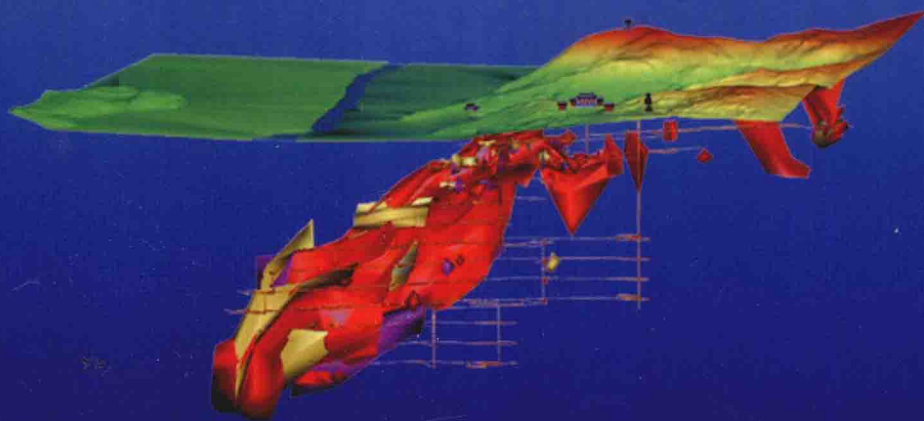


难采矿床地下开采 理论与技术

■ 周爱民 等编著 ■



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

难采矿床地下开采 理论与技术

周爱民 等编著

北 京
冶金工业出版社
2015

内 容 提 要

本书针对难采金属矿床的开采特点,按照全面掌握矿床开采条件、合理改造开采环境、优化匹配采矿方法和保障矿山安全的基本思想,系统阐述了难采金属矿床开采环境探测、开采环境重构、地压监测与预警、固废胶结充填和采矿方法等五个方面的理论、技术、工艺以及装备,重点介绍了国内外创新理论、技术成果及工程实践,结合矿山实例介绍了实际应用的条件、方法和效果。

本书是开发难采金属矿床资源的参考用书,适合从事采矿工程技术与设计的技术人员阅读,也可以作为高等学校相关专业课程的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

难采矿床地下开采理论与技术/周爱民等编著. —北京:
冶金工业出版社, 2015. 5

ISBN 978-7-5024-6874-3

I. ①难… II. ①周… III. ①金属矿开采—地下开采
IV. ①TD853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 062663 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjcs@cnmp. com. cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6874-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京百善印刷厂印刷

2015 年 5 月第 1 版, 2015 年 5 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 23.75 印张; 572 千字; 367 页

90.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

我国金属矿产资源总量丰富，但资源禀赋差，多为形态难采、矿岩软破、环境复杂和残留矿体等类型的难采矿床。矿床的矿体形态、矿岩稳固性、矿区环境和一次开采破坏，均严重制约着采矿效率、产能规模、成本效益和开采回采率，显著降低了矿床的经济可采性，其建矿模式、开采技术以及经营管理，均需要相应的技术支撑。以至于国内相当一部分已经探明的难采矿床，在当时的开采技术水平和市场条件下，一直不能被有效地开采，甚至长期不能被开发利用。随着金属矿产资源的不断开发，越来越多的难采矿床将成为主要开采对象。

国内外矿山开采实践表明，难采矿床按照常规的矿山工程设计程序难以正常开采，需要针对这类矿床的开采条件开展相应的试验研究，全面系统地掌握矿床的开采条件，提出相匹配的开采对策、优化选择或开发新型相应的支撑技术，为矿山工程设计和安全生产提供必要的支撑。矿床的天然属性使其开采条件存在很大的差异，使得采矿工程布置及开采工艺、技术具有条件优先的特殊性。因此，针对难采矿床开采的主要试验研究的基本思想是，首先需要全面地了解矿床的开采条件，然后是合理地改造条件，最后才是根据被改造的矿床条件采用与之相匹配的开采方案、工艺与技术进行开采。因此，矿床开采条件的探测分析技术、矿床环境条件的改造重构技术、适应难采条件的采矿方法以及矿山安全保障技术，成了开采难采矿床不可或缺的支撑技术。

由此可见，难采矿床开采技术的研究已成为金属矿床开采学科的主要研究方向，其创新研发和成果转化也成为重点任务，并且将成为采矿行业长期的科研任务。我国经济建设的快速发展带来资源瓶颈问题，对难采金属矿床的开采需求迫切，有力推动了我国难采矿床开采技术的进步，这些进步引领了全球难采矿床开采理论及工艺技术的发展。

