

# 新一代电驱动深孔岩心钻机的实践与展望

刘跃进<sup>1</sup>, 朱江龙<sup>1,2</sup>, 潘飞<sup>1</sup>, 黄洪波<sup>1</sup>

(1. 中国地质装备总公司, 北京 100102; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

**摘要:**在分析深孔岩心钻探现状和存在问题的基础上,详细介绍了新一代电驱动岩心钻机的研制和应用情况,并对电驱动钻机在深孔地质勘探中的发展前景和应用推广做了进一步的展望和分析。

**关键词:**交流变频;电驱动;顶驱;岩心钻机;实践与展望

**中图分类号:**P634.3<sup>+</sup>1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)S1-0022-08

**Practice and Prospect of New Generation Electric-drive Deep Hole Core Drilling Equipment/LIU Yue-jin<sup>1</sup>, ZHU Jiang-long<sup>1,2</sup>, PAN Fei<sup>1</sup>, Huang Hong-bo<sup>1</sup>** (1. China Geo-Equipment Corporation, Beijing 100102, China; 2. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 10083, China)

**Abstract:** This article introduces the research and practice of new generation electric-drive deep hole core drilling equipment based on systematic analysis of the existing conditions and problems in deep hole core drilling, then the future development of electric-drive core rig in China's deep core drilling exploration is predicted and analyzed.

**Key words:** A/C variable frequency; electric drive; top drive; deep hole core drilling; core drilling rig; practice and prospect

## 1 深孔岩心钻探的现状和存在的问题

全球化的 21 世纪,世界能源消耗总量显著增加,全球资源争夺形势日益加剧;我国工业化和城镇化进程快速发展,对能源、矿产资源的需求明显高于以往任何时期。向地球更深处寻找矿产资源,在更大范围内展开地球深部矿产的勘探开发,实施找矿突破战略行动,在未来很长一段时间内是我国政府重大的战略部署。

我国提出,“十二五”期间,要开发 3000 m 至 5000 m 先进钻探技术;通过找矿突破战略行动,实现重要成矿区带和矿集区 2000~4000 m 成矿结构“透明化”,实施钻深超过 3000 m 的地壳探测工程、科学钻探工程,完成 5000 m 以内地质钻探装备及工艺技术体系的建立,加大政策支持力度,促进我国钻探装备的专业化与多样化发展格局的形成。因此,推进深部找矿,“加多、加快、加大”深部矿产勘探的数量、步伐和力度,将是整个地勘行业骨干单位的重要任务。

相对中浅孔钻探,深孔取心钻探面临一系列问题:地层更趋复杂多变、事故概率增大;深孔段提钻劳动量与劳动强度增大,岩心打捞时间延长、打捞成功率降低;井身结构的复杂化对钻探设备的转速和扭矩范围的宽泛性提出更高要求;孔内钻杆钻具的

质量加大,要求具有更高的夹持提升安全性等,对常规钻探设备的适用性提出了挑战。

目前,服务于国内 N 口径 1500 m 以深的深孔钻探的主要机型仍是以 XY-6B,XY-8 型等为代表的机械立轴式钻机,辅以少量的液压动力头钻机,主要机型详见表 1。

表 1 深孔岩心钻探主要机型

钻机型号	生产厂家	钻深能力/m			功率/kW	类型		
		BQ	NQ	HQ				
XY-6B	张探	1500~2000			6000	55	立轴	
HXY-6	黄海	2500	2100	1650	7800	75	立轴	
XY-8/ HXY-8	张探/黄海	1000~3000				90	立轴	
HXY-9	黄海	2000~4000				160	立轴	
KZ3000	张探	3000(150 mm 口径)			10000	320	液压散装	
HCDF-6	张探	3000	2200	1500	5960	143	液压分体	
YDX-5	勘探所	2000			5880	194	液压履带	
HCR-8	黄海	3000	2400	1700	7200	179	液压履带	
CSD3000	天和众邦	3000	2300	1600	8170	242	液压履带	
CS4002	atlascopco	2500			1330	6230	212	液压
LF230	boartlongyear	3050	2350	1585	5322	194	液压	
DE880	SANDVIK	3174			2125	246	液压	

据不完全统计,国内已完成的数十口 2000 m 以深 S75 口径取心项目,绝大多数工期都在 6 个月以上,平均台效为 300~400 m;超过 2500 m 的取心孔,工期都在 8 个月以上,平均台效在 200 多米(表

收稿日期:2013-06-30

作者简介:刘跃进(1958-),男(汉族),河北蠡县人,中国地质装备总公司总工程师、教授级高级工程师,勘探机械专业,从事钻探设备开发工作,北京市朝阳区望京西园 221 号博泰大厦 5 层,liuyuejin@cgeg.com.cn。

