

临汾市空气污染扩散气象条件等级预报评估

王 通, 樊瑞瑞, 姜 皓, 王志勇, 贺东东

山西省临汾市气象局, 山西 临汾

收稿日期: 2024年10月20日; 录用日期: 2024年11月18日; 发布日期: 2024年11月25日

摘 要

利用2022年临汾市逐日AQI数据和PM₁₀、PM_{2.5}、O₃、NO₂、CO、SO₂等资料, 以及同期气象资料, 对空气污染扩散气象条件等级方程进行计算, 然后利用2023年1~3月的静稳指数对得出的临汾市空气污染气象条件方程进行评估分析, 结果表明: 通过SPSS相关性分析, 将PM_{2.5}浓度的日平均值数据作为日数据的空气污染物浓度O_t可能会使计算值偏小, 同时, 使用日平均值的静稳指数S_t计算得到的指数I_{t+1}也会偏小, 如果使用一天中PM_{2.5}浓度O_t的最大值和静稳指数S_t的最大值计算得出的空气污染气象指数I_{t+1}值会相对大一些。

关键词

空气污染, 气象条件, 临汾市

Forecast and Evaluation of Meteorological Condition Levels for Air Pollution Diffusion in Linfen City

Tong Wang, Ruirui Fan, Hao Jiang, Zhiyong Wang, Dongdong He

Linfen Meteorological Bureau, Linfen Shanxi

Received: Oct. 20th, 2024; accepted: Nov. 18th, 2024; published: Nov. 25th, 2024

Abstract

Using daily AQI data and meteorological data from Linfen City in 2022, as well as meteorological data from the same period, the air pollution diffusion meteorological condition level equation was calculated. Then, the static stability index from January to March 2023 was used to evaluate and analyze the obtained Linfen air pollution meteorological condition equation. The results showed that using the daily average concentration data as the daily air pollutant concentration data through

SPSS correlation analysis may cause the calculated value to be smaller. At the same time, the static stability index calculated using the daily average may also be smaller. If the maximum concentration and static stability index of a day are used to calculate the air pollution meteorological index value, the air pollution meteorological index value will be relatively larger.

Keywords

Air Pollution, Meteorological Conditions, Linfen City

Copyright © 2024 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

2013 年 9 月 1 日, 中国气象局正式开展空气污染气象条件预报工作, 为政府和环境保护部门应对重污染天气提供决策支撑。其中, 国家气象中心于每天 8 时和 20 时进行全国 24 小时空气污染气象条件预报。以是否有利于空气污染物稀释、扩散和清除为主要依据, 空气污染气象条件预报等级新标准从好到极差划分为六级。

临汾市空气污染给大气环境、群众健康、交通安全带来了严重影响, 已引起各级政府、社会公众和媒体的极大关注。就临汾市而言, 重污染天气预警提前量和预报准确率与政府决策、灾害防御及大气污染防治需求还有一定进步空间。为进一步加强空气污染扩散气象条件的预报业务, 为大气污染防治提供依据, 本课题将依据物理量指标建立预报方程, 实现空气污染气象条件分级预报, 为重污染天气预警提供有力依据。

2. 空气污染扩散气象条件等级介绍

根据中国气象局 2018 年发布的空气污染扩散气象条件等级行业标准空气污染扩散气象条件指的是对大气污染物的传输、稀释、聚积和清除等有影响的气象条件。其公式如下:

$$I_{t+1} = a_1 \times a_2 \times S_{t+1} + (1 - a_2) \times O_t$$

计算结果如下表 1 所示。

Table 1. Classification of meteorological conditions for air pollution diffusion

表 1. 空气污染扩散气象条件等级划分

等级	空气污染气象指数	描述
1 级	$0 < I < 100$	非常有利于污染物扩散
2 级	$100 \leq I < 150$	有利于污染物扩散
3 级	$150 \leq I < 185$	较不利于污染物扩散
4 级	$185 \leq I < 200$	不利于污染物扩散
5 级	$200 \leq I < 250$	很不利于污染物扩散
6 级	$I \geq 250$	极不利于污染物扩散

