

文章编号: 2096-1618(2020)01-0087-09

# 成都静稳天气综合指数的构建及其应用

栗培真, 向卫国, 张小玲  
(成都信息工程大学, 四川 成都 610225)

**摘要:**为定量描述大气静稳程度和预报空气质量,利用温江站2014–2018年常规气象观测资料及成都市空气质量监测数据,构建适合成都的静稳天气综合指数,分析静稳天气综合指数与空气质量指数及 $PM_{2.5}$ 浓度的相关关系,建立了空气质量预报模型。结果表明:优化后的静稳天气综合指数能较好地反映大气静稳程度,且与空气质量指数及 $PM_{2.5}$ 浓度有很好的相关性;利用静稳天气综合指数空气质量预报模型,在污染有无的预报上效果较好,对2018年冬季试预报的准确率达到68.4%。

**关键词:**气象学;环境气象;大气污染;静稳天气;静稳天气综合指数;构建;应用

**中图分类号:**P457

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2020.01.012

## 0 引言

大气污染已成影响人们日常生活的重大环境事件,近50年(1961–2011年),中国雾霾日出现的频率总体呈现上升的趋势,全国平均年雾霾天数也表现为显著的上升趋势<sup>[1–4]</sup>,雾霾天气相对高发区主要位于华北、华南地区及四川盆地。而静稳天气是雾霾生成并发展的重要因素之一,不利于污染物稀释扩散或沉降。静稳天气使大范围的近地面大气出现了风速小、湿度大、大气稳定的特征,易造成大气污染。另外特殊的地理环境也是一关键因素。四川盆地位于中国西南地区,北有秦岭和大巴山,南邻云贵高原,西邻青藏高原,东有巫山,盆底最大深度大于2000 m,属于深盆地形。成都市位于四川盆地的底部,四面环山,地形阻塞,极易出现逆温,成为中国静稳天气发生频次最高的地区之一<sup>[5–6]</sup>。

Caserini S等<sup>[7]</sup>通过来自两个不同意大利台站的历史探测数据以及区域气候模型提供的未来预测数据,分析意大利波河谷地区出现逆温及静稳天气的天数,预计在21世纪的最后十年,静稳天气的发生与1986–2005年的平均水平相比呈增加趋势。Tingting L等<sup>[8]</sup>采用再分析资料和降水资料,并结合2013–2016年冬季 $PM_{2.5}$ 浓度数据计算分析四川和重庆地区静稳天气对空气质量的影响,发现2013年静稳天气发生频率最高,2015年最低。四川盆地冬季的气象条件不利于大气扩散,静稳天气的在四个冬季发生频率平均达76.6%。四川盆地西部和南部的静稳天气对空气质量的影响最为明显。

中国目前也开展了与静稳天气综合指数及空气污染相关的研究工作。朱蓉等<sup>[9]</sup>开发了空气污染潜势指数(potential pollution index, PPI)以及空气污染指数(pollutant standard index, PSI),其中PPI定义为标准源强在实况下生成的浓度与在标准气象条件下产生的浓度的比值,反映了大气通风扩散稀释和干、湿沉降清除大气污染物的总能力,PSI对单种污染物而言,定义为真实源强在实际气象条件下产生的平均浓度对标准浓度的比值。杨元琴等<sup>[10]</sup>通过对“静稳型”天气的诊断分析,基于气压、气温、风、相对湿度、层结稳定度等敏感的气象条件,并引入大气凝结函数建立了空气质量气象条件(parameters linking air quality to meteorological elements, PLAM)预报模型,PLAM指数越高,气象条件越有利大气污染形成。赵娜等<sup>[11]</sup>运用2013–2016年河北省196个环境观测站资料和气象资料对河北省容易出现重污染的天气形势进行天气学分型,经过对河北省3个代表站2014–2016年静稳天气综合指数与污染物浓度的统计分析,结果表明静稳天气综合指数与大气污染之间有较好的关联性,静稳天气综合指数较高时不利于污染物扩散,此外还通过比照不同类型重污染天气下静稳天气综合指数值,得出天气分型与静稳天气综合指数的对应关系。

借鉴已有的研究成果,构建适合成都的静稳天气综合指数(stable weather index, SWI),定量描述大气的静稳水平,综合反映气象条件是否有利于产生大气污染。对于成都的污染气象条件预报、重大气象服务有积极作用,同时为政府相关部门重污染预警提供决策支持和科学参考依据,对于重污染天气有一定的指示意义,也能够一定程度上反映出政府节能减排措施

取得的成果,具有重要意义。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

地面常规观测资料和探空观测资料均为2014–2018年每日08 h、20 h的气象数据,来源于成都市温江区国家基准站(区站号56187),其中地面常规观测资料包括总云量、风速、气压、低云量、露点、温度、相对湿度等地面气象要素。

空气质量监测数据由成都市环境监测中心提供,数据包括2014–2018年逐日的空气质量指数(AQI)、质量等级、 $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、 $PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。

### 1.2 指数的构建方法

(1)在统计分析相关数据、结合文献调研的基础上,筛选与静稳天气形成相关的气象要素;

(2)根据各气象要素在静稳天气中的作用及其物理意义,确定各气象要素的阈值;

(3)按照各因子在相应的阈值范围内对静稳天气形成或持续作用的大小确定各气象要素权重;

(4)查找所有落在阈值范围内的因子,对其权重进行求和,最终得到静稳天气综合指数值。

### 1.3 混合层高度的计算方法

采用罗氏法又称经验数值计算方法计算混合层高度,它是由Nozaki等<sup>[12]</sup>提出的一种应用地面气象观测数据计算大气混合层高度的方法,该方法综合考虑地面温度、地面粗糙度等热力因子和动力因子来估算混合层高度<sup>[13]</sup>。具体计算公式为

$$MH = \frac{121}{6}(6 - P_{as})(T - T_d) + \frac{0.169P_{as}(U_z + 0.257)}{12f \ln(Z/Z_0)} \quad (1)$$

