

陈敏, 马雷鸣, 魏海萍, 等. 气象条件对上海世博会期间空气质量影响. 应用气象学报, 2013, 24(2): 140-150.

## 气象条件对上海世博会期间空气质量影响

陈 敏<sup>1)\*</sup> 马雷鸣<sup>2)</sup> 魏海萍<sup>3)</sup> 施 红<sup>1)</sup> 马井会<sup>1)</sup>  
周广强<sup>1)</sup> 顾松强<sup>1)</sup> 张国琏<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(上海市城市环境气象中心, 上海 200135)

<sup>2)</sup>(中国气象局上海台风研究所, 上海 200030) <sup>3)</sup>(上海市环境监测中心, 上海 200030)

### 摘 要

观测资料显示, 2010 年世博会期间上海的空气质量为 2001 年以来同期最优。利用近 10 年上海近地面气象观测数据、美国环境预报中心 NCEP/NCAR 再分析资料和中国气象局国家气候中心的环流指数监测数据, 分析了有利于空气污染扩散的近地面气象条件及大气环流特征, 及其对上海世博会期间空气质量的影响。结果表明: 2010 年世博会期间, 上海近地面东风明显偏多且偏大, 近地层接地逆温明显少于往年, 降水量和降水日数也较常年明显偏多, 综合气象条件有利于空气质量的提高。西太平洋副热带高压较常年异常偏大、偏强、偏西, 影响上海地区的夏季风更多源自西太平洋副热带高压南侧的偏东气流输送, 这为上述区域的东风活跃创造了条件。尽管上海世博会期间的空气质量联防联控措施使得污染排放低于常年, 但气象条件不利时, 大气环流的输送扩散仍导致了上海世博会期间上海的 3 次污染事件, 这说明气象条件是上海世博会期间空气质量优良的主要影响原因之一。

**关键词:** 上海世博会; 空气质量; 大气环流; 近地面气象要素

### 引 言

实况环境监测资料显示, 2010 年世博会期间(5 月 1 日—10 月 31 日)上海空气质量的优良日数达 181 d, 环境空气质量优良率达 98.4%, 为 2001 年上海有环境监测数据以来历史同期最高。

大气污染是区域性的<sup>[1-2]</sup>, 除了局地排放源以外, 由于天气系统的活动尺度、大气环流的输送扩散等原因, 周围环境的空气质量往往影响了局地情况, 城市间大气污染物输送明显, 相关研究结论已很多。如河北、天津等周边地区对北京地区的空气质量有显著影响<sup>[3]</sup>; 经济发达区域城市群间的城区与郊区排放源之间的污染扩散、混合或特大城市之间的羽流影响效应, 可构成区域性大范围污染扩散、混合现象<sup>[4]</sup>; 北京城市重污染过程与南部周边城市群落排放源影响相关显著<sup>[5]</sup>; 一次珠江三角洲区域污染个

例中香港地区污染物浓度的上升与区域性输送有直接关系<sup>[6]</sup>。为保障上海世博会期间的空气质量, 苏、浙、沪三省市联合实施了“世博会长三角区域空气质量保障联防联控措施”, 制定了大气污染联合防治工作方案, 重点对世博园区 300 km 半径范围内污染企业实施全面综合整治, 确保污染治理设施正常运转、大气污染物稳定达标排放, 发挥了区域联动效应, 全面提升了区域空气质量。这些措施及其成果为 2010 年上海世博会期间空气质量优良率创历史新高打下了坚实的基础。

在一个地区排放源相对稳定的情况下, 气象条件对环境空气质量状况起了主导作用。不同的天气背景下, 同一污染源对同一地区造成的近地面污染物平均环境浓度可相差几倍到几十倍。关于天气形势及相应的近地面气象条件与大气污染物浓度关系研究为城市空气质量预报提供了依据。比如, 当近地面存在强逆温、静风等不利于扩散的气象条件时,

2012-04-21 收到, 2012-12-28 收到再改稿。

资助项目: 上海市科学技术委员会重点项目(10231203800), 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200706019), 上海市环保科研项目(沪环科 2010-03)

\* email: jcyfmz@gmail.com

污染物浓度剧增,随着气象状况的交替变化,污染物浓度也呈交替变化的规律<sup>[7]</sup>;持续存在的大陆高压均压场是影响北京市夏季 PM<sub>10</sub> 累积的重要天气形势<sup>[8]</sup>;北京地区 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度与地面气象要素中本站气压、相对湿度和风速有很好的相关性<sup>[9]</sup>;中国香港地区 70% 的总悬浮颗粒物(TSP)高浓度日的主导风向为 W-ENE<sup>[10]</sup>;北京低空风、温度层结对大气污染物垂直分布的影响分析表明,稳定层结下风速水平和垂直扩散能力较差,不利于大气污染物扩散,易造成空气污染<sup>[11]</sup>;兰州市区主要污染物浓度与逆温层发生频率、最大混合层厚度以及低空大气层结温度递减率等的显著关系表明,低空逆温层结是影响其空气污染程度的重要因素之一<sup>[12]</sup>;有学者特别指出未来气候变化导致的局地天气类型的长期演变趋势将影响局地污染物浓度的分布<sup>[13]</sup>。

通过对 2001—2009 年上海世博会同期(污染排放没有明显变化的 9 年)近地面气象要素与空气质量的统计特征分析,并结合 2010 年上海世博会期间近地面气象要素特征和大气环流场的异常特征统计分析,以及上海世博会期间 3 次污染事件形成的天气形势分析,在污染减排的大背景下探讨了气象因素对空气质量的影响。

## 1 资料与方法

本文空气质量资料为上海环境监测中心提供的上海市 8 个自动环境监测站 2001 年 1 月 1 日—2010 年 12 月 31 日共 10 年的 PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 日平