长沙矿山研究院建院以来，一直致力于金属矿床开采技术的研究与实践，

将安全高效和经济地开采难采矿床技术作为研究开发的主要任务,特别是近些年来结合国内矿山的建设与生产实践开展了大量的试验研究工作,取得了一批能够解决实际问题的先进实用理论与技术,为我国难采矿床开采技术的发展,以及形成难采矿床开采理论与技术系统,发挥了重要作用。本书以这些研究与应用成果为基础,重点介绍了长沙矿山研究院科技人员在难采矿床开采技术方向上所取得的已成功应用于设计和矿山生产的新理论、新工艺、新技术,同时也概要介绍了国内外难采矿床开采的创新成就。

本书的编写遵循了内容新颖和先进实用的原则,同时兼顾系统性和应用需要,重点阐述了难采矿床类型、开采环境探测与重构、地压监测预警、固废胶结充填以及适应于难采矿床开采的高效采矿方法等方面的先进适用理论、技术、工艺和装备,结合矿山实例介绍了实际应用的条件、方法和效果。按照全面掌握难采环境条件,重构开采环境,根据重新构造的开采条件优化匹配相适应的采矿方法、充填方式和地压监测保障系统的技术主线,构建形成难采矿床开采技术系统,供科研、设计、工程建设、矿山生产和专业教育参考,促进先进适用理论与技术的推广应用,充分发挥创新成果的作用和效果,推动难采矿床开采的可持续发展。

全书共分6章,由周爱民博士主持编写。各章节编写人员:第1章鲍爱华、周爱民;第2章李庶林(2.1)、鲍爱华(2.2)、容玲聪(2.3)、尹贤刚(2.4)、李爱兵(2.5);第3章周爱民(3.1)、鲍爱华(3.2)、王军(3.3)、李爱兵(3.4);第4章李庶林(4.1, 4.4)、毛建华(4.2)、尹彦波(4.3);第5章周爱民;第6章周爱民、李向东(6.4部分内容)。全书由周爱民博士统稿和终审定稿。

在本书编著过程中参阅了大量文献资料,谨向原作者表示诚挚的感谢。

限于写作时间与水平,书中疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

周爱民

2015年3月于长沙

目 录

1 绪论	1
1.1 难采矿床及其特征	1
1.2 难采矿床类型	1
1.2.1 形态难采矿体	2
1.2.2 矿岩软破难采矿床	2
1.2.3 环境复杂难采矿床	3
1.2.4 矿柱与残矿资源	3
1.3 难采矿床的开采	4
1.3.1 主要采矿方法	4
1.3.2 主要配套技术	5
1.3.3 主要技术进展	6
1.3.4 开采技术展望	7
参考文献	8
2 开采环境探测	9
2.1 地应力测量	9
2.1.1 空心包体法	10
2.1.2 声发射凯萨效应	16
2.2 井下气候测量	21
2.2.1 井下空气成分与基本性质	21
2.2.2 井下气候条件	23
2.2.3 井下空气温度的测定	26
2.2.4 井下湿度的测定	27
2.2.5 井下风速的测定	29
2.3 地下水探测	32
2.3.1 地下水富水规律	32
2.3.2 矿体水文地质特征	37
2.3.3 地下水探测方法	38
2.3.4 应用实例	51
2.4 地下空区探测	54
2.4.1 空区类型	54
2.4.2 空区探测方法	56

2.4.3 应用实例	57
2.5 工程地质调查与评价	59
2.5.1 工程地质调查方法	60
2.5.2 岩土体工程地质特征调查	63
2.5.3 岩体结构特征调查	64
2.5.4 工程地质岩体质量分类评价	67
参考文献	76
3 开采环境重构	78
3.1 充填体力学	78
3.1.1 力学特性	78
3.1.2 充填体承载	83
3.1.3 充填体力学模型	86
3.2 井下热害防治	89
3.2.1 矿井空气的湿源	90
3.2.2 矿井热害的产生原因	90
3.2.3 井下热环境的危害	92
3.2.4 井下降温	93
3.2.5 通风排热	95
3.2.6 空调制冷	97
3.2.7 个体防护	101
3.2.8 深井热害控制及资源化利用	102
3.3 地下水防治	103
3.3.1 控制疏干	104
3.3.2 地面帷幕注浆截流技术	109
3.3.3 井下矿体旁侧帷幕注浆技术	114
3.3.4 井巷工程注浆技术	116
3.3.5 岩溶塌陷防治	125
3.4 岩层支护与加固	129
3.4.1 概述	129
3.4.2 吸能支护	133
3.4.3 联合支护	138
3.4.4 长锚索加固	139
参考文献	143
4 地压监测与预警	145
4.1 微震监测	145
4.1.1 微震监测基本原理	145

