



全国机械行业职业教育优质规划教材（高职高专）
经全国机械职业教育教学指导委员会审定
高职高专机电类专业规划教材

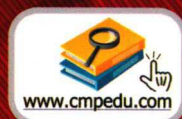


电 气 自 动 化 技 术 专 业

供配电技术项目式教程

第②版

蒋庆斌 张平泽 葛朝阳 苏伯贤◎编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠电子课件、思考
题与习题详解、
模拟试卷及答案



全国机械行业职业教育优质规划教材（高职高专）

经全国机械职业教育教学指导委员会审定

高职高专机电类专业规划教材

“十二五”江苏省高等学校重点教材

（教材编号：2014-1-111）

电气自动化技术专业

供配电技术项目式教程

第2版

蒋庆斌 张平泽 葛朝阳 苏伯贤 编著

朱平 主审



机械工业出版社

本书是全国机械行业职业教育优质规划教材（高职高专），经全国机械职业教育教学指导委员会审定。在整体结构上，本书按照低压供电系统的电能流程（参见前言中图一），以高压室外线路、高压配电系统、低压配电房、低压室外线路、车间（或办公室、民用住宅）动力系统和照明系统的设计与维护为主线展开，共设计了8个项目27个模块；在内部结构上，本书以企业真实的供电系统项目和模块为载体，以真实的工作任务为中心，以理论知识为背景；在内容上，本书以岗位工作任务为依据，主要包括低压配电系统分析，开关柜的设计（利用SuperWORKS软件）、布线和维护，室外线路的布线，室内动力系统和照明系统的设计维护等；在表现形式上，本书以大量的图幅代替文字描述，形象生动，深入浅出。本书也是“双证融通”教材，它将值班电工、维修电工等职业资格要求融于项目或模块之中。

本书可作为高职高专院校供用电技术等电气类专业的教材，也可作为技师学院、成教学院相关专业的教材，还可作为值班电工、维修电工等职业资格考试的培训教材。

为方便教学，本书配有免费电子课件等，凡选用本书作为授课教材的学校，均可来电索取。咨询电话：010-88379375；Email：cmpgaozhi@ sina.com。

图书在版编目（CIP）数据

供电电子技术项目式教程/蒋庆斌等编著. —2版. —北京：机械工业出版社，2016.7

全国机械行业职业教育优质规划教材（高职高专）经全国机械职业教育教学指导委员会审定. 电气自动化技术专业
ISBN 978-7-111-54095-3

I. ①供… II. ①蒋… III. ①供电系统—高等职业教育—教材②配电系统—高等职业教育—教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 142647 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：于宁 责任编辑：于宁

版式设计：霍永明 责任校对：任秀丽

封面设计：陈沛 责任印制：常天培

北京京丰印刷厂印刷

2016年8月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·18.25印张·449千字

0 001—3 000册

标准书号：ISBN 978-7-111-54095-3

定价：39.00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

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

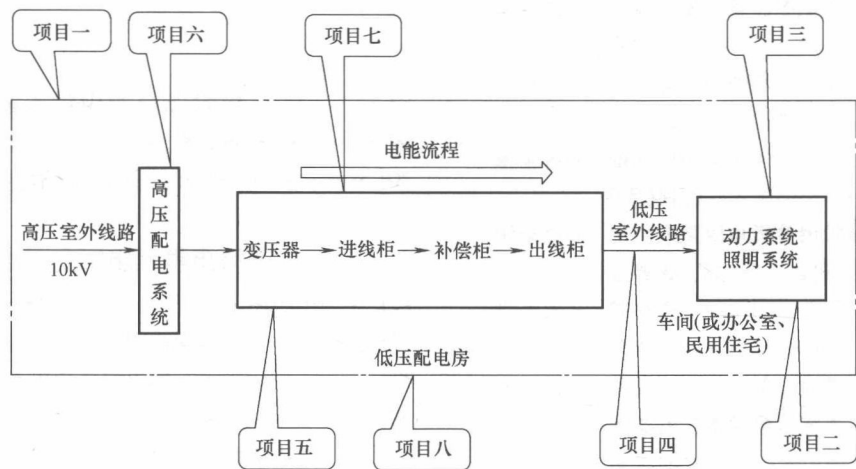
教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

前言

“低压供配电系统的设计与维护”是高职电气类专业的主要岗位职业能力之一。本书是围绕“低压供配电系统的设计与维护”职业能力培养开发的项目式教材。在整体结构上,本书按照低压供配电系统的电能流程(见图一),以高压室外线路、高压配电系统、低压配电房、低压室外线路、车间(或办公室、民用住宅)动力系统和照明系统的设计与维护为主线展开,共设计了8个项目27个模块,重点突出低压配电系统的分析和设计。在内部结构上,本书以企业真实的、相对完整的供配电系统项目和模块为载体,为实施“体现学生为主体”的教学方法奠定了基础;本书以真实的工作任务为中心,以实践知识为重点,以理论知识为背景,既突出学生实践能力和应用能力的培养,又重视学生理论知识的积累。在教学内容上,本书以岗位工作任务为依据,内容包括低压配电系统的认识和分析,开关柜的设计(利用 SuperWORKS 软件),室外线路的敷设,室内动力系统和照明系统的分析、设计和维护等,既突出真实性,又重视实用性。在学生能力培养上,本书按照“认识→分析→设计”能力递进的规律,对不同的项目、不同的模块提出了不同的要求,目标明确、定位准确,符合学生学习规律和认知规律。在表现形式上,本书以大量的图幅代替文字描述,形象生动,深入浅出。本书也是“双证融通”教材,它将值班电工、维修电工等职业资格要求融于项目或模块之中。



