

井下采矿技术与井下采矿的发展趋势研究

写 峰

呼图壁县西沟煤炭有限责任公司 新疆 昌吉 831100

摘 要：矿产资源作为支撑国家发展的重要基石，在工业生产、能源供应等诸多领域扮演着不可或缺的角色。本文聚焦于井下采矿技术与井下采矿的发展趋势。阐述了井下采矿技术具有技术类型多样、复杂程度高、更新速度快等特征。详细介绍了深井开采技术、缓倾斜开采技术、井下支护技术、充填采矿技术、崩落采矿技术等井下采矿技术。同时，指出井下采矿技术呈现出采矿设备大型化、采矿技术智能化、井下开采绿色化的发展趋势。研究结果对深入理解井下采矿技术及把握其未来发展方向，推动井下采矿行业的发展具有重要意义。

关键词：井下采矿；技术；发展趋势；研究

引言：随着经济社会的持续发展，对矿产资源的需求不断增加，井下采矿作为获取矿产资源的重要方式，其技术水平和发展趋势备受关注。井下采矿面临着诸多挑战，如地质条件复杂、安全风险高等，这对采矿技术提出了更高要求。当前，井下采矿技术在不断革新，新的技术和方法不断涌现。了解井下采矿技术的特征，掌握其发展趋势，对于提高采矿效率、保障采矿安全、实现可持续发展至关重要，因此有必要对井下采矿技术与发展趋势展开深入研究。

1 井下采矿技术特征

1.1 技术类型多样

井下采矿技术的多样性源于矿体复杂的赋存条件。不同矿床的地质结构、矿石性质、埋藏深度差异巨大，催生了多种适配技术。例如，面对深部高价值矿体，采用充填采矿技术确保安全与高回采率；矿岩稳固性好的矿体则适用崩落采矿技术实现大规模开采。此外，还有针对缓倾斜矿体的开采技术、联合多种单一技术的综合采矿技术等。这些技术相互补充，满足了各类复杂开采场景的需求，为不同条件下的矿产资源开发提供了技术保障，共同构成了井下采矿丰富的技术体系。

1.2 技术复杂程度高

井下采矿技术复杂程度高，受作业环境与安全要求双重制约。作业环境通常处于地下数百米甚至数千米，面临高温、高湿、高应力等恶劣条件，还伴随瓦斯、水害、顶板坍塌等安全隐患。技术实施涉及矿体开采、巷道掘进、通风排水、支护加固等多个环节，每个环节都需精准把控。如巷道掘进要依据地质条件选择合适设备与工艺，通风排水系统需精确计算参数。同时，该技术融合地质学、岩石力学、机械工程等多学科知识，技术人员需综合运用解决复杂问题，进一步提升了技术的复

杂性。

1.3 技术更新速度快

井下采矿技术更新迅速，是科技发展与行业需求共同作用的结果。一方面，新材料、新设备、新工艺不断涌现，为技术革新提供动力，如新型支护材料提升巷道稳定性，自动化设备提高开采效率。另一方面，环保要求与资源高效利用需求迫切，促使企业研发绿色采矿技术，如充填技术优化、无废开采技术创新；同时，市场竞争也倒逼企业加大研发投入，通过技术创新降本增效。在多方因素推动下，井下采矿技术持续迭代升级，以适应不断变化的行业发展需求^[1]。

2 井下采矿技术

2.1 深井开采技术

深井开采技术是应对矿产资源深部开发需求而生的关键技术。当开采深度超过800米，矿山便进入深井范畴，面临高地应力、高温热害、高井深提升等严峻挑战。高地应力易引发岩爆、巷道变形等灾害，高温环境则严重影响作业人员安全与设备运行稳定性，而高井深提升难度大、效率低，增加开采成本。为此，深井开采技术从多方面突破：在应力控制上，采用合理的开采顺序与采场结构设计，缓解应力集中；通过制冷降温系统与强化通风技术，改善高温作业环境；借助新型高强度支护材料和智能监测系统，实时监控巷道稳定性。同时，先进的提升设备与自动化开采工艺的应用，大幅提高矿石运输效率与开采安全性。

2.2 缓倾斜开采技术

缓倾斜开采技术主要应用于倾角在8°-25°之间的缓倾斜煤层或矿层开采。其核心原理是基于缓倾斜矿体的空间赋存特征，通过优化工作面布置与开采工艺，实现资源高效、安全开采。在实际应用中，常采用长壁式采煤

