



主编 汪贻水
彭 觥
肖垂斌

矿山地质选集

第七卷 尾矿库

设计、施工、管理及
尾矿资源开发利用 技术手册



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

矿山地质选集

第七卷 尾矿库

设计、施工、管理及
尾矿资源开发利用 技术手册



主编 汪贻水
彭 觥
肖垂斌



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

矿山地质选集第七卷:尾矿库设计、施工、管理及尾矿资源开发利用技术手册/汪贻水,彭觥,肖垂斌主编.

—长沙:中南大学出版社,2015.8

ISBN 978-7-5487-1878-9

I. 矿... II. ①汪... ②彭... ③肖... III. 矿山地质-文集②尾矿-技术手册 IV. ①TD1-53②TD926.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 183991 号

矿山地质选集第七卷:
尾矿库设计、施工、管理及尾矿资源开发利用技术手册

主编 汪贻水 彭 觥 肖垂斌

☐责任编辑 史海燕 刘小沛 胡业民

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 湖南地图制印有限责任公司

☐开 本 880×1230 1/16 ☐印张 24 ☐字数 820 千字

☐版 次 2015 年 8 月第 1 版 ☐印次 2015 年 8 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-1878-9

☐定 价 180.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介

《矿山地质选集》是值中国地质学会矿山地质专业委员会成立 35 周年之际,根据“国务院关于加强矿山地质工作的决定”,将我国各矿山地质工作者及中国地质学会矿山地质专业委员会 35 年来在做好矿山地质工作方面所取得的成绩、进展和突破,以其阶段性总结、著作、论文形式集结出版,以达到承前启后,促进提升的作用。选集共分十卷,内容包括:矿山地质实用手册,实用矿山地质学理论与工作,六十四种有色金属及中国铂业,矿山地质与地球物理新进展,工艺矿物学研究及矿山深部找矿,3DMine 在矿山地质领域的研究和应用,尾矿库设计、施工、管理及尾矿资源开发利用技术手册,铅锌矿山找矿新成就,铜金矿山找矿新突破,矿山地质理论与实践创新。

本卷为《矿山地质选集第七卷:尾矿库设计、施工、管理及尾矿资源开发利用技术手册》是由《矿山地质选集》丛书主编汪贻水、彭觥、肖垂斌选编自《尾矿库手册》一书(主编沃廷枢、副主编汪贻水、肖垂斌等及顾问彭觥,冶金工业出版社 2013 年出版)。在选入《矿山地质选集》时,由丛书主编对《尾矿库手册》的内容进行了部分删减,重点突出尾矿库设计、施工、管理及尾矿资源开发利用,倡导矿业循环经济原则,变害为利、变废为宝,无害化与资源化相结合,达到资源效益最佳化的目的。本书主要供矿山地质工程师使用,对从事矿山地质领域的科研、设计、教学、矿山管理人员也是一部极为重要的参考书。

《矿山地质选集》编委会

顾问	何继善	孙传尧	沃廷枢	王道隆	陈景河	王京彬	
主编	汪贻水	彭 觥	肖垂斌				
委员	(按姓氏笔画排序)						
	王玉往	王建青	王建国	王 峰	王海龙	王静纯	文美兰
	邓金灿	申 萍	叶樟良	史海燕	冯晓元	巩恩普	刘石年
	刘代喜	刘全坤	刘金平	刘建军	刘建雄	刘铁兵	刘慎波
	江新华	孙信牙	孙振家	杜运斌	杨志刚	杨 兵	杨昔林
	杨保疆	李万亨	李义邦	李广斌	李升福	李克庆	肖仪武
	邱小平	何军生	邸明明	汪 宏	沈远超	沈建忠	宋晓军
	张小华	张木毅	张吉龙	张会琼	张锦章	陈军峰	陈 进
	陈锡廉	陈新旺	范其明	范洪海	罗已翀	罗先熔	周尚国
	郑小礼	屈绍东	胡业民	胡建明	胡祥昭	饶玉学	姚 曙
	袁怀雨	聂荣峰	莫江平	贾国相	党新生	高 林	陶 勇
	黄明然	黄 诚	常玉刚	梁新权	彭建堂	彭润民	韩秀丽
	韩润生	程 春	雷时斌	樊继平	潘 才	魏俊浩	
编辑部成员	汪贻水	彭 觥	肖垂斌	胡业民	刘石年	范其明	邸明明
	史海燕						

前言

今年是中国地质学会矿山地质专业委员会成立 35 周年。35 年来,全国矿山地质找矿、勘探和开发取得了巨大成就,矿山地质学的理论研究和矿山地质找矿的新技术、新方法也有了长足的进展,发表的地质论著数以千计。此次就中国地质学会矿山地质专业委员会成立 35 周年之际,我们选择了部分论文著作编辑出版这套《矿山地质选集》,共分为十卷。第一卷为矿山地质实用手册,第二卷为实用矿山地质学理论与工作,第三卷为六十四种有色金属及中国铂业,第四卷为矿山地质与地球物理新进展,第五卷为工艺矿物学研究及矿山深部找矿,第六卷为 3DMine 在矿山地质领域的研究和应用,第七卷为尾矿库设计、施工、管理及尾矿资源开发利用技术手册,第八卷为铅锌矿山找矿新成就,第九卷为铜金矿山找矿新突破,第十卷为矿山地质理论与实践创新。

自中华人民共和国成立特别是改革开放 30 多年以来,广大地质工作者在全国范围内开展了大规模的矿产勘查工作,作出了巨大贡献,有力地为我国工农业生产及国民经济增长提供了矿产资源保障。矿业的发展,也给矿山地质工作带来了极为繁重的任务,但意义也极为重大。2006 年 1 月 20 日国发[2006]4 号文《国务院关于加强地质工作的决定》指出:“矿山地质工作对合理开发利用资源、延长现有矿山服务年限意义重大。按照理论指导、技术优先、探边摸底、外围拓展的方针,搞好矿山地质工作。加强矿山生产过程的补充勘探,指导科学开采。加快危机矿山、现有油气田和资源枯竭城市接替资源勘查,大力推进深部和外围找矿工作。开展共伴生矿产和尾矿的综合评价、勘查和利用。做好矿山关闭和复垦的地质工作。”

