

现批准《尾矿堆积坝岩土工程技术标准》为国家标准，编号为 GB/T50547-2022，自 2022 年 12 月 1 日起实施。原国家标准《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》（GB50547-2010）同时废止。

住房和城乡建设部

2022 年 9 月 8 日

前 言

本标准是根据住房和城乡建设部《关于印发 2019 年工程建设规范和标准编制及相关工作计划的通知》(建标函〔2019〕8 号)的要求,由中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司会同有关单位共同编制完成。

在本标准修订过程中,编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关标准,并在广泛征求意见的基础上,最后经审查定稿。

本标准主要技术内容:总则、术语、基本规定、工程勘察要求、工程地质测绘与调查、勘探与取样、原位测试与室内试验、岩土工程分析、勘察文件编制、巡查与监测、隐患治理等。

本标准修订的主要内容:

1. 增加了尾矿堆积坝勘察类别的划分,分为运行期勘察、扩建和改建勘察、闭库勘察和专项勘察;
2. 增加了工程物探、扁铲侧胀试验等勘察手段和现场编录的具体规定;
3. 增加了渗流计算分析、坝坡稳定性分析、应力变形分析的相关内容和技术要求;
4. 增加了排洪设施监测的相关内容和技术要求;
5. 增加了尾矿库水环境监测的相关内容和技术要求;
6. 删除了赤泥相关内容;
7. 删除了附录 B 尾矿堆积坝工程地质钻探要求,相关内容并入第 6 章勘探与取样;
8. 删除了附录 C 孔隙水压力计埋设方法。

本标准由住房和城乡建设部负责管理。

本标准起草单位:中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司(地址:陕西省西安市西影路 46 号,邮政编码:710054)

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司

中冶集团武汉勘察研究院有限公司

中冶沈勘工程技术有限公司

中冶冶金勘察设计研究院有限责任公司

中国有色金属长沙勘察设计研究院有限公司

西安理工大学

中国恩菲工程技术有限公司

金堆城钼业股份有限公司

中冶成都勘察研究总院有限公司

中国瑞林工程技术股份有限公司

本标准主要起草人员:董忠级 张吉宏 刘文连 杨书涛

党发宁 郑学鑫 曹凌云 徐牧明

王家伟 郭振世 颜铎铃 赵军营

李耀家 辛利武 李宏儒 眭素刚

湛 伟 牛军贤 潘志军 毛新福

徐 政 李福申 沈楼燕 彭 涛

岑 建

本标准主要审查人员:徐张建 武 威 刘厚健 赵法锁

聂庆科 刘云祯 李明阳 杨春福

辛鸿博 温彦锋 于 泽 丁学锋

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	基本规定	(3)
4	工程勘察要求	(6)
4.1	一般规定	(6)
4.2	运行期勘察	(6)
4.3	扩建和改建勘察	(10)
4.4	闭库勘察	(10)
4.5	尾矿回采专项勘察	(11)
4.6	在线监测专项勘察	(12)
4.7	隐患治理专项勘察	(12)
4.8	原位测试与试验工作	(13)
5	工程地质测绘与调查	(15)
6	勘探与取样	(17)
6.1	一般规定	(17)
6.2	钻探	(17)
6.3	井探和槽探	(18)
6.4	取样	(18)
6.5	现场编录	(19)
6.6	工程物探	(19)
7	原位测试与室内试验	(21)
7.1	一般规定	(21)
7.2	静力触探试验	(21)
7.3	圆锥动力触探试验	(22)

7.4	标准贯入试验	(22)
7.5	十字板剪切试验	(23)
7.6	原位直剪试验	(23)
7.7	扁铲侧胀试验	(24)
7.8	波速测试	(24)
7.9	抽水试验	(25)
7.10	注水试验	(26)
7.11	土工试验	(26)
7.12	动力试验	(28)
8	岩土工程分析	(30)
8.1	一般规定	(30)
8.2	渗流计算分析	(31)
8.3	坝坡稳定性分析	(32)
8.4	应力变形分析	(33)
9	勘察文件编制	(35)
10	巡查与监测	(37)
10.1	一般规定	(37)
10.2	巡查	(37)
10.3	尾矿堆积坝与库区监测	(38)
10.4	排洪设施监测	(39)
10.5	尾矿库水环境监测	(39)
11	隐患治理	(41)
附录 A	尾矿堆积坝岩土工程勘察任务书	(44)
	本标准用词说明	(46)
	引用标准名录	(47)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirements	(3)
4	Geotechnical investigation of tailings embankment	(6)
4.1	General requirements	(6)
4.2	Geotechnical investigation during the operation period	(6)
4.3	Geotechnical investigation before reconstruction and expansion	(10)
4.4	Geotechnical investigation before closure	(10)
4.5	Specialized geotechnical investigation of tailings recovery	(11)
4.6	Specialized geotechnical investigation of online monitoring system	(12)
4.7	Specialized geotechnical investigation of hidden hazards resolving	(12)
4.8	Arrangement of in-situ tests and laboratory tests	(13)
5	Engineering geological mapping and survey	(15)
6	Exploration and sampling	(17)
6.1	General requirements	(17)
6.2	Drilling	(17)
6.3	Costean and trench exploration	(18)
6.4	Sampling	(18)
6.5	Field description	(19)
6.6	Engineering geophysical exploration	(19)
7	In-situ tests and laboratory tests	(21)
7.1	General requirements	(21)

7.2	Cone penetration test	(21)
7.3	Dynamic penetration test	(22)
7.4	Standard penetration test	(22)
7.5	Vane shear test	(23)
7.6	In-situ shear test	(23)
7.7	Dilatometer test	(24)
7.8	Wave velocity test	(24)
7.9	Pumping test	(25)
7.10	Water injection test	(26)
7.11	Soil laboratory test	(26)
7.12	Dynamic test	(28)
8	Geotechnical engineering analysis	(30)
8.1	General requirements	(30)
8.2	Seepage calculation	(31)
8.3	Stability analysis of embankment	(32)
8.4	Analysis of stress and deformation	(33)
9	Documentation of geotechnical engineering report	(35)
10	Inspection and monitoring	(37)
10.1	General requirements	(37)
10.2	Inspection	(37)
10.3	Monitoring of embankment and pond area	(38)
10.4	Monitoring of flood discharge facilities	(39)
10.5	Water environmental monitoring of tailings pond	(39)
11	Hidden hazards resolving	(41)
Appendix A	The task of geotechnical investigation for tailings embankment	(44)
	Explanation of wording in this standard	(46)
	List of quoted standards	(47)

1 总 则

1.0.1 为规范尾矿堆积坝岩土工程技术工作,做到技术先进,确保质量,保护环境,保障人民生命财产安全,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于尾矿堆积坝的勘察、评价、监测和治理。

1.0.3 尾矿堆积坝的运行、扩建和改建、闭库和回采应进行岩土工程勘察。

1.0.4 尾矿堆积坝的勘察、评价、监测和治理除应符合本标准的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 尾矿 tailings

选矿过程中产生的可用土的特征进行描述的废弃产物。

2.0.2 尾矿库 tailings pond

用于贮存金属、非金属矿山进行矿石选别后排出尾矿的场所。

2.0.3 尾矿坝 tailings dam

拦挡尾矿和水的尾矿库外围构筑物。

2.0.4 初期坝 starter dam

用土、石材料筑成,作为尾矿堆积坝的排渗或支撑体的坝。

2.0.5 尾矿堆积坝 tailings embankment

尾矿生产过程中在初期坝坝顶以上用尾矿堆筑而成的坝。

2.0.6 全库容 whole storage capacity

坝顶标高平面与尾矿堆积体外坡面以下、库底面以上所围成空间的容积,不含非尾矿构筑的坝体体积。

2.0.7 总库容 total storage capacity

设计最终状态时的全库容。

2.0.8 沉积滩 deposited beach

水力输送排放尾矿冲积形成的沉积体表层,按库内集水区水面划分为水上和水下两部分。

2.0.9 滩顶 beach crest

沉积滩面与坝体外坡面的交线。

2.0.10 干滩长度 beach width

库内水边线至滩顶的水平距离。

2.0.11 浸润线 phreatic line

坝体中渗流水的自由表面的位置,在横剖面上为一条曲线。

3 基本规定

3.0.1 尾矿库等别应根据尾矿库的总库容及总坝高按表 3.0.1-1 确定,尾矿库各使用期的设计等别应根据使用期的全库容和坝高按表 3.0.1-1 确定,尾矿库副坝应根据坝高及对应的库容按照表 3.0.1-1 确定等别。尾矿堆积坝的级别应根据尾矿库等别按表 3.0.1-2 确定。

表 3.0.1-1 尾矿库等别

等别	全库容 $V(\times 10^6 \text{ m}^3)$	坝高 $H(\text{m})$
一	$V \geq 500$	$H \geq 200$
二	$100 \leq V < 500$	$100 \leq H < 200$
三	$10 \leq V < 100$	$60 \leq H < 100$
四	$1 \leq V < 10$	$30 \leq H < 60$
五	$V < 1$	$H < 30$

