

氮氧化物减排技术与 烟气脱硝工程

杨 颢 编著



冶金工业出版社

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

氮氧化物减排技术与 烟气脱硝工程

杨 颢 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2007

内 容 简 介

本书是《二氧化硫减排技术与烟气脱硫工程》的姊妹篇。烟气脱硝和脱硫一样,工艺技术很多,有干法、湿法,也有氧化法、还原法。

全书共分八章,主要介绍了氮氧化物污染与危害,氮氧化物的性质,氮氧化物的产生,氮氧化物的减排控制,燃烧烟气脱硝技术,烟气脱硝工程实例,烟气脱硝工程设计要领,最后一章介绍了氮氧化物减排技术综评与思考,并在书末附有附录。

本书可供从事相关专业的工程设计、技术研究和环境管理的工作者参阅,也可作为相关专业的生产人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

氮氧化物减排技术与烟气脱硝工程/杨颢编著. —北京:
冶金工业出版社, 2007. 1
ISBN 978-7-5024-4066-4

I. 氮… II. 杨… III. ①氮化合物: 氧化物—排污
②煤烟污染—烟气—脱硝 IV. ①X511 ②X701.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 077937 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)
责任编辑 王之光 (联系电话: 010-64027929 电子信箱: zgwang2010@sina.com)
美术编辑 李 心 责任校对 白 迅 李文彦 责任印制 牛晓波
北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
2007 年 1 月第 1 版, 2007 年 1 月第 1 次印刷
787mm × 1092mm 1/16; 12 印张; 286 千字; 177 页; 1-3000 册
29.00 元
冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893
冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081
(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)



杨颢 1939年12月生，湖南溆浦人。1962年毕业于天津大学化工系。教授级高级工程师，上海市环境科学学会常务理事兼大气环境分会主任委员。长期从事冶金与环境工程设计工作，先后完成宁夏铝厂建设、含氟烟气治理攻关、冷轧电镀废水治理、水质稳定剂研制等大型工程设计和科研项目。1980年以来，投身宝钢建设，潜心研究烟气脱硫、综合污染防治和清洁生产。曾获全国科学大会奖和冶金部科技成果奖。发表专业论文60余篇，出版学术专著《铝厂含氟烟气治理》(合著)、《环境保护专论选》、《二氧化硫减排技术与烟气脱硫工程》等。

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
二氧化硫减排技术与烟气脱硫工程	56.00
二恶英零排放化城市生活垃圾焚烧技术	15.00
城市生活垃圾管理信息化	18.00
城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术	20.00
电炉炼钢除尘	45.00
除尘技术手册	78.00
环境地质学	28.00
固体废弃物资源化技术与应用	65.00
高浓度有机废水处理技术与工程应用	69.00
金属矿山尾矿综合利用与资源化	16.00
工业防毒技术	28.00
水污染控制工程(第2版)	31.00
环保工作者实用手册(第2版)	118.00
创建资源节约型环境友好型钢铁企业	60.00
环境生化检验	14.80
工业废水处理(第2版)	11.50
环境污染物监测(第2版)	10.00
环境噪声控制	19.80
环保设备材料手册(第2版)	178.00
重有色金属冶炼设计手册	90.00
(冶炼烟气收尘通用工程和常用数据)	
现代除尘理论与技术	26.00
环保知识400问(第3版)	26.00
膜法水处理技术(第2版)	32.00
新型实用过滤技术	64.00
湿法冶金技术丛书——湿法冶金污染控制技术	38.00
湿法冶金技术丛书——固液分离	33.00
工业水再利用的系统方法	14.00
环境材料导论	18.00
煤焦油化学	25.00
ISO14001(新版)标准在企业中的贯彻实施	56.00
燃料电池(第2版)	29.00
钢铁冶金的环保与节能	39.00
城市地下管线探测与测漏	20.00
金银精炼技术和质量监督	49.00
煤化学产品工艺学	45.00

