

孙维<sup>1</sup> 陈飞<sup>1</sup> 王晖<sup>1</sup> 程小泉<sup>1</sup> 许农<sup>1</sup>

# CALPUFF 模型在合肥地区 SO<sub>2</sub> 大气环境容量测算中的应用

## 摘要

在对合肥地区污染源调查的基础上,利用 CALPUFF 模型模拟了合肥地区大气污染物 SO<sub>2</sub> 质量浓度场,通过与现场监测结果对比分析了模型的适用性,并根据模拟结果研究了不同排放源对合肥地区大气污染的贡献情况,建立了大气污染物传递矩阵;通过综合考虑城市区域的大气扩散能力、污染源贡献和大气环境质量目标等,采用线性规划模型测算了合肥市的大气环境容量。

## 关键词

CALPUFF 模型;线性规划模型;大气环境容量;合肥地区;SO<sub>2</sub> 质量浓度

中图分类号 X823

文献标志码 A

收稿日期 2015-01-12

资助项目 安徽省气象局科技发展基金(KM201304)

作者简介

孙维,女,硕士,工程师,主要从事大气污染控制与环境影响评价方面的研究工作。

sunnydancer@163.com

1 安徽省公共气象服务中心,合肥,230031

## 0 引言

城市发展与区域气候环境相互作用,一方面气候条件是城市规划发展中的重要影响因素,另一方面城市建设也改变了局地气候环境<sup>[1-3]</sup>。随着经济的快速发展,城市工业排放物猛增、城市人口急剧膨胀、资源大量消耗,导致了城市大气环境污染加剧、人居条件恶化等一系列环境问题。大气污染物环境容量是指在给定的区域内,达到环境空气保护目标而允许排放的大气污染物总量,大气环境容量的确定是有效控制大气环境污染的基础,也是推动总量控制的主要依据<sup>[4-5]</sup>。因此,如何在当前城镇化发展进程中确保社会经济与城市大气环境的可持续发展,准确测算大气环境容量,为政府提供制定大气污染控制决策的重要依据,是目前亟待解决的问题。

以往城市大气环境容量测算论证过程中常采用简单 A-P 值法,即基本不考虑污染源布局、气象条件、地形特征等对污染物扩散的影响,计算理想状态下的区域大气环境容量,而城市空气质量的好坏不仅与城市本身的排放源有直接关系,还与城市的气象条件有着十分密切的关系,因此利用 A-P 值法核算结果与实际情况具有较大偏差,且无法给出布局优化调整的合理建议<sup>[6-9]</sup>。随着数值模拟技术的快速发展,一些中尺度气象模式、边界层气象模式以及大气质量模式逐渐应用于城市规划发展的大气环境影响评估中,数值模拟法可以更为真实地反映城市发展对大气环境的影响,其中 CALPUFF 模式是美国环境保护署和中国环境保护部推荐使用的一个用于复杂地形下的大气质量评价、预测数值模式系统。相比于其他模式,CALPUFF 具有适用范围广、开放性强的特点,在非稳态以及复杂地形条件下具有强大的模拟能力等优势。美国环境保护署利用示踪试验分析了 CALPUFF 模式的模拟效果,结果表明烟羽抵达时间与模型模拟总体一致,预测结果总体趋势较好<sup>[10]</sup>。国内近年来也开展了 CALPUFF 的数学模拟和模型理论研究,但用于大气环境模拟和环境影响分析的成熟案例不多<sup>[11-12]</sup>。目前 CALPUFF 应用的瓶颈主要在于模式具有一定复杂性,对计算数据要求较高,尤其是气象数据的获取上,受到数据时空分辨率的限制,降低了模型气象场的精确度,最终会降低模拟结果的精确度。本文尝试以合肥地区为例,采用合肥基准气象观测站的气象观测数据,将 CALPUFF 大

气扩散模型作为区域气象场和环境质量模拟的基础模型,建立大气环境容量的线性优化模型,采用浓度-排放量反推模式测算SO<sub>2</sub>环境容量,以期为合肥市大气污染治理和总量控制提供依据.

