

矿产资源开发 地下采选一体化系统

KUANGCHAN ZIYUAN KAIFA DIXIA CAIXUAN YITIHUA XITONG

邵安林 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

矿产资源开发 地下采选一体化系统

邵安林 著

北 京
冶金工业出版社
2012

内 容 提 要

本书提出了“矿产资源开发地下采选一体化系统”的概念及其体系构成,旨在完成矿石的单一提升和废石在井下的内部转化工作。根据深埋矿产资源的特点,地下采选一体化系统摒弃传统开采的方法和思路,提出将选矿厂直接建到地下深部,从而实现矿石短距离提升、地下选矿、精矿管道输送、尾砂就近地下充填等一体化的开发方法,地面无选矿厂和尾矿库,省去征地以及尾矿库的建设与维护管理,对环境、景观和生态无影响,省去了矿石无益提升、尾矿排放等环节,其经济、社会效益巨大。

本书可供各大矿山管理人员、矿业研究院、设计院的技术人员以及高校矿业专业师生阅读,也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿产资源开发地下采选一体化系统 / 邵安林著. —
北京:冶金工业出版社, 2012.12

ISBN 978-7-5024-6120-1

I. ①矿… II. ①邵… III. ①矿产资源开发—研究
IV. ①F407.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第297222号

出 版 人 谭学余

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 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 戈 兰 美术编辑 彭子赫 版式设计 彭子赫 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6120-1

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 文物出版社印刷厂印刷

2012 年 12 月第 1 版, 2012 年 12 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 17.5 印张; 299 千字; 268 页

110.00元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

矿产资源是国民经济建设发展的物质基础，也是国家腾飞的重要保障。我国矿石资源丰富，种类齐全，但人均资源探明储量仅为世界人均水平的 $1/3$ ，人均消耗量仅及经济发达国家的 $1/10$ 。在未来的几十年中，我国经济仍将处于高速增长期，对资源的需求将会持续表现出增长势头。为了确保我国经济持续健康的发展，必须建立起能够持续为国防与工农业生产提供必需金属矿产资源的支撑体系。作为世界上最大的发展中国家，单纯依靠进口来解决资源短缺问题显然是不合国情的。不断增强的国力和复杂的国际环境也决定我国必须致力于开发国内深部矿产资源。

20 世纪 50~60 年代，我国建立了一批金属

矿山。经过长期大规模开采，这些矿山的资源已近枯竭。目前，大型的露天矿已所剩无几，许多地下矿山也因开采深度日益增大、品位不断下降，导致生产成本上升而濒临关闭。据不完全统计，有 $3/5$ 的矿山因资源枯竭而接近尾声或已闭坑，其余 $2/5$ 的矿山将陆续转入深部开采。由于深部开采条件的恶化，仅靠加强生产管理、采用先进采掘机械和传统采矿方法已难以实现深部资源的经济开采，深部开采已成为我国乃至世界矿业界特别关注的问题。另一方面，由于海洋资源目前仍深不可及，人们不得不将矿业开发的近中期目标指向深部矿床。

矿石开采深度的增加，给矿石的提升带来种种不便。无论是单一提升还是竖井—盲竖井联合提升，耗费成本都是巨大的。而且随着井深的增加，高应力等问题接踵而至，在地下 1000m 以下，必须要对采空区进行充填。而建立地上充填站系统和输送管道系统的投资是巨大的。

为此，本书提出了“矿产资源开发地下采选一体化系统”的概念及其体系构成，旨在完成矿石的单一提升和废石在井下的内部转化工作。地下采选一体化系统根据深埋矿产资源的特点，摒弃传统开采的方法和思路，提出将选矿厂直接建到地下深部，从而实现矿石短距离提升、地下选矿、精矿管道输送、尾砂就近地下充填等一体化的开发方法，地面无选矿厂和尾矿库，省去征地以及尾矿库的建设与维护管理，对环境、景观和生态无影响，省去了矿石无益提升、尾矿排放等环节，其经济、社会效益巨大。

