

# 粘性泥石流阵性运动对沟床冲淤演变的影响

——以云南东川蒋家沟为例\*

游 勇, 程尊兰

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

**摘要:** 粘性泥石流沟床的冲淤具有其特殊的机理, 年内及一场泥石流的沟床冲淤主要受泥石流流体性质、流型、规模的控制, 阵性运动中沟床演变主要反映在残留层厚度的变化。对云南东川蒋家沟进行野外现场泥石流及沟床冲淤的定位观测, 应用观测资料对阵性粘性泥石流泥深、流速、拖曳力与沟床冲淤值的关系进行分析, 认为在泥深  $< 2.0$  m, 流速  $< 8$  m/s, 流量  $< 1\ 500$  m<sup>3</sup>/s 情况下, 阵性泥石流运动前后沟床冲淤值与三者没有明显线性关系, 沟床冲淤幅度较小, 一般在  $-0.8 \sim 1.0$  m 之间。通过分析, 求得粘性泥石流沟床冲刷深度极限值的表达式。

**关键词:** 粘性泥石流; 沟床; 冲淤值; 阵性流

**中图分类号:** P642.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2005)02-0146-06

## 0 引言

粘性泥石流作为一种高浓度的固液气混合流体, 由于其暴发突然, 破坏力强, 来势凶猛, 严重地影响山区的建设和发展。粘性泥石流与一般挟沙水流或滑坡在结构和运动性质上有很大的不同, 它是介于挟沙水流和滑坡体之间的一种特殊流体, 不属于纯粹的流体和土体, 同时又具有流体和土体的一些性质。自然界的粘性泥石流常以间歇性的阵流形式出现, 一场泥石流由十几次、几十次乃至上百次阵流组成<sup>[1-3]</sup>。每阵泥石流有陡立的头部、平缓的中部及缓长的尾部, 一般称为龙头、龙身和龙尾。阵与阵之间有断流现象, 断流时间是随机的, 从十几秒到十几分钟不等。第一阵泥石流后, 沟床表面形成一定厚度的淤积层, 许多阵泥石流过后在沟床形成一个厚度几乎不变的淤积层。由于粘性泥石流特殊的性质, 粘性泥石流在沟床的冲淤, 不象挟沙水流使颗粒发生单粒的运动和落淤, 也不象滑坡体那样呈整体的起动或停积, 它具有介于两者之间特有的机理。根据对云南蒋家沟泥石流的现场定位观测试验, 本文定量探讨粘性泥石流泥深、流量、流速、拖曳力与沟床冲淤之间的相关性。

## 1 粘性泥石流沟床的冲淤特征

### 1.1 粘性泥石流沟床特征

地质构造和岩性制约着泥石流沟的形成和发展。一条泥石流沟, 在岩性松散的基岩或向斜地多发展成宽谷; 在坚硬的基岩或背斜地则切割成峡谷。泥石流沟床的平面形态随泥石流类型变化也有所差异, 粘性泥石流沟床与一般意义上的冲积型河流有相似之处, 其沟型在外型上可分为顺直、弯曲这两种基本类型。

泥石流沟床的纵断面不是一条圆滑曲线, 因沟道内岩性的不同而出现跌坎, 纵断面形成折点, 云南东川蒋家沟支沟大凹子沟、四川雅安陆王沟、西藏古乡沟等均出现基岩跌水。一般山区河流的纵断面为上凸式曲线, 而泥石流沟则一般呈下凹式, 云南东川蒋家沟、大白泥沟、四川西昌黑沙河等的纵断面都是下凹式。泥石流沟床纵断面平均纵坡降远大于一般山区河流, 一般在  $50\% \sim 500\%$ 。蒋家沟下游堆积区沟床纵坡降为  $50\% \sim 60\%$ , 中游流通区沟床纵坡降为  $6\% \sim 80\%$ , 上游形成区为  $80\% \sim 500\%$ 。

