



WEIKUANGKU JIANSHE
YU ANQUAN GUANLI JISHU

尾矿库建设 与安全管理技术

周汉民 主编



化学工业出版社

WEIKUANGKU JIANSHE
YU ANQUAN GUANLI JISHU

尾矿库建设 与安全管理技术

周汉民 主编



化学工业出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

尾矿库建设与安全管理技术/周汉民主编. —北京: 化学工业出版社, 2011.10

ISBN 978-7-122-12211-7

I. 尾… II. 周… III. ①尾矿设施-建设②尾矿设施-安全管理 IV. TD926.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 179670 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 郑捷

文字编辑: 刘莉珺
装帧设计: 杨北

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京云浩印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 15% 字数 398 千字 2012 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

金属与非金属矿山是工业生产的高危行业。尾矿库是金属与非金属矿山安全生产的重要环节，也是该领域的重大危险源之一。近年来，尾矿库事故频发，给尾矿库下游人民生命财产造成巨大损失，也给当地环境造成严重污染，给当地经济发展和社会稳定带来严重负面影响。

尾矿库作为一门交叉应用型学科，涉及水文学、水力学、土力学、工程地质、土工结构、岩土工程等多个学科，要求理论与实践紧密结合。现行的高校培养模式难以满足尾矿库专业人才的需求，往往需要在涉猎多学科知识后，通过不断的工程实践积累经验。本书旨在为刚入门的技术人员提供抛砖引玉的指导作用。

本书内容系统丰富，在介绍了尾矿库相关基础知识与安全技术的同时，对尾矿库在建设 and 日常运行管理中的最关心问题进行了重点介绍。全书共分为 11 章，第 1 章主要介绍了尾矿库的基本现状及各主要安全设施；第 2 章主要介绍了尾矿库选址及勘察的重要性；第 3 章主要介绍了尾矿坝的构成及设计；第 4 章主要介绍了尾矿库排洪系统构成及设计；第 5 章主要介绍了尾矿干式堆排；第 6 章主要介绍了安全评价内容；第 7 章主要介绍了运行过程中的注意事项；第 8 章主要介绍了尾矿库安全检查及注意事项；第 9 章主要介绍了尾矿库闭库措施；第 10 章主要介绍了尾矿综合利用现状；第 11 章主要介绍了尾矿库事故教训及案例分析；附录主要介绍了目前常用的尾矿库相关技术规范。

本书作为一本入门级的读物，适合于刚接触尾矿库安全技术的人员学习，也可作为与尾矿库有关的技术人员、生产管理人员以及相关高校学生参考阅读。

本书是由北京矿冶研究总院从事尾矿库相关领域研究和设计工作的全体同仁共同努力下编写完成的，书中汇集了国内尾矿库相关领域的先进理论及北京矿冶研究总院的部分项目实例，同时还引用了部分国内成熟的公开项目实例。

本书由周汉民主编并负责统稿和定稿。各章节具体分工如下：周汉民编写第 1 章、第 2 章、第 8 章、第 9 章，周汉民、刘晓非、翟文龙、张达、王利岗、李小军编写第 3 章，崔旋、周汉民编写第 4 章，龙涛、吴鹏编写第 5 章，张琴、武伟伟、刘恩伟编写第 6 章，刘晓非、张琴编写第 7 章、第 11 章、第 12 章，郭利杰编写第 10 章。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请广大读者和同仁批评指正。

编 者

最新矿业图书推荐

书号	书 名	定价/元
11711	铁矿选矿技术(即将出版)	
11713	矿山电气设备使用与维护	49
11079	常见矿石分析手册	168
10313	金银选矿与提取技术	38
09944	选矿概论	32
10095	废钢铁回收与利用	58
07802	安全生产事故预防控制与案例评析	28
07838	矿物材料现代测试技术	32
04572	采矿技术入门	28
04094	矿山爆破与安全知识问答	18
04417	采矿实用技术丛书——矿床地下开采	28
04213	采矿实用技术丛书——矿床露天开采	20
04488	采矿实用技术丛书——矿井通风与防尘	28
04855	采矿实用技术丛书——矿山安全	25
05084	采矿实用技术丛书——矿山地压监测	25
04777	采矿实用技术丛书——矿山工程爆破	16
04730	采矿实用技术丛书——矿山机电设备使用与维修	36
04915	采矿实用技术丛书——矿山运输与提升	18
07775	长石矿物及其应用	58
04296	矿长和管理人员安全生产必读	28
04092	矿山工人安全生产必读	20
07538	矿物材料现代测试技术	32
04210	煤矿电工安全培训读本	22
04760	煤矿电工必读	28
05006	煤矿电工技术培训教程	33
04474	煤矿机电设备使用与维修	36
06039	选矿技术入门	28

化学工业出版社 网上书店 www.cip.com.cn

购书咨询: 010-64518888 地址: 北京市东城区青年湖南街13号(100011)

