

# 绳索取心钻探技术的新发展——三合一组合钻具

王年友, 谢文卫, 冯起赠, 苏长寿, 宋志彬

(中国地质科学院勘探技术研究所新技术二室, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**介绍了研制成功的绳索取心、液动潜孔锤、螺杆马达三合一组合钻具的技术参数、结构原理及其在中国大陆科学钻探工程试验钻孔和主孔的试验情况。

**关键词:**三合一钻具; 绳索取心; 液动潜孔锤; 螺杆马达

**中图分类号:** P634.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2007)09-0070-03

**New Development of Wire-line Coring Drilling—“Three-in-One” Drilling Tool/WANG Nian-you, XIE Wen-wei, FENG Qi-zeng, SU Chang-shou, SONG Zhi-bin** (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** The paper introduces technical specifications and structural concepts of newly developed “three-in-one” drilling tool (wire-line coring, hydro-hammer and PDM) and describes experiment of testing drilling hole and main borehole of CCSD.

**Key words:** “three-in-one” drilling tool; wire-line coring; hydro-hammer; PDM

## 0 前言

中国大陆科学钻探工程的技术目标之一是研究与开发新型的以绳索取心为基础的组合式取心钻进系统。绳索取心、液动潜孔锤、螺杆马达三合一组合钻具是其预研项目之一。项目的任务目标是:利用绳索取心不需提钻取心的优越性,利用液动潜孔锤钻进效率高,岩心堵塞几率少的优越性,利用螺杆马达作为孔底动力,不需全孔钻柱回转,扭矩损失少的优越性,形成新的组合钻探技术。钻具样机经试验室分流试验、性能调试及试验台试验后,在工程现场试验钻孔及主孔进行实钻试验,取得了良好的技术效果,使我国的钻探技术在科学钻探这一领域达到了世界先进水平。该技术已获得了国家发明专利(专利号:ZL200410080343.X)。

## 1 三合一钻具的技术创新点

三合一钻具是集绳索取心钻探技术、液动潜孔锤冲击回转钻探技术、螺杆马达钻探技术于一体的高难度创新技术。为了保证该项目的研究成功,采用了具有大量深孔与工作量考验的S系列绳索取心钻具的主要机构,采用在中国大陆科学钻探工程主井成功使用的阀式结构的液动潜孔锤,选用我国石油系统名牌螺杆马达产品,将三者有机的结合为一

体;利用绳索取心钻具的悬挂机构解决螺杆马达与外管总成的密封问题,保证全部冲洗液供螺杆马达工作;利用绳索取心钻具的定位弹卡消除了螺杆马达定子产生的反扭矩;利用伸缩式传扭板将螺杆马达输出的扭矩传递到外管总成并带动钻头回转钻进;设计了分流机构,解决螺杆马达与液动潜孔锤所需流量不匹配问题,按比例进行分流并保证液动潜孔锤工作性能不受影响;设计了内管总成到位补偿机构,使内管总成悬挂到位后,液动潜孔锤的传功机构同时到位;设计了径向微调机构,防止内管总成投放过程中因弯曲被卡在钻杆或外管总成中。

## 2 三合一钻具的技术参数

### (1) 钻头

外径:157 mm

内径:85 mm

### (2) 内岩心管长度:4.5 m

### (3) 螺杆马达

型号:C51Z95×7.0

排量:5~13.3 L/s

输出扭矩:1490 N·m

输出转速:140~320 r/min

### (4) 液动潜孔锤

收稿日期:2007-08-01

基金项目:中国大陆科学钻探工程中心研究项目“三合一(液动锤、螺杆马达、绳索取心)组合钻具”

作者简介:王年友(1953-),男(汉族),陕西大荔人,中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师,探矿工程专业,从事岩心钻探及全套管钻机的研究与开发工作,河北省廊坊市金光道77号,(0316)2096042。

外径:98 mm

长度:1580 mm

单次冲击功:80 ~ 100 J

冲击频率:10 ~ 20 Hz

工作泵量:4 ~ 6 L/s

工作压力:2 ~ 4 MPa

(5) 钻具总长:16.64 m

### 3 三合一钻具的主要机构及工作原理

三合一钻具主要由绳索取心钻具、液动潜孔锤、螺杆马达及其之间的连接机构、冲洗液分流机构、扭矩与反扭矩的传递机构、外管单动机构、到位补偿机构等组成(见图 1)。钻进回次结束后,用绳索打捞器将装满岩心的内管总成提升到地表,将备用的另一套内管总成从井口投入钻杆中,待内管总成投放到位后,即可进行下一回次的钻进。

