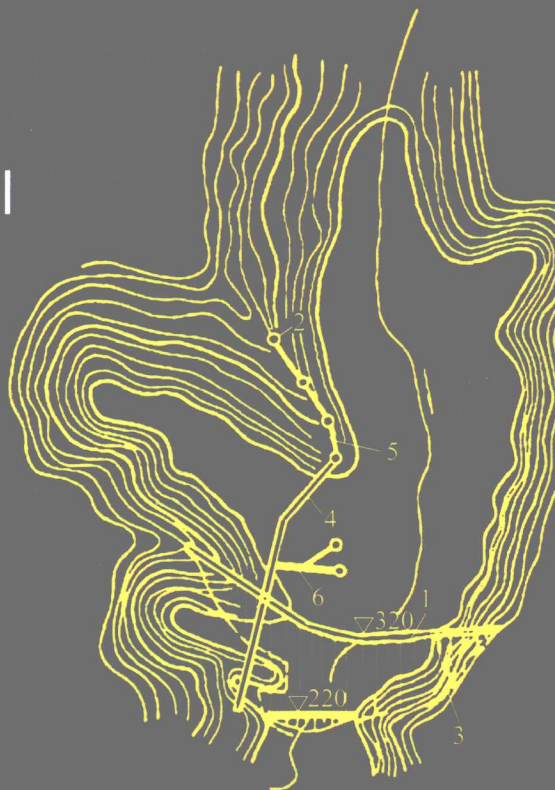


尾矿库 事故案例分析 与事故预测

柴建设 王姝 门永生 编著

WEIKUANGKU
SHIGU ANLI FENXI
YU SHIGU YUCE



化学工业出版社

国家“十一五”科技支撑计划课题（2006BAK04B01）

尾矿库 事故案例分析 与事故预测

柴建设 王姝 门永生 编著



560055

广西工学院鹿山学院图书馆



d560055



化学工业出版社

·北京·

本书是基于尾矿库事故统计分析的尾矿库事故预警预测的著作。书中介绍了尾矿库的基础知识,归纳和总结了影响尾矿库安全的主要因素,并结合国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAK04B01)的研究,通过对我国尾矿库以及国内外尾矿库事故典型案例的总结和分析,研究了溃坝模式、致灾机理等尾矿库事故基础理论,重点研究了基于SPSS的尾矿库事故预测模型,为尾矿库事故预警预测提供了新的思路和方法。

本书是一本理论和实践相结合的著作,可供安全生产监督管理人员、科技工作者和大专院校相关专业师生参考,也可为尾矿库安全生产的现场技术和管理提供帮助和支持。

图书在版编目(CIP)数据

尾矿库事故案例分析与事故预测/柴建设,王姝,
门永生编著. —北京:化学工业出版社,2010.9
ISBN 978-7-122-09014-0

I. 尾… II. ①柴…②王…③门… III. ①尾矿-矿山
事故-事故分析②尾矿-矿山事故-预测 IV. TD77

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第129362号

责任编辑:周永红 杜进祥
责任校对:边涛

装帧设计:尹琳琳

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司
720mm×1000mm 1/16 印张13 $\frac{1}{4}$ 字数246千字
2011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:35.00元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

尾矿库是许多矿山重要的生产设施，它运行状况的好坏，直接关系到矿山的生产安全和人民的生命和财产安全。因此，世界各国在矿山建设中都非常重视尾矿库的建设和管理。美国克拉克大学公害评定小组的研究表明，尾矿库事故的危害在世界 93 种事故、公害的隐患中，名列第 18 位。它仅次于核爆炸、神经毒气、核辐射等危害，而比航空失事、火灾等其他 60 种灾害严重，直接引起百人以上死亡的事故并不鲜见。

近年来，我国尾矿库重特大事故时有发生，给社会及人民的生命和财产安全造成了极大威胁和损害。如 1994 年 7 月 13 日，湖北省大冶有色金属公司龙角山铜矿尾矿库溃坝，死亡 28 人，失踪 3 人；2000 年 10 月 18 日，地处南丹县大厂镇酸水湾的鸿图选矿厂的尾砂库突然塌坝，造成下游华锡集团铜坑矿住宅区部分房屋及部分民房倒塌，共造成 28 人死亡；2007 年 11 月 25 日，辽宁省海城市鼎洋矿业有限公司尾矿库发生溃坝事故，造成 15 人死亡，2 人失踪，38 人受伤；2008 年 9 月 8 日，山西省临汾市襄汾县新塔矿业有限公司发生尾矿库溃坝事故，造成 281 人死亡，给社会带来极坏的影响。这些触目惊心的事故灾难让我们更加认识到尾矿库事故危害的严重性。因此加强尾矿库安全研究，加大监管力度，提高监管水平，防范尾矿库事故，确保尾矿库安全运行就显得十分迫切而重要。

