

尾矿库 概论

Weikuangku Gailun

谭钦文 徐中慧 李春林 主编

$$K_V = 0.053\varphi \left(\frac{1}{N_v}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{m}{1+m^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$



重庆大学出版社

$$\tau_{\theta} = \frac{6.53L_1}{\rho^{1/2}K..F..1/2\rho^{1/2}}$$

尾矿库 概论

Weikuangku
Gailun

谭钦文 徐中慧 李春林 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书以尾矿库工程生命周期全过程管理为主线,理论联系实际,系统地介绍了尾矿库的基本知识,重点分析了如何设计、如何管理尾矿库等方面的关键技术和要求。全书强调了尾矿库管理的全过程和精细化,并联系工程实际给出了具体法律法规及范式操作要求。本书可作为矿业工程及相关工程专业的专业基础教材,也可作为矿山尾矿库工程管理人员和尾矿库工程设计人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

尾矿库概论/谭钦文,徐中慧,李春林主编.—重庆:重庆大学出版社,2017.4
ISBN 978-7-5689-0418-6

I.①尾… II.①谭…②徐…③李… III.①尾矿—概论 IV.①TD926.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 076985 号

尾矿库概论

谭钦文 徐中慧 李春林 主编

责任编辑:文 鹏 杨育彪 版式设计:李正淑
责任校对:邹小梅 责任印制:邱 瑶

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆市国丰印务有限责任公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:9.75 字数:24.5千

2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5689-0418-6 定价:35.00 元



本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

编委会

主 编:谭钦文 徐中慧 李春林

参 编:谭汝媚 何友芳 刘建平 王永强 李仕雄

林龙沅 魏 勇 罗尧东 吴爱军 刘年平

李 雪 江 丽 许秦坤 周煜琴 王海龙

谢雨佳 贾 梁 苗东涛 许午言 许 晴

耿龙龙 辛保泉 陈玄超 段正肖 董 勇

刘倩男 瞿 瑶 杜 姗

前言

尾矿库,是用以堆存金属或非金属矿山进行选矿后排出的尾矿或其他工业废渣的场所,同时也是一个具有高势能的人造泥石流危险源。作为矿山三大控制性工程之一,尾矿库的合法、合理建设,对确保周边居民生命财产安全和矿山企业的绿色、可持续发展乃至社会的稳定至关重要。

本书在全面收集和总结几十年来尾矿库设计及管理经验和知识的基础上,以尾矿库工程生命周期全过程设计及管理为主线,充分吸收和融入最新《尾矿设施设计规范》(GB 50863—2013)中的相关设计要求,借鉴尾矿库领域内的最新研究成果,将尾矿库建设基本理论知识与尾矿库工程实际相结合,全面介绍了尾矿库的类别、组成及特点等基本概念和设计所需基础资料,进一步明确了尾矿库址及筑坝形式的选择方法,重点分析了尾矿库初期坝和后期堆积坝的设计方法、渗流和稳定性分析方法,以及尾矿库排洪系统的类型选择、洪水计算及排水构筑物的结构设计,最后系统论述了尾矿库的生产运行管理及闭库工作。

全书强调尾矿库管理的全过程、合规性和精细化,并联系工程实际给出了具体法律法规及范式操作要求。本书可作为大专院校矿业工程及相关工程专业学生的基础教材,也可作为矿山企业尾矿库工程技术人员和管理人员的培训教材,还可为从事尾矿库工程技术研究的科研人员、相关安全监管人员提供参考。

在成书和出版过程中,本教材获西南科技大学本科教材建设基金和四川省教育厅重点项目(14ZA0089 尾矿坝渗透破坏机理研究)资助,并得到了重庆大学出版社等的大力支持,部分章节还参阅了许多著作和文献,在此一并表示感谢。

尾矿库工程技术目前尚处于不断发展和完善中,涉及的知识面非常广泛,需要掌握的学科基础也颇为繁多。由于作者水平所限,书中难免存在疏漏之处,敬请广大读者和专家批评指正。