2)。钻探实践证明,没有强大的设备保障和成熟的工艺支撑,深孔钻探在技术经济指标上存在问题:钻进速度低、台月效率低;孔内事故频繁、纯钻时间利用率偏低、非正常等待时间高;单孔投资成本高、风险大、施工周期长;动力能耗大、人工劳动量大等。

表 2 主要深孔岩心钻探施工项目情况表

钻孔号	单位	深度 /m	工艺	钻机	周期 /月
ZK0307	河北承德四队	2092	绳索取心	XY-6B	5.5
ZK0704	河北承德四队	2185.12	绳索取心	XY-8B	6
ZK80-6	山东地矿三队	2440.91	绳索取心	HXY-8	8
ZK2	辽宁地矿 402 队	2522	绳索取心	HXY-8	12
ZK1725	安徽地矿 313 队	2706.68	绳索取心	HCD-6F	12
LZSD-1	安徽地矿 313 队	3000	绳索取心	XY-8	7
NLSD-1	安徽地矿 313 队	2970	绳索取心	HCD-6F	20
(未终孔)					
岩金一钻	山东地矿三队	4006.17	绳索取心	HXY-932	

以上深孔项目所采用的机械钻机,功能简单、输出粗放、操控原始,无法高效率低能耗地运转,无法适应深孔工艺技术的复杂多变性;液压传动钻机传动效率低、综合钻探效益低下(起下钻)、故障率高、野外不能快速维修。机械钻机、液压钻机在驱动方式、总体结构、工艺适应、能耗利用、施工周期、总体效率等方面,与深孔施工要求的矛盾十分尖锐,其中最突出的是:能力、效率、能耗、可靠性、安全性。

## 2 电驱动深孔岩心钻机的研制实践

### 2.1 基本思路

中国地质装备总公司在为我国深孔钻探项目提供设备服务的长期实践中,经过了艰难的选择:从机械到液压,从集成液压到分体液压,从全液压到局部电驱动改造,从局部电驱动改造到全电驱动整体设计。这其中,有经验,也有教训。通过与汶川科学钻探工程中心、核工业地质局等单位以及行业专家的不断合作和沟通,逐步形成电驱动岩心钻机的基本思路:

(1)传动方式的选择,交流变频电驱动具有较高的传动效率优于液压传动;

(2)控制系统的选择,交流变频控制技术的输出特性完全适应地质钻探工艺,在智能化、远程控制与信息化兼容方面具备独特优势;

(3)采用独立驱动,既方便对某一个执行端进行精细化设定,同时也可以保证复合动作的实现,优于液压与机械传动;

(4)采用高速顶驱与长行程轨道,可提供超长行程给进、扫孔、倒划眼等工艺要求;

(5)辅助作业装置全面配套,保证卡、夹、拧、卸、捞等机械性、重复性、劳动强度巨大的井口作业的动力化、机械化;

(6)可靠性与维护难度,电动机及机械件的使用、维护、保养、诊断均相对简单,有利于钻探工人的熟悉认知,优于液压钻机。

综上,经过比较与论证,我们认为:重载钻塔、模块化搬迁、交流变频电驱动、顶部驱动型式、绞车自动送钻模式、集中智能化控制的深部岩心钻探装备技术方案,配备井口作业装置,是目前深孔取心钻机方案的最佳选择。

作为上述思路的实践,我们于 2012 年 6 月研制成功了 XD35DB 和 KZ30DB 型两款新一代电驱动岩心钻机,分别用于核工业中国铀矿地质第一科学深钻和汶川科学钻探四号孔施工。下面以 XD35DB 型为例,介绍钻机的研制与应用过程。

### 2.2 钻机简介

XD35DB 型钻机,全称:XD35DB 型交流变频电驱动高速顶驱式岩心钻机,作为我国首台(套)电动高速顶驱式岩心钻机,标称可钻深 3500 m(N 口径),具有完全自主知识产权。该钻机是以工业高压网电作为源动力,采用模块化交流变频电驱动单元作为提升、回转、送钻、打捞等执行系统,采用全转矩控制、全机械化作业、全数字化操作的工作模式,融合机、电、液、气、电子及信息化技术为一体,服务于 3500 m 深度的矿产勘探及能源钻采的深部钻探技术装备。钻机总体结构见图 1。



图 1 XD35DB 钻机

### 2.3 总体方案

(1)采用重载 K 型钻塔,承载 135 t,导轨行程 25 m,可实现 18 m 立根钻进;