为贯彻上述宗旨,中国地质学会矿山地质专业委员会及其有关矿山 35 年来,竭尽全力,将扩大矿山接替资源、延长矿山服务年限作为首要任务,为发展矿山地质工作作出了重要贡献,为许多大、中型矿山提供了大量的补充资源,例如中国铂业——金川大型铜镍(铂)硫化物矿床;中国古铜都——铜陵及周边地区找矿理论及实践;紫金矿业及山东玲珑金矿的找矿进展;戈壁明珠——锡铁山铅锌矿和西南麒麟——会泽铅锌矿以及广东凡口铅锌矿的深边部找矿突破,均使这些大矿山获得了新的生命,全国矿山地质工作也取得了宝贵的经验。

为适应建设资源节约型、环境友好型社会的总体要求,必须以科技进步为手段,以管理创新为基础,以矿产资源节约与综合利用为重要着力点,全面提高矿产资源开发利用效率和水平。多年实践证明,工艺矿物学研究在矿产资源评价和矿产综合利用过程中起到了极其重要的作用,尤其在低品位、共伴生、复杂难选等矿产资源及尾矿资源的开发利用过程中取得了明显的效果。许多矿山在这一方面取得了重要进展和可观的效益。

加强矿山管理和环境地质工作,合理规划地质资源的开采,防止乱挖滥采,提高采、选回收率,减少贫化损失和浪费,也是矿山地质的一项重要工作,要大力开发利用排弃物质,变废为宝,增加矿山收益。

矿产资源是矿业发展的基础,人才资源是矿业发展的保障。中国地质学会矿山地质专业委员会成立 35 年来,一直得到我国老一辈地质学家的关心和支持。一方面是他们学会和对矿山地质发展的关心和支持,另一方面,在他们的培养和帮助下,大批年轻的矿山地质工作者不断成长、崛起。在大家共同努力下,开创出今天的矿山地质事业的大好局面。《矿山地质选集》所收录的部分论文著作,反映了我国老一辈和新一代地质工作者在矿山地质理论研究、矿山地质地球物理找矿新方法新技术、计算机技术和 3DMine 软件在矿山地质中的应用、矿山深边部找矿等方面的新进展、新突破。只是鉴于选集篇幅所限,无法将 35 年来矿山地质工作者的论文全部选入,敬请谅解!

展望未来,虽形势大好,但任务仍然艰巨。唯有以此为新的起点,努力攀登新的高峰!

让我们共同努力吧!

《矿山地质选集》编委会

2015 年 3 月

目 录

第 1 篇 尾矿库的设计

1 尾矿库及尾矿坝	(1)
1.1 尾矿库的选择	(1)
1.2 初期坝	(12)
1.3 尾矿堆积坝	(46)
1.4 坝基处理	(79)
1.5 土的渗透变形及反滤层设计	(91)
1.6 坝的渗流及稳定分析	(98)
2 排水构筑物	(103)
2.1 水文分析及调洪演算	(103)
2.2 排水构筑物的类型及布置	(118)
2.3 排水构筑物的水力计算	(122)
2.4 排水构筑物结构设计的一般规定	(138)
2.5 排水塔结构设计	(139)
2.6 隧洞	(148)
2.7 排水涵洞(管)及斜槽	(166)
2.8 溢洪道	(176)
2.9 排水溢管计算	(187)

第 2 篇 尾矿库的施工

3 尾矿库(坝)施工	(191)
3.1 施工前的技术准备工作	(191)
3.2 坝体施工	(201)
3.3 排水构筑物的施工	(220)
3.4 工程验收	(228)

第 3 篇 尾矿库的管理

4 尾矿设施管理	(230)
4.1 尾矿设施管理的基本任务和要求	(230)
4.2 尾矿坝的管理	(234)
4.3 排洪回水设施管理与度汛	(239)
4.4 尾矿设施常见病患及其处理	(244)

4.5 尾矿库(坝)的观测工作	(267)
5 尾矿输送系统	(283)
5.1 概述	(283)
5.2 输送明槽的设计	(283)
5.3 压力输送管道设计	(296)
5.4 砂泵选择	(304)
5.5 尾矿浓缩计算	(304)
6 赤泥库灰渣库	(316)
6.1 概述	(316)
6.2 赤泥、灰渣的理化性质	(317)
6.3 赤泥库的种类	(319)
6.4 赤泥库、灰渣库的建设	(320)
6.5 赤泥库、灰渣库的运行管理	(322)
6.6 赤泥库、灰渣库事故隐患及其处理	(323)
6.7 闭库及复垦	(325)

第4篇 尾矿资源的开发技术

7 黑色矿尾资源的开发技术	(332)
7.1 铁尾矿中铁矿物的回收	(333)
7.2 伴生矿的综合利用	(334)
7.3 从铁矿尾矿中回收硫、磷	(335)
7.4 从选厂尾矿中回收稀土精矿	(335)
7.5 综合回收利用磁选尾矿中的钛铁和硫钴	(336)
7.6 用铁尾矿制作免烧砖	(336)
7.7 用铁尾矿制作装饰面砖	(337)
7.8 用铁尾矿制作机压灰砂砖	(337)
7.9 用铁尾矿制作三免尾矿砖	(338)
7.10 用铁尾矿制作玻化砖	(339)
7.11 用铁尾矿生产新型玻璃材料	(340)
7.12 用铁尾矿制取微晶玻璃	(341)
7.13 用铁尾矿生产其他建筑材料	(342)
7.14 尾矿用于污水处理	(342)
7.15 用磁化铁矿尾矿制作磁性肥料	(342)
8 有色矿尾矿资源的开发技术	(343)
8.1 金矿尾矿、钾长石尾矿用作生产矿物聚合物的原料	(343)
8.2 尾矿用作物理法处理污水的滤料	(343)
8.3 尾矿用作微量化学肥料	(343)
8.4 用含镁高的废石或尾矿生产钙镁磷肥	(343)
8.5 用高钾尾矿和废石生产钾肥	(343)
8.6 尾矿用于造纸工业	(344)

