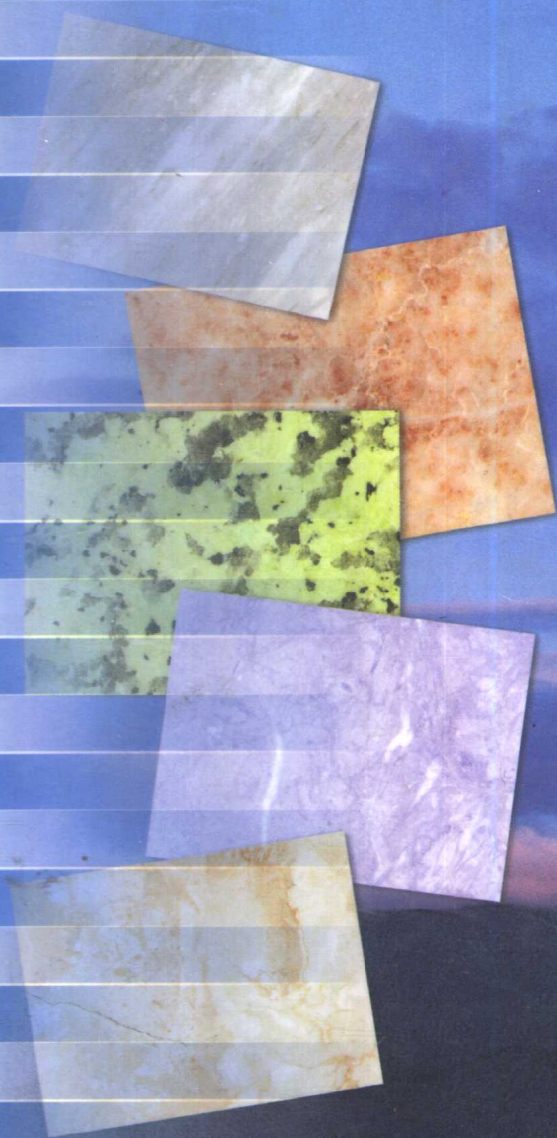


尾矿建材开发

徐惠忠 著



冶金工业出版社

TD98
X-399

尾矿建材开发

徐惠忠 著

北 京
冶金工业出版社
2000

内 容 提 要

本书在全面论述尾矿的形成、类型、成分及性质的基础上,分别讨论了熔制型尾矿建材、烧结型尾矿建材、水合型尾矿建材、胶结型尾矿建材的成分设计、生产工艺原理与工艺过程、产品技术性质及其影响因素等基础理论,以及各种尾矿建材制品的最新开发经验与研究成果。

本书是一部集理论性与实用性、系统性与针对性于一身,全面论述尾矿建材开发、生产与应用的专业书籍,可供地质、采矿、选矿、冶金、建材、建工、环保等相关领域的科技人员阅读参考,也可作为上述专业大专院校学生和研究生的选修教材。

图书在版编目(CIP)数据

尾矿建材开发/徐惠忠著. —北京:冶金工业出版社,2000.9

ISBN 7-5024-2648-5

I . 尾… II . 徐… III . 尾矿利用-建筑材料 IV . TD521.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 42031 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 田 锋 美术编辑 孟 翔 责任校对 栾雅谦

北京源海印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2000 年 9 月第 1 版, 2000 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 11 印张;262 千字;169 页;1-2000 册

20.00 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

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)



责任印制 牛晓波

目 录

第一章 绪论	1
第二章 尾矿的形成	6
第一节 矿床与围岩	6
第二节 矿石与脉石	7
第三节 选矿与尾矿	9
第三章 尾矿的类型	12
第一节 尾矿的矿床学类型	12
第二节 尾矿的选矿工艺类型	14
第三节 尾矿的岩石化学类型	15
第四章 尾矿的成分和性质	17
第一节 尾矿的化学成分与矿物成分	17
第二节 尾矿的物理性质	20
第三节 尾矿的化学性质	23
第四节 尾矿的物理化学性质	23
第五节 尾矿的工艺性质	29
第五章 熔制型尾矿建材	31
第一节 熔制型尾矿建材的成分设计	31
第二节 熔制型尾矿建材的工艺原理与工艺过程	40
第三节 熔制型尾矿建材的技术性质及其影响因素	46
第四节 尾矿平板玻璃	51
第五节 尾矿微晶玻璃装饰板	57
第六节 尾矿空心玻璃砖	59
第七节 尾矿玻璃锦砖	59
第八节 尾矿泡沫玻璃	60
第九节 尾矿玻璃棉及其制品	62
第十节 尾矿玻璃管	62
第六章 烧结型尾矿建材	64
第一节 烧结型尾矿建材的成分设计	64
第二节 烧结型尾矿建材的工艺原理与工艺过程	68
第三节 烧结型尾矿建材的技术性质及其影响因素	79
第四节 尾矿水泥	84
第五节 尾矿建筑陶瓷	90
第六节 尾矿烧结砖瓦	97
第七节 尾矿耐火材料	98
第八节 尾矿轻骨料	100

第七章 水合型尾矿建材..... 103

第一节 水合型尾矿建材的成分设计..... 103

第二节 水合型尾矿建材的工艺原理与工艺过程..... 110

第三节 水合型尾矿建材的技术性质及其影响因素..... 119

第四节 蒸压尾矿砖..... 123

第五节 尾矿加气混凝土..... 126

第六节 高强尾矿混凝土蒸压板与蒸压砌块..... 131

第七节 硅酸镁质尾矿水合建材..... 132

第八章 胶结型尾矿建材 134

第一节 尾矿颗粒的级配设计与性能要求..... 134

第二节 胶结型尾矿建材的工艺原理与工艺过程..... 147

第三节 尾矿混凝土构件..... 164

第四节 尾矿混凝土空心砌块..... 164

第五节 彩色尾矿混凝土装饰板..... 166

第六节 尾矿砂浆..... 167

参考文献..... 168

.