式中,MH为平均混合层高度(m); $P_{as}$ 为P-Pasquill大气稳定度等级; $U_z$ 为Z高度处的平均风速(m/s); $(T - T_d)$ 为温度露点差( $^{\circ}\text{C}$ ); $f$ 为地转参数( $\text{S}^{-1}$ ), $f = 2\Omega \sin\varphi$ 。 $\varphi$ 为观测点纬度, $\Omega$ 为地转角速度; $Z_0$ 是地表粗糙度(m)。

## 2 静稳天气综合指数的构建和改进

### 2.1 静稳天气综合指数的本地化改进构建

张恒德等<sup>[14]</sup>通过重污染过程气象要素统计分析并结合预报员经验构建了北京地区静稳天气综合指数,指

出构建静稳天气综合指数的方法可以推广,但不同地区与静稳天气形成相关的气象要素、阈值和权重均有所差异,特别是在权重的分配上更加依靠主观经验。

成都地区静稳天气综合指数主要根据风速、湿度、变温等气象因子及混合层高度、散度、垂直速度等显示大气温湿条件及热力动力状况的诊断物理量进行计算,可定量综合反映大气静稳程度,表征污染物的水平与垂直扩散及输送能力。根据成都地区具体情况构建本地静稳天气综合指数,主要步骤如下。

(1)筛选有关静稳天气形成的气象要素。统计分析2014–2018年成都温江站大气污染发生期间气象要素分布状况,根据文献、结合预报经验筛选具有明确物理意义、能够较好指示静稳天气的气象要素。最终选取特征层逆温、混合层高度、850 hPa垂直速度、10 m水平风速、850 hPa散度、相对湿度、24 h变压、24 h变温8个气象要素。

(2)确定各气象要素阈值。根据各气象要素在静稳天气中的作用及其物理意义,将各气象要素划分为合适的区间,统计分析大气污染发生期间各气象要素的阈值。

以10 m水平风速这个气象要素的阈值确定方法进行举例说明。通过查看数据,发现成都地区的风速多以0~3 m/s为主,3 m/s以上的风速出现的频次较少,最大风速为8 m/s左右。如表1~2所示,分别统计出成都地区08:00、20:00在主要风速的时段里各质量等级空气发生的频次及该时段里其所占的比例,将质量等级为轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染的空气合并为污染等级的空气。

由表1、表2横向比较可以看出随着风速的增加,大气污染发生的天数所占比例逐渐减小。通过纵向比较,发现08:00、20:00大气污染发生的天数所占比例在0 m/s、1 m/s的差别较小,而在2 m/s、3 m/s的差别较大。众所周知近地面水平风速对污染物的水平扩散有重要作用,可以衡量污染物的水平扩散速度。近地面水平风速较大时,有利于局地污染物的稀释扩散;近地面水平风速较小时,空气的交换能力差,不利于污染物水平输送,使污染状况加重<sup>[15–16]</sup>。这与表格所反映出的状况也较为一致。因此综合考虑,将10 m水平风速 $u$ 划分为 $u < 2$  m/s、 $2$  m/s  $\leq u < 3$  m/s、 $u \geq 3$  m/s的阈值区间。

(3)确定各气象要素权重。将每个气象要素和AQI、 $PM_{2.5}$ 浓度数据做相关性分析,根据相关性高低确定各气象要素的权重,相关性越高该气象要素所占的权重越大。同一因子不同阈值范围的权重是按照相应的范围内该因子对静稳天气形成作用的大小调配的,作用越大给予权重越高。

表 1 各质量等级空气发生的频次及所占比例与风速的对应统计结果(08:00)

空气质量等级	0 m/s	比例/%	1 m/s	比例/%	2 m/s	比例/%	3 m/s	比例/%
污染	76	43	347	38	31	20	2	6
良	99	56	473	52	90	58	19	56
优	1	1	90	10	34	22	13	38

表 2 各质量等级空气发生的频次及所占比例与风速的对应统计结果(20:00)

空气质量等级	0 m/s	比例/%	1 m/s	比例/%	2 m/s	比例/%	3 m/s	比例/%
污染	48	38	275	35	94	34	29	33
良	70	56	423	54	146	52	38	43
优	7	6	82	11	39	14	21	24

(4)计算静稳天气综合指数。为了综合各因子的作用,对所有落在阈值范围内的因子权重求和,最终得到静稳天气综合指数值。若气象要素值在阈值范围内则表示该物理量支持静稳天气的形成,有利于大气污染的发生。若不在阈值范围内,则表示该因子在计算静稳天气综合指数中的贡献为零,即其权重为零。

静稳天气综合指数(SWI)的计算公式如下:

$$SWI = X_{IL} + X_{MH} + X_{\omega} + X_u + X_{div} + X_{RH} + X_{\Delta P_{24}} + X_{\Delta T_{24}} \quad (2)$$

式中,  $X_{IL}$ 、 $X_{MH}$ 、 $X_{\omega}$ 、 $X_u$ 、 $X_{div}$ 、 $X_{RH}$ 、 $X_{\Delta P_{24}}$ 、 $X_{\Delta T_{24}}$  分别为特征层逆温、混合层高度、850 hPa垂直速度、10 m水平风速、850 hPa散度、相对湿度、24 h变压、24 h变温 8 个气象要素的权重。各气象要素的阈值和权重的具体分配如表 3 所示。

表 3 计算成都地区静稳天气综合指数的气象要素、阈值和权重

气象要素	阈值	权重
特征层逆温	850 ~ 970 hPa 存在逆温	3
	700 ~ 850 hPa 存在逆温	2
混合层高度	<300 m	4
	300 ~ 800 m	2
850 hPa 垂直速度	800 ~ 1300 m	1
	<1 Pa/s	1
10 m 水平风速	<2 m/s	4
	≥3 m/s	1
850 hPa 散度绝对值	<7×10 <sup>-5</sup> s <sup>-1</sup>	1
	80% ~ 98%	4
相对湿度	70% ~ 80%	3
	60% ~ 70%	2
	40% ~ 60%	1
24 h 变压	<7 hPa	2
24 h 变温	<4 ℃	2

## 2.2 静稳天气综合指数的改进效果

静稳天气综合指数与 AQI、PM<sub>2.5</sub> 浓度的对应关系如图 1、图 2 所示,从全年来看,与原静稳天气综合指数相比,优化后的静稳天气综合指数和 AQI、PM<sub>2.5</sub> 浓度分布的离散程度更小。

