

KUANGSHAN FEILIAO JIAOJIE  
CHONGTIAN

# 矿山废料胶结充填

周爱民 编著



冶金工业出版社

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

中国矿业大学北京  
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES  
北京 100083

# 矿山材料胶结充填

王德明 主编



地质出版社  
GEOLOGICAL PUBLISHERS

# 矿山废料胶结充填

周爱民 编著

北京

冶金工业出版社

2007

## 内 容 简 介

本书结合矿山废石、尾砂和赤泥三大金属矿山的固体废料源,重点阐述了矿山废石胶结充填、尾砂胶结充填和赤泥胶结充填的应用及其充填体作用机理,特别是针对矿山废石、尾砂或赤泥作为充填材料的特殊性和矿山充填的特点,系统地论述了这些矿山固体废料的自然特性,以这些固体废料作为充填材料的胶结强度理论及材料配合原理,高浓度充填料的结构流输送理论及其特性参数,废石胶结充填、全尾砂胶结充填和赤泥胶结充填的充填料制备工艺与装备技术、输送工艺与装备技术、充填系统配置以及采场充填工艺与技术等。

本书适用于从事矿山工程的科研、设计与技术人员阅读,也可作为高等学校相关专业教学参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

矿山废料胶结充填/周爱民编著. —北京:冶金工业出版社, 2007. 1

ISBN 978-7-5024-4113-5

I. 矿… II. 周… III. 矿山—废料—胶结充填法  
IV. TD853. 34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 145675 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)  
责任编辑 王之光 (联系电话: 010-64027929 电子信箱: zgwang2010@sina.com)  
美术编辑 李 心 责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 牛晓波  
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  
2007 年 1 月第 1 版, 2007 年 1 月第 1 次印刷  
787mm × 1092mm 1/16; 14.25 印张; 342 千字; 216 页; 1-2000 册  
**45.00 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)

## 前 言

采矿是矿产资源开发和利用的基础，但是采矿工业在为人类提供原材料的同时，也容易带来资源损失、地表塌陷、排放废料等负面效应。随着工业社会的飞速发展，矿产需求量迅速增加，金属矿产资源开发利用引发地表破坏和废料排放，导致矿山环境恶化，给地球环境造成了很大的负面影响。目前尽管国内外在矿山环境治理和生态恢复方面作了大量的工作，但是收效不明显。采矿专家希望通过采矿技术进步，使采矿工业能实现零排放和不破坏地面环境。这就意味着不将废料排放在地表，采空区能被有效充填，同时还能充分地回收矿产资源，从根本上解决矿产资源开采带来的环境和安全问题。目前的采矿工业离此目标还有较大的差距，因此，需要全体采矿工程师和各方面人员的共同努力才能实现这一目标。

矿山废料胶结充填可以提高资源回采率，有效保护地表不塌陷和保护远景资源，消除或大量减少矿山固体废料的排放，保持矿区生态体系完整，从根本上最大限度地消除矿产资源开采所带来的负面影响，并且能使矿山效益最大化。矿山废料胶结充填是按照工业生态学思想发展起来的矿山充填新理论与新技术，能促进采矿工业与资源、环境、安全、经济的协调发展，符合可持续发展战略的要求。

本书是在作者多年来主持完成的多项科技攻关项目成果的基础上，以全部利用矿山固体废料作为充填材料为出发点，以实现高效、安全、低成本充填为目标进行组材编著。重点针对矿山废石、尾砂和赤泥作为充填材料的特殊性和矿山充填的特点，系统地论述了这些矿山固体废料的自然特性，以这些固体废料作为充填材料的胶结强度理论及材料配合原理，高浓度充填料的结构流输送理论及其特性参数，废石胶结充填、全尾砂胶结充填和赤泥胶结充填的充填料制备工艺与装备技术、输送工艺与装备技术、充填系统配置以及采场充填工艺与技术等，并阐述了矿山废石胶结充填、尾砂胶结充填和赤

