



张新生 李长春 李光霞 等编著  
中国地质大学出版社

燃煤

COAL-FIRED

烟气脱硫

FLUE GAS DESULFURIZATION



## 内 容 简 介

本书对燃煤的烟气脱硫进行了综合论述。书中简要介绍我国高硫煤的分布及利用概况，评述我国二氧化硫和酸雨的污染状况，说明燃煤烟气采用高烟囱排放的局限性和烟气脱硫的必要性；对工业发达国家的烟气脱硫工艺作了简介，评价其实用业绩，并进行对比，同时对我国燃煤烟气脱硫工艺实施情况作了介绍。根据环保、技术、经济等要求提出选用烟气脱硫工艺的一般准则。在此基础上，着重叙述了几种典型烟气脱硫工艺系统，评价其工艺及主要设备的特点，且对技术及经济指标作了分析。书中还评述了烟气脱硫实施中的材料消耗、能耗、占地及废料的处理和综合利用。最后对燃煤烟气脱硫工艺系统进行综合经济评价。

本书读者对象为有关煤燃烧和烟气脱硫工艺、设备的研究、设计、制造和运行管理的工程技术人员，电厂建设规划和设计人员以及从事城乡建设规划、环境保护工作者，亦可供大专院校有关专业师生参考。

### 燃煤烟气脱硫

张新生 李长春 李光霞 等编著

责任编辑 吴珺华

\*

中国地质大学出版社出版发行

(武汉市 喻家山 430074)

华中理工大学印刷厂印刷

\*

开本 787×1092 1/16 印张 173/4 字数 420 千字

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

印数 1—800 册

ISBN 7-5625-0591-8/X·2

定价: 18.00 元

# 序

当今，环境污染的危害已引起人们严重关注，政府部门也拨付专款，用于整治污染，本书的问世，无论从时代背景和客观要求来说，都是非常及时的。

据第十三届世界动力会议报道，全世界可资开采的有机燃料中，石油、天然气按标准燃料折算仅占 20%。估计 2020 年时，煤和核能将提供全世界能源总量的 2/3 以上。七十年代初发生全球性石油危机(实为能源危机)以来，各国竞相压缩石油耗量而代之以煤。1987 年全世界开采煤炭 36 亿吨(已折算成标准燃料，下同)，比 1983 年增产 14.6%。而据 1989 年统计，全世界开采煤炭 48 亿吨，比 1987 年增产 33%。若按这种增长速度估计，到 2020 年时，全世界煤炭开采量将达 81.1 亿吨。届时即使煤的转化(气化、液化)技术已达到商业应用水平，仍将有 1/3 的煤炭用于直接燃烧。如此大量的煤炭燃烧后，给地面和天空造成的污染和危害，实不堪设想。国内外早已出现关于污染物破坏森林、毁灭作物、为害人类的报道。现在是二十世纪的最后十年，人们对于防治污染的议论，已不再视为杞人忧天、危言耸听了。

1989 年 9 月在加拿大举行的第十四届世界动力会议，据称是规模空前的一次会议，在这次会议上，“能源与环境”被列为主要议题之一。议论的中心是当前和今后二三十年内，能源管理对环境的影响，会上呼吁国际合作去解决地区性和全球性的生态问题，其中最具吸引力的是能源生产的消极因素所导致的环境污染问题，其目的在于避免能源生产污染大气、森林、水源、作物和风景点，使生态问题今后不再成为发展经济的一个制约的因素。最后，会议作出结论，即使全世界处于政治和经济稳定的情况下，仍有可能发生新的能源危机，其规模与后果，将比七十年代初期席卷全球的第一次能源危机严重许多倍。并且指出，将来能源形势恶化的原因与七十年代不同，上一次能源危机表现为石油匮乏、油价上涨，而下一次能源危机则是由于环境污染，导致发生全球性灾难——酸雨、温室效应等等。

我国是一个产煤大国，也是一个用煤大国。从 1981 年以来，煤炭产量每年以 5% 左右的速度递增，1987 年我国煤炭产量已跃居世界首位。为了适应国民经济建设的发展，2000 年时我国原煤产量将达 14 亿吨之巨，届时将有 8 亿吨左右原煤用于直接燃烧。而我国长江以南多产劣质煤，灰多、硫高、热值低，燃烧后产生的粉尘和有害气体更多。长江沿岸和东南沿海是我国经济发达区，耗煤较多，加之气候炎热、潮湿，这些地区将受害更烈。因此，治理污染、保护环境，更是刻不容缓。

