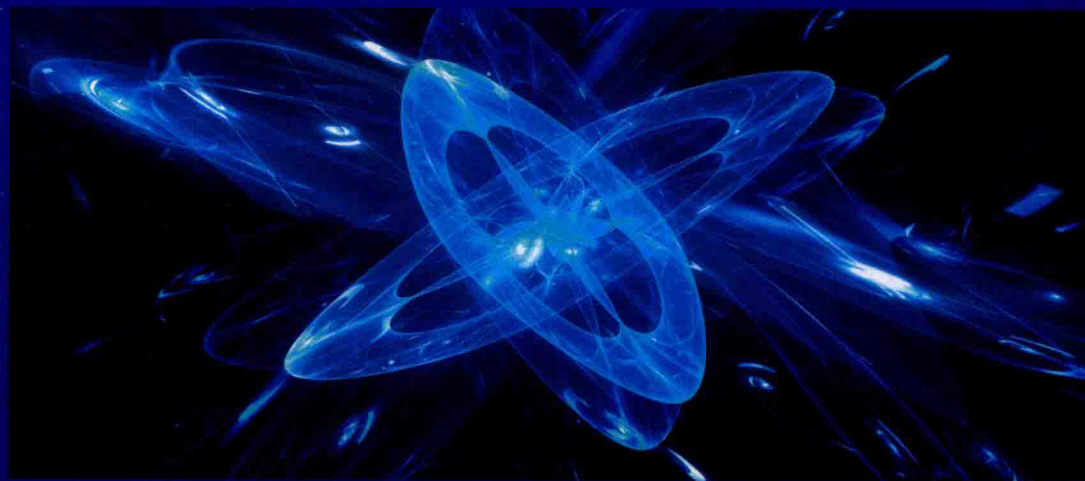


高等学校电工实训教材

电工工程 实训教程

DIANGONG GONGCHENG
SHIXUN JIAOCHENG

王小宇 郑新建 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等学校电工实训教材

电工工程实训教程

主 编 王小宇 郑新建
副主编 侯志坚 张玮玮
参 编 胡同礼

机械工业出版社

本书是电工工程安装技能实训教程,突出电气工程基础理论知识和安装技能训练,内容新颖、实用。本书以工程项目安装为主线,把电工实训教学大纲中要求掌握的技能与生产生活实际有机结合,图文并茂,形象直观,内容简明扼要,由浅入深。全书共分七章,主要内容有:电工工程概述、安全用电常识、电工工程基本技能、常用低压电器元件及电气识图、楼宇配电照明线路的安装、电气控制线路的安装调试维修、三相异步电动机的拆装与检修。

本书可作为高等院校的电工实训教学用书,也可作为职业教育、职工培训教材,或供其他工程技术人员从事电气操作与维修使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工工程实训教程/王小宇,郑新建主编. —北京:机械工业出版社, 2019. 1

高等学校电工实训教材

ISBN 978-7-111-61762-4

I. ①电… II. ①王… ②郑… III. ①电工技术-高等学校-教材
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 017061 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:付承桂 责任编辑:闫洪庆 朱林 任鑫 吕潇

责任校对:张薇 封面设计:马精明

责任印制:张博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.25 印张·326 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-61762-4

定价:49.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

工程训练在高等院校应用技术型人才培养工作中占有重要的地位,工程训练的目的在于培养具备工程师素质的高技能人才,本书就是基于这个理念编写的。本书不仅重视基础知识,强化基本技能训练,同时注重工程设计能力的培养,使学生在实训过程中逐渐从“生手”成长为名副其实的工程技术人员。

本书打破原有教材普遍采用的知识平铺直叙模式,改为以工程项目为主线对相关知识进行重新整合。以解决工程问题为出发点,需要用到哪些知识就有针对性地学习相关的知识,然后在工程项目中应用,这是符合认知学习规律,让教学从“要我学”的被动学习模式转变为“我要学”的主动学习模式。以实践活动为主线,将理论知识和技能训练有机结合,突出对综合职业能力的培养。

本书采用工程项目的形式,把电工实训教学大纲中要求掌握的技能与生产生活实际有机结合,选择了典型的工程项目,每个工程项目均将相关知识和实践过程有机结合,力求体现理论和实践一体化的教学理念。在内容的选择上,降低理论重心,突出实际应用,注重培养学生的知识应用能力和解决工程问题的实际工作能力。

在内容组织形式上,每个工程项目都体现了实际电气工程实施中的一般规律和方法,使学生初步掌握解决工程问题的方法,本书图文并茂,形象直观,内容由浅入深,简明扼要。全书共分七章,主要内容有:电工工程概述、安全用电常识、电工工程基本技能、常用低压电器元件及电气识图、楼宇配电照明线路的安装、电气控制线路的安装调试维修、三相异步电动机的拆装与检修。

本书由王小宇、郑新建任主编,侯志坚、张玮玮任副主编,胡同礼参编,其中河南工学院的王小宇编写第1章的1.1~1.4节和第6章,侯志坚编写第1章的1.5节和第4章,郑新建编写第5章,胡同礼编写第7章,安阳工学院的张玮玮编写第2、3章,全书由王小宇统稿。

本书在编写过程中,借鉴参考了部分院校电工实训课程的教学经验和内容以及实训教材,咨询了校内专业课教师和企业的工程技术人员,在此表示衷心的感谢。

电工技术不断发展,技术和工艺更新很快,由于编者学识水平有限,编写时间仓促,书中不免有错误和不妥之处,请广大读者提出宝贵意见,以便及时进行修订,使之更加完善,不断发展。

本书可以用作高等院校机电技术相关专业的教学用书,也可用作相关行业岗位培训教材及有关人员的自学用书。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 电工工程概述 1

- 1.1 电工工程的概念 1
- 1.2 电工工程实训的培养目标和培养方法 1
- 1.3 电工工程实训项目的一般流程 ... 2
- 1.4 电工技术人员的职业道德 3
- 1.5 供配电系统基本知识 5