第一章 绪 论

一、尾矿建材的国民经济意义

保持生态平衡,实现可持续发展,已成为当今世界的一大主题。我国在制定的“中国 21 世纪议程”中,也将其列为基本国策。其中,努力实现对资源的有效利用,提高固体废料的再生利用水平,是实现可持续发展的重要组成部分之一。

固体废料,亦称为废渣,是指工农业生产和日常生活中排放的暂时尚不能利用或排放主体无意利用的固体废弃物。按照其排放发生源不同,可分为如下几类:(1)工业固体废料,如冶金工业形成的各种金属矿渣和赤泥、机械工业形成的废旧型砂、化学工业排放的化学石膏和硫酸渣、能源工业排放的粉煤灰、油页岩灰等;(2)矿业固体废料,如采煤所形成的煤矸石、采矿形成的废石和尾矿、开采油气时伴生的硫磺等;(3)农业固体废料,如各种农作物的秸秆和皮壳、畜产品的粪便和骨骼等;(4)生活固体废料,如建筑垃圾、生活垃圾、水处理沉淀淤泥等。

随着科学技术的不断发展和人们环保意识的日益增强,许多固体废料现已相继得到开发利用,从而不再被视作废物,而成为宝贵的资源。如冶金高炉矿渣,现已广泛应用于水泥、陶瓷、砖瓦等建筑材料工业,总利用率已达 80% 以上,粉煤灰、煤矸石、化学石膏、油气硫磺等也已具有很高的利用率,农业废料历来都不被看作无用之物,生活垃圾也开始回收利用。但就目前情况而言,对于固体废料的利用程度和应用水平,还很不平衡,与可持续发展战略的要求仍相差甚远。尤其对于矿业废弃物的开发利用,无论是其研究水平还是应用规模,都远远不能满足时代的需要。据国家环保总局 1998 年的统计^[1],我国固体矿业废弃物的利用率仅为 3.2%。从各地堆积如山的废石堆和遍布田野的座座尾矿库中,仍可深深体会到矿业废料这一问题的广泛性和严重性。

我国是一个矿业大国,矿业固体废料的积存量和年排放量十分巨大,截止 1998 年统计^[1],全国国有矿山有 8000 多座,乡镇及个体矿山 28 万多座,堆积尾矿 40 多亿吨,且每年还在以不少于 3 亿 t 的速度增长。这些尾矿与废石,不仅要侵占大量的土地,污染着矿区及周边地区的环境,而且每年还需要投入大量的,并且是无法收回的废料处理资金。同时,我国又是一个资源相对短缺,然而又不得不依靠消耗大量原材料进行经济建设的国家。现如今,很多建筑材料工业的原材料,仍然是以牺牲宝贵的土地、森林资源和有限的矿物资源为代价的。很明显,倘若用矿业固体废料作为工业生产的原材料,发展节地、节能、节材、环保、利废的新型工业产品,无疑将对我国的可持续发展产生重大而深远的影响。

所谓尾矿,是指矿业开发中,由选矿厂排放的尾矿浆经自然脱水后所形成的固体矿业废料,有时,也包括与矿石一道开采出来的采掘废石。目前,这类废料多以自然堆积法储存于尾矿库中,不仅要侵占土地,耗费建库资金,而且由于颗粒一般较细,容易被风扬起,经常造成周围地区的局部沙尘暴,经遇洪水时,又常由于库坝决口而造成泥石流灾害。然而,尾矿也具有一些优良的技术性能,譬如,它们一般都经过破碎和分级处理,颗粒较细,级配良好,有些还因经过一定程度的煅烧或化学处理而具有一定的化学活性,因此,非常适合于作为建筑材料的生产原料,有些尾矿本身就可作为重要的基本建筑材料使用。尾矿建材即是利用

选矿尾矿作为主要原材料,所生产出来的一类用作建筑用途的材料或制品,是一种能够充分体现可持续发展战略的“绿色建材”。大力发展尾矿建材,必将为我国的矿产资源综合利用、环境保护、墙体材料革新以及发展新型建材事业,开辟出又一条新的道路。

二、尾矿建材的发展现状与趋势

对于尾矿建材的开发研究,国外起步较早。早在 60 年代初,苏联就开始了尾矿建材的研究和生产,例如,科里沃罗格铁矿除将尾矿进行适当分级后用作混凝土的粗细骨料外,还用细粒级的尾矿生产硅酸盐建筑制品;库尔斯克则建起了以尾矿为主要原料的水泥厂和玻璃厂;可夫多尔和卡齐卡纳尔采选公司,还用含大量硅酸镁的选矿尾矿,研制出镁质水泥和水泥制品。加拿大除以尾矿墙体材料研究为特色外,魁北克矿山还用磨细的尾矿烧制出耐火硅砖。美国除从废石中回收萤石、长石、石英等外,目前绝大多数尾矿被用作混凝土填料和铺路材料,也有人用铁燧石岩尾矿制成密度可调的轻质砖。日本有人将铁尾矿与 10% 的硅藻土混合,烧制成轻质骨料。乌克兰则将含铁石英岩尾矿加以分级,大于 0.14mm 的作为建筑用砂、小于 0.04mm 的用来生产气孔玻璃和泡沫玻璃、0.14~0.04mm 的用作混凝土填充料和制作泡沫混凝土材料。

