

石莉莉, 黄栋, 乔建平, 等. 塔子坪滑坡治理前后危险性对比[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 124-128, 140. [SHI Lili, HUANG Dong, QIAO Jianping, et al. Risk Assessment Comparison Between Tazhiping Landslide Before and After Treatment [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(2): 124-128, 140. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.02.021.]

塔子坪滑坡治理前后危险性对比^{*}

石莉莉¹, 黄 栋^{2,3}, 乔建平^{2,3}, 张 晶⁴, 何宇琼⁴, 李 虎¹

(1. 成都市地质环境监测站, 四川 成都, 610042; 2. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041;
3. 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;
4. 成都科佳工程管理有限公司, 四川 成都 610041)

摘 要:通过对塔子坪滑坡地质条件与力学参数进行调查和分析, 利用有限体积法, 在充分考虑滑坡-碎屑流运动过程中流态化性质的基础上引入流变模型, 借助于GIS平台对塔子坪滑坡治理前后的运动全过程进行模拟, 给出了滑坡运动过程中堆积体厚度、速度、压力等运动特征参数, 并结合滑坡空间尺度的危险性评价指标, 对塔子坪滑坡治理前后的危险性进行三维分区成图。计算结果表明: 塔子坪滑坡工程治理前后的危险区范围发生明显改变, 尤其是高危险区面积减小最为显著约为治理前面积的三分之二, 且防治后的运动特征参数减小为防治前的三分之一。因此, 塔子坪滑坡虽然进行了工程防治, 但局部区域仍处于高危险度区, 建议处于高危险度区房屋进行搬迁或加强防护。

关键词:有限体积法; 流变模型; 运动特征参数; 危险性评价

中图分类号: X43; P 642.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)02-0124-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.02.021

滑坡危险性包括滑坡的影响范围(滑坡源区、可能滑动路径区或滑坡向后和侧向扩展区)以及次生灾害, 如水库涌浪、气浪、滑坡堰塞湖等的危险性。典型滑坡危险性评估旨在就某一给定的位置、或一个一个潜在的滑坡, 提出一个系统的危险性评估的方法。目前, 国内外对典型滑坡危险性评价这一研究领域还不成熟, 不同的学者对滑坡灾害危险性的认识角度也不一样。其中, 滑坡的影响范围预测是对滑坡变形、失稳特征的简称, 其基本问题是滑坡运移距离、运动速度、堆积厚度范围等。滑坡体运动行为与滑坡发生和运移机制、坡体特征、滑坡体运移路径等因素有关。目前, 滑坡运动预测的主要方法有经验预测法和数值模拟法。

经验预测法主要通过野外收集滑坡特征参数和运动路径, 分析各参数之间的关系, 通过多元回归分析构建滑坡运动距离公式。主要包括: 地貌法^[1-3]、几何改变法^[4-6]、体积改变法^[7]。经验模型通常比较简单, 易于运用, 模型所需要的数

据也比较容易获得。数值模拟法是一种离散的近似法, 通常被分为连续变形分析法^[8-11]、非连续变形分析法^[12-13]、简化解析模拟法^[14-15]。数值模拟方法通常把原本空间、时间坐标下连续的物理量通过有限离散点上的数值几何来表示, 依据一定的准则建立起这些值的代数方程组, 以获得对应物理量的近似解。

经验预测模型只能对滑坡的运移路径进行简单的预测, 且模型的预测结果与实际测量结果有时并不能很好吻合; 此外, 由于不同研究区的地质环境存在差异, 模型的通用性较差。连续变形方法的优势是其复制能力极强, 但在滑坡碎屑流、火山泥流、泥石流等情况不推荐使用, 因为这些流动物质有复杂的流变特性。非连续变形的流体力学的方法计算滑坡运动的过程, 存在计算量大、参数选取困难等不足, 且难以进行三维实现。简化解析模拟法基于连续流体力学, 充分考虑滑坡流态性质的基础上引入流变模型, 且易于在GIS平台进行三维实现。因此, 本文采用基于连续流体

