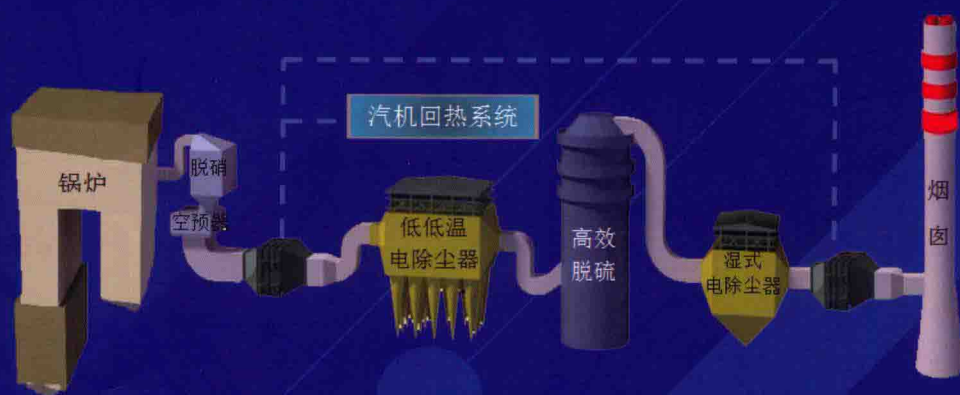


低低温电除尘器

赵海宝 黄俊 等编著

LOW-LOW TEMPERATURE
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR



化学工业出版社

低低温电除尘器

赵海宝 黄俊 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统地阐述了低低温电除尘的技术原理和工程应用，全书共分九章。内容包括燃煤电厂烟气超低排放及电除尘背景，低低温电除尘技术原理，电除尘选型技术，低低温与其他先进技术结合，高压供电、控制及绝缘技术，低低温电除尘器结构及应用特点，低低温电除尘器测试技术，电除尘器强度计算与优化，低低温电除尘器典型工程案例。内容面向除尘设备开发、设计、制造、使用，系统归纳了低低温电除尘技术在我国燃煤电厂的技术特征和工程应用经验。

本书具有较强的技术应用性，可供从事大气污染控制领域的科研人员、工程技术人员和管理人员参考，也可供高等学校环境科学与工程及相关专业的师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据
低低温电除尘器/赵海宝等编著. —北京：化学工业出版社，2018. 8
ISBN 978-7-122-32242-5
I. ①低… II. ①赵… III. ①低温-除尘器 IV. ①TM925. 31
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 112653 号

责任编辑：刘兴春 刘兰妹	文字编辑：汲永臻
责任校对：边 涛	装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 刷：北京京华铭诚工贸有限公司
装 订：三河市瞰发装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 395 千字 2018 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：85.00 元	版权所有 违者必究
-------------	-----------

前言

随着燃煤电厂烟气“超低排放”的全面实施，低低温电除尘器的优势已得到行业内的广泛认可，在近6年的工程应用中低低温电除尘技术已从众多新型电除尘技术中脱颖而出。

低低温电除尘器具有除尘效率高、设备阻力低、处理烟气量大等优点，并且克服了高比电阻引起的反电晕、细粉尘荷电难等常规电除尘技术瓶颈，通过烟气深度降温，回收了烟气热量，降低了脱硫水耗，有效提高了电除尘器和下游系统的除尘效率，可稳定达到 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下的出口粉尘浓度。

现在我国每年约40亿吨原煤使用中50%左右为电力所用，而根据国际能源署(IEA)统计，2011年美国91%的煤炭都用于发电，欧盟为76.2%，即使是印度和俄罗斯也超过60%，电煤比重均高于我国。燃煤发电是我国煤资源利用的“最清洁”方式，将煤炭的使用集中于电煤无疑是最佳的选择。超低排放技术在电力行业率先规模应用已见成效，极大地提升了公众对煤炭清洁利用的信心。

近年来，我国的环保法规、排放标准日趋严格。国家发改委、环境保护部和国家能源局三部委联合于2014年9月发布了《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014~2020年）》，要求东部地区新建燃煤机组排放基本达到燃气轮机组污染物排放限值，即基准氧含量6%条件下烟尘排放浓度不高于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

基于上述背景，作者结合多年的科研成果及国内外该领域的新技术，编著了适合我国国情的《低低温电除尘器》一书。本书共分九章，内容包括：燃煤电厂烟气超低排放及电除尘背景；低低温电除尘技术原理；电除尘选型技术；低低温与其他先进技术结合；高压供电、控制及绝缘技术；低低温电除尘器结构及应用特点；低低温电除尘器测试技术；电除尘器强度计算与优化；低低温电除尘器典型工程案例。本书重点描述了应用于燃煤电厂的低低温电除尘器，而对于其在石化、造纸等行业的应用未做展开。

