



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

供用电网络及设备

(第二版)

供用电技术专业

编著 李俊 等



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

供用电网络及设备

(第二版)

供用电技术专业

编 著 李 俊 等

责任主审 孙保民

审 稿 崔海文 刘连光 黄 伟



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为中等职业教育国家规划教材,由全国中等职业教育教材审定委员会审定。

本书主要内容包括:供用电网络的基本知识,供用电网络的基本计算,供用电网络的电压调整,电弧及触头的基本知识,低压开关电器,熔断器,高压开关电器,电器设备选择,用电设备,供配电所的接线方式及成套配电装置,并附录了相关设备的技术参数及特性。

本书作为中等职业学校学生的专业基础教育教材,也可作为有关工程技术人员培训和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

供用电网络及设备/李俊等编著. —2版. —北京:
中国电力出版社, 2007
中等职业教育国家规划教材
ISBN 978-7-5083-4968-8

I. 供... II. 李... III. ①供电—电力系统—专业学校—教材②电力系统—设备—专业学校—教材
IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 133343 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 1 月第一版

2007 年 1 月第二版 2007 年 2 月北京第七次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 387 千字

印数 21001—24000 册 定价 20.40 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

电力中等职业教育国家规划教材

编 委 会

主 任 张成杰

副主任 杨昌元 宗 健 朱良镠

秘书长 尚锦山 马家斌

委 员 丁 雁 王玉清 王宝贵 李志丽 杨卫民

杨元峰 何定焕 宋文复 林 东 欧晓东

胡亚东 柏吉宽 侯林军 袁建文 涂建华

梁宏蕴

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

《供用电网络及设备》是教育部 80 个重点建设专业主干课程之一,是根据教育部最新颁布的中等职业学校电厂及变电站电气运行专业“供用电网络及设备”课程教学大纲编写的。

本书以培养学生的创新精神和实践能力为重点,以培养在生产、服务、技术和管理第一线工作的高素质劳动者和中初级专门人才为目标。教材的内容适应劳动就业、教育发展和构建人才成长“立交桥”的需要,使学生通过学习具有综合职业能力、继续学习的能力和适应职业变化的能力。

随着我国社会主义市场经济体制的确立,对能源的需求不断扩大,电力科学技术飞速发展,电工类产品不断更新,新材料、新技术、新工艺、新方法在供用电技术领域不断出现。电力行业的规程与规范也随着发生了变化,尤其是 1998 年开始的城乡电网改造工程中大量的使用了新技术与新装备。为了适应供用电技术领域的发展状况,本书力图反映电力工业最新的技术装置与技术成果,适当地考虑了今后的发展动向。本书在再版的编写过程中对第一版中的错误和问题进行了修正和补充,并注意结合了经济发展和社会进步对中等职业教育的要求,力求概念清晰,叙述深入浅出、循序渐进,能够反映出供电企业、工矿企业、城镇和农村供用电技术的实际需要。

为了便于教师教学和学生自学,每个单元都设置了内容简介、教学要求、单元小结和习题。为了方便课堂练习和设备选择,在附录中选编了部分导体和设备的技术参数。

本教材共分 10 个单元,由哈尔滨电力职业技术学院刘伟、孙奇志、齐云秋、孙丽杰修订第 1~6 单元,哈尔滨煤矿机械研究所高级工程师庞振峰修订第 7、8 单元,哈尔滨供电公司高级工程师张滨修订第 9、10 单元,全书由哈尔滨电力职业技术学院李俊统稿,崔海文负责审定。

本书可作为中等职业学校(普通中专、成人中专、技工学校、职业高中)教材,也可作为职工培训用书或供用电技术人员参考。

对于本书中的缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 9 月

第一版前言

本教材是根据中等职业技术学校供用电技术专业“供用电网络及设备”课程的教学大纲编写的。

随着我国社会主义市场经济体制的确立,科学技术飞速发展,电工类产品不断更新,新技术、新工艺、新方法在供用电技术领域不断出现。技术规程与规范也随之发生了一些变化,尤其是近期大规模的城乡电网改造工程中大量使用新型的设备和新技术。为了适应供用电技术领域的发展状况,本教材力求反映最新的技术与装置并且适当地考虑了今后的发展动向,在编写过程中注重了经济发展对中等职业技术的新要求,力求概念清晰、深入浅出、循序渐进,反映供电企业、工矿企业、城镇和农村供电技术工作的实际。

