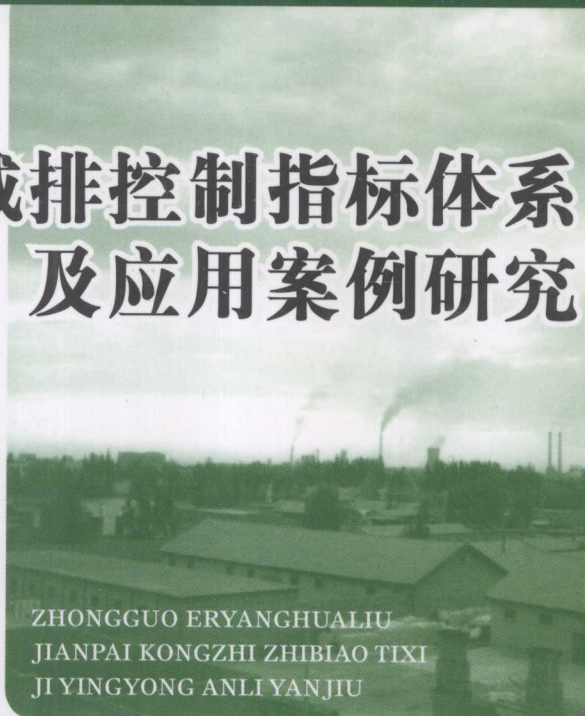
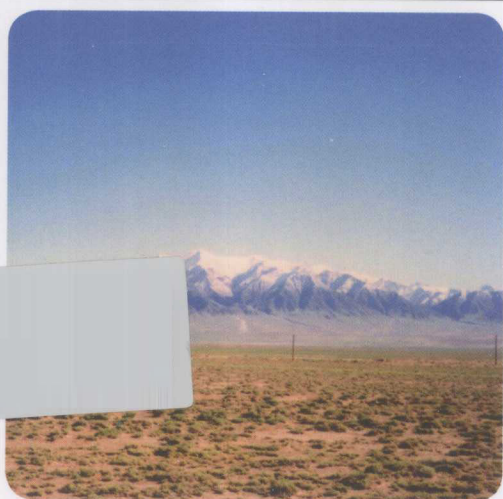


韩国刚 主编

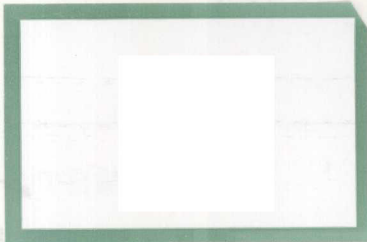
中国二氧化硫减排控制指标体系 及应用案例研究



ZHONGGUO ERYANGHUALIU
JIANPAI KONGZHI ZHIBIAO TIXI
JI YINGYONG ANLI YANJIU



中国环境科学出版社



中国二氧化硫减排控制指标体系及 应用案例研究

韩国刚 主编

韩振宇 姜 华 孔令辉 副主编

封面设计 姜 华
版式设计 姜 华
插图设计 姜 华

中国环境科学出版社·北京

2.8 册 印
500 千 字
38.00 元 付 宝

【：京发告彭，数科，中环境科学出版社，2012年1月，38.00元】

图书在版编目(CIP)数据

中国二氧化硫减排控制指标体系及应用案例研究/韩国刚主编. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.4

ISBN 978-7-5111-0950-7

I. ①中… II. ①韩… III. ①二氧化硫—污染物排放标准—研究—中国 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 051359 号

责任编辑 黄晓燕 赵楠婕

责任校对 扣志红

封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765, 010-67112735
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 4 月第 1 版
印 次 2012 年 4 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 8.5
字 数 200 千字
定 价 36.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

