

· 城市生态保护 ·

两种再分析资料对我国西北地区沙尘模拟的影响

付旭东^{1,2}, 李龙燕¹, 王金艳¹, 谭子渊¹, 常伟², 王明²

(1. 兰州大学大气科学学院 半干旱气候变化教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000;
2. 中国人民解放军 95994 部队, 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 利用耦合了 Shao04 起沙参数化方案的 WRF/Chem 模式对 2014 年 4 月 22 ~ 25 日发生在我国西北地区的一次沙尘天气进行了模拟, 基于 ERA - Interim 和 NECP - FNL 两种再分析资料, 探究了 WRF/Chem 在不同再分析资料提供初始场和边界条件时对沙尘天气的模拟能力, 并分析了两种再分析资料对模拟结果影响的主要原因。总体来看, WRF/Chem 在两种再分析资料提供初始场和边界条件时, 均能较合理的模拟出主要的起沙区域、沙尘强度及其时空变化特征, 沙源地附近和下游地区各个站点模拟的 PM₁₀ 浓度时间变化特征与观测结果也较为吻合。但相比较而言, 对西北地区此次沙尘天气过程, 从沙尘的空间分布、沙尘浓度、垂直沙通量和地面各代表站点 PM₁₀ 浓度变化等方面的模拟结果来看, NECP - FNL 数据为模式提供初始场和边界条件时要优于 ERA - Interim 数据的结果, 这主要与 NECP - FNL 数据在 WRF/Chem 模式中能相对较好的描述起沙过程中摩擦速度的量值有关, 从而使得模拟的沙尘区域、强度和垂直沙通量更为合理。

关键词: 再分析资料; 沙尘天气; WRF/Chem 模式; 数值模拟; 摩擦速度

中图分类号: X51

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2019.02.012

Influence of Two Kinds of Reanalysis Data on Dust Simulation in Northwest China

FU Xudong^{1,2}, LI Longyan¹, WANG Jinyan¹, TAN Ziyuan¹, CHANG Wei², WANG Ming²

(1. Key Laboratory of Semi - arid Climate Changes of the Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. 95994 Troops of PLA, Jiuquan 735000, China)

Abstract: A dust event during April 22 - 25, 2014 over Northwest China was simulated by using the Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF/Chem) model, which coupled with Shao04 dust emission schemes. The influence of WRF/Chem to simulate dust event was investigated with the different reanalysis data of initial field and boundary conditions provided. A comparison with observational data shows that the main observed dust emission regions and the temporal variation of dust emission intensity are all quite well reproduced. Both near the dust source and in its downstream regions, the model - simulated temporal variation in surface PM₁₀ concentration agrees closely with station observations. But in comparison, when the NECP - FNL reanalysis data provides initial and boundary conditions for the model, the dust emission regions, surface dust concentration, dust emission fluxes and surface PM₁₀ concentration of each representative station were better than ERA - Interim reanalysis simulated date. The WRF/Chem model uses NECP - FNL reanalysis data to simulate, which can be relatively well described on friction velocity related to the dust emission process, thus making the simulation dust emission regions, intensity and emission fluxes more reasonable.

Keywords: Reanalysis Data; Dust Weather; WRF/Chem; Numerical Simulation; Friction Speed

CLC number: X51

我国西北地区距海遥远, 高原、山地地形对湿润气流的阻挡作用明显, 导致大部分地区降水稀少, 气候干旱, 形成沙漠广袤和戈壁沙滩的景观, 广阔的沙源地为我国西北地区沙尘天气的发生提

收稿日期: 2018 - 11 - 20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41575138, 41505083); 甘肃省自然科学基金(1506RJZA208); 兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky - 2017 - 68)资助

作者简介: 付旭东(1993 -), 男, 硕士研究生。研究方向: 沙尘天气的数值模拟与预报。E - mail: fuxd17@lzu.edu.cn

通信作者: 王金艳(1977 -), 女, 博士, 副教授。研究方向: 干旱气候变化和减灾。E - mail: wangjing@lzu.edu.cn

引用格式: 付旭东, 李龙燕, 王金艳, 等. 两种再分析资料对我国西北地区沙尘模拟的影响[J]. 环境保护科学, 2019, 45(2): 64 - 73.

供了有利条件。根据中华人民共和国国家标准(GB/T 20480—2017),沙尘天气是指沙粒、尘土悬浮空中,使空气浑浊,能见底降低的天气现象,通常可分为浮尘、扬沙、沙尘暴、强沙尘暴和特强沙尘暴^[1]。沙尘天气的形成受自然因素和人类活动因素的共同影响^[2]。自然因素包括大风、降水减少及其沙源等;人类活动因素是指人类在发展经济过程中对植被等的破坏并导致沙尘暴爆发频数的增加。沙尘天气对空气质量、人体健康、交通安全等方面有着直接影响,也威胁着人民生命财产安全^[3-7],因而对沙尘天气的模拟研究具有重要的现实意义。

WRF(Weather Research and Forecasting)模式是由美国大气研究中心(NCAR)和美国环境预报中心(NCEP)等研究开发的新一代中尺度数值天气模拟与预报系统。WRF/Chem模式是在WRF模式的基础上耦合了化学模块,是实现了气象模块和化学模块完全在线耦合的大气动力-化学模式,该模式考虑了大气污染物的平流输送、湍流扩散、干湿沉降、气相化学、气溶胶形成和光解率等过程,WRF/Chem模式不仅能够模拟污染过程中风速、气温和气压等气象要素的特征,还可以模拟大气污染物的排放、传输和分布等,因而在模拟沙尘方面具有独特的优势^[8]。

近年来,利用WRF/Chem模式在我国北方地区对沙尘模拟的研究较多^[9-14],同时发展了很多沙尘模式用于模拟和预报沙尘过程,研究沙尘排放、传输、沉降及其对环境 and 气候的影响。这些模式都能够很好地模拟出沙尘过程的基本特征^[15-17],但是利用不同再分析资料的WRF/Chem模式模拟结果与卫星和地面观测资料之间的对比仍然较少,所以利用不同的再分析资料对我国西北地区的典型沙尘天气进行模式模拟,并对模拟结果进行对比分析,找出适合我国西北地区沙尘天气研究的WRF/Chem模式驱动资料,对沙尘天气的发生机理研究和预报具有重要的意义。

