2014年02月 JOURNAL OI

杨兆礼,郑彬,吴兑,等.2011年南海夏季风爆发期间大气污染物特征的数值模拟[J].热带气象学报,2014,30(1):73-82.

文章编号: 1004-4965(2014)01-0073-10

第30卷 第1期

# 2011 年南海夏季风爆发期间大气污染物特征的数值模拟

杨兆礼,郑彬,吴兑,黄辉军

(中国气象局广州热带海洋气象研究所/中国气象局广东省区域数值天气预报重点实验室,广东 广州 510080)

**摘** 要:利用 2006 年 Global emissions data 和 2011 年 NCEP Final Analysis 资料作为 WRF-chem 3.0 模式的 初、边值条件,模拟了 2011 年 4 月 25 日—5 月 25 日南海夏季风爆发前后一个月,区域为 70~160°E,0~40°N 范围内的季风区海盐、PM<sub>10</sub>、CO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>及 O<sub>3</sub>等各种大气化学污染物的三维空间基本分布情况,结果发 现在近地面 950 hPa 和 400 hPa 高度附近,由季风爆发引起的南海地区偏西和偏南风分量加强等风场形势的改 变,导致了相应各种污染物浓度在分布上的较大变化,尤其在南海地区,由于出现较强风场辐合导致该地区的 污染物浓度明显高于其它区域。还发现在垂直方向上,各种污染物浓度明显为别受到了由季风爆发期间引起的 偏西和偏南风分量变化的影响较明显。同时,季风爆发前陆地上的污染物浓度明显大于海洋上的污染物浓度, 而随着季风爆发,大部分污染物的这种海陆浓度差异会大幅减小。

关键 词: 南海夏季风; 大气污染物; 扩散特征; 数值模拟

中图分类号: P435 文献标识码: A

.....

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2014.01.008

## 1 引 言

随着人类工业化进程的不断深入和包括农 业、交通在内的各种人类活动的日益增多,以及 沙漠化引起的各种废气、沙尘微粒和矿物质等不 断进入大气中,使得当前的大气污染状况日益严 重<sup>[1-7]</sup>,逐渐引起关注。随着计算机科学的高速 发展,已有不少研究工作通过各种数值模拟的方 法来对大气污染分布特征进行模拟研究<sup>[8-16]</sup>,对 大气污染物的基本分布情况有一定的了解。但由 于大气污染物的基本分布情况有一定的了解。但由 于大气污染物的输送、扩散活动通常与各种尺度 的气象条件(如风向和风速等)关系密切<sup>[17-19]</sup>,容 易受到各种天气(或气候)系统所引起的大气环流 变化的影响。

从气候尺度看,全球最典型最强的季风系统 就是亚洲季风<sup>[20]</sup>,同时由于亚洲夏季风一般在南 海及附近地区最先爆发,然后向南亚及东亚地区 逐渐推进<sup>[21]</sup>,因此,研究南海夏季风对大气污染 物的大尺度输送、扩散活动过程有极重要的意义。 目前,对南海夏季风的活动已有了不少研究成果 [22-69], 对南海夏季风的活动规律有了比较成熟的 了解。郑彬等<sup>[70]</sup>发现在南海夏季风活跃期间,广 州气溶胶的消光特性会经历一个先增长后减弱的 过程;侯雪伟等<sup>[71]</sup>发现东亚夏季风的推进过程造 成不同地区春季臭氧月均最大值出现的时间略有 不同; 王志立等<sup>[72]</sup>发现南亚地区黑碳气溶胶对南 亚夏季风爆发和强度以及东亚夏季风强度都有影 响。另外, Lau 等<sup>[73]</sup>和 Yoon 等<sup>[74]</sup>对季风降水和 环流与气溶胶之间的关系也作了类似研究。而对 于由南海季风爆发过程引起的大气污染物输送和 扩散过程变化特征的研究还很少,但其研究结果 对于进一步了解季风活动与大气污染物输送之间 互相影响的关系及其相关物理机制有重要意义。

