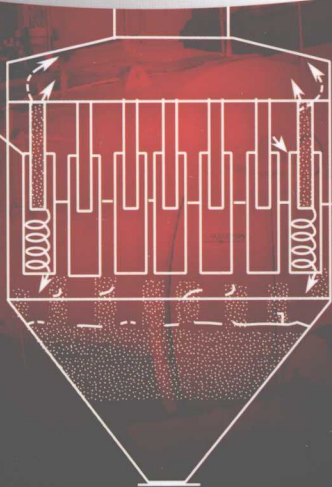


锅炉除尘技术

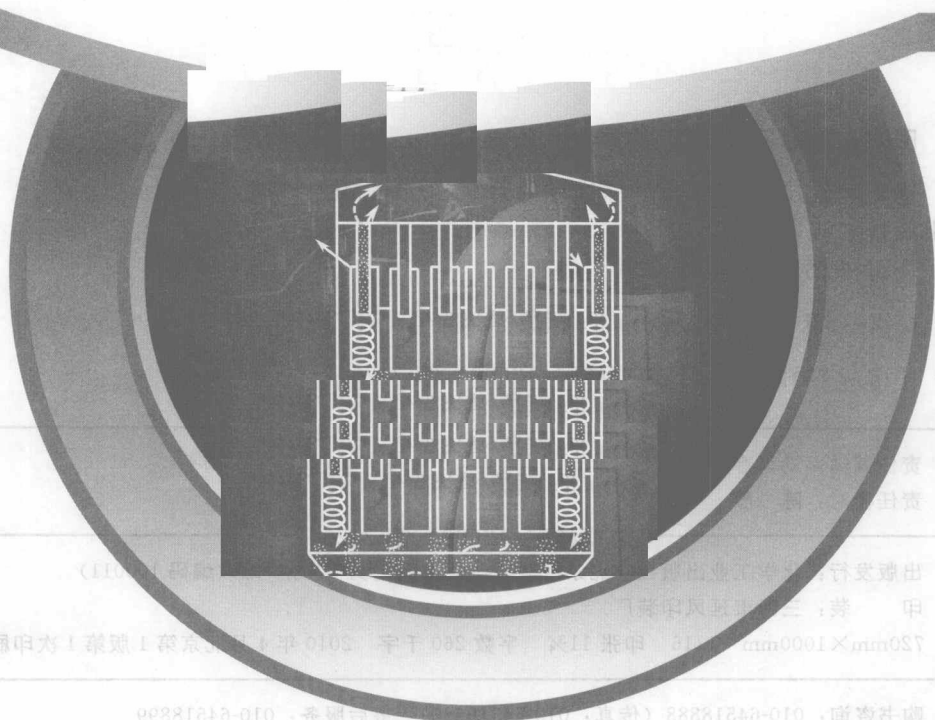
左其武 张殿印 编著



化学工业出版社

GUOLU CHUCHEN JISHU

锅炉除尘技术



化学工业出版社

本书是一本专门介绍锅炉烟气除尘技术的专业书, 内容包括了燃煤锅炉袋式除尘器、除尘滤料、锅炉静电除尘器、输排灰装置、除尘配套设备、除尘风机、袋式除尘器与静电除尘器的复合以及中小型锅炉烟气脱硫技术。全书涉及了除尘系统的设计选型和运行维护, 国内外燃煤锅炉烟气净化系统设计制造、安装经验以及对外技术谈判和调研资料, 具有较强的实用性和参考价值。

本书可供工矿企业和科研设计单位广大环保技术人员、管理人员阅读, 也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉除尘技术/左其武, 张殿印编著. —北京: 化学工业出版社, 2010.2

ISBN 978-7-122-07495-9

I. 锅… II. ①左…②张… III. 锅炉-消烟除尘 IV. TK227.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 242507 号

责任编辑: 刘兴春 汲永臻

装帧设计: 史利平

责任校对: 陈 静

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 装: 三河市延风印装厂

720mm×1000mm 1/16 印张 11¼ 字数 260 千字 2010 年 4 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: 36.00 元

版权所有 违者必究

前言

目前我国的能源结构以燃煤为主，我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国。2001 年以前国内火电厂使用静电除尘器的比例占 99% 以上，主要是当时我们国家的环保排放要求低所致。我国火电厂烟尘治理工作已进行了多年，火电行业袋式除尘器技术发展缓慢，所以大部分发电机组都配备了静电除尘器。我国于 2004 年 1 月 1 日起颁布执行的《火电厂大气污染物排放标准》，对烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放限值都做了更为严格的规定，其中烟尘排放要控制在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。这实际上是对火力发电机组除尘工作提出了新的要求， $50\text{mg}/\text{m}^3$ 的排放限值要求采用高效除尘技术，并要求在选用脱硫工艺的同时考虑除尘要求，这给袋式除尘器在火电厂烟气净化中的应用提供了最好的一个机会，主要还是因为最近几年袋式除尘技术的发展迅速，特别是袋式除尘器的配件（滤袋、脉冲阀、控制 PLC 技术等）提高很快，同时袋式除尘器可以提高 10% 脱硫效率，是火电厂锅炉烟气干法脱硫重要设备之一。据《中华人民共和国大气污染防治法》等一系列法规和条例精神，凡对今后新建、扩建、改造的系列链条工业锅炉、往复锅炉以及锅炉生产厂均需配套使用消烟、除尘、脱硫、脱氮除尘器。