## 1 模型方法

### 1.1 CALPUFF模型

CALPUFF基本原理为高斯烟团模式,可模拟三维流场中随时间和空间发生变化的污染物输送、转化和清除过程.CALPUFF模拟的尺度可以从几十米到几百千米,可以处理逐时变化的点源、面源、线源、体源等污染源,可选择模拟小时、天、月以及年等多种平均模拟时段,模式内部包含了化学转化、干湿沉降等污染物去除过程,充分考虑下垫面的影响,输出结果主要包括逐时的地面网格和各指定受体点的污染物浓度.在CALPUFF模型中,单个烟团在某个接受点的基本浓度公式为

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot g \cdot \exp\left[-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right],$$

$$g = \frac{2}{\sigma_z\sqrt{2\pi}} \cdot \sum_n \exp\left[-\frac{(H_e + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right],$$

式中 $C$ 为地面污染物质量浓度( $\text{g}/\text{m}^3$ ), $Q$ 为烟团中污染物的质量( $\text{g}$ ), $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ 分别为 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 方向上污染物高斯分布的标准差( $\text{m}$ ), $g$ 为高斯方程垂项( $1/\text{m}$ ),解决混合层和地面之间多次反射的问题, $d_a$ 为顺风距离( $\text{m}$ ), $d_c$ 为垂直风向距离( $\text{m}$ ), $H_e$ 为污染源的有效高度( $\text{m}$ ), $h$ 为混合层高度( $\text{m}$ ).

CALPUFF模拟系统包括诊断风场模型CALMET、高斯烟团扩散模型CALPUFF和后处理软件CALPOST 3部分.CALMET通过质量守恒连续方程对风场进行诊断,可使用中尺度气象模式的模拟、预测结果和实测气象资料作为输入资料,自动计算并生成包括逐时的风场、混合层高度、大气稳定性和微气象参数等的三维风场和微气象场资料;CALPUFF模块是整个CALPUFF空气质量扩散模型的核心部分,通过对CALMET输出的气象场与相关污染源资料的叠加,在考虑干、湿沉降,化学转化等污染物清除过程情况下,模拟污染物的传播及输送;CALPOST是计算结果后处理模块,该模块能够将CALPUFF生成的污染物浓度场进行相应处理,如生成网格化或者指定点逐时浓度、日均浓度、月均及年均浓度等文件.

### 1.2 容量测算方法

根据合肥区域环境功能区划、产业布局等情况,设定虚拟点源和控制点,以CALPUFF大气扩散模型和线性优化模型相结合的方式,按区域环境质量目标,采用浓度-排放量反推法测算大气环境容量.

#### 1.2.1 传输系数矩阵

污染源对控制点的浓度贡献值/污染源的污染物排放速率,即为各污染源与控制点之间的传递系数,由此可建立污染源与环境质量目标控制点的传递系数矩阵.

#### 1.2.2 线性规划模型

线性规划模型的优点是在大气环境容量计算的过程中可以将城市区域的大气扩散能力、大气质量目标及所采取的大气污染控制措施等因素进行综合考虑,其计算得到的大气环境容量较符合实际情况<sup>[13]</sup>.根据合肥区域的大气环境功能及相应指标,以所有源对每个控制点的总浓度贡献均小于控制目标值和各污染源排放量非负作约束,以污染源的排放量之和最大为目标,结合传输系数矩阵建立线性优化模型.其计算原理如下<sup>[14-15]</sup>:

$$\text{目标函数: } \max F(Q) = \sum_{j=1}^N Q_j.$$

$$\text{约束条件: } \sum_{j=1}^N A_{ij} Q_j \leq C_i - C_i^0 (j=1, 2, \dots, N; i=1, 2, \dots, M).$$

其中 $F(Q)$ 为目标函数,即区域所有污染源污染物排放量之和为最大,约束条件是区域内各质量控制点浓度达到目标值 $C_i$ , $A_{ij}$ 为区域内污染源 $j$ 对控制点 $i$ 的浓度贡献系数(即为污染源 $j$ 对控制点 $i$ 点的浓度贡献值/污染源 $j$ 的污染物排放速率), $Q_j$ 为污染源 $j$ 的允许排放量, $M$ 和 $N$ 分别为区域质量控制点数和污染源总数.此外,区域剩余大气环境容量不仅取决于区域大气扩散条件、区域环境质量要求和区域污染源排放条件,还取决于区域现场污染物浓度水平 $C_i^0$ ,即环境质量目标值与现场污染水平的差越大,剩余容量值就越大,反之,差越小剩余容量值就越小.

## 2 研究区概况与污染源调查

合肥市地理位置为 $117^{\circ}16'48''\text{E}$ , $31^{\circ}52'12''\text{N}$ ,位于安徽省中部.合肥市辖5县4区和4个开发区,土地面积达 $1.14$ 万 $\text{km}^2$ ,2013年末常住人口761.1万人,城镇化率为67.8%.研究区域位于江淮之间,属于暖温带向亚热带的过渡带气候型,为亚热带湿润季风气候,季风明显、四季分明、气候温和、雨量适

中.该地区地势开阔,风向有明显的季节性变化,年平均风速在 1.6~3.3 m/s 之间,而且受地理环境条件影响很大(图 1).