均质量浓度资料(取前一日 13:00(北京时,下同)至当日 12:00 的平均值);根据国家《环境空气质量标准》(GB3095-1996)规定的各项污染物的各级质量浓度限值,将各污染物质量浓度值转换为对应等级的量纲为 1 的形式(即 API 空气污染指数),取其中最大的 API 表征当日的空气质量;平均 API 指数均由最大 API 值对应的质量浓度值求平均得来,若序列中最大 API 值类别不同,则先求最大 API 值对应的质量浓度平均值及相应的 API 指数平均值,再按各类别的权重算出总序列的平均 API 指数。气象要素资料使用上海浦东站地面气象观测月报表文件的小时资料,并与环境监测数据统计时段一致计算日资料;层结资料取自宝山站 08:00 探空资料;大气环流场资料取自 NCEP/NCAR 再分析资料的 2.5°×2.5°月平均场,气候平均值取 1981—2010 年的 30 年平均;大气环流指数取自中国气象局国家气候中心的月气候监测数据。

## 2 世博会同期上海空气质量的基本特征

### 2.1 2010 年上海世博会期间空气质量实况监测

2010 年 5 月 1 日—10 月 31 日世博会期间上海空气污染指数 API 的日分布资料(图 1)显示,184 d 里有 3 d 空气质量为轻微污染(API 为 100~150),94 d 空气质量为优(API 不大于 50),87 d 空气质量为良(API 为 50~100),即世博会期间上海空气质量优良率达 98.4%。

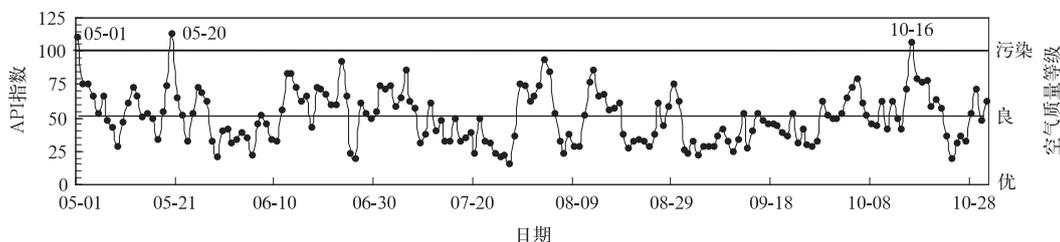


图 1 2010 年上海世博会期间 API 指数分布

Fig. 1 Distribution of daily API during the 2010 World Expo in Shanghai

2010 年 5—10 月上海各月空气质量优良率(图略)分析显示,184 d 中仅有 3 d 出现轻微污染。相对而言,5 月空气质量优良率最低,只有 93.5%,5 月 1 日(API 为 111)、5 月 20 日(API 为 113)出现轻微污染;10 月为 96.8%,10 月 16 日(API 为 107)出现轻微污染;而 6—9 月连续 4 个月空气质量的优

良率达到了 100%。

### 2.2 2001—2010 年世博会同期上海空气质量监测数据分析

#### 2.2.1 上海世博会同期平均 API 指数及空气质量优良率的年际变化

2001—2010 年世博会同期上海平均 API 指数

及空气质量优良率的年际分布(图2)显示,平均API指数最高为2004年的68.9,偏离10年平均值(63)1.4倍标准差(4.2);最低为2010年的54.3,偏离10年平均值最远(2.1倍标准差),说明2010年5—10月平均API指数明显低于其他9年;5—10

月空气质量优良率最高为2010年的98.4%,次高为2008年的96.8%,最低为2002年的88.6%,次低为2004年的90.8%。即2010年5—10月上海平均API指数为历史最低、空气质量优良率为历史最高。

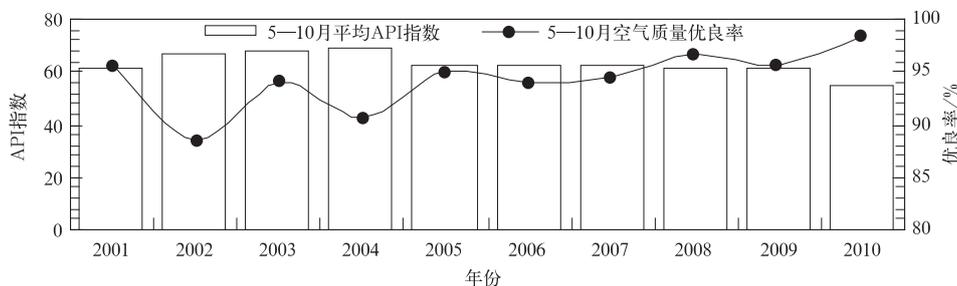


图2 2001—2010年世博会同期上海平均API指数及空气质量优良率的年际分布特征

Fig. 2 Interannual distribution of the average API index and the good air quality rate during the same World Expo period of 2001—2010 in Shanghai

### 2.2.2 世博会同期各月空气质量优良率年际变化

2001—2010年世博会同期上海各月空气质量优良率分布(表1)显示,5月、10月空气质量优良率均有年份达到100%(2009年5月和2007年10月),2010年5月、10月的空气质量优良率仅在历史同期并列第4位和并列第2位;6月、7月、8月、9

月空气质量优良率达100%的分别有3年、7年、4年和8年,而6—9月连续4个月空气质量优良率达100%、尤其是夏季连续3个月达100%的仅为2010年。相比较而言,2010年夏季连续3个月空气质量优良率达100%对上海世博会期间空气质量优良率创历史新高有重要贡献。

表1 2001—2010年世博会同期上海空气质量优良率(单位:%)

Table 1 The good air quality rate during the same World Expo period of 2001—2010 in Shanghai(unit:%)

年份	5月	6月	7月	8月	9月	10月
2001	80.65	100.00	100.00	96.77	100.00	96.77
2002	87.10	93.33	93.55	100.00	80.00	77.42
2003	96.77	86.67	100.00	100.00	96.67	83.87
2004	90.32	83.33	96.77	93.55	100.00	80.65
2005	96.77	96.67	100.00	96.77	100.00	80.65
2006	83.87	93.33	100.00	96.77	100.00	90.32
2007	74.19	96.67	100.00	96.77	100.00	100.00
2008	93.55	100.00	100.00	96.77	100.00	90.32
2009	100.00	90.00	100.00	100.00	100.00	83.87
2010	93.55	100.00	100.00	100.00	100.00	96.77

