UDC

中华人民共和国国家标准

P

GB 50547－2010

尾矿堆积坝岩土工程技术规范

Technical code for geotechnical engineering of tailings embankment

2010－01－18 发布

2010－07－01 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质量监督检验检疫总局 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

GB 50547-2010

☆

中国有色金属工业协会　主编

中国计划出版社出版

（地址：北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层）

（邮政编码：100038　电话：63906433　63906381）

新华书店北京发行所发行

世界知识印刷厂印刷

850×1168 毫米　1/32　2.5 印张　60 千字

2010 年 6 月第 1 版　2010 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—6000 册

☆

统一书号：1580177・377

定价：13.00 元

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 496 号

关于发布国家标准《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》的公告

现批准《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》为国家标准，编号为GB 50547—2010，自 2010 年 7 月 1 日起实施。其中，第 1.0.3、4.3.5条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

二〇一〇年一月十八日

前　言

本规范是根据原建设部《关于印发〈2005年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)〉的通知》建标函〔2005〕124号文的要求，由中国有色金属工业西安勘察设计研究院会同其他6个有关勘察、设计单位共同编制而成。编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了本规范。

本规范共9章和3个附录，主要内容包括总则、术语、基本规定、勘察工作布置、原位测试与室内试验、岩土工程分析评价、勘察文件编制、监测、加固与治理等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范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负责具体内容的解释。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(地址：陕西省西安市西影路46号，邮政编码：710054，E-mail：djbytgf@126.com)，以供今后修改时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位： 中国有色金属工业西安勘察设计研究院

参 编 单 位： 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
中国有色金属工业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
中国瑞林工程技术有限公司

主要起草人： 林颂恩　黄经秋　郭乐群（以下按姓氏笔画排列）
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
杨传德　曾昭建　董忠级　喻国安

主要审查人： 林在贯　张在明　李广信　卢廷浩　田文旗
刘石桥　任宝珍　谭昌奉

目　次

1　总　　则……（1）
2　术　　语……（2）
3　基本规定……（4）
4　勘察工作布置……（6）
4.1　一般规定　……（6）
4.2　资料搜集与工程地质测绘……（6）
4.3　勘探与取样……（7）
4.4　原位测试与试验　……（9）
5　原位测试与室内试验……（11）
5.1　一般规定　……（11）
5.2　静力触探试验　……（11）
5.3　圆锥动力触探试验　……（12）
5.4　标准贯入试验　……（12）
5.5　十字板剪切试验　……（12）
5.6　现场直剪试验　……（13）
5.7　波速测试　……（14）
5.8　抽水试验　……（14）
5.9　注水试验　……（15）
5.10　室内物理力学性质试验　……（16）
5.11　室内动力试验　……（17）
6　岩土工程分析评价……（18）
7　勘察文件编制……（22）
8　监　　测……（24）
8.1　一般规定　……（24）

8.2 日常巡视 …… (24)
8.3 地下水和库内水位监测 …… (24)
8.4 坝体变形监测 …… (26)
9 加固与治理 …… (28)
9.1 一般规定 …… (28)
9.2 加固和治理 …… (28)
9.3 抢险治理方案 …… (29)
附录A 尾矿堆积坝岩土工程勘察任务书 …… (31)
附录B 尾矿堆积坝工程地质钻探要求 …… (32)
附录C 孔隙水压力计埋设方法 …… (35)
本规范用词说明 …… (36)
引用标准名录 …… (37)
附:条文说明 …… (39)

Contents

1 General provisions ····· (1)
2 Terms ····· (2)
3 Basic requirement ····· (4)
4 Arrangement for investigation ····· (6)
4.1 General requirement ····· (6)
4.2 Data collection and engineering geological survey ····· (6)
4.3 Exploration and sampling ····· (7)
4.4 In-situ tests and laboratory tests ····· (9)
5 In-situ tests and laboratory tests ····· (11)
5.1 General requirement ····· (11)
5.2 Static cone penetration test ····· (11)
5.3 Dynamic penetration test ····· (12)
5.4 Standard penetration test ····· (12)
5.5 Vane shear test ····· (12)
5.6 In-situ shear test ····· (13)
5.7 Wave velocity test ····· (14)
5.8 Pumping test ····· (14)
5.9 Water injection test ····· (15)
5.10 Laboratory tests of physical and mechanical properties ····· (16)
5.11 Laboratory tests of dynamic properties ····· (17)
6 Geotechnical engineering analysis and evaluation ····· (18)
7 Compilation of the investigation report ····· (22)
8 Monitoring ····· (24)
8.1 General requirement ····· (24)

8.2 Daily inspection ····· (24)
8.3 Monitoring of the ground water level and ponded water level ····· (24)
8.4 Dam deformation monitoring ····· (26)
9 Stabilization and regulation ····· (28)
9.1 General requirement ····· (28)
9.2 Stabilization and regulation ····· (28)
9.3 Regulation plan for emergency ····· (29)
Appendix A The task of geotechnical investigation for tailings embankment ····· (31)
Appendix B Requirement of engineering geologic drilling for tailings embankment ····· (32)
Appendix C Method of installation of pore pressure gauges ····· (35)
Explanation of wording in this code ····· (36)
List of quoted standards ····· (37)
Addition: Explanation of provisions ····· (39)

1 总　　则

1.0.1 为在尾矿堆积坝岩土工程工作中贯彻执行国家有关的技术经济政策，做到安全适用，技术先进，经济合理，确保质量，保护环境，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 **尾矿堆积坝在堆筑运行过程中必须进行岩土工程勘察。**

1.0.4 本规范规定了尾矿堆积坝岩土工程勘察、评价、监测和治理的基本技术要求。当本规范与国家法律、行政法规的规定相抵触时，应按国家法律、行政法规的规定执行。

1.0.5 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，可用土的特征描述的固体物质。本规范中尾矿还包括铝土矿提取氧化铝后的固体废弃物赤泥。

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。堆存赤泥的常称为堆场。

2.0.3 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。

2.0.4 尾矿堆积坝(堆积坝)　tailings embankment (embankment)

生产过程中在初期坝坝顶以上用尾矿冲积堆筑而成的坝。

2.0.5 尾矿坝　tailings dam

挡尾矿和水的尾矿库外围构筑物，常泛指尾矿库初期坝和堆积坝的总体。

2.0.6 全库容　the whole reservoir capacity

尾矿坝某标高顶面、下游坡面及库底面所围的容积，包括有效库容、死水库容、蓄水库容、调洪库容和安全库容五个部分。设计最终堆积高程时的全库容称为总库容。

2.0.7 沉积滩　deposited beach

尾矿冲积形成的沉积体表层。其露出水面的部分称为干滩或干面滩。

2.0.8 滩长(干滩长度)　beach length

由滩顶至库内水边长的水平距离。设计最高洪水位时的滩长

称作最小滩长。

2.0.9 滩顶　　beach crest

沉积滩面与堆积坝外坡的交线，为沉积滩的最高点。

2.0.10 浸润线　　seepage line

库区内的水体向坝体下游方向渗流时，在坝体内形成的自由水位。

2.0.11 堆积高度　　accumulation height

尾矿堆积坝坝顶与初期坝坝顶的高差。

2.0.12 坝高　　height of dam

堆积坝坝顶与初期坝坝轴线处坝底的高差。达到设计最终堆积高程时的坝高称为总坝高。

3 基本规定

3.0.1 尾矿堆积坝岩土工程勘察(以下简称"堆积坝勘察")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 堆积坝勘察可根据尾矿库等别确定其勘察等级。Ⅰ等至Ⅲ等尾矿库的堆积坝勘察等级宜定为甲级,其余可定为乙级。

3.0.3 尾矿库等别应根据该期的全库容和坝高按表3.0.3-1确定,尾矿堆积坝的级别应根据尾矿库的等别按表3.0.3-2确定。

表3.0.3-1 尾矿库等别

等别	全库容 $V(\times 10^6 m^3)$	坝高 H(m)
Ⅰ	Ⅱ等库具备提高等别条件者	
Ⅱ	$V\geqslant 100$	$H\geqslant 100$
Ⅲ	$10\leqslant V<100$	$60\leqslant H<100$
Ⅳ	$1\leqslant V<10$	$30\leqslant H<60$
Ⅴ	$V<1$	$H<30$

注:1 当库容与坝高指标分属不同等别时,按高的等别;当等别相差大于1时,按高等别降低1等;

2 当尾矿库失事将使下游的重要城镇、工矿企业或铁路干线遭受严重灾害者,可按本表确定的等别提高1等。

表3.0.3-2 尾矿堆积坝级别

尾矿库等别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
尾矿堆积坝级别	1	2	3	4	5

3.0.4 堆积坝勘察应分别在堆积至总坝高的1/3和2/3时进行,对总坝高小于30m的堆积坝可减少勘察次数。坝的堆筑运行有异常情况时应随时进行勘察。闭库勘察宜在闭库前或闭库时进行。

3.0.5 尾矿可根据其粒度成分和塑性指数按表 3.0.5 确定其类别和名称，尾矿的性状可根据其分类参照国家现行有关标准中相应土类的性状进行描述。对烧结法赤泥除按表 3.0.5 分类外，还可根据其固化程度划分为固化、半固化和未固化。