泥胶结充填的应用及其胶结充填体作用机理。

《矿山废料胶结充填》一书，通过理论与实际相结合，以期在推广应用矿山废料胶结充填新理念、新理论、新工艺和新技术方面发挥积极作用，为实现采矿业与资源、环境、安全、经济的协调发展做出一定的贡献。

作 者  
2006年2月

# 目 录

1 绪论 .....	1
1.1 概述 .....	1
1.1.1 矿床开采的主要问题 .....	1
1.1.2 工业生态学观念 .....	3
1.1.3 矿山环境问题新观念 .....	4
1.2 工业生态型开采 .....	5
1.2.1 固体废料流量模型 .....	5
1.2.2 工业生态型开采模式 .....	6
1.3 矿山充填的工业生态功能 .....	8
1.3.1 充分回采矿石资源 .....	8
1.3.2 远景资源保护 .....	10
1.3.3 防止地表塌陷 .....	11
1.3.4 充分利用矿山固体废料 .....	11
1.3.5 工业生态型充填的基本类型 .....	11
1.4 矿山充填技术评述 .....	11
1.4.1 矿山充填技术的发展历程 .....	12
1.4.2 充填技术的主要新成就 .....	14
1.5 我国充填技术应用概况 .....	17
1.5.1 分级尾砂充填 .....	17
1.5.2 高浓度全尾砂胶结充填 .....	18
1.5.3 废石胶结充填 .....	18
1.5.4 膏体泵送胶结充填 .....	19
1.5.5 磨砂胶结充填 .....	19
1.5.6 赤泥胶结充填 .....	19
1.5.7 其他充填技术 .....	20
参考文献 .....	20
2 胶结充填体作用原理 .....	22
2.1 胶结充填体力学特性 .....	22
2.1.1 胶结充填体受压变形特性 .....	22
2.1.2 胶结充填体的综合力学特性 .....	24

2.1.3	胶结充填体的力学参数	30
2.1.4	变形破坏过程	31
2.2	胶结充填体承载及应力	33
2.2.1	回采过程中岩体性态变化	33
2.2.2	开采过程中区域地压规律	34
2.2.3	胶结充填体的应力分布	36
2.3	胶结充填体力学作用机理	37
2.3.1	充填体对围岩的作用机理	38
2.3.2	充填体与围岩作用模型	39
2.3.3	胶结充填体破坏机理	40
2.3.4	胶结充填体稳定性判断准则	41
	参考文献	42
3	矿山固体废料特性	44
3.1	废石料	44
3.1.1	废石料矿物成分	44
3.1.2	废石料物理特性	45
3.1.3	废石料的力学特性	46
3.1.4	废石料粒度组成	46
3.2	尾砂	47
3.2.1	尾砂粒度	47
3.2.2	尾砂物理化学特性	48
3.2.3	全尾砂沉缩特性	50
3.3	赤泥	51
3.3.1	赤泥化学成分	52
3.3.2	赤泥粒度组成	52
3.3.3	赤泥的潜在活性	53
3.4	高炉矿渣	54
	参考文献	54
4	固体废料胶结强度	56
4.1	胶结充填体强度因素	56
4.2	废石胶结充填料配合原理	57
4.2.1	废石胶结充填体特性	57
4.2.2	组分的强度效应	57
4.2.3	充填料级配理论	59
4.2.4	用水量	63
4.2.5	水泥用量	65