笔者多年在鞍钢矿业一线工作，对于鞍钢矿业的现状及未来的发展方向有着较为深入的了解。目前，经探测表明，鞍山地区矿床深部具有极大的开采空间，因此深部开采将是鞍钢矿业未来主要的开采方式，对于深部开采的深入研究也将是未来科研的主要方向。在这一背景下，研究鞍钢矿业建设地下采选一体化系统十分必要，且

鞍钢矿业所具备的综合条件也使这一系统的实现具备了可行性。因此本书对于鞍钢矿业建设地下采选一体化系统的必要性及可行性做了具体分析，旨在将鞍钢矿业作为本系统研究的试点基地，希望本系统能够在更多有识之士的参与和研究下尽早投入实践，这样既能突破鞍钢矿业发展瓶颈，构建真正的绿色矿山，也可为国内矿业的跨越式发展贡献一份力量。

作 者

2012年10月

目 录

第 1 章 概 述	1
1.1 我国矿产资源赋存特点	1
1.2 我国铁矿查明资源储量	5
1.2.1 我国铁矿石资源储量	5
1.2.2 我国铁矿资源分布特点	6
1.2.3 潜在资源概况	7
1.3 我国矿产资源开采现状	8
1.4 我国矿产资源开采存在的问题	9
1.4.1 深部开采存在的问题	9
1.4.2 尾矿等废弃物地表排放	13
1.4.3 地表沉降	15
1.5 矿产资源绿色开采	17
1.5.1 绿色开采概念	18
1.5.2 建设绿色矿山的意义与作用	18
1.5.3 绿色开采的发展趋势	19
第 2 章 深部铁矿资源地下开发常规模式	21
2.1 国内外深部铁矿资源现状	23
2.1.1 国外深部开采现状	23
2.1.2 国内深部开采现状	24

2.1.3 国内外对深部开采的研究进展情况	25
2.2 矿产资源地下开发常规模式	26
2.2.1 采矿方法	28
2.2.2 提升运输	30
2.2.3 地表选矿	41
2.3 典型深部矿产资源开发案例	44
2.3.1 抚顺红透山铜矿	44
2.3.2 本溪大台沟铁矿	54
2.3.3 湖南湘西金矿	57
2.3.4 鞍钢矿业弓长岭铁矿	64
2.3.5 河北寿王坟铜矿	68
2.3.6 广东凡口铅锌矿	72
2.3.7 安徽冬瓜山铜矿	77
2.3.8 甘肃金川镍矿	83
2.4 常规模式开发存在的问题	88
第3章 深部矿产资源地下采选一体化系统	90
3.1 地下采选一体化系统的提出	91
3.2 地下采选一体化系统的概念	91
3.3 地下采选一体化系统的构成	92
3.3.1 采矿方法	92
3.3.2 地下选矿厂建设	105
3.3.3 地下充填系统	107
3.3.4 管道输送系统	135
3.4 国内外地下采选一体化系统研究概述	141
3.5 地下采选一体化适用条件	144
3.5.1 开采条件	144

3.5.2 岩石条件	144
3.5.3 品位条件	144
3.6 地下采选一体化系统主要研究内容	145
3.6.1 主要研究内容和关键技术	145
3.6.2 主要技术特点和创新点	148
3.6.3 技术经济效益分析	149
3.7 地下采选一体化系统的意义	150
第 4 章 地下采选一体化采充平衡品位	152
4.1 采充平衡品位的概念	152
4.2 采充平衡品位研究的意义	153
4.3 影响因素分析	153
4.3.1 充填料配比及充填料密度	153
4.3.2 金属回收率	154
4.4 考虑基本影响因素的采充平衡品位公式	155
4.4.1 模型建立	155
4.4.2 采充平衡品位分析软件	158
4.5 考虑综合影响因素的采充平衡品位计算公式	160
4.5.1 采充平衡关系式	160
4.5.2 采充平衡关系式分析	163
第 5 章 地下硐室群稳定性分析方法	172
5.1 地下硐室群研究现状	172
5.2 地下硐室群建设案例	173
5.2.1 案例1	173
5.2.2 案例2	175
5.2.3 案例3	176
5.2.4 案例4	177

