

尾矿的综合利用 与 尾矿库的管理

印万忠 李丽匣 编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

尾矿的综合利用与 尾矿库的管理

印万忠 李丽匣 编

北 京

冶金工业出版社

2009

内 容 提 要

本书系统介绍了尾矿的综合利用及尾矿坝管理的基本知识,着重介绍了尾矿和尾矿坝的基本知识、尾矿的减排和综合利用现状、尾矿坝的设计和操作、尾矿库的管理和尾矿库的安全。内容全面反映了近年来尾矿综合利用的现状和进展;以尾矿库溃坝的实例,对尾矿库现存的问题进行了分析,提出了尾矿库安全管理的措施。

本书可供从事矿业管理的相关人员、科研、设计人员和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

尾矿的综合利用与尾矿库的管理/印万忠,李丽匡编.
—北京:冶金工业出版社,2009.7
ISBN 978-7-5024-4965-0

I. 尾… II. ①印… ②李… III. ①尾矿利用
②尾矿—矿山安全—安全管理 IV. TD926.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 108451 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

策划编辑 张 卫 责任编辑 李 雪 美术编辑 张媛媛

版式设计 葛新霞 责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4965-0

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009 年 7 月第 1 版,2009 年 7 月第 1 次印刷

148mm×210mm;6.25 印张;184 千字;189 页;1-3000 册

28.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

我国是一个矿业生产大国，矿业固体废料的积存量和年排放量十分巨大。矿产资源开发利用过程中产生的尾矿已成为最大的工业固体废弃物，约占总量的 80%。每年产生的矿山尾矿达到 6.5 亿 t，累计库存 70 亿 t 以上，仅冶金矿山堆存的尾矿就达 60 余亿 t，并以每年 4~5 亿 t 的排放量剧增；铁矿山排土场堆存的废石量高达 200 多亿 t，并且以每年 9 亿 t 以上的排放量剧增。固体废料多以自然堆积法储存于尾矿坝中，从而占用了大量宝贵的土地资源，污染着矿区与周边环境，造成生态环境恶化，同时也造成大量有价金属与非金属资源流失，成为矿山发展的严重制约因素。很明显，改进尾矿设施设计，降低管理维护成本，发展节地、节能、节材、环保利废的新型工业是尾矿处理的有效途径，也必将对我国的可持续发展产生重大而深远的影响。

另外，尾矿库引发的地质灾害事故是不可忽视的重大社会问题。近几年我国发生的几起尾矿库溃坝事件，如 2006 年河北省迁安市庙岭沟铁矿闭库尾矿库的溃坝事故，镇安县黄金有限责任公司尾矿库增容施工造成垮塌，2007 年山西宝山矿业有限公司尾矿库溃坝事故，辽宁省鞍山市海城鼎洋矿业有限公司选矿厂 5 号尾矿库溃坝事故，2008 年太原娄烦县境内的太钢尖山铁矿排土场的重大垮塌事故，襄汾县新塔矿业公司尾矿库的溃坝事故，均造成了人民生命财产的巨

大损失。尾矿设施是矿山生产设施的重要组成部分，它既是兴利设施，同时又是一个重大的危险源。尾矿库一旦失事，会给尾矿库下游人民生命财产造成灾难性的损失。因此，尾矿库的建设与维护管理成为矿山生产建设管理的重中之重。

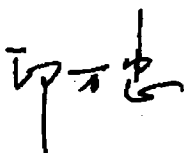
在矿产资源日趋重要的形势下，合理开发尾矿资源，保证尾矿库的安全，对社会经济和生态环境的意义十分重要。研究尾矿的利用途径和尾矿坝的管理，就是将尾矿变废为宝，化害为利，走出一条资源开发与环境保护相协调的矿业发展道路，即“绿色矿业”之路。基于此，作者编写了此书，目的是能为矿山管理人员和技术工作者在尾矿综合利用和尾矿库安全管理方面提供参考。

本书由印万忠、李丽匣共同编写，共分5章，包括尾矿和尾矿坝的基本知识、尾矿的减排和综合利用现状、尾矿坝的设计和操作、尾矿库的管理和尾矿库的安全等内容。全书由印万忠教授统稿和整理。

