

# 二滩库区泥石流发育发展趋势初探

胡平华, 孔纪名

(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)

**摘 要:** 二滩水电站蓄水发电运行以来, 库区环境已发生了很大的变化, 影响泥石流发育发展的因素相应也有所改变, 通过对二滩库区泥石流现状的调查研究, 认为库区泥石流有减弱的趋势, 处于与改变中的库区环境再协调适应的阶段。

**关键词:** 泥石流; 二滩库区; 发育发展

**中图分类号:** P64

**文献标识码:** A

二滩水电站自蓄水发电运行以来, 库区水位的上涨, 地下水位的升高, 雅砻江干流水流流速急剧改变以及库区的局部微气候的变化, 都对库区的泥石流分布及活动造成了一定的影响。为及时了解库区泥石流的分布与现状, 预测泥石流的发育发展趋势, 把握泥石流所携带的固体物质对二滩水库库容的影响程度, 对二滩库区泥石流进行了考察, 并对库区泥石流的发育发展进行了探讨。

1993 年中国科学院成都山地灾害与环境研究所曾对二滩库区环境地质灾害做过比较详尽的调查<sup>1)</sup>, 在此基础上, 于 2001—11—21~28 对二滩库区的泥石流进行了现场调查。在全面调查的基础上, 对具明显泥石流特征, 潜在暴发较大规模泥石流的沟谷及源区进行了重点调查并发现了一些新的泥石流沟(表 1)。

## 1 泥石流分布状况及活动特征

二滩库区的泥石流沟基本上沿雅砻江干流平行展布, 其支流中泥石流沟数量较少。绝大多数泥石流沟与干流正交。由于干流两岸地形陡峻, 具有沟短高差大的特点。流域面积较小, 主沟长度多数在十公里以内。泥石流沟发育并不完善, 有的泥石流

沟只有形成区和堆积区, 流通区极短; 有的只有形成区和流通区, 堆积区由于库区蓄水后水位上升而被淹没。泥石流沟的特征已趋不明显。如田湾沟和摸鱼沟, 在沟口已看不到泥石流的痕迹, 近水边的沟道内已有成片的乔木及杂草。甘塘沟的情况也比较相似, 沟口及附近沟道植被生长良好, 几乎看不到泥石流的活动痕迹, 但形成区却滑坡, 崩塌众多, 松散固体物质储备极为丰富, 如遇大暴雨, 将肯定发生泥石流。

二滩库区泥石流的发生与降雨关系密切, 为降雨型泥石流。其松散固体物质的补给形式主要为滑坡、崩塌、坡面侵蚀及沟床内储备的固体物质。根据泥石流的发育及活动状况, 库区泥石流可简单分为活动性泥石流和间歇性泥石流。

活动性泥石流主要分布在二滩库区中段, 距坝址 50~130 km 的范围内。这类泥石流沟通常每年都有泥石流发生或数年发生一次。他们的特征是: 泥石流沟的形成区山坡坡度大, 山坡裸露, 地表侵蚀严重, 滑坡、崩塌等不良地质现象众多。补给区内松散固体物质储备丰富, 泥石流流通区及形成区的沟床纵比降大。沟床内往往不通畅, 有易堵塞的沟段, 沟床内多跌坎, 流通段沟床横断面呈 V 型。沟内冲淤变化大, 沿沟两侧的植物不易生存, 泥石流堆积扇不稳定而易于变化。

收稿日期(Received date): 2004—03—05; 改回日期(Accepted): 2004—05—21。

作者简介(Biography): 胡平华(1956—), 男, 副研究员, 主要从事泥石流等山地灾害的实验及防治研究。[Hu Pinghu(1956—), male, assistant researcher. Be engaged in research on experiment and prevention against debris flow.]

1) Chengdu Institute of Mountain hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences. A Investigation Report on Environmental Geology about Er-tan hydropower Station in The Yalongjiang River [中国科学院, 水利部成都山地灾害与环境研究所, 1994 年 8 月. 雅砻江二滩水电站库区环境地质灾害调查报告.]