文章以2014年4月22~25日我国西北地区的一次大范围沙尘天气过程为例,利用美国国家环境预报中心提供的全球再分析资料(NCEP-FNL)和欧洲中期数值预报中心提供的第三代全

球大气数值预报再分析资料(ERA-Interim)为WRF模式提供初值和边界条件,对此次沙尘天气进行模拟,并结合地面气象观测资料和卫星沙尘监测图像进行对比分析,初步探讨了两种再分析资料对我国西北地区沙尘模拟的影响。

1 模式设置与数据资料

1.1 模式设置

WRF/Chem模式模拟时间为北京时(下同)2014年4月22日08:00至2014年4月25日08:00。共积分96 h。模拟区域见图1,中心点是(96°E,40°N),采用两层嵌套,水平分辨率分别为27,9 km,格点数分别为140×103和136×115,时间积分步长为60 s,垂直方向划分为50层,大气层顶气压为100 hPa;化学模块时间积分步长为180 s;气象驱动场的初始条件和边界条件来自NCEP-FNL和ERA-Interim再分析资料;模式没有考虑光化学过程、海盐气溶胶、生物气溶胶、湿沉降和气溶胶对辐射的反馈等机制。模式模拟区域以及Shao04方案中的潜在沙尘源区见图1。

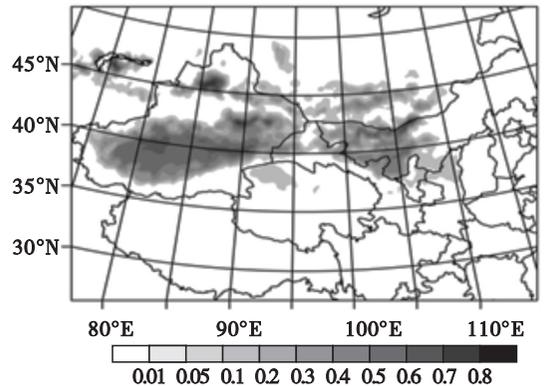


图1 模式模拟的区域以及Shao04方案中的潜在沙尘源区

已有研究表明,在东亚地区,采用Shao04^[18]起沙参数化方案对沙尘的起沙过程以及强度变化具有更好的模拟能力,这主要是由于Shao04方案对沙尘起沙的物理过程有相对更好的描述,从而使得该方案模拟的起沙区域和垂直沙通量更为合理^[19],所以文章采用了Shao04起沙参数化方案对沙尘天气过程进行模拟。

模式采用的物理化学参数化方案见表1。

表 1 模式采用的物理化学参数化方案

物理化学过程	参数化方案
微物理过程	WSM5 - class ^[20]
长波辐射	RRTM ^[21]
短波辐射	Goddard ^[22]
陆面过程	RUC ^[23-24]
边界层	YSU ^[25]
积云对流参数化	Grell - 3 ^[26]
近地面层	Monin - Obukhov ^[27]
气相化学	RACM ^[28]
气溶胶化学	GOCART ^[29]
起沙参数化方案	Shao04 ^[18]

1.2 数据资料

文章采用了 2014 年 4 月美国国家环境预报中心(NCEP)提供的 FNL1° × 1°全球再分析资料、欧洲中期数值预报中心(ECMWF)提供的 ERA - Interim1° × 1°全球再分析资料和中国气象局提供的气象数据资料,包括高度场、温度场、气压场和 wind 场等;污染物浓度数据来源于全国空气质量监测站颗粒污染物 PM₁₀逐小时浓度数据;卫星数据采用了搭载于 Terra 和 Aqua 卫星上的 MODIS 提供的 Level2 每日网格化大气产品气溶胶光学厚度(AOD)和国家卫星气象中心提供的 FY - 3A 可见光波段沙尘监测图像。

2 影响沙尘天气产生的主要天气系统

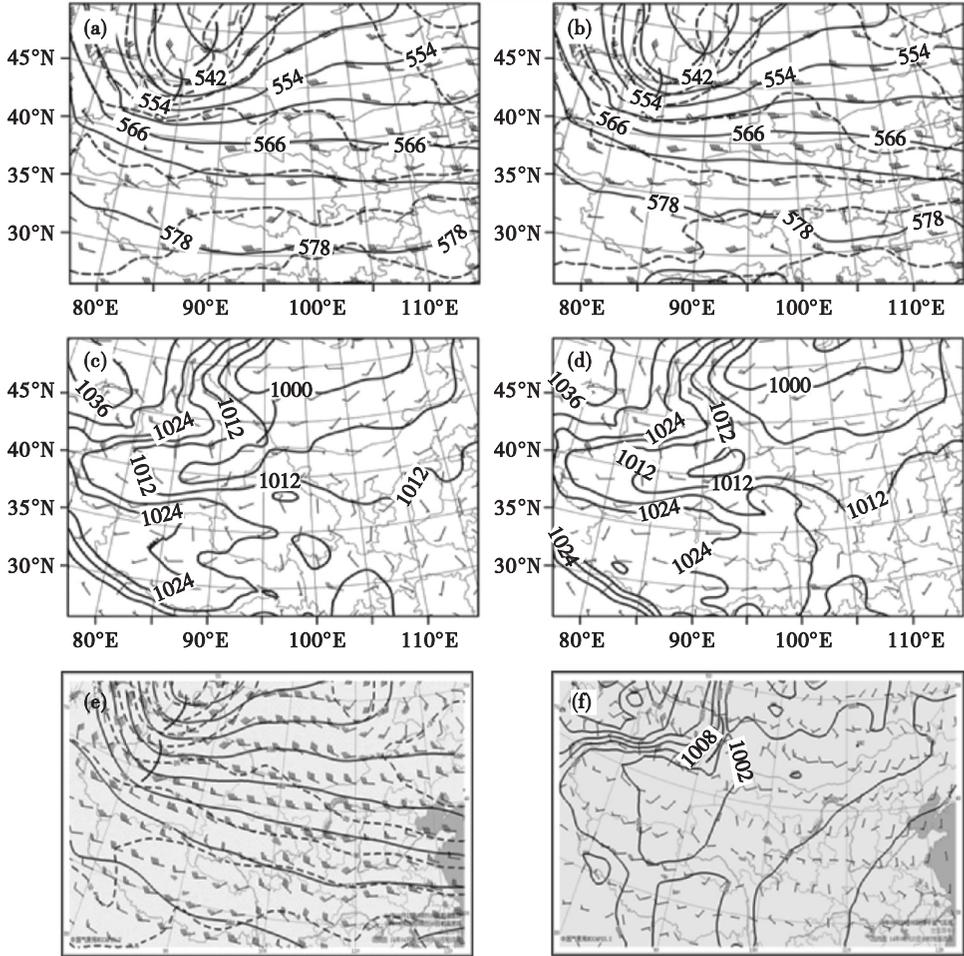
此次沙尘天气过程,从 500 hPa 天气图上来看,4 月 23 日(图 2e),新疆西北部有一高空低压槽东移,高空冷平流明显,温度场落后于高度场,槽发展加深,逐渐出现了闭合的低压中心和冷中心,等高线和等温线密集,气压和温度梯度增大,高空风速增大;4 月 24 日(图略),低涡移至新疆东北部至蒙古国一带,高空气流辐合明显,低压中心和温度冷中心趋于重合,系统强度减弱;4 月 25 日(图略),槽线位于甘肃西北部至蒙古国东北部一带,系统强度减弱。从地面图上来看,4 月 23 日(图 2f),地面冷锋位于新疆东部地区,逐渐向东南