本书的编写和出版，得到了东北大学各级领导的关怀和支持，也得到了冶金工业出版社的大力协助，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中疏漏之处，敬请广大读者指正。

作者：



2009年5月于沈阳

目 录

1 尾矿及其尾矿坝	1
1.1 尾矿的定义及类型	2
1.1.1 尾矿的定义	2
1.1.2 尾矿的分类	3
1.1.3 尾矿的特点	5
1.2 选矿与尾矿	7
1.3 尾矿库(坝)	12
1.4 尾矿及尾矿坝对环境的影响	13
2 尾矿的减排与综合利用	18
2.1 尾矿的成分与性质	18
2.1.1 尾矿的化学成分与矿物成分	18
2.1.2 尾矿的物理、化学与工艺性质	20
2.1.3 尾矿的工程性质	21
2.2 尾矿利用现状	24
2.3 尾矿综合利用途径	26
2.3.1 尾矿再选	27
2.3.2 利用尾矿生产高附加值的产品	29
2.3.3 用尾矿回填矿山采空区	29
2.4 选矿厂尾矿的再选	29
2.5 选矿厂尾矿作建筑材料	33
2.5.1 熔制型尾矿建材	34
2.5.2 烧结型尾矿建材	39
2.5.3 水合型尾矿建材	42
2.5.4 胶结型尾矿建材	45

2.6 选矿厂尾矿作采空区充填料	46
2.6.1 充填采矿技术发展简介	46
2.6.2 尾砂充填技术	48
2.6.3 充填材料	50
2.6.4 充填系统	51
2.6.5 采场充填工序	52
2.6.6 尾矿充填采矿技术发展方向	53
2.6.7 全尾砂胶结充填技术	54
2.6.8 国内外全尾砂胶结充填技术的应用现状	57
2.6.9 全尾砂胶结充填技术改进及发展方向	60
2.7 选矿厂尾矿土地复垦	63
2.7.1 尾矿复垦特点	63
2.7.2 尾矿复垦利用方式	64
2.7.3 尾矿土地复垦的一般过程	65
2.7.4 尾矿复垦的基本要求	67
2.7.5 尾矿工程复垦技术	67
2.7.6 尾矿复垦实例	69
2.7.7 生物复垦	75
2.7.8 生态农业复垦技术	78
2.7.9 尾矿生态农业复垦实例	81
2.8 含汞尾矿及废水的利用	86
2.8.1 汞污染	86
2.8.2 汞污染治理	88
2.8.3 含汞废水的回用	93
2.9 尾矿综合利用存在的问题与对策	94
2.9.1 存在的问题	94
2.9.2 尾矿利用的对策与建议	95
3 尾矿坝的设计与操作	98
3.1 尾矿设施	98
3.2 尾矿的输送系统	99

3.3 尾矿库(坝)的筑坝方法	100
3.3.1 尾矿库	101
3.3.2 尾矿坝	112
3.4 尾矿的动力特性及坝体稳定性分析	127
3.4.1 尾矿坝地下水渗流场分析	127
3.4.2 孔隙压力与超孔隙压力	128
3.4.3 边坡稳定性分析	130
3.4.4 尾矿坝的地震稳定性分析	131
4 尾矿库的管理	135
4.1 尾矿库安全度分类标准	135
4.1.1 危库	135
4.1.2 险库	136
4.1.3 病库	136
4.1.4 正常库	137
4.2 尾矿库(坝)安全生产监督法规	137
4.2.1 尾矿库安全监督管理规定	137
4.2.2 防治尾矿污染环境管理规定	142
4.3 尾矿坝安全管理对策	145
4.3.1 尾矿库管理的任务、机构与职责	145
4.3.2 尾矿库的安全管理制度	146
5 尾矿库的安全	148
5.1 尾矿库病害事故分析及治理	148
5.1.1 尾矿库病害事故分析	148
5.1.2 尾矿库常见病害的治理	153
5.2 尾矿库溃坝的原因	154
5.2.1 大坝生命周期内各溃坝模式发生事故的比较	156
5.2.2 不同时期尾矿坝发生事故的比较	157
5.2.3 根据坝高的尾矿坝溃坝事故统计	157
5.2.4 根据尾矿坝筑坝方法引起的后果情况统计	158

