

# 基于尾矿库特定使用年限的防洪标准 可靠度研究

Study on Reliability of Flood Control Standard Based on Specific Service Life of Tailings Pond

侯攀<sup>1,2</sup>, 陈宇清<sup>1,2</sup>, 佟敬鲁<sup>1,2</sup>, 王明明<sup>1,2</sup>, 黄文鹤<sup>3</sup>

(1. 中冶沈勘秦皇岛工程设计研究总院有限公司, 河北 秦皇岛 066699; 2. 河北省绿色智能矿山工程设计技术创新中心, 河北 秦皇岛 066699; 3. 鞍山钢铁集团有限公司齐大山选矿厂, 辽宁 鞍山 114043)

**摘要:**在对我国尾矿库防洪标准制定历史和特点进行归纳总结的基础上,分别对国内水利行业水库大坝和国外尾矿库所采用的防洪标准进行了比较分析。通过对尾矿库特定使用年限的防洪标准可靠度分析,得出了不同使用年限条件下选用不同防洪标准时尾矿库的工程可靠性定量数值,明确了如何根据尾矿库特定使用年限分析评价所选防洪标准的适用性,最后结合工程实例进行了验证说明。本次研究成果可为尾矿库行业技术人员在选定防洪标准并评价尾矿库防洪可靠度时提供定量参考依据。

**关键词:**尾矿库; 防洪标准; 使用年限; 可靠度

**中图分类号:** TD926.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2025)05-0087-06

**Abstract:** On the basis of summarizing the history and characteristics of the formulation of flood control standards for tailings pond in China, the flood control standards for reservoirs and dams in domestic water conservancy industry and tailings pond in foreign metallurgical mining industry are compared and analyzed. Through the reliability analysis of the flood control standard for the specific service life of the tailings pond, the quantitative values of the engineering reliability of the tailings pond when different flood control standards are selected under different service life conditions are obtained, and how to analyze and evaluate the applicability of the selected flood control standards according to the specific service life of the tailings pond is clarified. Finally, the verification is illustrated with an engineering example. The research results can provide a quantitative reference for the technical personnel of the tailings pond industry in selecting flood control standards and evaluating the flood control reliability of the tailings pond.

**Key words:** tailings pond; flood control standard; service life; reliability

## 1 前言

尾矿库作为一种特殊的水工构筑物和人造高势能泥石流危险源,如果设计洪水估算偏低或是运行过程中防洪管理不当,将会造成严重后果。设计洪水标准对尾矿库工程的安全性及经济性影响极大<sup>[1]</sup>。

尾矿库防洪标准的制定,不仅仅是一个安全技术问题,而且是同时包含政治、经济和社会因素在内的综合性政策问题<sup>[2]</sup>。我国尾矿库防洪标准是根据各使用期尾矿库等别、库容、坝高、使用年限及对下游可能造成的危害程度等因素综合确定的。对于各使用期确定等别后,除五等库外,防洪标准均有一个变幅。

根据库容、坝高、对下游的危害程度等确定防洪标准变幅上下限是有对应具体限定值的,而根据尾矿库使用年限长短确定防洪标准暂未有明确限定值。一般工程实践中认为:“年限较短”特指尾矿库使用年限在5年以内;“年限较长”特指尾矿库使用年限在10年以上。随着我国尾矿库建设规模越来越大,尾矿库使用年限基本大于5年,此时仍按照以往工程经验选定防洪标准变幅上下限方法显然已经无法适应实际使用需求。

针对以上问题,本次在论述我国尾矿库防洪标准适用性的基础上对尾矿库使用年限与可靠度问题进行分析研究,最终得出尾矿库特定使用年限条件下选用不同防洪标准时的可靠度。该成果可以为尾

[作者简介] 侯攀(1982—),男,矿山设计研究院副院长,高级工程师,主要从事尾矿库研究。

[引用格式] 侯攀,陈宇清,佟敬鲁,等. 基于尾矿库特定使用年限的防洪标准可靠度研究[J]. 中国矿山工程,2025,54(5):87-92.