^{*} 收稿日期: 2016-10-10 修回日期: 2016-12-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41301009, 41301587); 科技部国际合作资助项目(2013DFA21720)

第一作者简介: 石莉莉(1980-), 女, 甘肃酒泉人, 博士, 研究方向为滑坡风险评价、滑坡预警系统研究。

E-mail: 494138820@qq.com

通讯作者: 黄栋(1980-), 男, 湖北黄石人, 博士, 研究方向为滑坡灾害形成机制、危险性评价和预警报技术。

E-mail: dhuang@imde.ac.cn

力学的有限体积法(简化解析模拟法), 在用质量守恒、动量守恒和能量守恒方程来描述滑坡的运动状态的基础上引入流变模型, 借助于 GIS 分析平台对塔子坪滑坡治理前后的运动全过程进行模拟, 建立塔子坪滑坡治理前后的危险性分区图。

1 动力学分析法

采用基于连续流体力学的有限体积法, 考虑滑坡-碎屑流运动过程中滑体下表面的侵蚀作用及摩擦阻力的变化, 建立滑坡-碎屑流运动过程计算模型。其基本思路是: 将计算区域划分为一系列不重复的控制体积, 并使每个网格点周围有一个控制体积; 将待解的微分方程对每一个控制体积积分, 便得出一组离散方程。其中的未知数是网格点上的因变量的数值。为求出控制体积的积分, 必须假定值在网格点之间的变化规律, 即假设值的分段的分布剖面。就离散方法而言, 有限体积法较好地克服了有限单元法方法计算速度慢的缺点, 同时解决了有限差分方法对复杂区域处理的问题。因此, 基于有限体积法, 将滑坡体划分为小尺度的计算单元, 模拟滑坡在地形控制条件下的运动过程, 建立滑坡滑动过程计算的运动学模型。

有限体积法的核心体现在区域离散方式上, 其实质是利用有限离散点代替连续空间。有限体积法的基本思路易于理解, 并能得出直接的物理解释。离散方程的物理意义, 就是因变量在有限大小的控制体积中的守恒原理, 如同微分方程表示因变量在无限小的控制体积中的守恒原理一样。守恒方程的建立基于连续性运动模型的基本理论, 即对滑坡物质的连续性假设。因此, 将滑坡体划分为一系列单元, 假设每一单元在深度上的速度、密度等运动参数及物理力学参数一致(图 1)。针对每一个控制体建立基于欧拉坐标系统的守恒公式。

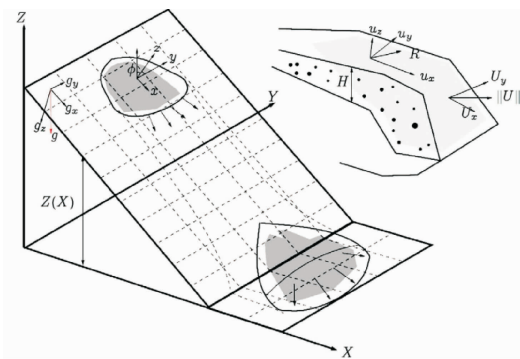


图 1 有限体积离散示意图

1.1 控制方程

计算域定义为 x 和 y 坐标, 地形高程被赋予坐标 $z(x, y)$ 。设 $H(x, y, t)$ 为崩滑体厚度随时间的变化关系; $U_x(x, y, t)$ 和 $U_y(x, y, t)$ 分别为 t 时刻崩滑体 x 和 y 方向上平均运动速度; $n_x = U_x / \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$ 和 $n_y = U_y / \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$ 为崩滑体在 $x-y$ 平面上余弦和正弦的流动矢量; 定义崩滑体的平均流速 $U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$ 。

