

文章编号: 1004-4965(2008)05-0564-05

福州市 PM₁₀ 突变特征与气象条件的关系研究

王宏, 林长城, 蔡义勇, 陈彬彬

(福建省气象科学研究所, 福建 福州 350001)

摘 要: 利用 2004~2006 年福州市 PM₁₀ 逐日资料, 及同期地面气象要素资料和 08 时 850 hPa 天气图资料, 采用统计分析方法, 综合分析了 PM₁₀ 发生突变时气象条件的变化特征, 结果表明: 当地面气象要素场出现气压下降、风速下降、温度上升、相对湿度上升、降水量下降或出现气压上升、风速下降、温度下降、相对湿度下降、降水量下降的配置时 PM₁₀ 易发生正突变; 当出现气压上升、风速上升、温度下降、相对湿度维持、降水量上升或出现气压下降、风速上升、温度上升、相对湿度上升、降水量上升的配置时 PM₁₀ 易发生负突变; 当受大陆高压后部、暖区辐合系统影响时, PM₁₀ 发生正突变的概率较高, 受切变线、大陆高压前部系统影响时, PM₁₀ 发生负突变的概率较高。

关 键 词: PM₁₀; 突变特征; 气象条件

中图分类号: X16

文献标识码: A

1 引 言

近年来, 国内外学者针对大气污染物浓度预报的研究取得了很多成果^[1-3], 主要研究方法有数值预报和统计分析两种。大气污染物浓度预报通常有一定难度, 特别是 PM₁₀ 的突然变化仍是预报中的难题, PM₁₀ 本身的变化是一种连续现象, 但又可以看作是一种不连续现象, 当其具备某种条件时将会发生突变, 主要原因是污染源强变化和气象条件的影响。在源强相对平稳的时段里, 气象条件发生变化, 也会导致大气污染物浓度突然发生大的波动。目前研究气象条件与大气污染物浓度关系的很多^[4-6], 但针对 PM₁₀ 突变的研究较为少见。王扬锋等^[2]应用 Models-3/CMAQ 对沈阳市 PM₁₀、NO₂ 和 SO₂ 的环境浓度进行了模拟, 结果表明 Models-3/CMAQ 在复杂地形下的模拟结果可信; 罗森波等^[3]分析了广州市 10 个空气污染过程与各种天气系统以及气象要素间的联系; 林祥明等^[5]利用地面气象资料开展城市空气质量预报; 陈柳等^[7]先利用 db5 小波将 SO₂ 和 PM₁₀ 浓度序列分解为不同的周期变化, 然后利用人工神经网络进行 SO₂ 和 PM₁₀ 浓度预测, 效果较好; Daniel 等^[8]运用天气气候分类方法研究了天气类型及变化与空气污染及人群死亡率之间的关系等等。本文以福州市为研究对

象, 考虑到多年来福州市空气质量优良率高, 没有取暖期和非取暖期之分, 也没有重工业区, 受北方沙尘暴和人类活动影响也不多, 所以假定源强不变, 选取 2004~2006 年福州市相邻两天 PM₁₀ 变化值超过 0.040 mg/m³ 的个例, 采用统计分析方法, 归纳其时间分布规律, 研究它与地面气象要素场, 以及与 850 hPa 天气形势之间的关系, 定性地分析福州市 PM₁₀ 突变特征与气象条件的关系, 为预报 PM₁₀ 突变事件提供人工订正的方法和依据, 也为提高福州市空气质量的预报准确率发挥作用。

2 资料收集与处理方法

福州市大气污染物主要有 PM₁₀、NO₂ 和 SO₂, 其中 PM₁₀ 作为首要污染物的出现率达 99% 以上, 因此 PM₁₀ 的突变特征可以反映空气质量的突变特征。

PM₁₀ 的日监测数据取自 2004~2006 年市环境监测站设置在五四北、紫阳和师大 3 个空气质量自动监测站日监测数据的算术平均值, 共有 1 096 个样本。自定义相邻两天 PM₁₀ 变化值超过 0.040 mg/m³, 即 $PM_{10(N+1)} - PM_{10(N)} > 0.040 \text{ mg/m}^3$, 代表空气污染程度突增, 称正突变; $PM_{10(N+1)} - PM_{10(N)} < -0.040 \text{ mg/m}^3$, 代表空气污染程度突减, 称负突变; $|PM_{10(N+1)} - PM_{10(N)}| < 0.040 \text{ mg/m}^3$