5.2.5 根据活动坝事故原因和事故类型统计	159
5.2.6 国内尾矿坝溃坝分析	159
5.2.7 国内外尾矿库溃坝规律性总结及预防	162
5.3 尾矿坝的风险分析	163
5.3.1 风险分析方法	163
5.3.2 小型尾矿坝的危险分析	165
5.4 尾矿坝灾害区域预警	166
5.5 尾矿坝的抗震鉴定与加固	170
5.6 尾矿库环境影响指标体系与评价	177
5.7 尾矿坝安全事故案例分析	178
5.7.1 国内尾矿坝安全事故案例分析	179
5.7.2 国外尾矿坝安全事故案例分析	185
参考文献	187

1 尾矿及其尾矿坝

我国是一个矿业生产大国，矿业固体废料的积存量和年排放量十分巨大，每年产生的矿山尾矿达到 6.5 亿 t，累计库存 70 亿 t 以上。目前，这类废料多以自然堆积法储存于尾矿坝中，这些尾矿不仅要侵占大量的土地，污染着矿区与周边地区的环境，而且每年还需要投入大量处理这些废料的资金，尾矿已成为矿山企业沉重的包袱。很明显，改进尾矿设施设计，降低管理维护成本，发展节地、节能、节材、环保利废的新型工业是尾矿处理的有效途径，也必将对我国的可持续发展产生重大而深远的影响。

尾矿设施是矿山生产设施的重要组成部分，尾矿设施既是兴利设施，但它同时又是一个重大的危险源，其各组成部分中以尾矿库最为重要。尾矿库一旦失事，会给尾矿库下游人民生命财产造成灾难性的损失。因此，尾矿库的建设与维护管理成为矿山生产建设管理的重中之重。

矿产资源是人类生存和发展的重要物质基础之一，矿产资源包括金属矿、非金属矿和能源矿三大类。我国 95% 的能源和 85% 的原材料都来自矿产资源。随着生产力的发展和科学技术水平的提高，人类利用矿产资源的种类、数量愈来愈多，利用范围愈来愈广。到目前为止，全世界已发现的矿物有 3300 多种，其中具有工业意义的有 1000 多种，每年开采各种矿产 150 亿 t 以上，包括废石在内则达 1000 亿 t 以上。以矿产品为原料的基础工业和相关加工工业产值约占全部工业产值的 70%。由于矿产资源开发过程中丢弃的大量废石和尾矿所带来的环境污染，成为当今世界持续发展面临的最重要的问题之一。因此，矿产资源的合理开发对社会经济和生态环境的意义均十分重要。

在工业上用量最大，对国民经济发展有重要意义的金属矿产主要有铁、锰、铜、铅、锌、铝、镍、钨、铬、锑、金、银等。以上矿石储量和开采量都很大，但因矿石的品位普遍较低，多数为贫矿，需要

经过选矿加工后才能作为冶炼原料,所以就产生出大量的尾矿,如铁尾矿产出约占原矿石量的60%以上。随着经济发展对矿产品需求的大幅增加,矿产资源开发规模随之加大,尾矿的产出量还会不断增加。为了管理好这些尾矿,就需要实施相应的尾矿工程,包括尾矿坝的修筑、尾矿输送设备、输送管路的铺设以及平时的经营管理,故需要耗费大量人力、物力、财力,并要占用大量的农田、山地。随着尾矿量的增加,尾矿坝越堆越高,堆坝和管理工作量越来越大,越来越困难,细粒尾矿还会对大气、土壤和水资源产生严重污染。尾矿库还有发生事故的危险,一旦发生,后果十分严重。因此,研究尾矿的利用途径和尾矿坝的管理,就是将这些尾矿变废为宝,化害为利,走出一条资源开发与环境保护相协调的矿业发展道路。

