

文章编号: 1672-1586(2014)06-0017-05

中图分类号: P2; X8

文献标识码: A

# 我国环境空气质量时空分布特征分析

包振虎, 刘 涛, 骆继花, 孙建国

(兰州交通大学测绘与地理信息学院 甘肃省地理国情监测工程实验室, 甘肃 兰州 730070)

## 基金项目:

国家自然科学基金项目(41201476)资助; 兰州交通大学青年科技基金项目(2012001)资助; 甘肃省自然科学基金项目(1212RJZA042)资助

## 作者简介:

包振虎(1984-), 男, 甘肃白银人, 地理信息系统专业硕士研究生, 主要研究方向为空间分析。

## E-mail:

baozhenhu123@126.com

收稿日期: 2014-08-31

**【摘要】**根据国家环保部PM2.5 IN网站公布的环境空气质量指数, 和国家气象局提供的气象数据, 利用GIS强大的数据处理功能、空间分析功能和可视化功能, 对2013年全国各个城市的环境空气质量指数数据进行处理与分析。初步揭示了环境空气质量在季节上的周期性, 与降水、气压、温度的相关性, 以及AQI在地域上南低北高、在垂直方向上呈递减趋势, 且随高度的增加, 变化趋势逐渐减慢的空间格局。

**【关键词】**环境空气质量指数; PM2.5; 沙尘暴; 雾霾; 时空特征

## Analysis of the Space and Time Distribution of China's Environmental Quality Index

BAO Zhenhu, LIU Tao, LUO Jihua, SUN Jianguo

(Faculty of Geomatics, Lanzhou jiaotong University, Gansup provincial Engineering Laboratory for National Geographic state Monitoring, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** According to Air Quality Index(AQI)published by the Ministry of Environmental Protection' the PM2.5 IN website and the meteorological data provided by the National Weather Service, and by using the powerful functions of data processing, spatial analysis and visualization of GIS, the paper tries to make an analysis of every city nationwide of 2013. AQI' periodic in season has been revealed together with its correlation with precipitation, air pressure and temperature. Besides, AQI is regionally low in South and high in North, showing a decreasing trend vertically and the spatial pattern that is gradually slowed down with the increasing of height.

**Key words:** air quality index; PM2.5; sand storm; fog/haze; spatial and temporal characteristics

## 0 引言

随着中国经济的高歌猛进, 中国同时也进入了环境污染的高峰期, 我国环境状况每况愈下。伴随经济增长, 呈现出环境恶化、环境污染事件频发、各地PM2.5数值暴涨的特征, 空气质量问题已经成为近年来一个比较严重的问题。据不完全统计, 在2012年仅在北京、上海、广州和西安四个城市中, 因PM2.5过高引发多种疾病导致过早死亡人数多达8 500多人。2013年更加严重, 全国各地雾霾天气频发, 北至北京、河北, 南至四川等地, 多

地显示“重度污染”, 部分地方因雾霾导致能见度小于200米, 仅第一季度, 我国就出现了11次大范围的雾霾天气, 20多个省份出现持续雾霾, 影响人口超过6亿。因此对城市环境空气质量的研究已经到了刻不容缓的地步。

在此之前很多学者也通过环境污染因子来估计各地区污染源的排放量, 并给出我国各地区污染分布情况。王淑英<sup>[1]</sup>等在对PM10浓度与气象条件相关性分析中得出了PM2.5浓度与气压、相对湿度和风速的相关性较好, 与气温的相关性较差。

刘大锰<sup>[2]</sup>等从气溶胶质量浓度的日变化以及一个季节里的变化特征出发, 研究了颗粒物的质量浓度与各种气象条件的对应关系。王斌<sup>[3]</sup>利用聚类分析法对我国不同城市的API进行分析, 分析结果表明, 全国被划分为两个区域。这两个区域分别位于秦岭淮河一线两侧, 秦岭淮河一线在我国地理环境中是一条非常重要的分界线, 它不仅是我国南北气候分界线、半湿润和湿润地区分界线, 也是亚热带和北温带的分界线<sup>[4]</sup>。由此得出我国区域性范围污染不仅与工业、交通、生活等污染相