如要出版新著, 请与编辑联系。

编辑电话: 010-64519283

投稿邮箱: editor2044@sina.com

目 录

第 1 章 概述	1	2.6.1 尾矿堆积坝工程地质勘察目的和 要求	44
1.1 尾矿设施的功能及组成	1	2.6.2 尾矿堆积坝工程地质勘察内容	46
1.2 尾矿库类型	2	2.6.3 勘察工作布置	47
1.3 尾矿坝	3	第 3 章 尾矿坝的设计	53
1.4 排洪设施	6	3.1 尾矿坝的坝型与实例	53
1.5 排渗设施	7	3.2 初期坝设计	54
1.6 尾矿库观测设施	8	3.2.1 初期坝设计的一般问题	54
1.7 尾矿库的安全现状	9	3.2.2 透水堆石坝	55
1.7.1 我国尾矿库的基本现状	9	3.2.3 不透水堆石坝	57
1.7.2 我国尾矿库的特点	9	3.2.4 定向爆破筑坝	58
1.7.3 我国尾矿库主要的安全问题	10	3.2.5 土坝	59
1.8 尾矿库的污染现状	11	3.2.6 风化料筑坝	61
第 2 章 尾矿库选址与工程地质勘察	13	3.3 后期堆积坝设计	62
2.1 尾矿库建造所需基础资料	13	3.3.1 尾矿的物理力学性质	62
2.1.1 尾矿资料	13	3.3.2 尾矿的水力旋流器分级	64
2.1.2 水文气象资料	14	3.3.3 后期坝的堆筑	65
2.1.3 调查资料	14	3.3.4 尾矿堆积坝的构造	69
2.1.4 测量资料	16	3.4 尾矿坝的稳定性分析	71
2.1.5 工程水文地质勘测资料	16	3.4.1 尾矿坝地下水渗流场分析	71
2.2 尾矿库的布置	21	3.4.2 孔隙压力与超孔隙压力	72
2.2.1 尾矿库布置类型	21	3.4.3 边坡稳定性分析	73
2.2.2 材料有效利用系数的概念	23	3.5 尾矿坝的地震稳定性分析	76
2.3 水的控制	24	3.5.1 概述	76
2.3.1 正常流入量处理	24	3.5.2 设计地震的选择	77
2.3.2 洪水处理	26	3.5.3 砂土对循环荷载的响应特性	79
2.4 渗漏控制	29	3.5.4 地震稳定性分析	80
2.4.1 渗漏控制目标	29	3.6 尾矿坝监测系统	85
2.4.2 垫层	30	3.6.1 尾矿坝监测系统的基本概念	85
2.4.3 渗流障	35	3.6.2 尾矿坝监测系统的建设原则	86
2.4.4 渗漏返回系统	36	3.6.3 尾矿坝监测的核心内容	87
2.5 库址软土地基问题处理	37	3.6.4 尾矿坝监测的常用手段	88
2.5.1 软土的概念	37	3.6.5 尾矿坝安全的分析评价	91
2.5.2 软土地基处理	37	3.6.6 尾矿坝在线监测系统	91
2.5.3 软土地基上尾矿堆坝的稳定 计算	40	第 4 章 尾矿库排洪系统设计及排水构 筑物	93
2.5.4 软土地基筑坝的观测要求	43	4.1 尾矿库排洪系统概述	93
2.5.5 地基沉降计算	43	4.1.1 排洪系统布置原则	93
2.6 库区工程地质勘察	44		

4.1.2	排洪计算步骤简介	93	5.3.2	管道输送	156
4.1.3	排洪构筑物的类型	94	5.4	尾矿堆排及筑坝	159
4.2	洪水处理	95	5.4.1	尾矿堆排	159
4.2.1	一般常用计算方法	95	5.4.2	干式尾矿筑坝	159
4.2.2	水量平衡法	100	5.4.3	工程实例	160
4.2.3	截洪沟的排洪流量计算	102	第6章	尾矿库安全评价	163
4.3	调洪演算	102	6.1	尾矿库安全预评价	163
4.4	排水系统水力计算	103	6.1.1	准备阶段	163
4.4.1	井-管(或隧洞)式排水系统	103	6.1.2	辨识与分析危险有害因素	163
4.4.2	斜槽-管(或隧洞)式排水系统	106	6.1.3	划分评价单元	165
4.4.3	明口隧洞	107	6.1.4	选择预评价方法	165
4.4.4	侧槽式溢洪道	108	6.1.5	定性、定量评价	165
4.5	排水管及斜槽	113	6.1.6	提出安全对策措施建议	167
4.5.1	排水管的形式	113	6.1.7	评价结论	167
4.5.2	排水管的构造要求	113	6.1.8	编制安全评价报告	167
4.6	排水隧洞	114	6.2	尾矿库安全验收评价	168
4.6.1	隧洞常用断面开头及实例	114	6.2.1	准备阶段	168
4.6.2	隧洞线路布置原则	114	6.2.2	辨识与分析危险有害因素	168
4.6.3	隧洞衬砌的作用和形式	115	6.2.3	划分评价单元	168
4.6.4	隧洞衬砌的构造要求	116	6.2.4	选择验收评价方法	169
4.6.5	施工方法对隧洞衬砌的影响	117	6.2.5	定性、定量评价	169
4.6.6	喷锚衬砌简介	118	6.2.6	安全对策措施建议	171
4.7	溢洪道	118	6.2.7	评价结论	172
4.7.1	尾矿库溢洪道概述	118	6.2.8	编制安全评价报告	172
4.7.2	引水渠	119	6.3	尾矿库现状评价	172
4.7.3	溢流堰	119	6.3.1	准备阶段	172
4.7.4	陡槽	119	6.3.2	辨识与分析危险有害因素	175
4.8	排水井	120	6.3.3	划分评价单元	175
4.8.1	简介	120	6.3.4	选择现状评价方法	175
4.8.2	排水井的荷载计算	120	6.3.5	定性、定量评价	175
4.8.3	排水井的计算与构造	122	6.3.6	安全对策措施建议	176
第5章	尾矿干式堆存	125	6.3.7	评价结论	176
5.1	尾矿浓缩	125	第7章	尾矿库安全运行	177
5.1.1	浓缩的基本原理	125	7.1	安全生产管理职责	177
5.1.2	耙式浓缩机	134	7.2	应急预案	178
5.1.3	高效浓缩机	142	7.2.1	总则	178
5.1.4	深锥浓缩机	145	7.2.2	事故应急救援组织机构及职责	179
5.1.5	水力旋流器	145	7.2.3	建立事故(灾害)应急救援的各种保障	181
5.2	尾矿过滤	146	7.2.4	应急救援运行(响应)程序	181
5.2.1	过滤概述	146	7.2.5	现场恢复	182
5.2.2	过滤理论	147	7.2.6	预案管理与评审改进	182
5.2.3	过滤机的分类、选择和计算	151	7.2.7	尾矿库的应急处理	182
5.3	尾矿输送	155	7.3	尾矿库的安全管理	184
5.3.1	带式输送机	155	7.3.1	尾矿库管理的任务、机构与职责	184

