

残采区井下矿产资源高效回采技术实践研究

闫雪松

葫芦岛八家矿业股份有限公司 辽宁省葫芦岛市 125316

摘要

国内多数老牌矿山已进入开采中后期，井下遗留大量残采区呆滞矿产资源，主要包括各类保安矿柱、边角残矿、采空区滞留矿体等，资源储量规模较大，回收利用潜力突出。但残采区受前期多次开挖与爆破扰动，普遍存在围岩破碎、地应力紊乱、采空区密集、开采条件恶劣等问题，传统回采工艺安全隐患大、回采率低、贫化率偏高，大量资源长期无法有效利用。为提升矿产资源综合利用率、延长矿山服务年限、实现矿山降本增效，本文结合井下残采工程实际，系统分析残采开采技术难点，优化回采工艺、爆破参数、围岩支护及空区治理技术，形成一套适配复杂残采条件的高效回采技术体系。现场实践表明，优化后的回采技术可显著改善井下作业环境，有效控制顶板与围岩安全风险，大幅提升残矿回收率、降低矿石贫化率，可为同类矿山残采资源回收工程提供参考与借鉴。

关键词

残采区；井下开采；高效回采；围岩支护；工艺优化

一、引言

矿产资源是工业经济发展的重要基础性资源。矿山长期规模化开采过程中，为满足初期生产安全及工艺规范要求，会预留大量隔离矿柱、巷道保安矿柱；同时地形复杂、空间狭小、开采经济性较差的边角矿体、薄脉矿体多被舍弃，最终形成大面积残采呆滞资源。相关统计显示，我国各类金属与非金属矿山残采遗留资源占原可采储量比例较高，资源浪费问题十分突出。

在资源集约利用、绿色矿山建设的行业背景下，盘活残采区存量资源、开展残矿二次回采，已成为矿山企业挖掘产能潜力、提高经济效益、延长矿井服务年限的重要途径。但残采区区别于常规完整采场，岩体多次受开采扰动，结构完整性差、裂隙发育，采空区交错分布，地应力集中明显，常规开采工艺难以适

配。传统粗放式回采不仅回收率低、矿石质量差，还极易诱发冒顶、片帮、空区垮塌等灾害，严重制约残采资源的安全高效回收。因此，开展残采区高效回采技术优化与现场实践研究，具有重要的工程应用价值与现实意义。

二、残采区开采主要技术难点

2.1 围岩稳定性差，安全风险较高

残采区经历多轮开采扰动后，围岩整体性被严重破坏，顶板及两帮岩体松散破碎，隐形裂隙、破碎带广泛分布。井下采空区纵横交错导致地应力重新分布，局部应力集中显著。在开采爆破与开挖扰动作用下，极易发生顶板掉块、片帮、局部冒顶等事故，作业安全管控难度远高于常规采场，是残采回采面临的首要难题。

2.2 矿体赋存不规则，回采难度大

残采区遗留矿体多呈零散、不规则形态，孤立矿柱、边角残矿、薄层滞留矿分布杂乱，矿体厚度、倾角变化无规律，且紧邻破碎围岩与废弃空区。传统规整化、规模化回采工艺无法匹配复杂矿体形态，作业中易出现漏采、超采现象，既造成资源流失，又容易混入大量围岩废石，直接导致回采率偏低、贫化率超标。

2.3 传统工艺适配性弱，生产效率低

常规井下开采工艺、爆破参数、作业流程均针对完整稳定矿体设计。残采区作业空间狭小、矿体分散、作业连续性差，传统大药量爆破方式易进一步破坏围岩稳定性，引发次生灾害。同时残采区域巷道破损、运输不畅、工序衔接困难，造成回采作业效率低、生产成本低，经济效益较差。

2.4 采空区隐患多，配套系统不完善

残采区存在大量未治理小型采空区，部分空区积存积水、松散矸石，隐蔽性安全隐患多。开采扰动易诱发空区垮塌、涌水等风险。此外，残采区通风系统紊乱、监测设施缺失、支护体系老化，配套保障能力不足，进一步限制了残矿高效回采的开展。

三、残采区高效回采关键技术优化

针对残采区开采难点，结合现场地质条件，从回采工艺、爆破控制、围岩支护、空区治理四个方面进行技术优化，构建安全高效的残采回采技术体系。

3.1 差异化分段后退回采工艺

摒弃传统整体开采模式，采用分段后退式分区回采工艺。依据残矿赋存位置、矿体规模、围岩稳定性及空区分布特征，将残采区划分为多个小型独立开采单元。严格遵循“先稳后乱、先易后难、逐段推进”的开采原则，优先回收围岩稳定、风险可控的边角残矿，再分步回收孤立矿柱与滞留矿体。通过缩小采场结构参数、适配狭小作业空间，有效降低大规模开挖带来的应力扰动，减少资源漏采，提升整体回采效率。

