

# CYS-300 型全液压地热水井钻机的研制

刘 志, 彭儒金, 朱 慧, 陈 敏, 邱 华

(长沙探矿机械厂, 湖南 长沙 410100)

**摘要:**本文介绍了 CYS-300 型全液压地热水井钻机的性能参数、关键机械部件结构及液压系统的设计。钻机选用齿轮泵作为液压系统动力元件,配合液压多路阀实现对动力头双液压马达和给进油缸等执行元件液压油的合流,通过液控二速阀实现动力头双液压马达的串并联工作,输出 4 种转速和扭矩,在满足钻机性能参数设计要求的同时,简化液压系统的设计,减少液压系统能量损耗,降低维护和使用成本。钻机采用油缸三链条倍速机构实现动力头的给进提升,具有结构简单、性能可靠、抗冲击能力强、提升平稳等优点。现场工程施工应用表明:CYS-300 型全液压地热水井钻机性能稳定可靠,工艺和复杂地层适用能力强,操作安全舒适,钻进效率高。

**关键词:**全液压水井钻机;齿轮泵;合流;倍速机构;双液压马达;并联马达

**中图分类号:**P634.3<sup>+1</sup> **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)07-0083-06

## Development of CYS-300 full hydraulic geothermal well drilling rig

LIU Zhi, PENG Rujin, ZHU Hui, CHEN Min, QIU Hua

(Changsha Exploration Machinery Factory, Changsha Hunan 410100, China)

**Abstract:** This paper introduces the performance parameters of the CYS-300 full hydraulic geothermal well drilling rig, as well as the design of key mechanical components and the hydraulic system. The gear pump is selected as the power component of the hydraulic system, with the hydraulic multi-way valve to realize the confluence of the hydraulic oil of the top head dual hydraulic motor and the feed cylinder, and the hydraulic control two-speed valve to realize the series-parallel operation of the top head double hydraulic motor to output four speeds and torques. In such a way, the design of the hydraulic system is simplified with reduced energy loss, and low maintenance and operation cost; meanwhile the design requirements of the drilling machine performance parameters are satisfied. The three-chain double-speed mechanism of the oil cylinder is adopted for the drilling rig to realize the feeding and lifting of the top head, providing the advantages of simple structure, reliable performance, strong impact resistance and stable lifting. The field application shows that the CYS-300 full hydraulic geothermal well drilling rig has stable and reliable performance, good adaptability to different drilling processes and complex formation, safe and comfortable operation and high drilling efficiency.

**Key words:** full hydraulic water well drilling rig; gear pump; confluence; double speed mechanism; double hydraulic motor; parallel motor

## 1 研究背景

浅层地热能供暖(制冷)技术具有环保、可循环利用、节能等突出优点<sup>[1]</sup>。国家《地热能开发利用“十三五”规划》中提出:2004 年后浅层地热能应用年增长率超过 30%,应用范围扩展至全国,2015 年底全国浅层地热能供暖(制冷)面积达到 3.92 亿 m<sup>2</sup>,预计在“十三五”时期,新增浅层地热能供暖(制冷)面积将达 7 亿 m<sup>2</sup>。地源热泵空调作为浅层地热能应用的主要方式,已经广泛应用于医院、学校、住宅小区、写字楼、

私家别墅等场所。作为地源热泵空调地表原始能源采集的热交换孔的施工量与日俱增,当前国内地源热泵热交换孔深度绝大部分 150 m 左右,终孔直径 $\geq$ 150 mm,主要采用空气潜孔锤钻进工艺,效率高,对土壤和地下水污染小<sup>[2-4]</sup>。传统岩心钻机和散装式水井钻机不适用空气潜孔锤钻进工艺,国内市场主流锚杆钻机同样不能很好地适应地源热泵孔的施工流程,辅助时间长,效率低。通过调研,我厂研制了一种专门针对地源热泵热交换孔、水文水井孔等具有相同

**收稿日期:**2018-11-23; **修回日期:**2019-05-09 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.07.014

**作者简介:**刘志,男,汉族,1983 年生,工程师,机械制造专业,从事钻探设备研究与设计工作,湖南省长沙市长沙经济技术开发区盼盼路 5 号,liuzhi830202@163.com。

**引用格式:**刘志,彭儒金,朱慧,等.CYS-300 型全液压地热水井钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):83-88.

LIU Zhi, PENG Rujin, ZHU Hui, et al. Development of CYS-300 full hydraulic geothermal well drilling rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(7):83-88.

