

山西省燃煤电厂二氧化硫减排对硫沉降的影响分析

南少杰^{1,2} 梁美生¹ 段宁² 柴发合² 许亚宣²

(1. 太原理工大学环境科学与工程学院, 山西 太原 030024; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:采用 ATMOS 长距离传输模型,对 2006—2007 年山西省燃煤电厂通过关停小机组及增设脱硫设施所减少的 SO₂ 排放量进行数值模拟,并基于地理信息系统,分析了整个模拟范围内的总 S 沉降和干/湿 S 沉降分布特点,探讨了关停小机组及增设脱硫设施减少 SO₂ 排放量的效果。结果表明:2006—2007 年山西省燃煤电厂装机容量增加,但 SO₂ 排放及其导致的 S 沉降量持续下降,表明二氧化硫减排效果非常明显。

关键词:燃煤电厂;减排;硫沉降;数值模拟

中图分类号:X502 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-503X(2009)03-0044-04

1 引言

二氧化硫污染环境,破坏生态系统,而酸沉降能够对陆地、水生生态系统造成多方面的影响,其环境效应跨国界及跨区域,已成为全球重大的区域性环境问题^[1],成为制约世界各国经济发展的重要因素。我国近年来经济飞速发展,能源消耗超常规增长,煤炭消费量猛增,酸雨及二氧化硫污染形势严峻。“十五”期间,我国通过关停小火电机组,新建脱硫设施项目等措施使城市空气二氧化硫污染状况有所改善,酸雨恶化趋势得到了一定的控制。2006 年我国关停小火电 291 万 kW,增设脱硫机组 5 194 万 kW,减排二氧化硫 231 万 t;2007 年关停小火电 1 440 万 kW,增设脱硫机组 4 396 万 kW,减排二氧化硫 259 万 t。

山西省属于我国能源消费大省,燃煤电厂等高耗能企业较多。“十一五”期间,山西省严格按照国家关于淘汰落后产能的相关政策,落实关停小火电、小钢铁和小水泥的要求,优化产业结构,并为燃煤电厂老机组增设脱硫设施,节能减排工作取得了一定的收效。本研究拟采用 ATMOS 长距离传输模型,根据 2006—2007 年山西省内 SO₂ 排放数据,分别进行燃煤电厂排放 SO₂ 的传输数值模拟,基于地理信息系统和 Surfer 等软件,分析山西省内燃煤电厂 SO₂ 排放导致的总 S 沉降、干/湿 S 沉降在山西省内及周边省市的分布特点,并进而探讨 SO₂ 减排效果。

2 模拟模型与参数

目前国内外对酸性污染物及沉降问题的研究主

要是利用模型模拟 S 或 N 污染物的浓度及沉降分布,以进一步深入研究致酸污染物的区域间传输态势^[2]。黄美元等^[3]利用污染物三维欧拉长距离输送实用模式,模拟我国和东亚地区硫化物跨地区、跨边界输送态势。程新金等^[4]根据 1995 年 SO₂ 排放量,模拟计算我国大陆地区的 S 沉降量和地面层 SO₂ 浓度的分布。许亚宣^[2]等用 ATMOS 拉格朗日模型研究我国 2002 年排放的 SO₂ 所产生的 S 沉降分布。

2.1 模型简介

拉格朗日型和欧拉型模式所采用的理论和数学方法存在差别,二者各具优缺点^[5]:欧拉模式适合于对典型天气条件下和短时间内的沉降分布及输送进行计算;而拉格朗日烟团轨迹模式可用全年的气象资料进行长时间的污染物沉降和地面浓度分布研究。

本研究所用的 ATMOS 酸沉降模型是一个三维、多层拉格朗日长距离传输模型^[2]。在模拟范围内,排放源排出的 SO₂ 烟羽被模拟为按一定的时间间隔从排放源位置连续释放的一系列烟团。随着烟团的移动,部分 SO₂ 转化成硫酸盐,SO₂ 和硫酸盐以干、湿沉降的形式沉降到地面。污染物的浓度和干湿沉降量按一定时间步长进行计算,最后统计得出月、季和年的浓度平均值和沉降量。

