利子依达沟泥石流演化历史及发展趋势预测

蔡佳君，沈军辉，唐垒庆

（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）

摘　要：大渡河右岸一级支流利子依达沟是一条多期次，中高频率的泥石流沟。根据该沟泥石流的灾害历史和发育特征，对整个沟域进行了详细的地质工程调查，典型剖面保留泥痕的地质工程测绘，现场的颗分实验及容重实验，分析了利子依达沟泥石流的形成条件和泥石流的演化历史。结合大渡河阶地发育特征和冰川消融期次，分析了利子依达沟各期老泥石流的发育时期，并对该沟泥石流进行了预测。通过研究发现，利子依达沟古泥石流的形成和冰川的演化有着密切的联系，通过历史分析法可以预测其发展趋势。利子依达沟是一条衰亡期泥石流沟，其泥石流暴发规模会逐次减小。

关键词：泥石流；利子依达沟；演化历史；预测

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2012)03-0217-05　　**中图分类号**：U433

Development History of Debris Flows and Its Prediction in Toshiko Gully

CAI Jia-jun, SHEN Jun-hui, TANG Lei-qing

(*State Key Laboratory of Geohazards Prevention and Geoenvironmental Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan* 610059, *China*)

Abstract: Toshiko gully on the right bank of Dadu River is characterized by medium and high frequency debris flows, where several severe debris flow disasters occurred. Based on the history of disasters and development characteristics of the gully, formation conditions and development history of debris flow in the gully are analyzed through detailed field geological engineering investigation, geological mapping for remained mud marks in typical profiles, particle analysis and volume weight test. Combined with the development characteristics of the Dadu River terraces and glacial melting periods, phases of debris flow in the periods are analyzed and the prediction and assessment of debris flow are made. The research reveals that the formation of debris flow has a close relation with ice evolution. Using the historical analysis method, the conclusion can be draw that Toshiko valley is in a decline phase and the scale of debris flow will be reduced successively.

Keywords: debris flow; Toshiko gully; development history; prediction

利子依达沟位于四川省甘洛县大桥乡境内，属大渡河右岸一级支流，沟域总体呈树叶状，呈南东—北西向展布。利子依达沟为一多期次中高频泥石流沟，主沟沟道堆积体丰富，沟域内滑坡、崩塌、残坡积层发育，在暴雨作用下极易发生泥石流。

乐—汉高速公路（四川省乐山市至雅安市汉源县）选择路线通过利子依达沟沟口，故利子依达沟泥石流直接威胁到该高速公路拟设路线的安全，同时泥石流流体冲入大渡河，直接顶托河床，造成河床抬高，对大渡河左岸的 S306 省道和下游水电站直接构成威胁。笔者通过 10 d 左右详细的野外地质调查和室内资料整理，详细分析了利子依达沟形成泥石流的形成条件和演化历史。结合利子依达沟老泥石流发育特征与冰川消融及大渡河阶地的演化关系，对利子依达沟泥石流进行预测和评估。

1　利子依达沟泥石流的形成条件

1.1　地形条件

利子依达沟属于深切割构造高中山地形。主沟长约 9.0 km，流域长约 7.2 km，平均宽约 4.5 km，汇水面积约 24.9 km^2。源头最高海拔 2 931 m，沟口（大渡河）海拔 650 m，落差 2 281 m，流域平均纵坡降 173‰，源头形成区纵比降在 300‰以上，沟谷两侧斜坡坡度 50°～70°，流通区沟床纵比降一般在 200‰以

收稿日期：2011-11-07　　修回日期：2011-12-05
资助项目：高等学校博士学科点专项科研基金（博导类）资助课题“汶川地震区典型坡面型泥石流形成机制研究”（20115122110012）
作者简介：蔡佳君（1985—），男（汉族），四川省广安市人，硕士研究生，主要从事地质灾害评价及岩土体稳定性研究。E-mail：499758871@qq.com。

