

# 发电企业 节能降耗技术

FADIANQIYE  
JIENENGJIANGHAO JISHU

西安热工研究院 编著



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

# 发电企业 节能降耗技术

---

FADIANQIYE

JIENENGJIANGHAO JISHU

西安热工研究院 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)



本书以提高火电机组安全运行的经济性和可靠性、提高能源转化利用率、减少污染物排放为目标,深入阐述了多种火力发电厂节能降耗技术,并结合相应的改造实例,给出了技术经济评价。

全书共分15章,主要内容包括火力发电厂能耗现状与节能技术措施、火力发电机组热力系统节能理论、火力发电厂节能评估、火电机组的运行优化调整、锅炉运行优化调整、燃煤安全高效洁净掺烧、脱硫装置节能运行、电除尘器节能、风机节能、火力发电厂节约燃油技术、汽轮机通流部分改造、汽轮机辅机节能诊断和运行优化、热力系统的节能改造、火力发电厂节水和信息化在火力发电厂节能降耗中的应用等。

本书内容新颖、材料丰富、覆盖面广、信息量大,适合从事火力发电厂节能降耗管理、监督及运行工作的人员阅读,也可供相关技术人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

发电企业节能降耗技术 / 西安热工研究院编著. —北京: 中国电力出版社, 2010

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0031 - 6

I. ①发… II. ①西… III. ①发电厂 - 节能 - 技术 IV. ①TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 006420 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2010年2月第一版 2010年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20.75印张 501千字

印数0001—3000册 定价45.00元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
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

能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。我国的人均能源资源拥有量较低，其中，煤炭和水力资源人均拥有量相当于世界平均水平的 50%，石油、天然气人均资源量仅为世界平均水平的 1/15。我国尚处在工业化、城镇化加快发展的历史阶段，高耗能产业在经济增长中仍将占有较大比重，转变能源生产和消费模式，提高能源效率，减少能源消耗，是一项长期而艰巨的任务。节约资源是我国的基本国策，“十一五”规划纲要把“十一五”时期单位 GDP 能耗降低 20% 左右作为约束性指标。

电力工业既是二次能源生产行业，又是一次能源消费大户。火力发电工业能源消耗量大，煤炭消耗量占全国产煤量的一半以上。2008 年，我国电力工业全国平均供电煤耗为 349g/kWh，与世界先进水平（1999 年）相差约 29g/kWh；生产厂用电率为 5.87%，与世界先进水平（1999 年）相差约 2 个百分点。电力工业节能构成了我国节能工作的重要组成部分，通过指导电厂加强用能管理，采取技术上可行、经济上合理、符合环境保护要求的措施，可以减少电力生产过程中各个环节的损失和浪费，更加合理、有效地利用能源，减少污染物和温室气体排放量。

西安热工研究院以提高火电机组安全运行的经济性和可靠性、提高能源转化利用率、减少污染物排放为目标，近年来投入了大量人力、物力，针对火力发电厂生产过程中各个环节普遍存在不同程度的能量损失问题进行调查、研究，研发出大量节能降耗的新技术、新方法，取得了一定的技术成果。这些技术和成果的应用对改善火力发电厂的节能降耗状况起到了积极的促进作用。为了及时总结火力发电厂节能降耗技术的发展趋势，交流和研讨火力发电厂节能降耗技术研究的最新成果与动态，进一步推动节能降耗技术在发电企业中的应用，西安热工研究院在多次成功举办发电企业节能降耗技术高级研修班的基础上，广泛听取发电企业的意见和建议，组织相关行业专家对培训教材进行深度加工、整理并审核了本书。

本书第一章由赵毅编写，第二章由严俊杰编写，第三章由于新颖、梁昌乾编写，第四章由朱立彤编写，第五章由张广才编写，第六章由姚伟编写，第七章由何育东编写，第八章由张滨渭编写，第九章由刘家钰编写，第十章由徐党旗编写，第十一章由肖俊峰、宁哲编写，第十二章由居文平编写，第十三章由宋文希编写，第十四章由杨宝红编写，第十五章由王智微编写。本书由赵毅任主编、杨寿敏任副主编，杨寿敏担任总核稿，王西生担任组织协调工作，汪德良、朱宝田、安敏善、赵宗让、何红光、于新颖、王春昌、聂剑平、宁哲、宋文希、胡洪华、祁君田、董康田、王生鹏对相关章节进行了核稿，刘英雄对总体结构及章节布局提出了建设性建议，柴华强承担了策划、组稿、协调及后期的统筹工作。



本书展示了火力发电厂节能降耗技术的最新成果，也包含了西安热工研究院在火力发电厂节能降耗技术领域的研究心得和宝贵的实践经验。本书内容新颖、材料丰富、覆盖面广、信息量大，可供国内电力行业的管理和专业技术人员，特别是关注火力发电厂节能降耗技术的相关读者了解火力发电厂节能降耗技术，具有重要的参考价值和工程应用价值。