收稿日期: 2012-07-25; 修订日期: 2013-11-18

资助项目:国家重点基础研究发展计划课题(2011CB403403);国家自然基金(41175013)共同资助

通讯作者:杨兆礼,男,广东省人,高级工程师,主要从事应用气象研究。E-mail: zlyang@grmc.gov.cn

本文主要对 2011 年南海夏季风爆发期间的大气 污染物特征进行模拟和初步分析。

## 2 资料介绍

本文利用2006年平均的Global emissions data (dust, sea salt, biomass burning)及6 h间隔、1 °×1 ° 的 2011 年 NCEP Final Analysis 资料作为 wrf-chem3.0模式的初、边值条件。考虑到1850年 即工业革命前的大气中CO<sub>2</sub>浓度为270 ppm,到 2008年为387 ppm, 在160年间CO2浓度增加了117 ppm,即平均每年增加0.73 ppm,约为2008年的 0.189%,因此作为气候平均的emissions data在5 年内变化很小,可忽略不计。因此,用2006年平 均的Global emissions data来作2011年的计算时可 认为海盐、PM<sub>10</sub>、CO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>及O<sub>3</sub>等由边值 引起的误差在可接受范围以内。此外,模式输出 时间间隔为6 h,模式中化学方案选取ADM2 chemical mechanism and MADE/SORGAM aerosols, 扩散参数取为GOCART RACM\_KPP emissions, 模拟了2011年4月25日—5月25日季风 爆发前后一个月及9月10日—10月20日季风结束 前后一个月,区域为70~160°E,0~40°N范围 内的季风区中海盐、PM<sub>10</sub>、CO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>及O<sub>3</sub> 等各种污染物成分的三维空间基本分布变化情 况。

# 3 2011 年 4 月 25 日—5 月 25 日季 风爆发期间污染物分布

#### 3.1 近地面950 hPa情况

2011年南海夏季风于5月8日爆发,南海地区5 月2候低层平均经向风为南风、平均纬向风为西 风,对流活跃(图1,2011年5月中国气象局广州热 带海洋气象研究所季风监测公报)。在南海夏季风 爆发前后,南海地区低层纬向风场由东风逐渐转 为西风,CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、海盐类及PM<sub>10</sub>二 种污染物在爆发前30 °N以南的浓度由小逐渐变 大,至5月8日季风爆发时,在与TBB低值中心对 应的对流活跃地区有3个较强的污染物浓度高值 中心,并在季风爆发后继续维持一段时间(图2)。 从图3可看出,季风爆发后红色方框南侧边沿有较 强的西南气流进入了红色方框区域内,并到达15 °N左右,同时在该区域四周边沿的流出气流较 弱,导致南侧较强西南气流带来的污染物就集中 在红色方框区域内。而在季风爆发前,红色方框 南侧西南气流较弱,且仅达到5°N左右。因此, 季风爆发伴随的偏西和偏南风分量的加强以及急 流位置向偏北和偏东移动, 是导致红色区域污染 物浓度偏高的主要原因。另外,由于季风爆发前 后,南海地区低层纬向风场由东风逐渐转为西风, 使得在蓝色区域内形成了较强的气旋性辐合风 场,同时该区域的南面边沿和东面边沿都有较强 的气流进入, 仅在北面边沿有弱的气流流出, 使 得污染物不断随较强气流进入该区域并不断累 积。因此,南海夏季风爆发前后,南海地区低层 纬向风场由东风逐渐转为西风,是该区域出现高 浓度污染物聚集的主要原因。同样,季风爆发后, 在30~35°N附近的蓝色区域南边有较强的偏西 南气流进入,北边也有较强的偏北气流进入,也 使得污染物不断随较强气流进入到该区域并不断 累积形成污染物高浓度区域。而在季风爆发前, 该区域北边的偏北气流只达到40°N附近,较强偏 西南气流达到35°N附近,因此随着季风爆发,该 区域的污染物高浓度带也就随着南压3~5个纬 度并明显加强。

#### 3.2 400 hPa高空情况

根据模拟结果可知,跟近地面情况一样,高 空海盐、PM<sub>10</sub>、CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>的分布同样 受到季风爆发前后环流变化较大的影响,高空 PM<sub>10</sub>在季风爆发前共有4个大值区(图4),分别是 菲律宾附近的大值区和另外3条大值中心带,即沿 110~130°E,30~35°N的分支,85~110°E,25 °N以南的另一条分支及西太平洋区域110~145 °E,25~35°N的分支。



