

FDS-P型绳索取心钻具研制及试验研究

李鑫淼, 胡建超*, 马莎莎, 郑庆辉, 王嘉瑞

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:针对复杂地层绳索取心钻进时易出现的内管总成打捞失败问题,开展了FDS-P型绳索取心钻具研制。基于内管总成打捞失败原因分析,完成了FDS-P型绳索取心钻具设计,通过室内试验,初步验证了钻具结构设计的合理性。为进一步验证钻具性能,在贵州页岩气井开展了野外生产试验,先后完成16个回次取心钻进,累计进尺39.03 m,岩心采取率达到98%以上,其中有6个回次发生堵心,内管打捞全部成功,内管到位及堵心均得到了及时提示。实际应用结果表明,FDS-P型绳索取心钻具结构设计合理,具有良好的到位及堵心报信提示作用,内管总成打捞可靠性得到显著提升,有效提高了易堵心地层钻进效率及岩心采取质量。

关键词:绳索取心钻进;堵心;打捞失败;FDS-P型绳索取心钻具

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0370-05

Development and test of the FDS-P wire-line coring tool

LI Xinmiao, HU Jianchao*, MA Shasha, ZHENG Qinghui, WANG Jiarui

(Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: In order to solve the problem of fishing failure of the inner tube assembly in wire-line core drilling in complex formation, the development of the FDS-P wire-line coring tool has been carried out. Based on analysis of fishing failure causes, the design of the FDS-P wire-line coring tool has been completed. The rationality of the structure design was preliminarily verified through laboratory test. In order to further verify the performance, field production test has been carried out in shale gas wells in Guizhou. Sixteen core drilling runs have been successively completed, with cumulative footage of 39.03m, and core recovery over 98 percent. Core jams occurred six times and the inner tube assembly was successfully fished every time. Signals for the landing and core jams of the inner tube assembly were obtained in time. The application results showed that the structure design of the FDS-P wire-line coring tool was proper, and it had good warning on landing and core jam indication. Fishing reliability of the inner tube assembly has been improved significantly. Drilling efficiency and core recovery have been increased effectively when drilling in jam-prone formation.

Key words: wire-line core drilling; core plugging; fishing failure; FDS-P wire-line coring tool

0 引言

绳索取心钻进技术凭借钻进效率高、施工成本低、取心质量好等优点^[1-2],目前在固体矿产勘探^[3-4]、天然气水合物^[5-6]及页岩气^[7-8]等非常规能源勘探领域得到了较为广泛的应用。伴随我国科学钻探^[9-10]及深部找矿策略^[11-12]的不断开展,深孔钻探施工越来越多,复杂

地层带来的取心钻进技术难题也随之增多,在裂隙发育、松散、破碎、强水敏性等复杂地层取心钻进时极易出现堵心^[13-14],堵心若未能及时发现,继续钻进会造成岩心过度研磨^[15],同时还会出现内管钻具无法打捞的问题,提钻取心会使绳索取心钻进高效率的优势大打折扣^[16],易堵心地层通常回次进尺较短^[17],频繁提下

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.062

基金项目:中国地质科学院勘探技术研究所科技项目“绳索液力割心钻具研制”(编号:YB202006);自然资源部深部地质钻探技术重点实验室开放基金项目“深部钻探绳索取心钻具岩心管内壁硬化及光滑处理工艺研究”(编号:KF:201906)

作者简介:李鑫淼,男,汉族,1985年生,硕士,工程师,从事钻探工程科研工作,河北省廊坊市金光道77号,lixinmiaosmile@163.com。

通信作者:胡建超,男,汉族,1986年生,河北省廊坊市金光道77号,hujianchao860220@126.com。

引用格式:李鑫淼,胡建超,马莎莎,等.FDS-P型绳索取心钻具研制及试验研究[J].钻探工程,2021,48(S1):370-374.