收稿日期: 2008-01-23; 修订日期: 2008-07-08

基金项目: 福建省气象局 2006 年开放式气象科学研究基金项目(2006K05)资助

通讯作者: 王宏, 女, 工程师, 主要从事天气动力和大气物理研究。E-mail: wh1575@sina.com

定义为平稳值。2004~2006 年共发生突变事件 210 次, 占总样本的 19.2%, 其中正突变样本 101 个, 负突变样本 109 个, 负突变事件次数略多。

地面气象观测资料是各要素前一日 12 时~当日 11 时逐小时算术平均值, 与 PM₁₀ 日监测数据取值时间一致。高空气象资料取每日 08 时 850 hPa 天气图资料, 进行天气形势分类^[9], 根据厦门、福州、邵武、南昌、赣州、大陈、衢州、汕头、台北和花莲十个探空站 850 hPa 的风向进行划分, 共分 8 类: 大陆高压、暖区辐合、切变线、低槽或倒槽、台风、低涡、副热带高压(根据 500 hPa 高空图上 588 线位置来确定)和均压场。

3 分析与结果

3.1 PM₁₀ 突变事件的月际变化

图 1 为 2004~2006 年福州市 PM₁₀ 突变事件月际变化统计结果。由图 1 可见, 福州市 PM₁₀ 突变事件每个月都有发生, 但发生的频数大不相同。其中 3~4 月是突变事件发生次数最多的月份, 原因是 3~4 月是福建省的前汛期, 天气最为复杂多变, 冷暖交替和阴晴转换速度最快, 天气系统和地面气象要素场变化明显, 易导致 PM₁₀ 发生显著的日际变化。11 月~翌年 2 月是突变事件发生的次高峰期, 原因是深秋至冬季冷空气活动频繁, 冷空气从每一次入侵到减弱入海时都会出现一次天气回暖的过程, 在冷暖空气交汇, 主导系统性质发生改变的时候, 地面气象要素场也随之发生改变, 天气变化剧烈时易导致 PM₁₀ 突变。8 月是一年中 PM₁₀ 突变事件发生最少、污染物浓度波动最小的月份, 主要因为盛夏季节天气系统的稳定少变和主导系统控制下大气污染程度的相似性(注: 夏季的主导系统是副热带高压和台风, 二者控制下, PM₁₀ 浓度等级多为优即 PM₁₀ 低值)。

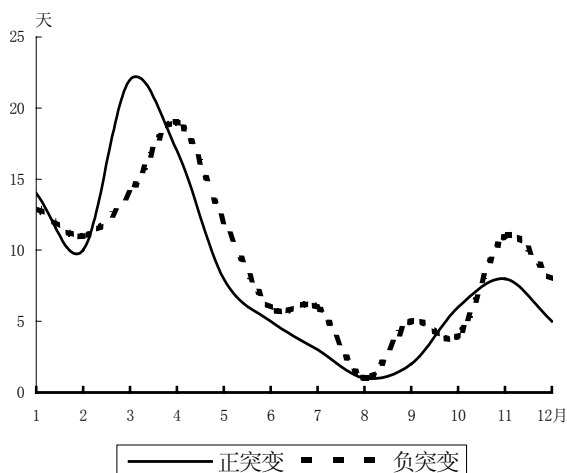


图 1 2004~2006 年福州市 PM₁₀ 突变事件月分布

3.2 PM₁₀ 突变事件与地面气象要素场的关系

挑选气压(P)、风速(V)、温度(T)、相对湿度(Q)和降水(R)五个地面气象要素值, 分析它们与 PM₁₀ 突变事件的关系(表 1)。

表 1 福州市 PM₁₀ 突变事件发生时地面气象要素场变化的趋势频数(%)

地面气	正突变		平稳值	负突变	
象要素	平均变	趋势	平均变	平均变	趋势
日际差	化幅度	频数	化幅度	化幅度	频数
P/hPa	-0.78	下降 59.4	-0.11	1.63	上升 69.7
$V/(\text{m/s})$	-0.36	下降 73.3	-0.01	0.45	上升 78.9
$T/$	0.77	上升 64.4	0.06	-1.16	下降 62.4
$Q/\%$	-0.86	下降 53.5	0.06	0.27	上升 55.0
R/mm	-3.19	下降 86.1	-0.16	4.27	上升 75.2

