

# 运用 ISC3 模型模拟电厂脱硫后的大气环境影响

薛志钢<sup>1</sup>, 柴发合<sup>2</sup>, 段 宁<sup>2</sup>, 陈义珍<sup>2</sup>

(1. 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

**摘要:** 运用美国 ISC3 模型对北京京丰热电有限责任公司现状及采用电子束氨法烟气脱硫后的 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 排放对环境空气质量的影响进行了模拟。结果表明: 该公司现状 SO<sub>2</sub> 排放的主要受影响地区在丰台西部和房山北部, 石景山和门头沟南部局部地区也受到一定影响, 对老城区的影响很小, SO<sub>2</sub> 年均质量浓度最大值为 6.10 μg/m<sup>3</sup>, 占二级标准的 10.2%, NO<sub>x</sub> 的影响区域与 SO<sub>2</sub> 相似, 年均质量浓度最大值为 4.27 μg/m<sup>3</sup>, 占二级标准的 5.3%; 采用电子束氨法脱硫技术后, 燃煤含硫量分别为 0.79%、2% 和 0.5% 的情况下, SO<sub>2</sub> 年均质量浓度最大值分别降到 0.86、2.17、0.55 μg/m<sup>3</sup>, 比现状降低了 86%、64%、91%, NO<sub>x</sub> 年均质量浓度最大值降到了 3.42 μg/m<sup>3</sup>, 比现状降低了 20%。

**关键词:** 电子束氨法烟气脱硫; 环境影响; 模拟

中图分类号: X823.03 文献标识码: A 文章编号: 1001-6929(2003)05-0062-03

## Applying ISC3 Model to Simulate the Atmospheric Environmental Impact of Power Plant after Desulfurization

XUE Zhi-gang<sup>1</sup>, CHAI Fa-he<sup>2</sup>, DUAN Ning<sup>2</sup>, CHEN Yi-zhen<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** The authors apply the ISC3 model to simulate the atmospheric environmental impact of Beijing Jingfeng Heat Power Ltd. before and after using electron beam ammonia flue gas desulfurization (EA-FGD). It is shown that western Fengtai and northern Fangshan are the main zones impacted by air pollutants emitted by the plant and some places in the south of Shijingshan and Mentougou are also impacted by the plant while the impact on old districts of the city is slight. The maximal annually averaged mass concentration of SO<sub>2</sub> is 6.10 μg/m<sup>3</sup>, which is 10.2% of the Class II standard. The maximal annually averaged mass concentration of NO<sub>x</sub> is 4.27 μg/m<sup>3</sup>, which is 5.3% of the Class II standard. After using EA-FGD, under the coal sulfur content of 0.79%, 2% and 0.5%, the maximal annually averaged mass concentration of SO<sub>2</sub> will respectively decrease to 0.86, 2.17 and 0.55 μg/m<sup>3</sup>, or 86%, 64% and 91% less than the current values. The maximal annually averaged mass concentration of NO<sub>x</sub> will decrease 3.42 μg/m<sup>3</sup>, which is 20% less than the current value.

**Key words:** EA-FGD; environmental impact; modeling

为了改善首都北京的环境空气质量, 确保 2008 年奥运会的成功举办, 从 1998 年底开始, 北京市人民政府先后下达了 8 个阶段的大气污染控制措施。2002-01-07, 北京市发布了《锅炉污染物综合排放标准》(DB11/139-2002), 并已于 2002-03-01 开始执行。对各类锅炉的污染物排放提出了更加严格的要求。北京京丰热电有限责任公司准备采用电子束氨法烟气脱硫技术(简称 EA-FGD)对该公司的 SO<sub>2</sub> 排放进行深度治理。

该厂年耗煤量 45.65 万 t, 燃煤平均含硫量为 0.79%, 年排放二氧化硫 6 131 t, 二氧化硫年均排放质量浓度为 1 767 mg/m<sup>3</sup>, 超过了新颁布的北京市锅炉大气污染物排放标准<sup>[1]</sup>。电子束氨法烟气脱硫的效率为 90%, 同时可以脱除一定量的 NO<sub>x</sub>, 脱除

效率是 20%, 笔者应用空气质量模型模拟北京京丰热电有限责任公司脱硫前后的 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 质量浓度贡献值。

