

H口径液力举升绳索取心钻具研制及试验研究

韦海瑞^{1,2}, 朱芝同^{1,2*}, 王久全³, 刘阔^{1,2}, 贾明浩^{1,2},
贾炜^{1,2}, 闫家^{1,2}, 邵玉涛^{1,2}, 刘广^{1,2}

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000; 2. 自然资源部定向钻井工程技术创新中心, 河北廊坊 065000;
3. 金石钻探(唐山)股份有限公司, 河北唐山 063000)

摘要: 绳索取心是目前广泛应用的不提钻取心技术, 对于水平孔和大深度直孔取心钻探, 绳索取心钻具下入是一个难度大、耗时长过程, 孔深越大, 效率越低。本文基于液力举升工艺原理, 利用冲洗液循环动力, 采用正循环取心钻进、反循环液力打捞方法, 在现有取心钻具基础上对投送打捞系统进行设计, 研制了H口径液力举升式绳索取心钻具。依托钻探试验平台和试验孔开展了钻具孔内试验, 分别进行了3次可视化台架模拟试验、4个回次取心钻进试验、2个回次液力举升试验, 钻具顺利完成取心作业并成功实现钻具内管总成的液力举升回收。液力举升绳索取心钻具的研制为水平孔及大深度直孔取心钻探工艺开拓了新思路。

关键词: 绳索取心; 液力举升; 取心钻具; 取心工艺; 投送打捞

中图分类号: P634.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2025)01-0031-08

Development and experimental study of H-caliber hydraulic lifting wireline coring tool

WEI Hairui^{1,2}, ZHU Zhitong^{1,2*}, WANG Jiuquan³, LIU Kuo^{1,2}, JIA Minghao^{1,2},
JIA Wei^{1,2}, YAN Jia^{1,2}, SHAO Yutao^{1,2}, LIU Guang^{1,2}

(1. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. Technology Innovation Center for Directional Drilling Engineering, Ministry of Natural Resources, Langfang Hebei 065000, China; 3. Jinshi Drilling (Tangshan) Co., Ltd., Tangshan Hebei 063000, China)

Abstract: Wireline coring is a widely used technology for core drilling without tripping the drill string. However, for horizontal and deep vertical holes, process of lowering the wireline coring tools is challenging and time-consuming, in which the efficiency decreases with the hole depth. Based on hydraulic lifting principles, utilizing the power of drilling fluid circulation, using a positive circulation for core drilling and a negative circulation for hydraulic fishing, the running-in-hole and fishing system is designed based on the existed coring drill, and the H-caliber hydraulic lifting wireline coring tool is developed. The tool are tested for 3 visualized rack, 4 core drilling runs, and 2 hydraulic lifting runs in a drilling platform and experimental boreholes. As a result, the coring operation is successfully completed and the hydraulic lifting recovery of the inner tube assembly is achieved, which offers a new perspective for coring in horizontal and deep vertical holes.

Key words: wire-line coring; hydraulic lift; coring drill; core drilling technology; running-in-hole and fishing

收稿日期: 2024-09-02; 修回日期: 2024-11-01 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.01.005

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“固体矿产高效精准勘探技术及自动化钻探装备升级与应用”(编号: DD20242850)、“重要成矿带战略矿产钻探技术支撑”(编号: DD20243011); 自然资源部钻井工程技术创新中心课题“小口径随钻测量短节关键技术研究”(编号: PY202408)

第一作者: 韦海瑞, 男, 汉族, 1988年生, 工程师, 机械设计制造及其自动化专业, 主要从事大口径钻头钻具、水平定向钻机及配套设备及地质钻探工程相关研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, 422607217@qq.com。

通信作者: 朱芝同, 男, 汉族, 1986年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事地质钻探工艺及器具研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, zhuzt@mail.cgs.gov.cn。

引用格式: 韦海瑞, 朱芝同, 王久全, 等. H口径液力举升绳索取心钻具研制及试验研究[J]. 钻探工程, 2025, 52(1): 31-38.

WEI Hairui, ZHU Zhitong, WANG Jiuquan, et al. Development and experimental study of H-caliber hydraulic lifting wireline coring tool[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(1): 31-38.

