



普通高等教育“十二五”规划教材
示范院校重点建设专业系列教材

电气设备运行与维护

主 编 袁兴惠
副主编 黄德建 尹自渊
主 审 江建明



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十二五”规划教材
示范院校重点建设专业系列教材

电气设备运行与维护

主 编 袁兴惠

副主编 黄德建 尹自渊

主 审 江建明



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材共分十二个项目。主要内容包括：电力系统、电气设备基本知识，电弧及电气触头的基本知识，高压开关电器，互感器，母线、电缆及绝缘子，电力电容器、限流电抗器及阻容吸收装置，低压电器，电气主接线，自用电及接线，配电装置，接地装置，电气设备的选择。本书主要介绍高、低压开关电器，互感器，载流导体的作用、工作原理、结构特点、运行维护知识，电气主接线和自用电接线的接线型式、特点、应用范围以及运行维护知识，发电厂、变电站的接地装置以及接地装置的敷设与维护，电气设备和载流导体的选择和校验。

本教材可作为高职高专院校电力类教材，同时可作为电力职业资格和岗位技能的培训教材，也可供从事发电厂、变电站电气部分设计、运行、安装、检修、技术服务及管理工作的工程技术人员和电力企业工人参考。

图书在版编目（CIP）数据

电气设备运行与维护 / 袁兴惠主编. — 北京：中国水利水电出版社，2014.9

普通高等教育“十二五”规划教材. 示范院校重点建设专业系列教材

ISBN 978-7-5170-2534-4

I. ①电… II. ①袁… III. ①电气设备—运行—高等学校—教材②电气设备—维修—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第218865号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 示范院校重点建设专业系列教材 电气设备运行与维护
作 者	主编 袁兴惠 副主编 黄德建 尹自渊 主审 江建明
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.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18.75印张 468千字
版 次	2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	42.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

四川水利职业技术学院电力工程系 “示范院校建设”教材编委会名单

冯黎兵 杨星跃 蒋云怒 杨泽江 袁兴惠 周宏伟
韦志平 郑 静 郑 国 刘一均 陈 荣 刘 凯
易天福 李奎荣 李荣久 黄德建 尹自渊 郑嘉龙
李艳君 罗余庆 谭兴杰

杨中瑞 (四川省双合教学科研电厂)

仲应贵 (四川省送变电建设有限责任公司)

舒 胜 (四川省外江管理处三合堰电站)

何朝伟 (四川兴网电力设计有限公司)

唐昆明 (重庆新世纪电气有限责任公司)

江建明 (国电科学技术研究院)

刘运平 (宜宾富源发电设备有限公司)

肖 明 (岷江水利电力股份有限公司)



前言

PREFACE

本教材是根据高职高专人才培养规律和岗位职业能力要求以及示范建设的要求而编写的。本书以培养高素质技能型专门人才为核心,以工学结合和校企合作为切入点,进行课程体系和教学内容的改革,将职业标准和用人单位对人才职业技能的需求融入课程内容,实现课程内容与职业标准对接,突破原有以知识系统性为主导的课程体系,对教学内容进行优化与重组;课程力求提升实践教学水平,突出实用性、技能性、实践性教学。构建以项目导向、任务驱动、培养学生动手能力为主导的全新课程体系,按项目组织实施教学。根据企业的需要,对任务进行灵活调整,突出教学过程和教学内容的开放性、职业性,将新技术、新成果、新工艺及时补充和融合到课程体系中,以满足水利电力行业对人才的需求。

“电气设备运行与维护”是电力系统自动化技术专业的核心课程,也是电气工程类专业的主干课程。本教材具有实践性强、应用性广的特点,在编写过程中充分考虑了高职高专教育特点,本着理论适度够用、强化实践技能的原则,对部分理论内容进行了删减,增加了新设备、新技术的介绍。本教材可作为高职专业的必修课教材,也可作为职业技术培训教材使用。

全书共分十二个项目,其中项目一和项目九由四川水利职业技术学院杨泽江编写;项目二、项目五、项目六、项目九、项目十由四川水利职业技术学院袁兴惠编写;项目三、项目七和项目十二由四川水利职业技术学院黄德建编写;项目四、项目八和项目十一由四川水利职业技术学院尹自渊编写;全书由四川水利职业技术学院袁兴惠统稿,由国电科学技术研究院江建明主审。本教材在编写过程中,主审以及四川水利职业技术学院电力工程系“示范院校建设”教材编委会提出了很多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢

由于编者水平有限,书中不足和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2014年4月

目 录

CONTENTS

前言

项目一 电力系统、电气设备基本知识	1
任务一 电力工业发展概况及前景	1
任务二 电力系统基本概念	3
任务三 电气设备概述	8
项目二 电弧及电气触头的基本知识	13
任务一 电弧的基本知识	13
任务二 直流电弧的特性及熄灭	16
任务三 交流电弧的特性及熄灭	19
任务四 熄灭电弧的基本方法	22
任务五 电气触头	25
项目三 高压开关电器	30
任务一 高压断路器	30
任务二 隔离开关	41
任务三 高压负荷开关	47
任务四 高压熔断器	49
任务五 高压开关电器的运行维护	54
项目四 互感器	57
任务一 电流互感器	57
任务二 电压互感器	67
任务三 互感器的运行及维护	72
项目五 母线、电缆及绝缘子	78
任务一 母线	78
任务二 电力电缆	87
任务三 绝缘子	95
任务四 导体和绝缘子的运行维护	99
项目六 电力电容器、限流电抗器及阻容吸收装置	103
任务一 电力电容器	103
任务二 限流电抗器	107
任务三 阻容吸收装置	112
任务四 电力电容器、限流电抗器和阻容吸收装置的运行维护	114

项目七 低压电器	118
任务一 低压熔断器	118
任务二 接触器及磁力启动器	121
任务三 低压断路器	125
任务四 低压电气设备的运行维护	128
项目八 电气主接线	130
任务一 电气主接线概述	130
任务二 电气主接线的基本形式	133
任务三 电气主接线设计	143
任务四 电气主接线实例分析	145
任务五 电气主接线的运行	148
项目九 自用电及接线	153
任务一 自用电负荷	153
任务二 自用变压器的选择	157
任务三 自用电接线	159
任务四 自用电接线实例及运行分析	164
项目十 配电装置	169
任务一 配电装置概述	169
任务二 屋内配电装置	174
任务三 屋外配电装置	185
任务四 六氟化硫全封闭组合电器	192
任务五 电气总体布置	200
任务六 配电装置的运行维护	209
项目十一 接地装置	212
任务一 保护接地及保护接零	212
任务二 接地工程电阻的计算及测量	217
任务三 接地装置的敷设及维护	220
项目十二 电气设备的选择	225
任务一 电器和载流导体的发热	225
任务二 电器和载流导体的电动力效应	229
任务三 电气设备选择的一般条件	231
任务四 高压开关电器的选择	236
任务五 母线、电缆和绝缘子的选择	241
任务六 互感器的选择	253
附录	259
附录 1 导体的主要技术参数	259
附录 2 变压器的主要技术参数	266

附录 3	开关电器主要技术参数	272
附录 4	互感器主要技术参数	274
附录 5	高压熔断器主要技术参数	277
附录 6	复合外套氧化锌避雷器技术参数	277
附录 7	高压开关柜一次线路方案	278
参考文献		289

项目一 电力系统、电气设备基本知识

【项目分析】

通过对电力系统，电气一、二次设备，发电厂和变电站类型、特点的介绍，通过对电气设备额定参数，电能质量的主要指标及其允许变动范围的分析，有利于加强初学者对电力系统、电气设备的认识。

【培养目标】

了解我国电力工业的发展以及电力工业规划的主导思路熟悉电力系统、电气一次设备、电气二次设备等基本概念；掌握发电厂、变电站的类型及特点，掌握电能质量的主要指标及其允许变动范围；完成给定电气接线图中变压器电压比的选择。

任务一 电力工业发展概况及前景

【任务描述】

了解电力工业的发展以及我国电力工业规划的主导思路。

【任务分析】

了解我国电力工业的发展历史、发展现状和电力工业规划的主导思路，以便更多地掌握未来电力工业发展的新动向，服务于电力工业。

【任务实施】

电能是现代人们生产和生活的重要能源。电能可由其他形式的能转换而来，也可简便地转换成其他形式的能（例如将电能转换成光能、热能、机械能、化学能等）。电能的输送、分配、调节、控制和测试等都简单易行，有利于实现生产过程的自动化，因此在工矿企业、交通运输、科学技术、国防建设和人民生活中得到了广泛应用。电力工业是国民经济中极其重要的部门，是现代化建设的基础。它为国民经济的其他各部门快速、稳定的发展提供足够的动力，其发展水平是反映国家经济发达程度的重要标志。

