

2010年春季东亚地区沙尘气溶胶和PM₁₀的模拟研究

李嘉伟,韩志伟*,张仁健 (中国科学院大气物理研究所,东亚区域气候-环境重点实验室,北京 100029)

摘要: 利用区域空气质量模式系统 RAQMS,模拟研究了2010年3月东亚地区PM₁₀气溶胶的时空演变,研究了19~23日沙尘暴暴发的过程,并将模拟结果与中国16个城市的PM₁₀地面观测数据进行了比较.结果显示,模式对于PM₁₀和沙尘具有好的模拟能力,可以合理地反映东亚地区PM₁₀的时空分布和沙尘暴的演变过程;观测值和模拟值的总体相关系数达到0.705,两者平均值分别为124.8,165.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.2010年3月份东亚地区PM₁₀平均浓度处在较高水平,沙尘气溶胶是PM₁₀的主要组分.3月东亚地区沙尘排放量约110.4Mt,其中68%重新沉降到地表.

关键词: 东亚地区; 沙尘气溶胶; PM₁₀; 数值模拟

中图分类号: X131.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2011)10-1600-09

Simulation study on dust aerosol and PM₁₀ in East Asia during spring 2010. LI Jia-wei, HAN Zhi-wei*, ZHANG Ren-jian (Key Laboratory of Regional Climate – Environment for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029). *China Environmental Science*, 2011,31(10): 1600~1608

Abstract: A regional air quality model system (RAQMS) was used to investigate the temporal and spatial variations of PM₁₀ in East Asia during March 2010, and the dust storm broken out on 19 to 23 March. Simulation results were compared with surface PM₁₀ observations in 16 Chinese cites. Comparison analysis showed that the model was able to reproduce the temporal and spatial distributions of PM₁₀ as well as the evolution of the dust storm reasonably well. Correlation coefficient was 0.705 between all observational and simulated pairs. The observed and simulated monthly concentrations averaged over all sites were 124.8 and 165.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Model results also indicated that during March 2010 East Asia experienced high PM₁₀ level with dust aerosol as the dominant component. Of the total dust emission (110.4Mt), about 68% was redeposited onto the underlying surface.

Key words: East Asia; dust storm; PM₁₀; numerical simulation

沙尘气溶胶是大气气溶胶的重要组成部分,对全球空气质量和气候环境都有很大影响^[1].据估算,全球沙尘气溶胶年排放量大约在1000~3000Mt之间^[1-2],季节和空间变化很大.当沙尘源区的地表风速超过某一临界值时,沙尘气溶胶就可能被抬升到大气中,并被长距离输送^[3-4],影响沙尘源区及下风向地区的空气质量以及区域气候^[5-9].

东亚地区是全球主要沙尘源区之一,中国西部的沙漠地区以及中蒙边境的戈壁地区是沙尘气溶胶主要源地^[10-11].据估算,每年大约有100~460Mt的沙尘气溶胶从东亚源区进入大气,约占全球年沙尘排放量的10%~25%^[11],其中春季(3~5月)是东亚地区沙尘暴最多发的季节^[12-13].近年来,针对东亚春季沙尘暴的研究越来越多,其中包括一些大型综合实验计划^[14-15].2010年3月,东亚地区暴发了一次特大沙尘暴,这次沙尘暴影

响了中国的大部分地区,以及日本、韩国等东亚国家.

数值模式是认识沙尘气溶胶时空分布、了解其环境和气候效应的一种有效工具.本研究利用数值模式,结合观测资料,模拟了2010年3月中国大陆地区大气气溶胶的变化过程,特别关注了19~23日的沙尘过程,并讨论了沙尘气溶胶主导下东亚地区气溶胶的分布特征.

1 模式介绍和参数设置

采用区域空气质量模式系统(RAQMS)对东亚区域进行模拟研究.模式建立在地形追随球面

收稿日期: 2011-12-13

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX22-YW-Q11-03);中国科学院重大项目(KZCXL-YW-06-04)

* 责任作者, 研究员, hzw@mail.iap.ac.cn

坐标系上,包含大气污染物(气体和气溶胶)涉及的源排放、平流、湍流扩散、多相化学转化、干沉降、云和降雨冲刷等主要过程^[4]。平流过程、垂直方向的湍流扩散参数化分别采用 Walcek 等^[16]、Byun 等^[17]提出的方案;气体的干湿沉降过程采用 Walmsley 等^[18]的参数化方案;气相化学过程采用 SAPRC99 (Statewide Air Pollution Research Center)^[19]机制代表。无机气溶胶的演变由热力平衡模式 ISORROPIA^[20]计算,二次有机气溶胶采用容积产生率的方案进行计算^[21]。模式假设无机盐和含碳气溶胶服从对数正态分布,并存在于细模态。模式耦合了一个采用分粒径方法的沙尘和海盐模块,沙尘气溶胶在 0.43~42 μm 范围内分为 10 档,海盐在 0.43~17.5 μm 分 8 档,该模块能够合理地反映沙尘和海盐气溶胶的产生、输送、扩散、干湿沉降等物理过程,成功模拟了 2002 年和 2006 年的沙尘暴过程^[4,22]。无机盐气溶胶的干沉积速率根据 Walcek 等^[23]的方案计算,黑碳和有机碳气溶胶参考 Uno 等^[24]的方法在陆地和海洋上设定不同的干沉积速率,沙尘和海盐的干沉积过程根据 Han 等^[4]的方案计算,即干沉积速率为总阻力的倒数和重力沉降速率之和。RAQMS 模式曾作为核心模式之一参与了国际大气化学模式比较计划 MICS-Asia II (The Model InterComparison Study for Asia Phase II)^[25]。

