

# 基于地质统计学的北京通风廊道建设

赵刘子钰, 何宝琦, 刘天适\*, 崔晶晶, 王婧瑗, 冯禹翔

中国矿业大学(北京)理学院, 北京

收稿日期: 2023年5月7日; 录用日期: 2023年5月27日; 发布日期: 2023年6月12日

## 摘要

改善城市内部的空气质量(如雾霾、臭氧、二氧化硫等)可通过建设城市通风廊道来实现。本文通过地质统计学的普通克里金插值方法, 基于北京市PM2.5浓度观测值, 代表性研究东西、南北、西南-东北、东南-西北四个方向上潜在的北京市通风廊道建设线路。综合考虑地形特点, 结合不同的地形和风向, 使通风潜力最大化。最终给出了准确的四条通风廊道的线路走向, 发现此四条线路基本均经过顺义区、海淀区、通州区。为日后城市通风廊道规划与建设提供了一些参考。

## 关键词

城市通风廊道, 普通克里金插值

# Beijing Ventilation Corridor Construction Based on Geostatistics

Liuziyu Zhao, Baoqi He, Tianshi Liu\*, Jingjing Cui, Jingyuan Wang, Yuxiang Feng

School of Science, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing

Received: May 7<sup>th</sup>, 2023; accepted: May 27<sup>th</sup>, 2023; published: Jun. 12<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Improving the air quality inside the city (such as haze, ozone, sulfur dioxide, etc.) can be achieved by building urban ventilation corridors. In this paper, through the ordinary Kriging interpolation method of geostatistics, based on the observation value of PM2.5 concentration in Beijing, the potential ventilation corridor construction lines in Beijing in the four directions of east-west, north-south, southwest-northeast and southeast-northwest were studied. To maximize the ventilation potential, fully consider the terrain characteristics, combined with different terrain and wind direction. Finally, the accurate line direction of the four ventilation corridors is given. It is found that

\*通讯作者。

文章引用: 赵刘子钰, 何宝琦, 刘天适, 崔晶晶, 王婧瑗, 冯禹翔. 基于地质统计学的北京通风廊道建设[J]. 统计学与应用, 2023, 12(3): 604-609. DOI: 10.12677/sa.2023.123064

these four lines basically pass through Shunyi District, Haidian District and Tongzhou District. It provides some reference for the planning and construction of urban ventilation corridors in the future.

## Keywords

Urban Ventilation Corridor, Ordinary Kriging Interpolation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

城市通风廊道是以提升城市空气流动, 缓解热岛效应、空气污染和改善人体舒适度为目的, 为城区引入新鲜空气而构建的通道。从字面意义来看, 通风廊道就是实现空气流通的廊道, 类似一条狭长的通风管道。它可利用风的流体特性, 将市郊新鲜洁净的空气导入城市, 在快速城镇化发展的今天, 若不考虑施工成本, 通风廊道建设有一定的必要性。

作为中国发展最快的城市之一, 北京市人口目前已经超过 2000 万, 六个主城区仅占全市总面积的 8%, 却集中了超过 1200 万人口, 是世界人口最密集的城市之一。气象部门监测数据显示, 从上世纪 80 年代开始, 北京风速一直呈现下降的趋势。与此同时, 城区内热岛面积却不断扩大, 2012 年北京六个城区热岛面积已占到区域面积的 77% [1]。为此, 在北京主导风向上, 应对建筑物的密度和高度进行控制, 或尝试建设城市通风廊道, 对污染物、城市内部热量和废弃物疏散等都有积极作用。

为合理规划北京城市通风廊道, 本文利用地质统计学中克里金插值法作为工具, 基于北京市 PM<sub>2.5</sub> 浓度观测数据进行建模, 基于可操作性将北京市以 1200 米为间隔分成若干行列, 估算出行列交点上的 PM<sub>2.5</sub> 浓度值, 并累加得到每条行列以及斜对角线上方形小格中心浓度值的和, 最终确定了四条北京市内潜在城市通风廊道方向。

## 2. 理论基础

根据北京市的空间分布气象数据, 为了估计待估样点的 PM<sub>2.5</sub> 浓度属性值。假定区域化变量 PM<sub>2.5</sub> 浓度函数在研究区域北京市中满足二阶平稳假设: ① 区域化变量的数学期望存在且为常数; ② 区域化变量的协方差函数存在且只与两点之间的相对位置有关。且由原始数据可知区域化变量的期望未知的情况下, 应采用普通克里金插值法进行估值。