因此, 质量平衡方程为:

$$\partial_t H + \partial_x (H U_x) + \partial_y (H U_y) = \dot{Q} \quad (1)$$

式中: $\dot{Q}(x, y, t)$ 为崩滑体体积随时间的变化率(夹带率)。

设 $l(x, y, t)$ 为崩滑体随时间的运动距离, 因此可得:

$$\dot{Q} = \begin{cases} 0, & \text{if } h_i = 0 \\ \frac{\rho_i}{\rho_a} h_i \frac{U}{l}, & \text{if } k_i l \geq h_i; \\ \frac{\rho_i}{\rho_a} h_i \frac{U}{l}, & \text{if } k_i l \geq h_i; \\ \frac{\rho_i}{\rho_a} k_i U, & \text{if } k_i l < h_i. \end{cases} \quad (2)$$

式中: h_i 为崩滑体运动过程中第 i 层的厚度; ρ_i 为崩滑体运动过程中第 i 层的密度; ρ_a 为崩滑体的密度; 无量纲参数 k_i 为夹带率。

动量平衡方程为:

$$\begin{aligned} \partial_t (H U_x) + \partial_x (H U_x^2 + \frac{g_x k_{a/p} H^2}{2}) + \partial_y (H U_x U_y) \\ = S_{gx} - S_f(R) [n_x]; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \partial_t (H U_y) + \partial_y (H U_y^2 + \frac{g_y k_{a/p} H^2}{2}) + \partial_x (H U_x U_y) \\ = S_{gy} - S_f(R) [n_y]. \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $S_{gx} = g_x H$ 和 $S_{gy} = g_y H$ 为 x 和 y 方向重力加速度动力分量; $g = (g_x, g_y, g_z)$ 为重力加速度矢量; $k_{a/p}$ 为土压力系数; ρ_a 为崩滑体的密度; 无量纲参数 k_i 为夹带率; $S_f(R)$ 为摩阻力。

动能平衡方程为:

$$\partial_t (H R) = \partial_x (H R U_x) + \partial_y (H R U_y) = \dot{P} - \dot{D} \quad (5)$$

式中: $R(x, y, t)$ 为崩滑体随机平均动能; $\dot{P}(x, y, t)$ 和 $\dot{D}(x, y, t)$ 为崩滑体随机增减动能。

1.2 本构关系

采用 Voellmy 流变模型, 在滑坡滑动距离的计算模拟中应用广泛, 尤其对于滑体物质含水量较大的碎屑流质滑坡, 计算公式如下:

$$S_f = \left[\mu(R) g_z H + \frac{g(U_x^2 + U_y^2)}{\xi} \right] \quad (6)$$

式中: μ_0 为库伦摩擦系数; ξ 为“湍流”粘性摩擦系数。库伦摩擦系数与 $R(x, y, t)$ 崩滑体随机平均动能相关。

1.3 本构关系

联立控制方程(1)(3)(4)和(5)可得非线性双曲线方程简写为:

$$\partial_t V + \nabla \cdot F(V) = G(V) \quad (7)$$

式中: $V(x, y, t)$ 包含四个未知向量变量; $V^T(x, y, t) = (H, HU_x, HU_y, HR)$; $F(V)$ 为通量函数; $G(V)$ 为原项。用有限体积法 HLLE 方程^[18]对式(7)进行求解, 可求得运动过程中任意时刻崩滑体的厚度、速度、压力。

2 塔子坪滑坡危险性预测

2.1 塔子坪滑坡

塔子坪滑坡位于四川省都江堰市龙池镇, 白沙河右岸, 其地貌单元为中山构造侵蚀区, 属白沙河谷右岸斜坡地貌。塔子坪滑坡坡度为 $25^\circ \sim 40^\circ$, 平均坡度约为 32° , 为汶川地震触发的堆积层滑坡。滑坡圈椅轮廓明显, 已形成陡直的后缘壁, 后缘壁坡度为 $35^\circ \sim 50^\circ$, 标高在 1 370 m 左右; 前缘位于山路南侧, 高程在 1 007 m 左右。滑坡高差约为 363 m, 主滑方向为 124° 。滑体呈不规则半椭圆形, 纵向长度约为 530 m, 平均宽度 145 m, 滑坡面积约 7.68 万 m^2 。滑体主体为碎石土, 表层覆盖粉质粘土夹碎石, 空间分布具有中部厚, 侧缘薄的特点, 厚度在 20 ~ 25 m, 体积约为 116 万 m^3 , 属于大型滑坡(图 2)。