第 2 章 安全用电常识 16

- 2.1 安全作业常识 16
- 2.2 电气事故种类 18
- 2.3 触电事故分析 19
- 2.4 触电原因及预防措施 21
- 2.5 触电急救 25
- 2.6 电气装置的防火和防爆 27
- 2.7 防雷常识 30

第 3 章 电工工程基本技能 33

- 3.1 常用材料 33
- 3.2 常用电工工具 35
- 3.3 线路装修工具 40
- 3.4 设备维修工具 41
- 3.5 电工基本操作技能 42

第 4 章 常用低压电器元件及电气

识图 58

- 4.1 低压电器概述 58
- 4.2 常用低压电器介绍 58

4.3 电气控制电路图的识读 76

4.4 建筑配电照明安装工程识图 84

第 5 章 楼宇配电照明线路的安装 89

- 5.1 楼宇配电箱安装工程 89
- 5.2 室内配电盘安装工程 105
- 5.3 一控一灯及两控一灯明装线槽工程 111
- 5.4 套房用照明线路安装工程 ... 127

第 6 章 电气控制线路的安装调试

维修 141

- 6.1 三相异步电动机手动控制电路的安装与调试 141
- 6.2 三相异步电动机点动与连续运行控制电路的安装与调试 148
- 6.3 三相异步电动机正反转控制电路的安装与调试 163
- 6.4 三相异步电动机能耗制动控制电路的安装与调试 174

第 7 章 三相异步电动机的拆装与

检修 187

- 7.1 三相笼型异步电动机的认识 ... 187
- 7.2 三相异步电动机的拆装工程 ... 192
- 7.3 电动机绕组的重绕工程 195
- 7.4 三相异步电动机的检修工程 ... 201

参考文献 207

第 1 章 电工工程概述

电工工程技术人员是指从事勘测、规划、设计、电力工程建设、安装、调试、技术开发、实验研究、发供电运行、检修、修造、电网调度、用电管理、电力环保、电力自动化、技术管理等工作的电力专业工程技术人员。电工是一种特殊的技术工种，在工业生产、设计、开发、服务等行业具有重要的意义和价值。

1.1 电工工程的概念

电工工程包含电力工程和电气工程，电工工程分为电力生产和电工制造两大工业生产体系。电工工程在本书中只讨论电气安装工程，主要指民用供配电照明系统和工矿企业的低压电气设备控制系统的安装。

电气安装工程的外延，包括电气设备安装和电气工程系统安装两方面。电气设备安装，如建筑中使用到的配电柜、开关、插座、电灯，工厂矿山中使用到的电动机、电气仪表等。电气工程系统安装主要分为强电系统、弱电系统以及电气传动与控制系统，如下：

- 1) 发、输、变、配电，照明等电力系统，称为强电系统；
- 2) 对强电系统和建筑物等进行监视、测量、控制、保护等的弱电系统；
- 3) 设备电气传动与控制系统，如工厂矿山、车辆、舰船、飞机、卫星上的相关设备的电气传动与控制系统。

电气安装工程的内涵主要涉及电能的生产、传输、分配、利用的系统安装，基于电气的控制系统安装等。

由于电气安装工程整个过程涉及知识点多，需要了解包括发电、变电、输电和配电，了解电力系统的设计、规划、调度、控制和保护，电力设备的设计、制造、试验、检测等，同时对施工工艺要求很高，因此在电气安装工程中，对电工的综合技能要求很高，不仅要有一定的理论知识，更要有工程项目管理的理念和很强的动手能力，电工是一个实践性很强的技术工种。

1.2 电工工程实训的培养目标和培养方法

随着信息技术、微电子技术、自动控制技术和传统机械技术的相互渗透与融合，机电一体化设备、各种各样的自动化生产线、多坐标数控机床、多功能柔性制造系统、加工中心、智能化的机器人等，这些设备或产品的安装、调试、使用与维护，都需要具有较高综合素质和较强动手能力的中高级应用型技术人才。

机电类各专业的毕业生应具有以下几方面的知识和能力：

- 1) 能对安全用电做出理论性分析，正确处理各种电气设备安全事故的能力；

- 2) 正确分析计算电工、电子线路的知识与能力;
- 3) 根据设计任务,设计电气原理图、安装图、布线图的能力;
- 4) 电器相关零部件的选型,采购计划的编制能力;
- 5) 熟练使用电工材料、电工工具、电工仪器、仪表的知识与能力;
- 6) 整机电气装配、调试、运行、检修方面的知识能力;
- 7) 有关电气图文资料的收集、整理、归档能力。

这些能力的培养,除了牢固掌握电工、电子、自动控制等方面的基本知识、基本原理外,还应通过综合的、系统的工程强化训练才能得以实现。为此,电工工程实训主要通过一系列教学手段达到预期效果,具体实现方法有:

1) **理论讲解**:通过电工材料、电工工具、电工仪表的使用,导线的连接、电气识图等基本技能训练,让学生了解低压电气控制、照明配电方面的理论知识。

2) **项目设计**:给学生一个真实工程案例,让学生设计电气原理图、选择元器件、设计电气安装走线图。

3) **工程实践**:学生通过三个以上工程项目安装,由浅入深,由易到难,达到对电气线路安装工艺的掌握。

4) **项目调试**:从指导教师演示调试内容,到学生自己动手调试、检修具体线路,达到学生对教学内容的全面掌握,同时确保了学生的安全。

5) **工程验收**:按照项目验收单逐项验收,对学生实训效果给出客观公正的评价。

1.3 电工工程实训项目的一般流程

把一种想法或要求变成产品,不论是小到一盏电灯,还是大到 C919 大飞机,都要经过许多阶段,只是复杂程度不同。那么是不是有规律可循呢?具体到电气安装工程,一般流程如图 1-1 所示。

