

烟气脱硫脱硝 技术手册

The Second Edition

第二版

蒋文举 主编
赵君科 尹华强 汤争光 副主编
郝吉明 主审



化学工业出版社

烟气脱硫脱硝 技术手册



YANQI TUOLIU TUOXIAO
JISHU SHOUCHE

蒋文举 主编
赵君科 尹华强 汤争光 副主编
郝吉明 主审



化学工业出版社

本书围绕烟气脱硫脱硝这一主题,在简要阐述我国二氧化硫和氮氧化物控制战略与控制技术的基础上,着重介绍了烟气脱硫脱硝技术理论基础,湿法、半干法和干法烟气脱硫技术与设备,干法、湿法烟气脱硝及烟气同时脱硫脱硝技术与设备,以及烟气脱硫脱硝工程建设管理。对应用较广的烟气脱硫脱硝技术,在相关章节给出了工程应用实例。

本书可供从事大气污染控制的管理、研发和工程技术人员参考,也可作为高等院校环境工程、热能与动力工程、化学工程、火力发电等专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

烟气脱硫脱硝技术手册/蒋文举主编. —2版. —北京:
化学工业出版社, 2012.2

ISBN 978-7-122-13013-6

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(2011)第260236号

责任编辑:徐娟
责任校对:顾淑云

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)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张39 $\frac{3}{4}$ 字数1233千字 2012年4月北京第2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:148.00元

版权所有 违者必究

京化广临字2012—6号

第二版前言

二氧化硫和氮氧化物是酸雨的主要前体物质。我国二氧化硫和氮氧化物排放量巨大，2010年，全国二氧化硫排放量高达2185万吨，氮氧化物排放量初步估算超过2000万吨。酸雨污染严重，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，控制二氧化硫和氮氧化物排放刻不容缓。

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。“十一五”期间，我国将二氧化硫列为考核各级政府的减排指标，全国二氧化硫排放累计减少了10%。在《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中，增加了二氧化硫、氮氧化物的减排指标，明确提出“十二五”期间二氧化硫、氮氧化物的减排目标：全国二氧化硫排放减少8%，氮氧化物排放减少10%。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工作进程，国家烟气脱硫工程技术研究中心于2006年组织四川大学、中国工程物理研究院环保工程研究中心、四川恒泰环境技术有限责任公司、西南电力设计院、西华大学、成都信息工程学院等单位的教授和专家编写了这本实用手册，为从事二氧化硫和氮氧化物控制的同行提供了一本内容翔实、新颖实用、综合系统的工具书，对我国烟气脱硫脱硝发挥了积极作用。近年来，烟气脱硫脱硝技术发展较快，特别是烟气脱硝研究及工程应用已经全面启动，为了满足我国烟气脱硫脱硝工作的需要，我们对第一版的内容进行了补充、完善和修订。

本书由蒋文举教授担任主编，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、蒋文举；第三章第一至四节谷晋川，第五至六节尹华强、刘勇军；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，第二至七节蒋文举，第八节卢红，第九节赵君科、蒋文举；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，第五至六节蒋文举，第七、八节赵君科、杨睿慧、任志凌，第九节李进，第十节赵君科；第八章蒋文举、彭丽、孙冬；第九章李建军、姜言欣、刘勇军、尹华强；第十章李进、刘成军、黄祥、范璐；第十一章蔺丽丽、蒋文举；第十二章第一节任岷，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；第十三章李明、贾义、王洪卫、陈杰。

感谢清华大学环境科学与工程研究院院长、国家烟气脱硫工程技术研究中心工程技术委员会主任委员、中国工程院院士郝吉明教授对本书的撰写一直给予悉心指导，并在百忙中审阅了全书。

书中引用了一些科研、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，书中难免有不少缺点和错误，敬请读者和同行批评指正。

编者

2012年1月30日

第一版前言

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 (SO_2 和 SO_3) 和氮氧化物 (NO 和 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、第十节蒋文举, 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

