

佛山市禅城区火电企业减排效果研究

刘永红,王成,余志

中山大学工学院;广东省智能交通系统重点实验室,广州 510006

摘要 为研究火电企业的减排的效果并用数值形式显示火电企业排放对周围环境的影响,利用大气扩散模式 ADMS-Urban 进行污染物数值模拟和地理信息系统 ArcGIS 插值渲染方法,选取佛山市禅城区内典型的火电企业福能电厂作为研究对象,评估其减排效果。在不利于污染物扩散的气象条件下,对电厂排放的污染物进行数值模拟,并对该电厂的减排空间做情景分析。结果表明,福能电厂减排效果明显,且该电厂仍有减排空间。提高电厂烟囱高度、增大烟囱直径以及提高电厂燃料中清洁燃料的比重均可以降低电厂排放污染物对周围居民生活环境的影响,提高清洁燃料比重的可行性强。

关键词 火电企业;大气污染物;数值模拟;ADMS-Urban 模式

中图分类号 X511

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.11.011

Effect of Reduction of Emissions from Thermal Power Enterprises in Chancheng Area of Foshan City

LIU Yonghong, WANG Cheng, YU Zhi

School of Engineering, Sun Yat-sen University; Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Guangzhou 510006, China

Abstract To investigate the air quality in Chancheng area, Foshan City, the monitoring data were analyzed, which shows that after the emission control of industrial pollution, the air quality is improved. The pollutants from thermal power enterprises are reduced, but still with a high emission proportion in Chancheng area. To study the emission reduction of thermal power enterprises and to show the impact of pollutants on the environment, ADMS-Urban and ArcGIS are used to simulate the dispersal of pollutants from thermal power enterprises and the effect of emission reduction is evaluated under some unfavorable weather conditions. The further room for pollutant reduction is discussed. It is shown that pollutants of Funeng Power Plant are reduced, but with quite a room for further reduction. The increases of the power plant stack height, the diameter of the chimney and the proportion of clean fuels in power plant fuels are just a few of possible measures. The great potential exists in improving the fuel quality.

Keywords thermal power enterprise; air pollutants; numerical simulation; ADMS-Urban

0 引言

随着节能减排的开展,广东省佛山市政府对市内工业企业的能源使用及污染排放进行大力整改和控制,主要措施包括提高清洁能源的使用比例,关停整改污染较严重的企业。通过对 2008 年、2009 年佛山市禅城区污染物排放的行业分布情况分析发现,2008 年仅有 2 家企业的火电行业是区内第二大排放行业,火电行业的排放量比重高^[1]。2009 年禅城区关停了其中一家排放较大的火电企业,并对目前禅城区唯一

家火电企业福能发电有限公司(以下简称福能电厂)进行清洁燃料的整改。福能电厂总投资 10 亿元,总装机容量 37.6 万 kW,每年可以发电 18 亿 kWh,是区内主要的动力核心,2009 年对其进行燃料使用的整改后,电厂的污染物排放减少。目前,国内外关于典型企业的减排效果分析主要从环境效益、经济效益^[2]上考虑,在环境效益上,一般仅从排放总量上分析,若从污染物的扩散数值模拟的角度进行减排效果的分析就能更好地反映企业的污染物排放对周围环境的影响。

收稿日期:2011-02-01;修回日期:2010-03-07

基金项目:广东省科技计划项目(2008A080800012)

作者简介:刘永红,博士后,研究方向为机动车尾气控制、大气污染治理,电子信箱:liu_its@163.com;余志(通信作者,中国科协所属全国学会个人会员登记号:E401900031M),教授,研究方向为智能交通系统、节能减排,电子信箱:stsyuz@mail.sysu.edu.cn