本书是对低低温电除尘器的全面总结，内容新颖，指导性强，对于电除尘器技术改造具有重要指导作用。本书由浙江菲达环保科技股份有限公司的赵海宝和杭州华电半山发电有限公司的黄俊统稿，全书主要由赵海宝、黄俊和夏婷编著，书中烟气协同控制技术路线参考了由华能国际电力股份有限公司组织中国电力工程顾问集团中南电力设计院、西安交通大学、浙江菲达环保科技股份有限公司、浙江浙大网新机电工程有限公司、武汉凯迪电力环保有限公司共同参加完成的“燃煤电厂烟气协同治理关键技术研究”课题的相关成果，电除尘选型技术部分参考了中国环境保护产业协会电除尘委员会编著的《电除尘器选型设计指导书》，低低温电除尘测试技术部分参考了国家863计划资助项目“燃煤电站 $\text{PM}_{2.5}$ 捕集增效与优化技术与装备研制”

(2013AA065002) 的相关成果；同时，本书的出版得到了“十三五”国家重点研发计划“新型高效静电除尘装备”(2017YFB0603202)的支持。在此一并表示感谢。另外，本书编著过程中参阅的部分文献、标准资料未能一一列出，在此向有关专家、学者和同仁致谢。

由于编著者学识及经验有限，不妥和疏漏之处在所难免，恳请专家、读者批评指正。

编著者
2018 年 2 月

目录

第一章 燃煤电厂烟气超低排放及电除尘背景	001
第一节 环保政策及面临的形势	001
一、国家政策及标准	001
二、地方政策	002
三、地方标准	003
第二节 火电行业发展及烟尘排放概况	004
一、能源及火电行业背景	004
二、火电行业发展现状	005
三、火电行业烟尘排放与控制排放现状	006
四、火电行业发展趋势	007
第三节 电除尘概述	008
一、除尘器分类	008
二、电除尘基本原理	008
第四节 燃煤电厂烟气治理技术路线演变过程	009
第五节 以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线	010
一、关键设备主要功能	012
二、污染物协同脱除	013
三、技术优势	014
四、可达到的性能指标	014
第二章 低低温电除尘技术原理	015
第一节 低低温电除尘器简介	015
一、工作原理	015
二、组成	015
三、烟气冷却器或烟气换热系统	016
四、工艺路线	016
五、技术特点简介	017
第二节 酸露点及入口烟气温度确定方法	019
一、酸露点定义	019
二、酸露点测试方法	019
三、酸露点估算方法	020
四、酸露点计算示例	021
五、低低温电除尘器入口烟气温度确定方法	021
第三节 灰硫比及低温腐蚀控制	023
一、灰硫比定义	023

二、灰硫比估算公式	023
三、国内煤种灰硫比分析	024
四、灰硫比计算示例	025
五、灰硫比与腐蚀的关系	027
六、低温腐蚀风险的应对措施	027
第四节 低低温电除尘改造提效幅度	028
一、除尘效率与烟气温度的关系	028
二、不同煤种比电阻与烟气温度的关系	028
三、灰硫比与提效幅度的关系	030
第五节 二次扬尘及应对措施	030
一、二次扬尘相关研究	030
二、防止振打二次扬尘的措施	031
第六节 低低温电除尘器去除 SO_3 分析	033
一、 SO_3 的来源和危害	033
二、 SO_3 控制政策	034
三、 SO_3 检测方法	034
四、 SO_3 去除原理及去除率	035
第七节 低低温电除尘器能耗分析	037
一、低低温电除尘系统能耗分析	037
二、低低温电除尘器能耗分析	037

第三章 电除尘选型技术 039

第一节 常规电除尘选型技术	039
一、选型设计流程	039
二、选型设计条件和要求	039
三、电除尘器适应性研究	042
四、选型设计及修正	046
五、选型设计指导意见	048
六、燃煤电厂电除尘器提效改造技术路线	049
第二节 煤种的除尘难易性评价方法	050
一、评价方法简述	050
二、按煤种名称评价	051
三、按煤、飞灰成分评价	051
四、按多元回归分析法进行评价	052
五、按表观驱进速度 ω_k 评价	053
第三节 低低温电除尘选型技术	053
一、不同煤种比电阻与烟气温度的关系	053
二、灰硫比与提效幅度的关系	054
三、低低温电除尘型号表示方法	055
四、其他参数的确定	055

