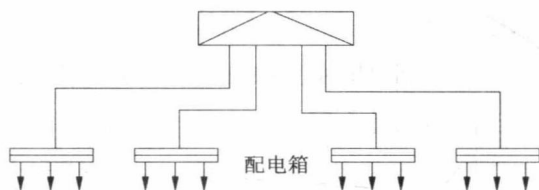


图 1-2 放射式配电线路

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。

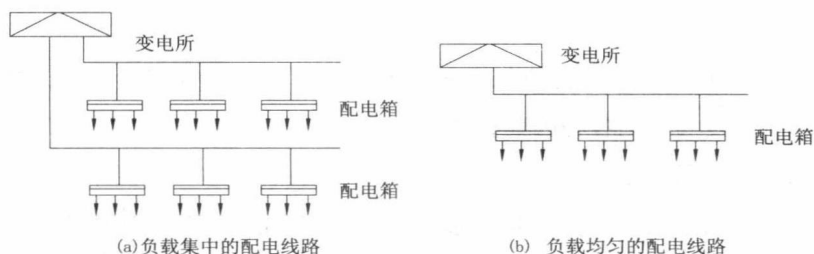


图 1-3 树干式配电线路如图

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。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 3 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。

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

出于不慎触及带电体，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

人体的电阻越大，通入的电流越小，伤害程度也就越轻。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。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。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。

（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。

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。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_b 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。

（2）当电动机某一相绕组的绝缘损坏使外壳带电而外壳接地的情况下，人体触及外壳时，由于人体的电阻 R_b 与接地电阻 R_0 并联，而通常 $R_b \gg R_0$ ，所以通过人体的电流很小，不会有危险。这就是保护接地保证人身安全的作用。

3. 保护接零

保护接零就是将电气设备的金属外壳接到零线（或称中性线上），用于中性点接地的低压系统中。当电动机某一相绕组的绝缘损坏而与外壳相接时，就形成单相短路，迅速将这一相中的熔丝熔断，因而外壳便不再带电。即使在熔丝熔断前人体触及外壳时，也由于人体电阻远大于线路电阻，通过人体的电流也是极为微小的。

在中性点接地的系统中不采用保护接地。因为采用保护接地时，当电气设备容量较大，若电气设备的绝缘损坏时，接地电流小于继电保护装置动作电流或熔丝额定电流。这样，电气设备就得不到保护，接地电流长期存在，外壳也将长期带电，危及人身安全。

4. 保护接零与重复接地

在中性点接地系统中，除采用保护接零外，还采用重复接地，就是将零