

SDC - 2500 型全液压车载钻机的研制与应用

和国磊, 冯起赠, 许本冲, 刘晓林, 秦如雷, 刘家誉
(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:随着我国对资源勘探开发投入不断加大,全液压车载钻机已大量投入到钻探生产中。SDC - 2500 型全液压车载钻机将负载敏感液压系统、PLC 电控系统应用于钻机的控制执行系统,具有集成度高、机动性强、全液压顶驱、远程电控、多工艺适应性等特点。通过野外生产试验,验证了钻机的性能,展现出较高的机械化程度和可靠性。

关键词:全液压车载钻机;全液压顶驱;负载敏感系统;PLC 控制

中图分类号:P634.3⁺1 文献标识码:A 文章编号:1672 - 7428(2016)06 - 0044 - 05

Design and Application of SDC - 2500 Full Hydraulic Truck Mounted Rig/HE Guo-lei, FENG Qi-zeng, XU Ben-chong, LIU Xiao-lin, QIN Ru-lei, LIU Jia-yu (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: With the increasing investment of resources exploration and development in China, a large amount of full hydraulic truck mounted rigs are put into the drilling production. SDC - 2500 full hydraulic truck mounted rig has been developed by CNIET, on which the load-sensing hydraulic system and PLC electronic control system are applied in the control and execution system with the characteristics of high integration, strong mobility, full hydraulic top driving, remote control and alternative-process adaptability. In the field production test, the rig shows its high mechanization and reliability.

Key words: full hydraulic truck mounted rig; full hydraulic top driving; load-sensing system, PLC control

0 引言

国外早在 20 世纪 30 年代就开始了车载钻机的开发研制,经过几十年的不断发展,到目前技术水平已经十分完善。目前在我国的国外车载钻机供应商主要有:美国的 SCHRAMM 公司和 GEFCO 公司、瑞典的 Atlas copco 公司、德国的 BAUER 公司、意大利的土力公司等。其生产的车载钻机都是全液压动力头式,钻进深度从 400 ~ 3000 m 不等,在钻进深度、设计先进性、自动化程度上都远远超过国产钻机。我国全液压车载钻机的研究在 2006 年以前一直处于空白阶段,国内钻机主要是立轴钻机和机械式的转盘钻机。近年来,国产全液压钻机也逐渐问世,国内不少钻机厂商已经开始进军大口径的全液压钻机市场。随着我国对资源勘探开发的投入不断加大,国内钻探设备的更新换代也有了较快的发展,由于液压传动的优点以及全液压钻机施工的便捷性,使得大量全液压钻机已投入到了钻探生产施工中。

SDC - 2500 型全液压车载钻机设计钻深为 2500 m ($\varnothing 89$ mm 标准石油钻杆),可适用于浅层油气井、水井、地热井等施工领域。主要特点为机动性

强,高效,全液压顶驱,电控远程操控,可满足多种钻井工艺。

1 钻机的性能及特点

1.1 钻机总体结构参数

钻机主要包括汽车底盘、桅杆、动力头、动力机组、钻杆加接拧卸系统、钻井液管汇、液压系统、电控系统等部件,钻机总体结构如图 1 所示。

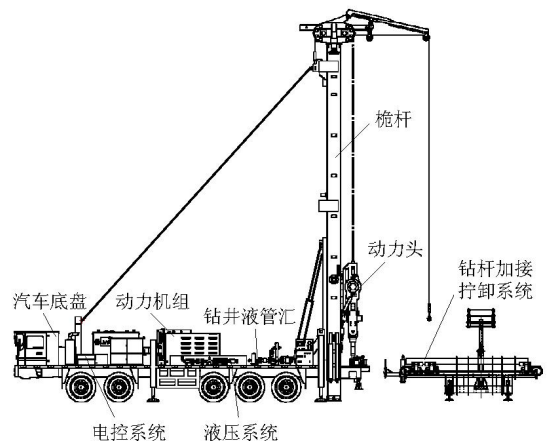


图 1 钻机总体结构图

收稿日期:2016 - 01 - 19; 修回日期:2016 - 04 - 22

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“地质勘探深井车载钻机完善与应用”(编号:12120113017000)