8.7	综合回收铜、金、银和铁	(344)
8.8	从铅锌尾矿中综合回收多种有价金属和有用矿物	(345)
8.9	从铅锌尾矿中回收萤石	(345)
8.10	从铅锌尾矿中用重选法回收硫	(345)
8.11	从铅锌尾矿中回收重晶石	(346)
8.12	从铅锌尾矿中回收银	(347)
8.13	从铅锌尾矿中回收钨	(347)
8.14	钼尾矿的再选与铁的回收	(348)
8.15	从锡尾矿中回收砷	(348)
8.16	从锡尾矿中回收锡	(349)
8.17	从钨尾矿中回收钨、铋、钼	(349)
8.18	从钨尾矿中回收铜、钼	(351)
8.19	钨尾矿综合利用与环保治理示范工程案例	(352)
8.20	用磁-重联合回收工艺从金矿尾矿中回收铁和金	(353)
8.21	用炭浆法从金尾矿中回收金银	(354)
8.22	从金尾矿中回收硫	(355)
8.23	用铅锌尾矿制耐火砖与红砖	(355)
8.24	蒸压砖酸盐砖	(355)
8.25	用铜尾矿制灰砂砖	(356)
8.26	用金属矿制陶瓷墙、地砖	(356)
8.27	用选金尾矿研发新型墙体材料	(356)
8.28	利用金矿矿渣制作饰面砖	(357)
8.29	用钨尾矿制作钙化砖	(358)
8.30	用钼铁尾矿生产水泥	(359)
8.31	用铜、铅锌尾矿生产水泥	(359)
8.32	用稀土尾矿配以钨尾矿制作陶瓷	(360)
8.33	用铜尾矿制作饰面玻璃	(361)
8.34	用钨尾矿制取建筑微晶玻璃	(361)
8.35	用铜尾矿制取微晶玻璃	(362)
8.36	尾矿充填	(364)
8.37	凡口铅锌矿高浓度全尾砂胶结充填自流输送工艺	(365)
8.38	焦家金矿高水固结充填系统	(365)
8.39	狮子山铜尾矿复垦实践	(367)
9	非金属矿尾矿资源的开发技术	(368)
9.1	石灰石、大理石和白云石用作化学法处理酸性污水的碱性滤料	(368)
9.2	尾矿或废石用作曝气生物滤池(BAF)的滤料	(368)
9.3	废石制备矿物棉	(368)
9.4	尾矿或废石用作铸石原料	(368)
9.5	废石中的方解石、白云石用作制备重质碳酸钙原料	(368)
9.6	用煤矸石制造人造4A沸石	(369)
9.7	含黄铁矿的尾矿用作土壤改良剂	(369)
9.8	尾矿用于生产煤矸石砖	(369)
9.9	用尾矿围池造田	(369)
9.10	废石中的石灰岩、白云岩用作冶炼熔剂	(369)

9.11	石灰石、大理石砂用作“七〇”砂	(369)
9.12	用作镁橄榄石砂	(370)
9.13	尾矿用作耐火黏土	(370)
9.14	用尾矿生产有机和无机复合材料	(370)
9.15	用废石作铁路道砟	(370)
9.16	尾矿长石粉用作防火硅酸钙板	(370)
9.17	用煤矸石发电	(370)
9.18	尾矿用于生产涂料	(370)
9.19	尾矿用于造纸工业	(371)
9.20	以尾矿为骨料生产尾矿人造石	(371)

第 1 篇 尾矿库的设计

1 尾矿库及尾矿坝

1.1 尾矿库的选择

1.1.1 尾矿库的形式及等别

根据地形条件不同，尾矿库可分为如下三种类型：

- (1)山谷型。在山区和丘陵地区，多利用三面环山自然山谷，在谷口一面筑坝建库，见图 1-1。
- (2)山坡型。在丘陵和湖湾地区，利用山坡洼地，三面或二面筑坝，见图 1-2。

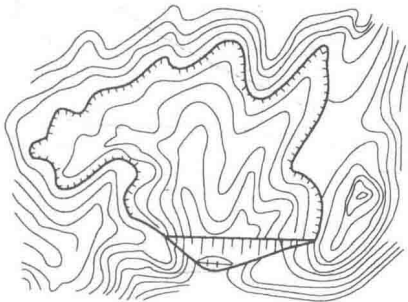


图 1-1 山谷型尾矿库

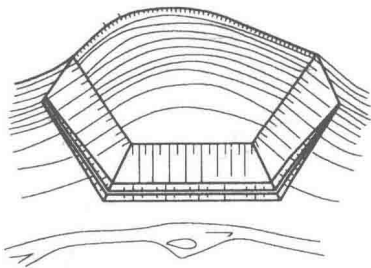


图 1-2 山坡型尾矿库

- (3)平地型。平原沙漠地区在平地凹面筑坝建库，见图 1-3。

尾矿库等别根据各使用期的全库容和坝高分别确定，详见《选矿厂尾矿设施设计规范》(ZBJ1-90)。

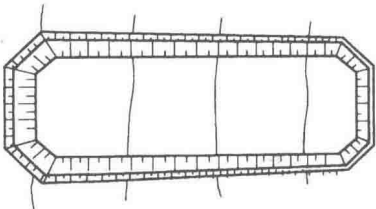


图 1-3 平地型尾矿库

1.1.2 尾矿库库址选择

1.1.2.1 技术经济条件对库址选择的影响

其影响有两点：

- (1)尾矿库设施投资要小。应考虑技术经济的影响，尾矿库是矿山的重要生产设施，它的正确选择影响基本建设投资规模和生产经营成本。例如云锡新冠选厂和尾矿库设施的投资比例接近 1:1，处理一吨矿石的尾矿费用占成本的 30% 以上，金堆城铝业公司百花岭选矿厂及其尾矿库设施的投资比例是 2:1，尾矿库设施的耗电量占选矿厂总耗电量的 30%。

