

杨春和 张超 / 著

尾矿坝 安全评价 与病患治理

WeiKuangBa

AnQuanPingJia

YuBingHuanZhiLi



湖北长江出版集团
湖北人民出版社

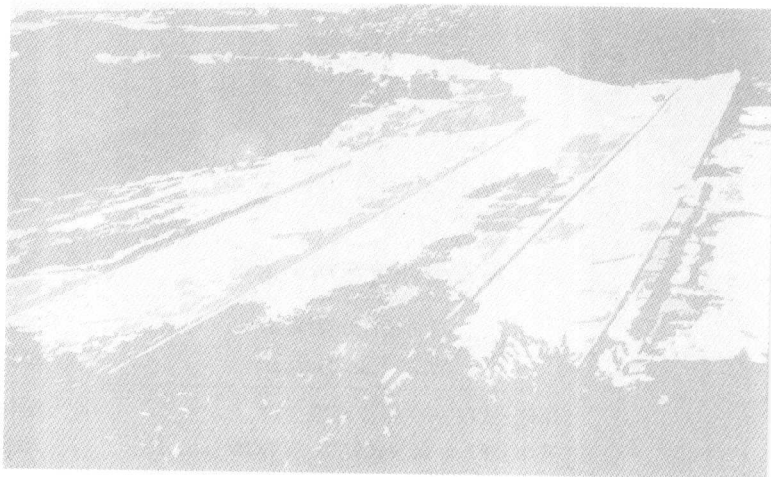
杨春和 张超 / 著

尾矿坝 安全评价 与病患治理

WeiKuangBa

AnQuanPingJia

YuBingHuanZhiLi



湖北长江出版集团
湖北人民出版社

鄂新登字 01 号

图书在版编目(CIP)数据

尾矿坝安全评价与病患治理/杨春和,张超著.

武汉:湖北人民出版社,2006.11

ISBN 7-216-04962-4

I. 尾…

II. ①杨…②张…

III. ①尾矿坝—安全生产—评价②尾矿坝—隐患处理

IV. TV649

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 145476 号

尾矿坝安全评价与病患治理

杨春和 张 超 著

出版发行: 湖北长江出版集团
湖北人民出版社

地址:武汉市雄楚大街 268 号
邮编:430070

印刷:武汉嘉亨印务有限公司
开本:787 毫米×1092 毫米 1/16
字数:292 千字

经销:湖北省新华书店
印张:16
插页:2

版次:2006 年 11 月第 1 版

印次:2006 年 11 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-216-04962-4/TV·20

定价:45.00 元

本社网址:<http://www.hbpp.com.cn>

责任编辑 卢净璇

装帧设计 戴启顺

内 容 提 要

本书以理论研究为基础,结合现场原位测试和室内土工试验,系统地论述了尾矿坝安全评价的各部分内容、原理及方法,并介绍了尾矿坝加固治理的常用方法与尾矿坝长期监测的主要内容。

全书共分为十三章,主要内容包括:我国尾矿坝的概况及其安全基本现状;尾矿坝工程地质勘察的方法以及必要的土工试验内容;尾矿坝的排水系统及调洪演算方法;研究尾矿坝的筑坝材料的主要物理力学特性,包括尾矿材料的静力和动力特性;尾矿坝坝体浸润线计算理论及方法;尾矿坝排渗工程中使用的土工织物滤层化学淤堵研究;尾矿坝坝体的超孔隙水压力的积累和消散问题;尾矿坝的稳定性计算分析理论及方法;可靠度理论在尾矿坝稳定性分析中的应用;细颗粒尾矿筑坝的可行性研究;尾矿材料的液化及坝体的液化判别的研究;常用的尾矿坝加固治理方法的介绍;关于尾矿坝的长期监测的简要介绍。同时书中还给出了部分计算实例以供读者参考。

本书是国内外第一部全面、系统地介绍尾矿坝的安全性评价和研究尾矿坝稳定性的专著,可供采矿、岩土、地质与环境学科的有关科研人员和工程技术人员参考,也可以作为矿山工程和岩土工程专业的研究生的教学参考书和研究指南。