图 3 2011 年 5 月 8 日 00 UTC NCEP 925 hPa 风场



图 6 2011 年 4 月 30 日 18 UTC(a)、5 月 10 日 18 UTC(b)季风爆发前海盐分布 单位: ppmv。

季风爆发前,与这3条分支对应的区域分别有 较强的高空急流带穿过并作为维定的污染物输送 来源, 在风场出现较强辐合的狭长带状区域形成 了污染物高浓度集中地区(图5a,见76页)。而在 季风爆发后,在25°N以南区域基本没有较大的气 流出现,而原来在20°N附近的偏西急流则退到25 °N以北(图5b)。因此除了30~35°N的污染物高浓 度大值分支维持并加强外, 5~30°N间的两条污 染物高浓度大值分支和菲律宾附近的大值区整合 成一大片的污染物高浓度大值区域,几乎覆盖了 90~150°E, 5~30°N的整个区域。因此, 季风 爆发后,维持在25°N以北的较强急流不断从远处 传输带来污染物并堆积在25°N以南地区,同时人 类活动等产生的各种污染物在25°N以南地区也 因缺乏较好的对流条件而停滞在该区域,导致该 区域各种污染物浓度不断增加。

而海盐的情况基本类似(图6,见76页),但在 季风爆发前只有中国西南的西太平洋85°E附近 5~23°N间的一条大值带及菲律宾附近120~145 °E的大值区,而在季风爆发后在海上由于南海地 区低层形成了较强的风场辐合,并通过较强的上 升对流活动把污染物抬升到高空相应地区,因而 这两个大值区在南海地区(90~135°E,5~35°N) <sup>eves couvres</sup> 图

#### 3.3 垂直情况

#### 3.3.1 垂直剖面分布

图 7 是 2011 年 5 月 10 日 12 UTC 沿 23.2 °N 作的 NO<sub>2</sub>垂直剖面分布情况,100~400 hPa 间在 115~135 °E 有一个大值区,而在地面附近至 750 hPa 间在 125 °E 以西、400 hPa 以上 145 °E 以东 各有一个大值区。而从图 8b(见下页,2011 年 5 月中国气象局广州热带海洋气象研究所季风监测 公报)可发现,与这两个大值区相对应,在地面附 近至 400 hPa 间在 125 °E 以西、400 hPa 以上 145 °E 以东分别对应西风的大值区,说明这两个区域 的 NO<sub>2</sub>受到季风爆发过程伴随的偏西风分量较明 显的影响。同样,SO<sub>2</sub>、NO、O<sub>3</sub>也存在受季风爆 发过程伴随的偏西风分量影响较明显的这两个区 域大值中心。

图9是2011年5月10日12 UTC沿113.28°E

作的 NO<sub>2</sub>垂直剖面分布情况,在地面附近至 600 hPa 间在 21~40 °N 有一个 NO<sub>2</sub>浓度大值区,而 从图 10(2011 年 5 月中国气象局广州热带海洋气 象研究所季风监测公报)可看出,在该区域相应的 位置有南风的大值中心区与之相对应,说明这个 区域的 NO<sub>2</sub>受到季风爆发过程伴随的偏南风分量 较明显的影响。同样,SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>等也存在 受季风爆发过程中伴随的偏南风分量影响较明显 的一个区域浓度大值中心。



图 7 2011 年 5 月 10 日 12 UTC 沿 23.2 °N 作的 NO<sub>2</sub> 垂直剖面分布 单位: ppmv。



垂直剖面分布 单位: ppmv。

3.3.2 季风爆发前后海陆垂直结构上的差异

由于污染物在海洋和陆地上受季风影响的情况差异很大,因此污染物在季风爆发前后的海洋和陆地上的垂直剖面分布也存在差异(图 11),各种污染物的垂直分布与陆地和海洋等下垫面的关系较密切,CO、O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>在季风爆发前,陆地上由于受人工活动等影响,导致从地面直至高空的浓度都比海洋的浓度大很多,且随高度增加其浓度不断降低。而在季风爆发时,由于受到偏西和偏南风分量加强的影响,陆地上的对流条

