

重庆市空气污染扩散气象条件指标研究

胡春梅 刘德 陈道劲

(重庆市气象台, 重庆 401147)

摘要 根据地面常规要素、L 波段雷达探测资料风速和温度与污染指数(API: Air Pollution Index)的相关性, 建立空气污染扩散条件的综合气象指数(A), 按指数大小分类确定潜势预报指标, 并应用历史同期气候概率作空气污染潜势预报。通过相关分析发现: 与 API 关系密切的不是 20:00 的气象要素而是 08:00 的气象要素; 地面要素中, 对污染物浓度影响最大的是 08:00 的 24 h 变压, 而温度的高低对 API 影响因季节而不同; L 波段雷达资料中, 150 m 风速、300 m 和地面温差与 API 相关性较好。由相关性好的上述 3 个要素构造的综合气象指数及确定的扩散条件预报指标是合理的, 在实际业务预报中, 预报效果较好。

关键词 空气污染 K 均值 气候概率 潜势预报

引言

重庆作为老牌的工业城市, 随着经济的快速发展, 大气污染便成了亟待解决的严重问题。主城区的空气质量在全国 47 个大中城市排名中经常倒数几位, 严重的大气污染影响了市民的生活质量和招商投资环境。为了营造良好的生存空间及投资环境, 市政府制定了“蓝天行动”实施方案, 结合此方案, 开展重庆市空气污染潜势预报研究具有十分重要的意义。

关于空气污染潜势预报, 美国从 20 世纪 70 年代已经开始了研究工作, 一般通过确定空气的滞留区域, 预报可能出现严重污染的气象条件^[1]。我国气象专家在空气污染预报方面也做了许多研究工作: 通过计算混合层高度用高斯模式和箱格模式预报污染物长期平均浓度^[2]; 考虑气象要素及不同的天气形势影响, 利用加权方法得到空气污染潜势指数^[3]; 将污染物指数与气象要素建立非线性关系, 建立空气污染潜势预报统计模型^[4]; 利用大气平流扩散箱格模型确定潜势指数^[5], 用中尺度模式做污染气象条件预报^[6]等。虽然模式预报发展迅速, 但由于模式所需的资料限制, 就预报准确率而言, 仍是统计模型较高^[7]。本文主要应用统计方法开展重庆市

主城区的空气污染潜势预报研究。通过气象要素与污染指数 API 的相关分析^[8~10], 建立空气污染扩散条件的综合气象指数, 根据指数分类按历史同期气候概率大小做空气污染潜势预报^[11]。文中用到地面常规观测资料和 L 波段探空雷达资料, 这将更有利于了解重庆主城区近地层的动力、热力特征, 并能了解影响重庆空气污染的气象要素^[12]及利于污染物扩散的气象条件。

1 资料和方法

在相关分析时使用的地面常规观测资料, 为重庆市沙坪坝测站的日平均风速、日最低及最高气温、日平均气压、24 h 变压(包括 08:00 和 20:00); L 波段雷达资料(包括 08:00 和 20:00): 30 m、50 m、100 m、150 m、200 m、250 m、300 m 高度的风速、温度; 重庆市主城区主要污染物日平均浓度的 API。由于获取的 API 资料从 2001 年开始, 所以, 地面常规观测资料也从 2001 年开始, 具体时间从 2001 年 1 月 1 日到 2006 年 10 月 31 日。L 波段资料从 2005 年 1 月 1 日到 2006 年 10 月 31 日。

将地面常规观测资料、L 波段雷达资料分季节与对应的主要污染物 API 指数进行相关分析, 找出相关好的因子, 对相关好的因子作归一化处理, 计算

“重庆主城区空气质量潜势综合指标方法研究”项目资助

作者简介: 胡春梅, 女, 1979 年生, 硕士, 工程师, 主要从事环境气象方面的研究工作, Email: huchunmei1212@sohu.com

收稿日期: 2008 年 3 月 20 日; 定稿日期: 2009 年 5 月 6 日

公式如下：

$$X = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

其中， X 为待归一化处理的变量， $X_{\min}$ 为变量的最小值， $X_{\max}$ 为变量的最大值，综合归一化处理后的因子组合成空气污染扩散条件的综合指数 A ：

$$A = n + (B_1 + B_2 + \cdots + B_i) - (C_1 + C_2 + \cdots + C_n)$$

其中 B_i 为第 i 个相关性好且相关系数为正入选因子， C_n 为第 n 个相关性好且相关系数为负入选因子， n 是为了保证 A 为正值人为加入的一个正整数(与 C_n 中的 n 相同)。

