

泥石流区域预报中的预报降水处理

江玉红^{1,2}, 韦方强¹, 徐晶³, 邓波⁴, 谢贤健^{1,2}

(1 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室/中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2 中国科学院研究生院, 北京 100039 3 中国气象局国家气象中心, 北京 100081;

4 凉山彝族自治州气象局, 四川 西昌 615000)

摘要: 预报降水处理是泥石流区域预报的一个重要环节。在介绍了现有的泥石流预报方法的基础上, 分析了不同时空尺度泥石流区域预报对预报降水的不同需求。根据精细化降水数值预报产品和多普勒天气雷达降水预报产品的特点, 重点讨论了精细化降水数值预报产品用于大尺度短期泥石流区域预报、多普勒天气雷达降水预报产品用于中小尺度短临泥石流区域预报的处理方法, 并建立了适应不同时空尺度(大尺度和中小尺度)的泥石流区域预报的预报降水处理系统, 给出了处理实例。

关键词: 泥石流预报; 预报降水; 数值预报; 多普勒天气雷达

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

降水是诱发泥石流形成的一个重要条件, 也是泥石流形成条件中最具动态性的因素。降水在一定程度上决定和影响泥石流发生的时空分布, 因此, 降水是泥石流预报的一个重要指标。泥石流预报中的降水, 根据阶段可分为前期降水和预报降水, 二者共同影响了泥石流的形成。对于预报降水, 谭炳炎等(1995)在山区铁路沿线暴雨泥石流预报中通过设置铁路专用的卫星云图接收系统, 分析卫星云图资料, 以获得铁路沿线的研究区内暴雨中心雨强和移动速率^[1]。韦方强等(2004)在北京山区的泥石流预报中则是通过将预报降水等值线数据内插, 得到每个泥石流预报单元的预报降水^[2]。随着降水预报产品增加, 当前应尽量充分地利用气象系统这些“种类齐全的气象资源和降水预报产品”^[3]。

泥石流预报在空间尺度上可分为区域预报和单沟预报, 在时间尺度上分为长期、中期、短期和短临预报。根据泥石流减灾需求的不同, 泥石流区域预报又可分为大尺度的区域预报和中小尺度的区域预报。对于不同时空尺度的泥石流预报, 需要有不同

时空尺度的相应降水预报系统支持。本文主要讨论精细化降水数值预报产品用于大尺度短期泥石流区域预报、多普勒天气雷达降水预报产品用于中小尺度短临泥石流区域预报的处理。

1 泥石流区域预报中的预报降水

1.1 泥石流区域预报方法

由于泥石流形成的复杂性和不确定性, 泥石流形成的机理研究尚未有突破性的进展。当前泥石流区域预报主要有两类方法: 一类是统计预报方法, 另一类是成因预报方法。

泥石流统计预报方法, 主要是分析历史泥石流事件, 建立降水量和泥石流发生之间的统计关系, 通过确定临界降水量的方法预报泥石流, 预报的结果用“泥石流发生”和“泥石流不发生”来表述^[4,5]。

泥石流成因预报方法, 是在泥石流形成的机理研究基础上, 通过对历史泥石流事件和泥石流发育的下垫面条件分析, 确定灾害发生的临界降水量, 然

收稿日期(Received date): 2007-11-20; 改回日期(Accepted): 2008-05-05.

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程。(KZCX3-SW-352) [The Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (KZCX3-SW-352).]

作者简介(Biography): 江玉红(1978-), 河南内乡人, 博士生, 研究方向: 自然灾害监测预报。[Jiang Yuhong (1978-), born in Neixiang

Henan. Ph.D candidate, research direction: natural disaster monitoring and predicting.] Email: yhj@imde.ac.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

后根据降水的监测和预报对泥石流发生的可能性做出概率预报, 结果按照泥石流发生的概率分等级表述, 这是当前泥石流区域预报中较为常用和有效的一种预报方法^[6]。

相关研究资料^[7]表明, 80% 以上的泥石流沟的流域面积在 10 km^2 以下, 因此, 泥石流区域预报单元大小确定为 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$, 这样可以使得大部分的泥石流沟包含在各预报单元内, 从而简化了运算并减少错报和漏报, 提高泥石流预报的精度和准确度。因此, 最终进入泥石流区域预报系统的预报降水, 必须和泥石流预报单元相匹配。

