

泥石流滑坡发生的降水预报方法与雨量标准

——以四川省盆地地区为例

郁淑华¹, 何光碧¹, 徐会明², 高文良¹

(1. 中国气象局成都高原气象研究所, 四川 成都 610072; 2. 四川省气象台, 四川 成都 610072)

摘 要: 通过对 η 坐标数值预报模式预报的降水量检验分析, 发现 η 坐标数值预报模式对青藏高原天气系统活动造成的四川盆地降水预报明显偏弱, 且雨区偏北、偏西。我们使用风场资料对高原天气系统作自动识别, 进行了对高原天气系统影响降水的强化与雨区漂移的处理, 研究得出了 η 坐标数值预报模式释用强降水预报方法。通过对 1991~ 2001 年四川盆地发生泥石流、滑坡灾害的气象成因(强降水)分析, 研究得出了四川盆地不同的地质地貌条件下泥石流、滑坡预测雨量标准。在上述研究基础上, 建立了四川盆地泥石流、滑坡产生的强降水预报方法。经 2003- 08~ 09 业务试运行, 效果较好, 较成功的预报了四川盆地西部、西南部 3 次大暴雨过程触发的多处泥石流、滑坡灾害, 在防灾减灾中发挥了好的作用。

关键词: 泥石流滑坡; 降水预报方法; 雨量标准

中图分类号: P457. 6, P642. 22, P642. 23 **文献标识码:** A

中国是一个多山的国家, 地形复杂, 由于受东亚季风、印度季风和特殊地形的影响, 泥石流、滑坡灾害严重, 分布广, 遍及全国 32 个省、市、自治区。四川盆地毗邻青藏高原, 多泥石流、滑坡灾害^[1]。泥石流、滑坡灾害具有突发性和毁灭性的特点, 对城镇、工厂、矿山、公路、铁路、农田、水利水电设施常常造成严重危害。为了防灾减灾的需要, 急需开展泥石流、滑坡灾害的预报。

泥石流、滑坡的主要触发因子是强降水^[2,3], 中国科学院成都山地灾害与环境研究所吕儒仁^[4]、韦方强^[5]等研究得出了泥石流预测准则和预报模型。香港天文台利用雷达回波建立山泥倾泻临近预警系统^[6]。奥地利^[7]、美国^[8]、瑞典^[9]等国用采样综合指数法进行危险区划分, 在大尺度泥石流空间预测方面起着重要的作用。目前研究的泥石流预报方法主要是实时、临近泥石流预报方法。缺少泥石流、滑

坡短期预报方法。缺少由强降水预报结合泥石流、滑坡形成因素、地质地貌条件的泥石流、滑坡短期预报方法。特别是高原东侧地形复杂, 强降水预报难度大, 更缺少泥石流、滑坡产生的强降水短期预报方法。为此我们试图通过对 η 坐标数值预报模式产品解释应用的研究与泥石流、滑坡预报形成的强降水研究, 建立四川盆地泥石流、滑坡产生的强降水短期预报方法, 以减少自然灾害带来的损失。

1 资料与研究方法

雨量数据取自四川省气象台整编的气象资料。泥石流、滑坡资料取自四川省救灾年鉴与四川省气象局业务处。

研究方法: 采用天气、动力、统计结合的手段, 研究 η 模式释用四川盆地强降水预报方法, 采用气象、

收稿日期(Received date): 2004- 08- 13; 改回日期(Accepted): 2004- 11- 30。

基金项目(Foundation item): 国家科技部社会公益专项资金项目(2001DIB20106)、四川省重点科技项目(01SG049- 03)、成都高原气象开放实验室基金项目(2003- 04)、国家自然科学基金项目(40475020) 共同资助[Sponsored by the special commonweal society project (2001DIB20106), the key science and technology project of Sichuan Province(01SG049- 03), the open Foundation item of Chengdu Opening Plateau Meteorology Laboratory(2003- 04) and the China National Science Foundation project(40475020).]