3. 数据与方法

采用 2022 年 1 月 1 日到 2022 年 12 月 31 日的临汾市逐日 AQI 数据和 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 O_3 、 NO_2 、

CO、SO₂等资料以及同时期的逐日静稳指数数据，来计算空气污染扩散气象条件等级公式。静稳指数计算公式为：

$$S = K1 + K2 + \cdots + K10$$

式中，S 为静稳指数；K1，K2，⋯，K10 分别为 10 个气象因子对应的分指数，基于污染天气发生频率高低评估气象因子对静稳天气影响的强弱，同时得到对应的分指数。

分指数计算公式为：

$$K_{in} = \frac{\frac{a_{in}}{a_{in} + b_{in}}}{\frac{a}{a + b}}$$

式中， K_{in} 为气象因子 i 在第 n 个区间的分指数， a_{in} 和 b_{in} 分别为统计期间内气象因子 i 分布在区间 n 的条件下污染天气和非污染天气的出现次数， a 和 b 分别为统计期间内污染天气和非污染天气的出现总次数。分指数值越大表明污染天气出现概率越高。由于各地大气污染程度不同，此处所指的污染天气和非污染天气对应的空气质量等级需根据各地情况确定，需要满足统计期间内污染天气出现频率大于或等于 15%，保证有足够的统计样本。

通过计算，得出临汾静稳指数构建因子见表 2。

Table 2. Construction factors of static stability index in Linfen City
表 2. 临汾静稳指数构建因子

序号	因子	备注
1	pt850	850 hPa 高度位温
2	uv_S	10 米风速
3	t92524h	925 hPa 高度 24 小时变温
4	d700	700 hPa 高度散度
5	hlfx	环流分型
6	pt10	不同高度位温差值(925 hPa~1000 hPa)
7	r1	不同高度相对湿度差值(500 hPa~700 hPa)
8	w500	500 hPa 高度垂直速度
9	t50024h	500 hPa 高度 24 小时变温
10	uv8	不同高度水平风速差值(850 hPa~925 hPa)
11	d500	500 hPa 高度散度
12	v500	500 hPa 高度水平风 V 分量(南北)

4. 空气污染扩散气象条件等级公式的计算

4.1. 常数 a_1 和 b_1 的计算

根据分析采用 PM_{2.5} 作为临汾主要空气污染物浓度。 a_1 的计算利用最新的完整的一年数据，通过静稳天气指数和观测大气污染物浓度数据，按照下面公式进行线性回归得到。这里采用 2022 年全年的逐日平均静稳指数作为 S_t ，采用 2022 年逐日 PM_{2.5} 平均值作为 O_t 。

