

遗留空区(群)治理 与残余资源安全复采

YILIU KONGQU (QUN) ZHILI
YU CANYU ZIYUAN ANQUAN FUCAI

王炳文 王成龙 著 ◆

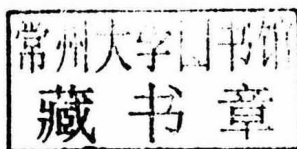


冶金工业出版社

www.cnmip.com.cn

遗留空区（群）治理 与残余资源安全复采

王炳文 王成龙 著



北京

冶金工业出版社

2019

内 容 提 要

本书以某黄金矿山为工程背景,基于选矿尾砂与地下采空区、残余矿体互为资源的理念,对金属矿山遗留空区(群)治理以及受采空区影响区域内的残余资源安全复采技术与方法进行了全面论述,涵盖了金属矿山遗留空区(群)探测技术、空区稳定性评价与分级、空区稳定性控制与充填治理、全尾砂充填材料基本特性、大体积全尾砂充填料浆快速脱水技术、残余资源安全复采工艺等方面的内容,系统解决了黄金矿山地下遗留采空区隐患充填治理、选矿尾砂环境友好处置以及井下残余矿产资源安全复采的技术难题,实现了金属矿山绿色开采与生态环境保护并重的矿业资源可持续发展。

本书可供从事金属与非金属矿山开采理论及其工程应用的科研人员与高等院校相关专业师生使用,也可供采矿工程技术人员、矿山生产管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

遗留空区(群)治理与残余资源安全复采/王炳文,
王成龙著. —北京:冶金工业出版社, 2019.5

ISBN 978-7-5024-8118-6

I. ①遗… II. ①王… ②王… III. ①采空区处理
②采空区—复采 IV. ①TD325

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 082008 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 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 曾 媛 张耀辉 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-8118-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2019年5月第1版,2019年5月第1次印刷

169mm×239mm; 16印张; 311千字; 245页

68.00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

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

我国已成为世界第一大金属矿产生产和消费国，2017年铁、铜、铅、锌、黄金等主要矿种原矿年产量占世界总量的50%以上。矿产资源长期大规模开采以及采空区处理滞后，在地下形成大量的采空区，严重威胁着周边居民生命财产安全和矿区生态环境健康，已成为金属矿山的重大危险源之一。原国家安监总局于2014年6月17日颁布第67号令，明文规定金属非金属地下矿山企业“必须加强顶板管理和采空区监测、治理”。

由于矿体赋存状态的多样性和地下开采环境的复杂性，使得金属矿山采空区具有隐蔽性、动态性、聚集性等特点，准确掌握采空区的空间位置及其形态，正确分析评价采空区的稳定性是采空区治理的技术关键之一。本书以某黄金矿山遗留空区（群）治理和残余资源安全复采为工程背景，提出了一种基于地下金属矿山开采环境修复的残余资源安全复采理念，利用选矿尾砂充填治理地下遗留空区，为受空区影响区域内的残余资源复采营造了新的采矿应力环境，既治理了地下遗留空区（群）隐患，又解决了选矿尾砂的排放问题，还实现了残余资源的安全复采，为解决金属矿山当前面临的尾矿库库容不足、选矿尾砂环境友好型处置、矿区生态环境保护压力大、井下生产存在安全隐患以及延长资源危机矿山服务年限等问题提供了技术依据，促进了矿产资源开发与矿区生态环境修复的协同发展。

本书主要介绍了以下技术创新成果：

(1) 遗留空区（群）精准探测与稳定性评价技术。针对金属矿山遗留采空区（群）具有复杂性、隐蔽性、聚集性的特点，提出了隐覆空区物探结合开放空区激光扫描的空区精准探测技术。通过三维地质建模、理论分析和数值模拟，开展了遗留空区（群）链式致灾机理和

稳定性评价技术的研究,将矿区遗留空区(群)按安全程度划分为稳定、较稳定和不稳定三个等级,为遗留空区(群)治理与充填顺序优化提供了理论指导。

(2) 遗留空区(群)大体积全尾砂充填料浆快速脱水与动态监测技术。针对全尾砂充填料浆颗粒细微、保水性强、脱水困难的特点,基于全尾砂和碎石存在渗透系数差异的理论,提出了一种大体积全尾砂充填料浆快速脱水与动态监测技术方法,并研发了一套空区充填料浆脱水模拟试验装置,为遗留空区(群)尾砂充填治理提供了技术保障。