4.1.2	矿山微震信号辨识方法	149
4.1.3	震源定位方法	153
4.1.4	微震震源机制	155
4.1.5	微震参数量化分析方法	160
4.1.6	应用实例	164
4.2	沉降、岩移与应力监测	171
4.2.1	地表沉降监测	171
4.2.2	井下岩移监测	177
4.2.3	岩体应力监测	180
4.3	地压灾害预警	182
4.3.1	预警方法	182
4.3.2	预警模型	182
4.3.3	预警准则	184
4.3.4	预警信息化	186
4.3.5	应用实例	188
4.4	岩爆评价与防治	194
4.4.1	金属矿山岩爆概况	194
4.4.2	岩爆发生机制	196
4.4.3	岩爆监测预报方法	208
4.4.4	岩爆防治技术	210
4.4.5	应用实例	214
	参考文献	221
5	固废胶结充填	223
5.1	充填材料	224
5.1.1	固废集料	224
5.1.2	胶凝材料	227
5.2	充填料制备	233
5.2.1	废石胶结充填料	234
5.2.2	全尾砂脱水	235
5.2.3	全尾砂胶结料混合	239
5.2.4	膏体充填料混合	241
5.3	结构流理论	243
5.3.1	结构流特征	243
5.3.2	阻力因素	244
5.3.3	流变特性	246
5.3.4	输送特性	250

5.4 全尾砂胶结充填	252
5.4.1 充填料强度理论	252
5.4.2 自流充填	256
5.4.3 膏体泵送充填	259
5.4.4 闭路增压输送	260
5.5 废石胶结充填	263
5.5.1 充填料配合	264
5.5.2 废石料输送	269
5.5.3 充填料重力混合	273
5.5.4 充填系统	275
5.6 矿山应用实例	276
5.6.1 南京铅锌矿全尾砂充填	276
5.6.2 霍邱地区铁矿全尾砂充填	278
5.6.3 丰山铜矿废石胶结充填	280
5.6.4 铜坑锡矿废石砂浆充填	283
参考文献	286

6 采矿方法

6.1 机械化进路充填采矿法	289
6.1.1 典型方案	289
6.1.2 采准系统	291
6.1.3 回采工艺	291
6.1.4 采场充填	292
6.1.5 应用实例	293
6.2 机械化上向分层充填采矿法	301
6.2.1 典型方案	302
6.2.2 采准系统	306
6.2.3 回采工艺	308
6.2.4 采场顶板管理	312
6.2.5 采场充填	314
6.2.6 应用实例	315
6.3 机械化分段充填采矿法	322
6.3.1 典型方案	323
6.3.2 采场结构	324
6.3.3 采准系统	325
6.3.4 回采工艺	326
6.3.5 采场充填	326

6.3.6 应用实例	329
6.4 自然崩落采矿法	336
6.4.1 矿岩可崩性	338
6.4.2 块度预测	346
6.4.3 崩落规律	348
6.4.4 底部结构	349
6.4.5 放矿控制	352
6.4.6 应用实例	362
参考文献	366



绪 论

我国矿产资源的特点是矿种比较齐全，资源总量较大，人均占有量少，资源禀赋条件差，开采难度大。针对这一特点，研究开发和推广应用安全、高效、经济的难采矿产资源的采矿技术，对增强国内矿产品的供给保障能力，提高我国矿山企业在国际矿业市场的竞争力，保障国民经济的可持续发展具有重要意义。

1.1 难采矿床及其特征

矿床往往由多个矿体组成。既有整个矿床均属难采范畴，也有矿床中的部分矿体属于难采，甚至是矿体中的部分矿段属于难采，前者称之为难采矿床，后两者称之为难采矿体。难采矿床包括了难采矿体。

难采矿床是指矿岩破碎不稳固，矿体形态复杂，存在高地应力、高温、大水等矿床条件，或地表有重要建构筑物、交通要道、江河湖海、生态保护区等需要保护的环境条件的矿床。针对这类矿床，采用常规工艺技术进行开采的难度大，很难取得安全、高效、经济的开采效果，甚至无法回采而被迫丢弃，容易导致矿产资源严重浪费。

