

金属矿山

尾矿综合利用

长沙有色冶金设计院 编
冶金工业出版社

金属矿山尾矿综合利用

长沙有色冶金设计院 编

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书共分七章。书中介绍了尾矿的堆存与危害；尾矿综合利用的重大意义；尾矿在采矿中用作水砂充填和胶结充填材料；利用尾矿制造各种建筑材料：水泥、蒸压硅酸盐砖、加气混凝土制品、玻璃、耐火材料、铸石、陶粒等。同时介绍了在尾矿堆积场上覆土造田，种植农林作物情况。此外，还简要地介绍了尾矿在国外利用和研究的情况。

本书可供从事尾矿综合利用的矿山工作者和建筑材料部门的工人、干部、科学技术人员参考。

金属矿山尾矿综合利用

长沙有色冶金设计院 编

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

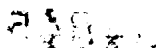


850×1168 1/32 印张 7 1/8 字数 187 千字

1979年12月第一版 1979年12月第一次印刷

印数00,001~2,200 册

统一书号：15062·3480 定价 0.78 元



前 言

随着冶金工业高速的发展，金属矿山选矿厂排出的尾矿量逐年增加，数量很大，如能将尾矿予以综合利用，并同时回收其中的有用矿物，不仅能充分利用国家资源，为国家创造财富，同时还能在不同程度上减少尾矿的堆存与危害。为此我们编写了这本书。但是，必须指出的是，由于目前国内对尾矿的综合利用大多处于试验研究阶段，加之综合利用的技术条件也比较复杂，各个矿山的尾矿在矿物组成和化学成分及粒度组成上又各不相同，在特定条件下的试验成果差异较大，因此对具体矿山尾矿的综合利用必须通过试验研究获得成果后才能采用。

本书在编写过程中得到了有关科研设计单位和矿山的大力支持和协助。湖南省建筑材料科学研究所，湖南省建筑设计院、株洲玻璃工业设计研究所、长沙矿山研究院、重庆市建筑科学研究所等单位协助审阅并提出了宝贵意见；李欣、张功镛、王定远、魏良等同志给予了支持和帮助，在此一并表示感谢！

本书执笔人：第一、四、五、六章黄焕文、黄堃；第二章潘键；第三、七章黄焕文。

由于我们水平有限，错误之处请批评指正。

编 者

一九七八年十二月

目 录

第一章 概论	1
第一节 尾矿综合利用的意义	1
第二节 尾矿的物理性质和化学成分	3
第三节 尾矿的矿物组分与矿床成因的关系	5
第四节 尾矿综合利用的途径及其要求	15
第二章 利用尾矿作采空场的充填材料	20
第一节 尾矿水力充填	21
第二节 尾矿胶结充填	30
第三章 利用尾矿烧制水泥	39
第一节 概述	39
第二节 烧制水泥对于尾矿原料的技术要求	40
第三节 水泥的矿物组成	42
第四节 硅酸盐水泥生料的配料计算	52
第五节 生料的制备	62
第六节 煅烧工艺与窑型	64
第七节 尾矿水泥的性质	83
第八节 尾矿生料含硫与窑的技术作业状况和尾矿硅酸盐水 泥质量的关系及其二氧化硫的净化处理	101
第九节 拟建的尾矿水泥厂	116
第十节 合理确定水泥厂的规模	125
第四章 利用尾矿制造硅酸盐建筑制品	130
第一节 硅酸盐砖	130
第二节 加气混凝土	141
第五章 利用尾矿制造其他建筑材料	156
第一节 铸石	156
第二节 玻璃	164
第三节 耐火材料	172
第四节 陶粒	177
第五节 型砂	181

第六节 混凝土的掺合料·····	183
第六章 利用尾矿堆积场种植农林作物 ·····	186
第七章 国外尾矿的利用研究概况 ·····	202
一、概述·····	202
二、用尾矿制加气混凝土·····	202
三、用尾矿制作蒸压硅酸盐建筑材料·····	206
四、用铁矿尾矿制重混凝土·····	209
五、用铜尾矿烧制红砖·····	211
六、用尾矿烧制陶瓷制品·····	212
七、用尾矿烧制陶粒·····	214
八、硅质尾矿烧制玻璃和花砖及微晶玻璃·····	215
九、用石棉尾矿制矿棉·····	217
十、各种尾矿在建筑材料方面的利用研究情况·····	218
十一、利用尾矿修筑公路·····	219
十二、其他废料的利用研究·····	219

