

基于关键气象因子和天气类型的广州空气污染 预报方法应用*

舒锋敏^{1**} 罗森波² 罗秋红¹ 罗聪² 张维¹

(1. 广东省气象台, 广州, 510080; 2. 广州市气象台, 广州, 510080)

摘要 以广州市环境监测站2007年1月—2009年12月监测的空气污染指数(API)以及SO₂、NO₂、PM₁₀等污染物为研究对象,探讨了广州市空气污染的变化规律;并分析它们与常规观测的地面气象资料之间的关系;建立了API指数以及SO₂、NO₂、PM₁₀等污染物的预报方程;为了弥补单纯基于数学模型预报的不足,分析和确定了造成广州严重空气污染的典型天气类型和相关指标,以便在具体的业务预报中可以根据天气形势和相关指标做进一步的订正;该预报方法于2010年10月起应用于广州市环境监测中心站,作为2010年16届亚运会广州空气质量预报预警服务的重要工具之一,运行服务效果良好。

关键词 气象因子, 天气类型, 逆温层, 空气污染预报。

空气污染预报是当今环境科学研究的热点与难题。国际上80年代后开始致力于定量的空气污染预报,包括统计预报和数值预报。其中韩国、墨西哥等国家及我国的香港、台湾地区主要采用统计预报模式;美国、荷兰和日本等则发展了数值预报方法;以美国环保局为例,从1970年到现在,已经资助开发了三代空气质量模型^[1-2]。目前我国各大城市也开展了空气质量的预报工作,其主要方法有数值模式、数理统计和综合经验3类方法^[3]。许多研究^[4-11]表明,污染物浓度除了受排放源的变化影响之外,另一主要影响因素就是气象要素的变化。由于排放源强、污染浓度监测时空密度和精度等现有条件的限制,目前数值模式直接预报的污染浓度准确率还不够高,大多采用数理统计类的多元线性回归和卡尔曼滤波方法,此类方法气象因子的选取对空气质量预报的准确率有着很大的影响,因此其关键点是准确分析气象因子对污染浓度的影响,寻找合适的气象因子(预报因子)。利用地面气象资料作污染的统计预报,我国多个城市已开展了研究,如王式功等^[12]研究兰州城区冬半年冷锋活动及其对空气污染的影响,并建立了兰州冬半年污染浓度与气象要素的回归方程;林祥明等^[13]探讨污染物浓度与气象因子分布规律,建立气象预报指标及统计预报方程;周丽等^[14]利用北京白石桥小区的污染物观测资料和同期北京地区的气象观测资料,对影响大气污染的气象因子进行了综合分析,并分别建立了气溶胶PM_{2.5}粒子浓度与气体污染物、气象要素场的两类统计相关拟合模型,均取得了一定的效果。

本文围绕2010年广州亚运会气象保障服务需求,以广州市环境监测站2007年1月—2009年12月监测的空气污染指数(API)以及SO₂、NO₂、PM₁₀等污染物以及同期地面气象要素为研究对象,探讨广州市空气污染的变化规律,并分析它们与常规观测的地面气象资料之间的关系,建立了API指数以及SO₂、NO₂、PM₁₀等污染物的预报方程;为了弥补单纯基于数学模型预报的不足,同时分析和确定了造成广州严重空气污染的典型天气类型和相关指标,以便在具体的业务预报中可以根据天气形势和相关指标做进一步的订正;该预报方法已于2010年10月应用于广州市环境监测中心站,作为2010年16届亚运会广州空气质量预报预警服务的重要工具之一,运行服务效果良好。

1 实验方法

1.1 样品采集

空气污染资料的采集:空气污染资料取自广州市环境监测站2007年1月—2009年12月3整年空

2012年2月23日收稿。

* 气象关键技术集成与应用重点项目(CAMGJ2012Z06)资助。

** 通讯联系人, Tel:020-87678713; E-mail:chushufm@163.com

气污染指数(API)以及SO₂、NO₂、PM₁₀浓度的逐日平均值,其中SO₂、NO₂、PM₁₀等污染物共有9个采样点,分别为广雅中学、海珠区站(市五中)、市监测站、市环保所(天河职幼)、麓湖公园、广东商学院、市八十六中、番禺中学、花都师范,它们较好地代表了广州市的污染状况,取它们逐日平均浓度的算术平均值以代表影响广州市污染物的平均状况.每天一个样本,共1096个采样样本.

地面气象实测资料的采集:地面气象实测资料为广州市五山站同期的逐日平均气压、气温(日平均、日最高、日最低、日最高温与日最低温差值)、降水、相对湿度、风速、水平能见度等9种气象要素;气压、气温(日最高、日最低除外)、相对湿度、风速、水平能见度分别取逐日平均值;降水为日总量,并且对降水采用了分级编码法处理,即无雨或者微量降水编码为0,小雨及其以上等级的降水编码为1,这样使降水与API及各污染物浓度的相关有所提高.9种气象要素,每种要素的采样样本数为1096个.