基于高斯理论的空气污染扩散模式在大多数气象条件下模拟效果都较合理,是模拟污染物扩散的经典方法。国内外普遍采用的适用于中小尺度的模式主要有 ISC3、AERMOD、ADMS 和 CALPUFF^[8-9]等。国内如北京、沈阳、宁波等城市均采用过这些模型对空气污染物数值模拟进行研究^[7-9],国外如土耳其^[10]等也开展过类似研究。数值模拟的结果能比较好地反映污染情况,但是鲜有文献报道关于利用大气扩散模式 ADMS-Urban 和地理信息系统 ArcGIS 对佛山市禅城区火电企业的减排效果进行分析。

因此,本文以佛山市禅城区福能电厂为研究对象,应用 ADMS-Urban 及 ArcGIS 对其减排效果进行数值模拟分析,以期掌握福能电厂排放污染物对周围环境的影响程度,为进一步减排提供理论依据。

1 研究方法

1.1 大气扩散模式 ADMS-Urban

ADMS 模式系统^[11]采用三维高斯模型,以高斯分布公式为主计算污染浓度。烟羽扩散的计算使用了当地边界层的参数,化学模块中使用了远处传输的轨迹模型和箱式模型。

高斯模型的基本公式为

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\mu\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (1)$$

式中, σ_x 、 σ_y 、 σ_z 为大气扩散参数,m; H 为源高度,m; μ 为风速,m/s。

ADMS 可模拟点源、面源、线源和体源等排放出的污染物在短期(小时平均、日平均)、长期(年平均)的浓度分布,还包括一个街道窄谷模型,适用于农村或城市地区、简单或复杂地形。ADMS 模型与其他大气扩散模型的一个显著区别是:其使用了 Moniu-Obukhov 长度和边界结构的最新理论,精确地定义边界层特征参数。它摒弃了 Pasqill 稳定度分类法,将大气边界层分为稳定、近中性和不稳定 3 大类;同时摒弃了跃变式 Pasqill 曲线或幂指数形式的扩散参数体系,采用连续性普适函数或无量纲形式,可以模拟计算点源、线源、面源、体源产生的浓度,ADMS 模型特别适用于对高架点源的大气扩散模拟。

1.2 ArcGIS 渲染

ADMS-Urban 模拟出的结果是一些孤立的点值。为了直观地表示出污染物扩散的情况,本研究使用了 ArcGIS 做插值渲染。在 GIS 中选用的是克里格插值,又称空间局部插值法。它是以变异函数理论和结构分析为基础,在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法。

克里格方法的适用范围为区域化变量存在空间相关性,其实质是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点,对未知样点进行线性无偏、最优估计。克里格方法是根据未知样点有限邻域内的若干已知样本点数据,在考虑了样本

点的形状、大小和空间方位,与未知样点的相互空间位置关系,以及变异函数提供的结构信息之后,对未知样点进行的一种线性无偏最优估计。

克里格方法通过对已知样本点赋权重求出未知样点的值,可表示为

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

式中, $Z(x_0)$ 为未知样点的值, $Z(x_i)$ 为未知样点周围的已知样本点的值, λ_i 为第 i 个已知样本点对未知样点的权重, n 为已知样本点的个数。

2 福能电厂减排效果分析

2.1 排放总量控制效果分析

根据佛山市禅城区 2008 年、2009 年的环境统计数据,福能电厂 2008、2009 年均以燃油消耗为主,但 2009 年清洁燃气比重有所提升。福能电厂 2008 年、2009 年主要能耗、污染物排放对比情况如表 1 所示。

表 1 2008、2009 年佛山市福能电厂能耗、排放情况
Table 1 Energy consumption and emissions of Funeng Power Plant in Foshan City in 2008 and 2009

类别	2008 年	2009 年
重油消耗量/t	149700	95014
柴油消耗量/t	3565	3203
清洁燃气消耗量/(N·m ³)	1003	3506
燃料消耗总量/吨标煤	232396	187034
总发电量/(10 ⁸ kW·h)	7.5	6.8
供电标准煤/[g·(kW·h) ⁻¹]	309	274
SO ₂ 排放量/t	2052.08	1178.17
单位发电量 SO ₂ 排放/[t·(10 ⁸ ·kW·h) ⁻¹]	273.61	173.26
NO ₂ 排放量/t	1545.93	960.58
单位发电量 NO ₂ 排放/[t·(10 ⁸ ·kW·h) ⁻¹]	206.12	141.26

