



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

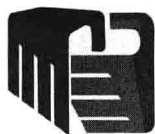
发电厂热力系统 分析及运行

杨义波 刘志真 主 编
魏春枝 李丽萍 副主编

行动导向式



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

发电厂热力系统 分析及运行

主 编 杨义波 刘志真
副主编 魏春枝 李丽萍
编 写 阮 涛 张国栋
主 审 邱丽霞



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以大机组为例,围绕发电厂热力系统来组织内容;以工作过程为导向,以典型工作任务为基点来构建学习情境,共设置发电厂热力系统分析理论基础认知、发电厂热力系统分析、发电厂的经济运行、发电厂的辅助生产系统认知四个项目。本书内容由浅入深,由整体到局部再到整体,符合学生学习过程和认知规律。

本书可作为高职高专电力技术类电厂热能动力装置专业和火电厂集控运行专业的教材,也可供从事火电厂相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂热力系统分析及运行/杨义波,刘志真主编. —北京:中国电力出版社,2015.7

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5123-7722-6

I. ①发… II. ①杨… ②刘… III. ①发电厂-热力系统-高等职业教育-教材 IV. ①TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 097290 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 483 千字 2 插页

定价 42.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

❖ 前 言

发电厂热力系统分析及运行是高职高专电力技术类电厂热动力装置专业和火电厂集控运行专业的一门核心课程。

本书依照行动导向构建的教学体系而编写，内容源于职业岗位、典型工作任务和职业标准，旨在培养学生分析发电厂热力系统的能力。全书以大机组为例，围绕发电厂热力系统展开，以工作过程为导向，以典型工作任务为基点来构建学习情境、设置学习任务，由浅入深，先介绍原则性热力系统，再介绍全面性热力系统；由整体到局部再到整体，即由发电厂原则性热力系统到局部热力系统，再到发电厂全面性热力系统；先热力设备、管道、阀门后热力系统，依照热力循环的顺序完成内容的设计，符合学习认知规律。本书将职业行动领域的工作过程融合在项目训练中，突出对学生职业能力培养的要求，具有鲜明的职业特征。

本书由绪论和四个项目构成，其中，绪论由国网河南省电力公司技能培训中心杨义波编写；项目一由郑州电力高等专科学校李丽萍编写；项目二任务一至任务三由保定电力职业技术学院魏春枝编写；项目二任务四和项目三由山东电力高等专科学校刘志真编写；项目二任务五、六由杨义波和河南华兴新能源有限公司张国栋编写；项目四由郑州电力高等专科学校阮涛编写；郑州裕中能源有限公司刘月磊参加了本书的绘图工作。杨义波负责全书的统稿工作。

