

尾矿库溃坝模型探讨

郭朝阳, 唐治亚

(湖南有色冶金劳动保护研究院, 长沙 410014)

摘 要:针对尾矿库日常工作中需要对其溃坝可能造成的危害及危害范围进行估计而又没有成熟的模型可用的情况,采用工程类比法,根据泥石流以及水库溃坝等方面的工程经验和数学模型,经过对其相似之处进行类比,并对原有模型进行适当调整,以期得出尾矿库溃坝所形成泥石流的数学模型,并求出其冲击范围和破坏能力,可以为尾矿库的应急管理工作和选址决策提供一个相对成熟和稳定的方法。

关键词:尾矿库;溃坝;泥石流;数学模拟;冲击范围

中图分类号: X937 **文献标识码:** A

Study on the tailings dam-break model

GUO Zhao-yang, TANG Zhi-ya

(Hunan colored metallurgy labor protection research institute, Changsha 410014, China)

Abstract: For day-to-day work of tailings need to break the potential risks and hazards and to estimate the scope of the model is not available to mature, using the analogy works, according to landslides, as well as dam-break areas of the reservoir of experience in engineering, and mathematical models After their similarities and analogies, and appropriate adjustments to the original model, with a view to arrive at the tailings dam-break of the mathematical model of the formation of debris flow, and calculated destruction of its impact on the scope and capacity of the tailings can be emergency management, and site selection decision-making to provide a relatively mature and stable way.

Key words: tailing dam; dam-break; mud-rock flows; mathematical modeling; impact scope

1 前言

在新建尾矿库的设计工作中、以及尾矿库的日常管理工作中尤其是在尾矿库的应急管理工作中,往往需要对尾矿库溃坝可能造成的危害及危害范围进行估计,以指导其设计、日常管理以及应急管理,但现在并没有一个成熟可用的数学模型对尾矿库溃坝进行模拟分析,在大部分工作当中,全凭设计人员与管理人员的经验来进行判断,而且在尾矿库下游

多远处为安全距离也存在很大的争议,没有一定的规律可循,造成了在尾矿库设计、管理乃至监管工作中的不便,因此有必要对尾矿库溃坝进行数学模拟,以为尾矿库管理工作提供方便。

2 尾矿库溃坝的基本特征

2.1 泥石流形成条件

泥石流的发育必须具备三个基本条件,一是有利的地形地貌基础;二是有丰富的补给物质条件;三是有适当的降雨水源激发。

2.1.1 地貌条件

地貌条件是形成泥石流的内因和必要条件,制约着泥石流的形成和运动,影响着泥石流的规模和特性。泥石流形成的地貌条件主要是泥石流沟沟床比降、沟坡坡度、坡向、集水区面积和沟床形态等,表 1 是根据对典型泥石流的统计而得出的各条件对泥石流的影响。

表 1 泥石流形成地貌条件统计结果

地貌条件	最有利参数	统计数
沟床比降	5%~30%	占总数 90.7%
沟坡坡度	东部中低山区为 10~30° 西部高山区为 30~70°	
汇水面积	0.5~10km ²	占 61.6%
沟床形态	漏斗状和勺状	

2.1.2 物质补给条件

在泥石流沟内都有大量碎屑物质形成的地质条件,一般在东部山区以滑坡为主,而在西部山区以崩塌为主,而随着人类经济活动的增多,尤其是矿山建设和开采活动的加剧,对森林植被造成严重破坏,是引发泥石流的重要原因之一。矿山生产中弃渣不作合理处理,甚至有的乱挖乱采破坏山体,一遇暴雨往往产生泥石流,造成灾害。

2.1.3 水源条件

泥石流的发生和水的关系极为密切,泥石流发生的水源主要来自大气降水,其次为地下水 and 冰雪融水,短时间暴雨尤易引发泥石流。

2.2 水库溃坝分析

大坝溃决时,水库蓄水量突然下泻,造成下游水位暴涨和库区水位陡落。这种溃坝形成的溃坝波,不仅可能引起库区坍岸和其他损失,更为严重的是会导致水库下游地区灾害性的后果。

坝体溃决的类型一般分为瞬时全部溃决、瞬时局部溃决以及坝体逐渐溃决。大坝瞬时全部溃决、瞬时局部溃决是指大坝或部分坝段在坝址处瞬时消失;坝体逐渐溃决是指水流通过初始溃口,由于水流的冲刷切割及坝体的崩塌而引起的溃口不断扩展,溃决流量不断增加的过程,这一过程将随水库水位下降及水流冲刷能力的减弱而结束。