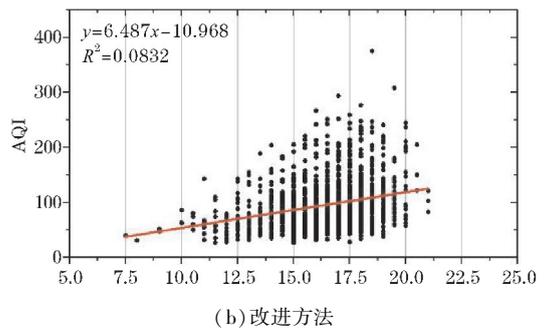
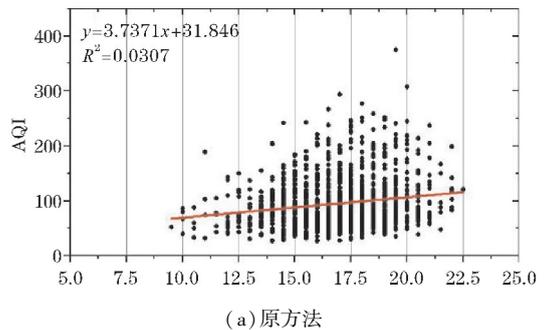


图 1 2014–2018 年原有的和改进的静稳天气综合指数与 AQI 分布

从静稳天气综合指数与 AQI、PM<sub>2.5</sub> 浓度的相关系数来看,静稳天气综合指数与二者的相关性表现为较弱的正相关,其中原静稳天气综合指数与 PM<sub>2.5</sub> 浓度的相关系数为 0.21,与 AQI 的相关系数为 0.17,而改进后的静稳天气综合指数与 PM<sub>2.5</sub> 浓度的相关系数为 0.29,与 AQI 的相关系数为 0.29。以上相关系数均通过了 0.01 水平上的显著性检验。

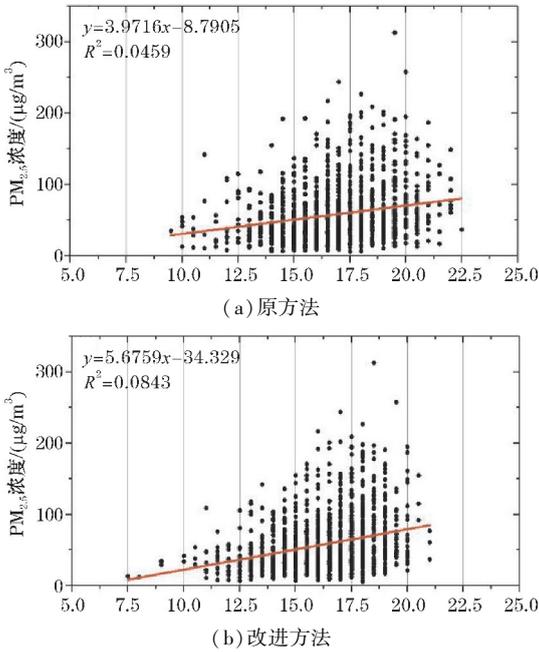


图2 2014-2018年原有的和改进的静稳天气综合指数与 $PM_{2.5}$ 浓度分布

考虑到大气污染物的累积效应,还进行了静稳天气综合指数与AQI、 $PM_{2.5}$ 浓度二者的后延相关计算,

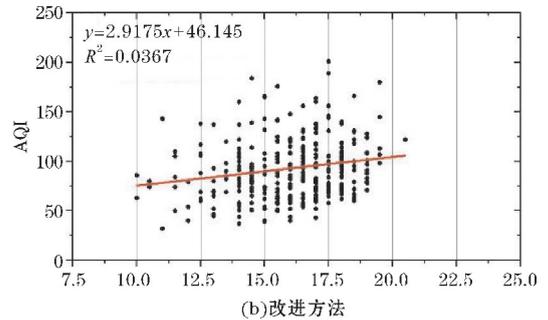
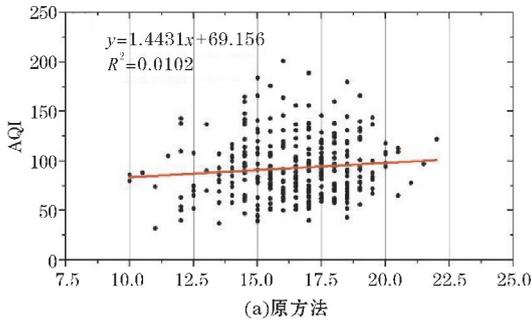


图3 2014-2018年春季原有的和改进的静稳天气综合指数与AQI分布

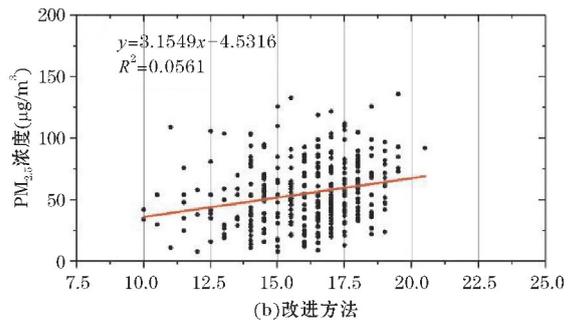
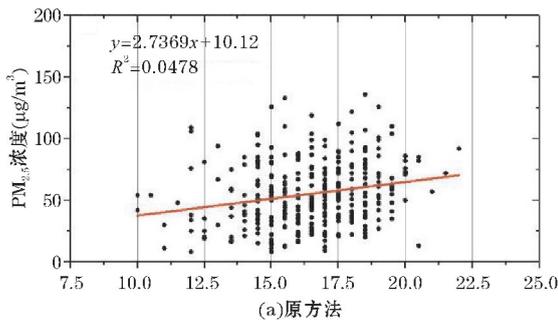


图4 2014-2018年春季原有的和改进的静稳天气综合指数与 $PM_{2.5}$ 浓度分布

从效果更加直观的相关系数来看,具体对比结果如表4所示,无论是原相关系数,还是后延相关系数,改进后的静稳天气综合指数和AQI、 $PM_{2.5}$ 浓度的相关系数均有提高,且后延相关系数均高于原本的相关系数,这与前面的分析结果基本一致。

