

某水电站坝区泥石流危险性研究

郑达, 赵华, 邓辉

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 成都 610059)

摘要:五里沟与咱里沟是大渡河流域某拟建水电站坝区的泥石流沟,在自然和人为因素的触发下有发生大规模泥石流的可能,将对水电工程的设计施工以及今后运行的持续稳定造成重大影响。危险性评价结果表明,咱里沟属于低度危险的泥石流沟,而五里沟属于中度危险的泥石流沟,可能造成重大灾害与严重的危害。进一步分析,在施工期泥石流对拟建水电工程的施工场地与设备影响突出,对工程的安全构成威胁。水库蓄水后,产生较大规模涌浪的可能性不大,泥石流对水电站正常的发电和安全运作造成的影响也较小。

关键词:水电站;泥石流;危险性评价;发展趋势

中图分类号:P642.23

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)05-0016-04

Study On Debris Flow Hazard on the Dam of a Hydropower Station

ZHENG Da, ZHAO Hua, DENG Hui

(The National Laboratory Geological Hazard Prevention & Geological Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Zanli gully and Wuli gully are the debris flow gullies on the dam of a hydropower station in the Dadu River, under the natural and artificial factors, there will be possibly large-scale debris flow, which will bring about fatal impact on the hydropower station during the engineering construction and operation. Hazard assessment' result indicates that Zanli gully is at a low hazard level, and Wuli gully is at a moderate hazard level that brings about possibly fatal hazard and serious harm. After more analysis, there is a conclusion that debris flows will influence extrusively on construction ground and equipment of the hydropower station during the engineering construction and make threat to engineering safety. After inundation of the reservoir, the possibility of surge wave is little and debris flows have less influence on natural generate electricity and safe operation of the hydropower station.

Key words: hydropower station; debris flow; hazard assessment; developmental direction

1 前言

西南某水电站是大渡河流域拟建的梯级电站之一,水库初拟正常蓄水位 1 378 m,库长约 19 km,总库容约 2.2 亿 m^3 ,最大坝高 84 m,装机容量 80 MW。坝区两岸山体雄厚,沟谷发育,左岸主要有五里沟,右岸主要有咱里沟,常年流水,支沟发育,沟口均分布坡度 5~15°洪积扇。据资料记载,五里沟与咱里沟历史上都曾发生过较大规模的泥石流,以至在大渡河两岸堆积了大片的泥石流带来的洪积堆积物。由于五里沟、咱里沟切割较深,延伸较长,有常年性流水,加之近年来人文环境条件的改变,沟内存在第四纪松散堆积物及人工堆积物。在暴雨、地震等自然因素触发下,时有泥石流发生的可能,将对拟建的水电站坝区的设计施工以及今后水电站运行的持续稳定造成重大影响。因此,评价水电站坝区 2 条主要泥石流沟的危险性及其对水电站的影响具有重要的工程意义。

2 泥石流沟流域特征

大渡河流域位于青藏高原东南边缘向四川盆地西部的

过渡地带,是岷江的最大支流,发源于青海省境内的果洛山南麓。拟建水电站库段河流总体由 NNW 流向 SSE,河谷呈“U”型,谷底宽一般 300~400 m,岸坡坡度多为 35~45°。

五里沟位于大渡河左岸,距拟建的水电站坝址不到 1 km。其流域面积近 30 km^2 ,是坝区内最大的一条冲沟,图 1 为五里沟平面图。

五里沟泥石流的物源区、流通区和堆积区十分明显。从物源区特征看,泥石流物源主要以半稳定和稳定状态的物源为主。谷坡降较大,谷底及两侧坡脚分布大量崩积物和坡积物,在暴雨过程中,堆积物组成的沟岸或陡坡可能发生崩塌,大量松散物质将进入沟内参与泥石流活动。这类泥石流活动性相对较弱,持续时间短,而且规模变化直接受堆积物松散程度和崩塌规模影响。但由于沟内松散堆积物丰富,虽然发生的频率低,一旦固体物质被洪水启动,潜在的危险大。

五里沟泥石流流通区一方面由于沟道弯曲,对泥石流的运移具有阻挡作用,从而削弱泥石流的流速。另一方面,在泥石流的间歇期,由于它的阻塞作用使大量的物源堆积在沟

收稿日期:2006-08-11

基金项目:国家自然科学基金项目(40402025)