法或综合机械化开采设备,配合液压支架、刮板输送机等,形成“采、装、运、支”一体化作业流程。该技术具有显著优势,相较于急倾斜开采,缓倾斜开采时设备稳定性更高,人员作业安全性提升约30%,开采效率也能提高20%-25%。例如,在某大型煤矿缓倾斜煤层开采中,采用大采高综采设备,单班产量可达2000吨,较传统工艺提升近一倍。此外,缓倾斜开采能有效减少煤炭损失,资源回收率可达到85%以上,同时降低顶板垮落、片帮等事故风险。

2.3 井下支护技术

井下支护技术是保障地下矿井、隧道等工程安全施工的关键举措,旨在防止围岩坍塌、控制岩体压力,为作业人员营造安全稳定的环境。依据不同的分类标准,该技术类型多样,按支护材料划分,有木支护、金属支护、混凝土支护等;以支护方式区分,则涵盖被动支护与主动支护。木支护成本较低且安装便捷,适用于临时性、浅部巷道或地压较小区域,但强度有限,易腐朽。金属支护凭借高强度与良好可缩性,在深井、高地压巷道表现出色,像U型钢可缩性支架,能有效应对围岩变形。混凝土支护稳定性佳,常用于永久巷道与硐室,可采用现浇或预制混凝土构件。在实际作业中,需先详细勘察矿井内地质、水文、瓦斯等环境因素,以此为基础,挑选适配的支护材料与设备。施工时,先进行临时支护保障安全,再依次开展锚杆(索)安装、喷射混凝土、注浆充填等作业。

2.4 充填采矿技术

充填采矿技术是在回采过程中,将充填料填充至采空区的一种采矿方法。其核心目的在于对采空区进行有效支护,抑制围岩变形垮落,控制地压活动,同时为后续回采作业构建稳定的工作平台,进而保障开采作业安全,降低矿石损失与贫化率。该技术应用场景广泛,尤其适用于矿石与围岩稳定性欠佳、不允许出现大面积暴露面的矿床,像某些地下开采的有色金属矿;对地表保护有严格要求的区域,如城市下方或生态敏感区的矿产开采;以及稀有贵金属、高品位矿床的开采,可确保资源高回收率。按充填料与输送方式,其分为干式充填、水砂充填、尾砂充填、胶结充填等。干式充填多采用废石,成本低但效率不高;水砂与尾砂充填利用选矿尾砂等,环保且经济;胶结充填则添加水泥等胶凝材料,使充填体强度更高,适用于对支护要求严苛的环境。在某金矿开采中,采用下向进路胶结充填法,有效控制了地压,矿石回采率达90%以上,贫化率控制在10%以内,显著提升了资源利用率,减少了对周边环境的影响,充分

展现了充填采矿技术的优势。

2.5 崩落采矿技术

崩落采矿技术,即在回采进程中,不区分矿房与矿柱,伴随回采工作面推进,借由强制或自然方式,使围岩崩落并充填采空区,以此实现采场地压管理。其优势显著,能有效管控地压,减少岩爆等地质灾害,提升采矿作业安全性;可实现单步骤连续回采,提升采矿效率,降低采矿成本。该技术涵盖单层、分层、分段及阶段崩落采矿法等类型。单层崩落采矿法,适用于开采顶板不够稳固、厚度不大的缓倾斜层状矿床,回采工作在假顶保护下开展;分层崩落采矿法,曾因木材消耗大、工序繁杂、劳动生产率低等缺陷,应用比例逐步降低;分段崩落采矿法与阶段崩落采矿法,崩落矿石直接被崩落岩石覆盖或包围,放矿时需科学管理,防止岩石过早混入矿石。崩落采矿技术应用广泛,适用于各类地下矿产资源开采,尤其是开采深度大、地压高的矿体。像地下开采的中、小型金属矿山,部分非金属矿山如石墨、萤石矿等开采也可采用。不过,使用此技术的必要前提是地表允许陷落,且由于在覆盖岩石下放矿,总体矿石损失与贫化率较高,一般不适用于高价、高品位矿床开采^[2]。

3 井下采矿技术的发展趋势

3.1 采矿设备大型化

在资源开采需求不断增长与矿山规模化发展的背景下,采矿设备大型化成为井下采矿技术的重要发展趋势。大型采矿设备凭借强大的作业能力与高效的生产效率,能大幅提升矿山产能。以矿用卡车为例,传统百吨级卡车运载量约100吨,而新型300吨级矿用卡车单次运载量提升2倍,配合大斗容电铲,每小时矿石运输量可达3000吨以上,有效减少车辆调度频次,降低人力与能耗成本。大型设备在技术与性能上持续升级。采用高强度合金材料与先进制造工艺,其结构强度与耐用性显著增强,例如大型液压支架工作阻力可达8000-10000千牛,能有效应对深部开采的高地压环境,设备使用寿命延长30%。同时,智能化控制系统的应用让大型设备操作更精准,如大型凿岩台车配备自动定位与钻孔系统,钻孔精度误差控制在 ± 2 厘米内,开采效率较小型设备提高40%。在某大型铜矿开采中,引入大型掘进机后,月掘进速度从150米提升至400米,为深部矿体开采提供有力保障。采矿设备大型化正推动井下采矿向高效、集约化方向加速迈进。

