

黑河地区近地面层辐射和温度的适用性模拟研究^{*1}

刘树华^{1,2,3} 蒋浩宇^{1,2} 胡非³ 张称意² 刘和平¹
梁福明¹ 辛国君¹ 王建华¹

1 北京大学物理学院大气科学系, 北京, 100871

2 国家气候中心中国气象局气候研究开放实验室, 北京, 100081

3 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京, 100029

摘 要

为了检验中尺度区域大气模式在中国高原复杂下垫面区域气候模拟中的适用性,文中采用该模式在 40 余种不同的初始参数条件下模拟了 1991 年 6 月 20 日至 7 月 20 日黑河区域的近地面辐射收支平衡和空气温度。并分析了中尺度区域大气模式应用于中国西北部大起伏地形和高原地区复杂下垫面(HEIFE)的模拟能力。结果表明,在仅使用 NCEP 再分析资料、探空资料和常规地面观测资料(RAMS 标准输入),而不根据当地特征调整区域大气模式初始参数的情况下,对近地面层的辐射收支和空气温度具有一定的模拟能力,但可能引发较大的误差;特别是地面向上长波辐射通量和 2 m 空气温度,其模拟结果与实测结果相差甚远。只有合理地调整模式的初始参数,主要是初始土壤层的温度和湿度,才能得到与实测资料符合良好的结果;而要进一步地模拟出这些物理量在复杂天气情况下的细致变化,则需要把土壤深度扩大到 4 m 左右,并使用较为可靠的数据初始化垂直非均匀的土壤湿度。

关键词: 区域大气模式, 中尺度区域大气模式, HEIFE, 土壤温度, 土壤湿度。

1 引 言

黑河地区地表环境不均一和地形起伏较大的典型复杂下垫面,其下垫面环境包括了绿洲、沼泽、森林、沙漠、戈壁等,这些复杂的环境直接影响了太阳辐射加热的日变化特征,进而影响到区域热平衡和水物质平衡。较大的地形起伏对区域风场有直接的强迫作用,形成因地形作用引起的热量、物质输送,这些都对区域气候有着重要的作用。为了研究该地区陆-气相互作用过程,1990—1992 年,中日科学家在此地区进行了“黑河地区地气相互作用实验”(HEIFE),为系统的研究提供了丰富的资料。

中尺度区域大气模式是研究这类问题最有力的手段之一。目前,许多著名的中尺度区域大气模式也已经被应用到了对黑河流域的模拟研究上。阎宇平、王介民等^[1]已经成功地把区域大气模式(RAMS)运用到了黑河流域地区的中尺度环流研

究、地表能量通量和低空逆湿的数值模拟^[2-3]。姜金华、胡非等^[4]研究了黑河下垫面的大涡模拟。陈仁升等^[5-6]利用 MM5 做了黑河区域的水热耦合研究。高艳红、吕世华^[7]用 MM5 做了黑河上游要素场对其 RAMS 降雨汇流过程的响应研究。虽然将成熟的中尺度区域大气模式用于研究黑河区域已经有了众多成果,然而目前还没有较为系统地、对 RAMS 模式在真实天气状况下,对黑河区域进行模拟的适用性及其模拟能力的研究。

因此,我们在以上研究的基础上,做了如下工作:(1)第 1 次用 RAMS 对黑河区域做长达 30 d 的连续模拟研究,长时间的模拟可以减小模式运行初期对初始化数据进行调整时造成的误差,并有力地检验模式运行的稳定性;(2)多数先前的模拟研究都以晴好的天气为背景,而本文的模拟时间段内不仅有天气晴好的过程,也有多云、降雨过程,更能真实地反映 RAMS 对复杂的真实天气状况的模拟

* 初稿时间:2007 年 1 月 30 日;修改稿时间:2007 年 4 月 8 日。

资助课题:中国气象局气候变化专项经费(CCSF-2005-2-QH29,CCSF2006-38,CCSF2007-39);高等学校博士学科点专项科研基金(20050001030),大气物理与大气化学国家重点实验室基金和国家自然科学基金(40275004)。

作者简介:刘树华,从事大气边界层物理、陆面过程和气候变化研究。E-mail:lshuhua@pku.edu.cn

能力;(3) 此次研究在众多参数设置条件下运行了 RAMS,分析了造成模拟失败个例的原因,并给出了成功进行模拟的必要条件。其结论将对提高中国西北大起伏地形地区区域气候的数值研究和数值天气预报质量有实质性的帮助。本次模拟研究实验共进行 40 余组,限于篇幅,本文选取有代表性的 4 种做了介绍。

2 数值模式实验

RAMS 是三维、非流体静力、可压缩区域大气模式^[8]。其所带的各种详细参数化方案情况和四维资料同化方案可参见文献^[9]。以下着重介绍本文的选取方案,及其选取原因。

2.1 模拟区域

在此次研究的模拟区域中,各层格点都以张掖站(38.93°N,100.43°E)为中心,采用 3 层网格嵌套。在尺度上为了兼顾方便同化 NCEP 再分析资料^[10]和为模拟目标区域(张掖)提供足够的空间分辨率,第 1 层网格格点距选为 40 km,第 2 层网格格点距 10 km,第 3 层网格格点距为 2.5 km。

此次实验采用了两种不同网格格点设置,并以

此来检验 RAMS 模式所提供的中尺度环境大小对模拟结果的影响。两种不同的设置中,从第 1 层网格到第 3 层网格的格点数分别为:20,22,22 和 15,18,18。第 1 种格点设置可以提供更大更详细的中尺度环境,然而模拟结果并没有明显改善(基于 20 余组对比实验,图略),在部分情况下甚至差于第 2 种格点设置。其主要原因可能为:(1) 此次实验的观测资料都集中在张掖附近 100 km 左右范围内,第 1 种格点设置的模拟区域宽达 800 km,可能造成实测资料对边界同化的影响不足,而过分的加入了 NCEP 再分析资料的不确定性;(2) 由于特殊地形的影响,第 1 种格点设置的西南角上比第 2 种格点设置多出的区域中,地形过于陡峭,起伏过大的地形可能对模拟结果带来不利影响。基于以上因素,本文所有图示都选取第 2 种格点设置,模拟区域以张掖(38.93°N,100.43°E)为中心,3 层网格模拟区域分别为:600 km×600 km,180 km×180 km,45 km×45 km;模拟区域的地形,植被状况见图 1。

本文的模拟时间为 1991 年 6 月 20 日 12:00 UTC 至 1991 年 7 月 20 日 12:00 UTC(部分到 24 日),时间积分步长为 60 s。

