

周汉民 著

模袋法尾矿堆坝技术

Technology of Tailings Damming with
Geofabriform Method



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

模袋法尾矿堆坝技术

周汉民 著

北 京

冶金工业出版社

2015

内 容 提 要

本书总结了近年来我国,特别是北京矿冶研究总院,在尾矿模袋法堆坝技术方面所取得的部分研究成果,同时对该技术在国际相关领域的研究应用现状及进展做了较为系统的梳理与归纳。本书共分为两篇9章,上篇为理论篇,分为6章,分别介绍了细粒尾矿存在的问题、模袋法堆坝技术的发展历史、模袋法堆坝细观作用机理、模袋充灌试验及现场堆坝试验、模袋充填体的特性试验以及相关力学模型、模袋坝体的稳定性评价方法等内容;下篇为工程应用篇,分为3章,详细介绍了3个相关的应用案例。

本书可供尾矿库相关专业的科研、工程技术人员学习参考,也可供高等院校相关专业的教师和研究生教学使用;对河道疏浚、淤泥固化、软基处理、边坡治理、固废的环保治理等领域的相关科技人员也具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

模袋法尾矿堆坝技术/周汉民著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-5024-7110-1

I. ①模… II. ①周… III. ①尾矿—堆石坝—研究
IV. ①TD926. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 269673 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 徐银河 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7110-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2015 年 11 月第 1 版, 2015 年 11 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 12.25 印张; 237 千字; 185 页

56.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

模袋法堆坝技术是一项以土工合成材料作为包裹物，将分散的细粒料、土石料聚拢成体积大小不等及不同形状的块体，并使用这些块体堆筑坝体的新型技术。目前该技术广泛应用于水利、港口、交通、环保及矿山等领域，尤其是在细粒级固体颗粒的快速固化上效果显著。北京矿冶研究总院在国内最先将该技术吸收消化并改进后应用于矿山尾矿坝的堆坝领域。应用该技术堆筑尾矿坝后具有场地适应性强、坝体固结速度快、压实度高、抗地震液化性能强等优点，近年来相继在云南、山西、江西等地开展了相关工程应用，并取得了较好的成果。

随着我国矿产资源的大范围开发利用，以及矿物加工水平的日益提高，细粒尾矿的产生量越来越大，如何安全有效地堆存这些细粒尾矿是当前面临的一个技术难题。北京矿冶研究总院通过多年的探索与实践，研发出了细粒尾矿模袋法堆坝技术，较好地解决了细粒尾矿堆坝的难题，为细粒尾矿的堆存提供了一种新的思路与方法。

本书总结了近年来我国，特别是北京矿冶研究总院，在尾矿模袋法堆坝技术方面所取得的部分研究成果，同时对该技术在国际相关领域的研究应用现状及进展做了较为系统的梳理与归纳。作为该技术的实施单位，江苏昌泰建设工程有限公司具有丰富的模袋法堆坝施工经验，为该技术的顺利实施提供了施工保障。

本书共分为两篇，上篇为理论篇，共6章，第1章绪论介绍了细粒尾矿产生的原因、存在的问题及当前解决现状，并引申介绍了模袋法尾矿堆坝技术思路的产生背景；第2章介绍了模袋法堆坝技术的发展以及在尾矿库领域的各种应用方式；第3章介绍了细粒尾矿模袋法堆

坝作用机理；第4章介绍了细粒尾矿模袋充灌试验及现场堆坝试验；第5章从模袋体力学特性的角度介绍了细粒尾矿模袋充填体的特性试验以及相关力学模型；第6章围绕模袋体特性试验研究成果，并结合现有稳定性评价方法，开展了适用于模袋坝体的稳定性评价方法，并最终建立模袋法堆坝的质量、强度及稳定性评价体系。下篇为工程应用篇，共3章，第7章介绍了模袋法堆坝技术在云南某铜多金属矿尾矿库中的应用；第8章介绍了该技术在拜耳法赤泥固化堆存中的应用；第9章介绍了该技术在某傍山型尾矿库细粒尾矿堆坝中的应用。本书内容丰富，理论联系实际，可供相关专业的科技工作者与高等院校师生阅读参考。