### 2.2.3 世博会同期污染日的年际变化

2001—2010年世博同期上海共出现104d污染日(API超过100)且首要污染物均为PM<sub>10</sub>。从年际分布看,无论是污染日还是相应的平均API指数(图3),2010年都明显偏少或偏低。污染日最多为2002年的21d,其次为2004年的17d;污染日最少为2010年仅3d,其次为2008年的6d。104d污染日里,有5d API大于150,最高为2007年5月26

日(API为169),次高为2003年10月22日和2002年7月16日(API为155);近10年来世博会同期污染日平均API指数最高为2007年的125,最低为2010年的110。

综上所述,2010年世博会期间上海的空气质量为近10年来同期最优,其优良率为最高、污染日最少、平均API指数最低、夏季连续3个月空气质量优良率达100%也为历史同期仅有。

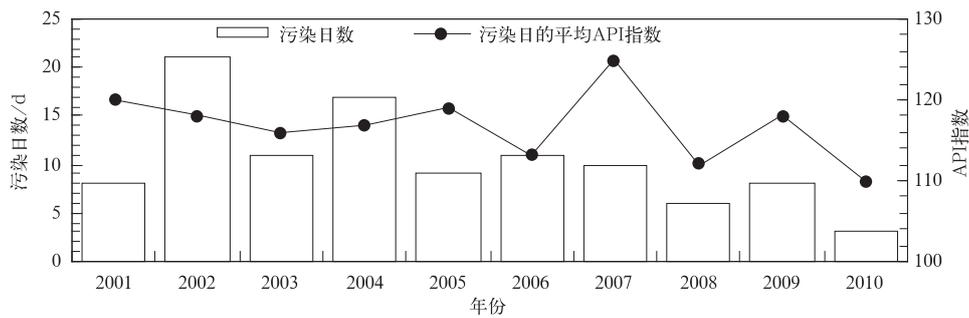


图 3 2001—2010 年世博会同期上海污染日及污染日平均 API 指数年际分布

Fig. 3 Interannual distribution of pollution days and its average API index during the same World Expo period of 2001—2010 in Shanghai

### 3 有利于污染物扩散的近地面气象要素特征

研究表明,影响大气污染物扩散的近地面气象因素主要包括风向风速、降水和大气层结条件等<sup>[14]</sup>。其中最直接的气象条件是风场,平均风对大气污染物的稀释和输送起主要作用,在一定的阈值范围内,风速越大,污染物的扩散能力越强,也越有利于污染物环境浓度的降低。降水则可对污染物产生直接的冲刷和清洁作用。而当近地层(大气边界层内)大气静力稳定时,将导致近地面持续静风或微风,从而不利于低层空气中颗粒物等的水平输送及垂直扩散。因 2010 年实施了“世博会长三角区域空气质量保障联防联控措施”,统计时只针对 2001—2009 年污染排放没有明显变化的 9 年近地面气象要素资料与同期污染物指数,分析上海地区有利于污染物扩散的近地面气象要素特征。

#### 3.1 近地面风场特征及其影响

基于 16 个方位风向和静风(风速不大于  $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )统计的 2001—2009 年世博会同期共 1656 d 的上海主导风分布特征(图 4)显示,最多的主导风为静风

(C)(324 d, 约占 19.6%),其样本日的平均 API 指数也是最高(80);剩余的 1332 d 中,NNE-SSE 象限(即偏东风,1006 d,约占 60.7%)出现的日数明显多于 SSW-NNW 象限(即偏西风,240 d,约占 14.5%),其对应的平均风速也是偏东风( $2.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )明显大于偏西风( $1.84 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),但对应的平均 API 指数则是偏西风(72)明显高于偏东风(57)。对比分析 9 年来世博会同期污染日的主导风分布特征(图略),静风下污染日出现最多,为 60 d,约占静风总样本数的 18.5%;偏东风影响情况下污染日出现 16 d,约占其样本数的 1.6%;偏西风影响情况下污染日出现 21 d,约占其样本数的 8.8%。即上海 5—10 月静风出现的比例最高,静风情况下污染物平均环境浓度和污染日出现的比例也最高;另外,该季节里偏东风明显多于偏西风,但在偏西风影响情况下平均风速偏小,污染物的平均环境浓度和污染日出现比例都明显高于偏东风影响情况。

进一步分析 2001—2009 年各年世博会同期 184 d 的主导风分布特征(图略),9 年中上海世博会同期的主导风向有 5 年(2002, 2003, 2004, 2006, 2007 年)为静风,导致空气质量优良率较低,而主导风为东风的只有 2008 年,其空气质量优良率为 9 年

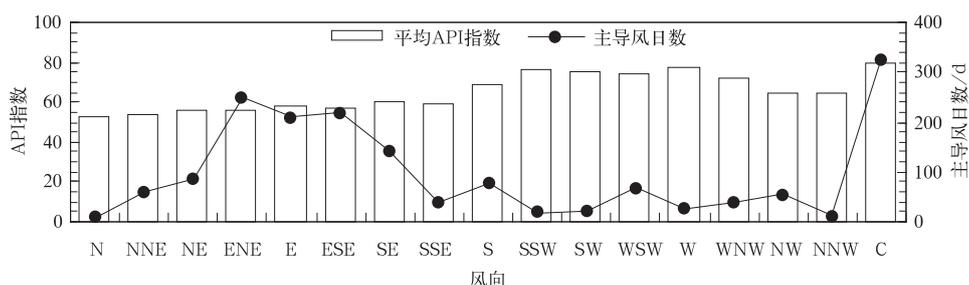


图 4 2001—2009 年世博会同期上海日主导风分布及对应的平均 API 指数

Fig. 4 Distribution of the prevailing winds and average API index during the same World Expo period of 2001—2009 in Shanghai

中最高。值得关注的是,世博会同期偏东风向主导风最少的2002年,在W-WN向主导风出现天数虽然只有28 d,但却是9年中的同期最多,其对应的同期空气质量优良率为9年中同期最低。