编 撰 人 员

主 编 韩国刚

副主编 韩振宇 姜 华 孔令辉

编 委 韩国刚 韩振宇 姜 华 孔令辉 姜凤兰

陈 忱 王辉民 韩冬梅 苏 艺 卓俊玲

杨少俊 刘伟生 刘 殊 曲富国 蔡 梅

杜蕴慧 赵瑞霞 刘振起 杨申卉

前 言

本书作为国家环境保护总局环境工程评估中心的自选课题,自 2003 年开始研究至今已近五年。2003 年开始研究能源弹性系数并与能源、经济、环境相联系,搭建能源、经济、环境之间桥梁,探讨能源、经济、环境和谐的发展模式,并将能源弹性系数的三个不同方案于 2003 年首次应用在浙江省宁波市北仑区域规划环评中,取得了满意的效果。随后在北京、天津、河北、山东、广东、湖南、福建、山西、内蒙古、辽宁、吉林和黑龙江等省市的 40 个多单位的区域环评、规划环评中得到了应用,取得了较好的效果。

能源弹性系数方法在 2004—2005 年国家环境保护总局环境工程评估中心的火电厂项目群环境评估中得到了应用。首先在 2004 年完成了 200 个火电厂项目的环境评估,提出了强化火电厂项目宏观控制的建议并上报给国家环境保护总局,在解振华局长的支持下,最终由国家环境保护总局出文将火电厂项目宏观控制的报告上报给国务院,国务院下发了 32 号文件整顿火电厂项目无序建设的通知,国家环境保护总局环境工程评估中心为国家宏观控制火电厂项目提供了科学依据。

我们总结研究项目,于 2006 年发表了 437 个火电厂环境影响宏观分析与对策研究(环境科学研究,2006 年第 19 卷第 6 期)、中国能源与大气环境污染宏观控制预警指标研究(环境科学研究,2006 年第 18

卷第 5 期)、中国 2001—2010 年能源与环境不和谐图像及其控制对策研究(电力环境保护, 2006 第 5 期)。

于 2007 年发表了中国 SO₂ 减排控制指标体系与对策研究(电力环境保护, 2007 第 4 期)、中国 2010 年 SO₂ 排放量控制在 2 300 万吨以下的可行性分析(电力环境保护, 2007 第 6 期)。

2008 年 1 月研究项目得到国家环境保护总局环境工程评估中心的支持, 将课题定名为“中国 SO₂ 减排控制指标体系与应用案例研究”, 并正式纳入国家环境保护总局环境工程评估中心的科研课题。2008 年 5 月, 由韩国刚担任课题组组长, 主持编制“中国 SO₂ 减排控制指标体系与应用案例研究”报告。课题组在以上五个阶段性成果的基础上, 经过半年多的研究, 完成了本课题的总报告。

目 录

1	中国 SO ₂ 减排控制指标体系与对策研究	1
1.1	中国 SO ₂ 排放量与压力	2
1.2	中国 SO ₂ 减排指标体系	2
1.3	SO ₂ 减排量与各个减排指标相关关系分析	5
1.4	SO ₂ 减排控制对策	15
2	SO ₂ 减排控制指标应用案例一	17
2.1	16 个 SO ₂ 削减指标概况	17
2.2	2010 年 SO ₂ 排放量预测图像基本程序	18
2.3	2010 年 SO ₂ 排放量预测图像分析	19
2.4	SO ₂ 减排控制对策	23
3	能源弹性系数指标在我国火电厂项目宏观控制减排 SO ₂ 应用案例二	29
3.1	能源弹性系数的定义内涵和公式	29
3.2	能源弹性系数正常值	29
3.3	以能源生产（或消费）系数宏观控制火电项目减排 SO ₂	32
3.4	结论与建议	42
4	能源消费弹性系数指标在区域环评减排 SO ₂ 应用案例三	44
4.1	北仑区区域规划概况	44
4.2	战略发展目标	45
4.3	能源规划概况	48
4.4	区域规划节能减排 SO ₂ 选用能源消费弹性系数的方法和预测程序	49
4.5	不同方案下的能源需求量、SO ₂ 及烟尘排放量预测	50