第一章 概 论

第一节 尾矿综合利用的意义

一、尾矿的堆存与危害

尾矿是矿石经磨矿后进行选别，将有用矿物●选出后，所抛弃的残渣，它含有多种脉石矿物●。是冶金矿山的一种工业废料。它具有量大、集中、颗粒细小的特点。

国内外对于尾矿的处理，不论尾矿中有用矿物是否有回收价值，大都是在地面予以堆存。由于尾矿的产出量庞大，自然安息角小，如采用自然堆存的方法，则不能堆得太高，因而必须建坝堆存，占用大量田地。此外，由于尾矿的体重小、表面积大，遇水容易流走，而在原地干燥之后，遇风又容易飞扬，因此，必须进行防洪，尾矿堆表面覆土等措施，否则，被风吹扬，尾矿粉尘污染大气；被水冲走，流入农田，危害农业生产；流入江河，污染河水，破坏水质，填塞河道，造成公害；如建坝不稳固，防洪不周密，尾矿随洪泛滥，尾矿坝溃决造成淹没村庄，毁坏田地，甚至死伤人畜，所造成的灾害损失，更是无法估计。

随着现代工业的飞跃发展，钢铁和有色金属产量的不断增长，矿山选厂排出的尾矿量与日俱增，同时伴随着富矿资源的日益枯竭，贫矿资源开采比重的不断增大，金属矿山选厂的数目日益加多，选厂的规模日益扩大，因此，金属矿山选厂排出的尾矿量急剧增加，在有的国家已堆积成山，造成灾害，据有关文献报导：美国1965年选矿厂排出的尾矿量约有11亿吨。苏联、加拿

-
- ① 矿物是指化学成分及物理性质上比较均一的固态、液态或气态的自然体，是由地质作用形成的一种或多种化学元素组成的化合物。能被人们利用的矿物叫做有用矿物。

- ② 不含有有用矿物的岩石叫做脉石。组成脉石的矿物称为脉石矿物。

大、日本三个国家单在1969年生产铁、铜、铅、锌四种金属时，选厂所排出的尾矿量就达5.6亿吨。具有“铜矿之国”之称的赞比亚，从1962年至1971年的十年时间，所排出的铜尾矿量约为1.6亿吨。在这些国家中尾矿堆存所占用的田地是相当惊人的，如1965年美国选矿厂排出的尾矿竟占地200万英亩（折合1200万市亩），人口稠密、国土狭小的日本，迄今为止，尾矿堆积场就达730余个，目前已感到由于尾矿的堆存而购置土地是非常困难的了。在矿业开发较发达的一些国家中，因尾矿的堆存处理不善，而造成严重公害的则比比皆是：如1933年德国别尔鲍尔苏打厂尾矿坝坍塌，致使几万立方米的矿泥流入查阿拉河；1936年11月日本尾去泽矿山中泽尾矿坝的后期坝采用内填式加高沉积法冲积，发生破坏后，死伤数人；1959年12月苏联阿库尔斯克选厂尾矿坝发生坝体冲毁事故和马格尔尼托矿山的尾矿池初期坝发生溃决，均造成人身伤亡；1970年9月25日赞比亚的穆富利拉铜矿的尾矿池，因位于矿体的上盘崩落区的岩层上，由于地下崩落法的开采，而导致了71万米³的尾矿涌入彼得森矿区坑内，死亡89人，在435米中段以下至732米中段“几乎全部彼得森矿区都被淹没，水平范围达600米”。“在坑内作业区的泥浆估计约45万米³”，“大约还有26万米³的尾矿停积在上盘围岩内，必须着重指出的是，现在还没有确实证据表明这些尾矿本身已经滤干了或者已经稳定了，因此目前的局面仍然是非常危险的”^①。1964年英国威尔士北部的巴尔克铅锌矿尾矿池被洪水冲刷，尾矿流失后毁坏了大片肥沃的草原，其覆盖层厚达0.5米，在一般土壤中，铅锌含量超过500ppm就会严重毒害植物和牲畜，而覆盖的尾矿层中，有的铅锌含量高达6~8万ppm，对土壤污染的严重性可以想见。美国由于选矿与选煤及尾矿池与废石堆所产生的化学与物理污染，使900英里（14480公里）以上河流的水质恶化。美国佛罗里达州的磷酸盐矿，在开采和选矿过程中产出大量的呈悬浮状的胶质尾