上。流域地貌深切，呈 V 型峡谷，斜坡陡峻，沟谷两侧斜坡坡度多在 40°～70°之间。流域中上游发育有 3 条比较大的支沟，中下游支沟不发育，且支沟切割浅。由此可见，利子依达沟相对海拔高差大，纵坡降大，沟谷两侧山体陡峭，且流域中上游支沟发育，有利于降水汇聚，从而构成了该地区泥石流形成的水动力条件。

同时利子依达沟沟源及沟两侧冰蚀地貌发育，冰蚀漏斗众多，而利子依达沟老泥石流规模巨大，产生这样巨大的泥石流与冰川消融密切相关。

1.2 松散固体物源条件

利子依达沟位于泸定县至汉源县之间，甘洛歹字形构造的尾部Ⅶ度地震区。南北向正断层纵贯全流域，次一级断层和小断裂也十分发育，岩层破碎且风化严重。与利子依达沟关系密切的断裂有宜坪—美姑断裂，峨边—金阳大断裂，汉源—昭觉断裂。这些构造及断裂直接造成利子依达沟沟内岩性破碎结构面发育。利子依达沟沟域内主要出露震旦系下统开建桥组(Z_ak)酸性火山碎屑岩；苏雄组(Z_as)基性—酸性火山岩及火山碎屑岩及震旦系上统灯影组(Z_bd)灰白色为主的碳酸盐岩；观音崖组(Z_bg)紫红色砂岩、页岩，夹灰岩、白云岩、列古六组(Z_bl)凝灰质岩石等地层。且以火山岩为主，这些火山岩岩性坚硬，在地震活动及断裂活动中易脆性变形，从而结构面发育，岩性破碎，若满足一定的条件就极易形成崩塌或滑坡等形成松散堆积体。这些松散堆积体往往悬挂于斜坡上或堆积于坡脚。在长期降雨作用下，松散堆积体极易饱和，当某次大的降雨发生时，这些饱和松散体会发生表层或前缘解体，汇入主沟，形成物源。利子依达沟沟内堆积丰富，是该沟发生泥石流的主要物源。由于沟内堆积体结构极其松散，当降雨发生时，堆积体孔隙变大，便于雨水的渗入，当渗入雨水达到一定量时这些松散体便会启动。利子依达沟泥石流主要的启动方式有两种：第一种是是“消防水管效应”使沟道水流快速集中，并强烈冲刷沟床中松散固体物质，导致沟床物质起动并形成泥石流过程。这种方式是利子依达沟形成泥石流的主要启动方式；第二种是由于暴雨过程形成的斜坡表层径流导致悬挂于斜坡上的滑坡体表面和前缘松散物质向下输移，进入沟道后转化为泥石流过程[1]。

1.3 水源条件

四川省泥石流主要为暴雨型泥石流，泥石流发生与暴雨过程有着密切的相关性。四川省暴雨主要发生在盆地和凉山州，暴雨期主要在 6—9 月[2]。利子依达沟位于凉山州内，沟域内雨量丰沛，暴雨集中，多地形雨，年均降雨量一般为 800～1 000 mm，且流域地貌形态有利于降雨的汇聚，为泥石流的暴发提供了水源条件。利子依达沟位于大渡河中游，主沟全长 9.0 km，流域汇水面积 24.9 km^2，流域内雨量丰沛，暴雨集中，年雨量一般为 800～1 000 mm，且多见地形雨。如 1981 年 7 月 9 日，沟口附近的大桥乡降雨量仅 16.4 mm，而利子依达沟上游却是特大暴雨。7 月 8 日 21—24 时，利子依达沟上游普降中雨，7 月 9 日 0—2 时，上游区域转化为特大暴雨，山洪迅速汇集，诱发了大规模泥石流。可见，高山地形雨为利子依达沟泥石流提供了强大的动力条件使贮藏在沟槽内的大量松散固体物质与暴雨一起，顺陡峻沟槽一泻而下形成泥石流。