0 引言

绳索取心是目前广泛应用的不提钻取心技术,该技术是指钻进过程中当岩心充满岩心管后无需起钻,而是借助绞车绳索和专用打捞工具,把内管总成提升到孔外的钻进技术^[1-3]。对于水平孔、大斜度孔甚至是大深度直孔,绳索取心钻具的下入是一个难度大、耗时长过程^[4-5]。俄罗斯在1990年代针对绳索取心钻具研发了专用的贯通式水龙头和测斜仪输送器用于解决岩心管、捞矛和测斜仪在水平孔和大斜度孔中的投放和回收问题,降低辅助作业时间和孔内事故率^[6]。我国在20世纪80年代也开展了水平孔绳索取心试验,研制了密封接头、输送器、支撑环等水平孔绳索取心专用工具,岩心管打捞成功率为61%^[7]。近年来,我国在近水平孔坑道绳索取心钻探施工中,也开发了水力输送器、水力打捞器、通缆式水接头以及必要的安全脱卡机构等专用的附属器具^[8-9]。以上这些均是采用水力将打捞器送入孔底然后借助绳索绞车实现岩心管打捞的方法。垂直孔绳索取心钻进时,内管总成和打捞器是利用重力下放的,而水平孔绳索取心钻进时,内管总成和打捞器的下放必须依靠外力作用,这就要求必须对内管进行扶正确保其与外管同心,同时由于钻具自重的作用,钻杆柱与孔壁的摩擦导致钻机输出扭矩比钻进同等深度的垂直孔要大得多,对钻杆的强度也要求更高;常规绳索取心钻具的锁止/解卡机构为铰接回转设计,由于回转空间不足存在回收死点,在水平孔或者大深度直孔中,经常出现弹卡顶死的故障^[10-11]。上述问题的出现,对取心钻具的使用性能提出了更高的要求,本文在绳索取心钻进技术的基础上,研制出一种靠液力举升回收钻具内管总成及岩心的取心钻具,无需绳索绞车,为大深度直孔及水平孔取心钻探工艺开拓了新思路。

1 工作原理

液力举升绳索取心钻具是通过冲洗液液力驱动完成取心钻具内管总成的投送回收作业,即通过冲洗液正循环将内管总成投送至孔底,冲洗液反循环将内管总成回收至孔口地表(图1)。

正循环钻进时,冲洗液从钻杆内部进入推动内管总成向孔底运动并坐挂于外管总成的上,钻具内管总成到位后,液流通道被截断并开始憋压,当液动

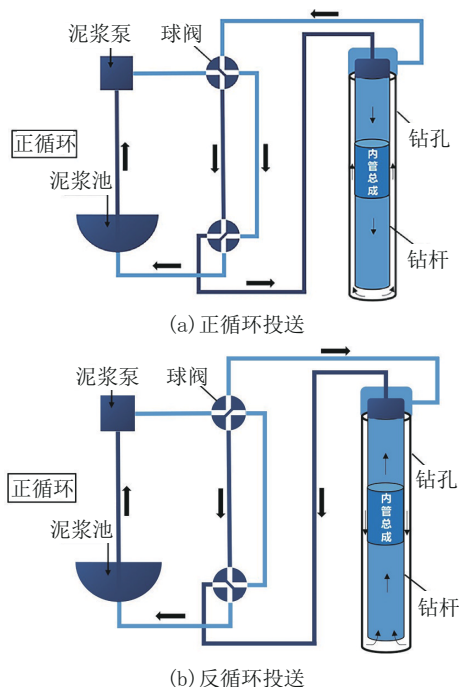


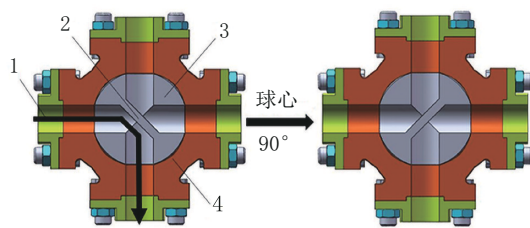
图1 液力举升绳索取心钻具工作原理
Fig.1 Working principle of hydraulic lifting wireline coring tool

力大于阀芯弹簧设定值时,内管总成内部冲洗液通道逐步打开,冲洗液从钻杆与钻孔之间的间隙返回,实现正常取心钻进。当钻进回次结束后,通过孔口的正反循环切换机构,改变冲洗液流向,实现反循环回收内管总成。反循环作业时,冲洗液从钻杆与钻孔之间的间隙进入孔底,受内管阻滞作用,冲洗液压力逐步升高推动内管总成完成解卡并运动至孔口,完成内管总成的回收作业。