## 1 研究方法

### 1.1 模型介绍

采用美国环保局推荐使用的 ISC3(Industrial Sources Complex Short Term Version 3)大气污染扩散模型。该模型是基于统计理论的正态烟流模式, 使用的公式为目前广泛应用的稳态封闭型高斯扩散方程。主要用于计算包括点源、面源、体源、线源和开放源的各种工业源排放的 SO<sub>2</sub>、TSP、PM<sub>10</sub>、NO<sub>x</sub> 和 CO 等污染物在环境空气中的浓度。该模型可处理各种烟气抬升和扩散过程, 如静风条件、风廓线指数、城/乡扩散、沉积和沉降等, 还可处理烟囱顶端尾流、城市建筑对点源排放的尾流作用, 并考虑城市线源、面源的初始扩散尺度。该模型可模拟各类污染源排

出的污染物在各种气象条件和下垫面条件下的扩散稀释规律，其中包括污染物自源排放后的输送、湍流扩散、抬升和各种转化、迁移与清除过程以及这些条件下环境空气中的污染物浓度。

该模型考虑了 SO<sub>2</sub> 在空气中转化为硫酸盐带来的浓度损失，这种损失在模型中以指数衰减的形式表示，通常在城市地区进行模拟时 SO<sub>2</sub> 指数衰减的半衰期取 4 h。对于其他大气污染物，ISC3 目前的版本尚未考虑其在空气中的化学转化。模拟时段包括年平均、日平均和逐时浓度，模型适用于极坐标、直角坐标下的各种受体网络。模型采用逐时气象数据，来确定气象条件对烟流抬升、传输和扩散的影响<sup>[2-3]</sup>。

1.2 模拟范围

选取北京市 60 km×51 km 的范围，模拟北京京丰热电有限责任公司脱硫前后的大气污染物排放对环境空气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 的浓度贡献值，该范围包括了北京 8 个城近郊区和昌平、顺义、通州、大兴、房山、门头沟等远郊区的部分地区。

1.3 情景设计

北京京丰热电有限责任公司目前装机总容量为 150 MW(1×50 MW+1×100 MW)，尚未采取脱硫措施。结合该厂实际情况和北京市的环保要求，提出了电子束氨法烟气脱硫的治理方案，电子束氨法烟气脱硫效率达 90%，脱除 NO<sub>x</sub> 的效率达 20%。根据电厂燃煤量、燃煤含硫量、脱硫效率以及电子束氨法烟气脱硫的相关工艺参数，结合电厂烟气排放量和 SO<sub>2</sub> 质量浓度的实测数据，得出电厂现状和烟气脱硫后的 SO<sub>2</sub> 排放量和质量浓度；根据电厂烟气排放量和 NO<sub>x</sub> 质量浓度的实测数据、NO<sub>x</sub> 脱除效率以及脱硫工艺的相关参数，得到电厂现状和烟气脱硫后的 NO<sub>x</sub> 排放量和质量浓度，如表 1 所示。表 1 中考虑到电厂今后的燃煤含硫量，分别按燃煤含硫量为 0.79%、2% 和 0.5% 3 种情况设置了控制情景 1、2、3。由于调节塔中加入了用于冷却烟气的雾化水、反应器中加入了氨气同时还有漏入的空气，导致烟气量由脱硫前的 630 916 m<sup>3</sup>/h 增加到了 704 188 m<sup>3</sup>/h。

表 1 不同情景下电厂的排污状况

Table 1 The air pollutants emissions of the power plant in different scenarios						
情景	燃煤含硫量/ %	烟气排放量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	排放量( kg·h <sup>-1</sup> )质量浓度( mg·m <sup>-3</sup> )			
			SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
现状	0.79	630 916	1 115	757	1 767	1 200
控制情景 1	0.79	704 188	111.5	606	158	860
控制情景 2	2	704 188	282	606	401	860
控制情景 3	0.5	704 188	71	606	100	860