由表 1 可见, PM₁₀ 平稳时地面气象要素场的平均变化幅度很小, 而出现正、负突变时地面气象要素场的平均变化幅度较大, 且趋势正好相反。其中正突变时, 气压的变化趋势是下降的出现频率为 59.4%, 风速、相对湿度和降水量的变化趋势也是下降的出现频率分别为 73.3%、53.5%和 86.1%, 温度的变化趋势则是上升的出现频率为 64.4%; 负突变时, 气压的变化趋势是上升的出现频率为 69.7%, 风速、相对湿度和降水量的变化趋势也是上升的出现频率分别为 78.9%、55.0%和 75.2%, 温度的变化趋势则是下降的出现频率为 62.4%。由此可见, PM₁₀ 的突变事件与地面气象要素场的变化有着一定的相关性。

通过将地面气压日际差分为正、负值, 以气压增大与减小作为划分界线, 统计风速、温度、相对湿度和降水量的变化情况, 寻找 PM₁₀ 突变时地面气象要素场的配置特征, 及对应的地面天气形势。表 2 为当福州市 PM₁₀ 突变事件发生时地面气象要素场的配置情况及其对应的地面天气形势。

由表 2 可见, PM₁₀ 发生正突变时地面要素场配置有两种, 多数情况是气压下降, 风速减小, 温度升高, 相对湿度上升, 无降水或弱降水, 对应典型地面天气形势有锋前暖区辐合、入海高压后部和地面倒槽, 表现为影响区域受一致的西南或偏南暖湿气流影响, 气温回升明显, 湿度增加迅速, 气压下降, 风速较小, 无降水或弱降水对空气清洗能力弱, 污染物垂直输送和水平扩散能力差, 导致大气污染程度加重。另一种情况是气压升高, 风速减小, 温度降低, 相对湿度下降, 无降水或弱降水, 对应典型地面天气形势为大陆冷高压中心或底部控制, 表现为影响区域受不断入侵的冷空气影响, 气压升高, 温度下降, 多日无雨, 风速小, 相对湿度急剧减小, 造成 PM₁₀ 浓度突增。

表 2 福州市 PM₁₀ 突变事件发生时地面气象要素场的配置及对应的地面天气形势

突变事件	<i>P</i>	<i>V</i>	<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>R</i>	地面气象要素场配置	典型地面天气形势
正突变	-3.04	-0.42	1.66	3.72	-0.09	<i>P</i> ↓ <i>V</i> ↓ <i>T</i> ↑ <i>Q</i> ↑ <i>R</i> ↓	锋前暖区辐合、入海高压后部、地面倒槽
	2.53	-0.27	-0.52	-7.56	-0.72	<i>P</i> ↑ <i>V</i> ↓ <i>T</i> ↓ <i>Q</i> ↓ <i>R</i> ↓	大陆冷高压中心或底部
负突变	3.09	0.46	-2.08	0	4.66	<i>P</i> ↑ <i>V</i> ↑ <i>T</i> ↓ <i>Q</i> ↓ <i>R</i> ↑	大陆冷高压前部, 冷锋或静止锋锋后
	-1.33	0.44	0.69	0.81	3.48	<i>P</i> ↓ <i>V</i> ↑ <i>T</i> ↑ <i>Q</i> ↑ <i>R</i> ↑	锋面过境、低槽、低涡、台风、台风倒槽

注：因表格长度有限，表中、 \downarrow 、 \uparrow 分别代表上升、下降、维持。

由表 2 可见，PM₁₀ 发生负突变的地面气象要素场配置也有两种，多数情况是气压上升，风速加大，温度降低，相对湿度维持，冷高压控制无降水，或冷锋、静止锋锋后出现明显降水，对应典型地面天气形势有大陆冷高压前部和锋面过境，前者影响下出现晴好天气，后者出现降水天气，表现为影响区域受强冷空气侵袭，处于庞大的大陆冷高压前部，气压升高，温度降低，没有出现降水，风速较大，有利于污染物水平扩散；若出现降水一般是冷锋或静止锋过境后出现一定程度的降水，降水有利于大气污染物的清除，造成 PM₁₀ 浓度突减。另一种情况是气压下降，风速加大，温度升高，相对湿度上升，出现较强降水，对应典型地面天气形势有锋面过境、低槽、低涡、台风或台风倒槽等低值系统，表现为影响区域受强降水天气系统影响，大气中有明显的风速切变，风速切变有利于把局地污染物抬升至云外，降水有利于空气变得清洁。

3.3 PM₁₀ 突变事件与 850 hPa 天气形势的关系

分析发现，不同天气形势下 PM₁₀ 平均浓度值存在差异，这与天气系统宏观的热力和动力结构影响下的大气扩散能力有很大关系。突变事件发生在不同天气形势影响下，其分布特征相当明显(表 3)。

