

# 不提钻换钻头钻进技术研究与应用

钱锋, 胡立, 邓梦春, 罗显梁\*, 张统得

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都611734)

**摘要:**地质钻探施工时起下钻更换钻头,需要占用大量时间,且存在一定的安全隐患,大大影响钻探效率,采用不提钻换钻头钻进技术可以很好地解决这个问题。以S95绳索取心钻杆为使用平台,沿用BH-75钻具基本结构,并针对其存在问题,研制BH-95规格的不提钻换钻头钻具,同时根据BH-95规格钻具的具体结构完善BH-75钻具,提高了BH系列钻具的承压能力和钻具收敛(投送)稳定性,增设了自动除沙机构等。将该技术在江西省宜春市桃地1井(地热井)进行了现场应用,在孔深680.65~704.25 m进行了不提钻换钻头,钻具到位张开成功率100%,岩心采取率达到99.4%,岩心质量好,最大限度减少了起下钻次数,有效预防了起下钻引发的孔内事故。不提钻换钻头钻进技术为深孔地质勘探中钻进强研磨性、“打滑”、软硬频繁交替等地层,提供了及时优化钻头使用方案,降低能源消耗,有效地保护孔壁安全和减轻劳动强度。

**关键词:**地质钻探;不提钻换钻头;BH系列钻具;绳索取心钻杆

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2023)S1-0380-05

## Research and application of drilling technology of replacing drill bit without lifting the rod

QIAN Feng, HU Li, DENG Mengchun, LUO Xianliang\*, ZHANG Tongde

(Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

**Abstract:** It takes a lot of time to go out to change the bit in geological drilling construction, and there are certain safety risks, which greatly affects the drilling efficiency. Using the drilling technology of replacing the bit without lifting the rod can solve this problem well. Using the 95 specification wireline coring drill pipe as the platform, the basic structure of BH-75 drill pipe was used, and in view of the existing problems, the BH-95 specification drill pipe without lifting drill bit change was developed. At the same time, the BH-75 drill pipe was improved according to the specific structure of the 95 specification drill pipe, so as to improve the bearing capacity and convergence (delivery) stability of the drill pipe, and automatic sand removal mechanism was added. The technology was applied in the Taodi 1 well (geothermal well) in Yichun City, Jiangxi Province. The drill bit was changed without lifting drill at the hole depth of 680.65~704.25 meters. The success rate of drilling tool in place was 100%, the core recovery rate reached 99.4%, the core quality was good, and the tripping times were reduced to a minimum, effectively preventing the hole accidents caused by tripping. The drilling technology without lifting drill Bit Change provides timely optimization of drill bit usage plans, reducing energy consumption, effectively protecting hole wall safety, and reducing labor intensity for drilling in formations with strong abrasiveness, slipping, and frequent alternation of soft and hard in deep hole geological exploration.

**Key words:** geological drilling; replacing drill bit without lifting the rod; BH series drilling tools; wireline coring drill pipe

收稿日期:2023-05-26 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.060

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“西部地区战略性矿产快速查证与技术支持”(编号:DD20230320);国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项“5000米智能地质钻探技术装备研发及应用示范”(编号:2018YFC0603404)

第一作者:钱锋,男,汉族,1983年生,工程师,探矿工程专业,长期从事探矿工程技术研究工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路139号,271623380@qq.com。

通信作者:罗显梁,男,汉族,1994年生,助理工程师,油气井工程专业,主要从事深孔复杂地层钻探技术及油气井研究工作,四川省成都市郫县成都现代工业港(北区)港华路139号,984934532@qq.com。

引用格式:钱锋,胡立,邓梦春,等.不提钻换钻头钻进技术研究与应用[J].钻探工程,2023,50(S1):380-384.

QIAN Feng, HU Li, DENG Mengchun, et al. Research and application of drilling technology of replacing drill bit without lifting the rod[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1):380-384.