从国际方面看,虽然各国的应用方向和利用程度各不相同,但都对尾矿的开发利用十分重视,有些工业发达国家已把建设“无废料矿山”作为奋斗目标。

我国也对尾矿的开发和利用也非常重视,在国家计委和国家科委制定的“中国 21 世纪议程”中,已将尾矿的开发和利用,作为今后支持发展的内容之一。1992 年 11 月,还在厦门专门召开了全国矿山废渣综合利用技术交流会,总结了我国尾矿利用方面的技术成就,明确了尾矿在建材领域的发展方向。近 20 年来,我国在尾矿建材的研制和应用方面,已取得了一批重要成果。目前,我国对于尾矿建材的开发研究主要集中于如下几个方面:

(1) 利用尾矿生产墙体材料。如利用磁铁石英岩型选铁尾矿^[2]和含金石英脉型选金尾矿生产蒸压尾矿砖、尾矿加气混凝土和尾矿空心砌块^[3];利用还原焙烧磁选铁尾矿生产蒸养砖^[4];利用矽卡岩型金属尾矿生产免蒸免烧砖^[5];利用高粘土含量的尾矿生产烧结砖^[6]等等。这方面的研究成果数量最多,也是尾矿建材的主要发展方向。此外,某些地方在生产粘土砖时,掺入部分尾矿作瘠性原料或在生产混凝土砌块时用尾矿作为掺合料,若尾矿掺量大于 50%,亦应属于尾矿建材的范畴。

(2) 利用尾矿生产水泥。利用尾矿生产水泥,国内也有许多单位进行过研究,其中,马鞍山桃冲铁矿利用选铁尾矿为原料建起了年产 25 万 t 熟料的水泥厂^[7]。地矿部矿产综合利用研究所,则利用含高岭土的硫铁矿尾矿研制出高硅硫铝酸盐水泥^[8],潘一舟等人利用含钼尾矿作立窑水泥原料,也取得满意效果^[9]。另外,王开吉^[10]、陈巨英^[11]、董文彬^[12]、陈袁魁^[13]等,利用铅锌、铜、重晶石等尾矿作矿化剂烧制特种水泥,也取得了良好的技术经济效果。

(3) 利用尾矿生产玻璃与玻璃质制品。主要是利用一些高硅高碱的尾矿,熔制彩色建筑玻璃、微晶装饰玻璃、玻璃马赛克、泡沫玻璃砖、建材用玻璃纤维等。自从招远玻璃厂^[14]用选金尾矿试制成功瓶罐玻璃以来,吴春山^[15]利用铜尾矿、刘军等^[16]利用铁尾矿、孙孝华等^[17]利用钨尾矿、廖基龙等^[18]利用石棉尾矿、刘属兴等^[19]利用高岭土尾矿等等,先后研制成功了微晶玻璃装饰板;江西的一些钨锡尾矿,已作为平板玻璃原料,大量供应广东的有关玻璃厂商。

(4) 利用尾矿生产建筑陶瓷制品。有些产于强蚀变酸性岩矿床内的金属尾矿,与陶瓷的坯体成分非常相似,许多单位已成功地产出陶瓷釉面砖、铺地缸砖、屋面瓦等,而且证明,有些透辉石质的尾矿,还具有低温快烧的特点。如许荣奎^[20]利用富含石英、伊利石、绿泥石、黄铁矿、镁铁矿的向山硫铁矿尾矿,试制的彩釉墙地砖,性能指标均达到标准要求。倪文等利用大庙铁矿尾矿^[21]、焦家岩金尾矿^[22];张先禹等^[23]利用铜尾矿;袁定华等^[24]利用稀土尾矿;陈铁峰等^[25]利用珍珠岩尾矿等等,都研制成功了各式外墙砖、釉面砖、玻化砖等建陶产品,取得了良好的经济效益和社会效益。作者利用岩金尾矿作为主要原料,进行了一系列陶瓷产品开发实验,研究证明,以尾矿代替矿物原料,建设投资约降低 5% 左右,能耗降低 20%,平均生产成本约降低 10% ~ 15%。

(5) 利用尾矿制作无机人造大理石。具有鲜艳彩色的粗粒尾矿,尤其适合于生产无机人造大理石装饰材料,如饰面板、彩色铺路砖、楼梯板、阳台板等。而细粒尾矿是生产仿釉面彩色铺路砖的优秀填料。山东海阳滑石矿区的滑石化和蛇纹石化大理岩型尾矿,一直作为胶东地区彩色水磨石厂石料的重要来源之一。

(6) 利用尾矿生产耐火材料。如万建东^[26]用石棉尾矿研制成功的橄榄石型硅镁砖、廖基龙^[27]等用石棉尾矿配制的耐热混凝土、刘属兴等利用高岭土尾矿熔制石英等,另外,用次生石英岩型叶蜡石尾矿生产高铝砖的实例也见于相关报道。

