

# 云南蒋家沟古泥石流特征

雷发洪<sup>1 2 3</sup> 胡凯衡<sup>1 2\*</sup> 马超<sup>1 2 3</sup> 田密<sup>1 2 3</sup>

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室 四川 成都 610041;

2. 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; 3. 中国科学院大学 北京 100049)

**摘 要:** 蒋家沟流域在小江大断裂东侧的隆起地段,这一区域构造活动强烈。自第四纪以来,受到内、外动力地质作用的共同影响,蒋家沟在河流沉积及泥石流堆积作用下形成了阶梯状台地。实地考察蒋家沟各支沟残留台地的沉积构造、新鲜坡面的古泥石流活动记录,根据泥石流堆积物的沉积特征,初步划分泥石流类型。再结合现有的泥石流容重计算方法和各泥石流台地泥石流堆积物的颗粒分析实验结果,可计算出蒋家沟不同泥石流活跃期泥石流的天然容重,还原了蒋家沟第四纪以来不同时期泥石流活动特征。最后讨论了泥石流在不同时期发生变化的原因。

**关键词:** 蒋家沟; 第四纪; 古泥石流; 沉积

**中图分类号:** P642.23

**文献标志码:** A

蒋家沟是小江流域中泥石流规模最大、危害最严重的沟之一,也是中国科学院东川泥石流观测研究站所在地。这里平均每年暴发泥石流 15 次,最高达 28 次<sup>[1-2]</sup>,是世界上最佳的泥石流观测、实验和研究场所,也是研究古泥石流沉积的理想地点。对第四纪以来古泥石流的研究涉及到古环境、古气候、古沉积和新构造运动等多个学科领域。崔之久<sup>[3]</sup>系统讨论了不同泥石流类型的沉积结构,总结了泥石流沉积的识别标志;刘耕年<sup>[4]</sup>等从泥石流堆积机理的角度分析了泥石流堆积形成的各种特殊构造,从不同的堆积构造推测古泥石流的类型及运动特征;吴积善<sup>[5]</sup>以蒋家沟为例,分析了粘性泥石流堆积物的组成、颗粒形貌、结构和构造等主要特征,由此鉴别粘性泥石流堆积;况明生<sup>[6-7]</sup>等分别利用山原红壤发育的硅迁移模型和 ESR (Electron Spin Resonance dating) 测年方法对蒋家沟 6 级台地的山

原红壤和台地沉积物进行测年,由此划分蒋家沟第四纪地层和推测蒋家沟流域所经历的新构造运动。

本文试图通过古泥石流台地天然临空面所揭示的泥石流堆积物沉积特征,初步划分蒋家沟各泥石流活跃期泥石流类型,并对比分析李培基、康志成、陈宁生和余斌所得到的关于泥石流天然容重计算方法计算出蒋家沟在不同时期所发生泥石流的天然容重<sup>[8-13]</sup>,推测蒋家沟第四纪以来泥石流特征的总体变化趋势。

## 1 研究区概况

蒋家沟系金沙江水系小江右岸的一条支沟,主沟长约 13.9 km,流域面积 48.6 km<sup>2</sup>。103°08'E 26°14'N,最高海拔 3 269 m,最低海拔 1 088 m。流域内支沟水系比较发育,其中主要支沟有门前沟、多照沟、

收稿日期(Received date): 2012-09-26; 改回日期(Accepted): 2013-01-31。

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-JS305)、国家重点基础研究发展计划(2011CB409902)和中国科学院成都山地灾害与环境研究所青年百人团队项目资助。[This research is supported by the Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (Grant No. KZCX2-YW-JS305), the National Program on Key Basic Research Project (973 Program) (Grant No. 2011CB409902) and the Hundred Young Talents Program of Institute of Mountain Hazards and Environment.]

作者简介(Biography): 雷发洪(1988-),男,四川三台人,硕士研究生,主要从事泥石流研究。[Lei Fahong(1988-), male, born in Santai, Sichuan, master candidate majoring in debris flows.] E-mail: leifahong1988@sina.com

\* 通讯作者(Corresponding author): 胡凯衡(1975-),男,江西瑞金人,研究员,硕士生导师,主要从事泥石流动力学研究和减灾。[Hu Kaiheng (1975-), male, born in Ruijin County of Jiangxi Province, professor. Major in debris flow mechanism and mitigation.] E-mail: khhu@imde.ac.cn