本书由山西大学邱丽霞教授主审，主审老师提出了许多建议和意见，在此表示衷心的感谢。

编 者

2015年7月

❖ 目 录

前言

绪论..... 1

项目一 发电厂热力系统分析理论基础认知 12

 任务一 认知热电厂热经济性的评价方法 12

 任务二 认知纯凝汽式发电厂的主要热经济指标 22

 任务三 认知蒸汽参数对发电厂热经济性的影响 24

 任务四 认知再热循环对电厂热经济性的影响 31

 任务五 认知给水回热循环对电厂热经济性的影响 34

 任务六 认知热电联合能量生产 42

 任务七 认知燃气-蒸汽联合循环 49

 任务八 认知水电、核电及新能源发电 54

 复习思考题 65

项目二 发电厂热力系统分析 67

 任务一 认识发电厂热力系统 67

 任务二 分析主蒸汽系统、再热蒸汽系统及中间再热机组旁路系统..... 120

 任务三 分析回热系统..... 131

 任务四 发电厂辅助热力系统分析..... 155

 任务五 发电厂原则性热力系统分析..... 192

 任务六 认知发电厂全面性热力系统..... 212

 复习思考题..... 220

项目三 发电厂的经济运行..... 225

 任务一 认知电力负荷预测与经济调度..... 225

 任务二 认知火电厂调峰运行方式的经济性..... 235

 任务三 认知火电机组的优化运行..... 241

 任务四 认知发电厂的常规热力试验..... 247

 任务五 认知单元制机组的运行..... 252

 复习思考题..... 261

项目四 发电厂的辅助生产系统认知..... 263

 任务一 认知火电厂的燃料输送系统..... 263

 任务二 认知火电厂的除尘系统..... 280

任务三 认知火电厂的除灰渣系统.....	287
任务四 认知火电厂的供水系统.....	301
复习思考题.....	307
参考文献.....	309



绪 论

一、电力工业在国民经济发展中的地位

(一) 行业概况

1. 电力工业是国民经济的重要先行产业

电力工业是关系国计民生的重要基础产业和公用事业。电力的安全、稳定和充分供应，是国民经济全面、协调、可持续发展的重要保障。自新中国成立特别是改革开放以来，电力工业走过了一条不平凡的发展道路，发展速度不断加快，发展质量日益提高，服务党和国家工作大局、服务经济和社会发展、服务电力用户的能力逐步增强，取得了举世瞩目的成绩，实现了历史性的跨越。1949 年，全国电力工业基础薄弱，全国发电装机容量只有 185 万 kW，年发电量 43 亿 kWh，发电装机容量和发电量均居世界第 25 位，人均用电量只有 9kWh。1978 年，全国发电装机容量和发电量分别达到 5712 万 kW 和 2566 亿 kWh，年均增长 12.8%和 15.1%，装机容量和发电量分别跃居世界第 8 位和第 7 位。改革开放以来，电力工业以集资办电为突破口，充分调动各方面办电的积极性，同时积极、合理、有效地利用外资办电，弥补了中国电力建设资金的不足和发电设备的缺口，提高了电力工业的技术含量，使电力工业不断跨上新的台阶。1987 年中国发电装机容量突破 1 亿 kW，1995 年突破 2 亿 kW。近十年发展更加迅速，特别是 2002 年的电力体制改革极大地调动了各市场主体的积极性，电力建设发展速度大大加快，2004 年以来全国电力装机连续跨越 4 亿、5 亿、6 亿、7 亿和 8 亿 kW 大关，全国仅用了 4 年时间就扭转了严重的电力紧张局面。2013 年年底，全国发电装机容量达到 12.47 亿 kW，分别是 1949 年和 1978 年的 674 倍、近 22 倍。

我国早在建国初期就确立了电力工业先行的地位。从“十一五”到“十二五”，电力工业增长速度和 GDP 增长速度可以看出，电力工业作为国民经济的重要先行产业的作用十分明显，2005—2014 年电力增长速度与 GDP 增长速度对比情况见表 0-1。

表 0-1 2005—2014 年电力增长速度与 GDP 增长速度对比情况

项目 \ 年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
电力增长速度 (%)	16.91	20.27	14.68	11.34	10.26	10.56	9.95	7.93	9.3	4.0
GDP 增长速度 (%)	11.31	12.68	14.16	9.63	9.21	10.45	9.3	7.65	7.7	7.4

从电力能源消费在一次能源中（主要指煤炭）的比重和在终端能源消费的比重来看，发电能源占一次能源消费的比重已由 1980 年的 20.60%上升到 2011 年的 53%。电能在终端能源消费中的比重由 1980 的 4.81%上升到 2000 年的 11.2%，电力行业已成为能源工业中的支柱产业。电力工业作为国民经济重要的基础产业的作用，呈现逐

渐增强的趋势。

2. 技术装备水平不断提高

新中国成立初期,中国根本没有百万千瓦大厂;1978年时全国只有2座,合计装机容量232万kW,占全国装机容量的4.1%;1999年全国达到81座,总装机容量为10696万kW,占全国装机容量的35.8%,百万千瓦电厂开始成为运行中的主力电厂;近十年,大容量机组大规模投产导致百万千瓦电厂迅速增加,2008年年底,全国百万千瓦电厂达到261座,合计装机容量40854万kW,占全国装机容量的51.5%,发电量占全国发电量的比例达到54.81%,在电力系统运行中发挥着越来越重要的支撑作用。

随着电力工业的发展,中国电力工业的技术装备和运行水平也不断提高。60年来,电力工业不断健全电力行业综合科技体系,初步实现从单纯科研型向科研生产经营型转变,科技成果迅速转化成现实的生产力,进入生产建设的主战场,科技攻关取得一批重大成果,电力科技对电力经济发展的贡献率处于较高水平。一些科研成果已经达到国际先进水平和领先水平,为电力工业的发展提供了大量实用化的先进技术。现在,火电机组装备水平大幅提高,依托“十五”国家重大技术装备研制项目和重点建设项目,全面掌握了超临界机组的设计和制造技术,并完成了百万千瓦超超临界技术的引进和技术合作、国内制造、安全投产全过程,大型空冷发电机组的开发和应用达到国际先进水平,大型循环流化床、大型燃气联合循环发电技术也上了新台阶;水电技术取得突破,大型水电机组的制造能力达到世界先进水平;在国家核电技术自主品牌AP1000技术基础上,通过自主研发和再创新,形成了我国自主品牌第三代核电技术CAP1400,CAP1400是核电重大专项的目标性、标志性工程,对实现我国核电高起点、跨越式发展具有重要意义。电网技术跨上新台阶,特高压交直流输电技术跨入世界领先水平;中国已经有能力设计、施工、建造和运行像华能玉环电厂、三峡水电站这样的大型火电、水电工程,能够驾驭特大型、超高压、交直流混合的复杂大电网。电力一次系统和信息技术的迅速发展,推动了电网电厂运行向数字化、集成化、标准化、智能化方向发展。

3. 电源结构多样化,核电和新能源发电所占比例上升

电源发展在注重量的同时,更加注重质的提高。中国的能源资源特点决定了电力发展必然以火电特别是煤电为主。因此,电力工业一直把调整电力结构作为一项重要工作常抓不懈,电力结构调整的力度不断加强。火电机组大型化和关停小机组是火电结构调整的重要措施。1956年首台国产6000kW火电机组投产,1958年首台国产1.2万kW火电机组投产,1959年首台国产5万kW火电机组投产,1967年首台国产10万kW火电机组投产,20世纪70年代初,首台国产20万kW和30万kW火电机组相继投产,1985年首台国产60万kW火电机组投产,2002年首台国产80万kW火电机组投产,2003年首台国产90万kW火电机组投产,2006年首台国产100万kW火电机组投产,到2012年年底,全国共有百万千瓦机组56台,是世界上拥有百万千瓦机组最多的国家。同时,原国家电力公司带头在2000年前关停公司内774万kW小火电机组;2006年,国家重新启动“上大压小”工作,三年已累计关停小火电机组3421万kW,完成“十一五”关停计划的68%。新中国成立初期,我国没有大型发电机组,30万kW火电机组由1978年的5台、152万kW增加到2008年的801台、24212万kW,占全部火电机组的比重由1978年的3.82%提高到56.75%,30万、60万kW机组已经成为各个电网的主力机组,并逐步向百万千瓦超超临界压力机组发展。

