

金属非金属地下矿山施工技术研究

林立合

中国华冶杜达矿业有限公司 河北 邯郸 056003

摘要：本文聚焦金属非金属地下矿山施工技术。阐述了其现状与意义，介绍了基本技术和关键技术及装备。深入剖析施工中的环保与安全问题，结合案例分析不同施工方法与技术的应用。旨在为地下矿山施工提供理论支持与实践指导，实现高效、安全、环保的施工目标，推动金属非金属地下矿山行业的可持续发展，提升资源开发利用水平，保障施工过程中的人员安全和生态环境，为行业的进步贡献力量。

关键词：金属非金属；地下矿山；施工技术；环保；安全

引言：随着工业化与城市化进程加速，金属非金属矿产资源需求猛增。地下矿山在资源开采中占据重要地位，其施工技术对资源开采效率、成本、安全及环保效果起着关键作用。通过杜达铅锌矿案例分析并深入研究金属非金属地下矿山施工技术，可提高资源开采效率，降低成本，保障生产安全，减少对环境影响，推动矿业可持续发展。为满足不断增长的资源需求，我们必须重视地下矿山施工技术的创新与优化，以实现高效、安全、环保的资源开采目标。

1 研究金属非金属地下矿山施工技术的意义

金属非金属地下矿山作为全球经济活动中不可或缺的一部分，其施工技术的研究与发展不仅关乎国家资源战略的实施，更直接影响到矿业企业的可持续发展、环境保护以及社会经济整体进步。如杜达铅锌矿是中国公司在巴基斯坦投资和运营的地下金属矿山，矿区位于巴基斯坦俾路支省南部拉斯贝拉地区的坎拉杰荒漠山谷中，矿山生产的铅锌精矿销往国内，是落实国家资源开发走出去发展战略的成功案例。

1.1 推动矿业技术进步

首先，金属非金属地下矿山施工技术的研究是推动整个矿业技术进步的关键驱动力。随着科技的飞速发展，新材料、新工艺、新技术层出不穷，为矿山开采提供了更多可能性。通过不断研发和应用先进的施工技术，如高效凿岩爆破技术、智能化采矿装备、远程监控与自动化控制系统等，能够显著提升矿山开采的机械化、信息化和智能化水平。这不仅提高了开采效率，还降低了生产成本，增强了矿业企业的市场竞争力。

1.2 提高资源利用效率

其次，优化施工技术对于提高资源利用效率至关重要。金属非金属矿藏往往深埋地下，地质条件复杂多变，传统的开采方式往往存在资源回收率低、浪费严重

的问题。而先进的施工技术，如精准爆破、充填采矿法等，能够更精确地控制开采过程，减少矿石贫化，提高资源回收率。同时，通过综合利用尾矿、废石等资源，还能实现废弃物的资源化，进一步提升资源利用的综合效益。

1.3 保障生产安全

安全生产是矿业发展的生命线。金属非金属地下矿山施工环境恶劣，存在诸多安全隐患，如顶板冒落、突水突泥、中毒窒息等^[1]。因此，研究并应用先进的施工技术，如安全监测预警系统、紧急避险系统以及高效救援装备等，能够显著提升矿山的安全管理水平，有效预防和减少安全事故的发生。这不仅保障了作业人员的生命安全，也为企业的稳定运行提供了坚实保障。

1.4 减少环境污染

随着环保意识的增强，矿业发展必须兼顾经济效益与环境保护。金属非金属地下矿山的开采活动不可避免地会对生态环境造成一定影响，如地表塌陷、水体污染、粉尘污染等。通过采用绿色开采技术，如生态恢复技术、污水处理回用技术、粉尘控制技术等，可以最大限度地减少对生态环境的破坏，实现矿业开发与环境保护的和谐共生。这不仅符合可持续发展的要求，也是企业社会责任的体现。

2 金属非金属地下矿山施工基本技术

2.1 金属矿开采技术

2.1.1 开拓方式

(1) 竖井开拓：竖井开拓适用于矿体埋藏较深、矿石品位较高且储量较大的情况。其主要优势在于竖井能够直接通达矿体，这为提升矿石和人员提供了高效的通道。在这种开拓方式下，可以实现较大的提升能力，满足大规模开采的需求。然而竖井开拓也存在一些明显的缺点。初期投资大，需要大量的资金用于竖井的建设和设备安装。

