

文章编号: 1004-4574(2008)01-0054-08

# 社区大气环境质量调查方法与风险响应对策 ——基于 GIS的深圳市案例研究

杨 曜<sup>2</sup>, 何婷婷<sup>1</sup>, 史培军<sup>1, 2, 3</sup>, 周 涛<sup>1, 2</sup>

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室(北京师范大学), 北京 100875; 2. 环境演变与自然灾害教育部重点实验室(北京师范大学), 北京 100875; 3. 民政部 教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

**摘要:**为了减轻日益严重的大气污染及其对公共健康的影响,迫切需要大气质量管理方面的立法,而科学合理的法律法规应当建立在对大气污染变化情况正确而充分的了解基础之上。深圳市环境保护监测站公布的年报是基于环境监测站点的数据的,但是,这些常被引用的数据因指示因子和站点空间分布的局限性而不够科学合理。在补充环境监测站点数据方面已经有过许多研究,这里提出了一种基于 GIS的社区环境大气质量调查方法,并于 2006 年在深圳市进行了实验。通过实验定义了大气污染风险的 9 种类型及相应的应对办法,实验证明了该方法的可行性。

**关键词:**大气污染; 社区调查; 地理信息系统; 深圳市

中图分类号: X820.4 文献标识码: A

## Community survey method and risk response strategy with GIS for improving ambient air risk monitoring service in Shenzhen, China

YANG Xī<sup>2</sup>, HE Ting-ting<sup>1</sup>, SHI Pei-jun<sup>1, 2, 3</sup>, ZHOU Tao<sup>1, 2</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology (Beijing Normal University), Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875, China)

**Abstract:** In order to reduce increasingly serious air pollution and its influence on public health, the legislation on air quality management is demanded urgently. Scientifically sound law and regulation can be set up only when the pollution change trends are correctly monitored and adequately understood. The Shenzhen Environmental Protection Monitoring Center (SZERMC) has published the annual air quality reports based on the surface-based observing station records. Those reports are often cited when research on air quality is conducted at home and abroad. However, those reports are not sufficiently detailed due to measurements limitation. There have been studies on complementing the monitoring data with mobile platforms and remote sensing sensors. A new community environment survey method was established in Shenzhen in early 2006 and was combined with a GIS application. This approach defines the air pollution risk type of each individual community investigated and hence provide more precise information for the policy makers.

**Keywords:** air pollution; community survey; GIS; Shenzhen City

收稿日期: 2007-11-20; 修订日期: 2007-12-28

基金项目: 国家自然科学基金委员会杰出青年基金资助项目(40425008)

作者简介: 杨曜(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事区域自然灾害研究。

通讯作者: 史培军, 男, 教授, Email: sj@bnu.edu.cn

大气污染对人体健康有极大的危害。研究发现许多呼吸道和心血管疾病都和大气污染有关<sup>[1-3]</sup>。另外一些研究发现挥发性有机化合物 (volatile organic compounds, VOCs)与某些类型的癌症如脑癌,皮肤癌等有很强的相关关系<sup>[4]</sup>。

因此,大气污染防治的立法和政策制定是极为重要的<sup>[5]</sup>。这往往包含三个步骤:选择大气污染指数;评价大气质量以及制定改进大气质量的措施。合理的政策和措施是建立在对大气污染正确监测的基础上的。研究区深圳市从 1992 年开始就设立了大气监测站负责发布每年的大气质量监测报告<sup>[6]</sup>。这些报告主要反映了宏观尺度上的大气质量变化情况。但是由于大气质量指示因子和监测站空间分布的局限性,报告在社区尺度上的有效性缺乏验证。此外,环境大气质量风险的评价不能仅以大气污染数据作为唯一因子。下面将详述大气质量报告的局限性。