第一章 二氧化硫和氮氧化物控制政策和法规标准	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第十二个五年规划 纲要	6
三、大气污染防治重点城市规划方案	6
四、酸雨与二氧化硫控制区	6
五、排污收费制度和排污许可证制度	8
六、我国控制二氧化硫和酸雨的主要措施	10
七、关于脱硫脱硝产业化的技术政策	12
第三节 有关二氧化硫和氮氧化物的环境 标准	12
一、环境质量标准	13
二、二氧化硫和氮氧化物的排放标准	14
第二章 二氧化硫和氮氧化物的污染源	26
第一节 二氧化硫和氮氧化物的来源和特征	26
一、二氧化硫的来源和特征	26
二、氮氧化物的来源和特征	26
第二节 二氧化硫和氮氧化物的排放量估算	27
一、二氧化硫和氮氧化物估算的一般方法	27
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	31
第三节 二氧化硫和氮氧化物污染源监测	37
一、二氧化硫和氮氧化物污染源的监测	37
二、有组织排放污染源二氧化硫和氮氧化 物的监测方法	37
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	40
第三章 二氧化硫和氮氧化物控制技术概论	43
第一节 控制二氧化硫和氮氧化物的技术 分类	43
一、二氧化硫控制技术分类	43
二、氮氧化物控制技术分类	44
三、同时脱除二氧化硫和氮氧化物的技术	45
第二节 煤燃烧前的脱硫技术	45
一、我国煤中硫分的形态及其测定	45
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	98
第五节 低氮氧化物燃烧技术	99
一、燃烧过程中氮氧化物的生成机理	99
二、低氮氧化物燃烧技术	103
第六节 烟气脱硝技术	110
一、干法脱硝技术	110
二、湿法脱硝技术	111
三、同时脱硫脱硝技术	112
第四章 烟气脱硫脱硝技术基础	114
第一节 烟气脱硫脱硝的物理化学基础	114
一、二氧化硫和氮氧化物的物化特性	114
二、烟气脱硫的化学基础	116
三、烟气脱硝的化学基础	117
第二节 传质扩散的理论基础	118
一、物料衡算	118
二、气体扩散	118
第三节 吸收法净化理论	120
一、吸收平衡	120
二、吸收速率	123
三、吸收设备与设计	128
第四节 吸附法净化理论	134

一、物理吸附与化学吸附	134	三、催化反应器及其设计	155
二、吸附剂	134	第六节 生物法净化理论	158
三、吸附平衡与吸附速率	139	一、生物净化原理	158
四、吸附装置及工艺	142	二、生物处理方法	159
五、吸附剂再生	144	三、生物处理装置与设计	161
六、吸附计算	145	第七节 其他问题	163
第五节 催化转化法净化理论	150	一、废物综合利用	164
一、催化作用与催化剂	150	二、烟气脱硫设备的防腐	165
二、气固相反应动力学	152		
第五章 湿法烟气脱硫技术	170		
第一节 石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术	170	五、应用和发展状况	221
一、工艺流程与过程化学	170	第六节 氧化锰法烟气脱硫工艺	222
二、脱硫系统的主要影响因素	171	一、工艺原理	222
三、工艺设计	173	二、中试工艺与设备	222
四、主要装置及设计	180	三、试验结果	223
五、FGD 装置的自动化控制	190	四、主要技术经济指标	227
六、材料选择	196	第七节 其他湿法脱硫技术	228
七、脱硫产物利用	197	一、威尔曼-洛德法烟气脱硫技术	228
八、应用和发展状况	198	二、有机酸钠-石膏法烟气脱硫技术	231
第二节 氨法烟气脱硫技术	199	三、石灰-镁法烟气脱硫技术	231
一、氨法吸收原理	200	四、氧化锌法烟气脱硫技术	233
二、氨-酸法	200	第八节 湿法烟气脱硫技术的研究进展	235
三、氨-亚铵法	202	一、膜法烟气脱硫技术	235
四、氨-硫铵法脱硫工艺	203	二、微生物烟气脱硫技术	238
五、应用和发展状况	207	第九节 工程实例	241
第三节 海水法烟气脱硫技术	207	一、华能珞璜电厂石灰石-石膏湿法烟气脱硫	
一、海水烟气脱硫工艺原理	207	工程	241
二、典型海水脱硫工艺流程与装置	208	二、重庆发电厂烟气脱硫工程	249
三、海水脱硫与其他方法的比较	212	三、深圳西部电厂海水烟气脱硫工程	252
四、应用和发展状况	212	四、福建后石电厂海水脱硫工程	256
第四节 双碱法烟气脱硫技术	213	五、扬子石化热电厂氨法烟气脱硫工程	260
一、钠碱双碱法	213	六、云南红磷公司 80 万吨/年硫磺制酸装	
二、碱性硫酸铝-石膏法	214	置尾气氨法脱硫工程	264
三、CAL 法	216	七、华能辛店电厂氧化镁法脱硫工程	265
四、应用和发展状况	217	八、燃煤工业锅炉简易石灰-石膏湿法烟气脱	
第五节 镁法烟气脱硫技术	218	硫工程	268
一、氧化镁法	218	九、台山电厂 600MW 机组 CT-121 烟气脱硫	
二、氢氧化镁法	219	工程	273
三、脱硫剂来源与副产物应用	220	十、双碱法烟气脱硫工程	275
四、镁法工艺特点	221		
第六章 半干法烟气脱硫技术	278		
第一节 喷雾干燥烟气脱硫技术	278	五、回流式循环流化床烟气脱硫技术 (RCFB)	305
一、工艺流程及过程化学	278	六、气体悬浮吸收烟气脱硫技术	308
二、影响 SO ₂ 脱除的主要因素	280	七、增湿灰循环脱硫技术	309
三、喷雾干燥法烟气脱硫工艺系统	285	第三节 半干法烟气脱硫灰渣的处置	312
四、喷雾干燥烟气脱硫装置的设计	288	一、半干法烟气脱硫灰的理化特性	312
第二节 循环流化床烟气脱硫技术	298	二、国外脱硫渣的研究和利用	313
一、概述	298	三、我国脱硫渣的研究和利用	315
二、过程化学	299	第四节 半干法的研究与发展	316
三、循环流化床工艺影响因素	299	一、喷雾干燥烟气脱硫技术研究与发展	316
四、鲁奇循环流化床烟气脱硫技术	301	二、循环流化床烟气脱硫技术的研究与	