7.3.2	尾矿库的安全管理制度	185	10.5.2	玻璃	213
7.3.3	尾矿库的规划	186	10.5.3	耐火材料	214
7.3.4	尾矿库的险情预测	187	10.5.4	陶粒	214
7.3.5	尾矿库的闭库	187	10.5.5	型砂	214
7.3.6	尾矿库的档案工作	188	10.5.6	混凝土的掺和料	215
7.4	尾矿库水位控制与防汛	188	10.6	利用尾矿作充填材料	216
7.4.1	结构的基本功能	189	10.6.1	概述	216
7.4.2	混凝土建筑物病害的主要现象	189	10.6.2	全尾砂胶结充填技术	217
7.4.3	裂缝检查与治理	190	10.6.3	高水固结尾砂充填技术	222
7.5	尾矿坝的维护	191	10.7	尾矿土地复垦	226
7.5.1	尾矿坝的安全治理	191	10.7.1	概述	226
7.5.2	尾矿坝的抢险	198	10.7.2	尾矿复垦规划	227
7.5.3	尾矿库的巡检	199	10.7.3	尾矿工程复垦	228
第8章	尾矿库安全检查	200	10.7.4	生物复垦	228
8.1	防洪安全检查	201	10.7.5	生态农业复垦技术	229
8.2	尾矿坝安全检查	202	第11章	尾矿库事故教训	231
8.3	库区安全检查	203	11.1	因洪水而发生的事故	231
第9章	尾矿库闭库	204	11.2	因坝体失稳而发生的事故	232
9.1	闭库设计	204	11.2.1	火谷都尾矿库	232
9.2	施工及验收	205	11.2.2	鸿图选矿厂尾矿库	233
9.3	尾矿库闭库后的维护	206	11.2.3	镇安金矿尾矿坝	234
第10章	尾矿综合利用	207	11.3	因渗流破坏而发生的事故	234
10.1	尾矿综合利用的意义	207	11.4	因排洪设施损坏而发生的事故	234
10.2	提取有价金属	208	11.5	其他原因造成的溃坝事故	236
10.3	利用尾矿烧制水泥	209	11.5.1	责任事故	236
10.4	利用尾矿制砖	209	11.5.2	因地震液化而发生的溃坝	237
10.4.1	铁尾矿制砖	210	11.5.3	因坝基沉陷发生的事故	237
10.4.2	铅锌尾矿制砖	210	11.5.4	因非法开采造成的事故	237
10.4.3	铜尾矿制砖	210	11.6	事故教训及对策	237
10.4.4	金尾矿制砖	210	附录	尾矿库建设与管理相关法规和技术	
10.4.5	钨尾矿制砖	211		规范	240
10.5	利用尾矿制造其他建筑材料	211	参考文献		242
10.5.1	铸石	211			

第1章 概 述

1.1 尾矿设施的功能及组成

(1) **尾矿设施的概念** 金属和非金属矿山开采出的矿石，经选矿厂破碎和选别，选出大部分有价值的精矿以后，剩下泥砂一样的“废渣”，称为尾矿。这些尾矿每年以亿吨计算，不仅数量大，而且有些尾矿中还含有暂时未能回收的有用成分，若随意排放，不仅会造成资源流失，更重要的是大面积覆没农田、淤塞河道，造成严重的环境污染，因此，必须将尾矿加以妥善处理。尾矿除一部分可作为建筑材料、充填矿山采空区以及用于海岸造地等外，绝大部分都需要妥善贮存在尾矿库内。一般情况下，在山谷口部或洼地的周围筑成堤坝形成尾矿贮存库，将尾矿排入库内沉淀堆存，这种专用贮存库称为尾矿库或尾矿场、尾矿池。将选矿厂排出的尾矿送往指定地点堆存或利用的技术，称为尾矿处理。从广义上说，为尾矿处理所建造的全部设施系统，均称之为尾矿设施。但诸如用尾矿作建材，用尾矿充填采空区，尾矿水的专门净化处理等虽也属于尾矿处理，但由于这类处理技术专业性强，内容涉及面广，故一般尾矿设施主要指尾矿输送、尾矿堆存、尾矿库排洪和尾矿库回水4个系统的工程。

(2) **尾矿设施的组成** 尾矿设施一般由尾矿输送系统、尾矿堆存系统、尾矿库排洪系统、尾矿库回水系统和尾矿水净化系统等几部分组成。

① **尾矿输送系统**。该系统一般包括尾矿浓缩池、砂泵站、尾矿输送管道、尾矿自流沟、事故泵站及相应辅助设施等。

② **尾矿堆存系统**。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。

③ **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。

④ **尾矿水处理系统**。该系统包括尾矿库澄清水的回水设施和尾矿水的净化设施。

回水设施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。

尾矿水的净化设施主要指当需要外排的尾矿库澄清水水质含有未能满足排放标准的物质而必须进行专门净化的处理设施。

(3) **尾矿设施的功能**

① **保护环境**。选矿厂产生的尾矿不仅数量大，颗粒细，且尾矿水中往往含有多种药剂，如不加处理，则必将成为矿山严重的污染源。将尾矿妥善贮存在尾矿库内，可防止尾矿及尚未澄清的尾矿水外溢污染环境。

② **充分利用水资源**。选矿厂生产需大量用水，通常每处理1t原矿需用水4~6t；有些重力选矿甚至高达10~20t。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

