

· 研究报告 ·

# 基于环境库兹涅茨曲线特征的桂林市大气环境状况研究

张志朋<sup>1</sup>, 宋玉侠<sup>2</sup>, 邹志勇<sup>1</sup>, 彭靖恺<sup>1</sup>, 黎泳珊<sup>1</sup>

(1. 桂林市环境监测中心站, 广西 桂林 541002;

2. 桂林电器科学研究所有限公司, 广西 桂林 541002)

**摘要:** 根据2006年—2012年桂林市经济发展主要指标和大气环境污染指标的统计资料, 分析了该市人均GDP与SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟(粉)尘排放量及PM<sub>10</sub>质量浓度和API优良率等大气环境指标的相关关系, 建立了经济发展与大气环境指标之间的模拟曲线。模拟结果表明, 桂林市处于工业时期, 随着人均GDP增加, SO<sub>2</sub>和烟(粉)尘排放得到了一定程度的缓解, 而NO<sub>x</sub>和PM<sub>10</sub>排放从长期看还处于上升趋势。建议改善能源结构, 调整产业结构和工业布局, 制定财税激励政策, 开展环境综合整治, 加大机动车排污防治力度, 进一步控制大气污染。

**关键词:** 大气环境; 环境库兹涅茨曲线; 人均GDP; 空气污染指数; 桂林市

中图分类号: X823 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2014)01-0014-05

## Study on the Atmospheric Environmental Conditions in Guilin City based on Environmental Kuznets Curve

ZHANG Zhi-peng<sup>1</sup>, SONG Yu-xia<sup>2</sup>, ZOU Zhi-yong<sup>1</sup>, PENG Jing-kai<sup>1</sup>, LI Yong-shan<sup>1</sup>

(1. Guilin Environmental Monitoring Centre, Guilin, Guangxi 541002, China;

2. Guilin Electrical Equipment Scientific Research Institute Co. Ltd, Guilin, Guangxi 541002, China)

**Abstract:** Based on the statistical data of economic development and atmospheric pollution indicators from 2006 to 2012 in Guilin City, the interrelation between Per Capita GDP and the emissions of sulfur dioxide, nitrogen oxides, inhalable particulate matter (PM<sub>10</sub>), smoke (dust) powder and excellent API rate were analyzed, then the simulation model of economic development vs. atmospheric pollution indicators was also established. The results show that Guilin is still in the industrial period. With the increase of per capita GDP, the emissions of the sulfur dioxide and smoke (dust) powder have been mitigated partly. But the emissions of nitrogen oxides and inhalable particulate matter are still in the increasing trend in the long term. Recommendations were suggested to improve the energy structure, adjust industrial structure, enact the financial and tax initiative policy, carry out comprehensive environmental remediation and increase vehicle emission control efforts for the purpose of further control air pollution in Guilin city.

**Key words:** Atmospheric environment; Environmental Kuznets Curve; Per capita GDP; API; Guilin

随着人均收入的增加, 环境污染由低趋高, 环境恶化程度随经济增长而加剧; 当经济发展达到一定水平, 到达某个临界点或称“拐点”以后, 随着人均收入的进一步增加, 环境污染又由高趋低, 程度逐渐减缓, 环境质量逐渐得到改善, 这种现象可以用环境库兹涅茨曲线(EKC)来表示。近年来, 国内外一些学者根据EKC曲线, 分析了具体地区的经济发展与环境问题<sup>[1-5]</sup>。Cole等<sup>[1]</sup>利用EKC曲

线对美国经济发展与环境污染之间关系的研究结果显示, 在较高的经济发展阶段, 经济增长有助于环境质量状况的改善。李春生等<sup>[2]</sup>以河南省矿业城市焦作为例, 建立了人均GDP与主要环境污染物排放量的模型。胡明秀等<sup>[3]</sup>分析了人均GDP与

收稿日期: 2013-09-08; 修订日期: 2013-12-24

作者简介: 张志朋(1981—), 男, 山东曲阜人, 工程师, 硕士, 从事环境有机污染物分析工作。

工业“三废”污染物排放量之间的相关关系,并建立了二者之间的计量模型。夏永久等<sup>[4]</sup>运用 EKC 曲线,结合相关计算,划分出兰州市近年来经济增长与环境污染演进阶段过程,为城市环境政策评价提供依据。王西琴等<sup>[5]</sup>以经济增长与环境污染水平计量模型 - EKC 曲线为理论基础,分析天津市经济增长与环境污染之间的关系,呈现出“U 型 + 倒 U 型”的曲线形态。