为了便于教学和学生自学,每个单元都包括内容简介、教学要求、单元小结和习题。为了方便课堂练习和设备选择的需要,在附录中选编了部分导体的电气等技术参数。

本教材共设10个单元,由哈尔滨电力学校李俊、江西省电力培训中心吴文辉、戴勇三人共同编写,其中吴文辉编写第一~第三单元,李俊编写第四~第八单元,戴勇编写第九、第十单元。全书由李俊主编,上海电力工业学校袁建文主审。

对于本教材中的缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编者

2001年10月

目 录

中等职业教育国家规划教材出版说明

前言

第一版前言

第一单元 供用电网络的基本知识	1
课题一 电力系统概述	1
课题二 电力系统中性点的接地方式	17
小结	23
习题	23
第二单元 供用电网络的基本计算	25
课题一 供用电网络的参数及等值电路	25
课题二 供配电网的功率损耗和电压损耗	32
课题三 短路电流计算	48
小结	67
习题	69
第三单元 供用电网络的电压调整	72
课题一 供用电网络的无功功率补偿	72
课题二 供用电网络的电压调整	77
小结	88
习题	88
第四单元 电弧及触头的基本知识	90
课题一 开关电器的电弧	90
课题二 电气触头	97
小结	100
习题	101
第五单元 低压开关电器	102
课题一 低压电器概述	102
课题二 闸刀开关	105
课题三 接触器	107
课题四 起动器	110
课题五 低压断路器	115
小结	122

习题	122
第六单元 熔断器	123
课题一 概述	123
课题二 低压熔断器	126
课题三 高压熔断器	129
小结	131
习题	131
第七单元 高压开关电器	132
课题一 高压断路器	132
课题二 隔离开关	146
课题三 负荷开关	149
课题四 重合器与分段器	153
小结	156
习题	157
第八单元 电气设备选择	158
课题一 高压电气设备选择	158
课题二 低压电气设备选择	168
课题三 短路电流限制	179
小结	180
习题	181
第九单元 用电设备	182
课题一 用电设备	182
小结	197
习题	198
第十单元 供配电所的接线方式及成套配电装置	199
课题一 供配电所主接线	199
课题二 成套配电装置	215
课题三 预装式变电所	229
小结	233
习题	233
附录	234
参考文献	243

供用电网络的基本知识

内容提要

1. 电能的优点。
2. 世界电力系统的发展简史, 我国电力系统的发展。
3. 发电厂的主要类型, 火力发电厂、水力发电厂和原子能发电厂中电能生产的过程。
4. 电力用户的类型和特点, 变电所的类型和特点, 电力系统和电力网的概念, 供用电网络的概念。
5. 供用电网络的接线方式及其特点。
6. 电力系统运行的特点。
7. 对电力系统的基本要求。
8. 电气设备额定电压的定义和分类, 线路的额定电压与输送功率、输送距离的关系。
9. 中性点不接地系统的工作原理, 单相完全接地时的有关结论、适用范围。
10. 消弧线圈的作用及补偿原理, 补偿方式及其适用范围。
11. 中性点直接接地系统的特点及适用范围。

课题一 电力系统概述

内容要求

1. 了解我国电力工业的发展;
2. 熟悉发电厂的类型及电能生产的过程;
3. 了解电力系统及供用电网络的构成;
4. 掌握供用电网络的接线方式及其特点;
5. 了解电力系统运行的特点及对电力系统的基本要求;
6. 了解电力网常用电压等级, 掌握电气设备额定电压的确定方法。

电是能量的一种表现形式, 是现代社会中最重要、最方便的能源, 现代工农业生产、交通运输以及城乡人民生活等各个方面, 广泛地使用着电能。是电能有许多优点: 首先, 电能易于转换成其他形式的能量, 使用便利。例如工厂中的电动机, 就是将电能转换成机械能, 拖动各种机械; 又如我们日常使用的电灯, 是将电能转换成光能, 满足照明需要。其次, 电能还可以经高压输电线路进行远距离输送, 满足远方的用户的需求, 且输送与分配经济。另外, 许多生产部门利用电进行控制, 更容易实现自动化, 提高产品质量和经济效益。

一、电力工业的发展

(一) 电力系统发展简史

1831年法拉第发现电磁感应定律后,很快出现了原始的交流发电机、直流发电机和直流电动机。由于当时发电机发出的电能只用于电化学工业和电弧灯,而电动机所需电能又来自蓄电池,电机制造和电力输送技术的发展最初集中于直流电,原始的电力线路输送的就是100~400V低压直流电。由于输电电压低、输送功率小、距离近,所以应用不多。