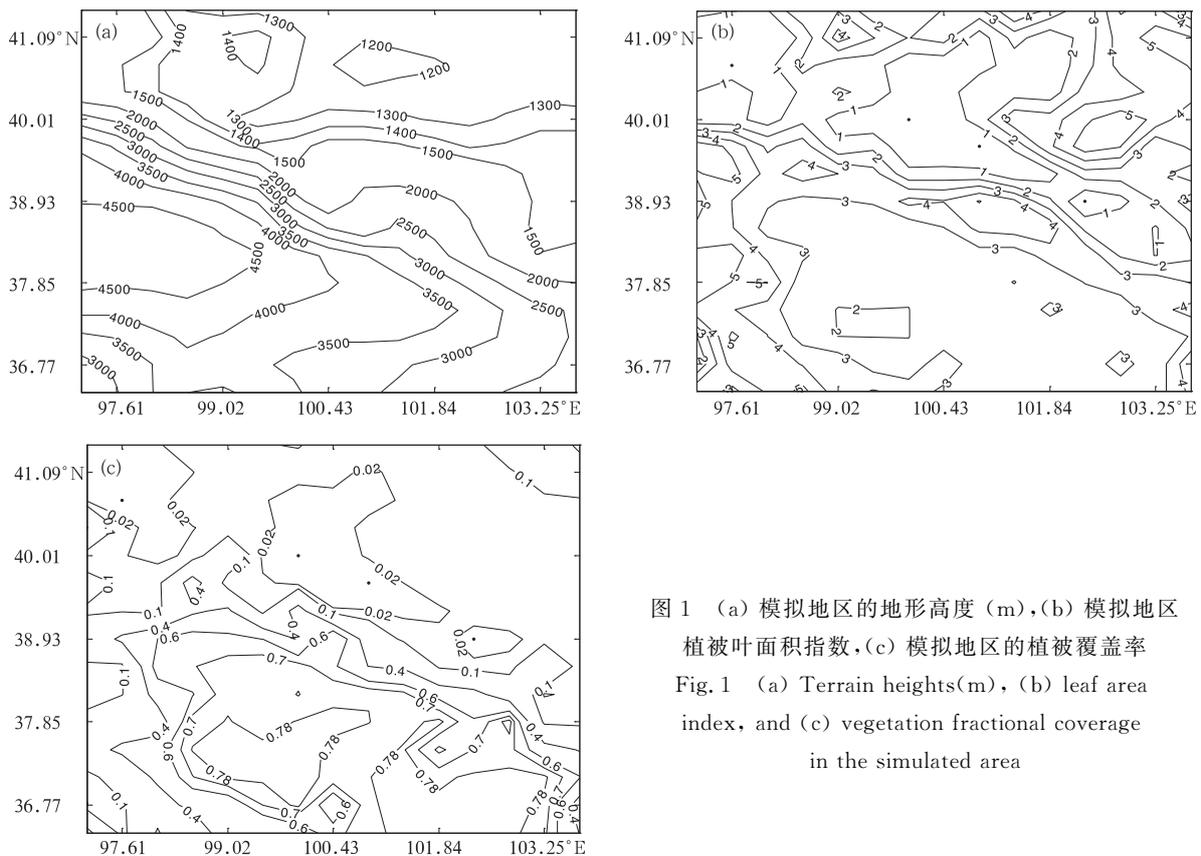


图 1 (a) 模拟地区的地形高度(m), (b) 模拟地区植被叶面积指数, (c) 模拟地区的植被覆盖率
Fig. 1 (a) Terrain heights(m), (b) leaf area index, and (c) vegetation fractional coverage in the simulated area

2.2 地形、植被输入资料

RAMS 地形和植被输入资料由科罗拉多大学提供的数据库初始化,包括来自 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 的地形高度资料,土地利用资料,植被类型资料,其分辨率为 1 km。来自 UN FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 的土壤纹理资料,其精度为 4 km。来自气候平均的海温资料,精度为 120 km。

2.3 模式输入数据

区域大气模式 RAMS 的标准输入包括:气压层格点数据、地面探空资料、地面观测资料。本文中气压层格点数据采用精度为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的 NCEP 再分析资料,地面探空资料采用黑河实验日方的民

勤、张掖,酒泉站资料,地面观测资料采用了日方设在民勤、G9、南戈壁、沙漠、平川、绿洲站的自动气象站资料。对于以上气象数据, RAMS 采用等熵四维变分同化来得到初始场,并在模式运行过程中赋予模式边界条件。本次实验的等熵同化时间间隔为 2 和 6 h。

此次实验共进行了详尽的 40 余组参数设置,其主要分类及参数如表 1。针对以往采用 RAMS 模式所做的研究中,多数工作仅输入 RAMS 所要求的标准输入数据的情况,如参考文献[11],本文对标准化输入以外的数据进行了调整,主要是针对土壤温度和土壤湿度(表 2),以提高 RAMS 对中国西北部复杂地形和下垫面区域的模拟能力。

表 1 数值实验的主要分类及其参数

Table 1 Typical classification of the trial simulation, and their major parameters

	土壤初始温、湿度	土壤层总数、厚度(m)	风速边界条件	其他量边界条件	辐射方案	进行实验次数
第 1 类	RAMS 默认	11,0.5	Klemp/Wilhelmson ^[12]	零梯度	Chen 和 Cotton ^[14] , Harrington ^[15]	根据以上参数搭配,共 14 次
第 2 类	温度垂直非均匀 湿度垂直均匀	11,0.98	Klemp/Wilhelmson ^[12] Klemp/Lilly ^[13]	零梯度边界。零梯度流入,辐射流出边界	Chen 和 Cotton ^[14] , Harrington ^[15]	根据以上参数搭配,共 12 次
第 3 类	温度垂直非均匀 湿度垂直非均匀	11,0.98	Klemp/Wilhelmson ^[12] Klemp/Lilly ^[13]	零梯度边界。零梯度流入,辐射流出边界	Chen 和 Cotton ^[14] , Harrington ^[15]	根据以上参数搭配,共 6 次
第 4 类	温度垂直非均匀 湿度垂直非均匀	15,4	Klemp/Wilhelmson ^[12] Klemp/Lilly ^[13]	零梯度边界。零梯度流入,辐射流出边界	Chen 和 Cotton ^[14] , Harrington ^[15]	根据以上参数搭配,共 12 次