生态形势如此严峻，所以本书作者在主管部门的倡导下进行了大量的调查、研究、分析、归纳，写成本书。作者拥有丰富的第一手资料，包括方案论证、应用实例以及经验教训，从积极方面论述了防治污染保护环境的原理、意义、系统、方法和建议，就其内容和深度而言，在同类著作中尚属罕见。我们希望：第一，这本书能起积极的宣传作用，使接触污染源的机构和个人，在“保护生态环境就是保护生产力”的认识基础上，共同为保护生态环境作出贡献。第二，与环保有关的政府机关和厂矿企业，更踊跃地支持和资助环保的研究和实施，因为这方面的投资绝不是“非生产性”的，污染灾害一旦成势，造成人力、物力的损失往往难以估计。未雨绸缪，为时未晚。

马统义

1991.8

# 前 言

我国的能源以煤为主，在能源结构中占 $3/4$ ，而煤产量的 $4/5$ 是直接用于燃烧的。大量燃烧煤炭，如果不对排放烟尘进行控制处理，就会对生态环境造成严重后果。当今困扰世界的三大环境问题，温室效应、酸雨、臭氧洞的出现都与大量燃煤有关。

大气环境质量状况分析表明，我国大气污染是燃煤产生的煤烟型污染。根据我国环境监测报告，由于大气污染严重，酸雨危害已波及24个省、市、自治区，长江以南几乎所有的大城市都出现过酸雨，北方某些工业区也有酸雨出现，酸雨严重的地区，又是在主要产粮区和名胜风景名胜区内。1980~1984年全球环境监测数据表明，全世界41个城市，大气颗粒物每立方米含量最高的前10名中，我国沈阳、西安、北京、上海、广州分别列为第2、3、5、9、10位。对世界54个城市，按大气中二氧化硫浓度的高低排列，沈阳、西安、北京、广州、上海分别为第2、7、9、12、21位。我国某些地区的大气污染是很严重的。

火力发电厂造价低，建设周期短，大力发展燃煤发电仍是今后很长时期内的必然趋势，预计到2000年全国发电总装机容量可达240000MW，燃煤发电将占71~74.5%，电厂燃煤是造成环境污染的主要污染源之一。据估计我国当前年排尘量约为2800万吨，其中燃煤电厂占36%，二氧化硫排放量中的90%是由燃煤产生的，其中燃煤电厂约占 $1/4$ 。对全国50个大中型燃煤电厂排放的二氧化硫量进行统计，其中90%的电厂排放量超过 $860\text{mg}/\text{标 m}^3$ （毫克/标米<sup>3</sup>，表示标准状态下1立方米烟气中含二氧化硫的质量），大大超过环保标准。因此控制和处理污染物的排放是目前我国燃煤电厂建设中必须考虑的问题之一。

消除污染、保护环境是我国的一项基本国策，是国家经济、社会发展的重要方针。1989年国务院召开了第三次全国环境保护会议，李鹏总理在会上作了“在治理整顿中建立环境保护工作的新秩序”的报告。报告中指出：“如果我们不在控制污染、保护生态方面给以足够的重视，不付出极大的努力，那么多年来经济发展所取得的成果，很可能被日益恶化的环境污染所抵消。”我国的污染防治和生态环境保护已得到有关方面相当重视，取得了一定成绩，环境保护法制建设成绩显著，各部门的环境管理得到加强，环境保护投资适度增长。电力工业在污染治理方面取得了明显效果，火电厂排放的一些污染物没有随着火电容量的大幅度增长而成比例的增加。1985年到1988年之间，50MW以上的电厂装机容量增长42%，而烟尘排放量只增加15%，废水排放、灰渣利用都有明显改善。但存在问题也不少，污染仍很严重，特别是“七·五”计划中对二氧化硫排放未规定控制指标，二氧化硫的排放处于失控状态。二氧化硫排放的增长率超过装机容量的增长率42%，而达到49%，呈大幅度上升趋势。环境问题已成为制约电力发展的重要因素，这就必然引起人们的严重关注。

在治理烟尘排放方面，我国自行研制和引进国外技术方面均已趋成熟，达到工业应用的程度。工业排尘包括电厂燃煤的除尘逐步得到改善，难点主要集中在对二氧化硫的治理上。

在脱硫技术中，洗煤脱硫是一种辅助手段，化学脱硫、煤的气化与液化从经济上来说，目前还难以达到工业应用程度，炉内燃烧喷射吸附剂脱硫正在进行工业试验，进一步发展可望得到推广应用。

燃煤的烟气脱硫(FGD\*)技术是当前应用最广、效率最高的脱硫技术，是控制二氧化硫排放量、防止大气污染、保护环境的一种重要手段。对燃煤电厂而言，在今后一个相当长的时期内，FGD将是控制二氧化硫排放量的主要方法。工业发达国家从70年代起相继颁布法令，强制火电厂采用烟气脱硫装置，进一步促进了烟气脱硫技术的发展和完善。目前国外火电厂烟气脱硫技术主要发展趋势为：脱硫效率高，装机容量大，技术水平先进，投资省，占地少，运行费用低，自动化程度高，可靠性好等。