件加强,从而使陆地上的浓度相对爆发前有所降低;同时,由于海洋上的风场出现了较强的辐合,使得海洋上的浓度相对爆发前有所增加,导致了从地面至高空的海陆之间的浓度差异减小,且达到一定高度(如 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>在 900 hPa 以上,CO、O<sub>3</sub>在 500 hPa 以上),其海陆浓度大体相同。另外,PM<sub>10</sub>、海盐在季风爆发前后的海陆差异变化不大,且在 900 hPa 以上其海陆浓度大体相同(图 12)。



图8 2011 年5 月5~20°N 平均的纬向风垂直剖面 a.1候平均; b.2候平均。资料来源说明同图1。





图 12 2011 年 5 月 2 日 06 UTC(a)、8 日 00 UTC(b)季风爆发前 PM<sub>10</sub>垂直剖面分布 单位: ug/m<sup>3</sup>。说明同图 11。

### 4 结 语

1 期

(1) 近地面 950 hPa 附近,在5月8日南海夏 季风爆发期间,与 TBB 低值中心对应的对流活跃 地区有3个较强的污染物浓度大值中心,季风爆 发伴随的偏西和偏南风分量的加强,以及季风爆 发前后,南海地区低层纬向风场由东风逐渐转为 西风,使得在局部区域形成较强的气旋性辐合风 场,40 °N 附近偏北气流和35 °N 附近偏西南气 流南压了 3~5 个纬度,都是这次南海夏季风爆 发期间近地面污染物浓度分布发生较大改变的主

79

要因素。

(2) 季风爆发后,维持在25°N以北的较强急 流不断从远处传输带来污染物并堆积在25°N以 南地区,同时人类活动等产生的各种污染物在25 °N以南地区也因缺乏较好的对流条件而停滞在 该区域,导致25°N以南区域尤其是在南海地区各 种污染物浓度的不断增加。

(3) SO<sub>2</sub>、NO、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>等污染物在 23.2 °N 纬向垂直方向上,地面附近至 400 hPa 间在 125 °E 以西、400 hPa 以上 145 °E 以东污染物大值区 基本对应西风大值区,说明这两个区域的污染物 受到季风爆发过程伴随的偏西风分量较明显的影 响。而污染物 SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>等在 113.28 °E 经向垂直方向上,在地面附近至 600 hPa 间在 21~40 °N 的大值区也基本对应南风的大值中心 区,说明这个区域的污染物受到季风爆发过程伴 随的偏南风分量较明显的影响。

(4) 污染物在季风爆发前的垂直方向上随着 高度增加浓度减少,且减少幅度与不同污染物有 关,在水平方向上受人工活动影响,陆地上的浓 度明显大于海洋上的浓度。随着季风爆发,由于 受到偏西和偏南风分量加强的影响,陆地上的对 流条件加强,使得陆地上的浓度相对爆发前有所 降低;同时,由于海洋上的风场出现较强的辐合, 使海洋上的浓度相对爆发前有所增加,导致大部 分污染物的海陆浓度差异大幅减小。

