沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第15卷 第2期
2021年4月

卢盛栋,李芬,蔡兆鑫,等.气象因子对太原地区空气质量的影响研究[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(2):98-105.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2021.02.012
开放科学(资源服务)标识码(OSID):

# 气象因子对太原地区空气质量的影响研究

卢盛栋[1],李　芬[1*],蔡兆鑫[1],李　强[1],牛永波[1],陈　玲[2],贺洁颖[2]
(1.山西省气象灾害防御技术中心,山西　太原 030012;2.山西省气象科学研究所,山西　太原 030002)

**摘　要**:利用2017—2019年太原小店区气象与空气质量指数逐时数据,分析了气象因子对空气质量指数的影响,对易污染月份空气质量进行了深入分析,利用神经网络方法构建了气象因子与空气质量指数的关系模型,并与逐步回归模型进行了对比。结果表明:(1)2017—2019年太原地区空气质量6个等级均出现过,其中,良占比最大,为51.9%;严重污染等级最少,为1.9%。每年8月空气质量最好,1月空气质量最差,11月—次年2月为易污染月份。(2)气温、风速、气压对空气质量指数的影响主要表现为负相关,9月—次年2月呈显著负相关;降水主要表现为负相关;相对湿度对空气质量指数影响较大,8月—次年3月呈显著正相关,6—7月呈显著负相关。(3)易污染月份,太原地区空气质量以良为主,占40.7%;其次为轻度污染,占24.8%;严重污染占4.6%。相对湿度、风速对空气质量影响较大,表现为强相关。(4)神经网络构建的气象因子与空气质量指数的关系模型,与逐步回归分析模型相比,准确率由91%提高到94%。神经网络模型模拟效果更佳,为太原地区治理大气污染提供重要的参考价值。

**关键词**:空气质量;气象因子;逐步回归;神经网络
**中图分类号**:X16　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1002-0799(2021)02-0098-08

随着城市化的发展及工业进程的加快,环境污染已成为人们关注的焦点。空气质量较好的环境下适宜人们出游活动,较差的空气质量不仅不适合人们外出,还会诱发诸多疾病[1]。空气质量影响因素复杂,不仅与当地污染物[2-4]排放有关,还受当地地形地貌[5]、气象条件[6-9]的影响,近年来,空气质量变化特征及其影响因素受到广大学者的广泛研究[10-16]。朱红蕊等[12]分析了气象因子对哈尔滨空气质量的影响,发现空气质量与降水、风速为负相关,与气压以正相关为主,后半年相关性比较显著,相对湿度对空气质量的影响秋冬季表现为正相关,5—9月表现为负相关。毛卓成等[13]分析了上海地区空气质量与气象条件的关系,结果表明在冬季平均风速减小、逆温强度增强和次数增多条件下易导致$PM_{2.5}$浓度显著上升。熊世为等[14]分析了滁州市空气质量与气象要素的关系,发现降水量与污染物浓度呈负相关,降水对污染物的湿沉降作用显著,但弱降水也能使空气质量变差,可能原因是弱降水能使空气湿润,大气中的雾滴容易吸附污染物,使得污染物在空气中长时间滞留[15-16]。

气象因子与空气质量指数的定量关系研究,诸多学者多采用逐步回归分析方法[17-20]。白雪等[20]利用逐步回归的方法,以气温、风速、气压等气象要素和前一时段空气质量构建了锦州市空气质量预报方程。姚清晨等[21]利用相关分析、小波分析方法研究了空气质量变化特征及与气象因子的关系。该模型都有一定的适用性,但此类模型都为固定参数模型,而气象因子对空气质量的影响具有双重性,即同一个气象因子对空气质量指数的影响在不同时间尺度上

**收稿日期**:2020-05-26;**修回日期**:2020-08-16
**基金项目**:国家自然科学基金项目(41805111);山西省气象局科学技术面上项目(SXKMSFW20205222)
**作者简介**:卢盛栋(1983—),男,工程师,主要从事应用气象、气象环境、灾害防御研究。E-mail:869616667@qq.com
**通信作者**:李芬(1964—),女,正高级工程师,主要从事气候变化、生态与农业气象及气象灾害防御研究。E-mail:lifen1964@sina.com

可表现为显著正相关,也可表现为显著负相关,因此固定参数模型准确率明显下降,误差增大。神经网络方法具有良好的容错性,在气象预报领域已经有了广泛应用[22-24],本文引进神经网络方法,对逐步回归方法构建的模型具有一定的修正能力。