5 能源弹性系数指标在我国 2001—2010 年能源与环境发展模式与 对策中应用案例.....	53
5.1 能源与环境发展模式和图像.....	53
5.2 我国 2001—2004 年能源弹性系数和“十五”期间能源与 环境发展图像 I	53
5.3 中国 2001—2010 年能源生产与环境发展图像 II	54
5.4 2001—2010 年能源消费与环境发展图像 III	56
5.5 结论.....	59
5.6 建议.....	59
6 研究建议	61
参考文献.....	62
附 录.....	63
中国 2015 年 SO ₂ 节能减排总量控制目标研究.....	70
中国 2015 年节能减排 SO ₂ 排放总量 (2 111 万 t) 目标可行性分析	80
中国 2020 年节能减排 SO ₂ 排放总量控制在 2 070 万 t 以下的可行性分析 ...	85
2010 年 SO ₂ 排放总量达到 2 300 万 t 后评价	97
中国 2020 年节能减排 SO ₂ 排放量发展预测与对策研究	111
“十一五” SO ₂ 排放总量后评价	122

1 中国 SO₂ 减排控制指标体系与对策研究

控制中国的 SO₂ 排放量是一个大的系统工程, SO₂ 排放量与国内生产总值 (GDP 总量)、国内生产总值年均增长率、总能耗量和总煤耗量、总能耗量和总煤耗量年均增长率、能源组成、煤质含硫量、能源、经济、环境的发展模式 (能源消费弹性系数)、SO₂ 排放收费标准、SO₂ 控制政策、SO₂ 总量控制目标、SO₂ 治理强度与投资 (治理措施)、人口总量 (城市人口)、人均能耗、第二产业比例、第三产业比例等 16 个指标相关。

这 16 个指标中涉及经济、社会发展和国民经济产业结构和发展模式的有 6 个: 国内生产总值 (GDP 总量), 国内生产总值 (GDP) 年平均增长率, 能源、经济、环境发展模式 (能源消费弹性系数), 人口总量 (城市人口), 国民经济第二产业比例, 国民经济第三产业比例。

涉及能源、能源组成、人均能耗及煤质含硫量的指标有 5 个: 总能耗量和总煤耗量、总能耗量和总煤耗量年均增长率、能源组成、煤质含硫量、人均能耗。

涉及环境控制、清洁生产和科技含量的指标有 5 个: SO₂ 总量控制目标、SO₂ 控制政策、SO₂ 治理强度与投资、SO₂ 排放收费标准、清洁生产水平与科技含量。

上述 16 个指标中属于国家层面控制的有 11 个指标, 属于环境保护主管部门控制的有 5 个指标, 根据现状 SO₂ 减排应纳入国家计划, 并由国务院牵头, 按 16 个指标制订实施计划。

目前采用的简单行政手段是将其减排总量分配到各省市和企业集团并与之签订目标责任书的行政控制方式并不是有效的方式, 其中能源与大气环境污染宏观控制模式 (能耗系数)、国内生产总值 (GDP) 年平均增长率、能源组成等指标不是一个行政部门所能控制的, 它是国家决策者决定的。在此通过建立 SO₂ 减排指标体系和 SO₂ 控制方程式来系统、具体地说明中国 SO₂ 减排指标体系和 SO₂ 减排对策。

1.1 中国 SO₂ 排放量与压力

2005 年我国 SO₂ 排放量为 2 549 万 t, 当年耗煤量为 22.2 亿 t 标准煤。2000—2005 年 SO₂ 排放量变化情况见图 1-1。由图 1-1 看出, 我国 SO₂ 排放量伴随着经济发展而呈缓慢增长, 特别是生活中排放的 SO₂ 总量基本持平。但是我国 SO₂ 排放总量 2005 年已达 2 549 万 t^[1], 是世界第一大排放国, 面临国内外巨大的减排压力。在高速发展经济的同时, SO₂ 排放量缓慢增长或者不增长已经是很困难的, 现在国家提出在 2005 年 SO₂ 排放量的基础上削减 10%, 确实更难完成。因此有必要系统地研究我国 SO₂ 减排指标体系, 从各个指标体系中分析 SO₂ 减排的具体条件。

