

研究与探索

长三角燃煤电厂烟气脱硫对 二氧化硫污染的改善效果

程真¹, 陈长虹¹, 邱培培², 黄成¹, 黄海英¹, 李莉¹, 柴发合³

(1. 上海市环境科学研究院, 上海 200233; 2. 华东理工大学资源与环境工程学院, 上海 200237;
3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:结合 2004 年长三角地区燃煤电厂 SO₂ 排放清单以及“十一五”期间的脱硫计划, 测算了 2010 年长三角地区燃煤电厂的 SO₂ 排放量, 并利用美国 CALPUFF 模型模拟了脱硫前后大气中 SO₂ 的年均浓度变化。研究结果表明, 到 2010 年长三角地区 SO₂ 排放总量将从 2004 年的 1 850 kt 下降到 1 430 kt, 其中燃煤电厂的排放量将从 2004 年的 1 260 kt 下降到 840 kt; 电厂排在长三角地区造成的 SO₂ 年均浓度将从 11.1 μg/m³ 下降到 9.9 μg/m³, 下降比例达 11%, 受益城市广泛, 环境改善效果明显, 其中上海和宁波削减量最大, 受益亦最大。

关键词:长江三角洲地区; 燃煤电厂; 烟气脱硫; 空气质量; CALPUFF 模型

中图分类号: X501 文献标识码: A 文章编号: 1005-7439(2008)06-0318-05

Environmental Benefit Analysis of the Power Plants Desulphurization Plan in Yangtze River Delta Region

CHENG Zhen¹, CHEN Chang-hong¹, QIU Pei-pe², HUANG Cheng¹, HUANG Hai-ying¹, LI Li¹, CHAI Fa-he³

(1. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 2. School of Resources and Environmental Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;
3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: According to the power plants SO₂ emission inventory in Yangtze River Delta (YRD) region and the desulphurization plan implemented in the “Eleventh-five-year plan”, the SO₂ emission amount in 2010 was calculated. The air quality model of CALPUFF was used to predict the changes of sulfur oxygen s annual concentration in the base year of 2004 and the target year of 2010. Result shows that the SO₂ emissions will decrease from 1.85 million tons to 1.43 million tons, while the SO₂ emission amount in the power plants sector will decrease from 1.26 million tons to 0.84 million tons. As a result, the SO₂ annual concentration in YRD region caused by power plants will decrease from 11.1 μg/m³ to 9.9 μg/m³, with the descend rate of 11%. The desulphurization plan almost benefits every city in YRD region, especially Shanghai and Ningbo, which enjoy the two biggest reduction amount.

Keywords: Yangtze river delta region; Power plant; Flue gas desulphurization; Air quality; CALPUFF model

近年来, 由于经济的快速发展、煤炭消耗量剧增, 由此带来的 SO₂ 排放量增加, 已经使我国许多城市和地区面临严峻的 SO₂ 及酸雨污染。为了减少 SO₂ 和酸雨的影响, 许多学者开展了 SO₂ 及酸沉降的传输模拟研究。例如清华大学郝吉明等利用 ISC 模型评价了能源消耗对未来北京市空气质量的

影响^[1], 同时利用 CALPUFF 模型预测了 2000 年和 2008 年北京市电厂对空气质量的影响^[2]; 北京大学张远航等^[3]利用 CALPUFF 模型, 通过数值模拟和对排放源现状分析, 揭示了珠三角城市间大气污染物的相互影响; 中国环科院柴发合等^[4]采用 ISC 模型对北京某电厂的现状及脱硫后的 SO₂ 和 NO_x

排放对环境空气质量的影响进行了模拟,同时利用 A TOMS 模型对 2005 年和 2010 年全国燃煤电厂排放造成的硫沉降^[5];上海环科院陈长虹等^[6]利用 RAINS-ASIA 模型预测了“十一五”前后长三角地区的酸沉降变化。