的水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。一般回水利用率达70%~90%。

③ 保护矿产资源。有些尾矿还含有大量有用矿物成分，甚至是稀有和贵金属成分，由于种种原因，或在目前选矿技术尚未达到的情况下，一时没有全部选净，将其暂贮存于尾矿库中，可待将来再进行回收利用。

1.2 尾矿库类型

尾矿库是筑坝拦截谷口或围地构成的，用于贮存金属、非金属矿山进行矿山选别后排出尾矿或其他工业废渣的场所。

尾矿库通常有下列几种类型。

(1) 山谷型尾矿库 山谷型尾矿库是在山谷谷口处筑坝形成的尾矿库，如图1-1所示。它的特点是：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，当堆坝较高时，可获得较大的库容；库区纵深较长，尾矿水澄清距离及干滩长度易于满足设计要求；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。

(2) 傍山型尾矿库 傍山型尾矿库是在山坡脚下依山筑坝所围成的尾矿库，

如图1-2所示。它的特点是：初期坝相对较长，初期坝和后期尾矿堆坝工程量较大；由于库区纵深较短，尾矿水澄清距离及干滩长度受到限制，后期坝堆积高度一般不太高，故库容较小；汇水面积虽小，但调洪能力较低，排洪设施的进水构筑物较大；由于尾矿水的澄清条件和防洪控制条件较差，管理、维护相对比较复杂。国内丘陵地区中小矿山常选用这种类型的尾矿库。

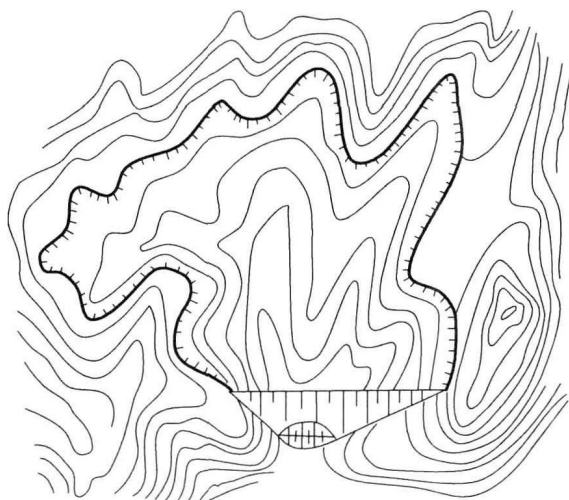


图 1-1 山谷型尾矿库

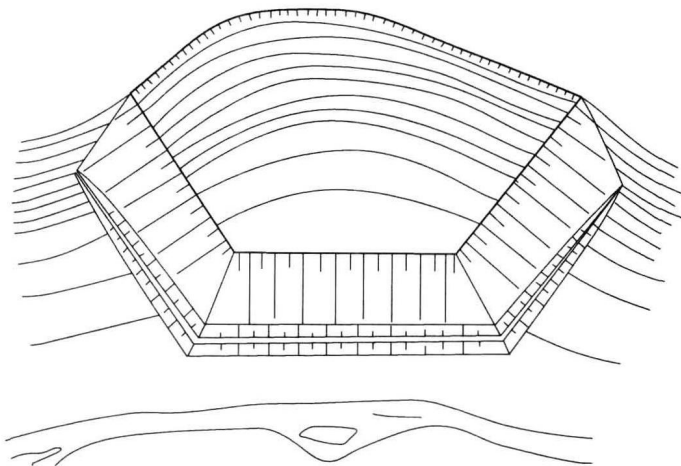


图 1-2 傍山型尾矿库

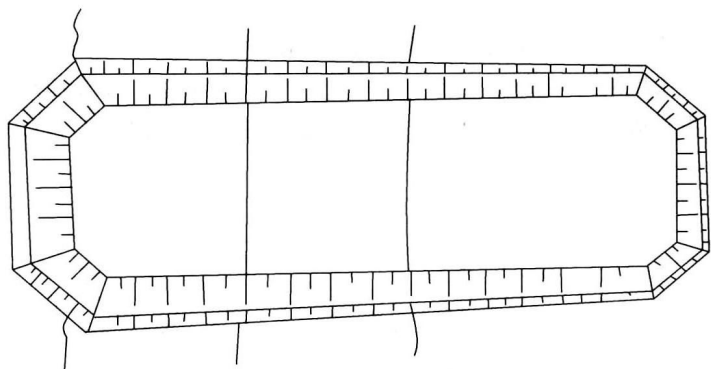


图 1-3 平地型尾矿库

(3) **平地型尾矿库** 平地型尾矿库是在平缓地形周边筑坝围成的尾矿库，如图 1-3 所示。其特点是：初期坝和后期尾矿堆坝工程量大，维护管理比较麻烦；由于周边堆坝，库区面积越来越小，尾矿沉积滩坡度越来越缓，因而澄清距离、干滩长度以及调洪能力都随之减小，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，例如金川、包钢和山东省一些金矿的尾矿库。

(4) **截河型尾矿库** 截河型尾矿库是截取一段河床，在其上、下游两端分别筑坝形成的尾矿库，如图 1-4 所示。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。它的特点是：不占农田；库区汇水面积不太大，但尾矿库上游的洪水面积通常很大，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，国内采用得不多。