矿库设计管理人员在选用防洪标准和评价尾矿库防洪可靠性时提供参考。

## 2 我国尾矿库防洪标准

### 2.1 我国尾矿库防洪标准制定历史

我国尾矿库防洪标准的制定历史大致分为以下几个阶段。

(1)20世纪80年代以前,没有针对尾矿库特点

的专门防洪设计规范,主要是参考水利工程的设计规范或借鉴苏联等国家的经验。

(2)20世纪90年代,由于尾矿库数量急剧增长和早期事故教训,行业制定了我国第一部较为系统的尾矿设施设计标准《选矿厂尾矿设施设计规范》<sup>[3]</sup>。该规范防洪标准各等别均分为初期和中、后期,具体详见表1。

表1 尾矿库防洪标准(ZBJ1—90)

等别	一	二	三	四	五
洪水重现期	初期	100~200	50~100	30~50	20~30
	中、后期	1 000~2 000	500~1 000	200~500	100~200

(3)2000年以后,行业进一步对90版规范进行了修订和完善。2005年国家安全生产监督管理总局发布了首部尾矿库专项安全技术规程《尾矿库安全技术规程》(AQ 2006—2005)<sup>[4]</sup>。2013年6月中华人民共和国住房和城乡建设部发布了国家标准《尾矿设施设计规范》(GB 50863—2013),其中对防

洪标准要求具体详见表2。《尾矿设施设计规范》修改了一等、二等尾矿库分等标准,取消了“初期”防洪标准,提高了五等库(小库)及一等库(大库)防洪标准。而2020年发布的《尾矿库安全规程》(GB 39496—2020)作为尾矿库安全管理最新的强制性规定,在防洪标准分类中沿用了表2中的具体要求。

表2 尾矿库防洪标准(GB 50863—2013)

尾矿库各使用期等别	一	二	三	四	五
洪水重现期(年)	1 000~5 000 或 PMF	500~1 000	200~500	100~200	100

### 2.2 我国尾矿库防洪标准特点

我国尾矿库防洪标准特点主要如下:

(1)与水利行业水库大坝类似,尾矿库防洪标准采用先划分等别,再根据等别选定对应的防洪标准。根据等别划分选定防洪标准思路体现了可靠度思维,是安全与经济发展统筹考虑后的最佳体现。

(2)对于确定等别的尾矿库,各使用期选定防洪标准时有对应的变幅区间。当确定的尾矿库等别的库容或坝高偏于该等下限,尾矿库使用年限较短或失事后对下游不会造成严重危害者可取下限;反之应取上限。

(3)对于高堆坝或下游有重要居民点的,防洪标准可提高一等。尾矿库失事后对下游环境造成极

其严重危害的尾矿库,防洪标准应提高,必要时可按可能最大洪水进行设计。该要求极大的提高了尾矿库防洪安全可靠度。

(4)最新的尾矿库安全规程还特别提出,加高扩容的尾矿库改建、扩建项目,除一等库外,防洪标准应在按表2确定的防洪标准基础上提高一个等别。

### 2.3 与国内外行业防洪标准比较

1)尾矿库防洪标准与国内水利行业土石坝防洪标准比较分析

根据国家《防洪标准》(GB 50201—2014)11.3节要求<sup>[5]</sup>,水库工程土坝、堆石坝防洪标准选用时参见表3。

表3 国家防洪标准(GB 50201—2014)

水工建筑物 级别	防洪标准[重现期(年)]			
	山区、丘陵区		平原区、海滨区	
	设计	校核(土坝、堆石坝)	设计	校核
1	1 000~500	可能最大洪水(PMF)或 10 000~5 000	300~100	2 000~1 000
2	500~100	5 000~2 000	100~50	1 000~300
3	100~50	2 000~1 000	50~20	300~100
4	50~30	1 000~300	20~10	100~50
5	30~20	300~200	10	50~20

根据表3可知,水库工程土石坝对于平原区和滨海区,设计最小防洪标准为10年,设计最大防洪标准为300年;对于山区和丘陵区,设计最小防洪标准为20年,设计最大防洪标准为1000年。该防洪标准的整个取值范围均低于尾矿库防洪标准。对于平原区和滨海区,校核最小防洪标准为20年,校核最大防洪标准为2000年;对于山区和丘陵区的土坝和堆石坝,校核最小防洪标准为200年,校核最大防洪标准为可能最大洪水(PMF)或5000~10000年。考虑PMF后,水库工程校核防洪标准与尾矿库防洪标准的取值范围基本一致。