在优化火电结构的同时,电力行业也特别注重加快水电、核电、风电等清洁能源发展。水电建设方面,1986年以前,中国每年投产水电机组都在100万kW左右,之后投产规模陆续增多,1994年投产403万kW;开发西部水电、实现西部水电的大规模外送,为大规模水电建设提供了新的发展空间;2004年全国水电新增投产容量首次超过1000万kW,当年公伯峡水电站首台机组投产,标志着我国水电装机突破1亿kW,水电装机规模跃居世界第一位;2008年,全国水电新增再创新高,当年新增投产水电容量2170万kW,三峡水电站左右岸机组全部投产,形成了广西龙滩、四川二滩、葛洲坝、小浪底、刘家峡等一批大型水电站;目前,金沙江向家坝和溪洛渡等水电项目处于建设过程之中。核电建设方面,我国在改革开放之初的1978年拟定了核电科学研究规划,1981年批准、1983年开工建设的我国第一座核电站(秦山核电站一期)于1991年并网发电,结束了中国大陆无核电的历史。目前,我国已经形成浙江秦山、广东大亚湾、江苏田湾三个核电基地,在运核电厂5座、10堆、885万kW。特别是近几年,国家明确了核电发展目标和技术路线,核电步入高速建设和发展期,2008年,共开工建设浙江方家山、福建宁德、福建福清、广东阳江四个核电站。风电建设方面,我国并网风电从20世纪80年代开始发展,第一个并网风电厂是1986年建成的山东荣成风电厂,但十几年来并网风电发展缓慢;进入21世纪,国家陆续颁布和制定《中华人民共和国可再生能源法》《可再生能源中长期发展规划》,激发了风电投资热情,风电装机自2005年以来连年实现翻倍增长。生物质发电、垃圾发电形成产业化,此外,还利用风能、太阳能发电等方式解决了部分边远地区的生活用电问题。

截至2013年年末,全国发电装机总量达12.47亿kW,同比增长9.3%。其中,水电装机容量为2.8亿kW,同比增长12.3%;火电装机容量为8.6亿kW,同比增长5.7%;核电装机容量为1461万kW,同比增长16.2%;并网风电装机容量为7548万kW,同比增长24.5%;并网太阳能发电装机容量为1479万kW,增长3.4倍。新能源和可再生能源发电装机占比31%,较2012年提高5.76个百分点。

(二) 行业发展导向及电力体制改革

1. 行业发展导向

(1) 高效清洁发展煤电。稳步推进大型煤电基地建设,统筹水资源和生态环境承载能力,按照集约化开发模式,采用超超临界、循环流化床、高效节水等先进适用技术,在中西部煤炭资源富集地区,鼓励煤电一体化开发,建设若干大型坑口电站,优先发展煤矸石、煤泥、洗中煤等低热值煤炭资源综合利用发电。在中东部地区合理布局港口、路口电源和支撑性电源,严格控制在环渤海、长三角、珠三角地区新增除“上大压小”和热电联产之外的燃煤机组。积极发展热电联产,在符合条件的大中城市,适度建设大型热电机组,在中小城市和热负荷集中的工业园区,优先建设背压式机组,鼓励发展热电冷多联供。继续推进“上大压小”,加强节能、节水、脱硫、脱硝等技术的推广应用,实施煤电综合改造升级工程,到“十二五”末,淘汰落后煤电机组2000万kW,火电供电标准煤耗下降到323g/kWh。“十二五”时期,全国新增煤电机组3亿kW,其中热电联产为7000万kW、低热值煤炭资源综合利用为5000万kW。

(2) 积极有序发展水电。坚持水电开发与移民致富、环境保护、水资源综合利用、地方经济社会发展相协调,加强流域水电规划,在做好环境保护和移民安置的前提下积极发展水电。全面推进金沙江中/下游、澜沧江中/下游、雅砻江、大渡河、黄河上游、雅鲁藏

布江中游水电基地建设,有序启动金沙江上游、澜沧江上游、怒江水电基地建设,优化开发闽、浙、赣及东北、湘西水电基地,基本建成长江上游、南盘江红水河、乌江水电基地。统筹考虑中小流域的开发与保护,科学论证、因地制宜积极开发小水电,合理布局抽水蓄能电站。“十二五”时期,开工建设常规水电 1.2 亿 kW、抽水蓄能电站 4000 万 kW。预计到 2015 年,全国常规水电、抽水蓄能电站装机容量将分别达到 2.6 亿 kW 和 3000 万 kW。