编者

2017年3月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 尾矿库的概念及分类	1
1.2 尾矿库组成	5
1.3 尾矿库特点及其作用	6
第 2 章 尾矿库设计所需基础资料	7
2.1 尾矿资料	7
2.2 工程水文地质勘测资料	9
2.3 水文气象资料	16
2.4 测量资料	17
2.5 调查资料	17
2.6 法律法规和标准规范	19
第 3 章 尾矿库选址及堆坝方式的选择	21
3.1 尾矿库库址	21
3.2 尾矿筑坝方式及子坝堆筑方法	26
3.3 库容和澄清距离的确定	31
第 4 章 初期坝设计	40
4.1 初期坝设计的一般问题	40
4.2 初期坝坝体设计	43
第 5 章 后期堆积坝设计	58
5.1 尾矿堆积坝体构造	58
5.2 地下水位控制	59
5.3 排渗设施设计	62
5.4 材料选择	64
5.5 基础条件的影响	66
第 6 章 尾矿坝渗流及稳定性分析	69
6.1 尾矿坝地下水渗流场分析	69

6.2	孔隙压力与超孔隙压力	87
6.3	稳定性分析	90
第7章	尾矿库排洪系统设计及排水构筑物	97
7.1	排洪系统布置的原则	97
7.2	排洪计算步骤简介	98
7.3	排洪构筑物的类型	99
7.4	洪水计算	101
7.5	调洪演算	124
7.6	排水系统过水能力计算	127
7.7	尾矿库排洪系统结构设计	132
第8章	尾矿库生产运行管理	135
8.1	安全管理机构与职责	135
8.2	尾矿排放与筑坝要求	136
8.3	尾矿库水位控制与防汛	137
8.4	尾矿库防震与抗震	139
8.5	尾矿库安全监测	139
第9章	尾矿库闭库	143
9.1	闭库前安全评价	143
9.2	尾矿库闭库设计与施工	144
9.3	闭库验收	146
9.4	闭库复垦	146
	参考文献	149

第 1 章

概 述

本章通过对尾矿库的概念、分类、组成、特点及作用的介绍,使读者了解尾矿库相关基础知识,建立基本的尾矿库认知体系。

1.1 尾矿库的概念及分类

1.1.1 尾矿库的概念

尾矿库作为矿山三大控制工程之一,是矿山企业的重要生产设施,在矿业生产中占有重要的地位。它是用以储存金属非金属矿山进行矿石选别后排出尾矿的场所。而尾矿是指金属或非金属矿山开采出的矿石,经选矿厂选出有价值的精矿后排放的“废渣”。这些尾矿由于数量大,含有暂时不能处理的有用或有害成分,随意排放将会造成资源流失、大面积覆没农田或淤塞河道、污染环境。

1.1.2 依据库容大小、坝体高度划分

根据《尾矿设施设计规范》(GB 50863—2013)规定,依据尾矿库库容大小、坝体高度划分为一至五等级库(表 1.1)。当按尾矿库的全库容和坝高分别确定的尾矿库等级的等差为一等时,应以高者为准;当等差大于一等时,应按高者降一等确定。

表 1.1 尾矿库各使用期的设计等别

等 别	全库容 $V/10\,000\text{ m}^3$	坝高 H/m
一	$V \geq 50\,000$	$H \geq 200$
二	$10\,000 \leq V < 50\,000$	$100 \leq H < 200$
三	$1\,000 \leq V < 10\,000$	$60 \leq H < 100$
四	$100 \leq V < 1\,000$	$30 \leq H < 60$
五	$V < 100$	$H < 30$

其中,全库容(Whole Storage Capacity)是指某坝顶标高时,坝顶标高平面以下、库底面以上所围成的空间的容积(不含非尾矿构筑的坝体体积);尾矿坝高(Tailings Dam Height)是指对上游式筑坝,为堆积坝坝顶与初期坝坝轴线处原地面的高差;对中线式、下游式筑坝,则为坝顶与坝轴线处原地面的高差。

1.1.3 依据地形条件划分

尾矿库依据地形条件不同,可分为傍山型、山谷型、平地型、截河型。

(1) 傍山型尾矿库

傍山型尾矿库(图 1.1)是在山坡脚下依山筑坝所围成的尾矿库。其特点是初期坝相对较长,初期坝和后期尾矿堆坝工程量较大,库容较小,汇水面积较小,但调洪能力较低,排洪设施的进水构筑物较大,管理、维护相对比较复杂。国内低山丘陵地区中小矿山常选用这种类型的尾矿库。