我国对烟气脱硫技术的研究始于70年代初，先后有数家电厂进行过几种不同烟气脱硫工艺的试验。现除白马电厂的喷雾干燥法仍在进行外，由于技术、管理、经济等方面的原因，其他几种工艺基本处于停滞状态。为了解决重庆珞璜电厂燃烧高硫煤引起的污染，经国家有关部门批准引进了日本三菱重工公司的石灰石-石膏法(湿法)烟气脱硫装置，作为“七·五”期间电厂烟气脱硫的示范工程。国家准备在“八·五”期间建设2~3个火电厂烟气脱硫示范工程。国家领导人曾多次指示，要尽快突破烟气脱硫技术经济关，必要时引进技术，为推广应用打下基础。

烟气脱硫是一项跨行业、多学科的系统工程，涉及机械、电子、化工、环保等不同行业 and 项目规划、工艺研究、技术开发、工程设计等内容。烟气脱硫工程投资大，涉及面广，不同的工艺流程各有长短，且看法不尽相同，很有必要进行论证和可行性研究。

根据我国燃煤电厂二氧化硫污染的状况以及国外烟气脱硫工业的发展趋势，1987年经国务院重大技术装备办公室批准，将“大型燃煤电厂烟气脱硫方案论证”列入了“七·五”国家重大技术装备大型火电专项。由中国通用机械工程公司牵头，组织有关高等学校、研究所、设计院、设备制造厂承担此项任务，其目的是提出适合我国国情的电厂烟气脱硫方案，为工艺研究、技术开发或引进提供科学依据。为了完成这项任务，我们拟定了详尽的工作大纲，进行了大量的工作，访问调查了电厂烟气脱硫现场、脱硫设备制造厂、环保局、设计院、研究所、高等学校等数十个单位，收集了包括国外考察报告、专利资料、外商投标资料、工厂设计院的设计制造资料以及烟气脱硫现场的第一手试验资料等，查阅参考了大量的中外文献，获得了许多信息。经过研究、分析、对比，提出了自己的见解和计算机模拟计算的结果，完成了研究报告的编写工作。在此基础上，又经过修改、充实，编写出版了本书。

本书对燃煤烟气脱硫进行了综合论述。介绍我国二氧化硫和酸雨的污染状况，说明燃煤烟气采用高烟囱排放的局限性和烟气脱硫的必要性。对工业发达国家的烟气脱硫工艺做了简要介绍，评价其实用业绩，并进行分析对比。介绍我国电厂烟气脱硫概况，从环保、技术、经济要求提出选用烟气脱硫工艺的一般准则。书中还着重叙述了几种典型烟气脱硫系统，介绍其工艺特点，评价其主要设备，并对技术、经济指标作了分析，供制定我国烟气脱硫技术方案时选用参考。然后，对烟气脱硫实施中的原材料(包括吸收剂、添加剂)消耗、废料的处理及综合利用、能耗、占地等作了评述。最后对燃煤烟气脱硫进行综合经济

---

\* FGD是Flue Gas Desulfurization的缩写。

评价。各章之后的附录汇集了有关的资料供参考之用。

本书由张新生、李长春、李光霞主编，参加编写的还有李应运、陈元玲、王顺成、钱志雄、王义成等同志，夏少波同志参加了部分工作，收集提供了大量资料。国家级专家马毓义教授审阅了书稿并提出了宝贵意见，陈荣清、刘敦康同志为本书的出版付出了辛勤的劳动。在此谨向他们和提供资料的单位和同志以及对本书的编写、出版工作给予热情支持和帮助的同志表示衷心感谢。由于我们水平所限，同时在收集资料的过程中还遇到了不少困难，书中内容疏漏之处，请读者不吝指正。

编者 1991.7.