2 孔口正反循环切换机构设计

孔口冲洗液正反循环切换机构是由冲洗液管路和两个球阀组成,冲洗液管路与球阀通过法兰连接。球阀的内部有两条冲洗液通道,90°旋转球阀内部的球心可以实现两条冲洗液通道的通断,改变冲洗液流向,从而实现正反循环的切换(图2)。

球阀外部设有4个法兰与冲洗液管路连接,球阀内部的球心顶部通过机械结构与操作手柄刚性连接,并通过嵌套密封圈、压紧螺栓,保证球阀的密封性能(图3)。当冲洗液液力推送内管总成至孔底完成单回次钻进作业或者回收内管总成至孔口时,冲洗液压力发生显著变化,提醒作业人员通过旋转操作手柄实现正反循环切换。



1—循环通路;2—阻隔壁;3—球心;4—球阀外部结构

图2 孔口冲洗液正反循环切换机构剖视图

Fig.2 Sectional view of the mechanism for switching between forward and reverse circulation of flushing fluid at the orifice

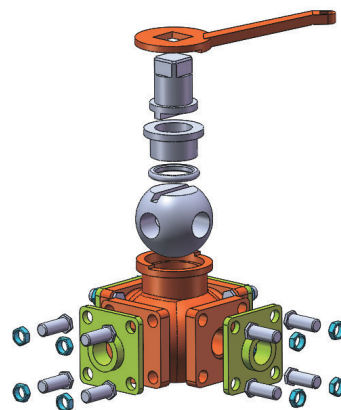


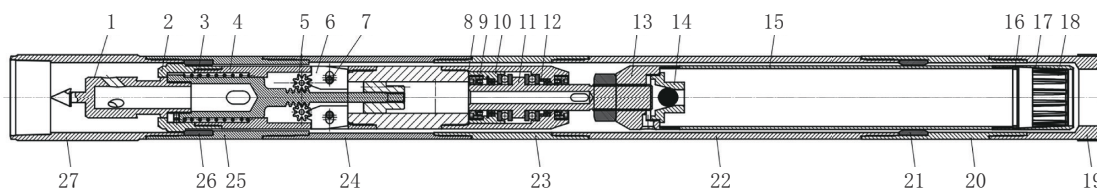
图3 球阀机械结构爆炸图

Fig.3 Explosion diagram of mechanical structure of ball valve

3 钻具结构设计

根据液力举升工艺原理,在传统绳索取心钻具基础上,本着结构简单、操作方便、功能可靠的原则研制了H规格液力举升绳索取心钻具,整体结构如图4所示。液力举升绳索取心钻具由内管总成和外管总成两大部分构成。外管总成主要由座挂接头、弹卡室、外管、扶正环、扩孔器及取心钻头等组成,在

钻压和扭矩作用下,实现钻进过程。内管总成主要由捞矛头、悬挂接头、阀芯、阀体、弹卡架、弹卡板、轴承腔、单动机构、芯轴、内管接头、岩心管及卡簧座等组成,在钻进过程中主要容纳钻取的岩心。



1—捞矛头;2—捞矛座;3—阀芯;4—阀体;5—齿轮;6—弹卡板;7—导正环;8—轴承腔;9—密封盖;10—内顶圈;11—芯轴;12—铜套;13—内管接头;14—阀压盖;15—岩心管;16—卡簧挡圈;17—卡簧座;18—卡簧;19—取心钻头;20—下扩孔器;21—扶正环;22—外管;23—上扩孔器;24—弹卡室;25—座挂接头;26—座环;27—转换接头

图4 液力举升绳索取心钻具结构示意图

Fig.4 Schematic structure of a hydraulic lifting wireline coring tool

钻具工作过程如下:取心钻具与钻杆连接后打开泥浆泵,阀芯在弹簧作用下处于上死点,钻具内管总成冲洗液通道关闭,形成活塞效应。此时一小部分冲洗液从钻具内管总成和外管内壁的环状间隙流至孔底,绝大部分冲洗液推动钻具内管总成向孔底方向运动。当内管总成座挂在外管座挂接头上时,钻具内管总成和外管内壁的环状间隙阻断造成憋压,当压力达到设计值时,推动阀芯克服弹簧力向下运动,阀芯齿条驱动齿轮使弹卡板向外运动实现定位,同时阀芯出水口露出,钻具内管总成冲洗液通道打开,冲洗液流向孔底实现岩屑清理和钻头冷却。回次钻进结束后,关闭泥浆泵,阀芯在弹簧力作用下上移,钻具内管总成冲洗液通道关闭,