1.4 污染源参数的选取

根据各控制情景的污染物排放状况得出该次模拟的污染源参数，见表 2。

2 结果与讨论

运用 ISC3 模型，采用北京市逐时气象资料，模拟北京京丰热电有限责任公司对北京市 60 km×51 km 范围环境空气中

表 2 污染源参数表

Table 2 The air pollution source parameter						
情景	烟囱高度/m	烟囱口径/m	出口烟温/K	出口烟速/( m·s <sup>-1</sup> )	排放量( g·s <sup>-1</sup> )	
					SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
现状	150	3.7	392	24.8	309.7	210.3
控制情景 1	150	3.7	343	22.9	31.0	168.3
控制情景 2	150	3.7	343	22.9	78.3	168.3
控制情景 3	150	3.7	343	22.9	19.7	168.3

SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 的质量浓度贡献值，如图 1、2 所示。应该说明的是，NO<sub>x</sub> 在空气中很活跃，影响因素也十分复杂，但是研究单个污染源的大气环境影响时，又不可能把整个区域的 O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>、VOC 等污染物排放全部考虑在内，况且 ISC3 目前的版本还没有考虑空气中的光化学氧化反应，因此暂且将 NO<sub>x</sub> 作为稳定的物质考虑，这样计算的浓度贡献值应该明显高于实际情况，但是仍可以作为分析该公司 NO<sub>x</sub> 环境影响的依据。

如图 1，电厂现状大气污染物排放情况下，预测范围内 SO<sub>2</sub> 年均质量浓度最大值为 6.10 μg/m<sup>3</sup>，低于空气质量二级标准，占二级标准的 10.2%；日均质量浓度最大值为 54.50 μg/m<sup>3</sup>，低于空气质量二级标准，占二级标准的 36.3%。主要受影响地区在丰台西部和房山北部，SO<sub>2</sub> 质量浓度贡献值达 2 μg/m<sup>3</sup> 以上，石景山和门头沟南部局部地区也受到一定影响，SO<sub>2</sub> 质量浓度贡献值达 1 μg/m<sup>3</sup> 以上，对老城区的影响很小，低于 0.4 μg/m<sup>3</sup>。

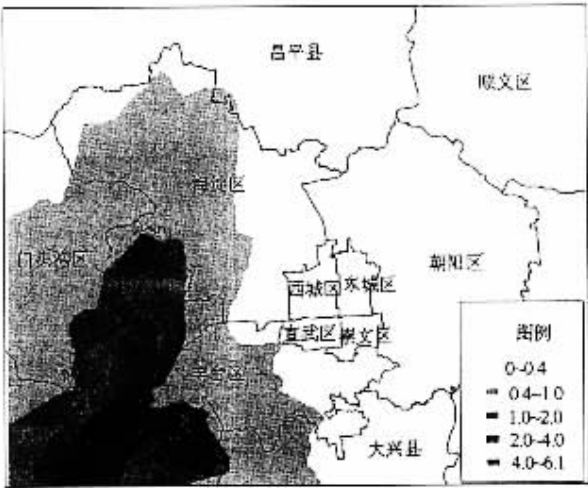


图 1 电厂现状排放对全市 SO<sub>2</sub> 年均质量浓度( μg/m<sup>3</sup> )的贡献

Fig.1 The current SO<sub>2</sub> annually averaged mass concentration( μg/m<sup>3</sup> )caused by the power plant

控制情景 1、2、3 情况下，预测范围内 SO<sub>2</sub> 年均质量浓度最大值分别为 0.86、2.17、0.55 μg/m<sup>3</sup>，远低于空气质量二级标准，仅占二级标准的 1.4%、3.6%、0.9%；日均质量浓度最大值分别为 6.20、15.67、3.94 μg/m<sup>3</sup>，远低于空气质量二级标准，仅占二级标准的 4.1%、10.4%、2.6%。3 种控制情景下，SO<sub>2</sub> 年均质量浓度最大值分别比现状降低了 86%、64%、91%。SO<sub>2</sub> 年均质量浓

度贡献值地理分布与现状情况相似。

如图 2, 电厂现状大气污染物排放情况下, 预测范围内  $\text{NO}_x$  年均质量浓度最大值为  $4.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 低于空气质量二级标准, 占二级标准的 5.3%; 日均质量浓度最大值为  $37.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 低于空气质量二级标准, 占二级标准的 31.1%。主要受影响地区在丰台西南部和房山北部,  $\text{NO}_x$  质量浓度贡献值达  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以上, 石景山和门头沟南部局部地区也受到一定影响,  $\text{NO}_x$  质量浓度贡献值达  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以上, 对老城区的影响很小, 低于  $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

