



中国科学引文数据库 (CSCD) 来源期刊
全国中文核心期刊
美国《化学文摘》(CA) 收录期刊
俄罗斯《文摘杂志》(AJ) 收录期刊
EBSCO学术数据库收录期刊 (美)
AAPG协会期刊出版平台收录期刊 (美)
中国科技论文统计源期刊
RCCSE中国核心学术期刊

防喷器智能控制装置研制及应用

杨利强

Development and Application of Intelligent Control Devices for BOPs

YANG Liqiang

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2024088>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

智能井下液压控制信号传输特性研究

Transmission Characteristics of Downhole Hydraulic Control Signals in Intelligent Wells

石油钻探技术. 2022, 50(6): 98–106 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2022099>

探管式智能钻头参数测量装置研制与现场试验

Development and Field Test of Probe-Type Intelligent Bit Parameter Measurement Device

石油钻探技术. 2024, 52(4): 34–43 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2024004>

海上油田电控智能控水采油工具研制及性能评价

Development and Performance Evaluation of an Electrically Controlled Intelligent Water Control and Oil Recovery Tool for Offshore Oilfields

石油钻探技术. 2022, 50(5): 76–81 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2022086>

渤海油田液压控制智能分注优化关键技术

Key Optimization Technologies of Intelligent Layered Water Injection with Hydraulic Control in Bohai Oilfield

石油钻探技术. 2022, 50(1): 76–81 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021125>

自激式涡流控制水力振荡器研制与应用

Development and Application of Self-Excited Vortex Control Hydraulic Oscillator

石油钻探技术. 2019, 47(5): 74–79 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019080>

水平井控水砾石充填防砂技术研究

Study on the Sand Control Technique for Gravel Packing with Water Control for Horizontal Wells

石油钻探技术. 2021, 49(1): 101–106 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020138>



扫码关注公众号，获取更多信息！

doi:10.11911/syztjs.2024088

引用格式：杨利强. 防喷器智能控制装置研制及应用 [J]. 石油钻探技术, 2024, 52(5): 138–144.

YANG Liqiang. Development and application of intelligent control devices for BOPs [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2024, 52(5): 138–144.

防喷器智能控制装置研制及应用

杨利强

(中石化胜利石油工程有限公司管具技术服务中心, 山东东营 257000)

摘要：防喷器控制装置是控制井口防喷器组、井口阀门的主要设备，是钻井、修井过程中防止井喷、溢流和压井过程中必不可少的装置，但目前大量使用防喷器控制装置的控制手段单一，自动化程度低，关井需要多岗位配合操作，关井速度慢，且容易出现误操作。为此，通过对原有控制装置硬件改造升级及功能扩展，研制了防喷器智能控制装置，开发了智能关井控制软件，实现了钻井现场关井过程中防喷器、管汇阀门等控制对象的统一联动。现场 50 余口井的应用表明，防喷器智能控制装置具有自动化程度高、控制手段多样等特征，可大幅度提高关井效率和准确度，提升井控本质安全，具有良好的推广应用前景。

关键词：防喷器；控制装置；井控；智能关井；遥控

中图分类号：TE921^{+.5} 文献标志码：A 文章编号：1001-0890(2024)05-0138-07

Development and Application of Intelligent Control Devices for BOPs

YANG Liqiang

(Pipe Technical Service Center, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257000, China)

Abstract: The control device of blow-out preventers (BOPs) is the primary equipment for controlling the wellhead BOP assembly and wellhead valves. It is an essential device to prevent well blowouts, overflows and proceed well killing process during drilling and workover operations. However, current widely used control devices for BOPs have limited control methods and low automation level, and also require multi-position coordination for well shut-in operations, thus the well shut-in speed is slow and it is prone to misoperations. Therefore, through hardware upgrades and function expansions of existing control devices, an intelligent control device for BOPs was developed, and an intelligent well shut-in control software was developed to achieve unified coordination among various controlled objects such as BOPs and manifold valves during well shut-in operations at drilling sites. The application of more than 50 wells on site shows that this intelligent control device for BOPs has the characteristics of high level of automation, diverse control methods, etc. It could significantly improve well shut-in efficiency and accuracy and enhance intrinsic safety in well control, and have promising prospects for widespread application.

