



尾砂固结排放技术

WEISHA GUJIE PAIFANG JISHU

侯运炳 魏书祥 王炳文 著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

尾砂固结排放技术

侯运炳 魏书祥 王炳文 著

北 京
冶金工业出版社
2016

内 容 简 介

本书系统地阐述了金属矿山尾砂固结排放的理论与技术,内容涉及新型全尾砂固结胶凝材料的研制、全尾砂固结机理与配比优化、全尾砂高效脱水固结一体化技术、全尾砂固结排放系统建设与保障、全尾砂固结体稳定性与安全评价等方面的内容。

本书可作为采矿工程和矿物资源工程专业研究生教材,亦可供采矿工程、岩土工程等领域的设计、生产、研究、管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

尾砂固结排放技术/侯运炳,魏书祥,王炳文著. —北京:
冶金工业出版社, 2016. 4

ISBN 978-7-5024-7210-8

I. ①尾… II. ①侯… ②魏… ③王… III. ①尾矿—
固结理论 ②尾矿处理—研究 IV. ①TD926. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 071137 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 yjchs@cnmp. com. cn

责任编辑 赵亚敏 张耀辉 美术编辑 彭子赫 版式设计 杨 帆

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7210-8

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

2016 年 4 月第 1 版, 2016 年 4 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 16. 25 印张; 314 千字; 246 页

59. 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 yjgchs. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

尾砂固结排放技术是指在尾砂干式排放的基础上,通过加入少量的胶凝材料(如硅酸盐水泥)对尾砂进行胶结,尾砂经固结后形成具有一定强度的固结体,从根本上改变了尾砂堆体的结构特点与力学性质,确保了尾砂堆体的稳定与安全。

五矿邯邢矿业有限公司和中国矿业大学(北京)合作,于2007~2013年开展了铁矿全尾砂固结排放技术研究,先后进行了实验室试验和小型工业试验,研究并解决了全尾砂固结排放的相关技术问题,提出了全尾砂固结排放的工艺流程及其工艺参数。以该项目研究成果为依据,五矿邯邢矿业有限公司委托设计单位进行了西石门铁矿北区塌陷坑60万吨/年尾砂固结排放工艺系统的设计,设计内容包括设备选型、厂址选择、基本操作和控制等。2012年4月,完成西石门铁矿全尾砂固结排放系统的建设与安装工作,并投产试运行。项目研究取得以下主要成果:

(1)发明了一种全新的矿山尾砂处理技术方法——全尾砂固结排放。该技术是将选矿厂排放的全尾砂经浓缩脱水和固结处理后,可利用矿山开采形成的地表塌陷坑进行排尾,或堆存至地表其他适宜地点。与传统的建设尾矿库进行排尾相比,该技术利用地表采矿塌陷坑进行排尾而无需再建尾矿库,不仅能有效解决矿山建库占地、存在溃库隐患等问题,还能缓解矿山开采造成的环境污染与生态破坏;与尾砂干式堆存相比,该技术采用胶凝材料将全尾砂进行固结处理,避免了干堆尾砂遇水极易产生泥化和崩溃,以及扬尘等环境污染问题。

(2)提出了全尾砂高效浓缩脱水固结一体化技术,给出了全尾砂固结排放的工艺模式与技术参数。全尾砂固结排放技术的工艺模式是

泵砂→加料→搅拌→脱水→固结排放,即将矿山选厂排放的全尾砂浆首先采用浓密设备浓缩至质量浓度为40%~50%的尾砂浓浆,再将尾砂浓浆经供砂管注入搅拌池并添加适量全尾砂固化剂并搅拌均匀,搅拌后的混合料浆由过滤脱水设备浓缩脱水至含水率为20%~25%的干料,再经输送设备转排至矿山地表塌陷坑或其他适宜地点堆存,并进行尾砂固结堆场的土地复垦与生态重建。

