

山东省大气环境质量时空分异及预报预警

王林林　著

中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com



作|者|简|介

王林林，中共党员，博士在读，副教授，中国地理信息产业协会教育与科普工作委员会委员。主要从事空间分析和 GIS 应用方面科学研究，近年来主持山东省重点研发项目 1 项，省教育厅科技计划项目 1 项，市厅级项目 5 项，参与国家级及省部级项目多项，发表学术论文 20 余篇，出版著作 1 部，教材 1 部。先后获得滨州市自然科学优秀学术成果奖、滨州市科学技术进步奖多项。

山东省大气环境质量时空分异及预报预警

王林林　著

中国海洋大学出版社
· 青岛 ·

图书在版编目(CIP)数据

山东省大气环境质量时空分异及预报预警/王林林著. —青岛:中国海洋大学出版社,2018.6
ISBN 978-7-5670-2242-3

Ⅰ.①山… Ⅱ.①王… Ⅲ.①大气环境—环境质量—研究—山东②大气环境—气象预报—研究—山东 Ⅳ.①X16②P457

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 112162 号

出版发行	中国海洋大学出版社		
社　　址	青岛市香港东路 23 号	邮政编码	266071
出 版 人	杨立敏		
网　　址	http://pub.ouc.edu.cn		
电子邮箱	zwz_qingdao@sina.com		
订购电话	0532-82032573(传真)		
责任编辑	邹伟真	电　　话	0532-85902533
印　　制	北京虎彩文化传播有限公司		
版　　次	2019 年 8 月第 1 版		
印　　次	2019 年 8 月第 1 次印刷		
成品尺寸	140 mm × 202 mm		
印　　张	4.5		
字　　数	205 千		
印　　数	1—1 000		
定　　价	28.00 元		

发现印装质量问题,请致电 010-84720900,由印刷厂负责调换。

目录

CONTENTS

1 引 言 …… 1

1.1 国内外研究进展 …… 1

1.1.1 国内外空气质量的研究现状 …… 2

1.1.2 空气污染物浓度与气象因子的关系研究进展 …… 5

1.1.3 大气污染物浓度预测的人工神经网络方法 …… 6

1.2 研究区概况 …… 8

2 数据来源与技术路线 …… 14

2.1 数据来源与处理 …… 14

2.2 研究方法与技术路线 …… 20

2.2.1 研究方法 …… 20

需要全本请访问 www.ertongbook.com

2.2.2 技术路线 …… 26

3 山东省大气环境质量时空分异研究 …… 27

3.1 大气环境质量总体分析 …… 27

3.2 时间变化分析 …… 30

3.2.1 月度变化分析 …… 30

3.2.2 日间变化分析 …… 35

3.3 空间特征分析 …… 38

3.3.1 正态性分析 …… 38

3.3.2 空间自相关分析 …… 43

3.3.3 各污染物浓度空间分布特征 …… 44

3.3.4 $PM_{2.5}$ 与其他污染物之间的相关性分析 …… 50

4 山东省大气环境质量预报模型建立 …… 54

4.1 气象因子及相关性分析 …… 54

4.2 多元线性回归模型构建 …… 55

4.3 神经网络模型构建 …… 62

4.4 模型检验 …… 63

5 山东省大气环境质量预报预警系统 …… 70

5.1 系统概述 …… 70

5.1.1 术语 …… 70

5.1.2 缩写 …… 71

5.2 设计依据和约束 …… 72

5.2.1 开发环境 …… 72

5.2.2 系统运行环境 …… 72

5.2.3 性能要求 …… 73

5.2.4 其他约束 …… 73

5.3 系统总体架构设计 …… 75

5.3.1 总体技术路线 …… 75

5.3.2 系统技术架构 …… 82

5.4 系统架构设计 …… 90

5.4.1 系统结构设计 …… 90

5.4.2 配置项划分原则 …… 90

5.4.3 配置项划分及描述 …… 91

5.4.4 物理部署设计 …… 112

5.5 出错处理设计 …… 112

5.5.1 错误处理设计原则 …… 112

5.5.2 错误处理设计方法……113
5.6 系统维护设计……118
5.6.1 合理划分的配置项……118
5.6.2 业务流程可配置……118
5.6.3 算法扩展维护性……118
5.6.4 系统监测……119
5.6.5 系统设计中考虑代码和数据的分类……119
5.6.6 完善的系统管理模块……120
6 结论与展望……121
6.1 结 论……121
6.2 展 望……123
参考文献……125