污染源调查规范参考《HJ2.2—2008 环境影响评价技术导则:大气环境》6.3 节污染源调查进行<sup>[16]</sup>,同时参考中国环境保护部发布的《城市大气环境容量核定工作方案》(原国家环境保护总局,2003 年 7 月 10 日)中大气污染源数据收集及分析的相关内容.

依据排放源高度,可将大气污染排放源划分成点源与面源.污染源源强数据来自企业建设项目环评报告、环保竣工验收报告、环保部门监测报告及企业年度环境监测报告等.进行容量模式计算时,在保证一定精度的前提下,为节省计算时间,一般将排放高度较低(<30 m)、排放强度小(或单位时间能耗低)的污染源划为面源,只留少数高架源作为点源.由于国控企业排放的污染物占工业排放量的比例较大,本文选取了废气排放量较大的大型工业项目作为点源代表进行调查.合肥共有 15 家废气国控重点企业,15 家企业的具体地理位置如图 2 所示.污染源

统计结果表明,合肥市点源排放 SO<sub>2</sub> 为 4.0 万 t/a,面源为 0.8 万 t/a.

### 3 CALPUFF 模型应用与效果检验

#### 3.1 网格设置

根据模型要求需设置模拟区域的三维网格,以 117.19°E,31.84°N 为中心点,水平方向网格点范围为 200 km×200 km,间隔为 1 km×1 km.垂直方向设置 10 层,分别为离地 0、20、40、80、160、320、640、1 200、2 000、3 000 和 4 000 m.模型预处理模块、CALMET 模块和 CALPUFF 模块共用上述网格设置参数.

#### 3.2 数据来源

##### 3.2.1 地球物理资料

地球物理资料主要包括地表粗糙度、土地使用类型、地形高程、植被代码.地形数据来自于 SRTM 4.2 版本的 90 m 分辨率的数字地面高程,土地利用数据采用了美国地质勘探局发布的全球 1 km 分辨率的土地利用类型资料.从土地利用数据中可提取所需的地表粗糙度、反照率、波恩比、土壤热通量参数、植被叶面积指数等信息.

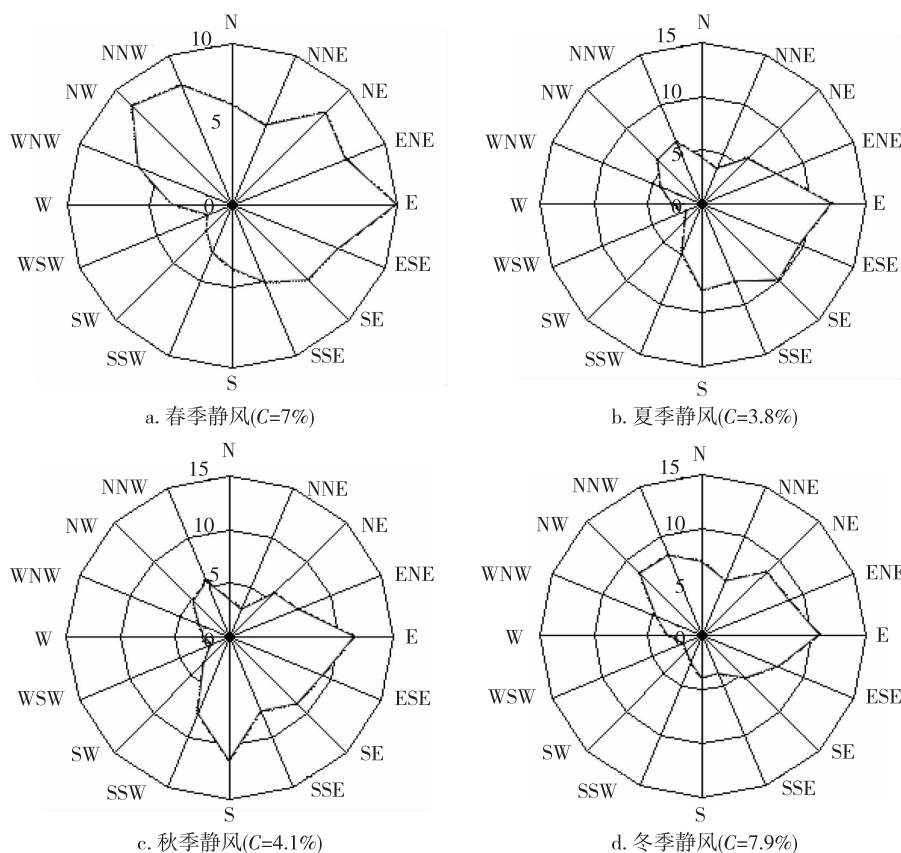


图 1 合肥地区各季风向玫瑰

Fig. 1 Wind rose diagrams in Hefei city for different seasons



图2 合肥市废气国控企业地理分布

Fig. 2 Geographical distribution of state-controlled enterprises responsible for waste gas emission in Hefei city

