

燃煤电厂脱硫的现状分析和防治对策

(东南大学动力系, 江苏 南京 210096) 顾念祖

摘要: 简述了燃煤电厂排放的二氧化硫现状和发展趋势。随着电力工业的发展, 对环境保护也采取了相应的措施。最后, 讨论了减少脱硫费用应采取的治理对策。

关键词: 二氧化硫; 燃煤电厂; 脱硫; 环境污染

中图分类号: TK16 文献标识码: A

1 燃煤发电对环境产生的污染

我国的能源消费以煤为主, 1995年煤炭产量为12.8亿t。预测到2000年、2010年、2020年, 我国煤炭产量将分别达到14亿t、23亿t和30亿t。煤炭在为工农业生产和人民生活提供丰富能源的同时, 也成为我国环境污染的主要污染源。

我国的环境形势非常严峻, 烟尘、粉尘、SO₂、NO_x以及由此而产生的酸雨等对大气环境造成了极大的危害, 酸雨面积已超过国土面积的29%。

燃煤电厂是煤炭的主要用户, 由于电能在使用上有比其它能源有无可比拟的优越性, 以及从节能的观点出发, 应从能源发展

战略上考虑将供各种工业和生活锅炉及民用所消耗的煤转化为电能, 逐步达到先进产煤国家80%的煤用于发电的水平。据统计, 1991年全国SO₂排放量1622万t, 燃煤电厂排放460万t, 占排放总量的28.4%。1995年全国SO₂排放量达到2370万t, 燃煤电厂排放的SO₂约占排放总量的30%。2000年, 预计燃煤电厂煤消费量为5.4亿t, 预测排放SO₂量为1100万t, 全国预测SO₂排放总量为2163万t, 燃煤电厂排放SO₂占总排放量的50.86%。

根据我国电力工业“九·五”发展目标, 到本世纪末, 总装机容量为3亿kW, 年发电量为1.4亿kW·h。燃煤电厂带来的大气污染问题是我国可持续发展必须解决的一个现实问题, 因此, 燃煤电厂的发展要和环境保护密切结合, 加快开发煤炭洁净燃烧技术, 积极开发可替代煤的清洁能源, 例如, 核电、水电、太阳能、风能、地热能及生物质能等, 特别是发展水电和核电, 将会对减少SO₂排放作出较大贡献。

2 脱硫的分类和方法

二氧化硫的治理可分为燃烧前、燃烧中和燃烧后进行三大类。燃烧前是指对燃料进行处理, 如洗煤、气化、液化等; 燃烧中是指炉内脱硫, 如流化床燃烧脱硫、炉内喷钙脱硫、型煤固硫和利用脱硫添加剂等; 燃烧后脱硫即指烟气脱硫, 目前国内外采用的脱硫技术中, 主要采用的方法仍然是烟气脱硫。

发电用原煤在我国原煤消耗中的比例在1986年之前大致占20%, 目前已增加到30%, 估计2010年可达40%。发电用煤几乎都是采用煤粉燃烧方式, 因为煤粉燃烧方式能使燃烧效率达到98%~99%以上, 设备投资相对较小, 对煤种适应性强, 技术上成熟。

