

凤城市某尾矿库溃坝数值计算^{*}

陈殿强¹ 何 峰² 王来贵²

(1. 辽宁有色勘察研究院; 2. 辽宁工程技术大学)

摘 要 我国尾矿库数量多、规模小、安全度水平低,较多中小尾矿库未经过正规设计,并且绝大多数尾矿库下游为生活区、工矿企业或重要设施等。进行溃坝分析,为加强尾矿库管理,最大限度减轻灾害影响提供依据。通过对凤城市某铁矿尾矿库溃坝分析,预测溃坝泥石流的最大流量、到达时间、淹没范围及深度,以便采取相应措施,减少损失。

关键词 铁矿尾矿库 溃坝 泥石流 分析计算

Numerical Calculation of the Tailings Dam Failure in Fengcheng City

Chen Dianqiang¹ He Feng² Wang Laigui²

(1. Liaoning Institute of Nonferrous Investigation; 2. Liaoning Technical University)

Abstract The tailings reservoirs in China are characterized by great number, small size and low safety level, with most of the small and medium-sized ones not normally designed. Downstream of the most tailings reservoirs, there are living areas, factories, mines or important facilities. Therefore, the dam failure analysis is necessary for enhancing the tailings reservoir management so as to reduce the disaster impact to the minimum. A dam failure analysis for an iron mine's tailings reservoir in Fengcheng City has been made in order to take corresponding preventative measures to reduce the loss, including the largest dam-break debris flow, arrival time, scope and depth of inundation.

Keywords Tailings reservoir, Dam failure, Debris flow, Numerical calculation

对尾矿库安全运行来说,大坝溃决分析是其重要组成部分。尾矿库一旦溃决将造成巨大损失,大坝溃决分析成果将为尾矿库下游受威胁地区的人民及财产转移提供重要依据,确保人民群众生命财产安全,最大限度地减轻灾害带来的损失;对确保尾矿库的安全运行,使之更好地为矿山安全生产服务,为国民经济健康持续快速发展服务等方面都具有重要意义^[1]。

1 工程概况

该铁矿尾矿库位于凤城市某镇砬子沟,选矿厂在沟的南岸。尾矿库位于选矿厂北侧山沟,相距很近。选矿厂和尾矿库于1993年建成,投产至今已经使用16年左右。尾矿库工程包括有土石初期坝、砖砌结构溢水塔和直径600 mm预制混凝土管道的排水系统。尾矿筑坝采用“上游式”筑坝,坝上分散放矿。原设计选矿厂原矿日处理量为150 t,年排放尾矿0.84万m³,尾矿库库容2.7万m³,服务年限2年左右,生产后随着原矿处理量的增加,尾矿储量也相应增加,至2005年尾矿堆积高度为29 m。相当于坝顶标高189 m,入库尾矿量约14.7万m³,坝长

为86 m。

按照地形图,设计说明书和尾矿堆积最终高度为57.5 m,服务年限6.5年,库容为51.375万m³,尾矿堆积标高217.5 m,坝宽3 m,坝长为170 m,外坡坡度平均1:5.0。

该尾矿库2005年库容量约14.7万m³,坝高29 m,坝长为86 m,根据设计,尾矿库最终库容为51.375万m³,坝高度为57.5 m,坝长为170 m,依据《选矿厂尾矿设施规范》(ZBJ1-90),划分属四级尾矿库。

由于距离尾矿库坝垂直距离1400 m左右处有国铁通过,铁路轨道距地面约1.0 m;为保证铁路的正常通行,所以对该尾矿库大坝溃决分析具有重要的意义。

2 溃坝矿砂流计算

溃坝计算分两种方案分别为,库容量约14.7万

^{*} 国家自然科学基金重点项目(编号:50434020),辽宁省教育厅基金(编号:2008302)。

陈殿强(1964—),男,辽宁有色勘察研究院,博士,教授级高级工程师,110002辽宁省沈阳市。

m^3 , 坝高 29 m 和库容为 51.375 万 m^3 , 坝高为 57.5 m。

2.1 大坝溃口宽度的计算

采用黄河水利委员会经验公式:

$$b = 0.1 KW^{1/4} B^{1/4} H^{1/2}, \quad (1)$$

式中, b 为溃口宽度, m; W 为尾矿库总库容, m^3 ; B 为主坝长度, m; H 为坝高, m; K 为经验系数 (粘土类取 0.65, 壤土取 1.30)。计算可得到, 溃坝缺口宽度分别为坝高 29 m, 库容 14.7 万 m^3 , $b = 41.74$ m; 坝高为 57.5 m, 库容 51.375 万 m^3 , $b = 95.3$ m。

2.2 溃口坝址最大流量估算

对于尾矿库溃坝来说, 考虑到溃决时往往为库内水位较高, 尾矿处于液态, 为安全计, 最大泄砂流量可根据肖克列奇经验公式作为备选的计算公式。

$$Q_{\max} = \frac{8}{27} \sqrt{g} \left(\frac{B}{b} \right)^{1/4} b H_0^{3/2}, \quad (2)$$

式中, Q_{\max} 为坝址最大流量, m^3/s ; B 为主坝长度, m; b 为溃口宽度, m; H_0 为溃坝前上游水深为尾矿库最大坝高 H 减去坝前淤深和校核水位距坝顶的距离, m; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 。其中各参数都取最大值。 Q_{\max} 取 7 244.49 m^3/s 和 44 540.33 m^3/s 。

2.3 尾矿库溃坝最大流量沿程演进估算

溃坝坝址处最大流量向下游演进至坝址 L 流程时的最大流量, 可采用下式估算:

$$Q_L = W / (W / Q_{\max} + L V_{\max} \cdot K), \quad (3)$$

式中, Q_L 为距坝址 L (m) 控制断面溃坝最大流量, m^3/s ; W 为尾矿库总库容, m^3 ; L 为控制断面距尾矿库坝址的距离, m; V_{\max} 为特大洪水的最大流速 (山区取 3.0~5.0, m/s, 丘陵区取 2.0~3.0, 平原区取 1.0~2.0); K 为经验系数 (山区取 1.1~1.5, 丘陵区取 1.0, 平原区取 0.8~0.9)。

