

赵峥, 刘铁骥, 陈亮, 等. 基于 Fluent 强震区王家沟泥石流运动特征研究[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 208–212. [ZHAO Zheng, LIU Tieji, CHENG Liang, et al. Research on Movement Characteristics of Wangjiagou Debris Flow Based on Fluent Technology[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(2): 208–212. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.02.036.]

# 基于 Fluent 强震区王家沟泥石流运动特征研究<sup>\*</sup>

赵 峥<sup>1</sup>, 刘铁骥<sup>2</sup>, 陈 亮<sup>3</sup>, 孙书勤<sup>2</sup>, 杨玉超<sup>1</sup>

(1. 四川省华地建设工程有限责任公司, 四川 成都 610081; 2. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059; 3. 四川省地质调查院, 四川 成都, 610081)

**摘 要:** 为研究泥石流的运动特征, 该文首次引入计算流体动力学软件 Fluent, 模拟研究泥石流在流通区和堆积区的运动状态及流体的液面范围。现场调查清水乡王家沟泥石流的基本特征, 分析该泥石流的致灾因素。通过无人机拍摄获取流域 DEM 图, 利用 ArcGis、Mapgis、Auto CAD、Ansys 等软件建立计算模型, 将现场调查得到的泥石流降雨量、重度等相关参数导入 Fluent 软件中, 进行泥石流的数值模拟。模拟结果显示, 王家沟泥石流最大流速 12.30 m/s, 主要发生在流通区下游沟道拐弯处。泥石流沟道越窄, 地形越陡, 流速越大; 泥石流流到堆积区时开始减速, 并沿沟道左岸漫流堆积。该泥石流的威胁对象主要为流体左侧沟口居民区及 S306 省道枢纽。

**关键词:** 泥石流重度; 运动特征; Fluent 数值模拟; 三维模型

**中图分类号:** P642.23; X43; P915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2021)02-0208-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.02.036

甘肃岷县由于特殊的地质环境, 频发泥石流灾害。2012年5月10日17:00–18:00, 甘肃省定西市普降冰雹和暴雨, 洮河口处集水面积 344 km<sup>2</sup>, 最大洪峰量达到 540 m<sup>3</sup>/s, 为 100 a 一遇的洪水。灾害造成岷县、漳县等 33 个乡镇 524 400 人受灾, 57 人死亡, 国道 G212 线、省道 S306 线多处中断, 直接经济损失 86 亿元<sup>[1]</sup>。其中, 位于岷县清水乡的王家沟, 在 2012 年 5 月 10 日暴发泥石流, 造成道路中断, 房屋倒塌, 农田淹没, 严重威胁沟口居民安全。

数值模拟技术研究泥石流, 已成为现今国内外专家使用的一种重要研究手段。例如 RODRIGUEZ-PAZ 等<sup>[2]</sup>提出基于修正光滑颗粒流体动力学 (CSPH) 的泥石流数值模型, 应用于泥石流实验模拟, 效果明显; CUI 等<sup>[3]</sup>运用 Are-SCS 模型模拟泥石流危险区范围, 模拟结果与实际危险区范围比较, 符合度较高; 欧阳朝军<sup>[4]</sup>用 Massflow 模型演化红椿沟泥石流运动, 模拟结果与野外调查及物理试验结果相近; 胡卸文等<sup>[5]</sup>利用 CFX 软件预测江口沟泥石流堆积区的危险范围; Alessandro Leonardi 等<sup>[6]</sup>用离散元模型, 将泥石流概化为小球体, 研究在不同梳齿间距作用下, 梳齿拦挡坝的拦挡作用, 效果明显; 马宗源等<sup>[7]</sup>通过三维数值模拟分析拦挡坝的作用, 也有一定效果。以上数值模拟主要是通过泥石流造成的灾害, 去分析泥石流的危险区及工程效果, 都未对泥石流的运动过程进行研究分析, 从而推测不同条件下泥石流