作者简介:和国磊,男,汉族,1984 年生,机械设计及其自动化专业,从事钻探设备的研发工作,河北省廊坊市金光道 77 号,hglet@sina.com。

钻机总体参数如下。

钻深能力:2500 m(Ø89 mm 标准钻杆)

动力头转速:0 ~ 180 r/min

扭矩:29000 N·m@80 r/min

给进系统行程:15.5 m

最大提升力:1150 kN

最大给进力:226 kN

主卷扬机单绳拉力:40 kN

速度:0 ~ 60 m/min

副卷扬机单绳拉力:20 kN

速度:0 ~ 60 m/min

桅杆高度:21 m

钻杆长度:9.15 m

最大套管长度:12 m

整机质量:约 58 t

1.2 钻机主要特点

钻机采用液压驱动 + 液压控制 + 电动控制方式,具有大行程提升、钻杆卡夹系统、大扭矩动力头、液压系统控制、电控系统控制、机械化拧卸、移排管机械化等功能,突出了车载钻机机动性强、钻进效率高、孔口自动化的特点。

(1) 采用汽车底盘承载方式。钻机配套底盘采用 10 × 6 驱动形式,驾驶室偏置。底盘长度和宽度满足汽车公路行驶要求,钻机主要部件均集成在汽车底盘上,便于钻机的快速运输转场。

(2) 大扭矩高转速动力头,可 90°翘起。钻机动力头输出扭矩 29000 N·m,转速 0 ~ 180 r/min,且可以 90°抬头翘起,配合卷扬机和钻杆排放设备,可以方便地实现钻具的接卸。

(3) 配置二级伸缩桅杆。桅杆伸缩可缩短钻机的运输长度,获得较大提升的行程,方便超长套管下放,井口高度根据钻井设计方便进行调整。

(4) 两种钻具浮动方案。具有动力头浮动和主轴浮动 2 套浮动机构,保护钻具螺纹拧卸过程中不受损害。

(5) 多种钻进介质转换接口。方便地实现泥浆钻进、空气钻进、泡沫钻进等不同钻进工艺的转换。

(6) 多种卸扣方案组合。孔口配置独立液动安全卡瓦、夹持器、卸扣钳,可方便进行钻具拧卸。

1.3 双动力驱动负荷敏感液压系统

钻机所有执行动作均为液压元件,包括油缸、马达、回转驱动等。钻机液压系统采用负荷敏感 LS 液

压控制系统,动力头回转、提升、抬头、卷扬升降等主要动作均由 LS 系统控制。该系统为阀前补偿系统,压力补偿阀通过内部节流开度的变化来调整主阀口前的压力,是主阀口前后的压差为常值,主阀芯控制节流面积的变化来分配流量,流量大小只与阀的开度有关,不受负载压力影响。当执行元件所需通过的阀的流量大于泵能提供的流量时,负载敏感系统就丧失了其控制能力,压力补偿阀的压差调节失效,负载压力高的执行元件速度降低直至停止。系统通过两组泵分别给液控主阀供油,将需要大流量的执行动作(主要是回转和给进)分别供油,解决执行元件争油问题。系统示意图见图 2。