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。

4 勘察工作布置

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。

4.1.2 堆积坝勘察手段应以工程地质调查和测绘、钻探、原位测试和室内试验为主，必要时尚应采用适宜的物探、井探和槽探等方法。

4.1.3 原位测试与室内试验的项目、方法和条件应根据设计要求、工程特点和尾矿类别确定。

4.1.4 除长期观测孔外，坝体上所有钻孔和探井使用完毕后均必须进行封堵回填。

4.1.5 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有效的防护措施。

4.2 资料搜集与工程地质测绘

4.2.1 堆积坝勘察前应全面搜集、整理和分析与该堆积坝有关的资料。搜集资料应包括以下内容：

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、水文地质和地震地质资料，水文气象资料，前期勘察资料。

6 堆积坝的变形、浸润线、排渗及溢流等方面的监测设施设置

情况及观测数据，堆积坝渗漏情况及邻近区域的环境质量。

7 类似堆积坝的工程经验资料。

4.2.2 工程地质测绘和调查的范围应包括堆积坝及其有关的外围。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，有关的外围地段的比例尺宜为1∶2000～1∶5000。

2 对堆积坝有重大影响的坝的变形、裂缝、渗漏、流土、管涌等现象及滑坡、断层、软弱夹层、洞穴等地质单元体，可扩大比例尺表示。

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。

4.2.3 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，对堆积坝有重大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 地质观测点应采用测量仪器定位。

4.3 勘探与取样

4.3.1 勘探手段应以钻探、标准贯入试验和静力触探试验为主，每个勘探点均应布置钻孔，钻探工作应符合本规范附录B的要求。

4.3.2 当工程需要时，可布置适量的探井和探槽。

4.3.3 当需要查明隐伏断层的位置、破碎带的宽度、岩溶发育情况及水文地质条件等时，应进行必要的物探工作。

4.3.4 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，其下游端宜达到初期坝趾下游约30m，其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。

4.3.5 **尾矿堆积坝勘察在主坝的勘探线数量不应少于3条。**

4.3.6 拦截谷口建库的堆积坝的勘探线、勘探点间距宜符合表4.3.6的规定。

表4.3.6 勘探线、勘探点间距

尾矿坝级别	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		
1～3	≤200	≤250	30～60	不宜少于6个
4、5	≤100	≤150	20～50	不宜少于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；

3 当需查明初期坝的工程地质和水文地质条件时，在初期坝地段应符合初期坝勘察的要求；

4 当有适用的前期堆积坝勘察资料时，勘探点数量可适当减少。

4.3.7 围地筑坝建库的堆积坝勘探线应布置在需评价的各坝段，主坝勘探线数量应符合本规范第4.3.5条的规定，其他坝段不得少于2条；勘探点间距宜符合本规范表4.3.6的规定。

4.3.8 勘探孔深度应符合下列规定：

1 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。

2 所有勘探孔深度应进入原天然地面以下1m～2m，其中控制孔深度应满足表4.3.8的规定。

表4.3.8 控制性勘探孔深度(进入原天然地面以下)(m)

尾矿坝级别	下游坝坡	沉积滩
1～3	15～20	5～8
4、5	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，孔深可减小；

3 场地内存在岩溶等不良地质作用时，勘探点深度应另行确定；

4 当坝体和堆场内设有加筋或防渗层时，勘探孔深度可根据情况进行调整。

4.3.9 所有勘探点均应测定地下水位，地下水位的量测应符合下列规定：

1 遇地下水时应量测水位。

2 稳定水位应在初见水位后经一定的稳定时间再量测。

4.3.10 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。对以粉性和黏性为主的尾矿应采用薄壁取土器或回转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；取样的垂直间距宜为 1.0m～3.0m。

2 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。

3 对软弱夹层，特别是可能产生滑动的夹层，应采取试样。

4 当尾矿层和岩土层不均匀时，应增加取样数量。

5 所有标准贯入试验点均应采取扰动试样。

6 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。

4.4 原位测试与试验

4.4.1 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，在其他勘探线上可适量布置静力触探试验；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 静力触探试验宜在钻探和十字板剪切试验之前进行。

4.4.2 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，钻孔中各类土层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。

4.4.3 圆锥动力触探试验应按下列规定布置：

1 对碎石土，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。

4.4.4 十字板剪切试验应按下列规定布置：

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，测定其不排水抗剪强度和灵敏度。

2 十字板剪切试验测点竖向间距宜为1m。

4.4.5 现场直接剪切试验应按下列规定布置：

1 现场直接剪切试验可在堆积坝下游坡面或干面滩上选择适宜的地点进行。

2 同类尾矿的现场直接剪切试验数量不宜少于3处。

4.4.6 波速测试应按下列规定布置：

1 在地震动峰值加速度等于或大于0.10g的地区，应进行单孔波速测试。

2 波速测试应在主要勘探线钻孔中全孔段进行，测试孔数量不得少于3个，测点间距宜为1m～2m。

4.4.7 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，并应按下列规定布置：

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。

4.4.8 尾矿应按其类别分别进行一般物理力学性质的试验，并应按工程要求进行以下项目的试验：

1 当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6.0.5的要求进行三轴压缩试验和直剪试验。

2 当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 当场地处于地震动峰值加速度等于或大于0.10g地区时，应对尾矿和坝基土进行动力性质试验。

5 原位测试与室内试验

5.1 一般规定

5.1.1 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。

5.1.2 室内试验的样品宜采用天然结构的试样，制样前应进行原状样的质量鉴定。

5.1.3 尾矿的室内物理力学性质试验应在工程现场进行。

5.1.4 原位测试和室内试验的设备、试验操作应符合国家现行有关标准的规定。

5.2 静力触探试验

5.2.1 静力触探试验适用于砂性、粉性、黏性尾矿。

5.2.2 静力触探试验应符合下列技术要求：

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，其贯入的能力应满足探测深度的要求。

3 试验时应匀速垂直压入，贯入速率为 1.2m/min。

5.2.3 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和孔隙水压力消散曲线。

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数，对数据进行统计分析，确定各土层的静力触探测试指标。

5.3 圆锥动力触探试验

5.3.1 圆锥动力触探试验适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。

5.3.2 圆锥动力触探试验应符合下列技术要求：

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。锤击速率宜每分钟15击～30击。

3 当重型动力触探连续三次 $N_{63.5}>50$ 时，可停止试验或改用超重型动力触探试验。

5.3.3 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，统计时应对异常值分析原因并权衡剔除。

5.4 标准贯入试验

5.4.1 标准贯入试验适用于砂性、粉性和黏性尾矿。

5.4.2 标准贯入试验应符合下列技术要求：

1 试验应提供标准贯入试验的锤击数。

2 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。

5.4.3 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，统计时应对异常值分析原因并权衡剔除。

5.5 十字板剪切试验

5.5.1 十字板剪切试验适用于饱和软黏性尾矿层中进行不排水抗

剪强度和灵敏度测试。

5.5.2 十字板剪切试验应符合下列技术要求：

1 当尾矿堆积层中存在厚度大于0.5m的饱和软、流塑状态黏性尾矿或地基中存在软土时，宜在钻孔中进行十字板剪切试验，测定其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～1.5m，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，应注意安装好导正系统及测试设备，拧紧接箍，消除人为与机械误差。

5.5.3 十字板剪切试验整理成果应包括下列内容：

1 计算各试验点饱和软、流塑状态黏性尾矿或坝基软土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；需要时，绘制抗剪强度与扭剪角的关系曲线。

5.6 现场直剪试验

5.6.1 现场直剪试验适用于尾矿层、尾矿软弱夹层的接触面、库岸基底地层的软弱结构面的剪切试验。

5.6.2 现场直剪试验应符合下列技术要求：

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，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基本相同，试体的高度不宜小于20cm，剪切面积不宜小于0.25m^2。

4 最大正应力应大于该滑动面上最大法向压力。

5.6.3 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。

5.7 波速测试

5.7.1 波速测试适用于各类尾矿堆积层及坝基各类天然土层的压缩波、剪切波的波速测定，以获得各岩土层的动力参数。

5.7.2 波速测试应符合下列技术要求：

1 波速测试可根据任务要求采用单孔法、跨孔法。

2 测点宜布设在孔内地层岩性交界面处，当层厚较大时，可在层中部增加测点，测点间距宜为 1.0m～3.0m。

5.7.3 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。

5.8 抽水试验

5.8.1 抽水试验适用于获得尾矿的综合渗透系数、涌水量、影响半径及下降漏斗的形态等水文地质参数。

5.8.2 抽水试验应符合下列技术要求：

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。稳定流试验宜做三次降深；非稳定流试验，其出水量应保持常量。

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 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 个孔。观测孔与抽水孔的距离应根据含水层的厚度、透水性能等确定。

4 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。

5.8.3 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 根据上述成果和水文地质条件，计算影响半径和渗透系数。

5.9 注水试验

5.9.1 试坑注水试验适用于测定尾矿层的垂直渗透系数，钻孔注水试验适用于测定尾矿土层的垂直渗透系数和水平渗透系数。

5.9.2 注水试验应符合下列技术要求：

1 当尾矿层位于地下水位以上，且地下水埋深大于 5m 时，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。