太原是山西省会,华北地区重工业城市之一,污染物排放较大。近年来广大学者对太原地区空气质量进行了研究[25-28]。马杰[25]利用 2014 年空气质量与气象数据,分析了山西省 11 个地级市空气质量变化特征及气象要素对空气质量的影响;闫世明等[26]研究得出太原市秋冬季大气污染特征和输送路径;赵莹等[27]研究了太原市空气质量空间分布特点;戴燕燕等[28]分析了空气质量与污染物浓度的相关性。以上关于太原地区空气质量的研究大都采用 2013—2016 年空气质量指数及气象因子日平均数据,然而,近几年山西转型发展步伐加快,城市扩容,特别是南部小店区,与周围的晋中市同城化发展,空气质量及其影响因子也发生了显著变化。本文利用 2017—2019 年太原小店区空气质量指数及气象逐时观测数据,较日平均数据更精准、全面,分析了气象因子对空气质量的影响,利用神经网络方法构建了气象因子与空气质量指数的关系模型,并进行检验。与逐步回归固定参数模型相比,该模型误差较小、准确率高,为太原地区空气质量预报提供科学参考。

## 1 资料与方法

文章使用了 2017—2020 年太原小店区气象、空气质量逐时观测数据(去掉奇异值),时间为北京时间。其中,气象数据由山西省气象信息中心提供,空气质量数据由山西省环境质量监测中心提供。

空气质量指数(Air Quality Index,AQI)是根据 2012 年环保部门颁布实施的《环境空气质量指数技术规定》(HJ633-2012)[29] 提出的,即对某一时段 $PM_{2.5}$、$PM_{10}$、$O_3$、$NO_2$、$SO_2$、CO 6 种污染物浓度经过换算,最大值计为空气质量指数,当空气质量指数>50 时,对应的污染物为首要污染物[29]。空气质量等级见表 1。

使用神经网络方法构建了气象因子与 AQI 的关系模型。神经网络是一种前馈性神经网络,有信号前向传递、误差反向传播的特点[23]。输入信号从输入层、隐含层逐层处理直至输出层,隐含层设 10 个节点,根据预测误差调整网络权值和阈值,使预测输出不断逼近期望输出。

表 1 空气质量等级

| AQI | 0~50 | 51~100 | 101~150 | 151~200 | 201~300 | >300 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 空气质量等级 | 一级 | 二级 | 三级 | 四季 | 五级 | 六级 |
| 空气质量 | 优 | 良 | 轻度污染 | 中度污染 | 重度污染 | 严重污染 |

在模型检验时,用到平均绝对误差(公式 1)和准确率,定义如下:

$$I_{MAE}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|F_i-O_i| 。 \quad (1)$$

其中,$F_i$ 为空气质量指数模拟值,$O_i$ 为空气质量指数实况值,n 为样本个数。准确率采用了中国气象局减灾司空气质量预报评分规定:$|F_i-O_i|\leqslant 25$ 为满分 100;$25<|F_i-O_i|\leqslant 50$ 为 50 分,$|F_i-O_i|>50$ 为 0 分。因此,准确率指标值为 25。

## 2 结果与分析

### 2.1 太原空气质量及主要气象因子变化特征

2017—2019 年太原空气质量 6 个等级均出现过,其中,良占比最大,为 51.9%;其次为轻度污染占24.31%,优占 12.1%;严重污染最少,占 1.9%。图 1 给出 12 个月空气质量不同等级分布,1 和 12 月空气质量较差,严重污染等级分别高达 10.94%、5.03%,1 月优等级为 6.6%,12 月仅为 3.26%。2—5 月及 10—11 月,空气质量逐渐转好,优等级在 10%左右,严重污染较低,为 2%左右。6—9 月是太原地区空气质量较好的月份,没有出现严重污染等级,其中 8 月最好,优等级占 25.21%,最差为中度污染,仅为 0.56%,没有出现重度污染及严重污染等级。

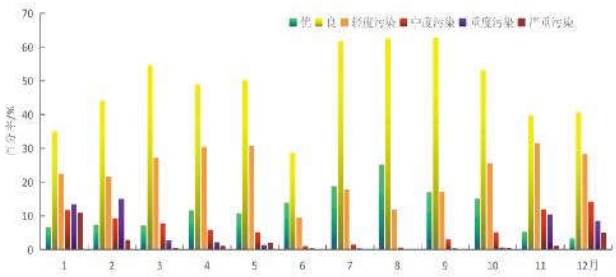


图 1 太原市逐月空气质量指数各等级占比分布

为进一步了解太原地区各月首要污染物成分,文章统计了 2017—2019 年太原各月份逐时段首要污染物及所占比例(图 2)。由图 2 可知,太原首要污染物均为颗粒物,1—2 月以 $PM_{2.5}$ 为主,3—12 月以 $PM_{10}$ 为主。4—10 月出现臭氧污染,其中,6—7 月臭氧污染较多,$SO_2$ 和 $NO_2$ 作为首要污染物较少。可见,太原地区首要污染物以颗粒物污染为主。