1875年，世界上最早的发电厂—法国巴黎北火车站电厂建成。自此以后，随着生产、科学技术和城市的发展与进步，电力工业得到了迅速的发展，尤其是近二三十年来，发展更为迅速。一些工业发达国家几乎是每7~10年装机容量就要增长一倍。据相关统计，到20世纪80年代初，全世界总装机容量已超过5.2亿kW，最高交流输电电压已超过1000kV，最高直流输电电压已超过±500kV，最远输电距离已大多超过1000km。并且从世界各国经济发展的过程看，国民经济每增长1%，就要求电力工业增长1.3%~1.5%，即在经济发展过程中，电力必须先行，且应具有较高的发展速度。



我国能源资源极其丰富,全国水能资源的蕴藏量为 6.8 亿 kW,其中可开发利用的为 3.7 亿 kW,居世界第一位。此外,我国煤炭、石油、天然气等天然能源储量也十分丰富,这些优越的自然条件为我国电力工业的发展提供了良好的基础。但是,我国电力工业自 1882 年在上海建立第一座火电厂,1912 年在昆明滇池石龙坝建立第一座水电站开始,至 1949 年新中国成立,由于发展缓慢,基础薄弱,经过 67 年的发展装机容量只达到 185 万 kW,年发电量 43 亿 kWh,居世界第 25 位。且当时的发电厂绝大多数集中在东北和沿海几个大城市,设备陈旧,效率低下,类型庞杂,规格混乱,带有明显的半殖民地性质。

新中国成立以后,我国电力工业的发展可以分为 1950—1978 年和 1978 年以后两个阶段。在 1950—1978 年期间,新中国的成立为我国电力工业的发展创造了有利条件。1953—1957 年,在恢复原有发供电设备的基础上,建设了一批新电厂,每年平均装机 50 万 kW。1958—1965 年,每年平均装机达 150 万 kW 以上。在此期间,装机容量和发电量的平均年增长率分别为 17% 和 18%,电力工业超前于国民经济的发展,电力弹性系数达到 2.0 以上(电力弹性系数=电能生产增长率/国民经济增长率),保证了工农业的迅速发展。1966—1975 年,电力工业未能以应有的速度发展,电力弹性系数下降到 1.3 以下,不能适应国民经济的发展需要,从 1970 年起出现缺电的局面。

1978 年以来,中国开始实行改革开放政策,在党和政府的重视和领导下,电力工业重新得到持续发展,并以前所未有的速度增长。每年平均装机容量达到 450 万 kW 以上。1990 年,全国总计发电装机容量为 1.35 亿 kW,年发电量达到 6105 亿 kWh。截至 2000 年,全国装机容量已达 3.19 亿 kW,年发电量超过了 13684 亿 kWh。目前,比较完备的电力工业体系已经初步建立,技术装备水平还在逐步提高。除去我国台湾省和香港、澳门外,已经形成华北(北京、天津、山西、河北及内蒙古的部分)、东北(黑龙江、吉林、辽宁及内蒙古的部分)、华东(上海、江苏、浙江、安徽)、华中(河南、湖南、湖北、江西)、西北(陕西、甘肃、青海、宁夏)、川渝(四川、重庆)和南方联营(广东、广西、云南、贵州)7 个跨省(自治区、直辖市)电网,以及山东、福建、海南、新疆和西藏 5 个独立的省级电网,跨省、跨大区电网的互联正在逐步实现。1949 年中国的输电线路主要是 110kV 及以下的电压等级,仅东北有 1 条 220kV 级线路。到目前为止,中国电网除已有的 220kV 各省骨干线路外,还建成了 330~500kV 的各大区域电网输电主网架。1989 年,中国第一条±500kV 直流输电线路(葛洲坝—上海,1080km)建成投入运行,实现了华中电力系统与华东电力系统互联,形成中国第一个跨大区的联合电力系统。据有关资料统计,2012 年投产 220kV 以上输电线 30161km,变电容量 18208 万 kVA;全国 220kV 以上输电线总长 50.66 万 km,变电容量 22.77 亿 kVA,稳居世界第一。锦屏至苏南±800kV、容量 720 万 kW 特高压直流输电工程建成投产,建设糯扎渡至广东、哈密至郑州、溪洛渡至浙西等三条±800kV 特高压直流输电工程和淮南至皖南、浙北、上海 1000kV 双回特高压交流输电工程等。这一切都说明我国电力工业建设成就是巨大的。