(3) 研发了一种适宜全尾砂固结排放的低成本、环境友好型的胶凝材料——全尾砂固化剂。作为一种新型尾砂处理方式,全尾砂固结排放技术要求固结胶凝材料在固结强度、水化性能等方面具有独特之处。铁矿全尾砂具有颗粒细小、含泥量高、固结脱水困难等特点,采用传统的通用水泥作固结胶凝材料又存在着固结成本高、性能不适用等不足。全尾砂固化剂是基于土壤固结原理,以水泥熟料、石灰和高炉水淬矿渣等为主料,添加少量的激发剂、早强剂等磨制而成,可与铁矿全尾砂中的黏土矿物质发生溶解、结晶、吸收、扩散、再结晶的链式化学反应,使全尾砂颗粒之间具有良好的链接状态,紧固程度和抗压强度大幅度提高,从而将全尾砂固结成整体坚实、稳定、持久的板块结构。研究表明,全尾砂固化剂对铁矿尾砂的固结性能提高50%~60%。

(4) 确定了全尾砂固结排放适宜胶凝材料掺量与安全配比设计规律。全尾砂固结胶凝材料掺量为2%~3% (质量百分比) 时,全尾砂固结体28d单轴抗压强度达到0.50~1.0MPa。理论研究与数值计算表明,全尾砂固结体28d单轴抗压强度超过0.50MPa,能实现地表采矿塌陷坑全尾砂干式安全堆存,并对全尾砂固结堆体在低温、渗水、降水、采动影响条件下的安全稳定性能进行分析与评价。

(5) 首次建成了全尾砂固结排放生产系统,并在实际应用中取得了良好技术效果和经济及环境效益。

(6) 建立了有关全尾砂固结排放工艺和尾砂固结体性能的检测、检验标准,以便更好地指导生产作业,确保生产作业安全、稳定、

可靠。

经过七年的科技攻关，实现了西石门铁矿全尾砂固结排放工艺。利用尾砂固结排放系统对矿山全尾砂进行脱水固结后排放到地表采矿塌陷坑内，既缓解了当前尾矿库排放的压力，无需再进行尾矿库扩容或新建尾矿库，又解决了地表塌陷坑的回填以及后续的土地复垦问题，还探索并完善了全尾砂固结排放技术，改变了传统的尾矿库排放方式，消除了尾矿库安全隐患。

本书对金属矿山尾砂固结排放的理论与技术进行了系统阐述。在本书撰写过程中，引用了诸多专家学者和相关研究人员的成果和论著，作者深表谢意。本书的撰写还得到了五矿邯邢矿业有限公司岳润芳总工程师、陈超教授级高工，西石门铁矿祁建东矿长、窦梅林总工程师、朱利军科长以及科研团队杨宝贵教授、吴迪博士、蔡先锋博士、张磊硕士等的大力帮助，在此一并表示感谢。

本书出版得到了中国矿业大学（北京）学科建设经费资助，在此表示衷心感谢。

因水平所限，书中难免有错误疏漏之处，敬请读者批评指正。

著 者

2015 年 12 月

目 录

1 绪论	1
1.1 尾矿的产生与分类	1
1.1.1 尾矿产生	1
1.1.2 尾砂分类	3
1.1.3 尾砂特点	5
1.2 尾砂处置途径与方法	7
1.2.1 尾矿库湿式排放	7
1.2.2 尾砂干式堆存技术	8
1.2.3 充填矿山采空区	9
1.2.4 生产建筑材料	9
1.3 尾砂固结排放技术	11
1.3.1 研究背景	11
1.3.2 研究内容	13
1.3.3 研究方法与技术路线	14
2 新型全尾砂固结胶凝材料研究	16
2.1 西石门铁矿全尾砂基本性质	16
2.1.1 粒度分析	16
2.1.2 化学成分	17
2.2 尾砂固结胶凝材料研究现状	18
2.2.1 硅酸盐类水泥	18
2.2.2 高水速凝胶结材料	19
2.2.3 水泥基水泥代用品	19
2.3 新型全尾砂固结材料设计	21
2.3.1 设计思路	21
2.3.2 矿渣物理化学性质	22
2.3.3 固结剂基本组成	26