1.2 对预报降水的要求

泥石流的统计预报和成因预报, 在预报方法上虽有较大的不同, 但在需要高精度和准确度的降水支持上却是相同的。

根据泥石流区域预报单元大小的要求, 经过处理并最终进入模型参与泥石流预报运算的预报降水需要满足如下条件: 预报降水格点在空间上的分辨率为 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$, 时间上的分辨率至少为 1 h 。前者是为了满足每个泥石流预报单元在空间上与其预报降水量和某个小的时间单位的最大降水强度相对应, 后者主要用来解算每个泥石流预报单元在确定时间单位内的最大预报降水强度。

泥石流区域预报的预报范围为较大区域时, 受预报降水时空条件的限制, 多采用数值天气预报的降水产品作为泥石流预报的预报降水参与运算。根据降水数值预报的时效性和泥石流预报业务运行的需要, 通常是做从起报时间起的未来 $0\sim 12\text{ h}$ 或 $0\sim 24\text{ h}$ 的短期泥石流区域预报。

泥石流区域预报的预报范围为中小区域时, 根据减灾的需要, 要做出精细化的预报结果。对预报降水就提出了更高的要求。目前, 可以采用多普勒天气雷达的降水预报产品作为泥石流预报的预报降水参与运算, 由于多普勒天气雷达预报降水产品对未来 3 h 的降水具有较好的响应, 空间连续且分辨率高, 可以利用其做未来 $0\sim 3\text{ h}$ 的短临泥石流区域预报。

2 不同尺度区域泥石流预报的预报降水处理

现有的降水数值预报产品和多普勒天气雷达预报降水产品都不能直接满足泥石流预报的需要, 在进入泥石流预报系统参与泥石流预报运算前, 都必须预先在泥石流预报系统的预报降水处理模块中进行处理。

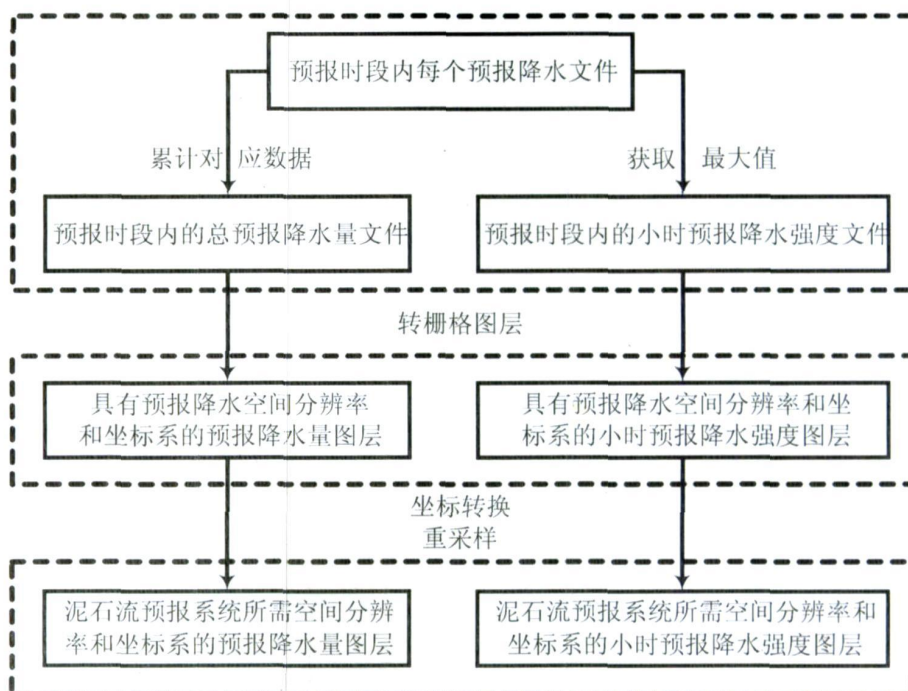


图 1 数值预报降水处理流程

Fig. 1 The process of numerical forecast precipitation

2.1 大尺度短期泥石流区域预报的预报降水处理

对于省级及其以上的泥石流预报区域,降水数值预报产品可以在预报区域的空间范围上满足要求。

降水数值预报就是将已有的实时气象观测资料作为初值,通过求解流体力学和热力学方程组,获得未来一段时间的降水分布。通过改变优化数值预报的初始场,可以得到时间上和空间上分辨率都比较高的定量降水预报,即精细化降水数值预报。现有的精细化降水数值预报模式主要有 WRF、MM5、T213和 HLAFS等,如中尺度数值预报模式 MM5在空间上的分辨率约为 15 km。