5.9.3 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，确定滞后时间 T；钻孔常水头法应绘制流量 Q 与时间 t 的关系曲线，确定稳定流量。两种方法各根据试验段的渗水方式和试验装置条件计算试验段尾矿层的水平渗透系数 k_h、垂直渗透系数 k_v 和平均有效渗透系数 k_m。

5.10 室内物理力学性质试验

5.10.1 颗粒分析试验应根据尾矿类别采用筛析法、沉淀法、密度计法、移液管法进行试验，分析的最小粒径应至0.002mm，并应提供平均粒径、有效粒径、不均匀系数。

5.10.2 尾矿的垂直、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，测定尾矿的垂直渗透系数和水平渗透系数。

5.10.3 土的固结试验应根据工程要求确定试验方法，并提供下列成果：

1 当采用压缩模量进行沉降计算时，应进行压缩试验，最大压力应与最终坝高相适应，并提供 e-p 曲线及各压力段的压缩系数和压缩模量。

2 当考虑土的应力历史进行沉降计算时，应进行先期固结压力试验，最大压力应满足 e-lg$p$ 曲线下段出现较长的直线段，提供 e-lg$p$ 曲线及土的先期固结压力、压缩指数与回弹指数。

3 当需要进行沉降历时分析时，应进行固结系数试验，提供相关土层的固结系数。

5.10.4 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，并应符合下列要求：

1 当按总应力法时，应采用固结不排水剪（CU）；当按有效应力法时，应采用固结不排水剪测孔压（$\overline{CU}$），对砂性尾矿应采用固结排水剪（CD）。

2 试验应采用不少于3种小主应力 σ_3，其中最大的小主应力应与拟分析的坝高的自重应力相当。

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。

5.11 室内动力试验

5.11.1 测定尾矿的动力性质应采用振动三轴仪或共振柱。测定小应变范围内的动力特性参数宜采用共振柱试验，测定较大应变范围内的动力特性参数宜采用动三轴试验。

5.11.2 砂性尾矿的动力性质试验可采用扰动土制备试样。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。

5.11.3 动力性质试验应符合下列规定：

1 动强度试验的固结比宜采用1.0、1.5、2.0；最小主应力可采用100kPa、200kPa、300kPa，振动破坏周次可采用10周、20周、30周。

2 测定液化应力比时，采用的最小主应力宜与可能液化层位深度的应力相适应。

3 测定动弹性模量和阻尼比时，采用的最小主应力宜与坝高相适应。

4 共振柱试验的围压应根据工程实际确定，宜采用50kPa、100kPa、200kPa、400kPa。

5.11.4 尾矿的动力试验成果宜包括下列内容：

1 动弹性模量、动剪切模量、阻尼比、动强度、液化应力比等参数。

2 动三轴试验提供动弹性模量、阻尼比与动应变的关系曲线，不同固结比和振次的动应力和动应变关系曲线，饱和土的液化应力比与振次关系曲线。

3 共振柱试验提供小应变时的动剪切模量、动弹性模量和阻尼比。

6 岩土工程分析评价

6.0.1 岩土工程的分析评价应在工程地质测绘、勘探和取样、原位测试、室内试验的基础上结合尾矿堆积坝的特点和要求进行。

6.0.2 岩土工程分析评价应根据堆积坝的勘察成果，结合尾矿的沉积规律进行概化分区，并根据工程需要选用适宜的分析计算方法。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。

6.0.3 尾矿堆积坝的岩土工程分析评价应包括渗流稳定性分析、静力稳定性分析；在地震动峰值加速度不小于 0.10g 的地区还应包括动力稳定性分析和液化稳定分析。

对地震动峰值加速度小于 0.10g 的地区的 5 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以及软弱坝基外，可不进行稳定性计算。

6.0.4 坝体稳定性计算应选取不少于两个筑坝高度分别进行计算，第一计算阶段应为勘察时的已有坝高，第二计算阶段为最终设计坝高。此外，尚应根据设计要求对其他条件下堆积坝的稳定性进行分析计算。

6.0.5 尾矿堆积坝岩土工程分析应按所采用的分析方法选取相应的各项岩土工程参数。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 6.0.5 选取。

6.0.6 抗滑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 计算参数除应考虑试验室与原位实测数据外，还应结合有关工程经验数据和通过反分析确定。

表 6.0.5 尾矿及坝基土的抗剪强度指标

强度计算方法	土的类别	试验方法和强度指标	试样起始状态
总应力法	无黏性土	固结不排水剪，c_{cu}、ϕ_{cu}	1. 坝体材料含水量及密度宜与原状样一致；浸润线以下应预先饱和；试验应力应与坝体实际应力一致 2. 坝基应采用原状土样
	少黏性土	固结快剪，c、ϕ	
		固结不排水剪，c_{cu}、ϕ_{cu}	
	黏性土	固结快剪，c、ϕ	
		固结不排水剪，c_{cu}、ϕ_{cu}	
有效应力法	无黏性土	慢剪，c、ϕ	
		固结排水剪，c_d、ϕ_d	
	黏性土	慢剪，c、ϕ	
		固结不排水剪、测孔压，c_{cu}、ϕ_{cu}，c'、ϕ'	

注：1 少黏性土指黏粒含量小于 15%的尾矿；

2 软弱尾黏土类黏性土采用固结快剪指标时，应根据其固结程度确定；当采用十字板抗剪强度指标时，应考虑土体固结后强度的增长。

6.0.7 尾矿堆积坝应进行渗流稳定分析，并应包括以下内容：

1 确定堆积坝体的浸润线及其下游可能出逸点的位置。

2 计算坝体和坝基的渗流量。

3 当发生坝坡或坝基浸润线出逸时，应确定渗透流量，评价产生管涌、流土的可能性，评价其出逸比降以及堆积坝中不同尾矿土层之间的渗透比降。

6.0.8 渗流计算应考虑尾矿筑坝时放矿方式的影响。对 1 级～3 级堆积坝宜采用二维或三维有限元法等数值分析方法进行渗流分析，山区尾矿库渗流分析宜进行三维有限元法计算或由模拟试验确定。对 4 级、5 级堆积坝的渗流可根据排渗条件采用二维渗流计算方法进行近似计算或按国家现行有关标准的规定进行计算。

6.0.9 尾矿堆积坝的静力稳定性分析宜采用计及条块间作用力

的简化毕肖普法，也可采用不计条块间作用力的瑞典圆弧法。对1级～3级堆积坝尚宜选用适宜的模型进行二维或三维有限元法的应力应变分析。

6.0.10 尾矿堆积坝进行稳定性分析和评价时应根据要求采用正常运行、洪水运行和特殊运行三种不同条件分别计算，各种计算条件下的荷载组合应根据运行情况按表6.0.10采用。

表6.0.10 不同计算条件的荷载组合

计算条件＼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		
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—筑坝期正常高水位的渗透压力；2—坝体自重；3—坝体及坝基中的超静孔隙水压力；4—最高洪水位有可能形成的稳定渗透压力；5—地震荷载。

6.0.11 当采用简化毕肖普法计算时，坝坡抗滑稳定安全系数K不应小于表6.0.11-1规定的数值；当采用瑞典圆弧法计算时，坝坡抗滑稳定安全系数K不应小于表6.0.11-2规定的数值。

表6.0.11-1 坝坡抗滑稳定最小安全系数(简化毕肖普法)

计算条件＼坝的级别	1	2	3	4、5
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	1.05	1.15	1.10

表 6.0.11-2 坝坡抗滑稳定最小安全系数(瑞典圆弧法)

计算条件 \ 坝的级别	1	2	3	4、5
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	1.00

6.0.12 尾矿堆积坝的动力稳定性分析可采用拟静力法进行计算,对 1 级～3 级尾矿堆积坝尚宜采用二维或三维有限元法进行动力分析。

6.0.13 当采用有限元法进行坝体静力或动力的应力应变分析时,单元划分除应考虑概化尾矿分层界面外,还应结合监测成果考虑浸润线位置,荷载中还应考虑渗透压力;选择的计算模型应与试验统计模型相对应。

6.0.14 尾矿的液化判别和评价可按现行国家标准规定的方法执行。对 4 级、5 级尾矿堆积坝的液化分析可采用一维简化动力法计算,对 1 级～3 级尾矿堆积坝可采用二维时程分析法计算。

