

冶金过程污染控制与资源化丛书

矿山固体废物处理与资源化

蒋家超 招国栋 赵由才 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

冶金过程污染控制与资源化丛书

矿山固体废物处理 与资源化

蒋家超 招国栋 赵由才 主编

北 京

冶金工业出版社

2007

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山固体废物处理与资源化/蒋家超, 招国栋, 赵由才
主编. —北京: 冶金工业出版社, 2007. 11

(冶金过程污染控制与资源化丛书)

ISBN 978-7-5024-4391-7

I. 矿… II. ①蒋… ②招… ③赵… III. ①矿山—固体废物—废物处理 ②矿山—固体废物—废物综合利用
IV. X751

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 155030 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

责任编辑 程志宏 美术编辑 李心 版式设计 张青

责任校对 符燕蓉 李文彦 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4391-7

北京鑫正大印刷有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2007 年 11 月第 1 版, 2007 年 11 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 8.375 印张; 222 千字; 251 页; 1-3000 册

26.00 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)

冶金过程污染控制与资源化丛书

编 委 会

主 任 赵由才

副主任 刘 清

委 员	马建立	唐 平	曹先艳	孙晓杰
	孙英杰	宋立杰	李鸿江	招国栋
	钱小青	肖 灿	王金梅	牛冬杰
	柴晓利	郭 斌		

丛 书 前 言

冶金工业是一门既古老又现代的工业门类。黑色金属(钢铁)、有色金属(包括铜、锌、铅、铬、镍等)、稀有金属(包括钨、钼、钽、铌等)、贵金属(包括金、银、铂、钯等)、放射性金属(铀、钚等)、稀土金属等的各种形态物质的生产、加工等均属于冶金工业的范畴。

冶金工业是我国国民经济的支柱产业之一,为社会的发展做出了重要贡献。然而,冶金企业造成的环境污染与资源浪费也是相当严重的。每生产 1t 钢的总耗水量为 100~300t。虽然水的循环使用率已大大提高,但每吨钢需要处理的废水一般仍达 50t 左右。废水中带有大量有害的悬浮泥渣及溶解物质,而且温度较高(30~60℃),直接外排会造成热污染。钢铁工业造成的大气污染尤为严重,每生产 1t 钢要产生废气 10000m³,粉尘 100kg,废气中含有一氧化碳、二氧化硫及氧化铁等有害物质。此外,生产 1t 钢还要产生近 0.5t 钢铁废渣。由于冶金工业产生的污染物数量大、毒性强、品种多,造成的环境问题极为严重,因此对冶金工业污染的处理处置及资源化有着巨大的环境价值、经济价值和社会价值。多年来,我国各级政府、相关企业对冶金污染控制与资源化做了大量研究开发和整治工作,取得了明显的成效,积累了大量的经验教训。然而,国内外相关资料比较分散,部分冶金学术著作中对其污染控制与资源化虽有所描述,但并不全面和系统,读者难以系统深入了解和掌握,故实用性较差。

本丛书全面系统地描述了国内外冶金污染控制与资源化

的原理、技术、应用工艺、管理、法律和法规等内容,包括冶金过程固体废物处理与资源化、冶金过程大气污染控制与资源化、冶金过程废水处理与利用、矿山固体废物处理与资源化、冶金企业废弃生产设施设备处理与利用、冶金企业受污染土壤和地下水整治与修复、绿色冶金与清洁生产等。

这套丛书适合于大、中专院校教学使用,也可供从事环境保护的工程技术人员、国家和地方政府的工业管理部门以及科技管理部门的相关人员阅读和参考。

本丛书中所引用的国内外文献资料均在参考文献或文中列出,但由于参考文献来源广泛,如编者在归纳、整理中出现遗漏,请有关资料作者谅解。

赵由才

2007年1月

于同济大学明净楼

前 言

把矿物从自然环境中开采出来并运送至选矿场或使用地点的全部过程和作业叫做采矿。矿业工业是世界上仅次于农业的最古老和最重要的行业之一。在矿山开采、矿物加工和运输过程中会产生大量的固体废物，影响生态、污染环境及侵占土地。矿山固体废物可粗分为开采过程中剥离围岩排出的废石和选洗过程中排出的尾矿（如铜尾矿、铁尾矿、锌尾矿、铅尾矿等）。尾矿的种类繁多，它们除含共同的岩石成分（ Al_2O_3 、 SiO_2 等）外，不同尾矿往往还含有某些特有的金属或非金属成分。