(2) 山谷型尾矿库

山谷型尾矿库(图 1.2)是在山谷谷口处筑坝形成的尾矿库。其特点是初期坝相对较短,坝体工程量较小,后期尾矿堆坝相对较易管理维护;库区纵深较长,尾矿水澄清距离及干滩长度易满足设计要求;汇水面积较大时,排洪设施工程量相对较大。我国现有的大、中型尾矿库大多属于这种类型。

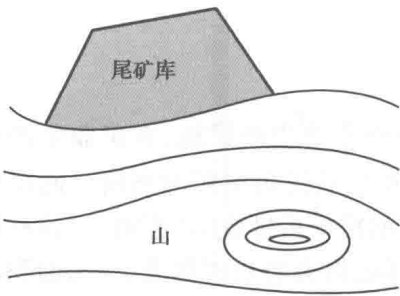


图 1.1 傍山型尾矿库

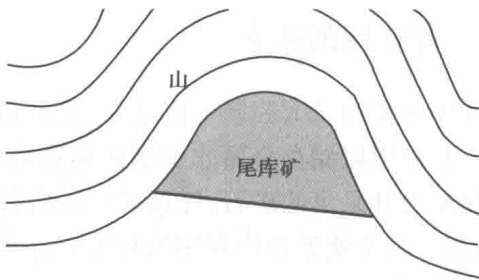


图 1.2 山谷型尾矿库

(3) 平地型尾矿库

平地型尾矿库(图 1.3)是在平缓地形周边筑坝围成的尾矿库。其特点是初期坝和后期尾矿堆坝工程量大,维护管理较麻烦;堆坝高度受到限制,一般不高;汇水面积小,排水构筑物相对较小。国内平原或沙漠戈壁地区常采用这类尾矿库。

(4) 截河型尾矿库

截河型尾矿库(图 1.4)是截取一段河床,在其上、下游两端分别筑坝形成的尾矿库。有的在宽浅式河床上留出一定的流水宽度,三面筑坝围成尾矿库,也属此类。其特点是不占农田;

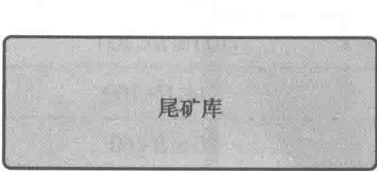


图 1.3 平地型尾矿库

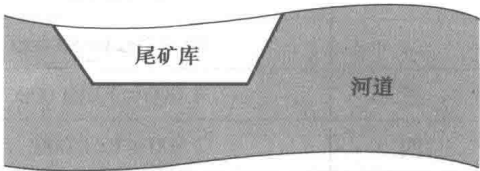


图 1.4 截河型尾矿库

库区汇水面积不太大,但尾矿库上游的汇水面积通常很大,库内和库上游都要设置排水系统,配置较复杂,规模庞大。这种类型的尾矿库维护管理比较复杂,国内采用的不多。

1.1.4 依据堆排方式划分

尾矿库依据堆排方式可分为湿式排存、膏体排放、模袋法、干堆(固结干堆、压滤干堆)等。其中固结干堆、膏体排放、模袋法属于新技术、新工艺。

1.1.5 依据筑坝方式划分

尾矿库依据筑坝方式可分为上游式尾矿坝、中线式尾矿坝和下游式尾矿坝。

(1) 上游式尾矿坝

在初期坝上游方向堆积尾矿的筑坝方式(图 1.5)。其特点是堆积坝坝顶轴线逐级向初期坝上游方向推移,工艺简单、管理方便、运行维护费用低,但渗透性差、浸润线高、坝体稳定性差。