## 0 引言

随着我国川藏铁路、滇藏铁路、新藏铁路等一系列重大工程的逐步实施,以及新一轮战略找矿突破行动的开启,需要实施大量的地质钻探工作<sup>[1-3]</sup>。地质钻探中为了更换钻头的起下钻辅助工序,不仅占用较多施工时间,而且影响钻孔稳定性,普遍存在安全事故隐患,是影响钻探效率的主要因素,其影响程

度随钻孔加深而显著增大,尤其在深孔和复杂地层影响尤为严重<sup>[4-6]</sup>。早在一个世纪前,人们就提出不提钻换钻头钻进的设想,期望在不提钻前提下,实现对孔底钻头的检查或更换,并为之进行长期的探索,先后出现近百种尚不具备实用性的不提钻换钻头钻具结构方案<sup>[7-11]</sup>。根据钻头特征,可将这些钻具归纳为表1所列的主要类型。

表1 不提钻换钻头钻具一览

钻具类型	结构形式	结构特征	典型钻具,产地	试验和使用概况
扩孔翼张 敛式	楔顶扩孔翼张 敛式	装有执行先导钻进的取心钻头、承担扩孔任务的张敛式扩孔翼,采用楔顶机构控制扩孔翼张敛,完成钻具安装或投捞。钻具既是换钻头的工具,又执行取心钻进	Mindrill钻具,澳大利亚;BH钻具,中国	Mindrill生产试验;BH-75钻具成功用于钻探生产
	铰链扩孔翼张 敛式	扩孔翼采用铰链连接,采用齿轮齿条机构控制其张敛,其余与楔顶式相同	Texco钻具,加拿大	直径大于4½ in油气井套管钻井
整体式	整体钻头倒转式	采用整体取心钻头,其圆周上对称切有2个平面。采用专用换钻头工具控制钻头卸开和倒转,倒转后钻头径向尺寸小于钻柱内径,可打捞至地面,或送到孔底安装在钻柱底端	Retractable bit system,美国	20世纪70年代在明尼苏达等地页岩中进行生产试验,未见应用
拆卸式(拼 装式)	完全拆卸式	由上、下两组(每组2~4块)钻头块沿圆周拼装构成环形取心钻头;采用专用工具控制两组背离移动,钻头收缩;相对运动使钻头张开	油气钻井行业早期技术方案	
	局部拆卸式	钻头由可拆卸的钻头块和连接在钻柱下端的钻头架组合而成;有的还带中心钻头,采用专用工具送钻头块并安装在钻头架上,或拆卸钻头块提出钻孔		

现代不提钻换钻头技术是在绳索取心钻进基础上发展的一种钻进新方法,除具备绳索取心钻进功能外,可在不起下钻杆柱情况下实现对孔底钻头的更换<sup>[12]</sup>。其实质是,采用绳索打捞方式,借助专用钻具或采用换钻头工具,将孔底服役钻头从钻杆柱底端卸开并打捞到地表,然后将新钻头送到孔底并安装在钻杆柱端<sup>[13]</sup>。20世纪80年代中期,我国探矿工艺研究所成功研制了BH-75不提钻换钻头钻具,在我国钻探中首次实现不提钻换钻头钻进,先后在甘肃水文三队、赣东北地质大队等数十个地勘单位进行试验和推广应用<sup>[14]</sup>。尽管BH-75钻具完成了大量钻探工作量,但存在组合副钻头(扩孔翼)承压较小(有变形的可能)和副钻头处沉砂管效应(影响钻具打捞)等问题,影响其使用效果。

以S95绳索取心钻杆为使用平台,沿用BH-75钻具基本结构,并针对其存在问题,研制BH-95规格不提钻换钻头钻具。同时,根据BH-95规格钻具

的具体结构完善BH-75钻具,提高了BH系列钻具的承压能力和钻具收敛(投送)稳定性,增设了自动除沙机构等,为深孔钻探实现不提钻换钻头钻进奠定了良好基础。

## 1 BH-95不提钻换钻头钻具

### 1.1 钻具结构原理

钻具为楔顶扩孔翼张敛式结构类型,采用两级碎岩原理,设置先导取心钻头和组合张敛式扩孔翼,前者执行先导取心钻进,后者承担扩孔成孔任务;利用扩孔翼的张敛性能实现钻具钻进(张开)状态与收敛(打捞)状态的转换,从而具备不提钻换钻头钻进的基本工艺要求。钻具结构见图1。

钻具主要由主钻具和副钻具组成。主钻具(图1a和图1b)主要由打捞机构、报信阀、悬挂接头、钻头架、张敛轴、副钻头(扩孔翼)、限位机构、接头及其以下包括主钻头(先导钻头)的取心钻具组成,属可投捞部分,可从孔内将其打捞到地面,又可通过钻杆