方向移动,锋后地区受冷高压控制,气压梯度大,西北风风速较大,甘肃西北部和河西走廊及内蒙古西部地区位于锋前,受低压控制,风速较小,南疆地区受高空系统和地面系统的叠加以及冷空气的倒灌作用,地面风速较大。自 4 月 23 日 12 时(图略),地面冷锋逐渐开始影响到甘肃和内蒙古西部地区,地面风速增大。4 月 24 日(图略),冷锋已抵达甘肃东南部,开始逐渐影响我国中部地区。

3 模拟结果对比分析

3.1 主要天气系统

500 hPa 高度场上,见图 2 整体来讲,ERA - Interim 数据为 WRF 模式提供初始场和边界条件的模拟结果(以下简称 ERA - Interim 数据模拟结果)与 NCEP - FNL 数据提供初始场和边界条件的模拟结果(以下简称 NCEP - FNL 数据模拟结果)相似,与图 2e 相比较,23 日 08 时,两类数据资料均能较好的模拟出新疆北部的低压槽系统,模拟的槽线(图 2a、2b、2e 中位于新疆西北部的黑色曲线)位于新疆北部至南疆盆地一带,温度场落后于高度场,槽后冷平流明显,低压槽系统发展加深;与实况比较,两类数据的模拟结果均过快的估计了低压槽系统的东移速度,NCEP - FNL 数据模拟结果低位势区的空间位置更加接近实况,温度场和高度场的空间配合更为合理。在图 2 中的地面图上,两类数据的模拟结果均体现出了位于新疆东部的地面冷锋(图 2c、2d、2f 中位于新疆东部的黑色曲线),锋区及锋后等压线密集,气压梯度大,锋后有西北大风,地面冷锋和锋后大风是产生此次沙尘天气的直接原因;与图 2f 相比较,两类数据对锋前低压区和锋区的气压值模拟结果均较实况偏大;NCEP - FNL 数据较好的模拟出了位于锋前的闭合低压中心。综上所述,本次沙尘天气的主要影响系统是高空低压槽系统和地面冷锋系统,NCEP - FNL 数据模拟结果能够较好的再现出影响沙尘产生的主要气象场特征,这也有助于对沙尘天气的数值模拟分析。



注:图 a、b、e 分别为 ERA - Interim、NECP - FNL 数据模拟和 MICAPS 数据分析的 500 hPa 高度场(实线 单位: dagpm)、温度场(虚线 单位:℃)、风场(矢量 单位:m/s)和槽线(粗实线),图 c、d、f 分别为上述三类数据得到的地面气压场(实线 单位:hPa)、10 m 风场(矢量 单位:m/s)、锋面(粗实线)。

图 2 2014 年 4 月 23 日 08 时 500 hPa 高度场和地面场气压场

3.2 地面沙尘浓度的时空分布

沙尘浓度是反映单位体积空气中所含有的沙尘质量大小的物理量。从图 3 可以看出,两类数据的模拟结果均能够较好的模拟出沙尘的范围和强度,根据模拟结果,沙尘主要覆盖在塔里木盆地地区和甘肃及其东南地区,沙尘区域自新疆大部至甘肃、内蒙古等地向东南方向扩散;23 日强沙尘中心位于塔里木盆地及新疆东部地区,24 日强沙尘中心则位于内蒙古及其东北地区;根据图 4 的 FY - 3C 气象卫星遥感监测图像显示,4 月 23 日,沙尘区域主要分布在塔里木盆地东部和新疆东部地区,甘肃西北部和内蒙古北部也有小范围的沙尘区域。4 月 24 日,塔里木盆地仍然有大范

围的沙尘区,甘肃河西走廊及其以东地区和内蒙古中部地区沙尘区域范围较大,部分地区因受云层的遮挡,沙尘区域表现的不明显。

两类数据模拟结果均能够较好的模拟出主要的沙尘区域和强度。与卫星遥感沙尘监测图像相对比,4 月 23 日,塔里木盆地强的沙尘区域主要在其东部地区,ERA - Interim 数据模拟的沙尘浓度则过高的估计了位于塔里木盆地西部地区的沙尘范围及强度,NECP - FNL 数据模拟的沙尘范围则与卫星遥感监测结果相接近;卫星遥感监测图像上,在甘肃的敦煌以北及内蒙古西部地区有明显的沙尘区域,但在两类数据的模拟结果中均没有表现出来;从沙尘浓度的量值来看,两类数据资料

模拟的强值中心均位于新疆中部地区,浓度均在 $8\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上,但 NECP - FNL 数据模拟的沙

