

## 某库区大型堆积体成因机制三维离散元模拟<sup>\*</sup>

何军<sup>1</sup>, 石豫川<sup>1</sup>, 寇佳伟<sup>2</sup>, 冯文凯<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学 环境与土木工程学院, 成都 610059; 2. 四川省 清源工程咨询有限公司, 成都 610072)

**摘要:**在对大渡河左岸某大型堆积体的物质组成及结构特征、成因机制分析的基础上, 恢复岸坡原始地形地貌, 以此建立了地质原型。根据岩体中最为发育的垂直节理面以及层面来划分单元, 建立大约6 000多个单元, 滑体以下的滑床基岩部分作为固定单元处理。采用离散单元法对堆积体运动过程中各演化阶段进行模拟, 由此得出堆积体的演化过程划分为滑移-拉裂、碎屑流两个阶段, 其成果与定性判断相吻合。

**关键词:**堆积体; 3DEC; 成因机制; 滑移-拉裂; 碎屑流

**中图分类号:**TV221; TV222.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2008)06-0185-03

## Origin Mechanism Simulation of Some Storehouse District Large-Scale Stack Body Based on 3DEC

HE Jun<sup>1</sup>, SHI Yu-chuan<sup>1</sup>, KOU Jia-wei<sup>2</sup>, FENG Wen-kai<sup>1</sup>

(1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Qingyuan Engineering Consulting Co., Ltd SiChuan, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** Based on the analysis of material composition and structure characteristic, genetic mechanism in Dadu River left bank some large-scale stack body, the bank slope initial form landform restores and the geological prototype is established. More than 6000 units are set up according to the vertical divisional plane as well as the stratification plane. The slip-sliding below the bed rock takes the fixed unit to deal with. Using the Distinct Element Method to simulate each evolved stage in accumulation of body movement process, the results showed accumulation of body evolutionary process divide into the slipping-tension fracture and the detritus flows two stages with the results and qualitative judgments coincided.

**Key words:** Stack body; 3DEC; genetic mechanism; slipping-tension fracture; detritus flows

### 1 引言

干海子滑坡位于大渡河某库区坝址下游约650 m处大渡河右岸, 其对岸根巴沟沟口堆积体方量高达3 840万m<sup>3</sup>。该堆积体成因主要有两种观点, 其一为右岸干海子滑坡过江堆积残体; 另一种观点认为来源于左岸, 与干海子滑坡无关。因成因问题直接关系到某拟建库区水库运营, 因而有必要对其特征、成因及与干海子滑坡关系进行研究。

### 2 堆积体概况

#### 2.1 堆积体规模及形态特征

某堆积体位于大渡河左岸根巴沟沟口, 呈前宽后窄的“锥形”, 沿大渡河流向方向长约920 m, 堆积形态如图1所示。

#### 2.2 物质组成及结构特征

根据坡体物质组成特征, 可以将堆积体从上至下分为三层, 分层剖面见图2。顶部为以孤石、块石为主的粗大粒径土体; 上部以块碎石夹粉土为主; 底部以卵砾石夹砂为主。

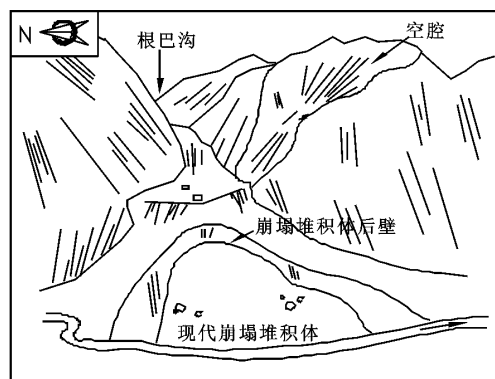


图1 根巴沟堆积体示意图

### 3 堆积体成因机制及演化过程分析

根巴沟左侧高程2 600~3 000 m处存在一个大型基岩空腔, 其发育部位近沟口且规模巨大。空腔部位地层岩性以志留系茂县群 Smx<sup>4+3</sup> 石英片岩夹石英岩为主, 鲜有软弱夹

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-01-07

基金项目: 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室“科技减灾、重建家园”专项科研基金(DZKJ-08011)