本书写作过程中，多次进行了研讨和现场调研，得到过很多朋友和同事的帮助，他们对本书的内容提出了宝贵意见和建议，特别是崔旋、董威信对第1章、第6章，刘晓非、翟文龙对第2章，甘海阔、郝永波、李彦礼对第3章，韩亚兵、董威信对第4章，韩亚兵、王新岩、张树茂对第5章，刘晓非、戴先庆等对下篇的编撰提出了大量的建设性意见。崔旋、董威信和戴先庆对全书进行了审阅，作者表示衷心感谢！

由于作者水平所限，书中的不妥之处，敬请广大读者和同仁批评指正。

作 者

2015年9月

目 录

上篇 理论篇

1 绪论	1
1.1 尾矿与细粒尾矿	1
1.1.1 细粒尾矿定义及其特性	3
1.1.2 偏细粒尾矿的提出	5
1.2 尾矿的堆存处置	6
1.2.1 尾矿库及其分类	7
1.2.2 尾矿堆积坝的形式	9
1.2.3 尾矿库安全现状	12
1.3 我国细粒尾矿堆存现状	14
1.3.1 细粒尾矿堆坝特征与不利因素分析	14
1.3.2 国内细粒尾矿筑坝经验	17
1.4 模袋法堆坝技术的提出	19
参考文献	19
2 模袋法堆坝技术	21
2.1 模袋的特性和国内外应用	21
2.1.1 堤岸、河道治理	21
2.1.2 地基处理	25
2.1.3 环保治理	28
2.1.4 膨胀土处理	28
2.2 模袋法堆坝技术	29
2.3 模袋法堆坝工艺	30
2.3.1 水力充填法工艺	30
2.3.2 粒径分级充灌法工艺	32
2.3.3 全尾充灌工艺	33
2.4 模袋法堆坝技术在尾矿库中的应用方式	34
2.4.1 宽顶子坝方式	34
2.4.2 下宽上窄方式	35

2.4.3 模袋中线法(或下游法)	35
2.4.4 澄清拦挡坝、临时挡水坝方式	36
2.4.5 在水坠坝中的应用	37
参考文献	37
3 模袋法堆坝作用机理	39
3.1 模袋布滤水作用机理	39
3.1.1 过滤孔径	40
3.1.2 孔径百分比	40
3.2 模袋体作用机理	42
3.2.1 模袋体固结作用机理	43
3.2.2 模袋体破坏机理	45
3.3 加筋措施作用机理	46
3.4 排渗措施作用机理	48
3.4.1 模袋法排渗设施作用机理	48
3.4.2 排渗体防淤堵措施及其工作机理	49
参考文献	50
4 细粒尾矿模袋充灌试验	51
4.1 室内尾砂充灌试验	51
4.1.1 试验设计	51
4.1.2 试验过程	55
4.2 充灌试验结果	56
4.2.1 充灌效率	56
4.2.2 颗粒级配	58
4.2.3 强度参数	60
4.2.4 作用效应	61
4.3 现场模袋法堆坝试验	63
4.4 主要结论	66
参考文献	66
5 模袋体力学试验	67
5.1 模袋材料种类及其性能指标	67
5.1.1 模袋材料的种类	67
5.1.2 模袋材料的性能指标	70
5.1.3 常用模袋材料的一般性能	74
5.2 模袋体强度增强机理和破坏模式	76