### 3.2.2 气象资料

CALMET 需要输入评价范围内的气象背景初猜场,之后进行地形动力、倾斜流、地形阻挡作用的调整得到第一步的气象要素场,用评价范围内的地面和探空常规气象观测资料对第一步气象要素场进行订正,得到最终的评价范围气象要素诊断场。

1) 气象背景初猜场:由 WRF 模型输出的物理量场提供.采用最近 1 a 的 NCEP 气象要素分析场和模型计算区域内地面和探空常规气象观测资料,用 WRF 中尺度模型进行数值模拟计算,输出逐时的气象要素场.WRF 模拟输出的气象要素场包括:气压、高度、温度、风速  $U$  分量、风速  $V$  分量、相对湿度和水汽混合比、云水混合比、冰雪混合比、Graupel 混合比。

2) 常规探空气象资料:CALMET 需求的探空气象要素,为每日 2 次的气象数据 (GMT00 时和 GMT12 时),包含的气象要素为风速、风向、气温、气压和高程.高空数据来自阜阳和安庆探空站。

3) 常规地面观测气象资料:CALMET 需求的地面气象要素,为逐时的气象数据,包含的气象要素为风速、风向、气温、云量、云底高度、地面气压、相对湿度.地面气象资料来自合肥市气象观测站点。

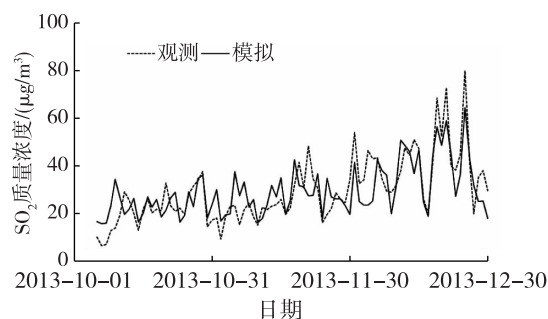
### 3.2.3 污染源资料

将污染源调查数据按照模型输入要求整理成所需要的格式。

## 3.3 模拟结果

用 CALPUFF 模型对合肥区域的大气污染情况

进行模拟,模拟时间为 2013 年 10—12 月,同时模拟过程考虑大气污染物的沉降和化学转化影响,并将逐日模拟值和监测值进行对比,结果如图 3 所示.结果表明,模拟值和监测值的变化趋势基本一致,但模拟值和监测值还有一定的差异.一方面可能是因为模式的输出结果代表的是网格所在区域的平均浓度状况,而监测站的监测数据则代表的是监测点单点的浓度水平,同时监测值会受到监测点位置和周边环境的影响,受限于模拟精度,模型可能无法充分反映局地环境对监测点的影响.另一方面,模型的污染源点源数据只考虑了废气国控企业工业源,而将一般工业点源纳入面源计算,因此模拟值与监测值存在一定差异.但总体来说 SO<sub>2</sub> 质量浓度模拟值和监测值的变化趋势基本一致,拟合方程均通过了置信水平为 0.01 的显著性检验(图 4)。

图3 SO<sub>2</sub> 质量浓度逐日模拟值与监测值比较Fig. 3 Comparison of simulated and monitoring values of daily SO<sub>2</sub> concentration



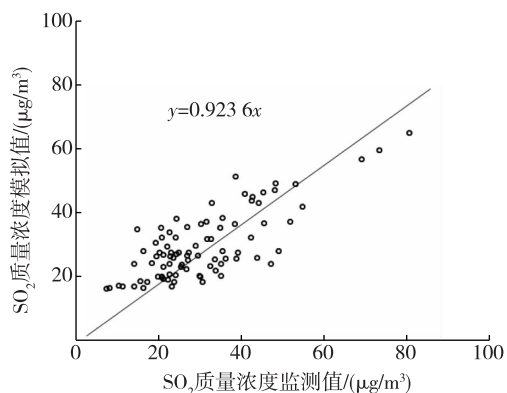


图4 SO<sub>2</sub> 质量浓度逐日模拟结果与监测值相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis of simulated and monitoring values of daily SO<sub>2</sub> concentration