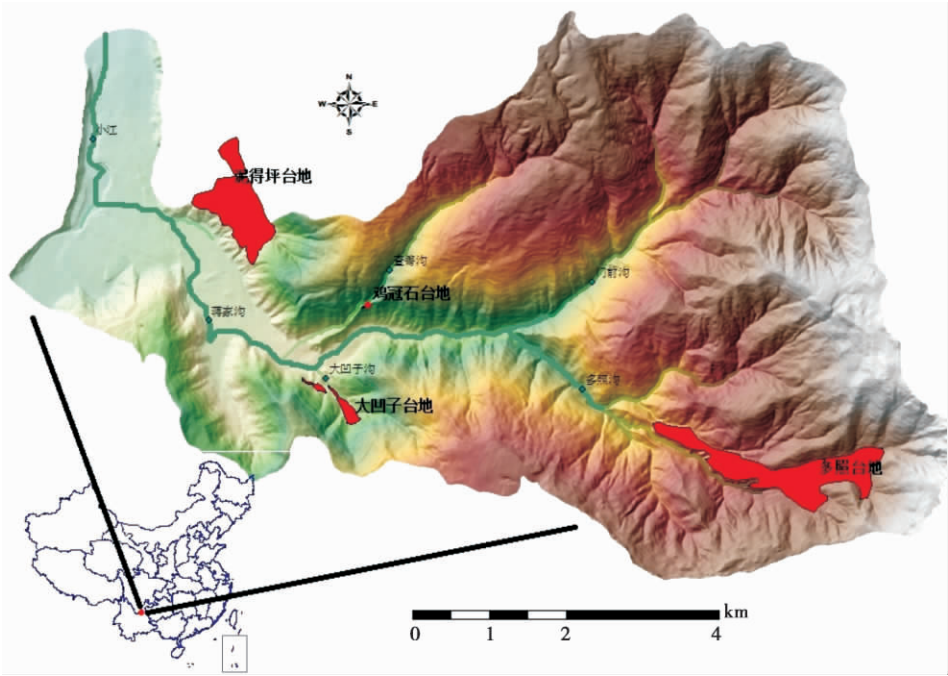


图 1 蒋家沟古泥石流台地分布

Fig.1 Map of ancient debris-flow accumulation terrace at Jiangjia ravine

大凹子沟、查箐沟和老蒋家沟,现在正处于泥石流活跃期,是我国乃至世界上著名的泥石流研究基地<sup>[1]</sup>。该流域内残留的第四纪古泥石流台地,主要是大凹子、泥得坪、上下鸡冠石、多照台地(图 1)。

1.1 新构造运动

蒋家沟地处小江断裂带影响范围之内。小江断裂是一条形成与发育历史悠久的断裂带,也是蒋家沟构造运动的主要控制线,北段起于巧家以北,向南经东川分为东、西两支。蒋家沟位于小江以东,是小

江断裂带的东翼,为小江逆断层的下降盘。小江断裂带现在的面貌是早更新世末以来才基本形成的。自新生代以来,由于受到青藏高原隆升的影响,该区主要断裂带复活,小江断裂带上的断陷湖泊贯通,形成小江。然后,在新的构造运动作用下,地壳间歇性抬升,河流下切,逐渐形成现在的地貌,满足了泥石流发生所需要地形条件(表 1)。

结合文献资料和实地考察结果,蒋家沟流域内,除泥得坪台地以外,在新构造运动和外动力地质作用

表 1 新生代以来影响小江流域的主要构造运动

Table 1 The main tectonic movements in Xiaojiang basin since Cainozoic era

时代	构造运动	产生的影响
全新世	全新世初期,小江流域继续抬升运动	江水下切形成达垞台地
晚更新世	小江流域地壳又一次发生抬升	江水下切,形成泥得坪台地
中更新世	印度板块和欧亚板块继续碰撞,导致小江地壳发生明显间歇性抬升,小江发育小型断裂活动	小江流域江水下切,侵蚀基准面下降,形成三级台地
早更新世	青藏运动 C 幕和金沙江运动,分别使湖相沉积间断,湖相沉积转化为河相沉积	古小江沿断裂带进行溯源侵蚀与金沙江全面贯通,湖水外泄
	青藏运动 B 幕,云南地壳发生抬升,小江断裂带上的离散地块发生沉陷	出现一定海拔高度的高原和湖盆,开始湖相沉积
上新世	青藏运动 A 幕,青藏高原隆升向东扩展	云南高原西北侧的横断山地发生明显褶皱断裂活动

注: 资料来源于文献[14]。

下,各支沟内还残留有上、下鸡冠石、大凹子和多照台地。根据堆积台地高程和已有测年资料,蒋家沟泥石流活动大致可分为三期。李永化等对沉积物中石英的 ESR 测年及热释光测年结果小江域内的古泥石流堆积划分为早、中、晚三期<sup>[15]</sup>。

### 1.2 地层岩性

蒋家沟流域出露的主要是下元古代昆阳群上组和下组的板岩、页岩以及千枚岩,其次是上震旦纪灯影组白云岩和第四纪沉积物<sup>[16]</sup>。元古代岩层风化后形成残积物、坡积物以及第四纪的冲、洪积物遍布于整个流域,为泥石流的发生提供了大量的松散物质。

### 1.3 第四纪气候

新生代以来,大规模的泥石流开始于第三纪末期,中更新世达到了高峰阶段,一直到全新世仍有泥石流活动<sup>[15]</sup>。在这个过程中泥石流的活动具有一定的阶段性和周期性。这种阶段性和周期性并不是偶然的,它和整个地区新构造运动的阶段性和周期性以及第四纪以来气候环境变化的阶段性和周期性有着密切的关系。