作者简介:郑达(1977-),男,助教,在读博士生,主要从事岩土工程和地质工程研究。

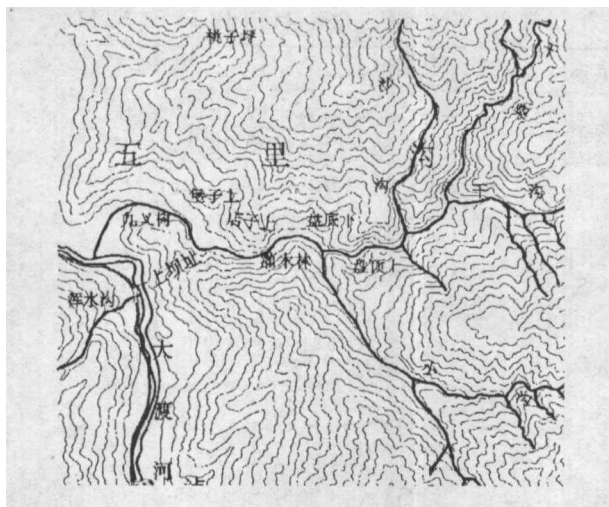


图 1 五里沟平面图

谷中,从而为下一次泥石流的活动提供了丰富的物源。五里沟泥石流的堆积物粒径逐渐变细,泥石流越来越稀,可以认为其发育趋势是规模越来越小,泥石流正由活动期向衰退期发展。总体上,五里沟发生大规模泥石流具有物源相对丰富但聚集缓慢,暴发周期较长的特点。咱里沟地处大渡河右岸,位于五里沟上游距拟建的水电站坝址 1.5 km。其流域面积近 15 km²,图 2 为咱里沟平面图。

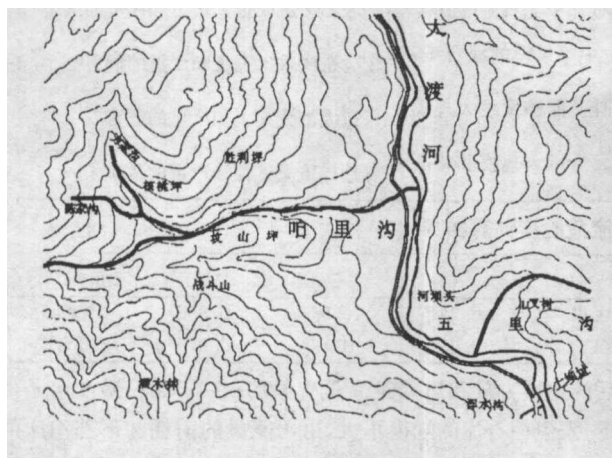


图 2 咱里沟平面图

咱里沟也具有明显的泥石流沟的发育特征,沟谷切割较深,沟道宽度变化总体为宽—窄—宽—窄交替,最宽处可达70 m。总体坡降约144.67%,坡降变化为缓—陡—缓—陡交替,河道宽窄变化与陡缓变化段相对应。段内可见松散堆积物与小的崩塌滑坡,崩塌积物散落在沟坡边,为泥石流的爆发提供了物源。

总体上,咱里沟与五里沟的特征相似,但咱里沟由于流域面积较小,整体坡降相对较大,爆发泥石流的频率较五里沟泥石流高,据记载,此沟平均每 10 a 发生一次小规模泥石流,从沟口的泥石流堆积物特征看,至少有 6 期规模较大的泥石流分布,且具有从黏性泥石流向稀性泥石流发展、规模逐渐变弱的发育趋势。