序

随着我国社会和经济的发展，在新一轮硫氮污染物综合防治高潮的背景下，新书《氮氧化物减排技术与烟气脱硝工程》出版问世了。这是《二氧化硫减排技术与烟气脱硫工程》的姊妹篇，也是环境科学和环境工程界值得庆贺的事。

众所周知，造成大气污染的三个主要污染物是烟粉尘颗粒物、二氧化硫和氮氧化物。火电厂一向是污染排放大户，是世人关注的重点。历经数十年的积极防治，除尘技术在火电厂得到广泛应用，静电除尘器已成为火电设计的一部分，效率在99%以上，排放浓度普遍低于 $80\text{mg}/\text{m}^3$ 。可以认为，颗粒物的问题业已解决。至于二氧化硫和氮氧化物，近年在日、美、德等发达国家也基本得到控制。在此基础上，美国甚至开始发起对烟气的第四污染因子——汞污染的防治。

我国的情况大致亦然。20世纪七八十年代集中主要力量消烟除尘，90年代开始规模实施烟气脱硫，进入新世纪以后，脱硫渐入热点。由于火电业的高速发展和交通车辆的急剧增加，氮氧化物问题日益突显。“十五”期间，我国火电增速迅猛，尤其是后三年。2003年，火电机组容量为2.9亿kW。2004年和2005年分别为3.25亿kW和4.8亿kW，预计2010年将达6亿kW，不难预见，如再不严加控制，氮氧化物的年排放量可能继二氧化硫之后很快超过美国。因此，在加紧实施烟气脱硫的同时，还必须下功夫控制氮氧化物。根据有关规划和报道，21世纪的前10年，我国投入脱硫的机组约为440GW，资金超过900亿元；投入脱硝的机组将达到100GW，资金约为110亿元。

在这样一个大规模实施脱硫脱硝形势下，我国在治理技术和技术路线方面，亟须学习和跟进发达国家，借鉴他们的经验。本书及其姊妹篇为我们提供了一个窗口，为我们全面了解和合理选择氮氧化物减排技术、系统掌握烟气脱硝的工艺和设计知识拓展广阔的视野。

脱硫和脱硝，在防治大气污染中双管齐下，肯定是可以奏效的，既能实现排放浓度达标，又可以满足总量控制的要求。现代脱硝技术是成熟的，但务必注意技术经济性能，慎择工艺，强化运行管理，切不可一味追求先进或不顾一切地一哄而上，那是注定要付出“学费”的。国外的经验要借鉴，我国自己的教训要记取。

说句题外话，也是题内之义。从长远来看，目前的燃煤电厂迟早会被淘

汰。美国工业界已开始筹建接近零排放的新型燃煤电厂，主要是利用先进的整体气化联合循环技术，把污染物收集在气化阶段。此外就是燃料电池技术的发展。届时，集中式的火电厂将可能不复存在。燃料电池为我们描绘了未来美好的前景，当然要达到这一目标，还有相当长的路要走。但是这个方向不可动摇，因为它符合社会可持续发展的需求，符合污染防治的原则。大家知道，在20世纪80年代末和90年代初，发达国家就有人认识到“终端治理”并不是解决环境污染的根本办法，提出从源头治理污染的思路。为此美国国会于1990年通过了污染防治法。这是美国环境保护的16个大法之一。污染防治法要求工业企业普遍实现清洁生产。

本书作者杨颢同志是一位十分敬业和勤奋的环境工程专家，毕生从事大气污染治理工程的设计和研究工作，积累了丰富的经验，近年，一直坚持孜孜不倦，笔耕不辍。他在工作实践中，认真思考，竭尽全力，广泛涉猎几乎所有脱硫脱硝技术的文献资料，论述详尽，从基本理论到工程实例，特别强调烟气脱硝应在低氮氧化物燃烧技术广泛应用的基础上有选择地实施。这一观点非常可取。同时还专章介绍、具体阐述脱硝系统工程设计的要领。