泥石流沟在不同区段内, 沟床横断面形状差异甚大。在形成区, 沟床横断面多呈 V 型沟谷; 流通段和淤积段, 沟床横断面呈 U 字形。粘性泥石流在运

\* 收稿日期: 2004-10-25; 修回日期: 2005-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40371016)

作者简介: 游 勇 (1964-) 男, 研究员, 硕士。主要从事山地灾害防治研究。Email: youyongs@yahoo.com.cn

动过程中,沟床横断面多呈单一 U 形或复式 U 形

## 1.2 粘性泥石流沟床年内冲淤

粘性泥石流沟床的年内冲淤受到多方面因素的制约,对于年内侵蚀基准的下切或抬升,年内历场泥石流的性质、规模以及沟床质的性质是主要影响因子之一。在蒋家沟多年观测中,选择侵蚀基准基本不发生变化的年份来说明沟床的年内冲淤。1997年蒋家沟观测断面沟床的冲淤变化见图 1。在第一场泥石流发生之前,沟道内只有常流水,沟床相对稳定,沟床横断面为复式断面(No. 1),第一场泥石流是规模较小的连续流,平均容重  $1.6 \text{ t/m}^3$ ,流量仅  $12.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大泥深  $0.3 \text{ m}$ ,最大流速  $4.0 \text{ m/s}$ ,泥石流结束后,沟床右侧有局部少量淤积、冲刷(No. 2),沟床基本没有发生变化;6月 25日发生的阵性粘性泥石流最大流量  $636.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大流速  $9.09 \text{ m/s}$ ,最大泥深  $1.0 \text{ m}$ ,泥石流结束后(No. 3)整个沟床断面普遍淤积抬升,没有明显的主沟槽,复式沟床演变为较为单一沟床,这场泥石流在沟床面淤高  $1.0 \text{ m}$ 左右,最大淤积高度达  $1.4 \text{ m}$ ;6月 28日发生的泥石流的平均容重  $2.01 \text{ t/m}^3$ ,最大流量  $818.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大

泥深  $4.0 \text{ m}$ ,最大流速  $8.33 \text{ m/s}$ 。此场泥石流几乎使整个沟床继续淤高抬升,沟床中部偏左的最低处没有发生冲刷和淤积,其余均发生淤积,厚度  $0.2 \sim 1.2 \text{ m}$ ,且在右侧的沟床形成长约  $40 \text{ m}$ 的低阶沟床滩面(No. 4)。7月 7日凌晨 3点 30分至下午 17时发生的泥石流,实测最大流量  $1332.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大泥深  $2.0 \text{ m}$ ,最大流速  $10.53 \text{ m/s}$ ,此场泥石流后,整个沟床继续普遍淤积上涨,在 6月 28日泥石流后的沟床上,普遍淤积抬长  $1.0 \text{ m}$ ,最大淤积厚度达到  $2.0 \text{ m}$ ,沟床发生较大的变化,在右侧紧靠沟岸形成长约  $18 \text{ m}$ 深  $0.8 \text{ m}$ 的主沟槽,左侧形成宽约  $60 \text{ m}$ 低阶滩面(No. 5)。7月 7日晚上 19时发生粘性连续流,此场泥石流使得沟床发生很大的变化,之前长  $18 \text{ m}$ 深  $0.8 \text{ m}$ 的主沟槽被迅速冲深展宽,沟床表面最大冲刷深达  $4.0 \text{ m}$ ,右岸岸坡遭受冲刷后退  $4.0 \text{ m}$ ,右侧沟床形成宽约  $32 \text{ m}$ 深  $4.0 \text{ m}$ 的复式主沟槽,左侧沟床发生轻微淤积(No. 6)。到 8月 25日,这期间发生 7次泥石流,沟床略有淤积,变化不大。这一年内蒋家沟侵蚀基准面没有发生明显变化,年内沟床的冲淤变化主要是受粘性泥石流本身性质、流型和规模的控制。

