

文章编号: 1000-694X(2009)06-1212-09

RAMS 模式在山谷城市模拟性能的检验

杨胜朋^{1,2}, 吕世华², 陈玉春², 奥银焕², 余 晔², 王长友¹

(1. 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 西部气候环境与灾害实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 利用 2005 年冬季兰州边界层试验的观测数据, 分别从边界层结构、近地面温度和风速、地表通量等几个方面检验了 RAMS 在山谷城市的模拟性能。RAMS 模式能很好地捕捉边界层结构特征, 模拟的白天混合层高度和夜间稳定边界层高度和观测值非常一致。模式能较好地模拟近地面温度和地表通量的日变化特征。对模拟偏差进行统计分析, 结果显示 RAMS 对近地面温度和风速的模拟结果是可以接受的: 近地面温度的平均偏差为 $-1.73\text{ }^{\circ}\text{C}$, RMSE 为 $2.16\text{ }^{\circ}\text{C}$, 风速的平均偏差为 $0.35\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, RMSE 和 RMSVE 分别为 $1.61\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $3.15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。研究表明, RAMS 适合作为研究兰州山谷城市大气边界层的工具。

关键词: 复杂地形; RAMS; 模式检验; 边界层结构; 地表通量

中图分类号: P437

文献标识码: A

近年来, 随着计算机和观测技术的迅猛发展, 中尺度数值模式已日趋成熟。目前, 常用的中尺度气象模式有 WRF、RAMS、MM5、ETA、HOTMAC, 这些模式已经成为中尺度气象的一个重要的研究手段, 并在全世界范围内得到广泛应用^[1-4]。随着计算机的快速发展和气象模式并行算法的改进, 大大缩短了计算时间, 这些年来, 许多中尺度气象模式被用于大气环境方面的研究(驱动大气扩散模型)^[5-8], 气象模式提供的背景场准确与否直接影响到大气扩散模式的模拟结果^[9], 所以使用之前对中尺度模式进行验证非常必要, 以便于了解该模式的优缺点。Pielke 等^[10] 讨论了 RAMS 模式在大气环境应用方面的优缺点。Seaman^[9] 总结了气象模式和大气扩散模式之间的关系。Biswas 等^[11] 分别用 RAMS 和 MM5 模式驱动光化学模式 Variable-Grid Urban Airshed Model (UAM-V), 分析了不同模式提供的气象背景场对光化学模式模拟结果的影响, 结果显示最终模拟的臭氧浓度没有明显差异。Zhang 等^[12] 利用 MM5 模式模拟的结果表明不同的边界层方案对边界层的结构有很大影响, 而 Mao 等^[13] 的 MM5-CMAQ 敏感性试验显示, 尽管不同的边界层方案对边界层结构有重要影响, 但对 CMAQ 的模拟性能没有明显影响。

还有许多学者对不同模式模拟性能进行了比较。Cox 等^[14] 比较了 MM5, RAMS, NOPAPS6 和 RWM 模式性能, 结果显示, RAMS 模式模拟性能最佳, MM5 次之。Zhong 等^[15] 利用 VTMX 试验观测数据, 检验了 MM5、RAMS 和 NCEP Meso-Eta 在高分辨率配置下(水平 1 km) 的模式性能, 3 个模式有个共同特点, 模拟的地面温度偏低、逆温偏弱、风速和风向误差较大, 但是 MM5 和 RAMS 能更好的捕捉山谷风环流。因此, 这里选用 RAMS 作为城市局地尺度大气环境运动场的模拟工具是具有理论和实践基础的。

RAMS 模式具有多用途的特点^[16-17], 在国外很多地方进行过检验^[18-21], 但是, 由于缺少观测资料, 相关的验证工作在兰州地区还不多见。笔者的目的就是为了检验 RAMS 模式在兰州山谷城市的模拟性能, 为后面开展山谷城市边界层和大气环境方面的研究做准备。

1 RAMS 模式介绍和试验设计

采用三维、非流体静力、可压缩区域大气模式系统 RAMS4.4 (Regional Atmospheric Modeling System) 模式。采用 Chen and Cotton(1987) 长、短波辐射方案, 和 Mellor and Yamada(1982) 湍流动能闭合

收稿日期: 2008-09-22; 改回日期: 2009-01-17

基金项目: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所引进人才基金项目(0684291001); 中国科学院“西部之光”项目(2005403); 中国科学院“百人计划”项目(0827631001); 南京信息工程大学校科研基金资助项目(20080254) 共同资助

作者简介: 杨胜朋(1977—), 男(汉族), 湖北浠水人, 博士, 主要从事大气边界层与大气环境方面的研究。

Email: yangshengp@nuist.edu.cn

方案 (TKE)。启用 LEAF (Land Ecosystem Atmosphere Feedback) 陆面过程模块, 其地表感热通量、潜热通量和动量通量是用 Louis 方法计算所得。由于实验期间并无降水发生, 关闭对流参数化方案。

实验区域范围为 $35^{\circ} 77' - 36^{\circ} 40' \text{ N}$, $103.29^{\circ} - 104.32^{\circ} \text{ E}$, 模式中心点为 36.08° N , 103.8° E 。模式采用三重嵌套, 东西方向格点数为: $80 \times 80 \times 92$, 南北方向 $62 \times 62 \times 71$, 水平分辨率分别为 9 km 、 3 km 和 1 km 。垂直方向采用地形追随坐标。大气分为 30 层, 近地面大气层最小间隔 30 m , 向上依次以 1.15 比例递增, 最大间隔 1200 m 。时间步长分别为 20 s 、 10 s 、 2 s 。