2 利子依达沟泥石流的演化历史

利子依达沟是一条多期次泥石流沟[3]。根据野外勘查，该沟泥石流堆积体主要可划分为 4 期。各期泥石流从老到新依次分为Ⅰ期、Ⅱ期、Ⅲ期和Ⅳ期，各期泥石流呈扇套扇分布，其中Ⅰ期、Ⅱ期泥石流在沟口形成巨大的扇体，Ⅲ期泥石流仅在利子依达沟左侧残余，Ⅳ期为近现代发生的泥石流，包括 1981 年 7 月 9 日凌晨 1 时 30 分该沟暴发大型泥石流以及 2010 年 7 月发生的最新一次泥石流。

2.1 Ⅰ期泥石流

古泥石流堆积扇分布于利子依达沟近沟口宽谷内，泥石流残留体整体呈不规则长舌形。该期泥石流规模巨大，泥石流体出沟口开始堆积并达大渡河对岸，曾造成大渡河堵塞。泥石流堆积体在大渡河的冲刷作用下，前缘被侵蚀，残余堆积体沿大渡河宽约 732 m，沿利子依达沟纵向长度约 125 m，堆积体表部坡度 5°～8°，扇顶表面孤块石多见。堆积体被利子依达沟侵蚀切割，表部高于利子依达沟现代沟床约32.5 m，前缘陡坎坡度约 75°。泥石流堆积体主要由杂色火山碎屑岩组成，断面可见该期泥石流具有一定的成层性。根据物质成分及结构的差异，该沟泥石流堆积体主要分为 5 层(图 1—3)，为多次泥石流形成。堆积体具有相对较好的磨圆度，但分选差，层内物质堆积杂乱。这 5 层泥石流堆积体从下至上描述如下。

(1) 第①层泥石流堆积体。呈土黄色，堆积体可见厚度约 4.5 m，由粗沙碎石构成，碎块石含量约在 80%左右，以砖红色火山碎屑岩和浅灰色火山碎屑岩为主，块径小于 20 cm 的碎石含量约为 20%，20—40 cm者约占 50%，最大块径可达 5 m 左右。呈次棱角—次圆状，杂乱排列，胶结程度差。顶部可见一层厚度约 0—20 cm 的稍湿碎石土层。



图 1　利子依达沟Ⅰ期泥石断面分层特征



图 2　利子依达沟Ⅰ期泥石流堆积扇

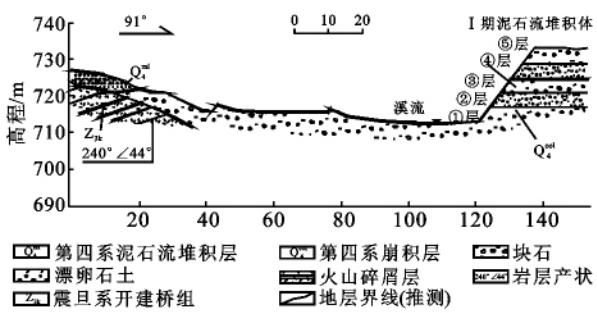


图 3　利子依达沟Ⅰ期泥石流断面

(2) 第②层泥石流堆积体。层厚约 7 m,块碎石含量约 80%,以砖红色火山碎屑岩和浅灰色火山碎屑岩为主,块径小于 20 cm 的碎石含量约为 30%,20—45 cm 者约 40%。最大块径 70 cm,结构松散,杂乱排列,胶结程度差。

(3) 第③层泥石流堆积体。层厚约 7 m,块碎石含量约 85%,以砖红色火山碎屑岩和浅灰色火山碎屑岩为主,块径小于 20 cm 碎石含量约为 30%,20—50 cm 者约 45%,最大块径 70 cm,呈次棱角—次圆状,结构松散,杂乱排列,胶结程度差。