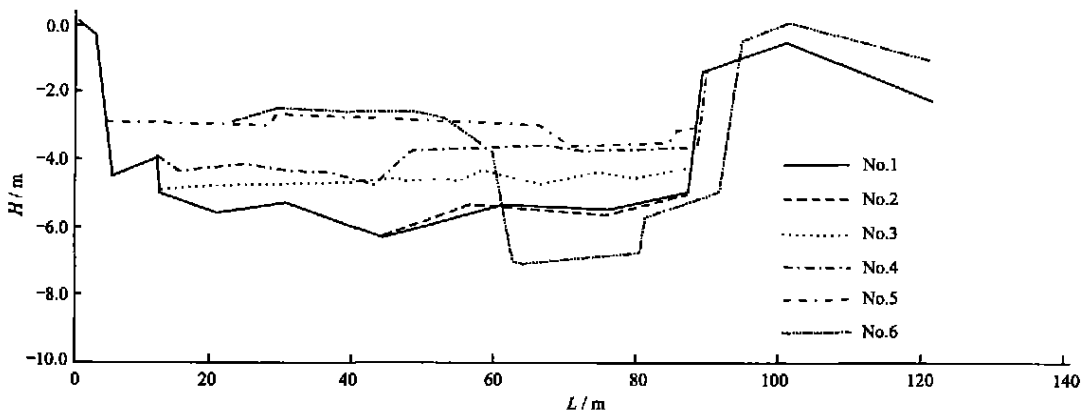


图 1 蒋家沟观测断面沟床年内冲淤变化

Fig. 1 Debris flow bed development of Jiang Jia Ravine

## 1.3 沟床在一场泥石流中的冲淤

泥石流沟床平时崎岖不平,极为粗糙,粘性泥石流暴发时,当第一阵粘性泥石流通过沟床时,在粗糙不平的沟床上粘附,铺上一层泥石流体,阵性泥石流的流量和泥深逐渐减小,直至停止前进,停留在沟床上。第二阵阵性流在已铺上泥石流体的沟床上快速运动,到未铺的沟床时,接着往前铺床,最后也停留在沟床上。后续的粘性泥石流一直铺床到与主河汇口,整条泥石流沟床表面都留下一层泥石流体,完成

铺床过程,后面泥石流体在铺满流体的沟床上快速运动。

一场泥石流往往有几十阵,甚至上百阵阵性流,第一阵泥石流通过沟床某一断面时,形成一定淤积厚度,一般为  $0.2 \sim 0.8 \text{ m}$ ,使沟床床底呈比较平滑的“U”型,后续的几十阵泥石流通过时,较小规模阵性流仿佛在前后淤积残留层上“滑动”而过,不发生明显的冲淤,沟床冲淤幅度变化不大,一般在  $-0.8 \sim +1.0 \text{ m}$ 之间,沟床形态没有大的变化,较大规模泥石流,沟床出现明显冲刷,但阵性流过后沟床形态

仍为“U”型。后期粘性泥石流逐渐演变为稀性泥石流,沟床会发生局部冲刷,在前期粘性泥石流淤积层中,冲出较窄的过流沟槽,在原来的大“U”型沟槽底部,形成小的“U”型沟槽,沟床呈复式断面。随着泥石流逐渐稀化,演变为高含沙水流,石块落淤,沟床底逐渐趋向平坦,除主汉外出现支汉,一场泥石流结束后,沟床又恢复到泥石流暴发前的形态,但沟床高程发生了变化。