从以上分析结果看,水利行业设计洪水以“保障工程功能正常发挥”为核心,校核洪水以“防止工程失事导致下游大规模淹没”为目标,兼顾经济损失和人员安全。尾矿库设计洪水以“防止坝体漫顶、溃坝”为核心,重点避免尾矿泄漏引发的环境污染(如重金属污染水体、土壤)和次生灾害(如溃坝冲击下游居民区),安全目标更侧重“环境风险控制”和“人员避险”。

所以现有尾矿库防洪标准与水利行业土石坝防洪标准相比具有较高的标准。

2)我国尾矿库防洪标准与国外尾矿库防洪标准比较分析

本文总结了国外主要国家对尾矿库防洪标准的要求列举如下。

(1)1976年3月美国矿山安全卫生局MSHA制定了《矿山废渣堆及尾矿坝设计准则》,该准则指出:“尾矿库的设计应该采用降雨历时为6h的可能最大暴雨(PMP)来计算……;当调蓄库容能容纳部分或全部设计暴雨(洪水)时,允许降低设计标准”。

(2)前苏联尾矿库选用的洪水重现期:五等库为10年,四等库为20年,三等库为50年,二等库为100年,一等库为1000年。

(3)日本尾矿库选用的洪水重现期为100年。

(4)澳大利亚防洪标准是根据尾矿库等别来确定的<sup>[6]</sup>。

经对比分析,我国尾矿库防洪标准洪水重现期不低于国外尾矿库防洪标准。

### 3 尾矿库使用年限可靠度分析

我国现有尾矿库防洪标准只是针对具体单一尾矿库的防洪标准,未考虑同一地区多等别尾矿库选用不同防洪标准的可靠度。同时,对于尾矿库使用

年限长短确定防洪标准变幅上、下限问题暂未给出具体的确定方法。针对以上问题,本次研究给出尾矿库特定使用年限内选定设计标准洪水的可靠度,为行业人员根据规范选定防洪标准后的尾矿库防洪安全定量评价提供依据。

#### 3.1 尾矿库特定使用年限可靠度定义

尾矿库特定使用年限可靠度是指在尾矿库设定的服务期内按规范要求选定防洪标准后其安全抵御一次设计标准洪水并安全运行的能力。

若尾矿库防洪标准选定为 $T$ 年一遇洪水,则在尾矿库使用年限( $N$ 年)内,发生 $T$ 年一遇洪水的概率,可称为尾矿库选定防洪标准设计所承担的风险<sup>[7]</sup>。为了尽可能降低尾矿库风险,则应尽可能提高尾矿库防洪可靠度<sup>[8]</sup>,并选用较高防洪标准。

#### 3.2 尾矿库特定使用年限可靠度分析

针对尾矿库使用年限的长短,得出尾矿库使用年限可靠度分析公式如下。

(1)洪水 $Q$ 在 $N$ 年至少发生一次的概率为

$$p_N = pq^{N-1}N + p^2q^{N-2}\frac{N(N-1)}{2} + \dots + p^N \quad (1)$$

$$p_N = (p+q)^N - q^N \quad (2)$$

式中, $p$ 为洪水至少发生一次的概率; $q$ 为小于 $T$ 年一遇洪水的概率; $N$ 为尾矿库使用年限。

(2)如设计标准定为 $T$ 年一遇洪水,则在尾矿库工程有效服务期间( $N$ 年),不可能发生 $T$ 年一遇洪水的概率,称为防洪标准可靠度,也就是尾矿库工程防洪安全的保证率 $U$ 。

