

ICS 73.060.01

CCS Z 61



团 体 标 准

T/CSPSTC XXX—202X

生态型尾矿库修建技术规程

Technical code of practice for ecological tailings pond
construction

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 发 布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、符号	2
3.1 术语和定义	2
3.2 符号	3
4 基本规定	4
5 生态型尾矿库修建	4
5.1 既有库改造	4
5.2 新库建设	5
5.3 多库调节与近零排放	5
5.4 扬尘防治	6
5.5 生态修复	6
5.6 尾矿循环利用	6
6 测绘	6
6.1 基本要求	6
6.2 控制测量	7
6.3 尾矿库测绘	8
7 检验	8
7.1 基本要求	8
7.2 尾矿渣元素分析	8
7.3 有价值元素分析	9
7.4 有害元素分析	10
7.5 水质分析	10
8 勘察	13
8.1 基本要求	13
8.2 勘察内容	14
8.3 工程地质与水文地质	14
8.4 勘探与取样	15
8.5 地表水及地下水样品的采集	16
8.6 既有库勘察	17
8.7 原位测试与室内试验	17
8.8 试验	24
8.9 既有尾矿库勘察	26
8.10 成果报告	26
9 设计	28
9.1 基本要求	28
9.2 库址选择	29

9.3	多库调节分区计算	29
9.4	导截洪水系统	31
9.5	截排渗系统	32
9.6	回水及水处理	34
9.7	既有库改造设计	34
10	渗流计算和防渗设施安全分析	34
10.1	基本要求	34
10.2	建设场地的渗流分析与评价	35
10.3	运行期及闭库的渗流分析与评价	35
10.4	防渗设施变形及破坏分析	36
11	闭库生态修复	36
11.1	地形重塑	36
11.2	坝坡修复治理	36
11.3	库区修复治理	36
11.4	植被重建	37
12	既有库生态型评价	38
12.1	基本要求	38
12.2	评价程序及内容	38
13	施工	41
13.1	基本要求	41
13.2	截渗连续墙	42
13.3	截渗帷幕	43
13.4	现场试验	44
14	检查与监测	45
14.1	基本要求	45
14.2	施工质量检验	45
14.3	监测	48
15	竣工资料与验收	48
15.1	基本要求	48
15.2	竣工资料	48
15.3	验收	49
附录 A (规范性)	生态型尾矿库勘察任务书	50
附录 B (资料性)	无人机航测技术要点	54
参考文献		58

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由兰州有色冶金设计研究院有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

引 言

随着“五位一体”战略布局和生态文明建设的持续推进，坚持“两山论”理念，守住自然生态安全边界，已经成为我国政府、工矿企业和社会民众的广泛共识和行动指南，矿山生态环境保护与恢复治理已贯穿矿产资源开采的全过程，是建设生态文明，实现我国生态可持续发展的关键环节。近年来，国家各机构大力开展矿山修复和生态补偿工作，对矿山矿区及其周边影响区开展植树复绿，恢复和改善被破坏的植被、地形地貌等，逐步构建起“山水林田湖草”生命共同体。矿山尾矿库的建设是一项综合的系统工程，加强零排放尾矿库的建设，最大限度的减少尾矿库对环境的损伤，充分利用新技术、新成果实现生态型尾矿库的建设，最终达到矿山生态健康持续发展的良性循环。

主编单位依托甘肃省重大科研项目《嘉陵江流域生态型尾矿库关键技术研究》和中国节能环保集团公司重大科研项目《长江流域生态型尾矿库关键技术研究》，在对长江上游嘉陵江流域、黄河中上游的甘肃、陕西、内蒙等地的大量的尾矿库渗透工程试验研究成果的基础上，总结国内大量尾矿库的相关工程实践的最新进展，提出了建设生态型尾矿库的修建标准，参考国内外有关标准和研究进展，结合参编单位在矿山生态修复工程与监测实际工作中形成的技术和经验，在充分解析生态型尾矿库工程典型案例基础上，按照矿山生态修复工作的相关要求以及《山水林田湖草生态保护修复工程指南》，结合区域社会经济和自然地理差异，明确生态型尾矿库修建目标，制定生态型尾矿库修建技术标准，为生态型尾矿库的修建提供规范指导，提升矿山尾矿库修建的规范性和科学性，加快推进全国新尾矿库的建设和既有尾矿库的改造，促进我国生态文明的发展。

生态型尾矿库修建技术规程

1 范围

本文件提出了生态型尾矿库的基本规定，规定了修建、测绘、检验、勘察、设计、渗流计算和防渗设施安全分析、闭库生态修复、既有库生态型评价、施工、检查与检测、竣工资料与验收的要求。

本文件适用于金属矿山生态型尾矿库的新建工程、既有尾矿库向生态型尾矿库的转变改造工程，非金属矿山尾矿库和其他类似工程可参考。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB/T 15406 岩土工程仪器基本参数及通用技术条件
- GB/T 18316 数字测绘成果质量检查与验收
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB/T 20257.1 国家基本比例尺地图图式 第1部分：1:500 1:1 000 1:2 000 地形图图式
- GB 39496 尾矿库安全规程
- GB 50021—2001 岩土工程勘察规范
- GB 50026 工程测量标准
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
- GB/T 50290 土工合成材料应用技术规范
- GB/T 50547—2022 尾矿堆积坝岩土工程技术标准
- GB 50864 尾矿设施施工及验收规范
- GB 51118 尾矿堆积坝排渗加固工程技术规范
- AQ 2030 尾矿库安全监测技术规范
- CH/Z 3005 低空数字航空摄影规范
- SL 25 砌石坝设计规范
- SL 174 水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范
- SL 253 溢洪道设计规范
- SL 274 碾压式土石坝设计规范
- SL 279 水工隧洞设计规范
- SL 282 混凝土拱坝设计规范
- SL 319 混凝土重力坝设计规范
- T/CAGHP 021 泥石流防治工程设计规范
- 《国家危险废物名录》（2021年版）

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

尾矿库 tailing 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。

3.1.2

尾矿坝 tailing dam

拦挡尾矿和水的尾矿库外围构筑物。

3.1.3

渗流边界 seepage boundary

尾矿库内地下水向周边山体岩土中渗透的最终边界。尾矿库内水向周边山体岩土中渗透的渗透坡降或渗透压力接近于零时的渗流断面形成的界面，此界面上渗透量接近零。

3.1.4

极限渗流边界 ultimate seepage boundary

尾矿库内水达到最终使用年限时对应的最高水位形成的渗流边界。

注：极限渗流边界小于允许渗流边界。

3.1.5

允许渗流边界 permissible seepage boundary

尾矿库周围岩土环境许可的最大渗流边界。

注：渗流不得超出此边界。

3.1.6

尾矿水近零排放 near zero discharge of tailings water

尾矿库内的地表水在设计标准的降雨时不向库外自然水体排放，尾矿库内地下水的渗透限制在允许渗流边界内，不向地下扩散。尾矿库内污染水不向尾矿库渗流边界外环境排放。

3.1.7

生态型尾矿库 ecological tailings pond

与周围自然环境和谐共存，具备截洪系统，具有多库调节功能，有可靠的防渗漏系统并且有防风砂扬尘系统的近零排放尾矿库。

3.1.8

截洪廊道 flood interception gallery

用于拦截尾矿库周边坡面汇流并将雨水排出库外的截排洪设施。

3.1.9

多库调节 multi library regulation

为达到设计标准下尾矿库内污染水不外排，由上游截洪库、中游贮存尾矿库、中游贮存尾矿库外坡面截流设施、下游截渗库、尾矿库回水共设施同形成的对设计频率下的洪水和库水进行分流、分蓄调节和利用的调节系统。

3.1.10

微小流域 micro watershed

专指尾矿库所在的流域。

注：一般汇水面积很小，可在 50 km² 以下，以 10 km² 以下占多。

3.1.11

贮存尾矿库 storage tailings pond

在沟谷型尾矿库中，处于截洪库和截渗库中间的真正用于贮存尾矿的库。

3.1.12

截渗库 intercepting reservoir

设置于尾矿库初期坝下游用于截断尾矿水向下游渗流，且可用于储存尾矿库内雨水，与尾矿库调洪库容参与多库调节的蓄水库。

3.1.13

截渗坝 cutoff dam

设置于截渗库上用于拦截地下渗水和贮存尾矿库雨水的构筑物。

3.1.14

截洪库 flood interception reservoir

设置于尾矿库上游用于拦截尾矿库上游洪水的水库。

3.1.15

截洪坝 flood interception dam

设置于截洪库上用于拦挡尾矿库上游洪水的构筑物。

3.1.16

生态型尾矿库运行水位 ecological tailings pond operating water level

满足生态型尾矿库进行多库调节和安全运行，实现库内水不外排的尾矿库内正常运行的水位。

3.1.17

截渗结构 impermeable structure

布置在渗漏尾矿库坝体或地下水径流通道上用于阻断尾矿水渗出的构筑物。

注：包括截渗连续墙、截渗帷幕、截渗土工膜等。

3.1.18

复合截渗结构 composite cutoff structure

在土岩结合的地层中，根据地层条件采用两种及以上不同工艺建造的同一截渗结构。

3.1.19

截渗帷幕 impermeable curtain

采用注浆工艺建造的截渗结构。

3.1.20

复合截渗帷幕 composite impermeable curtain

采用两种以上工艺建造的多排截渗帷幕组合在一起形成的具有高防渗性能的截渗结构。

3.1.21

围井试验 enclosure test

为验证截渗结构的截渗性能，在采用和相同技术工艺建造的封闭型井状结构中开展的抽水或注水试验。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

K ——岩土渗透系数，具有流速的量纲，反映土的渗流性能，其数值需要通过现场或室内试验测定。

J ——渗流坡降，即渗流水头（ H ）沿流程（ L ）的下降率。

W ——多次洪水总量，单位为立方米（ m^3 ）。

q ——透水率。

Q_p ——坡土汇流洪峰流量，单位为立方米每秒（ m^3/s ）。

Q ——截洪廊道泄流量，单位为立方米每秒（ m^3/s ）。

V ——尾矿库全库容，为贮存尾矿库总库容和截渗库总库容之和，单位为立方米（ m^3 ）。

H ——尾矿坝高，单位为米（ m ）。

4 基本规定

- 4.1 为统一生态型尾矿库修建治理工程测绘、检验、勘察、设计、施工、评价、检测、验收技术要求，贯彻执行国家生态文明建设的方针、相关政策和法规，建设生态型尾矿库，达到合理、安全、贮存尾矿和保护环境的要求，制定本标准。
- 4.2 金属矿山生态型尾矿库的新建、既有尾矿库向生态型尾矿库的转变改造应坚持因地因库制宜，安全可靠、绿色环保、经济合理的原则，应注重采用新技术、新工艺、新材料和新设备。
- 4.3 生态型尾矿库要遵守因地制宜、因时制宜的原则，新库设计时要按照生态型尾矿库的布置要求进行库址、坝址选择和优化，沟谷型的沟谷地形要适宜于截洪库、贮存尾矿库、截渗库、截洪廊道的设置。
- 4.4 生态型尾矿库的岩土工程勘察除常规勘察外，应以水文地质勘察为主，查明尾矿库内岩土的渗透力学特征，尾矿库内可能的渗漏区域、通道等。
- 4.5 既有库改造成生态型尾矿库时，应首先制定出改造规划设计方案，按改造规划设计方案进行检测、测绘、勘察。
- 4.6 新建生态型尾矿库内存在渗漏通道时，应进行防渗治理。防渗工程较复杂时，应开展防渗工程的技术工艺和工程材料适宜性现场试验。
- 4.7 既有尾矿库存在渗漏通道时，应进行截渗结构方案论证，宜采用综合治理方法。截渗工程较复杂时，应开展截渗工程的技术工艺和工程材料适宜性现场试验。
- 4.8 新建生态型尾矿库应避免全库大规模铺设土工膜的防渗方案，不宜采用单一的渗透系数 K 值作为进行尾矿库全库进行大规模铺设人工合成防渗材料的依据。应通过岩土工程勘察查明库内岩土工程地质条件、渗透力学特性，对库内岩土体整体渗透性能进行评价，重点处理裂隙、断层等不良地质构造造成的渗漏通道，对渗漏通道进行有效防渗处理后的沟谷才能作为生态型尾矿库库址。
- 4.9 新建生态型尾矿库时，可根据尾矿库的岩土工程地质及渗透力学特征，分析研究尾矿库的极限渗透边界。极限渗透边界应在生态不影响范围之内，极限渗透边界的确定可以结合水文地质勘察、渗透参数、三维渗流分析等确定，既有库改造时，可辅以岩土工程钻探及试验等予以验证。
- 4.10 金属矿山生态型尾矿库的新建和既有尾矿库改造除应符合本文件的规定外，尚应符合国家现行有关标准规定。

5 生态型尾矿库修建

5.1 既有库改造

- 5.1.1 根据现有库地形、地貌测绘尾矿库现状地形图，要求国家 2000 大地坐标系 1985 国家高程基准，比例尺：流域 1:10000-1:50000；库区 1:1000-1:2000；坝址：1:500，测绘区域为尾矿库所在微小流域分水岭外 200 m。
- 5.1.2 对尾矿库进行岩土工程勘察，探明初期坝、堆积坝物理力学参数，查明水文地质情况，查明尾矿坝浸润线埋深情况，查明尾矿库渗漏情况，若尾矿库存在渗漏时需探明渗透区域及渗透边界。
- 5.1.3 确定尾矿库是否为近零排放尾矿库，即尾矿库库内水是否存在通过地表外排或地下渗漏，核算洪水期进库洪水是否外排。
- 5.1.4 根据岩土工程勘察结果，对现有库进行评价和判定，确定实际渗流边界、极限渗流边界和允许渗流边界，对存在渗漏的尾矿库进行防渗处理，确保尾矿库污染水不外渗，实现库内渗水零排放。
- 5.1.5 采用微小流域坡面汇流计算方法进行洪水计算，校核既库在洪水期是否满足零排放时的调洪要求，若不满足需设置截渗库和截洪廊道进行分洪和多库调节，实现洪水期库内水不外排。
- 5.1.6 根据现有库所在位置地形地貌条件结合尾矿库现状，设置截洪坝、截洪廊道、截渗坝、回水设施、形成多库调节系统。

5.1.7 根据生态型尾矿库判定表 18、表 19 确定生态型尾矿库等级，确定现有库改造的目标和达到的标准。

5.2 新库建设

5.2.1 现场踏勘，测绘拟建尾矿库区域地形图，要求国家 2000 大地坐标系 1985 国家高程基准，比例尺：流域 1:10000-1:50000；库区 1:1000-1:2000；坝址：1:500，进行多库址比较，选择经济合理、适合建设生态型尾矿库的库址。

5.2.2 对拟建尾矿库库址区域进行生态型尾矿库勘察要求：

- a) 探明生态型尾矿库建设的水文地质条件；
- b) 探明各土层、岩层物理力学特征；
- c) 探明各土层、岩层渗透系数；
- d) 探明拟建区域是否存在断层、裂隙、溶洞等不良地质构造；
- e) 其他要求。

5.2.3 根据岩土工程勘察和尾矿库工程试验研究进行地形和渗透性评价和判断，初步确定拟建库址区域实际渗流边界、极限渗流边界和允许渗流边界，选择合理、环保的防渗技术，确保库内水在水平方向和垂直方向均不超出允许渗透边界。

5.2.4 尾矿库上游设置截洪坝，并连接环库截洪廊道，尽可能将尾矿堆积边界线以外的洪水截排至库外，实现洪水分流和清污分流。

5.2.5 尾矿库下游设置截渗坝，进一步防止库内污水从谷底和坝肩渗漏。

5.2.6 根据地形条件，按照微小流域的洪水计算方法计算设计标准下的洪水总量，根据计算结果设置截渗库，洪水期可通过截渗库进行调洪，确保洪水期库内水零排放，截渗库内水可通过回水系统返回选厂循环利用，或进入水处理系统处理达标排放。

5.2.7 尾矿库建设完成后根据周边环境恢复建设期破坏的植被、水系等，确保和建设前保持一致。

5.2.8 生态型尾矿库新库建设标准为，正常运行情况下库内水不渗漏，设计标准的洪水运行情况下采用截渗库调洪期间洪水不外排，建设前后周边环境保持一致。

5.2.9 根据生态型尾矿库判定表确定尾矿库等别，确定目标和达到的标准。

5.3 多库调节与近零排放

5.3.1 地表水近零排放

为防止尾矿污染水排出库外，污染地表水环境，应达到以下要求：

- a) 设计标准下库内洪水进行多库调节并回收利用；
- b) 污染尾矿水应贮存在贮存尾矿库及截渗库内；
- c) 地表水可以通过以下途径消耗：回水利用、水面蒸发、污水处理达标后排放。

5.3.2 地下水近零排放

尾矿库外地下水的流动不经过尾矿库，尾矿库形成相对封闭环境，不应造成库外地下水污染，应做到以下要求：

- a) 尾矿库极限渗流边界应控制在允许渗流边界以内。
- b) 尾矿库库区范围应形成完整的空间隔水盆，尾矿水不会渗出隔水盆外。
- c) 沟谷型尾矿库的下游应设置截渗坝，渗透污水需限制在截渗库内，截渗坝应按不透水坝设计，且设严格的坝下截渗。
- d) 沟谷型尾矿库上游应设置截洪坝，截洪坝的设计应严格控制库外清水和库内污水混流。截洪坝应按不透水坝设计，且设严格坝下截渗。

5.4 扬尘防治

5.4.1 滩面扬尘防治：湿排生态型尾矿库应合理均匀放矿保持滩面湿润不扬尘不起沙；干排生态型尾矿库滩面需覆土或干砌块石或植草覆盖等有效的防尘设施，不应采用塑料制品覆盖。

5.4.2 坝面扬尘防治：初期坝外坡面和堆积坝外坡面均需护坡，气候干燥降雨量小的地区采用干砌块石护坡，雨量充沛地区采用植草防护或其他有效的覆盖设施，不应采用塑料制品覆盖。

5.5 生态修复

5.5.1 生态型尾矿库滩面、坝面均设置防尘设施，确保生产期不扬尘不起沙。

5.5.2 生态型尾矿库实行全库区防渗形成封闭环境，库内污水不渗漏，库外水清污分流不进库，洪水期库内污水不外排。

5.5.3 生态型尾矿库建设期会破坏拟建区域生态环境，施工完成后根据建设前生态环境情况进行生态恢复，保持建设前后一致。

5.5.4 生态型尾矿库到达服务年限应进行闭库生态恢复。

5.6 尾矿循环利用

5.6.1 因选矿厂选矿工艺的限制，尾矿内仍含有有价元素，可对尾矿库内有价元素进行回采，提升尾矿利用率，尾矿回采应有安全合理的回采方案，回采前提是不破坏尾矿库初期坝、排洪设施、防排渗设施、监测设施，环保设施以及其他尾矿库重要附属设施。