(3) 遗留空区(群)隐患治理与残余资源安全复采协同技术。针对遗留空区(群)影响区域内存在大量的残余资源有待开发利用,基于选矿尾砂与地下采空区、残余矿体互为资源的理念,以地下开采环境修复与再造为指导,从协同理论的角度出发,提出了一套金属矿山遗留空区(群)隐患治理与残余资源安全复采协同技术,最大限度地回收受遗留空区(群)影响的残余资源,对延长资源危机矿山的的服务年限,实现矿山可持续发展具有重要意义。

在本书撰写过程中,引用了诸多专家学者和相关研究人员的成果和论著,作者深表谢意。本书的撰写还得到了山东黄金矿业(玲珑)有限公司的闫少华副总经理、刘家瑞高工、刘杰硕士,华北科技学院翟盛锐博士,中国安全生产科学研究院李全明教授级高工、付士根教授级高工以及科研团队的徐文彬副教授、雷强硕士、李亚楠硕士、柴岳鹏硕士、张毅硕士、肖宏超硕士等的大力帮助,在此一并表示感谢。

本书的出版得到了“十三五”国家重点研发计划重点专项(2018YFC0808403)的资助。

限于时间和水平,书中不妥之处在所难免,恳请专家、学者不吝批评和赐教。

著 者

2019年2月

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 相关技术研究现状	3
1.2.1 采空区探测技术	3
1.2.2 空区稳定性分析	4
1.2.3 采空区治理技术	4
1.2.4 充填采矿技术	9
1.2.5 残余资源复采与回收	13
1.2.6 存在的不足	14
1.3 研究内容与研究方法	15
1.3.1 研究目标	15
1.3.2 研究内容	15
1.3.3 研究方法	15
1.4 关键技术与技术路线	16
1.4.1 关键技术	16
1.4.2 技术路线	16
1.5 技术创新点	18
2 遗留空区(群)分布与探测	19
2.1 矿山开采现状	19
2.1.1 地质概况	19
2.1.2 生产系统	20
2.1.3 采矿方法	21
2.1.4 充填系统	23
2.2 采空区探测技术及方法	29
2.2.1 概述	30
2.2.2 开放空区探测	30
2.2.3 隐覆空区探测	33
2.3 遗留空区与废置巷道空间分布调查	39

2.3.1	遗留空区统计与分析	39
2.3.2	废置巷道统计与分析	40
3	遗留空区(群)稳定性评价与分级	42
3.1	概述	42
3.1.1	采空区稳定性影响因素	42
3.1.2	采空区稳定性分析	45
3.1.3	采空区规模等级划分	50
3.2	遗留空区(群)空间分布	51
3.2.1	矿脉及空区分布	51
3.2.2	采空区结构参数	53
3.2.3	采空区破坏现状	54
3.3	空区稳定性理论分析	55
3.3.1	顶板破坏失稳形式及力学机理	55
3.3.2	矿柱破坏失稳形式及力学机理	56
3.3.3	采空区顶板稳定性分析	59
3.3.4	采空区矿柱稳定性分析	64
3.3.5	采空区稳定性分级	66
3.4	空区稳定性数值计算	67
3.4.1	模型建立	67
3.4.2	结果分析	71
3.4.3	综合评价	80
3.5	空区充填治理效果分析	82
3.6	本章小结	83
4	全尾砂充填材料基本特性研究	85
4.1	全尾砂基本性能	85
4.1.1	粒级组成	85
4.1.2	化学成分	88
4.1.3	矿物组成	88
4.1.4	相对密度	88
4.1.5	物化指标	90
4.2	全尾砂浆基本性能	90
4.2.1	室内全尾砂沉降试验	90
4.2.2	选厂全尾砂沉降试验	94