施工工艺孔类的 CYS-300 型全液压地热水井钻机。

## 2 技术思路

通过调研国内外同类型钻机的施工使用情况,对一线施工客户的交流访问,我厂要研制的 CYS-300 型全液压地热水井钻机必须具有钻进效率高,维护简便,操作简单,履带行走平稳,气水两用龙头密封性能好,孔内事故处理能力强,能同时满足泥浆回转钻进、空气回转钻进和空气潜孔锤钻进工艺要求等优点<sup>[5-7]</sup>。为了满足农村院舍水井、城市别墅地源热泵孔等运输和作业空间受限制的场地施工,节省钻机转场运输费用,在产品阶段便严格控制钻机运输、工作状态外形尺寸。液压系统选用性价比高的液压元件,在满足产品性能和使用寿命的前提下,降低生产制造成本,增强产品的市场竞争力<sup>[8]</sup>。

## 3 CYS-300 型全液压地热水井钻机主要结构及其特点

### 3.1 钻机外形结构

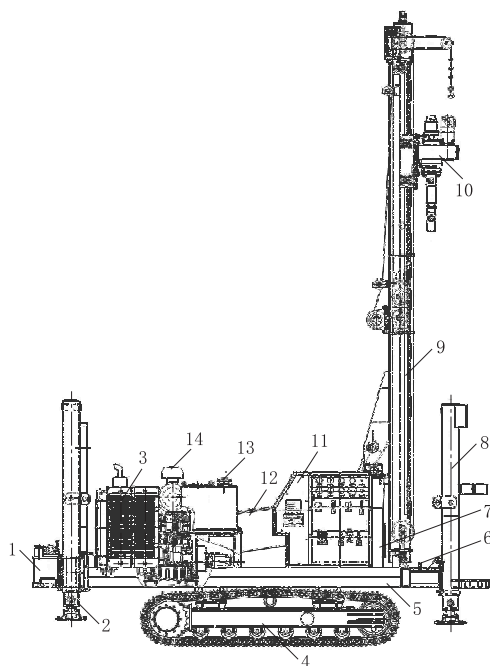
钻机主要由履带底盘、底架、动力总成、支腿总成、动力头总成、钻塔总成、定心装置、卸扣装置、液压系统、气路系统等部件组成。液压系统控制钻机的所有动作,结构紧凑,布局合理。底架上配置大容积钻杆箱,基本满足钻井施工所需钻杆和钻具随钻机一起移机转场的需求,省去钻杆钻具单独搬运步骤,省时省力。操纵台靠近钻塔总成和井口位置,操作者视野开阔,有利于及时精准操控,及时预防孔内事故的发生。高支腿设计使钻机具有自行装卸免吊装的优点。钻机外形结构如图 1 所示。

### 3.2 钻机的主要技术参数(见表 1)

### 3.3 钻机动力头总成

动力头总成如图 2 所示。主要由双液压马达、输出轴、大齿轮、齿轮轴和氣水两用龙头组成。在钻机动力功率一定的前提下,为了获得大扭矩和高转速,动力头采用双马达三轴四挡液压变速结构,该结构无机械变速挡位,避免了机械挡位易跑挡的缺陷,同时液压挡位便于远程集中操控,减少换挡辅助时间,提高换挡的时效性,有利于提高钻进效率和降低孔内事故发生的概率<sup>[9-10]</sup>。动力头通过双马达的串并联得到两挡液压变速<sup>[11]</sup>,结合液压系统单双泵供油方式的切换,实现 4 挡不同的输出转速和扭矩。

#### 3.3.1 动力头的输出扭矩



1—注油器;2—后支腿;3—液压油冷却器;4—履带底盘;5—底架;6—定心器;7—液压油箱;8—前支腿;9—钻塔总成;10—动力头总成;11—操作台;12—钻杆箱;13—柴油箱;14—动力总成