图 3 给出了 2017—2019 年 AQI 及主要气象因

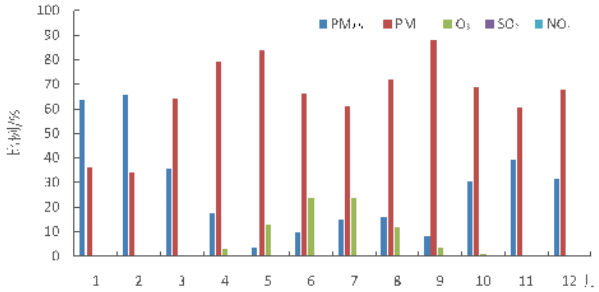


图 2 太原市逐月首要污染物占比分布

子月均值分布。其中,由于降水不具有连续性,降水数据采取了逐月降水总和的年均值。由图 3 可知,太原地区1—2 月 AQI 均值在 100 以上,1 月空气质量最差;从 3 月开始,空气质量逐渐好转,AQI 均值在 100 以下,为优良等级。分析原因可能是 3 月开始太原地区大风逐渐增多,驱使污染物扩散。7—8 月为全年空气质量较好的月份,其中 8 月最好。7—8 月太原地区降水增多,相对湿度较大,对污染物湿沉降作用显著,且气温较高、气压较低,空气活跃,有助于污染物的垂直对流。11 月太原地区供暖开始,AQI 月均值上升到 100 以上,污染较明显。11 月—次年 2 月,空气质量较差,均值在 100 以上,为全年易污染月份。

## 2.2 主要气象因子对 AQI 的影响

AQI 与首要污染物随时间变化特征明显,表明 AQI 受同时段气象因子变化影响较大。表 2 给出近 3 a 太原地区逐月 AQI 与主要气象因子的相关系数。9 月—次年 2 月气温与 AQI 呈显著负相关,可能原因是气温越低,空气活动减弱,容易形成稳定层,不利于污染物扩散。由表 2 也可看出,5—8 月,太原地区气温与 AQI 呈正相关,且通过 0.01 的显著性检验,可能原因是这几个月气温较高,往往伴有雨水,对污染物进行冲洗,空气质量好转。

相对湿度与 AQI 主要表现为正相关、强相关,尤其在 8 月—次年 3 月呈显著相关,可能原因是湿度越大,空气中雾滴容易吸附污染物,使得污染物长期在空中滞留。但 6—7 月相对湿度与 AQI 呈显著负相关,原因可能是相对湿度较低,并常伴有大风天气,大风容易引发沙尘天气,使空气质量变差、AQI 偏高。该时段首要污染物主要为 $PM_{10}$,也说明大风使颗粒物浓度升高。