Key words: BOP; control device; well control; intelligent shut-in; remote control

目前，国内外使用的防喷器远程控制装置主要分为液控液型、气控液型及电控液型。其中，气控液型使用最为广泛^[1-3]，其主要操作模式为手动控制，通过手动控制三位四通换向阀实现对液压油流向的控制^[4]，从而控制防喷器等井控控制对象的动作。传统的手动控制模式下，防喷器控制装置一次操作只能完成一个动作，在井控溢流等突发险情的情况下，要实现防喷器组的关闭，需要司钻、内钳

工、场地工等多岗位人员配合分别操作节流管汇、控制装置和井口设备才能完成，整个关井过程中涉及人员多、动作复杂、速度慢，而且在人员高度紧张的情况下容易出现误操作等情况，存在很大的安全隐患^[5-6]。

随着现代通信技术、计算机网络技术及现场总线控制技术的飞速发展，国家大力提倡并支持传统装备的改造和升级。在石油钻井方面，自动化、智

收稿日期：2022-12-30；改回日期：2024-08-29。

作者简介：杨利强（1978—），男，陕西眉县人，2002 年毕业于陕西理工大学机械专业，2014 年获长江大学石油与天然气工程专业硕士学位，高级工程师，主要从事井控装备与工具方面的研究及管理工作。E-mail: yangliqiang817.ossl@sinopec.com。

基金项目：中石化石油工程技术服务有限公司科技项目“防喷器智能控制装置应用研究”（编号：SG16-14T）资助。

能化技术业发展迅速^[7-8]。截至目前,宝鸡石油机械有限责任公司研制的“一键式”人机交互 7 000 m 自动化钻机已经投入现场应用,中石化胜利石油工程有限公司研制的页岩油全自动钻机已经开始调试试验。要配合自动化钻井技术应用,井控装置自动化势在必行,而防喷器控制装置更是钻井现场实现井控装置自动化、智能化控制的核心设备^[9]。为此,笔者围绕防喷器控制装置的工作原理,结合钻井现场井控装置的安装使用工况,对主要关井动作进行了系列研究^[10-12];在原有防喷器控制装置基础上,设计完成了具备远程遥控、自动控制及数据采集等功能的防喷器智能控制装置,并在现场 50 余口井进行了成功应用,为井控装置自动化、智能化升级和发展提供了支撑。

1 设计思路及主要组成

1.1 防喷器智能控制装置设计思路

钻井过程中发生井喷等紧急情况时,需要快速控制井口。防喷器智能控制装置主要用来提高井口控制的自动化程度,其基本设计思路是:通过对装置硬件的改造升级及功能扩展,开发智能关井软件系统;通过硬软件结合实现钻井现场防喷器、管汇阀门等控制对象的统一联动,实现快速关井控制井口的要求。

防喷器智能控制装置包括硬件和软件 2 个方面。硬件方面,对控制装置进行电控化改造升级,将节流管汇和司钻控制台的控制功能集成设计,形成按钮式司钻台,使其功能更加强大;设计无线遥控的司钻台,以实现无线遥控关井。软件方面,开发井控装置控制界面,要具有根据钻井现场装置安装实际情况编辑控制界面的功能;根据钻井现场关井的“四七动作”,开发智能关井和一键关井程序,实现关井过程中软硬件统一联动、快速控制井口的井控目标(见图 1)。