本书将会对火力发电厂节能降耗技术在我国推广应用起到一定的促进作用。

本书在编写过程中，得到西安热工研究院及相关专业技术部门、业务管理部门的大力支持，西安交通大学严俊杰教授也给予大力支持，在此一并致谢。

本书在使用过程中将根据技术的发展不断扩充、修正和完善。对于本书中的缺点与不足之处，欢迎读者不吝赐教。

**编委会**

**2009年12月**



# 目 录

## 前言

<b>第一章 火力发电厂能耗现状与节能技术措施</b> .....	1
第一节 我国一次能源结构特点.....	1
第二节 我国电力发展趋势与能耗现状.....	3
第三节 火力发电厂节能的主要技术措施.....	7
第四节 火力发电厂节能降耗重点工作 .....	14
<b>第二章 火力发电机组热力系统节能理论</b> .....	15
第一节 等效焓降的基本原理 .....	15
第二节 热力系统节能诊断的基本法则 .....	17
第三节 应用等效焓降进行经济性诊断的条件 .....	24
第四节 热力系统节能诊断举例 .....	25
第五节 供热机组热力系统节能诊断方法 .....	30
<b>第三章 火力发电厂节能评估</b> .....	34
第一节 火力发电厂节能管理 .....	34
第二节 火力发电厂节能评估的基本要求 .....	40
第三节 火力发电厂节能评估工作导则 .....	41
第四节 影响火力发电厂经济性的因素 .....	41
第五节 能耗诊断与节能潜力评估实例 .....	51
第六节 火力发电厂节能评价体系 .....	59
<b>第四章 火电机组的运行优化调整</b> .....	64
第一节 运行优化的适用范围 .....	64
第二节 运行优化的目的和特点 .....	64
第三节 运行优化的主要内容 .....	65
第四节 锅炉及其辅机运行优化调整 .....	67
第五节 汽轮机及其辅机运行优化 .....	77

<b>第五章 锅炉运行优化调整</b> .....	87
第一节 锅炉运行优化调整的目的 .....	87
第二节 锅炉运行优化调整的技术现状及任务 .....	87
第三节 通过锅炉运行优化调整提高锅炉运行经济性 .....	88
第四节 通过锅炉运行优化调整提高锅炉运行安全性 .....	98
第五节 通过锅炉运行优化调整降低污染物排放 .....	106
第六节 锅炉运行优化调整试验 .....	108
<b>第六章 燃煤安全高效洁净掺烧</b> .....	111
第一节 概述 .....	111
第二节 混煤的燃烧特性及变化规律 .....	112
第三节 混煤参数对掺烧安全性和经济性的影响 .....	114
第四节 掺烧方式的比较 .....	119
第五节 安全高效洁净的掺烧措施和手段 .....	122
第六节 掺烧或更换煤种决策方法 .....	132
<b>第七章 脱硫装置节能运行</b> .....	147
第一节 脱硫装置运行优化的策略 .....	147
第二节 脱硫装置运行优化的内容 .....	148
第三节 脱硫装置日常管理与运行维护 .....	156
<b>第八章 电除尘器节能</b> .....	158
第一节 电除尘器节能潜力 .....	158
第二节 高压电源的节能 .....	159
第三节 其他节能问题 .....	160
第四节 节能优化调整试验 .....	160
第五节 节能优化完善及改造 .....	165
第六节 电除尘器节能中存在的问题 .....	167
第七节 热工院节能技术特色及推广 .....	169
<b>第九章 风机节能</b> .....	171
第一节 我国电站风机的技术水平及节电潜力 .....	171
第二节 电站风机节能途径 .....	172
第三节 电站风机节能技术 .....	174
第四节 电站风机节能改造实例 .....	188
<b>第十章 火力发电厂节约燃油技术</b> .....	200
第一节 火力发电厂节约燃油技术发展历程与现状 .....	200
第二节 国内现有的几种火力发电厂节约燃油技术 .....	203

第三节	西安热工院在煤粉锅炉点火和稳燃节油方面开展的工作·····	207
第四节	火力发电厂节约燃油技术发展趋势及难点·····	210
<b>第十一章</b>	<b>汽轮机通流部分改造</b> ·····	<b>212</b>
第一节	概述·····	212
第二节	汽轮机通流部分改造的必要性·····	213
第三节	汽轮机通流部分改造的目标和原则·····	214
第四节	汽轮机通流改造技术·····	215
第五节	汽轮机通流部分改造程序·····	218
第六节	汽轮机汽封改造·····	221
第七节	结语及建议·····	228
<b>第十二章</b>	<b>汽轮机辅机节能诊断和运行优化</b> ·····	<b>229</b>
第一节	主要泵组性能诊断·····	229
第二节	冷端系统性能诊断·····	236
第三节	冷端系统运行优化·····	257
第四节	诊断和运行优化实例·····	259
<b>第十三章</b>	<b>热力系统节能改造</b> ·····	<b>265</b>
第一节	热力系统存在的主要问题及影响·····	266
第二节	汽轮机及热力系统能损分析·····	269
第三节	技术改进原则、措施及效果·····	279
第四节	部分电厂机组完善改进后的实际效果·····	281
<b>第十四章</b>	<b>火力发电厂节水</b> ·····	<b>285</b>
第一节	火力发电厂主要用水系统·····	285
第二节	水平衡试验及优化·····	288
第三节	提高浓缩倍率的技术关键·····	290
第四节	废水综合利用·····	295
<b>第十五章</b>	<b>信息化在火力发电厂节能降耗中的应用</b> ·····	<b>298</b>
第一节	火力发电厂信息化现状·····	298
第二节	SIS 系统在节能降耗中的应用·····	301
第三节	煤耗在线监测系统在节能降耗中的应用·····	310
<b>参考文献</b>	·····	<b>319</b>