2009 年由于电厂提高使用清洁燃气的比例后,污染物 SO₂、NO₂ 的排放总量明显减少,分别减少 42.59%、37.86%。从供电标准煤耗上,福能电厂的燃料利用率进一步提升,在国内处于领先水平,达到节能的目标;从单位发电量污染物排放量指标上看,福能电厂的污染物的排放低,达到减排的目标。

2.2 污染物浓度和污染范围分析

2.2.1 气象条件选取

从禅城区 2008 年、2009 年 SO₂、NO₂ 两种污染物月平均浓度值变化趋势(图 1)和风速风向(图 2 和图 3),以及气温和雨量等气象条件分析结果发现,禅城区内空气质量水平主要受两种典型气象条件的影响:(1) 非夏季时段(主要为 1—3 月、10—12 月),在此时段内区内主导风向为偏北风,降雨量少,气温相对较低,空气污染较为严重,各种污染物浓度值都偏高;(2) 夏季时段(主要为 4—9 月),禅城区夏季主导风向为

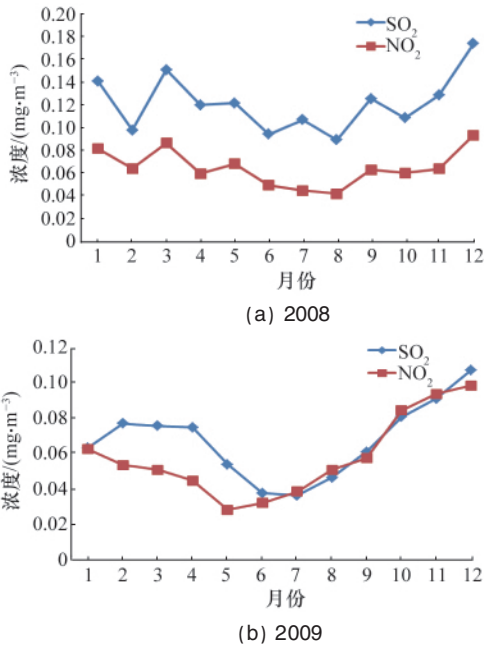


图1 禅城区污染物 SO₂、NO₂ 监测值月平均变化趋势
Fig. 1 Trend of monthly average values of SO₂, NO₂ in Chancheng area

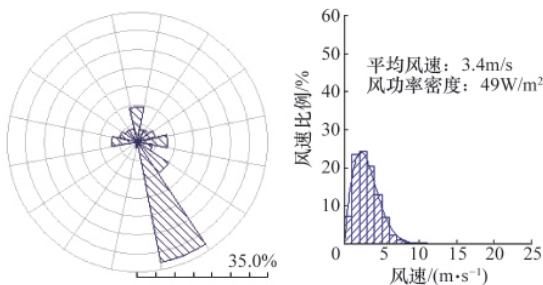


图2 佛山气象站夏季时段风玫瑰图(2008—2009年)
Fig. 2 Wind rose diagram in summer time in 2008 and 2009 of Foshan Weather Station

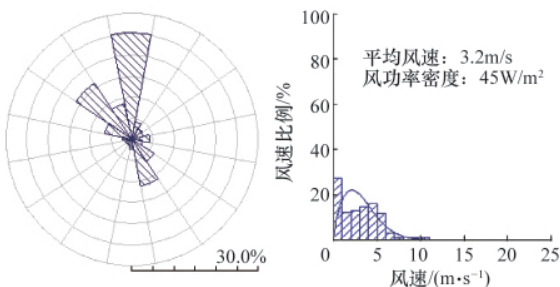


图3 佛山气象站非夏季时段风玫瑰图(2008—2009年)
Fig. 3 Wind rose diagram in non-summer time in 2008 and 2009 of Foshan Weather Station