前 言

建国以来,我国已建成了许多不同类型的尾矿设施,为我国矿业的发展提供了良好的基础。尾矿库是矿山企业生产的重要设施之一,其状况的好坏将直接影响矿山企业能否正常持续生产。一旦尾矿库发生破坏,尾矿坝发生滑坡,将直接威胁着库区人民的生命和财产安全,对矿区及其周边区域的土壤及水系造成严重的污染,这种对环境的影响是长远的和难于恢复的。随着经济的持续高速发展,我国对矿产资源的需求持续增加,尾矿坝的高度随着矿山企业的持续生产而不断增高,而尾矿坝的安全性则随着坝体的不断增高而降低。近年来我国发生了一些尾矿坝的破坏情况,造成了重大的经济损失,同时给当地的环境造成了恶劣的影响,因此对于尾矿坝的安全性评价和病患治理就显得尤为重要。

作者长期从事尾矿坝的安全性评价与治理研究工作,并参与了多个尾矿坝的安全评价和病患治理项目。为了使更多的朋友能分享这些研究成果与经验,我们编写了这本《尾矿坝安全评价与病患治理》。编写本书的指导思想是:理论为基础,试验为工具,实用为目的。

全书共分为十三章,其中第一章介绍了我国尾矿坝的基本现状;第二章介绍尾矿坝工程地质勘察的方法以及必要的土工试验内容;第三章介绍了尾矿坝的排水系统及调洪演算;第四章主要研究尾矿坝的筑坝材料的主要物理力学特性;第五章主要是讲解尾矿坝坝体的浸润线计算;第六章研究了尾矿坝排渗工程中使用的土工织物滤层化学淤堵问题;第七章研究了尾矿坝坝体的超孔隙水压力的积累和消散问题;第八章介绍了尾矿坝的稳定性计算;第九章研究了可靠度理论在尾矿坝稳定性分析中的应用;第十章探讨了细粒筑坝的可行性;第十一章研究了尾矿材料的液化及坝体的液化判别;第十二章介绍了常用的尾矿坝加固治理方法;第十三章对于尾矿坝的长期监测作了一个简要的介绍。全书中给出了部分相关的尾矿坝计算分析和治理监测等方面的实例,使全书更加浅显易懂,从而达到实用的目的。

本书第一章、第二章、第三章、第六章、第七章和第十章由杨春和执笔,第四章、第五章、第八章、第九章、第十一章、第十二章和第十三章由中国科学院武汉岩土研究所张超执笔,全书由杨春和进行统校和定稿。

中国科学院武汉岩土力学研究所的殷黎明、陈剑文、黄诚、包宏涛等博士研究生参与了本书的资料整理和文字校对工作。在本书的编写过程中,得到了陈守义研究员的大力帮助与支持。全书由陈守义研究员审稿,并在审稿过程中提出了不少宝

贵意见,在此一并表示衷心的感谢!

由于作者水平所限,书中难免有欠妥甚至错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2005 年 12 月 28 日于武汉

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 尾矿及尾矿库概述	1
§ 1.2 我国尾矿库的基本情况	7
§ 1.3 尾矿库事故情况	9
§ 1.4 尾矿库安全度划分	12
§ 1.5 尾矿库常见病害与隐患	14
第二章 尾矿坝工程地质勘察	19
§ 2.1 前言	19
§ 2.2 尾矿坝工程勘察的一般要求及内容	19
§ 2.3 尾矿坝工程勘察设计	20
§ 2.4 尾矿坝工程勘察施工	22
§ 2.5 尾矿分类标准	26
§ 2.6 尾矿室内土工试验	27
§ 2.7 尾矿坝地质剖面图绘制	28
第三章 尾矿库排水系统及调洪演算	32
§ 3.1 排水系统	32
§ 3.2 洪水计算	35
§ 3.3 调洪演算及算例	44
第四章 尾矿材料物理力学特性研究	53
§ 4.1 尾矿材料的物理特性	53
§ 4.2 尾矿材料的静力特性	56
§ 4.3 动力特性测试方法	64
§ 4.4 尾矿材料动力基本特性	66
§ 4.5 尾矿材料动强度	70

