

井下采矿技术与井下采矿的发展趋势研究

芦峰

铁岭县镇西堡镇综合事务服务中心 辽宁 铁岭 112000

摘要：随着经济的高速发展，对各类矿产资源的需求急剧增加，井下采矿作业在资源开发领域占据着核心地位。本文聚焦井下采矿技术及发展趋势这一重要议题，先是剖析了井下采矿技术的特点，详细介绍了如深井开采、缓倾斜开采、井下支护等常见井下采矿技术，阐述其原理与应用情况。接着探讨影响井下采矿技术发展的地质条件、资源市场、法规及创新能力等因素，在此基础上展望了智能化与自动化、绿色可持续、深部资源高效开发以及多技术融合协同创新等发展趋势，旨在为井下采矿行业的科学发展、高效作业及可持续进步提供参考依据。

关键词：井下；采矿技术；井下采矿；发展趋势；研究

引言：随着矿产资源在经济社会发展中的重要性日益凸显，井下采矿作为获取矿产资源的关键途径备受关注。井下采矿技术的优劣直接关乎采矿效率、资源回收率以及作业安全等诸多方面。然而，其发展受多种因素制约且面临不同挑战，同时也有着诸多新的发展趋势。因此，深入研究井下采矿技术特点、常见技术类型、影响发展的因素以及未来发展趋势，对于推动井下采矿行业高质量发展具有重要的现实意义。

1 井下采矿技术特点

1.1 技术类型多样

在我国，矿产资源开采技术发展迅速，但过去曾因盲目开采导致能源资源短缺、环境破坏和生态失衡等问题。井下采矿技术为适应不同的井下作业环境，发展出了多种类型的技术。例如长壁开采技术，在井下开采中广泛应用，具有操作简便、作业高效且安全的特点，尤其常见于煤矿开采领域。不同的矿产类型和开采环境需要不同的技术与之匹配，这使得井下采矿技术呈现出多样化的特点。这一特点有助于根据具体矿区的地质条件、矿产类型等因素，选择最适合的采矿技术，从而提高采矿效率和安全性。

1.2 工艺复杂

相较于露天采矿，井下采矿施工条件更为复杂，安全形势更加严峻。井下采矿是一项高难度的工作，需要投入大量的财力、人力和物力来保障井下安全作业。在井下采矿作业前，必须做好一系列的安全准备工作，不仅要保障作业人员的安全，还要确保施工设备的安全、高效运转。因为一旦设备发生故障，很可能引发坍塌、火灾等严重的井下采矿事故。这种复杂性要求采矿企业在技术应用过程中必须严格遵守安全规范，不断优化采矿工艺，提高安全管理水平。

1.3 技术更新快

随着时代的发展，井下采矿技术的更新换代不断加快。社会的进步促使采矿企业必须紧跟时代步伐，不断更新和完善采矿技术。例如，随着对矿产资源需求的增加以及开采深度的不断加深，传统的采矿技术逐渐难以满足生产需求。这就需要企业不断研发新的井下采矿技术，培养专业的技术人才，以在激烈的市场竞争中取得优势^[1]。

2 常见井下采矿技术

2.1 深井开采技术

随着开采深度的增加，地应力显著升高，围岩变形与破坏的风险急剧增大。在深井开采中，首先面临的是巷道支护难题。为应对高地应力，常采用高强度、高预紧力的锚杆锚索支护系统，结合新型支护材料，如超高强混凝土等，增强支护结构的承载能力与变形控制能力，以维持巷道的稳定性。地温升高也是深井开采的一大挑战。高温环境不仅影响作业人员的身体健康和工作效率，还会对设备的正常运行产生不利影响。因此，高效的降温技术不可或缺。这包括采用大型制冷机组进行集中降温，通过通风系统优化，如加大风量、降低风阻、采用多级机站通风等方式，实现井下热量的有效散发与空气的合理分配，使作业面温度保持在适宜范围内。深部矿石的提升运输难度也远超浅部。为解决这一问题，研发了大吨位、高速运行的提升设备，如箕斗提升系统的不断升级，同时优化提升井的设计与布局，提高提升效率，确保深部开采的矿石能够安全、高效地运输至地面，满足大规模深部采矿作业的需求。

2.2 缓倾斜开采技术

缓倾斜开采技术主要应用于矿体倾角在 5° - 30° 之间的矿山开采作业。这种开采技术具有其独特的工艺与要

求。第一，在采矿方法选择上，房柱式开采较为常用。该方法在矿体中按一定间距留设矿柱，以支撑采空区顶板，开采出矿房内的矿石。这种方式对于矿体顶板较为稳固、矿石价值相对较低且对回收率要求不是极高的矿山较为适用，具有工艺简单、成本较低、开采效率较高的优点，但矿柱的存在会导致一定的矿石损失。第二，长壁式开采法则适用于顶板稳定性较好、矿体连续性较强且厚度较为稳定的缓倾斜矿体。通过在矿体走向方向上布置长壁工作面，利用采煤机等设备进行采掘作业，同时配合液压支架进行顶板支护，并随着工作面推进，使顶板自然垮落或强制垮落。长壁式开采法能够实现较高的机械化程度和资源回收率，但对设备和技术管理水平要求较高，前期投资较大。