(7) 用作混凝土粗细骨料和建筑用砂。

(8) 用于铺筑路基、基础垫层材料和路面沥青掺混料。

从目前的相关报道看,虽然各个方面都有人在进行研究,但大多数成果尚处在实验室研究阶段,即使是投入生产的技术成果,也多为小规模的生产,真正形成产业规模,且具有显著经济效益的尾矿建材企业还为数不多。究其原因,主要可归结于以下两点:一是外部原因。主要体现在整个社会的环保意识还没有完全树立,对发展尾矿建材的重要意义认识还不够深刻、积极性不高,另外,由于宣传力度不够,人们对于尾矿建材这一新生事物尚缺乏相应的了解,甚至还存在着某些偏见,因此,开拓市场还比较困难。再加上行业之间缺乏相互协调,甚至互相掣肘,迄今还没有一个宏观上的规划指导文件及其相应的配套鼓励政策等。二是内部原因。主要表现为对尾矿的成分和性质缺乏全面的认识,研究工作多局限于对具体尾矿和具体产品的就事论事,而且多为开发性试验研究,许多成果还缺乏深刻的理论分析和科学的重复验证,因此,说服力不强、指导面不宽,迄今尚无一部全面论述尾矿建材开发生产的专门著作;某些试产企业,由于缺乏专业的技术支持,其产品也的确存在着质量不高或不稳定的问题,从而败坏了这类新材料的声誉。再者,目前缺乏完整配套的质量控制标准和应用技术规范,也是造成推广不畅的重要原因之一。

但鉴于尾矿建材所具有的巨大的环境效益、社会效益和良好的经济效益及良好的应用技术特性,今后发展成为一种产业的可能性仍是存在的,而且也是必须的。因为它不仅仅是一种普通的新产品,而且是一种关系到国民经济可持续发展的战略性产品。只要今后努力加强和提高对这类战略产品的认识和重视程度,再加上广大科技工作者和企业家的共同努力,相信一个全新的,在技术水平和应用规模上,都不亚于任何其他任何国家的尾矿建材行业,一定会在我国大地上蓬勃发展起来。

三、尾矿建材的研究方法

既然尾矿建材是一类特殊的产品,不但具有一般建材产品的经济属性,而且具有节约土

地、节约资源、保护环境等战略属性。那么,对其进行开发利用时,就必须掌握统筹兼顾的原则。在指导思想上,应通盘考虑开发尾矿的整体效益,而不应就具体项目的就事论事。就其标准而言,由于尾矿毕竟是废渣,而不是资源,因而,其质量也就不可能像工业原料那样的纯净和品级分明,因此,对于尾矿建材,一般不应过分追求高品质、高档次,而应以可用、够用为度;在选择产品种类时,亦应着重强调高掺量、大批量,并努力做到物美价廉。但需强调的是,质量的稳定性,是确保任何尾矿建材可用、够用的最基本前提。

对于尾矿建材的开发研究,必须以对尾矿成分、性质和均匀性的全面了解为前提,在开发尾矿建材之前,须先对尾矿库内的尾矿进行全面的调查,在拟采用的区段内沿着不同的剖面进行系统取样,分析其化学成分、矿物成分、颗粒级配等,并按照样品权重制取混合样品,研究其不同环境下的工艺技术特性,进行建材制品的试制。若经实验室和小规模工业试验证明,某一建材品种的质量符合国家有关技术标准,且其经济效果良好,即可进行工艺设计,准备投资办厂。

尾矿建材的另一种开发模式,是将尾矿的成分和性质与普通建材产品的原材料基本要求进行比较,符合标准要求者,可作为工业原材料的代用品使用;不符合标准规定,但具有相似性或可调性者,可通过配料计算,确定产品原物料中的尾矿掺率或尾矿物料中其他校正材料的掺率;只有无类比参照物者,才运用试验研究法。

目前,对于尾矿建材的开发研究,已有不少可资借鉴的成功范例,应当充分地加以利用,同时,为了使尾矿利用工作更加主动,对于尾矿建材的基础理论研究亦应给予相当的重视。在这方面,硅酸盐物理化学是一个不可或缺的重要武器,通过对不同成分体系的相平衡及其动力学研究,可以为一大类尾矿的性质找到可资借鉴的共性,并为同类型尾矿的开发利用提供理论指导。同时,已建立的尾矿应用专家系统和硅酸盐工业的成熟经验,以及现代的各种岩矿分析和无机非金属材料测试手段,也为尾矿建材的研制和生产提供了有力保证。充分运用这些既有的经验和条件,可收到事半功倍的效果。只要广大科技工作者提高认识,辛勤努力,尾矿建材就一定能够同普通建材一样,满足不断增长的建筑工程对建筑材料各个方面的需求,从而成为新型建材大家族中的重要一员。

四、本书的写作目的与编排体系

由于尾矿建材的开发利用,涉及到地质、矿业、冶金、建材、建工等多门学科与技术,而目前国内高校尚无相关的对口专业,广大研发人员多分布于不同的行业和部门,很难一时掌握全部的相关知识,因而,工作中往往不易做到从理论高度上把握尾矿建材的开发思路与成果转化技能,这也是导致当前研究工作低水平重复,科技资源浪费严重,甚至将通用技术当作科技成果发表或转让出售的重要原因之一。这种状况,不仅不利于这类材料的普及推广,而且也不利于科技水平的提高。

编著此书的目的是想通过对近年来广大科技工作者科研成果的总结,利用相关专业的理论融汇,加之作者在该方面的研究成果及体会,从理论高度上,系统地将该领域的有关知识加以论述或介绍,从而为今后的研究开发和生产应用,提供一条可资参考的思路。