的危害程度。

本文在已有研究的基础上, 通过分析泥石流的致灾因素, 利用无人机获取的灾害点流域 DEM 影像图, 利用 ArcGIS 软件生成泥石流流域内的等高线, 通过 Mapgis、Auto CAD、Suefer、Ansys 软件对等高线进行修正并建立三维模型, 利用计算流体动力学软件 Fluent 对该泥石流运动过程及液面分布范围进行数值模拟与分析, 其结果可为工程治理措施优化提供参考。

## 1 泥石流基本特征

王家沟位于岷县清水乡洮河支流, 沟口为主要的聚居区且省道 S306 穿过。该泥石流沟汇水面积 14.1 km<sup>2</sup>, 相对高差 600 m, 沟道纵坡比 164.83‰, 沟道断面主要呈“V”型。流通区地形较为陡峭, 沟道两旁覆盖第四系黄土, 成分较均匀, 孔隙率较大且植被覆盖率较低。堆积区呈扇形, 扇长 164 m, 扇宽 295 m, 扩散角 72°(图 1)。

王家沟泥石流沟道所处地貌类型为构造剥蚀中低山地貌, 主要发育冲沟及斜坡, 沟道两岸坡度较大。流域内降水多以连续性大雨、暴雨和冰雹的形式出现, 降雨集中在 5–9 月, 多年平均降雨量 560.8 mm。流域内分布的地层以三叠系及石炭系的砂岩、板岩为主, 属较坚硬岩类, 但由于

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2020-08-11 修回日期: 2020-10-14

基金项目: 国家重点研发计划项目所属专项“重大自然灾害监测预警与防范”(2018YFC1505400)

第一作者简介: 赵峥(1990-), 男, 汉族, 四川成都人, 硕士, 工程师, 主要从事地质工程、岩土工程、地下空间等研究。

E-mail: 1024756646@qq.com

通讯作者: 孙书勤(1961-), 女, 汉族, 河南南阳人, 博士, 副教授, 主要从事地质工程、第四系地质等研究。

E-mail: ssq@cdut.edu.cn

沟道流域所处地震活动强烈区(地震裂度 VI 度), 流域内发育香哈-庞家庄断层、哈树-麻路断层、王家沟-冬麦滩断层且哈树-麻路断层竖向穿过沟道(图 1), 受地震和地质构造的影响, 岩石出露较破碎, 加之强烈的风化作用, 岩石结构松散, 稳定性较差。因为“泥石流的形成主要有物源、水源和特定的地形地貌”<sup>[8]</sup>, 王家沟泥石流沟道上游一中型滑坡及沟道两旁的风成黄土, 为泥石流提供了丰富的物源。该滑坡长 450 m, 宽 220 m, 相对高差 130 m, 平均厚度 4.5 m, 体积  $1.77 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 目前处于不稳定状态。沟道两旁的风成黄土, 竖向节理发育, 被沟道流水不断冲刷, 含水量较高, 当暴发泥石流时易转为物源。沟道流域内强降雨及冰雹天气, 使得水源充足, 加之陡峭的地形, 不仅利于汇水且为泥石流暴发提供了势能空间。