1 引 言

随着城市化、工业化、区域经济一体化进程加快，区域经济发展与大气质量改善之间的矛盾愈加激烈，大气中污染物浓度的时空变化更加复杂。应用现代科学技术丰富大气环境质量数据展示与表达形式，深入开展大气环境质量预报模型研究，成为环保部门和科学界十分紧迫的基础性工作[1-5]。

1.1 国内外研究进展

我国早期大气环境污染多以分离的点位方式表达，环境监测站点少而稀疏的特点导致空间分析在大气环境污染分析方面的应用较少[6-7]。随着近年来我国空气质量自动监测点位的大量建设，将空间插值技术应用于区域空气质量可视化研究，为公众信息服务及区域联防联控提供有力的技术支撑成为可能[8-41]。国内外空气质量预测领域中常用的预报方法有统计预报和数值预报。统计预报是

以统计学方法为基础的一种预报方法。它不依赖空气污染物物理化学过程的机理，主要分为两种：一种是以单一空气质量监测数据为研究对象，建立基于时间序列的空气质量预报模型；另一种是通过空气质量与气象因子之间的统计分析，研究污染物浓度的迁移变化规律，建立大气污染浓度与气象因子间的统计预报模型，从而预测空气质量。数值预报是一种基于物理化学过程的确定性的预报方法。将空气污染物的输送、扩散、迁移、转化过程使用复杂的偏微分方程来解析，并利用数值模拟方法求解，通过展示模式得到空气污染物浓度的空间分布及变化趋势。目前研究多将人工智能和数据驱动方法引入到空气质量预报研究领域，智能化的数据挖掘方法具有较强的非线性处理能力，突破了传统线性统计预报的局限性。

1.1.1 国内外空气质量的研究现状

Neha Khanna（2000）利用对多种污染物的综合评判给出了一种新的空气污染指数（API）体系，并将此指数与美国环保局（EPA）的污染标准指数（PSI）进行了对比，发现新的 API 在某些时候更能反映污染气体对人体的危害，因为它是综合评判的指标，而 PSI 只取决于浓度最高的污染物浓度。

G. Kvrkilis 等(2007)发展了聚集空气质量指数并与美国环保局的 PSI 对比,发现前者能更好地揭示污染对健康的影响。国外对影响空气质量的可吸入颗粒物的研究比较多。美国、日本等国家在 20 世纪 70 年代就已用化学质量平衡法(CMB)对芝加哥、华盛顿等许多城市的总悬浮颗粒物(TSP)的来源做了大量的工作,取得了与实际情况相符合的计算结果,为针对性地治理颗粒物污染做出了重要贡献。1999 年英环保署对英国大气环境中的 PM_{10} 做了一次全面的源解析工作,认为道路交通、次颗粒物以及由表层土壤、灰尘、海水泡沫产生的颗粒物是 PM_{10} 的主要来源。1998～1999 年,Mike Le Page 等在加拿大全国范围对颗粒物进行源解析,结果显示不同的地区呈现出不同的源成分组成分布,在以工业为主的地区工业尘为大气颗粒物的主要贡献者,其他地区道路交通的贡献率较大。

国内利用单一污染物浓度或几种污染物浓度变化和空气污染指数(API)对空气质量的研究比较多,但利用空气质量指数(AOI)对空气质量的研究比较少,而且大多是在时间上的研究,很少对同一地方的空气质量同时在时间和空间分布上进行研究。司瑶冰等(2005)利用 1990～2002 年呼和浩特市区空气的 TSP、SO_2、NOx 浓度的实际监测数据,