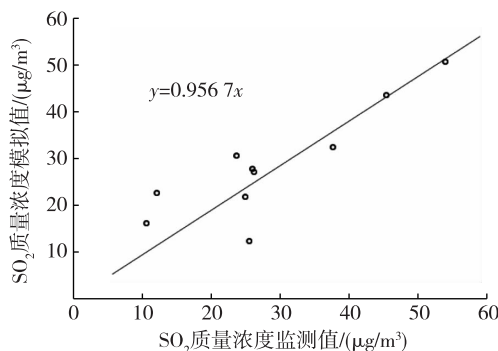


图5 监测点 SO<sub>2</sub> 质量浓度模拟结果与监测值相关性分析

Fig. 5 Correlation analysis of simulated and monitoring SO<sub>2</sub> concentrations by monitoring points

为进一步分析模型模拟结果的准确度,对模拟结果和10个空气自动监测站点的监测值进行了相关性分析,结果表明,合肥市大气污染物的模拟结果与监测值之间存在着明显的正相关,SO<sub>2</sub>模拟结果与监测结果的相关性较好(图5).在空间分布上,模型对于SO<sub>2</sub>质量浓度的模拟与监测值基本一致,除合肥西部地区以及包河区子站附近偏小以外,其余大部分区域的预测值与监测值基本接近,偏差基本在±5 μg/m<sup>3</sup>以内,模拟效果较好(图6).总体来看,CALPUFF模型能够较好地模拟出合肥市SO<sub>2</sub>质量

浓度的空间分布特征.

在国内近年来开展的CALPUFF模型模拟大气污染物扩散的研究中,已有结果表明,CALPUFF模式系统可以较好地再现不同类型研究地区大气污染物SO<sub>2</sub>的时空分布特征<sup>[5,17-18]</sup>,并且将CALPUFF模型应用于区域大气环境容量的核算会更加科学合理<sup>[19]</sup>.通过上述分析,可以看出,CALPUFF模型能够较好地模拟研究区域大气SO<sub>2</sub>的时空变化,可以较为准确地反映出大气SO<sub>2</sub>质量浓度对污染物排放的响应特征,这也为后续计算合肥地区大气环境容量提供了可靠的工具支撑.

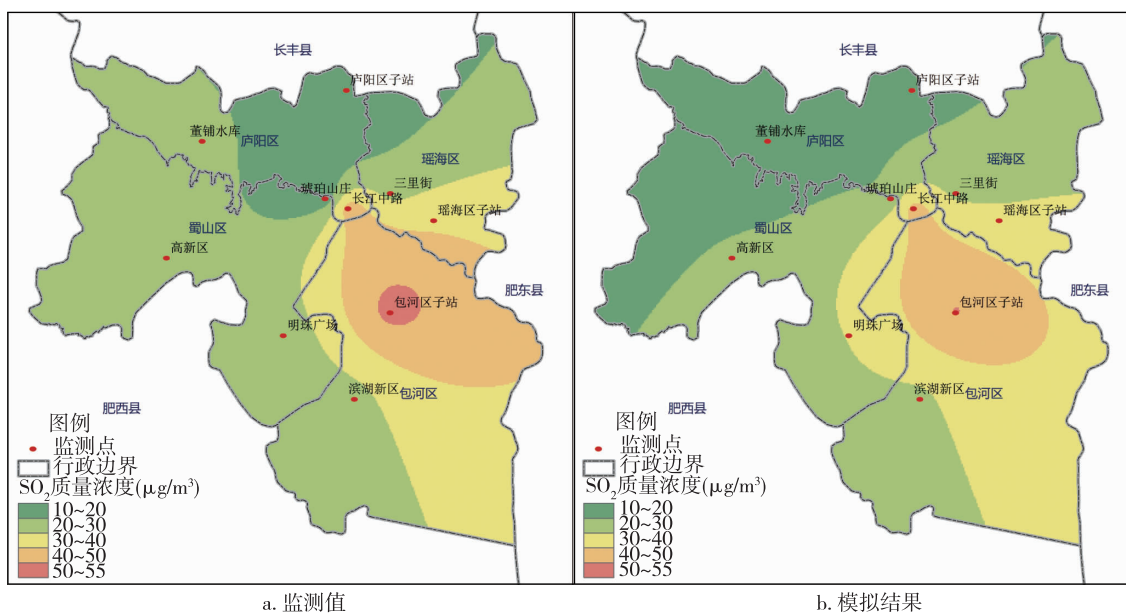


图6 合肥地区SO<sub>2</sub>质量浓度监测值与模拟结果的空间分布对比

Fig. 6 Spatial distribution comparison between monitoring and simulated values of SO<sub>2</sub> concentration in Hefei city