作者简介(Biography): 郁淑华(1943-), 女, 汉族, 浙江宁波人, 研究员, 主要从事高原及其邻近地区灾害性天气的成因与预报研究。[Professor Shuhua Yu, who is a woman of Han nationality and had been born in Ninbo, Zhejiang, and majors in research in cause and forecast of disastrous weathers in the Plateau and close to area]

山地环境、山地灾害不同学科多种自然条件组合的方法研究四川盆地泥石流、滑坡产生的强降水预测模型。

2 预报方法及 η 坐标数值预报模式

四川盆地泥石流、滑坡产生的强降水预报方法, 由 η 坐标系数值预报模式释用四川盆地强降水预报方法和四川省盆地泥石流、滑坡发生的雨量指标组成。

η 坐标数值预报模式(以下简称 η 模式)是在引进 1988 年版本美国 NCEP η 坐标模式^[10]基础上发展起来的, 在成都区域气象中心业务预报中发挥了很好的作用。

阶梯形山脉模式地形的 η 坐标系是由 1984 年 F. Mesinger^[11]提出

$$\eta_s = \eta_s \frac{P - P_T}{P_S - P_T} \quad (1)$$

$$\eta_b = \frac{P_{rf}(Z_s) - P_T}{P_{rf}(0) - P_T} \quad (2)$$

式中 P 为气压, 下标 T 、 S 分别表示模式大气顶部和地面, Z 为几何高度, $P_{rf}(Z)$ 为参考气压。

此模式水平分辨率为 50 km, 垂直分层 15 层, 模式预报范围覆盖东亚大陆。物理过程有饱和凝结大尺度降水, Botts 积云对流参数化方案, Mellor-yamada 边界层方案, NASA 快速辐射参数化方案。

3 产生泥石流滑坡的强降水预报方法

3.1 η 模式降水预报评估

使用 2002-06~09 ETA 数值预报模式预报第 12~36 h 降水量(以下简称: η 模式预报降水量), 与四川盆地 17 次主要降水过程(日降水量大于 10、25 和 50 mm 的站点超过 30 个点为主要降水过程)比较分析(图, 表略), 看出:

1. 17 次过程中, 有 2 次缺资料(省气象台计算机遭病毒、故障, 无法接收到探空、地面观测报文资料), 有 2 次无反应(四川盆地预报降水量 < 1 mm), η 模式 13 次预报降水中心在 10~103 mm。说明模式预报的降水量是可以应用的。

2. 对 2 次过程模式无反应的情况作细致分析看出, 一次为 700 hPa 兰州低涡, 850 hPa 盆地弱南风(08-24), 另 1 次 500 hPa 切变线偏北, 700 hPa 兰州低涡, 850 hPa 盆地内间中低涡(06-26)。

3. 对 13 次 η 模式有反应的过程分析, 从降水

强度看, (1) 有 5 次过程(06-07, 06-11, 06-21, 08-05, 09-19)降水强度明显偏弱, 这 5 次中有 3 次过程中心强度偏少 100 mm 以上, 是因 500 hPa 有青藏高原横槽切变或槽伴低涡, 同时 700 hPa、850 hPa 有盆地低涡活动。5 次过程中另 2 次(08-05, 09-19)雨量偏少 50~100 mm, 主要是 500 hPa 影响系统偏北, 但 700 hPa 有兰州低涡。(2) 有 2 次(07-30, 07-06)模式预报的降水中心与实况相差不超过 25 mm, 基本接近。(3) 有 4 次(06-14, 07-21, 08-07, 08-10)模式预报与实况较接近, 分别相差为: 1 mm, 1 mm, 11 mm, 6 mm。(4) 有一次(07-29)后期降水预报迅速减弱, 一次(09-12)前期降水预报较弱。

从降水中心位置看, 与实况比较, 有 3 次接近实况, 4 次偏西北、4 次偏西南、5 次偏北、3 次偏西、1 次偏东北。总体看模式预报位置易偏西、偏北, 结合风场看盆地内有暴雨时, 一般 700 hPa、850 hPa 盆地南部有偏南风、东南风, 可以看出模式预报强降水雨区有漂移。经分析得出特别是在青藏高原天气系统有切变线或低涡东移时, 700 hPa、850 hPa 有低涡影响四川盆地雨区漂移更明显。

由上分析看出, η 模式在夏季对区域性中雨以上过程降水中心强度预报与实况一致、基本一致的占 50%。在 500 hPa 高原或西北区有低值系统, 700 hPa 有西南涡或兰州涡, 850 hPa 盆地有涡, 则模式降水预报比实况偏小。在 500 hPa、700 hPa、850 hPa 都为青藏高原东部槽时模式降水前期偏小。在 500 hPa 青藏高原低值系统不强情况下, 700 hPa、850 hPa 在盆地及其附近有低涡, 模式后期降水预报迅速减弱。在 500 hPa 低值系统偏北, 700 hPa 兰州有低涡, 850 hPa 盆地弱南风情况下, 模式预报降水易漏报。模式预报强降水中心位置易偏北、偏西漂移明显。

