

# 新型高效节能地质岩心钻机及配套技术研发

张永勤<sup>1</sup>, 王汉宝<sup>1</sup>, 屠德钢<sup>2</sup>, 刘长驰<sup>2</sup>, 孙建华<sup>1</sup>, 彭一江<sup>3</sup>, 陈磊<sup>3</sup>, 刘秀美<sup>1</sup>, 梁健<sup>1</sup>  
(1. 中国地质科学院勘探技术研究, 河北廊坊 065000; 2. 无锡探矿机械总厂有限公司, 江苏无锡 214026; 3. 新疆地勘局第七地质大队, 新疆乌苏 833000)

**摘要:**机械传动的立轴钻机及液压传动的动力头钻机目前在国内外地质勘探施工中都被广泛应用,两者都有各自的优缺点。为了发挥两者的优点,弃除各自的缺点,实现低制造和使用成本、高效节能及经济实用的目的,通过对2种钻机优缺点的分析,介绍了结合上述2种钻机优点的新型地质勘探岩心钻机以及它的结构特点、效能及应用效果。

**关键词:**立轴式岩心钻机;机械传动;液压传动

中图分类号:P634.3 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2013)S1-0035-05

**Research and Development of High-efficient and Energy-saving Core Drill and Complete Drilling Techniques/**  
*ZHANG Yong-qin<sup>1</sup>, WANG Han-bao<sup>1</sup>, TU De-gang<sup>2</sup>, LIU Chang-chi<sup>2</sup>, SUN Jian-hua<sup>1</sup>, PENG Yi-jiang<sup>3</sup>, CHEN Lei<sup>3</sup>, LIU Xiu-mei<sup>1</sup>, LIANG Jian<sup>1</sup>* (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. Wuxi Exploration Machinery Corporation, Wuxi Jiangsu 214026, China; 3. No. 7 Geological Prospecting Brigade, Xinjiang Geological Survey, Wusu Xinjiang 833000, China)

**Abstract:** Mechanical-drive spindle type and hydraulic top-drive type drills are widely used domestically and abroad. Each of them has their advantages and disadvantages respectively. In order to exploit their advantages and eliminate their disadvantages, reduce costs of manufacture and use, increase efficiency, and save energy, analysis is made of the advantages and disadvantages of both types of drills, and a new geological drill combing the advantages of both drills is described in terms of its structural characteristics, performance and application.

**Key words:** spindle core drill; mechanical transmission; hydraulic transmission

## 0 引言

中国人均矿产资源占有量不到世界人均的58%左右,随着我国经济持续的高速发展、人民物质生活水平的不断提高,对地下矿产资源的消耗逐年增加,地下资源的满足程度越来越低,对外的依赖度越来越高,矿产资源的供给和保障在某些方面已成为制约我国经济发展的“瓶颈”。针对我国地质矿产资源以及面临的资源危机现状,我国政府已经给予高度重视,曾先后启动了国家地质大调查、西部大开发重大专项计划,出台了《国务院关于加强地质工作的决定》,制定了《危机矿山接替资源勘探规划》、“358”找矿计划、“找矿突破战略”等一系列具体措施。从目前人类探查地下矿产资源的技术手段发展现状看,钻探取心(样)技术,在当前乃至未来相当时期内的地质找矿中,仍是最终准确确定地下矿产资源的品位、埋藏深度、储量等一系列物化参数

不可替代的技术方法。钻探技术的主要内容包含钻探设备、取心(样)工具及工艺方法,在人类必须面对节能减排、降耗高效、保护环境和防止气候变化的趋势下,地质钻探设备作为人类资源勘探开发的先行工具,在服务于人类的同时,也要考虑节能降耗、减排高效,所以地质钻探设备在选择驱动方式时,在满足工作要求的前提下首先要考虑选择高效节能的机械传动。为了能够实高效低耗、经济实用钻探目的,钻探技术科研人员要总结分析现行地质岩心钻机的优缺点,为人类高效低耗勘探开发地下矿产资源提供新型钻机及施工技术。

## 1 研发新型地质勘探岩心钻机的启示

在人类开展地质找矿钻探施工过程中,不论是矿业投资者,还是钻探施工承包者,都无疑希望所采用的钻机在满足钻探取样施工的同时,具有稳定可

收稿日期:2013-06-30

基金项目:地质调查资助项目(1212011120244)