注:1 总库容与总坝高指标分属不同等别时,应按高的等别确定;等别相差大于一等时,应按高等别降低一等确定。

2 干式尾矿库的总坝高为尾矿坝顶面最高点与坝脚最低点的高差,当尾矿坝坝脚有初期坝或拦砂坝作为支撑体时,总坝高为尾矿坝顶面最高点至初期坝坝顶轴线处或拦砂坝坝顶轴线处原地面的高差;采用上游式筑坝的湿式尾矿库,总坝高为尾矿堆积坝坝顶与初期坝轴线处原地面的高差;采用中线式和下游式筑坝的湿式尾矿库,总坝高为尾矿堆积坝坝顶与坝顶轴线处原地面的高差。

3 除一等库外,当尾矿库下游有城镇、工矿企业、铁路等级为 I 级的铁路或高速公路等时,经论证后,等别应提高一等。

表 3.0.1-2 尾矿堆积坝级别

尾矿库等别	一	二	三	四	五
尾矿堆积坝级别	I	II	III	IV	V

3.0.2 尾矿堆积坝的勘察等级应根据尾矿堆积坝级别确定,并应符合下列规定:

1 I级至Ⅲ级尾矿堆积坝的勘察等级应定为甲级;

2 IV级和V级尾矿堆积坝,场地为复杂场地且下游1km范围内有居民区、工矿企业、集贸市场、休闲健身娱乐广场、铁路、公路等重要设施时,勘察等级应定为甲级;其余IV级和V级尾矿堆积坝的勘察等级应定为乙级;

3 专项勘察应根据实际情况确定勘察等级;

4 场地的复杂程度划分应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定。

3.0.3 尾矿堆积坝勘察类别应分为运行期勘察、扩建和改建勘察、闭库勘察和专项勘察,并应符合下列规定:

1 三等及三等以下的尾矿库堆至 $1/2 \sim 2/3$ 总坝高时、二等尾矿库堆至 $1/3 \sim 1/2$ 和 $1/2 \sim 2/3$ 总坝高时、一等尾矿库堆至 $1/3 \sim 1/2$ 和 $1/2 \sim 2/3$ 总坝高时、运行达到一等等别及一等等别之后坝高每增高20m时,应进行运行期勘察;

2 尾矿库在扩建、改建前应进行扩建和改建勘察;

3 对达到设计最终堆积高度或未达到设计最终堆积高度而提前停止使用的尾矿库,在闭库前应进行闭库勘察;

4 对需要进行尾矿回采的尾矿堆积坝应进行回采专项勘察;对没有在线监测系统的尾矿堆积坝或需对已有在线监测系统进行调整时,应进行在线监测专项勘察;尾矿堆积坝在运行过程中有异常情况且危及尾矿库安全时,应进行隐患治理专项勘察。

3.0.4 尾矿堆积坝的岩土工程分析评价应包括定性分析和定量分析,定量分析应在定性分析的基础上进行。

3.0.5 尾矿根据粒度成分和塑性指数可划分为砂性尾矿、粉性尾矿和黏性尾矿。尾矿的分类和定名应符合表3.0.5的规定。

表 3.0.5 尾矿的分类和定名

类别	名称	分类标准
砂性尾矿	尾砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒质量占总质量的 25%~50%
	尾粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
	尾中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
	尾细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量的 85%
	尾粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
粉性尾矿	尾粉土	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%，且塑性指数不大于 10
黏性尾矿	尾粉质黏土	塑性指数大于 10，且小于或等于 17
	尾黏土	塑性指数大于 17

注：1 定名时应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

2 塑性指数应由相应于 76g 圆锥仪沉入土中深度为 10mm 时测定的液限计算而得。

4 工程勘察要求

4.1 一般规定

- 4.1.1 尾矿堆积坝岩土工程勘察应依据勘察任务书进行,尾矿堆积坝岩土工程勘察任务书应符合本标准附录 A 的规定。
- 4.1.2 尾矿堆积坝勘察工作前应编制勘察纲要,勘察实施过程中,应根据场地地质条件的变化对勘察纲要进行调整。
- 4.1.3 尾矿堆积坝勘察宜采用工程地质测绘和调查、工程物探、钻探、井探、槽探、原位测试和室内试验等方法进行。
- 4.1.4 原位测试与室内试验的项目应根据设计要求、工程特点和尾矿类别确定。
- 4.1.5 不良地质作用及特殊性岩土勘察工作应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。
- 4.1.6 除长期观测孔外,坝体上的钻孔、探井和探槽使用完毕后应回填封堵。
- 4.1.7 尾矿、尾矿库水含有害物质时,应对现场作业人员和设备仪器采取防护措施,并应符合现行国家标准《环境管理体系 要求及使用指南》GB/T 24001 的有关规定。

4.2 运行期勘察

- 4.2.1 尾矿堆积坝运行期勘察应包括下列内容,并应符合下列规定:
 - 1 应查明初期坝及尾矿堆积坝的组成、堆积厚度、密实程度、堆积规律及分布特征;
 - 2 应查明尾矿堆积体的物理力学性质、化学性质,总坝高应力状态下的强度指标及变形特性,并应分析尾矿的固结

规律；

- 3 应查明堆积体内浸润线位置；
- 4 应提供尾矿的渗透系数；
- 5 需进行动力稳定性分析时,应提供动力稳定性分析所需的参数；
- 6 应评价尾矿堆积坝在地震作用下的液化可能性；
- 7 应评价坝体在不同工况下的稳定性及堆积至总坝高的适宜性。

4.2.2 尾矿堆积坝运行期勘察前应收集下列资料：

- 1 尾矿的原矿类别、选矿方法与工艺、尾矿的矿物成分和化学成分、尾矿的颗粒组成等；
- 2 初期坝、尾矿堆积坝的结构形式,反滤和排渗设施的设置及运行情况；
- 3 尾矿库的设计参数及使用后尾矿排放堆积方式、逐年堆积高度和运行情况、沉积滩的分布及变化情况；
- 4 尾矿堆积坝及排洪设施分布情况；
- 5 尾矿堆积坝所在地区的区域地质、水文地质和地震资料,水文气象资料,前期勘察资料；
- 6 尾矿堆积坝的变形、浸润线、排渗及排洪的监测设施的设置情况及观测数据；
- 7 尾矿堆积坝的历史隐患、险情及治理情况；
- 8 区域生态环境资料；
- 9 类似尾矿堆积坝的工程经验资料。

4.2.3 勘探线应在工程地质测绘和调查的基础上,布置在对坝体稳定性评价有代表性的地段,勘探线方向宜垂直于坝轴线。每个尾矿堆积坝在预估稳定性较差的地段布置的主要勘探线不应少于1条,下游端达到坝趾下游不宜小于30m,上游端宜达到自坝顶起向库内方向拟评价坝高2倍~3倍的距离,一般勘探线的长度可按实际条件控制。

4.2.4 湿式堆存的Ⅱ级及Ⅱ级以上尾矿堆积坝的主要勘探线宜进入库区水位线内。

4.2.5 尾矿堆积坝运行期勘察垂直主坝轴线的勘探线数量不应少于3条,其中1条应沿沟谷谷底且垂直主坝轴线布置,其余勘探线尚应根据尾矿堆积情况,在最不利于主坝稳定的剖面布置。

4.2.6 尾矿堆积坝的勘探线、勘探点间距及数量宜符合表4.2.6的规定,控制性勘探孔数量不应少于勘探孔总数的1/2,且每条勘探线上不应少于3个。

表 4.2.6 勘探线、勘探点间距及数量

尾矿堆积坝级别	勘探线间距(m)		勘探点间距(m)	每条勘探线上勘探点数量(个)
	粉性、黏性尾矿	砂性尾矿		
I~Ⅲ	≤200	≤250	30~60	≥6
Ⅳ~Ⅴ	≤100	≤150	20~50	≥5

注:1 拦截沟谷建库的尾矿堆积坝,在堆积过程中沿支沟方向形成的副坝应布置勘探线;围地筑坝建库的尾矿堆积坝,每个坝坡应布置勘探线。

2 勘探点间距在主要勘探线上宜取小值,在一般勘探线上的坝体地段宜取小值。

3 存在软弱夹层、可能产生滑动的夹层时,应增加勘探点。

4.2.7 勘探孔深度应符合下列规定:

1 勘探孔深度进入天然地面以下不应小于3.0m,控制性勘探孔深度应符合表4.2.7的规定;当坝体和库区内设有防渗层时,勘探孔深度不应穿透防渗层,宜采用工程物探方法或收集已有资料查明防渗层以下地层分布特征,深度应符合表4.2.7规定;

2 当需进行动力稳定性分析时,勘探孔深度除应符合表4.2.7的规定外,每条主要勘探线上不应少于3个孔的深度进入基岩或剪切波速大于500m/s的稳定土层且不应小于3.0m,当地内已有满足要求的资料时,可选择利用。

表 4.2.7 控制性勘探孔进入天然地面以下深度 (m)