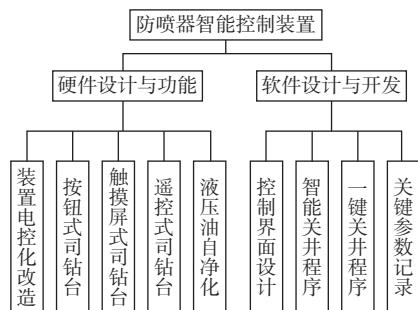


图 1 防喷器智能控制装置整体设计思路

Fig.1 Overall design concept of intelligent control device for BOPs

1.2 防喷器智能控制装置主要组成

防喷器智能控制装置主要由电控型控制装置、按钮式司钻台、触摸屏式司钻台、无线遥控式司钻台和液压油自净化系统等组成(见图 2)。

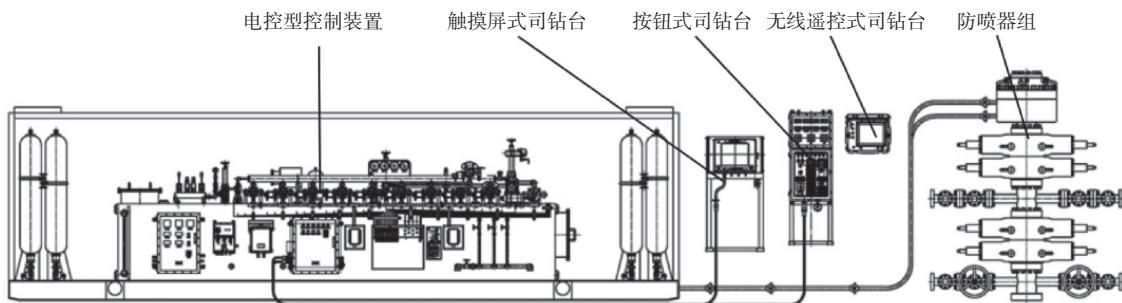


图 2 防喷器智能控制装置组成示意

Fig.2 Composition of intelligent control device for BOPs

2 硬件设计及功能改造

2.1 控制装置主体的电控化改造

远程控制台是泵注、储存与控制压力油流向的液压装置。泵组向蓄能器组注入液压油并储存于蓄能器组内,当需要控制防喷器关或开时,可手动控制或遥控三位四通转阀动作,将高压液压油输送至

防喷器液缸,从而控制防喷器关闭或开启。为了实现控制装置自动化控制,在传统控制装置基础上增加了防爆 PLC 控制箱、防爆电磁阀箱、无线发射接收装置、无线放大器及节流管汇控制系统^[13-14],并将各控制对象三位四通阀的控制由气控液改为电控液,使其具备自动控制的基础。该无线电控装置由节流管汇控制系统、PLC 控制箱(逻辑控制器)和防爆电磁阀箱等组成(见图 3)。



图 3 无线电控装置的组成

Fig.3 Composition of radio control device

节流管汇控制系统由隔离截止阀、高压过滤器、高压电磁阀、减压溢流阀、压力传感器、压力表、油路板、手动换向阀和防爆电磁比例换向阀等组成,其主要作用是替代原有的节流管汇控制箱,将节流阀的控制集成至防喷器智能控制装置上。远程控制软件可发出控制电磁比例换向阀动作的信号,控制节流阀的开启和关闭,通过节流阀上的传感器可以实现节流阀的精准控制。节流管汇控制系统的集成,实现了防喷器智能控制装置对现场井控装置的自动化控制、集中化管理,方便突发险情时的快速操作。

PLC 控制箱(逻辑控制器)是控制调节智能控制装置的核心部件,其有 2 个作用:1)接收传感器数据,依据系统压力、环形压力、气源压力等参数,判断控制装置压力、液位、有害气体含量等主要参数是否正常,若出现问题及时预警,确保控制装置处于正常工作状态;2)与上位机进行通讯,接收并发出动作指令,实现远程智能控制。

防爆电磁阀箱是智能控制装置的执行机构,其内部主要是电磁换向阀,通过电磁换向阀的换向,带动三位四通阀手柄动作,从而实现三位四通阀的开关。

另外,无线接收装置及无线放大器是接收无线遥控司钻台指令的功能部件,可以实现 500 m 范围内无线遥控,在发生井喷且井口失控情况下撤离人员时,可以有效执行井控装置的控制指令。

2.2 司钻控制台的设计

普通司钻控制台放置在钻台上或井队值班室,方便司钻或井队技术干部操作,以便在最短时间内控制防喷器开关。为此,设计了触摸屏式、按钮式和无线遥控式等 3 种司钻控制台,如图 4 所示。在功能方面,对原司钻控制台的防喷器控制功能和节流管汇控制箱功能进行了集成设计,主要集成了节流阀开启和开启度的显示功能,立压、套压、气源压力和泵冲等参数的显示功能。司钻控制台集成功能的控制原理如图 5 所示。