背景初始场和边界场为 NCEP ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$) 格点资料, 每 6 h 强迫一次。模式使用的是美国 USGS 30 s 地表资料, 该资料把兰州市区下垫面部分地区当作短草来处理, 这与实际下垫面特征明显不符。为了更真实的接近实际下垫面状况, 将 $36.00^{\circ} - 36.15^{\circ} \text{ N}$, $103.55^{\circ} - 104.00^{\circ} \text{ E}$ 范围内, 同时海拔小于 1600 m 除了水体之外的植被类型全部改为城市类型。土壤分为 11 层, 最深层土壤达 -3.2 m 。本次试验观测得到的 5 cm 、 10 cm 、 20 cm 土壤湿度基本都在 0.1 左右, 这里各层土壤湿度初始值均取 0.1, 土壤温度初始值由本次实验 4 层观测值线性插值到 11 层土壤层。

由于模拟期间, 土壤已经冻结, 土壤中的液态水变为固态水, 土壤热容量变小, 在 Leaf2 模块中土壤

热容量和热传导的参数按照模式说明做了修改, 主要是为了耗散潜热, 同时减小土壤热容量。

模式参数详细说明和模拟区域地形图分别如表 1 和图 1 所示。

表 1 试验设计	
Table 1 Model setup	
RAMS	参数说明
模拟时段	2005-12-15—2005-12-18, 2005-12-25—2005-12-28
中心点	36.08° N , 103.7° E
水平方向	Grid1 80×62 , 格距 9 km ; Grid2 80×62 , 格距 3 km ; Grid3 92×71 , 格距 1 km
时间步长	20 s , 10 s , 2 s
垂直方向	地形追随坐标, 分成 30 层, 最小间隔 30 m , 向上依次以 1.15 比例递增, 最大间隔 1200 m
侧边界条件	NCEP ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$) 再分析资料, 6 h 输入一次
地形及地表植被	USGS (30 s) 格点资料
土壤质地	砂质粘壤土
土壤分层	11
土壤湿度初始值	0.1
土壤温度初始值	由本次实验 4 层观测值线性插值到 11 层土壤
侧边界 [22]	
辐射方案 [23]	
湍流闭合 [24]	
近地层参数化 [25-26]	
微物理方案 [27-28]	

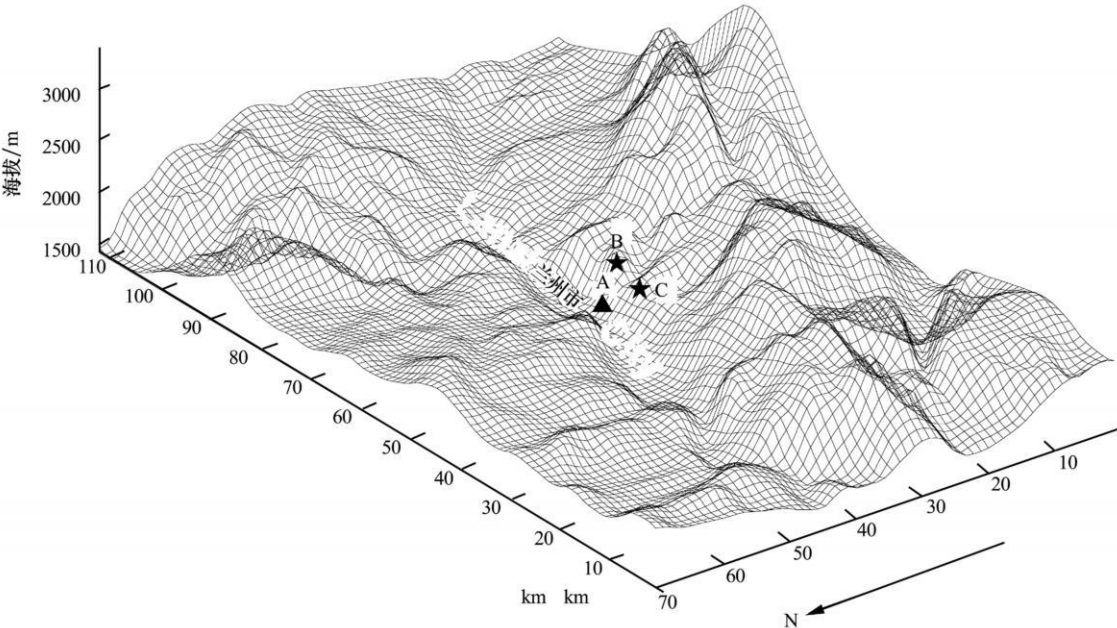


图 1 第三重网格模拟区域和 2005 年冬季观测点的位置

Fig. 1 Topography of the computational domain (grid3) and locations of the key measurements sites

2 模拟结果验证

用于检验模式的数据来自 2005 年冬季观测试验, 试验的详细说明见文献^[29-30]。探空资料用的是系留气球(VAISLA) 每 3 h 一次的观测结果。系留探空观测点 2005 年 12 月 15—18 日在兰州市区(兰州商学院, 36° 05' N, 103° 80' E), 12 月 26—29 日在兰州南山顶(皋兰山顶, 36° 01' N, 103° 84' E)。

模式输出结果双线性插值到观测点位置和观测结果进行比较。本研究评价模式性能分别从边界层结构、近地面温度和风速、地表通量和一些统计量这几个方面展开。最后还通过敏感性试验, 分析近地面温度和地表通量对下垫面类型和土壤湿度变化的

响应情况。

2.1 边界层结构

图 2 给出了市区和皋兰山顶两观测点位置的位温廓线图。从图上可以看出, 下午 13 时(地方时, 下同) 山谷(市区商学院观测点, 下简称山谷) 混合层已经发展到 400 m 左右的高度(图 2A), 而山顶混合层高度仅为 150 m(图 2C)。从模式模拟的结果来看, 无论在山谷还是山顶, 模式都能很好的模拟白天混合层的高度, 而对于混合层顶的覆盖逆温, 模式对逆温强度的模拟明显偏弱, 在山谷更为明显, 这可能与随着高度的增加, 模式垂直方向分辨率变粗以至于模式不能很好地捕捉温度的垂直结构有关^[31]。