① 摘自赞比亚政府五人委员会“穆富利拉铜矿事故调查报告”。

矿与矿泥，由于储存池的两座高坝倒坝，因而磷酸盐泥浆淹没周围地区，河流和平原地带矿泥泛滥成灾，造成了非常严重的大范围的环境污染；英国特罗根铅锌矿的尾矿粉尘被吹到弗林特撒尔地区，而弗龙勾茨铅锌矿的尾矿粉尘又被刮到威尔士中部地区，造成了大范围的空气污染。由此可见，由于尾矿的堆存不善而造成的危害是非常严重的。

综观国外尾矿堆存不善所造成的危害教训，如何正确认识、妥善堆存和综合利用尾矿，是具有重要意义的。

二、尾矿综合利用的重大意义

我国对尾矿的处理，是利用荒地筑坝堆存，并采取一系列可靠的措施，同时进行维护管理。随着冶金工业的迅速发展，金属矿山选厂的处理量日益加大，相应排出的尾矿量日益增多，据长沙有色冶金设计院初步调查50余个矿山年排出的尾矿量约达数千余万吨，占田地上万亩，为了妥善堆存尾矿需要建坝。根据32个矿山的统计，建坝工程费约达5370万元。近年来，不少工矿企业和科研部门积极地对尾矿进行了综合利用的试验研究工作，如利用尾矿充填采矿空场，在尾矿堆积场上覆土造田，利用尾矿制造各种建筑材料等，已取得了一定的成绩。

尾矿的综合利用，不仅可以减少尾矿的堆存，节约建坝、防洪等工程费用，改善矿区的环境卫生，而且还能为国家创造财富。这不仅充分利用了国家资源，为人民兴利除害，而且还为建筑材料的原料开辟出了一条新的途径，对于积极发展材料工业，推动国民经济的迅速发展具有积极的作用。同时，尾矿的综合利用，还可少占地或采取占地还田的方式，这对于解决工业建设与农业争地的矛盾，体现工业支援农业，贯彻“以农业为基础，工业为主导”的方针，加强工农联盟，是具有重要政治意义的。

第二节 尾矿的物理性质和化学成分

尾矿的物理形态和砂子相似，但矿物组分较砂子复杂，因它比砂子含有较多的金属矿物，同砂子一样，一般属惰性材料。

尾矿的比重取决于所含各种岩石的比例，岩石的比重一般为2.7~3.0，干尾矿的容重和其粒级组成有关，大约为1.0~1.7吨/米³。

尾矿的粒级组成取决于有用矿物在矿石中晶体嵌布粒度的大小以及使有用矿物与脉石分离所采用的选矿工艺。重选、磁选、浮选所排出的尾矿，一般粒度如下：

重选	小于0.074毫米	约占10~60%
磁选	小于0.074毫米	约占50~70%
浮选	小于0.074毫米	约占40~80%

重选、浮选、磁选等湿法选厂所排出的尾矿，一般含水约70~90%的料浆。

尾矿的渗透系数是指水通过尾矿的渗透速度，单位以毫米/小时表示。尾矿在某种状态下的渗透系数与尾矿的孔隙率、水力坡度等因素有关。当利用尾矿作充填材料时，该项指标非常重要。