本书的编排体系,是按照尾矿建材的基本研发程序,先阐述尾矿的来源、尾矿的类型、各类型尾矿的成分与性质,然后再分别讨论各类尾矿建材的成分设计、工艺原理、工艺流程以及不同产品的工艺参数、技术性能及其应用方法。

按照尾矿建材的形成机理,将全部已获得开发利用的尾矿建筑材料和制品,划分为熔制

型尾矿建材、烧结型尾矿建材、水合型尾矿建材、胶结型尾矿建材 4 个基本类型。这 4 个基本类型的材料,在形成机理上分别与广大地质和矿业工作者所熟悉的火成岩、变质岩、蚀变岩、沉积岩,以及广大建材和建工工作者所熟悉的玻璃、陶瓷、硅酸盐建筑制品、混凝土材料相对应,以便于认识与理解。

第二章 尾矿的形成

第一节 矿床与围岩

工业生产赖以生存的矿物资源大都来源于矿床。矿床是由地质作用形成的地质体,其内所含的元素或有用矿物集合体,在当前的经济和技术条件下能被开采利用,并可取得经济效益。

从矿床的概念可以看出,矿床首先是地质作用的产物。它是由原本均匀分布于地壳和上地幔的化学元素,在几十亿年的地球演化过程中,经历不同的地质作用,在某一区域或某一部位发生相对富集的结果。

同时,矿床又是经济活动的产物。如果某一地质体内,某些元素或矿物即使发生了相对富集,但如果开采和利用时成本过高,无利可图,那么,它仍然与普通的岩体无异。

另外,矿床还是一个相对的概念。从形成角度看,既然是元素或矿物的相对富集,而且又是地质作用的产物,那么,它就不可能按照人的意志,孤立地集中于指定的区域或部位。亦即它必然与其赋存的地质体发生紧密的联系,并且无法截然分开;从经济的角度看,就更不能将矿床看成是孤立的东西了,哪些地质体是矿床,哪些不是矿床,除与其所含元素或矿物的丰度有关外,还与它自身的规模、埋深、边帮稳固度、充水条件、可选性、可冶性等赋存条件,开采、运输、选冶、加工等技术条件,以及投资、成本、利润等经济条件密切相关。一定时期、一个地区被看作是无用岩体(层)的东西,在另一时期或另一地区却可能成为矿床,相反,一定时期或一定地区作为矿床开采的东西,过一时期,或换作另一地区,又可能变成一般的岩体(层)。

在地质勘查和矿床开采中,通常是根据工业品位和边界品位,将矿床划分成矿体、表外矿体、围岩三大部分。

矿体是指矿床中,在当前的经济和技术条件下开采和利用,可取得经济效益的那一部分。它是矿床的主体和核心,也是矿山开采的对象。一般是根据一定时期内工业生产和国民经济的发展状况,依照法定的工业品位指标,通过化学分析或工业试验圈定出来的。

表外矿体是指矿床中,在当前的经济和技术条件下开采和利用时,无经济效益,但随着技术和经济的进步,在将来某一时期再开采利用时,可能会产生经济效益的部分。它是根据工业品位和边界品位两种指标圈定出来的中间过渡部分。

围岩是指其有用元素或矿物的品位低于边界品位,开采和利用时不可能产生经济效益的部分。

但是,上述三个组成部分之间,很难有截然的界限。因为地质体并不像某些人工物体那样,纯粹由一种物质组成,它往往是有用的和无用的、低品位的和高品位的、这一用途和那一用途的矿石交错出现、混杂共生。矿体内可能有夹石,围岩内又可能赋存着矿体。工业品位和边界品位,不仅是人为的,而且又是一个平均值的概念,由于评价的出发点不同,矿体的边界就可能随之发生变更。譬如,一些多矿物共生的伟晶岩矿床,若以云母品位划分,有一个边界;若以长石划分,又是另一个边界;若以铌钽矿物划分,则可能又产生一个新的边界。再

如,一些脉状矿体,虽然在地质上与围岩有着截然的界限,但由于其厚度不足以允许单独开采和运输,开采时,必须将一部分围岩与矿体同时采出,这时,矿体的边界就不再是其自然边界了。再有,很多金属矿床和燃料矿床,其围岩可能就是重要的非金属矿体,而非金属矿体的围岩,又可能是金属矿体或燃料矿体。

因此,矿床、矿体、围岩,均不是固定不变的东西。矿业上所广泛使用的工业品位、边界品位、最小可采厚度、最小夹石剔除厚度等概念,都是暂时的和相对的。尤其是对于从事矿产综合利用和尾矿建材开发研究的科技人员而言,充分理解这一点尤为重要。

第二节 矿石与脉石

矿体主要是由矿石构成的。而矿石又是由矿石矿物和脉石矿物组成的。

矿石矿物,又称有用矿物,是指可被利用的矿物,如铜矿石中的黄铜矿和斑铜矿;石棉矿石中的石棉,铁矿石中的磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿等。

脉石矿物,又称无用矿物,是指矿石中对于主矿而言,目前还不能被利用的矿物。如铜矿中的石英、绢云母、绿泥石;石棉矿石中的蛇纹石、白云石,方解石等;铜矿石中的少量方铅矿、闪锌矿等。