作者简介:张永勤(1960-),男(汉族),江苏沛县人,中国地质科学院勘探技术研究所深部钻探室及水合物研究中心主任,吉林大学兼职教授,科技部项目及成果评审专家,二级教授,探矿工程专业,从事各类岩土钻掘及取心(样)技术、钻掘设备及器具、天然气水合物钻探取样技术及开采技术研究工作,河北省廊坊市金光道77号,zyqietf@ sina.com。

靠、高效低耗的性能。目前在固体矿产勘探施工中,人们较普遍采用的钻机基本可分为2大类,一种是机械传动为主的立轴钻机,另一种是液压传动为主的动力头钻机,目前2种钻机都得到了广泛应用。这说明两大类钻机都有各自的优点。2种钻机的应用实践促使钻探技术人员和钻探施工人员在思考一个问题,如果能把两大类钻机的优点结合起来,再配合特殊的工艺过程,是否可获得具有较好综合效能的钻机呢。这种思考给我们钻探技术人员一种启示,即利用机械立轴钻机传动效率高、低耗、制造和使用成本低的优点及液压力头钻机给进行程长、传动平稳、钻头寿命较长、岩心扰动程度较低的优点,研发出一种体现出上述2种钻机优点的新型高效的地质找矿岩心钻机。

## 2 新型钻机的结构性能、特点及效能分析

### 2.1 结构性能及特点

新型钻机首先以机械传动立轴钻机为基本类型,将立轴钻机的立轴通孔直径适当加大,设置上下2个液压卡盘,采用液压钻机无主动钻杆的工作过程,每一根钻杆都充当一次主动钻杆。在开始钻进时,上卡盘达到上止点,并夹持钻杆回转向下给进,在钻进完成一个立轴给进行程之后,钻机停止给进,此时下卡盘通过液压设定的机构开始夹紧机上钻杆,与上卡盘同时夹持钻杆回转,但此时没有向下给进的动作。在下卡盘夹紧机上钻杆的同时,上卡盘开始松开并向上移动到上止点。此时钻杆及孔底钻具继续以平稳的速度回转,在上卡盘到达上止点时,开始夹紧机上钻杆,在上卡盘夹紧钻杆的同时,下卡盘开始松开,随着下卡盘的松开,上卡盘开始带动钻杆向下给进。在重复着上述过程并完成一根钻杆长度进尺后,停止回转。然后将机上钻杆上端的水龙头卸开,并将打捞漏斗放到机上钻杆上端(主要是防止打捞内管总成时被带出的泥浆溅洒到回转器和卡瓦上),在此将绳索打捞器投入钻杆内下放到孔底,以便打捞内管总成。在内管总成被打捞到地表并取出岩心样品后,检查岩心及卡簧状态后,确定一切正常即可将内管总成从机上投入钻杆内。在取心的同时,可将水龙头放到地板上并与准备加接的钻杆连接上,然后开动卷扬机拉起水龙头及其下端的钻杆,并与机上钻杆上端连接起来。此后,将上卡盘上升到上止点。开始重复上述动作及过程。

新型钻机的结构及工作过程与现有的常规立轴钻机相比,钻进过程中无须经常在完成立轴行程时

停止钻机回转进行手动倒杆,无须在完成一根钻杆长度进尺后将主动钻杆提出孔外和提离孔底钻具、无须退车让开孔口进行内管总成打捞。

为了提高钻机的机械化和自动化程度,并满足不同地层及工况下倒杆需要,在给进倒杆方式上,设计了手动和自动方式。在复杂破碎地层钻进过程中,如果采用自动倒杆方式,由于钻机无法识别孔内地层情况,如果发生岩心堵塞等情况,钻机有可能继续给进而造成孔内事故。此时如果采用手动倒杆给进方式,操作人员可根据孔内情况及时调整上下卡盘并可上下活动钻具。钻机的上下卡盘在正常工作时,除了按要求确保夹紧松开外,上下卡盘还能保证同时松开到最大直径,以便提下钻杆和处理事故。在设计倒杆方式时,考虑了手动倒杆和自动倒杆两者可简便切换,手动倒杆通过液压控制手柄实现,自动倒杆采用单片机编程自动运行,每次倒杆的给进长度在编程里已设定好,在钻进给进行程达到设定长度时,上下卡盘就自动按顺序夹紧和松开换向,手动和自动倒杆之间操作简单可靠,其自动倒杆动作由位置传感器(霍尔开关)来控制,无需人工干预。