尾矿堆积坝级别	下游坝坡	沉积滩
I ~ III	15.0~20.0	5.0~8.0
IV ~ V	10.0~15.0	3.0~5.0

注:1 表中所列勘探孔深度以下存在软弱地层时,勘探孔深度应穿过软弱地层。

2 在勘探深度内遇见稳定基岩或剪切波速大于 500m/s 的稳定土层时,进入中风化基岩或剪切波速大于 500m/s 的稳定土层深度不应小于 3.0m。

3 场地内存在岩溶等不良地质作用时,勘探点深度应满足场地稳定性评价要求。

4.2.8 在勘探点应进行地下水位测量,并应记录初见水位和稳定水位。

4.2.9 岩土试样取样应符合下列规定:

1 钻孔和探井应取样,不扰动试样取样的垂直间距宜为 1.0m~3.0m;

2 对以粉性和黏性为主的尾矿,应使用薄壁取土器或双管单动取土器进行不扰动试样取样;对以砂性为主的尾矿,应使用取砂器进行不扰动试样取样;扰动试样宜在贯入器中进行取样;

3 软黏性尾矿和软土宜使用薄壁取土器静压法进行不扰动试样取样;胶结的尾矿和坚硬的黏性土,宜使用三重管回转取土器进行不扰动试样取样;

4 每个主要尾矿层和土层的不扰动试样数量应根据试验项目和统计分析要求确定,并不应少于 6 个;

5 对可能产生滑动的夹层及软弱夹层,应进行不扰动试样取样或进行原位测试;

6 当尾矿层和岩土层不均匀时,应增加取样数量;

7 每次标准贯入试验应在贯入器中进行扰动试样取样;

8 尾矿堆积坝场地应进行水、土试样取样,并应进行水、土对建筑材料的腐蚀性试验,水、土试样数量分别不宜少于 3 件。

4.2.10 尾矿堆积坝运行期勘察的资料整理,应符合本标准第 9

章的有关规定,并应分析评价现状坝体的稳定性和预测达到总坝高时坝体的稳定性。

4.3 扩建和改建勘察

4.3.1 尾矿堆积坝扩建和改建勘察应符合本标准第 4.2.1 条~第 4.2.9 条的规定,并应符合下列规定:

- 1 应收集尾矿库扩建和改建的背景资料;
- 2 应收集尾矿库建库和运行期间的地质及水文资料、运行期隐患及治理资料;
- 3 勘探工作量应满足扩建和改建工程分析评价的要求;
- 4 应根据扩建和改建工程的特点提出工程措施建议。

4.3.2 尾矿堆积坝扩建和改建勘察的资料整理,应符合本标准第 9 章的有关规定,并应符合下列规定:

- 1 应分析评价现状坝体的稳定性;
- 2 应根据扩建和改建尾矿库中尾矿的性质、工艺、放矿方式,模拟尾矿堆积坝堆积规律、浸润线变化规律及尾矿性质,为扩建和改建提供岩土设计参数;
- 3 应分析扩建和改建的可行性,并提出工程措施建议;
- 4 应预测达到总坝高时坝体的稳定性及扩建和改建后坝体的稳定性。

4.4 闭库勘察

4.4.1 闭库勘察应符合本标准第 4.2.1 条~第 4.2.9 条的规定,并应符合下列规定:

- 1 应收集尾矿库建库和运行期间的地质及水文资料;
- 2 应收集初期坝、尾矿堆积坝、排洪系统、监测系统及尾矿库隐患治理资料;
- 3 应调查评价影响尾矿库安全的不良地质作用,对存在的隐患应进行分析并提出治理措施建议;

- 4 应对闭库尾矿库提出监测建议。
- 4.4.2 对当地植被状况及类似已复垦的尾矿库的植被覆盖情况应进行调查,并应对复垦材料和植被提出建议。
- 4.4.3 尾矿堆积坝闭库勘察的资料整理,应符合本标准第 9 章的有关规定,并应符合下列规定:
- 1 应分析评价周边影响尾矿库安全的不良地质作用,并提出治理措施建议;
 - 2 应分析评价闭库尾矿库坝体的稳定性,并提出治理措施建议;
 - 3 应提出尾矿库复垦措施及监测建议。

4.5 尾矿回采专项勘察

- 4.5.1 尾矿回采专项勘察应根据尾矿回采工艺,在收集分析相关资料的基础上,进行钻探、工程物探、原位测试等工作。
- 4.5.2 尾矿回采专项勘察的资料收集应包括下列内容:
- 1 尾矿库各时期的勘察资料及专项勘察资料;
 - 2 尾矿库原设计资料及拟采用的回采工艺;
 - 3 运行期尾矿堆积坝监测资料或闭库后尾矿库管理及监测资料;
 - 4 尾矿库治理资料;
 - 5 库区内水文地质条件;
 - 6 区域气象、水文资料。
- 4.5.3 尾矿回采专项勘察应查明地层结构、地层岩性及尾矿的物理力学性质。当采用水采工艺时,还应查明尾矿颗粒组成及胶结程度、固结程度,库内水的深度分布特征、尾矿的渗透特性;当采用干采工艺时,还应查明各层尾矿的承载力及抗剪强度指标。
- 4.5.4 尾矿回采专项勘察的资料整理,应符合本标准第 9 章的有关规定,应提供库内水的等深度曲线图,并应根据回采工艺设计的要求,分析回采边坡的稳定性。

4.6 在线监测专项勘察

4.6.1 在线监测专项勘察应以资料收集、环境调查、工程地质测绘为主,可辅以钻探及工程物探工作。

4.6.2 在线监测专项勘察的资料收集应包括下列内容:

- 1 尾矿库各时期的勘察资料及专项勘察资料;
- 2 尾矿堆积坝地层分布及堆积规律;
- 3 尾矿堆积坝水平位移、沉降、浸润线等监测数据;
- 4 地下水类型、水位及水文地质参数;
- 5 区域气象、水文资料;
- 6 尾矿堆积坝内地下水的补给及排泄条件。

4.6.3 采用钻探和工程物探工作时,应查明地层结构、地层岩性、软弱层及坝体稳定地层,应分析确定潜在滑动面及地质条件变化情况。

4.6.4 在冻土区,应查明冻土的类型、空间分布特征、季节融化深度与多年冻土层厚度、土的冻胀和多年冻土融沉性等级。

4.6.5 在监控管理站、监控中心及室外监测设备安装地段,应进行电阻率测试。

4.6.6 尾矿堆积坝在线监测专项勘察的资料整理,除应符合本标准第9章的有关规定外,尚应满足在线监测工作布置的要求,并提出监测内容和监测方法建议。

4.7 隐患治理专项勘察

4.7.1 隐患治理专项勘察应进行现场踏勘、调查隐患形成过程,应初步分析隐患类型、形成过程、产生原因、发展趋势及造成后果等,并应编制隐患治理勘察纲要。

4.7.2 勘察工作应采用收集资料、现场调查、钻探、工程物探等方法查明隐患范围,应分析隐患原因,并应评价潜在的影响。

4.7.3 尾矿堆积坝隐患治理专项勘察的资料整理,应符合本标准

第9章的有关规定,并应符合下列规定:

- 1 应分析隐患产生的原因、发展趋势及危害程度;
- 2 应提出隐患治理措施建议。

4.8 原位测试与试验工作

4.8.1 静力触探试验工作应符合下列规定:

- 1 每条主要勘探线上静力触探试验孔不应少于钻孔数量的1/2;每条一般勘探线上静力触探试验孔数量不应少于2个;静力触探试验孔与钻孔间距不宜大于1.5m;
- 2 静力触探试验孔深度宜穿过潜在滑动面;
- 3 静力触探试验应在钻探和十字板剪切试验前进行。

4.8.2 圆锥动力触探试验工作应符合下列规定:

- 1 对碎石类土及极软岩,可进行重型或超重型圆锥动力触探试验;
- 2 当采用动力触探为主要勘察手段时,每条勘探线上的试验孔不宜少于3个。

4.8.3 标准贯入试验工作应符合下列规定:

- 1 标准贯入试验孔数量不应少于钻孔数量的1/2;
- 2 标准贯入试验点的垂直间距宜为1.0m~1.5m。

4.8.4 十字板剪切试验工作应符合下列规定:

- 1 对具有饱和软黏土特征的尾黏土或尾粉质黏土,宜进行十字板剪切试验;
- 2 十字板剪切试验测点的竖向间距宜为1.0m。

4.8.5 原位直剪试验工作应符合下列规定:

- 1 勘察等级为甲级的尾矿堆积坝,应进行原位直剪试验;
- 2 试验场地应根据尾矿的沉积特征,布置在尾矿堆积坝外坡面或干滩面上具有代表性的地段;
- 3 每个代表性地段上尾矿的原位直剪试验数量不宜少于3组。

