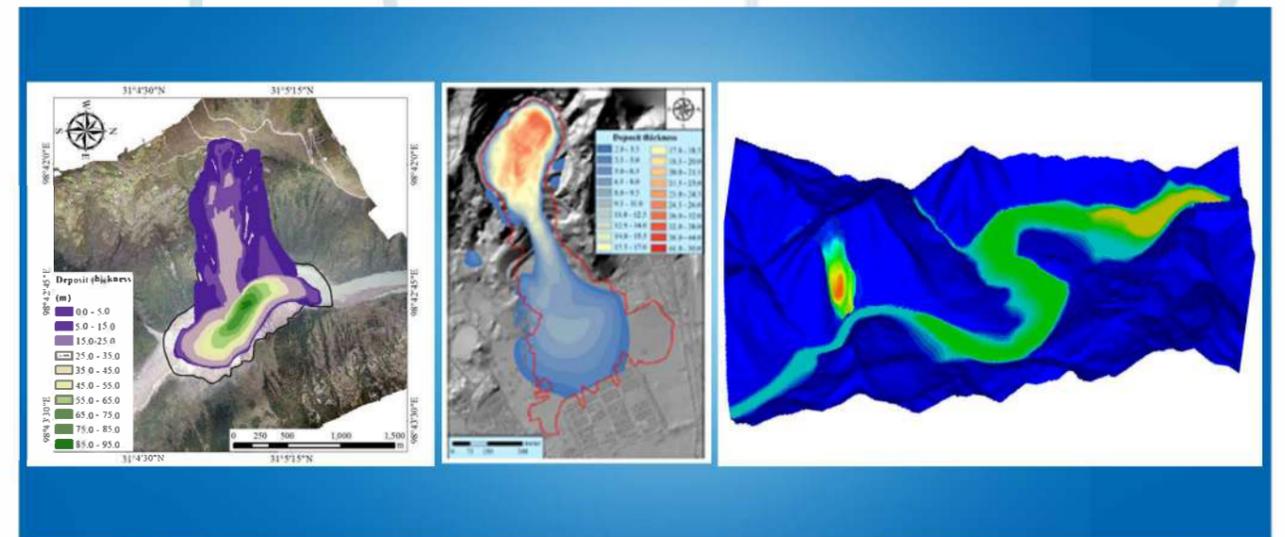




软件介绍：Massflow软件是一款高效能地表灾害动力过程仿真软件，可模拟滑坡、泥石流、碎屑流、山洪、雪崩、堰塞湖等地质灾害及灾害链动力演化全过程，还适用于山区流域水文计算、尾矿库溃坝、流固耦合等一系列灾害问题的数值模拟工作。通过使用该软件可实时揭示地质灾害随时空演化过程，为地质灾害定量风险评估、基础设施与城镇规划布局、应急减灾与救灾策略制定提供理论与技术支持。

地表灾害动力过程数值模拟软件 Massflow



技术支持:

- 技术培训
- 即时在线研讨
- 软件更新

联系方式：

联系电话：18200364687
 E-mail：2228008317@qq.com
 Massflow技术讨论QQ群：436302485
 Massflow官方网站：www.massflow-software.com
 邮政编码：610041
 地址：四川省成都市成华区招商城市主场A座



成都山地环安科技有限公司
 CHENGDU MOUNTAINOUS ENVIRONMENTAL SAFETY TECHNOLOGY CO.LTD

DIRECTORY

目录

P1	产品介绍
P4	技术原理
P5	试验案例
P7	应用案例

产品介绍

Massflow软件介绍：

Massflow 软件是一款高效能地表灾害动力过程仿真软件，可模拟滑坡、泥石流、碎屑流、山洪、雪崩、堰塞湖等地质灾害及灾害链动力演化全过程，还适用于山区流域水文计算、尾矿库溃坝、流固耦合等一系列灾害问题的数值模拟工作。通过使用该软件可实时揭示地质灾害随时空演化过程，为地质灾害定量风险评估、基础设施与城镇规划布局、应急减灾与救灾策略制定提供理论与技术支持。

Massflow软件特色：

- ➔ 软件以Maccormack-TVD有限差分计算算法为核心，采用C++和C#编程语言，结合MPICH分布式并行与OpenMP共享内存并行计算手段，针对地质灾害特征优化网格重划分方法，准确高效开展地质灾害动力过程模拟；
- ➔ 软件采用深度积分的连续介质力学理论，相对于传统的流体力学计算方法，极大提升了计算效率，在地质灾害动力过程和风险评估领域获得了广泛的应用。

Massflow具有以下特征：

- 计算网格可提升至亿级；
- 具有自适应求解算法；
- 可命令流一键式执行；
- 可多核共享内存并行计算；
- 内嵌丰富的物理模型；
- 提供核心源代码，支持使用者自主二次开发。

具有丰富的物理模型：

- Coulomb
- Voellmy
- Manning
- Bingham
- 自定义

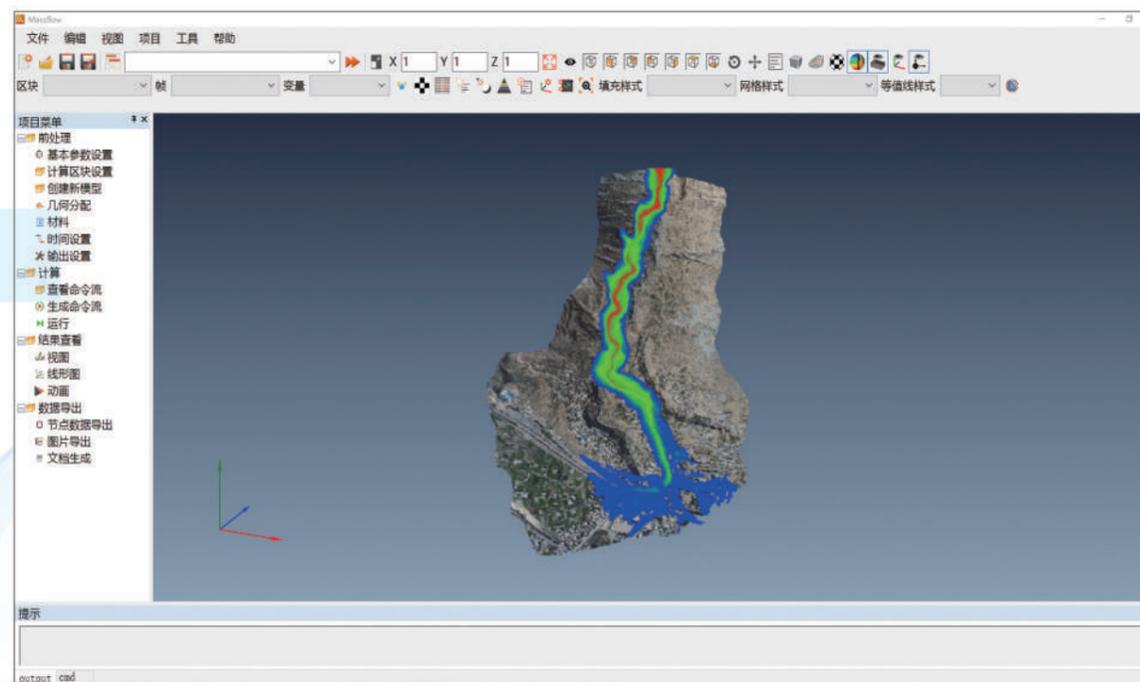
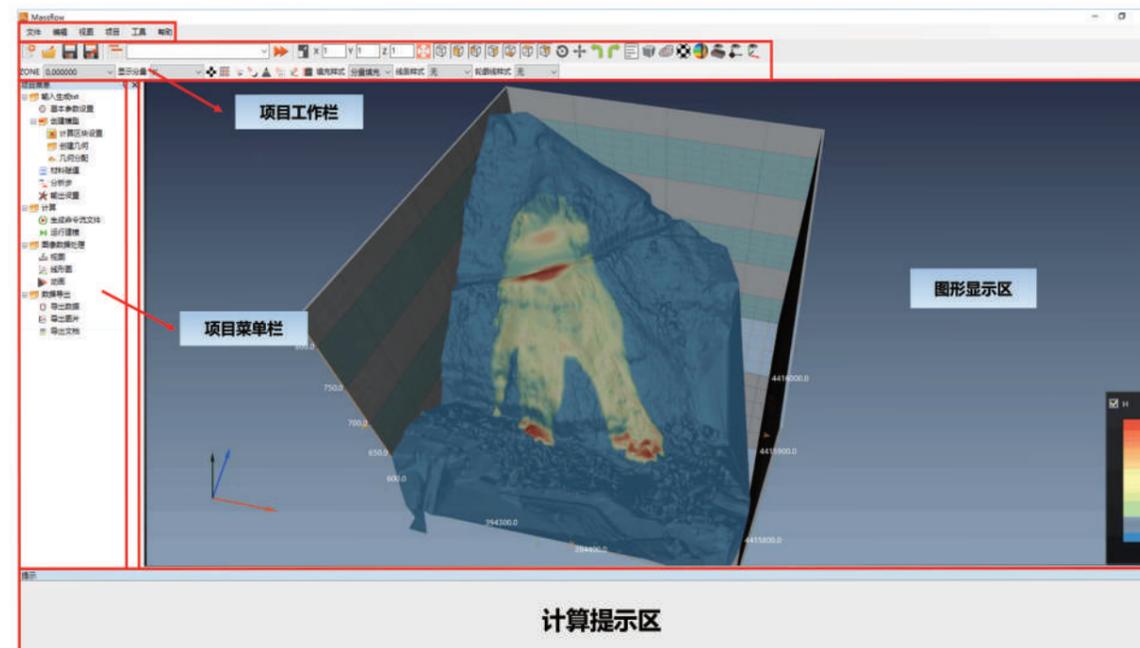
软件应用范围：