表 2 各个实例中的土壤参数

Table 2 Soil parameters for each of cases

	土壤层数	各层深度(m)	土壤初始温度	土壤初始湿度
实例 1	11	0.01, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50	RAMS 默认	RAMS 默认,各层都为 0.15
实例 2	11	0.01, 0.02, 0.05, 0.08, 0.12, 0.16, 0.24, 0.32, 0.48, 0.62, 0.98	实测值	RAMS 默认,各层都为 0.15
实例 3	11	0.01, 0.02, 0.05, 0.08, 0.12, 0.16, 0.24, 0.32, 0.48, 0.62, 0.98	实测值	垂直均匀分布,各层都为 0.35
实例 4	15	0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.12, 0.16, 0.24, 0.32, 0.48, 0.62, 0.98, 1.4, 2.0, 2.8, 4.0	实测值	0.05—0.12 m, 0.10—0.15 m, 0.20—0.22 m, 0.40—0.25 m, 0.80—0.30 m, 1.20—0.33 m, 4.00—0.43 m

2.4 可选参数化方案和边界条件选择情况

辐射计算选取了 Chen 和 Cotton^[14] 的参数化方案,该方案考虑了大气中的水汽凝结过程,但是并没有区分凝结物的种类(如:云滴、雨、雪等)。在模拟的时间段(6 月 20 日—7 月 20 日)内并没有降雪、浓积云等存在复杂凝结过程的天气现象发生,故该方案与详细考虑凝结物的二流近似方案^[15] 得到的

结果区别几乎可以忽略(图略)。而更简单的 Mahrer 和 Pielke^[16] 方案则完全不考虑水汽凝结过程,不适合有降雨过程发生的天气情况模拟。

模拟区域东西边界和南北边界的地理海拔高度相差甚远,从而排除了循环边界条件的使用。本实验采用了零梯度边界条件和辐射边界条件。模拟结果则表明,辐射边界条件稍优于零梯度边界条件

(图略)。

3 模拟结果分析

3.1 太阳辐射通量

太阳短波辐射通量在辐射计算中相对简单。大多数理想模型中,都把入射太阳辐射通量的日变化简化为理想的正弦变化曲线。而实际情况中,云层、气溶胶和近地面层水汽等也对太阳辐射有重要的影响。

从图 2 可以看出,RAMS 对于大起伏地形和复杂下垫面的太阳短波辐射有较好的模拟能力。模拟得到的日变化规律与实测结果符合的甚好,而其日变化振幅在多数时间与实测资料相吻合。比较 4 种情况我们可以发现,在 6 月 27 日左右,张掖地区存在一次多云过程,导致太阳辐射通量最大值由晴好情况的约 1000 W/m^2 下降到约 500 W/m^2 。前两个实例(图 2a、2b)完全无法捕捉到这个讯号,而后两个实例(图

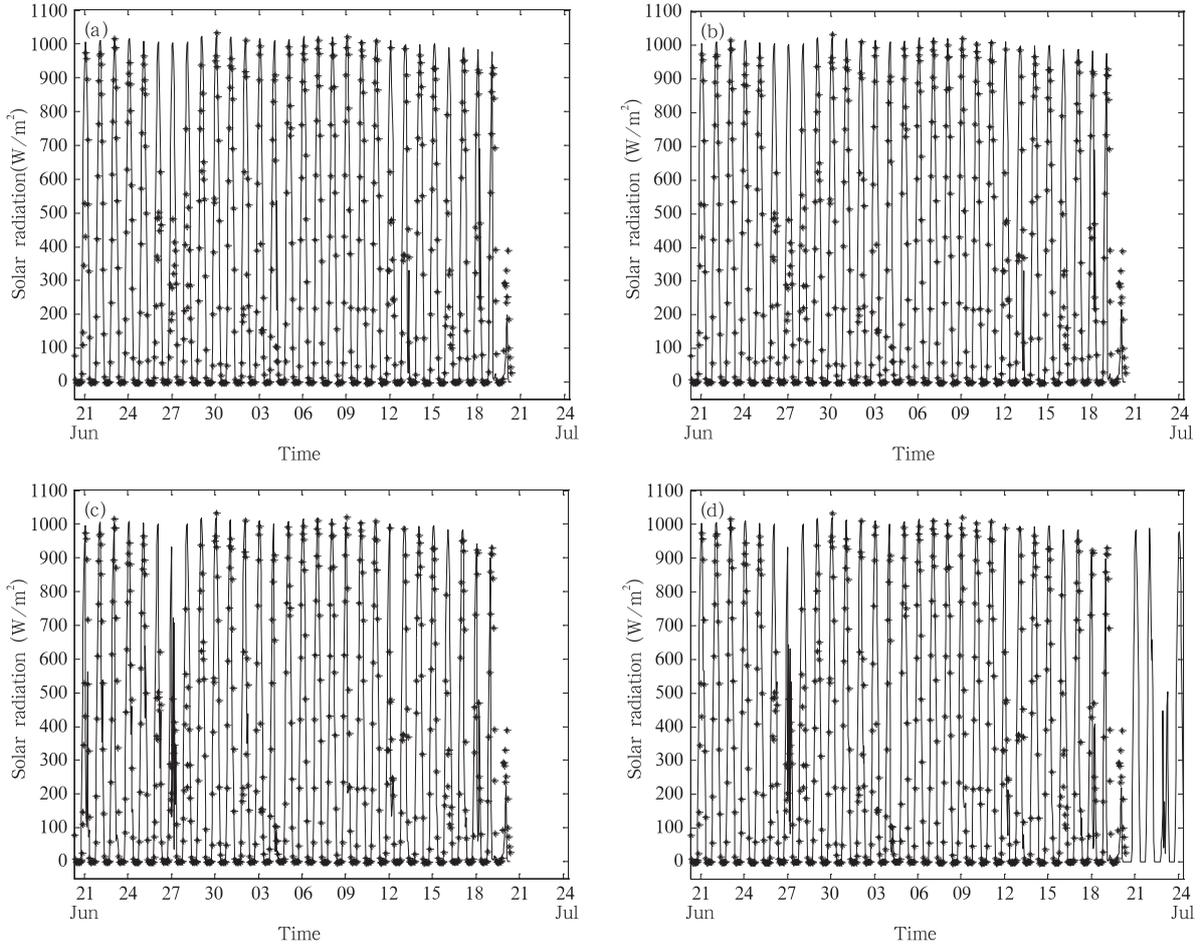


图 2 张掖站太阳短波辐射的实测资料(数据点)和模拟结果(实线)

(a. 例 1, b. 例 2, c. 例 3, d. 例 4; 单位: W/m^2)

Fig. 2 Observed (asterisk) and simulated values (solid line) of solar shortwave radiation (W/m^2) at Zhangye station (a. case 1; b. case 2; c. case 3; d. case 4)

