

深孔绳索取心液动锤钻具的研制与应用

杨泽英, 齐力强, 崔淑英, 王跃伟, 苏长寿, 王建华
(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:绳索取心液动锤钻探技术具有钻进效率高,可大幅度增加回次进尺、延长钻头寿命、减少辅助工作时间等优势被广泛应用。本文主要针对深孔环境对钻具整体强度、安全性、稳定性、工作寿命、高背压适应性等的具体要求,对原SYZX钻具所做的一系列改进和完善进行了论述。生产试验证明,改进后的钻具完全满足深孔钻探施工对钻具的更高要求。

关键词:绳索取心液动锤;深孔钻探;岩心钻探

中图分类号:P634.5⁺6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)12-0066-05

Development and Application of Wire-line Coring Hydro-hammer for Deep Hole/YANG Ze-ying, QI Li-qiang, CUI Shu-ying, WANG Yue-wei, SU Chang-shou, WANG Jian-hua (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The wire-line coring hydro-hammer drilling technology is widely applied for its advantages of effective drilling, largely increased round footage, prolonged bit service life, less auxiliary time and so on. Aiming at the specific requirements of the deep hole environment for the drilling tools in overall strength, safety, stability, service life, high backpressure adaptability and other aspects, this paper discusses a series of improvement and perfection of the original SYZX drilling tools. The production test proves that the improved drilling tools can fully meet the higher requirements for deep drilling construction.

Key words: wire-line coring hydro-hammer; deep hole drilling; core drilling

1 概述

传统的地质岩心钻探以小口径金刚石钻探为主,需要高速回转磨削、地表驱动回转,随着孔深的增加,设备功耗损失、钻杆磨损均大大提高,且易引发孔内事故。绳索取心液动锤钻探技术将绳索取心和液动锤冲击回转两项先进技术有机结合,不仅能减少提下钻辅助时间,提高台月效率,减轻劳动强度,更具有钻进速度快,回次进尺长,钻孔质量优等优点,在深孔中应用还因为冲击碎岩作用,使得碎岩所需转速和钻压均可降低20%~30%,能进一步减少设备功耗损失,降低孔内事故风险,且更容易保证钻孔垂直度。

到2012年底,绳索取心液动锤钻具成功应用深度已达2211.4 m(直径75 mm)和1461.3 m(直径96 mm)。随着新一轮能源探采施工孔深的增加,对钻具的整体强度、安全性、稳定性、工作寿命、高背压适应性、密封件的耐温性能等技术指标均提出了更高的要求。在地调项目“3000 m深孔绳索取心液动锤及钻进工艺研究与应用”支持下,课题组对此与多位专家

进行技术与沟通,并针对原有钻具中存在的问题进行了深入剖析,在原有SYZX系列钻具的基础上进行了一系列的改进与完善,重点开展了绳索取心液动锤外总成螺纹分析与优选、单动机构优化、提高液动锤工作寿命、新型陶瓷耐磨材料尝试、受冲击易损件材质优化及热处理工艺改进等工作,以满足深孔钻进工况对绳索取心液动锤钻具的性能要求。

2 主要研究内容

2.1 提高钻具的整体安全性

为提高钻具整体强度及安全性,采用有限元分析法对N规格绳索取心液动锤外总成现有的螺纹标准进行计算、分析,根据计算结果,其安全性排序为:加厚>老地标>新地标40>新地标30>冶标>NQ(各标准螺纹参数参见表1)。

由此对钻具结构等作如下调整。

(1)N规格绳索取心液动锤外总成联接螺纹采用加厚螺纹标准进行加工,并严格加工时的公差与配合及光洁度要求。

收稿日期:2017-09-08;修回日期:2017-11-21

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“3000 m深孔绳索取心液动锤及钻进工艺研究与应用”(编号:12120113016300)

作者简介:杨泽英,女,汉族,1963年生,教授级高级工程师,探矿工程专业,从事钻探器具研究与开发工作,河北省廊坊市广阳区金光道77号,1207361274@qq.com。

