

钻井液固相控制系统信息化技术研究与应用

王 磊

新疆克拉玛依市荣昌有限责任公司 新疆 克拉玛依 834009

摘 要：随着石油钻探技术的持续革新与环保要求的日趋严格，钻井液固相控制（简称“固控”）系统的技术标准也在不断提高。现代固控系统通常配备五级净化装置，包括振动筛、除气器、除砂器、泥浆清洁器和离心机等关键设备，通过循环处理工艺实现对钻井液密度、黏度等核心参数的精确调控。作为钻井作业的关键环节，高性能固控系统在确保钻井效率方面具有决定性作用。然而，现有系统普遍面临信息化程度较低、人工干预频繁、维护保养不及时等技术难题。针对这些问题，石化行业提出了基于无线Mesh网络架构的数字化井场解决方案，并开发了配套的专业化控制系统软件，为固控系统的智能化改造提供了新的技术路径，该方案具有广阔的应用前景和市场推广价值。

关键词：固控系统；信息化；自动控制

1 前言

目前钻井液固控系统所面临的主要技术瓶颈有设备运行参数监测不能做到实时进行、维保决策缺少数据支撑使得维护周期设置不合理，还有系统自动化水平不够导致人工操作强度较大等问题，随着物联网技术取得突破性进展，这为解决这些技术难题提供了全新的解决方案，化工企业通过构建井场无线Mesh网络架构并且开发配套软件系统，成功达成了钻井液固控系统的智能化升级且应用成效非常显著，纵观近30年的技术发展进程，固控系统的持续优化在提高钻井液处理效率、降低维保成本、保障钻井液性能稳定以及预防井下事故等方面起到了关键作用，现代钻井工程实践表明，先进的固相控制系统是衡量科学钻井水平的一项重要指标，怎样在保证系统性能的基础上实现设备简化、能耗降低以及可靠性提升，已成为当下国内外固控领域研究的重点方向。

2 钻井液固相控制系统信息化发展现状

经过长时间技术研发和实践经验积累，固控系统在整体配置、人机工程学设计以及运行稳定性等方面都取得明显进步，该系统主要由防爆电气装置、砂泵机组、搅拌机构、泥浆喷射装置、剪切泵组、加重给料装置和安全防护设施等组成，系统总质量范围处于45-300吨，总装机功率能达到300-800千瓦，此系统可把钻井液固相含量控制在5%以内，还能按照工艺需求灵活调节钻井液密度参数，近年来，国内钻井装备制造企业陆续研发出包括高频振动筛、高速离心分离机、真空脱气装置等在内的一系列技术先进固控设备，显著提升我国在钻井液固控系统设计领域的技术水平，不过，受设计理念和关键材料的限制，部分产品依然存在性能波动的问题，当前技术发展趋势主要体现在开发大处理量、高可靠性、高

效分离的多级筛分系统，优化清洁装置运行时间，简化固控工艺流程等方面，在设备研发领域，要基于钻井工艺特性和环保要求采用创新性设备组合方案来实现最优固控效果，需注重资源高效利用以实现经济效益、生态效益与社会效益的协同优化，由此可知，系统评估各类固控设备的分离性能并科学规划钻井液固控工艺流程，对开发高性能固控系统有着重要的理论指导意义。

当前固控系统在运行过程中暴露出若干亟待解决的技术难题，具体表现为：首先，系统普遍采用五级净化工艺，导致设备能耗偏高且维护成本增加；其次，由于缺乏统一的设计规范，系统兼容性和可扩展性较差；再次，人工操作模式占主导地位，难以实现精准控制和智能化管理；最后，在环保性能方面，系统存在废弃物处理工艺落后和后续处理装置衔接不畅等问题。

3 钻井液固相控制系统信息化方案设计

化工企业采用智能断路器与无线网关等设备构建防爆控制箱系统架构，通过在作业区域布置无线通信节点，并经由控制箱外置天线实现与PLC控制中心的无线数据交互。系统集成方案包含人机交互模块、能耗监测单元、设备状态管理、维保记录系统及故障预警机制等核心功能模块。

3.1 信号采集技术

本研究对固控系统的运行参数、能源消耗指标、故障诊断数据及重点区域视频监控信息进行了全面的数据采集与处理，主要采用以下技术方案：首先，基于RS485通讯协议构建实时监测网络，将设备电气参数（包括电压、电流及温度等）传输至中央控制室进行动态分析与可视化呈现；其次，采用多源传感器融合技术采集机械运行参数（如转速、振动频谱及声压级等），并通过工

业以太网实现数据稳定传输；再次，建立基于PLC的数据预处理机制，经初步筛选后的数据进入SCADA系统进行集中管理，并采用关系型数据库实现结构化存储与快速查询；此外，开发了智能诊断模块对设备运行状态、能耗特征及故障模式进行深度分析，分析结果通过光纤网络传输至中央监控终端；最后，构建了由防爆型红外摄像装置、5G无线传输系统及数字视频记录设备组成的远程监控体系，通过工业级无线专网实现生产现场的全天候可视化监管，有效提升安全管理水平。

