

# 基于实测数据和遥感反演优化郑州市空气监测点位的研究

韩 健<sup>1</sup> 葛连江<sup>2</sup>通讯作者 杨会军<sup>1</sup> 郑 瑶<sup>1</sup> 吉宏坤<sup>1</sup>

(1. 河南省生态环境监测中心 河南省环境监测技术重点实验室 河南 郑州 450004)

(2. 河南省郑州生态环境监测中心 河南 郑州 450007)

**【摘要】**大气环境质量监测的意义在于能够全面、准确、及时地反映监测区域内环境空气质量的现状及发展趋势,为环境管理、污染源控制、环境规划等提供科学依据。随着郑州市城区面积大幅增加,城区空气污染分布状况发生了较大改变。现有监测的空气质量数据已不能全面、客观地反映郑州市的环境空气质量现状。因此,亟需对现有监测点位进行适当优化调整。

**【关键词】**城市扩张;监测点位;遥感;PM<sub>2.5</sub>

## 前言

近年来,随着我国城市化进程不断加快,城市框架不断拉大,交通网络日益增密,城市人口日益增多,人们社会活动愈发活跃,城市用地类型也发生了较大改变。因此,对城市空气质量监测点位的优化成为了完善环境空气监测网的关键一环。随着郑州市城区面积大幅增加,城区空气污染分布状况发生了较大改变。因此,亟需对现有监测点位进行合理分析,并根据郑州市城市发展和大气污染分布现状对监测点位进行适当优化调整<sup>[1]</sup>。

## 一、概况

### (一) 城市概况

郑州是河南省省会,是河南省的政治、文化、经济、交通中心。同时是国家九大中心城市之一、国家重要的综合交通枢纽、商贸物流中心、国家园林城市、中原城市群中心城市。郑州位于河南省中部偏北,东部接开封,西部依洛阳,北临黄河与焦作、新乡相望,南部与平顶山、许昌接壤,地理坐标为东经112° 42′ -114° 14′、北纬34° 16′ -34° 58′。截至2021年,全市总面积7567平方公里,常住人口约1260万,中心城区建成区面积709.69平方公里(含航空港经济综合实验区),市域城市建成区面积1284.89平方公里,城镇化率78.4%。

### (二) 现有监测点位概况

截至2021年,郑州共有8个国控环境空气质量评价点位(以下简称各点位),即市监测站、烟厂、河医大、郑纺机、银行学校、供水公司、经开区管委会、四十七中;1个国控环境空气质量背景点位,即岗李水库。目前,上述监测点位均采用的是美国

Thermo Fisher公司的设备,监测因子为SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>等六因子。全程自动化运行,每5分钟监测数据就实时传送到中国环境监测总站。点位周边环境及监测仪器安装高度均满足有关技术规范。

## 二、数据来源与处理

### (一) 数据来源

本文选择平均云量为1%左右的Landsat系列卫星遥感影像;郑州市行政区划矢量图从相关技术数据网站下载,并利用ArcGIS软件进行地理配准、校正和裁剪;2014年1月1日到2019年12月31日PM<sub>2.5</sub>实测浓度数据来源于河南省生态环境厅;2018年3月至2018年9月的MODIS L1B 1KM数据来源于相关技术数据网站,并根据研究区域所在经纬度范围下载;统计数据来源于《中国城市统计年鉴》和《河南省统计年鉴》。

### (二) 数据处理

#### 1. 城市扩张遥感影像处理

以郑州市的行政区为参照,先利用ArcGIS对郑州市不同时期的遥感图像进行裁剪后得到郑州市主城区的遥感图像范围,以减少数据的处理量。之后利用ENVI 5.3对郑州市的遥感影像进行目视解译,勾勒出建成区边界。

#### 2. 城市PM<sub>2.5</sub>浓度空间分布数据处理

计算2014-2019年郑州市PM<sub>2.5</sub>浓度的日均值和月均值,分析郑州市空气质量的时间分异特征;利用ArcGIS软件中统计分析工具的反距离权重法,将各点位PM<sub>2.5</sub>浓度均值作为输入要素,进行空间插值分析,模拟郑州市PM<sub>2.5</sub>月均浓度的空间分布。

### 3. 气溶胶光学厚度反演的基本流程

先进行MODIS数据发射率和反射率的几何校正、合成以及裁剪。将校正好的发射率和反射率影像，导入郑州市主城区范围的矢量文件对其进行裁剪，然后得到合成裁剪结果。下一步进行角度数据的合成、重采样、几何校正及裁剪。接着进行云检测和去除。最后使用暗像元法进行气溶胶反演，结合IDL的modis aerosol inversion工具，并利用查找表进行气溶胶浓度的查找。