近年来，由于工业对矿产品的需求量倍增，矿业开发规模空前。同时由于多采用露天开采和转向低品位矿石贫矿的开发，矿物废渣的积存量和递增量到了令人忧虑的地步。矿业对环境的破坏和地球资源的日趋枯竭，致使人们越来越关注矿山固体废物的处理和资源化，尤其是低品位矿石和尾矿的开发利用。

本书系统全面地介绍了矿山固体废物来源、数量、管理、相关法律法规、处理处置方法和资源化利用的途径。着重介绍了矿山固体废物综合利用的方法，如从矿山废物中回收有用金属、矿山废物在建材上的应用、矿山废物在填充采矿法中的应用等。

全书共分为七章，主要编写人员：阳小霜、赵由才（第 1 章）；张承龙、赵由才（第 2 章）；蒋家超、王星、赵由才（第 3 章）；黄希、曾湘梅、赵由才（第 4 章）；邱媛媛、赵由

才（第5章）；招国栋、楼紫阳（第6章和第7章）。

本书由蒋家超、招国栋、赵由才任主编，张承龙、阳小霜、黄希任副主编。

由于编者水平有限，书中不妥之处，敬请有关专家及广大读者批评指正。

编 者

2007年5月

于同济大学污染控制
与资源化研究国家重点实验室

目 录

1 矿山生产及其固体废物	1
1.1 矿山生产概述	1
1.1.1 矿产资源及矿山简介	1
1.1.2 矿山生产工序	2
1.2 矿山生产中的环境问题	3
1.3 矿山固体废物的特点	7
1.3.1 矿山固体废物的种类	7
1.3.2 矿山固体废物的组成	7
1.3.3 矿山固体废物的性质	9
1.3.4 矿山固体废物的产生量	11
1.4 矿山固体废物的危害	12
1.4.1 占用土地、损伤地表	12
1.4.2 污染水质和土壤、危害生物并影响农业生产	12
1.4.3 引发重大地质与工程灾害	13
1.4.4 污染环境,破坏生态平衡	14
1.4.5 矿山固体废物的大量排放造成资源的严重浪费	15
1.5 国内外矿山固体废物综合利用现状	16
1.5.1 矿山固体废物处理处置的必要性和意义	16
1.5.2 矿山固体废物综合利用	19
2 矿山固体废物管理	27
2.1 概述	27
2.2 矿山固体废物管理原则	28

2.2.1	矿山环境保护同矿业经济协调发展原则·····	28
2.2.2	预防为主、防治结合的原则·····	28
2.2.3	“减量化、资源化、无害化”原则·····	29
2.2.4	国家宏观调控和市场调节的有机配合原则·····	29
2.3	矿山固体废物管理的相关法律法规及标准·····	30
2.3.1	有关矿山固体废物管理方面的法律法规·····	30
2.3.2	有关矿山固体废物管理方面的标准·····	32
2.4	矿山固体废物管理制度·····	33
2.4.1	分类管理制度·····	33
2.4.2	工业固体废物申报登记制度·····	33
2.4.3	固体废物污染环境评价制度及其防治设施的“三同时”制度·····	34
2.4.4	排污收费制度·····	34
2.4.5	限期治理制度·····	34
2.4.6	矿山环境恢复治理保证金制度·····	35
2.4.7	危险废物行政代执行制度·····	35
2.4.8	危险废物经营单位许可证制度·····	35
2.4.9	危险废物转移报告单制度·····	36
2.5	矿产资源规划·····	36
2.5.1	我国矿产资源规划体系·····	36
2.5.2	矿产资源规划的内容·····	39
2.5.3	矿产资源规划实施的保障措施·····	42
2.6	矿山环境影响评价·····	45
2.6.1	我国的环境影响评价制度·····	45
2.6.2	矿山环境影响评价概述·····	46
2.6.3	矿山环境影响评价制度的管理程序·····	47
2.6.4	矿山环境影响评价的工作程序·····	53
2.6.5	矿山环境影响评价的方法·····	54
2.7	矿山固体废物的环境监测·····	58
2.7.1	矿山固体废物环境监测的目的和任务·····	58

