

# “十一五”脱硫计划实施前后长三角地区的硫沉降变化

彭玲<sup>1</sup> 陈长虹<sup>2#</sup> 黄成<sup>2</sup> 程真<sup>2</sup> 杨琳<sup>1</sup> 贾记红<sup>1</sup>

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

**摘要** 采用 RAINS ASIA 模型研究了“十一五”期间长三角地区实施脱硫措施前后硫沉降超临界负荷的变化。结果表明, 在 90% 保证率下, 长三角地区硫沉降的临界负荷(以 S 计, 下同)总值为 78.38 万 t/a; 2005 年该地区硫沉降的超临界负荷总值为 27.98 万 t/a, 有 45.6% 区域面积的硫沉降超过临界负荷; 如果不实施脱硫措施, 到 2010 年长三角地区硫沉降超临界负荷的情景将急剧恶化, 硫沉降超临界负荷总值将增长 18.4%, 超临界负荷的区域面积将增加到 48.7%; “十一五”脱硫计划如期实施后, 2010 年长三角地区硫沉降超临界负荷总值将在 2005 年的基础上下降 27.4%, 但仍有 39.1% 的区域面积超过临界负荷, 须采取更严格的措施控制硫沉降量。

**关键词** RAINS ASIA 硫沉降 临界负荷 超临界负荷 长三角地区

**Effects of the “Eleventh five year” desulphurization plan on sulfur deposition in Yangtze River Delta** Peng Ling<sup>1</sup>, Chen Changhong<sup>2</sup>, Huang Cheng<sup>2</sup>, Cheng Zhen<sup>2</sup>, Yang Lin<sup>1</sup>, Jia Jihong<sup>1</sup>. (1. East China University of Science and Technology, Shanghai 200237; 2. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233)

**Abstract:** The changes in sulfur deposition in Yangtze River Delta (YRD) region due to implementing the national “Eleventh five-year” desulphurization plan were simulated using RAINS ASIA model. The estimated critical load of sulfur deposition in YRD in 2005 was  $78.38 \times 10^4$  tS/a (90% confidence level), and the sulfur deposition above the critical load (excessive deposition) was  $27.98 \times 10^4$  tS/a, distributed over 45.6% of the region. Without any emission control measures, the excessive sulfur deposition in 2010 will increase by 18.4% (vs. the 2005 value) covering 48.7% of the region. Implementing the desulphurization plan on schedule, the excessive sulfur deposition will decline by 27.4% covering 39.1% of the region. There is a need for additional control measures to further reduce the excessive sulfur deposition.

**Keywords:** RAINS ASIA Sulfur deposition Critical load Excess of critical load Yangtze River Delta region

经济的快速增长和能源的大量消耗, 使得我国面临严峻的大气污染。2005 年全国 SO<sub>2</sub> 排放总量高达 2 549 万 t<sup>[1]</sup>。SO<sub>2</sub> 污染和酸雨对我国生态环境的损害和人体健康影响造成的经济损失高达 1 100 亿元, 约占国民生产总值(GDP)的 3% 左右<sup>[2]</sup>。若没有及时有力的政策措施加以干预, 这种损失还将持续并增加。

为降低 SO<sub>2</sub> 污染和酸雨的影响, 郝吉明等<sup>[3]</sup>、段雷等<sup>[4]</sup> 和谢绍东等<sup>[5]</sup> 利用不同的方法, 研究了我国酸沉降临界负荷。WANG 等<sup>[6]</sup> 和李宗恺等<sup>[7]</sup> 利用自行开发的 NJUADMS 模型模拟了我国 SO<sub>2</sub> 的地面浓度和硫沉降, 提出了 SO<sub>2</sub> 污染和酸雨的控制对策。许亚宣等<sup>[8]</sup> 采用 ATMOS 模型模拟了我国 2002 年的硫沉降分布和超临界负荷分布情况, 提出了各省 SO<sub>2</sub> 的减排要求。陈复等<sup>[9]</sup> 根据我国酸沉降的污染状况, 提出了 SO<sub>2</sub> 排放控制指标、控制对象和综合控制对策, 指出应重点控制电力、化学等行业的

SO<sub>2</sub> 排放。国外学者利用 RAINS ASIA 模型研究了亚洲国家和地区的酸沉降及其临界负荷、SO<sub>2</sub> 排放控制的成本效果以及用可再生能源替代化石燃料的环境与成本效益<sup>[10-12]</sup>。这些研究为本国和地区制定 SO<sub>2</sub> 排放总量控制政策、降低酸沉降和改善大气环境质量做出了积极的贡献。