同时阀芯齿条驱动齿轮使弹卡板径向回收实现解卡,钻具内管总成冲洗液通道关闭。此时切换冲洗液通道为反循环,当冲洗液压力达到设计值时,克服钻具重力及摩擦力推动内管总成向孔口运动,实现内管回收。

3.1 弹卡定位机构

弹卡定位机构能在钻进过程中防止内管总成回窜,起到定位的作用。常规绳索取心钻具的弹卡定位机构为铰接回转设计,由于回转空间不足存在回收死点,经常出现弹卡顶死的故障^[12-14]。对此,从弹卡定位的结构设计入手,将传统的铰接回转式回收方式改进为径向移动回收方式,设计了齿条式弹卡定位机构(图5)和球卡式弹卡定位机构(图6)。

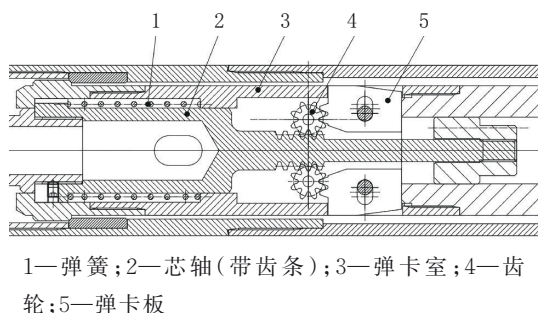


图5 齿条式弹卡定位机构结构示意图

Fig.5 Schematic structure of the rack type spring card positioning mechanism

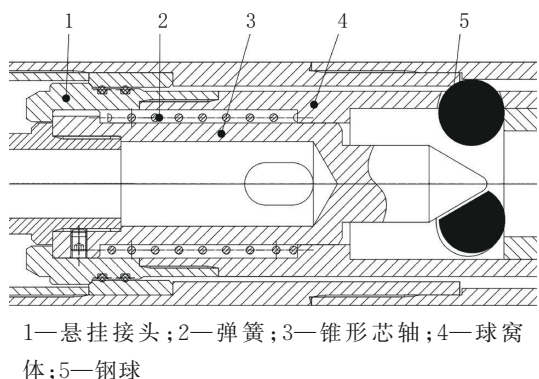


图6 球卡式弹卡定位机构结构示意图

Fig.6 Schematic structure of the ball card positioning mechanism

齿条式弹卡定位机构主要由弹簧、带齿条的芯轴、弹卡室、齿轮和弹卡板组成。正循环时,内管总成在冲洗液液力驱动下投送到孔底座挂在外管上,冲洗液压力升高驱动芯轴克服弹簧力向下运动,芯轴上的齿条通过齿轮带动弹卡板向外运动,实现定位功能。反循环作业时,芯轴在冲洗液液力和弹簧力共同作用下向上运动,带动弹卡板径向收缩,完成解卡作业。

球卡式弹卡定位机构与齿条式弹卡定位机构设计原理相同,当内管总成投放至孔底后,锥形芯轴在冲洗液液力驱动下向下运动,钢球在锥形芯轴的作用下进入球窝实现定位功能。回收内管时,锥形芯轴在冲洗液液力驱动下上行,钢球在外力作用下实现径向回收,完成解卡动作。

3.2 单动机构

单动机构(图7)的作用是取心管在钻进时不随外管旋转,提高取心质量。单动机构主要由端盖、骨架密封、内顶圈、推力轴承、芯轴、轴承腔、深沟球轴承

组成。区别于传统绳索取心钻具单动机构中上推力轴承裸露在外的结构形式,将所有轴承内置于密闭的轴承腔内,两侧加装骨架密封,有效避免冲洗液的冲刷和腐蚀,大大提高轴承的使用寿命。对比传统绳索取心钻具仅采用推力轴承的结构,深沟球轴承和推力球轴承的组合应用可以大大提高芯轴的定心精度,在保证单动机构运转灵活的同时大大降低悬挂环与座环之间发生非正常磨损的概率^[15]。

