

文章编号: 1008 - 2786 - (2006)5 - 580 - 04

南水北调西线一期工程区泥石流规模预测 及其对调水工程的影响

欧国强, 游 勇, 吕 娟, 柳金峰

(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: 泥石流是南水北调西线一期工程区的主要山地灾害之一, 可能对调水工程建设与运行期间的工程安全构成一定的威胁和危害。据调查, 工程区分布有一定规模的有现代泥石流活动的沟 111 条、潜在性泥石流沟 58 条。主要探讨了泥石流发生规模预测中的清水流量、泥石流峰值流量、一次泥石流流出总量等参数的计算方法, 在此基础上引入主、支流流量比, 分析了泥石流堵河问题及其可能堵河高度与回水长度, 为评估泥石流对调水工程的影响提供了科学可行的定量分析方法。

关键词: 一期调水工程; 泥石流; 发生规模; 堵河高度; 回水长度; 预测

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

泥石流是西线调水工程区主要山地灾害之一, 数量多, 分布广, 成灾可能性大, 对调水工程施工和运行期间的工程安全可能构成一定程度的威胁和危害^[1]。如何定量、科学地评估泥石流对调水工程的影响, 是南水北调西线工程不可回避的关键科学技术问题之一。以前, 这类问题多采用定性描述, 远远不能满足工程规划设计的要求。科学评估泥石流对调水工程的影响问题, 其关键在于泥石流的发生规模、泥石流沟与工程设施的空间组合关系。本文试图对这些关键问题进行探讨。我们首先探讨了有现代泥石流活动的沟与潜在性泥石流沟的定义和分析判定问题; 通过分析野外考察、访问、泥痕调查、堆积物观察、粒度分析、遥感图片等资料, 确定了 111 条有现代泥石流活动的沟和 58 条潜在性泥石流沟以及各沟泥石流的流体类型(粘性泥石流、稀性泥石流), 并估算了相应的泥石流密度值; 然后结合历史

资料调查考证、访问当地知情人士等方法, 对南水北调西线一期工程区的活动性泥石流和潜在性泥石流的发生频率进行了探讨, 判定了各泥石流沟是属于高频泥石流沟(每年发生泥石流的沟道)还是低频泥石流沟(数年或数十年发生一次泥石流的沟道); 在此基础上, 利用相关气象、水文、泥石流的性质及小流域的下垫面资料, 分析计算了所有泥石流沟 100 a 一遇条件下可能发生的泥石流的峰值流量和一次泥石流的总流出量; 接着进行泥石流堵河分析, 计算堵河高度和回水范围; 最后根据泥石流沟和泥石流堵河回水区与调水工程(预选大坝坝址、引水隧洞进出口、进场公路等)的位置关系等, 评估泥石流对调水工程施工和运行期间的安全可能造成的影响与危害。

收稿日期(Received date): 2006 - 7 - 21。

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程重要方向性项目“南水北调西线一期工程山地灾害防治技术及环境影响研究”(KZCX3 - SW - 323); 黄委会黄河勘测规划设计有限公司“南水北调西线一期工程山地灾害勘察评估与防治技术”。[Supported by the Important Heading Item of Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences: "The research on mountain hazards preventing technology and the environment influence of the west line of water diversion project from south to north of China" (KZCX3 - SW - 323) and the Yellow River Survey Planning and Design Limited Company, the Yellow River Water Commission; "The reconnaissance and evaluation of mountain hazards and preventing technology of the west line of water diversion project from south to north of China"]

作者简介(Biography): 欧国强(1958 -), 男(汉), 博士, 1992 年毕业于日本京都大学, 现为研究员, 博士生导师, 主要从事山地灾害研究 [Ou Guoqiang (1958 -), male (Han nationality), doctor, graduated from Kyoto University, research fellow and doctorate instructor, major in mountain hazards research. E-mail: ougq@imde.ac.cn]