4.8.6 扁铲侧胀试验工作应符合下列规定：

1 对具有饱和软黏土特征的尾黏土或尾粉质黏土，宜进行扁铲侧胀试验；

2 扁铲侧胀试验测点的竖向间距宜为 0.5m。

4.8.7 波速测试工作应符合下列规定：

1 波速测试应在钻孔中进行，波速测试孔数量不应少于 3 个；

2 波速测试宜在全孔段进行，测点间距不应大于 1.5m。

4.8.8 尾矿堆积坝勘察宜进行抽水试验或注水试验测定尾矿的渗透系数，并应符合下列规定：

1 在沉积滩上宜进行不少于 3 组的抽水试验或 3 处的注水试验；

2 在浸润线以下砂性和粉性为主的尾矿层中，宜采用抽水试验；

3 注水试验可在探井或钻孔中进行。

4.8.9 尾矿应进行一般物理力学性质试验，应按工程要求进行下列试验项目，并应符合下列规定：

1 需要进行尾矿堆积坝抗滑稳定性分析时，应根据计算方法和土的类别按本标准表 8.1.5 的规定进行三轴压缩试验和直剪试验；

2 需要进行尾矿坝的沉降变形计算时，应对坝体和坝基土层进行压缩-固结试验；

3 对于Ⅱ级及Ⅱ级以上尾矿堆积坝或地震设计烈度为 7 度及 7 度以上地区的Ⅲ级尾矿堆积坝，应对尾矿和坝基土进行动力性质试验；

4 各类尾矿应进行垂直和水平方向的渗透试验。

4.8.10 进行稳定性分析时，宜进行不扰动尾矿试样取样，并应在现场进行含水率及密度试验。

5 工程地质测绘与调查

5.0.1 工程地质测绘与调查应搜集尾矿库前期资料,并应进行分析研究,资料收集应包括下列内容:

- 1 区域性的地质、地震、地质灾害、水文、气象、植被等资料;
- 2 尾矿库前期的岩土工程勘察资料、设计资料、安全评价资料等;
- 3 初期坝及尾矿堆积坝已有排渗体及加固设施的设计与施工及运行情况;
- 4 尾矿库排洪系统的设计、施工及运行情况;
- 5 尾矿堆积坝变形监测及浸润线监测资料;
- 6 尾矿库运行异常情况,发生原因、处理措施和治理效果。

5.0.2 工程地质测绘与调查的范围应包括尾矿堆积坝及有影响的区域;当地震基本烈度大于或等于Ⅷ度及地质条件复杂时,宜扩大工程地质测绘和调查的范围;测绘的比例尺和精度应符合下列规定:

1 尾矿库工程地质测绘比例尺宜采用 1:500~1:2000,库外有影响的区域比例尺宜为 1:2000~1:5000;当地质条件复杂或需要解决某一影响坝体稳定性的问题时,宜放大比例尺;

2 对尾矿堆积坝有影响的坝体变形、裂缝、渗漏、流土、管涌等隐患及滑坡、断层、软弱夹层、洞穴等地质单元体,宜放大比例尺;

3 地质界线和地质观测点的测绘精度在相应的比例尺图上的误差不应大于 3mm。

5.0.3 工程地质测绘与调查应符合下列规定:

- 1 应查明场区地形、地貌特征及其与地层、构造、不良地质作

用的关系,划分地貌单元;

2 应查明地下水的类型、补给来源、径流及排泄条件,井泉位置,含水层的岩性特征、埋藏深度、水位变化、水质情况及其与地表水体的关系;

3 应查明尾矿堆积坝是否存在变形、裂缝、渗漏、流土、管涌等现象;

4 应调查尾矿堆积坝是否发生过滑坡、坝面塌陷、坝面沼泽化等隐患及治理措施;

5 应调查排洪系统的运行情况;

6 应调查库区流域发生滑坡、泥石流等地质灾害的可能性,评估对库区的影响;

7 应调查人类活动对场地稳定性和环境的影响。

5.0.4 地质观测点的布置、密度和定位应符合下列规定:

1 地质观测点宜按网状布置,应布置在具有代表性的天然或已有的人工露头、地层界线、地下水露头、不良地质作用、特殊岩土界限等处,对尾矿堆积坝稳定性有影响的地质单元体的点和边界应布置地质观测点;

2 地质观测点的密度应根据场地地质条件的复杂程度确定,在测绘比例尺图上的间距宜为 20mm~50mm;

3 地质观测点宜采用仪器法或半仪器法定位。

5.0.5 在尾矿库区、高风险地质灾害隐患点宜采用遥感技术进行工程地质测绘;利用遥感影像解译资料时,现场检验地质观测点数不宜少于工程地质测绘点数的 10%。

5.0.6 工程地质测绘与调查成果宜包括文字说明、图表、照片及视频。

6 勘探与取样

6.1 一般规定

6.1.1 勘探孔应满足取土试样、水试样及孔内原位测试的要求，并应对岩芯进行鉴别和编录。

6.1.2 钻探过程中，不应防渗层、反滤层、排水棱体、排渗褥垫、水平排渗管沟、垂直排渗井等设施 and 自然环境造成破坏。

6.1.3 尾矿和土样质量等级的划分标准、取样工具或方法的选用应符合国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 的有关规定。

6.1.4 勘探、取样、原位测试作业时应采取保证施工安全的措施，并应符合现行国家标准《岩土工程勘察安全标准》GB/T 50585 的有关规定。

6.2 钻探

6.2.1 钻探方法应根据尾矿的分类和特点进行选用。

6.2.2 钻探施工前，应根据钻探技术要求、场地地层岩性分布情况和现场施工条件等，编制钻探施工方案。

6.2.3 在尾矿和土层中回次进尺不宜大于 1.0m，在岩体中回次进尺不宜大于 1.5m，在软弱层地段回次进尺不宜大于 0.5m。对坝体沉陷与变形部位、滑动面、渗漏带应连续取芯，岩芯采取率不应小于 85%，对破碎带应连续取芯，岩芯采取率不应小于 65%。

6.2.4 水上钻探时，应根据现场地形、水情和现有水上设备能力，制定专门施工措施。

6.2.5 钻探口径、钻具规格及钻探操作方法，应符合现行行业标

准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 的有关规定。

6.3 井探和槽探

6.3.1 井探和槽探的深度、长度、断面尺寸应根据勘探任务书要求确定,并应符合下列规定:

1 探井深度不应超过地下水位,并应采取井壁支护措施,井内应采取通风、照明措施;

2 探井断面可采用圆形或矩形,圆形探井直径不宜小于0.8m,矩形探井不宜小于1.0m×1.2m;根据土质情况需要放坡或分级开挖时,井口宜加大;

3 探槽深度不宜大于3.0m,并应采取支护措施。

6.3.2 探井的井口、探洞的洞口宜选择在坚固且稳定的位置,作业时,井口不应少于2名操作人员。

6.4 取 样

6.4.1 在钻孔中进行Ⅰ级、Ⅱ级试样取样时,应符合下列规定:

1 采用套管护壁时,取样位置应低于套管底部3倍孔径的距离;

2 放置取土器前应清孔,孔底残留的浮土厚度不得大于取土器上端废土段长度;

3 取土器应缓慢匀速下放,不得冲击孔底;

4 不得使用刃口卷折、内壁锈蚀或活塞不灵的取土器;

5 取土器提出地面后,应使用专用工具取出土试样,并应密封存放。

6.4.2 在探井、探槽中进行不扰动土试样取样时,应在井壁或槽壁150mm外人工刻取Ⅰ级土试样。

6.4.3 试样应标识,标识内容应包括工程名称、勘探点及试样编号、取样深度、试样等级、试样方向、试样目测定名、取样日期和取样人等内容。

6.5 现场编录

- 6.5.1 野外记录应按回次逐次编录,不得事后追记或涂改,记录人应签名。
- 6.5.2 钻进过程中应量测各项深度,允许累计误差应为 $\pm 50\text{mm}$ 。
- 6.5.3 尾矿的岩性描述应符合现行行业标准《岩土工程勘察现场描述规程》YS/T 5205的有关规定。
- 6.5.4 对于尾矿层中厚度大于或等于300mm的软弱夹层,应单独描述。
- 6.5.5 钻孔应根据回次分段依次摆放岩芯,并应拍摄岩芯照片、检查和核对原始钻探记录。
- 6.5.6 对探井、探槽应进行文字描述记录,应以剖面图、展示图反映井壁、槽壁和底部的岩性、地层分界、构造特征、取样和原位测试位置,并宜辅以各部位的彩色照片。
- 6.5.7 对工程成果有数字化交付要求的工程,应采用数字化记录形式。

6.6 工程物探

- 6.6.1 尾矿堆积坝岩土工程勘察可采用工程物探方法探查下列内容,并应符合下列规定:
- 1 应探查尾矿堆积坝中粗细尾矿分层规律和密实程度;
 - 2 应探查原始地形界面,初期坝堆填的密实程度;
 - 3 应探查初期坝和尾矿堆积坝下的软弱地层,以及堆积形成软弱夹层的厚度与分布;
 - 4 应探查基岩面埋深、隐伏地质构造和岩溶分布;
 - 5 应探测地下水的埋深、尾矿库坝体浸润线的变化情况;
 - 6 应探测坝体塌陷、管涌、渗漏等地质隐患的位置和范围;
 - 7 应测试尾矿纵波与横波波速、动弹性模量与动剪切模量、