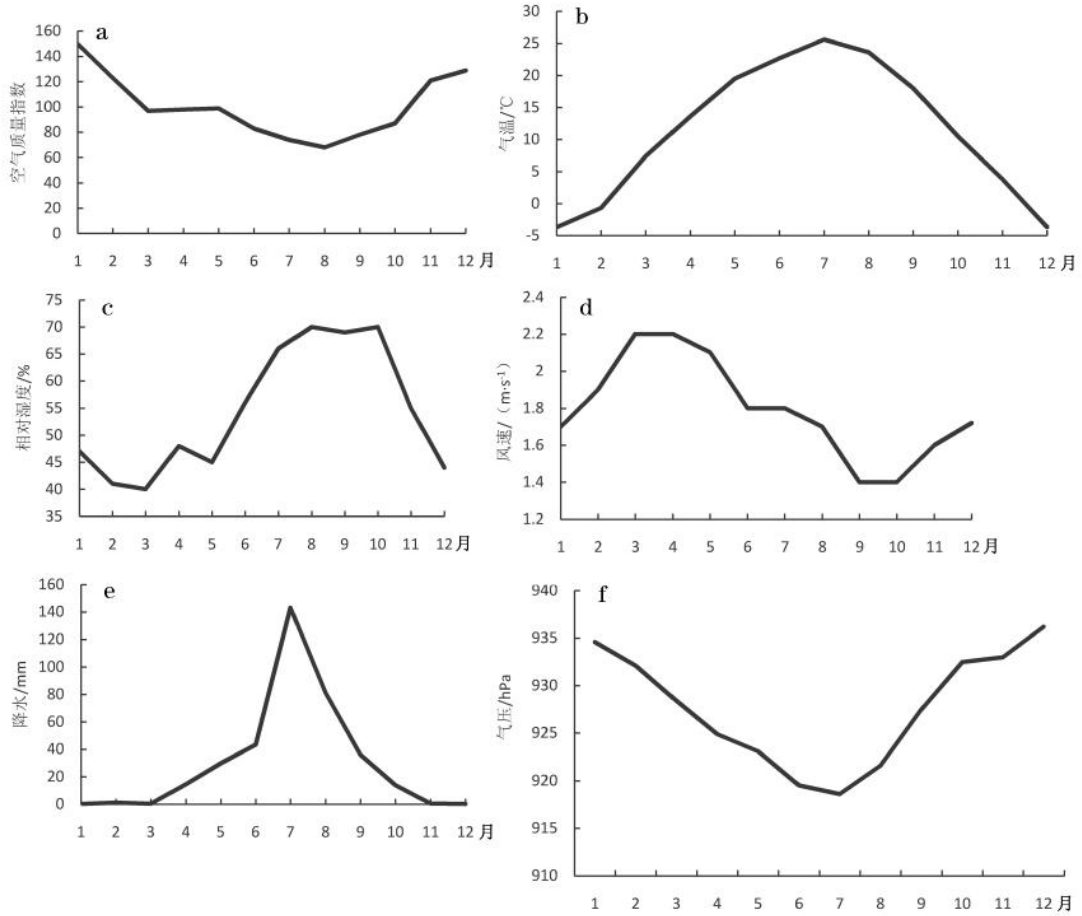


图 3 太原空气质量指数(a)、气温(b)、相对湿度(c)、风速(d)、降水(e)、气压(f)月分布

表 2　太原地区逐月空气质量指数与气象因子的相关系数

| 月份 | 气温 | 相对湿度 | 风速 | 降水 | 气压 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -0.084** | 0.724** | -0.609** | 0.001 | -0.183** |
| 2 | -0.047* | 0.568** | -0.622** | 0.013 | -0.256** |
| 3 | -0.011 | 0.332** | -0.695** | -0.015 | -0.239** |
| 4 | -0.034 | 0.017 | -0.006 | -0.043* | -0.183** |
| 5 | 0.106** | -0.013 | 0.005 | -0.106** | 0.006 |
| 6 | 0.198** | -0.150** | 0.057* | -0.084** | -0.048* |
| 7 | 0.328** | -0.282** | 0.008 | -0.133** | -0.383** |
| 8 | 0.124** | 0.061** | -0.203** | -0.113** | -0.248** |
| 9 | -0.114** | 0.185** | -0.201** | -0.123** | -0.228** |
| 10 | -0.167** | 0.352** | -0.358** | -0.105** | -0.210** |
| 11 | -0.098** | 0.592** | -0.588** | -0.084** | -0.252** |
| 12 | -0.019* | 0.679** | -0.558** | 0.006 | -0.333** |

注:* 表示通过 0.05 的显著性检验,** 表示通过 0.01 的显著性检验。

风速与 AQI 主要表现为负相关,8 月—次年 3 月呈显著强相关,这是因为风促使污染物水平扩散,降低污染物浓度。5—7 月,风速与 AQI 表现为正相关,且在 6 月通过了 0.05 的显著性检验。可能是因为在该时段,风速较大易引起沙尘天气,使空气质量变差,且该时段恰好与相对湿度和 AQI 呈负相关的时段吻合。

降水与 AQI 主要为负相关,且在 5—11 月显著,通过了 0.01 的显著性检验。因为降水对空气具有净化作用,使污染物沉降明显[12]。但 12 月—次年 2 月表现为正相关,相关系数较小,为极弱相关,可能原因是太原处于供暖期,污染物排放较多,降水较少,少量的降水不但不能冲刷污染物,反而增加空气湿度,使得大气中的水汽吸附污染物长期滞留在空中,加剧空气质量恶化。这也与蒲维维[15]、张夏琨[16]等的研究结论一致。

气压与 AQI 主要表现为负相关,并在 7 月—次年 4 月显著,可能原因是近地面气压大,容易造成污染物水平扩散,降低了污染物浓度,使空气质量变好。5 月表现为弱正相关,可能原因是地面气压小,容易造成污染物在垂直方向扩散,使空气质量变好。朱红蕊等[12]研究哈尔滨空气质量与气象要素的关系,发现哈尔滨地区气压与空气质量主要表现为正相关,这与太原地区正好相反,这可能与太原三面环山,同时气压升高,促使污染物水平流动有关。

综上所述,气象因子对空气质量指数的影响具有双重性,在不同时间尺度上基本表现为显著的正相关或负相关。

### 2.3　易污染月空气质量及主要气象因子的变化

由图 3a 可知,太原 11 月—次年 2 月,AQI 均值在 100 以上,统一称为易污染月。研究易污染月空气质量对该地区具有重要的意义。分析 2017—2019 年太原易污染月不同等级下空气质量指数和各气象因子的均值及不同等级出现频率(表 3),由于降水不具有连续性,降水数据为易污染月各污染等级累加年平均所得。由表3 可知,易污染月空气质量以良为主,占比为 40.65%;严重污染的发生频率最少,为 4.59%。

随着空气污染加重,气温、风速、气压逐渐降低,相对湿度逐渐升高,特别在严重污染时段,相对湿度达 70.69%,且风速降至 1 m/s 以下,相对湿度、风速变化显著。由表 2 可知,在易污染月,相对湿度、风速与空气质量指数相关系数较大,呈强相关,气温、气压相关系数较低,呈弱相关。由表 3 可知,在易污染月,空气质量受相对湿度、风速影响较大。

在易污染月,降水和 AQI 呈极弱正相关(表 2),降水数据变化不明显(表 3),所以在易污染月降水不是主要影响因子。在易污染月,太原地区降水偏少,降水样本数据也较少,在以后的研究中,将增加资料时段,以得到更准确的分析结果。