为了准确地掌握我国尾矿库及安全情况的现状，国家安全生产监督管理总局等管理部门多次组织人员对我国尾矿库情况进行调研，取得了大量数据。据初步统计，目前我国尾矿库数量已达到 1 万多座。2006 年，国家科技部将“尾矿库风险分级及监测、预警关键技术研究”列为国家“十一五”科技支撑计划课题（2006BAK04B01），作者参与了该课题的研究并负责“在役尾矿库现场调研、资料收集和数据统计分析”的任务研究。在课题研究的基础上，形成了本书的研究成果。

本书介绍了尾矿库的一般知识，对影响尾矿库安全的主要因素进行了归纳和总结，系统地收集和整理了我国在役尾矿库的资料，全面总结和分析了国内外尾矿库典型事故案例，总结了有益的安全运行管理经验，深入研究了溃坝模式和路径、溃坝致灾机理和管涌破坏机理等尾矿库事故基础理论，得出许多有价值的成果，在此基础上重点研究了基于 SPSS 的尾矿库事故预测模型，为尾矿库事故预警预测提供了新的思路和方法。

在课题研究和著作撰写过程中，我们得到了中国安全生产科学研究院、北京有色金属设计研究总院、首都经济贸易大学安全与环境工程学院及众多矿山企业等单位的大力帮助和支持。本课题研究和本书出版得益于国家“十一五”科技支撑计划课题“尾矿库风险分级及监测、预警关键技术研究”(2006BAK04B01)的资助。本书参阅了相关领域许多研究人员和学者的成果。在此，对上述相关单位和人员表示衷心的感谢！

由于时间和作者水平等因素限制，加之有些成果还只是些理论探讨，所以书中难免存在疏漏和问题，欢迎读者批评指正！

编著者

2010年6月

第1章 尾矿库基础知识

1.1	尾矿库概述	2
1.1.1	尾矿库的类型及特点	2
1.1.2	尾矿库等级划分	3
1.1.3	尾矿库的库容	4
1.1.4	尾矿库的面积-容积曲线	4
1.2	尾矿坝	5
1.2.1	尾矿坝概述	5
1.2.2	初期坝	6
1.2.3	后期坝	8
1.3	尾矿库构筑物	11
1.3.1	排水构筑物	11
1.3.2	尾矿浓缩构筑物	15
1.3.3	尾矿水的回收与排放构筑物	17

第2章 尾矿库安全

2.1	影响尾矿库安全的主要因素	20
2.1.1	自然因素	20
2.1.2	设计因素	21
2.1.3	施工因素	21
2.1.4	管理因素	22
2.1.5	社会因素	23
2.1.6	技术因素	24

