

Application and Cost Control Analysis of Fill Mining Method in Metal Mines

Hong Luo

Yunnan Diqing Mining Development Co., Ltd., Shangri La, Diqing, 674400, China

Abstract

Cut-and-fill mining method is currently the most commonly used mining method in the mining process. By dividing and mining the mining area, the space can not only ensure mining efficiency but also take into account both efficiency and safety, greatly increasing mineral profits. However, the creation of mine profits requires not only revenue generation but also cost reduction. At present, the problem of cost control in mineral mining still plagues most enterprises. By analyzing the cost control issues in the mine mining process, this paper identifies that the current problems troubling enterprises lie in three aspects: the excessively high proportion of material costs, the lag of filling behind mining, and the imperfect cost accounting system. Through the analysis of these problems, this paper seeks better solutions for cost reduction and efficiency improvement. At the technical level, it improves applicability and efficiency to reduce costs; at the process level, it conducts full-chain collaborative cost control; at the policy and management level, it provides support for cost reduction and efficiency improvement. It is hoped that the research in this paper can provide support for the application of the cut-and-fill mining method.

Keywords

cut-and-fill mining; metal mines; cost control; application issues; solutions

充填采矿法在金属矿山中的应用与成本控制分析

罗鸿

云南迪庆矿业开发有限责任公司, 中国·云南 香格里拉 674400

摘要

充填采矿法是目前开采过程中最常用的开采手法。通过对矿区的划分开采,进行空间能够在既保证开采效率的同时又兼顾效率与安全,极大程度增加矿产收益。但矿场收益的创造不仅需要创收,还需要降本。目前矿产开采中的成本控制问题仍然困扰绝大部分企业。本文通过对矿山开采过程中成本控制问题进行分析,明确当前困扰企业的问题在于材料成本占比过高,充填滞后于采矿,成本核算体系不完善这三方面。通过对问题的剖析寻找降本增效的更优解。在技术层面,提升适用性与效率以降本;在流程层面,全链条协同控制成本。在政策与管理层面,辅助降本增效。希望通过本文的研究,能为充填采矿法的应用提供支持。

关键词

充填采矿法; 金属矿山; 成本控制; 应用问题; 解决方案

1 引言

充填采矿法在金属矿山的开采过程中具有鲜明的技术特点,具体如下:充填采矿法经常用于采空区但填充。通过填充能够抵御周围岩壁的压力,为井下作业提供安全的作业环境,同时保证采空区的生态环境不被破坏。通过填充采矿法,能够更好的矿体回收率,创造更高收益。同时,由于填充采矿的技术要求较高,其适用性也较为广泛。常用于开采难度较高的薄体矿,或者自己价值高,开采技术要求高的金属矿。

这样一来,成本就成为了制约充填采矿法发展的主要因素。本文通过聚焦充填采矿法的高成本,通过对目前充填采矿法高成本成因进行细致分析,寻找控制成本的更优解。提升充填采矿技术的经济价值,对推动矿山绿色可持续发展具有重要研究意义。

2 国内外研究与应用现状

充填采矿法在国内的应用经历了起伏,近年来随着对资源回收率、环境保护及安全生产的重视,其应用呈增加趋势,全国约有20多个金属矿山采用。在成本控制方面,国内矿山积极探索利用工业废料作为充填料,如锡矿山和会泽铅锌矿麒麟厂矿区使用不加水泥的粗粒级碎石充填料取代胶结脱尾泥砂充填料,降低了充填成本。此外,研发新

【作者简介】罗鸿(1989-),男,中国云南香格里拉人,本科,工程师,从事采矿技术管理,充填技术管理研究。

型胶凝材料也是成本控制的重要方向,如利用脱硫石膏生产矿山充填胶凝材料,相比传统水泥材料,成本可降低30%-50%,并已在多个矿山企业进行了产业化应用。

加拿大、美国、日本、瑞典等国家充填采矿法应用广泛且比重持续上升。20世纪80年代初,加拿大金属矿山地下开采中充填法的比重为35%-40%,瑞典的布利登有色金属公司70%的矿山用充填法开采,日本金属矿山使用充填法的比重从1956年的24.5%上升到1982年的43%。加拿大已有12座矿山采用膏体充填工艺,如Williams矿使用DELVO稳定剂用于块石胶结充填工艺,提高了充填体强度和生产效率。

3 充填采矿法在金属矿山中的应用现状与技术框架

3.1 主流充填采矿法类型及应用场景

胶结充填采矿法,材料以尾砂、河砂等为骨料,掺入水泥、专用胶凝剂等胶结材料,按比例混合形成具有一定强度的胶结充填体。适用于高价值,要求矿石回收率高,贮藏条件复杂,或者有特殊开采需求的矿体,如金矿、铜矿、镍矿等;废石充填采矿法,材料通常以矿山开采过程中产生的废石为主要材料,或直接采用干式堆存、水力输送堆积。适用于铁矿、铅锌矿等,矿石价值较低,需严格控制采矿成本,且矿体规模较大、埋深较浅的矿区;膏体充填采矿法,材料以尾砂为主要骨料,掺入水泥、粉煤灰及少量添加剂,混合成含水率低、类似“膏体”的黏稠流体。常适用于位于水源保护区、生态敏感区的矿山,需避免充填废水外排的矿区。或是适用于深部高应力矿山、采空区形态不规则,小空间较多的矿区。