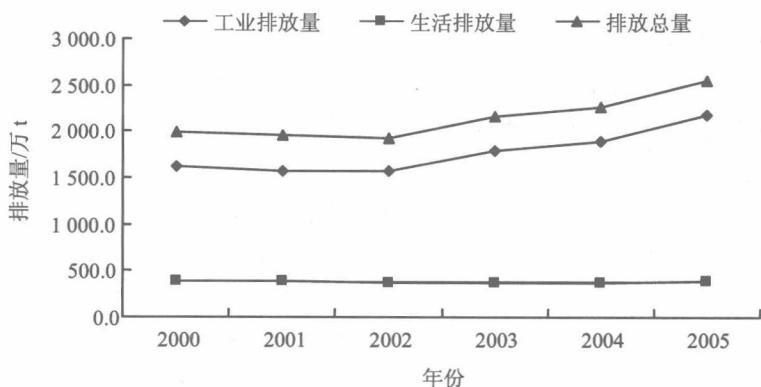


图 1-1 我国 2000—2005 年 SO₂ 排放量

1.2 中国 SO₂ 减排指标体系

经作者多年的研究发现, 减排 SO₂ 排放量与下列 16 个指标相关, 其中 12 个指标与 SO₂ 排放量呈现正相关, 4 个指标与 SO₂ 排放量呈现负相关。各减排指标名称和说明见表 1-1。

表 1-1 中国 SO₂ 减排指标体系表

序号	名称	说明	指标
1	国内生产总值 (GDP)	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈正相关, GDP 越大, 反映能耗的经济量越大。在以煤为主的能源组成中, 反映煤耗量越大, 进而反映 SO ₂ 排放量越大, 相反 GDP 越小, SO ₂ 排放量越小	G
2	国内生产总值 (GDP) 年平均增长率	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈正相关, GDP 年均增长率越大, 反映能耗 (煤耗) 平均增长率大, 同时反映 SO ₂ 排放量越大; 反之, GDP 年均增长率越小, SO ₂ 排放量越小	α
3	总能耗量和总煤耗量	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈正相关, 总能耗量或总煤耗量越大, 生产过程产生的 SO ₂ 越多, SO ₂ 排放量越大; 反之, 总能耗量或总煤耗量越小, SO ₂ 排放量越小	E
4	总能耗量和总煤耗量年均增长率	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈正相关, 总能耗量和总煤耗量年均增长率越大, 总能耗量和总煤耗量增长就越快, 总能耗量和总煤耗量增长就越大, 相应的 SO ₂ 排放量越大; 相反, 总能耗量和总煤耗量年均增长率越小, SO ₂ 排放量越小	β
5	能源组成	能源组成指标中煤耗量所占比例, 与 SO ₂ 排放量呈正相关。煤耗量比例越大, SO ₂ 排放量越大; 反之, 煤耗量比例越小, SO ₂ 排放量越小	C
6	能源消费弹性系数	该指标定义为能源消费年均增长率与 GDP 年均增长率之比, 该指标的大小, 反映了能源经济环境的和谐程度和 SO ₂ 排放量的多少。能源消费弹性系数越大, 反映消耗的能源越多, 产生的 SO ₂ 排放量越大, 经济发展与环境越不和谐; 反之, 能源消费弹性系数越小, 反映消耗的能源越少, SO ₂ 排放量越小, 经济能源环境的发展模式越和谐	K
7	煤质含硫量	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈正相关, 该指标指单位 (kg, t) 煤中的含硫量, 通常以百分比表示。煤质含硫量越高, 产生的 SO ₂ 越多, SO ₂ 排放量越大; 反之, 煤质含硫量越低, SO ₂ 排放量越大	S
8	SO ₂ 总量控制目标	该指标是指各五年计划的 SO ₂ 排放控制目标。该总量指标越大, SO ₂ 排放量越大; 相反, 该总量指标越小, SO ₂ 排放量越小。我国 “十一五” 制定的 SO ₂ 排放控制目标是在 2005 年 SO ₂ 排放量基础上削减 10%, 即降到 2 300 万 t 以下, 在我国经济高速发展期内, GDP 和煤耗量不断增加的情况下, SO ₂ 排放量不但不增加, 反而要削减 10%, 实现这样的控制目标是非常艰难的, 相应地, 严格的总量控制目标为我国开发新能源、改变能源组成、推动节能降耗、加速产品更新换代创建了机遇	H