- 可用于模拟滑坡、泥石流、碎屑流、山洪、雪崩、堰塞湖等地质灾害动力演化全过程；
- 可用于开展滑坡、泥石流、尾矿库、堆渣场等地质灾害危险性定量风险评估；
- 可用于山地灾害链动力过程模拟；
- 可用于水文过程调控模拟；
- 软件将为泥石流灾害预测预报、定量风险评估、防治工程效果定量评价与主动减灾关键技术研发提供重要的技术支持。

灾害链动力过程模拟



软件界面

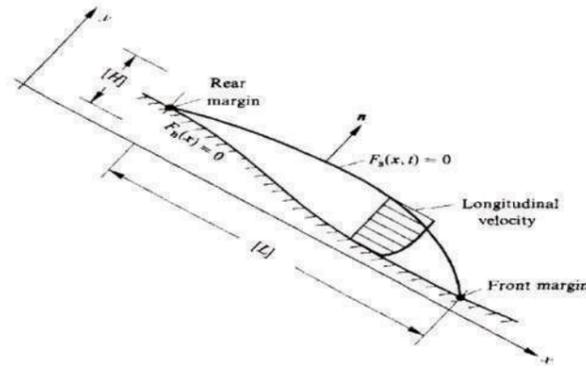


Depth-integrated continuum mechanics
Savage and Hutter (1989)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$\rho \left\{ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right\} = \rho g \sin \xi - \frac{\partial \rho_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial \rho_{xy}}{\partial y}$$

$$\rho \left\{ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right\} = -\rho g \cos \xi - \frac{\partial \rho_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial \rho_{yy}}{\partial y}$$



Navier-Stokes equations

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = \rho g_x + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = \rho g_y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = \rho g_z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}$$

3D

Depth-integrated equations

$$\frac{\partial(\bar{\rho}h)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{v})}{\partial y} - \bar{\rho}\xi E = 0$$

$$\frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{u})}{\partial t} + \frac{\partial(\beta_w \bar{\rho}h\bar{u}^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\beta_w \bar{\rho}h\bar{u}\bar{v})}{\partial y} = \bar{\rho}g_x h - k_{sp} \bar{\rho}g_x h \frac{\partial(h+z_b)}{\partial x} - (\tau_{xx})_b + \bar{\rho}\xi u_b E$$

$$\frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{v})}{\partial t} + \frac{\partial(\beta_w \bar{\rho}h\bar{u}\bar{v})}{\partial x} + \frac{\partial(\beta_w \bar{\rho}h\bar{v}^2)}{\partial y} = \bar{\rho}g_y h - k_{sp} \bar{\rho}g_y h \frac{\partial(h+z_b)}{\partial y} - (\tau_{yy})_b + \bar{\rho}\xi v_b E$$

2D

Mass Conservation equation

$$\int_{z_{bot}}^{z_{top}} \left[\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}u)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho}v)}{\partial y} + \frac{\partial(\bar{\rho}w)}{\partial z} \right] dz$$

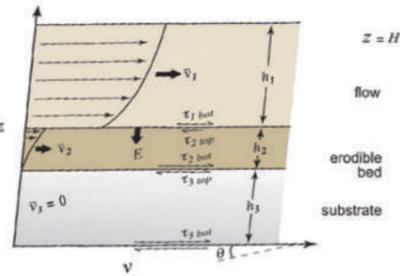
$$= h \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + h\bar{u} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} + h\bar{v} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial y} + \bar{\rho} [w(z_{top}) - w(z_{bot})]$$

$$+ \bar{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \int_{z_{bot}}^{z_{top}} u dz - u(z_{top}) \frac{\partial z_{top}}{\partial x} + u(z_{bot}) \frac{\partial z_{bot}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_{bot}}^{z_{top}} v dz - v(z_{top}) \frac{\partial z_{top}}{\partial y} + v(z_{bot}) \frac{\partial z_{bot}}{\partial y} \right]$$

$$= h \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{v})}{\partial y}$$

$$- \bar{\rho} \left[u(z_{top}) \frac{\partial z_{top}}{\partial x} + v(z_{top}) \frac{\partial z_{top}}{\partial y} - w(z_{top}) \right] + \bar{\rho} \left[u(z_{bot}) \frac{\partial z_{bot}}{\partial x} + v(z_{bot}) \frac{\partial z_{bot}}{\partial y} - w(z_{bot}) \right]$$

$$= \frac{\partial(\bar{\rho}h)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{v})}{\partial y} + \bar{\rho} \frac{\partial z_{top}}{\partial x} E_{top} - \bar{\rho} \frac{\partial z_{bot}}{\partial x} E_{bot} = 0$$



Momentum Conservation equation

$$\int_{z_{bot}}^{z_{top}} \left(\frac{\partial(\bar{\rho}u)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho}uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\bar{\rho}uw)}{\partial z} \right) dz$$

$$= \frac{\partial}{\partial t} \int_{z_{bot}}^{z_{top}} \bar{\rho} u dz - \bar{\rho} u(z_{top}) \frac{\partial z_{top}}{\partial t} + \bar{\rho} u(z_{bot}) \frac{\partial z_{bot}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_{bot}}^{z_{top}} u^2 dz - \bar{\rho} u^2(z_{top}) \frac{\partial z_{top}}{\partial x} + \bar{\rho} u^2(z_{bot}) \frac{\partial z_{bot}}{\partial x}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_{bot}}^{z_{top}} uv dz - \bar{\rho} u(z_{top}) v(z_{top}) \frac{\partial z_{top}}{\partial y} + \bar{\rho} u(z_{bot}) v(z_{bot}) \frac{\partial z_{bot}}{\partial y} + \bar{\rho} u(z_{top}) w(z_{top}) - \bar{\rho} u(z_{bot}) w(z_{bot})$$

$$= \frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{u})}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{u}^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho}h\bar{u}\bar{v})}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_{bot}}^{z_{top}} (u-\bar{u})^2 dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_{bot}}^{z_{top}} (u-\bar{u})(v-\bar{v}) dz$$

$$+ \bar{\rho} u(z_{top}) \frac{\partial z_{top}}{\partial x} E_{top} - \bar{\rho} u(z_{bot}) \frac{\partial z_{bot}}{\partial x} E_{bot} = \int_{z_{bot}}^{z_{top}} \Sigma F$$
 (Iverson and Ouyang, Reviews of Geophysics, 2015)

考虑侵蚀的MacCormack-TVD有限差分算法

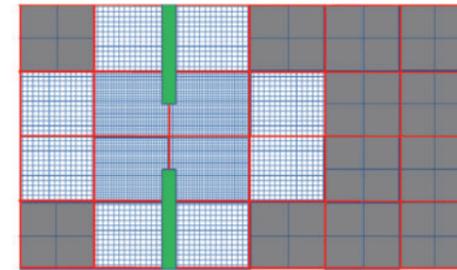
$$\frac{\partial X}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = S + T$$

$$X_i^p = X_i^n - D_x(F_i^n - F_{i-1}^n) \cdot \Delta t / \Delta x + D_x S^n \cdot \Delta t$$