以降水数值预报作为预报降水的区域泥石流预报,预报降水处理流程如图 1所示。

由于精细化降水数值预报格网划分已经比较细,所以处理流程中重采样所选用的方法对结果的影响就不是很大,多采用双线性内插的方法。

流程采用下式计算降水强度^[8]

$$\frac{r}{R} = \frac{1}{T} (1 - \ln \frac{t}{T}) \quad (1)$$

式中 T 是一场降雨的持续时间(降雨历时), R 为 T 时段内的降水量, t 为 T 时段内的一个时间单位, r 为 t 时段的降水强度。

降水数值预报产品对强降水天气过程的反应普遍不够敏感,使得泥石流预报时间段内的最大 1 h

降水强度计算值偏小,系统在运算时可以考虑通过降低降水强度因素的权重和域值的办法,降低由于这一因素带来的预报结果偏差。

2.2 中小尺度短临泥石流预报的预报降水处理

多普勒天气雷达能够采集实时降水粒子的分布情况,快速准确地捕捉局地强对流天气过程,获取高精度的降水监测预报产品,地面空间分辨率高达 1 km,但由于观测范围有限,只能用于中小尺度的短临泥石流区域预报。

选取多普勒天气雷达提供的雷达回波强度产品(dB, 2#)(图 2)和垂直累积液态水产品(VI, 57#)(图 3),通过分别统计分析汛期有雨日两种雷达产品信息和观测的实况降水不同量级之间的对应关系,对二者得到的降水做加权累计,可以得到更加客观地反应实际情况的泥石流预报时段(3 h)内的预报降水量和最大 1 h降水强度。

在以多普勒天气雷达降水产品作为预报降水的短临泥石流区域预报中,预报降水分析处理方法如下:

分别对 21#产品影像和 57#产品影像利用式(2)进行几何变换

$$\begin{cases} X = Ax + By + C \\ Y = Dx + Ey + F \end{cases} \quad (2)$$

式中 X 、 Y 为地面坐标; x 、 y 为影像坐标; A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 为变换系数^[9]。