气象要素预报产品的采集:目前本研究提供了广州的逐日平均气压、气温(日平均、日最高、日最低、日最高温与日最低温差值)、降水、相对湿度、风速、水平能见度等9个气象要素的预报产品,其中降水、最高和最低气温、气温日较差、平均风速、平均湿度等6个要素预报是预报员以国内外多个数值模式预报产品为基础,通过分析天气图、气象卫星和雷达资料,综合分析、判断后得到的结论.平均气压和平均气温要素预报则来自于模式的逐时预报,通过累加求平均值得到.数值模式目前没有直接的能见度预报,本研究是通过模式产品进行MOS以及卡尔曼滤波释用方法对能见度进行预报,其预报产品有一定的参考性;但由于气象台对大气中各种污染物成分的平流、扩散研究还不够充分,因此能见度预报在将来还需继续改进.选取样本的时间是2010年10月—2011年9月,每天一个样本,样本数为365个.

1.2 分析方法

采用相关分析方法计算API及各污染物浓度与同期气象因子的相关系数,并且对相关系数进行置信度检验.

由于选用了较多的预报因子,为了减少因子之间自相关的影响,本文选取了最优子集回归模型^[15]来筛选、组合因子并建立预测方程.

2 结果与讨论

2.1 近3年污染日情况

2007—2009年3年轻度污染日(API指数100以上)共有70d,其中2007年32d,连续4d轻度污染有2次,连续3d轻度污染有1次,2008年21d,连续4d轻度污染有1次,连续3d轻度污染有2次,2009年17d,没有出现连续4d轻度污染,连续3d轻度污染有1次,总体呈现污染日减少,连续污染过程时间缩短的趋势,这可能是环境整治的成果.3年中5—8月没有污染日,3年中4月均只出现一次过程,2009年10月没污染日,2008年10和11月无污染日,也就是3年中冬季(广州冬季一般在12月—次年2月)出现污染日的几率最大,其次是秋末春初的季节(11月和3月);故下面的分析分冬半年(10月1日—次年3月31日)和夏半年(4月1日—9月30日)来进行.

2.2 气象预报因子与同期污染浓度的相关分析

表1、2为广州市2007年1月—2009年12月空气污染指数(API)、污染物(SO₂、NO₂、PM₁₀)分冬、夏半年与上述同期地面气象要素的相关系数分布.

表1 冬半年API及污染物浓度与同期地面气象要素之间的相关系数

	气温(X_1)	最高温度(X_2)	最低温度(X_3)	气压(X_4)	相对湿度(X_5)	风速(X_6)	降水量(X_7)	能见度(X_8)	高低温差(X_9)
API	0.204	0.343	0.087	-0.051	0.003	-0.472	-0.238	-0.521	0.442
SO ₂	0.159	0.261	0.072	-0.061	0.151	-0.445	-0.160	-0.483	0.327
NO ₂	0.138	0.297	0.010	-0.010	0.036	-0.539	-0.190	-0.431	0.490
PM ₁₀	0.170	0.304	0.060	-0.047	0.024	-0.456	-0.211	-0.521	0.419

表 2 夏半年 API 及污染物浓度与同期地面气象要素之间的相关系数

Table 2 The correlation coefficients between API, pollution concentration and the surface meteorological elements in summer

	气温(X_1)	最高温度(X_2)	最低温度(X_3)	气压(X_4)	相对湿度(X_5)	风速(X_6)	降水量(X_7)	能见度(X_8)	高低温差(X_9)
API	-0.094	0.005	-0.207	0.240	-0.247	-0.281	-0.248	-0.450	0.306
SO ₂	0.080	0.150	0.008	0.106	-0.007	-0.280	-0.111	-0.378	0.262
NO ₂	-0.311	-0.196	-0.417	0.352	-0.093	-0.384	-0.117	-0.505	0.240
PM ₁₀	-0.126	-0.032	-0.242	0.244	-0.272	-0.260	-0.249	-0.437	0.288

从表 1、2 可见,在冬半年,API 及各种污染物与风速、降水、能见度及气压呈稳定的负相关,与温度(日平均、最高、高低温差)、相对湿度呈稳定的正相关,与平均气温、最高气温、风速、能见度的相关大都能通过 0.001 的置信度检验. 研究的结果与纪忠萍等^[16]研究 2002—2004 年广州市空气污染的结论是一致的. 在夏半年,API 及各种污染物仅与风速、降水、能见度及相对湿度呈稳定的负相关(与能见度的相关最好,与风速次之);与高低温差、气压呈稳定的正相关;另外,除 SO₂ 外,API、NO₂、PM₁₀ 与平均气温和最低温度呈稳定的负相关,API 及各种污染物与最高温度的相关时正时负. 所以冬半年 API 指数及污染物与各种气象因子的相关较好且稳定,而夏半年仅与风速、降水、高低温差、气压及能见度相关好且稳定,与其它因子相关较差且不稳定. 无论冬、夏半年,与风速和能见度及高低温差的相关关系最好.