本书内容翔实，条分缕析，图文并茂，为我们展现了氮氧化物减排控制技术的全貌，相信会使读者从中获益，也相信作者欢迎朋友们提宝贵意见，共同切磋研讨，活跃学术气氛。在此，我向大家推介这本新书，值得一阅。

江 研 因

2006年4月18日

前 言

进入 21 世纪以来，我国的大气污染态势出现由煤烟型向混合型转变的迹象。这是社会经济迅速发展和二氧化硫减排技术得到应用的必然结果。

我国是世界首屈一指的煤炭生产和消费大国，遭受煤烟型大气污染的长期困扰，从消烟除尘逐步走上脱硫脱硝的轨道经历了差不多半个世纪。“两控区”覆盖了国土面积的 40%。在酸性降水中， SO_4^{2-} 远超过 NO_3^- 。近年来，国家先后出台多项旨在强力推进二氧化硫减排的措施，缓解二氧化硫排放增长势头的政策法规，火电厂积极行动，或兴建 FDG 装置，或更换洁净燃料，或采用清洁燃烧技术，或关停老、小机组，使多年来扶摇直上的二氧化硫排放总量初步有所遏制。然而，另一个大气污染因子氮氧化物日益突显出来。作为氮氧化物排放大户的火电厂和机动车辆，烟气脱硝工作的起步迟缓。无论有多少“正当”的理由，造成氮氧化物排放总量的骤增和大气污染的转型却是不争的事实。

氮氧化物是通常公认的三种主要的大气污染物之一（即烟尘、二氧化硫、氮氧化物），它的危害程度比二氧化硫有过之而无不及，甚至更为深广，因此受到人们高度关注。控制氮氧化物已成为各国环保工作的热点之一。

随着化石燃料的大规模采掘和消费，燃烧、工业生产过程和机动车排出氮氧化物是不可避免的，防治措施应当是综合性的、全过程的。由于氮氧化物的生成机理比二氧化硫要复杂得多，因而采取的对策也有所不同。不过，它们的防治原则是相同的：首先，要在燃烧前和燃烧中用足各种减排措施，然后再适当采用末端控制技术——烟气脱硝。

烟气脱硝与烟气脱硫一样是从烟气中除去相应污染物的最有效的保障性技术，它们之间存在许多异同之点，可以相互借鉴，组合联用，也可以合而为一，同时进行。

烟气脱硫、脱硝现已成为我国火电行业的环保热门议题。我们应该不遗余力地学习和利用国外先进而成熟的技术，更重要的是要善于思考、消化和创新，积极研发我国适用的自主知识产权的技术，构建符合我国国情的技术路线。

无论脱硫或脱硝,从技术高度和应用广度来说,走在世界最前面的是日、美、德三国。就国情而言,我国与日、德不同,却与美国相近。在技术上我们应向三国学习,在技术路线上似应多借鉴美国。德国的脱硫脱硝装置较多,日本则更普遍,而美国就不然,火电厂实施脱硫的至今只占40%,脱硝装置多在新建电厂安装,旧有的火电厂基本空缺。然而美国在二氧化硫和氮氧化物的减排控制方面自1990年颁行CAAA以后获得的成效卓著,值得我们认真效法和冷静思索。

我国目前把二氧化硫控制的重点放在“两控区”,这是正确的。但是否对煤中硫分的高低不加区别地一律实施烟气脱硫呢?按照技术经济分析,煤中的硫分在0.7%以下的烟气实施脱硫是不经济的,完全可以采用排污交易的办法,达到合理控制总量的目的。但在我国当前排污交易制度尚未形成,而市场供应的燃料硫分不能确保的条件下,低硫煤的烟气脱硫是出于无奈的因应行为。可是氮氧化物的减排控制若不加选择地推行烟气脱硝,则就大谬不然了。因为氮氧化物的产生并不是完全决定于煤中的氮分,而且煤中的氮分基本是确定的。我们应当首先普遍实施低氮氧化物燃烧技术,然后有选择地安装烟气脱硝装置。