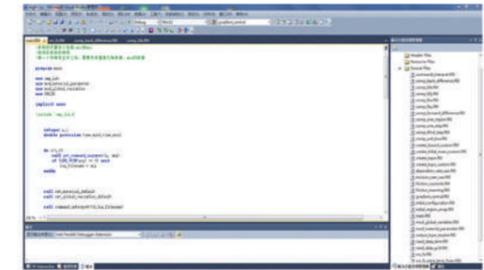
$$X_i^c = X_i^n - D_x(F_{i+1}^p - F_i^p) \cdot \Delta t / \Delta x + D_x S^p \cdot \Delta t$$

$$X_i^{n+1} = (X_i^p + X_i^c) / 2 + [G_i^+ + G_{i-1}^-] \cdot \Delta X_{i+1/2}^n - [G_{i-1}^+ + G_i^-] \cdot \Delta X_{i-1/2}^n$$

在时间和空间上具有二阶精度，
能有效的捕捉不连续界面。

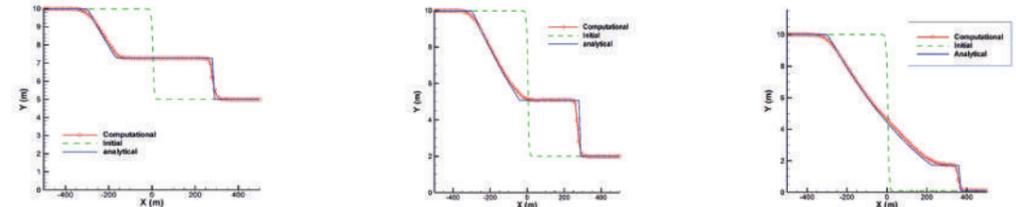


结构化网格和并行计算结合

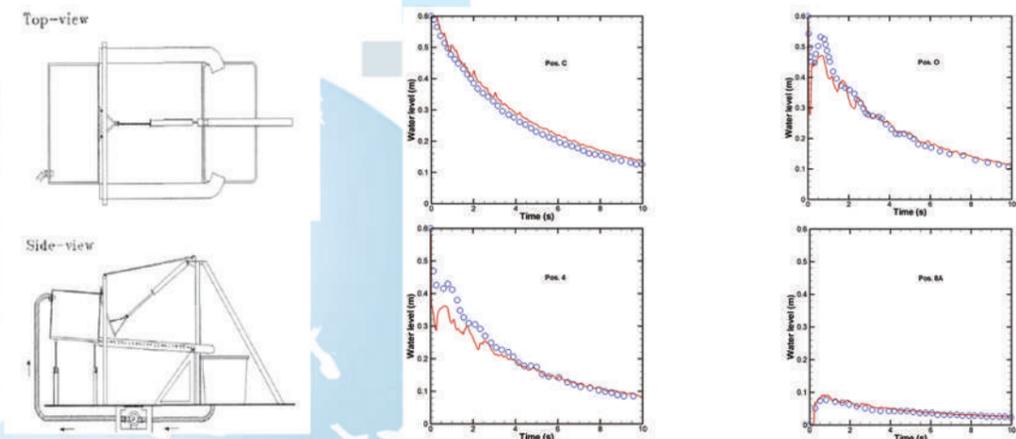


核心源代码共享

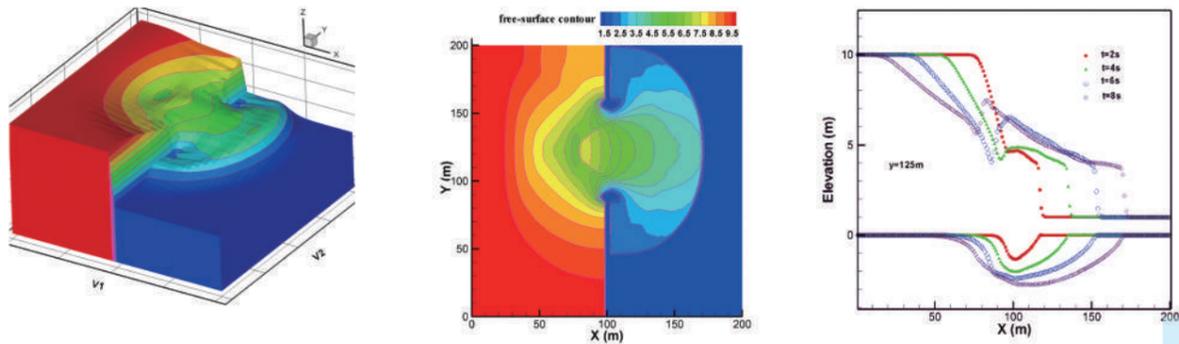
一维溃坝动力学过程数值解和理论解验证



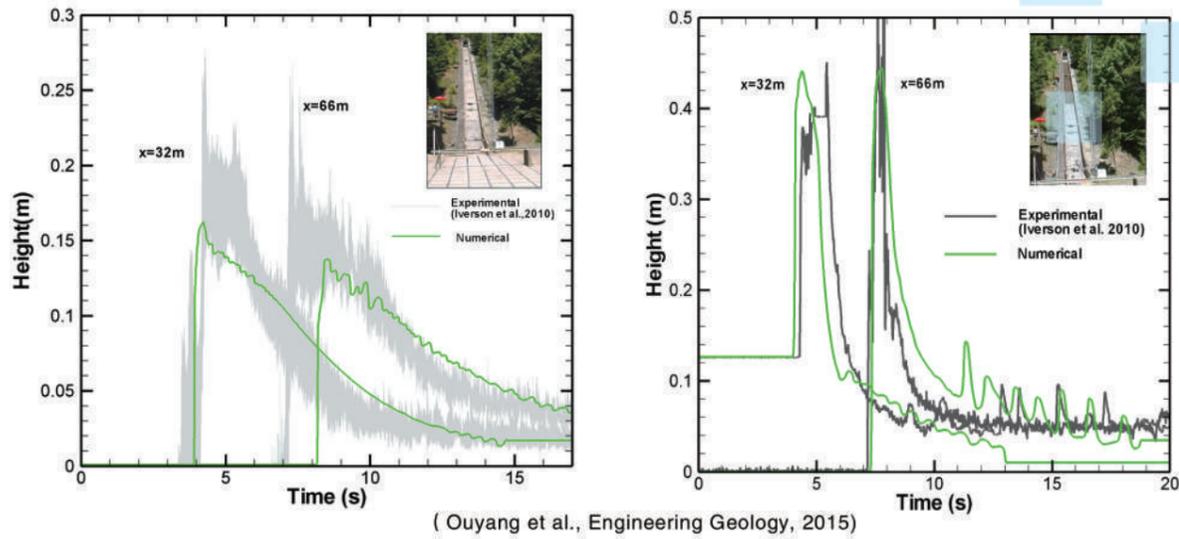
与室内模型试验验证



三维非对称溃坝数值模拟计算分析