2.7.2 矿山固体废物环境监测的对象和项目	59
2.7.3 环境监测方法标准及质量管理	60
2.7.4 矿山固体废物环境监测方法	62
3 矿山固体废物的处理处置	64
3.1 矿山固体废物的堆存	65
3.1.1 尾矿库	65
3.1.2 排土场	70
3.2 尾矿库的修建与维护	78
3.2.1 尾矿库的设计原则	78
3.2.2 尾矿库的计算	79
3.2.3 尾矿坝的修建	84
3.2.4 尾矿库其他设施	91
3.2.5 尾矿库的管理维护	94
3.2.6 尾矿库常见事故及其处理措施	102
3.3 排土场的修建与维护	104
3.3.1 排土场的设计	104
3.3.2 排土场相关参数的确定	104
3.3.3 排土场的运行	111
3.3.4 排土场的管理维护	113
3.3.5 排土场事故	115
3.4 矿山尾矿输送系统	115
3.4.1 干式选矿厂尾矿输送	115
3.4.2 湿式选矿厂尾矿输送	116
3.4.3 尾矿输送设施	118
4 矿山固体废物中有价金属的回收	120
4.1 概述	120
4.2 铁矿山固体废物中有价金属的回收	121
4.2.1 铁尾矿的种类	121

4.2.2 铁尾矿中铁矿石的再选	122
4.2.3 铁尾矿中其他有价金属矿物的回收	128
4.3 有色金属矿山固体废物中有价金属的回收	129
4.3.1 铜矿山固体废物的再选	129
4.3.2 钨矿山固体废物的再选	130
4.3.3 锡矿山固体废物的再选	131
4.3.4 钼矿山固体废物的再选	133
4.3.5 铅锌矿山固体废物的再选	134
4.3.6 钽铌矿山固体废物的再选	137
4.4 金矿山固体废物中有价金属的回收	137
5 矿山固体废物在建材工业中的应用	140
5.1 矿山固体废物在制砖生产中的应用	140
5.1.1 研究现状	140
5.1.2 尾矿在彩色地面砖等方面的应用	142
5.2 矿山尾矿在水泥生产中的应用	144
5.2.1 尾矿对水泥产品的影响	145
5.2.2 利用尾矿生产水泥实例	146
5.3 利用矿山固体废物生产陶瓷材料	149
5.4 利用矿山尾矿生产新型玻璃材料	150
5.4.1 铁尾矿制饰面玻璃	150
5.4.2 铜尾矿制饰面玻璃	150
5.4.3 铁尾矿研制黑玻璃制品	151
5.5 利用矿山尾矿生产微晶玻璃	151
5.5.1 国内外研究现状	152
5.5.2 尾矿废渣微晶玻璃的制备技术	152
5.5.3 应用实例	154
5.5.4 尾矿应用于微晶玻璃生产的发展前景	155
5.6 利用矿山尾矿生产其他建筑材料	155
5.6.1 尾矿用于混凝土生产	155

5.6.2 尾矿提纯矿物产品应用于材料	157
5.6.3 利用尾矿生产高分子吸水材料	158
5.6.4 利用尾矿生产铺路材料	158
5.6.5 利用尾矿生产人造石	158
6 矿山固体废物在充填采矿方法中的应用	160
6.1 概述	160
6.1.1 矿山充填的形式	160
6.1.2 矿山充填的发展概况	161
6.1.3 当代矿山充填技术概述	163
6.2 当代胶结充填的种类及特点	167
6.2.1 低强度混凝土胶结充填	169
6.2.2 全砂土似膏体胶结充填	170
6.2.3 块石砂浆胶结充填	170
6.2.4 碎石水泥胶结充填	170
6.3 尾砂充填技术	171
6.3.1 低浓度尾砂胶结充填	171
6.3.2 高水速凝尾砂胶结充填	173
6.3.3 全尾砂高浓度胶结充填	179
6.3.4 全尾砂膏体胶结充填	181
6.4 高水固结全尾砂充填	183
6.4.1 高水固结招远金矿全尾砂	184
6.4.2 高水固结焦家金矿全尾砂	186
6.4.3 高水固结全尾砂抗压强度试验结果分析	188
7 矿山固体废物土地复垦	193
7.1 概述	193
7.1.1 矿区土地复垦的概念	193
7.1.2 与复垦有关的几个概念	194
7.1.3 国内外金属矿山土地复垦现状	195