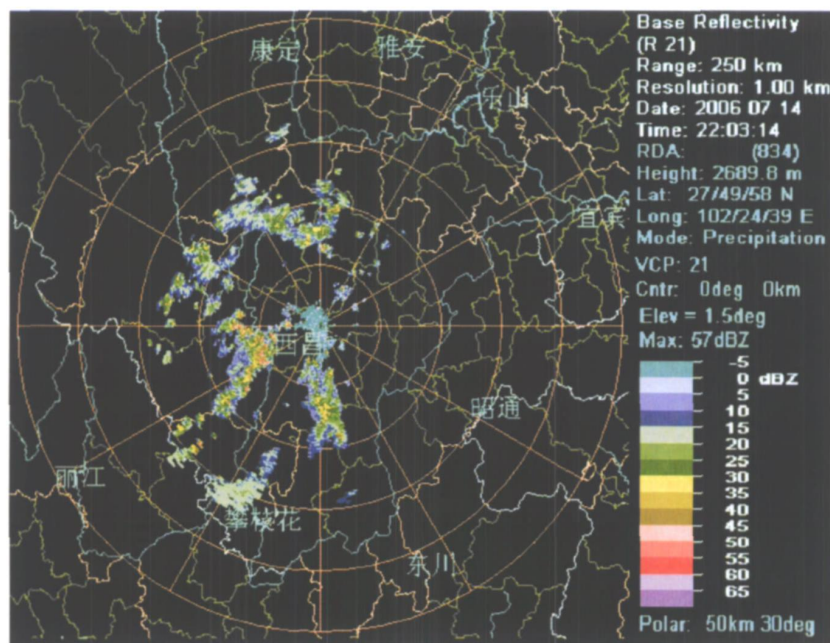


图 2 2006-07-14T22:00西昌多普勒天气雷达 2#产品

Fig 2 21# product of radar at 22 on July 14, 2006

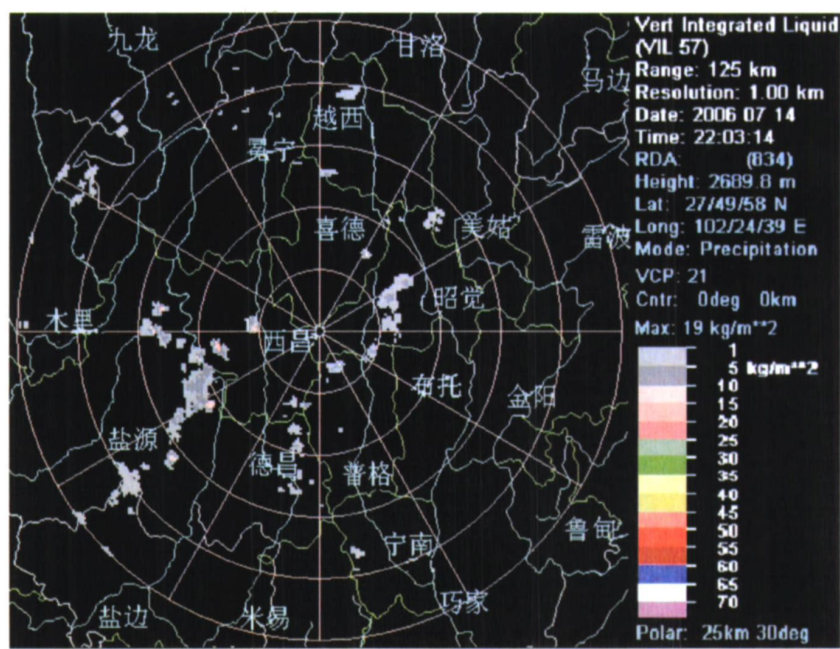


图 3 2006- 07- 14T22 00西昌多普勒天气雷达 5#产品

Fig 3 5# product of radar at 22 on July 14, 2006

在雷达影像上选取已知地面坐标的像点(控制点)数不少于 3 个, 把它们的影像坐标和相应的地面坐标代入公式 (2), 得到方程组并对其法化解算得到 6 个变换系数 (A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F) 的最小二乘解, 对雷达影像进行绝对定向, 建立雷达影像像点坐标和对应地面坐标之间的映射, 从而获取每个泥石流预报单元对应两种雷达产品的信息值, 进而利用两种雷达产品信息值和降水量级之间的关系加权累计求得预报降水量和降水强度。

在预报降水量和降水强度计算中, 根据历史数据统计分析和预报员的经验做微调, 确定 2#产品的权重为 $2/3$, 5#产品的权重为 $1/3$, 可以较好地反应实际的降水预报情况。

3 研究实例

3.1 WRF 数据处理与应用实例

大尺度短期泥石流流域预报以西南地区(云南省、贵州省、四川省和重庆市)为研究区。研究区位于我国第一阶梯与第二阶梯过渡地带和第二阶梯内, 具有高原、盆地、山地错杂的地貌结构, 复杂、活跃的地质构造, 季风气候造成的丰沛降水, 这些都为泥石流的发育提供了极其有利的自然条件。同时, 研究区内人类活动, 如滥砍乱伐森林、坡地过度垦

殖、道路修建和矿山开采中的废渣随意堆放以及边坡破坏等不合理的人为因素, 加剧了区内的泥石流活动, 使研究区成为我国泥石流灾害最为发育、危害最为严重的地区。

2007- 07- 19T6 00左右云南省腾冲县发生大型泥石流。中央气象台利用精细化降水数值预报 WRF(Weather Research and Forecast 美国)模式, 以 T213 输出作为初始场的降水预报产品, 对研究区内 2007- 07- 18T20: 00~ 07- 19T20: 00 的降水做出了预报, 原始数据的空间分辨率约为 5 km, 时间分辨率为 1 h。利用大尺度短期区域泥石流预报的预报降水处理系统对其进行处理, 得到 24 h 的预报降水总量(图 4)和最大 1 h 降水强度(图 5), 格点大小为 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ 。将处理后的预报降水量和最大 1 h 降水强度数据输入到泥石流成因预报系统中, 得到灾害发生地所在区域的泥石流预报结果多为 4 级(泥石流发生概率区间: 0.6~ 0.8)和 5 级(泥石流发生概率区间: 0.8~ 1.0)。