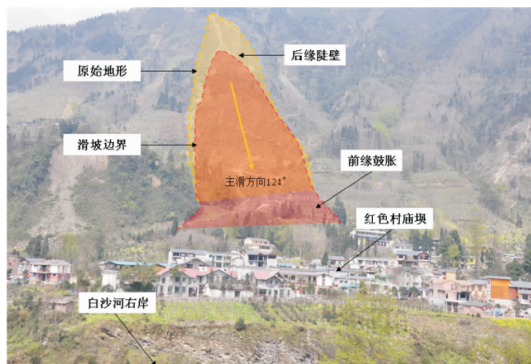


图2 塔子坪滑坡

滑坡体为松散滑坡堆积物含有较多的碎石及充填物粉质粘土, 结构松散, 透水性强, 有利于地表水沿结构面下渗。地震使该滑坡的变形加剧, 也使坡体堆积物更趋松散化, 进而降低了坡体的稳定性。在暴雨或持续降雨期间, 地表水易沿坡体松散结构面下渗, 导致坡体内水压力增大并软

化滑面抗剪强度。因此, 降雨是塔子坪上方滑坡变形失稳的主要诱发因素, 降雨通过松散层的孔隙入渗、运移, 使得坡体饱水, 增加滑体自重, 入渗至滑带中, 降低滑带土的抗剪强度, 入渗至滑坡体中增大了上层滞水渗透压力, 促使滑体变形, 乃至滑动, 并对滑坡前缘的村庄安全造成极大威胁。目前, 该斜坡已采用抗滑桩和回填土压实坡脚综合治理的方法, 抗滑桩对增强滑坡的整体稳定性效果显著, 但强降雨的作用下滑坡中上部松散堆积体存在从抗滑桩上部跃顶剪出的可能性。

因此, 基于有限体积法, 模拟塔子坪滑坡治理前后发生破坏时可能存在的运动状态, 并对其运动过程中的动力学参数进行对比分析, 建立塔子坪滑坡治理前后的危险性分区图。

2.2 治理前的危险性预测

工程治理前假设滑坡整体破坏。实地调查估算滑动体的启动体积约为 60 万 m^3 , 平均厚度为 8 m。根据勘察报告及实地调查情况^[16], 本文采用表 1 中的参数进行模拟计算。

表 1 模型计算参数

容重 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	库伦模型 系数 u	粘性摩擦系数 ξ / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	侵蚀夹 带率 k_i
20.8	0.45	500	0.0001

滑坡堆积体运动特征参数如图 3 所示。计算结果可知: ①滑坡运动过程中堆积体的最大厚度高达 23.85 m 位于斜坡中上部坡体表面冲沟处, 中下部堆积体厚度约为 5 ~ 10 m 之间; ②滑坡堆积体中下部运动速度在 3 ~ 7 m/s 之间; ③运动过程中滑坡平均压力约为 500 kPa, 中下部堆积体的压力约为 200 kPa。因此, 可以认为堆积范围内三层楼以下的房屋有被淤埋的危险, 并且建议将堆积体中上部房屋的山墙的设计强度提高到 300 kPa 以上。

2.3 治理后的危险性预测

在充分考虑抗滑桩及堆土的作用下, 利用 Morgenstern - Price 法^[17]计算塔子坪滑坡治理之后的稳定性系数。取饱和状态下的物理力学参数^[16], 收索滑坡的滑动面。计算结果表明: 降雨条件下, 塔子坪滑坡中部部分区域处于不稳定状态。滑坡中部松散堆积物可能转化为含水量较大的碎屑流质物质滑动破坏, 并从抗滑桩上部跃顶剪出。破坏区域斜坡后缘壁标高约在 1 170 m 左右; 前缘位于山路南侧, 高程在 1 070 m 左右, 长度约为 180 m。因此, 可以估算降雨破坏部分规模约为 25 万 m^3 , 平均厚度约为 6 m。采用表 1 的参数进行模拟计算。