关于难采矿床的界定是相对的。随着科学技术的发展和采矿工艺技术的进步，一些过去难采的矿床能够实现常规开采。但易采的矿床总会得到优先开发，难采矿床并不会随着难采技术的发展而不再存在，随着矿业的发展，难采矿床只会越来越成为主要开采对象。

难采矿床具有以下基本特征：

- (1) 难采矿床的地质条件、赋存状况比较复杂或很复杂。
- (2) 难采矿床在现有的技术条件下不仅开采工艺技术复杂，开采难度较大，回采率低，采矿贫化率高，而且安全性不好，开采效率低。
- (3) 难采矿床的开采条件直接影响矿山不同时期的可采储量和开采区域的正常布置，往往导致一些矿段甚至不能正常开采，影响矿山的生产服务年限。
- (4) 难采矿床的开采将增加作业工序，以致会提高开采成本，制约企业的市场竞争力。

基于难采矿床的基本特征，其开采需要诸多方面的技术综合支持，如需要探测和掌握难采对象的赋存状态和环境状态技术，预测地压活动规律技术，相应的岩层支护加固技术与地压预报和预警技术，以及井下气候调控、矿山防治水技术和高效、可靠的配套采掘装备技术和合理的采矿方法、优化的采场结构和回采顺序等。

1.2 难采矿床类型

根据难采矿床的基本特征，以其难采特征为依据可将难采矿床划分成形态难采矿体、矿岩软破难采矿床、环境复杂难采矿床、二次开采残矿。

1.2.1 形态难采矿体

由于矿体赋存形态方面的原因,使得矿体的开采工作受到局限而成为难采矿体,主要有以下三种难采矿体:

(1) 薄与极薄难采矿体。此类矿体厚度一般为 0.2 ~ 1.0m,由于矿体采后的空间太窄或太矮,致使采矿工作人员不便或无法进入采场,导致常规采矿方法难以应用。如产于古老变质岩及火成岩中的中南地区的钨锡矿脉,通常由大致平行而且一般是紧密相邻的极薄石英脉所组成,甚至在一个矿带中,矿脉数有几十到几百条,矿脉形态变化往往非常复杂,有膨胀缩小、分枝复合、尖灭复现和弯曲错动等现象,而且这些现象在水平和垂直方向上也是变化不定的,这类薄而复杂多变的矿脉,给开采带来很大困难,尤其是岩矿不稳时其难度更大。

(2) 缓倾斜、倾斜中厚难采矿体。缓倾斜、倾斜中厚矿体是难采矿体中比较常见的一种,主要难点一是采下矿石不能自溜进入底部结构,二是高效自行无轨设备无法在底板上行走,工作面上的矿石运搬难题至今尚未有效解决。典型代表如康家湾矿深部矿床矿体主要赋存于硅化破碎带中,4 个主矿体呈似层状、透镜状产出,倾角 $5^{\circ} \sim 35^{\circ}$,平均厚度 4.49 ~ 8.65m;开阳磷矿洋水矿区位于鄂湘黔中隆起洋水背斜上,其中东翼地层倾角为 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$,使矿床开采面临缓倾斜、倾斜中厚矿体和顶板不稳固的难题。

(3) 多层复合难采矿体。当一个矿床由间距不大的多层矿体组成时,其中一层矿体的开采必将影响到相邻的矿体,相互间的采动影响使得如何安全、有效采出全部矿层变得复杂而难以处理。典型矿体如云锡松树脚锡矿大马芦矿段共有 47 个矿体,缓倾斜层状矿体 33 个,呈叠瓦状产出,倾角 $5^{\circ} \sim 25^{\circ}$;云南大姚铜矿凹地直矿床属典型的缓倾斜多层薄矿体,平面形态似飘带,南北两端宽厚,在剖面上由东西向呈雁行式排列,上段呈多层产出,少则 2 层,多则 4 ~ 5 层,层间夹石厚度一般为 1.0 ~ 8.0m,给有效开采带来较大困难。

1.2.2 矿岩软破难采矿床

矿岩松软破碎是难采的主要根源,采掘空间极易发生垮塌,很难形成高效、安全、经济的采掘作业循环,给矿体回采带来极大困难,是最常见的一种难采矿床类型,广泛存在。此类难采矿床主要表现为以下三种情况:

(1) 矿石软破难采矿体。矿石不稳固时,若用上向式回采,所暴露的顶板就不稳定,回采作业极易因顶板冒落而中断,必须采取安全有效的护顶措施才能回采这类矿体。代表性矿体如金山店铁矿余华寺矿区 I 号主矿体,由块状和浸染状矿石、粉状加块状混合状矿石和纯粉状矿石组成,其中块状和浸染状磁铁矿矿石结构致密坚固,节理裂隙不发育,中等稳固;粉状加块状混合状矿石结构不甚紧密,节理裂隙发育,稳固性差;纯粉状矿石结构松散,强度较低,稳固性极差。后两类矿石因其松软破碎、自稳性差、矿体内成巷困难、巷道支护成本高、作业安全性差而成为采矿难题。

(2) 围岩软破难采矿床。矿体围岩不稳固时,回采暴露围岩后会出现围岩片帮,容易使矿体因失去围岩夹持而失稳,进而引发矿体冒落。如玉石洼铁矿矿体赋存于灰岩与闪长岩的接触带上,矿体中等稳固,厚度为 15 ~ 20m,接近矿体的石灰岩较破碎,远离矿体的

围岩往往充填有较厚的黏性较强的黏土,稳定性较差。

(3) 矿岩软破难采矿床。当矿体和围岩都不稳固时,给回采带来的困难更大,常规的采矿方法和工艺几乎无法回采。如招远金矿灵山5号脉赋存于2号断裂带中,矿体和上盘围岩主要为花岗质碎裂岩、糜棱岩,岩石破碎、节理发育、不稳固、极易冒落;漓诸铁矿东Ⅱ号矿体赋存于上寒武统华严寺灰岩之中,矿岩主要由氧化矿层、风化矽卡岩和风化灰岩组成,受到成矿前后众多断层和褶皱的强烈影响,节理裂隙很发育,矿岩疏散松软,强度低、完整性与稳定性差,容易坍塌。

1.2.3 环境复杂难采矿床

矿床环境包括地质环境和地面环境,其范围较大。一般可分为以下几种类型:

(1) 高地应力难采矿床。有些矿床赋存在有构造应力存在的地区,开采这样的矿床时会比一般矿床显现出更大的地压。如金川矿区300m深度的地应力值为3~30MPa,应力的差异由软弱和坚硬岩石混合在一起产生应力分布不均引起,沿矿体走向开挖的主运输巷道与主构造应力接近垂直,开采后产生严重的巷道底鼓,以致运输矿车无法通行。

(2) 高温难采矿床。一些矿床由于受地下温泉、热水或矿石氧化放热的影响,使井下空气温度超过相关技术规程规定的井下最高气温(28℃),必须采取降温或防灭火措施。如铜坑矿区上部为细脉带体,围岩含矿,矿岩界线不明显,炭质页岩平均含硫6.2%、碳4.1%,1976年在试采崩落区发生自燃火灾,靠近火区的两个分段中部分炮孔温度高达100~196℃,地表二氧化硫气体浓度达 157×10^{-6} 以上,塌陷坑周围呈焦土。

(3) 深部高温、高地应力难采矿床。深部矿床的埋藏深度大,存在高地应力、高地温和高提升,构成深部矿床开采的“三高”特征,给采矿作业带来困难。如凡口铅锌矿进入800m深度,最大主应力达31.2MPa,最大主应力接近水平方向,最大主应力与垂直应力之比为1.02~1.7,且最大主应力和应力差值随深度的增加而增大;开磷集团马路坪矿开采深度达800m时,最大水平主应力达34.49MPa,最大主应力方向与背斜走向大致相同,大小随深度增加而增大。

(4) 大水难采矿床。当矿床赋存在富含地下水或地下水有丰富补给来源的地区,矿井的日涌水量以数万吨计,矿山作业往往因工作面涌水量太大而带来安全隐患、增加开采难度和生产成本。如业庄铁矿矿体上盘存在两大含水层:一个为含水丰富的中奥陶系灰岩、岩溶裂隙含水层,渗透系数为29.5m/d,为矿体直接顶板;另一个为第四系砂砾岩孔隙潜水含水层,渗透系数为100~300m/d,富水性强。开采过程中受到水害困扰,曾发生过严重的突水事故。

(5) “三下”难采矿床。矿床在开采前地面存在大片水体、重要的建筑物、重要的交通干线等,因而要求地下开采时,不允许地面下沉、开裂或塌陷。如南京铅锌银矿地处南京市郊栖霞山风景区,矿体赋存于栖霞街与九乡河下,南临沪宁铁路与沪宁高速公路,北距长江仅1.5km,属典型的“三下”矿床,地表不允许塌陷和堆放尾砂与废石。