当前实用的脱硫技术主要有三种: 湿式石灰石/石膏法(湿法), 喷雾干燥脱硫法(半干法), 炉内喷钙/增湿活化法(干法)。三种脱硫方法的比较见表1。

除表1中所列外, 还有德国政府贷款的三个技术脱硫项目。

表1 三种脱硫方法技术经济指标的比较

技术经济指标	石灰石/石膏法	喷雾干燥法	炉内喷钙/增湿活化法
脱硫投资占电站总投资(%)	10~20	10~15	8~10
烟气脱硫率(%)	ca/s=1.5时, ≥90	ca/s=1.5~1.6时, 80~90	ca/s=2时, 50~80
钙利用率(%)	>90	40~45	35~40
运行费用	高	中等	较低
设备占地面积	大	较大	小
适用范围	1. 含硫量中、高煤 2. 不宜用于已建成电站改造	1. 含硫高、中、低煤 2. 条件适合时可用于已有电站改造	1. 含硫量低的煤 2. 宜用于已有电站改造
是否需烟气再循环	喷淋后, 烟气温度降到约50℃, 需装设烟气再循环	可控制喷雾塔后的烟气温度约75℃, 烟气可不需再加热	控制喷水增湿后的干烟气温度约75℃, 烟气可不需再加热
目前国际上的成熟度和应用情况	完全成熟, 已应用30年, 90%的电站烟气脱硫用此法	最近已成熟, 已应用相当数量的电站	已接近成熟, 到1993年已有5台先后投入运行
国内应用情况	从日本引进二套重庆珞璜电厂360MW1992年投运	日本援助山东黄岛电厂210MW; 四川白马电厂125MW的1/4烟气量工业性试验	1998年一台机组已投运。(引自芬兰)

3 脱硫的费用

为了使燃煤发电产生的二氧化硫总量得到控制, 就必须对位于酸雨控制区、二氧化硫污染控制区的燃煤电厂, 逐步安装脱硫设备。

根据电力工业发展规划, 2000年火电装机容量将达2亿kW, 年用煤量将达 5.4×10^8 t, 届时二氧化硫将达1100万t, 预计将有 1×10^7 kW左右的机组要安装脱硫设备。1996年电力工业计划投资总规模为962.6亿元, 完成大中型投产装机1281.49万kW, 平均1kW的投资费为7511.6元。若以安装脱硫设备的投资占电厂总投资10%计, 则 1×10^7 kW的机组安装脱硫设备需75.12亿元。如每年增加火电装机容量均为 1×10^7 kW, 则每年增加脱硫设备的投资至少为75.12亿元。除增加脱硫设备的投资外, 还有运行费用也很可观: 如四川重庆珞璜电厂从日本引进的 2×360 MW的机组, 年运行费为4

000万元, 而且还使电厂的供电效率下降1个百分点, 如以年运行6500小时, 折合为0.0855元/(kW·h)。因而对于发展中国家来说, 石灰石/石膏法烟气脱硫系统往往是令人生畏地可望而不可及。即使以运行费用为0.05元/(kW·h), 年运行6500小时, 每年增加的 1×10^7 kW的火电机组的运行费用也高达32.5亿元。如将2000年年发电量1.4亿kW·h, 按平均脱硫的运行费0.05元/(kW·h)计算, 燃煤发电量为8千亿kWh时, 脱硫的运行费就高达400亿元。

4 减少脱硫费用的对策和途径

4.1 逐步改变一次能源以煤为主的能源战略

中国、南非、波兰和朝鲜是当今世界上煤炭消耗比重超过70%的4个国家, 其它3国正在改变其以煤为主的能源战略。我国在短期内改变以煤为主的能源结构是不可能的, 也是不现实的。

但从长远发展战略考虑, 为了缓解燃煤带来的环境污染, 提高国民经济运行的总体效益和人民的生活质量, 应有计划有步骤的逐步改变一次能源以煤为主的能源战略。

大力发展水电、核电和风力发电等发电方式是改变以煤为主能源结构的必由之路。

我国水力资源蕴藏量为680GW, 可供开发的为380GW, 居世界首位。水电是无SO₂排放、可再生的能源。

用核电来替代燃煤是减少SO₂排放的有效途径, 对目前人们最担心的核电安全问题, 理论和运行实践证明是安全可靠的。中长期将成为我国的主要能源之一。从1980年到1986年, 法国总发电量中核电的比例, 由24%上升到70%, 同期法国发电量增加40%, 而SO₂排放量减少56%, NO_x排放量减少9%, 烟尘排放量减少36%, 大气质量有明显改善。

(下接第115页)

