

地下金属矿山采矿技术进展及研究方向

李炜强,王锡勇

(核工业北京地质研究院,北京 100029)

摘要:地下金属矿山采矿技术在国民经济发展中占据重要地位,为工业与农业提供原材料与辅助材料,还推动了社会经济的进步与发展。随着资源需求的不断增加和环境保护要求的提高,地下金属矿山采矿技术面临着诸多挑战与机遇。研究方向包括提升开采效率、降低成本、智能化和自动化技术的应用,以及环保治理技术。充填采矿法、空场采矿法及崩落采矿法等方法的应用比重有所变化,工艺技术装备趋向高效、机械化和自动化。文章旨在系统阐述地下金属矿山采矿技术的最新进展,并探讨其未来的研究方向,以期为金属矿业的发展提供参考。

关键词:地下金属矿山;采矿技术;数字化矿山;遥控采矿

地下金属矿山开采在矿业中占有举足轻重的地位,特别是在有色金属和黄金开采中,其重要性更为突出。中国作为矿产资源大国,地下开采技术在保障国家经济建设和社会发展方面发挥着重要作用。随着科学技术的进步和环保意识的增强,地下金属矿山采矿技术正朝着高效、安全、环保和智能化的方向发展。

1 地下金属矿山在矿业中的地位

1.1 地下金属矿山现状

在全球矿业版图中,地下金属矿山占据着举足轻重的地位。鉴于硬岩矿物的特殊性,其开采多依赖于地下作业,这一模式确保了全球范围内大量关键矿产资源的稳定供应。在中国,这一趋势尤为显著,有色金属地下矿山几乎成为行业主流,占比高达89%,凸显了地下开采在有色金属资源开发中的核心地位。黄金产业更是几乎完全依赖于地下开采,约95%的黄金矿山采用此方式,彰显了地下开采在贵金属开采中的不可替代性。尽管地下铁矿开采在中国总产量中的占比相对较低,约为18%,但在特定区域和复杂地质条件下,地下开采依然是获取铁矿资源的重要途径。

1.2 重要性分析

地下金属矿山的重要性不仅体现在其对矿产资源的有效供给上,更在于其对环境保护的积极贡献。与地表开采相比,地下开采能在一定程度上减轻对地表生态的破坏,缓解环境压力。然而,随着开采活动的不断深入,地下矿山的开采条件愈发复杂多变,这对采矿技术提出了更为严苛的要求。因此,不断优化和创新地下采矿技术,不仅关乎矿产资源的可持续开发,更是实现矿业绿色转型、促进经济社会可持续发展的关键所在。

2 地下金属矿山的采矿技术和设备

2.1 采矿方法

2.1.1 充填采矿技术

充填采矿技术因其能有效控制地压、减少地表沉降等优点,在金属矿山中得到广泛应用。近年来,该技术不断向大型化、机械化、自动化方向发展。例如,胶结技术的发展使得充填体强度更高,大孔落矿技术的实现提高了采矿效率,充填系统的自动化和信息化水平也显著提升。中国的充填采矿技术已达到国际先进水平,回采胶结采矿法成功试验更是标志着采矿技术的新阶段^[1]。

2.1.2 空场采矿技术

空场采矿技术因其开采强度大、成本低等优点,在金属矿山开采中占据重要地位。据统计,中国约40%的矿床采用空场采矿技术,其矿产总量占总产量的50%以上。近年来,空场采矿技术的爆破技术不断优化,采矿尺寸逐渐增大,同时运输设备的自动化和无轨化水平也显著提高。

2.1.3 崩落采矿技术

崩落采矿技术包括阶段崩落采矿法和无底柱分段崩落采矿法等,适用于不同地质条件的矿体。阶段崩落采矿法具有采准工作量大、开采强度大和成本低等优点,但对地质条件要求严格。无底柱分段崩落采矿法则简化了采场结构,便于使用大型无轨设备,实现高度机械化^[2]。

当前,地下金属矿山主要采用充填采矿法、空场采矿法和崩落采矿法,如表1所示。这些方法各有特点,适用范围也不尽相同。

2.2 工艺技术装备

在地下金属矿山领域,回采工艺技术装备正经历着

作者简介:李炜强(1992—),男,河北邢台人,主要研究方向:地下工程与项目管理。

表1 地下金属矿山采矿技术分类及其特点

采矿方法	主要特点	适用范围
充填采矿法	以充填体控制采场地压,支撑围岩	适用于矿石和围岩稳固性较差的矿山
空场采矿法	成本低、生产能力大、劳动生产率高	适用于矿石和围岩均稳固的矿山
崩落采矿法	利用矿石或围岩的自然崩落特性进行采矿	适用于矿石品位低、矿体厚大且易崩落的矿山