桂林是世界著名的风景旅游城市 and 历史文化名城,多年来一直注重生态环境保护。2012 年 11 月,国家发改委正式批复《桂林国际旅游胜地建设发展规划纲要》(以下简称《纲要》)标志着桂林国际旅游胜地建设上升到国家战略地位<sup>[6]</sup>。然而随着经济的快速增长,大气环境问题可能会加剧,这将直接影响到桂林的可持续发展和国际旅游胜地建设。因此,研究桂林市经济增长与大气环境之间的相关关系非常重要。

## 1 研究区域概况

### 1.1 桂林市经济发展状况及城市化进程

桂林市位于广西东北部,辖 17 个县(市)、区,包括 6 区 9 县和 2 个民族自治县。2012 年的统计数据显示,桂林市总面积 27 809 km<sup>2</sup>,全市总人口达 522.09 万,国民生产总值 1 492.05 亿元,规模以上工业增加值 494.81 亿元,全社会固定资产投资 1 462.40 亿元<sup>[7]</sup>。

根据《纲要》,到 2020 年,桂林国际旅游胜地基本建成,成为世界一流的山水观光休闲度假旅游目的地、国际旅游合作和文化交流的重要平台,同时城市文化特色突出,城乡生态环境达到国际优良水平。届时旅游总收入占地区生产总值比重超过 1/4,旅游公共服务体系和综合服务功能完备,交通条件全面优化,桂林的城市化建设进程将迎来前所未有的发展机遇<sup>[6]</sup>。城市化是一个复杂、系统、全面的转换过程,是社会发展的必然趋势,也是社会进步的重要标志。城市化包括经济城市化、产业结构城市化、人口城市化、空间城市化、生活方式城市化,以及文明程度城市化等多个方面<sup>[8]</sup>,在今后相当长的时期内,城市建设将会是桂林经济发展的主要动力及经济增长的中心环节<sup>[7]</sup>。

### 1.2 桂林市大气环境状况

桂林属中亚热带季风气候,具有气候温和、四季分明的特征,年均气温 19.3℃,雨量充沛,无霜

期长,光照充足,热量丰富,夏长冬短,气候条件十分优越<sup>[9]</sup>。环境状况公报显示,2012 年桂林市工业废气排放总量 973.68 亿 m<sup>3</sup>,其中 SO<sub>2</sub> 排放量 39 191.46 t,NO<sub>x</sub> 排放量 36 299.38 t,工业烟(粉)尘排放量 16 433.39 t。桂林市大气环境主要污染物为可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)<sup>[10]</sup>。

随着经济发展,能源消费不断攀升。仅 2012 年 1 月—8 月,桂林市规模以上工业能耗达 213.38 万 t 标煤(当量值),同比增长 4.2%;截至 2012 年底,机动车保有量达 87 万辆。因此,桂林市大气环境呈现出以煤烟型污染和机动车尾气的光化学污染共存的复合型污染,使得城市环境空气中的细粒子和臭氧浓度不断增加,对社会经济发展造成了不利影响,并且危害公众健康。大气环境季节分布呈现出冬季污染最重、夏季污染较轻的趋势<sup>[9]</sup>。近年来,桂林市空气污染特别是颗粒物污染加重,灰霾天气偶有发生,在一定程度上影响了市民的正常生活。大气是生态系统的重要组成部分,也是人类生存不可或缺的元素<sup>[11]</sup>,如何协调桂林市大气环境和经济发展的关系成为迫在眉睫的问题。

## 2 桂林市经济发展与大气环境污染分析模型

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 指标与数据的选取

选取人均 GDP 作为桂林市经济发展指标<sup>[12]</sup>,选取 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟(粉)尘排放量及 PM<sub>10</sub>质量浓度和空气污染指数(API)优良率作为典型的大气环境指标。2006 年—2012 年桂林市经济发展指标<sup>[12]</sup>和环境质量指标<sup>[13]</sup>见表 1。表 1 中数据显示,近年来桂林市环境空气质量总体良好,除 2011 年 PM<sub>10</sub>超标 3% 外,各项指标大多达到《环境空气质量标准》(GB 3095 - 2012) 二级标准<sup>[14]</sup>,然而 PM<sub>10</sub>质量浓度总体趋势逐年增加,API 优良率逐渐减少。因此,有必要对经济发展与大气环境质量之间的关系开展进一步研究。