1 工程区泥石流分布情况

1.1 有现代泥石流活动的沟与潜在性泥石流沟的定义

泥石流沟分为有现代泥石流活动的沟和潜在性泥石流沟。有现代泥石流活动的沟是指有历史灾害记载、现场调查时明显可见现代泥石流堆积物特征的沟谷流域,不管其泥石流发育阶段是处于青年期、壮年期还是老年期,也不管其发生频率之高低,在达到一定的条件下都将发生泥石流的沟。潜在性泥石流沟指在历史文献上虽无灾害记录,现场考察时也没有发现明显的现代泥石流堆积物,但是有古老泥石流堆积台地、流域内有崩塌滑坡活动和丰富的可移动固体物质、具备泥石流暴发所需的地形条件和水动力条件(发生源地以上的集水面积达到一定程度)、并且有明确的保护对象,在近期有可能发生泥石流的沟谷流域。

1.2 泥石流沟分析判定及其分布情况

针对南水北调西线一期工程区主要保护对象(大坝、引水隧道进出口、进场公路)的重要性的地理位置,考虑泥石流形成需要的三个基本条件:充沛的各类水源、丰富的松散固体物质和有利的流域形态与沟床纵坡因素,我们根据沟道松散固体物质储备情况、流域面积、>15°集水区域面积、沟道内崩塌滑坡的有无、土地利用情况、保护对象与调水工程的空间位置关系等因素,重点考虑工程安全,综合分析判定了南水北调西线一期工程核心工作区(约1.5×10⁴ km²)活动性泥石流沟与潜在性泥石流沟。

判定结果:南水北调西线一期工程核心工作区分布有有现代泥石流活动的沟111条,潜在性泥石流沟58条。各调水河流及若果郎渡槽区的有现代泥石流活动的沟与潜在性泥石流沟分布情况如表1。

表1 南水北调西线一期工程区泥石流汇总表

Table 1 Debris flow of the West Line of Water Diversion Project from South to North

分类	项目	雅鲁江达曲	泥曲	色曲	杜柯河	麻尔曲	克柯河	若果郎	合计	
活动性	总数(条)	8	21	11	15	26	13	13	4	111
泥石流	左岸(条)	7	13	8	10	21	11	12	3	85
	右岸(条)	1	8	3	5	5	2	1	1	26
潜在性	总数(条)	9	16	4	9	5	9	4	2	58
泥石流	左岸(条)	7	8	1	4	5	2	3	2	32
	右岸(条)	2	8	3	5	0	7	1	0	26

2 泥石流沟清水洪峰流量计算

对于南水北调西线一期工程区,前期研究阶段由于气象水文资料缺乏,参照国内外的通行方法,泥石流小流域的清水洪峰流量可用下式进行计算

$$Q_B=f \cdot R \cdot F / 3.6 \tag{1}$$

式中 Q_B :清水洪峰流量(m³/s); f :流出系数(根据小流域下垫面条件取值0~1); R :年最大1 h暴雨量(mm); F :小流域汇水面积(km²)。其中年最大1 h暴雨量根据《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》查图表分析求得。

考虑到南水北调西线一期工程的重要性,分析计算按100 a一遇条件处理。表2是169条泥石流流域面积分级统计结果,表3是发生频率 $P=1\%$ 条件下各泥石流沟清水流量分级统计成果。

表2 各泥石流沟流域面积分级统计表

Table 2 The classification statistics of each debris flow channel's drainage area

分类	流域面积(km ²)				
	<5	5~10	10~20	20~30	>30
活动性泥石流(条)	96	6	5	3	1
潜在性泥石流(条)	29	15	4	4	6
合计(条)	125	21	9	7	7

表3 各泥石流沟清水流量分级统计表(P=1%)

Table 3 The classification statistics of each debris flow channel's water discharge(P=1%)

分类	清水流量(m ³ /s)				
	<50	50~100	100~150	150~200	>200
活动性泥石流(条)	103	4	2	1	1
潜在性泥石流(条)	43	6	6	1	2
合计(条)	146	10	8	2	3

3 泥石流峰值流量计算

泥石流峰值流量按配方法进行计算^[2]

$$Q_c=(1+\varphi_c)Q_BD_u \tag{2}$$

式中 Q_c :泥石流峰值流量(m³/s); Q_B :清水洪峰流量(m³/s); φ_c :泥石流峰值流量增加系数, $\varphi_c=\frac{\gamma_c-\gamma_w}{\gamma_s-\gamma_c}$; γ_c :泥石流密度(t/m³); γ_w :清水密度(t/m³); γ_s :固体物质实体密度(t/m³), $\gamma_s=2.7$ (t/m³); D_u :堵塞系数。

