

# “成绵乐”城市群大气污染物浓度空间分布特征

胥芸博<sup>1</sup>,梅自良<sup>2</sup>,吴婷<sup>1</sup>,蒋敏<sup>1</sup>,袁晓梅<sup>1</sup>,王斌<sup>1</sup>

1. 四川大学建筑与环境学院 四川 成都 610065

2. 西华大学能源与环境学院 四川 成都 610039

**摘要:**采用地统计方法对成都平原5个城市(绵阳市、德阳市、成都市、眉山市、乐山市)大气中SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>的年均浓度模拟数据进行了空间分布特征研究。分析表明,SO<sub>2</sub>在德阳市、眉山市具有强烈的空间相关性,在绵阳市、成都市具有中等的空间相关性,乐山市SO<sub>2</sub>空间相关性较弱;NO<sub>2</sub>在德阳市、眉山市具有强烈的空间相关性,在绵阳市、成都市和乐山市具有中等的空间相关性。绵阳、德阳、成都、眉山和乐山5个城市的SO<sub>2</sub>在长轴方向的变程分别为145、116、83、105、153 km;NO<sub>2</sub>在长轴方向的变程分别为145、90、66、105、153 km。根据地统计学中变程的物理意义,提出判断构成“城市群大气污染”的定量依据,即相邻城市大气污染物变程之和若大于城市几何中心间的直线距离,则2个城市的大气污染物存在空间关联或相互影响。

**关键词:**城市群;空间分析;大气污染

中图分类号: X823

文献标志码: A

文章编号: 1002-6002(2013)04-0034-04

## The Research on Spatial Distribution of Atmospheric Pollutant Concentration in “Cheng Mian Le” Urban Agglomeration

XU Yun-bo<sup>1</sup>, MEI Zi-liang<sup>2</sup>, WU Ting<sup>1</sup>, JIANG Min<sup>1</sup>, YUAN Xiao-mei<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>1</sup>

1. College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China

2. College of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China

**Abstract:** The spatial distribution of the simulated annual concentration of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in five cities (Mianyang, Deyang, Chengdu, Meishan, and Leshan) among Chengdu Plain were figured out by Geostatistics. The results show that SO<sub>2</sub> has strong spatial relevance in Deyang and Meishan, moderate in Mianyang and Chengdu, and weak in Leshan, while NO<sub>2</sub> has strong spatial relevance in Deyang and Meishan, moderate in Mianyang, Chengdu and Leshan. The major ranges of SO<sub>2</sub> in Mianyang, Deyang, Chengdu, Meishan, and Leshan are 145, 116, 83, 105 and 153 km respectively. The major ranges of NO<sub>2</sub> in these cities are 145, 90, 66, 105 and 153 km respectively. Based on the essential meaning of range in Geostatistics, a quantitative criterion was proposed to identify the urban agglomeration atmospheric pollution. If the sum of atmospheric pollutant ranges is greater than the distance between geometric centers of two cities, the atmospheric pollution in the two cities presents to have spatial relevance or interaction.

**Key words:** urban agglomeration; spatial analysis; atmospheric pollution

城市群是城市化进程中的高级现象,城市群的构建能够产生巨大的集聚效应,促进区域经济的发展。在城市群经济发展的同时,各种污染物也集中地产生。大气污染物经大气环境在城市间输送,各城市的大气污染物产生了相互耦合和相互关联,但从目前已发表的研究论文中尚未见到如何判断形成城市群大气污染的定量评价依据的报道。该文基于GIS和地统计学,对“成绵乐”城

市群SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>模拟浓度进行了空间分布特征分析,提出了判断构成“城市群大气污染”的定量依据。

### 1 研究区域选择与数据来源

#### 1.1 研究区域选择

“成绵乐”城市群包括绵阳、德阳、成都、眉

收稿日期:2011-12-21;修订日期:2012-02-27

作者简介:胥芸博(1987-),男,四川遂宁人,硕士。

通讯作者:王斌

山、乐山 5 个城市,总面积 58 293 km<sup>2</sup>,其中建成区面积 8 235 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>,是四川省经济较集中和发达地区。根据《成都平原城市群发展规划(2009—2020)》,绵阳、成都、乐山 3 个城市将成为成都平原经济发展的核心城市,并由北向南形成一条高新技术产业高度聚集的轴线。因此,选择“成绵乐”城市群作为研究对象,可以充分反映出四川盆地的城市群特点。