模式水平方向采用经纬度投影网格,水平格点分辨率为 0.5°,垂直方向在 sigma-z 坐标下不等距分 12 层,模式底层的半层高度为 50m,模式顶高度约 10000m。模拟区域为 75°E~145°E, 20°N~50°N,东亚地区绝大部分国家和地区都被包括在内(中国、朝鲜半岛、日本、蒙古、东南亚北部、西太平洋等,图 1),格点数 141×61。

模式采用的人为污染源来自美国宇航局 NASA 的 INTEX-B (Intercontinental Chemical Transport Experiment-Phase B)计划准备的排放源清单。清单基准年为 2006 年,包含了排放强度的逐月变化^[26],分辨率是 0.5°,包括人为排放的一氧化碳(CO),氮氧化物(NO_x),二氧化硫(SO₂),黑碳(BC),有机碳(OC),挥发性有机物(NMVOC)和粒径 10 μm 以下人为活动(发电、工业生产、居民生活、交通运输等)直接排放的颗粒物(PM₁₀)。生

物质燃烧产生的黑碳和有机碳气溶胶排放来自 GFEDv2 (Global Fire Emission Database version 2)^[27]。模式的气象驱动场由 MM5 (Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model)计算得到。MM5 使用了四维同化技术,提高了风、温、湿等气象变量模拟的准确性。

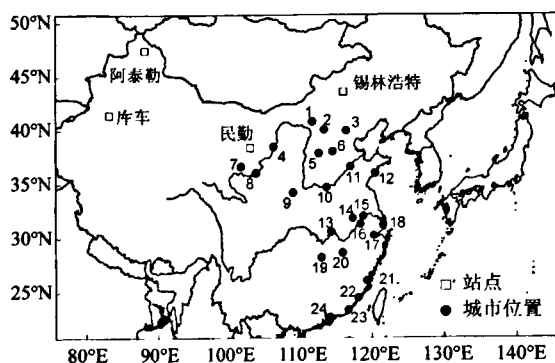


图 1 模拟区域、4 个气象站点和 16 个城市的位置

Fig.1 Model domain and locations of 4 meteorological sites and 16 cities

2 观测资料

城市空气污染指数(API)下载自中华人民共和国环境保护部网站(<http://www.zhb.gov.cn>)。本研究选取了 16 个城市的 API 数据,这些城市或者接近沙尘源区,或者位于沙尘输送路径上,绝大部分受到本次沙尘暴的影响。API 是可以同时反映首要空气污染物(SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 其中之一)和空气污染水平的概念性数字,它与污染物日平均浓度之间存在如下线性关系:

$$C = \frac{C_i - C_j}{I_i - I_j} (I - I_j) + C_j \quad (1)$$

式中: I 为报道的 API; C 为污染物浓度;下标 i 和 j 分别为表 1(API 的分级及对应的 PM₁₀ 日均浓度值)中与 C 和 I 最接近且分别大于和小于 C 和 I 的值。需要指出的是,API 报道的上限为 500,所以通过式(1)计算的日平均 PM₁₀ 浓度上限为 600 μg/m³,一旦实际观测浓度超过该上限,API 将无法正确反映当日 PM₁₀ 的最大浓度水平。以往研究表明^[3-4,28],API 能够很好地反映沙尘过程,在沙尘研究中利用 API 数据是可行并且有效的。本

研究所用 API 数据的时间范围是 2010 年 3 月(15 日缺测),针对关注重点,使用中剔除了首要污染物为 SO_2 或 NO_2 的数据.在下文中,把由式(1)计算的 PM_{10} 记为 EPM_{10} .

表 1 API 等级及对应 PM_{10} 浓度

Table 1 API levels and corresponding PM_{10} concentrations

API 等级	PM_{10} [$\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$]
0	0
50	0.05
100	0.15
200	0.35
300	0.42
400	0.50
500	0.60

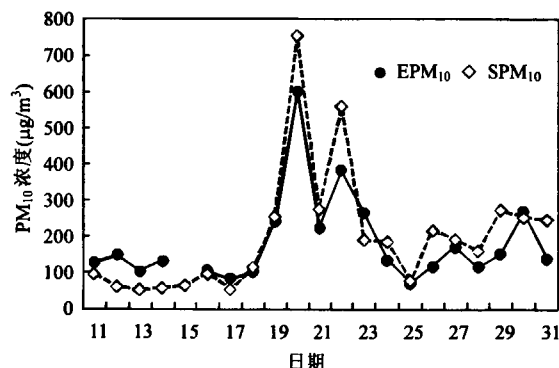


图 2 EPM_{10} 与 SPM_{10} 对比(EPM_{10} 在 15 日缺测)

Fig.2 Comparison between EPM_{10} and SPM_{10} (EPM_{10} data is missing in March 15)

模式对比还用到北京南郊观象台(39.80°N , 116.47°E)2010 年 3 月 11~31 日(北京时间)的 PM_{10} 观测数据(部分时刻缺测).将这套数据(下文记为 SPM_{10})作日平均处理后,与北京的 EPM_{10} 作对比(图 2).结果显示二者具有很好的相关性(相关系数 0.925),在 11~31 日(15 日除外), SPM_{10} 的平均浓度为 $202.75\mu\text{g}/\text{m}^3$,峰值浓度为 $753.76\mu\text{g}/\text{m}^3$, EPM_{10} 对应的浓度值分别为 $183.08, 600\mu\text{g}/\text{m}^3$,数值非常接近.两组数据之间存在差异的主要原因是: EPM_{10} 有浓度上限; EPM_{10} 是北京多个观测点的空间平均值, SPM_{10} 仅是北京城郊一点的值.