#### 参考文献:

- [1] 董雪玲,刘大锰,袁杨森,等.北京市大气PM<sub>10</sub>中有机污染物的分布特征[J].现代地质,2008,22(2):325-332.
- [2] 赵国君,包清华,董晨阳,等.长春市大气污染物分布特征及变化规律研究[J].长春理工大学学报,2005,28(3):123-126.
- [3] 孙旭映, 尉元明, 庞朝云, 等. 兰州城区大气污染物分布特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(6):15-18.
- [4] 曾凡刚,彭林,李剑,等. 兰州市大气总悬浮颗粒物中有机污染物分布特征及来源[J]. 岩矿测试, 2002, 21(2): 125-128.
- [5] 奚晓霞,宋庆海,黄建国,等.兰州市冬半年大气污染物分布特征及变化规律[J].兰州大学学报(自然科学版),1995,31(3):136-140.
- [6] 普发贵.玉溪市环境空气质量及污染物分布状况研究[J].云南环境科学, 2004, 23(增刊1): 174-175.
- [7] 刘云国,余海珊.员村工业区大气污染物分布规律研究[J].中南林学院学报,1996,16(4):59-66.
- [8] 孟伟,高庆先,张志刚,等.北京及周边地区大气污染数值模拟研究[J].环境科学研究,2006,19(5):11-18.
- [9] 王泽良,王日新,陶建华,等. 渤海湾流场以及污染物分布的数值模拟研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(2): 224-230.
- [10] 卢军,冯源,龚琪. 大气污染的数值模拟[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005, 28(9): 88-91.
- [11] 赵彩,李启泰.贵阳市严重大气污染的数值模拟[J].贵州气象,1995,19(5):10-13.
- [12] 钟中,汤剑平.1998年南海夏季风爆发过程数值模拟[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2002, 3(6): 80-84.
- [13] 武亮 杜东升. 2006年南海夏季风爆发过程数值模拟[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学、医学版), 2006, 27(4): 93-99.
- [14] 马淑杰,孙淑清. 南海夏季风持续异常的特征及其对全球环流的影响II.数值试验[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(3): 356-369.
- [15] 骆美霞, 李崇银. 南海夏季风建立的模式诊断研究[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(3): 494-509.
- [16] 骆美霞,杨辉. 南海夏季风爆发的数值预报试验[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(1): 43-52.
- [17] 李燕,王友强,刘强.天气气候条件对大气污染物分布的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(4): 1781-1782.
- [18] 梁汉明, 苗春生, 江燕如, 等. 我国低空垂直环流特征与污染物分布关系初探[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(3): 427-432.
- [19] 李兰, 危万虎, 魏静, 等. 武汉市空气污染状况及其与气象条件的关系[J]. 湖北气象, 2004(3): 18-22.
- [20] 李崇银,张利平. 南海夏季风特征及其指数[J]. 自然科学进展, 1999, 9(6): 536-541.
- [21] 李崇银,张利平. 南海夏季风活动及其影响[J]. 大气科学, 1999, 41(1/2): 9-15.
- [22] 黄菲, 邢雯, 李元妮, 等. 1990s 年代际转型前后南海季风系统的季节变化[J]. 中国海洋大学学报, 1999, 9(6): 536-541.
- [23] 王卫国, 左群杰, 王颢樾, 等. 1997\_1999年亚洲季风区夏季水汽输送的差异分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2009, 31(2): 165-172.
- [24] 柳艳菊,丁一汇,宋艳玲,等.1998年夏季风爆发前后南海地区的水汽输送和水汽收支[J]. 热带气象学报,2005,21(1):55-62.