根据普通克里金插值原理, 在此研究下待估样点属性值的估计值是 35 个已知样点属性值的加权求和。进而问题转化为克里金插值法的权系数的确定。

考虑到权系数不仅取决于样本点之间的距离, 而且取决于样本点之间的构性。同时变异函数作为定量描述空间变异性的一种工具, 可以很好地通过自身结构和各项参数反映区域化变量在研究区域中的空间变异性, 故而通过选择合适的变异函数模型并计算点与点之间的变异函数值来实现对空间变异性进行结构分析的过程。

结合了已知样本点的数据以及变异函数提供的结构信息之后, 最优权重系数的确定的核心即使线性预测值具有无偏性并有最小估计方差。所以综合考虑无偏性和最优性两个前提条件即可得到最小估计方差(此时为普通克里金估计方差)以及对应的最优权重系数。最后使用最优系数对已知样点的属性值进行

加权求和即可得到待估样点的 PM2.5 浓度的普通克里金估计值。

先将北京市 35 个空气质量监测点位的经纬度输入 ArcGIS 中，接着将各点位所检测到的 PM2.5 浓度值输入进软件。因为提前已通过 QQ 图验证好此 35 个数据近似服从正态分布，所以可用普通克里金法对这些数据进行建模，通过这 35 个数据每两两进行一次计算，计算公式如下：

$$\gamma(h, \alpha) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

式(1)中  $h$  代表分隔向量，分隔开任意其中两个监测点， $\alpha$  代表平面内任意方向， $N(h)$  代表被向量  $h$  相分隔的实验数据对的数目， $z(x_i)$  与  $z(x_i + h)$  代表在  $x_i$  与  $x_i + h$  两点的 PM2.5 浓度值。根据此计算公式可以预测出北京市内除雾霾监测点外剩余部分任意位置的雾霾浓度值。最终用 ArcGIS 呈现出最终结果的预测图。

### 3. 建模过程

#### 3.1. 数据预处理

本文中我们所使用的空气质量指数数据来源于 BJMEMC 北京市生态环境监测中心官方网站 (<http://zx.bjmec.com.cn/getAqiList.shtml?timestamp=1668517891575>)。为使数据更加稳定，建模更加精确，我们选用了 2020 年 12 月至 2021 年 3 月共 4 个月的北京 35 个监测点位的 PM2.5 浓度数据，这四个月的雾霾程度相对其他月份更加严重，可以更加清晰地展示出北京 PM2.5 浓度在各个点位的分布情况。

该网站给出了每日整点的 PM2.5 浓度，即每日 24 个数据，本文对每个数据点每日 24 个数据取平均，再对每个点位这 4 个月的数据值取平均，每个点位得到一个 PM2.5 平均浓度值。

图 1 显示，植物园检测区域的 PM2.5 浓度在这一时期内最高，而顺义 PM2.5 浓度在这一时期内最低。35 个样本点 PM2.5 浓度均值约为 53.0343，标准差约为 3.9880。

