

# 烟气脱硫脱硝 技术手册

蒋文举 主编

赵君科 尹华强 汤争光 副主编



化学工业出版社

# 烟气脱硫脱硝技术手册

蒋文举 主编  
赵君科 尹华强 汤争光 副主编



化学工业出版社

·北京·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

烟气脱硫脱硝技术手册/蒋文举主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 11

ISBN 978-7-5025-9678-1

I. 烟… II. 蒋… III. ①烟气脱硫-技术手册  
②烟气-脱硝-技术手册 IV. X701.3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 132835 号

---

**烟气脱硫脱硝技术手册**

蒋文举 主编

赵君科 尹华强 汤争光 副主编

责任编辑: 徐娟

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 陈静

封面设计: 王晓宇

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64518888

购书传真: (010)64519686

售后服务: (010)64518899

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 38 $\frac{3}{4}$  字数 1200 千字

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9678-1

定 价: 98.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换  
京化广临字 2006—50 号





# 瑞典鹰霸(中国)有限公司

## 上海鹰科(鹰霸)金属材料有限公司

### EAGLE PLAZA(CHINA)LIMITED

#### 电厂脱硫脱硝用金属材料库存商

本公司多年来专营欧洲、美国等地产不锈钢材及镍基合金材料。与欧美各大钢厂有着广泛的业务往来。在中国国内存有大量不锈钢板材、焊材、镍合金材料，可直接销售国内客户，与国际上许多材料库存商有长年合作关系，方便调剂各种难解决的材料。随着国内电厂脱硫脱硝技术的发展，越来越多的设备采用国产化，您在制造设备时，会遇到进口材料的问题，请与我们联系，我们愿成为您的合作伙伴。



公司可长期提供C-276、59合金、1.4529, AL-6XN、254SMO、25-6Mo、904L、2205、2507材料。品种有板、管、管件、元钢、锻件、螺栓、螺母。所有配套焊接材料均在国内有库存，无论用量多少，都可以在最快的时间内得到解决。



#### 常用材料及焊材对照表:

	母材	焊接材料
哈氏C系列	C-276 (美国) N10276	C-276 ERNiCrMo-4, ENiCrMo-4
	686合金 (美国) NO6686	INCO-WELD 686CPT, ENiCrMo-14
6Mo钢系列	1.4529德 (AL-6XN美国AL公司) (25-6Mo美国SMC); 254SMO(瑞典OK公司)	112焊条, 625焊丝 ENiCrMo-3, ERNiCrMo-3
超级不锈钢	904L NO8904 317LMn	904L E385, ER385
双相不锈钢系列	双相不锈钢2205	E2209, ER2209
	双相不锈钢2507	2507

- 焊材规格: 焊条,  $\Phi 2.4$ 、 $\Phi 3.2$ 、 $\Phi 4.0$ ; TIG焊丝 $\Phi 2.4$ 、 $\Phi 3.2$ 、采购数量多少不限, 最小包装10磅(4.54Kg)
- 愿与您在脱硫脱硝设备制造中或设备的安装中长期合作。

#### 欢迎联络

本公司为瑞典Avesta Welding公司在国内的总代理(广东省除外)。

上海宝翔不锈钢市场办事处 电话: 021-66270011 传真: 021-66278367  
地址: 红柳路555弄98号

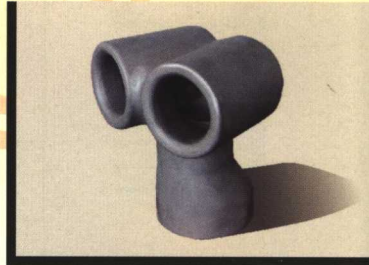
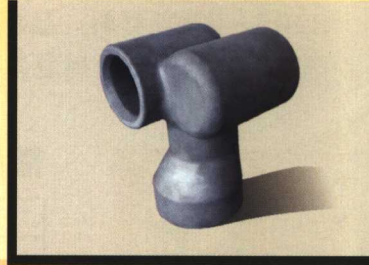
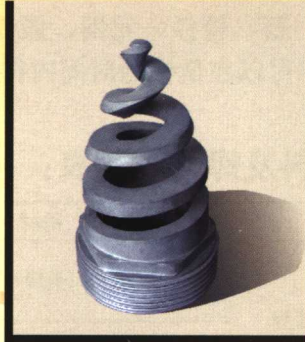
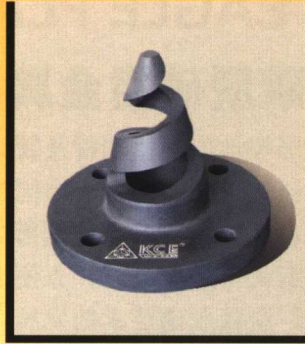
上海虹桥开发区办事处 电话: 021-62784890 传真: 021-62702904  
地址: 虹桥开发区兴义路48号新世纪广场C座1301B室

本公司在国内大连、北京、成都、兰州驻有办事处或分公司, 方便联系。





**WFMKCE<sup>®</sup>**  
**系列脱硫喷嘴**



地址：山东省潍坊市坊子区北大营街3号院  
Address: No.3 Yard, Beidaying Street, Fangzi District, Weifang City  
销售热线Market Hot Line: 0536-7656360 7656503  
电话Tel: 0536-7656258 7653862  
传真Fax: 0536-7667059  
Http: www.wf-hm.com  
E-mail: hmfc@wf-hm.com hhd@wf-hm.com

**潍坊华美精细技术陶瓷有限公司**

**Weifang Huamei Fine Technical Ceramics Co., Ltd.**

试读结束 需要全本请在线购买: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

# 前 言

全球变暖、臭氧层破坏和酸雨是全球关注的三大环境问题。其中酸雨 (acid rain) 或称之为酸沉降 (acid deposition) 的主要前体物质是硫氧化物 ( $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$ ) 和氮氧化物 ( $\text{NO}$  和  $\text{NO}_2$ )。我国二氧化硫和氮氧化物排放量巨大, 2005 年, 全国二氧化硫排放量高达 2549 万吨, 氮氧化物排放量初步估算为 2220 万吨。酸雨污染严重, 已从 20 世纪 70 年代西南地区扩大到长江以内的广大地区, 酸雨面积已达到国土面积的 30% 以上, 每年全国因酸雨和二氧化硫污染导致的经济损失上千亿元, 已成为制约国民经济可持续发展的主要问题。

我国政府十分重视酸雨、二氧化硫和氮氧化物的控制工作, 制定了许多相关政策、法规, 加强对酸雨、二氧化硫和氮氧化物污染控制。目前, 世界各国开发的脱硫脱硝技术不下 200 种, 但能商业应用的不到 10%。选择二氧化硫和氮氧化物排放的控制技术, 是一项系统工程, 必须按照国家及地方的政策、法规、标准和各地自身特点, 系统考虑各项措施的技术、经济性能。

为了推动我国烟气脱硫脱硝进程, 我们组织编写了这本手册。本手册的宗旨在于给从事二氧化硫和氮氧化物控制的同行提供一本内容翔实、新颖实用、综合系统的工具书。全书主要介绍了二氧化硫和氮氧化物控制政策与法律标准、二氧化硫和氮氧化物污染源、二氧化硫和氮氧化物控制技术概论、烟气脱硫脱硝基础、湿法烟气脱硫工艺、半干法烟气脱硫工艺、干法烟气脱硫工艺、烟气脱硝技术、烟气同时脱硫脱硝技术、烟气同时脱硫脱硝技术经济分析、烟气脱硫脱硝技术经济分析、烟气脱硫脱硝工程建设与管理、烟气脱硫脱硝设备、烟气脱硫脱硝产业与国内外部分公司等内容。