位于沙尘源区的锡林浩特、民勤、库车和阿泰勒 4 个气象站(图 1)的地面日平均风速观测资

料(来自中国气象科学数据共享服务网, <http://cdc.cma.gov.cn/>)用于检验 MM5 的模拟效果.

3 模拟结果

3.1 与日平均风速观测资料对比

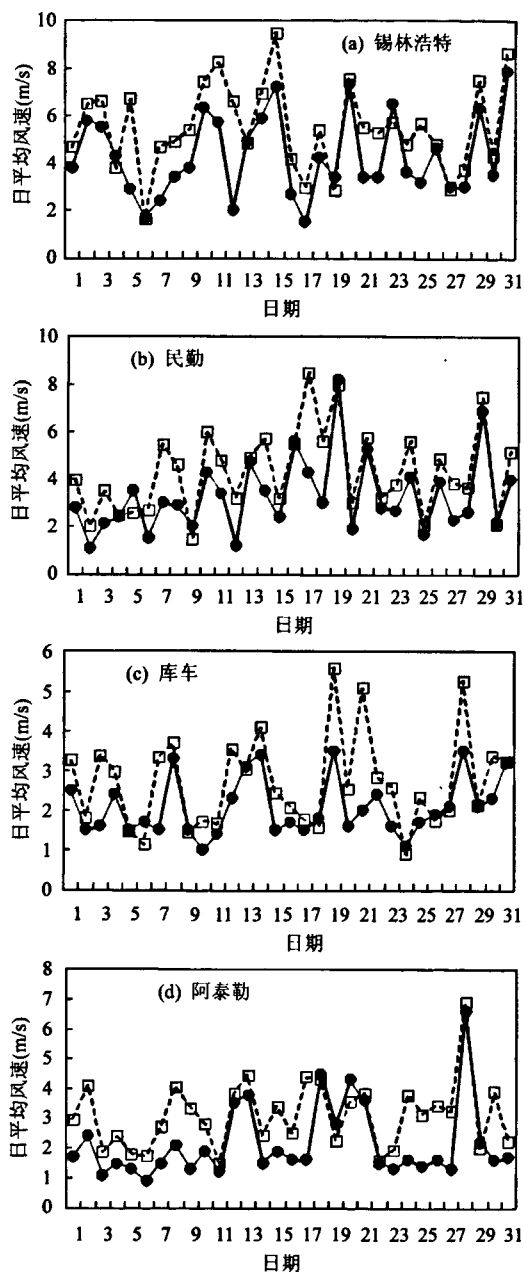


图 3 4 个站点观测与模拟的地面日平均风速

Fig.3 Observed and simulated daily surface winds in 4 sites

● 观测值 □ 模拟值

图 3 给出锡林浩特、民勤、库车和阿特勒 4 个站点观测和模拟的日平均地面风速。这 4 个站都位于沙源及其附近地区。

总体上,模式比较好地反映了这 4 个站点地面风速的逐日变化趋势。在锡林浩特、民勤、库车和阿特勒,模拟值与观测值之间的相关系数分别为 0.77,0.82,0.74 和 0.74。虽然模拟和观测比较接近,但总体大于观测值,其中观测和模拟的月平均风速在锡林浩特分别是 4.3,5.5m/s;在民勤是 3.3,4.3m/s;在库车是 2.1,2.7m/s;在阿特勒是 2.2,3.1m/s。模拟值与观测值之间存在差异,一方面是因为模式给出的是 10m 风速,但观测值则来

自地表,另一方面模式相对较粗的网格分辨率 (45km),也会导致模拟的误差。

3.2 与 PM₁₀ 观测资料对比

模式模拟时间段为 2010 年 2 月 23 日 0:00~3 月 31 日 18:00(标准时),时间步长是 5min,前 6d 作为模式预积分,3 月 1~31 日的计算结果用作分析。模拟的 PM₁₀ 包括沙尘、海盐、黑碳、有机碳、硫酸盐、硝酸盐、铵盐和人为活动直接排放 PM₁₀。模拟与观测结果之间进行了详细对比以检验模式对 PM₁₀ 的模拟能力,同时结合模拟结果和观测资料对 2010 年 3 月份沙尘暴在中国大陆输送和分布的演变情况进行研究。