§ 4.6	尾矿材料动孔隙水压力	73
§ 4.7	尾矿材料动力特性	75
§ 4.8	尾矿材料动力变形特性	80
第五章	浸润线计算及渗透稳定性分析	85
§ 5.1	浸润线观测与出溢点调查	85
§ 5.2	二维渗流场计算	88
§ 5.3	有限差分法三维渗流场计算	94
§ 5.4	渗透稳定性分析	99
第六章	土工织物滤层化学淤堵研究	102
§ 6.1	简介	102
§ 6.2	研究方法与技术路线	103
§ 6.3	长期渗透试验	104
§ 6.4	淤堵物质的微观形态与成分检测	110
§ 6.5	土工织物淤堵机理初步探讨	114
§ 6.6	结论	115
第七章	尾矿坝超孔隙水压力问题分析	117
§ 7.1	研究意义	117
§ 7.2	尾矿土孔压消散特性的试验研究	117
§ 7.3	矿泥层内超孔隙水压力的积累和消散过程	127
§ 7.4	超孔隙水压力的近似计算方法	128
§ 7.5	算例分析	137
§ 7.6	另一种性状的尾矿泥	140
第八章	尾矿坝稳定性计算分析	143
§ 8.1	前言	143
§ 8.2	极限平衡法	143

§ 8.3	有限元应力分析	157
§ 8.4	关于尾矿坝动力稳定性分析方法的讨论	163
第九章	尾矿坝稳定性可靠度分析	166
§ 9.1	前言	166
§ 9.2	尾矿坝静力定性分析方法	167
§ 9.3	可靠性分析基本理论	170
§ 9.4	可靠度分析方法	171
§ 9.5	算例及成果分析	173
§ 9.6	结论	180
第十章	细粒筑坝可行性研究	181
§ 10.1	问题的提出	181
§ 10.2	细粒尾矿堆坝不利因素分析	181
§ 10.3	国内有色矿山细粒尾矿筑坝经验	184
§ 10.4	解决问题的可能途径	185
第十一章	尾矿坝的液化判别研究	189
§ 11.1	前言	189
§ 11.2	振动液化研究发展	190
§ 11.3	液化影响因素	192
§ 11.4	尾矿坝液化判别方法	194
§ 11.5	程序的编制	204
§ 11.6	计算实例	204
§ 11.7	结论与展望	207
第十二章	尾矿坝的加固及治理	208
§ 12.1	前言	208
§ 12.2	尾矿坝常用加固处理措施	208

§ 12.3 尾矿坝常见排渗降水措施	213
§ 12.4 结语	226
第十三章 尾矿坝的长期安全监测	227
§ 13.1 前言	227
§ 13.2 安全监测类别	227
§ 13.3 安全监测方案	230
§ 13.4 浸润线监测实例	230
§ 13.5 坝体沉降位移监测实例	234
§ 13.6 结语	239
参考文献	241

第一章 绪论

§ 1.1 尾矿及尾矿库概述

随着经济社会的快速发展,各项工程建设与地质工作的关系越来越密切,地质工作的基础性作用日益凸显。党的十六大提出,国内生产总值到2020年力争翻两番。经济的快速增长,将对矿产资源提出巨大需求。随着矿业生产的快速增长,尾矿库作为选矿厂生产设施的重要组成部分,其数量或是尾矿坝的高度也必然会随着矿业需求的增长而增长。但是过去二十多年里尾矿坝的运行情况不容乐观,尤其是近些年在我国,尾矿坝的事故情况时有发生,严重地威胁到人民的生命安全和造成巨大的经济损失,且对环境造成了不可逆转的影响。

矿山开采出来的矿石,经过选矿破碎,从中选出有用矿物后,剩下的矿渣叫尾矿。选矿厂在选别矿石后将产生大量的尾矿,通常是以矿浆状态排出的,这样大量的尾矿如不妥善处理,就会大面积地覆没农田和污染水系,对环境造成严重的危害。同时,尾矿中往往还含有目前尚不能回收的贵重、稀有金属,因此尾矿仍是一种资源,也不允许随意丢弃。尾矿库就是为了解决尾矿的堆放问题而建造的。尾矿库工程的目的是要保障矿山生产的顺利进行和生命财产的安全,经济上少受损失,保护生态环境。尾矿坝是尾矿库的重要组成部分,由初期坝和堆积坝组成。初期坝有堆石透水坝和粘土坝等,堆积坝是由尾矿堆积而成,尾矿是尾矿坝的主要筑坝材料。尾矿坝作为一种特殊的水工建筑物和一般挡水土坝不同,主要区别在于其运营期坝体断面一直在变化,坝的体积比同样坝高的土坝大得多。

