

1000MW超超临界火发电机组技术丛书

HUANJING BAOHU

# 环境保护

广东电网公司电力科学研究院 ● 编



中国电力出版社

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

1000MW超超临界火电机组技术丛书

HUANJIING BAOHU

# 环境保护

广东电网公司电力科学研究院 ● 编



中国电力出版社

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

## 内 容 提 要

为促进我国电源建设的快速发展,帮助广大工程技术人员、现场生产人员了解、掌握超超临界发电技术,积累超超临界机组建设、运行、管理经验,满足广大新建电厂、改扩建电厂培训、考核需要,特组织专家编写了本套《1000MW 超超临界火电机组技术丛书》。

本丛书包括《汽轮机设备及系统》、《锅炉设备及系统》、《电气设备及系统》、《热工自动化》、《电厂化学》与《环境保护》六个分册。全套丛书由广东电网公司电力科学研究院组织编写。本丛书在编写过程中,内容力求反映我国超超临界1000MW 等级机组的发展状况和最新技术,重点突出1000MW 超超临界火电机组的工作原理、结构、启动、正常运行、异常运行、运行中的监视与调整、机组停运、事故处理等方面内容。

本书为《环境保护》分册,全书共分六章,主要内容包括电力生产与环境保护,火电厂烟气除尘、烟气脱硫、烟气脱硝、废水处理及回用技术,污染物在线监测系统。

本书可作为从事1000MW 等级超超临界火电机组烟气除尘、烟尘脱硫、烟气脱硝、废水处理及回用专业安装调试、运行维护和检修技术等岗位生产人员、工人、技术人员和管理干部工作的重要参考,是上岗培训、在岗培训、转岗培训、技能鉴定和继续教育等的理想培训教材,也可作为大专院校有关师生的参考教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

环境保护/广东电网公司电力科学研究院编. —北京: 中国电力出版社, 2010. 12

(1000MW 超超临界火电机组技术丛书)

ISBN 978-7-5123-1036-0

I. ①环… II. ①广… III. ①火电厂-环境保护 IV. ①X773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 214921 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 461 千字

印数 0001—3000 册 定价 42.00 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

## 《1000MW 超超临界火电机组技术丛书》

### 编 委 会

主 任 钟 清

副 主 任 马 斌 何宏明 高新华

委 员 顾红柏 廖宏楷 阚伟民 陈世和 李 智

陈 迅 杨楚明 林清如

## 《环 境 保 护》

### 编 写 人 员

主 编 李 丽

参 编 人 员 姚唯建 盘思伟 程诺伟 汤龙华 温智勇

廖永进 郭 斌

1000MW

超超临界火电机组技术丛书

环境保护

# 序

电力工业是关系国民经济全局的重要基础产业，电力的发展和国民经济的整体发展息息相关。电力行业贯彻落实科学发展观，就要依靠技术进步和科技创新，满足国民经济发展及人民生活水平提高对电力的需求。

回顾我国火电建设发展历程，我们走过了一条不平凡的道路，在设计、制造、施工、调试、运行和建设管理等方面，都留下了令人难忘的篇章。这些年来，我国火电建设坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染小的可持续发展道路。从我国国情出发，从满足国民生产对电力的需求出发，发展大容量、高参数、高效率的机组，是我国电力工业发展水平跻身世界前列的重要保证，是推动经济社会发展、促进能源优化利用、提高资源利用效率的重要保证。

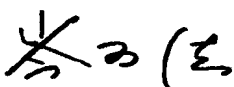
超超临界发电技术是一项先进、成熟、高效和洁净环保的发电技术，已经在许多国家得到了广泛应用，并取得了显著成效。目前，我国火电机组已进入大容量、高参数、系列化发展阶段，自主研发、开发的超超临界机组取得了可喜成绩并成为主要发展机型。因此，掌握世界一流发电技术，为筹建、在建和投运机组提供建设、管理、优化运行和检修经验，对于实现设计制造国产化、创建高水平节能环保火电厂、保证电力工业可持续健康发展，意义重大。

广东电网公司电力科学研究院是我国一所综合性的科研研究机构，一直秉承“科技兴院”的战略方针，多年来取得了丰硕的科研成果，出版过多部优秀科技著作。这次他们组织专家编写的《1000MW 超超临界火电机组技术丛书》，能把他们掌握的百万机组的第一手资料和经验系统总结，有利于提高 1000MW 超超临界机组的设备制造、建设与调试、运行与管理水平，有利于促进引进技术的消化与吸收，有利于推进超超临界机组的国产化进程并为更高温度等级的先进超超临界机组