### 三、结果与分析

本文利用1981、1988、2000、2011和2019年五年的Landsat卫星遥感影像分别得到郑州市5个时期的建成区范围，并从时间尺度和空间尺度对演变形态和特征进行分析。再利用PM<sub>2.5</sub>实测数据和遥感反演数据对比法，进行空气质量分异特征分析，并结合郑州市现状及发展规划，对郑州市现有监测点位进行合理性分析，提出调整方案并进行监测比对。

#### (一) 郑州市城市扩张特征

根据《中国城市统计年鉴》和《河南省统计年鉴》数据，郑州市建成区面积在1981年至2019年间高速扩张，扩张速率大体呈现中速-中速-高速-高速的规律，城市建成区面积由1981年的65km<sup>2</sup>快速增长至2019年的580.8km<sup>2</sup>，年均增长量高达13.23km<sup>2</sup>，在近40年的时间里面积增加了7.9倍，发展速度十分惊人。郑州市建成区扩张和大多数地区的城市化进程都有着很多的相似之处：都是以主城区为基础，以市中心为基准点，沿着道路交通路网线走势和各类产业园区的发展方向，另外还伴随着城市经济水平和GDP的增长以及人口数量的日渐增多，城市建成区发展的速率也逐步加快。通过5个时期的Landsat卫星遥感影像分别得到郑州市5个时期的建成区范围图像，可以看出近40年来郑州市建成区的空间扩张特征为以同心圆式扩张为主，以外延型扩张为辅。扩张方向上呈现以东北和东南方向扩张增长为主，其次为西北部，增长也相对较快。相比之下，西南方向的扩张较为缓慢，呈现出低速增长的态势。

#### (二) 基于PM<sub>2.5</sub>实测数据的郑州市空气质量分异特征分析

##### 1. 各点位PM<sub>2.5</sub>月均浓度空间分布

以2018年各点位PM<sub>2.5</sub>月均浓度为例，与我国

其他北方城市类似，郑州市全年PM<sub>2.5</sub>浓度均值随时间变化呈现“高-低-高”的U型整体特征。其中1月份是全年PM<sub>2.5</sub>浓度最高的月份，西北部和东南部的PM<sub>2.5</sub>浓度明显高于其他区域。2月PM<sub>2.5</sub>浓度最高的区域出现在经济技术开发区。3、4月各区PM<sub>2.5</sub>浓度没有明显的空间差异，空气状况多处于轻度污染。5月PM<sub>2.5</sub>浓度最低的区域出现在惠济区北部。6月-8月是全年污染浓度最低的时段，各区域污染物浓度分布没有明显空间差异。9、10月全区域污染物浓度空间分布并无太大差异，多以优良天气为主。11月PM<sub>2.5</sub>浓度最低的区域出现在惠济区。12月全域PM<sub>2.5</sub>浓度没有明显的空间差异。

##### 2. 基于MODIS\_AOD的PM<sub>2.5</sub>浓度反演分析

###### (1) 基于MODIS数据反演气溶胶光学厚度

近年来，利用MODIS卫星遥感影像反演气溶胶厚度(AOD)进而模拟地面PM<sub>2.5</sub>浓度的方法逐渐发展起来并得到广泛认可。研究表明，大气中气溶胶厚度不仅会随季节发生明显变化，同时也随着污染源而产生改变。由于受秋冬季节气象条件的限制，大气中云层较厚，获取遥感影像数量有限导致秋冬季节反演效果不理想。因此，本文利用MODIS气溶胶产品反演得到2018年3月20日、4月15日、5月22日、6月11日、7月19日、8月28日和9月21日的AOD浓度值(介于0-1.95)，并进行后续反演。

###### 2. PM<sub>2.5</sub>浓度模拟值和实测值对比分析

林海峰等利用较长时期的卫星遥感影像反演的AOD对京津冀地区进行大气颗粒物(PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>)的反演结果分析，并结合温度、湿度、边界层高度等相关参数对PM<sub>2.5</sub>反演结果进行校正，研究得到在不同季节下AOD和PM<sub>2.5</sub>的数量关系模型，经多次试验发现这种模型的吻合程度很好。郑州市在地貌特征方面和京津冀城市有很多相同点，植被覆盖率低且地表反射率较高。考虑到目前对河南地区AOD与PM<sub>2.5</sub>相关关系的研究较少，方法不成熟等原因，本文参照北京市AOD与PM<sub>2.5</sub>浓度之间的相关关系模型来反演郑州地区的PM<sub>2.5</sub>浓度，春夏秋冬四个季节的对应模型如下：

$$y=53.97x+16.19 \quad (1)$$

$$y=45.57x+25.85 \quad (2)$$

$$y=49.85x+18.78 \quad (3)$$

$$y=90.57x+21.28 \quad (4)$$

式中  $x$  为地表各位置 AOD 浓度值,  $y$  为反演  $PM_{2.5}$  浓度, 利用公式 (1) - (4), 通过 ENVI 5.3 Band Math 波段运算工具得到对应时间的反演  $PM_{2.5}$  浓度值。