4.3 全尾砂胶结充填料浆流动性能	95
4.3.1 流变性能	95
4.3.2 坍落度	98
4.3.3 流动度	99
4.3.4 泌水率	101
4.3.5 尾砂级配对料浆流变性影响	103
4.3.6 本节小结	110
4.4 全尾砂胶结充填料浆输送特性	111
4.4.1 管道输送参数	112
4.4.2 料浆输送阻力	115
4.4.3 玲珑充填系统分段压力	118
4.4.4 本节小结	119
4.5 全尾砂胶结充填体基本性能	120
4.5.1 原材料与试验方法	120
4.5.2 单轴抗压强度	121
4.5.3 遇水泥化试验	123
4.6 本章小结	123
5 大体积全尾砂充填料浆脱水技术	125
5.1 概述	125
5.1.1 充填料浆渗透脱水理论与技术	125
5.1.2 充填料浆脱排水工艺	127
5.2 全尾砂充填料浆脱水模拟试验	128
5.2.1 脱水试验装置	128
5.2.2 脱水模拟试验	130
5.2.3 试验研究结论	137
5.3 充填料浆电渗脱水固结试验研究	138
5.3.1 研究背景与目的	139
5.3.2 电渗法基本原理	139
5.3.3 试验方案设计	140
5.3.4 试验结果分析	141
5.3.5 试验研究结论	147
5.4 现场充填脱水设计与应用	148
5.4.1 采空区充填脱水系统	148
5.4.2 空区充填料浆脱水实践	151

5.4.3	空区充填脱水效果分析	154
5.5	本章小结	154
6	遗留空区(群)稳定性控制与充填治理	156
6.1	概述	156
6.1.1	空区稳定控制技术	156
6.1.2	充填体与围岩力学响应特征	157
6.1.3	胶结充填体强度匹配设计	159
6.1.4	采空区充填治理顺序	161
6.2	空区全尾砂充填治理设计	161
6.2.1	充填挡墙设计	161
6.2.2	充填管线布置	167
6.2.3	充填料浆配比与浓度	168
6.2.4	空区充填保障措施	169
6.3	遗留空区(群)充填治理工业试验	171
6.3.1	待充遗留空区(群)概况	172
6.3.2	采空区稳定性分析	177
6.3.3	全尾砂充填治理方案	180
6.3.4	空区充填治理现场施工	182
6.3.5	空区充填治理效果分析	189
6.4	废置巷道全尾砂回填工业试验	190
6.4.1	工业试验目的	190
6.4.2	全尾砂回填方案	191
6.4.3	现场试验过程	195
6.4.4	存在问题与建议	197
6.5	遗留空区(群)充填治理顺序	198
6.6	遗留空区充填治理成本分析	200
6.7	本章小结	201
7	基于开采环境修复的残余资源安全复采	203
7.1	概述	203
7.1.1	基于开采环境修复的复采思路	203
7.1.2	残余资源复采的意义	204
7.2	东风矿区残余资源复采工业试验	204
7.2.1	遗留空区(群)分布	205

7.2.2	东风充填系统现状	207
7.2.3	遗留空区充填治理	208
7.2.4	残余资源复采工艺	211
7.2.5	经济效益分析	213
7.3	大开头矿区残余资源复采工业试验	213
7.3.1	复采空区周边遗留矿柱工业试验	213
7.3.2	复采民采扰动区域残矿工业试验	216
7.4	综合效益分析	220
7.4.1	复采充填成本分析	220
7.4.2	经济效益	221
7.4.3	社会效益与环境效益	221
7.5	本章小结	222
8	研究结论与应用展望	224
8.1	研究结论	224
8.1.1	主要研究成果	224
8.1.2	主要创新点	226
8.1.3	效益分析	226
8.2	应用前景	227
	参考文献	228
	附录	232

1 绪 论

1.1 研究背景

矿产资源是人类社会发展重要的物质基础,矿产资源的开发利用对社会的发展与进步起到了非常关键的作用。然而,矿产资源开发是一把双刃剑,在持续提供工业发展原料的同时,地下金属矿山也遗留下大量的采空区,不仅危及矿井生产安全,而且可能造成地表塌陷和生态环境破坏,是金属矿山重大危险源之一。1960年,南非 Coalbrock North 矿发生顶板大规模突然冒落,井下破坏面积达 $300 \times 10^4 \text{m}^2$,死亡 432 人,这是目前顶板冲击地压最大的一次灾难。1961 年 10 月,大同矿务局挖金湾矿青羊湾矿井,空区一次性发生顶板冒落约 $16.3 \times 10^4 \text{m}^2$,地面塌陷 $12.8 \times 10^4 \text{m}^2$,沉陷深度达 0.5~1.0m,造成 18 人死亡;冒顶产生的强烈气浪,吹翻井下载重 1t 的重车,吹毁风桥、密封 11 处,摧垮巷道支架 90m,矿井通风、运输系统均遭破坏,全矿被迫停产。据有关部门估算,我国矿山采空区体积累计超过 250 亿立方米,相当于三峡水库的库容量,而且随着矿山的持续开采,仍以每年 10 亿立方米的总量不断扩大。因此,原国家安监总局曾明文规定金属非金属地下矿山企业“必须加强顶板管理和采空区监测、治理”。