图 3 给出了滑坡堆积体运动特征参数。计算结

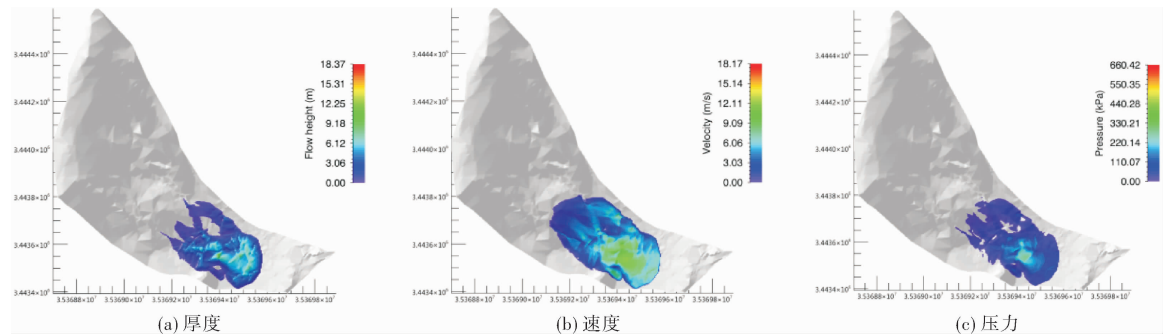


图3 塔子坪滑坡运动特征参数(治理后)

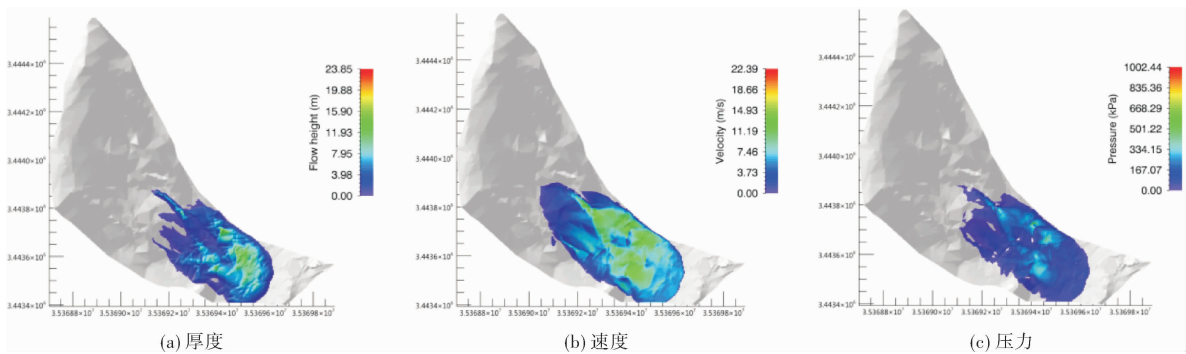


图4 塔子坪滑坡运动特征参数(治理前)

表2 塔子坪滑坡危险性预测分区表

危险区级别	评价指标/m	建筑物损毁 概率/%	治理前 面积/m ²	治理后 面积/m ²	增、减 面积/m ²	建筑物损坏特征
低危险区 (Ⅰ)	$h \leq 0.5$	20	44600	38748	-5852	一层楼的房屋有被损坏的可能性； 滑坡体上的房屋局部损坏。
较低危险区 (Ⅱ)	$0.5 < h \leq 1$	50 ~ 20	24900	26400	+1500	一层楼的房屋有被冲毁破坏的可能 性很大；滑坡体上一层楼的房屋完 全损坏。
中等危险区 (Ⅲ)	$1 < h \leq 3$	80 ~ 50	21980	15856	-6124	一~三层楼的房屋被冲毁破坏的可 能性很大；滑坡体上低于三层楼的 房屋完全损坏。
较高危险区 (Ⅳ)	$3 < h \leq 5$	100 ~ 80	30820	19636	-11184	一层楼的房屋有被淤埋的危险，二 ~六层楼的房屋被冲毁破坏的可能 性很大；滑坡体上房屋完全损坏。
高危险区 (Ⅴ)	$h \geq 5$	100	47240	13052	-34188	二层及以下的房屋有被淤埋的危险， 三层及以上的房屋被冲毁破坏的可 能性很大；滑坡体上房屋完全损坏。
总面积	—	—	169540	113700	-54340	—