5.6.2 尾矿库内有害元素可根据实际情况在可行性、经济、环保的前提下进行分离，指定专用场所储存。

5.6.3 根据采矿工艺尾矿可进行井下充填，充填时需对充填区域进行勘察，要求充填区域无不良地质构造，充填后不污染地下水，并按照充填的相应技术标准进行设计。

5.6.4 根据尾矿成分、粒径，尾砂可用于制砖、水泥骨料及建筑材料，来减小尾矿库堆存区域和范围，以此减小尾矿污染，可循环利用的形成生态型尾矿库。

6 测绘

6.1 基本要求

6.1.1 主要任务：建立或利用尾矿库测量控制网，测绘尾矿库地形图，作为生态型尾矿库的设计、建设、运营、管理、闭库恢复全过程的重要依据。

6.1.2 测绘范围：沟谷型尾矿库沿沟的分水岭外扩 200 m 进行测绘；非沟谷型按尾矿库边界范围外延 500 m 进行测绘。

6.1.3 平面和高程系统：坐标系应采用 2000 国家大地坐标系（CGCS2000），高程系统宜采用 1985 国家高程基准。

6.1.4 比例尺：根据尾矿库规模大小和各阶段的需要，地形图成图比例尺可选用 1: 500, 1: 1000, 1: 2000 等。

6.1.5 复测周期：尾矿库应每三到五年进行一次复测，复测周期可根据实际情况和管理需要进行调整，成果应包括数字线划图、数字正射影像图、数字三维模型等。

6.1.6 设备保障：为了保证测绘成果的质量，对测绘仪器、设备应定期检验、校正和维护，确保测绘使用的仪器设备在检验期内并运行良好。

6.1.7 地形图使用的图式符号应符合 GB/T 20257.1 的规定。

6.1.8 精度评定：本文件以中误差和允许误差（限差）作为评定测量精度的标准，允许误差（限差）采用中误差的两倍值。

6.2 控制测量

6.2.1 通则

6.2.1.1 应在尾矿库周边建立不少于 6 个平面控制点和高程控制点，控制点应布设在尾矿库淹没区域之外土质坚实、地基牢固、利于观测、扩展和长期保存的地方。

6.2.1.2 各等级控制点应埋设标石，四等及以上平面控制点应绘制点之记，各等级高程控制点应绘点之记。

6.2.2 平面控制测量

6.2.2.1 尾矿库首级控制网的布设范围和等级的选择，可依据尾矿库范围大小，参照表 1 选定。

表 1 尾矿库首级平面控制与测量方法

尾矿库面积 km ²	首级控制	测量方法
100 以上	三等网	GNSS 静态测量
10~100	四等网	GNSS 静态测量
10 以内	一、二级	RTK 测量

6.2.2.2 各等级控制网均可作为首级控制网。在满足精度指标的情况下，各等级控制网可越级布设，也可同等级扩展和加密。

6.2.2.3 平面控制网的基本精度应符合下列规定。

- a) 三、四等网最弱相邻点的点间中误差不应大于 5 cm。
- b) 一、二级网最弱点的点位中误差（相对于起算点）不应大于 5 cm。
- c) 平面控制点实地位置的选择应符合下列要求：
 - 1) 应选在土质坚实、稳固，利于扩展和长期保存的地方；
 - 2) 卫星定位点的点位同围不应有强烈干扰卫星信号的物体，高度角 15° 以上范围不应有遮挡物；
 - 3) 四等及以下的卫星定位点应至少有一个通视方向。

6.2.3 高程控制测量

6.2.3.1 尾矿库高程控制网等级的划分，依次为三、四等水准及等外水准，各等级水准均可作为尾矿库的首级高程控制。尾矿库首级高程控制网，一般采用水准控制网，其布设范围和等级选择应符合表 2 的规定。

表 2 尾矿库首级高程控制和加密层次

尾矿库面积 km ²	首级控制	加密控制
100 以上	三等水准网	四等水准、等外水准
10~100	四等水准网	等外水准
10 以下	等外水准网	——

6.2.3.2 尾矿库高程控制网宜采用水准测量方法施测，四等可采用全站仪三角高程测量方法，等外水准可用 GNSS 拟合高程测量方法。

6.2.3.3 尾矿库高程控制网的最弱点高程中误差，三、四、五等不应大于 3 cm。

6.2.3.4 尾矿库首级高程控制网应布设成环形网，加密网宜布设成附路线结点网或闭合环。

6.2.3.5 水准测量的技术要求应符合 GB 50026 的规定。

6.3 尾矿库测绘

6.3.1 通则

6.3.1.1 地形图的比例尺可根据工程建设各阶段的需要，参照表 3 的规定选择。

表 3 测图比例尺的选择

比例尺	工程建设阶段及用途
1: 5000	总体规划、尾矿库选址、方案比较
1: 2000	详细规划、初步设计
1: 1000	初步设计、施工图设计
1: 500	尾矿坝施工图设计、竣工验收、地理信息系统建设

6.3.1.2 地形图测绘的主要技术要求应符合 GB 50026 的规定。

6.3.2 基本要求

6.3.2.1 新建库测绘

6.3.2.1.1 新建尾矿库测绘时，沟谷型尾矿库沿沟的分水岭外扩 200 m 进行测绘，非沟谷型按尾矿库边界范围外延 500 m 进行测绘。

6.3.2.1.2 若存在陡崖、峭壁等特殊的地形情况，在地形图上应用特定的符号表示出来。

6.3.2.2 既有库测绘

6.3.2.2.1 既有库的地形是一个动态的变化过程，需要按照要求在不同时间节点进行测绘，作为运营、管理和尾矿库容、大坝稳定验算的依据。

6.3.2.2.2 既有库地形图测绘优先采用无人机测绘，在尾矿库闭库后应进行测绘，作为尾矿库闭库后生态修复情况评价的最终依据。

6.3.2.2.3 尾矿库测绘时应准确测绘出堆积坝情况、尾矿库干滩、尾矿沉积内滩、尾矿库水面范围、库内主要构筑物、临时构筑物、其他设施等。

6.3.2.2.4 既有库测绘时应附加包括运行时间各时段和闭库时的尾矿库堆积坝剖面图，以用于尾矿大坝的边坡控制和稳定性分析。

6.3.2.2.5 既有库地形图成果应包括数字线划图、数字正射影像图、数字三维模型等。

7 检验

7.1 基本要求

生产经营单位应定期对尾矿库中的有价值元素、有害元素进行分析检验，同时对尾矿库水及尾矿库周边的地表水和地下水进行检验，作为尾矿综合利用和环境监控的依据。

7.2 尾矿渣元素分析

尾矿化学成分是决定尾矿综合利用方式的关键性因素之一。如果尾矿中含有较丰富的贵重金属元素、稀土元素，首先考虑是否可以将尾矿中的这些有价值元素进行二次回收；如果尾矿中含有的有价值元素较少，则考虑将尾矿作为建筑材料、复垦植被或是充填采空区加以利用。

7.2.1 尾矿采样

7.2.1.1 在尾矿采样前，应首先进行采样方案（采样计划）设计。方案内容包括采样目的和要求、现场踏勘、采样程序、安全措施、质量控制、采样记录和报告等。

7.2.1.2 采样的基本目的是：从尾矿库中采集具有代表性的样品，通过试验和分析，获得在允许误差范围内的数据。

7.2.1.3 采样目的明确后，要调查尾矿的种类、形态、数量以及尾矿的产生（处置）单位、产生时间等信息，并进行现场踏勘。

7.2.1.4 采样程序：采样按照以下步骤进行：选派采样人员；确定采样点；选择采样工具；确定采样数量；制定质量控制措施。

7.2.1.5 采样记录和报告：采样时应记录尾矿的名称、来源、数量、地点、采样点、样品编号、样品量、采样日期、采样人等。

7.2.1.6 采样方法：根据尾矿库中尾矿堆放面积和堆放深度进行布点。可按对角线型、梅花型、棋盘型、蛇型等点分布确定采样点。一般要求每个尾矿库最少设置 3 个垂直点位。每个点位按尾矿深度设置表层、中层、底层取样点。为保证取样的代表性，每个点位取样量至少 500 g。

7.2.1.7 采样工具包括：尖头钢锹；钢锤；采样探子；采样钻；气动和真空探针；取样铲；带盖盛样桶或内衬塑料薄膜的盛样袋。

7.2.1.8 质量控制符合以下规定。

- a) 为保证在允许误差范围内获得尾矿库的具有代表性的样品，应在采样的全过程进行质量控制。
- b) 对采样人员应进行培训。应由受过专门培训、有经验的人员承担。采样人员应熟悉尾矿的性状、掌握采样技术、懂得安全操作的有关知识和处理方法。采样时，应由 2 人以上在场进行操作。
- c) 采样工具、设备所用材质不能和待采尾矿有任何反应，不能使待采尾矿污染。采样工具应干燥、清洁，便于使用、清洗、保养、检查和维修。

7.3 有价元素分析

根据不同尾矿的类别，尾矿中的有价金属主要包括金、银、铜、铅、锌、锑、锰、镍、铝、锡、钴、铋等元素，主要检测方法参考表 4。

表 4 尾矿有价元素推荐分析方法

尾矿种类	有价元素	推荐分析方法
金矿	金	GB/T 20899.1
银矿	银	YS/T 445.1
铜矿	铜	YS/T 1115.12
铅锌矿	铅	GB/T 14353.2
	锌	GB/T 14353.3—2010 中 AAS 法
锑矿	锑	GB/T 15925
锰矿	锰	GB/T 1506—2016 中方法 2
镍矿	镍	YS/T 820.1
铝矿	铝	YS/T 575.1
锡矿	锡	GB/T 15924
钴矿	钴	GB/T 15922
铋矿	铋	GB/T 15926

表4 尾矿有价元素推荐分析方法（续）

尾矿种类	有价元素	推荐分析方法
各类尾矿	22 种金属	HJ 781
各类尾矿	17 种金属	HJ 766

7.4 有害元素分析

尾矿中的有害金属元素主要包括铅、镉、汞、砷、六价铬。矿石冶炼过程中加入的某些药剂，如氰化物等，也需要一并检测。推荐的检测方法见表 5。

表5 尾矿有害元素推荐分析方法

检测指标	推荐分析方法
铅、镉	HJ 781
	HJ 781
汞、砷	HJ 702
六价铬	GB/T 15555.4
	HJ 687
氰化物	GB 5085.3—2007 中附录 G

7.5 水质分析

7.5.1 地表水分析

7.5.1.1 地表水的采样参考 HJ 91.2。

7.5.1.2 地表水分析项目参考 GB 3838—2002 中表 1 项目，推荐的分析方法参考表 6。

表6 地表水检测指标及推荐分析方法

序号	基本项目	推荐分析方法
1	水温	GB/T 13195
2	pH	HJ 1147
3	溶解氧	HJ 506
4	高锰酸盐指数	GB/T 11892
5	化学需氧量	HJ 828
6	五日生化需氧量	HJ 505
7	氨氮	HJ 535
8	总磷	GB/T 11893
9	总氮	HJ 636
10	铜	HJ700
11	锌	HJ 700

表 6 地表水检测指标及推荐分析方法（续）

序号	基本项目	推荐分析方法
12	氟化物	HJ 84
13	硒	HJ 694
14	砷	HJ 694
15	汞	HJ 694
16	镉	HJ 700
17	铬（六价）	GB/T 7467
18	铅	HJ 700
19	总氰化物	HJ 484
20	挥发酚	HJ 503
21	石油类	HJ 637
22	阴离子表面活性剂	GB/T 7494
23	硫化物	GB/T 1648
24	粪大肠菌群	HJ 347.1
		HJ 347.2

7.5.2 地下水分析

7.5.2.1 地下水的采样参考 HJ 164。

7.5.2.2 地下水分析项目参考 GB/T 14848—2017 中表 1 项目，推荐的分析方法参考表 7。

表 7 地下水检测指标及推荐分析方法

序号	基本项目	推荐分析方法
1	色（铂钴色度单位）	GB/T 5750.4—2023 中 1.1
2	臭和味	GB/T 5750.4—2023 中 3.1
3	浑浊度	GB/T 5750.4—2023 中 2.1
4	肉眼可见物	GB/T 5750.4—2023 中 4.1
5	pH	HJ 1147
6	总硬度（以 CaCO ₃ 计）	GB/T 5750.4—2023 中 7.1
7	溶解性总固体	GB/T 5750.4—2023 中 8.1
8	硫酸盐	HJ 84
9	氯化物	HJ 84
10	铁	HJ 700
11	锰	HJ 700

表 7 地下水检测指标及推荐分析方法（续）

序号	基本项目	推荐分析方法
12	铜	HJ 700
13	锌	HJ 700
14	铝	HJ 700
15	挥发性酚类（以苯酚计）	HJ 503
16	阴离子表面活性剂	GB/T 7494
17	耗氧量	GB/T 5750.7
18	氨氮（以 N 计）	HJ 535
19	硫化物	GB/T 16489
20	钠	HJ 776
21	总大肠菌群	GB/T 5750.12
22	菌落总数	HJ 1000
23	亚硝酸盐	HJ 84
24	硝酸盐（以 N 计）	HJ 84
25	氰化物	HJ 484
26	氟化物	HJ 84
27	碘化物	HJ 778
28	汞	HJ 694
29	砷	HJ 694
30	硒	HJ 694
31	镉	HJ 700
32	六价铬	GB/T 7467
33	铅	HJ 700
34	三氯甲烷	HJ 639
35	四氯化碳	HJ 639
36	苯	HJ 639
37	甲苯	HJ 639
38	总 α 放射性	HJ 898
39	总 β 放射性	HJ 899

7.5.3 尾矿水分析

7.5.3.1 尾矿水的采样参考 HJ 91.2。

7.5.3.2 尾矿水分析项目参考表 1 项目，推荐的分析方法参考表 8。

表 8 尾矿水检测指标及分析方法

序号	基本项目	推荐分析方法
1	pH	HJ 1147
2	浊度	13200
3	溶解氧	HJ 506
4	高锰酸盐指数	GB/T 11892
5	化学需氧量	HJ 828
6	五日生化需氧量	HJ 505
7	氨氮	HJ 535
8	总磷	GB/T 11893
9	总氮	HJ 636
10	氟化物、氯化物、硫酸根、硝酸根	HJ 84
11	铜	HJ700
12	锌	HJ 700
13	硒	HJ 694
14	砷	HJ 694
15	汞	HJ 694
16	锑	HJ 700
17	镉	HJ 700
18	锰	HJ 700
19	镍	HJ 700
20	金	HJ 700
21	银	HJ 700
22	锡	HJ 700
23	铬（六价）	GB/T 7467
24	铅	HJ700
25	钾	776
26	钙	HJ 776
27	钠	HJ 776
28	镁	HJ 776
29	全盐量	HJ/T 51
30	总氰化物	HJ 484
31	挥发酚	HJ 503
32	石油类	HJ 637
33	阴离子表面活性剂	GB/T 7494
34	硫化物	GB/T 16489

8 勘察

8.1 基本要求

8.1.1 勘察单位应具有矿山工程或者岩土工程勘察资质。生态型尾矿库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附录 A 的要求。生态型尾矿库勘察纲要应根据勘察

目的和技术要求，在现场踏勘、搜集和分析已有资料的基础上编制。

8.1.2 生型尾矿库勘察属专项勘察不分等级。

8.1.3 本节适用于新建改扩建库及既有库生态型尾矿工程的初期坝、截洪坝、尾矿坝、截渗坝、库区、排水井或斜槽、排水涵管、截洪廊道等及既有库的工程勘察，勘察内容应满足现行有关标准的规定。

8.1.4 既有库生态型尾矿库勘察是对现状库区渗漏情况进行的勘察和对新建库渗漏情况的预先勘察。

8.1.5 当满足尾矿库基本地质条件或地层渗透性达到 10^{-6} cm/s 量级时，是否采取防渗措施时可进行试验研究，以获得现行环境保护要求所需参数。可通过在前期尾矿库选址、地质勘察过程中通过细致地质工作，查明库区地形、地貌、地质构造、地层岩性及岩土渗透性，为尾矿库设计、尾矿水零排放提供可靠依据，为企业基本建设节约投资。

8.1.6 生态型尾矿库勘察应根据要求留存影像资料。

8.2 勘察内容

8.2.1 新建改扩建生态型尾矿库勘察工作应以水文地质勘察为重点，符合下列要求：

- a) 详细查明坝基、坝肩以及各拟建构筑物地段的岩土组成、分布特征、工程特性，提供岩土的强度和变形参数；
- b) 分析和评价坝基、坝肩、库岸、溢洪道等的稳定性，对潜在的不稳定因素提出治理措施建议；
- c) 分析和评价坝基、坝肩、库区的渗漏及其对环境的影响，提出防治渗漏的措施建议；
- d) 查明场地内的潜在不良地质和水文地质作用，渗漏区域、渗漏通道等提出治理措施建议；
- e) 分析和评价排水井和排水管地基的压缩性和变形特征，当地基不均匀或存在软弱地基时，应提出地基处理措施建议；
- f) 判定水和土对建筑材料的腐蚀性。

8.2.2 既有生态型尾矿库勘察除应符合 7.2.1 的规定以外，还应采用工程地质勘察和水文地质勘察，并结合三维渗流分析及物探手段，综合提出尾矿水渗流的途径及渗流边界范围，为尾矿库的零排放提供依据。

8.3 工程地质与水文地质

8.3.1 地质构造

8.3.1.1 查明库区（新建改扩建及既有库）周边断裂、褶曲的位置、构造线走向、产状等形态特征和地质力学特征，岩层的产状和接触关系，软弱结构面的发育情况及其与工程的关系。

8.3.1.2 对既有库还需进一步查明库区周边有无单薄分水岭、低邻谷和贯穿库外的透水层、断层破碎带、古河道，可溶岩分布库段的岩溶发育规律、泉水及地下水分水岭的分布高程、相对隔水层的分布及封闭条件、地下水与河水的补给与排泄关系等，评价渗漏的可能性、渗漏途径、渗漏性质（管道、溶隙）及其对库区的影响。

8.3.2 地形地貌

查明库区周边的地形、地貌的类型、成因、特征与发展过程，与岩性、构造等地质因素的关系，与工程地质条件的关系。

8.3.3 地层结构

查明库区周边地层的层序、厚度、时代、成因及其分布情况，岩性、风化破碎程度及风化层厚度，土石的类别，工程性质及对工程的影响等。

8.3.4 地表水与地下水

8.3.4.1 地表水（既有库时包括尾矿水）的汇水面积、分布范围、水位、流量、流速及其动态变化，历史上出现的最高洪水位、洪峰流量及淹没范围、地表水对库区补给的方式、地段。

8.3.4.2 查明库区周边孔隙含水层的成因类型、分布、厚度，含水介质的岩性、结构、粒度、磨圆度、分选性、胶结物、胶结程度，含水层的富水性、渗透性及其变化；应查明含（隔）水层的组合关系，各含水层之间、含水层与弱透水层以及与地表水之间的水力联系。

8.3.4.3 查明库区周边裂隙含水层的裂隙性质、规模、发育程度、分布规律、充填情况及其富水性、透水性、含水层与其相对隔水层的组合特征及其与各含水层和地表水的水力联系。

8.4 勘探与取样

8.4.1 新建改扩建生态型尾矿库勘察勘探及取样应满足现行有关标准的规定。

8.4.2 当工程需要时，可布置探井和探槽。

8.4.3 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，应进行物探工作。

8.4.4 勘探线应在工程地质调查和测绘的基础上，布置在对库区防渗评价有代表性的地段，勘探线方向宜垂直库区边线。每个坝应在预估容易发生渗流的地段布置不小于 1 条的主要勘探线，其下游端宜达到截渗坝下游约 30 m，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，且应在拦洪坝前布置钻孔。其他勘探线的长度可按照实际条件控制。

8.4.5 勘察在主坝的勘探线数量不应少于 3 条。

8.4.6 拦截谷口建库的堆积坝的勘探线、勘探点间距应符合表 9 的规定。

表 9 勘探线、勘探点间距

单位为米尾矿坝 级别	勘探线间距		勘探点间距	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
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； 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； 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； 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				

8.4.7 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 8.4.5 的规定，其他坝段不应少于 2 条；勘探点间距应符合本节表 9 的规定。

8.4.8 勘探孔深度应符合下列要求：

- 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；
- 所有勘探孔深度应进入原天然地面以下 1 m~2 m，其中控制孔深度应满足表 10 的规定。

表 10 控制性勘探孔深度（进入原天然地面以下）

单位为米

尾矿坝级别	下游坝坡	沉积滩
1~3	15~20	5~8
4、5	10~15	3~5
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。 在勘探深度内遇见稳定基岩时，孔深可减小。 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。 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		

8.4.9 既有库勘察除应遵守新建改扩建尾矿库勘察的规定以外，还应遵守以下规定。

- a) 沿尾矿库周边应布置不少于 6 条勘探线，每条勘探线布置钻孔宜不少于 3 个。布孔原则：第一个钻孔布置在库区内，第二个钻孔布置在库区外，两个钻孔间距 10 m~30 m（根据现场地形条件布置）；采用 PH 试纸先在尾矿库拦洪坝上游测试地表水的 PH 值作为背景值，然后测钻孔中地下水的 pH 值，与背景值对比，初步判定地下水是否受尾矿水影响，再确定第 3 个钻孔布置在两个钻孔之间，还是向外侧延伸。
- b) 所有勘探孔深度高程应进入尾矿库库底高程以下 10 m~15 m。

8.4.10 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：

- a) 遇地下水时应量测水位；
- b) 稳定水位应在初见水位后经一定的稳定时间再量测。

8.4.11 采取岩土试样应符合下列要求。

- a) 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 1.0 m~3.0 m。
- b) 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。
- c) 对软弱夹层，特别是可能产生滑动的夹层，应采取试样。
- d) 当尾矿层和岩土层不均匀时，应增加取样数量。
- e) 岩石取样，强风化带按照间距 2.0 m，中等风化~微风化按照间距 5 m~10 m 取岩芯样。
- f) 所有标准贯入试验点均应采取扰动试样。
- g) 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。

