

文章编号:1673-8411 (2017) 01-0082-03

北部湾经济区工业排放对广西二氧化硫浓度分布影响的数值模拟

郑凤琴¹, 高晋徽², 罗晓莉¹, 何莉³

(1.广西区气象服务中心, 广西, 南宁, 530022; 2.南京信息工程大学, 江苏, 南京, 210044; 3.南宁市环境保护监测站, 广西, 南宁, 530012)

摘要:在北部湾经济区产业迅猛发展的背景下,设计了增加该地区污染排放源的实验,利用 WRF-Chem 数值模式研究该地区工业排放变化对广西区域二氧化硫浓度分布的影响。研究表明,在出海高压后部的天气背景下,受偏南气流引导,北部湾经济区 SO₂ 排放源强增加对广西区域 SO₂ 空间分布格局有一定的影响,污染物可以向北输送影响广西中部地区,最北影响到柳州市和河池市;受偏北气流影响时,北部湾经济区 SO₂ 排放源强增加对区域空气质量的影响不大,仅局限于局地污染。

关键词:数值模拟;天气形势;大气污染;北部湾经济区

中图分类号:X51 **文献标识码:**A

Numerical Simulation On The Concentration Distribution Of Sulfur Dioxide Of Industrial Emission In The Beibu Gulf Economic Zone In Guangxi

Zheng Feng-qin¹, Gao Jin-hui², Luo Xiao-li¹, He Li³

(1. Guangxi Meteorological Service Center, Nanning 530022, Guangxi; 2. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, Jiangsu; 3. Nanning Environmental Monitoring Station, Nanning 530012, Guangxi)

Abstract: In the background of the rapid development of Beibu Gulf Economic Zone, a new generation of fully-coupled meteorology and atmospheric chemistry (Weather Research and Forecasting-Chemistry model, WRF-Chem) model is used to simulate the impacts of Guangxi regional air quality. Research results show that under the sea back of high pressure weather, by the southerly flow guide, Guangxi Regional SO₂ spatial distribution pattern has certain influence with increasing SO₂ emission in Beibu Gulf Economic Zone, pollutants can transport northward to middle area of Guangxi Province, including Liuzhou city and Hechi City. When it is influenced by the northerly flow, SO₂ emission source intensity in Beibu Gulf Economic Zone has little effect on regional air quality only to local pollution.

Key words: numerical simulation; weather characteristics; air pollution; Beibu gulf economic zone

随着经济规模的快速扩大和城市化进程的不断深入,人类活动排放到大气中的气溶胶粒子不断增加,使得当前的大气污染状况呈加重趋势^[1-3],引起众多专家和学者的高度关注。相关研究^[4-13]表明,在

特定的地理环境条件和一定的大气环流背景影响下,某地区的空气污染可以通过传输、扩散影响到城市周边地区或其它相关区域。因此,要改善某个城市的大气环境质量,不仅要依靠严格控制污染物排放

收稿日期:2016-10-12

基金项目:广西自然科学基金资助(项目任务书编号 2016GXNSFAA380330),广西科学研究与技术开发项目(桂科攻 10123009-9)资助。

作者简介:郑凤琴(1978-),女,广东潮州人,高级工程师,硕士,主要从事环境气象研究和气象数据处理工作。

量,而且需要综合考虑区域间的输送和扩散影响。近年来,不少研究工作通过数值模拟方法^[14-17]探讨大气污染物的传输和扩散,对污染物的演变规律有了更深入的了解。王自发等^[18]研究发现来自京津冀区域外跨城市群输送的贡献显著,与局地污染源贡献相当,在污染个例期间,跨界输送的影响更为显著。李伟铨等^[19]模拟了珠三角污染物的浓度情况,发现二次污染物的分布不仅受排放的影响,同时也受污染物输送和转化的影响。Jiangfei 等^[20]利用 WRF-Chem 模拟了香港地区一次伴随台风出现的连续光化学污染事件,发现稳定的边界层结构导致光化学污染维持。金祺等^[21]对黄山地区的气溶胶浓度进行了数值模拟,揭示了不同天气背景下污染气体的输送过程。