7 勘察文件编制

7.0.1 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。

7.0.2 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，并包括下列内容：

1 工程概况，包括尾矿堆积坝的设计参数、现状条件和运行状况等。

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 场地位置、地形、地貌及区域地质概况。

5 坝址的工程地质条件，包括地层、地质构造、不良地质作用以及尾矿堆积层的层位分布、岩性特征、沉积规律等。

6 初期坝、堆积体及坝基岩土的工程性能指标等。

7 堆积坝水文条件和水文地质条件。

8 场地地震动参数。

9 堆积坝的岩土工程分析和评价。

10 堆积坝存在病患的分析和整治处理措施建议。

11 对监测项目及监测工作的建议。

12 为保障堆积坝的稳定与安全运营的管理方面的建议和措施。

7.0.3 勘察报告应附下列图表：

1 勘探点主要数据一览表。

2 图例。

3 勘探点平面布置图。

4 工程地质剖面图。

5 稳定性分析计算图表。

6 原位测试成果图表。

7 室内试验成果图表。

7.0.4 勘察报告可根据需要附下列图表：

1 区域地质图。

2 综合工程地质图。

3 工程地质柱状图。

4 与工程有关的照片。

5 各种有关的物探测试成果图表。

6 其他需要的图表。

7.0.5 勘察报告可根据需要附下列附件：

1 工程任务委托书(或含勘察技术要求的勘察合同)。

2 与工程相关的重要函电。

3 与工程相关的审查报告或审查会议纪要。

4 专门性试验、专题研究报告或监测报告。

5 其他需要的报告及资料。

7.0.6 勘察文件的文字、术语、符号、数值、计量单位、标点符号均应符合国家现行有关标准的规定。

8 监　　测

8.1 一般规定

8.1.1 为提供坝体稳定性分析、安全性评价和加固的基础资料，以及预测环境影响，应对堆积坝进行监测。

8.1.2 监测项目和要求应根据堆积坝的规模、工程环境、运营状况确定。监测项目宜包括地下水动态监测、库内水位和坝体排渗监测、溢流监测、坝体变形监测，以及库岸不良地质监测等。

8.1.3 监测资料应及时整理，并建立监测图表记录档案，发现异常必须及时报告。

8.2 日常巡视

8.2.1 日常巡视应包括安全设施的运营状况，坝坡的维护和异常变形，库内水位的涨落，浸润线出逸引起的管涌，排渗流量和浑浊度变化，以及影响堆积坝安全的库岸滑坡、泥石流、岩溶、采空区等不良地质现象的发育情况。

8.2.2 巡视工作宜采用现场记录、绘制草图、拍照、录像等手段进行。

8.2.3 巡视周期可每周一次，暴雨季节或坝体出现险情时应连续监视。

8.3 地下水和库内水位监测

8.3.1 坝体浸润线监测应符合下列规定：

1 浸润线监测可通过布设在坝坡上的滤水管井水位进行观测。

2 观测井宜沿垂直坝轴线方向的剖面布置。对于沟谷型

坝，宜布置 3 条观测剖面，短坝可于沟谷中心布设 1 条观测剖面。平地筑坝，可区别不同坝段，分别选择代表性剖面布设观测井。

3 观测剖面应自初期坝坝趾至堆积坝坝顶，并随堆积坝加高而向上延伸。渗流水对坝外环境有不良影响的地段，坝前应根据其影响范围增设观测井。

4 观测井间距可按 25m～50m 布置，并视坝体规模和渗流变化情况调整。其中初期坝坝坡、初期坝与堆积坝的结合部，以及排渗设施两侧均应布置观测井。

5 观测井深度应至浸润线设计埋深以下 3m～5m。

6 观测井宜采用清水钻孔，当采用泥浆钻进时必须采用清水洗井。井管下部渗水管长度宜为 3m～5m，外包无纺布和粗砂滤料，管底应封闭。

7 水位量测宜采用电子水位计，有条件时也可采用自记水位计。

8 观测周期宜为每周一次。在库内水位异常变化或放矿点变动期间，应每天进行观测。

8.3.2 坝体孔隙水压力监测应符合下列规定：

1 坝体孔隙水压力监测宜通过埋设在坝体不同部位和不同深度的孔隙水压力计进行。

2 孔隙水压力观测点宜沿垂直坝轴线方向的剖面布设。主要观测剖面应选在坝坡断面最大的部位，其他部位可根据堆积坝运营状态和稳定性分析的需要设置。

3 观测剖面应自初期坝坝趾向上至堆积坝坝顶，观测点平面间距可按 25m～50m 布置，渗流条件突变部位应增设观测点。

4 孔隙水压力计竖向分层埋设深度和层数应根据含水层变化情况选定。如果坝底有透水层，孔隙水压力计设置应自坝基开始。孔隙水压力计埋设方法可参照本规范附录 C。

5 孔隙水压力观测可与浸润线观测同步进行。

8.3.3 库内水位和坝体排渗及溢流监测应符合下列规定：

1 库内水位监测应在库内淹没范围内设置固定水位标尺进行观测，并同时量测库内水位与堆积坝坝顶高差和干面滩长度。

2 坝体排渗流量和溢出点流量监测可采用三角堰或流量计量测，流量偏小时也可采用容量法测定。水的浑浊度可取样进行固体含量分析。

3 监测工作可与巡视工作同步进行。

8.4 坝体变形监测

8.4.1 坝面水平变形和竖向变形监测应符合下列规定：

1 坝面变形监测宜按垂直坝轴线方向布置观测剖面。沟谷型坝宜视坝长布置 1 条～3 条。平地型坝可区分不同坝段选择不利剖面布置观测点。

2 观测剖面应自初期坝坝趾至堆积坝坝顶。观测点水平间距可视坝坡规模和复杂程度按 25m～50m 布置，其中初期坝的坝坡和坝顶应布置观测点。

3 坝面水平变形和竖向变形监测应根据地形地貌条件建立适宜的观测网站；水平变形观测的测角应采用 J_1 级经纬仪，测距应采用钢尺，长距离宜采用光电测距仪。观测周期每月不应少于 1 次，每期观测不应少于 2 个回次，回次误差不应超过 5mm，竖向变形观测应达到国家三等水准测量精度。

4 观测基准点和测点的埋设需牢固可靠，具体要求应符合国家现行有关测量技术标准的规定。

8.4.2 坝体分层水平变形监测宜符合下列规定：

1 对于已有变形隐患的坝坡，宜在最不利坝剖面上埋设垂直测斜管，采用测斜仪进行坝体不同深度水平差异变形观测。

2 测斜管的设置间距可视坝体规模和复杂程度选定，每个观测剖面不宜少于 5 根。

3 测斜管可采用钻孔法埋设，垂直误差不得大于 1°。管的

下端应进入坝基以下稳定地层不少于2m。

4 坝体分层水平差异变形观测周期，不应少于每月1次，并宜与坝面变形观测同步进行。

9 加固与治理

9.1 一般规定

9.1.1 经安全评价，安全度被定为危库、险库和病库的尾矿库（坝），应进行安全治理或抢险。

9.1.2 尾矿堆积坝的加固治理可选用土质边坡加固和地基加固处理的岩土工程技术措施，加固治理方案应结合尾矿堆积坝的特点进行充分的技术经济论证；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。

9.1.3 尾矿堆积坝的加固和治理应在病患分析和方案论证的基础上进行设计。

9.2 加固和治理

9.2.1 尾矿堆积坝体出现裂缝时，应通过表面观测和开挖探坑、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以下治理措施：

1 对缝深小于5m的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2m，回填土料宜与原土料相同，回填应分层夯实。

2 对较深的裂缝可采用灌浆法处理或上部开挖回填、下部灌浆的方法处理。灌浆的浆液可采用纯黏土浆或黏土水泥浆。

9.2.2 坝体塌坑应根据查明的成因采取相应的处理措施。对于已稳定的沉陷塌坑，可进行回填夯实处理；对管涌塌坑，应先治理管涌再进行回填。

9.2.3 坝坡冲沟应以土、石及时分层夯实填平，并增设坝坡排

水沟。

9.2.4 坝体出现滑坡迹象时，可采取下列治理措施：

1 下游坡加压重固脚。

2 放缓平均坝坡。

3 降低坝体浸润线。

4 其他措施。

9.2.5 上游式尾矿堆积坝需要控制渗流时可采取下列措施：

1 在尾矿筑坝的地基设置排渗褥垫、水平排渗管(沟)及排水井等。

2 在尾矿堆积体内设置水平排渗管(沟)、垂直排渗井或水平与垂直联合排渗系统及贴坡排渗体等。

3 在与山坡接触的尾矿堆积坝坡处设置贴坡排渗体或排渗管沟等。

4 适当降低库内水位，增大沉积滩长。

9.2.6 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 在渗水部位铺设土工布或天然反滤料，其上再以堆石料压坡。