8.5 地表水及地下水样品的采集

8.5.1 采样器具应选用直立式采水器和棕色玻璃采样瓶。

8.5.2 采样器及采样瓶的洗涤方法应符合下列规定：

- a) 用专用洗涤剂清洗一次，再用自来水清洗二次；
- b) 用 1+3HNO₃ 荡洗一次，再自来水清洗三次；
- c) 用蒸馏水清洗；
- d) 当在不同点位进行水样采集时，应按照上述要求重新洗涤。

8.5.3 采取水样应符合下列要求：

- a) 选用 1000 mL 棕色玻璃瓶；

b) 采样前先打碎可能存在地下水面的油膜。

8.5.4 垂直放入水面下 30 cm 处，打开瓶塞，边采水边向上提，在到达水面时剩余适当空间连同表层水一并采集。地下水采样量不应少于 1000 mL。

8.5.5 采样过程中应符合下列规定：

- a) 水样应单独采集，采样前应按照要求对采样瓶进行清洗；
- b) 水样标签应由专人填写，并做好采样记录：标签应注明工程名称、地点、坐标、识别号、采样时间、样品名称、采样深度等，并粘贴于采样瓶上；
- c) 采样记录内容、页码、缩号应齐全，便于核查，修改时应注明修改人及修改时间；
- d) 在采样过程中出现水体不均匀无法采到代表性水样等异常情况时，应立即记录并保留现场相关影像记录；
- e) 采样结束，应检查采样记录、样品瓶标签，在采样示意图上标明采样地点名称及坐标，并做好记录。

8.5.6 水样的保存及运输应符合下列要求。

- a) 水样在常温下 24 h 内测定。
- b) 水样加盐酸酸化至 $\text{pH} \leq 2$ ，并于 $2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冷藏保存，保存期为 7 d。
- c) 水样运输前应将容器盖密封，同一采样点的样品瓶应装在同一箱中。装箱时应用泡沫塑料隔离，并应标有“切勿倒置”标志。
- d) 水样交实验室时，应填写交接记录。

8.6 既有库勘察

既有库勘察时应在在尾矿库拦洪坝的上游采取地下水环境背景值（本底值）不应少于 2 组；采取库区尾矿水不应少于 2 组，每个钻孔遇到地下水时均应采取地下水，并根据地层分层取水。根据需要采取相邻沟谷泉水、地表水样。钻孔中水样应在洗孔干净，抽（提）干孔内的水，静置 24 h，等孔内重新渗出地下水后采取；采取入岩后不同深度的水样。尾矿水、泉水、地表水与钻孔水样同时采取，封好瓶口，24 h 内送至试验室。

8.7 原位测试与室内试验

8.7.1 通则

- 8.7.1.1 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。
- 8.7.1.2 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。
- 8.7.1.3 尾矿的室内物理力学性质试验应在工程现场进行。
- 8.7.1.4 原位测试和室内试验的设备、试验操作应符合有关国家现行标准的规定。
- 8.7.1.5 本节仅对生态型尾矿库勘察所需的重要原位测试手段进行说明，对于静力触探试验、动力触探试验、十字板剪切试验、抽水试验等应按照现有标准进行执行，本节不再表述。

8.7.2 压水试验

8.7.2.1 新建改扩建生态型尾矿库压水具体试验可参照 YS 5216 中有关规定执行，既有库除按照上述规定执行以外还应遵守以下规定。

- a) 压水试验深度应试验至地层渗透性小于 10^{-6} cm/s 量级连续 3 次以上时方可终止试验。
- b) 尾矿层：采用合金钻头、无泵反循环或小泵量正循环钻进工艺回转钻进，钻孔直径不小于 130 mm，回次进尺控制在 1.0 m~1.5 m，岩芯采取率 60%~90%；钻穿该层后采用套管隔断其与下伏地层，确保尾矿、尾液不向下伏地层渗漏；套管下到第四系地层一定深度或至岩层面。

- c) 第四系地层：采用合金钻头、无泵反循环或小泵量正循环钻进工艺回转钻进，钻孔直径不小于 110 mm，回次进尺控制在 1.0 m~1.5 m，岩芯采取率 60%~90%。
 - d) 岩层：首选金刚石钻头，全风化~强风化岩层较软时，亦可采用合金钻头，小泵量正循环钻进工艺回转钻进，终孔直径≥75 mm。回次进尺控制在 1.0 m~1.5 m，岩芯采取率岩层 85%~95%。
 - e) 压水试验段钻探要求：岩层钻进 6.5 m（5 m 试验段+1.5 m 封堵段），取芯干净，通知现场技术人员进行钻孔压水试验；试验结束后，未变径的前提下，钻进 5 m 继续压水试验，若变径，则钻进 6.5 m 进行压水试验。
 - f) 描述：尾矿野外定名及描述按照 GB/T 50547—2010 中 3.0.5，其他岩土层野外定名及描述按照 GB 50021—2001（2009 年版）中 3.2、3.3。原始记录符合 JGJ/T 87 的相关要求，由记录员在现场按钻探回次描述，做到及时、真实、准确、齐全、整洁，并按照要求摆放岩芯试样。
 - g) 地下水位观测：钻进中遇到地下水位时停止钻进，并量测初见水位，水位误差小于±1.0 cm，终孔 24 h 后观测稳定水位并记录。
 - h) 岩芯的保留及取样：选取代表性岩样装在岩芯箱进行保留，其他钻孔岩芯照像后不保留岩芯。
 - i) 钻进过程中需重点注意事项：如在钻孔内发现有尾液渗漏情况时（pH 值发生改变），应进入渗漏岩土层一定深度后暂停钻进，清除孔内残留岩芯、渗漏尾液等，静置不少于 24 h，记录渗漏段地层厚度、渗漏量、水位等。有多层渗漏岩土层时，应钻进一层，观测记录一层，然后封堵该层，钻进下一层，直至钻孔进入未渗漏岩土层，查明各渗漏岩土层渗漏情况。压水试验孔径为：110 mm、90 mm。在特殊孔径条件下，要作相应修正，主要是当孔径很大，而试验段长度较短时，与试验段假设不相符。
 - j) 钻探要按现场技术人员要求，进行原位测试（标贯、动触、波速等），采取水、土试样，配合钻孔压水试验工作。
 - k) 试验工作现场完成后，可与试验区归属单位协商，保留一定数量的长期水位观测孔，进行长时间尾液渗漏情况观测分析。
- 8.7.2.2 试验资料整理应包括校核原始记录，绘制 $P\sim Q$ 曲线，确定 $P\sim Q$ 曲线类型和计算试段透水率等。 $P\sim Q$ 曲线类型见表 11。

表 11 $P\sim Q$ 曲线类型及曲线特点

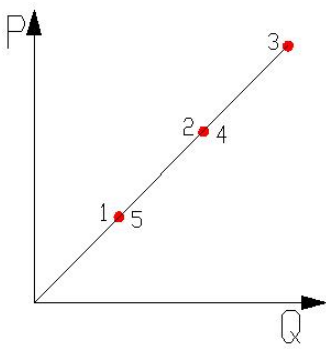
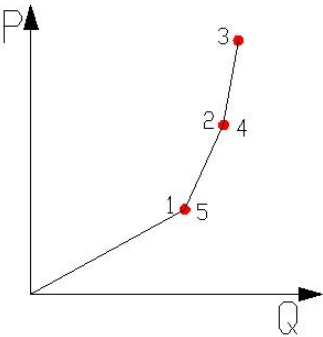
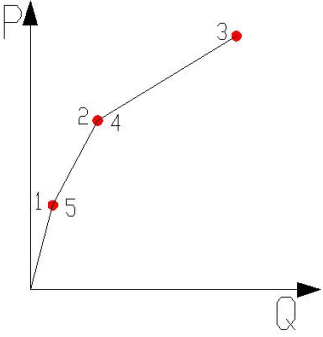
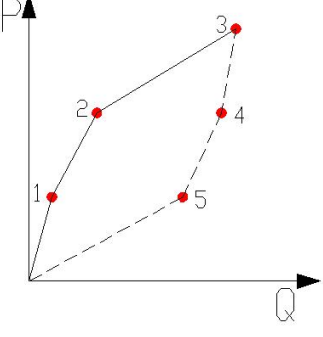
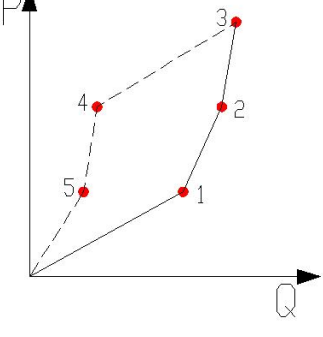
类型	$P\sim Q$ 曲线	曲线特点
A（层流）型		升压曲线为过原点的直线，降压曲线与升压曲线基本重合

表 11 $P \sim Q$ 曲线类型及曲线特点 (续)

类型	$P \sim Q$ 曲线	曲线特点
B (紊流) 型		升压曲线凸向 Q 轴, 降压曲线与升压曲线基本重合
C (扩张) 型		升压曲线凸向 P 轴, 降压曲线与升压曲线基本重合
D (冲蚀) 型		升压曲线凸向 P 轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈顺时针环状
E (充填) 型		升压曲线凸向 Q 轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈逆时针环状

8.7.2.3 曲线中第 4 点与第 2 点、第 5 点与第 1 点的流量值绝对差小于 1 L/min 或相对差小于 5% 为基本重合。

8.7.2.4 绘制 $P \sim Q$ 曲线时, 应采用统一比例尺, 即纵坐标 (P 轴) 1 mm 代表 0.01 MPa, 横坐标 (Q

轴) 1 mm 代表 1 L/min。

8.7.2.5 曲线图上各点应标明序号, 并依次用直线相连, 升压阶段用实线, 降压阶段用虚线。

8.7.2.6 试段透水率采用第三阶段的压力值 (P_3) 和流量值 (Q_3) 按照式 (1) 计算。

$$q = \frac{Q_3}{LP_3} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

q ——试段的透水率 (Lu), 取两位有效数字;

L ——试段长度, 单位为米 (m);

Q_3 ——第三阶段的计算流量, 单位为升每分钟 (L/min);

P_3 ——第三阶段的试段压力, 单位为兆帕 (MPa)。

8.7.2.7 当需要根据压水试验成果计算岩体渗透系数时。

a) 试验段位于地下水位以下, 透水性较小 ($q < 10Lu$)、 $P \sim Q$ 曲线为 A (层流) 型时, 可按照式 (2) 计算。

$$K = \frac{Q}{2\pi HL} \ln \frac{L}{r_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

K ——岩体渗透系数, 单位为米每天 (m/d);

Q ——压入流量, 单位为立方米每天 (m^3/d);

H ——试验水头, 单位为米 (m);

L ——试段长度, 单位为米 (m);

r_0 ——钻孔半径, 单位为米 (m)。

b) 试验段位于地下水位以下, 透水性较小 ($q < 10Lu$)、 $P \sim Q$ 曲线为 B (紊流) 型时, 可用第一阶段的压力 P_1 和流量 Q_1 代入式 (2) 近似计算渗透系数 (K)。

8.7.2.8 岩土体渗透性分级遵守下列规定。

a) 按照 GB 50487—2008 中附录 F, 岩土体的渗透性据其渗透系数 (K) 或透水率, 按照表 12 分级。

表 12 岩土体渗透性分级

渗透性等级	标准	
	渗透系数 (K) cm/s	透水率 (q) Lu
极微透水	$K < 10^{-6}$	$q < 0.1$
微透水	$10^{-6} \leq K < 10^{-5}$	$0.1 \leq q < 1$
弱透水	$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	$1 \leq q < 10$
中等透水	$10^{-4} \leq K < 10^{-2}$	$10 \leq q < 100$
强透水	$10^{-2} \leq K < 1$	$q \geq 100$
极强透水	$K \geq 1$	

b) 按照 JGJ 476—2019 中附录 A, 岩土体的渗透性据其渗透系数 (K) 或透水率, 按照表 13、14 分级。

表 13 岩体渗透性等级

等级	透水率 (q) Lu	岩体特征
极微透水	$q < 0.1$	完整, 裂隙等价张开度 < 0.025 mm
微透水	$0.1 \leq q < 1$	裂隙等价张开度 0.025 mm $\sim$ 0.05 mm
弱透水	$1 \leq q < 10$	裂隙等价张开度 0.05 mm $\sim$ 0.1 mm
中等透水	$10 \leq q < 100$	裂隙等价张开度 0.1 mm $\sim$ 0.5 mm
强透水	$q \geq 100$	裂隙等价张开度 0.5 mm $\sim$ 2.5 mm
极强透水		裂隙等价张开度 > 2.5 mm, 连通孔洞

表 14 土体渗透性分级

等级	渗透系数 (K) cm/s	土类
极微透水	$K < 10^{-6}$	黏性土
微透水	$10^{-6} \leq K < 10^{-5}$	黏性土 $\sim$ 粉土
弱透水	$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	粉土, 含细粒土砂
中等透水	$10^{-4} \leq K < 10^{-2}$	砂, 含砂砾石
强透水	$10^{-2} \leq K < 1$	砾砂, 卵石
极强透水	$K \geq 1$	均匀的漂砾

8.7.3 试坑注(渗)水试验

8.7.3.1 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层的垂直渗透系数和水平渗透系数。

8.7.3.2 注水试验应符合下列技术要求。

- 当尾矿层位于地下水位以上, 且地下水位埋深大于 5 m 时, 可采用试坑注水法; 对砂性尾矿层宜采用单环注水法; 对黏性、粉性尾矿宜采用双环自流注水法。
- 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。

8.7.4 注水试验成果整理

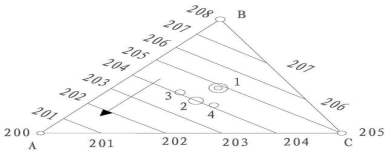
注水试验成果整理应包括下列内容。

- 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)。
- 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)。

8.7.5 地下水流向、流速测定

8.7.5.1 地下水流向测定的方法主要有。

- a) 几何法（三角形井孔法）：按照等边三角形布置三个钻孔（图 1），并测定天然地下水位，用插值的方法作出等水位线，垂直等水位线由高到低的方向即为地下水流向。



- 标引序号说明：
- A、B、C——地下水位观测孔；
- 1——投试剂孔；
- 2——主要流速观测孔；
- 3、4——辅助观测孔；
- 5——地下水流向。

图 1 地下水流向、流速测定示意图

- b) 物探法：如用充电法确定地下水流向。

8.7.5.2 地下水流速测定（弥散试验）遵守下列规定。

- a) 为保证投源井（注入井）的示踪晕并提高试验精度，监测井一般布置 1 层～3 层，每层 3 孔。
- b) 投源井与侧面监测井连线与主流线间构成的夹角应小于 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。用较少的观测孔，获得不同规模条件下浓度时间观测值。
- c) 钻孔施工应分两步进行：首先施工主孔和主流向两侧的两个孔，测出三个孔的水位埋深和高程，用三点法校正初测的地下水流向；再根据校正的地下水流向施工其他孔，按照其水位高程再校正地下水流向。在此次基础上进行最后观测孔施工。
- d) 钻孔施工中，应注意钻孔质量。滤水管类型、规格、滤水孔尺寸、下管、填砾、止水、洗井工艺等，均应严格按照相关标准及设计要求执行。

8.7.5.3 示踪剂的类型详见表 15。

表 15 示踪剂的类型

类型		试剂名称	特点	应用条件
化学试剂	电解液	NaCl（食盐）	氯化物便宜，具有较高的导电性和较弱的被吸附性，但检验灵敏度低，用量大，会改变水的比重、流速、流向。且 CaCl2、NH4Cl 有毒，不能用于高氯、高氨水	NaCl（食盐）示踪剂应用最广，适用于淡水和透水性较好的含水层
		CaCl2		
		NH4Cl		
	碳氟化合物	CCl3F	毒性低，极稳定，便宜，有高灵敏度的检出方法，但易被有机物吸附	不能用于煤、油页岩、含油气层
		CC2F		
染色剂		荧光染料	可用荧光计或比色计直接测定，灵敏度较高	适用于高矿化含水层或弱透水层
		亚甲基蓝		
		玫瑰精 B		
放射性物质 （同位素）		831I	用量小，能在较长距离示踪，但需专门仪器检测	适用于包气带、饱水带
		82Br		
		2H		
微生物		酵母菌	无毒、便宜、易检出	既可用于孔隙，又可用于较大岩溶通道

8.7.5.4 示踪剂量与注入方式的确定符合下列规定。

- a) 示踪剂的投放量：投放量一般根据研究区流场的规模和采用的测量仪器的灵敏度确定。原则为使所有的示踪剂浓度数据值能够测量到，且可进行相关的定量计算。可根据地下水流速按照经验公式进行估算，同时应考虑介质的吸附作用、渗透流速、示踪剂运移的距离远近、渗透类型等因素。
- b) 示踪剂的注入方式：分为连续式和脉冲式两种。示踪剂应投放于目的层中，可通过水文地质勘查成果资料确定。将示踪剂注入主井后，使示踪剂溶液与含水层段地下水混合均匀。不同的注入方式所导出的解析解也不同。连续注入所需示踪剂溶液用量多、体积大、投放时间长，不但会引起地下水物理性质的改变，且流场性质也不好控制。故一般情况下连续注入方式较少采用。

8.7.5.5 示踪剂应注入存在天然水流的钻孔内。投放点应位于地下水流上游，投放点处的透水性能应良好。最好在试验之前进行投源点的灵敏度测试。试验前应根据单孔示踪试验资料明确主要的渗漏层；对于基岩中的钻孔用做投放孔时，试验前最好用单孔稀释法对其进行渗透流速测定试验；同时判断是否存在垂向流，垂向流将携示踪剂进入与渗流无关的地层。

8.7.5.6 示踪剂投放后，严密注视其随时间变化规律。先观测主孔，根据主孔观测值获得的各层位地下水流速值，估计示踪晕到达各孔的时间。需要注意每个观测孔示踪晕前缘到达及峰值到达这两个时刻，并在其将要到来之前，增加观测频率，严密监测，以准确测定示踪剂前缘和峰值到达监测井的时间。示踪浓度观测有取样测量或现场就地测量两种方式。取样测量法需要理想的定深取样器，在实际应用中多不采用，常采用就地测量法。用 NaCl 溶液作为示踪剂时，一般采用电导率仪测量电导率值。一般条件下观测孔中示踪剂浓度历时曲线如图 2 所示。

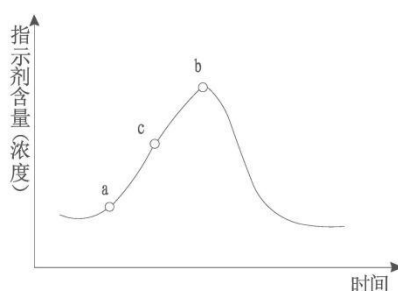


图 2 观测孔中指示剂含量变化过程曲线示意图

8.7.5.7 绘制浓度—时间曲线图，观测孔与投放孔的距离 (L) 已知，取浓度—时间曲线图上 b 点对应的的时间 T_b 为示踪剂自投放孔到达检测孔的时间，地下水的实际流速 $u=L/T_b$ 。

8.7.6 工程物探

8.7.6.1 查明库区地质构造，特别是断裂带、节理裂隙发育带。

8.7.6.2 查明库区岩体的破碎（漏水）情况。

8.7.6.3 通过钻孔对岩体进行完整性测试。

8.7.6.4 查明库区地层结构，主要是覆盖层及风化带厚度。

8.7.6.5 工程物探主要采用高密度电法、浅层地震折射波法、全波列超声波测井等手段，具体可按照国家现有相关标准执行。

8.8 试验

8.8.1 通则

- 8.8.1.1 岩石的物理、力学性质的室内试验，应符合 GB/T 50266 和 GB/T 50123 的规定。
- 8.8.1.2 岩石试验和土工试验的试样应具有地质代表性，试验项目、试验方法、技术条件等应符合工程建设勘察、设计、施工的基本要求和特性。
- 8.8.1.3 岩石试验和土工试验的试样数量和规格应符合相关试验要求。
- 8.8.1.4 试验资料的整理，应通过对样本的研究来估计岩土体单元特征及其变化的规律，为工程设计和施工提供准确可靠的指标。
- 8.8.1.5 土工试验所用的仪器、设备应符合 GB/T 15406 的要求，并定期进行检定和校准。

