

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50547-201X

---

# 尾矿堆积坝岩土工程技术规范

Technical code for geotechnical engineering  
of tailings embankment

(征求意见稿)

201x-xx-xx发布

201x-xx-xx实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部  
中华人民共和国国家市场监督管理总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

# 尾矿堆积坝岩土工程技术规范

Technical code for geotechnical engineering  
of tailings embankment

GB50547—201×

主编部门：中国有色金属工业协会

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：201×年×月×日

中国 XX 出版社

201X 北京

# 前 言

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，标准编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，对《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》GB50547-2010进行了全面修订。

本标准的主要技术内容是：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。

本标准修订的主要技术内容包括：

1. 增加了堆积坝勘察类别划分，分为运行期勘察、扩建勘察、闭库勘察和专项勘察；
2. 增加了现场编录、工程物探、扁铲侧胀试验等勘察手段；
3. 增加了尾矿水环境监测的相关内容和技术要求；
4. 增加了排洪设施在线监测的相关内容和技术要求；
5. 在岩土工程分析章中增加了渗流稳定分析、坝坡稳定分析、应力变形分析的相关内容和技术要求；
6. 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；
7. 删除了附录C孔隙水压力计埋设方法。

本标准中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本标准由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由中国有色金属工业工程建设标准规范管理处负责日常管理，由中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送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）。

本标准主编单位：中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司

本标准参编单位：

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

# 目 次

1	总 则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
4	工程勘察要求	5
4.1	一般规定	5
4.2	运行期勘察	5
4.3	改建扩建勘察	7
4.4	闭库勘察	8
4.5	在线监测专项勘察	8
4.6	隐患治理专项勘察	9
4.7	原位测试与试验工作布置	9
5	工程地质测绘与调查	11
6	勘探与取样	13
6.1	一般规定	13
6.2	钻探	13
6.3	井探和槽探	13
6.4	取样	14
6.5	现场编录	14
6.6	工程物探	14
7	原位测试与室内试验	16
7.1	一般规定	16
7.2	静力触探试验	16
7.3	圆锥动力触探试验	17
7.4	标准贯入试验	17
7.5	十字板剪切试验	17
7.6	现场直剪试验	18
7.7	扁铲侧胀试验	18
7.8	波速测试	18
7.9	抽水试验	19

7.10	注水试验.....	19
7.11	室内土工试验.....	20
7.12	室内动力试验.....	21
8	岩土工程分析.....	23
8.1	一般规定.....	23
8.2	渗流计算与渗透变形分析.....	24
8.3	坝坡稳定性分析.....	24
8.4	应力变形分析.....	25
9	勘察文件编制.....	26
10	巡查与监测.....	28
10.1	一般规定.....	28
10.2	巡查.....	28
10.3	人工监测.....	28
10.4	在线监测.....	29
10.5	尾矿水环境监测.....	30
11	隐患治理.....	31
11.1	一般规定.....	31
11.2	加固治理.....	31
11.3	应急处理.....	32
附录 A	尾矿堆积坝岩土工程勘察任务书.....	34

## 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，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于尾矿堆积坝的勘察、评价、监测和治理。

**1.0.3** 尾矿堆积坝在运行过程中、改建扩建和闭库必须进行岩土工程勘察。

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

## 2 术语

### 2.0.1 尾矿 tailings

选矿和工业生产中形成的细粒或粗粒的，采用水力输送排放或干式堆存，可用土的特征描述的固体物质。

### 2.0.2 尾矿库 tailings pond

筑坝拦截谷口或围地构成的用以贮存尾矿的场所。

### 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、石材料筑成的，作为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 reservoir capacity

坝顶标高平面与尾矿堆积体外坡面以下、库底面以上所围成的空间的容积，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上水下两部分。

### 2.0.9 干滩长度 beach length

由库内水边线至滩顶的水平距离。

### 2.0.10 滩顶 beach crest

沉积滩面与堆积坝外坡的交线。

### 2.0.11 浸润线 seepage line

库区内的水体向坝体下游方向渗流形成的自由水位曲线。

### 3 基本规定

**3.0.1** 尾矿堆积坝岩土工程勘察应依据委托单位提供的勘察任务书进行。任务书的内容应符合本规范附录 A 的要求。

**3.0.2** 尾矿库等别应根据尾矿库的总库容及总坝高按表 3.0.2-1 确定。尾矿堆积坝的级别应根据尾矿库等别按表 3.0.2-2 确定。

**表 3.0.2-1 尾矿库等别**

等别	总库容 $V$ ( $10^6\text{m}^3$ )	总坝高 $H$ (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 当总库容与总坝高指标分属不同等别时，应按高的等别确定；当等别相差大于 1 时，应按高等别降低 1 等确定；

2 除一等库外，下游 1 公里范围内有重要城镇、工矿企业、铁路干线或高速公路时，应采用设计经论证确定的尾矿库设计等别；

3 不同堆积形式的总坝高取值：干式尾矿库，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，为尾矿坝顶面最高点至初期坝或拦砂坝坝顶的高差；上游式尾矿坝为尾矿堆积坝坝顶与初期坝坝顶的高差；中线式和下游式尾矿坝为尾矿堆积坝坝顶与坝顶轴线处的原地面标高的高差。

**表 3.0.2-2 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

**3.0.3** 尾矿堆积坝勘察应根据尾矿堆积坝级别确定其勘察等级。I 级至 III 级尾矿堆积坝勘察等级应定为甲级；IV 级和 V 级尾矿堆积坝，当场地地质条件复杂且下游 1 公里范围内有重要城镇、工矿企业、铁路干线、高速公路时，勘察等级应定为甲级；其余 IV 级和 V 级尾矿堆积坝勘察等级应定为乙级。专项勘察应根据实际情况确定勘察等级。场地地质条件复杂程度划分应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 执行。

**3.0.4** 尾矿堆积坝勘察类别应分为运行期勘察、改建扩建勘察、闭库勘察和专项勘察。

1 三等及三等以下的尾矿库堆至  $1/2 \sim 2/3$  总坝高时、二等及二等以上尾矿库堆至  $1/3 \sim 1/2$  和  $1/2 \sim 2/3$  总坝高时或运行达到一等等别时及之后坝高每增高 20m 时，应进行运行期勘察工作；



2 尾矿库在改建扩建前应进行改建扩建勘察工作；

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工作；

4 对没有在线监测系统的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；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。

**3.0.5** 尾矿土根据其粒度成分和塑性指数可划分为砂性尾矿土、粉性尾矿土和黏性尾矿土。尾矿土的分类和定名应符合表 3.0.5 的规定。

**表 3.0.5 尾矿分类**

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。

3 铝土矿提取氧化铝后的固体废弃物可按表 3.0.5 分类，并应在其后加“赤泥”二字，对烧结法赤泥可按其固化程度划分为固化、半固化和未固化。

## 4 工程勘察要求

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 堆积坝勘察应在明确勘察目的和技术要求、现场踏勘、搜集和分析已有资料的基础上编制勘察纲要，勘察纲要除满足相关的技术要求外，尚应包括环境保护和危险源辨识及相关措施等内容。

**4.1.2** 堆积坝勘察手段宜采用工程地质调查和测绘、钻探、原位测试和室内试验、工程物探、井探和槽探等方法进行。

**4.1.3** 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。

**4.1.4** 不良地质作用及特殊岩土勘察工作应满足现行国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021）的有关要求。

**4.1.5** 除长期观测孔外，坝体上所有钻孔和探井使用完毕后应封堵回填。

**4.1.6** 当尾矿土、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。

### 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：

- 1 查明初期坝、堆积坝体的组成、堆积厚度、密实程度、堆积规律及其分布特征；
- 2 查明尾矿堆积体的物理力学性质、化学性质，总坝高应力状态下强度指标及变形特性，分析尾矿土的固结规律；
- 3 查明堆积体内浸润线位置；
- 4 提供尾矿土的渗透系数；
- 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 评价堆积坝在地震作用下的液化可能性；
- 7 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、堆积坝的结构形式，反滤和排渗设施的设置及其运行情况；
- 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，沉积滩的分布及其变化情况；
- 4 堆积坝及其附近其他构筑物分布情况；
- 5 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 堆积坝的变形、浸润线、排渗及溢流的监测设施设置情况及观测数据；

7 堆积坝历史隐患、险情及处理情况；

8 邻近区域的生态环境资料；

9 类似堆积坝的工程经验资料。

**4.2.3** 勘探线应在工程地质调查和测绘的基础上，布置在对坝体稳定性评价有代表性的地段，勘探线方向宜垂直坝轴线。每个堆积坝应在预估稳定性较差的地段布置不少于1条的主要勘探线，下游端宜达到坝趾下游不小于30m，上游端宜达到自坝顶起相当于拟评价坝高2倍~3倍的距离，其他勘探线的长度可按实际条件控制。

**4.2.4** 湿法堆存的尾矿库等别为二等及二等以上尾矿堆积坝主要勘探线宜进入库区水位线内。

**4.2.5** 堆积坝运行期勘察垂直主坝轴线的勘探线数量严禁少于3条。

**4.2.6** 拦截沟谷建库的堆积坝勘探线、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
	坝体以粉性、黏性尾矿为主	坝体以砂性尾矿为主		
I~III	≤200	≤250	30~60	不少于6个
IV~V	≤100	≤150	20~50	不少于5个

注：1 勘探点间距在主要勘探线上宜取小值，一般勘探线上的坝体地段宜取小值；

2 当存在软弱夹层，特别是可能产生滑动的夹层时，应增加勘探点。

**4.2.7** 围地筑坝建库的堆积坝勘探线应布置在需评价的各坝段，勘探线数量应符合本规范第4.2.5条的规定；勘探线、点间距及控制性勘探孔数量宜符合本规范4.2.6条的规定。

**4.2.8** 勘探孔深度应符合下列规定：

1 勘探孔深度应进入原天然地面以下不应小于3m，其中控制孔深度应满足表4.2.8的规定。当坝体和堆场内设有防渗层时，勘探孔深度不宜穿透防渗层，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，深度应满足本规范表4.2.8的规定；

2 需进行动力稳定性分析时，勘探孔深度除应符合本规范表4.2.8要求外，每一主要勘探线上应不少于3个孔深度进入基岩或剪切波速大于500m/s的稳定地层且不小于3.0m，当场地内已有资料满足上述要求时，可选择利用。

**表 4.2.8 控制性勘探孔深度（进入原天然地面以下） (m)**

尾矿堆积坝级别	下游坝坡	沉积滩
---------	------	-----

I~III	15~20	5~8
IV~V	10~15	3~5

注：1 若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时，孔深进入中风化基岩深度不小于3m或剪切波速值 $>500\text{m/s}$ ；

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。

**4.2.9** 所有勘探点均应测量地下水位，记录初见水位和稳定水位。

**4.2.10** 采取岩土试样应符合下列规定：

1 所有钻孔和探井均应取样，取不扰动试样的垂直间距宜为1.0m~3.0m；

2 对以粉性和黏性为主的尾矿土应采用薄壁取土器或双管单动取土器采取不扰动试样，对砂性为主的尾矿土应采用取砂器采取不扰动试样，扰动样宜在贯入器采取；

3 软黏性尾矿和软土宜采用薄壁取土器静压法取样，胶结的尾矿土、赤泥和坚硬的黏性土宜采用三重管回转取土器取样；

4 每一主要尾矿层和土层的不扰动试样数量应满足试验项目和统计分析的需要；

5 对软弱夹层，特别是可能产生滑动的夹层，应采取试样；

6 当尾矿层和岩土层不均匀时，应增加取样数量；

7 所有标准贯入试验孔均应在贯入器中采取扰动试样；

8 堆积坝场地应采取水、土试样，并进行水、土对建筑材料腐蚀性的试验，水、土试样数量分别不宜少于3件。

**4.2.11** 尾矿堆积坝运行期勘察的资料整理，除应满足第9章有关规定外，尚应分析评价现状坝体稳定性，预测达到总坝高时坝体的稳定性。

### 4.3 改建扩建勘察

**4.3.1** 尾矿堆积坝改建扩建勘察除应满足本规范第4.2.1条~4.2.10条的规定外，尚应满足下列要求：

1 收集尾矿库改建扩建的背景资料；

2 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 勘探工作量应满足改建扩建工程分析评价的要求；

4 根据改建扩建工程的特点提出相应的工程措施。

**4.3.2** 尾矿堆积坝改建扩建勘察的资料整理，除应满足本规范第9章有关规定外，尚应满足下列要求：

1 分析评价现状坝体稳定性；

2 根据改建扩建尾矿库尾矿的性质、工艺、放矿方式，模拟堆积坝沉积规律、浸润

线变化规律及尾矿土性质，为改建扩建提供岩土设计参数；

- 3 分析改建扩建的可行性，提出工程措施建议；
- 4 预测达到总坝高时坝体的稳定性及改建扩建后坝体的稳定性。

#### 4.4 闭库勘察

**4.4.1** 闭库勘察除应满足本规范第4.2.1条~4.2.10条的规定外，尚应满足下列要求：

- 1 收集尾矿库建库和运行期间的地质及水文资料；
- 2 收集初期坝、堆积坝、排洪系统、监测系统及周边环境存在的各种隐患资料；
- 3 对存在的隐患进行分析并提出整治措施建议。

