

# 复杂地质条件下金矿地下开采采场结构参数优化研究

郝田霖 王良玉 陈健

招远市河西金矿有限公司 山东招远 265402

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18510

**[摘要]** 针对国内复杂金矿体产状不规则、岩体稳定性差、现有采场结构参数适配性不足等问题, 本文分析复杂金矿地质特征、现有采矿方法及参数缺陷, 明确优化制约因素, 确立安全优先、技术适配、经济高效的优化原则与量化目标。采用矿体分类适配思路, 结合 FLAC<sup>3D</sup> 数值模拟等多学科手段实现关键参数优化, 经工业试验验证优化方案可行性。结果显示, 优化后采场稳定性显著提升, 生产能力平均提高 27%, 采矿成本降低 19%, 资源回收率提升至 82% 以上。研究成果为复杂地质条件金矿安全高效开采提供技术支撑与推广依据。

**[关键词]** 复杂金矿; 采场结构参数; 数值模拟; 优化设计; 安全开采

## 引言

我国金矿资源丰富, 受多数复杂金矿受矿体产状不规则、岩体破碎、高地压、地下水富集等地质条件制约, 现有采场结构参数多依赖经验设计, 存在稳定性差、生产效率低、资源回收率不足等问题, 严重影响矿山可持续发展。复杂地质条件下金矿开采的安全与高效协同已成为行业亟待解决的核心难题。本文以贵州簸箕田金矿、西南“三软”金矿等典型矿山为研究载体, 系统开展采场结构参数优化研究, 明确优化原则、分类适配参数、量化优化验证, 提出科学可行的优化方案, 破解传统开采瓶颈, 为同类矿山开采提供理论与技术参考。

## 一、金矿复杂地质条件及开采现状分析

### (一) 矿体产状与工程地质特征

国内多数复杂金矿体产状呈显著不规则性, 贵州簸箕田金矿和西南地区某“三软”条件金矿表现最为典型。这类矿体多以缓倾斜至倾斜姿态产出, 厚度变化区间普遍在 0.8-15m 之间, 连续性极差, 常伴随分支复合、尖灭再现及透镜状膨大等复杂形态, 给矿体圈定和开采范围界定带来极大挑战<sup>[1]</sup>。工程地质方面, 这类矿山岩体完整性不足, 断层、剪切裂隙及风化破碎带发育显著, 岩体质量等级多为 III-V 级。部分深部矿体(开采深度超过 500m) 面临高地压、高温高湿的恶劣环境挑战, 如贵州某“三软”金矿, 矿体围岩以软弱页岩、粉砂岩为主, 岩体单轴抗压强度仅 8-15MPa, 稳

定性极差。深部矿体受区域构造应力影响更为突出, 局部区域地应力值达 25-30MPa, 存在明显岩爆风险, 给开采作业稳定性带来天然隐患。地下水富集现象在复杂金矿中较为普遍, 多以裂隙水、孔隙水形式存在, 涌水量可达 5-20m<sup>3</sup>/h, 进一步加剧岩体弱化和支护难度, 构成开采作业的主要地质制约因素。

### (二) 现有采矿方法及采场结构参数问题

当前国内复杂金矿的采矿方法呈现多样化但与地质条件适配性不足的特点, 贵州簸箕田金矿早期为适配不同区段矿体特征, 先后尝试上向水平分层充填采矿法、下向分层充填采矿法及进路式充填采矿法等多种开采方式, 贵州某“三软”金矿长期采用上向水平分层胶结充填法, 部分中小型复杂金矿受技术水平和成本限制, 仍沿用传统浅孔留矿法。采场结构参数设计方面, 普遍缺乏科学理论支撑、适配性不足, 多数矿山依赖工程师过往经验设定参数<sup>[2]</sup>。部分矿山盲目将矿房宽度设定为 8-10m, 远超岩体承载极限, 导致采场顶板下沉、片帮频发; 另有部分矿山过度保守, 将矿房宽度控制在 3m 以内, 虽提升稳定性, 但大幅降低回采效率, 资源回收率仅 65%-70%。原有的采场高度、顶柱宽度、间柱宽度等关键参数均未结合矿体厚度、倾角、岩体稳定性等具体地质特征设计, 使得贵州某金矿传统开采模式下, 采场月生产能力仅 800-1000t, 远低于设计产能, 且采矿直接成本高达 180-220 元/t。浅孔留矿法应用中因参数不合理, 出现采场稳定性与