关,在污染源排放量稳定的条件下也与地理环境、气象条件(如温度、气压等)等自然环境因素相关。但以上研究成果主要针对某一地区在某一个时间段上环境空气质量的时空分布特征,而针对大范围,长时间的环境空气质量与自然因素的关系的研究目前尚为罕见。该方法的主要缺陷有两点,第一,大气污染物的来源广泛,其排放量很难估计。第二,各种污染物和环境空气质量之间的关系并非简单的线性关系。因此,需要一个新的综合指标来估计环境空气质量,而环境空气质量综合指数(Air Quality Index, AQI)简称AQI,综合考虑了 $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ 六项污染物的污染程度,是描述城市环境空气质量综合状况的无量纲指数。它与空气污染指数(Air Pollution Index API)相比,参与评价的污染物更多,它将雾霾的罪魁祸首 $\text{PM}_{2.5}$ 也纳入其中。

本文使用ArcGIS对2013年各省市环境空气质量指数、气温、气压、降水进行差值处理,结合沙漠分布、季节变换、环境空气质量垂直分布特征来研究我国环境空气质量的时空分布特征及变化趋势。

## 1 数据获取与数据处理:

### 1.1 数据来源

研究所选用的环境空气质量指数数据来自国家环境保护部 $\text{PM}_{2.5}$  IN网站(<http://www.cnpm25.cn/>),本文采用的数据时段为2013年1月到2013年12月,数据覆盖中国境内的

所有城市。基础地理地图来自“国家基础地理信息系统”1:400万空间数据(<http://nfgis.nsdi.gov.cn/>)。气象数据来自国家气象局,检测站点多达1 000多个。

### 1.2 数据处理

由于获取数据的采样点较少,因此需要通过插值来估计未知采样点的数据。根据采样点的数量和分布特征,采用不同的插值方式。克里金插值是基于包含自相关统计模型的差值方法,它不仅具有预测表面的功能,而且能够对预测的确定性或准确性提供某种度量,因此,针对环境空气质量检测站点数量较少、且分布比较离散的特征,采用克里金插值来处理AQI数据。样条函数插值利用最小化表面曲率的数学函数来估计值,从而生成恰好经过输入点的平滑表面,它能够很好地模拟污染物浓度渐变曲面。因此对站点数量较多且分布均匀的气象数据采用样条函数插值,从而得到气温、气压的变化趋势图。

## 2 环境空气质量与自然因素的关系

### 2.1 气温和气压

环境空气质量与气象因素之间有密切的关系,环境污染对气象要素有重要的影响,反之,气象因素对环境空气质量也有不可忽视的影响。城市大气污染源排放量在相当长的一段时间内相对固定,因此,影响大气污染物浓度的时空分布特征在一定程度上取决于大气扩散条件(如气温、气压等)。正常情

况下,大气温度随高度的增加而减小,这种垂直递减的特征,有利于空气在垂直方向上的流动。气压对污染物浓度的影响主要表现在气压较低时,空气上升运动较强,大气处于不稳定状态,有利于污染物的扩散和稀释;当气压较高时,空气在垂直方向上的对流较弱,不利于污染物的稀释和扩散。因此,对于某一个城市而言,在特定的地形条件和污染源排放量较为稳定的情况下,气象条件也是影响城市空气污染物浓度的重要因素。

2013年我国各省市气温、气压分布如图1所示,通过实验数据结果显示,我国华北地区在春季受冷空气的控制,地面温度较低,气压较高,大气在垂直方向上流动性较低,不利于污染物的扩散,从而导致大量的污染物的积累,大量的污染物的积累又有助于太阳伞效应<sup>[5]</sup>的形成,进一步导致污染物的积累。而气压是地形特征与其他气象参数共同作用的结果,因此,它更能反映环境空气质量的分布特征。由此可知,我国华北地区春季环境空气质量较高除了受人为因素的影响,也受气温和气压的影响较大。