印度洋板块向北漂移与欧亚板块发生碰撞,大地构造进入阿尔卑斯—喜马拉雅阶段,青藏高原像楔形体一样被抬升。研究表明,第三纪末期以前,青藏地区形成的是广阔的夷平面,海拔不到1 000 m,之后依次经历了青藏运动(3.6—1.7 Ma BP)、昆(仑)黄(河)运动(1.1—0.6 Ma BP)和共和运动(0.15 Ma BP)三期抬升运动<sup>[15]</sup>。高原急剧抬升达到现在的高度。青藏高原逐渐抬升的过程中,受地形影响,现在的典型季风气候也逐渐形成,降雨开始变大且集中分布在夏季,泥石流的活动也随之增强。

此外,受全球性第四纪冰期的影响,随着冰期间冰期的交替,间冰期期间,小江地区气候温暖湿润,泥石流发生频率也会增加<sup>[17-19]</sup>。所以,气候变化的阶段性和周期性与泥石流的活动性和周期性也存在着密切联系。

## 2 蒋家沟泥石流特征

蒋家沟自第四纪以来,在新构造运动作用下多次发生抬升运动,每一次抬升运动之后都经历了相应的泥石流活跃期。泥石流作为外动力地质作用的表现形式之一,对地貌主要起夷平作用。在每一泥石流活跃期之后,原泥石流堆积扇受到下蚀作用形

成堆积阶地,沟谷在泥石流堆积作用下形成新的泥石流堆积扇<sup>[3-4, 20-21]</sup>。蒋家沟地区在新构造运动下经历了多期泥石流活跃期,先期形成的泥石流堆积扇受到后期构造运动及泥石流活动的破坏。古泥石流堆积扇仅部分保留,主要是大凹子、泥得坪、上下鸡冠石、多照台地。蒋家沟作为国内外资料最完善的泥石流研究基地之一,已有学者对该区古泥石流堆积物做了测年<sup>[6, 14, 22]</sup>(表4)。通过对古泥石流堆积台地的实地考察并采集古泥石流物质做粒径分析,得出蒋家沟第四纪以来所发生的泥石流具有以下特征。

### 2.1 沉积特征

通过泥石流的沉积物的宏观构造可以反映泥石流发生时泥石流搬运和堆积的过程与机制,进而反映泥石流粘性和流态。根据泥石流容重或固体体积浓度可将泥石流分为粘性泥石流、过渡性泥石流以及稀性泥石流,泥石流流态可分为层流、紊流和过渡流。其中稀性泥石流主要以紊流形式运动,其中的粗颗粒沿床底滚动、跃移或拖移,当粗颗粒受到的阻力大于向下游运动的合力时,粗大颗粒在床面发生沉积;粘性泥石流主要以层流方式运动,是一个整体前进或整体沉积的过程;过渡性泥石流,流速较慢时表现为层流,流速较快时容易受到沟床大石块或泥石流体内部石块之间强烈碰撞出现扰动,沉积物分选较差<sup>[3, 12, 20-21]</sup>。粘性泥石流沉积属于分选极差的混杂沉积,稀性泥石流具有泥沙的沉积分选,过渡性泥石流介于粘性泥石流和稀性泥石流之间,其沉积特征也介于两者之间,存在弱分选沉积<sup>[12-13, 23]</sup>。蒋家沟古泥石流堆积的物质组成、堆积形态如图2、3所示。

从堆积结构可以看出蒋家沟各个时期古泥石流,在堆积过程中主要以混杂堆积为主。多照台地两侧的侵蚀冲沟中可见大量巨砾石堆积,堆积物存在分级特征。鸡冠石和泥得坪台地临空面局部存在分选现象。由此可初步判定多照台地是以稀性泥石流为主堆积形成的,鸡冠石和泥得坪台地是以亚粘性泥石流和粘性泥石流堆积形成的,大凹子台地是由粘性泥石流堆积形成的。在物质成分上,不同时期的物质堆积粗骨架粒径均以10~30 cm的砾石为主。但是,多照、鸡冠石和泥得坪台地堆积物中夹杂有粒径80~100 cm的巨砾成分,如图3所示。

### 2.2 容重计算方法

泥石流容重的确定主要方法是在泥石流发生时

根据获取泥石流样的重量和体积关系确定泥石流的天然容重。对于不能直接取样,而且没有目睹泥石流发生过程的见证人,也没有详细记录的情况,只能通过间接方法确定泥石流的天然容重。表 2 列出了确定泥石流容重的间接方法。

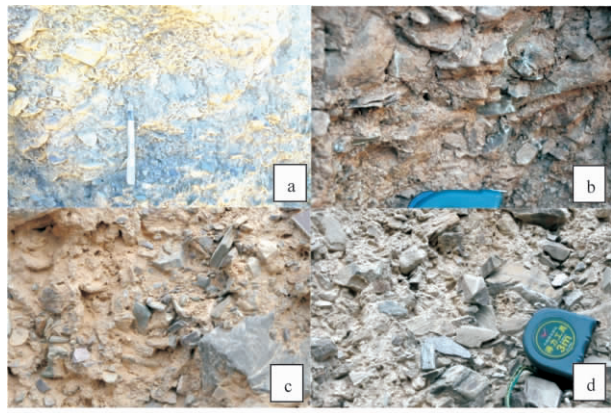


图 2 蒋家沟古泥石流堆积  
( a. 多照 b. 鸡冠石 c. 泥得坪 d. 大凹子)  
Fig.2 The characteristics of ancient debris-flow deposition  
( a. Duozhao b. Jiguanshi c. Nideping d. Dawazi)