大气监测报告包含了有限的几种污染物数据。美国环保局 (U. S Environmental Protection Agency) 为 6 种大气污染物 (CO, Pb, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM, SO<sub>2</sub>) 颁布了标准<sup>[7]</sup>。国内也颁布了国家环境大气质量标准,包括 3 种大气污染物: NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, TSP (从 2002 年起为 PM10, 直径小于 10 μm 的可吸入颗粒物含量)。为了让公众更好的了解大气质量的总体情况,环保总局设计了大气污染综合指数 (air Nemerow index):

$$P = \frac{P_i}{S_i} = \frac{C_i / S_i}{\sum_{i=1}^n C_i / S_i} \quad (1)$$

式中:  $P$  为大气污染综合指数,  $P_i$  为第  $i$  种大气污染物的污染级别指数,  $C_i$  为第  $i$  种污染物的年平均数,  $S_i$  为第  $i$  类污染物的环境质量标准,  $n$  为大气污染物种类的数目。

该方法只考虑到了上述 3 种污染物的影响,而这 3 种污染物之外的大气污染物的影响却没有考虑到。

在深圳地区共有 9 个环境监测站点 (2005 年为 8 个) 在监测这 3 种国家标准的大气污染物。尽管这 9 个环境监测站点的位置是经过认真选择的,但他们仍然不能完全反映整个区域的大气质量状况 (深圳市面积为 1952.84 km<sup>2</sup>)。监测结果往往受到地形,风向,土地利用 覆盖,高层建筑等多种因素的影响。此外,监测站点有效区域以外的社区的大气质量状况也不能得到有效的反映。

除了固定监测站点以外,有的研究采用了可移动的实时监测站点做大气质量采样<sup>[8]</sup>。卫星数据也用于监测大气质量<sup>[9]</sup>。一些传感器如 Cloud - Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO), 可以监测气溶胶的垂直分布情况,增强了监测和预报大气污染的能力。

我们假设对社区居民的大气污染调查问卷是一种在社区尺度上方便而有效的监测方式。原因有两点:首先,一些环境监测站点不能监测的大气污染物会对社区居民的身体有严重的影响,通过调查问卷可以反映社区居民的真实感受;其次,监测站点有效区域以外的社区大气质量状况需要由调查问卷来反映。我们在美国华盛顿州西雅图市的 Greenwood 社区 (2004 年) 和中国的合川社区 (2005 年) 进行了两次问卷调查,于 2006 年结合地理信息技术在深圳作了一次调查,并与环境监测站点的数据做了相关分析。

## 1 方法

### 1.1 数据获取及调查设计

从 1996 年起,监测站点的大气质量数据就可以从深圳市环境质量年报上获得。在调查期间 (2006 年 5 月 1 日至 7 日) 和调查前一年的污染指数情况如下表所示 (表 1)。

2006 年在深圳的调查总共在 36 个采样点上做了 281 份调查问卷,大部分问卷是在随机选取得社区和高密度居民区完成的。每一个采样点的经纬度由手持 GPS 记录以便之后进行空间分析。在每一个采样点上,问卷采访的对象也是随机选取的。我们采用访谈的方式做问卷,以便使受教育程度较低的人们的意见也能够包含在报告中。同样我们还在一些农贸市场以及农民的工作场所进行了访谈,最大程度地保证了问卷能反映当地的人口结构情况。

表 1 深圳市 2005和 2006年“五一”期间大气质量情况

Table 1 Air quality index of Shenzhen City during May 1st - 7th in the years 2005 and 2006

序号	东经 / (°)	北纬 / (°)	站点名称	2005年“五一”期间的大气污染综合指数	2005年“五一”期间的大气污染综合指数	变化数值
1	114. 1167	22. 5417	南湖	0. 898	0. 877	- 0. 021
2	114. 1167	22. 5625	洪湖	1. 372	1. 223	- 0. 149
3	114. 0958	22. 5500	荔园	1. 042	1. 116	0. 074
4	113. 9219	22. 5111	南油	1. 068	0. 859	- 0. 209
5	113. 9164	22. 5344	荔香	1. 152	1. 429	0. 277
6	113. 9819	22. 5400	华侨城	0. 975	1. 589	0. 614
7	114. 2614	22. 5908	盐田	0. 875	1. 679	0. 804
8	114. 2400	22. 7267	龙岗	1. 355	1. 428	0. 073

注:变化数值为正表示大气质量在变差,反之大气质量变好。

## 1.2 数据处理

居民对环境变化的意见由 5分法表示:“1 表示环境变差很多,“5 表示环境变好很多,数字越大表示居民对环境变好的认同越来越强,反之则认同越来越弱。下表是每个采样点的平均值(表 2):