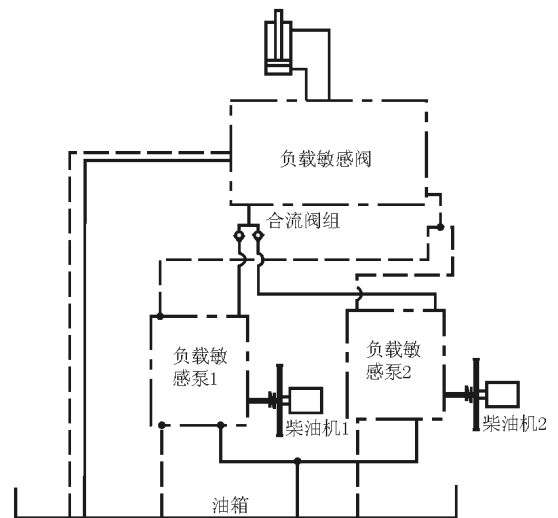


图 2 双动力驱动负荷敏感液压系统

钻机在提升力和回转扭矩同时达到最大值的状态为钻机输出功率的极限状态,选用 1 台大功率发动机,生产成本将大幅度增加,造成功率浪费,增加油耗。钻机配置 2 台柴油机,汽车底盘发动机功率为 300 kW,单独驱动液压泵可满足低转速。上装柴油机功率 400 kW,单独驱动可满足常规钻进。当钻进至深孔时,负荷加大,动力头转速减慢,为了弥补动力不足,可将 2 台柴油机同时启动,两台柴油机各自配有独立的液压泵;两套液压系统可以独立工作,也可以并车驱动,达到了功率的合分流,节约了动力资源。

1.4 基于 CAN 总线 PLC 电控系统

钻机控制系统采用基于 CAN 总线的分布式体系结构,线路的连接比较简单,可以实时、可靠地实现控制系统的数字化、模块化,系统的扩展性强。所有控制动作集成到一个远程控制盒上(见图 3),控

制可靠。所有控制阀的电磁铁工作状态均可反应到人机交互界面(见图4)。一旦钻机出现故障,可根据界面反应的故障迅速定位排除。根据测压点处传感器输入的数据可实时掌握钻机状态,包括钻机执行元件压力、回转扭矩、进尺速度等数据,实时调整钻进参数。将步进式油门电机应用于柴油机的启动,可远程启停柴油机,实时调整柴油机转速,监控柴油机运行状态。



图3 远程控制盒



图4 人机交互界面

2 功能试验

试验内容主要包括起落钻塔、钻机调平、桅杆伸缩、吊臂伸缩回转、动力头翘起、回转等执行动作以及动力头回转速度、提升力、加压力、提升速度、给进速度、卷扬机提升力、卷扬机提升速度等参数。柴油机工作转速设定在1500 r/min。通过记录钻机在起落钻塔、回转、提升下放等执行动作的压力和时间进行检测。动力头通过油缸、钢丝绳滑轮组倍速机构进行提升下放。钻机动力头回转分为3挡变速,每挡均可无级调节,动力头回转时,钻机动力头提升下放分为快速和常速2种模式,其中快速模式提升速度为常速模式的1.3倍。动力头距离孔口的位置可由编码器测量并显示在操控盒显示屏上。针对钻机在实际钻进过程中的工况进行模拟实验,以验证钻机性能以及事故处理储备能力。

2.1 静载负荷试验

试验的目的是为了检验钻机在大负荷工况下提升钻具的能力,采用高压液压油缸作为负载验证钻机的提升能力。钻机底盘和桅杆支撑在拉力试验平台上,油缸安装在试验平台上作为负载,通过铰耳和钢丝绳连接到动力头主轴上进行拉力试验(如图5所示)。钻机在大负荷静载的工况下进行提升,模拟钻机深孔钻进卡钻时的提升能力。



图5 静载负荷试验

试验采用缸径280 mm,杆径200 mm,行程为500 mm的液压缸作为负荷,油缸动力源由外置液压站输出,油缸工作压力设定为25 MPa,可提供754 kN的拉力,相当于2500 m(5 in)标准石油钻杆的重力(见表1)。油缸通过转换接头与动力头连接,油缸向下拉伸钻机动力头,油缸压力维持25 MPa,记录油缸初始安装距,保压时间4 h,对比测量试验后油缸安装距(见表2)。

表1 油缸输出载荷

油缸参数/mm	工作压力/MPa	输出力/kN	模拟钻杆质量/t
280/200/500	25	754	75.4

表2 静载拉伸试验数据

序号	油缸初始伸出量/mm	保压时间/h	油缸最终伸出量/mm
1	388	4.1	388
2	376	4.0	376
3	393	4.5	392

经过3次试验数据对比,动力头相对位置位移没有发生明显变化,钻机在大负载情况下,可以输出稳定的提升力,以应对钻井过程中重载钻具提升和解卡。

2.2 动载稳定性试验

钻机在大负荷进行提升、下放试验,模拟钻机在深孔钻进时提下钻工况,试验钻机在深孔提升、下放钻具时的稳定性。采用大吨位液压卷扬拉伸动力头(见图6),卷扬设定拉力180 kN,并且维持工作压力25 MPa。动力头分别在常速和快速2种速度下下放钻具,动力头到达某一位置时停止,检测动力头急停时动力头是否在惯性的作用下“颤动”,钻机在举升油缸上下腔都存在压力的情况下,液压管路是否产生振动。