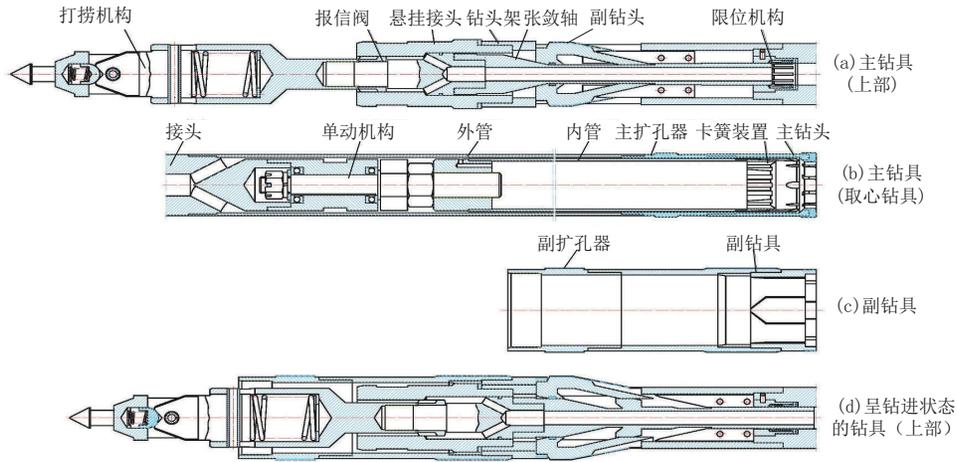


图1 BH-95不提钻换钻头钻具结构

投送到孔底。副钻具(图1c)通过副扩孔器与绳索钻杆连接,属于非提升部分。主钻头采用比钻具规格小一级的普通取心钻头。副钻头为4快组合张敛式,由钻头架的4个窗口支撑。

采用箭形花键副,使主钻具投送后自动瞄向(寻找方位)到位,到达规定与副钻具配合的空间位置;采用端面悬挂副悬挂主钻具;采用楔形张敛机构使副钻头张开或收敛;采用水力驱动张敛轴相对钻头架下移使副钻头张开,打捞使张敛轴相对钻头架上移使副钻头收敛;采用限位机构的径向弹簧维持钻具张敛稳定性;利用张开过程的泵压变化规律显示钻具工作状态;借助张开的副钻头传递扭矩和钻压。

钻具除保留和完善了以上机构外,副钻头结合钻具总体设计,采用T形断面加强筋的设计方案,增大抗压有效截面,改善了受力方式,承压能力提高30 kN;采用刚性和柔性调节圈调节径向弹力,既增大调节范围,又保证能够顺利插入(张开);在钻头架沉砂处增设出砂孔,利用钻具旋转的离心力,避免钻屑滞留在钻头架内,消除钻具收敛故障,以提高钻具可靠性和适用范围。

钻具具体张敛原理是,在主钻具到位但未张开情况下,主、副钻具的配合间隙视为密封,此时报信阀处于关闭位置,泥浆受阻,泵压升高,当升高至规定的峰值泵压,便推动张敛轴相对钻头架下行,张敛轴的4组斜面使副钻头张开;同时,报信阀开启,泥浆流通,泵压快速回落至正常值;利用打捞瞬间的提升力,使张敛轴相对钻头架上移,副钻头收敛,并采用限位机构维持主钻具收敛稳定性。

在张开状态下,张开的副钻头将主、副钻具连

接,钻具呈钻进工作状态,可执行取心钻进,具体由主钻头执行先导取心钻进,副钻头承担扩孔任务。钻进回次结束,采用绳索打捞器打捞主钻具,在开始提升瞬间,副钻头收敛,从而解除主、副钻具的连接,钻具转变为收敛状态,主钻具可随打捞器被捞到地面,在地面采取岩心的同时,可检查或更换孔底钻头。然后,再次将主钻具投送到孔底,从而实现不提钻换钻头取心钻进。钻具实物如图2所示。

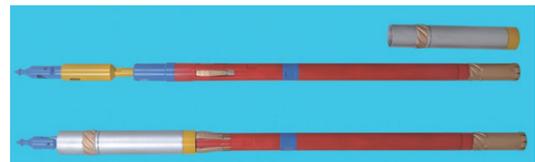


图2 不提钻换钻头钻具实物

投送主钻具和开泵后,地面泵压与孔内钻具工作状态的对应关系如图3所示,当出现规定泵压峰值 $P_m$ ,随后泵压快速下降至稳定泵压,表明孔内钻具到位张开。泵压峰值 $P_m$ 称为钻具到位张开报信压力,用作判断钻具到位张开的依据。