# 目 录

第一章 我国 SO <sub>2</sub> 及酸雨污染概况 .....	( 1 )
1.1 我国高硫煤分布及利用概况 .....	( 1 )
1.1.1 煤炭在我国能源中的地位 .....	( 1 )
1.1.2 我国高硫煤的储量及分布 .....	( 1 )
1.1.3 高硫煤的开采及利用概况 .....	( 1 )
1.1.4 小结 .....	( 6 )
1.2 SO <sub>2</sub> 的污染和危害概况 .....	( 7 )
1.2.1 SO <sub>2</sub> 污染状况 .....	( 7 )
1.2.2 SO <sub>2</sub> 污染的发展趋势 .....	( 10 )
1.2.3 SO <sub>2</sub> 的危害 .....	( 11 )
1.2.4 SO <sub>2</sub> 造成的社会经济损失 .....	( 13 )
1.2.5 小结 .....	( 14 )
1.3 酸雨的污染及危害 .....	( 14 )
1.3.1 酸雨的来源与形成 .....	( 14 )
1.3.2 我国酸雨的分布与现状 .....	( 15 )
1.3.3 酸雨的发展趋势 .....	( 20 )
1.3.4 酸雨的危害 .....	( 21 )
1.3.5 小结 .....	( 23 )
1.4 高烟囱排放 SO <sub>2</sub> 的局限性及其后果 .....	( 24 )
1.4.1 高烟囱排放的优点 .....	( 24 )
1.4.2 我国长期执行高烟囱政策的原因 .....	( 24 )
1.4.3 高烟囱排放的最终效果 .....	( 24 )
1.4.4 小结 .....	( 26 )
1.5 我国燃煤烟气脱硫概况 .....	( 26 )
1.5.1 燃煤的烟气脱硫概况 .....	( 26 )
1.5.2 烟气脱硫工作停滞的原因 .....	( 27 )
1.5.3 展望及建议 .....	( 29 )
主要参考资料 .....	( 30 )
附录 .....	( 32 )
附 1.1 世界各国控制 SO <sub>2</sub> 排放的标准、对策及其结果 .....	( 32 )
附 1.2 我国环境保护政策及排放标准 .....	( 39 )
附 1.3 燃煤电厂排放 SO <sub>2</sub> 各因素的模拟计算说明 .....	( 42 )
附录主要参考资料 .....	( 45 )



第二章 国内外燃煤烟气脱硫工艺概况及我国选用的一般原则 .....	( 46 )
2.1 脱硫技术概况 .....	( 46 )
2.1.1 控制 SO <sub>2</sub> 排放的途径 .....	( 46 )
2.1.2 FGD 工艺分类 .....	( 46 )
2.2 美国 FGD 工艺概况 .....	( 47 )
2.3 日本 FGD 工艺概况 .....	( 50 )
2.4 西德 FGD 工艺概况 .....	( 52 )
2.5 其他国家 FGD 工艺概况 .....	( 52 )
2.6 对 FGD 工艺的分析评述 .....	( 54 )
2.6.1 美国、日本、西德 FGD 工艺应用情况比较 .....	( 54 )
2.6.2 湿法 FGD 工艺的分析评述 .....	( 54 )
2.6.3 喷雾干燥吸收法 .....	( 58 )
2.6.4 湿法与喷雾干燥法的比较 .....	( 58 )
2.6.5 LIFAC 工艺 .....	( 60 )
2.6.6 电子辐射及脉冲放电等离子体工艺 .....	( 60 )
2.7 国内电厂 FGD 工艺概况 .....	( 61 )
2.7.1 湖南 300 电厂 W-L 法试验 .....	( 61 )
2.7.2 湖北松木坪电厂含碘活性炭法试验 .....	( 62 )
2.7.3 上海市南市电厂稀酸催化氧化法试验 .....	( 62 )
2.7.4 上海市闸北电厂石灰石-石膏法试验 .....	( 62 )
2.7.5 四川内江白马电厂喷雾干燥法试验 .....	( 63 )
2.7.6 西安热工研究所 PAFP 法试验 .....	( 63 )
2.8 FGD 工艺系统的一般选用准则 .....	( 64 )
2.8.1 环保法规、管理条例的实施 .....	( 64 )
2.8.2 工艺的经济技术要求 .....	( 64 )
2.8.3 我国电厂 FGD 工艺应具备的特性 .....	( 64 )
2.8.4 FGD 工艺的一般选用准则 .....	( 65 )
2.9 对我国燃煤电厂实施 FGD 工艺的建议 .....	( 65 )
2.9.1 我国电厂实施 FGD 工艺所具备的条件 .....	( 65 )
2.9.2 对我国电厂实施 FGD 工艺的建议 .....	( 66 )
主要参考资料 .....	( 67 )
附录 .....	( 69 )
附 2.1 丹麦菲达(FLAKT)公司 FGD 工艺 .....	( 69 )
附 2.2 日本三井造船株式会社 FGD 工艺 .....	( 71 )
附 2.3 日本三菱重工公司 FGD 工艺 .....	( 77 )
附 2.4 日本三菱化工(机)株式会社 FGD 工艺 .....	( 82 )
附 2.5 德国克鲁伯(Krupp Koppers)公司 FGD 工艺 .....	( 91 )
附 2.6 德国 SHU(Saarberg-Holter Umwelttechnik GmbH)公司 FGD 工艺 .....	( 92 )