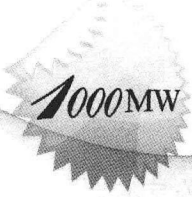
研发提供经验。而他们丰富的理论和实际经验，是完成这个任务的保证。

《1000MW 超超临界火电机组技术丛书》不仅总结了国外超超临界技术的先进成果和经验，还反映了我国在这方面的研究成果和特点；不仅有理论上的论述，还有实际经验的阐述和总结。我相信，本套丛书的出版，对提高我国电力技术发展水平、积累超超临界机组的发展经验、加速发电设备的国产化、实现电源结构调整、实现能源利用率的持续提高，具有重要意义。祝本套丛书出版成功！

中国工程院院士



2010年8月



1000MW

超超临界火电机组技术丛书

环境保护

# 前言

超超临界技术的发展至今已有近半个世纪的历史。经过几十年不断发展和完善,超临界和超超临界发电机组目前已经在世界上许多国家得到了广泛的商业化规模应用,并在高效、节能和环保等方面取得了显著成效。与此同时,在环保及节约能源方面的需要以及在材料技术不断发展的支持下,国际上超超临界发电技术正在向着更高参数的方向进一步发展。

进入 21 世纪以来,随着我国经济的飞速发展,电力需求急速增长,促使电力工业进入了快速发展的新时期。我国电力工业的电源建设和技术装备水平有了较大提高,大型火力发电机组有了较快增长,超临界、超超临界机组未来将成为我国各大电网的主力机组。但是,超超临界发电技术在我国尚处于刚刚起步和迅速发展阶段,在设计、制造、安装、运行维护、检修等方面的经验还不足,国内现在只有少量机组投运,运行时间也较短。根据电力需求和发展的需要,在近几年内,我国还将有许多台大容量、高参数的超超临界机组相继投入生产运行。因此,有关工程技术人员、现场生产人员对技术上的需求都很大,很需要一些有关超超临界发电技术方面的图书作为技术上的支持,并对电力生产和技术发展提供帮助和指导作用,为此,我们组织专家编写了本套《1000MW 超超临界火电机组技术丛书》。

本丛书包括《汽轮机设备及系统》、《锅炉设备及系统》、《电气设备及系统》、《热工自动化》、《电厂化学》与《环境保护》六个分册。全套丛书由广东电网公司电力科学研究院组织编写。本丛书在编写过程中,内容力求反映我国超超临界 1000MW 等级机组的发展状况和最新技术,重点突出 1000MW 超超临界火电机组的工作原理、结构、启动、正常运行、异常运行、运行中的监视与调整、机组停运、事故处理等方面内容。

本套丛书的出版,对提高我国电力装备制造水平;积累超超临界机组的建设、运行、管理经验,加速发电设备的国产化,降低机组造价;实现火电结构调整,实现能源效率的持续提高具有重要意义。

本丛书可作为从事 1000MW 等级超超临界火电机组安装调试、运行维护和检修技术等岗位生产人员、工人、技术人员和管理干部工作的重要参考,是上岗培训、在岗培训、转岗培训、技能鉴定和继续教育等的理想培训教材,也可作为大专院校有关师生的参考教材。