### 2.2 降水

环境空气质量指数综合考虑了 $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ 等六项污染物的污染程度,其中 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_2$ 在湿度较大的情况下与空气中的水份发生化学反应生成盐类随雨水降落到地面,同时降水对空气中的颗粒物具有冲刷作用,因此降水可大大减少由工业、交通、建筑

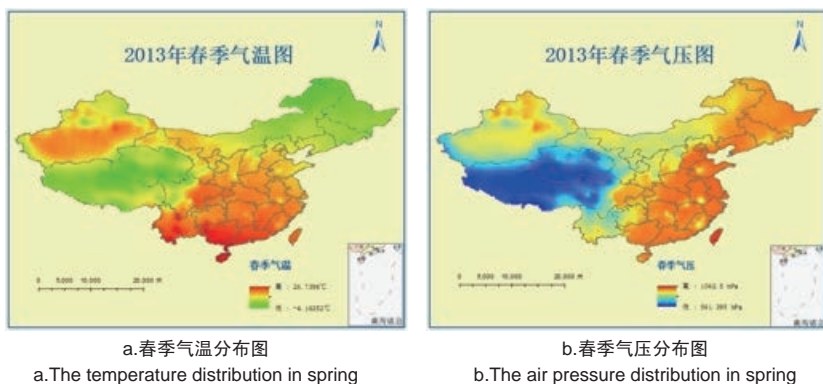


图1 春季气温气压分布图

Fig.1 Distribution of temperature and air pressure in spring

等人为活动产生的污染和扬尘，降水对污染物的清除随时间的表达式如式1所示<sup>[6]</sup>：

$$C_t = C_0 \times \exp(-A \times t) \quad (1)$$

式中， $A$ 为清除系数， $t$ 为降水时间， $C_0$ 为降水开始前污染物的浓度， $C_t$ 为降水结束时的浓度，降水强度 $J_0^b$ 与清除系数的关系为： $A \propto J_0^b$ ，其中， $b$ 的值在0.5~1.0之间。因此降雨量越大，清除系数就越大，降水的清除作用就越强<sup>[7]</sup>。图2为黑龙江空气质量与降雨量的变化趋势图，由图可知1月份到4月份和9月份到11月份的降水较少，降水对空气的净化能力较弱，环境空气质量指数值较高，4月到9月份的降水较多，降水对空气的净化能力增强，环境空气质量指数值也随之下降。这充分说明降水也是影响环境空气质量指数的重要因素之一，也验证了前人的研究结论，且随着降水量的增多，净化能力加强，与此同时降水也抑制了地面的扬尘。因此在城市空气质量治理的过程中也可采用移动车辆向马路及马路上方的空气中喷洒雾状水，来提高环境空气质量。

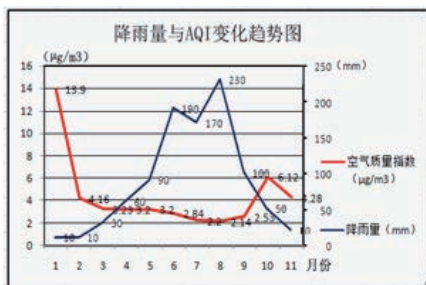


图2 降雨量与AQI变化趋势图

Fig.2 The graph of rainfall and AQI trend

## 2.3 沙漠分布

我国西北及华北大部分地区属于中纬度干旱和半干旱地区，地表裸露，植被稀少，分布着大量的沙漠，在大风过境时容易形成沙尘暴。沙尘暴不仅对我国工农业生产造成巨大的损失，还可诱发大气污染。张家云<sup>[8]</sup>利用2006年发生在北方地区一次强沙尘暴对中国大陆城市空气质量的影响进行了研究，研究表明沙尘暴对我国境内部分城市环境空气造成污染。高卫东<sup>[9]</sup>在对塔克拉玛干沙漠西部和南北沙尘暴的形成及危害的研究中提到，沙尘暴的发源地与沙漠和沙漠化地区紧密相连。沙漠为沙尘暴提供了丰富的沙源，因此，研究沙漠和风沙路径的空间分布对治理环境污染具有重要意义。