山东黄金矿业(玲珑)有限公司(以下简称“玲珑金矿”)始建于 1962 年,是一座集黄金采、选为一体的国营大型矿山企业。该矿经近六十年的开采,目前开采深度已达千米,矿产资源濒临枯竭,矿区生态环保压力日增,改变传统的开采方式势在必行。

该矿区以急倾斜薄矿脉为主,早期主要选用浅孔留矿法开采,采用废石充填或封闭的方式处理采空区。长期以来,在地下形成了大量的遗留采空区(群),部分采空区已垮塌,并在地表形成多处塌陷坑。随着矿山开采深度的增加,地表岩石移动影响范围逐步扩大,危及矿区现有地表工业场地建筑的安全。地下遗留采空区(群)的存在,对矿区的地表环境、生态以及地下采场正常生产均造成了重大安全隐患,已成为矿山的重大危险源之一。随着矿山开采强度和开采深度的不断加大,地下采场的安全生产形势日趋严峻,直接关系到矿山的正常生产。因此,开展遗留采空区(群)治理是确保矿山深部安全开采的前提。

由于采用空场采矿法开采,加之曾受群采乱挖的影响,矿区存在大量的残余资源有待开发利用,这些资源主要包括:(1)采空区周边残留的低品位矿产资源(过去称之为“贫矿”,在当前技术经济条件下,已成为矿山可利用资源);(2)开采中预留的矿柱、间柱、顶底柱等矿产资源;(3)因技术原因而损失的

矿产资源。随着矿产资源争夺的进一步升级,这些原本不太引人注意的空区残余资源日益受到关注。因此,安全、高效、最大限度地复采和回收这部分资源,对延长资源危机矿山的的服务年限,实现矿山可持续发展具有重要意义。

玲珑矿区选厂现矿石处理能力超过 5000t/d,尾矿产出率达到 94%~96%,其中 50%~70%的选矿尾砂仍采用传统的地表尾矿库堆存方式。尾矿库位于选矿厂南东向约 3km 的 S 型山谷中,三面环山,地形起伏大,坡度陡,属构造剥蚀低山丘陵地貌。该尾矿库经多次改(扩)建,现总库容已达 1545 万立方米、坝高 150m,为二等库,已无再扩建余地。截至 2018 年 6 月,该尾矿库剩余库容的服务年限不足 2 年。玲珑金矿曾考虑新建尾矿库以解决当前尾矿库库容不足的问题,但因位于罗山森林保护区内,选址征地工作困难、设计立项审批程序复杂、建设周期长且运营管理费用高等原因,无法满足矿区当前的生产需要。此外,地表尾矿库是一个具有高势能的人造泥石流危险源,其安全稳定性直接关系到周边居民生命财产安全以及自然生态环境保护,现今玲珑尾矿库库容已濒临设计容量,存在极大的安全隐患。因此,解决玲珑矿区选矿尾砂的安全处置问题已迫在眉睫,必须采取新思路、新技术、新工艺来解决这一难题,以满足国家绿色矿山建设和环境保护的要求。

玲珑金矿经多年开采,已形成的采空区及废旧巷道体积和数量巨大,甚至出现了地下空区(群)。限于当时的开采技术条件,其中绝大部分采空区未能及时处理或仅采用简单的废石充填措施,仍有大量空间体积的采空区和废旧巷道需进一步治理,且相当数量的采空区及废旧巷道因年代久远而出现冒顶、塌方等现象。此外,各采空区之间、空区与巷道之间是否连通也无从知晓,贸然进行井下充填治理作业,轻则出现跑浆、漏浆,重则引发充填料浆突涌的泥石流事故。因此,遗留空区(群)具体赋存状况不明,进行井下空区充填治理风险和难度大。若要实现井下遗留空区(群)有效治理,首先需要探明空区及废旧巷道的空间位置、规模、形态等基本赋存特征,并在此基础上采取相应的控制技术措施,以指导井下遗留空区(群)和废旧巷道的充填治理。