2.3 古泥石流容重计算

通过实地考察蒋家沟流域不同位置出露的残留泥石流堆积扇,由泥石流沉积特征可初步判断多照台地是以稀性和过渡性泥石流堆积形成的,鸡冠石、泥得坪台地是以过渡性和粘性泥石流堆积形成的,大凹子台地则以粘性泥石流堆积为主。要根据泥石流沉积物计算蒋家沟古泥石流容重,计算方法必须

适用于稀性、粘性、过渡性三种泥石流类型。综合考虑以上泥石流容重计算方法各自的优缺点,选用余斌在 2008、2009 年发表的有关泥石流容重计算方法比较适合<sup>[12-13]</sup>。

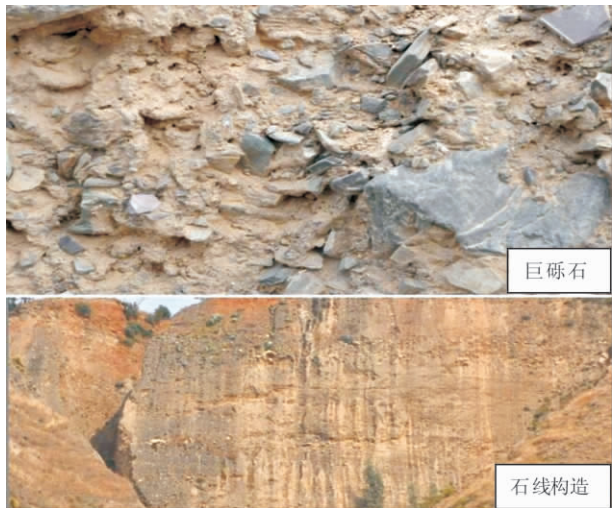


图 3 泥石流堆积物中的巨砾石和石线构造  
Fig.3 The giant gravel and linear structure in the debris-flow deposition

2.3.1 泥石流沉积样获取

蒋家沟流域出露特征明显的残留泥石流堆积扇主要有多照、鸡冠石、泥得坪和大凹子台地。这些台地由于形成年代较早,大部分已被后期外动力地质作用所破坏,并形成有泥石流堆积台地临空面。泥石流沉积样取样地点主要选取各堆积台地临空面不同高度位置。在多照取样 14 个,鸡冠石取样 7 个,泥

表 2 泥石流容重间接计算方法  
Table 2 The calculation methods of debris-flow's density

作者	公式表达式	考虑因素	优缺点
李培基等 <sup>[8]</sup> (1982)	$r_c = 1.887d_{50}^{0.0779}$ $r_c = 1.649d_{cp}^{0.1179}$	$d_{50}$ —中值粒径 $d_{cp}$ —算术平均粒径	由于泥石流物质不均匀系数大,同一中值粒径或算术平均粒径也有不同的物质组成
杜榕桓等 <sup>[9]</sup> (1987)	$r_c = (0.175 + 0.743p_x)(r_s - 1) + 1$	$P_x$ —粗颗粒百分含量( > 2 mm) $r_s$ —土颗粒容重 2.7 g/cm <sup>3</sup>	仅适合于部分粘性泥石流
陈宁生等 <sup>[10]</sup> (2003)	$r_c = -1320x^7 - 513x^6 + 891x^5 - 55x^4 + 34.6x^3 - 67x^2 + 12.5x + 1.55$	$x$ —粘粒百分含量( < 0.005 mm)	由实测资料回归分析得到,缺乏实际意义,在蒋家沟及少数地区适用
余斌 <sup>[12-13]</sup> (2008、2009)	$r_c = P_{0.35}^{0.35}P_{2r_v} + r_0$	$P_{0.05}$ —细颗粒含量( < 0.05 mm) $P_2$ —粗颗粒含量( > 2 mm) $r_v$ —粘性泥石流最小容重 2 g/cm <sup>3</sup> $r_0$ —泥石流最小容重 1.5 g/cm <sup>3</sup>	适合于粘性泥石流,用于稀性泥石流容重计算时,要修正泥石流物质的粒度分布,而且要将泥石流最小容重改为 1.4 g/cm <sup>3</sup>