2 增加排渗设施，降低浸润线。

9.2.7 尾矿堆积坝抗震能力不足时，必须进行抗震加固治理，并宜采取以下措施提高堆积坝的抗震稳定性：

1 降低库内水位或增设排渗设施，降低坝体浸润线。

2 在下游坡坡脚增设土石料压坡体。

3 增加沉积干滩长度。

4 对坝体进行加密加固。

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。

9.3 抢险治理方案

9.3.1 当尾矿库(坝)出现下列情况之一时，应采取抢险治理

措施：

1　坝体出现严重的漏洞、管涌、流土等现象，威胁坝体安全的。

2　坝体出现严重裂缝、坍塌和滑动迹象，有垮坝危险的。

3　库内水位超过限制的最高洪水位，有洪水漫顶危险的。

4　正在使用的排水井倒塌或者排水管（洞）坍塌堵塞，丧失或者降低排洪能力的。

5　其他危及尾矿库安全的险情。

9.3.2　抢险治理应根据堆积坝的条件、险情类别选用合理、有效的措施。当根据水情预报，有洪水漫顶可能时，应采取下列措施：

1　抢筑子堤：筑坝高度应满足防止洪水漫顶的要求，抢筑子堤可采用土袋筑坝或木板、埽捆子堤筑坝等方法。

2　采取非常排洪措施。

1）打开原已封堵的斜槽盖板、排水井窗口或排水井拱形挡板等，增加进水口排水能力，降低坝前水位。

2）打开已建好的非常溢洪道或临时抢开非常溢洪道。

9.3.3　当坝体发生严重漏洞时应采取前堵后排的抢险治理措施，当坝体发生严重管涌或流土时应采取反滤导渗的抢险措施。

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

<table>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="3"></td><td>工程名称</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">已建初期坝</td><td>坝型</td><td colspan="2"></td><td>坝体结构</td><td colspan="2"></td><td>坝体材料</td><td></td></tr>
<tr><td>高度：　m</td><td>顶宽：　m</td><td>底宽：　m</td><td colspan="4">坝基埋深：　m</td></tr>
<tr><td>坝顶高程：　m</td><td colspan="2">坝基底面高程：　m</td><td colspan="4">坝坡比：上游
下游</td></tr>
<tr><td rowspan="3">设计堆积坝</td><td colspan="2">设计最终坝高：　m</td><td colspan="2">设计全库容：　m^3</td><td colspan="4">堆坝材料：</td></tr>
<tr><td colspan="2">堆坝方法：上游式/下游式/中线式</td><td colspan="3">每级子坝高度：　m</td><td colspan="3">马道宽度：　m</td></tr>
<tr><td colspan="2">子坝坡比：</td><td colspan="3">堆积速率：　m/a</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">已建堆积坝</td><td>已有堆积高度：　m</td><td>子坝级数：</td><td colspan="2">每级子坝高度：m</td><td colspan="3">马道宽度：　m</td></tr>
<tr><td>子坝坡比：</td><td colspan="2">堆积速率：　m/a</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">排水构筑物</td><td colspan="8">初期坝排渗设施：</td></tr>
<tr><td colspan="8">尾矿库排水构筑物：</td></tr>
<tr><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">随任务书提供资料</td><td colspan="8">1</td></tr>
<tr><td colspan="8">2</td></tr>
<tr><td>勘察评价要求</td><td colspan="8">□ 1. 查明堆积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；
□ 2. 查明堆积物的岩土工程特性；
□ 3. 查明坝体浸润线及变化规律；
□ 4. 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；
□ 5. 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；
□ 6. 分析评价堆积坝运行中的环境问题；
□7. 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。</td></tr>
<tr><td colspan="4">委托勘察日期：　年　月　日</td><td colspan="5">要求提交成果日期：　年　月　日</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td><td colspan="5">要求提交成果份数：　份</td></tr>
</table>

委托单位(盖章)：　　设计单位(盖章)：

委托人：　　填任务书人：

电话：　　电话：

附录B　尾矿堆积坝工程地质钻探要求

B.1　一般要求

B.1.1　尾矿堆积坝工程地质钻探应对钻进的尾矿和地层的岩芯进行鉴别和描述，确定各尾矿和地层埋藏深度与厚度，采取符合质量要求的试样或进行原位测试，查明钻进深度范围内地下水的赋存情况。

B.1.2　钻探工作应以钻探技术要求或任务书为施工作业依据。在钻探过程中应防止对反滤层、排水棱体、排渗褥垫、水平排渗管（沟）、垂直排渗井、渗流控制等设施和自然环境的破坏。

B.1.3　除长期观测孔外，所有钻孔和探井完工后均必须封堵回填。

B.1.4　进行尾矿堆积坝工程地质钻探时，除应符合本规范的要求外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

B.2　施工准备

B.2.1　钻探负责人应搜集工作区有关地层岩性资料，参加现场踏勘，了解现场施工条件。

B.2.2　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。

B.2.3　钻探开工前，所有钻探人员必须认真听取项目技术负责人介绍钻探技术要求和钻探技术负责人介绍钻探技术方案。

B.2.4　钻孔点位应设置有编号的标志桩。开工之前应按设计要求核实桩号及其实地位置。点位平面允许偏差±0.25m，高程允许偏差±5cm。因障碍改变点位时，应及时将实际点位标明在平面图上。

B.3 钻　探

B.3.1 钻孔口径、钻具规格和钻进方法应符合国家现行有关标准的规定。钻孔口径应满足钻进工艺、钻探目的、取样和原位测试要求。

B.3.2 在浅部尾矿层中可采用套管护壁。在地下水位以下饱和尾矿和土层中宜采取泥浆护壁。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。冲洗液漏失严重时，应采取充填、封闭等堵漏措施。

提拔钻具或取土器的初始速度应稍慢，保持向孔底通气通水，并及时向孔内补充泥浆，以确保泥浆护壁效果。

B.3.3 钻进中孔内水头压力不得小于孔周地下水压，采取缓压慢提。

B.3.4 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得超过 1.5m，在重点研究部位回次进尺不宜超过 0.5m。重点研究的坝体沉陷与变形部位、滑动面、渗漏带和破碎带应连续取芯。

B.3.5 当进行水上钻探时，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。

B.4 取　样

B.4.1 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》GB 50021 和《原状土取样技术标准》JGJ 89 等有关标准的规定。

B.4.2 在钻孔中采取Ⅰ、Ⅱ级尾矿和土试样时，应符合下列要求：

1　在尾矿、软土和砂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(活塞取土器除外)。

3 取土器应缓慢匀速下放,严禁冲击孔底。

4 软黏性尾矿和软土宜采用薄壁取土器静压法取样,砂性尾矿和砂层宜采用重锤少击法取样。

5 不得使用刃口卷折、内壁锈蚀或活塞不灵的取土器。

6 取土器提出地面后,严禁敲打和水冲,应用专用工具取出试样,并立即密封和妥善存放。

B.4.3 试样必须及时贴上标签。标签上应填写工程名称、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。

B.5 现场编录

B.5.1 钻进过程中各项深度数据均应丈量获得,累计量测允许误差为±5cm。

B.5.2 记录必须真实及时,字迹应清楚端正,钻孔按回次逐次编录,探井应边挖边进行编录,严禁事后追记或用橡皮擦改。原始记录签署必须齐全。

B.5.3 各类尾矿和岩土层颜色应在天然湿度下进行描述,并应副色在前、主色在后。

B.5.4 尾矿的岩性描述内容应符合同类天然土层的描述要求。

B.5.5 对尾矿层中厚度大于或等于 30cm 的软弱夹层应单独描述。

B.5.6 所有钻孔均应按 1.0m 分段依次摆放岩芯,并对重要的或有代表性的钻孔拍摄岩芯照片,以便检查和核对原始钻探记录。

B.5.7 探井描述应反映地层的平均厚度、最大厚度和最小厚度。当地层水平时,可选择有代表性的点进行测定;当地层倾斜时,应选择几个有代表性的点进行测定;当地层复杂或工程需要时应做出井壁展示图并标出井壁方向。

附录C　孔隙水压力计埋设方法

C.0.1　孔隙水压力计可采用钻孔法埋设，钻孔直径110mm～150mm，清水钻进。如果使用泥浆护壁钻孔，当钻孔达到最终深度时必须进行清水洗孔。

C.0.2　成孔后应先填入约20cm厚度的中砂，随之将最下面一个孔隙水压力传感器送到预定深度，再用中砂掩盖，中砂掩盖至传感器以上50cm左右，然后用黏土球封堵至上一个孔隙水压力传感器设置深度。再填入20cm厚度中砂，开始埋设上一层孔隙水压力传感器，直至把不同深度的孔隙水压力传感器全部埋设完成，剩余孔段用黏土球封孔，并做好孔隙水压力计的接头和电缆管的安装保护。

C.0.3　孔隙水压力计埋设过程中，应随时检测，发现故障时必须及时处理。

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：

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
《原状土取样技术标准》JGJ 89

中华人民共和国国家标准

尾矿堆积坝岩土工程技术规范

GB 50547 - 2010

条 文 说 明

制 定 说 明

《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》GB 50547—2010 经住房和城乡建设部 2010 年 1 月 18 日以第 496 号公告批准发布。

本规范制定过程中，编制组总结了近 20 多年来在尾矿堆积坝岩土工程勘察、监测、治理等方面的工程经验和工程事故教训，在已有的通用标准和有关行业标准的基础上，对尾矿堆积坝岩土工程技术工作制定了更先进、更具体的规定。

为了便于广大勘察、设计、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，并对本规范中强制性条文的强制性理由做了解释。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标准规定的参考。

目　　次

1　总　　则 …… (45)
2　术　　语 …… (47)
3　基本规定 …… (48)
4　勘察工作布置 …… (50)
4.1　一般规定 …… (50)
4.2　资料搜集与工程地质测绘 …… (50)
4.3　勘探与取样 …… (51)
4.4　原位测试与试验 …… (53)
5　原位测试与室内试验 …… (54)
5.1　一般规定 …… (54)
5.2　静力触探试验 …… (54)
5.3　圆锥动力触探试验 …… (55)
5.4　标准贯入试验 …… (55)
5.5　十字板剪切试验 …… (56)
5.6　现场直剪试验 …… (56)
5.7　波速测试 …… (57)
5.8　抽水试验 …… (57)
5.9　注水试验 …… (57)
5.10　室内物理力学性质试验 …… (57)
5.11　室内动力试验 …… (58)
6　岩土工程分析评价 …… (60)
7　勘察文件编制 …… (63)
8　监　　测 …… (64)
8.1　一般规定 …… (64)