表 1 螺纹参数

螺纹名称	螺纹大径/mm	螺纹小径/mm	螺距/mm	公螺纹长度/mm	螺纹高度/mm
加厚螺纹	67.0	65	6.00	50.0	1.00
老地标螺纹	68.0	66	4.00	40.0	1.00
新地标螺纹 40	68.5	67	4.00	40.0	0.75
新地标螺纹 30	68.5	67	4.00	30.0	0.75
冶标螺纹	68.5	67	6.00	40.0	0.75
NQ 标准螺纹	67.5	66	6.35	41.5	0.75

(2)图 1 为绳索取心钻具原有的上部结构,为减少薄弱环节,将上扩孔器(无论是热压烧结还是

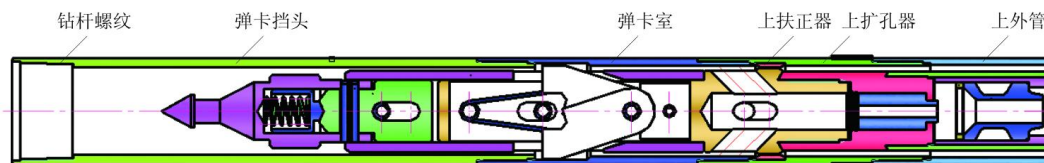


图 1 外总成上部的原有结构

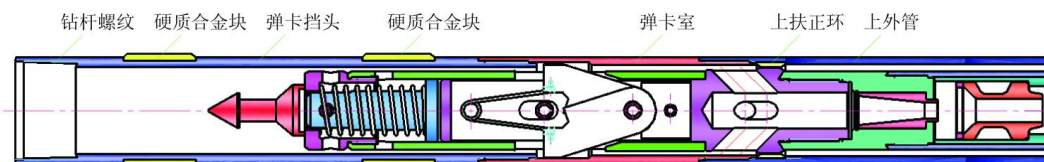


图 2 外总成上部改进后的结构

电镀加工,其基体材料均为 45 钢,而弹卡挡头、弹卡室及上外管均采用 XJY850 调质管材加工,和合金钢材料相比,45 钢的机械性能差了很多,是外总成上部的薄弱环节)和弹卡挡头做成一体,弹卡挡头外部镶焊硬质合金块,起扶正耐磨作用。去掉了原外总成上的上扩孔器,将上扶正环放置在上外管中。