表 3 泥石流沉积物中粘粒、粗颗粒含量和容重

Table 3 Percentage of fine and coarse particles in the deposition samples

编号	细颗粒 ( $P_{0.05}$ ) /%	粗颗粒 ( $P_2$ ) /%	估算容重 ( $r_c$ ) /( $g/cm^3$ )	编号	细颗粒 ( $P_{0.05}$ ) /%	粗颗粒 ( $P_2$ ) /%	估算容重 ( $r_c$ ) /( $g/cm^3$ )
DZ1	0.074	0.359	1.689	JGS6	0.066	0.484	1.773
DZ2	0.246	0.313	1.783	JGS7	0.048	0.409	1.683
DZ3	0.172	0.301	1.725	NDP1	0.041	0.723	1.873
DZ4	0.138	0.244	1.643	NDP2	0.074	0.651	1.923
DZ5	0.127	0.294	1.686	NDP3	0.121	0.524	1.901
DZ6	0.119	0.209	1.598	NDP4	0.045	0.718	1.885
DZ7	0.066	0.329	1.654	NDP5	0.071	0.556	1.840
DZ8	0.168	0.187	1.600	NDP6	0.025	0.840	1.862
DZ9	0.256	0.203	1.652	NDP7	0.035	0.811	1.902
DZ10	0.186	0.267	1.696	NDP8	0.071	0.646	1.914
DZ11	0.232	0.243	1.692	NDP9	0.024	0.729	1.795
DZ12	0.178	0.191	1.609	NDP10	0.104	0.450	1.808
DZ13	0.193	0.242	1.672	NDP11	0.070	0.567	1.846
DZ14	0.067	0.387	1.700	DWZ1	0.068	0.695	2.044
JGS1	0.030	0.720	1.821	DWZ2	0.047	0.750	2.016
JGS2	0.024	0.779	1.823	DWZ3	0.051	0.708	2.000
JGS3	0.029	0.703	1.805	DWZ4	0.024	0.678	1.866
JGS4	0.055	0.524	1.780	DWZ5	0.059	0.655	1.987
JGS5	0.060	0.567	1.824	DWZ6	0.048	0.611	1.921

注: DZ 多照台地; JGS 鸡冠石台地; NDP 泥得坪台地; DWZ 大凹子台地。

得坪取样 11 个 ,大凹子取样 6 个。

2.3.2 沉积样颗粒分析与容重计算

野外获取的 38 个泥石流沉积样 ,主要分析其中 <80 cm 的各个粒组的百分含量 ,>1 mm 部分采用筛分法获取 ,<1 mm 部分采用马尔文激光粒度仪获取 ,取样顺序按照出露台地的临空面从低到高 ,所有样品细颗粒、粗颗粒含量及估算容重如表 3 所示。

在野外实地考察获取古泥石流堆积物时 ,每一个台地都是按照天然临空面从低到高的顺序 ,按照堆积的先后顺序 ,可以认为对于每一个台地 ,所获得的泥石流堆积样是从老到新变化的。对于不同残留的泥石流堆积扇 ,前人利用 ESR 测年方法曾对多照、鸡冠石、泥得坪和大凹子做过测年分析<sup>[14 22 24]</sup> ,如表 4 所示。

结合刘嘉麒<sup>[25]</sup>等对中国第四纪地层的定年结果(表 5) ,可以得到蒋家沟流域第四纪以来泥石流容重的变化趋势 ,如图 4 ,从泥石流堆积形成多照台地开始主要是稀性泥石流 ,鸡冠石和泥得坪台地形成过程中主要是过度性泥石流 ,其中也有稀性和粘

性泥石流 ,最后形成大凹子台地是则主要是粘性泥石流。计算结果与实地考察基本吻合。现在的蒋家沟所发生的泥石流也主要以粘性泥石流为主。

表 4 蒋家沟各台地测年资料

Table 4 Age data of every terrace at Jiangjia ravine /ka

作者	多照	鸡冠石	泥得坪	大凹子
雷祥义、李昭淑	——	——	63.1	22.7
况明生( ESR)	1 418.67	218.19( 下) 562.49( 上)	136.99	——
况明生( 山原红壤)	984.985	520.72	120.725	——

表 5 中国第四纪年代表

Table 5 China Quaternary stratigraphic chart

地质时代	年龄 /Ma
全新世 /更新世	0.011
晚更新世 /中更新世	0.128
中更新世 /早更新世	0.780
更新世 /上新世	2.500



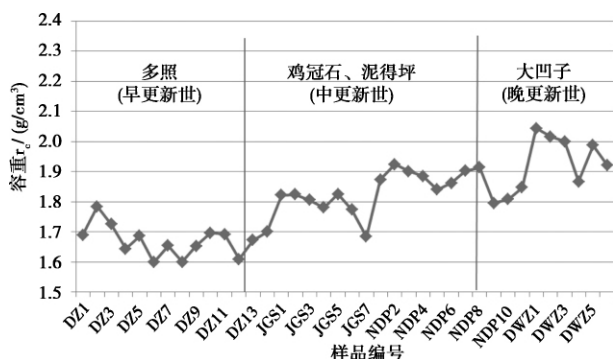


图4 蒋家沟第四纪古泥石流容重

Fig. 4 Ancient debris-flow density of Jiangjia Ravine in Quaternary period

## 2.4 原因分析

从以上分析得知蒋家沟自第四纪以来,泥石流的性质发生了变化,从稀性变化为过渡型和黏性泥石流。泥石流类型的变化源于组成泥石流的物质成分的物理特征不同。统计各台地泥石流堆积物粒度分析数据发现,不同时期泥石流堆积物粒度分布存在显著差别,由各泥石流样品的累计百分含量得到的均匀系数  $C_u$  (式(1)计算得到  $C_u$ ) 均大于5,说明泥石流是由宽级配的物质组成。但由累计曲线得到的曲率系数  $C_c$  (式(2)计算得到  $C_c$ ) 部分超出了1~3的范围(如图5所示)