我国境内风沙路径主要有两条：①北路：泰米尔半岛→西伯利亚→蒙古地区→新疆东部及内蒙古地区→华北地区。②西路：西北欧→西西伯利亚→新疆西部地区→河西走廊、柴达木盆地→河套地区、内蒙古东部<sup>[10]</sup>。图3为沙尘暴路线与沙漠分布图进行叠加后的空间分布图，由图3和图4可知在华北地区，春季环境空气质量与风沙路径覆盖范围的环境空气质量在空间上存在相似性，强沙尘暴能够扬起大量的沙尘粒子并通过远距离传输，使我国其他地区的环境空气质量在春季也受到影响，如沙尘暴沿北路从我国西部直奔东南沿海地区，导致我国东北、内蒙古、山西、河北、北京、天津等地区在春季受沙尘暴的影响；沿西路的沙尘暴导致华北中南部和东部沿海地区也受到沙尘暴的干扰。因此，我国华北大部分地区在春季的环境空气质量主要受风沙影响较大，在风沙过境的地区城市环境空气质量较差。

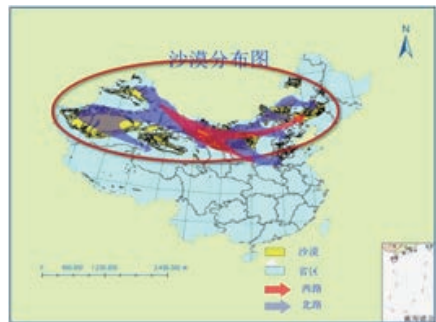


图3 沙漠与AQI的相关性

Fig.3 The correlation between desert and AQI

## 2.4 季节变动分析

季节变动是指某些现象在一年之内，随着季节的更替而引起的一种有规律的呈周期性的变化。由上文可知环境空气质量与气压、气



温、降水等气象条件有密切的关系。我国四季分明,各个季度的气象条件也不尽相同,因此,研究城市环境空气质量与季节变化的关系也能间接地说明城市环境空气质量与气象条件的关系。图4为AQI随季节变化图,在一年的四个季节中夏季空气质量最好,冬季空气质量最差,春秋两季差别不大,但总体情况秋季略好于春季,因此在时间上环境空气质量由好到差的顺序为夏季、秋季、春季、冬季,在空间上由沿海地区向内陆地区空气质量呈递减趋势。这种在时间和空间上的特征主要是由我国气候特征所决定,并且具有周期性。

**春季:**春季天气渐渐变暖,逆温效应也渐渐减弱,再加上春季多风对空气中的污染物起稀释作用,因此各地空气质量与冬季相比较有所好转。但我国西北地区春季干旱多风,是沙尘暴的鼎盛时期,导致我国大部分地区春季空气质量较差。

**夏季:**夏季我国以夏季风为主,带来大量的雨水,尤其是雷雨天,雨量大,速度快且大雨前后必定伴随大风,使得空气中的污染物容易得到稀释和冲刷,这种趋势在沿海地区尤为明显,但随着风力和水汽的降低,由沿海向华北地区的风力和降雨量都有所减少。因此,整个夏季空气质量整体较好,且由沿海地区向华北地区呈递减趋势。

**秋季:**与夏季相比秋季降水较少,且雨量不大,对空气的冲刷和稀释效果不太明显。再加上长时间的阴雨天气造成空气湿度大,潮

湿的空气给污染物穿上一层“水衣”,造成污染物的积累,且部分地区燃烧秸秆释放大量的污染物,从而导致秋季的环境空气质量有所下降。

**冬季:**冬季环境空气质量综合指数最大,即污染最严重,原因有以下几点:

1) 冬季为我国北方地区的采暖期,采暖期大多数城市都会用到燃煤锅炉为城市供暖,农村地区会采用小火炉和燃烧秸秆取暖,由于大量的煤炭和植物秸秆被燃烧,导致严重的环境空气污染。