#### 2.1.2 模型建立

借助 EXCEL 和 SPSS 软件进行多种曲线回归模拟发现,三次回归曲线能较全面地反映人均 GDP 与大气环境指标之间的关系。以人均 GDP 为自变量(x),分别以 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟(粉)尘排放量及 PM<sub>10</sub>质量浓度和 API 优良率等 5 个大气环境指标为因变量(y),进行三次曲线回归模拟,结果见图 1—图 5。

表 1 桂林市 2006 年—2012 年人均 GDP 与大气环境污染排放量

Table 1 The per capita GDP and the atmospheric environmental pollutants emissions of Guilin City during 2006—2012

年份	人均 GDP /万元	SO <sub>2</sub> 排放量 Q/万 t	NO <sub>x</sub> 排放量 Q/万 t	烟(粉)尘排放量 Q/万 t	PM <sub>10</sub> 质量浓度 ρ/(μg·m <sup>-3</sup> )	API 优良率 /%
2006	1.240 1	5.49	2.69	3.44	30	100
2007	1.479 9	5.30	2.98	3.12	35	100
2008	1.737 1	3.84	2.12	1.97	35	100
2009	1.838 3	4.67	2.60	1.75	49	100
2010	2.222 4	4.82	3.50	1.81	66	98.4
2011	2.678 5	4.06	3.57	1.70	76	96.7
2012	2.857 8	3.92	3.63	1.64	70	95.9

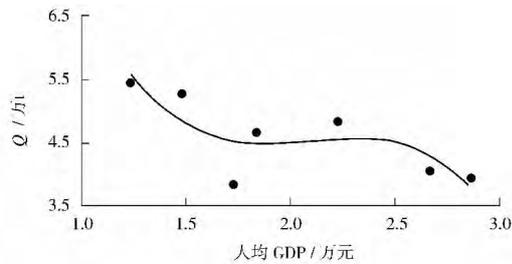


图 1 SO<sub>2</sub> 排放量与人均 GDP 变动曲线

Fig. 1 The chart of relationship between the sulfur dioxide emission and per capital GDP

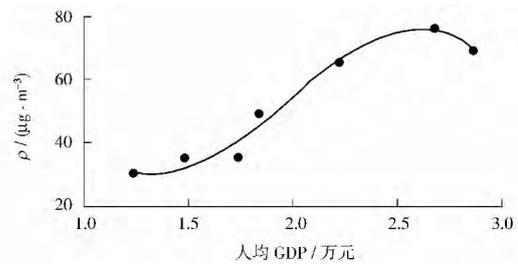


图 4 PM<sub>10</sub> 质量浓度与人均 GDP 变动曲线

Fig. 4 The chart of relationship between the mass concentration of inhalable particulate matter (PM<sub>10</sub>) and per capital GDP

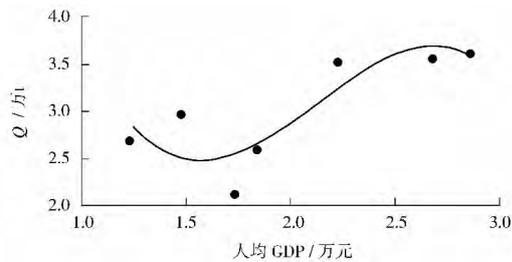


图 2 NO<sub>x</sub> 排放量与人均 GDP 变动曲线

Fig. 2 The chart of relationship between the nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) emission and per capital GDP

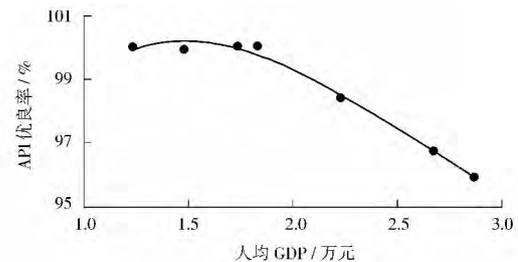


图 5 API 优良率与人均 GDP 变动曲线

Fig. 5 The chart of relationship between the excellent API rate and per capital GDP