3 泥石流危险性评价

泥石流危险度是指在泥石流流域范围内所有的人或物可能遭受泥石流损害可能性的大小,主要用于灾前评估,是泥石流预测预报中的重要内容,也是泥石流防治规划中重要工作^[1]。由于泥石流自身及其影响因子的复杂性,使其危险度评价的研究较为复杂,目前还没有统一的泥石流危险度评价标准。因此,为了能较为合理的评价方法达到对泥石流危险度评价的目的,本研究参照了《泥石流危险性分析》^[2]中推荐的最新定量计算公式,对坝区泥石流危险度进行计算和分析。该方法共采用 14 个评价因子,本次研究除主要的内在因子泥石流规模 M 和发生频率 F 外,其它次要环境因子的选取方法是从与单沟泥石流危险度有关的 14 个候选因子中,采用双系列关联度分析方法,分别将 14 个候选因子与泥石流规模和发生频率进行关联度分析,再根据每个候选因子与泥石流规模和发生频率得出的 2 个关联度的平均值来确定是否与主要因子关系密切,从而决定其取舍。结果次要因子进一步减少至 5 个,它们是:流域面积 S_1 、主沟长度 S_2 、流域相对高差 S_3 、流域切割密度 S_4 和不稳定沟床比例 S_5 。这 5 个次要因子可从流域地形图上比较准确地获取。各评价因子的权重及权重系数见表^[2,3]。

根据上述对泥石流危险性评价因子的分析与各评价因子权重系数的确定,得到单沟泥石流危险度计算公式^[4]为:

$$H = 0.29M + 0.29F + 0.14S_1 + 0.09S_2 + 0.06S_3 + 0.11S_4 + 0.03S_5$$

式中: $M, F, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$ ——评价因子的实际值 $m, f, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$ 的转化值, 其值由表 2 的转换函数获得^[2]。

表 3 列出了单沟泥石流危险度与泥石流活动特点^[2]。根据以上分析,进一步对某水电站坝区五里沟与咱里沟的危险性和危险程度进行评价,计算结果见表 4。结果显示,咱里沟属于低度危险的泥石流沟,而五里沟属于中度危险的泥石流沟,可能造成重大灾害与严重的危害。

表 1 单沟泥石流危险度评价因子的权重与权重系数

	泥石流规模/ (m)	发生频率 (f)	流域面积 (s ₁)	主沟沟长 (s ₂)	流域相对高差 (s ₃)	流域切割 密度(s ₄)	不稳定沟床 比例(s ₅)
权 重	10	10	5	3	2	4	1
权重系数	0.29	0.29	0.14	0.09	0.06	0.11	0.03

4 泥石流发展趋势与对工程影响分析

4.1 天然状况下的发展趋势

根据坝区泥石流的形成条件与运动特性分析,泥石流沟

的发展趋势总体上呈现衰退趋势,这表现在 3 个方面:(1)泥石流发生的地形、地貌及地质条件已成为固定格局。但值得注意的是,随着人口增加和经济发展,为了扩展生存空间,向陡坡山地的开发,以期得到更多可利用的土地和增加经济收

人的做法如得不到控制,还会使这种格局向着恶化的方向发展。实际上,近几十年咱里沟发生的沟内洪流携带固体物质冲出沟外的事实,在某种程度上也受人为开发山体,如筑路、建房、开垦荒坡地、乱砍滥伐等破坏山体自然平衡所引起的必然结果;如果管理水平得不到根本性提高,泥石流的发展趋势还会出现反弹。(2)泥石流流域在一定条件下不会有大规模的崩塌滑坡发生。根据调查,坝区泥石流沟内未发现大方量的崩塌滑坡,只在局部山体上发现小规模崩塌和浅表层滑坡。这种状况使沟内和山坡的松散固体物质补给量相对不丰富,固体堆积物即使能被洪流启动,也无法造成大规模的输砂量,破坏程度低。但应该注意的是,五里沟内的泥石流虽然发生频率低,但松散堆积物相对丰富,常年被冰雪覆盖,在一般洪流的条件下无法启动,但若遇到特大暴雨发生,固体物质被启动后的潜在破坏力较大。(3)坝区泥石流治理已经启动。由于已经意识到泥石流的危害性,像咱里沟这样的泥石流沟已经开始在沟口修建了排导槽,对泥石流的活动进行一定的控制。