(3)外总成的承冲环接头和下外管均采用 XJY850 调质管材加工,钻具的整体强度得到充分保证。改进后的外总成上部结构见图 2。

2.2 单动机构改进

原有的绳索取心液动锤钻具沿用绳索取心钻具的单动结构(参见图 3)。拔断岩心时,缓冲弹簧压缩,会挤压下盘推力轴承;轴承磨损后,调整其间隙

时,受到花螺母孔位和轴上开口销孔位的限制,容易过松或过紧,影响单动效果和轴承工作寿命。改进后的单动机构参见图 4。

(1)将缓冲弹簧和单动轴承分别置于弹簧腔和

上盘推力轴承 轴承盖 黄铜套 上轴承套 单动轴 下盘推力轴承 缓冲弹簧 垫圈 花螺母 开口销

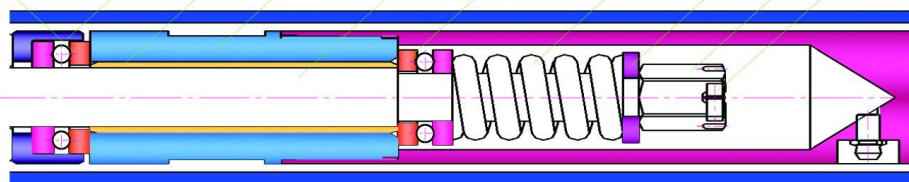


图 3 原有钻具的单动机构

缓冲弹簧 弹簧套 上轴承套 自润滑黄铜套 单动轴 自锁螺母 上分离接头 油嘴

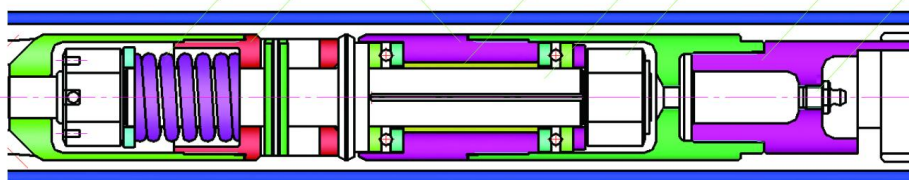


图 4 改进后的单动机构

轴承腔中,采用自锁螺母调整锁定轴承的轴向位置,改善轴承的受力状态。

(2)采用韧性更好的材料加工单动轴,并将螺纹部分由 M22X2.5 变为 M24X2。

(3)选用自润滑轴承代替原来的黄铜轴承。

(4)改变油嘴位置到上分离接头中,更方便生产现场加注润滑脂。

2.3 提高液动锤工作寿命

液动潜孔锤采用泥浆作为工作介质,泥浆在循环清理钻屑过程中使其本身含有了大量的固相颗粒,造成了极其恶劣的磨粒磨损状况;液动潜孔锤在工作过程中缺乏有效的润滑,导致零件中存在严重的黏着磨损;零件工作过程中高频的强力冲击和振动导致出现振动磨损(黏着磨损);高速流动的泥浆裹挟着坚硬颗粒对液动潜孔锤内部产生严重的冲蚀等等。上述情况同时存在,且其恶劣程度远远超过常规机械零件的工作环境。

液动锤运动密封副采用间隙配合,磨损对液动锤的影响表现为:(1)磨损使得间隙变大,因为补偿变大的间隙,需要更高的泵量和泵压才能保证液动锤正常工作;(2)磨损过度,间隙达到一定程度后,需要的泵压太高,会超过现场机具对泵压的承受能力,也会导致液动锤内腔体的压力难以建立或不同腔体之间的压差偏离设计值过大而破坏了其工作条件;(3)零件的磨损,导致零件间的配合尺寸出现较大变化,零件间的位置关系破坏也会停止工作;(4)裹挟着大量固体颗粒的高速泥浆对液动潜孔锤内部零件产生冲蚀,导致零件外形发生变化,流场形态随之改变,破坏了液动潜孔锤设计的工作条件等等。种种情况都导致了液动潜孔锤停止工作,而需要更换新的零件,这一过程表现为液动锤的工作寿命。

为增加运动密封副的耐磨性能进而增加液动锤的工作寿命,曾尝试采用底端留台阶,上端采用弹性挡圈限位的方法将陶瓷衬套加放到 YZX73 型液动锤的上缸套中(参见图 5),增加上缸套的耐磨性,减少易损件数量,结果由于组合零件过多,组装后同轴度受影响,使得上活塞偏磨明显,液动锤启动泵压变高,该方案被搁置。后采取在原有材料和加工工艺

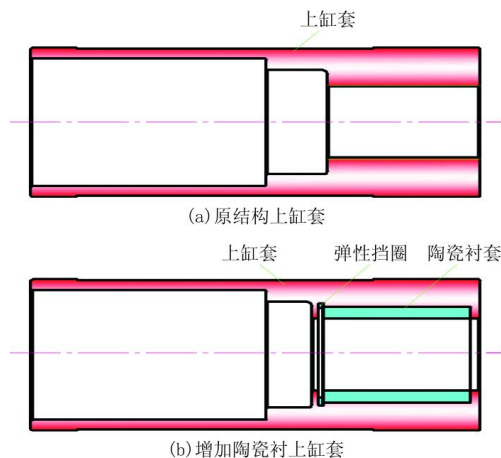


图5 液动锤上缸套结构变化示意

的基础上,增加锻造工艺,以减少基材缺陷,提高其耐冲击性能,增加其工作寿命。生产试验结果证实,增加锻造工艺后,运动密封副工作寿命由原来的 120 h 左右(清水作冲洗液),增加到 200 h 以上。