序号	名称	说明	指标
9	SO ₂ 控制政策	该指标是国家为实现经济社会和环境的可持续发展、构建和谐社会而制订的有关控制 SO ₂ 的政策、法规、收费标准和总量控制目标, 如国务院“两控区”文件、发改委 864 号和 159 号文件、上大压小、超总量指标区域限批、控制煤质含硫量的规定(高含硫煤限采文件和配备洗煤措施)、项目建设规模、能耗标准及税收优惠等政策。控制 SO ₂ 排放的政策越严格, SO ₂ 排放量越小; 控制政策越松, SO ₂ 排放量越大	P
10	SO ₂ 治理强度与投资	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈负相关, SO ₂ 治理强度通常以 SO ₂ 治理措施的去除率表示, SO ₂ 治理强度与投资越大, 去除率越高, 排到大气中的 SO ₂ 就越少, SO ₂ 排放量越小; 反之, 去除率越低, SO ₂ 排放量越大	R
11	SO ₂ 收费标准	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈负相关, SO ₂ 收费标准主要包括排放单位收费标准、排放总量收费标准和超标排放收费标准。SO ₂ 收费标准越高, 就会使企业排放的 SO ₂ 就越少, SO ₂ 排放量越小; 反之, SO ₂ 收费标准越低, SO ₂ 排放量越大	Y
12	清洁生产水平与科技含量	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈负相关, 清洁生产是指万元产值的能耗量及 SO ₂ 产生量和排放量。万元产值能耗量越大, 清洁生产水平与科技含量越低, 产生的 SO ₂ 就越多, SO ₂ 排放量越大; 相反地, 万元产值能耗量越小, 清洁生产水平与科技含量越低, SO ₂ 排放量越大	Z
13	人口总量(城市人口)	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈正相关, 人口总量越大, 所需能耗越多, SO ₂ 排放量越大; 反之, 人口总量越小, 所需能耗越少, SO ₂ 排放量越小	Q
14	人均能耗	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈正相关, 在人口总量一定的条件下, 人均能耗越多, 消耗的能源就越多, SO ₂ 排放量越大; 反之, 人均能耗越少, 消耗的能源就越少, SO ₂ 排放量越小	A
15	第二产业比例	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈正相关, 第二产业所占比例越大, 尤其是第二产业中的高耗能产业所占比例越大, 消耗的能源总量就越大, SO ₂ 排放量越大; 反之, 第二产业所占比例越小, 消耗的能源总量就越小, SO ₂ 排放量越小	I
16	第三产业比例	该减排指标与 SO ₂ 排放量呈负相关, 第三产业所占比例越大, 消耗的能源总量就越小, SO ₂ 排放量越小; 反之, 第二产业所占比例越小, 消耗的能源总量就越大, SO ₂ 排放量越大	T

1.3 SO₂ 减排量与各个减排指标相关关系分析

通过对 SO₂ 排放总量与 SO₂ 减排控制指标体系的研究,发现 SO₂ 排放总量与上述 16 个变量成函数关系,为此作者建立了 SO₂ 减排量函数关系表达式:

$$X_{\text{SO}_2} = \int \left(\frac{G \cdot \alpha \cdot E \cdot \beta \cdot C \cdot M \cdot S \cdot H \cdot P \cdot Q \cdot A \cdot I}{R \cdot Y \cdot Z \cdot T} \right)$$

式中, G —— 国内生产总值 (GDP);

α —— 国内生产总值 (GDP) 年平均增长率;

E —— 总能耗量或总煤耗量;

β —— 总能耗量和总煤耗量年均增长率;

C —— 能源组成;

M —— 能源环境经济发展模式 (主要指能源消费弹性系数 K 的大小);

S —— 煤质含硫量;

H —— SO₂ 总量控制目标;

Q —— 人口总量 (城市人口);

A —— 人均能耗;

I —— 第二产业比例;

P —— SO₂ 控制政策 (如酸雨“两控区”、区域限批、税收等);