(4) 第④层泥石流堆积体。层厚约 6 m,呈黄白色,顶层有一厚约 50 cm 粉砂层,堆积体块碎石含量略比上一层少,约在 80%左右,以砖红色火山碎屑岩和浅灰色火山碎屑岩为主,块石块径一般较小,块径小于 20 cm者约占碎石含量的 20%,20—50 cm 者约占 45%,大于 50 cm 者约 15%,最大块径 60 cm。呈次棱角—次圆状,堆积物结构松散,杂乱排列,胶结程度差。

(5) 第⑤层泥石流堆积体。厚度约 8 m,呈浅红色,块碎石含量约 80%,以砖红色火山碎屑岩和浅灰色火山碎屑岩为主,含量约 60%。偶见灰绿色玄武岩,磨圆度好,呈次棱角—次圆状,堆积物结构松散,杂乱排列,胶结程度差,一般粒径在 30—50 cm,最大者可达约 5 m。

2.2　Ⅱ期泥石流

Ⅱ期泥石流堆积体(沟右侧)呈扇套扇堆积在Ⅰ期残余泥石流堆积扇(沟左侧)前缘,扇体顶面高程比Ⅰ期扇顶低约16.5 m。其规模相对于Ⅰ期泥石流堆积扇规模较小,残余泥石流堆积体沿大渡河延长约 880 m,宽约 300 m,表面坡度约 6°～9°。该期泥石流堆积体曾造成大渡河的堰塞,后期在大渡河的冲蚀作用下扇体前缘被侵蚀改造,形成高陡堤岸,堆积扇南西侧则被利子依达沟冲刷成陡坡,陡坡高出利子依达沟沟床 28.5 m,坡度约 65°,利子依达沟沟口左侧也可见其残余堆积体(图 4—5)。



图 4　利子依达沟多期泥石流堆积形态



图 5　利子依达沟沟右侧Ⅱ期泥石流断面

Ⅱ期泥石流也具有Ⅰ期泥石流的发育特征,共可以分为 4 层,每层泥石流发育特征与Ⅰ期泥石流基本相似。泥石流堆积体主要固体物质成分以砖红色火山碎屑岩和浅灰色火山碎屑岩为主,含量约 60%～70%,偶见灰绿色玄武岩,磨圆度好,呈次棱角—次圆

状，堆积物结构松散，杂乱排列，胶结程度差。

Ⅰ期泥石流和Ⅱ期泥石流总体上具有扇叠扇的特征，且都具有稀性泥石流的发育特征。

2.3 Ⅲ期泥石流

这期泥石流晚于前两期泥石流，从剖面结构（图6上部）上可以看出Ⅲ期泥石流共发生过两次，这两次泥石流规模较以前发生的泥石流规模明显变小，泥石流堆积在利子依达沟沟口左侧，这些泥石流堆积体在主河大渡河和利子依达沟共同的冲刷作用下只有部分残存。Ⅲ期泥石流各次发生的堆积体呈扇套扇发育特征，各次泥石流发生明显分异，断面上呈正粒序结构，即各次泥石流下部为粗颗粒沉积，往上砾石颗粒变小，在泥石流顶部甚至出现泥沙层，这是稀性泥石流的特征[4]，故Ⅲ期泥石流亦为稀性泥石流。