5.2.1 模袋体强度增强机理	76
5.2.2 模袋坝体堆存方式与强度	80
5.2.3 模袋坝体可能的破坏模式	83
5.3 模袋体力学特性试验	86
5.3.1 模袋体受压试验	87
5.3.2 模袋体剪切试验	90
5.3.3 模袋体摩擦试验	94
参考文献	97
6 模袋坝体稳定性计算	98
6.1 模袋法尾矿坝坝体稳定性分析	98
6.1.1 沿模袋层间界面滑出	98
6.1.2 越过模袋结构滑出	99
6.2 刚体极限平衡法	100
6.2.1 改进的竖直条分极限平衡法	100
6.2.2 模袋刚体压坡极限平衡法	101
6.2.3 水平条分极限平衡法	105
6.3 基于模袋层间接触的有限单元分析法	111
6.3.1 岩土工程有限元分析	111
6.3.2 岩土工程接触问题分析	113
6.3.3 有限元强度折减法	115
6.4 工程应用	118
6.4.1 背景介绍	118
6.4.2 基于改进刚体极限平衡法的模袋坝体稳定性分析	119
6.4.3 基于有限元接触的模袋坝体稳定性分析	123
6.5 小结	127
参考文献	128

下篇 工程应用篇

7 云南某铜多金属矿尾矿库安全措施专项工程	129
7.1 工程概述	129
7.2 尾矿特性及其堆坝困难	129
7.2.1 尾矿粒度	130
7.2.2 尾矿沉积规律	132
7.2.3 堆积尾矿颗粒组成及其物理力学指标	135

7.2.4 尾矿的动力特性指标	140
7.3 模袋堆坝工程应用	146
7.4 模袋堆坝安全稳定性验证	148
7.4.1 现状稳定性	148
7.4.2 模袋法堆坝后的坝体稳定性分析	151
7.4.3 模袋法堆坝后的尾矿坝动力稳定性时程分析	156
7.5 工程实施	159
8 山西某铝厂赤泥库模袋堆坝试验及加高方案	163
8.1 赤泥概述	163
8.2 赤泥库简介	164
8.3 模袋法赤泥堆坝试验	165
8.3.1 细粒赤泥的粒径分级	165
8.3.2 赤泥模袋法堆坝试验现场观测	166
8.3.3 模袋内赤泥尾砂力学强度测定	171
8.4 模袋法赤泥堆坝加高方案	172
8.4.1 加高方案的可行性分析	172
8.4.2 模袋法堆坝加高扩容方案	173
8.4.3 模袋法加高后的坝体稳定性论证	173
9 云南某铜矿尾矿库加高工程	177
9.1 概述	177
9.2 尾矿性质	178
9.3 工程应用	180
9.3.1 模袋堆坝	180
9.3.2 坝体排渗及加筋措施	181
9.3.3 库水澄清措施	181
9.3.4 模袋法扩容工程实施效果	181
9.4 稳定性	182
9.4.1 计算剖面的选取	182
9.4.2 不同堆坝高度下坝体稳定性	184
9.4.3 动力稳定性时程分析	184

1.1 尾矿与细粒尾矿

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、砂状的“废渣”，称作尾矿。它一般以矿浆状态排出，以堆存方式进行处理。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因技术原因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，更重要的是有可能会大面积覆没农田、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。

尾矿堆存是一个动态的工程，从矿山的开采开始到开采终结，尾矿坝一直在变化，即面积和高度都不断增加，造成了占用土地和安全性两个大问题。由于我国人口众多、居住密集，70%的尾矿坝下游有人居住或有生产活动，一旦发生溃坝，将直接危及人民生命财产的安全，损失之巨、影响之大，备受社会和政府的关注。尾矿坝已列为安全生产的9个重大危险源之一。