发展	317	脱硫工程	325
三、半干法烟气脱硫技术的研究应注重的 问题	318	五、无锡化工集团热电循环流化床烟气脱硫 工程	327
第五节 工程实例	318	六、广东恒运企业集团股份有限公司双循环 流化床烟气脱硫工程	328
一、白马发电厂旋转喷雾半干法烟气脱硫 装置	318	七、山西华能榆社电厂二期 2×300MW 机组 烟气循环流化床烟气脱硫工程	333
二、黄岛电厂旋转喷雾半干法烟气脱硫 装置	321	八、奥地利 EVN Theiss 燃油电厂 RCFB 烟 气脱硫装置	336
三、浙江衢州化工厂增湿灰循环烟气脱硫 工程	323	九、德国 Dessau 热电厂烟气脱硫工程	338
四、德国 Solvay 自备电厂循环流化床烟气 脱硫工程	329	十、小龙潭发电厂烟气脱硫工艺	339
第七章 干法烟气脱硫技术	343		
第一节 炉内喷钙烟气脱硫技术	343	一、脱硫原理	374
一、工艺流程与过程化学	343	二、工艺流程与主要装置	374
二、影响脱硫率的主要参数	345	三、国内外应用与发展状况	377
三、炉内喷钙系统的设计	347	第七节 电子束辐照烟气脱硫技术	378
四、脱硫过程动力学	351	一、反应机理	379
五、炉内喷钙对锅炉运行性能的影响	351	二、工艺流程	380
第二节 炉内喷钙尾部烟气增湿活化脱硫	354	三、影响脱硫脱硝率的主要因素	382
一、工艺流程与过程化学	354	四、主要技术经济指标	383
二、LIFAC 工艺影响因素	354	五、电子束辐照烟气脱硫脱硝技术的研 究进展	383
三、LIFAC 工艺系统的运行特点	356	第八节 脉冲电晕烟气脱硫技术	385
四、脱硫灰渣特性及其影响	357	一、反应机理	385
五、应用概况	358	二、工艺流程	385
第三节 管道喷射脱硫技术	359	三、脉冲电源	385
一、工艺过程	359	四、反应器系统	386
二、过程化学	360	五、脉冲放电等离子体烟气脱硫脱硝技术 的研究进展	387
三、工艺影响因素	362	第九节 干式催化脱硫技术	387
四、喷射工艺运行中的问题	364	一、干式催化氧化法	387
五、吸收剂的再循环利用	365	二、干式直接还原法	389
第四节 荷电干式吸收剂喷射脱硫技术	365	第十节 工程实例	390
一、工艺流程与过程化学	366	一、南京下关电厂 LIFAC 脱硫工程	390
二、系统组成	366	二、东方热电循环流化床喷钙脱硫工程	396
三、CDSI 系统应用的技术条件与参数	367	三、分宜电厂 180t/h 锅炉炉内喷钙尾部增湿 脱硫工程	397
第五节 磷酸盐法烟气脱硫技术	368	四、杭钢焦化热电站 CDSI 工程	399
一、工艺原理	368	五、贵溪冶炼厂活性焦吸附法硫酸尾气脱硫 工程	400
二、中试工艺及主要设备	369	六、成都热电厂电子束烟气脱硫工程	402
三、中试技术成果	371		
四、100MW PAFP 工程技术经济分析	372		
五、PAFP 脱硫技术的发展	372		
第六节 活性焦/炭烟气脱硫技术	374		
第八章 干法烟气脱硝技术	408		
第一节 选择性非催化还原脱硝	408	四、还原剂	419
一、过程化学	408	五、主要影响因素	420
二、SNCR 脱氮工艺	408	六、主要装置及设计	421
三、主要影响因素	409	七、控制系统	423
四、主要装置	412	第三节 其他干法脱硝技术	424
第二节 选择性催化还原脱硝	414	一、电子束照射法和脉冲电晕等离子法	424
一、反应原理	414	二、炽热炭法	424
二、工艺流程	415	三、活性炭吸附法	424
三、催化剂	417	第四节 干法烟气脱硝技术研究进展	425