1925 年中国自行设计施工的第一座水电站——四川泸县洞窝水电站发电,装有一台 175kVA 机组。1936 年,石龙坝水电站已装水轮机 6 台,总容量 2200kW,是当时中国自己经营管理的最大的一座水电站。中华人民共和国成立以后,我国的水电建设得到了充分的重视,随着三峡水电站的建设,我国的水电装机容量在世界上跃居第一,三峡水电站安装的国



产 70 万 kW 水轮发电机已投入运行。

20 世纪 50 年代,中国建设的火电厂一般采用 6000~25000kW 中压机组或高压机组。1956 年,第一台国产 6000kW 机组在安徽淮南田家庵电厂投入运行。1986 年,中国成功制造第一台 60 万 kW 机组安装于安徽平圩电厂,并于 1988 年发电。现在,国产 30 万~60 万 kW 火电机组已成为主力机组。

2011 年,电力装机容量 10.6 亿 kW,年发电量 4.7 万亿 kWh。2011 年,全国水电装机容量达到 2.3 亿 kW,居世界第一。已投运核电机组 15 台、装机容量 1254 万 kW,在建机组 26 台、装机容量 2924 万 kW,在建规模居世界首位。风电并网装机容量达到 4700 万 kW,居世界第一。光伏发电增长强劲,装机容量达到 300 万 kW。

改革开放前,国内最高电压等级仅 220kV,现在,国内交流电压等级可达 1000kV,直流电压等级可达 ±800kV。葛洲坝至上海的输变电工程,全套设备都是从国外引进,而到建设向家坝至上海的输变电工程时,主要设备实现了自主化。过去,输变电工程中所用的晶闸管完全依赖进口,现在,我国不仅摆脱了这种局面,而且可以制造出发达国家都没有制造过的 6in 晶闸管。

目前,我国电力工业已开始进入“大机组”、“大电网”、“超高压”、“高自动化”以及“核电”的发展新阶段,科技水平不断提高,调度自动化、光纤通信、计算机控制等高新技术已在电力系统中得到了广泛应用。

“十二五”电力工业投资将达 5.3 万亿元,优先开发水电,优化发展煤电,积极稳妥发展核电,大力推进新能源发电,加快智能电网建设是“十二五”电力工业规划的主导思路。展望 21 世纪的中国电力,我们坚信,中国电力工业必将展现更加美好的前景,中国一定能够成为世界电力强国。

能力检测

“十二五”期间我国电力工业规划的主导思路是什么?

任务二 电力系统基本概念

【任务描述】

熟悉电力系统、电力网等基本概念,掌握发电厂、变电站的类型及特点。熟悉电能质量的主要指标及其允许变动范围。

【任务分析】

对电能生产过程,电力系统的组成及组成电力系统的优越性,发电厂、变电站的类型进行分析介绍,便于让初学者更好地熟悉相应的基本概念及基本知识。

【任务实施】

一、电力系统及电力网

(一) 电力系统的概念

电能生产是将其他形式的一次能源转换成电能,因此发电厂必须或需要建设在动力资源



所在地，而蕴藏动力资源的地区往往距电力负荷中心较远，为了实现远距离、大容量输送电能，必须建设升压变电站和架设高压输电线路。当电能输送到负荷中心后，必须经过降压变电站降压，再经过配电线路，才能向各类用户供电。

随着生产的发展和用电量的增加，发电厂、输电线路、配电线路、升压变电站、降压变电站等数目都将不断增加。当把分散在各处、孤立运行的各类发电厂通过输电线路、变电站等相互连接形成一个“电”的整体以供给用户用电时，就形成了现代的电力系统。换句话说，这种由发电机、升压和降压变电站、输配电线路以及用户用电设备所组成的发、变、输、配、用电的整体，称为电力系统。电力系统加上发电机的原动机（如汽轮机、水轮机等）、原动机的力能部分（如热力锅炉、水库、原子能反应堆等）以及配套设施（如用热设备）等，则称为动力系统。此外电力系统中的各级电压输配电线路、升压和降压变电站及其所属的电气设备，称为电力网。动力系统、电力系统和电力网三者的联系与区别如图 1-1 所示。