$$c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1)$$

$$c_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} * d_{60}} \quad (2)$$

其中  $d_{10}$   $d_{30}$   $d_{60}$  分别为泥石流样品过筛重量占总重量10%、30%、60%的粒径。

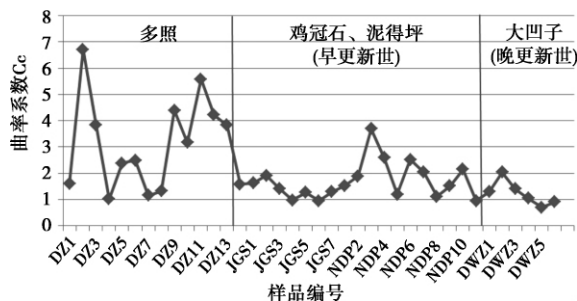


图5 蒋家沟古泥石流体的曲率系数

Fig. 5 The  $C_c$  of ancient debris-flow at Jiangjia ravine

从图5可以得知,早更新世时期形成的多照台地的样品曲率系数部分偏大,说明样品过筛重量占总重量30%的粒径( $d_{30}$ )部分更接近于限定粒径

( $d_{60}$ )。所以泥石流中接近于限定粒径( $d_{60}$ )的粗大颗粒较多,细颗粒含量较少;中更新世期间形成的鸡冠石和泥得坪台地的样品曲率系数大多集中在1~3内,所以鸡冠石和泥得坪台地的泥石流堆积物级配良好;晚更新世期间形成的大凹子台地的样品曲率系数偏小,说明样品过筛重量占总重量30%的粒径( $d_{30}$ )更接近于有效粒径  $d_{10}$ ,所以泥石流流体中接近于有效粒径  $d_{10}$ 的细颗粒较多,堆积物是以细颗粒为主,粗大颗粒较少。分析结果与野外考察结果相符。

另外,在早更新世以前(即青藏运动第三幕之前),该区域地壳长时间处于稳定状态,地表岩土体质密,青藏运动第三幕发生以后,进入泥石流活跃期,质密的岩土体甚至破碎的岩体直接成为泥石流的组成部分,这也是发生稀性泥石流的主要原因。中更新世期间,该区地壳发生多次间歇性抬升运动,每一次抬升运动之后,新的泥石流活跃期开始,此时泥石流的物源主要是早期泥石流的堆积台地受到沟谷流水或坡面流水侵蚀而来的,所以后期泥石流物质在成分上与前期泥石流相比发生了显著的变化:首先表现在泥石流物质的物理特性上,后期泥石流来源于前期泥石流堆积体部分,经过前期泥石流的搬运、摩擦、混合作用,颗粒级配越好;其次是泥石流组成物质的化学成分也发生了显著变化,蒋家沟流域出露岩层主要是震旦纪的板岩、千枚岩和白云岩,二叠纪的灰岩,其次第四纪的残坡积物、冲洪积物,第四纪沉积物主要是基岩的风化产物。早更新世期间是蒋家沟第一个泥石流活跃期,固体物源物质主要是基岩和地表致密岩土体受构造运动影响破碎而成。经历长时间风化作用形成的粘土矿物成为后期泥石流的主要粘性成分,所以后期形成的泥石流细粒物质偏多,且含有大量粘性成分。蒋家沟流域内后期及近现代发生的泥石流都主要以粘性泥石流为主。

## 3 结论与讨论

1. 通过实地考察蒋家沟流域内残留古泥石流堆积扇形成的台地,根据台地临空面所揭露的沉积物堆积特征,初步判定流域内多照台地是以稀性泥石流堆积为主形成的,鸡冠石、泥得坪台地是以过渡性泥石流堆积为主形成的,而大凹子台地是以粘性泥石流堆积形成的。

2. 由泥石流沉积物判定泥石流类型和粒度分布特征计算泥石流容重的关系,得到了蒋家沟流域不同泥石流活跃期所发生泥石流的容重,以及该区第四纪以来泥石流类型变化发展趋势。

3. 从组成物质物理特征以及化学成分上,分析了研究区各个不同时期古泥石流流体成分之间的差别及形成不同泥石流类型的原因。

通过本文的研究,试图找到蒋家沟流域泥石流的活动规律,泥石流类型的发展演化。但是这一研究工作对沉积物发育年龄的测定技术具有很强的依赖性。作者搜集台地局部 ESR 测年数据,结合不同残留泥石流台地的产出位置判定其形成的先后顺序。泥石流天然容重的确定是通过现有关于泥石流沉积物特征得到的泥石流类型再利用相应的计算方法得到的。所以实际情况可能会有一些出入,但以上研究成果可以半定性的说明实际情况。另外,泥石流类型还受到气候的影响,第四纪期间经历了多次冰期和间冰期的交替,泥石流类型的变化和冰期间冰期的交替也存在着必然联系,这将是作者下一步研究的主要内容。

致谢:感谢中国科学院东川泥石流观测研究站提供良好的工作条件和相关观测数据!