“十一五”是我国国民经济和社会发展进入新的发展阶段的关键时期。为有效地改善环境空气质量, 我国政府在《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》(以下简称《纲要》)中提出, 到 2010 年我国 SO<sub>2</sub> 排放量将在 2005 年的基础上减少 10%。落实《纲要》中的约束性目标, 控制电厂和工业源 SO<sub>2</sub> 排放已成为各级政府大气环境保护工作的重点。同时, 人们也迫切需要了解实现上述目标后的环境效果, 以及未来需要进一步采取的措施。为此, 笔者以长三角地区(浙江、江苏、上海和安徽)为重点, 利用 RAINS ASIA 模型研究了脱硫措施实施前后该地区

第一作者: 彭玲, 女, 1983 年生, 硕士研究生, 研究方向为大气酸沉降。# 通讯作者。

表 1 RAINS ASIA 模型运算的基本假定  
Table 1 Basic assumptions of the RAINS ASIA model simulations

年份	人口增长率/%	GDP 增长率/%				能源强度 <sup>1)</sup> 增长率/%
		农业	工业	商业	总计	
2006—2010	0.93	6.18	3.02	8.41	6.45	-2.96
2011—2015	0.55	5.54	4.51	5.70	5.46	-3.01
2016—2020	0.55	5.54	4.51	5.70	5.46	-3.01

注：<sup>1)</sup>能源强度是指单位国内生产总值所消耗的能源量。

的硫沉降变化，旨在为政府中长期的环境空气质量  
管理提供决策参考。

### 1 RAINS ASIA 模型

RAINS ASIA 模型<sup>[13-15]</sup>是常用的酸沉降计算  
模型，它是由世界银行、亚洲开发银行与国际应用系  
统分析研究所 (IIASA) 针对亚洲酸雨危害共同组织  
开发的研究工具，模型中包括排放控制费用 (EM-  
CO)、沉降临界负荷评估 (DEP) 和最优化 (OPT) 3  
个模块。它将酸沉降评价和政策分析相结合，以达  
到开展亚洲酸雨问题中长期战略分析的目的。决策  
者可以通过模型进行情景分析，预测未来区域性经  
济发展和能源规划情景下的 SO<sub>2</sub> 排放量、不同酸沉  
降对区域环境的影响以及采取 SO<sub>2</sub> 排放控制措施  
的费用和效益等，以达到改善环境的目的。

#### 1.1 模型运算的基本假定

为了解中长期经济增长、人口增长、能源消耗  
增加对 SO<sub>2</sub> 排放的影响，笔者利用模型计算时对长  
三角地区人口和经济发展做了以下假设，具体参  
数见表 1。

根据模型的定义与划分，笔者先将污染源分为  
点源和面源两大类，其中点源是指装机容量大于  
500 MW 或 SO<sub>2</sub> 年排放量大于 2 万 t 的电厂，其他  
的全部划为面源并分摊到工业、交通、民用、加工转  
换、电厂 5 个不同的经济部门。然后，采用部门分析  
法进行能源需求预测，即根据不同行业的能源强度  
预测各经济部门的能源需求。最后，将各经济部门  
能源消耗现状资料和未来经济发展的能源需求数据  
输入模型，选择不同的 SO<sub>2</sub> 排放控制措施，计算相应  
情景下的 SO<sub>2</sub> 排放量。

为了解长距离输送中化学反应、扩散和冲刷等  
对硫沉降的影响，做以下假设：垂直方向上，白天分  
为边界层和上层；晚上分为地面层、边界层和上层。  
面源从网格中心排放，面源白天放在边界层，晚上放  
在近地面层；点源按地理定位进行模拟，始终放在边  
界层进行计算。假定模拟初始时刻，释放烟团中  
SO<sub>2</sub> 占总硫排放源强的 95%，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 占 5%。烟团最

长跟踪时间设定为 5 d，即当烟团轨迹历经 120 h  
后，或当超出模拟范围时，停止跟踪。SO<sub>2</sub> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的  
湿清除率均为降水强度的函数，干沉降速率如表 2  
所示。

表 2 模型中干沉降速率的基本假定  
Table 2 Assumptions of dry deposition velocity in  
model simulations