第四章 低低温与其他先进技术结合	056
第一节 低低温+ 旋转电极	056
一、低低温电除尘技术及二次扬尘问题	056
二、旋转电极电除尘技术	056
三、低低温+ 旋转电极电除尘结构	057
四、旋转电极电除尘布置方式	057
五、日本碧南电厂 1000MW 机组案例	061
六、国内案例分析	063
第二节 低低温+ 小分区	064
一、小分区改造原理及方法设计	064
二、工程应用案例	066
第三节 低低温+ 离线振打	067
第五章 高压供电、控制及绝缘技术	069
第一节 高频高压直流电源	069
一、原理	069
二、主要特点	069
三、推荐应用场合	070
第二节 脉冲高压电源	070
一、原理	071
二、主要特点	071
三、推荐应用场合	071
第三节 变频高压电源	072
一、原理	072
二、主要特点	072
三、推荐应用场合	072
第四节 高频恒流高压电源	073
一、原理	073
二、主要特点	073
三、推荐应用场合	073
第五节 三相高压直流电源	073
一、原理	073
二、主要特点	074
三、推荐应用场合	074
第六节 单相工频高压直流电源	074
一、原理	075
二、主要特点	075
三、推荐应用场合	076
第七节 恒流高压直流电源	076
一、原理	076

二、主要特点	076
三、推荐应用场合	077
第八节 电除尘器的高压绝缘技术	077
一、直流电场高压绝缘子特性	077
二、不同材料绝缘子性能	078
三、低低温电除尘器的高压绝缘	079
第九节 低低温电除尘器电控参数	082
一、台州二厂 1000MW 低低温电除尘器	082
二、金陵电厂 1000MW 低低温电除尘器	083
三、宁海电厂 1000MW 低低温电除尘器	085
四、玉环电厂 1000MW 低低温电除尘器	086
五、低低温电除尘器电源选项注意点	088

第六章 低低温电除尘器结构及应用特点 089

第一节 绝缘子室热风吹扫	089
一、典型的电除尘器绝缘子室现状介绍	089
二、BE 型结构设置热风吹扫的分析与对比	096
第二节 灰斗加热及灰的流动性	099
一、灰斗蒸汽加热和电加热比较	099
二、蒸汽加热改造	102
三、灰斗温度实际测量	104
第三节 低低温改造的可行性及技术经济性	105
一、绥中二期低低温电除尘改造可行性	106
二、低低温电除尘器与电袋复合除尘器技术经济性	108
第四节 低低温电除尘器运行数据	113
一、供电分区运行数据	113
二、低低温电除尘与常规电除尘情况	114
第五节 低低温电除尘器局部腐蚀防控	116
第六节 烟冷器布置下的气流局部	117
一、低低温电除尘器气流局部基本要求	117
二、某典型项目结构改进	117

第七章 低低温电除尘器测试技术 122

第一节 低低温电除尘器烟气测试方法	122
一、低浓度烟尘测试方法	122
二、烟气 PM _{2.5} 测试方法	129
三、燃煤电厂烟气中 SO ₃ 测试方法	136
第二节 粉尘比电阻测试方法	137
一、粉尘比电阻定义	137
二、粉尘比电阻的影响因素	138
三、粉尘比电阻的测试方法	138

第三节 烟气酸露点测试方法 142
 一、酸露点定义..... 142
 二、影响酸露点的主要因素..... 142
 三、酸露点测试方法..... 143
 四、酸露点测试仪器..... 143
 第四节 低低温电除尘项目的现场实测 144
 一、浙能温州电厂 8# 炉 660MW 机组 144
 二、华能玉环电厂 1# 炉 1000MW 机组 150
 三、上海外高桥电厂 1000MW 机组 PM_{2.5}现场测试 154
 四、SO₃现场实测 159
 五、粉尘比电阻现场实测..... 162
 第五节 低浓度颗粒物测试的空白实验研究 164
 一、标准空白样品的制备及评判指标..... 164
 二、进口滤筒与国产滤筒的空白实验对比..... 165
 三、一体化采样头的空白实验研究..... 167
 四、工程实测..... 168

第八章 电除尘器强度计算与优化 174

第一节 基于 ANSYS 的灰斗蒸汽加热改造强度计算 174
 第二节 基于 STAAD 的电除尘器进口喇叭强度技术..... 175
 一、电除尘器进出口封头结构简介..... 175
 二、载荷、约束分析及工况设置 176
 三、计算及结果分析 178
 第三节 基于 SAP2000 的电除尘器强度计算与优化 180
 一、强度整体计算流程..... 180
 二、模型建立..... 181
 三、整机模型..... 185
 四、分析项设定..... 186
 五、结果分析..... 187
 六、结构优化分析..... 193
 七、第三方有限元软件 ANSYS 校核..... 195