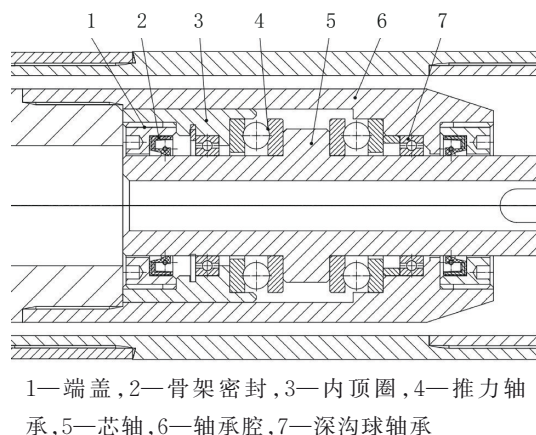


图7 单动机构结构示意图

Fig.7 Schematic structure of single action mechanism

4 可视化模拟实验

4.1 实验目的及实验装置

为了验证冲洗液液力驱动钻具内总成投送和回收的可行性,观察不同条件下孔内钻具的运移情况,研制了液力驱动绳索取心钻具可视化实验装置(图8、图9)。实验装置主要由工作区和控制区组成。工作区包含支撑架、高强亚克力内管和外管、钻具模型、密封塞、密封圈、环空水接头、调节螺母、孔底水力表,具有直观地观察内管在孔内运动过程的功能。控制区包含操作台、压力表、智能电磁流量计、法兰盘开关、泥浆泵、泥浆池、流通管道以及阀门控制系统,具有调控钻具外界条件参数的功能。

4.2 实验原理

可视化模拟实验装置能够直观地观察管道与地面垂直、平行、呈 60° 角三种情况下钻具在孔内的运动过程,其实验原理如下:实验开始,打开泥浆泵,冲洗液流入操作台,操作台压力表可显示泥浆泵静水压力,接着冲洗液通过环空水接头流入亚克力内管中,流动的冲洗液推动钻具运动至孔底,此时可测算钻具从孔口运动至孔底所用时间,根据S

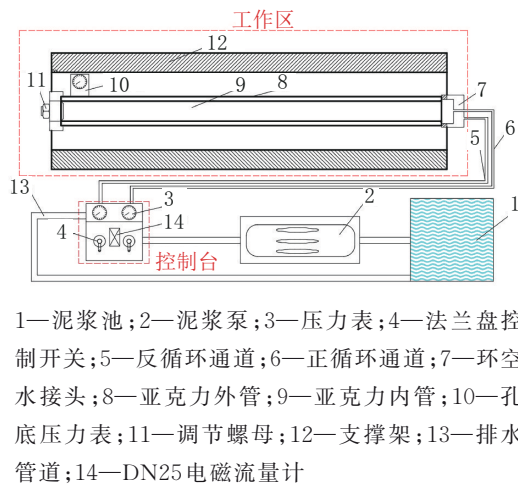


图8 可视化模拟实验装置结构示意图

Fig.8 Schematic structure of the visual simulation experimental device

$=VT$ 得出钻具运动的平均速度。位于孔底的泵压表可实时监测孔底冲洗液压力变化。冲洗液流至孔底后沿着亚克力内外管之间的环状间隙上返,经环空水接头的反循环管道排出至泥浆池,此时冲洗液完成一次正循环将钻具投送至孔底。钻具投送至孔底后,转动操作台上的法兰盘开关,改变冲洗液流路,冲洗液从环空水接头的反循环口流入,沿环空间隙流入孔底并从亚克力内管内部通道上返,钻具受冲洗液推力作用上移至孔口,冲洗液从孔口流出进入环空水接头正循环通道并从排水口排出,此时冲洗液完成了一次反循环将钻具回收至孔口。

4.3 实验步骤

在可视化模拟实验中,采用控制变量法,以泥浆泵泵压作为单因素变量,观测钻具在不同泵压条件下完成投送回收所需时间,探究泵压与钻具运行速度的关系。泥浆泵分为4个挡位,实验中对应的泵压分别为0.1、0.15、0.2、0.25 MPa。初始打开泥浆泵第一挡位,管道中水流达到稳定后,读取压力表的示数,记录0.1 MPa恒压下钻具投送回收的运动时间、孔底压力、出水口压力、冲洗液流量的数据。改变泥浆泵的挡位,重复上述操作。