8.2 日常巡视 …… (64)
8.3 地下水和库内水位监测 …… (64)
8.4 坝体变形监测 …… (65)
9 加固与治理 …… (66)
9.1 一般规定 …… (66)
9.2 加固和治理 …… (66)
9.3 抢险治理方案 …… (67)

1 总　　则

1.0.1 尾矿是当前暂不能利用的一种工业废弃物，尾矿堆积坝属于废弃物处置工程中一类重要项目。为合理和有效利用土地，尾矿堆积坝的堆积高度趋于向高发展。我国大型尾矿库的尾矿堆积坝高度已达200m以上，中小型库数以千计。用尾矿或其他工业生产过程中的细颗料废渣排放冲积筑坝，其筑坝方式、坝体结构、性能均有别于水利工程的土石坝。特别是它的坝体堆筑因各种因素影响可能是无序的，而一旦出现事故又可能是灾难性的，所以尾矿堆积坝的稳定性历来被各级行政管理部门和生产企业关心和重视。为保障尾矿堆积坝安全有序地运行，我国在1986年由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》YBJ 11(试行)，二十多年来这本规程指导了我国尾矿堆积坝的工程地质勘察工作。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》YS 5202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、评价等都作了规定。可以认为后者有关堆积坝的内容是执行前者近二十年的总结和提高。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。在现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021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"。为了对冶金、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，使我国的尾矿堆积坝工程能经济、安全、有效的运行，在上述各项现行标准的基础上，编制了本规范。

1.0.2 尾矿堆积坝按其筑坝方式可分为上游式、下游式、中线式

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，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。我国已有勘察评价工作主要是针对上游式尾矿堆积坝的，本规范是基于上游式尾矿堆积坝的工程经验编制的，因为工作的手段、方法是相同的，所以对中线式、下游式尾矿堆积坝也可参照执行。

1.0.3 本条为强制性条文。尾矿堆积坝因排放、管理等不当引起溃坝等事故屡见不鲜，造成的损失触目惊心，为使尾矿坝按照安全、合理、科学、经济的堆积方式、坡比和高度进行堆筑，即使是完全按设计数据堆筑的，都需要适时掌握已堆积坝体的稳定性，调整运行参数，确保尾矿堆积坝的安全正常运行。因此，在坝的堆积过程中进行勘察是必需的。

1.0.5 本规范属岩土工程专业的专用标准，对一般性的岩土工程工作尚应执行国家现行有关标准的规定。

2 术　语

本章条目是以国家现行标准《选矿厂尾矿设施设计规范》ZBJ 1“附录五名词解释”中部分术语为基础，作了适当的修改，并增加了本规范涉及的尾矿、浸润线等术语。

本规范列入的术语主要是关于尾矿设施方面的，有关岩土工程专业术语可参照国家现行的相关标准。

第 2.0.1 条的“尾矿”在本规范中还包含了氧化铝厂的废弃物赤泥。氧化铝生产工艺按其原矿矿物成分和 SiO_2 含量可分为拜耳法、烧结法和两者结合的联合法，它们排出的废渣赤泥的成分、颗粒尺寸有差异。我国使用最多的工艺是烧结法，赤泥堆场的已有工程经验也多是基于烧结法赤泥的。对于颗粒较细的、SiO_2 含量低的拜耳法赤泥的堆场，我国的堆存经验较少。

3 基本规定

3.0.1 勘察任务书是尾矿堆积坝勘察的工作依据，应事先取得，然后编制勘察纲要。任务书的格式可不同于本规范附录A，但其所包含内容应符合本规范附录A。如果尾矿工程缺乏前期的岩土工程勘察资料，应另行提出补做前期相关工程勘察的任务书。

3.0.2 确定本条勘察等级的主要因素是库和坝的规模及其安全要求。

3.0.3 本条中表3.0.3-1和表3.0.3-2均引自《选矿厂尾矿设施设计规范》ZBJ 1，溯源则来自原《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准》SDJ 12，现行版本为《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文字修改。

3.0.4 堆积坝勘察应在排放堆积尾矿至一定高度后再进行，其原因是为了获得堆积尾矿的沉积规律和物理力学性质。现行行业标准都规定在堆积至设计最终坝高的1/2至2/3时宜进行一次勘察，本规范编制和审查时根据国内从事尾矿堆积坝勘察、设计的多位专家的意见，考虑到国内尾矿堆积坝的实际状况，对这一规定作了较大的变更。一是将“宜”改为“应”，并将本规范第1.0.3条定为强制性条文；二是增加了勘察次数和调整了勘察时间要求，即应在堆积坝运行期进行多次勘察，目的是为了适时掌握堆积坝的状态，使有了问题再查的被动状态变为定期勘察，查出问题随即处理的主动管理。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。

3.0.5 尾矿土按相同粒径组成的土进行分类已沿用二十余年，证明是可行的。烧结法赤泥性状较特殊，因此可按其固化程度再分两类。固化程度可按现场土的状态判别，达硬塑状态即可判为固化。

4 勘察工作布置

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、质量和职业健康安全目标及其保证措施、勘察进度计划及其保证措施、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，对所采用的每一手段都应明确需达到的目的和要求。

4.1.4 在坝体上的孔、井，如不回填封堵，可能影响坝体渗流，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，推荐采用现行国家标准《职业健康安全管理体系规范》GB/T 28001 进行有效控制。

4.2 资料搜集与工程地质测绘

4.2.1 本条规定了在堆积坝勘察前需搜集和分析的专门性资料，未列入与一般场地勘察要求相同的其他资料。所列资料内容都是堆积坝勘察方案编制和岩土工程分析的依据。

4.2.2 本条中“有关的外围”包括可能产生绕坝渗漏的岸坡、坝体周边（尤其是下游）可能失稳的边坡和可能产生周围环境岩土工程问题的地段。

4.2.3 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不宜大于20mm，对尾矿沉积滩等岩性变化不大的简单场地地段不宜大于50mm，其他中等复杂场地地段宜为30mm～4mm。地质观测点应采用仪器定位，仪器定位精度应满足地质观测点图上误差不超过3mm的要求。

4.3 勘探与取样

4.3.1 取样和土工试验是取得堆积坝分析计算参数的最重要手段，因此需保证钻孔的数量。

4.3.2 为采取浅层的不扰动样，可在坝坡或干滩布设探井或探槽，开挖取样后必须及时夯实回填。

4.3.4 勘探线长度的规定是按计算剖面的需要确定的。主要勘探线是对分析评价有重要意义的勘探线，应布设在可能的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拟评价坝高2倍～3倍距离的这个范围，可以覆盖可能产生滑面的后缘。这样规定较易操作，又可使勘探工作范围满足评价要求。现行行业标准规定勘探线上游端到达水线和进入水线，但勘察时水线位置不一定是正常运行时的水线，有可能使勘探资料不满足评价要求。

4.3.5 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。为了勘察时不留盲点，保证评价结果的准确可靠，防止遗漏的隐患失事造成损失，本规范将在主坝不应少于3条勘探线的要求列为强制性条文。还应说明的是“不应少于3条”并不是布置3条满足要求即可，在较长的坝或有特殊情况的坝，还应布设比3条更多的勘探线。主坝是指尾矿水渗流下游方向的坝。

4.3.6 本条对勘探线、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。表4.3.6中注4的规定是针对堆积坝进行多次勘察的情况。尾矿的工程特性随着其上覆堆积厚度的增大而改变，因此前期勘察资料并不是都可利用的。

4.3.7 本条是针对平坦或缓坡场地建库的坝，条文规定的勘探线数量是至少要3条或2条，而不能理解为只需3条或2条。

4.3.8 勘探孔深度的规定沿用原冶金工业部标准《上游法尾矿堆积坝工程地质勘察规程》YBJ 11的规定，二十余年来的工程经验表明按此孔深控制可以满足评价要求。

4.3.9 由于静力触探孔没有泥浆的影响，所测定的地下水位比采用泥浆护壁的钻孔中测定的地下水位准确，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，对碎石土和砂性尾矿不得少于0.5h，对粉性尾矿、黏性尾矿、粉土、黏性土含量超过10%的碎石土不得少于8h。

4.3.10 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。本条第2款未规定采取不扰动样的最少数量，合理的取样数量应与工程规模、土层厚度、土性变异性及试验项目要求等因素有关。

本条规定的回转取土器包括单动三重管和双动三重管取土器。

4.4 原位测试与试验

4.4.1 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地层微观变化，可弥补钻探的不足，是堆积坝勘察中的有效手段。静力触探试验应与钻探结合应用，不可用它替代钻孔。