长三角是典型的城市群聚集区,作为我国经济最发达的地区之一,能源消耗量大、污染物排放强度高、大气环境污染严重、区域性复合污染特征突出^[7]。为了减少 SO₂ 排放所造成的区域性二氧化硫和酸雨污染,江浙沪二省一市政府按国家要求已分别制定了“十一五”期间本地区燃煤电厂的烟气脱硫计划。按此计划,到 2010 年江浙沪二省一市的 SO₂ 排放量将从 2005 年的 2 750 kt 降低至 2 240 kt^[8],在保持区域经济不断增长的同时,SO₂ 排放量将减少 500 kt,削减率达到 18%。

为了解长三角地区燃煤电厂烟气脱硫后对本区域大气环境质量的改善效果,本研究利用美国 CALPUFF 空气质量模型,根据脱硫前后的源清单和气象场,模拟计算了 SO₂ 的年均浓度变化情况。

1 研究方法

本研究的对象是集中于长三角中心区域,包括江浙沪二省一市的上海、南京、苏州、无锡、常州、扬州、南通、镇江、泰州、杭州、宁波、嘉兴、绍兴、湖州和舟山共 15 个城市,研究区域东西长 544 km,南北宽 472 km,总面积近 26 万 km²,如图 1 所示。计算精度为 4 km × 4 km 网格,共有网格 118 × 136 个。

1.1 燃煤电厂 SO₂ 排放量

在 2004 年长三角 15 个城市燃煤电厂 SO₂ 排

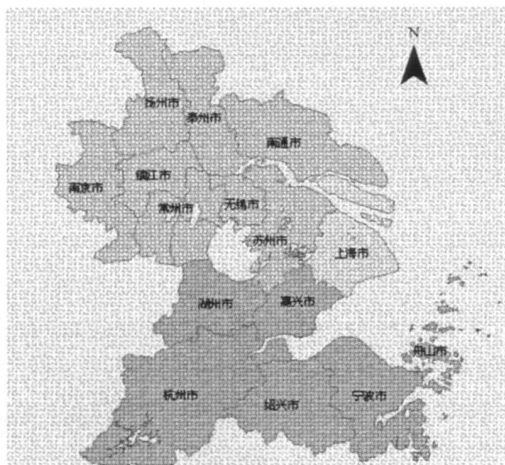


图 1 长三角 15 个城市空间位置图

放清单基础上,根据江浙沪两省一市的“十一五”燃煤电厂脱硫计划,测算 15 个城市电厂到 2010 年的脱硫量,最后计算 2010 年长三角地区燃煤电厂的 SO₂ 排放量。

1.2 气象数据

研究工作所需要的气象场来自 MM5 中尺度气象模型的模拟结果^[9],其中 MM5 的驱动场和初始场取自美国国家环境预报中心(NCEP)的全球再分析资料,包括研究区域 2004 年每天的逐时气象场。

1.3 模型选用与计算

研究选用的空气质量模型为美国 EPA 推荐的 CALPUFF 模型^[10,11],该模式基于非定常状态拉格朗日烟团扩散原理,结合时变的气象场资料,除充分考虑下垫面对污染物干湿沉降的影响外,还考虑了复杂地形的动力学效应以及静风等非定常条件,能够很好地模拟不同尺度区域的污染物扩散情景。由于模型采用多点时空变化的逐时气象场,因此模拟结果可以更真实地反映大气污染扩散的实际情况。这是一个长距离中尺度模型,适合于城市和区域尺度,已被国内外广泛采用,包括美国的伊利诺斯州^[12]、土耳其的伊兹密尔^[13]、希腊的雅典^[14]等以及我国北京^[2]和珠三角^[3]等地区的污染影响研究都曾有人采用这模型。