区域	$V_{dSO_2} / (cm \cdot s^{-1})$	$V_{dSO_4} / (cm \cdot s^{-1})$
陆地	0.50	0.20
海洋	0.32	0.10

该模型采用国家气象中心 (NMC) 和美国国家  
大气研究中心 (NCAR) 提供的 1990—1995 年的气  
象资料，包括垂直方向从地面到 6 000 m 高空每隔 6  
h 一次的风向、风速、降水量、混合层高度等，具体数  
据见文献 [14]。

#### 1.2 硫沉降临界负荷的取值

酸沉降临界负荷是指在不导致生态系统结构和  
功能发生有害影响时，生态系统可接纳的酸性物质的  
最高沉降量，是生态系统对酸沉降承载能力的定量描  
述，反映了生态系统对酸沉降的缓冲能力和敏感程  
度，是国际上公认的进行酸沉降控制的科学度量。

酸沉降可分为硫沉降和氮沉降两种类型，由于  
我国目前以硫沉降为主，故笔者主要研究的是硫沉  
降临界负荷和硫沉降的超临界负荷。假设研究区域  
由若干个  $1^\circ \times 1^\circ$  网格构成，而每个  $1^\circ \times 1^\circ$  网格又由  
若干个  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  网格组成。从保护生态系统不受  
硫沉降危害的目的出发，根据临界负荷的概念，每个  
 $1^\circ \times 1^\circ$  的网格内的临界负荷控制目标应是该网格所  
包含的  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  网格中的最小沉降量，而研究区  
域的临界负荷则是各  $1^\circ \times 1^\circ$  的网格内的最小临界负  
荷之和。其数学表达式如下。

$$Q = \sum_{i=1}^n \{ \min q_{i,j} \} \quad j=1, \dots, m$$

式中： $i$  为  $1^\circ \times 1^\circ$  的网格号； $j$  为  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  的网格号； $Q$  为研究区域的硫沉降临界负荷 (以 S 计，下同)，万  
t/(km<sup>2</sup>·a)； $q_{i,j}$  为第  $i$  个  $1^\circ \times 1^\circ$  网格号、第  $j$  个  $0.1^\circ \times$   
 $0.1^\circ$  网格内的硫沉降临界负荷，万 t/(km<sup>2</sup>·a)。

然而，在实际硫沉降的控制过程中，由于受社会  
经济或技术等因素的制约，恢复受损后的生态系统

往往需要分步实施,即根据技术经济条件采用保证率的方法<sup>[16]</sup>确定硫沉降的控制目标。

对于  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  网格内的硫沉降临界负荷,笔者采用相对敏感性评价法和简单质量平衡模型(SMB)计算。对于  $1^\circ \times 1^\circ$  网格内不同的保证率下的硫沉降临界负荷,则采用累积分布函数的方法确定。由于不同的保证率下对应的硫沉降的临界负荷不同,要求削减的  $\text{SO}_2$  排放量和所需要的投资费用也将不同,因此考虑到排放控制的经济和政策可行性,选取 90% 保证率下的硫沉降临界负荷进行分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 2005 年全国硫沉降分布

硫的沉降分干沉降和湿沉降两部分,这两部分之和称为硫沉降。

根据表 1 所做的假定,笔者在中长期人口增长、经济发展和能源需求预测的前提下,选择不同的  $\text{SO}_2$  排放控制情景,经能源排放模块计算得到各经济部门的  $\text{SO}_2$  排放量,然后将  $\text{SO}_2$  排放数据输入沉降模块中镶嵌的大气污染输送传递矩阵,选取 1990—1995 年的平均气象条件,计算得到研究区域内各  $1^\circ \times 1^\circ$  网格的硫沉降值(以 S 计),最后绘制成全国硫沉降分布的等值线图,见图 1。

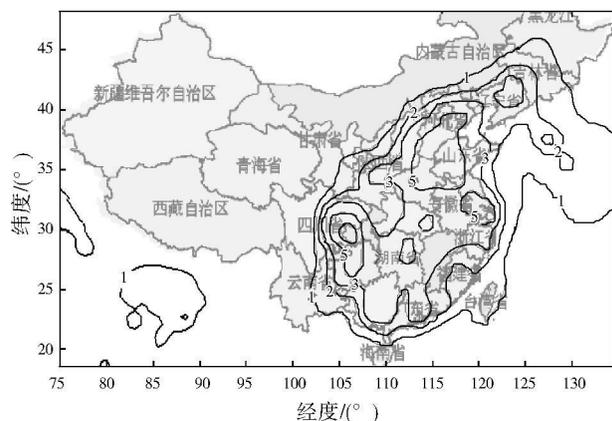


图 1 2005 年全国硫沉降( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )分布的等值线图  
Fig.1 Distribution of total sulfur deposition in China in 2005

