

# 深孔复杂地层绳索取心钻具优化设计思路

李鑫淼, 刘秀美, 尹浩, 李宽, 张永勤, 孙建华  
(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

**摘要:**采用绳索取心钻进技术在深孔复杂地层钻进时,易出现内管钻具打捞失败、岩心卡断失效及岩心易冲蚀等问题。本文从实际问题出发,结合国内外绳索取心钻具的发展现状,给出了钻具结构的优化设计思路,包括岩心管涂层减阻及振动解堵、弹卡机构防顶死设计、增加卡簧与岩心之间摩擦力、增大钻具内部过流面积、改变钻头处冲洗液流向等,以进一步提高绳索取心钻具在深孔中的钻进效率。

**关键词:**深孔;复杂地层;绳索取心钻具;优化设计;钻进效率

中图分类号:P634.4 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2017)11-0056-04

**Optimum Design Thoughts of Wire-line Coring Tool Used for Deep Hole Drilling in Complex Formation/LI Xin-miao, LIU Xiu-mei, YIN Hao, LI Kuan, ZHANG Yong-qin, SUN Jian-hua** (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** For deep hole drilling in complex formation, failure of inner tube drilling tools fishing, failure of core breaking, core erosion and so on are easy to happen in using wire-line coring drilling technology. Combined with the development status of wire-line coring tool both in China and abroad and starting from the practical problems, the optimum design thoughts of drilling tool structure are given including coating drag reduction and vibratory plugging removal of core barrel, anti-jacking design of latch mechanism, friction increase between core lifter and core, increase of the flowing area inside the drilling tool, change of the flushing fluid flowing direction near the bit and so on in this paper in order to further improve the drilling efficiency of the wire-line coring tool in deep hole drilling.

**Key words:** deep hole; complex formation; wire-line coring tool; optimum design; drilling efficiency

## 0 引言

绳索取心钻进技术在石油钻井中得到了最初应用,而后由美国 Longyear 公司将其引入到地质岩心钻探领域<sup>[1]</sup>。由于绳索取心钻进技术具有效率高、成本低、钻孔事故少等优点,目前已经得到了广泛的应用<sup>[2-6]</sup>。随着科学钻探及矿产资源勘查等工作的不断开展,钻孔深度在逐步加深,未来会有更多的深孔及特深孔出现<sup>[7]</sup>。从绳索取心钻进技术的原理、优点、应用效果等多方面分析,绳索取心钻进技术将在深孔钻探中得到进一步应用。随着钻孔的不断加深,地层将变得更为复杂,深孔复杂地层绳索取心钻进面临着严峻的挑战,同时存在诸多问题,例如松散、破碎地层岩心采取率低等。需对存在的问题进行合理分析与解决,以满足深孔复杂地层取心要求。因此,开展绳索取心钻进技术的深入研究对于提高深孔复杂地层的钻进效率具有重要意义。

## 1 深孔复杂地层绳索取心钻进技术存在的问题

### 1.1 内管钻具打捞失败

除常规地层钻进外,绳索取心钻具同样要适用于复杂地层钻进。在深孔钻进时,采用绳索取心钻具在复杂地层取心的难度将更大。在破碎、水敏地层钻进时,岩心形状不规则,遇水易膨胀,岩心进入内管时阻力大,容易出现堵心现象,使内管钻具受力整体上移,导致弹卡与弹卡挡头预留的间隙被消除,弹卡与弹卡挡头顶死,弹卡失去向内回转空间,下入打捞器后无法成功捞出内管,这时就要投入脱卡管进行解卡。在这种情况下,只能通过全面提钻解决问题,大大降低了钻进效率。

### 1.2 岩心卡断失效

绳索取心钻进遇坚硬致密地层时,岩心满管后不能顺利拉断岩心,有时只能提取部分岩心,造成岩心采取率降低,严重时岩心全部丢失。无法拉断岩心是由于卡簧内部磨损严重,未能及时更换,导致卡

收稿日期:2017-06-20; 修回日期:2017-09-22

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“南方地区1:5万页岩气基础地质调查填图试点”(编号:DD20179042)

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

簧与岩心之间的摩擦系数降低,无法提供足够摩擦力将岩心拉断,导致岩心丢失。另外,目前野外应用的绳索取心钻具卡簧设计宽度较小,卡簧内表面与岩心外表面接触面积小,无法提供足够的摩擦力拉断岩心,同时可能由于卡簧自身加工精度不够,致使卡簧内表面与岩心外表面贴合不够紧密,进一步降低了岩心拉断力,造成岩心卡断失效。