近年来,国外非常重视尾矿的综合利用研究,如英国、前苏联、加拿大、美国等均投入大量的资金,研究尾矿的综合利用技术,并取得了明显的社会效益和经济效益。我国在金属矿山尾矿综合利用研究方面也取得了一定的进展和成绩。面临矿产资源严重缺乏的形势,越来越多的人认识到尾矿利用具有经济意义、环境保护效益和矿产资源持续供给的作用。尾矿利用的重要性,现已得到普遍认同,并列入“中国21世纪议程”第一批优先项目中。

1.1 尾矿的定义及类型

1.1.1 尾矿的定义

尾矿,就是选矿厂在特定经济技术条件下,将矿石磨细、选取“有用组分”后所排放的废弃物,也就是矿石选别出精矿后剩余的固体废料。一般是由选矿厂排放的尾矿矿浆经自然脱水后所形成的固体矿业废料,是固体工业废料的主要组成部分,其中含有一定数量的有用金属和矿物,可视为一种“复合”的硅酸盐、碳酸盐等矿物材料,并具有粒度细、数量大、成本低、可利用性大的特点。通常尾矿作为固体废料排入河沟或抛置于矿山附近筑有堤坝的尾矿库中,因此,尾矿是矿业开发、特别是金属矿业开发造成环境污染的重要来源。同时,因受选矿技术水平、生产设备的制约,也是矿业开发造成资源损

失的常见途径。因此尾矿具有二次资源与环境污染双重特性。

1.1.2 尾矿的分类

1.1.2.1 尾矿的选矿工艺类型

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，按照选矿工艺流程，尾矿可分为如下类型：

(1) 手选尾矿。手选适合于结构致密、品位高、与脉石界限明显的金属或非金属矿，因此，尾矿一般呈大块的废石状。根据对原矿石的加工程度不同，又可进一步分为矿块状尾矿和碎石状尾矿，前者粒度差别较大，但多在 100 ~ 500mm 之间，后者多在 20 ~ 100mm 之间。

(2) 重选尾矿。重选是利用有用矿物与脉石矿物的密度差和粒度差选别矿石，一般采用多段磨矿工艺，致使尾矿的粒度组成范围比较宽。分别存放时，可得到单粒级尾矿，混合贮存时，可得到符合一定级配要求的连续粒级尾矿。按照作用原理及选矿机械的类型不同，可进一步分为跳汰选矿尾矿、重介质选矿尾矿、摇床选矿尾矿、溜槽选矿尾矿等，其中前两种尾矿粒级较粗，一般大于 2mm。后两种尾矿粒级较细，一般小于 2mm。

(3) 磁选尾矿。磁选主要用于选别磁性较强的铁锰矿石，尾矿一般为含有一定量铁质的造岩矿物，粒度范围比较宽，一般从 0.05mm 到 0.5mm 不等。

(4) 浮选尾矿。浮选是有色金属矿产最常用的选矿方法，其尾矿的典型特点是粒级较细，通常在 0.5 ~ 0.05mm 之间，且小于 0.074mm 的细粒级占绝大部分。

(5) 化学选矿尾矿。由于化学药剂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，一般能提高其反应活性。

(6) 电选及光电选尾矿。目前这种选矿方法用的较少，通常用于分选砂矿床或尾矿中的贵重矿物，尾矿粒度一般小于 1mm。

1.1.2.2 尾矿的岩石化学类型

按照尾矿中主要组成矿物的组合搭配情况,可将尾矿分为如下8种岩石化学类型:

(1) 镁铁硅酸盐型尾矿。该类尾矿的主要组成矿物为 $Mg_2[SiO_4] \cdot Fe[SiO_4]$ 系列橄榄石和 $Mg_2[Si_2O_6] \cdot Fe[Si_2O_6]$ 系列辉石,以及它们的含水蚀变矿物:蛇纹石、硅镁石、滑石、镁铁闪石、绿泥石等,一般产于超基性和一些偏基性岩浆岩、火山岩、镁铁质变质岩、镁矽卡岩中。在外生矿床中,富镁矿物集中时,可形成蒙脱石、凹凸棒石、海泡石型尾矿。其化学组成特点为富镁、富铁、贫钙、贫铝,且一般镁大于铁,无石英。