由图 1 可见,2005 年我国硫沉降较高的省市主要分布在河北、山东、河南、北京、天津、江苏、上海、四川和贵州等地。这些省市的部分地区硫沉降达  $5.50 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$  以上,重庆和四川部分地区硫沉降接近  $10.00 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。通常,  $\text{SO}_2$  排放量越大的地区,其硫的干沉降量就越大,硫沉降的高值常出现在以干沉降为主的污染源附近。从分布上看,我国硫的干沉降主要分布在干旱少雨和  $\text{SO}_2$  排放量大的地区,如山东、河北、河南、江苏均是  $\text{SO}_2$  排放大省,它们对硫的

干沉降的贡献率很大。而硫的湿沉降除了与  $\text{SO}_2$  排放量有关外,还明显受地形、降水分布等因素的影响。如贵州和四川的  $\text{SO}_2$  排放总量并不很高,但仍是我国的重酸雨区,受酸雨的影响十分严重。在长三角地区,江苏和上海的硫沉降量较高,而浙江和安徽的硫沉降量相对较低;硫沉降量最高的是上海、无锡、苏州和扬州等城市,为  $6.39 \sim 7.44 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ;其次是徐州、淮北、南通、常州和南京,在  $5.58 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$  以上。该模拟结果与文献[8]利用 ATMOS 模型及文献[17]利用三维欧拉污染物输送模型模拟我国硫沉降所得到的结果基本一致。

### 2.2 长三角地区硫沉降超临界负荷

#### 2.2.1 2005 年硫沉降超临界负荷值及其面积比率

根据模型计算,长三角地区的硫沉降临界负荷总值约为  $78.38 \text{ 万 t/a}$ ,其中上海和江苏南部地区的硫沉降临界负荷相对较大,说明这些地区的生态系统对硫沉降的承载能力较大;而江苏北部、浙江和安徽大部分地区的硫沉降临界负荷较小,生态系统的敏感性较强,容易受到硫沉降的影响。

为准确反映研究范围内的硫沉降是否超过环境容量及具体超额量,笔者将 90% 保证率下的硫沉降临界负荷与 2005 年的硫沉降量相比较,并绘制成相应的硫沉降超临界负荷的等值线图,见图 2(a)。计算结果显示,长三角地区硫沉降超临界负荷的总量为  $27.98 \text{ 万 t/a}$ ,其中亳州、阜阳、淮北、宿州、宿迁地区超额硫沉降最严重,为  $2.08 \sim 3.04 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,宁波、绍兴其次,为  $1.91 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

为了解研究区域内生态系统硫沉降超临界负荷的情况,笔者计算了超过临界负荷的生态系统在研究区域中所占的面积比,简称“超临界负荷的面积比率”。图 2(b)所示为 2005 年硫沉降超临界负荷的面积比率的等值线图。加权计算结果显示,2005 年长三角地区有 45.6% 的区域面积的硫沉降超过临界负荷。其中,舟山、宿迁、淮安、扬州、淮北、宿州、蚌埠地区硫沉降超临界负荷的面积比率达 95.6% 以上,宁波、温州部分地区达 83.0% 以上。特别应该指出的是,在一些经济并不很发达地区,如舟山,其硫沉降超临界负荷的面积比率很高,主要原因在于外源排放的  $\text{SO}_2$  对该地区的硫沉降影响很大。计算结果显示,浙江省对舟山硫沉降的影响占 32% ~ 40%,外省市的影响占一半以上。这与文献[18 ~ 21]所得的监测结果基本一致。因此,加大长三角地区的  $\text{SO}_2$  排放控制力度,减少硫排放,降低硫沉降,改善区域生态环境质量已刻不容缓。