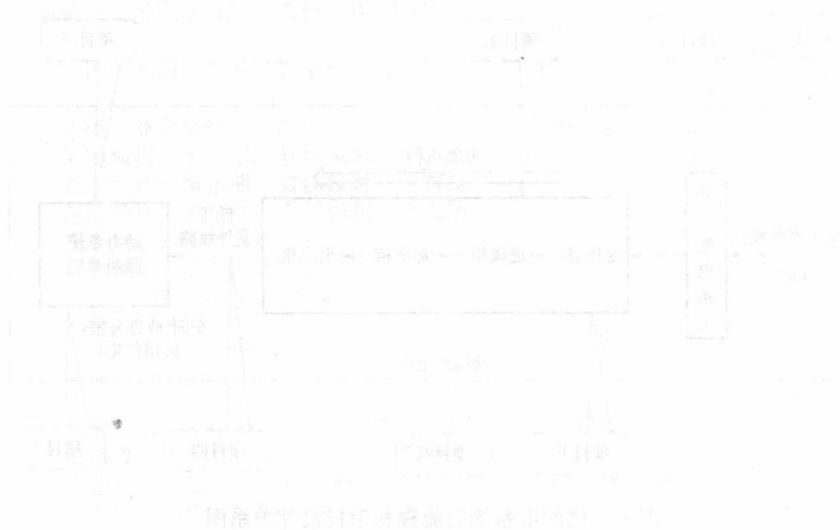
图一 供配电系统的流程和项目设计关系图

本书是江苏省高等教育教学改革重点研究课题“以典型技术为主线的高职专业课程体系的研究”（课题编号：2013JSJG071）的研究成果，是由常州机电职业技术学院和上海欧

通电气有限公司、上海 Trace Software International 共同开发的项目化教材，并被评为 2014 年江苏省高等学校重点立项建设教材（编号：2014-1-111）由常州机电职业技术学院蒋庆斌、张平泽、葛朝阳、苏伯贤编著，蒋庆斌编写了前言、部分项目五、项目七及部分附录，并负责全书的组织、提纲编写和统稿工作；张平泽编写了项目二、项目六、项目八及部分附录；葛朝阳编写了项目三、项目四及部分附录；苏伯贤编写了项目一、部分项目五及部分附录。本书由常州机电职业技术学院朱平负责主审。在本书的编写过程中，上海欧通电气有限公司提供了大量的素材，总工程师景惠儒、技术部经理王大星对本书进行了严格的审核，并提出了许多宝贵的意见和建议，上海 Trace Software International 邵金玲提供了 elecworks 软件的相关资料，在此深表感谢。

限于编著者水平，本书中一定存在不妥之处，希望广大读者批评和指正。

编 者





前言

项目一 供配电系统概述 1

模块一 认识供配电系统 1

模块二 电压等级与供电质量 7

项目二 生活区照明系统分析与设计 12

模块一 生活区照明系统分析 12

模块二 照明装置的运行维护与故障
检修 25

模块三 住宅照明系统设计 33

项目三 车间供配电系统分析与设计 49

模块一 车间供配电系统分析 49

模块二 车间供配电系统设计 57

模块三 车间供电线路的敷设 70

模块四 车间照明系统分析 79

项目四 室外供电线路的分析 90

模块一 室外架空电力线路分析 90

模块二 室外电力电缆线路的敷设 105

项目五 小型变配电所供电系统 分析 114

模块一 认识小型变配电所 114

模块二 认识电力变压器 115

模块三 认识智能型低压断路器 126

模块四 进线柜(含母联柜)供电系统
分析 133

模块五 无功功率补偿柜线路分析 142

模块六 出线柜工作原理分析 147

项目六 高压配电系统分析 151

模块一 高压配电所主接线分析 151

模块二 高压开关柜结构分析 159

模块三 高压断路器控制线路分析 175

项目七 开关柜电气线路图的绘制 193

模块一 二次线路图的绘制 193

模块二 接线图的生成 205

模块三 一次线路图的绘制 222

模块四 电气设计软件 elecworks 介绍 232

项目八 电工作业安全操作 236

模块一 变电所的倒闸操作 236

模块二 电气事故处理 245

模块三 触电与现场急救 262

附录 272

附录表 1 主要一次设备的图形符号和文
字符号 272

附录表 2 用电设备组的需要系数、二项
式系数及功率因数 273

附录表 3 照明用电设备的 $\cos\varphi$ 与 $\tan\varphi$
(无补偿) 273

附录表 4 民用建筑用电设备组的需要
系数 K_d 及功率因数 274

附录表 5 部分企业的全厂需要系数 K_d 、
功率因数 $\cos\varphi$ 及年最大有功
负荷利用时间 $T_{\max}$ 参考值 274

附录表 6 各类建筑物的负荷密度(用
电指标) 274

附录表 7 部分并联电容器的主要技术
数据 275

附录表 8 10kV 级 S11 型双绕组无励磁
调压配电变压器的主要技术
数据 275

附录表 9	10kV 级 SC 系列干式变压器 的主要技术数据	276
附录表 10	三相线路电线电缆单位长度 每相阻抗值	277
附录表 11	矩形铜母线 (TMY) 的允许 载流量	277
附录表 12	1kV 级聚氯乙烯绝缘铜芯电 力电缆 VV 型的允许载流量	278
附录表 13	交联聚乙烯绝缘铜芯电力电 缆 YJV 型的允许载流量	278
附录表 14	多根并行敷设时电缆的载流 量校正系数	279
附录表 15	不同土壤热阻系数时电缆的 载流量校正系数	279
附录表 16	铜芯绝缘导线明敷时的允许 载流量	279
附录表 17	铜芯聚氯乙烯绝缘导线穿钢管 敷设时的允许载流量	280
附录表 18	铜芯聚氯乙烯绝缘导线穿硬塑 料管敷设时的允许载流量	280
附录表 19	RW3-10 (G) 型跌落式熔断 器的主要技术数据	281
附录表 20	RW4-10 (G) 型跌落式熔断 器的主要技术数据	281