3.2 成本构成及控制逻辑

主要分为直接成本和间接成本两部分。直接成本,主要包括充填过程中用到的胶凝材料、骨料等填充材料。此外充填过程中需要用到的充填设备,设备的自身价值,设备使用过程中的设备能耗,设备折旧等参与到充填环节中的生产物料。同时人工成本也是直接成本中的重要一环。间接成本,主要包括充填工艺的学习,培训。同时充填工艺的各个环节,比如输送、浇筑、养护环节的话费。除生产成本外的管理成本,为符合环保要求而做的矿区环保,开采后的环境恢复。

上述两点不难发现,成本控制核心是在保证充填效果的前提下,降低全流程成本。这样才能做到降本增效。

4 充填采矿法应用与成本控制的现存问题

4.1 技术应用层面的问题

充填体性能与成本匹配失衡。其失衡主要反映在,为达到提高效用的实际能力的目的,盲目增加成本或为刻意降低成本造成的隐患。矿山为避免地压风险,盲目提高胶凝材料掺量,甚至超出设计强度需求的一半以上,由此导致每年

增加巨额成本。低品位矿体矿山为压缩成本,过度降低胶凝材料用量,充填体强度降至两倍有余,无法支撑围岩压力矿区因此出现采空区顶板局部垮落,不仅需要额外投入额外成本进行加固处理,更有甚者造成停产,影响收益。工艺与矿山条件适配性差。主要表现在复杂地质下的效率与质量瓶颈在地下水丰富的矿山如某铅锌矿水压较高,而传统水力充填工艺因浆体遇水稀释,压力不够,需二次注浆补强,返工导致成本增加。同时,二次填充也导致了填充管道受到的压力增加,容易破损,增加成本。此外,破碎围岩矿山的采空区形态不规则,可能存在多处裂隙,容易造成管道堵,直接影响采矿进度,进而导致收益受损。自动化程度低。主要反映在,自动化设备投入不足,中小型矿山受成本限制,未配备智能配比系统、在线压力传感器、自动养护监测设备等,仍依赖传统人工操作。

4.2 成本控制层面的突出问题

材料成本占比过高,材料价格波动大,缺乏动态价格监测机制,未能提前预判市场趋势;采购渠道单一,过度依赖常用供应商,议价能力弱,难以通过多渠道比价平抑价格风险;未与供应商签订长期保价协议,面对突发涨价只能被动接受。用料粗放,预算材料不够使用,进而增加成本。

充填滞后于采矿。采矿班组按计划完成当日掘进任务,形成采空区需及时充填支护,但充填班组因设备检修、材料短缺或进度计划偏差,未能同步作业,导致采空区闲置。

成本核算体系不完善。成本核算在空间、工艺维度的划分不够清晰,数据整合也存在明显不足,使得成本分析缺乏精准性和系统性。没有按照不同采区进行明确的成本单元划分,无论是浅部还是深部采区,其地质条件、开采难度存在差异,对充填材料的需求和消耗自然也不相同,然而成本核算时却将这些不同区域的消耗混在一起统计,难以察觉不同采区在材料使用上的成本异常。工艺维度上,各类充填工艺在实际应用中成本差异本就明显,不同工艺所投入的材料、设备、人工等成本各有不同,但在成本核算中并未对这些工艺的成本进行单独区分和统计,这就导致无法合理判断那些成本较高的工艺是否具有应用的必要性,也难以对不同工艺的性价比进行有效对比。

4.3 降本措施盲目性的后果

由于无法精准定位高成本环节,降本举措常陷入“一刀切”的误区,比如为降低水泥用量,盲目削减所有采区的水泥掺量,结果造成浅部采区强度过剩形成浪费,而深部采区因强度不足需二次充填修补,反而推高了总成本;又如试图通过减少设备维护频次压缩开支,却因设备故障停机引发生产中断,最终导致更大损失。同时,因缺乏成本差异分析能力,难以识别“隐性浪费”,使得那些未被关注的细节损耗长期存在,比如某采区因设备老旧导致材料混合不均、特定工艺下出现能耗异常等,持续侵蚀成本控制的成效。