在溃坝洪水复核中,溃决类型的选择十分重要,

溃决类型的选择一般依坝体的类型而定,对整体结构性大坝,如混凝土浇注的重力坝溃决类型常常为坝体瞬时全部溃决或瞬时局部溃决;对于散粒性大坝如均质土坝或堆石坝,由于缺乏整体刚度,破坏往往又是由于局部水流渗透或过坝溢流冲刷,因此溃决类型常表现为逐渐溃决。

一般的土坝溃决原因主要有:(1)防洪设计标准不足;(2)超标准洪水入库;(3)溢洪设施不能正常运行,没有足够的泄洪能力;(4)坝体内部出现缺陷,如坝身、坝基的异常渗水,管涌等;(5)运行管理不当等。

2.3 尾矿库特征

尾矿库作为堆存细粒尾矿的场所,在特定的沟谷内通过人工筑坝等形式,堆积了大量松散细粒物质,其汇水面积均不大,通常不会超过 5km²,一般为 0.3~3km²,其所处沟谷坡降一般在 0.05~0.2 范围内,而由于尾矿堆积所形成的人工边坡一般为 1:4~1:3,其所处地形及形成的特点与泥石流高发段颇为相似。尾矿库从其库形条件来说,采用尾矿筑坝,与一般水库的土石坝一样同为松散体,其库尾存在有较大的调洪库容与安全库容,此部分库容内要么是空置,要么充满了水,在非常时期,洪水可能漫至坝顶,因此尾矿库本身就可以看作是一个小型水库,一旦发生洪水漫坝,由于筑坝材料为松散尾矿,极易被冲刷出大的缺口,从而导致溃坝,溃坝后水流与小型水库溃坝极为相似。

尾矿库一旦溃坝,堆存的细粒尾矿在地表水的作用下形成溃决型泥石流,根据对国内外的溃坝案例进行统计分析可知,尾矿库溃坝成因一般有以下几种方式:

(1)洪水漫坝造成坝坡失稳;如湖南柿竹园牛角垅尾矿库溃坝事故,岢美山尾矿库洪水漫顶溃坝事故、银山铅锌矿尾矿坝决口事故等。

(2)长期高水位运行造成坝坡失稳;如云南锡业公司火谷都尾矿库溃坝事故、山西襄汾塔儿山铁矿尾矿库溃坝事故、辽宁海城尾矿库溃坝事故等。

(3)人为破坏等外力因素造成坝坡失稳。

分析尾矿库溃坝成因,可知洪水漫坝成因泥石流多为稀性泥石流,其特征为:稀性连续流的土水比小于 0.35,石土比 0.2~0.001,容重为 1.6~1.3 t/m³。泥浆体的粘滞作用很小,接近水流特征,流态

紊乱,石块翻滚并相互撞击。第二种由于长期高水位运行造成的饱和失稳则为从塑性蠕动流迅速发展为粘性阵流,其特征为:阵性连续流的土水比为 0.6~0.35,石土比为 1.0~0.2,容重为 1.9~1.6 t/m³。泥浆更接近于流体性质,属过渡性泥浆体。

因为洪水漫坝是溃坝的主要原因,而库内水流与水库溃决颇为相似,因此采用工程类比法来进行尾矿库溃坝模型的建立工作,借用水利学中的溃坝公式以及泥石流配方法分析来估算尾矿库溃坝可能产生的流量、冲击范围、流速、冲击力等参数。

3 尾矿库溃坝模型的建立

3.1 尾矿库溃坝洪流的计算公式

尾矿库溃坝后坝址断面溃坝最大流量的计算利用水利学中水库溃坝经验公式来进行,该公式考虑了瞬间全溃和局部溃决的情况。公式为:

$$Q_w = 0.27 \sqrt{g \left(\frac{L}{B} \right)^{1/10} \left(\frac{B}{b} \right)^{1/3} b (H - K h)^{3/2}} \quad (1)$$