(2)尾矿库位置合理。尾矿输送设施的规模和复杂程度,决定于选矿厂和尾矿库的相对位置。有色金属矿山,由于原矿品位低,尾矿量大,因此选矿厂用水量、尾矿输送的矿浆量和回水返回量均大。尾矿库距选矿厂的平面距离愈大,输送部分的投资和成本愈高。尾矿库与选矿厂相对高差决定了尾矿和回水输送的方式。当尾矿库标高低于选矿厂时,尾矿可以自流或以较低的压力输送,但回水的扬程加大,回水量一般比矿浆量要小。若以20%的矿浆浓度和按70%回水率计算,回水量约为矿浆总重量的56%。回水的扬程要比尾矿输送的高差大,尾矿输送末端和尾矿库水面有一个高差,回水的高位水池和尾矿的出口也有一个高差,这两个高差之和就是回水高差与尾矿输送高差要增加的数。当尾矿库标高高于选矿厂时,矿浆必须用压力输送,但回水可以自流或以较低的扬程扬送。

当尾矿库和选矿厂位于同一流域时,输送系统可以顺河岸布置,如果不在同一流域,尾矿输送设施就要翻山越岭,甚至难以利用某些有利条件。例如某尾矿库和选矿厂不在一个流域,尾矿库高程高于选矿厂,回水可以自流,但因回水工程需建一条数公里的隧洞,致使尾矿库的这一优势也不能发挥。尾矿库和采矿场的位置也关系到废石利用和安全问题。尾矿库距离采矿场近,有可能利用废石堆坝,减少排废量和解决尾矿筑坝的材料。另外尾矿库的渗漏对露天采矿的边坡或井下巷道的安全可能会造成影响。因此,尾矿库库址的选择受到采矿和选矿设施的制约,是一个比较复杂的技术经济问题,必须纳入整个矿山系统工程中综合考虑。

1.1.2.2 尾矿数量及特性对库址选择的影响

尾矿的数量、粒度和矿浆的浓度、成分是决定尾矿库规模及形式的重要条件,是选择库址的重要依据。尾矿库的库容应能满足尾矿数量及其相应的服务年限。一般最低的服务年限不能少于5年(目前建设一个新尾矿库需要3~5年的时间),没有这一要求,尾矿库目前存在的超高超容不安全因素是很难消除的。一般应按矿山的储量来选择尾矿库,如果地形条件允许,最好一个矿山用一个库来堆存尾矿。尾矿的粒度决定了是否能用尾矿堆坝。目前,粉砂类和砂类尾矿用以堆坝,也可以堆高坝,泥类尾矿则堆坝高度受到一定限制。冶金工业部建筑科学研究院研究认为,可以以尾矿颗粒粒径0.02 mm作为有效筑坝颗粒粒径界限。按此观点,原尾矿中大于0.02 mm颗粒达25%~30%,就可以考虑用尾矿筑坝,但坝高及坝体上升速度受到限制,如果原尾矿中平均粒径大于0.03 mm,或大于0.02 mm达到50%以上,大于0.037 mm达30%以上,则应考虑用尾矿筑坝。

矿浆的浓度对于尾矿的处理方式也有一定的影响,如果能达到50%以上的浓度,就可以研究圆锥法的处理技术。尾矿浓度也影响沉积滩的坡度,这对尾矿库的库容规划也是有影响的。尾矿浆的成分包括尾矿和尾矿水的成分,这些都影响到尾矿库的选型和水处理设施的规模 and 办法。有的有害成分严禁泄漏,也不能处理,就只能按水库式尾矿库选择库型。

1.1.2.3 地形地质条件对库址选择的影响

(1)地形条件对库址选择的影响。

对山谷型尾矿库来说,河床坡度要缓,形似口小肚子大,即有一段窄的口子可作坝址,对于中线式和下游式堆坝法还要求有一定长度,库内比较开阔,同时要考虑邻谷的相互影响。

山坡型尾矿库址要求山坡坡度较缓,平地型尾矿库则以能找到封闭形的洼地为宜。

(2)地质条件对库址选择的影响。

库区内有无不良地质构造,如断层、滑坡、溶洞等,对建库后可能产生影响。库址的地质条件应注意渗漏、塌岸和泥石流三个问题。

1)渗漏问题。主要是了解库区周围的岩层性质和地质构造条件,以及地下水位和地下水的补给条件,当库区的岩层不透水,不属岩溶地区,又没有大的断裂破碎,节理不发育,岩层风化不深的构造,形不成导水结构,库区的渗漏问题不大。但是,各种不利的地质条件都可能引起严重的渗漏问题。这种渗漏的恶果不仅表现在漏出的矿浆污染环境,而且还表现在由于严重的渗透变形而引起工程的毁坏,酿成更严重的恶果。贵州铝厂2号赤泥库,基础为强风化的砂页岩地层,1986年7月19日因基础下原生强风化岩层中发生多渠道贯通,导致管涌而使坝体局部坍塌,造成损失近百万元,就是基础渗透破坏的典型例子。因此防止基础和坝肩的渗透变形是尾矿坝基础设计的一项重要内容。进行基础渗流控制的基本方法主要是上堵下排,也就是库内采用封堵渗流进口的办法。对于大的孔洞裂隙,可用浆砌石、混凝土及钢筋混凝土、喷混凝土等方法进行封堵,对于小的密集的裂缝主要采用铺盖的方法,铺盖的材料主要是黏性土料和尾矿浆,尾矿浆固结脱水后形成良好的铺盖层,在分

析尾矿坝下的基础渗透问题时,应当估计尾矿沉积后的有利作用。用尾矿和黏土作铺盖时,其厚度按容许渗透比降设计。当估计尾矿形成的铺盖的作用无效果时,应采用专门的截渗措施。