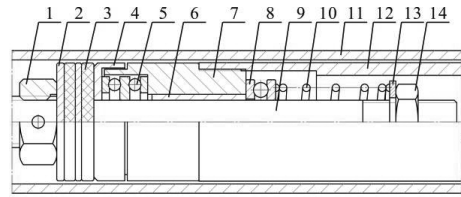
LI Xinmiao, HU Jianchao, MA Shasha, et al. Development and test of the FDS-P wire-line coring tool[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):370-374.

钻严重影响井壁稳定,增加孔内安全隐患^[18]。上述问题的出现对绳索取心钻具的使用性能提出了更高要求,应结合绳索取心钻进技术特点,进一步开展钻具优化设计,提高内管钻具到位报信、堵心报信及打捞的可靠性,提高易堵心地层岩心采取率及取心钻进效率,以保证绳索取心钻进技术的优势。

1 内管钻具打捞失败原因分析

正常取心钻进时,弹卡钳与弹卡挡头之间预留有一定的轴向间隙,一般为2~4 mm,弹卡钳可自由向内转动,实现内管钻具正常打捞。当堵心发生时,钻具下部岩心管与岩心之间卡死,内管钻具受力逐渐上移,直至弹卡钳与弹卡挡头接触并顶紧;常规绳索取心钻具均设置有堵心报信机构,如图1所示,继续钻进时,利用内管钻具受到的向上作用力,实现对弹性报信垫片的轴向挤压,使其径向尺寸增大,直至完成对内管与外管之间冲洗液过流间隙的封堵,使泥浆泵压力升高,提示操作人员发生堵心。

复杂地层钻进时钻压、泵压变化频繁、波动大,难以对钻进参数进行及时、准确的调控,也不利于操作人员对泵压升高做出准确判断,堵心时极易发生报信垫片过度挤压,整个过程中会导致以下两个问题的出现,第一个问题是弹卡钳与弹卡挡头顶死,弹卡钳无法正常向内回收,致使内管钻具打捞失败;第



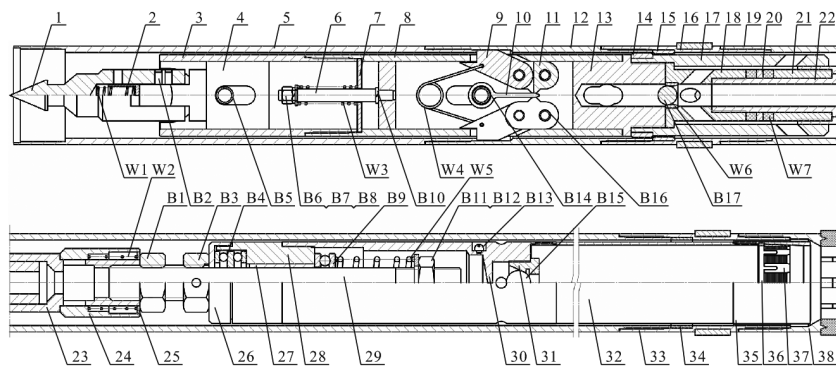
1—螺母;2—压片;3—报信垫片;4—轴承保护罩;5—双向推力球轴承;6—铜套;7—接头;8—推力球轴承;9—心轴;10—压簧;11—外管;12—内管接头;13—平垫圈;14—螺母

图1 堵心报信机构设计

二个问题是报信垫片过度挤压,外径涨大后无法恢复,涨大后的外径大于外管钻具中座环内径,无法顺利通过座环,即使能够通过较大拉力强行实现弹卡钳回收,同样无法完成内管钻具顺利打捞。

2 钻具结构设计及其工作原理

通过对内管打捞失败原因的分析,从解决实际问题的角度出发,优化设计了FDS-P型绳索取心钻具,整体结构如图2所示,本着结构简单、操作简便、可靠性高的原则,对弹卡定位机构、堵心报信机构及到位报信机构进行了改进设计,解决弹卡钳顶死回收及报信垫片过度挤压问题,提高内管钻具打捞的可靠性,通过多机构协同优化,综合提高绳索取心钻具的使用性能。