8.8.2 岩石试验

8.8.2.1 岩石试验应根据工程需要选择下列项目：

- a) 物理性质试验可进行颗粒密度和块体密度测定、吸水率和饱和吸水率测定、崩解试验、膨胀试验及冻融试验等；
- b) 力学性质试验可进行单轴抗压强度试验、单轴压缩变形试验、三轴压缩试验、直接剪切试验、轴向拉伸试验和点荷载强度试验等；
- c) 对软岩和极软岩可取天然状态下的不扰动试样按照土工试验方法进行物理力学试验。

8.8.2.2 岩石单轴抗压强度应分别测定干燥和饱和状态下的强度，并提供相应单轴抗压强度，计算软化系数。

8.8.2.3 岩石单轴压缩变形试验，应绘制应力与纵向应变及横向应变的关系曲线，提供岩石平均弹性模量、平均泊松比，并提供岩石单轴抗压强度。

8.8.2.4 岩石三轴压缩试验围压可按照等差级数或等比级数进行选择，样品不应少于 4 个，并应根据不同围压相应的轴向应力，绘制莫尔应力圆及抗剪强度包络线，确定岩石三轴应力状态下的强度参数 c 、 φ 值。

8.8.2.5 岩石直剪试验可用于测定岩块、岩石结构面及混凝土与岩石结合面的抗剪强度指标 c 、 φ 值，并应绘制各法向应力下的剪应力和剪切位移及法向位移关系曲线，确定各剪切阶段特征点的剪应力。

8.8.2.6 岩石点荷载强度试验可用于测定岩块的点荷载强度，同一含水状态下每组岩块圆柱体试件数量宜为 5 件~10 件，方块体或不规则体试件数量宜为每组 15 件~20 件。

8.8.2.7 既有库还应进行岩石切片，来观察岩石中是否有尾矿砂充填情况，取样位置为尾矿砂以下岩层。

8.8.3 土的物理性质试验

土的物理性质试验应按照土的类别和工程要求测定下列指标：

- a) 砂土应测定颗粒级配、比重、天然含水量、天然密度、最大和最小密度；
- b) 粉土应测定颗粒级配、比重、天然含水量、天然密度、液限、塑限和有机质含量；
- c) 黏性土应测定比重、天然含水量、天然密度、液限、塑限和有机质含量；

注 1：对砂土无法取得 I 级、II 级土样时，可只进行含水量、颗粒级配试验。

注 2：目测鉴定不含有有机物时，可不测定有机质含量。

注 3：有经验的地区，比重可根据经验确定。

注 4：当需要对土方回填或坝体心墙填筑等工程进行质量控制时，应进行击实试验，测定土的干密度与含水量的关系，确定最大干密度和最优含水量。

注 5：工程要求提供土的渗透性参数时，宜结合现场试验进行室内渗透试验，测定土的渗透系数。

8.8.4 土的压缩—固结试验

- 8.8.4.1 土的固结试验的最大压力应大于工程建成和使用后实际的土的有效自重压力与附加压力之和。
- 8.8.4.2 当采用压缩模量进行沉降计算时，应提供 $e \sim p$ 曲线及各压力段的压缩系数和压缩模量；当考虑基坑开挖卸荷和再加荷影响时，应进行回弹试验，提供回弹指数。
- 8.8.4.3 当考虑土的应力历史进行沉降计算时，应提供 $e \sim lgp$ 曲线，计算土的先期固结压力、压缩指数和回弹指数。
- 8.8.4.4 当需进行沉降历史关系分析时，应测定固结系数，工程需要时，还应提供次固结系数。

8.8.5 土的抗剪强度试验

- 8.8.5.1 土的三轴剪切试验应根据工程要求按不同排水条件进行试验。当计算地基承载力时，应采用自重压力下预固结的不固结不排水剪。在稳定性分析中，当计算采用总应力法计算时，应采用固结不排水剪；当以有效应力法计算时，砂性和粉性土应采用固结排水剪，黏性土应采用固结不排水剪测孔隙水压力。试验围压应根据工程实际确定。
- 8.8.5.2 对于斜坡稳定性评价，基坑开挖等工程，在有工程经验时可采用直接剪切试验，其试验方法应根据荷载类型、加荷速率、地基土的排水条件和计算模型的要求确定。
- 8.8.5.3 对于内摩擦角 $\varphi=0$ 软黏土，可采用 I 级土试样的无侧限抗压强度代替自重压力下预固结的不固结不排水三轴剪切试验。
- 8.8.5.4 测定滑坡带已存在剪切破裂面的抗剪强度时，应进行残余强度试验。

8.8.6 水和土腐蚀性评价

- 8.8.6.1 尾矿库勘察时，应进行场地水（地下水 and 地表水）水质分析和土化学成分分析，评价场地水和土对混凝土结构及钢筋混凝土中的钢筋的腐蚀性；当工程有要求时，尚应评价场地土对钢结构的腐蚀性。当有足够经验或资料可认定工程场地及其附近的水或土对建筑材料为微腐蚀时，可不取样试验和进行评价。
- 8.8.6.2 采取水试样和土试样应符合下列规定。
 - a) 工程结构处于地下水位以上时，应取土试样作土的腐蚀性的化学分析。
 - b) 工程结构部分处于地下水位以上，部分处于地下水位以下时，应分别取土试样和水试样作腐蚀性的化学分析。
 - c) 工程结构处于地表水或地下水中时，应取水试样作水的腐蚀性的化学分析。
 - d) 水试样和土试样应在工程结构所在的位置采取，每个场地每个地貌单元不应少于 2 件。当土中盐类成分和含量不均匀时，应分区、层取样，每区、层不应少于 2 件。
 - e) 水试样应及时试验，水样放置时间不应超过 72 h。
- 8.8.6.3 水、土腐蚀性的分析项目和分析方法应符合表 16 的规定。

表 16 水、土腐蚀性的化学分析方法

序号	分析项目	分析方法
1	pH 值	电位法或锥形玻璃电极法
2	Ca ²⁺	EDTA 容量法
3	Mg ²⁺	EDTA 容量法
4	Cl ⁻	摩尔法
5	SO ₄ ²⁻	EDTA 容量法或质量法

表 16 水、土腐蚀性的化学分析方法（续）

序号	分析项目	分析方法
6.	HCO_3^-	酸滴定法
7	CO_3^{2-}	酸滴定法
8	侵蚀性 CO_2	盖耶尔法
9	游离 CO_2	碱滴定法
10	NH_4^+	钠氏试剂比色法
11	OH^-	酸滴定法
12	总矿化度	计算法
13	氧化还原电位	铂电极法
14	极化电流密度	原位极化法
15	电阻率	四极法
16	质量损失	管罐法
注 1：序号 1～序号 7 为判定土腐蚀性应分析的项目，序号 1～序号 12 为判定水腐蚀性应分析的项目。 注 2：序号 1、序号 13～序号 16 为土对钢结构腐蚀性应分析的项目。 注 3：场地水、土对混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋及钢结构的腐蚀性应根据工程类别按照 GB 50021 或其他相关标准的规定分别进行评价。		

8.8.6.4 既有库勘察还应在钻孔内进行水质全分析，分析项目可参照第 7 章内容考虑。

8.9 既有尾矿库勘察

8.9.1 搜集既有库的勘察、设计、施工资料，初步掌握区域地形、地貌、地质构造、水文地质与工程地质条件资料，编制工作大纲，通过工程地质调查与测绘工作、结合物探成果，采用钻探验证的方法，查明尾矿库范围是否有断裂构造或发育节理、裂隙密集发育带，特别是未胶结的断裂带和延伸出库盆的节理、裂隙密集发育带。

8.9.2 通过钻探试验工作，查明尾矿库区的地层结构与岩性；通过钻孔压水试验，获得各类岩层风化带的渗透性及透水性；通过现场注水试验，查明第四系覆盖层、尾矿土的渗透性；通过采取尾矿库上游水样作为该地下水的本底值，采取钻孔水样、相邻沟谷水样及尾矿液水样进行化学成分分析对比，查明尾矿液渗漏的范围；综合分析以上基础成果资料，基本查明尾矿液和地下水是否有水力联系，尾矿液的渗流主要通道、途径。通过三维数值模拟计算，结合试验工作试验成果，提出尾矿水渗流的主要途径及渗流边界范围。

8.10 成果报告

8.10.1 通则

勘察报告可根据需要附如下附件：工程任务委托书（或含勘察技术要求的勘察合同）；与工程相关的重要函电；与工程相关的审查报告或审查会议纪要；专门性试验、专题研究报告或监测报告；其他需要的报告及资料；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。

8.10.2 新建改扩建库

8.10.2.1 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。

8.10.2.2 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。

- a) 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。
- b) 勘察技术要求、勘察工作实施的依据和技术标准。
- c) 勘察方法和勘察工作量。
- d) 场地位置、地形、地貌及区域地质概况。
- e) 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。
- f) 初期坝、堆积坝及坝基岩土的工程性能指标等。
- g) 堆积坝水文条件和水文地质条件。库区的渗透范围。
- h) 场地地震动参数。
- i) 堆积坝的岩土工程分析和评价。
- j) 堆积坝存在病患的分析和整治处理措施建议。
- k) 对监测项目及监测工作的建议。
- l) 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。

8.10.2.3 勘察报告应附下列图表：

- a) 勘探点主要数据一览表；
- b) 图例；
- c) 勘探点平面布置图；
- d) 工程地质剖面图；
- e) 稳定性分析计算图表；
- f) 原位测试成果图表；
- g) 室内试验成果图表。

8.10.2.4 勘察报告可根据需要附下列图表。

- a) 区域地质图。渗透界线图。
- b) 综合工程地质图。
- c) 工程地质柱状图。
- d) 与工程有关的照片。
- e) 各种有关的物探测试成果图表。
- f) 其他需要的图表。

8.10.3 既有库

8.10.3.1 既有库生态型尾矿库勘察的资料应在已有库区的勘察资料和本次原始资料的基础上进行整理、检查和分析编制，应做到论证有据、评价正确。

8.10.3.2 既有库生态型尾矿库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：

- a) 工作来源；
- b) 工作的主要技术依据；
- c) 工作完成的工作量；
- d) 现场踏勘；
- e) 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；
- f) 工作方法及手段；
- g) 试验成果分析；
- h) 三维渗流模拟计算；
- i) 结果分析；

j) 结论。

8.10.3.3 勘察报告应附下列图表：

- a) 勘探点主要数据一览表及图例；
- b) 勘探点平面布置图；
- c) 渗流范围图；
- d) 工程地质剖面图；
- e) 原位测试成果图表；
- f) 室内试验成果图表（包含水质分析、岩石分析等）。

8.10.3.4 勘察报告还需附的资料成果报告：

- a) 生态型尾矿库三维渗流计算分析报告；
- b) 工程物探成果报告；
- c) 其他需要的图表。

9 设计

9.1 基本要求

9.1.1 生态型尾矿库设计应先确定渗流边界。

9.1.2 生态型尾矿库设计宜采用多库调节原则、清污分流原则、减少白色污染原则、减少扬尘原则、循环利用原则。

9.1.3 生态型尾矿库洪水计算宜按照微小流域的计算方法进行计算，贮存尾矿库区洪水宜按照坡面汇流的等时线法计算。

9.1.4 生态型尾矿库设计宜进行三维渗流分析，地质条件复杂的还宜进行专门现场渗流试验或渗流模拟试验。

9.1.5 生态型尾矿库应进行岩土工程勘察及相应的现场相关试验。

9.1.6 生态型尾矿库稳定性计算按照其他相关规定执行。

9.1.7 生态型尾矿库等别应根据尾矿库的最终全库容及最终坝高按照表 17 确定。各使用期的设计等别应根据该期的全库容和坝高分别按照表 17 确定。当按照全库容和坝高分别确定的库等别的等差为一等时，应以高者为准；当等差大于一等时，应按照高者降一等确定。

表 17 生态型尾矿库各使用期的设计等别

等别	全库容 (V) $\times 10^4 \text{ m}^3$	坝高 (H) m
一	$V \geq 50000$	$H \geq 200$
二	$10000 \leq V < 50000$	$100 \leq H < 200$
三	$1000 \leq V < 10000$	$60 \leq H < 100$
四	$100 \leq V < 1000$	$30 \leq H < 60$
五	$V < 100$	$H < 30$
注：生态型尾矿库的最终全库容应包含贮存尾矿库总库容和截渗库总库容。		

9.1.8 生态型尾矿库构筑物的级别应根据库的等别及其重要性按照表 18 确定。

表 18 生态型尾矿库构筑物的级别

尾矿库等别	构筑物的级别		
	主要构筑物	次要构筑物	临时构筑物
一	1	3	4
二	2	3	4
三	3	5	5
四	4	5	5
五	5	5	5
注 1：主要构筑物系指尾矿坝、排水构筑物、截洪坝及设施、截渗坝及设施、库区截洪廊道等失事后将造成下游灾害的构筑物。 注 2：次要构筑物系指除主要构筑物外的永久性构筑物。 注 3：临时构筑物系指施工期临时使用的构筑物。			

9.2 库址选择

9.2.1 生态型尾矿库不应设在下列地区：

- 风景名胜区、自然保护区、饮用水源保护区；
- 国家法律、法规规定禁止建设尾矿库的区域；
- 尾矿库失事将使下游重要城镇、工矿企业、铁路干线、高速公路、重要河流等遭受严重影响区域；
- 存在溶岩、溶洞，地下暗河等不利地质条件及强透水地层的区域。

9.2.2 生态型尾矿库库址选择应根据工程地质及水文地质、汇水面积、库区周边环境、尾矿库类型及堆存方式等因素经多方案技术经济比较综合确定，并应符合下列要求：

- 不宜位于大型工矿企业、大型水源地、重要铁路和公路、水产基地及大型居民区上游；
- 不宜位于居民集中区主导风向的上风侧；
- 汇水面积小，并应有足够的库容；
- 避开不良地质现象严重区域；
- 尾矿库应有足够的截渗库及初、终期库长；
- 上游式尾矿库库底平均纵坡不应陡于 20%；
- 尾矿库应有建设上游拦洪设施、下游截渗及调蓄设施的地形条件。

9.2.3 初期坝坝址的选择应以避开不良工程地质和水文地质条件以及初期坝下游留有足够截渗库的库容为原则，并结合尾矿库回水、防洪、堆积坝填筑及施工条件等因素综合确定。

9.2.4 截洪坝坝址的选择应以避开不良工程地质和水文地质条件以及尽可能多的拦截库外洪水为原则，并结合库外排洪系统的结构形式、地形条件和施工条件等因素综合确定。

9.2.5 截渗坝坝址的选择应以避开不良工程地质和水文地质条件以及留有足够截渗库的库容为原则，并结合截渗库回水、排洪及施工条件等因素综合确定。

9.3 多库调节分区计算

9.3.1 多库调节

9.3.1.1 生态型尾矿库宜采用多库调节进行洪水调蓄。

9.3.1.2 生态型尾矿库宜采用由截洪库、贮存尾矿库、截渗库组成的多库联动蓄洪（水）调节及水量平衡计算。

9.3.1.3 尾矿库所在微小沟谷流域分区调洪时应采用尾矿库最终库区边界线进行分区，分为尾矿库

沟谷上游沟谷（Ⅲ区）、最终堆积标高以上两侧边坡（Ⅳ区）、贮存尾矿库区范围内（Ⅰ区）、初期坝下游截渗库范围（Ⅱ区）。多库调节分区示意图见图3。

9.3.1.4 根据分区形成截洪库、贮存尾矿库、截渗库三个可以蓄水的区域，故此可以实现多库蓄洪，减小调洪压力，实现多库分洪调蓄，提高尾矿库防洪调蓄能力。多库蓄洪调节尾矿库纵剖面图见图4， V_1 为调洪库容， V_2 为截渗库库容， V_3 为拦洪库库容。

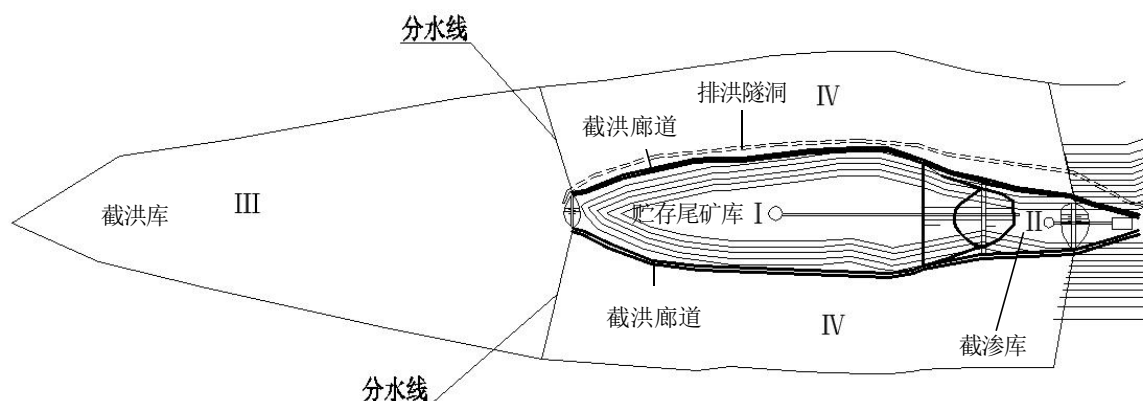


图3 多库蓄洪尾矿库平面图

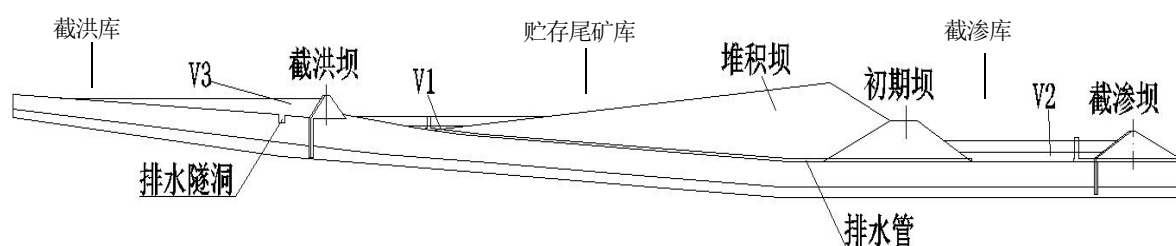


图4 多库蓄洪调节尾矿库纵剖面图

9.3.1.5 生态型尾矿库的多库调节符合下列规定：

一次洪水来临后，若保证尾矿水不外排，需保证尾矿水有可利用途径，污水零排放情况下尾矿水调蓄可利用途径有四个：一是多库调蓄，二是加强回水，三是建设污水处理厂，将污水处理至满足国家排放标准，四是蒸发。

9.3.1.6 洪水总量调蓄库容及日回水量、日处理污水量需满足式（1）、式（2）。

$$V_1 + V_2 > W_1 + W_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$W < [(q_1 + q_2 + H \times (A_1 + A_2)) \times d + V + \Delta V] \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

W_1 ——Ⅰ区一次（72 h）洪水总量，单位为立方米（ m^3 ）；

W_2 ——Ⅱ区一次（72 h）洪水总量，单位为立方米（ m^3 ）；

V_1 ——Ⅰ区贮存尾矿库调洪库容，单位为立方米（ m^3 ）；

V_2 ——Ⅱ区截渗库库容，单位为立方米（ m^3 ）；

A_1 ——Ⅰ区水面面积，单位为平方米（ m^2 ）；

A_2 ——Ⅱ区水面面积，单位为平方米（ m^2 ）；

W ——72 h洪水总量，单位为立方米（ m^3 ）；

V ——尾矿库可调蓄库容，即 $V_1 + V_2$ ，单位为立方米（ m^3 ）；

ΔV ——尾矿库预留富裕库容，单位为立方米（ m^3 ）；

d ——多次降雨总计历时天数；
 q_1 ——日处理污水量，单位为立方米（ m^3 ）；
 q_2 ——日回水量，单位为立方米（ m^3 ）；
 H ——平均日蒸发量，单位为毫米（ mm ）。

9.3.1.7 贮存尾矿库与调洪库之间应设置调洪排水井管构筑物，以将贮存尾矿库中之水排入截渗库。

9.3.1.8 最终堆积标高以上两侧边坡汇流采用截洪廊道进行截洪，截洪廊道所需泄流能力由两侧坡面汇流的洪峰流量确定，保证廊道泄流能力大于两侧坡面汇流在设计防洪标准下的洪峰流量。

9.3.1.9 截洪廊道标高以上坡面汇水面积一般较小，洪峰流量计算可采用坡面汇流公式计算。

坡面汇流近似计算公式：

$$Q_p = 0.278 \times (S_p - 1) \times F \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