4.2.6 配合设计中注意事项	65
4.3 全尾砂胶结充填料强度	66
4.3.1 全尾砂胶结机理	66
4.3.2 活化搅拌的强度机理	67
4.3.3 全尾砂充填料强度因素	68
4.3.4 全尾砂胶结充填料特性	71
4.4 赤泥胶结料强度理论	72
4.4.1 赤泥胶结强度	72
4.4.2 赤泥胶结料胶结机理	75
4.4.3 贮存期对赤泥胶结性能的影响	78
4.4.4 赤泥胶结充填料强度	79
4.4.5 其他强度特性	83
4.5 矿渣胶结料强度	83
4.5.1 矿渣的胶结性能	83
4.5.2 矿渣尾砂胶结强度	85
4.6 粉煤灰胶结原理	87
4.6.1 粉煤灰的活性	87
4.6.2 粉煤灰的胶结作用机理	88
4.6.3 粉煤灰对胶结充填料强度的影响	89
参考文献	91
<b>5 高浓度胶结料输送理论</b>	<b>92</b>
5.1 充填料结构流输送	92
5.1.1 结构流特征	92
5.1.2 影响流体阻力的因素	94
5.1.3 流体阻力经验公式	96
5.2 高浓度充填料输送	98
5.2.1 高浓度充填料浆特性	98
5.2.2 料浆流变参数	101
5.2.3 料浆输送参数确定	106
5.3 膏体充填料泵压输送	110
5.3.1 膏体充填料基本特性	110
5.3.2 膏体充填料的流变特性	111
5.3.3 膏体充填料的可泵性	112
参考文献	114
<b>6 废石胶结充填</b>	<b>115</b>
6.1 概述	115

6.1.1	废石胶结充填工艺与技术特点 .....	115
6.1.2	废石胶结充填应用概况 .....	118
6.2	充填材料及制备 .....	119
6.2.1	充填材料 .....	119
6.2.2	废石料制备 .....	119
6.2.3	水泥浆制备 .....	120
6.3	充填料输送工艺 .....	122
6.3.1	废石料输送 .....	123
6.3.2	水泥浆输送参数确定 .....	125
6.4	充填料自淋混合 .....	126
6.4.1	废石胶结充填料自淋混合实验 .....	127
6.4.2	废石水泥浆自淋混合工艺 .....	132
6.4.3	废石砂浆同时下料混合 .....	133
6.5	采场充填 .....	134
6.5.1	充填体隔墙 .....	134
6.5.2	充填方式 .....	134
6.5.3	充填接顶 .....	135
6.5.4	充填体质量保证措施 .....	135
6.6	矿山应用实例 .....	136
6.6.1	丰山铜矿废石水泥浆胶结充填 .....	136
6.6.2	铜坑锡矿废石砂浆胶结充填 .....	141
	参考文献 .....	143
<b>7</b>	<b>高浓度全尾砂充填 .....</b>	<b>145</b>
7.1	概述 .....	145
7.2	全尾砂充填料制备 .....	147
7.2.1	全尾砂脱水 .....	147
7.2.2	全尾砂料浆搅拌 .....	160
7.3	全尾砂充填料输送工艺 .....	167
7.3.1	自流输送 .....	167
7.3.2	井下增压输送 .....	169
7.3.3	膏体泵送 .....	174
7.4	采场充填 .....	181
7.4.1	自流充填 .....	181
7.4.2	泵压充填 .....	182
7.4.3	全尾砂胶结充填评价 .....	184
7.5	矿山应用实例 .....	187
7.5.1	凡口矿高浓度全尾砂自流胶结充填 .....	187

---

7.5.2 铜录山矿膏体全尾砂泵送胶结充填 .....	191
参考文献 .....	201
<b>8 赤泥胶结充填 .....</b>	<b>202</b>
8.1 赤泥充填的工程特性 .....	202
8.2 赤泥充填料制备 .....	203
8.2.1 赤泥与石灰加工 .....	203
8.2.2 赤泥充填料混合 .....	204
8.3 赤泥胶结充填工艺 .....	205
8.3.1 赤泥粉煤灰胶结充填工艺 .....	205
8.3.2 赤泥全尾砂胶结充填工艺 .....	206
8.4 湖田铝土矿赤泥胶结充填 .....	207
8.4.1 充填材料 .....	207
8.4.2 赤泥胶结料浆制备 .....	208
8.4.3 赤泥充填料输送实验 .....	211
8.4.4 赤泥充填料双管输送工艺 .....	212
8.4.5 采场充填工艺 .....	214
8.4.6 充填效果 .....	214
参考文献 .....	216