2.2 模型参数选取

模拟区域。模拟区域为 73°—136°E,18°—54°N (约 6 300 km × 3 600 km 的范围),划分为 63 × 36 个网格,网格分辨率为 1° × 1°,涵盖了我国所有的陆地面积。

初始输送参数。初始输送参数取为 2 000 m。

收稿日期:2009-03-06;修订日期:2009-04-09。

基金项目:中国环境保护部专项“污染减排监督管理”项目资助。

作者简介:南少杰,男,1981 年生,硕士研究生,主要从事大气污染控制方面的研究,E-mail:nanshaojiezone@163.com。

烟团跟踪参数。最长跟踪时间设定为 5 d,当烟团轨迹历经 120 h 后,或当超出模拟范围以外时,停止跟踪;当烟团轨迹的最末一个烟团中污染物的质量达到初始释放质量的 0.1% 时,放弃跟踪。

下垫面识别数据。给出模拟区域所有网格下垫面的水、陆状况和城市、乡村状况。

转化速率。假定模拟初始时刻,释放烟团中污染物 SO_2 的排放强度取为 SO_2 源强的 95%, SO_4^{2-} 的排放强度取为 SO_2 源强的 5%。

清除率参数。干清除率根据下垫面粗糙度、混合层高度和季节变化分别给出 SO_2 和 SO_4^{2-} 的干清除率; SO_2 和 SO_4^{2-} 的湿清除率均为降水强度的函数^[6]:

$$K_{\text{SO}_2} = 2 \times 10^{-5} \times p_0 \quad (1)$$

$$K_{\text{SO}_4^{2-}} = 9.2 \times 10^{-5} \times p_0^{0.83} \quad (2)$$

式(1)一式(2)中, p_0 为降水强度(mm/h)。

排放源参数。模型将具有精确地理定位的大点源作为高架源进行模拟,选择边界层进行计算。

2.3 气象数据

模型采用美国国家环境预报中心(NCEP)提供的根据全球观测资料同化再分析的气象资料,包括垂直方向从地面到 6 000 m 高空每隔 6 h 1 次的风向、风速、降水量及混合层高度等,区域范围为 20°S — 55°N , 60°E — 160°E ,分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$,网格点数为 41×31 个。模型通过插值,得到模拟范围各网格点及各时间步长上的地面气象信息和诊断风场信息及其他气象参数,可以用于对污染物输送、扩散及转化、清除过程的模拟。

2.4 模型验证

采用监测数据与预测模型输出的结果相比较来确定模型的合理性和数值的准确度是必要的。许亚宣等^[2]分别对 2002 年地面空气中 SO_2 月平均浓度模拟值与实测值, SO_4^{2-} 湿沉降量模拟值与实测降水中的沉降量进行相关性分析。从比较结果来看,模拟值一般小于监测值,这主要是由于模拟值是 $1^\circ \times 1^\circ$ 的网格平均值,而监测站点主要都分布在城市附近。受城市的影响较大,而城市地区的污染水平一般比周围地区要高得多。 SO_2 浓度的监测值和模拟值的相关系数为 0.603, SO_4^{2-} 湿沉降量模拟值与实测值的相关系数为 0.611。可见,模拟结果与实际监测值具有较好的相关性。

3 结果分析

ATMOS 模型是大气污染物的长距离输送模型,其对酸沉降的模拟可分别输出 SO_2 和 SO_4^{2-} 的月、季、年平均浓度和月、季平均干、湿沉降量。

3.1 山西省通过实施减排措施减少的总 S 沉降量

据统计:2006 年山西省关停小机组 9.8 万 kW,减少二氧化硫排放量 0.4659 万 t。利用 ATMOS 酸沉降模型计算关停小机组减少的总 S 沉降量为 0.1066 万 t,占当年关停机组总 S 减排量的 45.79%,其中干沉降量为 0.0320 万 t,湿沉降量为 0.0746 万 t。

