

文章编号:1001-4179(2015)07-0060-04

山洪预警 WRF 模式不同物理方案组合对比试验

陈超君^{1,2}, 李俊²

(1. 重庆市水文水资源勘测局, 重庆 401147; 2. 中国气象局武汉暴雨研究所 暴雨监测预警湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430205)

摘要:为了获得致灾山洪降水预报的最佳物理方案组合,基于 WRF 模式,采用不同物理方案组合对长江流域历史山洪过程,进行了对比试验和检验。采用 TS 评分法,评估了不同试验方案对各量级降水的预报能力,综合得出了最佳物理过程。结果表明:微物理参数化采用 WSM6,对流参数化采用 Kfeta 模拟的雨带范围和降水强度与实况吻合的最好,预报效果最稳定。证明了物理模式的合理选择对山洪预报结果影响较大。

关键词:数值天气预报; WRF 模式; TS 检验; 山洪灾害

中图法分类号: P457.6

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.07.016

1 研究背景

经过多年发展,我国数值天气预报业务逐步从引进吸收与自主研发并重,转入了自主研发、持续发展的新格局。数值天气预报已成为现代天气预报业务的基础和天气预报业务发展的主流方向^[1-2]。对模式物理过程的描述和完善,将成为未来几年数值模式改进和发展的关键^[3]。

目前,对降雨模拟影响较大的物理过程主要有微物理过程、积云对流过程以及边界层参数化方案^[4],其中,微物理过程起着主要作用,其次是积云对流过程,边界层参数化方案影响相对较小^[5]。陈德辉等的研究认为,云物理过程是中尺度模式中最重要、非绝热加热物理过程之一^[6],成云降雨过程发生以后,通过感热、潜热和动量输送等反馈作用影响大尺度环流,并在决定大气温度、湿度场的垂直结构中起着关键作用,也是降水预报的关键所在。尽管物理方案都有明确的物理基础,但在实际强降水模拟中,微物理方案和积云对流参数化方案更为敏感,究竟选择采用哪种方案组合才能够得到更理想的结果,是一项繁重而艰巨的工作,需要深入对比研究。

我国山地众多,山洪灾害严重威胁着人民群众的生命财产安全,山洪预警预报是我国防灾减灾工作中

亟待解决的问题。然而,绝大多数山洪灾害的发生都与强降水有关,因此降水预报质量是山洪灾害预警预报的重要基础。数值预报作为定量降水预报的主要手段之一,其物理过程非常关键,它直接影响着降水预报效果。鉴于物理过程的重要性,本文通过模式中不同物理方案的组合,对历史上引发山洪的暴雨过程进行模拟试验,最后结合降水预报效果的对比检验,分析筛选出最为合理的物理方案组合。

2 方案设计和资料介绍

2.1 模式简介

WRF(The Weather Research and Forecasting)模式系统是由众多美国研究机构和大学共同参与开发研究的新一代中尺度数值天气预报系统^[7-8]。该模式系统包括 WPS 前处理、WRFV 主模块、WRFDA 资料同化模块和后处理等模块,具有可移植、易维护、高效率、使用方便等诸多特点,模拟尺度可从 1 km 到数千千米,使模式业务应用与升级、科学研究更为便捷。

2.2 试验方案

本文采用 3 层双向嵌套的 WRFV3.4 版本进行试验,模式中心随个例的不同而移动,地图采用兰勃特投影,模式水平分辨率分别为 27,9 km 和 3 km,相应的

收稿日期:2015-02-09

基金项目:国家自然科学基金项目(41275107);水利部公益行业专项(201201063)

作者简介:陈超君,女,助理工程师,硕士,主要从事中尺度数值天气预报方面的研究工作。E-mail:lvcha-52314@163.com

格点数为:322 × 202、322 × 253 和 472 × 322,垂直层数为 51 层,模式层顶为 50 hPa,使用的地形数据分别是 2 m、30 s 和 30 s。

模式微物理过程、积云参数化方案是影响模式预报效果的重要因素。本文选取了在东亚地区应用效果较好的两组微物理和两组积云参数化方案,设计了 4 组对比试验,见表 1。其他过程均采用了 Dudhia 短波辐射方案、RRTM 长波辐射方案、unified Noah 陆面过程。通过山洪个例试验和检验,得出适用于山洪数值预报的最佳物理方案组合,为山洪短期预警方案的设计提供依据。