7.1.4 国内金属矿山土地复垦存在的问题	197
7.1.5 开展矿区土地复垦的意义	198
7.1.6 矿区土地复垦与采矿工程的关系	199
7.2 矿区土地复垦规划和设计	200
7.2.1 矿区土地复垦规划与设计意义	200
7.2.2 矿区土地复垦规划设计应遵循的原则	201
7.2.3 矿区土地复垦规划设计的基本程序	202
7.2.4 矿区土地复垦规划与复垦对象的分类	204
7.2.5 矿区待复垦土地的适宜性评价方法	205
7.2.6 矿区复垦土地利用结构的决策	207
7.3 矿区土地复垦技术	208
7.3.1 矿区土地破坏类型与特征	208
7.3.2 矿山复垦土地的利用方向和利用层次	209
7.3.3 矿区工程复垦技术	210
7.4 充填复垦与矿区固体废物排放技术	217
7.4.1 矸石充填复垦工程技术	217
7.4.2 粉煤灰充填复垦技术	218
7.4.3 塌陷区充灰和覆盖技术	220
7.5 生态复垦技术	221
7.5.1 生态工程与生态工程复垦概述	221
7.5.2 矿区生态工程复垦规划设计的内容和步骤	223
7.5.3 生态工程复垦规划中的结构设计	224
7.6 尾矿库复垦	226
7.6.1 尾矿库对环境的危害	226
7.6.2 尾矿库复垦利用方式的选择	227
7.6.3 尾矿库复垦的特点	229
7.6.4 尾矿库复垦的利用方向	231
7.6.5 尾矿库土地复垦效益分析	233
7.6.6 尾矿库复垦对人群健康影响的研究	238
参考文献	249

1 矿山生产及其固体废物

1.1 矿山生产概述

1.1.1 矿产资源及矿山简介

矿产资源是指由存在于地壳中的矿物组成的可利用物质。矿产资源是人类生存和发展的重要物质基础之一，采矿工业是世界上仅次于农业的最古老和最重要的行业之一。矿业是工业的基础，没有矿业的支持，工业生活既没有原料也没有动力。人类学家甚至用矿产产品来命名人类文明发展的各个阶段，如石器时代、青铜时代、铁器时代、合金时代、原子能（铀）时代等等，由此可见矿业的重要性。我国 95% 的能源和 85% 的原材料均来自矿产资源。地壳重量的 98% 仅由 8 种元素组成：氧为 47%；硅为 28%；铝为 8%；铁为 5%；钠、镁、钾、钙各占 4% 以下。由这些元素以及其他一些不常见的元素组成了约 3000 种已命名的矿物，其中有工业意义的 1000 多种。矿产资源按其在地壳中富集的物质形态的不同，可分为气态矿产（如天然气）、液态矿产（如石油）和固态矿产（如煤、铁）三大类。固态矿产依其用途可分为能源矿产（如煤、铀）和非能源矿产（如铁、铜）两大类。固态非能源矿产依其特性又可分为金属矿产（如铁、铝、铜、金等）和非金属矿产（如磷、金刚石、硫磺等）。

地壳中矿物富集的区域称为矿化区域，当矿化区域中的矿物富集到足够的程度且埋藏条件允许开采并值得开采时就形成矿产。对固态矿产而言，矿体是矿物富集而形成的几何体，一个矿床一般包含有多个（条）矿体，也可以说矿床是由矿体组成的。