(2)顶部驱动钻井系统,从井架空间上部直接

旋转钻柱,沿井架内导轨上下移动,通过交流变频绞车实现减压钻进功能,完成回转钻进、钻井液循环、接立根/单根、上卸扣、倒划眼等操作;

(3)变频驱动型式,使用 AC - VFD - AC 交流变频方式驱动钻机(如绞车、顶驱、绳索卷扬)主要执行部件,实现各部件全程无级调速,取消机械换挡,传动简单、可靠;

(4)控制方式,顶驱、绞车等主要部件采用全数字化交流变频控制技术,通过电传系统 PLC、触摸屏和气、电、液及仪表一体化设计,实现智能化控制,远程钻进参数的监控。

## 2.4 主要技术参数

钻深能力:

Ø71 绳索钻杆	3500 m
Ø89 绳索钻杆	2500 m
Ø114 绳索钻杆	1800 m

提升系统:

钻塔高度	31 m(K 型)
最大钩载(3×4)	680 kN
钩速	0 ~ 1.41 m/s

回转系统:

额定扭矩	7 kN·m
最大扭矩	12.5 kN·m
最高转速	600 r/min

给进系统:

给进行程	20 m
送钻电机功率	15 kW
自动送钻速度	0 ~ 0.95 m/min
恒压送钻精度	3000 N
恒速送钻精度	0.2 m/h

岩心打捞系统:

最大拉力	25 kN
最高绳速	196 m/min
容绳量	3500 m

## 2.5 重点部件介绍

### 2.5.1 顶驱

直驱电驱动高速顶驱作为核心部件(图2),具

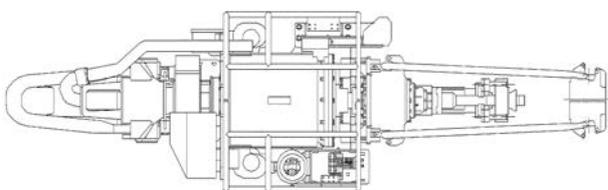


图2 电驱动岩心钻机的顶驱系统

备回转、泥浆循环、加接单根、起下立根、拧卸丝扣等综合功能。

XD35DB 型顶驱的机械部分包括:托架 - 滑车总成、电机 - 水龙头总成、自动摆管装置 3 部分。

(1)托架 - 滑车总成,由托架与多组滚子组成。确保顶驱沿着导轨高速运动或者慢速给进过程中,顶驱与导轨之间的前后、左右、上下 6 个方位的运动限制及抗扭功能。

(2)电机 - 水龙头总成,由变频电机组件与水龙头组件组成。电机提供回转扭矩,水龙头组件负责外部泥浆管与顶驱回转主轴之间的衔接,顶驱转速的检测等功能。

(3)自动摆管装置,由提吊侧摆机构与背钳拧卸机构组成。侧摆机构负责钻杆单根从平台的拾取,或立根从二层台的抓取,实现加接单根或起下钻作业;背钳拧卸机构负责单根钻杆或钻杆立根与顶驱主轴之间的丝扣拧卸,能够使顶驱快速驱动钻杆回转并建立泥浆循环。

顶驱的电机输出:既满足金刚石钻进的 600 r/min 的高速要求,又满足深孔段和复杂地层低速额定大扭矩 7200 N·m 的需要,并提供拧卸扣等短时间过载超大扭矩 10000 N·m 的特殊需要(输出特性见图 3)。

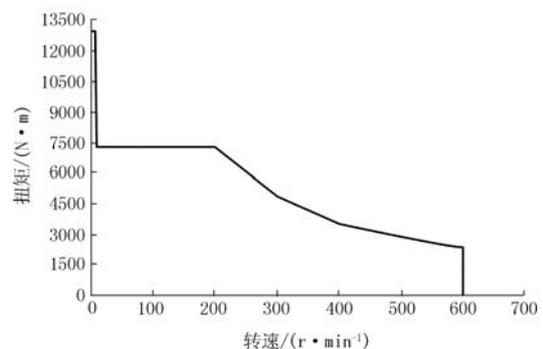


图3 顶驱电机输出特性

顶驱的液压系统:可完成浮动、摆臂、吊卡开合、吊卡锁紧、伸缩背钳、机上卸扣等动作,实现顶驱的机械化卡夹拧卸功能。

### 2.5.2 主绞车

主绞车采用 300 kW 交流变频电机,通过减速机、卷筒离合器输出扭矩与速度到卷筒,再通过天车、游车实现对于顶驱的提升与下放;主卷筒通过电机编码器、制动单元实现能耗制动及零速悬停,通过液压盘刹实现安全制动;通过卷筒编码器可以精确测定顶驱系统在钻塔净空内的运行位置;通过过卷