为了尽可能发挥机械传动立轴钻机的优势,并同时减少机械传动钻机启动的缺点,本新型钻机还将液力耦合器引用到动力传动系统中,使得机械传动钻机的启动与液压钻机一样比较平稳,同时还可起到过载保护的功能,从而实现钻机的“软传动”。为了提高上下卡盘夹持的可靠性和寿命,本新型钻机还引用了氮气弹簧,避免了常规立轴钻机利用碟簧变形夹持钻杆而经常被压碎失效的缺点。

为了满足我国当前地质找矿钻探施工普遍需求,在制定钻机的技术总体方案和技术参数时,考虑钻机的最大能力为采用NQ规格绳索取心钻杆的钻进深度为1000 m,钻机的主要技术参数如下:

- (1) 立轴回转速度(低): 80、148、212、308 r/min;
- (2) 转速(高): 247、456、650、945 r/min;
- (3) 反转: 66、201 r/min;
- (4) 最大扭矩: 4500 N·m(4BT-60 kW 柴油机);
- (5) 立轴有效行程: 800 mm;
- (6) 立轴最大起拔力: 120 kN;
- (7) 立轴最大加压力: 90 kN;
- (8) 立轴通孔内径: 96 mm;
- (9) 上、下卡盘切换间隔: 4 s;
- (10) 上卡盘上升速度: 0.05 m/s;

(11) 机架塔高:9.3 m;

(12) 钻机总质量:3.4 t。

## 2.2 新型钻机的效能对比分析

按照新型钻机上述的结构性能及主要技术参数,与相同钻进能力的机械立轴及全液压动力头钻机进行对比,可以获得新型钻机的效能及应用效果。

### 2.2.1 与全液压动力头钻机对比

本钻机配备的钻杆定尺长度为4 m,按照上述结构性能及特点,在开始钻进时,首先将钻机上卡盘上升至止点,正常钻进4 m长的钻杆,中途实际只须倒杆4次。按照每次倒杆的时间20 s,即完成4 m的进尺倒杆的时间为80 s。在相同回转速度的理想状态下,假设2种钻机在相同钻进及地层条件下的时效为4 m/h,与全液压动力头钻机相比,在完成4 m进尺时,新型钻机只比全液压动力头钻机多消耗了80 s。按1000 m钻孔深度分析对比,采用该新型钻机需要倒杆次数为 $1000 \div 0.8 = 1250$ 次,消耗的时间为 $20 \times 1250 = 25000$  s(6.94 h)。完成1000 m钻进工作量,全液压钻机纯钻时间为250 h,而新型钻机的纯钻时间为256.94 h,即本新型钻机在理想状态下只比全液压动力头钻机多用了6.94 h。

从2种钻机的动力配备看,本新型钻机的主传动为机械传动,自身最大动力需求约37 kW,根据钻进能力配备250 L/min的泥浆泵需要的动力为22 kW,考虑施工过程中泥浆搅拌机、电焊机及生活用电等,配备75 kW柴油发电机可完全满足钻进施工动力需求。而钻进能力与此相同的全液压动力头钻机目前配备的动力一般为132 kW。液压钻机比该新型钻机多消耗动力57 kW(多43.2%)。根据目前国内外柴油机厂家提供的性能参数,当前世界较先进的康明斯发动机每千瓦小时消耗柴油约200 g,国产柴油机每千瓦小时消耗柴油约248 g。在理想状态下,按照2种发动机的性能参数对比出他们的燃料消耗:全液压钻机完成1000 m工作量的燃料消耗为 $(200/248) \times 132 \times 250 = 6600000/8184000$  g,完成相同钻进工作量的新型钻机燃料消耗为 $(200/248) \times 75 \times 256.94 = (3854100/4779084)$  g。相比之下,全液压钻机比该新型钻机多消耗41.6%的燃料。

另外,从购置成本上分析,该新型钻机的购置成本包括钻塔、泥浆泵、绳索绞车等辅助设备也不超过30万元,而具有相同钻进能力的国产全液压钻机全套成本约为75万元。尽管全液压钻机完成相同工作量比该新型钻机提前了6.94 h,但从购置成本、燃