本手册由蒋文举担任主编, 赵君科、尹华强、汤争光任副主编。参加编写的人员有: 第一、二章楚英豪、尹华强; 第三章谷晋川; 第四章第一至三节魏文韞, 第四至七节羊依金; 第五章第一节黄文凤、赵君科、蔡同舟, 第二至八节、第十节, 第九节蒋文举、卢红; 第六章汤争光; 第七章第一节苏仕军, 第二至四节刘成军、李进, 第五、六节杨睿慧、任志凌, 第七节李进; 第八章刘勇军、尹华强; 第九章李进、刘成军; 第十章蔺丽丽、蒋文举; 第十一章第一节任岷, 第二至五节刘建英, 第六节谢明、喻志军, 第七节任岷; 第八节蒋文举; 第十二章李明、贾义、王洪卫; 第十三章第一节蒋文举, 第二节张星、陈文清, 第三节王友军、张星。

本书引用了一些科研、设计、教学以及生产工作同行的参考文献资料, 也得到了相关企业和设计单位提供的工程实例基础资料, 编者谨在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 书中难免有缺点和疏漏之处, 敬请读者和同行批评指正。

编者  
2007 年 1 月

# 目 录

<b>第一章 二氧化硫和氮氧化物控制政策和法规标准</b> .....	1
第一节 我国二氧化硫和氮氧化物的排放特征 .....	1
一、二氧化硫和氮氧化物的特征和危害 .....	1
二、我国二氧化硫和氮氧化物的排放状况 .....	3
三、我国大气中二氧化硫、氮氧化物和酸雨的分布特征 .....	4
四、我国二氧化硫、氮氧化物和酸雨污染制约经济发展 .....	4
第二节 我国控制二氧化硫和氮氧化物污染的政策法规 .....	5
一、《大气污染防治法》 .....	5
二、国民经济和社会发展“十一五”规划 .....	5
三、《中国跨世纪绿色工程规划》 .....	6
四、《大气污染重点城市规划方案》 .....	6
五、酸雨与二氧化硫两控制区与两控区污染防治计划 .....	6
六、排污收费制度和排污许可证制度 .....	10
七、我国控制 SO <sub>2</sub> 和酸雨的主要措施 .....	12
八、关于脱硫产业化的技术政策 .....	14
第三节 有关二氧化硫和氮氧化物的环境标准 .....	17
一、环境空气质量标准 .....	17
二、二氧化硫和氮氧化物的排放标准 .....	17
<b>第二章 二氧化硫和氮氧化物的污染源</b> .....	25
第一节 二氧化硫和氮氧化物的来源和特征 .....	25
一、二氧化硫的来源和特征 .....	25
二、氮氧化物的来源和特征 .....	25
第二节 二氧化硫和氮氧化物的排放量估算 .....	26
一、二氧化硫和氮氧化物估算的一般方法 .....	26
二、燃烧过程燃煤设备的二氧化硫和氮氧化物排放估算 .....	29
三、主要工业过程二氧化硫和氮氧化物排放估算 .....	30
第三节 二氧化硫和氮氧化物污染源监测 .....	36
一、二氧化硫和氮氧化物污染源的监测 .....	36
二、有组织排放污染源二氧化硫和氮氧化物的监测方法 .....	36
三、无组织排放的污染源的二氧化硫和氮氧化物的监测方法 .....	39
<b>第三章 二氧化硫和氮氧化物控制技术概论</b> .....	42
第一节 控制二氧化硫和氮氧化物的技术分类 .....	42
一、二氧化硫控制技术分类 .....	42
二、氮氧化物控制技术分类 .....	43
三、同时脱除二氧化硫和氮氧化物的技术 .....	44
第二节 煤燃烧前的脱硫技术 .....	44
一、我国煤中硫分的形态及其测定 .....	44
二、煤的物理脱硫技术 .....	53
三、煤的化学脱硫技术 .....	62
四、煤的生物脱硫技术 .....	65
五、煤的其他脱硫技术 .....	69
六、典型选煤脱硫工艺 .....	70
七、煤炭转化与煤气脱硫技术 .....	74
第三节 清洁燃烧脱硫技术 .....	86
一、型煤固硫技术 .....	86
二、循环流化床燃烧脱硫工艺 .....	89
三、水煤浆技术 .....	92
第四节 燃烧后的烟气脱硫技术 .....	96
一、湿法烟气脱硫技术 .....	97
二、半干法烟气脱硫技术 .....	98
三、干法烟气脱硫技术 .....	99
第五节 氮氧化物脱除技术 .....	99
一、燃烧中脱硝技术 .....	99
二、烟气脱硝技术 .....	99
三、同时脱硫脱硝技术 .....	100
<b>第四章 烟气脱硫脱硝技术基础</b> .....	103
第一节 烟气脱硫脱硝的物理化学基础 .....	103
一、二氧化硫和氮氧化物的物化特性 .....	103
二、烟气脱硫的化学基础 .....	105
三、烟气脱硝的化学基础 .....	106
第二节 传质扩散的理论基础 .....	107
一、物料衡算 .....	107
二、气体扩散 .....	107
第三节 吸收法净化理论 .....	109
一、吸收平衡 .....	109
二、吸收速率 .....	112