附 2.7 德国巴布考克(Deutsche Babcock Anlagen AG)公司 FGD 工艺 .....	( 97 )
附 2.8 美国 Research-Cottrell 公司 FGD 工艺 .....	( 105 )
附 2.9 美国燃烧工程(Combustion Engineering )公司 FGD 工艺 .....	( 107 )
附 2.10 美国 Davy Mckee 公司 FGD 工艺 .....	( 112 )
附 2.11 美国通用电气(General Electric)公司 FGD 工艺 .....	( 116 )
附 2.12 芬兰 Tampella Ltd 公司 FGD LIFAC 工艺 .....	( 118 )
附 2.13 日本荏原制作所电子束辐射工艺 .....	( 119 )
附 2.14 国外电厂 FGD 工艺装置使用概况统计 .....	( 120 )
附录主要参考资料 .....	( 133 )
<b>第三章 燃煤烟气脱硫技术方案选用介绍 .....</b>	<b>( 135 )</b>
3.1 湿法烟气脱硫装置 .....	( 135 )
3.2 西德 SHU 公司湿法烟气脱硫装置 .....	( 135 )
3.2.1 工艺流程简介 .....	( 135 )
3.2.2 工艺流程特点 .....	( 137 )
3.2.3 主要技术经济评价与分析 .....	( 138 )
3.2.4 主要设备分析 .....	( 139 )
3.3 日本三菱重工公司湿法烟气脱硫装置 .....	( 141 )
3.3.1 原始条件 .....	( 141 )
3.3.2 工艺流程简介 .....	( 143 )
3.3.3 工艺流程特点 .....	( 143 )
3.3.4 主要技术经济评价与分析 .....	( 146 )
3.3.5 主要设备分析 .....	( 147 )
3.4 美国依巴斯公司湿法烟气脱硫装置 .....	( 149 )
3.4.1 原始设计数据 .....	( 150 )
3.4.2 方案选择论证 .....	( 150 )
3.4.3 工艺流程简介 .....	( 151 )
3.4.4 工艺流程特点 .....	( 153 )
3.4.5 主要技术经济评价与分析 .....	( 155 )
3.4.6 主要设备分析 .....	( 155 )
3.5 我国氨法烟气脱硫装置 .....	( 158 )
3.5.1 氨法脱硫概况 .....	( 158 )
3.5.2 工艺流程简介 .....	( 158 )
3.5.3 可行性分析 .....	( 159 )
3.5.4 主要技术经济评价与分析 .....	( 160 )
3.5.5 存在的问题 .....	( 160 )
3.6 湿法烟气脱硫装置小结 .....	( 162 )
3.7 喷雾干法烟气脱硫 .....	( 163 )
3.7.1 工艺流程简介及特点 .....	( 164 )
3.7.2 主要设备与分析 .....	( 167 )

3.7.3	主要技术经济评价与比较 .....	(169)
3.8	美国 GRDA 电厂干法烟气脱硫装置 .....	(174)
3.8.1	工艺流程简介及特点 .....	(174)
3.8.2	主要设备与分析 .....	(177)
3.8.3	问题讨论 .....	(178)
3.9	黎明发动机制造公司热电厂干法烟气脱硫装置 .....	(184)
3.9.1	工艺流程简介及特点 .....	(186)
3.9.2	主要设备与分析 .....	(189)
3.9.3	存在问题 .....	(190)
3.10	白马电厂干法烟气脱硫装置 .....	(190)
3.10.1	工艺流程简介及特点 .....	(194)
3.10.2	主要设备与分析 .....	(196)
3.11	喷雾干法 FGD 小结 .....	(199)
	主要参考资料 .....	(200)
	附录 .....	(201)
附 3.1	白马电厂干法烟气脱硫小型试验 .....	(201)
附 3.2	白马电厂干法烟气脱硫中型试验 .....	(211)
第四章	燃煤烟气脱硫实施中的几个问题 .....	(218)
4.1	吸收剂的选择 .....	(218)
4.1.1	吸收剂的分类 .....	(218)
4.1.2	吸收剂与 FGD 装置的关系 .....	(218)
4.1.3	几种常用的吸收剂 .....	(218)
4.1.4	吸收剂选择的小结 .....	(221)
4.2	硫的回收 .....	(221)
4.2.1	我国对硫的需求情况 .....	(221)
4.2.2	硫回收的经济效益 .....	(222)
4.2.3	回收硫的实践 .....	(222)
4.2.4	回收硫资源的小结 .....	(224)
4.3	石膏的回收 .....	(225)
4.3.1	石膏的需求情况 .....	(225)
4.3.2	湿法脱硫与回收石膏 .....	(225)
4.3.3	湿法脱硫回收石膏的实践 .....	(226)
4.3.4	干法脱硫与回收石膏 .....	(228)
4.3.5	回收石膏的小结 .....	(229)
4.4	干灰渣的综合利用 .....	(229)
4.4.1	干灰渣的特性 .....	(229)
4.4.2	干灰渣综合利用 .....	(230)
	主要参考资料 .....	(230)