附录表 21	RW5-35 型跌落式熔断器的主 要技术数据	281
附录表 22	RN1 型高压熔断器的主要技术 数据	281
附录表 23	RN2 型高压熔断器的主要技术 数据	281
附录表 24	常用户内式高压隔离开关的主 要技术数据	282
附录表 25	常用户外式高压隔离开关的主 要技术数据	282
附录表 26	FN 型负荷开关的主要技术 数据	282
附录表 27	FN2-10R 所配 RN1 型熔断 器的主要技术数据	283
附录表 28	FN3 型负荷开关所配 RN3 熔 断器的主要技术数据	283
附录表 29	FN5-10 型负荷开关的主要 技术数据	283
附录表 30	FN5-10 型负荷开关所配熔 断器的主要技术数据	283
附录表 31	常用接地电阻值	284

参考文献	285
------------	-----

供配电系统概述

【项目概述】 本项目包括两个模块：认识供配电系统、电压等级与供电质量。项目的设计思路是：模块一通过分析企事业单位常见供配电系统，让学生对典型供配电系统的结构原理及运行有一个整体认识。模块二是让学生了解三相交流电网和电力设备的额定电压的标准及确定方法、供电质量的相关要求。

一、教学目标

- 1) 掌握分析供配电系统简图的基本方法，能分析典型供配电系统简图。
- 2) 掌握三相交流电网和电力设备的额定电压的确定方法，能计算线路及设备的额定电压。

二、工作任务

分析典型供配电系统简图，计算线路及设备的额定电压。

模块一 认识供配电系统

一、教学目标

- 1) 掌握工厂企业供配电系统简图的分析方法。
- 2) 能分析典型供配电系统简图。

二、工作任务

分析工厂企业典型供配电系统简图。

三、相关实践知识

电力是现代工业生产的主要能源和动力，是人类现代文明的物质技术基础。做好供配电工作，对于保证企业生产和社会生活的正常进行和整个国民经济的现代化具有十分重要的意义。搞好“三电”（安全用电、节约用电、计划用电），要达到“安全、可靠、优质、经济”四大基本要求。

（一）常见供配电系统

供配电系统是电力系统的重要组成部分，其主要任务是提供和分配电能。供配电系统的接线方式有多种，下面介绍几种典型的工厂企业供配电系统。

1. 具有高压配电所的供配电系统

图 1-1 是一个有代表性的中型企业供配电系统简图。该企业高压配电所有两路 10kV 电源进线，分别接在高压配电所的两段母线上。母线是用来汇集和分配电能的导体，又称汇流排。该系统采用一台开关分隔开的单母线接线，称为“单母线分段制”。当一路电源进线发生故障或进行检修而被切除时，可以闭合分段开关，由另一路电源进线来对全厂负荷进行供电。该类高压配电所最常见的运行方式是：分段开关在正常情况下闭合，整个配电所由一路电源供电，通常这一路来自公共的高压电网；而另一路电源则作为备用，通常这备用电源由临近单位取得。

该系统图中的 10kV 母线有四条高压配电线，供电给三个车间变电所。车间变电所装有电力变压器（通称“主变压器”），将 10kV 高压降为低压用电设备所需的 220/380V 电压。2 号车间变电所的两台电力变压器分别由配电所的两段母线供电，其低压侧也采用单母线分段制，从而使供电可靠性大大提高。各车间变电所的低压侧，又都通过低压联络线相互连接，以提高供配电系统运行的可靠性和灵活性。此外，该配电所有一条高压配电线，直接供电给一组高压电动机；另有一条高压配电线，直接连接一组高压并联电容器。3 号车间变电所的低压母线上也连接有一组低压并联电容器。这些并联电容器都是用来补偿系统中的无功功率、提高功率因数的。

该系统图中，配电所的任务是接受电能和分配电能，变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能。两者的区别在于变电所装设有电力变压器，较之配电所增加了变换电压的功能。

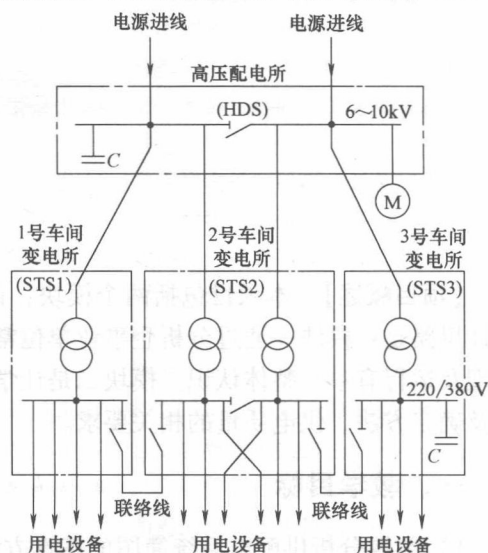


图 1-1 具有高压配电所的企业供配电系统简图

2. 具有总降压变电所的供配电系统

对于大中型企业，一般采用具有总降压变电所的供配电系统，如图 1-2 所示。该总降压变电所有两路 35kV 及以上电源进线，采用“桥形接线”。35kV 及以上的电压经电力变压器降为 10kV 电压，再经 10kV 高压配电线将电能送到各车间变电所。车间变电所又经电力变压器将 10kV 电压降为一般低压用电设备所需的 220/380V 电压。为了补偿系统的无功功率，提高功率因数，通常也在 10kV 母线上或 380V 母线上装设并联电容器。