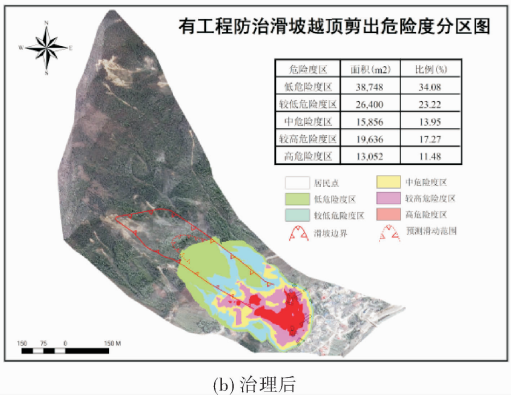
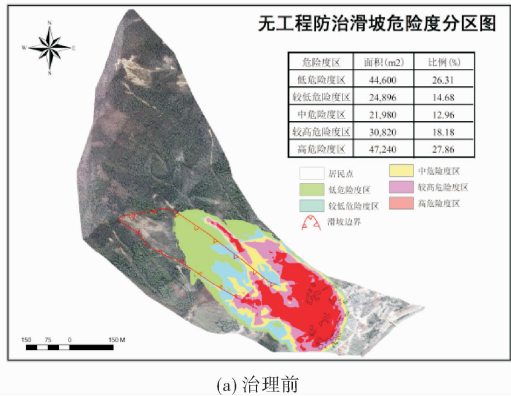


图5 塔子坪滑坡危险性分区对比

果表明:①滑坡运动过程中堆积体最大厚度为 18.37 m 位于斜坡中上部坡体表面冲沟处,中下部堆积体厚度约为 3~5 m;②滑坡中下部运动速度在 3~5 m/s 之间;③运动过程中滑坡平均压力约为 330 kPa,中下部堆积体的压力约为 100 kPa。因此,可以认为堆积范围内二层楼以下的房屋有被淤埋的危险,建议将堆积体中上部房屋的山墙的设计强度提高到 150 kPa 以上。

对比治理前的情况(图 4),堆积体的堆积厚度、压力减小约为二分之一,运动速度减小约三分之一。但红色村庙坝居民点部分区域仍然处于危险中。

3 塔子坪滑坡危险性分区

滑坡运动阶段,滑坡体的空间尺度指标包括面积、体积及厚度等。对于建筑物而言,其所在位置处的滑体运动过程中的最大厚度是影响其变形破坏状况的直接因素之一。滑坡厚度范围内的深部位移可能导致建筑物掩埋、倾覆或变形破坏,从而影响建构物的安全稳定性。因此,滑坡厚度是滑坡灾害危险性评价的重要指标,同时也是影响承灾体灾害后果的重要因素。表 2 给出了基于滑坡厚度分级的滑坡危险性分区表,其中滑体厚度反映了建筑物遭受的滑坡灾害时的抵抗滑坡灾害的能力以及损坏概率等。对比塔子坪滑坡工程治理前后的危险区范围减小了约三分之一,其中高危险区面积减小最为显著减小约为治理前面积的三分之二。

图 5 给出了有无工程防治的塔子坪滑坡危险性分区图。由图 5 可知,塔子坪滑坡工程治理前后的危险区范围发生明显改变,尤其是高危险区面积减小最为显著。工程治理前滑坡对庙坝居民点上部左侧 8 栋房屋影响较大,治理后这种影响下降到 4 栋房屋。由此可见,虽然进行了工程防治,但局部区域仍处于高危险度区域。