同矿体与围岩一样,矿石矿物和脉石矿物的划分也是相对的和暂时的。随着人们对新矿物原料的需求日益增长和经济技术条件的不断进步,目前被认为无用的脉石矿物,就可能逐渐成为有用的矿石矿物,如矽长岩型铜矿石中的透辉石,过去一直认为是无用的矿物,现在却广泛用作低温快烧陶瓷的原料;相反,原来认为是重要的矿石矿物,如压电石英,现在已被人工压电石英所取代,不再作为矿石开采了。再譬如,在经济发达、交通方便的地区,与煤层伴生的粘土质页岩(煤矸石),已被广泛用于生产砖瓦、陶瓷、水泥、岩棉、铸石、陶粒、耐火砖等工业产品,有的还从中提取硫酸铝、氯化铝、活性高岭土、硫铁矿、钒、钴、镍、镓、锗等元素或化合物,而在经济相对落后的地区,则只能当作无用的废料弃置了。又如,在石灰岩地区,深埋地下的石灰质矿床围岩,一般不再开采,但在石灰岩缺乏的地区,则可能就同主矿体一道开采出来,作为冶金熔剂或用于生产水泥、石灰等。

同时也应当看到,在矿石中,矿石矿物和脉石矿物总是相伴存在、密切共生,也是基本的事实。据资料显示,目前,仍有 90% 以上的金属矿石不能开采后直接入炉冶炼,约有 50% 以上的非金属矿石需经过一定形式的选别和加工后方可使用。随着矿产综合利用程度的提高,虽然脉石矿物的范围正在不断缩小,但数量却极为可观。由于我国的金属矿床贫矿较多,每年尾矿的排放量,一般远远大于金属矿物的产量,如黄金,一般当其品位大于 4g/t 时即可开采,亦即每产出 1t 黄金,就要产生 25 万 t 尾矿;除铁矿石外,一般金属矿的尾矿/精矿石比都在百倍以上。从某些矿区堆积如山的废石堆和星罗棋布的尾矿库,就可以清楚地体会到,脉石矿物的无处不在。

鉴于矿石矿物和脉石矿物的相对性和共生性,就要求我们在矿业开发之前,必须首先认识清楚,哪些矿物应当提取出来,哪些矿物将弃置不用;如何将有用元素或工业矿物提取出来,提取物的纯度能达到何种程度;矿石矿物与脉石矿物在矿石中是以何种方式存在的,其相对比例如何等。要回答这些问题,就需要首先弄明白矿石构造和结构的概念。

一般来说,多数金属元素在矿石中是以独立的矿石矿物存在的,如磁铁矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿等,但也有很多是呈类质同像、包裹体、吸附、熔离等形式存在。即使是以独立矿

物形式存在的矿物,也往往不是由同一矿物单独形成矿石,而是常与其他多种矿石矿物或脉石矿物共生在一起,构成不同的结构与构造。矿石中同一矿物集合体内,各矿物的形态特征、结晶状况及其相互关系,称为矿石的结构。而各矿物集合体之间的特征、分布及其相互关系,称为矿石的构造。自然界中,各种矿石的构造和结构可归纳为图 2-1、图 2-2 所示^[28]的几种形式。

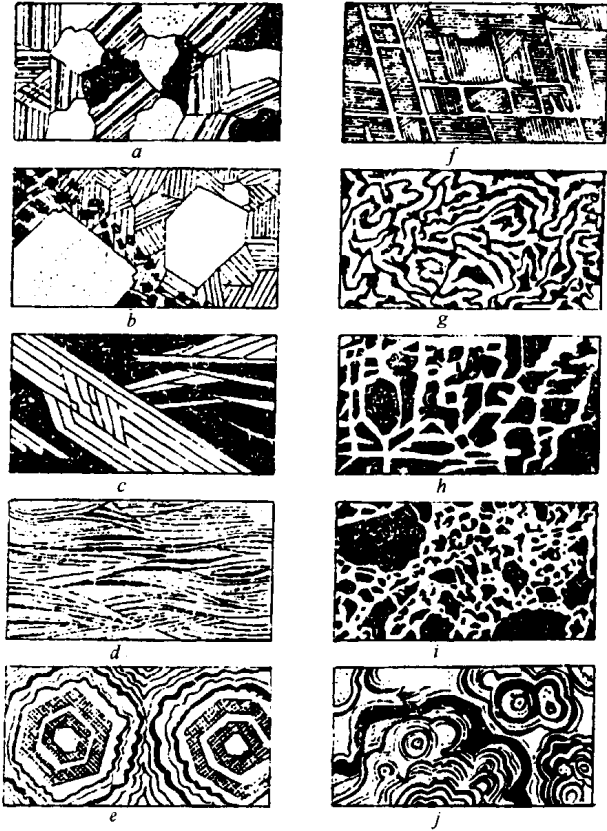


图 2-1 主要的矿石结构图

a—等粒结构; b—不等粒结构; c—片状结构; d—纤维结构; e—带状结构; f—结晶定向结构; g—紧密连晶结构; h—交代结构; i—破碎结构; j—胶状结构

从矿石的结构、构造看,自然界中,纯粹由同一种矿物组成大体积、致密状矿体或矿石的情况并不多见,相反,多数矿石是由多种矿物集合体交叉混生,具有十分复杂的结构和构造。然而,从工艺角度看,却只有当矿石由同种矿物组成时,才无需分离即可投入冶炼或加工。如果采矿时,有选择性的只开采矿石矿物,而放弃脉石矿物,也就不存在矿业废料问题了,然而,为了充分利用有限的矿产资源,采矿时必须坚持“贫富兼采、厚薄兼采”的原则,即采矿时,不允许只开采其中的纯矿石而废弃与脉石矿物共生的低品位矿石,而应当将工业矿体中所有的有用矿石与无用的夹石或部分围岩、含纯净矿石矿物的矿石与含脉石矿物的矿石同时采出,也就是说,采矿所获得的矿石中,既含有矿石矿物,又含有脉石矿物,且脉石矿物的比例一般远远高于矿石矿物。提取有用的矿石矿物,分离出无用的脉石矿物的工作,将由选

