

YCR260 型旋挖钻机的研制

秦爱国, 朱小东, 张 晓, 解大鹏, 何佳鑫

(玉柴重工(常州)有限公司, 江苏 常州 213167)

摘要:介绍了 YCR260 型旋挖钻机的用途、设计思想、主要性能参数、设计方案、创新点及现场使用情况。施工实践证明, YCR260 型旋挖钻机稳定性好, 加压力大, 入岩能力强, 性能稳定可靠, 在同级别机型中处于领先地位。

关键词:旋挖钻机; 性能参数; 设计方案; 稳定性; 低速大扭矩

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)04-0039-05

Development of YCR260 Rotary Drilling Rig/QIN Ai-guo, ZHU Xiao-dong, ZHANG Xiao, XIE Da-peng, HE Jia-xin
(Yuchai Heavy Industry(Changzhou) Co., Ltd., Changzhou Jiangsu 213167, China)

Abstract: The paper introduced YCR260 rotary drilling rig about its utilization, design concept, main performance parameters, innovative ideas and field use state. The construction practice proves that YCR260 has reliable stability, strong press and drilling ability with leading position among the same level of machines.

Key words: rotary drilling rig; performance parameter; design scheme; stability; huge torque with low speed

0 引言

旋挖钻机是一种适合建筑桩基础工程中成孔作业的施工机械, 主要适于砂土、粘性土、粉质土等土层施工, 配备专用钻具和特殊施工工艺, 亦可在岩层中施工。主要应用于高速铁路、高速公路、桥梁、高层建筑等工程领域的桩基础施工。

旋挖钻机因具有施工速度快、成孔质量好、环境污染小、操作舒适灵活方便、安全性能高及组合功能多等优势, 已逐渐取代其它桩工机械成为灌注桩施工的主要成孔设备。

我国虽然经过了 30 年的高速发展, 但从总体上说, 仍然是发展中国家, 基础设施建设高峰还远远没有过去, 工业化、城镇化所引发的建设工程量仍然会在相当长的时间内保持较高水平, 桩工机械大有用武之地。而且由于国家对生态文明越来越重视, 对施工效率、施工质量及环保的要求越来越高, 旋挖钻机作为一种高效率、高质量且环保的桩工机械必然有很大的市场需求量。尤其是扭矩在 200 ~ 280 kN·m 之间的中型旋挖钻机因其适用面广, 必然占据市场的主导地位。

我公司在进行充分市场调研和技术调研的基础上研制了 YCR260 型中型旋挖钻机。

1 研究攻关的指导思想

(1) 钻机主要性能参数达到或者超过国际、国

内标杆产品。

(2) 采用国际先进的液压和电控技术, 提高整机性能和可靠性。

(3) 充分考虑施工工法, 钻机设计要满足多种工法的需求。

(4) 采用先进的设计手段, 关键结构件采用三维建模与有限元分析相结合的方式设计, 在满足强度要求的情况下尽可能降低成本。

2 总体设计方案

2.1 主要性能参数

最大钻孔直径: 2.5 m (对应钻孔深度为 70 m)

最大钻孔深度: 80 m (对应钻孔直径为 2 m)

动力头最大扭矩: 260 kN·m

动力头转速: 6 ~ 26 r/min

主卷扬最大提升力(第一层): 280 kN

主卷扬最大提升速度: 55 m/min

副卷扬最大提升力(第一层): 90 kN

副卷扬最大提升速度: 30 m/min

最大加压力: 200 kN

最大起拔力: 250 kN

给进行程: 5000 mm

上车回转速度: 3.5 r/min

牵引力: 530 kN

行走速度: 1.5 km/h

收稿日期: 2012-12-13; 修回日期: 2013-03-13

作者简介: 秦爱国(1971-), 男(汉族), 河北灵寿人, 玉柴重工(常州)有限公司研究院结构件室主任、工程师, 矿业机械专业, 从事桩工机械研制工作, 江苏省常州市, qag1028@126.com。