5 基于问题的应用优化与成本控制解决方案

5.1 技术层面：提升适用性与效率以降本

在充填作业成本控制中，材料优化与工艺改进是核心突破口。通过开发低成本替代材料可显著降低采购支出，例如利用粉煤灰、矿渣等工业废渣部分替代水泥；将尾砂与废石按合理比例混合作为骨料，既能解决废石堆积问题，又能替代传统砂石，进一步压缩原料成本。同时，需基于矿体特性定制配比，通过调整灰砂比在保证基础强度的前提下降低材料消耗，实现强度与成本的平衡。工艺适配性改进可从源头减少浪费与返工，针对高水压矿山研发抗渗性充填材料，能降低地下水对充填体的侵蚀，减少后期维护费用；对破碎围岩采用纤维增强充填体，可提升充填体韧性，降低巷道变形导致的二次充填成本。此外，引入自动化设备是增效降本的关键，智能配比系统通过精准计量和动态调整，能提升材料利用率。

5.2 流程层面：全链条协同控制成本

在流程协同与成本管控层面，数字化与精细化手段是降本增效的关键。建立数字化协同平台可打破采矿与充填环节的信息壁垒，通过实时同步采矿进度、空区形态与充填计划，实现设备调度、人员安排的动态匹配，从源头上减少因信息滞后导致的设备闲置与工期延误。同时，优化充填顺序能显著降低安全管控成本，采用分区充填、阶段充填等模式，可缩短单个空区的暴露时间，减少围岩失稳风险，降低支护材料消耗与安全监测投入。

成本精细化管理需从全链条发力，构建全流程成本核算模型，将材料消耗、设备能耗、人工工时等成本项按采区、工艺、环节细分，精准定位高成本节点，比如通过数据对比发现某采区胶凝材料单耗远超平均值，进而追溯至配比误差或设备计量问题。引入动态成本监控系统则能应对市场波动，实时追踪水泥等原材料的用量与单价，当价格上涨时自动触发预警，推动及时切换工业废渣等替代材料，避免成本被动上升。

5.3 政策与管理层面：辅助降本增效

政策与管理层面的辅助同样不可或缺。积极利用绿色矿山政策，通过废石充填、尾砂资源化利用等技术路径申请资源综合利用补贴，如符合条件的企业可享受环保税减免、固废处理补贴，降低隐性成本；同时，加强技术培训能提升操作人员的专业能力，通过实操训练、工艺考核等方式，减少因设备操作不当、配比错误引发的材料浪费与返工成本，例如让搅拌站操作人员熟练掌握智能配比系统，可将人工误差导致材料浪费率降低10%以上。通过流程协同、精细

管控与政策借力的多维度结合，既能压缩显性成本，又能化解隐性浪费，形成降本增效的长效机制。

6 结语

充填采矿法应用中，成本控制的核心问题集中在三个维度：材料层面，胶凝材料价格波动大且用量控制粗放导致成本占比过高；工艺层面，适配性不足与自动化程度低引发返工浪费及效率损耗；协同性层面，采矿与充填环节脱节造成设备闲置和工期延误，间接成本攀升。针对这些问题，解决方案的关键在于：通过工业废渣替代水泥、定制化配比等材料创新降低原料成本；借助数字化协同平台与优化充填顺序强化流程衔接，减少资源浪费；依托全流程成本核算模型与动态监控实现精细化管理，精准定位并解决高成本环节。技术优化与成本控制的深度结合，不仅能显著提升充填采矿法的经济性，更能增强其在复杂地质条件下的适用性与稳定性，为矿山企业创造更高效益的同时，推动该方法在绿色矿山建设中的广泛推广，实现资源高效利用与成本合理控制的双赢。

未来，充填采矿法成本控制将向智能化、一体化、精准化升级。替代材料性能提升重塑成本结构，物联网与AI驱动全链条自主决策，设备利用率大幅提高；大数据支撑成本闭环管理，结合绿色政策红利，推动环保成本向收益转化。这将释放其在资源回收、安全、环保上的优势，拓展至更多矿山，成为绿色采矿主流，助力矿业可持续发展。

参考文献

- [1] 凡口铅锌矿充填法采矿的发展与实践[J].赖应成,吴爱祥,王黎明,陈宾.矿业工程,2007(01)
- [2] 红透山铜矿采矿方法的现状与发展[J].张钦礼,王新民,肖卫国.有色金属(矿山部分),2004(01)
- [3] 锡矿山南矿一步骤采场废石胶结充填技术研究与应用[J].王文才,李江,刘四清,陈寿如,邓红卫.矿业工程,2011(03)
- [4] 会泽铅锌矿麒麟厂矿区充填法采矿成本分析与控制[J].王勇.现代矿业,2013(08)
- [5] 脱硫石膏基胶凝材料在矿山充填中的应用研究[D].袁亮.武汉理工大学,2014
- [6] 加拿大矿膏体充填技术的新发展[J].刘同有.有色金属(选矿部分),2002(S1)
- [7] The Application of Paste Fill in Williams Mine[J].Y. P. Li,G. H. Peng. International Journal of Mining Science and Technology, 2006(02)
- [8] Use of DELVO Stabilizer in Waste Rock Backfill[J].B. F. Lottermoser. Engineering and Mining Journal,1994(05)