在污染程度较轻的春夏季节,相关性不是那么好,有个别月份的相关系数甚至为负数,表现为负相关。在污染程度较重的秋冬季节,无论是原静稳天气综合

即用前一天的静稳天气综合指数与后一天的AQI、 $PM_{2.5}$ 浓度求相关系数。全年来看,原静稳天气综合指数与AQI的后延相关系数为0.21,与 $PM_{2.5}$ 浓度的后延相关系数为0.25,而改进后的静稳天气综合指数与AQI的后延相关系数为0.35,与 $PM_{2.5}$ 浓度的后延相关系数为0.37。以上相关系数和后延相关系数均通过了0.01水平上的显著性检验。可以看到后延相关系数与原本的相关系数相比有所提高,表明在某种程度上前一天的静稳天气综合指数对后一天的空气质量有一定的参考意义,而改进后的静稳天气综合指数的后延相关系数与原静稳天气综合指数相比又有所提高,表明其有更好的指示意义。

考虑到季节差异,将3-5月归为春季,6-8月归为夏季,9-11月归为秋季,12月-次年2月归为冬季,分季节分析了静稳天气综合指数与AQI、 $PM_{2.5}$ 浓度的对应关系,见图3~10。总的来说与原静稳天气综合指数相比,优化后的静稳天气综合指数和AQI、 $PM_{2.5}$ 浓度分布的离散程度均变得更小,有着较好的相关性,各季节均表现为良好的正相关。

指数,还是改进后的静稳天气综合指数,它们的相关系数均达到了0.3左右,后延相关系数均达到了0.37以上,而改进后的静稳天气综合指数的后延相关系数更是达到了0.4以上,相关性有所改善。若从1月单独来看,改进后的静稳天气综合指数和AQI、 $PM_{2.5}$ 浓度的后延相关系数更是都达到了0.5,以上结果说明改进后的静稳天气综合指数在污染较严重的月份可以更好地表征大气污染的状况。