将计算出的 A 值进行 K 均值聚类分析，分为 5 类，并分别计算出 5 类所对应的样本数占总样本数的百分比，再分析每类 A 值所对应的 API 情况，调整百分比，根据调整后的百分比定义每类出现的概率。对应 5 类分类样本数概率定义 5 个气象等级指标：1 级，非常利于污染物扩散；2 级，利于污染物扩散；3 级，较有利于污染物扩散；4 级，不利于污染物扩散；5 级，极不利于污染物扩散。

2 相关分析

2.1 地面常规要素与 API 关系

将 08:00 的资料作相关分析(表 1)。从相关系

数的大小比较，24 h 变压与 API 相关性较好。另外，从正负相关性看，日平均风速、日平均气压、24 h 变压及 24 h 降水量与 API 呈负相关，即地面风速越大、气压越高、正变压越大，降水越明显越利于污染物扩散。这与有关统计结果相符，一般认为，冷锋后、高压前部或高压控制，是利于污染物扩散的天气形势；而小低压、均压场、鞍形场不利于污染物扩散。地面气温与 API 的关系因季节而不同，最高气温在春、冬两季与 API 呈正相关非常显著，且相关系数通过了 0.01 的显著性水平检验，而秋季正相关系数很小，夏季表现为弱的负相关，这与夏季午后易发生热对流天气关系密切。在晴朗的白天，风速较小，太阳辐射使地面温度上升，容易形成上下空气的对流扰动，加之西南季风盛行，水汽充沛，易发生短时强对流天气，降水的冲刷作用使大气中的污染物浓度有一定程度降低，因此呈现出弱的负相关。日最低气温与 API 在秋冬季呈正相关，夏秋季为负相关，夏季负相关系数较高。在夜间，夏秋季最低温度明显高于秋冬季，因热力条件的差异，秋冬季上下空气对流比夏秋季扰动弱，大气层结稳定频率高，这与逆温及大雾的季节监测结果相一致，稳定的大气状态使气态污染物、气溶胶粒子等不易扩散，致使能见度变低，空气质量恶化，严重时可能形成污染事件。

表 1 地面要素与空气污染指数 API 相关系数

季节(样本数)	风速	最高气温	最低气温	气压	24 h 变压	降水量
春(552)	-0.016	0.302 *	0.095 #	-0.151 *	-0.25 *	-0.214 #
夏(552)	-0.058	-0.01	-0.136 *	-0.012	-0.222 *	-0.060
秋(515)	-0.076	0.022	-0.098 #	-0.062	-0.247 *	-0.242 *
冬(509)	-0.159 *	0.206 *	0.072	-0.086	-0.113 #	-0.264 *

注：* 表示通过 0.01 的显著性水平检验，# 表示通过 0.05 的显著性水平检验，下同。

2.2 L 波段雷达资料与 API 关系

仍然以 08:00 资料作分析。在边界层内，风是影响污染物扩散稀释的重要因素。表 2 为风速与 API 的相关系数。表 2 表明，冬季风速与 API 的相关系数都较小，冬季由于气候特征的影响，重庆主城区风速较小，静风频率高，所以对污染物的扩散稀释作用相对较小。不同高度风速比较，150 m 高度风速在每个季节的相关系数都较高；低层 30、50 m 高度风速与 API 相关系数较小，这应该与污染源的高度、分布和主城区的浅丘陵地形有关，沙坪坝测站的

海拔高度大约为 260 m，而有的污染源却高出 260 m。对比各高度上温度的相关系数(表略)，除冬季相关系数较高外，其余 3 个季节相关性均不好。此外，各高度与地面的温差和 API 的相关系数(表 3)在每个季节都较高，这一特征在 150 m 以上表现得更为突出，当达到 300 m 时，温差与 API 的相关系数达到最高。正负相关性表现为：各高度上气温与地面的温差和 API 指数呈正相关，温差越大，API 指数越大，越不利于污染物扩散稀释。

从 L 波段雷达资料的相关性分析中发现，近地

层(150 m 以下)的风速、温度、温差与 API 的相关性都没有高层的好,这可能与重庆的特殊地形影响有关;另一原因是,有研究表明,当贴地逆温低于 150 m 时,地面污染并不严重,因为有的高架污染源