2c、2d)能较好地反映出这次天气过程,其模拟结果除了 2 个点偏高以外,和实测资料非常吻合。实测资料表明,7 月 20 日有一次明显的降雨过程。这次过程在 4 种情况中都能反映出来,然而 4 种情况得到的模拟结果都相对实测资料(400 W/m^2)偏低。前两个实例(图 2a、2b)的模拟值约为 200 W/m^2 ,后

两个实例(图 2c、2d)的模拟值则约为 300 W/m^2 ,有不小的改善。在此次降雨过程的前面 2—3 天中,天空都存在较低的云量,导致实测太阳辐射下降为 930 W/m^2 左右,这个信号在后两个实例中(图 2c、2d)得到了较好的再现,而图 2a、2b 中却不能真实地反映出来。由以上比较分析,我们可以得出,RAMS 对土壤

温度和土壤湿度的默认设置完全可以胜任黑河地区在晴好天气状况下的太阳辐射模拟,而对于有天气系统进入的情况,则需根据实测资料调整初始土壤湿度才能得到与实际情况较为相符合的结果。

3.2 地面向上短波辐射通量

在得到太阳辐射通量的情况下,决定地表向上短波辐射通量最重要的参数就是地表反射率。从图 3 可以看出,RAMS 对地表向上短波辐射通量模拟的情况基本与太阳辐射通量类似。其中,图 3c、3d 条件对模拟复杂天气状况具有优势。在 4 种情况中,模拟结果都相对实测值偏大,后两种情况(图 3c、3d)的模拟结果比前两种情况(图 3a、3b)要小约

5 W/m^2 ,更接近真实值,不过还是偏大约 20 W/m^2 。其原因可能是:(1) 表层土壤含水量对地表反射率有直接的影响,因而图 3c、3d 条件下,调整土壤含水量的初始值之后,模拟结果有了明显的改善;(2) 在计算地表反射率时,地表植被也同样十分重要。此次实验采用了 RAMS 4.4,其中并没有提供全球的 NDVI 卫星观测值;而 RAMS 6.0 虽然提供了 NDVI 全球资料,但其升级后的土壤和陆面模式 LEAF 3 (The Land Ecosystem-Atmosphere Feedback model) 和相配套的结果输出可视化软件 REVU 2.5 (RAMS Evaluation and Visualization Utilities) 尚有缺陷*。在 RAMS 6.0 升级完成之后,这种情况应

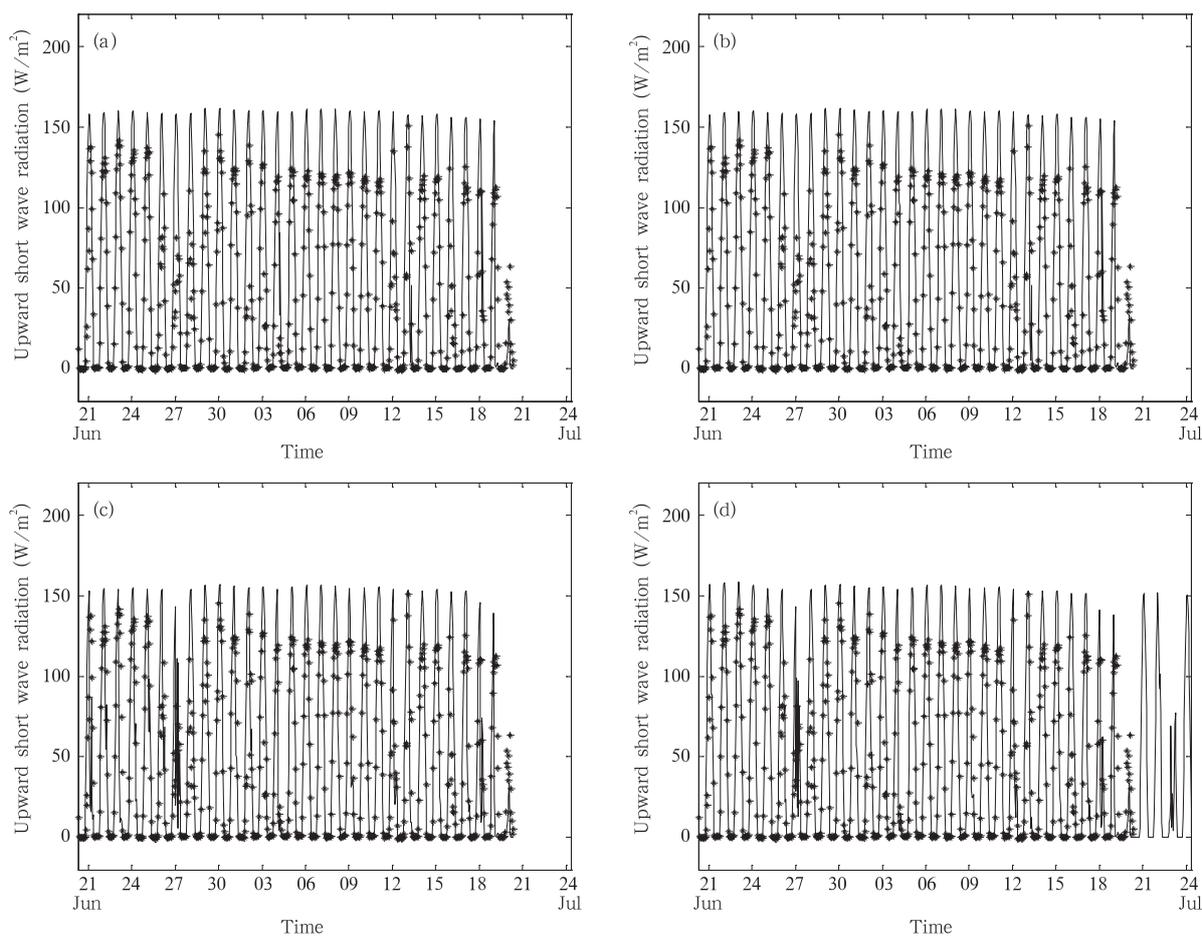


图 3 张掖站地面向上短波辐射的实测资料(数据点)和模拟结果(实线)

(a. 例 1, b. 例 2, c. 例 3, d. 例 4)

Fig. 3 Observed (asterisk) and simulated values (solid line) of upward shortwave radiation (W/m^2) at Zhangye station

(a. case 1; b. case 2; c. case 3; d. case 4)

* ATMET 论坛 RAMs 专区, Wed-15 Nov 2006-1:57 pm

该会有改善。图 3 可以总结出,RAMS 能较好地模拟黑河地区的向上短波辐射,模拟结果可以得到与实测资料相同的相位变化,在天气晴好的状况下最大值相差约 10—20 W/m²。

