

Innovation and application of remote intelligent grease injection and liquid control technology in oil and gas fields

Hongyuan Niu Haochuan Wang Jie Yang Zhihong Du

Chengde Development Zone Fuquan Petroleum Machinery Co., Ltd., Hebei, Chengde, 067000, China

Abstract

With China's energy consumption continuously increasing, oilfield exploration efforts have intensified significantly. Logging perforation, as an indispensable critical component in oilfield exploration—particularly for complex and specialized wells—plays an irreplaceable role. In logging perforation operations, grease injection serves as a vital element and a key factor affecting construction safety. Currently, both domestic and international oilfields predominantly use manually controlled grease injection equipment for logging and perforation operations. These operations require 24h continuous work, necessitating manual adjustments of equipment parameters according to operational conditions. However, the rationality and accuracy of parameter adjustments rely solely on operators' experience, leading to significant randomness in operational parameters and substantial impacts on construction quality. Additionally, manual recording of construction parameters results in discontinuous and incomplete documentation of wellhead parameters and equipment output metrics. The harsh working environment of logging and perforation operations, involving high-pressure and flammable/explosive conditions, poses substantial safety risks due to close-range personnel operations. Given these challenges, developing a grease injection equipment and control system featuring "hydraulic-electric integrated control, remote operation, automatic grease injection, automated data collection/recording, automatic parameter adjustment, human-machine interface interaction, and comfortable working environment" has become imperative.

Keywords

remote intelligent grease injection; hydraulic control technology; grease injection device;

油气田远程智能注脂与液控技术的创新与应用

牛洪媛 王浩川 杨杰 杜志宏

承德市开发区富泉石油机械有限公司, 中国·河北承德 067000

摘 要

随着我国能源消耗日渐增多, 油田勘探的力度逐渐加大, 测井射孔又是油田勘探中不可缺少的关键环节, 特别是对复杂井、特殊井, 测井射孔更是发挥着不可替代的作用。在测井射孔技术中, 注脂是至关重要的部分, 也是影响施工安全的关键环节, 目前, 国内和国外油田测井和射孔施工作业中使用的注脂设备普遍采用手动控制, 测井和射孔施工要求24小时连续作业, 设备参数随着工况的变化也需要人工调节, 然而调节参数的合理性和准确性只能依靠操作人员的经验, 因此施工过程参数的随意性很大, 对施工质量影响也很大。同时施工参数的记录也是人工记录, 所以对施工过程井口参数和设备输出参数的记录不连续、不完整。测井和射孔施工作业的环境恶劣, 并且是在高压、易燃易爆环境下进行的, 人员的近距离操作存在很大的安全隐患。基于上述问题, 研发具有“电液联合控制、远距离操作、自动注脂、自动采集和记录施工数据, 自动调节施工参数, 人机交互操作界面, 工作环境舒适”的注脂设备和操控系统是非常必要的。

关键词

远程智能注脂; 液控技术; 注脂装置

1 背景

目前电缆防喷装置大多用于射孔和测井, 射孔^[1]所占比例相对较大, 而且随着钻井深度的增加, 泵送射孔作业频

次和压力也在逐步攀升, 注脂作为关键技术, 直接影响整套设备的安全性能。目前, 国内和国外油田测井、射孔施工作业中使用的注脂设备普遍采用手动控制, 然而人工凭经验调节注脂参数, 施工过程参数的随意性较大, 同时施工参数的记录为人工记录, 对施工过程井口参数和设备输出参数的记录不完整, 存在较大的安全隐患。

电缆防喷设备虽然经过多年发展安全性和适用性已经非常成熟, 但是人员暴露在高压设备附近饱受风吹日晒、酷暑严寒, 一边承受着噪音污染, 一边承受着高压风险; 而且随着现在科学技术进步各行各业工作人员操作舒适性和现

【基金项目】2023 年度承德国家可持续发展议程创新示范区建设科技专项项目(项目编号: 202302F028)。

【作者简介】牛洪媛(1985-), 女, 中国河北承德人, 本科, 工程师, 从事石油机械及自动化研究。

代化都在逐步改善,而电缆井控装备这方面表现的比较落后了。

设计开发可以远程控制和自动检测调节的设备,提高我们一线操作人员作业的安全性和舒适性的响应设备成为必要。

2 远程智能注脂的设计结构和创新

2.1 结构组成

注脂液控装置是电缆防喷装置的重要组成部分,其集成高压密封脂输送、液压控制于一体;其可以将高粘度的密封脂注入^[2]到注脂控制头、防喷器内实现对注入部位井液的阻断,从而实现密封电缆的目的;该套装置还备有液控系统用于控制防喷器、捕集器、防喷盒、刮绳器^[3]等,从而实现远程液压操纵防喷装备。主要由动力系统、设备近端控制系统、远端控制部分、数据采集和显示存储系统、远程监控系统、高压管线组、运输拖撬、液压泵组、阀组、操作电脑等组成,可实现“远程集成控制、自动化注脂、数据实时显示检测”等技术创新,设备运行与操作将在控制室内完成,对于目前国内外广泛使用的人工手动注脂施工作业是颠覆性创新。设备实现了远程控制和自动化注脂,有效的提高了现场作业效率,极大的降低了工作人员在易燃易爆、高压区域作业的安全风险。