**4.4.2** 对当地植被状况及类似已复垦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，除应满足本规范第9章有关规定外，尚应满足下列要求：

- 1 分析评价闭库尾矿库坝体稳定性，并提出治理措施建议；
- 2 提出尾矿库复垦措施及监测建议。

#### 4.5 在线监测专项勘察

**4.5.1** 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，可辅以钻探及物探工作。

**4.5.2** 资料收集应包括下列内容：

- 1 新建、运行、扩建、闭库尾矿库和专项勘察岩土工程勘察报告
- 2 尾矿堆积坝地层分布及沉积规律；
- 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。

**4.5.3** 采用钻探和物探工作时，应查明地层结构、各地层岩性、软弱层及坝体稳定地层，分析确定潜在滑动面及地质条件变化较大区段。

**4.5.4** 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。

**4.5.5** 监控管理站和监控中心以及雨量计、室外视频等在线安全监测系统设备安装地段应进行电阻率测试。

**4.5.6** 尾矿堆积坝在线监测专项勘察的资料整理，应满足监测工作布置的要求，并提出监测内容和监测方法建议。

## 4.6 隐患治理专项勘察

**4.6.1** 隐患治理专项勘察应通过现场踏勘、调查隐患形成过程并初步分析原因及造成后果等编制隐患治理勘察纲要。

**4.6.2** 勘察工作应采用多种方法查明隐患范围，分析隐患原因并评价其潜在的影响。

**4.6.3** 尾矿堆积坝隐患治理勘察的资料整理，除应满足本规范第9章有关规定外，尚应满足下列要求：

- 1 分析隐患产生的原因及危害程度；
- 2 提出隐患治理措施建议。

## 4.7 原位测试与试验工作布置

**4.7.1** 静力触探试验应按下列规定布置：

- 1 在主要勘探线上，应有不少于1/2勘探点进行静力触探试验；在其他勘探线上应布置不少于2个孔的静力触探试验；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可能滑动面；
- 3 静力触探试验应在钻探和十字板剪切试验之前进行。

**4.7.2** 标准贯入试验应按下列规定布置：

- 1 标准贯入试验孔数量不应少于钻孔数量的1/2，各类尾矿土均应进行标准贯入试验；
- 2 标准贯入试验点的垂直间距宜为1.0m~1.5m。

**4.7.3** 圆锥动力触探试验宜按下列规定布置：

- 1 对碎石土及极软岩，可进行重型或超重型圆锥动力触探试验；
- 2 每条勘探线的试验孔不宜少于2个。

**4.7.4** 十字板剪切试验宜按下列规定布置：

- 1 对堆积的尾矿中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竖向间距宜为1.0m。

**4.7.5** 现场直接剪切试验应按下列规定布置：

- 1 勘察等级为甲级的尾矿堆积坝应布置现场直接剪切试验；

- 2 现场直接剪切试验可在堆积坝下游坡面或干面滩上进行；
- 3 同类尾矿土的现场直接剪切试验数量不宜少于3处。

**4.7.6 扁铲侧胀试验宜按下列规定布置：**

- 1 对堆积的尾矿中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 扁铲侧胀试验测点竖向间距宜为0.5m。

**4.7.7 波速测试应按下列规定布置：**

- 1 波速测试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2.0m。

**4.7.8 尾矿堆积坝勘察应采用抽水试验或注水试验测定尾矿土的渗透系数，并宜按下列规定布置：**

- 1 在沉积滩上宜进行不少于3处的抽水试验或注水试验；
- 2 在以砂性和粉性为主的尾矿土层中，宜采用抽水试验；
- 3 注水试验可在探井或钻孔中进行。

**4.7.9 尾矿土应进行一般物理力学性质试验，并应按工程要求进行以下试验项目：**

- 1 进行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规范表8.1.3的要求进行三轴压缩试验和直剪试验；
- 2 需要进行坝的沉降变形计算时，应对坝体和坝基土层进行固结试验；
- 3 各类尾矿应进行垂直和水平方向的渗透试验；
- 4 场地的地震动峰值加速度大于等于 0.10g 时，应对尾矿和坝基土进行动力性质试验。

**4.7.10 需进行稳定性分析时，宜采取不扰动尾砂样并在现场进行含水量及密度试验。**

## 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，并进行综合分析研究，资料收集应包括下列内容：

- 1 区域性的地质、地震、水文、气象、植被等资料；
- 2 尾矿库前期的岩土工程勘察资料、初步设计资料、安全评价资料等；
- 3 初期坝及堆积坝已有排渗体及加固设施、设计情况；
- 4 堆积坝及浸润线监测资料，包括变形和浸润线监测数据等；
- 5 尾矿库运行异常情况，发生的原因、处理措施和整治效果。

**5.0.2** 工程地质测绘与调查的范围应包括堆积坝及其有关的外围。当地震基本烈度等于或大于 7 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 坝区及复杂地段工程地质测绘比例尺宜采用 1:500~1:2000，相关的外围地段的比例尺宜为 1:2000~1:5000。当工程地质条件复杂或需要解决某一特殊问题时，宜放大比例尺；

2 对堆积坝有重大影响的坝体变形、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，宜放大比例尺表示；

3 地质界线和地质观测点测绘精度在相应比例尺图上的误差不应超过 3mm。

**5.0.3** 工程地质测绘与调查，应包括下列内容：

1 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 查明地下水的类型、补给来源、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 查明堆积坝是否存在变形、裂缝、渗漏、流土、管涌等现象；

4 调查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 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；

6 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、密度和定位应满足下列要求：

1 地质观测点宜按网状布置，应布置在具有代表性的岩土露头、地层界线、地下水露头、不良地质、特殊岩土界限等处，对堆积坝稳定性有影响的地质单元体的点和边界应设地质观测点；

2 地质观测点的密度应根据场地工程地质条件复杂程度确定，在图上的间距宜为



20mm~50mm;

**3** 地质观测点宜采用仪器法定位;

**4** 利用遥感影像资料解译进行工程地质测绘时,现场检验地质观测点数宜为工程地质测绘点数的 30%~50%。

**5.0.5** 工程地质测绘与调查成果报告宜包括文字说明、图表、照片及视频。

## 6 勘探与取样

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 勘探方法应根据尾矿土的性质及勘察目的进行选择，静力触探、动力触探、工程物探作为勘探手段应与钻探等其他勘探方法配合使用。

**6.1.2** 钻孔应满足取土样、水样及孔内原位测试的要求，并对土样进行鉴别和描述。

**6.1.3** 在钻探过程中应防止对防渗层、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 自然环境的破坏。

**6.1.4** 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现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 和现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T87 的规定。

**6.1.5** 勘探、取样、原位测试作业时应采取有效措施，确保施工安全，并应满足现行国家标准《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** 钻探方法应针对尾矿土的分类和特点，按勘察技术要求进行选用。

**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超过 1.0m，在岩体中回次进尺不宜超过 1.5m，在软弱层地段回次进尺不宜超过 0.5m。对坝体沉陷与变形部位、滑动面、渗漏带和破碎带应连续取芯，岩芯采取率不应小于 85%。

**6.2.4** 在庫区钻探时，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** 钻孔的成孔口径应满足取样、测试和钻进工艺的要求。钻探口径、钻具规格及钻探操作的具体方法，应按现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 执行。

### 6.3 井探和槽探

**6.3.1** 井探和槽探的深度、长度、断面尺寸应按勘探任务要求确定，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，井内采取通风、照明措施；
- 2** 探井断面可采用圆形或矩形，且圆形探井直径不宜小于 0.8m；矩形探井不宜小于 1.0m×1.2m；当根据土质情况需要放坡或分级开挖时，井口宜加大；
- 3** 探槽挖掘深度不宜大于 3.0m，并应采取支护措施。

**6.3.2** 探井的井口，探洞的洞口位置宜选择在坚固且稳定的部位，作业时井口不应少于 2 名操作工人。

## 6.4 取样

**6.4.1** 在钻孔中采取 I、II 级试样时，应符合下列要求：

- 1 在尾矿土中采用套管护壁时，取样位置应低于套管底 3 倍孔径的距离；
- 2 放置取土器前应仔细清孔，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，不得敲打和水冲，应使用专用工具取出试样，并应及时密封和妥善存放。

**6.4.2** 在探井中采取不扰动样，应在井壁 15cm 外人工刻取 I 级土样。

**6.4.3** 试样应贴上标签，标签填写应包括工程名称、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** 野外记录应由经过专业培训的人员承担；记录应真实及时，字迹应清楚端正，钻孔按回次逐次编录，不得事后追记或涂改。原始记录签署应齐全。

**6.5.2** 钻进过程中各项深度均应进行量测，允许累计误差应为  $\pm 5\text{cm}$ 。

**6.5.3** 尾矿的岩性描述内容应符合现行行业标准《岩土工程勘察现场描述规程》YS/T 5205 的要求。

**6.5.4** 对尾矿层中厚度大于或等于 30cm 的软弱夹层应单独描述。

**6.5.5** 所有钻孔均应按 1.0m 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** 对井探、槽探除文字描述记录外，尚应以剖面图、展示图反映井、槽壁和底部的岩性、地层分界、构造特征、取样和原位试验位置，并宜辅以代表性部位的彩色照片。

**6.5.7** 进行岩土 BIM 分析的工程，宜采用数字化记录。

## 6.6 工程物探

**6.6.1** 工程物探方法的选择应符合下列规定：

- 1 探测对象与相邻介质之间存在明显的物性差异；
- 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；

4 在有代表性地段进行方法的有效性试验。

**6.6.2** 工程物探方法可用于下列方面的勘探：

- 1 探测尾矿的沉积规律和原始地形界面，初期坝堆填的密实程度；
- 2 探测地下水的埋深、尾矿库坝体浸润线的变化，坝体渗漏及管涌的位置和范围；
- 3 探查基岩面埋深、隐伏地质构造和岩溶分布；
- 4 作为原位测试手段，测定波速、动泊松比、动弹性模量、动剪切模量和卓越周期。

**6.6.3** 工程物探成果判译，宜结合钻探或其他手段做出地质解释。

**6.6.4** 工程物探成果报告内容应包括工程物探条件、方法选择、使用的仪器、采取的技术措施、数据采集及处理、成果分析解译、工作质量评述、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的特征确定。

**7.1.2** 尾矿土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所要求。

**7.1.3** 室内试验的尾矿样宜采用天然结构的试样并进行描述，当采用扰动样制备时，应进行含水率和密度的控制。

**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或修正值。

### 7.2 静力触探试验

**7.2.1** 静力触探试验可用于砂性、粉性和黏性尾矿土的测试。

**7.2.2** 静力触探试验应符合下列要求：

1 静力触探可根据工程需要采用单桥探头、双桥探头或带孔隙水压力量测的单、双桥探头，测定尾矿土的比贯入阻力 ( $p_s$ )、锥尖阻力 ( $q_c$ )、侧壁摩阻力 ( $f_c$ ) 和贯入时的孔隙水压力 ( $u$ )；

2 选择试验设备时，设备贯入能力应满足探测深度的要求；

3 试验时应均速垂直压入，贯入速率宜为 1.2m/min；

4 试验设备应具备量测孔斜的功能。

**7.2.3** 静力触探试验成果整理应包括下列内容：

1 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 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土、坝基和库底碎石土、极软岩的测试。