S_p ——设计频率的暴雨，单位为毫米每小时（ mm/h ）；
 F ——坡面（IV区）的汇水面积，单位为平方公里（ km^2 ）。
 截洪廊道所需泄流能力应满足式（4）：

$$Q > \eta Q_p \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

η ——修正系数，根据坡面地形条件确定，可取 1.2~1.4；
 Q_p ——坡面汇流洪峰流量，单位为立方米每秒（ m^3/s ）。

9.3.2 廊道截洪

9.3.2.1 在贮存尾矿库（I区）和截渗库（II区）最高边界山坡上设截洪廊道，将I、II区以外的IV区坡面汇流通过廊道截至库外，最大幅度减小洪水进入I、II区范围。

9.3.2.2 导截洪廊道的洪峰流量可采用坡面汇流法计算。

9.3.2.3 导截洪廊道的设防标准宜与尾矿库设防标准一致。

9.4 导截洪水系统

9.4.1 上游导截洪

9.4.1.1 截洪坝的排洪方式及布置应根据地形、地质条件、洪水总量、调洪能力、泄流能力等因素，经技术经济比较确定，并应符合下列要求：

- a) 截洪坝上游导截洪设施宜采用排水隧洞经过贮存尾矿库的排洪系统；
- b) 地形条件许可时，可采用溢洪道排洪或其他方式，同时应考虑溢洪道底部山体的稳定性。

9.4.1.2 截洪坝截洪实现上游沟谷汇水不入贮存尾矿库，保证拦洪坝能够拦截全部沟谷汇流，库外排洪设施泄流能力大于上游沟谷洪峰流量。截洪坝上游洪水为沟谷汇流时，洪峰流量计算可采用推理公式等方法。

9.4.1.3 截洪坝应采用不透水坝，可采用混凝土重力坝、混凝土拱坝及砌石坝，条件许可时，也可采用土石坝。

9.4.1.4 截洪坝应采取严格的坝下垂直截渗措施，防止地下渗流进入下游贮存尾矿库。

9.4.1.5 混凝土重力坝设计应按照 SL 319 的有关规定执行。混凝土拱坝设计应按照 SL 282 的有关规定执行。砌石坝设计应按照 SL 25 的有关规定执行。土石坝设计应按照 SL 274 的有关规定执行。

9.4.1.6 排水隧洞的净高不宜小于 1.8 m，净宽不宜小于 1.5 m，最小设计坡度不宜小于 0.3%。

9.4.1.7 排水隧洞岩体条件较好且隧洞中的水流流速在该岩体或喷锚支护衬砌的允许流速范围内时，可采用不衬砌或喷锚支护。

9.4.1.8 排水隧洞设计应按照 SL 279 的有关规定执行。

9.4.1.9 溢洪道设计应按照 SL 253 的有关规定执行。

9.4.2 周边导截洪

9.4.2.1 生态型尾矿库库区周边宜设置导截洪设施。导截洪设施可采用导截洪廊道的型式。

9.4.2.2 导截洪廊道的基础应避免设置在工程地质条件不良地段，无法避开时，应进行地基处理。导截洪廊道的上部山体边坡应具有足够的稳定性。

9.4.2.3 导截洪廊道应设拦截污设施，防止堵塞。

9.4.3 库内截洪

为保证尾矿库水不外排，在尾矿库下游修建截渗库，由设计防洪标准一次 72 h 洪水总量和多库调节确定截渗库库容。I 区调洪库容及 II 区库容可以储存尾矿库内降雨，保证设计防洪标准一次 72 h 洪水总量可以贮存于两个库内，根据所需截渗库库容即可确定截渗库面积及坝高。

9.5 截排渗系统

9.5.1 库区防渗

9.5.1.1 尾矿性质应根据国家有关法规和标准的规定进行鉴别。尾矿性质确定后，应按照 GB/T 14848 的有关规定对尾矿库运行后的地下水水质进行评定，并应根据尾矿库区地下水的功能要求，对尾矿库采取相应的环保防渗设施。环保防渗设施可分期实施。

9.5.1.2 尾矿应根据 GB 18599、GB 5085、《国家危险废物名录》（2021 年版）的有关规定分为第 I 类一般工业固体废物、第 II 类一般工业固体废物和危险废物。

9.5.1.3 根据尾矿库堆存物的种类，尾矿库可按环保要求的严格程度依次分类、并应符合下列规定：

- a) 堆存第 I 类一般工业固体废物的尾矿库应为 I 类库；
- b) 堆存第 II 类一般工业固体废物的尾矿库应为 II 类库；
- c) 堆存危险废物的尾矿库应为危险废物库。

9.5.1.4 环保要求严格程度高的尾矿不应排入环保要求严格程度低的尾矿库。

9.5.1.5 尾矿库应符合环保防渗要求，防止尾矿及尾矿水对地下水和地表水产生污染，并防止地下水进入尾矿库。

9.5.1.6 I 类库：当天然基础层饱和渗透系数不大于 1.0×10^{-5} cm/s，且厚度不小于 0.75 m 时，可以采用天然基础层作为防渗衬层。当天然基础层不能满足饱和渗透系数不大于 1.0×10^{-5} cm/s，且厚度不小于 0.75 m 时，可采用改性压实黏土类衬层或具有同等以上隔水效力的其他材料防渗衬层，其防渗性能应至少相当于渗透系数为 1.0×10^{-5} cm/s 且厚度为 0.75 m 的天然基础层。

9.5.1.7 II 类库的环保防渗要求为库的底部和周边应具有一层防渗系统，并具备相当于一层饱和渗透系数不大于 1.0×10^{-6} cm/s、厚度不小于 1.5 m 的黏土层的防渗性能。防渗层的材料可采用黏土等天然材料或其他防渗材料。防渗层的结构可采用单层压实天然黏土或改性黏土，也可采用压实黏土与钠基膨润土防渗毯等的组合结构。

9.5.1.8 在工程地质和水文地质条件适宜时，I、II 类库可采用垂直防渗系统，采用截渗墙、帷幕、注浆等有效方法，防渗效果应符合 9.6.1 中 7 的规定。

9.5.1.9 当尾矿库的极限渗流边界在允许渗流边界之内时，可不进行全库区防渗。不以单一的渗透系数作为全库铺设人工合成材料防渗的条件。

9.5.2 水平及垂直排渗

9.5.2.1 尾矿堆积坝出现流土、管涌、浸润线出逸、沼泽化、湿地等现象或实测浸润线高于设计控制浸润线时，应进行坝体排渗加固。

9.5.2.2 水平排渗管宜垂直坝轴线在坝坡下游布置，可多层布设，并宜布设在尾矿粒径相对较大的层位。

9.5.2.3 水平排渗管的层数、间距和长度应根据勘察资料、渗流计算和稳定性分析结果结合

现场条件确定。

9.5.2.4 水平排渗管外径宜为 63 mm~90 mm，导水管长度宜为 5 m~15 m。滤水管段的滤水孔宜梅花型布置，孔径宜为 6 mm~12 mm，开孔率宜为 8%~10%。滤水管外包扎的土工布规格宜为 200 g/m²~400 g/m²。

9.5.2.5 垂直排渗宜采用辐射井排渗，气吸竖向排渗、机械式排渗、联合排渗等有效方式。

9.5.2.6 集水井的井数、井距、井深和井径应根据堆积坝轴线长度、排渗降水范围、水平排渗管的长度等因素，通过渗流和稳定计算确定。

9.5.3 截渗库

9.5.3.1 截渗坝宜采用混凝土重力坝、混凝土拱坝及砌石坝结构，条件许可时，也可采用土石坝。

9.5.3.2 截渗坝应采取严格的坝下垂直截渗措施，防止尾矿水外漏。

9.5.3.3 截渗坝设计按照 9.4.1.5 执行。

9.5.4 库内渗透通道处理

9.5.4.1 为了保证库区防渗的完整性，需对库内渗透通道处理。库内渗透通道主要为基岩裂隙、节理、溶洞等，需对渗透通道进行注浆等方法处理。

9.5.4.2 截渗连续墙符合下列规定。

- a) 截渗连续墙可用于风化破碎岩石地基和碎石土、砂土等覆盖层地基。
- b) 截渗连续墙应具有足够的抗渗性，满足渗透稳定及渗流量控制的要求；应具有适宜的强度和变形能力；应具有足够的耐久性，墙体在水的长期作用下不发生破坏。
- c) 截渗连续墙设计宜综合考虑墙体与上部建（构）筑物结构之间的相互关系。
- d) 截渗连续墙宜沿上部建（构）筑物防渗体的轴线布置，墙体应用上部建（构）筑物防渗体可靠连接。
- e) 截渗连续墙宜深入基岩或相对不透水层一定深度。
- f) 截渗连续墙可采用复合土工膜连续墙、混凝土连续墙等结构型式，土工膜厚度不宜小于 1.5 mm。

9.5.4.3 截渗帷幕符合下列规定。

- a) 截渗帷幕可用于岩石基地和碎石土、砂土等覆盖层地基。
- b) 截渗帷幕应防止地基软弱结构面、断层破碎带、裂隙充填物及抗渗性能差的部位产生渗透破坏。
- c) 截渗帷幕应具有可靠的连续性和足够的耐久性。
- d) 截渗帷幕轴线布置应根据工程地质条件、水文地质条件、建（构）筑物布置及截渗要求等综合确定。
- e) 截渗帷幕的厚度可按照式（5）计算。对于深度较大的多排帷幕，可根据渗流计算成果和已有工程经验沿深度逐渐减薄。

$$T = \frac{H}{J} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

T ——截渗帷幕厚度，单位为米（m）；

H ——作用于帷幕的最大设计水头，单位为米（m）；

J ——帷幕允许渗透比降。

f) 截渗帷幕灌浆孔宜采用铅直孔。帷幕灌浆孔的排数应根据帷幕厚度要求确定，不宜少于 2 排。帷幕灌浆孔的排距和孔距宜为 1 m~3 m，排距宜小于孔距。

g) 截渗帷幕底部宜伸入相对隔水层不小于 5.0 m。

h) 截渗帷幕灌浆压力应通过工程类比和灌浆试验确定。

9.6 回水及水处理

9.6.1 尾矿库应优先采用尾矿库回水利用方案澄清水,回水率应结合选矿厂回水及其他用水综合确定。

9.6.2 尾矿库回水水量,应在尾矿库设计回水保证率条件下,根据入库水量、水面蒸发量和渗透损失水量等,经水量平衡计算核定。设计回水保证率应与新水水源设计保证率相同;采用雨水回用时,降雨量的设计保证率应与尾矿库回水设计保证率一致;水面蒸发量设计频率应与尾矿库回水设计保证率对应。对于特殊工程地质情况的尾矿库,应分别计算坝体、坝基、库底和沿岸的渗透损失水量。

9.6.3 尾矿库回水设计应充分利用库内水的位能。有条件应可采用静压回水方式。对于尾矿坝较高、回水率和回水均衡性要求较高,以及水面结冰期较短的尾矿库,宜采用库内缆车式或囤船式回水泵站回水。

9.6.4 水位控制遵守下列规定。

- a) 应根据 1:500~1:1000 地形图对贮存尾矿库及截渗库的蓄水库容和调洪库容进行计算,精确绘制出水位标高与蓄水库容、水位标高与调洪库容、水位标高与尾矿坝上升标高关系。
- b) 通过微小流域暴雨洪水计算设计标准下的洪水总量,确定所需调洪库容,限制正常运行水位、调洪水位、最高运行水位。
- c) 在贮存尾矿库及截渗库中设立水位观测尺,以便生产管理运行时控制水位使用。
- d) 应严格监控库水位,设计文件应增加尾矿库各库水位控制的专门要求。

9.6.5 贮存尾矿库内回水取水点距尾矿沉积滩水边线的距离,在尾矿库全部使用期间均应满足不小于尾矿澄清距离的要求。

9.6.6 尾矿水应优先返回选矿工艺使用;向环境排放的,应当符合国家和地方污染物排放标准,不应与尾矿库外的雨水混合排放,并按照有关规定设置污染物排放口,设立标志,依法安装流量计和视频监控。当不能符合要求时,应设计尾矿水处理系统。

9.7 既有库改造设计

9.7.1 既有库改造成生态型尾矿库时,应按照第 12 章的要求进行评价,依据评价等级实施改造设计。

9.7.2 对尾矿库水应进行渗流边界的确定,根据渗漏情况采取相应的改造方案。

9.7.3 对尾矿库内水的排放应进行核查分析,按照零排放目标采用多库调蓄方法实现尾矿水零排放。

9.7.4 既有尾矿库的坝体安全稳定等其他要求,均执行现行标准。

10 渗流计算和防渗设施安全分析

10.1 基本要求

10.1.1 生态型尾矿库在规划设计时,应进行建设期、运行期和闭库后的渗流分析。

10.1.2 生态型尾矿库在可行性研究阶段应进行建设场地的渗流计算,应对运行期及闭库坝体、坝基及库岸进行渗流分析,预测渗流范围和渗流量,评价分析渗漏性,确定尾矿库的渗流边界。

10.1.3 尾矿堆积坝的渗流计算应根据尾矿堆积坝坝体、坝基及库岸周边地质勘察与试验成果,结合尾矿类型、地形特点、尾矿性质、堆积规律进行概化分区,并应根据工程需要选用计算模型。

10.1.4 生态型尾矿库的渗流计算边界应区分坝体渗流边界和库岸渗流边界,应分析两种边界对渗流场特性的影响。

10.1.5 库岸水位以上降雨渗流边界应考虑流量边界和水头边界转换及组合情况,库岸水位以下渗流边界宜为水头边界。

- 10.1.6 对场地渗漏性分析评价还应根据库岸、坝基的水文地质条件，分析可能存在的渗漏地层、渗漏途径和渗透破坏形式，提供各层岩土渗透性参数，对尾矿库防渗措施提出建议。
- 10.1.7 渗流计算参数应按照室内试验、原位实测试验和工程类比法，并结合有关工程经验反演分析法综合确定。
- 10.1.8 在有防渗垫层和截渗墙中设置防渗膜的尾矿库，应进行防渗垫层和防渗膜破坏失效分析。
- 10.1.9 生态型尾矿坝渗透破坏和渗透稳定性分析可按照现行国家标准有关章节执行。
- 10.1.10 生态型尾矿库污染级别评判应通过渗流计算，并依据 GB/T 39792.1 和 GB/T 14848 等标准提供的评估模型及参数来定义。

10.2 建设场地的渗流分析与评价

- 10.2.1 库区渗流分析与评价应符合下列规定：
- 应分析评价库区断裂带、破碎带、裂隙及节理发育带对渗漏的影响；
 - 应根据岩体完整性、结构面产状及其组合形式来分析评价断裂带、破碎带、裂隙及节理在建库后闭合及张裂情况，地下水补给及排泄情况；
 - 应根据场地水文地质条件分析评价库区的渗漏性及其对周边环境的影响。
- 10.2.2 应根据场地的水文地质条件与工程地质条件对坝基、坝肩渗漏性进行分析与评价，应估算渗漏量，并应提出处理措施建议。
- 10.2.3 应对集水池地基的渗漏性进行评价，分析渗漏对地下水的影响。
- 10.2.4 生态型尾矿坝宜采用二维或三维数值分析方法进行渗流分析，Ⅰ级、Ⅱ级山谷型尾矿坝应进行三维渗流分析或模拟试验。
- 10.2.5 应对坝基是否采取防渗处理进行分析与评价，对断裂带、破碎带、裂隙及节理是否进行闭合防渗处理提出分析和评价。
- 10.2.6 对于渗透系数达到 10^{-6} cm/s 的完整性基岩，坝基和库岸的渗流区域应按尾矿坝下游已有或潜在的渗流边界来设置出流边界，以此来计算分析坝基和库岸内发生渗流的区域和地下水迁移速率和最大迁移距离。

10.3 运行期及闭库的渗流分析与评价

- 10.3.1 渗流计算应分析尾矿筑坝方式和速率，渗透系数的各向异性对计算结果的影响。
- 10.3.2 生态型尾矿库渗流计算应考虑库区水与地下水之间的补给与排泄关系。
- 10.3.3 上游设有截洪坝的尾矿库，渗流计算应考虑截洪坝和尾矿库之间水的渗流关系。
- 10.3.4 当坝体设有排渗和截渗设施时，渗流计算应分别分析排渗和截渗设施有效和失效对渗流场的影响。
- 10.3.5 生态型尾矿库渗流场分析，应考虑放矿、降雨的影响。
- 10.3.6 生态型尾矿库分析降雨渗流场时，计算宜考虑尾矿坝和坝周边山坡等土的饱和与非饱和特性对渗透系数的影响。
- 10.3.7 对运行期的尾矿库，应分析坝体、坝基和库岸渗流特性，应厘清通过坝体渗流补给给坝基或坝基渗流补给给坝体，库岸渗流补给给坝体和坝基的情况。
- 10.3.8 对闭库的尾矿库，渗流随时间的变化情况。
- 10.3.9 生态型尾矿库应分析渗流发生区域与筑坝过程的关系。宜分析通过库岸发生的渗流和通过坝体发生的渗流随筑坝高度的变化情况。
- 10.3.10 对黏土型坝基及坝肩，可根据渗流起始坡降值初步判断渗流在坝基中发生的区域范围。
- 10.3.11 渗流计算成果宜包括下列内容：
- 岸边、坝体的浸润线、流线，坝基及坝肩流线、等势线和及下游可能出逸点的位置；
 - 坝体和坝基的渗流量，坝体和坝基渗流之间的关系，补给来源和排泄去向；
 - 贮存尾矿库的渗流边界图；

- d) 坝体和坝基的渗流量、流速、水力坡降；
- e) 岸边、坝基、坝肩发生渗流范围；
- f) 生态型尾矿坝渗流计算宜进行坝基防渗措施优化和基岩渗透系数变化对渗流场影响的敏感性分析。

10.4 防渗设施变形及破坏分析

10.4.1 对 I 级~III 级尾矿坝防渗垫层和截渗墙中设置的防渗膜应进行静力变形及破坏分析，宜进行动力应力变形分析。

10.4.2 防渗垫层和截渗墙中设置的防渗膜静力分析应模拟筑坝过程和闭库后工况，分析结果应包括坝基变形场及应力水平分布，垫层和防渗膜的变形场和应力场；动力分析结果应包括坝基和垫层残余变形、截渗墙中设置的防渗膜的变形和破坏区域。

10.4.3 采用有限元法进行坝基、垫层和截渗墙中设置的防渗膜静力或动力的应力变形分析时，选择的计算本构模型应与计算参数相匹配；垫层和截渗墙中设置的防渗膜与坝基坝体之间宜设置接触单元。

11 闭库生态修复

11.1 地形重塑

11.1.1 结合尾矿库周边地貌特点，通过地形重塑、土地整治、重构截排水系统等措施重新塑造一个与周边地貌相协调的新地貌。

11.1.2 丘陵山区地形地貌景观破坏治理，可采用回填、整平、复绿、造景等工程措施进行地形地貌景观重塑。

11.1.3 通过边坡修整、尾矿（渣）清理、平台整理、台阶修筑、挖深垫浅等工程措施重塑地形。场地修复为旱耕地、园地，修复后的地形坡度一般不超过 25°；场地修复为水浇耕地，修复后的地形坡度一般不超过 15°；场地修复为林草地，地形坡度不做规定；场地修复为建设用地，地形应满足建（构）筑物防洪要求，地形坡度按照当地同类岩土体稳定性坡度值确定。

11.1.4 尾矿库地形修复应符合安全稳定性要求，对停用的尾矿库应按正常库标准，进行闭库整治设计，确保尾矿库防洪能力和尾矿坝稳定性系数满足本文件要求，维持尾矿库闭库后长期安全稳定。

11.1.5 地形修复中涉及的地质灾害及隐患（不稳定斜坡、滑坡、崩塌、危岩体、泥石流）等要根据相关标准的要求进行预防与治理。具体参考 GB/T 38509、DZ/T 0219、T/CAGHP 055、T/CAGHP 073、T/CAGHP 021 等。

11.2 坝坡修复治理

11.2.1 坝坡修复治理应完善坝面排水沟和土石覆盖、坝肩截水沟、观测设施等，对坝体稳定性不足的，应采取削坡、压坡、降低浸润线等措施，使坝体稳定性满足本文件的要求。

11.2.2 溃坝泥石流的防治和管理应符合国家安全生产监督管理部门有关规定和要求，泥石流治理工程设计应满足 T/CAGHP 021，参考执行国家安全生产监督管理总局令（第 38 号）《尾矿库安全监督管理规定》与 GB 39496 的要求。