2.4 提高受冲击部件的质量稳定性

原有的液动锤锤轴,受冲击部位需要局部淬火,以增加其局部硬度而其余部分保持其韧性。针对这个零件,我们反复试验材料、淬火介质、修改零件结构和工艺,始终无法获得性能稳定的成品:不是淬硬了碎裂掉块,就是淬软了打堆,甚至从硬层和软层的分界处整体断裂(参见图 6)。碎块掉落后,还会造成下缸套的损坏。液动锤产生的冲击功大约是同直径低风压气动锤的 60%,为提高锤轴的质量稳定性,我们到气动潜孔锤生产厂家走访调研后,决定采用气动潜孔锤相关零件的材料和热处理工艺试制锤轴。通过室内测试和生产试验进行检验,证明其质量稳定性问题得到彻底解决,性能完全达到设计和使用要求,且生产成本在可承受范围,也适宜规模化生产。究其原因,加工用材料相同,加工工艺也相差不多,只是最后的局部淬火,由于热处理中温度、时间和淬火介质等相关因素控制得当,淬火部位硬度值稳定适中,零件的质量得到了充分保证,推向市场的产品整体质量得到提高。

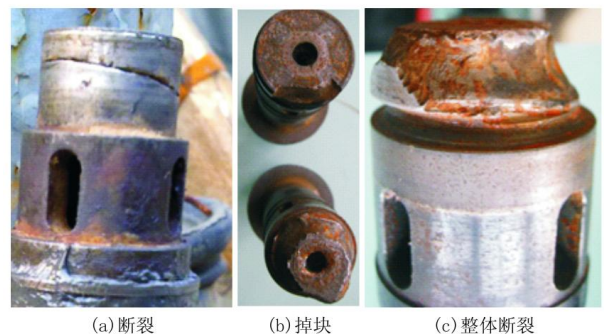


图6 损坏后的锤轴

2.5 优化传功结构

液动锤复合在内总成的打捞定位机构下部,其产生的冲击功通过位于内总成的传功环传递到位于外总成的承冲环上,进而传递到下外管、钻头上。钻进过程中,传功环靠台阶悬挂在承冲环上,由于冲洗液中固相成分的沉积作用,易使得传功环和承冲环之间的导向斜面空间被固相沉积物填充,使得回次结束打捞内总成时,因内总成和外总成不易分开造成打捞失败。优化传功结构采用减少固相物堆积空

间,减少粘滞阻卡几率,更有利于打捞时内外总成的分离。生产试验表明效果很好。优化后的传功结构如图 7 所示。

原结构(图 7a)设计时,偏重考虑了传功环进入承冲环时的导向作用,传功环坐落到承冲环上后,承冲环导向角与传功环之间形成的空间较大,且成楔形,不仅造成冲洗液中的固相物易沉积,而且易产生粘滞阻卡;承冲环去掉导向斜面改短后(图 7b),固

相物堆积空间只是由于装配公差产生的,比较小,而且由于内总成自身较长,居中性较强,去掉导向斜面后不影响内总成投放到位,是比较理想的结构;只是改短后的结构会造成零件尺寸的改变,会对生产和售后服务增加额外工作,因此我们设计了承冲环保持原长的结构(图 7c),该结构虽然不及图 7(b)结构理想,但比图 7(a)结构效果优越。

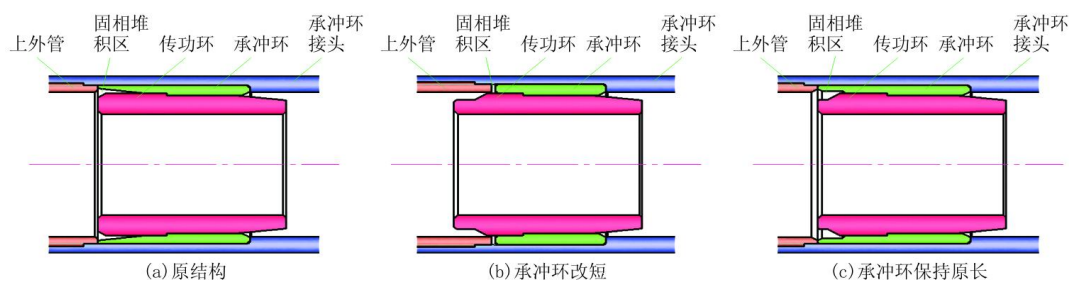


图 7 传功结构

2.6 降低水垫阻力

在液动锤工作原理确定的前提下,通过对 YZX 系列液动锤的流场分析,发现造成冲锤向下运动冲击砧子的过程中液流通道阻力过大,是造成该系列液动锤泵压较高的原因之一。采取在砧子增设分流孔,以降低液流阻力,可使得液动锤更好的适应深孔环境,且结构简单,容易实现。