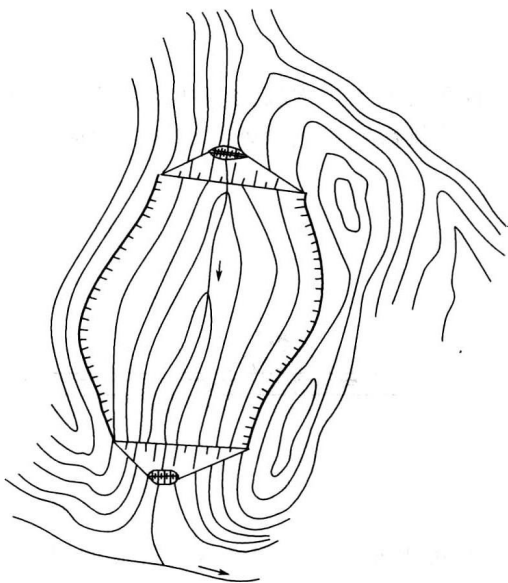


图 1-4 截河型尾矿库

1.3 尾矿坝

尾矿坝是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。

初期坝是在基建中用作支撑后期尾矿堆存体的坝。初期坝可分为不透水坝和透水坝。

不透水初期坝——用透水性较小的材料筑成的初期坝。因其透水性远小于库内尾矿的透水性，不利于库内沉积尾矿的排水固结。当尾矿堆高后，浸润线往往从初期坝坝顶以上的尾矿堆积坝坝坡溢出，造成坝面沼泽化，不利于后期坝坝体的稳定。这种坝型适用于挡水式尾矿坝或尾矿堆积坝不高的尾矿坝。

透水初期坝——用透水性较好的材料筑成的初期坝。因其透水性大于库内沉积尾矿，有利于后期坝的排水固结，并可降低坝体浸润线，提高坝体的稳定性。它是比较合理的初期坝坝型。

初期坝的坝型及其特点如下。

① 均质土坝。用黏土、粉质黏土或风化土料筑成的坝，如图 1-5 所示，它像水坝一样，属典型的不透水坝型。在坝的外坡脚往往设有毛石堆成的排水棱体，以降低坝体浸润线。该坝型对坝基工程地质条件要求不高，施工简单，造价较低。在早期或缺少石材地区应用较多。

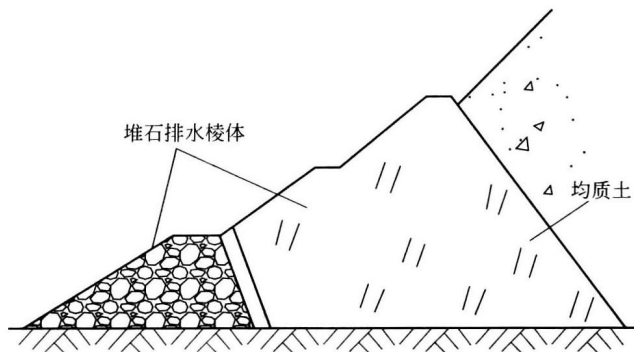


图 1-5 均质土坝

若在均质土坝内坡面和坝底面铺筑可靠的排渗层，如图 1-6 所示，使尾矿堆积坝内的渗水通过此排渗层排到坝外，这样，便成了适用于后期尾矿堆坝要求的透水土坝。

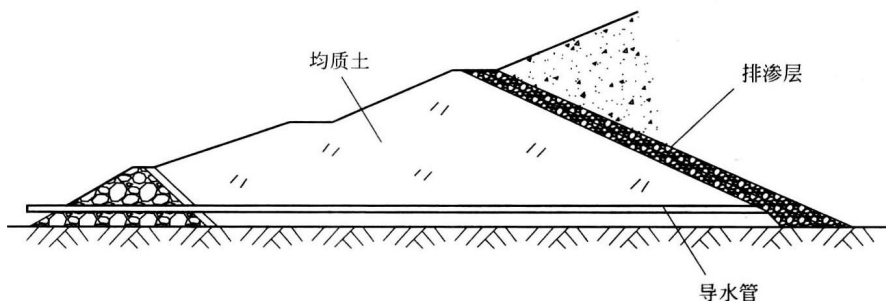


图 1-6 透水土坝

② 透水堆石坝。用堆石堆筑成的坝，如图 1-7 所示。在坝的上游坡面用天然反滤料或土工布铺设反滤层，可防止尾砂流失。该坝型能有效地降低后期坝的浸润线。由于它对后期坝的稳定有利，且施工简便，因此成为 20 世纪 60 年代以后广泛采用的初期坝型。

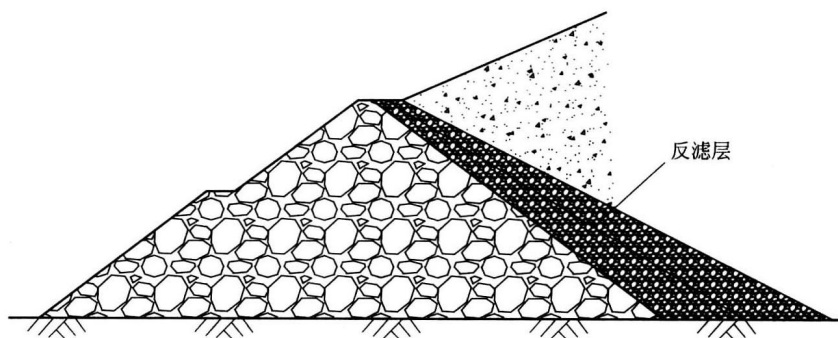


图 1-7 堆石透水坝

③ 砂、石透水堆石坝。该坝型对坝基工程地质条件要求也不高。当质量较好的石料数量不足时，也可采用一部分较差的砂石料来筑坝。即将质量较好石料铺筑在坝体底部及上游

坡一侧（浸水饱和部位），而将质量较差的砂石料铺筑在坝体的次要部位，如图 1-8 所示。

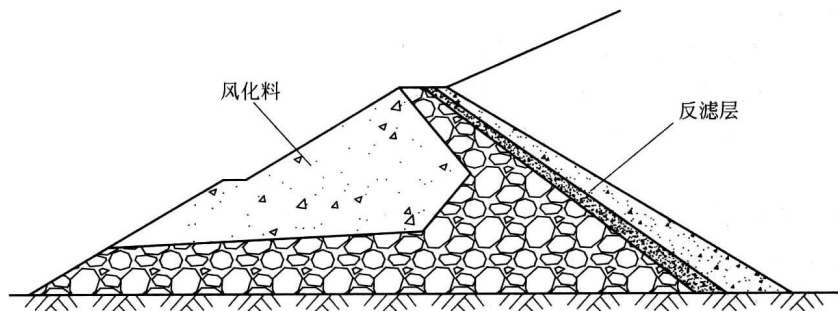


图 1-8 砂、石透水堆石坝

④ 废石坝。用采矿剥离的废石筑坝。有两种情况：一种是当废石质量符合强度和块度要求时，可按正常堆石坝要求筑坝；另一种是结合采场废石排放筑坝，废石不经挑选，用汽车或轻便轨道直接上坝卸料，下游坝坡为废石的自然安息角，为安全起见，坝顶宽度较大，如图 1-9 所示。在上游坡面应设置砂砾料或土工布做成的反滤层，以防止坝体土颗粒透过堆石而流失。