袋式除尘器是最能有效控制烟尘污染的设备。它具有很高的除尘效率，经过袋式除尘器过滤后的烟气含粉尘浓度低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，甚至在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，还能有效地除去烟尘中的微细颗粒物。国外在 20 世纪 70 年代开始将袋式除尘器应用到燃煤锅炉的烟气净化上以代替静电除尘器。

为了使广大环保工作者、工程设计人员和操作人员能够深入了解燃煤锅炉烟气除尘净化技术，掌握除尘系统的设计选型和运行维护，根据国内外燃煤锅炉烟气净化系统设计、制造、安装经验，以及对外技术谈判和调研所掌握的资料，编著了《锅炉除尘技术》一书。全书共分为 9 章，主要内容有锅炉烟尘原始数据，燃煤锅炉袋式除尘器，除尘滤料，锅炉静电除尘器，输排灰装置，除尘配套设备，除尘风机，袋式除尘器与静电除尘器的复合，以及中小型锅炉烟气脱硫技术等。本书特点是图文并茂、重点突出、深入浅出、内容实用。

在本书的编著过程中，得到 A. BITION 公司、APP 公司和 EEC 公司的大力支持。王海涛、王冠、赵新志、周峰、张连中等专家和专业工作者为本书的编著提供了宝贵的建议和技术资料，还得到冯馨瑶的鼎力相助，在此致以谢意。

因编著者经验和水平有限，书中难免存在缺点和不足，敬请读者批评指正。

编著者
2010 年 1 月

目 录

第 1 章 原始数据 1

- 1.1 烟尘来源与组成 1
 - 1.1.1 烟尘来源 1
 - 1.1.2 烟尘化学组成 2
 - 1.1.3 烟尘物理性质 2
- 1.2 锅炉烟气性质、特点及
主要危害 3
 - 1.2.1 烟气性质及特点 3
 - 1.2.2 燃煤锅炉烟气的主要
危害 4
 - 1.2.3 污染物排放标准 6
- 1.3 燃煤锅炉烟气量和污染物的
确定 9
 - 1.3.1 燃料燃烧排烟量 9
 - 1.3.2 燃煤锅炉污染物排
放量 13

第 2 章 燃煤锅炉袋式除尘器 15

- 2.1 概述 15
 - 2.1.1 燃煤锅炉袋式除尘系统
的特点 15
 - 2.1.2 袋式除尘器在国内燃煤锅炉
上应用状况 16
- 2.2 袋式除尘器的基础知识 17
 - 2.2.1 常用术语涵义 17
 - 2.2.2 袋式除尘器的原理 20
 - 2.2.3 影响技术性能的
因素 21
 - 2.2.4 袋式除尘器的分类 22
- 2.3 行喷脉冲袋式除尘器
构造 22
 - 2.3.1 基本构造 22
 - 2.3.2 箱体构造 26
 - 2.3.3 花板构造 26
 - 2.3.4 除尘器灰斗构造 27
- 2.4 主要部件 28
 - 2.4.1 滤袋 28
 - 2.4.2 笼架 28
 - 2.4.3 滤袋和笼架的安装 28
 - 2.4.4 灰斗伴热 29
 - 2.4.5 灰斗振动器 31
 - 2.4.6 气体出入口阀门 31
- 2.5 清灰系统 33
 - 2.5.1 清灰的意义 33
 - 2.5.2 脉冲清灰过程 34
 - 2.5.3 脉冲清灰系统 34
- 2.6 燃煤锅炉袋式除尘器技术
方案 42
 - 2.6.1 组成界面和供货
范围 43
 - 2.6.2 结构型式的选择 44
 - 2.6.3 过滤速度 44
 - 2.6.4 袋间气流上升速度 44
 - 2.6.5 分室 45
 - 2.6.6 除尘系统的安全与
保护 45
 - 2.6.7 自动控制 49
 - 2.6.8 气源 54
 - 2.6.9 燃煤锅炉袋式除尘器
常用规格 55
- 2.7 燃煤锅炉袋式除尘器运行
管理 56

2.7.1 除尘器的启动	56	2.7.3 日常维护	58
2.7.2 除尘器的停机	57		

第3章 滤料 61

3.1 纤维材料	61	3.3 滤料的选择	67
3.1.1 合成纤维	61	3.3.1 除尘器所处理的含尘 气体的特征	67
3.1.2 玻璃纤维	63	3.3.2 粉尘的特性	68
3.2 滤料后整理	63	3.3.3 除尘器的清灰方式	69
3.2.1 合成纤维织物的后 处理	63	3.3.4 处理燃煤锅炉烟气滤料 的选用条件	69
3.2.2 玻璃纤维织物的后 处理	65	3.3.5 锅炉用滤料	73
3.2.3 滤料覆膜	66		

第4章 锅炉静电除尘器 75

4.1 静电除尘器的工作原理和 性能	75	4.3.1 高压供电装置	85
4.1.1 静电除尘器工作 原理	75	4.3.2 电极电压的调节	86
4.1.2 静电除尘器分类	76	4.3.3 低压供电与控制 装置	87
4.1.3 静电除尘器性能 参数	77	4.4 静电除尘器选型与改造	88
4.1.4 影响静电除尘器性能 的因素	79	4.4.1 静电除尘器的选用	88
4.2 锅炉静电除尘器构造	79	4.4.2 静电除尘器新技术	90
4.2.1 静电除尘器壳体	80	4.4.3 静电除尘器的改造	93
4.2.2 电极	81	4.5 小锅炉多管旋风除尘器	95
4.2.3 清灰装置	83	4.5.1 多管旋风除尘器的 特点	95
4.2.4 气流分布装置	84	4.5.2 工作原理和构造	96
4.3 锅炉静电除尘器供电 装置	85	4.5.3 技术性能	98
		4.5.4 GQX 型多管除尘器	99