卓越周期等。

6.6.2 工程物探方法的选用应符合下列条件：

- 1 探测对象与相邻介质之间应存在可量测的物性差异；
- 2 探测对象的信号应具有可区分的信噪比；
- 3 选择的方法应能适应地形条件。

6.6.3 工程物探方法的选用应满足表 6.6.3 条的规定，并宜通过物探方法确定工程物探技术参数。

表 6.6.3 常用工程物探方法

物探方法		尾矿 分层	密实 程度	原始 地形 界面	软弱 夹层	基岩 埋深	基岩 风化 程度	浸润线	坝体 塌陷 范围	说明
地震 勘探	天然源 面波法	○	○	○	○	○	○	/	○	地微 动勘探
	人工源 面波法	○	○	○	○	○	○	/	○	用于深 度 20m 内勘探
	折射法	/	/	△	△	○	/	/	△	
	反射法	/	/	○	○	○	/	/	△	
电法 勘探	电剖面法	/	/	△	/	△	/	△	△	
	电测深法	/	/	△	/	△	/	△	△	

注：○表示适用，△表示较适用，/表示不适用。

6.6.4 工程物探成果应结合钻探或其他勘探手段做出综合解释。

6.6.5 工程物探成果报告内容应包括地球物理条件、方法选择、仪器使用、技术措施选取、数据采集及处理、成果分析解释、工程物探工作质量、结论和相应的图表。

7 原位测试与室内试验

7.1 一般规定

7.1.1 原位测试与室内试验的试验项目、试验方法、试验条件,应根据勘察技术要求和尾矿特征确定。

7.1.2 尾矿的一般物理力学性质试验应在工程现场进行,尾矿样品数量应满足试验要求。

7.1.3 室内试验的尾矿试样宜采用天然结构的试样,并应进行描述;采用扰动样制备时,应控制含水率和密度。

7.1.4 原位测试和室内试验的仪器设备应进行校检。

7.1.5 应用原位测试成果时,应注明测试数据是实测值还是修正值。

7.2 静力触探试验

7.2.1 静力触探试验可用于砂性、粉性和黏性尾矿的测试。

7.2.2 静力触探试验应符合下列规定:

1 静力触探可根据工程需要采用单桥探头测定比贯入阻力 p_s ;或采用双桥探头测定锥尖阻力 q_c 、侧壁摩阻力 f_c ;当测定贯入时的孔隙水压力 u 时,应采用带孔隙水压力量测的单桥或双桥探头;

2 试验设备贯入能力应满足探测深度的要求;

3 试验时,应匀速垂直压入,贯入速率宜为 20mm/s;

4 试验设备应具备量测孔斜的功能。

7.2.3 静力触探试验的成果整理应符合下列规定:

1 应绘制各种测试指标与深度的关系曲线,进行孔压消散试验时,还应绘制孔压消散曲线;

2 应根据贯入曲线的特征,结合相邻钻孔资料,判别和划分土层,计算相关测试数据的平均值,对数据进行统计分析,确定各土层的静力触探测试指标。

7.3 圆锥动力触探试验

7.3.1 圆锥动力触探试验可用于初期坝筑坝的碎石类土、坝基和库底碎石类土、极软岩的测试。

7.3.2 圆锥动力触探试验应符合下列规定:

1 冲击方式应采用自动脱钩落锤装置;

2 触探杆最大偏斜度不应超过 2%,试验过程中,应采取控制探杆的偏斜和侧向晃动措施,锤击速率宜为 15 击/min~30 击/min。

7.3.3 圆锥动力触探试验的成果整理应符合下列规定:

1 应绘制单孔触探试验锤击数与贯入深度关系曲线;

2 应分层统计触探贯入锤击数的平均值,统计时应删除异常值,并应分析原因。

7.4 标准贯入试验

7.4.1 标准贯入试验可用于砂性、粉性和黏性尾矿,以及库底砂土、粉土和一般黏性土的测试。

7.4.2 标准贯入试验应符合下列规定:

1 采用自动脱钩的自由落锤装置进行试验,试验锤击速率宜小于 30 击/min;

2 试验过程中,应记录每 10cm 的锤击数,累计打入 30cm 的锤击数应为标准贯入试验的锤击数;

3 在孔壁不稳定时,宜采取套管护壁或泥浆护壁的回转钻进法钻进,钻进至试验标高以上 15cm 处时,应清除孔底残土后再进行试验。

7.4.3 标准贯入试验的成果整理应符合下列规定:

1 应绘制单孔标准贯入锤击数与深度关系的直方图,或将锤击数直方图标注在钻孔柱状图及工程地质剖面图的相应深度上;

2 应分层统计标准贯入锤击数 N 值的平均值,统计时应删除异常值,并应分析原因。

7.5 十字板剪切试验

7.5.1 十字板剪切试验可用于具有饱和软黏土特征的黏性尾矿的测试。

7.5.2 十字板剪切试验应符合下列规定:

1 尾矿堆积体中存在厚度大于 0.5m 的饱和软塑、流塑状态黏性尾矿时,宜在钻孔过程中进行十字板剪切试验,应测定不排水抗剪强度及灵敏度;

2 对于均质土层,十字板剪切试验点的竖向间距宜为 1.0m,同一层位测定总数不宜少于 3 个;对于非均质或夹薄层粉性、砂性尾矿,宜在进行静力触探试验后,结合土层变化,选择软黏土部位进行十字板剪切试验;

3 试验点的深度超过 10.0m 时,应安装导正系统及测试设备。

7.5.3 十字板剪切试验的成果整理应符合下列规定:

1 应计算各试验点饱和软塑、流塑状态黏性尾矿的不排水抗剪峰值强度、残余强度和灵敏度;

2 应根据土层条件和工程经验,对实测的十字板不排水抗剪强度进行修正;

3 应绘制单孔不排水抗剪峰值强度、残余强度和灵敏度随深度的变化曲线。

7.6 原位直剪试验

7.6.1 原位直剪试验可用于尾矿、尾矿软弱夹层接触面的测试。

7.6.2 原位直剪试验应符合下列规定:

1 试验场地应根据尾矿的沉积特征,选择尾矿层或尾矿软弱夹层接触面的地段进行试验;

2 试验的剪切方向应与尾矿堆积体可能发生的滑动方向一致;

3 每组试验不应少于 3 个试验点,每组试验点的岩性应相同,试验体的高度不宜小于 200mm,并不宜小于最大粒径的 8 倍,剪切面积不宜小于 0.25m^2 ;

4 试验施加的最大法向应力应大于试验剪切面上实际受力状态下的最大法向应力。

7.6.3 原位直剪试验的成果整理应符合下列规定:

1 应绘制剪应力与垂直应力关系曲线、剪应力与剪切位移关系曲线;

2 应确定强度参数。

7.7 扁铲侧胀试验

7.7.1 扁铲侧胀试验可用于具有饱和软黏土特征的黏性尾矿的测试。

7.7.2 扁铲侧胀试验应符合下列规定:

1 每个孔试验前后应进行探头率定,应取试验前后的平均值作为修正值;

2 试验时,应以静力匀速将探头压入尾矿中,贯入速率宜为 20mm/s ;试验点间距宜取 0.5m 。

7.7.3 扁铲侧胀试验的成果整理应符合下列规定:

1 应绘制侧胀模量、侧胀土性指数、侧胀水平应力指数和侧胀孔压指数与深度的关系曲线;

2 应根据扁铲侧胀试验指标和同类尾矿经验,确定尾矿的状态、静止侧压力系数、水平基床系数。

7.8 波速测试

7.8.1 波速测试可用于尾矿堆积体及各类岩土层的压缩波、剪切

波的波速测定。

7.8.2 波速测试应符合下列规定：

- 1 波速测试可根据任务要求采用单孔法、跨孔法；
- 2 试验点间距不应大于 1.5m，并宜在岩性交界面处布置测点。

7.8.3 波速测试的成果整理应符合下列规定：

- 1 应根据不同深度提出各测孔的压缩波及剪切波波速；
- 2 应计算各岩土层的动弹性模量、动剪切模量和动泊松比。

7.9 抽水试验

7.9.1 抽水试验可用于获得尾矿的综合渗透系数、涌水量、影响半径等水文地质参数及下降漏斗的形态。

7.9.2 抽水试验应符合下列规定：

- 1 抽水试验应根据场地条件，选择稳定流或非稳定流试验方法；稳定流试验不应少于 3 段降深；非稳定流试验，出水量应保持常量；
- 2 水位埋深大于 10.0m 的粉性、黏性尾矿，可选用抽筒提水进行简易抽水试验；
- 3 抽水试验的孔径不宜小于 200mm；
- 4 观测孔宜在垂直和平行地下水径流方向各布 1 条观测线，每条观测线的观测孔不宜少于 3 个，观测孔与抽水孔的距离应根据含水层的厚度、透水性能确定；
- 5 试验期间，应对坝体上的钻孔水位及库内水位、库坡渗水点进行静水位、动水位、恢复水位的测量。