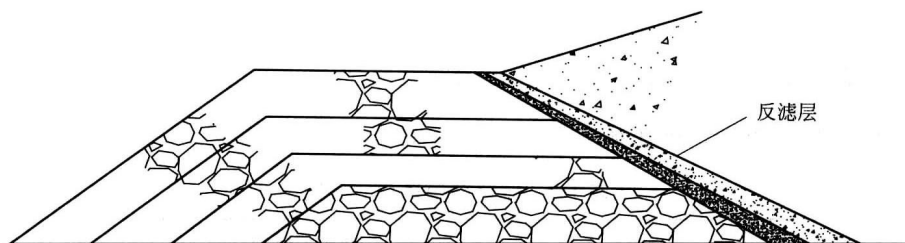


图 1-9 采矿废石透水堆石坝

⑤ 砌石坝。用块石或条石砌成的坝，分为干砌石坝和浆砌石坝两种。这种坝型的坝体强度较高，坝坡可做得比较陡，能节省筑坝材料，但造价较高。可用于高度不大的尾矿坝，但对坝基的工程地质条件要求较高，坝基最好是基岩，以免坝体产生不均匀沉降，导致坝体产生裂缝。

⑥ 混凝土坝。用混凝土浇筑成的坝。这种坝整体性好，强度高，因而坝坡可做得很陡，筑坝工程量比其他坝型都小，但工程造价高，对坝基条件要求高，应用较少。

堆积坝是生产过程中在初期坝坝顶以上用尾矿充填堆筑而成的坝。尾矿堆积坝的筑坝方式有上游式、中线式、下游式和浓缩锥式等。

上游式是在初期坝上游方向充填堆积尾矿的筑坝方式。

中线式是在初期坝轴线处用旋流分级粗尾砂冲积尾矿的筑坝方式。

下游式是在初期坝下游方向用旋流分级粗尾砂冲积尾矿的筑坝方式。

沉积滩是水力冲积尾矿形成的沉积体表层，常指露出水面部分。

滩顶是沉积滩面与堆积坝外坡的交线，为沉积滩的最高点。

滩长是由滩顶至库内水边线的水平距离。

最小干滩长度是设计洪水位时的干滩长度。

安全超高是尾矿坝沉积滩顶至设计洪水位的高差。

最小安全超高是规定的安全超高最小允许值。

坝高是对初期坝和中线式、下游式筑坝为坝顶与坝轴线处坝底的高差；对上游式筑坝则为堆积坝坝顶与初期坝坝轴线处坝底的高差。

总坝高为与总库容相对应的最终堆积标高时的坝高。

堆坝高度或堆积高度为尾矿堆积坝坝顶与初期坝坝顶的高差。

尾矿库挡水坝为长期或较长期挡水的尾矿坝，包括不用尾矿堆坝的主坝及尾矿库侧、后部的副坝。

尾矿库安全设施是指直接影响尾矿库安全的设施，包括初期坝、堆积坝、副坝、排渗设施、尾矿库排水设施、尾矿库观测设施及其他影响尾矿库安全的设施。

尾矿库各使用期的设计等级应根据该期的全库容和坝高分别按表 1-1 确定。当两者的等差为一等时，以高者为准；当等差大于一等时，按高者降低一等。尾矿库失事将使下游重要城镇、工矿企业或铁路干线遭受严重灾害者，其设计等别可提高一等。

表 1-1 尾矿库等级

等 级	全库容 V /万立方米	坝高 H /m
一	二等库具备提高等级条件者	
二	$V \geq 10000$	$H \geq 100$
三	$1000 \leq V < 10000$	$60 \leq H < 100$
四	$100 \leq V < 1000$	$30 \leq H < 60$
五	$V < 100$	$H < 30$

尾矿库构筑物的级别根据尾矿库等级及其重要性按表 1-2 确定。

表 1-2 尾矿库构筑物的级别

尾矿库等级	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：主要构筑物指尾矿坝、库内排水构筑物等失事后难以修复的构筑物；次要构筑物指失事后不致造成下游灾害或对尾矿库安全影响不大并易于修复的构筑物；临时构筑物指尾矿库施工期临时使用的构筑物。

1.4 排洪设施

排洪设施是尾矿库必须设置的安全设施，其功能在于将汇水面积内汇水安全地排至库外，它的安全性和可靠性直接关系到尾矿库防洪安全。

排洪构筑物的类型及其特点：尾矿库库内排洪构筑物通常由进水构筑物和输水构筑物两部分组成。尾矿坝下游坡面的雨水用排水沟排除。排洪构筑物类型的选择，应根据尾矿库排水量的大小、尾矿库地形、地质条件、使用要求以及施工条件等因素并经技术经济比较确定。

(1) 进水构筑物 进水构筑物的基本形式有排水井、排水斜槽、溢洪道以及山坡截洪沟等。

排水井是最常用的进水构筑物，有窗口式、框架式、井圈叠装式和砌块式等类型，如图 1-10 所示。窗口式排水井整体性好，堵孔简单，但进水量小，未能充分发挥井筒的作用，