发动机额定功率/转速:246 kW/2100 r/min

液压主系统压力:34 MPa

液压辅系统压力:28 MPa

工作状态质量:82 t

履带接地长度:4815 mm

履带展开宽度:4400 mm

履带收回宽度:3300 mm

工作状态外形尺寸(长×宽×高):9500 mm×4400 mm×22270 mm

运输状态外形尺寸(长×宽×高):16165 mm×3300 mm×3500 mm

配置钻杆规格(最大): $\varnothing 508$ mm×6层×14.5 m(钻深80 m), $\varnothing 508$ mm×5层×15 m(钻深70 m)

2.2 关键性参数的确定

2.2.1 最大钻孔直径与最大钻孔深度

在钻机提升力一定的情况下,最大钻孔直径与最大钻孔深度是互相矛盾的一对参数。钻孔直径与钻头及渣土质量密切相关,钻孔直径大必然引起钻头及渣土质量大;钻孔深度与钻杆质量密切相关,钻孔深度大必然引起钻杆质量大。如果一味加大钻孔直径,势必要减小钻孔深度;如果一味加大钻孔深度,势必要减小钻孔直径。通过对国外标杆产品及国内市场上中型旋挖钻机的对比分析,同时要体现本钻机的优势和市场竞争力,在考虑钻机总体成本和稳定性的前提下,确定钻机的最大钻孔直径为2.5 m(此时对应的钻孔深度为70 m),钻机的最大钻孔深度为80 m(此时对应的钻孔直径为2 m)。本机最大钻孔直径和最大钻孔深度在同级别机型中具有竞争力。

2.2.2 动力头最大扭矩

动力头最大扭矩是衡量钻机钻进能力的最主要指标之一。最大扭矩的确定要综合考虑,从增大钻进能力、提高钻进效率的角度看,扭矩越大越好;从考虑钻杆可承受的扭矩值以及钻机成本方面考虑,扭矩又不能太大,扭矩的确定还要考虑钻孔直径与钻孔深度所需。经综合分析,最大扭矩定为260 kN·m。

2.2.3 钻杆规格

根据钻机最大钻孔深度和动力头最大扭矩确定钻杆规格,钻孔深度为80 m、钻孔直径为2 m时选用规格为 $\varnothing 508$ mm×6层×14.5 m的钻杆;钻孔深度为70 m、钻孔直径为2.5 m时选用规格为 $\varnothing 508$ mm×5层×15 m的钻杆。经计算,钻杆抗扭强度足够。

2.2.4 主卷扬最大提升力

钻具的提升下放要靠主卷扬,确定主卷扬最大提升力要考虑如下因素:钻具质量、钻渣质量、钻杆中泥浆的质量、上提过程中钻具与孔壁的摩擦力,并有至少10%的储备量。本钻机钻具质量选取 $\varnothing 2$ m钻头+ $\varnothing 508$ mm×6层×14.5 m钻杆组合与 $\varnothing 2.5$ m钻头+ $\varnothing 508$ mm×5层×15 m钻杆组合中质量较大者。经计算,主卷扬第一层钢丝绳提升力应不小于280 kN。

2.2.5 最大加压力与起拔力

最大加压力与起拔力是与钻机稳定性密切相关的一个参数,从入岩钻进角度讲,加压力大一些好。本机通过加大底盘重力并使整机重心适当前移的方式来提高加压力。经过稳定性计算,在同时满足静态稳定性和动态稳定性要求的情况下最大加压力可达220 kN。起拔力的确定主要考虑处理事故时要强力起拔,而且有时还需要和主卷扬配合同时起拔,要求钻机在两者同时工作时仍能满足稳定性要求,经计算并参考标杆产品,最大起拔力定为250 kN。

2.3 总体结构方案

YCR260型旋挖钻机工作状态整体结构如图1所示,主要由底盘、回转支承、回转平台、平衡重、覆盖件、主卷扬、驾驶室、主卷扬钢丝绳、副卷扬、副卷扬钢丝绳、变幅机构、桅杆总成、随动架、动力头、钻杆、钻头组成。