(3) 安全高效发展核电。严格实施《中国核电安全规划》和《2020 年核电中长期规划》,把“安全第一”方针落实到核电规划、建设、运行、退役全过程及所有相关产业。在做好安全检查的基础上,持续开展在役、在建核电机组安全改造。全面加强核电安全管理,提高核事故应急响应能力。在核电建设方面,坚持热堆、快堆、聚变堆“三步走”技术路线,以百万千瓦级先进压水堆为主,积极发展高温气冷堆、商业快堆和小型堆等新技术;合理把握建设节奏,稳步有序推进核电建设;科学布局项目,对新建厂址进行全面复核,“十二五”时期只安排沿海厂址;提高技术准入门槛,新建机组必须符合三代安全标准。同步完善核燃料供应体系,满足核电长远发展需要。利用有限时间、依托有限项目完成装备自主化任务,全面提升我国装备制造业水平。加快建设现代核电产业体系,打造核电强国。预计到 2015 年,运行核电装机达到 4000 万 kW,在建规模 1800 万 kW。

(4) 加快发展风能等其他可再生能源。坚持集中与分散开发利用并举,以风能、太阳能、生物质能利用为重点,大力发展可再生能源。优化风电开发布局,有序推进华北、东北和西北等资源丰富地区风电建设,加快风能资源的分散开发利用。协调配套电网与风电开发建设,合理布局储能设施,建立保障风电并网运行的电力调度体系。积极开展海上风电项目示范,促进海上风电规模化发展。加快太阳能多元化利用,推进光伏产业兼并重组和优化升级,大力推广与建筑结合的光伏发电,提高分布式利用规模,立足就地消纳建设大型光伏电站,积极开展太阳能热发电示范。加快发展建筑一体化太阳能应用,鼓励太阳能发电、采暖和制冷及太阳能中高温工业应用。有序开发生物质能,以非粮燃料乙醇和生物柴油为重点,加快发展生物液体燃料。鼓励利用城市垃圾、大型养殖场废弃物建设沼气或发电项目。因地制宜利用农作物秸秆、林业剩余物发展生物质发电、气化和固体成型燃料。稳步推进地热能、海洋能等可再生能源开发利用。预计到 2015 年,风能发电装机规模达到 1 亿 kW;太阳能发电装机规模达到 2100 万 kW;生物质能发电装机规模达到 1300 万 kW,其中城市生活垃圾发电装机容量达到 300 万 kW。

2. 电力体制的改革

电力体制改革是为了解决电力工业更好、更快发展的课题。改革开放以来,电力工业按照市场化的取向,在体制方面共经历了三次大的跨越。

第一次跨越是实施集资办电,打破了政府独家办电的格局,走出一条多方面、多渠道拓宽电力建设资金的道路。

1981 年开工建设的山东龙口电厂是我国第一个中央和地方共同投资兴建的电厂,打破了长期以来形成的依靠中央政府一家办电的格局;1984 年,利用世界银行贷款兴建的云南鲁布革电站正式签署贷款协议,是我国第一个利用外资兴建的电力项目;1985 年华能国际电力开发公司成立,成为专门利用外资建设电力工程的独立发电公司。国务院逐步形成并在 1987 年提出了“政企分开、省为实体、联合电网、统一调度、集资办电”和“因省、因网制宜”的方针,充分调动地方政府和企业办电的积极性,形成了多渠道、多层次、多形式集

资办电的局面,开拓出一条符合中国国情,有利于加速电力工业发展,从而满足国民经济发展和人民生活水平日益提高对电力旺盛需求的新路。

第二次跨越是实现政企分开,不断培育和强化企业市场主体地位的阶段。

1988年,国务院印发《电力工业管理体制改革方案》,明确网局和省电力局改建方向,将省电力公司和电力联营公司改建为独立核算、自负盈亏的实体;国务院发文成立中国电力企业联合会,将其作为事业单位承担一部分行业管理和 Service 职能。20世纪90年代初期开始建立现代企业制度探索。1994年年初国务院批准将4家电力企业列入全国22家股票境外上市预选企业。山东华能、华能国际、北京大唐三家电力公司在海外上市发行可转换债券,直接进入国际资本市场融资。广西桂冠、湖南华银、黑龙江电力等股份有限公司在规范化股份制改造方面进行了积极的探索。1996年12月,国务院决定组建国家电力公司,国家电力公司与电力部双轨运行。1998年3月电力部撤销,电力行政管理职能移交给国家经贸委,电力行业管理和 Service 职能移交给中国电力企业联合会,这是中国电力工业管理体制由传统的计划经济向社会主义市场经济过渡的历史性转折,为电力工业按照社会主义市场经济体制的框架构筑新型的投资体制、资产经营体制和法人治理体制奠定了基础。在各省机构机构改革的同时,完成了撤销省电力局和大区电业管理局的准备工作。上海、浙江、山东、辽宁、吉林、黑龙江等省(市)积极推进“厂网分开,竞价上网”的改革试点。按照国务院办公厅转发国家经贸委《关于深化电力体制改革有关问题意见》的通知(国办发〔1998〕146号文件)精神,在总结国家电力公司东北分公司改革试点经验的基础上,完成了华东、华中、西北电力集团公司改组为国家电力公司分公司的工作。农电体制改革进一步向前推进,“两改一同价”的实施拉动了农村电力需求的增长,促进了农村经济的发展。