第五章 燃煤烟气脱硫装置的经济评价 .....	( 231 )
5.1 FGD 经济评价的意义 .....	( 231 )
5.2 国外 FGD 经济评价实例 .....	( 232 )
5.2.1 美国 TVA 经济评价实例 .....	( 232 )
5.2.2 西德经济评价实例 .....	( 238 )
5.2.3 日本经济评价实例 .....	( 239 )
5.3 我国 FGD 经济评价实例 .....	( 244 )
5.3.1 8 种工艺评价实例 .....	( 244 )
5.3.2 石横电厂评价实例 .....	( 249 )
5.3.3 衢化锅炉改造与脱硫 .....	( 252 )
5.4 24 种 FGD 工艺及干、湿法的经济评价比较 .....	( 254 )
5.4.1 对 24 种工艺估算结果的经济评价比较 .....	( 254 )
5.4.2 对干法与湿法估算结果的经济比较评价 .....	( 257 )
5.5 FGD 经济评价中的几个问题 .....	( 260 )
5.5.1 社会代价问题 .....	( 260 )
5.5.2 宏观的经济效益问题 .....	( 261 )
5.5.3 脱硫费用所占份额问题 .....	( 262 )
5.5.4 各种因素的影响问题 .....	( 263 )
5.6 FGD 装置的投资与运行费用的参考指标 .....	( 265 )
主要参考资料 .....	( 266 )
附录 .....	( 267 )
附 5.1 FGD 经济评价的一般方法 .....	( 267 )
附 5.2 FGD 装置的能量消耗参考数据 .....	( 269 )
附 5.3 FGD 装置占地面积的参考数据 .....	( 271 )

# 第一章 我国 SO<sub>2</sub> 及酸雨污染概况

## 1.1 我国高硫煤分布及利用概况

### 1.1.1 煤炭在我国能源中的地位

我国煤炭资源丰富, 储量达 8 600 亿 t<sup>(1)</sup>, 居世界第三位, 主要分布在山西、内蒙、贵州、宁夏、安徽、陕西等省(区), 其中华北地区的山西、内蒙储量最大, 占全国总储量的 60% 以上, 东北占 3.1%, 西北占 12%, 华东占 6.5%, 中南占 3.7%, 西南占 10.7%<sup>(2)</sup>。

丰富的煤炭资源和我国历史、经济等方面的条件相结合, 形成煤炭在我国能源结构中占高达 76% 左右的比重。估计到 2000 年或更长的时间, 我国基本以煤为主的能源结构不会有大的变化<sup>(3)</sup>。

我国煤炭在一次能源结构中的比例与世界水平相比差距很大, 据 1986 年统计资料介绍: 世界平均为 30%, 发达国家 10~30%, 我国是世界平均值的 2.5 倍多, 是发达国家的 2.5~7.6 倍<sup>(4)</sup>。

1988 年我国生产原煤 9.6 亿 t, 消耗 9.2 亿 t, 其中约四分之一用于燃煤发电。由于燃煤, 全国每年向大气排放 SO<sub>2</sub> 约 1 500 万 t 左右<sup>(5)</sup>, 形成大面积酸雨和酸性颗粒沉降, 严重污染环境, 破坏生态平衡, 造成重大损失。因此, 研究合理开发和利用我国的煤炭资源, 采取适合我国国情的烟气脱硫对策是非常必要和紧迫的课题。

### 1.1.2 我国高硫煤的储量及分布

我国高硫煤分布较广, 大多在西南、中南、华东和西北地区。含硫量超过 2% 的高硫煤(按定义系指“折算含硫量”超过 0.2% 的煤)约占煤炭储量的 25% 左右<sup>(6,7)</sup>。

#### 1.1.2.1 煤炭中含硫量的地区分布特征

我国煤炭含硫量呈自北向南逐渐增高的趋势, 高硫煤主要分布在四川、贵州、广西、山东、陕西等省区, 如表 1.1 所示。

#### 1.1.2.2 煤炭含硫量在煤层中的分布特征

由于煤炭形成的时代和条件不同, 同一矿区不同深度的煤层其组成和品质也有变化。一般上部煤层含硫量低, 下部煤层含硫量高。河南焦作矿区过去开采的全是优质低硫煤, 而现在有的矿井开采的则是硫分在 2% 以上的高硫煤; 河北开滦矿目前开采的下部煤层平均含硫量高达 3%<sup>(8)</sup>。

### 1.1.3 高硫煤的开采及利用概况

含硫在 2% 以上的高硫煤的产量约占煤炭总产量的 15~20%<sup>(6)</sup>, 有的资料为 25%<sup>(7)</sup>。高硫煤分布如图 1.1。