偏南风,雨量充沛,气温较高,空气质量在此时段内较好,各种污染物浓度都相对偏低。通过分析发现,12月份污染物的浓度较高,为每年污染最严重的时期,因此选取该时段的气象条件作为数值模拟的气象输入。

2.2.2 模型验证

以2008年禅城区的污染情况为例,利用ADMS-Urban

模拟分析禅城区及周边地区(南海区、顺德区)的污染物排放对禅城区的空气质量影响,将其与禅城区内的环境监测点的数据进行对比,验证模型的适用性。

由表2可以看出,利用2008年12月的气象条件模拟出SO₂、NO₂浓度值的结果分别为该时段当地环境监测部门监测结果的57.36%、34.74%。对于NO₂,由于模拟中只考虑了3个区工业点源对禅城区的影响,而NO₂的首要污染源交通源未纳入考虑范围,导致模拟结果较小;对于SO₂,模拟中只考虑了工业点源,忽略面源及其他形式源对环境的影响。因此,上述模拟结果已能较好地模拟工业点源的污染物排放对禅城区环境的影响。

表2 模拟结果与实际监测值对比

Table 2 Comparison between simulation results and monitoring values

污染物情形	SO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	NO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)
模拟值/(mg·m ⁻³)	9.96×10 ⁻²	3.26×10 ⁻²
实测值/(mg·m ⁻³)	1.74×10 ⁻¹	9.37×10 ⁻²
比例	57.36%	34.74%

2.2.3 电厂污染物扩散模拟结果分析

将福能电厂的地理位置参数、锅炉相关参数、气象参数等输入到ADMS模式,选择长期平均值输出,分别模拟福能电厂2008年、2009年12月份污染物SO₂、NO₂扩散情况,得出这两种污染物的地面月平均浓度值,并耦合ArcGIS绘制污染物地面浓度渲染图。污染物SO₂地面浓度分布如图4所示,污染物NO₂地面浓度分布如图5所示。

由图4和图5可以看出,2009年电厂使用清洁燃料比例提高后,排放的污染物SO₂、NO₂对周围环境的影响范围明显减小,2009年两种污染物地面月平均浓度在5μg/m³以上的区域仅为2008年的2/3左右;而根据模拟结果,2009年福能电厂排放SO₂、NO₂扩散后,两种污染物的地面月平均最大浓度值分别为40.9、50.2μg/m³,均仅为2008年时的58%左右。因此,不论从污染物影响范围还是污染物地面最大浓度看,福能电厂的减排效果较为明显。

3 减排空间分析

如前分析,福能电厂在改变燃料结构后,污染物的排放总量有所减少,对禅城区环境的影响降低。但根据情景分析模拟发现,电厂仍有一定的减排空间。在保持福能电厂锅炉数、燃料量和发电量等条件下,对电厂烟囱尺寸及使用清洁燃气比例的改变进行情景模拟,烟囱的高度、直径、使用清洁燃气比例的变化对电厂排放的污染物扩散到地面的浓度有不同程度的影响。以下情景模拟均以2009年作为基准年,以2009年12月气象数据作为模拟的气象参数。