中国是一个矿业大国,目前每年选矿产生的尾矿约3亿吨,除一小部分作为矿山充填或综合利用外,绝大部分要堆存于尾矿库,据统计我国目前已形成一定规模的尾矿库约有1500余座^{[1][7]}。而国外高度在100m以上的尾矿坝有17座,最高的已达270m^{[2][3]}。我国主要冶金矿山现有尾矿库300多座^[4],这些尾矿库绝大多数采用上游法筑坝。据相关资料统计,我国有色系统有39%的尾矿库是处于非正常状态^[5],即病害尾矿库、超期尾矿库和险害尾矿库,这些尾矿库中的部分尾矿库如果发生溃坝或是流滑,将对于环境造成严重的污染,所以对尾矿库开展安全性研究是必要的。

1.1.1 尾矿及其分类

为了更好地了解尾矿的属性,尤其是工程方面,有必要搞清尾矿的分类。由于尾矿是来自矿石,而不同的矿石其各种性能差异很大,所以到目前为止,尾矿还没有一个通用明确的分类标准。例如祝玉学^{[5][6]}等人建议按照矿石来分类,见表1.1。

表 1.1 尾矿的分类

类 别	尾 矿	一般特性
软岩尾矿	细煤废渣、钾、天然碱不溶物	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
细尾矿	铅—锌、铜、金—银、钼、镍(硫化物)	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
细尾矿	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	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
粗尾矿	沥青砂尾矿、钼尾矿、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

1.1.2 尾矿库及分类

尾矿库又名尾矿池、尾矿场，它是筑坝拦截谷口或围地构成的用以储存尾矿的场所。根据地形条件的不同，尾矿库可分为三种类型。

(1) 山谷型：在山区和丘陵地区，利用自然山谷，三面环山，在下游谷口地段筑坝，进行拦截，形成的尾矿库，如图1.1所示。图1.2是一个典型的山谷型尾矿库的实景照片。