1.2.4 矿柱与残矿资源

我国金属矿山在开采过程中受当时开采技术与开采政策的影响,留下了大量受到一次开采影响的矿柱或残矿,这些矿体受一次开采的扰动和采空区的影响,开采条件极其困

难,开采难度更大。主要有以下几种:

(1) 矿山建设设计时,为满足当时的需要而留下的矿柱或先采富矿而留下的贫矿。如锡矿山南矿当年按照有关规定划定保护南炼厂、一号竖井、南矿办公室和河床的4个保安矿柱;金川二矿区建成投产时,采取“采富保贫”的方式开采下盘富矿体后,在上盘留下的厚度大于20m的贫矿体。

(2) 受开采方式和开采顺序的影响而留下的大量空区条件下的矿柱群。早期采用空场采矿法留下大量采空区,空区和矿柱形态错综复杂,多层重叠、相互关联。如河南栾川钼矿和南泥湖钼矿、广东大宝山铁矿、山西袁家村铁矿、甘肃厂坝铅锌矿、河北东坪金矿、湖南柿竹园多金属矿等。受空区影响的矿柱,在回采过程中的安全条件极差、隐患相当大,使这类矿体成为极度难采的资源。

(3) 矿山在早期生产过程中,受到经济效益影响放弃的中低品位矿体、边角矿体,以及开采过程中损失的矿石。如宜昌磷矿区的磷矿层为“两贫夹一富”的稳定矿层结构,23%~30%中低品位磷矿石储量达8亿吨,由于磷矿销售市场长期维持富矿价高、贫矿价低的规律,矿山企业大多选择采富弃贫,中低品位磷矿石开采量仅占开采总量的三分之一,大量中低品位磷矿资源需要二次开采;赤峰国维矿受选用的开采技术和设备条件的限制,40m高的浅孔留矿法采场只回采15~16m,每个中段都留有高20m左右的矿体没有回采。

(4) 一次开采时当作废石充填采空区的含矿围岩与尾矿等。如辰州矿业沃溪矿区是一个具有130多年开采历史的老矿坑,2000年以前,主要采用削壁充填法和竖分条房柱嗣后尾砂充填法开采,由于当时的技术经济条件以及市场行情等历史原因,已经回采的中、上部中段采场充填料中混杂有大量的高品位矿石,也留有不少保安矿柱和矿壁未回采。

(5) 一次开采时认为没有开采价值的贫矿、氧化矿与矿化围岩等。如湖北铜山口矿IV号矿体已探明的氧化铜矿资源平均铜品位1.37%,因矿石破碎、矿岩不稳定、矿石氧化率高达75%以上,因难采难选而在一次开采过程中未被开采利用。

1.3 难采矿床的开采

1.3.1 主要采矿方法

难采矿床的采矿方法选择,应按照安全、高效、经济开采的原则,重点针对难采矿床特殊的开采技术条件,因矿施法、因矿创法,选择具有针对性的方法和方案。

充填采矿法可以重构开采条件和有效保护地表环境,进行深部开采时有益于降温和防止岩爆,是开采难采矿床的首选。其中下向进路胶结充填法,在可控强度的人工顶板和帮壁的保护下,人员、设备都在进路中作业,安全有保障,足以应对任何矿岩软破的难采矿体;分层充填采矿法可以很好地适应矿体的产状与形态变化。机械化充填采矿法还突破了生产能力低的传统概念,已能满足大型和特大型地下矿山对采场能力的要求。

崩落采矿法比较适用于矿石价值不高的厚大难采矿体,以及多空区条件下的难采矿体,相比其他采矿方法可以取得更好的安全、高效和经济效果。

基于难采矿体的开采技术条件,有下列采矿方法可供选择:

(1) 充填采矿法。

1) 分层充填采矿法。

①下向进路充填采矿法；

②上向进路充填采矿法；

③盘区分层充填采矿法；

④脉内采准分层充填采矿法；

⑤盘区梯段连续充填采矿法；

⑥特型分层充填采矿法。

2) 分段充填采矿法。

①下向分段充填采矿法；

②上向分段充填采矿法；

③分段分条充填采矿法；

④垂直分条分段充填采矿法。

3) 阶段充填采矿法。

4) 点柱充填采矿法。

(2) 崩落采矿法。

1) 阶段自然崩落采矿法。

2) 阶段强制崩落采矿法。

3) 大爆破协同崩落采矿法。

(3) 特殊采矿法。

1) 薄矿脉分采采矿法。

2) 原地溶浸采矿法。

需要指出的是，难采矿体的采矿方法并非一成不变的，随着采矿技术的进步，矿山新材料、新设备的应用，回采工艺技术的创新，特别是针对难采矿床不断增长的开发要求，已经和必将涌现出更多新的采矿方法。可以说，难采矿床的开采是推动采矿方法创新的强大动力。