5—10月上海地区出现静风的比例最高,由于近地面风力小,不利于城市中颗粒物的扩散,因此静风下上海污染物的平均环境浓度及污染日的出现比例都最高;当盛行偏西风、尤其是W-WN风向时,易将上游城市群落的污染物带下,较易给上海带来较高的污染物平均环境浓度,其出现污染日的比例也较高;而当盛行偏东风时,风力较大,更易为上海带来源自海洋的洁净、清爽的空气,其污染物平均环境浓度、出现污染日的比例都明显偏低。

### 3.2 近地层大气静力稳定及其影响

当存在较稳定的接地逆温时,近地层层结稳定,不利于边界层大气中污染物的扩散。上海地区全年平均的气压值约为1016 hPa,夏半年5—10月的平均气压约为1010 hPa。基于08:00上海宝山站探空资料,统计了2001—2009年世博会同期的接地逆

温;夏半年因辐射降温常形成浅层逆温,当气温升高,这种浅层逆温也迅速消失,因此统计时通过经验方法剔除了这些浅层逆温(如剔除逆温层顶在1000 hPa及以下的接地逆温层)。图5为2001—2009年世博会同期上海08:00接地逆温日数的年际分布及相应的平均API指数。结果表明:9年来,5—10月08:00接地逆温日数最少为2008年的2 d;最多为2002年的19 d;从对应的平均API指数来看,2008年当08:00有接地逆温时其平均API指数为最低(79),其余8年的平均API指数都为85~103。当接地逆温减少时,近地层大气层结条件有利于空气中颗粒物的扩散和空气质量的提高。

### 3.3 降水特征及其影响

2001—2009年世博会同期降水年际分布(图6)显示,上海5—10月半年累积降水量最多出现在2002年,为1202.2 mm;降水日数最多出现在2002年,为78 d。降水对浮游在空气中的颗粒物有直接的冲刷和清洁作用,降水量及降水日数偏多有利于空气质量的提高。

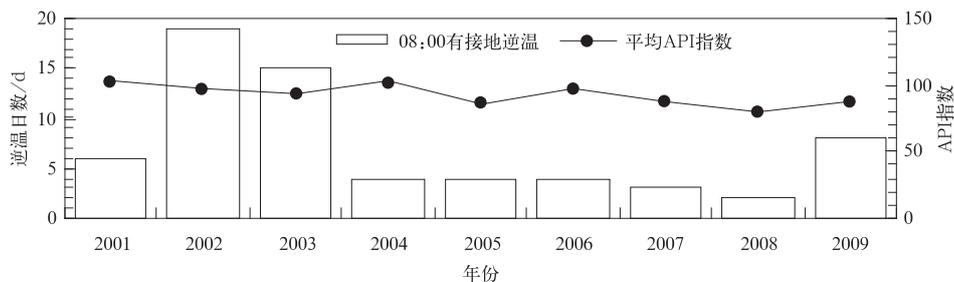


图5 2001—2009年世博会同期上海08:00接地逆温日数的年际分布

Fig. 5 Interannual distribution of ground inversion days at 0800 BT in Shanghai during 2001—2009

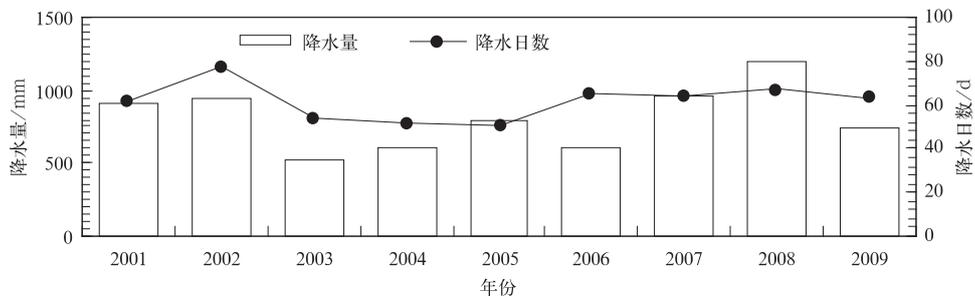


图6 2001—2009年世博会同期上海降水量和降水日数年际分布

Fig. 6 Interannual distribution of the cumulative precipitation and rain days in Shanghai during 2001—2009

值得关注的是,一个地区的气候特征并非由一类气象要素特征所决定,而是各类气象要素复杂的综合影响的结果,空气质量的优良率也是如此。比

如2002年世博会同期,从降水条件看,其降水日数最多,降水量也偏多,但其主导风条件及层结条件均不利于空气质量提高,因此其空气质量优良率反而

排在了 9 年来的最后。

#### 4 2010 年世博会期间上海近地面气象要素特征

2001—2009 年上海世博同期近地面气象要素和空气质量的统计分析表明,以上海特有的地理位置特征,静风情况下污染物的平均浓度及出现污染日的比例最高,偏东风下平均风速偏大、污染物的平均环境浓度和污染日出现比例均明显低于偏西风情况,接地逆温明显偏少、降水明显偏多也有利于空气中颗粒物的扩散和空气质量的提高。以下进一步分析 2010 年世博会期间上海地区的近地面气象要素特征。

##### 4.1 上海世博会期间近地面气象要素特征

2010 年上海世博会期间上海主导风分布特征(图 7)显示,主导风为东风(36 d),多于 2008 年的 34 d,平均风速为  $1.92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,大于 2008 年的  $1.75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其样本日平均 API 指数(46)也低于 2008 年的平均值(55);其次为静风(31 d),出现比例低于 2001—2009 年的平均值,其样本日的平均 API 指数(69)也低于前 9 年的平均值。偏东风向主导风共有 114 d,出现比例高于前 9 年的平均值,其样本日的平均 API 指数(44)也低于前 9 年的平均值;偏西风向主导风为 29 d,出现比例略高于 2001—2009 年的平均值,但其样本日的平均 API 指数(62)低于前 9 年的平均值,而其中 WNW 风向未出现,W-WN 向主导风仅有 6 d,远少于前 9 年的平均值。