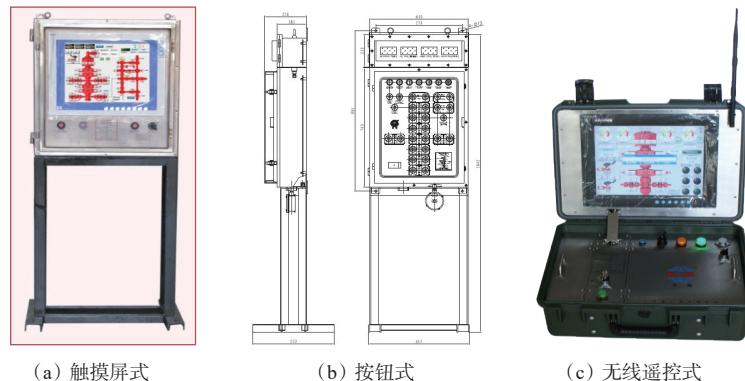


图 4 设计的 3 种司钻控制台

Fig.4 Three types of driller consoles designed

触摸屏式、按钮式和无线遥控式 3 种司钻控制台各具特点。

1) 触摸屏式司钻控制台。触摸屏计算机搭载防喷器智能控制系统软件,是现场人机交互的核心

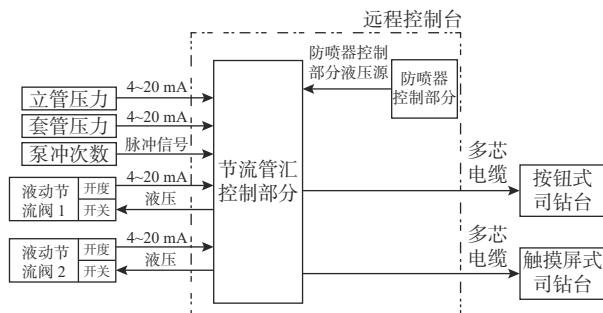


图 5 司钻控制台集功能的控制原理

Fig.5 Integrated function control principle of driller consoles

设备，主要由触摸屏计算机、IO 模块、防爆型无线发射接收装置、UPS、电源适配器、蓄电池、控制按钮和蜂鸣器等组成，可根据现场井控装置配套和安装情况，建立整套井控系统的三维控制界面；实时显示防喷器、节流、压井管汇的压力和各阀门的开关状态；根据实际工况建立智能关井和一键关井程序，同时可以准确记录储存控制装置各项压力的变化曲线和阀件的动作信息，储存时间可达 180 d。触摸屏式司钻控制台一般安装在井队值班房内。

2) 按钮式司钻控制台。按钮式司钻控制台主要由防爆箱体、压力传感器专用数显表、防爆 PLC、防爆控制按钮、防爆指示灯、防爆多芯插座和防爆蜂鸣器等组成，并与远程控制台通过电缆连接，实现对远程控制台的控制。按钮式司钻控制台主要有显示、操作和报警 3 方面的功能，具备对控制装置气源、储能器、汇管、环形压力，控制对象的开关状态，节流阀的开启油压，阀位开启度、立压、套压、泵冲等的显示功能。该控制台可以对控制装置实现转阀控制，进而控制防喷器、液动阀、节流阀及液压

锁紧装置等；可实现控制装置油箱液位，储能器、汇管、环形压力和有害气体等的报警功能。按钮式司钻控制台的控制距离可达 200 m，控制滞后时间短于 0.5 s，不受环境影响，能实时反映防喷器的开关状态及各项钻井参数，防爆按钮操作方便可靠。按钮式司钻控制台一般安装在钻台上。

3) 无线遥控式司钻控制台。无线遥控司钻台主要由 15 英寸触摸屏工控机搭载 Windows XP 操作系统、无线信号模块 Client 端、IO 模块、蓄电池、UPS 和电源适配器组成。电控箱由内置无线模块 AP、PAC 控制器（搭载 Vxworks 嵌入式操作系统）、PLC 控制器等模块，以及电子压力控制器、磁力启动器等组成。其控制原理是，在井场建立一个小型 WLAN 网络，控制命令通过无线模块（Client 端）发送至远程控制台电控箱的无线模块（AP 端），PAC 通过无线模块（AP 端）获取到控制命令后，通过 DO 输出模块控制电磁阀/继电器实现对相应控制对象的转阀控制。司钻控制台可在 500 m 范围内实现防喷器等控制对象的无线控制。