3.1 改变福能电厂烟囱高度

根据环境统计资料,佛山市禅城区60%烟囱高度在10—30m,福能电厂的烟囱高度为45m。在保持电厂其他参数不变

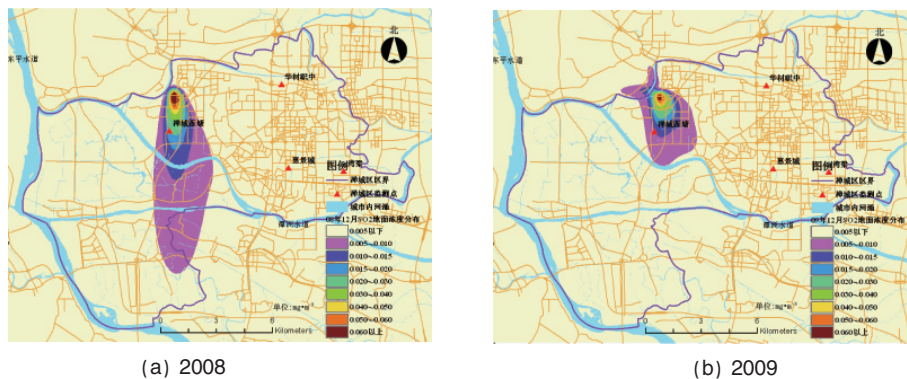


图4 福能电厂污染物 SO₂ 地面浓度分布

Fig. 4 Ground concentration distribution of SO₂ from Funeng Power Plant

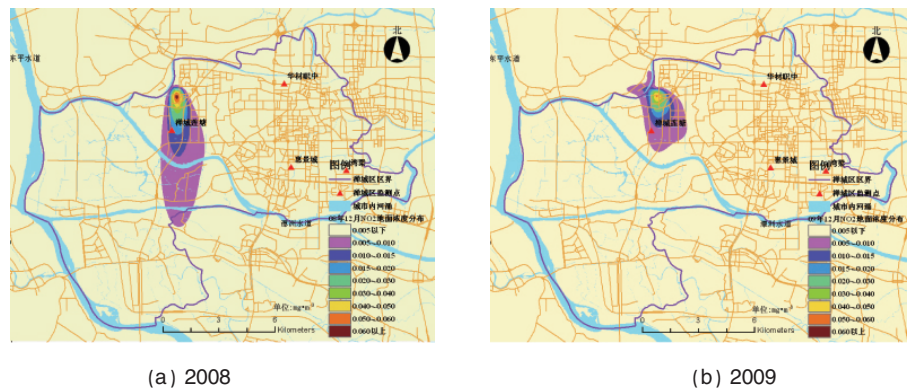


图5 福能电厂污染物 NO₂ 地面浓度分布

Fig. 5 Ground concentration distribution of NO₂ from Funeng Power Plant

的前提下,设其烟囱高度为 35、40、50、55m 进行数值模拟,分析烟囱高度对于污染物扩散到地面的影响。模拟结果如表 3 所示。

根据表 3 模拟结果发现,随着污染源烟囱高度的升高,有利于污染物的远距离输送,地面浓度最大值会减小,但是其污染范围会相应增大。结果表明,增高电厂烟囱的高度,有助于污染物远距离扩散,延长污染物在扩散过程中稀释的时间,降低其对在地表面生活的居民的影响。

表 3 不同烟囱高度的 SO₂、NO₂ 扩散模拟

Table 3 Diffusion simulations of SO₂ and NO₂ on different stack heights

烟囱高度/m	SO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	NO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)
35	7.63×10 ⁻²	6.22×10 ⁻²
40	6.15×10 ⁻²	5.01×10 ⁻²
45	4.09×10 ⁻²	5.02×10 ⁻²
50	4.06×10 ⁻²	3.31×10 ⁻²
55	3.27×10 ⁻²	2.66×10 ⁻²

3.2 改变福能电厂烟囱直径

根据调研数据,佛山市各污染源烟囱直径变化很小,主要为 0.5、0.6、0.8m,福能电厂的烟囱直径为 0.8m。设福能电厂烟囱直径为 0.5、0.6、1.0、1.2m 进行数值模拟,分析烟囱直径对于污染物扩散到地面的影响。模拟结果如表 4 所示。

由表 4 模拟结果发现,随着烟囱直径的增大,地面最大污染物浓度值会减小,污染范围变化不大。烟囱直径增大后,单位时间内污染物排放总量会增加,在其他条件不变的情况下,导致烟气抬升高度升高,从而地面污染物最大浓度值降低。结果表明,增大烟囱直径,也有助于地面污染物浓度的降低,减轻污染物对周围居民的危害。