## 1.2 钻具技术参数

共研制了3种不同规格的BH系列不提钻换钻

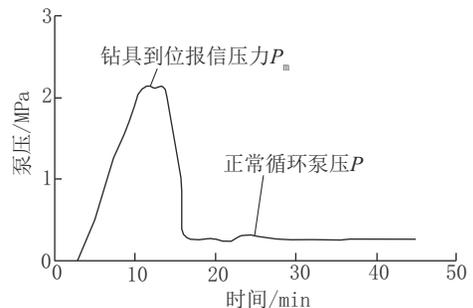


图3 钻具到位张开泵压曲线

头钻具,分别对应 $\varnothing 75.8$ 、75以及95 mm的钻孔,BH系列钻具技术参数见表2。

## 2 钻进工艺

### 2.1 设备及器具(见表3)

### 2.2 主要钻进工序

钻进工序与绳索取心工艺基本相同,主要环节有:下钻—投送主钻具—钻具到位张开判断—钻进—打捞取心,同时检查更换钻头。钻进工艺的关键环节是钻具到位张开判断。

### 2.3 钻进参数

不提钻换钻头钻具碎岩形成的岩粉比绳索取心钻具多30%左右,另外钻具设置了2个液流通道,副通道允许10%左右的冲洗液从钻具中途(副钻头处)漏失,为保证主钻头具有充分的冷却条件和冲洗效果,采用比常规绳索取心钻进更大的泵量,具体钻

进参数还应根据岩石的可钻性和地层的完整性,并结合孔深、钻孔倾角和钻机能力确定。表4为推荐的钻进规程参数。

## 3 现场应用

### 3.1 基本情况

2021年5月,BH-95钻具在江西省宜春市袁州区南庙乡桃地1井(地热井)进行生产试验。试验地层主要为砂岩、板岩和炭质板岩的互层,软硬不均,可钻性3~6级,有漏失现象,钻孔计孔深800 m。

### 3.2 应用情况

本项目之前的BH-75钻具,在比较完整地层,孔深 $<1000$  m,钻孔倾角 $\leq 30^\circ$ 的钻孔,试验和推广应用钻探工作量近万米。本项目研究的BH-95钻具地桃地1井井深680.65~704.25 m孔段进行了实钻试验。又分别在45 m(孔口)、200 m、500 m孔段

表2 钻具技术参数

钻具规格	BH-N	BH-75	BH-95
钻孔直径/mm	75.8	75	96
岩心直径/mm	36	39	51
到位报信压力 $P_m$ /MPa	0.8~2.0(可调)	0.8~2.0(可调)	0.8~2.0(可调)
承压能力/kN	16	16	30
主钻头	类型	金刚石钻头	金刚石钻头
	规格/mm	54	56
副钻头	类型	4块组合张敛式	4块组合张敛式
副钻头	张开直径 $D$ /mm	75.8	75
	收敛直径 $d$ /mm	53	55
外管	(外径/内径)/mm	53/46	55/48
	长度/mm	2170~3170	2192~3192
内管	(外径/内径)/mm	42/38	45/41
	长度/mm	2000~3000	2000~3000
主钻具长度/mm	2620~3620	2642~3642	2765~3765
副钻具长度/mm	250	250	300
副扩孔器/mm	76	75.5	95
打捞接口	S75打捞器	S75打捞器	S91打捞器
副钻具接口	75绳索取心扩孔器	75绳索取心扩孔器	91绳索取心扩孔器

表3 不提钻换钻头钻进设备、配套器具

钻具规格	BH-N	BH-75	BH-95	备注
钻机、泥浆泵、钻塔	与相同规格的绳索取心钻探对设备的要求相同			以绳索取心钻探配套设备为平台
钻杆规格/mm	71/58.5	71/61	89/78	
绳索取心配套器具	S75	S75	S91	包括夹持器、提引器、绞车、打捞器

表4 钻进规程参数

钻具规格	钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	泵量/(L·min <sup>-1</sup> )
BH-N	4~1.2	300~600	60~90
BH-75	4~1.2	300~600	60~90
BH-95	8~1.5	200~500	60~90