本书为《环境保护》分册,全书由李丽主编。其中,第一章由姚唯建编写,第

二章由汤龙华编写，第三章由程诺伟编写，第四章由温智勇、廖永进、郭斌编写，第五章由盘思伟编写，第六章由李丽编写。全书由李丽统稿。

本书在编写过程中，得到了很多电厂、科研院所及相关技术人员的支持和帮助，在此表示感谢。

由于编者的水平和所收集的资料有限，书中的缺点和谬误在所难免，恳请读者批评指正。

**编者**

2010年8月



1000MW

超越临界火电机组技术丛书

环境保护

# 目 录

序

前言

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第一章 电力生产与环境保护      | 1   |
| 第一节 电力环境保护的现状和任务   | 1   |
| 第二节 能源与环境          | 4   |
| 第三节 我国火电厂的污染排放状况   | 5   |
| 第四节 环境保护的可持续发展     | 7   |
| 第二章 火电厂烟气除尘技术      | 15  |
| 第一节 烟气除尘技术概述       | 15  |
| 第二节 烟气除尘设备简介       | 28  |
| 第三节 烟气除尘设备的调试      | 46  |
| 第四节 烟气除尘设备的运行      | 51  |
| 第五节 烟气除尘设备的维护和定期试验 | 57  |
| 第三章 火电厂烟气脱硫技术      | 73  |
| 第一节 气态污染物控制原理      | 73  |
| 第二节 烟气脱硫技术概述       | 84  |
| 第三节 烟气脱硫设备的调试      | 102 |
| 第四节 烟气脱硫设备的运行和维护   | 129 |
| 第四章 火电厂烟气脱硝技术      | 139 |
| 第一节 烟气脱硝技术概述       | 139 |
| 第二节 烟气脱硝设备简介       | 152 |
| 第三节 烟气脱硝系统的调试      | 158 |
| 第四节 烟气脱硝设备的运行      | 169 |
| 第五节 烟气脱硝设备的维护和试验   | 175 |
| 第五章 火电厂废水处理及回用技术   | 192 |
| 第一节 火电厂废水及其水质特性    | 192 |

|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| 第二节 | 火电厂废水处理技术及设备.....  | 196 |
| 第三节 | 火电厂主要废水的处理及回用..... | 238 |

**第六章 污染物在线监测系统..... 264**

|     |                        |     |
|-----|------------------------|-----|
| 第一节 | 污染物在线监测仪表简介.....       | 264 |
| 第二节 | 环境在线监测系统的安装及调试.....    | 275 |
| 第三节 | 污染物在线监测系统的运行与日常维护..... | 284 |
| 第四节 | 环境在线监测系统的校准与校验.....    | 286 |

**参考文献..... 291**

# 电力生产与环境保护

## 第一节 电力环境保护的现状和任务

能源是现代社会赖以生存和发展的基础,清洁燃料的供给能力关系着国民经济的可持续性发展,是国家战略安全保障的基础之一。同时,为人类生存提供一个美好的环境,是现代人的重要生活基础。

### 一、我国能源资源的现状

我国自然资源总量位居世界第7位,能源资源总量约为4万亿t标准煤,居世界第3位。从常规能源资源总储量来看,水能资源蕴藏量丰富,可开发装机容量为 $3.78 \times 10^5$  MW,经济可开发装机容量为 $2.9 \times 10^5$  MW,居世界第1位;煤炭保有储量为10 024.9亿t,精查可开采储量893亿t,探明储量居世界第3位;石油的资源量为930亿t,探明储量居世界第10位;天然气资源量为38亿 $\text{m}^3$ ,探明储量居世界第18位。铀储量可供40 000MW核电站运行30年。将煤炭、石油、天然气和可开发水能资源折算成标准煤量计,全世界常规能源资源总量为1.45万亿t标准煤。其中,我国能源总量约为1551亿t标准煤,占世界资源总量的10.7%。另外,我国新资源与可再生资源丰富:风能资源量约为 $1.6 \times 10^6$  MW。可开发利用的风能资源约为 $2.54 \times 10^5$  MW;地热资源的远景储量为1353.5亿t标准煤,探明储量为31.6亿t标准煤;太阳能、生物质能、海洋能等储量均处于世界领先地位。

然而,由于我国人口众多,就人均能源资源占有量而言,我国的一次能源又非常匮乏。我国人口占世界总人口的22%,已探明煤炭储量仅占世界储量的11%,石油探明储量仅占世界的2.4%,天然气的探明储量则仅占世界的1.2%。人均常规能源资源占有量为135t标准煤,仅相当于世界平均水平264t标准煤的1/2;石油仅占1/10;天然气所占比例更低。据估计,我国煤炭剩余可开采出储量为900亿t,石油剩余可开采储量为23亿t,天然气剩余可开采储量为6310亿 $\text{m}^3$ 。人均能源资源相对不足,将是我国经济社会可持续发展的一个限制因素。

### 二、全国电力行业的状况(不包括台湾、香港和澳门,下同)

2009年底,全国全口径发电设备容量达874 100MW。其中,水电196 290MW,比上年增长10.26%,增速比上年提高2.72个百分点,约占总容量的22.46%,比重比上年提高0.68个百分点;火电651 080MW,比上年增长8.00%,增速比上年降低0.41个百分点,比上年底净增48 220MW,约占总容量的74.49%,比重比上年降低1.56个百分点;核电9080MW,约占总容量的1.04%;并网风电容量17 060MW,比上年增长109.82%,约占总容量的2.01%。

