井场集成控制系统研究

李三国

中石化石油工程技术研究院有限公司

摘要：油气钻探的数字化和智能化建设需要丰富的数据来支撑。针对当前智能化钻井需要多个石油工程专业支持，但钻井现场各专业独立作业以致数据和指令互通困难的技术现状，通过构建数据标准和数据采集及控制规范，协调井场数据采集、数据集成、数据应用、现场和云端数据交互以及决策指令交互等不同的井场作业信息互通，开发数据和决策驱动程序，实现井场工程作业、井场和远程、虚拟与现实之间的信息沟通和决策指令的闭环，达到支持井场智能化作业的目标。

关键词：井场；集成控制；数字化；信息化；系统设计

随着数据采集技术、网络及大数据技术的发展和成熟，无线网络、移动网络数据交互已经得到了广泛的普及应用，在人工智能、云计算、物联网等技术推动下，智能油气田建设发展迅速，这既是油气勘探开发降本提质增效的有效途径，也是油气技术未来发展的必然趋势[1,2]。

智能化钻井是智能油气田重要环节和组成部分，融合了大数据、人工智能、信息工程及自动化控制等理论与技术，斯伦贝谢、贝克休斯等石油公司在智能化建设中已取得了较好的进展，展现了良好的应用前景[3-7]。国内智能化钻井研究也在蓬勃开展，已实现了井场信息和远端信息的实时互通，使得远程专家决策与现场工程作业能够相互协助。初步实现了钻井物联网信息技术和自动化控制技术，在自动控制技术支撑下，自动化钻井研究有相当的进步[8-13]。

智能化井场比自动化井场的要求更高，智能化井场建立在自动化井场实现的基础上，自动化井场通过对数据边界条件和指令进行逻辑判断，自动执行相关操作。而智能化井场需要井场更完善的数据检测和处理，确保实时数据、衍生数据、云边端数据的真实性和实效性，全面控制与协调井场自动化操作。井场集成控制系统研制目的是对井场数据进行采集、集成和应用，协调现场和云端数据以及决策指令交互，是智能化钻井的井场信息节点。

1 技术基础

1.1 标准井场数据传输协议

国际钻井承包商协会信息传输分会推出 WITS、WITSML（井场信息传输标准），很好地统一了各专业数据的传输标准。井场各专业作业时生成的关键数据能以标准传输格式进行传输。但由于技术进步及井场作业的复杂性，目前许多数据指令格式在井场专业之间、井场与远程之间并不匹配。

1.2 井场物联网技术

物联网技术通过部署传感设备，将井场设备与网络相连接，井场设备的作业状态、功能执行、设备损耗等信息能够采集并传输，是实现智能化钻井的井场设备全过程监测的信息基础，为自动化决策提供准确、安全的支持。目前井场物联网的应用较少，其关键的数据采集、格式标准统一等还未完成。

1.3 先进数据管理技术

目前具有的面向数据的数据库管理、面向应用的数据管理以及云数据管理保障了海量数据的存储、管理和跟踪，提升了数据管理的可靠性和性价比。先进数据管理技术催生了大数据在油田建设和石油工程中的应用，使数字孪生、虚拟现实等新技术能够得到开展，再应用于井场作业指导。

1.4 先进智能算法

人工智能发展并成功部署到石油系统，提升了石油勘探开发智能化应用最优解的准确度和实用性。现有的工程、地质、油气解释、异常处理等相关模型和数据为智能化钻井人工智能训练提供了丰富的源模型。

2 系统设计

井场集成控制系统定位于为钻井现场提供从数据采集到指令控制的智能钻井的作业闭环，为此设计了涵盖设备层、接口层、协议层、驱动层、集控层、服务层和应用层的 7 层架构，各层使用统一的数据标准和采集控制

本文来自中国石化集团公司基金项目（项目编号：P22102）。

规范来完成整个闭环集控过程，如图1所示。设备层涵盖了井场上所有能够产生数据或数据交互的设备、仪器、传感器及远程或现场的数据源。接口层由各类信号传输的物理链路组成，如以太网、无线网及串口等等。协议层由各类协议访问组件为整体架构提供标准化通用的协议访问能力。驱动层由各类设备驱动程序组成。集控层是集控中心核心组件层，可以集中管控所有设备驱动，同时负责将所有数据进行标准化的汇聚。服务层负责提供各类数据服务，实现数据共享。应用层包括井场现场与后方的各类智能软件模块。数据标准与采集控制规范贯穿钻井闭环中各个层中的信息采集和决策下发。

2.1 数据集成

智能化钻井需要对各个作业数据进行数据集成，这些数据包含了实时测量数据和云端、边端数据。由于传统井场作业的原因，所有这些数据都包含各个不同的数据传输格式，在智能化钻井的闭环控制中，要直接使用这些数据传输格式显然非常困难，因此在数据集成中，要通过数据的转换，按照数据标准和数据采集规范,形成统一的数据标准。如图2所示。