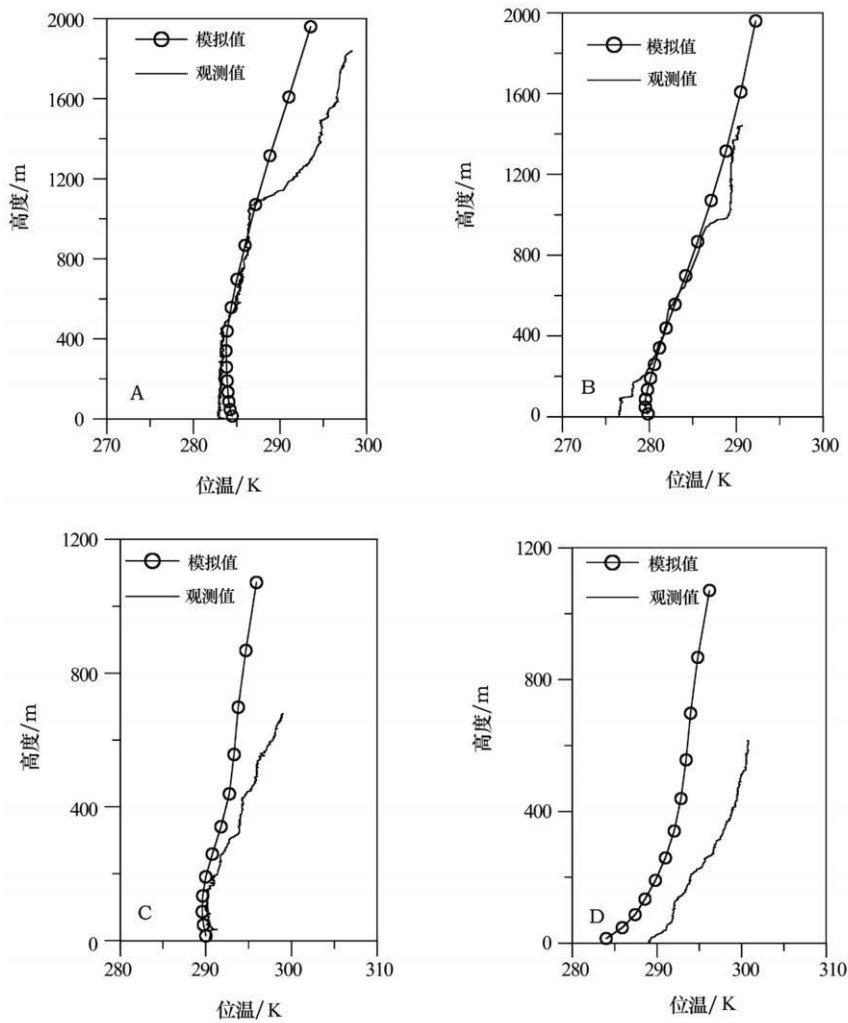


图 2 位温模拟值和观测值比较

(A: 市区 12 月 16 日 1300 LST; B: 市区 12 月 17 日 0100 LST; C: 皋兰山顶 12 月 26 日 1300 LST; D: 皋兰山顶 12 月 27 日 0100 LST)

Fig. 2 Observed and simulated profiles of potential temperature

下面分析夜间稳定边界层的模拟情况。一般夜间边界层高度用地面逆温层顶的高度来表示。从图

2 可以看出, 早上 01:00 时, 山谷夜间稳定边界层的高度在 300 m 左右。从模拟的结果来看, 模拟值和

观测值很接近,但模拟的逆温强度偏弱。从山顶的模拟情况来看,山顶稳定边界层高度在 400 m 左右,模式很好的再现了稳定边界层和残留层的特征,但模式模拟的温度从地面到高空都明显偏低 5 ℃ 以上。

大气污染物的扩散和大气的温度层结密切相关,因此模式对逆温强度的模拟与否直接关系到大气扩散模式对大气污染物浓度的模拟。图 3 给出了

夜间三个时次 14 m 到 130 m 之间的逆温强度,从图上可以看出,山顶逆温强度在 0.01~0.03 K·m⁻¹ 之间,模拟结果和观测值比较接近,山谷逆温强度在 0.03~0.06 K·m⁻¹ 之间,模拟的逆温强度明显偏弱。

从以上分析可以看出,在当前模式配置的情况下,RAMS 模式对于山谷城市边界层的高度模拟比较合理,对于夜间逆温强度的模拟,尽管在山谷模拟有些偏弱,但是其结果还是可以接受的。

2.2 近地面温度和风

图 4A 给出了近地面温度模拟结果和观测值。RAMS 模式很好的模拟了近地面温度的日变化特征,观测结果显示,16—18 日这两天日温度最大值分别为 -2.5 ℃ 和 -1.3 ℃,出现的时间均在下午 14:00 LST,而对应的模拟值分别为 -2.7 ℃ 和 -2.5 ℃,峰值出现的时间比观测结果晚一小时,为下午 15:00 LST,峰值温度出现时间的推迟和模式在干旱区经常低估潜热有关^[31]。日最小温度的模拟值和观测值分别为 -14.7 ℃ 和 -17.3 ℃,出现的时间都比较一致,在早上 07:00 LST。值得注意的是,模式在夜间模拟的温度偏低,其原因在下一小节能量平衡中有详细的讨论。