2.2 尾矿库危险有害因素及辨识 24

2.2.1 尾矿库危险因素的辨识 25

2.2.2 尾矿库危害的表现形式 26

2.3 尾矿库的环境保护 30

2.3.1 尾矿库环境污染的来源 30

2.3.2 尾矿库污染的途径 30

2.3.3 尾矿库环境污染的防治 31

第3章 我国尾矿库基本情况分析

3.1 尾矿库数据统计分析 34

3.1.1 地理分布情况 34

3.1.2 企业性质分布情况 34

3.1.3 各行业分布状况 35

3.1.4 规模等级情况 35

3.1.5 安全生产许可证领取情况 38

3.1.6 排污许可证领取情况 38

3.1.7 设计状况 38

3.1.8 筑坝方式 38

3.1.9 安全度状况 38

3.1.10 安全事故应急预案编制情况 39

3.1.11 安全评价状况 39

3.1.12 安全评价状况 39

3.1.13 环境评价状况 39

3.1.14 排洪设施完好情况 39

3.1.15 下游情况 40

3.1.16 库内违章情况 40

3.2 目前我国尾矿库安全存在的主要问题 40

3.2.1 没有全面掌握尾矿库情况 40

3.2.2 数量多、规模小 41

3.2.3 很多尾矿库无证运行 41

3.2.4 尾矿库安全度仍处于较低水平 41

3.2.5	多数尾矿库无正规设计	42
3.2.6	多数尾矿库未进行安全评价和环境评价	42
3.2.7	一些科学问题需要攻关	42

3.3 尾矿库安全管理建议 43

3.3.1	继续完善尾矿库基本数据库	43
3.3.2	企业应加强安全生产管理	43
3.3.3	完善安全评价和环境评价	43
3.3.4	完善尾矿库安全分析	44
3.3.5	完善尾矿库设计	44
3.3.6	复核安全生产许可证和环境许可证	44
3.3.7	加强宣传培训、提高管理人员和从业人员的素质	44

第4章 尾矿库事故案例分析与运行管理经验

4.1 近年来我国尾矿库事故总体情况分析 46

4.2 尾矿库事故典型案例分析 51

4.2.1	国外尾矿库事故典型案例分析	51
4.2.2	国内尾矿库事故典型案例分析	55

4.3 尾矿库运行管理经验 85

4.3.1	云南锡业公司尾矿库管理经验	85
4.3.2	中条山有色金属公司坝体滑坡和管涌的处理经验	87
4.3.3	杨山冲尾矿坝联合排渗经验	91
4.3.4	尾矿坝的动态监测	94
4.3.5	相思谷尾矿库的渗漏治理	97
4.3.6	林冲尾矿库在细泥尾矿上筑坝的经验	99
4.3.7	章家谷尾矿库加固加高扩容经验	101
4.3.8	德兴铜矿2号尾矿库安全运行管理经验	102
4.3.9	凡口铅锌矿尾矿库安全运行经验	108
4.3.10	永平铜矿尾矿库管理经验	112
4.3.11	金川有色公司选矿厂尾矿库加强技术管理的经验	114
4.3.12	铜陵有色金属公司尾矿库概况	116
4.3.13	响水冲尾矿库从尾矿中回收硫铁	119

4.3.14	井边铜矿尾矿库的闭库处理	120
4.3.15	韩家沟和莫家洼尾矿库闭库复垦经验	122
4.3.16	五公里尾矿库建筑物的覆盖情况	123
4.3.17	盘古山钨矿尾矿库安全运行与绿化	124
4.3.18	桃林铅锌矿尾矿库安全运行经验	128

第5章 尾矿库事故相关理论研究

5.1 尾矿库溃坝模式及溃坝路径研究 134

5.1.1	非汛期库水位作用下的溃坝路径	134
5.1.2	汛期洪水漫顶溃坝路径	134
5.1.3	汛期坝体结构破坏引起溃决溃坝路径	135
5.1.4	汛期坝体、坝基或坝下埋管渗透破坏溃决溃坝路径	135
5.1.5	地震荷载作用溃坝路径	135

5.2 尾矿库溃坝致灾机理研究 136

5.2.1	尾矿库坝坡失稳演化规律研究	136
5.2.2	尾矿库地震液化影响因素研究	139
5.2.3	尾矿坝裂缝演化规律研究	139

5.3 尾矿坝管涌破坏机理研究 142

5.3.1	管涌的发生机理	142
5.3.2	管涌发展为集中渗流通道机理	143
5.3.3	管涌的发生与发展影响因素	144
5.3.4	管涌破坏的判别	144
5.3.5	管涌型土类的抗渗临界水力坡降	146

第6章 基于 SPSS 的尾矿库事故预测模型

6.1 尾矿库事故原因初步分析 148

6.1.1	尾矿库事故的直接原因分析	148
6.1.2	尾矿库事故的间接原因分析	151

6.2 基于 SPSS 软件尾矿库事故预测模型 154

- 6.2.1 尾矿库事故预测模型的样本抽样方法 154
- 6.2.2 尾矿库事故预测模型样本变量的引入方法 155
- 6.2.3 尾矿库变量的因子分析 (Factor Analysis) 157
- 6.2.4 利用二分类变量逻辑回归性分析 (Binary Logistic Regression)
对尾矿库进行建模 163
- 6.2.5 库事故预测模型的实例应用 168
- 6.2.6 总结 170