3.2 η 模式降水预报修正

由上面分析说明, η 模式对青藏高原天气系统影响的降水预报偏小, 对雨区有漂移。这是由于青藏高原上探空资料少, 高原天气系统经客观分析后被弱化, 有时反映不出来, 所以导致降水预报偏少, 雨区漂移是由于对流层低层 850 hPa、700 hPa 都有低值系统活动, 低值系统活跃期低值系统移动慢, 与模式反映不协调造成的。

由分析发现, η 模式对不同青藏高原天气系统影响降水的偏离程度是不同的。在对流层低层 850 hPa、700 hPa 都有低涡或切变的情况下, η 模式对在青藏高原低涡、切变线影响四川盆地的降水预报,

比高原东部槽影响的预报得小; η 模式对高原切变线位置偏北影响四川盆地的降水预报比高原切变线偏南影响的小。在 500 hPa 上同一种高原低值系统影响四川盆地的情况下, 对流层低层 700 hPa、850 hPa 都有低涡影响四川盆地的降水预报比只有一层低涡的小。

分析还发现, η 模式对不同高原天气系统、不同对流层低层低值系统影响四川盆地强降水雨区漂移情况是不同的。在对流层低层 850 hPa、700 hPa 都有低涡或切变线情况下, η 模式对在高原切变线、低涡预报的雨区向北漂移没有高原东部槽向北漂移得多。在 500 hPa 上同一种高原低值系统影响四川盆地情况下, 对流层低层有低涡 η 模式预报雨区比切变线的向北漂移更多。

由上分析看出 η 模式对不同的高原天气系统、不同的对流层低层低值系统其预报四川盆地降水强度、落区与实况的差异是不同的。这里以风场资料对高原东部对流层中层低值系统及其附近对流层低层低涡、切变线、盆地南部偏南风作自动识别, 依据不同天气系统配置下, η 模式预报降水与实况的偏差程度, 对 η 模式预报降水量作后置处理, 即对雨区中心强度、雨区位置作修正。雨区内雨量修正的步骤是: (1) 判定预报雨区中心 (R_{\max}) 的订正值 (R_a)。 (2) 预报雨区内各点雨量订正, 按式 (3) 进行。后置处理的区域选为 $26^{\circ} \sim 33^{\circ} \text{N}$ 、 $100^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E}$, 比四川区域大, 使出现在四川以北的预报降水中心, 南退处理后出现在四川盆地, 弥补了原来‘无反应’的漏报现象。

$$R_b = \frac{R_a}{R_{\max}} \times R_i + R_i \quad (3)$$

式中 R_i 为 η 模式预报的雨区内任一点的雨量值, R_b 为修正点修正后的雨量值。

对雨区漂移的修正是以盆地南部 700 hPa 偏南风平均风速、风向对漂移区作南退处理。

3.3 预报格点雨量转化为站点雨量

采用权重方法、逐次订正法, 将 η 模式预报的格点雨量转化为站点雨量。权重方法

$$y_0 = \sum_{i=1}^n w_i y_i \quad (4)$$

y_0 为由 η 模式格点预报降水量插值到单站的降水量预报值。

y_i 为单站周围第 i 格点 η 模式数值预报产品格点降水预报值, w_i 为第 i 格点的权重系数

$$w_i = (R^2 - r_i^2) / (R^2 + r_i^2) \quad (5)$$

式中 R 为扫描半径, r_i 表示第 i 格点与 y_i 为单站

的距离, $r_i = r_{i0} / m$ (r_{i0} 为地图上的距离, m 为放大系数)。

逐次订正方法:

正插: 格点值⁰权重方法 单站值¹

反插: 单站值¹权重方法 格点值¹

$$\text{差值}^1 = \text{格点值}^0 - \text{格点值}^1$$

正插: 差值¹权重方法 单站差值¹

$$\text{单站值}^2 = \text{单站值}^1 + \text{单站差值}^1$$

反插: 单站值²权重方法 格点值²

$$\text{差值}^2 = \text{格点值}^0 - \text{格点值}^2$$

正插: 差值²权重方法 单站差值²

$$\text{单站值}^3 = \text{单站值}^2 + \text{单站差值}^2$$

单站值³ 即为 y_0

由上述分析、研究得出, η 模式释用强降水预报方法组成是: 高原天气系统与对流层中层、低层低值系统的识别、判别; η 模式预报 12~36 h 雨区的雨量强度, 雨区漂移修正; 预报格点雨量场到站点雨量场的转化。