式中: Q_w 为坝址处溃坝洪水最大流量, m³/s; g 为重力加速度, m/s²; B 为坝址处的库面宽, m; H 为坝前水深, m; L 为库区长度, m, $L > 5B$ 后, 仍取 L/B 等于 5; h 为溃口处残留坝体的平均高度, m; K 为经验系数, 近似按 $K' = 1.4 (bh/BH)^{1/3}$ 估计; b 为溃口的平均宽度, m, 可按以下方法估计:

当溃坝时蓄水 $V \geq 100$ 万 m³ 时, 有 $b = k_1 V^{1/4} B^{1/7} H^{1/2}$, 式中: k_1 为坝体材质系数, 对粘土坝、粘土心墙或斜墙坝和混凝土坝取 1.19, 均质壤土坝取 1.98。当 $V < 100$ 万 m³ 时, 有 $b = k_2 V^{1/4} H^{1/4}$, 式中: 坝体施工和管理质量好的 k_2 取 6.6, 差的取 9.1。以上两式中 B 、 b 、 H 单位为 m, V 单位为万 m³, B/b 一般不应超过 17。

3.2 尾矿库溃坝后泥石流的估算

尾矿库溃坝后往往形成灾害性泥石流, 其主要特征表现为暴发突然、来势凶猛、冲击强烈、冲淤变幅大、沟道摆动速度和幅度大等几个方面。根据形成过程可将尾矿库溃坝后形成的泥石流分为土力类泥石流和水力类泥石流。土力类泥石流的性质一般偏粘性, 水力类泥石流偏稀性。

类比泥石流计算的配方法与雨洪修正法来对溃坝泥石流进行流量估算, 其计算公式为:

$$Q_m = Q_w (1 + \Phi) D_m \quad (2)$$

式中: Φ 为泥石流修正系数, 按 $\Phi = \frac{\rho_m - 1}{G_s - \rho_m}$ 计算; D_m 为泥石流堵塞系数, D_m 值在 1~3 之间, 可按其堵塞程度选用, 因为尾矿库作为一个废渣存放地, 在使用初期仅为轻微堵塞, 因而 D_m 可取值为 1.0~1.5, 在使用中后期可以作为泥石流在坝址位置遇到了最严重的堵塞, 因而 D_m 值可取 3.0。

3.3 溃坝最大流量向下游演进的计算

3.3.1 尾矿库下游某断面溃坝最大流量的计算

如图 1、图 2 所示, 坝址处的溃坝流量过程线在向下游演进中, 将不断展平, 溃坝和最大流量将很快衰减, 采用非恒定流解法, 由坝址处的溃坝流量过程逐段演算出下游各断面处的流量过程, 溃坝在下游某断面处形成的最大流量, 其经验公式计为:

$$Q_{m,l} = \frac{V}{\frac{V}{Q_m} + \frac{l}{v}} \quad (3)$$

式中: Q_m 为坝址处溃坝最大泥石流流量, m³/s; $Q_{m,l}$ 为 Q_m 演进至距坝址 l 处的溃坝最大泥石流流量, m³/s; V 为溃坝时的尾矿库有效容积, m³, 可按 $(1 + \Phi) D_m V_{\text{库}}$ 进行计算; v 为洪水期间河道断面平均流速, m/s, 一般可取下列数值: 山区河道 7.15 m/s, 半山区河道 4.76 m/s, 平原河道 3.13 m/s。

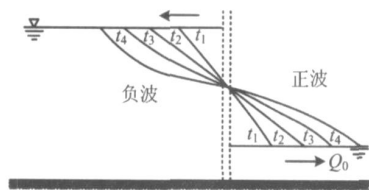


图 1 溃坝洪水沿程演进示意图

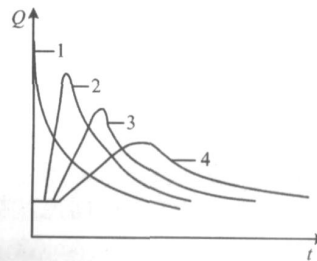


图 2 溃坝水流状态示意图

1. 坝址断面(第 I 断面); 2. 坝下游第 II 断面;
3. 坝下游第 III 断面; 4. 坝下游第 IV 断面

3.3.2 溃坝最大流量到达下游某断面所需时间的计算

除了要知道溃坝之后在下游各断面所需时间的最大流量外,还需要估计它们在下游各断面什么时候出现,即需要计算溃坝最大流量,从坝址到下游某外的传播时间,其计算经验公式为:

$$\tau = k_{\tau} \frac{l^{1/5}}{V^{1/5} H^{1/2} h_m^{1/4}} \quad (4)$$

式中: τ 为溃坝最大流量从坝址到下游 l 处传播时间, s ; h_m 为下游断面处最大流量时的平均水深, m ; k_{τ} 为经验系数,等于 $0.8 \sim 1.2$,水深小时取小值,大时取大值。