表 1 二滩库区泥石流调查成果表  
Tabal 1 The debris flow gullies in Ertan-reservoir

编号	沟名	所在库岸	所在县乡	距坝址距离 (km)	汇水面积 (km <sup>2</sup> )	主沟长度 (km)	沟床比降 (‰)	源头高程 (m)	植被 (%)	补给形式	边坡坡度 (°)	泥石流活动现状
1	横壁滩沟	左岸	米易胜利	22.4	2.5	3.2	552	2801	80	崩、滑	37	偶发, 间歇性
2	滩脚沟	左岸	米易胜利	39.6	3.7	3.9	444	2770	60	崩、滑	28	偶发, 间歇性
3	下荒田沟	右岸	盐源树河	55.0	5.3	3.5	385	2442	35	滑	36	频发, 活动性
4	田坝子沟	左岸	米易大路	61.0	2.1	3.3	437	2530	45	崩、蚀	42	偶发, 间歇性
5	甘塘沟	右岸	盐源甘塘	61.9	2.8	2.6	385	2102	38	崩、滑	41	偶发, 间歇性
6	半坡沟	右岸	盐源甘塘	62.3	1.4	2.5	400	2102	36	崩、滑	38	偶发, 间歇性
7	烂棚子沟	右岸	盐源甘塘	65.5	8	5	292	2569	41	崩、蚀	32	偶发, 间歇性
8	荞地坪沟	右岸	盐源甘塘	66.1	1.3	1.2	540	1758	48	崩、滑	35	偶发, 间歇性
9	白条河沟	右岸	盐源田湾	71.6	28.9	9.2	165	2635	51	崩、滑	32	偶发, 间歇性
10	大坪子沟	右岸	盐源田湾	79.6	3.3	3	454	2483	43	崩、滑	32	偶发, 间歇性
11	大坪北沟	右岸	盐源田湾	81.3	3	4	366	2594	45	崩、滑	33	偶发, 间歇性
12	盐塘沟	左岸	德昌大湾	80.3	6.6	5	299	2621	40	滑	31	频发, 活动性
13	茅姑坪沟	右岸	盐源田湾	82.0	4.1	4	365	2594	50	崩、蚀	35	偶发, 间歇性
14	凉桥沟	左岸	德昌大湾	85.6	47.5	13.2	175	3443	50	崩、蚀	36	偶发, 间歇性
15	摸鱼沟	右岸	盐源德石	89.3	28.8	12.6	171	3291	56	崩、蚀	33	偶发, 间歇期
16	萱麻沟	右岸	盐源德石	90.0	20.5	9.6	226	3313	58	崩、滑	37	偶发, 间歇性
17	一碗水沟	左岸	德昌马鹿	90.1	55.5	13	160	3224	60	崩、滑	40	偶发, 间歇性
18	麻疯院沟	右岸	盐源德石	91.5	1.8	1.9	481	2061	53	崩、滑	35	偶发, 间歇性
19	永安沟	左岸	德昌马鹿	98.3	5	4.6	235	2243	81	崩、滑	36	偶发, 间歇性
20	麦帕拉沟	右岸	盐源德石	98.3	10	5.9	203	2944	80	崩、滑	45	偶发, 间歇性
21	桐子林沟	左岸	西昌乔地	110.3	4	3.6	302	2251	65	崩、滑	32	偶发, 间歇性
22	二道沟	左岸	西昌磨盘	119.0	16.2	7.8	183	2597	40	崩、蚀	43	频发, 活动性
23	头道沟	左岸	西昌磨盘	120.8	17.2	7.2	192	2545	40	崩、蚀	35	频发, 活动性
24	大盐池沟	左岸	西昌联合	133.2	14.8	6.5	204	2510	60	崩、滑	43	偶发, 间歇性

位于雅砻江右岸距坝址 55 km 处的下荒田沟, 以其泥石流的规模大、发生频率高而著称。下荒田沟流域面积 5.3 km<sup>2</sup>, 主沟长 1.7 km, 沟床比降 0.385, 相对高差1 240 m, 平均边坡坡度 31°。进沟 200 m 左右处分为左右支沟, 其中右支沟水流较小并较清, 沟内已有杂草及灌木生长; 而左支沟水流较大且浑, 其上游为滑坡崩塌群, 坡面极其破碎, 泥石流固体物质主要来源于左支沟。据调查, 下荒田沟每年至少爆发两次泥石流。泥石流过境后, 3~4 d 内沟道中都不能过人。泥石流堆积物中有具粘性泥石流特征的泥球。估测容重为 1.8 t/m<sup>3</sup>。沿沟堆积物具有一定的分选性, 沟口堆积扇上大石块粒径为 30 cm, 而两支沟汇口处的大石块的粒径为 1 m。据当地农民介绍, 1998 年水库蓄水后, 堆积扇每年上升约 30 m, 堆积扇淤积坡度为 6°, 汇口处沟道纵坡为 11°。经计算, 泥石流流速为 8 m/s, 每年的堆积