北部湾经济区是我国面向东盟的重要门户和前沿地带,是国家开发南海战略的前沿,也是区域经济发展的重要引擎,产业也随着迅猛发展。随着该地区快速的产业发展和剧增的能源利用,各种工业废弃物如 SO_2 、 NO_x 和颗粒物等大量排向大气中,北部湾经济区环境保护面临巨大压力。本文设计了增加北部湾经济区污染排放源的实验,通过数值模拟方法,分析该地区 SO_2 污染物的输送规律,从而了解工业源排放增加对区域空气质量的影响。

1 资料和模拟方案

1.1 监测资料

选取 2011 年 3 月 26 日 00:00~4 月 3 日 23:00 的监测资料,主要包括南宁逐小时 SO_2 、 NO_x 气体浓度和颗粒物资料,北海 API 指数资料,以及北海和南宁的温度、气压、风向和风速资料。

1.2 WRF-Chem 模式

采用的 WRF-Chem 模式是美国开发完成的区域大气动力-化学耦合模式。该模式充分考虑输送(平流、扩散和对流)、干湿沉降、辐射、气溶胶参数化和光解频率等过程^[22-24],除了可以计算各种动力参数和微物理变量外,其化学部分还包括了完整的传输、沉降、化学过程,模式最大的优点是气象模块和化学传输模块在时间和空间分辨率上完全耦合,实现了真正的在线传输^[25]。

研究区域为广西,模式使用了一层区域模拟方案,模拟区域为 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$,中心点经纬度为 $(112.3^{\circ}\text{E}, 25.5^{\circ}\text{N})$,经向、纬向格点数均为 201,垂直层数 28 层,层顶高为 100hPa,积分时间步长为

120s,地图投影采用 Lambert 投影。气象输入数据采用美国国家环境预测中心(NCEP)发布的再分析数据,网格分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,时间分辨率为 6h。污染源排放清单采用 Transport and Chemical Evolution over the Pacific(TRACE-P)提供的东亚地区人为源排放清单,水平空间分辨率为 0.1° 。

1.3 模拟方案

SO_2 是工厂排放的重要一次污染物,加之其在大气中的生命期较长,可以在风场作用下输送到较远的地方,因此用 SO_2 作为实验的标记气体是具有代表性的。基于此做出如下实验设计:对已有的排放源进行调整,即把北部湾经济区沿海三市地区 SO_2 的排放源强增加一倍,将得到的新排放源导入模式并就 2011 年 3 月 25 日~4 月 3 日的个例进行模拟计算,并定义该实验为敏感性试验,而之前没有改动排放源的实验定义为控制实验。将敏感性试验得到 SO_2 浓度分布减去控制实验的 SO_2 浓度得到的差值,就是改变了沿海三市的排放源给整个广西地区 SO_2 的浓度和分布特征所带来的影响。

从广西北部湾经济区 SO_2 的排放源强和分布状况(图 1,见彩页)可以看到在钦州、防城港和北海三市的沿海地区都有较为集中的排放源分布。图中方框标示的区域为排放源改变的区域,经纬度范围为 $21.0^{\circ}\text{N}\sim 22.5^{\circ}\text{N}$, $107.5^{\circ}\text{E}\sim 110.0^{\circ}\text{E}$ 。由于缺乏沿海三市最新的排放源分布状况,因此不改变该地区排放源的分布格局,只在原有基础上将排放源强增加了一倍,对沿海地区污染加剧的情况进行模拟并分析其对广西区域大气环境的影响。

2 污染过程

据南宁、北海空气质量监测资料显示(图 2),2011 年 3 月 26~4 月 3 日广西北部湾经济区出现了一次空气污染过程,南宁市在 3 月 29~31 日浓度达到峰值,连续三天 API 指数超过 100,北海市 3 月 31 日、4 月 1 日连续两天 API 指数超过 75。地面天气图显示,自 3 月 26 日起,影响大陆的冷高压中心逐渐回暖并向东北方向移动,29 日晚上在长江口出海(见图 3a),高压中心位于 120°E 以东, 25°N 以北的海洋面上,是典型的春季入海高压后部型天气形势影响造成的空气污染过程。高压边缘影响广西,等压线为南北向,广西北部湾经济区受近地面弱的偏东、偏南气流控制,风速较小,广西中部形成一个辐散下沉区(见图 3b),广西北部湾经济区形成大范围