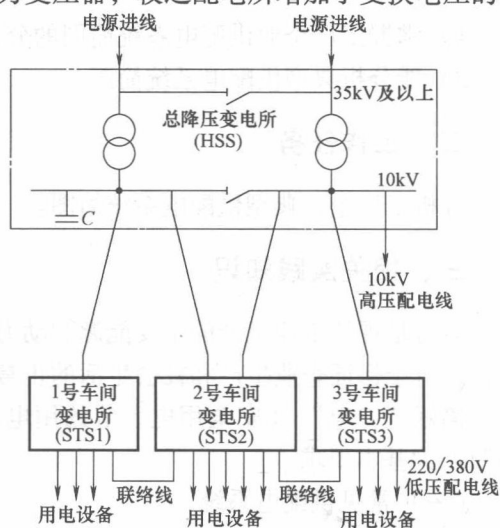


图 1-2 具有总降压变电所的企业供配电系统简图

3. 高压深入负荷中心的企业供配电系统

35kV 进线的工厂可以采用高压深入负荷中

心的直配方式,即将 35kV 的线路直接引入靠近负荷中心的车间变电所,只经一次降压,这样可以省去一级中间变压,从而简化供电系统的接线,降低电压损耗和电能损失,节约有色金属,提高供电质量。但这种供电方式要求厂区必须有能满足这种条件的“安全走廊”,否则不宜采用,以确保安全,如图 1-3 所示。

4. 只有一个变电所或配电所的企业供配电系统

对于电力容量不大于 1000kVA 或稍多的用电单位,通常只设一个将 10kV 降为低压的降压变电所,如图 1-4 所示。这种降压变电所的规模大致相当于车间变电所。

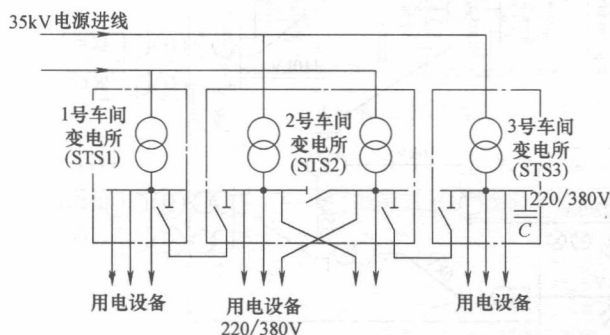


图 1-3 高压深入负荷中心的供配电系统简图

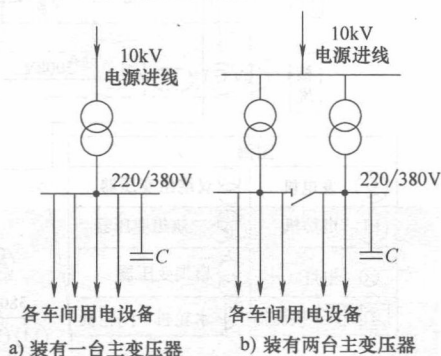


图 1-4 只有一个降压变电所的
供配电系统简图

对于用电设备总容量在 250kW 及以下或者变压器容量在 160kVA 及以下的小负荷用电单位,可直接由当地的公共低压电网——220/380V 电压供电,该类单位只需设一个低压配电所(通称“配电房”),通过低压配电房直接向各用电点配电。

(二) 电力系统、动力系统和电力网

电力系统是由两个以上的发电厂、变电所、输电网、配电网以及用户所组成的发、供、用电的一个整体。

电力系统加上热能、水能及其他能源动力装置,称为动力系统。

电力网主要包括输电网和配电网,输电网是将发电厂发出的电力送到消费电能的地区,或进行相邻电网之间的电力互送,形成互联电网。输电网由 35kV 及以上的输电线路和变电所组成,是电力系统的主要网络,也是电力系统中电压最高的网络,它的作用是将电能输送到各个地区的配电网或直接送给大型工业企业用户。

配电网由 10kV 及以下的配电线路和配电变电所组成,配电网的功能是接受输电网输送的电力,然后进行再分配,输送到城市和农村,进一步分配和供给工业、农业、商业、居民以及有特殊需要的用电部门。

图 1-5 是动力系统、电力系统和电力网示意图。

(三) 新能源发电

发电厂又称“发电站”,是将自然界蕴藏的各种一次能源如水力、煤炭、石油、天然气、风力、地热、太阳能和核能等,转换为电能(二次能源)的工厂。目前我国发电厂主要是燃煤机组,容量占 80% 强;其次是水电、核电,占 15% 左右;其余 5% 是风能、太阳能和生物质能(即烧秸秆)发电;此外还有一部分燃气机组,多用于市里供热。近年来,以太阳能、风能、核能为代表的新能源发电得到了长足发展。