2.7 研制耐高温密封圈

针对深孔高温环境,我们委托专业单位研制了耐高温的 O 形密封圈,其测试数据如表 2 所示。

表 2 耐高温 O 形密封圈测试数据

测试数据	硬度(邵尔 A)/HA	抗拉强度/MPa	扯断伸长率/%	50%定伸应力/MPa	100%定伸应力/MPa
标准值	75 ± 5	≥ 10	≥ 100	≤ 8	≤ 15
老化前实测值	81	18.05	139	5.41	12.21
老化后实测值	85	16.19	116	6.75	13.93

注:表中所列的老化后的实测值是在空气环境中,260 °C 持续 142 h 后的结果。根据检测的结果该密封圈尚在未失效的范围内。

泥浆环境下, YZX178 型液动锤的应用孔深达 5450.74 m,该回次进尺 19.03 m,用时 21 h,井底循环液温度为 175 °C,液动锤在该次生产试验中 O 形密封圈没有失效。

2.8 加长岩心管的设计与思考

由于孔深使得打捞内总成时间变长,为了减少辅助时间,设计了 5 m 长岩心内管的绳索取心液动锤钻具。该设计方案是内管设计成 5 m 长单根,下外管分上下两段,中间接扩孔器(有利于钻具外总

成的扶正)并加放下扶正环(有利于内总成的导正和居中);要求加工内外管时,首先挑选符合直度要求的管材,严格对同轴度的要求;其次要求加工螺纹时,一定要测量、卡正,保证螺纹连接后的同轴度。

加长到 5 m 的岩心内管钻具使用效果很好:在内蒙古赤峰市双山子铜多金属矿区共完成了 4 个孔的施工,不管是破碎、节理发育、构造泥夹层,每个回次岩心都是 5 m 长,岩心采取率 100%,减少了辅助时间,提高了钻进效率。

应该注意的是,岩心内管加长,下外管也要相应加长,位于上下外管之间的传功台阶到钻头距离增加,经下外管传递的冲击功损失增加,传递到钻头上的部分减少。对于特别坚硬地层,需要高冲击功的情况下,为减少冲击功损失,不应采用加长的岩心管钻具。

3 钻具的生产试验

经过系列改进后的深孔绳索取心液动锤钻具,通过生产试验的检验,完全满足深孔钻探环境的要求。

3.1 SYZX75 型绳索取心液动锤钻具

2013 年 SYZX75(N 规格)型绳索取心液动锤钻具在“中国岩金勘查第一深钻”(三山岛西岭矿区 ZK96-5 孔,设计孔深 4000 m)进行了生产试验,取得了很好的效果。

从孔深 3381.77 m 开始使用该套钻具,直到 4006.17 m 终孔,连续钻进了 624.4 m。结果表明,

在深孔硬、脆、碎地层中应用绳索取心液动锤钻进,具有可大幅度提高回次进尺、增加钻头寿命、减少辅助工作时间等优势。回次进尺平均提高约40%,在特别破碎地层回次进尺提高150%;钻头寿命平均延长20 m;小时效率提高60%,台月效率提高56%。有效地解决了回次进尺短的问题,彰显了绳索取心液动锤的先进性和优越性。