三、吸收设备与设计 .....	117	二、气固相反应动力学 .....	141
第四节 吸附法净化理论 .....	123	三、催化反应器及其设计 .....	144
一、物理吸附与化学吸附 .....	123	第六节 生物法净化理论 .....	147
二、吸附剂 .....	123	一、生物净化原理 .....	147
三、吸附平衡与吸附速率 .....	128	二、生物处理方法 .....	148
四、吸附装置及工艺 .....	131	三、生物处理装置与设计 .....	150
五、吸附剂再生 .....	133	第七节 其他问题 .....	152
六、吸附计算 .....	134	一、废物综合利用 .....	153
第五节 催化转化法净化理论 .....	139	二、烟气脱硫设备的防腐 .....	154
一、催化作用与催化剂 .....	139		
<b>第五章 湿法烟气脱硫工艺 .....</b>	<b>159</b>		
第一节 石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术 .....	159	二、中试工艺及主要设备 .....	211
一、工艺流程与过程化学 .....	159	三、中试技术成果 .....	212
二、脱硫系统的主要影响因素 .....	160	四、100MW PAFP 工程技术经济分析 .....	214
三、工艺设计 .....	162	五、PAFP 脱硫技术的发展 .....	214
四、主要装置及设计 .....	169	第七节 氧化锰法烟气脱硫工艺 .....	216
五、FGD 装置的自动化控制 .....	179	一、工艺原理 .....	216
六、材料选择 .....	185	二、中试工艺与设备 .....	217
七、脱硫产物利用 .....	186	三、试验结果 .....	218
八、FGD 的应用和发展状况 .....	187	四、主要技术经济指标 .....	222
第二节 氨法烟气脱硫技术 .....	188	第八节 其他方法 .....	222
一、氨法吸收原理 .....	189	一、威尔曼-洛德法烟气脱硫技术 .....	222
二、氨-酸法 .....	189	二、有机酸钠-石膏法烟气脱硫技术 .....	225
三、氨-亚胺法 .....	191	三、石灰-镁法烟气脱硫 .....	226
四、氨-硫酸法脱硫工艺 .....	192	四、氧化锌法烟气脱硫技术 .....	227
第三节 海水法烟气脱硫技术 .....	196	第九节 湿法烟气脱硫技术的研究进展 .....	229
一、海水烟气脱硫工艺原理 .....	196	一、膜法烟气脱硫技术 .....	229
二、典型海水脱硫工艺流程与装置 .....	197	二、微生物法烟气脱硫技术 .....	232
三、海水脱硫与其他方法的比较 .....	201	三、CT-121 烟气脱硫工艺 .....	235
四、应用和发展状况 .....	201	四、ABB 公司的 LS-2 工艺 .....	238
第四节 双碱法烟气脱硫技术 .....	202	五、优化双循环湿式洗涤工艺 .....	238
一、钠碱双碱法 .....	202	第十节 工程实例 .....	239
二、碱性硫酸铝-石膏法 .....	203	一、华能珞璜电厂石灰石-石膏湿法烟气脱硫	
三、CAL 法 .....	205	工程 .....	239
第五节 镁法烟气脱硫技术 .....	206	二、重庆发电厂烟气脱硫工程 .....	248
一、氧化镁法 .....	206	三、深圳西部电厂海水烟气脱硫工程 .....	251
二、氢氧化镁法 .....	208	四、福建后石电厂海水脱硫工程 .....	254
三、脱硫剂来源与副产物应用 .....	209	五、燃煤工业锅炉简易石灰-石膏湿法烟气	
四、镁法工艺特点 .....	209	脱硫工程 .....	258
五、应用和发展状况 .....	210	六、台山电厂 600MW 机组 CT-121 烟气	
第六节 磷酸铵法烟气脱硫技术 .....	210	脱硫工程 .....	263
一、工艺原理 .....	210	七、双碱法烟气脱硫工程 .....	265
<b>第六章 半干法烟气脱硫技术 .....</b>	<b>268</b>		
第一节 喷雾干燥烟气脱硫工艺 .....	268	三、循环流化床工艺影响因素 .....	289
一、工艺流程及过程化学 .....	268	四、鲁奇循环流化床烟气脱硫技术 .....	291
二、影响 SO <sub>2</sub> 脱除的主要因素 .....	270	五、回流式循环流化床烟气脱硫技术	
三、喷雾干燥法烟气脱硫工艺系统 .....	275	(RCFB) .....	295
四、喷雾干燥烟气脱硫装置的设计 .....	278	六、气体悬浮吸收烟气脱硫工艺 .....	298
第二节 循环流化床烟气脱硫技术 .....	288	七、增湿灰循环脱硫技术 .....	299
一、概述 .....	288	第三节 半干法烟气脱硫灰渣的处置 .....	302
二、过程化学 .....	289	一、半干法烟气脱硫灰的理化特性 .....	302



二、国外脱硫渣的研究和利用 .....	303	工程 .....	313
三、我国脱硫渣的研究和利用 .....	305	四、德国 Solvay 自备电厂循环流化床烟气	
第四节 半干法的研究与发展 .....	306	脱硫工程 .....	315
一、喷雾干燥烟气脱硫技术研究与发展 .....	306	五、无锡化工集团热电循环流化床烟气	
二、循环流化床烟气脱硫技术的研究与		脱硫工程 .....	317
发展 .....	307	六、广东恒运企业集团股份有限公司	
三、半干法烟气脱硫技术的研究应注重的		双循环流化床烟气脱硫工程 .....	318
问题 .....	308	七、山西华能榆社电厂二期 2×300MW	
第五节 工程实例 .....	308	机组烟气循环流化床烟气脱硫工程 .....	323
一、白马发电厂旋转喷雾半干法烟气脱硫		八、奥地利 EVN THEISS 燃油电厂 RCFB	
装置 .....	308	烟气脱硫装置 .....	326
二、黄岛电厂旋转喷雾半干法烟气脱硫		九、德国 Dessau 热电厂烟气脱硫工程 .....	328
装置 .....	311	十、小龙潭发电厂烟气脱硫工艺 .....	329
三、浙江衢州化工厂塔湿灰循环烟气脱硫			
<b>第七章 干法烟气脱硫工艺</b> .....	333		
第一节 炉内喷钙烟气脱硫技术 .....	333	二、工艺流程 .....	359
一、工艺流程与过程化学 .....	333	三、影响脱硫脱硝率的主要因素 .....	361
二、影响脱硫率的主要参数 .....	335	四、主要技术经济指标 .....	362
三、炉内喷钙系统的设计 .....	337	五、电子束辐照烟气脱硫脱硝技术的	
四、脱硫过程动力学 .....	341	进展 .....	362
五、炉内喷钙对锅炉运行性能的影响 .....	341	第六节 脉冲电晕烟气脱硫技术 .....	364
第二节 炉内喷钙尾部烟气增湿活化脱硫 .....	344	一、反应机理 .....	364
一、工艺流程与过程化学 .....	344	二、工艺流程 .....	365
二、LIFAC 工艺影响因素 .....	344	三、脉冲电源 .....	365
三、LIFAC 工艺系统的运行特点 .....	346	四、反应器系统 .....	365
四、脱硫灰渣特性及其影响 .....	347	五、脉冲放电等离子体烟气脱硫脱硝技术的	
五、应用概况 .....	348	研究进展 .....	366
第三节 管道喷射脱硫技术 .....	349	第七节 干式催化脱硫技术 .....	367
一、工艺过程 .....	349	一、干式催化氧化法 .....	367
二、过程化学 .....	350	二、干式直接还原法 .....	368
三、工艺影响因素 .....	352	第八节 工程实例 .....	370
四、喷射工艺运行中的问题 .....	354	一、南京下关电厂 LIFAC 脱硫工程 .....	370
五、吸收剂的再循环利用 .....	355	二、广纸热电厂 CDSI 脱硫工程 .....	375
第四节 荷电干式吸收剂喷射脱硫技术 .....	355	三、东方热电厂循环流化床喷钙脱硫工程 .....	377
一、工艺流程与过程化学 .....	356	四、分宜电厂 180t/h 锅炉炉内脱硫工程 .....	378
二、系统组成 .....	356	五、山东省德州热电厂 CDSI 脱硫工程 .....	380
三、CDSI 系统应用的技术条件与参数 .....	357	六、杭钢焦化热电站 CDSI 工程 .....	380
第五节 电子束照射烟气脱硫技术 .....	358	七、成都热电厂电子束烟气脱硫工程 .....	382
一、反应机理 .....	358		
<b>第八章 烟气脱硝技术</b> .....	388		
第一节 低 NO <sub>x</sub> 燃烧技术 .....	388	第四节 其他脱硝方法 .....	409
一、燃烧过程中 NO <sub>x</sub> 的生成机理 .....	388	一、电子束照射法和脉冲电晕等离子法 .....	409
二、低 NO <sub>x</sub> 燃烧技术 .....	392	二、炽热炭法 .....	409
第二节 选择性非催化还原脱硝 .....	399	三、湿式络合吸收法 .....	410
一、SNCR 脱氮工艺与过程化学 .....	399	四、活性炭吸附 .....	411
二、主要影响因素 .....	400	五、微生物法 .....	411
第三节 选择性催化还原脱硝 .....	404	第五节 烟气脱硝技术研究进展 .....	413
一、反应原理 .....	404	一、国外研究现状 .....	413
二、工艺流程 .....	404	二、国外 SCR 催化剂的主要供应商 .....	414
三、催化剂 .....	407	三、国内应用现状 .....	414
四、主要影响因素 .....	408	第六节 工程实例 .....	415