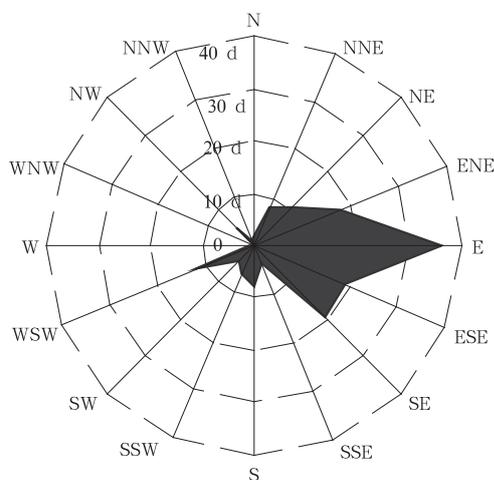


图 7 2010 年上海世博会期间的主导风玫瑰图

Fig. 7 Prevailing wind rose of the 2010 World Expo in Shanghai

另外,2010 年世博会期间上海 08:00 接地逆温出现仅为 1 d,是 2001 年以来同期最少,其对应的 API 指数为 44,也是 10 年来 08:00 出现接地逆温时最低的 API 值。

2010 年 5—10 月上海累积降水量为 875.4 mm,位列 2001 年以来的同期第 5 位;降水日数为 72 d,位列 10 年来的同期第 2 位。上海世博会期间降水量月分布特征(图略)显示,6 个月累积降水量与常年同期基本持平,偏多约 5%,但各月的分布极不均衡,5 月、6 月降水较常年同期分别偏少了 3 成和 5 成,而 7 月、8 月、9 月和 10 月则较常年同期分别偏多了 2 成、1 成、7 成和 4 成。

综上所述,2010 年世博会期间上海地区近地面明显偏多且偏大的东风、明显偏少的西-西北风、出现比例偏低的静风等风场特征,以及接地逆温明显偏少的近地层大气层结条件、降水量及降水日数偏多的降水条件等,有利于空气中颗粒物的扩散及空气质量的提高。

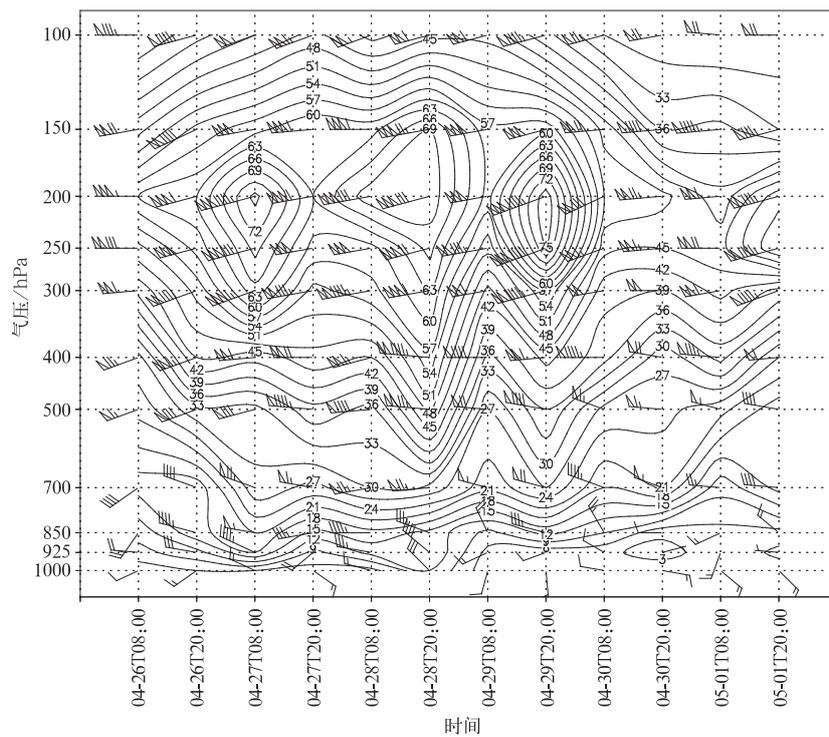
值得关注的是,无论是静风还是偏东风、偏西风条件下,2010 年世博会期间上海各相应主导风的平均 API 指数均低于 2001—2009 年同期的平均值,这些结果也恰恰反映了苏、浙、沪三省市联合实施的“世博会长三角区域空气质量保障联防联控措施”的污染减排效果。正是近地面有利的气象条件和污染减排措施这两个客观和主观因素的共同作用,使得 2010 年世博会期间上海的空气质量优良率创了 2001 年以来的新高。然而当气象条件明显不利时,即使有 300 km 半径范围的联防联控措施,也会导致污染事件的出现,如 2010 年 5 月 1 日、5 月 20 日和 10 月 16 日,即大气污染是区域性的,因天气系统的活动尺度、大气环流的输送与扩散等原因,周围环境的空气质量往往影响了局地情况,城市间大气污染物输送明显。

##### 4.2 世博会期间 3 次污染事件的气象条件

2010 年 5 月 1 日主导风向为东风,未出现降水,08:00 也未出现逆温层,但当日的 API 指数达 111,为轻微污染等级。上海地区 API 指数自 4 月 26 日的 53 上升到 4 月 27 日的 124 后,直至 5 月 1 日一直维持在 100 以上,即出现了持续 5 d 的轻微污染天气。图 8 为 4 月 26 日 08:00—5 月 1 日 20:00 上海宝山站的高空风时序图。由图 8 可知,26 日傍晚至 27 日早晨北方一股较强冷空气自 700 hPa 至地面逐步影响上海,风速增大,风向也由高向低从

西南风转为西北风;而24日起新疆、内蒙古、青海、甘肃等部分地区出现的强沙尘天气也随着冷空气东移南下,于26日夜里开始影响上海,上海的日平均API指数自4月26日的53上升至27日的124。28日早晨开始又有一股补充冷空气扩散南下,继续将北方的沙尘天气带入上海,28日上海日平均API指数达131。之后,地面冷高压在缓慢东移、南压过程中逐渐变性、减弱并稳定成一个横跨河套北部至东南沿海的L型带状高压,上海地区等压线稀疏,风力很小,不利于近地面前期累积的污染物的水平扩