(2) 钙铝硅酸盐型尾矿。该类尾矿的主要组成矿物为 $CaMg[Si_2O_6] \cdot CaFe[Si_2O_6]$ 系列辉石、 $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}](OH)_2 \cdot Ca_2Fe_5[Si_4O_{11}](OH)_2$ 系列闪石、中基性斜长石,以及它们的蚀变、变质矿物:石榴子石、绿帘石、阳起石、绿泥石、绢云母等,一般产于中基性岩浆岩、火山岩、区域变质岩、钙矽卡岩中。与镁铁硅酸盐型尾矿相比,其化学组成特点是:钙、铝进入硅酸盐晶格,含量增高;铁、镁含量降低,石英含量较小。

(3) 长英岩型尾矿。该类尾矿主要由钾长石、酸性斜长石、石英及其它们的蚀变矿物:白云母、绢云母、绿泥石、高岭石、方解石等构成,产于花岗岩自变型矿床、花岗伟晶岩矿床、与酸性侵入岩和次火山岩有关的高、中、低温热液矿床、酸性火山岩和火山凝灰岩自蚀变型矿床、酸性岩和长石砂岩变质岩型矿床、风化残积型矿床、石英砂及硅质页岩型沉积矿床。它们在化学组成上具有高硅、中铝、贫钙、富碱的特点。

(4) 碱性硅酸盐型尾矿。这类尾矿在矿物成分上以碱性硅酸盐矿物(如碱性长石、似长石、碱性辉石、碱性角闪石、云母)及其它们的蚀变、变质矿物(如绢云母、方钠石、方沸石等)为主。产于碱性岩中的稀有、稀土元素矿床,可产生这类尾矿。根据尾矿中的 SiO_2 含量,可分为:碱性超基性岩型、碱性基性岩型、碱性酸性岩型三个亚类,其中,第三亚类分布较广,在化学组成上,这类尾矿以富碱、贫硅、无石英为特征。

(5) 高铝硅酸盐型尾矿。这类尾矿的主要组成成分为云母类、叶蜡石类等层状硅酸盐矿物,并常含有石英。常见于某些蚀变火山凝灰岩型、沉积页岩型以及它们的风化、变质型矿床的矿石中。化学成分上,表现为富铝、富硅、贫钙、镁,有时钾、钠含量较高。

(6) 高钙硅酸盐型尾矿。这类尾矿主要矿物成分为透辉石、透闪石、硅灰石、钙铝榴石、绿帘石、绿泥石、阳起石等无水或含水的硅酸钙岩。多分布于各种钙矽卡岩型矿床和一些区域变质矿床。化学成分上表现为高钙、低碱、 SiO_2 一般不饱和、铝含量一般较低的特点。

(7) 硅质岩型尾矿。这类尾矿的主要矿物成分为石英及其二氧化硅变体。包括石英岩、脉石岩、石英砂岩、硅质页岩、石英砂、硅藻土以及二氧化碳含量较高的其他矿物和岩石。自然界中,这类矿物广泛分布于伟晶岩型、火山沉积-变质型、各种高温、中温、低温热液型、层控砂(页)岩型以及砂矿床型的矿石中。 SiO_2 含量一般在90%以上,其他元素含量一般不足10%。

(8) 碳酸盐型尾矿。这类尾矿中,碳酸盐矿物占绝对多数,主要为方解石或白云石。常见于化学或生物-化学沉积岩型矿石中。在一些充填于碳酸盐岩层位中的脉状矿体中,也常将碳酸盐质围岩与矿石一道采出,构成此类尾矿。根据碳酸盐矿物是方解石,还是白云石为主,又可进一步分为钙质碳酸盐型尾矿和镁质碳酸盐型尾矿两个亚类。

1.1.3 尾矿的特点

1.1.3.1 尾矿是丰富的二次资源

我国矿山固体废物排放量大,目前,全国工业固体废物综合利用率平均43%,其中冶炼废渣、粉煤灰、煤矸石的利用率分别为83.7%、47.9%、38.0%,而尾矿利用率仅为8%左右,但尾矿并非只有百害而无一利的废物,大量有用成分损失在尾矿中。就铁矿山而言,1997年排出的尾矿量为1.5亿t,平均含铁11%,最高达29%,相当于有1600万t的金属铁损失于尾矿中。若能回收尾矿中所含铁的10%,从全国年产出的铁尾矿中,可回收品位60%左右的铁精矿约300万t,相当于一个年产铁矿石1000万t左右的大型铁矿。我国