3.2 雷达预报降水数据处理与应用实例

中小尺度短临泥石流流域预报以位于四川省西南部的凉山彝族自治州为研究区, 面积 $6.01 \times 10^4\text{ km}^2$, 地形起伏波动大, 多为高山和中山, 约占幅员面积的 70% 以上, 气候属亚热带高原季风气候, 气候水平垂直地带差异明显, 干雨季分明。其中雨季

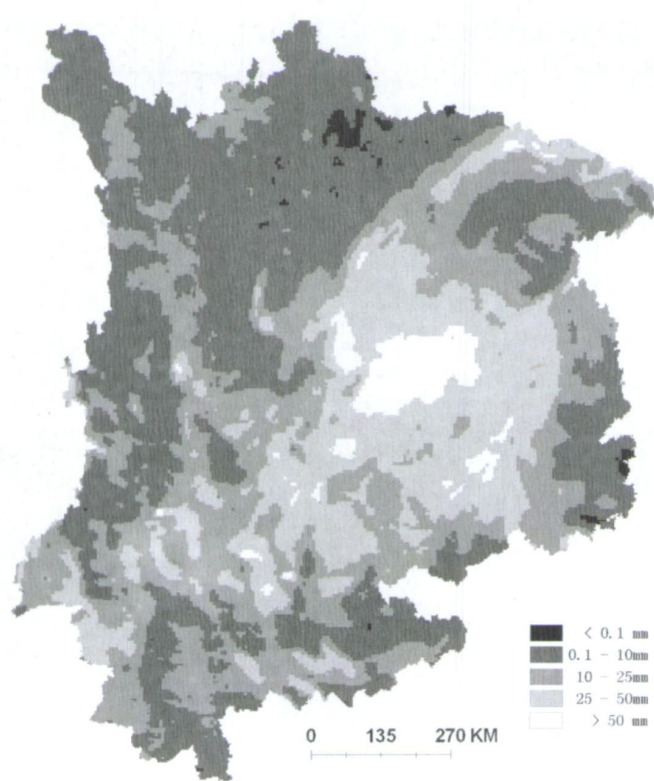


图 4 2007-07-18 T20:00 ~ 19 T20:00 预报降水量

Fig. 4 24-hour forecast precipitation (from 20, July 18 to 20, July 19, 2007)

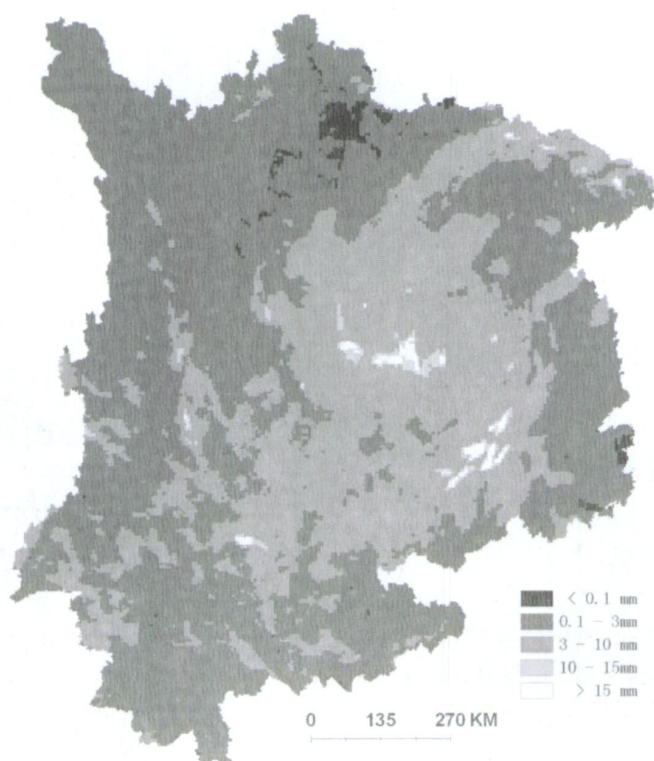


图 5 2007-07-18 T20:00 ~ 19 T20:00 最大 1 h 降水强度

Fig. 5 The biggest 1-hour precipitation intensity (from 20, July 18 to 20, July 19, 2007)

(5~10月)降水量占年降水总量的84%~95%,为800mm以上,部分地区最高可达1180mm。研究区的自然条件使其成为典型的泥石流多发区。

研究区多普勒天气雷达位于102°25'E和27°53'N,天线海拔2702.7m,完成一个T扫时间为6min,回波基本可以覆盖全州。得到雷达预报降水数据准确,更新速度快,在空间上连续,其地面空间分辨率达1km。