11.2.3 闭库后的尾矿库，应做好坝体及排洪设施的维护。未经论证和批准，不应储水蓄洪。不应在尾矿坝和库内进行乱采、滥挖、违章建筑和违章作业。

11.3 库区修复治理

11.3.1 库区修复治理参考生态环境协调性原则，根据 TD/T 1031.1 和 TD/T 1036 的有关规定，科学合理确定土地复垦方向，对不同复垦方向的质量要求，采取不同措施进行复垦工程设计。

11.3.2 复垦工程措施类型主要包括工程措施、生物措施、化学措施、监测措施和管护措施。

11.3.3 库区废（污）水治理应采取有效的清污分流和防渗措施，减少降水入渗和污水外排；水环境污染治理工程参考 HJ 2015 中相关规定执行。

11.3.4 通过铺设防渗层和修筑排洪沟、暗沟、截水墙、水塘等工程措施重构截排水系统。防渗层

铺盖材料可选择黏土、混凝土、水泥砂浆等；排洪沟需与自然沟系相连接，采取植物岸坡形式；暗沟宜布设在沿顺山坡走向的低洼地带或天然沟谷处。尾矿库的排水、围挡、防渗、稳定等措施参照AQ 2006执行。

11.3.5 库区水质主要评价指标符合GB 3838和GB/T 14848中相应等级质量标准。

11.3.6 库区污染土壤以所在地区土地利用总体规划等文件，确定污染土壤的使用功能，通过污染区土壤的采样检测确定土壤污染物的含量，污染土壤修复标准和治理工程设计根据GB 36600、GB 15618确定。

11.3.7 库区根据防洪标准复核尾矿库防洪能力，当防洪能力不足时，可增设永久溢洪道等措施。当原排洪设施结构强度不能满足要求或受损严重时，应进行加固处理；必要时，可新建永久性排洪设施。

11.4 植被重建

11.4.1 通则

根据尾矿库所处的区域、自然地理条件、生态恢复与环境治理的技术经济条件，按照“整体生态功能恢复”和“景观相似性”原则，坚持生态优先，坚持因地制宜，宜耕则耕、宜林则林、宜草则草、宜藤植藤、宜景建景、注重成效，因地制宜采取切实可行的恢复治理措施，恢复矿区整体生态功能。

11.4.2 自然恢复措施

11.4.2.1 采取封闭修复场地、拆除废弃设施等措施，消除影响自然恢复的生态胁迫因子。

11.4.2.2 不允许在修复场地内翻土、取石、搬运、垦殖等人类活动，排除外界干扰，减少对场地的扰动。

11.4.2.3 依赖场地和周边生态系统自我愈合能力，促进植被再生和生物种群恢复。

11.4.2.4 位于干旱风沙区、不具备植被恢复条件的尾矿库，应覆盖砂石等材料。

11.4.3 辅助再生措施

11.4.3.1 通过坡面修整、土壤改良、截排水等人工辅助措施进行场地平整，改善土壤功能，为植被恢复提供条件。

11.4.3.2 筛选适地植物物种，采取补植、补播、抚育、间伐、杂灌草清除等人工辅助措施，加快场地生态系统结构和功能的修复。

11.4.3.3 不应引入对当地生物多样性造成威胁的外来物种。

11.4.4 土壤重构

11.4.4.1 土壤重构：在地貌重塑基础上，依靠本地的水热与温湿条件等，充分利用采矿剥离的表土和采矿遗留的废石（渣）、尾矿砂（渣）、粉煤灰等固体废弃物，通过培肥改良、土层置换、表土覆盖、土层翻转、化学改良、生物修复等措施，重构土壤剖面结构与土壤肥力条件。不同场地的土壤重构可根据场地修复用途确定重构措施。

- a) 场地修复后用作耕地，有效表土厚度不小于40 cm，土壤质地以砂壤土和砂质黏土为主，砾石含量不超过20%，有机质含量不小于1.5%，pH值介于6.0~8.5之间，控制土壤容重不超过1.45 g/cm³。
- b) 场地修复后用作园地，有效表土厚度不小于40 cm，土壤质地以砂壤土和砂质黏土为主，砾石含量不超过20%，有机质含量不小于1.5%，pH值介于6.0~8.5之间，控制土壤表观密度不超过1.45 g/cm³。
- c) 场地修复后用作林地，有效表土厚度不小于20 cm，土壤质地以砂土和粉黏土为主，砾石含量不超过30%，有机质含量不小于1%，pH值介于5.5~8.5之间，控制土壤容重不超过1.5 g/cm³。植树造林具体要求参照GB/T 15776。
- d) 场地修复后用作草地，有效表土厚度不小于20 cm，土壤质地以砂土和壤质黏土为主，砾石含量不超过20%，有机质含量不小于1%，pH值介于6.0~8.5之间，控制土壤表观密度不超过1.45 g/cm³。人工草地建设技术建设参照NY/T 1342。

11.4.4.2 植被重建：在地貌重塑和土壤重构基础上，依据按照生态系统的生物种群特点，考虑矿山生态重建的植被适宜性、结构布局合理性和物种多样性，合理配置植物种群组成和结构，借助人工支持和诱导，重建与周边生态系统相协调的生态系统，保障植物群落持续稳定，并遵守下列规定：

- a) 依据重塑的地貌形态和重构的土壤条件，充分考虑植被配置的多样性、适应性、先锋性和抗逆性，合理配置矿山植被重建空间；
- b) 根据场地条件，筛选出根系发达、固氮能力强、生长速度快、播种栽植容易、成活率高、病虫害少、抗水土流失能力强、易管护的适生植物和先锋植物，通过林、草、花、卉、乔、灌种植结合，合理部署植被疏密和覆盖区域。

12 既有库生态型评价

12.1 基本要求

12.1.1 既有库生态型评价是按照生态型尾矿库标准，对旧尾矿库进行生态型评价，并出具既有尾矿库生态型评价报告。为政府、生产经营单位提供管理依据，为设计单位提供生态型改造的设计依据。

12.1.2 既有库生态型评价按生态型尾矿库标准进行，包括近零排放、扬尘防治、生态恢复、尾矿的循环利用等部分。

12.1.3 既有库生态型评价按尾矿库生命周期，可在建设，生产运行期、闭库及闭库复垦阶段分阶段进行，或根据旧库现状进行评价。

12.1.4 在下列情况下，应进行旧库生态型评价：

- a) 既有库改造为生态型尾矿库前；
- b) 尾矿库闭库后复垦前；
- c) 尾矿库加高扩容前；
- d) 尾矿库闭库后再利用前；
- e) 尾矿库监测中发现尾矿库出现渗漏或环境污染时；
- f) 尾矿库安全、环保设施达到使用年限时；
- g) 尾矿库每三年进行一次生态型评估，或按照政府主管部门要求进行评价；
- h) 其他特殊情况下，应进行旧库生态型评价时。

12.1.5 旧库的坝体稳定性及附属构筑物安全性、尾砂地震液化按照 GB 39496 及相关现行标准执行。

12.1.6 旧库的生态型尾矿库的防洪标准同尾矿库设计防洪标准，并按照生态型尾矿库标准进行评价。

12.2 评价程序及内容

12.2.1 旧库生态型评价，按照以下程序进行。

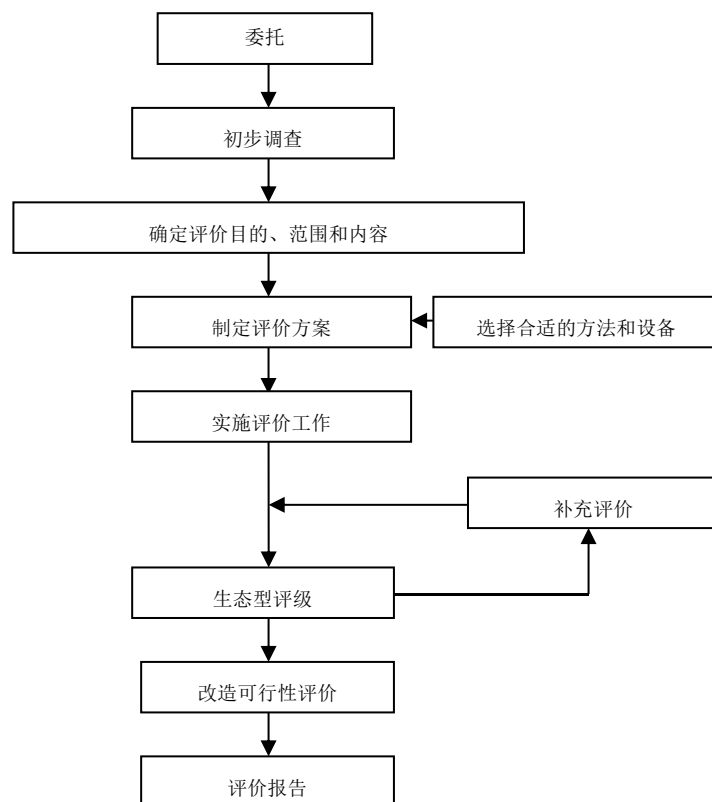


图5 旧库生态型评价流程

12.2.2 旧库生态型评价的目的、范围和内容，应根据委托方提出的评价原因和要求，经初步调查后确定。

12.2.3 初步调查宜包括下列基本工作内容。

- a) 查阅图纸资料。包括岩土工程勘察报告、设计计算书、设计变更记录、施工图、施工及施工变更记录、竣工图、竣工质检及包括隐蔽工程验收记录的验收文件、检测与监测资料、事故处理报告、维修记录、历次维修改造图纸等。
- b) 查询尾矿库运维历史。包括原始施工、历次维修、加固、改造以及受灾等情况。
- c) 考察现场。按照资料核对实物现状，调查尾矿库实际使用条件和内外环境、查看已发现的问题、听取有关人员的意见等。
- d) 制定评价方案，并提出需由委托方完成的准备工作。

12.2.4 评价方案宜包含下列内容：

- a) 尾矿库基本情况，主要包括尾矿设施情况、周边环境、建造年代、运维史等；
- b) 评价的目的、范围、内容和要求；
- c) 评价依据的标准和有关技术资料等；
- d) 评价的方法和主要仪器设备；
- e) 评价工作中的安全环保措施。

12.2.5 近零排放评价。近零排放是通过多库调节、防渗措施、回水循环利用的综合措施，实现尾矿库系统满足防洪安全，无地下水渗漏，回水不外排。根据这个标准进行评价工作，并符合下列规定。

- a) 多库调节的防洪安全评价：生态型尾矿库的防洪标准同尾矿库设计防洪标准。评价旧库在建设、生产运行期及闭库阶段，是否具有多库调节的调洪能力，满足防洪目标，汛期及雨期地表达达到近零排放。
- b) 排洪系统评价：评价排洪隧洞、排水井、排水斜槽、排水管和截洪沟等排洪构筑物，是否

满足水力计算和调洪计算及排洪能力，评价其耐久性。评价闭库终止使用后，闭库的防洪排水设施、防洪能力及排洪系统闭库工程措施、监测措施。

- c) 地下水渗漏评价：评价旧库系统坝基渗漏、绕坝渗漏、库底渗漏、侧向渗漏，能否达到地下水零排放，不污染地下水及地表水，保证环境安全。
- d) 回水循环利用：评价是否具有回水循环利用设施，回水利用率，满足回水循环全利用。
- 12.2.6 扬尘防治评价：评价扬尘防治措施是否有效，治理效果能否达到国家生态环保法律法规要求。
- 12.2.7 生态修复评价：评价生态恢复措施是否符合生态恢复标准，具有可持续性、不可侵入性、生产力、营养保持力及生物间的相互作用。
- 12.2.8 尾矿循环利用评价：评价是否具有尾矿循环利用。
- 12.2.9 环保监测设施评价：评价环保监测设施布置是否合理、可靠、运行稳定，能否满足反映生态型尾矿库环保设施运营状况的要求。
- 12.2.10 生态型尾矿库等级根据环保安全要素进行划分，根据不同的等级判断可否需要治理。生态型尾矿库影响环保安全要素如下。

- a) 库区防渗系统：采用勘察手段确定基岩渗透系数及其完整性，当渗透系数小于等于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 时，库区可利用基岩进行防渗，对渗漏区段进行防渗处理，形成完整的尾矿库防渗盆。库区防渗系统的有无是判断库安全环保的重要因素之一。
- b) 截排洪系统：截排洪系统包括截洪坝、排洪隧洞或排洪明渠（涵管）、坡面汇流槽栅式截洪廊道。截排洪系统的有无和暴雨期间库水是否外排，是判断库环保安全的重要因素之二。
- c) 截渗系统：尾矿库下游是否设置截渗库，是否有多库调节功能，尾矿水是否外渗，是判断库环保安全的重要因素之三。
- d) 回水系统：尾矿库是否有回水系统，是判断库环保安全的重要因素之四。
- e) 防尘系统：尾矿库是产生扬尘的主要场所，为抑制尾矿库区域扬尘的产生，需对尾矿库干滩、坝坡、库岸等区域设置防尘系统，是否有防尘系统是判断库环保安全的重要因素之五。
- 12.2.11 根据生态型尾矿库环保安全的要素可将生态型尾矿库分为六个等级，分级划分见表 19。

- A 类：库区防渗系统、截排洪系统、截渗系统、回水系统、防尘系统齐全；
- B 类：库区防渗系统、截排洪系统、截渗系统、回水系统、防尘系统缺一；
- C 类：库区防渗系统、截排洪系统、截渗系统、回水系统、防尘系统缺二；
- D 类：库区防渗系统、截排洪系统、截渗系统、回水系统、防尘系统缺三；
- E 类：库区防渗系统、截排洪系统、截渗系统、回水系统、防尘系统缺四；
- F 类：库区防渗系统、截排洪系统、截渗系统、回水系统、防尘系统全无。

表 19 生态型尾矿库环保安全要素分级

等别 选项	A	B					C										D										E					F
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	
库区防渗系统	有	有	有	有	有	无	有	有	有	无	有	有	无	有	无	无	无	无	无	有	无	无	有	无	有	有	有	无	无	无	无	无
截排洪系统	有	有	有	有	无	有	有	有	无	无	有	无	有	无	有	有	无	无	有	有	无	有	无	有	无	无	无	有	无	无	无	无
截渗系统	有	有	有	无	有	有	有	无	无	有	无	有	无	有	有	有	无	有	有	无	有	无	有	无	无	无	无	无	有	无	无	无
回水系统	有	有	无	有	有	有	无	无	有	有	有	无	有	有	无	有	有	有	无	无	无	有	无	无	有	无	无	无	无	有	无	无
防尘系统	有	无	有	有	有	有	无	有	有	有	无	有	有	无	有	无	有	无	无	无	有	无	无	有	无	有	无	无	无	无	有	无

注：被岩土工程钻探证明无渗漏，暴雨时尾矿库水无外排且有防尘系统的尾矿库可直接定义为 A 等。

12.2.12 既有库的生态型改造可行性评定分级根据表 20 生态型尾矿库环保安全要素分级表划分，按照表 20 的规定采用。

表 20 既有库改造可行性评定分级标准

等级	分级标准
A	不必改造
B	可改造，环保安全要素分级 B1～B5 级
C	应改造，环保安全要素分级 C1～C10 级
D	应改造，环保安全要素分级 D1～D10 级
E	必须改造，环保安全要素分级 E1～E5 级
F	必须改造

12.2.13 既有库的生态型评价工作完成后，应提出评价报告，报告应包括下列内容：

- a) 工程概况；
- b) 评价的目的、范围、内容 and 要求；
- c) 评价依据；
- d) 调查、检测项目的实测数据；
- e) 检测数据的分析、验算及结果；
- f) 生态型改造可行性评级；
- g) 评价结论及建议；
- h) 附件等。

12.2.14 旧库的生态型评价工作完成后，应提出评价报告，报告应包括下列内容：

- a) 工程概况；
- b) 评价的目的、范围、内容 and 要求；
- c) 评价依据；调查、检测项目的实测数据；
- d) 检测数据的分析、验算及结果；
- e) 评价结论及建议；
- f) 生态型改造可行性评级；
- g) 附件。

13 施工

13.1 基本要求

- 13.1.1 施工前，应进行技术交底，明确设计目的、技术参数、施工技术要求等。
- 13.1.2 施工组织设计文件应根据设计要求进行编制，文件中应包含安全生产与环境保护等措施。
- 13.1.3 在库区内施工可能对尾矿坝产生影响时，应制定安全措施和专项应急预案并通过专家评审。
- 13.1.4 施工前应具备如下资料：设计文件及评审、交底记录；施工组织设计；施工设备、记录计量仪器技术性能资料；材料及制品质检报告。
- 13.1.5 尾矿库的防渗截渗治理工程宜进行信息化施工，宜根据现场情况调整设计参数和施工工艺。
- 13.1.6 尾矿库的防渗截渗治理应建立技术质量管理档案，应加强实施过程质量控制。
- 13.1.7 采用反滤层时，技术工艺应符合下列规定：
 - a) 铺设范围、厚度应满足设计要求；
 - b) 采用土工织物作反滤层时，搭建方式宜采用缝接，施工铺设应遵守 GB/T 50290 的有关规定；
 - c) 采用粒状反滤料作反滤层时，反滤料性质、级配、不均匀系数和含泥量应符合设计要求，施工铺设应符合 GB 51118 的有关规定；

- d) 保护层可采用机械或人工选石堆砌和修整，宜与底部反滤层填筑同步进行，施工过程中不应损坏反滤层。

13.2 截渗连续墙

13.2.1 截渗连续墙施工前宜建造施工平台和导墙，技术要求应符合 SL 174 的有关规定，复合截渗结构施工平台还应符合如下规定：

- a) 平台厚度不应小于 500 mm；
- b) 平台范围宜超出注浆区两侧边线不小于 3 m。

13.2.2 截渗连续墙成槽施工应符合如下规定。

- a) 槽孔建造设备和方法，可根据地层情况、墙体结构形式及设备性能综合选择，可选用组合设备进行施工。
- b) 槽孔长度应根据场地工程地质条件、水文地质条件、施工部位、成槽方法、机具性能、成槽历时、墙体材料供应强度、墙体预留孔的位置、浇筑导管布置原则及墙体平面形状等综合确定。
- c) 槽孔宜分期建造，同时施工的相邻槽孔之间应留有安全距离。
- d) 槽孔建造质量应符合下列规定。
 - 1) 槽壁应平整垂直，不应有梅花孔、小墙等；孔位允许偏差应为 30 mm；槽孔深度应满足设计要求。
 - 2) 成槽孔斜率不应大于 4‰，遇含孤石地层及基石陡坡等特殊情况，不应大于 6‰。采用钻劈法时，接头套接孔的两次孔位中心在任一深度的偏差值，不应大于设计墙厚的 1/3，并应采取保证设计墙厚的措施。下设接头管的端孔孔斜率，应保证接头管下设和起拔。
- e) 施工过程中孔底沉渣，应符合如下规定：
 - 1) 沉渣厚度不大于 100 mm；
 - 2) 清孔检验合格后，应于 4 h 内开浇混凝土的槽孔，浇筑前应重新测量沉渣厚度，超过 100 mm 的，应再次清孔。

13.2.3 截渗连续墙成墙施工应符合如下规定。

- a) 混凝土浇筑前应拟定浇筑方案，宜包括如下内容：
 - 1) 绘制槽孔纵剖面图；
 - 2) 计划浇筑方量、供应强度、浇筑高程；
 - 3) 导管等浇筑机具及埋设件的布置与组合；
 - 4) 浇筑方法、开浇顺序及技术措施；
 - 5) 混凝土配合比、原材料品种及用量。
- b) 混凝土的供应能力，不应小于平均计划浇筑强度的 1.5 倍，并应大于最大计划浇筑强度。
- c) 混凝土浇筑应连续进行，若因故中断，中断时间不应超过 40 min。
- d) 泥浆下浇筑混凝土应采用直升导管法，导管内径不应小于混凝土骨料最大粒径 6 倍。
- e) 混凝土浇筑过程应符合下列规定。
 - 1) 导管埋入混凝土的最小深度不宜小于 2 m，最大深度不宜大于 6 m，混凝土面接近孔口或设计墙顶高程时，导管埋深可适当减小，但不宜小于 1 m。
 - 2) 混凝土面上升速度不宜小于 2 m/h。
 - 3) 混凝土面应均匀上升，各处高差不应大于 50 mm；相邻导管底部高差不宜超过 3.0 m。
 - 4) 混凝土终浇高程应高于设计规定的墙顶高程 50 mm。
 - 5) 墙体应均匀完整，不应有泥浆、夹泥、断墙、孔洞等。