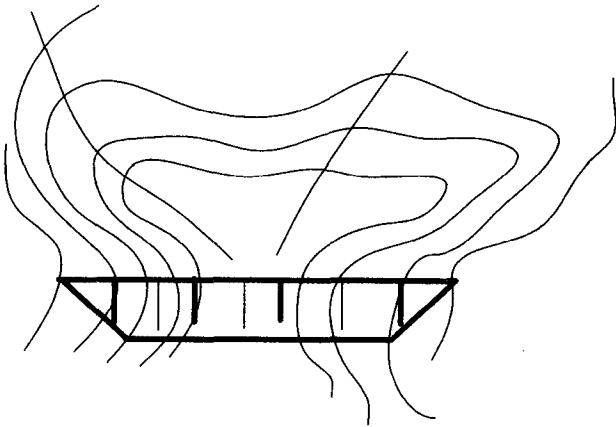


图 1.1 山谷型尾矿库



图 1.2 山谷型尾矿库实景图

(2) 山坡型: 在丘陵和湖弯地区, 利用山坡洼地, 三面或两面筑坝, 进行围截, 形成的尾矿库, 如图1.3所示。

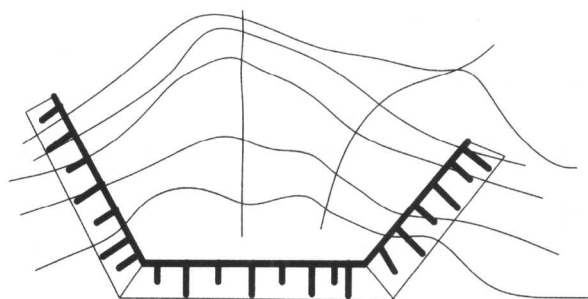


图 1.3 山坡型尾矿库

(3) 平地型: 在平原和沙漠地区的平地或凹坑处, 人工修筑围堤, 形成的尾矿库, 如图1.4所示。

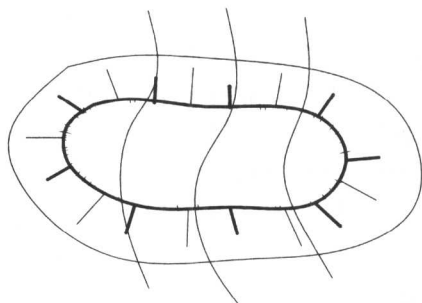


图 1.4 平地型尾矿库

1.1.3 尾矿库的安全等级

尾矿库是一种特殊的工业构筑物，一旦失事，不仅涉及到矿山自身的生产安全，而且关系到周边及其下游居民生命财产的安危。由于尾矿库的垮塌所造成的灾害事故，在我国过去是时有发生，损失也非常惨重，教训非常深刻。所以，根据尾矿库的库容和尾矿坝的高度及其重要性，国家制定了尾矿库构筑物的等级，选矿厂设施设计规范^{[4][15]}给出了如表1.2和表1.3所示的分类标准。

表 1.2 尾矿库的等别

等别	全库容 ($1 \times 10^4 \text{m}^3$)	坝高 H(m)
一	二等库具备提高等别条件者	
二	$V \geq 10000$	$H \geq 10$
三	$1000 \leq V < 10000$	$60 \leq H < 100$
四	$100 \leq V < 1000$	$30 \leq H < 60$
五	$V < 100$	$V < 30$

表 1.3 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

1.1.4 尾矿堆积形式及分类

尾矿堆积有干法堆积形式和湿法堆积形式之分。目前，普遍采用湿法堆积形式，即采用尾矿库的形式储存尾矿。尾矿堆积坝是由尾矿堆积而成的坝，它是尾矿库中最主要的构筑物。根据筑坝工艺的不同，尾矿坝主要分为上游法、中线法、下游法、高浓度尾矿堆积法和水库式尾矿堆积法（尾矿库挡水坝）等多种^[16]。其中上游式堆坝法由于工艺简单，便于管理，经济合理，而被广泛采用，我国有85%以上的尾矿库是采用该法。

1.1.4.1 上游式堆坝法

这是我国目前普遍采用的方法，根据统计，我国有色金属矿山的尾矿库有80%

是采用该法筑坝^[5],如图1.5所示。该法筑坝工艺比较简单,一般在沉积干滩面上,取库区内粗粒尾砂堆筑高度为1~3m左右的子坝,将放矿支管分散放置在子坝上进行分散放矿,待库内充填尾矿与子坝坝面平齐时,再在新形成的尾矿干滩面上,按设计堆坝外坡向内移一定距离再堆筑子坝。同时,又将放矿管移至新的子坝上继续放矿,如此循环,一层一层往上堆筑。如果遇见尾砂粒度较细时,可采用水力旋流器进行分级堆坝,或用池填法、渠槽法等方法筑坝。图1.6为某铜矿尾矿坝,该尾矿坝是一个典型的上游法尾矿坝。