高硫煤主要产区的广西、四川、贵州、陕西等省(区)的燃煤电厂, 均燃用本地区的高硫煤, 1988 年 SO<sub>2</sub> 的年排放量和超排放率位居全国前四名, 四省(区)的主要工业城市(靠

近燃煤电厂)大气中 SO<sub>2</sub> 的浓度亦在全国最高 列。

表 1.1 各地区煤田含硫量概况 (6,8~13)

地区	煤的含硫量概况		最低 S <sup>y</sup> %	最高 S <sup>y</sup> %
东 北 地 区	地区概况: 煤的含硫量为全国最低, 煤的储量最少, 属低硫煤区			
	其 中	黑龙江省: 各煤矿平均硫分多在0.4%以下; 各电厂用煤的含硫量约为0.12~0.37%	0.12	0.5
		吉林省: 煤的含硫量略高于黑龙江省; 各电厂燃煤含硫量约为0.16~0.76%	0.16	0.76
		辽宁省: 煤的含硫量在东北地区属最高, 多为低硫煤, 但辽南红阳煤田的硫分不少高达2%以上, 各电厂燃煤含硫量约为0.4~1.2%	0.4	≥ 2%
华 北 地 区	地区概况: 煤的储量最多, 多为低硫煤, 但也有一定数量的中、高硫煤,			
	其 中	山西省: 煤炭储量在全国占重要地位, 煤田分布普遍, 煤质优良, 一般多为硫分低于1%的低硫煤, 大同、平朔、高古、汾西等矿区有一定数量的中、高硫煤; 各电厂燃煤含硫量约为0.387~2.84%, 主要为低、中硫煤	0.33	4
		内蒙古自治区: 主要为低硫煤, 也有少量高硫煤, 如乌达烟煤含硫2.41%; 各电厂燃煤含硫量约为0.28~2.41%	0.15	2.41
		河北省: 以低硫煤为主, 但开滦等煤矿因开采历史太久, 下部煤层平均含硫约3%左右; 各电厂燃煤含硫量约为0.23~1.57%	0.23	3

续表 1.1

地区	煤的含硫量概况		最低 S <sup>o</sup> %	最高 S <sup>o</sup> %
西北 地区	地区概况：以低硫煤为主，也有一定数量的中、高硫煤			
	其 中	陕西省：我国高硫煤的储、产区之一，但也有一定数量的低、中硫煤；铜川煤矿平均含硫约 3.3%，最高达 7.33%；澄合煤硫分高达 4% 左右；各电厂燃煤含硫约为 2.55~4%	0.31	7.33
		青海省：低硫煤，已开发矿区煤的平均含硫量约为 0.27%； 电厂燃煤含硫量约为 0.407%	0.27	0.7
		新疆维吾尔自治区：属中硫煤，平均含硫量 0.61%； 电厂燃煤含硫量约为 0.33~1.232%	1.33	1.232
		宁夏回族自治区：属中硫煤，平均含硫 1.46%； 电厂燃煤含硫 1.75%	1	2
华东 地区	地区概况：高硫煤较多，低硫煤有一定数量；是我国高硫煤储、产区之一			
	其 中	山东省：有一部份低、中硫煤，高硫煤估计占一半，淄博煤含硫 3% 左右，枣庄煤含硫高达 4.22%； 电厂燃煤含硫量 0.63~4.22%，高硫煤占 46.7%	0.63	4.22
		安徽省：淮南、淮北两大煤田以低、中硫煤为主，皖南地区硫分较高约为 2~6%； 电厂燃煤含硫量 0.34~0.99%	0.34	6
		浙江省：电厂燃煤含硫量 0.3~1%		
		江西省：有部分高硫煤，丰城煤含硫 2.5~3.03%； 电厂燃煤含硫量 0.45~3.03%	0.58	3.03
	福建省：主要是低、中硫煤； 电厂燃煤含硫量 0.63~1.22%	0.9	1.22	