整套系统主机部分安装在一个带防护房的拖撬内,其集成液压油箱、密封脂箱、液压泵组、注脂泵组、操作面板、控制阀组、控制管线,电器控制箱,软件控制系统,设备监控系统等于一体,设备合理的使用和维护本设备对有效控制井口压力、延长设备使用寿命,另外配置可远程操作控制的电脑,可以在控制室或技术控制中心,保障随时观察井口的运行情况,并能记录所有井口数据。

2.2 动力的选取

目前在用注脂液控设备有气驱动或者柴油机直驱液压驱动,现在根据目前施工作业状况结合自动化控制特点,目前有的作业区块已经开始采用电动压裂车,采用电驱动的方式可以更好的和市场需求相契合。

同时设备要采用远程自动化控制难免要用到电,设备动力系统采用电动系统作为优选,采用气动控制作为备选,并配备液压驱动。该设备配备了两套电动液压系统和一套气动液压系统,正常采用电动液压系统即可满足,遇到电气设备故障或现场断电时使用气动系统进行控制!设备控制集成了软件电脑控制操作和应急机械面板操作于一体,正常电气控制正常时可以实现远程电脑实现在集控室实现和其他设备一起协同施工、集中控制!也可在无电源和特殊情况时,现场手动进行开关和注脂操作,保证井口的安全施工。

2.3 功能配置

功能上首先保留目前所用设备的功能,包括开关控制压力调节,在此基础上增加设备操作记录,井口压力实时检

测,设备运行监控系统,以至于设备根据井口压力自动调节注脂压力的功能,宗旨就是保证实现设备通过远程电脑可以控制设备所有泵阀的开启和调节,同时对井口状况和设备运行状况的监控。

设备开发首先考虑将注脂液控装置实现远程自动化,可以根据客户需求可将井口快速连接装置,分流装置集成其中,可根据作业井口的需要,打开相应的操作模块进行控制,在不需要此功能时,可关闭相应的模版,实现按需设置,保证作业需要。

2.4 控制方式的转变

注脂液控装置控制部分分为高压注脂和液压控制两部分。传统的设备高压注脂采用手动调节气源的大小,来控制气驱注脂泵输出高压力的密封脂,实现对控制头内阻流管间隙和防喷器闸板密封腔进行注脂;液压控制方式采用手动控制气动泵从液压油箱内通过管路增压后,输送到相应的控制对象内,完成开关动作。

对于注脂部分改进后:所有泵阀的远程控制可以通过设备附带的 PLC 控制组或和设备连接的远程电脑实现控制;采用了低压控制高压部分的方式进行控制,将高压注脂阀采用液控方式实现;注脂阀组采用了液控高压阀组型式,两套液压泵系统各走一路,气动注脂泵并入其中一路结构;注脂阀注脂排放阀组设计,控制阀采用了液动常开式设计,同时保留了手动关闭功能,用于在需要长期关闭排放功能时的安全关闭;注脂阀控制阀组设计,控制阀采用了常闭式防爆截断阀,断电自动保压,同时对防喷器和控制头注脂保留手动液控功能,可以在极端情况下确保阀门可以手动应急液压操作。

对于液压控制部分改进后:采用防爆电磁阀实现远程控制,防喷器/捕集器控制阀组设计,控制阀采用了带应急手柄的防爆阀,断电时可以采取手动控制形式,并对防喷器控制压力带有传感器盒压力表双显示,即便断电可以实时观察防喷器关闭压力;防喷盒刮绳器控制阀组设计,控制阀防爆三位四通阀设计,断电时可以自动闭合保压,配合操作面板可以实现手动调节和压力观察;远程调压阀组,控制阀通过电脑程序发送指令给 PLC 调节控制电流,控制电磁铁开度实现调压阀的压力控制,用于调节液压泵驱动压力,防喷盒和刮绳器的设定压力等;卷线盘阀组布局,将大多数电磁阀集中于卷绕盘附近,便于集中控制维护,上层为液压气动卷线盘,下层为注脂管线卷线盘。

2.5 控制界面设计

控制界面根据常规操作面板结合实际情况,采用了常规面板到电脑操作界面的形象转换尽可能的使操作者进行简单学习即可由常规设备操作切换到自动化控制界面的转化,操作主界面上设置了6个模块,分别是用户界面,设备控制界面,压力记录,设备参数,报警,设备监控模块。每个模块的功能单独设置,可更好的进行使用控制,方便现场