**7.3.2** 圆锥动力触探试验应符合下列要求：

- 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%，试验过程中应控制探杆的偏斜和侧向晃动。锤击速率宜为 15 击/min~30 击/min；

**7.3.3** 圆锥动力触探试验成果整理应包括下列内容：

- 1 绘制单孔触探试验锤击数与贯入深度关系曲线；
- 2 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要求：

- 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，钻至试验标高以上 15cm 处，应清除孔底残土再进行试验。

**7.4.3** 标准贯入试验成果整理应包括下列内容：

- 1 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 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要求：

- 1 当尾矿堆积层中存在厚度大于 0.5m 的饱和软、流塑状态黏性尾矿时，宜在钻孔中进行十字板剪切试验，测定不排水抗剪强度及灵敏度；
- 2 对均质土层，十字板剪切试验点竖向间距宜为 1.0m，同一层位测定总数不宜少于 3 个；对非均质或夹薄层粉性、砂性尾矿的层位，宜先做静力触探，结合土层变化，选择软黏土部位进行试验；

3 当试验点的深度超过 10m 时，应安装好导正系统及测试设备，应拧紧接箍。

**7.5.3** 十字板剪切试验成果整理应包括下列内容：

1 计算各试验点饱和软、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 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 绘制单孔不排水峰值强度、残余强度和灵敏度随深度的变化曲线。

## 7.6 现场直剪试验

**7.6.1** 现场直剪试验可用于尾矿堆积层、尾矿软弱夹层接触面的测试。

**7.6.2** 现场直剪试验应符合下列要求：

1 试验的场地应根据尾矿的沉积特征或库岸基底软弱层结构面的展布状态，应选择具有代表性的地段进行试验；

2 试验的剪切方向应与岩土体可能发生的滑动方向一致；

3 每组的试验不应少于 3 个试验点，每一组的各试验点岩性应相同，试体的高度不宜小于 20cm、且不宜小于最大粒径的 4 倍~8 倍，剪切面积不宜小于 0.25m<sup>2</sup>；

4 最大正应力应大于该滑动面上最大法向压力。

**7.6.3** 现场直剪试验成果整理应包括下列内容：

1 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 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要求：

1 每孔试验前后应进行探头率定，应取试验前后的平均值为修正值；

2 试验时，应以静力匀速将探头贯入尾矿中，贯入速率宜为 2cm/s；试验点间距可取 0.5m。

**7.7.3** 扁铲侧胀试验成果整理应包括下列内容：

1 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 根据扁铲侧胀试验指标和同类尾矿土经验，确定尾矿土的状态、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层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要求：

- 1 波速测试可根据任务要求采用单孔法、跨孔法；
- 2 测点间距应不大于 2.0m，并在岩性界面处宜布设测点。

**7.8.3** 波速测试成果整理应包括下列内容：

- 1 按不同深度提出各测孔的压缩波、剪切波波速  $v_p$ 、 $v_s$ ；
- 2 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要求：

1 抽水试验可根据场地条件，选择稳定流或非稳定流的试验方法。稳定流试验宜做 3 次降深；非稳定流试验，出水量应保持常量；

2 当水位较深、水量不大时，可选择用抽筒提水进行简易抽水试验；

3 抽水试验的孔径不应小于 200mm；

4 观测孔宜垂直和平行地下水流向各布一条观测线，每条观测线宜布置 1 个~3 个观测孔。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** 抽水试验成果整理应包括下列内容：

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、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  $Q=f(t)$ 、水位降深  $S$  与时间  $t$  关系曲线  $S=f(t)$ 、涌水量  $Q$  与降深  $S$  关系曲线  $Q=f(S)$ 、单位涌水量  $q$  与降深  $S$  关系曲线  $q=f(S)$ ；

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层的渗透系数。

**7.10.2** 注水试验应符合下列要求：

1 对地下水位以上且地下水埋深大于 5m 的尾矿堆积层，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 对地下水位以上或以下的渗透性较弱的粉性、黏性或砂性尾矿土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、初期坝堆积层宜采用钻孔常水头



注水法。

**7.10.3** 注水试验成果整理应包括下列内容：

- 1 试坑单环法和试坑双环法的成果整理应绘制稳定流量  $Q$  与时间  $t$  关系曲线  $Q=f(t)$ ，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  $H$  与初始水头高度  $H_0$  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 根据试验段的渗水方式和试验装置条件计算试验段尾矿堆积层的水平渗透系数  $k_h$ 、垂直渗透系数  $k_v$  和平均有效渗透系数  $k_m$ 。

## 7.11 室内土工试验

**7.11.1** 室内试验项目和试验方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T50123、现行行业标准《土工试验规程》YS/T 5225 和现行国家标准《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，并应进行检定或校准。

**7.11.3** 尾矿土物理性质指标试验项目及试验方法应符合下列要求：

- 1 尾矿土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 颗粒分析试验分析最小粒径应至 0.002mm，并提供平均粒径、有效粒径、不均匀系数、曲率系数。

**7.11.4** 尾矿土的固结试验应根据工程要求确定试验方法，并应满足下列要求：

- 1 进行压缩试验时，最大压力应与最终坝高相适应，并提供  $e-p$  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的  $e-lgp$  曲线，为计算回弹指数，应在估计的先期固结压力之后，进行一次卸荷回弹，再继续加荷，直至完成预定的最后一级压力。
- 3 需要进行沉降历时分析时，应进行固结系数试验，并提供相关土层的固结系数。

**7.11.5** 尾矿土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，并应符合下列要求：

- 1 按总应力法时，应采用固结不排水（CU）试验；按有效应力法时，应采用固结不排水测孔压（~~错误!未找到引用源。~~）试验，对砂性尾矿应采用固结排水（CD）试验；
- 2 试验应采用不少于 3 个不同的周围压力，最大周围压力宜与尾矿土取样点侧向

压力的大小相适应；

3 三轴压缩试验应根据分析计算的要求提供各试验方法相应的应力应变曲线和强度包线，提供相应的强度指标，以及计算模型所需其他各项参数值。

7.11.6 尾矿土直接剪切试验，应根据稳定性分析的要求选用固结快剪、慢剪或反复直剪，并应符合下列要求：

- 1 最大垂直压力不宜小于土样所在位置的自重应力；
- 2 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 尾矿土的垂直、水平渗透试验，应分别沿垂直、平行尾矿自然沉积层理的方向进行，测定尾矿土的垂直渗透系数和水平渗透系数。

## 7.12 室内动力试验

7.12.1 测定尾矿土的动力力学参数应采用固结不排水振动三轴试验，并应符合下列规定：

1 尾矿土的试样宜采用不扰动样，取不扰动样有困难时，可采用扰动土制备试样。扰动土试样制备时采用的干密度、含水率应根据不扰动样的试验成果确定；

2 测定  $10^{-6}$ ~ $10^{-4}$  应变范围内的动剪切模量和阻尼比可采用共振柱试验；测定大于  $10^{-4}$  应变的动力力学参数可采用动三轴试验或动扭剪三轴试验。

7.12.2 动力力学参数试验应符合下列要求：

- 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 个不同的周围压力，最大周围压力宜与尾矿土取样点侧向压力的大小相适应。

7.12.3 尾矿的动力力学参数宜包括下列内容：

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、动粘聚力和动内摩擦角；

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 岩土工程分析计算模型所需的其他参数。

## 8 岩土工程分析

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 岩土工程的分析评价应根据堆积坝的勘探与试验成果，结合尾矿的沉积规律进行概化分区，并应根据工程需要选用分析计算方法，尾矿和坝基土的各项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。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** 定量分析宜包括渗流稳定分析、坝坡稳定性分析和应力变形分析。

**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相应的岩土工程参数。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 尾矿及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 黏性尾矿、黏性土	固结快剪	$C$ 、 $\varphi$
		固结不排水剪	$C_{CU}$ 、 $\varphi_{CU}$
	黏性尾矿、黏性土	固结快剪	$C$ 、 $\varphi$
		固结不排水剪	$C_{CU}$ 、 $\varphi_{CU}$
有效应力法	砂性尾矿、粉性尾矿、 砂类土、粉土	慢剪	$C$ 、 $\varphi$
		固结排水剪	$C_{CD}$ 、 $\varphi_{CD}$
	黏性尾矿、黏性土	慢剪	$C$ 、 $\varphi$
		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指标的影响。

**8.1.7** 坝坡稳定性计算参数选取尚应符合下列规定：

- 1 洪水运行条件下应采用浸润线调整后的指标；
- 2 计算参数的选取应按试验与原位实测数据的统计值，尚应结合有关工程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可按现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 规

定的方法执行。

## 8.2 渗流计算与渗透变形分析

**8.2.1** 渗流计算应分析尾矿筑坝方式的影响。堆积坝宜采用二维或三维数值分析方法进行分析，I级、II级山谷型湿法排放尾矿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** 当坝体设有排渗设施时，渗流计算应分别分析排渗设施有效和失效对渗流场的影响。

**8.2.4** 尾矿坝浸润线的确定应分析放矿和降雨因素的影响。

**8.2.5** 渗流计算结果宜包括下列内容：

- 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 评价产生管涌、流土渗透变形的可能性。

## 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级堆积坝宜增加二维或三维强度折减法。

**8.3.2** 动力分析应符合下列要求：

- 1 在地震基本烈度为VIII度的地区，稳定性分析应采用拟静力法；
- 2 位于地震基本烈度为IX度地区的各级尾矿坝或地震基本烈度为VIII度地区的III级及III级以上的尾矿坝，抗震稳定性分析除应采用拟静力法外，尚应采用时程法进行分析；
- 3 采用时程分析法计算地震作用效应时，应按现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 选取地震加速度时程；
- 4 对I级和II级堆积坝的地震设防烈度应根据场地地震安全性评价结果确定；对III级及III级以下的堆积坝可采用现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 中地震基本烈度确定地震参数。

**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，各种计算条件下的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	荷载类别 计算方法	1	2	3	4	5
	正常运行	总应力法	有	有	—	—
有效应力法		有	有	有	—	—

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：荷载类别表示如下：1-运行期正常库水位的稳定渗透压力；2-坝体自重；3-坝体及坝基中的孔隙水压力；4-设计洪水位时有可能形成的稳定渗透压力；5-地震荷载。

**8.3.4** 采用简化毕肖普法和瑞典圆弧法计算时，坝坡抗滑稳定性安全系数不应小于表 8.3.4 规定的数值。

**表 8.3.4 坝坡抗滑稳定最小安全系数**

计算方法	坝的级别 计算条件	I	II	III	IV、V
	简化毕肖普法	正常运行	1.50	1.35	1.30
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

注：分析评价现状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坝的级别。

**8.3.5** 对地震动峰值加速度小于 0.10g 的地区的 V 级尾矿堆积坝，当坝外坡比小于 1:4 时，除尾黏土和尾粉质黏土组成的堆积物及软弱坝基外，可不进行稳定性计算。

## 8.4 应力变形分析

**8.4.1** 对 I 级~III 级尾矿堆积坝应进行静力、动力应力变形分析。

**8.4.2** 静力分析应模拟筑坝过程和闭库后稳定状态，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应变分析时，单元划分除应按概化尾矿分层界面外，还应结合监测成果和浸润线位置，荷载中还应计入渗透压力；选择的计算模型应与试验统计模型相适应。

## 9 勘察文件编制

**9.0.1** 勘察报告应在原始资料整理、检查和分析的基础上编制，应做到资料齐全、论证有据、评价正确、建议合理。

**9.0.2** 岩土工程勘察报告应根据任务要求、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、堆积坝及堆积体的岩土工程性能指标；
- 8 场地地震效应；
- 9 堆积坝的岩土工程分析和评价；
- 10 堆积坝存在隐患的分析和治理措施建议；
- 11 监测内容及监测方法建议；
- 12 堆积坝的运行与管理建议。

**9.0.3** 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 室内试验成果表；
- 5 原位测试成果图表；
- 6 稳定性分析计算图表。

**9.0.4** 勘察报告除应提供本规范 9.0.3 条要求的图表外，尚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 工程地质柱状图；
- 4 物探测试成果图；
- 5 照片、视频及其他数字化成果。

**9.0.5** 勘察报告应附工程勘察任务书，并根据需要可提供下列附件：

- 1** 重要的函电；
- 2** 审查会会议纪要及审查意见；
- 3** 专门性试验、专题研究报告或监测报告；
- 4** 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。