3.4 四川盆地泥石流滑坡特征与气象条件

由对四川盆地泥石流、滑坡灾情收集分析^[13], 依据引发泥石流有三个重要条件^[14], 对 1991~2001 年产生四川盆地泥石流、滑坡的当日降水, 前期降水进行了分析, 得出如下认识:

1. 泥石流、滑坡主要发生在 6~8 月, 其中 7 月发生日数最多, 年均 3 d。

2. 泥石流、滑坡多发区在四川盆地西南部(名山、天全—石棉)。盆地近一半的县有可能发生泥石流、滑坡。岷江下游、沱江上、中游区域是无泥石流、滑坡区。

3. 泥石流、滑坡在 5~8 月有逐月从盆地东南部, 向西北推进, 到盆地西北部的趋势。

4. 泥石流、滑坡产生, 绝大多数伴有盆地内成片或大区域暴雨、大暴雨, 反映了四川盆地泥石流、滑坡与较大范围强暴雨有密切相关。

5. 由分析产生泥石流、滑坡县的日雨量看出, 以日雨量在 50~100 mm 占的比例最大。盆地西北部在大暴雨情况下发生泥石流、滑坡可能性最大; 盆地西南、中东部在大雨、暴雨情况下发生泥石流、滑坡可能性最大, 反映了泥石流、滑坡与当日强降水的触发作用关系密切。

6. 由泥石流、滑坡日的前期降水分析看出, 不同区域不同泥石流、滑坡日雨量与其前期不同降水有关, 其中与前 3 d 雨量或前 30 d 雨日相关较好, 反映了在不同的地质地貌条件下, 泥石流、滑坡日不同雨量等级有不同的前期降水条件。

以上认识为建立泥石流滑坡预测雨量标准打下了好的基础。

3 5 四川盆地泥石流滑坡预测雨量标准

根据地质地貌情况, 将四川盆地泥石流滑坡发生地分为四个区, 1 区为盆地西北部(地质为砂岩、砾岩夹泥岩, 地貌为中山向缓丘坪坝过渡区), 2 区为盆地中东部(地质为紫红色泥岩、砂岩夹泥灰岩, 地貌为红色深丘区), 3 区为盆地西南部(地质为板岩、千枚岩、下部夹巨砾岩, 三叠系下中统及原香溪群并层, 砂岩、砾岩夹泥岩, 灰岩、白云岩、大理岩等, 地貌为中山、低山), 4 区为盆地南部(地质为砂岩、砾岩、粘土夹褐煤, 地貌为红色浅丘)。岷江下游、沱江中下游为四川盆地的腹地, 是无泥石流区, 地质为河流冲积淤积, 地貌为平原。

四川盆地发生泥石流、滑坡灾害由当日降水和前期降水分析, 可归纳出泥石流、滑坡发生的预测雨量标准如下:

1. 在 η 模式释用预报日降水量在 200 mm 以上, 满足以下前期降水条件: 对在盆地西北部的站, 前 3 d 雨量 ≥ 100 mm 或前 30 d 雨日 ≥ 16 d, 则产生泥石流可能性很大。对盆地中东部、盆地西南部的前 30 d 雨日 ≥ 16 d, 产生泥石流可能性很大。对盆地南部的站, 前 3 d 雨量 ≥ 100 mm, 产生泥石流滑坡可能性很大。
2. 在 η 模式释用预报日降水量在 ≥ 100 mm < 200 mm, 而又满足上述前期降水条件, 则此站未来产生泥石流可能大。
3. 在 η 模式释用预报日降水量 ≥ 50 mm < 100 mm, 满足下列前期降水条件: 对在盆地西北部、南部的站, 前 3 d 雨量 ≥ 40 mm, 则产生泥石流可能性较大。对在盆地中东部的站, 前 3 d 雨量 ≥ 40 mm, 或前 30 d 雨日 ≥ 16 d, 则产生泥石流、滑坡可能性较大。对在盆地西南部的站, 前 3 d 雨量 ≥ 40 mm, 则产生泥石流、滑坡可能性较大。雅安、石棉、名山在预报雨量 ≥ 50 mm, < 100 mm, 则产生泥石流可能性较大。
4. 在预报日雨量 ≥ 30 mm < 50 mm, 对各区的站, 若前 30 d 雨量 ≥ 100 mm, 有可能产生泥石流, 否则无。