3.3 向下长波辐射通量

图 4 给出了整个模拟时间段内,地表接受到的向下长波辐射通量变化。由于向下长波辐射通量涉及到近地面空气温度,植被温度,近地面空气湿度、植被湿度、云量、近地面露水凝结过程,和空气平流运动,故在非理想情况下,向下长波辐射的模拟相对

困难。从图中可以看出,RAMS 基本能够再现出向下长波辐射的真实情况,虽然其得到的日变化振幅略微小于实测结果,然而其相位变化与实测值完全相同,平均值也与实际观测非常接近。根据实测资料,7 月 4 日至 5 日之间,有一次强度略小于 1 mm/h 的降雨过程(由于降雨过程出现在夜间,故前面的太阳辐射通量变化图示,未能显示出此次天气现象)。出现降雨过程时,4 种条件下的模拟结果都出现了很明显的向下长波辐射通量突然增大的现象。这种现象与 7 月 20 日的降雨过程中所出现的

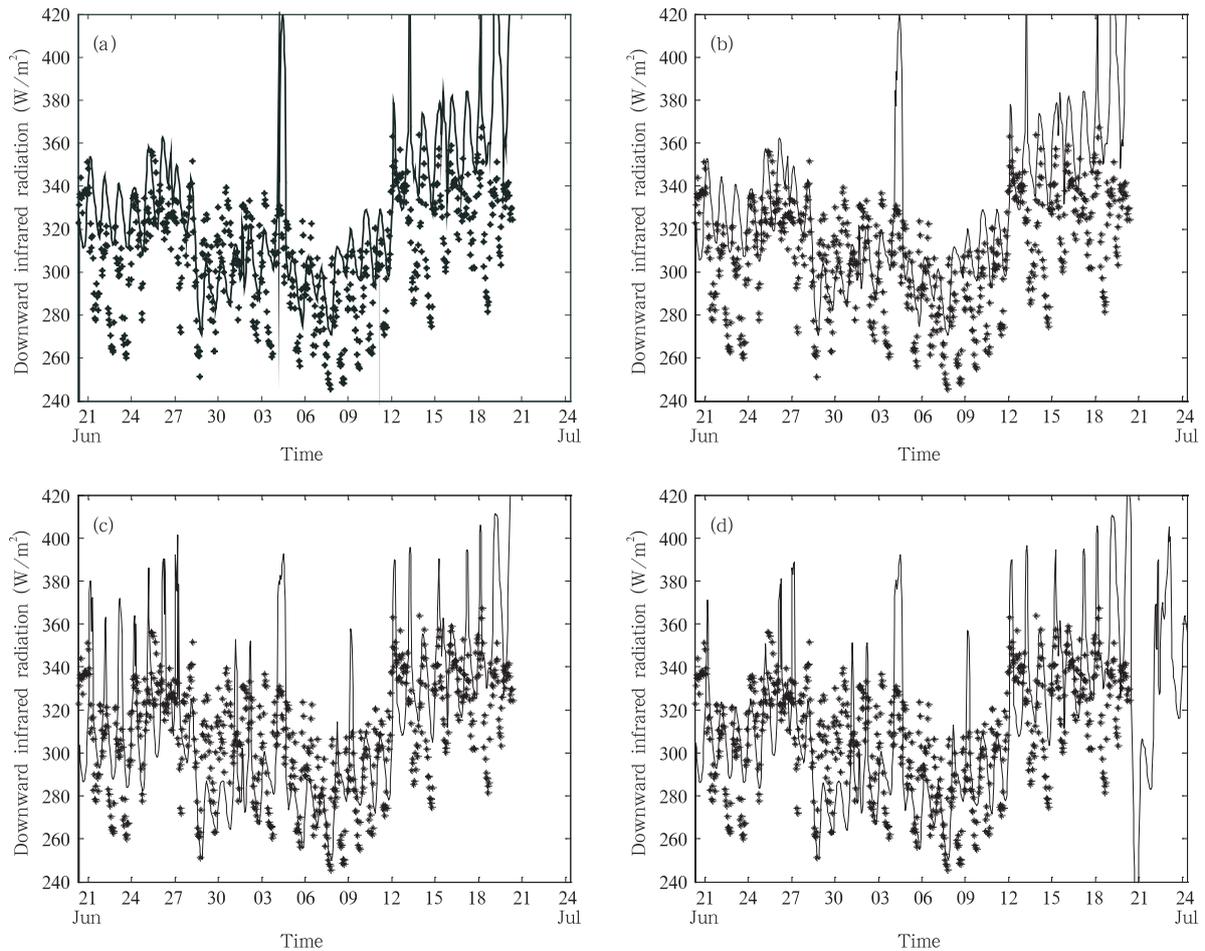


图 4 张掖站向下长波辐射的实测资料(数据点)和模拟结果(实线)

(a. 例 1, b. 例 2, c. 例 3, d. 例 4)

Fig. 4 Observed (asterisk) and simulated values (solid line) of downward infrared radiation (W/m²) at Zhangye station

(a. case 1; b. case 2; c. case 3; d. case 4)

是一致的。结合图 1 和图 4 可知,在降雨过程中由于云层的吸收和反射作用,使得到达地表的太阳辐射通量急剧降低,而向下长波辐射通量则相应增大,这个结果也完全满足我们熟悉的物理原理。在出现

降雨过程时,向下长波辐射的模拟值都高于实测资料,然而图中可知,图 4c、4d 结果相对图 4a、4b 略有改善。6 月 22 和 23 日,以及 7 月 15—20 日这段过程中,前两个实例(图 3a、3b)的模拟结果有较明显

的偏高,而在根据实测资料调整土壤湿度的初始输入之后,结果得到了明显的改善。

3.4 地面向上长波辐射通量

地面向上长波辐射通量是一个反映近地面层特征及土壤表层温度和湿度的物理量,也与土壤的质地(比辐射率)有着直接的关系。此次实验由于采用了 UN FAO 统一的全球资料,4 个实验中的土壤质地完全相同,故造成模拟结果差异主要是近地面层和土壤特征引起的。由图 5 可以看出,前两个实例(图 5a、5b)的模拟结果与实测资料相比,虽然变化趋势吻合,但其值出现了较为明显偏大现象。其中图 5a 模拟结果的平均值比观测资料的平均值偏大了约 100 W/m^2 ,图 5b 模拟结果的平均值则偏大了约 80 W/m^2 。图 5b 模拟结果稍微优于图 5a 模拟结果,其主要原因