散,而高空盛行的西北风也抑制了近地面污染物的垂直扩散,29日、30日上海地区的API指数虽略有下降但继续维持在轻微污染等级。30日夜间起随着贝加尔湖以西的又一股冷空气的东移南压,控制河套及东南沿海的L型高压也开始南压、东退,上海近地面开始出现持续的东到东南风且风力增大,API指数下降,虽然5月1日平均API指数仍达到111,但污染时段主要集中在30日下午,5月2日平均API指数已迅速降至76。



送、扩散等原因导致的输入型污染物仍可导致上海地区的污染事件,而持续的、较大的来自海洋的偏东风则对上海地区的污染物有稀释、洁净作用。

## 5 2010 年上海世博会期间大气环流异常特征

西太平洋副热带高压位于北半球对流层中层西太平洋上,其南北两条辐合带的强弱变化及本身的强度、面积、东西及南北位置的异常都会造成夏季中国东部乃至东亚的天气、气候异常<sup>[15-17]</sup>。

在对流层中层 500 hPa 北半球夏季(6—8 月)环流气候平均场(图 9a)的中纬度地区,副热带高压牢牢控制着副热带地区,其中在北太平洋、中美洲经北大西洋至非洲大陆北部各有一闭合的以 5880 gpm 等值线(下同)为特征线的环流中心,后者在北非大陆西

侧还有一个以 5920 gpm 线为特征线的闭合中心。2010 年夏季 500 hPa 环流平均场(图 9b)的中纬度地区,副热带高压较常年明显偏强、偏大,气候平均场中两个 5880 gpm 闭合环流中心已连成一片,形成了一个几乎控制了整个副热带地区(青藏高原除外)的以 5880 gpm 为特征线的环流中心;而通常只控制北非大陆西侧的 5920 gpm 环流中心,向东扩展至北非大陆中东部、向西扩展至北大西洋中西部,同时在北美洲东西部还出现了一个小的 5920 gpm 环流中心,常年约在 130°E 附近的西太平洋副热带高压西伸脊点已伸展至我国东南地区。结合 2010 年距平场(图 9c)可知,环绕整个副热带地区的正变高区,反映了 2010 年夏季副热带高压的异常偏强偏大,其中位于西太平洋上的大范围 50 gpm 的正变高中心,也反映了西太平洋副热带高压异常偏强、偏大。

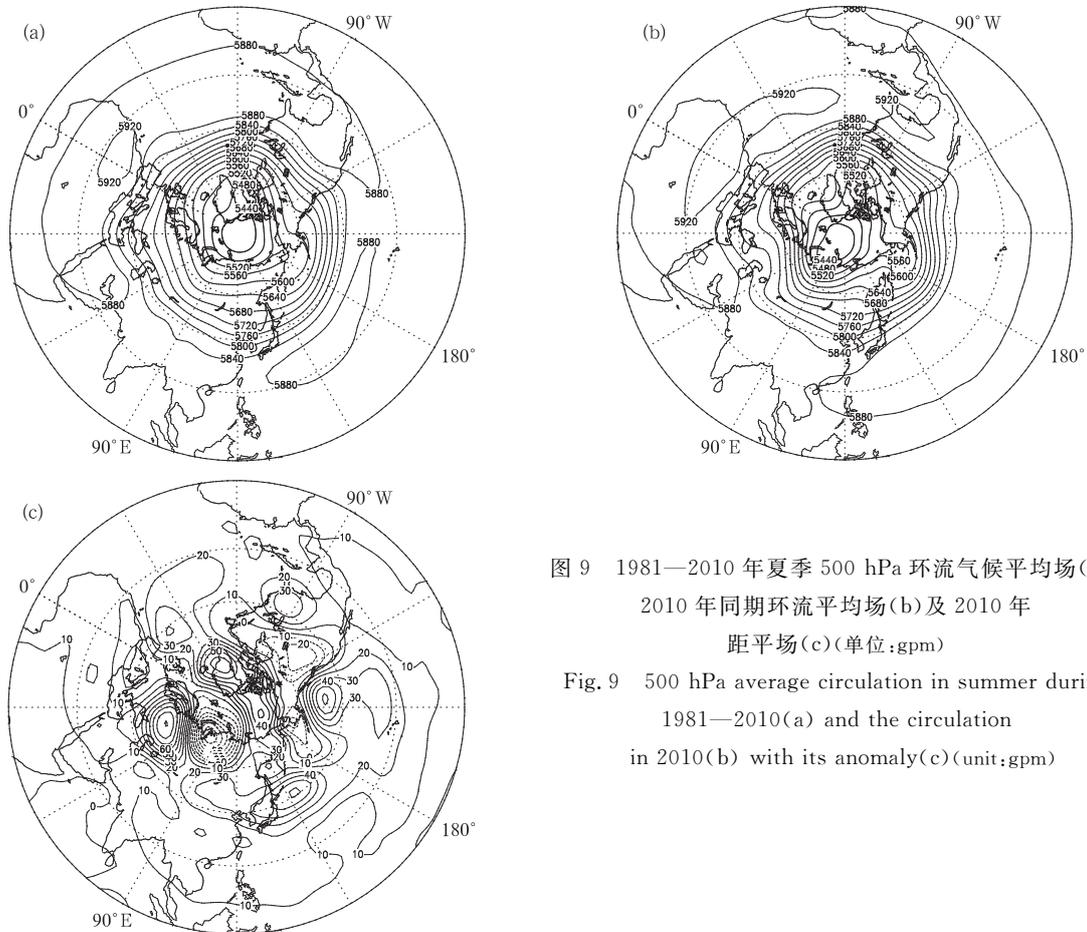


图 9 1981—2010 年夏季 500 hPa 环流气候平均场(a)、2010 年同期环流平均场(b)及 2010 年距平场(c)(单位:gpm)

Fig. 9 500 hPa average circulation in summer during 1981—2010(a) and the circulation in 2010(b) with its anomaly(c)(unit:gpm)

基于 500 hPa 环流场计算的西太平洋副热带高压环流指数给出了 2010 年西太平洋副热带高压的若干定量特征。其中 2010 年 7—9 月的面积指数及

7—8 月的强度指数,均为 1951 年以来历史同期最高;而 6—8 月西伸脊点的偏西程度也是 1951 年以来历史同期最高,均西伸至 90°E 以西;脊线位置虽