4 预报与检验

四川盆地泥石流、滑坡产生的强降水预报方法, 采用 Vb 语言编程, 安装在四川省气象台工作处理平台上试验运行(图 1)。

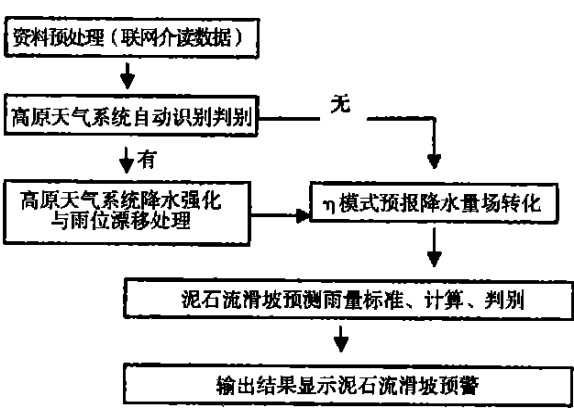


图 1 预报流程图
Fig. 1 The flow diagram of the forecasting

2003 年试验结果如下:

例 1: 08- 08 预报了 08- 09~ 10 四川省入汛后第一次大暴雨过程, 并预报了雅安、名山、天全有暴雨(日雨量分别为 70 mm、63 mm、73 mm)发生泥石流、滑坡可能性较大; 盆地西南部 17 个县市有发生泥石流、滑坡可能(图 2)。实况: 雅安、名山、天全发生了泥石流、滑坡产生(日雨量分别为 109.7 mm、143.8 mm、135.7 mm), 在预报的盆地西南 17 个县市中有 4 个县市发生了泥石流、滑坡灾害(图 3)。

例 2: 08- 29 预报了 08- 30(2003 年)四川省最强的一次大暴雨过程, 并预报雅安、名山(日降雨量分别为 111mm、102mm)产生泥石流、滑坡的可能

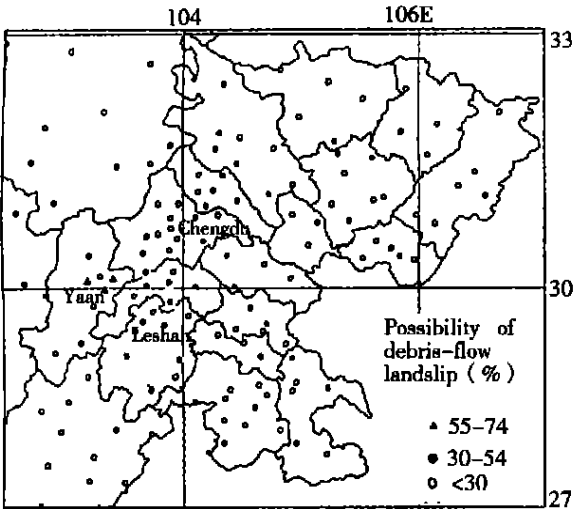


图 2 2003- 08- 08 泥石流滑坡预警图
Fig. 2 The pre warning figure of debris flow and landslide at 8th, August, 2003