表 1 2018 年 3-9 月 7 个日期各监测点位  $PM_{2.5}$  实测日均浓度

单位: $\mu g/m^3$							
点位	3/20	4/15	5/22	6/11	7/19	8/28	9/21
市监测站	35	76	63	35	23	45	28
河医大	24	73	67	29	33	24	33
烟厂	32	78	58	20	22	31	29
郑纺机	30	83	51	21	20	29	26
银行学校	24	78	56	30	25	43	25
供水公司	24	66	58	18	20	40	22
经开区管委会	36	74	57	24	25	35	32
四十七中站	24	82	50	19	20	32	28
岗李水库站	32	61	52	33	31	23	24
均值	29	75	57	25	24	34	27

表 1 显示的是 2018 年 3-9 月 7 个日期各监测点位的  $PM_{2.5}$  日均浓度值和当日郑州市  $PM_{2.5}$  浓度均值。通过与对应日期  $PM_{2.5}$  反演浓度对比, 可以得出 9 个监测点位的模拟值和实测值接近程度较高。由此可见, 利用 MODIS 数据反演气溶胶光学厚度预测大气  $PM_{2.5}$  浓度具备一定的科学性与可行性。

#### 四、国控监测点位调整方案与比对分析

##### (一) 国控监测点位调整方案

为了更加全面的掌握大气污染物分布规律及污染源的位置数量等情况, 结合郑州市工业能源分布、功能区布局和城市发展规划等多种因素, 本文将郑州市国控空气质量监测点位做以下优化, 具体见图 1。

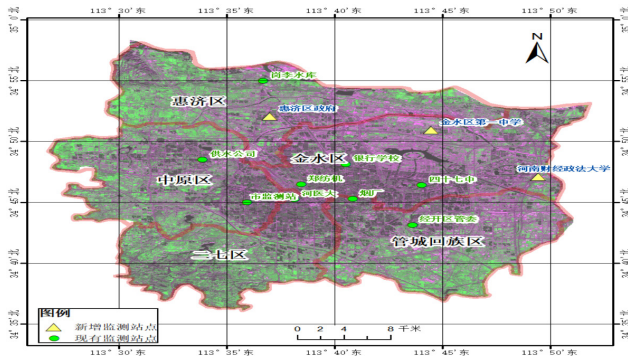


图 1 郑州市现有点位与拟调整点位分布示意图

1. 惠济区北部城市组团逐渐发展壮大, 但除岗李水库外再无国控监测点位, 因此建议在惠济区政府增设一个监测点位。

2. 结合实测数据和遥感反演数据比对, 发现金水科技园区在不同时期会出现模拟结果与实测结果差距较大, 对比空间插值分析结果发现四十七中点位监测数据波动不大并不能很好地反映北部地区的空气质量状况, 因此建议在区域内的金水区第一中学增设一个监测点位。

3. CBD 东部的龙子湖高校园区, 将以强大的科研和产业实力逐渐占据郑州市主城区的中心位置。由于距离中心城区较远, 现有监测点位很难完全覆盖这块区域, 因此建议在该区域内的河南财经政法大学增设一个监测点位。

##### (二) 监测比对与分析

根据上文, 郑州市国控空气质量监测点位拟从 8 个调整为 11 个。根据 2021 年 1 月 4 日-2 月 6 日 32 天每日空气质量浓度数据, 分析拟调整前后空气质量变化情况。由此可见误差最大为 2.17%, 符合有关技术要求。最后, 基于监测的有效日均原始数据比对, 新增的惠济区政府、金水区第一中学和河南财经政法大学龙子湖校区均满足关于新增环境空气质量城市点位要求, 即拟新建城市点位的污染物浓度的平均值与同一时期城市总体平均值估计值的相对误差范围应在 10% 以内; 拟新建城市点位的污染物浓度的平均值计算出的 30、50、80 和 90 百分位数与同一时期城市总体估计值计算的各百分位数的相对误差范围应在 15% 以内。

#### 五、结论

经过比对验证, 本文建议增设的惠济区政府、金水区第一中学和河南财经政法大学龙子湖校区三个点位满足《环境空气质量监测点位布设技术规范(试行)》(HJ 664-2013) 和《关于组织开展“十四五”国家城市环境空气质量监测点位优化调整工作的通知》(环办监测函(2019)812号)有关技术要求, 具有较好的表性、可比性、整体性、前瞻性和稳定性, 对今后郑州市的国控环境空气质量监测点位的调整具有一定的参考价值。

##### 参考文献:

[1] 王帅, 丁俊男, 王瑞斌等. 关于我国环境空气质量监测点位设置的思考[J]. 环境与可持续发展, 2012, 37(4):21-25.  
[2] 刘妍月, 李军成. 长沙市大气中  $PM_{2.5}$  浓度分布的空间插值方法比较[J]. 环境监测管理与技术, 2016, 28(02):14-18.