云锡公司有 28 个尾矿库, 35 座尾矿坝, 累计尾矿 1 亿多 t, 含锡达 20 多万 t, 还伴生有铅、锌、铋、铜、铁、砷等。此外, 由于我国早期选金水平较低, 尾矿中的含金量普遍很高。如河南省的金矿尾矿中金的含量大于 $(0.8 \sim 1.2) \text{g/t}$, 这在一些发达国家完全可以当成矿石用。湖北三鑫金铜股份有限公司年产尾矿量约 52.8 万 t, 尾矿中具有再回收利用价值的元素有金、铜、铁, 按每年选矿处理矿石量 60 万 t 计, 该尾矿每年可回收金 8928g、银 6510g、铜 3.72t、铁精矿 1.248 万 t、硫 65.1t。尾矿中绝大部分是非金属矿物, 有石英、长石、绢云母、石榴子石、硅灰石、透辉石、方解石等, 是许多非金属材料的原料。陕西双王金矿选金尾矿中含有纯度很高的钠长石, 储量达数亿 t, 成为仅次于湖南衡山的第二大钠长石基地, 如只作为金矿回收金时, 尾矿中就浪费了相当可观的重要的非金属矿资源钠长石, 若加工成半成品钠长石粉, 其价值就高达 200 亿元。因此, 随着采选业的蓬勃发展, 尾矿资源将源源不断的增加, 这是一个尚未被挖掘且潜力很大的“二次资源”。若能充分加以开发和利用, 则可创造出不可估量的财富。

1.1.3.2 尾矿粒度细、泥化严重

尾矿的粒度大小与矿石性质以及选矿过程有关, 但一般多为细砂至粉砂, 具有较低的孔隙度, 水分含量也较高, 并具有一定的分选性和层理。我国多数矿山矿石嵌布粒度细, 共生复杂, 为获得高品位精矿, 多数采用细磨后选别。因此, 排出的尾矿中的有价物质多以细粒、微细粒存在, 尾矿泥化与氧化程度较高, 同时还有未单体解离的连生体存在, 相对难磨难选。

据有关资料统计, 各矿山尾矿 -0.074mm 含量在 50% 以下的为 28.57%, 占 50% ~ 70% 的为 42.86%, 占 70% 以上的为 28.57%。多数矿山尾矿平均粒径为 $0.04 \sim 0.15 \text{mm}$ 。如西石门铁矿的尾矿, $-74 \mu\text{m}$ 占 70%; $-38 \mu\text{m}$ 占 50%。这样的尾矿不需要磨矿就可直接进行回收和加工利用。湘西金矿沃溪矿区的 1 号尾矿库堆存的老尾矿有 35.27 万 t, 所含金、铋、钨的平均品位分别为 4.18g/t 、0.714%、0.16%, 该尾矿中的金为微细粒金, 其中 $-10 \mu\text{m}$ 微粒金占 29.61%, 而且与脉石关系密切, 与脉石连生及包裹的金占 39.77%。金的粒度

特性和赋存状态决定了该尾矿中的微粒级金损失严重,回收难度大。

由于尾矿是矿石磨选后的最终剩余物,因此含有大量的矿泥,且矿泥以细粒、微细粒形式存在,严重干扰尾矿中有价物质的回收。虽然粒度细的尾矿对某些建材制品的强度会产生不利影响,但只要根据其粒度、性质找出不同的回收利用途径,也会发挥更大的效益。

1.1.3.3 尾矿资源量庞大、种类繁多

由于矿床成矿条件和成因不同,故矿石类型及主要伴生元素也存在差异,相应的选厂尾矿的性质也有所不同。据不完全统计,国内金属矿山堆存的尾矿中铁矿占1.3亿t,各种有色金属尾矿1.4亿t,其余为黄金、煤炭、化工、建材、核工业等矿山所生产的尾矿。我国黄金系统每年排放的尾矿已超2450万t。我国湖北省蛇屋山金矿,在近十年的开采历史中,矿山累积下来了700万t以上的金矿尾矿,并以每年150万t的速度增加。石棉尾矿是一种以蛇纹石为主要成分的危险固体废弃物,在石棉矿的选矿提纯中,生产1t石棉产品会产生27t左右的石棉尾矿。