图6 动载稳定性试验

经反复试验,动力头可在钻机行程各位置准确停止,钻机桅杆、底盘未出现明显“颤动”,液压系统响应正常。

3 生产试验

钻机于2015年在河北省廊坊市永清县龙虎庄乡前刘官营村进行野外生产试验。试验井为地热资源钻探井,代号为“永热5井”。据区域地质资料,工作区地层自上而下为:(1)第四系平原组(Q):井段0~300 m,厚300 m;(2)上第三系明化镇组(Nm):井段300~900 m,厚600 m;(3)寒武系(- γ):井段900~1025 m;(4)青白口系(Qb):井段1025~1275 m,钻厚250 m;(5)蓟县系铁岭组+洪水庄组(Jxt+Jxh):井段1275~1500 m,钻厚225 m。井身结构如图7所示。

2015年7月28日开孔钻进,历时62 d终孔,终孔口径216 mm,深度1500 m,施工现场如图8所示。一开设计深度360 m,开孔采用 $\phi 445$ mm的牙轮

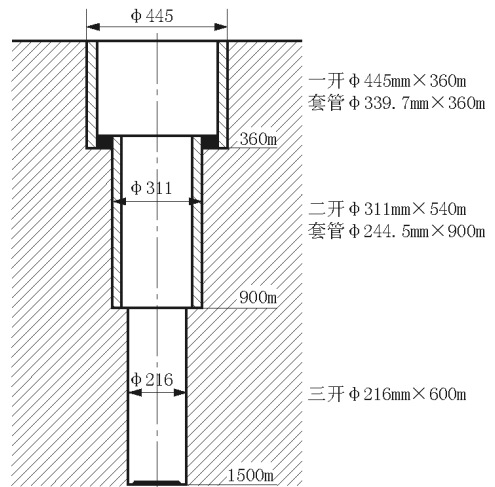


图7 试验井井身结构示意图



图8 地热井钻探施工现场

钻头,配套 $\phi 165$ mm钻铤和 $\phi 114$ mm标准石油钻杆,选用3NB350型泥浆泵进行钻进。扫孔后下入 $\phi 339.7$ mm标准石油套管并固井。主要地层为黄土层和少量黑色块状砂岩,采用预水化膨润土钻井液,密度 $1.06 \sim 1.1 \text{ g/cm}^3$,泥浆粘度 $18 \sim 21 \text{ s}$ 。二开换 $\phi 311$ mm牙轮钻头,配套 $\phi 165$ mm钻铤和 $\phi 114$ mm标准石油钻杆,钻进至920 m,扫孔后测井。之后下入 $\phi 245$ mm套管并固井。主要地层为块状砂岩和泥岩,采用低固相聚合物钻井液,泥浆粘度 $20 \sim 25 \text{ s}$ 。三开换 $\phi 216$ mm PDC钻头,钻压设置为40 kN,钻进至1500 m。主要地层为灰白、灰褐白云岩及泥灰岩。采用低固相聚合物钻井液,泥浆粘度 $20 \sim 25 \text{ s}$ 。完井后进行测井,洗井,抽水试验。

钻进过程中,钻机故障率低,较好地保证了进尺速度,柴油机工作转速设定 1500 r/min ,动力头转速

范围 80 ~ 110 r/min, 试验中发生一次掉钻事故, 下入浮鞋进行打捞, 处理事故的过程中, 发生卡钻现象, 钻机进行强力起拔, 起拔力最大达到 860 kN。一开、二开阶段和下套管过程中, 钻机由大柴油机驱动。进入三开阶段, 井眼变小, 钻机由独立小柴油机驱动, 钻进效率较大柴油机驱动时稍微降低。钻机的钻进能力, 起下钻功能, 下套管能力, 钻压调节控制等在试验中得到了较为全面的验证。