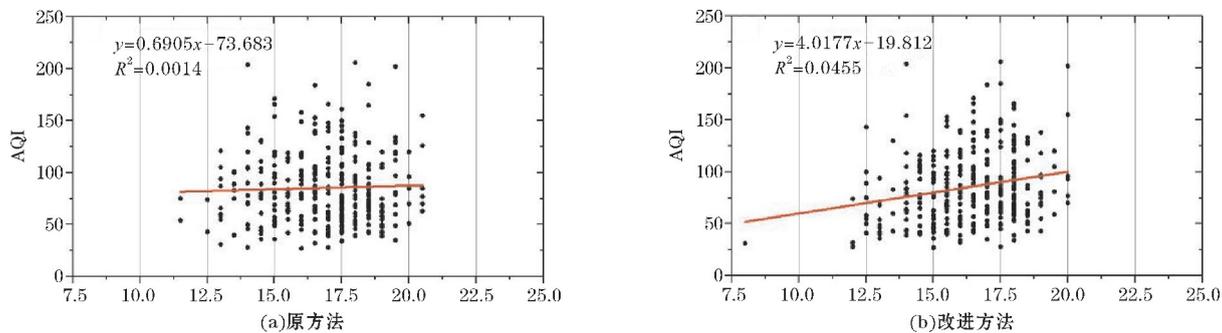


图 5 2014-2018 年夏季原有的和改进的静稳天气综合指数与 AQI 分布

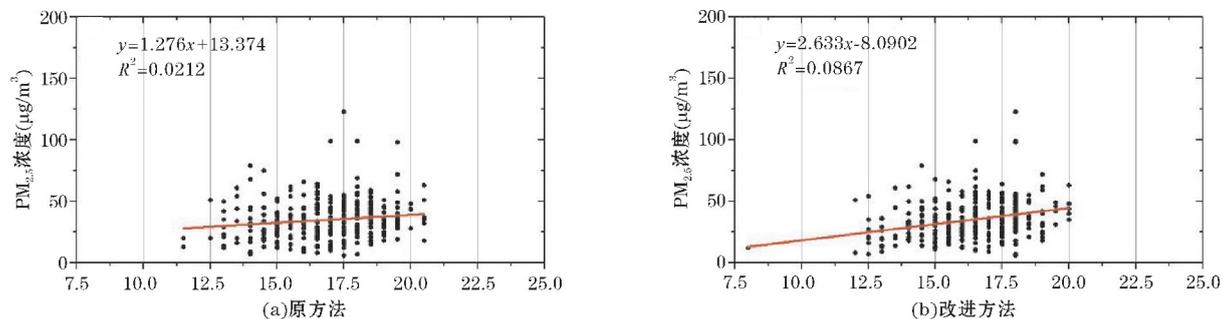


图 6 2014-2018 年夏季原有的和改进的静稳天气综合指数与 PM<sub>2.5</sub> 浓度分布

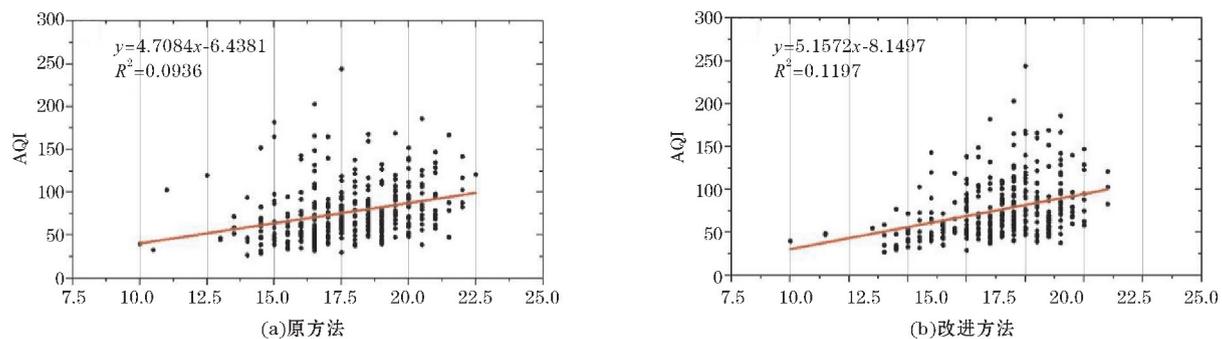


图 7 2014-2018 年秋季原有的和改进的静稳天气综合指数与 AQI 分布

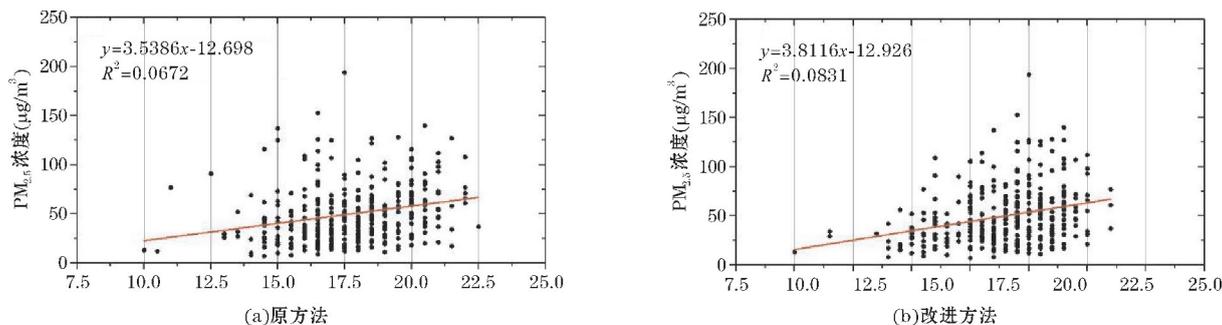


图 8 2014-2018 年秋季原有的和改进的静稳天气综合指数与 PM<sub>2.5</sub> 浓度分布

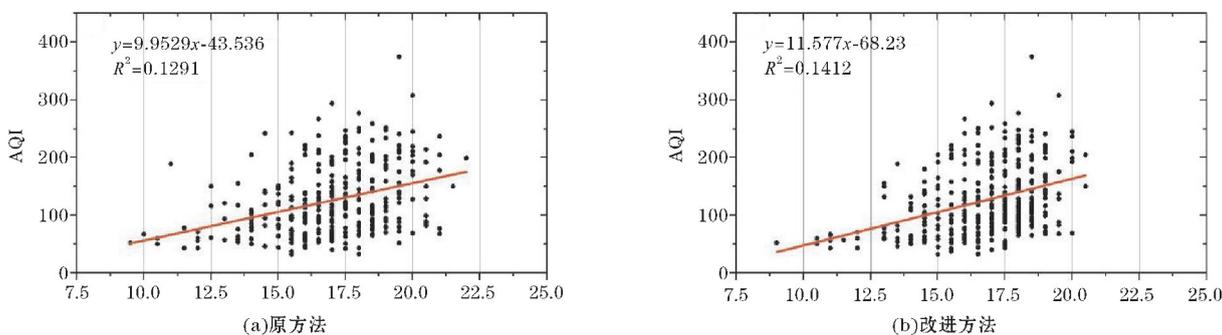
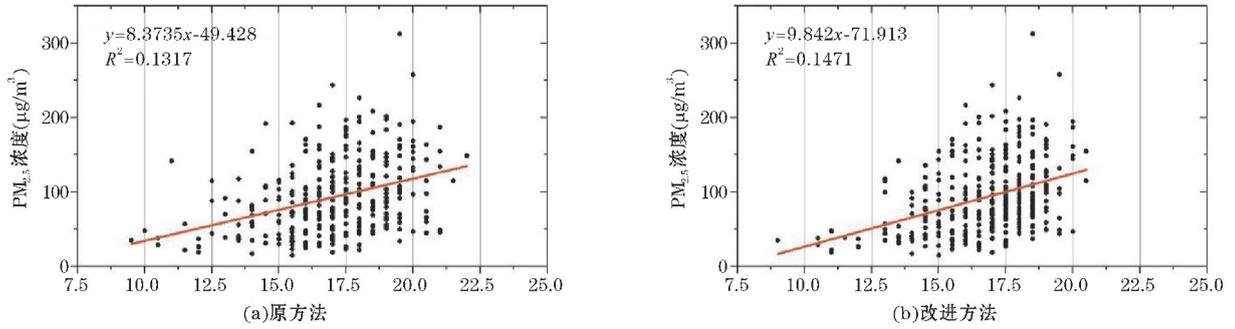


图 9 2014-2018 年冬季原有的和改进的静稳天气综合指数与 AQI 分布

图10 2014-2018年冬季原有的和改进的静稳天气综合指数与PM<sub>2.5</sub>浓度分布表4 SWI与AQI、PM<sub>2.5</sub>相关系数对比表

季节	SWI与AQI相关系数		SWI与PM <sub>2.5</sub> 相关系数		SWI与AQI后延相关系数		SWI与PM <sub>2.5</sub> 后延相关系数	
	原	改进	原	改进	原	改进	原	改进
春季	0.10**	0.19*	0.22*	0.24*	0.16*	0.25*	0.26*	0.32*
夏季	0.04	0.21*	0.15*	0.29*	0.08***	0.21*	0.16**	0.32*
秋季	0.30*	0.35*	0.25*	0.29*	0.37*	0.44*	0.38*	0.44*
冬季	0.36*	0.38*	0.36*	0.38*	0.38*	0.46*	0.39*	0.47*