第5章 输排灰装置 102

5.1 机械输送装置	104	5.2 气力输送装置	108
5.1.1 螺旋输送机	104	5.2.1 工作原理	108
5.1.2 埋刮板输送机	105	5.2.2 气力输送设备和主要 部件	110
5.1.3 斗式提升机	107		

5.2.3 气力输送系统设计	111	5.3.4 锁气翻板卸灰阀	117
5.3 排灰装置	114	5.3.5 旋转卸灰阀	117
5.3.1 排灰装置的选用		5.4 贮灰仓	118
要求	114	5.4.1 选用和设计要求	118
5.3.2 插板阀	114	5.4.2 设备本体	119
5.3.3 双层卸灰阀	116		

第6章 除尘配套设备及其他 121

6.1 管道阀门	121	6.4 管道滑动支座	128
6.1.1 电动阀门	121	6.4.1 管道支座跨距	128
6.1.2 气动阀门	124	6.4.2 管道滑动支座	129
6.2 烟囱	125	6.5 管道膨胀补偿技术	129
6.2.1 烟囱能力计算	125	6.5.1 管道膨胀伸缩量	
6.2.2 烟囱设置原则	126	计算	129
6.3 除尘管道	126	6.5.2 非金属补偿器	130
6.3.1 管道设计要求	126	6.5.3 金属波纹补偿器	131
6.3.2 管道结构	127	6.6 保温和涂装	131
6.3.3 除尘管道内的风速及		6.6.1 保温	131
压力损失	128	6.6.2 涂装	132

第7章 风机 135

7.1 风机的分类、命名和		7.3 风机选用、调速与节能	141
选用	135	7.3.1 风机的选用	141
7.1.1 离心风机的分类	135	7.3.2 风机调速与节能	142
7.1.2 离心风机的命名	136	7.4 风机系统的设计和运行	
7.1.3 风机性能选用	137	要求	144
7.1.4 风机性能换算	137	7.4.1 风机布置	144
7.2 风机的运行特性	138	7.4.2 风机的隔振和消声	
7.2.1 风机的主要性能		措施	145
参数	138	7.4.3 风机的运行故障分析和	
7.2.2 风机的特性曲线	138	排除方法	146
7.2.3 风机的并联和串联	139		

第8章 袋式除尘器与静电除尘器的复合 148

8.1 两种除尘器的特点	148	中存在的问题	149
8.1.1 静电除尘器特点及使用		8.2 基本性能比较	150
中存在的问题	148	8.2.1 除尘效率	150
8.1.2 袋式除尘器特点及使用		8.2.2 锅炉系统变化对除尘器	

的影响	150	8.3.2 A-CSE 系列电复袋除尘器	
8.2.3 运行与管理	152	的要点	156
8.2.4 设备投资	152	8.3.3 突出的技术特点	156
8.2.5 运行维护费用	153	8.3.4 A-CSE 电复袋除尘器技术	
8.3 A-CSE 电复袋除尘		改造应注意的问题	157
技术	155	8.3.5 A-CSE 系列电复袋除尘器	
8.3.1 电袋复合除尘器		的工程运用	158
开发	155		

第9章 中小型锅炉脱硫技术

9.1 常用烟气脱硫工艺	160	技术	166
9.2 双碱法烟气脱硫技术	162	9.4.1 湿法脱硫工艺评价	167
9.2.1 化学原理	162	9.4.2 工作原理及特点	169
9.2.2 工艺流程	162	9.4.3 工艺流程	170
9.2.3 双碱法工艺特点	163	9.4.4 主要工艺设备说明	170
9.3 荷电干式吸收剂喷射烟气		9.5 中小锅炉脱硫发展方向	172
脱硫技术	164	9.5.1 中小锅炉烟气脱硫工艺	
9.3.1 CDSI 系统工作原理	164	选择的原则	172
9.3.2 CDSI 系统基本工艺		9.5.2 不同锅炉脱硫工艺的	
流程	165	分析	172
9.3.3 CDSI 系统主要设备	165	9.5.3 中小锅炉脱硫发展	
9.3.4 CDSI 系统的技术条件与		方向	173
参数	166		
9.4 石灰-石膏滤泡湿法脱硫			

附录

附录1 主要燃料特征	175	附录3 燃烧产生污染物量	177
附录2 燃烧反应	176		

参考文献

第1章 原始数据

有害物质的产生来源于自然过程和人类活动两个方面，自然过程产生的有害物一般靠大气的自净作用；而人类活动过程中产生的有害物，不但直接危害人们的身心健康，也影响到自然过程的进一步恶化，成为可持续发展的绊脚石。所以对后者必须靠强制手段加以控制，并采用有效的除尘技术。

人类活动引起的烟尘等有害物主要来源有三个：工艺生产过程中产生的有害物、生活过程中产生的有害物及交通运输过程中产生的有害物。燃煤锅炉以其烟尘排放量大、废弃物多、污染大而成为烟尘污染的最主要来源。

● 1.1 烟尘来源与组成

1.1.1 烟尘来源

燃煤发电厂的生产过程是：经过磨制的煤粉送到锅炉中燃烧放出热量，加热锅炉中的给水，产生具有一定温度和压力的蒸汽。这个过程是把燃料的化学能转换成蒸汽的热能。再将具有一定压力和温度的蒸汽送入汽轮机内，冲动汽轮机转子旋转；这个过程是把蒸汽的热能转变成汽轮机轴的机械能。汽轮机带动发电机旋转而发电的过程是把机械能转换成电能。