根据矿物分选时的机理不同，选矿方法可分为重选、磁选、浮选、电选、光电选、化学选矿等。矿山所采出的原生矿石中，除极少数呈致密块状外，一般都是由矿石矿物和脉石矿物镶嵌分布、共同组成的，且脉石矿物含量往往远远高于矿石矿物含量。为了实现矿石矿物与脉石矿物的分离，无论何种选矿方法，第一道工序都是磨矿。不同的磨矿工艺所得到的尾矿，在颗粒分布特征上是有区别的。根据矿石的结构构造不同，磨矿工序可采用一段磨矿工艺与多段磨矿工艺，一段磨矿是直接将矿石磨至矿物分离粒度，因此尾矿的颗粒一般较粗，并且分布均匀；多段磨矿是逐级将矿石磨至分离粒度，中间插入多次分级和选别工序，因此尾矿呈现多粒级混杂，并符合一定颗粒级配的分布。对于不同类型矿石，因其结构构造的不同以及选矿精度的要求不同，其尾矿的颗粒组成差别是很大的，有的尾矿砂呈碎石状，有的则是一些比水泥还细的细粉。

为了更好地了解尾矿的属性,有必要搞清尾矿的分类。由于尾矿来源于矿石,不同种类和不同结构构造的矿石,需要不同的选矿工艺流程,而不同的选矿工艺流程所产生的尾矿,在工艺性质上,尤其在颗粒形态和颗粒级配上,往往存在一定的差异。所以到目前为止,尾矿还没有一个通用明确的分类。例如按照矿石性质来分类^[1],见表 1-1,按照选矿工艺流程的不同对尾矿进行分类^[2],见表 1-2,按照尾矿的粒度组成来分类^[3],见表 1-3。

表 1-1 按矿石性质的尾矿分类

类 别	尾 矿	一 般 特 性
软岩尾矿	细煤废渣 天然碱不溶物 钾	包含砂和粉砂质矿泥,因粉砂质矿泥中黏土的存在,可能控制总体性质
硬岩尾矿	铅-锌 铜 金-银 钼 镍(硫化物)	可包含砂和粉砂质矿泥,但粉砂质矿泥常为低塑性或无塑性,砂通常控制总体性质
细尾矿	磷酸盐黏土 铝土矿红泥 铁细尾矿 沥青矿尾矿泥	一般很少或无砂粒级,尾矿的性态,特别是沉淀-固结特性受粉砂级或黏土级颗粒控制,可能造成排放容积问题
粗尾矿	沥青砂尾矿 铀尾矿 铁粗尾矿 磷酸盐矿 石膏尾矿	主要为砂或无塑性粉砂级颗粒,显示出似砂性态及有利于工程的特性

表 1-2 按选矿工艺流程的尾矿分类

类 别	粒度情况	一 般 特 性
手选尾矿	废石状 (100 ~ 500mm); 碎石状 (20 ~ 100mm)	主要适用于结构致密、品位高、与脉石界限明显的金属或非金属矿石
重选尾矿	重介质选矿尾矿 > 2mm; 摇床选矿尾矿、溜槽选矿尾矿 < 2mm	利用有用矿物与脉石矿物的密度差和粒度差选别矿石,尾矿的粒度组成范围比较宽
磁选尾矿	0.05 ~ 0.5mm	主要用于选别磁性较强的铁锰矿石
浮选尾矿	< 0.5mm, 且小于 0.074mm 的细粒级占绝大部分	有色金属矿产最常用的选矿方法,尾矿的典型特点是粒级较细
化学选矿尾矿		化学药液在浸出有用元素的同时,也对尾矿颗粒产生一定程度的腐蚀或改变其表面状态
电选及光电选尾矿	< 1mm	目前这种选矿方法用得较少,通常用于分选砂矿床或尾矿中的贵重金属

表 1-3 按粒度组成和塑性指数的尾矿分类 (GB 50863—2013)

类 别	名 称	分 类 标 准
砂性尾矿	尾砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒质量占总质量的 25%~50%
	尾粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
	尾中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
	尾细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量的 85%
	尾粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
粉性尾矿	尾粉土	粒径大于 0.075mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%，且塑性指数不大于 10
黏性尾矿	尾粉质黏土	塑性指数大于 10，且不大于 17
	尾黏土	塑性指数大于 17