4.4 实验结果分析

为减小试验器材、人员操作等不可避免因素所带来的实验误差,实验数据采用多次测量取平均值的方法,并将管道与地面垂直、平行、呈60°角三种情况下的实验数据记录处理后得到不同泵压条件下



(a) 垂直状态



(b) 60° 状态



(c) 水平状态

图9 可视化模拟实验装置实物

Fig.9 Visualized simulation experimental device in physical form

内外管压差-运移时间图。

(1)图10展示了管道与地面垂直时,在不同泵压条件下正反循环内外管压差-运移时间曲线。可以看出,泥浆泵在一挡和二挡时,流体无法推动内管总成向孔口运移,原因是在垂直条件下,作用在内管总成上的液体压力无法克服内管总成自身的重力,当将泥浆泵挡位调至三挡和四挡时,内管总成即可顺利向上运移。

(2)图11展示了管道与地面呈60°时,在不同泵压条件下正反循环内外管压差-运移时间曲线。可以看出,泥浆泵一挡时,流体无法推动内管总成向孔口运移,当将泥浆泵挡位调至二、三、四挡时,内管总成即可顺利向上运移,无论是正循环还是反循环

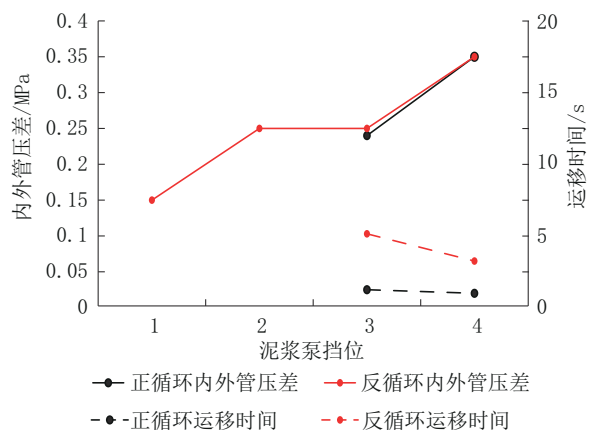


图10 垂直状态内外管压差-运移时间关系

Fig.10 Relationship of pressure difference and migration time between inner and outer pipes in the vertical condition

环,随着泵压的增大,内外管的压差随之增大,对应的运移时间也随之减小。

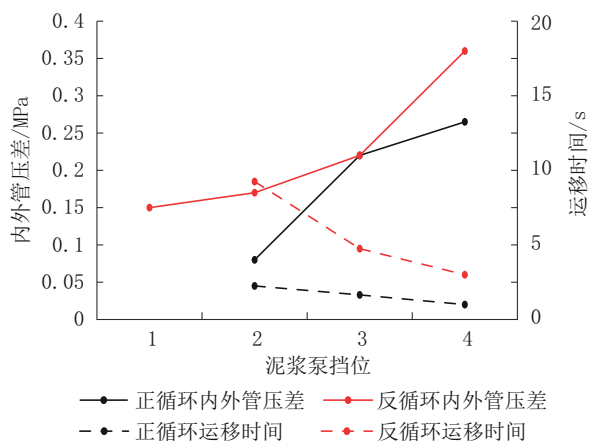


图11 60°状态内外管压差-运移时间关系

Fig.11 Relationship of pressure difference and migration time between inner and outer pipes in the 60° condition

(3)图12展示了管道与地面水平时,在不同泵压条件下正反循环内外管压差-运移时间关系。可以看出,泥浆泵一挡时,流体即可推动内管总成向孔口运移。

分析管道与地面垂直、平行、呈60°角三种情况下实验数据可知,无论是正循环还是反循环,随着泵压的增大,内外管的压差随之增大,对应的运移时间也随之减小;冲洗液液力能够驱动钻具完成投送与回收,泵压与流体流量、钻具运动速度呈正相关;当管道与地面垂直时,钻具运移至孔口的速度