尾矿一般由多种矿物组成，其主要化学成分为： SiO_2 、 CaO ，

常见火成岩的平均化学成分

表 1-1

岩石名称 化学成分 含量 (%)	各时代的 花岗岩	正长岩 包括碱性正长岩	霞石正长岩	石英闪长岩	闪长岩 (石英闪长岩除外)	辉长岩 (橄辉岩除外)	橄辉岩	辉长岩	橄辉岩
	花岗岩	正长岩	正长岩	闪长岩	除长岩	除辉长岩	辉长岩		
SiO_2	70.18	60.19	54.63	61.59	56.77	49.50	46.49	51.29	41.09
TiO_2	0.39	0.67	0.86	0.66	0.84	0.84	1.17	0.58	1.16
Al_2O_3	14.47	16.28	19.89	16.21	16.67	18.00	17.73	3.52	4.80
Fe_2O_3	1.57	2.74	3.37	2.54	3.16	2.80	3.66	1.82	3.96
FeO	1.78	3.28	2.20	3.77	4.40	5.80	6.17	6.00	7.12
MnO	0.12	0.14	0.35	0.10	0.13	0.12	0.17	0.13	0.10
MgO	0.88	2.49	0.87	2.80	4.17	6.52	8.86	21.06	32.25
CaO	1.99	4.30	2.51	5.38	6.74	10.64	11.48	13.88	4.42
Na_2O	3.48	3.98	8.26	3.37	3.39	2.82	2.16	0.30	0.49
K_2O	4.11	4.49	5.46	2.10	2.12	0.98	0.78	0.16	0.96
H_2O	0.84	1.16	1.35	1.22	1.36	1.60	1.04	1.20	3.53
P_2O_5	0.19	0.28	0.25	0.26	0.25	0.28	0.29	0.06	0.12

常见沉积岩的平均化学成分

表 1-2

岩石名称 含量 (%) 化学成分	页岩平均	高岭土	砂岩平均	石灰岩 平均	建筑用石 灰岩平均	方解石	白云岩
SiO ₂	58.90	46.5	78.64	5.20	14.09		
Al ₂ O ₃	15.63	39.5	4.77	0.81	1.75		
Fe ₂ O ₃	4.07	—	1.08	0.54	0.77		
FeO	2.48	—	1.30				
MgO	2.47	—	1.17	7.92	4.49	—	21.90
CaO	3.15	—	5.51	42.74	40.60	56.04	30.4
Na ₂ O	1.32	—	0.45	0.05	0.62		
K ₂ O	3.28	—	1.32	0.33	0.58		
H ₂ O	3.72	14.0	1.33	0.56	0.88		
TiO ₂	0.66	—	0.25	0.06	0.08		
P ₂ O ₅	0.17	—	0.08	0.04	0.42		
CO ₂	2.67	—	5.03	41.70	35.58	43.96	47.7
其 他	1.48	—	0.07	0.05	0.48		

Fe₂O₃, Al₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O 等, 至于各种化学成分所占的百分比与采出矿石中脉石的矿物组分密切相关。如脉石为火成岩类岩石, 则以硅酸盐类矿物为主, 其化学成分主要为SiO₂, 其次为 Al₂O₃; 如脉石为沉积岩类岩石, 则在砂岩中是以硅酸盐类为主, 一般富含SiO₂, 在石灰岩或方解石中是以碳酸盐类矿物为主, 一般富含 CaO, 在高岭土中则富含Al₂O₃和 SiO₂, 现将一些常见火成岩和沉积岩的平均化学成分列于表1-1和表1-2。

第三节 尾矿的矿物组分与矿床成因的关系

金属矿山尾矿的矿物组分与送往选厂的矿石所含的脉石矿物大致相同, 而脉石的矿物组分因矿床的成因类型而异。因此, 研究矿床的成因、工业类型, 分析研究脉石的矿物组分, 这对于矿山开发前进行规划、考虑尾矿综合利用的有关工厂或其设施, 是具有重大意义的。