## 1.2 数据来源

该研究使用的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 浓度数据来源于《四川省“十二五”大气污染防治规划》<sup>[2]</sup>,该规划采用 CALPUFF 模型模拟四川省全省的大气污染物的浓度分布。浓度场模拟区域的网格距为 15 km,网格数为 79 × 73,计算范围为 1 185 km × 1 095 km,以每个网格中心点的模拟值反映该网格的平均浓度。CALPUFF 模型所用的气象数据来源于 2007 年四川省部分城市的地面气象观测站和 MM5 模拟,所用的污染源强和坐标数据来源

于四川省 2007 年主要工业污染物的环境统计,其中,工业 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 的排放量分别占当年全省 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 排放总量的 84% 和 77%,污染源强数据总体上能够代表“十一五”四川省大气污染基本情况。

规划选取 24 个省控城市的 96 个有代表性常规监测点作为此次模拟计算结果的验证点,即各验证点的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 的年均浓度模拟值与对应点的监测值进行回归分析。其中,SO<sub>2</sub> 模拟值与监测值的相关系数为 0.61,NO<sub>2</sub> 模拟值与监测值的相关系数为 0.53。结果表明,CALPUFF 模型模拟的结果可以较好地反映四川省大气污染物浓度的空间分布<sup>[2]</sup>。

## 2 数据分析

### 2.1 统计学特征分析

运用传统统计方法,对 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 质量浓度数据进行描述性统计,结果见表 1、表 2。

表 1 SO<sub>2</sub> 质量浓度描述性统计

城市	样点数/个	最小值/(μg·m <sup>-3</sup> )	最大值/(μg·m <sup>-3</sup> )	平均值/(μg·m <sup>-3</sup> )	标准差/(μg·m <sup>-3</sup> )	变异系数/%	偏度	峰度
绵阳市	90	4.0	19.6	10.39	3.67	35.4	0.16	2.26
德阳市	26	8.3	29.2	17.87	5.56	31.1	0.19	2.29
成都市	53	8.9	56.1	28.44	11.74	41.3	0.38	2.60
眉山市	34	20.1	39.3	29.00	5.70	19.6	0.21	1.85
乐山市	56	14.3	63.0	30.37	10.20	33.6	0.77	3.95

表 2 NO<sub>2</sub> 质量浓度描述性统计

城市	样点数/个	最小值/(μg·m <sup>-3</sup> )	最大值/(μg·m <sup>-3</sup> )	平均值/(μg·m <sup>-3</sup> )	标准差/(μg·m <sup>-3</sup> )	变异系数/%	偏度	峰度
绵阳市	90	2.5	11.4	5.65	1.93	34.1	0.64	3.03
德阳市	26	5.1	17.9	10.88	3.23	29.7	0.01	2.44
成都市	53	5.6	22.7	13.75	4.00	29.1	-0.09	2.44
眉山市	34	10.9	24.3	15.23	3.20	21.0	0.55	2.92
乐山市	56	6.2	28.7	15.85	5.93	37.4	0.43	2.37

根据统计,研究区域 SO<sub>2</sub> 质量浓度为 4.0 ~ 63.0 μg/m<sup>3</sup>。绵阳市 SO<sub>2</sub> 浓度平均值最低(为 10.39 μg/m<sup>3</sup>),乐山市最高(为 30.37 μg/m<sup>3</sup>); NO<sub>2</sub> 质量浓度为 2.5 ~ 28.7 μg/m<sup>3</sup>,绵阳市 NO<sub>2</sub> 浓度平均值最低(为 5.65 μg/m<sup>3</sup>),乐山市最高(为 15.85 μg/m<sup>3</sup>)。各城市 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub> 浓度变异系数为 19.6% ~ 41.3%,均表现出一定强度的变异性;经偏度和峰度的统计检验,SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub> 样本数据的分布类型符合正态分布,满足半变异函数的使用条件。