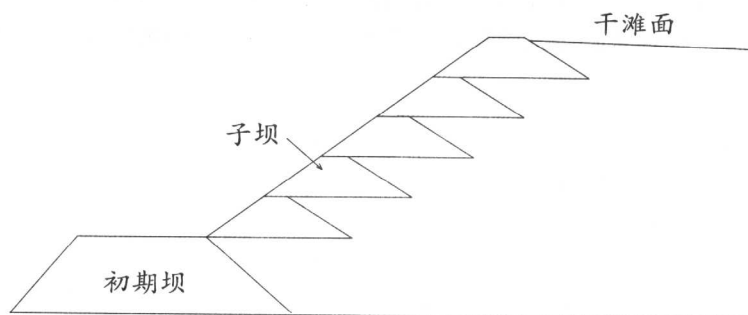


图 1.5 上游式尾矿堆积坝工艺图

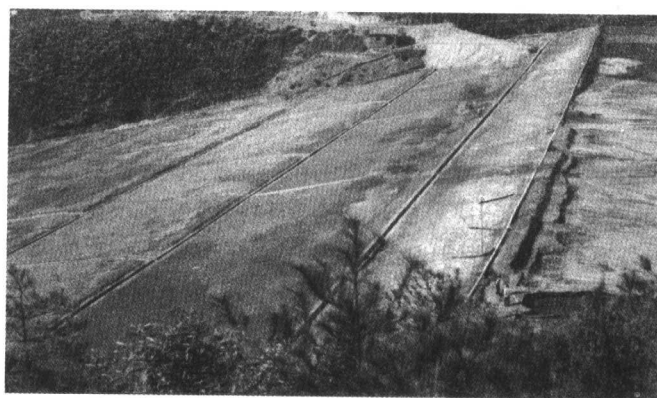


图 1.6 某铜矿尾矿库(上游法筑坝)

上游式尾矿堆积坝的稳定性,决定于沉积干滩面的颗粒组成及其固结程度。干滩面坡度是由矿浆流量、浓度、尾矿粒度、库内水位等诸多因素决定。坡度与距离的关系一般呈指数分布规律。矿浆流量大、浓度低,尾矿粒度粗,库内水位低(干滩面长),则干滩面坡度就陡,反之干滩面坡度就缓。

上游式堆坝法的缺点是容易形成复杂的、混合的坝体结构,渗流不易控制致使坝体内的浸润线抬高或从坝面逸出,从而易引起坝体产生渗透破坏或滑坡、滑塌。尤其是在地震时容易引起液化,降低坝体的稳定性。

1.1.4.2 下游式堆坝法

尾矿堆积坝在初期坝下游方向移动和升高,而不是坐落在松软细粒的尾砂沉积物上,基础较好,尾砂排放堆积容易控制。采用水力旋流器分出浓度高的粗粒尾矿堆坝,粗颗粒($d > 0.074\text{mm}$)含量不宜小于70%,否则应进行筑坝实验。坝体可以分层碾压,根据需要设置排渗,渗流控制比较容易,把饱和尾矿区限制在一定的范围。坝体稳定性较好,容易满足抗震和其他要求。下游式尾矿堆积坝,如图1.7所示。

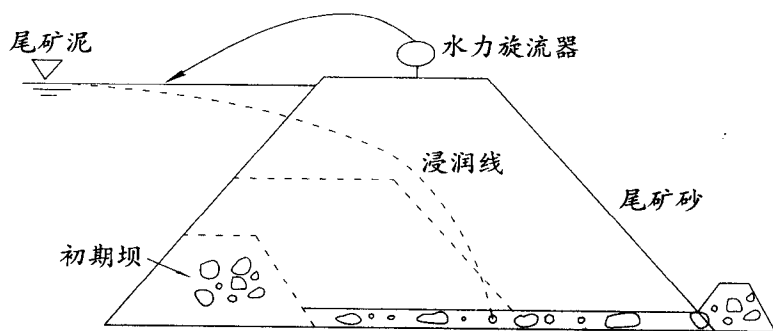


图 1.7 下游式尾矿堆积坝工艺图

下游式堆坝法的主要缺点是需要大量的粗粒尾矿筑坝,特别是在使用初期,存在粗粒尾矿量不足的问题。其解决办法是补充其他材料或高筑初期坝。利用废石补充尾砂的不足,国外有此实例,我国仅峨口铁矿第二尾矿库属于此种坝型。另外,还有坝坡面一直在变动,使得坝面水土流失严重;同时,运行成本很高。

1.1.4.3 中线式堆坝法

中线式筑坝实质上是介于上游法和下游法之间的一种坝型,其特点是在筑坝过程中,坝顶沿轴线垂直升高堆坝尾矿仍采用水力旋流器分级和下游筑坝法基本相似,但与下游法相比,坝体上升速度快,筑坝所需材料少,坝体的稳定性基本上具有下游法的优点,而其筑坝费用比下游法低。因坝面一直在变动,使得坝面水土流失严重。中线式堆坝法如图1.8所示。我国德兴铜矿4号尾矿库就是采用此法堆坝,如图1.9所示。在设计地震烈度为8~9度的地区,宜采用下游式和中线式堆坝法。