因 $p+q=1$ ,对(2)式进一步整理后可得:

$$U = \left(-\frac{1}{T}\right)^N \quad (3)$$

式中, $T$ 为根据规范选定的洪水重现年限, $N$ 为尾矿库使用年限。

对公式(3)进一步整理,可得到以下公式:

$$T = \frac{1}{(1-e^{-\frac{\ln U}{N}})} \quad (4)$$

根据公式(4),经计算整理可得出尾矿库给定可靠度时特定使用年限内对应防洪标准选定推荐值,具体详见表4。

根据公式(3),经计算整理可得出尾矿库特定使用年限内对应 $T$ 年一遇洪水的可靠度系数表,具体见表5和图1。

#### 3.3 尾矿库特定使用年限与选定防洪标准

尾矿库使用年限受库容及入库尾矿量影响较

表4 尾矿库给定可靠库时特定使用年限(N,年)内防洪标准选定表

可靠度 U/%	工程寿命 N/年										
	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	19	48	95	143	190	238	285	333	380	428	475
91	22	54	107	160	213	266	319	372	425	478	531
92	24	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
93	28	69	138	207	276	345	414	483	552	621	689
94	33	81	162	243	324	405	485	566	647	728	809
95	39	98	195	293	390	488	585	683	780	878	975
96	49	123	245	368	490	613	735	858	980	1 103	1 225
97	66	165	329	493	657	821	985	1 150	1 314	1 478	1 642
98	99	248	495	743	990	1 238	1 485	1 733	1 980	2 228	2 475
99	199	498	995	1 493	1 990	2 488	2 985	3 483	3 980	4 478	4 975

表5 尾矿库特定年份(N,年)内选定洪水重现期(T,年)后可靠度系数(U,%)表

年限 (N)	设计洪水标准 T(重现年限)				
	100	200	500	1 000	5 000
5	95.10	97.52	99.00	99.50	99.90
6	94.15	97.04	98.81	99.40	99.88
7	93.21	96.55	98.61	99.30	99.86
8	92.27	96.07	98.41	99.20	99.84
9	91.35	95.59	98.21	99.10	99.82
10	90.44	95.11	98.02	99.00	99.80
11	89.53	94.64	97.82	98.91	99.78
12	88.64	94.16	97.63	98.81	99.76
13	87.75	93.69	97.43	98.71	99.74
14	86.87	93.22	97.24	98.61	99.72
15	86.01	92.76	97.04	98.51	99.70
16	85.15	92.29	96.85	98.41	99.68
17	84.29	91.83	96.65	98.31	99.66
18	83.45	91.37	96.46	98.22	99.64
19	82.62	90.92	96.27	98.12	99.62
20	81.79	90.46	96.08	98.02	99.60
25	77.78	88.22	95.12	97.53	99.50
30	73.97	86.04	94.17	97.04	99.40
40	66.90	81.83	92.30	96.08	99.20
50	60.50	77.83	90.47	95.12	99.00

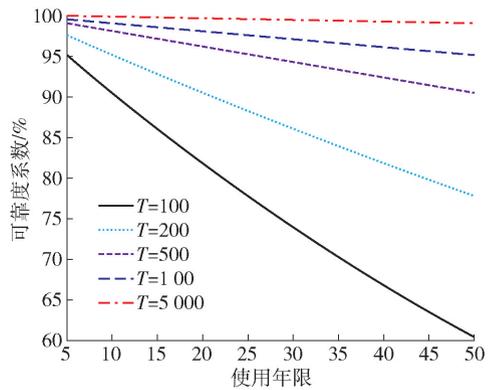


图1 使用年限内选定洪水重现期可靠度系数 U 图

限是否合理进行定量判别,还可利用表5或图1对尾矿库特定使用年限条件下选定洪水重现期后防洪标准可靠度进行查询分析。

1) 规范给定的防洪标准评价分析

暂按工程可靠度不小于95%为设定标准对我国现行《尾矿设施设计规范》(GB 50863—2013)中规定的尾矿库防洪标准(表2)进行分析。

(1)根据工程经验,尾矿库等别为五等时使用年限一般约为5年,经查询表4洪水重现期为98年。规范给定值为100年。

(2)根据工程经验,尾矿库等别为四等时使用年限一般为5~10年,经查询表4洪水重现期应选定为98~195年。规范给定值为100~200年。

(3)根据工程经验,尾矿库等别为三等时使用年限一般为10~25年,经查询表4洪水重现期应选定为195~488年。规范给定值为200~500年。

(4)根据工程经验,尾矿库等别为二等时使用年限一般为25~50年,经查询表4洪水重现期应选

大,尾矿库等别由尾矿库总库容及总坝高共同确定,但对于同等别尾矿库因入库尾矿量差别会造成尾矿库使用年限有较大差别。此时,可利用表4对尾矿库特定使用年限按照规范等别选取防洪标准上、下