触摸屏式、按钮式和无线遥控式等 3 种司钻控制台均设置了人员操作权限，具备防止误操作等保护功能。

2.3 液压油自净化系统的设计

远程控制装置的工作环境较为恶劣，且长期处于运转状态，为了使液压油保持洁净，保证该装置运行可靠，设计了液压油自净化系统。基本思路是，通过三级过滤实现液压油的净化^[15]，滤除液压油中的杂质、水分，保证远程控制装置在沙漠、海洋、寒冬等恶劣环境下正常使用。液压油自净化系统的工作流程如图 6 所示。

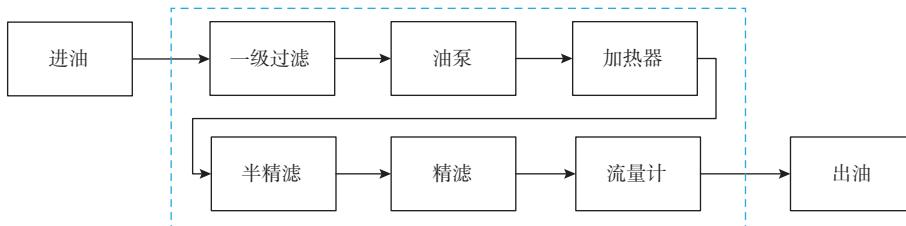


图 6 液压油自净化系统的工作流程

Fig.6 Self-purification system workflow

3 软件设计与开发

通过对防喷器控制装置电控化改造和功能集

成，控制装置已经具备了自动控制和远程控制的基础。为了实现智能控制目标，需要开发配套的智能控制软件，与硬件系统建立通讯。系统发出控制指令后，硬件系统能按照指令依次完成对各控制对象

的动作。设计防喷器智能控制系统时,主要进行了控制界面的设计开发、智能关井及一键关井程序的开发与实现、主要参数及动作记录3个方面^[16]。

3.1 控制界面的设计开发

为了更好地适应钻井现场井控的直观、准确要求,开发的防喷器智能控制系统由防喷器组控制界面、井控数据实时显示和管汇组控制界面3个功能区组成,分别位于界面的左边、右上和右下,如图7所示。钻井工程师可以根据现场井控装置实际安装

情况编辑与现场对应的井控控制界面。需要关井时可以点击界面上防喷器各控制对象的“开”“关”按钮来实现防喷器的开关。控制界面上防喷器等控制对象均采用三维模型显示,清晰明了,动作灵敏,“开”“关”过程有进度条显示,过程一目了然,提高了操作的准确性和直观性。井控数据实时显示区域及功能区,可以实时显示各项钻井参数及控制装置的状态,系统参数报警、智能关井提示、通讯状态等装置运行信息也可实时显示。