1—捞矛头;2—定位棘爪;3—上回收管;4—捞矛座;5—弹卡挡头;6—双头螺柱;7—垫片;8—下回收管;9—弹卡钳;10—限位块;11—下铰链;12—弹卡室;13—弹卡架;14—悬挂环;15—座环;16—扩孔器;17—连接套;18—分水接头;19—外管;20—压片;21—悬挂接头;22—内接头;23—限位接头;24—滑套;25—垫片;26—轴承保护罩;27—铜套;28—接头;29—心轴;30—岩心管接头;31—回水球座;32—岩心管;33—扩孔器;34—扶正环;35—卡簧座;36—挡圈;37—卡簧;38—取心钻头;W1—压簧;W2—压簧;W3—复位弹簧;W4—张簧;W5—压簧;W6—指示衬套;W7—报信垫片;B1—螺母;B2—弹性圆柱销;B3—螺母;B4—双向推力球轴承;B5—弹性圆柱销;B6—螺母;B7—弹性垫圈;B8—平垫圈;B9—推力球轴承;B10—弹性垫圈;B11—螺母;B12—平垫圈;B13—注油嘴;B14—弹性圆柱销;B15—钢球;B16—弹性圆柱销;B17—钢球

图2 FDS-P型绳索取心钻具结构

2.1 弹卡定位机构

常规绳索取心钻具弹卡钳顶死后,弹卡挡头、弹卡室、弹卡钳与弹卡架之间形成刚性机构,无法实现弹卡钳正常向内回收,为解决上述技术难题,全新设计了由弹卡钳、限位块、下铰链及弹卡架组成的双铰链弹卡定位机构,弹卡钳由张簧弹出,并与下铰链上端铰接,下铰链下端与弹卡架铰接,下铰链由回收管及限位块进行限位,保持下铰链两个铰接点连线与钻具轴向平行,利用回收管上提动作完成弹卡钳的向内回收,同时增加了复位弹簧,限定了内管钻具投放时回收管与弹卡架之间的相对位置,进而保证了限位块与下铰链之间的相对位置,从而实现对弹卡钳回转中心的可靠限位。

双铰链弹卡定位机构设计目的是在内管打捞过程中将顶死时的刚性机构转化为非刚性机构,通过内部空间的释放,实现弹卡钳向内正常回收。弹卡钳回收过程如图3所示,图3中(a)为弹卡钳顶死状态,此时已形成刚性机构;弹性圆柱销穿过限位块与回收管相连接,下入打捞器打捞内管钻具时,首先带动回收管上移10 mm空行程,此时限位块跟随回收管上移相同距离,两块下铰链的内侧限位被解除,回收管接触弹卡钳,此时定位机构各零件的位置如图3中(b)所示;继续打捞内管钻具,回收管推动弹卡钳向弹卡架内部移动,同时带动下铰链向内摆动,图3中(c)为回收管继续上移5 mm后定位机构各零件的位置状态;继续上提15 mm,弹卡钳已经全部进入钻具内部,顶死状态解除,实现弹卡钳顶死回收,定位机构各零件的最终位置如图3中(d)所示。整个回收过程,下铰链由外向内旋转 11° ,两侧弹卡钳的回转中心随下铰链向钻具内部摆动,回转中心径向位移达到5.8 mm,轴向位移达到1.6 mm,通过内部预留空间的释放,消除了顶死状态下的刚性机构,最终实现弹卡钳顶死状态下顺利回收。

2.2 堵心报信机构

提高内管总成打捞可靠性,同时要提高堵心报信机构的可靠性,堵心报信机构采用了内嵌式设计,如图2所示,即将报信机构设计在内管钻具内部,同样是利用堵心时产生的压力挤压报信垫片,封堵冲洗液过流通道,不同点在于封堵的是钻具内部冲洗液通道,钻具外径尺寸无变化,不影响内管总成打捞时的通过性。通过对压缩量的计算及试验,确定了岩心管上移的最佳压缩行程,对压缩量进行合理控制,既达到了压力升高的目的,又可以消除报信垫片过度挤压所带来的拆卸及更换问题。