1. 设计任务书

当我们接到一个电气工程任务后,通常要进行功能描述,即要达到什么样的目的。还需要达到什么样的效果。这些我们通常要充分与下达任务者进行沟通,并且进行现场调研,以及分析。将任务细化明确,这样不至于到工程交工时才发现还有一些细节要求没有做到,严重的可能需要重新设计,推倒重来。因此功能描述阶段是工程的开端,也是基础。例如,我们接到一个任务,需要给房间装个灯,这里面的功能描述是不清晰的,我们需要了解房间的大小、功能用途、照明效果的要求、房间有几个门、想实现什么样的控制等。通常在此阶段会形成一个电气设计任务书。在复杂工程中,任务书是明确功能的必要文档。

2. 电气原理图绘制

明确了功能之后,就可以着手依据设计要求进行方案设计,即用哪种方式实现要求的功能。通常选择方案的原则是功能完备(即除了主要功能之外,还有相应的保护电路)、电路简化,确定方案



图 1-1 工程制作流程图

后, 可以针对方案进行电气原理图的绘制。

电气原理图是用来表明设备电气的工作原理及各电器元件的作用、相互之间关系的一种表示方式。电气原理图是电气系统图的一种, 是根据控制工作原理绘制的, 结构简单, 层次分明。主要用于研究和分析电路工作原理, 确定电路是否实现了工程要求的功能。

3. 元器件选型

元器件是构成电路的基本元素, 又是电路原理分析计算的最终结果。在电路原理分析中, 要知道每个元器件的结构、特性、参数, 在电路中所起的作用, 以及对整个电路产生的影响; 在电路参数计算中, 每个元器件参数又是电路计算的最终结果, 便于合理选择元器件的规格、型号。因此正确选择元器件是实现电路功能的关键, 选择方法与技巧是非常重要的。

4. 电气接线图的绘制

电气接线图, 是根据电气设备和电器元件的实际位置和安装情况绘制的, 只用来表示电气设备和电器元件的位置、配线方式和接线方式, 而不明显表示电气动作原理。主要用于安装接线、线路的检查维修和故障处理的指导。

5. 工程材料清单

所有材料的目录, 主要包括名称、数量、规格等信息。这是工程采购和预算的基础。

6. 按工艺施工

施工工艺就是做某个工程的具体规范, 比如强电系统中的管路, 要求横平竖直, 线路要沿边沿角走向。施工工艺的作用就是, 使各个不同系统之间能够协调和减小相互之间功能的影响, 如弱电的线路就需要和强电的线路相隔 30cm 以上, 以免弱电的传输线缆受到强电磁场的干扰, 而导致前端或后端的设备功能受破坏。具体工程的施工工艺要求都不一样, 需要根据具体情况确定。一般要求符合行业规范和美观实用的要求。

7. 线路调试和检修

电气安装工程布线施工完成后, 在交工之前, 通常要进行线路调试和检修。

对调试过程中出现的问题, 确定缩小故障范围, 查明故障原因, 有针对性地进行处理, 使电气工程达到应有的功能和状态。

8. 验收

验收是指电气工程完工后, 验证工程是否达到设计要求, 是否符合任务书的功能要求, 元件安装位置及施工工艺是否符合规范的要求, 使用相应的仪器设备进行检测和评定。提交竣工图、安装记录、试验记录等技术资料。

1.4 电工技术人员的职业道德

电工是一种给人带来光明、带来温暖、带来欢乐、带来信息的无比崇高的职业。电工的作业行为将联系着工业生产的各个部门, 联系着千家万户, 因此要从事电工这个行业, 必须要加强职业道德建设, 才能推动社会精神文明和物质文明建设, 进而促进行业、企业的生存和发展, 同时提高从业人员的素质。

职业道德就是从业人员保证工作(工程)的质量及其过程中的先进性、稳定性、灵敏性、可靠性、安全性、可观性以及保护低碳方面应尽的责任及其作业行为的规范总则。

电气工作人员职业道德行为规范常识如下:

1) 热爱电气工作这个职业,有事业心,有责任心,为电气工程及其自动化专业始终不渝。

2) 对技术精益求精,一丝不苟,在实践中不断学习进步,积累丰富的实践经验,提高技术技能,同时从理论上要不断提高自己,具备扎实的理论基础和分析问题的能力。

3) 关注电气工程技术发展动态,积极参与科技成果转化及应用工作,推广新技术、新工艺、新材料、新设备。

4) 解决项目工程中的技术难题是义不容辞的责任,练就一身过硬的技能,成为一把金钥匙,打开每一把技术难题之锁。

5) 甘当设计师、施工人员、制造人员之间的桥梁,传递信息,破译信息,确保工程项目的质量、安全、工期、投资,成为工程项目的中流砥柱。

6) 对电气工作认真负责,兢兢业业,对自己从事的电气工作必须做到准确无误,滴水不漏,天衣无缝,在工程的关键时刻能挺身而出,充当抢险队的一员。

7) 长期深入实践,虚心向工人师傅学习、向书本学习、向实践学习,做到不耻下问,探索研究新工艺、新方法。

8) 在职业生涯中,要善于发现人才、重用人才、厚爱人才、推荐人才、培养人才。特别是工人队伍中的技术能手,要把他们作为工人工程师委以重任,加以重用。

9) 工作要身先士卒,一马当先。要做到干净利落、美观整洁。工作完毕后要清理现场,及时将遗留杂物清理干净,避免环境污染,杜绝妨碍他人或运行的事发生。

10) 任何时候、任何地点、任何情况,工作必须遵守安全操作规程,设置安全措施,确保设备、线路、人员的安全,时刻做到质量在手中,安全在心中。

11) 工程项目的安装、研制、修理、保养的过程要做到“严”,要严格要求,严格执行操作规程、试验标准、作业标准、质量标准、管理制度及各种规程、规范、标准,严禁粗制滥造。做到自检、自验,不要等到质检人员检查出来才去改正、才去修复。

12) 工程项目的运行维护必须做到“勤”,要防微杜渐,对电气设备、线路、元件的每一部分、每一参数要勤检、勤测、勤校、勤查、勤扫、勤紧、勤修,把事故、故障消灭在萌芽状态。科学合理制订巡检周期,确保系统安全运行。