注: \*是在0.01水平上显著相关, \*\*是在0.05水平上显著相关, \*\*\*是在0.1水平上显著相关。

### 3 静稳天气综合指数的应用

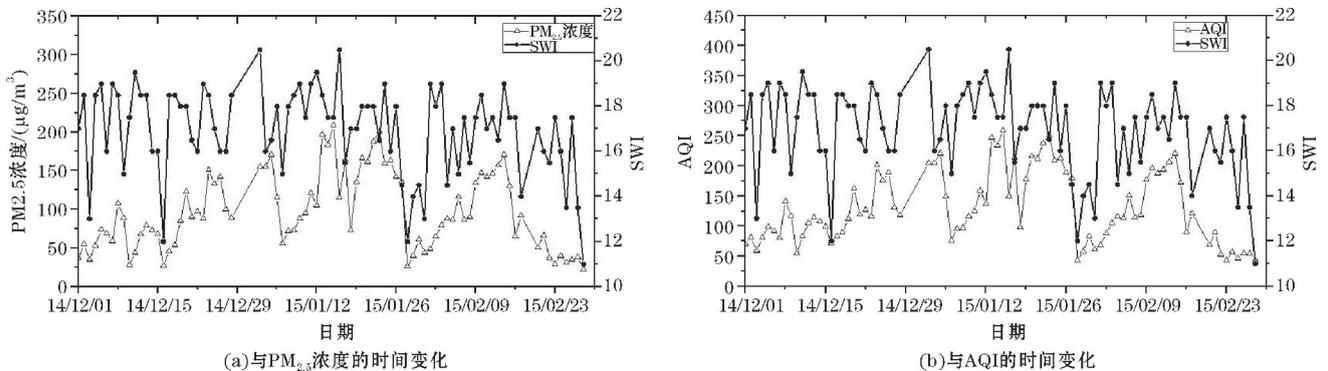
通过前面的分析了解到,改进后的静稳天气综合指数在污染较为严重的冬季表现出更好的效果,所以重点对冬季的静稳天气综合指数与空气质量进行分析,并对静稳天气综合指数SWI与AQI、PM<sub>2.5</sub>浓度分别进行线性拟合,尝试根据静稳天气综合指数来预报空气质量。

#### 3.1 静稳天气综合指数与空气质量的关系

对近几年冬季的静稳天气综合指数与AQI、PM<sub>2.5</sub>的关系进行分析。图11~13给出的分别是2014-2015年冬季、2016-2017年冬季、2017-2018年冬季成都地区PM<sub>2.5</sub>浓度值、AQI值与静稳天气综合指数的时间序列分布,由于2015年12月某些气象数据缺失,未进行分析。从图中能够看出,PM<sub>2.5</sub>浓度、AQI的演变与静稳天气综合指数的变化之间有较好的对应关系,呈正相关的特征。当静稳天气综合指数增大时,PM<sub>2.5</sub>

浓度逐步增大,AQI值逐步升高;当静稳天气综合指数逐渐减小时,PM<sub>2.5</sub>浓度逐步减小,AQI值逐步下降。另外还可以看到静稳天气综合指数的变化在时间上具有一定的超前性,这从侧面也说明了前1日的静稳天气综合指数对次日的空气质量有一定的参考意义。因此当静稳天气综合指数逐渐增大时,说明大气污染状况正在加剧,空气质量变差,当静稳天气综合指数逐渐减小时,说明大气污染状况正在减弱,空气质量转好。以上分析表明静稳天气综合指数可较好地表现气象条件在大气污染状况转变中的贡献。

此外,按照前面所给出的静稳天气综合指数的计算方法计算出成都地区2014-2017年冬季每日08:00、20:00的静稳天气综合指数值。然后按照AQI值对08:00、20:00的空气质量进行级别划分,其中AQI ≥ 101为污染等级,100 ≤ AQI ≤ 51为良等级,0 ≤ AQI ≤ 50为优等级。最后选取空气质量为同一级别的当日的两个时次的静稳天气综合指数值,以两个时次的静稳天气综合指数值的平均值作为该级别空气质量所对应的静稳天气综合指数值。具体的计算结果见表5。