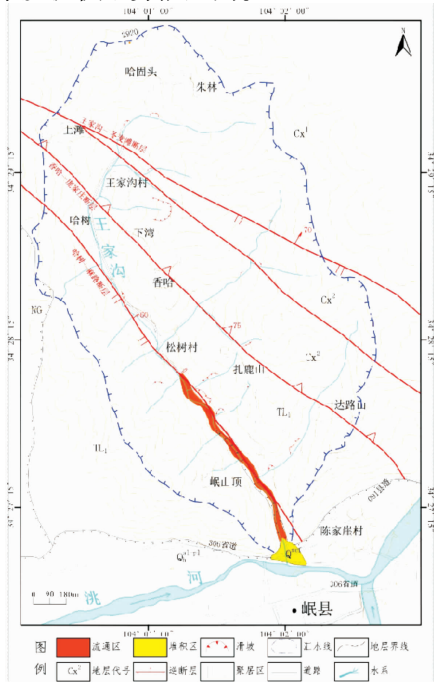


图 1 王家沟泥石流平面图

## 2 Fluent 的数值模拟

### 2.1 Fluent 软件及理论

计算流体动力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 是通过计算机进行数值计算, 模拟流体流动时的流动、热传导、声场等各种相关物理现象的学科<sup>[9]</sup>。CFD 对流场的控制, 是利用计算数学的方法将其离散到一系列网格节点上并求解, 控制流体流动的基本定律有质量守恒、动量守恒和能量守恒<sup>[10]</sup>, 该软件广泛的物理分析模型、高效的数据结构、灵活的仿真技能被广泛用于复杂外形的流体流动和热量交换的机械领域。本文首次引入 Fluent 仿真软件对王家沟泥石流进行三维数值模拟。

Fluent 是建立在有限体积法基础的仿真软件。有限体积法是将计算区域划分网格, 使每个网格点附件有一个互相不重复的控制体积, 并将待解的微分方程对每个控制体积进行积分, 得到一组离散方程, 其基本思想是基于流体运动积分形式的守恒方程建立离散方程:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho u\phi) = \text{div}(k \text{grad}\phi) + S_\phi \quad (1)$$

式中:  $\phi$  是对流扩散物理函数;  $k$  为扩散系数;  $S$  为广义源项。将方程在时间步长  $t$  内和控制体体积内积分, 可得:

$$\int_w^e \left[ \int_t^{t+\Delta t} \rho c \frac{\partial T}{\partial t} dt \right] dV = \int_t^{t+\Delta t} \bar{S} \Delta V dt + \int_w^e \left[ \left( kA \frac{\partial T}{\partial x} \right)_e - \left( kA \frac{\partial T}{\partial x} \right)_w \right] dt \quad (2)$$

式中:  $A$  是控制体面积;  $\Delta V$  是体积,  $\Delta V = A\Delta x$ ,  $\Delta x$  是控制体宽度;  $\bar{S}$  为控制体体积中的平均源强度。

如图 2 所示, 设  $P$  点  $t$  时刻的物理量为  $T_p^0$ , 而  $t + \Delta t$  时  $P$  点的物理量为  $T_p$ , 则式(2)可以写成:

$$\rho c (T_p - T_p^0) \Delta V = \int_t^{t+\Delta t} \bar{S} \Delta V dt + \int_t^{t+\Delta t} \left[ k_e A \frac{T_E - T_P}{\delta x_{PE}} - k_w A \frac{T_P - T_W}{\delta x_{WP}} \right] dt \quad (3)$$

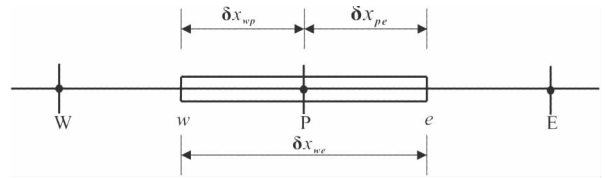


图 2 有限体积法计算网格

为了计算  $T_p$ 、 $T_E$  和  $T_W$  对时间的积分, 引入一个权数  $\theta = 0 \sim 1$ , 将积分表示为  $t$  和  $t + \Delta t$  时刻的线性关系:

$$I_T = \int_t^{t+\Delta t} T_p dt = [\theta T_p + (1 - \theta) T_p^0] \Delta t \quad (4)$$

所以, 公式(3)化简为:

$$\rho c \left( \frac{T_p - T_p^0}{\Delta t} \right) \Delta x = \bar{S} \Delta x + \theta \left[ k_e \frac{T_E - T_P}{\delta x_{PE}} - k_w \frac{T_P - T_W}{\delta x_{WP}} \right] + (1 - \theta) \left[ k_e \frac{T_E^0 - T_P^0}{\delta x_{PE}} - k_w \frac{T_P^0 - T_W^0}{\delta x_{WP}} \right] \quad (5)$$

式中: 左边括号中  $t$  时刻的物理量  $T_p^0$  已知, 上式是  $t + \Delta t$  时刻  $T_p$ 、 $T_E$  与  $T_W$  之间的关系式。列出计算域中相邻 3 个节点方程后, 可形成求解域中未知量的所有线性代数方程, 在给出边界条件后, 可求解出相关代数方程组的解。