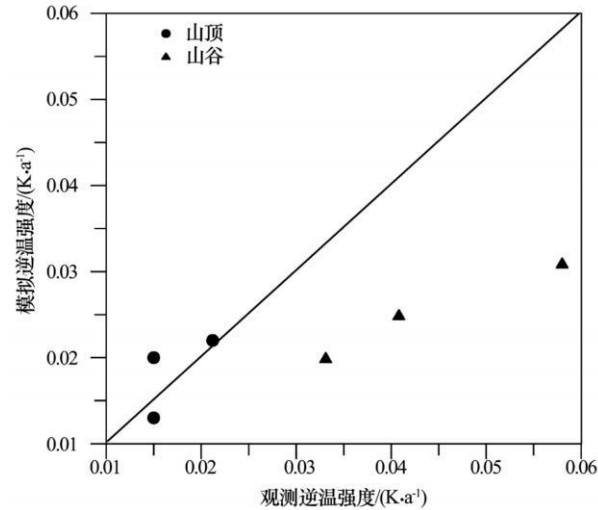


图 3 夜间 14~130 m 逆温强度模拟值和观测值的 1:1 图

Fig.3 Observed vs simulated potential temperature gradients within 14~130 m in nighttime

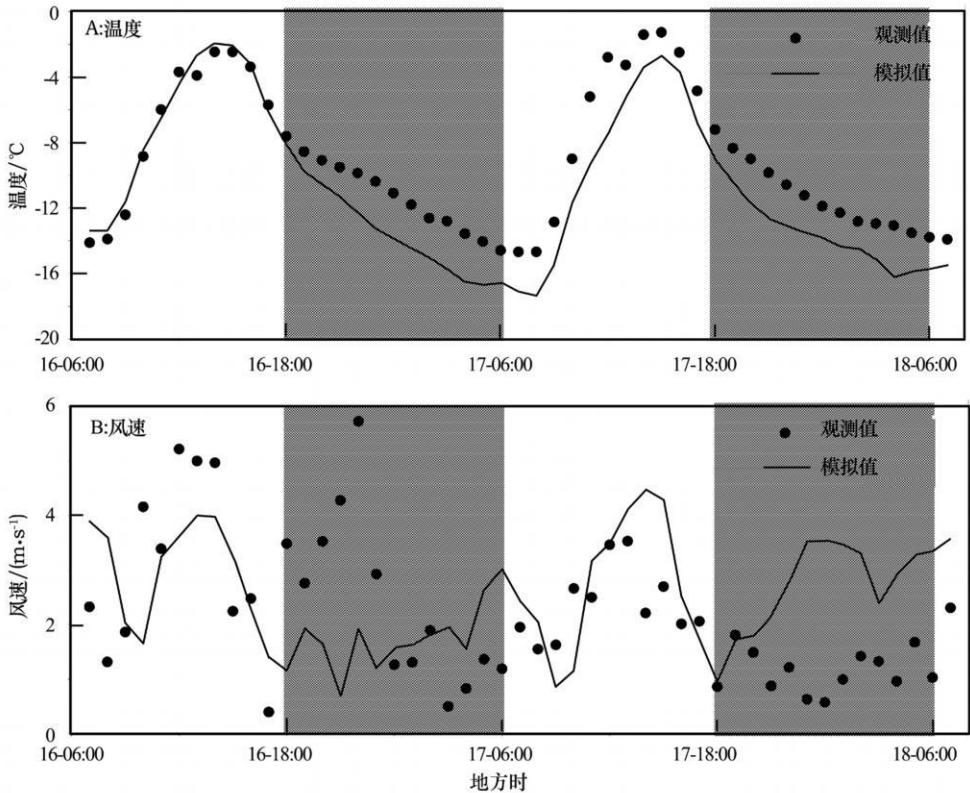


图 4 近地面温度和风速模拟值与观测值的比较(阴影部分表示夜间时段)

Fig. 4 Comparison between observations (dots) and model simulations (lines) of near-surface temperature and wind speed (Gray shading denotes nighttime periods)

从图 4B 可以看出, RAMS 模式能够较好的模拟白天时段风速的变化趋势, 但夜间明显有很大的偏差。风速模拟偏差比较大的原因是风速具有不确定性, 这是湍流的随机性决定的, 而模式不能很好地描述这一过程。另外, 次网格里边的地形和植被的问题也是一个重要原因^[25], 所有的中尺度气象模式都面临着这个问题。

2.3 地表通量

由前面的分析可知, 模式模拟的夜间近地面温度比观测值偏低, 这和模式模拟的地表能量偏差有

直接关系。从图 5A 可以看出, 白天时段, 模式模拟的净辐射和观测值非常一致。在夜间, 模式模拟的净辐射有更多的能量损失, 是由于模式高估了长波损失 20~ 80 W · m⁻² (图 5B)。这就是模式预报的近地面温度出现冷偏差的直接原因, 而从辐射的各个分量来看, 模式低估了向下的长波辐射 (图 5C), 是造成净辐射损失的主要原因。

图 5D 给出了感热的观测值和模拟值, 16 日白天, 模式模拟的感热峰值比观测值偏大, 夜间模拟值和观测值差别不明显, 17 日白天, 模拟值和观测值比较一致, 而夜间感热高估了 100 W · m⁻²。