对于不同成因、不同工业类型的矿床, 其脉石的矿物种类及

脉石矿物以石英

序 号	矿 山 名 称	矿 床 成 因	工 业 类 型
1	二道甸子矿	中温热液裂隙充填	含金石英脉金矿床
2	招 远 矿		热液石英脉型
3	五 龙 矿	中高温热液充填含金石英脉	硫化物含金石英脉型矿床
4	夹皮沟矿	高-中温热液石英脉型矿床	热液石英脉型矿床
5	大 吉 山 矿	内生矿床中岩浆期后的汽化与高温热液裂隙充填矿床	高温热液石英脉型黑钨矿床
6	归 美 矿	高温热液充填矿床	高温热液石英脉型黑钨矿床
7	浒 坑 矿		热液石英脉型
8	汝 城 矿	高-中温热液充填矿床	热液石英脉型黑钨矿床
9	莲花山矿	中温热液矿床	热液网脉状硫化物——黑白钨矿床
10	大 王 山 矿		热液石英脉型
11	下 垅 矿		同上
12	漂 塘 矿	高温热液石英脉矿床	热液石英脉型钨矿床

为主的矿山实例

表 1-3

脉 石 矿 物		尾矿化学成分 (%)			
主 要 的	次 要 的	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
石 英	方解石等	90	微	3.0	微
石 英	方解石、白云母	87.36	2.53		0.329
石英、斜长石、 绢云母、高岭 土、方解石	绿泥石、黑云母、蛇纹 石、磷灰石、角闪石、 普通辉石、白云母、滑 石、锆英石、柎榴子石	88.5	5.3		0.6
石 英	菱铁矿、绢云母、绿泥 石、方解石				
石 英	云母、电气石、萤石、 绿柱石、长石、绿泥 石、方解石、高岭土	72.44	9.69	5.91	
石 英	透辉石、柎榴子石、透 闪石、符山石、阳起石、 斜长石、萤石、方解石	80			0.164
石 英		87.16			0.46
石 英		77.78	7.75	4.00	1.63
石 英	白云母、绢云母、绿泥 石、黑云母、电气石、 柎榴子石、红柱石、磷 灰石、独居石	62.70			
石 英		93.79	1.95		0.01
石 英		85.36			0.799
石 英		78.15	4.14		3.09

序号	矿 山 名 称	尾矿化学成分 (%)						
		MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe	S	烧 失 量	其 他
1	二道甸子矿					少量		
2	招 远 矿	0.0333			2.17			
3	五 龙 矿	0.7			1.89	0.3		
4	夹皮沟矿							
5	大 吉 山 矿					0.19		0.195
6	归 美 矿				3	0.067		
7	浒 坑 矿				0.56	0.19		
8	汝 城 矿	0.69	2.96	0.27		0.13		
9	莲 花 山 矿				4.57	0.77		
10	大 王 山 矿	0.17			1.08			
11	下 垄 矿				1.23	0.032		
12	漂 塘 矿		0.57	1.82	1.985	0.061		

续表 1-3

尾 矿 粒 级 组 成 (%)								
(16目) 0.991 毫米	(32目) 0.495 毫米	(60目) 0.246 毫米	(80目) 0.175 毫米	(100目) 0.147 毫米	(150目) 0.104 毫米	(200目) 0.074 毫米	(400目) 0.038 毫米	(400目以 下)0.038 毫米以下
		10	50		40			
		15.49	7.05	2.97	15.74	5.0	53.75	
							34.98	65.02
		4.63	13.27	15.61	12.10	5.26	49.17	
	33.17	35.20		9.27	7.32	6.5	8.54	
40.49	26.51		13.14		18.16			
0.8	1.88	54.77	0.8	4.76	21.96	14.83		
	30.08	24.65			14.87	12.41		
33.27	20.00	2.51	6.44	10.86		10.05		
10.81	43.38	16.75	5.80	8.96	6.06	4.42		
	11.1	9.34		20.86	11.93	46.76		