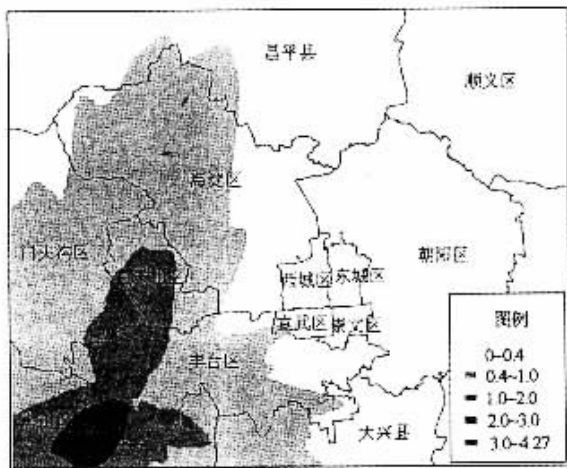


图 2 电厂现状排放对全市  $\text{NO}_x$  年均质量浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 的贡献

Fig.2 The current  $\text{NO}_x$  annually averaged mass concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) caused by the power plant

控制情景 1 2 3 情况下,  $\text{NO}_x$  的质量浓度贡献值地理分布与图 2 中的现状情况相似。预测范围内  $\text{NO}_x$  年均质量浓度最大值为  $3.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 占二级标准的 4.3%; 日均质量浓度最大值为  $29.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 低于空气质量二级标准, 仅占二级标准的 24.9%。

### 3 结论

综合以上分析, 北京京丰热电有限责任公司现状大气污染排放的主要受影响地区在丰台西部和房山北部, 石景山和门头沟南部局部地区也受到一定影响, 对老城区的影响很小,  $\text{SO}_2$  年均质量浓度最大值为  $6.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 占二级标准的 10.2%,  $\text{NO}_x$  年均质量浓度最大值为  $4.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 占二级标准的 5.3%; 采用电子束氨法烟气脱硫技术后, 燃煤含硫量分别为 0.79%, 2% 和 0.5% 的情况下,  $\text{SO}_2$  年均质量浓度最大值分别降到 0.86, 2.17, 0.55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 比现状降低了 86%, 64%, 91%,  $\text{NO}_x$  年均质量浓度最大值降到 3.42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 比现状降低了 20%。可见, 经过电子束氨法烟气脱硫后, 电厂对环境空气中  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  质量浓度的贡献值大幅降低。

### 参考文献:

- [ 1 ] 北京市环境保护局, 北京市质量技术监督局. 锅炉污染物综合排放标准[ DB11/139-2002 ] [ Z ].
- [ 2 ] EPA-454/B-95-003a. User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models, Volume I: User instructions [ Z ]. Washington: US EPA, 1995.
- [ 3 ] EPA-454/B-95-003b. User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models, Volume II: Description of model algorithms [ Z ]. Washington: US EPA, 1995.

(上接第 61 页)

- [ 4 ] McBride M B. Environmental chemistry of soils [ M ]. New York: Oxford University Press, 1994. 60-63.
- [ 5 ] 李家熙, 吴功建, 黄怀曾, 等. 区域地球化学与农业和健康 [ M ]. 北京: 人民卫生出版社, 2000. 101-105.
- [ 6 ] 鲁如坤. 土壤-植物营养学 [ M ]. 北京: 化学工业出版社, 1998. 53-58.
- [ 7 ] 宁夏国土资源 [ Z ]. 银川: 宁夏人民出版社, 1988. 11-13.
- [ 8 ] 宁夏农业勘察设计院. 宁夏土壤 [ Z ]. 银川: 宁夏人民出版社, 1988. 222-225.
- [ 9 ] 多元统计分析方法在地质中的应用 [ Z ]. 长春地质学院, 1988. 35-39.
- [ 10 ] 陆雍森. 环境评价 [ M ]. 上海: 同济大学出版社, 1999. 66-68.
- [ 11 ] 蔡以评, 杨秀全. 泉州-湄州湾地区地表环境质量地球化学评价初探 [ J ]. 物探与化探, 1991 ( 1 ) : 61-72.
- [ 12 ] 李健, 郑春江. 环境背景值数据手册 [ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988. 75-78.