## 第一章

# 火力发电厂能耗现状与节能技术措施

能源匮乏与环境承载能力弱是中国经济发展面临的重大难题。随着我国工业化、城镇化的快速发展，能源供需矛盾和环境问题更显突出。因此，节能降耗既是我国经济社会发展的一项长远战略方针，也是当前一项紧迫任务。我国已经明确“十一五”期末单位国内生产总值能源消耗要比“十五”期末降低 20%，将节能降耗目标与经济增长目标放在了同等重要的位置。

火力发电既是二次能源生产行业，也是一次能源的消费大户，我国电力工业的发展趋势及其能耗状况将在宏观层面对我国的一次能源利用战略产生重大影响。因此，针对我国一次能源结构特点及其利用现状，以及电力工业的发展趋势和能耗水平，本书系统客观地分析了目前我国火力发电厂在一次能源利用与转化方面存在的问题，从电力工业宏观结构、企业技术管理及发电机组技术水平层面提出了相应的节能技术措施，以期对发电厂节能降耗进行技术指导。

### 第一节 我国一次能源结构特点

我国煤炭资源总量为 5.6 万亿 t，其中已探明储量为 1 万亿 t，占世界总储量的 11%，技术可开采储量 1800 亿吨。而石油仅占世界储量的 2.4%，天然气仅占世界储量的 1.2%。因此，在我国的一次能源结构中，煤炭显然占据着主导地位。

近几年，我国一次能源消费总量随着 GDP 的增长而大幅度增长。2006 年，一次能源消费总量达到 24.6 亿 t 标准煤，2007 年消费总量达到 26.5 亿 t 标准煤，2005 ~ 2007 年三年的平均增长速度为 9.3%。但是，受一次能源结构的制约，长期以来，煤炭在我国一次能源生产和消费中的比例一直在 70% 左右，始终占主导地位，并且随煤炭产量的增加而增长，如图 1-1 和图 1-2 所示。预计在今后 30 ~ 50 年内，煤炭在我国一次能源构成及一次能源消费中的主导地位不会改变。

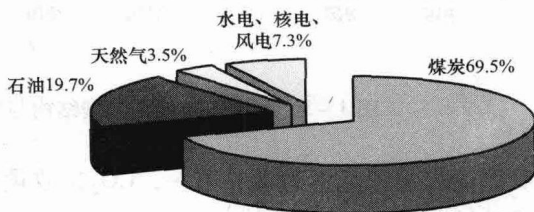


图 1-1 煤炭在我国一次能源消费中的比例 (2007 年)

与世界主要国家比较，我国以煤为主的一次能源消费结构不尽合理。目前，世界煤炭在能源结构消费中平均水平为 28.6%，其中美国为 24.3%，俄罗斯为 13.7%，德国为

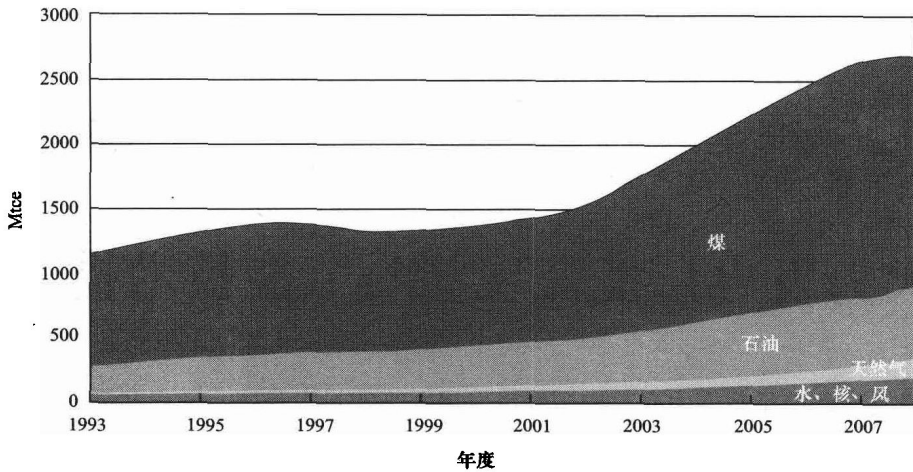


图 1-2 我国一次能源消费量的增长

27.7%，见图 1-3。同时，我国的能源利用效率与世界先进水平相比也存在较大差距，单位 GDP 能耗高于世界平均水平 3 倍，其中比美国高 4.3 倍，比日本高 8.6 倍，比德国高 5.2 倍；单位 GDP 电力消耗比世界平均水平高 2.7 倍，比北美地区高 3.2 倍，比欧洲地区高 3.6 倍，并且比印度高 33%；我国火电厂的平均热效率为 33%~35%，而发达国家为 40% 以上，相差 5~7 个百分点；工业锅炉平均效率为 60%~65%，发达国家效率为 80% 以上，相差 15~20 个百分点。