同时施工难度大,对施工技术和设备要求较高,建设周期也相对较长。(2)斜井开拓:斜井开拓适用于矿体倾角较缓或需沿矿体走向布置的场合。相比竖井开拓,斜井施工相对简单,投资较少。这是因为斜井的坡度相对较缓,施工过程中不需要像竖井那样面临巨大的深度压力。此外,斜井能利用自然坡度排水,在一定程度上降低了排水成本。但斜井的提升效率较竖井低,对于大规模开采的适应性相对较弱。(3)平硐开拓:当矿体赋存于地表附近,且地形条件有利时,可采用平硐开拓。平硐开拓具有成本低的显著优势,由于不需要进行大规模的地下挖掘工程,建设成本相对较低。同时运输方便,可利用地面的运输设备进行矿石和物资的运输。然而,平硐开拓受地形限制较大,只有在特定的地形条件下才能实施。如果地形条件不满足要求,就无法采用这种开拓方式。(4)斜坡道开拓:斜坡道开拓是随着地下矿山应用无轨自行设备而发展起来的,具有地表无需安装提升设备,井口布置简单,运行线路布置灵活的优点。其缺点是,因其坡度比斜井更小,到达相同的垂深,开拓工程量大,且无轨设备投资大,维修技术要求高。(5)联合开拓:采用前述两种或两种以上开拓方式的为联合开拓,多种开拓方式的联合应用能达到对地形、矿体赋存、围岩条件有更好的适应性。(6)案例分析:杜达铅锌矿采用斜坡道+混合竖井+提升斜井联合的开拓方式。矿山以100m中段为界,分为上部采区和下部采区,提升斜井承担100m中段以上矿石的提升,混合竖井承担100m以下各中段矿石以及人员、材料和废石的辅助提升。斜坡道为辅助斜坡道,仅作为安全出口和无轨设备进出井下的通道。矿山通风系统为混合竖井、提升斜井和斜坡道入风、回风斜井出风的对角式通风系统。

2.1.2 采矿方法

(1)崩落法:崩落法是通过爆破使矿体上方的岩石崩落,覆盖采空区,从而达到管理地压的目的。这种采矿方法适用于矿体稳固性差、厚度大的情况。其主要优势在于能够有效地处理地压问题,确保采矿过程的安全性^[2]。但崩落法也存在一些明显的缺点,其中最为突出的是矿石损失贫化较大。由于岩石的崩落不可避免地会混入矿石中,导致矿石的质量下降,同时也会造成一定程度的资源浪费。(2)充填法:充填法在开采后,及时用废石、尾砂等材料充填采空区,以控制地压并减少地表沉陷。这种方法具有多方面的优点。首先,它能有效提高资源回收率,最大限度地减少资源的损失。其次,充填法对环境的保护作用较为显著,通过充填采空区,可以减少地表沉陷等地质灾害的发生,降低对周边环境的影响。但是充填法的成本较高,需要投入大量的资金

用于充填材料的采购和运输,以及充填设备的购置和维护。(3)空场法:空场法在采矿后暂不处理采空区,依靠矿岩自身稳固性或留设矿柱支撑。该方法适用于矿岩稳固、开采规模不大的情况。其优点在于操作相对简单,成本较低。然而,采用空场法需要注意地压监测,确保安全生产。如果矿岩的稳固性出现问题,或者矿柱的支撑力不足,就可能引发地压灾害,对人员和设备造成严重的威胁。

2.2 非金属矿开采技术

第一,非金属矿开采技术的选择与应用,不仅考验着技术人员的智慧,更是对资源高效、安全利用能力的直接体现。面对种类繁多、性质各异的非金属矿,选矿工艺与开采技术的精细化与灵活性显得尤为重要。在选矿环节,综合运用破碎、筛分、磁选及浮选等多种手段,精准识别并分离出目标矿物,这一过程不仅依赖于先进的设备支持,更需技术人员对矿物性质的深刻理解与精准把控。通过科学配比与灵活调整选别流程,实现资源最大化利用的同时,也确保了选矿产品的品质。第二,开采技术方面,则强调因地制宜、因矿施策。针对矿体形态、产状及围岩稳定性的差异,灵活选用房柱法、分段崩落法等开采方法,既保证了开采效率,又确保了作业安全。

3 金属非金属地下矿山施工关键技术及装备

在金属非金属地下矿山的开采过程中,爆破技术、采矿装备以及支护与加固技术是关键环节,它们不仅直接影响着开采效率与安全性,还关乎到资源回收率与环境保护。

3.1 爆破技术

3.1.1 发展历程

地下爆破技术经历了从传统手工装药到机械化、自动化乃至智能化的发展历程。早期,爆破作业依赖人工钻孔、装药,效率低下且安全风险高。随着科技的进步,钻孔机械、炸药输送系统及起爆装置逐步实现了机械化,显著提高了作业效率和安全性。近年来,随着计算机技术、传感器技术及大数据分析的引入,爆破参数的优化、爆破效果的预测及控制变得更加精准高效。