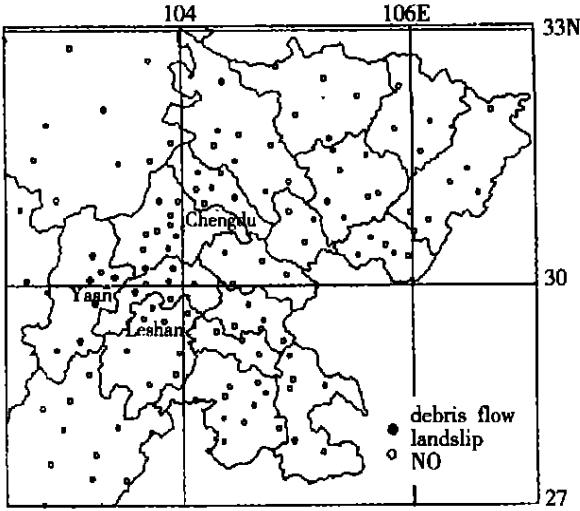


图 3 2003- 08- 09 泥石流滑坡实况图

Fig. 3 The actual situation of debris flow and landslide at 9th, August, 2003

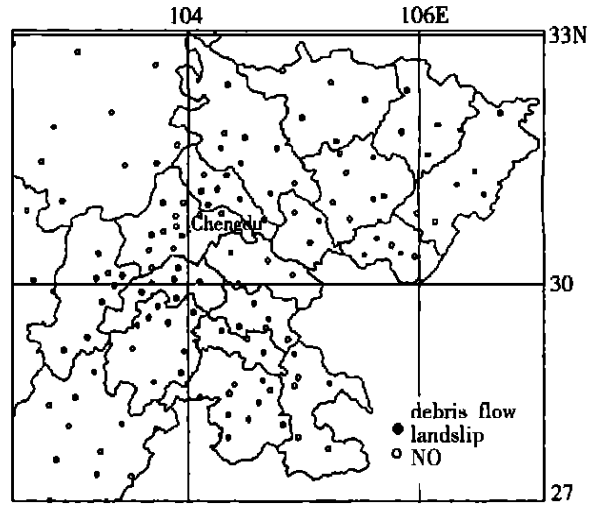


图 5 2003- 08- 30 泥石流滑坡实况图

Fig. 5 The actual situation of debris flow and landslide at 30th, August, 2003

性很大; 天全、荥经、石棉、乐山(日雨量分别为 63 mm、70 mm、88 mm、100 mm) 产生泥石流、滑坡可能性较大; 盆地西南部 17 个县、市有产生泥石流、滑坡可能性(图 4)。实况: 预报产生泥石流、滑坡可能性很大的雅安、名山(日雨量分别为 85.1 mm、55.8 mm) 产生了泥石流、滑坡; 预报产生泥石流、滑坡可能性较大的天全、荥经、石棉、乐山(日雨量分别为 54.7 mm、36.7 mm、46.4 mm、140.4 mm) 也产生了泥石流、滑坡; 在预报盆地西南部 17 个县、市中有 7 个县、市产生了泥石流、滑坡(图 5)。

例 3: 09- 05 预报了 09- 06 盆地西、盆地西南部乐山、雅安地区有暴雨, 雅安、名山、天全(日雨量分别为 88 mm、58 mm、60 mm) 有泥石流可能性较大(图 6)。实况: 盆地西南部有暴雨(乐山地区的井研、夹江、乐山为暴雨, 雅安地区大- 暴雨, 雅安、名山、天全日雨量分别为 37.1 mm、18.8 mm、28.2 mm), 雅安的汉源县、巴中县(日雨量分别为 37.2 mm、126.6 mm) 产生了泥石流、滑坡, 雅安、名山、天全没有产生。这次预报泥石流、滑坡不理想(图 7)。

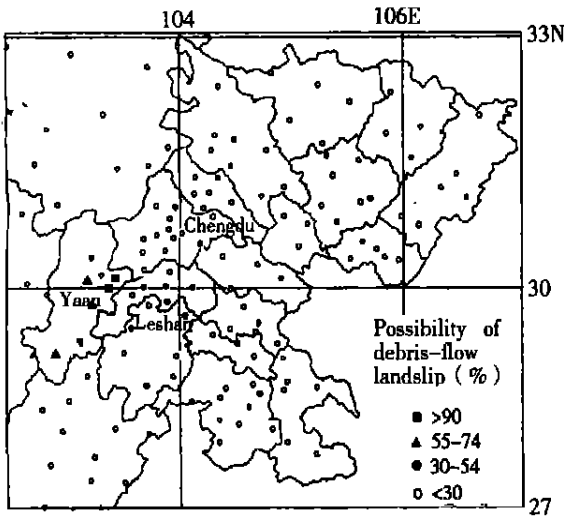


图 4 2003- 08- 29 泥石流滑坡预警图

Fig. 4 The pre-warning figure of debris flow and landslide at 29th, August, 2003

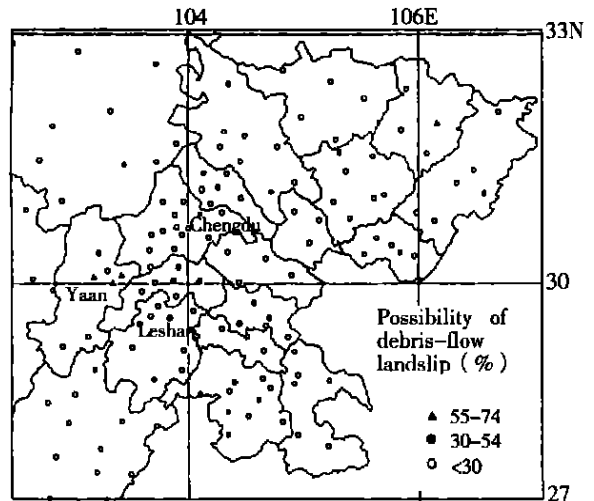


图 6 2003- 09- 05 泥石流滑坡预警图

Fig. 6 The pre warning figure of debris flow and landslide at 5th, September, 2003