阀可对卷筒安全制动(绞车结构见图4)。

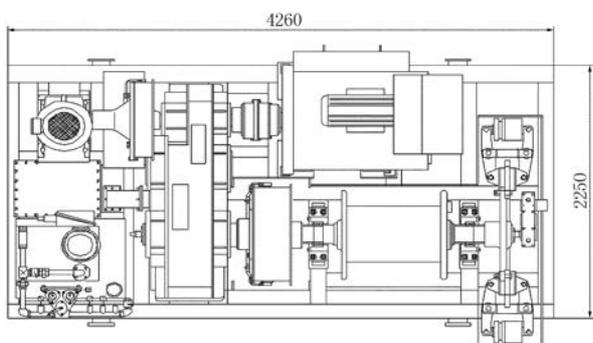


图4 绞车结构示意图

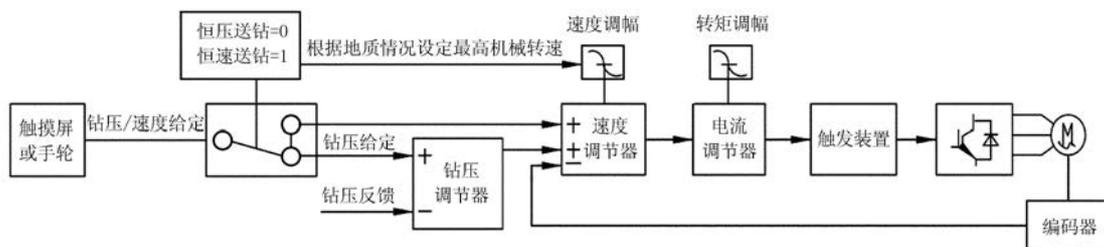


图5 送钻系统原理图

⑥送钻控制:小功率变频电机实现自动送钻功能,可实现3000 N的钻压精度;

⑦控制显示:气源压力、润滑油压力,游车位置与游车速度的显示与报警;

⑧互锁功能:主电机与送钻电机启动互锁。

(2)功能优势:

①实现无级调速,起、下钻平稳,并简化复杂的机械变速系统;

②通过变频调速,效率高,节能效果显著;

③电机有一定过载能力,处理事故能力强;

④配备制动单元与制动电阻,变频器具备的能耗制动功能;

⑤配备独立的送钻电机与大速比送钻减速机,送钻精度高,送钻钻压波动小于3000 N,给进速度小于0.2 m/h,满足金刚石取心钻进的工艺要求;

⑥井场失电时,液压盘刹具备自动紧急制动的安全功能。

### 2.5.3 绳索取心绞车

绳索取心绞车结构见图6。

(1)设计特点:

①传动方式:交流变频电驱动,电磁离合器;

②控制方式:闭环控制,可实现零位悬停;

③刹车模式:主刹车为单盘液压盘式,辅助刹车为主电机能耗制动;

④排列方式:自动排绳、自动换向;

送钻装置包含:送钻变频电机通过大速比送钻减速机、送钻离合器、减速机、卷筒离合器输出扭矩与转速给主绞车卷筒(送钻系统原理见图5)。

(1)设计特点:

①传动方式:交流变频电驱动,气胎离合;

②控制方式:闭环控制,可实现零位悬停;

③安全模式:过卷防碰,井架钢丝绳防碰,电子防碰;

④刹车模式:主刹车为单盘液压盘式,辅助刹车为主电机能耗制动;

⑤制动形式:驻车制动、工作制动、紧急制动;

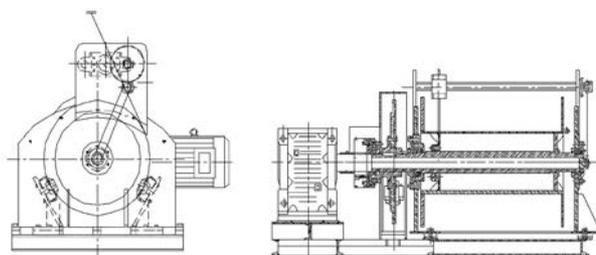


图6 绳索取心绞车结构示意图

⑤控制显示:可检测绳长、绳速、张力。

(2)功能优势:

①具有电磁离合,可实现无动力自由下放;

②具有液压盘刹,可实现安全制动;

③无级调速,起停平稳柔和;

④闭环控制,具备零位悬停功能。

### 2.5.4 司钻房

司钻房是整个钻井现场的“司令部”,主要组成部分为电气控制部分和数字化操控界面,除此之外,包含现场多点视频监控、独立检测系统、现场通信装置等等(见图7)。

在功能上,司钻房可实现整机的集中单点智能化操控。电气控制部分的功能主要是调整顶驱的转速、扭矩,给定送钻速度,指挥顶驱的摆臂、卸扣、伸缩、松紧背钳;操控绞车离合、等动作。数字化界面包括触摸屏、显示屏等。其功能是在钻进、起下钻、打捞等各种流程的人机界面中显示工艺参数及设备