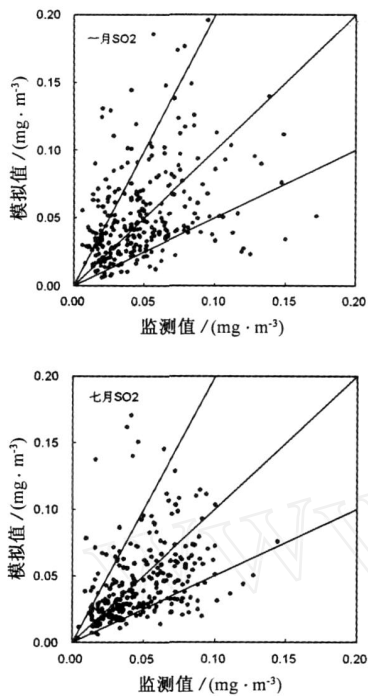
在本研究中,首先利用 CALPUFF 模拟出所有排放源在基准年(2004 年)条件下的 SO₂ 浓度场,然后把模拟结果与监测数据进行比对,根据比对结果调整模型参数使 CALPUFF 模型可以适用于长三角大气污染的传输模拟,最后利用调整好的模型模拟基准年和目标年燃煤电厂排放造成的 SO₂ 年均浓度,在此基础上定量分析烟气脱硫所取得的环境效果。

2 研究结果

2.1 CALPUFF 模型验证

两倍误差分析是检验环境空气质量模型模拟结果是否准确的方法之一,它是计量模拟值与计算值的比值落在大于 1/2 和小于 2 区间的百分数。利用长三角地区 15 个城市的污染排放清单和长三角区域外的污染排放数据,模拟了 MM5 气象场作用下,各城市监测站点的 SO₂ 日均浓度。

图 2 给出了 1 月和 7 月监测点的模拟日均值与监测值的两倍误差分析图谱。由图可见,1 月和 7 月,SO₂ 模拟值各有 68% 和 79% 落在两倍误差范围之内。

图2 SO₂ 日均模拟浓度与监测浓度对比

从总体上看,模型的模拟值与监测值基本相近,该模型的模拟结果能够反映长三角地区的大气污染传输状况,可以用来模拟燃煤电厂脱硫前后污染物浓度的变化。

2.2 燃煤电厂脱硫前后 SO₂ 排放量的变化

根据江浙沪两省一市“十一五”期间现役燃煤电厂烟气脱硫重点项目,测算长三角 15 个城市燃煤电厂脱硫削减量,计算得到的 2010 年长三角各城市燃煤电厂 SO₂ 排放量见表 1,长三角各城市燃煤电厂的空间分布见图 3。

从表 1 中可以看出,完成这些项目后长三角 15

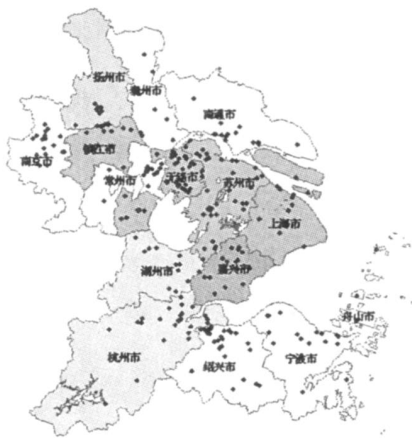


图3 长三角地区燃煤电厂空间分布图

个城市的 SO₂ 总排放量将从 2004 年的 1 261 kt 下降为 2010 年的 840 kt,削减幅度达到 33%,远高于我国其他地区,其中 SO₂ 排放量削减最大的城市是宁波、上海、镇江、南通和苏州。从城市群的布局看,这些城市的电厂实施烟气脱硫后可有效地减少整个长三角地区的硫沉降,改善因高架源排放 SO₂ 所造成区域性大气污染。