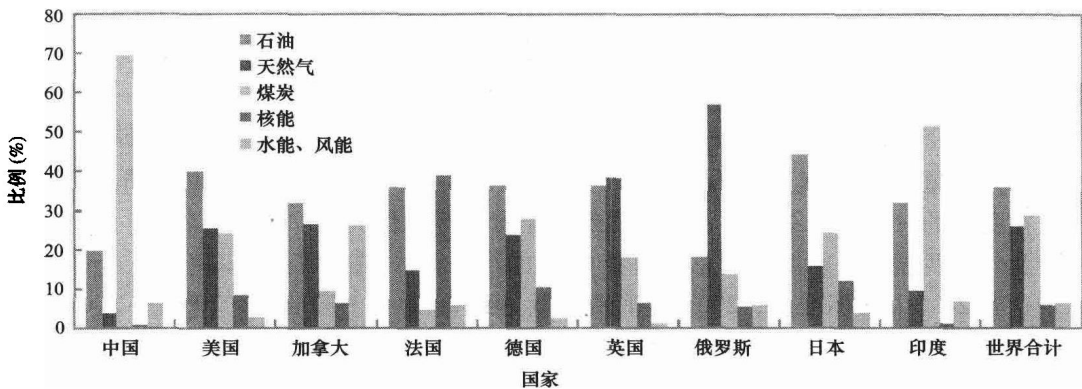


图 1-3 我国一次能源消费结构与世界主要国家的比较 (2007 年)

我国的煤炭消耗量为世界第一，CO<sub>2</sub>排放量居世界第二位，因能源利用效率低，致使污染物排放治理的成本也日益加重。2007 年，我国 SO<sub>2</sub>排放总量 2321 万 t，其中电力、热力生产排放 1147 万 t，占 49.4%，较 2005 年比例下降了 2.6 个百分点。预计 2010 年我国 SO<sub>2</sub>排放总量达 3200 万 t，2020 年为 3500 万 t。一次能源消费结构不合理、能源利用效率低和环境污染加剧，已成为制约国民经济及社会可持续、协调发展的主要瓶颈之一。因此，提高一次能源利用效率，特别是燃煤发电效率，对节约资源、改善环境、促进经济及社会可持续发展



展具有重要的意义，也是一项十分艰巨的任务。

## 第二节 我国电力发展趋势与能耗现状

近年来，我国煤炭及电力生产大幅度增长，2006～2008年电力生产的平均增长速度为18.6%。2008年全国总发电量达到3.4334万亿kWh，其中火力发电量约占全部发电量的80.95%，在电力生产中占主导地位。2002～2008年煤炭产量年均增长13.41%，其中发电与热电联产用煤约占原煤产量的50%。2008年原煤产量达到27.16亿t，发电与热电联产用煤13.4亿t，占49.34%。因此，为进一步提高燃煤发电的效率，节能降耗十分重要。

### 一、发电装机容量及发电量构成

近年来，我国电力持续快速发展，“十五”期间发电装机容量增长60%，平均年增长10%。

“十一五”前三年，装机容量每年增长量达1亿kW，截至2008年底，全国总装机容量达到7.9253亿kW，同比增长10.34%，其中火电总装机容量为6.0132亿kW，水电总装机容量为1.7152亿kW，核电总装机容量为907.8万kW，风电总装机容量为1324.22万kW。截至2009年底，全国总装机容量达8.7407亿kW，同比增长10.23%。其中，火电为6.5205亿kW，占总容量的74.60%；水电为1.9679亿kW，占总容量的22.51%。

“十五”期间及“十一五”前三年，我国火电机组装机容量增长与总装机同比增长，一直占总装机容量的75%左右，火力发电量约占全国总发电量的80%以上，而火力发电的95%是燃煤发电，见图1-4。

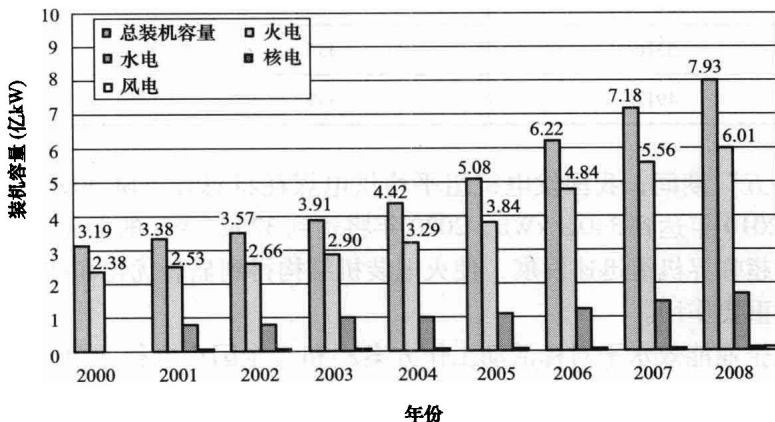


图1-4 我国发电总装机容量及其构成

目前，随着国家“上大压小”政策的实施，火电机组的装机结构逐步优化。2008年，全国300MW及以上火电机组的装机容量比例达到61.5%，已成为我国火力发电的主力机型。但是，100MW及以下小火电机组的装机容量仍有1亿kW左右，约占火电总装机容量的16.6%，平均供电煤耗高达460g/kWh以上，其中大部分为单机容量50MW及以下的小火电机组，见图1-5。