到了1882年,法国人德普勒将水电厂发出的电输送到慕尼黑以驱动水泵,采用直流输电线路,电压为1500~2000V,输送功率约2kW,输电距离为57km,这可认为是世界上第一个电力系统。

生产的发展对输送功率和输送距离提出了进一步要求,以致直流输电已不能适应需要。1885年随着变压器和异步电动机的相继问世,实现了单相交流输电。1891年在制成三相异步电动机、三相变压器的基础上又实现了三相交流输电。

1891年在法兰克福举行的国际电工技术展览会上,俄国人多里沃—多勃列沃列斯基展出的输电系统奠定了近代输电技术的基础。该系统从拉芬镇到法兰克福全长175km,安装在拉芬镇的水轮发电机组功率为230kVA,电压为95V,转速为150r/min。升压变压器将电压升高到25000V,电能经直径为4mm的铜线输送至法兰克福,用两台降压变压器将电压降低到112V,其中一台变压器供电给白炽灯,另一台变压器供电给异步电动机,以驱动一台功率为75kW的水泵。这标志着电力系统的发展取得了重大突破,是现代电力系统的雏形。

随着生产技术的发展,科学的进步,人们逐步掌握了三相交流电,汽轮发电机组不久便代替了以蒸汽机为原动力的发电机组,三相交流发电机、变压器和电动机等设备的性能指标不断提高。发电厂之间出现了并列运行,输电电压、输电功率、输电距离日益增大。各国逐步将一个个孤立运行的发电厂、变电所用线路连接起来,形成规模更大的电力系统。三相交流电力系统的优越性,使之取代了低压直流输电,数十年间,大电力系统不断涌现,甚至出现了全国性和跨国性的电力系统。

在现代,有些电力系统的输电距离达到数千公里,系统容量达数亿千瓦,同步发电机并列运行的稳定性对电力系统可靠运行的威胁愈来愈大,虽然各国在解决交流系统稳定运行方面进行了大量的研究工作,也解决了许多工程实际问题,但交流输电由感抗所带来的固有困难和局限性,在生产实际中也逐渐地被人们所认识,于是,高压直流输电技术又重新为人们所重视。高压大容量可控汞弧阀与可控整流器的问世,为高压直流输电的发展创造了条件。许多国家已相继出现了超高压交、直流输电的大型电力系统。

(二) 我国电力系统的发展

在我国,自1882年在上海建立第一个发电厂至1949年的60余年间,电力工业的发展非常缓慢。1949年建国之初,全国总装机容量为184.9万kW,年发电量仅43亿kWh,在世界上居第25位。

建国后,1957年底,第一个五年计划完成时,全国总装机容量为464万kW;1962年底,第二个五年计划完成时,全国总装机容量达1300万kW;到2000年,第九个五年计划完成时,全国总装机容量突破3亿kW,其中水电装机容量达7680万kW。2000年内全国新增发电容量1900万kW左右(其中水电机组容量427万kW),关停小火电311万kW;2000年发电量达到13556亿kWh,人均年用电量已达到1000kWh,比1949年人均不足

10kWh 增加了 100 倍。变化最大的是农村用电。建国之初,我国农村除上海近郊使用极少量电力外,其余均与电力无缘;1978 年,我国农村乡镇和行政村的通电率分别为 86.63%和 61.65%;2000 年底,我国农村乡镇和行政村的通电率分别为 99.20%和 98.1%,农户通电率达到 96.87%。

到 2005 年底,我国电力系统总装机容量超过 5 亿 kW,2005 年发电量为 24747 亿 kW·h,其中新增机组容量就达 6300 万 kW。750kV 系统已在西北投入运行。“西电东送”工程使西北的电力送到京津唐地区、华北地区和山东等地,目前已形成东北、华北、华中、华东、西北、川渝等跨省区域性电力系统,其中华东、华北、东北和华中四大电力系统的容量已超过 4000 万 kW。我国的电力系统已经开始进入跨省、跨大区联网的新阶段。

二、电能生产的过程

将自然能(石油、煤炭、天然气、水力、原子能等)转变成电能的过程称为发电,一般在发电厂中进行,按其使用能源的不同,发电厂的类型主要有:火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂(又称核电厂),另外还有太阳能发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂和地热发电厂等。

(一) 火力发电厂

火力发电厂一般简称为火电厂,是以煤、石油、天然气等作为燃料,燃料在锅炉中燃烧时的化学能被转换为热能,再借助汽轮机等热力机械将热能变换为机械能,并由汽轮机带动发电机将机械能变换为电能。迄今为止,在世界上的绝大多数国家中,火力发电厂在电力系统中所占的比重都是较大的。