需要全本请访问 www.ertongbook.com

分析得出呼和浩特市市区主要以煤烟型污染为主，冬、春比夏、秋污染严重，采暖期比非采暖期污染严重，市区中心污染最严重。污染物的排放量及大气的稳定度状态是城市大气污染的主要影响因子，天气变化是城市大气污染物浓度变化的主导因素，局地环流是决定城市污染物分布的关键因素。李国翠等（2006）对石家庄市 2002 年 1 月到 2004 年 12 月空气质量达到中度及以上的典型污染日进行了统计分析，指出典型污染日多出现在采暖季节，其出现时间具有相对连续性；污染日分为沙尘和非沙尘两类，气象要素特征前者表现为风速大、湿度小、多正变压等锋后特征，后者则表现为地面风小、湿度高、多逆温层、大气层结稳定。鲁然英（2006）利用 2001～2005 年 5 年 47 个城市的空气质量日报数据，根据空气质量指数研究了这些城市空气质量的时空分布状况，并且对城市环境质量进行了评价，确定了 PM_{10} 为主要城市的首要污染物。石建慧（2008）在《呼和浩特市大气环境质量及其影响因素的研究》中，根据空气污染物负荷系数对空气质量进行评价，确定 SO_2、NO_2 和 PM_{10} 为评价因子，基于 1997～2007 年呼和浩特市区的主要大气污染物的浓度变化数据，使用指数法进行相关浓度变化的分析，用 Damel 的趋势检验方法分析呼和浩特市区

主要大气污染物的浓度变化趋势，确定了呼和浩特市区大气污染特征的影响因子，并针对目前呼和浩特市区大气污染现状提出了9条预防措施。

1.1.2 空气污染物浓度与气象因子的关系研究进展

事实上，除了人为因素导致的空气污染外，空气中污染物的浓度与天气状况有着密不可分的关系，气象因素如气温、湿度、风力、气压和降水量等对大气颗粒物的时间和空间分布有着很大的影响。气象条件对污染物扩散、稀释和积累有一定的作用。当风速较大时，空气中悬浮的颗粒物就容易被吹散。风向决定着污染物的扩散方向，风速则影响污染物扩散稀释的速度。近地面空气层的盛行风及平均风速的大小除受季节活动变化和地形条件的影响外，局部的风向、风速还受地面大型建筑物的影响。相对湿度可以反映空气中的水汽含量，相对湿度低时空气干燥，天气晴好，大气一般较为稳定，空气扩散能力差，空气污染物浓度较高。在污染源一定的条件下，污染物浓度大小主要取决于气象条件。Wise等（2005）发现气象条件的变化能影响美国西南部40%～70%的臭氧变化和20%～50%的颗粒物变化。王宏等（2008）研究了

发生突变时气压、风速、温度、湿度等气象条件的变化特征。Buhalqurn 等（2006）根据乌鲁木齐市大气污染指标月浓度值及相对应的气象数据，探讨了城市空气污染与地面气象要素的关系。徐莉、李艳红（2013）发现 API 与气温、风速、能见度和湿度等气象因素关系密切，API 值与气温、能见度和风速呈负相关，与湿度呈正相关。魏玉香等（2009）在研究不同气象条件下污染物质量浓度时发现，污染物质量浓度与风速呈负相关关系，且吹东南风时污染物浓度最高；另外，降水对污染物有一定的清除作用。

1.1.3 大气污染物浓度预测的人工神经网络方法

常用的大气污染物浓度预测方法主要是以污染物排放量为基础的。典型的有多源扩散模式、线源扩散模式、面源扩散模式和总悬浮微粒扩散模式。随着模糊数学和人工神经网络的发展，预测方法又出现了以污染物排放相关因素为基础的模型。这些新的模型和方法可用来分析大气污染物浓度与相关的因素，如人口密度、工业污染、路网密度、土地覆盖和城市天然气供应以及供暖普及率等之间的关系。以上几种方法中，对于环境质量的预测评价这类非线性特征的问题，人工神经网络方法有