第九章 低低温电除尘器典型工程案例 199

第一节 国外应用案例 199
 一、案例 1: 三菱重工的东京电力公司广野电厂 5# 机组 199
 二、案例 2: 石川岛播磨 (IHI) 的新日铁住金鹿岛电厂 200
 三、案例 3: 日本电源开发株式会社的橘湾火力发电站 2# 机组 201
 四、案例 4: 日立 (Hitachi) 碧南电厂 4#、5# 机组 201
 五、案例 5: 阿尔斯通 (Alstom) 的东曹株式会社南阳机组 202
 第二节 国内应用案例 202
 一、案例 1: 华能榆社电厂 4 号机 (300MW) 改造工程 202

二、案例 2: 华能长兴电厂 1 号、2 号机组 (2×660MW) 新建工程 205

三、案例 3: 中电投江西新昌电厂 2×700MW 机组改造工程 209

四、案例 4: 浙能嘉华电厂三期 7 号、8 号机 (2×1000MW) 改造工程 213

五、案例 5: 华能玉环电厂 1000MW 机组改造工程 215

六、案例 6: 浙江温州电厂 660MW 机组新建工程..... 218

七、案例 7: 淮北平山电厂 1 号炉 660MW 机组新建工程 220

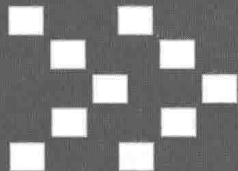
附录 A 低低温电除尘器相关标准 223

附录 B 选型设计修正 236

附录 C 选型设计条件和要求..... 239

附录 D 影响电除尘器性能主要因素分析 246

参考文献 257



第一章

燃煤电厂烟气超低排放及电除尘背景

第一节 环保政策及面临的形势

一、国家政策及标准

《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)及燃煤电厂“超低排放”政策已全面实施,但我国大气污染形势依然严峻,雾霾、酸雨等大气环境问题频发,尤其是冬季等季节的京津冀、长江三角洲、珠江三角洲等地区,由于国土开发密度较高,环境承载能力较弱,大气环境容量较小,雾霾天气日益增多。

超低排放是指通过对燃煤电厂的脱硫、脱硝、除尘装置进行改造,达到接近燃气电厂的排放标准,烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度(基准含氧量6%)分别不超过 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。火电厂大气污染物排放标准的演变如图1-1所示。

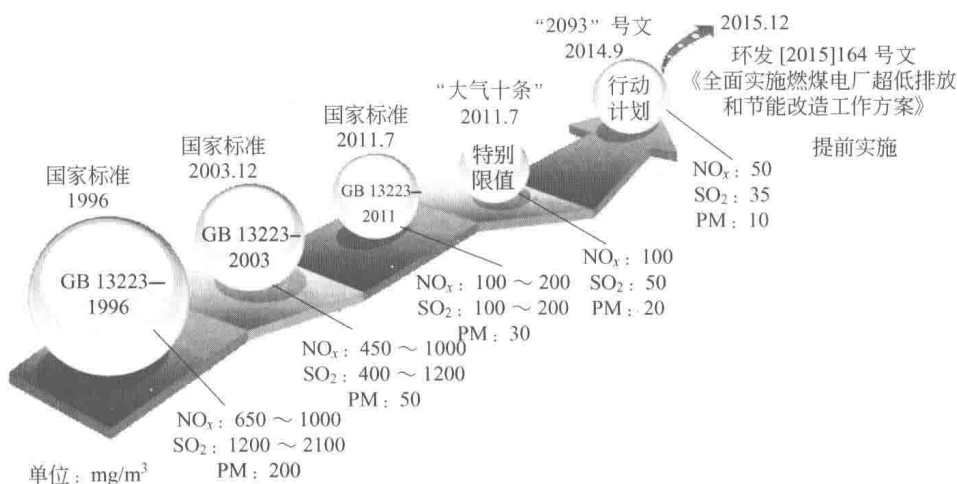


图 1-1 火电厂大气污染物排放标准的演变

2013年9月10日,国务院发布了《大气污染防治行动计划》(国发[2013]37号),简称“国十条”,总体目标:经过5年努力,全国空气质量总体改善,重污染天气较大幅度减少;京津冀、长江三角洲、珠江三角洲等区域空气质量明显好转。力争再用5年或更长时间,逐步消除重污染天气,全国空气质量明显改善。具体指标:到2017年,全国地级及以