第三次跨越是实行厂网分开、在发电侧引入竞争、着力构建电力市场体系的阶段。

2002年2月,国务院印发《电力体制改革方案》(国发〔2002〕5号文件),决定对电力工业实施以“厂网分开、竞价上网、打破垄断、引入竞争”为主要内容的新一轮电力体制改革。2002年年底,国家电力公司被拆分重组为五大发电集团、两大电网公司和四大辅业集团;2003年国家电力监管委员会成立,依法履行全国电力监管职责;按照国发〔2002〕5号文件,将电力行业统计、环境保护与资源节约的行业管理职能移交给中国电力企业联合会,使其职能进一步明确和充实;2008年3月,国家决定成立国家能源局,作为能源行业主管部门,负责拟定并组织实施能源行业规划等职能。国家电力监管委员会成立以来,积极推进电力市场建设,启动了区域电力市场建设和试点工作,并进行了不同模式的探索,为进一步进行市场化改革积累了宝贵的经验。2003年7月《电价改革方案》发布,提出了电价改革的指导思想、近期目标、长期目标和原则。2007年,国务院转发《关于“十一五”深化电力体制改革的实施意见》(国办发〔2007〕19号),明确了“十一五”深化电力体制改革的总体思路,坚持了电力市场化方向。此外,面对日益严重的能源紧缺和环保压力,我国在2007年提出在五个省份试点节能发电调度。

二、电力工业生产特点和可持续发展

(一) 电力工业生产的特点

1. 安全可靠

电力生产的规律主要表现在发、供、用电设备联成电网,电力的产、供、销同时进行,

发、供、用电同时完成，电力不能大量储存，供电必须保持连续进行，电能必须保证质量。随着大容量、高参数机组和特高电压、高电压、长距离输电网络的广泛采用，对电力安全生产提出了更高的要求。这些规律决定了电力生产必须安全进行。如果电力生产或用电设备系统发生事故造成中断供电，不仅影响用户正常生产和人民的正常生产，还可能造成发、供、用电设备严重损坏和人身伤害；若发生系统瓦解、大面积停电，则会给国民经济和社会带来灾难性的后果。

发电厂安全生产的主要目标是：不发生人身死亡和重大设备事故，控制人身重伤事故率、发电事故率，机组非计划停运次数、可用系数均符合要求并不断提高水平。因此发电厂必须加强安全管理，实现长期稳定的安全生产。

2. 力求经济

目前，我国电力生产仍以火电为主，如果发电煤耗平均下降 1g/kWh ，按 2012 年的发电量计算，全年可节约标准煤近 4000 万 t，若全国送电线损率和厂用电率降低 1%，则全国可节电近 4000 亿 kWh。因此，在电力生产过程中，必须力求经济运行，提高能源利用率。

3. 保证电能质量

电能是一种商品，衡量电能的质量主要利用电网的频率和电压。我国规定，电网的频率为 50Hz，电压等级民用电为 220V，工业用电为 380V。随着电力工业的不断发展，电网越来越大，为稳定供电的电压和频率，保证电能质量，在电力系统中设置适应用户有功功率变化的调频厂或机组，使电网频率保持在规定的范围内。为了保证电压质量，在电网中无功功率差异较大的局部地区要安装电力电容器或调相机组给予补偿。

4. 控制污染，保护环境

火电厂在生产过程中产生的烟尘、二氧化硫、氮氧化物、废水、灰渣和噪声等，污染环境，危害人们的身体健康，必须采取有效的措施严格控制。目前采用煤或烟气的脱硫、脱硝、流化床及低温分段燃烧等技术，使烟气中二氧化硫和氧化氮的含量得到有效控制。利用高效的布袋式除尘器减少粉尘的排放量。可以说，火电厂环保情况的优劣已成为一个国家电力工业技术水平高低的标志之一。

(二) 电力工业可持续发展

1. 开发与节约并重

电力工业是资金密集的装置型产业，同时也是资源密集型产业。无论电源和电网，在建设和生产运营中都需要占用和消耗大量资源，包括土地、水、环境容量以及煤炭、石油、燃气等各类能源。电力工业资源节约的内容主要是提高能源转换效率，降低转换损失，包括节煤、节油、节水、节地、降低输送损耗以及粉煤灰资源综合利用等。从实施的过程看，贯穿于规划、设计、建设一直到生产运营全过程。由于电力的生产、输送与消费瞬间完成的特点，需求侧的节能与节电也对电力发展有重要影响。

长期以来，电力工业坚持“开发与节约并重，把节约放在优先地位”的方针，根据国家法律、法规、政策，建立了较为系统的电力行业资源节约规范、标准和管理体系，并把资源节约作为规划、建设、生产、经营的重点工作之一，与效益目标相结合，不断加大基础性管理和设备治理力度，取得了良好的成绩。

改革开放以来，我国电力工业得到了长足发展，发电量和装机容量均居世界第一位，同时技术装备水平也在稳步提高，技术经济指标逐步改善。

发电的供电煤耗和输电线损率两项指标是衡量电力行业能源效率和经济运行水平的重要指标。供电标准煤耗已经由 1958 年的 601g/kWh 降低到 1978 年的 471g/kWh、1999 年的 399g/kWh、2008 年的 345g/kWh 和 2012 年的 325g/kWh, 线损率由 1980 年的 8.9% 下降到 6.74%。

单位发电量耗水量是发电生产水资源利用水平的重要指标。2011 年, 火电单位发电量耗水量为 2.34kg/kWh, 单位发电量废水排放量为 0.23kg/kWh。