### 1.3 冲洗液循环阻力大

复杂地层钻进时,通常采用大密度、高粘度的冲洗液,起到了一定的抑制孔壁坍塌、掉块的作用。但对于绳索取心钻进工艺,冲洗液流经内管钻具时水流方向发生改变,并且过流面积严重减小,导致大密度、高粘度的冲洗液循环阻力大,泵压较高。随着钻孔的加深,泵压将会持续升高,对泥浆泵的使用提出了更高的要求。

### 1.4 到位报信机构可靠性较差

浅孔绳索取心钻进时,钻具基本取消了到位报信机构,主要通过孔口听撞击声音的方式来判断内管钻具是否投放到位<sup>[8]</sup>。取消了到位报信机构后,内管钻具的冲洗液过流通道变大,减小了冲洗液阻力,提高了内管钻具投放过程中的速度,减少了下放时间。但对于深孔绳索取心钻进来讲,撞击声音的能量是有限的,通过听声的方式判断内管钻具是否到位,几乎是不可实现的,必须增加可靠的到位报信装置,使现场操作人员做出准确的判断。

### 1.5 岩心易冲蚀

在极破碎、软弱、易冲蚀等地层钻进取心时,岩心进入内管的过程中,受到钻头处冲洗液的冲蚀,无法保证岩心完整,造成岩心采取率降低<sup>[9]</sup>。

## 2 绳索取心钻具优化设计思路

由于地层的复杂程度是不可改变的,所以我们只能从钻具的结构上进行优化设计。

### 2.1 解决岩心卡堵的钻具设计思路

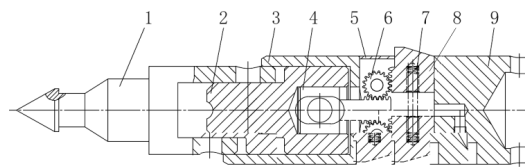
一种设计思路是提高钻具内岩心管内表面的光滑程度,可在岩心管内表面制备一层低摩擦系数涂层,以减小岩心进入内管时的阻力,消除或缓解岩心卡堵现象,提高岩心采取率。目前应用比较广泛、性能相对较好的润滑涂层材料主要包括聚四氟乙烯(PTFE)、二硫化钼(MoS<sub>2</sub>)、类金刚石碳(DLC)等。润滑涂层制备工艺主要有粘结、电镀、PVD(物理气相沉积)、CVD(化学气相沉积)、热喷涂等<sup>[10-12]</sup>。

需通过大量的试验来优选岩心管内表面的润滑涂层材料及涂层制备工艺,以达到最佳的减阻效果。

另外一种解决思路就是在钻具上加入振动装置,将振动力传递到内岩心管,起到一定的消除卡堵的作用。中国地质科学院勘探技术研究所王年友等人研制了“三合一”钻具(液动潜孔锤+螺杆马达+绳索取心钻具)<sup>[13]</sup>,利用液动潜孔锤进行冲击碎岩,提高钻速,同时减轻岩心卡堵。同时可以考虑研发新型低压降水力或电动振动装置,以减轻岩心卡堵现象,同时能够满足深孔钻探取心的要求。

### 2.2 弹卡定位机构的优化设计思路

弹卡顶死的主要原因是堵心现象的出现,除降低岩心进入内管的阻力外,可对弹卡定位机构进行重新设计,提高弹卡回收的可靠性。目前常用的绳索取心钻具弹卡定位机构设计均采用了单铰接点设计,弹卡对回转空间有一定要求,存在回收死点,从钻具结构上解决这一问题的思路是将目前较为常用的旋转式弹卡回收方式改为径向运动回收方式。美国 Boart Longyear 公司研制的绳索取心钻具弹卡定位机构包括 Link Latch 及 Roller Latch 两种<sup>[14]</sup>。Roller Latch 即滚动式弹卡,简称球卡,球卡设计使整套钻具具有良好的对中性,减轻了取心钻进时钻具的磨损。内管钻具投放到位后,钻具上部锥体下行,将钢球撑开,实现定位作用。打捞内管时打捞器带动锥体上行,钢球在外力的作用下滚入钻具内部。球卡的回收动作只包括钢球的径向运动,即使在堵心时球卡与弹卡室顶死,由于钢球自身的受力特点,也能够通过打捞器的上提动作轻松实现解卡并回收。基于类似的设计思路,项目组采用齿轮齿条原理实现了弹卡的径向回收。齿轮齿条弹卡定位机构设计如图1所示,主要由齿轮座、主动齿条、齿轮、弹簧和弹卡组成。其中主动齿条上部通过弹性销与捞矛座相连接,保证齿轮齿条在捞矛头的带动下实现弹卡的回收与张开。弹卡进行加厚设计,受力性能好,不易损坏。已经完成了多轮野外试验,定位及

