

矿山水文地质钻探取样技术研究

薛燕荣

河北省煤田地质局第二地质队（河北省干热岩研究中心） 河北 邢台 054000

摘要：矿山水文地质条件复杂多变，钻探取样质量直接制约水文地质参数的可靠获取。钻探取样作业中岩土体扰动机理、设备适配性及工艺精细化程度是影响保真度的关键因素。本文围绕矿山水文地质钻探取样的基础理论、设备选型、核心工艺及优化改进四个层面展开研究，分析不同地层条件下取样保真度的控制要素，探讨钻具扰动、介质流动与应力重分布对试样原始状态的破坏机制，提出设备结构与取样工艺的协同优化路径，为提升复杂矿山地层取样作业精度提供技术参考。

关键词：矿山水文地质；钻探取样；岩土体扰动；保真度控制；工艺优化

引言：矿山水文地质勘察中，钻探取样是获取地下岩土体与水体原始信息的首要手段。矿山地下岩土体结构空间差异性显著，松散沉积层与深部基岩的物理力学特性截然不同，裂隙网络与孔隙系统的发育规模直接影响地下水赋存与运移规律。钻探取样过程中，钻具切削、冲洗液侵入及压力失衡等因素持续干扰地层原始状态，降低试样保真度。深入剖析取样扰动机理与工艺控制要点，对提升矿山水文地质勘察数据的可靠性具有实际意义。

1 矿山水文地质钻探取样基础理论

1.1 矿山水文地质岩土体赋存特征

矿山地下岩土体分布形态与结构组合具备显著的空间差异性，成矿演化进程与地质构造运动共同塑造出结构层次复杂的地下地层。地层岩体整体结构并不均匀，原生沉积构造体系搭配后期构造运动催生的裂隙网络，共同重构地层储水和导水的基础环境^[1]。不同层位岩土体的颗粒排布形式与胶结质量存在较大区别，松散沉积地层颗粒黏结强度较低，岩体整体稳定性不足，深部基岩地层结构更为致密完整。岩土体内部孔隙裂隙及溶隙的发育规模各不相同，直接构建地下水储存和运移的空间载体，改变地层整体稳定性能，深刻影响钻探取样作业的实施质量。

1.2 水文地质取样核心技术原理

矿山水文地质钻探取样以地下地层结构和地下水赋存规律为底层依据，借助专用钻探设备穿透地下岩层，采集能够保持原始赋存状态的岩土及水体试样。技术研发与作业实施的核心聚焦原状地层结构保护，通过调节钻探推进节奏、作业力度等关键指标，削减人为作业对原始地层状态的干扰。作业过程始终维持地层原始应力状态与水体赋存平衡，最大程度保留试样结构完整与

原始属性，让试样精准反馈矿区地层真实的水文地质特征。整套技术体系适配地下地层结构变化规律与介质运动特征，可适配不同矿区、不同地层条件下的取样作业场景。

1.3 钻探取样介质物理力学特性

岩土介质与地下水介质的物理力学性质是影响钻探取样质量的关键基础，各类地层岩土拥有专属的密度、孔隙特征及抗压承载性能，力学承载性能随地层岩性变化产生明显差异。坚硬岩体结构致密、整体强度更高，外力作用下结构形态不易发生改变。软弱地层岩土结构松散，颗粒粘结强度弱，整体力学稳定性能较差。地下水介质具备良好的渗透与流动特性，可顺着地层孔隙、裂隙通道完成空间迁移，渗透性能会随地层结构的致密程度、裂隙发育情况产生动态变化。介质的变形能力、渗透性能和承载性能，是确定钻探设备选型、作业参数设置以及取样操作方式的重要依据。

1.4 取样过程岩土体扰动机理

钻探取样作业推进阶段，钻具接触、切削地层的机械作用会对周边岩土产生挤压与摩擦作用力，破坏地层长期形成的原生应力平衡。浅层岩土会在机械外力作用下出现颗粒松散、裂隙拓展的现象，深部地层内部结构会产生细微错位，地层应力分布模式出现重新调整。作业产生的扰动影响会逐步扩散至周边未施工地层，改变岩土原生孔隙构造与颗粒胶结结构。地下水的流动规律会随地层结构改变产生波动，进一步加剧岩土细微结构的形变，破坏试样原始状态，降低钻探取样的保真度。深入研究扰动产生根源与传播规律，可以为取样工艺的优化升级提供扎实的理论依据。

2 矿山水文地质钻探取样设备与机具

2.1 核心钻探设备适配类型

矿山水文地质钻探取样依靠各类核心钻探设备完成岩层穿透与试样采集工作。设备选型依据矿区地层构造、埋藏深度及介质属性确定。回转式钻探设备适配矿山多数中浅部地层,依托回转切削方式稳定钻进,完成常规岩土层的连续取样作业^[2]。冲击式钻探设备适配坚硬岩层与破碎地层,通过机械冲击破碎岩体,解决致密硬质岩层钻进阻力偏大的施工问题。复合式钻探设备集成多种钻进模式,可根据地层阻力与结构变化调整作业方式,适配复杂多变的矿山地层条件。不同钻探设备的运行参数与承载负荷存在差异,可适配各类埋深与岩性的取样施工场景。