### 2.2 空间变异性分析

采用 ArcGIS 软件 Geostatistical Analyst 模块,分别对 5 个城市的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 浓度数据进行空间变异分析,通过比较确定最优半变异函数拟合模型和变异参数。在对不同参数得到模型的比较中,可参考预测误差(Prediction Error)中的几个指标。符合以下标准的模型是最优的:标准平均值最接近于 0,均方根预测误差最小,平均标准误差最接近于均方根预测误差,标准均方根预测误差最接近于 1<sup>[3]</sup>。拟合结果见表 3 ~ 表 6。

表3 SO<sub>2</sub> 半变异函数拟合参数

城市	模型	块金值	基台值	块金效应/%	变程/km		长轴方向(°)
					长轴	短轴	
绵阳市	高斯	1.32	3.56	37	145	55	40
德阳市	指数	0.18	4.43	4	116	49	29
成都市	高斯	18.20	33.80	54	83	43	22
眉山市	球状	0.34	5.56	6	105	33	16
乐山市	高斯	31.74	35.69	89	153	25	305

注: 正北方向为0°,下同。

表4 SO<sub>2</sub> 半变异函数拟合精度

城市	均方根预测误差	平均标准误差	标准平均值	标准均方根预测误差
绵阳市	1.06	1.28	-0.010	0.82
德阳市	2.38	1.57	-0.066	1.36
成都市	4.78	4.88	-0.020	0.98
眉山市	1.58	1.47	-0.012	1.04
乐山市	5.92	6.02	0.004	0.99

表5 NO<sub>2</sub> 半变异函数拟合参数

城市	模型	块金值	基台值	块金效应/%	变程/km		长轴方向(°)
					长轴	短轴	
绵阳市	高斯	0.34	0.62	55	145	55	40
德阳市	指数	0.27	2.45	11	90	35	4
成都市	高斯	1.74	3.05	39	67	30	29
眉山市	球状	0.66	3.14	21	105	37	10
乐山市	高斯	5.19	9.53	55	153	45	330

表6 NO<sub>2</sub> 半变异函数拟合精度

城市	均方根预测误差	平均标准误差	标准平均值	标准均方根预测误差
绵阳市	0.63	0.63	-0.009	0.98
德阳市	1.73	1.29	-0.075	1.23
成都市	1.30	1.39	-0.003	0.93
眉山市	1.33	1.29	-0.057	1.00
乐山市	2.39	2.51	0.017	0.95

在地统计学中,一般认为,块金效应小于25%表示数据的空间相关性强;块金效应为25%~75%表示数据的空间相关性中等;块金效应为大于75%表示数据的空间相关性弱。

SO<sub>2</sub> 块金效应大小顺序为德阳市>眉山市>绵阳市>成都市>乐山市。其中德阳市、眉山市SO<sub>2</sub>空间相关性强,空间变异侧重于空间自相关因素,受人为或随机因素影响较小;绵阳市、成都市SO<sub>2</sub>空间相关性中等,空间变异受到一定的人为或随机因素影响;乐山市SO<sub>2</sub>空间相关性弱,空间变异受人为或随机因素影响较大。

NO<sub>2</sub> 块金效应大小顺序为德阳市>眉山市>成都市>乐山市>绵阳市。其中德阳市、眉山市NO<sub>2</sub>空间相关性强,空间变异侧重于空间自相关因素,受人为或随机因素影响较小;成都市、乐山市、绵阳市NO<sub>2</sub>空间相关性中等,空间变异受到一定的人为或随机因素影响。

变程表示在某种观测尺度下,空间相关性的

作用范围,其大小受观测尺度的限定。在变程范围内,样点间的距离越小,其相似性(即空间相关性)越大<sup>[3]</sup>。研究区域SO<sub>2</sub>空间自相关范围为乐山市>绵阳市>德阳市>眉山市>成都市,NO<sub>2</sub>空间自相关范围:乐山市>绵阳市>眉山市>德阳市>成都市。同时,变程的长轴方向与城市主导风向基本一致。