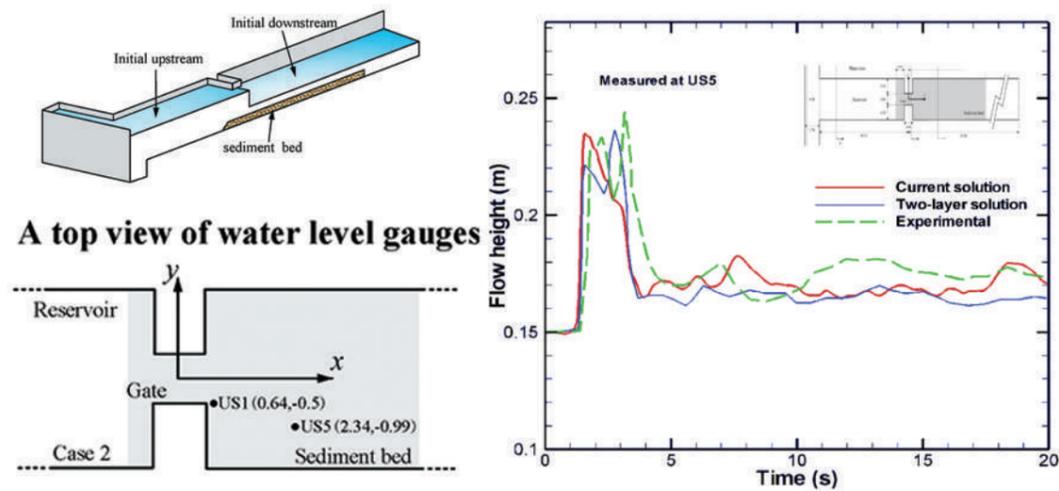


数值模拟与USGS大型水槽试验验证



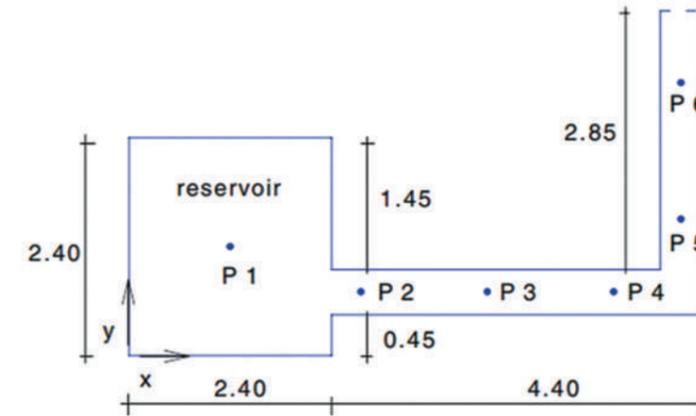
(Ouyang et al., Engineering Geology, 2015)

基底侵蚀动力过程实验数值模拟与物理模型试验验证

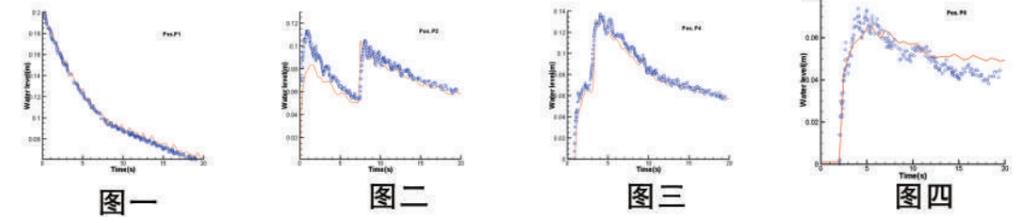


(Ouyang et al., JHE, 2015)

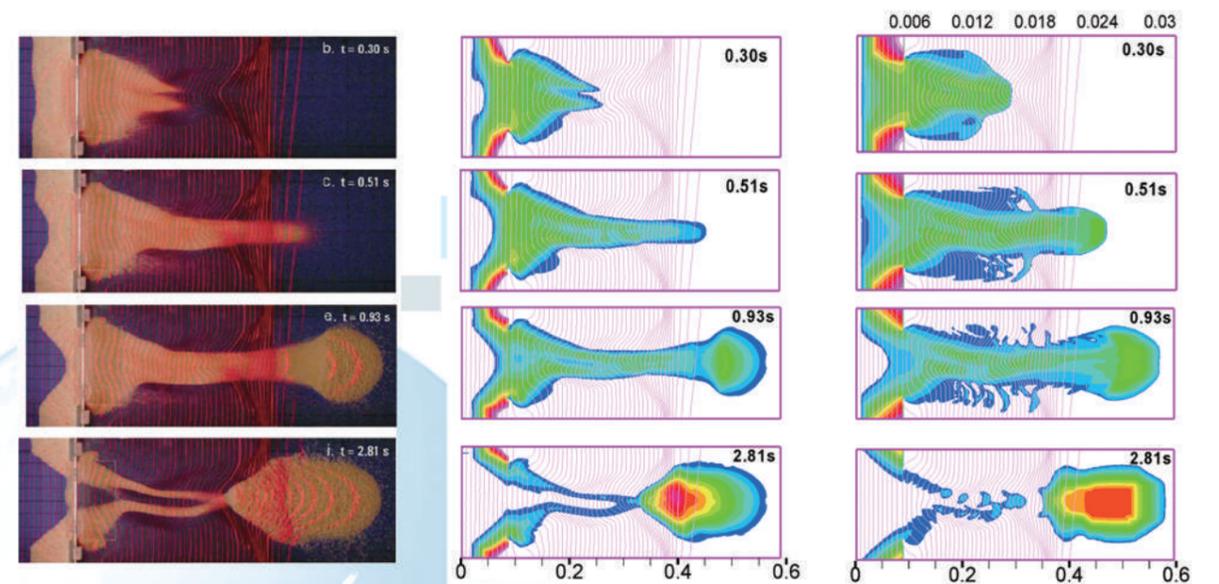
在L型水槽中的二维溃坝试验验证



试验平面图

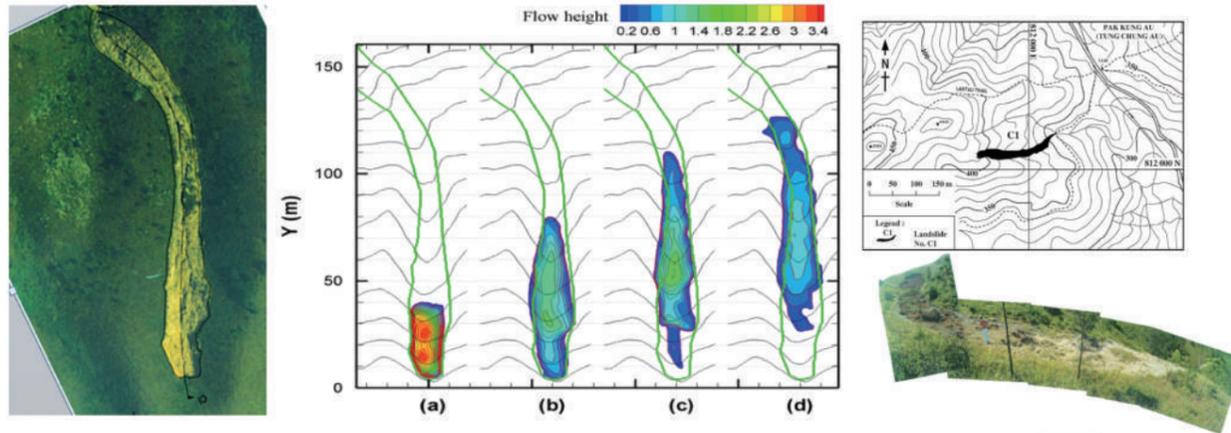


不规则地形沙崩室内模型试验验证



典型滑坡案例

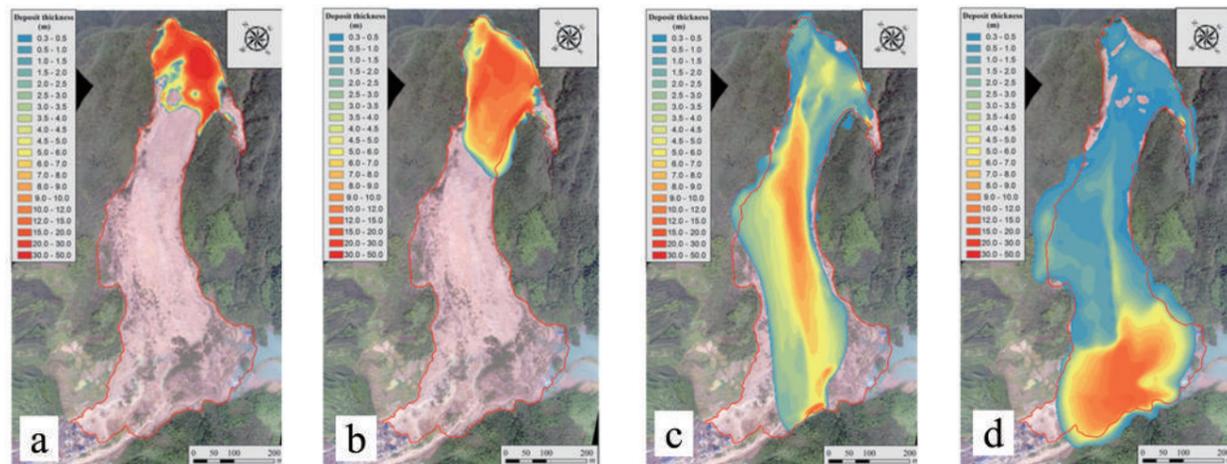
应用案例一：香港青山降雨滑坡（2000）数值模拟计算案例



计算结果与实测资料对比分析显示计算结果能很好地再现滑坡运动的全过程。
(Ouyang et al., Computers & Geosciences, 2015)