比较我国与几个主要发达国家的装机结构，美国2007年总装机容量为1087.79GW，其

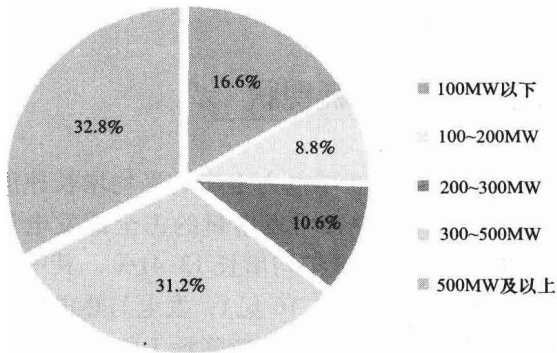


图 1-5 我国火电机组的容量结构 (2008 年)

中燃煤机组占 30.89%、燃油机组占 5.74%、天然气机组占 41.31%、核电机组占 9.72%、水电机组占 7.14%、风电机组占 1.53%、抽水蓄能机组占 1.87%、地热发电机组占 0.30%、太阳能发电机组占 0.05%；日本 2006 年总装机容量为 238.43GW，其中燃煤机组占 16%、燃油机组占 19%、天然气机组占 25%、核电机组占 21%、水电机组占 19%、地热发电机组占 0.52%。而我国是以燃煤发电为主，2008 年底全国总装

机容量 792.53GW，其中火电装机占 75.87%，而在火电机组中，燃煤机组容量占 95% 以上。因此，提高燃煤发电效率、节能降耗是当前我国发电企业最主要和最紧迫的任务。

## 二、火电厂能耗指标

在发电企业的不懈努力下，“十五”期间我国火电机组供电煤耗下降了 22g/kWh，平均每年下降 4.4g/kWh，2005 年全国火电机组平均供电煤耗为 370g/kWh；至 2008 年，全国火电机组平均供电煤耗已降为 349g/kWh，见表 1-1。

表 1-1 近年火电机组主要能耗指标

年份	利用小时 (h)	供电煤耗 (g/kWh)	发电厂用电率 (%)
2005	5876	370	6.80
2006	5633	367	6.77
2007	5316	357	6.75
2008	4911	349	6.84

预计“十一五”期间，我国发电机组平均供电煤耗将总计下降 30g/kWh，平均每年下降 6g/kWh；到 2010 年达到 340g/kWh，2020 年将达到 320g/kWh 的世界先进水平。近几年，随着超临界及超超临界机组迅速发展，使火电装机结构得到显著优化和技术升级，对火电厂节能降耗发挥了重要作用。

按照《火电企业能效水平对标活动工作方案》和《全国火电行业 30 万千瓦级机组能效水平对标技术方案（试行）》，经电厂申报、发电集团公司审核和对标工作办公室综合分析，中电联公布了 2009 年全国火电 300、600 ~ 1000MW 级火电机组主要能效指标对标结果，见表 1-2 ~ 表 1-5。

表 1-2 2009 年 300MW 级机组供电煤耗对标结果

分类条件	统计台数	供电煤耗 (g/kWh)			
		平均值	最优值	前 20% 先进值	前 40% 先进值
国产纯凝	217	337.47	315	324.2	326.43
进口纯凝	52	327.64	306.83	316.68	319.8





续表

分类条件	统计台数	供电煤耗 (g/kWh)			
		平均值	最优值	前 20% 先进值	前 40% 先进值
供热	65	336.55	301.52	320.46	327.63
空冷	13	356.22	346.84	—	—
300 ~ 335MW 纯凝湿冷机组	240	336.45	314.84	324.52	328.51
350 ~ 380MW 纯凝湿冷机组	46	326.04	306.83	315.79	318.61

**表 1-3 2009 年 300MW 级机组生产厂用电率对标结果**

分类条件	统计台数	厂用电率 (%)			
		平均值	最优值	前 20% 先进值	前 40% 先进值
空冷	13	8.57	7.6	—	—
湿冷	321	5.88	3.02	4.27	4.71

**表 1-4 2009 年 600 ~ 1000MW 机组供电煤耗对标结果**

分类条件	统计台数	供电煤耗 (g/kWh)			
		平均值	最优值	前 20% 先进值	前 40% 先进值
俄 (东欧) 制机组	8	328.68	322.09	—	—
空冷机组	23	346.98	334.70	336.86	338.60
超超临界机组	7	300.18	293.10	—	—
超临界机组 (湿冷)	81	315.14	299.77	306.04	313.18
亚临界机组 (湿冷)	68	324.19	311.35	316.89	318.83