### 2.2 模型的建立及网格的划分

多种软件的交叉使用, 可建立复杂的泥石流沟谷三维实体模型。首先, 通过无人机航拍流域高精度数字高程模型 (DEM), 借助 ArcGis、Mapgis 软件生成、修正流域内的等高线数据; 利用 AutoCAD 软件对导出的有断线的等高线连接; 其次, 利用 CAD“地质”插件对流域等高线进行“图元输出到 Ansys”; 然后, 用 Sufer 软件对 CAD 输出的图元数据修正, 删除无效数据、定义建模平面范围及划分间距, 导出 dat 格式数据; 再利用 Ansys - Sufer 插件将图元数据输入至 Ansys 中, 在 Ansys Mechanical APDL 中由点生成线, 线生成面, 面生成体建立王家沟泥石流的三维数值模型(图 3)。

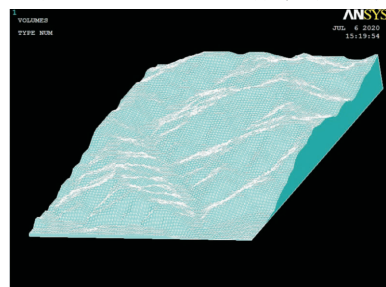


图 3 王家沟泥石流的三维模型图

在 Ansys Workbench 界面, 导入由 Mechanical APDL 模型导出的 iges 格式数据文件。因本次模拟只研究流通区和堆积区流体的运动, 故在流通区加入进口面且以此面为界面, 切除流通区以上的沟谷流域。然后通过 Mesh 界面, 对模型进行网格的划分, 模型采用六面体划分网格, 并对沟道流通区及堆积区的网格加密及优化, 流域共生成 911 373 个网格节点, 4 832 196 个单元结构面(图 4)。

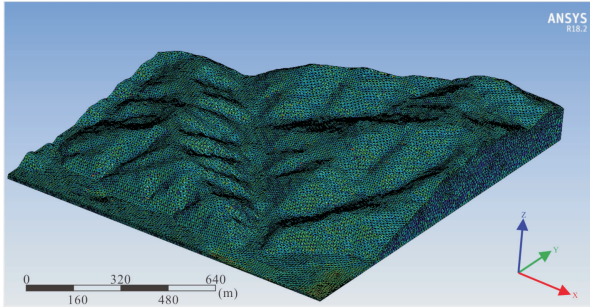


图 4 王家沟泥石流网格划分图

## 2.3 模型参数的设定

Fluent 模拟的泥石流需要在 Workbench 界面的 Setup 里设置泥石流重度、入口处流速及流量等相关参数信息。

### 2.3.1 泥石流重度

泥石流重度的确定通常有配浆法、查表法和经验公式法, 本次模拟的重度, 主要通过现场配浆再根据公式(6)确定。配浆试验及计算结果见表 1。

$$\gamma_c = \frac{G_c}{V} \quad (6)$$

式中:  $\gamma_c$  为泥石流重度( $\text{t/m}^3$ );  $G_c$  代表配制泥浆重量( $\text{t}$ );  $V$  是配制泥浆体积( $\text{m}^3$ )。

表 1 王家沟泥石流重度配浆计算表

试验位置	泥浆重量 $G_c/\text{kg}$	泥浆体积 $V/\text{L}$	泥石流重度 $\gamma_c/(\text{t/m}^3)$
流通区	6.760	3.720	1.817
沟口	6.480	3.570	1.815
堆积区	6.450	3.560	1.812

王家沟泥石流重度的现场配浆步骤: 分别于沟道流通区、沟口及堆积区取样, 现场配浆各 6 次, 取每次的平均值(表 1), 从计算结果可知, 泥石流重度较高, 为黏性泥石流。走访村民及现场调查发现, 王家沟泥石流暴发时, 石块呈悬浮状态, 堆积物沉积分选性差, 存在泥包石现象, 试验与调查相互印证, 即配浆试验结果可用。