13.2.4 经现场试验检测发现孔底沉渣部位防渗性能无法满足设计要求，应在墙体混凝土浇筑时预留注浆孔套管，后期应通过注浆降低沉渣部位渗透性。

13.3 截渗帷幕

13.3.1 截渗帷幕应按分序加密的原则施工。复合截渗帷幕应先施工下游排孔，再施工上游排孔，后施工中间排孔。

13.3.2 截渗帷幕钻孔施工应符合下列规定：

- a) 应根据地层特点和孔深要求选择钻机，宜选用回转式钻机，钻进过程中，应进行钻孔和裂隙的冲洗；
- b) 施工前，应进行钻孔测放，孔位测放误差不应大于 100 mm；
- c) 钻机安装前，应进行地盘平整，钻机安装与孔位误差不应大于 100 mm；
- d) 覆盖层宜采用护壁后跟管钻进，护壁管宜进入完整基岩 1 m~3 m；
- e) 注浆段宜采用清水钻进，每注浆段钻探完成后，应洗孔 10 min~20 min，孔底沉渣厚度不宜超过 200 mm；
- f) 钻进过程应采取控斜措施，宜 20 m~50 m 测斜一次，每次倾斜角度偏差不应超过设计允许值，出现偏差时应采取纠正措施；
- g) 岩芯采取率应达到设计要求；
- h) 钻孔过程中，应进行记录，并应填写班报表、岩芯登记表、护壁管下放记录表、测斜记录表、孔深验证表和孔位观测表；
- i) 作为勘察孔的注浆孔，应进行水文地质编录，绘制钻孔柱状图。

13.3.3 浆液制备应符合下列规定。

- a) 应根据浆液类型选择制浆设备。
- b) 制浆材料应按照设计配比计量，主材和外加剂计量误差应小于 3%，掺和料计量误差应小于 5%；宜采用重量称量法计量，计量设备应检验合格。
- c) 宜建立集中制浆站，制浆能力应满足注浆高峰期用浆需要；制浆站应配备防尘、除尘设施。
- d) 注浆前、浆液浓度变换后或注浆超过 2 h 时，应检验浆液密度、流动性等性能。
- e) 冬季施工浆液温度不宜低于 5℃，夏季施工浆液温度不宜超过 40℃。

13.3.4 注浆应符合下列规定。

- a) 注浆设备应满足流量和压力可调，耐磨和抗蚀等要求。
- b) 注浆泵额定工作压力应大于设计最大注浆压力的 1.5 倍，压力波动范围以小于注浆压力的 20%。
- c) 注浆管路应保证浆液流动性，并能承受 1.5 倍的最大注浆压力。
- d) 注浆压力表的最大量程应为最大设计注浆压力的 1.2 倍~1.5 倍。
- e) 注浆记录仪应能自动测量记录注浆压力、注入率、浆液密度。
- f) 注浆采用孔内封闭方式时，止浆设备的选择与安装应根据注浆方法、注浆压力、注浆孔孔径及地质条件确定。
- g) 注浆前，应进行简易压水试验或注水试验，应判断注浆段透水性和确定浆液起始配比。注浆段单位透水率 (Lu) 大于场区地层平均单位透水率 2 倍时，可采用较浓一级浆液作为起始浆液浓度。
- h) 注浆孔注浆结束，应扫孔到底进行渗透性试验，试验结果未达到设计要求时，应查明原因并进行复注。
- i) 注浆过程中出现地面冒浆现象时应查明原因，并宜采取如下处理措施：
 - 1) 地面出现冒浆现象应停止注浆，间歇后应进行复注；
 - 2) 应采用低压循环注浆或浓浆慢注，并应限流、限量；
 - 3) 具备地面封堵条件时，应对地面冒浆点采取封堵措施。

13.4 现场试验

13.4.1 现场试验应编制试验大纲。

13.4.2 截渗结构现场试验应达到下列目的：

- a) 检验截渗结构形式、施工工艺、建造材料和设备机具的有效性；
- b) 检验截渗结构设计参数的合理性；
- c) 确定截渗结构形式的实际防渗性能是否达到设计要求。

13.4.3 现场试验可采用试验段或围井试验方式。

13.4.4 采用试验方式时，应符合下列规定：

- a) 试验段应布置在水文地质、工程地质和施工条件等具有代表性的截渗结构轴线上；
- b) 截渗结构轴线长度大于 1000 m 或水文地质和工程地质条件复杂时，可选取 2 个～3 个有代表性的地段进行现场试验；
- c) 试验段长度宜最少包含 1 个独立槽或 1 个完整循环布孔的注浆帷幕。

13.4.5 采用围井试验方式时，应符合下列规定：

- a) 围井应布置在水文地质、工程地质和施工条件等具有代表性的区域；
- b) 围井数量不宜少于 2 个；
- c) 围井平面面积，在砂土、粉土层中不宜小于 3.0 m²，在砾石、卵（碎）石层中不宜小于 4.5 m²，在基石地层中不宜小于 9.0 m²，围井试验尚应根据防渗结构工艺；
- d) 围井试验技术要求应符合初步设计要求；
- e) 截渗结构试验围井的渗透系数可按照式（6）计算：

$$K=QM/10LHS\cdots\cdots\cdots (6)$$

式中：

K ——渗透系数，单位为厘米每秒（cm/s）；

Q ——围井内稳定抽水量，单位为升每秒（L/s）；

M ——截渗结构厚度，单位为米（m）；

L ——围井内侧周长，单位为米（m）；

H ——截渗结构过水高度，单位为米（m）；

S ——抽水稳定降深，单位为米（m）。

13.4.6 帷幕注浆现场试验应包括下列内容：

- a) 技术参数试验，包括排距、孔距、浆液扩散半径、段高等；
- b) 钻探工艺试验，包括钻进、去信、防斜、控斜、纠斜、简易压水试验等；
- c) 注浆工艺试验，包括注浆方式、注浆压力、浆液变换、结束标准等；
- d) 制浆材料选择与试验，包括材料性能、材料选择等；
- e) 注浆浆液试验，包括浆液配比、浆液性能试验等；
- f) 设备调试与适配，包括钻探、制浆、注浆、检验、计量等设备。

13.4.7 混凝土截渗墙现场试验应包括下列内容：

- a) 墙体技术参数试验，包括厚度、深度、防渗性能等；
- b) 材料选择与试验，包括材料性能、材料选择、配合比、制备工艺等；
- c) 成槽工艺试验，包括机械设备选型、成槽方法、成槽历时、垂直度控制、槽孔稳定性等；
- d) 浇筑工艺试验，包括浇筑方法、浇筑顺序、机具组合、材料供应强度、墙段连接工艺等；
- e) 设备调试与适配，包括泥浆制备、成槽、混凝土拌制、运输、浇筑、检验、计量等设备。

14 检查与监测

14.1 基本要求

14.1.1 生态型尾矿库的检查、检测和监测应在生态型尾矿库设计文件中进行明确要求，按照相关标准执行。

14.1.2 生态型尾矿库的检查、检测和监测应贯穿生态型尾矿库整个生命周期。

14.1.3 生态型尾矿库的检查、检测和监测应由建设单位及具备相应专业技术资质的单位进行。

14.1.4 生态型尾矿库常规尾矿设施的施工质量检验应符合 GB 50864 的要求。

14.1.5 生态型尾矿库的安全监测应符合 GB 39496、AQ 2030 及其他有关标准的要求。

14.2 施工质量检验

14.2.1 生态型尾矿库的截渗坝（墙）、截渗帷幕、截洪坝、排洪隧洞、排洪明渠（涵管）、坡面截洪廊道等构筑物的施工质量检测按照相关标准的要求执行。

14.2.2 生态型尾矿库库内、截洪库、截渗库防渗层所设置的防渗土工膜的施工质量检验应符合 GB 50290 的要求；利用库底基岩防渗时，基岩的渗透系数应小于 1×10^{-6} cm/s；采用黏土等天然材料作为生态型尾矿库防渗层时，防渗层的渗透系数应小于 1×10^{-6} cm/s。

14.2.3 生态型尾矿库生态恢复工程的施工质量检验应符合下列规定：

a) 植物外观质量应符合表 21 的规定；

表 21 植物外观质量检验标准

序号	项目	规定值或允许偏差要求	检查方法	检查数量
1	乔木、灌木	姿态和长势	观察、量测	每 100 株检查 10 株，每株为 1 点，少于 20 株全数检查
		病虫害		
		土球苗		
		裸根苗根系		
		容器苗木		
2	棕榈类植物	主干挺直，树冠匀称，土球满足要求，根系完整		
3	草卷、草块、草束	草卷、草块长宽尺寸基本一致，厚度均匀，杂草不超过 5%，草高适度，根系好，草芯鲜活	观察	按照面积抽查 10%，1 m ² 为 1 点，大于或等于 5 点。小于或等于 30 m ² 应全数检查
4	花苗、地被、绿篱及模纹色块植物	株型范壮，根系基本良好，无伤苗，茎、叶无污染，病虫害危害程度不超过植株的 5%~10%	观察	按照数量抽查 10%，10 株为 1 点，大于或等于 5 点。小于或等于 50 株应全数检查
5	整型景观树	姿态独特、曲虬苍劲、质朴古拙，株高不小于 150 cm 多干式树景的叶片托盘不少于 7 个~9 个，土球完整	观察、尺量	每 100 株检查 10 株，每株为 1 点，少于 20 株全数检查
6	竹类植物	品种、规格满足设计要求，竹类材料应新鲜，节边（竿根结合处）无损伤，散生竹根应来边略短、去边略长，无病、虫、草害	观察、尺量	每 100 株检查 10 株，每株为 1 点，少于 20 株全数检查

b) 植物材料规格允许偏差和检验方法应满足设计要求，无设计要求时应符合表 22 的规定；

表 22 植物材料规格允许偏差和检验方法

序号	项目			允许偏差要求 mm	检验方法	检查数量
1	乔木	胸径	≤ 5 cm	-2	量测	每 100 株检查 10 株，每株为 1 点，少于 20 株全数检查
			6 cm~9 cm	-5		
			10 cm~15 cm	-8		
			16 cm~20 cm	-10		
		高度	—	-200		
		冠行	—	-200		
2	灌木	高度	≥ 100 cm	-100	量测	每 100 株检查 10 株，每株为 1 点，少于 20 株全数检查
			< 100 cm	-50		
		冠径	≥ 100 cm	-100		
			< 100 cm	-50		

c) 喷播施工质量应符合表 23 的规定；

表 23 喷播施工质量验收标准

序号	检查项目		规定值或允许 偏差要求	检查方法	检查数量
1	基，质 料、种子 及配比	基质材料品种、规格或型 号、技术参数	满足设计要求	合格证、检测 报告	检验批
2		种子品种及质量	满足设计要求	检测报告、发芽率 及检疫报告	—
3		基质配比	满足设计要求	现场抽查	每台班 11 次
4		种子配比	满足设计要求		—
5	喷播	喷播厚度	+10 mm -5 mm	地测法，尺量	每 200 m ² 抽检 1 处
		基材流失状况	满足设计要求	目测	
6	初期 养护	养护用水水质	满足设计要求	按照 GB 5084 的规定抽样检测	
7		肥料品种、质量	满足设计要求	出厂合格及质量检 测报告	同批次、同品种为一检 验批

d) 种植施工质量应符合表 24 的规定。

表 24 种植施工质量验收标准

序号	检查项目		规定值或允许偏差要求	检查方法	检查数量
1	场地整理	渣土废料、杂物有害污染物等清理	满足设计要求	观察、测量	1000 m ² 检查 3 处不足 1000 m ² 检查不少于 1 处
2		场地标高	满足设计要求		
3	种植土施肥和表层整理	肥料质量	满足设计要求	试验、检测报告、观察	1000 m ² 检查 3 处不足 1000 m ² 检查不少于 1 处
4		有机肥腐熟	满足设计要求		
5		无机肥	满足设计要求		

表 24 种植施工质量验收标准（续）

序号	检查项目		规定值或允许偏差要求	检查方法	检查数量
6	种植穴、槽	定点放线	满足设计要求	观察、测量	每 100 个穴检查 20 个，不足 20 穴时全数检查
7		直径	大于土球或裸根苗根系 40 cm~60 cm		
8		穴深	穴径的 $-3/4 \sim 4/6$	观察、测量	每 100 个穴检查 20 个，不足 20 穴时全数检查
9		底部不透水层及重黏土层处理	疏松或采取排水措施		
10	树木种植	品种、规格、位置	满足设计要求	观察、测量	检查 10%，少于 10 株全数检查，成活率按照面积抽查 10%， 4 m^2 为 1 点，至少检查 5 个点，小于或等于 30 m^2 全数检查
11		垂直度	不应频倒		
12		成活率	$95 >$		
13	草坪和草本地被播种	发芽试验、催芽处理、播种量	满足设计要求	观察、尺量及种子发芽试验报告	每 500 m^2 检查 3 处，每点面积 4 m^2 ，不足 500 m^2 检查不少于 3 处
14		土壤湿度、耨细耙平	满足设计要求		
15		地面坡度	$0.3\% \sim 0.5\%$		
16		播种后喷水养护	满足设计要求		
17		成坪后覆盖度	$>95\%$		
18		单块裸露面积	$\leq 25\text{ cm}^2$		
19		杂草及病虫害面积	$\leq 5\%$		
20	草坪和草本地被分种	植物材料保鲜	满足设计要求	观察、尺量	每 500 m^2 检查 3 处，每点面积 4 m^2 ，不足 500 m^2 检查不少于 3 处
21		种植前浇水浸地深度	$>10\text{ cm}$		
22		成坪后覆盖度	$>95\%$		
23		单块裸露面积	$\leq 25\text{ cm}^3$		
24		杂草及病虫害面积	5%		
25	铺设草块和草卷	铺设前浇水湿地细整找平	满足设计要求	观察、尺量、查看施工验收记录	每 500 m^2 检查 3 处，每点面积 4 m^2 ，不足 500 m^2 检查不少于 3 处
26		铺设后与土壤接触	满足设计要求		
27		铺设后浇水浸湿土壤厚度	$>10\text{ cm}$		
28		成坪后覆盖度	$>95\%$		
29		单块裸露面积	$\leq 25\text{ cm}^3$		
30		杂草及病虫害面积	$\leq 5\%$		
31	花卉种植	品种、规格、种植放样、密度、图案	满足设计要求	观察、尺量、查看施工记录	每 500 m^2 检查 3 处，每点面积 4 m^2 ，不足 500 m^2 检查不少于 3 处
32		成活率	$>95\%$		
33	竹类种植	竹苗挖掘	满足设计要求	观察、尺量	每 100 株检查 10 株，不足 20 株全数检查
34		竹类材料品种规格	满足设计要求		
35		放样定位	满足设计要求		
36		土壤厚度、质量	满足设计要求		

14.2.4 生态型尾矿库的生态恢复工程附属设施（浇灌系统、防护网、土工格室等）的施工质量检验应符合相关专业施工质量验收标准的规定。

14.2.5 生态型尾矿库的回水泵站、回水管道及回水池（或消力池）等回水系统的施工质量检验应符合相关专业施工质量验收标准的规定。

14.2.6 生态型尾矿库的环保监测仪器、设备应提供合格证书、出厂率定资料等，并经过检测、检

定合格。

14.2.7 生态型尾矿库的环保监测仪器、设备、设施的安装和埋设施工应按相关专业质量验收标准的规定执行，确保施工质量和运行稳定。

14.3 监测

14.3.1 生态型尾矿库除应按照 13.1.5 的要求进行安全监测外，尚应进行生态环保监测。

14.3.2 按照 AQ 2030、HJ 91.1、HJ/T 164、HJ 91.2、HJ/T 166 的有关规定对生态型尾矿库进行如下监测：

- a) 截渗坝（墙）、截渗帷幕、截洪坝渗流监测；
- b) 库内、截洪库、截渗库库底渗漏检测；
- c) 地表水、地下水监测，包括水质、水位等；
- d) 尾矿库周边土壤污染状况监测。

14.3.3 按照《环境空气质量监测规范（试行）》的有关规定对生态型尾矿库区域扬尘进行监测。

14.3.4 生态型尾矿库应进行生态恢复工程监测，主要监测植物种类和群落、生长情况、覆盖度，监测点按照 50 m×50 m 方格网布设，施工期监测频率 1 次/月，后期 1 次/季度。

14.3.5 生态型尾矿库应对回水池（或消力池）回水量、回水利用率进行监测。

14.3.6 生态型尾矿库的生态环保监测应符合生态环保部发布的有关生态环境监测方法与监测标准的相关要求。

15 竣工资料与验收

15.1 基本要求

15.1.1 生态型尾矿库尾矿常规设施的施工质量验收应按照 GB 50864 的相关要求执行。

15.1.2 生态型尾矿库工程应建立施工全过程档案。工程竣工验收时，除应具备完整的纸质竣工资料外，还应包括影像资料。

15.1.3 生态型尾矿库工程竣工应按照国家基本建设管理办法及时组织验收，验收合格。

15.1.4 生态型尾矿库尾矿设施竣工资料及验收应符合本文件外，尚应符合国家和地方现行有关标准的规定。

15.1.5 生态型尾矿库的施工验收应满足设计要求。

15.2 竣工资料

15.2.1 影像资料

15.2.1.1 生态型尾矿库工程档案影像资料包括工程开工前场地全貌（整个汇水面积），重要施工阶段工程形象全貌，工程竣工后形象全貌；各检验批、分项工程的质量验收与控制情况；工程形象进度情况；新材料、新技术、新工艺在工程中的运用情况及重要结构部位、重大节点控制情况；关键部位、关键工序和隐蔽工程监理旁站内容及单位工程安全和功能检验监理见证情况；施工过程中出现的工程质量问题或其他异常状况及其处理全过程（如有）；强制性标准条文的执行情况及该检验批中关键工序的施工质量状况；工程重大活动、重要会议、重点检查等情况。

15.2.1.2 影像资料应图像清晰，其中照片资料不应低于 500 万像素，以 JPG 格式保存，应配有相应的文字说明，具体包括编号、题名、内容简要描述、拍摄时间、拍摄地点和拍摄者等；视频资料不应低于 300 万像素，以 AVI 格式保存，文件名应有编号、题名，视频拍摄过程应配有旁白解说，具体包括内容简要介绍、拍摄时间、拍摄地点和拍摄者等。

15.2.1.3 当拍摄需要反应偏差主题时，应立钢尺等参照物进行明确标识，以供追溯；当拍摄重要节点钢筋设置、焊接等空间部位时，应当从多个角度拍摄记录。

15.2.1.4 影像资料应随工程进度同步拍摄，根据需要采用全景、局部、特写等多种视角进行拍摄。拍摄的角度、方式应能全面反映相关主题，并具有代表性。

15.2.1.5 工程竣工后应将影像资料制作成光盘，与纸质资料同步整理、同步归档，两者应对应存放。

15.2.2 纸质资料

15.2.2.1 生态型尾矿库工程档案纸质资料除应满足 GB 50864 的要求的工程质量验收资料外，尚应包括防渗系统、截排洪系统、截排渗系统、回水系统、监测系统、生态恢复工程、扬尘防治措施的施工质量验收资料。

15.2.2.2 生态型尾矿库的生态恢复工程施工质量验收资料应提供基质材料、肥料的合格证、检测报告，植物种子的检测报告、检疫报告，种子发芽率的试验报告。

15.2.2.3 既有库的生态型改造施工资料还应包括既有库的生态型评价报告。

15.3 验收

15.3.1 生态型尾矿库生态恢复工程的施工质量验收应在施工单位自检合格的基础上，按照检验批、分项工程进行，划分如表 25 所示。

表 25 验收

分部工程	分项工程	检验批
生态恢复工程	喷播施工	按照施工段及区域划分检验批
	种植	按照植物种类及种植时间划分检验批

15.3.2 生态型尾矿库生态环保工程施工质量验收会议应有政府主管部门参加，验收文件应经建设、监理、勘察、设计、施工及政府主管部门各方签字认可。

15.3.3 生态型尾矿库应有本文件的要求的排洪系统及多库调洪蓄洪措施，使汛期及雨期地表水近零排放；库区设置防渗措施，库区无坝基渗漏、绕坝渗漏、库底渗漏、侧向渗漏等情况发生，地下水零排放。