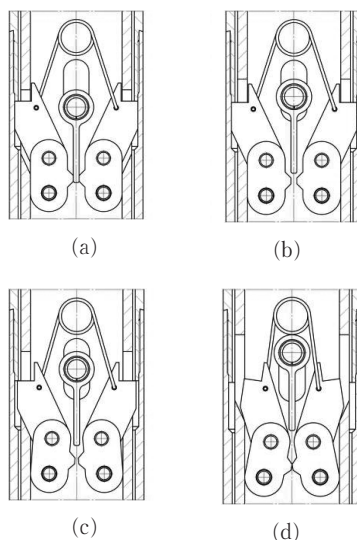


图3 弹卡钳回收动作分解

2.3 到位报信机构

到位报信机构作为绳索取心钻具关键机构之一,其可靠性的好坏直接影响钻具的使用效果,绳索取心钻具在浅孔、中深孔中应用时,通常对内管钻具进行简化,去掉了到位报信机构阀芯,以提高内管钻具投放速度,减轻冲洗液循环阻力,降低泥浆泵负荷,通过孔口听悬挂环和座环之间的撞击声音判断内管钻具是否投放到位^[19],由于悬挂环和座环之间撞击声音能量有限,所以这种判断方式随钻孔深度的增加,其可靠性越来越低,当绳索取心钻具在深孔、特深孔中应用时,孔口听声音方法失效,需设计更为可靠、实用、操作简便的到位报信机构。

FDS-P型绳索取心钻具将到位报信机构进行了改进设计,如图2所示,采用了钢球配合指示衬套的方式,开泵后钢球在压力的作用下通过指示衬套,泵压先升高再降低,通过泵压的变化判断内管总成是否投放到位,结构设计简单,操作简便,可靠性高。使用时首先上提回收管,露出钢球投入孔,将钢球投入到钻具内部并落入指示衬套上方;在内管总成投放时,回收管与弹卡架在复位弹簧的作用下,其相对位置一直处于图2中所示状态,确保任何状态下钢球不会脱离钻具;开泵钻进时,通过泥浆泵压力将钢球压过指示衬套并落入限位接头中;回次进尺结束、内管总成提至地表后,将滑套下移取出钢球,滑套通过弹簧自动复位,再次将钢球投入钻具内部即可重复使用。

3 钻具调试及室内试验

3.1 钻具调试

钻具零件加工完毕后,开展了组装及调试工作,首先完成了打捞机构和弹卡定位机构的装配,弹卡定位机构关键零件如图4所示,图4中(a)为限位块、(b)为下铰链,随后开展了弹卡钳回收动作和复位动作调试。上提回收管时,弹卡钳可成功回收至钻具内部,但在复位时,回收管不能回到正常位置,中途遇阻。经分析,原因在于复位过程中限位块接触下铰链斜面,未能顺利滑入到两片下铰链之间进行限位。为了验证原因分析的准确性,在开展了多次复位试验后,将装配好的钻具进行拆解,发现限位块下端及下铰链斜面处均留有不同程度的撞击痕迹,说明上述原因分析是准确的。

针对发生撞击的位置,对限位块和下铰链这两个关键零件的结构进行了改进,改进后的零件外形如图4中(c)、(d)所示,将限位块下部倒角由 45° 改为 60° ,并将端部的梯形结构改为三角形结构,将下铰链与限位块相接处的斜面由平面调整为圆弧面,目的在于减轻复位时限位块与两片下铰链之间的滑动阻力,快速、准确地实现弹卡钳的回收及复位。零件改进后进行了重新装配,再次进行了弹卡钳回收及复位调试,多次试验结果表明改进后的弹卡定位机构顺利实现了弹卡钳回收及复位动作,具有良好的可靠性。