7.9.3 抽水试验的成果整理应符合下列规定：

- 1 抽水试验成果应编制抽水试验综合图，内容应包括钻孔平面位置图、钻孔柱状图、抽水钻孔结构图以及涌水量 Q 与时间 t 关系曲线、水位降深 S 与时间 t 关系曲线、涌水量 Q 与降深 S 关系曲线、单位涌水量 q 与降深 S 关系曲线；

2 应根据抽水试验成果和水文地质条件,计算影响半径和渗透系数。

7.10 注水试验

7.10.1 注水试验可用于测定尾矿堆积体的渗透系数。

7.10.2 注水试验应符合下列规定:

1 对地下水位以上、且地下水埋深大于5m的尾矿堆积体,可采用试坑注水法;对砂性尾矿宜采用单环注水法;对黏性、粉性尾矿宜采用双环自流注水法;

2 对渗透性较弱的粉性、黏性或砂性尾矿,宜采用钻孔降水头注水法;对地下水位以下渗透性较强的砂性尾矿、初期坝,宜采用钻孔常水头注水法。

7.10.3 注水试验的成果整理应符合下列规定:

1 试坑单环法和试坑双环法的成果整理应绘制流量 Q 与时间 t 关系曲线,并应计算试验土层的垂直渗透系数 k ;

2 钻孔降水头法应绘制水头高度 H 和初始水头高度 H_0 之比(H/H_0)与时间 t 的关系曲线;钻孔常水头法应绘制流量 Q 与时间 t 的关系曲线;

3 钻孔注水试验应根据试验段的渗水方式和试验装置条件,计算试验段各层尾矿的水平渗透系数 k_h 、垂直渗透系数 k_v 和平均有效渗透系数 k_m 。

7.11 土工试验

7.11.1 土工试验项目和试验方法应符合国家现行标准《土工试验方法标准》GB/T 50123、《土工试验规程》YS/T 5225 和《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 的有关规定。

7.11.2 试验所用仪器设备应进行检定或校准,并应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的有关规定。

7.11.3 尾矿的物理性质指标试验项目及试验方法,应符合下列规定:

1 尾矿样品应进行土的分类指标和物理性质指标试验,应包括颗粒级配、液限、塑限、比重、含水率、密度;

2 颗粒分析试验分析的最小粒径宜为 0.002mm,并应计算平均粒径、有效粒径、不均匀系数、曲率系数。

7.11.4 尾矿的固结试验应根据工程要求确定试验方法,并应符合下列规定:

1 进行压缩试验时,最大压力应根据最终坝高确定,并应绘制 $e-p$ 曲线;

2 进行先期固结压力试验时,最大压力应满足绘制完整 $e-\lg p$ 曲线的要求;计算回弹指数时,应在估计的先期固结压力之后,进行一次卸荷回弹,并应继续加荷至预定的最后一级压力;

3 进行沉降历时分析时,应进行固结系数试验,并应计算尾矿的固结系数。

7.11.5 尾矿的三轴压缩试验应根据计算分析模型选择适用的试验方法,并应符合下列规定:

1 选择总应力法时,应进行固结不排水(CU)试验;选择有效应力法时,可进行固结不排水剪测孔压试验($\overline{CU}$)或固结排水(CD)试验;

2 试验应采用不少于 3 个不同的围压,最大围压宜根据尾矿取样点的应力状态确定;

3 三轴压缩试验应根据分析计算的要求,提供与试验方法对应的应力应变曲线和强度包线、强度指标,以及计算模型所需的其他各项参数。

7.11.6 尾矿的直剪试验应根据稳定性分析的要求,选用固结快剪、慢剪或反复直剪的方法,并应符合下列规定:

1 最大垂直压力不宜小于土样所在位置的自重应力;

2 应提供抗剪强度与垂直压力关系曲线及抗剪强度指标。

7.11.7 尾矿的垂直、水平渗透试验,应沿垂直尾矿自然沉积层理的方向测定尾矿的垂直渗透系数,应沿平行尾矿自然沉积层理的方向测定尾矿的水平渗透系数。

7.12 动力试验

7.12.1 测定尾矿的动力力学参数应采用固结不排水试验,并应符合下列规定:

1 采用扰动尾矿制备试样时,采用的干密度、含水率应根据不扰动试样的试验成果确定;

2 测定应变范围为 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 的动剪切模量和阻尼比,可采用共振柱试验;测定应变大于 10^{-4} 的动力力学参数,可采用动三轴试验或动单剪试验。

7.12.2 动力力学参数试验应符合下列规定:

1 固结应力比 k_c 可采用 1.0、1.5、2.0,振动破坏周次可采用 10 周、20 周、30 周;

2 试验应采用不少于 3 个不同的围压,最大围压宜根据尾矿取样点的侧向压力确定。

7.12.3 尾矿的动力力学参数测试应符合下列规定:

1 动三轴试验应提供不同固结应力比和不同围压下的初始动弹性模量、初始动剪切模量、参考应变、最大阻尼比,5%和 10% 应变下破坏时的动应力、动剪应力比、液化应力比、动黏聚力和动内摩擦角;

2 动三轴试验应提供不同固结应力比和不同围压下的动应力和动应变关系曲线、动弹性模量与动应变的关系曲线、动剪切模量与动剪应变的关系曲线、阻尼比与动剪应变的关系曲线、动强度与破坏振次的关系曲线、饱和土的液化应力比与破坏振次关系曲线、动孔压比与振次的关系曲线、破坏动孔压比与破坏振次的关系曲线、不同振次下动抗剪强度包络线图;

3 共振柱试验应提供初始动剪切模量和初始动弹性模量,并

应提供动剪切模量与动剪应变的关系曲线、阻尼比与动剪应变的关系曲线；

4 对于Ⅲ级及Ⅲ级以上的尾矿堆积坝,应提供残余体应变和残余轴应变与振次的关系曲线、一定振次下的残余体应变和残余轴应变与动剪应力比的关系曲线；

5 应提供岩土工程分析计算模型所需的其它参数。

住房和城乡建设部信息中心
浏览专用

8 岩土工程分析

8.1 一般规定

8.1.1 尾矿堆积坝的岩土工程分析评价应根据尾矿堆积坝的勘察与试验成果,结合尾矿的性质、堆积规律进行概化分区,并根据工程需要选用分析计算方法;尾矿和坝基土的物理力学参数应按概化分区进行统计。

8.1.2 尾矿堆积坝的岩土工程定性分析可采用工程地质类比法和图解法等,定量分析可采用极限平衡法和数值分析法等。

8.1.3 尾矿堆积坝定量分析宜包括渗流计算分析、坝坡稳定性分析和应力变形分析;当坝坡局部发生管涌、流土时,应进行渗透变形分析。

8.1.4 尾矿堆积坝的稳定性分析,应分析评价现状坝体的稳定性,并应预测达到总坝高时坝体的稳定性。

8.1.5 尾矿堆积坝的岩土工程分析,应按所采用的分析方法选取岩土工程参数,尾矿和坝基土的抗剪强度指标应根据计算方法和土的类别按表 8.1.5 选取。

表 8.1.5 尾矿和坝基土的抗剪强度指标

计算方法	土的类别	试验方法	强度指标
总应力法	砂性尾矿、砂类土	固结不排水剪	$C_{cu}、\varphi_{cu}$
	粉性尾矿、粉土	固结快剪	$C_{cq}、\varphi_{cq}$
		固结不排水剪	$C_{cu}、\varphi_{cu}$
	黏性尾矿、黏性土	固结快剪	$C_{cq}、\varphi_{cq}$
		固结不排水剪	$C_{cu}、\varphi_{cu}$

续表 8.1.5

计算方法	土的类别	试验方法	强度指标
有效应力法	砂性尾矿、砂类土	慢剪	C_s, φ_s
	粉性尾矿、粉土	固结排水剪	C_{cd}, φ_{cd}
		慢剪	C_s, φ_s
	黏性尾矿、黏性土	固结排水剪	C_{cd}, φ_{cd}
		慢剪	C_s, φ_s
		固结不排水剪测孔压	$C_{cu}, \varphi_{cu}, C', \varphi'$

8.1.6 软弱尾黏土采用固结快剪指标时,应根据固结程度确定;采用十字板抗剪强度指标时,应分析土体固结后强度的增长对抗剪强度参数的影响。

8.1.7 坝坡稳定性计算参数的选取应符合下列规定:

- 1 洪水运行条件下,应采用浸润线调整后的参数;
- 2 计算参数应按试验与原位实测数据的统计值进行选取,并结合有关工程的经验数据和通过反分析确定。

8.1.8 尾矿的液化判别和评价应符合现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的有关规定。

8.2 渗流计算分析

8.2.1 渗流计算应分析尾矿筑坝方式和速率的影响;尾矿堆积坝宜采用二维或三维数值分析方法进行分析,Ⅰ级、Ⅱ级山谷型湿式堆存尾矿堆积坝应进行三维数值分析或模拟试验。