[25]	陈奕德,蒋国荣,张 韧,等.2002年南海夏季风爆发期间南海北部海气通量分析与比较[J]. 大气科学,2005,29(5): 761-770.
[26]	李春晖,梁建茵.2004年南海夏季风活动概述[J]. 热带气象学报,2005,21(6):561-569.
[27]	范伶俐, 郭品文. 2004年与2008年的南海夏季风特征比较[J]. 热带气象学报, 2010, 26(4): 494-498.
[28]	高辉,朱艳峰. 2007年南海夏季风爆发前后大气环流的非典型性突变特征[J]. 大气科学学报, 2009, 32(4): 467-473.
[29]	陈湘雅,周锁铨,周兵.2007年南海夏季风的爆发过程[J].南京气象学院学报,2009,32(1):71-79.
[30]	李崇银, 屈昕. 伴随南海夏季风爆发的大尺度大气环流演变[J]. 大气科学, 2000, 24(1): 1-14.
[31]	陈双溪, 何财福. 大气环流的变化与南海夏季风活动的关系[J]. 气象, 2002, 5(5): 11-26.
[32]	祝从文,周秀骥,赵平,等. 东亚副热带夏季风建立与中国汛期开始时间[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(8): 1 172-1 181.
[33]	刘长征,王会军,姜大膀.东亚季风区夏季风强度和降水的配置关系[J].大气科学,2004,28(5):700-712.
[34]	胡轶佳,钟中,倪天君,等.东亚季风区夏季海气系统位相关系的特殊性[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(3): 293-300.
[35]	刘鹏,钱永甫,严蜜.东亚下垫面热力异常与南海夏季风爆发早晚和强弱的关系[J].热带气象学报,2011,27(2):209-218.
[36]	朱素行,徐海明,何金海.高分辨率卫星实测资料揭示的近年亚洲热带夏季风爆发进程[J].南京气象学院学报,2008,31(6):790-802.
[37]	韦晋,何金海,钟珊珊,等.高原南侧地形槽与孟湾槽的形成演变特征及其与南海夏季风建立的关系[J].高原气象,2008,27(4):764-771.
[38]	江吉喜, 覃丹宇, 刘春霞. 基于卫星观测的南海和东亚夏季风指数初探[J]. 热带气象学报, 2006, 22(5): 423-430.
[39]	陈尚锋,温之平,陈文. 南海地区大气30~60 天低频振荡及其对南海夏季风的可能影响[J]. 大气科学, 2011, 35(5): 982-992.
[40]	李香淑,郭学良,付丹红. 南海季风爆发期间大气环流结构与对流热量、水汽输送特征[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 93-101.
[41]	朱敏,左瑞亭,张 铭. 南海季风爆发与风向改变指数关系初探[J]. 气象科学,2009,29(6): 787-792.
[42]	张耀存, 钱永甫. 南海季风区地面温度变化特征及其与季风爆发的联系[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(2): 192-198.
[43]	丁一汇,李崇银,何金海,等. 南海季风试验与东亚夏季风[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 561-585.
[44]	周浩, 温之平, 蓝光东. 南海夏季风爆发迟早与赤道纬向风关系的诊断研究[J]. 大气科学, 2007, 31(5): 950-962.
[45]	蓝光东,温之平,贺海晏. 南海夏季风爆发的大气热源特征及其爆发迟早原因的探讨[J]. 热带气象学报,2004,20(3):271-280.
[47]	张立凤,张永垂,张铭. 南海夏季风爆发的动力过程研究[J]. 气象学报,2008,66(5):747-755.
[48]	徐海明, 何金海, 周兵. 南海夏季风爆发过程合成分析[J]. 热带气象学报, 2001, 17(1): 10-22.
[49]	高辉. 南海夏季风爆发前后深对流传播的多向性[J]. 大气科学, 2009, 33(1): 29-37.
[50]	孙即霖, 刘秦玉. 南海夏季风爆发时期的大气环流变化特征[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(5): 727-736.
[51]	覃志年,金龙,何慧.南海夏季风爆发早晚的越赤道气流特征[J].气象研究与应用,2007,28(3):8-11.
[52]	李春晖,梁建茵,郑彬,等. 南海夏季风北推时间及相关环流变化特征[J]. 应用气象学报, 2007, 18(2): 202-210.
[53]	梁建茵,吴尚森,游积平. 南海夏季风的建立及强度变化[J]. 热带气象学报, 1999, 15(2): 97-105.
[54]	冯瑞权,王安宇,吴池胜,等. 南海夏季风建立的气候特征I——40年平均[J]. 热带气象学报, 2001, 17(4): 345-354.
[55]	高辉,梁建茵. 南海夏季风建立日期的确定和东亚夏季风强度指数的选取[J]. 热带气象学报, 2005, 21(5): 525-532.
[56]	李崇银,张利平. 南海夏季风特征及其指数[J]. 自然科学进展, 1999, 9(6): 536-541.
[57]	柳艳菊, 闫俊岳, 丁一汇. 南海夏季风异常及其对南海与周边地区的大气和海洋要素的影响[J].海洋学报, 2008, 30(6): 39-50.
[58]	何跃,管兆勇,林永辉. 强弱南海夏季风年水汽输送路径特征分析[J]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2009, 1(1): 32-37.
[59]	占瑞芬,李建平.青藏高原和热带西北太平洋大气热源在亚洲地区夏季平流层-对流层水汽交换的年代际变化中的作用[J].中国科学 D
	辑: 地球科学, 2008, 38(8): 1 028-1 040.
[60]	陈艳, J 一汇, 肖子牛, 等. 水汽输送对云南夏季风爆发及初夏降水异常的影响[J]. 大气科学, 2006, 30(1): 25-37.
[61]	宋明坤,李耀东,胡亮. 夏李风爆发前后南海地区降水性质的变化. 热带气象学报, 2010, 26(3): 109-117.
[62]	土意,姚建群,施春组,等. 夏季风强度与梅雨异常的对应天系[J]. 高原气象,2008,27(增刊): 345-354.
[63]	柳把匊, J一礼. 业洲夏季风爆友的基本气候特征分析[J]. 气象字形, 2007, 65(4): 511-526.
[64]	我班宏,木业分.业洲夏全风爆友的洣河流符位[J]. 气象字报, 2001, 59(5): 578-590.
[65]	白钗傅, 东庆云, 阿诗日, 寺. 亚洲麦孚风的爆友及推进行他. 种子通报, 2006, 51(3): 352-538.
[66]	高件,
[67]	KRISHNAM U, ARDANUYP, RAMANATHANY, et al. On the onset vortex of summer monsoon[J]. Mon Wea Rev, 1981, 109(2): 344-363.