的污染物大部分排放在贴地逆温层顶以上,不会落至地面。文中计算的温差某种意义上就是逆温的体现,近地层的温差、温度等比高层的相关系数小。

表 2 L 波段雷达资料风速与 API 相关系数

季节(样本数)	f_{30}	f_{50}	f_{100}	f_{150}	f_{200}	f_{250}	f_{300}
春(182)	-0.18 [#]	-0.17 [#]	-0.22 [*]	-0.23 [*]	-0.24 [*]	-0.21 [*]	-0.23 [*]
夏(182)	-0.055	-0.05	-0.31 [*]	-0.31 [*]	-0.32 [*]	-0.33 [*]	-0.31 [*]
秋(149)	-0.111	-0.16 [#]	-0.28 [*]	-0.28 [*]	-0.25 [*]	-0.22 [*]	-0.19 [#]
冬(149)	0.066	0.004	-0.14	-0.15	-0.13	-0.11	-0.1

注： f_{30} 为 30 m 风速，其余类推，下同。

表 3 L 波段雷达资料各高度与地面气温差和 API 相关系数

季节(样本数)	T_{30_0}	T_{50_0}	T_{100_0}	T_{150_0}	T_{200_0}	T_{250_0}	T_{300_0}
春(182)	0.205 [*]	0.261 [*]	0.332 [*]	0.355 [*]	0.363 [*]	0.374 [*]	0.379 [*]
夏(182)	0.039	0.043	0.101	0.145 [#]	0.166 [#]	0.192 [*]	0.217 [*]
秋(149)	0.213 [*]	0.285 [*]	0.335 [*]	0.33 [*]	0.338 [*]	0.34 [*]	0.359 [*]
冬(149)	0.201 [#]	0.282 [*]	0.363 [*]	0.387 [*]	0.402 [*]	0.416 [*]	0.427 [*]

注： T_{30_0} 为 30 m 与地面温差，其余类推，下同。

2.3 08:00 和 20:00 资料比较

从以上两种资料的相关分析得知,08:00 的 24 h 变压、150 m 高度的风速和 300 m 与地面的温差与 API 的相关系数高。为了进一步了解气象要素与 API 的关系,本文用 20:00 的资料作比较,发现结果并不理想。将 08:00 分析中相关性好的 3 个要素对应 20:00 的资料与 API 求相关系数,比较结

果列于表 4。很明显,3 个要素 08:00 的相关系数比 20:00 的高。另外,在 08:00 相关性不好的要素,也用 20:00 的资料作分析,相关系数仍然不高。可见,污染物浓度的大小与 08:00 的气象要素关系密切,与 20:00 的相关并不十分显著。本文还将 API 指数 24 h 的变化与地面及 L 波段资料作相关分析,但结果也不理想,在此不再一一赘述。

表 4 相关性好的气象要素 08:00 与 20:00 资料与 API 相关系数比较

	20:00 变压	20:00 f_{150}	20:00 T_{300_0}	08:00 变压	08:00 f_{150}	08:00 T_{300_0}
春	-0.197 [*]	0.03	0.39 [*]	-0.25 [*]	-0.23 [*]	0.379 [*]
夏	-0.114 [*]	-0.12	0.07	-0.222 [*]	-0.31 [*]	0.217 [*]
秋	-0.157 [*]	-0.04	0.31 [*]	-0.247 [*]	-0.28 [*]	0.359 [*]
冬	-0.08	-0.12	0.31 [*]	-0.113 [#]	-0.15	0.427 [*]

3 空气污染扩散条件指数建立

用相关性好的 3 个要素构造空气污染扩散条件指数。先将 3 个要素作归一化处理,设定 24 h 变压的变化范围为-15~15 hPa(小于-15 hPa 当作-15 hPa 处理,大于 15 hPa 作 15 hPa 处理);300 m 的温差为-6~6 ℃(小于-6 ℃当作-6 ℃处理,大于 6 ℃作 6 ℃处理);150 m 高度的风速为 0~15

m/s(大于 15 m/s 作 15 m/s 处理)。为了使构造出的综合指标为正数,将在指标中加入负相关因子的个数:

$$A = 2 + T_{300_0} - P_{24} - f_{150}$$

其中 A 为综合指数, T_{300_0} 、 P_{24} 、 f_{150} 分别为归一化处理后的 300 m 与地面的温差、24 h 变压、150 m 风速。由 A 值的构造看,A 值介于 0~3 之间,A 越大,API 也越大,大气扩散条件越差,污染越严重。