2.3 预报因子与同期污染浓度的最优子集回归预报

考虑到污染物浓度的变化不仅与外部气象因子有关,也与自身的变化有关,分别计算了 API、SO₂、NO₂、PM₁₀ 与前一天的指数或浓度值的相关系数分别为 0.684、0.641、0.774、0.694,故选取前一天的指数或浓度值作为第 10 个预报因子(X_{10}).

分冬、夏半年分别选取上述 10 个预报因子中与 API、SO₂、NO₂、PM₁₀ 相关较好且关系较稳定的因子,利用 2007 年 1 月—2009 年 12 月的资料,采用最优子集回归方法,分别计算冬、夏半年不同自变量个数的最优子集,复相关系数和 CSC 值,依据 CSC 最大的原则,可得最优子集回归方程(表 3).

表 3 API 及污染物浓度与同期地面气象要素之间的最优子集回归方程

Table 3 The equations between API, air pollution concentration and the surface meteorological elements established by optimization subset regression

API 及污染物(Y)	时段	方程	复相关 r
API	冬半年	$Y = 1.4135 + 2.3448X_2 - 2.1209X_4 - 0.2123X_5 - 5.0113X_6 - 2.2512X_8 + 1.6545X_9 + 0.4478X_{10}$	0.8525
API	夏半年	$Y = 98.4519 - 0.5956X_5 - 0.1090X_7 - 2.0088X_8 + 1.4520X_9 + 0.3181X_{10}$	0.8065
SO ₂	冬半年	$Y = 0.0413 - 0.0129X_6 - 0.0013X_8 + 0.0028X_9 + 0.5504X_{10}$	0.8816
SO ₂	夏半年	$Y = 0.0725 - 0.0004X_5 - 0.0020X_8 + 0.0016X_9 + 0.4864X_{10}$	0.8385
NO ₂	冬半年	$Y = 0.0413 - 0.0129X_6 - 0.0013X_8 + 0.0028X_9 + 0.5504X_{10}$	0.8816
NO ₂	夏半年	$Y = 0.0995 - 0.0008X_2 - 0.0005X_5 - 0.0035X_6 - 0.0001X_7 - 0.0017X_8 + 0.0016X_9 + 0.4514X_{10}$	0.8508
PM ₁₀	冬半年	$Y = 0.0928 - 0.0003X_5 - 0.0090X_6 - 0.0038X_8 + 0.0042X_9 + 0.4448X_{10}$	0.8324
PM ₁₀	夏半年	$Y = 0.1438 - 0.0010X_5 - 0.0002X_7 - 0.0034X_8 + 0.0024X_9 + 0.3772X_{10}$	0.8401

由表 3 可见,无论冬、夏半年,所建的最优回归方程的复相关系数均在 0.80—0.89 之间. 图 1、2 分别为冬、夏半年广州市 API 指数观测值及最优回归模型的预测值对比图. 由图 1、2 可见,无论冬、夏半年,回归方程对 API 指数具有较好的预测,尤其是对其升降趋势、峰值、谷值也均具有较好的预测. 从图 1、2 还可以看出,回归方程对一些异常峰值的预测仍有较大的误差.

将 2010 年 10 月—2011 年 9 月的气象要素预报产品代入表 4 最优回归方程,计算出 API 预测值,检验预报方程的实用性. 图 3、4 分别为 2010 年冬半年和 2011 年夏半年的 API 观测值与预测值对比图,由图 3、4 可以看出,2010 年 10 月到 2011 年 9 月,广州市只出现了两次轻度污染(2011 年 3 月 13 日、3 月 31 日),API 观测值大多在 90 以下,这可能与政府为举办第 16 届亚运和残运会(2010 年 11 月 1 日—12 月 27 日)的环境治理有关. 由图 3、4 还可以看出除了 2011 年 4 月份的预报偏差较大外,其它月份的预报与观测值偏差较小,预报方程对 API 指数的升降趋势、峰值和谷值有较好的预测. 对亚、残运期间的预测,也是升降趋势预报得较好,但具体的预报数值偏低. 预测值与观测值产生误差的一个原因预报方程本身的误差,另一个原因与预报员的天气预报数据有关系.