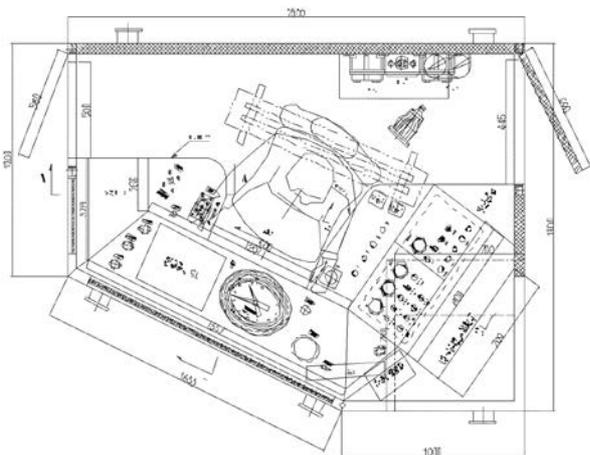


图7 司钻房布置图

运行参数并可进行设定。

在操作界面上,司钻房设计了符合人机工程学的人机界面(见图8),界面布局适宜于地质取心钻探的工艺,包括以下11个界面:



图8 综合钻进界面

(1)操作及工艺界面:钻进工况、起下钻工况、加接杆工况、打捞工况;

(2)设备运行状态与参数设定:主绞车、顶驱、自动送钻;

(3)其他界面:趋势图、故障列表、应急界面、游车防碰。

### 2.5.5 工程师房

除了司钻房的人机操作界面,在远程监控的工程师房内,XD35DB型钻机设置了钻进参数工控机,实时监视钻机各个部件的运行状态及主要的钻进工艺参数。主要有钻进界面、网络布局、装置布局、趋势图、操作记录、数据记录,不仅可以实时记录设备运行参数、工艺参数、操作记录等等,而且可以存储备份,并远程传输。

### 2.5.6 辅助装置

为配合顶驱取心钻进工艺和单吊卡作业的完整流程,我们配套研制了3个机械化井口作业专用辅

助装置,提高作业效率、降低人工劳动强度。

(1)液压吊卡:自动开合,自动插销,自动锁紧,完全自主知识产权(图9);

(2)动力钳:用于大直径大扭矩绳索钻杆自动拧卸的动力装置(图10);

(3)气动卡盘:位于孔口对大吨位大直径绳索钻杆自动夹持的装置(图11)。

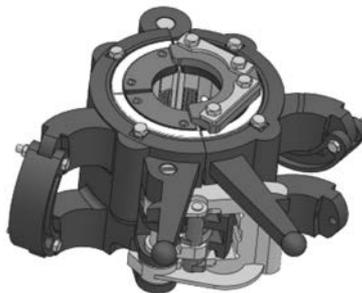


图9 液压吊卡



图10 动力钳



图11 气动卡盘

## 3 电驱动顶驱式岩心钻机的应用

### 3.1 应用情况

第一台XD35DB型钻机,2012年8月~2013年5月,在江西相山大型铀矿田为“中国铀矿地质第一科学深钻”提供全面装备支撑,实现全孔连续取心2818.88 m,终孔口径122 mm;创造并刷新国内S114大口径绳索取心钻深纪录至2818.88 m;创造国内 $\varnothing 122$  mm单一孔径取心钻进深度纪录2770.88 m。

第一台KZ30DB型钻机,2012年7月起,在四

川绵阳为汶川科学钻探四号孔(WFSD-4)提供服务,采用电驱动转盘作业,截至发稿时,已实现大口径全面钻进至 2000 m,大口径取心钻进至 2307 m。

### 3.2 运行情况

XD35DB 及 KZ30DB 型两台钻机总体运行平稳,在取心钻进、起下钻、打捞岩心、加接钻杆等各环节中,恒钻速送钻和恒钻压送钻控制平稳,打捞张力和深度传感精确,上扣卸扣扭矩控制精确,加接钻杆全机械化操作,孔口装置稳定可靠,对转盘扩孔提钻取心工艺和绳索取心钻进工艺均表现出了良好的适应性。

(1)钻进作业:转盘钻进或顶驱钻进,在司钻房内,手轮给定顶驱(转盘)速度和扭矩,触摸屏上选择恒钻压或恒钻速给进模式,屏幕上监控钻压、泵压、给进速度等工艺参数,手轮精确调整,操作环境舒适,操作简单轻便。