13) 工程项目中用到的所有电气设备、元件、材料及其他辅件,使用前应认真核实其使用说明书、合格证、生产制造许可证、试验报告或型式试验报告,对其质量有怀疑的以及贵重、关键、重要部件要全部进行测试和检验试验,杜绝假冒伪劣产品混入电气系统。

14) 凡是自己参与的工程项目,应建立相应的技术档案,记录相关数据和关键部位的内容,记录相应的具体负责人,做到心中有数,并按周期进行回访,掌握工程项目的动态,及时修正调整相关参数,为后续工程项目奠定良好的基础。

15) 对用户诚信为本、终身负责,通过回访或用户反馈意见,改进工作,提高技术水平。

16) 积极宣传指导节约用电技术和安全用电技术,制止用电当中的不当行为和错误做法。

17) 电气工程项目中,要节约每一米导线、每一颗螺钉、每一个垫片、每一团胶布,严禁大手大脚,杜绝铺张浪费。不得以任何形式将电气设备及其附件、材料、元件、工具、

电工配件赠予他人或归为已有。

18) 编制技术文件(主要有工程预算、物资计划、原材料清单、进度计划、施工组织设计等)要切合实际,使其具有可操作性、使用性和指导性,杜绝空话、假话、套话。

19) 认真学习研究电气工程安全技术,并将其贯彻于设计、安装、研制、调试、运行、维修中去,对用户、设备、线路、系统的安全运行负责。

20) 养成良好的工作习惯和学习习惯(包括实践的学习),惯于总结,善于分析。将工作中、生活中与专业有关的事物详细地记录下来,进行分析总结,去其糟粕,取其精华,进一步提高和充实自己的技能和实践经验,为电气工程事业做出更大贡献。

21) 在工程现场或在从事与工程相关的工作时,所有的行为或操作要围绕一个核心,这个核心就是对工程有利、有益,杜绝一切对工程有害无益的行为和操作,并能够及时纠正他人的违规操作、损害工程的行为及一切人为的、自然的对工程有害无益的事物。

22) 在工作过程中,不怕困难、不怕难题、不怕自然原因带来的障碍,专心致志、细心精致、细处着手、坚持不懈,直到解决完成。

23) 在工作过程中,永远把质量、安全、进度、投资、环保、低碳放在首位,把个人得失放在第二位。做到质量在我手中,安全在我心中。

24) 在工作过程中,做到互相学习、互相帮助、精诚团结、目标一致,人人都是质检员,做到相互尊重、爱护、体谅、平等。

25) 在实践中学习,提高技术水平,磨炼职业道德修养,做一名“德艺双馨”的电气工作人员。

1.5 供配电系统基本知识

供配电技术,主要是研究电力的供应和分配问题。电力,是现代工业生产的主要动力和能源,是现代文明的物质技术基础。今天我们已步入电气化时代,电如同我们每天呼吸的空气一样与我们形影不离,无时无刻不在影响我们的工作和生活。现在,电的使用已渗透到社会生产的各个领域和人类生活的各个方面,离开了电,人类的一切活动都将难以正常进行。因此,供配电工作要很好地为工业生产和国民经济服务,切实保证工业生产和整个国民经济生活的需要,切实做到安全、可靠、优质、经济供电。

1. 电力系统

由发电厂、变电所和电力用户联系起来组成发电、输电、变电、配电和用电的整体称为电力系统,如图1-2所示。发电机输出电压为3.15~20kV。为了提高输电效率并减少输电线路上的损耗,通常都利用升压变压器将电压升高后经高压输电线路进行远距离输电。目前我国高压输电线路的电压有35kV、110kV、220kV、330kV、500kV等几个等级,输电容量越大,输电距离越远,则输电电压也就越高。高压输电到用户区后,先经过区域降压变电所(工厂总降压变电所)降至6~10kV电压后,送到工厂变配电所。

2. 发电厂

(1) 发电厂类型

人类使用的所有电能不能直接从一次能源中获得,而必须由其他形式的能源(如水能、热能、风能和光能等)转化而来。发电厂是实现这种能源转化的场所,它是电力系统的中

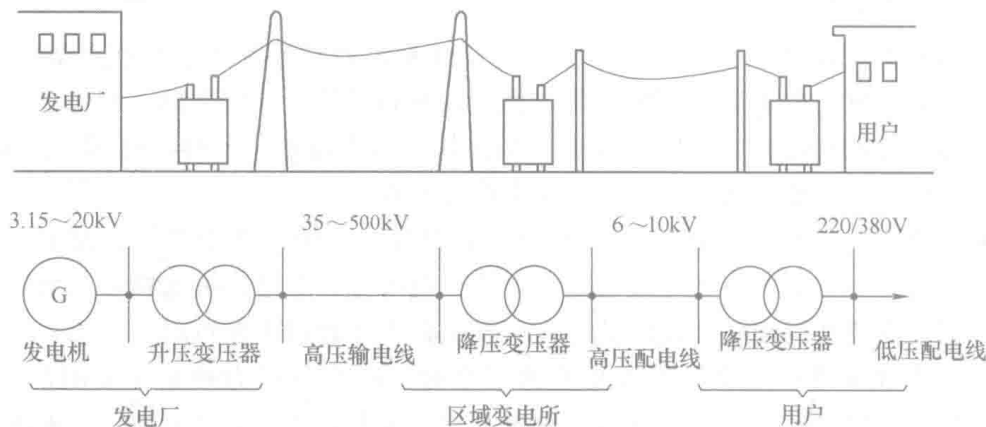


图 1-2 电力系统示意图

心环节。发电厂按照所利用的能源种类不同，可分为水力、火力、风力、核能、太阳能发电厂等。现阶段我国的发电厂主要是火力发电厂和水力发电厂，核电厂也在大力发展中。近年来，国家开始建立起一批利用可再生能源进行发电的发电厂，如风力发电厂、潮汐发电厂、太阳能发电厂、地热发电厂和垃圾发电厂等，以逐步缓解能源短缺和绿色环保的问题。