钻具经受了4000 m深度的工况考验,创国内外小口径绳索取心液动锤钻进最深纪录,入选2013年度探矿工程十大新闻。

3.2 SYZX96型绳索取心液动锤钻具

2015年,SYZX96(H规格)型绳索取心液动锤钻具在新疆昌吉庙尔沟煤层气勘查工地庙煤1井进行了生产试验,试验孔深达到2215.81 m,创同规格绳索取心液动锤钻具应用孔深纪录。本次试验有179 m的工作量是在2000 m以深完成的,钻具在使用过程中工作性能、结构强度、零件强度及温度适应性等方面均承受住了考验,钻具的螺纹联接强度没有出现问题,完全能够满足2000 m钻深的工作要求,并充分体现了钻具在提高钻速、增加回次进尺以及保证岩心采取率等方面的优势。

3.3 SYZX122型绳索取心液动锤钻具

2015年配合地质调查项目“3500 m深部地质勘查全液压钻探装备配套示范”研制的高冲击功的YZX89型液动锤,与P(S122)规格绳索取心钻具有机组合,形成的SYZX122型绳索取心液动锤钻具,在山东招远的试验孔钻进中,2套钻具从开孔使用,一直到691.2 m孔深结束,除了因操作失误造成1套钻具的单动轴弯曲以外,整个过程没有更换任何其他零件;在可钻性8级以上的强研磨花岗岩为主的岩层中,最高机械钻速达3 m/h;因钻孔孔斜要求 $\geq 1^\circ/1000$ m,钻进速度受到严格控制,在既控制孔斜不超标,又能保持一定的钻进速度,该钻具起到了重要作用;在钻进过程中,即使遇到破碎地层,也能基本保证满管的回次进尺,还取出了3 m长的整根岩心(参见图8)。

4 结语

通过理论计算、分析探索、结构优化、工艺改进等综合研究,使得液动锤技术得到进一步提高;钻具强度提高,安全性得到保证,零部件寿命延长,结构更加合理,整体质量得到提高,可以更好地适应深孔



图8 SYZX122型绳索取心液动锤钻具取出的岩心

工况对钻具的严格要求。绳索取心液动锤钻具的最深应用记录N(SYZX75型)规格4006.17 m,H(SYZX96型)规格2215.81 m,P(SYZX122型)规格691.2 m。生产试验表明,经过系列改进的绳索取心液动锤钻具完全满足深孔工况的复杂环境,在深部钻探中具有大幅度提高回次进尺、增加钻头寿命、减少辅助工作时间等显著优势,成为我国深孔施工特有的、性能优越的钻探器具。

参考文献:

- [1] 苏长寿.“科钻一井”突破4000m, YZX127液动潜孔锤创造新纪录[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(8): 28.
- [2] 苏长寿, 谢文卫, 杨泽英, 等. 系列高效液动锤研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3): 27-31.
- [3] 王建华, 苏长寿, 左新明. 深孔液动潜孔锤的研究与应用[J]. 勘察科学技术, 2011, (6): 59-64.
- [4] 曹学斌, 王发民, 何玉云, 等. SYZX96型绳索取心液动锤在甘肃李坝金矿复杂地层中的应用及效果[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(6): 30-33.
- [5] 董海燕. 绳索取心液动锤在中国岩金勘查第一深钻的应用和最新进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(10): 9-12.
- [6] 姜桂春, 韩颂. 绳索取心液动锤在浩尔忽洞金矿复杂地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(10): 13-15.
- [7] 罗永贵. SYZX绳索取心液动锤在小秦岭金矿田复杂地层深部钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(3): 7-9.
- [8] 傅丛群, 彭金灶. SYZX75型绳索取心液动锤在福建武平银多金属矿的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6): 33-34.
- [9] 杨泽英, 苏长寿, 齐立强, 等. 绳索取心液动锤技术的应用与拓展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S2): 138-140.
- [10] 傅丛群. 绳索取心液动锤在多类型矿区的应用及其效果[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 24-26.
- [11] 赵华. SYZX系列绳索取心液动锤在新余梅山煤矿易斜深孔防斜钻进中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 27-29.
- [12] 石生明, 朱永宁. SYZX75型绳索取心液动锤在坚硬致密“打滑”地层的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(9): 15-16, 20.
- [13] 罗冠平. SYZX75型绳索取心液动锤在肃北德勒诺尔铁矿区的應用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(1): 47-49, 56.