# 1 绪 论

矿产资源对后续产业所具有的强劲效益传递功能和广泛的社会辐射效应,使人类社会得以进步和发展。可以说,人类的进步以利用矿物的能力来衡量。矿产资源开采是社会生产链的最前端,生产的许多重要工业原材料是国民经济、人民生活、国防工业、高新科学技术领域不可缺少的原材料和重要战略物质。矿物产品对保障国民经济和社会发展的重要作用和战略价值,决定了其在国民经济中的不可替代的地位。我国是矿产资源大国,也是矿产资源生产和消耗大国,并且依托矿产开采建立了 400 多座新兴矿业城市。

采矿是矿产资源开发和利用的基础工业,但是采矿工业在为人类提供原材料的同时,也不可避免地会扰动和破坏地表环境,带来安全隐患。随着工业社会的飞速发展,矿产需求量迅速增加,矿产资源开采利用引发的环境破坏和废料排放,已成为相当严峻的问题。特别是我国大多数矿山生产规模小,工艺技术相对落后,导致矿山环境严重恶化,给自然生态环境和社会经济生活带来了很大的负面影响。世界各国领导人、环境专家和采矿专家都希望采矿工业实现零排放和不破坏生态环境。这就意味着不能将废料排放在地表,采空区能被及时充填,同时还要充分地回收矿产资源。尽管目前国内外采矿技术已取得很大进展,但要实现这一目标仍然有很大的难度。因此,需要全体采矿界同仁和各方面人员的共同努力才能实现这一目标。本书也正是希望为实现这一目标作出一定的贡献。

## 1.1 概述

### 1.1.1 矿床开采的主要问题

采矿是矿产资源开发和利用的前端工序。按照传统的认识,在矿床开采过程中,人们通常注重于矿床开采的经济活动,较少结合开采过程考虑矿床开采对自然环境的严重负面影响;往往在出现生态破坏和环境污染后再进行末端治理,较少按照矿产资源开采与生态环境相协调的理念,将矿床开采的各个工序作为一个系统从源头解决矿山环境污染问题。因而,我国因矿产资源开发利用造成了大量的土地受到破坏,排放的固体废料达工业行业排放固体废料总量的 85%。矿山固体废料的排放占用了大量宝贵的土地,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的流失。特别是我国大多数矿山生产规模小,数量众多,技术水平差别大,较多矿山的环境保护工作滞后,矿山生态环境严重恶化。矿山的环境污染和破坏给当地自然生态环境、社会经济生活带来了很大的负面影响。可见,我国矿产资源开发与利用引发的环境破坏显著增加了地球环境的负荷,已成为亟待解决的重大课题。

#### 1.1.1.1 资源浪费

我国金属矿产资源的开采损失比较严重。根据地矿部门于 1989 ~ 1990 年、1995 ~ 1996 年和 1999 ~ 2000 年在全国组织的三次矿产资源开发利用水平抽样调查结果,1999 年与 1995 年相比,9 种主要有色金属矿种的矿井回采率从 53.02% 提高到 79.36%,选矿回

收率从 80.1% 提高到 84.07%，采选冶综合回收率从 38.17% 提高到 60.04%。可见近年来，我国主要金属矿产的开发利用水平有了较大的提高，但仍然远低于主要矿业大国。目前，我国有色金属矿产资源的综合利用比国外先进水平低 10~20 个百分点。

另外，当代被采矿体的围岩也极有可能含有远景矿产资源，能在将来得到利用。但按照目前通常的认识，它们在现有技术条件下不能被利用，或还不能被认识到将来的工业价值。因而，在当代采矿活动中很少考虑这些远景资源在将来的开发利用。事实上，在远景资源还不能被明确界定的条件下也难以进行综合规划。因此，在开发资源的过程中，远景资源往往受到极大破坏，很难被再次开发，或者即使能开发也增加了很大的技术难度。此外，我国矿床的一个显著特点是共生、伴生矿床多，80% 的矿床伴生多种有用组分，铜的 25%、金的 40%、钼的 25% 是赋存于伴生矿床中。目前不少矿山废弃物中的伴生矿物的价值甚至高于主矿物的几倍至几十倍。有关部门 1994 年对 1845 座矿山的抽查资料显示，资源综合利用率达 70% 以上的矿山仅占 2%，达 50% 的不到 15%，75% 的矿山有用组分利用率在 25% 以下，大量的资源在采选过程中损失浪费，使人类可利用资源的紧缺程度进一步加剧。