定为488~975年。规范给定值为500~1000年。

根据以上分析可知:①对不同等级的尾矿库,我国规范给定的防洪标准均具有较高的可靠度;②其他特定服务年限尾矿库,在按照规范选择防洪标准后,均可利用表4进行查询并对其可靠度进行定量评价。

2)特定服务年限尾矿库选定防洪标准后可靠度分析

可利用表5或图1对尾矿库防洪标准上、下限选定提供定量评价。

以某市某县下属的两座相邻尾矿库选根据规范选取的防洪标准为例:(1)1号尾矿库总坝高190 m,总库容1233万 $m^3$ ,库等别为二等,因年入库尾矿量为116万 $m^3$ ,使用年限约为9年。尾矿库防洪标准按二等库下限选取,终期为500年一遇。(2)2号尾矿库总坝高199 m,总库容7249万 $m^3$ ,库等别为二等。因年入库尾矿量510万 $m^3$ ,使用年限约为19年,尾矿库防洪标准按二等库上限选取,终期为1000年一遇。

虽然以上两座尾矿库均为二等库,但1号尾矿库整体规模要小于2号尾矿库。按照规范要求确定了两库的防洪标准后,进一步利用表5或图1查得:①1号尾矿库使用年限为9年,防洪标准为500年一遇,尾矿库可靠度为98.21%;②2号尾矿库使用年限为19年,防洪标准为1000年一遇,尾矿库可靠度为98.12%。

通过以上两库防洪标准可靠度分析可知:①1号尾矿库防洪标准虽然低于2号尾矿库,但因1号尾矿库使用年限相对较短,其防洪可靠度与2号尾矿库相比均大于98%以上;②两库按规范选定防洪标准后均能够满足安全使用要求。

## 4 工程应用

以河北省承德市实际调查结果为例,综合分析该地区尾矿库特定使用年限选定防洪标准可靠度,以期设计人员及管理人员参考使用。

### 4.1 承德地区尾矿库调查情况

对承德地区尾矿库进行调查分析。调查内容主要包含以下方面:①调查地区主要为承德市各区、县尾矿库基本情况等;②调查主要包括尾矿库设计等级、设计坝高、设计库容、设计服务年限、设计选用防洪标准等。

经调查统计后可知:

(1)承德地区现行正常运行尾矿库合计约293座,其中:五等库10座,四等库127座,三等库102座,二等库54座。

(2)对承德地区尾矿库现行防洪标准选取情况进行总结,主要结果为:采用100年一遇防洪标准尾矿库共有16座,采用200年一遇防洪标准尾矿库共有116座,采用500年一遇防洪标准尾矿库共有117座,采用1000年一遇防洪标准尾矿库共有40座,采用2000年一遇防洪标准尾矿库共有1座,采用5000年一遇防洪标准尾矿库共有3座。

(3)对承德地区尾矿库使用年限进行总结,主要结果为:尾矿库使用年限小于5年的共有38座,尾矿库使用年限为5~10年的共有102座,尾矿库使用年限为10~20年的共有109座,尾矿库使用年限为20~30年的共有27座,尾矿库使用年限为30~50年的共有16座,尾矿库使用年限大于50年的共有1座。

### 4.2 承德地区尾矿库使用年限的防洪标准可靠度分析

对承德地区尾矿库调查数据进行整理分析,并利用公式(3)计算承德地区尾矿库特定使用年限选定洪水重现期后的可靠度。计算结果详见表6。

表6 承德市尾矿库特定使用年限的防洪标准可靠度统计表

	防洪标准可靠度统计表							%
尾矿库可靠度	99	98	97	96	95	90	85~90	<85
占比情况	9	28	23	9	8	19	4	0

根据表6统计结果可知:

(1)承德地区尾矿库特定使用年限的防洪标准可靠度大于95%占比约为77%,可靠度介于90%~95%占比约为19%,可靠度介于85%~90%占比约为4%,可靠度小于85%占比为0%,整体可靠度较高。

(2)可靠度低于95%的尾矿库主要集中在四等和五等尾矿库,且尾矿库使用年限普遍较长(15年以上)。此时,仅需将尾矿库防洪标准取对应等别上限,或者是提高一等进行计算,则经计算可靠度数值可极大提升。

### 4.3 承德地区防洪标准可靠度安全分级

我国安全风险分级标准普遍采用四色标示体系,将风险从高到低分为红、橙、黄、蓝四个等级。本次参照承德地区尾矿库防洪标准可靠度统计结果,将该地区尾矿库安全等级划分为四级,具体详见

表7。

表7 承德市尾矿库安全等级划分表

安全等级	尾矿库特定使用年限下防洪标准可靠度
一级(红色)	$\leq 90\%$
二级(橙色)	90% ~ 95%
三级(黄色)	95% ~ 98%
四级(蓝色)	$\geq 98\%$

由表7可知:①承德地区安全等级大于三级(黄色)的尾矿库占比约为77%;②对于该地区使用年限较长的四等和五等尾矿库,在防洪标准取上限或者是提高一等进行管理后,安全等级大于三级(黄色)的尾矿库占比可达85%。

通过本节分析可知:①承德地区尾矿库特定使用年限的防洪标准可靠度普遍较高;②根据表7安全等级划分标准该地区尾矿库有较高的安全等级。

## 5 结论

本次在对我国尾矿库防洪标准制定历史和特点进行归纳总结的基础上,重点对尾矿库特定使用年限选定防洪标准后的可靠度进行分析研究,得出以下结论:

(1)我国尾矿库防洪标准与国内水利行业或国外尾矿库行业标准相比均较高,对于等别不同的尾矿库,我国规范给定的防洪标准均具有较高的可靠度。

(2)尾矿库使用年限和选取的洪水重现期对尾矿库特定使用年限防洪标准的可靠度数值影响较大。对于特定使用年限的尾矿库,在选定防洪标准上、下限时,可利用表4对其可靠度进行定量判别并

确认选定结果;对于特定使用年限和按规范选定防洪标准后的尾矿库,可利用表5或图1对防洪标准选定合理性进行定量评价。

(3)通过承德地区尾矿库可靠度分析结果及安全等级划分标准可知,该地区尾矿库特定使用年限的防洪标准可靠度普遍较高且具有较高的安全等级。该分析方法可在我国其它地区尾矿库特定服务年限防洪标准可靠度分析时推广使用。

(4)防洪标准的选定对尾矿库安全运行至关重要,对于失事后对下游环境造成极其严重危害的尾矿库或是头顶库,建议通过防洪标准取上限或提高防洪标准等方式,尽可能提高尾矿库的可靠度指标,从而尽可能降低尾矿库溃坝风险。

### [参考文献]

- [1] 沈楼燕,王汉强,关于我国尾矿库设计洪水标准的探讨[J].中国矿业,2010,19(06):85-87
- [2] 王国安.中国设计洪水及标准问题[J].水利学报,1991,(4):68-77
- [3] 中国有色金属工业总公司.选矿厂尾矿设施设计规范:ZBJ1-90[S].北京:中国计划出版社,1991.
- [4] 国家安全生产监督管理总局.尾矿库安全技术规程: AQ 2006-2005[S].北京:煤炭工业出版社,2006.
- [5] 周祥林,杨百银,王正发,等.国内外水库工程防洪标准分析[J].水利发电,2011,37(3):72-74
- [6] 高峰,郑学鑫,宋会彬.国内外尾矿库建设标准的差异探讨[J].有色冶金节能,2021,6(3):11-13
- [7] 王国安,李文家,水文设计成果合理性评价,郑州:黄河水利出版社,2002.12.
- [8] 徐宏达,杜玲英,徐洁.尾矿库安全问题探讨[J].中国矿业,2013,22(4):88-94.