2. 资源利用与环境保护

大型发电厂的建设, 除了消耗大量的煤炭资源外, 还要占用大量的土地资源, 耗费大量的水资源, 并且排放大量废气、废水和废渣, 给环境带来一定的影响。例如, 2400MW 的燃煤电厂, 厂区占地面积 900~1200ha (1ha=10⁴m²), 厂区外灰场 3000ha 左右, 年耗煤约 750 万 t, 助燃油 3 万 t, 采用循环供水系统时, 耗补水 5000~7000m³。

我国一贯重视环境保护, 在电力发展中确立了环境保护与电力发展相协调的方针, 使电力建设与环境保护“同步规划、同步实施、同步发展”, 努力实现经济效益、社会效益和环境效益相统一。21 世纪国家对环境保护要求日趋严格, 环保思路由末端治理向清洁生产转变, 由主要依靠强制性要求向强制性要求与市场引导手段相结合转变, 带领电力环境保护工作不断创新并迈上新台阶。重点突出结构减排, 2012 年共关停小火电机组 346 万 kW。

中国能源构成以煤为主, 鉴于电力燃煤约占全国煤炭消费总量的 50%, 燃煤电厂排放的细颗粒物是我国灰霾的成因之一, 电力行业必然在防霾治霾中发挥重要作用。实测表明, 燃煤电厂除尘脱硫后排放的烟气中颗粒物几乎全为 PM₁₀, 且其中 PM_{2.5} 所占比重较大。对燃煤电厂所排放的一次细颗粒物估算的结果表明, 尽管火电装机迅速增加, 单位火电发电量烟尘排放量降至 0.39g/kWh, 电力行业全年一次细颗粒物排放总量由 1980 年的 399 万 t 下降到 2012 年约 80 万 t。

燃煤电厂排放的二氧化硫、氮氧化物等经反应形成气溶胶, 是二次细颗粒物的重要来源。研究认为, 未来随着技术进步和管理创新, 两项大气主要污染物的减排水平将进一步提升, 将有利于细颗粒物的减少。电力工业从 20 世纪 70 年代开始研究二氧化硫控制问题, 20 世纪 80 年代中期加大了烟气脱硫技术的研究力度, 1984 年在四川白马电厂建立了旋转喷雾工业试验装置, 1991 年首次在重庆珞璜电厂安装石灰石-湿法烟气脱硫装置, 开创在大容量机组上配备烟气脱硫装置的先河。二氧化硫排放绩效由 1980 年的 10.1g/kWh 下降到 2012 年的 2.26g/kWh, 所占工业排放比例已经大大降低。二氧化碳减排成效显著, 2006—2012 年, 累计减排二氧化碳 35.6 亿 t。2012 年新投运脱硫机组装机容量为 4725 万 kW, 脱硫机组总装机容量达到 7.18 亿 kW, 占火电装机容量的比例为 92%; 289 台、1.27 亿 kW 现役机组拆除烟气旁路, 综合脱硫效率从 85% 提高到 90% 以上。

20 世纪 80 年代中后期, 火电行业引进锅炉低氮氧化物燃烧器的制造技术, 并基本应用于引进型的国产大容量机组上, “十二五”以来新建燃煤机组全部采用了低氮氧化物燃烧方式。截至 2012 年年底, 250 台、9670 万 kW 火电机组建设脱硝设施, 脱硝机组总装机容量达到 2.26 亿 kW, 占火电装机容量的比例从 2011 年的 16.9% 提高到 27.6%; 截至 2012 年年底, 全国脱硝机组平均脱硝效率为 48%, 同比提高 18 个百分点; 14 个脱硝电价试点省份脱硝机组装机容量占全国的 2/3, 平均脱硝效率为 51.6%, 较非试点省份提高 11 个百分点; 脱硝电价政策充分调动火电企业建设和运行脱硝设施的积极性, 电力行业氮氧化物减排

7.1%。以 1995 年 12 月广西合山电厂停止向江河排灰为标志,结束了火电厂长期向江河排灰的历史;干除灰和调湿灰碾压灰场得到广泛应用。水电环境保护进入成熟期,不仅重视施工期污染防治和水土保持,鱼道和分层取水等实质性的生态保护和修复措施已经得到实施。输变电项目也严格执行电网建设项目环境影响评价,重视减少电场、磁场污染对居民和环境的影响。

同时,通过设备治理和强化可靠性管理,电力设备运行可靠性持续改善,为经济运行水平的提高奠定了基础。1988 年我国 200 MW 容量等级火电机组的等效可用系数为 75.99%,300MW 容量等级火电机组的等效可用系数为 77.99%,2012 年,100MW 及以上纳入可靠性管理中心统计的在全部发电机组中,等效可用系数提高到 92.80%,产生了巨大的经济效益。

一次能源转换为电能的比重和电能占终端能源消费量的比重是衡量一个国家经济发展水平、能源使用效率乃至整个经济效率的高低和环境保护程度的重要标志。随着能源结构清洁化调整步伐加快以及能源高效利用的要求,电力在能源转换利用体系中将发挥越来越重要的作用。预计到 2020 年,我国发电能源占一次能源消费比重将从目前的 40%提高到约 50%。其中,新增一次能源供应的 65%左右将用于发电。与世界其他国家相比,煤炭在我国终端能源消费结构中的比例偏高,天然气比例偏低,电力基本相当,但与发达国家相比还有差距。电能消费占终端能源消费的比重是指电能在各种能源最终总消费中的百分比,是衡量一个国家电气化程度的重要指标之一。电能占终端能源消费量的比重大小与国家经济发展水平关系密切。一般来说,经济水平越高,电能占终端能源消费量的比重就越大。预计到 2020 年,中国电力消费占终端能源消费的比重将由 2010 年 17.5%增长到接近 30%。