所谓下排,主要是在下游渗流逸出口用反滤层进行保护。这是防止基础坝肩渗透变形的最基本措施。

2) 坝基及库岸的稳定。主要是了解库区有无滑坡体,有没有放矿后引起库岸滑塌的条件,应特别注意坝肩附近及排水构筑物进出口附近有无这种滑坡体。当坝基存在着软弱的结构面和软土层时,则坝的稳定性可能受其影响。在设计上要计算沿这些软弱面的坝体稳定问题。如果不稳定,可用调整坝坡等途径解决。还可考虑在坝的下游加重压,或在滑动面的下游临空面采取支挡的措施,或在上游或中间部位采取开挖回填截断软弱结构面的措施。

3) 泥石流问题。主要分析库区有无产生泥石流的条件,可能产生泥石流的部位。充分考虑泥石流的产生对泄洪设施及坝体安全可能造成的影响及应采取的防范措施。

1.1.2.4 尾矿库库址选择的其他影响条件

(1) 尾矿库的淹没条件经常是选择库坝地址的重要因素。要考虑库区淹没范围的农田、经济作物、林木等数量及居民户数和人口。

(2) 对附近居民用水水源及下游水库、河道等水质有无影响。

(3) 库区内有无矿产,库区与采矿场的关系,建库后对采场的影响。

(4) 对附近铁路、主要公路及公用设施有无影响。

(5) 对周围名胜古迹有无影响,必要时要作文物勘查。

(6) 库区最好位于工业和居民区下游与常年主导风向下方。

1.1.3 尾矿坝坝址选择

1.1.3.1 土石坝坝址的选择

尾矿坝中,土石类的坝型是最主要的坝型。

土石坝坝址选择在很大程度上取决于地形和地质条件,但是如果单纯从地质条件好坏的观点出发去选择坝址是不够全面的。选择坝址必须结合尾矿库的布置以及其他技术经济因素等综合考虑。

首先,应尽量选择地形上最有利的坝址,如坝轴线较短,河谷较窄,便于布置泄水建筑物等。选择地形上较有利的坝址,就有可能节省工程造价,除非坝址地基地质情况很坏,对可能的处理方案作出技术、经济比较,并考虑到施工条件以后,才能决定放弃。

坝址的地质条件是影响坝址选择的最重要因素之一,条件复杂的尾矿坝,必须将可能筑坝的地段分成若干地质特征差别较大的坝段,进行详细的地质勘探和对比研究。同时还要对各个被比较的坝址分别进行布置,以备最后作技术经济比较。

坝址附近的建筑材料分布情况,也影响到坝址的选择。因为建筑材料的种类、储量、质量和分布情况,影响到坝的类型和造价。

坝址选择应考虑排洪、回水、截渗等系统的合理配置及可能的形式,以及施工条件、导流难易、交通运输以及各种施工准备等,还要考虑将来的管理应用。

施工工期的长短也影响着坝址的选择。选择工程量少、坝基处理简单的坝址将能缩短工期。而缩短工期,对尽快发挥投资效益有着极其重要的意义。

1.1.3.2 土石坝对地基的要求

在所有的坝型中,土坝和土石坝对地基的要求最低。土石坝由于基础面积较大,承担的应力较小,且坝身有一定的适应地基变形的能力,所以对地基的要求可以稍低。但是决不可因此而忽视对坝基进行详细勘察研究和采取正确的工程措施。尤其是很多土石坝是建造在软基上(黏土、壤土和砂土),对这种坝基的研究便更加重要了。

(1) 对岩基的要求。除非是在有天然基岩露头的地方,一般情况下并不需要将土石坝全部建筑在岩基上。但为了阻止冲积层的渗漏而在条件许可时,多半将土石坝的阻水部分延伸到岩基面上。如果岩基地质不良,也会造成坝的毁坏。所以对岩基提出的一般要求如下:

1) 要有足够的岩石强度。单从岩石的抗压强度来讲,一般岩石强度都是足够的。风化了的坚硬岩石,强度虽然稍低,但作为土石坝的坝基,一般也都能满足强度的要求。但页岩和黏土岩则应作为软基加以研究。

2) 岩石的整体性。必须避免活断层, 岩层中不能有大的缝隙和裂口。对严重的风化带和破碎软化的岩层, 应仔细研究加以处理。

3) 没有造成坝滑动的夹层。当坝基由不同的岩层构成时, 要避免可能造成坝体滑动的条件, 尤其应当避免有可能造成坝基滑动的软弱夹层和自上游至下游容易形成渗漏的夹层。

4) 岩石有足够的抗水性。岩石浸水后应不会溶解和软化。如在坝基中有石膏、酸酐、含石膏很多的岩石及岩盐层时对筑坝非常不利, 应当避免在这类岩石上筑坝。石灰岩和白云岩也易被水溶解, 产生溶洞, 应仔细研究加以处理。黏土质岩石遇水容易软化而引起土坝滑动, 也应注意。

(2) 对土基的要求。

在土基上筑坝时, 要求具有下列条件:

1) 有足够的地基承载力。在细砂、软黏土、淤泥和泥炭上修筑土石坝时, 应考虑到这些土层的承载力很弱, 必须加以处理甚至挖除。同时, 在研究坝基的承载力时应判断出坝建成后地基的沉降量。

2) 坝基土应有较好的均匀性, 没有被渗透水冲刷的夹层或土层。

3) 坝基中没有造成坝体滑动条件的软弱层。

4) 坝基土的压缩性不应当过大, 并且愈均匀愈好。

5) 坝基土应具有足够的抗水性, 在水中不溶解、不软化、不产生显著的土体和密度变化。

6) 坝基土中的渗透水的水力坡降不应超过危险极限, 坝基中部土体应不至于因水压力的作用而被冲刷或浮起。

1.1.3.3 坝址的工程地质条件

各类岩基的地质条件对筑坝有很大影响。

(1) 在岩浆岩及坚硬的变质岩上筑坝的地质条件。

岩浆岩和坚硬的变质岩的坝址是较优良的坝址。但在个别情况下, 岩浆岩产状如为岩盖, 则土坝位于其上却是不安全的。

岩浆岩和变质岩本身虽有垂直和水平的节理, 但间距较宽, 渗透性很小, 可以认为是不透水的岩石。石英岩性质较脆, 经过动力作用易破碎或产生错动, 裂开面或节理擦痕往往很多, 方向紊乱, 因此会造成严重的渗漏, 不能不注意。岩石的节理及裂隙与坝轴方向一致时, 会比与轴线垂直时要好一些, 因为在这种情况下, 沿裂缝的渗径要长一些。倾斜较陡的裂隙比倾斜平缓的裂隙有利。如倾斜平缓的裂隙倾向下游方向, 则更为不利。