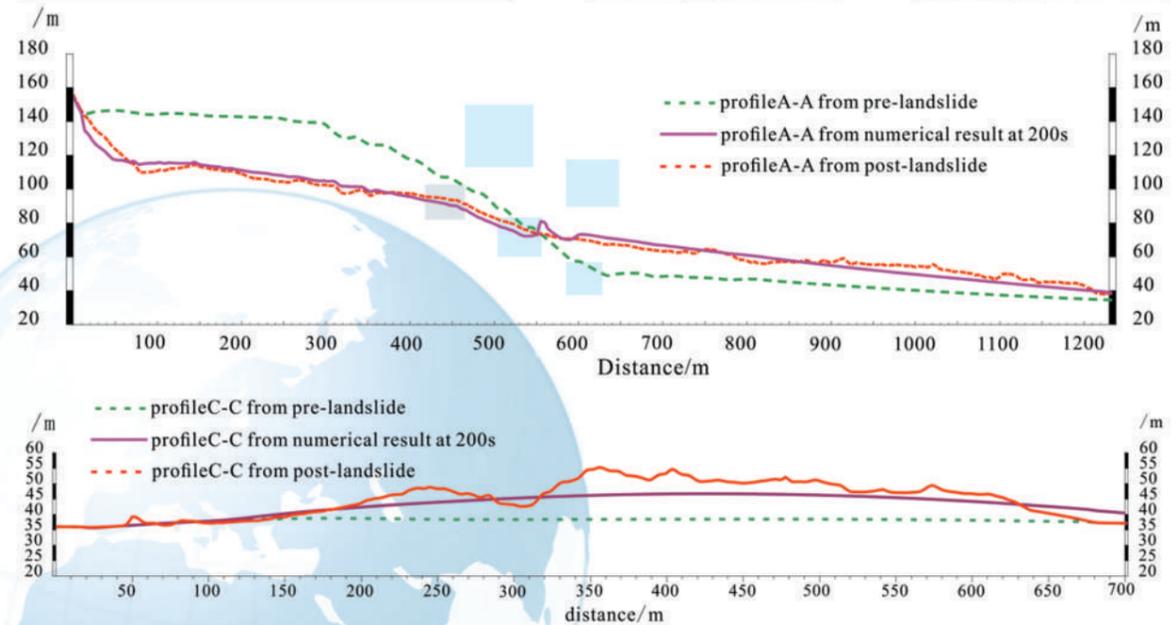
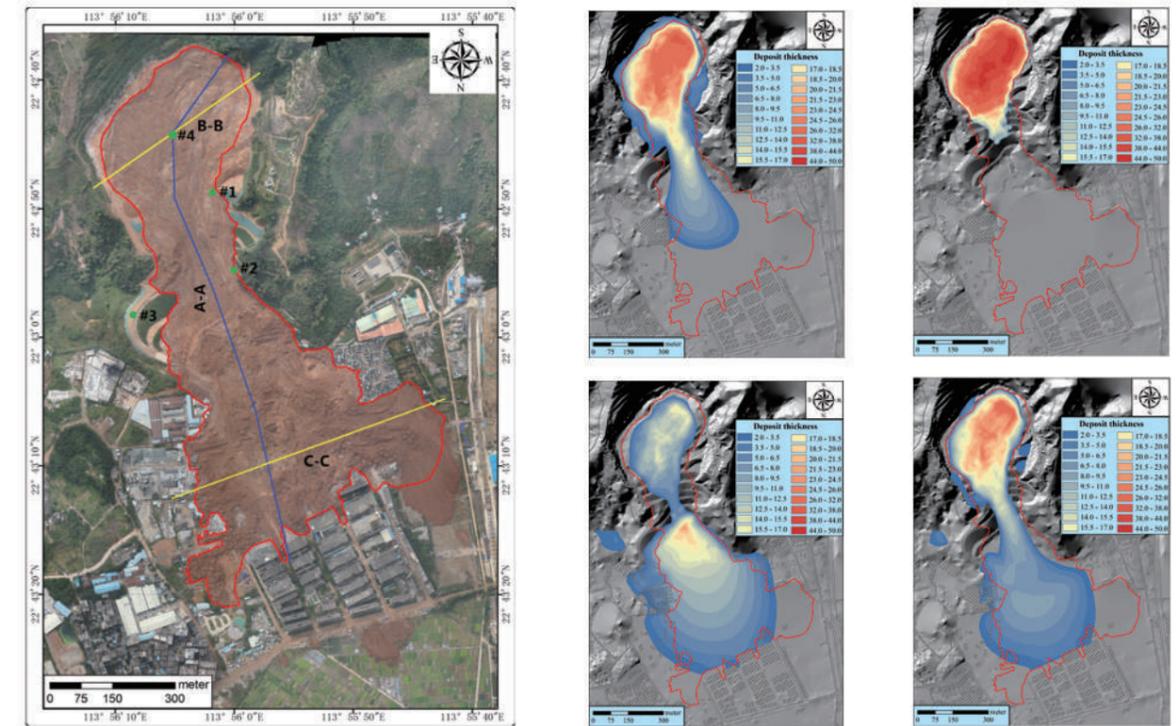
应用案例二：浙江丽水滑坡数值模拟计算案例

本计算实例采用 Massflow 软件模拟2016年“9.28丽水滑坡”运动过程，计算结果与实测资料对比分析显示计算结果能较好地再现滑坡运动的全过程。



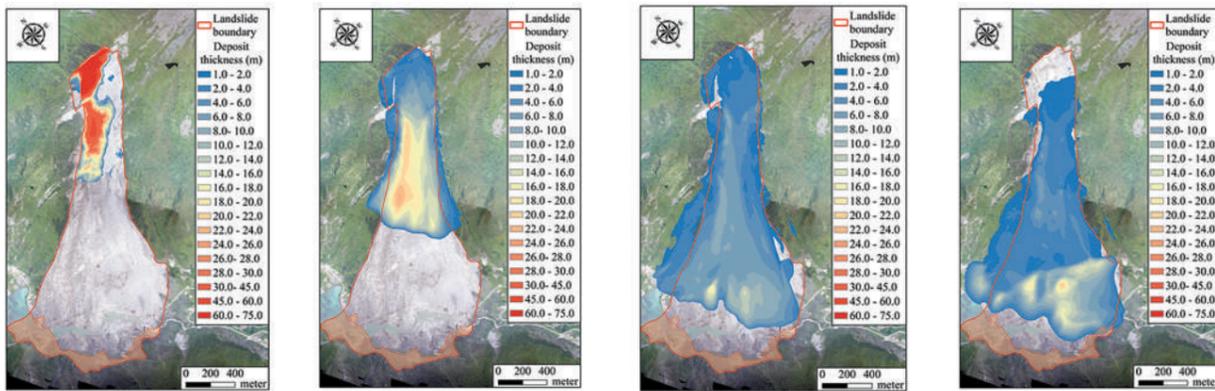
应用案例三：光明新区堆渣场滑坡灾害过程模拟及危害范围计算案例

本计算实例采用 Massflow 软件模拟2015年深圳光明新区特大滑坡的运动过程，模拟采用了考虑基底超孔隙水压力的库伦模型，计算结果与实测资料对比分析显示计算结果能较好的再现滑坡运动的全过程。(Ouyang et al., Landslides, 2017)



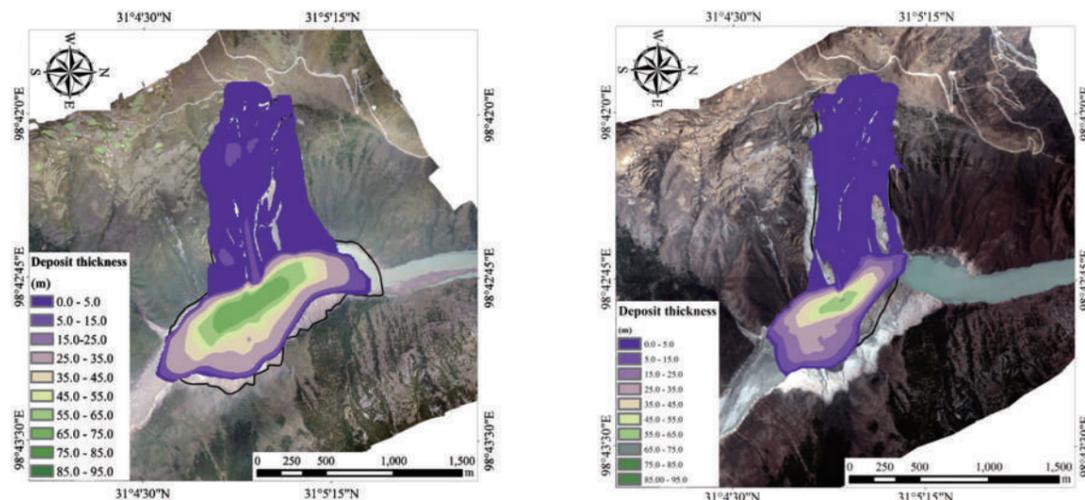
应用案例四：四川2017年茂县滑坡数值模拟计算案例

本计算实例采用 Massflow 软件模拟“6.24茂县滑坡”的运动过程，模拟采用了库伦模型，并考虑了体积扩大效应，计算结果与实测资料对比分析显示计算结果能较好地再现滑坡运动的全过程。（Ouyang et al.,JMS,2017）