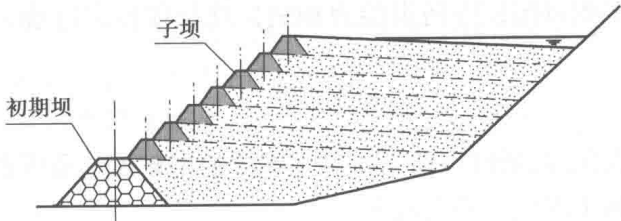


图 1.5 上游式尾矿坝

(2) 中线式尾矿坝

在初期坝轴线处用旋流器分离粗尾砂筑坝方式(图 1.6)。其特点是堆积坝坝顶轴线始终不变,粗砂筑坝,稳定性好,有一定的实用性,但管理、工艺较复杂。

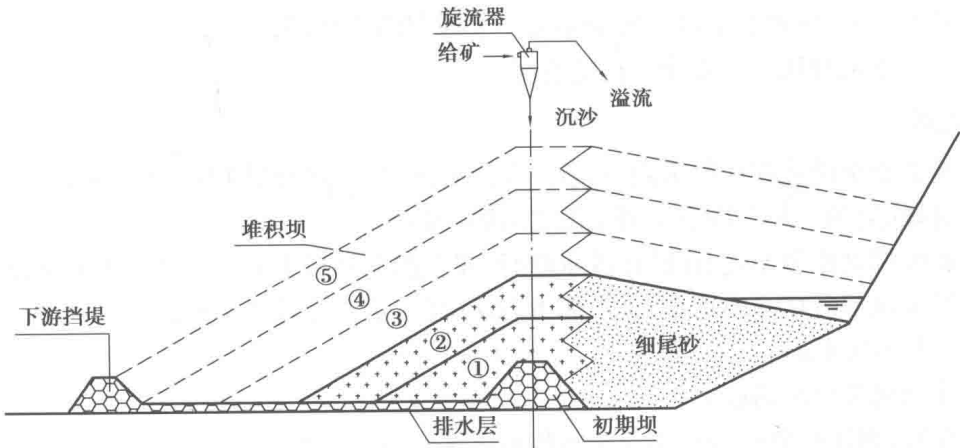


图 1.6 中线式尾矿坝

(3) 下游式尾矿坝

在初期坝下游方向用旋流器分离粗尾砂筑坝方式(图 1.7)。其特点是堆积坝坝顶轴线逐级向初期坝下游方向推移,粗砂筑坝,渗透性强、稳定性好,但管理、工艺复杂,且运行维护费用高。

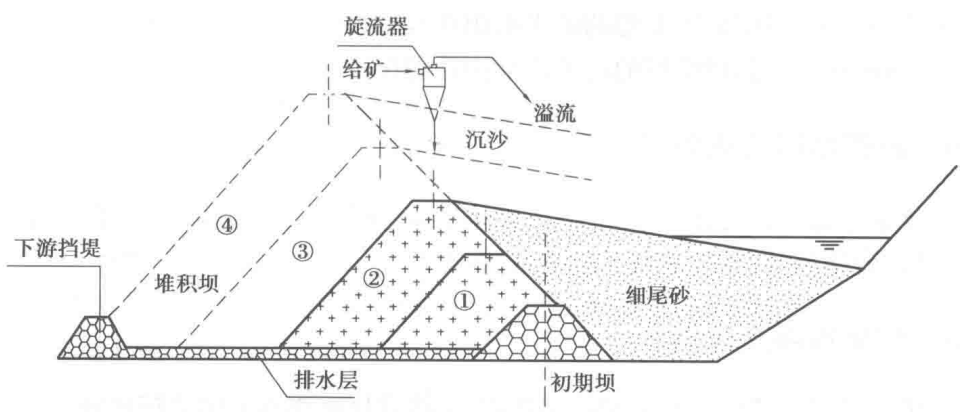


图 1.7 下游式尾矿坝

1.1.6 依据尾矿库安全度划分

尾矿库安全度主要根据尾矿库防洪能力和尾矿坝坝体稳定性确定。分为危库、险库、病库、正常库 4 级。

(1) 危库

危库是指安全没有保障,随时可能发生垮坝事故的尾矿库。危库必须停止生产并采取应急措施。尾矿库有下列工况之一的为危库:

- ①尾矿库调洪库容严重不足,在设计洪水位时,安全超高和最小干滩长度都不满足设计要求,将可能出现洪水漫顶;
- ②排洪系统严重堵塞或坍塌,不能排水或排水能力急剧降低;
- ③排水井显著倾斜,有倒塌的迹象;
- ④坝体出现贯穿性横向裂缝,且出现较大范围管涌、流土变形,坝体出现深层滑动迹象;
- ⑤经验算,坝体抗滑稳定最小安全系数小于规定值的 0.95;
- ⑥其他严重危及尾矿库安全运行的情况。