火力发电厂按其作用可分为单纯发电的和既发电又兼供热的两种类型。前者指一般的火力发电厂,后者指供热式火力发电厂(或称热电厂)。一般火力发电厂应尽量建设在燃料基地或矿区附近,将发出的电能用高压线路送往用电负荷中心。这样既避免了燃料的长途运输,提高了能量输送的效益,还防止了对城市地区的环境污染,通常把这种火力发电厂称为“坑口电厂”,坑口电厂是当前和今后建设大型火力发电厂的主要发展方向。热电厂的建设是为了提高热能的利用率,由于它要兼顾供热,所以必须建设在大城市或工业区的附近。

一般火力发电厂多采用凝汽式汽轮发电机组,故又称为凝汽式发电厂,其生产过程如图 1-1 所示。

煤先由输煤皮带运送到锅炉房的煤斗中,再经煤斗进入磨煤机被磨成煤粉,在热空气的输送下,经喷燃器送入锅炉燃烧室内燃烧。助燃空气由送风机先送入空气预热器加热为热空气,其中一部分热空气进入磨煤机以干燥和输送煤粉,另一部分热空气则进入燃烧室助燃。在燃烧室内,燃料着火燃烧并放出热量,其热量的一部分将传给燃烧室四周的水冷壁,并在流过水平烟道内的过热器及尾部烟道内的省煤器、空气预热器时,继续把热量传给蒸汽、水和空气;而被冷却后的烟气则经除尘器除去飞灰,由引风机从烟囱排入大气。另外,通常用水把由锅炉下部排出的灰渣和由除尘器下部排出的细灰冲到灰渣泵房,经灰渣泵排往储灰场。

在水冷壁中产生的蒸汽在流经过热器时进一步吸收烟气的热量而变为过热蒸汽,然后通过主蒸汽管道被送入汽轮机。进入汽轮机的蒸汽膨胀做功,推动汽轮机的转子旋转,将热能变为机械能,汽轮机带动发电机旋转,将机械能变为电能。在汽轮机内做完功的排汽将进入凝汽器内放出汽化热而凝结为水,凝结水再由凝结水泵经由低压加热器加热送入除氧器。除氧后的水由给水泵打入高压加热器加热进一步提高温度后再进入锅炉。以后又重复上述过