#### 1.4 粘性泥石流阵性运动中的沟床冲淤

根据云南蒋家沟 1999 年 7 月 24 日 84 阵泥石流和 2000 年 8 月 9 日 59 阵泥石流的实际观测,当首阵泥石流通过后,后一阵泥石流通过时沟床的变化仅仅反映在铺床形成的残留淤积层厚度的变化,不会发生明显的冲刷或淤积抬升。一般情况下,阵性流龙头泥深最大,流速最快,扰动最为剧烈,沟床残留淤积层在阵性流龙头通过时会遭到破坏,淤积层表层的物质被泥石流冲走,厚度减少;龙头通过后,阵性流中部的泥深和流速有所减小,扰动减弱,残留层淤积厚度逐渐增加,阵性流龙尾泥深和流速迅速减少,沟床逐渐恢复到原状态,但有一定幅度范围内的冲淤。当泥石流规模很小时,泥石流进入沟床后,龙头逐渐展平,发生轻微淤积,残留层厚度增加。根据蒋家沟 20 多年观测资料分析,当暴发大规模阵性泥石流时,由于泥深和流速均很大,泥石流流体龙头、龙身通过沟床后,沟床强烈冲刷下切,龙尾过后,在冲刷下切的新沟床表面又形成残留淤积层。

第一阵粘性泥石流在沟床形成一定厚度的残留淤积层,是阵性泥石流运动中沟床演变特有的现象,稀性泥石流、水石流、高含沙水流均不会出现此种情况。粘性泥石流紧密的格架结构,是首阵泥石流在沟床铺床形成残留淤积层的根本原因,残留层淤积厚度可以用下式表达

$$h_0 = \frac{f_0}{\sqrt{c}i} \quad (1)$$

式中  $f_0$  为起始静切力;

$\sqrt{c}$  为粘性泥石流容重;

$i$  为沟床纵比降;

$h_0$  为残留淤积层的厚度。

影响残留淤积层厚度的主要因素有泥石流体的静切力  $f_0$ 、容重  $\sqrt{c}$  和沟床纵比降  $i$ , 其中  $f_0$  起着关键的作用。根据日本烧岳上上冲沟观测,  $\sqrt{c}$  虽达  $2.00 \text{ t/m}^3$ , 但泥石流流体没有明显的格架结构,  $f_0 < 10 \text{ Pa}$ , 在沟床上基本没有残留淤积层文献 [3]; 西藏林芝地区培龙沟,  $\sqrt{c}$  达  $2.00 \text{ t/m}^3$ ,  $f_0$  基本为零, 沟床上没有

残留层; 云南盈江浑水沟,  $\sqrt{c}$  虽大于  $2.20 \text{ t/m}^3$ , 但  $f_0$  很小, 沟床上残留层不明显<sup>[4]</sup>; 云南东川蒋家沟, 泥石流流体具有紧密的结构, 实测  $\sqrt{c}$  为  $2.0 \text{ t/m}^3$ ,  $f_0$  是  $100 \text{ Pa}$ ,  $\sqrt{c}$  为  $2.3 \text{ t/m}^3$  时,  $f_0$  高达  $2000 \text{ Pa}$ , 粘性泥石流在沟床上形成明显的残留淤积层, 实际观测厚度在  $15 \sim 80 \text{ cm}$  间, 一般为  $30 \text{ cm}$  左右。1997 年 6 月 25 日暴发粘性泥石流,  $\sqrt{c}$  为  $2.25 \text{ t/m}^3$ ,  $f_0$  为  $280 \text{ Pa}$ , 沟床纵比降为  $66\%$ , 式 (1) 残留层计算值为  $19 \text{ cm}$ , 而实际观测值为  $30 \sim 50 \text{ cm}$ 。1999 年 7 月 24 日蒋家沟暴发粘性泥石流, 实际观测  $\sqrt{c}$  为  $2.29 \text{ t/m}^3$ ,  $f_0$  为  $400 \text{ Pa}$ , 沟床纵比降  $65\%$ , 残留层厚度观测值为  $30 \sim 60 \text{ cm}$ , 据式 (1) 计算残留层为  $27 \text{ cm}$ 。观测值大于计算值, 这主要是在计算中采用的  $f_0$  是粘性泥石流中浆体的起始静切力, 而天然泥石流体的  $f_0$  大于浆体的  $f_0$ , 文献 [5] 研究结果, 两者的比值约为  $1.05 \sim 3.0$ 。根据这一研究结果, 由于高粘性, 取两者比值的大值  $3.0$ , 用天然泥石流体的  $f_0$  得到 1997 年 6 月 25 日和 1999 年 7 月 24 日残留淤积层厚度计算值分别为  $57 \text{ cm}$  和  $81 \text{ cm}$ , 与实际观测值基本接近。