溃坝最大流量沿程演进曲线见图 1~图 4。其中, S_L 为距坝址 L 控制断面溃坝最大过流面积, m^2 。

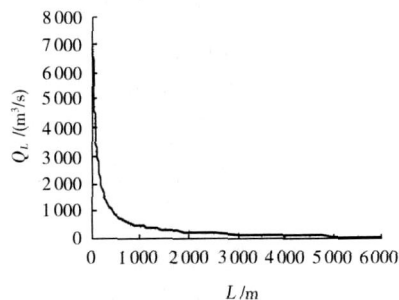


图 1 坝高 29 m 时最大流量沿程演进曲线

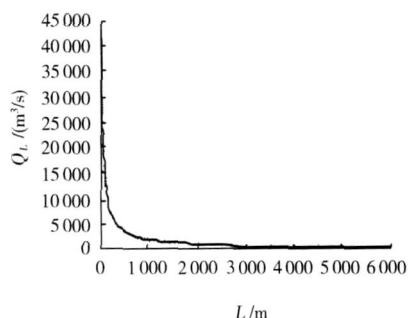


图 2 坝高 57.5 m 时最大流量沿程演进曲线

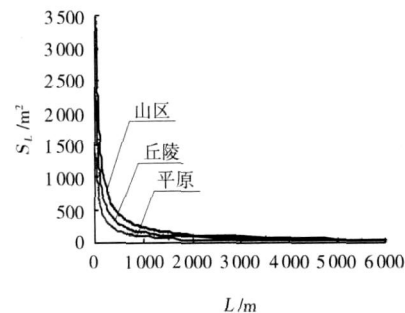


图 3 坝高 29 m 时不同流速下过流面积沿程演进曲线

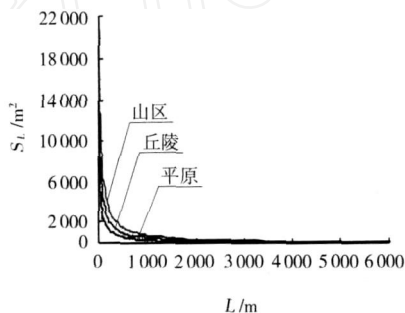


图 4 坝高 57.5 m 时不同流速下过流面积沿程演进曲线

2.4 矿砂流传播时间

采用黄委会水科所根据实验技术求得的传播时间计算公式:

$$t = k_2 \frac{L^{1.4}}{W^{0.2} H^{0.5} h_m^{0.25}}, \quad (5)$$

式中, k_2 为经验系数 (0.8~1.2), 采用 1.0; h_m 为最大流量平均水深; t 为最大流量到达时间; W 为相应的库容; L 为距坝址的距离。

尾矿库溃坝矿砂流到达时间估算

$$T = K_1 L^{1.75} 10^{1.3} W^{0.2} H_0^{0.35}, \quad (5)$$

其中, 系数 K_1 取值 0.7×10^{-3} , 其余 L 、 W 、 H_0 含义同前。

2.5 计算结果

进行溃坝矿砂流计算的目的是确定下游各不同断面的最大流量、矿砂流到达时间、淹没范围及深度, 以便采取预防及转移等措施。计算结果见图 5, 图 6, 表 1, 表 2 所示。

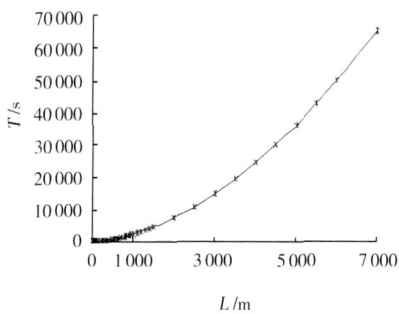


图 5 坝高 29 m 时溃坝矿砂流到达时间估算曲线

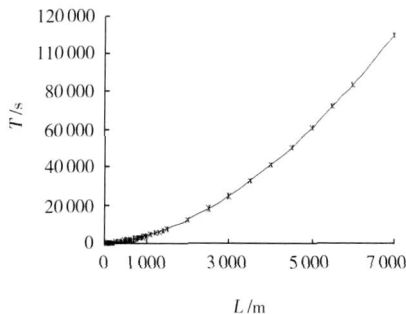


图 6 坝高 57.5 m 时溃坝矿砂流到达时间估算曲线

表 1 坝高 29.0 m 计算结果

距离 L /m	Q_{\max} /(m^3/s)	S_L / m^2	h_m /m	泥砂面 宽度 /m	到达时间 /s
50	4 147.53	2 073.76	20.74	100	19
100	2 905.47	1 452.73	10.38	140	63
500	855.61	427.81	2.14	200	1 054
1 000	454.66	227.33	0.87	260	3 546
1 500	309.58	154.79	0.52	300	7 210
2 000	234.69	117.35	0.23	500	11 929

表 2 坝高 57.5 m 后计算结果

距离 L /m	Q_{\max} /(m^3/s)	S_L / m^2	h_m /m	泥砂面 宽度 /m	到达时间 /s
50	19 250.60	6 416.87	46.25	138.74	11
100	12 278.78	4 092.93	20.91	195.70	39
500	3 150.60	1 575.30	4.85	324.50	646
1 000	1 633.06	816.53	2.09	390.72	2 173
1 500	1 102.17	551.09	0.98	560.35	4 418
2 000	831.78	277.26	0.65	615.40	7 309

2.6 不同坝高尾矿库溃坝影响范围的估算

根据尾矿库下游典型控制断面处的溃坝最大流量 Q_L 和相应流速的估算,计算该断面的过流面积。再根据 1 2 000 地形图估算该断面处的洪水淹没边界,从而得出尾矿库溃坝影响范围,如图 7、图 8 所示。