4 确定空气污染潜势预报等级

对 A 值作 K 均值聚类分析,因 API 分为 5 类, A 值亦分为 5 类。结果(表略)显示,较小的 A 值区间(0.96~1.48)和较大的 A 值区间(2.06~2.44)所占比例小,大约分别占总样本的 8%,而中间的 3 类占总样本数的 83%。

仅从 A 值的分析并不能看出对应 API 的大小情况,所以下面对每个 A 值区间所对应的 API 进行分析。我们更关心达到轻度污染以上的 API 指数情况,着重分析了每个 A 区间达到轻度污染样本占各 A 区间总样本数的百分比。如图 1 显示,随着 A 值的增大,达到污染程度的 API(API>100)百分比也相应增加,当 A 的平均值为 1.36(0.96~1.48 区间)时,达到污染的 API 样本数占 5.7%,但当 A 的平均值为 2.17(2.06~2.44 区间)时,达到污染的样本占 40.7%,说明 A 值的构造和分类是合理的。

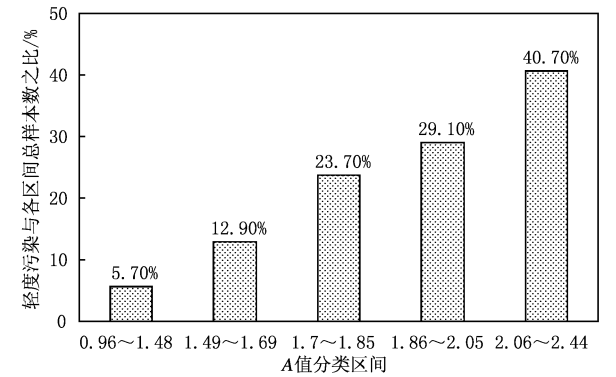


图 1 每个综合气象指数 A 值区间内达到轻度污染 (API>100)的样本数占每个区间总样本数的百分比

根据 A 值聚类分析和 API 分布结果,确定空气污染扩散条件的等级指标。具体为:

- 0.90<P≤1.00 1 级:非常有利于污染物扩散
- 0.70<P≤0.90 2 级:有利于污染物扩散
- 0.35<P≤0.70 3 级:较有利于污染物扩散
- 0.10<P≤0.35 4 级:不利于污染物扩散
- 0.0≤P≤0.10 5 级:非常不利于污染物扩散

其中,P 为历史同期 A 值大于预报日 A 值的气候概率。例如:计算出 2006 年 11 月某天的 A 值为 1.78,查询这一天历史同期(前 15 天到后 15 天)的 A 值,如果大于 1.78 的 A 值个数占查询样本数的 55%,那么当天的空气污染扩散等级为 3 级(较有利于污染物扩散)。

5 业务预报模型

由预报经验可知,欧洲中心天气形势及要素预报准确率较高,故选用欧洲中心 08:00 的气压、850 hPa 温度、850 hPa 风速等预报产品,经过线性拟合分别得到构成 A 值的 24 h 变压、300 m 与地面温差、150 m 风速的预报值。2007 年 1~12 月 24、48、72、96、120 h 的预报结果列于表 5。设定预报与实况等级相同为 100 分,相差 1 级为 60 分,相差 2 级以上为 0 分。依此标准,2007 年全年 24~120 h 平均预报质量基本在 60~70 分之间,24~120 h 预报质量依次递减,分别为 69.39、68.66、67.97、67.41、62.81。

表 5 24~120 h 预报准确率

	预报时效				
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
1 月	70.32	61.29	62.58	61.94	49.68
2 月	76.43	80.71	76.43	70.71	74.29
3 月	76	68.69	77.66	68.83	57.66
4 月	72.67	68	60.67	72.67	70.67
5 月	80.53	79.2	83.47	82.93	70.53
6 月	68.57	77.86	73.57	84.29	77.14
7 月	64.12	75.29	65.29	68.24	57.06
8 月	65.16	65.16	66.45	50.32	65.81
9 月	68	66	69.33	70	66
10 月	72.26	65.81	61.29	63.23	51.61
11 月	56	54	56	54	54
12 月	62.56	61.89	62.89	61.78	59.22
全年	69.39	68.66	67.97	67.41	62.81