简言之,二氧化硫的减排路线重点是炉前控制加炉后控制,先将高中硫煤加工成含硫1.5%以下,然后加烟气脱硫;氮氧化物的减排途径重点放在炉中控制加炉后控制,先采用低氮氧化物燃烧技术,然后实施烟气脱硝。

对于开展烟气脱硝,绝对不应一刀切和一哄而起,要重视有选择地实施。脱硫的选择可适当放宽些,脱硝的选择则宜更严格,应当有选择地在车辆密集的大城市,在重点风景旅游区和重要的政治文化中心实施烟气脱硝。

烟气脱硝和脱硫一样,工艺技术很多,有干法、湿法,也有氧化法、还原法。从当前的技术发展状况看,脱硫的主流工艺是湿式钙法(占83%),脱硝的主流技术是SCR选择性催化还原法(占95%)。二者投资和运行费用都不低。单位投资,脱硫是脱硝的2~3倍,单位成本,脱硝是脱硫的2倍以上。

烟气脱硝技术的核心是催化反应,既须要消耗大量氨还原剂,又要消耗昂贵的催化剂。因此,现代环境科技致力于研发低费用、低成本的氮氧化物减排技术,主要在下列四个方面:

- (1) 低氮氧化物燃烧技术和燃烧器;
- (2) 廉价易取的催化剂及其国产化;

(3) 替代氨的还原剂;

(4) 双脱技术。

祝愿在不太久的将来,有新一代适用的脱硝工艺研发成功,人们在热切期待着。

本书是《二氧化硫减排技术与烟气脱硫工程》的姊妹篇,可供从事相关专业的工程设计、技术研究和环境管理的同仁参阅。因个人水平有限,望读者不吝教正。

在撰写和出版本书的过程中,得到任同生、江研因、金强、季学李、马果骏、羌宁等许多同志的帮助和支持,在此深致谢忱。

作 者

2006年4月20日

目 录

第一章 氮氧化物污染与危害	1
第一节 概述	1
第二节 氮氧化物污染源	6
一、自然源	6
二、人为源	6
第三节 氮氧化物的危害	8
一、对人体的危害	8
二、对生态的危害	9
第二章 氮氧化物的性质	10
第一节 氮氧化物的一般性质	10
第二节 一氧化氮和二氧化氮的物理化学性质	12
一、一氧化氮	12
二、二氧化氮	12
三、氮氧化物在大气中的循环转化	14
第三章 氮氧化物的产生	15
第一节 机动车辆	15
第二节 工业生产	16
第三节 燃烧过程	18
一、热力型氮氧化物	18
二、瞬时型氮氧化物	21
三、燃料型氮氧化物	22
第四章 氮氧化物的减排控制	28
第一节 概述	28
第二节 汽车排气控制	29
一、排放标准	30
二、汽车排气污染控制办法	31
第三节 工业废气治理	37
一、水吸收法	38
二、酸吸收法	38

三、碱溶液吸收法	39
四、氧化吸收法	41
五、吸收还原法	41
六、络合吸收法	41
七、液膜法	42
八、微生物法	45
第四节 燃烧烟气净化	45
一、低氮氧化物燃烧技术	46
二、低氮氧化物燃烧器	52
三、低氮氧化物炉膛设计	58
第五章 燃烧烟气脱硝技术	59
第一节 技术分类	59
第二节 选择性催化还原法	60
一、催化反应理论基础	61
二、SCR 化学原理	69
第三节 选择性非催化还原法	72
一、化学原理	72
二、各种影响因素	73
第四节 非选择性催化还原法	75
第五节 组合法	76
第六节 电子束辐照法	76
一、辐照反应原理	77
二、反应条件	77
第七节 其他干法脱硝技术	78
一、分子筛法	78
二、活性炭法	81
三、碳热还原法	82
第八节 烟气“双脱”技术	86
一、吸附/再生法	86
二、NO _x /SO ₂ 双脱技术	90
三、吸收剂直喷双脱技术	91
四、喷雾干燥双脱法	92
五、LILAC 工艺	93
六、非均相催化双脱技术	93
七、高能电子束辐照氧化法	96
八、湿式双脱技术	96
第六章 烟气脱硝工程实例	100
第一节 概述	100