1.3.2 主要配套技术

难采矿床的开采条件对采矿指标都有重大的负面影响。在矿岩软破不稳固、高地应力的矿床开采条件下，难以形成或维持较大的采掘空间，地压活动显著，致使井巷、采场发生冒落、片帮，采掘工作难以进行，地压活动剧烈时甚至可能破坏生产系统，使得生产难以正常进行；复杂的矿体产状形态和高井温开采条件严重制约采矿效率；富含水条件容易导致井下突水灾害。以至开采过程中安全隐患多、损失贫化大、采场生产能力低、劳动生产率，为了解决难采矿床开采所面临的这些问题，必须获得广泛的技术支持。

(1) 环境探测技术。广义的矿山环境包括矿山地质环境、水环境、生态环境、大气环境和空间环境。随着科学技术的发展，矿山环境探测方面涌现出了一大批新技术和新方法，如3S技术、野外和室内测试试验技术、动态监测和地球物理勘探方法等。其中，与地下采矿活动直接相关的矿山环境探测技术主要有井下气候测量、空区勘测、地下水勘测，岩石原位力学试验和室内岩土物理力学性质试验等。

(2) 地压控制技术。地压控制是矿岩不稳固难采矿床、高地应力难采矿床和深部矿床

开采必然涉及的主要问题。采区二次应力分布规律、地压监测预警及地压卸载转移是有效管理和控制矿山地压诱发矿山灾变的关键技术。

(3) 矿山充填技术。矿山充填是应对复杂多变的矿体产状形态、控制采场空间和矿山区域地压活动的最重要手段,是抑制上覆岩层和地表沉陷破坏,有效保护地面构建筑物和矿区水系不可替代的关键技术,也有利于高井温作业工作面的降温。充填材料及其制备、输送技术,充填方式及充填工艺,合理的充填体结构与强度,都将对矿山充填的推广應用和开采效益发挥重要作用。

(4) 岩层支护技术。对于不良岩层实行加固支护,维护巷道和采场稳定性,防止冒顶、片落,在难采矿床开采中发挥十分重要的作用。针对岩层条件采取喷、锚、网支护或联合支护,以及超前支护和注浆加固等支护技术,及时、有效地维护采掘工程的暴露面十分必要。

(5) 井下降温技术。井下降温是开采高井温难采矿床不可或缺的手段,国外在这方面已有成熟的配套技术,国内针对井下降温技术开展了研究,但缺乏成套的技术和系统的研究。随着矿山逐渐转入深部开采,必将推进井下降温技术及装备的发展。

(6) 防治水技术。大水难采矿床的开采,首先必须防治水患。国内在地下水探测、矿床疏干排水、注浆堵水等方面,有较多的成熟技术可供选用。

1.3.3 主要技术进展

难采矿床是一个相对概念。它一方面是由矿床复杂多变的地质及开采技术条件决定其开采难度,另一方面是受开采时的科学技术水平的制约而难以实行安全高效开采。显然,难采矿床开采技术是采矿业发展的永恒课题。我国针对难采矿床的开采开展了大量的研究,通过国内采矿科研机构和矿业院校与重点矿山企业的持续科技攻关,一些难采矿床的关键技术问题相继攻克。

(1) 矿岩松软破碎矿体开采技术。丰山铜矿南缘矿体,矿岩破碎不稳固,经研究采用分段充填采矿法,解决了矿石损失贫化率高的技术难题。机械化水平分层充填采矿方法成功地应用于新城、焦家、三山岛等黄金矿山,使一批储量大、品位高,矿岩不稳固、地表不允许陷落的黄金矿山顺利建成投产,其中的三山岛金矿建成国内地下开采规模最大的地下黄金矿山。“两洼一店一门”以及程潮、綦江、莱芜、漓渚、冶山等一批难采铁矿床,由于矿岩松散破碎,巷道、采场垮塌严重,作业不安全、生产不正常。通过技术攻关,在地压控制、岩层支护等方面取得了丰硕成果,使这些难采矿床相继实现了正常生产。开磷集团针对缓倾斜中厚矿体且直接顶板易风化冒落的开采难题,利用磷石膏和废渣实现充填采矿,使得矿石资源回采率从之前的70%提高至80%以上。