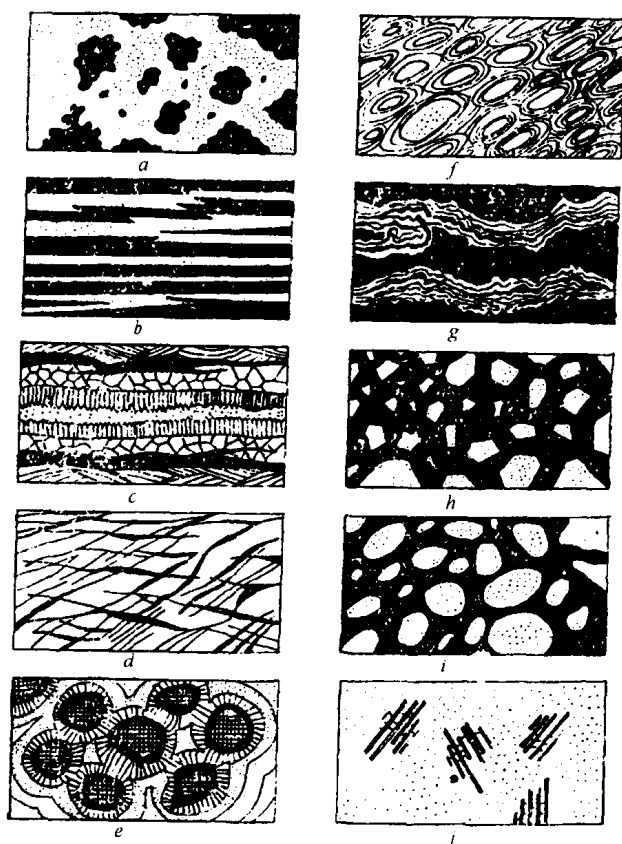


图 2-2 主要的矿石构造图

a—斑点状构造；b—条带状构造；c—梳状构造；d—细脉状构造；e—环状构造；f—鲕状构造；g—胶状构造；h—角砾构造；i—砾状构造；j—蜂窝状构造

矿来完成。不同结构构造的矿石,要用不同的选矿工艺流程来分离。

第三节 选矿与尾矿

选矿就是对开采出来的原生矿石进行选别和分级,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。

一般的选矿工艺主要包括破碎、磨矿、分选三个基本工序,选矿所得的精矿被运送到冶炼厂或使用用户,尾矿则就地或就近排放到尾矿库中。由于通常选矿厂的磨矿与选别工序,是在矿浆状态下进行的,因此,刚刚从选矿厂排出的尾矿一般呈流体状态。从选矿厂排出的尾矿浆,先用浓缩设备初步脱水后,将其用管道输送至尾矿库中,经过一段时间后,水分逐渐被淋失,即形成尾矿砂堆积。由于排矿处口的水利分级作用,在尾矿库中,尾矿的粒度分布及矿物组成往往存在不均匀现象,这一点,对于尾矿开发工作者来说,应引起高度重视,如果采样或取料方式不合理,往往会造成产品质量的波动。

尾矿库的典型断面特征如图 2-3 所示。采样或取料时,应根据尾矿的堆积剖面,上下兼采,逐段推进,尽量使混合料均匀一致。

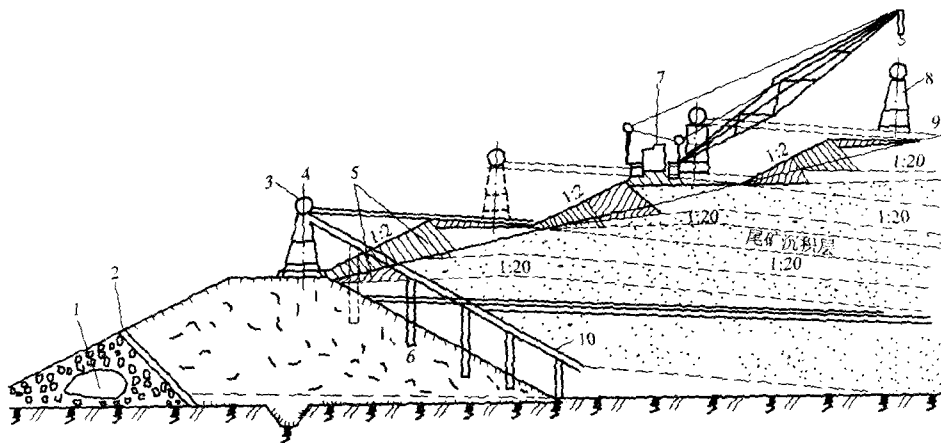


图 2-3 用移动管架排放尾矿的尾矿坝堆积过程图

1—堆石坝；2—反滤层；3—尾矿排放管；4—尾矿排放管的中心线；5—尾矿堆积堤；6—土坝；7—用于移动排放管的起重机；8—木支架；9—尾矿堆积堤的总坡度线；10—木流槽(最初位置)