3.2 无线网络传输技术

通过引入无线Mesh组网技术这种方式，采用多跳无线通信模式达成AP节点间互联，有效消除对有线布设和传输资源的依赖情况，从而显著提升网络信号覆盖质量与传输稳定性，确保满足高带宽需求同时增强系统的可靠性，该技术特别适合对信号传输要求高度稳定且区域范围广泛的固控系统环境，并且具备布设便捷以及迁移灵活这样的优势。

3.3 自动控制技术

化工企业把自动化控制系统和能源监测技术结合起来用，明显提升了设备运行的效能。具体实施的路径有这些内容，一是基于工艺流程参数和料仓状态监测数据，对搅拌机运行周期做智能化调节，还依据实际工况去优化启停的时序，二是构建钻井泵吸入阀无线远程控制系统，通过程序化设定达成吸入管路阀门的全自动调控，三是开发加重流程智能控制模块，让远程终端能够对多罐钻井液精准配比和定向输送，四是设计可扩展的人机交互界面，满足不同作业场景下多样化的控制需求。

3.4 智能照明技术

智能照明系统依靠单个照明单元集中控制机制，可依据不同感应方式来实现灯具启闭操作，系统不但支持基于光照感应的自动启停功能，还运用微波感应技术对照明亮度进行调节，以此来提升能源利用的效率，它预设的工作模式包含全开和半开这两种状态，目的是通过自动调节达成节能的目标，具体来讲系统引入高性能微波感应模块，其感应覆盖范围在2.5米安装高度条件下为3米，能够按照人员接近情况实现微波感应自动调光，当有人接近的时候灯具亮度达到额定功率点，无人感应时灯具自动调暗且亮度降低至50%的功率水平，从而最大程度降低能源的消耗，除此之外系统还集成智能光控开关模块，在环境光照条件较低的傍晚或阴雨天，当照度加权达到130lux时自动开启照明，而在清晨光照强度达到450lux时则自动关闭照明，通过结合光感应和微波感应双重控制机制，实现照明系统高效节能与智能自动调节。

3.5 视频监控技术

本研究构建的视频监控系统采用具有红外夜视功能的防爆摄像终端、无线传输单元以及集成存储功能的控制主机等核心组件。该体系架构通过专用无线网络协议实现监控数据的实时传输与处理，大幅优化了视频信号的传输效能。特别需要指出的是，无线通信技术的应用显著降低了设备迁移与重新配置的复杂度，从而为系统运维提供了更具弹性的技术方案。

4 钻井液固相控制系统信息化技术应用

该软件平台的高级系统模块具备多重功能特性，主要包括设备启停控制、参数调节、故障预警以及操作日志查询等核心功能。系统采用图形化人机交互界面，通过色彩编码直观呈现设备状态：绿色代表运行中，红色表示停止状态，黄色标识故障警示，灰色则显示设备停用。在技术架构方面，系统基于WebAccess平台开发，采用JAVA编程语言实现，兼容Windows 7及以上64位操作系统环境。数据库系统支持Access、MySQL和SqlServer等多种主流数据库。系统功能架构包含以下关键模块：远程设备控制子系统、基于电子标签的设备资产管理模块、运行参数实时监控系统、设备维护计划提醒功能、故障诊断与报警系统、报表自动生成与导出模块、多系统集成管理平台以及关键区域可视化安全管理模块。此外，系统还具备与钻井工程、录井等专业领域的数据交换能力，实现跨系统的数据共享与业务协同。

4.1 MCC房信息化升级

在MCC房的电力驱动系统中，全部配备了具有智能监测功能的电机保护装置，以确保运行的安全与可靠性。同时，关键电气设备之间布置了烟雾检测、门禁控制以及温湿度监测传感器，以实现无人值守环境下的实时监控与管理。此外，为保障系统数据的有效交互与集成，还设置了专门的MCC系统数据交换网关，实现各类信息的高效传输与处理。

4.2 提升设备管理功能

为实现井场设备的高效管理，本研究提出建立多功能设备管理中心，该中心集成了泥浆生产监控、设备信息管理及系统操作维护等核心功能。具体实施方案包括：1) 实施电气系统动态监测机制，配置专业巡检人员并配备工业级无线通讯设备，通过厂区无线网络实现电气设备运行参数的实时采集与异常预警；2) 建立设备全生命周期电子档案系统，将电气原理图、系统拓扑结构等技术文档进行数字化转换，并开发基于Web的设备信息管理平台；3) 构建设备运维知识管理体系，整合标准化操作流程、维护规范及典型故障案例等培训资源，采用多媒体

形式开展在线培训,持续提升现场人员的技术能力。

5 钻井液固相控制系统信息化发展趋势

固相控制系统作为石油钻井液处理的核心环节,其工艺水平与设备效能直接决定了固相分离效果。优化固控系统不仅能显著提升钻井作业质量与经济效益,同时有助于实现环保达标、保障作业安全以及改善现场操作条件等多重目标。