作者简介: 何军(1983-), 男, 四川南充人, 硕士, 主要从事岩土及工程地质科研工作。E-mail: hejuntangshu@163.com

层,但构造结构面发育,层面与裂隙组合将岩体切割成楔形体(图 1),易导致谷坡岩体失稳。

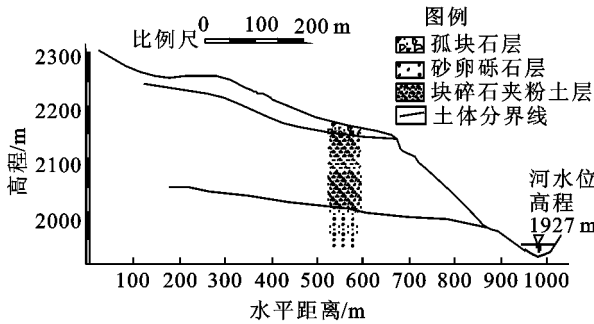


图 2 堆积体物质组成成分层剖面图

根据对堆积体的物质成分和结构特征分析,根巴沟堆积体来源于后缘空腔的滑塌,其地质演化过程为:根巴沟左侧滑坡高速下滑过程中,受到右侧基岩谷坡阻挡,岩层充分解体,形成碎屑流,洒落在根巴沟沟口。撒落堆积体堵塞根巴沟沟口,由于其方量巨大,沟内流水无法冲破。随着时间的推移,沟内洪水和泥石流带来的固体颗粒逐渐堆积形成第二

级平台。洪水和泥石流漫过第二级平台,与前缘散落堆积体混杂,形成如今的堆积格局。

#### 4 三维离散元动态模拟

##### 4.1 模型建立的依据

模型的建立主要是依据现场调查根巴沟沟谷左岸基岩空腔形态、地形、地貌特征、地层岩性和结构特征等,并根据其平面图将其恢复到原始地貌形态和相应的岩体结构特征,以此进行三维动态数值模拟,重现其变形-破坏-堆积全过程。

##### 4.2 模型的建立

模型以变形破坏斜坡岩体前缘北侧角点为坐标原点,建立三维坐标系。

模型沿  $X$  方向选取 2 450 m,  $Y$  方向选取 1 368 m,  $Z$  方向选取 1 510 m(见图 3)。另外,为了能够简化模型,突出重点,前缘大渡河干流河床 1 800 m 高程采用水平建模。

##### 4.3 物理力学参数取值

模型按地层实际所在层位地层单元进行综合取值,以类比法为主要参考依据,地层及结构面的力学参数见表 1 及表 2。

表 1 岩体力学参数取值

地层	地层代号	弹性模量/MPa	泊松比	密度/( $\text{MN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	内聚力/MPa	内摩擦角/( $^{\circ}$ )	抗拉强度/MPa
志留系茂县群	$\text{Smx}^{+3}$	25000	0.22	0.0265	2.40	38	2.40

表 2 结构面力学参数取值

结构面	倾向	倾角	切向刚度/MPa	法向刚度/MPa	内聚力/kPa	内摩擦角/( $^{\circ}$ )	抗拉强度/kPa
层面	$74^{\circ}$	$29^{\circ}$	100	100	50	17	50
节理面	$216^{\circ}$	$49^{\circ}$	100	100	20	10	10

##### 4.4 计算成果分析

根据 3DEC 离散元动态模拟结果,根巴沟沟口堆积体形成过程总体可划分为滑移-拉裂和碎屑流两个部分,其第一部分变形破坏过程大致可划分为滑移-轻微拉裂阶段、滑移-强烈拉裂阶段、滑面贯通-整体失稳阶段 3 个阶段;第二部分变形破坏方式是由岩体撞击沟谷右壁形成碎屑流向根巴沟沟口堆积。各阶段特征描述如下:

(1) 滑移-拉裂孕育阶段。斜坡岩体在控制性结构面作用下,沿下伏软弱结构面向坡体前缘临空面方向滑移,并使滑移体拉裂解体。当滑移面向前缘临空方向时,后缘以及侧缘出现不同程度的裂缝,并且整体开始发生蠕滑变形。由图 4 可以看出,岩体整体趋于滑动,并且在控制性结构面部位出现不同程度的