尘浓度大值区要比 ERA - Interim 数据模拟的大值区范围更大。

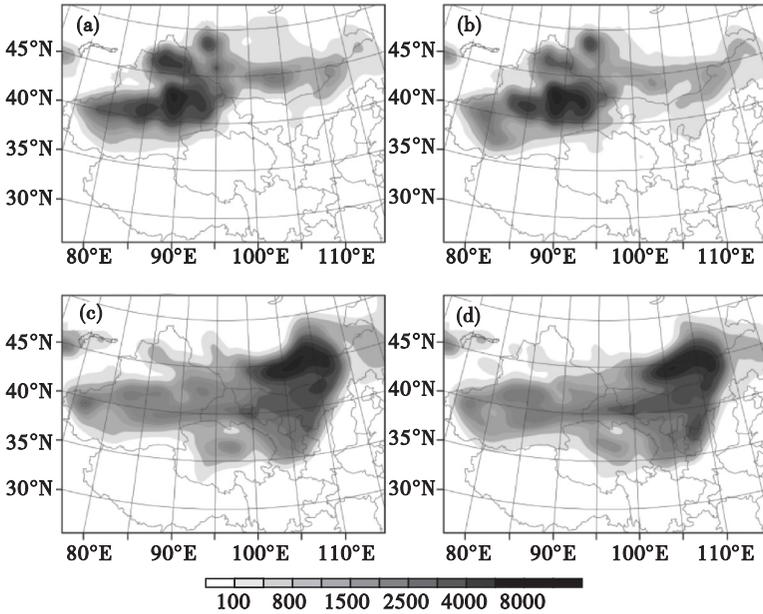


图 3 ERA - Interim(图 a、c)和 NECP - FNL(图 b、d)再分析数据模拟的 2014 年 4 月 23 日 13 时(图 a、b)和 4 月 24 日 13 时(图 c、d)的沙尘浓度(单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

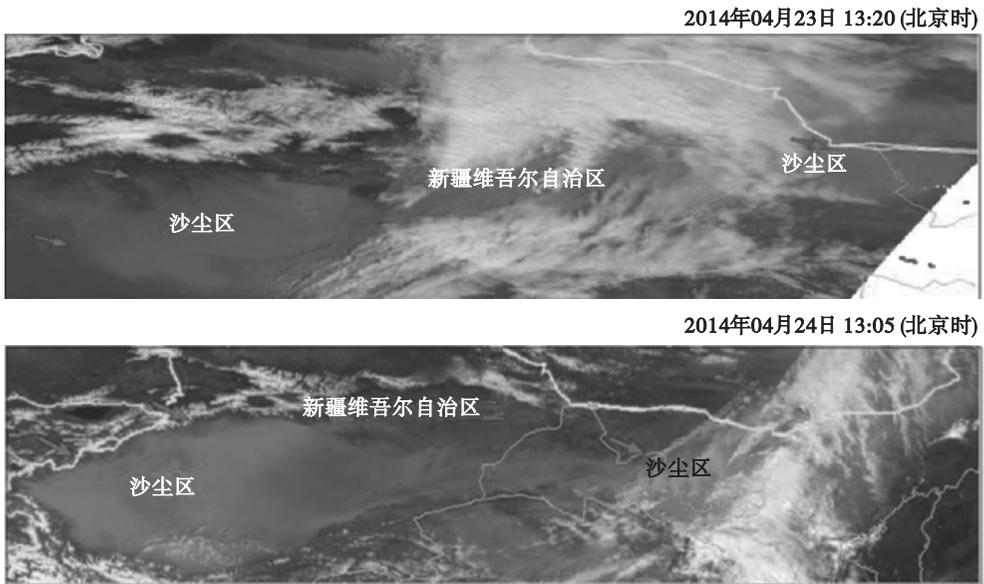


图 4 FY - 3C 气象卫星 2014 年 4 月 23 日 13:20(上图)和 24 日 13:05(下图)的沙尘监测图像

4 月 24 日,塔里木盆地地区沙尘主要出现在盆地中部及西部地区,ERA - Interim 数据模拟结果没有较好的模拟出位于塔里木盆地西部的低值区;在上述低值区以西的高值区,ERA - Interim 数据模拟结果则有较好的表现,相比 NECP - FNL 数据模拟结果,高值区的强度更强,范围更大;从卫星遥感监测图像上可以看出,位于盆地中部的沙尘区仍然有较强

的反照率,NECP - FNL 数据模拟结果在这一区域表现较好,大部分地区沙尘浓度在 $2\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上;卫星图像上,自新疆东部至甘肃河西走廊地区有一狭长的沙尘带,强度较弱,两类数据对这一沙尘带的模拟结果均表现较好;模拟结果显示,甘肃东部和内蒙古中部地区有强度较强、范围较大的沙尘区域存在,但在卫星遥感沙尘监测图像上,上述地区受云层

遮挡严重,无法与数值模拟结果做精确的对比分析。

综上所述,两类数据的数值模拟结果均能够较好的反映出主要的沙尘范围和沙尘强度。相比较而言,NECP - FNL 数据模拟的沙尘范围和强度与卫星遥感监测到的沙尘区域和反照率有较好的

对应,模拟结果更加接近实况,与 ERA - Interim 数据模拟结果有一定的区别。

3.3 起沙过程

4月23~24日两种再分析数据模拟的地面垂直沙通量和地面10m风场的叠加情况,见图5。

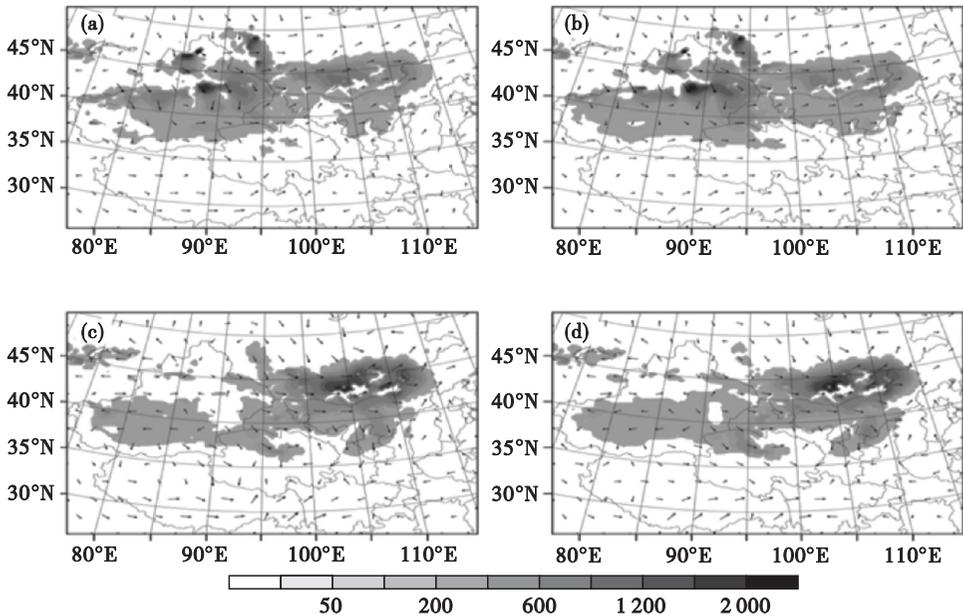


图5 ERA - Interim(图 a、c)和 NECP - FNL(图 b、d)再分析数据模拟的2014年4月23日13:00(图 a、b)和4月24日13:00(图 c、d)的垂直沙通量(单位: $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)和地面10米风场(矢量 单位: m/s)