表 3　2017—2019 年易污染月不同等级下的空气质量指数及气象因子

| 分类 | 发生频率/% | 空气质量 | 气温/℃ | 相对湿度/% | 风速/(m·s⁻¹) | 降水/mm | 气压/hPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 优 | 6.75 | 40 | -0.97 | 29.59 | 3.01 | 0.03 | 936.48 |
| 良 | 40.65 | 74 | -0.48 | 51.34 | 2.11 | 0.33 | 934.89 |
| 轻度污染 | 24.84 | 123 | -1.03 | 53.43 | 1.48 | 1.17 | 933.04 |
| 中度污染 | 11.59 | 173 | -1.82 | 55.85 | 1.25 | 0.37 | 932.65 |
| 重度污染 | 11.58 | 238 | -1.05 | 63.68 | 1.19 | 0.2 | 932.01 |
| 严重污染 | 4.59 | 367 | -2.79 | 70.69 | 0.92 | 0.03 | 931.76 |

为进一步验证易污染月太原地区空气质量主要受相对湿度、风速的影响,选取典型个例加以分析。2019 年 1 月 5 日 09 时—1 月 8 日 13 时太原出现一次典型的空气污染过程,空气质量指数最高达 362,属于空气质量严重污染级别。由于该时段没有降水,所以分析过程没有降水数据变化。

由图 4 可知,1 月 5 日 09 时,空气质量指数为 68,属于二级良,但随着风速急剧降低,空气质量不

断恶化。5 日 21 时,风速降为 0,AQI 上升到 279,之后随着相对湿度不断增大,空气质量持续恶化。6 日 07 时,空气质量高达 317,此时相对湿度达 89%,风速为 0,气压较低,为 933.6 hPa,气温为一日中最低,为-14 ℃,之后随着相对湿度降低,风速逐渐增大,空气质量逐渐好转。6 日 11 时,风速处于波峰,为 2.2 m/s,此时相对湿度持续降低,AQI 出现短暂波谷,为 247,之后风速降低,相对湿度升高,空气质量又出现恶化。7 日 03 时,AQI 出现波峰,为362,此时相对湿度处于波峰 88%,风速为 0,之后相对湿度降低,风速增大,气压升高,空气质量逐渐好转。8 日 13 时,相对湿度为 20%,风速达 2.9 m/s,AQI 为 56,在 15 时空气质量指数为 46,属于一级优,此次空气污染过程结束。整个过程,空气质量指数的波峰(谷)与相对湿度的波峰(谷)及风速的波谷(峰)较为一致,说明,相对湿度、风速对空气质量指数影响显著。

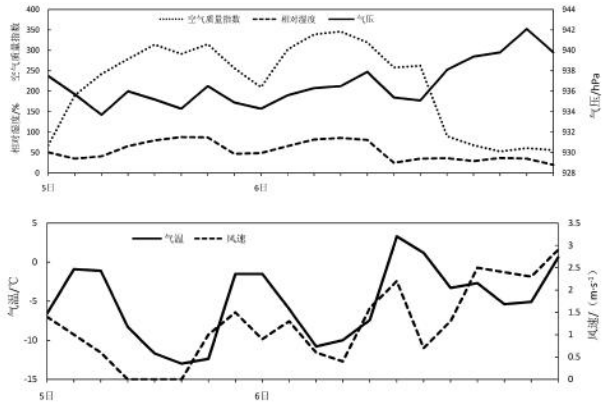


图 4 2019 年 1 月 5 日 9 时—1 月 8 日 13 时空气污染过程空气质量指数、相对湿度、气压(a)以及气温、风速(b)的变化特征

## 2.4 空气质量指数与气象因子的关系模型初探

逐步回归是将变量逐个引入,如果原变量由于新变量的引入不再显著则将其删除,直到没有显著变量引入回归方程,也没有不显著变量删除为止。相关研究表明[18-19],上一时段空气质量指数对下一时段空气质量指数具有显著影响,使用气温、相对湿度、降水、风速、气压、上一时段空气质量指数及同一时段空气质量指数逐时数据,利用逐步回归方法构建 AQI 与气象因子的关系模型为:$y=7.671+0.935X_1+0.03X_2-1.586X_3$,其中,$X_1$、$X_2$、$X_3$ 分别代表上一时段空气质量、相对湿度、风速。

同一个气象因子在不同时间尺度对空气质量指数的影响具有双重性,固定参数模型易产生误差。神经网络具有良好的容错性,现在以气温、相对湿度、降水、风速、气压、上一时段空气质量指数为自变量,空气质量指数为因变量,以 2017 年 1 月—2019 年 10 月数据为训练模型,以 2019 年 11—12 月数据为模拟期,构建神经网络模型。