表 2 36个采样点的居民意见打分表

Table 2 Environmental scores by residents in 36 sampling sites

编号	东经 / (°)	北纬 / (°)	采样点名称	样本数量	居民意见平均得分
1	113. 9349	22. 5716	利辉水泥厂	3	1. 333
2	113. 9368	22. 6020	爱绿园林苗圃厂	3	0. 000
3	113. 9320	22. 6285	白芒检查站	5	0. 800
4	113. 9547	22. 5962	西丽水库	4	2. 000
5	114. 0434	22. 5442	中信大厦	5	0. 000
6	114. 0325	22. 5716	梅林一村	3	0. 667
7	114. 0489	22. 5705	梅林四村	3	- 0. 333
8	114. 0379	22. 5789	梅林二村 101工地	3	0. 000
9	114. 0338	22. 5786	梅林水库	4	0. 000
10	114. 0084	22. 5862	长岭皮水库	2	- 2. 000
11	114. 0018	22. 5978	茂业超市,和平路	3	0. 000
12	113. 9208	22. 6414	沃尔玛,蛇口区	36	0. 583
13	113. 9202	22. 6076	万象城超市	23	0. 304
14	113. 8599	22. 6698	石岩镇,宝安区	5	0. 800
15	113. 8641	22. 6721	铁岗水库	5	- 0. 200
16	113. 8774	22. 7510	黄麻布村,吉祥镇,宝安区	5	0. 800
17	113. 8908	22. 8144	公明镇	4	- 0. 500
18	113. 8911	22. 8147	佳华商场,公明镇	18	0. 000
19	113. 8915	22. 8149	信泰光学公司	5	0. 800
20	113. 9847	22. 5586	松岗镇	6	- 0. 333
21	113. 9958	22. 5561	沙井镇	10	0. 600
22	114. 0325	22. 6578	板田	6	- 0. 333
23	114. 0388	22. 7188	龙华文化广场	6	1. 333
24	114. 1237	22. 7001	观澜	8	0. 500

续表

编号	东经 / (°)	北纬 / (°)	采样点名称	样本数量	居民意见平均得分
25	114.1345	22.6899	平湖文化中心	21	-0.905
26	114.1024	22.5944	白银路	11	0.545
27	114.0946	22.5830	布吉广场	15	-0.133
28	114.1542	22.6230	怡景花园,爱园路	6	1.167
29	114.1871	22.6618	捷达印刷厂	9	0.444
30	114.2124	22.7025	横岗镇	5	0.400
31	114.2723	22.7313	排榜村	7	-0.286
32	114.2999	22.7851	天虹广场,龙岗中心	6	0.167
33	114.2997	22.7856	白石塘村	3	1.000
34	114.4199	22.6353	坪山镇广场	8	0.125
35	113.9788	22.5288	葵涌镇	4	0.250
36	113.9812	22.5288	盐田区政府	5	1.200

### 1.3 空间分析

我们采用 GIS技术分析了环境监测站点和它周围一定距离的居民点之间的关系。在 DL (Interactive Data Language)的帮助下,进行了以下几步分析:

1. 通过公式计算环境监测站点和问卷采样点之间的空间距离,公式如下<sup>[11]</sup>:

$$D_0 = 111.32 \times 180 \times \arccos(\sin a \sin b + \cos a \cos b \cos c) \quad (2)$$

其中  $D_0$  为监测站点和采样点之间的距离;  $a$  为监测站点的纬度;  $b$  为采样点的纬度;  $c$  为监测站点和采样点之间的经度差;

2. 以环境监测站点为中心做缓冲区分析(图 1),缓冲区大小从 1 km 到 7 km。每一对监测站点和采样点都选择出来做进一步分析。在选择缓冲区时,我们的原则是:缓冲区要尽量多的包含采样点,但各个缓冲区之间的交叉面积要尽量小。