(2) 高地应力及深部矿床开采技术。金川镍矿是地应力大的特大型有色金属难采矿床,金川镍矿自建矿伊始即针对高地应力及矿岩破碎的开采条件围绕采矿方法、地压活动规律展开持续攻关,不仅达到了设计生产能力,而且实现了稳产、高产,并使充填采矿法步入了高效采矿法的行列。凡口铅锌矿开采深度近900m,地下岩层温度达40℃,通过深部开采技术攻关,成功应用了卸荷高分层充填采矿技术、热交换通风降温技术、全数字远程微震监测技术,顺利地进行深部开采。冬瓜山铜矿埋藏深度-690~-1007m,原岩应力高达38MPa,岩层温度高达39℃,现已建成年产矿石300万吨的特大型地下矿山。

(3) 大水矿床开采技术。莱新铁矿针对矿床疏干排水效果不明显所面临的水害问题,采用井下近矿体帷幕注浆、顶板加密注浆、群孔注浆和全尾砂胶结充填采矿法相结合治理岩溶大水水害,使矿山井下涌水量从 $50000\text{m}^3/\text{d}$ 降至 $5000\text{m}^3/\text{d}$;张马屯铁矿针对“大水”、“三下”的复杂开采条件,通过帷幕注浆建立起长效稳定的地下“拦水大坝”,采用全尾砂胶结充填技术保护矿山开采环境,实现了难采矿床的安全开采。

(4) 复杂环境矿床开采技术。南京栖霞山铅锌矿位于城区和风景区,矿区地表不允许排放废物或遭受破坏。该矿通过研究应用全尾砂胶结充填技术、采掘废石不出窿充填工艺,将矿山全尾砂和废石用于井下充填,不建尾砂库及废石堆场,保证地表变形远小于国家规定值,使矿区生态环境、区域水系与地表人文景观得到了切实有效保护,使矿石资源得到了合理充分利用,为国内金属矿山绿色开采提供了很好的示范。

(5) 低品位矿床开采技术。铜矿峪铜矿在低品位条件下成功应用自然崩落法,成为年产矿石量 600 万吨和采矿成本最低的地下金属矿山。

(6) 薄矿脉开采技术。通过相关的技术攻关,中南地区薄矿脉钨矿的矿石回采率由之前的 30% 提高到 70% ~ 80%;锡矿山锑矿试验成功了杆柱护顶房柱法,取代长期以来留护顶矿的房柱法,使矿石损失率降低了 40%。

(7) 矿柱群开采技术。柿竹园多金属矿与三道庄钼矿均留下大量的地下采空区和矿柱群,受空区影响的矿石资源量大。通过科技攻关开发协同崩落开采技术,成功地应用井下立体分区协同强化开采技术、露天大区协同强化开采技术,两座矿山成为安全、高效开采空区环境下矿柱群资源的示范地下矿山和露天矿山。

1.3.4 开采技术展望

导致矿床难采的因素很多,有与矿体厚度和产状相关的极薄和薄矿脉、倾斜中厚矿体,有与矿体埋藏位置和深度相关的“三下”矿体、“三高”深部矿床,有与矿体赋存环境相关的大水矿床、松软破碎矿岩、自燃性矿体和复杂多变矿体,以及各类矿柱和残矿等。由于社会发展伴随着大量的资源消耗和采易避难的客观规律,难采矿床的开采问题不会因为科技进步而逐步消失,而是会越来越多、越来越难。因此,当今采矿科技创新的重要课题和核心,就是难采矿床的安全、高效、经济、绿色开采。难采矿床开采技术的重点将在于满足深部“三高”矿床开采、“三下”矿床开采和软破矿床开采的需要,创新与发展相应的技术与装备。

(1) 深部“三高”矿床开采技术。随着浅部资源的逐渐消耗,深部资源的开采利用将成为主要开采对象。为了满足深部矿床安全高效开采的需要,相应的开采技术将得到发展和推广应用。其重点是发展适应于高应力、高地温、高井深开采条件的采矿方法、开采顺序、地压控制、降温隔热等方面的理论与工艺技术。其中在深井采矿模式、深井高应力致灾机理、深部采动围岩二次稳定控制理论与支护技术、深井开采中高温环境控制理论与技术等方面的研究与应用将取得突破。

(2) 充填采矿技术。充填采矿工艺技术既是难采矿床开采的共性关键技术,又是绿色开采不可或缺的支撑技术。面对深部矿床、“三下”矿床和软破矿床开采方面的技术难题,充填采矿技术的进一步发展大量推广应用将是必然趋势。为满足充填采矿推广应用的需