2007 年山西省关停小机组 100.7 万 kW,减少二氧化硫排放量 9.0 万 t。通过模型计算关停小机组减少的总 S 沉降量为 2.4782 万 t,占当年关停机组总 S 减排量的 53.57%,其中干沉降量为 0.9130 万 t,湿沉降量为 1.5651 万 t。图 1—图 2 为 2006—2007 年山西省关停小机组和增设脱硫机组分布。

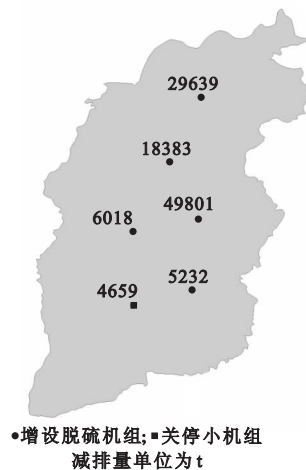


图 1 2006 年山西省关停小机组和增设脱硫机组分布

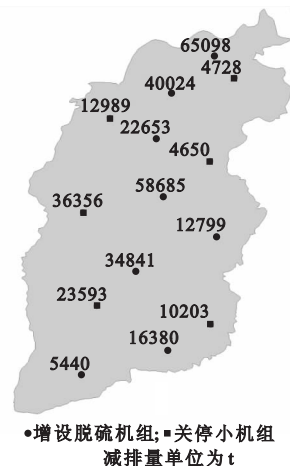


图 2 2007 年山西省关停小机组和增设脱硫机组分布

2006 年山西省增设脱硫设施的老机组 156.0 万 kW(图 3),减少二氧化硫排放量 10.0 万 t。根据模型计算,减少总 S 沉降量为 2.8852 万 t,占当年脱硫机组总 S 减排量的 52.9%,其中干沉降量为 1.1494 万 t,湿沉降量为 1.7356 万 t。2007 年山西省增设脱硫设施的老机组 782.5 万 kW,减少二氧化硫排放量 25.0 万 t。根据模型计算,减少总 S 沉降量为 6.8135 万 t,占当年脱硫机组总 S 减排量的

53.24%,其中干沉降量为2.7947万t,湿沉降量为4.0188万t。

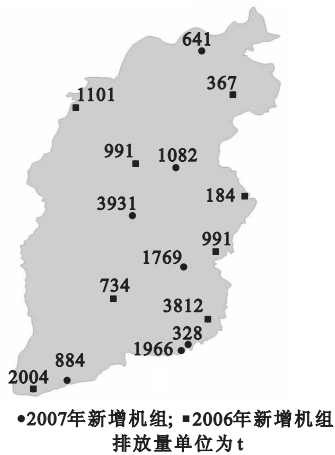


图3 2006—2007年山西省新增机组分布

3.2 2006—2007年山西省新增燃煤电厂导致的S沉降

2006年山西省新增燃煤机组为239.0万kW,增加SO₂排放量为1.0万t。模型计算增加S沉降量为0.2536万t,占新增机组总硫排放量的52%。干沉降量为0.0921万t,湿沉降量为0.1615万t。

2007年山西省新增燃煤机组为482万kW,增加SO₂排放量为1.0万t。模型计算增加S沉降量为0.2636万t,占新增机组总硫排放量的53%。干沉降量为0.0972万t,湿沉降量为0.1664万t。