上城市可吸入颗粒物浓度比 2012 年下降 10% 以上, 优良天数逐年提高; 京津冀、长江三角洲、珠江三角洲等区域细颗粒物浓度分别下降 25%、20%、15% 左右, 其中北京市细颗粒物年均浓度控制在 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右。

2014 年 9 月 12 日, 国家发展和改革委员会、环境保护部、国家能源局联合发布的《煤电节能减排升级与改造行动计划 (2014~2020 年)》(发改能源 [2014] 2093 号文) 中提出以下要求和目标。

(1) 加强新建机组准入控制 东部地区 (辽宁、北京、天津、河北、山东、上海、江苏、浙江、福建、广东、海南 11 省市) 新建燃煤发电机组大气污染物排放浓度基本达到燃机标准限值, 即要求在基准氧含量 6% 条件下, 烟尘、 SO_2 、 NO_x 排放浓度分别不高于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$, 中部地区 (黑龙江、吉林、山西、安徽、湖北、湖南、河南、江西 8 省) 新建机组原则上接近或达到燃机标准限值, 鼓励西部地区新建机组接近或达到燃机标准限值。支持同步开展大气污染物联合协同脱除, 减少三氧化硫、汞、砷等污染物排放。

(2) 加快现役机组改造升级 稳步推进东部地区现役 300MW 及以上公用燃煤发电机组和有条件的 300MW 以下公用燃煤发电机组实施大气污染物排放浓度基本达到燃机标准限值的环保改造, 2014 启动年 $8.0 \times 10^6 \text{kW}$ 机组改造示范项目, 2020 年前力争完成改造机组容量 $1.5 \times 10^8 \text{kW}$ 以上。鼓励其他地区现役燃煤发电机组实施大气污染物排放浓度达到或接近燃机标准限值的环保改造。“因厂制宜”采用成熟适用的环保改造技术, 除尘可采用低低温静电除尘器、电袋除尘器、布袋除尘器等装置, 鼓励加装湿式静电除尘装置; 脱硫可实施脱硫装置增容改造, 必要时采用单塔双循环、双塔双循环等更高效率脱硫设施; 脱硝可采用低氮燃烧、高效率 SCR (选择性催化还原法) 脱硝装置等技术。

2015 年 12 月, 环境保护部、国家发展和改革委员会、国家能源局联合发布了关于印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》的通知。通知要求, 到 2020 年, 全国所有具备改造条件的燃煤电厂力争实现超低排放 (即在基准氧含量 6% 条件下, 烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$); 全国有条件的新建燃煤发电机组达到超低排放水平。加快现役燃煤发电机组超低排放改造步伐, 将东部地区原计划 2020 年前完成的超低排放改造任务提前至 2017 年前总体完成; 将对东部地区的要求逐步扩展至全国有条件地区, 其中中部地区力争在 2018 年前基本完成, 西部地区在 2020 年前完成。

2016 年, 环境保护部、国家发展和改革委员会、国家能源局发布《关于印发 2016 年各省 (区、市) 煤电超低排放和节能改造目标任务的通知》(环发 [2015] 164 号), 进一步制定各地区煤电超低排放和节能改造的目标任务, 并将任务分解细化, 燃煤电厂超低排放和节能改造开始全面实施。

二、地方政策

江苏省、浙江省、广州市、山西省等地出台相关政策, 要求燃煤电厂大气污染物排放达到“超低排放”要求。

2013 年 12 月 31 日, 浙江省人民政府出台的《浙江省大气污染防治行动计划 (2013~

2017年)》中指出,2017年底前,所有新建、在建火电机组必须采用烟气清洁排放技术,现有 $6.0\times 10^5\text{kW}$ 以上火电机组基本完成烟气清洁排放技术改造,达到燃气轮机组排放标准要求。

2014年1月28日,广州市发展和改革委员会在《关于广州市燃煤电厂“趋零排放”改造技术方案及造价情况的报告》中指出,截至2015年7月1日,全市所有现役燃煤热电联产机组及所有上大压小改扩建燃煤发电机组均须达到“燃气轮机大气污染物特别排放限值”。

2014年8月25日,山西省人民政府出台的《关于推进全省燃煤发电机组超低排放的实施意见》中指出,到2020年,全省单机 $3.0\times 10^5\text{kW}$ 及以上常规燃煤、低热值煤发电机组大气主要污染物排放确保达到超低排放标准Ⅰ、Ⅱ(超低排放标准Ⅰ:常规燃煤发电机组达到天然气燃气轮机排放标准,氮氧化物 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、二氧化硫 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、烟尘 $5\text{mg}/\text{m}^3$;超低排放标准Ⅱ:低热值煤发电机组基本达到天然气燃气轮机排放标准,氮氧化物 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、二氧化硫 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、烟尘 $10\text{mg}/\text{m}^3$)。