### 3 “城市群大气污染”构成探讨

城市群是指在特定地域范围内,以1个特大城市为核心,由至少3个以上都市圈(区)或大城市为基本构成单元,依托发达的基础设施网络,形成的空间组织紧凑、经济联系紧密,最终实现同城化和高度一体化的城市群<sup>[4]</sup>。城市群大气污染具有明显的区域性和复合性,目前对城市群大气污染的研究主要表现在城市大气环境容量和总量控制、污染物的迁移转化规律以及对人体健康

和生态系统的协同影响等方面,缺乏判断构成城市群大气污染的定量依据。

根据地统计学中变程的物理意义,当某点与已知点的距离在变程范围内时,可以认为已知点对未知点存在空间关联和影响。因此,提出了构成“城市群大气污染”的量化判据,即若相邻城市大气污染物变程之和大于城市间的直线距离,则可以认为2个城市的大气污染物存在空间关联或

相互影响。

“成绵乐”城市群中各城市的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_2$  变程很接近,该文选择  $\text{SO}_2$  的变程进行分析。将5个城市的几何中心用线段连接,绵阳、德阳、成都、眉山4个城市的变程长轴方向与连线方向基本一致,而乐山市由于受地形和风场的影响,变程长轴方向与连线偏差很大,约为  $90^\circ$ 。因此,在比较时选择短轴方向变程。比较结果见表7。

表7 城市间变程之和与直线距离对比

城市	绵阳		德阳		成都		眉山		乐山		km
	变程之和	直线距离	变程之和	直线距离	变程之和	直线距离	变程之和	直线距离	变程之和	直线距离	
绵阳			261	47	228	107	250	175	169	234	
德阳	261	47			200	61	221	129	141	188	
成都	228	107	200	61			188	68	108	127	
眉山	250	175	221	129	188	68			129	59	
乐山	169	234	141	188	108	127	129	59			

注:空表示无数据。

从表7可以看出,“成绵乐”城市群中,某一城市的大气污染不仅和相邻城市有明显的空间关联,而且会影响到变程方向上的第二个甚至第三个城市,5个城市的大气污染相互叠加,构成了“城市群大气污染”。

#### 4 结论

将地理信息系统和地统计学相结合,对“成绵乐”城市群(绵阳市、德阳市、成都市、眉山市、乐山市)大气中  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_2$  的年均浓度模拟数据进行了空间分布特征研究。

1) “成绵乐”城市群中5个城市的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_2$  空间浓度均表现出一定强度的变异性,且符合正态分布。块金效应的计算结果表明,德阳市、眉山市  $\text{SO}_2$  空间相关性强,绵阳市、成都市  $\text{SO}_2$  空间相关性中等,乐山市  $\text{SO}_2$  空间相关性弱;德阳市、眉山市  $\text{NO}_2$  空间相关性强,成都市、乐山市、绵阳市  $\text{NO}_2$  空间相关性中等。

2) 地统计学中半变异函数变程大小可以反映出空间相关性的作用范围。 $\text{SO}_2$  空间自相关范围为乐山市 > 绵阳市 > 德阳市 > 眉山市 > 成都市;  $\text{NO}_2$  空间自相关范围为乐山市 > 绵阳市 > 眉山市 > 德阳市 > 成都市。

3) 提出了判断构成“城市群大气污染”定量依据,即相邻城市大气污染物变程之和大于城市中心点之间的直线距离,则两个城市的大气污染物存在空间关联或相互影响。数据比较表明,“成绵乐”城市群大气污染存在空间关联和相互影响,形成了“城市群大气污染”。

该文的研究成果为城市群的环境规划、环境管理部门的相互协作、环境污染的联防联控提供了理论依据。由于采用模拟数据的空间分辨率较低(网格间距为15 km),空间分析的结论可能存在局限性。今后可以考虑采用空间分辨率更高的区域网格挂片监测与模型模拟相结合的方式加以改进和完善。

致谢:感谢四川省环境保护科学研究院提供了四川省全省范围的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_2$  模拟数据!

#### 参考文献:

- [1] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴(2010) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [2] 四川省环境保护科学研究院. 四川省“十二五”大气污染防治规划 [R]. 成都: 四川省环境保护科学研究院, 2011: 96-113.
- [3] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 363-365.
- [4] 方创琳, 宋吉涛, 蔺雪芹, 等. 中国城市群可持续发展理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 9-16.