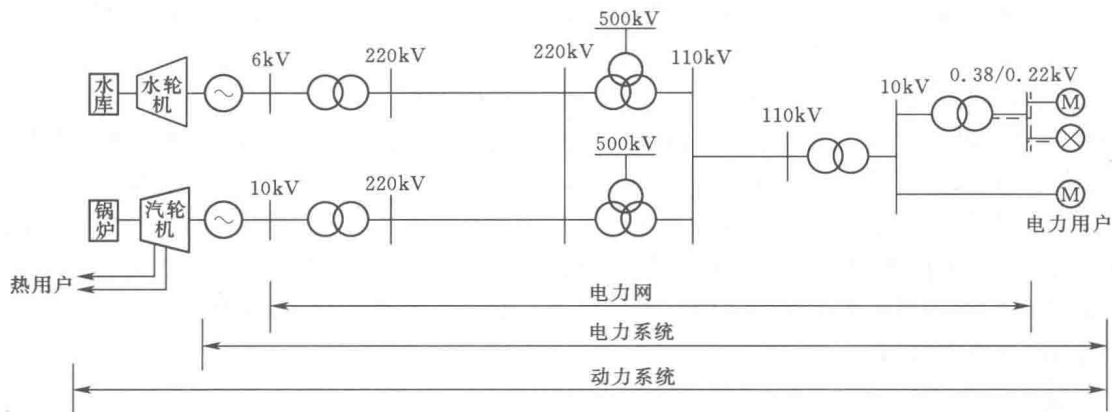


图 1-1 电力系统和动力系统示意图

（二）电力系统的优越性

随着电力工业的不断发展，电力系统的容量不断增加、电压等级不断提高，所跨的区域不断扩大，形成强大的联合电力系统。因为联合电力系统具有以下优越性：

（1）可以提高电力网运行的可靠性。当电力系统中的任一发电机或发电厂、变电站因故障而停止供电时，其他电源仍可在出力允许的范围内多带负荷，不致影响对用户连续供电，大大提高了供电的可靠性。

（2）可以保证供电的电能质量。衡量电能质量的主要指标是频率、电压和波形，其中频率和电压必须保持在一定的允许变动范围内。由于电力系统的容量大，因而负荷波动或机组的投入、切除引起的频率和电压的波动就小，电能质量就得到了提高。

（3）可以提高电气设备的利用率，减少系统的备用总容量。为了替代故障机组或检修机组，孤立发电厂需装设备用发电机组，备用容量不小于发电厂最大一台机组的容量，组成电力系统后，不需要每一发电厂都装备用机组，只要系统中有足够的备用机组容量即可。对整个系统而言，大大减小了备用机组的总用量。

（4）便于采用技术经济性能好的大机组，提高效率。当电力系统的容量很大时，备用容量也较大，为采用高效率单位容量造价低和运行费用小的大容量机组提供了有利的条件。



(5) 可以充分利用各种自然资源,发挥各类发电厂的特点,提高电力系统的整体经济性。在电力系统中可发挥各类发电厂的特点,合理利用自然能源,实现水电、火电配合及经济调度,提高经济效益。此外,还可以经济合理地分配各机组和发电厂之间的负荷,使运行经济、效率高的机组多带负荷,而发电成本高的机组少带负荷,从而降低电能生产的成本。

(三) 电力生产的特点

电力生产具有以下特点:

- (1) 电能难以大量储存。电能的生产、输送、分配、使用同时进行。
- (2) 运行方式改变引起电磁暂态和机电暂态的短暂性。
- (3) 电能生产与国民经济发展和人民生活的密切相关性。
- (4) 电力系统的地区性特点较强,组成情况不尽相同。

(四) 电力系统的运行要求

为了保证为用户提供电能,电力系统的运行必须满足以下要求:

- (1) 必须满足用户的最大要求。
- (2) 保证供电的可靠性。
- (3) 保证电能质量。

为保证电能质量,频率和电压不能超过允许变动范围,当频率和电压超过允许范围时(表1-1和表1-2),将影响用电设备的安全运行,而且可能造成企业的减产,出次品、废品,甚至还会引起人身和设备事故。频率主要取决于电力系统中的有功功率的平衡,电压取决于无功功率的平衡,电力系统中必须通过调频、调压措施来保证频率和电压的稳定。