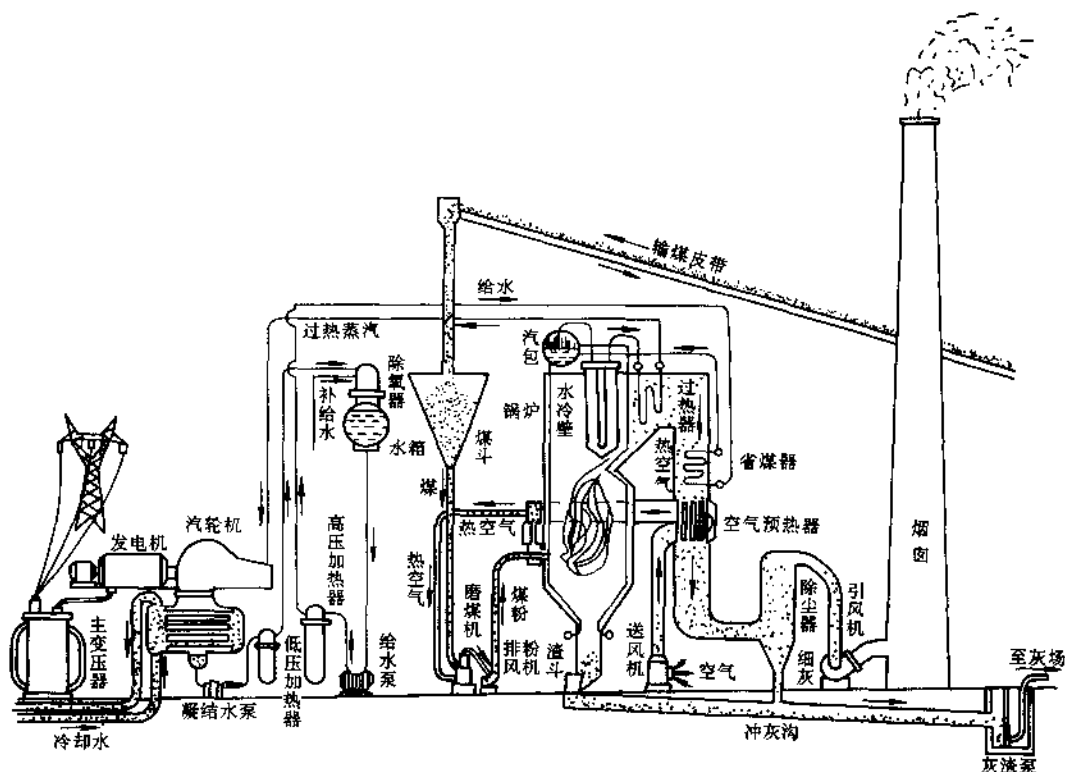


图 1-1 凝汽式火力发电厂生产过程示意图

程，并不断地产生出热能。

将汽轮机的排汽冷却为水是由循环水泵把冷却水送入凝汽器来实现的。冷却水经循环水泵打入凝汽器的循环水管中，在吸收了蒸汽的热量后，又经排水管排出，从而将热量带走。通常，由于循环水系统带走很大一部分热量，因此，一般凝汽式发电厂的效率是不高的，目前比较先进的指标也只达到 30%~40%。

为了提高这种发电厂的效率，人们自然会想到能否尽量减少被循环水所带走的热量，而把做过功的蒸汽（乏汽）中所含的热量充分利用起来。这就是发展供热式发电厂的原因。供热式发电厂与凝汽式发电厂不同的地方只是在汽轮机的中段抽出了供热能用户的蒸汽，而這些蒸汽实际上已经在汽轮机中作了部分功，再把这些蒸汽引到给水加热器去加热供热用户的用水，或把蒸汽直接送给热力用户。这样一来，进入凝汽机内的蒸汽量就大大减少了。于是循环水所带走的热量消耗也就相应地减少了，从而提高了热效率。现代化大型供热式发电厂的效率可达 60%~70% 以上。从供电和供热的全局来看，可节约燃料 20%~25% 左右。由于供热网络不能太长，所以供热式发电厂总是建设在热力用户附近。此外，供热式发电厂的发电出力还与热力用户的需热量有关。当需热量多时，发电厂必须相应多发电；需热量少时，则发电出力也减少。因而，这类发电厂在电网中的运行方式远不如凝汽式发电厂灵活。

火力发电厂发展的主要趋势是采用高温，高压（亚临界、超临界），大容量机组（目前世界上最大机组容量已达 1300MW）以及建设大容量的火力发电厂，这样可以显著地提高火力发电厂的效率。

(二) 水力发电厂

水力发电厂是利用河流所蕴藏的水能资源来发电。水能资源是最干净、廉价的能源。水力发电厂的容量大小决定于上下游水位差（简称水头）和流量大小。因此，水力发电厂往往需要修建拦河大坝等水工建筑物以形成集中的水位差，并依靠大坝形成具有一定容积的水库以调节水库的流量。根据地形、地质、水能资源特点等的不同，水力发电厂可分为坝式水电厂、引水式水电厂、混合式水电厂和抽水蓄能电厂。

坝式水电厂的水头是由挡水大坝抬高上游水位而形成。若厂房布置在坝后，则称之为坝后式水电厂，如浙江的新安江水电厂。若厂房起挡水坝的作用，承受上游水的压力，则称之为河床式水电厂，如葛洲坝水电厂。

引水式水电厂的水头由引水道形成。这类水电厂的特点是具有较长的引水道，如天生桥二级水电厂，设计水头 176m，引水隧洞长达 9555m。

混合式水电厂的水头由坝和引水道共同形成。这类电厂除坝具有一定高度外，其余与引水式电厂相同。

抽水蓄能电厂是一种特殊的水电厂，当电网中的电力负荷处于高峰时段，电厂放水发电；电力负荷处于低谷时段，利用电网的多余电能将下游水库的水抽至上游水库，转变为势能形态储蓄起来，达到储蓄和调节电能的目的，如广州抽水蓄能电厂。