3.3 2006—2007年山西省燃煤电厂排放导致的S沉降分布

2006年山西省电厂总装机容量2666.0万kW,二氧化硫排放量为65.0万t,图4为2006年山西

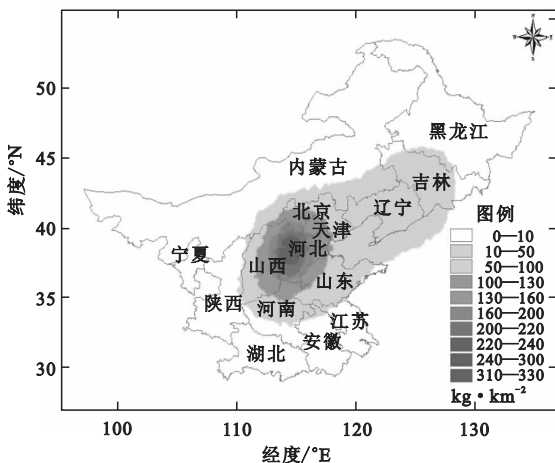


图4 2006年山西省总S沉降分布

省燃煤电厂排放导致的总S沉降分布^[7]。经过计算,总S沉降量为17.2306万t,占2006年省内电厂总S排放量的53%,其中干沉降量为6.6962万t,湿沉降量为10.5344万t。沉降量年平均最大值为

390.7 kg/km², SO₂年平均浓度最高值为9.56 μg/m³, SO₄²⁻年平均浓度最高值为5.99 μg/m³。两个高值均出现在114.5°E,38.5°N的网格内。

2007年山西省电厂总装机容量为3095.0万kW,二氧化硫排放量为52.0万t。图5为2007年山西省燃煤电厂排放导致的总S沉降分布^[7]。经过计算,总S沉降量为13.9594万t,占2007年全省电厂总S排放量的53.69%,其中干沉降量为5.0027万t,湿沉降量为8.9568万t。沉降量年平均最大值为335.76 kg/km², SO₂年平均浓度最高值为8.02 μg/m³, SO₄²⁻年平均浓度最高值为5.16 μg/m³。两个高值均出现在114.5°E,38.5°N的网格内。

从图4—图5可以看出,受输送气流的影响,山

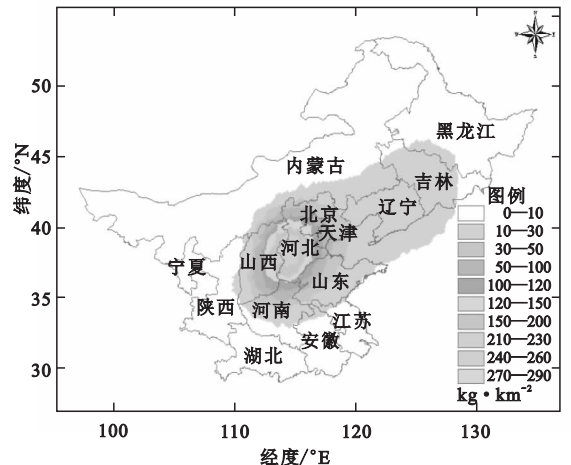


图5 2007年山西省总S沉降分布

西省燃煤电厂硫排放对周边省市的影响区主要分布在排放区的偏东方位,主要集中在山西、河北和山东省。对辽宁、吉林省也有一定的影响。湿沉降量大于干沉降量,干沉降主要集中在排放源周围,而湿沉降相对影响范围较大。许亚宣等^[2]对2002年全国S沉降研究表明,湿沉降是总S沉降的主要形式,受降水影响大,与降水分布相对应。山西省燃煤电厂排放的SO₂导致的S干、湿沉降分布也同样具有此特征。通过分析比较可见,2007年山西省燃煤电厂装机容量虽然比2006年有所增加,但总排放量却比2006年有所下降,S沉降量和年平均浓度均比2006年低,可见2006—2007年山西省的二氧化硫减排措施效果显著,减少了对周边省市的影响。

3.4 结果验证

分析计算结果可知,山西省燃煤电厂排放的硫有80%沉降在山西、河北省和北京及天津地区,因此

上述地区处于受影响偏重区域。表1为2005—2007

表1 2005—2007年4城市SO₂浓度年平均值

年份	太原	石家庄	北京	天津
2005	0.077	0.054	0.050	0.076
2006	0.080	0.044	0.052	0.067
2007	0.076	0.043	0.047	0.062

