

雅砻江二滩水电站库区泥石流*

朱平一 李 沛 孔纪名

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 雅砻江二滩水电站库区泥石流十分活跃。在库区内,沟谷型泥石流沟 100 条。库首左岸的金龙沟,多次暴发过泥石流。用金龙沟泥石流活动特征与短历时雨强的资料,经计算分析后,得到了库区泥石流活动规律、流域环境条件与雨强之间的关系式,并给出了金龙沟暴发泥石流的降水指数 3 600,有助于泥石流预报。

关键词 雅砻江 二滩水电站 库区 泥石流 降水指数

二滩库区位于四川省攀枝花市雅砻江下游,南起于二滩大坝,北沿雅砻江延至打罗,南北长 100km,东西宽 30km。地势呈西北高东南低,山峦起伏,河谷幽深,岭谷相对高度 2 000—3 000m。

区内气候垂直分异明显,干湿季分明。从谷底至山岭可分为:半干旱河谷亚热带,半湿润低山亚热带至温暖带,湿润中山温暖带与湿润高山温凉带。这四个气候带大体与泥石流的堆积、流通、形成与清水汇集四个区相对应。

在湿热条件下形成的一套中生代河湖相碎屑岩地层,如砂岩、泥岩、页岩(含煤线)等构成的盖层,与广为分布的第四系半成岩状的昔格达组中的粉砂岩、泥岩、页岩及残坡积层,因受金河—箐河断裂、磨盘山断裂、普威—树河断裂、李明久断裂等的影响^[1],产生强烈褶皱、破碎,为泥石流的形成提供了丰富的固体物质。

1 泥石流的分布与区域特征

根据库区沟谷型泥石流的分布密度、类型特征及活动程度,将二滩库区泥石流分为五个活动类型区(表 1,图 1)。

表 1 二滩库区泥石流五个活动类型区

Table 1 Distribution features of debris flow in Ertan Reservoir Area

| 活动类型区 | 起讫点 (km) | 长度 (km) | 泥石流沟分布 ¹⁾ | | 活动性泥石流沟 | | 大规模泥石流沟 | | 中规模泥石流沟 | | 小规模泥石流沟 | |
|---------|-------------|------------|----------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | | | 数量 (条) | 密度 (条/km) | 数量 (条) | 密度 (条/km) | 数量 (条) | 密度 (条/km) | 数量 (条) | 密度 (条/km) | 数量 (条) | 密度 (条/km) |
| 极弱活动区 | 0—19.2 | 19.2 | 9 | 0.47 | 1 | 0.05 | 2 | 0.10 | 5 | 0.26 | 2 | 0.10 |
| 活 动 区 | 19.2—42.4 | 23.2 | 14 | 0.60 | 10 | 0.43 | 6 | 0.26 | 7 | 0.30 | 1 | 0.04 |
| 强 活 动 区 | 42.4—72.5 | 30.1 | 30 | 1.00 | 11 | 0.37 | 8 | 0.27 | 7 | 0.23 | 15 | 0.50 |
| 极强活动区 | 72.5—126.5 | 54.0 | 37 | 0.69 | 22 | 0.41 | 11 | 0.20 | 19 | 0.51 | 7 | 0.13 |
| 弱 活 动 区 | 126.5—143.0 | 16.5 | 10 | 0.61 | 2 | 0.12 | 1 | 0.06 | 4 | 0.24 | 5 | 0.30 |

1)此统计数据中不包括坡面型泥石流和高含沙洪水。

* 二滩水电开发有限责任公司委托项目。

参加工作的还有金石副研究员、任连城高级工程师。

本文收稿日期:1995-03-20,改回日期:1995-07-21。

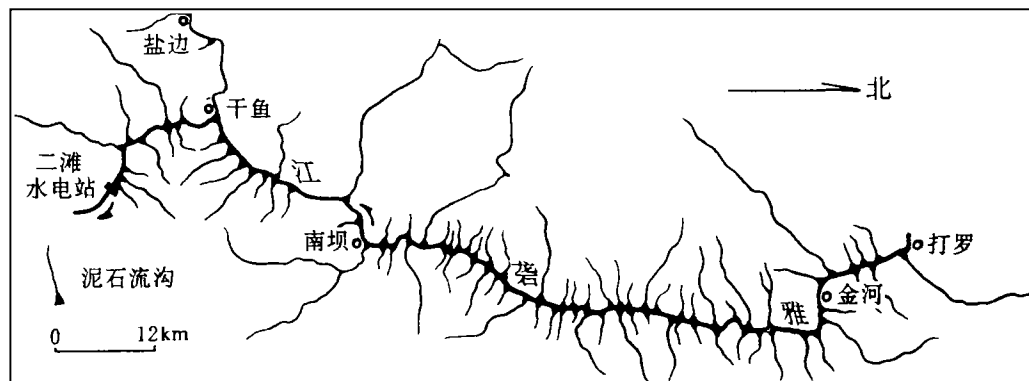


图1 二滩库区泥石流分布

Fig. 1 Distribution of debris flow in Ertan Reservoir Area

2 泥石流类型

2.1 据泥石流固体物质补给方式的分类

在库区,泥石流固体物质补给方式中,主要有如下几种.