3.4 溃坝泥石流冲击力的估算方法

3.4.1 泥石流流速计算

尾矿库溃坝形成的泥石流流速根据西南地区现行公式(据铁道部第二勘测设计院)进行估算,公式如下:

$$U_c = (M_m / \alpha) R^{2/3} I^{1/2} \quad (5)$$

式中: R 为水力半径 (m),可近似取其泥位深度; M_m 为泥石流沟粗糙系数,查表可得; I 为泥石流沟纵坡比降 ($\%$); α 为阻力系数,根据 G_s , ρ_m 可直接查表。

3.4.2 泥石流流动压力计算

泥石流流动压力计算公式为:

$$\sigma = \frac{\rho_m}{g} U_c^2 \quad (6)$$

式中: U_c 为泥石流的平均流速 (m/s); σ 为施于垂直面的动压力 kN/m^2 ; ρ_m 为泥石流重力密度 (kN/m^3)。

3.4.3 泥石流冲高计算

泥石流冲高 $h_{\Delta c}$ 按下式计算:

$$h_{\Delta c} = U_c^2 / 2g \quad (7)$$

4 计算实例

1985年8月24日至25日,野鸡尾尾矿库上游强大的洪水、泥石流席卷着泥沙、石块、树木、杂草,越过坝尾截洪沟,在几分钟的时间内就将该库坝体冲跨。此次洪水和垮坝事故导致矿区死亡46人,冲毁淹没房屋、生产生活设备、设施(道路、桥梁、电线等)。

根据该尾矿库溃坝时的各参数对尾矿库溃坝形

成的泥石流进行模拟计算,此次溃坝形成的泥石流计算结果见表2。根据计算结果并对比尾矿库下游沟谷情况即可对溃坝所造成的后果进行相应的分析,从而得出尾矿库选址的合理性分析。

表2 野鸡尾尾矿库溃坝泥石流计算结果

序号	计算项目及结果	计算条件
1	坝址处溃坝洪水最大流量 $Q_w = 768m^3/s$	坝长 $B = 160m$, 坝前水深 $H = 5m$, 库身长 $L = 430m$, $h = 0m$, 溃口宽 $b = 50m$
2	溃坝泥石流流量 $Q_m = 3456m^3/s$	$G_s = 2.7t/m^3$, $\rho_m = 1.5t/m^3$ $= 15kN/m^3$, $\phi = 0.5$, $D_m = 3$
3	1000m断面处最大流量 $Q_{m,l} = 1912m^3/s$	$V = 60万 m^3$, $v = 7.15m/s$, $l = 1000m$
4	断面到达时间 $\tau = 294s$	$h_m = 8m$, $k_{\tau} = 1$
5	泥石流流速 $U_c = 7.62m/s$	$R = 8m$, $I = 10\%$, $\alpha = 1.46$, $M_m = 8.8$
6	泥石流流动压力 $\sigma = 88.78kN/m^2$	
7	泥石流冲高 $h_{\Delta c} = 2.96m$	

5 结束语

尾矿库溃坝模型是建立在水库溃坝形成的洪流以及洪流与松散尾矿混合形成泥石流的基础之上得出的,其在工程条件上有一定的相似之处,其计算结果可以为尾矿库的设计与管理提供必要的数据,为尾矿库选址提供理论依据。

由于溃坝流量计算受各项因素影响,例如泄空的时间,冲刷破坏的形式,水头的大小,很难计算出准确的溃坝流量,因此还需在以后的实践中进一步建立与尾矿库各系数相关的经验公式,以提高模型的实用性。

参考文献

- [1] 马庆骥,方振远,等. 给水排水设计手册第7册(城镇防洪)第二版. 北京:中国建筑工业出版社,2000
- MA Qing-ji, FANG Zhen-yuan, et al. For the water draining water design handbook 7th volume (cities flood prevention) the second edition, Beijing, China Building industry Publishing house, 2000
- [2] 王明甫. 高含沙水流及泥石流[M]. 北京:水利电力出版