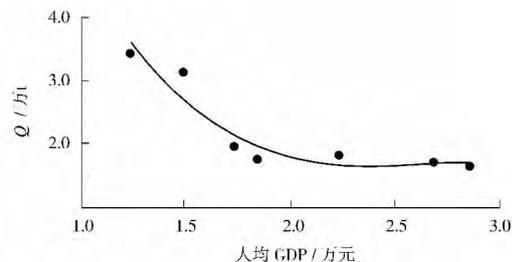


图 3 烟(粉)尘排放量与人均 GDP 变动曲线

Fig. 3 The chart of relationship between the smoke (dust) powder emission and per capital GDP

## 2.2 模拟结果分析

### 2.2.1 SO<sub>2</sub> 排放量与人均 GDP

图 1 中人均 GDP 与 SO<sub>2</sub> 排放量之间的三次曲线趋势模型为:  $y = -2.125x^3 + 13.38x^2 - 27.78x + 23.54$   $R^2 = 0.683$ , 该曲线处于 EKC 曲线右侧。图 1 显示 随着人均 GDP 增加, SO<sub>2</sub> 排放量呈明显下降趋势, 从 2006 年的 5.49 万 t 下降到 2012 年的 3.92 万 t。这主要得益于桂林市采取的一系列 SO<sub>2</sub> 减排措施, 包括积极落实《桂林市二氧化硫及酸雨控制规划》中的各项治理措施, 市区内限制使用高

污染燃料 积极利用天然气、电等清洁能源 改变能源结构; 大力实施燃煤电厂脱硫工程 重点污染源企业均配备烟气在线监测装置等。此外 桂林市环保局与市发改委每年联合印发《桂林市主要污染物总量减排计划》, 仅 2012 年就完成减排项目 37 个 减排  $\text{SO}_2$  186.3 t 总量减排工作取得预期成效, 环境空气中的  $\text{SO}_2$  浓度也随之明显下降。

### 2.2.2 $\text{NO}_x$ 排放量与人均 GDP

图 2 中人均 GDP 与  $\text{NO}_x$  排放量之间的三次曲线趋势模型为:  $y = -1.767x^3 + 11.23x^2 - 22.15x + 16.41$   $R^2 = 0.735$  其曲线特征符合 EKC 曲线。图 2 显示 随着人均 GDP 增加  $\text{NO}_x$  排放量开始下降, 在人均 GDP 为 17 371 元(2008 年)时  $\text{NO}_x$  排放量达到最低值 而在人均 GDP 为 18 383 元(2009 年)后  $\text{NO}_x$  排放量又快速增加。这与桂林市私家车拥有量的快速增长有密切关系 全市机动车保有量由 2008 年底 37.1 万辆增长到 2012 年底 87 万辆<sup>[15]</sup>, 5 年增长 134.5%。《桂林市大气环境容量技术核定报告》表明 桂林市建成区机动车尾气  $\text{NO}_x$  排放量的分担率为 70%, 工业源排放量的分担率为 23% 机动车尾气是  $\text{NO}_x$  的主要来源。 $\text{NO}_x$  排放持续增加 还会加速臭氧和二次气溶胶的形成 成为光化学污染和灰霾天气的诱发因素<sup>[16]</sup>, 因而需时刻警惕  $\text{NO}_x$  污染的反弹波动。

### 2.2.3 烟(粉)尘排放量与人均 GDP

图 3 中人均 GDP 与烟(粉)尘排放量之间的三次曲线趋势模型为:  $y = -0.758x^3 + 5.996x^2 - 15.69x + 15.28$   $R^2 = 0.918$  该曲线处于 EKC 曲线右侧。图 3 显示 随着人均 GDP 增加 烟(粉)尘排放量呈明显的下降趋势 从 2006 年的 3.44 万 t 下降到 2012 年的 1.64 万 t。这与近年来桂林市加大对工业企业排污、施工现场、施工工地的管理力度密切相关 加强对砖厂、矿山等企业的环境监管 整治环保设施运行效果差的企业 进一步遏制烟(粉)尘的排放。对于新开工建设项目 严格执行环境影响评价制度和“三同时”验收制度 从源头上控制违规排放烟(粉)尘。桂林市水泥厂、砖厂、矿山等重点污染源企业众多 要保持经济较快增长 排放大量烟(粉)尘很难避免 需要在理论和实践中更好地开展节能减排 严格执行环保“倒逼”机制 在促进经济增长的同时减少烟(粉)尘排放 推动企业转型升级。