表 3 850 hPa 不同天气形势影响下福州市 PM₁₀ 突变事件的分布特征

天气系统	正突变			负突变		
	样本数	出现率%	主导风向	样本数	出现率%	主导风向
大陆高压	37	36.6	S-SW	28	25.7	NW-NE
暖区辐合	26	25.7	SW	12	11.0	SW
切变线	19	18.8	SW-W	38	34.9	SE-E
低槽或倒槽	11	10.9	SW-W	13	11.9	NW-W
台风	3	3.0	NE	5	4.6	NE
低涡	2	2.0	NE-E	9	8.3	SE
副热带高压	1	1.0	SE	4	3.7	S-SW
均压场	2	2.0	NW	0	0	--

由表 3 可见，2004~2006 年发生 PM₁₀ 正突变事件 101 次，其中受大陆高压控制的天数最多，占 36.6%，

主导风为南-西南风；其次是暖区辐合，出现率 25.7%，主导风为西南风；切变线出现率为 18.8%，主导风为西南-西风；低槽或倒槽出现率为 10.9%，主导风为西南-西风；其它天气系统如台风、低涡、副热带高压、均压场影响下，发生 PM₁₀ 正突变事件很少。

2004~2006 年发生 PM₁₀ 负突变事件 109 次，其中受切变线影响的天数最多，占 34.9%，主导风为东南-东风；其次是大陆高压，出现率 25.7%，主导风为西北-东北风；暖区辐合，低槽或倒槽的出现率相当，11%左右，主导风向前者是西南，后者是西北-西；其它天气系统如台风、低涡、副热带高压也占一定比例，均压场影响下不出现负突变事件。具体分析如下。

(1) 当福州市受大陆高压前部西北-东北风影响时，一般市区风力较大，污染物水平扩散能力强，加之上游空气，特别是从海上渗透下来的冷空气比较清洁，PM₁₀ 浓度出现突减。当大陆高压减弱东移入海时，受其后部西南或偏南风影响，暖湿气流充沛，空气湿度大，无雨，大气层结稳定，高低层形成不了很好的对流交换，易造成 PM₁₀ 浓度突然升高。

(2) 暖区辐合也称锋前暖区是仅次于大陆高压影响下出现正突变事件最多的天气形势，当 850 hPa 上空为一致西南气流控制时，低层易出现逆温层，大气层结稳定，地面存在弱辐合场，污染物容易聚集，加之锋面过境前地面风力很小，易造成 PM₁₀ 突增。当受冷空气影响，暖区辐合开始减弱，出现强降水或者大风天气，空气质量会突然转好。

(3) 切变分冷式切变和暖式切变，一方面受切变影响出现降水的概率很大，雨水的冲刷作用对清洁空气有一定作用，风速的切变有利于污染物被抬升至云外，所以负突变事件最频繁地出现于受切变线系统影响的天气下。但有时在切变前部的西南或偏南气流影响下，天气回暖，温高湿重，风力小，无降水，易造成污染物的堆积，出现正突变事件。

(4) 低槽或倒槽影响下正、负突变事件出现率相当，槽前西南-西风控制时易出现正突变事件，槽后西北-西风控制时易出现负突变事件。

(5) 在台风、低涡、副热带高压影响下，主要出现

负突变事件,因低压系统(含台风和低涡)中大气的热力、动力和水汽条件作用显著,受其影响会出现较强的降水,强降水对污染物的稀释和清除作用明显,加之低压涡旋的低层辐合、高层辐散的配置对污染物的垂直扩散非常有利;副热带高压控制下的天气晴热,湿度小,大气热力和动力条件好,非常有利于污染物垂直输送和水平扩散,所以在台风、低涡、副热带高压影响时容易出现负突变事件,正突变事件出现得很少,通常出现台风外围强烈的东北下沉气流影响和低涡、副热带高压迅速减弱时。

(6) 将突变事件发生当天的天气系统与前一天的对比,发现 57.1%的系统性质变化,42.9%是前一天的延续。由于天气系统发生变化是大气动力和热力结构变化的结果,伴随各种地面气象要素场和高、低空天气形势的变化,对污染物的输送和扩散影响显著,易导致 PM₁₀ 突变;当天气系统没有发生改变,而是延续前一天的形势,PM₁₀ 发生突变原因有二:一是系统不同部位的影响,例如大陆高压前部和后部,切变线的前部和后部,对污染物的输送、扩散作用不同,二是系统的加强或减弱的变化,例如暖区辐合的加强和减弱,副热带高压的加强和减弱,均可导致 PM₁₀ 突变。