## 2 粘性泥石流特征值与沟床冲淤关系

### 2.1 泥深、流速、拖曳力与冲淤相关性

挟沙水流和稀性泥石流在沟床的冲刷深度往往与流体的流速和流量成正比关系, 而实际观测资料表明, 阵性粘性泥石流的流速、流量与沟床冲淤的关系不密切。在云南蒋家沟进行了泥石流泥深  $h_0$ 、流速  $V_c$  和流量  $Q_c$  与沟床冲淤值  $h_s$  的实际观测, 泥深采用超声波泥位仪测量, 流速采用区段人工测试, 泥石流流量通过泥深、泥石流流体宽度、沟床断面形态和流速计算得到, 通过超声波泥位仪测定阵性泥石流流体通过观测断面前后沟床的变化得到沟床冲淤值。

通过对 1999 年 7 月 24 日一次 84 阵和 2000 年 8 月 9 日一次 59 阵泥石流观测值的统计分析 (图 2, 图 3), 蒋家沟粘性泥石流的  $h_c < 2.0 \text{ m}$ ,  $V_c < 8 \text{ m/s}$ ,  $Q_c < 1500 \text{ m}^3/\text{s}$  时, 沟床  $h_s$  与  $h_c$  没有明显线性关系, 沟床可发生冲刷也可出现淤积抬升, 沟床  $h_s$  相对比较小, 其值一般在  $-0.8 \sim +1.0 \text{ m}$ 。为了更为准确反映沟床冲淤与泥石流性质、规模、沟床比降的关系, 点绘沟床冲淤值与泥石流流体拖曳力  $f_t$  的关系, 见图 4。从图 4 可知, 阵性粘性泥石流  $f_t$  与  $h_s$  的线性关系不密切: 一是由于阵性泥石流沟床有残留淤积层的影响, 二是大规模泥石流发生的机率很小, 难以观测到大规模泥石流对沟床冲淤的强烈影响。