料消耗综合效益对比,新型钻机的优点也明显优于全液压钻机。

### 2.2.2 与传统立轴钻机对比

通过将该新型钻机与目前国内应用最广泛的传统式立轴钻机分析对比,也不难看出新型钻机明显优于传统立轴钻机。目前国内市场上常规的机械传动立轴钻机给进行程短,一般为500 mm,其立轴通孔直径一般较小,因此,钻进过程必须配备专用的主动钻杆,钻进过程中完成4 m进尺中途要倒杆8次,每次倒杆的辅助时间约30 s,完成8次倒杆的时间约240 s。钻进1000 m的钻孔倒杆的时间为 $1000 \div 4 \times 240 = 60000$  s(1000 min)。新一代立轴钻机完成1000 m进尺的倒杆时间为 $20 \times 1250 = 25000$  s(417 min)。两者相比,新型钻机倒杆时间比传统立轴钻进节省583 min。除了与传统的立轴钻机相比节省倒杆时间外,新型钻机还有许多现实优点。

常规立轴钻机在每次倒杆时,需要松开脱离离合器、停止立轴回转,松开钻机卡盘,然后合上离合器继续回转和向下给进。每次倒杆时,立轴的突然停止和突然启动,对孔底的钻头胎体都有不良的影响,同时还会人为地增加岩心堵塞的可能性。野外应用的实践已经充分证明,全液压动力头钻机在相同条件下使用的金刚石钻头的平均寿命比常规立轴钻机使用的钻头寿命长。而该新型钻机在倒杆时钻杆始终与全液压动力头钻机驱动钻杆一样平稳回转,中途没有突然停止和突然启动的现象,这就是新型钻机优于传统立轴钻机的一个特点。

由于新型钻机立轴通孔直径加大,上下卡盘采用圆卡瓦,所以可以像全液压动力头钻机那样,无需采取固定的机上钻杆,即每一根钻杆都可以充当一次主动钻杆,这样在钻进完一根钻杆后,无须像传统的立轴钻机那样提出孔内主动钻杆和提离孔底钻具一定高度、无须移车让开孔口,在水龙头下端将新钻杆连接上,然后再提起水龙头将新钻杆与机上钻杆连接上。这一过程与传统的立轴钻机相比,减少了让车的辅助时间,特别是对于复杂地层钻进时,如果将主动钻杆提出和钻具提离一定高度,有可能在加接新钻杆后,由于孔底可能坍塌而无法将钻具下放到孔底,进而需要不断扫孔或造成岩心堵塞,增加了不必要的扫孔和处理事故的时间,使得钻进效率大大降低,有时还会造成更大的孔内事故。该新型钻机则能克服上述缺点。即使发生埋钻事故,由于该新型钻机没有固定的主动钻杆,所以通过上提扫孔可将孔内钻杆一次提出与钻塔一样的高度。而常规

立轴钻机因必须通过机上主动钻孔扫孔,如果埋钻孔段超过主动钻杆长度,有时很难扫过这一段。因此,该新型钻机不仅克服了常规立轴钻机那些缺点,而且对处理埋钻事故也有明显的优势。

### 3 新型钻机的研制及测试

在上述总体方案及意在提高机械传动岩心钻机的钻进效率和降低应用维修成本的宗旨下,项目组完成了钻机的全部零部件设计,并完成钻机的试制及组装调试。为了证实理论计算及设计的技术参数,在完成试制和组装后,利用室内试验台对钻机的转速、扭矩等性能参数进行了测试,并对上下卡盘换向顺序与可靠性、卡盘张开与夹紧、回转温升等进行了试验。钻机的扭矩及转速的测试结构与设计参数基本一致。最大测试转速 932 r/min、最大扭矩 3340 N·m。试制出的新型钻机主机如图 1 所示。



图 1 新型钻机外形及室内性能参数测试

### 4 生产应用试验及效果

为了证实新型钻机能够达到所设计的目的和效果,必须将所试制的钻机应用到钻探施工中。在完成钻机的室内各项性能测试后,2012年8月8日~9月13日,该新型钻机在新疆塔城地区托里县宏远钼矿进行了钻探施工试验。试验的主要目的就是验证钻机性能及技术参数是否达到设计要求、施工过程及配套的器具是否可靠、施工效率是否能达到所

期望效果。试验采用为本钻机专门配套的外径  $\varnothing 73$  mm、定尺长度 4 m 的特殊绳索取心钻杆和配套钻具,配备不同类型及胎体性能的金钢石取心钻头。生产试验过程的工艺参数与常规金钢石绳索取心钻进工艺基本一致。实际钻孔结构较简单,开孔采用  $\varnothing 110$  mm 钻头,进尺 9.5 m 后下入  $\varnothing 108$  mm 套管,然后换成  $\varnothing 79$  mm  $\times$  47 mm 金钢石取心钻头及绳索取心钻具钻进到孔深 618.8 m 终孔。