采矿是从地壳中将可利用的矿物开采出来并运输到矿物加工地点或使用地点的行为、过程或者工作。矿山一般是指采矿、选

矿及其对所生产矿石进行破碎、切割等初加工的生产单位，即进行采矿作业的场所，包括开采形成的开挖体、运输通道和辅助设备等。

1.1.2 矿山生产工序

根据开挖体所处位置的不同，矿山可分为露天矿与地下矿两种类型。开挖体暴露在地表的矿山称为露天矿；开挖体在地下的矿山称为地下矿。过去选择开采方法主要考虑的是矿床的类型、矿床与围岩的物理性质，而现在确定开采方法时，经济效益和环境影响成为同等重要的考虑因素。目前矿山普遍采用的开采方法是露天开采和地下开采。两者的开采工序略有不同，见图 1-1。露天开采比地下开采便宜，而且有用矿物的回收率也比较高，低

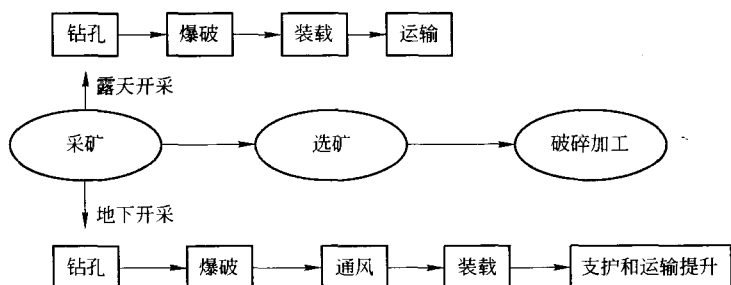


图 1-1 矿山生产工序

廉的开采费用为采取必要的环境措施提供了可能。露天开采有两种基本方法，即台阶式开采（open-pit mining）和条带剥离式开采（strip mining），前者主要用于开采金属矿床以及其他硬岩矿床；后者主要用于开采煤炭，且往往需要占用大片土地，但是复土造田则相对比较容易。地下开采法的开采费用高，但它对环境影响较小。地下矿开拓和开采方法随着开采技术的进步而不断演变，逐步形成了以竖井、斜井、平硐和斜坡道开拓为基本方式的约 10 种矿床开拓方法，以及空场法、充填法和崩落法三

大类共 20 余种典型采矿方法。不过, 沉陷是各种地下开采法的一个潜在问题, 不加以控制会使地面大面积塌陷。除去这两种普遍的开采方法之外, 还有一些特殊的开采方法, 如溶解开采法, 这是一种特殊的地下开采方法。该方法是把某种液体靠钻孔泵注入岩层内, 使矿床液化或者溶解, 然后将其抽到地面, 如硫磺、食盐、铜和铀等都可以使用这种开采方法。此外, 还有水力开采法, 这种方法利用水枪把某些风化或疏松的含矿砾石层破碎下来, 再用泵将其送至选矿厂。显然, 该技术突出的问题是水污染的问题。

金属矿床的矿石通常都要在矿山进行选矿, 以提高矿物品位(含量), 将有用的矿物运至冶炼厂, 同时丢弃无用的废石(即尾矿)。非金属矿床及燃料矿床一般所含有用矿物较多, 因而通常在矿山直接加工成产品, 例如煤大多就是在矿山洗选, 以清除夹杂的页岩和其他的杂质(即煤矸石), 然后才运出矿山。

1.2 矿山生产中的环境问题

矿山环境是指以人为主体的, 矿山所在地及其周围一定范围内的空气、阳光、水、土壤、生物和地质及其构造(岩石、地层特点和稳定性等)状况。矿业在其开采、加工和运输过程中, 会对自然环境造成较大的破坏。开矿需要清除矿床上的覆盖岩土而破坏地表, 影响自然生态; 矿石加工过程中会产生大量的固体(尾矿)、液体和气体废物, 污染环境及侵占土地; 矿产品在储运中由于管理不善也会产生污染。特别是近 20 年来工业对矿产需要量的急剧增加, 使得矿物产量猛增, 矿产资源日趋枯竭, 致使人类注意力逐渐转向那些低品位的矿石。因此, 与过去相比, 生产同样数量的金属, 矿石的挖掘和处理量可高出数十倍, 这就大大地加重了对环境的污染和破坏。

矿山生产对环境造成的破坏可归纳为以下几点。

(1) 噪声污染。矿山系统中噪声的声源数量多、分布广, 普遍缺少适当的控制措施, 许多设备和作业区的噪声超过国家允许