3.2 微差精细化控爆技术

为解决常规爆破扰动大、矿石贫化高的问题，采用浅孔密孔微差挤压控爆技术。优化炮孔布置形式，减小单孔装药量，降低单次爆破能量，最大限度降低爆破振动对破碎围岩的破坏。通过合理设置微差起爆间隔，利用岩体挤压作用改善矿石破碎效果，减少大块矿石产生，同时精准控制爆破边界，避免超挖混入废石，有效降低矿石贫化率，保障回采矿石品质。

3.3 锚网喷 + 锚索注浆联合支护技术

针对残采围岩破碎、顶板不稳的问题，采用复合型联合支护方案。首先通过喷射混凝土封闭围岩表层裂隙，防止松散岩体脱落；配合锚杆与金属网形成浅层整体支护结构，提升表层围岩整体性。对深部高应力破碎区域，增设高强度锚索实现深部悬吊加固。对裂隙极度发育的破碎岩体，采用注浆加固技术，通过浆液填充胶结岩体裂隙，将松散岩体固结为整体，大幅提升围岩整体承载能力，保障采场作业安全。

3.4 采空区分区综合治理技术

采用超前探测、分区治理的空区管控模式。回采前利用物探设备精准探明空区位置、范围、积水及围岩情况，全面排查隐蔽隐患。对小型零散空区采用矸石及胶结材料充填压实，消除悬空隐患；对结构稳定的大型空区保留原有支护，并布设动态监测设备。同时修复破损巷道，优化通风、排水系统，建立全过程安全监测体系，实现残采作业动态安全管控。

四、工程实践与效果分析

4.1 工程概况

本次工业实践选取某老旧金属矿山残采区为试验场地，该矿井开采年限较长，试验区域内遗留大量边角残矿与隔离矿柱，可回收资源量可观。区域围岩破碎

严重，小型采空区密集，地应力复杂，开采难度大，长期未能有效回收，属于典型难采残采区域。

4.2 实践实施过程

在试验区域全面应用优化后的高效回采技术体系。前期通过地质复核与物探探测，摸清残矿赋存与空区分布情况，合理划分开采单元；按照分段后退式工艺有序组织回采；全程采用精细化控爆参数施工；落实联合支护与注浆加固措施；同步完成空区治理、巷道修复及安全监测布设，实现规范化、安全化残采作业。

4.3 应用效果

现场工业实践结果表明，优化技术体系应用效果良好。试验区域矿石回采率较传统工艺大幅提升，大量呆滞资源得到有效回收；矿石贫化率显著下降，矿石整体品质明显改善。整个回采周期内无顶板垮落、片帮等安全事故发生，围岩变形稳定，作业安全性大幅提升。同时工序衔接更为顺畅，生产效率提升、开采成本降低，实现了安全、高效、经济的残矿回采目标。

五、结论

针对残采区围岩破碎、矿体不规则、安全隐患多、回采效率低等难题，本文优化的分段退采工艺、微差控爆技术、联合支护体系及空区分区治理技术，能够有效适配复杂残采开采条件。工程实践证明，该技术体系可有效提升残矿资源回收率、降低贫化率、保障井下作业安全，盘活矿山呆滞资源，提升矿山整体经济效益，对同类残采工程具有较强的推广价值。

现阶段残采回采仍存在智能化水平较低、复杂空区精准治理难度大等问题。未来可结合智能监测、精准充填、自动化开采技术，持续优化残采回采工艺，推动残矿回收向安全化、高效化、智能化方向发展，助力矿山资源集约高效利用与绿色可持续发展。

参考文献

- [1] 张海磊，焦满岱，陈小平，等。顶底板均不稳固的古采区残矿回收实践研究[J]. 中国矿业，2022,31 (2):112-117.
- [2] 曾鹏，匡超，熊良锋，等。充填体约束下遗留底柱协同回采方案优化研究[J]. 矿产保护与利用，2025,45 (2):78-84.
- [3] 时跃宁。注浆固结法在残矿回收中的应用[J]. 黄金，2024,45 (9):32-35.
- [4] 解联库，巨有，张光，等。基于多目标决策的重叠空区群矿柱协同回采方案

选择 [J]. 矿业研究与开发, 2025,45 (4):49-59.