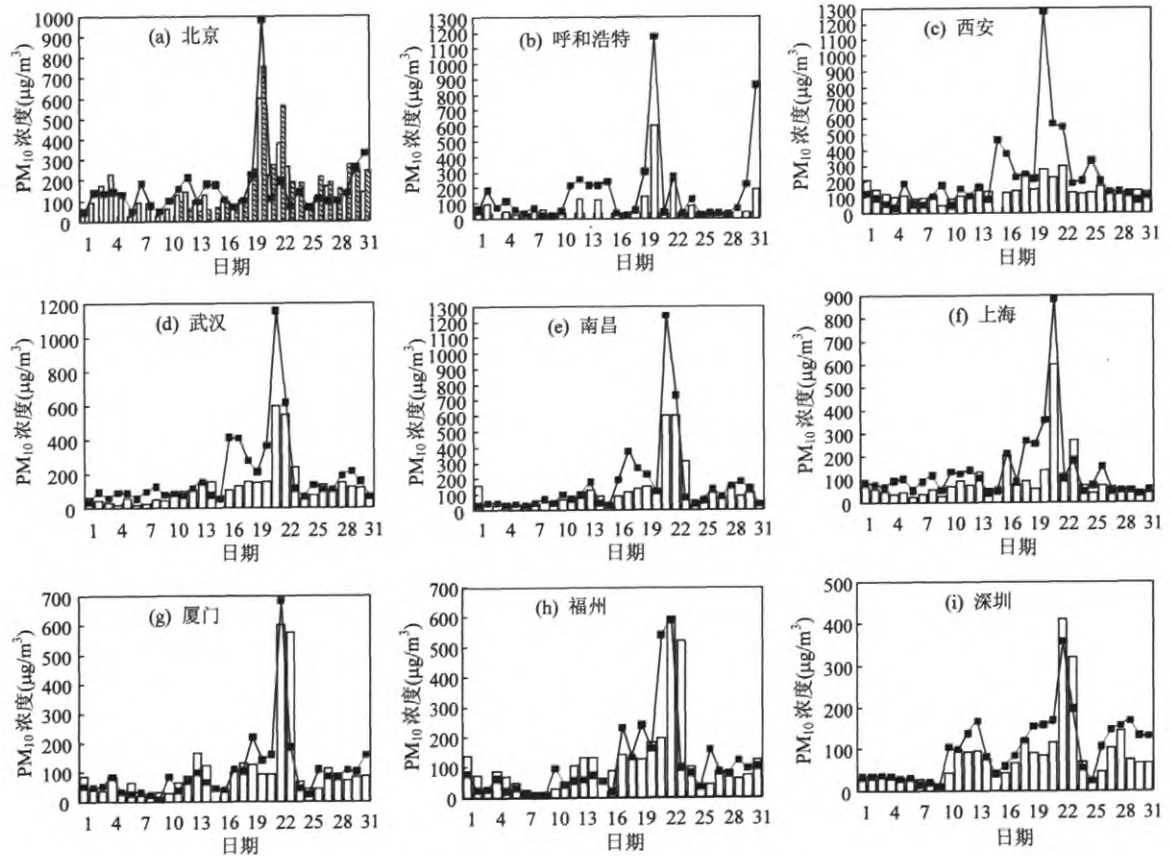


图 4 模拟值与观测值在 9 个城市的比较

Fig.4 Comparison between simulation results and observations in 9 cities

□ EPM₁₀ ■ SPM₁₀ ● 模拟值
EPM₁₀ 15 日缺失,空白为首要污染物非 PM₁₀

图 4 给出模拟 PM₁₀ 日均浓度与 EPM₁₀ 浓度 在不同城市对比的情况,其中北京的观测值包括

了 EPM_{10} 和 SPM_{10} 。

从图 4(a)可见,模式在北京的模拟效果很好,合理地反映了沙尘气溶胶到来前后 PM_{10} 的逐日变化情况,捕捉到 20 日的沙尘暴过程.与 SPM_{10} 相比,模拟值在 11~16 日偏高,但与 EPM_{10} 更接近,原因是 SPM_{10} 是在城郊的单站观测,会低于 EPM_{10} 代表的城市平均水平.沙尘天气期间,模式很好地反映了 PM_{10} 浓度的急剧增加,只是稍微高估了 20 日 PM_{10} 的峰值浓度.相反,模式低估了 22 日北京 PM_{10} 次高峰的浓度水平,这可能是因为沙尘源区地表风速的模拟误差,导致起沙量的模拟偏差,也可能与模式分辨率有关.有研究表明^[29-30]模式网格分辨率对起沙量模拟的影响比较大.此外, EPM_{10} 和 SPM_{10} 在 22 日差别很大,也显示了当日 PM_{10} 浓度的上升除了因为沙尘的输送,还与局地污染物排放有关(因沙尘是区域性的,如果完全由沙尘气溶胶控制,两者浓度水平应更接近).在 SPM_{10} 有观测记录的时间段内(11~31 日),模拟 PM_{10} 和 SPM_{10} 的平均浓度分别是 179.75 , $194.73\mu\text{g}/\text{m}^3$,模拟值与观测值很接近。

模式在呼和浩特的表现较好[图 4(b)],合理反映了沙尘过程前后 PM_{10} 浓度的逐日变化趋势,捕捉到 20 日 PM_{10} 浓度的上升.但是在 11~15 日和 30~31 日,特别是 31 日,模式高估了 PM_{10} 的浓度,使模拟值大于观测值,这与模式较粗的网格分辨率^[29],模式中地表参数的准确性(范围、位置等)^[3],地表风速大小模拟的准确性^[30]都有关系。

在纬度偏南的西安[图 4(c)],模式模拟效果相对差一些,先后在 15~17 日、20~22 日和 25 日高估了 PM_{10} 的口平均浓度.西安位于黄土高原,距离沙漠很近,区域模式的分辨率很难分辨出当地下垫面的状况(城市或沙漠),因此会高估沙尘气溶胶的浓度。

模式合理地模拟了位于长江中下游流域的武汉[图 4(d)]、南昌[图 4(e)]和上海[图 4(f)]等城市 PM_{10} 浓度的逐日变化,捕捉到 21 日这 3 个城市的沙尘过程.模式在南京、杭州、芜湖等地理位置接近的城市模拟效果也类似(图略).模式也

很好地模拟了厦门[图 4(g)]、福州[图 4(h)]和深圳[图 4(i)]等南方沿海城市 3 月份 PM_{10} 的逐日变化,反映了此次沙尘过程 22 日影响东南及华南地区,持续到 23 日,然后结束的过程。