3.1.2 新型炸药与喷射技术

在金属非金属地下矿山施工中,新型炸药的开发带来了诸多优势。环保型炸药和高威力炸药的出现,一方面显著提高了爆破效果,使矿山开采更加高效;另一方面减少了对环境的污染,符合现代绿色发展理念。喷射技术中的液态炸药喷射系统,可实现快速且均匀的炸药分布,从而进一步提高爆破精度和效率^[3]。

3.1.3 爆破参数优化与控制

在金属非金属地下矿山施工中,爆破参数优化至关重要。借助数值模拟、实验室试验以及现场监测等多种手段,精确计算和调整炸药量、孔网参数、起爆顺序等关键参数。合理确定炸药量可避免浪费和过度破坏;优化孔网参数能使爆破能量分布更均匀;科学安排起爆顺序可提高爆破效果。并且利用爆破振动监测和声波探测等技术,对爆破过程实时监控和反馈。通过监测爆破振动,可防止对周边结构和设施造成损害;声波探测能了解岩体内部变化。根据监测结果及时调整爆破方案,确保爆破作业的安全性和可控性,为矿山施工的高效、稳定进行提供有力保障。杜达铅锌矿所在国科技发展水平不高,从业人员受教育水平也较低。井下爆破作业采用的导爆管雷管加工精度不足,爆破出现盲炮、瞎炮的概率远远高于国内,造成爆破效果欠佳和爆破成本颇高。进行爆破技术和爆破参数优化值得我们这些在国外从事资源开发的工程技术人员进行深入研究。

3.2 采矿装备

3.2.1 地下采矿机类型与应用

地下采矿机类型丰富多样,对采矿作业有着重要意义。掘进机在巷道掘进方面表现出色,它能够快速挖掘巷道,不仅大大提高了掘进效率,还为工人提供了更安全的作业环境。针对矿山井下特殊的作业环境而专门设计的矿井用装载机在一些矿山采矿过程中发挥着关键作用,专门负责将采场中的矿石装载到运输设备上,确保矿石的顺利转运。铲运机功能更为综合,集装载、运输、卸载功能于一体,在中小型矿山开采中应用广泛。这些不同类型的地下采矿装备,极大地提高了采矿作业的自动化水平,减少了人力投入,同时也提升了生产效率,为矿山企业带来更高的经济效益。

3.2.2 自动化与智能化发展

如今在物联网和人工智能等技术的推动下,采矿装备正朝着自动化与智能化迅速发展。无人驾驶采矿车、智能调度系统和远程监控平台等先进技术得以应用,让采矿作业实现远程控制和智能调度。

3.3 支护与加固技术

3.3.1 支护技术探讨

采空区的支护关乎矿山整体的安全稳定^[4]。主动支护中的预应力锚杆支护和锚索支护,利用施加预应力的方式,主动对围岩进行加固,增强其稳定性。例如在一些地质条件复杂、围岩应力较大的区域,预应力锚杆和锚索可以有效地将松散的围岩整合在一起,共同承受外部压力。而被动支护的喷射混凝土支护和可缩性支架等,

在围岩压力作用下发挥自身强度进行抵抗。在实际的矿山作业中,需综合考虑围岩条件、采动影响等多方面因素来选择合适的支护方式。如果围岩较为破碎,可能需要先采用喷射混凝土进行初步封闭,再结合锚杆或锚索进行加强支护。如杜达铅锌矿根据矿体、围岩不同的稳固情况采用喷射混凝土、锚杆喷射混凝土、锚网喷射混凝土、人工柱、钢支架等支护方式。这些支护方式能满足矿山大部分采场和巷道施工的需要,但在回采锌矿带矿体及遇岩石破碎的大断面巷道掘进时,部分支护后的采场和巷道顶板仍发生冒落,冒落高度最大可达到6m,既给施工造成安全风险也导致了部分采场矿石的损失。矿山派人员调研国内大尹格庄金矿锚索使用情况,学习国内矿山先进经验,探索使用长锚索对采场和巷道进行支护,长锚索支护技术在矿山的探索和应用,使在复杂地质条件下进行巷道掘进和采矿的难题得到有效解决。