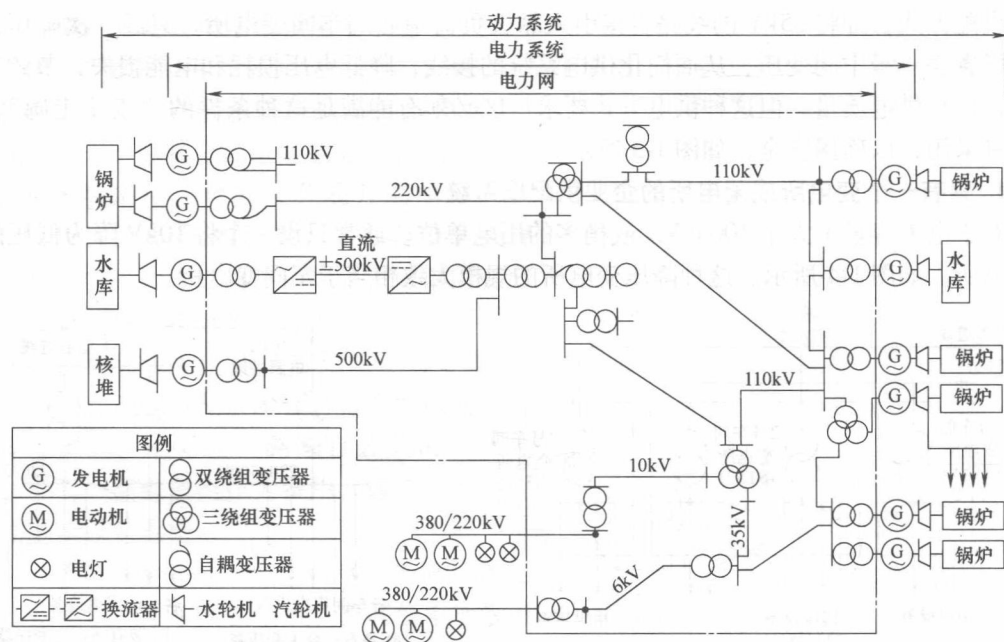


图 1-5 动力系统、电力系统和电力网示意图

1. 核电站

核能包括核裂变能、核聚变能及核素衰变能等，其中主要的核能形式为核裂变能和核聚变能。核裂变能是重元素（铀或钚等）在中子的轰击下，原子核发生裂变反应时放出的能量；核聚变能是轻元素（氘和氚）的原子核发生聚变反应时放出的能量。

在不加控制的链式反应中，从一个原子核开始裂变放出中子，到该中子引发下一代原子核的裂变，只需 1ns (10^{-9}s) 的时间。在非常短的时间以及有限空间内，核裂变所放出巨大的能量必然会引起剧烈爆炸，原子弹就是根据这种不加控制的链式反应的原理制成的。通过控制链式反应，使核裂变能缓缓地释放出来，可用于直接供热或发电等。

核电站是利用核裂变反应释放出的能量来发电的工厂。它是通过冷却剂流过核燃料元件表面，把裂变产生的热量带出来，再产生蒸汽，推动汽轮发电机组发电。核能发电实际是“核能→热能→机械能→电能”的能量转换过程。其中“热能→机械能→电能”的能量转换过程与常规火力发电厂的工艺过程基本相同，只是设备的技术参数略有不同。核反应堆的功能相当于常规火电厂的锅炉系统，只是由于流经堆芯的反应堆冷却剂带有放射性，不宜直接送入汽轮机，所以压水堆核电厂比常规火电厂多一套动力回路。

按所使用的慢化剂和冷却剂，核反应堆可分为轻水堆、重水堆、石墨气冷堆及石墨沸水堆。轻水堆又分压水堆和沸水堆，核电厂中以轻水堆核电厂最多。图 1-6 所示为压水堆发电过程示意图。

核能是极其巨大的能源，也是比较洁净和安全的一种能源，世界各国都很重视核电建设，核电发电量的比重正在逐年快速增长。我国从 20 世纪 80 年代起，就确定“适当发展核电”的方针，现已在沿海地区兴建了秦山、大亚湾、岭澳等多座大型核电站，并已安全运行多年。核电站的选址不能处于地震带，以防地震引发核电站的核泄漏，污染环境，危害人类健康。图 1-7 是位于江苏省连云港的田湾核电站。