电力工业能源利用效率的提高主要通过四个方面:一是在电力能源结构方面,火电、水电、核电都得到了不同程度的发展,并通过开发新能源和可再生能源,在满足电力需求和经济发展的同时尽可能减少石油、煤炭等不可再生能源的使用;二是通过技术进步,不断提高火电机组参数和容量等级,减少电力生产过程中自身能源消耗,积极推进热电联产,能源转换和利用效率得以提高,通过对火电厂锅炉、汽轮机及其辅机、控制系统等进行大量适应现代化要求的改造,提高机组可靠性和技术经济水平;三是通过电网建设和城网、农网改造,优化调度方式,取得了巨大的节能降损效果;四是在政府的政策引导下,电力企业 with 用户紧密配合,电力需求侧管理取得了一定成效。

(三) 可持续发展应该采取的一些措施

面对电力工业可持续发展的战略任务,电力行业必须下大力气,在坚持“开发与节约并举”的同时,切实改变增长方式,做到节约优先。为此,建议采取以下相应措施。

1. 依法开展资源节约活动,完善配套政策

国内外经验表明,以节能为代表的资源节约工作是典型的市场失灵的领域,需要政府政策发挥引导作用,行业、企业制定相应规则,推动工作开展。应当在《中华人民共和国节约能源法》(以下称《节能法》)、《中华人民共和国清洁生产促进法》(以下称《清洁生产促进法》)的基础上,确立和细化市场主导、企业主体、行业自律、政府宏观调控的地位和作用。

要制定科学的产业政策,对资源配置过程进行干预,修正市场调节的缺陷和不足,以便从资源合理配置和产业结构加速优化中获得经济可持续增长。当前需要政府进一步完善有关

能源价格政策、资源节约激励政策、热电联产机组建设条件、分布式供能系统建设条件和上网规则、新能源及可再生能源电价定价模式、电力系统经济调度模式等。

电力行业（尤其是电网企业）应当积极开展需求侧管理，对用户的合理用电、节约用电给予指导。通过电力需求侧管理，提高终端用电效率和电网经济运行水平，减少电力建设投资，达到节约能源和保护环境的目的，实现低成本电力服务。国际经验表明，提高终端使用能效所用的成本，必然低于建立新发电厂以及输配电设施的成本和运行成本。需要政府出台需求侧管理等政策和措施，落实实施主体，市场引导，有序推进，提高能效，建设节能型社会。

2. 加大结构调整力度，促进产业升级

应按照“加强电网建设，大力开发水电，优化发展煤电，积极发展核电，适当发展天然气发电，加快新能源发电，重视生态环境保护，提高能源利用效率”的方针，合理规划，加大电力产业结构调整的力度，促进产业升级。

电能高效、洁净地生产、传输、储存、分配和使用是产业升级的重点领域。要通过对电源、电网、需求侧技术改造，提高电力能源利用效率，包括鼓励热电联产和热、电、冷技术的推广，提高能源综合利用率；重点发展 50 万 kW 以上大型混流式水轮发电机组，30 万 kW 级抽水蓄能机组；采用超超临界、超临界等高参数、大容量、高效率、高调节性火电机组；发展清洁燃烧等洁净煤技术；继续研发电厂监控和优化运行、状态检修技术，并对主辅设备进行节能改造；通过节水技术改造、废水再生利用、城市污水及海水等替代水资源工作，节约用水，并在北方富煤缺水地区发展大型空冷机组；进一步开发利用新能源及可再生能源，实现兆瓦级大型风力发电机组的国产化；通过加强电网建设，为开发利用西部水电、新能源、分布式供电提供基础；加强电网规划，加快大容量、远距离、超高压交直流输电技术的应用，通过设备经济运行等手段，降低输送损耗。

3. 发展循环经济，实行清洁生产

发展循环经济是实现可持续发展的一个重要途径，同时也是保护环境和有效利用资源的根本手段。近年来，我国在三个层次上逐步开展循环经济的实践探索：在企业层面积极推行清洁生产、在工业集中区创建生态工业园区、在城市和省区开展循环经济试点，取得了初步成效。

根据《清洁生产促进法》的要求，需要研究制定以资源节约为主要指标之一的电力清洁生产指标评价体系及实施办法、电力清洁生产审计指南等，大力开展清洁生产企业建设活动，使电力资源节约工作中节能、节水、节油、综合利用和环境保护实现互动式发展。

4. 促进电力资源节约的行业行动

随着电力体制改革的不断深化，发电资产重组、网厂分开以及建立区域电力市场后，政府宏观调控、企业自主经营、监管机构依法监管和行业协会自律管理与服务的格局逐步形成，电力行业资源节约工作形势发生了很大变化。

电力行业的资源节约，广大电力企业是主体。电力企业应按照《节能法》和国家有关法规，进一步加强资源节约工作力度，设立相应的机构和专门人员负责资源节约工作，深入分析潜力，增加节能投入，加快技术改造和科技进步，强化企业管理。电力行业广大职工应自觉提高节约意识，从自身做起，从一点一滴的实事做起，切实抓出实效。