全年发电量 36 812 亿 kWh。其中,火电发电量 30 117 亿 kWh, 占总发电量的 81.81%; 水电发电量 5717 亿 kWh, 占总发电量的 15.53%; 核电发电量 701 亿 kWh, 占总发电量的 1.90%; 风电发电量 276 亿 kWh。各发电机组比例如图 1-1 所示。

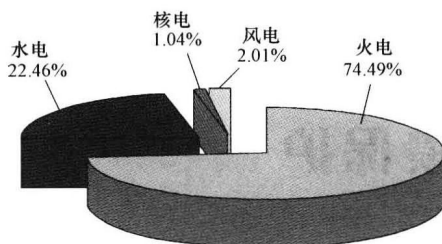


图 1-1 2009 年全国（不包括台湾、香港和澳门）的发电机组比例

2009 年底, 华北区域全口径发电设备容量达到 200 980MW, 是全国装机容量最多的区域, 比上年增加 23 130MW; 华北、华中区域内全口径发电设备容量分别为 188 070、184 590MW, 分别比上年增加 11 010MW 和 11 700MW; 西北、东北区域全口径发电设备容量规模较小, 但西北区域装机容量增加较多, 发展加快; 南方区域全口径发电设备容量达到 156 050MW, 比上年增加 16 450MW。 “十五”

以来火电机组装机容量见图 1-2。

尽管如此, 我国能源和电力的消费水平仍然很低。截至 2009 年, 全国火电厂容量达 6000kW 以上的机组为 6221 台, 容量共计 641 330MW。其中, 60 万 kW 及以上容量的机组 344 台, 容量 219 160MW; 30 万~60 万 kW 的机组 706 台, 容量共计 226 140MW; 20 万~30 万 kW 的机组 255 台, 容量达 53 110MW。我国人均装机容量 0.493kW, 人均发电量 2832kWh/年。

随着国民经济的持续快速增长, 今后 20 年, 我国电力需求将大幅度增长。预计到 2015 年, 全国总装机容量将超过 7 亿 kW 左右, 其中火电机组装机容量约 5 亿 kW。到 2020 年, 人均装机容量预计为 0.6kW 左右, 达到目前世界平均水平; 全国总装机容量将达到 10 亿 kW 左右, 发电量将达到 46 000 亿 kWh 左右。目前, 我国的电量约有 80% 是由燃煤电厂提供的, 到 2020 年, 60% 左右的电量将仍由煤电提供。

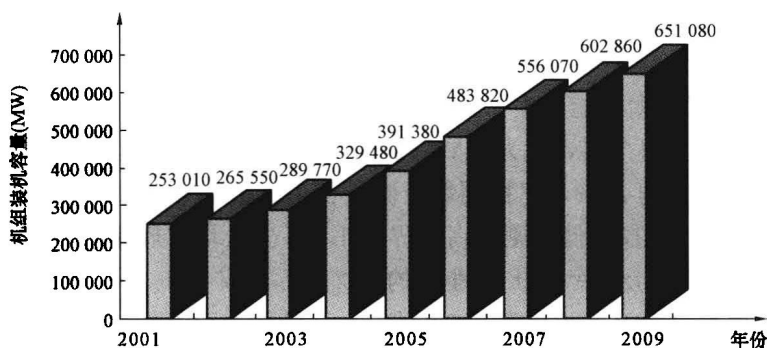


图 1-2 “十五”以来火电机组装机容量

总的来说, 改革开放以来, 电力工业采取了一系列有利于促进电力工业发展的方针、政策, 工业总量不断增长, 电力质量不断提高, 电源结构得到改善, 核电得到适当发展, 发电能源在一次能源消费中的比例及煤炭转换为电力的比例不断提高, 取得了前所未有的发展。

### 三、电力生产技术的发展的主要方向

我国电力工业正处在一个新的高速发展阶段。为了满足国民经济发展和环保的需要, 我国电力工业应走多元化发展的道路, 即优化火力发电、大力发展水电、适当建设核电、积极

开发应用新能源。影响和制约我国电力工业大发展的关键技术有洁净煤燃烧、联合循环、动态优化设计、超临界技术、高温材料、环境保护等，我国应加大对这些问题的研究和投入，赶超国际先进水平。