5.3 常用的数值模拟方法	180
5.3.1 边界元	181
5.3.2 有限元	185
5.3.3 离散元 (块体离散元)	188
5.3.4 颗粒元 (颗粒离散元)	192
5.4 岩体结构与计算方法选择	195
5.4.1 岩体结构	195
5.4.2 岩体结构的相对性及工程岩体结构的唯一性	197
5.5 未来发展方向	198
5.5.1 耦合	198
5.5.2 流形元	199
5.5.3 元胞自动机	199
第 6 章 地下选矿厂硐室稳定性分析	200
6.1 地下选矿硐室空间概念设计	200
6.1.1 200万吨地下选矿厂硐室概念设计	200
6.1.2 2500万吨地下选矿厂硐室概念设计	200
6.2 地下选矿厂硐室群稳定性分析	206
6.2.1 地下采选一体化设计方案 (阶梯型) 稳定性分析	207
6.2.2 采选一体化硐室群深部围岩稳定性研究	213
6.2.3 采选一体化硐室群 (阶梯型) 围岩对竖井的影响	224
6.2.4 采选一体化硐室群 (阶梯型) 围岩的安全系数	231
6.2.5 采选一体化硐室群 (平行型) 围岩的安全系数	240

6.2.6 地下选矿厂硐室群稳定性分析总结	248
第 7 章 鞍钢矿业建设地下采选一体化系统的 必要性及可行性	250
7.1 绿色矿业建设对鞍钢矿业发展的重要意义	251
7.2 鞍钢矿业研究地下采选一体化系统的必要性	253
7.3 鞍钢矿业研究地下采选一体化系统可行性分析	254
7.3.1 资源优势	255
7.3.2 能力优势	256
7.3.3 技术优势	257
7.3.4 产业优势	257
7.3.5 成本优势	257
参考文献	259
后 记	268

第 1 章 概 述

1.1 我国矿产资源赋存特点

我国矿产资源赋存特点具有以下几方面：

(1) 地质条件复杂，矿种齐全，储量丰富。我国地域辽阔，地处亚欧板块、太平洋板块和印度洋板块的交界地带，又位于环太平洋活动带与地中海－喜马拉雅活动带的交汇点。在此条件下，地壳运动剧烈，断裂活动、岩浆活动和变质作用广泛而频繁，地壳结构复杂，成矿条件优越，矿产资源丰富。在我国，仅与多种金属矿产的形成有密切关系的侵入岩分布面积就占全国岩石出露总面积的近 1/3。

我国已发现矿种 168 种，矿床和矿点 20 多万处，其中已探明储量的有 151 种，矿产地 2.3 万处，矿产资源总量约占世界的 12%，其潜在总值达 91.66 万亿元，仅次于美国和俄罗斯，居世界第三位。在已探明的矿产资源中，稀土、钨、钛、锑、锂等 11 种矿产的储量居世界首位，煤、铅、锌、锡、钼等 21 种矿产的储量居世界前 5 位，石油探明储量居世界第 12 位。我国是世界上已知矿种比较齐全、资源配套条件较好的国家之一。

(2) 矿产资源地区分布广泛，相对集中。我国地质发育的特点，决定了我国矿产资源地区分布的不均衡性。以我国三列东西走向山脉为例：

天山-阴山及秦岭构造带在历次造山运动中，均受到岩浆活动的影响，形成了以稀土、镍、铬、铜、钼、铅、锌、金、铁等为主的多种金属矿带；南岭构造带则成为我国著名的钨、铋、锡、铅、锌、汞等有色金属矿带。