水力发电厂的生产过程要比火力发电厂简单，如图 1-2 所示。

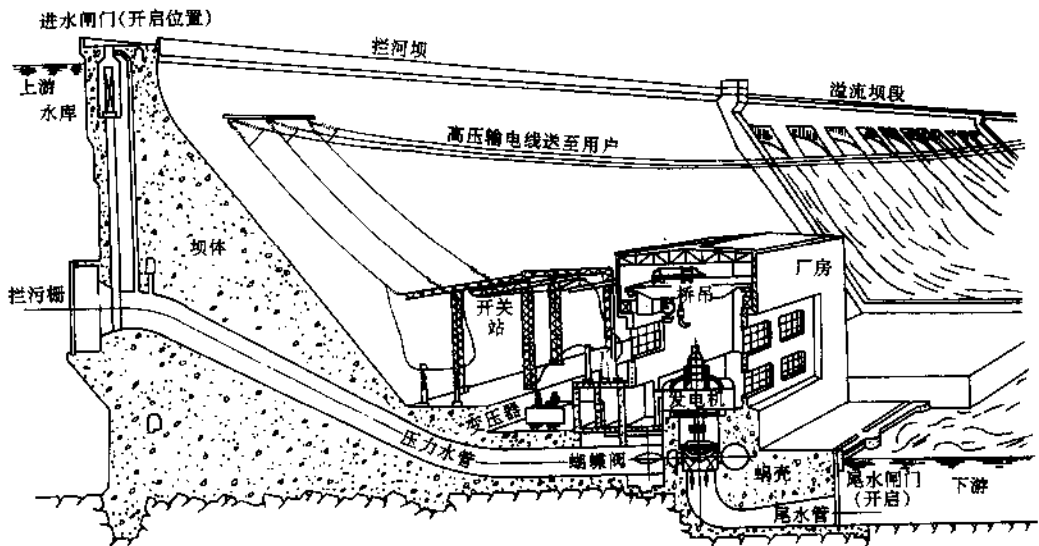


图 1-2 水力发电厂生产过程示意图

由挡河坝维持在高水位的水，经压力水管进入螺旋形蜗壳推动水轮机转子旋转，将水能变为机械能。水轮机带动发电机旋转，机械能再变为电能，做完功的水则经过尾水管排往下游。发电机发出的电能则经过变压器升压后由高压输电线送出。由于水力发电厂的生产过程比较简单，运行维护人员较少，易于实现自动化。水力发电厂不需要消耗燃料，它的电能生产成本比火力发电厂低。此外，水力机组的效率较高，承受变动负荷的性能较好，因此在系统中的运行方式较为灵活；水力机组起动迅速，在事故时能充分地发挥其备用作用。随着水力发电厂的兴建，往往可以同时解决发电、防洪、灌溉和航运等多方面的问题，实现河流的综合利用，使国

民经济取得更大的综合效益。但是由于水力发电厂需要建设大量的水工建筑物,相对于火力发电厂来说,建设投资比较大,建设工期比较长,占用劳力比较多。特别是水库还将淹没一部分土地,给农业生产带来一定不利影响,还存在移民问题。另外,水力发电厂的运行方式受气象和水文等条件的影响,有丰水期和枯水期之别,会给电网的运行带来一定的不利因素。

水力发电厂按其运行方式可分为无调节水电厂和有调节水电厂。无调节水电厂的水库库容小,不能对径流进行调节,直接引用河中径流发电,所以也称其为径流式水电厂。有调节水电厂可利用水库对径流进行重新分配。按调节周期长短,又可分为日调节、周调节、季调节、年调节和多年调节水电厂。

(三) 原子能发电厂

原子能的利用是现代科学技术的一项重大成就。从 40 年代原子弹的出现起,原子能就逐渐被人们所掌握并陆续被用到工业和交通等许多部门,从而为人类提供了一种新的巨大的能源。

由于煤、石油和天然气等燃料的储量有限,它们又是重要的化工原料,一些国家的水能资源已基本开发殆尽,因此从 50 年代起某些国家就转向研究原子能发电。从 1954 年世界上第一个原子能发电厂建成至今,全世界已有几十个国家先后建成总共 200 多个原子能发电厂,总装机容量已超过 1 亿 kW。正在建设或已定货的原子能发电厂的总容量更大。一些资源贫乏的发达国家由于受到“能源危机”的冲击,迫使他们不得不走原子能发电的道路,这是促使原子能发电厂迅速发展的主要原因。