表 1-1 我国电网频率允许偏差值

运 行 情 况		允 许 频 率 偏 差/Hz
正常运行	中小容量电网	± 0.5
	大容量电网	± 0.2
事故运行	30min 以内	± 1
	15min 以内	± 1.5
	绝不运行	-4

表 1-2 我国对用户供电电压允许变化范围

线路额定电压 U_N	电 压 允 许 变 化 范 围
35kV 及以上	$\pm 5\%U_N$
10kV 及以下	$\pm 7\%U_N$
低压照明和农业用户	$(+5\% \sim -10\%)U_N$

(4) 保证电力系统运行的经济性。电力系统运行有 3 个很重要的指标,即能源消耗率(煤耗率、油耗率、水耗率等)、厂用电率以及电力网中的电能损耗率。提高运行的经济性,就是使上述 3 个指标达到最小,以降低成本。

(5) 保证运行人员和设备安全。

二、发电厂(站)的基本类型

发电厂是电力系统的中心环节,根据一次能源形式的不同,可以分为火力发电厂、水力



发电厂、核能发电厂、风力发电站、潮汐发电站等，此外还有地热发电、太阳能发电、垃圾发电和沼气发电等。按发电厂的规模和供电范围划分，又可分为区域性发电厂、地方发电厂和自备专用发电厂等。

(一) 火力发电厂

火力发电厂是将燃料的化学能转换成电能的工厂，常见的燃料是煤、重油和天然气。火力发电厂中的原动机大都为汽轮机，现在柴油机和燃气轮机都得到了应用。火力发电厂又可以分为以下两种：

(1) 凝汽式火力发电厂（通常称火电厂）。燃料在炉膛内燃烧发出热量，被锅炉本体内的水吸收后产生蒸汽，送到汽轮机，带动发电机发出电能。已做过功的蒸汽进入汽轮机末端的凝汽器被冷却水还原为水后再送回锅炉。凝汽式电厂中的工质在发电过程中经历了水→汽→水的反复循环，从而实现将燃料的化学能→热能→机械能→电能的过程。在凝汽器中，大量的热量被冷却水带走，所以效率较低，只有 30%~40%，宜建在燃料产地。

(2) 供热式火力发电厂（通常称为热电厂）。与火电厂不同的是热电厂把汽轮机中部分做过功的蒸汽，从汽轮机中间段中抽出来直接供给热用户，或经热交换器将水加热后，把热水供给用户。这种既发电又供热的火力发电厂称为热电厂，这样就减少了被冷却循环水带走的热量损失，从而提高了效率，现代热电厂的总效率可高达 60%~70%，一般建在大城市及工业区附近。

(二) 水力发电厂（通常称为水电厂）

水电厂是将水的位能和动能转换为电能的工厂。水电厂中发电机的原动机是水轮机，水流冲击水轮机旋转，带动发电机发电，按取水方式的不同，水电厂可以分为以下几种：

(1) 堤坝式水电厂。在河流上的适当位置上修建水坝，形成水库，利用坝的上下游水位较大的落差，引水发电。堤坝式水电厂可以分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂厂房建筑在大坝的后面，不承受水的压力，适用于高、中水头的水电厂；河床式水电厂的厂房与大坝联合成一体，厂房是大坝的一个组成部分，要承受水的压力，故适用于中、低水头的水电厂。

(2) 径流式水电厂。利用有较高水位落差的急流江河建坝，但不形成水库直接将水引入水轮机发电。这种水电厂只能按天然江河的水流量及水头落差来发电，受季节影响较大，如长江中游的葛洲坝水电厂。

(3) 抽水蓄能电厂。这是一种特殊形式的水力发电厂，由高落差的上下水库和水轮机-发电机-抽水机的可逆机组构成。它是电力系统的填谷调峰电源。抽水蓄能电厂可以实现对电能的调节。当系统处于低负荷运行时，电厂利用系统剩余电力将下水库的水抽到上水库中储存起来，此时机组按电动机-水泵方式工作；待电力系统处于高负荷、电力不足时，将上水库所蓄的水释放发电，此时机组按水轮机-发电机的方式工作。抽水蓄能电厂可以作调频、调相和作系统的备用容量，一般可与发电出力较稳定的核电厂配合设置。