量为 9.4×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

位于距坝址 80 km 的盐塘沟, 在雅砻江左岸。流域面积 6.6 km<sup>2</sup>, 主沟长度 5 km, 沟床比降 0.299, 源头高程2 621 m, 相对高差1 400 m。该沟由左右两支沟组成, 其形成区内, 滑坡崩塌密布, 均有大量的松散固体物质来源, 其中左支沟为主沟, 固体物质更为丰富。据调查, 每年一有大雨就有泥石流发生, 规模大小不等的泥石流有 20 次以上。在峡口段, 泥石流高度可达 5 m, 最长的流动历时达 2 h 以上, 为库区内目前最为活跃的大规模泥石流沟。在流域的形成区与流通区之间有一公路穿过, 在两支沟上建有钢筋混凝土桥。左支沟的公路桥在 1999—08 的一次泥石流后, 因泥石流冲刷淘蚀沟岸, 造成桥左基础悬空而发生垮塌, 现重达百吨的墩体仍停在距桥址 80 m 的下游沟道中。泥石流堆积扇扇缘宽度 150 m, 中部有垄状堆积, 容重约为 1.9

$\text{t/m}^3$ 。堆积扇上最大石块粒径 2 m, 流通段最大石块粒径 3.5 m。据调查从 1998 年至今, 3 a 堆积扇已升高了 100 m, 经计算, 流通段的泥石流流速可达  $9 \text{ m/s}$ 。其沟口 3 a 的堆积量已达  $45 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 平均每年淤积  $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

距坝址 98 km 的永安沟, 流域面积  $5.0 \text{ km}^2$ , 主沟长 4.6 km, 沟床比降 0.235, 垂直高差 1 000 m, 沟口段坡度较陡, 约为  $10^\circ$ , 进沟后 100 m 左右有一缓坡段, 坡度为  $8^\circ$ 。缓坡段沟床中已生长有杂草, 左岸坡有几乎直立的崩塌土体, 右岸坡有零星植被覆盖。堆积物分选较好, 沟口堆积粒径较小, 缓坡段粒径明显加大, 最大石块粒径约 2 m, 堆积物中细颗粒较少, 粘度较低, 容重约为  $1.5 \text{ t/m}^3$ , 为一条稀性泥石流沟。据调查, 每年均有 2~3 次泥石流发生, 泥石流前部龙头有半人高, 但一般不能满槽, 1998 年蓄水后河床升高约 20 m, 每年泥石流堆积物约  $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

间歇性泥石流沟也可称为衰退性泥石流沟。它们是继泥石流旺盛活动之后, 处于暂时停歇阶段的泥石流沟, 但并未完全停止活动, 通常会在停歇数年或数十年后偶有发生。当然这并非是一成不变的, 若有利于泥石流发生的条件出现较大程度的改变, 就可能转化为活动性泥石流沟。反之也可能完全变为非泥石流沟。它们的特征是: 形成区地表裸露面积小, 地表侵蚀程度低, 滑坡崩塌及重力堆积等不良地质现象不多且零星分布, 松散固体物质储量不大, 流通区的沟道较为顺直通畅, 沟床断面呈 U 型。沟床纵断比降均匀, 沟口堆积扇较稳定, 扇面上植被覆盖较好, 水流有比较固定的流路。此类泥石流沟在二滩库区内主要分布在库首段及库尾段以及支流中。如距坝址约 120~130 km 的歇台子南沟, 大火山沟, 堆积扇上仅有巨石林立, 细颗粒全部被水流带走, 沟口草、灌、乔均生长良好, 人已很难在沟道中行走, 水流有固定的水道, 在扇体上下切 8 m 左右, 上游形成区看不到裸露坡地。据调查, 沟口堆积物系 20 多年前的冲出物, 近年均无泥石流发生, 即使下大雨时, 也仅使水流增大, 水流并不浑浊。