表 2 单沟泥石流危险度评价因子的转换函数

转换值	转换函数($m, f, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$ 为实际值)
M	当 $m \leq 1$ 时, $M=0$; 当 $1 < m < 1000$ 时, $M=\log m/3$; 当 $m \geq 1000$ 时, $M=1$
F	当 $f \leq 1$ 时, $F=0$; 当 $1 < f < 100$ 时, $F=\log f/2$; 当 $f \geq 100$ 时, $F=1$
S_1	当 $0 < s_1 < 50$ 时, $S_1=0.2458 s_1^{0.3495}$; 当 $s_1 > 50$ 时, $S_1=1$
S_2	当 $0 < s_2 < 10$ 时, $S_2=0.2903 s_2^{0.5372}$; 当 $s_2 > 10$ 时, $S_2=1$
S_3	当 $0 < s_3 < 1.5$ 时, $S_3=2 s_3/3$; 当 $s_3 > 1.5$ 时, $S_3=1$
S_4	当 $0 < s_4 < 20$ 时, $S_4=0.05 s_4$; 当 $s_4 > 20$ 时, $S_4=1$
S_5	当 $0 < s_5 < 60$ 时, $S_5=s_5/60$; 当 $s_5 > 60$ 时, $S_5=1$

表 3 单沟泥石流危险度与泥石流活动特点

单沟泥石流危险度	危险性分级	泥石流活动特点	灾情预测
0.0~0.2	极低危险	基本无泥石流活动	基本没有泥石流
0.2~0.4	低度危险	各因子取值较小,组合欠佳。能够发生小规模低频率泥石流或山洪	一般不会造成重大灾害和严重的危害
0.4~0.6	中度危险	各因子取值较大,组合尚可。能够间歇性发生中等规模的泥石流,较易由工程治理所控制	较少造成重大灾害和严重的危害
0.6~0.8	高度危险	各因子取值较大,个别因子取值甚高,组合亦佳。能够发生大规模和高频率的泥石流,潜在破坏力大	可造成重大灾害和严重的危害
0.8~1.0	极高危险	各因子取值极大,组合亦佳。一触即发,能够发生巨大规模和特高频的泥石流	可造成重大灾害和严重的危害

表 4 某水电站坝区泥石流危险度计算结果

沟名	M	F	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	H	危险性
五里沟	0.64	0.75	0.32	0.41	0.65	0.23	0.56	0.566	中度危险
咱里沟	0.32	0.58	0.27	0.32	0.71	0.05	0.42	0.379	低度危险

4.2 水库蓄水后的发展趋势

在拟建水电站正常蓄水后,五里沟和咱里沟的堆积区基本被淹没。但这种变化基本不会改变泥石流形成区和流通区的形成条件和流通条件,只影响泥石流堆积区的堆积条件,泥石流发育与活动规律基本不变。值得一提的是,由于水库运行调节,水位变动幅度和频次远比蓄水前大渡河汛期水位变幅和频次大,水下新老堆积扇的消涨过程与库岸变形同步发展。水库蓄水初期消大于涨,泥石流沟将通过沟床纵坡的冲淤变化实现自调整作用。在水库蓄水初期这种调整作用是显著的。

4.3 泥石流对水电站工程设施的影响分析

评价某水电站坝区泥石流的危险性及其与发展趋势的目的是研究泥石流对水电工程的影响。基于上述分析,并根据在不同概率条件下该地区洪峰流量的计算结果^[5,6]可以得到如下结论:在 10 a、20 a 一遇的洪水条件下,五里沟发生大规模泥石流的可能性较小,而咱里沟可能会发生小规模的泥石流。但是由于沟谷坡度较陡,当发生大暴雨时,在水动力作用下,物源区的部分不稳定物质将被洪水启动,但启动

后的物质方量和运动距离是有限的;在 50 a 一遇洪水条件下,发生泥石流的规模不大,由于能量的消耗和下部沟床的坡度变缓,泥石流搬运的固体物质运动一定距离后或停积在沟床上成为下一次泥石流或洪积物的物源,或冲出沟口引起沟口淤积。如果泥石流发生在拟建水电站的施工期,将对施工场地与机械设备造成一定的危害。如果泥石流发生在电站运营期,将导致库容减小,但在这种条件下,一次泥石流的总输砂量较小,相对于数亿方的总库容来说,影响甚微;100 a 和 500 a 一遇洪水条件下的泥石流,由于可能发生的泥石流的规模较大,如果泥石流发生在施工期,将对水电工程的施工场地和设备造成较大的影响和危害;如果泥石流发生在电站运营期,考虑到水库蓄水到 1 378 m,而且泥石流沟口存在一段相对平缓的开阔地段,泥石流的运动势能将大大降低,产生较大规模涌浪的可能性不大。因此,在 100 a 和 500 a 一遇洪水条件下的泥石流对水电站正常的发电和安全运作造成的影响也较小。