4.4.2 标准贯入试验在堆积坝评价中主要用于尾矿密实度的判定和地震液化判别分析，试验应在全孔段进行。

4.4.3 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，勘察时应根据场地条件的适宜性选用。

4.4.4 本条所述为电测十字板剪切试验。十字板剪切试验所得尾矿的不排水抗剪强度可与室内试验数据结合确定堆积坝稳定性分析所采用的强度指标值。

4.4.5 现场直接剪切试验需在堆积坝下游坡面或干滩上择地进行，但由于该地段处于尾矿堆积的较浅部位，所以所得数据可能偏低。

4.4.6 本条所述为单孔法。地层变化大和层位变化处测点垂直间距取小值，必要时尚需加密测试。波速测试成果可用于堆积坝的动力分析。

4.4.7 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渗透系数。

4.4.8 不同的计算条件需采用不同的抗剪强度指标，应根据分析计算条件选用相应的剪切试验方法。

尾矿成层分布层理较复杂，垂直与平行层理的渗透系数迥异，因此，应分别垂直和平行层理采取试样进行室内渗透试验。

5 原位测试与室内试验

5.1 一般规定

5.1.1 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，试验工作内容应根据勘察技术要求确定。

5.1.2 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。但是，尾矿为近期堆积的人工土，结构松散，现场取到原状样后，防止运输过程的扰动十分困难。攀枝花马家田尾矿堆积坝的勘察中曾采用试样冷冻包装运输的方法解决了防止样品的扰动问题，是一种可行的方法，但该方法成本较高。因此，本规范在强调采用原状样进行试验的同时，根据以往的勘察工作经验，对运输过程易于扰动的砂性尾矿的室内动三轴试验，在本规范第5.11.2条中，作了可采用扰动土制备样进行试验的规定。

5.1.3 尾矿的颗粒组成和它的密实度、饱和度决定了它的易扰动性。为了尽量减小试样运输对样品的扰动，本规范规定了尾矿堆积坝勘察应在工程现场进行尾矿的物理力学性质试验，也就是说需要在现场设立试验室。这是国内尾矿堆积坝勘察和设计专家们的共识。国内以往一些专业勘察单位都是这么做的，这也是其他各单位可以做到的。这样规定的目的就是要提高试验数据的可靠性。

5.1.4 本章规定仅涉及各种测试手段的适用范围、主要的技术要求和试验的主要成果，目的是供勘察项目技术负责人选择试验手段、试验项目和控制相应试验项目的试验条件时使用。至于各试验手段、项目的具体操作，则应按有关规范、规程执行。

5.2 静力触探试验

5.2.1、5.2.2 静力触探具有勘探和测试两种功能，适用于砂性、

粉性、黏性土的勘探和测试，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。

在堆积坝的勘察中，静力触探的深度较大，对超深孔的探测除选择贯入能量大的设备外，应同时考虑采用强度大的合金钢探杆，攀枝花马家田尾矿堆积坝的勘察中采用合金钢 45MnMoB 的 ϕ42 探杆成功实现最大孔深 80.1m 的探测深度。

5.2.3 静力触探是一种间接的勘探测试手段，它不能提供暴露面或样品供技术人员观察被探测土层的特性，而只能借助贯入曲线判断土层的性质和确定分层的位置，因此，用静探分层及确定土的名称时，应参照静探孔附近的钻孔进行划分。

5.3 圆锥动力触探试验

5.3.1 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，因此，本规范纳入这一测试方法。

5.3.2 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。

5.3.3 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。

5.4 标准贯入试验

5.4.1～5.4.3 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，因此应用 N 值进行工程评价时，必须选用相应的 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应分析其原因，对操作或机具等人为因素产生的异常值应剔除。

5.5 十字板剪切试验

5.5.1 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 $\phi_{cu}=0$ 时的黏聚力 c_{cu} 值的测试。

5.5.2 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。

5.5.3 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。

5.6 现场直剪试验

5.6.1 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。

5.6.2 对试验场地的选择，应考虑稳定性分析时堆坝受力特征，选在代表性好的地段，而且每组试槽应在平面上散开布置，各试验点的岩性相近，保证试验结果的良好线性关系。剪切方向选择与滑动方向一致，最大的法向应力应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。

5.7 波速测试

5.7.1 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（$\varepsilon=10^{-4}\sim10^{-6}$）的动力参数。

5.8 抽水试验

5.8.2 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，在堆积坝勘察工作中，可选择三段降深的稳定流试验或采用抽筒提水的简易抽水试验方法。

抽水试验的观测孔宜在每条观测线上布置 1 个～3 个孔，观测孔与抽水孔的距离为：第 1 个孔宜为含水层厚度的 1 倍，第 2 个孔宜为含水层厚度的 1.5 倍，第 3 个孔宜为影响半径的 0.178 倍。

5.8.3 抽水试验成果计算应包括影响半径 R 和渗透系数 k 值，并应根据水文地质条件和抽水情况选择计算方法。利用恢复水位计算渗透系数 k，结果可能偏小。

5.9 注水试验

5.9.1 注水试验适用于不能进行抽水试验及取原状样进行室内试验比较困难的松散岩土体，在堆积坝勘察多在干滩或坝坡上进行。

5.9.2 注水试验分为试坑注水和钻孔注水两大类，宜根据地下水的埋藏条件和尾矿的渗透性强弱选择适当的试验方法。

5.10 室内物理力学性质试验

5.10.1 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。不同类别的尾矿应选择相适应的颗粒分析试验方法。

5.10.2 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。

5.10.3 采用压缩模量进行沉降计算，是目前广泛应用的沉降计算方法。由于压缩系数和压缩模量随压力段的不同而改变，因此本条对试验的最大压力值和分段提供压缩系数与压缩模量作了规定，以便沉降计算时按工作应力选择相应的压缩性指标。

5.10.4 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。它具有能控制大、小主应力及排水条件，受力状态明确，又能准确测定土的孔隙压力及轴向变形和体积变化等特点。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很大，为获得稳定性分析所需的抗剪强度参数的三轴试验，控制排水状态是关键。不同的排水状态所测得的 c、ϕ 值差别很大，故本条规定试验时的排水条件应尽量与工程实际一致。

在试验时采用适宜的小主应力 σ_3 是应注意的问题，σ_3 的取值涉及试验成果的适用性。

5.11 室内动力试验

5.11.1 尾矿的动力测试可根据动应变大小选用共振柱试验和振动三轴仪试验。共振柱试验适用于 $\varepsilon \leqslant 10^{-4}$，振动三轴仪试验适用于 $\varepsilon > 10^{-4}$。

5.11.2 砂性尾矿由于取样、包装、运输、制样等环节难于控制其天然状态，当无条件采用原状样进行试验时，根据以往的勘察工作经验，可采用扰动土制备试样。试样制备应按尾矿天然状态的干密度和含水率控制试样的干密度和含水率。

5.11.3 动三轴试验前，先将土样固结，固结比模拟不同倾斜度的

地面下土体静应力状态，采用1.0、1.5、2.0，试验时最小主应力σ_3一般采用为100kPa、200kPa、300kPa，而测定液化应力比时σ_3宜与液化层位埋深的应力状态相一致，测定动弹性模量与阻尼比时σ_3要考虑坝高。

试验的振动周次根据震级相当的等效循环次数采用：即里氏震级为7级者，等效循环次数为10周，7.5级为20周，8级为30周。

5.11.4 尾矿的动力试验成果除提供动弹性模量、阻尼比、动强度、液化应力比等参数及相关的关系曲线外，还可以分别绘制总应力及有效应力莫尔园，求出相应的动强度指标。

6 岩土工程分析评价

6.0.1、6.0.2 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。

6.0.3 本条对尾矿堆积坝的评价作了规定，其中包括静力与动力两方面内容。对位于地震动峰值加速度小于 0.10g 的地区可不进行计算的 5 级坝也作了详细的规定，但岩土勘察工作仍应做细做全。本条的规定与国家现行标准《选矿厂尾矿设施设计规范》ZBJ 1 和《尾矿库安全技术规程》AQ 2006 的相关规定一致。

6.0.4 尾矿堆积坝岩土工程勘察的根本目的，就是要评价已堆积坝体的稳定性和按已有条件继续堆筑至设计最终坝高时的稳定性，以确保尾矿库的安全运行。因此，分析计算至少按已有坝高和设计最终坝高的两个高度进行。在实际工程中，可能遇到需调整堆筑方法、堆筑参数、尾矿性质或最终坝高稳定性不足等情况，则还要根据设计要求对其他条件下堆积坝的稳定性进行分析计算。

6.0.5、6.0.6 抗滑稳定性参数的选取原则按调整后的浸润线概化断面和计算方法以及尾矿库的等别确定。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》GB 50021 有关章节执行。

由于尾矿的取样、试验等环节可能出现的缺陷，选用计算参数时应结合工程和通过反分析综合确定。

6.0.7 尾矿堆积坝的渗流是决定其稳定性的条件，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。

6.0.8 本条对尾矿坝渗流计算只作了一些原则性的规定，主要应根据尾矿库的等别，场地类型分别选取计算方法与计算参数。对沟谷型尾矿库宜进行三维有限元法或模拟试验，主要是为了确保渗流计算更符合实际状态，为尾矿坝安全运行提供依据。