图 1 钻机外形结构图

Fig.1 Drill rig outline structure

表 1 钻机参数

Table 1 Drill rig parameters

	钻孔深度/m	300
	钻孔直径/mm	105~350
	推荐钻杆规格/mm	Ø89×3000
整机参数	液压系统压力/MPa	21
	动力机(玉柴机器)功率/kW	75
	爬坡能力/(°)	25
	行走速度/(km·h <sup>-1</sup> )	2.5
	长×宽×高/mm	5950×2000×2800
	质量/kg	7600
	工作气压/MPa	1.05~3.45
动力头参数	最大输出扭矩/(N·m)	6500
	输出转速/(r·min <sup>-1</sup> )	0~112
	最大提升力/kN	100
	最大给进力/kN	65
	最大提升速度/(m·min <sup>-1</sup> )	17.5
	最大下放速度/(m·min <sup>-1</sup> )	26
	给进速度/(m·min <sup>-1</sup> )	0.5~12

液压马达在系统工作压力  $p=17.5$  MPa 下,输出最大扭矩为:

$$T = \frac{pq\eta_m}{6.28} = \frac{17.5 \times 310 \times 0.9}{6.28} = 778 \text{ N} \cdot \text{m}$$

式中:  $T$ ——马达输出扭矩,  $\text{N} \cdot \text{m}$ ;  $q$ ——马达排量,

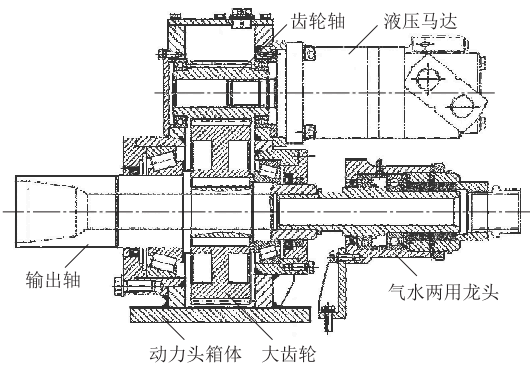


图 2 动力头总成

Fig. 2 Top head assembly

mL/r;  $\eta_m$ ——马达的容积效率<sup>[12]</sup>。

变速箱的齿轮传动比为 80/19, 故动力头的最大输出扭矩为:

$$T_{\max\text{并}} = 2iT = 2 \times (80/19) \times 778 = 6551 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{\max\text{串}} = iT = (80/19) \times 778 = 3275 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 3.3.2 液压泵的输出流量

钻机选用两个排量 40 mL/r 的齿轮泵为动力头马达供油, 单泵输出流量为:

$$Q = n_{\text{柴}} q \eta_{\text{泵}} = 2200 \times 40 \times 0.92 = 80960 \text{ mL/min}$$

式中:  $Q$ ——泵的输出流量, mL/min;  $n_{\text{柴}}$ ——柴油机转速, 取 2200 r/min;  $q$ ——齿轮泵排量, 取 40 mL/min;  $\eta_{\text{泵}}$ ——齿轮泵容积效率, 取 0.92<sup>[13]</sup>。

### 3.3.3 单泵供油动力头输出转速

双液压马达并联时输出转速为:

$$n_{\text{并}} = \frac{Q\eta_m}{2q} = \frac{80960 \times 0.9}{2 \times 310} = 117.5 \text{ r/min}$$

双液压马达的串联时输出转速为:

$$n_{\text{串}} = \frac{Q\eta_m}{q} = \frac{80960 \times 0.9}{310} = 235 \text{ r/min}$$

动力头的变速箱传动比为 80/19, 故动力头的输出转速为:

$$n_{\max\text{并}} = \frac{n_{\text{并}}}{(80/19)} = \frac{117.5}{(80/19)} = 28 \text{ r/min}$$

$$n_{\max\text{串}} = \frac{n_{\text{串}}}{(80/19)} = \frac{235}{(80/19)} = 56 \text{ r/min}$$

### 3.3.4 双泵合流动力头输出转速

双马达并联时输出转速为 ( $\eta_m = 0.9$ ):

$$n_{\text{并}} = \frac{Q\eta_m}{2q} = \frac{(80960 + 80960) \times 0.9}{2 \times 310} = 235 \text{ r/min}$$

双马达串联时输出转速为:

$$n_{\text{串}} = \frac{Q\eta_m}{q} = \frac{(80960 + 80960) \times 0.9}{310} = 470 \text{ r/min}$$