图 5 给出了两种不同模拟方法的拟合结果,两种模型都有一定的模拟效果,但相比逐步回归分析,神经网络模拟值更趋向对角线集中,决定系数 $R^2$ 由 0.9 提高到 0.94,相关系数由 0.92 提高到 0.97,模拟准确率由 91%提高到 94%,平均绝对误差由 11.08 降到 8.63,神经网络模型模拟效果更佳。

两种不同模拟结果,误差均呈正态分布(图 6),两种模拟结果误差主要集中在 20 以内,其中逐步回归分析模拟结果误差<20 的概率为90%,神经网络模拟结果误差概率提高到 93%,说明神经网络方法构建的气象因子与空气质量指数关系模型的误差更集中。

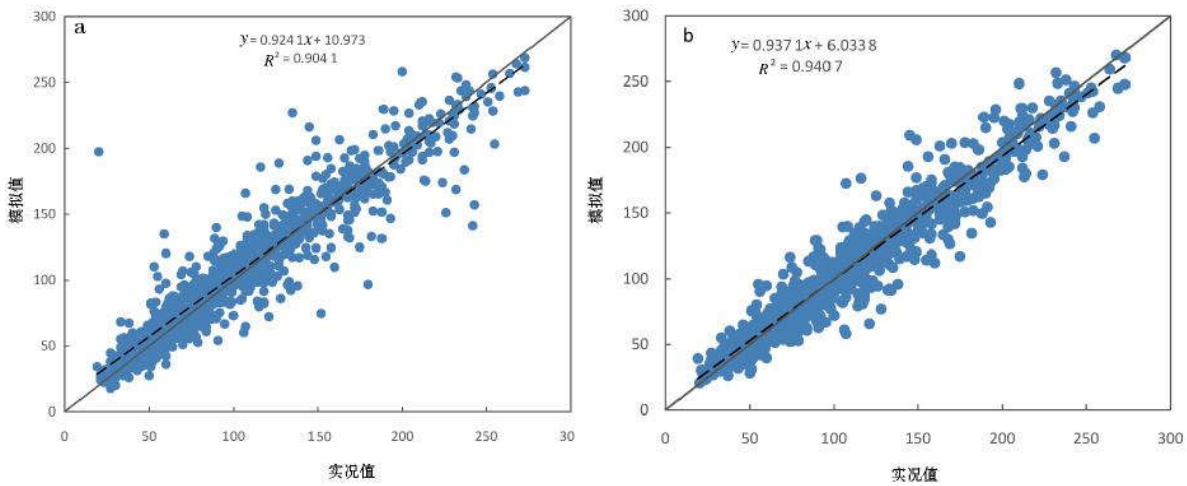


图 5 逐步回归分析模型(a)和神经网络模型(b)的拟合结果

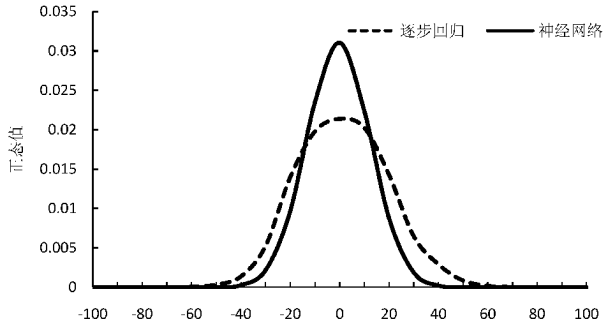


图 6　逐步回归分析模型和神经网络模型误差分布的正态曲线

选取太原市 2020 年 1 月空气质量及气象逐时数据,对两种模型进行分级检验。2020 年 1 月太原市出现多次空气污染，轻度级以上污染占全月的 68%。以空气质量指数实况值及模拟值 100 为分界线(轻度污染指数阈值),将模拟结果散点图分成 4 个区域(图 7),分别为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ,对应的散点落在各自区域的点数分别计为 a、b、c、d,利用对应公式,分别计算 TS 评分、漏报率和空报率,结果见表 4。由表 4 可知,两种模型的 TS 评分都在 0.9 以上,漏报率都在 10%以下,都有一定的模拟效果,但相比逐步回归模型,神经网络模型

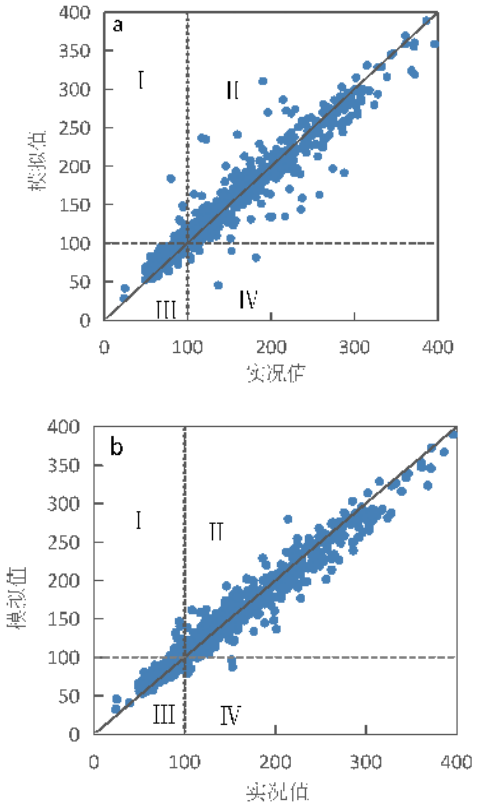


图 7　对于 2020 年 1 月两种不同模型的拟合结果
(a为逐步回归,b为神经网络)