表 1 对比试验方案组合

试验名称	微物理参数化	对流参数化	边界层参数化
f01	WSM 6	Grell - Devenyi ensemble scheme	YSU scheme
f02	Thompson	Grell - Devenyi ensemble scheme	YSU scheme
f03	WSM 6	Kfeta scheme	YSU scheme
f04	Thompson	Kfeta scheme	YSU scheme

对个例试验进行定性和定量检验。在定性检验中,将 24 h 降水的强度、位置及范围与实况进行分析,比较不同方案的模拟特点。在定量检验中,采用通用的 TS 评分^[9-10],评估不同试验方案对各量级降水的预报能力,综合得出最佳物理过程。TS 评分公式为

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC}$$

(1)

式中,NA 为有降水预报正确的站(次)数,NB 为空报站(次)数,NC 为漏报站(次)数,ND 为无降水预报正确的站(次)数。

2.3 资料介绍

通过整理和收集山洪资料,本文选取了 11 个致灾山洪暴雨个例,详见表 2。模式的初始场和边界条件使用 NCEP 再分析资料(FNL),该资料每间隔 6 h 提供一次。检验评估所用实况为中国气象局 0:00 时(世界时,下同)下发的 24 h 累积降水观测。

表 2 试验个例相关信息

地点	模式起报时间	模式中心设置	地点	模式起报时间	模式中心设置
临湘	2011060900	(29.5°N 113.5°E)	临湘	2010042000	(29.5°N 113.5°E)
临湘	2010061900	(29.5°N 113.5°E)	平江	2012051200	(28.72°N 113.58°E)
岳阳	2009072400	(29.38°N 113.08°E)	舟曲	2010080700	(34.78°N 104.37°E)
宁强	2002060800	(32.83°N 106.25°E)	郴州	2006071500	(25.8°N 113.03°E)
上栗	2008052700	(27.65°N 113.85°E)	宁强	2011072800	(32.83°N 106.25°E)
临湘	2010070800	(29.5°N 113.5°E)			

3 模拟结果分析

由于篇幅限制,本文仅列出了 2011 年和 2010 年 6 月临湘两次致灾暴雨过程的模拟检验情况,其他个例

分析与此方式类似。最后,结合 11 次个例的综合检验得分对比,提出模式在山洪暴雨过程中表现最优的物理方案组合。

3.1 2011 年 6 月湖南临湘山洪

2011 年 6 月 9 日晚至 10 日,临湘市、岳阳县、平江县等地局部发生 1 次短时强降雨天气过程。因短时间降雨强度特别大,部分地区发生山洪泥石流灾害。此次泥石流造成 6 个县市区 71 个乡镇共 62.1 万人受灾,其中,临湘市詹桥镇观山村是灾情最严重的村庄。此次强降雨过程时间短、范围广、强度大,山洪灾害特别严重。

图 1 为 2011 年 6 月 9 日 0:00 ~ 10 日 0:00 的降水观测分布情况。从图中可以看出,该次降水位于湖南的中部和北部、湖北的东南部以及安徽南部与浙江交界处。此轮降水有 3 个较强暴雨中心,其中湘鄂交界的湖南岳阳和湖北咸宁是最强中心,达到大暴雨量级。

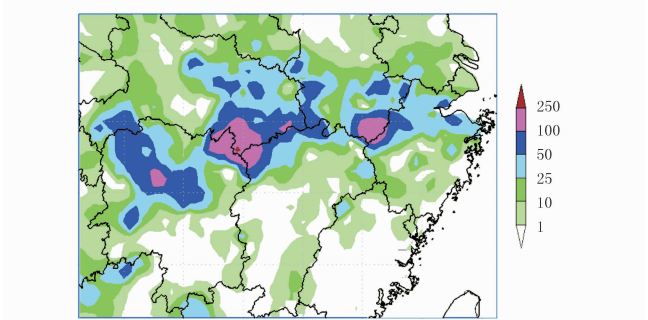


图 1 累积降水观测 1(单位:mm)