$$O_t = a_1 \times S_t + b_1$$

式中：

S_t 表示 t 时刻的空气污染气象指数；

b_1 表示常数。

通过 SPSS 线性回归分析得到回归系数 a_1 和 b_1 分别为 $a_1 = 13.079$, $b_1 = -82.118$ 。
如下图 1 所示。

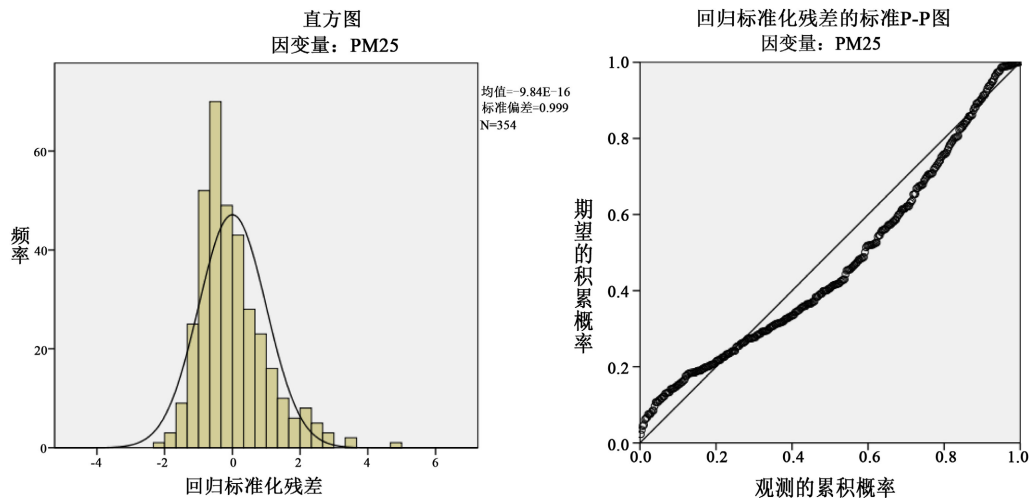


Figure 1. Obtain regression coefficients through SPSS linear regression analysis a_1 and b_1
图 1. 通过 SPSS 线性回归分析得到回归系数 a_1 和 b_1

4.2. 常数 a_2 和 b_2 的计算

a_2 的计算利用最新的完整的一年数据，通过静稳天气指数和观测大气污染物浓度数据按照下式进行线性回归得到。

$$O_{t+1} - O_t = a_2 \times (a_1 \times S_{t+1} + b_1 - O_t) + b_2$$

式中：

O_{t+1} 表示 $t + 1$ 时刻的观测大气污染物浓度；
 b_2 表示常数。
通过 SPSS 线性回归分析得到回归系数 a_2 和 b_2 分别为 $a_2 = 0.743$, $b_2 = 0.267$ 。
如下图 2 所示。

系数 ^a					
模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准 误差	试用版		
1 (常量)	0.743	1.199		0.620	0.536
	V3	0.267	0.031	0.415	8.686

a. 因变量: V2

Figure 2. Obtain regression coefficients through SPSS linear regression analysis a_2 and b_2
图 2. 通过 SPSS 线性回归分析得到回归系数 a_2 和 b_2

4.3. 空气污染气象指数的计算公式

综上，可以得到空气污染气象指数的计算公式：

$$I_{t+1} = 13.079 \times 0.743 \times S_{t+1} + (1 - 0.743) \times O_t$$

其中, O_{t+1} 表示 $t+1$ 时刻的空气污染气象指数, S_{t+1} 表示 $t+1$ 时刻的静稳天气指数, O_t 表示 t 时刻的观测大气污染物浓度。

5. 空气污染气象等级预报分析评估

选取 2023 年 1~3 月份进行首先, 使用 EC 再分析资料获取静稳指数十要素数据, 然后计算得到静稳指数的 S_{t+1} 预报值, 利用当日的 $PM_{2.5}$ 浓度数据作为空气污染物浓度 O_t , 计算得到 $t+1$ 的空气污染气象指数 I 值, 并得到 $t+1$ 时刻的空气污染扩散气象条件等级, 将计算结果与次日 AQI 实况进行对比分析评估。

下表 3 为根据公式计算出的 2023 年计算得到的空气污染气象指数。

Table 3. Comparative analysis of air pollution meteorological index in Linfen City from January 1st to 15th, 2023
表 3. 临汾 2023 年 1 月 1~15 日空气污染气象指数对比分析

日期	AQI	质量等级	PM2.5	静稳指数	I_{t+1}
2023/1/1	137	轻度污染	104	9.5775	
2023/1/2	215	重度污染	165	9.1725	115.8635757
2023/1/3	207	重度污染	157	10.4525	143.9792279
2023/1/4	185	中度污染	139	10.39	141.3158718
2023/1/5	210	重度污染	160	11.0625	143.2250231
2023/1/6	276	重度污染	226	8.885	127.4617378
2023/1/7	125	轻度污染	88	10.8125	163.1545988
2023/1/8	139	轻度污染	106	10.2925	122.6353964
2023/1/9	129	轻度污染	98	9.4475	119.0499424
2023/1/10	107	轻度污染	80	11.105	133.1010252
2023/1/11	140	轻度污染	107	12.23	139.4074343
2023/1/12	172	中度污染	130	11.75	141.6819398
2023/1/13	163	中度污染	124	9.6375	127.0643048
2023/1/14	46	优	23	7.685	106.5485014
2023/1/15	38	优	14	7.885	82.53504085