裂缝。岩体整体沿结构面具有运动趋势,轻微解体,滑移位移小,运动速度微小,动能低。岩体处于滑移-拉裂孕育阶段。

(2) 滑移-拉裂加剧阶段。当迭代到 1 100 步时,由图 5 所示的“楔形”滑体向前缘临空面变形,岩体内多处出现裂缝,但岩体仍保持较好的整体性。伴随时间的推移,岩体滑移变形逐步发展,加上暴雨及地震力等外力作用,岩体沿结构面滑移-拉裂变形加剧,岩体本身挤压破坏,并一定程度解体。当迭代到 1 400 步时,从图 6 可以看出,岩体变形进一步增强,前缘部位岩体的强烈扩容,导致岩体松动加剧,出现了局部的崩落。运动速度增大的同时,岩体运动位移也增大,滑动体动能进一步增强,但是没有完全剪断“锁固段”,变形处于滑移-拉裂加剧阶段。

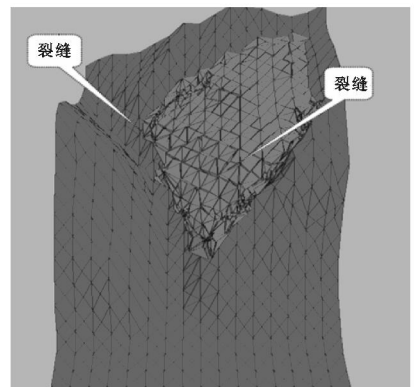
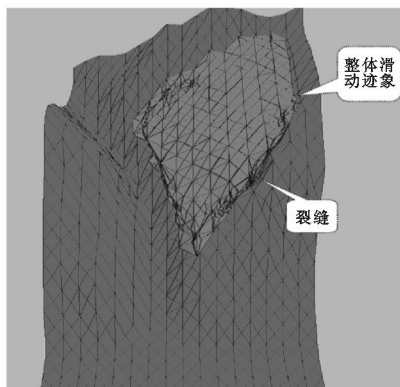
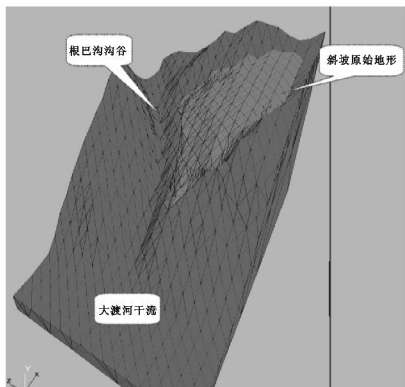


图 3 根巴沟左岸原始地形图 图 4 迭代 800 步时坡体出现滑移破坏现象 图 5 迭代 1100 步时坡体的总体开始破坏现象

(3) 滑面贯通 - 整体失稳阶段。斜坡岩体沿软弱层面和控制性结构面变形加剧,后缘拉裂缝向深部发展,一旦贯通,岩体将从高位迅速剪出下滑,形成滑移 - 拉裂型滑坡。

当迭代到 1 600 步时,从图 7 可以看出,坡体后缘已产生了明显的拉裂缝,侧缘部位岩体在运动过程中碾压破碎,岩体已经剪断下部“锁固段”,整体失稳。破坏岩体前部解体

较充分,后部完整性较好。且前部岩体已经运动与根巴沟右岸岩壁接触,处于紊乱阶段。当迭代到 1 900 步时,从图 8 可以看出,破坏岩体出现比较充分解体,尤其是前部岩体。前部解体后的岩块在前缘受沟谷右侧岩壁阻挡后运动方向发生改变,受岩壁坡面形态影响,具有顺根巴沟沟谷向沟口方向运动趋势。