应用案例五：金沙江白格滑坡动力学过程及风险数值模拟计算案例

采用Massflow软件反模拟2018年金沙江白格滑坡的运动过程，两次滑坡的模拟采用了同样参数的库伦模型，其中金沙江滑坡的数值计算正演结果成功预测了金沙江第二次滑坡的危害范围。（Ouyang et al.,Landslides,2019）

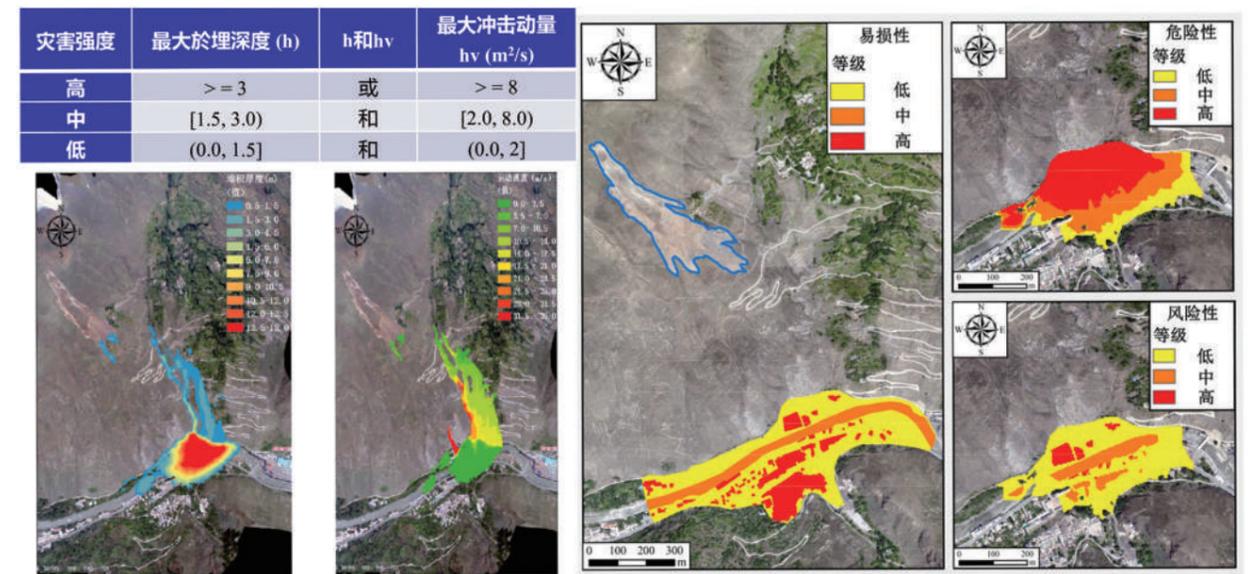


金沙江滑坡反演数值模拟分析

金沙江滑坡的数值计算正演结果成功预测了金沙江第二次滑坡的危害范围

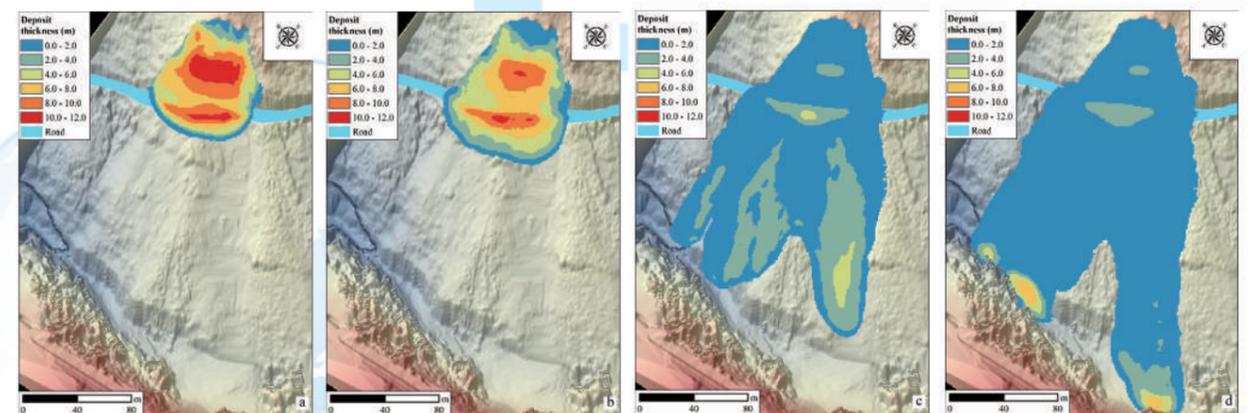
应用案例六：四川理县滑坡风险评估案例

本计算实例采用Massflow软件对理县滑坡进行了风险评估，通过蒙特卡洛法选取了满足正态分布的计算参数，确定了滑坡的潜在危害范围并进行了危险性分区，计算结果表明得出隧道出口位于高风险区。



应用案例七：北京房山滑坡动力过程数值模拟计算案例

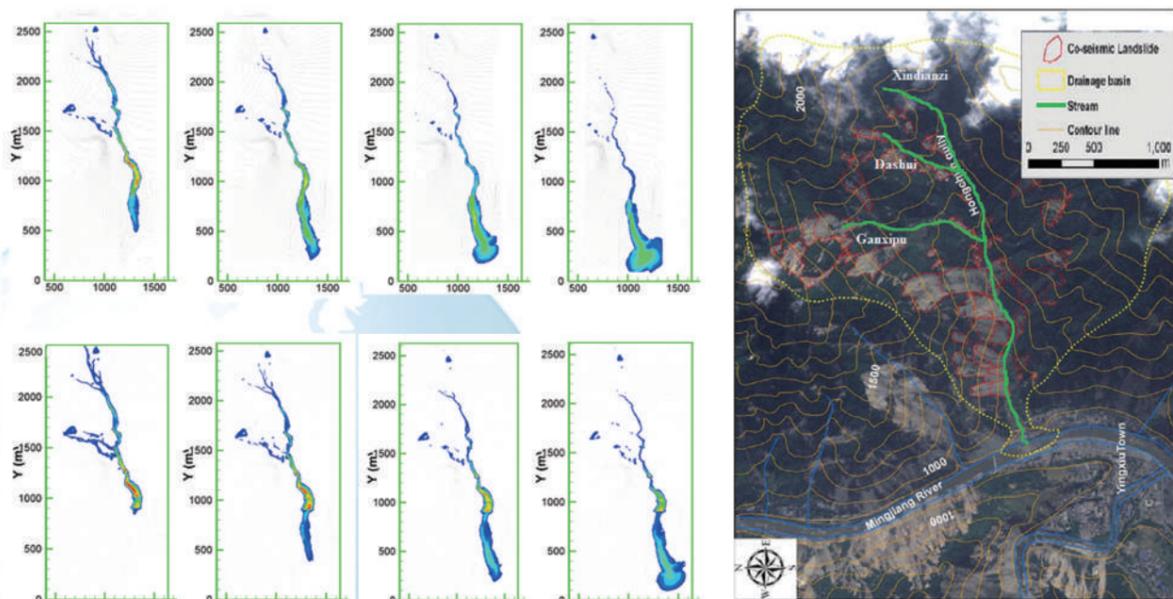
本计算实例采用Massflow软件模拟2018年北京房山滑坡的运动过程，滑坡的模拟采用了旋转坐标系，计算结果与实测资料对比分析显示计算结果能较好地再现滑坡运动的全过程（Zhou et al.,Landslides,2020）