模拟与观测结果反映了这次沙尘暴的输送路径和演变过程:从源区暴发后,20 日首先到达华北,21 日到达长江中下游流域,22 日到达东南及华南沿海地区。

表 2 列出 16 个城市模拟 PM_{10} 和 EPM_{10} 的相关系数和各自的月平均值.需要指出,由于 EPM_{10} 有观测上限(最大 $600\mu\text{g}/\text{m}^3$),所以表 2 中某些城市的 EPM_{10} 月平均浓度会低于实际水平.从相关系数来看,除兰州外,模式在其余 15 个城市的相关系数都超过 0.6,在呼和浩特和上海甚至接近 0.9.从月平均值来看,16 个城市的模式模拟值都接近观测值.在呼和浩特、兰州、西安这几个接近沙漠的城市,以及中南部的长沙,模拟值和观测差别相对较大,但也都在 2 倍范围内.表 2 显示,从整体上看,模式在中国东部的模拟效果优于西部地区.统计结果显示所有观测值与模拟值的相关系数为 0.705(样本数 465),观测和模拟的平均值分别为 124.8 , $165.5\mu\text{g}/\text{m}^3$,两者很接近(注意因为观测值有上限,实际上模拟值与观测值比上述情况更接近一些).总之,模式可以比较合理和准确地反映东亚地区 PM_{10} 的时空分布和沙尘暴的演变过程,模拟效果比较好,模拟结果是可信的。

与观测资料相比,模式在中国西部的误差总体大于东部地区.兰州、西安和呼和浩特等城市处在沙尘源区附近.模式相对较粗的网格难以把城市和沙源区分开来(如模式中兰州、呼和浩特所在格点的下垫面类型是沙源,西安所在格点虽然下垫面类型是草地,但距离沙源很近),因此这些西部城市的模拟值是偏高的.另外,模拟的风速和起沙量偏大也可能是这些城市沙尘浓度高估的原因。

模式在中南部长沙的模拟结果与观测相比差别较大,这一方面可能是因为上游地区起沙量模拟偏大,另一方面可能是模式低估了该地区沙尘干湿沉降过程的影响,使得大气中沙尘浓度偏高。

表 2 模拟值与观测值在 16 个城市的统计数据

Table 2 Statistics between simulations and observations in 16 cities

编号	城市 ^a	位置	样本数	相关系数 ^b	观测($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	模拟($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	呼和浩特	40.8°N, 111.7°E	24	0.893	97.42	164.58
2	大同	40.1°N, 113.3°E	29	0.744	103.66	131.54
3	北京	40.0°N, 116.4°E	30	0.805	155.32	160.86
4	兰州	36.1°N, 103.8°E	30	0.471	190.96	294.15
5	西安	34.3°N, 108.9°E	30	0.683	144	219.98
6	济南 [*]	36.7°N, 117.0°E	29	0.679	155.88	209.63
7	武汉	30.6°N, 114.3°E	30	0.868	128.03	188.92
8	合肥	31.9°N, 117.3°E	30	0.842	124.14	148.27
9	南京	32.1°N, 118.8°E	30	0.795	129.55	163.22
10	杭州	30.3°N, 120.2°E	30	0.811	123	162.95
11	上海	31.2°N, 121.5°E	30	0.891	95.07	135.56
12	长沙 [*]	28.2°N, 112.9°E	28	0.76	92.43	150.03
13	南昌	28.7°N, 115.9°E	25	0.874	141.76	158.22
14	福州	26.1°N, 119.3°E	30	0.62	117.9	100.64
15	厦门	24.5°N, 118.1°E	30	0.793	108.9	100.86
16	深圳 [*]	22.7°N, 114.2°E	30	0.858	84.38	100.05

注: a: 城市位置见图1;带*号城市全月EPM₁₀均未达到600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上限,其余城市至少1d EPM₁₀达到600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上限;b: 通过0.01显著性检验(其中兰州通过0.05的显著性检验)

3.3 PM₁₀ 和沙尘气溶胶的水平分布

图 5 分别给出模拟范围内 3 月份近地面 PM₁₀ 浓度[图 5(a)]以及 PM₁₀ 中沙尘气溶胶浓度[图 5(b)] 的月平均分布.3 月份整个东亚大陆的 PM₁₀ 浓度都处在较高水平[图 5(a)],浓度中心出现在中国西部的沙漠地区和中蒙边境的戈壁地区,月平均浓度基本在 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上,最高值超过 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 华北、中原和长江中下游流域等地区 3 月份平均 PM₁₀ 浓度也较高,在 200~400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右.在中国南方地区,3 月份近地面平均 PM₁₀ 浓度相对较低,在 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右,沿海地区由于受海盐的影响 PM₁₀ 浓度略高.东北地区 PM₁₀ 浓度较低.在朝鲜半岛南部(韩国)、西太平洋部分地区和日本南部,3 月份近地面平均 PM₁₀ 浓度低于 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

结合 PM₁₀ 中沙尘气溶胶浓度的分布情况 [图 5(b)],可以了解在不同地区沙尘气溶胶对 PM₁₀ 的贡献.在中国西部沙漠地区,PM₁₀ 主要由沙尘气溶胶组成,沙尘的贡献在 80%以上.在华北地区,沙尘气溶胶浓度在 100~400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右,与沙尘源区距离越远浓度越低.在中原和长江中游地区沙尘气溶胶浓度较高,约 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,高于长江下游地区的浓度(约 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).从华北到长江

中下游流域,沙尘气溶胶对近地面 PM₁₀ 的贡献率基本在 30%~60%左右,显示了这些地区受沙尘气溶胶影响严重.沙尘气溶胶在华南、东南和西南等地区的近地面浓度比较低,月平均浓度在 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下,对 PM₁₀ 的贡献率基本在 30%以下,说明在这些地区以人为源气溶胶为主.沙尘气溶胶在东北地区的浓度非常低.在韩国、西太平洋和日本大部,沙尘气溶胶近地面浓度约 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,占这些地区月平均 PM₁₀ 的 40%左右.因此,2010 年 3 月份,沙尘气溶胶是东亚地区近地面 PM₁₀ 的主要组分,贡献率在源区最大,随着距离的增加逐渐降低,在下游地区沙尘气溶胶对 PM₁₀ 的月平均贡献率可以达到 40%.图 5(b)显示了沙尘由源区向东南方向的输送.