的气流停滞区,近地层污染物逐渐累积,导致污染物浓度升高。

这次个例中广西北部湾经济区受偏南风影响,在南风的作用下海洋和沿海三市的污染物可能会在风场的作用下向北输送到内陆地区。近年在沿海三市(钦州、防城港和北海)建立的炼油厂等重污染设施会向大气中排放多种污染物(如 SO_2 等一次污染物),而模式使用的排放源并没有将这点考虑在内,对沿海三市排放源的估计偏低,因此本文接下来的工作是对沿海三市地区的工厂排放源中具有代表性的一次污染物 SO_2 进行调整,以分析在沿海三市 SO_2 排放强度增加的情况下在风场的作用下对整个广西内陆环境的影响。

3 模拟结果与分析

从南宁 SO_2 模式模拟值与实测值的浓度小时值日变化状况(图 4)可以看出模拟浓度比实测浓度偏

的极值时段和观测值的极值时段趋势相同,基本上可以将 SO_2 的日变化规律表现出来。通过计算相关系数得到此次过程 SO_2 模拟值与实测值的相关系数为 0.86,从一定程度上表现出模拟值和实测值之间的吻合度较高,说明模式基本上可以模拟出污染物的浓度变化特征,基于此,接下来利用模式就本次过程中 SO_2 的浓度分布以及浓度和风场的演变特征进行分析。

上面的分析已经知道这次个例受高压脊控制而后转受入海高压后部影响,从风场分析,将会分为两段,即偏北方向大陆风控制和偏南方向海风控制两种。下面将分别就两种不同风向控制下 SO_2 浓度差

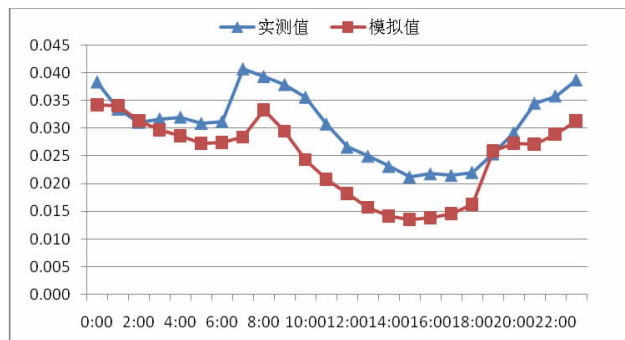


图 4 2011 年 3 月 26—4 月 3 日南宁 SO_2 实测值与模拟浓度的日变化情况

值的分布状况来分析沿海三市排放状况加剧对其及周边地区大气环境的影响。

3.1 偏北风控制

图 5(见彩页)表示的是在偏北风的控制下 SO_2 浓度的分布和扩散状况,在偏北风控制下沿海三市 SO_2 向西南方向输送,其中整个北海市的影响较大,而防城港和钦州的影响相对较低,只在沿海地区的部分有一些影响。在东北风的影响下 SO_2 继续输送从大陆输送进入海洋,随着输送距离的增加, SO_2 浓度的差值逐渐降低,并且扩散的范围并不是很大。这是因为 SO_2 向南输送进入海洋,在海洋上洁净空气的清洁作用下 SO_2 浓度迅速降低,所以排放源增加所带来的 SO_2 浓度差值在输送到海洋之后并没有扩散到很大的范围。在广西北部地区可以看到没有明显的 SO_2 浓度的分布,说明在北风的控制下,沿海三市排放源的增加并没有对北部的各个城市造成太大的影响。