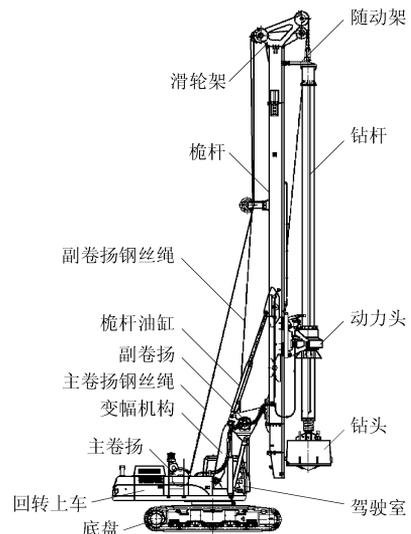


图1 钻机工作状态外形图

为使工作装置更具灵活性,本机采用平行四边形变幅结构,此种结构去除钻具后可整体运输,图2为钻机运输状态图。

为减轻工作装置质量,增加钻机稳定性,本机采

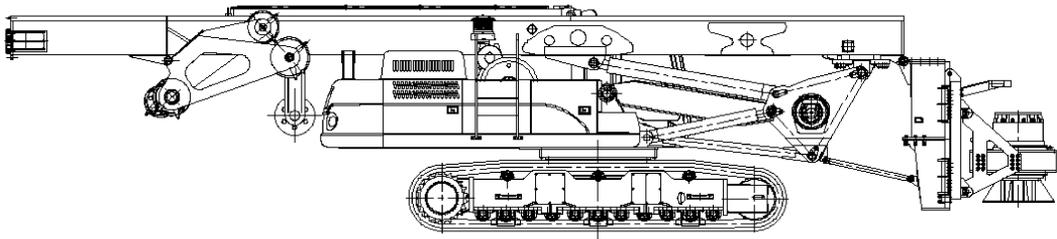


图 2 钻机运输状态图

用主卷扬后置结构,即将主卷扬放置于上车平台上。主卷扬后置后不受桅杆宽度和变幅机构宽度限制,可使卷筒适当加长,钢丝绳缠绕层数由 3 层变为 2 层,从而增大钢丝绳提升力,减少钢丝绳咬绳、跳绳机会。

考虑钻机在工地行走移位的方便性和钻机稳定性要求,钻机采用履带式行走装置。

3 主要部件结构及功能简介

3.1 动力头

动力头由 2 台马达、2 台行星减速机、齿轮减速箱、护筒驱动器、压盘、减振装置、滑移架、三角联接架等组成。马达通过行星减速机及一级齿轮减速带动动力头中心键套旋转,键套内壁有均布的 3 组可折式键条,用于驱动钻杆旋转。键套下部联接护筒驱动器,可连接护筒进行全套管施工。不需进行全套管施工时,护筒驱动器可联接压盘,压盘的作用是提钻后压下钻斗上的开关装置,打开钻斗底盖卸土。减振装置位于齿轮箱上部,用于减轻钻杆对动力头的冲击。滑移架上有导轨槽,可卡在桅杆的导轨上,在加压油缸的作用下可使动力头沿导轨上下滑动。三角联接架将齿轮箱体与滑移架联为一体。动力头是钻机的动力输出部件,直接驱动钻杆、钻斗进行回转钻进,是钻机的关键部件。

3.2 桅杆总成

桅杆总成由滑轮架、上桅杆、中桅杆、下桅杆、加压油缸、桅杆转盘组成。桅杆既是钻具的承重部件,又是动力头上下滑动的导轨。桅杆截面采用凹字形,承载能力强,又可降低运输高度。滑轮架上安装有一组主卷扬滑轮和一组副卷扬滑轮,主卷扬钢丝绳绕过主卷扬滑轮后悬吊钻具,在中桅杆上铰接有加压油缸,加压油缸活塞杆与动力头相连,在活塞杆的伸缩下,动力头可沿桅杆上下滑动。桅杆转盘是桅杆调垂时的转动部件,其后部与变幅机构中的三角体铰接。