#### 1.1.1.2 地表塌陷

采矿工业在索取资源的同时，因开采而在地下形成大量采空区，即矿石被回采后，遗留在地下的回采空间。用崩落采矿法回采时，在覆盖岩石下出矿，回采空间需要崩落上部矿岩进行填充，造成地表塌陷。采用空场采矿法回采时，出矿后留下采空区。采空区的存在使岩体中的应力重新分布，在空区的周边产生应力集中形成地压，使空区顶板、围岩和矿柱发生变形、破坏和移动，产生顶板冒落，或者强制崩落上部围岩填充采空区，造成地表塌陷。无论是崩落采空区顶板，还是采空区失稳塌陷，都会造成地表和植被遭受破坏。矿山开采诱发的地面崩塌、滑坡、塌陷等地质灾害已十分普遍。据不完全统计，目前我国因采矿破坏的土地面积达 400 多万  $\text{hm}^2$ ，因采矿引起的塌陷面积达 11.5 万  $\text{hm}^2$ ，发生采矿塌陷灾害的城市 30 多个，使生态环境受到严重破坏。

#### 1.1.1.3 排放废料

目前的采矿工业体系实际上是一个开采资源和排放废料的过程。矿业开发活动是向环境排放废弃物的主要来源，其固体废料的排放量占工业固体废料排放量的 80%~85%。据报道，澳大利亚每年产生约 21 亿 t 工业固体废料，约有 80% 来自矿业部门。世界矿业开发所产生的尾砂，每年在 50 亿 t 以上。我国在矿产资源开发利用过程中产生的尾砂、废石、煤矸石、粉煤灰和冶炼渣已成为排放量最大的工业固体废弃物，占全国工业固体废弃物排放总量的 85%。据资料介绍，仅国有煤矿就堆筑煤矸石山 1500 余座，历年堆积量达 30 亿 t，占地 5000  $\text{hm}^2$  以上；全国各类尾砂库 2762 座，尾砂累计存量 25 亿 t 以上，并且以每年约 3 亿 t 的速度递增；9 种主要有色金属的尾砂年排放量在 5000 万 t 以上。据 40 座有色地下矿山的资料表明，每生产 1t 矿石将产生 1.27t 固体废料。我国以有色和黄金为主的地下矿山，每年排放固体废料在 2 亿 t 以上。可见，现在的采矿工业模式显著增加了地球环境的负荷，不能满足可持续发展原则。

#### 1.1.1.4 安全隐患

矿床开采留下的采空区、排放的废石场和构筑的尾砂库带来严重的安全隐患。诸如采空区产生或诱发矿区塌陷、崩塌、滑坡、地震、矿井突水、顶板冒落等地质灾害，废石场引发泥石流以及尾砂库溃坝等灾害事故时有发生，严重威胁矿山正常生产和矿区人民的生

命财产安全,带来了大量人员伤亡和经济损失。据统计,我国因采矿引起的重大塌陷超过180处,发生采矿塌陷灾害的30多个城市中,造成严重破坏的有25个。尤其是尾砂库与采空区已成为我国矿山的重大安全隐患。据2004年全国尾砂库的调查,截止到2004年,全国各类尾砂库中,危库、险库和病库的数量相当大,在确定了安全度的1035座尾砂库中,危库占5.9%,险库占6.7%,病库占25.3%。

#### 1.1.1.5 治标不治本

人类在采矿工业的发展进程中已认识到矿产资源开采所引发的生态问题与环境问题,特别是工业革命以来,矿产资源的大量开发遗留给人类的生存环境日趋恶化。为了解决这一问题,世界各国一方面逐步制订和完善各类法律、法规和技术标准,以规范采矿业的行为,另一方面则研究矿产资源开发新技术,如地下矿山的充填采矿技术,铜、金、铀等矿种的原地溶浸采矿技术,露天坑与废石场的复垦技术等,以尽量减少矿产开采对自然生态环境的破坏。但是在解决的技术方案上,即使是采矿工业发达的国家,自20世纪60年代以来所采用的法律与技术手段,均一直是采取措施来治理污染和恢复生态,也即末端治理。这些国家的经验表明,生产过程末端治理方案治标不治本,并且治理不及时,不是一个有效的解决方案。末端治理方案往往只是将问题在时间和空间上进行转移,比如塌陷区回填需要获取土石,必然对其他地段造成破坏;尾砂库的复垦只是解决了地面的污染问题,而尾砂对土地的污染依然存在。从长远来看,生产过程末端治理所需的资金投入极大,废物料还必须进行最终处理。