是因为 RAMS 默认的土壤初始温度在本次模拟实验中较明显地高于土壤实测温度,而图 5b 情况根据实测资料调整了土壤初始温度。对比图 5a、5b,实验的后两种情况(图 5c、5d)的模拟结果都可以较好地反映出真实的地表向上长波辐射通量。仔细观察可以发现,第 4 个实验(图 5d)的模拟结果有非常明显的改进,与实测资料比较发现几乎再现了整个模拟时间段(34 d)内,地面向上长波辐射通量的变化情况。而实验(图 5c)的模拟结果则略微地偏大了 $10\text{--}15 \text{ W/m}^2$ 。4 个实验对向上长波辐射的模拟结果能够非常明显地区分出 RAMS 在各种条件下(这里指初始化数据条件)对实际天气过程中近地面气象要素的模拟能力。土壤温度的初始化在很长时间内都将影响到土壤热通量,进而作用于表层土壤的热平衡,因此造成

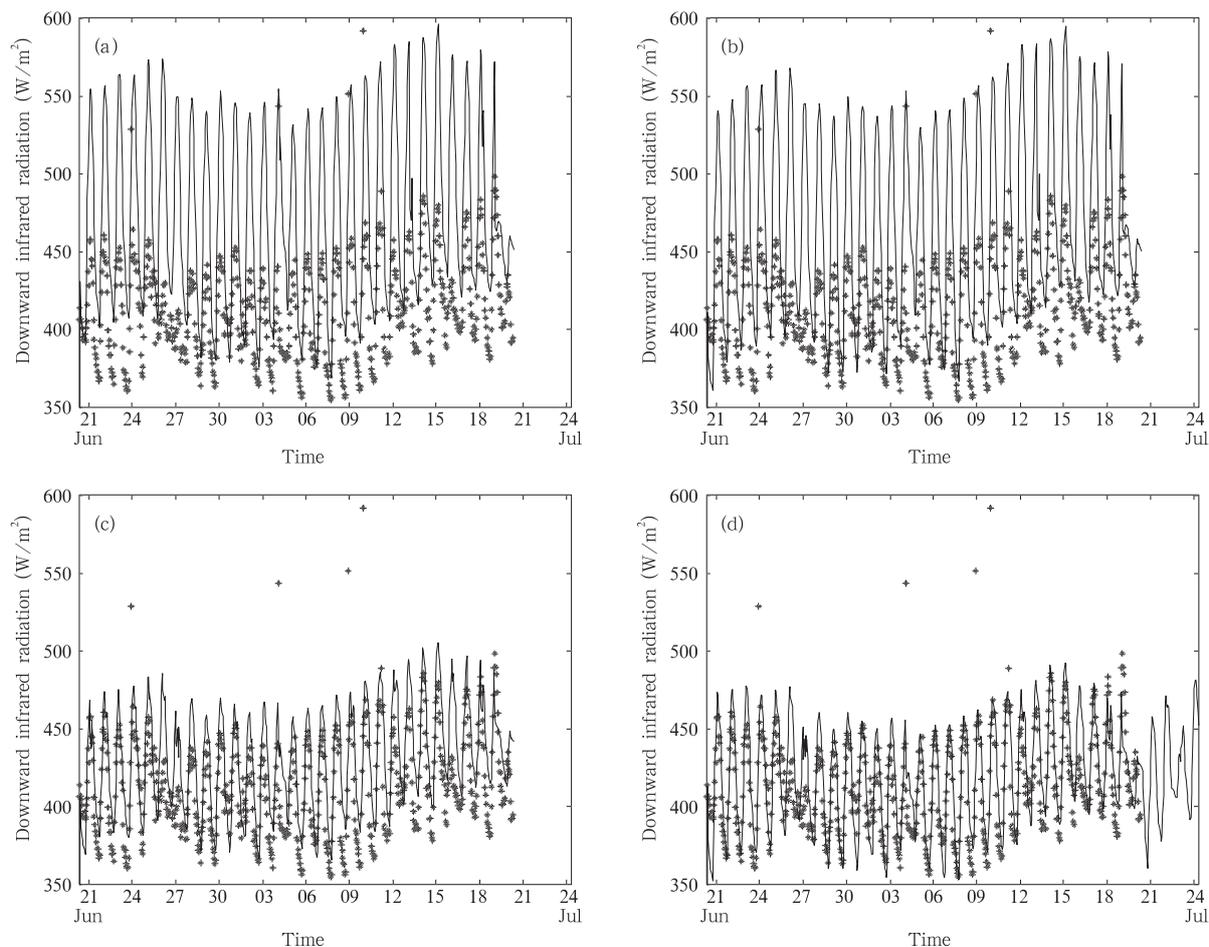


图 5 张掖站向上长波辐射的实测资料(数据点)和模拟结果(实线)

(a. 例 1, b. 例 2, c. 例 3, d. 例 4)

Fig. 5 Observed (asterisk) and simulated values (solid line) of upward long-wave radiation (W/m^2) at Zhangye station

(a. case 1; b. case 2; c. case 3; d. case 4)

了实验 a 与实验 b 的模拟结果之间的差异。这里值得注意,这种差异在增大到某种程度时,有可能完全改变区域气候状况,使得模拟结果得到的气候特征与实测结果截然不同。令人遗憾的是,许多先前的研究工作,并没有根据实际资料调整土壤温度而获得更加精确的地面向上长波辐射通量模拟结果,如参考文献 [10]。相比土壤温度,土壤湿度的影响则更为重要。对比实验 b 与实验 c 的模拟结果,我们可以发现,虽然实验 c 中土壤湿度的初始化也并非完全符合实际情况,而只是根据实测资料得到的估计值做了垂直均一的土壤湿度初始化,然而模拟结果已经得到了较大的改善,误差降低 90%。更值得说明的是,本文的模拟时间段超过 30 d,可以认为,其所得结论更接近一般情况,而不只是某种天气环境(如晴好)或某次天气

过程条件下的特例。实验 c 中所用的土壤湿度初始化完全可以从气候平均资料得到,运用于业务数值天气预报中。土壤含水量对于数值模拟成败的重要影响其实并非本文第一次发现,在 PILPS 计划 (Project for Intercomparison of Landsurface Parameterization Schemes) 中早有阐述和论证^[17-20]。本文的研究只是第一次在中国西北部地区的中短期数值天气模拟研究和预报中验证并再次强调了 this 结论。

3.5 2 m 高度空气温度

图 6 给出了 4 种条件下模拟的 2 m 高度空气温度情况。与以上各物理量的模拟结果类似,RAMS 对近地面层温度有较好的模拟能力。在 RAMS 默认土壤温度、湿度初始化的情况下,就能较真实地模拟出近地面空气温度的日变化规律,但是其振幅高