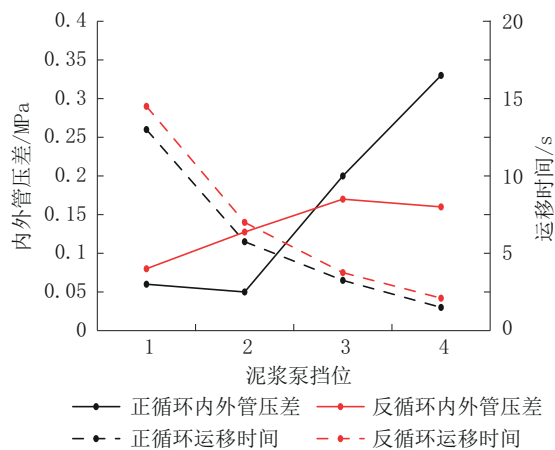


图12 水平状态内外管压差-运移时间关系

Fig.12 Relationship of pressure difference and migration time between inner and outer pipes in the horizontal condition

最慢,运移所需泵压最大,当管道与地面水平时,钻具运移至孔口的速度最快。实验验证了液力驱动绳索取心钻具理论上的可行性。

5 孔内实验

5.1 钻具加工调试

按照钻具图纸,完成了H口径液力举升绳索取心钻具的加工试制,对钻具内外总成不同结构优选合适的材料,确保钻具整体结构强度,并对钻具内外总成进行试装与调试。钻具组装完成后,完成钻具内总成阀芯机构、弹卡机构、悬挂机构以及单动机构的功能调试,并与外管总成进行适配,调节岩心管机构与取心钻头内台阶之间的间隙,并控制间隙范围在8~10 mm。组装完毕钻具样机实物见图13。

5.2 下孔实验

H口径液力举升绳索取心钻具组装调试完成后,在唐山某实验孔和生产孔中分别进行了6个回



图13 H口径液力举升绳索取心钻具

Fig.13 Picture of H-caliber hydraulic lifting wireline coring tool

次的取心实验和4个回次的液力打捞实验(图14)。试验采用XY-5型立轴式岩心钻机,选用250型三缸单作用卧式泥浆泵,因孔口管护壁及水泥硬化,冲洗液采用清水。试验孔段13.5~21.7 m,地层为粉质粘土,为模拟岩石地层取心,试验孔全面钻进后,先后进行了3次高标号水泥灌注及硬化。钻具组合为:Ø96 mm金刚石钻头+H口径液力举升绳索取心钻具+转换接头+Ø89 mm绳索取心钻杆+主动钻杆。

试验主要记录了钻压、转速、泵量、泵压等参数,测试钻压14~18 kN,转速260 r/min,泵量145 L/min,泵压0.3~0.5 MPa,经过不断测试及改进,钻具在钻进过程中弹卡实现可靠定位,岩心管成功获取岩心,打捞作业时,弹卡机构顺利解卡,内管及岩心从孔深21.7 m处举升至孔口历时37 s,实验获



图14 H口径液力举升绳索取心钻具下孔实验

Fig.14 Experimental study for H-caliber hydraulic lifting wireline coring tool

取了完整的岩心样品(图15),进一步验证了该钻具方案的可行性。



图15 内管成功举升获取的完整水泥岩心

Fig.15 The complete cement core obtained through successfully lifting the inner tube

6 结论

(1)从工程实际问题出发,完成了液力举升绳索取心钻具的结构设计,单动机构运转灵活,大大提高轴承寿命;钻具投送时弹卡定位机构定位可靠,保证内管不上窜,打捞时弹卡机构解卡顺畅,确保了打捞的可靠性。

(2)模拟实验以泵压为单因素变量,观测钻具在不同泵压条件下投送至孔底或者回收至孔口所需时间,探究泵压与钻具运行速度的关系。结果表明,冲洗液液力能够驱动钻具完成投送与回收,且钻具运移效率较高。泵压与流体流量、钻具运动速度呈正相关。

(3)采用XY-5型立轴式岩心钻机完成钻具的

孔内实验,成功获取孔深21.7m处的完整岩心,内管及岩心打捞至孔口用时37s,充分验证了钻具机构的可靠性和钻具方案的可行性。

参考文献(References):

- [1] 孙建华,张永勤,赵海涛,等.复杂地层中深孔绳索取心钻探技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(5):46-50.
SUN Jianhua, ZHANG Yongqin, ZHAO Haitao, et al. Research on deep hole wire line core drilling tech. in complicated stratum[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2006, 33(5): 46-50.
- [2] 李国民,肖剑,王贵和.绳索取心钻探技术[M].北京:冶金工业出版社,2013.
LI Guomin, XIAO Jian, WANG Guihe. Wire-line Coring Drilling Technology [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2013.