粘性泥石流密度按2.1 t/m³、2.2 t/m³,稀性泥石流

流按 1.8 t/m^3 取值。堵塞系数是反映泥石流沟道条件是否造成泥石流堵塞及其程度的参数,可根据文献[2]查表求得。泥石流峰值流量计算结果分级统计见表4。

表4 各泥石流沟泥石流峰值流量分级统计表($P=1\%$)

Table 4 The classification statistics of each debris flow channel's maximal discharge($P=1\%$)

分类	峰值流量(m^3/s)			
	<100	100~500	500~1 000	>1 000
活动性泥石流(条)	81	27	2	1
潜在性泥石流(条)	32	23	3	0
合计(条)	113	50	5	1

4 一次泥石流流出总量计算

泥石流峰值流量与一次泥石流流出总量之间存在着良好的对应关系,欧国强曾经对环太平洋地区的泥石流(包括粘性泥石流、稀性泥石流、黄土泥石流、水石流、火山泥流等)观测、调查及实验资料进行分析,提出了高频泥石流、低频泥石流、泥流型泥石流(细颗粒含量较多的泥石流)和石砾型泥石流(细颗粒含量较少的泥石流)峰值流量与一次泥石流流出总量的计算方法与计算公式^[3]。根据野外调查、泥石流堆积物样品分析等,确定了一期调水工程区各沟泥石流的基本流体性质,由于泥石流的细颗粒含量较多,2 mm 以下的细颗粒物质占固体物质总量的15%~40%,因此各泥石流沟一次泥石流流出总量采用泥流型泥石流的公式进行计算

$$Q_c = 0.0188 Q_T^{0.790} \quad (3)$$

式中 Q_c :泥石流峰值流量(m^3/s); Q_T :一次泥石流流出总量(m^3)。计算结果分级统计见表5。

表5 各泥石流沟一次泥石流流出总量分级统计表($P=1\%$)

Table 5 The classification statistics of each debris flow channel's total amount($P=1\%$)

分类	总量($\times 10^4 \text{m}^3$)		
	<1	1~10	>10
活动性泥石流(条)	26	70	15
潜在性泥石流(条)	5	34	19
合计(条)	31	104	34

5 泥石流堵河分析预测

首先利用一期调水工程区及邻近地区水文站(甘孜、朱巴、道孚、足木足、马尔康、大金、绰斯甲)的水文

资料,分析各泥石流沟汇入主河处主河汛期各月的最大流量和最小流量,然后与泥石流的峰值流量进行比较,用主支流量比(支沟泥石流流量与主河流量之比)来判断在流域性降雨和局地暴雨两种情况下泥石流是否堵河,参照既往泥石流堵河资料,并结合地形条件分析判定,在169条泥石流沟中有52条可能发生堵河。在此基础上设定泥石流堵河形成的天然坝的形状为三角形,根据一次泥石流流出总量中参与堵河的物质质量(约占总量的50%)来计算堵河的高度。

堵河高度计算式^[4]

$$Q_T = \left(\frac{1}{2 \tan 14^\circ} + \frac{1}{2 \tan \varphi_s} \right) B H^2 \quad (4)$$

式中 Q_T :一次泥石流流出总量(m^3); φ_s :泥石流体内摩擦角(度); B :主河宽度(m); H :堵河高度(m)。泥石流可能堵河高度统计结果见表6。

表6 各泥石流沟泥石流堵河高度分级统计表

Table 6 The classification statistics of each debris flow channel's height of the blockage of the main river($P=1\%$)

分类	堵塞高度(m)			
	<100	10~20	20~30	>30
活动性泥石流(条)	7	16	1	2
潜在性泥石流(条)	6	17	3	0
合计(条)	13	33	4	2

6 泥石流堵河对调水工程的影响评估

根据泥石流堵河高度、地形条件等,分析计算泥石流堵河形成天然坝后而该天然坝溃决之前,天然坝上游的回水范围,并且在数字地形图上将泥石流沟、堵河形成的天然坝、回水范围、调水工程点(大坝、公路等)进行点绘,便可清楚地了解泥石流与调水工程的空间组合关系、泥石流堵河形成天然坝后的回水对调水工程(大坝、公路等)施工和运行期间的安全可能造成的影响与危害。表7是泥石流堵河回水长度计算结果统计。