当前，我国经济已进入新一轮快速发展时期，这对电力工业是一次新挑战。通过资源节

约、环境保护和清洁生产,实现可持续发展,电力工业一定能够为经济社会发展和人民生活水平的不断提高,为全面建设小康社会目标的实现提供坚强有力的保障。

三、发电厂的类型及本课程的性质和任务

(一) 发电厂的类型

1. 按产品分

电厂按产品可分为发电厂和热电厂两种。发电厂只生产电能,如火电厂把汽轮机做完功的蒸汽,排入凝汽器凝结成水,所以又称为凝汽式电厂。热电厂既生产电能又对外供热,供热是将汽轮机较高压力的排汽或可调节抽汽送给热用户。

2. 按使用的一次能源分

(1) 火力发电厂。以煤、油、天然气为燃料的电厂称为火力发电厂,简称火电厂。按照我国的能源政策,火电厂要以燃煤为主,并且优先使用劣质煤,除国家批准的燃油电厂外,严格控制电厂使用燃油。

(2) 水力发电厂。以水能作为动力发电的电厂为水力发电厂。其生产过程是由拦河坝维持的高水位的水,经压力水管进入水轮机推动转子旋转,将水能转变成机械能,水轮机带动发电机旋转,从而使机械能转变为电能,在水轮机中做完功后的水历经尾水管排入下游。

与火力发电相比较,水力发电具有发电成本低、效率高、环境污染小、启停快、事故应变能力等优点,但需要修筑大坝,投资大,工期长。我国的水力资源丰富,从长远利益看,发展水电将取得很好的综合效益。因此国家把开发水力资源放在重要的位置。

(3) 原子能发电厂。将原子核裂变释放出的能量转变成电能的电厂为原子能发电厂,也称核电站。原子能发电厂由两部分组成,一部分是利用核能产生蒸汽的核岛,它包括核反应堆和一回路,核燃料在反应堆中进行链式裂变产生热能,一回路中冷却水吸收裂变产生的能量后流出反应堆,进入蒸汽发生器将热量传给二回路中的水,使之变成蒸汽;另一部分是利用蒸汽的热能转换成电能的常规岛,它包括汽轮发电机组及其系统,与火电厂中的汽轮发电机组大同小异。

原子能发电相比火力发电有许多优越性,其燃料能量高度密集,避免燃料繁重运输,运行费用低,无大气污染等,但基建投资大。在能源短缺的今天,原子能发电将会得到更大的发展。

3. 其他类型的发电厂

(1) 燃气-蒸汽联合循环发电厂。利用燃气-蒸汽联合循环动力装置,能充分利用燃气轮机的余热发电,因此热效率高,可达55%以上。利用深层煤炭地下气化技术,结合燃气-蒸汽联合循环发电,不仅能提高发电效率,而且能避免深井煤炭的开采,有利于煤的脱硫,其综合效益将是非常显著的。当利用工业企业排放的废气,如煤气厂、石化厂的火炬气、高炉烟气作为燃气轮机的能源时,还可减轻公害。

(2) 抽水蓄能电厂。将电力系统负荷处于低谷时的多余电能转换成水的势能,在电力系统负荷处于高峰时又将水的势能转换成电能的电厂为抽水蓄能电厂,或称抽水蓄能电站。这种水电站因有两次水的势能与电能之间的转换,所以存在一定的能量损失。但随着电力负荷的急剧增长,特别是对大型核电站带基本负荷的电力系统,它在电力系统调峰、调频中的作用会更为显著,因而发展较快。

(3) 太阳能发电厂。利用太阳能发电的电厂称为太阳能发电厂。太阳能发电有两种基本

方法：一种是将太阳光聚集到一个容器上，加热水或其他低沸点液体产生蒸汽，带动汽轮发电机组发电；另一种是用光电池直接发电。

(4) 地热发电厂。地热发电厂利用地下热水（蒸汽或汽水混合物），经过扩容器降压产生蒸汽，或通过热交换器使低沸点液体产生蒸汽，通过汽轮发电机组发电。

(5) 风力发电厂。利用高速流动的空气即风力，驱动风车转动，从而带动发电机发电的电厂，称为风力发电厂。

另外，还有利用潮汐能、海洋能、磁流体等发电的电厂。

(二) 本课程的性质和任务

本课程是电厂热能与动力类专业与电厂生产实际紧密相连、综合性较强的一门主干课程，以火电厂整体为研究对象，重点讲述 300、600、1000MW 机组的热力辅助设备的基本结构、工作原理和运行知识；介绍各热力系统的组成、连接方式和运行知识；定性分析火电厂运行的热经济性；详细介绍电厂管道、阀门及其运行维护；对电厂辅助生产系统和设备也作较详细的介绍；对于热电厂的供热系统作了一般介绍。通过本课程的学习应达到下列要求：

- (1) 了解评价热电厂热经济性的方法，掌握用效率法定量评价发电厂的热经济性。
- (2) 掌握提高发电厂热经济性的主要途径和方法。
- (3) 能定性分析发电厂的运行经济性，熟悉发电厂的主要经济指标。
- (4) 掌握发电厂热力辅助设备的结构、工作原理和初步运行知识。
- (5) 掌握发电厂各热力系统组成、连接方式及其基本运行知识。
- (6) 了解发电厂辅助生产系统作用、组成及工作过程。
- (7) 熟悉发电厂管道及其附件的基本知识。
- (8) 对热电厂的供热系统可作一般了解。