### 2.3.2 流量

计算一次泥石流清水流量, 假定泥石流的暴发频率与降雨频率相吻合, 现场调查结合流域降雨数据判定, 王家沟泥石流暴雨频率为 100 a 一遇( $P=1\%$ ), 且平均小时降雨量达 34 mm, 根据水利工程设计和铁一院清水流量计算公式:

$$Q_B = 0.278riF \quad (7)$$

式中:  $r$  代表按小时面雨量( $\text{mm/h}$ )设计;  $i$  是产流系数, 取 0.6;  $F$  代表流域面积( $\text{km}^2$ )。流量参数计算见表 2。

$$Q_c = (1 + \varphi) Q_B D_c \quad (8)$$

式中:  $Q_c$  代表与清水流量相同重现期的峰值流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $\varphi$  是泥沙修正系数, 根据计算  $\varphi = 0.32$ ;  $D_c$  是堵塞系数, 调查沟道内的堵塞情况结合泥石

流勘察规范, 取值 1.2。

表 2 王家沟泥石流流量参数计算表

沟道名	降雨 频率 $P/\%$	流域 面积 $F/\text{km}^2$	小时面 雨量 $r/(\text{mm/h})$	清水 流量 $Q_B/(\text{m}^3/\text{s})$	峰值 流量 $Q_c/(\text{m}^3/\text{s})$
王家沟	1	14.1	34	79.96	126.66

### 2.3.3 入口处流速

在泥石流沟道流通区入口设置流速, 通过流通区洪痕断面的测量及取样分析, 采用余斌<sup>[11]</sup>黏性泥石流计算公式:

$$v = 1.1(gR)^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{3}} \left( \frac{d_{50}}{d_{30}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (9)$$

式中:  $R$  为水力半径( $\text{m}$ );  $S$  是沟道断面坡度正切值;  $g$  为重力加速度( $\text{m/s}^2$ );  $d_{50}$  代表泥沙颗粒中百分比小于 50% 的颗粒粒径(中值粒径);  $d_{30}$  代表泥沙颗粒中百分比小于 30% 的颗粒粒径。计算参数如表 3。

表 3 流通区入口处流速计算表

$R/\text{m}$	$S$	$d_{50}$	$d_{30}$	$g/(\text{m/s}^2)$	流速 $v/(\text{m/s})$
3.65	0.165	0.75	0.30	9.8	4.53

## 2.4 流变模型的设定

浆体的流变特性是指其受剪切变形时的剪切率与剪应力的关系, 对于泥石流类非牛顿体, 只有克服流体的屈服应力, 流体才会流动。本次 Fluent 模拟泥石流选用 Bingham 模型<sup>[12]</sup>控制, 其数学模型为:

$$\tau = \tau_B + \eta \frac{du}{dy} \quad (10)$$

式中:  $\tau_B$  为屈服应力;  $\eta$  为刚度系数;  $du/dy$  为流体流速的梯度; 费祥俊等<sup>[13]</sup>通过研究黄河泥沙悬浮液的流变, 测得悬浮液 Bingham 的屈服应力与其体积比浓度有关, 即:

$$\tau_B = 9.8 \times 10^{-2} \exp(B\varepsilon + 1.5);$$

$$\varepsilon = \frac{S_v - S_{v0}}{S_{vm}};$$

$$S_v = \frac{S_{vm}}{\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)} \quad (11)$$

$$S_{v0} = 1.26S_{vm}^{3.2}.$$

式中:  $B$ 、 $\lambda$  为常数;  $S_v$  为黏性泥石流体积比浓度;  $S_{vm}$  为颗粒的极限浓度, 对于黏性泥石流, 当  $S_v > 0.6$  时,  $S_{vm}$  取值范围 0.55 ~ 0.60; 具体参数取值如表 4 所示。

表 4 流变参数取值表

$S_{vm}$	$S_v$	$B$	$\lambda$	$\eta/(\text{Pa} \cdot \text{s})$
0.56	0.65	8.45	1.82	1.5