因桅杆重心较高,降低桅杆质量对降低整机重

心高度、提高整机稳定性有好处。为在满足强度的同时减轻桅杆质量,在利用 ANSYS 分析软件对桅杆进行详细有限元分析的基础上,对桅杆用料及结构进行优化设计,尽量避免因过于保守的经验设计而造成质量的增加。

3.3 变幅机构

变幅机构由动臂、支撑杆、三角体、变幅油缸、桅杆油缸组成。动臂、支撑杆、三角体与平台两两铰接,组成一个平行四边形,变幅油缸一端与平台铰接,一端与三角体铰接。变幅机构是一个平动机构,通过变幅油缸的伸缩,可使三角体与桅杆抬起或落下、远离回转中心或靠近回转中心,但桅杆与地面的夹角始终不变。通过变幅机构的动作,可使钻机很容易地对准孔位。桅杆油缸一端与三角体相铰接,一端与桅杆相铰接,通过桅杆油缸的伸缩,可使桅杆立起或倒下。

3.4 回转平台及其上部件

回转平台下部通过回转支承与底盘相连,前端设有铰接点与变幅机构相连。回转平台上安装有发动机及其附件、液压主辅泵、主辅阀、油箱、回转机构、平衡重、覆盖件、驾驶室、操纵机构、主卷扬等。

回转机构由回转马达、回转减速机及其输出轴上的小齿轮组成,小齿轮与回转支承的大齿圈啮合,通过回转机构的工作可使回转平台及钻机工作装置绕回转支承中心旋转。

平衡重位于平台尾部,其作用是平衡钻机工作装置重力,保证钻机稳定性。

驾驶室是钻机操作人员对钻机进行操控的活动空间,里面有舒适的座椅和空调,所有操纵手柄、按钮及电气显示屏位于驾驶室内。

主卷扬是提升、下放钻具的部件,由主卷扬马达、行星减速机、卷筒、卷扬机架组成。

3.5 履带底盘

履带底盘由左右履带架、H 形架、四轮一带、张紧装置、展宽油缸组成。左右履带架与 H 形架通过方形结构形成紧密的滑动配合,展宽油缸置于 H 形

架方孔内,展宽油缸一端与履带架相连,一端与底座相连,通过油缸伸缩实现履带架与底座的相对滑动,从而实现履带的展开与收回。工作状态时,履带展开,增加稳定性;运输时履带收回,减小运输宽度。H形架上面与回转支联接。在履带架中设置适量配重,降低钻机重心,提高钻机稳定性。

4 液压传动系统

4.1 液压传动系统的型式

液压传动系统采用双变量开式循环系统,由主液压系统、辅助液压系统和先导液压系统组成,采用高位油箱,安装吸油和回油滤器,过滤回路中的固相物。回油路中安装风冷却器,对液压油进行散热。主泵系统、辅泵系统均采用液压先导控制、负载敏感控制。

4.2 主液压系统

主液压系统采用变量泵与主阀组成负载敏感系统,泵的流量与负载需求相匹配,避免了不必要的空流和节流损失,达到节能目的。当钻机做复合动作、所需流量超过泵的最大输出流量时,可使各阀芯输出流量同比例下降,各动作的相对速度不会发生变化,从而保证了动作的协调性。

主液压系统主要由1台柱塞泵、2台动力头马达、1台主卷扬马达、1台回转马达、2台行走马达、1组多路换向阀组成,用于控制钻机动力头旋转、主卷扬提升和下放、上车回转、整机行走。

主泵为恒功率控制,当系统压力超过某一设定值时,泵的排量将随着压力的升高而减小,但泵的输出功率维持恒定。

动力头马达具有2种运行方式:一种是马达排量随着负载的变化而变化,即负载增大时,马达排量增大,转速降低,扭矩增大;负载减小时,马达排量减小,转速增大,扭矩降低,使动力头输出扭矩与负载有良好的匹配性,这种控制方式适用于一般土层钻进。另一种是通过电磁阀控制先导油路,对动力头马达的X口进行控制,使马达保持最大排量状态,此时动力头扭矩最大,转速相对稳定,适用于负载频繁变化的地层及入岩钻进。