6.3 基于事故预测模型的预防尾矿库事故的主要措施 171

- 6.3.1 针对直接原因对尾矿库采取的对策措施 171
- 6.3.2 针对间接原因对尾矿库采取的对策措施 176

第 7 章 尾矿库安全管理

7.1 尾矿库安全管理概述 186

- 7.1.1 尾矿库安全管理的重要性 186
- 7.1.2 尾矿库安全运行的影响因素 186
- 7.1.3 企业尾矿库安全管理机构与职责 187

7.2 尾矿库安全监督与检查 188

- 7.2.1 尾矿库安全监督 188
- 7.2.2 尾矿库安全检查 188

7.3 尾矿库事故应急救援 191

- 7.3.1 事故应急预案概述 191
- 7.3.2 事故应急处理预案的编制 192
- 7.3.3 预案实施的主要人员和机构职责 194
- 7.3.4 应急预案演习与修订 195

7.4 尾矿库安全评价 196

- 7.4.1 尾矿库安全评价的目的 196
- 7.4.2 安全评价的意义 197
- 7.4.3 安全评价程序 197

参考文献

第 1 章

尾矿库基础知识

尾矿库是选择有利地形筑坝拦截谷口或围地形成的具有一定容积，用以储存尾矿和澄清尾矿水的专用场地。尾矿库内通常设有尾矿坝、排洪系统、移动式回水泵站、值班室和尾矿分散系统等建、构筑物。

尾矿库有以下常用术语。

库长：由滩顶（对初期坝为坝轴线）起，沿垂直坝轴线方向到尾矿库周边水边线的最大距离。

全库容：尾矿坝某标高顶面、下游坡面及库底面所围空间的容积，包括有效库容、死水库容、蓄水库容、调洪库容和安全库容五个部分。

总库容：设计最终堆积坝标高时的全库容。

尾矿坝：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：基建中用作支撑后期尾矿堆存体的坝。

堆积坝：生产过程中在初期坝坝顶以上用尾矿充填堆筑而成的坝。

沉积滩：向尾矿库内排放尾矿形成的尾矿砂滩，常指露出水面的部分，也叫做沉积干滩。

滩顶：尾矿沉积滩面与堆积坝外坡面的交线，是沉积滩的最高点。

滩长：自沉积滩滩顶到库内水边线的距离，也叫做干滩长度，是尾矿库安全度的一个重要指标。

最小干滩长度：设计洪水位时的干滩长度。

安全超高：尾矿坝沉积滩顶至设计洪水位的高差。

最小安全超高：规定的安全超高最小允许值。

坝高：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；对上游式筑坝则为坝基。

尾矿库安全设施：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、尾矿库排水设施及其他影响尾矿库安全的设施。

尾矿工：指从事尾矿库放矿、筑坝、排洪和排渗设施操作的专职作业人员。

1.1 尾矿库概述

1.1.1 尾矿库的类型及特点

尾矿库是筑坝拦截或围地构成的、用以储存金属非金属矿山进行矿石选别后排出尾矿或其他工业废渣的场所，又叫尾矿池、尾矿场。尾矿库可以分为四种类型。

(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尾矿库。

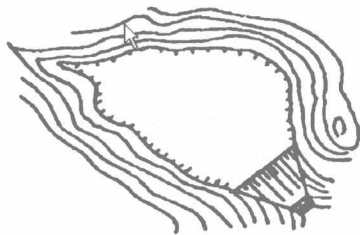


图 1-1 山谷型尾矿库

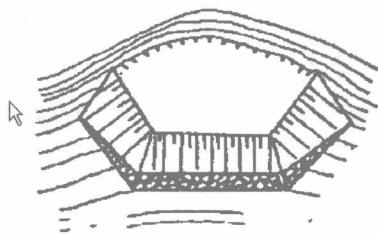


图 1-2 傍山型尾矿库

(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。它的特点是：初期坝和后期尾矿堆坝工程量较大，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少，堆坝高度受到限制，一般不高；汇水面积小，排水沟构筑物相对较小。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，规模较大。这种类型的尾矿库维护管理比较复杂，国内采用的不多。

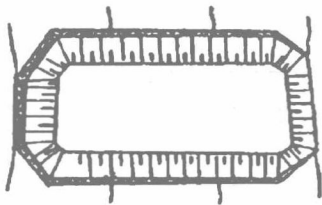


图 1-3 平地型尾矿库

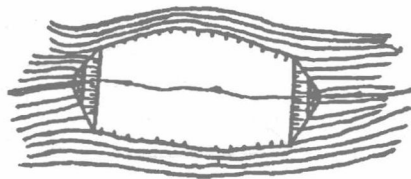


图 1-4 截河型尾矿库

1.1.2 尾矿库等级划分

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。尾矿库的等别从高到低分为五等。设计规范对等级不同的尾矿库采用的防洪标准和坝体安全系数也是不同的，一等最高，五等最低。