3.2 采矿技术智能化

在数字化浪潮的推动下,采矿技术智能化已成为井下采矿行业的重要发展方向。通过物联网技术,井下各

类设备与传感器互联互通,实时采集设备运行参数、矿体信息及环境数据,并上传至中央控制系统。例如,智能凿岩台车内置的传感器可自动监测钻孔深度、角度和钻压,结合地质数据调整作业参数,钻孔精度提升20%以上,有效提高开采效率与矿石回采率。人工智能与大数据分析的深度融合,让采矿决策更具科学性。基于历史开采数据与实时监测信息,AI算法可预测矿体变化趋势,优化开采路径与设备调度方案。无人驾驶矿用卡车能依据预设路线和实时交通状况自主规划行驶路径,避免碰撞风险,运输效率提升15%-20%。此外,智能安全监控系统利用图像识别、红外探测等技术,可快速识别井下人员违规行为、设备异常及安全隐患,如自动检测巷道顶板松动,及时发出预警,将事故发生率降低30%以上。智能化技术的应用不仅提高了采矿作业的安全性与精准度,还推动了矿山管理从经验驱动向数据驱动转型,助力行业实现高效、绿色与可持续发展。

3.3 井下开采绿色化

在“双碳”目标与生态保护政策的双重驱动下,井下开采绿色化成为行业发展的必然选择。一方面,绿色化聚焦于资源的高效循环利用,通过推广充填采矿技术,将选矿尾砂、废石等固废作为充填料回填采空区,既减少了地表废弃物堆积,又降低了采空区塌陷风险,部分矿山的尾砂利用率已超过80%。同时,采用先进的选矿工艺,提升矿石综合回收率,对伴生矿、低品位矿进行协同开发,使资源利用率提高10%-15%。另一方面,井下开采绿色化强调能源清洁化与污染控制。新能源设备逐步替代传统燃油机械,电动凿岩台车、纯电矿用卡车等装备的应用,可降低碳排放30%-50%,减少井下废气污染。在粉尘治理上,通过负压抽尘、喷雾降尘等技术,配合智能通风系统,将井下作业区域的粉尘浓度控制在安全标准内。此外,针对酸性矿井水,采用中和沉淀、膜分离等处理技术,实现废水循环利用,回用率可达70%以上,有效减少水资源浪费与环境污染,推动井下

开采向低碳、环保模式转型。

3.4 采矿工艺集成化

随着井下开采环境复杂性增加,单一采矿工艺已难以满足多样化的开采需求,采矿工艺集成化成为提升综合效益的关键路径。该趋势通过有机融合多种采矿工艺,根据矿体地质条件、开采技术要求等动态调整作业方案。例如,将崩落采矿法的高效破岩优势与充填采矿法的地压控制特性相结合,在矿体上盘稳定性差的区域优先采用充填工艺保障安全,在稳固区域运用崩落法提高开采效率,使矿石回采率提升10%-15%,贫化率降低8%左右。集成化还体现在开采全流程的协同优化。通过智能化调度系统,精准衔接凿岩、爆破、出矿、支护等环节,减少工序间的等待时间,使开采效率提高20%-30%。某大型金属矿山引入集成化采矿方案,将智能凿岩台车、自动装药设备与无人驾驶运输系统联动,实现从矿石开采到运输的全流程自动化,年开采量提升至原工艺的1.8倍。此外,集成化工艺通过数据共享与系统联动,还能实时监测开采过程中的安全隐患,及时调整工艺参数,为井下采矿的安全高效运行提供有力支撑^[3]。

结束语

井下采矿技术与发展趋势的研究,是推动矿业可持续发展的核心课题。从缓倾斜开采、井下支护等传统技术的革新,到设备大型化、技术智能化等前沿趋势的演进,每一次突破都提升了资源开采的安全性与效率。这些技术不仅满足了当前资源需求,更为深部、复杂矿体的开发提供了可能。

参考文献

- [1]吴先邦.金属矿层井下采矿技术及采矿的发展趋势探析[J].世界有色金属,2021(10):167+169.
- [2]曲展鹏,张硕.基于大数据背景的井下采矿技术发展趋势探究[J].科技与创新,2021(14):143+146.
- [3]王建芳.煤矿井下采矿技术存在问题及优化措施探讨[J].环境与可持续发展,2021,40(05):110-112.