(2)起下钻作业:采用液压吊卡+自动卡盘进行绳索钻杆单吊卡作业,比先进的石油钻机采用的双吊卡作业往前推进了一步,单吊卡的打开、扣合、安全销扣合以及外平钻杆的锁紧,均采用液压驱动,安全可靠,省时省力。

(3)加接杆作业:全部作业流程(加杆、卸杆、对扣、拧扣、卸扣)采用机械化作业,液压驱动背钳、侧摆和导向装置,精确控制上扣扭矩,工序自然流畅,安全可靠。

(4)打捞岩心作业:采用交流变频电机+电磁离合+液压盘刹+自动排绳+传感系统的组成,可实现可控打捞及自由落体打捞两种模式;手柄控制变频电机,速度平稳柔和;排绳整齐有序,自动换向;张力传感器提供打捞器安全到位指示;深度传感提供打捞器投放的精确位置;电磁离合器和盘刹配合良好,实现打捞装置在浮力作用下的自由落体运动,并可柔性制动。

(5)孔口作业:孔口卡盘可承载 800 kN 以上的钻具重量,打开闭合控制自如,可实现自动锁死;孔口动力钳可控制上扣扭矩,脱扣低转速大扭矩,旋扣高档高转速小扭矩,可满足大直径绳索钻杆拧卸的工艺需要,解决了深孔钻探过程中的作业效率和劳动强度问题。

以上 5 个主要作业流程,不仅交流变频电机的输出特性与钻探工艺适应性好,控制精度高,而且整个作业流程非常流畅,机械化程度高,全数字化监控,对于深孔施工人员提供了较为轻松自如的操作

与控制平台。

### 3.3 总体优势

(1)传动效率及能耗:总装机功率高达 700 kW,但是深孔段的实际运行消耗功率不超过 100 kW(含泥浆泵),加上油电的折合比价,电机的传动效率,交流变频的输出特性决定了 3500 m 钻深的 XD35DB 型钻机的平均月能耗成本不超过 1 台千米级的全液压钻机。

(2)劳动强度与效率:全机械化操作,加接钻杆、拧卸、起下钻、孔口夹持、打捞岩心等等作业,基本实现了全机械化作业,大大降低了人员的劳动强度,提高了钻探效率。

(3)良好的输出特点:变频电机的转速、扭矩、拉力、速度等控制性能好,回转及给进无级调速,精确控制钻压,满足钻探工艺要求;过载特性增强了钻机处理事故的能力。

(4)舒适的操控性:可选择恒钻压、恒钻速两种钻进控制模式;人机界面有起下钻、钻进、打捞等工艺流程控制界面;可选择触摸屏、电子器件操控两种模式。钻机工作过程中的所有动作均由电控元件或数字化操作完成,减轻操作者的劳动强度,减少操作人员数量。

(5)绳索绞车:具备能耗制动及液压盘刹,实现零速悬停及安全制动;采用电磁离合实现无动力自由释放;具备自动排绳功能;可实现绳速、深度及拉力的实时监控。

(6)自动送钻:可实现立根钻进,减少上卸扣时间;在钻井过程中,可在任意位置提起钻具倒划眼并循环、清洗钻孔,有效地避免卡钻事故;起下钻过程中,遇阻可迅速建立泥浆循环并进行划眼作业。

(7)钻参监控:设备运行参数与工艺参数,可实现实时远程监控、存储和传输。

(8)与液压传动钻机相比,传动效率高、消耗功率小、有良好的维护保养便利性;与机械传动钻机相比,传动链简化,易于安装和拆卸,便于检修。

(9)KZ30DB 型钻机既可实现高速顶驱的金刚石取心作业,也可实现大口径全断面钻进,具备多工艺的适用性;XD35DB 型钻机同样可提供转盘作为选配。

### 3.4 知识产权

在电驱动顶驱式岩心钻机的研制与实践过程中,进行了多项技术攻关,核心部件自主开发,具备完全自主知识产权,已申报了电驱动钻机相关的一批专利。

## 4 电驱动深孔地质钻机的认识与展望

### 4.1 基本认识

随着中国铀矿第一科学深钻的顺利完工,标志着我国第一台电动顶驱式岩心钻机较为圆满地完成了第一阶段的基本目标,通过电驱动钻机在深孔勘探中的应用实践,形成基本认识如下:

(1)深孔优势。应对2000~5000 m地质取心/局部取心钻探项目,电驱动技术在能力、效率、能耗、控制、安全、劳动强度、工艺适用性等方面具备优势,2000 m左右的深孔钻机选择电驱传动具有比较优势,3000 m以上超深取心孔钻机的最佳选择应该是电驱动技术装备。