2.2 差异化取样器具结构特性

矿山地层施工条件的差异性,决定了取样器具需要匹配多样化的结构形式。针对性的结构参数设计,可满足不同地层的取样保真要求。常规一体式密闭取样器具强度稳定,适用于完整地层的原状试样采集。薄壁取样器具优化壁厚与端头结构,降低器具切入地层时的挤压扰动,适配松散软弱地层取样作业。厚壁加强型取样器具通过内部加固结构提升抗变形与抗冲击能力,适配深部高压高阻力的地层施工环境。长行程取样器具可增加单次取样长度,获取连续性地层试样,满足地层剖面取样作业需求。

2.3 水样、岩样、土样专用取样装置

水样、岩样、土样的物理属性存在差异,对应配置专属的取样采集装置。水样取样装置设置密闭储水腔体与缓流进水结构,阻隔杂质混入,削弱水流扰动对水体原生组分的影响,留存地下水原位理化状态。岩样取样装置配备硬质密封收纳与防震固定结构,有效规避取芯与提钻过程中的岩体破损和结构错位问题。土样取样装置采用低扰动切入结构与密封存储设计,完整保留土层原生孔隙形态与颗粒排布结构,防止土体松散坍塌。各类装置的结构设计与作业方式,完全适配对应试样的采集与保存要求。

2.4 取样辅助配套设备功能特性

辅助配套设备为钻探取样作业的稳定开展提供基础保障。钻杆稳定设备调节钻进姿态与钻孔垂直度,减少施工偏移引发的地层扰动,提升取样点位精准度。介质输送设备调控冲洗介质的流量与压力,稳定孔内施工环境,清除孔内堆积岩屑杂物。试样密封转运设备具备防震、密闭、防渗性能,保障试样在采集转运全过程维持原始状态。孔内环境监测设备持续采集孔内压力、温度等工况数据,为作业参数调整提供数据支撑,提升整体取样施工质量。

3 矿山水文地质钻探核心取样工艺

3.1 钻探前期孔位预处理工艺

钻探施工开展前需要对预设孔位开展系统化预处理作业,消除地表及浅层地层对后续成孔取样的干扰。施工区域表层松散堆积层需要完成平整压实处理,稳固孔口周边地层结构,规避浅层土体垮塌影响钻孔成型质量^[3]。孔位周边杂物与软弱夹层会进行彻底清理,规整钻孔施工工作面,保障钻具垂直下钻的稳定状态。预处理作业会针对性优化孔口结构形态,适配后续冲洗介质循环与试样采集作业需求,为标准化成孔与原状取样奠定基础。

3.2 不同地层条件钻探成孔工艺

地层结构差异会匹配对应的专项成孔工艺,适配各类矿山地层的钻探施工标准。完整致密地层采用匀速递进的成孔方式,保持钻具稳定切削推进,维持钻孔孔壁规整完整。破碎裂隙地层采用低速低扰动成孔方式,搭配适配的护孔工艺,抑制孔壁岩体脱落与裂隙扩张。松散软弱地层把控钻进推进速度,配合介质稳压护壁,规避孔径变形与孔内坍塌问题。岩溶发育地层调整钻进节奏,适配地层空洞与裂隙发育特征,保障钻孔贯通性与整体规整度。

3.3 原位岩样、土样取样工艺流程

原位岩样与土样取样作业遵循标准化连续施工流程,最大程度保留地层原始结构状态。钻具抵达预设取样层位后暂停钻进作业,稳定孔内介质压力与地层状态,消除施工扰动残留影响。取样器具平稳下放至指定层位,依靠匀速静压切入方式贴合地层,完成土体与岩体的完整取料作业。取料完成后缓慢提升器具,规避提钻速度过快引发的试样脱落与结构破损。作业结束后及时完成试样密封封存,留存地层原生物理结构与物质组成状态。

3.4 地下水动态取样工艺要点

地下水取样作业围绕水体原始赋存状态把控施工细节,保障水体样本真实贴合地层原生水环境。钻孔成孔后静置孔内水体,等待水体流动状态趋于平稳,消除钻进施工带来的水质扰动影响。取样作业全程保持低速取水节奏,减少水流冲击引发的水体组分波动。严格把控取水深度与取水流量,贴合含水层水体分布规律,保障样本覆盖真实的地下水赋存环境。取水完成后快速完成水体封存,阻断外界环境对水样理化属性的干扰。