TS 评分由 0.92 提高到 0.94，漏报率由 8%降到 5%,空报率由 17%降到 13%,神经网络模型模拟效果更佳，为太原地区治理大气污染提供决策依据。

表 4　两种不同模型的分级检验

| 分级检验 | 逐步回归分析模型 | 神经网络模型 | 定义 |
|---|---|---|---|
| TS | 0.92 | 0.94 | (b+c)/(a+b+c+d) |
| 漏报率 | 0.08 | 0.05 | d/(c+d) |
| 空报率 | 0.17 | 0.13 | a/(a+c) |

## 3　结论

(1)2017—2019 年，太原地区空气质量 6 个等级均出现过,其中,良占比最大,为 51.9%,轻度污染占 24.3%,优占 12.1%,严重污染出现次数最少,为 1.9%。1、12 月空气质量较差,严重污染等级分别高达 10.9%、5.1%,8 月空气质量最好，优等级占 25.2%。1—2 月太原地区首要污染物为 $PM_{2.5}$,其它月以 $PM_{10}$ 为主。太原地区 11 月—次年 2 月为空气质量易污染月,AQI 均值在 100 以上。

(2)气象因子 AQI 的影响具有双重性,在不同时间尺度上表现为显著的正相关或负相关。气温和 AQI 在 1—2 月,9 月—次年 2 月表现为显著负相关,5—8 月呈显著正相关。相对湿度和 AQI 在 8 月—次年 3 月表现为显著正相关且相关系数较大,6—7 月呈显著负相关。风速和 AQI 在 8 月—次年 3 月表现为显著负相关且为强相关,5—7 月为正相关。降水与 AQI 主要表现为负相关,5—11 月通过-0.01 的显著性检验,每年 12 月—次年 2 月为极弱正相关。气压和 AQI 主要表现为显著负相关。

(3)在易污染月,太原地区空气质量以良为主,占比为 40.7%;其次为轻度污染,占比为 24.8%;严重污染最少,为 4.6%。随着空气质量的恶化,平均气温、风速、气压逐渐降低,相对湿度均值升高。在易污染月,相对湿度、风速与 AQI 的相关系数较高,分别为 0.724、-0.622，表现为强相关，选取个例也表明 AQI 受相对湿度、风速影响较大。

(4) 利用逐步回归和神经网络构建气象因子与空气质量指数关系模型,与逐步回归模型相比,神经网络模型相关系数由 0.92 提高到 0.97，准确率由 91%提高到 94%,TS 评分由 0.92 提高到 0.94，神经网络模型模拟效果更佳，为太原地区治理大气污染提供重要的决策依据。

**参考文献：**

[1] 陈浪，赵川，关茗洋，等.我国大气臭氧污染现状及人群健康影响[J].环境与职业医学，2017，34(11)：1025-1030.

[2] 赵金霞，沈岳峰，范苏丹.天津市滨海新区持续性重度雾霾成因分析[J].沙漠与绿洲气象，2017，11(6)：69-74.

[3] 王冠岚，薛建早，张建忠.2014 年京津冀空气污染时空分布特征及主要成因分析 [J]. 气象与环境科学，2016，39(1)：34-42.

[4] 徐莉，李艳红.乌鲁木齐城市空气质量状况与常规气象条件的关系[J].农业灾害研究，2013(1)：41-44.

[5] 张学新，周泳岑.武汉空气质量预测及受周边城市污染影响分析[J].经济数学，2019，36(2)：42-48.

[6] 王楠，杨洪儒，梁艳.近 37 a 乌鲁木齐机场雾的不均匀性特征分析[J].沙漠与绿洲气象，2015，9(4)：43-49.

[7] 岳岩裕，王晓玲，张蒙晰，等.武汉市空气质量状况与气象条件的关系[J].暴雨灾害，2016，35(3)：271-278.

[8] 陈渤黎，吴建秋，吴晶璐.2012—2014 年常州市空气质量与气象要素关系分析[J].气象与减灾研究，2015，38(3)：68-74.

[9] 冯丽莎，宋攀，田力，等.河南 3 次重污染天气过程的气象条件诊断及传输影响分析[J].气象与环境科学，2020，43(1)：104-113.

[10] 王冠岚，薛建军，张建忠.2014 年京津冀空气污染时空分布特征及主要成因分析[J].气象与环境科学，2016，39(1)：34-42.

[11] 时连俊，徐建，王变芳，等.成都市空气质量状况研究[J].资源与环境，2015，31(8)：986-989.