花岗岩中往往有各种岩脉穿插, 如辉绿岩等, 含有基性矿物较多, 容易风化, 致使部分坝基破碎。岩脉侵入时, 沿周边发生挤压破碎带。需要根据具体情况加以处理。

岩浆岩及坚硬的变质岩如处在气候温暖、雨量充沛的地区, 则表面常常风化达相当的深度。风化带或渗透性较大, 或岩质软弱, 特别是当进行截水工程时, 要增加开挖工程量, 尤以含有长石和云母较多的岩石, 如花岗岩、花岗片麻岩等为甚。风化层很深的情况在其他种类岩石中(变质岩和沉积层)也很常见。但因为花岗岩及其他岩浆岩是较常遇到的岩石, 所以更应注意。

花岗片麻岩如夹有少量花岗岩或角闪石片麻岩, 则因云母和角闪石的成分增多且有明显片理, 使岩层抗压强度降低。花岗片麻岩与花岗岩一样, 如有基性或中性侵入岩时, 则风化较深。

这类岩石中, 有时由于岩脉集中造成一定困难, 特别是易溶蚀的或已经有溶洞的岩脉如方解石岩脉或变质岩中的大理岩岩脉。

喷发的岩浆岩, 不少是破碎的或是多孔的, 透水性往往很大, 土坝建于其上容易产生大量渗漏, 甚至引起危险。特别严重的是玄武岩。玄武岩由薄层熔岩流迅速冷却而形成时, 会产生柱状节理, 节理间距可由几厘米至几米, 节理往往张开, 形成良好的透水通道。玄武岩中还可能存在熔岩洞, 直径甚至可达几米以上, 延伸可达几公里以上, 建在这种地质条件上的尾矿库, 其漏水程度可与岩溶石灰岩相比。

如果玄武岩岩盖下是透水岩层, 如砾岩层或火山碎屑岩层, 尤其是砂层时, 玄武岩和这些岩层接触处的孔隙将更多, 透水情况也将更为严重。如果玄武岩岩盖很厚, 则随着深度的增大, 其紧密度也显著增大, 渗透性随之而减小。

经常还会遇到玄武岩层中夹有砂石或黏土层, 砂或黏土层是在前后两次喷出玄武岩的间隔时期中沉积的。

有些坝址处的玄武岩砂夹层出露于岸坡, 造成漏水通道, 常常需要防渗处理。

由于形成的条件不同,玄武岩中存在的孔洞和裂隙情况也就很不相同,有的玄武岩十分致密不透水,而另一些玄武岩气孔多得成为浮石;也有一些玄武岩层薄得很像页岩。同一层玄武岩中透水性也往往不同;表部气孔多而下部少,也有的中部少而底部又多。

(2)在火山碎屑岩上筑坝的地质条件。这类岩石包括碎屑凝灰岩、凝灰岩、角砾岩和块集岩等,其稳定性变化很大。一般说来,这类岩石属于抗水的半坚硬岩石,有的几乎可承受任何种类的坝的荷重。这类较坚硬的岩层犹如岩浆岩一样,一般问题较少,而火山碎屑岩中较细粒的岩石,如凝灰质砂岩和凝灰质页岩,却往往给工程带来困难。

凝灰岩通常占有很大的面积,尤其是细薄组织的凝灰岩,在水下喷发时,较粗的碎屑将被搬运到远处。在这种凝灰岩上修坝时,可以认为基础十分均匀。但是,有时情况却并非如此单纯,如凝灰岩是水流带来的沉积产物时,则岩性不一,层次很多,并且还夹有很薄的软弱夹层,将影响坝的稳定。有些凝灰岩或块集岩中夹有次生矿物,例如有的坝基块集岩中夹有绿泥石,用脚一碰,岩心就像酥糖一样沿绿泥石的节理面掉下来。

凝灰岩的层厚是个重要问题,尤其是当凝灰岩与岩浆岩或其他沉积岩交夹时,应充分考虑下垫、包裹或交夹着凝灰岩的那些岩石的工程地质条件。

凝灰岩、块集岩及角砾岩的透水性一般并不大。

火山碎屑岩中原始节理比较发达,两组相互直交,且张开的节理使岩石裂为板状。地下水沿节理渗透,使岩石风化成泥土及高岭土,导致滑动,由于风化作用也可能产生洞穴。含水量很大时,易使岩石崩塌。造山运动及地震也造成或促进节理裂隙的发展,加剧风化,使岩石抗压强度降低。

凝灰岩可能沿层面风化,形成沿层面的软弱泥化夹层,这是在这种岩层中遇到的较麻烦的问题,需要引起重视。

凝灰页岩为不透水岩石,如在其上有透水岩石将水渗至凝灰页岩面上停积,页岩受水浸润也会引起上部岩层的滑动。

(3)在一般的片麻岩、片岩、千枚岩、板岩上筑坝的工程地质条件。片麻岩、片岩、千枚岩及板岩大部分属于震旦纪变质岩系,由于矿物成分及其变质程度不同,故抗压强度也有所不同,甚至相差很大,但一般都属于不透水岩层,仍不失为良好的土石坝地基。不过应当注意,含石英较多者,岩石较坚硬,而含云母、角闪石或绿泥石较多者,则强度减弱,且易引起滑动。片麻岩、片岩及千枚岩都有片理,板岩则呈板状劈理。片理呈水平状态者较坚硬,直立或倾斜者则相差很大,且易崩塌,特别是当倾斜方向与岸坡面近乎平行时,更有崩塌可能。