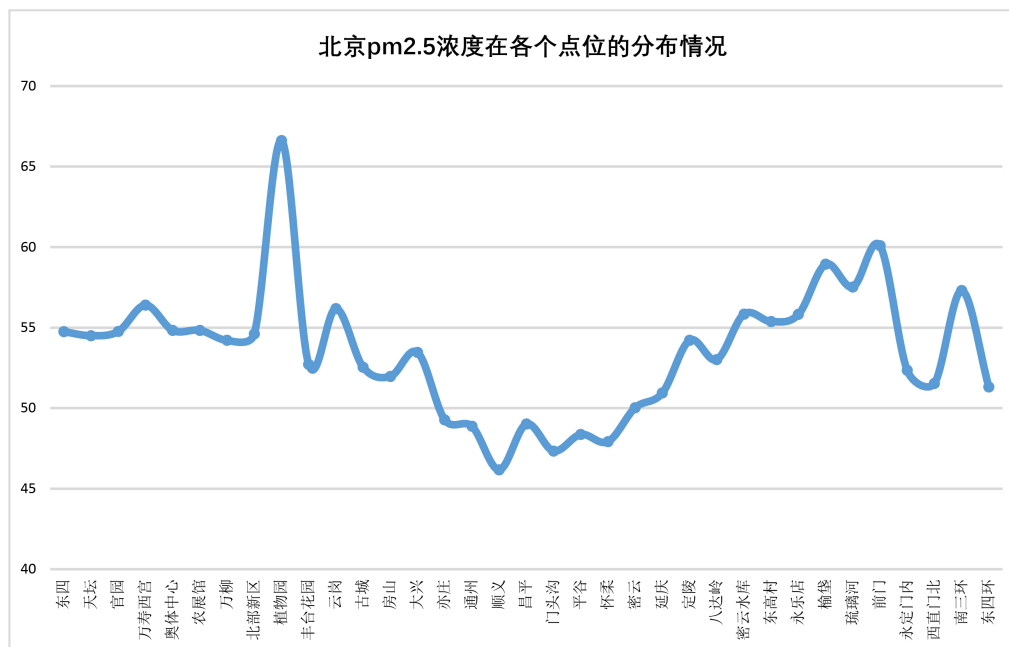


Figure 1. Distribution of PM2.5 concentration in Beijing

图 1. 北京 PM2.5 浓度分布情况

### 3.2. 数据检验

由于克里金模型在应用时有如下假设条件：① 用于插值的数据之间都服从  $n$  维的正态分布；② 数据满足无偏条件。所以先对本文所研究的 PM2.5 浓度均值利用正态 QQ 图来检验其正态性，结果如图 2 所示。可以看到 QQ 图上的点近似地在一条直线附近，说明该数据服从近似从正态分布。