表7 泥石流堵河回水长度分级统计表

Table 7 The classification statistics of each debris flow channel's backwater length($P=1\%$)

分类	回水长度(m)			
	<1 000	1 000~2 000	2 000~3 000	>3 000
活动性泥石流(条)	0	11	9	6
潜在性泥石流(条)	2	12	2	10
合计(条)	2	23	11	16

以达曲8号泥石流沟为例,分析泥石流堵河对调水工程的影响。该泥石流沟流域面积 28.5 km^2 ,百年一遇泥石流的峰值流量为 $117\text{ m}^3/\text{s}$,一次泥石流流出总量为 $29.9 \times 10^4\text{ m}^3$,堵河形成天然坝后可能堵河高度约 14 m ,回水长度约 1.58 km 。达曲8号泥石流沟的泥石流堵河后对申达大坝的施工、引水隧洞的施工、公路等的影响与危害是明显的,必须采取相应的防治措施。此外,该天然坝一旦溃决,溃决洪水对下游的工程设施亦将产生严重的影响与危害。

7 结论与今后的课题

1. 泥石流的发生规模(峰值流量、一次泥石流流出总量)、泥石流沟与工程设施的空间组合关系是科学评估泥石流对调水工程影响的关键因素。本文探讨了相应的分析计算方法。

2. 利用相关气象、水文、泥石流的性质及小流域的下垫面资料,分析计算了所有泥石流沟100 a一遇条件下可能发生的泥石流的峰值流量和一次泥石流的总流出量;对泥石流堵河进行了分析,计算出可能堵河高度和回水范围。

3. 以达曲8号泥石流沟为例,分析了泥石流堵河对调水工程(大坝、引水隧洞、进场公路等)施工

和运行期间的安全可能造成的影响与危害。

4. 今后,对重点泥石流沟的泥石流发生规模、发生机理、成灾特性、危害方式与过程等问题应结合模型实验等手段开展进一步的深入研究。同时加强泥石流(崩塌、滑坡)形成天然坝、天然坝溃决的过程与机理等关键问题的探讨。

参考文献(References)

- [1] Ou Guoqiang, You Yong, Liu Xilin, et al. Research on debris flow and other mountainous hazards in west route of south-to-north water transfer project[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005, 24(20): 3691 ~ 3695 [欧国强, 游勇, 刘希林, 等. 南水北调西线一期工程泥石流研究及其他山地灾害现状[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(20): 3691 ~ 3695]
- [2] Wu Jishan, Tian Lianquan, Kang Zhicheng, et al. Debris Flow and Its Comprehensive Control[M]. Beijing: Science Press, 1993. 1 ~ 312 [吴积善, 田连权, 康志成, 等. 泥石流及其综合防治[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 1 ~ 312]
- [3] Ou Guoqiang. The study on the scale of debris flow[D]. Japan, Kyoto: doctor degree thesis, Graduate School of Kyoto University, 1992. [欧国强. 土石流発生規模に関する研究[D]. 博士学位论文. 日本京都: 京都大学研究生院, 1992.]
- [4] Zhou Bifan, Li Deji, Luo Defu, et al. Guide to Prevention of Debris Flow[M]. Beijing: Science Press, 1991. 125 ~ 129 [周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 125 ~ 129]

A Study on the Scale Forecast and the Influence of Debris Flow on the Water Diversion Project in the West Line Project of Water Diversion from Upper Yangtze River into Upper Yellow River

OU Guoqiang, YOU Yong, LÜ Juan, LIU Jinfeng

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: Debris flow is one of the main mountain hazards in the West Line of Water Diversion Project From South to North. And it may have threat and danger to the construction and running safety of the Water Diversion Project. With in the engineering site there are 111 active debris flow channels with some scales, 58 potential debris flow channels. This paper mainly discusses the index calculation method of the water discharge, the maximal discharge of debris flow, the total amount of a debris flow and so on. Based on this, the discharge ratio of the main river and the tributary is introduced to analyze the problem of the blockage of the river and the possible height and back water length. This paper provides scientific, feasible, quantitative analyzing method to evaluate the influence of debris flow on the Water Diversion Project.

Key words: the first-term of the Water Diversion Project; debris flow; scale; the height of the blockage of the main river; backwater length; forecast