根据上述火力发电厂的生产过程，其生产系统主要包括燃烧系统、汽水系统和电气系统，详见图 1-1。

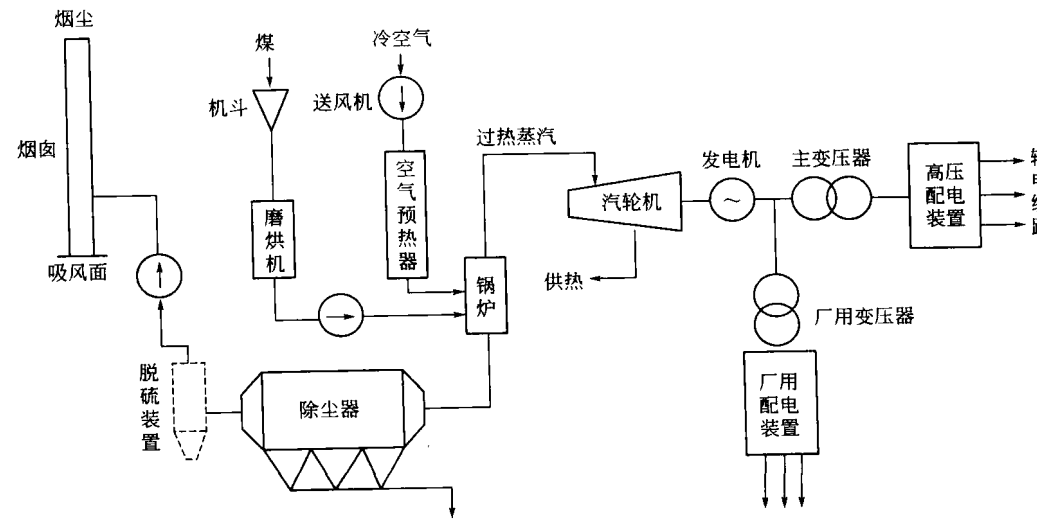


图 1-1 燃烧电厂工艺流程

燃烧系统包括锅炉的燃烧设备和除尘设备等，燃烧系统的作用是供锅炉燃烧所用的燃料及空气进行完好的燃烧，产生具有一定压力和温度的蒸汽，并排出燃烧后的产物——粉煤灰和灰渣。

汽水系统由锅炉、汽轮机、凝汽器和给水泵等组成，它包括汽水循环系统、水处理系统、冷却系统等。

电气系统由发电机、主变压器、高压配电装置、厂用变压器、厂用配电装置组成。

火力发电厂的电能生产过程是由发电厂的三大主要设备（锅炉、汽轮机、发电机）和一些辅助设备来实现的，即：一是在锅炉中，将燃料的化学能转换为蒸汽的热能；二是在汽轮机中，将蒸汽的热能转换为汽轮机轴的旋转机械能；三是在发电机中，将机械能转换为电能。

火力发电厂排放废气主要是指燃料燃烧产生的烟气。烟气中主要污染物包括有颗粒状的细灰又称粉煤灰或飞灰。气体状的 SO_x 、 NO_x 、 CO 、 CO_2 、烃类等。

煤粉的燃烧过程：煤粉在炉膛中呈悬浮状态燃烧，燃煤中的绝大部分可燃物都能在炉内燃尽，而煤粉中的不燃物（主要为灰分）大量混杂在高温烟气中。这些不燃物因受到高温作用而部分熔融，同时由于其表面张力的作用，形成大量细小的球形颗粒。在锅炉尾部引风机的抽气作用下，含有大量灰分的烟气流向炉尾。随着烟气温度的降低，一部分熔融的细粒因受到一定程度的急冷，呈玻璃状态，从而具有较高的潜在活性。在引风机将烟气排入大气之前，上述这些细小的球形颗粒，经过除尘器被分离、收集即为粉煤灰。

1.1.2 烟尘化学组成

粉煤灰的化学成分与黏土质相似，其中以二氧化硅（ SiO_2 ）及三氧化二铝（ Al_2O_3 ）的含量占大多数，其余为少量三氧化二铁（ Fe_2O_3 ）、氧化钙（ CaO ）、氧化镁（ MgO ）、氧化钠（ Na_2O ）、氧化钾（ K_2O ）及氧化硫（ SO_3 ）等。粉煤灰的化学成分及其波动范围如下：二氧化硅 40%~60%，三氧化二铝 20%~30%，三氧化二铁 4%~10%（高者 15%~20%），氧化钙 2.5%~7%（高者 15%~20%），氧化镁 0.5%~2.5%（高者 5%以上），氧化钠和氧化钾 0.5%~2.5%，氧化硫 0.1%~1.5%（高者 4%~6%），烧失量 3.0%~30%。此外，粉煤灰中尚含有一些有害元素和微量元素，如铜、银、镓、铟、镭、钽、铌、钇、镱、镧族元素等。一般有害物质的质量分数低于允许值。

粉煤灰的矿物成分主要有莫来石、钙长石、石英矿物质和玻璃物质，还有少量未燃炭。玻璃物质是由偏高岭土（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ）、游离酸性二氧化硅和三氧化二铝组成，多呈微珠状态存在。这些玻璃体约占粉煤灰的 50%~80%，它是粉煤灰的主要活性成分。粉煤灰的矿物组成主要取决于原煤的无机杂质成分（无机杂质成分主要指含铁高的黏土物质、石英、褐铁矿、黄铁矿、方解石、长石、硫等）与含量以及煤的燃烧状况。