5 结 论

五里沟与咱里沟是大渡河流域某拟建水电站坝区泥石

流沟,其发育趋势是规模越来越小,正由活动期向衰退期发展。但由于其所处位置的重要性,评价2条泥石流沟危险性将对水电工程设计施工及今后运行的持续稳定意义重大。

(1)通过对泥石流危险性评价因子的分析与各评价因子权重系数的确定,得到单沟泥石流危险度的计算结果,咱里沟属于低度危险的泥石流沟,而五里沟属于中度危险的泥石流沟,可能造成重大灾害与严重的危害。

(2)结合泥石流沟的基本特征,坝区泥石流发生的地形、地貌及地质条件已成为固定格局,考虑到沟内和山坡的松散固体物质补给量,固体堆积物即使能被洪流启动,也无法造成大规模的输砂量,破坏程度低。在拟建水电站正常蓄水后,五里沟和咱里沟的堆积区基本被淹没,泥石流发育与活动规律基本不变。但应该注意五里沟内松散堆积物在特大暴雨发生的条件下,固体物质被启动后的潜在破坏力较大。

(3)在该地区不同时间概率的洪峰流量条件下,五里沟与咱里沟发生泥石流的输砂量较小,相对于数亿立方米的水电站总库容来说,影响甚微,产生较大规模涌浪的可能性不大。在施工期泥石流对拟建水电工程的施工场地与设备影

响突出,对水电站正常发电和安全运作造成的影响较小。

参考文献:

- [1] 刘希林,莫多闻.泥石流风险评价[M].成都:四川科技出版社,2002.
- [2] 刘希林,唐川.泥石流危险性分析[M].北京:科学出版社,1995.
- [3] 周必凡,等.泥石流防治指南[M].北京:科学出版社,1991.
- [4] 唐川,黄润秋,等.金沙江美姑河牛牛坝水电站库区泥石流对工程影响分析[J].工程地质学报,2006,14(2):145—151.
- [5] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所.山洪泥石流滑坡灾害及防治[M].北京:科学出版社,1994.
- [6] 四川省水利电力厅.四川省中小流域暴雨洪水计算手册[S].成都:1984.
- [7] 康志成,等.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004.

(上接第9页)

根据公式(8)、(9)和(10)计算关联度,公式(11)和(13)计算综合关联度及评价结果见表4。

从评价结果的物元模型来看属于“Ⅲ”,即该城镇市政设施投资项目环境影响综合后评价的等级为Ⅲ,与第Ⅲ级的关联度为0.1423。

4 结论

(1)运用物元分析理论进行城镇市政设施投资项目环境影响综合后评价,将定性的定级方法转化为了定量的定级方法,操作简便、快捷,为城镇市政设施投资项目环境影响后评价提供了一种可操作的方法。

(2)计算原理比较简单,对指标众多的后评价情况,可以编制计算机程序处理计算过程,从而将该方法推广应用到其他项目的后评价中。

(3)该方法在应用过程中的受到经典域确定的合理性、各项指标得分的准确性以及权重系数的合理性的影响,因此在采用该方法的过程中,应该注意尽量减少这些不确定因素对评价结果的影响。

参考文献:

- [1] 蔡文,杨春燕,何斌.可拓逻辑初步[M].北京:科学出

版社,2003.

- [2] 蔡文.物元分析[M].广东:广东高等教育出版社,1987.
- [3] 李志林.区间关联函数的新定义及其应用研究[J].数学的实践与认识,2006,36(2):207—210.
- [4] 付强.农业水土资源系统分析与综合评价[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [5] 佟春生.系统工程的理论与方法概论[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [6] 叶义成,等.系统综合评价技术及其应用[M].北京:冶金工业出版社,2006.
- [7] 谢砚青,张江,等.模糊灰色物元空间(FHW)理论与实践——宏观复杂大系统决策方法[J].中国工程科学,2002,4(11):57—65.
- [8] 荀志远,申建红.基于物元分析理论的建筑产品完损度评估[J].土木工程学报,2003,36(9):100—105.
- [9] 禹华谦,姚令侃,陈春光.物元分析在大气环境质量评价中的应用[J].兰州铁道学院学报(自然科学版),2001,20(4):12—14.
- [10] 蔡文.可拓论及其应用[J].科学通报,1999,44(7):673—682.