图6 利子依达沟Ⅲ，Ⅵ期泥石流断面结构

2.4 Ⅳ期泥石流

这期泥石流堆积体为近现代发生的老泥石流堆积体。该期泥石流还包括曾于1875，1934，1959，1967，1974，1978，1981，2010年发生的洪水和泥石流。1981年7月9日凌晨1时30分，利子依达沟暴发特大泥石流，这些泥石流历时20 min多，一次泥石流方量为8.5×10^5 m^{3}余，泥石流冲毁利子依达大桥，堵塞大渡河，并造成一列开往成都的列车车头和前几节车厢翻入大渡河。这次泥石流造成300多人死亡，成—昆铁路瘫痪372 h，直接经济损失达2 000多万元，是世界铁路史上迄今为止，由泥石流导致的最严重的列车事故[5]。以上所述泥石流规模较前期泥石流小，常堆积在沟床两侧或沟内，形成沟内堆积和沟口堆积（图6），2010年7月和1981年7月暴发的泥石流绝大多部分固体物质都堆积在沟内，并且泥石流龙头出沟口后发生快速沉积，大块石沉积在泥石流沟口，而大部分细颗粒、粗砂及黏土则被搬运至泥石流堆积扇下部发生沉积，由此可见Ⅳ期泥石流也是稀性泥石流。

总之，利子依达沟为一条多期次泥石流沟，从各期次泥石流堆积形态、发育规模上分析可知，利子依达沟同时是一条处于衰老期的泥石流沟，即较老期次的泥石流规模较大，较新期次的泥石流规模却逐渐减小。

3 利子依达沟泥石流期次与大渡河阶地和冰川消融时期的关系

据研究，大渡河共发育1—5级阶地，其中T_1—T_2阶地为堆积阶地，T_3阶地为侵蚀阶地。

（1）T_1阶地高出河面约7.2 m，二元结构清楚，下部为河床冲积砂砾石，多为圆—次圆状。T_1阶地高程上和利子依达沟Ⅲ期泥石流高程相当，石英矿物测年显示T_1阶地形成时间为0.5 ka BP。

（2）T_2阶地高出河面19.4 m，二元结构清楚，下部为河床冲积砂砾石层厚13.6 m，多为圆—次圆状。T_2阶地高程上和利子依达沟Ⅱ期泥石流高程相当，碳酸钙矿物测年显示T_2阶地形成时间为20 ka BP。

（3）T_3阶地高出河面41.3 m，可见冲积砾石层及含砾砂质黏土层，冲积相砂砾石一般10～30 cm，呈扁平次圆状。T_3阶地高程上和利子依达沟Ⅰ期泥石流高程相当。石英矿物测年显示T_3阶地形成时间为100.1 ka BP[6-7]。

由此可见Ⅰ期和Ⅱ期泥石流的形成与大渡河T_2阶地及T_3阶地的形成关系密切。

根据第四系冰期—间冰期旋回显示，在100 ka BP和23 ka BP有两次较大冰期[8]，这两次冰期在利子依达沟流域内形成大面积的冰川，在冰川作用下整个沟域形成广泛的冰川地貌，冰川堆积物发育。

利子依达沟Ⅰ期和Ⅱ期泥石流方量巨大，形成这样大规模的泥石流与冰川发育关系密切。100 ka BP和23 ka BP两次较大冰期形成的冰川退去，与气候变暖关系密切。冰川堆积物在冰雪融水作用下发生大规模泥石流，这些泥石流冲出沟口，曾堵塞大渡河。即100 ka BP形成的冰川消融导致Ⅰ期泥石流的形成。泥石流堵塞河道，堰塞大渡河，河床抬高，形成的泥石流高程与T_3阶地相当。在Ⅰ期泥石流形成后，由于地势抬升，河谷下切，形成高陡堤岸。在Ⅰ期泥石流稳定后，23 ka BP该区经历了一次大的冰期，造成利子依达沟沟域内再次形成大规模冰川和冰川堆积物，当这次冰川消融时，造成Ⅱ期泥石流暴发。这次泥石流冲出沟口，泥石流流体绕过Ⅰ期泥石流前缘高陡堤岸开始堆积，造成大渡河堰塞。泥石流堆积体高程相当于T_2阶，即这个时候大渡河T_2阶地形成，当Ⅱ期泥石流稳定后，大渡河流域再次抬升，河谷下