4 结论

(1)基于有限体积法,对塔子坪滑坡运动过程的模拟结果与滑坡实际调查预测滑动路径基本一致。这也表明了数值模拟方法对于滑坡-碎屑流运动过程研究的有效性。对比塔子坪滑坡治理前后滑坡体运动特征参数,有工程防治情况下滑坡堆积体的堆积厚度、压力减小约为二分之一,运动速度减小约三分之一。但红色村庙坝居民点局部区域仍然处于危险中。堆积区内二层楼以下的房屋有被淤埋的危险,建议将堆积体中上部房屋的山墙的设计强度提高到 150 kPa 以上。

(2)借助于 GIS 平台,结合滑坡空间尺度的危险性评价指标,对塔子坪滑坡工程治理前后的危

险性进行三维分区。结果显示塔子坪滑坡工程治理前后的危险区范围发生明显改变,尤其是高危险区面积减小最为显著减小约为治理前面积的三分之二。工程治理前滑坡堆积体对庙坝居民点上部左侧 8 栋房屋影响较大,治理后这种影响下降到 4 栋房屋。因此,虽然进行了工程防治,但局部区域仍处于高危险度区。建议处于高危险度区域房屋进行搬迁或加强防护。

致谢:实验工作在国土资源部成都龙门山地震扰动区地质灾害野外科学观测研究基地完成,对此谨致谢意。

参考文献:

- [1] Costa J E. Physical geomorphology of debris flows. Developments and Applications of Geomorphology [J]. Springer Press, 1984: 268-317.
- [2] Jackson L E, Kostashuk R A, MacDonald G M. Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky mountains [J]. Geological Society of America, 1987, 7: 155-124.
- [3] Scott K M, Vallance J W. History of Landslides and Debris Flows at Mount Rainier: Water Fact Sheet [D]. USGS Open-File Report; 1993: 93-111.
- [4] 张倬元,王石天,王兰生,等.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1993:212-224.
- [5] Finlay P J, Mostyn G R, Fell R. Landslide risk assessment: prediction of travel distance [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1999, 36: 556-562.
- [6] Michael L M, Baynes F, Scott G, et al. Regional landslide risk to the Cairns community [J]. NatHazards, 2003, 30(2): 233-249.
- [7] Fannin R J, Wise M P. An empirical-statistical model for debris flow travel distance [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2001, 38(5): 982-994.
- [8] Hungr O A. Model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows and avalanches [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1995, 32: 610-623.
- [9] Evans S G, Tutubalina O V, Drobyshev V N, et al. Catastrophic detachment and high-velocity long-runout flow of Kolka Glacier, Caucasus Mountains, Russia in 2002 [J]. Geomorphology, 2009, 105: 314-321.
- [10] 张远娇.高山峡谷区典型高速远程滑坡-碎屑流动力特性模拟研究[D].上海:上海交通大学,2013.
- [11] 王磊,李滨,高杨,等.大型厚层崩滑体运动特征模拟研究:以重庆武隆县羊角场镇大巷危岩为例[J].地学前缘,2016,23(2): 251-259.
- [12] Shi G H. Discontinuous deformation analysis-a new numerical model for the statics and dynamics of block system [D]. Berkeley: University of California, 1988.
- [13] 殷坤龙,姜清辉,汪洋.滑坡运动过程仿真分析[J].地球科学——中国地质大学学报,2002,27(5): 632-636.
- [14] Sassa K. Landslide dynamic-risk assessment technology of rain and earthquake induced rapid landslides [C]//ICL-CGS Seminar on Geo-hazards in Xi'an, 2011.
- [15] 杜娟,殷坤龙,王佳佳.基于有限体积法的滑坡-碎屑流三维运动过程模拟分析[J].岩石力学与工程学报,2015,34(3): 480-488.
- [16] 河北水文工程地质勘察院.都江堰市虹口乡红色村塔子坪上方滑坡应急勘查报告[R].石家庄:河北水文工程地质勘察院,2010.
- [17] Morgenstern N R, Price V E. The analysis of the stability of general slip surfaces [J]. Geotechnique, 1965, 15(1): 79-93.
- [18] LeVeque R. Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems [M]. Cambridge Texts in Applied Mathematics Cambridge University Press, 2002.