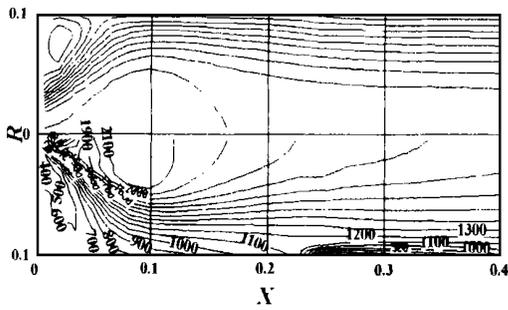


图 8 壁面后方喷注时的燃烧流场

相应变长, 中心回流区也有相似的变化。在壁面上注入蒸汽对燃

烧区最高温度的影响相对较小。在壁面上回流区后喷注蒸汽最有利, 这时蒸汽喷注可加强燃气回流, 使回流区及高温区变短, 燃烧火焰也变短, 有利于燃烧室取得好的燃烧性能^[8], 这些蒸汽在一定程度上起到了壁面空气射流的作用。

6 结论

(1) 本文建立了适于大湿度燃烧室特性分析的大湿度燃烧计算模型, 该模型可用于分析预测双工质循环大湿度燃烧室的流场特性, 尤其是其中的蒸汽分布特性。

(2) 蒸汽在燃烧室头部端面及壁面上回流区前

方注入时大部分进入高温回流区, 对回流区蒸汽浓度影响较大; 而在壁面回流区后方注入的蒸汽则基本上被吹向下游, 对回流区蒸汽浓度影响不大。

(3) 不同的蒸汽喷注方案对燃烧流场特性影响造成不同影响。在燃烧室头部端面上喷注蒸汽将使燃烧区的燃烧温度降低; 在壁面回流区后注入蒸汽, 可使高温区及回流区变短, 较有利于燃烧室取得好的性能。

参考文献

- [1] Tuzson J. Status of steam-injected gas turbines. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 1992, 114(3): 682.
- [2] 闻雪友, 魏应新. PG536ISTIG 装置. *热能动力工程*, 1992, 7(4): 169.
- [3] 胡宗军, 吴铭岚. 注蒸汽燃气轮机最佳注汽量的研究. *热能动力工程*, 1998, 13(4): 257.
- [4] 向征涛. 炉内流动与辐射的数值研究: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 1985.
- [5] 范维澄, 万跃鹏. *流动及燃烧的模型与计算*. 合肥: 中国科学技术出版社, 1992.
- [6] 陶文铨. *数值传热学*. 西安: 西安交通大学出版社, 1988.
- [7] 董景山, 李敬. *流体热物理性质的计算*. 北京: 清华大学出版社, 1982.
- [8] 焦树建. *燃气轮机燃烧室*. 北京: 机械工业出版社, 1981.

(何静芳 编辑)

(上接第 92 页)

4.2 依靠科技进步, 节能降耗, 减少 SO₂ 排放

以 300 MW、600 MW 等大型、特大型机组为主, 逐步淘汰低效高耗的中低压机组, 如 1 kW^h 的煤耗 2000 年比 1990 年降低 60 g 标准煤, 仅此一项可节约标准煤 6 600 万 t 左右, 减少 SO₂ 排放量 180 万 t。

4.3 煤炭的清洁使用和发展洁净煤技术

我国是一个以煤为主要能源的国家, 即使再过半个世纪, 煤炭在我国一次能源中的比例仍将不低于 40%。因此, 煤炭的洁净使用和发展洁净煤技术在未来我国可持续发展中将占有举足轻重的地位。我国是发展中国家, 面临经济建设的任务很重, 不可能拿出大量的资金用于环境治理。为此, 发展洁净煤技术应遵循技术上的可行性与经济上的合理性。

此项主要有煤炭的洗选加工; 工业与民用型煤; 限制高硫煤开采与使用; 煤炭气化、液化; 水煤浆; 循环流化床燃烧 (CFBC); 煤气化联合循环发电 (IGCC); 增压流化床联合循环发电 (PFBC) 等。