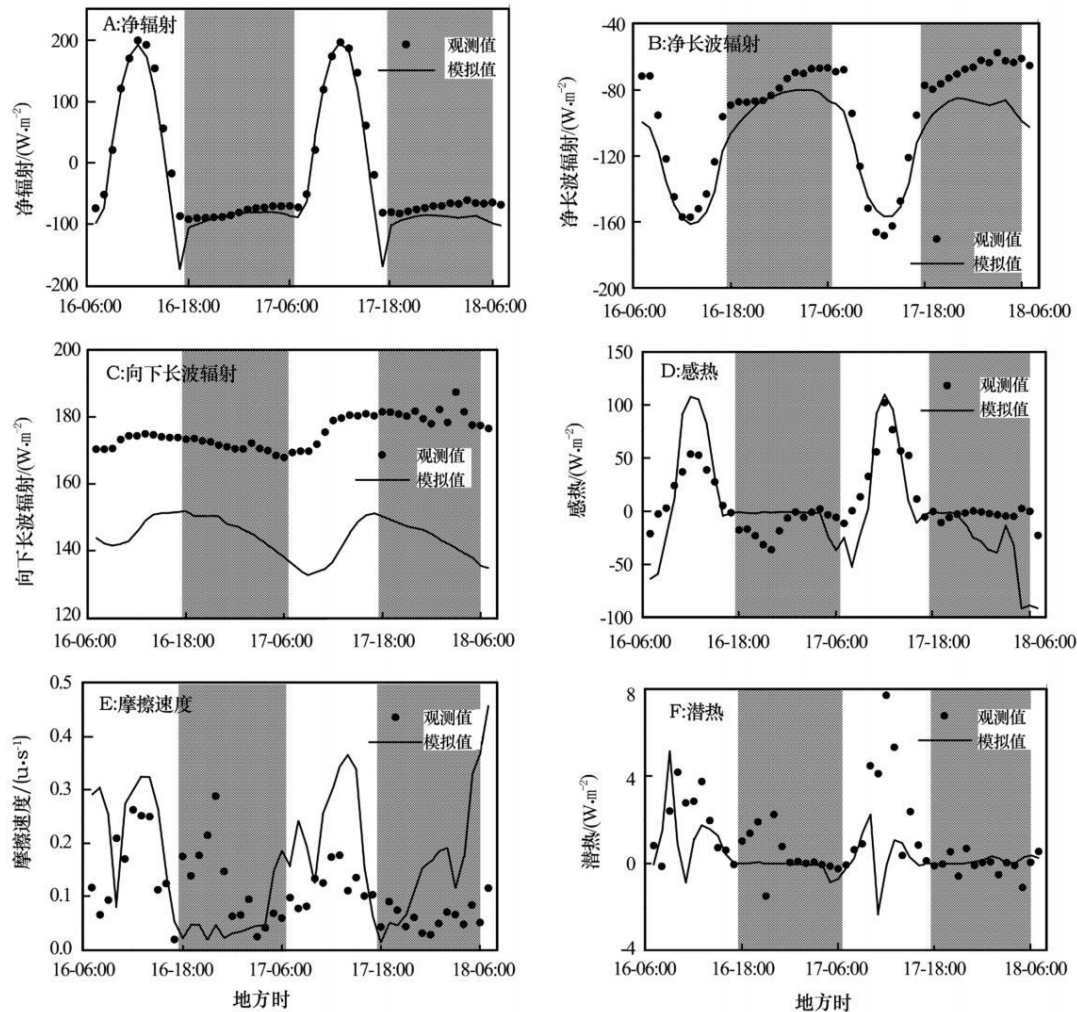


图 5 观测值和模拟值的比较(阴影部分表示夜间时段)

Fig. 5 Comparison between observations (dots) and model simulations (lines) (Gray shading denotes nighttime periods)

下面来分析感热偏差的原因。

$$H = \rho c_p u^* \theta^* \tag{1}$$

RAMS 模式用^[18] 方案计算地表进入大气的热量、动量和水汽通量。该方案用不迭代的解析解近似了 Businger 等人(1971)的廓线函数, 计算从地面(水面、裸露地面、植被表面)进入大气的通量。地表

层通量的表达式为:

$$u^2_* = a^2 u^2 F_m(\frac{z}{z_0}, Ri) \tag{2}$$

$$u^* \theta^* = \frac{a^2}{R_{m/h}} u \Delta \theta F_h(\frac{z}{z_0}, Ri) \tag{3}$$

$$a^2 = k^2 / (\ln \frac{z}{z_0})^2 \tag{4}$$

$$R_i = \frac{gz \Delta \theta}{\theta u^2} \tag{5}$$

不稳定情况下, F 表示为:

$$F = 1 - \frac{b R_{iB}}{1 + c | R_{iB} |^{1/2}} \tag{6}$$

稳定情况下:

$$F = \frac{1}{(1 + b' R_{iB})^2} \tag{7}$$

F_m 中经验常数 $b =$ 和 $b' =$ 分别为 $9.47 Fh$ 和 $4.7 Fh$ 。
常数 c 为:

$$c = Ca^2 b \left(\frac{z}{z_0} \right)^{1/2} \tag{8}$$

式中: F_m 的 C 为 7.4 ; Fh 的为 5.3 。

从公式(1)可以看出, 感热与摩擦速度成正比。16 日白天和 17 日晚上模式模拟的感热明显偏大(图 5D), 是由于模式高估了摩擦速度(图 5E)的原因。而从(2)式可看出, 摩擦速度是风速 u 和拖曳系数的函数, 从图 5B, 16 日白天模拟的风速偏小, 所以在不稳定状态下($H > 0$)摩擦速度的高估主要是由于拖曳系数偏大造成的(公式(2)、(5)、(6)、(7))。因此, 准确预报大气稳定度对于湍流量的预报是至关重要的^[15], 17 日晚上摩擦速度的异常偏大主要是由于模拟的风速异常造成的。

由于模拟区域气候干燥再加上模拟期间土壤冻结, 观测的潜热值很小, 峰值都不超过 $8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 模式模拟的结果和观测值基本一致。

从以上分析可以看出, 模式模拟的感热通量有很大的偏差。在后面的敏感性试验中接着去讨论这个问题。

2.4 统计量分析

模拟量的平均偏差代表的是模式系统性偏差, 它往往和模式的物理过程、参数化方案、数值计算误差等联系在一起的。而标准差反映的是模式非系统性偏差, 它往往是由模式的初始条件和边界条件造成的^[31-32]。因此, BIAS 和 RMSE(RMSVE)是用来评价模式性能的一个重要指标^[31]。

这里选用本次野外试验两个观测点每小时的观测结果和模式结果进行比较, 选取的时间段为 16 日 07:00 LST 到 18 日 07:00 LST。

从表 2 可以看出, 近地面温度的平均值为 $-9.28 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 而模拟值为 $-11.01 \text{ }^{\circ}\text{C}$, RMSE 为 $2.16 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均偏差为 $-1.73 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这意味着模式在模拟时间段模拟的温度偏低, 这和前面的讨论是一致的。近地面的平均风速为 $2.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 模拟值为