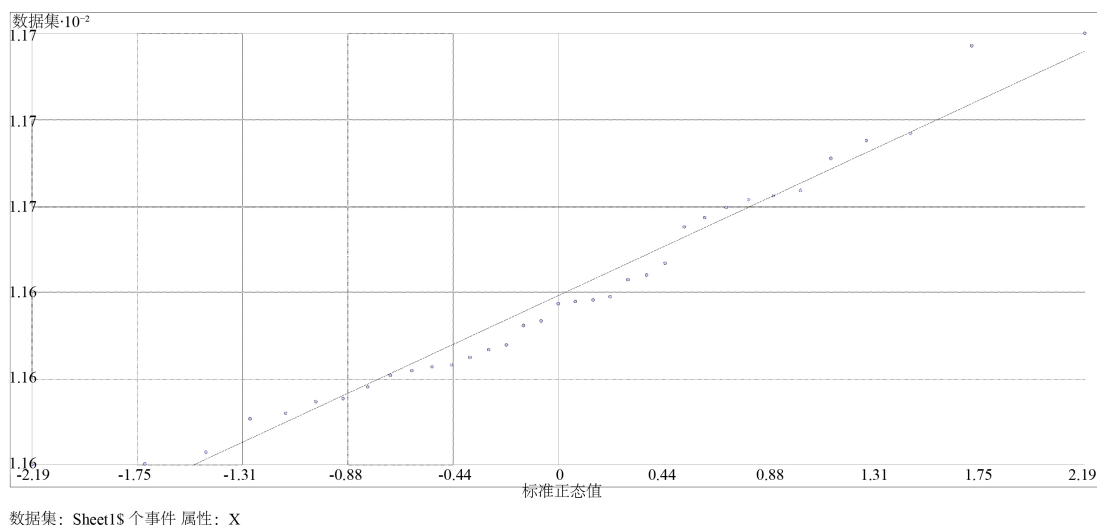


Figure 2. Normal QQ plot of mean PM2.5 concentration

图 2. PM2.5 浓度均值正态 QQ 图

### 3.3. 预测北京市 PM2.5 浓度

基于普通克里金法对以上数据所对应的北京市 PM2.5 浓度进行预测，所得结果如图 3 所示。

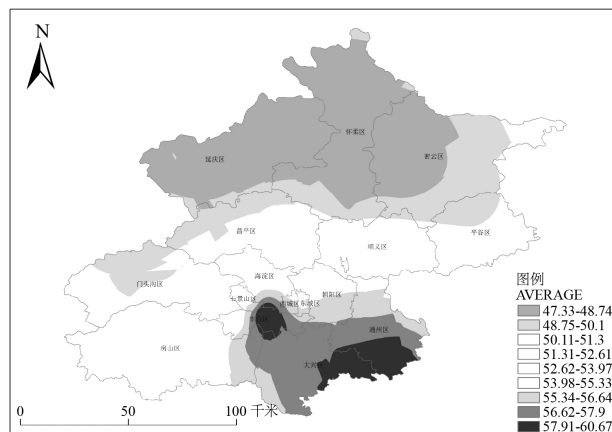


Figure 3. PM2.5 concentration prediction map in Beijing

图 3. 北京市 PM2.5 浓度预测图

由图 3 可知，丰台区、通州区和大兴区毗邻天津和河北的地区 PM2.5 浓度最高；延庆区、怀柔区以及密云区大部分地区浓度最低。总体呈现出“南高北低”，从北到南 PM2.5 浓度逐渐上升的趋势，但南北 PM2.5 浓度差异较小；东西方向上，同一水平线上大致呈现出“中间高两头低”的趋势。但南北 PM2.5 浓度差异较小。北京的城区(如东城区、西城区、海淀区) PM2.5 浓度大致在 53.98~55.33 之间，偏远山区

(如怀柔区、延庆区、密云区) PM<sub>2.5</sub> 浓度较低。

### 3.4. 创建网格图

在 ArcGIS 里利用“创建渔网”工具,生成指定大小的网格矢量文件。由于所需数据的数量必须足够多,同时考虑北京市的面积大小,本文将像元的宽度、高度均设置为 1200 m,按水平竖直方向创建一个 1200 m × 1200 m 的网格图覆盖在预测图上。这样我们在北京市 PM<sub>2.5</sub> 的预测图上大概能生成 10,000 个矩形,并且每个矩形中心的预测值都已知。导出点元素,生成一个由所有矩形中心点组成的图层,并且我们可以通过属性表查看每一个点的数值大小。

### 3.5. 得到四个方向的求和最大值及路径

按上述方法再建立一个渔网,不同的是,这次导出的是线元素。并且保证上一步得到的数据点全部落在网格的线上(允许存在 1 m 的误差)。并对网格线进行编号。对线上的点分别按行、按列求和,得到了每行、每列求和的数值,并找到行和、列和的最大值。

为了满足方向选取的代表性,除了研究水平竖直方向以外,本文还研究了西南-东北、东南-西北方向上 PM<sub>2.5</sub> 浓度求和最大值所在位置。将网格倾斜 45°,使得所有点落在线上(图 4),按上述的步骤求出倾斜 45°后的最大值。