## 2 典型泥石流

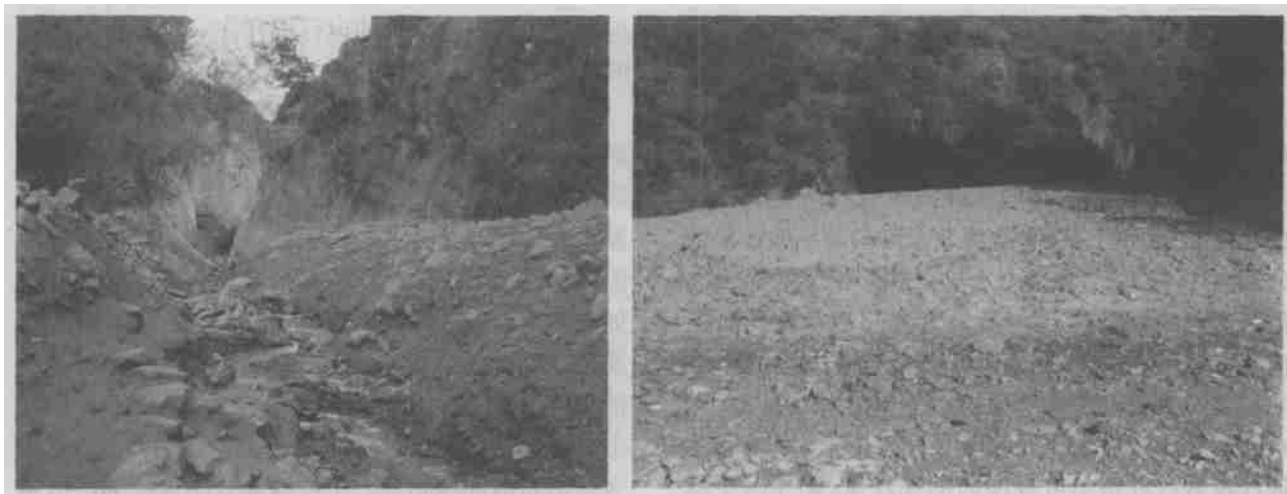
距坝址 110 km 的桐子林沟, 于 2001—11—17 暴发了一场粘性泥石流。一周后考察时, 流体尚未固结, 且表面未被降雨或人为破坏, 比较完整地保持

了粘性泥石流流动和停积的原貌。

桐子林沟流域面积  $4 \text{ km}^2$ , 主沟长度为 3.6 km, 沟床纵坡 0.302, 沟口高程 1 200 m, 源头高程 2 251 m, 相对高差 1 051 m。流域内植被覆盖较好, 覆盖度为 65%, 固体物质补给来源于滑坡和崩塌, 流域的平均边坡坡度为  $32^\circ$ 。

二滩库区的雨季是 5~10 月, 降水量占全年的 90%~95%。11 月进入旱季, 二滩库区泥石流属降雨型泥石流, 泥石流的发生与降雨的关系十分密切, 库区泥石流一般均发生在雨季, 以 6~9 月居多, 11 月发生泥石流实属罕见。据库区 1996~2000 年 3 个雨量站 9 个雨量点的降雨资料分析, 库区进入 11 月, 特别是 11 月中旬以后, 降雨量均小于 10 mm。而 2001 年库区的雨季有后延的情况, 据金龙山雨量站记录, 2001—11—18~19 的降雨量达 23 mm。距桐子林沟约 20 km 的煌猷站雨量记录, 18~19 日的降雨量为 13 mm。经多年的研究表明, 川西地区的泥石流激发雨量一般为一小时降雨量超过 30 mm, 10 min 降雨量超过 10 mm 均可能发生泥石流。桐子林流域本次泥石流的激发雨量是否达到此指标尚有待进一步确认, 不排除局地性和短历时强暴雨的可能。从现场的情况分析, 其降雨性质很可能是短历时强暴雨。泥石流的流体粘度很大, 龙头部分裹挟大石块呈岗状堆积, 龙头两侧未到达水面就突然停积, 说明沟床相当干燥粗化, 没有流体前期铺床过程, 泥石流堆积物没被后续降雨冲刷, 或者沟口附近根本就没有降雨。