3 预防及应急措施

为避免尾矿库发生垮坝事故,除在日常做好堤防及各类构筑物的检查、维修工作外,在汛情威胁尾矿库安全情况下,对尾矿库工程进行紧急加固。加固本着预防为主、防重于抢的原则,对尾矿库重

点工程部位拟定应急加固抢护措施,尽最大可能减小灾害损失。当大坝突然出现裂缝、滑坡、渗漏、管涌或超标准地震险情时,首先查明险情情况,根据险情程度确定组织抢险和组织下游群众准备转移。当出现尾矿库溃坝险情时,立即向下游预警。

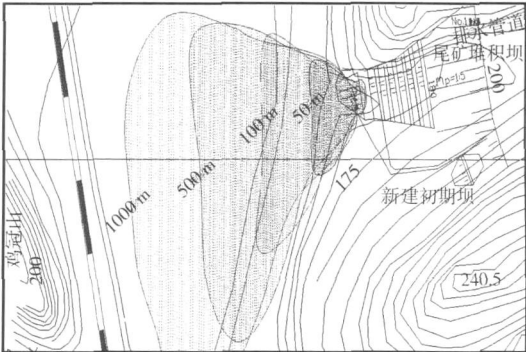


图 7 坝高 29 m 时溃坝矿砂流影响范围

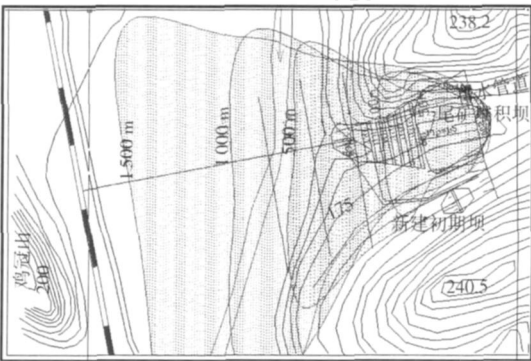


图 8 坝高 57.5 m 时溃坝矿砂流影响范围

(1)落实尾矿库安全责任人,完善尾矿库运行管理规章制度,严格执行大坝安全检查制度和坝安全监测规范。

(2)当坝体出现异常渗漏时。采取“上截、下排”方法。在坝后设导渗沟,在渗水出露的适当范围内,先铺设滤料垫层,然后填石料盖压;“下排”的目的就是增加坝体渗透稳定性,防止坝体内矿砂颗粒随渗水排出,威胁坝体安全。

(3)当坝体产生滑坡时。采取上部减载、下部压重的方法,即首先在滑动体下部用砂石料、土袋等压重固脚,防止险情恶化。

(4)当坝体出现漏洞、管涌时。仍采取“上截、下排”方法,并根据实际情况迅速降低库水位,当危及坝体安全时迅速打开正常溢洪道,迅速降低库水位,防止溃坝。

4 结 语

文中论述了凤城市某尾矿库在不同坝高溃坝时
(下转第 80 页)

$H_{高}$ 取决于充填管道料浆输送是下向输送还是上向输送,即充填站与采空区充填位置的相对关系。当充填采空区位于山上,充填站建在山下,则充填管道料浆输送为逆向输送,此时充填阻力计算中的高程阻力除考虑克服重力势能的影响外,还要考虑垂直管道的输送阻力。当充填采空区位于地表以下,充填站位于地表,此时,充填管道料浆输送为顺向输送,充填料浆可借助重力进行自溜输送,此时充填阻力计算中的充填输送高程阻力要求考虑重力势能做功的影响和垂直管道的输送阻力^[8-9]。

依据马路坪充填系统现状,垂高 210 m 时自然势头,相当于充填料浆输送水平长度的 1.5 倍,即 315 m 水平距离,最大输送长度 2 952 m,扣除垂直高程差节省的压力势头,得到最大 $H_{高} = 2\ 952 \times 1.08 \times i_j - 315 i_j = 2\ 873.16 i_j$ 得到最困难时期浆体输送最大阻力,见表 5。