2) 冬季的降水在中国大部分地区以降雪的形式完成,漂浮在空气中的PM<sub>2.5</sub>和其他的有害物质很难溶于它,而且降雪天气的气流非常稳定,容易形成逆温效应,不利于有害物质的扩散和降解。

3) 每逢喜庆节日人们都会燃放烟花爆竹,造成严重的空气污染。

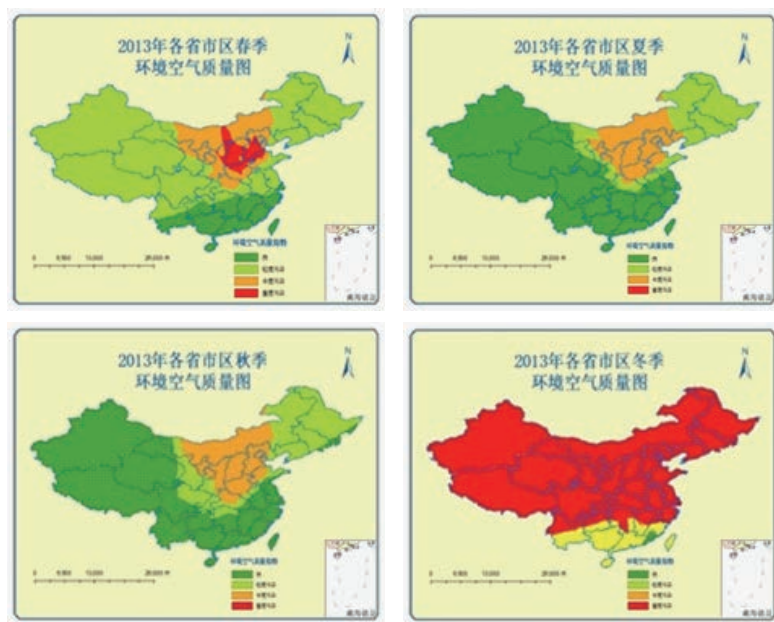
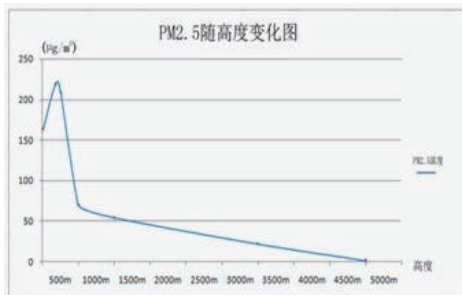


图4 四季AQI分布图

Fig.4 AQI distribution of four seasons

## 2.5 垂直空间分布特征

2013年1月北京连续被雾霾笼罩26天,不到一年时间,雾霾就扩大到20个省份,104个城市,与此同时也有人提出住高楼能防雾霾的说法。因此,本文也针对住高楼能防雾霾这一说法,对环境空气质量的垂直分布特征展开研究。研究数据来自长沙市某一个中度雾霾天气。采用美国生产的智能粉尘检测仪,这是当前国际上使用比较广泛的一种测量PM<sub>2.5</sub>的仪器,灵敏度可达每立方米一微克。图5为PM<sub>2.5</sub>浓度随高度变化的趋势图,由图可知高度在300 m以内PM<sub>2.5</sub>浓度数值没有太大变化,高度在300 m到500 m之间PM<sub>2.5</sub>的浓度值变化较大,高度在500 m到4 500 m时PM<sub>2.5</sub>的变化较慢,在高度为3 000 m时PM<sub>2.5</sub>的浓度并没有变为0,由此可知在遭遇雾霾时,有害物质的垂直高度可从地面延生到空中几千米。

表1为24hPM<sub>2.5</sub>每立方米平均图5 PM<sub>2.5</sub>浓度随高度变化趋势图Fig.5 The graph of PM<sub>2.5</sub> changing trend based on height