沟口附近左岸为直立的陡岩, 右岸为松散边坡。进沟 200 m 左右为峡谷段, 宽 20 m, 长 50 m, 两侧均有泥石流流动留下的泥痕, 约 1.5 m 高, 峡谷段沟床纵坡  $8^\circ$ , 经计算, 泥石流流速为  $8.7 \text{ m/s}$ , 流量为  $260 \text{ m}^3/\text{s}$ 。径流总量约为  $10\,000 \text{ m}^3$ 。峡口上方沟道分为左右支沟, 左支沟紧邻峡口为一高 10 m 的陡坎, 坎下及两侧均有泥痕, 本次泥石流来源于左支沟。顺右支沟向上 30 m, 有一近 20 m 高的陡坎, 坎下沟道中及两侧边坡长有杂草及灌丛, 无泥石流过流痕迹。泥石流在堆积扇上停积时呈双舌岗状堆积, 未铺满整个扇体, 中部已直抵水面, 龙头高度约 1.5 m, 泥石流堆积总量为  $6\,000 \text{ m}^3$ 。据初步分析, 本次泥石流是由左支沟内的松散固体物质, 在短历时, 强暴雨的作用下, 突然启动, 冲下陡坎, 借助强大的势能, 直泻而下, 形成短历时, 高粘度的阵发性泥石流。



图片 1.2 桐子林沟泥石流流通及堆积区

Photos 1, 2 A debris flow in Tongzilin gully

### 3 库区泥石流发展趋势分析

二滩库区泥石流分布较广, 沿雅砻江干流及各中小支流都有不同程度的分布。但就其活动性和规模来讲, 对库区影响较大的泥石流沟主要分布在干流的中段, 即德力堡与南坝之间。每年一遇降雨就发生泥石流或一年内数十次发生泥石流的高频率泥石流沟数量并不是很多, 但其规模和危害比较大, 如盐塘沟及下荒田沟等。多数泥石流沟暴发频率不高, 一经暴发后, 因固体物质的来源不足而停歇, 随着固体物质的积累, 或出现滑坡崩塌, 松散固体物质的突然增加, 在暴雨的激发下, 将再次暴发泥石流, 如田湾沟及甘塘沟等。暴雨是激发库区泥石流的重要因素, 每年的 6、7、8 三个月是泥石流暴发的主要季节, 间或也有少数泥石流出现在 5 月或 9 月, 甚至 11 月也有泥石流的发生。一般泥石流都发生在连续的暴雨过程时, 地表松散物被水分充分饱和后, 在暴雨的激发下, 发生泥石流。因此, 库区泥石流具有明显的季节性。库区泥石流的危害是将固体物质带入库内, 减小库容, 缩短水库的有效使用年限。虽然泥石流带入库区的泥沙总量比起库岸再造垮塌和滑坡直接进入库区的泥沙量以及干流上游带来的推移质要少得多, 但仍是一个不容忽视的问题。库区泥石流危害农田与公路交通, 带来人身伤害及房屋损失的情况较少。在形成规模, 危害程度和暴发频率等方面, 都不及我国西部山区(如川西南和滇东北地区)各处破坏性极强的灾害性泥石流。

水库蓄水后, 因水位上升和空气湿度的增大, 使土层含水量增加。加大土壤的浸渍程度, 使土壤的有机质增高, 有利于植被的恢复与生长。但由于水位线只达 1 200 m 左右, 淹没了大部分泥石流沟的堆积区, 最多只能到达泥石流沟的部分流通区。而库区所有泥石流沟的形成区高程均在淹没线以上, 而泥石流的形成和发展基本上受制于形成区内的固体物质和水源条件, 水库蓄水后并不能使形成区的自然地貌发生根本性的改变。泥石流仍将按其自身的规律活动与发展。在天然河道情况下, 泥石流沟堆积扇上的就地淤积量占其总量的 10% 左右, 其余均被水流带走。水库蓄水后, 江水的动力条件骤然减弱, 每年的两次库水位升降虽能使一部分固体物质进入库区, 绝大多数泥石流物质就地淤积, 新的泥石流堆积扇堆积在老的扇体上。随着时间的推移, 堆积扇越来越高, 前端越来越陡。一方面由于减缓了上游沟道的纵坡, 回淤堆积物可对沟内的滑坡崩塌起到一定的抑制作用, 有利于坡体的稳定和植被的恢复, 使流域暴发泥石流的可能性和频率降低。另一方面, 高高堆积在沟道中和沟口上的泥石流物质, 如遇大暴雨或上游发生大的崩塌滑坡, 就可能发生更大规模的泥石流并将堆积扇上及沟道中的固体物质一并带入库区, 造成更为严重的后果。