原子能发电的基本原理是把原子核裂变所产生的原子能转变为热能,将水加热为蒸汽,然

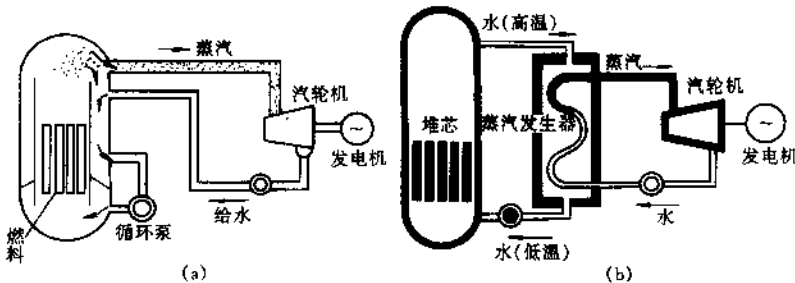


图 1-3 原子能发电厂生产进程示意图

(a) 沸水堆型反应堆; (b) 压水堆型反应堆

后同一般火力发电厂一样,用蒸汽推动汽轮机,再带动发电机发电。原子能发电厂与火力发电厂在构成上的主要区别是,前者用核蒸汽发生系统(反应堆、蒸汽发生器、泵和管道)来代替后者的蒸汽锅炉。

根据原子反应堆型式不同,原子能发电厂可分为几种类型。图 1-3 为目前使用较为广泛的轻水堆型(包括沸水堆和压水堆)原子能电厂的生产过程示意图。

这种反应堆是用水作为载热剂。在沸水堆内,水被直接变成蒸汽,它的系统构成较为简单,但有可能使汽轮机等设备受到放射性污染,以致使这些设备的运行、维护和检修复杂化。为了避免这个缺点,可采用压水堆型反应堆。这里,增设了一个蒸汽发生器,从反应堆里引出的高温水在蒸汽发生器内将热量传给另一个独立回路的水,将之加热成高温蒸汽以推动汽轮发电机组旋转。由于在蒸汽发生器内两个回路的水是完全隔离的,所以就不会造成对汽轮机等设备的放射性污染。

原子能发电厂的主要优点之一是可以大量节省煤、石油和天然气等燃料。例如,一座装机容量为 500MW 的火力发电厂每年至少要烧掉 150 万吨煤;而同容量的原子能发电厂每年只消耗 600kg 的铀燃料,可以避免大量的燃料运输。原子能发电厂的另一个特点是燃烧时不需要空气助燃。所以,原子能发电厂可以建设在地下、山洞里、水下或空气稀薄的高原地

区。从发电厂的建设和发电成本来看,原子能发电厂所需的固定投资虽较火力发电厂要高,但长年的燃料费和维护费则比火力发电厂要低,它的规模愈大则生产每千瓦时电能的投资费用下降愈多。

原子能发电厂的主要问题是放射性污染。尽管在发电厂建设时已采取了相应的措施,但放射性污染事故仍不断发生,有的还比较严重。例如,美国的西里核电站事故、前苏联的切尔诺贝利核电站事故。显然,只有更好地解决了污染的防护问题以及放射性废弃物的处理问题,原子能发电厂的建设才可能得到更大的发展。我国在建设原子能发电厂方面也取得了可喜的成果。浙江秦山核电站、广东大亚湾核电站均已建成投产。

目前,尽管世界上对原子能发电厂的建设(主要是其安全性)存在着争论,但是在“能源危机”的冲击下,对一些资源贫乏的发达国家来说,别无其他的选择,唯有继续执行建设原子能发电厂的计划。因此,预计在今后相当一段时间内,对原子能发电的有关技术、措施的研究,仍将继续是人们所关注的中心课题之一。

三、电力系统的组成

(一) 电力系统的概念

使用电能的单位称为电力用户。用电的类型很多,主要分为工业用电、农业用电与生活用电等。工业用电集中、用电量大、设备利用率高,对供电可靠性要求高;农业用电分散、用电量小,与气候及季节有关,平时对供电可靠性要求较低,灾害天气时对供电可靠性要求高;人民生活用电面广,形式多样,随着生产的发展和生活水平的提高,用电量愈来愈大,对供电可靠性要求也愈来愈高。

电力用户或电力负荷应按对供电可靠性的要求进行分级,一般分三级:

(1) 一级负荷:中断供电将造成人员伤亡时;中断供电将在政治、经济上造成重大损失时;中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作。例如,重大设备损坏、重大产品报废、重要交通枢纽、大型体育场馆、大量人员集中的公共场所等用电单位的重要电力负荷。

(2) 二级负荷:中断供电将在政治、经济上造成较大损失时;中断供电将影响重要单位的正常工作。例如主要设备损坏、大量产品报废、重点企业大量减产、交通枢纽、通讯枢纽等用电单位的重要电力负荷。

(3) 三级负荷:不属于一级和二级负荷的其他负荷。

世界上许多国家将大型火电厂建设在煤炭和石油等能源的产地,以节约燃料运输费用;水电厂又需要建设在江河水流落差较大的河段。而用电负荷中心,一般集中在大城市、工业中心、矿山、农业发达及交通枢纽等地。因此,发电厂和负荷中心之间往往相距几十、几百甚至数千公里,这就需要用电力线路作为输送电能的通道。将发电厂的电能送到负荷中心的电力线路称为输电线路;将负荷中心的电能送到各用户的电力线路叫作配电线路。