三、地方标准

随着大气污染防治工作的推进,多个省份陆续发布了燃煤电厂大气污染物地方标准,无一例外地将“超低排放”写入了排放限值。截至2017年10月,公布大气污染地方标准的省市有5个,分别是河南、河北、上海、山东、浙江。

2013年9月1日,山东省发布实施了《火电厂大气污染物排放标准》(DB 37/664—2013),要求烟尘、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物排放限制分别达到 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 。之后,于2016年2月发布了标准修改单,新修订的标准中燃煤(含水煤浆)锅炉污染物排放限值调整为:烟尘 $410\text{t}/\text{h}$ 以上锅炉 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $410\text{t}/\text{h}$ 以下锅炉 $10\text{mg}/\text{m}^3$,二氧化硫 $35\text{mg}/\text{m}^3$,氮氧化物现有W形火焰炉膛和循环流化床锅炉 $100\text{mg}/\text{m}^3$,其他燃煤锅炉 $50\text{mg}/\text{m}^3$,汞及其化合物 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2015年10月,河北省发布了《燃煤电厂大气污染物排放标准》(DB 13/2209—2015),其中,现有及新建单台处理能力 $65\text{t}/\text{h}$ 以上(除层燃炉、抛煤机炉外)燃煤发电锅炉,烟尘、二氧化硫、氮氧化物3项指标排放限值分别为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。 $65\text{t}/\text{h}$ 以上以低热值煤为燃料的燃煤发电锅炉及新建单台处理能力 $65\text{t}/\text{h}$ 及以下的煤粉发电锅炉,烟尘、二氧化硫、氮氧化物3项指标排放限值分别为 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2016年1月29日,上海市发布实施《燃煤电厂大气污染物排放标准》(DB 31/963—2016),燃煤电厂烟尘、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物排放限制分别达到 $10\text{mg}/\text{m}^3$ (新建 $5\text{mg}/\text{m}^3$)、 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 。标准并将 $6.0\times 10^5\text{kW}$ 及以上的公用燃煤机组标准执行时间确定为2016年9月1日, $3.0\times 10^5\text{kW}$ 及以上的公用燃煤机组标准执行时间为2017年9月1日,自备电厂燃煤机组标准执行时间为2018年1月1日。标准还提到,燃煤发电锅炉应采取烟温控制及其他有效措施消除石膏雨、有色烟羽等现象。

2017年8月28日,浙江省印发《燃煤电厂大气污染物排放标准》征求意见稿(浙环便函[2017]249号),标准中规定,新建燃煤发电锅炉和现有 $3.0\times 10^5\text{kW}$ 及以上燃煤发电

锅炉颗粒物排放限值执行 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，现有单台处理能力 $3.0 \times 10^5 \text{kW}$ 以下（不含）燃煤发电锅炉颗粒物排放暂行限值执行 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物执行 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化硫执行 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 。征求意见稿还提到，要求位于城市主城区及环境空气敏感区的燃煤发电锅炉应采取烟温控制及其他有效措施消除石膏雨、有色烟羽等现象。

2017 年 10 月 1 日，河南省正式发布实施《燃煤电厂大气污染物排放标准》（DB 41/1424—2017）。标准规定，烟尘、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物 4 项指标排放限值分别为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 。

第二节 火电行业发展及烟尘排放概况

一、能源及火电行业背景

我国的能源结构呈现“富煤、缺油、少气”的特征，在未来相当长的时期内，以煤为主的能源供应格局不会发生根本性改变，同时我国电煤比例将进一步增大，2011 年美国 91% 的煤炭都用于发电，欧盟为 76.2%，即使是印度和俄罗斯也超过 60%，而我国仅为 49.8%。若用燃气电厂来替代燃煤电厂，则面临着天然气气源不足、成本过高的现实问题。而随着我国经济的高速发展以及人民生活水平的不断提高，火电装机容量仍将不断增长。从 2000 年到 2016 年，我国煤电装机容量从 $2.4 \times 10^8 \text{kW}$ 增加到 $1.054 \times 10^9 \text{kW}$ ，包括燃煤装机容量 $9.43 \times 10^8 \text{kW}$ 、燃气装机容量 $7.008 \times 10^7 \text{kW}$ ，预计到 2020 年全国火电装机容量将达 $1.22 \times 10^9 \text{kW}$ 。燃煤发电虽已是我国煤资源利用的“最清洁”方式，对大气污染的影响远小于钢铁、建材等行业，但因其基数大，仍是我国大气污染的排放源之一，我国正面临着越来越严峻的环境压力。