图11 2014-2015年冬季静稳天气综合指数与PM<sub>2.5</sub>浓度、AQI的时间变化

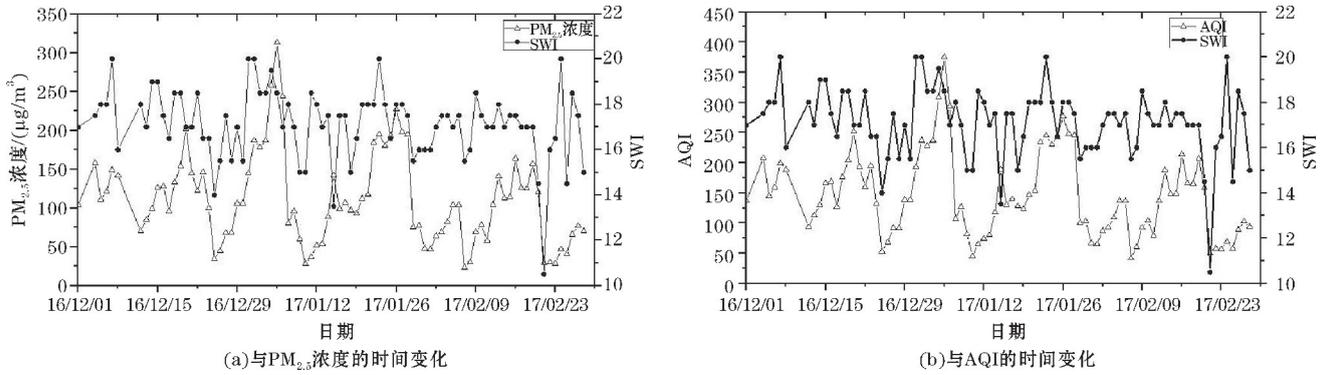


图 12 2016-2017 年冬季静稳天气综合指数与 PM<sub>2.5</sub> 浓度、AQI 的时间变化

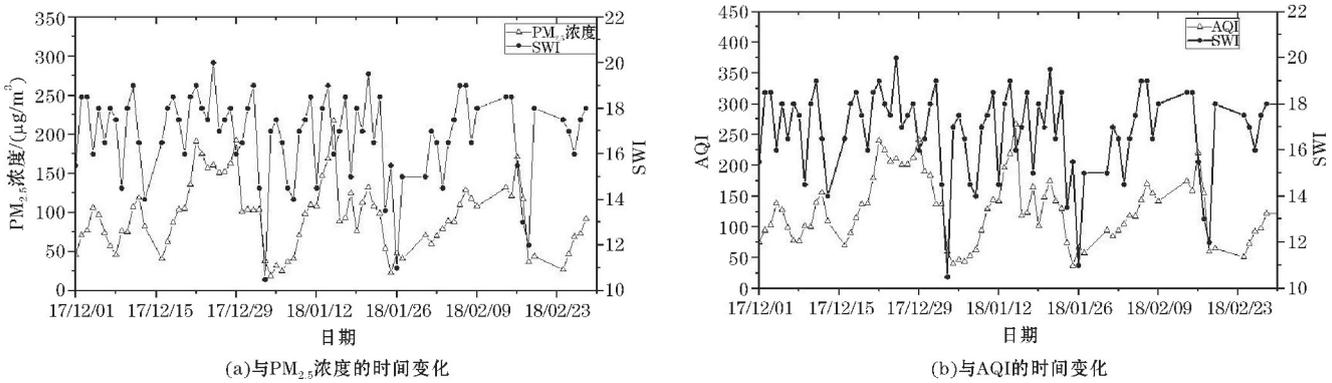


图 13 2017-2018 年冬季静稳天气综合指数与 PM<sub>2.5</sub> 浓度、AQI 的时间变化

表 5 2014-2017 年冬季成都地区 AQI 与静稳天气综合指数关系

AQI	0 ~ 50	51 ~ 100	≥101
空气质量等级	优	良	污染
08:00 指数平均值	13.7	17.3	18.3
20:00 指数平均值	13.5	15.7	16.7
指数总平均值	13.6	16.5	17.5

由表 5 可以看出静稳天气综合指数可以在一定程度上表征大气的污染程度,两者基本上呈一个正相关的关系。当平均状态下的静稳天气综合指数值小于 16.5 时,空气质量可达到优或良级别,不易出现污染天气;静稳天气综合指数值介于 13.6-17.5 时,空气质量达到良级别;静稳天气综合指数值大于 16.5 时,空气质量可达到良或污染级别,易出现污染天气。

经统计,2018 年冬季空气质量达到污染等级(AQI ≥101)的个例有 38 d,其中静稳天气综合指数值大于 16.5 的有 21 d,占比达 55.3%;空气质量达到良好等级(51 ≤ AQI ≤ 100)的个例有 34 d,其中静稳天气综合指数介于 13.6-17.5 的有 21 d,占比达 61.8%;空气质量达到优等级(0 ≤ AQI ≤ 50)的个例有 7 d,其中静稳天气综合指数小于 16.5 的有 5 d,占比达 71.4%。以上的统计情况说明了在一定范围内静稳天气综合指数对分级空气质量有较好的指示意义。

### 3.2 根据静稳天气综合指数预报空气质量

根据前面分析,在某种程度上静稳天气综合指数对空气质量的预报有一定的参考意义。所以尝试用静稳天气综合指数 SWI 与空气质量指数 AQI、PM<sub>2.5</sub> 浓度分别进行线性拟合,来预报空气质量。对 2014 年-2017 年冬季的 258 个数据进行同步线性拟合,得到如下关系式:

$$AQI = 12.438 \times SWI - 79.67 \quad (3)$$

$$PM_{2.5} = 10.708 \times SWI - 84.084 \quad (4)$$

先进行拟合检验,即用 2014-2017 年冬季的 258 个数据通过式(3)、(4)得到 AQI、PM<sub>2.5</sub> 浓度,然后计算出其与实际的 AQI、PM<sub>2.5</sub> 浓度之间的相对误差,统计出相对误差绝对值小于等于 20% 的数量。其中在 AQI 样本中,拟合准确率为:72/258 = 27.9%;在 PM<sub>2.5</sub> 浓度样本中,拟合准确率为:71/258 = 27.5%。

然后进行试预报检验,即用 2018 年冬季的 79 个数据通过(3)、(4)式得到预报的 AQI、PM<sub>2.5</sub> 浓度,然后计算出二者与实际的 AQI、PM<sub>2.5</sub> 浓度之间的相对误差,统计出相对误差小于 20% 的数量。其中对 AQI 的拟合准确率为:30/79 = 38.0%;对 PM<sub>2.5</sub> 浓度的拟合准确率为:21/79 = 26.6%。

接下来结合实际状况分别按照 AQI、PM<sub>2.5</sub> 浓度对

2018年冬季79个空气质量数据,定义浓度标准,进行污染有无的试预报。其中AQI划分标准为:AQI $\geq$ 100为有污染,AQI $<$ 100为无污染,有无污染试预报的准确率为 $47/79=59.5\%$ 。PM<sub>2.5</sub>浓度划分标准为:PM<sub>2.5</sub>浓度 $\geq 72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 为有污染,PM<sub>2.5</sub>浓度 $<72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 为无污染,有无污染试预报的准确率为 $47/79=59.5\%$ 。

另外还用静稳天气综合指数SWI与AQI、PM<sub>2.5</sub>浓度分别进行了后延线性拟合,即将用前一天的数据计算出的SWI与次日的AQI、PM<sub>2.5</sub>浓度分别进行线性拟合。对2014年-2017年冬季的数据进行后延线性拟合,得到如下关系式:

$$\text{AQI}(T) = 15.216 \times \text{SWI}(T-1) - 126.43 \quad (5)$$

$$\text{PM}_{2.5}(T) = 13.315 \times \text{SWI}(T-1) - 127.919 \quad (6)$$

与上述检验步骤一样,先进行拟合检验。其中在AQI样本中,拟合准确率为: $84/252=33.3\%$ ;在PM<sub>2.5</sub>浓度样本中,拟合准确率也为: $81/252=32.1\%$ 。

然后进行试预报检验,其中对AQI拟合的准确率为: $33/76=43.4\%$ ;对PM<sub>2.5</sub>浓度拟合的准确率为: $27/76=35.5\%$ 。

对2018年冬季进行污染有无的试预报,其中对

AQI有无污染试预报的准确率为: $51/76=67.1\%$ ;对PM<sub>2.5</sub>浓度有无污染试预报的准确率为: $52/76=68.4\%$ 。