(2) 险库

险库是指安全设施存在严重隐患,若不及时处理将会导致垮坝事故的尾矿库。险库必须立即停产,排除险情。尾矿库有下列工况之一的为险库:

- ①尾矿库调洪库容不足,在设计洪水位时,安全超高和最小干滩长度均不满足设计要求;
- ②排洪系统部分堵塞或坍塌,排水能力有所降低,达不到设计要求;
- ③排水井有所倾斜;
- ④坝体出现浅层滑动迹象;
- ⑤经验算,坝体抗滑稳定最小安全系数小于规定值的 0.98;
- ⑥坝体出现大面积纵向裂缝,且出现较大范围渗透水高位出溢,出现大面积沼泽化;
- ⑦其他危及尾矿库安全运行的情况。

(3) 病库

病库是指安全设施不完全符合设计规定,但符合基本安全生产条件的尾矿库,病库应限期整改。尾矿库有下列工况之一的为病库:

①尾矿库调洪库容不足,在设计洪水位时不能同时满足设计规定的安全超高和最小干滩长度的要求;

②排洪设施出现不影响安全使用的裂缝、腐蚀或磨损;

③经验算,坝体抗滑稳定最小安全系数满足规定值,但部分高程上堆积边坡过陡,可能出现局部失稳;

④浸润线位置局部较高,有渗透水出溢,坝面局部出现沼泽化;

⑤坝面局部出现纵向或横向裂缝;

⑥坝面未按设计设置排水沟,冲蚀严重,形成较多或较大的冲沟;

⑦坝端无截水沟,山坡雨水冲刷坝肩;

⑧堆积坝外坡未按设计覆土和植被;

⑨其他不影响尾矿库基本安全生产条件的非正常情况。

(4) 正常库

尾矿库同时满足下列工况的为正常库:

①尾矿库在设计洪水位时能同时满足设计规定的安全超高和最小干滩长度的要求;

②排水系统各构筑物符合设计要求,工况正常;

③尾矿坝的轮廓尺寸符合设计要求,稳定安全系数满足设计要求;

④坝体渗流控制满足要求,运行工况正常。

1.2 尾矿库组成

尾矿设施示意图如图 1.8 所示。尾矿库一般由尾矿堆存系统、尾矿库排洪系统、尾矿库回水系统等几部分组成。

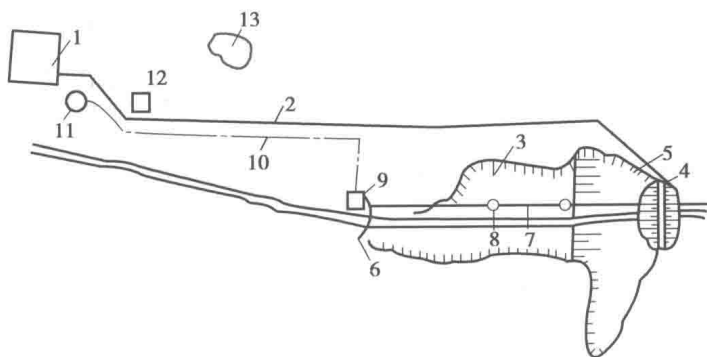


图 1.8 尾矿设施示意图

1—选矿厂;2—尾矿运输管;3—尾矿沉淀池;4—初期坝;5—尾矿堆积坝;6—进水头部设施;
7—排出管;8—排水井;9—水泵房;10—回水管路;11—回水池;12—中间砂泵站;13—事故沉淀池

(1) 尾矿库堆存系统

该系统一般包括坝上放矿管道、尾矿初期坝、尾矿后期坝、浸润线观测、位移观测以及排渗设施等。

(2)尾矿库排洪系统

该系统一般包括截洪沟、溢洪道、排水井、排水管、排水隧洞等构筑物。

(3)尾矿库回水系统

该系统大多利用库内排洪井、管将澄清水引入下游回水泵站,再扬至高位水池。也有在库内水面边缘设置活动泵站直接抽取澄清水,扬至高位水池。

1.3 尾矿库特点及其作用

尾矿库是矿山选矿厂生产不可缺少的设施,同时也是一个具有高势能的人造泥石流危险源,其投资及运行费用巨大。伴随矿业工程的不断发展,尾矿坝失事屡有发生。尾矿坝失事不仅使尾矿流失严重,而且破坏下游地区的生态环境,造成巨大的生命及财产损失。