从上述分类来看，按照尾矿的粒径来分类比较科学实用。从尾矿中划分出粗粒尾矿和细粒尾矿，对于工程应用来说，更具有实际意义。根据尾矿粒度的不同，尾矿浆在进入尾矿库后表现出不一样的沉积规律，根据调研资料、试验数据和工程实践经验发现，尾矿的各种粒组在“水力充填—沉积”过程中，都有一定的沉积位置和沉积量。一般来说，各种粒组分类如下：

(1) 沉砂组 ($>0.037\text{mm}$)。在动水中沉积较快，尾矿浆单管放矿流量 $q < 20\text{L/s}$ 时，在 100m 以内几乎全部沉积形成沉积滩； $q > 20\text{L/s}$ 时，100m 以内沉积 50% 以上，在水边线前一点及入水后几乎全部沉淀下来，是形成冲积滩的主要部分。

(2) 中粉粒组 ($0.037 \sim 0.019\text{mm}$)。为推移质，在动水中沉积较慢。尾矿浆单管放矿流量 $q > 20\text{L/s}$ 时，100m 以内沉积量小于 50%； $q < 20\text{L/s}$ 时，100m 以内沉积量超过 50%。两种情况在入水前后都会沉积下来，是形成冲积滩的次要部分，水下沉积坡的主要部分。

(3) 细粉粒组 ($0.019 \sim 0.005\text{mm}$)。在静水中沉积很慢， $q > 20\text{L/s}$ 时，100m 以内很少或几乎不沉积，沉积者也是裹挟下沉的。 $q < 20\text{L/s}$ 时，100m 以内沉积量小于 50%，入水后下沉，是水下沉积坡或矿泥组成部分。

(4) 黏粒组 ($<0.005\text{mm}$)。在静水中亦很不容易沉积，形成水中悬浮物。

尾矿坝沉积示意图如图 1-1 所示。

1.1.1 细粒尾矿定义及其特性

目前对于细粒尾矿没有严格的定义。资料介绍，尾矿细度可根据平均粒径或某粒径所占百分数分类^[4]，具体见表 1-4 和表 1-5。

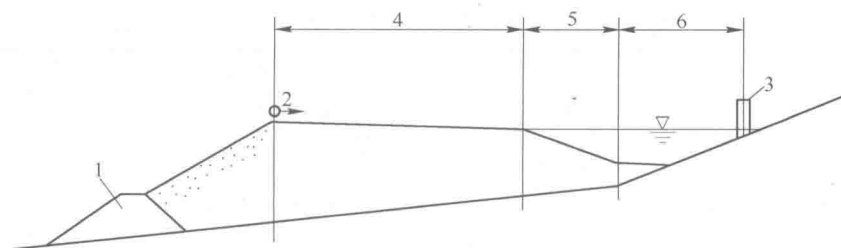


图 1-1 尾矿坝沉积示意图

1—初期坝；2—原尾矿；3—排水井；4—冲积滩；5—沉积坡；6—矿泥区

表 1-4 按平均粒径 d_p 分类

分类	粗		中		细	
	极粗	粗	中粗	中细	细	极细
d_p/mm	>0.25	>0.074	$0.074 \sim 0.037$	$0.037 \sim 0.03$	$0.03 \sim 0.019$	<0.019

表 1-5 按某粒级所占百分数分类

分类	粗		中		细	
粒级/mm	+0.074	-0.019	+0.074	-0.019	+0.074	-0.019
所占比例/%	>40	<20	$20 \sim 40$	$20 \sim 50$	<20	>50