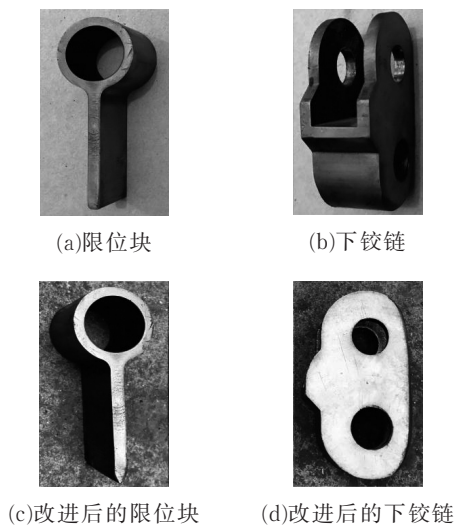


图4 关键零件改进前后对比

3.2 室内试验

3.2.1 弹卡钳顶死回收试验

钻具调试完毕后,开展了弹卡钳顶死回收室内

试验,试验现场如图5所示,首先将弹卡挡头及弹卡室连接好,利用车床的卡盘进行夹持,再将装配好的内管钻具定位机构送入弹卡室并定位,利用车床尾部刀架将内管钻具顶死,送入打捞器模拟正常内管打捞操作,以验证弹卡钳能否在顶死的状态下顺利实现回收。针对改进后的弹卡定位机构进行了30余次打捞试验,均一次性打捞成功,打捞成功率达到100%,实现了弹卡钳顶死状态下的内管钻具正常打捞,验证了FDS-P型绳索取心钻具弹卡定位机构改进设计的合理性。

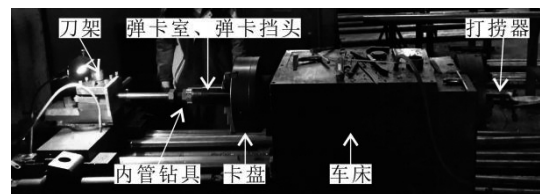


图5 弹卡钳顶死打捞试验

3.2.2 报信垫片挤压试验

利用装配好的堵心报信机构开展了报信垫片挤压试验,报信垫片材料为聚乙烯,外径 $\varnothing 60$ mm,厚度为12 mm,采用两片叠加的使用方式,中间用钢垫片分隔,需封堵的内孔直径为 $\varnothing 68$ mm,通过多次挤压试验确定了轴向最佳压缩位移为9 mm,此时报警垫片变形后的封堵效果达到设计要求,同时不影响零件的快速拆卸及更换。

3.2.3 到位报信机构压力试验

提高到位报信机构的可靠性应从两方面考虑,其一是报信时的泵压升高值,其二是压力升高持续时间,进而使操作人员进行准确辨别,避免误操作的出现。深孔钻探施工为减少辅助时间,常采用小排量泵送的方式投送内管总成,现场泥浆泵压力受泥浆脉冲及孔内循环压力变化的影响,压力表指针会出现波动,同时考虑尽量降低泥浆泵负荷,设计到位报信的压力升高值为1 MPa,持续时间为5 s。针对钢球尺寸试制了多种规格的指示衬套,利用BW250型泥浆泵开展了阻尼压力试验,完成了对指示衬套内径尺寸及公差的首选,达到了压力变化及持续时间的设计要求。

4 野外生产试验

2018年8月,依托我单位承担的“南方地区1:5万页岩气基础地质调查填图试点”项目,在贵州省铜仁市

的黔铜地1井进行了野外生产试验,使用的钻机型号为XY-6N立轴岩心钻机,泥浆泵型号为NBB260/7,钻压16 kN,转速300 r/min,泵量60~106 L/min,孕镶金刚石钻头外径 $\Phi 122$ mm、内径 $\Phi 85$ mm,钻具岩心管有效长度3 m,在215.88~254.91 m井段开展了野外生产试验,地层为浅灰色、灰色中厚层泥晶灰岩,裂隙相对发育,充填泥质,取心钻进过程中易发生堵心。