标准值，由表1可知，当PM<sub>2.5</sub>浓度限值低于75μg/m<sup>3</sup>时空气质量等级才属于良好，这也说明在中度雾霾天通过住高楼来躲避雾霾，需要住到500 m以上的楼层，而达到这样高度的楼房在全世界内屈指可数。因此要想通过住高楼彻底避开雾霾是几乎不可能的。在200 m以下研究成果与其他学者的研究结果有出入，可能是因为污染物浓度和气象条件所导致的<sup>[11]</sup>，但总体趋势是PM<sub>2.5</sub>的浓度随高度的增加而降低，且在近地面PM<sub>2.5</sub>浓度变化较快，随着高度增加，PM<sub>2.5</sub>浓度降低速度减慢。

空气质量的重要因素之一，且城市环境空气质量与温度和降水呈负相关，与气压呈正相关。

2) 强沙尘暴引起的扬尘可沿风沙路径远距离传输，因此沙漠和风沙路径的分布对华北地区春季环境空气质量影响较大，而且影响范围大。

3) 由于我国的气候条件独特，季节分明，气象条件呈周期性变化，故而影响到城市环境空气质量也呈周期性变化。研究表明城市环境空气质量由好到差的顺序为：夏季、秋季、春季、冬季，且由沿海向内陆环境空气质量呈递减特征。

4) 环境空气质量指数在垂直方

表1 24小时PM<sub>2.5</sub>每立方米平均标准值(来自环境空气质量标准 GB3095-2012)Tab.1 PM<sub>2.5</sub> average standard per cubic meter in 24 hours(From: ambient air quality standard GB3095-2012)

PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) 浓度限值	空气等级	PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) 浓度限值	空气等级
小于 35	优	115 -150	中度污染
35 -75	良	150 -250	重度污染
75 -115	轻度污染	大于 250	严重污染

### 3 结束语

本文利用2013年环境空气质量指数数据对我国环境空气质量的时空分布特征进行了研究，初步得出以下结论：

1) 在城市污染源排放量较为固定时，气象因素是影响城市环境

向上整体呈递减趋势，在近地面变化较大，随着高度的上升，这种递减趋势减弱，而且环境空气污染一旦形成，在垂直高度上可衍生到几千米的高空。

但由于知识有限，数据较少，研究时间段较短，本文只针对自然环境因素对环境空气质量的影响进行研

究，没有对人类活动对环境空气质量的影响进行研究，而环境空气质量的好坏是由自然因素和人类活动共同决定，且在分析过程和研究结果中存在很多不足。希望在以后的研究中能够综合考虑自然因素和人为因素对环境空气质量的影响，从而得出更加具有说服力的结论。

### 参考文献

- [1] 王淑英, 张小玲. 北京地区PM<sub>10</sub>污染的气象特征[J]. 应用气象学报, 2003, 13(S0): 177-184.
- [2] 刘大猛, 黄杰, 高少鹏, 等. 北京市区春季交通源大气颗粒物的污染水平及其影响因素[J]. 地学前缘, 2006, 13(2): 228-233.
- [3] 王斌. 利用空气污染指数(API)分析我国空气污染的区域时空变化特征[D]. 青岛: 海洋大学, 2008.
- [4] 黄秉维. 中国综合自然区划草案[J]. 科学通报, 1959(18): 594-602.
- [5] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003.
- [6] 蒋维楣, 曹文俊, 蒋瑞宾. 空气污染气象学教程[M]. 北京: 气象出版社, 1993.
- [7] 高煜中, 潘华盛, 张桂华, 等. 气象条件变化对哈尔滨市空气质量的影响[J]. 气象科技, 2003, 31(6): 361-365.
- [8] 张家云, 刘晓东. 一次强沙尘暴活动对中国城市空气质量的影响[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 161-169.
- [9] 高卫东, 姜巍. 塔克拉玛干沙漠西部和南部沙尘暴的形成及危害[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(3): 64-70.
- [10] 邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 316-322.
- [11] 林文实, 林菁. 上海市2001~2002年空气污染指数分析[2003-12-7]. [J/OL]. 上海环境科学网版, <http://www.sesmag.sh.cn>.