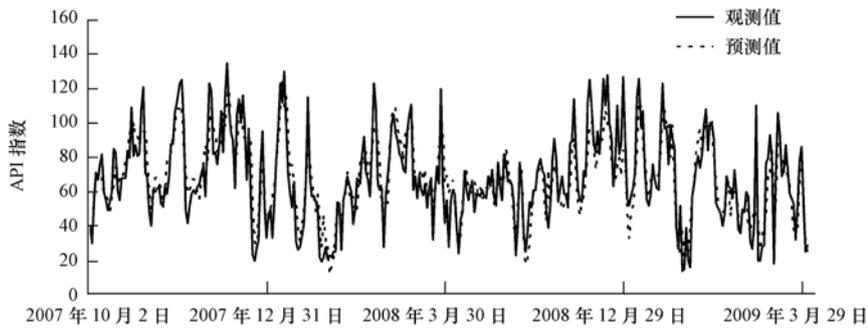


图 1 2007、2008 年冬半年(10 月—次年 3 月)的 API 观测值与预测值对比图
Fig.1 Predicted and actual API during winter half year(Oct—Mar)

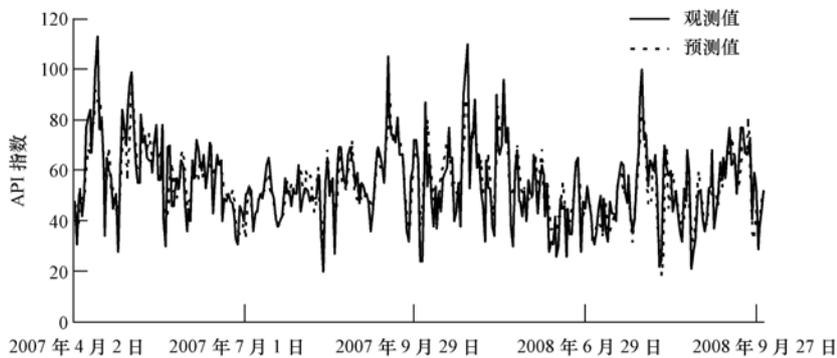


图 2 2007、2008 年夏半年(4—9 月)的 API 观测值与预测值对比图
Fig.2 Predicted and actual API during summer half year(Apr—Sep)

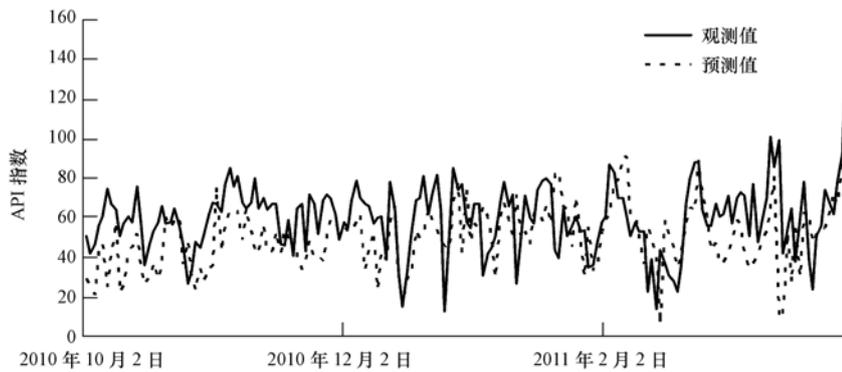


图 3 2010 年冬半年(2010 年 10 月—2011 年 3 月)的 API 观测值与预测值对比图
Fig.3 Predicted and actual API during winter half year(Oct—Mar 2010)

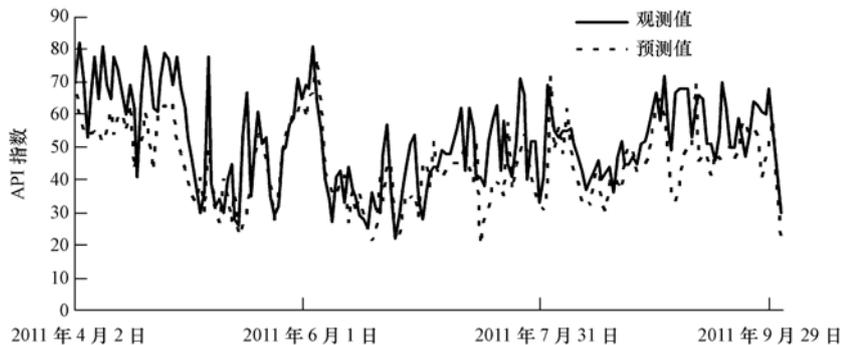


图 4 2011 年夏半年(4—9 月)的 API 观测值与预测值对比图
Fig.4 Predicted and actual API during summer half year(Apr—Sep 2011)