现行尾矿设施设计规范及尾矿堆积坝工程地质勘察规程对细粒尾矿也无明确规定，有一种观点认为：“细粒尾矿是指平均粒径 $d_p \leq 0.03\text{mm}$ ，其中 -0.019mm 含量一般大于 50%、 $+0.074\text{mm}$ 含量小于 10% 和 $+0.037\text{mm}$ 含量不小于 30% 的尾矿”^[4]。分析其产生的原因主要包括：（1）由选矿厂排出的全尾砂本身就属于细粒尾矿，如部分黄金矿山为提高金的回收率，选矿厂排出的尾矿粒度很细，一般 -0.074mm （-200 目）占 95% 左右， -0.037mm （-400 目）达到 70% 左右；（2）选矿厂排出的全尾砂虽不属于细粒尾矿，但由于生产上采用了分级尾砂充填工艺，全尾砂经过分级处理后，其较粗部分用于井下充填，余下较细部分为细粒尾矿被排放到尾矿库堆坝。

根据国内筑坝实践及试验认为： $+0.037\text{mm}$ 的尾矿颗粒一般在小流量分散放矿时形成冲积滩， $-0.037 \sim +0.019\text{mm}$ 的颗粒可在水下沉积。而 -0.019mm 的颗粒除个别被裹挟而沉积在滩面外，一般不易沉积，呈流动和悬浮状态。根据试验， -0.019mm 颗粒不易沉积。悬液浓度 5%~10%，潜流速度超过 10cm/s 时，可能发生异重流。因此，一般把 0.02mm 颗粒的特性作为细粒尾矿的特性指标，具体如下：

（1）入库全颗粒尾矿中 -0.02mm 含量占 70% 以上时，有效筑坝颗粒量小于 30%，由于有效筑坝颗粒量太少，故利用尾矿筑坝的可能性很小。例如，云锡新

冠选厂原尾矿 -0.02mm 含量为 $75\%\sim 79\%$ ，未筑坝。

(2) 入库全颗粒尾矿中 -0.02mm 含量占 $60\%\sim 70\%$ 时，有效筑坝颗粒量为 $40\%\sim 30\%$ ，有可能筑坝，但筑坝高度有限。此时，应根据有效筑坝颗粒量的总体积，结合具体地形条件、坝轴线长短、筑坝上升速度、坝体尾矿排水固结条件和筑坝工艺等，确定有效滩长、外坡坡度和筑坝高度等参数。如云锡老厂背阴山冲和卡房犀牛矿， -0.02mm 含量分别为 69.86% 和 66.86% ，采用渠槽法、旋流器分级等方法后，尾矿堆积坝高度为 $10\sim 20\text{m}$ 。

(3) 入库全颗粒尾矿中 -0.02mm 含量占 $40\%\sim 60\%$ 时，有效筑坝量为 $60\%\sim 40\%$ ，在坝轴线不长、筑坝上升速度不快的情况下，采用一些有效筑坝工艺和相应辅助措施后，可利用尾矿来筑坝。五龙金矿和东风矿的尾矿坝就是具有代表性的例子。五龙矿尾矿坝已堆高至 20 余米，东风矿已堆高 30 余米（ 1979 年统计）。

(4) 入库全颗粒尾矿中 -0.02mm 含量小于 40% 时，有效筑坝颗粒量大于 60% ，在坝轴线不太长、筑坝上升速度不太快的情况下，尾矿筑坝，甚至是筑高坝是可行的。如金堆城木子沟尾矿坝利用上游法筑坝，设计坝高 142m ，已堆至设计标高。

1.1.2 偏细粒尾矿的提出

根据上述分析，当尾矿粒度为《中国有色金属尾矿库概论》及《尾矿设施设计参考资料》中给出的细粒尾矿范围 $+0.074\text{mm} < 10\%$ 、 $+0.037 \leq 30\%$ 、 $-0.019\text{mm} > 50\%$ ，平均粒径小于 0.03mm 时，采用尾矿直接堆坝的可能性不大，一般采用一次建坝，分期建设的方式堆存，该方法坝体安全性能高，但基建投资过大。而相对应的较粗粒尾矿，国内通常认为 $-0.074\text{mm} < 80\%$ 时，可采用常规上游法筑坝，这种筑坝方法简单易行，筑坝费用低。但就尾矿粒径来看， $+0.074\text{mm}$ 位于 $10\%\sim 20\%$ 时尚难以确定是否采用上游法、一次建坝或其他方式堆存。