15.3.4 生态型尾矿库扬尘防治设施的验收应符合相关专业标准的要求，扬尘有关监测数据达到国家相关标准要求的允许值后，方可进行验收。

15.3.5 尾矿库的生态恢复措施最终应通过恢复效果进行评价，评价合格后，方可进行验收。生态恢复效果的评价应依据 11.2.8 及国家环保法律、法规相关要求。

15.3.6 生态型尾矿库应有符合本文件要求的回水循环利用设施，除大气蒸发外，实现回水循环全利用。

15.3.7 生态型尾矿库的验收应提交尾矿库管理的制度性文件。

附 录 A
(规范性)

生态型尾矿库勘察任务书

表 A. 1 给出了新建生态型尾矿库勘察任务书，表 A. 2 既有库改造生态型尾矿库勘察任务书。

表 A. 1 新建生态型尾矿库勘察任务书

建设单位			工程名称					
随任务书附			图 纸 张 份		附 件 张 份			
要求提交资料日期			要求提交份数					
初期坝	结构类型/m		坝 高/m		坝 长/m			
	坝 宽/m		底 宽/m		坝基标高			
尾矿坝	最终堆积标高/m		最终水位标高/m					
	堆积速率		回 水 率/%		使用年限			
截洪坝	结构类型/m		坝 高/m		坝 长/m			
	坝 宽/m		底 宽/m		坝基标高			
截渗坝	结构类型/m		坝 高/m		坝 长/m			
	坝 宽/m		底 宽/m		坝基标高			
有无渗漏通道等不良水文地质构造查明预判的尾矿库渗透范围					渗流边界			
排水井	编号	结构	高度/m	井径/m	基 础 情 况			备注
					形 状	尺寸/m	砌置深度/m	
排水管	结构类型				断面尺寸/m			
	每米荷重/t				总 长/m			
排水斜槽	结构类型				断面尺寸/m			
	每米荷重/t				总 长/m			
排洪隧洞	断面尺寸/m		进口标高/m		出口标高/m			
	长 度/m				拟采用的施工方法			
截洪廊道	结构类型		断面尺寸/m					
	每米荷重/t		总 长/m					
筑坝材料	勘测区位置及最大运距							
	种 类		需要量/m ³		对 质 量 的 要 求			
	土 种							
	石 料							
	砂 料							

表 A.1 新建生态型尾矿库勘察任务书（续）

勘察 评价 要求	a) 查明截洪坝、尾矿库、截渗坝上、下游范围内围岩的岩土工程特性； b) 查明尾矿库区域范围内岩土的渗透边界，需提供渗透边界平、剖面图； c) 查明截洪坝、尾矿库、截渗坝上、下游范围内围岩的渗透特性； d) 查明截洪坝、尾矿库、截渗坝上、下游范围内围岩的裂隙、溶洞等分布情况； e) 尾矿库渗透范围
----------------	--

提出任务单位

项目总设计师

提出任务人

提出日期： 年 月 日

表 A.2 既有库改造生态型尾矿库勘察任务书

建设单位				工程名称				
随任务书附		图 纸		张 份		附 件		
要求提交资料日期				要求提交份数				
现状 初期 坝	结构类型/m		坝 高/m		坝 长/m			
	坝 宽/m		底 宽/m		坝基标高			
现状 堆积 坝	最终堆积标高/m		最终水位标高/m		使用期限			
	堆积速率		回 水 率/%					
现状 截洪 坝	结构类型/m		坝 高/m		坝 长/m			
	坝 宽/m		底 宽/m		坝基标高			
现状 截渗 坝	结构类型/m		坝 高/m		坝 长/m			
	坝 宽/m		底 宽/m		坝基标高			
坝址有无渗漏通道等不良水文地质构造								
库区有无渗漏通道等不良水文地质构造、尾矿库渗流边界								
排 水 井	编 号	结 构	高度/m	井径/m	基 础 情 况			备 注
					形 状	尺寸/m	砌置深度/m	
排 水 管	结构类型				断面尺寸/m			
	每米荷重/t				总 长/m			
排水 斜 槽	结构类型				断面尺寸/m			
	每米荷重/t				总 长/m			
排洪 隧 洞	断面尺寸/m		进口标高/m		出口标高/m			
	长 度/m		拟采用的施工方法					
截洪 廊道	结构类型		断面尺寸/m					
	每米荷重/t		总 长/m					
筑 坝 材 料	勘测区位置及最大运距							
	种 类	需要量/m ³		对 质 量 的 要 求				
	土 种							
	石 料							
	砂 料							

表 A.2 既有库改造生态型尾矿库勘察任务书（续）

勘察 评价 要求	a) 查明截洪坝、尾矿库、截渗坝上、下游范围内围岩的岩土工程特性； b) 查明尾矿库区域范围内岩土的渗透边界，需提供渗透边界平、剖面图； c) 查明截洪坝、尾矿库、截渗坝上、下游范围内围岩的渗透特性； d) 查明截洪坝、尾矿库、截渗坝上、下游范围内围岩的裂隙、溶洞等分布情况； e) 查明坝体浸润线及变化规律； f) 分析评价现状坝高和最终坝高时的渗透边界、渗透稳定性和精力稳定性
----------------	---

提出任务单位

项目总设计师

提出任务人

提出日期： 年 月 日

附录 B
(资料性)
无人机航测技术要点

B.1 性能指标要求

- a) 航摄系统主要性能指标应遵循下列要求：
- b) 抗风能力应大于 4 级；
- c) 横滚角、俯仰角、航向角测量误差均应小于 3° ；
- d) 偏航距和航高差应小于 20 m，航线弯曲度应小于 5° ；
- e) 相对航高不宜超过 1500 m；
- f) 航测数码相机应采用定焦镜头，有效像素宜大于 2000 万；
- g) 快门速度不应低于 1/1000 s，存储速度应与快门速度匹配；
- h) 影像存储空间满足项目需求；
- i) 地面监测系统的地面像元分辨率应优于 1 m。

B.2 无人机航摄设计

B.2.1 航摄计划需利用收集到的遥感影像、图纸资料和地形资料编制。

B.2.2 航摄地面分辨率应根据成图比例尺确定。

B.2.3 航摄分区宜完整覆盖整个作业区。当作业区内地形高差大于 1/6 相对摄影航高时，应进行航摄分区。

B.2.4 航摄分区摄影基准面高度应依据分区内地形起伏与飞行安全条件确定，应以分区内具代表性的高点平均高程与低点平均高程之和的 1/2 作为航摄分区摄影基准面高度。

B.2.5 摄区边界覆盖保证应按照 CH/Z 3005 的规定执行。

B.2.6 航摄时应根据工期要求选择本作业区最有利的气象条件，确保航摄像片能够真实地显现地面细部特征，宜保证充足的光照度，避免过大的阴影。

B.2.7 对于不易从像片上选取控制点的作业区，在航摄前应布设地面标志，并统一编号测量。地面标志应与周边地面具有良好的反差。

B.3 像片控制点的布设**B.3.1 像控点选点条件**

像片控制点满足下列条件。

- a) 像片控制点的目标影像应清晰，易于判别。
- b) 布设的控制点宜能公用，一般布设在航向及旁向六片或五片重叠范围内。
- c) 控制点距像片边缘不应小于 1 cm (18 cm×18 cm 像幅) 或 1.5 cm (23 cm×23 cm 像幅)，综合法成图的控制点距航向边缘不应小于上述规定的 1/2。
- d) 控制点应选在旁向重叠中线附近，离开方位线的距离应大于 3 cm (18 cm×18 cm 像幅) 或 4.5 cm (23 cm×23 cm 像幅)；当旁向重叠过大，不能满足要求时，应分别布点；旁向重叠较小使相邻航线的点不能公用时，可分别布点，此时控制范围所裂开的垂直距离一般应小于 1 cm，困难时不应大于 2 cm。
- e) 位于自由图边、待成图边以及其他方法成图的图边控制点，应布设在图廓线外。

B.3.2 像控点的布设

B.3.2.1 当区域网用于加密平面控制点时，可沿周边布设 6 个或 8 个平高点，布设方案如图 B.1、图 B.2 所示。

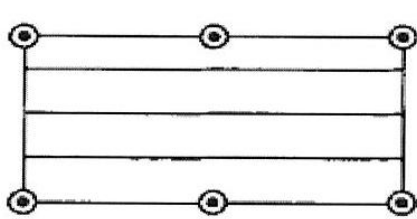


图 B.1 区域网布点方法 1

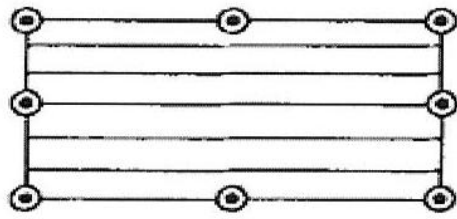


图 B.2 区域网布点方法 2

B.3.2.2 区域网用于加密平高控制点时，可沿周边布设 6 个或 8 个平高点；高程控制点跨度在 1:2000 成图时，航线方向应间隔 4 条~6 条基线（图 B.3）；1:500、1:1000 成图的定向点高程宜采用全野外布点，采用内业加密时，其跨度应为 2 条~4 条基线。

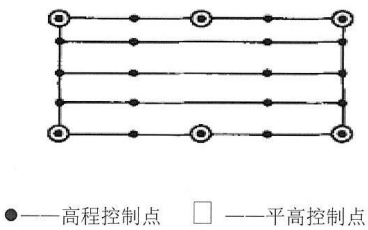


图 B.3 区域网布点方法 3

B.3.2.3 受地形等条件限制时，可采用不规则区域网布点：应在凸出处布平高点，凹进处布高程点。当凹角点与凸角点之间距离超过两条基线时，在凹角处应布设平高点，见图 B.4 所示。

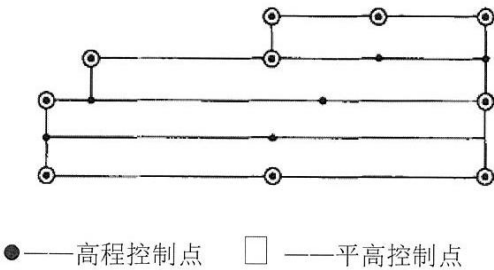


图 B.4 区域网布点方法 4

B.4 无人机航摄实施

B.4.1 飞行作业应根据安全要求及无人机的性能选择起降场地和备用场地，非应急性质的航摄作业，起降场地应满足：

- a) 距离军用、商用机场应在 10 km 以上；
- b) 起降场地相对平坦、通视良好，地面应无明显凸起的岩石块、土坎、树桩，也无水塘、大沟渠等；
- c) 远离人口密集区，半径 200 m 范围内不能有高压线、高大建筑物、重要设施等；
- d) 附近应无正在使用的雷达站、微波中继、无线通信等干扰源。

B.4.2 应用 GNSS 进行差分计算曝光点平面坐标和高程时，应采用大地水准面模型计算高程异常，将椭球高转化为正常高。

B.4.3 静态观测设备状态正常后无人机方可起飞。

B.4.4 基准站和机载 GNSS 设备数据采样间隔均小于或等于 1 s。

B.4.5 每次飞行前后需逐项检查飞行平台、飞控系统、地面监控系统、影像数据采集系统、发射与回收系统和地面保障系统并记录。

B.5 航摄质量要求

B.5.1 像片航向重叠度一般为 60%~80%，最小不应小于 53%；旁向重叠度一般为 15%~60%，最小不应小于 8%。

B.5.2 航向覆盖超出摄区边界线不应少于 2 条基线。

B.5.3 单航线航摄时，旁向覆盖超出摄区边界线不宜少于像幅的 20%；双航线和多航线航摄时，旁向覆盖超出摄区边界线不宜少于像幅的 50%。

B.5.4 摄区航向接边处不应少于 2 条有效重叠基线；摄区旁向接边处宜重叠一条航线飞行。

B.5.5 航摄中出现的相对漏洞和绝对漏洞均应及时补摄，应采用前一次航摄飞行的数码相机补摄，补摄航线的两端应超出漏洞之外 2 条有效基线。

B.6 航摄成果质量检查及整理

B.6.1 影像的清晰度、层次、反差和色调可通过目视检查。

B.6.2 数字像片的重叠度和航线弯曲度宜采用软件检查。

B.6.3 有定点曝光记录装置时，航高检查利用其记录的曝光点坐标，通过相应软件进行。摄区、分区、图廓覆盖、航摄漏洞检查宜采用质量检查软件进行。

B.6.4 无人机定位姿态（POS）数据应与航片编号记录严格对应。

B.7 无人机航测内业

B.7.1 内业加密点边点要求：

- a) 加密点一般选刺在 6 个标准点的点位附近，要求均匀分布，点位高差不宜过大；
- b) 像片控制点刺点时应选刺不低于五张的非连续像片，刺点时大小误差应符合内业标准要求；
- c) 平地纠正点应避免选在土堤、洼地、房顶等不能代表一般地面高程的目标上，林区应尽量选在林间空地的明显点上；
- d) 在地形复杂及起伏较大的地方，需增选多个点，以满足精度需求。

B.7.2 空中三角测量相对定向精度要求：

- a) 平原、丘陵等地的内业加密点上下视差中误差应小于 0.5 个像素，最大残差应小于 1 个像素，山地等高程起伏较大地区上下视差中误差应小于 1 个像素，最大残差应小于 2 个像素；
- b) 相对定向精度、基本定向点残差、多余控制点不符值及区域网间公共点较差限值符合 GB/T 23236 的规定。

B.8 数字正射影像图

B.8.1 制作正射影像图的影像资料质量应符合下列规定。

- a) 影像应清晰易读、反差适中、色调均衡、无明显像片拼接痕迹。
- b) 影像不应有重影、模糊或纹理断裂等现象，影像应连续完整，灰度无明显不同。对于彩色影像色彩应一致。
- c) 数字正射影像图的地物地貌应真实，应无扭曲变形，无噪声、云影等缺陷。
- d) 数字正射影像图的整体外观应整洁、美观。

B.8.2 影像数据作为数字正射影像图的主体数据，应以配有地理定位信息的 Tiff 格式或 GeoTiff 格式存储。也可套合地名、高程注记点及相关信息，并应进行图幅整饰。

B.8.3 数字正射影像的数据检查应符合下列规定：

- a) 数学基础应正确，数据覆盖范围应符合要求；

- b) 整幅影像应清晰，纹理、色调应一致，并应无明显的像片拼接痕迹；
- c) 应对数字正射影像图范围内所有平面检测点进行检测，检测点的平面位置中误差应符合要求。

B.9 数字三维模型

B.9.1 数字三维模型的制作，宜以数字地形测量成果数据为基础，并应采用倾斜摄影测量、近景摄影测量、激光雷达扫描等方式获取的信息数据进行建模。

B.9.2 数字三维模型制作采集的纹理数据应符合下列规定：

- a) 纹理数据应色调均匀、反差适中、自然美观，应真实反映实际材质的图案、质感、颜色等；
- b) 视距或镜头畸变小起的纹理数据变形成进行调整；
- c) 纹理数据的影像应进行比例变换，应使相同层次模型的纹理分辨率相近。

B.9.3 数字三维模型的建模应符合下列规定：

- a) 外形结构应表达完整、准确，模型底部应与附着面保持一致；
- b) 模型按照测量数据进行模型制作，比例应准确；
- c) 构建模型时，应将模型与对应的纹理数据进行有效融合。

B.9.4 数字三维模型及纹理的命名应唯一，宜使用字母、数字和下划线表示。

B.9.5 数字三维模型数据应进行质量检查，并应符合下列规定：

- a) 不同类型、不同比例尺模型数据的集成关系和拓扑关系应完整，不宜有冗余、遗漏；
- b) 模型数据的平面坐标及高程应以实际测量值为准；
- c) 模型数据的属性信息描述应真实，并应具有现势性。

B.10 成果质量检查及整理

成果质量应按照 GB/T 18316 的规定进行检查，并编写检查报告。

参 考 文 献

- [1] GB/T 1506—2016 锰矿石 锰含量的测定 电位滴定法和硫酸亚铁铵滴定法
- [2] GB/T 1648 水质 硫化物的测定 亚甲基蓝分光光度法
- [3] GB 3838—2002 地表水环境质量标准
- [4] GB 5085.3—2007 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- [5] GB/T 5750.4—2023 生活饮用水标准检验方法 第4部分：感官性状和物理指标
- [6] GB/T 5750.7 生活饮用水标准检验方法 第7部分：有机物综合指标
- [7] GB/T 5750.12 生活饮用水标准检验方法 第12部分：微生物指标
- [8] GB/T 7467 水质 六价铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法
- [9] GB/T 7494 水质 阴离子表面活性剂的测定 亚甲蓝分光光度法
- [10] GB 11892 水质 高锰酸盐指数的测定
- [11] GB 11893 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法
- [12] GB 13195 水质 水温的测定 温度计或颠倒温度计测定法
- [13] GB 13200 水质 浊度的测定
- [14] GB/T 14353.3—2010 铜矿石、铅矿石和锌矿石化学分析方法 第3部分：锌量测定
- [15] GB/T 15555.4 固体废物 六价铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法
- [16] GB/T 15922 钴矿石化学分析方法 钴量测定
- [17] GB/T 15924 锡矿石化学分析方法 锡量测定
- [18] GB/T 15925 铋矿石化学分析方法 铋量测定
- [19] GB/T 15926 铊矿石化学分析方法 铊量测定
- [20] GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）
- [21] GB/T 16489 水质 硫化物的测定 亚甲基蓝分光光度法
- [22] GB/T 20899.1 金矿石化学分析方法 第1部分：金量的测定
- [23] GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
- [24] GB/T 39792.1 生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素 第1部分：土壤和地下水
- [25] GB/T 38509 滑坡防治设计规范
- [26] GB 50487—2008 水利水电工程地质勘察规范
- [27] AQ 2006 尾矿库安全规程
- [28] DZ/T 0219 滑坡防治工程设计与施工技术规范
- [29] HJ/T 51 水质 全盐量的测定 重量法
- [30] HJ 84 水质 无机阴离子（F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、Br⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、SO₃²⁻、SO₄²⁻）的测定 离子色谱法
- [31] HJ 91.1 污水监测技术规范
- [32] HJ 91.2 地表水环境监测技术规范
- [33] HJ/T 164 地下水环境监测技术规范
- [34] HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
- [35] HJ 347.1 水质 粪大肠菌群的测定 滤膜法
- [36] HJ 347.2 水质 粪大肠菌群的测定 多管发酵法
- [37] HJ 484 水质 氰化物的测定 容量法和分光光度法
- [38] HJ 503 水质 挥发酚的测定 4-氨基安替比林分光光度法
- [39] HJ 505 水质 五日生化需氧量（BOD₅）的测定 稀释与接种法
- [40] HJ 506 水质 溶解氧的测定 电化学探头法
- [41] HJ 535 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法

- [42] HJ 636 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
 - [43] HJ 637 水质 石油类和动植物油类的测定 红外分光光度法
 - [44] HJ 639 水质 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法
 - [45] HJ 687 固体废物 六价铬的测定 碱消解/火焰原子吸收分光光度法
 - [46] HJ 694 水质 汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法
 - [47] HJ 700 水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法
 - [48] HJ 702 固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法
 - [49] HJ 766 固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法
 - [50] HJ 776 水质 32 种元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法
 - [51] HJ 778 水质 碘化物的测定 离子色谱法
 - [52] HJ 781 固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法
 - [53] HJ 828 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法
 - [54] HJ 898 水质 总 α 放射性的测定 厚源法
 - [55] HJ 899 水质 总 β 放射性的测定 厚源法
 - [56] HJ 1147 水质 pH 值的测定 电极法
 - [57] HJ 2015 水污染治理工程技术导则
 - [58] JGJ 476—2019 建筑工程抗浮技术标准
 - [59] NY/T 1342 人工草地建设技术规程
 - [60] TD/T 1031.1 土地复垦方案编制规程 第 1 部分：通则
 - [61] TD/T 1036 土地复垦质量控制标准
 - [62] YS/T 445.1 银精矿化学分析方法 第 1 部分：金和银含量的测定 火试金法
 - [63] YS/T 575.1 铝土矿石化学分析方法 第 1 部分：氧化铝含量的测定 EDTA 滴定法
 - [64] YS/T 820.1 红土镍矿化学分析方法 第 1 部分：镍量的测定火焰 原子吸收光谱法
 - [65] YS/T 1115.12 铜原矿和尾矿化学分析方法 第 12 部分：铜、铅、锌、镍、钴、镉、镁和锰量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法
 - [66] T/CAGHP 073 地质灾害治理锚固工程设计规范（试行）
 - [67] T/CAGHP 055 滑坡崩塌防治削方减载工程设计规范（试行）
 - [68] 《环境空气质量监测规范（试行）》
 - [69] 《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）
-