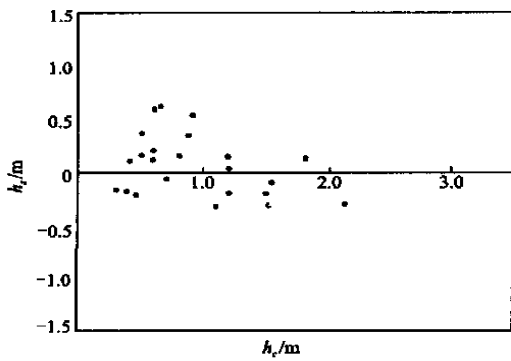


图 2 泥深与沟床冲淤值关系

Fig. 2 Relation between depth of debris flow and erosive-depositive value

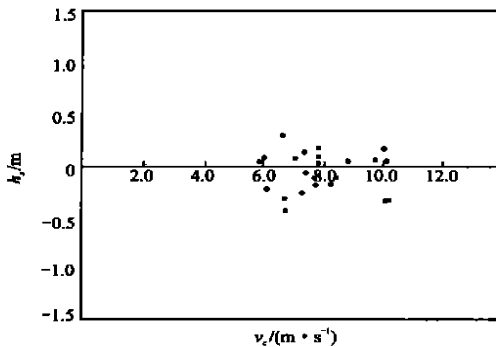


图 3 流速与沟床冲淤值关系

Fig. 3 Relation between velocity and erosive-depositive value

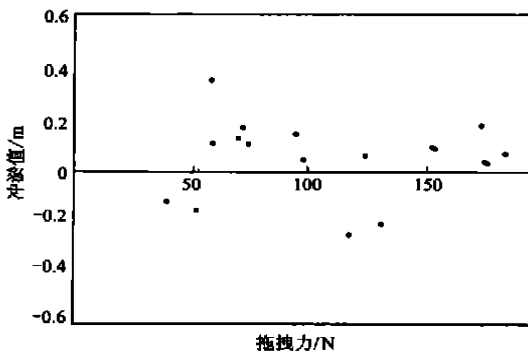


图 4 拖拽力与沟床冲淤值关系

Fig. 4 Relation between shear ( $\tau$ ) and erosive-depositive value

粘性泥石流在运动过程中,除极个别大石块外,石块与浆体呈伪一相流体,一般情况下,不会发生泥砂单颗粒的冲起和落淤,这时其运动受泥石流流体拖拽力  $\tau$  和沟床阻力  $f_f$  的影响,当  $\tau > f_f$  时,粘性泥石流向下运动,  $\tau$  和  $f_f$  的差值越大,运动的速度越

快;当  $\tau < f_f$  时,泥石流流体发生停积,石块不单独分离落淤,而是在沟床留下一层泥石流流体。冲刷时,不是先带走较细颗粒,而是成层被揭走。当  $\tau_c$  大于沟床组成的抗剪强度  $\tau_b$  时,与泥石流流体接触的沟床堆积物被揭走,  $\tau_c$  越大,  $\tau_b$  越小,则揭走的沟床厚度越大。在云南蒋家沟实际观测中,泥石流流体与沟床之间往往有一层残留淤积层,残留淤积层是泥石流流体通过后尾部留下的,对沟床表面有“润滑”的效应,使  $f_f$  明显减小。泥石流好像在残留层上滑移前进,一般难以冲动下面的河床堆积物层,当泥石流规模很大,流速很快时,残留层的“润滑”作用消失,粘性泥石流与沟床堆积层直接接触。

### 2.2 沟床冲刷极限深度

假定粘性泥石流到来前,沟床堆积物已达饱和,则粘性泥石流运动在沟床起始床面以下距离  $h_s$  处的剪切力  $f$  为:

$$f = [(C_v^* h_s + C_v h)(V_s - V_l) + V_l(h_s + h)] \sin\theta \quad (2)$$

式中  $\theta$  为粘性泥石流沟床纵向倾角;

$h$  为流体深度;

$V_l$  为泥石流中浆体的平均容重;

$V_s$  为泥石流容重;

$V_s$  为粗颗粒物质密度;

$C_v$  为泥石流中粗颗粒固体体积比含量;

$C_v^*$  为泥石流沟床固体物质体积比。沟床质的

抗剪强度  $\tau_b$  为:

$$\tau_b = [(C_v^* h_s + C_v h)(V_s - V_l)] \text{tg} Q \cos\theta + C \quad (3)$$

式中  $Q$  为沟床堆积物内摩擦角;

$C$  为沟床质的粘聚力。

当  $f = \tau_b$  时,沟床达到平衡,沟床冲刷的极限深度:

$$h_s = \frac{C_v(V_s - V_l)(\text{tg} Q \cos\theta - \sin\theta)h - V_l h \sin\theta + C}{V_l \sin\theta - C_v^*(V_s - V_l)(\text{tg} Q \cos\theta - \sin\theta)} \quad (4)$$