续表 1.1

地区	煤的含硫量概况		最低 S% S <sup>2</sup> %	最高 S% S <sup>2</sup> %
中南地区	地区概况：除河南省以低硫煤为主外，其余四省(区)均以高硫煤为主，是我国高硫煤储、产区之一			
	其中	河南省：以低硫煤为主，也有一定数量中、高硫煤，产于义马、新密等处； 电厂燃煤含硫量 0.327~2.65%	0.327	2.65
		广西壮族自治区：高硫煤产区，产于合山等地； 电厂燃煤含硫量4.69%左右	1.06	10
	中	湖南省：低、中、高硫煤均有； 电厂燃煤含硫量约0.38~2.18%	0.35	2.18
		湖北省：主要是高硫煤，产于松滋、宜昌、陈家河等处； 电厂燃煤含硫量约0.35~5.02%	1.317	8.49
		广东省：中硫煤(红卫矿)； 电厂燃煤含硫量约0.78~1.5%	1.5	
西南地区	地区概况：该地区是全国闻名的高硫煤储、产区，集中在贵州、四川两省			
	其中	贵州省：煤矿资源丰富，有“西南煤海”之称，主要是高硫煤(以有机硫为主)，80%的县产煤；贵阳工业用煤含硫 4~5%，民用煤含硫 5.26% 电厂燃煤含硫量约0.49~3.1%	1.61	6.28
		四川省：3/4以上为高硫煤，产于松藻、华莹山、芙蓉等矿； 电厂燃煤含硫量约0.384~6.6%，几个主要电厂均燃用高硫煤	0.384	10.62
		云南省：主要是含硫1~2%的中硫煤； 电厂燃煤含硫量约0.28~1.68%	0.28	2.13
	西藏自治区：多为高硫煤，难洗选	≤ 2	> 4	



全国燃煤电厂燃用高硫煤的机组按装机容量约占 16~20%，其中 200~500MW 的电厂燃用高硫煤的最多，其次是 500~1 000MW 的电厂(见表 1.2)。

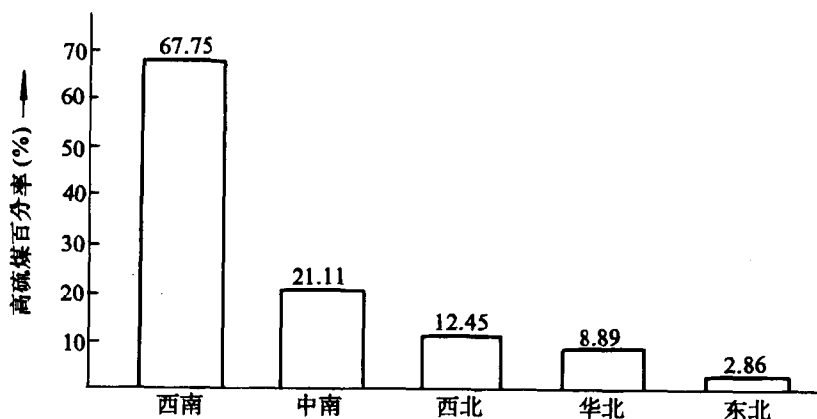


图 1.1 高硫煤占本地区总产量的百分比

表 1.2 燃煤电厂装机容量分段的高硫煤应用情况<sup>(8-14)</sup>

装机容量 (MW)	1 000 以上	500~1 000	200~500	50~200	50 以下
燃煤总装机容量(MW)	12 625	18 023	16 109	3 808	1 121
其中燃用高硫煤容量(MW)	1 050	2 500	3 498	1 004	270
燃高硫煤占比率(%)	8	14	22	26	24

为了研究不同含硫量的煤在电厂燃用时产生 SO<sub>2</sub> 的情况，我们选择了 9 种常用煤种，分别用于 8 个不同容量机组，按正常燃烧情况进行模拟计算(见附表 1.11)的结果表明：SO<sub>2</sub> 排放量及烟气中 SO<sub>2</sub> 浓度的增加率与煤的含硫量增加率基本一致。当硫由 0.6% 增加到 4.02% 时，硫含量增加 5.7 倍，SO<sub>2</sub> 排放量增加 5.8 倍，烟气中 SO<sub>2</sub> 浓度增加 5.63 倍，且 8 个不同容量的机组增加倍数一致。当燃用合山煤时(S<sub>v</sub> 为 4.67%)，SO<sub>2</sub> 排放量及排放浓度则分别增加 14 倍和 12 倍。模拟计算证实在相同的排放条件下，燃用高硫煤必然导致 SO<sub>2</sub> 的大量排放，造成对大气的严重污染(详见附录 1.3)。表 1.3 是两个典型省(区)的对比。

表 1.3 1988 年广西、内蒙二区电厂燃煤含硫量与 SO<sub>2</sub> 排放对比<sup>(8-14)</sup>

对比省(区)	燃煤电厂(座)	总装机容量(万 kW)	年耗煤量(万 t)	S <sub>v</sub> % (平均值)	年 SO <sub>2</sub> 排放量(万 t/年)	年 SO <sub>2</sub> 超排放率(%)
广西	4	63.9	422.4	3.91	23.2	64.11
内蒙	6	101	433.5	1.13	8.3	27.02
对比(%)	66.7	63.3	97.4	346	280.7	237.3

注：表中 S<sub>v</sub>% 系 1987 年平均值，与 1988 年相比波动不大。

从表 1.3 可见，广西电厂少，装机容量小，燃煤也略少，但因燃用高硫煤，结果 SO<sub>2</sub>