## 2.5 边界条件的设定

边界条件是流场变量在计算边界上应该满足的数学物理条件, Fluent 中边界条件有进口、出口、壁面、内部单元分区及内部边界条件。在王家沟泥石流模拟中, 将沟道、沟谷坡面设置为壁面, 包含了固壁条件、对称面及周期性的边界条件。因本次主要模拟泥石流流通区与堆积区流体特征, 故流体入口设置在沟道流通区, 经公式(9)计算, 流速为 4.53 m/s(表 3), 流体高度取流通区断面测量的泥石流泥痕深度 2.9 m; 其他边界设定为常温常压下的开放环境。

## 3 模拟结果与分析

通过对王家沟泥石流现场调查及村民走访,



并对其运动特征的反复模拟, 得出泥石流流体在沟道内不同区域, 不同时间的流速云图 5、图 6、图 7、图 8, 模拟共耗时 960s。

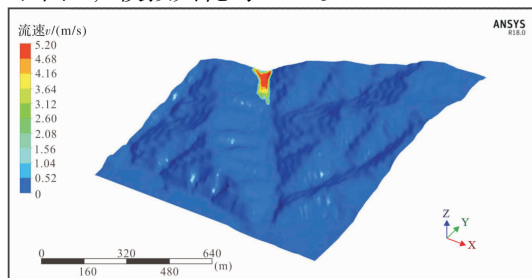


图 5  $t = 60$  s 时流速云图

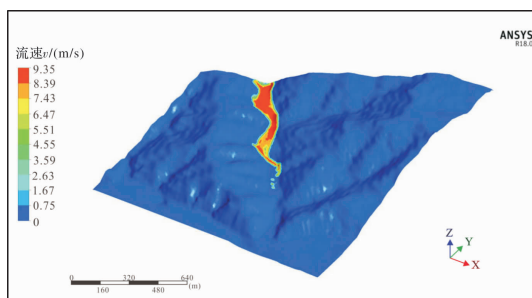


图 6  $t = 300$  s 时流速云图

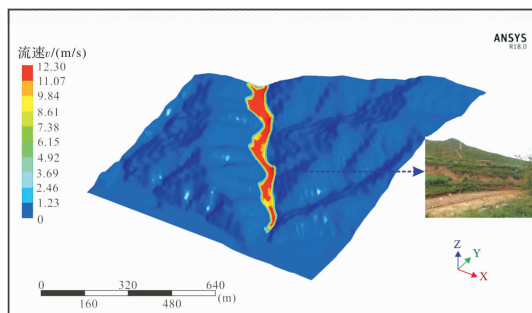


图 7  $t = 630$  s 流速云图

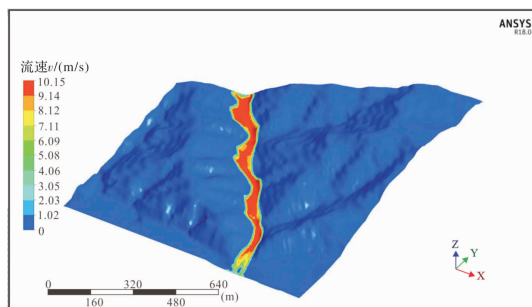


图 8  $t = 700$  s 流速云图

当泥石流流经流通区时, 从时间尺度分析图 5、图 6、图 7 可知:  $0 \sim 60$  s 时间段, 刚进入流通区时, 流体主要表现为沿着沟道顺势而下, 因该段沟道较为开阔, 地形较为平缓, 流体流速较小 (图 5);  $60 \sim 300$  s 时间段, 沟道由宽变窄, 沟道内泥石流快速合拢, 流速加快, 加之此段沟道地形陡峭, 势能部分转化为动能, 加快流体通过沟道 (图 6);  $300 \sim 630$  s 时间段, 沟道再次变窄, 地形更为陡峭, 流体通过第二次加速, 流入流通区 (图 7); 从空间角度分析, 流体通过第一次加速, 速度达到  $9.35$  m/s, 使得流体加速通过此段, 第二次加速, 流体最大流速增至  $12.30$  m/s, 加上此段地形陡峭, 沟道两旁主要分布第四系黄土, 孔