表 1-1 尾矿库等级

尾矿库级别	全库容 V (万立方米)	坝高 H
一	二等库具备提高等别条件者	
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	$V < 100$	$H < 30$

尾矿库构筑物的结构形式（土石坝、堆石坝、混凝土坝、砖石结构、钢筋混凝土结构、钢结构等）很多，结构设计时，首先要确定该构筑物的级别，再按各种设计规范对不同级别的构筑物采用不同的安全系数。构筑物级别按表 1-2 确定。

表 1-2 尾矿库构筑物级别

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

1.1.3 尾矿库的库容

尾矿库的库容随着堆积高度的增大而逐渐增大。某一堆积标高时，坝顶水平面 FE 以下，尾矿堆外坡面、初期坝内坡面 FGA 以内和库底地面 ABE 以上区间所形成的空间（如图 1-5 中的 $AEFG$ 部分）称为全库容。它是用来确定尾矿库等别的一个重要指示。根据设计生产年限内选矿厂排出的总尾矿量确定的最终堆积标高时的全库容称为总库容。

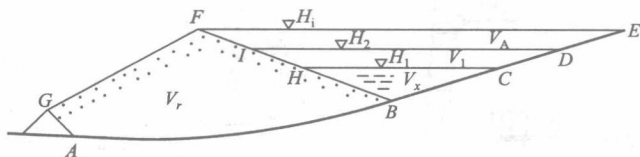


图 1-5 尾矿库库容

全库容可进一步分为有效库容、调洪库容和安全库容几个部分。

① 有效库容 尾矿沉积滩面 FB 以下、尾矿坝外坡面、初期坝内坡面 FGA 以内和库底地面 AB 以上区间所形成的空间（如图 1-5 中的 $ABFG$ 部分）。它是尾矿库实际可容纳尾矿的库容。最终堆积标高时的有效库容称为总有效库容，它表示一个尾矿库最终能容纳多少尾矿的库容。

② 调洪库容 正常库水位 HC ，尾矿沉积滩面 HI 和地面 CD 三者以上，最高洪水位 ID 以下区间所形成的空间（如图 1-5 中的 $IHCD$ 部分）。它是用来调节洪水的库容。这部分库容在正常生产情况下不允许被尾矿或水侵占。

③ 安全库容 最高洪水位 ID ，尾矿沉积滩面 IF 和地面 DE 三者以上，坝顶水平面 FE 以下区间所形成的空间（如图 1-5 中的 $FIDE$ 部分）。它是为防止洪水漫坝，确保坝的安全预留出的安全储备库容。这部分库容也是任何时候都不允许被尾矿或水侵占。

1.1.4 尾矿库的面积-容积曲线

尾矿库库容大小在地形已定的情况下随堆坝高度而变。为了清楚地表示出不同堆坝高度时的库容具体数值，可绘制出尾矿库面积-容积曲线（如图 1-6 所示）。图中的曲线 $H-F$ 是高程-库面面积曲线，曲线 $H-V$ 是高程-全库容曲线。

图中纵坐标轴代表堆坝标高，横坐标轴代表库面面积（ F ）或库容（ V ）。已知堆坝标高，在纵坐标轴上从该标高作水平线，交 $H-V$ 及 $H-F$ 曲线于 A 及 B 点，再从 A 及 B 点向下作垂线，交横坐标轴于 C 及 D 点，即可由横坐标轴上查出此堆坝高度时的全库容或库面面积大小。反之，如已知全库容大小，按相反的步骤也可查出坝顶标高。

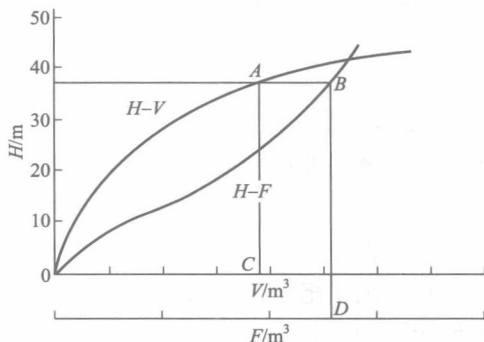


图 1-6 尾矿库的面积-容积曲线

有的面积-容积曲线图中绘出两条库容-高程曲线：一条是上面所讲的 $H-V$ 曲线，即高程-全库容曲线；另一条是 $H-V_y$ 曲线，即高程-有效库容曲线，从这条曲线上可直接查出某坝顶标高时尾矿库能堆存多少尾矿。

