

定向钻孔穿煤、穿岩（软岩及破碎带）成孔施工分析

张 浩

冀中能源峰峰集团有限公司 河北 邯郸 056004

摘 要：在煤矿开采、地质勘探及其他地下工程中，定向钻孔技术扮演着关键角色。其通过精确控制钻头的方向，在复杂地下环境中，如穿越煤层、软岩以及破碎带，可以实现高精度的成孔。定向钻孔技术的价值体现在多个方面，包括提升安全水平、优化资源的开发利用和提高经济效益等，是现代矿业不可或缺的技术之一。因此，本文将从某具体施工项目出发，针对定向钻孔穿煤、穿岩（软岩及破碎带）成孔施工技术的具体应用展开详细分析，以供参考。

关键词：定向钻孔；穿煤、穿岩；软岩及破碎带；成孔施工

前言：在穿煤、穿岩等复杂地质条件下，定向钻孔技术的应用极为重要，其能为矿山开采和地质勘探，提供安全施工保证。它不仅关乎工程的顺利进行和经济效益的提升，更涉及矿工的生命安全和环境的可持续发展。随着技术的不断发展和应用领域的拓展，定向钻孔技术将在多个领域，均发挥着十分重要的作用，是推动矿业科技进步和产业升级的关键举措。

1 项目介绍

九龙矿井田位于鼓山背斜东翼，西高东低，平面呈菱形形状，南北走向长8公里，东西倾斜宽约2.5公里，面积20.2平方公里。九龙矿由邯邢煤矿设计研究院1976年设计，矿井服务年限为52.5年。矿井于1979年11月开始建井，1991年4月29日投产。原设计生产能力为120万吨/年，2013年进行改扩建，经技术改造产业升级生产能力提升至210万吨/年。2019年核减产能后生产能力165万吨/年。

2 关键技术内容

2.1 定向钻孔技术

井下定向钻进技术，是一种结合水力排渣和即时测量特征的钻孔施工方法，其主要通过泥浆泵，进行静压水的输送。该整体水体运输过程中，静压水经加压后沿钻杆内侧的供水通道输送至孔底，推动孔底的螺杆马达旋转，从而为钻头的旋转切割作业提供所需动力。在钻进过程中，清水沿钻杆和孔壁间的缝隙将钻屑顺利排出孔外。施工时，操作团队利用随钻测量系统实时获得孔底钻具的空间位置信息，如倾角、方位角和工具面向角。通过将实测数据与预设施工参数进行对比，操作人员可以相应调整孔底钻具的朝向，以便执行下一段钻进^[1]。该过程循环进行，确保钻孔按照预定轨迹准确无误地钻进至目标深度。

2.2 定向钻孔抽采技术

高位定向长钻孔瓦斯抽采技术的核心原理着眼于煤炭开采活动引发的煤层环境变化及其造成的煤层结构破坏。当煤炭从煤层中被开采出来后，原本相对稳定的煤层环境及重力场遭到破坏，导致采空煤层上方的覆岩层产生大面积的采动裂缝，并最终可能引起顶板坍塌。这一连串由煤炭开采引起的变化，虽然促使采空区向固结区域扩展，但同样促进了新裂缝的形成和旧裂缝的扩展，这些裂缝成为瓦斯聚集的潜在空间，随着开采活动的不断推进，向前移动，对矿井安全构成威胁。针对这一挑战，高位定向长钻孔瓦斯抽采技术通过精准定位瓦斯集聚区进行钻孔，其施工策略包括在工作面回风巷设置钻孔，并确保钻孔朝向持续上仰，同时开展先导钻孔作业。此技术的测量和轨迹判断功能确保了钻孔精准穿透瓦斯集聚区，从而高效抽采瓦斯。这种高位定向长钻孔技术不仅覆盖范围广，施工快捷，且成本效益高，还因其稳定的设备性能，在作业过程中可及时排除危险区域的瓦斯，减少由于回采活动引起的瓦斯浓度过高所带来的风险^[2]。

3 定向钻孔穿煤、穿岩（软岩及破碎带）成孔施工技术要点

3.1 钻进设备

定向钻孔施工所需的主要装备，主要涉及全液压坑道定向钻机、定向钻具、随钻测量系统和泥浆泵车等。这些装备应用具有极高的利用价值，其能够通过随钻测量技术配合孔底驱动的螺旋钻具人工控制钻孔的走向，确保钻孔精确布置在预定的关键层位；通过实时监控钻孔的空间位置，可在关键层位内实现更长的延伸，从而获得更高的有效抽采率和更长的抽采距离；此外，能够灵活绕开钻遇的不稳定岩层，降低成孔后瓦斯抽采通道的破坏程度，保证抽采效果的稳定性。