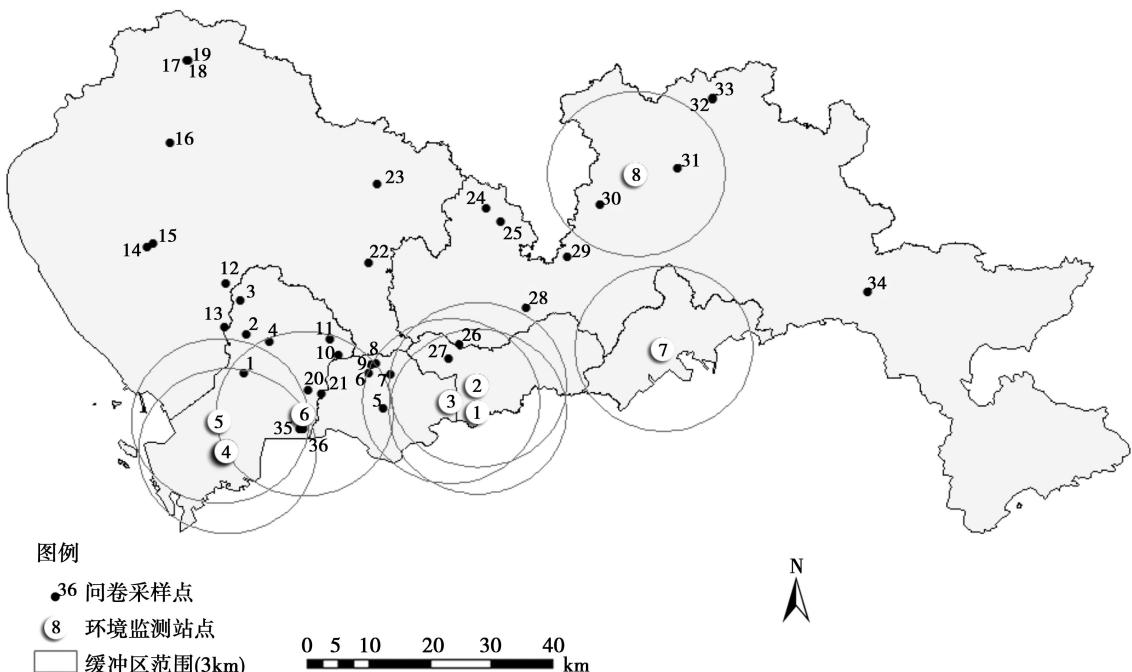


图 1 环境监测站点和问卷采样点分布图

Fig 1 Distribution of environment monitoring stations and questionnaire sampling sites

### 1.4 统计分析

通过比较居民对周围环境的感受与环境监测站的数据,我们得出了9类环境风险。每类环境风险是由居民对周围环境变化的感受和环境监测站数据的变化组成的。这两种变化可以分为3类:变好(+)、变差(-)和不变及不了解(N/A)。每类风险代表了不同的环境问题,需要不同的大气质量管理政策(表3)。

表3 由居民打分和环境监测站数据定义的风险类型

Table 3 Risk types defined by data from environment monitoring stations and scored by residents

类型编号	居民感受变化	监测站点变化	可能反映的环境问题 *
a	变坏 ( - )	变高 ( + )	环境质量严重变坏,地区属于高环境风险区; 居民要求改善环境。
b	变坏 ( - )	变低 ( - )	监测站点不合理的分布,如监测站被高楼环绕无法反映真实的环境状况; 环境监测指标遗漏了重要的环境指标,而居民因这些指标过低而不满。
c	变好 ( + )	变高 ( + )	居民还未能感受到污染物的影响;
d	变好 ( + )	变低 ( - )	环境质量在变好; 环境风险较低。
e	变坏 ( - )	不变或无数据 (0 or - - )	监测站点未能覆盖社区; 但居民感受到环境质量变坏,要求改变。
f	变好 ( + )	不变或无数据 (0 or - - )	监测站点未能覆盖社区; 居民感觉到环境质量变好了。
g	不变或无数据 (0 or - - )	变高 ( + )	居民还没有感受到环境质量变坏; 居民不关心环境质量的变化。
h	不变或无数据 (0 or - - )	变低 ( - )	环境监测指标遗漏了重要的环境指标,而居民因这些指标没有变化而感觉环境状况不变; 居民不关心环境质量的变化。
i	不变或无数据 (0 or - - )	不变或无数据 (0 or - - )	环境质量没有什么变化; 监测站点未能覆盖社区; 居民不关心环境质量的变化。