**10.1.4** 监测资料应建立记录档案。

**10.1.5** 监测线、监测点的布置，监测频次、监测精度应满足现行国家标准《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** 巡查应包括以下内容：

- 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，浸润线出逸、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；
- 7 其他影响尾矿库安全的现象。

**10.2.2** 巡查的频次应满足下列要求：

- 1 尾矿库每天巡查不应少于 1 次；
- 2 暴雨季节或坝体出现重大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。

### 10.3 人工监测

**10.3.1** 人工监测内容应根据尾矿库等别确定，宜包括下列内容：

- 1 浸润线、库内水位、干滩长度、排渗井水位、坝趾水位；
- 2 坝体渗流量、渗流水浑浊度；
- 3 坝体表面沉降和水平位移；

- 4 坝顶高程及干滩坡度；
- 5 尾矿库水环境。

**10.3.2** 人工监测与在线监测比对的内容应包括：浸润线、坝体表面沉降和水平位移。

**10.3.3** 人工监测资料应于当天整理分析，有异常情况时应按规定上报。

## 10.4 在线监测

**10.4.1** 在线监测内容应根据尾矿库等别确定，宜包括下列内容：

- 1 浸润线、库内水位、干滩长度、排渗井水位、坝趾水位；
- 2 坝体渗流量、渗流水浑浊度；
- 3 坝体表面位移及内部位移；
- 4 坝体孔隙水压力；
- 5 排洪设施的变形、位移；
- 6 降雨量；
- 7 视频监控；
- 8 尾矿库水环境；
- 9 影响尾矿库安全的库岸滑坡；
- 10 其他影响尾矿库安全的现象。

**10.4.2** 排洪设施监测除应满足现行国家标准《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》GB 51108 有关规定外，尚应满足下列规定：

- 1 排洪设施监测内容应包括进水口堰顶高程、出水口水深和浑浊度；
- 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；
- 3 视频监控应布置在排洪构筑物进水口和出水口，监控内容包括进流状况、杂物堵塞、截水沟损坏；
- 4 采用高程测量监测进水口堰顶高程、库水位、出水口水深，并计算排水能力。

**10.4.3** 使用期的设计等别为一等和二等尾矿库，宜对其排洪设施的变形进行监测，可采用应力应变监测方法，监测点宜布置在排洪斜槽盖板、泄洪塔拱板处。

**10.4.4** 在线监测与人工监测比对应满足下列规定：

- 1 监测点应相同或相近，并应采用相同的高程基准值；
- 2 比对剖面不应少于 1 条，主断面应进行比对；
- 3 比对频次应按人工监测频次进行，并应对监测结果进行对比分析。

**10.4.5** 采用监测新技术新方法时，应与成熟可靠监测方法进行比对。

## 10.5 尾矿水环境监测

**10.5.1** 尾矿水环境监测应包括酸碱度、浑浊度和选矿添加物成分监测，其他监测内容宜根据尾矿成分和选矿工艺确定。

**10.5.2** 监测点应布置在库区上游、库区两侧受到影响的范围及坝下游处，且不应少于 5 个点。

**10.5.3** 监测频次应满足下列要求：

- 1 地表水应每月一次；
- 2 地下水每年按枯水期、平水期、丰水期每期应监测一次；
- 3 出现隐患时应加密监测。

**10.5.4** 突发环境污染事件，应按规定启动应急预案，应采取应急措施。

## 11 隐患治理

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 对存在安全隐患的尾矿库，应根据安全隐患的危害程度进行加固治理。

**11.1.2** 尾矿堆积坝的加固治理应结合尾矿堆积坝的特点、隐患产生的原因，在充分的技术经济论证基础上，采用相应的工程治理措施。

**11.1.3** 尾矿堆积坝的抢险可采用水利工程土石坝和堤防工程抢险的工程技术措施。

**11.1.4** 尾矿堆积坝的加固治理应在隐患分析和方案论证的基础上进行设计。

### 11.2 加固治理

**11.2.1** 坝体出现裂缝时，应分析裂缝形成的原因，进行坝体变形加固治理。对浅层裂缝，可采用开挖回填法处理，开挖深度应超过裂缝最大深度 0.3m~0.5m，开挖长度应超出裂缝两端不小于 2.0m，回填土料宜采用加筋土或原土料，回填应分层夯实。

**11.2.2** 坝体出现塌陷时，对于已稳定沉陷塌坑，可进行回填夯实处理；对管涌塌坑，应查明原因并进行治理，应急处理时可直接回填。

**11.2.3** 坝坡冲沟应以土、石分层夯实填平，并应增设坝坡排水沟。

**11.2.4** 坝体出现滑坡迹象时，可采用下列加固治理措施：

- 1 下游坡加压坡戗台，压坡戗台宜选用石料；
- 2 放缓平均坝坡；
- 3 降低坝体浸润线；
- 4 其他措施。

**11.2.5** 坝体需要控制渗流时，可采用下列加固治理措施：

- 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、辐射井系统；
- 2 在与山坡接触的尾矿堆积坡脚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。

**11.2.6** 当坝面或坝肩出现集中渗流、流土、管涌、大面积沼泽化、渗水量增大或渗水变浑等异常现象时，可采取下列治理措施：

- 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，其上再以堆石料压坡，并设置排水沟；
- 3 增加排渗设施，降低浸润线；

**11.2.7** 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，加强排水能力；
- 2 对液化段坝坡增加石料护坡；
- 3 将表层液化土层进行置换；
- 4 对液化段坝体进行碎石砂桩处理。

**11.2.8** 尾矿堆积坝抗震能力不足时，应进行抗震加固治理，并可采取下列提高尾矿坝的抗震稳定性措施：

- 1 增设排渗设施，降低坝体浸润线；
- 2 在下游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 堆积坝后续加高时采用碾压法填筑或用土工合成材料加筋；
- 6 减缓后期外坡坡度。

**11.2.9** 存在岩溶渗漏隐患时，可采用下列加固治理措施：

- 1 对集中渗漏通道采取开挖回填混凝土塞或自流灌水泥浆、水泥砂浆或注浆法封堵等措施；
- 2 坝基及库区存在渗漏，可设置垂直防渗墙以及防渗帷幕等隔水措施；
- 3 后期淹没区可综合考虑设置水平防渗铺盖。

### 11.3 应急处理

**11.3.1** 当尾矿库出现重大险情时，生产经营单位应立即停产，启动应急预案，进行抢险。

**11.3.2** 当尾矿库出现下列情况之一时，应采取应急处理措施：

- 1 坝体出现严重的漏砂、管涌、流土等现象；
- 2 坝体出现严重裂缝、坍塌和滑动迹象；
- 3 浸润线埋深小于临界浸润线；
- 4 库内水位超过警戒水位；
- 5 正在使用的排水井倒塌或者排水管、排水洞坍塌严重堵塞；
- 6 库岸边坡不稳定可能发生大型滑坡时；
- 7 其他危及尾矿库安全的重大险情。

**11.3.3** 当根据水情预报，有洪水漫顶可能时，可采取下列应急处理措施：

- 1 抢筑子堤：筑坝高度应满足防止洪水漫顶的要求，抢筑子堤可采用废石土，土工

织物袋、麻袋或草袋等装废石土、埽捆子堤筑坝等方法；

**2** 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** 打开已建好的非常溢洪道；

**4** 抢开临时非常溢洪道。

## 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 <input type="checkbox"/> 扩建勘察 <input type="checkbox"/> 闭库勘察 <input type="checkbox"/> 专项勘察 <input type="checkbox"/>		
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 堆积坝	堆坝方法:	上游式 <input type="checkbox"/> 中线式 <input type="checkbox"/> 下游式 <input type="checkbox"/> 干式堆存 <input type="checkbox"/>	
	总坝高:                    m	总库容:                    m <sup>3</sup>	堆坝材料:
	最终坝顶高程:            m	相邻马道高差:            m	马道宽度:                m
	堆积坝坡比:	堆积速率:                m/a	
已建 堆积坝	堆积高度:                m	堆积坝顶高程:            m	马道宽度:                m
	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			
勘察评价 要求	<input type="checkbox"/> 1.调查坝址区工程地质和水文地质条件; <input type="checkbox"/> 2.查明尾矿坝及其上游一定范围内已有堆积物的成分、颗粒组成、密实度、沉积规律; <input type="checkbox"/> 3.查明堆积物的岩土工程特性; <input type="checkbox"/> 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; <input type="checkbox"/> 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; <input type="checkbox"/> 6.分析评价在地震基本烈度为____度时的现状坝高和最终坝高的稳定性,并进行液化分析; <input type="checkbox"/> 7.分析评价堆积坝运行中的环境问题; <input type="checkbox"/> 8.对堆积坝的运行、管理、监测提出建议,对堆积坝存在的病患提出防治建议; <input type="checkbox"/> 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):

设计单位(盖章):

联系人:

填任务书人:

电 话:

电 话:

## 本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
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用词：  
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用词：  
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 规范中指明应按其他有关标准执行时的写法为“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
- 《尾矿设施设计规范》 GB 50863
- 《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
- 《建筑工程地质勘探与取样技术规程》 JGJ/T 87
- 《土工试验规程》 YS/T 5225

中华人民共和国国家标准

尾矿堆积坝岩土工程技术规范

GB50547—201×  
条文说明

## 修 订 说 明

《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》GB50547-202X，经住房和城乡建设部 202X 年 X 月 X 日以第 XXXX 号公告批准、发布。

本规范是在《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》GB50547-2010 的基础上修订而来，上一版的主编单位为中国有色金属工业西安勘察设计研究院，参编单位是中冶集团武汉勘察研究院有限公司、中国有色金属工业昆明勘察设计研究院、中冶沈勘工程技术有限公司、中国有色金属长沙勘察设计研究院、中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司、中国瑞林工程技术股份有限公司，主要起草人员是：林颂恩、黄经秋、郭乐群、于行海、万凯军、王汉强、李大毛、李珍英、李福申、刘文连、沈楼燕、辛利武、杨书涛、曾昭建、董忠级、喻国安。

本次修订的主要技术内容是：

- 1 增加了堆积坝勘察类别划分，分为运行期勘察、扩建勘察、闭库勘察和专项勘察；
- 2 增加了现场编录、工程物探、扁铲侧胀试验等勘察手段；
- 3 增加了尾矿水环境监测的相关内容和技术要求；
- 4 增加了排洪设施在线监测的相关内容和技术要求；
- 5 在岩土工程分析章中增加了渗流稳定分析、坝坡稳定分析、应力变形分析的相关内容和技术要求；
- 6 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；
- 7 删除了附录 C 孔隙水压力计埋设方法。

本规范修订过程中，编制组共召开全体会议 5 次，专题研讨会 X 次，总结了我国尾矿堆积坝岩土工程领域的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准、通过调研、征求意见，对增加和修订的内容进行了反复讨论、分析和论证。

为了便于广大设计、勘察、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

# 目 次

1	总 则	41
3	基 本 规 定	43
4	工程勘察要求	45
4.1	一般规定	45
4.2	运行期勘察	45
4.3	改建扩建勘察	46
4.4	闭库勘察	46
4.5	在线监测专项勘察	47
4.6	隐患治理专项勘察	47
4.7	原位测试与试验工作布置	47
5	工程地质测绘与调查	49
6	勘探与取样	50
6.1	一般规定	50
6.2	钻探	50
6.4	取样	50
6.5	现场编录	50
6.6	工程物探	50
7	原位测试与室内试验	51
7.1	一般规定	51
7.2	静力触探试验	51
7.3	圆锥动力触探试验	51
7.4	标准贯入试验	52
7.5	十字板剪切试验	52
7.6	现场直剪试验	52
7.7	扁铲侧胀试验	52
7.8	波速测试	53
7.9	抽水试验	53
7.10	注水试验	53
7.11	室内土工试验	53

7.12	室内动力试验.....	54
8	岩土工程分析.....	56
8.1	一般规定.....	56
8.2	渗流计算与渗透变形分析.....	57
8.3	坝坡稳定性分析.....	57
8.4	应力变形分析.....	58
9	勘察文件编制.....	60
10	巡查与监测.....	61
10.1	一般规定.....	61
10.2	巡查.....	61
10.3	人工监测.....	61
10.4	在线监测.....	61
10.5	尾矿水环境监测.....	61
11	隐患治理.....	63
11.1	一般规定.....	63
11.2	加固治理.....	63
11.3	应急处理.....	64