将尾矿妥善储存在尾矿库内,尾矿水在库内澄清后回收循环利用,可有效地保护环境。选矿厂的生产用水量巨大,这些水随尾矿排入尾矿库内,经过澄清和自然净化后,大部分可供选矿生产重复利用,起到平衡枯水季节水源不足的供水补给作用。有些尾矿还含有大量有用矿物成分,甚至是稀有和贵重金属成分,由于种种原因,一时无法全部选净,将其暂储存于尾矿库中,可待将来再进行回收利用。

第2章

尾矿库设计所需基础资料

本章将根据尾矿库工程设计实际需求,参照《尾矿设施设计规范》(GB 50863)的有关规定,对尾矿库设计应收集和掌握的尾矿工艺资料、所在地工程地质勘测资料、水文气象资料、尾矿库工程相关测量和调查资料,以及依据的法律法规等资料的具体内容和要求,进行系统的介绍。

2.1 尾矿资料

尾矿资料是尾矿库设计最基础的资料。在尾矿库建设中,尾矿本身既是被处理对象,也是堆积坝的建设材料。在设计尾矿库时,必须充分了解尾矿库工程的工艺参数和尾矿的理化性质。

按实际需要取得表 2.1 所列的有关资料。

表 2.1 所需资料的内容与要求

用 途	资料项目	内容与要求
一般	尾矿量	1.选矿厂日尾矿排出量(对分期达到设计规模的选矿厂,应取得各期的日尾矿排出量); 2.选矿厂生产年限内排出的总尾矿量
	尾矿特性	1.比重(当粗细颗粒比重差别显著时,应分别给出); 2.干容重; 3.颗粒组成(应取得颗分的逐级颗粒含量,且最大粒径含量不应大于5%,最小粒级应分析到5 μm 或其含量不大于10%); 4.浓度或稠度
	选矿工艺条件	1.选矿厂的工作制度及设计生产年限; 2.尾矿排出口的位置与标高; 3.选矿生产对尾矿回水水质、水温的要求和最大回水允许量(必要时应做尾矿回水对选矿指标影响程度的试验); 4.选矿生产过程中尾矿量和尾矿特性可能的波动幅度

续表

用 途	资料项目	内容与要求
考虑尾矿输送系统冰冻情况	矿浆温度	严寒地区冬季最冷月份选矿厂排出尾矿浆的平均最低温度
考虑尾矿堆积坝的稳定性并做稳定计算时	尾矿的物理力学性质	1.尾矿的抗剪强度(根据设计中采用的不同计算方法取得相应的指标;当采用总应力法计算堆积坝的稳定性时,需用总强度指标;当采用有效应力法时,需用有效强度指标); 2.安息角(水上和水下); 3.尾矿的压缩性(最大试验压力应与尾矿总堆积高度时的尾矿土压力相当); 4.尾矿的渗透性(分别给出水平与垂直渗透系数)
考虑浓缩回水	尾矿的沉降特性	对在水中能沉降的一般尾矿: 1.尾矿的沉降速度〔用量筒进行试验时,其高度不应小于 300 mm。对于在沉淀过程中澄清界面明显的尾矿浆,要求确定在不同浓度的矿浆中尾矿的集合沉降速度(不少于 5 个不同浓度的矿浆试样;最小浓度与设计给矿浓度相当;最大浓度与自由沉降带最浓层矿浆的浓度相当,后者比设计排矿浓度小一些);对于无明显澄清界面的尾矿浆,要求确定设计最小溢流粒径的自由沉降速度〕; 2.不同历时沉淀尾矿的平均浓度; 3.不同历时澄清水的悬浮物含量
	混凝沉降试验	对在水中难以沉降的极细尾矿: 1.建议采用的混凝剂种类及投药量; 2.絮凝体的沉降速度或澄清界面的沉降速度; 3.絮凝沉淀物的浓度
考虑尾矿水净化处理	尾矿水的水质	尾矿水中浮选药剂和有害物质的种类与含量或尾矿水的水质分析资料
	卫生试验	尾矿水中个别有害成分对动植物的危害性
	有害物质净化试验	1.建议采用的净化工艺流程; 2.采用的净化剂种类及投药比; 3.净化效果