根据发电厂容量大小及其供电范围不同，可分为区域性发电厂、地方性发电厂和自备发电厂等。区域性发电厂大多建在水力、煤炭资源丰富的地区附近，其容量大，距离用电中心较远（往往是几百千米至 1000 千米以上），需要超高压输电线路进行远距离输电。地方性发电厂一般为中小型发电厂，建在用户附近。自备发电厂建在大型厂矿企业附近，作为自备电源，对重要的大型厂矿企业和电力系统起到后备作用。

(2) 发电厂发出的电的电压和频率

一般发电厂的发电机发出的是对称的三相正弦交流电（有效值相等、相位差分别相差 120° 、三相电压为 e_U 、 e_V 、 e_W ，如图 1-3 所示）。在我国，区域性和地方性发电厂发出的电的电压主要有 3.15kV、6.3kV 和 10.5kV 等，一般自备发电厂发出的电的电压有 230V、400V 和 690V，频率则同为 50Hz，此频率通常称为“工频”。工频的频率偏差一般不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。频率的调整主要是依靠调节发电机的转速来实现。电力系统中所有的电气设备都是在一定的电压和频率下工作的。能够使电气设备长时间连续正常工作的电压就是其额定电压，各种电气设备在额定电压下运行时，其经济性和技术性能最佳。频率和电压是衡量电能质量的两个基本参数。由于发电厂发出的电压不能满足各种用户的需要，同时电能输送过程中会产生不同程度的损耗，所以需要在发电厂和用户之间建立电力网，使电能安全、可靠、经济地输送和分配给用户。

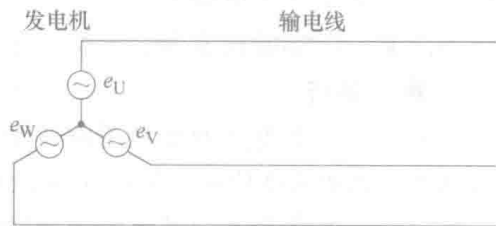


图 1-3 对称的三相正弦交流电源

3. 电力网

(1) 电力网的概念

在电力系统中，发电厂、变电所和电力用户之间，用不同电压等级的电力线路将它们连接起来，这些不同电压等级的电力线路和变电所的组合，叫作电力网，简称为电网。电网的任务是输送和分配电能，即将各发电厂发出的电能经过输电线路传送并分配给用户。

(2) 电网分类

电网按种类特征的不同,可分为直流电网和交流电网;电网按电压等级不同,可分为6kV电网、35kV电网和110kV电网等;我国电网按地区划分,可分为东北电网、华北电网、西北电网、华东电网和华中电网五大跨地区电网;我国的电网按额定电压等级不同,可分为0.22kV、0.38kV、3kV、6kV、10kV、35kV、60kV、110kV、220kV、330kV和500kV电网。通常,为了便于分析研究,将电网分成区域电网和地方电网。其中,电压在110kV以上、供电区域较大的电力网叫区域电网;电压在60kV以下、供电范围不大的电力网叫地方电网。为了减少电能损耗,电网应简化电压等级、减少变压层次、优化网络结构,因为在电能传输容量相同的条件下,高电压电网能减小传输导线中的电流。目前有些城市已开始使用20kV电网代替10kV电网。

(3) 输电线路

在电力传输领域,“高压”的概念是不断改变的,鉴于实际研究工作与电网运行的需要,对线路电压等级范围进行划分。目前习惯上称10kV及以下线路为配电线路,10~35kV线路为输电线路,35~220kV线路为高压线路,330kV及以上、1000kV以下的线路称为超高压线路,1000kV及以上的线路称为特高压线路。另外,通常将1kV以下的电力设备及装置称为低压设备,1kV以上的设备称为高压设备。

在输电线路中,为节省资源,一般采用三相三线方式输电,并有时采取同塔双回、甚至同塔四回的超高压输电线路。随着电能输送的距离越来越远,输送的电压也越来越高,对输变电设备绝缘水平和线路走廊有更高要求。目前我国已运行的最高电压等级直流为 ± 500 kV,交流为1000kV。

电力输电线路一般采用钢芯铝绞线,通过架空线路将电能送到远方的变电所。但在跨越江河、通过闹市区或不允许采用架空线路的区域,则需采用电缆线路。电缆线路投资较大且维护困难。

(4) 变电所

变电所可分为升压变电所与降压变电所。其中,升压变电所通常与大型发电厂结合在一起。将发电厂发出的电压升高,经由高压输电网将电能送向远方。降压变电所设在用电中心,通过将高压电能适当降压再向该地区用户供电。根据供电的范围不同,降压变电所可分为一次(枢纽)变电所和二次变电所。一次变电所是从110kV以上的输电网受电,将电压降到35~110kV后,供给一个大的区域。二次变电所大多数从35~110kV输电网受电,将电压降到6~10kV后向较小范围供电。

(5) 配电线路

“配电”就是电力的分配,配电变电所到用户终端的线路称为配电线路。配电线路的电压,简称配电电压。电力系统电压高低有不同的划分方法,但通常以1kV为界限划分。额定电压为1kV及以下的系统为低压系统;额定电压为1kV以上的系统为高压系统。常用高压配电线路的额定电压有3kV、6kV和10kV三种,常用的低压配电线路额定电压为220/380V。

4. 电力负荷

电力用户从电力系统所取用的功率称为负荷,电力负荷是指电路中的电功率。在交流电路中,描述功率的量有有功功率、无功功率和视在功率。有功功率,又称为有功负荷,单位

为 kW；无功功率称为无功负荷，单位为 kvar；视在功率是电压与电流的乘积，单位为 kVA。由于系统电压比较稳定，系统中的电力负荷，也可以通过负荷电流反映出来。

按用电性质的重要性，用电负荷可分为三个级别：Ⅰ类负荷、Ⅱ类负荷和Ⅲ类负荷。Ⅰ类负荷如医院、炼钢厂、煤矿、大使馆等应由两个以上独立电源供电，严禁将其他非重要用电负荷与其接入同一供电系统。