表4为统计样本(2007年1月—2009年12月整3年)和预报样本(2010年10月到2011年9月)的误差分析。由表4可以看出,无论是统计样本还是预报样本,冬半年的API指数、SO₂、NO₂和PM₁₀的均方根误差和平均绝对误差都比夏半年大,且预报样本均方根误差和平均绝对误差只是比统计样本的略大一些,说明用预报方程有一定的预报能力。

表4 统计样本与预报样本的误差分析

Table 4 Error analysis of statistical and predicted samples

时段	API及污染物	统计样本		预报样本	
		均方根误差	平均绝对误差	均方根误差	平均绝对误差
冬半年	API	13.5942	10.4156	19.3205	17.680
	SO ₂ /(mg·m ⁻³)	0.0172	0.0128	0.0277	0.0246
	NO ₂ /(mg·m ⁻³)	0.0153	0.0120	0.0334	0.0285
	PM ₁₀ /(mg·m ⁻³)	0.0248	0.0187	0.0316	0.0337
夏半年	API	9.3059	7.0529	10.8149	10.2502
	SO ₂ /(mg·m ⁻³)	0.0104	0.0077	0.0117	0.0095
	NO ₂ /(mg·m ⁻³)	0.0100	0.0076	0.0144	0.0127
	PM ₁₀ /(mg·m ⁻³)	0.0148	0.0110	0.0174	0.0178

上述的分析表明用最优回归模型建立的最优回归方程具有较好的预测,但对异常峰值的预测仍存在较大的误差;下面具体探讨3年污染日天气形势的共性,以求建立典型污染日天气模型,且分析了逆温层及混合层厚度与API指数的关系,以便在具体的业务预报中进行对比订正。

2.4 典型空气污染日的天气形势特征分析

上述的分析已表明,3年中5—8月没有污染日,4月均只出现一次过程,2009年10月无污染日,2008年10和11月无污染日,也就是3年中冬季(广州冬季一般在12月—次年2月)出现污染日的几率最大,其次是秋末春初的季节(11月和3月),这说明广州污染的发生与冷空气的活动密切相关。下面主要探讨3年污染日天气形势的共性。

3年污染日850 hPa除了2009年3月5日是低压槽外,其余基本为高压控制华南,少数为均压区控制,高压内为下沉气流,有利于形成下沉逆温从而发生污染。500 hPa图上,除了秋季华南会受副高控制,其余污染日588位势什米线北缘在广东近海海面 and 海南岛附近摆动,副热带高压多呈东西走向,副高西脊点在8°N—15°N,90°E—110°E之间,当西风槽经向度较深时,副高位置会更南。地面图上基本上是冷高压(加上静风和微风时风易出现辐射逆温)、变性脊或脊后槽前偏东风回流(易出现平流逆温)和秋季台风外围(压缩增温易出现下沉逆温)3种形势。在不同季节的污染日里,地面、500 hPa、850 hPa分别有不一样的形势,主要为以下情形:

(1)第一类(图5a,b,c):在深冬,较强冷空气影响后,地面弱冷高压控制华南,华南大部为弱的北到东北风,1020 hPa线到沿海或华南等压线梯度大;500 hPa东亚槽经向度大,槽低达27°N以南,或高原东侧高空槽下滑影响华南,华南上空西北风;850 hPa高压控制华南。这种情形易出现辐射逆温,污染日最多1—2 d。

(2)第二类(图5d,e,f):在秋冬春季,冷空气变性或下一次冷空气来之前:地面变性脊、高压出海、脊后槽前偏东风回流,华南大部为东到东南风,把海洋上的暖湿空气带到华南;500 hPa中低纬西风带较平直、有小波动或南支槽前,华南上空偏西或西南风;850 hPa高压或均压区。这种情形易出现平流逆温,污染日时间稍长。连续4 d污染日的过程基本上都是这种情形或加上第1种情形共同形成。

(3)第三类:在夏秋季台湾以东或南海海面有热带气旋,华南受热带气旋外围下沉气流和副高(500 hPa和850 hPa)控制下的干热气流影响。这种情形易出现下沉逆温。其污染日的长短与台风影响的时间有关。

2.5 逆温层厚度和强度与空气污染分析

前面的分析表明边界层(大约850 hPa以下)和近地面层出现逆温层对污染日的发生至关重要。T-lnP图是我国气象台站普遍使用的一种热力学图解;它能反映探空站及其附近上空各种气象要素的垂直分布情况。如:2007年2月3日—6日有一次轻微污染的过程,API在104—133之间,从图6清远的

T -ln P 图(由于广州没有探空站,清远紧邻广州,离广州观测站只有 60 km 左右的距离,所以这里用清远的探空资料来做参考)可以看出,逆温发生层发生在 1024—986 hPa,逆温层厚度 38 hPa,逆温层强度 6 °C.