4 小结与讨论

(1) PM₁₀ 突变事件每个月都有发生,且有明显的季节性特征,3~4 月 PM₁₀ 发生突变的概率最大,其次是

11 月~翌年 2 月,因此在冬季、春季进行空气质量预报时要特别关注高低空天气形势,以及地面气象要素场的变化和配置情况。

(2) 当地面气象要素场出现气压下降、风速下降、温度上升、相对湿度上升、降水量下降或出现气压上升、风速下降、温度下降、相对湿度下降、降水量下降的配置时 PM₁₀ 易发生正突变;当出现气压上升、风速上升、温度下降、相对湿度维持、降水量上升或出现气压下降、风速上升、温度上升、相对湿度上升、降水量上升的配置时 PM₁₀ 易发生负突变。

(3) 发生正突变事件,受大陆高压控制的天数最多,其次是暖区辐合,在台风、低涡、副热带高压和均压场影响下,PM₁₀ 发生正突变事件很少;发生负突变事件,受切变线影响的天数最多,其次是大陆高压,台风、低涡、副热带高压也占一定比例,均压场影响下不出现负突变事件。

(4) 突变事件中有 57.1%是因系统性质的改变引起的,42.9%则是系统延续时影响部位和强度变化引起的。

(5) 突变阈值的选取是作者定义的,不是公认的,存在一定局限性。但通过选取不同阈值并计算、对比后发现阈值取 0.040 mg/m³ 能较全面地反映福州市 PM₁₀ 突变特征与气象条件的关系。

参 考 文 献:

- [1] 许建明,徐祥德,刘煜,等. CMAQ-MOS 区域空气质量统计修正模型预报途径研究[J]. 中国科学(D 辑), 2005, 35(z1): 131-144.
- [2] 王扬锋,左洪超,马雁军,等. 应用 Models-3 模式系统对沈阳市空气质量的数值模拟研究[J]. 环境科学学报, 2007(3): 487-493.
- [3] 罗森波,罗秋红,谢炯光,等. 广州市大气污染与气象条件关系的统计分析[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 567-573.
- [4] ROBESON S M. Evaluation and comparison of statistical forecast models for daily maximum ozone concentrations[J]. Atmospheric Environment, 1990, 24B(3): 303-312.
- [5] 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日预报[J]. 热带气象学报, 2001, 17(3): 320-322.
- [6] 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.
- [7] 陈柳,马广大. 大气中 SO₂ 浓度的小波分析及神经网络预测[J]. 环境科学学报, 2006, 26 (9): 1 553-1 558.
- [8] DANIEL G, RAINHAM C. Synoptic weather patterns and modification of the association between air pollution and human mortality[C]. Vancouver: the 16th Conference on Biometeorology and Aerobiology and the fifth Symposium on the Urban Environment, 2004: 42-80.
- [9] 刘京雄,林长城,蔡义勇,等. 闽南地区酸雨特征与其影响天气系统的统计分析[J]. 热带气象学报, 2007, 23(1): 48-52.

THE RELATIONSHIP BETWEEN MUTATION CHARACTERISTICS OF PM_{10} AND METEOROLOGICAL CONDITIONS IN FUZHOU CITY

WANG Hong, LIN Chang-cheng, CAI Yi-yong, CHEN Bin-bin

(Fujian Meteorological Science Institute, Fuzhou 350001, China)

Abstract: Based on the daily data of PM_{10} for Fuzhou, synchronous data of surface meteorological elements and synoptic chart data of 8 am at 850 hPa from 2004 to 2006 and the variation characteristics of meteorological conditions during the mutation process of PM_{10} are comprehensively analyzed with statistical analysis methods. The results show that when surface meteorological elements are allocated such that surface pressure falls, wind speed decreases, temperature and relative humidity increase and precipitation reduces, or that surface pressure goes up, wind speed decreases, temperature lowers, relative humidity decreases and precipitation reduces, it is easy for PM_{10} to have positive mutation. When surface pressure goes up, wind speed rises, temperature lowers, relative humidity remains unchanged and precipitation increases, or when surface pressure falls, wind speed rises, temperature and relative humidity increase and precipitation increases, it is easy for PM_{10} to have negative mutation. PM_{10} is more likely to have positive mutations when influenced by the posterior of a continental high pressure or the warm sector of a convergence system; it is more likely to have negative mutations while influenced by a shear line or the anterior of a continental high pressure.

Key words: PM_{10} ; mutation character; meteorological condition