在钻孔工程中,采用了结合回转钻进和定向钻进方法的钻进技术。利用的定向钻机型号为ZDY12000LD,配备了控制室、防爆型计算机、泵车等基本设备,使其能够在较硬的岩层中顺利进行定向钻进。这款钻机特点为低转速、大转矩,适用于大直径近水平深孔钻进,表现出良好的技术性能和工艺适应性,便于移动和搬迁。ZDY12000LD钻机主要被应用于煤矿井下的大直径瓦斯抽采钻孔以及其他工程孔的施工中,它通过带弯角的孔底马达和岩层控制设备进行定向钻进,通过调整工具面角度以实现精确的钻孔轨迹控制^[3]。相比传统瓦斯抽采钻孔,定向钻孔能够提供更高的轨迹可控性、深孔钻进能力、控制精度以及开设分支孔的可能性,适用于具有普氏系数小于8的岩层和较为稳定、硬度较高煤层的探放水孔、瓦斯抽采孔及地质勘探孔等多种应用场景。

3.2 钻孔设计

通过运用定向钻进技术的轨迹控制功能,可以在煤层顶板采动裂隙高发区域内布置钻孔,进而在该区域上方建立一个瓦斯抽采通道。这样,随着工作面的回采推进,依靠采动引起的竖向断裂和横向离层裂隙,能够有效抽取采空区及采动影响区内的瓦斯,优化瓦斯管理。在15249N工作面,靠近顺槽停采线外侧约17m的位置,计划在巷道底部开辟一个大型钻场,并已设计安排了8个高位定向钻孔和1个定向底板截瓦斯钻孔。这些钻孔的起始直径设定为 $\Phi 215\text{mm}$,而结束时的直径压缩到了 $\Phi 120\text{mm}$ 。钻孔的轨迹从上顺槽开始,水平间距7至77m,每个钻孔的深度介于302至323m之间。针对1至8号钻孔,其目标层分别定位在2号煤层顶板以上15m、25m、35m、然后是四个连续的30m定位点,而第9号钻孔的目标则是2号煤的分岔区。在钻孔作业中,采用了 $\Phi 168\text{mm}$ 铁套管进行封孔,确保封孔长度至少为15m,套管露出长度范围为0.2至0.5m。封孔作业完成后,注浆的压力应达到2Mpa以上,而钻孔抽采的负压设置不应低于5kPa,以保证抽采效率。

3.3 井上井下协同作业

由于井下煤层顶板的岩性分布和硬度的不同,钻孔过程中经常会发现其实际路径与预设设计有较大出入。为了应对这一挑战,项目团队采取了有效措施。首先,安排了专门的定向钻控技术人员,这些技术人员与地下作业人员紧密配合,实时共享钻进过程中的钻孔轨迹数据。随后,利用这些数据对钻孔进程进行模拟,并预测钻孔的可能路径。有了这些信息后,专业技术人员指导地下作业人员调整钻杆配置,精准控制钻进方向。

3.4 分开支孔技术

在九龙矿15249N工作面,隶属于2号煤层,该煤层表现出明显的分叉合并特征。这导致2号煤层与其上方1号煤层之间的距离发生较大变化。面对这一挑战,钻孔作业需要在顶板以上15至35m的范围内进行,而随着钻孔深入,遇到1号煤层的位置会有所不同^[4]。为了防止钻孔过程中遇到塌孔现象,操作上需采取相应策略:一旦钻孔接触到煤层,即刻准备开展分支作业,确保钻进轨迹能够维持在1号煤层底板以下1到2m的安全位置内。

对于解决这一问题的具体方法,一个有效的策略是选择那些在角度或方向上偏差较大的钻孔段进行操作。操作人员利用钻头的自重,通过调整钻具的固定角度范围(介于 90° 至 270° 之间),以极低的钻进速度(不超过0.1m/分钟)进行3至10m的钻进。完成这一步骤后,拉出钻杆,并利用相同的工具面方向进行钻孔清扫,直到达到预定深度。这一过程需要重复三次,然后进行测量比对。如果数据显示与原始深度差异较大,则意味着分支孔已经成功打通;如果数据一致,则需要继续按照上述步骤反复操作,直到成功开辟出新的钻孔轨迹。

3.5 定向钻孔过煤层段工艺

在进行井下水平定向钻穿越煤层时,主要面临两大挑战。首先,一些煤层具有较低的坚固性系数,尤其是当系数低于0.5时,在用水进行排渣的过程中,易导致煤体连续性塌落。这一问题在煤层较厚且顶板较为松散的情况下尤为严重,可能引发孔内煤层坍塌以及埋钻、卡钻等事故。其次,当煤层位于较远距离、即钻孔仍处于定向阶段时,采用孔内下套管技术难以达到预期深度。