2006-07-14T23:00~15T1:00研究区内的盐源县平川镇骡马堡村发生特大泥石流灾害。2006

年雨季,研究区因暴雨引发泥石流仅此一次。

泥石流预报系统于2006-07-14T22:00根据多普勒天气雷达监测数据,计算出未来3h的预报降水量(图6)和最大1h降水强度(图7)。此降水预报处理结果输入泥石流成因预报系统——基于多普勒天气雷达的短临泥石流区域预报系统^[10],做出以后未来3h的泥石流预报结果。泥石流发生地所在区域的预报结果为4级(泥石流发生概率区间:0.6~0.8),表明预报结果比较可靠。

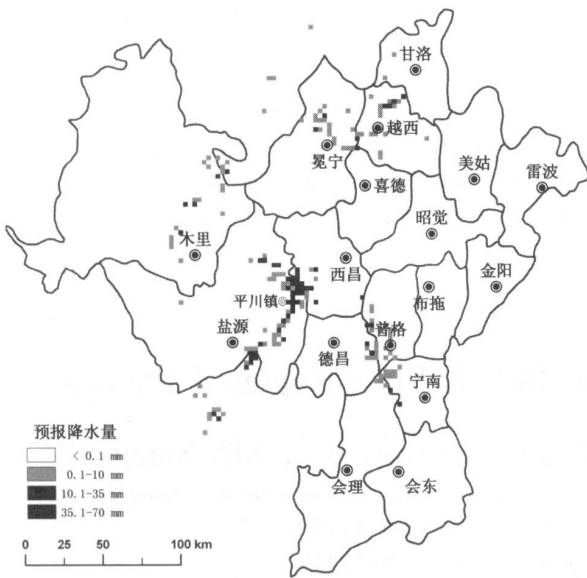


图6 凉山州2006-07-14T22:00~15T1:00预报降水量

Fig. 6 3 hours' forecast precipitation (from 22, July 14 to 1, July 15, 2006)

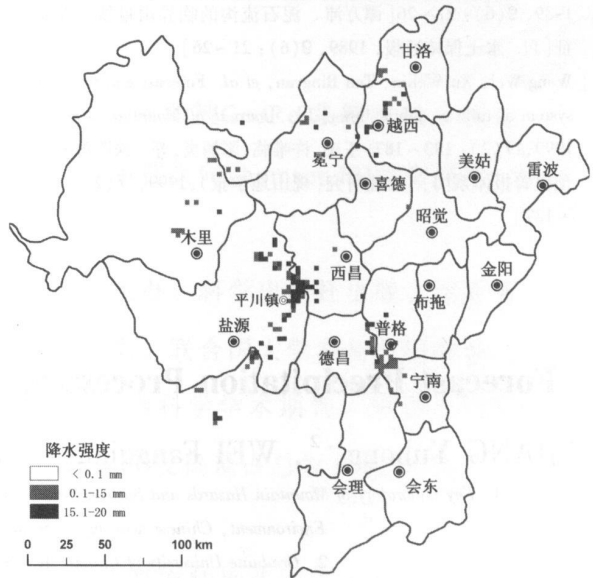


图7 凉山州2006-07-14T22:00~15T1:00最大1h降水强度

Fig. 7 The biggest one hour's precipitation intensity (from 22, July 14 to 1, July 15, 2006)

4 结论

通过对不同尺度泥石流区域预报中所采用不同降水预报产品的处理方法和运行结果的分析,可以得到如下结论:

1. 在现有降水预报水平上,建立适应不同尺度泥石流区域预报的多层降水预报处理系统是必要的,也是可行的。
2. 精细化降水数值预报产品可以满足大尺度短期泥石流区域预报中预报降水的需求,为较宏观上的泥石流减灾提供指导。
3. 多普勒天气雷达监测降水具有数据更新快、分辨率高、准确度高的特点,为中小尺度短临泥石流

区域预报提供了强有力的降水监测和预报手段,使泥石流预报的准确度得到很大的提高。

4. 由泥石流预报系统在研究区的实际运行情况可知,在取得了较好的预报效果的同时,由于降水数值预报产品对强降水的反应不够敏感,使得泥石流预报系统在运算时必须降低降水强度这一重要因素的权重;由于研究区的多普勒天气雷达建立运行时间较短,资料积累序列不够长,雷达的“本土化”不够,使得中小尺度泥石流区域预报中的降水量和降水强度的准确性还有待进一步提高。