2.3 井下支护技术

井下支护技术对于保障采矿作业安全、维持井巷稳定起着关键作用。第一，传统的井下支护方式有木支护，它具有成本低、操作简便的特点，早期在一些小型矿山或临时支护场景中应用广泛，但因其强度有限、耐久性差，难以适应复杂恶劣的深部开采环境。金属支架支护随后兴起，如工字钢支架等，具有较高的承载能力，能有效抵抗围岩压力，可回收利用是其优势之一，但安装相对复杂且重量较大。第二，如今，锚喷支护成为主流技术。锚杆通过锚固力将围岩与深部稳定岩体相连，形成组合拱或组合梁结构，增强围岩的自承能力；喷射混凝土则能及时封闭围岩表面，防止风化、潮解等，同时与锚杆协同作用，进一步提升支护效果。对于高应力、破碎围岩等复杂条件，还会采用锚索支护，其长度较长、锚固力更大，能对深部围岩进行有效加固^[2]。

3 井下采矿技术发展的影响因素

3.1 地质条件

地质条件是井下采矿技术发展的关键基础因素。不同的地质构造如褶皱、断层、节理裂隙等会极大地影响采矿方法的选择与实施。复杂的地质构造可能导致矿体赋存不稳定，增加开采难度与安全风险，例如在断层附近，岩石破碎易引发坍塌事故，此时就需要更具针对性与灵活性的采矿技术和支护措施。矿石的性质包括硬度、韧性、品位分布等也至关重要。硬度高的矿石需要更强大的破岩设备与技术，而品位分布不均则可能影响开采的顺序与方式。此外，水文地质条件如地下水位高低、涌水量大小以及水质成分等，不仅关系到采矿作业的正常开展，还涉及到矿井的排水系统设计与设备选型，若涌水量大，就需要高效的排水设备与防水技术来确保井下作业安全与顺利进行。

3.2 资源需求与市场因素

从全球范围来看，随着工业的快速发展和新兴技术的兴起，对各类矿产资源的需求呈现多样化且不断变化的趋势。例如，新能源产业的蓬勃发展带动了锂、钴等稀有金属的需求猛增，促使井下采矿技术朝着更高效、更精准地开采这些资源的方向发展。市场价格波动直接影响着采矿企业的利润空间与投资决策。当某种矿产价格高涨时，企业有更多资金投入技术研发与设备更新上，以提高产量和回收率，如黄金价格上涨时，金矿企业会积极探索新的采矿工艺与选矿技术。而供需关系的变化也会促使企业调整生产规模与技术应用，供过于求时可能会促使企业采用低成本、高效率的采矿技术来维持竞争力，或者减少产量并探索资源综合利用技术，以拓展产品种类与价值。

3.3 安全与环境法规

安全与环境法规是井下采矿技术发展的重要约束与规范力量。在安全法规方面，政府对矿山安全生产标准不断提高，要求采矿企业在通风系统设计上必须满足井下空气质量要求，确保作业人员能呼吸到新鲜空气，防止有害气体积聚引发中毒事故；在粉尘治理方面，规定了严格的粉尘浓度限值，促使企业采用先进的除尘设备与技术，如高效的喷雾降尘系统、布袋除尘器等；对于提升运输系统，安全法规要求定期进行设备检测与维护，推动企业采用更可靠、更安全的提升设备与监控技术。在环境法规方面，对废水排放制定了严格标准，促使矿山企业研发废水处理与循环利用技术，减少对周边水体的污染；对于尾矿库建设与管理，法规要求具备完善的防渗、防溃坝措施，这推动了尾矿处理技术的创新，如尾矿干排技术的应用，以降低环境风险，这些法规的严格实施促使井下采矿技术朝着更安全、更环保的方向变革。

3.4 技术创新能力

技术创新能力是井下采矿技术发展的核心驱动力。企业和科研机构的研发投入水平直接决定了技术创新的资源基础。充足的资金投入能够支持科研团队开展前沿技术研究、购置先进实验设备以及进行大规模的现场试验。人才队伍建设情况关乎创新的质量与持续性，高素质的地质、采矿、机械、自动化等多学科专业人才能能够从不同角度攻克技术难题，例如地质专家能深入研究矿体赋存规律为采矿设计提供精准依据，机械工程师可研发更高效的采掘与运输设备。科研合作模式也极为关键，产学研一体化的合作模式能够整合各方优势资源，高校和科研机构提供理论研究与技术储备，企业提供实