3.4 沙尘气溶胶的干、湿沉降

图 6(a)和图 6(b)分别显示了模拟沙尘气溶胶在 2010 年 3 月干、湿沉降(g/m^2)的分布情况.最大干沉降出现在戈壁和柴达木盆地的沙漠地区,3 月总沉降量约 20~50 g/m^2 .在华北和中原的大部分地区,沙尘气溶胶 3 月份干沉降在 5 g/m^2 左右.在长江中下游地区,沙尘气溶胶干沉降量在 0.5~5 g/m^2 之间.沙尘气溶胶在华南和东北的干沉

降量很小,低于 0.5g/m^2 .在朝鲜半岛南部和西太平洋部分海域,沙尘气溶胶的干沉降量约在 $0.5\sim 1\text{g/m}^2$ 左右.日本大部和日本以东海域沙尘的干沉降量在 0.5g/m^2 以下.对照图 5(b),可以发现沙尘气溶胶的干沉降和近地面浓度在空间分布上密切相关:在沙尘气溶胶浓度高的源区,沙尘干沉降量也大;随着与源区距离增加,沙尘气溶胶浓度和干沉降量均快速下降.

1mm.沙尘湿沉降的分布大体上与降水量对应.在沙尘源区附近,沙尘气溶胶的湿沉降量低于干沉降量,其中在蒙古国南部的戈壁地区,沙尘湿沉降量低于 0.1g/m^2 .但是在华北、中原、长江中下游的大部分地区,沙尘气溶胶的干、湿沉降量大致相当.在东北地区、朝鲜半岛、西太平洋大部分地区、日本,沙尘的湿沉降量大于干沉降量,表明湿沉降过程在这些地区起主导作用.上述讨论也说明,沙尘气溶胶沉降,在源区附近主要取决于干沉降过程,但在沙尘输送路径的下风向地区,气溶胶的湿沉降量与干沉降量相当甚至更大.

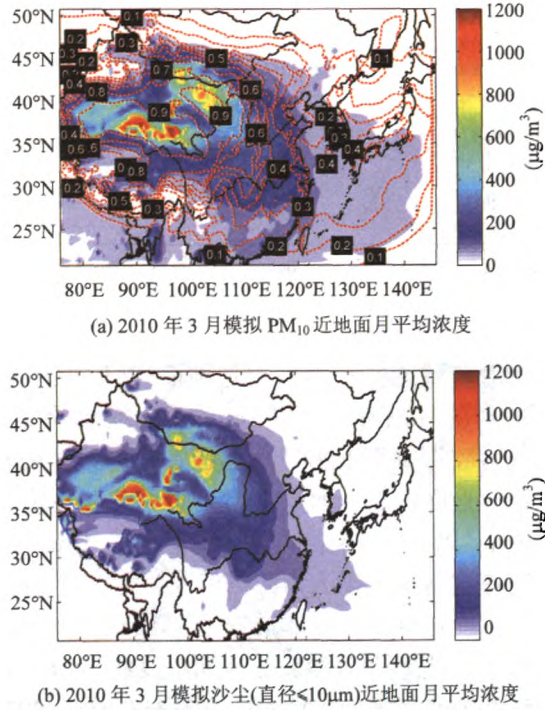


图 5 2010 年 3 月近地面月平均 PM_{10} 浓度和沙尘(直径 $<10\mu\text{m}$)浓度

Fig.5 Surface monthly average PM_{10} concentration and dust (diameter $<10\mu\text{m}$) concentration for March 2010
等值线表示沙尘所占比率

受降水分布的影响,沙尘气溶胶湿沉降量的水平分布与干沉降量有很大区别[图 6(b)].2010 年 3 月降水分布的特点是:从中国的福建省到日本以南海面,降水沿西南-东北走向呈带状分布,最大降水(日本以南海面)可超过 500mm .新疆北部降水量较大,部分地区可达 100mm .青藏高原北部和南疆部分地区的月降水量也较大,在 $20\sim 50\text{mm}$ 之间.中蒙边境戈壁地区的月降水量小于

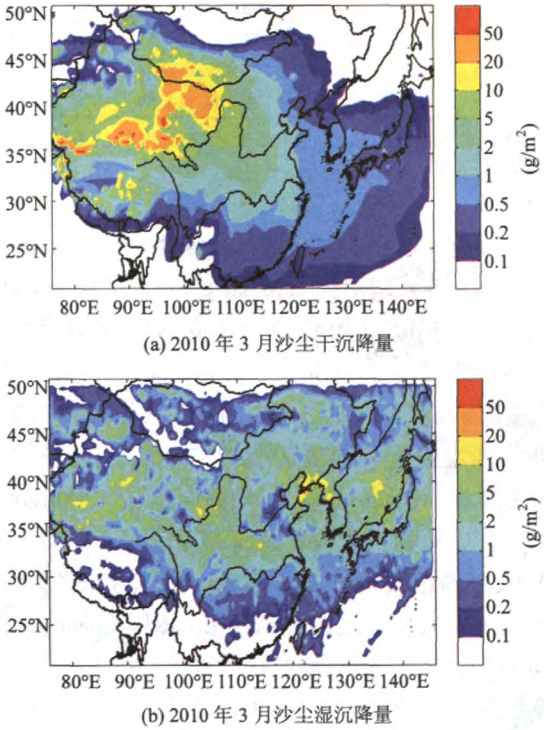


图 6 2010 年 3 月沙尘气溶胶干沉降量和湿沉降量
Fig.6 Dry and wet depositions of dust for March 2010