8.2.2 渗流计算参数宜根据现场试验、室内试验和工程类比法、反演分析法确定。渗流计算时,应分析渗透系数的各向异性对计算结果的影响。

8.2.3 坝体设有排渗设施时,渗流计算应分析排渗设施有效和失效对渗流场的影响。

8.2.4 在进行渗流计算时,确定尾矿坝浸润线应分析放矿和降雨因素的影响。

8.2.5 渗流计算成果宜包括下列内容：

- 1 坝体的浸润线、等势线、流线及下游可能出逸点的位置；
- 2 坝体和坝基的渗流量、流速、水力坡降；
- 3 产生管涌、流土等渗透变形可能性的评价。

8.3 坝坡稳定性分析

8.3.1 静力稳定性分析应采用简化毕肖普法或瑞典圆弧法，对Ⅰ级和Ⅱ级尾矿堆积坝可增加二维或三维强度折减法。

8.3.2 动力分析应符合下列规定：

1 Ⅰ级和Ⅱ级尾矿堆积坝的地震设计烈度，应根据场地地震安全性评价结果确定；Ⅲ级及Ⅲ级以下的尾矿堆积坝，可采用现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 中的地震烈度作为地震设计烈度，当尾矿堆积坝溃决产生严重次生灾害时，应将地震烈度提高一度作为地震设计烈度；

2 位于地震设计烈度为 7 度地区的尾矿堆积坝，稳定性分析应采用拟静力法；

3 位于地震设计烈度为 9 度地区的尾矿堆积坝和地震设计烈度为 8 度地区的Ⅲ级及Ⅲ级以上的尾矿堆积坝，抗震稳定性分析应采用拟静力法进行分析，并应采用时程法进行分析；

4 采用时程分析法计算地震作用效应时，地震加速度时程的选取应符合现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的有关规定。

8.3.3 坝坡稳定性分析和评价应按正常运行、洪水运行和特殊运行三种条件分别计算，不同计算条件荷载组合应根据运行情况按表 8.3.3 采用。

表 8.3.3 不同计算条件的荷载组合

运行条件	计算方法	荷载类别				
		1	2	3	4	5
正常运行	总应力法	有	有	—	—	—
	有效应力法	有	有	有	—	—

续表 8.3.3

运行条件	计算方法	荷载类别				
		1	2	3	4	5
洪水运行	总应力法	—	有	—	有	—
	有效应力法	—	有	有	有	—
特殊运行	总应力法	有	有	—	—	有
	有效应力法	有	有	有	—	有

注：荷载类别分为 5 类，其中：1 表示运行期正常库水位的稳定渗透压力，2 表示坝体自重，3 表示坝体及坝基中的孔隙水压力，4 表示设计洪水位时有可能形成的稳定渗透压力，5 表示地震荷载。

8.3.4 采用简化毕肖普法和瑞典圆弧法计算时，坝坡抗滑稳定最小安全系数应符合表 8.3.4 的规定。分析评价现状尾矿坝体稳定性时，坝坡抗滑稳定最小安全系数宜根据现状总库容及现状坝高确定尾矿堆积坝的级别。

表 8.3.4 坝坡抗滑稳定最小安全系数

计算方法	计算条件	尾矿堆积坝级别			
		I	II	III	IV、V
简化毕肖普法	正常运行	1.50	1.35	1.30	1.25
	洪水运行	1.30	1.25	1.20	1.15
	特殊运行	1.20	1.15	1.15	1.10
瑞典圆弧法	正常运行	1.30	1.25	1.20	1.15
	洪水运行	1.20	1.15	1.10	1.05
	特殊运行	1.10	1.05	1.05	1.05

8.4 应力变形分析

8.4.1 I 级～III 级尾矿堆积坝应进行静力、动力的应力变形分析。

8.4.2 静力分析应模拟筑坝过程和闭库后的状态，分析结果应包

括坝体的应力场、变形场及应力水平分布；动力分析结果应包括残余变形、有效应力场、孔压比、液化区域和塑性区范围。

8.4.3 采用有限元法进行坝体静力或动力的应力变形分析时，应根据计算本构模型选用计算参数；单元划分应根据概化尾矿分层界面。

9 勘察文件编制

9.0.1 岩土工程勘察纲要应在现场踏勘、搜集和分析已有资料的基础上编制,勘察纲要应明确勘察目的、执行的技术标准、工作量布置、技术要求,并应包括环境保护、危险源辨识及相应的控制措施等内容。

9.0.2 岩土工程勘察报告应在原始资料整理、检查和分析的基础上进行编制。

9.0.3 岩土工程勘察报告应根据勘察任务书要求、工程特点、地质条件和所需要评价的问题进行编制,并应包括下列内容:

- 1 工程概况,包括尾矿库的设计参数,尾矿堆积坝的堆积方式、运行状况和现状条件;
- 2 勘察技术要求、勘察工作实施的依据和技术标准;
- 3 勘察方法和勘察工作量;
- 4 区域地质概况及气象水文条件;
- 5 场地位置、地形及地貌;
- 6 坝址及库区的工程地质条件及水文地质条件;
- 7 初期坝及坝基、尾矿堆积坝及堆积体的岩土工程性能指标;
- 8 场地地震效应;
- 9 尾矿堆积坝的岩土工程分析和评价;
- 10 尾矿堆积工程风险评价;
- 11 尾矿堆积坝存在隐患的分析和治理措施建议;
- 12 监测内容及监测方法建议;
- 13 尾矿堆积坝的运行与管理建议;
- 14 结论与建议。

9.0.4 岩土工程勘察报告应附下列图表：

- 1 勘探点主要数据一览表；
- 2 勘探点平面布置图；
- 3 工程地质剖面图；
- 4 工程地质柱状图；
- 5 室内试验成果图表；
- 6 原位测试成果图表；
- 7 稳定性分析计算图表。

9.0.5 岩土工程勘察报告可根据需要提供下列图表：

- 1 区域地质图；
- 2 综合工程地质图；
- 3 工程物探测试成果图；
- 4 照片、视频及其他数字化成果。

9.0.6 岩土工程勘察报告应附工程勘察任务书,并可根据需要提供下列附件：

- 1 审查会会议纪要及审查意见；
- 2 专门性试验、专题研究报告或监测报告；
- 3 其他需要的报告及资料。

10 巡查与监测

10.1 一般规定

10.1.1 尾矿库应进行巡查和监测工作,监测宜包括人工监测和在线监测。

10.1.2 监测内容和要求应根据尾矿库的规模、筑坝方式、工程环境和运行状况等因素确定。

10.1.3 尾矿库在线监测与人工监测应并行运行,在线监测结果应与人工监测结果进行比对分析,内容应包括浸润线、坝体表面位移和深层位移。

10.1.4 人工监测资料的整理分析应于当日进行,有异常情况时应按规定上报。

10.1.5 监控管理站和监控中心应选择在无不良地质作用、不受洪水影响的地段。

10.1.6 采用监测新技术、新方法时,应与现行国家标准《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》GB 51108 规定的监测方法进行比对。当比对结果较差,数值大于现行国家标准《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》GB 51108 规定的监测精度时,应在扩大比对范围后,确定新技术、新方法的适用性。

10.1.7 监测线与监测点的布置、监测频次、监测精度应符合现行国家标准《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》GB 51108 的有关规定。

10.2 巡查

10.2.1 巡查应包括下列内容:

- 1 坝坡坡面的沉陷、裂缝、表面冲蚀等异常变形;

- 2 库水位的变化,浸润线逸出、管涌、流土、坡面沼泽化;
 - 3 排渗流量和浑浊度变化;
 - 4 排洪设施、监测设施及其他安全设施的运行状况;
 - 5 影响尾矿库安全的库岸滑坡、泥石流;
 - 6 坝面排水沟畅通及渗漏情况;
 - 7 其他影响尾矿库安全的现象。
- 10.2.2 巡查的频次应符合下列规定:
- 1 尾矿库每天巡查不应少于 1 次;
 - 2 暴雨季节或坝体出现隐患时,应增加巡查频次。
- 10.2.3 巡查工作应进行现场记录,有隐患时应增加现场示意图、照片、影像等资料。

10.3 尾矿堆积坝与库区监测

- 10.3.1 尾矿堆积坝监测应包括下列内容:
- 1 坝体表面位移和深层位移;
 - 2 坝体浸润线、排渗井水位;
 - 3 坝体渗流量、渗流水浑浊度;
 - 4 坝顶高程、滩顶高程及干滩坡度;
 - 5 坝体孔隙水压力;
 - 6 尾矿堆积坝外坡坡比。
- 10.3.2 库区监测应包括下列内容:
- 1 库内水位;
 - 2 干滩长度及坡度;
 - 3 影响尾矿库安全的库岸滑坡及崩塌;
 - 4 降雨量及洪水监测;
 - 5 尾矿放矿情况。
- 10.3.3 库区监测宜安装视频在线监测系统,对溢流井、滩顶放矿处、排尾管道、库水位尺、干滩标杆等部位应进行实时视频监控。
- 10.3.4 气象监测的雨量计应布置在尾矿坝及尾矿库库尾处,并