一、脱硝催化剂	425	第五节 工程实例	428
二、脱硝反应器	426	一、日本某水泥厂 SNCR 烟气脱硝工程	428
三、脱硝还原剂	427	二、福建漳州后石电厂 SCR 烟气脱硝工程	430
四、工艺组合	427	三、浙能乐清电厂 SCR 脱硝工程	432
第九章 湿法烟气脱硝技术	435		
第一节 湿式络合吸收法	435	第五节 液相还原吸收法	443
一、硫酸亚铁法	435	一、反应原理	443
二、Fe(II)EDTA 络合法	435	二、碱-亚硫酸铵吸收法	444
三、半胱氨酸亚铁络合法	436	三、还原性碱液吸收	445
第二节 碱液吸收法	437	第六节 湿式烟气脱硝技术研究进展	445
一、反应原理	437	一、液膜法	445
二、工艺流程	438	二、微生物法	445
第三节 酸吸收法	439	第七节 工程案例	447
一、稀硝酸吸收法	439	一、太原化肥厂改进碱吸收法处理硝酸尾气	
二、浓硫酸吸收法	440	工程	447
第四节 氧化吸收法	440	二、浙江某化工厂旋流板塔处理含氮氧化物	
一、催化氧化或富氧氧化法	440	废气工程	452
二、化学氧化剂氧化法	441	三、福建某不锈钢制品公司酸洗废气处理	
三、硝酸氧化法	442	工程	453
第十章 烟气同时脱硫脱硝技术	455		
第一节 活性焦/炭同时脱硫脱硝技术	455	三、干式一体化 NO _x /SO ₂ 技术	469
一、工艺过程	455	四、喷雾干燥 LILAC 工艺	470
二、过程化学	455	第五节 高能电子活化氧化法	471
三、工艺优缺点	457	第六节 湿法烟气同时脱硫脱硝技术	471
四、工程应用及研究现状	457	一、Tri-NO _x -NO _x Sorb 工艺	471
第二节 固相吸附/再生同时脱硫脱硝技术	458	二、湿式络合吸收工艺	472
一、CuO 同时脱硫脱硝工艺	458	第七节 烟气同时脱硫脱硝技术研究进展	473
二、NOXSO 工艺	460	一、炭法同时脱硫脱硝技术	473
三、SNAP 工艺	461	二、多种污染物联合控制技术	474
第三节 气固催化同时脱硫脱硝技术	462	第八节 工程实例	475
一、WSA-SNOX 工艺	463	一、德国 Arzbeg 电厂活性焦同时脱硫	
二、DESONOX 工艺	464	脱硝工程	475
三、SNRB 工艺	465	二、意大利西西里杰拉 Agip Petroli 炼油厂	
四、循环流化床 (CFB) 工艺	466	SNOX 同时脱硫脱硝工程	478
第四节 吸收剂喷射同时脱硫脱硝技术	467	三、美国俄亥俄州 R. E. Burger 燃煤电厂	
一、尿素净化工艺	467	ECO 同时脱硫脱硝除汞装置	479
二、石灰/尿素喷射工艺	468		
第十一章 烟气脱硫脱硝技术经济分析	482		
第一节 烟气脱硫技术经济分析方法	482	第二节 烟气脱硫技术的综合评价	493
一、烟气脱硫技术经济分析方法	482	一、FGD 技术评价指标体系	493
二、美国 TVA 对 9 种烟气脱硫工艺的经济评价	484	二、火电厂烟气脱硫技术的综合评价	493
三、我国燃煤烟气脱硫技术的经济分析	485	第三节 烟气脱硝技术经济分析	497
第十二章 烟气脱硫脱硝工程建设与管理	501		
第一节 烟气脱硫脱硝工程建设程序	501	四、环境影响评价	504
第二节 烟气脱硫脱硝工程立项工作程序	502	第三节 烟气脱硫脱硝工程招投标	506
一、立项工作程序	502	一、工程招标的概念	506
二、项目建议书	502	二、招标条件与方式	507
三、项目可行性研究报告	503	三、招标程序	507