在上车回转油路上设置电磁阀及节流阀,通过调节节流阀流量和电磁阀通电时间,可控制上车的制动速度,使制动柔和平稳。

在行走马达回路上,设置液压过渡板(过渡板固定在底盘H形架上),过渡板上安装快速接头,输入马达的油管通过快速接头接入回路。这样做的目

的是当钻机与搓管机配合进行全护筒工法施工时,搓管机可取用钻机的动力,而不必另行配置动力站。使用时将行走马达油管卸下,将搓管机油路接上即可。

4.3 辅助液压系统

辅助液压系统主要由1台柱塞泵、1组多路换向阀、1台副卷扬马达、1条加压油缸、2条桅杆油缸、2条变幅油缸、4条展宽油缸组成。用于控制副卷扬旋转、动力头提升和下降、桅杆竖起、倒下和调垂、变幅机构的抬高和降低、履带展开和收回。

在倒立桅油路上设置有平衡阀和节流阀,节流阀连接在平衡阀两端,节流阀为小孔截流,利用小孔节流消除倒立桅时由于机械振荡引起的液压振荡,实现旋挖钻机平稳倒立桅,提高了功效与安全性。

4.4 先导液压系统

先导泵系统由1台齿轮泵、3组先导阀和一组先导控制阀组构成。先导阀集中安装在驾驶室内,其作用是通过控制先导油来推动主辅系统中的多路换向阀阀芯,实现多路换向阀的开闭或换向,使操作更集中、更省力。先导控制阀组包括一个溢流阀,3个电磁阀及一个蓄能器。溢流阀用于调定先导压力,3个电磁阀分别控制先导总开关,行走锁定,回转锁定,蓄能器主要作用是保持先导压力稳定。

5 电气系统

YCR260型旋挖钻机采用基于CAN-BUS技术的电气控制系统,在发动机的监控、工况控制、虚拟仪表显示、故障检测、报警及信息显示等方面实现智能化控制,关键元器件全部采用国际知名品牌。

在泵-发动机功率匹配控制方面,采用基于转速感应的闭环控制,工作中,控制系统根据发动机的功率和发动机转速的变化,自动调节液压泵的吸收功率大小,使发动机和泵的功率达到最优匹配。系统采用分段功率控制,根据具体的工作工况选择合适的发动机工作能力,减轻发动机的工作强度,使发动机稳定工作在经济工况曲线内。

桅杆倾角监测、报警系统采用先进的电子调平装置,对桅杆进行实时监控,保持桅杆在施工作业中的铅垂状态,有效地确保桩孔垂直度要求。

钻孔深度监测和调整系统采用先进的非接触式编码器,实时显示钻孔深度,有效确保桩孔的深度满足施工要求。

可编程控制器通过对发动机及液压泵工作状态的判读,实现旋挖钻机在较长时间处于待机状态下

时降低发动机转速至怠速状态,若发动机长时间处于待机状态,则进入双重怠速保护状态,达到节油的目的,同时避免低怠速状态下由于燃油的不完全燃烧导致排放物在排气管内长时间驻留、堵塞排气管现象的发生。

故障诊断程序模块通过循环监测的方式监控发动机、液压系统、动力系统、自身控制系统的各项技术参数,利用控制程序的自检能力来判断钻机工作的正常与否,在即将出现故障或出现常见性一般故障时给出报警显示,在出现影响正常工作故障时给出报警显示并伴随报警提示音,在出现严重故障或危及人身安全的故障时,紧急停机,以防止造成不可挽回的损失。

采用可触摸式显示屏幕,界面直观,实时的显示机器作业工况信息。可通过按键操作,完成工作状态选取,工作参数设定,输入输出信号的在线监测、调试、系统标定、设备故障查询等。系统安全可靠,性能稳定,界面友好,操作简单方便,具有智能化作业的特点。