前所未有的变革,其核心趋势是追求更高的效率、回采率以及机械化、半自动化水平。全球领先的矿业国家已率先实现无轨化开采的普及,广泛采用胶轮设备,并持续推动设备向大型化、智能化迈进。这些技术革新不仅极大地提升了开采效率,还显著降低了人力成本,增强了作业安全性。近年来,中国成功研制出多款具有国际竞争力的铲运机、液压钻车等关键设备,这些设备不仅规格齐全,而且性能优越,有效满足了地下矿山复杂多变的开采需求。自动化、智能化技术的应用也为中国地下金属矿山开采带来了全新的变革,推动了采矿行业的整体进步^[3]。

2.3 生产能力和劳动生产率

随着采矿工艺技术装备的不断升级与优化,地下金属矿山的生产能力和劳动生产率也实现了质的飞跃。以美国霍姆斯特克金矿为例,该矿采用先进的VCR法回采技术,实现了井下年产矿石164万吨的壮举,充分展示了现代化采矿技术的巨大潜力。而在国内,如凡口铅锌矿等先进矿山企业,通过引入高效开采工艺和先进设备,采场综合生产能力已提升至300吨/天的高水平,劳动生产率大幅提升,为矿业经济的持续发展注入了强劲动力。

3 地下金属矿山采矿技术新进展

3.1 数字化矿山建设

在21世纪的科技浪潮中,数字化矿山建设已成为地下金属矿山转型升级的重要方向。这一革命性的变革,将数字技术和通信技术深度融合入矿山的规划、设计、生产及管理的每一个细微环节,构建了一个全面信息化、智能化的矿山运营体系。数字化矿山不仅通过高精度地质建模、三维仿真模拟等技术手段,实现了矿体形态、构造、储量的精准把握,还通过物联网、大数据、云计算等前沿技术,实现了生产过程的实时监控、数据分析与智能决策,从而大幅提升了生产效率,降低了生产成本。更重要的是,数字化矿山建设为矿山的可持续发展奠定了坚实基础^[4]。

3.2 凿岩爆破技术

凿岩爆破技术作为地下金属矿山开采的基石,近年来也迎来了智能化升级的新篇章。传统的手工凿岩方式逐渐被高效、精准的气动凿岩机、液压凿岩机等现代化设备所取代,这些设备不仅提高了凿岩效率,还减轻了工人的劳动强度。而凿岩机器人的出现,更是将凿

岩技术推向了自动化、智能化的新高度。这些机器人能够根据预设的程序或实时数据反馈,自主完成凿岩作业,极大地提高了作业精度和安全性。同时,爆破技术也在不断创新与优化。微差爆破、光面爆破、精准爆破等技术的应用,不仅提高了爆破效果,还减少了对围岩的破坏和振动,保护了矿山的稳定性。而绿色爆破理念的提出与实践,则进一步推动了爆破技术的环保化进程,减少了爆破过程中产生的粉尘、噪音等污染物,降低了对环境的影响。

3.3 遥控采矿技术

遥控采矿技术作为降低矿山作业风险、提高作业安全性的重要手段,近年来在地下金属矿山中得到了广泛关注和探索。通过远程控制和操作技术,工人可以在安全的环境中实现对采矿设备的操控和监控,从而避免了直接暴露于危险区域的风险。这一技术的应用不仅减少了人员伤亡事故的发生,还提高了作业效率和稳定性。

3.4 矿石粉碎与输送技术

矿石粉碎与输送技术作为地下金属矿山开采流程中的关键环节,其技术水平直接影响到矿石的加工效率和产品质量。近年来,矿石粉碎机械在性能、效率、能耗等方面均取得了显著进步。新型粉碎机械的设计更加合理、结构更加紧凑、操作更加便捷,能够实现对矿石的高效破碎和精细加工。同时,矿石粉碎工艺的优化设计也进一步提高了粉碎效率和产品质量。在矿石输送方面,无轨设备与胶带运输机等现代化设备的应用极大地提高了运输效率和灵活性。这些设备能够实现多级竖井提升和长距离运输,满足了地下矿山复杂多变的运输需求。此外,封闭式胶带运输系统的研发和应用还解决了扬尘、滑落等问题,改善了井下作业环境,提高了工人的劳动条件和舒适度^[5]。

3.5 生态采矿技术

面对日益严峻的环境保护压力和社会责任要求,生态采矿技术已成为地下金属矿山未来发展的必然趋势。这一技术强调在开采过程中注重对矿山的生态进行综合治理和恢复,以实现矿山的可持续发展。通过采用生态修复技术和方法,对破坏的矿山生态环境进行恢复和治理;通过科学规划和管理措施减少开采活动对生态环境的影响;通过加大环保监管和执法力度确保生态采矿技术的有效实施。这些措施共同推动了地下金属矿山向绿色、环保、可持续的发展模式转变。