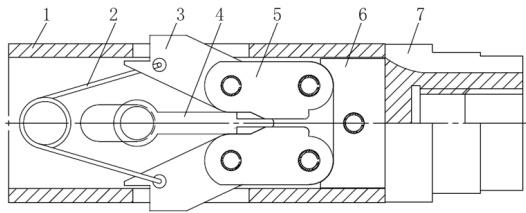


1—捞矛头;2—捞矛座;3—齿轮座;4—主动齿条;5—保护罩;6—齿轮;7—弹簧;8—弹卡;9—弹卡架

图1 齿轮齿条弹卡定位机构示意

回收效果良好,目前已经完成了相关专利的申请。

解决弹卡顶死问题的另外一个出发点在于如何能够在顶死的情况下仍然能够实现弹卡的向内回转,即将顶死形成的刚性结构转为非刚性。从原因分析来看,必须实现弹卡铰接点的可移动性。出于此种考虑,项目组研发了双铰链弹卡定位机构(如图2所示)。主要包括弹卡、支撑板、顶针等。弹卡进入弹卡室进行定位时,顶针将两侧支撑板顶住,限定弹卡铰接点位置。打捞内管钻具时,回收管通过圆柱销带动顶针上移,对内部空间进行释放,在外力作用下两侧支撑板向内回转,带动弹卡铰接点向钻具内部及下部运动,同时在回收管的作用下实现弹卡回收,目前已经完成了相关专利的申请。



1—回收管;2—张簧;3—弹卡;4—顶针;5—支撑板;6—支撑座;7—弹卡架

图2 双铰链弹卡定位机构示意

### 2.3 解决岩心拉断的钻具设计思路

目前使用最多的岩心拉断机构由卡簧、卡簧座及挡圈组成。由于受内部空间的限制,复杂的断心机构难以实现。卡簧与卡簧座锥度配合,利用上提拉力转化为卡簧与岩心之间的摩擦力来拉断岩心。增大摩擦力的方法包括增大卡簧与岩心的接触面积及增加卡簧内表面的粗糙度。基于上述分析,首先应增加卡簧的宽度,增加卡簧与岩心的接触面。其次对卡簧进行开口设计,除原有一道开口外,增加多个半开口,上提受力时以增加卡簧内表面与岩心外表面的贴合度,进一步增加接触面积。目前,美国Boart Longyear公司<sup>[14]</sup>研制的绳索取心钻具对卡簧进行了重新设计,针对破碎地层除对卡簧进行了加长设计外,还在卡簧的内表面进行了开槽设计,目的在于提高破碎地层不规则岩心的通过性。针对完整地层及极硬地层对卡簧内表面的摩擦花纹进行了改进设计,同时增加了金刚石复合涂层,提高卡簧的耐磨性,与常规卡簧相比使用寿命可以提高3倍。

### 2.4 解决冲洗液循环阻力大的钻具设计思路

内管钻具在设计时,应适量减小钻具的外径,增大内管钻具与钻杆之间过流面积。当冲洗液流经钻

具内部水流方向发生改变时,应尽量减小角度的变化,在保证钻具整体强度的条件下,适当加大钻具内部过流面积,从而减轻冲洗液流动阻力,在保证冲洗液护壁、冷却、润滑、携带岩屑等性能的前提下,降低泥浆泵负荷。

### 2.5 到位报信机构的设计思路

目前英国Jksboyles公司<sup>[15]</sup>、法国DATC公司<sup>[16]</sup>、瑞典SANDVIK公司<sup>[17]</sup>的到位报信机构均采用了钢球配合到位指示衬套的设计原理,采用合适的公差配合,以达到压力变化的目的。原理简单易行,但每次取心结束后,需将钢球的位置调整到上部初始位置,方可再次使用,同时还要检查指示衬套的磨损情况,磨损严重的要及时更换。美国Boart Longyear公司<sup>[14]</sup>早期也采用了上述设计原理,目前在结构设计上又做了进一步改进,将钢球与细长杆相连,最终连接到回收管。在冲洗液压力的作用下钢球下行,通过指示衬套,压力增大后恢复正常,完成到位报信指示。上提内管钻具时,回收管上移,带动钢球复位,只需定期检查指示衬套的磨损情况,避免了人工调整钢球位置,提高了钻进效率。