隙率较大, 含水量较高, 流体会不断的冲刷沟道凹岸, 沟内侵蚀严重, 一定程度上加剧了泥石流的致灾规模。

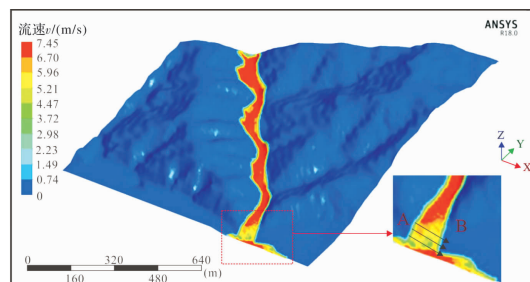


图 9  $t = 760$  s 流速云图

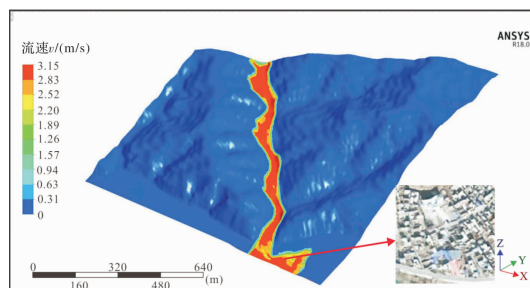


图 10  $t = 960$  s 流速云图

当泥石流流经堆积区时, 从时间尺度分析图可知:  $630 \sim 700$  s 时间段, 流体刚流入堆积区时, 由于沟道的变宽, 流体会沿着沟道向沟口两边扩散, 流速降低 (图 8);  $700 \sim 760$  s 时间段, 流体继续向沟道两旁泛滥, 但由于 A 岸 (沟道右岸) 山体凸出, 有导流作用, 使流体向 B 岸 (沟道左岸), 大部分物体堆积于 B 岸 (图 9);  $760 \sim 960$  s 时间段, 流体流速缓慢降低直到为 0, 主要变化为泥石流物体的堆积 (图 10); 从空间角度分析, 泥石流流到出口附近时, 沟道变宽, 泥石流开始向沟道两侧漫流扩散, 流速慢慢降低, 泥石流物质也开始堆积。但由于沟口 A 岸的导流作用, 会使泥石流堆积于 B 岸, 而 B 岸正是沟口主要的居民区和省道 S306 交通枢纽。据现场走访调查知道, 当泥石流发生时, 部分沟口居民住房被淹, 省道断道, 泥石流冲出物堆积于沟口右岸和主河洮河内。模拟结果与泥石流发生时的实际情况相似, 即模拟结果正确。

从图 11 分析得出: 当泥石流在流经流通区时, 沟道地形由缓变陡, 泥石流加速, 遇到沟道凸岸, 表现为泥石流的冲起, 部分动能转化为重力势能, 使得 Z 轴方向的流速降低, 冲起至最高点, 流速为 0。此时, 泥石流回落, 势能转化为动能, 主要表现为沟道的掏蚀作用, 在一定程度上加剧了泥石流的致灾规模。

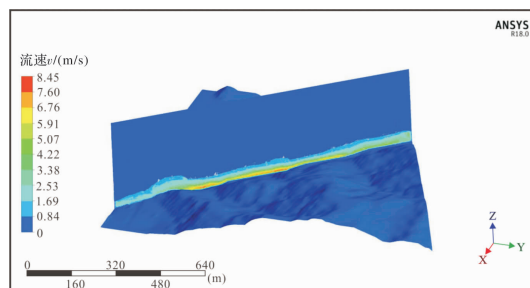


图 11 泥石流流速侧视图

## 4 结论

(1)通过数值模拟得出,王家沟泥石流在流通区运动时,通过两次加速,最大流速达 12.30 m/s,主要是在流通区下游沟道拐弯处。泥石流流速的大小主要受沟道宽窄及地形陡峭的影响,泥石流在流通区冲蚀凹岸及泥石流的冲起与回落会在一定程度上加大致灾规模。