2.4 物理力学性能测试	27
2.4.1 基本物理力学性能	27
2.4.2 全尾砂固结性能	28
2.4.3 固结料浆流动性能	30
2.5 水化机理研究	32
2.5.1 水化产物分析	32
2.5.2 水化过程与水化机理	34
2.6 固结机理分析	38
2.6.1 固结体微观结构分析	38
2.6.2 尾砂固结机理	40
2.7 生产成本分析	40
2.7.1 生产工艺过程	40
2.7.2 生产成本比较分析	42
2.8 本章小结	43
3 全尾砂固结机理与配比研究	45
3.1 现有尾砂固结胶凝材料选择	45
3.1.1 普通硅酸盐水泥	45
3.1.2 矿渣硅酸盐水泥	47
3.1.3 固结胶凝材料选择	48
3.2 矿渣硅酸盐水泥改性试验	50
3.2.1 改性试验研究目的	51
3.2.2 尾砂固结常用外加剂	51
3.2.3 改性实验设计	54
3.2.4 试验结果分析	56
3.3 全尾砂固结机理分析	61
3.3.1 固结体水化产物分析	61
3.3.2 固结体微观结构分析	63
3.3.3 矿渣水泥固砂机理分析	63
3.3.4 尾砂固结数值模拟研究	65
3.4 固结体配比设计	73
3.4.1 固结排放力学特性	73
3.4.2 强度发展规律研究	77
3.4.3 脱水干料析水试验	80
3.4.4 固结体泥化试验	82

3.5 低温环境固结研究	85
3.5.1 低温环境固结机理分析	85
3.5.2 邯郸地区冬季气温	88
3.5.3 低温环境固结试验	89
3.6 本章小结	93
4 尾砂高效脱水固结一体化技术研究	95
4.1 尾砂浓缩脱水技术	95
4.2 全尾砂固结排放工艺模式	98
4.3 全尾砂料浆脱水工艺研究	99
4.3.1 全尾砂料浆沉降性能	99
4.3.2 脱水过滤设备选择	106
4.3.3 全尾砂浆脱水工艺试验	115
4.4 固结排放工业试验	120
4.4.1 工艺系统设计	120
4.4.2 工业试验方案	122
4.4.3 小型工业试验	125
4.5 本章小结	136
5 60万吨/年尾砂固结排放系统建设与生产	138
5.1 固结排放系统规模确定	138
5.1.1 确定原则	138
5.1.2 尾矿库剩余库容与可排尾的塌陷区容量	138
5.1.3 生产运行现状	139
5.1.4 北区塌陷坑尾砂固结排放系统规模	141
5.2 尾砂固结排放系统建设	142
5.2.1 系统设计概述	142
5.2.2 系统总图建设	148
5.2.3 滤前浓密系统建设	149
5.2.4 固结材料添加系统建设	154
5.2.5 脱水过滤系统建设	156
5.2.6 固结尾砂输送与排放	158
5.2.7 检测控制系统建设	159
5.3 尾砂固结排放工艺优化	160
5.3.1 固结排放工艺流程	160

5.3.2 主要设备及其性能	161
5.3.3 生产数据监测及参数优化	167
5.4 系统产能与成本分析	175
5.4.1 产能分析	175
5.4.2 成本分析	177
5.5 本章小结	179
6 尾砂固结排放系统保障	180
6.1 固结排放系统操作规程	180
6.1.1 系统运行程序	180
6.1.2 HRC18 型浓密机	180
6.1.3 圆盘真空过滤机	182
6.1.4 其他	185
6.2 系统故障及解决建议	187
6.2.1 尾砂浆浓密系统	187
6.2.2 水泥给料系统	188
6.2.3 尾砂浆搅拌系统	189
6.2.4 脱水过滤系统	189
6.2.5 干料输送系统	190
6.2.6 系统优化建议	190
6.3 本章小结	193
7 尾砂固结体稳定性研究与安全评价	194
7.1 固结排尾安全评价	194
7.1.1 塌陷坑尾砂固结排放的安全要求	194
7.1.2 安全隐患及预防对策	195
7.1.3 塌陷区危险监测及处理对策	197
7.1.4 安全保障措施	198
7.2 北区塌陷坑的稳定性研究	199
7.2.1 本构模型选择	200
7.2.2 模型建立与参数选取	200
7.2.3 数值模拟结果分析	202
7.3 固结堆存的稳定性分析	205
7.3.1 方案设计	205
7.3.2 数值模型建立	206