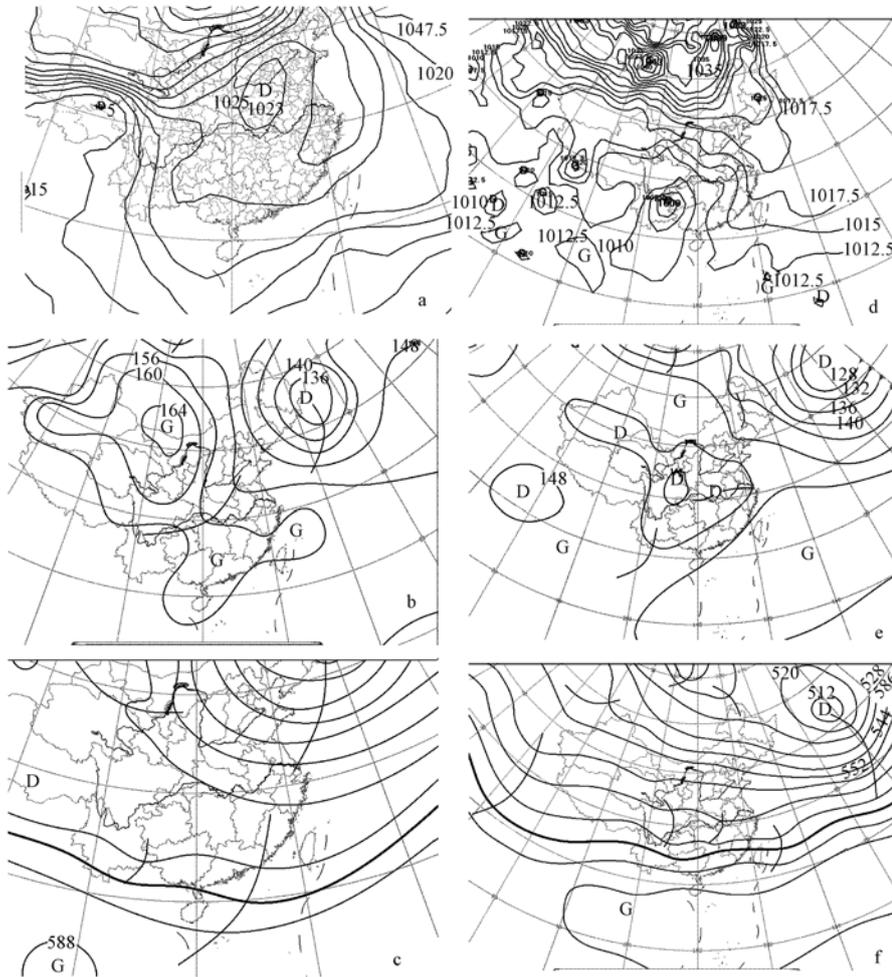


图 5 分别是第一、二类典型污染日天气形势示意图

(a,b,c:第一类(2007年1月31日08时)地面,850 hPa,500 hPa;d,e,f:第二类(2007年3月14日08时)地面,850 hPa,500 hPa)

Fig. 5 The typical weather situations of type-1 and type-2

(a,b,c:surface, 850 hPa,500 hPa of type-1;d,e,f:surface,850 hPa,500 hPa of type-2)

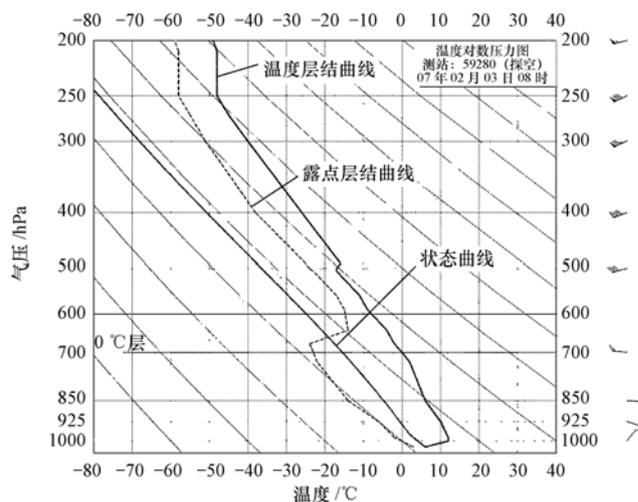


图 6 2007年2月3日08时清远(站号:59280)的 T -ln P 图

Fig. 6 T -ln P plot of Qingyuan at 08am 3 Feb 2007

为了研究逆温层厚度和强度与 API 的关系,本文对逆温层厚度和强度与 API 进行了回归分析. 分别选取前一天 20 时和当天 08 时边界层(850 hPa) 以下产生逆温层的层次的气压差作为逆温层厚度,而对应气温差的总和作为逆温层强度,分别与 API 进行相关系数的计算和显著性检验,最后得出 API 与前一天 20 时逆温层强度的相关系数(0.44,通过 99%的置信度检验)最大,显著性最好,得出回归方程:

$$API = 58.894 + 2.262 \times \text{强度} \quad (API \geq 50)$$

该方程通过 95% 检验,在具体的业务预报中可以对 API 进行订正.