(下转第 140 页)

- [6] 高建秋, 王刚, 林俊君, 等. 广州亚运开幕日人工消雨作业的物理响应分析[J]. 广东气象, 2014, 36(5): 51-54.
- [7] 孙玉稳, 孙云, 吴志会, 等. “4·17”森林灭火飞机增雨过程分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(34): 92-101.
- [8] 张蕾, 何晖, 刘建忠, 等. 北京 2008 年奥运会开幕式人工消雨作业[J]. 气象, 2009, 35(8): 5-17, 131-133.
- [9] 高建秋, 冯永基, 赵博, 等. 基于广州亚运期间降水特征分析的人工消雨防线设计[J]. 广东气象, 2010, 32(4): 30-32.
- [10] 陈文. 文山 50 年州庆期间人工消减雨作业方案[C]//中国气象学会, 北京: 气象出版社, 2008: 94-95.
- [11] 徐敏. 天津港 8·12 特别重大火灾爆炸事故现场特点[J]. 城市与减灾, 2015(5): 9-12.

Design and Realization for Artificial Rain Mitigation Operation Service Scheme in Explosion Accident of Tianjin Port

MENG Hui^{1, 2, 3}, SONG Wei¹, WANG Wan¹ and WANG Ping⁴

(1. *Tianjin Weather Modification Office, Tianjin 300074, China*; 2. *China Meteorological Administration and Jilin Province Government Weather Modification Joint Laboratory, Changchun 130062, China*; 3. *Key Laboratory of Meteorological and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China*; 4. *School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China*)

Abstract: After the serious fire and explosion accident on August 12, it's a great challenge for rescue and disposal works. Scientific rescue could avoid secondary disasters and rescue personnel casualties. Not only emergency meteorological service but also weather modification works has met new challenges. Based on the analysis for weather modification works in this severe fire and explosion accident, artificial rain mitigation operation experimental scheme is designed. The major work contents, procedure, arrangement of operation line, operation time, seeding location, and catalyst dosage and operation mode are all given in this scheme. The weather modification services are evaluated. Effective percentage of artificial rain mitigation operation is 37.5% during the trial. These works could provide reference for weather modification service of emergencies.

Key words: emergency; explosion accident; weather modification; artificial rain mitigation operation

(上接第 128 页)

Risk Assessment Comparison between Tazhiping Landslide before and after Treatment

SHI Lili¹, HUANG Dong^{2, 3}, QIAO Jianping^{2, 3}, ZHANG Jing⁴, HE Yuqiong⁴ and LI Hu¹

(1. *Chengdu Institute of Geo-Environment Monitoring, Chengdu 610042, China*; 2. *Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China*; 3. *Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chengdu 610041, China*; 4. *Ke Jia Engineering Management Co. Ltd, Chengdu 610041, China*)

Abstract: Through investigating and analyzing the geological conditions and mechanical parameters of Tazhiping landslide, the finite volume method was adopted, and, taking into account the rheological model was adopted to simulate landslide and avalanche entire mass movement process. We adopt GIS platform to simulate the entire mass movement process of Tazhiping landslide before and after treatment; also provide the conditions and characteristic parameters of the soil deposits(thickness, speed, stresses, etc.) during the landslide mass movement process and mapped the 3D division of risks before and after landslide treatment based on the risk evaluation indexes of landslides on the spatial scale. The results indicated that extend of the risk zones changed before and after the engineering of the landslides, particularly, the area of high-risk zones was significantly reduced (to about 2/3 of the area before treatment), and the characteristic parameters of the mass movement process after treatment decreased to 1/3 of those before treatment. Although engineering treatment had been provided, these landslides still created local high-risk zones, and therefore, it was proposed that houses located in high-risk zones be relocated or reinforced for protection.

Key words: finite volume method; rheological model; motion feature parameters; risk assessment