7.3.3 结果分析	206
7.4 固结体稳定性分析	212
7.4.1 模型建立	212
7.4.2 数值模拟方案	214
7.4.3 水泥掺量对边坡稳定性的影响	214
7.4.4 降雨对固结体稳定性的影响	216
7.4.5 渗水作用对固结体稳定性的影响	225
7.4.6 采动对固结体稳定性的影响	228
7.5 本章小结	230
8 尾砂固结排放经济效益与环境影响分析	231
8.1 经济效益分析	231
8.1.1 直接经济效益分析	231
8.1.2 塌陷坑固结排放与尾矿库排尾比较	231
8.2 社会效益与环境效益分析	236
8.3 环境影响评价	236
8.3.1 环境现状	236
8.3.2 污染源分析	237
8.3.3 环境质量监测与评价	238
8.3.4 污染防治措施	239
8.4 本章小结	242
附表 邯郸地区 2004 ~ 2006 年冬季温度变化	243
参考文献	244

1 绪 论

矿产资源是人类生存和发展的重要物质基础之一。随着生产力发展和科技水平的提高,人类利用矿产资源的种类、数量越来越多,利用范围也越来越广。到目前为止,全世界已发现矿物 3300 余种,其中具有工业意义的 1000 多种,每年开采各类矿产 150 亿吨以上,若包括废石在内则超过 1000 亿吨,以矿产品为原料的基础工业和相关加工工业产值占全部工业总产值的 70% 左右。

在工业上用量最大、对国民经济发展具有重要意义的金属矿产主要包括铁、锰、铜、铅、锌、铝、镍、钨、铬、锑、金、银等。以上矿石储量及其开采量大,但因矿石品位普遍较低,需经选矿加工后才能作为冶炼原料,故将产生大量的尾砂。例如,铁尾砂产出量约占原矿总量的 60% 以上。随着国民经济发展对矿产品需求量的大幅增加,矿产资源开采规模随之加大,尾砂的排放量将不断增加。矿产资源开发过程中丢弃的大量废石和尾砂在地表堆存而引发的环境污染、生态破坏、安全事故和占用土地等诸多问题,已成为不可忽视的重大社会问题,是当今世界可持续发展面临的最重要问题之一。

1.1 尾矿的产生与分类

1.1.1 尾矿产生

矿山采出的矿石,经选矿破碎、磨细,从中选出有用矿物后,余下的矿渣称为尾矿。

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了尾矿的性质。矿物加工的一般过程和工艺如图 1-1 所示。

(1) 采矿。通过一定的技术手段、方法和设备,将地壳内可利用矿物开采出来的过程。根据采矿作业场所的不同,固态矿产资源开采可分为露天开采和地下开采。

(2) 破碎、磨矿和分选。一般的选矿工艺主要包括破碎、磨矿和分选三个基本工序。矿山开采的块状原矿首先经破碎后进入磨矿设备进行粉磨至一定粒度,再通过重选、浮选等选矿工艺流程获得精矿。精矿被运送至冶炼厂或使用用户,尾矿则就近排至尾矿库或用于空区充填。由于选矿厂的磨矿与选别工序通常是在矿浆状态下进行的,故刚从选矿厂排出的尾矿一般呈流体状态,需经浓缩设备初步脱水后,才将其用管道输送到尾矿库。

(3) 溶浸。将磨碎的矿石与溶剂接触，从中提取有用矿物。进入溶浸阶段的材料可能是低品位矿石、精矿或难选的多金属矿石。

(4) 固液分离。固液分离可通过旋流器和浓浆机实现，也可通过真空过滤机、压力过滤机和圆盘过滤机完成。

(5) 溶液提纯与金属回收。根据所要回收的金属类型和杂质、预期的品位和金属量，选用黏结、沉淀、结晶、离子交换、溶剂萃取、碳吸附、反渗透、液膜和电解等提纯方法，将溶液中的金属回收并满足产品高纯度的要求。