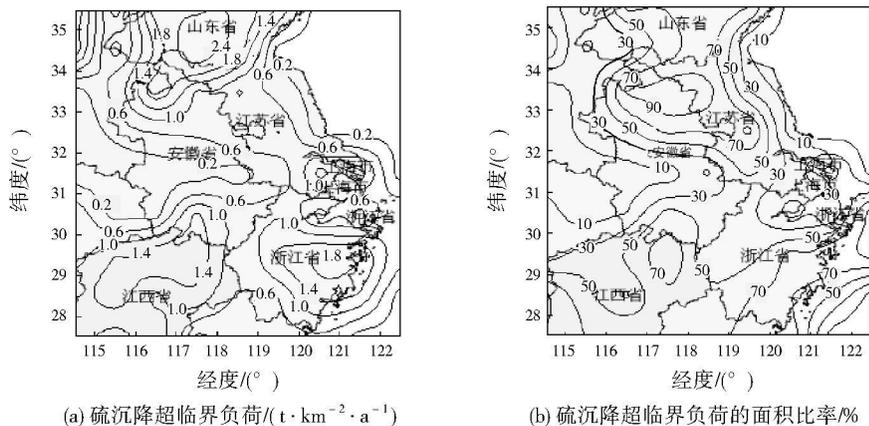


图 2 2005 年长三角地区 90% 保证率下硫沉降超临界负荷及其面积比率的等值线图

Fig. 2 Map of excessive sulfur deposition (90% confidence level) and the percentage of YRD region with excessive deposition in 2005

2.2.2 2010 年硫沉降超临界负荷值及其面积比率

表 3 为按目前的经济发展速度和排放增长趋势计算得到的 2010 年脱硫措施实施前后长三角地区 SO<sub>2</sub> 排放量和硫沉降的超临界负荷。

由表 3 可见, 如果不采取 SO<sub>2</sub> 削减措施, 到 2010 年长三角地区超额硫沉降将比 2005 年更加严重。90% 保证率下, 该地区硫沉降超临界负荷总量将从 2005 年的 27.98 万 t/a 增加到 33.12 万 t/a, 净增 18.4%, 超额硫沉降区域将进一步扩大, 硫沉降超临界负荷的面积比率将由 45.6% 升高到 48.7%, 舟山、宿迁、淮安、扬州、滁州、淮北、宿州、蚌埠等硫沉降超临界负荷的面积比率接近 100%, 宁波和温州等达 84.0% 以上。上述结果表明, 如果“十一五”期间, 全国 GDP 按目前的速度增长, 而 SO<sub>2</sub> 排放量的削减任务不能预期完成, 则长三角地区的生态系统将受到硫沉降的严重影响。

如果长三角地区和周边省市按国家《“十一五”期间全国主要污染物排放总量控制计划》(国务院, 国函[2006]70 号) 执行, 即到 2010 年上海 SO<sub>2</sub> 排放总量在 2005 年基础上削减 26%, 浙江削减 15%, 江苏削减 18%, 安徽削减 4%, 江西削减 5%, 山东削减 20%; 其中, 燃煤电厂采用烟气脱硫, 工业源采取脱硫或低硫燃料等措施, 在 2005 年的基础上减少 SO<sub>2</sub> 排放量 15%~20%, 则到 2010 年, 长三角地区

可削减 SO<sub>2</sub> 排放量 57 万 t, 总量削减将达到 17%。由表 3 可见, 90% 保证率下 2010 年超额硫沉降及其面积比率将比 2005 年有所改观, 超临界负荷总值将下降 27.4%, 为 20.31 万 t/a; 硫沉降超临界负荷的面积比率下降了 6.5%。

但应该看到, 长三角环境承担的硫沉降仍然过重, 整个地区仍有 39.1% 的区域面积超过临界负荷, 浙江省超临界负荷的面积比率最高, 达 50.9%。其中, 舟山、淮安、淮北、宿州等硫沉降超临界负荷的面积比率仍为 90.0% 以上, 宁波和温州等达 82.1% 以上, SO<sub>2</sub> 污染和酸沉降的问题仍未彻底解决。降低硫排放、减少硫沉降、改善生态环境的任务依然任重道远。“十一五”期间的大气污染物排放总量控制仅仅是整个大气污染控制计划的开端, 未来节能降耗降低污染的任务依然十分艰巨。修复受损的生态系统需要更多的措施加以配合, 除了电厂烟气脱硫外, 改变经济增长方式和提高增长质量, 改善能源结构, 提高能源效率, 鼓励使用低污染或无污染的能源等都是必须的, 跨越式的和超常规的经济增长需要跨越式的污染控制措施加以支持, 方能实现经济增长和环境保护的良性循环。