总体来讲,两类数据均能够较好的模拟出主要的起沙区域和起沙过程。对于两种数据资料模拟结果的不同,从地面垂直沙通量的范围和量值来看,4月23日,塔里木盆地北部地区受偏北大风的影响明显,使得地面沙尘向东南方向传输,两类再分析数据均模拟出了位于盆地地区的起沙通量分布,NECP - FNL 数据模拟的起沙通量范围相比 ERA - Interim 更广,且最大强度可达 $3\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$;起沙通量值在 $600\ \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上的区域,NECP - FNL 数据模拟的范围要较大于 ERA - Interim 数据,这与图3中 NECP - FNL 数据模拟的沙尘范围更大相对应,也与卫星监测图像显示的沙尘范围相吻合;新疆西北部的准噶尔盆地受锋后西北大风的影响,也有较大范围的起沙区域分布,ERA - Interim 数据对这一区域的起沙有较好的模拟。4月24日,锋面移至甘肃东部,塔里木盆地地区受倒灌的冷空气影响为偏东风,风速较小,起沙通量的值为 $100\ \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ 左右,相对较小;甘

肃西北部和柴达木盆地地区受锋后西北风的影响,起沙通量约为 $200\ \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$,NECP - FNL 数据在上述地区模拟的起沙区域范围更大,强度较强;在内蒙古北部地区,西风较大,地面起沙通量可达 $4\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上,两类数据均有较好的表现;在毛乌素沙地地区,NECP - FNL 数据模拟结果起沙通量在 $400\ \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上,较 ERA - Interim 数据模拟结果强度更强。

总体来讲,随着风场的变化,虽然两类数据资料模拟结果均能刻画主要的起沙区域,对整个起沙过程把握较好,但相比较而言,NECP - FNL 数据模拟的起沙通量较大值区比 ERA - Interim 数据模拟的范围略大,同时与卫星监测(图4)显示的较强沙尘范围区吻合较好,所以 NECP - FNL 数据模拟结果能更好的反映起沙区域对相应地区的沙尘贡献。

3.4 气溶胶光学厚度(AOD)

AOD(气溶胶光学厚度)的观测反演数据可以反映一个地区的沙尘状况,见图6。

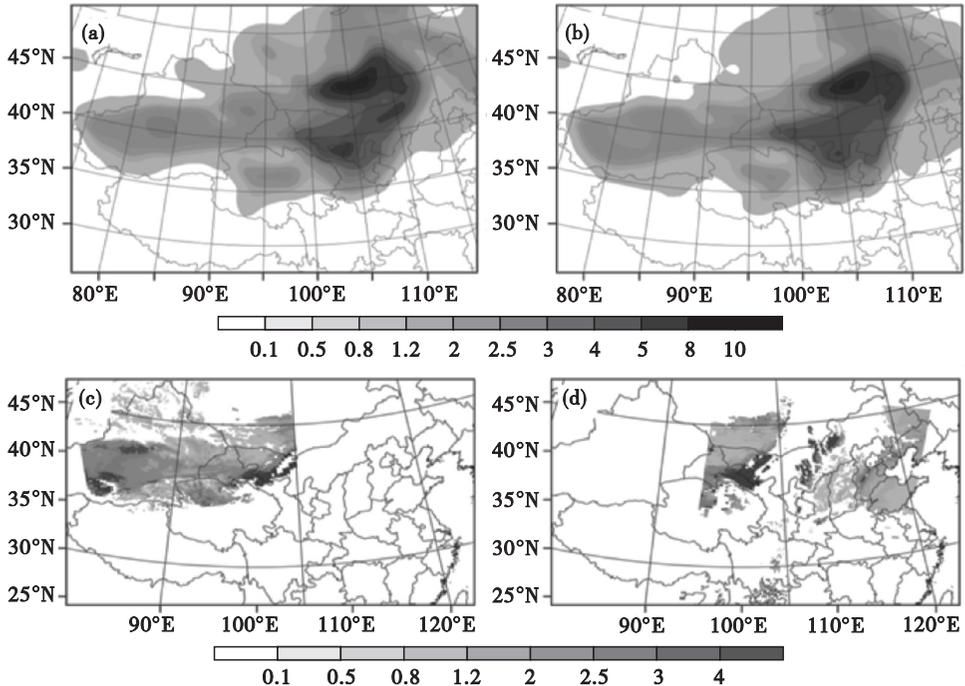


图 6 ERA-Interim (图 a) 和 NECP-FNL (图 b) 再分析数据模拟的 2014 年 4 月 24 日 13:00 的气溶胶光学厚度 (AOD) 以及 MODIS 卫星观测反演的 15:00 (图 c) 和 11:40 (图 d) 的 AOD

文章采用了“Deep Blue”算法反演得到的 MODIS AOD 数据对地面沙尘浓度进行分析,从两类再分析数据对 AOD 的数值模拟结果可以看出,两类数据均能够模拟出位于新疆塔里木盆地、甘肃西北部和中部地区、内蒙古中部及其以北地区 AOD 的空间分布特征,与 15:00MODIS 观测反演的 AOD(图 c)相比较,NECP-FNL 数据模拟的 AOD 能较好的反映出位于塔里木盆地地区的 AOD 环形高值区和中心低值区,范围与 MODIS 反演得到的 AOD 相当。在 11:40MODIS 观测反演的 AOD(图 d)图上,甘肃河西走廊北端, AOD 数值大于 3 的区域延伸至敦煌玉门一带,NECP-FNL 数据模拟结果较好的反映出了这一特征,而在 ERA-Interim 数据模拟的 AOD 中则表现不明显。总体来讲,NECP-FNL 数据模拟得到的 AOD 与 MODIS 观测反演得到的 AOD 吻合较好,即 NECP-FNL 数据模拟结果与实况更加接近。