尾矿种类繁多,性质复杂,以铁矿山为例,鞍山式铁尾矿中90%是石英(玉髓)和绿泥石、角闪石、云母、长石、白云石和方解石等矿物;宁芜式铁尾矿中以透辉石、阳起石、磷灰石、碱性长石、黄铁矿及硬石膏等为主;马钢型铁尾矿以透辉石、阳起石、磷灰石、长石、石膏、高岭土、黄铁矿为主,含铝量较高;邯鄹型铁尾矿以透辉石、角闪石、阳起石、硅灰石、蛇纹石、黄铁矿为主,钙、镁含量较高;酒钢型铁尾矿以石英、重晶石、碧玉为主,钙、镁、铝含量均较低;大冶、攀枝花、白云鄂博等矿山尾矿中含有铜、钴、钒、钛,有的含有价值很高的贵金属和稀有元素等。

1.2 选矿与尾矿

选矿就是对开采出来的原生矿石进行分级和选别,使得有用矿物富集到满足冶炼要求的品位,或使之达到一定使用要求的质量等级的过程。矿石经选矿后,所得到的有用矿物部分称为精矿,暂时尚不能被利用或不打算利用的部分即为尾矿。

尾矿已成为大多数矿山企业最重要的环境影响源。然而,长期以

来由于偏重于有用矿物提取，而把尾矿看作单纯的废料，因而局限了人们对尾矿影响的环境意识和技术意识，很少作为独立的整体系统地从论述尾矿—选矿废水—尾矿库基础土壤—地下水之间的极其复杂的物理、化学、生物的作用过程和特性。由于在尾矿库选址、设计和渗漏影响方面的缺陷，使许多矿山因尾矿管理不当而长期蒙受重大经济损失。近些年来，由于各国政府和公众对未来的关注，环境立法逐渐形成，环境影响必然成为建设约束，许多拟建矿山因尾矿库环境工程不当而使矿山投资陷于困境。

尾矿是矿物提纯的副产物，矿物加工过程在很大程度上决定尾矿的性质。如果在尾矿库总体设计中充分考虑采矿和选矿过程引起的各种化学、物理、生物作用，就可能非常有效地减少尾矿管理问题和经费。如果矿山在运营之中，也可能有比较多的机会改变加工流程，以在一定程度上改善或缓解尾矿库问题。尾矿的产生主要发生在以下几个过程中。

(1) 采矿过程。在矿石开采过程中所使用的油料、化学药品和炸药等造成的污染，这些污染物再经大量的矿山排水而运移。有时这些矿山排水用于后面的单元作业，有时在排至尾矿库之前加以处理，供作它用。然而，大多数矿山将这些矿山水排至尾矿库。开采过程中所产生的废石，通常排至排土场，或用作筑路材料。在废石含有硫化物的场合，由于空气、阳光和细菌引起风化作用和氧化作用，硫化物氧化最终生成硫酸，再从岩石溶解出其他成分。如果这类废石排至尾矿库区，则需要拦截和处理酸性渗漏水，以使排放水满足特定的环境规范和准则。

(2) 破碎、磨矿和分选过程。一般的选矿工艺主要包括破碎、磨矿、分选三个基本工序。破碎系统把块状原矿粒度破碎到磨矿设备所能接受的尺寸进入磨矿，磨矿是物理破碎矿石到尾矿粒级的最后阶段。尾矿粒度取决于硬岩碎块研磨过程中颗粒解离的程度和原矿中黏土含量。例如，铜尾矿主要由研磨母岩所产生的硅酸盐颗粒组成，而磷酸盐尾矿主要反映原矿的极高黏土含量，而不是由于磨矿产生的碎粒。

经过破碎和磨矿的剧烈物理冲击，余下来的尾矿颗粒通常是坚硬