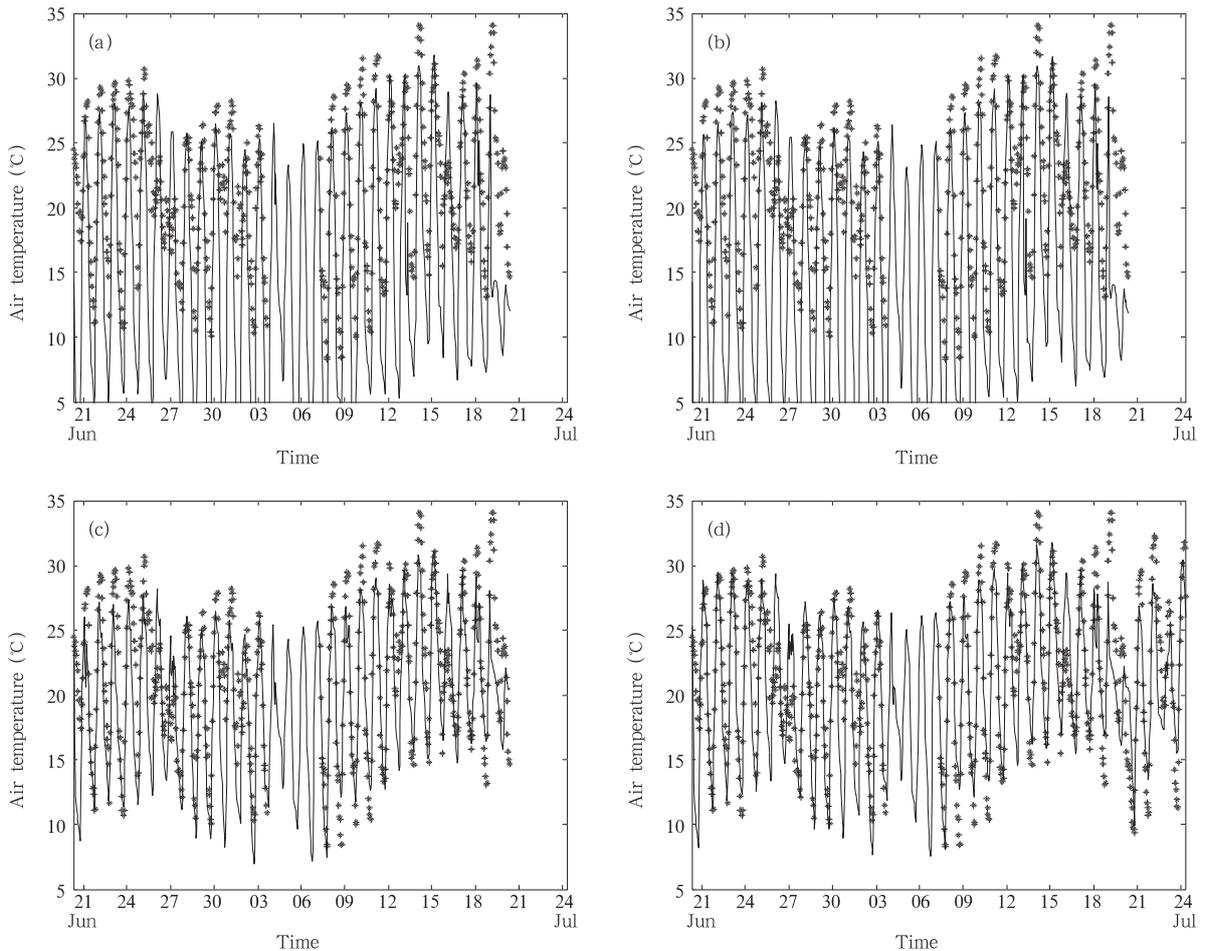


图 6 张掖站 2 m 空气温度的实测资料(数据点)和模拟结果(实线)

(a. 例 1; b. 例 2; c. 例 3; d. 例 4)

Fig. 6 Observed (asterisk) and simulated values (solid line) of air temperature (°C) at 2 m at Zhangye station

(a. case 1; b. case 2; c. case 3; d. case 4)

于实测值,而平均值和最低温度都低于实测资料。模拟结果显示,4个实验条件下,模拟的平均温度和实测平均温度之差分别为: $-3.82\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-4.47\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。第2个实验 b 按照实测资料调节了土壤温度的初始值,使得其土壤初始温度低于第1个实验 a,而土壤湿度值却与 a 相等,故 b 模拟结果得到的温度更低于 a 中的模拟结果。造成 a、b 实验近地面温度模拟值偏低的主要原因是因为 RAMS 默认的土壤湿度要低于绿洲张掖的实际土壤湿度,从而低估了近地面层的空气比湿,导致温室效应指数偏低,使得夜间温度低于实测温度约 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。后两个实验都能较好的再现模拟中心区域张掖地区的近地面层温度。而实验 d 中温度日变化的振幅更加接近观测值,在 7 月 20 日的降雨过程中,实验 d 对温度的模拟结果也明显较实验 c 准确。

4 结 论

本文探讨了中尺度区域模式 RAMS 对黑河地区辐射和温度的模拟能力。从文中的论述可以得出:

(1) 中尺度区域模式 RAMS 可以应用于中国西北地区复杂的地形和下垫面环境,其不仅可以用于理想试验,更能模拟出真实的天气条件下近地面层各气候要素的变化,从而用于中国西北部地区的业务数值天气预报和气候预测。RAMS 模拟结果的变化规律几乎与实际变化的相位一致,而变化振幅和平均值的误差也在气候预测可接受范围之内。

(2) 为了得到较为理想的模拟结果,则除了 RAMS 的标准输入资料以外,应该根据实际观测资料,合理地调整土壤温度和土壤湿度初始值。这个结论也与 PILPS 计划第一阶段失败的总结^[17-20]是一致的。在做中短期气候预测研究时,RAMS 对土壤温度和湿度精确性的要求并不很高,即使使用当地土壤温度,湿度的年平均资料或短期气候平均资料作为输入也能对模拟结果有较大的改善。

(3) 将中尺度区域模式 RAMS 用于较为细致的研究工作时,应当扩展土壤总厚度,并根据实际情况,初始化非垂直均匀的土壤湿度。这种情况可用 ECMWF 再分析陆面资料中的土壤参数进行插值来初始化 RAMS。

(4) 在使用 RAMS 模拟辐射时,参照中国的具体情况,可根据先前的研究,适当的修改辐射参数化方案。例如,采用邱金桓、林耀荣^[21]提供的关于中国大气气溶胶光学厚度的参数化方案,李晓静、刘玉