### 1.1.2 工业生态学观念

世界各国领导人、环境专家和采矿专家都希望采矿工业实现零排放和不破坏地表环境。《中国矿业城市21世纪宣言》字字句句掷地有声地宣称:“……矿业城市要走可持续发展与环境保护之路,以科学、求实、奉献的精神,把我们的城市建设成为山清水秀、自然和谐、文明富裕、生机盎然的美好家园。”不管是矿山零排放还是矿业城市的山清水秀,均意味着不能将废料排放在地表,采空区被有效充填,同时还要充分地回收矿产资源。

工业生态学能有效地解决矿床开采的负面问题,它是一个将工业体系模仿生物界的生态规则运行的类比概念,属于可持续发展科学。苏伦·埃尔克曼在所著的《工业生态学》中对工业生态学的发展及主要观念作了较系统的阐述。该书介绍,最早于20世纪70年代初由联合国工业发展组织在维也纳的一次讨论会上提出了“与环境平衡的工业联合企业”和“零污染”的观点。1976年联合国欧洲经济委员会组织的一次“技术与无废料生产”报告会上,许多文章提出的观点也类似于今天关于工业生态学的观点。但直到20世纪90年代初,工业生态学才开始引起人们的重视。从此以后,工业生态学走上了快速发展之路。目前,正在诞生一个由工程学、生态学和生物经济学交叉构成的科学与技术的崭新领域。工业生态学的任务是要借助于对生态系统和生物圈的认知,寻找能使工业体系与生物生态系统协调运行和相互匹配的途径;借助于科学生态学、自然科学和工程科学,研究工业体系的整体和长期的发展。

《工业生态学》中指出,工业生态学完全推翻了末端治理的观念,并就工业技术问题提出以下3个主要观点:

- (1) 无碍环境的清洁技术与其他技术之间的区分将不复存在,因为只要优化物质与

能量流，所有的技术都会趋于越来越清洁；

(2) 工业体系在总体上需要朝着成熟的生态系统方向演进，企业应在分析整体工业系统的基础上进行技术的选择，若企业各自为战，则无论多么优化、多么清洁，都是不够的；

(3) 环境问题涉及所有技术，同样也涉及到科技政策，包括对国际经济竞争力背景下的关键技术的判断。

工业生态学还没有标准的定义。加拿大哈利法克斯达尔荷西亚大学的雷蒙·柯特曾作了一番统计，有关工业生态学不同的定义达 20 种之多。但在关于工业生态学的三大基本要素方面有共同的认识：

(1) 工业生态学是一种关于工业体系的所有组成部分及其同生物圈的关系问题的全面的、一体化的分析方法；

(2) 工业生态学研究的范围，是工业体系的生物物理基础，亦即与人类活动相关的物质和能量流动与储存的总体；

(3) 科技的动力，关键技术的发展进化是工业体系的一个决定性因素，有利于把现有的工业体系转换为可持续发展的体系。

按照苏伦·埃尔克曼的阐述，传统的工业体系是一些相互不发生关系的线形物质流的叠加，每一道制造工序都独立于其他工序。其运行方式，简单地说就是开采资源和抛弃废料，这是环境问题的根源。按照传统的工业体系不可能实现可持续发展，只有通过一种更为一体化的工业生产方式来代替简单化的传统生产方式，才能实现可持续发展，这就是工业生态系统。