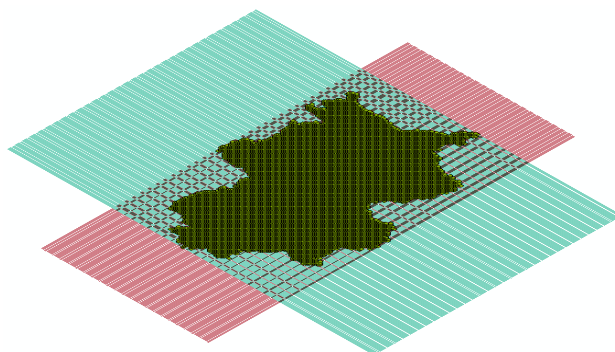


Figure 4. Fishnet diagram tilted by 45°

图 4. 创建倾斜 45°的渔网图

找到四个方向的最大值及其编号后,在 ArcGIS 中进行标亮(图 5)。

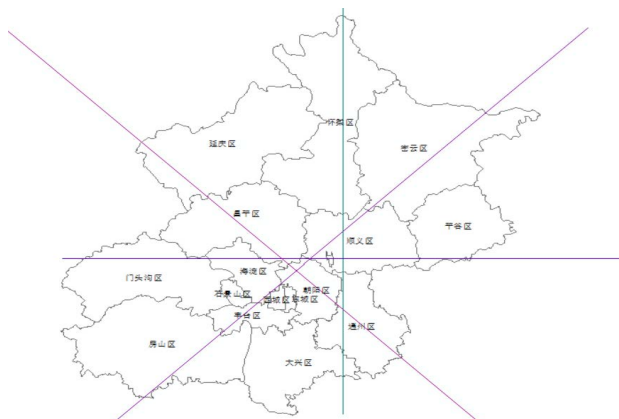


Figure 5. Approximate distribution of ventilation corridors

图 5. 通风廊道大致分布图

由图可知,南北通向的廊道依次经过怀柔区、顺义区、通州区,可以利用这些地区公园与绿地的通风潜力,西东通向的廊道经过门头沟和海淀区的中部、顺义区的南部,西北-东南通向的通道依次经过延庆区的西部、昌平区、海淀区、和通州区,能够较充分地利用生态冷源和山谷风,从东北方向以及西南方向向中心城区汇聚的通风廊道经过密云区、顺义区、丰台区。

#### 4. 结论及意义

中国城镇化速度的加快以及经济的持续快速发展,使得构建上述通风廊道缓解城区污染问题[2]成为一种需要,本文选取北京市PM<sub>2.5</sub>数据,通过普通克里金法得到了主通风廊道建设的四个方向以及大致经过区域。其中北南通向的廊道依次经过怀柔区的龙潭西沟、顺义区的西部、通州区的杜仲公园;西东通向的廊道经过门头沟区和海淀区的北京鹫峰国家森林公园,朝阳区的常营马拉松体育公园、顺义区的京秦高速的一段公路;西北-东南通向的通道依次经过延庆区的西部、昌平区的白羊沟自然风景区、东小口湿地公园,八达岭古长城自然风景区以及沙河高教园大学城区、海淀区的奥林匹克森林公园、和通州区的胜利沟;从东北方向以及西南方向向中心城区汇聚的通风廊道经过密云区的云蒙山风景区、顺义区的顺义新城滨河森林公园、丰台区的世纪森林公园、房山区的将军坨风景区一带,可见这些廊道能够较充分地利用生态冷源和山谷风或者公园与绿地的通风潜力,加快空气流通。

尽管现存的分析构建通风廊道的方式多种多样[3]。但是少有文献将构建通风廊道与地质统计学知识结合起来进行深入分析。同时,克里金插值方法考虑了空间数据的结构性,可以用相同的数据提取出更多的信息并提高预测的效率[4],因而相较于其他方法对于数据分析有着更好的效果,更有利于数据挖掘。本文创新性地引入地质统计学中的普通克里金插值的方法进行通风廊道建设的合理性研究,并且借助ArcGIS软件生成格栅[5]等操作来进一步实现通风廊道合理建设方向的确定。经由上述方法设计的通风廊道的走向以及预期建设数量对于未来城市规划者进行城市雾霾的改善政策的制定具有一定的参考意义与价值。按照本文提出的设计方案可以尽可能地用比较小的施工建设代价以最大程度地实现北京市区热岛效应的缓解,从而更有利于短期内实现北京市居民生活的舒适感以及幸福感的提高。存在一定局限性的是,本文规划设计的廊道是基于理想条件下的,事实上,其中一条通风廊道尽管会经过通风潜力较好的绿地公园,但也会被大面积的建筑群或者高层建筑物阻拦,还有北京市中心城区建筑较密集等因素使得通风效果并不能很好地体现出来,有待进一步细化改善。

#### 基金项目

本项目受中国矿业大学(北京)大学生创新训练项目:地质统计学:变异函数的建模与计算(编号:202207011)支持。

#### 参考文献

- [1] 中国山东网. 中国首都打造“通风廊道”有望为城市降温除霾[J/OL]. [http://jiangsu.china.com.cn/html/2016/sdnews\\_0224/4285139.html](http://jiangsu.china.com.cn/html/2016/sdnews_0224/4285139.html), 2016-2-24.
- [2] 郑祚芳,雷小燕,高华. 北京城市通风廊道研究I:环境效应模拟[J]. 地理科学, 2022, 42(4): 631-639.
- [3] 许涛,邵彤,李涵璟,贺玺桦,王苗. 城市通风廊道研究进展[J]. 景观设计, 2022(6): 54-61.
- [4] 杜吴鹏,房小怡,刘勇洪,何永,贺健. 基于气象和GIS技术的北京中心城区通风廊道构建初探[J]. 城市规划学刊, 2016(5): 79-85.
- [5] 郭仕侗,刘澜. 基于ArcGIS的空间插值方法比较[J]. 科技风, 2019, 384(16): 227.