第二节 国外几个典型烟气脱硝装置·····	102
一、日本竹原火电厂3号机组·····	102
二、日本仙台火电厂2号、3号机组·····	104
三、丹麦 Aved Φ ve 电站·····	105
四、丹麦 Ensted 电站·····	106
第三节 我国初建的几个烟气脱硝工程·····	106
一、漳州后石电厂·····	106
二、厦门嵩屿电厂·····	110
第七章 烟气脱硝工程设计要领·····	117
第一节 设计步骤·····	117
第二节 工艺流程和系统组成·····	117
一、供氨装置·····	119
二、SCR 工艺系统·····	120
第三节 催化反应器·····	121
一、催化反应器的类型·····	121
二、主要设计参数·····	123
三、催化反应器设计计算·····	126
四、催化反应器的设计要项·····	131
五、SCR 反应器的设计·····	132
第四节 催化剂的设计·····	133
一、催化剂的组成·····	133
二、催化剂的性能·····	135
三、催化剂的结构形式·····	137
四、催化剂的中毒防护和再生处理·····	140
五、催化剂的选用·····	144
第八章 氮氧化物减排技术综评与思考·····	147
第一节 减排技术发展前景·····	147
第二节 减排控制技术综合比较·····	148
一、炉中低氮氧化物燃烧技术·····	148
二、终端烟气处理技术·····	149
三、烟气脱硝技术经济比较·····	150
四、分析讨论·····	152
第三节 综评与思考·····	156
一、综合述评·····	156
二、我国氮氧化物减排控制对策·····	158
附 录·····	162
附录1·····	162

附表 1	空气的重要物性	162
附表 2	烟道气的物理参数	163
附表 3	几种物质的 mg/m^3 与 ppm 换算系数	163
附表 4	酸雨控制区	164
附表 5	SO_2 控制区	164
附表 6	火力发电锅炉及燃气轮机组氮氧化物最高允许排放浓度	165
附表 7	含氮污染物的特性	165
附表 8	NO 和 NO_2 污染浓度	165
附表 9	烟气主要成分的分子结合能	166
附表 10	等离子体中粒子的能量	166
附表 11	典型燃煤锅炉的污染物发生量	166
附表 12	典型燃气锅炉的污染物发生量	166
附表 13	典型燃油锅炉的污染物发生量	167
附表 14	垃圾焚烧烟气中污染物典型浓度	167
附表 15	国外城市垃圾焚烧过程的排放因子	168
附表 16	欧洲 50 ~ 300MW 火电厂使用不同燃料的排放因子	168
附表 17	几种污染物在大气中的滞留时间	168
附表 18	某些气体在水中的溶解度	168
附录 2		169
	火电厂大气污染物排放标准 (国家标准)	169
参考文献		177

第一章

氮氧化物污染与危害

第一节 概 述

在环境科学与环保工程领域,所谓的氮氧化物是专指一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO₂)的总称,化学缩写式为NO_x。NO_x是构成大气污染和产生光化学烟雾的根由物质之一,污染危害广泛,往往是全球性的。目前,全世界的三个大气环境问题及其根由物是:

- (1) 温室效应,根由物:CO₂、CH₄、N₂O;
- (2) 酸性降水,根由物:SO₂、NO_x;
- (3) 臭氧层破坏,根由物:CClF₃、NO_x。

在造成上述大气环境问题的污染物中,NO_x占据三项,足见其重要性。NO_x既是硝酸型酸雨的基础,又是形成光化学烟雾、破坏臭氧层的主要物质之一,具有很强的毒性,对人体健康、环境、生态的危害,以及对社会经济的破坏都很大。NO能使人中枢神经麻痹和窒息死亡。NO₂会造成哮喘和肺气肿、破坏心肺肝肾及造血组织甚至死亡,其毒性比NO更强。NO₂在大气中参与一系列的光化学反应,生成O₃和PAN(过氧乙酰硝酸酯)一类的光化学氧化剂。这种二次污染物是浅蓝色的毒性烟雾,毒性比一次污染物强得多。

一般认为,在本底清洁空气和典型污染空气中,NO_x的体积分数分别为(0.001~0.01)×10⁻⁶和(0.3~3.5)×10⁻⁶。

NO_x在大气中能形成酸雨和硝酸盐类,酸雨对生态的破坏是众所周知的。

NO₂在大气对流层的“寿命”约为5天。有一部分NO_x会进入同温层对臭氧层造成破坏。

目前,我国的NO_x年排放量仅次于美国。随着社会经济的迅速发展,大气污染正在由煤烟型向混合型转变,局部地区的硝酸型酸雨有所凸现,混合型大气污染的危害将使原来的煤烟型污染加剧,因此,导致社会经济的总损失肯定会大大超过原估算的水平。

与烟气脱硫一样,在防治大气环境污染中,烟气脱硝也占据重要地位。NO_x和SO₂在性质、排放特征、危害以及防治对策等多方面存在着许多异同。它们的主要来源都是燃烧过程,都广泛存在于地球环境之中;它们同属酸性气体,都能形成酸雨;它们同样能严重危害人类健康和破坏生态环境。但由于物理化学性质的不同,NO_x的防治要比SO₂更加困难,NO_x造成的灾害更加深重,控制的成本更加昂贵。

烟气脱硝与烟气脱硫同为末端控制措施,都是燃烧过程的保障性有效减排技术。它们的不同之点见表1-1。

表 1-1 烟气脱硝与烟气脱硫对照

对 照 项	烟气脱硝 (SCR)	烟气脱硫 (传统湿法)
化学本质	催化 ~ 还原	吸收 ~ 中和
系统组成	少, 只有 2 个子系统	多, 一般有 5 ~ 7 个子系统
主流设备	干式, SCR 反应器	湿式, 洗涤吸收塔
操作温度/℃	300 ~ 400	45 ~ 50
还原剂/吸收剂	氨	石灰石
副产品	无	石膏
单位投资/元 · km ⁻¹	100 ~ 150	300 ~ 500
运行成本元/t (NO _x 或 SO ₂)	2000 以上	约 1000

改革开放以来, 我国社会经济迅速发展。NO_x排放总量, 1980 年为 468 万 t, 到 2000 年增至 1177 万 t, 年均增加 4.6%; 到 2004 年又增至 1600 万 t, 年均增长 10.6%。

目前, 我国 NO_x年排放量保持在 1000 万 t 级的水平之上, 其中火电厂占有 35% ~ 40% 的份额, 堪称排放大户, 因此它应当是控制 NO_x的重点, 为全社会所关注。

1987 ~ 2005 年, 我国火电厂历年 NO_x的排放量见表 1-2。

表 1-2 我国历年火电 NO_x排放量 (万 t/a)

年 份	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
NO _x 排放量	178.8	200.9	213.6	228.7	243.4	262.9	281.4	298.6	327.1
年 份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2004	2005
NO _x 排放量	359.3	350.3	360.5	430.0	469.0	497.5	536.8	608	664

资料来源: 电力环境监测总站历年统计资料整理。2004 年和 2005 年为估算值。

从表 1-2 可以看到, 我国火电厂排放的 NO_x在 1987 ~ 1998 (港台未计入) 的 12 年里呈缓慢上升趋势, 增长量只有 181.6 万 t, 年均增长率在 7% 左右。1999 ~ 2002 年的 4 年中, 火电厂 NO_x排放量增加 176.5 万 t, 接近前 12 年的总和, 平均年增 10.5%。