5. 对供电系统的基本要求和电能质量

(1) 基本要求

1) 供电可靠性。供电系统应有足够的可靠性。特别是对要求连续供电的用户，要求供电系统在任何时间都能满足用户用电的需要，即使在供电系统局部出现故障的情况下，也不能对某些重要用户的供电产生大的影响。因此，为了保证可靠供电，要求电力系统至少具备 10%~15% 的备用容量。

2) 供电质量合格。供电质量的优劣直接关系到用电设备能否安全经济运行，无论是电压还是频率，哪一个指标达不到标准，都会对用户造成不良的后果。因此，要求供电系统确保电能质量。

3) 安全、经济、合理。安全、经济、合理地供电，是供、用电双方要求达到的目标。这需要供、用电双方的共同努力，要求供电方做好技术管理工作（如负荷、电量的管理工作，电压、无功功率的管理工作等），同时还要求用户积极配合，密切协作。

4) 电力网运行调度的灵活性。对于一个庞大的电力系统，必须做到运行方式灵活，调度管理先进。只有这样，才能使系统安全可靠地运行。只有灵活的调度，才能对系统局部故障及时地检修，从而使电力系统安全、可靠、经济和合理地运行。

(2) 电能质量指标

供电电能的质量指标，主要有以下几项：

1) 电压。供电系统向用户供电时，首先应保持在额定电压下运行，使受电端电压波动的幅度不应超过以下数值：

① 35kV 及以上电压供电，电压正、负误差的绝对值之和不超过额定电压的 10%。

② 10kV 及以下高压电力用户和低压电力用户端电压波动幅度不超过额定电压的 $\pm 7\%$ 。

③ 低压照明用户受电端电压波动幅度不超过额定电压的 $+7\% \sim -10\%$ 。

供电部门应定期对用户受电端的电压进行调查和测量，发现不符合质量标准的应及时采取措施，加以改善。

2) 额定电压。额定电压是指电气设备长期稳定正常工作的电压。变压器、发电机、电动机等电气设备均有规定的额定电压，电器设备在额定电压下运行时经济效益最佳。同时因电气设备在电力系统中所处的位置不同，其额定电压也有不同的规定。

① 电力变压器直接与发电机相连接（即升压变压器）时，其一次侧额定电压与发电机额定电压相同，即高于同级线路额定电压的 5%。如果变压器直接与线路连接，则一次侧额定电压与同级线路的额定电压相同。

② 变压器二次侧的额定电压是指二次侧开路时的电压，即空载电压。如果变压器二次侧供电线路较长（即主变压器），变压器的二次侧额定电压要比线路额定电压高 10%；如果二次侧线路不长（即配电变压器），变压器额定电压只需高于同级线路额定电压的 5%。

我国低压动力用户供电额定电压规定为 380V，低压照明用户为 220V。高压供电的为

10kV、35kV、63kV、110kV、220kV、330kV 和 500kV。除发电厂直配供电可采用 3kV、6kV 外,其他等级电压应逐步过渡到上述额定电压。

在电力网中,额定电压的选定是一项很重要的技术管理工作,对不同容量的用户及不同规模的变电所,要求选择不同的额定电压供电,额定电压的确定与供电方式、供电负荷、供电距离等因素有关。

3) 频率。

① 额定频率。额定频率是指电力系统中的电气设备(特别是电感性、电容性设备)能保证长期正常运行的工作频率。

一个国家或地区电气设备的额定频率是统一的,当前世界上的通用频率有 50Hz 和 60Hz 两种。我国和世界上大多数国家的额定频率为 50Hz。美国、加拿大、朝鲜、古巴以及日本等国家为 60Hz。

供电系统应保持额定频率运行,供电频率容许偏差为电力网容量在 $3 \times 10^6 \text{kW}$ 及以上时,要求绝对值不大于 0.2Hz,电力网容量在 $3 \times 10^6 \text{kW}$ 以下时,要求绝对值不大于 0.5Hz。

② 额定频率降低运行时对用户的危害。电力系统必须保证在额定频率状态下运行,供、用电之间有功功率的不平衡将会使系统的运行频率与额定频率有较大的偏差。一般实际消耗的有功功率超过供电的有功功率时,会造成频率下降。

频率降低将会造成发电厂的汽轮机叶片共振面断裂,造成用户电动机转速下降,使电动机不能在额定转速下运转,增加产品损耗,降低产品质量。

4) 可靠性。为保证对用户供电的连续性,应尽量减少对用户停电。供电系统与用户设备的计划检修应相互配合,尽量做到统一检修。供电部门的检修、试验应该统一安排,一般 35kV 以上的供电系统每年停电不超过一次,10kV 的供电系统每年停电不超过三次。

6. 低压供电系统

在三相交流电力系统中,作为供电电源的发电机和变压器的中性点有三种运行方式:电源中性点不接地、中性点经阻抗接地和中性点直接接地。前两种运行方式称为小接地电流系统或中性点非直接接地系统。后一种运行方式称为大接地电流系统或中性点直接接地系统。

我国 3~66kV 系统,特别是 3~10kV 系统,一般采用中性点不接地的运行方式。如果单相接地电流大于一定数值(3~10kV 系统中接地电流大于 30A,20kV 及以上系统中接地电流大于 10A),应采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。对于 110kV 及以上的系统,则都采用中性点直接接地的运行方式。我国 220/380V 低压配电系统,广泛采用中性点直接接地的运行方式,而且在中性点引出中性线(代号 N)、保护线(代号 PE)或保护中性线(代号 PEN)。

中性线(N线)与相线形成单相回路,连接额定电压为相电压(220V)的单相用电设备。流经中性线的电流为三相系统中的不平衡电流和单相电流,同时,中性线还起到减小负荷中性点电位偏移的作用。

保护线(PE线)是为保障人身安全、防止发生触电事故用的接地线。电力系统中所有设备的外露可导电部分(指正常不带电压但故障情况下可能带电压的易被触及的导电部分,如金属外壳、金属构架等)通过保护线接地,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。