## 1 总 则

**1.0.1** 尾矿是一种工业废弃物，尾矿堆积坝属于废弃物处置工程中一类重要项目，用尾矿或其他工业生产过程中的细颗粒废渣排放冲积筑坝或干式堆存，其筑坝方式、坝体结构、性能均有别于水利工程的土石坝。

尾矿库的安全运营和管理历来被各级政府主管部门和生产企业关心和重视，1986年原冶金工业部和中国有色金属工业总公司颁发了《上游法尾矿堆积坝工程地质勘察规程》YBJ11(试行)，对尾矿堆积坝的勘察技术工作统一了工作标准和要求。2004年由国家发改委发布的有色金属行业标准《岩土工程勘察技术规范》YS5202 中第 4.5 节和其他章节的相关条文，对尾矿和其他工业废渣堆积坝的岩土工程勘察工作中各种相关活动，包括勘探、试验、分析、评价等作了规定。但由于行业标准的局限性，其他行业同类工程只能参照这两本标准开展工作，而原国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 第 4.5 节中对尾矿和工业废渣堆积坝的勘察仅有 2 条条文，“只对通用性的技术要求作了规定”。在这一背景下，2010 年住房和城乡建设部发布了《尾矿堆积坝岩土工程勘察技术规范》GB50547，对全国冶金、有色金属及其他有关行业的尾矿堆积坝工程的岩土工程勘察和监测、治理等技术工作统一标准和要求。为合理有效利用土地，规范尾矿的排放，有效防范尾矿堆积坝的安全事故和环境事故的发生，保障人民生命财产安全，制定本规范。

**1.0.2** 国内尾矿堆积坝一般采用水力输送排放和干式堆存两种方式。水力输送排放的尾矿堆积坝按其筑坝方式可分为上游式、中线式和下游式三种，上游式筑坝的尾矿堆积坝由于筑坝工艺简单，粗、细粒尾矿都能使用，坝坡易管理等特点，早期在我国应用最广，但上游式筑坝的冲填尾矿密度低，浸润线较高，抗震性能较差；中线式、下游式尾矿堆积坝具有较好的分选性，采用粗颗粒筑坝其稳定性更好。干式堆存的尾矿堆积坝堆存过程中更容易控制质量，因此近年来干法堆存的筑坝方式应用越来越广泛。

赤泥性质虽与尾矿有较大的区别，但赤泥堆存方式与尾矿相似，根据多年来的勘察工作实践，赤泥堆场的勘察评价与尾矿堆积坝的勘察评价采用的方法相同。

**1.0.3** 尾矿库为重大危险源，近年来，国内外尾矿堆积坝溃坝事故屡见不鲜，造成的损失触目惊心。为防范尾矿库安全环保事故的发生，动态掌握尾矿堆积坝的稳定性，确保尾矿堆积坝的安全正常运行，在尾矿库运行过程中、改建扩建和闭库按照《尾矿库安全监督管理规定》（安监总局令（第 38 号令））（2015 年修正）第十九条“尾矿库应当每三年至少进行一次安全现状评价。安全现状评价应当符合国家标准或者行业标准的要求。上游式尾矿坝堆积至二分之一至三分之二最终设计坝高时，应当对坝体进行一次全面勘察，并进行稳定性专项评价”、第二十八、二十九条“尾矿库运行到设计最终标高或者不

再进行排尾作业的，应当在一年内完成闭库。尾矿库运行到设计最终标高的前 12 个月内，生产经营单位应当进行闭库前的安全现状评价和闭库设计，闭库设计应当包括安全设施设计”。当尾矿的性质或放矿方式与初步设计相差较大或其他原因导致尾矿库改建扩建时，对尾矿堆积坝进行岩土工程勘察，取得相应的勘察资料 and 评价参数。本条为强制性条文，必须严格执行。

### 3 基本规定

**3.0.1** 勘察任务书是尾矿堆积坝岩土工程勘察的依据，岩土工程师根据委托单位提供的勘察任务书按照设计要求编制勘察纲要。本规范附录 A 是最基本的要求，当有特殊要求时可另附页。在尾矿堆积坝岩土工程勘察过程中，要收集尾矿库勘察资料，当缺乏前期的岩土工程勘察资料时，需另行提出补做前期相关工程勘察的任务书。

**3.0.2** 表 3.0.2-1 和表 3.0.2-2 均引自现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863，溯源则来自原行业标准《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准》SDJ 12，即现行行业标准《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL 252，本规范在表注中稍作修改。

**3.0.3** 勘察等级的确定主要考虑了尾矿堆积坝的规模以及其溃坝后对下游造成的安全和环境的后果因素。对于 IV 级和 V 级尾矿堆积坝，考虑到溃坝后的影响范围内若有重要城镇、工矿企业、铁路干线、高速公路，将对人民群众生命财产造成严重危害，勘察等级提高一级。如山西省襄汾县新塔矿业有限公司新塔矿区 980 平硐尾矿库为五等尾矿库，2008 年 9 月发生特别重大溃坝事故，波及下游 500 米范围矿区办公楼、集贸市场和部分民宅，造成 276 人死亡，直接经济损失达 9619.2 万元。在线监测专项勘察一般以收集资料为主，勘察等级一般较低；隐患治理专项勘察，情况复杂，不宜做统一规定。因此专项勘察要根据实际情况确定勘察等级，布置勘察工作量。

**3.0.4** 根据《尾矿库安全监督管理规定》（国家安全生产监督管理总局令第 38 号）及现行行业标准《尾矿库安全技术规程》AQ2006 的规定，结合目前尾矿堆积坝勘察的现状，堆积坝勘察根据使用和评价要求分为运行期勘察、改建扩建勘察、闭库勘察。

堆积坝运行期勘察应在排放堆积尾矿至一定高度后进行，其原因是为了获得堆积尾矿的沉积规律和物理力学性质指标。本条与现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 协调一致，对三等及三等以下的尾矿库堆至  $1/2 \sim 2/3$  总坝高时进行；对二等尾矿库在尾矿坝堆至  $1/3 \sim 1/2$  和  $1/2 \sim 2/3$  总坝高时进行；对一等尾矿库在尾矿坝堆至  $1/3 \sim 1/2$  和  $1/2 \sim 2/3$  总坝高时进行。尾矿库在运行过程中，堆积高度是逐渐增加的，当堆积达到一等库标准时，尾矿库达到最高等别，为保证尾矿库的安全运行要进行一次勘察评价，考虑到一等尾矿库的重要性和现行评价的要求，当坝高每增高 20m 时进行一次勘察评价。

目前有的尾矿磨矿粒度很细，200 目达到 90% 以上，这样的细粒尾矿目前缺乏筑坝经验。因此，为了满足工程安全要求，堆积坝的稳定性分析评价工作有必要多次进行。

尾矿库的改建扩建勘察，主要针对的是尾矿堆积坝的加高扩容，其目的是评价尾矿堆积坝的现状稳定性，为加高扩容提供相关的设计参数，评价加高扩容的可行性，并提出相应的工程措施。当尾矿性质或放矿方式与初步设计相差较大时要根据安全要求适时



进行勘察工作。

运行到最终设计标高或不再进行排矿作业的尾矿库，仍然存在安全或环保方面的隐患和风险，为了维持尾矿库长期安全稳定，消除隐患和风险，为闭库设计提供参数，进行闭库勘察。

尾矿库是一个具有高势能的人造泥石流危险源，一旦溃坝，可能造成重大人员伤亡、财产损失和环境污染，因此按照《尾矿库安全监督管理规定》（国家安全生产监督管理总局令第 38 号）应对尾矿库进行监测工作。在线监测是保证尾矿库安全运行的必要手段，对已建成未设置在线监测系统或需要进行调整升级的在线监测系统，设计时需要提供浸润线等勘察资料。

当尾矿库存在安全隐患时，首先应查明隐患的范围、原因，勘察工作应根据具体隐患情况进行布置，为隐患治理提供依据。

**3.0.5** 尾矿土按相同粒径组成的土进行分类已沿用三十余年，证明是可行的。烧结法赤泥性状较特殊，赤泥失水后性质类似于“水泥土”，失水程度越高固化程度越高，野外可按其固化程度划分为固化赤泥、半固化赤泥和未固化赤泥三类。固化赤泥类似于坚硬状态的黏性土，半固化赤泥类似于硬塑状态的黏性土，未固化赤泥类似于可塑~硬塑状态的黏性土。

## 4 工程勘察要求

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 勘察纲要是岩土工程勘察工作重要的技术性文件，是指导勘察工作的设计书。其内容应针对拟评价的尾矿堆积坝工程概况、场地工程地质和水文地质条件、存在的主要岩土工程问题，提出相适应的勘察工作布置及工作量、各种勘探和原位测试技术要求、取样和室内试验技术要求、分析评价的方法和要求，以及勘察实施组织安排、勘察进度计划及其保证措施、环境因素和危险源辨识、质量和职业健康安全目标及其保证措施、勘察报告书的主要章节等。

**4.1.2** 尾矿堆积坝勘察应选择适用的勘察手段，对所采用的每种手段都应明确需达到的目的和要求。在尾矿堆积坝勘察中，要鼓励新技术新方法的应用，但要与可靠的勘察方法进行比对。工程物探要根据勘察对象与周围介质的物性差异、埋深与规模选择有效的方法。

**4.1.4** 在坝体上的孔、井，如不及时回填封堵，可能影响坝体渗流稳定和污染环境，因此必须认真做好。封堵回填应符合“以土还土，以砂还砂”的原则并做好封孔施工记录。

**4.1.5** 现场勘察的工作人员如接触有害的尾矿土和水时应采取防护措施，并符合现行国家标准《环境管理体系要求及使用指南》GB/T24001 的规定。

### 4.2 运行期勘察

**4.2.1** 影响尾矿堆积坝稳定性的因素包括颗粒组成、堆积规律、物理力学性质、浸润线位置等，运行期勘察工作要查明现阶段的工程特性，评价坝体现状稳定性，对于最终堆积坝高稳定性评价，还需要按设计坝高模拟高应力状态下的强度指标进行分析。进行坝体渗透分析，渗透系数是一个关键性的参数，一般采用原位测试的方法取得，室内试验作为参考。

**4.2.3** 勘探线长度的规定是按计算剖面的需要确定的，主要勘探线布置在最不利于稳定性的位置。根据已有工程经验，主要勘探线上游端达到自坝顶起不小于评价坝高2倍~3倍距离的范围内，可以覆盖可能产生滑面的后缘。

**4.2.5** 勘探线数量是堆积坝稳定性评价的准确性和可靠性的保证条件。在正常排放堆积条件下，沿沟谷谷底的剖面可能是稳定性最低的剖面。但尾矿的排放，尤其是一些中小型矿山，往往是无序的，或由于某些原因迫使将大量细颗粒尾矿堆积在某一侧，由此可造成堆积坝某一地段的不安全因素。这种情况在布置勘探工作前的工程地质测绘或收集分析资料中是难以发现的。在已有工程实例中，有些坝的抗滑稳定安全系数最小的剖面

并不是沿谷底的剖面。但有的单位为了降低费用减少工作量，只在沿谷底垂直坝轴线布设一条勘探剖面，这样就可能使一些不安全因素被漏查，导致评价结果偏安全的假象，掩盖了尾矿库溃坝的风险。为了保证评价结果的准确可靠，本规范将垂直主坝轴线不少于3条勘探线的要求列为强制性条文，必须严格执行。

**4.2.6** 本条对勘探线间距和勘探点间距作了规定，现场布设应在进行工程地质测绘的基础上进行，把勘探线勘探点布设在有代表性的地段或位置。IV~V级坝的勘探线间距和勘探点间距小于I~III级坝的勘探线间距和勘探点间距，是考虑到IV~V级坝的坝断面较窄，勘探点数量相对较少，根据工程实践综合作出的具体规定。

**4.2.7** 围地筑坝建库的堆积坝，每个坝破坏后都会产生不可接受的损失，因此，条文要求各坝段都要进行勘察。

**4.2.9** 浸润线对坝体稳定性影响很大，因此所有勘探点均应准确测量地下水位。根据工程经验，用静力触探孔也可以测量地下水位，所测量的地下水位比采用泥浆护壁的钻孔中测定的地下水位相对准确，可利用静力触探孔测定地下水位。稳定水位的间隔时间按地层的渗透性确定，经验上对砂性尾矿一般不小于0.5h，对粉性尾矿、黏性尾矿一般不小于8h。