鉴于此,结合玲珑矿区地下开采的实际需要,同时为选矿尾砂寻求安全的处置方式,开展了玲珑矿区遗留空区(群)治理与残余资源安全复采协同技术研究。拟将玲珑矿区选矿尾砂充填到地下遗留空区,对采空区进行尾砂料浆充填处理,既可治理地下遗留空区(群)隐患,又可解决选矿尾砂的排放问题,还可实现残余资源的安全复采,一举三得,最终实现玲珑矿区矿产资源开发与生态环境修复协同发展。为此,山东黄金矿业(玲珑)有限公司委托中国矿业大学(北京)开展了遗留空区(群)与残矿资源现状调查、采空区稳定性评价、空区充填工艺与系统优化、残矿复采工艺设计等研究工作,为解决矿山当前面临的尾矿库库容不足、选矿尾砂环境友好型处置、矿区生态环境保护压力大、井下生产存在安全隐患以及延长资源危机矿山服务年限等问题提供了技术依据。

1.2 相关技术研究现状

矿山地下开采遗留大量的采空区,特别是自20世纪80年代以来,我国矿业开采秩序较为混乱,无规划的乱采滥挖在一些国有矿山周边留下了大量的不明采空区。这些采空区的存在,给矿山安全生产带来严重威胁:(1)矿山开采条件恶化,造成矿柱变形破坏、相邻作业区采场和巷道维护困难等;(2)引发大面积顶板冒落和岩移,引起地表塌陷;(3)采空区突然垮塌而产生的高速气浪和冲击波,造成人员伤亡和设备损毁;(4)采空区老窿积水,形成突水隐患。鉴于此,国内外许多学者在此方面做出了卓有成效的贡献,主要包括对地下采空区进行精确探测技术的研究,对采空区治理提出了一些行之有效的方法,同时还对采空区顶板的稳定性进行了一系列安全评判研究,通过对地下复杂采空区顶板数值模拟以确定其最小安全厚度等。

1.2.1 采空区探测技术

由于地下开采的特殊性,金属矿山采空区通常比较隐蔽、复杂,尤其是采用崩落法开采的矿山,空区的具体边界难以确定,遗留时间较长的采空区易造成地表塌陷。因此,分析矿体开采设计资料并进行采空区探测,对于评价采空区稳定性和开展灾害控制非常重要。

根据工作原理的不同,目前采空区探测技术可分为电法、电磁法、非电法及地震波法等。依据采空区赋存状况的不同,采空区探测技术又可分为隐覆采空区探测和可视采空区探测。早期采空区探测主要起源于以地质找矿为目的的物理探测方法。美国在电法、电磁法、微重力法以及地震勘探等方面开展了较多研究与应用,近年来又发展了高精密度三维地震探测技术、地震CT技术等。俄罗斯在采空区探测过程中,多采用直流电法、瞬变电磁法、波透视及射气测量等技术。欧洲一些国家较多采用微重力法、高密度电法和地质雷达法等探测采空区。我国早期一般采用工程钻探的方式进行采空区探测,工程量且精度低,近年来在工程物探方面进行了较多研究。刘敦文、王俊茹、徐白山、薛金芳、郭崇光、曾若云等人分别采用探地雷达法、瞬变电磁法、地震波法、高密度电法、综合电法、直流电法等方法对采空区进行探测,取得良好的探测效果。

随着采空区数量的日益增多,对于探测技术的精度要求也不断提高。近年来,三维扫描技术得到了一定程度的发展,但由于矿山环境的复杂性,目前在采空区精细探测方面,国内外均处于起步阶段。三维激光扫描探测的核心技术为激光雷达技术(Light Laser Detection and Ranging, LiDAR),根据激光的往返时间或者相位差来测出围岩边界与测量地点之间的距离。利用三维激光扫描技术探测采空区时,可采用从左到右或从上到下两种方式进行探测,然后根据探测得到的点云数据,在计算机中形成采空区的三维形态,从而接近真实地描述出采空区的整体结构及其形态特性。三维激光扫描技术主要包括空区监测系统(Cavity Monitoring Sys-

tem, CMS) 和空区激光自动扫描系统 (Cavity Auto Scanning Laser System, C-ALS) 两种, 二者都可以得到采空区的形态和体积, 而且得到的数据还可进行二次开发, 与其他的矿山三维数值模拟软件相结合对采空区稳定性进行分析。