$2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 模式的平均偏差为 $0.35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, RMSE 和 RMSVE 分别为: $1.61 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 和 $3.15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从整个试验段近地面温度和风速来看, 模式的标准偏差(SDE)大于模拟量的平均偏差, 说明模式预报结果的偏差有一多半是由于非系统性偏差造成的。

表 2 近地面温度和风统计量模式性能分析

Table 2 Model performance on temperature and wind

项目	温度/ $^{\circ}\text{C}$	风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
观测平均值	- 9.28	2.19
观测值标准差	4.23	1.33
模拟平均值	- 11.01	2.54
模拟值标准差	4.71	1.02
偏差	- 1.73	0.35
均方根误差	2.16	1.61
风速均方根误差	3.15	

2.5 敏感性试验

由前面的分析可知, RAMS 模式在模拟地表通量的时候, 特别是感热有较大的偏差。在这里设计了两组敏感性试验探讨地表覆盖类型和土壤湿度对其影响。

Case1: 模式从 USGS 资料读取中, 将兰州两山大部分区域下垫面当成短草来处理的, 和实际植被类型明显不符。这里根据兰州的实际地表状况, 将模拟区域中海拔大于 1600 m 的部分, 都改成裸地和灌木, 每个网格中使用两个斑块, 其中裸地占 70% , 灌木占 30% 。

图 6 给出了 Case1 的模拟结果。从图 6A 可以看出, 更改下垫面类型后, 模式模拟的感热变化趋势、峰值与观测值都非常一致, 潜热的模拟也有所改善。这也说明了下垫面的植被状况对湍流的模拟结果影响非常大。

Case2: 将土壤湿度从 0.1 增大到 0.2 。

图 7 给出了敏感性试验和控制试验的比较结果。当土壤湿度从 10% 增加到 20% 的时候, 空气温度有明显增大(图 7A)。其主要原因是土壤湿度的增加导致向下的长波辐射的增大(图 7B)。感热(图 7C)和潜热(图 7D)的变化并不明显。从这个敏感性试验可以看出, 对于冬季在冻土区域的模拟, 由于土壤已经冻结, 地面蒸散很小, 同时土壤中的液态水变为固态水, 模式的地表通量对土壤水的含量并不敏感, 这点值得注意。

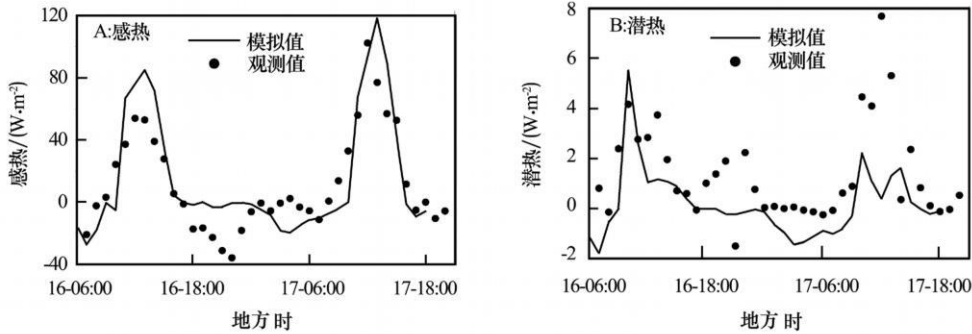


图 6 敏感性试验观测值和模拟值的比较

Fig. 6 Comparison between observations (dots) and model simulations (lines) in sensitive test

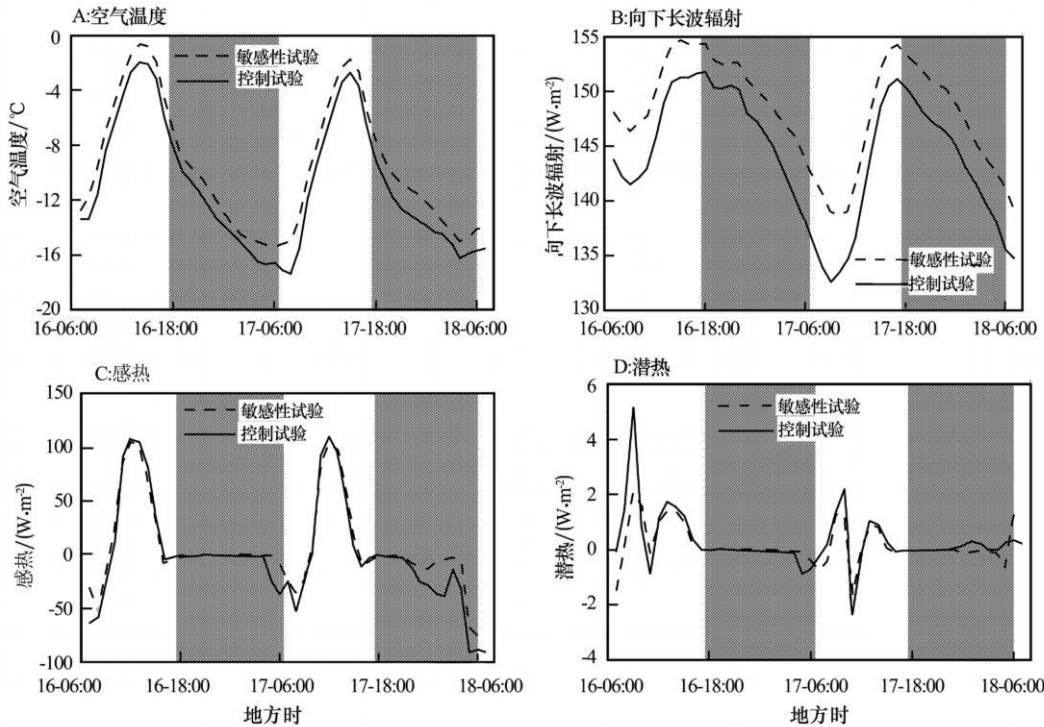


图 7 敏感性试验和控制试验的模拟结果的比较 (阴影部分表示夜间时段)