**表 1-5 2009 年 600 ~ 1000MW 机组生产厂用电率对标结果**

分类条件	统计台数	厂用电率 (%)			
		平均值	最优值	前 20% 先进值	前 40% 先进值
湿冷机组	166	5.18	3.24	4.31	4.56
闭式机组	81	5.27	4.19	4.50	4.69
开式机组	85	5.10	3.24	4.14	4.45
空冷机组	23	7.50	4.62	4.87	5.81

### 三、火电厂节能降耗现状

#### 1. “上大压小” 节能效果

从 2005 ~ 2008 年, 600MW 及以上大容量高效燃煤机组新增装机容量 13 553 万 kW, 该容量等级机组在全国火电总装机容量中的比例增加了 18.37 个百分点。2006 年, 全国关停小火电机组 313.98 万 kW。2007 年 1 月, 国务院下发了《国务院批转发展改革委、能源办



关于加快关停小火电机组若干意见的通知》(国发[2007]2号),随后,国家提出了“十一五”期间全国关停小火电机组5000万kW,2007年关停小火电机组1000万kW的目标。据国家电力监管委员会(电监会)2007年度和2008年度的《电力监管年度报告》,2007年我国关停小火电机组共553台,容量1438万kW(平均供电煤耗483g/kWh);2008年关停小火电机组1669万kW。据电监会2009年7月公布的数据,2009年上半年全国关停小火电机组1989万kW。“十一五”期间已累计关停5407万kW,提前一年半完成计划关停目标。

“上大压小”项目的实施,使电源结构得到明显改善,对节能减排具有重要意义。经测算,“十一五”期间已关停的5407万kW小火电机组所减少的发电量由大容量机组替代,相当于每年减少原煤消耗7069万t,减少二氧化硫排放109万t,减少二氧化碳排放14138万t。

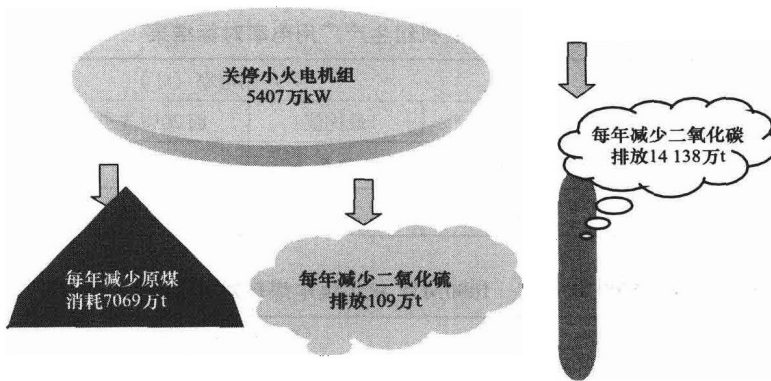


图1-6 2006~2009年6月关停小火电机组的成效估算

## 2. 政策推进热电联产发展

热电联产是一种能源利用效率高、经济效益好的采暖供热方式。按照我国能源发展“十一五”规划,要“大力推进热电联产、热电冷联产和热电煤气多联供”。

近年来,随着我国城镇化步伐加快,城市建设规模不断扩大,北方城市居民冬季采暖的需求量日渐增大。在这种形势下,各地纷纷申报热电联产项目,以满足城市供热的需求。据不完全统计,仅2006年,各地上报国家发改委热电项目共计131项,总装机规模约5135万kW。

除新建机组外,现役机组供热改造发展迅速。20世纪七八十年代投运的凝汽式机组,发电效率低、资源浪费大。因此,将其中一部分具备条件的现役凝汽式机组改造为热电联产机组,充分利用现有电源资源,既可以提高能源利用效率,又可以尽快地满足热力需求。

## 3. 现役机组节能技术的普遍应用

“十一五”期间,尤其是2008年,随着我国电煤供应紧张、价格上涨,现役燃煤机组的节能减排工作在全国范围内全面展开,节能降耗技术得到了广泛应用,机组能耗指标显著下降。重点开展的节能降耗工作有:①火电厂节能评估工作不断加强,应用机组更加广泛;②300MW及以上国产汽轮机通流改造技术逐步推广应用;③弹性可调汽封、蜂窝汽封、“王常春”汽封普遍采用,及近期在国内出现的刷式汽封也得到了应用;④开展冷端运行方式优化,提高凝汽器真空,降低循环水泵耗电率;⑤凝结水泵变频改造;⑥循环水泵高低



速改造或变频改造；⑦ 热力及疏水系统优化改进；⑧ 为适应煤质变化的要求，混煤掺烧得到重视；⑨ 通过锅炉燃烧优化调整，确定合理的一、二次风配比，一次风速，配煤配风方式，煤粉细度及过剩空气系数等，确定锅炉燃烧系统的最佳运行参数，并提供不同负荷下过剩空气系数、风煤比曲线等，用以指导锅炉优化运行；⑩ 采用等离子点火节油技术、微油点火技术，节约助燃油消耗；⑪ 实施各类风机局部叶轮改造、动静叶可调、变频改造或高低速改造，提高风机运行效率，避免风机失速颤振；⑫ 电除尘器供电电源改造，实现除尘器运行方式优化；⑬ 脱硫装置运行方式优化，降低脱硫装置耗电率；⑭ 推广应用火电厂 SIS 系统和节能调度系统，通过对火电厂生产过程的实时监测和分析，实现对全厂生产过程的优化控制和全厂负荷优化调度。