3.5 沙尘源地和下游地区站点 PM_{10} 浓度的时间变化特征

克拉玛依、嘉峪关、金昌、兰州、包头和西安各站点两种再分析数据模拟和实际观测的 PM_{10} 浓度

随时间的变化特征见图 7,其中,兰州西安主要是受沙尘传输沉降的影响。

总体来看,两类再分析数据均能模拟出沙尘天气过程中各个站点 PM_{10} 浓度随时间的变化趋势和沙尘的传输过程,对各个站点 PM_{10} 浓度随时间的变化特征反映合理,较好的反映出沙尘随时间的传输与沉降,但在沙尘的出现时间和量值上与实际观测的 PM_{10} 变化有一定的差异。

在克拉玛依市,两类数据模拟的起沙时间均较实际观测略早,且 PM_{10} 浓度的峰值高于观测峰值,峰值偏差在 ERA-Interim 数据的模拟结果中表现更为突出,并且在 4 月 23 日 00 时,观测 PM_{10} 浓度较小,但 ERA-Interim 数据却模拟出了 PM_{10} 浓度的虚假峰值;在嘉峪关市,NECP-FNL 数据在 4 月 23 日 10 时左右模拟出了虚假峰值,随后其模拟的 PM_{10} 浓度与实际观测结果较为吻合,ERA-Interim 数据模拟的 PM_{10} 浓度在峰值区偏离实际观测较多;在金昌和兰州市,实际观测的 PM_{10} 浓度峰值均高于两类数据的模拟结果,相比较而言,NECP-FNL 数据模拟结果更加接近实况;在包头市,两类数据模拟的 PM_{10} 浓度均明显高

于实际观测值,且沙尘出现时间均较早,相较而言,ERA - Interim 数据模拟结果与实际观测结果较为接近;西安作为沙尘影响区的城市,沙尘出现

时间较晚,相对来说,NECP - FNL 数据模拟的沙尘出现时间与实际出现时间较为接近。

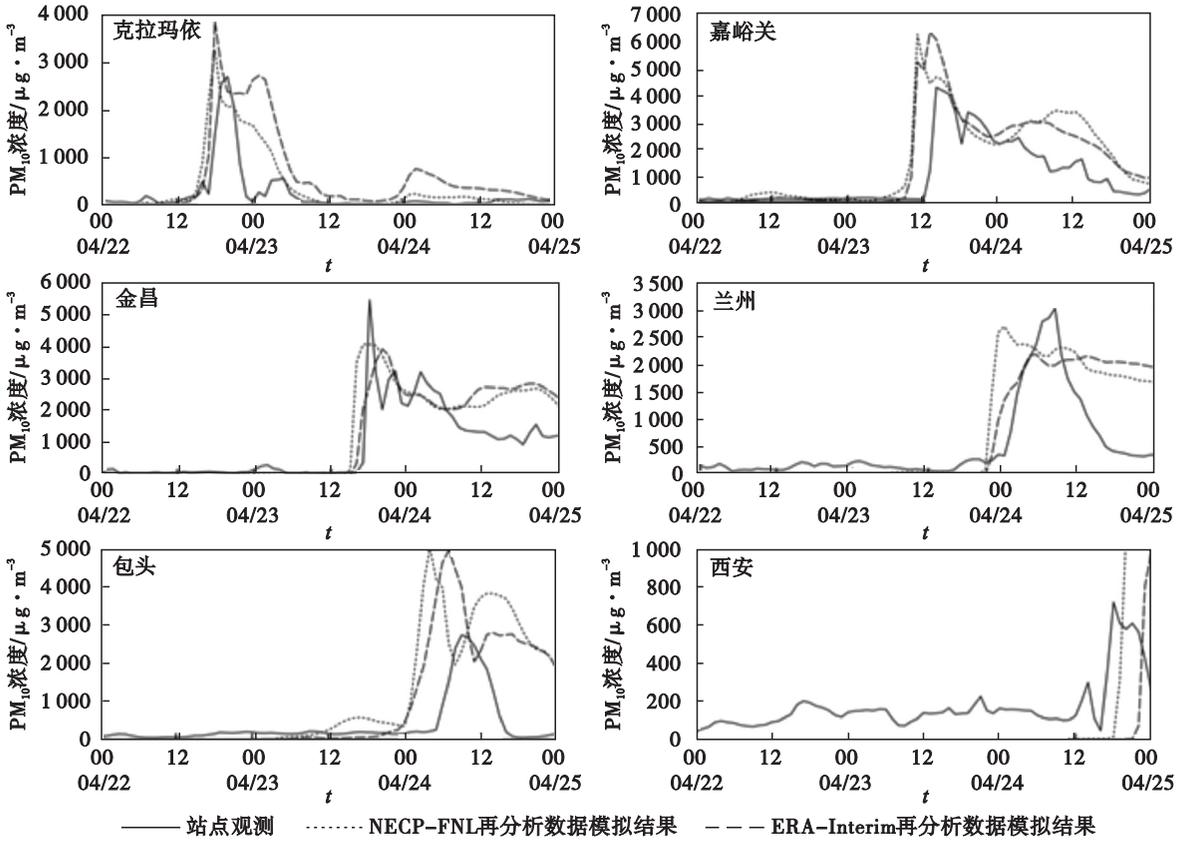


图7 2014年4月23~25日两类再分析资料模拟和观测的PM₁₀浓度时间变化

总体来讲,使用NECP - FNL数据模拟的各站点PM₁₀浓度时间变化特征要优于ERA - Interim数据模拟的结果。同时,NECP - FNL数据模拟结果能较好的反映沙尘的传输特征。