随着矿产资源综合利用水平的提高，一方面细粒尾矿坝的数量本身在增多；另一方面选矿工艺水平的提高，导致原本粗颗粒尾矿向细颗粒尾矿转化。由于我国土地资源稀缺以及矿产资源回收率的提高，超细尾矿、高堆尾矿坝快速增多成为必然趋势。细粒尾矿的堆存问题是尾矿处理技术遇到的难题之一。根据对我国多个矿山的尾矿粒度统计数据来看（见表 1-6），目前广泛存在于我国铜矿、铅锌矿、氧化铝矿、磷矿等多领域的尾矿粒度大多介于细粒尾矿与传统可堆坝尾矿之间。这些矿山的细粒尾矿堆存问题，是一个生产实践中迫切需要解决的难题。

表 1-6 国内部分矿山尾矿粒度统计

尾矿库名称	+0.074mm	0.074~0.037mm	0.037~0.019mm	-0.019mm
云南某尾矿库	15.32%	11.99%	15.96%	56.73%
云南某铜尾矿库	16.5%	16.3%	30.9%	36.3%
甘肃某铅锌矿	11.2%	34.8%	21.2%	32.8%
赤泥库	14.6%	9.2%	9.1%	67.1%

为此,结合以往成果及工程实践,本书提出偏细粒尾矿的概念。具体是指: -0.02mm 颗粒含量小于 60%, +0.074mm 含量介于 10%~20%, -0.037mm 颗粒含量小于 70% 的尾矿。该部分尾矿一方面存在一定量可用于堆坝的 +0.037mm 尾矿,另一方面含有大量不易在静水中沉积的 -0.02mm 尾矿。一般来说,偏细粒尾矿堆坝与一般尾矿堆坝相比,主要有以下几方面难点:

(1) 偏细粒尾矿堆积坝的稳定性较差。从土力学角度考虑,土颗粒愈细其力学性质愈差,造成坝体稳定性较差。

(2) 偏细粒尾矿透水性差、固结速度慢,造成坝体上升速度不能满足选矿厂尾砂入库排放量。

(3) 偏细粒尾矿堆积坝的干滩面坡度比较缓,一般都小于 1%,粗颗粒与细颗粒沉积不规则,防洪库容和安全超高不能满足要求,给防洪度汛带来很大困难。

(4) 偏细粒尾矿堆积坝的浸润线普遍偏高,对坝体的稳定性极为不利。

(5) 子坝堆筑取砂难,沉积滩坡度缓,只有靠近坝顶很近一段距离是干硬的,可以取砂堆子坝,而滩面其他部位往往比较稀软。

(6) 粗颗粒少,上游式尾矿坝在其下游坡面有一个颗粒较粗的“坝壳”,偏细粒尾矿筑坝其“坝壳”较薄,而由更细尾矿组成的软土层则相对变厚,它不易排水固结,超孔隙水压力难以消散,对尾矿坝稳定不利。

1.2 尾矿的堆存处置

根据尾矿粒度分析、沉积规律及工程地质地形条件,即可开展相关尾矿堆存处置方案的比较与确定。一般来说,尾矿堆存形式有干式堆存和湿式堆存。目前,普遍采用的是湿式堆存的形式,即采用尾矿库的形式贮存尾矿。按照尾矿库地形的不同,有山谷型、傍山型、平地型和截河型四种方式;按照尾矿堆积方式的不同,可分为上游法、中线法、下游法、高浓度尾矿堆积法和水库式尾矿堆积法(一次建坝)五种主要形式。其中,上游法堆坝由于工艺简单、便于管理、经济合理而被广泛采用,我国有 90% 以上的尾矿库采用该法堆坝。