下面为计算出的 2023 年 1~3 月的空气污染气象指数, 并与 AQI 进行对比分析(图 3)。计算得到的空气污染气象指数根据等级划分可以看出明显偏小, 等级在一到三级之间。并未出现四到六级的数据。

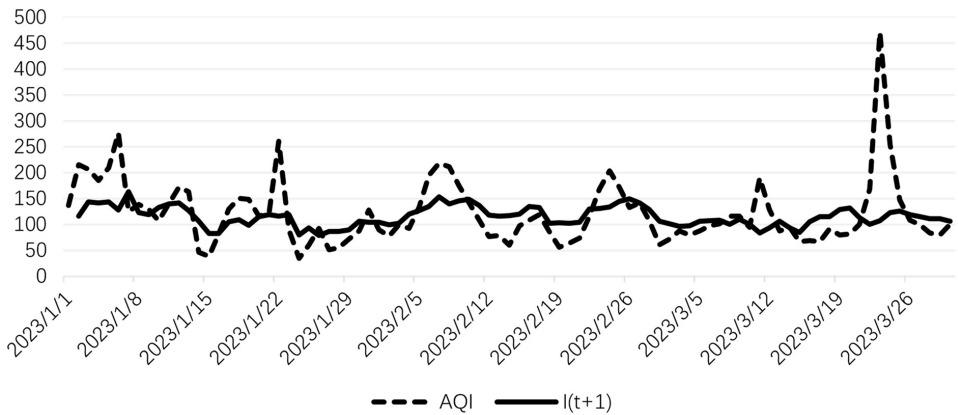


Figure 3. Comparative analysis of air pollution meteorological index and AQI in Linfen City from January to March 2023
图 3. 临汾 2023 年 1~3 月份空气污染气象指数与 AQI 对比分析

但是通过 SPSS 相关性分析可以看出,两者显著相关。相关性较好,在一定程度上还是可以反映准确的空气污染气象指数预报。

6. 结果与展望

计算时发现,将 $PM_{2.5}$ 浓度得日平均值数据作为日数据的空气污染物浓度 O_t 可能会使计算值偏小,同时,使用日平均值的静稳指数 S_t 计算得到的指数 I_{t+1} 也会偏小,如果使用一天中 $PM_{2.5}$ 浓度 O_t 的最大值和静稳指数 S_t 的最大值计算得出的空气污染气象指数 I_{t+1} 值会相对大一些。

计算静稳指数 S_t 时发现,静稳指数的值是根据选取的十要素计算得到,因为临汾地区的复杂地形等原因,每种要素的区间权重计算可能需要进一步改进,使得计算出的静稳指数更加符合临汾地区的实际情况,从而计算出更加准确的空气污染气象指数,使得空气污染扩散气象条件等级具有更好的参考意义。

基金项目

山西省临汾市气象局面上课题 LFKY202304。

参考文献

- [1] 朱蓉,徐大海,孟燕君,等.城市空气污染数值预报系统 CAPPS 及其应用[J].应用气象学报,2001(3): 267-278.
- [2] 李明明,王雁,闫世明,等.太原市静稳天气综合指数构建研究[C]//中国环境科学学会(Chinese Society for Environmental Sciences).中国环境科学学会 2021 年科学技术年会论文集(一).太原:山西省气象科学研究所,2021: 6.
- [3] 张恒德,张碧辉,吕梦瑶,等.北京地区静稳天气综合指数的初步构建及其在环境气象中的应用[J].气象,2017, 43(8): 998-1004.
- [4] 陈懿妮,罗玲,马昊,等.杭州市静稳天气指数构建及应用研究[J].环境科学学报,2020, 40(12): 4461-4469.
- [5] 张敏,蔡子颖,韩素芹,等.天津污染天气边界层温度层结变化特征及预报阈值确定[J].环境科学学报,2018, 38(6): 2270-2278.