4 结论

通过生产试验, 验证了钻机的功能, 钻机在转场搬迁、起下钻加接钻具、钻压控制、钻进参数调整以及操控方面的性能表现良好。试验过程中, 体现出了 SDC-2500 型全液压车载钻机的优点, 也反映出了一些不足, 有待进一步改进完善。

(1) SDC-2500 型全液压车载钻机集成化程度高, 运移性好, 搬安作业便捷。

(2) 钻机配置双动力驱动系统, 提升了钻机的能力储备, 降低了能源消耗。

(3) 液压系统采用 LS 负荷敏感液压控制, 钻机转速能进行无级调节, 精确控制钻压, 减少工人劳动强度。

(4) 应用 PLC 电控系统, 实现了大型钻探装备

的远程操控, 提高了特殊环境下钻机操作的安全性和可靠性。

(5) 钻机孔口配置独立夹持器、液压卸扣钳和多种卸扣工具组合, 提高了辅助工作效率。

(6) 液压传动本身的特点决定了钻机处理事故时瞬间解卡的能力较差。

参考文献:

- [1] 冯起赠, 宋志彬, 和国磊. SDC-1000 型车装全液压钻机在煤层气施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1): 64-67.
- [2] 冯起赠, 秦如雷, 许本冲, 等. 全液压车装钻机在集束式潜孔锤反井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 23-26.
- [3] 景俊华. 负载敏感系统的原理及其应用[J]. 流体传动与控制, 2010, (5): 21-24.
- [4] 陈朝东, 张莉. PLC 在钻机控制系统中的应用[J]. 计算机自动测量与控制, 2001, 9(2): 43-44.
- [5] 庞少青, 李国东. 全液压力头钻机存在的问题分析及改进建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(2): 64-66.
- [6] 李文秀, 孟义泉, 董向宇, 等. YDX-1 型轻便岩心钻机的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(2): 8-14.
- [7] 陶照园. PLC 在露天浅孔钻机控制系统中的应用[J]. 采矿技术, 2006, 6(4): 50-52.
- [8] 魏晓东, 赵军, 刘清友, 等. 煤层气钻机与井控装备现状及发展方向[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(5): 96-100.

(上接第 43 页)

同时由于钻头性能稳定一致, 大幅提高了钻头使用的寿命和钻进时效, 在多地勘查使用中均收到了良好的使用反馈, 产生了较大的经济效益。

4 结语

新型金刚石钻头智能烧结机, 集成光、电、液压于一体, 控制烧结温度和工作压力, 实现了预存工艺的自动运行, 替代传统人工操作完成钻头烧结。

(1) 有效提升了金刚石钻头的烧结良品率, 降低了生产成本。

(2) 较大地提高了生产效率, 降低了人力投入。

(3) 最大限度地减少了人为因素对钻头烧结工艺的影响, 使得钻头性能达到或超过了国内现有同类型产品的水平, 得到了钻探勘查用户的良好反馈, 取得了较大的经济效益。

参考文献:

- [1] 陈洪刚. 真空热压孕镶金刚石钻头烧结工艺研究[J]. 金刚石及制品, 1998, (41): 9-11.
- [2] 李明, 杨承, 杨成梧. 热压机控制系统 PID 改进[J]. 控制工程, 2006, (6): 45-47.
- [3] 杨叔子, 等. 机械工程控制基础[M]. 湖北武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [4] 刘豹. 现代控制理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 许建, 肖维荣. 液压位置伺服系统的模糊 PID 控制[J]. 伺服控制, 2009, (12): 55-57.
- [6] 诸静. 模糊控制理论与系统原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [7] Timothy J. 模糊逻辑及其工程应用[M]. 钱同惠, 沈其聪等译. 北京: 电子工业出版社, 2001: 252-261.
- [8] 孙毓超, 宋月清, 等. 金刚石工具制造理论与实践[M]. 河南郑州: 郑州大学出版社, 2005: 2-8.
- [9] 胡郁乐, 张恒春, 吴来杰, 等. 智能化中频感应金刚石钻头烧结设备的研制[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2011, (6): 51-53.