R —— SO₂ 治理强度与投资 (去除率);

Y —— SO₂ 收费标准 (包括排放单位收费标准、排放总量收费标准和超标排放收费标准);

Z —— 清洁生产水平与科技含量;

T —— 第三产业比例。

由 SO₂ 数学表达式可以看出,SO₂ 排放总量与数学表达式中的 16 个指标相关,其中 12 个指标与 SO₂ 排放量呈现正相关,4 个指标与 SO₂ 排放量呈现负相关。

在以上所列的 16 个影响因素中,本书将重点评述 SO₂ 的排放量与 GDP 总量、GDP 年均增长率、能源组成、能源经济环境发展模式 (能源消费弹性系数)、SO₂ 治理强度与投资 (去除率)、煤质含硫量等减排指标关系。

1.3.1 SO₂ 排放量与 GDP 总量关系

控制方程式中的其他因素不变的条件下,SO₂ 的排放量和 GDP 总量是成正比

的,我国 2000—2005 年 SO_2 的排放量和 GDP 总量如图 1-2 所示,可以明显地发现, GDP 总量越大, SO_2 的排放量越大; GDP 总量越小, SO_2 的排放量也越小。

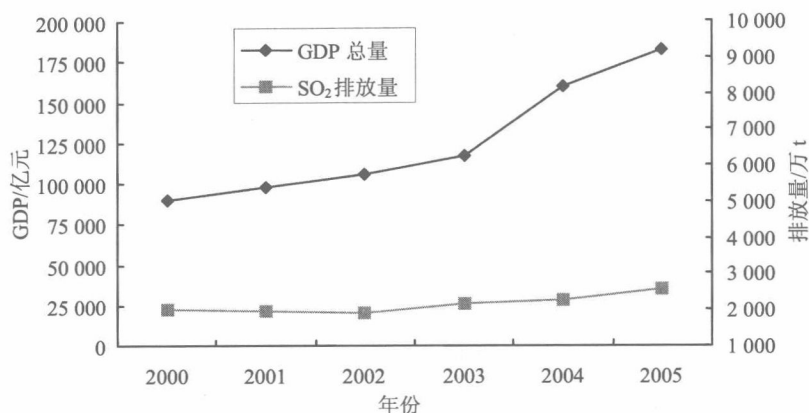


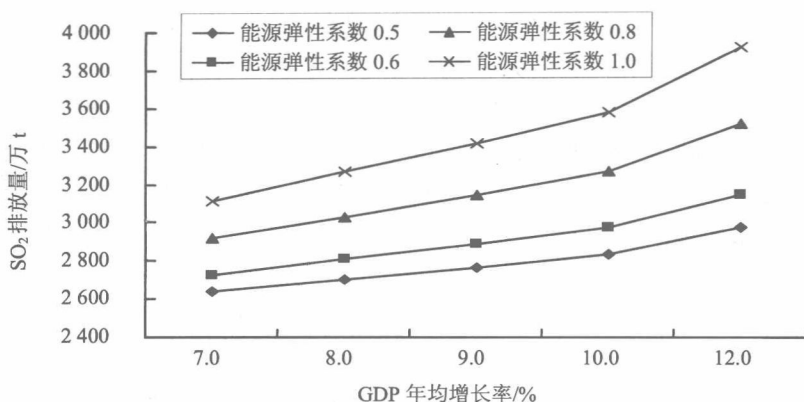
图 1-2 SO_2 的排放量和 GDP 总量关系示意图

1.3.2 SO_2 排放量与 GDP 年均增长率的关系

控制方程式中的其他因素不变的条件下, SO_2 排放量与国内生产总值 (GDP) 年均增长率成正比, GDP 年均增长率越大, 反映消耗的能源越大, 相应的 SO_2 排放量也越大; 相反地, GDP 年均增长率越小, SO_2 排放量也越小。2005 年的 SO_2 排放量为 2 549 万 t, 当去除率为 50%, 含硫 1%, 能源弹性系数值分别为 0.5、0.6、0.8、1.0, 预测 2010 年的 SO_2 排放量, 结果见图 1-3 和表 1-2。由图可见, GDP 年均增长率与 SO_2 排放量是成正比的关系。因此, 适当地控制 GDP 的过快增长是 SO_2 减排的重要措施。