4 摩擦速度对模拟的影响

图8给出了两类再分析数据模拟沙尘浓度的差值,4月23日13:00,在塔里木盆地的西南侧和北侧,以及新疆东南部和甘肃西北部,NECP - FNL数据模拟得到的沙尘浓度均高于ERA - Interim数据模拟的结果,这种差异,与该时间上述地区的摩擦速度(图9)、临界摩擦速度(图略)及二者之间的差异(图9)较大有关,较大的摩擦速度使得模式能够计算出较强的沙尘释放,这也与图5中较强的起沙通量区相对应。在图9中,塔克拉玛干沙漠及新疆戈壁地区的摩擦速度为0.2~

2.0 m/s,这与在东亚开展的站点观测显示的塔克拉玛干沙漠2个站点3~4月份临界摩擦速度为0.48和0.56 m/s^[30]、新疆戈壁地区2个站点春季临界摩擦速度为0.54~0.69 m/s和0.34~0.42 m/s^[31]相比数值较大,所以在上述地区模式模拟结果中存在较大的起沙区域和较强的沙尘释放;不同的再分析资料提供了不同的摩擦速度输入值,使得起沙区域不同,强度不同,对沙尘天气的模拟效果也不尽相同;在新疆东部地区,NECP - FNL数据模拟输入的摩擦速度 u^* 与临界摩擦速度 u_{i}^* 的差值更大,所以在该地区有较强的沙尘释放,也就有较大范围的沙尘区域存在,较合理的解释了NECP - FNL再分析数据模拟结果更加接近实况的原因,同时也表明shao04方案的临界摩擦速度较为合理。综上所述,NECP - FNL再分析数据在西北部分地区能够提供较大的摩擦速度,使得摩擦速度

与临界摩擦速度差值较大,即模拟结果与实况更加接近。

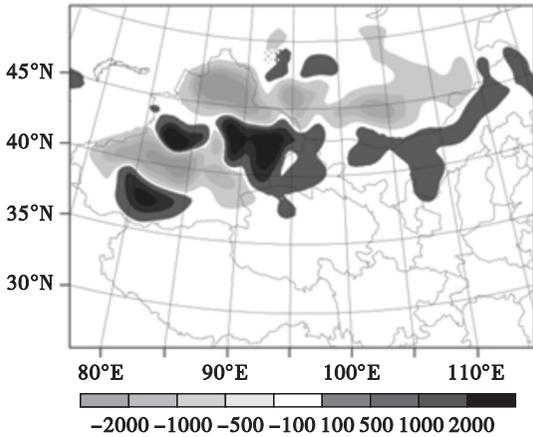


图 8 4月23日13:00 NECP-FNL与ERA-Interim再分析数据模拟的沙尘浓度的差(单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

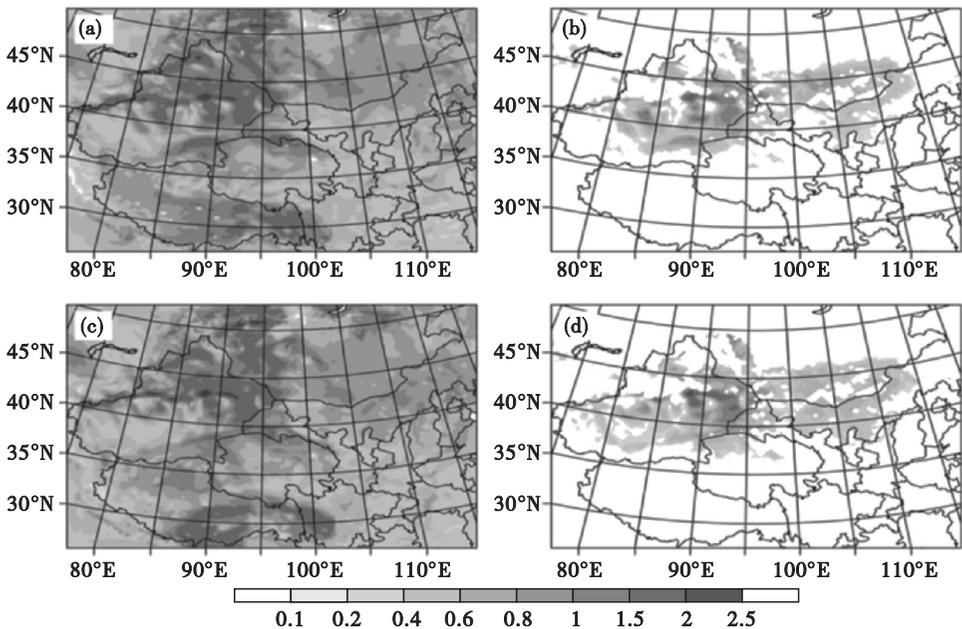


图 9 4月23日13:00 ERA-Interim再分析数据(图 a、b)和NECP-FNL再分析数据(图 c、d)模拟的输入的摩擦速度 u^* (图 a、c 单位:m/s)和 u^* 与临界摩擦速度 u^*_{crit} 的差(图 b、d 单位:m/s)

(2)从沙尘的空间分布、沙尘浓度、垂直沙通量和地面各代表站点 PM_{10} 浓度变化等方面的模拟结果来看,NECP-FNL数据为模式提供初始场和边界条件时要优于ERA-Interim数据的结果。

(3)NECP-FNL再分析数据在我国西北部分地区能够提供较大的摩擦速度,即摩擦速度与临界摩擦速度差值较大,从而使得模拟的沙尘区域、强度和起沙通量更为合理。

5 结论与讨论

文章利用耦合了Shao04起沙参数化方案的WRF/Chem模式对2014年4月22~25日发生在我国西北地区的一次沙尘天气进行了模拟,基于ERA-Interim和NECP-FNL两种再分析资料,探究了WRF/Chem在不同的再分析资料提供初始场和边界条件时对沙尘天气的模拟能力,并分析了两种再分析资料对模拟结果影响的主要原因。

(1)在NECP-FNL和ERA-Interim两种再分析数据为WRF/Chem提供初始场和边界条件时,模式均能较合理的模拟出主要的起沙区域、沙尘强度及其时空变化特征,沙源地附近和下游地区各个站点模拟的 PM_{10} 浓度时间变化特征与观测结果也较为吻合。

虽然在此次沙尘天气过程中,NECP-FNL再分析数据为模式提供初始场和边界条件时的模拟结果要优于ERA-Interim数据,但这种优势表现的并非十分突出,当今的天气预报技术和对天气预报的要求,不但需要我们把主要的天气形势和天气系统影响的主要区域,而且要做到天气的精细化预报,我们探讨不同再分析资料对模式模拟结果的影响,最终是要应用到实际的天气预报

当中去,为精细化天气预报提供有力的理论支撑,因此我们还需要进一步了解不同再分析资料与不同起沙参数化方案之间的配合关系,对于模式模拟结果做进一步分析,探讨不同再分析资料在我国西北地区的适用性以及改进的方案,提高模式的分析预报能力。而这些工作,还需要我们不断的努力。

参考文献

[1] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 沙尘天气等级: GB/T 20480—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[2] 王 炜, 方宗义. 沙尘暴天气及其研究进展综述[J]. 应用气象学报, 2004, 15(3): 366—381.