典型泥石流案例

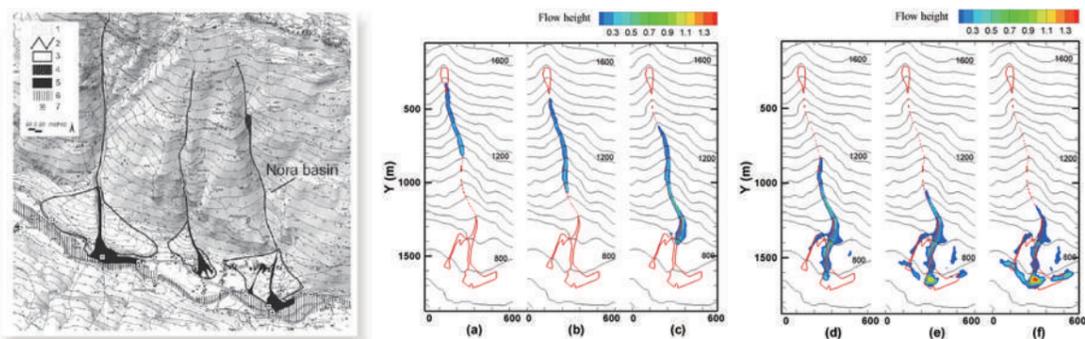
应用案例八：红椿沟泥石流数值模拟计算案例

开展2011年8.14红椿沟泥石流灾害过程模拟，计算结果与实测资料对比分析显示计算结果能较好的模拟红椿沟泥石流灾害全过程；同时使用该软件开展了泥石流防护工程效果定量评价。(Ouyang et al.,Engineering Geology,2015)



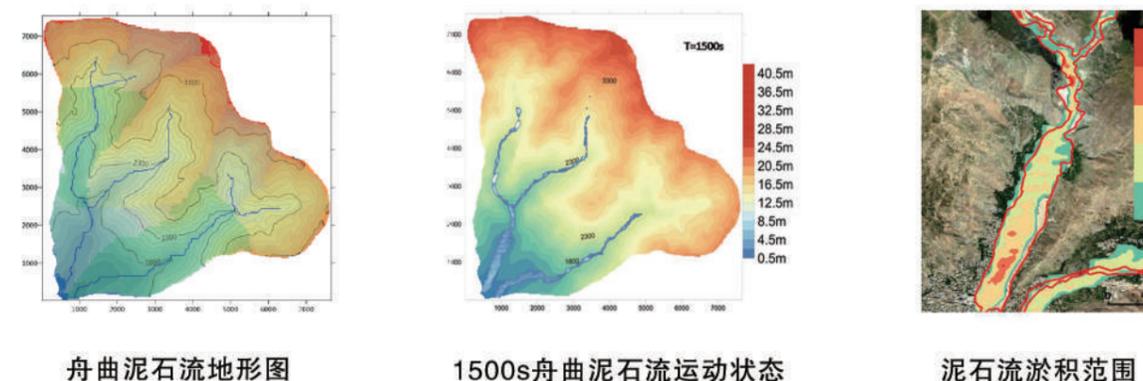
应用案例九：意大利2000年Nora泥石流数值模拟计算案例

开展2011年8月14日红椿沟泥石流灾害过程模拟，计算结果与实测资料对比分析显示计算结果能较好的模拟红椿沟泥石流灾害全过程；同时使用该软件开展了泥石流防护工程效果定量评价。(Ouyang et al.,Engineering Geology,2015)



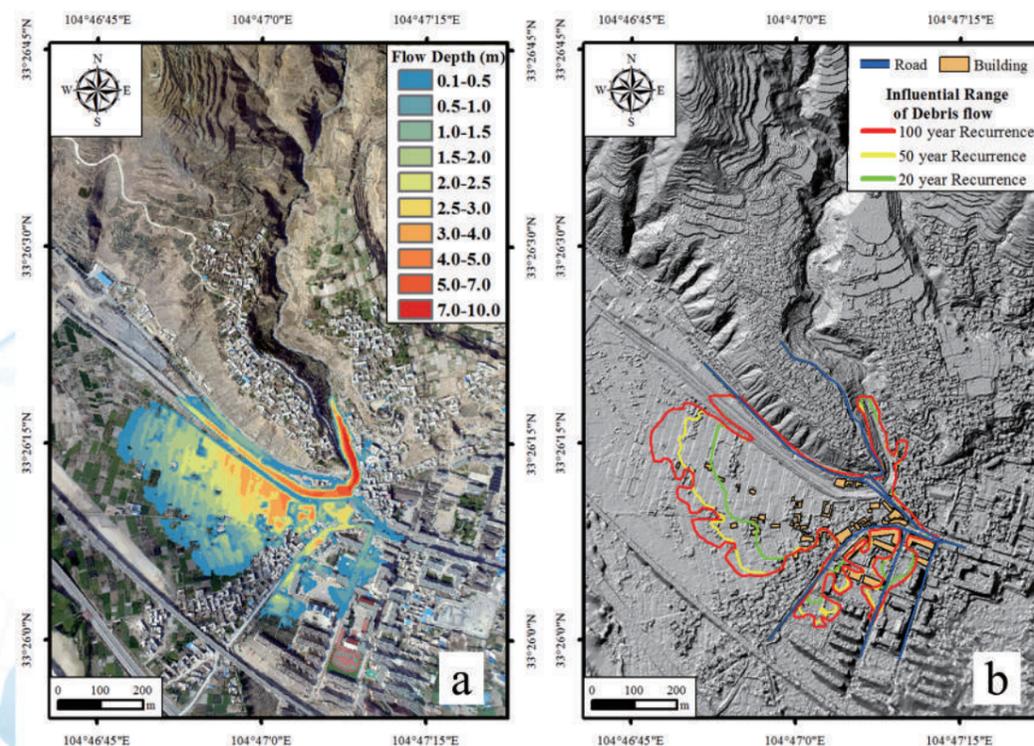
应用案例十：舟曲泥石流数值模拟计算案例

开展2010年“8.7”舟曲泥石流过程模拟，计算结果与实测资料对比分析显示计算结果能很好地再现泥石流运动的全过程。



应用案例十一：泥湾沟泥石流风险评估案例

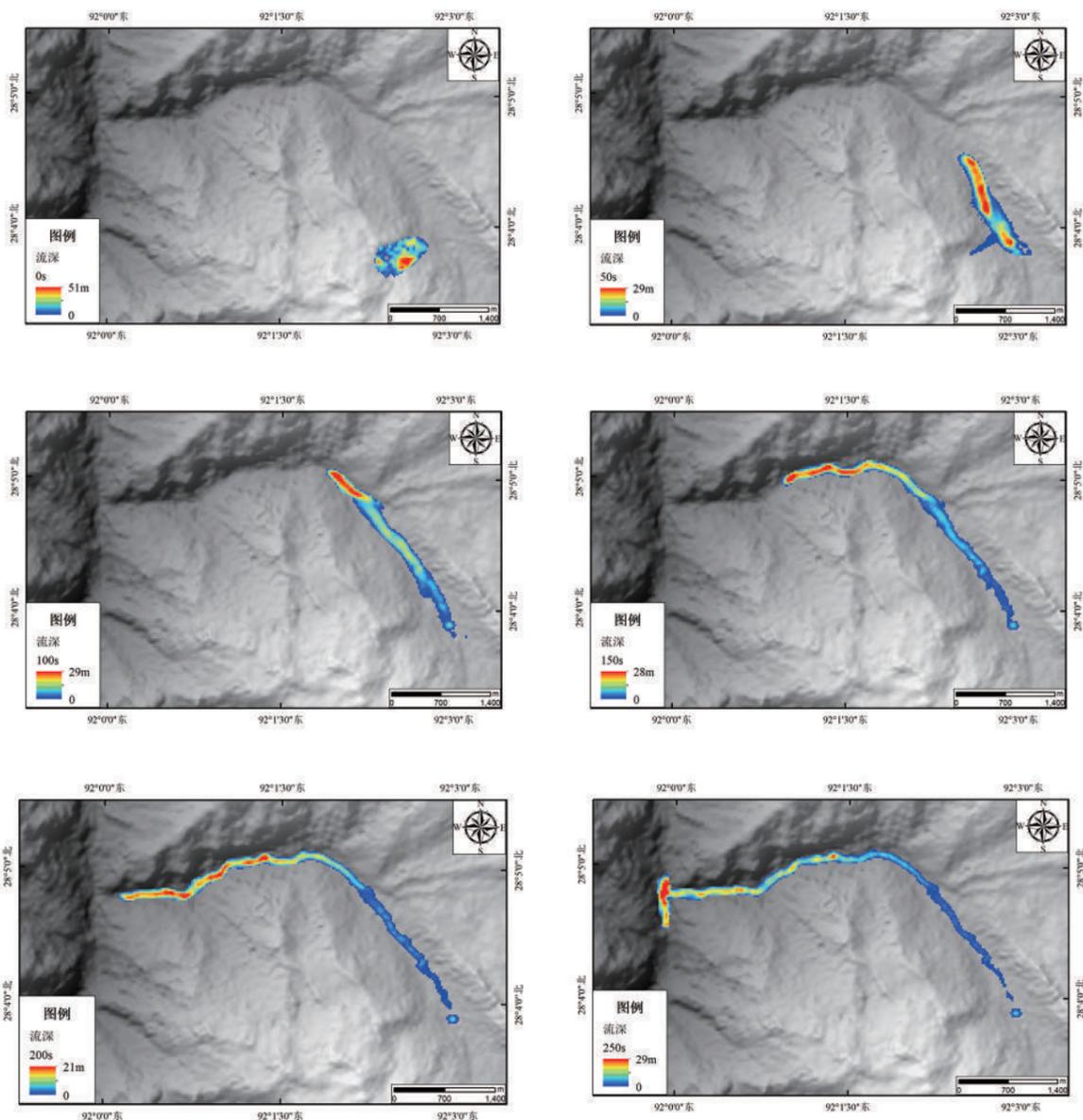
本计算实例采用Massflow软件进行了泥湾沟泥石流风险评估，采用流量过程曲线对不同重现期的泥石流进行模拟，确定了泥石流的潜在危害范围并进行了风险分区。(Ouyang et al.,Engineering Geology,2019)