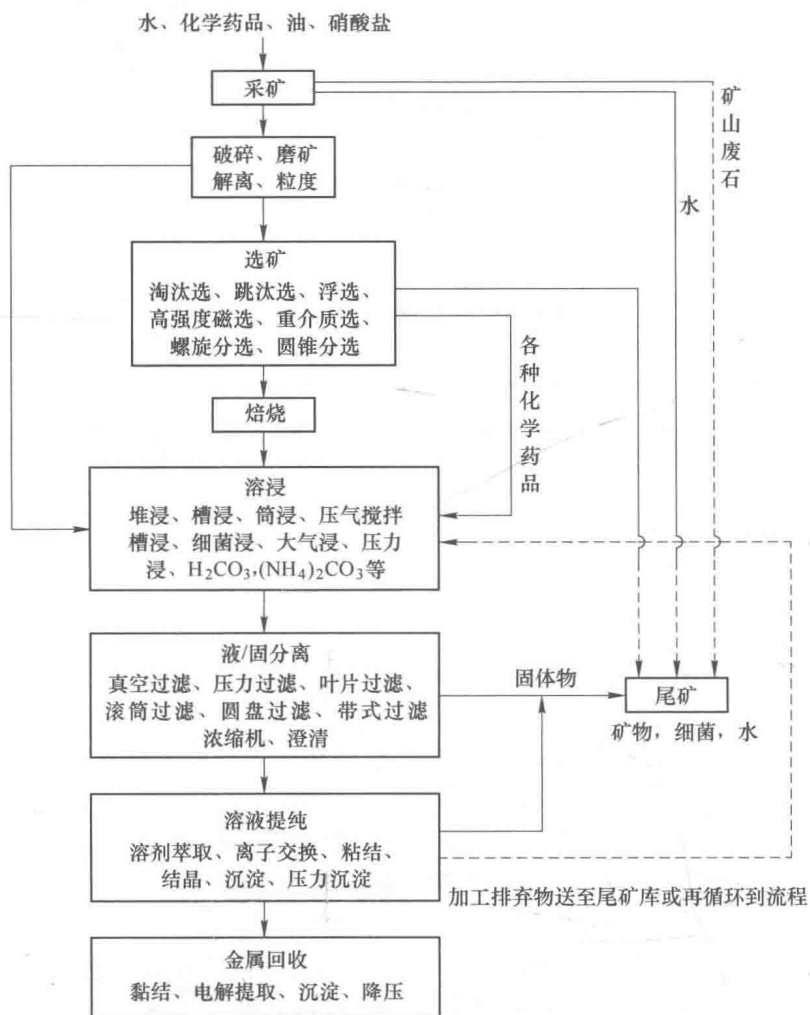


图 1-1 矿物加工过程

尾矿是固体工业废料的主要组成部分，但因受选矿技术水平、生产设备等的制约，其中仍含有一定数量的有用金属和矿物，可视为二次资源，具有粒度细、

数量大、可利用的特点。尾砂则是指不具备二次资源再利用价值或二次资源再利用价值极低的尾矿。本书所论述的固结排放技术主要是尾砂的固结与排放。

1.1.2 尾砂分类

1.1.2.1 按选矿工艺类型分类

不同种类和结构构造的矿石,需要不同的选矿工艺流程,其尾砂构成、颗粒形态和级配等亦不相同。按照选矿工艺流程不同,尾砂可分为如下类型:

(1) 手选尾砂。手选主要适于结构致密、品位高、与脉石界限明显的金属或非金属矿石,通常尾砂呈块状或碎石状。

(2) 重选尾砂。重选是利用有用矿物与脉石矿物的密度和粒度差异选别碎石,通常采用多段磨砂工艺,故其尾砂的粒度组成范围较宽。按照作用原理与选矿设备不同,重选尾砂还可进一步分为跳汰选矿尾砂、重介质选矿尾砂、摇床选矿尾砂、溜槽选矿尾砂等,其中前两种尾砂粒级较粗(大于2mm),后两种尾砂粒级较细(小于2mm)。

(3) 磁选尾砂。磁选主要用于选别磁性较强的铁锰矿石,其尾砂含有一定量的铁质造岩矿物,粒度范围较宽,一般为0.05~0.5mm不等。

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

(5) 化学选矿尾砂。由于化学药剂在浸出有用元素的同时,也对尾砂颗粒产生一定程度的腐蚀或改变其表面状态,一般能提高该尾砂的反应活性。

(6) 电选及光电选尾砂。通常用于分选砂矿床或尾砂中的贵重矿物,尾砂粒度一般小于1mm。

1.1.2.2 按主要矿物组成分类

根据尾砂中主要组成矿物的不同,可将尾砂分为八类:

(1) 镁铁硅酸盐型尾砂。该类尾砂主要组成矿物为 $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4] \cdot \text{Fe}[\text{SiO}_4]$ 系列橄榄石和 $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6] \cdot \text{Fe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 系列辉石,以及它们的含水蚀变矿物如蛇纹石、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、海泡石型尾砂。其化学组成特点为富镁、富铁、贫钙、贫铝,且一般镁的含量大于铁,无石英。