## 参考文献(References)

- [1] Kang Zhicheng, Cui Peng, Wei Fangqiang et al. Data collection for Dongchuan Debris Flow Observation and Research Station Chinese Academy of Sciences (1961—1984) [M]. Beijing: Science Press, 2006: i—ii [康志成, 崔鹏, 韦方强, 等. 中国科学院东川泥石流观测研究站观测实验资料集(1961—1984) [M]. 北京: 科学出版社, 2006: i—ii]
- [2] Li Jian, Chen Qinde, Kang Zhicheng, The analysis of debris flow occurrence and development process in Jiangjiagou valley, Dongchuan, Yunnan province [J]. Acta Geographica Sinica, 1979, 34(2): 156—170 [李健, 陈琴德, 康志成. 云南东川蒋家沟泥石流发生、发展过程的初步分析[J]. 地理学报, 1979, 34(2): 156—169]
- [3] Cui Zhijiu, Xiong Heigang, A facies model of debris flow [J]. Lanzhou: Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 3(8): 128—140 [崔之久, 熊黑钢. 泥石流沉积相模式[J]. 沉积学报, 1990, 3(3): 128—139]
- [4] Liu Gengnian, Cui Zhijiu, Wang Xiaojun. Macroscopic sedimentary tectonics and formation mechanism of debris flow [G]// Observation and research of debris flow. Beijing: Science Press, 1996: 33—41 [刘耕年, 崔之久, 王晓晖. 泥石流的宏观沉积构造与形成机理[G]//泥石流观测与研究. 北京: 科学出版社, 1996: 33—41]
- [5] Wu Jishan. Characteristic analysis of viscose debris flow accumulation in Jiangjiagou valley in Yunnan [G]// Observation and research of debris flow. Beijing: Science press, 1996: 42—50 [吴积善. 云南蒋家沟粘性泥石流堆积特征分析[G]//泥石流观测与研究. 北京: 科学出版社, 1996: 42—50]
- [6] Kuang Mingsheng, Li Jijun, Zhu Junjie et al. ESR dating, red soil development and stratigraphic division research of Quaternary sediment in Xiaojiang watershed [G]// Observation and research of debris flow. Beijing: Science Press, 1996: 96—105 [况明生, 李吉均, 朱俊杰, 等. 小江流域第四纪沉积物的 ESR 年代、山原红壤发育年龄与地层划分研究[G]//泥石流观测与研究. 北京: 科学出版社, 1996: 96—105]
- [7] Kuang Mingsheng, Zhang Yuanzhu, Xie Shiyu et al. Age and Stratigraphical Division of Diliuvium—Depositional Sub—Facies of Debris Flow in Quaternary in Xiaojiang Drainage, Yunnan [J]. Chongqing: Journal of Southwest China Normal University: Natural Proceedings, 2002, 27(6): 974—980 [况明生, 张远瞩, 谢世友. 云南小江流域第四纪洪积—泥石流沉积的年代与地层划分[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2002, 27(6): 974—980]
- [8] Li Peiji, Lian Dalan. Debris flow density and its Calculation [J]. Sediment Research, 1982, 9(3): 75—83 [李培基, 梁大兰. 泥石流容重及其计算[J]. 泥沙研究, 1982, 9(3): 75—83]
- [9] Du Ronghuan, Kang Zhicheng, Chen Xunqian et al. A comprehensive investigation and control planning for debris flow in the Xiaojiang River Basin of Yunnan province [M]. Chongqing: Science and technology literature press Chongqing branch office, 1987: 94—102 [杜榕桓, 康志成, 陈循谦, 等. 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M]. 科学技术文献出版社重庆分社, 1987: 94—102]
- [10] Chen Ningsheng, Cui Peng, Liu Zhonggang et al. Calculation of debris flow concentration based on the content of clay [J]. China science E series, 2003, 33(12): 164—174 [陈宁生, 崔鹏, 刘中港, 等. 基于黏土颗粒含量的泥石流容重计算[J]. 中国科学: E 辑, 2003, 33(12): 164—174]
- [11] Chen Ningsheng, Yang Chenglin, Li Huan. Calculation of debris flow concentration based on debris flow slurry [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Nature Sciences, 2010, 37(2): 168—173 [陈宁生, 杨成林, 李欢. 基于浆体的泥石流容重计算[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2010, 37(2): 168—173]
- [12] Yu Bin. Research on the Calculating Density by the Deposit of Debris Flows [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(5): 789—796 [余斌. 根据泥石流沉积物计算泥石流容重的方法研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 789—796]
- [13] Yu Bin. Research on the improved calculating density of less viscosity debris flows [J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(1): 70—75 [余斌. 稀性泥石流容重计算的改进方法[J]. 山地学报, 2009, 27(1): 70—75]
- [14] Kuang Mingsheng. The quaternary environment change and debris flow history of Xiaojiang watershed Yunnan province [M]. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2003: 114—119 [况明生. 云南小江第四纪环境变迁与泥石流发育史[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2003: 114—119]
- [15] Li Yonghua, Zhao Jun, Cui Zhijiu et al. The study of debris flow's movement regulation and reasons in late Cenozoic Era in the eastern fringe of Tibetan Plateau and the nearby regions [J]. Beijing: Geo-