2.1.1 滑坡补给型泥石流

该类泥石流的固体物质,主要由流域内发生的滑坡补给. 沟谷流域内已形成的滑坡或正在发生的滑坡,在降雨作用下滑入沟床,为泥石流的形成提供了丰富而集中的松散固体物质. 这类泥石流暴发频率高,活动性强,持续性久,破坏性大,与暴雨具有一定的相关性. 泥石流浆体多为粘性,容重 $1.8-2.3\text{t/m}^3$. 如下荒田沟流域内发育有大量的活动性滑坡,每逢降暴雨都能激发泥石流.

2.1.2 崩塌补给型泥石流

这类泥石流的固体物质主要由流域岸坡局部崩塌补给. 在暴雨过程中,岩质沟岸或陡坡残坡积沟岸发生崩塌,崩塌物质在重力、坡面径流及沟谷洪水作用下,形成泥石流. 由于崩塌不能提供丰富而连续的固体物质,这类泥石流的活动性就较弱,持续性较短,且具阵性. 崩塌与暴雨的同步性不明显,这类泥石流与降雨的相关性差,而且规模变化和阵次强弱都直接受崩塌的影响. 如 1993-07-29 旱谷田沟暴雨过程中,流域的中上游数处发生大规模崩塌,暴发了高容重泥石流. 泥石流的巨大龙头冲毁了沟口的公路和民房.

2.1.3 坡面侵蚀补给型泥石流

这类泥石流的固体物质主要靠坡面侵蚀的泥沙、碎石补给. 坡面侵蚀强度受地貌、岩性及雨强的控制,故侵蚀具有表面性和分散性,缺少集中而丰富的固体物质储备,一般多为挟沙洪水或稀性泥石流. 泥石流的暴发频率和浆体性质,主要取决于流域坡面侵蚀强度.

2.1.4 沟床物质起动补给型泥石流

这类泥石流主要为储备于沟床内的固体物质,在强大清水铲刮下起动而形成. 固体物质的储备需有一个长期的积累,故补给类似于“零存整取”. 此类泥石流暴发频率低,潜

在危险性巨大。

2.1.5 弃碴补给型泥石流

在沟内和沟岸上不合理地堆积弃土与弃碴(如目前金龙沟内堆弃有 50 万 m^3 的土碴),在雨水或生活废水、工业废水的作用下产生滑坡崩塌,经洪水作用形成泥石流。这类泥石流的活动性主要取决于流域内弃碴的集中程度、规模与暴雨强度。

2.2 据泥石流水文特征(汇水面积、沟床比降、水动力条件等)的分类

2.2.1 坡面型泥石流

这类泥石流由坡面重力作用而成。其流域内皆无清水汇集区和流通区,只存在着形成区和堆积区。坡面型泥石流主要发生于库区松散堆积物较厚,或岩性软弱(如泥岩、页岩、千枚岩及深度风化的岩浆岩)的坡面,汇水面积 $<1(\text{km})^2$,沟床比降 $>430\%$,沟岸坡度 $15^\circ\text{--}25^\circ$ 。流域内水动力条件甚好,泥石流暴发频率较高,一般一至五年暴发一次,但规模不大,普遍不足万立方米;在分布、范围、密度上,都相当可观。据不完全统计,在库区坡面型泥石流有 >300 条,平均密度 2.2 条/km,最大密度 5.0 条/km。

2.2.2 沟谷型泥石流

这类泥石流是调查的重点。它不但影响库容,有的还可对电站施工造成影响。这类泥石流汇水面积 $1\text{--}100(\text{km})^2$,沟床比降 $130\text{--}340\%$,沟岸坡度 $25^\circ\text{--}40^\circ$;泥石流固体物质补给方式复杂(如滑坡、崩塌、坡面侵蚀、沟床物质遭铲刮及弃碴等);活动性十分悬殊,有一年内数次暴发泥石流,也有几年、甚至几十年暴发一次泥石流。在库区,该类泥石流沟有 100 条,平均密度 0.7 条/km。