片岩的最大特点是有次生片理或劈理,甚至形成很薄的层次。在某些片岩中,例如千枚岩中,原生层理及与之成夹角的劈理常易看出。岩石在这两个方向上的抗剪强度都较小。片岩的岩层是单独剥离的,常常在两个层面之间仅呈光滑接触,如果岩层倾向山坡,则易滑坡,尤其是当库内有水时更易滑动。片岩中以云母片岩为最弱,常具有隐节理,形成许多软弱面。

如果变质作用较微弱,那么变质岩在工程地质条件方面可能与非抗水性的原来岩石相近,不可不加以注意。

片岩等变质岩的裂隙和节理一般要比岩浆岩少,其中又以黏土质板岩最不透水,但是也有的片岩裂隙十分发育,使坝基漏水严重,甚至造成工程困难。

(4)在砾岩、砂岩、页岩及黏土岩上筑坝的地质条件。砾岩和砂岩的胶结物为钙质、铁质或黏土质。钙质或铁质胶结的砾岩,抗压强度为40~80 MPa。由黏土质所胶结的砾岩,浸水后抗压强度大减,长期浸水可能崩解。由钙质或铁质胶结的砂岩,抗压强度为30~60 MPa,由黏土质胶结的砂岩,强度更低,浸水时间过长时,也会自行崩解。

页岩大部分呈紫色或红色,也有呈灰色或绿色薄层的,一般均含钙质。较坚固者,垂直于层理的抗压强度为20~40 MPa,有的抗压强度低至零点几兆帕。页岩浸水后易崩解。

黏土岩不具层理,因系黏土受压固结而非胶结,故浸水后也易崩解。黏土岩富有孔隙,但非肉眼可见。浸水膨胀后,表面生成泥浆薄层,如再干燥,则又收缩,表面泥浆干成鳞片状而剥落,经多次干湿交替产生大量裂隙,易受压破碎。其次,黏土岩易受水冲刷。黏土岩还易风化,黏土颗粒常被地下水带走,充填于砂岩、砾岩及页岩的节理、裂隙或层面中,成为夹泥层。这种夹泥层可深达地表下几十米,层厚约数毫米至数厘米,近于液态或塑态,手摸之感到腻滑。

砾岩、砂岩、页岩、黏土岩等常交互成层，各种岩石成层均不规则，岩性和厚度也不均匀，不但水平方向逐渐互变，上下层次之间的岩性也常逐渐变换。

砂岩或砾岩中所包含的页岩或黏土岩块，抵抗风化侵蚀的能力较弱，常被侵蚀后留下空穴。

第三纪或第四纪的砂岩和砾岩，固结很差，常增加工程的复杂性。

不论是对页岩、黏土岩或砾岩、砂岩，都应有充分的勘测研究。如果处理不当，会使坝遭受危害甚至溃决。砾岩、砂岩中的胶结物有的是碳酸钙、石膏等易被水溶蚀的物质，或因含有易溶盐更易被水溶解，或因黏土质胶结物经水浸后导致岩石崩解，使坝遭受危害。

黏土岩和页岩容易风化，浸水时泥浆化，浸水后再干燥又会破裂。这都会使建筑物基础难于与新鲜的黏土岩与黏土质页岩紧密接合。为了保证工程质量，只有设法使基坑中所遇到的这类岩石避免浸水，不直接或不长期与日光接触。

页岩或黏土岩承受荷重后，可能发生沉陷，或因其他原因，产生不均匀沉陷，必须事先周密考虑。

为了估算坝基的不均匀沉陷，应查明岩层的分布情况、厚度及物理力学性质指标。有时黏土岩和页岩只是规模不大的透镜体，而被坚硬的砂岩或砾岩所包裹，因为后者的拱作用，可能沉陷量不大。

页岩、黏土岩的颗粒细小，抗剪强度低，浸水后表面泥化，易使坝基滑动。尤其是当其上覆盖层为有裂缝的砂岩和砾岩时，水由裂缝渗入，到达黏土岩或页岩面时受阻，沿岩层面流动，使黏土岩或页岩逐渐泥化，则会引起上部岩层滑动。黏土岩和页岩可能还包含有泥化夹层，抗剪强度低，也易使坝沿该夹层滑动，施工中经常发生岩层坍塌，土坝剖面也因而很大。

由于页岩和黏土岩较软弱，在这种岩层地区以及砂层、页岩等互层的地区，常出现滑坡体。

砂岩与页岩互层的岩层也会产生上述岩层重力蠕变现象。特别是表部岩层被风化后更易产生。两岸岩层顺着软弱层面向河谷蠕变，使谷底岩石褶皱抬升，岸坡发生大量倾向河谷的裂隙。

胶结不良的页岩，往往是在较大压力下处于紧密状态的黏土。在其上筑土坝亦应视为黏土的坝基。这种坝基，在其上有较深的挖方时，由于荷载减轻，会产生较大的回弹。特别是在其上修建坝下涵管或其他混凝土建筑物时，须考虑回弹的影响。

总之，在页岩、黏土岩及砂岩等岩层上修建土坝时，出现的问题较多，必须慎重对待。

(5)在可溶性岩石上筑坝的地质条件。可溶性岩石主要包括碳酸盐类岩石，如石灰岩、白云岩和大理岩，硫酸盐类岩石，如石膏、硬石膏。

石灰岩溶解于水，在水的循环下，岩石被溶滤出来，岩层中产生溶洞、溶沟、溶槽等，这种现象称为岩溶。岩溶的存在给堤坝工程带来巨大困难。从地质年代角度看，石灰岩的溶解迅速，但从人类历史的角度上看，其溶解则是非常缓慢的，因而在坝的寿命期间内，溶解作用并不会严重到扩大岩石节理裂隙和溶洞的规模。关键问题是岩溶会造成尾矿库和坝基大量渗漏，甚至因渗漏造成坝坡滑坡、坝基土壤冲刷等危险事故。