一、低 NO <sub>x</sub> 燃烧工程实例 .....	415	三、北京某电厂锅炉 SCR 脱硝的工程方案 .....	418
二、福建漳州后石电厂烟气脱硝 .....	416		
<b>第九章 烟气同时脱硫脱硝技术 .....</b>	<b>421</b>		
<b>第一节 固相吸收/再生同时脱硫脱硝技术 .....</b>	<b>421</b>	<b>第三节 吸收剂喷射同时脱硫脱硝技术 .....</b>	<b>433</b>
一、CuO 同时脱硫脱硝工艺 .....	421	一、尿素净化工艺 .....	433
二、活性炭同时脱硫脱硝工艺 .....	423	二、石灰/尿素喷射工艺 .....	433
三、NOXSO 工艺 .....	426	三、干式一体化 NO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> 技术 .....	434
四、SNAP 工艺 .....	427	四、喷雾干燥 LILAC 工艺 .....	435
<b>第二节 气固催化同时脱硫脱硝技术 .....</b>	<b>428</b>	<b>第四节 高能电子活化氧化法 .....</b>	<b>436</b>
一、WSA-SNOX 工艺 .....	428	<b>第五节 湿法烟气同时脱硫脱硝技术 .....</b>	<b>436</b>
二、DESONOX 工艺 .....	430	一、Tri-NO <sub>x</sub> -NOxSorb 工艺 .....	436
三、SNRB 工艺 .....	430	二、湿式络合吸收工艺 .....	438
四、循环流化床 (CFB) 工艺 .....	432		
<b>第十章 烟气脱硫脱硝技术经济分析 .....</b>	<b>439</b>		
<b>第一节 烟气脱硫技术经济分析方法 .....</b>	<b>439</b>	<b>第二节 烟气脱硫技术的综合评价 .....</b>	<b>450</b>
一、烟气脱硫技术经济分析方法 .....	439	一、FGD 技术评价指标体系 .....	450
二、美国 TVA 对 9 种烟气脱硫工艺的经济评价 .....	441	二、火电厂烟气脱硫技术的综合评价 .....	450
三、我国燃煤烟气脱硫技术的经济分析 .....	442	<b>第三节 烟气脱硝技术经济分析 .....</b>	<b>454</b>
<b>第十一章 烟气脱硫脱硝工程建设与管理 .....</b>	<b>458</b>		
<b>第一节 烟气脱硫脱硝工程建设程序 .....</b>	<b>458</b>	<b>第六节 烟气脱硫脱硝工程竣工验收 .....</b>	<b>481</b>
<b>第二节 烟气脱硫脱硝工程立项工作程序 .....</b>	<b>459</b>	一、脱硫脱硝工程竣工验收 .....	481
一、立项工作程序 .....	459	二、脱硫脱硝工程竣工验收范围、条件及依据 .....	481
二、项目建议书 .....	459	三、脱硫脱硝工程竣工验收的编制依据 .....	482
三、项目可行性研究报告 .....	460	四、脱硫脱硝工程竣工验收的组织和职责 .....	483
四、环境影响评价 .....	461	五、工程竣工验收资料的准备 .....	483
<b>第三节 烟气脱硫脱硝工程招投标 .....</b>	<b>463</b>	六、脱硫脱硝工程竣工验收程序内容 .....	485
一、工程招标的概念 .....	463	七、脱硫脱硝工程竣工验收中的遗留问题的处理 .....	486
二、招标条件与方式 .....	463	八、脱硫脱硝工程竣工验收的工作程序及签证 .....	486
三、招标程序 .....	464	<b>第七节 烟气脱硫脱硝工程运行管理 .....</b>	<b>487</b>
四、招标书 .....	464	一、运行管理的内容 .....	487
五、评标 .....	466	二、运行管理人员职责与规章制度 .....	487
<b>第四节 烟气脱硫脱硝工程设计 .....</b>	<b>467</b>	三、烟气脱硫脱硝装置的工艺运行管理 .....	489
一、工程设计程序 .....	467	四、烟气脱硫系统机械设备的运行管理 .....	500
二、初步设计程序 .....	468	<b>第八节 火电厂烟气脱硫工程后评估 .....</b>	<b>504</b>
三、施工图设计程序 .....	469	一、概述 .....	504
四、设计后期工作 .....	469	二、范围和内容 .....	505
<b>第五节 烟气脱硫脱硝工程项目管理 .....</b>	<b>470</b>	三、程序 .....	505
一、工程建设项目管理的机构及任务 .....	470		
二、工程项目的合同管理 .....	472		
三、工程项目的控制与协调管理 .....	473		
<b>第十二章 烟气脱硫脱硝设备 .....</b>	<b>507</b>		
<b>第一节 烟气系统主要设备 .....</b>	<b>507</b>	六、烟气挡板 .....	527
一、脱硫反应器 .....	507	<b>第二节 吸收剂制备系统主要设备 .....</b>	<b>527</b>
二、增压风机 .....	520	一、磨机 .....	527
三、烟气换热器 .....	524	二、氨系统主要设备 .....	530
四、吸收塔浆液液循环泵 .....	527	<b>第三节 副产品收集系统主要设备 .....</b>	<b>535</b>
五、氧化风机 .....	527	一、空气压缩机 .....	535

二、旋流器 .....	538	五、脱硝催化剂 .....	574
三、真空皮带脱水机 .....	544	第五节 中小锅炉除尘脱硫一体化设备 .....	575
四、除尘设备 .....	545	一、概述 .....	575
五、输送机类 .....	552	二、旋流板塔脱硫除尘器 .....	575
六、起重设备 .....	556	三、空心塔脱硫除尘器 .....	577
七、搅拌设备 .....	556	四、喷淋泡沫塔脱硫除尘器 .....	578
八、输送泵 .....	557	五、自激式脱硫除尘器 .....	579
九、真空泵 .....	558	六、文丘里水膜脱硫除尘器 .....	582
第四节 脱硫脱硝主要材料 .....	559	七、麻石水膜脱硫除尘器 .....	582
一、FRP .....	559	八、旋风水膜脱硫除尘器 .....	583
二、橡胶 .....	565	九、筛板塔脱硫除尘器 .....	583
三、鳞片树脂 .....	568	十、防腐 .....	584
四、合金钢材料 .....	573		
<b>附录 烟气脱硫脱硝产业与国内外部分公司 .....</b>	<b>586</b>		
附录 1 烟气脱硫脱硝产业现状与前景 .....	586	附录 3 国内部分脱硫脱硝公司 .....	592
附录 2 国外部分烟气脱硫脱硝公司 .....	587		
<b>参考文献 .....</b>	<b>605</b>		