3 结论

采用 RAINS ASIA 模型对全国, 特别是长三角

表 3 2010 年脱硫措施实施前后 SO<sub>2</sub> 排放和硫沉降的超临界负荷

Table 3 Regional SO<sub>2</sub> emission and excessive sulfur deposition with and without desulphurization in 2010

区域	临界负荷 / (万 t·a <sup>-1</sup> )	脱硫前		脱硫后			
		SO <sub>2</sub> 排放量 / (万 t·a <sup>-1</sup> )	超临界负荷 / (万 t·a <sup>-1</sup> )	超临界负荷的面积比率 / %	SO <sub>2</sub> 排放量 / (万 t·a <sup>-1</sup> )	超临界负荷 / (万 t·a <sup>-1</sup> )	超临界负荷的面积比率 / %
安徽	35.81	72.66	11.83	45.3	63.91	8.10	38.0
江苏	26.71	156.95	10.06	49.2	123.04	4.61	30.4
上海	2.16	59.88	1.02	46.6	38.29	0.33	33.2
浙江	13.70	76.11	10.21	53.5	60.46	7.27	50.9
长三角	78.38	365.60	33.12	48.7	285.70	20.31	39.1

地区的硫沉降进行了空间分析,得到以下结论:

(1) 2005 年中国硫沉降高值主要分布在干旱少雨和 SO<sub>2</sub>排放量较大的地区,如河北、山东、河南、江苏、上海、四川、贵州及无锡、苏州、扬州等省。

(2) 90%保证率下,长三角地区的硫沉降临界负荷总值约为 78.38 万 t/a,2005 年该地域硫沉降的超临界负荷总值约为 27.98 万 t/a,部分地区超额硫沉降高达 3.04 t/(km<sup>2</sup>·a);约有 45.6%的区域面积的硫沉降超过临界负荷。

(3) 若按目前的速度发展且不实施脱硫计划,2010 年长三角地区硫沉降超临界负荷的情况将急剧恶化,超临界负荷总值将从 2005 年的 27.98 万 t/a 增长到 33.12 万 t/a,增长了 18.4%;超临界负荷的面积比率将由 45.6% 增长到 48.7%。

(4) 如果“十一五”主要污染物排放总量控制计划按期实施,即采取脱硫措施削减 SO<sub>2</sub> 的排放,2010 年长三角地区硫沉降的超临界负荷的情况将明显改观,超临界负荷总值将降低至 20.31 万 t/a,比 2005 年下降 27.4%,但仍有部分地区超临界负荷的面积比率在 90.0% 以上,长三角地区仍有 39.1% 的区域面积超过临界负荷。

(5) “十一五”期间的大气污染物排放总量控制仅仅是整个大气污染控制计划的开端,修复受损的生态系统除了电厂烟气脱硫外,需要多项措施加以配合,跨越式的和超常规的经济增长需要跨越式的污染控制措施加以支持,方能实现经济增长和环境保护的良性循环。