- 社, 1995
- WANG Ming-fu High sediment-laden flow and debris flow [M]. Beijing, Water Conservancy and Electric Power Press, 1995
- [3] 中国科学院一水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流 [M]. 北京: 商务印书馆, 2000
- A Ministry of Water Resources, Chinese Academy of Sciences, Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, China mud-rock flows [M]. Beijing, Commercial Press, 2000
- [4] 秦华礼, 马池香. 水对尾矿坝稳定性的作用机理研究 [J]. 金属矿山, 2008, (10): 116~118
- Q N Hua-li, MA Chi-xiang The water studies to the debris dam stable action mechanism [J]. The metal mine, 2008, (10), 116~118
- [5] 水利部水利建设与管理总站. 小型水库管理 [M]. 北京: 中国计划出版社, 2003
- The Ministry of Water Conservation water conservancy facility and manages the main terminal The small reservoir manages [M]. Beijing, the Chinese Plan Publishing house, 2003
- [6] 常士骝, 张苏民, 等. 工程地质手册 (第四版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- CHANG Shi-biao, ZHANG Su-min, et al Engineering geology handbook (the fourth edition) [M]. Beijing, China Building industry Publishing house, 2007
- [7] 梁忠民, 钟平安, 等. 水文水利计算 (第 2 版) [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006
- LIANG Zhong-min, ZHONG Ping-an, et al Hydrology water conservation computation (the 2nd edition) [M]. Beijing, Chinese Water conservation Water and electricity Publishing house, 2006
- [8] 周海清, 刘东升, 等. 工程类比法及其在滑坡治理工程中的应用 [J]. 地下空间与工程学报, 2008, 12 (6): 1056~1060
- ZHOU Hai-qing, LU Dong-sheng, et al Project analogism and in landslide government project application [J]. Derground space and project jomal, 2008, 12 (6), 1056~1060
- [9] 郑欣, 秦华礼, 许开立. 导致尾矿坝溃坝的因素分析 [J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4 (1): 51~54
- ZHENG Xin, Q N Hua-li, XU Kai-li Analysis of the factors inducing the tailing dam falling [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4 (1): 51~54
- [10] 李全明, 王云海, 张兴凯, 等. 尾矿库溃坝因素分析及风险指标体系研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4 (3): 50~53
- LI Quan-ming, WANG Yun-hai, ZHANG Xing-kai, et al Analysis of disastrous factors concerning tailing dam failing and reasearch on risk index system [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4 (3): 50~53

国家安全监管总局副局长孙华山强调: 2010年安全培训工作要求努力实现四化

2010年 1月 28日上午,国家安全监管总局副局长孙华山主持召开人才培训教育工作领导小组第一次全体会议,深入贯彻落实全国安全生产电视电话会议和全国安全生产工作会议精神,通报总结近年来安全培训教育工作情况,研究部署总局 2010年安全培训工作。国家煤矿安监局副局长彭建勋及国家安全监管总局和煤矿安监局有关司局、应急指挥中心及部分在京直属事业单位负责人参加会议。

会上,在听取大家的讨论发言后,孙华山充分肯定了近年来安全人才培训教育工作取得的成效。他表示通过各部门的共同努力,有力的促进了安全生产人才队伍建设,大力推动了安全生产教育培训工作的全面深入开展。对于 2010年如何进一步开展人才培训教育工作,孙华山要求:一是明确指导思想。要坚持以人为本,坚持安全发展指导原则,按照大教育、大培训的要求,围绕中心、服务大局、统筹规划,完善国家和省、市、县四级安全培训教育体系,实现培训内容规范化、培训方式多样化、培训手段现代化、培训管理信息化。二是明确目标任务。要努力实现 4个 100%任务,即:地市级政府分管安全生产领导干部专题培训 100%,地市、区县安全监管局长专题培训 100%,监管监察人员执法资格培训 100%,高危行业企业主要负责人、安全管理人员、特种作业人员等“三项岗位人员”持证上岗率 100%。三是完善推进培训工作的各项措施。要按照统筹规划、分级实施的原则,合理制定培训计划;要加强对人才培训教育工作的监督检查,确保各项工作任务落实。四是强化保障培训条件。要在人力、财力和物力等方面保证培训任务顺利完成。五是加强组织领导。要把人才培训教育工作的目标任务落实到各司局。要坚持归口管理,分工协作。