库存法处理尾矿的方式,虽然具有简便易行的特点,但要占用大量的土地,而且容易造成环境污染,同时,还需要大量的建库资金和管理费用。据不完全统计,一般尾矿库建设及相应的尾矿输送设备,要占选矿厂基本建设投资的 20%~50%,尤其对于处理低品位矿石,如斑岩型铜矿、细脉浸染状金矿等有色金属矿石的选矿厂,这一比例有时还要高些。另据文献[7]报道,每输送 1t 尾矿,须耗资 2~3 元,每处理 1t 原矿,需要 11~14t 水。为了改变这种不合理的尾矿处理方式,有些选矿厂在大规模利用尾矿方面,已做出了一些有益的尝试,譬如用尾矿充填回采巷道、铺筑厂区道路、复垦土地等。然而,就其附加值而言,将其作为生产建筑材料的原料,是最经济合理的。

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、化学选等。对于尾矿建材工作者而言,无论那种选矿方法,所得到的尾矿,并没有实质性的区别。但因矿山所采出的原生矿石中,除极少数呈致密块状的矿石外,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,第一道工序就是磨矿。不同磨矿工艺所得到的尾矿,在颗粒分布特征上是有区别的,这一点对于选择尾矿的利用途径是有意义的。根据矿石的结构构造不同,磨矿工序可采用一段磨矿工艺或多段磨矿工艺,一段磨矿是直接将矿石磨至矿物分离粒度,因此,尾矿的颗粒一般较细,并且分布均匀,宜于用作烧结类尾矿建材或水化合成类尾矿建材;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,因此,宜于用作混凝土的骨料或生产无粗骨料的硅酸盐建筑制品。经过烧结处理的矿石尾矿,由于在烧结过程中积存了一定能量,因而显示一定的化学活性,因此,适合用作生产水化合成材料或混凝土材料的混合材。对于不同类型的矿石,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,有些则是一些比水泥还细的细粉。目前,选矿企业一般以 0.074mm 作为磨矿控制下限。

对于一些非金属矿或富金属矿,有时无须磨矿,而是仅仅通过破碎或手选,即可加以选

别与分级,此时所排放的废渣,由于颗粒较大,有时不称其为尾矿,而称作废石或矸石,但从开发角度看,除颗粒粗细有差别外,废石与尾矿在性质上并无根本的区别,因此,本书亦将这类废石归为尾矿。

第三章 尾矿的类型

鉴于尾矿是由矿石选别出精矿后,所剩余的固体废料。因此,就其成因而言,与矿石是完全一致的。在其物质组成中,既包含着与矿石一道开采出来的部分围岩及夹石,又包含着与矿石矿物共生在一起的脉石矿物,另外,尚含有少量未选净的矿石矿物。由此还可以进一步判断,除因选矿使得矿石矿物的含量有所降低外,尾矿在物质成分方面,基本上是原矿石的继承物。亦即,尾矿的成分主要取决于原矿石或含矿岩石的成分。基于这一点,可按照岩石学和矿床学的分类方法,对尾矿做出地质学划分。

同时,尾矿又是人类活动的产物,其组成和性质与选矿工艺流程也必然具有一定的关系。就尾矿建材而言,尾矿的化学成分与应用技术性能对于建材的形成与工艺,必然具有重要影响。因此,尾矿的类型,又可根据选矿学和建材学的理论进行划分。

到目前为止,还没有一种科学的尾矿分类方案。许多研究工作者常常根据排放尾矿的主要矿种,将其命名为铁尾矿、铜尾矿、金尾矿等等,事实上,这样的分类方案与命名方法是缺乏科学依据的,也是没有实际意义的。因为它既不能反映尾矿的地质学特征,又不能反映其工艺学特点,无论对于尾矿本身的研究,还是对于其开发利用,都没有直接的指导作用。

本书为了研究尾矿及尾矿建材的方便,分别根据尾矿的矿床学特征、选矿工艺和岩石化学特点,进行了分类尝试,并以此作为描述和叙述的依据。

第一节 尾矿的矿床学类型

按尾矿的矿床地质特征划分尾矿类型,是基于这样的考虑:尾矿既然是矿床的继承物或衍生物,那么,矿床的成因类型、矿体的形状、产状和大小,矿石的结构和构造、含矿母岩及围岩蚀变情况等,就必然会在尾矿的化学成分、矿物组合及其理化性质上得到一定程度的反映。利用该方案,在对尾矿自身进行研究时,倘若因颗粒细小,不便查清尾矿的矿物成分和结构构造时,可先根据其矿床学类型和地质勘查报告,对其基本成分、性能特点以及开发方向,做出一个基本的推断。

根据矿体所赋存的主岩类型和围岩蚀变类型,并考虑到尾矿的矿物组合情况,可将我国主要类型矿床的选矿尾矿,划分为 28 个基本类型。其具体划分方案见表 3-1。

表 3-1 尾矿的矿床学类型

序号	主 岩 类 型	寄主矿化类型	代表性围岩蚀变类型	主 要 矿 物 组 合
1	超基性岩浆岩	铬铁矿、铜镍硫化物	蛇纹石化	镁橄榄石、斜方辉石、蛇纹石、绿泥石等
2	基性岩浆岩	钒钛磁铁矿	纤闪石化	基性斜长石、辉石、纤闪石、绿泥石等
3	基性-碱性岩浆岩	磷灰石-磁铁矿		钠辉石、钠闪石、石英、方解石等
4	自变质花岗岩	稀有-稀土金属矿	钾钠长石化	钾微斜长石、钠长石、石英