进行了钻具到位张开和打捞试验。

试验采用XY-5A型立轴式岩心钻机;S95A绳索取心钻杆;常规绳索取心绞车(钢丝绳 $\varnothing 6$  mm);低固相冲洗液,粘度30 s。钻压6~10 kN,转速240~350 r/min,泵量145 L/min。

在试验孔段进行了16回次实钻试验,钻具均到位张开,成功率100%,试验工作量23.6 m,岩心采取率99.4%(见图4),平均时效0.60 m。钻具在不同孔深投送钻具张开和打捞试验效果见表5。



图4 取得的局部岩心

表5 钻孔到位张开、打捞试验

序号	孔深/m	到位张开情况	打捞情况	报信压力/MPa
1-3	45	成功	成功	0.8~1.0
4	200	成功	成功	1.2
5	500	成功	成功	1.5
6-22	680.65~704.25	成功	成功	1.5~2.5

#### 4 结论与展望

通过不提钻换钻头钻进技术现状、不提钻换钻头钻具结构调研,结合深孔钻探研制了BH-95系列不提钻换钻头钻具,并在江西省宜春市袁州区南庙乡桃地1井井深680.65~704.25 m孔段进行了不提钻换钻头钻进,钻具到位张开成功率100%,岩心采取率达到99.4%,岩心质量好,最大限度地减少了起下钻次数,有效预防起下钻引发孔内事故。

绳索取心钻进技术的迅速发展及长寿命金刚石钻头的出现,虽然在一定程度上削弱了对不提钻换钻头钻进的关注,但却为这种方法构建了良好的平台。地质勘探中存在大量强研磨性、打滑、硬脆碎、软硬频繁交替等地层,需要结合地层及时调整钻头使用方案,起下钻仍然频繁,此外,该技术有利于保护孔壁安全和降低工人劳动强度,对钻进超深孔、海洋钻探及高温地层钻进等具有特殊意义。因此,不提钻换钻头钻进技术仍然是钻探期盼的理想方法,除需要结合推广应用开展BH钻具在小倾角条件下的收敛可靠性研究外,还可结合其它成熟技术,向更高层次的发展,如与液动潜孔锤结合,形成不提钻换钻头冲击回转取心钻进,提高钻进时效和回次长度,以及开展孔底动力驱动的不提钻换钻头钻进研究。

#### 参考文献:

- [1] 吴金生,罗显梁,徐正宣,等.高原铁路水平定向试验孔施工概况和关键技术[J].钻探工程,2022,49(6):1-7.
- [2] 罗显梁,徐正宣,吴金生,等.川藏铁路千米级水平孔绳索取心钻进技术与应用[J].地质与勘探,2022,58(3):665-675.
- [3] 任辉.对新一轮找矿突破战略行动相关问题的进一步研究[J].中国煤炭地质,2022,34(11):1-8,13.
- [4] 罗涛.深部矿产资源勘查及地质钻探找矿技术研究[J].世界有色金属,2022(15):52-54.
- [5] 侯向科.地质钻探施工中孔塌事故的原因及预防方法[J].世界有色金属,2022(13):217-219.
- [6] 黄桂明.地质钻探技术在工程地质勘察中的应用分析[J].江西建材,2022(6):117-118,121.
- [7] 薛万成,李政昭,邓梦春.BH-75不提钻换钻头钻具及其钻进技术[J].探矿工程,1987(6):29-33.
- [8] 张伟.套管钻进及其在地质勘探中的应用前景[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(7):10-12.
- [9] 孔伟.套管钻进技术在煤矿复杂地层中的应用探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):21-23.
- [10] 钱锋,房勇,胡立,等.地质勘探套管钻进技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):69-72.
- [11] 房勇,钱锋.地质勘探套管钻进技术专用套管的研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(8):10-14.
- [12] 尹国明,郎猛,陈志鹏,等.复杂地层用绳索取心钻具的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):63-67.
- [13] 潘小叶.套管钻进用可提式扩孔钻头设计[J].煤炭科学技术,2019,47(5):53-58.
- [14] 刘凡柏,张金昌,谢文卫,等.2000米地质钻探关键技术与装备的应用示范[J].地质装备,2013,14(6):15-20,8.

(编辑 李艺)