典型山洪案例

应用案例十二：西藏冰湖溃决洪水动力过程数值模拟计算案例

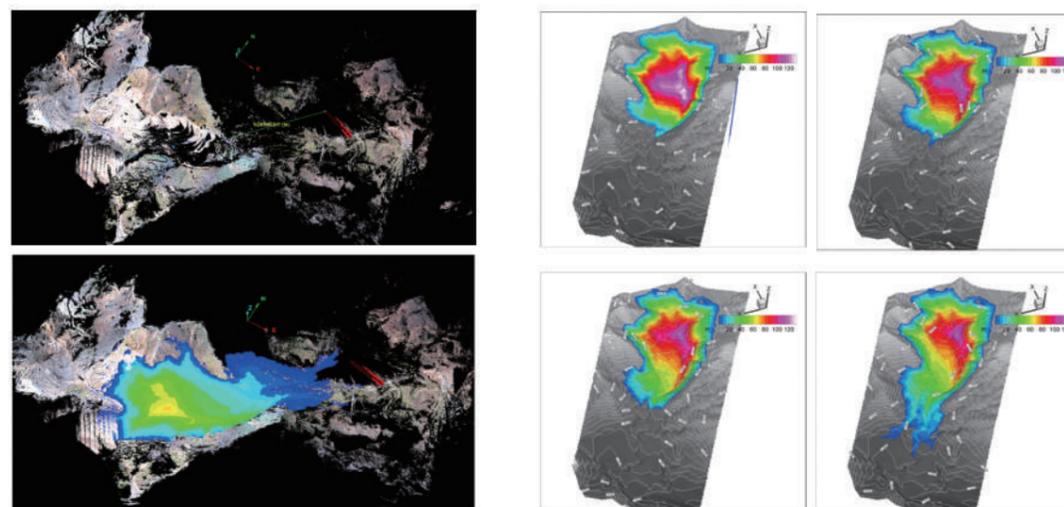
采用Massflow软件模拟冰湖溃决洪水的动力过程，模拟采用了曼宁模型，计算结果能较好的反应溃决洪水的动力过程。



典型尾矿库案例

应用案例十三：某排土场治理工程潜在滑坡动力学过程及风险计算案例

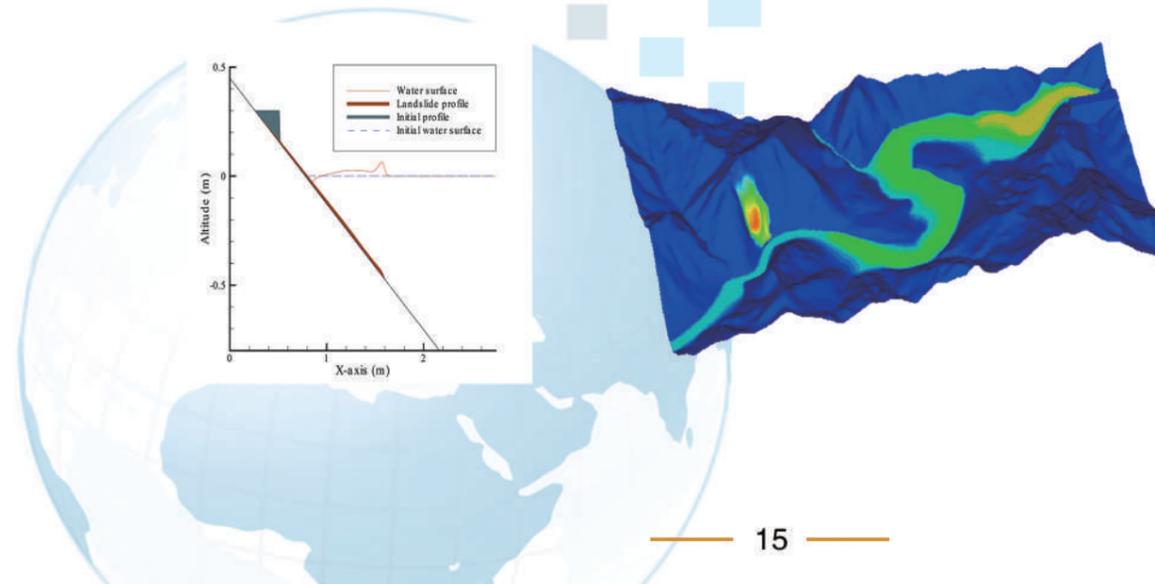
本计算实例采用Massflow软件进行了某排土场滑坡风险评估，对不同设计方案进行模拟并确定了潜在的滑坡影响范围。



综合案例

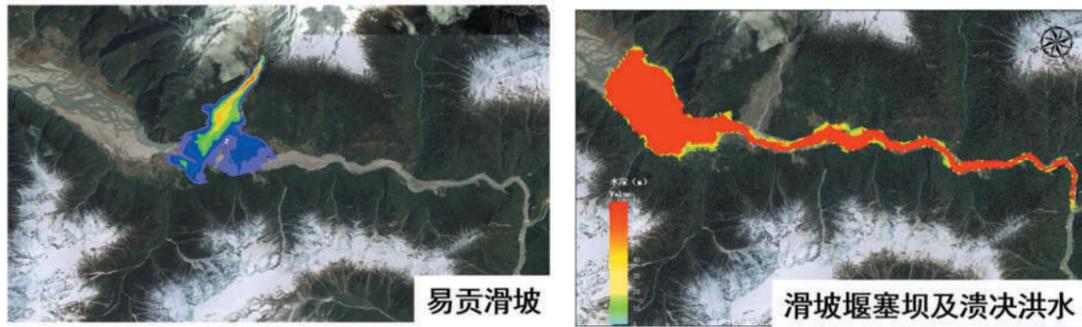
应用案例十四：滑坡—入水—涌浪灾害链数值模拟计算案例

采用Massflow软件模拟滑坡入水的水槽模型和实际案例，滑坡的模拟采用了考虑物质交换的双层流体理论，计算结果与实测资料对比分析显示计算结果能很好地再现滑坡入运动和涌浪的全过程。



应用案例十五：易贡滑坡、滑坡堰塞坝及溃决洪水模拟计算案例

本计算实例采用Massflow软件模拟对2000年易贡滑坡-堰塞坝-溃决洪水演进完整灾害链进行反演分析，计算结果与实测资料进行对比分析显示计算结果能很好地再现易贡滑坡灾害链的全过程。



应用案例十六：堰塞湖—溃决洪水—崩塌数值模拟计算案例