## 4 线性规划模型测算大气环境容量

### 4.1 污染源对关心点的浓度贡献

在模拟评价中选取 13 个关心点作为空气质量敏感点,其中 10 个点为空气质量自动监测点,另外 3 个分别为史河路气象局、芜湖路气象局和合肥市气象局。

将研究区域内的污染源对各个关心点的浓度贡献进行统计,并形成浓度贡献的堆积柱状图(图 7)。可以看出,对合肥市所设关心点大气污染物浓度影响较大的主要是合肥市面源和肥东面源,除肥西面源对个别关心点的贡献明显以外,其余面源的贡献量较为微弱,其中庐江面源的贡献几乎可以忽略不计。工业点源对关心点的贡献略有差异,但总体贡献值不是很大,这是因为工业点源主要实现的是高空排放。有研究表明,从烟囱中排出的有害气体的最大落地浓度与排放高度的平方成反比,排放高度越高则有害气体的落地浓度愈低,因此高空排放可以大大降低地面附近的浓度,但并不能减少排入大气中的污染物总量,对减轻大气污染只有局地性或区域性的效应,因此工业点源对 SO<sub>2</sub> 质量浓度的贡献没有面源大<sup>[20]</sup>。

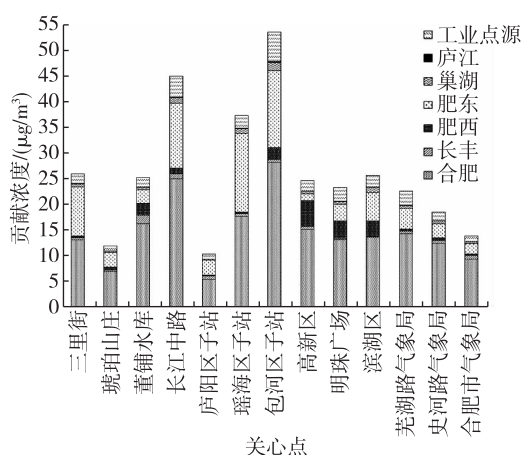


图 7 合肥市各污染源对 SO<sub>2</sub> 质量浓度的贡献

Fig. 7 Sharing of various pollution sources to the concentration of SO<sub>2</sub> in Hefei city

除合肥市面源外,肥东面源对合肥市大气污染物浓度的贡献也较大,这是由于合肥冬季东风的盛行,风的水平疏散使大气污染物由东向西扩散,特别是对距离肥东较近的瑶海区子站、包河区子站等区域的影响更为明显。扩散距离与关心点的浓度贡献也有直接关系,如肥西面源对距离其最近的高新

区子站、滨湖子站、明珠广场子站的浓度贡献较大,长丰面源对瑶海区子站、庐阳区子站浓度贡献较大。

### 4.2 大气环境容量测算

在利用线性规划模型求解时,选取 1 a 的时间为研究时间段,利用前述验证过的 CALPUFF 模型计算出  $j$  污染源在  $i$  控制点污染物的浓度贡献值,即污染传递系数,可求得矩阵  $A$ ,继而利用 Matlab 求出  $F(Q)$ 。合肥市大气环境容量测算汇总如表 1 所示。

表 1 合肥市面源和点源分担的 SO<sub>2</sub> 环境容量  
Table 1 Environmental SO<sub>2</sub> capacity of non-point and point source sharing in Hefei city

污染源类型	污染源	环境容量(t/a)
面源	合肥	1273
	长丰	314
	肥西	309
	肥东	-316
	巢湖	2126
	庐江	308
点源	15 家废气国控企业	253 15
合计		293 30

由表 1 可知,在允许个别面源削减的情况下,工业点源还有较大的环境容量,用线性规划法计算出的合肥市 SO<sub>2</sub> 的大气环境容量为 2.933 0 万 t/a。对比 2007 年合肥市 SO<sub>2</sub> 大气环境容量为 3.740 0 万 t/a 的研究结果<sup>[21]</sup>,说明合肥市近年来空气污染日益严重,大气环境容量已呈减小趋势。

## 5 结论

本研究在对合肥地区污染源调查的基础上,利用 CALPUFF 模型对合肥地区大气污染物 SO<sub>2</sub> 进行了浓度模拟,结果表明,SO<sub>2</sub> 的模拟值和监测值虽然有一定的差异,但总体来说模拟和监测的差值控制在一定的误差内,且大部分区域的预测效果与监测结果基本保持一致,整体上可以较好地反映出 SO<sub>2</sub> 在合肥市的浓度空间分布,该模拟方法是可行的,模拟结果是可靠的。