当泥石流通过时,泥石流流体对沟床剪切力  $f$  为:

$$f = [V_l + (V_s - V_l)C_v] h \sin\theta = \sqrt{C} h \sin\theta \quad (5)$$

泥石流运动阻力  $f_f$  为:

$$f_f = C_v h (V_s - V_l) \cos\theta \text{tg} Q + \tau_b \quad (6)$$

沟床质表层土体的抗剪强度  $\tau_b$  为:

$$\tau_b = C_v h (V_s - V_l) \cos\theta \text{tg} Q + C \quad (7)$$

当  $f - f_f > \tau_b$  时,沟床将产生冲刷,得到沟床冲刷的临界坡度或泥深为:

$$\text{tg}\theta > \frac{C + \tau_b}{\sqrt{C} h \cos\theta} + \frac{2C_v h (V_s - V_l) \text{tg} Q}{V_s} \quad (8)$$

$$h > \frac{C + f_0}{\sqrt{C \sin \theta} - 2C_v(\sqrt{V_s} - V_i) \cos \theta \operatorname{tg} \theta} \quad (9)$$

上述式(4)、(8)、(9)中的  $V_s$ 、 $f_0$ 、 $C$  和  $O$  一般通过泥石流堆积物取样试验得到,  $V_s$  和  $V_i$  根据野外调查综合分析得到。蒋家沟沟床组成物质基本相同, 饱和状态下, 可以假定沟床堆积物的粘聚力  $C$  和  $O$  值保持不变。文献 [6] 对蒋家沟泥石流停积后形成的沟床堆积物进行大型直剪试验, 试验堆积物样品的干密度为  $2.09 \text{ g/cm}^3$ , 土的实体密度为  $2.76 \text{ g/cm}^3$ , 饱和后形成试样密度为  $2.20 \text{ g/cm}^3$ , 试验得到粘聚力  $C = 37.5 \sim 98.1 \text{ N/m}^2$ , 内摩擦角  $\theta = 10^\circ$ , 蒋家沟沟质堆积物粘聚力采用文献 [6] 试验结果。根据蒋家沟现场观测实验和多年的资料, 泥石流体容重为  $2.0$ 、 $2.1$  和  $2.2 \text{ g/cm}^3$  时, 相应的浆体容重分别约为  $1.65$ 、 $1.70$  和  $1.75 \text{ g/cm}^3$ , 粗颗粒的体积比分别为  $0.31$ 、 $0.38$ 、 $0.44$ , 取相应泥石流体的  $f_0$  分别为  $88$ 、 $147$ 、 $196 \text{ N/m}^2$ , 蒋家沟观测段沟床纵坡降  $4.1^\circ$ , 计算得到  $h_c > 3.0 \text{ m}$  会发生冲刷, 计算结果与多年实际观测资料基本相符。

### 3 结语

本文针对粘性泥石流沟床冲淤的特殊机理, 以云南东川蒋家沟为例, 通过野外定位观测, 资料整理, 以及分析研究, 得到以下结论:

(1) 粘性泥石流沟床年内及一场泥石流中的冲淤受多方面因素的制约, 在侵蚀基准不变的情况下,

沟床冲淤主要受泥石流本身性质、流型、规模的控制

(2) 粘性泥石流阵性运动中, 沟床的演变主要反映在残留层厚度的变化

(3) 在泥石流的泥深  $< 2.0 \text{ m}$ , 流速  $< 8 \text{ m/s}$ , 流量  $< 1500 \text{ m}^3/\text{s}$  情况下, 阵性泥石流运动前后沟床冲淤值与三者没有明显线性关系, 沟床冲淤幅度较小, 一般在  $-0.8 \sim 1.0 \text{ m}$  之间。

(4) 通过分析, 求得粘性泥石流沟床冲刷深度极限值的表达式, 公式计算值与实际观测资料基本吻合。

### 参考文献:

- [1] 钱宁, 万兆惠. 泥砂运动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 1991. 435-445
- [2] Takahashi T. Mechanical characteristics of debris flow [J]. J Hyd Div, Proc ASCE, 1978, 104(8): 1153-1169
- [3] 吴积善, 康志成, 田连权. 云南蒋家沟泥石流观测研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1990. 176-182
- [4] 张信宝, 刘江. 云南大盈江流域泥石流 [M]. 成都: 成都地图出版社, 1989. 94-107
- [5] 王裕宜, 费祥俊. 自然界泥石流流变模型的探讨 [J]. 科学通报, 1999, 44(1): 1211-1215
- [6] 中国科学院. 水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流 [M]. 北京: 商务印书馆, 2000. 121-123