在坝址勘探时，除了查明岩溶的分布及连续性外，还要查明相对隔水层的分布和地下水分水岭的位置和高程。在选择坝址时，最好充分利用有利的地质条件，以减少处理工程量。

大理岩常常与片麻岩等互成夹层，其表部常常有岩溶存在，由于其范围不大，常用挖除溶洞内充填物后回填混凝土的方法处理。

石膏较石灰岩溶解速率大，建在石膏上的坝比建在石灰岩上的坝问题严重些。有许多建在石膏上的坝的坝基和岸坡渗漏非常严重。

我国有色金属矿山尾矿库约有 1/4 以上是建在岩溶地区，关于岩溶地区的勘测和处理，请参见第 6 章。

(6)在非黏性土上筑坝的地质条件。非黏性土主要指漂砾、块石，卵石、碎石，砾石屑及砂。

除了细砂和极细砂以外，建造在非黏性土上的土坝，其坝基承载力都是足够的。坝基夹有薄层细砂和极细砂时，为谨慎起见，应妥善处理。

干燥的风成砂，颗粒均匀，最松散，不是土坝的可靠地基。

砂作坝基有一系列的优点。砂的孔隙率远小于其他土类（黏土，黄土）的孔隙率，通常为 30%~40%，绝不会超过 50%。在荷重作用下，砂能很快地被压实，而压缩不大，因而没有产生长期的破坏性沉陷的危险。在干燥及浸湿时，砂并不改变其体积。砂基的主要问题是渗漏量较大，在水力坡降较大时有产生管涌或流土的危险，而且容易液化，这种基础如何处理，将在后面叙述。

在岩堆上修建土坝，由于其渗透性较大，密实度不大，往往将其挖除，但有时遇到很大规模的岩堆，挖除工程量过大，经过详细勘探研究后采取有效防渗等工程措施，也可以成为土坝基础。

有的坝址，无黏性土不在坝基河谷，而在坝端出现，这往往是冲积物埋藏了古河道而形成的埋藏谷。这样的地质条件虽然比坝基下无黏性冲积物易处理些，但因其与坝端相接，且往往其范围很大，也是一种不利的地质条件。

(7)在黏性土上筑坝的地质条件。由于黏性土渗透系数低，自身含有的水分排出困难。当其饱和时，应估计到当承受荷重时达到适应于负荷的密度所需的时间将很长，因而有部分压力系由孔隙中的水所承受的，故黏土间的抗剪强度会降低，有时甚至降为零。这种现象往往是造成在这种坝基上的土坝坍塌的主要原因，必须充分注意。

坝基冲积层中有时夹有淤泥层，其孔隙比大于 1，含水量大于或接近于流限。这种土层在未固结前的抗剪强度很小，甚至等于零。此时应考虑到筑坝过程中淤泥层本身的逐渐压密，抗剪强度随之增加的情况，故所采用的抗剪强度必须符合于此时淤泥的固结程度。

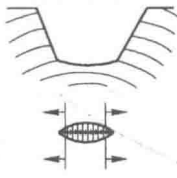
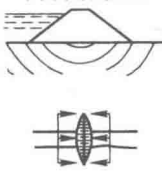
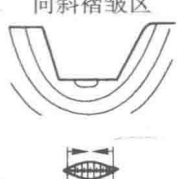
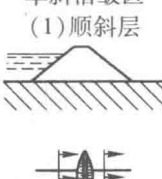
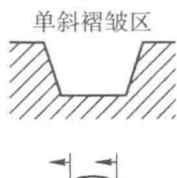
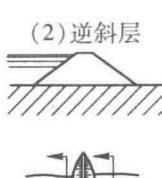
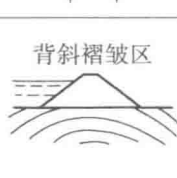
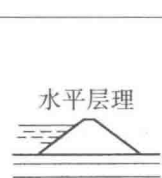
黏性土层的大量沉陷是在这种地基上建坝的另一严重问题。黏性土在荷载下有较强的压缩性。黏性土的变形(水平位移和沉陷)有时可达很大数值，这种过量的沉陷或位移可能导致坝体产生裂缝，或使坝体中设置的涵洞等混凝土建筑物发生破坏。

黄土受水浸湿后发生附加沉陷，即所谓湿陷。这种湿陷对水工建筑物是最不利的，土坝如建在未经浸水的黄土地基上时，会出现严重的危险。

(8)坝址的地质构造。

1)一般地质构造。河谷和构造的关系，表 1-1 列出了河谷横断面的大概工程地质分类。

表 1-1 河谷横断面大概的工程地质分类

河谷对于岩层走向的方向	河谷的类型	坝址断面工程地质特性简述	河谷对于岩层走向的方向	河谷的类型	坝址断面工程地质特性简述
平行于构造走向	背斜褶皱区 	因为可能沿某一层次发生向下游渗透,所以是不利的。沿背斜层的轴,岩石通常十分破碎,因而渗透性增大,而强度降低	垂直于构造走向	向斜褶皱区 	对建筑物的稳定是比较有利的,但对渗透则是不利的
	向斜褶皱区 	关于背斜区的意见对于本区仍有效,但本区岩石破碎程度通常较轻		单斜褶皱区 (1)顺斜层 	对坝的抗滑稳定及渗透都不利,但如倾角较陡时,情况可改善
	单斜褶皱区 	一般说来,在所有平行于走向的河谷中,以单斜褶皱河谷最有利。沿某一层次渗透仍有可能,但程度最轻		(2)逆斜层 	这是最有利的情况,但如倾角很缓时,对上游坝坡的稳定不利
垂直于构造走向	背斜褶皱区 	因为岩石破碎,且岩层向下游倾斜,下游坝坡的部分可能产生滑动,岩层渗透能力也较大		水平层理 	在一定条件下可能引起滑动或较大的渗透,岩石的破碎程度不大,且常限于风化带