由模拟结果也可以看出,对合肥市所设关心点大气污染物浓度影响较大的主要是合肥市面源和肥东面源,工业点源对关心点的贡献略有差异,但总体贡献值不是很大,因此降低大气污染物浓度的一个重要方面是面源的控制和削减。同时综合考虑城市区域的大气扩散能力、大气质量目标及所采取的大

气污染控制措施等因素,采用线性规划法进行了大气环境容量测算,测算结果表明,在个别面源削减的情况下,合肥市 SO<sub>2</sub> 大气环境容量为 2.933 0 万 t/a.

## 参考文献

### References

- [ 1 ] 李喜仓,白美兰,马玉峰,等.呼和浩特市城区对发展对大气环境的影响分析[J].气象,2011,37(12):1572-1577  
LI Xicang, BAI Meilan, MA Yufeng, et al. Simulating the influence of urban development on atmospheric environment in Hohhot city[J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(12): 1572-1577
- [ 2 ] 汪光焘,王晓云,苗世光,等.城市规划大气环境影响多尺度评估技术体系的研究与应用[J].中国科学 D 辑:地球科学,2005,35(增刊1):145-155  
WANG Guangtao, WANG Xiaoyun, MIAO Shiguang, et al. Research and application of urban planning multiscale atmospheric environmental impact assessment technology system[J]. Science in China Ser D: Earth Sciences, 2005, 35(sup1): 145-155
- [ 3 ] 司鹏,李庆祥,李伟.城市化进程对中国东北部气温增暖的贡献检测[J].气象,2010,36(2):13-21  
SI Peng, LI Qingxiang, LI Wei. Impact of urbanization on surface air temperature warming in northeast China[J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(2): 13-21
- [ 4 ] 国家环境保护总局.HJ/T 131—2003 开发区区域环境影响评价技术导则[S].北京:中国环境科学出版社,2003:7-12  
State Environmental Protection Administration. HJ/T 131—2003 Technical guidelines for environmental impact assessment of development area[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2003: 7-12
- [ 5 ] 王红磊,钱骏,廖瑞雪,等.CALPUFF 模型在大气环境容量测算中的应用研究[J].环境科学与管理,2008,33(12):169-172  
WANG Honglei, QIAN Jun, LIAO Ruixue, et al. The Application of CALPUFF model on the calculation of atmospheric environmental capacity[J]. Environmental Science and Management, 2008, 33(12): 169-172
- [ 6 ] 李宗恺,潘云仙,孙润桥.空气污染气象学原理及应用[M].北京:气象出版社,1985:558-568  
LI Zongkai, PAN Yunxian, SUN Runqiao. Principles and applications of air pollution meteorology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1985: 558-568
- [ 7 ] 国家环境保护总局,中国环境科学研究院.城市大气污染总量控制方法手册[M].北京:中国环境科学出版社,1991:5-41  
State Environmental Protection Administration, Chinese Research Academy of Environmental Sciences. Total amount control manual for urban atmospheric pollution[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1991: 5-41
- [ 8 ] 马晓明.环境规划理论与方法[M].北京:化学工业出版社,2004:86-119  
MA Xiaoming. Environmental planning theory and methods[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 86-119
- [ 9 ] 王繁强,徐大海,朱荣.基于 CALPUFF 数值模式的城  
市大气污染源允许排放量动态调控模型[J].灾害学,2008,23(S1):50-55  
WANG Fanqiang, XU Dahai, ZHU Rong. Dynamical regulating model of allowable emission of urban atmospheric pollutant source based on CALPUFF digital model[J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(S1): 50-55
- [ 10 ] 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,2009,21(3):9-13  
BO Xin, DING Feng, XU He, et al. Review on atmospheric diffusion spersion model CALPUFF technology[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2009, 21(3): 9-13
- [ 11 ] 王淑兰,张远航,钟流举,等.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  
WANG Shulan, ZHANG Yuanhang, ZHONG Liuju, et al. Interaction of urban air pollution among cities in Zhujiang Delta[J]. China Environmental Science, 2005, 25(2): 133-137
- [ 12 ] 王繁强,徐大海,时进刚,等.黄河中上游 19 城市 2007 年 SO<sub>2</sub> 排放相互影响及其对北京贡献的数值预测分析[J].科技导报,2011,29(16):25-29  
WANG Fanqiang, XU Dahai, SHI Jingang, et al. Numerical analysis of interaction of SO<sub>2</sub> emission among 19 cities along the middle-up stream of Yellow River and their contribution to Beijing city[J]. Science & Technology Review, 2011, 29(16): 25-29
- [ 13 ] 马晓明,王东海,易志斌,等.城市大气污染物允许排放总量计算与分配方法研究[J].北京大学学报:自然科学版,2006,42(2):271-275  
MA Xiaoming, WANG Donghai, YI Zhibin, et al. Calculational and distributive method of urban total permitted air pollutant emission[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(2): 271-275
- [ 14 ] 陈巧俊.福州市大气环境容量研究[J].环境科学与技术,2013,36(S2):380-385  
CHEN Qiaojun. The study of atmospheric environmental capacity for Fuzhou city[J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(S2): 380-385
- [ 15 ] 张明,赵海燕,刘江.传输矩阵与线性优化法耦合测算乌鲁木齐市大气环境容量[J].新疆环境保护,2013,35(3):1-4  
ZHANG Ming, ZHAO Haiyan, LIU Jiang. Transmission matrix method coupled with linear optimization calculations environmental capacity of atmospheric of Urumqi[J]. Environmental Protection of Xinjiang, 2013, 35(3): 1-4
- [ 16 ] 环境保护部.HJ 2.2—2008 环境影响评价技术导则:大气环境[S].北京:中国环境科学出版社,2009:5-16  
Ministry of Environmental Protection of the PRC. HJ 2.2—2008 Guidelines for environmental impact assessment: Atmospheric environment[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2009: 5-16
- [ 17 ] 张保生,黄哲,王建安,等.基于 CALPUFF 大气扩散模式空气环境总量控制对策研究[J].北方环境,2011,