(2)效率效益。据石油部门统计,电驱动钻机初期投资比机械驱动钻机略高,但是传动效率比机械驱动约提高16%,可提高钻井效率20%;采用柴油发电机组,柴油机可始终处在最佳状态下运转,能降低油耗18%~20%;采用网电钻机,能降低能耗高达50%,钻机油改电,能耗降一半,且降低噪音,杜绝废气排放,绿色环保施工;可延长大修期80%;简化了传动、控制系统,易安装调整,易控制调节;有完善的自我保护系统,可保证安全生产。按照以上数据推算,采用电驱动技术,会促使深部地质取心钻探的台月效率将大幅度提高,施工周期降低20%,施工总成本降低30%。目前我国深孔复杂地层的勘探费用多为2000~6000元/m不等,按照平均4000元/m计算,3000 m深的单孔可节约360万元。按照每年部署30万m的深部勘探工作量,即可节省3.6亿元,这仅仅是深孔钻探项目的节约成本,如果考虑到平均施工周期降低20%,意味着整体勘查开发速度提速20%,其经济和社会效益不言而喻。

(3)市场拓展。根据国土资源“十二五”规划的部署,将开展一系列中低高温地热资源及地下3000~5000 m干热岩勘查项目;在重点成矿区、重大含油气盆地部署200口孔深2000 m的群钻进行深部资源潜力评价;部署一批3000~5000 m钻探项目,开展地质碳储、地热利用和深层科学实验;推进大量埋深在2000 m的煤层气勘探项目以及埋深在2000~3500 m的页岩气勘探项目。当前,地勘单位多采用机械转盘水井钻机,购置成本低却效率低下;租用电驱动石油钻机,效率较高却不完全适用于地质取心钻探工艺。因此,研制适用于中小口径深部取心工艺的/大口径局部取心钻探工艺的、模块化的、变频电驱动的小型钻井平台,既可满足地矿、核工业、煤田、有色、冶金、武警黄金等地勘系统3000 m以深

的取心钻探作业,也可以满足3000 m以浅的浅层油气能源钻采、地热井钻探、科学钻探以及干热岩全面钻探作业。

(4)系列规格。采用模块化电驱动取心勘探设备,完全可以将找矿勘查能力或科学钻探深部取心能力推进到3000~5000 m,并且形成2000、3000、4000、5000 m等不同深度的系列机型,大幅度提高深孔勘探速度,而不必在深孔攻坚中依赖进口设备或者庞大昂贵的石油钻井设备,对于投资成本较低的地勘行业,无疑是有价值有意义的产业发展方向。

(5)技术水平。电驱动设备的应用、模块化组装、数字化操控、视频监控以及全自动工作流程,大大改善传统地质设备“傻大笨粗”的形象,减少人工劳动强度,缩小了地质勘查设备与石油、工程机械设备的技术发展差距,缩小了我国深部地质勘查技术与发达国家的差距。

(6)竞争手段。在资源全球化的今天,全球资源竞争日趋剧烈,具备深部资源勘探的高新技术手段,可以推进我国资源战略“立足国内、开拓海外”战略的进一步实施,为国家资源保障战略,增加一份力量和能量。

(7)自身定位。在现代多样化的深孔钻探装备体系中,电驱动地质钻机将占据比较重要的地位。采用机械、液压、电驱动三位一体的全方位、多样化的勘查装备体系构成,可在找矿深度、难度、投资成本不断加大的形势下,满足我国多层次、多样化、多领域的勘探发展要求。

### 4.2 工作展望

电驱动在深孔岩心钻探中的发展应用以及工艺技术的发展,路还很长。XD35DB与KZ30DB型钻机只是第一轮的探索,未来仍需继续在以下环节进行进一步的工作。

(1)进一步适应工艺。电驱动地质钻机相比于机械立轴钻机而言,使用领域不仅仅局限于深孔取心,涉及地质勘查、油气勘探、地热资源开发、科学钻探等等众多领域,仅就深孔取心钻探工艺而言,随着工程实践经验的不断积累,在不断地发展变化之中,电驱动钻机只有适应地勘市场的需要和工艺技术的发展变化,才能真正成为服务于深部勘查工艺技术的高效率、低能耗的先进装备。如仅雷同于小型石油钻机,与所服务领域的工艺技术不相匹配,电驱动很难推广。