参考文献 (References)

- [1] Tan Bingyan, Duan Aiyang. Study on prediction for rainstorm debris flow along mountain district railways[J]. Journal of Natural Disasters, 1995, 4(2): 43~52. 谭炳炎,段爱英.山区铁路沿线暴雨

- 泥石流预报的研究 [J]. 自然灾害学报, 1995, 4(2): 43~52]
- [2] Wei Fangqiang, Tang Jiafa, Xie Hong *et al.* Debris flow forecast combined regions and valleys and its application [J]. *Journal of Mountain Science* 2004, 22(3): 321~325 [韦方强, 汤家法, 谢洪, 等. 区域和沟谷相结合的泥石流预报及其应用 [J]. 山地学报, 2004, 22(3): 321~325]
- [3] Zhang Jinghong, Wei Fangqiang, Cui Peng *et al.* Multihierarchical precipitation forecasting and monitoring system for prediction of debris flow [J]. *Journal of Natural Disasters* 2005, 14(5): 74~78 [张京红, 韦方强, 崔鹏, 等. 泥石流预报中的多层降水监测预报系统 [J]. 自然灾害学报, 2005, 14(5): 74~78]
- [4] Tan Wanpei. Distribution characters of critical rainfall line for the debris flow gully [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1989, 9(6): 21~26 [谭万沛. 泥石流沟的临界雨量线分布特征 [J]. 水土保持通报, 1989, 9(6): 21~26]
- [5] Wang Wei, Xu Weilin, Tan Bingyan *et al.* Forecast and forewarn system of railway debris flows [J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(2): 183~187 [王伟, 许唯临, 谭炳炎, 等. 铁路泥石流预报警报体系 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1999, 17(2): 183~187]
- [6] F. Wei, K. Gao, P. Cui *et al.* Method of debris flow prediction based on a numerical weather forecast and its application [J]. *Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Debris Flow*, WIT Press, 2006, 37~46
- [7] Wei Fangqiang, Xie Hong. The fuzzy information model of debris flow risk factor [J]. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation* [J]. 1999, 30(4): 273~277 [韦方强, 谢洪. 泥石流危险度区划的模糊信息模型 [J]. 中华水土保持学报, 1999, 30(4): 273~277]
- [8] Zhang Xuewen, Ma Shuhong, Ma Li. Rain rate intensity-duration formula derived from entropy principle [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1991, 15(6): 17~25 [张学文, 马淑红, 马力. 从熵原理得出的雨量时程方程 [J]. 大气科学, 1991, 15(6): 17~25]
- [9] Kang-tsung Chang. Introduction to Geographic Information Systems [M]. Beijing: Science Press, 2003, 67~75 [Kang-tsung Chang. 地理信息系统导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2003, 67~75]
- [10] Jiang Yuhong, Wei Fangqiang, Zhang Jinghong *et al.* Regional prediction of impending debris flow based on Doppler weather radar [J]. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 2007, 12(14): 627~632

Forecast Precipitation Processing in Debris Flow Regional Forecast

JIANG Yuhong^{1, 2}, WEI Fangqiang¹, XU Jing³, DENG Bo⁴, XIE Xianjian^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences / Institute of Mountain Hazards and

Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. National Meteorological Center, Beijing 100081, China;

4. Liangshan Meteorological Observatory, Xichang 615000, Sichuan, China)

Abstract Forecast precipitation processing is an important process in debris flow forecast. In this paper, at first based on introduction to methods of debris flow forecast, different requirements of forecast precipitation in debris flow forecast with different spatial and temporal scales were analyzed. The characters of high-resolution numerical forecast precipitation and Doppler weather radar forecast precipitation were introduced. The methods with which high-resolution numerical forecast precipitation was used in large scale debris flow short time forecast and Doppler weather radar forecast precipitation was used in medium-small scale debris flow impending forecast were mainly studied. Forecast precipitation processing system for debris flow forecast with different spatial and temporal scales (large regions and medium-small regions) was erected. In the end, two kinds of precipitation processing instances were provided.

Key words debris flow forecast; forecast precipitation; numerical forecast; Doppler weather radar