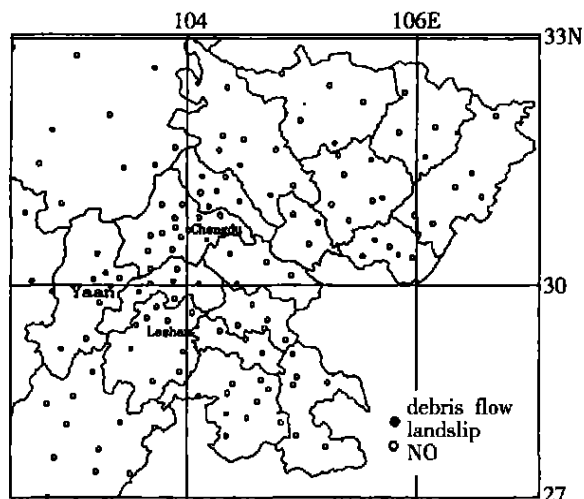


图 7 2003-09-06 泥石流滑坡实况图

Fig. 7 The actual situation of debris flow and landslide at 6th, September, 2003

从 2003 年预报试验效果看, 四川盆地泥石流、滑坡预报方法预报成功率较高(以县统计为 43.5%), 在业务服务、防灾减灾中发挥了很好的作用。

5 小结

1. 泥石流、滑坡预报与强降水预报关系密切, 但不是单一的强降水预报, 前期降水对山地形成大量固体颗粒的堆积物有重要影响。因此在分析产生泥石流、滑坡当日降水量与前期降水量基础上, 根据不同地质地貌条件建立泥石流、滑坡预测雨量标准, 是很必要的。

2. 由于青藏高原探测资料的限制, 目前数值预报对高原及其邻近地区预报正确率低。因此在高原及其邻近地区模式产品释用中, 需重视: 一是选择一个对高原及其邻近地区特殊地形处理较好的模式, 二是在模式产品释用中, 对高原及其邻近地区特殊地理环境下的天气系统要作特殊处理, 高原天气系统影响降水的强化与雨区漂移处理是本预报方法的关键技术。

3. 四川盆地泥石流、滑坡产生的强降水预报方法是根据盆地内地质地貌分区, 由 1 模式释用强降水预报方法和四川盆地泥石流、滑坡预测雨量标准结合组成的, 体现了这一灾害预报方法是多种自然条件的组合, 具有多学科交叉的特点。

4. 四川盆地泥石流、滑坡产生的强降水预报方

法在 2003-08-09 业务应用中预报效果较好, 但由于试运行时间短, 有待日后在应用中不断完善。

致谢: 周天军博士、Dr. T. Beer 为本文修改提出了宝贵的意见, 潘建华与地区气象台的同志提供了灾情资料, 在此一并表示感谢。

参考文献 (References):