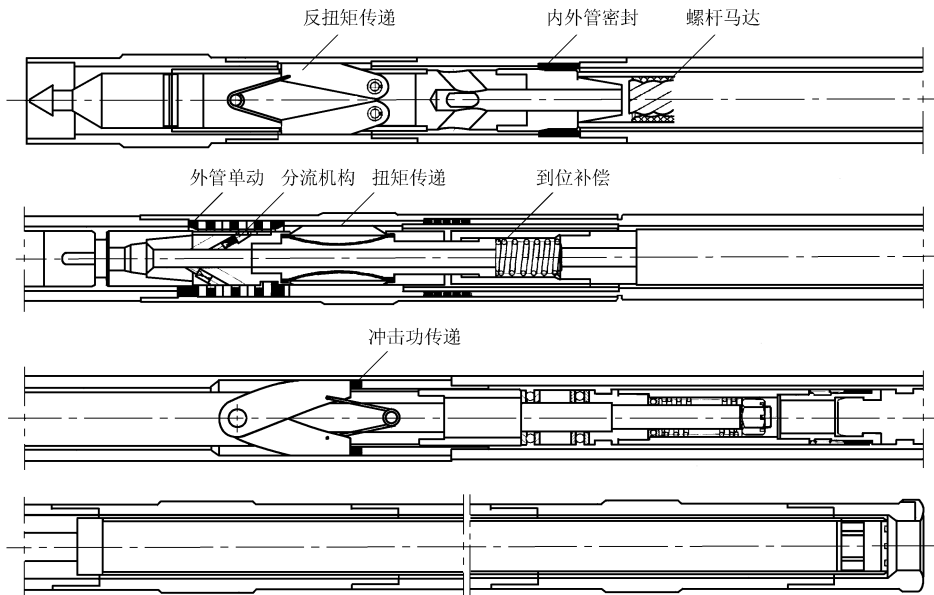


图 1 三合一钻具结构原理示意图

#### 3.1 螺杆马达与外管总成的密封

内管总成投放到位后与外管总成的密封程度,直接影响到螺杆马达能否全功率工作。为了保证冲洗液全部进入螺杆马达,设计了端面与径向双密封结构,通过试验证明,密封结构简单、可靠、耐用,完全可以满足内外管总成的密封要求。

#### 3.2 扭矩与反扭矩的传递机构

内管总成投放到位后,螺杆马达作为孔底动力带动外岩心管和钻头回转,螺杆马达扭矩的传递在设计上采用伸缩式弹卡结构并以螺旋花键的形式进行传递。内管总成到位后,螺杆马达稍有相对转动,伸缩弹卡在弹力作用下很快进入螺旋花键槽内,此时螺杆马达的扭矩传递到外岩心管上。螺杆马达在传动轴输出扭矩的同时,马达的定子将会承受与传动轴输出扭矩大小相等方向相反的反作用力,该反作用力通过绳索取心钻具定位弹卡直接作用在不回转的弹卡室上。所以,弹卡除了完成绳索取心的功能外,还要起到反扭矩的传递作用,因而,弹卡设计成双支点结构,保证其有足够的强度。

#### 3.3 外管总成的单动机构

采用螺杆马达作为孔底动力,带动钻杆下部外岩心管及钻头回转,上部不回转。其单动机构主要由主轴承、副轴承、滚针轴承和花键套、心管组成。主轴承承受全部钻压,传功板带动花键套、心管、单动接头及下部回转,实现单动。由于钻具空间的限制及恶劣的工作环境,给外管单动的设计带来了很大困难。所以,外管总成的单动机构是钻具能否长寿命的关键机构。

#### 3.4 冲洗液分流机构

由分流接头及喷嘴组成。由于螺杆马达与液动潜孔锤对冲洗液的需求量差别较大,从螺杆马达排出的冲洗液,在进入液动潜孔锤之前通过分流接头分流一定比例至内外管环状间隙,剩余的冲洗液确保液动潜孔锤正常工作。

#### 3.5 内管到位补偿与缓冲机构

钻具总长超过 16 m,因加工、装配公差等原因会影响到内管总成的悬挂密封及冲击功的传递,为此专门设计了到位补偿机构,以保证在内管总成投放下降过程中绳索取心悬挂到位与液动潜孔锤传功板到位时互不影响。到位补偿机构由滑动接头和弹

簧等组成。其工作原理是:内管总成投放到位后,液动潜孔锤传功板先与传功环接触,上部靠其重力继续下行,压缩弹簧,直至绳索取心悬挂接头悬挂在座环上,这样既保证了液动潜孔锤正常传递冲击功,又使内管总成与外管总成能起到良好的密封作用,使冲洗液全部供螺杆马达工作。内管总成投放到位后有很大的冲击力,所以,到位补偿机构的弹簧也给内管总成到位起到了缓冲作用,防止到位后因冲击力过大而损坏钻具。