1.2.1 尾矿库及其分类

尾矿库是筑坝拦截谷口或围地构成的,用以贮存金属非金属矿山进行选矿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 1-2 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。

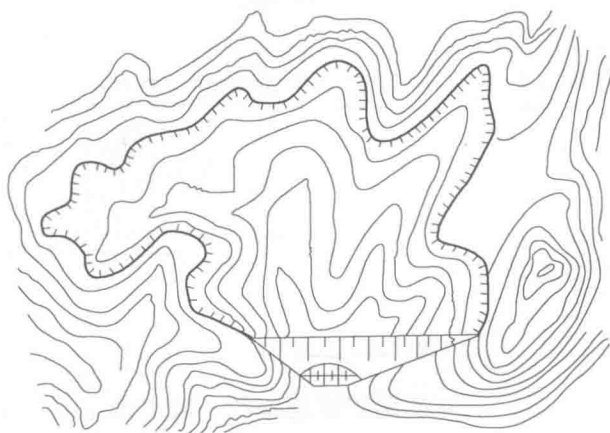


图 1-2 山谷型尾矿库

(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 1-3 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 1-4 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少,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。

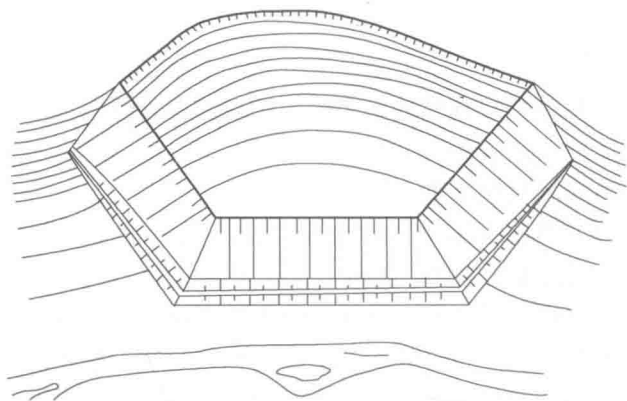


图 1-3 傍山型尾矿库

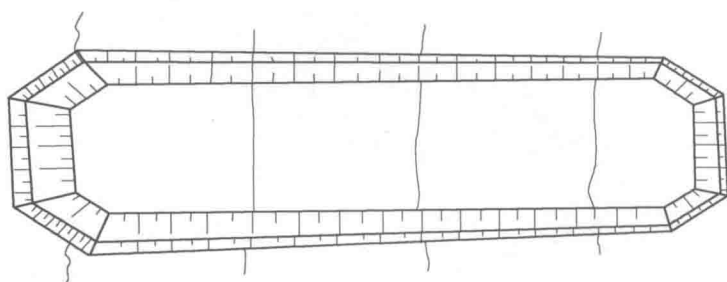


图 1-4 平地型尾矿库

(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 1-5 所示。有的在宽浅式河床上留出一定的流水宽

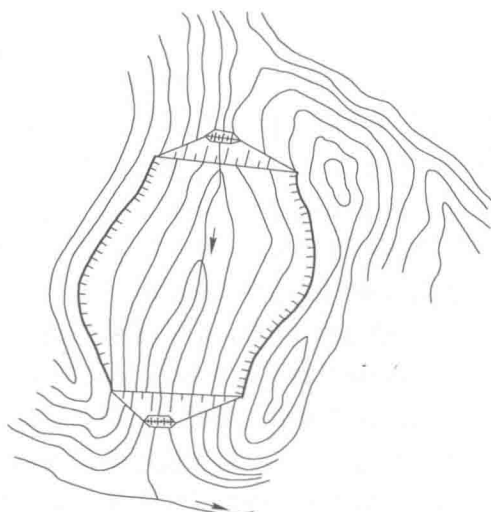


图 1-5 截河型尾矿库