图 2 为 4 组方案的模拟结果。从图中可以看出,f01 方案对整个雨带和暴雨中心的落区模拟较好,能表现 3 个暴雨中心,特别是对临湘 - 通城暴雨中心强度和落区的模拟与实况接近,但范围略大。f01 方案对湖北中部的降水模拟偏弱,湖南中部和北部的暴雨中心略偏西,安徽南部与浙江交界处的暴雨中心落区与实况比较一致,强度稍偏强。f02 和 f04 方案也基本都能模拟出大暴雨中心,对安徽南部与浙江交界处的暴雨模拟与 f01 方案基本一致,但对临湘 - 通城的暴雨预报位置偏北、范围偏小,对湖南北部和中部的暴雨模拟位置较实况偏西,强度偏强。f03 方案对安徽南部与浙江交界处的暴雨模拟效果与其他 3 组试验基本一致,对临湘 - 通城暴雨比模拟结果稍偏北,同时,对湖南中北部暴雨模拟强度偏强,范围偏大。总的来说,4 组试验基本都能模拟出此次暴雨过程,其中 f01 与实况最接近。

3.2 2010 年 6 月湖南临湘山洪

2010 年 6 月 19 ~ 20 日,除湘西南以外,湖南大部

分地方出现暴雨及大暴雨,日强降雨中心主要分布在湘中偏北,暴雨落区呈东西向分布,全省有 49 个县市 24 h 内降雨量超过 50 mm,其中 17 个县市超过 100 mm。此次强降雨过程导致大面积农田受灾,房屋倒塌,河堤、渠道垮塌,多处电力设施损毁。

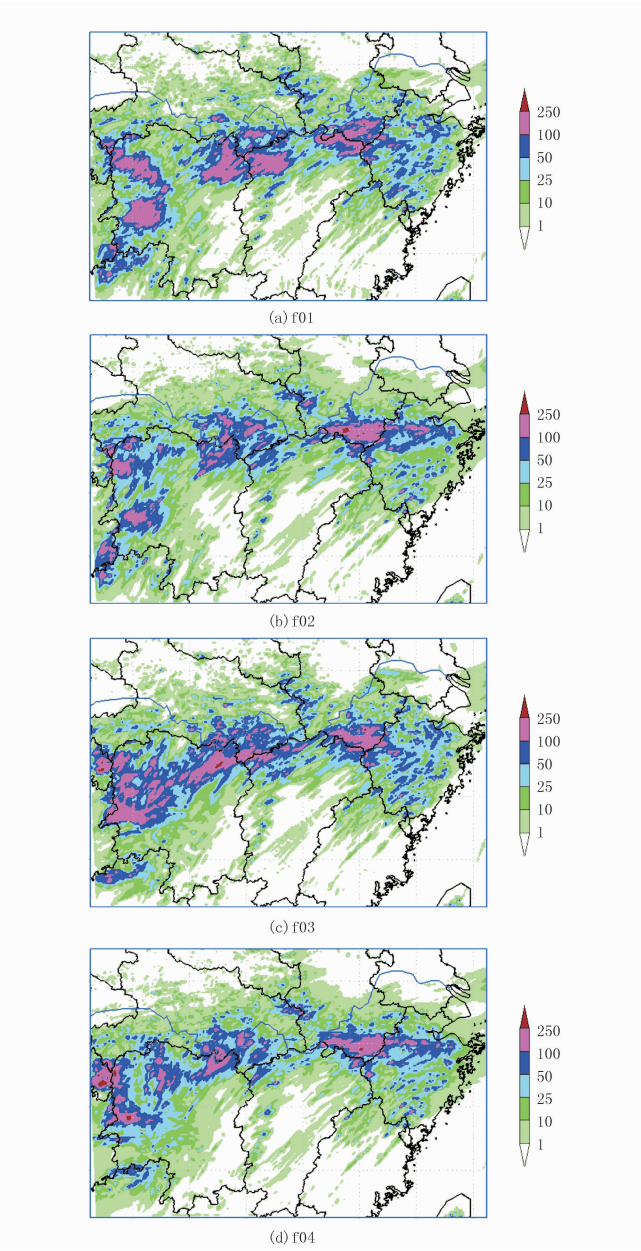


图 2 模拟预报降水量 1(单位:mm)

由图 3 可见,此次暴雨呈东西走向,强降雨位于湖南、江西大部、福建西北部及广西北部等地,其中,江西中北部、湖南岳阳、福建南平、广西桂林等地均发生大暴雨,局部特大暴雨。