3.5 深部矿体水文层取样工艺

深部矿体水文层具备高压、高阻、结构复杂的施工特点,取样工艺需要适配深层地层特殊工况。钻进至深部水文层位后稳定孔内压力环境,平衡地层内外应力状

态,规避压力差引发的地层结构形变。采用低扰动慢速取样模式,适配深部地层岩体脆弱、裂隙发育的结构特征。严格管控钻具启停节奏与作业幅度,减少机械扰动对深部水文层的结构破坏。依托适配的深部取样器具完成采集作业,保障深层岩土试样与水体试样的完整度与原始性。

4 矿山水文地质钻探取样技术优化改进

4.1 传统取样技术存在的工艺缺陷

常规钻探取样技术依托固定施工流程开展作业,工艺适配范围存在明显局限。传统施工模式采用统一钻进与取样参数,无法根据地层岩性、结构状态的动态变化做出调整^[4]。浅层松软地层施工过程中,常规取样方式会加剧岩土结构扰动,破坏地层原生孔隙与裂隙构造。深部高压地层作业阶段,传统工艺难以平衡孔内压力变化,容易造成试样松散脱落、结构失真。水样取样环节沿用粗放取水模式,作业流程缺少精细化管控,外界环境与施工扰动会改变水体原始理化状态。老旧取样流程工序划分较为粗放,施工环节衔接不够紧密,整体作业精度无法适配复杂矿山水文地质勘察的高标准需求。

4.2 取样设备结构优化设计

取样设备性能升级是提升取样质量的核心途径,结构优化工作围绕减扰、密封、适配三大维度推进。取样器具端头结构进行平滑改造,弱化工具切入地层时的挤压与剪切作用,降低机械作业对周边岩土的结构损伤。器具内部储存腔体增设密闭防护结构,提升试样储存阶段的密封性能,阻挡外界杂质侵入与试样原生物质流失。钻杆构件优化材质配比与外形结构,提升整体刚度与稳定性,削弱深部钻进过程中的杆体晃动与偏移现象。取水设备升级缓流进水结构,弱化取水过程的水流冲击,维持地下水原有组分与赋存形态。设备整体结构贴合矿山不同地层施工条件改造,拓宽设备工况适配范围。

4.3 精细化取样工艺优化方案

精细化工艺改造聚焦钻探取样全流程的细节管控,重塑标准化施工体系。孔位预处理环节细化场地平整、孔口加固、杂物清理的施工标准,提升前期施工质量。钻进阶段依据地层实时状态动态调整钻进速度、钻压与介质流量,维持钻孔孔壁稳定规整。取样作业细化层位定位标准,精准锁定目标水文地质层位,杜绝层位偏差引发的取样失效。岩土取样严控切入速度与提钻节奏,

循序渐进完成试样采集,保障试样结构完整。水体取样增设孔内水体静置、分层取水工序,规避施工扰动带来的水体参数偏差。试样封存与转运环节细化操作规范,减少人为操作带来的试样损耗与状态改变。

4.4 复杂矿山地层适配性取样技术改良

破碎、岩溶、深部高压等特殊矿山地层对取样技术有着更高施工标准,针对性技术改良可提升复杂地层取样作业稳定性。破碎裂隙地层改良护孔取样一体化技术,将护壁作业与取样作业同步衔接,减少孔壁坍塌与裂隙扩张问题。岩溶地层优化自适应取样工艺,贴合空洞、裂隙交替分布的地层特征调整作业节奏,保障试样采集的连续性与完整性^[5]。深部高压地层改良压力平衡取样技术,调节孔内介质压力匹配地层原生压力状态,降低压力失衡引发的试样结构破坏。软弱松散地层采用分层低速取样模式,规避单次作业幅度过大带来的土体扰动问题,全面提升复杂地层水文地质取样的保真程度与作业精度。

结束语

矿山水文地质钻探取样是一项涉及地层结构保护、介质状态维持与工艺精准控制的系统工程。岩土体赋存特征决定了取样作业必须因地制宜,设备选型与工艺参数需与地层条件高度匹配。钻进扰动、压力失衡与介质侵入是试样原始状态受损的主要根源,针对性的设备结构改良与精细化工艺管控可有效抑制各类干扰因素。破碎裂隙、岩溶发育及深部高压等复杂地层对取样技术提出了更高要求,压力平衡取样、护孔取样一体化等改良技术已展现出良好的适配性。取样质量的持续提升有赖于基础理论与现场工艺改进的深度融合。

参考文献

- [1]李永灿,于丹阳,贺西同.矿山水文地质钻探取样技术研究[J].中国金属通报,2026(6):64-66.
- [2]薄克庭,蔡有兄,钟秀燕.浅议矿山地质钻探取样技术方法[J].世界有色金属,2023(3):112-114.
- [3]郭威,贾瑞,王元.非常规地质能源钻探取心技术研究综述[J].钻探工程,2026,53(2):1-12.
- [4]李国苗.浅谈工程地质钻探新技术的应用[J].模型世界,2026(4):231-233.
- [5]赵新.水文地质复杂矿井超前探放水钻探技术[J].中国金属通报,2026(3):76-78.