1.2 尾矿坝

1.2.1 尾矿坝概述

尾矿坝是尾矿库用来挡尾矿和水的围护构筑物。尾矿坝的坝高一般都较高，多在 40m 以上，有些高达 100~200m，甚至更高。用土、石材料一次修建这样高的坝所花费的基建投资十分高昂；另一方面，选矿厂排出的尾矿本身就可以作为尾矿坝的筑坝材料使用。因此，通常的做法是分期修筑尾矿坝以节省昂贵的基建投资。在选矿厂基建施工中，用当地土、石等材料修筑成的低坝叫做初期坝或基坝，用以容纳选矿厂生产初期 1~2 年排出的尾矿量并作为堆积坝的排渗及支撑棱体；选矿厂投产后，在生产过程中随着尾矿的不断排入，逐渐用尾矿来沉积加高的坝叫做后期坝或尾矿堆积坝。

尾矿坝有以下常用术语。

初期坝坝高：初期坝坝顶与坝轴线处坝底的高差。

堆坝高度：专指上游式及中线式尾矿坝而言，为尾矿堆积坝坝顶与初期坝坝顶的高差，也叫做堆积高度。

坝高：对上游式及中线式尾矿坝而言为初期坝坝高与堆积高度之和；对下游式尾矿坝而言则为坝顶与坝轴线处坝底的高差。

总坝高：最终堆积标高时的坝高。

子坝：在尾矿沉积滩滩顶部位，用尾矿砂堆筑成的或用水力旋流器沉积成的高度不大的砂堤，用以形成新的库容，敷设尾矿分散管并拦挡尾矿使之不流

到坝外。子坝属临时构筑物，以后将成为尾矿沉积滩的一部分。

1.2.2 初期坝

(1) 初期坝的坝型及特点

初期坝是基建中用作支撑后期尾矿堆存体的坝，初期坝的坝型可分为不透水和透水两大类。

不透水初期坝：用透水性较小的坝料筑成的初期坝。因其透水性较库内尾矿的透水性差，不利于坝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堆积坝坝坡逸出，造成坝面沼泽化，不利于坝的稳定性。这种坝型适用于挡水式尾矿坝或尾矿堆坝不高的尾矿坝。

不透水初期坝的主要坝型有均质土坝、浆砌石坝、土石混合坝、混凝土坝以及用防渗材料作防渗层的堆石坝等。

透水初期坝：用透水性较好的坝料筑成的初期坝。因其透水性较库内尾矿的透水性强，有利于坝内沉积尾矿的排水固结和降低坝体浸润线，因而有利于提高坝的稳定性。这种坝型是初期坝最基本的也是较理想的坝型。透水初期坝的主要坝型有堆石坝或在不透水坝内加设排渗通道的坝。

① 均质土坝 用黏土、粉质黏土或风化土料筑成的坝，它像水坝一样，属典型的不透水土坝。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，如图 1-7 所示。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。

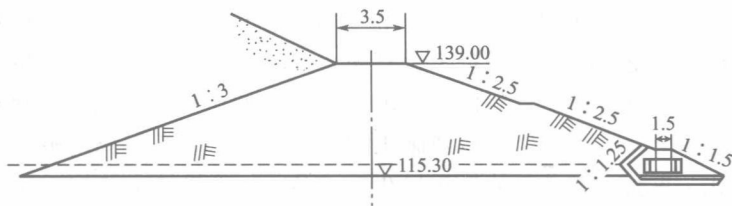


图 1-7 均质土坝

若在均质土坝内坡面和坝底面铺筑可靠的排渗层，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，如图 1-8 所示。

② 透水堆石坝 用堆石坝堆筑成的坝，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，且施工简单，成为 20 世纪 60 年代以后广泛采用的初期坝型，如图 1-9 所示。

这种坝型对坝基工程地质条件要求也较低，是 20 世纪 60 年代以后广泛采用的坝型。当单一石料的数量满足不了要求时，可以采用几种石料来筑坝：将