图 4 为 4 组方案的模拟结果。总体上看,4 种方案都能模拟出此次东西走向的暴雨、大暴雨过程。对湘中偏北的暴雨模拟而言,位置稍偏南,但雨带范围和走向模拟较好;对江西境内直至福建西北及与浙江交界处的暴雨模拟而言,4 种方案的模拟结果略有差异。

f01 和 f02 方案对该范围强降水位置的模拟要好于 f03 和 f04 方案。而对于广西北部强降水来说,f03 模拟效果最好。总体而言,4 组试验方案能模拟此次过程的雨势及降水强度,只是在强降水位置上与实况略有差异,总体效果比较理想。

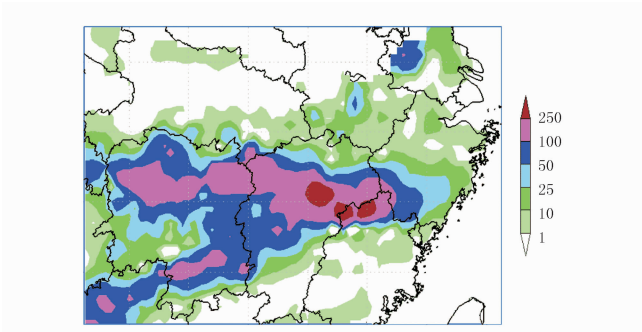


图 3 累积降水观测 2(单位:mm)

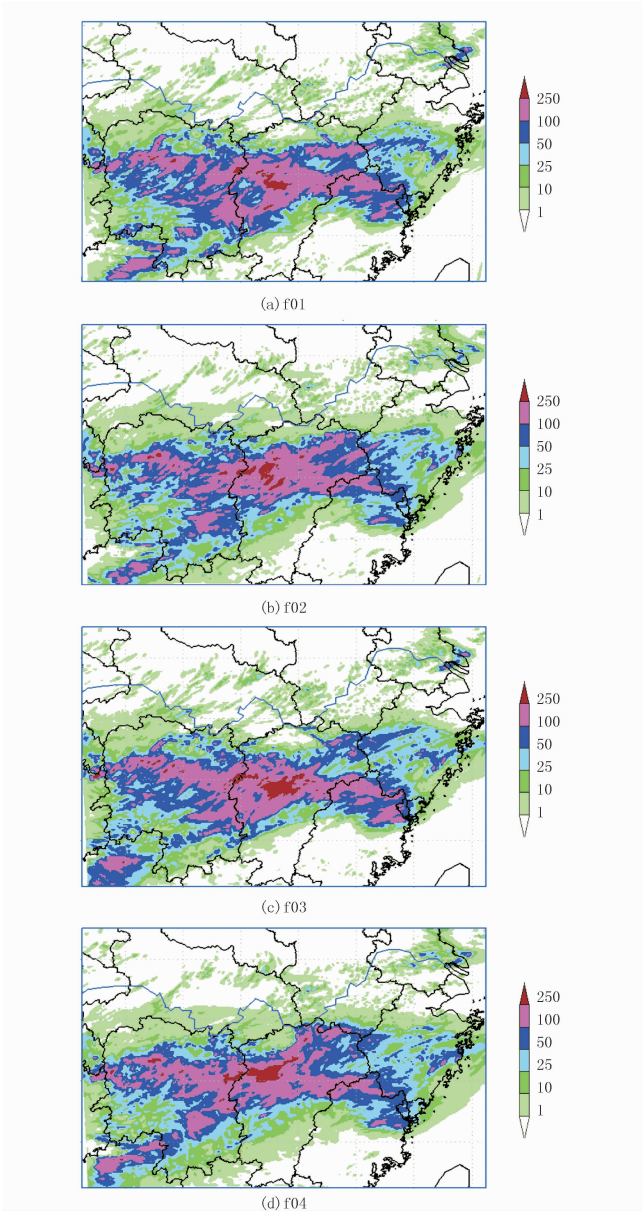


图 4 模拟预报降水量 2(单位:mm)

3.3 定量检验

模式 24 h 降水量的 TS 评分结果如图 5 所示(图 5a)可见,对小雨、中雨预报而言,f01 方案略好,其次为 f03 方案;对大雨预报而言,f03 最优;对暴雨预报来说,f01 具有明显的优势。从个例 2 的评分(图 5b)可见,4 组方案对此次降水过程的预报效果均较理想,尤其是 f01 方案。f03 方案对暴雨的预报也比较准确。