**4.2.10** 本条规定了采取岩土试样的质量等级、取样间距及每层取样数量的要求。尾矿土取样质量直接影响试验数据的准确性，因此规定了取土器类型及土样级别，在所有标准贯入试验孔的贯入器中采取扰动试样，是为了消除泥浆护壁对尾矿土的颗粒分析试验结果的影响。

### 4.3 改建扩建勘察

**4.3.1** 尾矿库在运行过程中选矿工艺的变化会引起尾矿土颗粒级配及性质发生变化，湿法排放放矿方式的变化会引起尾矿土沉积规律发生变化，同时浸润线也会随之变化，尾矿堆存方式由湿式堆存变为干式堆存或干式堆存变为湿式堆存的变化直接影响尾矿堆积坝的稳定性。因此，在尾矿库改建工程中，勘探工作量的布置除满足一般的规定外，还要根据以上的变化情况有针对性的选择勘察方法和布置勘探工作量。当尾矿库原设计总坝高和设计总库容不能满足生产需要，进行加高扩容改建时，按照《尾矿库安全监督管理规定》（国家安全生产监督管理总局令第38号）第十三条“严禁未经设计并审查批准擅自加高尾矿库坝体”的规定，因此加高扩容设计前必须进行勘察工作，工作量的布置要能满足加高扩容的要求，除查明尾矿堆积坝一般的性质之外，还要根据加高扩容的具体要求重新确定尾矿堆积坝的等别，进行勘探工作量布置。

### 4.4 闭库勘察

**4.4.1** 尾矿库为人工堆积的高势能危险源，闭库不代表危险源消除，为保证闭库尾矿库的安全，根据《尾矿库安全监督管理规定》（国家安全生产监督管理总局令第 38 号）第二十九条“尾矿库运行到设计最终标高的前 12 个月内，生产经营单位应当进行闭库前的安全现状评价和闭库设计，闭库设计应当包括安全设施设计”的规定，尾矿库闭库应进行勘察工作。勘察工作应系统、全面的查明尾矿库的现状，分析评价尾矿库的稳定性，提出闭库整改措施建议和监测建议，为闭库设计提供岩土工程资料。

**4.4.2** 尾矿库的复垦要进行专门的设计，植被的选择是其中一项重要的内容，为保证复垦植被的成活率，调查当地已复垦尾矿库的植被覆盖情况尤为重要。

## 4.5 在线监测专项勘察

**4.5.1** 在线监测是保证尾矿库安全运行的必要手段。在编制在线监测方案前，应收集前期已有的勘察资料、监测成果、设计图纸、竣工图、气象等资料，调查安全隐患、历史险情、周边环境、污染情况等。对于无勘察资料或无监测成果的尾矿库，在进行在线监测专项勘察时布置满足在线监测要求的钻探及物探工作，为在线监测方案布置提供浸润线等基础性资料。

**4.5.3** 为保证监测仪器安装具有针对性，查明地层结构、各地层岩性、软弱层及坝体稳定地层，将监测仪器布置在潜在滑动面及地质条件变化较大区段才能保证监测结果的可靠性和代表性。

**4.5.5** 监控管理站和监控中心以及雨量计、室外视频等在线安全监测系统设备需要接地设备，电阻率是接地设计的必要参数。

## 4.6 隐患治理专项勘察

**4.6.1~4.6.2** 尾矿堆积坝的隐患一般表现为坝体出现裂缝、管涌、流土、坝体的深部滑动，洪水漫坝及排洪设施失效等，每种不同的隐患在不同的尾矿堆积坝都有其不同的形成原因及发展过程。因此，隐患治理勘察应在现场踏勘、调查的基础上，因地制宜，有针对性的采用不同的勘探手段。

## 4.7 原位测试与试验工作布置

**4.7.1** 静力触探试验在钻探和十字板剪切试验之前进行，有利于指导钻孔取样或十字板剪切试验的深度位置。静力触探试验能够准确测定尾矿的沉积韵律，直观反映土层的力学特性，是尾矿堆积坝勘察中的有效手段。

**4.7.2** 标准贯入试验在我国应用广泛，在砂类土密实度判别和液化判别方面积累了丰富的工程经验，尾矿土一般以砂性尾矿和粉性尾矿为主，因此条文规定在各类尾矿土均应

进行标准贯入试验，且试验孔数量不应少于钻孔数量的 1/2。

**4.7.3** 圆锥动力触探试验在堆积坝勘察中主要用于确定库底、坝基和初期坝碎石土的工程性能，勘察时根据场地条件的适宜性选用。

**4.7.4** 十字板剪切试验所测尾矿土的不排水抗剪强度指标可信度较高。

**4.7.8** 抽水试验多用于测定水位以下较深层的渗透系数，注水试验多用于在干滩测定浅层尾矿土的渗透系数。

**4.7.9** 尾矿土具有明显的水平沉积层理，垂直与水平方向渗透系数不同。因此，分别采取试样进行室内垂直与水平渗透试验。

**4.7.10** 尾矿土在现场采取不扰动样比较困难，取得的尾矿土样在包装、运输、制样等环节中含水量和密度不易保持天然状态。根据以往的勘察工作经验，可在现场采取不扰动土样测试尾矿土的含水量和密度，在室内按测定的含水量和密度制备试样。

## 5 工程地质测绘与调查

**5.0.1** 对尾矿库前期资料进行分析，可以初步掌握堆积坝筑坝材料、筑坝方式、以及工程地质条件，分析堆积坝堆筑、运行中存在的岩土工程问题，使后期勘探与测试工作更具有针对性。

**5.0.2** 本条中“相关的外围”包括可能产生绕坝渗漏的岸坡，坝体周边、坝体下游可能失稳的边坡，可能产生环境岩土工程问题的地段。

**5.0.3** 工程地质测绘与调查的内容，要与尾矿库的设计、生产运行、尾矿库管理以及周边环境相结合。

**5.0.4** 对堆积坝有重大影响的地质单元体和岩性变化较大的复杂场地地段，工程地质观测点间距在相应比例尺图上一般不大于 20mm，对尾矿沉积滩等岩性变化不大的简单场地地段一般不大于 50mm，其他中等复杂场地地段一般为 30mm~40mm。地质观测点采用仪器定位，仪器定位精度要满足地质观测点图上误差不超过 3mm 的要求。

**5.0.5** 工程地质测绘与调查成果的整理，本规范仅作了一般性规定，成果资料要纳入勘察报告，如有要求，可单独提交工程地质测绘报告。工程地质测绘与调查成果报告包括图表及文字说明部分；图表可包括实际材料图、综合工程地质图或工程地质分区图、工程地质剖面图或综合工程地质柱状图，照片及视频。

## 6 勘探与取样

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 静力触探、动力触探、工程物探属于间接的勘探手段，不能直接鉴别尾矿土岩性对其状态进行描述，因此当采用静力触探、动力触探、工程物探时应与钻探等其他勘探方法配合使用。

### 6.2 钻探

**6.2.2** 在编制钻探施工方案时，由于尾矿土一般为砂性尾矿和粉性尾矿，钻进时容易塌孔，要进行钻孔护壁，一般采用下列方法：在浅部尾矿层中采用套管护壁，在地下水位以下饱和尾矿和土层中采用泥浆护壁，在碎石土和破碎岩体中可视需要采用优质泥浆、水泥浆或化学浆护壁，当泥浆损失严重时，采取充填、封闭等堵漏措施。

**6.2.3** 岩芯采取率作为钻探的重要质量因素，尤其是保证尾矿土的采取率，是勘探质量保证的重要措施，对研究对象的计算分析是必要的。

### 6.4 取样

**6.4.3** 试样的质量是保证勘察工作质量的基础，本条对标签的内容进行规定，可实现标签的标准化，保证试样质量的可追溯性，便于岩土工程数据采集数字化的实现。

### 6.5 现场编录

**6.5.3** 尾矿土是一种特殊土，与一般土的描述有一定区别，目前仅有现行行业标准《岩土工程勘察现场描述规程》YS/T 5205 中对于尾矿土的描述做了具体的规定。

**6.5.7** 采用数字化记录能够直接为岩土 BIM 分析提供基础资料，同时，数字化记录也是岩土工程技术的一个重要发展方向。

### 6.6 工程物探

**6.6.1~6.6.2** 工程物探作为一种无损探测技术，适用于尾矿堆积坝岩土工程勘察工作，岩土工程师结合尾矿库的特点选择适宜的地球物理勘探方法，探明尾矿的沉积韵律、构造、浸润线的位置以及库底基岩的埋深、风化程度等。

**6.6.3** 工程物探通过相邻介质之间存在的物性差异来进行成果判译，通常是通过电性差异、波速差异等推断介质的工程性能差异，不能直接鉴别和判断，因此在进行工程物探判译时应与结合钻探或其他手段。

## 7 原位测试与室内试验

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 原位测试和室内试验的项目、试验方法、试验条件是由岩土工程分析评价要求提供的计算参数决定。为使试验工作具有针对性，试验工作内容要根据勘察技术要求确定。

**7.1.2** 尾矿土的颗粒较细，饱和尾矿土易产生触变，为了减小试样运输对样品的扰动，尾矿堆积坝勘察应在工程现场进行尾矿土的一般物理力学性质试验，在现场设立试验室，这是国内尾矿堆积坝勘察和设计专家们的共识。

**7.1.3** 采用天然结构的样品进行试验，是保证试验指标准确的必要条件。试验室采用扰动样制备样时，按现场测得的含水率和密度进行控制。

**7.1.5** 目前，我国使用的原位测试成果与岩土物理力学参数关系的经验式是按规定的方法进行数据修正后建立的，因此使用这些经验关系确定岩土参数时要按照规定的方法对数据进行修正处理。目前，岩土工程师们对测试数据修正与否的认识不统一，因此数据是否修正以及如何修正需根据实际情况确定。

### 7.2 静力触探试验

**7.2.2** 在尾矿堆积坝岩土工程勘察中可根据需要选择单桥、双桥探头或带孔隙水压力量测的单桥探头、双桥探头，在触探过程中随着触探深度增加孔斜增大，因此，本条规定了试验设备量测孔斜的功能。攀枝花马家田尾矿堆积坝的勘察工程实践表明，增强探杆的刚度可有效的防止孔斜，工程中采用了合金钢 45 MnMoB 的  $\phi 42$  探杆成功实现最大孔深 80.1m 的探测深度。

**7.2.3** 静力触探曲线间接的反映了尾矿土层的力学特性，工程上用于力学分层，而不能进行物性分层。因此，用静力触探进行分层及确定土的名称时，需结合相邻钻孔进行划分。

### 7.3 圆锥动力触探试验

**7.3.1** 圆锥动力触探是一种重要的岩土工程原位测试方法，在尾矿堆积坝的勘察中，尤其对不能取土样做试验的以废石筑坝的初期坝坝体，坝基碎石层及极软岩的测试显得更重要。

**7.3.2** 圆锥动力触探试验的关键是保持锤击能量的恒定，采用自动脱钩落锤装置控制落锤的方法，能较好地使锤击能量比较恒定。保持探杆的垂直，防止偏心，减少探杆与土层之间的摩阻力，是保证试验准确的重要措施。试验终止条件和锤击速率的规定是确保试验成果准确、可靠、真实的试验质量控制措施。



**7.3.3** 应用试验成果时， $N_{63.5}$  或  $N_{120}$  值是否修正或如何修正，应根据建立统计关系时的具体情况确定。对试验成果中出现的异常值应分析其原因，对操作或机具等人为因素以及触探的界面效应等因素产生的异常值应剔除。

## 7.4 标准贯入试验

**7.4.1~7.4.3** 标准贯入试验在尾矿堆积坝的勘察中是应用最广泛的一种测试方法，由于尾矿堆积坝为近期人工堆积的尾细砂、尾粉砂和尾粉土为主的尾矿堆积而成，结构松散，孔壁稳定性差，为保证测试质量，钻进过程中应重视钻孔的护壁工作。

试验成果提供的  $N$  值是试验实测值，未作修正，应用  $N$  值进行工程评价时，岩土工程师根据工程需要选用相应的  $N$  值，即实测值或经过某一方法的修正值。对实测值中的异常值要分析其原因，剔除因操作或机具等人为因素产生的异常值。