未出现历史极值,但夏季前期偏南、后期偏北的特征非常明显。

东亚夏季风从海洋带来大量水汽到我国东部直至韩国、日本南部,季风环流的强弱直接影响水汽输送,并严重影响降水;而东亚夏季风环流系统不仅受印度西南季风气流的影响,西太平洋副热带高压和中纬度扰动系统<sup>[18-19]</sup>、沿 105°E 附近流经我国南海的越赤道气流<sup>[20]</sup>均对其有重要影响。2010 年夏季对流层低层 850 hPa 中低纬度北印度洋至西太平洋地区的平均流场上(图略),印度尼西亚东侧的西太平洋地区偏东气流较常年明显增强,我国南海季风区的夏季风仍以向北的经向输送为主,但其偏西分量明显弱于常年。而其与夏季平均流场的偏差图(图略)上,孟加拉湾西侧为东南气流、东侧为东北偏东气流,即印缅槽较常年同期异常偏弱;印尼南侧的东北偏北气流则显示该区域越赤道气流较常年同期异常偏弱;杭州湾至华北的东南气流则显示影响我国长江下游至华北地区的夏季风偏南分量强于常年、而偏西分量则弱于常年,即西太平洋副热带高压南侧的偏东及东南气流较常年异常偏强。总之,影响东亚地区水汽输送的印缅槽、南海越赤道气流较常年同期异常偏弱,而西太平洋副热带高压南侧的偏东气流则较常年异常偏强。

基于 500 hPa 环流场计算 2001—2010 年夏季印缅槽指数的平均值(图略)表明,2010 年夏季的印缅槽是 2001 年以来历史同期最弱,1951 年以来仅强于 1998 年排在第 2 位。

综上所述,2010 年夏季印缅槽异常偏弱、南海地区越赤道气流偏弱,影响我国中东部地区的东亚夏季风较常年总体偏弱且偏西分量明显弱于常年,但西太平洋副热带高压较常年异常偏强、偏大、偏西且夏季前期偏南后期偏北,其南侧的偏东及东南气流较常年都明显偏强,影响我国长江下游至华北地区的夏季风更多地源自西太平洋上偏东气流的输送,这为上海地区近地面东风活跃创造了有利条件。

## 6 小 结

1) 2010 年世博会期间上海近地面盛行东风且风力较大,为上海带来了更多的海上洁净、清爽的空气,有利于污染物的扩散;W-WN 风明显少于常年,其上游城市群落的污染物输送影响明显偏少;静风日少。近地层接地逆温明显少于往年,降水量和降

水日数偏多,气象条件有利于空气质量的提高。

2) 2010 年夏季西太平洋副热带高压较常年范围异常偏大、强度异常偏强、位置异常偏西,其面积指数和强度指数是 1951 年以来历史同期最大,其西伸脊点偏西程度也处在 1951 年以来的第 1 位。对应低层流场上,其南侧的偏东及东南气流输送较常年同期明显偏强,这为上海地区近地面东风的活跃创造了有利条件。

2010 年上海世博会期间,苏、浙、沪三省市联合实施的“世博会长三角区域空气质量保障联防联控措施”使得上海及周边城市群的污染源排放较常年明显减少,这对上海空气质量趋优提供了有利条件。但上海世博会期间 3 次污染事件的天气形势分析,证实当气象条件不利时,即使有严格的污染减排措施,大气环流的输送扩散作用仍可将污染物输入上海并导致污染事件。因此,有利的气象条件是 2010 年世博会期间上海空气质量优良率创历史新高的主要原因之一。

## 参 考 文 献

- [1] 张志刚,高庆先,韩雪琴,等. 中国华北区域城市间污染物输送研究. 环境科学研究,2004,17(1):14-20.
- [2] 贺克斌,贾英韬,马永亮,等. 北京大气颗粒物污染的区域性本质. 环境科学学报,2009,29(3):482-487.
- [3] Streets D G, Fu J S, Jang C J, et al. Air quality during the 2008 Beijing Olympic Summer Games. *Atmos Environ*, 2007, 41:480-492.
- [4] 徐祥德. 城市化环境大气污染模型动力学问题. 应用气象学报,2002,13(增刊):1-12.
- [5] 徐祥德,周丽,周秀骥,等. 城市环境大气重污染过程周边源影响域. 中国科学:D 辑,2004,34(10):958-966.
- [6] 李成才,刘启汉,毛节泰,等. 利用 MODIS 卫星和激光雷达遥感资料研究香港地区的一次大气气溶胶污染. 应用气象学报,2004,15(6):641-650.
- [7] 王晓云,潘莉卿,吕伟林,等. 北京城区冬季空气污染物垂直分布与气象状况的观测分析. 应用气象学报,2001,12(3):279-286.
- [8] 陈朝晖,程水源,苏福庆,等. 北京地区一次重污染过程的大尺度天气型分析. 环境科学研究,2007,20(2):99-105.
- [9] 徐敬,丁国安,颜鹏,等. 北京地区 PM<sub>2.5</sub> 的成分特征及来源分析. 应用气象学报,2007,18(5):645-654.
- [10] Cheng S Q, Lam K C. An analysis of winds affecting air pollution concentrations in Hong Kong. *Atmos Environ*, 1998, 32: 2559-2567.
- [11] 张蕾,赵淑艳,金永利. 北京地区低空风、温度层结对大气污染物垂直分布影响初探. 应用气象学报,2002,13(增刊):153-159.