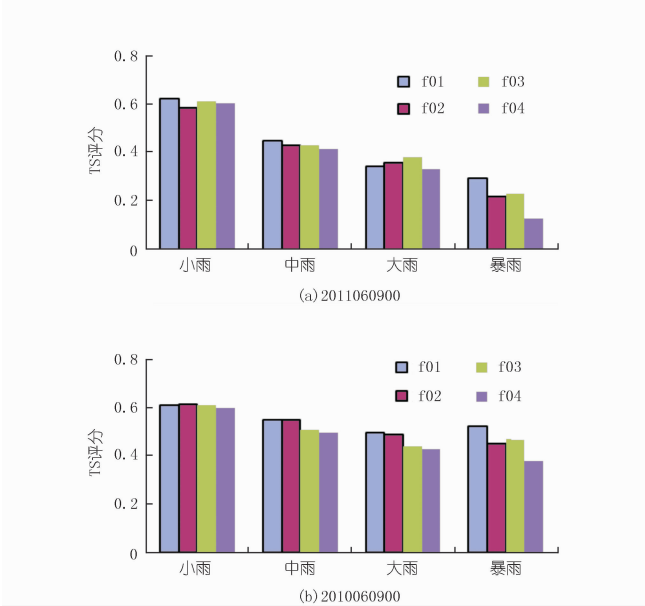


图 5 24 h 累积降水 TS 评分

某个方案的综合评分 R_k 由下式计算:

$$R_k = \sum_{i=1}^{i=11} [T_k(1) + T_k(2) + \cdots + T_k(i)] \quad (2)$$

式中, R_k 为某个方案的综合评分, k 为不同阈值,分别对应小雨、中雨、大雨和暴雨; T_k 为降水阈值为 k 时的 TS 评分排序,依据该方案在 4 组方案 TS 评分中的大小,最大定义为 4,最小定义为 1; i 为 11 个山洪个例。将 11 个山洪个例中不同方案各量级的 TS 评分排序相加后平均,得分越高则表示该方案对该量级降水的预报效果越好。

采用上述方法对 11 个山洪个例的 TS 评分结果进行统计,结果如图 6 所示。

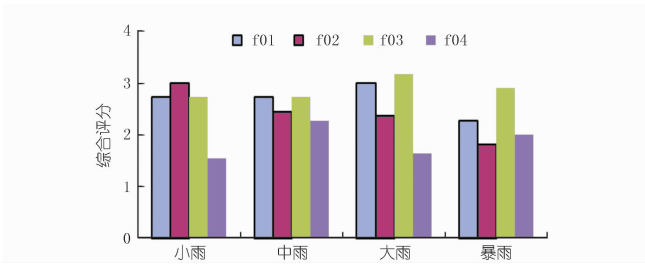


图 6 11 个模拟个例预报效果综合得分

从图中可以看出,对于小雨预报,f02 得分最高,预

中标示时间为个例起报时间)。从个例 1 的评分(图 报最好,f01 和 f03 方案并列第二;对于中雨预报,f01 和 f03 的预报效果并列第一;对于大雨和暴雨以上量级 f03 的预报最好,其次为 f01。综合而言,f03 的预报效果最稳定,在山洪预警预报模式中建议采用此方案配置。

4 结论

本文利用 WRF 模式,采用 4 组物理过程方案组合,对 11 个山洪强降水过程进行模拟试验,并对降水预报效果进行了对比分析。

通过对山洪个例的定性和定量对比检验评估发现,4 组不同的物理方案组合试验都能模拟出各个山洪暴雨过程,但在降水强度和雨带位置上略有差异。总的来说,f03 方案的模拟与实况最接近,对大雨和暴雨以上量级评分最高;其次,f01 方案对雨带和暴雨中心落区模拟较好。总体而言,WRF 模式对短时强降水的精细化预报具有一定的参考价值,但随着模式分辨率的提高及各种物理方案的不断完善,对模式物理过程的选择越来越重要。为了在山洪预警决策服务中,更好地理解和应用数值预报成果,需要在今后的研究和应用中,不断寻找和优化适用于山洪防治区的模式最佳组合方案。

参考文献:

[1] 矫梅燕. 天气业务的现代化发展[J]. 气象,2010,36(7):1-4.
[2] 矫梅燕,龚建东,周兵,等. 天气预报的业务技术进展[J]. 应用气象学报,2006,17(5):594-601.
[3] 陈德辉,薛纪善. 数值天气预报业务模式现状与展望[J]. 气象学报,2004,62(5):623-633.
[4] 廖镜彪,王雪梅,夏北成,等. WRF 模式中微物理和积云参数化方案的对比试验[J]. 热带气象学报,2012,28(4):461-470.
[5] 陈炯,王建捷. 边界层参数化方案对降水预报的影响[J]. 应用气象学报,2006,17(增刊):11-17.
[6] 陈德辉,胡志晋,徐大海,等. CAMS 大气数值预报模式系统研究[M]. 北京:气象出版社,2004,35-66.
[7] 李安泰,何宏让. 不同云微物理参数化方案对舟曲“8.8”暴雨过程模拟的影响[J]. 气象与减灾研究,2011,34(3):9-16.
[8] 邱辉,营丽. WRF 模型在山洪灾害预警预报中的试验应用[J]. 人民长江,2013,44(13):5-9.
[9] 陈超君,李俊,王明欢. 2013 年华中区域中尺度业务数值预报的客观检验[J]. 暴雨灾害,2014,33(2):187-192.
[10] 陈超君,王东海,李国平,等. 冬季高海拔复杂地形下 GRAPES_Meso 要素预报的检验评估[J]. 气象,2012,38(6):657-668.

(编辑:李 慧)

- [J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2006, 132(5): 462 – 473.
- [5] B. Ataie – Ashtiani, A. Nik – Khah. Impulsive waves caused by sub-aerial landslides[J]. Journal of the Environ Fluid Mech, 2008, 8(7): 263 – 280.
- [6] 任坤杰, 韩继斌, 陆虹. 滑坡涌浪首浪高度试验研究[J]. 人民长江, 2012, 43(2): 43 – 45.
- [7] 任坤杰, 韩继斌. 散体滑坡体首浪高度模型试验研究[J]. 人民长江, 2010, 42(24): 69 – 72.
- [8] 汪洋, 殷坤龙. 水库库岸滑坡涌浪的传播与爬高研究[J]. 岩土力学与工程学报, 2008, 29(4): 1031 – 1034.
- [9] 李 颖, 王平义, 胡小卫. 山区河道型水库滑坡涌浪的计算研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2011, 30(2): 295 – 298.
- [10] 门永强, 王平义, 喻涛, 等. 山区河道型水库滑坡涌浪首浪高度试验研究[J]. 科技信息, 2013, (11): 22 – 24.
- [11] 中国水利水电科学研究院. 滑坡涌浪模型试验规程 SL165 – 2010 [S]. 2010.

(编辑: 徐诗银)

Summary of experimental study on landslide – induced surge in reservoir area

CHEN Li¹, YU Tao^{2,3}, WANG Pingyi^{2,3}, HE Qing¹

(1. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China; 2. National Engineering Research Center for Inland Waterway Regulation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 3. Key Laboratory of Hydraulic and Waterway Engineering of the Ministry of Education, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: On the basis of data statistics and analysis of the landslide – induced surge in reservoir area, the typical examples and the harm of the landslide surge are described. By further study of the existing computation method and simulation technology of the landslide – induced surge, the analysis and evaluation are conducted. The characteristics of landslide – induced surge in reservoir area are related to the geometric parameters, movement mode and angle of landslide body. From the perspective of a overall energy, the laboratory classification simulation method of the landslide – induced surge is determined, which can provide systematic and complete technical support for the physical model test of landslide – induced surge.

Key words: landslide – induced surge; research evaluation; soil landslide; rock landslide; steep rock landslide; simulation classification

(上接第 63 页)

Comparative experiment on different combination of physics schemes of WRF model in mountain torrent early – warning

CHEN Chaojun^{1,2}, LI Jun²

(1. Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Chongqing, Chongqing 401147, China; 2. Hubei Key Laboratory for Heavy Rain Monitoring and Warning Research, Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan 430205, China)

Abstract: To obtain the optimal combination of physical schemes for the forecast of mountain torrent disaster precipitation, on the basis of WRF model, the historic mountain flood process occurred in Yangtze River Basin was simulated by using different combinations of physical schemes, and the results were compared, analyzed and checked. The forecast ability for precipitation of all magnitudes using different combinations was evaluated by TS verification and an optimal physical process was obtained. It shows that the simulated rainfall gets the most close to observed data when the micro – physical parameter adopts WSM6 and the convection parameter adopts Kfeta, so this scheme is the most stable. It demonstrates that the reasonable selection of combination of physical schemes is the key to gaining better forecast results.

Key words: numerical weather prediction; WRF model; TS verification; mountain torrent disaster