### 3.6 冲击功的传递

主要由传功板、传功环、传功接头等组成。液动潜孔锤的冲击功通过传功板、传功环传递到外管传功接头上,给外管及钻头施以具有一定能量的高频振动,增加回次进尺长度及钻进效率。

## 4 三合一钻具关键机构的室内模拟试验

螺杆马达与液动潜孔锤的流量匹配,这是三合一钻具能否成功的关键,由于螺杆马达所需流量和液动潜孔锤所要求的流量相差很大,所以在螺杆马达排出的泥浆进入液动潜孔锤之前必须进行分流,分流量将高达 50%,分流量过大并随着孔底压力的变化,会影响液动锤的工作性能,为此,我们在现有的条件下利用规格接近、结构接近的液动潜孔锤,加工了与三合一钻具方案结构尺寸相同的分流机构,进行了仿真模拟试验。室内试验结果证明,虽然三合一钻具分流量在 50% 左右时,对液动潜孔锤的性能影响不大,但是随着孔深与泵压的增加,要随时调整分流喷嘴的数量。因为单孔分流面积越小,分流量越稳定。所以,钻具的分流结构采用了可拆式、两级、多孔、小径的分流结构,从理论上解决了螺杆马达与液动潜孔锤的液流匹配难题,室内分流试验为

三合一钻具的研究成功奠定了基础。在现场孔内试验,液动潜孔锤的高效进尺也验证了室内分流试验的科学性。

## 5 小径、深孔、高能液动潜孔锤的设计

这是三合一钻具能否高效的关键,而三合一钻具所需泵量,首先要满足孔底动力钻具螺杆马达的需要,螺杆马达所需泵量是液动潜孔锤的 2 倍左右,为了使液动潜孔锤能够稳定的工作,除了要设计合理的分流结构与分流比例外,还设计了有较大吞吐量的(缩小螺杆马达与液动潜孔锤的流量差别)、内部结构简单的、高能、长寿命的液动潜孔锤(见图 2)。经过室内反复调试试验,并不断改进,达到了设计参数的要求。



图 2 三合一钻具用液动潜孔锤

## 6 三合一钻具在中国大陆科学钻探工程中的实钻试验

### 6.1 在中国大陆科学钻探工程试验钻孔内的试验

自孔深 58.33 ~ 130.61 m,三合一钻具共完成试验工作量 68.22 m,平均时效 1.2 m,最高时效 2.5 m,岩心采取率 98.8%,投放打捞成功率达到 100%,液动潜孔锤连续工作时间 10.83 h,取得了良好的技术效果。钻具的分流、密封、传扭、传功、外管单动、到位补偿等主要机构合理、可靠,达到了预期设计目的。回次进尺及回次效率见图 3。

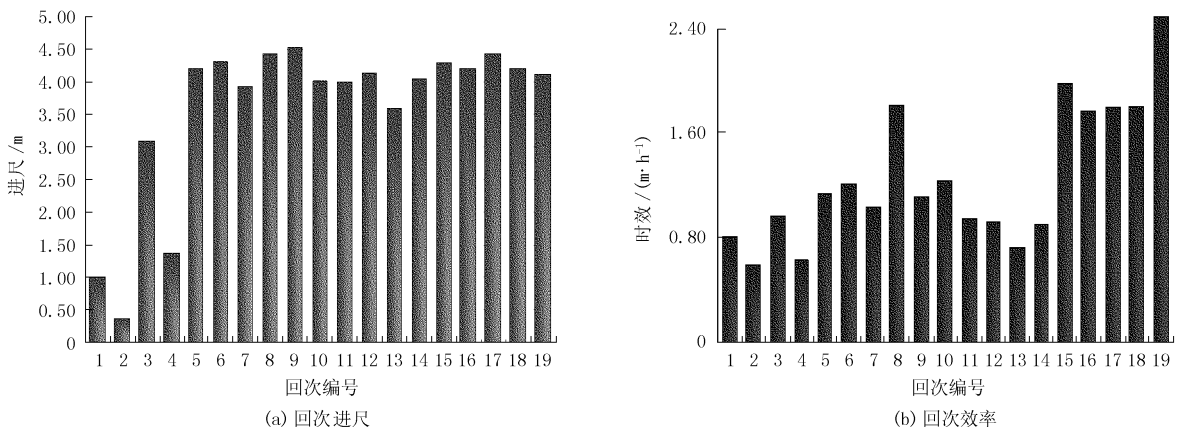


图 3 三合一钻具试验回次长度、回次效率统计

性结构;为保证在高强度冲击作用下传功环和承冲环不会相互卡死,加工工艺作了多次改进,并在试验台进行高强度冲击试验,结果证明,采用的加工工艺符合设计要求。同时,为防止承冲环接头因管壁薄和应力集中的双重作用使其断裂,增加安全性,特别设计了应力减轻槽。使得传功装置简单可靠,更换方便。