1.2.2 空区稳定性分析

空区稳定性分析, 实质上就是分析在特殊环境中, 空区结构及其围岩的稳定状态。金属矿山地下开采形成采空区, 破坏了原始应力平衡状态, 引起应力重新分布, 产生次生应力场; 同时, 因采空区的赋存条件往往较为复杂, 故影响采空区稳定性的因素较多, 其中主要包括采空区岩体结构类型、岩体质量、形态、跨度、倾角、周围开采状况、地下水作用、地下温度场作用等因素。目前, 国内外学者在采空区稳定性方面进行了大量研究, 得到了许多有效的分析方法, 其中主要包括基于岩体质量分级的分析方法、理论分析方法、数值模拟分析方法以及基于不确定理论的分析方法等。邱贤德等人根据盗采和无规划开发某矿区资源造成采空区不断扩大的现象, 进行深入调查研究, 并采用 ANSYS 有限元数值计算软件分析了该矿区采空区的稳定性; 根据研究成果, 采取了相应的空区处理技术措施, 有效地控制了地压, 获得了很好的经济效益和社会效益。

为了对采空区的安全状况进行分类, 需要在现场工程地质调查和室内岩石力学测试的基础上, 对岩体的质量进行综合评价, 计算得出采空区允许的最大无支护跨度、采场顶板最大暴露面积、采场上盘围岩最大暴露面积, 再结合具体的采场进行分类。李青山等人通过对阿尔登-托普坎铅锌矿采空区现状进行摸底调查, 根据采空区跨度、高度和体积等对采空区进行了统计归类, 提出了基于 Q 系统岩体分级的最大无支护跨度计算方法和 Mathews 图解方法, 分别对采空区进行了安全性评价。刘敦文等人通过大量的实例, 对目前的采空区处理技术进行了细致分类, 并对其中的各种处理方案做出了科学评价; 通过对厂坝铅锌矿空区处理方案的研究, 提出了采用模糊数学的方法选择最优的空区处理方案, 对目前采空区的处理具有指导意义。

1.2.3 采空区治理技术

地下矿床开采形成的采空区, 破坏了岩体的原始应力平衡状态, 使空区周围的岩体应力产生变化, 并为建立新平衡而重新分布; 当达到临界变形以后, 就会发生围岩破坏和移动, 对地下作业人员与生产设备造成重大的安全威胁, 现已成为金属矿山重大危险源之一。同时, 随着开采深度不断增加, 大量的矿山 (如红透山铜矿、冬瓜山铜矿、程潮铁矿等) 已进入深部开采阶段, 矿体赋存环境极其复杂, 形成的深部采空区自稳能力减弱, 其稳定与否直接威胁到深井矿山安全生产。2016年12月25日, 山东平邑一石膏矿发生大规模采空区顶板垮塌事故, 导致多人遇难, 对矿山企业造成了重大的经济损失和不良的负面效应。因此, 采空区稳定性分析与治理是防止采空区灾害发生的关键环节。

金属矿山地下开采后遗留的采空区,在治理过程中受到多种因素影响,不同条件下的采空区所采用的治理技术也应有所不同,需要根据矿山实际生产情况,选择合适的采空区治理技术方案。影响采空区治理技术方案选择的主要因素包括采空区存在时间、采空区稳定状态、采空区赋存情况、矿体开采方法、矿区生态环境及企业经济状况等。根据采空区结构特点,目前采空区治理技术主要是针对顶板及矿柱,通过限制顶板位移、缓减矿柱应力集中等以控制采空区的稳定性,防止发生失稳破坏现象。结合国内外金属矿山开采技术条件,目前主要的采空区治理技术包括以下几种。

1.2.3.1 留设永久矿柱或构筑人工矿柱

在回采过程中留下矿柱或构筑人工矿柱支撑采空区,能够有效地减少采空区顶板暴露面积,进而限制顶板岩体下沉,通常适于缓倾斜薄至中厚以下矿体,并且对采空区围岩稳定性要求较高。该方法的优点是工艺简单,成本较低;缺点是留设矿柱会造成矿石损失,且后期采空区仍然可能发生失稳破坏。选用该方法处理空区的关键是矿岩条件好,矿柱选留恰当,连续的空区面积不太大。因此,采用这种方法治理采空区时,需要详细研究岩体的力学性质、地质构造等情况,从而选择合理的矿柱尺寸。