根据我国能源特点，要努力提高电力在终端能源消费中的比例，提高全社会电气化程度，将其他形式的能源转化为电能来消费，尽可能减少煤炭作为终端能源的使用。21 世纪，我国电力工业的发展方向应该是调整和优化发电能源结构，也就是优化火力发电，全力快速发展超临界和超超临界汽轮发电机组，发展大型蒸汽—燃气联合循环火电机组，完善推广空冷机组，大力发展水电，适当和积极建设核电和核电国产化，积极开发和应用风能、潮汐能和太阳能等新能源，实现发电能源多样化。

为了保证安全、经济、低污染和节水发电的基本任务，电力工业要在设计制造和运行维护两方面若干关键技术上取得突破。

### 1. 洁净煤燃烧技术

在很长一段时间内，我国电力工业的发展仍将以煤炭为基础。为减轻环保的压力，将大力发展洁净煤燃烧技术，特别是煤炭的气化、液化和清洁燃烧技术。循环流化床（CFB）锅炉由于具有优良的环保性能和燃用低质煤的特性，今后将在很大范围内取代中小容量供热供电的层燃炉和煤粉炉；增压循环流化床锅炉联合循环和煤气化联合循环发电（IGCC）在条件具备时可以建立示范电厂。

### 2. 蒸汽—燃气联合循环发电技术

随着电力工业的发展，火力发电将进一步受到煤炭生产、动力及环保的制约。由于受煤炭运力的影响，东南沿海地区的煤价已与进口煤价相差无几，因此在沿海经济发达地区会发展燃用东海天然气和进口石油的联合循环机组。为此，将规划大型燃气轮机的技术引进及合作制造。

### 3. 设备状态监测技术

采用先进的传感技术、状态监测技术和故障诊断技术，及时发现、解决运行中出现的问题，以保证发电设备经济、安全、稳定、可靠地运行。

### 4. 动态优化设计技术

在满足发电设备的总体要求下，对其结构、强度、刚度、振动、稳定性等成套优化设计技术和商业软件（如大型水轮机水力设计与计算、结构稳定性、强度与刚度，超临界机组气流激振特性等）进行研究和开发，使发电设备具有优良的动态特性，保证其运行稳定、安全可靠、噪声低。

### 5. 超临界机组高压和高温材料技术

目前，我国超超临界机组合理优化研究已通过论证，其参数为 25~28MPa、600/600℃，效率可达 44.63%，煤耗为 275g/kWh，CO<sub>2</sub> 排放量可下降 10%，推荐单机容量为 600MW 和 1000MW 两个等级。超临界和超超临界机组制造所用的高温 and 高压材料必须研究解决。

### 6. 核电及可再生能源技术

尽快掌握大中型核电站设计、建设、运行、管理技术，大力发展核电站。可再生能源是可以再生的能源的总称，包括生物质能源、太阳能、光能、沼气等，泛指多种取之不竭的能源，严格来说，是人类历史时期内都不会耗尽的能源。可再生能源的利用是太阳能、风能、

地热能等自然能源的利用,应对这些能源的利用率进行开发和研究。

## 第二节 能源与环境

人们从不同角度对能源进行了多种多样的分类,如一次能源和二次能源、常规能源与新能源、可再生能源和不可再生能源等。通常,一次能源是指从自然界直接得到、不改变其基本形态的能源,又时也称初级能源;二次能源是指经过加工后转换成另一种形态的能源。常规能源是指当前被广泛利用的一次能源;新能源是指目前未被广泛应用,而正在积极研究以便推广利用的一次能源。可再生能源是能够不断得到补充的一次能源;不可再生能源是必须经地质年代才能形成而短期内无法再生的一次能源,但它们又是人类目前主要利用的能源。

煤、石油和天然气均是目前地球经济发展的基础能源,但都是不可再生的化石燃料。除化石燃料外,还有许多可再生的非化石燃料能源,如核变能、太阳能、水能、地热能、海洋能等。

我国人均煤炭探明储量仅相当于世界平均水平的 50%,人均石油可开采储量仅为世界平均值的 10%。我国能源消耗总量仅次于美国,居世界第 2 位,但人均耗能水平很低,急需开发新能源和降低能源消耗。目前我国能源主要存在以下问题:

### 1. 能源资源分布不均

我国煤炭资源的 64%集中在华北和西北地区,水电资源约 70%集中在西南地区,而能源消耗地则分布在东部经济较发达地区。因此,“北煤南运”、“西煤东运”、“西电东送”的不合理格局将长期存在,造成能源输送损失和过大的输送建设投资。

### 2. 能源构成以煤为主

我国能源生产和消费构成中,煤占有主要地位。目前,在我国一次能源中,煤炭占 70%以上。全国直接燃烧的煤炭量占总煤耗量的 84%,与世界能源构成相比,我国煤炭的比例比世界平均水平高 1 倍以上。

### 3. 工业部门消耗能源占有很大的比例

与工业发达国家相比,我国工业部门能耗比例很高,而交通运输和商业民用的能耗较低。我国的能耗比例关系反映出我国工业生产的工艺设备落后、能源管理水平低。

### 4. 农村能源短缺,以生物质能为主

据农业部统计,我国农村生活用能的 2/3 依靠薪材和秸秆,能源利用率极低。

### 5. 能源利用对环境的影响

目前,我国的能源利用对环境造成了一定的影响,主要表现在以下几个方面:

(1) 大气污染。一次能源利用过程中,产生了大量的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、烟尘、重金属及多种芳烃化合物,造成了严重的污染,不仅会对生态造成破坏,而且还会损害人体健康。

(2) 燃烧大气中  $\text{CO}_2$  的积累。大气中的  $\text{CO}_2$  按体积计算,预计到 21 世纪中期至末期,其温室效应将对全球许多国家的经济、社会产生严重影响。

(3) 化石燃料燃烧导致酸雨形成。酸雨也是一个全球的重大区域性环境问题。 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}$  等污染物通过大气传输,在一定条件下形成大面积酸雨,改变酸雨覆盖区的土壤性质,危害农作物和森林生态系统,改变湖泊水库的酸度,破坏水生生态系统,腐蚀材料,造成重大经济损失。酸雨还会导致地区气候改变,造成难以估量的后果。

(4) 核废料问题。发展核能技术，尽管在反应堆方面有了安全保障，但在世界范围内的民用核能计划的实施已产生了上千吨的核废料。这些核废料的最终处理问题并没有完全解决，在数百万年里仍将保持较强的放射性。

第三节 我国火电厂的污染排放状况

全国电力行业污染物排放已基本得到控制，烟气脱硫已在各地电厂投入运行，特别是经济发达地区已取得了较好的成绩；区域性的酸雨控制已从以往的燃煤电厂控制转入机动车排放的控制。废水排放已从零排放进入综合利用废水的运行模式。

截至 2009 年底，全国二氧化硫排放总量为 2214 万 t，其中火电厂二氧化硫排放量为 948 万 t，烟尘排放量为 315 万 t，氮氧化物排放量为 1846 万 t。我国火电行业如不采取有效处理措施，到 2020 年和 2030 年，氮氧化物排放量将达到 2363 万~2914 万 t 和 3154 万~4296 万 t，我国将超过美国，成为世界第一大氮氧化物排放国。其中，火力发电的贡献率将达到 35.8%。

近几年我国烟气中的主要污染物排放量见表 1-1。

表 1-1 近几年我国烟气中的主要污染物排放量

| 类别   | 项目   | 2001 年 | 2002 年 | 2003 年 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 |
|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 二氧化硫 | 全国   | 1995   | 1948   | 2143   | 2216   | 2546   | 2632   | 2434   | 2319   | 2214   |
|      | 电力   | 810    | 816    | 920    | 1214   | 1260   | 1336   | 1250   | 1213   | 948    |
|      | 排放绩效 | 7.3    | 6.7    | 6.1    | 6.3    | 6.6    | 6.4    | 5.7    | 3.8    | 3.2    |
| 粉尘   | 电力   | 320    | 322    | 324    | 330    | 346    | 360    | 370    |        | 315    |
|      | 排放绩效 | 2.7    | 2.4    | 2.1    | 1.9    | 1.8    | 1.6    | 1.3    | 1.2    | 1.0    |

在我国的电力构成中，煤电为主的结构在相当一段时期内难以改变，燃煤所带来的环境污染必然给电力工业的发展带来巨大压力；电力企业排放的某些污染物对环境的影响还不能被完全、有效地控制，需要给予足够的重视和长期的努力。