对4级、5级堆积坝的渗流计算，除按二维渗流计算外，还可采用国家现行标准《选矿厂尾矿设施设计规范》ZBJ 1中的"上游式尾矿坝的渗流计算简法"的方法，也可采用其他渗流计算模型。

6.0.9 目前国内在尾矿堆积坝稳定性分析中，通常采用本规范提出的简化毕肖普法与瑞典圆弧法进行计算，且常用两种计算方法进行对比，以验证其计算结果的可靠性。对1级、2级堆积坝再采用二维或三维有限元进行应力与应变分析的单位也比较多，计算程序也不完全统一。为了使分析计算更符合坝体实际状态，使计算结果更可靠，本规范规定了1级～3级堆积坝都宜再采用二维或三维有限元法进行分析。据国内已有经验，推荐采用沈珠江的等价粘弹性模型或Duncan-Chang(邓肯-张)的非线性弹性模型。以往对3级坝很少采用有限元法分析，考虑到3级坝对尾矿堆积坝来说已是相当高的级别，为提高分析评价水平，本规范规定了1级～3级坝宜采用有限元法进行分析。

6.0.10、6.0.11 在评价尾矿库安全稳定时，我国现行各标准通常采用极限平衡法，按正常运行、洪水运行、特殊运行三种情况下进行运算。第6.0.11条将坝坡抗滑稳定安全系数分别按简化毕肖普法和瑞典圆弧法列表，其数据来源于国家现行标准《选矿厂尾矿设施设计规范》ZBJ 1和《碾压式土石坝设计规范》SL 274，这也是仅有的对尾矿堆积坝稳定性进行评价的标准。根据堆积坝浸润线的实际条件，需要时还可对全饱水条件进行计算分析。

6.0.12 国内对3级～5级堆积坝的动力稳定性评价通常采用拟静力法进行计算，此法国内应用的比较多，有比较多的工程实例。对1、2级堆积坝的动力稳定性分析通常还采用二维或三维有限元方法进行计算分析。不过目前国内还没有统一的计算模型。但比较公认的是，二维或三维有限元动力稳定性分析的计算单元多，影响坝体稳定性因素考虑的也比较多，输入的地震曲线也考虑了其相似性，比拟静力法计算提高了一步。本规范根据国内许多专家的意见，将要求采用有限元法进行动力分析的坝的等级也从2级改为3级。

6.0.14 对尾矿坝饱和砂土类土和粉土的液化判别方法，目前还不很一致。譬如判别深度上和执行规范上也有不同看法，在这里未作硬性规定。应视坝体的具体情况和任务书要求进行判别。二维时程分析法计算可按现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191的规定进行。

7 勘察文件编制

7.0.1 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。

7.0.2 本条规定了岩土工程勘察报告的基本内容，鉴于堆积坝勘察任务要求、工程特点、地质条件和所需要评价的问题与一般岩土工程勘察的差异以及各堆积坝工程的侧重点的不同，对于本条规定包括的内容侧重面允许有所差异，报告编制允许有所侧重，但本条所列的内容均应在岩土工程勘察报告的覆盖之内。

7.0.3～7.0.5 这三条规定了岩土工程勘察报告的应附图表，根据需要所附的图表及附件。

8 监　　测

8.1 一 般 规 定

8.1.1 尾矿堆积坝的稳定性，关系到国计民生，坝体监测应视为保障尾矿库安全运营的重要工作内容。

8.1.2 尾矿堆积坝的稳定性监测，一般包括库内水位观测、坝体渗流观测、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，应结合实际情况确定，并有针对性地选用适宜的观测手段。

8.1.3 监测资料应随时整理，及时分析，建立险情速报机制，使监测成果发挥应有的作用。

8.2 日 常 巡 视

8.2.1 尾矿堆积坝是动态水工建筑。其筑坝工艺、坝顶标高、库内水位、坝体浸润线以及库区环境的变化，均可影响尾矿堆积坝的稳定性。因此，日常巡视是发现隐患并及时处理的有效手段。

8.2.2 巡视工作要有详实记录，重点部位应绘制草图或拍照、录像。

8.2.3 巡视工作要有连贯性，巡视周期可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。

8.3 地下水和库内水位监测

8.3.1 地下水浸润线是无压渗流场的自由渗流边界，在尾矿堆积坝成层复杂的条件下，难以精确测定。限于目前工程中习惯用浸润线进行渗流稳定性评价，因此，条文中以观测井水位视为浸润线标高。

观测井应进行动态管理，对失效的观测井要及时修复，并随坝体加高适时增加观测井。

8.3.2 鉴于尾矿堆积坝层理复杂，为了解不同层位水头的差异性，可在不同层位埋设孔隙水压力计进行观测。仪器的选择应根据压力大小、观测精度、参照产品使用说明进行采购。目前，国内多采用振弦式孔隙水压力计。

8.3.3 库内水位变化直接影响坝体浸润线的高低和坝坡的稳定性，特别是洪水期和解冻期，应警惕库内水位发生突变。

对溢流水观测，除观测其流量变化，更应注意溢流水的浑浊程度，分析发生管涌的可能性。

8.4 坝体变形监测

8.4.1 在实际工作中，置于坝坡面上的同一测点，其变形可划分为水平位移和竖向位移两个向量。因此，条文中没有单独提出沉降观测一词。变形观测精度沿用测绘标准，观测网的布置可结合坝体规模、地形条件以及所采用的仪器设备，综合考虑确定。

8.4.2 坝体分层水平变形观测，主要是针对已有变形隐患的坝坡采取的一种监测手段。目的是分析判断滑动面的深度。基于这方面新的技术资料较少，条文中仅提出延用测斜管和测斜仪的观测方法，也可以选用其他的先进方法。

9 加固与治理

9.1 一般规定

9.1.2 岩土工程中采用的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边坡的治理和加固同样适用。针对尾矿堆积坝边坡实际存在的问题，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，可以使采用的方案达到技术可行和经济合理的目的。

9.2 加固和治理

9.2.1 尾矿堆积坝体出现裂缝的原因很多，例如滑坡、沉陷、干裂、冻融、振动等，本条不涉及滑坡裂缝(可另见第 9.2.4 条条文说明)。

1 对于缝深不大于 5m 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 2m，开挖前可灌注石灰浆水，以显示裂缝范围。开挖长度应超过裂缝两端各 1m；开挖深度超过裂缝底部 0.3m～0.5m；开挖坑槽底部宽度至少 0.5m；开挖边坡应满足稳定及新、旧填土结合的要求。

2 采用充填式灌浆处理裂缝时，应根据隐患探测和分析成果做好灌浆设计，按设计施工。

9.2.4 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。

滑坡处理前，应严格防止雨水渗入裂缝内，可用塑料薄膜等覆

盖封闭滑坡裂缝，同时应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、加培缓坡、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。

1 压重固脚常用的有镇压台和压坡体两种形式，应根据当地土料、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，边坡为 1∶3.5 ～1∶5。

2 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。马道宽度不宜小于 2m，马道间高差为 5m～10m。当边坡总高度较大时（如大于 40m），可在坡高的 1/2 稍高处设置宽平台。平台宽度应根据边坡的整体稳定和局部稳定要求，经计算确定。

9.3 抢险治理方案

9.3.2

1 抢筑子堤可采用下述方法修筑：

1）用土袋抢筑子堤：

先清理尾矿堆积坝顶的杂物并耙松表土，再用草袋、土工织物袋、麻袋或蒲包等装土七成左右，将袋口缝紧，铺于子堤的迎水面。铺砌时袋口应向背水侧互相搭接，用脚踩实，上、下层土袋错缝砌筑。当土袋铺叠至预计水位以上时，在土袋背水面填土夯实。填土的背水坡比不得陡于 1∶1。

2）木板或埽捆子堤：

在缺土、浪大、坝顶较窄的场合下，可先在坝顶距上游边缘约 0.5m～1.0m 处打小木桩一排，木桩长 1.5m～2.0m，入土 0.5m

～1.0m，桩距 1.0m。其次在木桩的背水侧用钉子、铅丝将单层木板或预制的埽捆（长 2m～3m，直径约 0.3m）钉（捆）牢。然后在其下游填土加戗，形成加高的子堤。

9.3.3 漏洞的抢修按“前堵后排，堵排并举，抢早抢小，一气呵成”的原则进行，即在临水坡堵塞漏洞进水口，截断漏水来源，在背水坡导渗排水，防止险情扩大。当漏洞进口部位明显且较大时，可用投物塞堵洞口或围堰隔断进水；当进口部位不明显时，可用土工膜或篷布盖堵方法堵塞漏洞进口。背水导排应根据具体情况采用相应的措施：当漏洞出水口小而多且漏水量不大时，可用反滤压盖法；当漏洞出口只有一处或较集中且流量较大时，可用反滤围井法。具体做法可参照国家现行标准《土石坝养护修理规程》SL 210 的要求进行。

管涌和流土的抢修应按照“反滤导渗，控制涌水，留有渗水出路”的原则进行，一般在背水面进行抢修，具体的方法可参照国家现行标准《土石坝养护修理规程》SL 210 的有关内容。