1.1.3 烟尘物理性质

中国电厂粉煤物理性质见表 1-1。图 1-2 所示为日本煤粉锅炉粉尘的大量实测值中最粗和最细的粉尘分布。

表 1-1 中国电厂粉煤物理性质

项目	表观密度 /(g/cm ³)	堆积密度 /(g/cm ³)	真密度 /(g/cm ³)	80μm 筛余量 /%	45μm 筛余量 /%	透气法比表面积 /(cm ² /g)
范围	1.92~2.85	0.5~1.3	1.8~2.4	0.6~77.8	2.7~86.6	1 176~6 531
均值	2.14	0.75	2.1	22.7	40.6	3 255

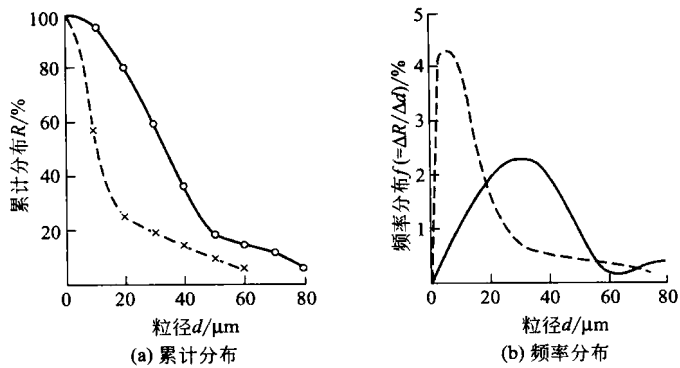


图 1-2 煤粉锅炉粉尘的粒径分布

● 1.2 锅炉烟气性质、特点及主要危害

1.2.1 烟气性质及特点

1.2.1.1 燃煤锅炉烟气性质

- (1) 烟气温度：燃煤锅炉烟气温度 140~160℃；高峰值 160~180℃；
- (2) 烟气浓度：煤粉炉 3.5g/m³（标）左右；层燃炉 10g/m³（标）左右；循环流化床 25~30g/m³（标）。
- (3) 烟气成分见表 1-2。

表 1-2 燃煤锅炉烟气成分

项 目	煤粉炉	层燃炉	循环流化床
O ₂ (体积比)/%	8~14	6~17	3~6
SO ₂ /[mg/m ³ (标)]	约 1600	约 1600	≤500
NO _x /[mg/m ³ (标)]	600~1300	约 1300	200~600
H ₂ O(体积比)/%	9~16		

1.2.1.2 燃煤锅炉烟气特点

- (1) 集中固定源：燃煤锅炉生产地点固定，生产过程集中，生产节奏较强，便于烟气处理和操作。
- (2) 烟尘排量大：燃煤锅炉生产过程中产生大量的有害烟气。
- (3) 连续排放：燃煤锅炉 24h 不间断生产。
- (4) 粉尘粒度为 0.3~200μm，其中小于 5μm 的占粉煤灰总量的 20%。

(5) 烟气中含有一定量的 SO₂，需要进行脱硫处理。

1.2.2 燃煤锅炉烟气的主要危害

1.2.2.1 可吸入颗粒物危害

近年来，关于 PM₁₀、PM_{2.5} 的研究十分活跃。空气中的颗粒物，其粒径分布大于 10 μ m 者，比较容易从空气中沉降分离出来。但 PM₁₀，特别 PM_{2.5} 不仅不易捕集，长时间飘浮在空气中容易吸入肺内。从图 1-3 中可看出 2.5~10 μ m 粒子基本上被鼻腔和上呼吸道捕集，并通过痰和鼻腔分泌物排出，而小于 2.5 μ m 的粒子不仅可以进入微支气管，甚至引起肺泡疾病。

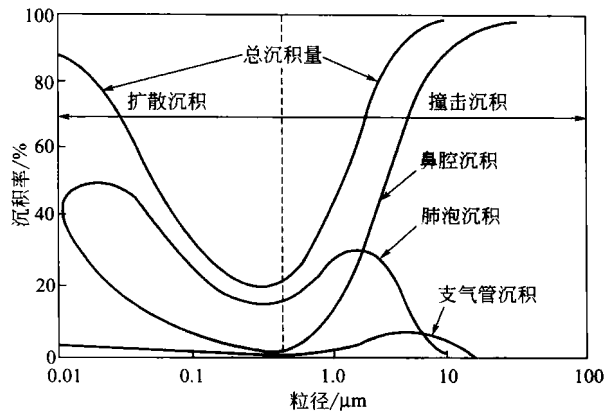


图 1-3 不同粒径颗粒在人呼吸系统分布

图 1-3 不同粒径颗粒在人呼吸系统分布。

中国对空气中 PM₁₀、PM_{2.5} 污染水平做出研究，表 1-3 为南方某市空气中 PM₁₀、PM_{2.5} 的状况。

表 1-3 某市 PM₁₀、PM_{2.5} 测试大气环境质量标准值

项目	PM ₁₀ /(mg/m ³)			PM _{2.5} /(mg/m ³)		
	<i>n</i>	范围	平均	<i>n</i>	范围	平均
交通干道	5	0.344~0.944	0.617	5	0.203~0.586	0.440
居民生活区	5	0.116~0.212	0.176	5	0.085~0.166	0.131
商贸饮食区	5	0.171~0.395	0.255	5	0.110~0.313	0.190
化工区附近	5	0.090~0.357	0.169	5	0.070~0.251	0.126
风景旅游区	5	0.068~0.356	0.183	5	0.044~0.238	0.134
总计	5	0.068~0.044	0.280	5	0.044~0.586	0.196