留设矿柱法治理采空区技术应用时间较早,研究理论相对成熟,近年来有关矿柱和顶板尺寸的理论研究取得了不少成果,但因矿体开采条件的不确定性和复杂性等,目前采空区留设矿柱的尺寸与数量通常采用经验法或类比法,仍有待深入研究。乔春生等人以大团山矿床开采过程中形成的采空区为工程背景,通过现场地应力测试,运用理论分析、室内试验和数值模拟等方法,系统研究了空区的稳定状态,得到了矿柱发生失稳的最小值,增加矿柱宽度对采空区顶底板稳定性提高作用不大,并在此基础上提出了空区治理具体措施。

对于厚大矿体,若留永久矿柱支撑处理采空区,矿石资源损失数量巨大。例如,刘冲磷矿I#矿体因采用永久矿柱支撑采空区,至少缩短5年的开采服务年限。实践证明,仅用矿柱支撑空区顶板,只能暂时缓解采区地压显现,除非采出率极低,一般并不能避免顶板最终发生冒落或形成冲击地压,引起地表沉陷或开裂。若修筑人工矿柱则成本昂贵,若留永久矿柱支撑则要损失大量的地下资源。

1.2.3.2 崩落法治理采空区

崩落围岩处理空区可分为自然崩落和强制崩落,利用崩落围岩处理采空区并形成缓冲保护垫层,以防止空区内大量岩石突然冒落所造成的危害。该方法具有工艺简单、成本低的优点;缺点是采空区距离地表较近时,易引起地表下沉、塌陷。其适用条件为:(1)地表允许崩落,地表崩落后对矿区及农、林业生产无害;(2)采空区上方的预计崩落范围内,矿柱已回采完毕,井巷设施等已不再使用并已撤除。冯盼学等人针对可可塔勒铅锌矿多空区极复杂隐患环境下的残矿

安全高效回采,借助束状孔变抵抗线爆破技术,采用束状深孔区域整体崩落为主、边角矿中深孔爆破落矿为辅的技术方案,并利用采空区底部扩漏形成的大漏斗出矿结构,不仅有效解决了复杂多空区的安全隐患,而且实现了残矿的大规模高效开采。刘献华根据紫金山金矿的空区特点和围岩的稳定性变化规律,对采空区处理方案进行了比较,最终选择了双层双侧硐室爆破和崩柱卸压技术,在该矿山取得了良好的技术经济效果,为类似矿山的空区处理积累了宝贵经验。

为控制地表移动,国外在 20 世纪 30 年代应用崩落法处理采空区时,就配合应用了预防性灌浆技术。发达国家在 20 世纪 70 年代以后,日益重视可持续发展——资源开发不应以牺牲环境为代价,地表保护日益受到重视。因此,一般不采用崩落法处理采空区,除非配合应用了预防性灌浆等技术措施。

1.2.3.3 充填法治理采空区

充填法治理采空区是将废石、选矿尾砂或碎石与胶凝材料混合后充填至井下采空区,从而达到限制岩层移动和缓减应力集中的目的。目前,充填法是采空区治理过程中非常重要的方法,同时也是最为有效的采空区处理技术,可以从根本上对采空区进行治理,最大限度地减轻采空区潜在隐患。李兆平等人通过对南京铅锌银矿遗留采空区引起地表塌陷问题的研究,提出了采用全尾砂加高水固化材料的充填方法,在矿山实际生产中取得了良好效果,实践证明是处理南京铅锌银矿采空区引起地表塌陷的最有效且经济合理的技术方案。

地表尾矿库堆存尾矿,既污染环境,又易发生溃坝灾害。因此,金属矿山尾矿的排放与处置仍是矿山亟待解决的问题之一。由于种种原因,我国矿产资源地下开采遗留大量未处理的采空区,是影响矿山安全生产最主要的隐患之一,既严重影响矿山安全生产,又极大破坏和浪费了地下宝贵的矿产资源。为解决上述两问题,利用尾矿充填空区,既可解决矿山充填骨料来源,解决或部分解决尾矿的排放问题,又可对地下采空区进行治理,使围岩维持稳定状态,减少了空区上覆岩层以及地表的移动,确保了井下采矿安全。因此,充填成为解决尾矿排放与采空区处理的最佳途径。郭利杰等人采用高浓度尾砂胶结充填工艺系统,利用地表堆存的尾砂进行空区充填处理,取得良好的技术经济效果。