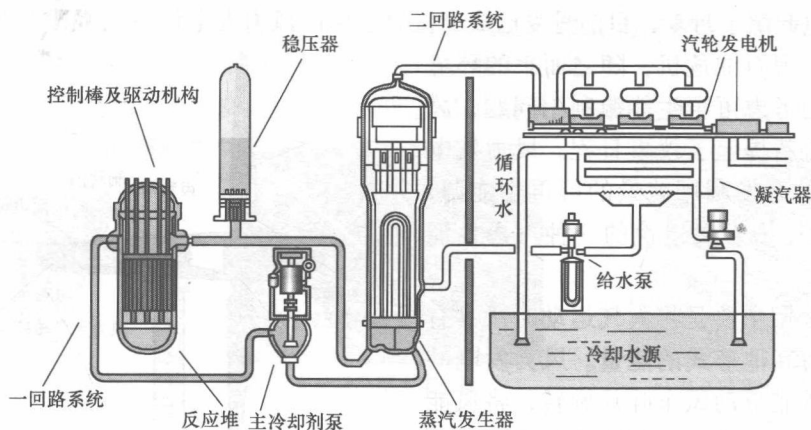


图 1-6 压水堆发电过程示意图

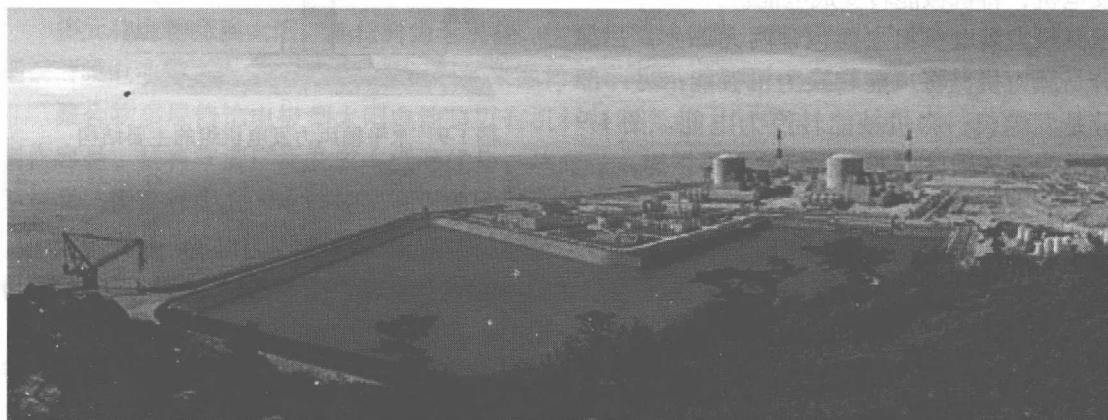


图 1-7 田湾核电站

2. 风力发电

在新能源发电技术中，风力发电是其中最实用和易推广的一种，如图 1-8 所示。风力发电是一个综合性较强的系统，涉及空气动力学、机械、发电机和控制技术等领域。



图 1-8 风力发电

风力发电起源于丹麦，目前丹麦已成为世界上生产风力发电设备的大国。20 世纪 70 年代世界连续出现石油危机，随之而来的环境问题迫使人们考虑可再生能源利用问题，风力发电很快重新提上了议事日程。风力发电是近期内最具开发利用前景的可再生能源，也将是 21 世纪中发展最快的一种可再生能源。

风能的利用主要是将大气运动时所具有的动能转化为其他形式的能量。风力发电的原理是利用风能带动风车叶片旋转，将风能转化为机械能，再通过变速齿轮箱增速驱动发电机，将机械能转变成电能。

风力发电机组主要包含两大部分：一部分是风力机，将风能转换为机械能；另一部分是发电机，将机械能转换为电能。图 1-9 所示为水平轴风力发电机组的主要结构。

3. 光伏发电

太阳辐射的光子带有能量，当光子照射半导体材料时太阳能转换为电能——光伏效应。光伏发电系统一般由太阳能电池板、太阳能控制器、蓄电池和逆变器等组成，图 1-10 所示为光伏发电示意图。

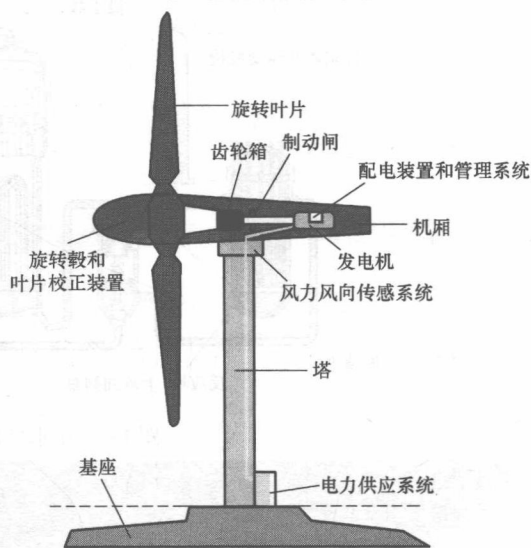


图 1-9 水平轴风力发电机组的主要结构

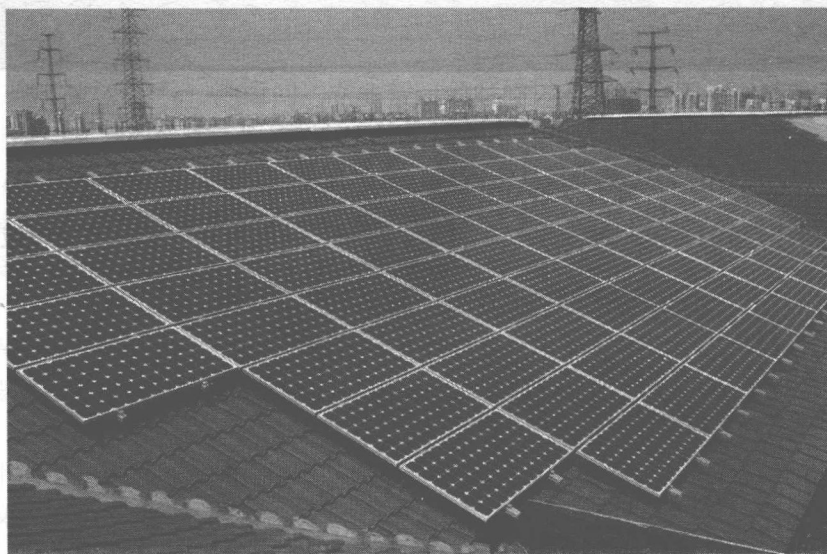


图 1-10 光伏发电

发电时，太阳能利用光伏效应将太阳能电池板上的光子转换为直流电，供直流负荷使用或蓄电池组进行储存。当负荷为直流负荷时，可以直接供负荷使用。当负荷为交流负荷时，可以利用逆变器转化为交流电送用户或电网。