(三) 核电厂

核电厂是将原子核的裂变能转换为电能的发电厂，燃料主要有铀 235 和钚 239。如铀 235 容易在慢中子的撞击下裂变，释放出巨大的能量，同时释放出新的中子。



核能发电的基本原理是利用核燃料在反应堆内产生核裂变（即所谓链式反应）释放出大量热能，由冷却剂（水或气体）带出，在蒸汽发生器中将水加热为蒸汽，然后与一般火电厂一样，用蒸汽推动汽轮机，再带动发电机发电。冷却剂在把热量传给水后，又被泵打回反应堆里去吸热，这样反复使用，不断地把核裂变释放的热能引导出来。核电站与火电厂的主要区别是用核反应堆代替了蒸汽锅炉，1kg 核燃料铀 235 约等于 2700t 标准煤发出的电能。

（四）太阳能发电

太阳能的能源是来自地球外部天体的能源（主要是太阳能），是太阳中的氢原子核在超高温时聚变释放的巨大能量，人类所需能量的绝大部分都直接或间接地来自太阳。

利用太阳能发电有两大类型：一类是太阳光发电（亦称太阳能光发电），另一类是太阳能热发电（亦称太阳能热发电）。

1. 太阳能光发电

太阳能光发电是将太阳能直接转变成电能的一种发电方式。它包括光伏发电、光化学发电、光感应发电和光生物发电 4 种形式，在光化学发电中有电化学光伏电池、光电解电池和光催化电池。太阳能电池是一种对光有响应并能将光能转换成电力的器件。

能产生光伏效应的材料有许多种，如单晶硅、多晶硅、非晶硅、砷化镓、硒铜铜等。当光线照射太阳能电池表面时，一部分光子被硅材料吸收；光子的能量传递给了硅原子，使电子发生了越迁，成为自由电子在 P-N 结两侧集聚形成了电位差，当外部接通电路时，在该电压的作用下，将会有电流流过外部电路产生一定的输出功率。这个过程的实质是光子能量转换成电能的过程。

2. 太阳能热发电

太阳能热发电是先将太阳能转化为热能，再将热能转化成电能，它有两种转化方式：一种是将太阳能直接转化成电能，如半导体或金属材料的温差发电，真空器件中的热电子和热电离子发电，碱金属热电转换，磁流体发电等；另一种方式是将太阳热能通过热机（如汽轮机）带动发电机发电，与常规热力发电类似，只不过是其热能不是来自燃料，而是来自太阳能。

（五）风力发电

我国风能资源丰富，可开发利用的风能储量约 10 亿 kW，其中，陆地上风能储量约 2.53 亿 kW（陆地上离地 10m 高度资料计算），海上可开发和利用的风能储量约 7.5 亿 kW，共计 10 亿 kW。

将风能转换为电能的发电方式，称为风力发电。在风能丰富地区，按一定的排列方式成群安装风力发电机组，组成集群，称为风力发电场。其机组多达几百台甚至数千台，是大规模开发利用风能的有效形式。

风力发电的原理，是利用风力带动风车叶片旋转，再透过增速机将旋转的速度提升，来促使发电机发电。依据目前的风车技术，大约是每秒三公尺的微风速度（微风的程度），便可以开始发电。

（六）其他类型发电站

利用其他一次性能源发电的还有潮汐发电、沼气发电等。这些发电站的容量一般不大，是电力系统的一种补充，但这些电站在特定情况下，尤其是在交通不便的偏僻农村，能发挥



很大的作用。

三、变电站的基本类型

变电站是联系发电厂和用户的中间环节，起着变换和分配电能的作用。从发电厂送出的电能一般经过升压远距离输送，再经过多次降压后用户才能使用，所以电力系统中的变电站的数量多，变电容量大。据统计，系统变压器的容量约是发电机容量的7~10倍。根据变电所在电力系统的地位与供电范围，可以将其分为以下几类：

(1) 枢纽变电站。枢纽变电站位于电力系统的枢纽点，汇集着电力系统中多个大电源和多回大容量联络线。这类变电站的电压等级一般为330kV及以上，出线回路多，变电容量大；枢纽变电站在系统中的地位非常重要，若发生全站停电事故，将引起系统解列，甚至系统崩溃的灾难局面，枢纽变电站对电力系统运行的稳定和可靠性起到重要作用。