事实证明, 1980 ~ 2003 年的 23 年间, 我国火电容量增加了 5.2 倍, 标煤耗量由 448 g/(kW · h) 降至 380g/(kW · h) 以下, 2004 年平均为 376 g/(kW · h), 2005 年为 374 g/(kW · h)。有报道, 一季度曾达到 355.6 g/(kW · h)。说明正逐渐逼近世界先进水平。

我国历年火电容量、发电量和 NO_x排放量的变化情况见图 1-1。

根据清华大学郝吉明先生的研究, 以 2000 年 NO_x排放的部门和燃料清单为基础提出我国未来 30 年的预测, 具有一定的参阅价值 (见表 1-3 和表 1-4)。

表 1-3 2000 ~ 2030 年我国 NO_x排放的部门贡献率 (%)

年 份	2000	2010	2020	2030
火 电	35.8	40.2	42.6	43.3
工 业	30.9	21.3	17.0	13.8
机动车	21.3	25.9	29.4	31.6
其 他	11.9	11.2	11.2	11.2

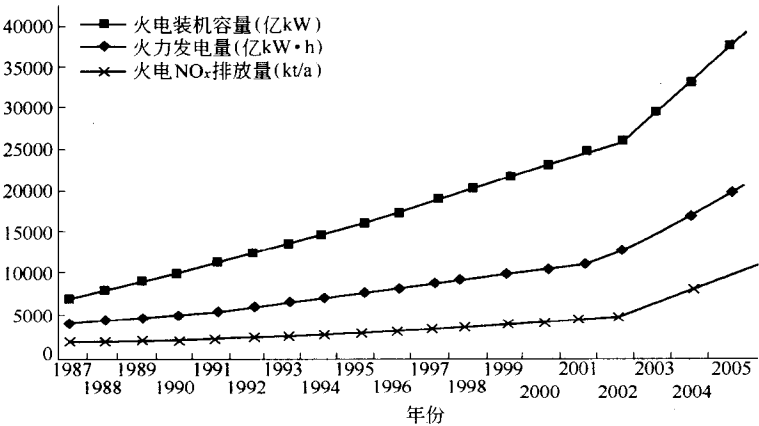


图 1-1 历年我国火电装机容量、发电量与 NO_x排放量变化趋势 (1987 ~ 2005)

表 1-4 2000 ~ 2030 年我国的 NO_x排放的燃料贡献率 (%)

年 份	2000	2010	2020	2030
煤 炭	62.8	61.1	58.4	56.6
焦 炭	7.3	6.2	5.6	5.3
燃 油	28.0	30.5	33.6	35.4
天然气	0.3	0.8	1.2	1.5
其 他	1.1	1.4	1.2	1.2

30 年内，火电的贡献率将降低 21%，机动车的贡献率增加 48%。工业部门的贡献率将下降近一半，其他基本不变。

机动车 NO_x增长的速度比火电 NO_x减排的速度快得多。

进入新世纪以后，由于社会经济的发展转入快车道，作为国民经济先行官的电力普遍呈现紧缺局面，特别是东部地区，迫切要求大规模建设火电厂，一时突破了原十五规划。这一热潮在 2003 ~ 2005 年到达顶峰，详见表 1-5。

表 1-5 近年我国电力装机容量发展近况

年 份	装机总容量/MW	火电/MW	水电/MW	核电及其他/MW
2003	391410	286000	94700	10710
2004 同比增长/%	440700	321130	108260	11020
	12.6	12.3	17.9	2.9
2005 同比增长/%	508410	384130	116520	76260
	15.4	16.6	10.7	5.9

伴随而来的是无法避让的环境问题，尤其是 SO₂ 和 NO_x。

“十一五”期间，我国经济仍处于快速发展之中，能源需求强烈，煤炭在能源结构中仍占主要地位。据预测，到 2010 年，煤炭消费量在 18 亿 t 左右，2020 年可能达到