据四川省水文手册和攀枝花市水土流失保持资料分析, 库区的侵蚀模数为  $0.067 \sim 0.42 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ , 泥石流活动所引起的输沙模数远大于一般概念上的侵蚀模数。根据 1955—11—1981—01 两个时相的对比相片测算, 这期间下荒田流域泥石

流年平均输沙量为  $3.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。近年来库区的年降雨量有加大的趋势。特别是库区蓄水以来,近几年的库区年降水量均大于库区的多年平均降水量。库区环境也发生了局地性的变化,泥石流的活动有缩减弱,其产沙和输沙能力也有所降低。据本次调查,近几年下荒田,盐塘及永安沟的年输沙模数分别为 1.7, 2.27 和  $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。下荒田和盐塘沟均为目前库区内最为典型的活动性泥石流沟,库区干流上的 100 余条泥石流沟中,其绝大多数的暴发频率和规模远不及这两条沟。作为估算,以永安沟的输沙模数作为库区干流泥石流沟的年平均输沙模数计算每年可进库内的泥沙量,则库区干流泥石流年输沙量为  $1.230 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。据调查二滩库区流域面积  $> 100 \text{ km}^2$  的支流流域有十一条,其流域总面积为  $5200 \text{ km}^2$ ,分布着暴发频率不高,泥石流活动微弱,但为数众多的小型沟谷泥石流沟和坡面泥石流,也具有一定的输沙能力。按强度侵蚀模数低限  $0.187 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$  计算其年输沙量,为  $970 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。这两部分合计约每年  $2200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。因此,整个库区泥石流年输沙量约为  $2200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。因此,可以认为水库蓄水以来,每年均以这个输沙量向水库输送泥沙,近期内这个量不会发生大的变化。

库区泥石流目前看来其活动性有减弱的趋势,

但对于库区安全长远的运行仍存在一些不容忽视的问题。

目前有些处于间歇期的泥石流沟,其形成区的崩塌滑坡并未得到有效的控制及向稳定的方向发展。所能提供的松散固体物质遭遇大暴雨仍有可能发生大规模的泥石流。由于公路建设和采煤等人为因素,产生新的山体破坏和松散固体物质补给源。如以前并未定性为泥石流沟的煤炭沟,经本次调查发现,沿沟两侧,特别是左岸坡,因采煤已造成山体的极度破坏,有的采煤坑道就在距沟底 2 米的边坡上,大量的废渣堆积在沟道中或顺坡堆积,已积累了大量的松散固体物质。上游修建公路也使源区山体产生新的不稳定因素。应对山区建设进行规范管理,特别是煤炭的开采应做好水土保持措施,避免产生新的泥石流。对暴发频率较高,松散固体物质较多的泥石流沟有选择的采取一些必要的工程措施,减缓泥石流给库区带来泥沙量的速度。建立库区泥石流信息库,定期对库区泥石流进行调查,以掌握泥石流的发展动态。

#### 参考文献 (References):

- [1] Tang Bangxing, et al. Flood, Debris Flow, Landslide and hazards Control [M]. Beijing: Science Press, 1994. [唐邦兴:山洪泥石流滑坡灾害及防治[M].北京:科学出版社,1994.]

## Development of Debris Flow around Er-tan Reservoir

HU Pinghua, KONG Jiming

(Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041)

**Abstract:** This paper discusses various changes of the elements which affect the development of debris flow after the hydropower station has been built. It bases on the results obtained by investigating the whole drainage of Er-tan Reservoir. With the increase of underground water level and air humidity, the soil water content increases as well, which favours the resumption of vegetation. The activity of debris flow in this area has decreased. The annual sedimentary amount transported by debris flow is about  $2.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ , which will not vary in the near future. However, there are also some artificial elements that affect the development of debris flow at present, such as some small scale coal extraction and highway construction in the upper reaches of the drainage. The paper also considers that the debris flow in area of the Er-tan reservoir has weakened and it has been in a situation which now corresponds with a new environment.

**Key words:** debris flow; the Er-tan Reservoir; development