着其他方法无法比拟的优点。人工神经网络预测方法是近年来国际上人工智能领域研究的重点，它是由大量神经元通过丰富和完善的连接而构成的自适应非线性动态系统，具有并行处理、容错性、自学习等功能，在模式识别、自动化控制、知识处理及运输与通信等领域取得了很好的应用效果。人工神经网络预测方法不需要明确的输入、输出之间的函数关系，主要通过对大量的数据训练、学习来完成模拟过程，并利用训练好的网络对新输入的数据进行预测。

雾霾天气的出现表面看似无序，但其在长时间内是有一定规律的。雾霾天气的出现受到天气状况、燃烧化石燃料、污染源等很多因素的影响，其变化具有非线性、突变性等特点。BP（Back Propagation）神经网络有着强大的非线性处理能力并且能够依赖数据本身的内在联系对雾霾天气进行建模预测，对于雾霾天气的预报有一定的意义。近年来，人工神经网络模型已经被广泛应用于大气污染预测的研究。Evidence（2007）的研究表明，人工神经网络算法能够构建空气污染物和各预测因子间的非线性模拟函数，其预测结果相较于其他因子更准确。Gardner（1998）广泛研究了神经网络算法应用于空气质量环境的案例并指出当其他理论模型难

以构建时，人工神经网络在处理非线性系统时的优越性就显现出来了。尽管如此，在人工神经网络算法模仿生物神经系统时，非线性的运算过程无法呈现因变量对自变量的直观影响，人工神经网络算法也有自身的局限性。所以，人工神经网络模型应该与其他线性和非线性模型相结合，以期降低各算法之间的局限性。

本研究利用克里金插值和地统计分析方法，在ArcGIS软件的支持下，实现了山东省2016～2017年大气污染物（SO_2、NO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO、O_3）在不同季节、月份、日期乃至时段空间分布的可视化表达，分析了其时空变化特征、自相关性和变异性；以大气质量监测数据和气象观测数据（风速、风向、温度、湿度、气压等）为基础，分别利用多元线性回归方法和BP神经网络方法建立了山东省大气环境质量预报模型，并通过实测数据对两种模型进行检验和校正，建立了山东省大气环境质量预报预警系统，为合理调整污染源布局、切实做好大气污染防治提供了科学依据和决策支持。

1.2 研究区概况

山东省位于黄河下游，介于北纬34°25′～38°23′、东经114°36′～122°43′之间。陆地南北长约

420 km，东西宽约 700 km，总面积 1.57×10^5 km^2。境内中部山地突起，西南、西北低洼平坦，东部缓丘起伏，形成以山地丘陵为骨架、平原盆地交错环列其间的地形大势。泰山雄踞中部，主峰海拔 1 532.7 m，为全省最高点。黄河三角洲一般海拔 2～10 m，为全省陆地最低处。境内地貌复杂，大体可分为平原、台地、丘陵、山地等基本地貌类型。平原面积约占全省面积的 65.56%，主要分布在鲁西北地区和鲁西南局部地区。台地面积约占全省面积的 4.46%，主要分布在东部地区。丘陵面积约占全省面积的 15.39%，主要分布在东部、鲁西南局部地区。山地面积约占全省面积的 14.59%，主要分布在鲁中地区和鲁西南局部地区。

境内主要山脉集中分布在鲁中南山丘区和胶东丘陵区。属鲁中南山丘区者，主要由片麻岩、花岗片麻岩组成；属胶东丘陵区者，由花岗岩组成。绝对高度在 700 m 以上、面积 150 km^2 以上的有泰山、蒙山、崂山、鲁山、沂山、徂徕山、昆嵛山、九顶山、艾山、牙山、大泽山等。

全省海拔 50 m 以下区域约占全省面积的 53.71%，主要分布在鲁西北地区；50～200 m 区域约占 33.50%，主要分布在东部地区；200～500 m 区域约占 11.53%，主要分布在鲁西南地区和东部

需要全本请访问 www.ertongbook.com