\* 误差估计:1. 环境监测站点的数据有错误;2. 在社区调查中的采样误差,可以通过较好的设计采样点和增加采样样本数量减小。

## 2 分析结果

每一个单独的社区都赋予一个风险类型,包含土地利用类型一起列于下表(表4)。统计发现,最常见的类型是f,而类型h没有在任何社区出现(表5)。

表4 采样点风险类型及土地利用类型

Table 4 Types of risk and landuse in sampling sites

序号	采样点名称	居民打分	环境监测站打分	土地利用类型	风险类型
1	利辉水泥厂	1.333	0.227	工业用地	c
2	爱绿园林苗圃厂	0.000	- -	绿地	i
3	白芒检查站	0.800	- -	交通用地	f
4	西丽水库	2.000	0.614	水体	c
5	中信大厦	0.000	0.344	商业用地	g
6	梅林一村	0.667	0.344	居民用地	c
7	梅林四村	-0.333	-0.037	居民用地	b
8	梅林二村 101工地	0.000	0.074	绿地	g

续表

序号	采样点名称	居民打分	环境监测站打分	土地利用类型	风险类型
9	梅林水库	0.000	0.344	水体/绿地	g
10	长岭皮水库	-2.000	0.614	水体/绿地	a
11	茂业超市,和平路	0.000	0.614	商业用地	g
12	沃尔玛,蛇口区	0.583	-	商业用地	f
13	万象城超市	0.304	-	商业用地	f
14	石岩镇,宝安区	0.800	-	交通用地	f
15	铁岗水库	-0.200	-	水体/绿地	e
16	黄麻布村,吉祥镇,宝安区	0.800	-	居民用地	f
17	公明镇	-0.500	-	居民用地	e
18	佳华商场,公明镇	0.000	-	商业用地	i
19	信泰光学公司	0.800	-	工业用地/绿地	f
20	松岗镇	-0.333	0.614	居民用地	a
21	沙井镇	0.600	0.614	居民用地	c
22	板田	-0.333	-	居民用地	e
23	龙华文化广场	1.333	-	交通用地/绿地	f
24	观澜	0.500	-	居民用地	f
25	平湖文化中心	-0.905	-	交通用地	e
26	白银路	0.545	-0.032	交通用地	d
27	布吉广场	-0.133	-0.032	交通用地	b
28	怡景花园,爱园路	1.167	-	居民用地/绿地	f
29	捷达印刷厂	0.444	-	工业用地/绿地	f
30	横岗镇	0.400	0.073	居民用地	c
31	排榜村	-0.286	0.073	居民用地	a
32	天虹广场,龙岗中心	0.167	-	商业用地	f
33	白石塘村	1.000	-	居民用地/绿地	f
34	坪山镇广场	0.125	-	交通用地	f
35	葵涌镇	0.250	0.227	居民用地	c
36	盐田区政府	1.200	0.227	商业用地/交通用地	c

表 5 不同风险类型统计表

Table 5 Statistics of different risk type and their scores

风险类型	a	b	c	d	e	f	g	h	i
得分	3	2	7	1	4	13	4	0	2

### 3 结论与讨论

在所有的被环境监测站点覆盖的 17个采样点中,“变好”的有 8个,“不变”的有 4个,“变差”的有 5个;未被环境监测站点覆盖的 19个采样点中,“变好”的有 13个,“不变”的有 2个,“变差”的有 4个。总的来说,有一半的采样点反映环境状况是变好了。但是从表 5可以看到,类型 c排在所有类型的第二位。从表 3的分析可以知道,这些社区的居民并没有感受到环境质量的潜在威胁。