## 参考文献

- [1] 国家环境保护总局. 全国环境统计公报(2005 年)[EB/OL]. (2006-06-12)[2007-06-15]. [http://www.sepa.gov.cn/plan/hjtj/qghjtjgb/200606/t20060612\\_77318.htm](http://www.sepa.gov.cn/plan/hjtj/qghjtjgb/200606/t20060612_77318.htm).
- [2] 朱松丽. 国外控制 SO<sub>2</sub> 排放的成功经验以及对我国 SO<sub>2</sub> 控制的政策建议[J]. 能源环境保护, 2006, 20(1): 5-9.
- [3] 郝吉明, 齐超龙, 段雷, 等. 用 SMB 法确定中国土壤的营养氮沉降临界负荷[J]. 清华大学学报, 2003, 43(6): 849-853.
- [4] 段雷, 郝吉明, 周中平, 等. 确定不同保证率下的中国酸沉降临界负荷[J]. 环境科学, 2002, 23(5): 25-28.
- [5] 谢绍东, 郝吉明, 周中平, 等. 中国酸沉降临界负荷区划[J]. 环境科学, 1998, 19(1): 13-17.
- [6] WANG Tijian, JIN Longshan, LI Zongkai, et al. A modeling study on acid rain and recommended emission control strategies in China[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34(26): 4467-4477.
- [7] 李宗恺, 王体健, 金龙山. 我国的酸雨模拟及控制对策研究[J]. 气象科学, 2000, 20(3): 339-347.
- [8] 许亚宣, 段宁, 柴发合, 等. 我国硫沉降数值模拟[J]. 环境科学研究, 2006, 19(5): 1-10.
- [9] 陈复, 柴发合. 我国酸沉降控制策略[J]. 环境科学研究, 1997, 10(1): 27-31.
- [10] COFALA J, AMANN M, GYARFAS F, et al. Cost-effective control of SO<sub>2</sub> emissions in Asia[J]. Journal of Environmental Management, 2004, 72(3): 149-161.
- [11] BHATTACHARYA A, MUDGAL R, TANEJA A. Acid deposition and critical load analysis in Agra, India[J]. Journal of Hazardous Materials, 2004, 106(2/3): 157-160.
- [12] BOUDRIJ C, HORDIJK L, KROEZE C, et al. The potential contribution of renewable energy in air pollution abatement in China and India[J]. Energy Policy, 2002, 30(5): 409-424.
- [13] SHAH J, NAGPAL T, JOHNSON T, et al. Integrated analysis for acid rain in Asia: policy implications and results of RAINSASIA Model[J]. Annual Review of Energy and the Environment, 2000, 25: 346-351.
- [14] FOELL W, AMANN M, CARMICHAEL G, et al. RAINS ASIA: an assessment model for air pollution in Asia[R/O L]. [2007-06-15]. <http://www.iiasa.ac.at/~rains/asia/>.
- [15] BERTOK I, COFALA J, GYARFAS F, et al. Structure of the RAINS 7.52 energy and emissions database[R]. Austria: International Institute for Applied System Analysis, 2001.
- [16] 叶雪梅, 郝吉明, 段雷, 等. 应用动态模型确定酸沉降临界负荷的探讨[J]. 环境科学, 2002, 23(4): 18-23.
- [17] 程新金, 孙继明, 雷恒池, 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.
- [18] 金永平, 赵多, 王正花. 浙江省酸雨现状及其对农业可持续发展的影响[J]. 环境污染与防治, 1997, 19(2): 18-21.
- [19] 林雨霏, 刘素美, 纪雷, 等. 舟山群岛降水中阴离子及 pH 值的特征分析[J]. 环境科学, 2005, 26(5): 49-54.
- [20] 浙江省环境保护局. 浙江省“两控区”污染防治 2002 年度评估报告[R/O L]. (2003-05-09)[2007-06-15]. <http://www.zjep.gov.cn/sy/list.asp?category=57&record=7062>.
- [21] 舟山市环境保护局. 2005 年舟山市环境状况公报[EB/O L]. (2006-08-24)[2007-06-15]. <http://www.zshbj.gov.cn/newweb/gongbao/index1.asp?id=361>.

责任编辑: 赵 多(修改稿收到日期: 2007-07-30)

(上接第 788 页)

- [4] 尹海龙, 徐祖信. 可视化黄浦江水环境数学模型系统设计与开发[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(1): 5-7.
- [5] 耿庆斋, 张行南, 郭亨波, 等. 地理信息系统与一维水质模型的集成开发[J]. 环境科学与技术, 2003, 26(增刊): 35-36.
- [6] 沙海飞, 汪德, 范丽丽. 基于 GIS 与数学模型集成的闸泵信息管理系统[J]. 水自动化与大坝监测, 2004, 28(4): 70-72.
- [7] PULLAR D, SPRINGER D. Towards integrating GIS and catchment models[J]. Environmental Modelling & Software, 2000, 15: 451-459.
- [8] 喻泽斌, 蒋荣华, 王红君. 组件式流域水环境管理地理信息系统开发与设计[J]. 桂林学院学报, 2004, 24(4): 498-501.

责任编辑: 黄 苇(修改稿收到日期: 2007-07-10)

## 美国杜邦和布罗恩公司联合推进 纤维素制乙醇技术

杜邦公司已开发出 1 组能够有效分解玉米秸秆和叶子中纤维素制造乙醇的技术,而且产率较高。布罗恩公司在依阿华州有 6 家玉米制乙醇工厂,计划从杜邦转让技术,将其中 1 家改建成生物炼油厂,改建设施价值将达 2.2 亿美元,到 2009 年年产乙醇 1.25 亿加仑。该公司正向美国能源部申请资助该项目 8 千万美元。