(2)进一步降低容量。野外勘探的区域往往是人迹罕至、无路可循的山区、隔壁和荒滩,大多不具

备大功率电力供应和通畅的道路条件,因此,电驱动岩心钻机必须满足钻机的功率、体积和质量与野外施工条件的适度匹配,才能成为野外勘探的选择。

(3)进一步降低成本。与油气行业不同,地质勘探行业的勘查施工定额较低,勘探单位设备投资能力有限,因此,考虑到电驱动钻机在运行成本上的优势,需进一步降低初始购置成本,以达到相对相近深度的机械立轴和液压力头钻机的较高综合性价比。

(4)进一步加强配套。在不断探索电驱动岩心钻机主机设备研制的同时,要根据深孔岩心钻探工艺的要求,加大对卡夹拧卸等井口作业的机械化成套装置的关注,加强配套,形成一个完整的深孔岩心钻探技术装备体系。

20世纪80年代,业内专家就呼吁变频电驱动技术在地质钻探设备上的应用,但至今刚刚起步,考虑到其在实践中的比较优势明显,亟需包括行业主管部门、装备研制单位和应用单位共同调研、共同思考与实践,共同协作,共同推动并加快电驱动地质钻机产业化和在深部勘查中的推广应用,为我国

深孔地质勘探提供坚强的国产化装备支撑。

#### 参考文献:

- [1] 王达. 深孔岩心钻探的技术关键[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1).
- [2] 刘跃进, 朱江龙, 潘飞, 等. 我国深孔钻探装备的发展与展望[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S2).
- [3] 张伟, 王达, 刘跃进, 等. 深孔取心钻探装备的优化配置[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(10).
- [4] 朱恒银, 刘跃进. F.YD-2200型全液压力头钻机的研制及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1).
- [5] 黄洪波, 朱江龙, 刘跃进. 我国钻探技术装备“十一五”回顾与“十二五”展望[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(1): 8-14.
- [6] 黄洪波, 张文举, 臧臣坤, 等. 深部取心钻探拧卸工具机械化的思考和实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(7): 1-4.
- [7] 张连山. 国外石油钻机驱动型式的应用与发展[J]. 国外石油机械, 1996, (4): 1-8.
- [8] 侯郁, 郑晓峰. 机械驱动钻机和电驱动钻机的比较[J]. 石油机械, 1995, (8): 48-51.
- [9] 陶建华, 李粤南. 福建省深孔钻探主要技术难题及其解决对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S2).

(上接第11页)

#### 参考文献:

- [1] 朱裕生, 梅燕雄, 吕志成, 等. 隐(盲)矿床的预测找矿和深部勘探[EB/OL]. [http://www.cgs.gov.cn/dzsz/z\\_t\\_more/sbzk/jlv/1-2.doc](http://www.cgs.gov.cn/dzsz/z_t_more/sbzk/jlv/1-2.doc).
- [2] 深部开采的特征和问题[EB/OL]. [http://www.mining120.com/html/0808/20080818\\_12297.asp](http://www.mining120.com/html/0808/20080818_12297.asp), 2008-08-18.
- [3] 李红零, 吴仲雄. 我国金属矿山开采技术发展趋势[J]. 有色金属(矿山部分), 2009, (1).
- [4] 韩毅昌. 我队深部钻探技术思考与设想[EB/OL]. [http://www.360doc.com/content/10/1118/10/72265\\_70348418.shtml](http://www.360doc.com/content/10/1118/10/72265_70348418.shtml), 2010-11-18.
- [5] 聂江涛. 铀矿深部找矿研究动态[A]. 中国地质学会. 首届找矿突破战略行动青年论坛[C]. 北京: 2012.
- [6] 李功成. 长江中下游地区铜矿体找矿模型[D]. 安徽合肥: 合

肥工业大学. 2010.

- [7] 夏时斌, 闵刚, 邱林, 等. 大地电磁(MT)在深部矿产勘探中的分辨率探讨[J]. 工程地球物理学报, 2012, (5).
- [8] 王达. 地质岩心钻探标准化的若干技术要点[A]. 中国地质调查局. 深部地质钻探技术培训交流会[C]. 安徽黄山: 2010.
- [9] 孙建华, 周红军, 王汉宝, 等. 深孔岩心钻探装备配置应用技术趋势分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(5).
- [10] 朱恒银. 深部矿体勘探钻探技术方法的研究[A]. 中国地质调查局. 深部地质钻探技术培训交流会[C]. 安徽黄山: 2010.
- [11] 张佳文, 张新元, 成杭新, 等. 矿床学研究与勘查技术方法进步[A]. 中国地质学会矿床地质专业委员会. 第十一届全国矿床会议[C]. 贵州贵阳: 2012.
- [12] 陈师逊. 深部钻探和海上钻探施工介绍[A]. 山东省地质矿产勘查开发局. 深部钻探和海上钻探最新进展高级学术研讨会[C]. 山东烟台: 2013.