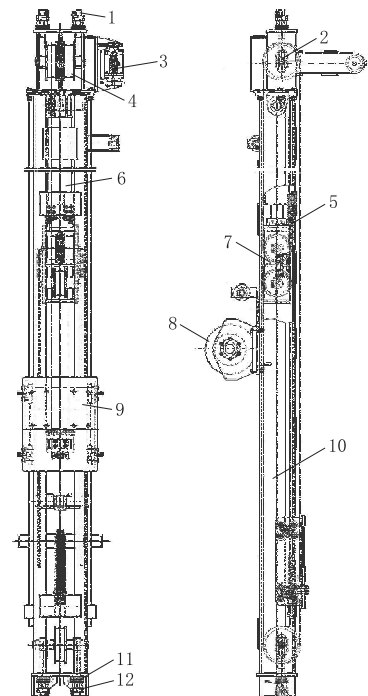
动力头的变速箱传动比为 80/19, 故动力头的输出转速为:

$$n_{\max\text{并}} = \frac{n_{\text{并}}}{(80/19)} = \frac{235}{(80/19)} = 55.8 \text{ r/min}$$

$$n_{\max\text{串}} = \frac{n_{\text{串}}}{(80/19)} = \frac{470}{(80/19)} = 111.6 \text{ r/min}$$

## 3.4 钻塔总成

钻塔总成由桅杆、拖板总成、提升滑轮、给进油缸、游动滚轮、天车、液压卷扬、链条等部件组成, 具体结构如图 3 所示。桅杆(10)采用半封闭式箱式结构焊接成形, 具有工艺简单、质量轻、刚度好、装配维修给进机构方便的优点<sup>[14]</sup>。给进机构采用油缸链条倍速机构, 缸筒铰接固定, 活塞杆推拉游动滚轮(7)沿桅杆(10)内导轨运动, 带动拖板总成(9)提升给进。给进机构中游动滚轮(7)类似于动滑轮, 给进油缸(6)行程 1800 mm, 拖板行程 3600 mm, 结构紧凑, 传动平稳。提升给进链条配置防冲击碟形弹簧(11), 有效保护动力头、链条、钻具, 提高钻机使用寿命。给进和升滑轮通过连杆(1)和滑轮轴(2)悬挂于桅杆两端, 调节承重螺母(12)和锁紧螺母可以移动滑轮轴的位置, 带动滑轮上下移动, 实现链条的涨紧。拖板总成(9)采用浮动式连接, 拆卸



1—连杆; 2—滑轮轴; 3—天车; 4—提升滑轮; 5—链条; 6—给进油缸; 7—游动滚轮; 8—液压卷扬; 9—拖板总成; 10—桅杆; 11—碟形弹簧; 12—承重螺母