四、招标书	508	五、工程竣工验收资料的准备	526
五、评标	509	六、脱硫脱硝工程竣工验收程序内容	528
第四节 烟气脱硫脱硝工程设计	511	七、脱硫脱硝工程竣工验收中的遗留问题的处理	529
一、工程设计程序	511	八、脱硫脱硝工程竣工验收的工作程序及签证	529
二、初步设计程序	511	第七节 烟气脱硫脱硝工程运行管理	530
三、施工图设计程序	511	一、运行管理的内容	530
四、设计后期工作	513	二、运行管理人员职责与规章制度	530
第五节 烟气脱硫脱硝工程项目管理	513	三、烟气脱硫脱硝装置的工艺运行管理	533
一、工程建设项目管理的机构及任务	513	四、烟气脱硫脱硝系统机械设备的运行管理	543
二、工程项目的合同管理	515	第八节 烟气脱硫脱硝工程后评估	547
三、工程项目的控制与协调管理	516	一、评估办法	547
第六节 烟气脱硫脱硝工程竣工验收	524	二、评估范围和内容	548
一、脱硫脱硝工程竣工验收	524	三、评估程序	548
二、脱硫脱硝工程竣工验收范围、条件及依据	525		
三、脱硫脱硝工程竣工验收的编制依据	526		
四、脱硫脱硝工程竣工验收的组织 and 职责	526		
第十三章 烟气脱硫脱硝设备	550		
第一节 烟气系统主要设备	550	三、真空皮带脱水机	589
一、脱硫反应器	550	四、除尘设备	590
二、脱硝反应器	563	五、输送机类	596
三、增压风机	566	六、起重设备	600
四、烟气换热器	569	七、搅拌设备	601
五、吸收塔浆液循环泵	572	八、输送泵	602
六、氧化风机	572	九、真空泵	603
七、烟气挡板	572	第四节 脱硫脱硝主要材料	604
第二节 吸收剂制备系统主要设备	572	一、FRP	604
一、磨机	572	二、橡胶	609
二、氨系统主要设备	575	三、鳞片树脂	613
第三节 副产品收集系统主要设备	580	四、合金钢材料	617
一、空气压缩机	580	五、脱硝催化剂	618
二、旋流器	583		
参考文献	621		