应安装通信控制装置和防雷击设施。

10.4 排洪设施监测

10.4.1 排洪设施应进行监测,并应符合下列规定:

- 1 应监测进水口堰顶高程、出水口水深和浑浊度;
- 2 应监测排洪构筑物进水口和出水口进流状况、杂物堵塞、截水沟损坏情况;
- 3 应监测溢洪塔倾斜度;
- 4 使用期的设计等别为一等和二等的尾矿库,宜监测排洪设施的变形;
- 5 应监测排洪斜槽盖板、溢洪塔拱板强度。

10.4.2 排洪设施运行在线监测宜采用视频监控和高程测量等方法。

10.4.3 排洪设施的变形应采用应力应变监测方法,监测点宜布置在排洪斜槽盖板、溢洪塔拱板处。

10.4.4 进水口堰顶高程、库水位、出水口水深应采用高程测量方法进行监测,并应计算排洪设施的排水能力。

10.5 尾矿库水环境监测

10.5.1 尾矿库水环境监测应包括酸碱度、浑浊度监测,其他监测内容宜根据尾矿成分和选矿工艺确定。

10.5.2 尾矿库影响范围内的地表水的监测应符合现行行业标准《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91 中有关地表水监测的规定,地下水的监测应符合现行行业标准《地下水环境监测技术规范》HJ 164 的规定。

10.5.3 监测点应布置在尾矿库的上游、尾矿库两侧受尾矿水环境影响的范围内及尾矿库的下游,并不应少于 5 个。

10.5.4 监测频次应符合下列规定:

- 1 地表水监测每月不应少于 1 次;

2 地下水在每年的枯水期、平水期和丰水期的监测各不应少于 1 次；

3 尾矿库出现隐患时，应加密监测。

10.5.5 当突发环境污染事件时，应按规定启动应急预案，并采取应急措施。

11 隐患治理

11.0.1 尾矿库出现下列现象时,应根据勘察确定的隐患类型、性质、规模及危害程度,进行隐患治理。

- 1 初期坝坝趾出现渗漏涌砂;
- 2 尾矿堆积坝坝体出现漏砂、管涌、流土等现象;
- 3 尾矿堆积坝坝体出现冲沟、裂缝、塌坑和滑动迹象;
- 4 浸润线埋深小于临界浸润线,出现渗透水高位出逸;
- 5 正在使用的排水井倒塌,或排水管、排水洞等坍塌堵塞;
- 6 库内水位超过警戒水位,且安全超高和最小干滩长度不满足设计要求;库岸边坡不稳定;
- 7 其他危及坝体稳定性的现象。

11.0.2 尾矿堆积坝的隐患治理应结合尾矿堆积坝的特点、隐患产生的原因,在隐患分析和方案比选的基础上进行设计,并应采取工程治理措施。

11.0.3 初期坝坝趾出现渗漏涌砂时,应根据渗漏涌砂的原因采取上游反滤措施,坡脚应采取反压和滤水措施。

11.0.4 坝体出现裂缝时,应分析裂缝形成的原因,并应进行坝体变形加固治理。对于浅层裂缝,可采用开挖回填法进行处理,开挖深度应超过裂缝最大深度 0.3m~0.5m,开挖长度超出裂缝两端不应小于 2.0m,宜采用加筋土或原土料分层回填,压实系数 λ_c 不应小于 0.95。

11.0.5 坝体出现塌坑时,对于已稳定的沉陷塌坑,可进行回填夯实;对管涌塌坑,应查明原因并应进行治疗;应急处理时,可直接回填。

11.0.6 坝坡出现冲沟时,坝坡冲沟应以土、石分层回填,压实系

数 λ_c 不应小于0.95,并应增设坝坡排水沟。

11.0.7 坝体出现滑坡迹象时,可采取下游坡加压坡戕台、放缓平均坝坡、降低坝体浸润线等治理措施,压坡戕台宜选用石料。

11.0.8 坝体浸润线埋深小于临界浸润线或出现渗透水高位出逸时,可采用下列隐患治理措施:

1 在尾矿堆积体内,设置水平排渗、垂直排渗或水平与垂直联合排渗、弧形排渗、辐射井排渗系统;

2 在尾矿堆积坝坡脚与山坡接触处,设置贴坡排渗体或排渗盲沟等;

3 降低库内水位,增加干滩长度。

11.0.9 当坝面或坝肩出现渗流、流土、管涌、沼泽化、渗水量增大或渗水变浑等异常现象时,可采取下列隐患治理措施:

1 调整坝前放矿位置;

2 在渗水部位和沼泽区,铺设土工织物或天然反滤料,再使用堆石料压坡,并设置排水沟;

3 增加排渗设施,降低坝体浸润线。

11.0.10 坝体存在砂土液化可能时,可采用下列加固治理措施:

1 增设排渗设施;

2 在液化段坝坡增加石料护坡;

3 对表层液化土层进行置换;

4 在坝体液化段采用碎石、砂桩处理。

11.0.11 尾矿堆积坝抗震能力不足时,可采取下列提高尾矿坝抗震稳定性的措施:

1 增设排渗设施,降低坝体浸润线;

2 在下游坡坡脚增设土石料反压体;

3 降低库内水位,增加干滩长度;

4 采用加密法加固下游坝坡和沉积滩;

5 尾矿堆积坝采用碾压筑坝或加筋土工合成材料;

6 减缓后期外坡坡度。

11.0.12 存在岩溶渗漏隐患,可采用下列加固治理措施,并应符合下列规定:

- 1 对于集中渗漏通道,可采取袋装粗尾矿封堵、开挖回填混凝土塞、自流灌水泥砂浆或注浆法封堵等;
- 2 坝基及库区存在渗漏时,可设置垂直防渗墙及防渗帷幕等;
- 3 后期淹没区,可综合设置水平防渗铺盖。

11.0.13 库内水位超过警戒水位且安全超高和最小干滩长度不满足设计要求,存在洪水漫顶可能时,可采取应急处理措施,并应符合下列规定:

- 1 可抢筑子堤,子堤可采用废石土筑坝,土工织物袋、麻袋或草袋中装入废石土筑坝,埝捆筑坝等方法,子堤筑坝高度应满足防止洪水漫顶的要求;
- 2 可打开原已封堵的斜槽盖板、排水井窗口或排水井拱形挡板;
- 3 可打开已建好的非常溢洪道;
- 4 可抢开临时非常溢洪道。

11.0.14 尾矿堆积坝抢险的应急处理措施,可采用水利工程中有关土石坝和堤防工程抢险的工程技术措施。

附录 A 尾矿堆积坝岩土工程勘察任务书

表 A 尾矿堆积坝岩土工程勘察任务书

建设单位			
工程名称			
勘察类别	运行期勘察 ☐ 扩建和改建勘察 ☐ 闭库勘察 ☐ 专项勘察 ☐		
已建 初期坝	坝型:	坝体结构:	坝体材料:
	坝高: m	顶宽: m	底宽: m
	坝顶高程: m	坝基底面高程: m	坝基埋深: m
	坝坡比:上游 下游		
设计尾矿 堆积坝	堆坝方法:	上游式 ☐ 中线式 ☐ 下游式 ☐ 干式堆存 ☐	
	总坝高: m	总库容: m ³	堆坝材料:
	最终坝顶高程: m	相邻马道高差: m	马道宽度: m
	尾矿堆积坝坡比:	堆积速率: m/a	
已建尾矿 堆积坝	堆积高度: m	堆积坝顶高程: m	马道宽度: m
	尾矿堆积坝坡比:	堆积速率: m/a	相邻马道高差: m
排水 构筑物			
随任务书 提供资料			
勘察要求	☐1. 调查坝址区工程地质和水文地质条件; ☐2. 查明尾矿堆积坝及上游一定范围内已有堆积物的成分、颗粒组成、密实度、堆积规律; ☐3. 查明堆积物的岩土工程特性; ☐4. 查明坝体浸润线及变化规律,评价反滤层、排渗设施的可靠性;		

续表 A

勘察要求	☐5. 分析评价现状坝高和最终坝高时的渗透稳定性和静力稳定性； ☐6. 分析评价在地震设计烈度为____度时的现状坝高和最终坝高的稳定性,并进行液化分析； ☐7. 分析评价尾矿堆积坝运行中的环境问题； ☐8. 对尾矿堆积坝的运行、管理、监测提出建议,对尾矿堆积坝存在的隐患提出防治建议； ☐9. 其他特殊要求(可另附页)
要求提交成果日期： 年 月 日	要求提交成果份数： 份

委托单位(盖章)：
联系人：
电话：

设计单位(盖章)：
填任务书人：
电话：

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
《土工试验方法标准》GB/T 50123
《构筑物抗震设计规范》GB 50191
《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266
《岩土工程勘察安全标准》GB/T 50585
《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》GB 51108
《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406
《中国地震动参数区划图》GB 18306
《环境管理体系 要求及使用指南》GB/T 24001
《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87
《岩土工程勘察现场描述规程》YS/T 5205
《土工试验规程》YS/T 5225
《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91
《地下水环境监测技术规范》HJ 164