### 2.2.4 $\text{PM}_{10}$ 质量浓度与人均 GDP

图 4 中人均 GDP 与  $\text{PM}_{10}$  质量浓度之间的三次曲线趋势模型为:  $y = -45.10x^3 + 267.2x^2 - 473.4x + 293.1$   $R^2 = 0.974$  其曲线特征符合 EKC 曲线。图 4 显示  $\text{PM}_{10}$  质量浓度在 2007 年和 2008 年持平 至 2011 年为上升趋势 之后出现拐点 于 2012 年降低。原因是桂林市加大了工业化力度 工业产值比重明显增加 至 2012 年三次产业结构由 2006 年的 21.7:41.3:37.0 调整为 18.4:46.6:35 对环境空气自净化造成了很大压力。城市改造工程施工和日益增长的机动车尾气排放 进一步加剧了  $\text{PM}_{10}$  排放。2012 年 桂林市城区政府和市直有关部门建立了改善空气质量联席机制 出台了《桂林市空气预警工作方案》《桂林市空气质量预警及应急工作实施细则(试行)》等管理规定 提前采取有效措施 减少  $\text{PM}_{10}$  的排放 因而其质量浓度得以降低。

### 2.2.5 API 优良率与人均 GDP

图 5 中人均 GDP 与 API 优良率之间的三次曲线趋势模型为:  $y = 1.286x^3 - 9.822x^2 + 20.72x + 86.87$   $R^2 = 0.993$  该曲线处于 EKC 曲线左侧。图 5 显示 随着人均 GDP 增加 API 优良率逐渐降低 特别是 2009 年后 三级天数日益增多。空气质量下降会降低桂林作为旅游城市的吸引力 空气污染对人体健康危害很大。近年来 桂林市已开始出现灰霾天气 并有增长的趋势 大气污染正在发生转型 向二次污染发展<sup>[17]</sup>。

## 3 结论与建议

以人均 GDP 为自变量 分别以  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、烟(粉)尘排放量及  $\text{PM}_{10}$  质量浓度和 API 优良率等 5 个大气环境指标为因变量 进行三次曲线回归的模拟结果表明: 桂林市处于工业时期 随着人均 GDP 增加  $\text{SO}_2$  和烟(粉)尘排放得到了一定程度的缓解 而  $\text{NO}_x$  和  $\text{PM}_{10}$  排放从长期看还处于上升趋势。

桂林市的大气污染源主要包括工业企业排放的废气、机动车尾气和生活废气 建议采取以下措施控制大气污染: ①改善能源结构 积极开发生物质能、太阳能等新能源 提高能源利用效率 大力开展节能工作 发展清洁生产技术; ②调整产业结构和工业布局 降低高耗能的第二产业比重 积极发展食品工业、高新技术产业和服装产业 推动生物、新材料、新能源等先导产业发展 将工业发展重心转移到城市新建区域<sup>[18]</sup> 逐步形成组团式区域产

业框架,提高产业集中度,实现污染集中治理;③制定财税激励政策,鼓励企业自愿节能减排,从行政上限制高耗能工艺和企业发展,淘汰低效的耗能设备,实行企业能耗考核制度<sup>[19]</sup>;④深入开展环境综合整治工作,加强立法、执法与全民参与,建设城市外围防护林带,建立有效的城市空气质量监控系统,严格控制大气污染物排放;⑤加大机动车排污防治力度,积极推动机动车检测检验机构环保委托认证工作,实行机动车环保合格标志管理制度,优先发展公共交通,倡导低碳出行。

解决桂林市的大气环境污染问题是一个综合、复杂、全方位的系统工程,不仅要求政府各级各类部门积极作为,而且要建立环保信息网络,坚持公众参与,加强环境法制宣传教育,采取各种形式,组织跨部门协调合作,逐步深入到城市环境保护规划与监督管理中。应提高对环境问题严重性的认识,坚决不能走“先污染,后治理”的路子,把握好经济与环境的关系,在快速发展经济的同时,切实保护好桂林市的大气环境。