2.2.3 河谷型高含沙洪水

库区内几条大支流的发育有大量二至四级支沟(如干鱼河流域内就发育次级支沟达 40 余条)。支沟经常暴发泥石流。干流洪峰与支沟暴发的泥石流不同步,故干流形成泥石流的可能性很小,多为高含沙洪水。这些河流的汇水面积 $>100(\text{km})^2$,河床比降 $<100\%$,沟岸坡度 $>30^\circ$,中下游河谷开阔,洪水流量大。在库区这类支流分布有 11 条。

3 泥石流活动特征

库区泥石流以暴雨型泥石流为主。当 10min 雨强、1h 雨强及 1d 雨强分别达 20mm、50mm 及 100mm 时,就可能激发泥石流。如 1981-06,在库区中游及安宁河下游降了一场三十五年一遇的大暴雨(日降雨量 143.6mm),使十几条支沟暴发泥石流;1986-08-30,小得石至二滩地区降了一场日雨量达 130mm 的暴雨,激发了金龙沟的泥石流,固体冲出物方量 3 万 m^3 ,堵塞了公路涵洞^[2,3];库区中段的下泥田沟流域面积仅 $5.3(\text{km})^2$,流域内活动性滑坡十分发育,地震影响后,泥石流频频暴发¹⁾。调查得知,金龙沟分别于 1915 年、1936 年、1962 年、1983 年、1984 年、1986 年暴发过规模不同的泥石流。特别是 1936-06,由于区域性特大暴雨,金龙沟发生了罕见的泥石流。这场泥石流使大量固体物质冲入雅砻江而达对岸,使江水壅高 8m,堵断雅砻江近 2h,沟口一块上千吨重的巨石冲移向下游

1)袁建模,孙恩智,程尊兰.雅砻江二滩水力开发可行性研究专题报告——二滩库区泥石流及其对水库的影响.中国科学院成都地理研究所.1982.

50m. 据有关资料计算,该次降雨量相当于百年一遇的频率^[3].

4 库区泥石流预测预报问题

调查统计结果表明,攀西地区暴发的泥石流主要与降雨因素中的短历时雨强关系明显. 从金龙沟泥石流活动历史与相应各短历时雨强资料(表 2)可以看出,各短历时的任一时段的雨强资料都很难找出其规律性. 通过现有资料经反复计算分析后,得到如下关系式

$$H_s = H_{10} H_{60} + H_{24}, \quad (1)$$

式中 H_s 为激发泥石流的短历时降雨指数; H_{10} 为激发泥石流的 10min 雨强(mm); H_{60} 为激发泥石流的 1h 雨强(mm); H_{24} 为激发泥石流的 1d 雨强(mm).

金龙沟某些暴发泥石流年份的降水指数 H_s 有:

1983 年, $H_s=848.3$;

1984 年, $H_s=849.3$;

1986 年, $H_s=956.1$.

上述三个年份的短历时降水指数值都 >800 , 同时也都暴发了泥石流. 是否可以这样认为:对于金龙沟而言,当短历时降水指数 >800 时,就可能暴发泥石流. 以此反算 1974 年暴发泥石流时的 10min 雨强应 ≥ 11.3 mm.

二滩库区泥石流沟类型复杂,而且沟谷的流域环境因素差异亦很大. 为了简化分析,故将金龙沟激发泥石流的短历时降水指数中增加流域环境因素,即

$$H_s = K(H_{10} H_{60} + H_{24}), \quad (2)$$

式中 K 为泥石流沟流域环境因素系数.

最近的研究发现¹⁾,区内的泥石流沟流域环境因素系数 K 与泥石流活动系数 K_1 、泥石流沟谷动力系数 K_2 及区域气候环境系数 K_3 有关,即

$$K = K_1 + K_2 + K_3. \quad (3)$$

一般认为,各系数对泥石流活动性的影响程度不同,按长江上游沟谷流域环境因素的权衡处理方法,考虑到库区泥石流的形成过程和各因素的作用大小,结果应是

$$K_1 : K_2 : K_3 = 5 : 3 : 2.$$

各系数的具体取值如下.

4.1 泥石流活动系数 K_1

按泥石流活跃程度,取值分别为:

1. 极强活动的泥石流沟, $K_1=1.0$;

2. 强活动的泥石流沟, $K_1=2.0$;

3. 活动的泥石流沟, $K_1=3.0$;

表 2 金龙沟暴雨强度(mm)
Table 2 Rainfall intensity in Jinlong Ravine(mm)

| 年份 | 10min 雨强 | 1h 雨强 | 1d 雨强 |
|--------|--------------------|-------|-------|
| 1974 年 | 11.3 ¹⁾ | 60.0 | 124.0 |
| 1983 年 | 15.2 | 48.0 | 118.7 |
| 1984 年 | 20.0 | 37.1 | 107.8 |
| 1986 年 | 14.8 | 55.6 | 133.2 |

1)反算所得的雨量.