5.1 模块化标准化

基于钻井工程实践需求,本研究对固控系统进行了工艺流程优化与结构布局重构。通过系统化设计方法,实现了钻井液循环、储备、处理及控制等核心功能的集成优化。在设备选型方面,重点确保振动筛、真空除气器和清洁器等关键净化装置具备全排量处理能力,同时配套设备满足钻井液输送及搅拌等工艺参数要求。系统管路采用模块化设计理念,通过标准化接口方案实现了罐体结构与设备安装的规范化。这种通用化、组合化的设计策略使系统能够根据不同地质条件和工艺要求进行灵活配置,显著提升了系统的环境适应性和功能扩展性。标准化接口设计不仅优化了设备的互换性与兼容性,同时为维护保养、部件更换及故障排除提供了便利,从而全面增强了系统的工况适应能力与功能拓展潜力。

5.2 节能环保

5.2.1 超细目直线振动筛研究及使用:直径介于200至300毫米的旋流设备其筛分精度仅限于80至120目,筛孔尺度在0.180至0.125毫米之间;而直径100至125毫米的旋流设备筛分精度为100至200目,筛孔尺度在0.150至0.075毫米范围内。此外,砂泵能耗较高,200立方米/小时排量的砂泵电机功率介于55至75千瓦,且设备管理及维护较为困难。采用超细目直线振动筛(筛分目数不低于200目)能够减少除砂清洁器、除泥清洁器及相应砂泵的配备需求,并优化净化流程,增强钻井液的净化质量和效率,同时显著减少固控系统的能耗。

5.2.2 高速变频离心机:高速变频离心机在功能集成方面优势特别显著,它的创新性设计达成了多项技术突破,首先该设备突破传统离心机性能局限,借助优化工作参数和钻井液特性以及固相颗粒匹配关系,大幅提升设备对不同工况适应能力,其次其处理能力达到60-100m³/h的行业领先水平,进一步拓宽了设备的应用范围,再次该设备能够和超细目振动筛等设备协同开展作业,以此构建起高效的固控系统,最后800-2800r/min宽调速范围让它兼具中高速离心机双重功能,在有害固相去除和有用固相回收方面表现十分优异,这些技术特点对简化净化流程、完善固控系统、提升设备利用率以及降低钻井作业成本具有重要实践价值。

5.2.3 搅拌器间歇控制:在固控系统中,搅拌器作为关键辅助设备,其配置数量最为庞大且能耗占比最高,约占据系统总电力消耗的50%。基于不同钻井工艺需求,在确保钻井液性能达标的前提下,通过采用合理的间歇运行策略,可有效实现10%-15%的系统电能节约。

5.2.4 环保处理一体化:在油气田钻探作业中,固控系统与泥浆不落地系统的协同运行实现了污染物高效处理,这种集成化处理模式具有多重优势:首先,通过设备资源共享降低了投资成本并优化了运行效能;其次,一体化工艺设计显著提升了后续运维的便捷性;最后,该处理方式能够有效保护液相组分,确保处理后的液体符合回注再利用的技术标准。

5.3 智能化

智能化的固控系统实施与应用,有效实现了对人力资源投入的缩减及工作效能的提升,此乃对传统操作控制技术的重大进展。此举亦为泥浆净化处理流程的全面性与效率性的增强提供了崭新路径。

5.3.1 设备远程自动控制:(1)通过集成化远程控制系统实现对钻井液振动筛、除泥清洁器、搅拌装置及砂泵等固控设备的自动化管理,可实时采集并监测生产运行参数、设备工况以及泥浆处理全流程数据。(2)在固控系统作业环节中,加重工序的劳动强度最为突出。采用远程自动化控制的加重系统不仅能优化钻井液材料的利用率,还能实现密闭式输送储存与投加,从而显著降低环境污染风险。

5.3.2 钻井液性能动态监测:动态监测技术通过实时采集并可可视化呈现被测对象的各项参数指标,为操作人员或自动化系统提供即时数据反馈。作为自动化控制的前端环节,该技术能够基于参数波动实施相应的调控策略。相较于传统人工采样分析方法,动态监测系统具备多节点同步实时采集、关键性能指标持续追踪、异常参数预警等优势,显著提升了隐患识别的时效性和监测效率。

结论

综上,化工企业致力于研发创新性环保技术装备,旨在实现油田钻井过程中产生的钻井液和钻屑的实时处理,显著提升钻井液循环利用率,有效降低勘探开发成本,完全替代传统泥浆储存池,最终达成钻井废弃物零排放的环保目标。

参考文献

- [1]冉桂东,张觉文,孙正鼎.一种基于Mesh组网的油气井场无线通信方案[J].中国科技信息,2023(14):115-116,119.
- [2]赵阳羲,姬胜凯,李斌,等.基于无线Mesh自组网煤矿液压支架压力传感器设计及应用[J].网络安全与数据治理,2024,43(1):73-78.