美国 EPA 标准：PM_{2.5} 日均值 0.065mg/m³，年均值为 0.015mg/m³，中国 GB 3096—1996 提出规定 PM₁₀ 二级标准：日均值 0.15mg/m³，年均值为 0.06mg/m³。中国 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度均高于美国，也高于世界卫生组织 PM₁₀ 的标准。

工夕溪谷的调查,若 PM_{10} 在 5 天内平均浓度增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1 天内总死亡率增加 1.5%, 呼吸系统疾病死亡率增加 3.7%, 心血管系统疾病死亡率增加 1.8%, 见图 1-4。

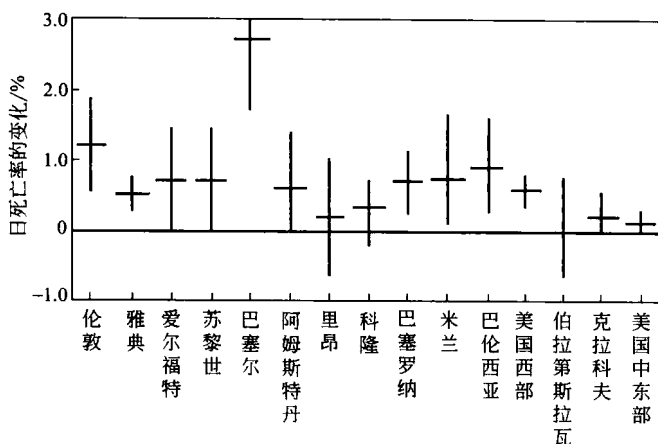


图 1-4 PM_{10} 浓度增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时日死亡率变化

1.2.2.2 SO_2 的危害

(1) 对人体健康的危害 SO_2 是一种无色具有强烈刺激性气味的气体, 易溶于人体的体液和其他黏性液中, 长期的影响会导致多种疾病, 如上呼吸道感染、慢性支气管炎、肺气肿等, 危害人类健康。 SO_2 在氧化剂、光的作用下, 会生成使人致病甚至增加病人死亡率的硫酸盐气溶胶, 据有关研究表明, 当硫酸盐年浓度在 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右时, 每减少 10% 的浓度能使死亡率降低 0.5%。

(2) SO_2 对植物的危害 研究表明, 在高浓度的 SO_2 的影响下, 植物产生急性危害, 叶片表面产生坏死斑, 或直接使植物叶片枯萎脱落; 在低浓度 SO_2 的影响下, 植物的生长机能受到影响, 造成产量下降, 品质变坏。据 2003 年对我国 13 个省市 25 个工厂企业的统计, 因 SO_2 造成的受害面积达 2.33 万公顷, 粮食减少 1.85 万吨, 蔬菜减少 500t, 危害相当严重。

(3) SO_2 对金属的腐蚀 大气中的 SO_2 对金属的腐蚀主要是对钢结构的腐蚀。据统计, 发达国家每年因金属腐蚀而带来的直接经济损失占国民经济总产值的 2%~4%。由于金属腐蚀造成的直接损失远大于水灾、风灾、火灾、地震造成损失的总和。且金属腐蚀直接威胁到工业设施、生活设施和交通设施的安全。

(4) 对生态环境的影响 SO_2 形成的酸雨和酸雾危害也是相当的大, 主要表现为对湖泊、地下水、建筑物、森林、古文物以及人的衣物构成腐蚀。同时, 长期的酸雨作用还将对土壤和水质产生不可估量的损失。

我国一次能源消耗以煤炭为主, 火电处于主导地位, 火电占发电装机总容量 75%, 电力行业是燃煤大户。2002 年, 燃煤电厂 SO_2 排放量达到 666 万吨, 占全国排放总量 (1926) 的 34.6%。燃煤电厂 SO_2 排放占全国工业 SO_2 排放比例由 1998 年 41.6% 上升到 2002 年 54.9%, 上升了 13 个百分点。

随着我国进入世界贸易组织和全球环保意识的加强, 控制和治理 SO_2 污染成为

我国当前和今后相当一段时间内最为紧迫的环保任务之一。因为这不仅关系到我国社会和经济的健康和可持续发展，也由于 SO₂ 和酸雨污染是全球性的，关系到我国的国际形象。因此，加强对 SO₂ 污染的治理，不但具有经济效益，同时，它所带来的社会效益和环境效益更是不可估量的。

1.2.3 污染物排放标准

1.2.3.1 锅炉大气污染物排放标准 (GB 13271—2001)

(1) 范围 本标准分年限规定了锅炉烟气中烟尘、二氧化硫和氮氧化物的最高允许排放浓度和烟气黑度的排放限值。

本标准适用于除煤粉发电锅炉和单台出力大于 45.5MW (65t/h) 发电锅炉以外的各种容量和用途的燃煤、燃油和燃气锅炉排放大气污染物的管理，以及建设项目环境影响评价、设计、竣工验收和建成后的排污管理。