# 第一章 二氧化硫和氮氧化物 控制政策和法规标准

我国的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的排放量高居世界各国前列，由此带来的大气污染和酸雨问题十分严重，经济损失巨大，已成为制约我国经济社会可持续发展的主要因素，因此，控制  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  污染已势在必行。我国政府十分重视  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的污染问题，制定了许多相关的控制政策、法规及标准。本章主要从我国  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的排放特征入手，阐述了我国控制  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的政策、法规及标准。

## 第一节 我国二氧化硫和氮氧化物的排放特征

### 一、二氧化硫和氮氧化物的特征和危害

#### (一) 二氧化硫的特征和危害

$\text{SO}_2$  是目前大气污染物中含量较大、影响面较广的一种气态污染物。大气中  $\text{SO}_2$  的来源很广，几乎所有的工业企业都可能产生。它主要来自化石燃料（煤炭、石油和天然气）的燃烧过程，以及硫化物矿石的焙烧、冶炼等过程，火力发电厂、有色金属冶炼厂、硫酸厂、炼油厂以及燃煤燃油的工业锅炉、炉窑等都排放  $\text{SO}_2$  烟气。在排放  $\text{SO}_2$  的各种过程中，约 90% 来自燃料燃烧过程，其中火电厂排放量最大。

$\text{SO}_2$  为无色、有强烈刺激气味气体，对人体呼吸器官有很强的毒害作用，还可通过皮肤经毛孔侵入人体或通过食物和饮水经消化道进入人体而造成危害。空气中  $\text{SO}_2$  的浓度只有  $1 \times 10^{-6}$  时，人就会感到胸部有一种被压迫的不适感；当浓度达到  $8 \times 10^{-6}$  时，人就会感到呼吸困难；当浓度达到  $10 \times 10^{-6}$  时，咽喉纤毛就会排出黏液。

人体主要经呼吸道吸收大气中的  $\text{SO}_2$ ，引起不同程度的呼吸道及眼黏膜的刺激症状。急性中毒者表现出眼结膜和呼吸道黏膜强烈刺激症状，如流泪，畏光，鼻、咽、喉烧灼感及疼痛，咳嗽，胸闷，胸骨后疼痛，心悸，气短，恶心，呕吐等。长期接触低浓度  $\text{SO}_2$  可引起慢性损害，以慢性鼻炎、咽炎、气管炎、支气管炎、肺气肿、肺间质纤维化等病理改变为常见。轻度中毒者可有眼灼痛、畏光、流泪、流涕、咳嗽，常为阵发性干咳，鼻、咽、喉部有烧灼样痛，声音嘶哑，甚至有呼吸短促、胸痛、胸闷。有时还出现消化道症状如恶心、呕吐、上腹痛和消化不良，以及全身症状如头痛、头昏、失眠、全身无力等。严重中毒很少见，可于数小时内发生肺水肿，出现呼吸困难和紫绀，咳粉红色泡沫样痰。较高浓度的  $\text{SO}_2$  可使肺泡上皮脱落、破裂，引起自发性气胸，导致纵膈气肿。 $\text{SO}_2$  的危害在于它常常跟大气中的飘尘结合在一起被吸入，飘尘气溶胶微粒可把  $\text{SO}_2$  带到肺部使毒性增加 3~4 倍，对人体造成危害。

如果  $\text{SO}_2$  遇到水蒸气，形成硫酸雾，就可以长期滞留在大气中，毒性比  $\text{SO}_2$  大 10 倍左右。一般情况下， $\text{SO}_2$  浓度达到  $8 \times 10^{-6}$  时，人开始难受；而硫酸雾浓度还不到  $8 \times 10^{-5}$  时，人已经开始不能接受。“八大公害事件”中的伦敦烟雾事件就是硫酸烟雾引起的呼吸道疾病，导致了 5 天之内 4000 人死亡，后来又连续发生了 3 次。而我国重庆市是  $\text{SO}_2$  污染严重地区，肺癌死亡率逐年上升；长沙市个别街区的肺癌死亡率居高不下也与  $\text{SO}_2$  污染有关。

$\text{SO}_2$  会给植物带来严重的危害，它的允许浓度只有  $0.15 \times 10^{-6}$ ，超过这个浓度就会使植物的叶绿体遭到破坏，组织坏死。 $\text{SO}_2$  对植物的危害多发生在生理功能旺盛的成熟叶上，而刚吐露出来的未成熟的幼叶和生理活动衰老的叶不受危害。此外，不同种类的植物对  $\text{SO}_2$  的抗性量不同，

某些常绿植物、豆科植物和黑麦植物特别容易遭受损害。

### (二) 氮氧化物的特征和危害

氮和氧结合的化合物有：一氧化二氮 ( $N_2O$ )、一氧化氮 ( $NO$ )、三氧化氮 ( $NO_3$ )、二氧化氮 ( $NO_2$ )、四氧化二氮 ( $N_2O_4$ )、五氧化二氮 ( $N_2O_5$ ) 等，总起来用氮氧化物 ( $NO_x$ ) 表示，其中造成大气污染的  $NO_x$  主要指的是  $NO$  和  $NO_2$ ，其中  $NO_2$  的毒性比  $NO$  高 4~5 倍。大气中天然排放的  $NO_x$ ，主要来自土壤和海洋中有机物分解，属于自然界氮循环过程。人为活动排放的  $NO_2$  主要来自煤炭的燃烧过程。每燃烧 1t 煤则产生大约 8~9kg 的氮氧化物。汽车尾气和石油燃烧的废气也含有  $NO_x$ ，人类还通过使用肥料产生  $NO_x$ 。化石燃料燃烧过程中的  $NO_x$  有 90% 以上是  $NO$ ， $NO$  进入大气后逐渐氧化成  $NO_2$ 。 $NO_2$  有刺激性，是一种毒性很强的棕红色气体。当  $NO_2$  在大气中积累到一定量并遇到强烈的阳光、逆温和静风等条件，便参与了光化学反应而形成毒性更大的光化学烟雾。光化学烟雾的危害性极大，能造成农作物减产，对人的眼睛和呼吸道产生强烈的刺激，产生头痛和呼吸道疾病，严重的会产生死亡。

$NO$  能与血红蛋白作用，降低血液的输氧功能。 $NO_2$  对呼吸器官有强烈刺激，能引起急性哮喘病。 $NO_x$  对眼睛和上呼吸道黏膜刺激较轻，主要侵入呼吸道深部和细支气管及肺泡，到达肺泡后，因肺泡的表面湿度增加，反应加快，在肺泡内约可阻留 80%，一部分变成  $N_2O_4$ 。 $N_2O_4$  与  $NO_2$  均能与呼吸道黏膜的水分作用生成亚硝酸与硝酸，这些酸与呼吸道的碱性分泌物相结合生成亚硝酸盐及硝酸盐，对肺组织产生强烈的刺激和腐蚀作用，可增加毛细血管及肺泡壁的通透性，引起肺水肿。亚硝酸盐进入血液后还可引起血管扩张，血压下降，并可以和血红蛋白作用生成高铁血红蛋白，引起组织缺氧。高浓度的  $NO$  亦可使血液中的氧和血红蛋白变为高铁血红蛋白，引起组织缺氧。因此，在一般情况下当污染物以  $NO_2$  为主时，肺的损害比较明显，严重时可出现以肺水肿为主的病变，而当混合气体中有大量的  $NO$  时，高铁血红蛋白的形成就占优势，此时中毒发展迅速，出现高铁血红蛋白症和中枢神经损害症状。当人们长期处在  $NO_x$  浓度过高的环境中会导致死亡，室内  $NO_x$  的浓度不能超过  $5mg/m^3$ 。