图 3 钻塔总成结构图

Fig. 3 Drill tower assembly structure

丝扣动力头自动上下滑动让出丝扣行程,保护钻杆丝扣,延长钻具使用寿命。天车和液压卷扬配合使用,具有吊装钻具的功能,可减轻劳动强度。

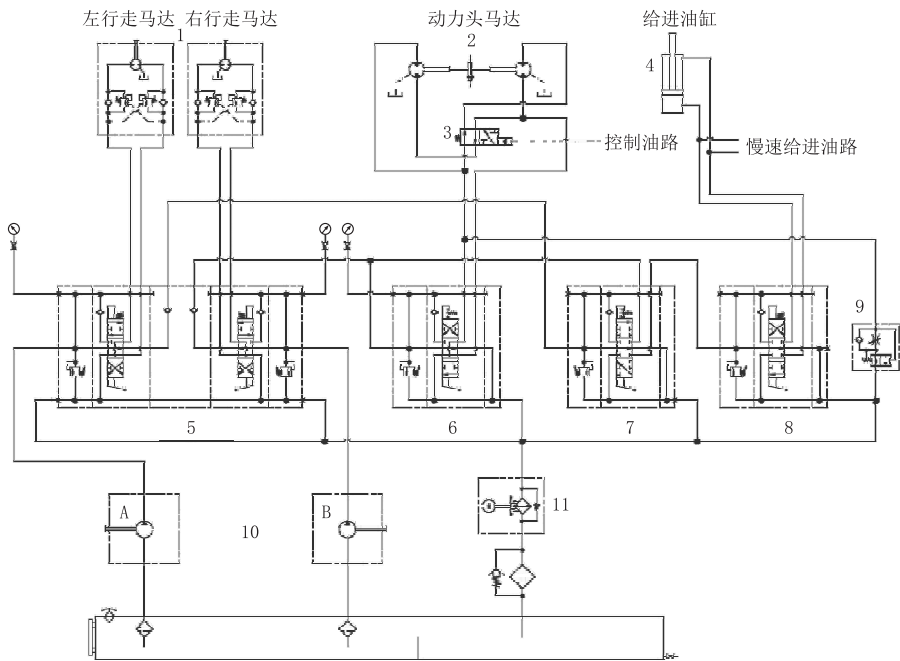
## 4 钻机的液压系统

### 4.1 主系统油路

主油路系统原理如图4所示。主要有履带行走马达、动力头马达、给进油缸等执行元件。选用中美合资齿轮泵作为动力元件,齿轮泵额定工作压力21 MPa,主油路系统中履带行走马达和给进油缸最高工作压力设定为21 MPa,动力头马达根据马达参数设定为17.5 MPa。齿轮泵通过履带行走阀分别驱动履带的左右行走马达,油路互不干扰,履带行走平稳,操控性能好。动力头低速旋转时,动力头左马达和动力头右马达由B泵单独供油,通过液控二速阀(3)实现

马达串并联,动力头得到两挡低转速和输出扭矩<sup>[15]</sup>。动力头高速旋转时,动力头左右马达由A泵供油经过合流阀(7)与B泵供油汇合,经过动力头控制阀(6)、液控二速阀(3)后,动力头得到两挡高转速和扭矩。同时通过调速阀(9),在保证工作油压力波动小的前提下调节动力头马达的供油量,实现动力头正转转速的精确调节,最大限度提高各类地层的钻进效率。B泵单独供油,经过合流阀(7)、快速提升给进阀(8),可实现快速给进和提升。A泵供油经过合流阀(7)和快速提升给进阀(8),同时B泵供油经过动力头控制阀(6),可实现动力头快速旋转和快速给进的同步运行,钻机实现扫孔和处理孔内事故的功能。液压油冷却器(11)的风扇叶片由24 V直流电机驱动,由柴油机发电机和蓄电池提供电源。

### 4.2 副油路系统



1—行走马达;2—动力头马达;3—液控二速阀;4—给进油缸;5—行走控制阀;6—动力头控制阀;7—合流阀;8—快速提升给进阀;9—动力头调速阀;10—齿轮泵;11—液压油冷却器

图4 主油路系统

Fig.4 Main hydraulic circuit

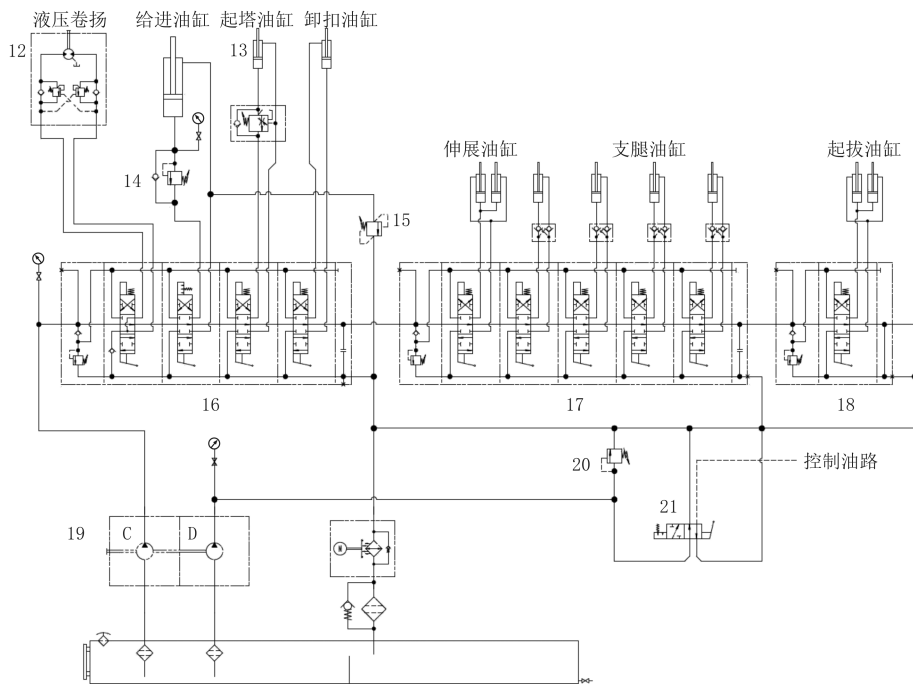
副油路系统如图5所示。由双联齿轮泵、液压卷扬、给进油缸、起塔油缸、卸扣油缸、支腿油缸及各类液压阀等液压元件组成。副油路系统控制钻机实现钻塔的升降、钻机的调平、钻杆的拆卸、钻具的吊装、动力头慢速钻进等功能。C泵供油经过多路换向阀(16),实现慢速给进与提升,通过给进压力调节阀(15)和减压钻进阀(14)实现给进压力和反推压力