#### 4. 发电行业节能降耗存在的主要问题

(1) 电源结构方面。受一次能源结构特点的影响，我国发电装机中火电装机容量比重偏大，其容量和发电量分别占 75% 以上及 80% 以上；水电、核电、风电、可再生能源发电比重偏小，特别是核电发展缓慢，只占 1.23%。

(2) 火电装机结构方面。统计数据显示，2008 年，100MW 及以下小机组仍占火电装机容量的 16.6%。与超超临界机组相比，100MW 以下小机组能耗指标落后，煤耗约高 120g/kWh。超临界和超超临界机组、供热机组、燃气—蒸汽联合循环机组所占比例仍有待提高。此外，我国洁净煤发电技术发展也较缓慢，如整体煤气化联合循环发电技术（IGCC）目前尚处于研究开发及示范阶段。

(3) 火电厂设计及设备性能方面。火电厂热力系统未进行充分优化设计，主辅机选型及热力系统设计没有达到最佳。由于火电设备的设计水平、制造水平、安装质量等原因，使国产机组运行性能达不到同等进口机组水平，效率普遍低于设计保证值，200MW 机组效率差 5%~7%，早期投产引进型 300MW 机组效率差 2%~5%，国产 600MW 超临界机组效率差约 1%~2.5%。

(4) 运行管理方面。部分电厂运行管理水平不高，实际运行煤耗普遍高于性能考核试验值 2%~4%；普遍存在煤质特性变化大、汽轮机通流部分间隙大、凝汽器真空差、热力系统汽水损失大、运行方式不合理、能耗计量和统计不准确、负荷率低等问题。

### 第三节 火力发电厂节能的主要技术措施

#### 一、优化火电结构

##### 1. 发展大型高效燃煤机组

对燃煤机组，在相同的技术条件下，主蒸汽压力每提高 1MPa，机组热耗率下降约 0.13%~0.15%；主蒸汽温度每提高 10℃，机组热耗率下降约 0.25%~0.30%；再热蒸汽温度每提高 10℃，机组热耗率下降约 0.15%~0.20%。

现阶段，超超临界参数机组（26.25MPa/600℃/600℃）的热耗率比常规超临界参数机组（24.2MPa/538℃/566℃）低约 2.5%，比亚临界参数机组（16.7MPa/538℃/538℃）低约 4%~5%。超超临界机组效率比高压机组效率高 12%，煤耗低约 39%。因此，加快建设高参数、大容量燃煤发电机组，逐步淘汰低参数小机组是最有效的节能措施。



## 2. 发展热电联产机组

发展热电联产机组，提高能源利用效率，是我国重要的能源政策。在以工业热负荷为主的地区，因地制宜建设以供热为主的背压机组；在采暖负荷集中或发展潜力较大的地区，建设 30 万 kW 等级高效环保热电联产机组；在中小城市建设以循环流化床锅炉为主的热电煤气三联供机组，以洁净能源作燃料的分布式热电联产和热电冷联供，将分散式供热燃煤小锅炉改造为集中供热。计划到 2010 年，使“城市集中供热普及率由 30% 提高到 40%，新增供暖热电联产机组超过 4000 万 kW，年可节能 3500 万 t 标准煤以上。”

在我国大中型城市、较大的县城周边，现役的燃煤机组，特别是工业和采暖热负荷相对较大的大中型城市周边 15km 范围，容量在 135MW 及以上的现役纯凝汽燃煤机组，实施供热改造和以高参数、大容量供热机组替代老、小机组等方式，实现城市集中供热。

## 3. 发展清洁煤发电技术

更高参数（700℃）超超临界火力发电（USC）、整体煤气化联合循环发电（IGCC）、超临界循环流化床锅炉（CFBC）、增压循环流化床锅炉、绿色煤电技术（Greengen，即煤气化制氢、氢燃料电池发电及富氢燃气轮机联合循环发电，实现二氧化碳近零排放）等清洁发电技术，具有能源利用效率高、污染物（包括二氧化碳）排放量低的优势，将是今后火力发电技术的主流发展方向。目前这些技术还处于商业示范阶段，由于其成本较高，大规模发展应用还需一定时日。

## 4. “上大压小”，加快关停小火电机组

2007 年，全国 100MW 以下小火电机组装机容量约 1 亿 kW，占火电装机容量的 23%，供电煤耗在 460g/kWh 以上，严重影响“十一五”节能降耗和污染减排目标的实现。

对此，国务院“国发〔2007〕2 号”文件明确关停范围：50MW 以下；运行满 20 年、单机容量 100MW 级以下；已到设计寿命服役期、单机 200MW；供电标准煤耗高于全国平均 15% 或当地 10% 的低效机组。