脉石矿物以长石、石英为主的矿床实例

表 1-4

矿床类型	类 型 名 称	产 地	主要脉石矿物
一、稀有金属 花岗岩矿 床类型	I. 磷钼矿独居石黑云母 花岗岩型矿床	中 南	钾长石（条纹长石，微斜 长石），奥钠长石，石英， 黑云母，角闪石，白云母
	II. 褐钨铈矿铈铁矿黑云 母花岗岩型矿床	中 南	钾长石，斜长石，石英， 黑云母，角闪石
	III. 褐钨铈矿锆石钠闪石 化碱性花岗岩型矿床	西 南	钠长石， 霓石， 条纹长 石，正长石，钠长石，石英
	IV. 硅铍钨矿氟碳铈钙矿 钾长石化（白云母化）花岗 岩型矿床	华 东	微斜长石，钠长石，白云 母，黑云母
	V. 铈铁矿（锆石）钠长 石化黑磷云母化（天河石 化）花岗岩型矿床	中南、华东 华北	钾长石，钠长石，石英， 黑云母，黑磷云母（铁锂云 母）
	VI. 黄钨钽矿钨钽铁矿钠 长石化云英岩化花岗岩型矿 床	华 东	钾长石，钠长石，钠奥长 石，石英，白云母（锂云母）
	VII. 铈钨铁矿细晶石锰钽 矿钠长石化云英岩化（锂云 母化）花岗岩型矿床	中南、华东	钠长石，钾长石，石英，锂 云母，含锂白云母
	VIII. 绿柱石钠长石化云英 岩化花岗岩型矿床	西北、西南 华东、中南	钠奥长石，微斜长石，白 云母，（含锂白云母），钠 长石
二、稀有金属 花岗伟晶 岩矿床类 型	I. 铈稀土矿物黑云母奥 长石微斜长石伟晶岩	华北、东北	奥长石， 微斜长石， 石 英，黑云母，白云母
	II. 绿柱石铈铁矿白云母 微斜长石伟晶岩	华北、东北 西 南	微斜长石，奥钠长石，石 英，白云母（黑云母）
	III. 绿柱石钨铈铁矿钠长 石（微斜长石）伟晶岩	中南、西南 西北、华东	钠长石，钠奥长石，微斜 长石，石英，鳞片白云母
	IV. 钽铈铁矿锂辉石钠长 石伟晶岩	西南、西北	钠长石，石英，锂辉石， 锂白云母
	V. 铈钨铁矿细晶石铅锆 石白云母微斜长石钠长石伟 晶岩		钠长石，钠奥长石，石英， 白云母，微斜长石
	VI. 绿柱石钨铈矿细晶石 铍榴石铅锆石锂云母钠长石	中南、西北	钠长石，石英，锂云母， 含锂白云母，绿磷云母

续表 1-4

矿床类型	类 型 名 称	产 地	主要脉石矿物
	云母钠长石伟晶岩	西 北	
三、稀有金属 细晶岩型 矿床	铈钽化细晶岩型矿床	中 南	长石, 石英
四、稀有金属 碱性岩型 矿床	稀有金属碱性岩型矿床	东 北	长石, 石英
五、稀有金属 碱性伟晶 岩型矿床	稀有金属伟晶岩型矿床	西 南	长石, 石英
六、稀有金属 钠长岩型 矿床	稀有金属钠长岩型矿床	西 南	长石, 石英
七、稀有金属 风化壳矿 床	稀有金属风化壳矿床	中 南	长石, 石英

化学组成是不相同的, 即使是同一成因和同一工业类型的矿床, 也不完全相同。就是同一矿床, 其上部 and 下部亦有差异, 因此, 只能根据脉石所含的主要矿物组分来考虑利用和划分类别。兹就目前国内对尾矿利用的研究情况和尾矿的矿物组分及矿床成因的关系等划分为下列几种类型:

一、脉石矿物以石英为主的矿床

在热液石英脉型矿床、伟晶花岗岩型矿床、残积、坡积砂矿床、机械沉积砂矿床、胶体沉积硅质砂岩型矿床以及变质沉积石英岩矿床中, 主要脉石矿物一般都富含石英, 这类矿床经开采选别后所排弃的尾矿中 SiO_2 的含量可达60~90%, 部分矿山实例见表1-3。这类尾矿可用于生产蒸养(压)硅酸盐尾矿砖; 蒸压加气混凝土制品; 混凝土拌合时的掺和料; 普通硅酸盐水泥的配料; 当二氧化硅的含量在90%以上时, 可作为玻璃或耐火材料的原料。