(2) 中间变电站。中间变电站位于系统主干环形线路或系统主要干线的接口处，电压等级多为220~330kV，高压侧与枢纽变电站连接，以穿越功率为主，在系统中起交换功率的作用或使高压长距离输电线路分段。它一般汇集2~3个电源，其中压侧一般是110~220kV，供给所在的多个地区用电并接入一些中小型电厂。这样的变电站主要起中间环节作用，当全所停电时，将引起区域电网解列，影响面也比较大。

(3) 地区变电站。地区变电站是一个地区和一个中、小城市的主要变电站，地区变电站的高压侧一般为110~220kV，低压侧一般为10~110kV，主要对地区用户供电，如全站停电，该地区中断供电，将造成该地区或城市供电的紊乱。

(4) 企业变电站。企业变电站是大、中型企业的专用变电站，电压等级35~220kV，1~2回进线。

(5) 终端变电站。终端变电站位于配电线路的终端，接近负荷处。高压侧电压等级为10~110kV，经降压后直接向用户供电。

能力检测

- (1) 什么是电力系统？什么是电力网？
- (2) 为什么要组成电力系统？
- (3) 衡量电能质量的主要指标是什么？其允许变动范围是多少？
- (4) 发电厂和变电站的作用是什么？各有哪些类型？

任务三 电气设备概述

【任务描述】

熟悉电气一次设备、二次设备等基本概念，掌握电气设备的额定参数。完成给定电气接线图中变压器电压比的选择。

【任务分析】

对电气一次设备、二次设备及额定参数进行分析介绍，便于初学者对相关的基本概念及基本知识的掌握。要完成电气接线图中变压器电压比的选择，需掌握发电机、变压器、用电设备额定电压的确定方法。



【任务实施】

一、主要电气设备

为了满足电能生产、输送、分配的需要，发电厂和变电站必须配置相应的电气设备，以便根据负荷变化的要求，改变发电厂、变电站的运行方式，监视主要设备的工作；周期性地检查和维护主要设备；定期检修设备及迅速消除发生的故障等。以上所有工作都必须通过操作主要电气设备来完成的。按主要电气设备作用的不同，可以将电气设备分成两大类型。

（一）一次设备

直接参与生产、转换、输送和分配电能的设备称为电气一次设备。它们主要有以下几种：

（1）电能生产和转换的设备。如发电机、电动机、变压器等，它们是直接生产和转换电能的主要电气设备。

（2）开关设备。为满足运行、操作或事故处理的需要，将电路接通或断开的设备。有以下几种：

1）断路器：有灭弧装置，不仅能接通和断开正常的负荷电流，也能断开短路电流，是电力系统最重要的控制、保护电器。

2）隔离开关：没有灭弧装置，在检修时用来隔离电源，以保证检修工作的安全。隔离开关也可用来接通、断开规定的小电流电路。

3）负荷开关：有简易灭弧装置，可用来接通或断开电路的正常工作电流和过负荷电流，但不能断开短路电流。

（3）载流导体。电气设备必须通过载流导体按照生产和分配电能的顺序或者按照设计要求连接起来。常见的载流导体如母线、架空线、电力电缆等。

（4）互感器。包括电压互感器和电流互感器，它们将一次回路中的高电压和大电流变成标准的低电压和小电流，供给测量仪表和继电保护装置用。同时使二次设备与高压部分隔离，保证设备和人身安全。

（5）限流电器。串联在电路中的普通电抗器和分裂电抗器等，其作用是限制短路电流，使发电厂、变电站能选择轻型电器和较小截面的导体。

（6）保护电器。包括用于断开过负荷电流和短路电流的熔断器，防御过电压的避雷器、避雷针、避雷线等。

（7）补偿装置。如调相机、电力电容器、消弧线圈、并联电抗器等，它们分别用来补偿系统的无功功率、补偿小电流接地系统中的单相接地电容电流、吸收系统过剩的无功功率等。

（8）接地装置。用来保证电力系统正常工作的工作接地或保护人身安全的保护接地，它们均与埋入地中的金属接地体或接成接地网的接地装置连接。

（二）二次设备

二次设备是对一次设备和系统的运行状况进行测量、控制、保护和监察的设备。二次设备包括：

（1）测量表计。如电压表、电流表、功率表、电能表等，用于测量电路中的电气参数。

（2）继电保护和自动装置。如各种继电器和自动装置等，用于监视一次系统的运行状