## 7.5 十字板剪切试验

**7.5.1** 十字板剪切试验适用于测定饱和软黏土性质的尾矿的不排水抗剪强度，相当于摩擦角  $\varphi_{cu}=0$  时的黏聚力  $C_{cu}$  值的测试。

**7.5.2** 软黏土的埋藏深度对试验位置的准确性十分重要，一般宜在拟进行十字板剪切试验的孔位旁预先做静探试验，结合静探孔的土层变化情况，选择软黏土分布的部位进行试验。拧紧接箍的目的是为了消除人为与机械误差。

**7.5.3** 当计算电测十字板剪切试验不排水抗剪强度时，可不对轴杆进行摩擦力校正，因为电测十字板直接测定的是施加于板头的扭矩。

## 7.6 现场直剪试验

**7.6.1** 现场大面积剪切试验由于试验的岩土体比室内试样大，能包含宏观结构的变化，试验成果更接近工程的实际情况。因为试验场地选择的限制，不可能对埋深较大的尾矿进行试验，所以需考虑试验成果的代表性。

**7.6.2** 对试验场地的选择，应考虑稳定性分析时坝体受力特征，选择有代表性的地段，剪切方向选择与滑动方向一致，最大的法向应力大于最大预估应力值，使试验成果与稳定性分析更接近实际的受力情况。

## 7.7 扁铲侧胀试验

**7.7.1** 扁铲侧胀试验是将带有膜片的扁铲压入土中预定深度，充气使膜片向孔壁土中侧向扩张，根据压力与变形关系，测定土的模量及其有关指标。扁铲侧胀试验适用于软弱、松散土层，当采用加强型薄膜片时，也可用于密实的砂土。尾矿在堆积过程中，形成软弱的尾黏土和松散、稍密、中密的尾砂，一般用扁铲侧胀试验测定压力与变形关系。

## 7.8 波速测试

**7.8.1** 波速测试的目的是通过测定弹性波在岩土体内的传播速度，计算出所测试层位在小应变条件下( $E=10^{-4}\sim 10^{-6}$ )的动力参数。

## 7.9 抽水试验

**7.9.1** 抽水试验是评价砂性尾矿含水层渗透性最常见、最直观、最有效的试验方法，用于获取含水层的渗透系数，确定降深、涌水量、影响半径等水文地质参数之间的相互关系。

**7.9.2** 在尾矿堆积坝勘察工作中，一般采用3段降深的稳定流试验；当水位埋藏较深水量较小，3段降深稳定流抽水试验无法实施时，工程上采用抽筒提水的简易抽水试验方法。根据经验，当抽水试验孔的有效孔径小于150mm时，过滤器的安装及水泵型号的选择不易实现。因此，抽水试验孔的孔径要求大于200mm。

**7.9.3** 抽水试验成果计算包括影响半径R和渗透系数k值，并根据水文地质条件和抽水情况选择计算方法。

## 7.10 注水试验

**7.10.1** 浸润线以上堆积体的渗透系数，一般采用试坑注水或钻孔注水试验可获得较满意的结果，注水试验简单，在野外易进行，是一种常用的测试方法。

**7.10.2** 注水试验分为试坑注水和钻孔注水，在尾矿堆积坝勘察中岩土工程师根据地下水的埋藏条件和尾矿的渗透性强弱选择相应的试验方法。

## 7.11 室内土工试验

**7.11.1** 尾矿土属于特殊土，现行行业标准《土工试验规程》YS/T 5225对其试验方法有明确的规定。因此，在进行尾矿土的物理力学性质试验时，执行现行行业标准《土工试验规程》YS/T 5225。

**7.11.3** 尾矿的工程分类以颗粒组成为主要依据，颗粒分析是尾矿室内试验的重要试验项目。不同类型的尾矿比重差异较大，试验时要根据矿物中有机质、可溶盐、亲水性胶体的含量选用纯水或中性液体。

**7.11.4** 为了模拟坝体实际应力状态，固结试验的试验压力要与上覆自重压力相一致，本条规定最大压力要与最终坝高相适应。

**7.11.5** 尾矿的三轴试验是为坝坡的稳定性分析和坝体的应力应变分析提供分析计算参数的室内试验方法。它具有受力状态明确，有效控制排水条件的特点，试验时可根据不同

的分析计算模型选择相应的试验方法。

排水状态对三轴试验成果影响较大，不同的排水状态所测得的  $c$ 、 $\varphi$  值差别很大，故本条规定试验时的排水条件要接近工程实际。

为了模拟坝体实际应力状态，三轴试验的最大周围压力要与试样的侧向压力相一致。

**7.11.6** 随着仪器设备的发展，现有的土工试验设备已具备施加大压力的直剪试验能力。因此本条规定了试验的最大垂直压力一般采用土样所在位置的自重应力。

**7.11.7** 平行尾矿沉积层理与垂直尾矿沉积层理的渗透系数相差较大，而在坝体的数字模拟计算中又需要分别输入垂直、水平渗透系数。常采用的方法是在探井中用环刀取平行沉积层理和垂直沉积层理的试样，进行室内渗透性试验，分别提供垂直和水平渗透系数。

## 7.12 室内动力试验

**7.12.1** 动力试验条件应反映尾矿土实际应力状态，地震一般时间较短，在地震时尾矿土处于不排水的应力状态，故一般采用固结不排水动三轴试验。

尾矿土一般为砂性土或软黏性土，取样、包装、运输过程中对土样扰动较大，难于保证 I 级试样的要求；动力学参数试验设备精度要求高，无法在现场进行试验，试验室一般采用扰动土制备试样进行试验。制备试样时采用的干密度、含水率要求按尾矿土天然状态的干密度和含水率控制。

测定尾矿土的动力力学参数采用的仪器有三种：共振柱仪、动扭剪仪和动三轴仪。测定小应变范围内 ( $10^{-6}$ ~ $10^{-4}$ ) 的动剪切模量和阻尼比采用共振柱仪，测定中等到大应变范围内动力力学参数一般采用动扭剪仪和动三轴仪。

**7.12.2** 动三轴试验前，先将试样进行固结，模拟实际地面下土体静应力状态确定固结比；试验的振动周次根据里氏震级相当的等效循环次数确定，里氏震级 7 级等效循环次数为 10 周，里氏震级 7.5 级等效循环次数为 20 周，里氏震级 8 级等效循环次数为 30 周。

当试验条件受限时，多数试验单位一般采用 100、200、400、600kPa 围压进行试验。这种试验围压不符合工程实际，对计算结果有影响的。

**7.12.3** 为了反映尾矿土的动力力学特性，首先要确定不同应力状态下初始动剪切模量、参考应变、最大阻尼比，然后依据工程需要确定破坏判断条件，再确定破坏时的动应力、动剪应力比、液化应力比、动粘聚力和动内摩擦角；

尾矿土的动力试验成果除提供动弹性模量、动剪切模量、阻尼比、动强度、动孔压

比、液化应力比等相关关系曲线外，还可以分别绘制总应力及有效应力莫尔圆，求出相应的动强度指标；

岩土工程分析模型较多，主要有非线性弹性、弹塑性、粘弹-塑性模型，最常用的非线性弹性模型是邓肯-张等人提出的非线性弹性（E~B）模型，弹塑性模型主要是沈珠江提出的双屈服面弹塑性模型，非线性弹性修正的 K~G 模型。在进行岩土工程分析时，根据不同的工程要求和尾矿坝的实际情况，选用不同的动力计算模型，提供模型计算参数。

## 8 岩土工程分析

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 尾矿堆积坝的稳定性分析与评价工作必须要有岩土工程勘察资料。查明地层的分布及库区与坝坡浸润线的埋深，提供尾矿堆积坝体岩土物理力学性质及参数，并进行尾矿层的概化分区，以便对尾矿坝进行稳定性评价，并对可能出现的问题提出处理措施，为尾矿库安全运行提供依据。

**8.1.2** 尾矿堆积坝的岩土工程定性分析包括工程地质类比法和图解法。工程地质类比法就是将要研究的现有尾矿堆积坝坝坡或拟设计的坝坡与已研究过的相似工程地质条件的尾矿堆积坝坝坡进行类比，并在全面分析比较工程与已有边坡的岩性、结构、自然环境、变形等因素和尾矿坝的堆存方式、放矿方式的基础上，评价尾矿坝的稳定性。图解法一般有极射赤平投影法和泰勒图表法。极射赤平投影法在尾矿坝的稳定性评价应用较少。泰勒图解法是根据瑞典圆弧法试算得出的边坡稳定性与土的抗剪强度指标  $c$  和  $\varphi$ 、尾矿土容重  $\gamma$  和坝坡的尺寸、坝坡坡脚与坝高等五个参数的关系表达其计算成果。

**8.1.3** 尾矿堆积坝特殊的功能特性，其岩土工程分析评价包括渗流稳定分析、坝坡稳定性分析和应力变形分析，其中渗流稳定分析是基础，只有在渗流计算分析的基础上，再进行坝坡的稳定性和坝体的应力变形分析。

**8.1.5** 岩土工程分析可能采用不同的方法，体现尾矿土处于的不同应力和工作状态，故需根据分析方法，选取和其匹配的力学指标。

工程指标的代表值应分别为标准值，平均值和特征值，用以评价土的性状的各种物性指标可取平均值，抗剪强度指标应取标准值，压缩性指标应取平均值，地基承载力应取特征值。岩土参数的分析与统计可按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 有关章节执行。

**8.1.6** 软弱尾黏土因排水性差，固结时间较长，在采用固结快剪试验指标时，考虑到实际应力状态下的固结程度；当采用十字板抗剪强度指标时，要考虑扰动和固结程度对抗剪强度的影响，实际上试验所获的抗剪强度指标低于实际真实值，尾矿土的抗剪强度会随固结持续而增长。

**8.1.7** 尾矿坝在正常运营期和洪水期浸润线会发生改变，洪水期浸润线上抬，使原来处于非饱和状态的尾矿土变为饱和状态，其物理力学指标也发生了改变，稳定分析应考虑这种变化；

由于尾矿土的取样、制样和试验等环节可能出现的缺陷，选用计算参数对比分析室内试验和原位测试试验结果，并结合工程实际和通过反分析综合确定。

**8.1.8** 尾矿的液化判别和评价在现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB50191 第 23 章有明确规定：四级、五级尾矿坝，可采用简化判别方法；一级、二级、三级尾矿坝，应采用二维或三维时程分析法。对尾矿堆积坝饱和尾砂土和尾粉土的液化判别，岩土工程界讨论比较激烈，看法不一致，视坝体的具体情况和任务书要求进行判别。

## 8.2 渗流计算与渗透变形分析

**8.2.1** 本条对尾矿坝渗流计算只做了一些原则性的规定，主要根据尾矿库的等别，场地类型分别选取计算方法和计算参数。I 级、II 级山谷型湿法排放尾矿坝，地质条件和渗流条件复杂，为了使渗流计算更符合实际状况，本条规定对 I 级、II 级山谷型湿法排放尾矿坝进行三维数值模拟法或模拟试验，为尾矿坝安全运行提供依据。对 III 级及 III 级以下的堆积坝的渗流计算，根据工程需要，推荐使用三维渗流计算。

**8.2.2** 尾矿土的渗透性参数的确定主要方法是现场试验和室内试验，也可选用类似工程的参数指标。渗透计算的渗透性参数取决于坝体形态，放矿方式、筑坝形式、尾矿沉积层的空间组合规律及颗粒组成，受这些因素的影响，坝体的渗透系数表现为各向异性，表现为沉积层水平方向与垂直方向渗透性显示出显著差异，对于比较均匀的尾矿砂层和水下沉积的尾矿泥带，水平渗透系数与垂直渗透系数之比一般变化在 2~10 范围内。局部淤积细粒和粗颗粒的互层在排放方法不能得以充分控制的条件下，形成广泛互层比值可达 100 倍以上。在参数取值时，要在现场试验、室内试验和工程类比法的基础上，进行反演综合确定。