在低压配电系统中,按结构形式不同,可分为 TN 系统、TT 系统和 IT 系统。

(1) TN 方式供电系统

TN 系统中的所有设备的外露可导电部分均接公共保护线 (PE 线) 或公共保护中性线 (PEN 线)。这种接公共 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, 则此系统称为 TN-C 系统, 如图 1-4 所示。

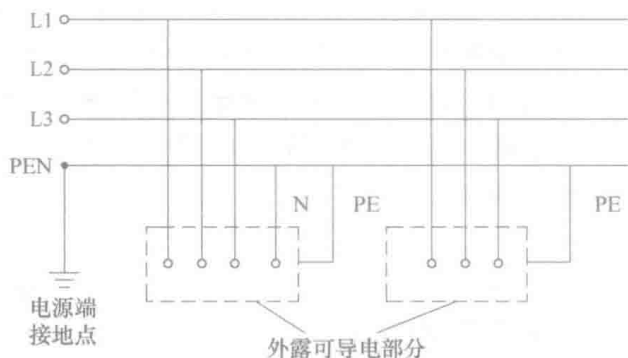


图 1-4 TN-C 系统

如果系统中的 N 线与 PE 线全部分开, 则此系统称为 TN-S 系统, 如图 1-5 所示。

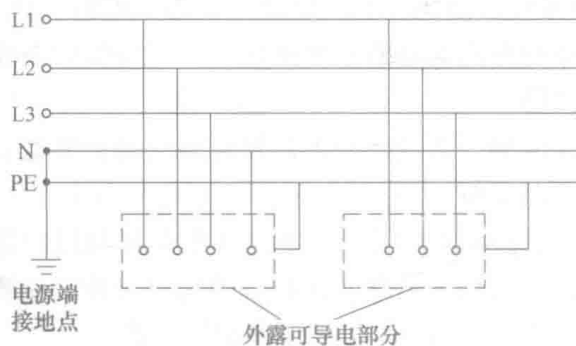


图 1-5 TN-S 系统

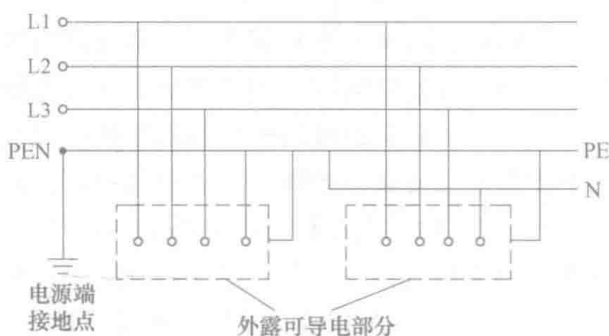


图 1-6 TN-C-S 系统

1) TN-C 方式供电系统。这种供电系统是电源中性点接地, 电气设备的金属外壳与工作零线相接的保护系统, 称作接零保护系统。TN 系统称为三相四线制系统, 在 TN 方式供电系统中, 根据其保护零线是否与工作零线分开而划分为 TN-C 和 TN-S 两种。TN-C 中的 C 表示它的工作零线和保护线共用一根线, 即用工作零线兼作接零保护线, 可以称作保护中性线, 可以用 PEN 表示。

① 一旦设备出现外壳带电, 接零保护系统能将漏电电流上升为短路电流, 这个电流很大, 是 TT 系统的 3.5 倍, 实际上就是单相对地短路故障, 熔断器的熔丝会熔断, 断路器立即使脱扣器动作而跳闸, 使故障设备断电, 比较安全。

② TN 系统节省材料和工时, 在我国和其他许多国家均得到广泛应用, 可见其比 TT 系统优点多。

③ 由于三相负载不平衡, 工作零线上有不平衡电流, 在线路上产生一定的电位差, 所以与保护所连接的电气设备的金属外壳对大地有一定的电压。

④ 如果工作零线断线, 则所保护的漏电设备外壳带电。如果电源的相线碰地, 则设备的外壳电位升高, 使中线上的危险电位蔓延。

⑤ TN-C 系统干线上使用漏电保护器时, 工作零线后面的所有重复接地必须拆除, 否则漏电开关合不上闸, 而且工作零线在任何情况下不得断开, 所以实用中, 工作零线只能让漏

电保护器的上侧有重复接地。

⑥ TN-C 方式供电系统只适用于三相负载基本平衡的情况。

2) TN-S 方式供电系统。把 N 线和专用 PE 线严格分开的供电系统称为 TN-S 方式供电系统。

① 系统正常运行时, 专用保护线上没有电流, 只有工作零线上有不平衡电流。PE 线对地没有电压, 因此, 电气设备金属外壳接零保护接在专用的 PE 线上, 安全可靠。

② 工作零线只用作单相照明负载的回线, 当三相负载很不平衡时, 工作零线对地有电压, 尤其是当工作零线出现高电位时, 有可能导致检修人员间接触电。因此, 进户线处总开关和末级线路保护开关需要为检修隔离而采用四极或双极开关切断工作零线, 所以需要增加开关的投资成本。

③ 干线上使用漏电保护器时, 漏电保护器下不得有重复接地, 而 PE 线有重复接地, 但是不经过漏电保护器, 所以 TN-S 系统供电干线上也可以安装漏电保护器。

④ 在科研、教学、医院等工作场所, 由于使用携带式或移动式单相用电设备较多, 宜提倡采用 TN-S 系统。建筑施工临时供电规范也要求采用 TN-S 方式供电系统。

3) TN-C-S 方式供电系统。在低压供电系统中, 如果前部分 N 线和 PE 线共用一根线, 而后部分从进户总配电箱开始将 N 线和 PE 线严格分开的供电系统称为 TN-C-S 系统。分开以后 N 线应对地绝缘。为防止 PE 线与 N 线混淆, 应分别给 PE 线和 PEN 线涂上黄绿相间的色标, N 线涂以浅蓝色色标。此外, 自分开后, PE 线不能再与 N 线合并。