第一章 二氧化硫和氮氧化物 控制政策和法规标准

我国的 SO_2 和 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 SO_2 和 NO_x 污染已势在必行。我国政府十分重视 SO_2 和 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 SO_2 和 NO_x 的排放特征入手，阐述了我国控制 SO_2 和 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

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 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 SO_2 烟气。在排放 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。

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 SO_2 的浓度只有 1×10^{-6} 时，人就会感到胸部有一种被压迫的不适感；当浓度达到 8×10^{-6} 时，人就会感到呼吸困难；当浓度达到 10×10^{-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 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 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 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。 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 SO_2 带到肺部使毒性增加 3~4 倍，对人体造成危害。

如果 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 SO_2 大 10 倍左右。一般情况下， SO_2 含量达到 8×10^{-6} 时，人开始难受；而硫酸酸雾含量还不到 8×10^{-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 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 SO_2 污染有关。

SO_2 会给植物带来严重的危害，它的允许浓度只有 0.15×10^{-6} ，超过这个浓度就会使植物的叶绿体遭到破坏，组织坏死。 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 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_x 主要来自煤炭的燃烧过程。每燃烧 1t 煤则产生大约 8~9kg 的 NO_x 。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褪色。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,使各种保护涂层失效,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 1995~2010 年 SO₂ 的排放量。1995 年,我国 SO₂ 排放量达到了 2370 万吨,已超过欧洲和美国,居世界第一位;随后由于国家对 SO₂ 等主要污染物排放实施总量控制和经济结构调整,SO₂ 排放总量已有所减少。但是 2002 年以后随着经济快速发展,能源特别是煤炭的消耗持续增长,SO₂ 排放量又有增加趋势,2005 年达 2549 万吨,2006 年达到 2588.8 万吨,随着我国“十一五”节能减排政策的实施,我国 SO₂ 排放量持续下降,到 2010 年降低到 2185.1 万吨。但是,随着我国经济的发展,以及我国以煤为主的能源结构不会根本改变的现状,我国 SO₂ 产生量还会持续增加,若不采取有效的削减措施,到 2020 年中国 SO₂ 排放量将会达到 3500 万吨。据估算,我国大气中 SO₂ 浓度达到国家空气质量二级标准的环境容量约为 1200 万吨,因此 SO₂ 污染控制任重道远。

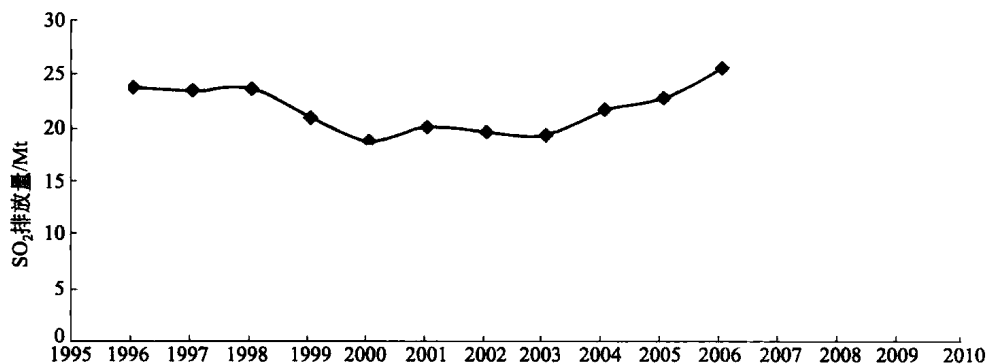


图 1-1 我国近年 SO₂ 的排放情况

根据 2006~2010 年中国环境状况公报统计,工业 SO₂ 排放量占 SO₂ 排放总量的 85% 左右,而生活 SO₂ 排放量约占 15%。根据第一次全国污染源普查公报,2007 年全国工业 SO₂ 排放量 2119.75 万吨,其中,电力热力的生产和供应业 1068.70 万吨、非金属矿物制品业 269.44 万吨、黑色金属冶炼及压延加工业 220.67 万吨、化学原料及化学制品制造业 130.15 万吨、有色金属冶炼及压延加工业 122.04 万吨、石油加工炼焦及核燃料加工业 65.30 万吨。上述 6 个行业 SO₂ 排放量合计占工业源 SO₂ 排放量的 88.5%。