$NO_x$  还可危害植物， $NO_2$  对植物的危害比  $NO$  严重得多。具体症状是：在叶脉间或叶片边缘出现不规则水渍状伤害，使叶子逐渐坏死，变白色、黄色或褐色斑点。

$NO_x$  对材料的腐蚀作用主要是由反应产物硝酸盐和亚硝酸盐引起的。同时使某些织物的染料退色。光化学烟雾能加速橡胶制品的老化，腐蚀建筑和衣物，缩短其使用寿命。

$NO_x$  还会参与臭氧层的破坏。超音速飞机排放的  $NO_x$  破坏臭氧层，改变大气层结构。臭氧层是大气层不可分隔的一部分，对大气的循环以及大气的温度分布起着重要的作用。大气层的温度随着高度的变化而变化，臭氧在平流层中通过吸收太阳光的紫外线和地面的红外辐射而使气温升高。当臭氧层被破坏时，会使平流层获得的热量减少，而对流层获得的热量增多，破坏地表对太阳辐射的热量收支平衡，导致全球气候变化。

臭氧层的减少导致到达地表的紫外辐射强度增加，紫外线可以促进维生素的合成，对人类骨组织的生长和保护起有益作用，但紫外线中 UV-B 段辐射的增强可以引起皮肤、白内障和免疫系统的疾病。

### (三) 酸雨的危害

$SO_2$  和  $NO_x$  还是形成酸雨的主要污染物，正常情况下，大气中因含  $CO_2$  等酸性气体，降水显微酸性，但如果还有其他的酸性物质存在，就会使降水的 pH 值降低，因此所谓酸雨通常指 pH 值低于 5.6 的降水。我国酸雨的主要成分是硫酸，其次是硝酸。酸雨对水生生态系统、农业生态系统、建筑物和材料以及人体健康等方面均有危害。

酸雨对森林生态系统的危害是引起森林树木叶片黄化、落叶甚至死亡。在欧美地区，有 10 多个国家的森林发生大面积生长缓慢和死亡现象，有的国家因之损失木材高达 40%。在我国，野外调查表明，在降水 pH 值小于 4.5 的地区，马尾松林、华山松和冷杉林等出现大量黄叶并脱落，森林成片地死亡。例如重庆奉节县降水 pH 值小于 4.3 的地段，20 年生马尾松林的年平均生长量降低 50%。酸雨对森林的影响在很大程度上是通过土壤的物理化学性质的恶化作用造成的，酸雨进入土壤后改变了土壤理化性质，间接影响植物的生长。酸雨直接作用于植物，破坏植物形态结构、损伤植物细胞膜、抑制植物代谢功能。研究发现酸雨可迫使叶绿体的光还原活性、光合

磷酸化活性降低,电子传递链的破坏与磷酸化解偶联,从而使叶绿体不能有效吸收、传递、转换光能。此外,酸雨还影响种子的发芽率。研究表明当酸雨 pH 值小于 2 时,种子发芽率急剧下降。

酸雨对农业生态系统的危害主要表现为引起农作物的减产。我国有关研究表明, pH 值为 3.5 的酸雨造成农作物大量减产,受酸雨危害的主要农作物有水稻、小麦、棉花、山芋、蔬菜、西瓜、桑树等。

酸雨会影响水生生物的生态平衡,甚至导致某些鱼类的死亡。首先,酸雨会降低水的 pH 值。研究表明,水体 pH 值降低可改变微生物的组成和代谢活性,毒害藻类、浮游动物、软体动物、鱼和两栖动物等;其次,从酸化的湖泊或溪流摄取食物和水的鸟类和哺乳动物,可能会遭受食物短缺和有毒金属的危害。此外,水体 pH 值的变化可使水体可溶性金属水平提高。

酸雨还将加速材料的腐蚀,使各种保护层失效,从而破坏各种材料、建筑物和人工制品。近年来,国内外各类历史文物建筑遭受酸雨侵蚀,破坏速度大大加快。

酸雨对人体健康的危害是间接的和潜在的。酸雨可以通过食物链,使汞、铅等重金属进入人体,诱发老年痴呆症和癌症。并且人如果长期生活在有酸沉降物的环境中,会诱使身体产生更多的氧化酶,导致动脉硬化、心肌梗死等疾病的发生。

## 二、我国二氧化硫和氮氧化物的排放状况

图 1-1 列出了我国近年来  $\text{SO}_2$  的排放量。1995 年,我国  $\text{SO}_2$  排放量达到了 2370 万吨,比 1990 年增加了 870 万吨,已超过欧洲和美国,居世界第一位。从 1995 年以来,由于国家对  $\text{SO}_2$  等主要污染物排放实施总量控制和经济结构调整, $\text{SO}_2$  排放总量已有所减少。但是随着经济快速发展,能源特别是煤炭的消耗持续增长, $\text{SO}_2$  排放量又有增加趋势,2004 年达到 2254.9 万吨,2005 年达 2549 万吨。有研究表明,按照我国目前的能源政策,到 2010 年和 2020 年,一次能源供应结构中煤炭仍将分别占 68.3% 和 63.1%。若不采取有效的削减措施,2020 年我国  $\text{SO}_2$  排放量将会达到 3500 万吨。据估算,我国大气中  $\text{SO}_2$  浓度达到国家空气质量二级标准的环境容量是 1200 万吨,而现在每年排放的  $\text{SO}_2$  总量都远超过这个值。

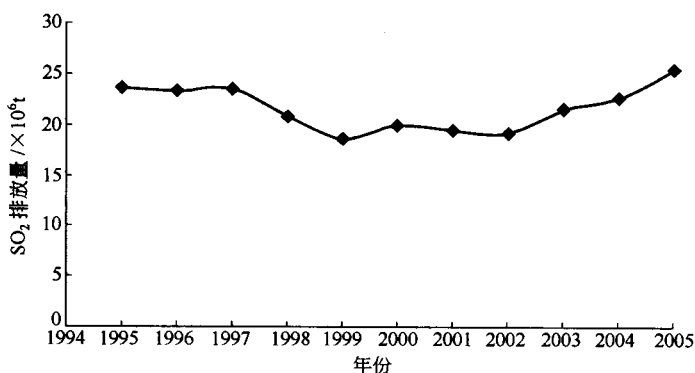


图 1-1 我国近年来  $\text{SO}_2$  的排放情况

我国  $\text{SO}_2$  排放源具有明显的地域特征。以 1991 年为例,排放  $\text{SO}_2$  在 50 万吨以上的省、自治区共有 12 个,其中山东、四川、江苏和辽宁名列前茅。从估算的平均每平方千米排放数量来看,排放强度大的地区和城市包括:京津塘地区,辽宁、河北、山东、陕西、河南等工业区,长江三角洲、珠江三角洲、四川东部、贵州、昆明、柳州等。