表 4 不同烟囱直径的 SO₂、NO₂ 扩散模拟

Table 4 Diffusion simulations of SO₂ and NO₂ for different stack diameters

烟囱直径/m	SO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	NO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)
0.5	4.89×10 ⁻²	6.00×10 ⁻²
0.6	4.60×10 ⁻²	5.64×10 ⁻²
0.8	4.09×10 ⁻²	5.02×10 ⁻²
1.0	3.67×10 ⁻²	4.51×10 ⁻²
1.2	3.31×10 ⁻²	4.06×10 ⁻²

3.3 提高福能电厂清洁燃气使用比例

2009 年,福能电厂使用清洁燃料的比例仅为 25%左右,已经有很明显的减排效果,因此分别设清洁燃气使用率为 50%、75%、100%,根据《2006 年全国氮氧化物排放统计技术要求》,计算得出在清洁燃气不同使用比率的条件下 SO₂、NO₂ 的排放量,并利用 ADMS-Urban 大气污染物扩散模式对上述情景进行模拟分析。模拟分析结果见表 5。

由表 5 可以看出,增大清洁燃气的使用率对大气污染物的排放有较好的改善作用。当燃料中清洁燃气的比率为 100%时,污染物 SO₂、NO₂ 的地面最大浓度仅为 2009 年的 7.53%和 60.15%。结果表明,增大燃料中清洁燃气的使用比例,可以有效地减少污染物 SO₂ 的排放,降低形成酸雨的可能,减轻对周围居民的危害;污染物 NO₂ 虽不像 SO₂ 下降幅度这么大,但排放总量也有减少,扩散后地面最大浓度亦有相应地降低。

表 5 提高使用清洁燃气比例情景模拟

Table 5 Simulation results of increasing ratio of clean fuel gas

燃料	排放量/t		地面月平均最大浓度 (mg·m ⁻³)	
	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂
2009 年燃料	1178.17	960.58	5.02E-02	4.09E-02
50%燃气	856.01	946.54	3.65E-02	4.03E-02
75%燃气	464.36	754.83	1.98E-02	3.22E-02
100%燃气	88.6	576.01	3.78E-03	2.46E-02

3.4 改变福能电厂烟囱高度、直径和燃料

由第 3.1—3.3 节分析,设福能电厂烟囱高度增高至 55m,烟囱直径增大至 1.2m,并且全部使用清洁天然气作为燃料发电,模拟分析此时福能电厂污染物排放对周边环境的影响。根据模拟结果发现,污染物 SO₂、NO₂ 扩散后地面最大浓度为 1.99×10⁻³、1.29×10⁻²mg/m³,仅为 2009 年的 3.96%、31.54%,对环境不会造成恶劣影响。

这 3 个条件中,在现阶段改变烟囱的高度、烟囱直径的可操作性不大,但此情景模拟分析可以为烟囱建设的尺寸提供理论依据,避免大气污染物对周边环境造成不良影响;而提高燃料中清洁燃料的使用比例可操作性很大,清洁燃料的使用可以显著地减少污染物 SO₂ 的排放,降低污染物对周围居民危害的可能性。

4 结论

通过福能电厂减排情况以及利用 ADMS-Urban 对减排效果的模拟分析,得到结论如下。

(1) 2009 年福能电厂提高清洁燃气的使用比例后,污染物 SO₂、NO₂ 的排放总量减少,治理效果较明显。

(2) ADMS-Urban 模式能够较好地模拟工业点源的排放对与环境的影响。利用该模式对福能电厂的减排效果分析发现,2009 年该电厂所排放的污染物扩散后的地面浓度仅为 2008 年的 58%左右,基本不会对周围居民的身体健康有很大危害。