为应对这些难题,采取了冲煤注浆方法的迭代策略。这种方法充分利用了煤层易冒落的特点,在定向钻穿煤层时首先采用风力作为介质以排除煤渣,确保钻孔顺利完成。完成初穿后,换装普通钻头进行旋转钻进直至到达煤层,随后使用水力冲击法对钻孔穿过的煤层段进行扩展,以形成更大的空间。扩孔完成后,钻具被退出井外,随即进行注浆作业以充填并加固钻孔段。等待水泥浆凝固固化后,再次使用定向钻穿越煤层。若在作业过程中遇到新的煤层,就重复上述工序。通常情况下,这种方法在钻探深度达到100m范围内均显示良好的应用效果。透过迭代式的冲煤注浆过煤方法,不仅提升了穿越煤层时的安全性和可靠性,同时也扩展了该技术在不利地质条件下的应用范围,展现了其在解决复杂地质条件下定向钻探难题中的有效性。

3.6 长距离套管隔离泥岩层技术

在15249N工作面2号煤层顶板之上存在着一层泥岩,在执行定向钻进到达该层位过程中,经常会碰到塌孔的

困扰。钻孔内充满岩粉，导致无法顺利进行钻进作业。虽然尝试了注浆和扫孔等方法尝试解决问题，但因泥岩与水泥之间的黏结性较差，这些手段只能临时解决过泥岩段的封固问题^[5]。随后，由于钻孔水长期冲洗，注浆隔离段依旧会经历塌孔，钻孔难以返水，钻进工作也因此受阻。为克服由泥岩层引起的定向钻孔钻进难题，采用了一项称为“长距离套管隔离上覆泥岩层技术”的解决策略。该技术在钻孔施工阶段，特别针对泥岩段进行隔离处理，通过下放直径为 $\phi 168\text{mm}$ 的套管，成功地将上覆的泥岩层隔离。这种方法确保了在钻孔后期未再遭遇塌孔现象，大大提升成孔率。

3.7 过断层、破碎带工艺

在工作面上部，岩石类型主要包括砂岩和砂质泥岩，由于断层的影响，岩层稳定性较差。钻进工作频繁遭遇砂质泥岩块的返回，而那些未能返出的较大砂质泥岩碎块则容易阻塞钻孔，这导致泵压上升，钻孔难以按既定方向进展，对整个钻进工序的正常进行带来了显著的负面影响。为解决这一问题，选择了直径为 $\phi 153\text{mm}$ 的大口径钻头，对直径为 $\phi 120\text{mm}$ 的钻孔进行了扩孔操作。这一策略主要是通过扩大钻孔的直径，使得穿越断层带以及破碎带时产生的较大碎石块能够随着水流排除。实地试验表明，这种方法成功地使钻头穿过了断层和破碎带。该技术在面对极其复杂的地质条件下，成功地解决了堵孔问题，并为后续的定向钻孔施工提供了有效的技术支持。此技术的应用不仅优化了钻孔操作流程，还提高了钻孔的穿透能力和效率，为以后在类似复杂的地质条件下的定向钻探作业奠定了坚实的基础，并显著提升

了施工安全性和进度可预见性。通过针对性的工艺调整及技术创新，有效避免了进一步的钻探困难与风险，确保了钻探工作的顺利进行。

结语：定向钻孔技术在15249N工作面上的广泛应用取得了显著成效，特别是通过精准分析，确定了最佳抽采层位位于2号煤层顶板以上30至35m的范围内。通过对在实际操作中遇到的挑战进行深入的分析和研究，积极总结与创新，掌握了如“长距离套管隔离泥岩层技术”、“使用大口径钻头进行扩孔以穿越断层和破碎带的工艺”，以及“在主孔旁开设分支孔的技术”，等一系列现场实践中的创新技术及其改进。这些技术创新和实践经验为该矿未来的其他工作面的定向钻孔施工提供了丰富的参考资料和指导，为“以孔代巷”战略的实施，解决瓦斯治理难题，奠定了坚实的技术基础。

参考文献

- [1]宋浩.深部开采软岩巷道过断层围岩控制技术[J].煤,2024,33(01):97-99.
- [2]罗求林,孟栋栋,李学创.基于辅助气压模式的破碎软岩地层盾构下穿砖混房屋施工安全技术研究[J/OL].施工技术(中英文),1-11[2024-06-17].
- [3]任丁.断层影响下软岩巷道蠕变变形规律与破坏特征[J].山西焦煤科技,2023,47(11):22-25+47.
- [4]闫永青.软岩构造破碎带巷道支护技术应用[J].山东煤炭科技,2023,41(04):52-53+57.
- [5]黄强.敞开式TBM穿越软岩断层破碎带的研究与应用[J].建筑机械,2022,(06):36-39.