将以上的检验结果进行汇总,具体情况见表6。横向比较可以看出,不论是采用同步线性拟合方式,还是采用后延线性拟合方式,AQI、PM<sub>2.5</sub>浓度试预报检验准确率均高于拟合检验的准确率,而污染有无的预报检验的准确率又明显高于试预报检验的准确率。纵向比较可以看出,在拟合检验、试预报检验及污染有无的预报检验结果中,采用后延线性拟合的方式得到的AQI、PM<sub>2.5</sub>浓度相比于同步线性拟合方式得到的结果来说,准确率更高。

后延线性拟合的方式在通过AQI、PM<sub>2.5</sub>浓度对空气质量进行污染有无的预报时,其准确率最高。其中对非污染级别的空气质量的指示效果较差,而对污染级别的空气质量的指示效果较好。这与3.2节中分析得到的结果较为一致。总的来说,后延线性拟合相较于同步线性拟合的结果来说,预报空气质量的准确率更高,效果更好。

表6 准确率汇总表

%

拟合方式	拟合准确率		试预报准确率		试预报准确率(有无)	
	AQI	PM <sub>2.5</sub> 浓度	AQI	PM <sub>2.5</sub> 浓度	AQI	PM <sub>2.5</sub> 浓度
同步线性	27.9	27.5	38.0	26.6	59.5	59.5
后延线性	33.3	32.1	43.4	35.5	67.1	68.4

综合来看,前1日的静稳天气综合指数对次日的空气质量有一定的参考价值,能够在一定范围内根据历史资料统计静稳天气综合指数与分级AQI、PM<sub>2.5</sub>浓度之间的对应关系来预估次日的空气质量。

## 4 结论

利用2014-2018年成都空气质量监测资料和温江站的气象资料,构建并改良了适合成都地区的静稳天气综合指数(SWI),分析了静稳天气综合指数与空气质量指数AQI及PM<sub>2.5</sub>浓度的相关关系及其演变特征,最后讨论了指数的相关应用,结论如下:

(1)构建的成都静稳天气综合指数,能较好地表征成都地区大气对污染物的水平与垂直扩散及输送能力。

(2)优化后的静稳天气综合指数与空气质量有更好的相关性,其后延相关系数比同步相关系数高,在冬季相关系数更高,达到了0.4以上。

(3)分析了近几年冬季的静稳天气综合指数与

AQI及PM<sub>2.5</sub>浓度的相关关系及其演变特征,其具备较好的对应关系,在空气质量发生转折时有较好的指示作用。

(4)尝试用静稳天气综合指数预报AQI、PM<sub>2.5</sub>浓度,检验发现后延线性拟合的污染有无预报效果更好。进行有无污染预报时的效果最好,准确率达到68.4%。

由于影响大气污染物的因素是多方面的,不仅取决于气象条件,还有污染源及外来输送等多种综合因素,因此得到的成都地区静稳天气综合指数在应用时有一定的局限性,还需进一步的深入分析和研究。

## 参考文献:

- [1] 丁一汇,柳艳菊.近50年我国雾和霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系[J].中国科学:地球科学,2014,44(1):37-48.
- [2] 高歌.1961-2005年中国霾日气候特征及变化分析[J].地理学报,2008,63(7):761-768.
- [3] 张小曳,孙俊英,王亚强,等.我国雾-霾成因及

- 其治理的思考[J]. 科学通报, 2013, 58(13): 1178-1187.
- [4] 张建忠, 孙瑾, 缪宇鹏. 雾霾天气成因分析及应对思考[J]. 中国应急管理, 2014(1): 16-21.
- [5] 顾清源, 徐会明, 陈朝平, 等. 四川盆地大雾成因剖析[J]. 气象科技, 2006, 34(2): 162-165.
- [6] 文雯, 李国平. 成都市大气水汽与空气质量关系的研究[J]. 环境科学学报, 2019, 39(5): 1433-1442.
- [7] Caserini S, Giani P, Cacciamani C, et al. Influence of climate change on the frequency of daytime temperature inversions and stagnation events in the Po Valley: historical trend and future projections[J]. Atmospheric Research, 2017, 184: 15-23.
- [8] Tingting L, Ke G, Wanting J, et al. Air stagnation and its impact on air quality during winter in Sichuan and Chongqing, southwestern China[J]. Science of The Total Environment, 2018, 635: 576-585.
- [9] 徐大海, 朱蓉. 大气平流扩散的箱格预报模型与污染潜势指数预报[J]. 应用气象学报, 2000, 11(1): 1-12.
- [10] 杨元琴, 王继志, 侯青, 等. 北京夏季空气质量的气象指数预报[J]. 应用气象学报, 2009, 20(6): 649-655.
- [11] 赵娜, 马翠平, 李洋, 等. 河北重度污染天气分型及其气象条件特[J]. 干旱气象, 2017, 35(5): 839-846.
- [12] Nozaki K Y. Mixing Depth Model Using Hourly Surface Observations[R]. Report 7053, 1973.
- [13] 周颖, 向卫国. 四川盆地大气混合层高度特征及其与AQI的相关性分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2018, 33(5): 562-571.
- [14] 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.
- [15] 刘建, 范绍佳, 吴兑, 等. 珠江三角洲典型灰霾过程的边界层特征[J]. 中国环境科学, 2015, 35(6): 1664-1674.
- [16] 邵梦琪, 甘维金, 向卫国. 2017年初一次四川重污染过程气象条件综合分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2018, 33(2): 212-219.

## Construction and Application of Stable Weather Index of Chengdu

LI Peizhen, XIANG Weiguo, ZHANG Xiaoling  
(Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to quantitatively describe the stable degree of the atmosphere and predict air quality, the stable weather index (SWI) suitable for Chengdu was constructed using conventional meteorological observation data of 2014-2018 in Wenjiang Station and air quality monitoring data of 2014-2018 in Chengdu. Then the correlation among stable weather index and air quality index and  $PM_{2.5}$  concentration was analyzed, and an air quality forecast model was established. The results can be concluded as follows: The improved stable weather index can better reflect the stable degree of the atmosphere, and it has a good correlation with air quality index and  $PM_{2.5}$  concentration. Using the air quality forecasting model of stable degree weather index, the forecast of whether air pollution exists or not has a better effect, with the accuracy rate reaches 68.4% in winter of 2018.

**Keywords:** meteorology; environmental meteorology; atmosphere pollution; static and stable weather; stable weather index; construction; application