3.2 南风控制

图 6(见彩页)为在偏南风控制下 SO_2 浓度差值

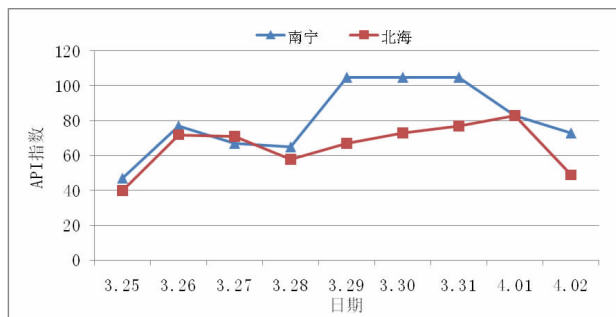


图 2 南宁和北海污染过程 API 指数分布

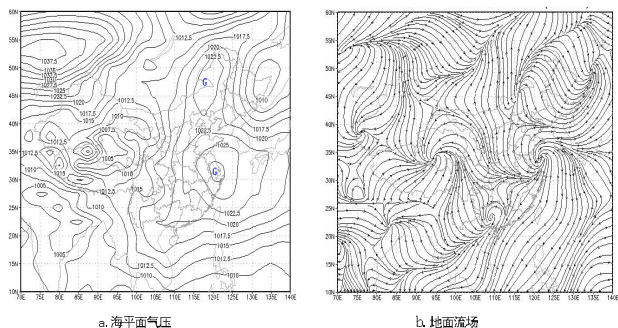


图 3 2011 年 3 月 29 日 12 时地面天气形势图和流场分布

低,模式的模拟值的最高值时段(8:00—9:00, 22:00—24:00)和观测值的最高值时段相对应,浓度低值时段(6:00—7:00, 16:00—18:00)与观测值的低值时段相对应,可见模拟值可以将 SO_2 的日变化规律基本表现出来,在晚上和清晨出现高浓度,午后至傍晚浓度较低。模拟浓度比实测浓度低,模式的模拟值

的分布状况,其中(a)~(d)为3月31日浓度随时间的演变状况,图6e、图6f为其他偏南风控制的几天里SO₂浓度的分布状况。自3月31日16时(图6a)开始SO₂浓度差值主要集中在沿海三市,而随着时间的推移到20时(图6b)SO₂浓度差值除分布在沿海三市外,还向北输送到广西中部的南宁、来宾和贵港地区以及东北方向的玉林市。到4月1日00时(图6c)SO₂浓度差值进一步向北输送,除了上面所说的地方外还在崇左东部有所分布,并且在柳州和河池都有SO₂浓度差值的出现,其中在这个时段SO₂浓度差值已经覆盖到整个南宁地区。图6e、图6f表示的是南风控制的两天气里SO₂浓度差值的分布情况。可以看出在南风控制下,沿海三市排放源增加之后导致SO₂浓度差值自南向北影响到了整个广西中部地区,其中除沿海三市以外,南宁、贵港和来宾地区的影响范围较大,最北影响到广西北部部的柳州和河池地区。与受北风控制下的扩散范围不同,南风影响的SO₂浓度差值扩散的范围较大。综上,通过敏感性试验与控制实验相减的方式得到SO₂浓度差值分布来分析增加沿海三市的排放源对广西地区大气环境影响的方式得知,在南风影响的情况下,浓度差值可以向北输送,最北可以输送到广西北部的柳州和河池市,其中浓度差值扩散在南宁、贵港和来宾的大部分地区,说明在南风的作用下沿海三市的污染物会对广西中北部地区的大气环境造成一定影响,因此沿海三市的工业排放应当引起注意,当在南风的影响沿海三市排放出来的污染物会在风场的作用向北输送影响其他市区,对广西中部的大气环境造成一定污染且不可忽视。

4 小结

(1)利用WRF-Chem模式对北部湾经济区污染物SO₂的时间变化规律进行了数值模拟,通过与实际观测资料对比,模式对污染物的模拟性能较好。

(2)通过增加广西北部湾经济区污染排放源的数值模拟,分析了不同天气背景下SO₂的扩散规律以及大气污染物排放源强增加对广西区域空气质量的影响。

(3)在出海高压后部的天气背景下,受偏南气流引导,北部湾经济区SO₂排放源强增加对广西区域SO₂空间分布格局有一定的影响,污染物可以向北输送影响广西中部地区,最北影响到柳州市和河池市;偏北气流引导时,北部湾经济区SO₂排放源强增

加对区域空气质量的影响不大,仅局限于局地污染。

参考文献:

- [1] 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.
- [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] 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.
- [4] 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[J]. 环境科学研究, 2004, 17 (1): 14-20.
- [5] 程真, 陈长虹, 黄成, 等. 长三角区域城市间一次污染跨界影响[J]. 环境科学学报, 2011, 31 (4): 686-694.
- [6] Hanna S R, Ramsdell J V, Cramer H E. Urban Gaussian diffusion parameters modeling the urban boundary layer[J]. Boston: Amer Meteor Soc, 1987, 35 (2): 337-379.
- [7] 莫雨淳, 廖国莲, 郑凤琴. 南宁市霾的特征分析[J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (1): 92-95.
- [8] 曾鹏, 郑凤琴, 熊文兵. 广西大气能见度气候特征分析[J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (1): 60-62.
- [9] 吴燊先, 吴铠华, 莫雨淳, 等. 桂林市空气质量特征分析[J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (4): 38-41.
- [10] 郭青, 魏远强, 曾东好, 等. 梅州城区雾和霾的气候特征分析[J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (4): 27-30.
- [11] 吴燊先, 吴铠华, 郑凤琴, 等. 2011年广西主要城市空气质量分析[J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (4): 54-56.
- [12] 蒋静, 凌宗良, 许文龙. 防城港市大雾气候特征分析[J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (4): 18-21.
- [13] 蒋珍姣, 龙凤翔, 李艳玉, 等. 桂林市近10年霾的变化分析[J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (1): 68-69.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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(自然科学与医学版), 2006, 27 (4): 93-99.