## The Influence of Discontinuous Motion of Viscous Debris Flow on Erosion and Deposition of Gully Bed

— Study of the case at Jiangjia gully in Dongchuan, Yunnan

YOU Yong, CHENG Zun-lan

(Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China)

**Abstract** The characteristics of erosion and deposition of viscous debris flow gully bed are different from that of water flow or landslide. Gully bed of viscous debris flow exists with special mechanism, i. e., scouring and silting of gully bed is mainly controlled by debris flow characteristics, flow type and scale among a year or once. Gully bed change during intermittent flow is mainly embodied by variety of depth of residual layer. Field observing debris flow at Jiangjia gully in Dongchuan City of Yunnan province and located observing of scouring and silting of gully bed were made. Gully bed evolution of observed section before and after intermittent flow passing through is measured by supersonic debris flow depth meter. According to field observed data, the relationship is analyzed among depth of viscous debris flow, velocity, drag force,

and scouring and silting of gully bed; as the debris flow depth is less than 2.0 m, velocity is less than 8.0 m/s, and discharge is less than 1500 m<sup>3</sup>/s. We can find that scouring and silting of gully bed doesn't have obvious nonlinear relationship with above-mentioned three conditions and scale of scouring and silting of gully bed isn't large, about between -0.8m and 1.0m. According to the analysis, we attain the expression of gully bed's maximum scouring depth of viscous debris flow. The equation has good physical meaning and it is correspondent to data in field.

**Key words** viscous debris flow; bed; the depth of erosion and deposit; surges

## 《防灾减灾工程学报》稿件书写简则

承蒙广大业界学者厚爱,本刊收到的稿件日趋增多,为了加快稿件处理流程,减少不必要的回修,特将本刊书写简则再次明确于下,务请投稿时参照执行。

1. 作者简介: 含第一作者姓名、性别、出生年、工作单位、职称、主要研究方向以及联系电话、E-mail

2. 中文题目一般不要超过 22 个字,确需超长表达时,可采用副标题形式。文章应包括: 标题、作者、作者单位、摘要、关键词、引言、正文、结语和参考文献,以及何种基金资助等项内容。

3. 中文摘要不少于 250 字,应含文章主旨、所用方法和主要结论。另须附独立成文的详细英文摘要,长度为 300 单词左右。

4. 参考文献应列全。凡在正文中引用的公开发表的著作、论文,必须在参考文献中列出;参考文献的序号按文中出现的先后顺序,以阿拉伯数字标注,用方括号括起置于正文引用处右上角。未公开发表的论文或资料则以脚注方式排列于当页下部,并在正文引用处用圆括号右上角注明序号。

中英文参考文献均按下列格式排列:

专著: [序号] 著者姓名. 书名 [M]. 出版地: 出版者, 出版年. 页次

文集: [序号] 文献著者姓名. 析出文献名 [A]. 文集编著者. 文集名 [C]. 出版地: 出版者, 出版年, 析出文献起止页

期刊论文: [序号] 著者姓名. 论文篇名 [J]. 刊名, 出版年, 卷号(期号): 起止页

参考文献的作者为三位以下的,应全部列出;三位以上的,则列出前三位,后面用“等”表示。

其它文献类型均参考上述格式标明各项。

### 5. 图表要求

1) 图、表须有中英文名称和编号,其内容要与正文中的编号和解释一致;图幅不超过 16 开。

2) 有坐标系的插图,纵横坐标上均要有适宜的刻度、对应的数据以及代表相应数字的量和单位。

3) 涉及国界的图件须以正式出版的地图为底图绘制,并注出底图的出处、比例尺。

4) 图件须保证图内线条和字符清晰。