我国火电厂的污染排放治理状况主要表现在以下几个方面。

一、烟尘排放与治理

我国新建燃煤电厂全部采用高效除尘技术，除尘器效率平均在 99.5% 以上。烟尘排放绩效（即单位发电量的烟尘排放量）达 1.0g/kWh。

“十五”以来，尽管全国发电装机容量、发电量连年高速增长，特别是火电装机容量、发电量逐年大幅度增长，但烟尘排放绩效逐年下降，烟尘排放量的增加速度在逐年降低。这反映了近年来我国火电厂烟尘治理水平在逐年提高。但对于 10μm 的粉尘，目前还没有有效的脱除方法，这是造成大气中的灰霾的主要原因之一。

2001~2009 年全国火电厂烟尘排放情况见图 1-3。

二、二氧化硫排放情况

2009 年全国二氧化硫排放量达 2214 万 t，比上年降低 4.6%，比 2005 年降低 13.1%，提前 1 年完成国家“十一五”二氧化硫减排目标。

根据中国电力企业联合会的统计，2009 年全国电力二氧化硫排放量约 948 万 t，比上年

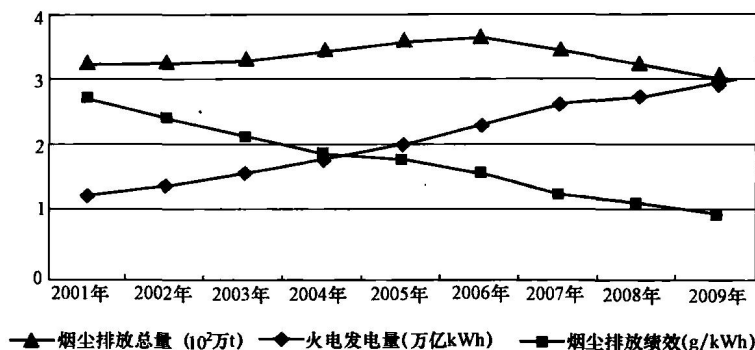


图 1-3 2001~2009 年全国火电厂烟尘排放情况

减少 9.7%。电力二氧化硫排放量占全国二氧化硫排放量的比例由 2008 年的 45.2% 下降到 42.8%，减少 2.4 个百分点；火电二氧化硫排放绩效值由 2008 年的 3.8g/kWh 下降到 3.2g/kWh，减少 0.6g/kWh。2006~2009 年，电力二氧化硫排放量共下降 352 万 t（同期全国下降 334 万 t），是全国二氧化硫排放量的 1.05 倍。

2001~2009 年全国及电力二氧化硫排放情况见图 1-4。

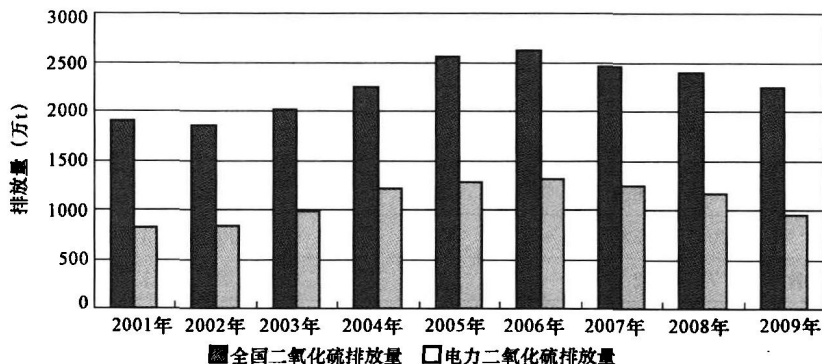


图 1-4 2001~2009 年全国及电力二氧化硫排放情况

### 三、二氧化硫治理情况

截至 2009 年底，全国新投运及建成的脱硫机组容量达 4.7 亿 kW，烟气脱硫机组占煤电机组的比例约为 76%。在全国已投运的烟气脱硫机组中，30 万 kW 及以上烟气脱硫机组占 86%。石灰石—石膏法是主要的脱硫方法，在烟气脱硫机组二氧化硫治理方法中所占的比例为 92%。其中，脱硫方法中，海水法占 3%，烟气循环流化床法占 2%，氨法占 2%，其他占 1%，见图 1-5。