2007 ~ 2010 年，全国要关停燃煤小机组 50 000MW 以上，用平均供电煤耗 315g/kWh 的新建高效机组取代 50 000MW 煤耗 460g/kWh 的小机组，可使供电煤耗降低 11g/kWh 以上，每年可节约 5000 万 t 以上标准煤、减排 160 万 t 以上二氧化硫。仅此一项，可完成全国节能减排目标的 1/5。

## 二、火电厂设计优化

目前，国外发电企业在积极推行业主导发电厂设计的模式，使设计充分发挥生产、建设和科研机构的综合优势，通过电厂概念设计优化各系统及设备。如德国 Niederaussem 电厂 K 号 1000MW 褐煤机组，通过采取各种设计优化措施，使机组净效率由 35.5% 提高到 45.2%，提高了 9.7 个百分点（其中：提高蒸汽参数使机组效率提高 1.6 个百分点，采用高效汽轮机使机组效率提高 2.3 个百分点，减少辅机功耗使机组效率提高 1.5 个百分点，系统优化设计使机组效率提高 1.6 个百分点，提高冷端效率使机组效率提高 1.4 个百分点，废热回收利用使机组效率提高 1.3 个百分点）。

消化吸收国内外现代化大型火电厂先进可靠的成熟设计优化技术和成功经验，采用节能新技术、新产品、新工艺以及节能降耗与环保新技术，通过对火电机组的系统设计、参数匹配和设备选型进行优化，可进一步提高火电厂效率，降低工程造价，使火电厂设计指标达到领先。





总结火电厂设计和技改经验,及时修订设计技术标准、规程与规范,不断完善并应用于火电厂工程项目建设。

### 三、综合节能评估技术

火电厂生产过程中各环节均存在不同程度的能量损失。为发现问题、挖掘节能潜力,应首先对电厂进行全面的节能评估和诊断,确定各种能量损失的大小,分析其产生的原因,确定是否为可控损失和部分可控损失,评估各个环节节能潜力,有针对性地分类提出各项节能降耗措施和途径,指导电厂通过加强运行管理、技术改造、设备检修维护、设备消缺、应用节能新技术等手段提高效率,降低能耗,为科学制定降耗措施提供依据。节能评估还可以及时发现设计、制造、安装过程中存在的各种问题,是火电厂节能降耗的一项基础性工作。

实施综合节能评估技术,需由有经验的专家组成评估小组,按照统一的评估标准,通过现场勘察、运行数据分析、试验诊断等方法,对影响机组能耗的各种因素进行定量分析和分类排序(包括可控损失、部分可控损失和不可控损失),分类提出各项节能降耗措施和途径,并预测节能效果。

### 四、机组运行优化技术

#### 1. 锅炉燃烧优化调整

锅炉热效率损失主要是排烟损失( $q_2$ )与机械不完全燃烧损失( $q_4$ )。排烟损失取决于排烟温度和排烟氧量,机械不完全燃烧损失主要取决于飞灰含碳量。飞灰含碳量每增加3%~5%,影响锅炉效率约1个百分点。300MW及以上容量电站燃煤锅炉,排烟温度每升高10℃,锅炉效率大约降低0.5个百分点,影响供电煤耗约1.7g/kWh。

通过锅炉燃烧优化调整,确定合理的一二次风煤配比、一次风速、配煤配风、煤粉细度及过量空气系数等,使锅炉在最佳氧量与经济煤粉细度下运行,保证煤粉稳定着火、燃烧完全、减少漏风,并提供不同负荷下过量空气系数、风煤比曲线等,用以指导锅炉优化运行,实现优化燃烧。电厂应定期进行锅炉在不同负荷运行条件下的燃烧优化调整试验,特别是在煤种变化和锅炉大修后都应进行必要的调整试验,以使锅炉在调整后的最佳参数下运行。

#### 2. 锅炉混煤掺烧

我国煤炭资源丰富,发电用煤包括烟煤、劣质烟煤、贫煤、褐煤及无烟煤等各种煤种。由于各种煤之间的特性差异明显,即使同一种煤,随产地、矿点、地质条件及开采、运输、储存等条件的不同,其煤质特性也有差别,再加上实际用煤时,一些电厂还掺烧各类洗中煤和煤矸石等劣质燃料,增大了进炉煤质的变化幅度,使煤质进一步偏离了设计煤种,对锅炉的安全经济性运行造成重大影响。

解决该问题的一个有效途径就是应用合理的混煤掺烧技术。调研发现,我国大多数电厂没有完善的混煤措施,机组投产运行后对煤场混煤的组织管理工作不够重视,缺乏科学的混煤手段,因混煤不良而影响锅炉安全经济运行问题较普遍。国内长期以来对电站混煤掺烧技术开展了系统研究,积累了丰富的煤质特性与掺烧数据,建立了数据库系统,并开发出变更煤种及混烧决策系统软件,已成功应用于绥中电厂800MW机组、沙角C电厂660MW机组、营口电厂600MW机组、新华电厂330MW机组等数十家电厂的机组上。

#### 3. 汽轮机组优化运行

汽轮机组优化运行是以汽轮机及其辅机的运行优化试验为基础,以最优化理论为指导,在现有的设备、负荷和系统条件下,依据汽轮机的实际运行情况,确定汽轮机组运行的基础