生产效率难以兼顾的核心矛盾，无法满足复杂地质条件下安全高效开采的现实需求。

## 二、采场结构参数优化设计

### (一) 优化原则与目标确定

采场结构参数优化遵循安全优先、技术适配、经济高效的三大核心原则，以贵州地区多个复杂金矿的优化实践为依托，形成兼具通用性和针对性的原则体系。安全原则聚焦通过参数优化控制采场顶板下沉量（控制在50mm以内）、缩小岩体塑性区范围（塑性区深度不超过1.5m），从根源上确保岩体稳定性和作业人员、设备安全；技术适配原则强调参数设计需与矿体地质特征（厚度、倾角、岩体强度）、采矿方法选型、设备性能参数（作业半径、生产能力）匹配，避免“参数与工艺脱节”的问题；经济高效原则以提高资源回收率、降低采矿成本和充填成本为核心导向，实现资源利用效率与经济效益的协同提升。优化目标具体设定为三重维度的量化指标：将采场稳定性提升至可控水平，显著降低顶板坍塌、

岩爆等安全风险，采场稳定性评价等级达到I-II级，年安全事故发生率降低60%以上；提升采场生产能力，突破传统开采的效率瓶颈，单采场月产能提升20%以上；在保证安全和效率的基础上，实现采矿综合成本合理降低，采矿直接成本降低15%以上，最终达成安全、高效、经济的协同开采目标，为复杂地质条件金矿的可持续开采提供支撑。

### (二) 基于矿体分类的参数适配设计

结合国内复杂金矿的矿体特征和开采实践，采用“分类适配、精准施策”的优化思路，系统梳理矿体地质数据，根据矿体厚度（薄矿体<2m、中厚矿体2-8m、厚大矿体>8m）、倾角（缓倾斜<30°、倾斜30°-60°、急倾斜>60°）、岩体稳定性（稳定、中等稳定、不稳定）及地质构造发育程度（弱发育、中等发育、强发育）四大核心指标，将矿体划分为稳定厚大矿体、中等稳定中厚矿体、不稳定薄矿体三类核心类型。不同类型矿体的具体适配参数、采矿方法及关键要求见表1。

表1 不同类型矿体的具体适配参数、采矿方法及关键要求

矿体类型	稳定厚大矿体	中等稳定中厚矿体	不稳定薄矿体
岩体质量等级	I-II级	III级	IV-V级
矿体厚度 (m)	>8	2-8	<2
矿体倾角 (°)	30-60	20-45	<30
采场宽度 (m)	4.5-5	6	2-3
采场高度 (m)	13-15	3	2-2.5
采场/进路长度 (m)	100	80-100	≤50
顶柱宽度 (m)	4-5	5	5-6
间柱宽度 (m)	3-4	4	4-5
底柱宽度 (m)	3-4	4	4-5
允许顶板下沉量 (mm)	≤50	≤40	≤30
塑性区控制深度 (m)	≤1.5	≤1.2	≤1.0

### (三) 关键结构参数量化优化

针对贵州簸箕田金矿中等稳定中厚矿体，技术团队通过FLAC<sup>3D</sup>软件构建三维地质模型，模拟对比上向进路充填采矿法下3组不同参数组合（高度2.5m×宽度5m、高度3m×宽度6m、高度3.5m×宽度7m）的应力分布、位移变化及稳定性差异，最终确定最优参数为采场高度3m、宽度6m，该参数组合下采场最大主应力仅18MPa，应力分布均匀，稳定

性满足I级评价要求。贵州某“三软”金矿针对稳定厚大矿体，经多轮数值模拟分析得出两组最优参数方案，分别为采场宽4.5m×高15m和宽5m×高13m，采场长度统一设定为100m，既保证采矿设备的充足作业空间，又将塑性区范围控制在1m以内，有效规避稳定性风险。对于采用浅孔留矿法的中小型金矿，技术团队通过粗糙集理论筛选影响稳定性和效率的关键参数，再经响应曲面法构建参数与目标函数的映射

关系,最终确定最优参数组合为矿房长度 60m、矿房宽度 4m、顶柱宽度 5m、底柱宽度 4m、间柱宽度 6m,该组参数经验证,可使资源回收率提升至 82%,单采场月产能提升 27%,能有效平衡稳定性、生产能力和成本三大核心目标。