在模拟范围内,估算 2010 年 3 月沙尘气溶胶总的排放量为 110.4Mt ,其中约 68% (约 75.3Mt)通过干、湿沉降重新返回地面,剩余的 32% (约 35.1Mt)残留在大气中参与长距离输送. Han 等^[4]曾估算在 2002 年 3 月 15~24 日(19~23 日为沙尘暴过程),东亚地区沙尘气溶胶的总排放量约为 43.2Mt ,其中大约 33.3Mt (77%)重新沉降到地表,

剩余约 10Mt(23%)残留在大气中;本研究估算在对应时间段内(2010 年 3 月 15~24 日,19~23 日为沙尘暴过程),东亚地区总沙尘气溶胶排放量为 47.2Mt,其中的 34.5Mt(73%)和 12.7 Mt(27%)分别沉降到地面和残留在大气中,与 Han 等的结果很接近,说明发生在 2010 年 3 月的沙尘暴与 2002 年 3 月的特大沙尘暴强度相当。

4 结论

4.1 利用区域空气质量模式系统 RAQMS 模拟研究了 2010 年 3 月东亚地区 PM₁₀ 气溶胶的时空演变,并重点关注了 19~23 日暴发的沙尘暴。模拟结果与 16 个城市空气污染指数(API)换算的 PM₁₀ 日平均浓度,以及北京南郊观象台实测的 PM₁₀ 浓度进行了比较。结果显示,所有观测样本与模拟值之间的相关系数达到 0.705,两者平均值分别为 124.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 165.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,表明模式对 PM₁₀ 和沙尘浓度有好的模拟能力。

4.2 2010 年 3 月 19~23 日的沙尘暴对东亚地区影响很大。模式结果显示,3 月份大陆地区 PM₁₀ 浓度水平较高,沙尘气溶胶是 3 月份东亚地区 PM₁₀ 的主要成分,它对中国西北地区 PM₁₀ 的贡献率超过 80%,随着与源区距离增加,沙尘气溶胶的浓度和对 PM₁₀ 的贡献率均有所下降,但在主要输送路径的下游地区,沙尘对 PM₁₀ 的贡献率仍在 40%左右。

4.3 沙尘气溶胶在沙漠源区附近的湿沉降量小于干沉降量;在沙尘输送路径的下风向地区,湿沉降过程的作用与干沉降过程相当甚至更大。本研究估算 2010 年 3 月模拟区域内沙尘气溶胶总排放量为 110.4Mt,其中 68%(73.5Mt)发生沉降,剩余的 32%(35.1Mt)残留在大气中。

参考文献:

- [1] 邱玉琨,牛生杰,岳平,等.半干旱区春季沙尘气溶胶谱分布的观测研究[J]. 中国环境科学, 2009,29(10):1021-1028.
- [2] Zender C S, Miller R, Tegen I. Quantifying mineral dust mass budgets: terminology, constraints, and current estimates [J]. EOS, 2004,85(48):509-512.
- [3] Gong S L, Zhang X Y, Zhao T L, et al. Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia. 2. Model simulation and validation [J]. J. Geophys. Res., 2003, 108:4262, doi:10.1029/2002JD002633.
- [4] Han Z, Ueda H, Matsuda K, et al. Model study on particle size segregation and deposition during Asian dust events in March 2002 [J]. J. Geophys. Res., 2004, 109, D19205, doi:10.1029/2004JD004920.
- [5] Ginoux P, Prospero J M, Torres O, et al. Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation [J]. J. Environ. Model. Software, 2004, 19:113-128.
- [6] Lau K M, Kim M K, Kim K M. Asian summer monsoon anomalies induced by aerosol direct forcing: the role of the Tibetan Plateau [J]. Clim. Dyn., 2006, 26:855-864, doi:10.1007/s00382-006-0114-z
- [7] Lau K M, Kim K M. Observational relationships between aerosol and Asian monsoon rainfall, and circulation [J]. Geophys. Res. Lett., 2006, 33, L21810, doi:10.1029/2006GL027546.
- [8] 陈勇航,毛晓琴,黄建平,等.一次强沙尘输送过程中气溶胶垂直分布特征研究 [J]. 中国环境科学, 2009,29(5):449-454.
- [9] 贾璇,王文彩,陈勇航,等.华北地区沙尘气溶胶对云辐射强迫的影响 [J]. 中国环境科学, 2010,30(8):1009-1014.
- [10] Shao Y, Dong C H. A review on East Asian dust storm climate, modeling and monitoring [J]. Glob. Planet. Change, 2006, 52:1-22.
- [11] Laurent B, Marticorena B, Bergametti G, et al. Modeling mineral dust emissions from Chinese and Mongolian deserts [J]. Glob. Planet. Change, 2006,52:121-141.
- [12] 邓祖琴,韩永翔,白虎志,等.沙漠地区沙尘气溶胶含量变化的原因分析 [J].中国环境科学, 2009,29(12):1233-1238.
- [13] Kurosaki Y, Mikami M. Recent frequent dust events and their relation to surface wind in East Asia [J]. Geophys. Res. Lett., 2003, 30(14):1736, doi:10.1029/2003GL017261.
- [14] Arimoto R, Kim Y J, Kim Y P, et al. Characterization of Asian dust during ACE-Asia [J]. Glob. Planet. Change, 2006,52:23-56.
- [15] Mikami M, Shi G Y, Yabuki S, et al. Aeolian dust experiment on climate impact: An overview of Japan-China joint project ADEC. Glob [J]. Glob. Planet. Change, 2006,52:142-172.
- [16] Walcek C J, Aleksic N M. A simple but accurate mass conservative peak-preserving, mixing ratio bounded advection algorithm with Fortran code [J]. Atmos. Environ., 1998,32:3863-3880.
- [17] Byun D W, Dennis R. Design artifacts in Eulerian air quality models: evaluation of the effects of layer thickness and vertical profile correction on surface ozone concentrations [J]. Atmos. Environ., 1995,29:105-126.
- [18] Walmsley J L, Wesely M L. Modification of coded parameterizations of surface resistances to gaseous dry deposition