频繁的地壳运动，使褶皱隆起地带两侧的低洼地区发生多次沉积旋回，形成了多期而丰富的沉积矿床。从地壳演化史得知，我国北方广大地区成陆较早，形成了比较稳定的相对凹陷地带；而南方大部分地区成陆较晚，岩浆活动频繁而剧烈。这就是我国北方多煤、石油等外生矿床而南方则多有色金属等内生及变质矿床的主要原因。

从主要矿种来看，目前我国煤炭探明储量已逾 1 万亿吨，北方 17 省区占 89%，南方 14 省区只占 11%，其中，晋、陕、内蒙古三省区占全国的 70% 以上，云、贵、川三省则占南方煤炭总储量的 88%。我国 1/2 以上的铁矿集中在辽、冀、川三省，铬矿则主要分布在西藏和新疆，磷矿资源的 79% 集中在湘、鄂、滇、贵、川 5 省，铜矿的 1/4 集中在江西，陆上石油分布在黑、鲁、冀、新等少数省区。据统计，我国铁、锰、铜、铝、锌、钨等 15 种重要的金属矿产资源中，有 37% 分布在西部地区，38.8% 分布在中部地区，而经济发达的东部地区仅拥有其中的 24.2%。青海省有 37 种矿产的储量居全国前 10 位、居首位的就有 8 种，其中，全国探明储量 78% 的锑和一半以上的盐矿分布在柴达木盆地。新疆则拥有全国 99% 的稀有金属铍和 80% 的石棉。我国矿产资源地区分布不均，对资源合理配置及利用造成许多困难，但因其分布相对集中，也为大规模开采和建设区域性矿产基地提供了便利条件。

(3) 部分矿产贫矿多，富矿少；某些重要矿产资源短缺。在我国已探明的 151 种矿产资源中，有相当一部分矿种的品位都不高。例如，我国铁矿探明储量 646 多亿吨，保有储量 571.9 亿吨，居世界第三位。但这些铁矿大多是品位仅为 25%~30% 的贫矿，平均品位不足 34%，贫矿约占

总量的 80%，绝大部分铁矿石需经选矿加工才可入炉冶炼，可供直接用于炼铁、炼铜的富矿极少。再如铜矿，含铜在 1% 以上的只占 36%，而大于 2% 的仅占 6% 左右。此外，锰、银、钼、硫、磷等重要矿产也是贫多富少。金刚石、铂、铜、铬、锰、钾盐等大宗矿产的探明储量明显不足，属我国的短缺矿种，远不能满足我国当前及今后经济发展的需要。

(4) 伴生矿多，分选冶炼困难，综合利用水平较低。我国由于地质条件复杂，成矿的叠加作用比较显著，很多矿床都是由多种矿物共生或伴生组成的综合性矿床，尤以内生金属矿床最为突出。例如，我国的钒矿储量居世界首位，但 91% 的钒分散在其他矿床之中，以钒为主的矿床仅占 9%。我国的银有 2/3 是铅锌矿的伴生矿，1/3 是铜的伴生矿，独立银矿极少。我国著名的三大伴生矿中，白云鄂博铁矿共含有 71 种化学元素、114 种矿物，其伴生的稀土金属储量占我国总储量的 90%，占世界总储量的 80%。攀枝花铁矿是由 40 多种化学元素、20 多种矿物组成的伴生矿，其中钴的储量占全国的 90% 以上，钛储量占全国的 80% 以上。“镍都”金昌矿区含有镍、铜、钴、铌、金等 10 多种贵重金属，同时也是我国铂族金属最丰富的蕴藏地。江西漂塘钨锡矿也含伴生矿物 60 多种。

由于受矿产品位和采选冶炼水平等因素的限制，目前我国对大部分伴生有用矿物的回收率还很低，这不仅浪费了大量宝贵资源，而且造成了许多环境问题。随着我国科学技术的进步和采冶水平的提高，矿产资源综合开发利用的前景十分广阔。现在，白云鄂博已能生产 180 多种规格的稀土产品，其生产能力已跃居世界首位。我国首创的稀土农业技术的推广应用，已取得了巨大的社会效益和经济效益。攀枝花矿区现已采用提钒新工艺，并能生产出钛精矿人造金红石、海绵钛等多种高科技产品，为我国高科技尖端工业的发展奠定了基础。