使用本次改进设计的FDS-P型绳索取心钻具,在黔铜地1井先后完成16个回次取心钻进,累计进尺39.03 m,岩心采取率均达到98%以上,其中有6个回次发生堵心,均通过泥浆泵压力的升高得到了准确、有效的判断,有效预防了岩心过度研磨。每次投送内管,到位报信机构均正常工作,压力的变化及持续时间与设计基本一致,满足使用要求。16次内管打捞全部一次成功,在实际生产中再次验证了FDS-P型绳索取心钻具结构改进的合理性以及其使用的可靠性,避免了提钻取心的发生,有利于保持复杂地层井壁稳定,有效保证了复杂地层岩心采取率及绳索取心钻进效率。

5 结论

(1)在裂隙发育、松散、破碎、强水敏性等复杂地层取心钻进时极易出现堵心,导致内管钻具打捞失败,究其原因包括两点,第一是弹卡钳与弹卡挡头顶死,弹卡钳无法正常向内回收,第二是报信垫片过度挤压,外径涨大后无法通过座环。

(2)从工程实际问题出发,完成了FDS-P型绳索取心钻具优化设计,室内试验及野外生产试验结果表明,双铰链弹卡定位机构及内嵌式报信机构,动作执行可靠,有效提高了内管钻具定位及打捞可靠性,解决了易堵心地层内管打捞失败问题;钢球配合指示衬套的到位报信方式,能够给出准确提示,操作便捷,可靠性高。

(3)FDS-P型绳索取心钻具的成功研制及应用,避免了复杂地层钻进时高频率提钻的出现,有效保证了绳索取心钻进技术高效率的优势,提高了易堵心地层岩心采取率及取心钻进效率,同时有助于保持井壁稳定。

(4)FDS-P型绳索取心钻具虽是针对易堵心地层优化设计,但仅是在钻具原有功能基础上,提高了其在复杂地层钻进时的使用性能,同样适用于常规

地层钻进,具有良好的广谱性,应用前景非常可观,极具市场推广价值。

(5)基于目前的研究基础,争取早日将钻具系列化,以满足不同钻孔口径的使用需求,力争为深部钻探及科学钻探提供可靠的技术支撑。

参考文献:

- [1] 冉恒谦,张金昌,谢文卫,等.地质钻探技术与应用研究[J].地质学报,2011,85(11):1806-1822.
- [2] 卢予北,吴焯,陈莹.绳索取心工艺在大口径深部钻探中的应用研究[J].地质与勘探,2012,48(6):1221-1228.
- [3] 姚彤宝,张春林,刘晓刚.大口径绳索取心钻具在特厚软煤中的取心应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):25-28.
- [4] 高贵山,张延龙,纪楠,等.吉林省通化县新华矿区多金属矿钻探施工技术[J].吉林地质,2013,32(3):119-123.
- [5] 白玉湖,李清平.天然气水合物取样技术及装置进展[J].石油钻探技术,2010,38(6):116-123.
- [6] 李宽,王舒婷,张永勤,等.西藏鸭湖地区天然气水合物调查井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(10):26-30.
- [7] 王志刚,薛倩冰,吴纪修,等.气测录井在南方页岩气黔绥地1井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):1-5.
- [8] 奎中,黄晟辉.湘永地1井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(8):28-33.
- [9] 王稳石,朱永宜,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):28-31,38.
- [10] 贾军,李旭东,樊腊生,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WF-SD-2孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):6-11.
- [11] 曹新志,张旺生,孙华山.我国深部找矿研究进展综述[J].地质科技情报,2009,28(2):104-109.
- [12] 宋明春.胶东金矿深部找矿主要成果和关键理论技术进展[J].地质通报,2015,34(9):1758-1771.
- [13] 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.
- [14] 李鑫森,李宽,梁健,等.复杂地层取心钻进堵心原因分析及其预防措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(12):12-15.
- [15] 许俊良.疏松及破碎地层取心新技术[J].钻采工艺,2009,32(1):22-23,26.
- [16] 李鑫森,李宽,孙建华,等.国内外绳索取心钻具研发应用概况及特深孔钻进问题分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):15-23,39.
- [17] 张伟.科学深孔复杂地层钻进技术难题与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):7-12.
- [18] 孔志刚,于希.辽河油田古潜山储层钻井取心技术[J].石油钻探技术,2014,42(3):50-54.
- [19] 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.