- 23(6):95-128  
ZHANG Baosheng, HUANG Zhe, WANG Jian'an, et al. Study on the total amount control of atmospheric environment based on CALPUFF atmospheric diffusion model [J]. Northern Environment, 2011, 23(6):95-128
- [18] 蒋宁洁,王繁强,苑魁魁.MM5/CALMET/CALPUFF数值模式在关中地区SO<sub>2</sub>环境空气总量控制中的应用[J].安全与环境学报,2012,12(6):47-52  
JIANG Ningjie, WANG Fanqiang, YUAN Kuikui. Application of the MM5/CALMET/CALPUFF system to Guanzhong basin area for SO<sub>2</sub> emission control [J]. Journal of Safety and Environment, 2012, 12(6):47-52
- [19] 任重,马海涛,王丽,等.CALPUFF在大气预测及环境容量核算中的应用[J].环境科学与技术,2011,34(6):201-205  
REN Zhong, MA Haitao, WANG Li, et al. Using CALPUFF in atmospheric prediction and environmental capacity calculation[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(6):201-205
- [20] 秦丽平.污染物排放高度与最大落地浓度关系的探讨[J].山西能源与节能,2010(4):61-62  
QIN Liping. Investigation of the relationship between the height of pollutant emissions and the maximum ground-level concentration [J]. Shanxi Energy and Conservation, 2010(4):61-62
- [21] 孙雷.城市规划环评中大气环境容量计算探讨应用及实例分析:以合肥市城市总体规划环评为例[D].合肥:合肥工业大学资源与环境工程学院,2010:42-44  
SUN Lei. The calculate of atmospheric environmental capacity on planning environmental impact assessment for the application and case analysis: Case study into strategic environmental assessment of Hefei urban master planning [D]. Hefei: School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, 2010:42-44

## Application of CALPUFF model on calculation of atmospheric environmental capacity for SO<sub>2</sub> in Hefei city

SUN Wei<sup>1</sup> CHEN Fei<sup>1</sup> WANG Hui<sup>1</sup> CHENG Xiaoquan<sup>1</sup> XU Nong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Anhui Public Weather Service Centre, Hefei 230031

**Abstract** The CALPUFF modeling system is used to simulate the distribution of the atmospheric pollutant SO<sub>2</sub> concentration, based on the pollution investigation in Hefei city. Firstly, this model is validated by comparison between CALPUFF simulated values and monitoring records for the pollutant SO<sub>2</sub>. Then, a transfer matrix for air pollutants is established on the basis of source sharing analysis for atmospheric pollution. The environmental capacity of Hefei city for SO<sub>2</sub> is then estimated using linear programming model, taking into account of aspects such as atmospheric diffusion capacity in urban area, pollution source contribution and air quality management targets.

**Key words** CALPUFF modeling system; linear programming model; atmospheric environmental capacity; Hefei city; SO<sub>2</sub> concentration