1)陈景武,朱平一. 长江上游暴雨泥石流预报参数研究(长办资助项目). 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所. 1993.

4. 弱活动的泥石流沟, $K_1=4.0$;
5. 极弱活动的泥石流沟, $K_1=5.0$.

金龙沟的泥石流为强活动性, $K_1=2.0$.

4.2 泥石流沟谷动力系数 K_2

据山坡坡度和沟床比降对泥石流流活动的作用程度,按 1:1 分配,取值见表 3.
 金龙沟的山坡平均坡度 36° ,山坡坡度动力系数 0.5,泥石流沟谷动力系数 $K_2=0.8$.

4.3 区域气候环境系数 K_3

可按区域多年平均年降水量大小,确定 K_3 值:

- 年降水量 $>1\,300\text{mm}$, $K_3=0.4$;
- 年降水量 $=1\,300\text{mm}$, $K_3=0.6$;
- 年降水量 $=1\,250\text{mm}$, $K_3=0.8$;
- 年降水量 $=1\,200\text{mm}$, $K_3=1.0$;
- 年降水量 $=1\,150\text{mm}$, $K_3=1.2$;
- 年降水量 $=1\,100\text{mm}$, $K_3=1.4$;
- 年降水量 $=1\,050\text{mm}$, $K_3=1.6$;

- 年降水量 $=1\,000\text{mm}$, $K_3=1.8$;
- 年降水量 $<1\,000\text{mm}$, $K_3=2.0$.

金龙沟的多年平均年降水量 $1\,038.5\text{mm}$,区域气候环境系数 $K_3=1.7$.

区内的泥石流沟流域环境因素系数

$$\begin{aligned} K &= K_1 + K_2 + K_3 \\ &= 2.0 + 0.8 + 1.7 \\ &= 4.5. \end{aligned}$$

金龙沟暴发泥石流修正后的降水指数

$$H_s = K(H_{10} H_{60} + H_{24}) = 4.5 \times 800 = 3\,600. \tag{4}$$

以金龙沟的短历时(10min, 1h, 1d)雨强与流域环境因素系数经计算后,降水指数 $>3\,600$ 时,则可能暴发泥石流. 每条沟暴发泥石流的降水指数值,若无突变因素影响,可视为定值.

由式(4)可以看出,在库区任何一条泥石流沟,只要计算出泥石流沟流域环境因素系数,就可用当地的降雨预报资料,进行暴雨泥石流预测.

参 考 文 献

[1] 李沛,陈自生. 对雅砻江二滩水电站金龙山地区滑坡发育规律的认识. 见:《滑坡论文选集》编辑委员会,中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 一九八七年全国滑坡学术讨论会·滑坡论文选集. 成都:四川科学技术出版社,1989. 95—102.

[2] 陈自生,李沛,任连城. 金龙山地区滑坡研究. 山地研究,1991,9(4):210—217.

[3] 谭万沛,王成华,姚令佩等. 暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报——以攀西地区为例. 成都:四川科学技术出版社,1994. 161—183, 210—238.

DEBRIS FLOW AT THE ERTAN RESERVIOR AREA ALONG YALONGJIANG RIVER

Zhu Pingyi Li Pei Kong Jiming

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences

& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041)

Abstract

At the Ertan Reservoir Area along Yalongjiang River, debris flows are quite active. The gully debris flows from dam site to Jinhe in the reservoir area is 67%. Jinlong Ravine, located on the left bank of Yalongjiang River and near the lower reaches of the reservoir area ever broke out debris flows many times. Based on the different environment conditions in reservoir area and the development degree of debris flows, the 5 activity regions of debris flows can be divided; the most strong-active region, the strong-active region, the active region, the slight-active region and the most slight-active region.

By computerizing and analysing the relative data between debris flows and the short duration rainfall, some relative formulae of debris flow activity regularity with the environment factors along the Jinlong Ravine and rainfall intensity were set up, as well as a precipitation coefficient (3 600) of debris flow occurrence in the ravine has been obtained. Consequently, based on the data of the meteorologic report at Ertan Reservoir area, the occurrence of debris flow may be predicted.

Key words Yalongjiang River, Ertan Hydropower Station, reservoir area, debris flow, precipitation coefficient