3.3.2 新型支护装备研发与应用

新型支护装备的研发与应用为矿山支护带来了新的突破。锚杆台车的出现大大提高了支护效率,它能够快速准确地进行锚杆安装和预紧力施加。在大型矿山中,锚杆台车可以高效地完成大量锚杆的安装任务,节省人力和时间。湿喷车则在喷射混凝土作业方面表现出色,能够实现混凝土的连续喷射和均匀分布。这不仅提高了喷射混凝土的强度,还增强了其耐久性,为矿山的长期稳定提供了有力保障。这些新型支护装备的应用,使得地下矿山的支护与加固更加科学、高效,为矿山的安全生产奠定了坚实基础。例如,杜达铅锌矿井下已经采用湿喷台车进行湿喷作业,喷砂效果好,且粉尘量大大降低。矿山还派人员到国内生产厂家和矿山调研锚杆台车的使用情况,欲在全矿推广锚杆台车的使用。

4 地下矿山施工中的环保与安全问题

4.1 环保技术

4.1.1 环境影响分析

地下矿山开采活动对环境的影响是多方面的。首先,废水问题尤为突出,包括矿井涌水、选矿废水等,若未经处理直接排放,会严重污染地表水和地下水体。其次,废气排放也是一大挑战,如爆破产生的有害气体、柴油机排放的尾气等,都会对空气质量造成不良影响。此外,固体废弃物如废石、尾矿等的大量堆积,不仅占用土地资源,还可能通过雨水淋溶等途径对土壤和水体造成二次污染。

4.1.2 环保技术应用

针对上述问题,一系列环保技术应运而生。在废水处理方面,采用物理、化学或生物方法去除水中的悬浮

物、重金属离子等有害物质，确保废水达标排放或回用。废气治理则通过安装除尘器、脱硫脱硝装置等设备，减少有害气体的排放。对于固体废弃物，推广综合利用技术，如将废石用于建筑材料、回填采空区，尾矿进行再选或制作建材产品，实现资源的最大化利用。此外，绿色开采理念也逐渐被引入地下矿山施工中。通过优化开采设计、采用先进采矿技术和设备、加强环境监测与管理等手段，减少开采活动对环境的负面影响，实现经济效益与环境保护的双赢。如杜达铅锌矿现在基本实现掘进废石不出窟，而是就近回填采空区；井下涌水排至地表经初步净化便可作为选矿用水，真正实现资源开发与环保和谐发展。

4.2 安全技术

4.2.1 安全管理体系建设

地下矿山施工中的安全管理是保障作业人员生命安全的基础。建立完善的安全管理体系至关重要。这包括制定科学合理的安全生产规章制度、明确各级管理人员的安全职责、加强安全教育培训、定期开展安全隐患排查与整改等工作。同时，建立健全应急管理体系，制定切实可行的应急预案，确保在突发事件发生时能够迅速、有效地进行应对。

4.2.2 安全技术措施

在地下矿山施工中，通风、排水、防火、防尘等安全技术措施是必不可少的。通风系统是保障井下空气质量的关键，通过合理布置通风设施、采用高效通风设备、加强通风管理等手段，确保井下空气流通顺畅、有害气体浓度控制在安全范围内。排水系统则负责排除矿井涌水和其他积水，防止水患事故的发生。防火措施包括使用阻燃材料、设置消防设施、加强火源管理等。防

尘措施则通过洒水降尘、湿式作业、佩戴防尘口罩等方式减少粉尘对人体的危害。

4.2.3 事故案例分析与预防

分析地下矿山施工中的事故案例，可以总结经验教训，提出有效的预防措施。例如，针对顶板冒落事故，应加强顶板支护管理、定期进行顶板稳定性监测；针对爆破事故，应严格控制炸药量、优化爆破参数、加强爆破作业现场的安全监管等。建立事故应急处理机制，一旦发生事故能够迅速启动应急预案、组织救援力量、控制事态发展、减少人员伤亡和财产损失。

结语

金属非金属地下矿山施工技术研究对矿业转型升级至关重要。技术创新和装备升级可提高开采效率与安全性，降低环境负担。未来，随着智能化、绿色化技术广泛应用，地下矿山施工将达更高水平，实现资源高效利用与生态环境保护的完美结合，为矿业可持续发展注入强大动力。我们应不断探索创新，推动地下矿山施工技术进步，为矿业的繁荣和生态的和谐发展而努力，共创矿业发展的美好未来。

参考文献

- [1]戴莉.金属非金属矿山企业安全生产标准化建设[J].现代职业安全,2020(6):87-89.
- [2]姜君.浅谈金属非金属矿山安全标准化建设[J].吉林劳动保护,2020(S1):77-78.
- [3]李晓飞.金属非金属矿山安全标准化建设的探讨[J].安全与环境工程,2020,17(05):80-83.
- [4]王建华.坚硬岩石静态爆破工效提升的关键技术研究[J].中阿科技论坛(中英阿文),2020(01):50-53.