电压的升高或降低,是通过变压器完成的。安装变压器配电设备及其测量、保护与控制设备的地点称为变电所。用于升高电压的称为升压变电所(或称升压站),用于降低电压的称为降压变电所。变电所根据它在电力系统中的地位,可分成以下几类:

1. 枢纽变电所

位于电力系统的枢纽点,连接电力系统高压和中压的几个部分,汇集多个大电源和大容量联络线,电压为330~750kV。枢纽变电所的特点是电压等级高,变电容量大,出线数目

多;全所停电后,将引起系统解列,造成大面积停电。

2. 中间变电所

高压侧以交换潮流为主,起系统交换功率的作用,或使长距离输电线路分段,一般汇集2~3个电源,电压为220~330kV,同时又降压供给当地用户,这样的变电所主要起中间环节的作用,称为中间变电所。全所停电后,将引起区域电网解列。

3. 地区变电所

高压侧电压一般为110~220kV,向地区用户供电为主的变电所,这是一个地区或城市的主要变电所。全所停电后,仅使该地区中断供电。

4. 终端变电所

在输电线路的终端,接近负荷点,高压侧电压多为110kV,降压后直接向用户供电的变电所,即为终端变电所。全所停电后,只是用户受到损失。

由发电机、各类变电所、输配电线路和电力用户的电气装置连接成的整体,称为电力系统。电力系统加上热力发电厂中的热能动力装置、热能用户和水电厂的水能动力装置,也就是电力系统加上锅炉、汽轮机、水库、水轮机以及原子能发电厂的反应堆等,统称为动力系统。电力系统中各种电压的变电所及输配电线路组成的统一体,称为电力网。电力网的主要任务是输送与分配电能,并根据需要改变电压。图1-4所示为动力系统、电力系统和电力网的示意图,图中用单线表示三相导体。

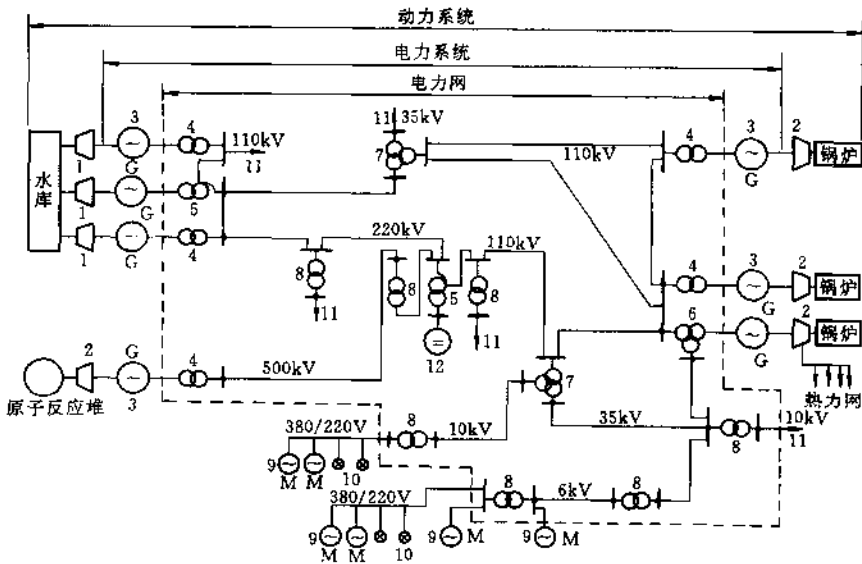


图 1-4 动力系统、电力系统、电力网的示意图

- 1—水轮机; 2—汽轮机; 3—发电机; 4—升压双绕组变压器; 5—升压自耦变压器;
6—升压三绕组变压器; 7—降压三绕组变压器; 8—降压双绕组变压器; 9—电动机;
10—电灯; 11—负荷(泛指); 12—调相机

从研究与计算方面考虑,可将电力网分为地方网、区域网、远距离输电网三类。电压为110kV以下的电力网,电压较低,输送功率小,线路距离短,主要供电给地方负荷,称为地方网;电压在110kV以上的电力网,电压较高,输送功率大,线路距离长,主要供电给大型区域性变电所,称为区域网;输电线路长度超过300km,电压在330kV及以上的电力