的调节,为钻机浅深孔钻进施工提供合理的钻进压力,提高施工效率。齿轮泵D供油通过辅助控制阀(21),对液控二速阀(3)进行换挡控制,实现动力头转速调节的远程控制<sup>[16]</sup>。

## 5 全液压地热水井钻机施工应用

### 5.1 监测井施工





12—液压卷扬机;13—起塔油缸;14—减压钻进阀;15—给进压力调节阀;16—多路换向阀;17—多路换向阀;18—拔管器控制阀;19—双联齿轮泵;20—溢流阀;21—辅助控制阀

图 5 副油路系统

Fig.5 Auxiliary hydraulic circuit

湖南益阳赫山区华昌锑业股份公司矿渣治理工地(见图 6), 钻探监测井用于抽取地下水进行尾矿坑地下水污染情况调查与检测。采用空气潜孔锤钻进工艺, 使用  $\varnothing 89$  mm 钻杆、 $\varnothing 185$  mm 潜孔锤配置  $\varnothing 254$  mm 钻头, 开山 KSZJ-31/25-34/17 型空气压缩机, 排气量  $31 \text{ m}^3/\text{min}$ , 气压  $2.5 \text{ MPa}$ 。钻探 5 口监测井, 孔深分别为 33、31、43、41、25 m。地层都是泥土层, 个别井底部遇到基岩, 平均进尺效率约  $35 \text{ m/h}$ 。



图 6 益阳市郊矿渣治理监测井施工

Fig.6 Monitoring well drilling for treatment of tailings in the suburbs of Yiyang City

## 5.2 地源热泵空调孔施工

湖南省长沙县江背镇别墅地源热泵空调孔施工(见图 7)。红五环 16/15 型空气压缩机, 排气量  $16 \text{ m}^3/\text{min}$ , 压力  $1.5 \text{ MPa}$ 。钻孔 8 口, 孔深  $100 \text{ m}$ , 终孔直径  $130 \text{ mm}$ 。地表泥土层采用  $\varnothing 178 \text{ mm}$  三翼钻头回转钻进, 进尺约  $10 \text{ m}$  后为砂卵石层, 下  $\varnothing 168 \text{ mm}$  套管护壁, 偏心跟管钻进穿过砂卵石层到达岩石层之后, 采用潜孔锤冲击钻进到底。由于跟管钻进和下套管辅助时间较长, 钻孔平均进尺效率约  $20 \text{ m/h}$ 。

## 5.3 应用效果及钻机的改进

钻机施工过程中液压系统最高油温  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ , 最高工作压力达到  $21 \text{ MPa}$ , 液压元器件工作可靠, 各执行元件动作灵敏。机械零部件运转正常, 无发热、异响和异常变形, 钻机各项参数达到了设计要求, 钻进效率高。

针对动力头输出轴丝扣磨损和表面拉毛较严重的问题, 采用将输出轴材质由 45 号钢改为  $42\text{CrMo}$  合金钢, 进行调质热处理, 同时提高丝扣表面粗糙度要求的改进方案; 针对钻机在偏心跟管钻进施工中, 钻具的接卸位置较高, 不方便操作的问题, 采用在钻塔侧面设计爬梯的改进方案。