表 1-2 SO_2 的排放量和 GDP 年均增长率关系

GDP 年均 增长率/%	SO ₂ 的排放量/万 t			
	能源弹性系数为 0.5	能源弹性系数为 0.6	能源弹性系数为 0.8	能源弹性系数为 1.0
7.0	2 636.66	2 727.04	2 915.23	3 113.66
8.0	2 700.97	2 806.46	3 027.34	3 261.91
9.0	2 766.52	2 887.73	3 142.87	3 415.75
10.0	2 833.35	2 970.86	3 261.91	3 575.33
12.0	2 970.86	3 142.87	3 510.80	3 912.40

图 1-3 SO₂ 的排放量和 GDP 年均增长率关系示意图

1.3.3 SO₂排放量与总能耗量和总煤耗量的关系

SO₂ 排放量与总能耗量和总煤耗量呈正相关的关系,总能耗量越大,在能源结构不变的情况下,总煤耗量也越大,产生的 SO₂ 就越多,SO₂ 排放量就越多,经济能源环境的发展就越不和谐;相反地,总能耗量和总煤耗量越小,SO₂ 排放量就越小,经济能源环境的发展就越和谐。

1.3.4 SO₂排放量与总能耗量和总煤耗量年均增长率的关系

SO₂ 排放量与总能耗量和总煤耗量年均增长率也呈正相关的关系。总能耗量和总煤耗量年均增长率 (β) 越高,能耗和煤耗的增长就越快,使总能耗量和总煤耗量越大,SO₂ 的排放量也会越大;相反地,总能耗量和总煤耗量增长率越小,总能耗量和总煤耗量也越小,SO₂ 排放量就越小,经济能源环境的发展就越和谐。

1.3.5 SO₂排放量与能源组成的关系

能源组成 (C) 中的原煤含量 (%) 与 SO₂ 的排放量成正比,原煤在总能耗量所占比重越大,SO₂ 的排放量就越高。我国 1999 年以来的能源结构见表 1-3^[2],1999 年原煤占总能耗的 74.60%,直到 2003 年一直下降,到 2004 年有所回升达到 68.38%。

2006 年总能耗量为 24.6 亿 t 标准煤,由公式 $A_T = A_0(1 + \alpha_1)^T$,式中: A_0 为 2006 年总能耗量, $T=4$,可算出 2010 年 (第 T 年) 总能耗量 (A_T),当煤质含硫

量 1.0%，GDP 年均增长率为 9.0%，能源弹性系数为 1.0，SO₂ 治理措施的去除率为 50%。在原煤所占比例分别为 60%、65%、68%、70%、72%时，估算 2010 年 SO₂ 的排放量情况见图 1-4。由图 1-4 可知，SO₂ 的排放量与原煤比例成正比，为了实现 2010 年 SO₂ 的减排目标应当逐步改变以煤为主的能源组成，降低煤炭资源在能源组成中所占比例，建议 2010 年煤炭在能源组成中所占比例小于 70%，SO₂ 减排目标基本实现。