6 钻机主要创新点

(1)采用内藏式液压可伸缩履带结构技术,工作时履带展开,增加稳定性;运输时,履带收回,减小运输宽度,降低运输成本。

(2)履带底盘进行加重设计,并合理确定轮距、轨距和履带接地角,使整机稳定性大大提高,在满足稳定性要求的情况下可提供较大的加压力,提高钻机入岩能力。

(3)采用主卷扬后置结构型式,有效减轻了桅杆的质量,使整机重心相对后移,工作中车体更加稳定;钢丝绳缠绕层数由3层变为2层,增大钢丝绳提升力,减少钢丝绳绞绳、跳绳机会。该型式结构简单、成本低廉、更换方便。

(4)通过控制动力头马达的变量方式,增加低速大扭矩功能(即通过电磁阀控制先导油路,对动力头马达的X口进行控制,使马达保持大排量状态),入岩动力强劲。

(5)采用独特设计的高精度抗震旋挖钻机回转液压系统,该设计在回转马达上连接电磁阀及节流阀,合理调节节流阀大小及电磁阀通电时间,可以使钻机制动柔和,提高精确度,降低钻机回转时的不稳定性。

(6)采用自行开发的旋挖钻机倒立桅免抖动液压系统,液压系统包括桅杆油缸、双向平衡阀和节流

阀,双向平衡阀连接在桅杆油缸进出油路上,节流阀连接在平衡阀两端,节流阀为小孔截流,工作时利用小孔截流消除机械振荡引起的液压振荡,实现旋挖钻机平稳倒立桅,提高了功效与安全性。

(7)智能化的自动怠速功能,在整机无操作达到设定时间后,发动机自动切换进入具有双重保护的怠速状态,提高燃油经济性。

(8)钻机采用多功能设计,在动力头下部安装护筒驱动器,可用动力头旋压护筒进行全护筒作业。在底盘上设置有液压快速接头,可方便地与搓管机对接,进行全护筒施工。

7 工程实践

首台YCR260型钻机样机于2012年初在深圳市龙华区民治松仔园统建楼桩基础工程中进行了实际应用(见图3)。该工程桩径1600 mm,桩深17~38 m(入微风化花岗岩1 m),为端承桩。



图3 钻机施工现场

该工地地质状况比较复杂,施工场地典型地层由上至下依次为:素填土、含砾粘性土、全风化花岗岩、强风化花岗岩、中风化花岗岩、微风化花岗岩。

中风化层单轴抗压强度只有18 MPa,较易钻进。钻机从开孔至穿越中风化层到达微风化层表面平均只用2 h(深度为17~34 m)。微风化花岗岩裂隙发育好,强度达到50 MPa,至微风化钻进时选用筒式牙轮钻环切,并尝试取心,如不能取心,则用截齿锥形短螺旋钻头对柱状岩心进行破碎,再选用双底捞砂斗将碎渣捞出,平均进尺速度为30 cm/h。

在3个月的施工中,钻机共完成90多根桩孔的钻进。钻机性能稳定,除出现一次主阀进油管处螺栓断裂之外,没有出现大的故障。(下转第47页)

本次采用扭力冲击器钻进机械钻速为4 m/h,机械钻速提高了1倍多。试验井段3246.16~3730.00 m,累计进尺近483.84 m,耗时7.2天。如果用常规牙轮钻进需要约5只牙轮钻头,进尺时间约为15.2天,时间节约8天;起下5趟钻,每趟起下钻需要用时约24 h,约合5天。用扭力冲击器共计节省起下钻5趟,节省约13天时间。