(2) 钙铝硅酸盐型尾砂。其主要组成矿物为 $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6] \cdot \text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 系列辉石、 $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}](\text{OH})_2 \cdot \text{Ca}_2\text{Fe}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}](\text{OH})_2$ 系列闪石、中基性斜长石,以及它们的蚀变、变质矿物如石榴子石、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。与镁铁硅酸盐型尾砂相比,其化学组成特点是钙、铝进入硅酸盐晶格,含量提高;铁、镁含量

降低, 石英含量较小。

(3) 长英岩型尾砂。该类尾砂主要由钾长石、酸性斜长石、石英及其蚀变矿物如白云母、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。其在化学组成上具有高硅、中铝、贫钙、富碱的特点。

(4) 碱性硅酸盐型尾砂。这类尾砂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, 可产生这类尾砂。根据尾砂中的 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, 这类尾砂以富碱、贫硅、无石英为特征。

(5) 高铝硅酸盐型尾砂。这类尾砂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、沉积页岩型以及其风化、变质型矿床的矿石中。化学成分上, 表现为富铝、富硅、贫钙、贫镁, 有时钾、钠含量较高。

(6) 高钙硅酸型尾砂。这类尾砂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) 硅质岩型尾砂。这类尾砂的主要矿物成分为石英及二氧化硅变体, 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、中、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, 其他元素含量不足 10%。

(8) 碳酸盐型尾砂。这类尾砂中, 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, 也常将碳酸盐质围岩与矿石一同采出, 构成此类尾砂。根据碳酸盐矿物是以方解石, 还是以白云石为主, 又可进一步分为钙质碳酸盐型尾砂和镁质碳酸盐型尾砂两个亚类。

1.1.2.3 按尾砂粒级组成分类

尾砂粒级组成对矿山充填影响显著, 其既与脱水工艺有关, 更重要的是与胶结充填体的胶结性能和胶凝材料消耗量有关。尾砂粒径、尾砂的粒级组成, 都会影响胶结充填体的孔隙率、孔径分布及其渗透能力。不仅胶结充填体总的孔隙率

影响胶结充填体的强度，而且其孔径分布在胶结充填体强度的发展中也发挥重要作用，充填料的需水量会随尾砂粒度的增大而增加。建筑材料科学的理论认为，在砂浆和混凝土中若含有细泥，则会使水泥耗量增加，所形成的胶结体强度也会降低。然而，按照物理化学的理论，当物料以固态形式存在时，物理化学作用的速度与物料颗粒的表面积成正比，即随着物料磨细程度而急剧增长。因此，采用尾砂作为充填骨料时，对尾砂的粒度分析是不可缺少的。

矿山尾砂一般按粒度分为粗、中、细三类，也可按岩石生成方法分为脉矿尾砂和砂矿尾砂两类（见表1-1）。

表1-1 矿山常用的尾砂分类方法

分类方法	粗 砂		中 砂		细 砂	
按粒级所占 含量/%	>0.074mm	<0.019mm	>0.074mm	<0.019mm	>0.074mm	<0.019mm
	>40	<20	20~40	20~55	<20	>50
按平均粒径/mm	极粗	粗	中粗	中细	细	极细
	>0.25	0.25~0.074	0.074~0.037	0.037~0.03	0.03~0.019	<0.019
按岩石生成方法	脉矿（原生矿）			砂矿（次生矿）		
	含泥量小，粒径小于0.005mm 的细泥小于10%			含泥量大，粒径小于0.005mm 的细泥一般大于50%		

根据实验室试验和国内筑坝实践，一般认为，粒径大于 $37\mu\text{m}$ 的尾砂在分散放矿时可形成沉积滩； $19\sim 37\mu\text{m}$ 的颗粒沉积较好；粒径小于 $19\mu\text{m}$ 的颗粒则不易沉积，当悬液浓度为5%~10%，潜流速度超过10cm/s时，可能发生异重流。因此，可根据尾砂堆坝过程中的沉积情况，依据尾砂粒径组成进行分类（见表1-2），将其中满足一定颗粒粒径条件的细尾砂称为细粒尾砂。基于上述分类，按尾砂粒径分类比较科学实用。从尾砂中划分出细粒尾砂，对于工程应用更具有实际意义。