年4城市SO₂浓度年平均值^[8]。2005—2007年,太原、石家庄、北京和天津地区的SO₂空气质量均明显好转。由此可见,山西省燃煤电厂减排措施的实施对周边地区空气质量的改善显著。

3 结论

(1) 2006年山西省关停小机组减少的总S沉降量为0.1067万t;2007年山西省关停小机组减少的总S沉降量为2.4782万t。2006年山西省增设脱硫设施的老机组减少总S沉降量为2.8852万t;2007年山西省增设脱硫设施的老机组减少总S沉降量为6.8135万t。2006年山西省新增燃煤机组为239.0万kW,增加S沉降量为0.2536万t;2007年山西省新增燃煤机组为482.0万kW,增加S沉降量为0.2636万t。

(2) 2006年山西省电厂总装机容量为2666.0万kW,二氧化硫排放量为65.0万t,总S沉降量为17.2306万t;2007年山西省电厂总装机容量为3095.0万kW,二氧化硫排放量为52.0万t,总S沉降量为13.9594万t。

(3) 受输送气流的影响,山西省燃煤电厂硫排放对周边省市的影响区主要分布在排放区的偏东方

位,主要集中在山西、河北和山东省,对辽宁、吉林省也有一定的影响。湿沉降影响范围比干沉降大,干、湿沉降量最高值均出现在114.5°E,38.5°N的网格内。该网格位于河北省与山西省交界地带。

(4) 2007年山西省燃煤电厂装机容量虽然比2006年有所增加,但总排放量却比2006年有所下降,S沉降量和年平均浓度均比2006年低,减少了对周边省市的影响,可见2006—2007年山西省的二氧化硫减排措施效果显著。

参考文献

- [1] 陈义珍,柴发合,段宁,等.“西电东送”火电规划对北京空气质量的影响[J].环境科学研究,2003,16(6):46-52.
- [2] 许亚宣,段宁,柴发合,等.中国硫沉降数值模拟[J].环境科学研究,2006,19(5):1-10.
- [3] 黄美元,王自发,何东阳,等.我国和东亚地区硫化物跨边界输送态势研究[J].气候与环境研究,1996,1(1):55-62.
- [4] 程新金,段宁,孙继明,等.中国二氧化硫排放控制的效果评估[J].大气科学,2004,28(2):174-186.
- [5] 牛文胜,孙振海.大气扩散模式的简要回顾[J].气象科技,2000,28(2):1-4.
- [6] 蒋维楣,曹文俊,蒋瑞宾.空气污染气象学教程[M].北京:气象出版社,1993:107-171,436-448.
- [7] 党安荣,贾海峰,易善楨,等.地理信息系统应用指南[M].北京:清华大学出版社,2005:26-213.
- [8] 中国环境年鉴编辑委员会.中国环境年鉴2008[M].北京:中国环境年鉴社,2009:700-800.

Effects of SO₂ emission reduction on sulfur deposition at coal-fired power plants in Shanxi province

NAN Shao-jie^{1,2} LIANG Mei-sheng¹ DUAN Ning² CHAI Fa-he² XU Ya-xuan²

(1. The College of Environmental Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The amount of SO₂ emission reduction closing down small thermal power generating units and increasing sulfur deposition establishment at the coal-fired power plants from 2006 to 2007 in Shanxi province were simulated with ATMOS long distance transmission model. The distributions of the total sulfur deposition and dry/wet sulfur deposition in study areas were analyzed based on the geographic information system (GIS). The effects of SO₂ emission reduction were discussed. The results show that the capacity of thermal power plant increases from 2006 to 2007. However, SO₂ emission and sulfur deposition decreases persistently. It indicates that the effect of SO₂ emission reduction is better.

Key words: Coal-fired power plant; Emission reduction; Sulfur deposition; Numerical simulation