- [J]. Atmos. Environ., 1996,30:1181-1188.
- [19] Carter W P L. Documentation of the SAPRC-99 chemical mechanism for VOC reactivity assessment. Report to California Air Resources Board [R]. California: University of California, Riverside, 2000.
- [20] Nenes A, Pandis S N, Pilinis C. ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium model for multiphase multicomponent inorganic aerosols [J]. Aquatic Geochemistry, 1998,4: 123-152.
- [21] Lack D A, Tie X X, Bofinger N D, et al. Seasonal variability of secondary organic aerosol: A global modeling study [J]. J. Geophys. Res., 2004, 109, D03203, doi:10.1029/2003JD003418.
- [22] Li J W, Han Z W. A modeling study of the impact of heterogeneous reactions on mineral aerosol surfaces on tropospheric chemistry over East Asia [J]. Particuology, 2010,8: 433-441.
- [23] Walcek C J, Brost R A, Chang J S, et al. SO₂, sulfate and HNO₃ deposition velocities computed using regional landuse and meteorological data [J]. Atmos. Environ., 1986,20:949-964.
- [24] Uno I, Carmichael G R, Streets D, et al. Analysis of surface black carbon distributions during ACE-Asia using a regional-scale aerosol model [J]. J. Geophys. Res., 2003, 108(D23):8636,doi: 10.1029/2002JD003252.
- [25] Carmichael G R, Sakurai T, Streets D, et al. MICS-Asia II: The model intercomparison study for Asia Phase II methodology and overview of findings [J]. Atmos. Environ., 2008,42:3468-3490.
- [26] Zhang Q, Streets D G, Carmichael G R, et al. Asian emission in 2006 for the NASA INTEX-B mission [J]. Atmos. Chem. Phys., 2009,9:5131-5153.
- [27] Van der Werf G R, Randerson J T, Giglio L, et al. Interannual variability in global biomass burning emission from 1997 to 2004 [J]. Atmos. Chem. Phys., 2006,6:3423-3441, SRef-ID: 1680-7324/acp/2006-6-3423.
- [28] Zhang X Y, Gong S L, Shen Z X, et al. Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia: 1. Network observations [J]. J. Geophys. Res., 2003, 108(D9):4261, doi:10.1029/2002JD002632.
- [29] Liu M, Westphal D L. A study of the sensitivity of simulated mineral dust production to model resolution [J]. J. Geophys. Res., 2001, 106(D16):18099-18112.
- [30] Luo C, Mahowald N M, Corral J D. Sensitivity study of meteorological parameters on mineral aerosol mobilization, transport, and distribution [J]. J. Geophys. Res., 2003, 108(D15): 4447, doi:10.1029/2003JD003483.

作者简介: 李嘉伟(1983-),男,广东肇庆人,中国科学院大气物理研究所博士研究生,主要从事大气物理学与大气环境研究.发表论文 3 篇.

重金属污染从何而来?

重金属污染是指比重大于 5 或 4 以上的金属或其化合物所造成的环境污染.重金属可以各种化学状态或化学形态存在,一旦进入环境或生态系统会存留、积累或迁移,但不会消失,造成危害.因此,重金属污染已成为重要的环境污染问题之一.重金属污染可由自然因素(如土壤、岩石风化和火山爆发等)引起,但主要是采矿、制造、污水灌溉和使用重金属制品或含金属污染物等人为因素所致.重金属不能被生物降解,相反却能在食物链的生物放大作用下,成千上万倍地富集,最后进入人体.

重金属元素由于某些原因未经处理就被排入河流、湖泊、海洋,或者进入了土壤中,使得这些河流、湖泊、海洋和土壤受到污染.鱼类或贝类如果积累重金属而为人所食,或者重金属被稻谷、小麦等农作物所吸收被人类所食用,重金属就会进入人体造成中毒.尽管有些重金属如锰、铜、锌等是生命活动必需的微量元素,但是大部分重金属如汞、铅、镉等则是非生命所必需的.超过一定浓度,所有金属元素对生命都是有毒的.许多重金属如汞、镉、铅、砷与蛋白质的巯基有强的亲和力,有的还易于积累在生物体内造成危害.重金属污染的危害取决于它在环境、食品和生物体中存在的浓度、化学形态与化学状态.

摘自《中国环境报》

2011-03-01