6 结论

(1)与 API 关系密切的是 08:00 的气象要素,而非 20:00 的。

(2)地面要素中,对污染物浓度影响最大的是 08:00 的 24 h 变压,而温度的高低对浓度影响因季节而不同。地面风速越大、压强越高、正变压越明显,越利于污染物扩散。

(3)L 波段雷达资料中,08:00 的 150 m 高度风速与 API 关系密切,更低层和更高层相关性均不如 150 m 的好。每个研究高度上的温度与 API 相关系数小(冬季除外);温差与 API 相关性普遍较好,其

中,08:00 300 m 温差与 API 相关性最好,150 m 以下高度的温差相关系数略小。近地层在 150 m 左右,风速越大越利于污染物稀释扩散;而近地层温度越高、与地面温差越大,就越不利于扩散。

(4)由相关性好的 3 个要素(08:00 24 h 变压、150 m 高度风速、300 m 与地面温度差)构造的扩散条件综合气象指数 A 是合理的, A 值越大,越不利于污染物扩散。

(5)由 A 值划分的空气污染扩散等级指标,利用历史同期气候概率作潜势预报,在实际业务中是可行的。

(6)用欧洲中心数值预报产品做空气污染扩散气象条件等级预报,预报质量在 60~70 分之间,24、48、72、96、120 h 预报质量依次递减。

参考文献

[1] 程水源,郝瑞霞,杨智明. 关于大气污染预测方法的新探讨[J]. 环境科学丛刊,1991,12(2):34-38.
[2] 程水源,郝瑞霞. 城市大气污染物长期平均浓度计算方法的研究[J]. 环境科学丛刊,1990,11(2):44-48.

[3] 王迎春,孟燕军,赵习方. 北京市空气污染业务预报方法[J]. 气象科技,2001,29(4):42-46.
[4] 刘实,王宁,朱其文,等. 长春市空气污染潜势预报的统计模型研究[J]. 气象,2002,28(1):8-12.
[5] 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):1-11.
[6] 周小珊,张立祥,刘万军. 利用中尺度模式作辽宁省空气污染气象条件预报[J]. 南京气象学院学报,2002,25(1):129-135.
[7] 孙明华,徐大海,朱蓉,等. 城市空气臭氧污染业务预报方案研究[J]. 气象,2002,28(4):3-8.
[8] 马雁军,崔劲松,刘晓梅,等. 1987-2002 年辽宁中部城市群大气污染物变化特征分析[J]. 高原气象,2005,24(3):428-435.
[9] 王新,杨晓霞,刘焕彬. 济南市空气质量特征分析[J]. 气象科技,2007,35(6):803-808.
[10] 李琼,李福娇,叶燕翔,等. 珠江三角洲地区天气类型与污染潜势及污染浓度的关系[J]. 热带气象学报,1999,15(4):363-369.
[11] 罗晓玲,王润元,李岩瑛,等. 河西走廊东部城市空气质量预报系统[J]. 气象科技,2007,35(6):771-775.
[12] 李显焕. 介绍一种利用地面常规观测资料进行空气污染潜势预报的方法[J]. 安徽气象,2000,(3):43-44.

Index of Meteorological Conditions for
Pollutant Diffusion in Chongqing

Hu Chunmei Liu De Chen Daojin

(Chongqing Municipal Meteorological Office, Chongqing 401147)

Abstract: According to the relationship between conventional observational data, L-band radar data, and Air Pollution Index (API), an index of meteorological conditions for pollutant diffusion (Index A) for Chongqing is established, which consists of three meteorological elements and can be used to determine the pollution potential through grading by diagnosing the climatic probability in the corresponding periods. The correlation analysis indicates that there is close relationship between API and meteorological data at 08:00, not at 20:00; among the surface meteorological factors, the correlation coefficient between API and the 24-hour pressure variation at 08:00 is the largest, and the effect of temperature on API is different in various seasons; the wind velocity at 150 meters and the temperature difference between the ground and 300 meter height exhibit good relationship with API in the L-band radar data. Index A is therefore composed of the 24-hour pressure variation at 08:00, the wind velocity at 150 meters, and the temperature difference between the ground and 300-meter height. The application proved that Index A is reasonable and performs well in the operational service.

Key words: air pollution, K-mean, climatic probability, pollution potential prediction