早期应用较多。框架式排水井由现浇梁柱构成框架,用预制薄拱板逐层加高。框架式排水井结构合理,进水量大,操作也较简便,从20世纪60年代后期起被广泛采用。叠圈式和砌块式等类型排水井分别用预制井圈和预制砌块逐层加高,虽能充分发挥井筒的进水作用,但加高操作要求位置准确性较高,整体性较差,应用不多。

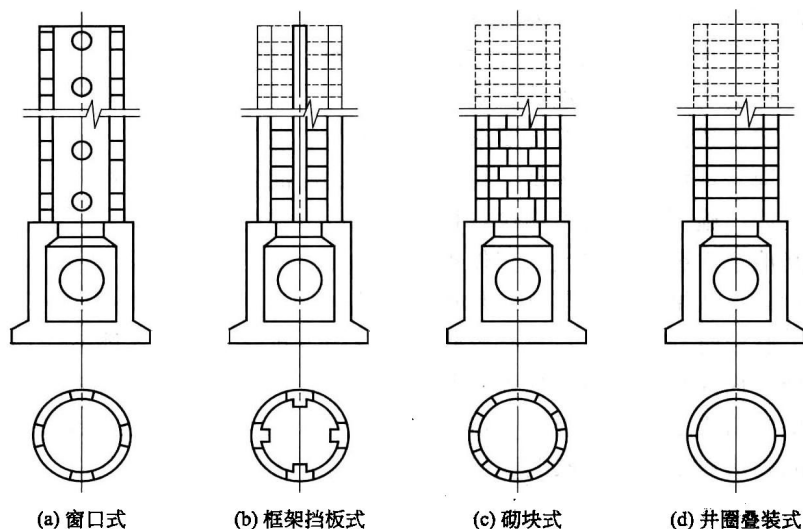


图 1-10 排水井类型

排水斜槽既是进水构筑物,又是输水构筑物。随着库水位的升高,进水口的位置不断向上移动。它没有复杂的排水井,但毕竟进水量小,一般在排洪量较小时经常采用。

溢洪道常用于一次性建库的排洪进水构筑物。为减少深度,常采用宽浅式溢洪道。

山坡截洪沟也是进水构筑物兼作输水构筑物,沿全部沟长均可进水。在较陡山坡处的截洪沟易遭暴雨冲毁,可靠性差,管理维护工作量大。

(2) 输水构筑物 尾矿库输水构筑物的基本形式有排水管、隧洞、斜槽、山坡截洪沟等。

排水管是最常用的输水构筑物。一般埋设在库内最底部,因承受荷载较大,一般采用钢筋混凝土结构。

斜槽的盖板采用钢筋混凝土板,槽身有钢筋混凝土和浆砌块石两种。钢筋混凝土管整体性好,承压能力高,适用于堆坝较高的尾矿库。但当净空尺寸较大时,造价偏高。浆砌块石涵管是用浆砌块石作为管底和侧壁,用钢筋混凝土板盖顶而成,整体性差,承压能力较低,适用于堆坝不高、排洪量不大的尾矿库。

隧洞需由专门凿岩机械施工,故净空尺寸较大。它的结构稳定性好,是大中型尾矿库常用的输水构筑物。当排洪量较大,且地质条件较好时,隧洞方案往往比较经济。

(3) 坝坡排水沟 坝坡排水沟有两类:一类是沿山坡与坝坡结合部设置浆砌块石,以防止山坡暴雨汇流冲刷坝肩;另一类是在坝体下游坡面设置纵横排水沟,将坝面的雨水导流排出坝外,以免雨水滞留在坝面造成坝面拉沟,影响坝体的安全。

1.5 排渗设施

排渗设施是为排除尾矿坝坝体渗水,增强坝体稳定性,在坝内设置的排水系统。尾矿库

内的水沿尾矿颗粒间的孔隙向坝体下游方向不断渗透形成渗流。稳定渗流的自由水面线称为浸润线。尾矿坝内浸润线位置越高,坝体稳定性越差,地震液化的可能性也越大。坝内设置排渗设施可有效地降低浸润线,并有利于尾矿泥的排水固结,是增强坝体稳定性的重要措施。尾矿坝的排渗设施主要有水平排渗、竖向排渗和竖向水平组合排渗等三种基本类型。按排渗类型及排渗材料划分,主要分为排渗盲沟、排渗井、排渗褥垫、初期堆石坝排渗等主要几种。尾矿坝是否设置排渗设施,应通过渗流计算和稳定性分析确定。排渗设施尽可能预先埋设,以节省工程费用。当尾矿坝堆积到一定调度后,受不可预计因素影响,出现浸润线过高,抗滑稳定性或渗透稳定性不符合要求时,才采用后期补设。

(1) **排渗盲沟** 预设排渗盲沟是一种传统的降低浸润线的办法。该方法在堆坝期间由人工敷设,造价较低,施工简单,工期快,投入使用后不需要设备和动力,平常不需要人管理且又不受外部其他条件影响,因此一直作为一种较理想的设施被普遍采用。盲沟的反滤层选材及纵坡控制对排渗效果有很大影响,是在设计及施工过程中需要注意的问题。

该方法完工后当时并不见效,只有等到浸润线超过排渗盲沟后才能起作用,而且排渗盲沟必须在坝体增容加高施工前进行预埋,预埋设施安装好后,经过随后的堆载、碾压等扰动后,再经过后期固结排水作用,极易造成预埋排渗设施失效或堵塞,这种现象非常普遍,而且这种传统的办法对于已存在浸润线过高现象的坝体无能为力。