2.6 混合层特征及与 API 的关系

混合层,也称对流边界层. 当大气层结处于极不稳定时,湍流运动强烈,大气处于充分混合的对流运动状态,处于这种运动状态的边界层称混合层. 在混合层的一个明显的特征是在一个高度范围内各要素(位温、风向、风速)随高度的变化甚小,但在靠近地面的“近地层”中风速随高度剧增,位温随高度剧减. 这种状态多发生于晴天太阳辐射强的正午时段. 排入混合层中的污染物质很容易被稀释扩散.

根据“中华人民共和国环境保护行业标准环境影响评价技术导则-大气环境”中规定:

当大气稳定度为 A、B、C 和 D 时:

$$h = a_j U_{10} / f$$

当大气稳定度为 E 和 F 时:

$$h = b_j \sqrt{U_{10} / f}; f = 2\Omega \sin\varphi$$

式中, h 为混合层厚度(E、F 时指近地面层厚度),单位:m; U_{10} 为 10 m 高度处平均风速(文中取 10 min 平均),单位: $m \cdot s^{-1}$;大于 $6 m \cdot s^{-1}$ 时取 $6 m \cdot s^{-1}$; a_j, b_j 为混合层系数,我国各地区的值不同,需查找; f 为地转参数; Ω 为地转角速度,取 $7.29 \times 10^{-5} \text{ rad} \cdot s^{-1}$; φ 为地理纬度,deg. 定 A、B、C、D、E、F 等级时首先由云量与太阳高度角查出太阳辐射等级数,再由太阳辐射等级数与地面风查找稳定度等级.

这里分析了广州市 2009 年 10 月到 2011 年 9 月的混合层特征及与 API 的关系. 统计广州市每天有云量观测的各时次(2、5、8、11、14、17、20、23 时)混合层厚度及每日混合层厚度(8 次平均),结果得出:混合层厚度有白天厚、夜间薄的日变化特征,峰值出现在 11 或 14 时,谷值出现在晚上或夜间. 从图 7 为 2009.10—2010.9 月 API 和混合层厚度的变化曲线,可以看出,API 与每日混合层厚度有反相的变化关系,也就是 API 大则混合层薄,API 小则混合层厚,2010.10—2011.9 月的数据也有同样的特征(图略). 分别计算了前一天混合层平均厚度、当天的混合层平均厚度与 API 的相关系数,前一天混合层平均厚度与次日的 API 较大(-0.432,通过 99%的置信度检验).

求取 API 与前一天混合层平均厚度一元回归方程为 $API = 83.722 - 0.081 \times \text{前一天混合层厚度}$,方程通过 99% 检验.

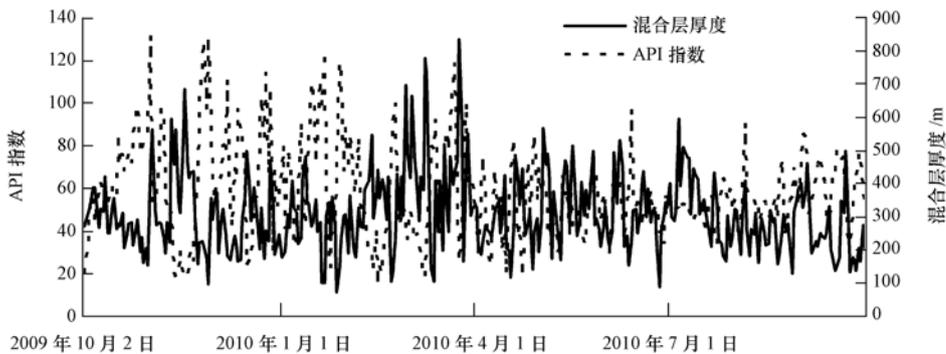


图 7 2009.10—2010.9 月 API(左纵坐标轴)和混合层厚度(右纵坐标轴)的变化曲线

Fig.7 API and the thickness of atmospheric mixed layer from Oct 2009 to Sep 2010

3 结论

(1)广州市 2007—2009 年 3 年总体呈现污染日减少,连续污染过程时间缩短的趋势;3 年中冬季(广州冬季一般在 12 月—次年 2 月)出现污染日的几率最大,其次是秋末春初的季节(11 月和 3 月),呈

现冬强夏弱的特点.