太阳电池有硅太阳电池、多元化合物薄膜太阳电池、聚合物多层修饰电极型太阳电池、纳米晶太阳电池、染料敏化太阳电池和塑料太阳电池等几种。

硅太阳电池分为单晶硅、多晶硅薄膜和非晶硅薄膜太阳电池三种,如图 1-11 所示。



图 1-11 硅太阳电池

多元化合物薄膜太阳电池材料为无机盐,主要包括砷化镓(Ⅲ-V族化合物)、硫化镉及硒铜薄膜电池等。由于元素毒性及材料的来源稀有等问题,这类电池的发展又必然受到限制。

聚合物多层修饰电极型太阳电池是以有机材料制备的太阳电池,有机材料具有柔性好、制作容易、材料来源广泛及成本低等优势,从而对大规模利用太阳能、提供廉价电能具有重要意义。但该种类太阳电池的研究目前才刚刚开始,还有待于进一步探索。

纳米 TiO_2 晶体化学能太阳电池是新近发展的,优点在于它廉价的成本和简单的工艺及稳定的性能。此类电池的研究和开发刚刚起步,不久的将来会逐步走向市场。

染料敏化太阳电池是将一种色素附着在 TiO_2 粒子上,然后浸泡在一种电解液中。色素受到光的照射,生成自由电子和空穴,自由电子被 TiO_2 吸收,从电极流出进入外电路,最后回到色素。此类电池的制造成本很低,这使它具有很强的竞争力。

塑料太阳电池以可循环使用的塑料薄膜为原料,通过“卷对卷印刷”技术大规模生产,其成本低廉、环保。但目前塑料太阳电池尚不成熟,预计在未来 5 年到 10 年,此技术将走向成熟并大规模投入使用。

模块二 电压等级与供电质量

一、教学目标

- 1) 掌握三相交流电网和电力设备的额定电压的标准及选择方法。
- 2) 能计算常见线路及设备的额定电压。

二、工作任务

分析电力系统常见线路及设备的电压等级,计算常见线路及设备的额定电压。

三、相关实践知识

(一) 电压等级

额定电压是电力系统及电力设备规定的正常电压,即与电力系统及电力设备某些运行特

性有关的标称电压。电力系统各点的实际运行电压允许在一定程度上偏离其额定电压，在这一允许偏离范围内，各种电力设备及电力系统本身仍能正常运行。

输配电电压等级是输电网与配电网中用于升高电压和降低电压的各级电压层次。电压等级在同一输电网或配电网中具有统一性，在电力企业与制造行业之间具有标准性。

1. 三相交流电网和电力设备的额定电压

我国的三相交流电网和电力设备（包括发电机、电力变压器和用电设备等）的额定电压按 GB/T 156—2007《标准电压》规定，见表 1-1。其中“低压”指 1000V 以下的电压；“高压”指 1000V 以上的电压。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

分类	电网和用电设备额定电压/kV	发电机额定电压/kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.38	0.40	0.38	0.4
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3, 3.15	3.15, 3.3
	6	6.3	6, 6.3	6.3, 6.6
	10	10.5	10, 10.5	10.5, 11
	20	13.8, 15, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	13.8, 15, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.5
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
	750	—	750	825 (800)
	1000	—	1000	1100

(1) 电网（线路）的额定电压 电网的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要和电力工业的水平，经全面的技术经济分析后确定的。它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

(2) 用电设备的额定电压 用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。通常用线路首端与末端的算术平均值作为用电设备的额定电压，这个电压也是电网的额定电压。由于线路运行时（有电流通过时）要产生电压降，所以线路上各点的电压都略有不同，如图 1-12 中所示。所以用电设备的额定电压只能取首端与末端的平均电压。

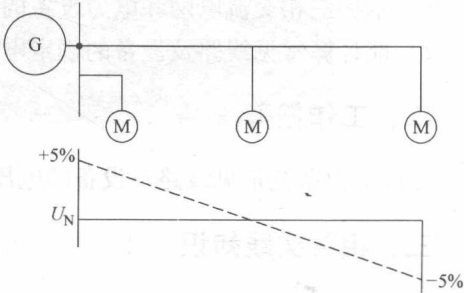


图 1-12 用电设备和发电机的额定电压

(3) 发电机的额定电压 由于电力线路允许

的电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损耗，因此为了维持线路的平均电压为额定值，线路首端（电源端）的电压应较线路额定电压高 5% ，而线路末端则可较线路额定电压低 5% ，如图1-12所示。所以发电机额定电压规定应高于同级电网（线路）额定电压 5% 。

（4）电力变压器的额定电压

1) 电力变压器一次绕组的额定电压分两种情况：①当变压器直接与发电机相连时，如图1-13中的变压器T1，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网额定电压 5% 。②当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时，如图1-13中的变压器T2，则可看作是线路的用电设备，因此其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

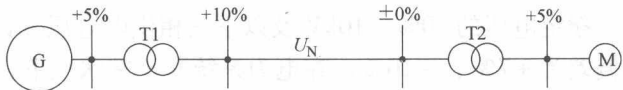


图1-13 电力变压器的额定电压

2) 电力变压器二次绕组的额定

电压亦分两种情况：①如图1-13中的变压器T1，变压器二次侧供电线路较长，其二次绕组额定电压应比相连电网额定电压高 10% ，其中有 5% 是用于补偿变压器满负荷运行时绕组内部的约 5% 的电压降，另外变压器满负荷时输出的二次电压相当于发电机，还要高于电网额定电压 5% ，以补偿线路上的电压损耗。②变压器二次侧供电线路不长，如为低压（ 1000V 以下）电网或直接供电给高低压用电设备时，如图1-13中的变压器T2，其二次绕组额定电压只需高于所连电网额定电压的 5% ，仅考虑补偿变压器满负荷运行时绕组内部 5% 的电压降。