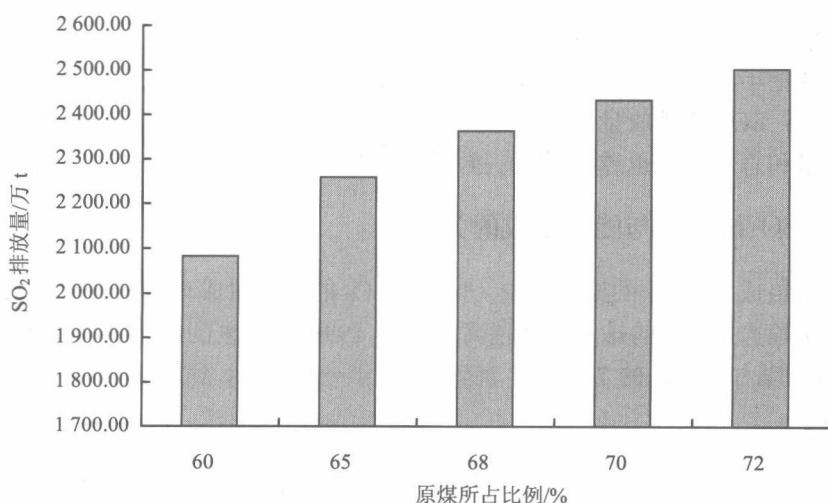
表 1-3 1999—2004 年中国能源结构

单位：%

年份	原煤	原油	天然气	水电	核电
1999	74.60	17.50	1.80	5.71	0.39
2000	69.10	22.57	2.14	5.76	0.43
2001	67.75	23.21	2.35	6.23	0.46
2002	66.69	22.87	2.55	7.43	0.46
2003	66.32	23.41	2.56	7.10	0.61
2004	68.38	22.21	2.58	5.93	0.90

表 1-4 不同能源结构条件下 SO₂ 的排放量预测值

原煤所占比例/%	60	65	68	70	72
SO ₂ 排放量/万 t	2 083.49	2 257.12	2 361.29	2 430.74	2 500.19

图 1-4 SO₂ 的排放量与能源结构中原煤含量关系示意图

1.3.6 SO₂排放量与经济社会环境发展模式(能源消费弹性系数)的关系

能源经济环境发展模式越和谐, SO₂ 排放量越少, 相反 SO₂ 排放量越大。能源经济环境发展模式是否和谐可以通过能源消费弹性系数(K)来反映, K 越大, 反映能源消费量年均增长率越大, 相应的反映能源年消费量大, SO₂ 排放量大; 相反, K 越小, 反映能源年消费量小, SO₂ 排放量也小。SO₂ 排放量与能源消费弹性系数的关系具体情况见图 1-5。当 SO₂ 去除率 60%, 含硫 1.0%, 能源弹性系数值分别为 0.5、0.6、0.8、1.0 时, 预测 2010 年的 SO₂ 排放量如表 1-5 所示, 由表 1-5 看出 GDP 年均增长率相同的条件下, SO₂ 排放量随着能源弹性系数值的增大而增大。

表 1-5 SO₂ 的排放量和能源弹性系数关系

GDP 年均 增长率/%	SO ₂ 的排放量/万 t			
	能源弹性 系数为 0.5	能源弹性 系数为 0.6	能源弹性 系数为 0.8	能源弹性 系数为 1.0
7.0	2 109.33	2 181.63	2 332.18	2 490.93
9.0	2 213.22	2 310.18	2 514.30	2 732.60
10.0	2 266.68	2 376.69	2 609.53	2 860.27
12.0	2 376.69	2 514.30	2 808.64	3 129.92

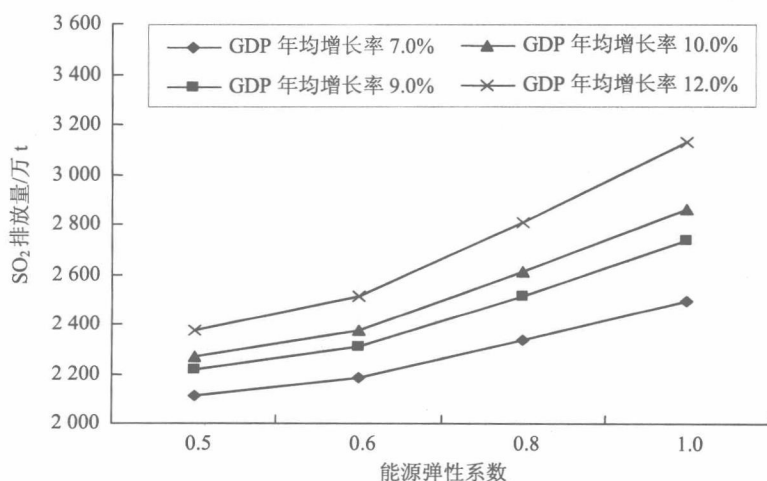


图 1-5 SO₂ 的排放量和能源弹性系数关系示意图