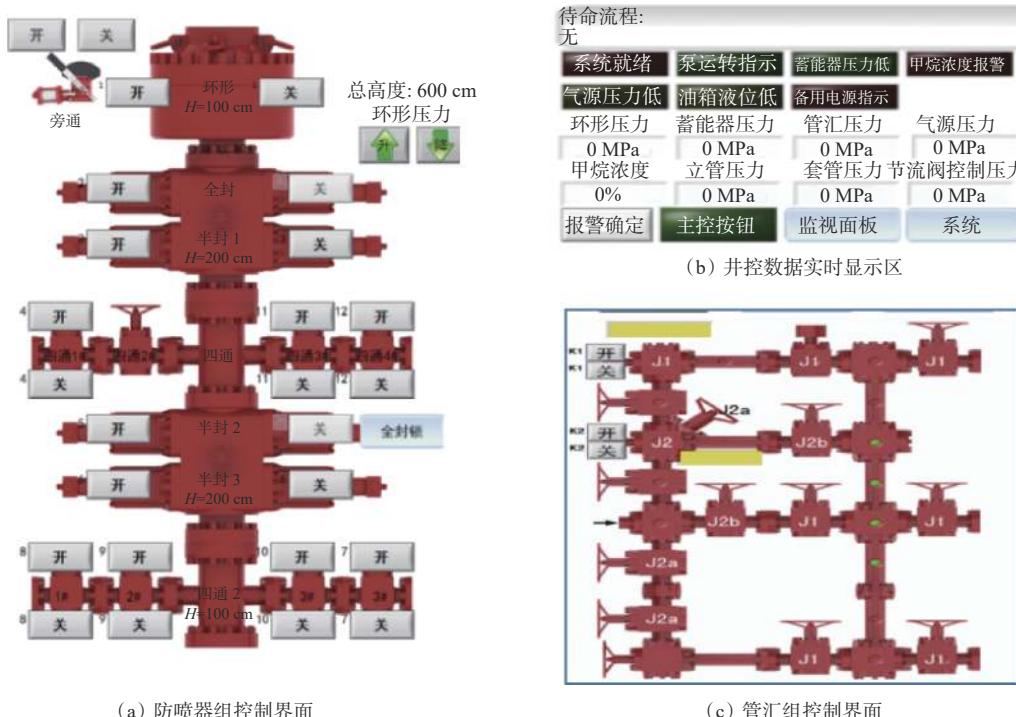


图 7 防喷器智能控制系统的主控界面

Fig.7 Master control interface of intelligent control system for BOPs

3.2 智能及一键关井程序的开发与实现

开发智能关井程序的主要目的是,提高紧急情况下关井的准确性和及时性。开发思路是,按照钻井现场井控装置的实际配置情况和关井的“四七动作”,编制钻进、起下钻、起下钻铤、空井等工况下的关井流程,开发相应的程序,其界面如图8所示。

在井控突发应急状况下,可直接选择开发的相应关井程序,按照流程提示一步一步执行关井动作,直至关井成功。关井过程中无需人为干预,仅需监控各动作的执行是否完整到位、并确认执行下一步动作即可,可避免操作人员紧张情况下多岗位配合出现错误的关井动作,或误操作造成关井失败的情况。



图 8 智能关井程序界面

Fig.8 Interface of intelligent shut-in program

一键应急关井功能主要用于紧急撤离情况下的关井操作,即打开放喷、关闭环形防喷器、点火等关井动作一键操作完成,可实现一键完成预先设定的

所有关井流程, 提高关井效率, 充分保证人员撤离时间, 确保安全。

3.3 主要参数及动作记录

在防喷器控制装置所有转阀上安装接近开关, 当转阀动作时接近开关就可以采集转阀的开、关动作信息和时间, 通过传感器采集各阀件的压力。当

控制装置开始工作时, 系统就自动记录控制装置的各种动作和数据(包括控制对象状态、当前时间、报警状态和压力等), 并形成文件直接存储进系统, 事后可以根据权限进行调阅, 为设备状态监测和井控数据分析提供技术支撑。主要参数的记录曲线如图 9 所示。

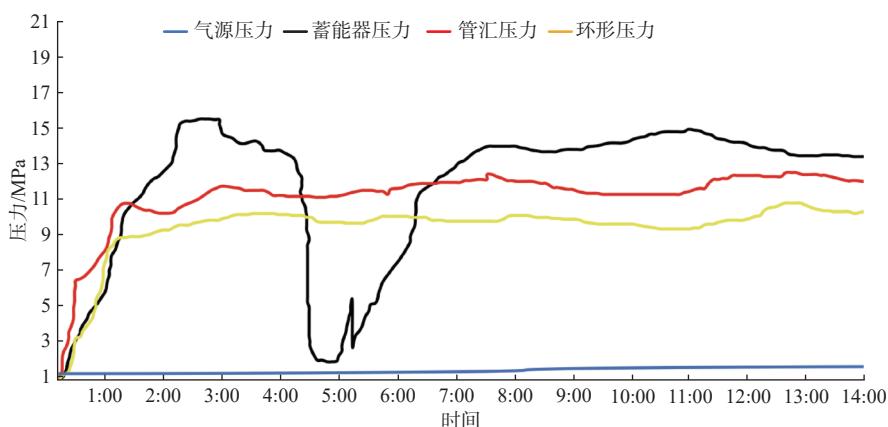


图 9 主要参数的记录曲线

Fig.9 Recording curve of main parameters

4 现场试验及应用

4.1 性能测试及现场试验

防喷器智能控制装置研制完成后, 进行了安装和调试, 并对其基本功能进行了多次试验。在调试期间, 对防喷器智能控制装置的软硬件及可靠性进行了测试, 测试结果均符合设计要求和相关标准。同时, 对该装置进行了观摩和试验验证, 通过验证, 认为该装置完全实现了自动关井、一键关井功能, 且不影响防喷器控制装置原有的所有手动控制功能, 性能安全可靠, 具备现场应用条件。