大气中的  $\text{NO}_x$  大部分是由人为污染源产生的。人为排放  $\text{NO}_x$  的 90% 以上来源于生产、生活中所使用的煤、石油、天然气等化石燃料的燃烧,其中  $\text{NO}$  约占 90%,其余为  $\text{NO}_2$ 。 $\text{NO}_x$  的产生除一部分是燃料中固有的 N 元素产生的外,大部分是由于燃料燃烧过程中在高温时,空气中的  $\text{N}_2$  与  $\text{O}_2$  发生反应产生的。我国目前对  $\text{NO}_x$  的污染立法还处在起步阶段,国家标准《火电厂大气污染物排放标准》于 1997 年 1 月才对新建大型燃煤电厂  $\text{NO}_x$  提出限值要求。标准中规定



300MW 以上机组固态排渣煤粉炉  $\text{NO}_x$  排放量不得超过  $650\text{mg}/\text{m}^3$ ，据调查，我国燃煤固态排渣煤粉炉  $\text{NO}_x$  排放范围为  $600\sim 1200\text{mg}/\text{m}^3$ 。然而，目前对  $\text{NO}_x$  排放量还没有一个准确的统计数据，只是通过估算。

根据国家环保总局的初步研究估算，1990 年我国  $\text{NO}_x$  排放总量约为 910 万吨，1995 年排放量约为 1000 万吨，2000 年排放量约为 1880 万吨，其中近 70% 来源于煤炭的直接燃烧，固定源是  $\text{NO}_x$  排放的主要来源。2005 年， $\text{NO}_x$  排放量为 2220 万吨，预计到 2010 年， $\text{NO}_x$  排放量可能超过  $\text{SO}_2$  排放总量。

### 三、我国大气中二氧化硫、氮氧化物和酸雨的分布特征

根据国家环境公报，2005 年， $\text{SO}_2$  年均浓度达到国家二级标准 ( $0.06\text{mg}/\text{m}^3$ ) 的城市占 77.4%，超过国家三级标准 ( $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ ) 的城市占统计城市的 6.5%，如表 1-1 所示。

表 1-1  $\text{SO}_2$  浓度分级城市比例

年 份	2004 年	2005 年
达到二级 ( $\leq 0.06\text{mg}/\text{m}^3$ ) 的城市比例/%	74.3	77.4
超过二级 ( $> 0.06\text{mg}/\text{m}^3$ ) 的城市比例/%	25.7	22.6
超过三级 ( $> 0.10\text{mg}/\text{m}^3$ ) 的城市比例/%	9.1	6.5

$\text{SO}_2$  污染严重的城市主要分布在山西、河北、甘肃、贵州、内蒙古、云南、广西、湖北、陕西、河南、湖南、四川、辽宁和重庆等省（自治区、直辖市）。

我国  $\text{NO}_x$  的分布也明显带有地域性。煤炭消耗高的地区和机动车量多的大城市  $\text{NO}_x$  污染严重。2005 年，国家环保总局在所有统计城市中，其  $\text{NO}_2$  浓度均达到二级标准，但广州、北京、宁波、上海、杭州、哈尔滨、乌鲁木齐、南京、成都、武汉等大城市  $\text{NO}_2$  浓度相对较高。

我国酸雨污染也呈区域性特征，已占国土面积的 30% 以上。我国从 20 世纪 80 年代开始对酸雨污染进行观测和调查研究。在 80 年代，我国的酸雨主要发生在重庆、贵阳和柳州为代表的西南地区，酸雨区面积约为 170 万平方千米。到 90 年代中期，酸雨已经发展到长江以南、青藏高原以东和四川盆地的大部分地区，酸雨区面积扩大了 100 多万平方千米。以长沙、赣州、南昌、怀化为代表的华中酸雨区现已成为全国酸雨污染最严重的地区。华东、西南也成为主要的酸雨区，华北和东北的部分地区也频频出现酸雨。以 2005 年国家环保总局的统计数据为例，全国 696 个市（县）降水的年均 pH 值范围为 3.87（江西贵溪市）~8.35（新疆库尔勒市）。出现酸雨的城市 357 个，占统计城市的 51.3%。降水年均 pH 值小于 5.6 的城市 267 个，占统计城市的 38.4%，其中江西省贵溪市、湖南省长沙市和浏阳市、湖北省秭归县、广东省佛山市顺德区降水年均 pH 值小于 4.0，降水酸度较强；浙江省象山县、安吉县，福建省邵武市，江西省瑞金市酸雨频率为 100%。与 2004 年相比，出现酸雨的城市比例增加了 1.8 个百分点；降水年均  $\text{pH} \leq 5.6$  的城市比例上升了 0.7 个百分点，其中 pH 值小于 4.5 的城市比例增加了 1.9 个百分点；酸雨频率超过 80% 的城市比例上升了 2.8 个百分点。降水年均 pH 值低、酸雨频率高的城市比例均比上年增加，表明本年度酸雨污染较上年加重。

北方城市中的北京，天津，辽宁省的大连、丹东、铁岭，吉林省的图们，黑龙江省的珲春，河北省的承德，河南省的洛阳、南阳，陕西省的渭南、商洛等城市降水年均 pH 值小于 5.6。

### 四、我国二氧化硫、氮氧化物和酸雨污染制约经济发展

我国有关环境损失的评估研究开始于 20 世纪 80 年代初。根据 1984 年研究人员完成的基于全国范围的“中国 2000 年环境预测与对策研究”，1991~1995 年我国年均环境损失为 380 亿元人民币，占 1993 年 GNP 的 6.75%。我国是燃煤大国，煤炭占一次能源消费总量的 60% 以上。由于燃煤和化石燃料排放的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  引起的酸雨污染和生态破坏以及对人类健康的损害，在 90 年代受到了更多的关注。世界银行的一份报告《碧水蓝天——展望 21 世纪的中国环境》估算了我国大气污染和水污染对环境的影响。根据支付意愿价值法估算，我国 1995 年大气和水污染的损失约占 GDP 的 8%。清华大学估算的 1995 年由于  $\text{SO}_2$  污染受到的损失见表 1-2。

表 1-2 我国由于 SO<sub>2</sub> 污染受到的损失 (1995)/亿元

项 目	SO <sub>2</sub> 控制区	酸雨控制区	“两控区”	两控区之外	总 计
农作物	12.27	167.70	179.97	37.70	217.67
森林	0.00	775.80	775.80	0.00	775.80
人体健康	65.02	56.18	121.20	50.67	171.87
合计	77.29	999.68	1076.97	88.37	1165.34

许多研究者都用不同的方法评估了酸雨对农作物、森林、鱼类、建筑材料和人类健康的损害,几乎都有一个共同的结论,随着酸雨污染的加重以及 SO<sub>2</sub> 等气态污染物排量的增加,所导致的损失成本也迅速增加。

进入 21 世纪后,我国经济仍然保持快速发展,煤炭消费不断增长,机动车数量也成倍增加,排放的 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 也不断增长,使得酸雨污染更加严峻。酸雨造成了巨大的经济损失,据有关研究指出,我国每排放 1t SO<sub>2</sub> 造成的经济损失约 2 万元,现在每年我国 SO<sub>2</sub> 和酸雨污染造成的经济损失约 5000 亿元,成为制约我国社会经济发展的重要环境因素。

## 第二节 我国控制二氧化硫和氮氧化物污染的政策法规

我国政府高度重视 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 以及酸雨污染的防治与措施,针对 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 以及酸雨污染的不断加剧,制定和采取了一系列法律法规和措施,取得了初步成效。