- [3] 孙建华,张永勤,梁健,等.深孔绳索取心钻探技术现状及研发工作思路[J].地质装备,2011,12(4):11-14.
SUN Jianhua, ZHANG Yongqin, LIANG Jian, et al. Status and R&D approach of deep hole wireline core drilling technology [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2011, 12 (4) : 11-14.
- [4] 李占锋.地表近水平孔绳索取心工艺钻探实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(1):48-50.
LI Zhanfeng. Drilling practice of wire-line core drilling in quasi-horizontal hole[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(1):48-50.
- [5] 赵大军,吴金发.隧道工程勘察水平孔钻进钻具的运动与受力分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):12-18,24.
ZHAO Dajun, WU Jinfa. Analysis of movement and force of horizontal drilling tools for tunnel engineering investigation [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(11):12-18,24.
- [6] 陈云龙,刘耿仁,蔡家品,等.长距离水平定向孔取芯技术应用——以天山胜利隧道水平定向孔地质勘察为例[J].隧道建设:中英文,2023,43(S1):298-303.
CHEN Yunlong, LIU Gengren, CAI Jiapin, et al. Application of long-distance horizontal directional borehole coring technology: A case study of geological investigation of Tianshan Shengli tunnel[J]. Tunnel Construction, 2023,43(S1):298-303.
- [7] 张金昌,刘秀美.13000 m科学超深井钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):1-6.
ZHANG Jinchang, LIU Xiumei. 13000m drilling technology of super-depth scientific drilling-well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(9):1-6.
- [8] 王达,张伟,贾军.特深科学钻探的关键问题[J].科学通报,2018,63(26):2698-2706.
WANG Da, ZHANG Wei, JIA Jun. The key problems of ultra-deep drilling engineering[J]. Chinese Science Bulletin, 2018,63(26):2698-2706.
- [9] 马保松,程勇,刘继国,等.超长距离水平定向钻进技术在隧道精准地质勘察的研究及应用[J].隧道建设,2021,41(6):972-978.
MA Baosong, CHENG Yong, LIU Jiguo, et al. Tunnel accurate geological investigation using long-distance horizontal directional drilling technology [J]. Tunnel Construction, 2021, 41 (6):972-978.
- [10] 吴纪修,尹浩,张恒春,等.水平定向勘察技术在长大隧道勘察中的应用现状与展望[J].钻探工程,2021,48(5):1-8.
WU Jixiu, YIN Hao, ZHANG Hengchun, et al. Application status and R & D trend of horizontal directional investigation technology for long tunnel investigation [J]. Drilling Engineering, 2021,48(5):1-8.
- [11] 徐正宣,刘建国,吴金生,等.超深定向钻探技术在川藏铁路隧道勘察中的应用[J].工程科学与技术,2022,54(2):21-29.
XU Zhengxuan, LIU Jianguo, WU Jinsheng, et al. Application of ultra-deep directional drilling technology in the investigation of Sichuan-Tibet railway tunnel [J]. Advanced Engineering Sciences, 2022,54(2):21-29.
- [12] 李鑫森,刘秀美,尹浩,等.深孔复杂地层绳索取心钻具优化设计思路[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):56-59.
LI Xinmiao, LIU Xiumei, YIN Hao, et al. Optimum design thoughts of wire-line coring tool used for deep hole drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(11):56-59.
- [13] 高申友,杨金东,王金,等.S75-SF中深孔绳索取心钻具结构及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5):45-48.
GAO Shenyou, YANG Jindong, WANG Jin, et al. Structure of wire-line coring drilling tool for medium depth hole and the application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(5):45-48.
- [14] 李鑫森,李宽.国外绳索取心钻具弹卡机构设计与分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(S1):276-279.
LI Xinmiao, LI Kuan. Design and analysis on Link latch mechanism of overseas wireline coring tool [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(S1):276-279.
- [15] 彭奋飞,王佳亮,万步炎.针对海底钻机硬岩钻进的绳索取心钻具关键机构优化[J].地质与勘探,2020,56(1):154-162.
PENG Fenfei, WANG Jialiang, WAN Buyan. Optimization of key mechanism of the wire-line coring drilling tool for submarine hard rock [J]. Geology and Exploration, 2020, 56 (1) : 154-162

(编辑 王文)