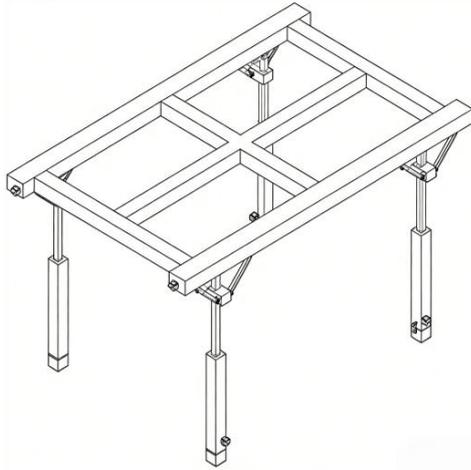


图1 联合支护措施示意图

### 三、优化方案验证与应用效果

#### (一) 工业试验设计与实施

为验证优化方案的可行性和可靠性,优化方案的工业试验采用“分区对比、实时监测”的方式开展,选取地质条件具有代表性的贵州簸箕田金矿和贵州某“三软”金矿作为试验载体<sup>[3]</sup>。在贵州簸箕田金矿,选取2个地质条件一致的采场作为试验组和对照组,对照组采用传统参数,试验组按照优化后的采场高度 3m、宽度 6m 参数,采用上向进路充填采矿法进行工业试验。试验过程中在采场顶板、两帮布设 20 个应力监测点和 15 个位移监测设备,实时跟踪采场顶板下沉量、应力变化及塑性区发展情况,监测频率为每 2 小时 1 次,持续监测周期为 3 个月。贵州某“三软”金矿在 100m 长的同一采场中,沿走向划分为两个试验段,分别应用 4.5m×15m 和 5m×13m 两组优化参数,同步监测生产效率、充填效果和稳定性指标,并设置传统参数试验段作为参照。试验实施过程中,严格遵循优化方案的采矿工艺要求,配套完善锚网喷支护+锚索加固的联合支护措施和分区通风、分级排水系统(见图 1),确保试验过程的安全可控。安排专业技术人员全程跟踪记录试验数据,对异常数据及时核查校准,确保试验

数据的真实性、准确性和可靠性,为优化方案的科学验证提供扎实的现场数据支撑。

#### (二) 安全性与经济性评价

基于工业试验获取的现场监测数据,对优化方案开展系统的安全性及经济性评价,结果显示,优化后的采场结构参数显著提升复杂金矿开采的安全性及经济性<sup>[4]</sup>。安全性评价方面,采用浅孔留矿法优化参数的金矿,年安全生产事故数由优化前的 8 起降至 2.6 起,降幅达 68%,采场顶板下沉量控制在 35mm 以内,远低于 80mm 的允许限值,塑性区范围较优化前缩小 30%以上,岩体稳定性评价等级由优化前的 III 级提升至 II 级;贵州簸箕田金矿试验采场在 3 个月的试验周期内,未出现顶板坍塌、片帮等安全问题,应力分布均匀且最大应力值控制在岩体承载极限以内,作业人员安全保障水平大幅提升。经济性方面,优化方案成效尤为显著,统计数据显示,采用优化参数的矿山采场生产能力平均提高 27%,单采场月产能由优化前的 950t 提升至 1200t,采矿生产成本降低 19%,由优化前的 198 元/t 降至 160 元/t。

#### 结语

本文针对复杂地质条件金矿采场结构参数优化开展系统研究,分析地质现状明确核心制约因素,构建“分类适配+量化模拟”的优化技术体系,经工业试验验证,优化方案可显著提升采场稳定性、生产效率与资源回收率,降低采矿成本,实现安全与经济协同提升。研究提出的参数优化思路与推广建议,对同类复杂金矿具有较强的适用性。

#### [参考文献]

[1]刘大可,张浩强,郭翔,等.帕鲁特金矿破碎矿体嗣后充填采矿法采场结构参数优化[J].矿业研究与开发,2025,45(01):32-40.

[2]王云生.三山岛金矿西山深部北区矿体采场结构参数优化[J].黄金,2024,45(09):17-22.

[3]高锋辉.复杂地质条件下采场结构参数多目标优化与实践[J].矿业研究与开发,2024,44(08):56-64.

[4]苏永定,刘奇,陈继伦,等.佩吉铜金矿采矿方法优选及现场工业试验[J].采矿技术,2024,24(03):50-55.