(2) **辐射式排渗井** 辐射井自流排渗是近年来新兴的降低坝体浸润线的工程措施,具有适应性强、排渗效果显著、支行时间长以及支行成本低等特点,且无传统手段排渗效率低、容易失效和堵塞等缺点。其基本工作原理:将大口径钢筋混凝土井筒沉入地下,在井内向尾矿库施工水平滤水管,收集渗水,利用长距离导水管将渗水排出,实现自流,达到长期、稳定的降水效果。辐射井自流排渗应用于已在浸润线过高现象的尾矿库,可以快速有效地降低坝体浸润线,提高坝体最小安全系数,可以很好地治理一些被判定为病坝、险坝及危坝的尾矿坝。

(3) **排渗褥垫** 铺设在土石坝的下游坝体与坝基之间的水平排水体。均质土坝或心墙坝的下游坝体填料如透水性弱,可采用排渗褥垫,以便有效地降低坝体浸润线,防止渗流由下游坝坡溢出。排渗褥垫的构造是在顶层和底层铺筑砂砾料作为反滤层,中间填以块石、大卵石作为排水层。也有不设块石、大卵石中间层的,但排渗效果较差。

(4) **初期堆石坝** 用堆石堆筑成的坝,一般在坝的上游坡面用天然反滤料或土工布铺设反滤层,防止尾砂流失。该坝型可以有效地降低后期尾矿堆积坝的浸润线,非常有利于后期坝的稳定性,而且施工简便,因此在20世纪60年代以后,尾矿坝初期坝广泛采用堆石坝。

(5) **联合排渗设施** 尾矿坝的排渗至关重要,往往在尾矿坝内采用几种排渗方向相结合的方法来有效降低坝体浸润线。近些年来,水平向排渗与竖向排渗有机组合的联合排渗方式应用广泛,它有很多优点,但造价一般较高。

1.6 尾矿库观测设施

观测设施的功能在于监测尾矿库运行状态的各种参数,尾矿库运行状态是否正常须根据尾矿库观测设施实测数据进行定量判别。尾矿库观测设施主要有库水位观测、坝体位移观测、浸润线观测、构筑物变形观测、渗流水观测等。也有少数尾矿坝曾埋设过孔隙水、坝体固结等观测设施。由于尾矿库往往远离厂区,又处于野外露天状态,范围较广。一些精密自动观测仪器易受各种自然或人为因素损坏,所以尾矿库观测设施的设置应以简便有效、能及

时正确指导生产管理为原则。《尾矿库安全技术规程》5.3.26 中规定：“4 级以上尾矿坝应设置坝体位移和坝体浸润线观测设施。必要时还宜设置孔隙水压力、渗透水量及其浑浊度的观测设施。”

(1) 库水位观测设施 一项完善的尾矿库设计必须给生产管理部门提供该库在各运行期的最小调洪深度 $[H_1]$ 、设计洪水位时的最小干滩长度 $[L_g]$ 和最小安全超高 $[H_c]$ ，以作为控制库水位和防洪安全检查的依据。库水位观测的目的正是根据现状库水位推测设计洪水位时的干滩长和安全超高是否满足设计的要求。

(2) 浸润线观测设施 浸润线的位置是分析尾矿坝稳定性的最重要的参数之一，因而也是判别尾矿坝安全与否的重要特征。不少尾矿坝需通过降低浸润线以增强稳定性，也必须事先了解浸润线现状的位置。因此，确切测出浸润线的观测设施是必须认真对待的一项工作。

(3) 坝体位移观测设施 目前我国尾矿坝位移观测仍以坝体表面位移观测为主，即在坝体表面有组织地埋设一系列混凝土桩作为观测标点，使用水准仪和经纬仪观测坝体的垂直（沉降）和水平位移。

(4) 排水构筑物的变形观测设施 较高的溢水塔（排水井）在使用初期可能受地基沉降而倾斜，用肉眼或经纬仪观测；钢筋混凝土排水管和隧洞衬砌常见的病害为露筋或裂缝，前者用肉眼检查，后者可用测缝仪测量裂缝宽度，以判断是否超标。

1.7 尾矿库的安全现状

1.7.1 我国尾矿库的基本现状

我国现有尾矿库 12718 座，其中在建尾矿库 1526 座，占总数的 12%，已经闭库的尾矿库 1024 座，占总数的 8%，截至 2010 年，全国尾矿堆积问题约 110 亿吨，仅 2010 年，全国尾矿排放量近 12 亿吨。尾矿的基本情况，概括起来就是“占用土地，浪费资源，污染环境，安全隐患”。有尾矿库就会占用土地，截至 2005 年，我国尾矿堆放占用土地达 1300 多万亩；我国矿产资源 80% 为共伴生矿，由于我国矿业起步较晚，选矿技术发展不平衡，大量有价值的资源留在尾矿中，造成对资源的浪费；矿石选矿过程中加入的药剂会残留在尾矿中，同时尾矿中也可能含有重金属离子，甚至有砷、汞等污染物质，会随尾矿水流入河流或渗入地下，污染河流及地下水源。尾矿库的溃坝事故更是不在少数，造成大量人员伤亡及财产损失。

1.7.2 我国尾矿库的特点

相对国外的尾矿库来说，我国尾矿库从安全的角度分析有一些很明显的特点。

(1) 坝的分级标准高 我国尾矿库从设计规范上规定，坝高低于 30m 的为五等库，即最小的一类库，低于 60m 的为四等库，低于 100m 的为三等库，高于 100m 的为二等库。而前苏联的尾矿库的标准是：坝高低于 25m 的为小型库，坝高低于 50m 的为中型库，坝高高于 50m 的为大型库。在南非，坝高小于 12m 的为小型库，坝高小于 30m 的为中型库，坝高高于 30m 的为大型库。

由于我国土地资源紧张，征地很困难，20 世纪 60 年代以来建造的尾矿库大都已处于中后期，在没有新的接替尾矿库情况下，老坝加高改造已是一种迫不得已的措施。如山西峨口铁矿在堆积到原设计坝高 160m 后，改为中线式堆坝，而在加拿大，用同样方法筑坝一般只