尽管我国能源消费总量居世界第一，但能源资源储量却非常有限。2014 年，我国煤炭、石油、天然气的探明储量占世界总储量的比例分别为 12.8%、1.1% 和 1.8%，我国人口占到世界总数的 18.7%，因此我国煤炭、石油、天然气的人均储量仅是世界平均水平的 68.4%、5.9% 和 9.6%，可见，我国严重缺少石油与天然气资源，我国的石油、天然气资源仅占化石能源的 5.78%。2014 年，我国石油进口依存度已经突破 60%，超过了 50% 的警戒线，天然气进口依存度也高达 32.7%。此外，由于我国远洋自主运输能力不足，难以形成稳定可靠的油气供应来源，大量依赖进口直接影响中国的能源安全，从而影响经济安全。能源资源禀赋与能源消费世界第一的特点，决定了我国以煤为主的能源格局短期内难以改变。燃煤发电是煤炭利用最为集中、高效、清洁的方式。2016 年，我国煤炭消费量 $3.779 \times 10^9 \text{t}$ ，其中燃煤电站消费约 50%，随着超低排放要求的全面实施，2016 年与 2005 年相比电煤消耗量增加约 $5.5 \times 10^8 \text{t}$ ，而烟气污染物排放量大幅下降，其中粉尘排放量下降 90.3%。

在执行更严格能效环保标准的前提下，到 2020 年，力争使煤炭占一次能源消费比重下降到 62% 以内，电煤占煤炭消费比重提高到 60% 以上。

2013 年，我国东部地区严重的灰霾污染激发了全社会重视治理大气污染的共识。2014 年 6 月 7 日，国务院以国办发〔2014〕31 号文印发了《能源发展战略行动计划（2014～

2020 年)》，首次在政府文件中明确：提高煤电机组准入标准，新建燃煤发电机组污染物排放接近燃气机组排放水平。2014 年 6 月 13 日，习近平同志在中央财经领导小组第六次会议上提出：提高煤电机组准入标准，对达不到节能减排标准的现役机组限期实施改造升级。与此同时，各级政府与煤电行业积极响应，大力推进煤电超低排放行动，煤电超低排放取得了卓越的成效，在减排技术上也取得了重大突破。

二、火电行业发展现状

截至 2015 年年底，全国全口径发电装机容量 $1.50673 \times 10^9 \text{ kW}$ ，同比增长 8.1%，其中火电新增装机 $7.431 \times 10^7 \text{ kW}$ 。火电装机容量 $9.9 \times 10^8 \text{ kW}$ （含煤电 $8.8419 \times 10^8 \text{ kW}$ 、气电 $6.637 \times 10^7 \text{ kW}$ ），占全部装机容量的 65.7%，比上年降低 1.6%。截至 2015 年年底，全国全口径发电量 $5.6184 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，比上年增长 0.6%，其中火电发电量 $4.2102 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，同比下降 2.3%，占全国发电量的 74.9%，比上年降低 0.3%。