① PE 线在任何情况下都不得进入漏电保护器, 因为保护器跳闸会将 PE 线也切断, 这是不允许的。PE 线在任何情况下都不得断线。

② PE 线除了在总配电箱必须和 N 线相接以外, 其他各分配电箱处均不得把 N 线和 PE 线相连。PE 线上不许安装开关和熔断器, 也不得用大地兼作 PE 线, 且连接必须牢靠。

③ 因为在前面的 PEN 线有三相不平衡电流通过, 产生波动的电压降而对敏感的电子设备产生电阻性干扰, 当这种受干扰的电子设备数量比较多时, 应该采用 TN-S 系统。

④ 变电所出线是用 PEN 线兼作 N 线和 PE 线, 节省了一股线, 并且在用户进户处和末级配电线路不需要为断开 N 线而设置四极和双极开关。一次投资比 TN-S 系统节省。

⑤ 对于以单相负荷为主的供电, 其出线采用等截面积四芯线, PEN 线的截面积比 TN-S 系统的 PE 线截面积大, 所以减小了接地故障时相邻回路的阻抗, 故增大了单相接地短路电流, 有利于提高接地故障保护电气跳闸动作的可靠性。

⑥ TN-C-S 系统在用户进户处必须做等电位连接, 并在进户处做重复接地。将出线中的 PEN 线、N 线和 PE 线同时接到总等电位连接端子上, 此时 PEN 线和 N 线上的高电位或偏移电位虽然能传递到等电位连接端子上, 但是由于等电位连接端子可以消除这些电位, 所以对人体不会产生触电的危险。

⑦ PE 线上平时没有电流, 避免了因对地电位放电产生火花而引起火灾甚至爆炸事故, 可见 TN-C-S 系统可以有条件地用于易燃、易爆场所。

通过上述分析可知, TN-C-S 系统是在 TN-C 系统上临时变通的做法。当三相电力变压器工作接地情况良好、三相负载比较平衡时, 用 TN-C-S 系统在施工用电实践中效果还是可以的, 但是, 在三相负载不平衡、建筑施工工地有专用的电力变压器时, 还是应采用 TN-S 系统。

(2) TT 方式供电系统

TT 方式是指将电气设备的金属外壳直接接地的保护系统，称为保护接地系统，也称 TT 系统，TT 系统也称为三相四线制系统。该系统的供电原理图如图 1-7 所示。第一个符号 T 表示电力系统中性点直接接地；第二个符号 T 表示负载设备外露部分和带电体相连接的金属导电部分与大地直接连接，而与系统如何接地无关。在 TT 系统中负载的所有接地均称为保护接地。这个供电系统的特点如下：

1) 当电气设备的金属外壳带电（相线碰壳或设备绝缘损坏而漏电）时，由于有接地保护，可以大大降低触电的危险。但是低压断路器不一定能跳闸，造成漏电设备的外壳对地电压高于安全电压，属于危险电压。

2) 当漏电电流比较小时，即使有熔断器也不一定能熔断，所以还需要漏电断路器作保护，因此 TT 系统不宜在 380/220V 供电系统中应用。

3) TT 系统接地装置耗用的钢材多，而且难以回收，费工、费料。现在有的建筑单位采用 TT 系统，施工单位借用其电源作临时用电时，应该用一条专用保护线，以减少增设接地装置钢材的用量。把新增加的专用保护线和工作零线分开，其特点如下：

- ① 公用接地线与工作零线没有电的联系。
- ② 正常运行时，工作零线可以有电流，而专用保护线没有电流。
- ③ TT 系统适用于接地保护很分散的场合。

(3) IT 方式供电系统

在电源中性点不接地系统中，将所有设备的外露可导电部分均经各自的 PE 线分别直接接地的系统，称为 IT 系统。

第一个字母 I 表示电源侧没有工作接地，或经过高阻抗接地。第二个字母 T 表示负载侧电气设备进行接地保护。IT 系统供电原理如图 1-8 所示，IT 系统的特点如下：

1) IT 方式供电系统在供电距离不是很长时，供电的可靠性高、安全性好。一般用于不允许停电的场所，或者是要求严格连续供电的地方，如煤矿、医院的手术室等。这种供电方式在施工工地上很少见。

2) IT 系统发生接地故障时，接地故障电压不会超过 50V，不会引起间接电击的危险。

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，它与 TT 系统不同的是，其电源中性点不接地或经 1000Ω 阻抗接地。

(4) 低压系统接线方式

发电机（或变压器）每相绕组始端与末端

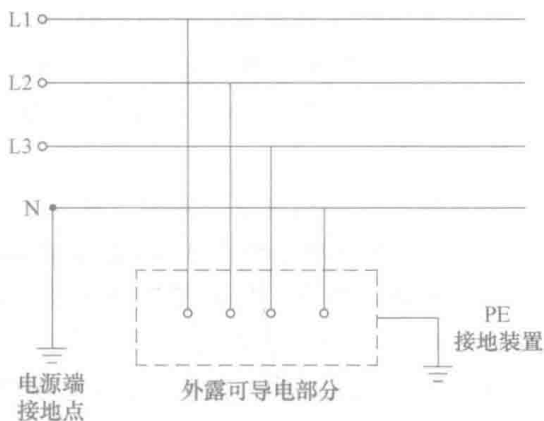


图 1-7 TT 系统

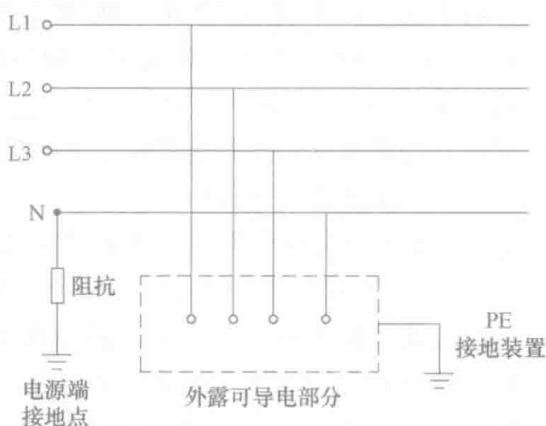


图 1-8 IT 系统