为了将工业体系真正转变成为可持续的形态，就必须以完全循环的方式运行。在这种形态下，不再区分资源与废料。对一个有机体来说是废料的物质，但对另一个有机体却是资源，只有太阳能是来自外部的支援，这就是第三级生态系统（图 1-1）。在这样的一个生态系统之内，众多的循环借助太阳能，既以独立的方式运行，也以互联的方式进行物质交换。理想的工业系统应尽可能接近第三级生态系统，构成工业生态系统。

一个工业生态系统包括四类主要行为者：资源开采者、产品制造者、消费者和废料处理者。较理想的系统将通过集约再循环，使系统内不同行为者之间的物质流远远大于出入系统的物质流。

### 1.1.3 矿山环境问题新观念

环境问题的传统观念认为解决的方案是采取措施来治理环境，也即末端治理。这是自 20 世纪 60 年代以来，工业化发达国家广泛采用的技术手段。但是，这些国家的经验表明，生产过程末端治理方法不是有效的解决方案。环境问题是工业生态学研究的一个方面。工业生态学认为，在节约资源的同时又减少污染源的处理成本是可能的。在一些情况下，运用工业生态学方法可以把费用昂贵的废料处理转变成企业的一个新的利益源，因为一道工序或一个企业所产生的废料物质，或许正是其他工序或企业所要购买或使用的原材料。

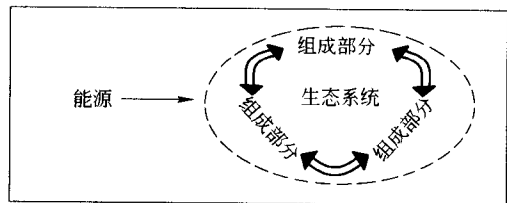


图 1-1 第三级生态系统示意图

减轻采矿工业对自然环境的破坏,充分回收利用有限的矿产资源,是我国乃至世界范围内需要有计划地完成的一项重大环保任务和资源战略。工业生态学为全面解决环境污染和资源利用,以及提高企业的竞争力,提供了理论方法和实施策略。

针对矿床开采造成地表塌陷、排放尾砂、排放废石和浪费资源等四大危害,可以按照工业生态学的观念,通过重构生产系统,结合开采过程消除环境污染和生态破坏,使矿山工程与生态环境融为一体;并使采矿过程和谐地纳入自然生态系统物质循环利用过程,形成产品清洁生产、资源高效利用和废料循环利用为特征的生态经济发展形态。这样,就可以从根本上解决传统开采方式所带来的资源浪费、破坏生态、污染环境和安全隐患问题。完成这一任务的解决方案是按照工业生态学的观点,把矿山充填作为矿床开采的一道必要工序,并且完全利用矿山固体废料进行充填。也就是说,在矿山工业系统的闭环中,利用采矿和选矿工序所产生的废料作为充填工序的原料。

## 1.2 工业生态型开采

实现矿床工业生态型开采的总体思想是按照工业生态学的观念,通过矿床开采工艺和技术的创新,最大限度地利用矿产资源和保护远景资源,最大限度地减少矿山废料的产出,最大限度地把废料转变成二次资源被重新利用和抑制地表塌陷,从根本上解决矿山环境与生态破坏问题。

### 1.2.1 固体废料流量模型

金属矿山在生产出工业产品的过程中,产出的固体废料主要为废石、尾砂或赤泥。对于具体矿山来说,尾砂或赤泥大致是一个常量,只有废石是可以通过开采工艺进行适度控制的。因此,在矿床开采物流模型中,不但要使产品最大化和产出废料最小化,更要考虑充分利用废料以减少流出。

在矿床开采过程中,一方面会生成采空区,另一方面会产生废石和尾砂或赤泥。通过矿山充填工序能充分利用矿山废料将采空区填实,既为下一步骤的回采作业创造条件或有效地处理空区,又能够将矿山废料转化成为二次资源被利用起来。因此,根据矿山生产流程,可构造矿山固体废料的流程如图 1-2 所示。由此可知,实现矿床工业生态型开采的固体废料流量目标,就是要通过开采工艺的创新少产出废石,通过充填技术的创新尽量利用废石和尾砂或赤泥,实现废料流出量的最小化。