践场地与市场需求信息,加速技术成果的转化与应用。强大的技术创新能力能够使井下采矿技术快速更新换代,提高采矿效率、降低成本、提升资源回收率,并增强在国际矿业市场中的竞争力,如一些先进的矿业国家凭借其卓越的技术创新能力率先开发出智能化、无人化采矿技术,引领全球井下采矿技术发展潮流^[3]。

4 井下采矿技术的发展趋势

4.1 智能化与自动化

在采掘环节,智能采掘设备可依据预先设定的程序或实时感知的地质数据自动调整开采参数,实现精准高效破岩与矿石采出,如智能凿岩台车能根据岩石硬度自动调节冲击频率与力度。运输方面,无人驾驶运输车辆借助高精度定位与导航系统,结合车联网技术,实现自主规划路径与避障,确保矿石和物料在井下的高效运输,通过大数据分析人工智能算法对整个采矿流程进行实时监控与优化调度,及时发现设备故障隐患并自动预警,提高生产连续性与安全性。智能通风系统可根据井下不同区域的人员分布、作业强度、有害气体浓度等因素自动调节风量与风速,为井下作业创造良好环境,最终达成提高生产效率、降低人力成本、减少安全事故的显著成效。

4.2 绿色可持续发展

在资源利用上,注重提高矿石回收率,采用先进的选矿工艺与设备,减少矿石在开采和加工过程中的浪费,同时加强对共伴生矿产资源的综合回收利用,如从铜矿中提取金、银等贵金属,提升资源价值。对于废弃物处理,研发新型充填材料与工艺,将尾矿、废石等充填回采空区,既控制地表沉降又减少废弃物排放对环境的污染,实现矿山开采与生态保护的平衡。在能源消耗方面,积极探索新能源在井下的应用,如利用太阳能、风能为部分小型设备供电,优化矿井通风系统降低能耗,并且加强对矿井水的循环利用,处理后用于井下防尘、设备冷却等,全方位打造绿色矿山形象,契合环保要求与社会可持续发展理念。

4.3 深部资源高效开发

深部资源高效开发是应对资源需求的关键路径。随着浅部资源的逐渐减少,深部资源开采面临高地应力、高温、高水压等恶劣环境挑战。为此,需研发新型高效破岩技术,如激光破岩、高压水射流破岩等非传统破岩

方法,提高破岩效率并降低能耗。在支护技术方面,开发适应深部复杂应力条件的高强度、高韧性支护材料与结构,如智能可变形支护系统,能够根据围岩压力变化自动调整支护阻力。提升运输系统也将迎来革新,研制大深度、高速、大容量的提升设备,优化提升工艺与井巷布局,减少矿石提升时间与成本,建立完善的深部开采安全监测与预警体系,利用微震监测、地应力监测等技术手段,实时掌握深部岩体的变形与破坏情况,提前防范地质灾害,保障深部资源开采的安全与高效。

4.4 多技术融合与协同创新

多技术融合与协同创新将为井下采矿注入强大动力。信息技术与井下采矿技术深度融合,如5G网络的低延迟、高带宽特性使井下设备实现实时远程精准控制,高清视频传输让井上人员对井下作业场景一目了然,便于远程指导与故障诊断。材料技术的进步为采矿设备提供高性能部件,如新型耐磨材料延长采掘设备使用寿命,轻质高强度材料便于设备运输与安装。能源技术创新助力矿山能源转型,除了探索新能源应用,还包括对传统能源利用效率的提升,如高效节能的电机驱动系统用于井下运输与采掘设备。生物工程技术也可能在未来有所应用,例如利用微生物浸出技术处理低品位矿石,提高资源利用率^[4]。

结束语

在未来井下采矿领域,智能化、绿色化、深部化与技术融合将引领变革。我们必须积极应对地质复杂、资源市场波动、法规约束及技术创新挑战。加大研发投入,培育创新人才,推动产学研协同。以绿色可持续为导向,优化资源利用与环境治理。借助多技术融合,提升开采效率与安全水平。

参考文献

- [1]耿建伟.井下采矿技术及井下采矿的发展趋势探析[J].科技传播,2014(4):72-72,70.
- [2]赵廷龙.井下采矿技术及井下采矿的发展趋势探究[J].科技展望,2017,27(24):151.
- [3]房义彬.谈井下采矿技术及井下采矿的发展趋势[J].民营科技,2014(1):63-65
- [4]刘建国.试论井下采矿技术及井下采矿的发展趋势[J].中国高新技术企业(中旬刊),2015(4):158-159.