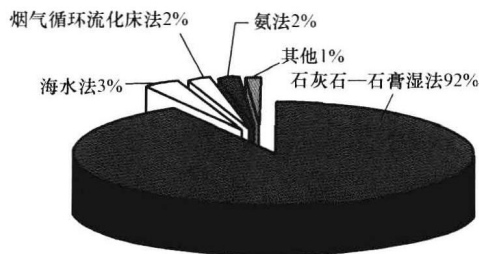


图 1-5 2009 年底前烟气脱硫机组二氧化硫治理方法

### 四、氮氧化物

截至 2009 年底，国家环保总局已核准火电厂烟气脱硝装置建设容量约 5000kW。已投运及在建的脱硝装置多数采用选择性催化还原（SCR）工艺，脱硝效率达 50%~85%，占全国燃煤机组容量的 8%。



### 五、废水排放与控制

全国电力企业积极采用干除灰、渣技术和直接空冷技术,新建燃煤电厂几乎全部采用废水“零排放”技术,加强机组节水技术改造和水务管理,取得了较明显的节水效果。火电厂单位发电量耗水量为  $3.0\text{kg/kWh}$ ,废水排放绩效指标达  $0.85\text{kg/kWh}$ 。

火电厂循环冷却系统采用空冷方式设计(包括直接空冷系统和间接空冷系统)是火电厂节水方面最为有效的途径之一。空冷机组与同容量的湿冷机组相比,冷却系统本身可节水 80% 以上,全厂性节水约 70% 以上。目前,我国 300MW 及以上直接空冷机组容量已超过 10 000MW。直接空冷技术在我国大型燃煤电厂中已取得应用,并将在北方水源缺乏地区推广使用。

我国火电厂在采用海水淡化技术方面取得了新进展。其中,华能玉环电厂一期 2 台 1000MW 超超临界机组首次采用了“双膜法”海水淡化工艺,不仅可以根据工艺用水需要分类分质供水,还可以使电厂余热得到综合利用,淡水重复利用率为 64%,废水重复利用率则达到 100%。该厂所需的全部淡水采用海水淡化获得,日产水量为 3.5 万 t,每年可节约淡水资源 800 万  $\text{m}^3$ 。河北国华沧东发电有限责任公司一期工程 2 台 600MW 机组采用目前国内规模最大的低温多效海水淡化设备制取淡水,日产水量为 2 万 t,建立了“水电”联产的工业模式,实现了海水资源的高效利用和循环利用,保证了“淡水零开采”。

### 六、固体废弃物排放与综合利用

(1) 粉煤灰。截至 2009 年底,燃煤电厂发电及供热消耗原煤约 13 亿 t,产生粉煤灰约 3.5 亿 t,比上年增长 16.5%;全国燃煤电厂粉煤灰综合利用率为 66%;粉煤灰综合利用量突破 2 亿 t,达到 2.3 亿 t,比上年增长 16.5%。

(2) 脱硫副产品。根据我国火电厂烟气脱硫以石灰石—石膏湿法烟气脱硫工艺为主的特点,脱硫副产品以石膏为主。据统计,截至 2009 年底,我国燃煤电厂烟气脱硫约产生石膏 4300 万 t。

国内对脱硫石膏的综合处理和应用已经起步,全国建成或在建的脱硫石膏资源化利用的生产线已达 10 条以上。脱硫石膏可用于制造石膏砌块、腻子石膏、模具石膏、纸面石膏板及水泥等建材产品,目前多用于制造纸面石膏板和作水泥缓凝剂。

## 第四节 环境保护的可持续发展

### 一、我国电力环境保护技术措施和对策

一次能源转换为电力的比例,特别是煤炭转换为电力的比例已成为衡量一个国家经济发展水平、能源使用效率高低和环境保护好坏的重要标志。我国电力工业的发展,尤其是改革开放以来的发展,对我国能源利用率的提高和国民经济发展作出了巨大贡献。但电力生产本身也会造成地区的、区域的和全球性的环境问题。目前,我国的电量约有 80% 是由火电厂提供的,尤其是由燃煤电厂提供的。因此,我国电力环保任务主要是燃煤电厂的环保问题。

#### 1. 火电环境保护技术措施

(1) 烟尘控制。目前,燃煤电厂烟尘污染已得到有效控制。随着环保标准的日益严格,需要进一步提高除尘效率,发展电袋除尘技术,最大限度地减少微粒飞尘。

(2) 二氧化硫控制。通过引进和采用多种脱硫技术、采用低硫煤等措施,使二氧化硫排