Fig. 7 Comparison of results produced by the control run and sensitivity experiment (Gray shading denotes nighttime periods)

3 小结

利用 2005 年冬季兰州边界层试验的观测数据, 分别从边界层结构、近地面温度、风速和地表通量等几个方面检验了 RAMS 在山谷城市的模拟性能。结果表明, RAMS 适合作为研究兰州山谷城市大气边界层的工具:

RAMS 模式能很好地模拟边界层结构特征, 无论在山谷还是山顶, 模式都能很好地再现白天混合层的高度和夜间稳定边界层的高度。模式对山谷夜间逆温强度的模拟偏弱。

RAMS 能很好地模拟近地面温度的日变化特征, 对温度日变化趋势, 峰值和峰值出现的时间模拟得都很好, 但模拟的夜间空气温度偏低。

风速的模拟有较大的偏差, 这是湍流的随机性决定的。复杂地形条件也是影响风速预报的一个重要原因。

模式能很好地模拟净辐射的日变化特征, 而对向下的长波辐射估计不足, 这也是造成夜间温度出现冷偏差的直接原因。模式对感热的模拟有较大的偏差, 感热的模拟和摩擦速度的密切相关, 通过进一步分析发现, 摩擦速度的偏差, 在大气不稳定状况下 ($H > 0$), 是拖曳系数预报异常的原因, 在大气稳定状态下 ($H < 0$), 是风速的预报偏差引起的。

统计量分析显示, RAMS 对近地面温度和风速的模拟结果是可以接受的: 近地面温度的平均偏差为 $-1.73\text{ }^{\circ}\text{C}$, RMSE 为 $2.16\text{ }^{\circ}\text{C}$, 风速的平均偏差为 $0.35\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, RMSE 和 RMSVE 分别为 1.61

$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $3.15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

敏感性试验结果显示, 冻土区域地表湍流热通量和下垫面植被类型关系密切; 感热和潜热的模拟结果对土壤中液态水含量并不敏感。

参考文献 (References):

- [1] 李锁锁, 吕世华, 高艳红, 等. 祁连山地区生态环境恶化对环境影响的数值模拟[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 82– 88.
- [2] 高艳红, 程国栋, 吕世华. 西北干旱区滴灌数值模拟[J]. 中国沙漠, 2005, 25(4): 500– 504.
- [3] 吕世华, 尚伦宇. 金塔绿洲风场与温湿场特征的数值模拟[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 623– 628.
- [4] 吕世华. 山地绿洲边界层特征的数值模拟[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 41– 46.
- [5] Michelson S A, Seaman N L. Assimilation of NEXRAD VAD winds in summertime meteorological simulations over the Northeastern United States[J]. Journal of Applied Meteorology, 2000, 39(3): 367– 383.
- [6] Zhang Y, Liu P, Queen A, et al. A comprehensive performance evaluation of MM5-CMAQ for the Summer 1999 Southern Oxidants Study episode—Part ⑤: Gas and aerosol predictions[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(26): 4839– 4855.
- [7] Isakov V, Venkatram A, Touna J S, et al. Evaluating the use of outputs from comprehensive meteorological models in air quality modeling applications[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(8): 1689– 1705.
- [8] 张小玲, 程丛兰, 谢璞, 等. 连续强沙尘天气的发展和时空演变机制的数值模拟[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 137– 146.
- [9] Seaman N L. Meteorological modeling for air quality assessments[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34(12– 14): 2231– 2259.
- [10] Pielke R A, Uliasz M. Use of meteorological models as input to regional and mesoscale air quality models—limitations and strengths[J]. Atmospheric Environment, 1998, 32(8): 1455– 1466.
- [11] Biswas J, Rao S T. Uncertainties in episodic ozone modeling stemming from uncertainties in the meteorological fields[J]. Journal of Applied Meteorology, 2001, 40(2): 117– 136.
- [12] Zhang K, Mao H, Civerolo K, et al. Numerical investigation of boundary-layer evolution and nocturnal low-level jets: Local versus non-local PBL schemes[J]. Environmental Fluid Mechanics, 2001, 1(2): 171– 208.
- [13] Mao Q, Gautney L L, Cook T M, et al. Numerical experiments on MM5-CMAQ sensitivity to various PBL schemes[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(17): 3092– 3110.
- [14] Cox R, Bauer B L, Smith T. A Mesoscale model intercomparison[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(2): 265– 283.
- [15] Zhong S, Fast J. An Evaluation of the MM5, RAMS, and Mesoscale Eta Models at subkilometer resolution using VT MX field campaign data in the Salt Lake Valley[J]. Monthly Weather Review, 2003, 131(7): 1301– 1322.
- [16] Pielke R A, Cotton W R, Walko R L, et al. A comprehensive meteorological modeling system—RAMS[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 1992, 49(1): 69– 91.
- [17] Cotton W R, Pielke Sr R A, Walko R L, et al. RAMS 2001: Current status and future directions[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2003, 82(1): 5– 29.
- [18] McQueen J T, Valigura R A, Stunder BJB. Evaluation of the RAMS model for estimating turbulent fluxes over the Chesapeake Bay[J]. Atmospheric Environment, 1997, 31(22): 3803– 3819.
- [19] Chandrasekar A, Russell Philbrick C, Doddridge B, et al. A comparison study of RAMS simulations with aircraft, wind profiler, lidar, tethered balloon and RASS data over Philadelphia during a 1999 summer episode[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(35): 4973– 4984.
- [20] De Wekker S F J, Steyn D G, Fast J D, et al. The performance of RAMS in representing the convective boundary layer structure in a very steep valley[J]. Environmental Fluid Mechanics, 2005, 5(1): 35– 62.
- [21] Castelli S T, Morelli S, Anfossi D, et al. Intercomparison of two models, ETA and RAMS, with TRACT field campaign data[J]. Environmental Fluid Mechanics, 2004, 4(2): 157– 196.
- [22] Klemp J B, Wilhelmson R B. The simulation of three dimensional convective storm dynamics[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1978, 35(6): 1070– 1096.
- [23] Chen C, Cotton W R. The Physics of the marine stratocumulus capped mixed layer[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1987, 44(20): 2951– 2977.
- [24] Mellor G L, Yamada T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems[J]. Reviews of Geophysics and Space Physics, 1982, 20: 851– 875.
- [25] Louis J F. A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1979, 17(2): 187– 202.
- [26] Walko R L, Band L E, Baron J, et al. Coupled Atmosphere Biophysics-Hydrology Models for environmental modeling[J]. Journal of Applied Meteorology, 2000, 39(6): 931– 944.
- [27] Walko R L, Cotton W R, Meyers M P, et al. New RAMS cloud microphysics parameterization part I: the single-moment scheme[J]. Atmospheric Research, 1995, 38(1– 4): 29– 62.
- [28] Meyers M P, Walko R L, Harrington J Y, et al. New RAMS cloud microphysics parameterization. Part II: The two-moment scheme[J]. Atmospheric Research, 1997, 45(1): 3– 39.
- [29] 奥银焕, 陈玉春, 杨胜朋. 兰州市南山绿化地裸地冬季地表辐射及能量收支对比[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 693– 700.
- [30] 杨胜朋, 吕世华, 陈玉春, 等. 山地复杂下垫面湍流特征观测分析[J]. 高原气象, 2008, 27(2): 272– 278.
- [31] Hanna S R, Yang R. Evaluations of Mesoscale Models' simulations of near-surface winds, temperature gradients, and mixing depths[J]. Journal of Applied Meteorology, 2001, 40(6): 1095