表1-2 尾砂按粒径组成分类

类 别		尾 矿 砂				尾 矿 土				
尾砂名称		尾砾砂	尾粗砂	尾中砂	尾细砂	尾矿泥	尾重亚黏土	尾轻亚黏土	尾亚砂	尾粉砂
判定	粒径/mm	>2.0	>0.50	>0.25	>0.10	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
标准	比例/%	10~50	>50	>50	>75	>30	>15~30	>10~15	>5~10	<5

1.1.3 尾砂特点

（1）尾矿是丰富的二次资源。我国大多数矿山矿石品位低，呈多组分共（伴）生，矿物嵌布粒度细，再加上选矿设备落后、技术和管理水平不高等原

因,造成选矿回收率偏低,大量有用成分损失于尾矿中,造成资源的严重浪费。特别是老尾矿,因受到当时条件限制,损失于尾矿中的有用组分会更大一些。例如,云锡库存尾矿达1亿吨以上,平均含锡0.15%,损失金属锡超过20万吨;吉林夹皮沟金矿老矿区金矿尾矿存量约30万吨,新尾矿库含金品位约0.4~0.6g/t、老尾砂库含金品位则高达1.0~1.5g/t,损失的金属金约1.6t、钼280t、银2t、铅500t;1997年我国铁矿排出的尾矿量约1.5亿吨,平均含铁11%,最高达29%,相当于有1600万吨的金属铁损失于尾矿中。若能回收尾矿中所含铁的10%,则从全国年产出的铁尾矿中,可回收品位60%左右的铁精矿约300万吨,相当于一座年产铁矿石1000万吨左右的大型铁矿。因此,随着采选业的蓬勃发展,尾矿资源将源源不断地增加,这是一个尚未被挖掘且潜力巨大的“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。

(2) 尾砂粒度细、泥化严重。尾砂的粒度大小与矿石性质以及选矿工艺流程有关,多为细砂至粉砂,具有孔隙度低、水分含量高的特点。据有关资料统计,各类矿山尾砂 $-74\mu\text{m}$ 含量在50%以下的为28.57%,在50%~70%的为42.86%,在70%以上的为28.57%。多数矿山尾砂平均粒径0.04~0.15mm。例如,龙都尾矿库内尾砂平均粒径 $25\mu\text{m}$,其中粒径小于 $19\mu\text{m}$ 的含量为54%,大于 $74\mu\text{m}$ 的含量为3.5%,大于 $37\mu\text{m}$ 的含量为20%,属细粒尾砂的范畴。

由于尾砂是矿石磨选后的最终剩余物,故含有大量以细粒、微细粒形式存在的矿泥,具有比表面积大、渗透性低、固结脱水困难、工程性质差等特点。例如,传统的充填理论要求充填料浆必须具有良好的渗透性能,故充填料浆中 $-43\mu\text{m}$ 的细粒级物料含量不允许超过30%;细粒尾砂堆积坝的浸润线普遍偏高,对坝体稳定性极为不利。

(3) 尾砂资源量庞大、种类繁多。因矿床成因和成矿条件不同,故矿石类型及主要伴生元素存在差异,相应的选厂尾砂性质有所不同。据不完全统计,国内金属矿山堆存的尾砂中铁矿占1.3亿吨,各种有色金属尾砂1.4亿吨,其余为黄金、化工、建材、核工业等矿山所生产的尾砂。我国黄金系统每年排放的尾砂已超过2450万吨。我国湖北蛇屋山金矿,在近十年的开采历史中,矿山累积达700万吨以上的金矿尾砂,并以每年150万吨的速度增加。石棉尾砂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左右的石棉尾砂。

尾砂种类繁多,性质复杂。以铁矿山为例,鞍山式铁尾砂中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;宁芜式铁尾砂中以透辉石、阳起石、磷灰石、碱性长石、黄铁矿及硬石膏等为主;马钢型铁尾砂以透辉石、阳起石、磷灰石、长石、石膏、高岭土、黄铁矿为主,含铝量较高;邯鄲型铁尾砂以透辉石、角闪石、阳起石、硅灰石、蛇纹石、黄铁矿为主,