(5) 矿产资源形势严峻，保护利用势在必行。目前，我国有 95% 的

一次性能源、80%以上的工业原材料及大部分农业生产资料来源于矿产资源。尽管我国矿产资源总量丰富，但人均占有量仅为世界人均量的58%，人均矿产潜在总值仅居世界第53位。据统计，在45种最重要的矿产资源中，我国尚有11种不能完全自给。21世纪，我国将有1/2的矿产资源不能满足经济建设的需要。

对矿产资源的不合理开采甚至破坏性开采，已经造成了矿产资源的巨大损失和浪费，并且导致了严重的生态问题。目前，我国拥有国有矿山1万余座，集体、个体矿山28万余座，投入开发的油田323座。据统计，我国因大规模的矿山采掘产生的废弃物乱堆乱放造成压占、采空塌陷等损毁土地面积已逾200万公顷，目前仍以每年2.5万公顷的速度发展。与此同时，也带来了大气、水体、植被、土壤的破坏和污染，加剧了水土流失和诱发塌陷、滑坡、泥石流等地质灾害的严重后果。数以万计的个体小矿山受局部经济利益的驱动，普遍存在着滥采乱挖、采富弃贫、采厚弃薄等现象，非法、掠夺性开采行为屡有发生。据报载，1996年4月，河南栾川县就有近6亿元金矿资源被变相出卖，约6t国有黄金矿资源被个体企业非法占有。此外，我国在矿产资源的采选、冶炼过程中，回采率和利用率都比较低，有些重要矿产的损失率在50%以上，能源矿物的利用率也只有30%左右，矿产资源的浪费十分惊人。

矿产资源作为非可再生资源，是人类生存和发展的重要物质基础，必须十分珍惜和保护，高效益地开发利用。因此，在加强矿产地质勘探、增加矿产资源探明储量的同时，要加强《矿产法》的宣传教育和执法力度，坚决制止破坏性的开采，加强技术研究，不断提高矿产资源的综合开发利用水平，减少矿产资源利用中的环境代价，切实保证我国经济可持续发展的战略需求。

1.2 我国铁矿查明资源储量

1.2.1 我国铁矿石资源储量

截至2010年底,全国共有铁矿区3637个,查明铁矿石资源储量646亿吨。其中,基础储量213亿吨,资源量433亿吨。在全国31个省、市、区均有分布,但相对集中在辽宁等13个省、市、区,这些省、市、区目前的探明保有资源总量均在10亿吨以上,共拥有铁矿资源储量571.9亿吨,占全国资源储量的88.52%,具体情况详见表1-1。

表 1-1 我国铁矿资源储量主要省、市、区分布情况

地 区	基础储量 / 亿吨	资源量 / 亿吨	查明资源储量 / 亿吨	占全国的比例 / %
辽 宁	70.2	55	125.2	19.38
四 川	28.9	69.8	98.7	15.28
河 北	35.7	47.2	82.9	12.83
安 徽	7.3	36	43.3	6.70
山 西	5.8	31.8	37.6	5.82
山 东	9.7	26.6	36.3	5.62
内 蒙 古	15.8	20.3	36.1	5.59
云 南	4.2	31.3	35.5	5.50
湖 北	3.9	24.9	28.8	4.46
河 南	1.7	12.5	14.2	2.20
湖 南	1.6	10.1	11.7	1.81
新 疆	3.6	7.8	11.4	1.76
北 京	3	7.2	10.2	1.58
以上13省、市、 区合计	191.4	380.5	571.9	88.53
其他省、市、区 合计	21.6	52.5	74.1	11.47
全 国	213	433	646	100.00