表 5 马路坪充填料浆输送最大阻力

浆体浓度 / %	浆体流速 / (m / s)	最大输送阻力 / kPa
58	2	15 368.53
	1.8	11 860.4
	1.6	15 262.23
55	2	9 449.823
	1.8	7 231.744
	1.6	9 237.209
53	2	2 864.541
	1.8	2 083.041
	1.6	2 531.254

3 结 语

合理的充填管网参数及管道输送阻力计算是矿山充填系统安全运行的必要前提,特别是低高程长距离的管输系统,由于垂直段的料浆自然高差引起

的压力不足以克服料浆输送阻力时,极易发生堵管现象,多采用泵送输送系统。通过对充填骨料固体颗粒临界沉速、管道直径及壁厚的计算,选择合理的充填管道;通过管道输送阻力计算,选择合理的泵送压力;从而为泵送输送系统的设计提供合理的依据。

参 考 文 献

- [1] GAO Ying-li, ZHOU Shi-qiong Influence of ultra-fine fly ash on hydration shrinkage of cement paste [J]. Journal of Central South University of Technology, 2005, 12 (5): 596-600.
- [2] WANG Xin-min, ZHAO Bin Cemented backfilling technology with unclassified tailings based on vertical sand silt [J]. Journal of Central South University of Technology, 2008, 15 (6): 801-806.
- [3] Li Xibing, Zhou Zilong, Zhao Guoyan, Liu Zhixiang Utilization of phosphogypsum for backfilling, way to relieve its environmental impact[J]. Gospodark surowcami mineralnymi mineral resource management, 2008, 24 (4): 225-232.
- [4] WANG Xin-min, ZHAO Bin Cemented backfilling technology based on phosphorous gypsum [J]. Journal of Central South University of Technology, 2009, 16 (2): 285-291.
- [5] 王新民,肖卫国,张钦礼. 深井矿山充填理论与技术 [M]. 长沙:中南大学出版社, 2005: 162-165.
- [6] 董玉华,高惠临,等. 长输管线失效状况模糊故障树分析方法 [J]. 石油学报, 2002 (4): 85-89.
- [7] WANG Xin-min, ZHAO Bin Paste-like Self-flowing Transportation Backfill Technology Based on Coal Gangue [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 19 (2): 137-143.
- [8] 韩文亮,王光谦,等. 两相流水击模型对输送防护措施效果的计算分析 [J]. 水利学报, 2000 (3): 37-41.
- [9] 张国忠,史秀敏,等. 长输管道水击压力计算方法分析 [J]. 石油大学学报:自然科学版, 1993 (3): 65-69.

(收稿日期 2009-08-14)

(上接第 76 页)

的溃口宽度、溃坝流量、尾矿库下游主要保护对象的溃坝演进流量和溃坝洪水到达时间、溃坝洪水淹没及影响范围。

计算考虑了对国家铁路的影响,得出溃坝对国铁有影响,但是影响是有限的。坝高 29 m 溃坝时在距离坝顶 1 500 m 时,淹没深度为 0.52 m; 坝高 57.5 m 时,在距离坝顶 2 000 m 时,淹没深度为 0.65 m。

为尾矿库下游重点保护对象的抢险和群众转移提供了可靠依据。本研究所述内容也是《凤城市某尾矿库防洪抢险应急预案》中不可缺少的重要部

分。

参 考 文 献

- [1] 李全明,等. 尾矿库溃坝灾害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.
- [2] 郑春来. 昌马水库溃坝洪水分析 [J]. 甘肃水利水电技术, 2007, 43 (4): 290-291.
- [3] 孙 燕,刘和峰,刘建明,等. 有色金属尾矿的问题及处理现状 [J]. 金属矿山, 2009 (5): 6-10.
- [4] 朱君星,许 伟,徐永国,等. 基于 3S 集成技术对尾矿库安全监测的探讨 [J]. 金属矿山, 2009 (4): 106-108.

(收稿日期 2009-08-23)