假设矿山生产过程中的矿石产出量为  $Q_r$ 、废石产出量为  $Q_g$ 、尾砂或赤泥产出量为  $Q_f$ ,最终排放的固体废弃物量为  $Q_o$ ,则矿山固体废料流量的数学模型可构造为如下最优化目标函数:

$$\min Q_o = Q_g(1 - P_g) + Q_f(1 - P_f) \quad (1-1)$$

式中  $Q_g = K_g \cdot Q_r$ ;

$Q_f = K_f \cdot Q_r$ ;

$P_g$ 、 $P_f$ ——矿山废石和尾砂或赤泥的综合利用率;

$K_g$ 、 $K_f$ ——矿山废石和尾砂或赤泥的产出率。

可见,工业生态型开采的固体废料流量目标是  $Q_o$  的最小化。由式 (1-1) 可知,实现



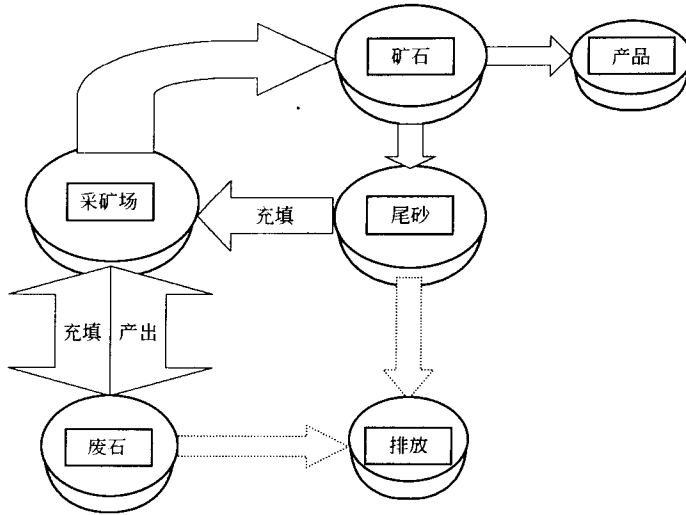


图 1-2 矿山固体废料流程

$Q_0$ 最小化，需要  $Q_g$ 、 $Q_f$ 最小，或  $P_g$ 、 $P_f$ 趋近于 1，即实现最小的废石与尾砂或赤泥产出率和最大的废石与尾砂或赤泥利用率。

### 1.2.2 工业生态型开采模式

按照工业生态学的基本观点，工业生态型开采模式可描述为：以采矿活动为中心，将矿区资源利用、人文环境、生态环境和经济因素相互联系起来，构成一个有机的工业系统；在采矿过程中，以最小的排放量和对地表生态的破坏量为代价，获取最大的资源量和企业经济效益；在采矿活动结束后，通过最小的末端治理使矿山工程与生态环境融为一个整体。

工业生态型开采模式的具体内涵，应考虑到矿产资源的不可再生，因而矿床开采必须充分回收利用和保护矿产资源；应考虑最大限度地减少矿山废石的产出量；应考虑最大限度地利用矿山废石、尾砂或赤泥作为二次资源充分地利用起来，减少废料排放污染环境，消除地表塌陷保护人文环境与生态环境。这一开采模式包括三项基本要素：（1）资源效率高；（2）废料流出量小；（3）地表不受破坏。

在经济因素方面，通过提高表内采矿回收率和降低采矿贫化率可以使矿山获得直接经济效益，特殊条件下可以减少地表构建筑物搬迁或改造节省支出。这是目前通常的认识和评价准则。工业生态型开采模式涉及到矿区资源总量，包括表内资源的回收利用和远景资源的保护，以及人文环境和生态环境的保护。因此，有必要将资源总量和环境负荷纳入开采评价目标。因此，在进行矿床开采评价时，应将资源总量和环境负荷因素纳入评价体系，按照资源与环境效益损失率（损益率）的观点建立评价模型，进行最小损益率评价，即式（1-2）中  $\rho$  趋于最小化。

$$\rho = \frac{Q - (Q_1 - q)}{Q} \tag{1-2}$$