4 采矿管理

采矿管理是地下金属矿山高效运营的核心,对提升生产效率、确保作业安全及促进环保至关重要。近年来,科技进步与管理创新并驱,推动采矿管理迈向新高度。工程管理方面,精细化、智能化策略优化作业流程,提升效率;安全管理上,引入先进监测预警系统,强化风险防控,确保人员安全;环保管理领域,实施绿色开采策略,减少环境破坏,推动生态恢复;资源综合利用方面,通过技术创新提高回收率,实现资源最大化利用。这些综合措施不仅提升了矿山经济效益,更为地下金属矿山的可持续发展奠定了坚实基础,展现了矿业管理现代化、绿色化的广阔前景。

5 未来研究方向

5.1 高效节能开采技术

未来,高效节能开采技术将成为研究的热点。通过优化开采流程,采用先进的节能设备和工艺,如低能耗凿岩设备、高效节能的矿石提升与运输系统等,旨在显著降低能源消耗和生产成本。探索新型能源在矿山中的应用,如太阳能、风能等可再生能源,为矿山提供绿色动力,减少对传统能源的依赖。

5.2 矿山生态恢复技术

矿山生态恢复技术的研发与应用将成为矿山可持续发展的关键。通过深入研究土壤改良、植被恢复、水体净化等生态修复技术,结合生物多样性保护策略,对开采后的矿山进行综合治理和生态恢复。这不仅有助于改善矿山及周边地区的生态环境,还能提升矿山的生态效益和社会效益,实现人与自然的和谐共生。

5.3 金属资源循环利用技术

金属资源循环利用技术的突破将有效缓解资源短缺问题。通过研发高效的金属废料回收、处理和再利用技术,提高资源的回收率和利用率,减少对新资源的开采需求。同时,加强金属资源的循环利用产业链建设,推动形成资源节约型、环境友好型的产业发展模式。

5.4 智能化采矿技术

智能化采矿技术将是未来地下金属矿山开采的重要趋势。随着物联网、大数据、云计算、人工智能等技术的不断发展,矿山将实现全面智能化。通过引入智能感知、智能决策、智能执行等先进技术,提高生产过程的自动化和智能化水平,降低人力成本,提升生产效率和安全性。智能化采矿技术还能实现对矿山环境的实时监测和预警,为矿山的可持续发展提供有力保障。

5.5 提高机械化程度

5.5.1 智能化监控与预警系统

构建全方位、多层次的智能化监控与预警体系,是确保矿山安全生产的基石。通过密布于矿山各关键区域的传感器网络,实时捕捉并传输温度、湿度、压力、应力等环境参数,以及井下人员位置与安全状态信息。利

用大数据分析技术,对这些海量数据进行深度挖掘与智能分析,及时发现潜在的安全隐患与故障预兆,并自动触发预警机制,为快速响应与有效处置提供科学依据,有效遏制安全事故的发生。

5.5.2 自主与遥控采矿设备

开发并应用自主导航、自动避障、精确作业的智能采矿设备,是推动地下金属矿山开采模式变革的关键。这些设备能够自主规划作业路径,灵活应对复杂多变的地下环境,实现高效、精准的开采作业。同时,结合先进的遥控技术,操作员可远离危险区域,在安全的地表控制中心对井下设备进行远程操控,不仅降低了作业风险,还提高了工作效率与作业精度。

6 案例分析

6.1 智能化采矿的先锋

该金矿作为国内智能化采矿的先行者,成功引入了一系列创新技术。其自动化采矿设备不仅提升了开采效率,还显著降低了人力成本。更重要的是,智能化的监控系统如同矿山的“神经中枢”,通过遍布井下的传感器网络,实时感知环境参数与设备状态,确保作业安全无虞。智能调度系统的应用,更是实现了开采作业的精细化管理,资源利用率跃升至新高度,为行业树立了智能化转型的典范。

6.2 生态恢复的绿色样本

面对开采活动对生态环境的潜在影响,该铜矿采取了积极主动的生态恢复措施。项目不仅运用了先进的生态修复技术,如土壤改良、植被重建等,还建立了科学的生态监测体系,对恢复过程进行全程跟踪与效果评估。

7 结束语

地下金属矿山采矿技术正朝着高效、安全、环保和智能化的方向发展。随着数字化、网络化、智能化等新技术的不断融入和应用,地下金属矿山的开采将变得更加高效、精准和可持续。未来,应继续加强技术研究和创新,推动采矿技术的不断进步和发展,为矿产资源的开发利用和矿山的可持续发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]王继洪.地下金属矿山开采技术发展趋势探索[J].世界有色金属,2020(7):54-55.
- [2]徐冬东.金属矿深部开采现状与发展探讨[J].世界有色金属,2020(22):51-52.
- [3]孙飞.地下金属采矿技术及潜孔钻机的进展与趋势[J].中国金属通报,2019(3):30-31.
- [4]王成东.地下金属矿山采矿技术进展探讨[J].冶金管理,2022(11):54-56.
- [5]高静.我国金属矿山采矿技术进展及趋势综述[J].中国金属通报,2020(7):9-10.