图7 长沙县地源热泵孔施工

Fig.7 Drilling of ground source heat pump well in Changsha County

## 6 结语

CYS-300型全液压地热水井钻机在液压系统的设计上合理利用液压泵的合流分流及动力头马达的串并联实现多种扭矩、转速、提升能力输出;给进提升机构中缓冲碟形弹簧有效吸收动力头振动冲击,延长动力头和钻具的使用寿命;获得专利的气水龙头密封可靠、维护简单。通过现场施工实践证明:CYS-300型全液压地热水井钻机各参数设计合理,整机性能优异。具备满足多种施工工艺的要求,地层适应能力强,钻进效率高,操作界面友好,操作安全舒适,液压系统设计简单可靠,发热小,能耗低等。

国外先进的水井钻机具备远程遥控操作的功能,舒适性、安全性都有很大提高,同时自带机械手,实现钻杆的自动接卸,减轻了劳动强度,缩短了钻进辅助时间。这种自动化程度相对较高的水井钻机将是我们的下一步的研发方向。

同时针对下地理管劳动强度大,效率低,故障率高的普遍问题,我们将研发自动下放地理软管的装置,改进下管施工工艺,提高施工效率。

## 参考文献(References):

[1] 孙友宏,仲崇梅,王庆华.中国地源热泵技术应用及进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):30-34.  
SUN Youhong, ZHONG Chongmei, WANG Qinghua. Progress and application of ground source heat pump technology in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(10):30-34.

[2] 石永泉.潜孔锤钻进技术[M].成都:西南交通大学出版社,2007.  
SHI Yongquan. DTH hammer drilling technology[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2007.

[3] 杨富春.空气潜孔锤在水源钻井中的应用[J].中国煤炭地质,2009,21(6):71-73.  
YANG Fuchun. Application of air DTH hammer in source well drilling[J]. Coal Geology of China, 2009,21(6):71-73.

[4] 贺彩宏.阿特拉斯·科普柯 TH-10 水井钻机助力地源热泵空调[J].工程建设与设计,2008(6):103.  
HE Caihong. Atlas Copco TH-10 water well drilling rig facilitates ground source heat pump air conditioner[J]. Construction & Design for Project, 2008(6):103.

[5] 郭绍什.钻探手册[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.  
GUO Shaoshi. Drilling manual[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993.

[6] 冯德强.钻机设计[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.  
FENG Deqiang. Drill rig design[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993.

[7] 许刘万,王艳丽,左新明.我国水井钻探装备的发展及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(4):1-7.  
XU Liuwan, WANG Yanli, ZUO Xinming. Development and the application of water well drilling equipment in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(4):1-7.

[8] 刘延俊.液压元件及系统的原理、使用与维修[M].北京:化学工业出版社,2010.  
LIU Yanjun. Principle, use and maintenance of hydraulic components and systems[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.

[9] 靳益民,高淑芳.GYD-300型全液压力头工程钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12):23-25,34.  
JIN Yimin, GAO Shufang. Development of GYD-300 fully hydraulic driving head engineering rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(12):23-25,34.

[10] 罗诗伟,张联库.HMD-7500型多功能全液压锚固钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(3):44-47.  
LUO Shiwei, ZHANG Lianku. Development of HMD-7500 multifunctional full-hydraulic anchor drill [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(3):44-47.

[11] 邱华,彭儒金,戴圣海.CTG-200全液压工程钻机的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):50-55.  
QIU Hua, PENG Rujin, DAI Shenghai. Development of CTG-200 type full hydraulic engineering drill and its application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(11):50-55.

[12] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,2007.  
CHENG Daxian. Handbook of mechanical design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.

[13] 雷天觉.新编液压工程手册[M].北京:机械工业出版社,1998.  
LEI Tianjue. New hydraulic engineering manual[M]. Beijing: China Machine Press, 1998.

[14] 赵大军.岩土钻掘设备[M].长沙:中南大学出版社,2010.  
ZHAO Dajun. Rock drilling equipment[M]. Changsha: Central South University Press, 2010.

[15] 姜继海.液压传动[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.  
JIANG Jihai. Hydraulic transmission[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2007.

[16] 张利平.液压传动系统设计与使用.[M].北京:化学工业出版社,2010.  
ZHANG Liping. Hydraulic driving system design and use [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.