- 1104.
[32] Shafran P C, Seaman N L, Gayno G A. Evaluation of numerical predictions of boundary layer structure during the lake

michigan ozone study[J]. Journal of Applied Meteorology, 2000, 39(3): 412- 426.

Test on Simulating Effect of RAMS Model in Valley-type City

YANG Sheng-peng^{1, 2}, LÜ Shi-hua², CHEN Yu-chun², AO Yin-huan², YU Ye², WANG Chang-you¹
(1.Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2.Laboratory for Climate Environment and Disasters of Western China, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Simulation results from the Regional Atmosphere Modeling System (RAMS) were compared with observational data collected during the field experiment conducted in Lanzhou of Northwest China in December 2005. Simulation was carried out at a high horizontal resolution of 1 km under weak synoptic forcing, and from aspects of the boundary layer structure and the near surface variables over complex terrain. RAMS shows a reasonable ability to simulate the observed mixed-layer depth, surface temperature, and the diurnal variation of temperature and surface energy budget. The Mean Bias and RMSE for temperature is - 1.73 °C and 2.16 °C. The RMSE and RMSVE for surface wind are 1.61 m·s⁻¹ and 3.15 m·s⁻¹, respectively. Statistical analysis shows that the model performance is accepted for the studied area.

Keywords: complex terrain; RAMS Model; test; boundary layer structure; surface energy budget

2007 年地球科学类期刊总被引频次和影响因子排序

学科内排名	期刊名称	总被引频次	学科内排名	期刊名称	影响因子
1	地球物理学报	3 565	1	地球物理学报	2.823
2	地学前缘	3 023	2	大地构造与成矿学	2.323
3	中国沙漠	2 592	3	地学前缘	2.306
4	第四纪研究	2 224	4	地球物理学进展	1.885
5	地球科学	2 200	5	中国沙漠	1.836
6	地球科学进展	2 029	6	古地理论	1.794
7	地球化学	1 694	7	第四纪研究	1.780
8	地球物理学进展	1 626	8	地球化学	1.662
9	地球学报	1 277	9	地球科学	1.657
10	地震工程与工程振动	1 246	10	地球学报	1.278
11	地震学报	979	11	矿物岩石地球化学通报	1.123
12	自然灾害学报	956	12	干旱区研究	1.111
13	干旱区研究	926	13	地球科学进展	1.103
14	吉林大学学报地球科学版	897	14	灾害学	0.876
15	大地构造与成矿学	830	15	地震地质	0.763
16	地震地质	769	16	吉林大学学报地球科学版	0.701
17	古地理论	636	17	地震学报	0.673
18	矿物岩石地球化学通报	614	18	地震	0.667
19	灾害学	591	19	自然灾害学报	0.623
20	物探与化探	546	20	微体古生物学报	0.610
21	古生物学报	482	21	地球科学与环境学报	0.576
22	地球与环境	418	22	地球与环境	0.543
23	世界地震工程	415	23	地震工程与工程振动	0.533
24	中国地震	400	24	中国地震	0.500
25	地震	389	25	空间科学学报	0.448
26	地球科学与环境学报	376	26	古脊椎动物学报	0.444
27	微体古生物学报	352	27	地球信息科学	0.436
28	古脊椎动物学报	324	28	地震研究	0.428
29	空间科学学报	311	29	华北地震科学	0.340
30	西北地震学报	296	30	古生物学报	0.333
31	地球信息科学	290	31	西北地震学报	0.319
32	地震研究	277	32	地震地磁观测与研究	0.317
33	地震地磁观测与研究	235	33	物探与化探	0.273
34	华北地震科学	161	34	世界地震工程	0.272
35	华南地震	126	35	内陆地震	0.204
36	内陆地震	124	36	华南地震	0.132