4.2 现场应用

截至目前, 防喷器智能控制装置已经在胜利油田、新疆地区、川渝地区等地使用 50 余口井, 特别在董 11 井、新 10-2 井、董深 1 井等中国石化重点探井进行了长时间现场应用。其中, 董 11 井连续安全使用超过 220 d; 新 10-2 井打开油气层前的空气钻井过程中, 设备具备的一键关井、远程操控等功能充分满足了复杂钻井工艺对控制装置的各项井控特殊要求^[17-18]。在现场安装使用期间, 该装置进行过多次防喷演习和开关井动作, 各项功能均使用良好, 开关井速度和操作的便捷性比原有控制装置大幅提高。

4.3 关井效果对比

在董深 1 井钻井现场, 进行了同等条件下传统“四七动作”关井模式和智能关井模式的防喷演习对比。普通的防喷器控制装置关井条件下, 只能采用“四七动作”, 需要司钻、副司钻、内钳工、外钳工、井架工、钻井液工、司机(发电工)等至少 7 人配合执行关井动作, 在操作熟练、互相配合默契的情况下关井需要 2.5~3.0 min; 采用防喷器智能控制装置的智能关井模式时司钻一人即可完成关井动作, 关井时间在 1.5 min 之内, 从关井时间、需要人员和安全性方面均体现出很高的技术先进性。

5 结论与建议

- 1) 防喷器智能控制装置具有智能关井、一键关井和遥控关井等多种关井手段, 提高了井控关井速度, 丰富了控制手段。
- 2) 防喷器智能控制装置可以有效解决钻井现场关井多岗位配合、易出错等问题, 提高了井控关井的准确性。
- 3) 通过现场应用, 证明该装置设计合理、功能齐全、自动化程度高, 可以有效提升井控安全, 具备良好的推广应用前景。
- 4) 建议结合防喷器智能控制装置的功能设计,