我国 SO₂ 排放量和排放强度都存在比较明显的地区差异。排放量前十位的省、自治区、

直辖市为山东、河南、河北、内蒙古、山西、贵州、辽宁、江苏、广东、四川，其排放总量占全国 SO₂ 排放总量一半以上。东部地区按排放强度从低到高排序分别为北京、海南、广东、上海、浙江、天津、江苏、福建、山东、河北、辽宁；中部地区按排放强度从低到高排序分别为黑龙江、吉林、湖北、安徽、湖南、河南、江西、山西；西部地区按排放强度从低到高排序分别为云南、四川、新疆、广西、陕西、青海、甘肃、重庆、内蒙古、宁夏、贵州。

我国 NO_x 排放量统计数据较少，以往的数据大都是通过估算获得。初步研究估算表明，1990 年我国 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 1112 万吨。第一次全国污染源普查公报显示，2007 年全国 NO_x 排放量 1797.70 万吨。2008 年，NO_x 排放量为 1624.5 万吨，其中，工业 NO_x 排放量为 1250.5 万吨，占全国 NO_x 排放量的 77.0%；生活 NO_x 排放量为 374.0 万吨，占全国 NO_x 排放量的 23.0%。在生活 NO_x 排放中，交通源 NO_x 排放量为 282.2 万吨，占全国 NO_x 排放量的 17.4%。

郝吉明等基于我国能源相关部门的活动水平和排放因子，对我国 NO_x 排放情况进行了研究，分析表明如果政府不采取更强有力的减排措施，到 2030 年我国 NO_x 排放量将达到 3560 万吨，NO_x 排放量将超过 CO₂ 排放总量。

我国 NO_x 排放的地域分布极不平衡。排放量前十位的省、直辖市、自治区为山东、河北、河南、江苏、辽宁、山西、广东、内蒙古、浙江、黑龙江，其排放总量占全国 NO_x 排放总量一半以上，而海南省、青海省、西藏自治区的 NO_x 的排放量相对最少。

三、我国大气中二氧化硫、氮氧化物和酸雨的分布特征

根据中国环境状况公报，2010 年在所有地级以上城市中，SO₂ 年均浓度达到或优于国家二级标准 (0.06mg/m³) 的城市占 94.9%，无劣于国家三级标准 (0.10mg/m³) 的城市，如表 1-1 所列。

表 1-1 二氧化硫浓度分级城市比例

年 份	2009 年	2010 年
达到二级(≤0.06mg/m ³)的城市比例/%	91.6	94.9
超过二级(>0.06mg/m ³)的城市比例/%	8.4	5.1
超过三级(>0.10mg/m ³)的城市比例/%	0	0

2010 年，所有地级以上城市 NO_x 年均浓度均达到国家二级标准，86.9% 的城市达到国家一级标准。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 NO₂ 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 20 世纪 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 万平方公里。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 多万平方公里。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。2010 年，监测的 494 个市（县）中，出现酸雨的市（县）249 个，占 50.4%；酸雨发生频率在 25% 以上的 160 个，占 32.4%；酸雨发生频率在 75% 以上的 54 个，占 11.0%。发生较重酸雨（降水 pH 值年均值 < 5.0）和重酸雨（降水 pH 值年均值 < 4.5）的城市比例分别为 21.6% 和 8.5%。

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%。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年我国由于SO₂污染受到的损失见表1-2。

表 1-2 我国由于 SO₂ 污染受到的损失 (1995)/亿元

项 目	SO ₂ 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SO₂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SO₂和NO_x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 SO₂造成的经济损失约2万元,现在每年我国SO₂和酸雨污染造成的经济损失约5000亿元,成为制约我国社会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SO₂和NO_x以及酸雨污染的防治与措施,针对SO₂和NO_x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SO₂污染严重的地区,划定酸雨控制区或者SO₂控制区”。

2000年对《大气污染防治法》再次进行修订,强化了对SO₂排放的控制要求。其中规定:新建、扩建排放SO₂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SO₂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。该法专门有一章讲述防治燃煤引起的大气污染,对燃煤锅炉和火电厂等SO₂和NO_x的排放做了相关立法。与SO₂和NO_x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 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 SO_2 排放、除尘的措施。在酸雨控制区和 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 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第十二个五年规划纲要