不停车倒杆试验是本项目野外生产试验主要内容,也是本项目取得重要进展和成果的关键技术所在。为了适应钻进过程中的各种工况,本钻机的不停车倒杆有 2 种形式,即手动倒杆和自动倒杆。在地层比较均匀完整的情况,可以采用自动倒杆,倒杆的行程可以设定。对于破碎地层,可以根据钻进情况及钻头进尺或岩心堵塞情况及时调整回转器向下给进或向上提升。本次试验钻进第一个钻孔进尺 618.8 m。按照 800 mm 的给进行程,倒杆次数至少 773 次。而在实际钻进过程中,由于有部分地层非常破碎,每次回次进尺不到 800 mm,就需要停止钻进而打捞内管总成,所以倒杆次数远远超过 773 次。生产试验过程中,对手动倒杆和自动倒杆都进行了试验。在地层破碎孔段,采用了手动倒杆钻进,在地层均匀完整孔段采用自动倒杆钻进。经过 20 多天的钻进生产试验,根据第一个钻孔试验报表的初步统计,第一个试验孔手动倒杆次数为 1800 余次。在倒杆过程中,没有出现倒杆动作失灵的情况,自动倒杆完全可以根据所设定的倒杆长度进行上、下卡盘夹紧和松开的动作交换。图 2~4 为试验现场。

由于没有足够的野外试验经费,所以野外生产试验尽可能与钻探生产任务结合起来。在完成第一个生产试验孔之后,承担生产试验任务的单位根据生产任务,先后利用该钻机及配套器具完成了 3 个 100 多米的斜孔,共完成生产试验进尺 318.8 m。后续生产试验过程中钻机也没有发生故障,再次验证了钻机各个动作及性能的可靠性。由于本次生产试验地层较破碎、软硬互层频繁,易发生岩心堵塞,钻头与地层不太适应,钻头时效较低,钻机和绳索取心钻进工艺过程都是全新的,操作不太熟练,单孔施工效率并不是太高,但与常规立轴岩心钻机相比,根据实际钻机的统计,第一个试验钻孔折合台月效率约 714 m,在较完整层段时间利用率可到 80%,比常规立轴钻机明显提高。图 5 为试验取出的岩心样品。



图2 不停车正常钻进施工现场



图3 机上打捞内管总成

图4 机上加接钻杆

## 5 讨论及看法

研制新型机械传动不停车倒杆立轴式岩心钻机的主要目的就是综合常规立轴钻机及全液压力头岩心钻机的优点、弃除缺点,研制出高效、节能、符合人类社会生存发展趋势、实用、可靠、并满足市场需求的钻机及配套器具和施工技术。实现上述目的的关键是钻机上下卡盘夹持及松开的顺序、换向倒杆的可靠性,为了达到可靠性,通过上下卡盘液压控制



图5 试验取出的岩心样品

压差确保上下卡盘夹紧及松开实现所期望的顺序,采用程控及霍尔开关确保给进行程和上卡盘按时升降。通过室内测试和野外生产应用试验证明,该新型钻机完全达到了设计目的,并具有较好的可靠性和使用寿命。利用钻机的不停车自动或手动倒杆性能,配合外平绳索取心钻杆、不让车机上打捞和加接钻杆施工技术,取得了比现有全液压钻机和常规立轴钻机效率高、成本低的应用效果,具有明显的经济技术效益,展示了潜在的市场前景。通过进一步的应用示范、优化、改进和完善,本新型钻机及配套器具和施工技术将在我国地质找矿岩心钻探施工中发挥积极作用。

## 参考文献:

- [1] 张永勤. 我国地质找矿取心(样)钻探设备现状及提高效能的分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(8): 45 - 50.
- [2] 张永勤. 论提高我国地质找矿钻探综合效益的措施[J]. 地质与勘探, 2007, (6).
- [3] 张永勤. 中国地质勘探钻机发展方向及应用的思考[J]. 地质装备, 2008, (6).
- [4] 张永勤. 新型高效实用岩心钻机的研发及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(S1).
- [5] 孙建华, 张永勤, 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, (4).
- [6] 王江, 彭一江. 提高立轴岩心钻机绳索取心钻探效率的技术革新[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(S1).
- [7] 张永勤. 深孔地质岩心(样)钻探技术面临的技术问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S2): 351 - 354.