[12] 朱红蕊，刘赫男，张洪玲，等.哈尔滨市空气质量特征及其与气象要素的关系[J].气象与环境学报，2019，35(1)：53-58.

[13] 毛卓成，马井会，瞿元昊，等.2015 年上海地区空气质量状况及其与气象条件的关系 [J]. 气象与环境学报，2018，34(2)：52-60.

[14] 熊世为，王曼丽，邓汉青，等.滁州市空气质量与气象要素的关系及其预报方法研究[J].湖北农业科学，2018，57(18)：34-38，43.

[15] 蒲维维，赵秀娟，张晓玲.北京地区夏末秋初气象要素对 $PM_{2.5}$ 污染的影响[J].应用气象学报，2011，22(6)：716-723.

[16] 张夏琨，王春玲，王宝鉴.气象条件对石家庄市空气质量的影响[J].干旱气象，2011，29(1)：42-47.

[17] 何林宴，梁毅进，黄小晏.2015-2016 年贵港市空气污染与天气形势的关系 [J]. 气象与环境科学，2019，42(4)：96-102.

[18] 代玉田，王丽，张优琴，等.德州市空气质量与气象条件的关系[J].安徽农业科学，2016，44(1)：281-284.

[19] 宋丹，夏晓玲，何玉龙，等.贵阳市空气质量预报方法与效果检验[J].气象与环境科学，2019，42(1)：93-100.

[20] 白雪，张翠艳，纪源.锦州市空气质量变化特征及其与气象条件关系[J].气象与环境学报，2016，32(2)：52-58.

[21] 姚清晨，张红.基于小波分析的太原市空气质量变化特征及预测[J].山西大学学报(自然科学版)，209，42(1)：265-274.

[22] 白永清，祁海霞，刘琳，等.武汉大气能见度与 $PM_{2.5}$ 浓度及相对湿度关系的非线性分析及能见度预报[J].气象学报，2016，74(2)：189-199.

[23] 胡海川，张恒德，朱彬，等.神经网络方法在环渤海能见度预报中的应用分析[J].气象科学，2018，38(6)：798-805.

[24] 倪江波，李文才，尚可政，等.华北区域性低能见度天气的自动识别及预报[J].干旱气象，2015，33(1)：174-179.

[25] 马杰.山西省城市空气质量指数地理特征及其与气象要素的关系[J].太原师范学院学报(自然科学版)，2015，14(2)：46-52.

[26] 闫世明，王雁，郭伟，等.太原市秋冬季大气污染特征和输送路径及潜在源区分析[J].环境科学，2019，40(11)：4801-4809.

[27] 赵莹，周义，王欣畅.太原市大气环境质量时空变化分析[J].山西师范大学学报(自然科学版)，2019，33(4)：101-106.

[28] 戴燕燕，张鹏飞.2014—2017 年太原市空气质量变化特征分析[J].太原师范学院学报(自然科学版)，2019，18(1)：76-81.

[29] 环境保护部.HJ633-2012，环境空气质量指数(AQI)技术规定[S].北京：中国环境科学出版社，2012.

# The Influence of Meteorological Factors on Air Quality in Taiyuan Area

LU Shengdong[1],LI Fen[1],CAI Zhaoxin[1],LI Qiang[1],NIU Yongbo[1],CHEN Ling[2],HE Jieying[2]
(1.Shanxi Meteorological Disaster Prevention Technology Centre,Taiyuan 030012,China;
2.Shanxi Institute of Meteorological Science,Taiyuan 030002,China)

Abstract Based on the hourly meteorology and air quality index data of Xiaodian district in Taiyuan from 2017 to 2019,the influence of meteorological factor on air quality index was analyzed. Further study of the air quality in the months prone to pollution was carried out. The relationship model between meteorological factors and air quality index was built by using the method of neural network,and compared with stepwise regression model.The results show that:(1) From 2017 to 2019,all the six levels of air quality grades were appeared in Taiyuan,with the highest ratio (51.9%) of good grade and the lowest ratio(1.9%) of serious pollution grade. The air quality was the best in August and the worst in January. The pollution-prone months were from November to February of the next year. (2)Air temperature,wind speed and air pressure had a negative correlation with the air quality index,especially from September to February of the next year. Precipitation was mainly negatively correlated to air quality index too. Relative humidity had a great influence on the air quality index,which was significantly positively correlated from August to March of the following year,and significantly negatively correlated from June to July.(3) In the pollution-prone months,the air quality in Taiyuan was mainly good with accounting for 40.7%,followed by light pollution with accounting for 24.8%,and the severe pollution accounted for 4.6%. Relative humidity and wind speed had great influence on air quality,showing a strong correlation.(4) Compared with the stepwise regression analysis model,the accuracy of the neural network model on the relationship between meteorological factors and air quality index increased from 91% to 94%. The simulation effect of neural network model is better,which provides an important reference for air pollution control in Taiyuan.

Key words air quality ;meteorological factor ;stepwise regression ;neural network