### 一、《大气污染防治法》

1987 年 9 月 5 日,全国人大颁布了我国第一部《大气污染防治法》,法规分类号为 111602198701,并于 1988 年 6 月 1 日正式开始实施。该法全文共计六章,除了第一章和第六章为总则和附则外,第二章至第五章分别为大气污染防治的监督管理、防治烟尘污染、防治废气和粉尘以及恶臭污染、法律责任。其中对烟尘、废气、粉尘和恶臭在法律层面做了规定。

1995 年,全国人大对《大气污染防治法》进行修订,首次在法律中增加了有关控制酸雨污染的条文。明确规定“由国务院环境保护行政主管部门会同有关部门,对已经产生、可能产生酸雨的地区或者其他 SO<sub>2</sub> 污染严重的地区,划定酸雨控制区或者 SO<sub>2</sub> 控制区”。

2000 年对《大气污染防治法》再次进行修订,强化了对 SO<sub>2</sub> 排放的控制要求。其中规定:新建、扩建排放 SO<sub>2</sub> 的火电厂和其他大中型企业,超过规定的污染物排放标准或者总量控制指标的,必须建设配套脱硫、除尘装置或者采取其他控制 SO<sub>2</sub> 排放、除尘的措施。同时还规定:在“两控区”内有关地方人民政府应按照公开、公平、公正的原则,核定企业事业单位的主要大气污染物排放总量,核发主要大气污染物排放许可证。该法专门有一章来讲述防治燃煤引起的大气污染,对燃煤锅炉和火电厂等 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的排放做了相关立法。与 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 控制密切相关的主要内容如下。

① 国家推行煤炭洗选加工,降低煤的硫分和灰分,限制高硫分、高灰分煤炭的开采。新建的所采煤炭属于高硫分、高灰分的煤矿,必须建设配套的煤炭洗选设施,使煤炭中的含硫分、含灰分达到规定的标准。对已建成的所采煤炭属于高硫分、高灰分的煤矿,应当按照国务院批准的规划,限期建成配套的煤炭洗选设施。禁止开采含放射性和砷等有毒有害物质超过规定标准的煤炭。

② 国务院有关部门和地方各级人民政府应当采取措施,改进城市能源结构,推广清洁能源的生产和使用。大气污染防治重点城市人民政府可以在本辖区内划定禁止销售、使用国务院环境保护行政主管部门规定的高污染燃料的区域。该区域内的单位和个人应当在当地人民政府规定的期限内停止燃用高污染燃料,改用天然气、液化石油气、电或者其他清洁能源。

③ 国家采取有利于煤炭清洁利用的经济、技术政策和措施,鼓励和支持使用低硫分、低灰分的优质煤炭,鼓励和支持洁净煤技术的开发和推广。

④ 国务院有关主管部门应当根据国家规定的锅炉大气污染物排放标准,在锅炉产品质量标

准中规定相应的要求；达不到规定要求的锅炉，不得制造、销售或者进口。

⑤ 城市建设应当统筹规划，在燃煤供热地区，统一解决热源，发展集中供热。在集中供热管网覆盖的地区，不得新建燃煤供热锅炉。

⑥ 大中城市人民政府应当制定规划，对饮食服务企业限期使用天然气、液化石油气、电或者其他清洁能源。对未划定为禁止使用高污染燃料区域的大中城市市区内的其他民用炉灶，限期改用固硫型煤或者使用其他清洁能源。

⑦ 新建、扩建排放  $\text{SO}_2$  的火电厂和其他大中型企业，超过规定的污染物排放标准或者总量控制指标的，必须建设配套脱硫、除尘装置或者采取其他控制  $\text{SO}_2$  排放、除尘的措施。在酸雨控制区和  $\text{SO}_2$  污染控制区内，属于已建企业超过规定的污染物排放标准排放大气污染物的，依照本法规定限期治理。国家鼓励企业采用先进的脱硫、除尘技术。

⑧ 企业应当对燃料燃烧过程中产生的  $\text{NO}_x$  采取控制措施。

新的《大气污染防治法》还将大气污染物排放总量制度和许可证制度的管理纳入了法制化管理轨道，如对实施大气总量控制区内的地方人民政府如何实施总量控制和许可证管理提出了原则要求，这无疑对我国大气污染防治工作具有重要意义。

## 二、国民经济和社会发展“十一五”规划纲要

在国民经济和社会发展“十一五”规划纲要（环境保护部分）中，在“加强大气污染防治”部分明确提出加大重点城市大气污染防治力度，加快现有燃煤电厂脱硫设施建设，新建燃煤电厂必须根据排放标准安装脱硫装置，推进钢铁、有色、化工、建材等行业  $\text{SO}_2$  综合治理。在大中城市及其近郊，严格控制新（扩）建除热电联产外的燃煤电厂，禁止新（扩）建钢铁、冶炼等高耗能企业。加大城市烟尘、粉尘、细颗粒物和汽车尾气治理力度。在“环境治理重点工程”中，针对燃煤电厂烟气脱硫，提出增加现有燃煤电厂脱硫能力，使 90% 的现有电厂达标排放。

## 三、《中国跨世纪绿色工程规划》

《中国跨世纪绿色工程规划》是国家环境保护“九五”计划和 2010 年远景目标规划的一个重要组成部分。该规划是有项目、有重点的具体工程计划，旨在组织国家有关各部门、各地方和企业，针对一些重点地区、重点流域和重大环境问题以及履行国际公约的要求，集中财力、物力、人力，实施一系列工程措施，向环境污染和生态破坏宣战，力求在 20 世纪末基本控制环境污染和生态破坏加剧的趋势，以及部分城市和地区的环境质量有所改善，并在 2010 年逐步实现我国环境保护的总目标。

实施《中国跨世纪绿色工程规划》是环境保护纳入国民经济计划的重大举措。该规划分 3 期，历时 15 年，第一期与“九五”计划同步。第二、三期分别与“十五”和“十一五”计划同步。在《中国跨世纪绿色工程规划》（第一期）中，共有 328 项大气污染防治项目，在规划第一期完成后，“两控区”和重点城市大气污染控制区新增 930 万千瓦电厂装机容量烟气脱硫能力，新增洗配煤能力 2400 万吨/年，供天然气能力 14.1 亿立方米/d，集中供热面积 2.4 亿平方米，改造 1.3 万吨/h 锅炉的消烟除尘设施，年削减  $\text{SO}_2$  180 万吨。

## 四、《大气污染重点城市规划方案》

2002 年 11 月国务院批准了《大气污染防治重点城市规划方案》，划定了 113 个重点大气污染防治城市名单表（见表 1-3）。由原国家计委、原国家经贸委、财政部、建设部和国家环保总局等部门对重点城市限期达标工作加强监督检查和具体指导，促进重点城市中大气环境质量未达标城市按期实现达标。所有大气环境质量未达标的大气污染防治重点城市人民政府应制定具体限期达标规划，报国家环保总局备案。

## 五、酸雨与二氧化硫两控制区与两控区污染防治计划

酸雨和  $\text{SO}_2$  污染危害居民健康、腐蚀建筑材料、破坏生态系统，造成了巨大经济损失，已成为制约社会发展的重要因素之一。国务院对酸雨和  $\text{SO}_2$  污染问题从 20 世纪 90 年代开始就