2.3 脱硫前后燃煤电厂导致 SO₂ 年均浓度的变化

(1) 长三角区域的 SO₂ 浓度变化。表 2 列出了长三角区域的燃煤电厂脱硫前后 SO₂ 年均浓度变化。由表可见,燃煤电厂导致的 SO₂ 年均浓度从脱硫前的 11.1 μg/m³ 下降到 9.9 μg/m³,下降比例达到 11%;与污染源排放下降比例为 33% 相比,通过电厂的高架烟囱输送到了长三角以外区域 SO₂ 减少了 22%,因此长三角的电厂脱硫对区域外 SO₂ 浓度的下降也将产生显著作用。区域内高浓度网格的数量将明显减少,浓度显著降低,污染严重的区域将大幅减少。

表 1 “十一五”前后长三角各城市燃煤电厂 SO₂ 排放量变化

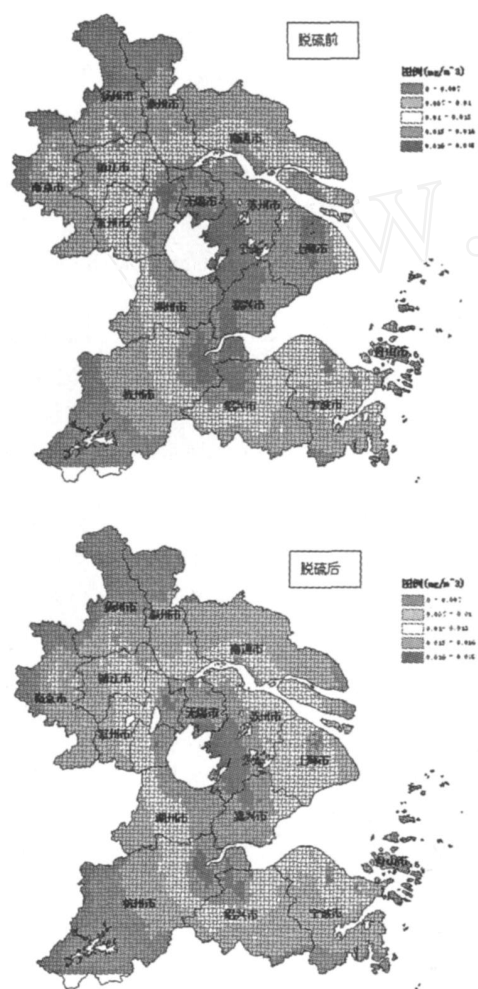
排序	城市	2004 / kt	2010 / kt *	减排量 / kt	削减率 / %
1	镇江	71.8	27.0	44.8	62.0
2	宁波	236.3	93.4	142.9	60.0
3	南通	64.9	31.7	33.2	51.0
4	舟山	17.3	8.6	8.7	50.0
5	上海	244.8	134.4	110.4	45.0
6	扬州	53.3	36.5	16.8	32.0
7	苏州	164.5	133.1	31.4	19.0
8	无锡	83.4	67.7	15.7	19.0
9	南京	79.2	68.0	11.2	14.0
10	常州	39.6	34.2	5.4	14.0
11	泰州	19.0	19.0	0.0	0.0
12	嘉兴	41.6	41.6	0.0	0.0
13	绍兴	49.2	49.2	0.0	0.0
14	湖州	43.7	43.7	0.0	0.0
15	杭州	52.7	52.7	0.0	0.0
总计		1 261.1	840.6	420.5	33.0

*: “十一五”现役燃煤发电机组烟气脱硫重点项目表。

由图 4 可见,脱硫前污染较严重的区域集中于环太湖的苏州、无锡、嘉兴和杭州东北部、绍兴西北部及上海中心城区,脱硫后虽然这些区域的污染仍然较重,但污染面积和浓度值都有大幅下降;可见“十一五”规划对这些区域的 SO₂ 浓度下降起到了显著作用。

表2 “十一五”前后长三角区域 SO₂ 年均浓度变化

位置	2004 年脱硫前		2010 年脱硫后		下降比例 / %
	浓度	网格数	浓度	网格数	
长三角网格平均	11.1		9.9		11.0
网格浓度最大值	44.8		43.7		2.0