使用甘蔗渣、锯末、稻壳、树皮等燃料的锅炉，参照本标准中燃煤锅炉大气污染物最高允许排放浓度执行。

(2) 技术内容 本标准中的一类区和二、三类区是指 GB 3095—1996《环境空气质量标准》中所规定的环境空气质量功能区的分类区域。

本标准中的“两控区”是指《国务院关于酸雨控制区和二氧化硫污染控制区有关问题的批复》中所划定的酸雨控制区和二氧化硫污染控制区的范围。

本标准按锅炉建成使用年限分为两个阶段，执行不同的大气污染物排放标准。

I 时段：2000 年 12 月 31 日前建成使用的锅炉；

II 时段：2001 年 1 月 1 日起建成使用的锅炉（含在 I 时段立项未建成或未运行使用的锅炉和建成使用锅炉需要扩建、改造的锅炉）。

(3) 烟尘最高允许排放浓度 锅炉烟尘最高允许排放浓度和烟气黑度限值，按表 1-4 的时段规定执行。

表 1-4 锅炉烟尘最高允许排放浓度和烟气黑度限值

锅炉类别		适用区域	烟尘排放浓度/(mg/m ³)		烟气黑度 (林格曼黑度)/级
			I 时段	II 时段	
燃煤 锅炉	自然通风锅炉 ($<0.7\text{MW}$ 、 1t/h)	一类区	100	80	1
		二、三类区	150	120	
	其他锅炉	一类区	100	80	1
		二类区	250	200	
		三类区	350	250	
燃油 锅炉	轻柴油、煤油	一类区	80	80	1
		二、三类区	100	100	
	其他燃料油	一类区	100	80 ^①	1
		二、三类区	200	150	
	燃气锅炉		全部区域	50	50

① 一类区禁止新建以重油、渣油为燃料的锅炉。

(4) 锅炉二氧化硫和氮氧化物最高允许排放浓度按表 1-5 的时段规定执行。

表 1-5 锅炉二氧化硫和氮氧化物最高允许排放浓度

锅炉类别		适用区域	SO ₂ 排放浓度/(mg/m ³)		NO _x 排放浓度/(mg/m ³)	
			I 时段	II 时段	I 时段	II 时段
燃煤锅炉		全部区域	1200	900	—	—
燃油锅炉	轻柴油、煤油	全部区域	700	500	—	400
	其他燃料油	全部区域	1200	900	—	400 ^①
燃气锅炉		全部区域	100	100	—	400

① 一类区禁止新建以重油、渣油为燃料的锅炉。

(5) 燃煤锅炉烟尘初始排放浓度和烟气黑度限值，根据锅炉销售出厂时间，按表 1-6 的时段规定执行。

表 1-6 燃煤锅炉烟尘初始排放浓度和烟气黑度限值

锅炉类别		燃煤收到基灰分/%	烟尘初始排放浓度/(mg/m ³)		烟气黑度 (林格曼黑度)/级
			I 时段	II 时段	
层燃锅炉	自然通风锅炉 (<0.7MW、1t/h)	—	150	120	1
	其他锅炉 (≤2.8MW、4t/h)	A _{ar} ≤25%	1800	1600	1
		A _{ar} >25%	2000	1800	
	自然通风锅炉 (>2.8MW、4t/h)	A _{ar} ≤25%	2000	1800	1
		A _{ar} >25%	2200	2000	
	循环流化床锅炉	—	15000	15000	1
沸腾锅炉	其他沸腾锅炉	—	20000	18000	
抛煤机锅炉		—	5000	5000	1

(6) 烟囱 每个新建锅炉房只能设一根烟囱，烟囱高度应根据锅炉房装机总容量，按表 1-7 规定执行。

表 1-7 燃煤、燃油（燃轻柴油、煤油除外）锅炉烟囱最低允许高度

锅炉房装机总容量	MW	<0.7	0.7~<1.4	1.4~<2.8	2.8~<7	7~<14	14~<28
	t/h	<1	1~<2	2~<4	4~<10	10~<20	20~≤40
烟囱最低允许高度/m		20	25	30	35	40	45

锅炉房装机总容量大于 28MW(40t/h) 时，其烟囱高度应按批准的环境影响报告书（表）要求确定，但不得低于 45m。新建锅炉房烟囱周围半径 200m 距离内有建筑物时，其烟囱应高出最高建筑物 3m 以上。

1.2.3.2 火电厂大气污染物排放标准

(1) 主要内容与适用范围 本标准按时间段规定了火电厂大气污染物最高允许排放限值，适用于现有火电厂的排放管理以及火电厂建设项目的环境影响评价、设计、

竣工验收和建成运行后的排放管理。

本标准适用于使用单台出力 65t/h 以上层燃炉以及各种容量的燃气轮机组的火电厂。单台出力 65t/h 以上采用甘蔗渣、锯末、树皮等生物质燃料的发电锅炉，参照本标准中以煤矸石等为主要燃料的资源综合利用火力发电锅炉的污染物排放控制要求执行。

本标准不适用于各种容量的以生活垃圾、危险废物为燃料的火电厂。

(2) 污染物排放限值 各时段火力发电锅炉烟尘最高允许排放浓度和烟气黑度执行表 1-8 规定的限值。

表 1-8 火力发电锅炉烟尘最高允许排放浓度和烟气黑度限值

时段	烟尘最高允许排放浓度/(mg/m ³)					烟气黑度 (林格曼黑度)/级
	第 1 时段		第 2 时段		第 3 时段	
实施时间	2005-1-1	2010-1-1	2005-1-1	2010-1-1	2004-1-1	2004-1-1
燃煤锅炉	300 ^①	200	200 ^①	50	50	1.0
	600 ^②		500 ^②	100 ^③	100 ^③	
				200 ^④	200 ^④	
燃油锅炉	200	100	100	50	50	