- [17] 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.
- [18] 王自发, 李杰, 王哲, 等.2013 年 1 月我国中东部重霾污染的数值模拟和防控对策 [J].中国科学: 地球科学, 2014, 25 (1): 3-14.
- [19] 李伟铿, 王雪梅, 张毅强.珠江三角洲地区工业排放变化对 SO₂ 和 NO_x 及其二次污染物浓度的影响 [J].环境科学研究, 2009, 22 (2): 209-214.
- [20] Jiang F., Wang T. J., Wang T. T., et al. Numerical modeling of a continuous photochemical pollution episode in Hong Kong using WRF-chem [J]. Atmos. Environ, 2008, 42 (1): 8717-8727.
- [21] 金祺, 银燕, 谭稳.黄山地区复杂地形下污染气体输送过程的数值模拟 [J].大气科学学报, 2012, 35 (6): 680-688.
- [22] Grell G A, Peckham S E, Schmitz R, et al. Fully coupled "online" chemistry within the WRF model [J]. Atmospheric Environment, 2005, 39 (1): 6957-6975.
- [23] Tie X, Madronich S, Li G, et al. Characterizations of chemical oxidants in Mexico City: A regional chemical/dynamical model (WRF-Chem) study [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41 (3): 1989-2008.
- [24] Geng F, Zhao C, Xu Tang, et al. Analysis of ozone and VOCs measured in Shanghai: A case study [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41 (2): 989-1001.
- [25] 章国材.美国 WRF 模式的进展和应用前景 [J].气象, 2004, 30 (12): 27-31.
-

(上接第 81 页)

- 广西遥感本底信息提取方法技术与成果应用 [J].气象研究与应用, 2010, 03: 44-49.
- [5] 陈玉兰, 罗永明.基于 TM/ETM+遥感数据的港口用地动态变化监测 [J].气象研究与应用, 2009, 03: 60-62+67+118.
- [6] 李莉, 张佳华.基于卫星数据提取南宁城市扩张信息及驱动力研究分析 [J].气象研究与应用, 2008, 03: 24-29.
- [7] 陈燕丽, 莫伟华, 莫建飞, 等.基于面向对象分类的南方水稻种植面积提取方法 [J], 遥感技术与应用, 2011, 26 (2): 163-168.
- [8] 罗永明, 钟仕全, 莫伟华, 等.基于 TM 数据的南宁市水体和建筑用地变化研究 [J], 气象研究与应用, 2008, 29 (1): 37-40.
- [9] 莫建飞, 陆甲, 李艳兰, 等.基于 GIS 的广西洪涝灾害孕灾环境敏感性评估 [J], 灾害学, 2010, 12, 25 (4): 33-37.
- [10] 彭波.基于 GIS 的广西中小流域洪涝监测研究 [D].广西师范学院, 2012.
- [11] 莫建飞, 钟仕全, 罗永明, 等.基于 GIS 的广西溪河洪水型山洪沟空间分布特征 [J], 气象研究与应用, 2015, 36 (2): 96-99.
- [12] 黄永璘, 钟仕全, 莫建飞. GIS 支持下的自动站雨量插值方法比较 [J], 气象研究与应用, 2011, 32 (1): 60-64.
- [13] 黄永璘, 王志怡, 农明强. GIS 在广西山洪灾害预警中的应用 [J], 气象研究与应用, 2007, 28 (3): 30-32.
- [14] 黄永璘, 农明强, 孙涵.基于 FY-3A/MERSI 的洪涝灾害遥感监测初探 [J], 气象研究与应用, 2009, 30 (2): 59-62.