持续推进防喷器、管汇等装置的自动化水平，深入开展各井控装置集成和联动方面的研究，为钻井现场井控装置的自动化、智能化发展提供思路和方向。

参 考 文 献

References

- [1] 周宏宇, 吴永良. 地面防喷器控制系统改进方案探讨 [J]. 海洋石油, 2020, 40(1): 84–89.
- ZHOU Hongyu, WU Yongliang. Research of improvement of ground blowout preventer control system[J]. Offshore Oil, 2020, 40(1): 84–89.
- [2] SHAFIEE M, ELUSAKIN T, ENJEMA E. Subsea blowout preventer (BOP): design, reliability, testing, deployment, and operation and maintenance challenges[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2020, 66: 104170.
- [3] 孟少辉, 陈慧慧, 蒋楠, 等. 一种带气动试压功能的防喷器控制装置 [J]. 液压气动与密封, 2015, 35(6): 64–66.
- MENG Shaohui, CHEN Huihui, JIANG Nan, et al. A BOP control system with pneumatic pressure test function[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2015, 35(6): 64–66.
- [4] 李正军, 盖靖安. 防喷器远程控制装置自卸压四位四通转阀的研究与设计 [J]. 石油钻采工艺, 2022, 44(6): 706–710.
- LI Zhengjun, GE Jing'an. Research and design of four-position four-way rotary valve with automated pressure relief for blowout preventer remote control devices[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2022, 44(6): 706–710.
- [5] 刘玉华, 寇铖, 张瑾鹏. 防喷器控制装置的常见故障分析 [J]. 中国设备工程, 2023(12): 166–168.
- LIU Yuhua, KOU Lei, ZHANG Jinpeng. Analysis of common malfunctions in the control device of blowout preventer[J]. China Plant Engineering, 2023(12): 166–168.
- [6] PÁRRAGA QUISPE J L, ZHU Lei, ESTEFEN S F, et al. Ram performance and hydraulic modeling of subsea blowout preventer control system[J]. SPE Drilling & Completion, 2022, 37(4): 267–281.
- [7] 李根生, 宋先知, 田守嶒. 智能钻井技术研究现状及发展趋势 [J]. 石油钻探技术, 2020, 48(1): 1–8.
- LI Gensheng, SONG Xianzhi, TIAN Shouceng. Intelligent drilling technology research status and development trends[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(1): 1–8.
- [8] 王敏生, 光新军. 智能钻井技术现状与发展方向 [J]. 石油学报, 2020, 41(4): 505–512.
- WANG Minsheng, GUANG Xinjun. Status and development trends of intelligent drilling technology[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(4): 505–512.
- [9] 伍贤柱, 胡旭光, 韩烈祥, 等. 井控技术研究进展与展望 [J]. 天然气工业, 2022, 42(2): 133–142.
- WU Xianzhu, HU Xuguang, HAN Liexiang, et al. Research progress and prospect of well control technology[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(2): 133–142.
- [10] 刘先明, 胡益铭, 张尧, 等. 自动化关井技术研究现状及展望 [J]. 钻采工艺, 2023, 46(4): 45–50.
- LIU Xianming, HU Yiming, ZHANG Yao, et al. Research status and prospects on automated shut-in technology[J]. Drilling & Production Technology, 2023, 46(4): 45–50.
- [11] JIA Jia, SU Yinao, SHEN Yue, et al. Influence of the blowout preventer shut-off process on wellbore pressure[J]. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 2021, 57(3): 571–581.
- [12] 韦龙贵, 张伟国, 罗黎敏, 等. 数字化井控技术研究现状及发展趋势 [J]. 钻采工艺, 2024, 47(4): 86–93.
- WEI Longgui, ZHANG Weiguo, LUO Limin, et al. Research status and development trends of digital well control technology[J]. Drilling & Production Technology, 2024, 47(4): 86–93.
- [13] 张跃峰, 茶拉, 刘梦祥. 防喷器控制装置的研发与应用前景 [J]. 石油机械, 2011, 39(5): 64–66.
- ZHANG Yuefeng, CHA La, LIU Mengxiang. Research and application prospects of spray preventer control device[J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(5): 64–66.
- [14] 姜东亮, 郝斌, 王欢, 等. 电控型地面防喷器控制装置研制 [J]. 石油矿场机械, 2018, 47(3): 27–32.
- JIANG Dongliang, HAO Bin, WANG Huan, et al. Design of electrically controlled control device of ground blowout preventer[J]. Oil Field Equipment, 2018, 47(3): 27–32.
- [15] 高敏, 郝子轩. 防喷器控制系统新型液压油过滤装置研制 [J]. 润滑与密封, 2018, 43(6): 145–148.
- GAO Min, HAO Zixuan. Development of new hydraulic oil filter device for blowout preventer control system[J]. Lubrication Engineering, 2018, 43(6): 145–148.
- [16] 刘书杰, 杨向前, 郭华, 等. 井控系统智能化关井技术研究 [J]. 煤炭技术, 2017, 36(6): 303–305.
- LIU Shujie, YANG Xiangqian, GUO Hua, et al. Research for intelligent shut in well technology[J]. Coal Technology, 2017, 36(6): 303–305.
- [17] 曹阳, 方晓庆, 张俊蓝, 等. “三高”气井井控配套新装置 [J]. 天然气工业, 2022, 42(7): 95–100.
- CAO Yang, FANG Xiaoqing, ZHANG Junlan, et al. New support devices of well control for “three-high” gas wells[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(7): 95–100.
- [18] 李真祥, 朱弘. 中国石化集团川渝地区井控技术现状及展望 [J]. 钻采工艺, 2024, 47(4): 29–34.
- LI Zhenxiang, ZHU Hong. Current situation and prospects of well control technology in the Sichuan Chongqing region of Sinopec Group[J]. Drilling & Production Technology, 2024, 47(4): 29–34.

[编辑 令文学]