(2)泥石流进入堆积区时,由于沟道变宽,泥石流流向沟道两边漫流泛滥,但由于沟道右岸山体的导流作用,使得泥石流物质大部分堆积于左岸的居民区,严重威胁居民的生产生活安全及交通枢纽的畅通。

(3)通过泥石流液面分析,沟口左岸的危险度高于右岸。建议居民区适当避开泥石流影响范围,或在沟道出口设置排导槽,引导泥石流汇入主河。

## 参考文献:

- [1] 闫淑春. 2012 年全国洪涝灾害情况[J]. 中国防汛抗旱, 2013, 23(1): 17, 79.
- [2] RODRIGUEZ-PAZ M X, BONET J. A corrected smooth particle hydrodynamics method for the simulation of debris flows[J]. Nu-

- merical Methods for Partial Differential Equations, 2004, 20(1): 140 - 163.
- [3] CUI Peng, HU Kaiheng, ZHUANG Jianqi, et al. Prediction of debris-flow danger area by combining hydrological and inundation simulation methods[J]. Journal of Mountain Science, 2011, 8: 1 - 9.
- [4] OUYANG C J, HE S M, TANG C. Numerical analysis of dynamics of debris flow over erodible beds in Wenchuan earthquake-induced area[J]. Engineering Geology, 2015, 194: 62 - 72.
- [5] 胡卸文, 仁辉, 敬轩, 罗刚, 魏来. 江口沟泥石流危险区范围预测模拟[J]. 岩土力学, 2016, 37(6): 1689 - 1696.
- [6] ALESSANDRO Leonardi, MARINA Pirulli. Analysis of the load exerted by debris flows on filter barriers: Comparison between numerical results and field measurements [J]. Computers and Geotechnics, DOI: 10. 1016/j. compgeo. 2019. 103311.
- [7] 马宗源, 张骏, 廖红建. 黏性泥石流拦挡工程数值模拟[J]. 岩土力学, 2007, 28(S1): 389 - 392.
- [8] 潘懋, 李铁锋. 灾害地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [9] 付德熏, 马延文. 计算流体力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [10] 丁欣硕, 刘斌. FLUENT17.0 流体仿真从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2018.
- [11] 余斌. 粘性泥石流的平均运动速度研究[J]. 地球科学进展, 2008(5): 524 - 532.
- [12] JAN Chyan dang, SHEN Hsich Wen. Review dynamic modelling of debris flows[J]. Journal Lecture Notes in Earth Sciences, 1996, 64: 55 - 59.
- [13] 费祥俊, 舒安平. 泥石流运动机理与灾害防治[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 56 - 103.

# Research on Movement Characteristics of Wangjiagou Debris Flow Based on Fluent Technology

ZHAO Zheng<sup>1</sup>, LIU Tieji<sup>2</sup>, CHENG Liang<sup>3</sup>, SUN Shuqin<sup>2</sup> and YANG Yuchao

(1. Sichuan Huadi Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu 610081, China;

2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geo Environment Protection, Chengdu 610059, China;

3. Sichuan Provincial Geological Survey Institute, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** In order to study the movement characteristics of debris flow, we introduce the computational fluid dynamics software Fluent for the first time to simulate and study the movement state of debris flow in the circulation area and accumulation area and the fluid level range. The basic characteristics of the debris flow of the Wangjia gully in Qingshui Township is investigated and the disaster-causing factors of the debris flow is analyzed. The DEM map of the watershed is acquired by drone shooting, and the calculation model established using software such as ArcGis, MapGis, Auto CAD, Ansys, etc. and the relevant parameters such as rainfall and severity of the debris flow obtained from the field investigation are imported into the Fluent software for numerical simulation of the debris flow. The simulation results show that the maximum flow velocity of Wangjiagou debris flow is 12.30 m/s, which mainly occurs at the turn of the channel downstream of the circulation area. The narrower the debris flow channel and the steeper the terrain, the greater the velocity; when the debris flow reaches the accumulation area, it starts to slow down and accumulate along the left bank of the channel. The threat objects of this debris flow are mainly the residential area at the left side of the fluid and the S306 provincial highway hub.

**Key words:** debris severe; movement characteristics; fluent numerical simulation; 3D model.