[3] 李全喜, 王金艳, 刘筱冉, 等. 兰州市区臭氧时空分布特征及气象和环境因子对臭氧的影响[J]. 环境保护科学, 2018, 44(2): 78—97.

[4] 杨丽蓉, 郭英茹, 张俊生, 等. 银川市臭氧污染特征及影响因素分析[J]. 环境保护科学, 2016, 42(2): 55—59.

[5] 康晓风, 张建辉, 刘红辉. 沙尘天气对我国城市空气质量影响的范围与强度分析[J]. 资源科学, 2002, 24(4): 1—4.

[6] 王金玉, 李 盛, 王式功, 等. 沙尘污染对暴露人群呼吸系统健康的影响[J]. 中国沙漠, 2013, 33(3): 826—831.

[7] 冯鑫媛, 王式功, 杨德保, 等. 近几年沙尘天气对中国北方环保重点城市可吸入颗粒物污染的影响[J]. 中国沙漠, 2011, 31(3): 735—740.

[8] GRELL G A, PECKHAM S E, SCHMITZ R, et al. Fully coupled “online” chemistry within the WRF model[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(37): 6957—6975.

[9] 刘筱冉, 王金艳, 邱继勇, 等. 起沙方案对西北地区沙尘过程模拟的影响[J]. 环境保护科学, 2018, 44(4): 69—76.

[10] YAN H, GAO H W, YAO X H, et al. Simulating dry deposition fluxes of PM₁₀ and particulate inorganic nitrogen over the eastern china seas during a severe Asian dust event using WRF—Chem model[J]. Journal of Ocean University of China, 2012, 11(3): 301—314.

[11] KANG J, YOON S, SHAO Y P, et al. Comparison of vertical dust flux by implementing three dust emission schemes in WRF/Chem[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2011, 116(D9): D09202.

[12] CHEN S Y, HUANG J P, ZHAO C, et al. Modeling the transport and radiative forcing of Taklimakan dust over the Tibetan Plateau: a case study in the summer of 2006[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2013, 118(2): 797—812.

[13] CHEN S Y, ZHAO C, QIAN Y, et al. Regional modeling of dust mass balance and radiative forcing over East Asia using WRF—Chem[J]. Aeolian Research, 2014, 15: 15—30.

[14] ZHAO C, CHEN S Y, LEUNGL, et al. Uncertainty in modeling dust mass balance and radiative forcing from size parameterization[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, 13(21): 10733—11075.

[15] SUGIMOTO N, HARAY, SHIMIZU A, et al. Analysis of dust events in 2008 and 2009 using the lidar network, surface observations and the CFORS model[J]. Asia—Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 2013, 49(1): 27—39.

[16] HUNEEUS N, SCHULZ M, BALKANSKI Y, et al. Global dust model intercomparison in AeroCom phase I[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2011, 10(10): 7781—7816.

[17] KIM H, CHOI M. Impact of soil moisture on dust outbreaks in East Asia: Using satellite and assimilation data[J]. Geophysical Research Letters, 2015, 42(8): 2789—2796.

[18] SHAO Y. Simplification of a dust emission scheme and comparison with data[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2004, 109(D10): D10202, doi: 10.1029/2003JD00437.

[19] 吴成来, 林朝晖. WRF/Chem 模式中两种起沙参数化方案对东亚地区一次强沙尘暴过程模拟的影响[J]. 气候与环境研究, 2014, 19(4): 419—436.

[20] HONG S Y, DUDHIA J, CHEN S H. A Revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation[J]. Monthly Weather Review, 2004, 132(1): 103—120.

[21] KIM Y, FU J S, MILLER T L. Improving ozone modeling in complex terrain at a fine grid resolution: Part I—examination of analysis nudging and all PBL schemes associated with LSMs in meteorological model[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(4): 523—532.

[22] MIELKAINEN J, HUANG B, HUANG A, et al. GPU acceleration of the updated Goddard short wave radiation scheme in the weather research and forecasting (WRF) model[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2012, 5(2): 555—562.

[23] SMIRNOVA T G, BROWN J M, BENJAMI S G, et al. Performance of different soil model configurations in simulating ground surface temperature and surface fluxes[J]. Monthly Weather Review, 1997, 125: 1870—1884. &

[24] SMIRNOVA T G, BROWN J M, BENJAMIN S G, et al. Parameterization of cold season processes in the MAPS land surface scheme[J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105(D3): 4077—4086.

[25] HONG S Y, NOH Y, DUDHIA J. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes [J]. Monthly weather review, 2006, 134(9): 2318—2341.

[26] GRELL G A, DEVENYI D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques[J]. Geophysical Research Letters, 2002, 29(6): 587—590.

[27] PAHLOW M, PARLANGE M B, Porté—Agel F. On Monin—Obukhov similarity in the stable atmospheric boundary layer[J]. Boundary—Layer Meteorology, 2001, 99(2): 225—248.

[28] STOCKWELL W R, KIRCHNER F, KUHN M, et al. A new mechanism for regional atmospheric chemistry modeling[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1997, 102: 25847—25879.

[29] CHIN B, ROOD R B, LIN S J. Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Model description and global properties [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2000, 105(24): 671—687.

[30] ISHIZUKA M, MIKAMI M, YAMADA Y, et al. Threshold friction velocities of saltation sand particles for different soil moisture conditions in the Taklimakan Desert[J]. SOLA, 2009, 5: 184—187.

[31] KIMURA R, SHINODA M. Spatial distribute—on of threshold wind speeds for dust outbreaks in northeast Asia[J]. Geomorphology, 2010, 114: 319—325.