2.4 经济效益对比

若使用U613M PDC钻头、扭力冲击器等,钻完该段井段所需花费包含钻头费用、扭力冲击器费用以及钻机费用,共需大约159万元。

若使用牙轮钻头钻进,则按邻井使用牙轮钻头钻进效果,可估出本井段大约需要5只HJT637GH钻头,还需要减震器1只以及钻机费用,共计大约需要241万元。

用扭力冲击器比常规钻进成本结余=常规钻井成本-扭力冲击器钻井成本=241-159=82万元。

3 结论与建议

(1)扭力冲击器配合专用PDC钻头钻进较牙轮钻头常规钻进提速效果明显,从钻速及周期上相比牙轮钻头都有突破,尤其登娄库井段,与上趟钻相比机械钻速提高4倍,总体平均机械钻速提高近2倍。

与肇深邻井钻进效果相比,提速效果同样明显,平均机械钻速提高近2倍。

(2)扭力冲击器配合PDC钻头钻进,节约了周期、成本,在肇深17井使用扭力冲击器钻进,节省了82万元,经济效益可观。在合适的井段应用扭力冲击器配合专用PDC钻头钻进,能够大幅度提高机械钻速并缩短钻井周期,降低钻井成本,具有广阔的应用前景和较大的经济效益。

(3)扭力冲击器在肇深17井的成功应用为后续该技术在大庆油田的实施,积累了宝贵的经验,建议继续推广应用该项技术,延长其应用井段。

(4)该次成功应用突破了硬且研磨性高的地层只能使用牙轮钻头的情况,为探索提速新技术提供了宝贵的经验。

参考文献:

- [1] 吕晓平,李国兴,王震宇,等.扭力冲击器在鸭深1井志留系地层的试验应用[J].石油钻采工艺,2012,34(2):99-101.
- [2] 郭元恒,何世明,宋建伟,等.TorkBuster扭力冲击器在元坝地区提高钻速中的应用[J].天然气技术与经济,2012,6(3):52-54.
- [3] 周祥林,张金成,张东清.TorkBuster扭力冲击器在元坝地区的试验应用[J].钻采工艺,2012,35(2):15-19.
- [4] 张怀文,马玉俊.TorkBuster扭力冲击器应用研究分析[J].辽宁化工,2012,41(8):841-843.

(上接第43页)

在设计改进的基础上钻机投入批产并销售到昆明、广州、吉首、怀化、镇江等地施工,客户反应YCR260型钻机比市场上其它同档次钻机稳定性好,加压力大,入岩性能好。

8 结论

YCR260型钻机的研制贯彻了正确的指导思想,借鉴国际标杆产品的优点,结合国内市场情况进行创新,保证了技术路线的合理性和先进性,使钻机有很高的技术水平和创新性。

在确定YCR260型钻机性能参数时,充分考虑我国市场的需求特点,采用适度领先于国内外同档次机型的原则,使本机性能参数具有较强市场竞争力。在结构设计上,通过主卷扬后置改善钻机稳定性、加大提升力并减少钢丝绳咬绳机会。采用有限元分析软件对工作装置部位进行有限元分析,在满足强度的情况下尽可能降低桅杆质量,同时适当增加底盘质量,降低钻机重心,并通过合理确定平衡重的质量,使钻机具有很高的稳定性和较大的加压力。

通过液压系统的创新设计,使钻机动力头具有低速大扭矩功能,并实现平稳倒立桅和上车回轮的柔和制动。采用先进的电控技术,实现对整机的有效监控和节能降耗。通过多功能接口设计,使钻机可进行2种全护筒施工。

现场使用表明,钻机主要技术参数合理,可靠性较高,稳定性好,入岩能力强,钻进效率高。

参考文献:

- [1] 黎中银,焦生杰,吴方晓.旋挖钻机与施工技术[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [2] 黎中银,陈智.旋挖钻机工作安全稳定性研究[J].建筑机械,2010,(5).
- [3] 章宏甲,黄谊,王积伟.液压与气动传动[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [4] 周红军,蒋国盛,张金昌.国产旋挖钻机市场现状分析及发展建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8).
- [5] 周红军.旋挖钻进技术适用性的初步研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8).
- [6] 赵伟民,冯欣华,姜文革,等.旋挖钻机常用钻桅截面结构的有限元分析[J].建筑机械化,2006,(12).