操作。每个模块的功能设置为：用户界面模块，可输入井口信息，井队，负责人和登入密码等信息；设备控制界面模块，为整个操作模拟设备现场的界面，电控界面和常规操作界面一样保留了设备控制原理示意图，示意图左侧为注脂控制，右侧为液压操作控制，整个界面最右侧为系统运行状态显示和控制部分，简单直观；在右侧可显示井口实时的压力，PLC运行状态，泵组、气源状态；密封脂箱和液压油箱的液位；防喷器等控制设备的开关状态和液控压力；压力记录模块，保留所有的井口数据和操作参数；设备参数模块，可以对控制部分、井口注脂参数进行数据设置；报警模块，可在出现故障和液位低，压力低等情况时进行声光报警提示，在电脑上就可直接查看报警的原因，可快速对报警问题进行相应的处理；设备监控模块，设备安装了多个可旋转摄像头，可以监测现场井口作业的运行情况，控制设备在现场的操作情况；方便在控制室就可快速查看现场的情况；

2.6 应急功能

鉴于设备的安全性考虑，设备配套了两套完整电动注脂系统和液压系统，同时增加了一套备用气动泵系统，正常情况下采用电动泵即可满足使用要求，这种配置可保证在一套动力系统出现问题时，可以直接使用另一套，断电时也可以采用气动系统应急施工。

对于设备的控制部分，对于防喷器、捕集器、防喷盒、刮绳器等开关控制等保留了应急手动操作，并对防喷器注脂和控制头注脂保留了手动控制开关。

3 远程智能注脂的应用

远程自动化注脂液控装置，已经完成样机的生产，并在油田现场进行试验，已成功完成带压电缆输送分段桥塞多簇射孔30余井次，远程数据采集准确完整，远程控制精准无延时，报警及传感器声光显示运行良好，未发生井控异常事件，取得良好现场应用效果。设备的应用效果如下：

在绞车控制室操作，只需1人控制设备并且远离高压区域，与绞车操作员实现无延迟沟通，通过信号线缆或无线信号，实现远程对设备液压系统、注脂系统、排风扇、脂箱加热的整体程序化控制。

近地端与远程控制端均设置液位显示及声光报警，当近地端设备或井口出现异常状态时，报警开启，提醒操作人员进行处理。

数据量化，精准调控：控制压力值精准到0.1级。根据不同环境温度、电缆速度、电缆规格、井口压力建立数据库，形成自动化的电缆动态密封。

具有数据记录功能：通过记录曲线且可导出式的设计，实现对已作业过程的复查，进行回顾性分析。

近地控制端：通过触摸屏，进行对设备的操作，远地控制端：通过移动介质，进行对设备的控制（大于50米）。

采用先进的PLC控制模块，包含数字量控制、RTD模块、模拟量控制，实现对设备的各类控制阀、检测器的远程控制。根据现场数据采集记录，并优化总结出数据编辑逻辑指令，形成智能化的操作体系，可对不同工况实现有效的实时动态密封电缆，已成功实现分段桥塞多簇射孔全过程（井口无压力→平衡压→枪串下放→压力泵送→泵送到位→射孔→上提→关闭井口→泄压）无人值守功能。

自动化集成系统，一键自动工作，注脂系统负责采集高精度压力变送器（0.5级）的信号，并根据定制研发算法，发送远程指令，控制近地的防爆电磁阀，对注脂管路及注脂压力进行实时调整。液压系统同理，控制近地的防爆减压溢流阀，对系统进行压力的实时调控。

有了自动化的精准控制，密封脂^[4]的使用量大大减少，根据作业后的统计，单次单段作业可节约和减少密封脂的使用量约10L；单队每年合计减少用量约：3000L；可节约成本，减少费密封脂对环境的污染。

4 结语

随着时代的发展，电缆防喷控制设备已经开始走向了电气化、自动化和智能化的施工作业。本文论述了“油气田用远程智能注脂与液控技术装置的创新技术”，可实现电液联合控制，远距离操作，可极大降低施工人员在高压、易燃易爆施工环境下的安全风险；同时设备可实现自动注脂、自动采集和记录施工数据，自动调节施工参数，有效的提高了工作效率，提高了施工质量，并且施工参数和设备输出参数实现了连续记录和实时显示；设备将操控界面集中布置在安全的操控室内，可以实现一人操控多台设备和多井口同时交叉作业，既提高了效率，又降低了人力成本，并且降低了发生事故造成的人员和财产损失，此设备可解决目前行业在油田测井、射孔施工中的安全问题，为油田测井、射孔健康有序发展提供保障，对科技创新产品进行转型升级实现高质量发展有积极的带动作用。

参考文献

- [1] 刘正彦,王峰,王喜,王雪艳,电缆模块化分簇射孔技术研究及应用[J]. 化工管理. 2024 (25):97-101
- [2] 唐英才,李光,高压气井电缆作业密封失效解决措施[J]. 化工管理. 2024 (08):130-132
- [3] 蔡翔飞,喇叭口在射孔层上笼统注聚井测试技术应用[J]. 石油管材与仪器, 2019, 5 (06) 57-60+65
- [4] 姚文钊,刘霖佳,赵龙,吕浩楠,于金鑫,鲁文辉. 带压测井电缆防喷装置密封影响因素分析及产品应用[J]. 润滑油, 2025, 40 (03):11-15.