充分掌握尾矿工艺及相关理化性质是做好尾矿库工程设计的前提。从尾矿库选址设计到尾矿库闭库的全生命周期,都必须严格参考尾矿特性来设计作业。在尾矿库设计过程中,应参考尾矿特性做出有针对性的设计方案;在尾矿库运行过程中,应根据尾矿特性实施作业;在尾矿库工程闭库方案设计时,也应参考尾矿性质提出安全环保的闭库方案。

2.2 工程水文地质勘测资料

2.2.1 勘测资料的一般内容

勘测资料包括勘察报告和勘察测绘图,其内容详见表 2.2—表 2.4。

表 2.2 勘测细目一览表

资料内容		编号	资料内容	编号
地貌 条件	山谷类型	1	上复土层及风化层的分布厚度与性质	22
	地貌特征	2	岩石的风化程度及风化深度	23
地质 构造	各地层的时代、成因、岩性与分布	3	人工洞穴的分布位置与大小	24
	各地层的含水性及浸水软化性	4	地震等级	25
	可致滑动的软弱土层的分布	5	透水层的分布情况、性质及埋藏条件	26
	可致滑动的软弱结构带(面)的分布	6	透水层的透水性	27
	地质构造的类型、产状与展布规律	7	岩层含水性、含水层的位置、涌水量及补给条件	28
	地质岩性构成	8	地下水的类型和动态	29
	岩层产状、厚度	9	泉水的位置,涌水量及建库后可能的变化	30
	节理、裂隙构造发育情况	10	地下水对混凝土的侵蚀性	31
	有无岩石破碎带	11	地下通道的走向、出口	32
	断裂破碎带的宽度及其岩性特征	12	土的抗水性	33
自然 地质 现象	断裂、裂隙系统的发育程度,结构面的产状与力学性质	13	稳定性	34
	滑坡、崩塌等不良地质现象对场地的影响程度	14	地基土的压缩均匀性	35
	泥石流对场地的影响程度	15	地基标准承载能力	36
	泥石流的成因、发育程度、活动规律、类型、固体量、最大平均粒径、今后的速度变化、对工程的危害程度	16	湿陷性黄土的湿陷性类型及湿陷起始压力	37
	流砂对场地的影响程度	17	岩土的物理力学性质	38

续表

资料内容		编号	资料内容		编号
自然地质现象	岩溶发育规律,构造与岩溶的关系,特别是控制岩溶发育的构造带的渗漏和塌陷对场地的影响程度	18	对场地的工程水文地质评价意见	39	
	各种可熔岩的溶化程度	19	防治和处理措施的建议	40	
	溶洞的类型、分布情况及延伸方向	20	预测工程建筑后所引起的稳定性的变化	41	
	溶洞的大小、分布具体位置及充填情况	21			

表 2.3 建(构)筑物基础岩土的分析和试验项目

建(构)筑物	坝 基			排水管			隧 洞				桥涵基础			挡土墙		
基础土壤	黏土类	砂类土	黄土	黏土类	砂类土	黄土	黏土类	砂类土	黄土	岩石	黏土类	砂类土	黄土	黏土类	砂类土	黄土
比重	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
天然容重	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
孔隙比	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
天然含水量	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
饱和度	+		+	+		+	+		+		+	+	+	+		+
可塑性	+		+	+		+	+		+		+		+	+		+
稠度	+		+	+		+	+		+		+		+	+		+
相对密度		+			+			+				+			+	
颗分		+			+			+				+			+	
收缩											+		+	+		
剪力	+		+			+		+	+	+		+	+		+	
压缩	+		+	+		+	+		+		+		+	+		+
干、湿休止角		+					+				+			+		
湿化	+		+													
可溶盐含量	+		+													
有机质含量	+		+								+					
渗透系数	+		+					+			+					