图4 长三角地区脱硫前后 SO₂ 年均浓度分布图

(2) 长三角各城市的 SO₂ 浓度变化。在分析各城市的 SO₂ 年均浓度变化时,划分了城市平均和中心城区两种尺度。城市平均是指该城市行政区划内包含的所有网格的平均浓度,包括城市的市区、郊区等;中心城区是指该城市人口密集的市中心区域。本研究中设定该城市所有大气监测站所在的网格为市中心城区。

表3列出了各城市受电厂影响的 SO₂ 浓度在“十一五”前后的变化情况。由表可见“十一五”后 SO₂ 污染改善较显著的城市有上海、舟山、南通、宁

波等,SO₂ 浓度降低幅度均超过 10%。这几个城市也是污染源削减幅度较大的城市,只有镇江由于地理位置和气象的原因,浓度下降比例没有和排放削减成正比。由表3可见,对中心城区而言,改善幅度最大的是上海、舟山和宁波,分别下降了近 30%、16%和 11%,其他城市亦将普遍受益。与城市平均值比较可见,除上海外,其他城市的中心城区 SO₂ 浓度下降比例都小于各自的城市下降比例。

表3 “十一五”前后长三角各城市的 SO₂ 年均浓度变化

城市	城市平均			中心城区		
	年均浓度 / (μg · m ⁻³)		下降比例 / %	年均浓度 / (μg · m ⁻³)		下降比例 / %
	脱硫前	脱硫后		脱硫前	脱硫后	
常州	12.4	11.6	6.8	19.5	18.7	3.9
杭州	9.1	8.1	10.8	18.7	17.4	6.9
湖州	12.8	11.8	8.3	14.4	13.3	7.5
嘉兴	15.9	14.2	10.3	19.1	17.5	8.1
南京	8.4	7.5	10.3	12.7	11.8	7.3
南通	10.1	8.8	12.9	14.3	13.1	8.5
宁波	10.5	9.2	12.1	13.2	11.7	11.2
上海	14.2	11.1	21.8	19.7	14.0	29.1
绍兴	11.6	10.5	9.3	15.5	14.3	7.4
苏州	16.0	14.8	7.4	30.2	29.1	3.6
泰州	8.4	7.8	7.9	9.3	8.7	6.5
无锡	14.9	14.0	5.9	18.5	17.7	4.6
扬州	7.2	6.5	8.9	13.5	12.9	4.7
镇江	10.8	10.0	7.0	11.8	11.1	5.5
舟山	7.2	6.0	16.8	7.8	6.5	16.3

3 结论

(1) 按照“十一五”规划全国 SO₂ 排放总量降低 10% 的总目标,江浙沪两省一市根据国家要求制定了各省市“十一五”期间燃煤电厂的脱硫计划。测算结果显示,假定其他排放源不变,长三角地区 15 个城市燃煤电厂烟气脱硫后,SO₂ 排放总量将从 2004 年的 1 850 kt 下降到 2010 年的 1 430 kt,其中电厂排放将从 2004 年的 1 260 kt 下降到 840 kt。

(2) 模拟结果表明,燃煤电厂烟气脱硫后,2010 年电厂排在长三角地区造成的 SO₂ 年均浓度将比 2004 年降低 11%,受益城市广泛,环境改善效果明显,其中上海和宁波削减量最大受益亦最大。

(3) 尽管“十一五”期间长三角地区电厂的 SO₂ 排放量削减了 33%。但燃煤电厂的排放仅仅是构

成大气中 SO₂ 的众多排放源之一,燃煤电厂烟气脱硫后,如何继续改善长三角地区的环境空气质量将在很大程度上取决于电厂之外的污染源排放控制,尤其是大型工业污染源的排放削减与控制,只有多管齐下才能更加显著地降低长三角空气中 SO₂ 的污染。

参考文献:

- [1] 李林,郝吉明.北京市能源利用对空气质量的影响分析和预测[J].中国环境科学,2005,25(6):746-750.
- [2] Jiming Hao, Litao Wang, Minjia Shen, et al. Air quality impacts of power plant emissions in Beijing [J]. Environmental Pollution, 2007, 147(2):401-408.
- [3] 王淑兰,张远航.珠江三角洲城市间空气污染的相互影响[J].中国环境科学,2005,25(2):133-137.
- [4] 薛志钢,柴发合,段宁,等.运用 ISC3 模型模拟电厂脱硫后的大气环境影响[J].环境科学研究,2003,16(5):62-64.
- [5] 施建华,段宁,柴发合,等.中国“十一五”燃煤电厂排放造成的硫沉降预测分析[J].华东电力,2007,35(4):5-8.
- [6] 彭玲,陈长虹,黄成,等.“十一五”脱硫计划实施前后长三角地区的硫沉降变化[J].环境污染与防治,2007,29(10):793-797.
- [7] Wang T, Cheung V T F, Anson M, et al. 2001. Ozone and related gaseous pollutants in the boundary layer of eastern China: overview of the recent measurements at a rural site [J]. Geophysical Research Letters, 28(12):2373-2376.
- [8] 国家环境保护总局.国务院关于“十一五”期间全国主要污染物排放总量控制计划的批复[EB/OL].http://www.sepa.gov.cn/law/fg/gwyw/200611/t20061117_96183.htm.
- [9] 长江三角洲环境保护规划编制技术组.长三角大气污染输送研究[R].上海:上海市环境科学研究院,2007.
- [10] Joseph S Scire, Francoise R Robe. A user's guide for the CALMET meteorological model [EB/OL].http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm, 2001-11-03.
- [11] Joseph S Scire, David G Strimaitis. A user's guide for the CALPUFF dispersion model [EB/OL].http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm, 2001-11-03.
- [12] Jonathan I. Levy, John D. Spengler, Dennis Hlinka, et al. Using CALPUFF to evaluate the impacts of power plant emissions in Illinois: model sensitivity and implications [J]. Atmospheric Environment, 2002,36(6):1063-1075.
- [13] Tolga Elbir. Comparison of model predictions with the data of an urban air quality monitoring network in Izmir, Turkey [J]. Atmospheric Environment, 2003,37(15):2149-2157.
- [14] Protonotariou A. Evaluation of CALPUFF modelling system performance: an application over the Greater Athens Area, Greece [J]. International Journal of Environment and Pollution, 2005,24(1):22-35.

(上接第 317 页)

油、天然气交易管理中心等配套设施。这些一次能源供应平台和配套设施将服务于地区一次能源供应,有利于地区能源供应安全。

4 落实一次能源供应安全措施的建议

为保证长江三角洲地区一次能源供应安全,建议两省一市政府采纳如下措施。

(1) 在科学发展观指导下,弱化行政区划限制,强化经济一体化概念,从全局出发,科学合理地制定本地区一次能源发展战略和供应平台建设规划。

(2) 组织区内一次能源资源和市场调查,预测地区中长期市场需求,研究制定资源调度分配原则和交易规则,研究制定相关的管理办法;协调与推动地区煤炭、石油、天然气和电力交易市场建设,充分

发挥市场的作用,合理配置与优化一次能源供应,达到优势互补、互利共赢。

(3) 协调铁路、水陆和陆路交通运输部门,加强沿海、沿江、沿京杭运河的运输通道和港口建设,加强煤炭中转、集散地和交易市场建设,保障一次能源运输通道的畅通。

(4) 瞄准国际能源市场,积极引进石油、天然气等优质能源资源,合理引进国外的煤炭资源,加快 LNG 接收项目的启动与建设,力求地区一次能源供应多元化。

(5) 政府应高度重视,推进石油战略储备与商业储备相结合,扩大石油、天然气的储备能力和储备量,以上海为中心,形成南北对置供油和供气格局,确保油气供应的安全。