山东金岭矿业侯庄矿采用分段凿岩阶段矿房法、全面留矿法,留设矿柱以维持采空区稳定。因部分空区围岩不稳以及受采矿活动影响,造成采空区发生小范围矿柱垮塌、顶板冒落,给矿山安全生产带来严重隐患。为避免大规模地压活动引发安全事故,矿山已部分采用尾砂胶结充填及废石充填采空区。但废石无法全部充满采空区,需要采用全尾砂胶结充填灌缝、接顶。因部分空区连通范围广,若采用正常胶结充填方案需施工大量密闭墙,为减少充填成本,金岭铁矿与高校联合,通过现场调查和室内试验,确定采用“全尾砂胶固粉料浆+速凝剂充填接顶”方案,进行无密闭墙尾砂浇注充填采空区接顶技术研究。

冬瓜山铜矿西狮子山矿床始采于 20 世纪 60 年代,2002 年闭坑后形成了一个

特大空区群，这些采空区体积大、分布范围广，给矿山正常生产带来极大安全隐患。为此，冬瓜山铜矿结合矿山自身特点，经多方面调查、研究、论证，确定采用全尾砂对采空区进行充填处理，实践中采用分步实施的原则，将东狮子山采空区作为试验地点，完善并取得成功经验后推广应用到西狮子山采空区。2010年，“冬瓜山铜矿特大采空区全尾砂充填治理工程的研究与实践”项目创造性地应用“高位放砂、多中段排水和间断充填”的充填工艺、井下混凝土封闭墙结构、充填过程监控等技术，成功地对特大型采空区进行全尾砂充填治理，取得了巨大的经济效益和显著的社会效益。

采用充填法治理采空区时，需要对采空区的形态、体积及空间位置关系等进行详细分析，以便在充填前构建隔离挡墙对采空区进行封闭处理，防止充填料浆流失。此外，还要求采空区能与钻孔、巷道或天井等相通，以确保充填管路能够顺利铺设，保证充填料浆顺利进入采空区，最终实现采空区最大限度充填。近年来，随着充填开采技术的发展，采空区充填治理技术越来越成熟，取得了许多现场实践经验和理论研究成果。

充填法治理采空区需要解决大体积充填料浆的脱水问题。采空区充填料浆主要排水方式包括充填盘区周边侧向中深孔溢流排水、采空区充填体底部中深孔脱水、采空区内布置滤水管脱水等方式。此外，还有通过充填挡墙上预埋的滤水管排水，利用钻孔安装滤水短管排水，利用采场围岩原有裂隙、断层构造进行排水以及利用自然渗透的方式进行排水等。

1.2.3.4 封闭隔离采空区

封闭隔离采空区，即利用封闭和隔离的手段处理采空区，这是一种经济、简便的处理方法，主要作用是防止采空区矿岩冒落时产生的冲击气浪造成人员和设备的损伤，适用于处理孤立小矿体开采后形成的采空区，或端部矿体开采后形成的采空区以及需继续回采的大矿体上部的采空区。构造充分的缓冲层厚度或通往采空区的巷道封堵长度是采用封闭法处理采空区的关键。实践证明，该方法适用性较差，对于开采厚大矿体所形成的大规模采空区，仅用该方法很难保障完全有效；只对采空区的通道口进行封闭，不能限制采空区内岩体的片帮、脱落，采空区失稳破坏的可能性仍然较高，不能作为永久处理采空区的方案。

应用封闭和隔离法处理分散、采幅不宽而又不连续的采空区，在国内外很早就有报道。目前配合其他处理方法，应用该方法处理采空区的矿山较多，一般采用留隔离矿壁、修钢混凝土等人工隔离墙，近年来又发展了爆破挑顶和胶结充填封堵等技术。对于大型空区，为便于人员进入，一般每中段敷设一牢固的密闭门。为防止顶板冲击地压，通常采用在空区顶板开“天窗”等技术。

1.2.3.5 联合法治理采空区

联合法治理采空区，是指在采空区治理过程中同时采用多种基本方法进行处