(3) 2009 年福能电厂减排效果明显,但仍有减排的空间。利用情景模拟分析了福能电厂烟囱尺寸的改变、燃料的改变对污染物排放的影响,在保持其他条件不变的情况下,增加烟囱的高度、增大烟囱的直径以及提高清洁燃料在总燃料中的比重这样的措施都可以降低福能电厂排放的污染物

对于周围居民的影响。在现阶段,增加烟囱高度、增大烟囱直径的可操作性不大,模拟分析结果可为以后烟囱建设的尺寸提供理论依据;提高清洁燃料在总燃料中的比重可操作性强,对福能电厂继续进行清洁燃料的改造,以获得最大的环境效益。

参考文献 (References)

- [1] 中山大学智能交通中心. 佛山市禅城区大气环境综合整治方案[R]. 广州: 中山大学, 2010.
Research Center of Intelligent Transportation System. Atmospheric Environment Comprehensive Treatment Scheme of Chancheng Area, Foshan City[R]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2010.
- [2] 左华, 康广凤. 青岛市主要污染物减排分析研究 [J]. 江苏环境科技, 2008, 21(4): 20-23.
Zuo Hua, Kang Guangfeng. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, 2008, 21(4): 20-23.
- [3] 杨多兴, 杨木水, 赵晓宏, 等. AERMOD 模式系统理论 [J]. 化学工业与工程, 2005, 22(2): 130-134.
Yang Duoxing, Yang Mushui, Zhao Xiaohong, et al. *Chemical Industry and Engineering*, 2005, 22(2): 130-134.
- [4] 丁峰, 赵越, 伯鑫. ADMS 模型参数的敏感性分析[J]. 安全与环境工程, 2009, 16(5): 25-29.
Ding Feng, Zhao Yue, Bo Xin. *Safety and Environmental Engineering*, 2009, 16(5): 25-29.
- [5] 迟妍妍, 张惠远. 大气污染物扩散模式的应用研究综述 [J]. 环境污染与防治, 2007, 29(5): 376-381.
Chi Yanyan, Zhang Huiyuan. *Environmental Pollution and Control*, 2007, 29(5): 376-381.
- [6] 伯鑫, 丁峰, 徐鹤等. 大气扩散 CALPUFF 模型技术综述 [J]. 环境监测管理与技术, 2008, 21(3): 9-13.
Bo Xin, Ding Feng, Xu He, et al. *Environmental Monitoring and Technology*, 2008, 21(3): 9-13.
- [7] 肖杨, 毛显强, 马根慧, 等. 基于 ADMS 和线性规划的区域大气环境容量测算[J]. 环境科学研究, 2008, 21(3): 13-16.
Xiao Yang, Mao Xianqiang, Ma Genhui, et al. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(3): 13-16.
- [8] 邹海东, 杨洪斌, 刘玉彻. CALPUFF 在沈阳地区大气污染模拟研究中的应用[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(6): 24-28.
Zou Haidong, Yang Hongbin, Liu Yuche. *Journal of Meteorology and Environment*, 2008, 24(6): 24-28.
- [9] 丁峰, 李时蓓, 蔡芳. AERMOD 在国内环境影响评价中的实例验证与应用[J]. 环境污染与防治, 2007, 29(12): 953-957.
Ding Feng, Li Shippei, Cai Fang. *Environmental Pollution and Control*, 2007, 29(12): 953-957.
- [10] Elbir T. 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.
- [11] 孙大伟. 新一代大气扩散模型 (ADMS) 应用研究 [J]. 环境保护科学, 2004, 30(1): 66-68.
Sun Dawei. *Environmental Protection Science*, 2004, 30(1): 66-68.
- [12] 蒋维楣, 王雪梅, 吴润, 等. 空气污染气象学[M]. 南京: 南京大学出版社, 2003.
Jiang Weimei, Wang Xuemei, Wu Jian, et al. *Air pollution meteorology* [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2003.

(责任编辑 吴晓丽)