**8.2.3** 尾矿堆积坝的渗流控制要确保浸润线低于控制浸润线。为了降低浸润线在坡体和坝基内设置有排渗管、盲沟、垂直塑料排渗板和排渗井等设施，局部细颗粒淤积或化学胶结等原因，造成排渗设施失效，继而抬高浸润线，对坝坡安全稳定造成潜在威胁。

**8.2.4** 在雨季，降雨下渗或遇软弱层形成上层滞水导致坝体浸润线抬高，影响坝坡稳定，计算时要考虑放矿、降雨因素对尾矿坝浸润线的影响。

**8.2.5** 尾矿堆积坝的渗流是评价其稳定性的必要条件，渗流计算的主要任务是确定坝体浸润线的位置、坝体和坝基的渗流量以及浸润线出逸时的水力坡降，为坝体稳定性分析和排渗设施设计提供依据。

## 8.3 坝坡稳定性分析

**8.3.1** 尾矿坝坝坡及坝基的静力稳定性分析一般采用极限平衡法，常用的方法为条分法，有不计条块间作用力和计及条块间作用力两类，按滑动面形状分圆弧法和折线法两种。最早的瑞典圆弧法是不计条块间作用力的方法，计算简单，已积累了丰富的经验，但理论上存在缺陷，且当孔隙压力较大和地基软弱时误差较大。简化毕肖普圆弧法或其他

计及条块间作用力的方法，由于“计及条块间作用力”能反映土体滑动土条之间的客观状况，但计算比瑞典圆弧法复杂。由于计算机的广泛应用，使得计及条块间作用力方法的计算变得比较简单，容易实现，近十几年来已积累了很多经验。

对 I 级和 II 级堆积坝采用二维或三维数值模拟结合强度折减法来进行安全系数分析，现阶段采取这种数值模拟方法的单位也比较多，计算方法和程序也不尽相同。为了使计算分析更符合坝体实际状况，使计算结果更可靠，本规范规定了 I 级和 II 级堆积坝宜采用二维或三维数值模拟方法进行分析。

**8.3.2** 本条对尾矿堆积坝在地震作用下的稳定性评价，与现行行业标准《尾矿库安全技术规程》AQ 2006 和现行国家标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 进行了协调。

对地震烈度为 VII 度的地区，坝坡的动力稳定性分析强调应采用拟静力法，一般可满足工程需要。对地震烈度 IX 度地区的各级尾矿坝或地震基本烈度为 VIII 度地区的 III 级及 III 级以上的尾矿坝，地震作用下坝坡的稳定性分析除了采用拟静力法外，还要采用时程分析法，结合强度折减法或极限平衡法，计算出地震期和地震结束后一段时间内的坝体中塑性区的扩展演化和坝坡的安全系数，以此对坝体安全稳定做出评价。动力时程分析计算应满足现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的要求。

**8.3.3** 在评价尾矿库安全稳定时，我国现行各标准通常规定采用极限平衡法，按正常运行、洪水运行、特殊运行三种计算工况，同时说明了五种荷载下采用什么计算方法，计算方法确定也就规定了力学指标计的选用。根据计算工况、计算方法和荷载种类进行计算组合。

**8.3.4** 将坝坡抗滑稳定性安全系数分别按简化的毕肖普法和瑞典圆弧法列表，并与国家现行标准《尾矿设施设计规范》GB 50863 相协调，将 IV、V 等尾矿坝特殊运行的瑞典圆弧法安全系数提高到 1.05。

## 8.4 应力变形分析

**8.4.1** 近年来，我国在土体应力和变形的数值模拟分析方面有了较大进步，积累了较丰富经验和资料，利用大型商用软件的二次开发和岩土专业软件，对尾矿堆积坝在不同工况下的应力场和变形场进行数值模拟分析。

**8.4.2** 尾矿坝的静力分析要充分反映出尾矿坝筑坝过程中安全稳定性的演化规律，通过数值模拟的方法，分析筑坝过程中应力场、变形场和应力水平的变化特性，为工程实际的设计运行提供依据。尾矿库闭库后，尾矿土存在蠕变特性或浸润线的改变都会对其稳定性产生影响，通过数值计算，模拟发生这些状况时尾矿库的安全稳定性。

地震作用下的稳定性分析结果包括残余变形场、有效应力场、孔压比、液化区域和

塑性区范围。其中残余变形主要是评价地震后坝顶变形是否或影响到坝体发生漫顶或干滩长度不满足最小干滩长度要求而影响坝坡的安全稳定。

有效应力场分布决定了坝坡的安全稳定性，其直接用于计算整个地震过程中的安全系数变化。孔压比的分布场时程分布可反映坝坡和坝基的发生液化破坏的可能性。液化区分布特性为工程设计和运行提供坝坡马道宽度和干滩长度的指标，塑性区的范围反映了地震过程中坝体和坝基出现变形持续增加的范围，为尾矿坝的安全稳定性评价提供依据。

**8.4.3** 尾矿坝沉积层复杂且变异性大，概化地层时需考虑浸润线的位置，在数值计算中宜考虑因渗流引起的渗透压力作用。尾矿堆积坝应力和变形的静力数值计算中采用较多的数学模型有：非线性弹性、弹塑性、粘弹-塑性模型，最常用的非线性弹性模型是邓肯-张等人提出的非线性弹性（E~B）模型，弹塑性模型主要是沈珠江提出的双屈服面弹塑性模型，非线性弹性修正的 K~G 模型。动力计算采用的较多的模型是等效粘弹性线性模型和等效粘弹塑性模型。



## 9 勘察文件编制

**9.0.1** 原始资料是岩土工程分析评价和编写岩土工程勘察报告的基础，重视和加强对原始资料的整理。检查和分析是保证勘察文件编制工作和成品报告质量的基本条件，因此，本条强调了勘察文件的编制所依据的原始资料的重要性，只有在确定原始资料准确、完善的前提下，才能使勘察文件做到资料齐全、论证有据、评价正确、建议合理。

**9.0.2** 本条规定了岩土工程勘察报告的基本内容，由于堆积坝勘察目的不同，需解决的岩土工程问题不同，要根据工程特点、地质条件和所需要评价的问题，在满足本条要求前提下还需针对要解决的岩土工程问题进行相应的分析评价。在进行岩土工程分析时，要根据尾矿堆积坝的等级选用渗流分析、稳定性分析或应力变形分析。

## 10 巡查与监测

### 10.1 一般规定

**10.1.2** 尾矿堆积坝的监测，一般包括库内水位观测、坝体浸润线观测、坝坡变形观测、尾矿库周边不良地质现象监测等。具体工作中需要哪些监测内容，要结合实际情况确定，并有针对性地选用适宜的观测手段。

**10.1.3** 为了检验尾矿堆积坝在线监测的有效性和监测成果的可靠性，要采用人工监测的方法和频率对在线监测成果进行比对。

**10.1.4** 建立监测资料档案，有利于尾矿库监测资料管理，为工程正常运行、扩建或隐患治理提供坝体运行状况资料。

### 10.2 巡查

**10.2.1** 巡查是保障尾矿坝安全的重要手段，重在依据经验和主观感受进行，可使用钢卷尺、数码相机等工具，通过巡查对发现的异常及时处置。

**10.2.2** 巡查工作要有连贯性，明确巡查的内容、方法及要求，巡查频次一般根据尾矿库运营情况和不利因素变化情况进行调整，但出现险情时应进行不间断的值守。

### 10.3 人工监测

**10.3.2** 浸润线是影响坝体稳定性的重要因素，坝体表面沉降和水平位移是尾矿堆积坝稳定性的直接指标。因此，要对人工监测和在线监测资料进行对比，以人工监测为主。

### 10.4 在线监测

**10.4.2~10.4.3** 现行国家标准《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》GB51108 对在线监测工作量布置、监测内容、监测方法、监测精度以及预警做了详细规定；对于排洪设施的变形监测，由于监测难度较大，工程实践较少，未作详细规定，本条对此进行了补充。

**10.4.5** 在线监测中要大力推广新技术、新方法的应用，但新技术新方法的可靠度需要和可靠的监测方法进行比对。

### 10.5 尾矿水环境监测

**10.5.1** 监测分析方法参照《地表水和污水监测技术规范》HJ/T91 的要求。

**10.5.2** 上游监测井一般沿地下水径流方向设在库区上游，作为对照井（本底井），但对对照井内地下水不应受库内尾矿水的影响；下游监测井一般沿地下水流向设在库区下游影响范围内，作为污染监视监测井；两侧受影响范围的监测井一般设在最可能受到扩散影

响的库区周边，作为污染扩散监测井。

## 11 隐患治理

### 11.1 一般规定

**11.1.2** 尾矿堆积坝的加固治理常采用土质边坡和地基加固处理的岩土工程技术措施。边坡治理和加固措施很多，岩土工程的实践证明，减载、边坡开挖和压坡、排水和防渗等常规治理措施对提高边坡自身的稳定性非常有效，应优先考虑采用，若仍不能满足边坡稳定要求，再考虑采用其他加固措施。这一原则对于尾矿堆积坝的治理和加固同样适用。针对尾矿堆积坝实际存在的问题，合理选择相应的治理与加固措施，充分发挥不同措施的作用，使采用的方案达到技术可行和经济合理的目的。

**11.1.4** 尾矿堆积坝的加固治理前一般要进行专项勘察和方案论证，通过调查和勘察，查找分析隐患原因，针对隐患类型确定治理方案，并进行论证。

### 11.2 加固治理

**11.2.1** 尾矿堆积坝体出现裂缝的原因很多，例如滑坡、底部塌陷、沉陷、干裂、冻融、振动等，应通过表面观测、开挖探坑、探槽等手段，查明裂缝的部位、宽度、长度、深度、错距、产状等，综合分析裂缝的成因，并可针对裂缝的成因和形式采取有效的治理措施。对于缝深不大于 5.0m 的裂缝，待裂缝发展稳定后可采用开挖回填法治理。开挖深度要超过裂缝最大深度 0.3m~0.5m，开挖长度应超出裂缝两端不小于 2.0m，开挖前可灌注石灰浆水，以显示裂缝范围。

**11.2.2** 尾矿堆积坝体出现塌陷的形成原因很多，例如底部采空区、岩溶渗漏、溶洞坍塌、库底排水管渗漏、下部管涌流砂等形成，加固治理首先是防止坍塌进一步发展，其次是塌坑的加固处理。一般来讲，塌坑未经处理不会自行稳定，即便底部空洞填满也存在固结问题。

**11.2.4** 本条内容适用于已滑动且滑坡体已相对稳定或滑动极为缓慢的坝体滑坡，或经过临时抢护需进行永久性处理的坝体滑坡。处理前，要严格防止雨水渗入裂缝内，一般用塑料薄膜等覆盖封闭滑坡裂缝，同时在裂缝上方开挖截水沟，拦截和引走坝面的雨水。在一般岩土工程中，对滑坡的治理首先是根据滑坡产生的原因和具体情况，采用开挖回填、加倍缓坡、压重固脚、导渗排水等多种方法进行综合处理，本条对尾矿坝体滑坡治理的措施就是按照这一原则结合尾矿坝的具体条件制定的。

工程实践中，压重固脚常用的有镇压台和压坡体两种形式，一般根据当地土料、石料资源和滑坡的具体情况采用。镇压台和压坡体应沿滑坡段全面铺筑，并伸出滑坡段两端各 5m~10m，其高度和长度应通过稳定分析确定。一般石料镇压台的高度为 3m~5m；压坡体的高度为滑坡体高度的 1/2 左右，边坡坡率为 1:3.5~1:5。在放缓坝坡的方法中推

荐采用增设马道放缓平均坝坡的方法，放缓的坝坡由稳定计算确定。马道宽度一般不小于 2m，马道间高差为 5m~10m。当边坡总高度较大时(如大于 40m)，在坡高的 1/2 稍高处设置宽平台。平台宽度根据边坡的整体稳定和局部稳定要求，经计算确定。

**11.2.5** 排渗加固方法很多，常用的有水平排渗、垂直排渗或水平与垂直联合排渗、弧形排渗和辐射井排渗，实际工作根据排渗要求选择。虹吸排渗也有应用，目前应用较少，不列入。

**11.2.7** 通过上述四种方法的处理，降低液化风险，提高坝体抗液化的能力。

### 11.3 应急处理

**11.3.3** 工程实践中抢筑子堤一般采用废石土，土工织物袋、麻袋或草袋等装废石土抢筑子堤或埽捆子堤。抢筑子堤过程中水位抬升，致使尾矿库最小干滩长度快速减小，要在靠近岸坡位置开挖临时溢洪沟道，保证泄洪畅通。