[68] TAO S Y, CHEN R X. A review of resent research on the East Asia summer monsoon in China[A]. Chang C-P, Krishnamurti T N, eds.Monsoon Meteorology[M]. Oxford: Oxford Press, 1987: 60-92.

- [69] CHANG C P, CHEN T J. Tropical circulation associated with southwest monsoon onset and westerly surge over South China Sea[J]. Mon Wea Rev, 1995, 123: 3 254-3 267.
- [70] 郑彬,吴兑,李菲,等. 南海夏季风背景下的广州气溶胶光学特性变化特征[C]//第28届中国气象学会年会——S8大气成分与天气气候 变化的联系. 2011-11-01.
- [71] 侯雪伟,朱彬.东亚季风转换对西北太平洋春季臭氧高值的影响研究[C]//第28届中国气象学会年会——S8大气成分与天气气候变化的 联系.2011-11-01.
- [72] 王志立,张华,郭品文.南亚地区黑碳气溶胶对亚洲夏季风的影响.高原气象, 2009, 28(2): 419-424.
- [73] LAU K M, KIM K M. Observational relationships between aerosol and Asian monsoonrainfall, and circulation[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33: L21810.
- [74] YOON S C, KIM S W, CHOI S J, et al. Regional-scale relationships between aerosol and summer monsoon circulation, and precipitation over Northeast Asia[J]. Asia-Pacific J Atmos Sci, DOI:2010.1007/s13143-010-0018-X.

### NUMERICAL SIMULATION OF ATMOSPHERE POLLUTANTS DURING THE ONSET OF SOUTH CHINA SEA SUMMER MONSOON IN 2011

YANG Zhao-li, ZHENG Bin, WU Dui, HUANG Hui-jun

(Institute of Tropical and Marine Meteorology, Guangzhou, CMA/Key Laboratory of Regional Numerical Weather Predict, Guangdong, CMA, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** Using the data of 2006 Global Emissions Data and 2011 NCEP Final Analysis data as the initial and boundary condition, we simulated basic, three-dimensional distribution of the atmospheric chemical pollutants (such as sea salt,  $PM_{10}$ ,  $CO_x$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $O_3$ , etc) during the onset of a South China Sea Summer Monsoon from 25th April to 25th May, 2011 in the area of 70-160°E, 0-40°N. As shown in the simulation results, near the height of 950 and 400 hPa, much change has taken place in the distribution of atmospheric chemical pollutants due to the enhancement of the west and south components of the wind in the South China Sea as a result of the monsoon outbreak. In the South China Sea, the concentration of pollutants is much higher than in other places because there is a strong wind convergence near the surface. Besides, the vertical distribution of pollutants is also greatly affected by the same components of the wind. Meanwhile, the concentration over land is much greater than at sea before the onset of the monsoon, and with its onset, the difference between land and sea in the concentration of most pollutants decreases greatly.

Key words: South China Sea summer monsoon; atmospheric pollutant; diffusion characteristics; numerical simulation