(2)冬半年 API 指数、SO₂、NO₂、PM₁₀与各种气象因子的相关较好且稳定,而夏半年只与风速、降水、高低温差、气压及能见度相关好且稳定,与其它气象因子相关较差且不稳定.无论冬、夏半年,与风速和能见度及日温差的关系最好.

(3)用最优子集模型建立的最优回归方程具有较好的预测能力,但对异常峰值的预测仍存在较大的误差.另外,对统计样本和预报样本的误差分析表明,后者比前者误差略大一些,其中重要的原因是气象预报产品的误差.

(4)分析和确定了造成广州严重空气污染的典型天气类型;且分析了逆温层、混合层厚度与 API 指数的关系,在具体的业务预报中可以根据天气形势和相关指标做进一步的订正.

参 考 文 献

- [1] 任万辉,苏枫枫,赵宏德. 城市环境空气污染预报研究进展[J]. 环境保护科学,2010,3:9-11
- [2] 聂邦胜. 国内外常用的空气质量模式介绍[J]. 海洋技术,2008,27(1):118-121
- [3] 朱玉强. 几种空气质量预报方法的预报效果对比分析[J]. 气象,2004,30(10):30-33
- [4] 郭宇宏,高利军,吕爱华. 乌鲁木齐市典型的冬季环境空气重污染过程剖析[J]. 环境化学,2006,25(3):379-380
- [5] 李琼,李福娇,叶艳翔,等. 珠江三角洲地区天气类型与污染潜势及污染浓度关系探讨[J]. 热带气象学报,1999,15(4):363-368
- [6] 刘小红,洪钟祥,李家伦,等. 北京地区严重大气污染的气象和化学因子[J]. 气候与环境研究,1999,4(3):231-236
- [7] 杨德保,王式功,黄建国. 兰州市区大气污染与气象条件的关系[J]. 兰州大学学报,1994,30(1):132-136
- [8] 刘兴中,严从路,牛玉琴,等. 南京大气高浓度污染的特征及与气象条件的关系[J]. 气象科学,1992,12(1):107-112
- [9] 廉丽姝,高军靖,束炯. 城市大气污染特征及其与气象因子的关系——以济南、青岛市为例[J]. 环境污染与防治,2011,5(33):22-26
- [10] 谢付莹,王自发,王喜全. 2008 年奥运会期间北京地区 PM₁₀ 污染天气形势和气象条件特征研究[J]. 气候与环境研究,2010,5:584-594
- [11] 周亚军,熊亚丽,肖伟军,等. 广州空气污染指数特征及其与地面气压型的关系[J]. 热带气象学报,2005,21(1):93-99
- [12] 王式功,杨德保,李腊平,等. 兰州城区冬半年冷锋活动及其对空气污染的影响[J]. 高原气象,1998,17(2):142-149
- [13] 林祥明,林永登,冯宏芳,等. 利用地面气象资料进行福州市空气质量预报[J]. 热带气象学报,2001,17(3):320-326
- [14] 周丽,徐祥德,丁国安,等. 北京地区气溶胶 PM_{2.5} 粒子浓度的相关因子及其估算模型[J]. 气象学报,2003,61(6):761-768
- [15] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 气象出版社,1999:194-200
- [16] 纪忠萍,罗森波,邝建新,等. 广州市空气污染的变化特征及预报[J]. 热带气象学报,2006,22(6):574-581

Forecasting air pollution based on the key meteorological elements and typical weather patterns in Guangzhou

SHU Fengmin^{1*} LUO Senbo² LUO Qihong¹ LUO Cong² ZHANG Wei¹

(1. Guangdong meteorological observatory, Guangzhou, 510080, China;

2. Guangzhou meteorological observatory, Guangzhou, 510080, China)

ABSTRACT

In this paper, the variation characteristics of daily air pollution index (API), SO₂, NO₂ and PM₁₀ concentration, the relationship between them, and the surface meteorological elements in Guangzhou from Jan. 2007 to Nov. 2009 were analyzed. The predictive equations for API, SO₂, NO₂ and PM₁₀ concentration were built. To compensate for the lack of simple mathematical model, the typical weather patterns and the related indicators were determined. The method was used as an important tool of the air quality forecast and warning services during the 16th Asian Games in Guangzhou at Guangzhou Environmental Monitoring Center Station in Oct. 2010.

Keywords: meteorological elements, typical weather patterns, inversion layer, air pollution forecast.