- [12] 姜大膀,王式功,郎咸梅,等. 兰州市区低空大气温度层结特征及其与空气污染的关系. 兰州大学学报:自然科学版,2005,41(3):14-17.
- [13] Buchanan C M, Beverland I J, Heal M R. The influence of weather-type and long-range transport on airborne particle concentrations in Edinburgh, UK. *Atmos Environ*, 2002, 36: 5343-5354.
- [14] 李宗恺,潘去仙,孙润桥. 空气污染气象学原理及应用. 北京:气象出版社,1985.
- [15] 陶诗言,徐淑英,郭其蕴. 夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向流型的特征. 气象学报,1962,32(2):91-102.
- [16] 丁一汇. 北半球夏季全球热带和副热带 200 hPa 平均辐散场的研究. 气象学报,1987,45(1):120-127.
- [17] 黄荣辉,孙风英. 热带西太平洋暖池上空对流活动对东亚夏季风季节内变化的影响. 大气科学,1994,18(4):456-465.
- [18] Tao S Y, Chen L X. The East Asian Summer Monsoon. Proceedings of International Conference on Monsoon in the Far East, 1985: 1-11.
- [19] Tao S Y, Chen L X. A Review of Recent Research on the East Asian Summer Monsoon in China//Chang C P, Krishnamurti T N. Monsoon Meteorology. Oxford: Oxford University Press, 1987: 60-92.
- [20] 黄荣辉,张振洲,黄刚,等. 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别. 大气科学,1998,22(4):460-469.

## Weather Impacts on Air Quality of the World Expo in Shanghai

Chen Min<sup>1)</sup> Ma Leiming<sup>2)</sup> Wei Haiping<sup>3)</sup> Shi Hong<sup>1)</sup> Ma Jinghui<sup>1)</sup>  
Zhou Guangqiang<sup>1)</sup> Gu Songqiang<sup>1)</sup> Zhang Guolian<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (Shanghai Center of Urban Environmental Meteorology, Shanghai 200135)

<sup>2)</sup> (Shanghai Typhoon Institute of CMA, Shanghai 200030)

<sup>3)</sup> (Shanghai Environmental Monitoring Center, Shanghai 200030)

### Abstract

From the statistics of environmental observations, it shows that the air quality in Shanghai during the 2010 World Expo (1 May to 31 Oct) is the best for the same period since 2001. The number with good air quality days adds up to 181, accounting for 98.4% of the total 184 days. From the integrated data of the near-surface meteorological observation in Shanghai in recent 10 years, NCEP/NCAR reanalysis data from 1981, and the circulation indices of National Climate Center of CMA since 1951, the phenomenon is preliminary investigated, revealing the near-surface meteorological situation and the atmospheric circulation characteristics which affect the dispersion and deposition of air pollution during the 2010 World Expo and the same period in history. The detailed mechanisms for the impact of atmospheric condition on air quality are further investigated, and the major results are as follows.

The greatly enhanced easterly winds, less calm wind days, significantly less near-surface temperature inversion and more precipitation favor the dispersion and deposition of air particles and the improvement of air quality in Shanghai during the 2010 World Expo.

Subtropical high over the western Pacific during the 2010 World Expo is more intensive and extensive, and extending further west compared to that of recent years. As a result, the easterly airflow to the south of subtropical high is strengthened which leads to the prevailing easterly winds in Shanghai.

During the 2010 World Expo in Shanghai under the same situation of various dominant wind, e. g., calm wind, NNE-SSE wind, or NNW-SSW wind, corresponding API indices are lower than the value of the same period in 2001—2009, which reflects the effect of pollution reduction due to “Joint Implementation of Air Quality Regulating and Controlling over the Yangtze River Delta Region during the World Expo” carried out by Jiangsu, Zhejiang and Shanghai.

Although, with the joint action and its advantage, it is noticed that there are three heavy pollution ep-

isodes occurred in Shanghai during the World Expo due to the depressed weather conditions of transportation and dispersion. This result depicts that weather situation plays one of the major roles which decide the good air quality during the World Expo in Shanghai.

**Key words:** the World Expo in Shanghai; air quality; atmospheric circulation; meteorological elements

## 《应用气象学报》征稿简则

《应用气象学报》(双月刊)是大气科学理论与应用研究的综合性学术期刊,主要刊登反映新理论与新技术在大气科学中的应用,以及大气科学理论与实践相结合,应用于各个有关领域的研究论文、业务系统和研究简报;国内外大气科学与应用气象科学发展中的新动态与新问题的探讨与评论;国内外重要学术会议或研究、业务活动的报道;气象书刊评介。

投稿要求和注意事项:

1. 论点明确、文字精炼。摘要请按文摘四要素(目的、方法、结果、结论)撰写,列出3~8个关键词,作者姓名请附汉语拼音,所在单位请附中、英文全名、地名、邮编。要求中文摘要为200~400字,英文摘要为500个单词左右(并请附对应的中文译文)。

2. 插图请插入文中适当位置,要求准确、清晰、美观。图中物理量、单位请勿遗漏,中、英文图题及说明写在插图下面。表格请采用三线表形式,并列出中、英文表题。

3. 参考文献请择主要的列入,并请按文中引用顺序标号。期刊书写格式:作者.文章题目.刊名,年,卷(期):起止页.专著书写格式:作者.书名.译编者.出版地:出版社,出版年:起止页。

4. 计量单位请按《中华人民共和国法定计量单位》列出,已废止的单位请换算成法定计量单位。

5. 科技术语和名词请使用全国自然科学名词审定委员会公布的名词。外国人名和地名,除常用者外请注原文。

6. 网上投稿(<http://qk.cams.cma.gov.cn>)请同时寄送全体作者签名的《承诺书》(请网上自行下载)。稿件自收到之日起,将在6个月内决定刊用与否,来稿一经刊登,酌情收取版面费,并酌付稿酬。

7. 文中的数字及符号必须清楚无误,易混淆的外文字母、符号,请标注文种,大、小写,正、斜体,黑、白体,公式中的上、下标。

8. 本刊已加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。本刊所付稿酬包含光盘稿酬和刊物内容上网服务报酬。凡向本刊投稿的作者(除事先声明外),本刊视为同意将其稿件纳入此两种版本进行交流。

欢迎投稿。投稿请登录 [qk.cams.cma.gov.cn](http://qk.cams.cma.gov.cn)。

地址:中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部,邮政编码:100081;电话:(010)68407086,68408638;网址:[qk.cams.cma.gov.cn](http://qk.cams.cma.gov.cn); E-mail:[yyqxxb@cams.cma.gov.cn](mailto:yyqxxb@cams.cma.gov.cn), [yyqxxb@163.com](mailto:yyqxxb@163.com)。