### 2.6 岩心冲蚀的解决思路

解决岩心冲蚀问题可以通过改变钻头处冲洗液流向来实现,例如采用侧喷式金刚石钻头,下行冲洗液将从钻头的侧面水口喷出,同时可以考虑在卡簧座与取心钻头内壁之间设计密封装置,减轻冲洗液对岩心的冲蚀,从而保证岩心的完整性,提高岩心采取率。

## 3 结语

本文主要介绍了深孔复杂地层钻进时,绳索取心钻进技术存在的内管钻具打捞失败、冲洗液循环阻力大、岩心易冲蚀等问题,并分析了上述问题的根本原因。通过分析认为:

- (1) 可以通过增加岩心管内壁减阻涂层及振动装置解决岩心卡堵问题;
- (2) 采用球卡、齿轮齿条弹卡及双铰链弹卡定位机构解决内管打捞失败的问题;
- (3) 通过增加卡簧与岩心的接触面积,改善卡簧与岩心的贴合度,改进卡簧摩擦花纹,解决岩心卡断失效的问题;
- (4) 通过加大钻具内部过流面积,来减轻冲洗液流动阻力;

(5)采用钢球与指示衬套配合的方式,完成到位报信指示;

(6)通过改变钻头处冲洗液的流向,减轻岩心冲蚀,提高岩心采取率。本文结合国内外绳索取心钻具的研发现状,从钻具结构角度出发,给出了深孔绳索取心钻具的优化设计思路,以期进一步提高绳索取心钻进技术在深孔复杂地层中的钻进效率。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 朱金乐.分析地质钻探技术的发展作用及未来发展趋势[J].科技展望,2016,(22):42.
- [3] 吴景华,王文臣,谢俊革,等.绳索取心钻进工艺在非金属矿产资源勘探中遇到的问题与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):43-48.
- [4] 王政敏,陈方.绳索取心钻具的拓展钻具研发[J].矿床地质,2008,(S1):139-141.
- [5] 吕江漫.工程地质勘察中钻探技术的应用分析[J].资源信息工程,2016,31(3):112-113.
- [6] 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.
- [7] 孙建华.大深度复杂地层绳索取心钻探技术[J].地质装备,2008,9(4):19-21,16.
- [8] 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.
- [9] 钱书伟,张绍和,李锋,等.软弱易冲蚀地层钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):29-31.
- [10] 陈建敏,冶银平,党鸿辛.粘结固体润滑膜及其应用[J].摩擦学学报,1994,14(2):180-189.
- [11] 赵学敏,汪刘应,张虎,等.固体润滑涂层制备工艺的研究进展[J].材料导报,2013,(S2):68-71.
- [12] 胡志彪,李贺军,付前刚,等.低摩擦系数固体润滑涂层研究进展[J].材料工程,2006,(3):60-63,68.
- [13] 王年友,谢文卫,冯起赠,等.绳索取心、液动潜孔锤、螺杆马达“三合一”钻具[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(S1):45-47.
- [14] <http://www.boartlongyear.com> [DB/OL].
- [15] <http://www.jksboyles.co.uk> [DB/OL].
- [16] <http://www.datc-group.com/en> [DB/OL].
- [17] <http://www.home.sandvik/en> [DB/OL].

(上接第49页)

奠定了较好的基础,为推进海上工程建设、浅海地质资源勘查等项目的开展提供了可靠的手段。

#### 参考文献:

- [1] 陈师逊,宋世杰.中国东部海区科学钻探施工技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):1-5.
- [2] 陈建民,娄敏,王天霖.海洋石油平台设计[M].北京:石油工业出版社,2012:76-319.
- [3] 聂武,孙丽萍,李治彬,等.海洋工程钢结构设计[M].黑龙江哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2007:11-38.
- [4] 宋宝杰,栾东平,杨芳,等.“探海1号”大陆架科学钻探平台的设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(9):9-13.
- [5] 陈师逊,杨芳.海上工程平台的设计与应用分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):46-50.
- [6] 杨永祥,尹群,谢祚水.船舶与海洋平台结构[M].北京:国防工业出版社,2013:139-139.
- [7] 栾东平,张英传,宋宝杰,等.浅海勘探平台的液压升降机构:中国,ZL201520109167.1[P].2015-08-19.
- [8] 张英传,宋宝杰,栾东平,等.浅海自升式勘探平台:中国,ZL201520108965.2[P].2015-08-05.