- [1] Deji Li. The theory and practice of debris flow to lighten the disasters [M]. Beijing: Science Press, 1997. 3~ 8. [李德基. 泥石流减灾理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 3~ 8]
- [2] Xiaoqing Chen, Fangqiang Wei, Peng Cui *et al.*. The prevention and cure to the heavy debris flow and landslide in Xiping, Yunan on 14th, August, 2002 [J]. *Journal of mountain science*, 2003, 21(5): 599~ 604. [陈晓清, 韦方强, 崔鹏, 等. 云南新平 2002-08-14 特大滑坡泥石流灾害及防治对策 [J]. 山地学报, 2003, 21(5): 599~ 604.]
- [3] Wangpei Tan, Chenghua Wang, Lingkan Yao *et al.*. The prediction and forecasting of debris flow and heavy rain storm [M]. Chengdu: Sichuan Science Press, 1994. [谭万沛, 王成华, 姚令侃, 等. 暴雨泥石流滑坡的预测与预报 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.]
- [4] Ruren Nu, Dejili, Wanpei Tan, *et al.*. Mountain disaster and mountain environment [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2001. 1~ 62. [吕儒仁, 李德基, 谭万沛, 等. 山地灾害与山地环境 [M]. 成都: 四川大学出版社, 2001, 1~ 62.]
- [5] Fangqiang Wei, Kaheng Hu, Peng Cui *et al.*. The forecasting model of debris flow in different loss condition [J]. *Journal of mountain Science*, 2002, 20(1): 97~ 102. [韦方强, 胡凯衡, 崔鹏, 等. 不同损失条件下的泥石流预报模型 [J]. 山地学报, 2002, 20(1): 97~ 102.]
- [6] Binghua Li, Chaoying Lin. The application of now-casting in forecast of geologic city disasters [A]. The specially invited report on annual academic meeting of China Meteorological Society [C]. 2003: 27~ 31. [李炳华, 林超英. 临近预报在预测城市地质灾害中的应用 [A]. 中国气象学会 2003 年会特邀报告集 [C]. 27~ 31.]
- [7] Lixian Wang, Zhiming Yu. The forecasting of debris flow and mountain flood [M]. Beijing: China Forest Press, 2001. [王礼先, 于志民. 山洪及泥石流灾害预报 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.]
- [8] Wood, W. J.. Los Angeles Country flood control system and the early 1969 storms [J]. *Civil Engineering*, 1970, 40(1): 58~ 61.
- [9] Eldeen, M. T.. Predisaster Physical Planning: Interpretation of disaster risk analysis into physical Planning: A case study in Tunisia [J]. *DISASTERS*, 1980, 4(2): 211~ 222.
- [10] Black, T., Z. Janjic. Preliminary forecast results from a step-mountain 11 coordinate regional model [A]. 8th conference on numerical weather prediction [C]. 1988 Feb 22~ 26, 1988, Baltimore, Maryland: 442~ 447.
- [11] Mesinger, f.. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric model [J]. *Riv. Meteor. Aeronautics*, 1984, 44: 195~ 202.

- [12] Shuhua Yu, Guangbi He. The numerical experiment on influence of middle-to-up level moisture in troposphere to formation of Plateau vortex[J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2001, **24** (4): 199~ 204. [郁淑华, 何光碧. 对流层中上部湿度对高原低涡形成影响的数值试验[J]. 南京气象学院学报, 2001. **24**, (4): 199~ 204.]
- [13] Shuhua Yu. Analyses on spatial+Temporal Characteristics of debris flow and landslide in Sichuan Basin and its meteorological cause[J]. *Plateau Meteorology*, 2003, **22**(suppl.): 83~ 89. [郁淑华. 四川

盆地泥石流滑坡时空分布特征与气象成因[J]. 高原气象, 2003. **22** (增刊): 83~ 89.]

- [14] Deji Li, Ruren Nu, Bangxing Tang *et al.*. The preventions and debris flow channel of Lizhida, Ganluo county, Sichuan[A]. The collected works of debris flow preventions meeting[C]. Chongqing: Science and Technology document Press, 2001. 34~ 39. [李德基, 吕儒仁, 唐邦兴, 等. 四川甘洛利子达泥石流沟及其防治[A], 全国泥石流防治经验交流会文集[C]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1983. 34~ 39.]

A Precipitation Forecast Method and Rainfall Standard of Debris Flow and Landslips Happening ——Exemplar as Sichuan Basin

YU Shuhua¹, HE Guangbi¹, XU Huiming², GAO Wenliang¹

(1. *The Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610072, China;*

2. *Sichuan Provincial Meteorological Observatory, Chengdu 610072, China*)

Abstract: Through analyzing the rainfall product of the η numerical model, we discovered that when the rain in Sichuan Basin is caused by the Tibet Plateau weather systems, the rainfall forecast of the η model differs more or less from the observation in both rain volume and rain area, usually much smaller in volume and further northwest in location. By applying wind data to distinguish the Plateau weather systems automatically on computer and correcting η model's rainfall forecast in volume and location, we first develop a set of Forecast Method of Heavy Rain. Then according to the different geology and geomorphology in Sichuan Basin, the Prediction Rainfall Standard of Debris Flow & Landslip based on the analysis of the meteorological causes(Heavy Rain) of the debris flow and landslide during 1991– 2001 was established. Finally, through combining these two methods, the Precipitation Forecast Method of Debris flow & Landslip happened is formed. The method did a good job in its trial run in 2003. It predicted successfully debris flows and landslips incited by three severe torrential rains in western and southwestern Sichuan Basin.

Key words: debris flow and landslips; precipitation forecast method; rainfall standard