切,从而造成Ⅱ期泥石流前缘被冲断,形成高陡边坡。同样,Ⅲ期泥石流稳定后,T_1 阶地已经形成,这之后大渡河同样经历地势抬升,河谷下切,从而形成Ⅲ期泥石流在利子依达沟沟口残留,但自 11.5 ka BP 至今,全球进入气候温暖的间冰期,这个时期形成的泥石流为暴雨型泥石流,Ⅲ期和Ⅳ期泥石流均发生在这个间冰期内。

4　利子依达沟泥石流发展趋势预测

利子依达沟是一条多期次泥石流沟,该沟在历史上发生过大规模的泥石流,即Ⅰ期和Ⅱ期泥石流。这两期泥石流规模巨大,形成这两期泥石流固体物源的形成与冰川消融有关。由于冰川的形成,造成利子依达沟发育冰川地貌和冰川堆积物,当冰川消融后,这些方量巨大的冰川堆积物极不稳定,在冰雪融水或暴雨作用下发生启动,形成大规模泥石流。而在间冰期时期,利子依达沟沟内物源主要由滑坡、崩塌、坡面及沟内堆积等松散堆积体供给,这些松散堆积体被以泥石流的形式带出沟口,从而导致沟内物源方量逐步减少,使利子依达沟泥石流规模逐渐减小。从利子依达沟泥石流暴发历史可以看出,该沟为一条衰亡期的泥石流沟,暴发泥石流的规模会逐渐减小,即未来该沟暴发的泥石流规模一般不会再超过 1981 年 7 月 8 日的泥石流规模。

5　结 论

(1) 利子依达沟是一条多期次泥石流沟,地形地貌、地质构造以及水源条件决定了利子依达沟具有再次发生泥石流的可能。

(2) 利子依达沟泥石流主要的启动方式有两种:第一种是“消防水管效应”使沟道水流快速集中,并强烈冲刷沟床中松散固体物质,导致沟床物质起动并形成泥石流过程;第二种是由于暴雨过程形成的斜坡表层径流导致悬挂于斜坡上的滑坡体表面和前缘松散物质向下输移,进入沟道后转为泥石流的过程。第一种是利子依达沟泥石流的主要启动方式。

(3) 利子依达沟是一条多期次泥石流沟,共发育 4 期泥石流,前 2 期泥石流暴发与冰川消融有关,其形成的泥石流堆积体高程分别与大渡河 T_2 和 T_3 阶地相当;间冰期发生的泥石流为Ⅲ期和Ⅳ期泥石流。其中Ⅲ期泥石流堆积体高程与 T_1 阶地相当。

(4) 利子依达沟是一条衰亡期泥石流沟,采用历史分析法可以得知,利子依达沟泥石流暴发规模会逐次减小,其暴发规模不会超过 1981 年 7 月 8 日的泥石流规模。

[参 考 文 献]

[1] 唐川,良京涛. 汶川震区北川 9·24 暴雨泥石流特征研究[J]. 工程地质学报,2008,16(6):755-756.

[2] 苏鹏程. 四川泥石流灾害与降雨关系的初步探讨[J]. 自然灾害学报,2006,15(4):20-21.

[3] 沈军辉. 5·12 汶川地震诱发都江堰龙池镇干沟泥石流可能性地质分析[J]. 山地学报,2008,26(5):513-517.

[4] 崔之久. 泥石流沉积与环境[M]. 北京:海洋出版社,1996.

[5] 穆成林. 成昆铁路线 K497—K727 段泥石流危险性评价与防治[D]. 成都:西南交通大学,2010.

[6] 熊发挥,肖渊甫. 大渡河中游泸定—石棉段阶地特征及河谷发育史探讨[J]. 四川地质学报,2009,29(4):379-383.

[7] 刘严松,何政伟. 大渡河金川—巴底河段河流地貌特征研究[J]. 四川地质学报,2007,27(3):162-165.

[8] 王绍武. 冰期—间冰期旋回[J]. 气候变化研究进展,2008,4(1):62-63.