在国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要中明确提出，“十二五” SO_2 、 NO_x 的减排目标：全国 SO_2 排放减少 8%， NO_x 排放减少 10%。在“加大环境保护力度”部分，明确以解决饮用水不安全和空气、土壤污染等损害群众健康的突出环境问题为重点，加强综合治理，明显改善环境质量。强化污染物减排和治理，推进火电、钢铁、有色、化工、建材等行业 SO_2 和 NO_x 治理，强化脱硫脱硝设施稳定运行，加大机动车尾气治理力度。深化颗粒物污染防治。加强恶臭污染物治理。建立健全区域大气污染联防联控机制，控制区域复合型大气污染。地级以上城市空气质量达到二级标准以上的比例达到 80%。

三、大气污染防治重点城市规划方案

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（见表 1-3）。由国家计委、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。

四、酸雨与二氧化硫控制区

酸雨和 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 SO_2 污染问题从 20 世纪 90 年代开始就十分重视。1990 年 12 月，国务院环委会第 19 次会议通过了《关于控制酸雨发展的意见》；1992 年经国务院批准在贵州、广东两省和柳州、南宁、桂林、杭州、青岛、重庆、长沙、宜昌和宜宾九市开展征收工业燃煤 SO_2 排污费和酸雨综合防治试点工作。采取这些措施，对推动 SO_2 污染治理起到了积极作用。为进一步遏制酸雨和 SO_2 污染的发展，1995 年 8 月，全国人大常委会通过了新修订的《中华人民共和国大气污染防治法》（简称《大气污染防治法》），规定在全国划定酸雨控制区和 SO_2 污染控制区（以下简称“两控区”），在“两控区”内强化对酸雨和 SO_2 污染控制。国家环境保护局于 1995 年底组织开展了“两控区”划分工作。

表 1-3 113 个大气污染防治重点城市名单

省、自治区、直辖市	43 个直辖市、省会城市、沿海开放城市和重点旅游城市	4 个经济特区城市	其他 66 个重点城市
直辖市	北京市、上海市、天津市、重庆市		
河北省	石家庄市、秦皇岛市		唐山市、保定市、邯郸市
山西省	太原市		长治市、临汾市、阳泉市、大同市
内蒙古自治区	呼和浩特市		包头市、赤峰市
辽宁省	沈阳市、大连市		鞍山市、抚顺市、本溪市、锦州市
吉林省	长春市		吉林市
黑龙江省	哈尔滨市		牡丹江市、齐齐哈尔市
江苏省	南京市、苏州市、南通市、连云港市		无锡市、常州市、扬州市、徐州市、镇江市
浙江省	杭州市、宁波市、温州市		绍兴市、湖州市
安徽省	合肥市		马鞍山市、芜湖市
福建省	福州市	厦门市	泉州市
江西省	南昌市		九江市
山东省	济南市、青岛市、烟台市		淄博市、泰安市、枣庄市、济宁市、潍坊市、日照市
河南省	郑州市		洛阳市、安阳市、焦作市、开封市、平顶山市、三门峡市
湖北省	武汉市		荆州市、宜昌市
湖南省	长沙市		岳阳市、湘潭市、张家界市、株洲市、常德市
广东省	广州市、湛江市	深圳市、珠海市、汕头市	韶关市
广西壮族自治区	南宁市、桂林市、北海市		柳州市
海南省	海口市		
四川省	成都市		绵阳市、攀枝花市、泸州市、宜宾市、自贡市、德阳市、南充市
贵州省	贵阳市		遵义市
云南省	昆明市		曲靖市、玉溪市
西藏自治区	拉萨市		
陕西省	西安市		咸阳市、延安市、宝鸡市、铜川市、渭南市
甘肃省	兰州市		金昌市
青海省	西宁市		
宁夏回族自治区	银川市		石嘴山市
新疆维吾尔自治区	乌鲁木齐市		克拉玛依市

(一) “两控区”划分基本条件

考虑到酸雨和 SO₂ 污染特征的差异，分别确定酸雨控制区和 SO₂ 污染控制区的划分基本条件。