- graphical Research 21(5): 561 – 568 [李永化,赵军,崔之久,等. 青藏高原东缘和邻区晚新生代泥石流活动规律及其成因[J]. 地理研究, 2002 21(5): 561 – 568]
- [16] Wang Jingrong. Geological condition of debris flows development at Jiangjia Gully of Dongchuan in Yunnan[G]//Memoris of Lanzhou Institute of Glaciology Cryopedology Chinese Academy of Sciences. Beijing: Science Press, 1984: 80 – 87 [王景荣. 云南东川蒋家沟泥石流发育的地质基础[G]//中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊. 北京: 科学出版社, 1984: 80 – 87]
- [17] Shi Zhengtao, Zhang Linyuan. The Quaternary debris-flow and its development environment [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1992 6(4): 14 – 22 [史正涛, 张林源. 云南小江流域第四纪泥石流及发育环境[J]. 水土保持学报, 1992 6(4): 14 – 22]
- [18] Zheng Benxing, Ma Qiuhua. Relationship between the glacier variation and the debris flows development of the Gongga Mountain Region [J]. Mountain Research, 1994, 12(1): 1 – 8 [郑本兴, 马秋华. 贡嘎山区全新世冰川变化与泥石流发育的关系[J]. 山地研究(现山地学报), 1994, 12(1): 1 – 8]
- [19] Zhang Wei, Cui Zhijiu, Yang Jianqiang. The region characteristics of glacier and debris-flow development in Dongchuan, Yunnan Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10(3): 40 – 44 [张威, 崔之久, 杨建强. 云南东川末次冰期冰川与泥石流发育的区域性特征[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 40 – 44]
- [20] Cui Zhijiu. Debris flows deposition and environment [M]. Beijing: Ocean Press, 1996: 13 – 24 [崔之久. 泥石流沉积与环境[M]. 北京: 海洋出版社, 1996: 13 – 24]
- [21] Kang Zhicheng, Li Zhuofen, Ma Ainai et al. China debris flow research [M]. Beijing: Science Press, 2004: 139 – 145 [康志成, 李焯芬, 马蔼乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 139 – 145]
- [22] Ye Y G, Diao S B, He J et al. ESR dating studies of palaeo-debris-flow deposits in Dongchuan, Yunnan Province, China [J]. Quaternary Science Reviews, 1998, 17(11): 1073 – 1076
- [23] Zhang Linyuan. Ancient debris flow and its mixture deposition in China in Quaternary [J]. Journal of Railway Engineering Societ, 1986 4: 60 – 63 [张林源. 我国第四纪古泥石流与混杂堆积[J]. 铁道工程学报, 1986 4: 60 – 63]
- [24] Lei Xiangyi, Li Zhaoshu. Primary study on age and genesis of debris flow depositions in Jiangjia Ravine, Yunnan Province [J]. Chengdu: Journal of Mountain Science, 11(3): 149 – 155 [雷祥义, 李昭淑. 蒋家沟泥石流堆积物的时代及成因[J]. 山地研究(现山地学报), 1993, 11(3): 149 – 155]
- [25] Liu Jiaqi, Wang Wenyuan. Quaternary geological dating and time scale [J]. Quaternary Sciences, 1997 3: 193 – 202 [刘嘉麒, 王文远. 第四纪地质定年与地质年表[J]. 第四纪研究, 1997, 8(3): 193 – 202]

## Characteristic of Ancient Debris Flows in Jiangjia Ravine

LEI Fahong<sup>1 2 3</sup>, HU Kaiheng<sup>1 2</sup>, MA Chao<sup>1 2 3</sup>, TIAN Mi<sup>1 2 3</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Jiangjia ravine lies in the uplift block of eastern of Xiaojiang giant fault, with intensity tectonic activity and frequently earthquake. Since the Quaternary period, Jiangjia generated several stepped terrace under the internal and external geological process. Based on field survey of the sedimentary structures of residual terrace and the record of debris flow activities in newly formed free face and the characteristics of ancient debris flows' sediment, the types of debris flows can be confirmed. In addition, the density of ancient debris flows in every period can be calculated by using the gravel and fine particle content of ancient debris flows' samples in different spots. By this study, the features of debris flows in different stages can be found since the Quaternary periods, and the causes was discussed, which were related to the types of ancient debris flows and sediment's characters.

**Key words:** Jiangjia ravine; Quaternary period; ancient debris flows; deposition