洁等^[22]提供的利用 MODIS 资料反演气溶胶光学厚度的方案等。

参考文献

- [1] 阎宇平,王介民, Menenti M, et al. 黑河地区绿洲—沙漠环流的数值模拟研究. 高原气象, 2001, 20(4): 435-440
- [2] 阎宇平,王介民, Menenti M, et al. 黑河实验区非均匀地表能量通量的数值模拟. 高原气象, 2001, 20(2): 132-139
- [3] 阎宇平,王介民,玛·曼乃提等. 黑河实验区沙漠戈壁上空“逆湿”的数值模拟. 气象科学, 2001, 21(1): 36-43
- [4] 姜金华,胡非,角媛梅. 黑河绿洲区不均匀下垫面大气边界层结构的大涡模拟研究. 高原气象, 2005, 24(6): 857-864
- [5] 陈仁升,吕世华,康尔泗等. 内陆河高寒山区流域分布式水热耦合模型(I): 模型原理. 地球科学进展, 2006, 21(8): 806-818
- [6] 陈仁升,高艳红,康尔泗等. 内陆河高寒山区流域分布式水热耦合模型(III): MM5 嵌套结果. 地球科学进展, 2006, 21(8): 830-837
- [7] 高艳红,吕世华. 黑河上游环境要素场对降雨汇流过程的响应. 高原气象, 2004, 23(2): 184-191
- [8] Pielke R A, Cotton W R, Walko R L, et al. A comprehensive meteorological modeling system-RAMS. Meteor Atmos, 1992, 49: 69-91
- [9] Walko R L, Tremback C J, Hertenstein R F A. RAMS-The regional atmospheric modeling system version 3b: User's Guide. Published by ASTER, 1995, INC. P. O. Box. 466, Fort Collins, Co. 80522
- [10] Robert L Walko, Craig J. Tremback, Model Input Namelist Parameters. <http://www.atmet.com/html/docs/rams/ug44-mod-namelist.pdf>. 2001-10-15
- [11] Bryan McEwen, Peter L Jackson. Hind-casting of high resolution atmospheric fields over complex terrain: model initialization issues (Final Report). British Columbia Water, Land and Air Protection, 2003
- [12] Klemp J B, Wilhelmson R. The simulation of three-dimensional convective storm dynamics. J Atmos Sci, 35: 1070-1096
- [13] Klemp J B, Lilly D K. Numerical simulation of hydrostatic mountain waves. J Atmos Sci, 1978, 35: 78-107
- [14] Chen C, Cotton W R. A one-dimensional simulation of the stratocumulus-capped mixed layer. Boundary-Layer Meteor, 1983, 25: 289-321
- [15] Harrington J Y, Reisn T, Cotton W R, et al. Cloud resolving simulations of Arctic stratus. Part II: Transition-season clouds. Atmos Res, 1999, 51: 45-75
- [16] Mahrer Y, Pielke R A. A numerical study of the airflow over irregular terrain. Beitrage Zur Physik der Atmos, 1977, 50: 98-113
- [17] Boone A, Wetzel P. Issues related to low resolution modeling of soil moisture: experience with the PLACE model. Elsevier, 1996, 13: 161-181
- [18] Henderson-Sellers A. Soil moisture simulation: Achievements of the RICE and PILPS intercomparison workshop and future directions. Elsevier, 1996, 13: 99-115
- [19] Henderson-Sellers A. Soil moisture: A critical focus for global change studies. Elsevier, 1996, 13: 3-9

- [20] Mahfouf J F, Ciret C, Ducharne A, et al. Analysis of transpiration results from the RICE and PILPS Workshop. Elsevier, 1996, 13: 73-88
- [21] 邱金桓,林耀荣. 关于中国大气气溶胶光学厚度的一个参数化模式. 气象学报, 2001, 59(3): 368-372
- [22] 李晓静,刘玉洁,邱红等. 利用 MODIS 资料反演北京及其周边地区气溶胶光学厚度的方法研究. 气象学报, 2003, 61(5): 580-591

APPLICABILITY RESEARCH IN THE SIMULATION OF RADIATION AND GROUND LAYER AIR TEMPERATURE IN HEIFE REGION

Liu Shuhua^{1,2,3} Jiang Haoyu^{1,2} Hu Fei³ Zhang Chengyi² Liu Heping¹
Liang Fu-Ming¹ Xin Guojun¹ Wang Jianhua¹

1 *Department of Atmospheric Sciences the School of Physics Peking University, Beijing 100871*

2 *Laboratory of Climate Research, National Climatic Center, China Meteorological Bureau, Beijing 100081*

3 *State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

Abstract

Meso-scale atmospheric models have been extensively used in numerical weather prediction, regional climate research, and disastrous weather research. With the expansion of the applied area of atmospheric models, the higher and higher degree of precision is required. To meet the requirement, much research work has been done, such as 4-D variation assimilation, assimilation of weather satellite data and meteorological radar data, and so on. However, while paying respect to those new techniques, the model runners often ignore adjusting initial model parameters of topography, agrology, and hydrology, which might exert a crucial influence to the numerical simulation results. To demonstrate the impact of those initial model parameters, and display how to use meso-scale atmospheric models correctly, we simulated the weather of HEIFE region using RAMS with the initial surface characteristic data from USGS (U. S. Geological Survey), and adjusted only initial model parameters of topography, agrology, and hydrology and the related parameterization schemes.

Based on the results of numerical simulations of the radiation balance and ground layer air temperature in HEIFE region during the periods from 20 June, 1991 to 20 July, 1991 with more than 40 different sets of initial parameters, the applicability of the regional atmospheric model system, RAMS, in northwest China, which is characterized by complicated topography and diversiform underlying surface, is demonstrated. The results show that the RAMS has moderate capability in numerical simulations of radiation fluxes and ground layer air temperature in HEIFEI region even if given only the standard input data (the NCEP gridded reanalysis data file, upper air observations file, and surface observations file) required, but the errors of the results under this condition might be apparent in some cases. In fact, we found that when compared with observation data, intolerable errors always occurred if we concerned the results of upward long wave radiation and 2 m air temperature, no matter which kind of radiation transfer parameterization scheme and land surface parameterization scheme were used. Only based on the sound initialization of initial model parameters, especially initial soil temperature and soil moisture content, can the simulation results of RAMS be matched up well with the actual measurements. If higher degree of accuracy of the simulation results is desired in case of complicated weather conditions, the soil thickness would be another very important model parameter, and we should initialize it with a value no less than 4 meters. And soil moisture content should be initialized vertically non-homogeneous with authentic data. The results of our research should be useful in improving the quality of simulation when applied to RAMS.

Key words: RAMS, Meso-scale, HEIFE, Soil temperature, Soil moisture content.