① 县级及县级以上城市建成区及规划区内的火力发电锅炉执行该限值。

② 县级及县级以上城市建成区及规划区以外的火力发电锅炉执行该限值。

③ 本标准实施前，环境影响报告书已批复的脱硫机组，以及位于西部非两控区的燃用特低硫煤（入炉燃煤收到基硫分小于 0.5%）的坑口电厂锅炉执行该限值。

④ 以煤矸石等为主要燃料（入炉燃料收到基低位发热量小于等于 12550kJ/kg）资源综合利用火力发电锅炉执行该限值。

(3) 二氧化硫最高允许排放浓度限值 各时段火力发电锅炉二氧化硫最高允许排放浓度执行表 1-9 规定的限值。第 3 时段位于西部非两控区的燃用特低硫煤（入炉燃煤收到基硫分小于 0.5%）的坑口电厂锅炉须预留脱硫装置空间。

表 1-9 火力发电锅炉二氧化硫最高允许排放浓度 单位：mg/m³

时段	第 1 时段		第 2 时段		第 3 时段
实施时间	2005-1-1	2010-1-1	2005-1-1	2010-1-1	2004-1-1
燃煤锅炉及燃油锅炉	2100 ^①	1200 ^②	2100 1200 ^③	400 1200 ^③	400 800 ^③ 1200 ^④

① 该值为全厂第 1 时段火力发电锅炉平均值。

② 本标准实施前，环境影响报告书已批复的脱硫机组，以及位于西部非两控区的燃用特低硫煤（入炉燃煤收到基硫分小于 0.5%）的坑口电厂锅炉执行该限值。

③ 以煤矸石等为主要燃料（入炉燃料收到基低位发热量≤12550kJ/kg）资源综合利用火力发电锅炉执行该限值。

④ 位于西部非两控区的燃用特低硫煤（入炉燃煤收到基硫分小于 0.5%）的坑口电厂锅炉执行该限值。

在本标准实施前，环境影响报告书已批复的第 2 时段脱硫机组，自 2015 年 1 月 1 日起，执行 400mg/m³ 的限值，其中以煤矸石等为主要燃料（入炉燃料收到基低位发热量≤12550kJ/kg）资源综合利用火力发电锅炉执行 800mg/m³ 的限值。

(4) 氮氧化物最高允许排放浓度限值 火力发电锅炉及燃气轮机组氮氧化物最高

允许排放浓度执行表 1-10 规定的限值。第 3 时段火力发电锅炉必须预留烟气脱除氮氧化物装置空间。液态排渣煤粉炉执行 $V_{daf} < 10\%$ 的氮氧化物排放浓度限值。

表 1-10 火力发电锅炉及燃气轮机组氮氧化物最高允许排放浓度

单位: mg/m^3

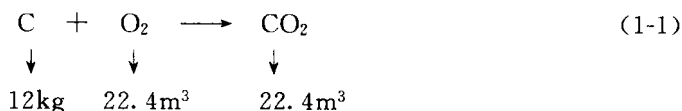
时段		第 1 时段	第 2 时段	第 3 时段
实施时间		2005-1-1	2005-1-1	2004-1-1
燃煤锅炉	$V_{daf} < 10\%$	1500	1300	1100
	$10\% \leq V_{daf} \leq 20\%$	1100	650	650
	$V_{daf} > 20\%$			450
燃油锅炉		650	400	200
燃气轮机组	燃油			150
	燃气			80

1.3 燃煤锅炉烟气量和污染物的确定

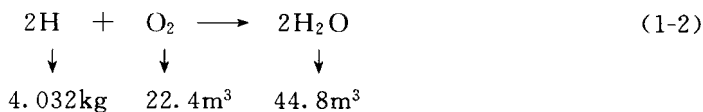
1.3.1 燃料燃烧排烟量

1.3.1.1 理论空气量的计算

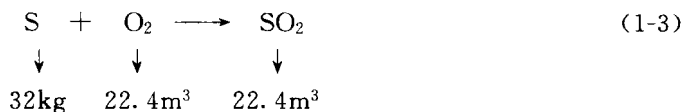
理论空气量可根据碳、氢、硫等元素与氧气的反应方程式确定（在标准状态下，不同）。



此式表明，当 12kg 的碳完全燃烧时，需要消耗 22.4m^3 的氧气，并生成 22.4m^3 的二氧化碳。所以，1kg 的碳进行完全燃烧将消耗 O_2 为 $22.4/12=1.8667(\text{m}^3)$ 。



则，1kg 氢气燃烧时，需要消耗 O_2 为 $22.4/4.032=5.5556(\text{m}^3)$ 。



即 1kg 硫燃烧时，需要消耗 O_2 为 $22.4/32=0.7(\text{m}^3)$ 。

在 1kg 煤中含有 $C_{ar}/100\text{kg}$ 的碳、 $H_{ar}/100\text{kg}$ 的氢和 $S_{ar}/100\text{kg}$ 的硫，所以，1kg 煤燃烧时，碳、氢和硫三种元素的需氧量应为： $1.8667 \times C_{ar}/100 + 5.5556 \times H_{ar}/100 + 0.7 \times S_{ar}/100$ 。

这些氧量并不全由空气来供给，这是因为，1kg 煤中还有 $O_{ar}/100\text{kg}$ 的氧，这部分氧是能够参与碳、氢、硫反应的。在计算理论空气量时，应将这部分氧量扣除，氧的相对分子质量为 32，故 $O_{ar}/100\text{kg}$ 的氧在标准状态下的体积为 $0.7 \times O_{ar}/100(\text{m}^3)$ 。这