不同类型的大气环境风险需要不同的对策(表 6)。当环境质量变化的趋势能够被正确而完整的了解时,就可以制定合理的政策和对策了。

表 6 不同类型大气环境风险的对策

Table 6 Countermeasures against different types of air environment risk

风险类型	优先级	相应用策
a	紧急	找出污染源并执行控制措施; 保护居民,远离污染源。
b	紧急	重新考虑监测站点的位置和操作流程; 考察可能遗漏的重要污染指标。
c	紧急	考察可能遗漏的重要污染指标; 加强环境教育,帮助社区居民了解污染物对人体的影响; 保护居民,远离污染源。
d	中等	维持现有的环境政策; 继续深入调查,确认社区环境的安全性。
e	紧急	找出污染源并执行控制措施; 保护居民,远离污染源; 考察是否需要在附近地区增加环境监测站点。
f	中等	维持现有的环境政策; 考察是否需要在附近地区增加环境监测站点。
g	紧急	找出污染源并执行控制措施; 保护居民,远离污染源; 加强环境教育,帮助社区居民了解污染物对人体的影响。
h	中等	考察可能遗漏的重要污染指标; 加强环境教育,帮助社区居民了解污染物对人体的影响。
i	中等	加强环境教育,帮助社区居民了解污染物对人体的影响; 考察是否需要在附近地区增加环境监测站点。

监测站点的数据是否能作为唯一的获取环境大气污染状况的来源是值得怀疑的。应该通过增加采样点的数量以及采样频率来增进对在空间和时间上高度变异的数据的分析,而不是用一些复杂的分析过程<sup>[11]</sup>。为了正确而完整地获取环境大气质量状况的信息,在环境监测站点的基础上应该加入更多的数据来源。使用移动的实时环境质量监测站点和遥感手段都是对环境监测站点数据的有力补充。而基于 GIS的社区环境质量问卷调查将社区引入到环境管理中来,特别是在分析那些环境监测站点无法覆盖的地区以及没有包含在内的污染物时增加了信息源。问卷调查的另外一个优点在于,这是一种相对成本较低的获取环境大气质量信息的方法,在资金受限的地区显得特别重要。

但是,问卷调查需要更科学的选择采样点以代表居民所承受的大气污染程度。同时,选择合理的空间分析和统计分析工具对最后的结果还有一定的影响。本文指出我们需要在社区层面做更多的环境大气污染调查工作,而地理信息系统的使用已经使得这一目标可行了。

## 参考文献:

- [1] Fanou L A, et al Survey of air pollution in Cotonou, Benin—air monitoring and biomarkers [J]. Science of the Total Environment 2006, 358: 85 - 96.
- [2] Langkulsen U, Jinsart W, Karita K, et al Health effects of respirable particulate matter in Bangkok school children [J]. International Congress Series 2006, 1294: 197 - 200.
- [3] Coils J J, Micallef A. Towards better human exposure estimates for setting of air quality standards [J]. Atmospheric Environment 1997, 31, 24: 4253 - 4254.
- [4] Boeglin M L, Wessels D, Henshield. An investigation of the relationship between air emissions of volatile organic compounds and the incidence of cancer in Indiana counties [J]. Environmental Research, 2006, 100: 242 - 254.
- [5] Vandenberg J J. The role of air quality management programs in improving public health: A brief synopsis [J]. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 2005, 115 (2): 334 - 336.
- [6] Shenzhen Environmental Protection Monitoring Center. The introduction of the ambient air Monitoring System in Shenzhen [M/OL]. Shenzhen Environmental Protection Monitoring Center, Chinam. www.apm-shenzhen.gov.cn 2000.
- [7] Desauziers V. Traceability of pollutant measurements for ambient air monitoring [J]. Trends in Analytical Chemistry. 2004, 23 (3): 252 - 260.
- [8] Chen Q F, Milburn R K, Karellos N S. Real time monitoring of hazardous airborne chemicals: A styrene investigation [J]. Journal of Hazardous

Materials, 2006, B132: 261 - 268.

- [ 9 ] Gupta P, et al Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities [ J ]. Atmospheric Environment, 2006, 40: 5880 - 5892.
- [ 10 ] Liu X, Heilig G K, Chen J, et al Interactions between economic growth and environmental quality in Shenzhen, China's first special economic zone [ J ]. Ecological Economics, 2007, 62 (3 - 4) : 559 - 570.
- [ 11 ] Chang K Introduction to geographic information systems [ M ]. Beijing: Science Press, 2002.
- [ 12 ] Bortnick SM , Stetzer SL Sources of variability in ambient air toxics monitoring data [ J ]. Atmospheric Environment, 2002, 36: 1783 - 1791.