我国火电装机容量及占总装机比例见图 1-2。

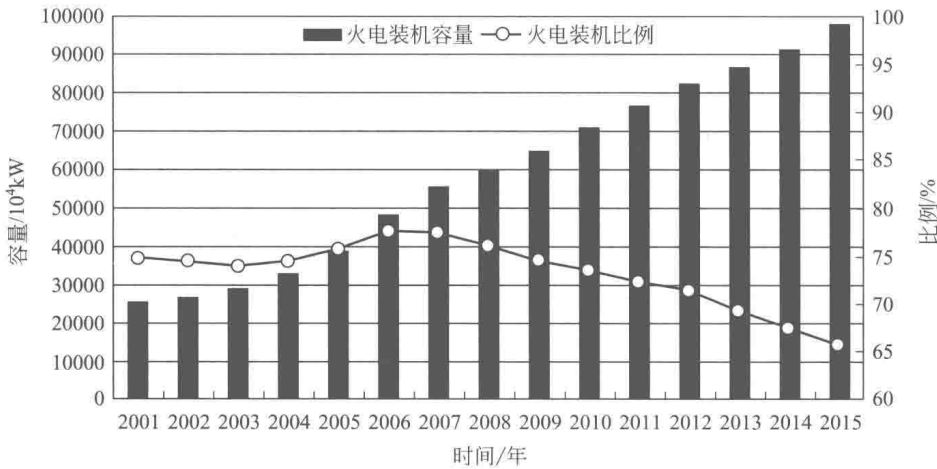


图 1-2 我国火电装机容量及占总装机比例情况

2010~2014 年，这 5 年全国火电装机容量累计增长 30.15%，年均增长 6.03%，年均净增容量 $4.279 \times 10^7 \text{ kW}$ 。截至 2014 年年底，纳入行业 6000kW 及以上机组统计调查范围的火电机组容量为 $8.9723 \times 10^8 \text{ kW}$ ，占全国 6000kW 及以上火电机组容量的 97.67%。调查范围内火电机组平均单机容量 $1.253 \times 10^5 \text{ kW}$ 。在调查范围内的火电机组中， $6.0 \times 10^5 \text{ kW}$ 及以上火电机组容量所占比重达到 41.58%，比上年提高 0.44 个百分点，比 2005 年提高 29.9 个百分点，反映大容量、高参数的火电机组自“十一五”以来得到迅速发展。2014 年年底全国统计调查范围内火电机组容量等级结构见表 1-1。

我国各省（市）电力结构不均衡，火电机组主要分布在华东地区的江苏省、浙江省、山东省、安徽省和上海市，华北地区的内蒙古自治区、山西省和河北省，华南地区的广东省和华中地区的河南省、湖北省。青海省、海南省和西藏自治区火电机组容量相对较少。截至 2014 年年底，全国有 7 个省份的火电装机容量超过 $5.0 \times 10^7 \text{ kW}$ ，装机容量排名前三位的是江苏省 $7.727 \times 10^7 \text{ kW}$ 、山东省 $7.203 \times 10^7 \text{ kW}$ 、广东省 $6.963 \times 10^7 \text{ kW}$ 。

表 1-1 2014 年年底全国统计调查范围内火电机组容量等级结构

指标分类		计算单位	总容量	占统计调查范围内火电容量比例/%
6000kW 及以上机组		台	7162	100
		10 ⁴ kW	89723	
其中	6.0×10 ⁵ kW 及以上机组	台	台	41.58
		10 ⁴ kW	37305	
	3.0×10 ⁵ ~6.0×10 ⁵ kW 机组 (不包含 6.0×10 ⁵ kW)	台	983	35.75
		10 ⁴ kW	32080	
	2.0×10 ⁵ ~3.0×10 ⁵ kW 机组 (不包含 3.0×10 ⁵ kW)	台	台	6.21
		10 ⁴ kW	5568	
	1.0×10 ⁵ ~2.0×10 ⁵ kW 机组 (不包含 2.0×10 ⁵ kW)	台	463	7.08
		10 ⁴ kW	6348	
	不足 1.0×10 ⁵ kW 机组	台	4903	9.39
		10 ⁴ kW	8422	

三、火电行业烟尘排放与控制排放现状

2014 年，我国火电行业烟尘排放量约 9.8×10⁵t（中电联快报），同比下降约 31%；烟尘平均排放绩效约 0.23g/(kW·h)，比 2010 年下降约 54%，比 2005 年下降约 87%，与美国 2011 年水平 0.15g/(kW·h) 有一定差距（美国火电机组容量中约 40%为气电）。近 5 年我国火电行业烟尘排放量和绩效值见图 1-3。

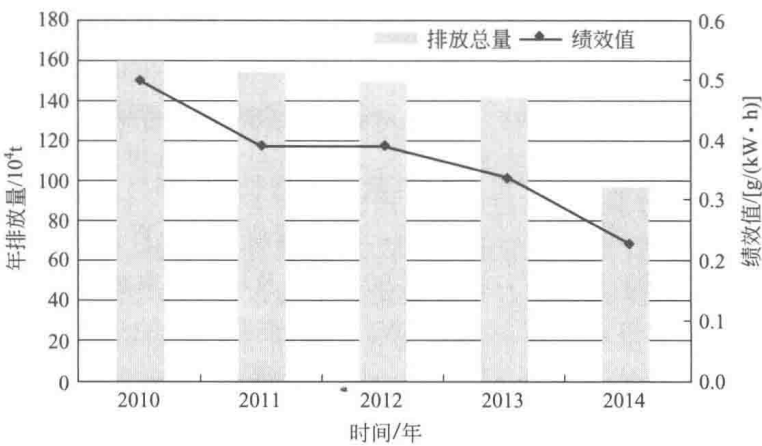


图 1-3 近 5 年我国火电行业烟尘排放量和绩效值

随着电除尘器的迅速推广，燃煤电厂烟尘排放绩效值由 1980 年的 16.5g/(kW·h) 降至 2000 年的 2.9g/(kW·h)，再到当前的平均排放绩效约 0.23g/(kW·h)。2010 年后新建火电企业综合除尘效率一般高于 99.9%。

2014 年，电除尘器、袋式除尘器、电袋复合除尘器分别约占全国煤电机组容量的