#### 【参考文献】

- [1] COLE M A, RAYNER A J, BATE J M. The environmental kuznets curves [J]. *Environment and Development Economics*, 1997, 2(4): 401-406.
- [2] 李春生, 李哲, 李建国. 河南省矿业城市环境库兹涅茨曲线分析——以焦作为例 [J]. *河南大学学报(自然科学版)*, 2006, 36(2): 54-57.
- [3] 胡明秀, 胡辉, 王立兵. 武汉市工业“三废”污染状况计量模型研究——基于环境库兹涅茨曲线(EKC)特征 [J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(4): 470-474.
- [4] 夏永久, 陈兴鹏, 李娜. 西北河谷型城市环境政策评价研究——以兰州市为例 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2006, 42(2): 1-5.
- [5] 王西琴, 李芬. 天津市经济增长与环境污染水平关系 [J]. *地理研究*, 2005, 24(6): 834-842.
- [6] 国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于桂林国际旅游胜地建设发展规划纲要的批复 [EB/OL]. [2012-11-27]. [http://travel.people.com.cn/n/2012/1127/c203376\\_19715323.html](http://travel.people.com.cn/n/2012/1127/c203376_19715323.html).
- [7] 桂林市统计局, 国家统计局桂林调查队. 2012年桂林市国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. [2013-04-19]. [http://www.gxtj.gov.cn/tjsj/tjgb/201304/t20130419\\_26290.html](http://www.gxtj.gov.cn/tjsj/tjgb/201304/t20130419_26290.html).
- [8] 欧名豪, 李武艳, 刘向南, 等. 城市化内涵探讨 [J]. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2002, 2(4): 13-21.
- [9] 郑传新, 蒋丽娟, 唐伍斌. 桂林市灰霾天气的气候变化特征及其对人体健康的影响 [C]//中国气象学会. 第27届中国气象学会年会气候环境变化与人体健康分会场论文集. 北京: 中国气象学会, 2010: 4.
- [10] 桂林市环境保护局. 2012年桂林市环境状况公报 [EB/OL]. [2013-06-05]. <http://www.glepb.gov.cn/web/2013-06/12670.htm>.
- [11] 唐孝炎, 李金龙, 栗欣, 等. 大气环境化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [12] 桂林市统计局. 桂林经济社会统计年鉴 2012 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [13] 桂林市环境保护局. 2006-2012年桂林市环境状况公报 [EB/OL]. [2013-06-05]. <http://www.glepb.gov.cn/web/c36/index.htm>.
- [14] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3095-2012 环境空气质量标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [15] 桂林日报社. 桂林机动车保有量约87万辆, 新车入户5年增5倍 [EB/OL]. [2013-02-20]. <http://epaper.guilinlife.com/glw/2013-02/20>.
- [16] 杜讓, 朱留财. 氮氧化物污染防治的国外经验与国内应对措施 [J]. *环境保护与循环经济*, 2011(4): 6-9.
- [17] 郝吉明, 程真, 王书肖. 我国大气环境污染现状及防治措施研究 [J]. *环境保护*, 2012(9): 17-20.
- [18] 平措. 我国城市大气污染现状及综合防治对策 [J]. *环境科学与管理*, 2006(1): 18-21.
- [19] 刘虹. 中外工业节能政策对比分析 [J]. *中国石油和化工*, 2006(2): 23-26.

#### • 简讯 •

### 上海空气预报合二为一

上海市环保局和上海市气象局对空气污染气象条件预报与空气质量预报进行整合。今后两项预报将合二为一,每日17时前后通过空气质量预报的渠道发布。

据了解,上海市气象局从2013年11月起正式开展空气污染气象条件预报,对大气污染物的稀释、扩散、聚积和清除能力进行预报。但是,上海市环保部门同时发布的“空气质量指数”,也新增加了空气污染气象条件预报。

鉴于空气污染气象条件预报与环保、气象两部门联合发布的空气质量预报容易混淆,经协商,两部门将不再单独发布空气污染气象条件预报。未来,当空气污染扩散条件显著变差或转好时,将在空气质量预报中增加一段关于空气污染气象条件的定性描述文字。据介绍,新版预报每次发布AQI指数等3个数据。

摘自 [www.jshb.gov.cn](http://www.jshb.gov.cn) 2014-01-15