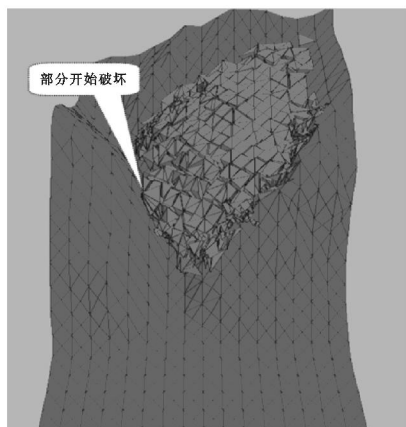


图 6 1400 步时滑体前缘在接触山体前部分出现破坏现象

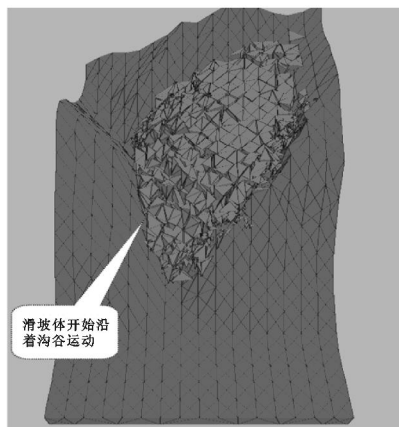


图 7 迭代 1600 步时滑体前缘接触山体出现整体挤压破坏现象

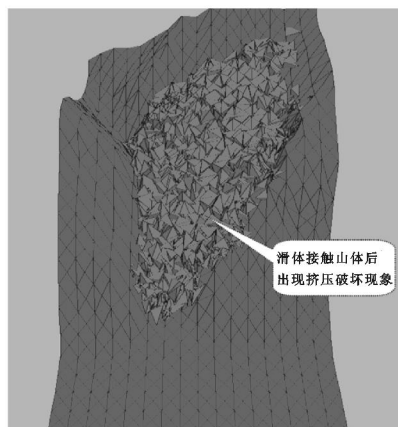


图 8 1900 步时滑坡体接触右壁后总体完全破碎

(4) 碎屑流阶段。根巴沟沟口堆积体在形成过程中因受特殊环境条件影响控制,最终以碎屑流的形式形成。当迭代到 2 300 ~ 5 000 步时,破坏岩体高速撞击沟谷右侧山体后充分解体,首先向沟谷洒落,堵塞根巴沟沟道。沟谷堵塞后,因沟谷右壁坡面方向偏西,因此,块体撞击后出现小角度偏转,向根巴沟沟口方向运动。

当迭代到 5 000 多步时,从图 9 可以看出,块体在根巴沟沟口堆积方量增多,并已初步形成锥形,平面上看呈扇形。当迭代到 7 000 步时,从图 10 可以看出,块体已大量在沟口堆积,仅少量残留于坡体上,根巴沟沟口堆积体初步形成。现今根巴沟沟口堆积体形态与早期形态有一定差别,主要是经历后期改造导致。

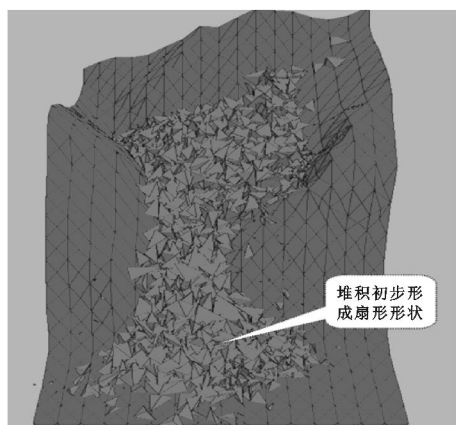


图 9 迭代到 5000 步时初步形成锥形状

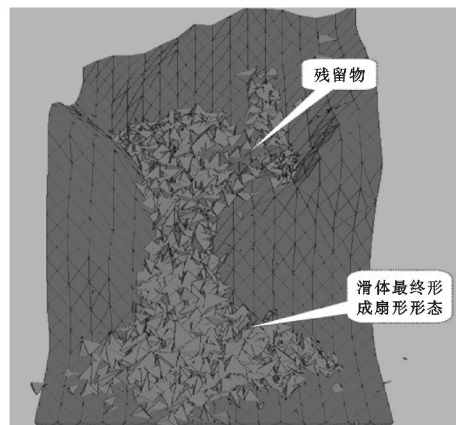


图 10 迭代到 7000 步时形成锥形态

## 5 结论

(1) 根据根巴沟堆积体发育的环境地质条件及堆积体结构特征,堆积体为滑移 - 拉裂和碎屑流两个部分。

(2) 该堆积体物质组成及结构特征、颗粒级配、块碎石岩性及风化程度等方面与右岸干海子滑坡存在显著的差异,与右岸干海子滑坡无关。

(3) 三维离散元模型很好地展示了堆积体形成的全过程,进一步证实了该堆积体不是右岸干海子滑坡过江堆积残体,而是来源于左岸。

(4) 根巴沟左侧高程 2 600 ~ 3 000 m 位置存在一个大型基岩空腔,空腔内的破坏岩体极成为堆积体上部物质的主要来源。

## 参考文献:

- [1] 潘别桐,黄润秋. 工程地质数值法[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [2] 王泳嘉,邢纪波. 离散元法及其在岩土力学中的应用[M]. 沈阳:东北工学院出版社,1992.
- [3] 侯克鹏,阮永芬. 离散元法模拟边坡稳定性若干问题探讨[J]. 昆明理工大学学报,2000,25(1):93-96.