2. 供配电电压的选择

（1）电力用户供电电压选择依据 电力用户供电电压的选择，主要应适应当地供电企业（当地电网）供电的电压等级，同时也要考虑用户用电设备的电压、容量及供电距离等因素。一般负荷容量越大，分布范围越广，则配电电压越高。

根据《供电营业规则》规定，供电企业供电的额定电压，低压有单相 220V ，三相 380V ；高压有 10kV 、 35 （ 66 ） kV 、 110kV 、 220kV 。同时规定：除发电厂直配电压可采用 3kV 或 6kV 外，其他等级的电压应逐步过渡到上述额定电压。如用户需要的电压等级不在上列范围时，应自行采取变压措施解决。用户需要的电压等级在 110kV 及以上时，其受电装置应作为终端变电所设计，其方案需经省电网经营企业审批。电力用户的用电设备容量在 100kW 及以下或需用变压器容量在 50kVA 及以下时，一般宜采用低压三相四线制供电；但特殊情况（例如供电点距离用户太远时）也可采用高压供电。

（2）高压配电电压选择 高压配电电压的选择主要应考虑当地供电电压的电压及用户高压用电设备的电压、容量和数量等因素。

对于具体用电单位，当所需容量不大于 1000kVA 或稍多（ 1250kVA 以下）时，通常只设一个将 10kV 降为低压的降压变电所；当用户用电设备的总容量较大且选用 6kV 经济合理时，特别是可取得附近发电厂的 6kV 直配电压时，可采用 6kV 作高压配电电压。如果 6kV 用电设备不多，可采用 10kV 经 $10/6.3\text{kV}$ 变压器单独供电。如果用户有 3kV 的用电设备，可通过专用的 $10\text{kV}/3.15\text{kV}$ 变压器单独供电；如果单位用电容量大于 1000kVA 就要考虑 35kV 供电；超大型企业厂区可采用 110kV 配电电压。

（3）低压配电电压选择 用户低压配电电压通常采用 $220/380\text{V}$ 。其中， 380V 线电压供电给三相动力设备或 380V 的单相设备，相电压 220V 供电给一般的照明灯具或其他 220V 的

单相设备。对于某些特殊场合（如矿井），可以采用 660V 甚至更高的电压作为低压配电电压，以减少投资，提高电能质量。

（二）供电质量

供电质量包括电能质量和供电可靠性两方面。

电能质量指电压、频率和波形的质量。电能质量的主要指标有：频率偏差、电压偏差、电压波动和闪变、电压波形畸变引起的高次谐波及三相不平衡度等。

电压和频率是衡量电能质量的主要指标。《供电营业规则》规定：在电力系统正常状况下，用户受电端的供电电压允许偏差为：35kV 及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10%；10kV 及以下三相供电电压允许偏差为 $\pm 7\%$ ；220V 单相供电电压允许偏差为 $+7\%$ 、 -10% 。在电力系统非正常状况下，用户受电端的电压最大允许偏差不应超过额定电压的 $\pm 10\%$ 。

频率的调整主要依靠发电厂来调节发电机的转速。一般交流电力设备的额定频率为 50Hz（工频）。原电力工业部 1996 年发布的《供电营业规则》规定：在电力系统正常情况下，工频的频率偏差一般不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。如果电力系统容量达到 3000MW 或以上时，频率偏差则不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。在电力系统非正常状况下，频率偏差不得超过 $\pm 1\text{Hz}$ 。

衡量供电可靠性的指标，一般以全部用户平均供电时间占全年时间（8760h）的百分数表示，也可用全年的停电次数和停电持续时间来衡量。原电力工业部 1996 年发布的《供电营业规则》规定：供电企业应不断改善供电可靠性，减少设备检修和电力系统事故对用户的停电次数及每次停电持续时间。供用电设备计划检修应做到统一安排。供电设备计划检修时，对 35kV 及以上电压供电的用户的停电次数，每年不应超过一次；对 10kV 供电的用户，每年不应超过三次。

四、作业

1. 工厂企业常见供配电系统有哪几类？对于大中型企业，一般采用哪一类供配电系统？
2. 任选一种供配电系统，分析其供配电情况。
3. 试分析图 1-5 中动力系统、电力系统及电力网的结构组成。
4. 简述风力发电的原理。简述风力发电机组的结构和工作情况。
5. 简述光伏发电的基本原理。
6. 太阳电池有哪几种？
7. 简述我国三相交流电网和电力设备的额定电压等级。
8. 简述电力用户供电电压选择。
9. 电能质量的主要指标有哪些？对电压和频率有哪些规定？
10. 如何衡量供电可靠性，其有哪些规定？
11. 试确定图 1-14 所示供电系统中变压器 T1 和线路 WL1、WL2 的额定电压。

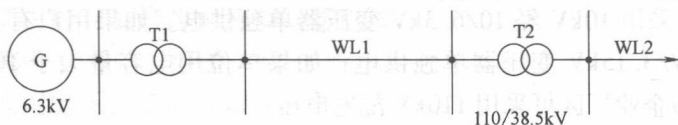


图 1-14 习题 11 的供电系统