4.4 开发适合我国国情的烟气脱硫技术

4.5 大力研究和推广有利于提高我国综合能源利用效率, 如峰谷电价、冰蓄冷技术、抽水蓄能、超导电感储能等。

参考文献

- [1] 中国环境科学学会编. *脱硫技术*. 中国环境科学出版社, 1995.
- [2] 国家环境保护局. *电力工业废气治理*. 中国环境科学出版社, 1993.
- [3] 国家环境保护局. *燃煤固硫、烟气脱硫技术与酸雨研究*. 科学出版社, 1992.
- [4] 周宇伟, 钱垂喜. 我国主要燃煤电厂 SO₂ 生成量的现状及其预测. *热力发电*, 1994(1).
- [5] 曾汉才. *燃烧与污染*. 华中理工大学出版社, 1992.
- [6] 张新生, 李长春, 李光霞. *燃煤烟气脱硫*. 中国地质大学出版社, 1991.

(复 编)

压气机湿压缩研究的发展 = **New Developments Concerning the Study of Compressor Wet Compression** [刊, 汉] / Liu Jiancheng, Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 87 ~ 90

Wet compression as an approach for enhancing turbine compressor efficiency has been receiving increasing attention nowadays. This paper focuses on recent developments concerning the wet compression theory both at home and abroad. **Key words:** compressor, wet compression, water spray

燃煤电厂脱硫的现状分析和防治对策 = **An Analysis of the Current Status of Coal-fired Power Plant Desulfurization Technology and Some Measures Taken for its Further Advancement** [刊, 汉] / Gu Nianzu (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, — 2000, 15(2). — // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 91 ~ 92, 115

A brief description is given of the present status of SO₂ emissions by coal-fired power plants and its development tendency. With the further development of power industry relevant measures have been taken to address the issue of environmental protection. Also discussed in this paper are some countermeasures adopted to reduce the desulfurization costs. **Key words:** sulfur dioxide, coal-fired power station, desulfurization, environmental pollution

绿色供暖(空调)系统 = **Green Heat Supply (Air Conditioning) System** [刊, 汉] Song Zhiping (North China Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 93 ~ 97
This paper introduces a new technical term, “green heat supply (air conditioning) system”, i. e., “low-emission heat-supply total energy system”. It is hoped that the coining of this technical term will render some help in implementing a sustainable development strategy from the perspective of heat supply and air conditioning. To scientifically delimit and quantify the category of green heat supply (air conditioning) system, the paper describes the conception of a reversible heat supply system and the theory and methodology of “unit consumption analysis” designed by the author. On this basis the characteristics essential for the above-cited system are designated. Furthermore, in connection with the specific conditions of a certain locality a technical scheme has been proposed to implement the system. The performance indexes of the system have been calculated. In addition to an analysis of the system’s technical and economic feasibility other related issues are also discussed and studied in this paper. **Key words:** heat supply system, air conditioning system, sustainable development, combined heat-and-electricity cogeneration

考虑生态效应的能量系统三重优化分析方法 = **A Triple Optimal Analysis-method Used for an Energy System with Ecological Effects Being Taken into Account** [刊, 汉] Liu Shiqiang, Yang Yunshun (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 98 ~ 99

By incorporating an item of total expenses of environmental protection into the energy cost equation of the existing thermoeconomics one can perform a quantitative analysis in thermoeconomics with ecological effects being taken into account. On the above basis the authors have come up with a triple optimal analysis-method. **Key words:** thermoeconomics, energy system, optimal analysis

热声热机及其应用 = **Thermoacoustic Engines and Their Applications** [刊, 汉] / Dong Kaijun, Luo Yunwen (Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 100 ~ 103

Due to their outstanding merits thermoacoustic engines have received a widespread attention from the general public. Described in this paper are the basic structure of the engine as well as the mechanism and conditions of a thermoacoustic conversion. In addition, a brief account is given of the present status of the thermoacoustic engine applications, its future development trends and further measures to be taken for its improvement. **Key**