(5)解堵塞:当发生岩心堵塞时,传功环相对承冲环上移,冲击功直接作用在岩心内管上,利用冲击振动即可消除岩心堵塞。

(6)该绳冲钻具保留了原有绳冲钻具具有的上下分离接头装置,以保证捞取岩心时将内总成分离成上下两部分,防止因提出的内管总成过长,造成其弯曲或折断。分离方法:当下分离接头提到孔口时,用垫叉将下分离接头叉住,挡环上移,即可拆开上、下分离接头。然后使打捞器与组合式提引接头(见图1)相连,再将下分离接头及以下部分提出。投放过程相反。

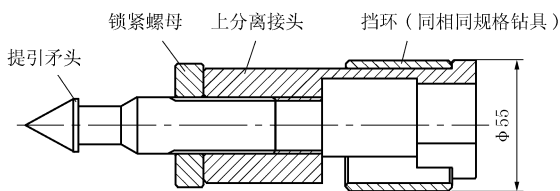


图1 组合式提引接头示意图

(7)可用于大倾斜角钻孔施工:试验台试验结果表明,倾角为 $70^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 时,液动潜孔锤工作正常。

### 3 设计中思考的问题

发挥绳索取心不提钻取心的优势,配合液动潜孔锤的冲击振动,不仅因碎岩方式变化而大幅提高

钻进时效,克服钻进坚硬岩层时的“打滑”现象,还使得岩心堵塞的几率大大降低。但有一个非常让人烦恼的问题:各绳索取心钻杆的生产厂家都有自己的标准,我们在设计与其相连接的弹卡挡头时考虑了这一情况,分别设计加工了地标普通、地标加厚、冶标3种规格,但仍然满足不了顾客因使用不同厂家产品而提出的不同要求,给生产和使用单位都带来了许多不便。还有一点值得一提,考虑到岩心内管管壁较薄,我们将调节机构的调节接头设计成公扣,岩心内管与之相连的部分设计成母扣,并最大限度的保留其壁厚。只是因为考虑到与市场供应产品的互换性,取消了这一改进。不过,我们还是希望生产厂家能考虑这一设计方案,增加岩心内管强度。

高效长寿命液动潜孔锤正处于研制阶段,研究的主要方面是提高其在比较恶劣的工况条件下的使用寿命。成功后的进一步应用,将会使绳索取心液动潜孔锤得到更广泛的应用,给钻探技术提供更有利的技术支持。另外,煤田钻探用 $\varnothing 96$  mm绳索取心钻进较多,我们计划下一步将推出SYZX96型绳索取心液动潜孔锤,使这一类型钻具系列化,使用范围更加宽泛。

设计中想象不到的问题会随着该系列钻具的广泛应用逐渐显现,我们将密切跟踪该钻具在使用过程中出现的各种情况和问题,逐步予以改进和完善,使这一先进技术的优越性得到充分发挥,更好地为钻探施工服务。

### 参考文献:

- [1] 苏长寿. 新型绳索取心液动锤钻具研制成功[EB/OL]. <http://www.cniet.com/snyw-070327-1.htm>.
- [2] 韩广德. 中国煤炭工业钻探工程学[M]. 北京:煤炭工业出版社,2000.

(上接第72页)

#### 6.2 在中国大陆科学钻探工程主孔中的试验

在试验钻孔取得良好技术效果的基础上,于2005年2月又在主孔进行了试验,钻具的下孔试验在孔深5125.86~5129.36 m进行,共进尺3.50 m(因岩心堵塞提钻),取出了中国大陆科学钻探工程最深也是最后一筒岩心。钻具在试验过程中,因卡钻经受了1400 kN的强力起拔,密封部位经受了孔底高温高压的考验。

#### 7 三合一组合钻具的应用前景

我国新一轮地质大调查的目标是调查评价一批重要成矿区带的资源潜力,圈定一批重要的矿产资源富集区,新发现一批大中型矿床。三合一钻具的研究成功,将在新一轮地质大调查中的中深孔复杂地层钻进中发挥很大作用。由于钻杆不回转,其受力状况大大改善,消除了钻杆旋转对孔壁敲击引起的坍塌、掉块,有利于孔壁的稳定,可以避免钻杆的折断及因钻杆折断带来的其他孔内事故,改变在复杂地层钻进中钻杆折断事故频繁发生的现状。该技术还可用于煤层气钻探、石油钻探及其他领域。