2.2 数据处理

在实际工作中，对当前井场数据集成所得到海量数据不一定是正确的，因此，在形成有效的智能化作业数据之前，要对数据进行处理，为作业提供准确的实时数据、衍生数据、成果数据等，已有成果数据和模型可以作为边界约束条件，成为训练模型的源数据，进一步提升处理数据的应用价值，如图3所示。

2.3 数据分发

井场集成控制系统提供的现场实时数据、处理数据及决策指令等数据，按照数据标准及控制规范，向井场各石油工程专业或设备分发，这些分发数据可以为井场智能化作业提供实时数据调用和决策指令，实现井场作业监测和自动化控制，具体方法如图4所示。

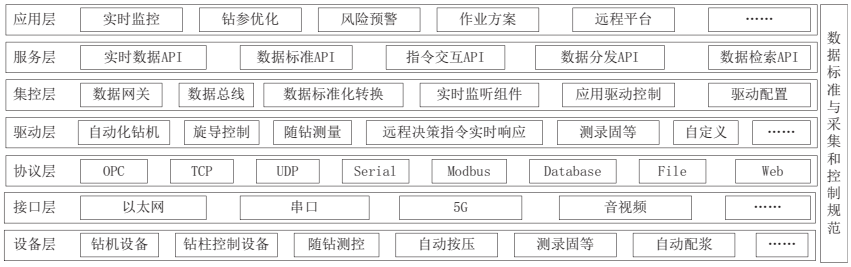

图1 井场集成控制系统总体设计

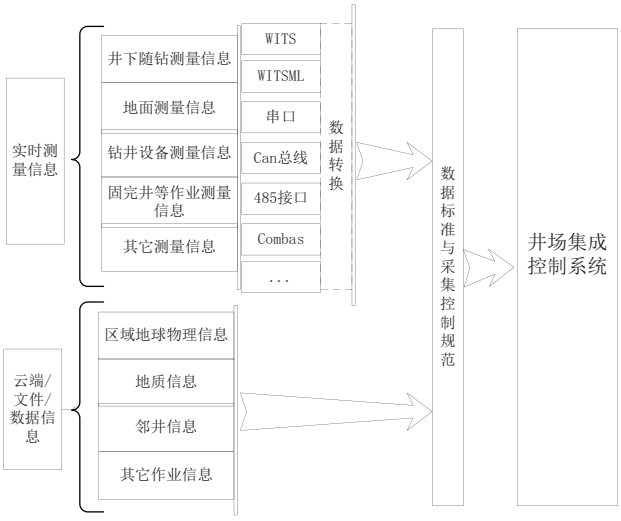

图2 测量采集功能组成

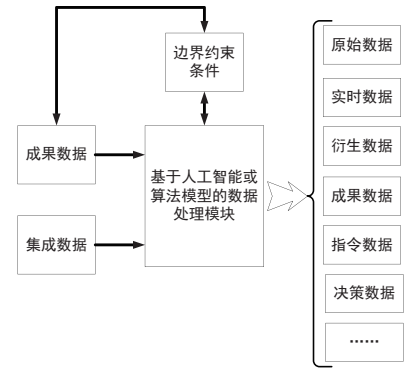

图3 数据处理功能组成

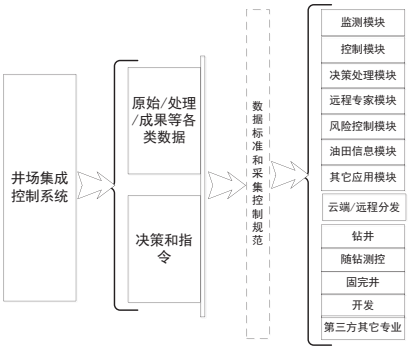

图4 数据分发与传输模块组成

2.4 井场 - 云端闭环交互

井场与云端的信息交互，主要是井场向云端上传和下载数据，以及云端向井场下发指令的交互。

2.4.1 井场 - 云端交互技术

基于数据标准和采集控制规范，实现远程传输协议自适应，从井场向云端上传数据。具有现场数据缓存、断点续传等功能，配合远程服务端的入库程序将数据持久化保存在云端数据库中。另外井场从云端下载数据采用Web(网络)服务方式，使用决策指令驱动程序轮询调用云平台API（应用程序接口）获取远程指令，实现了秒级时延，支撑决策信息实时下发。

2.4.2 实时监听的决策控制指令转换

井场与云端数据交互包括了井场定时或特定时间向云端上传实时状态，同时云端决策指令数据会不定时地下

传，实时监听功能可以及时获取不定时下传的指令数据。开发的驱动层通过决策指令驱动程序完成这一过程，实时监听指定 URL（定位链接），动态接收指令，然后使用内部解析逻辑进行指令提取，形成标准控制规范编码，写入数据总线，从而及时更新总线上对应的控制节点。

图 6　井场集成控制系统（部分）

3　系统实现

3.1　系统开发

井场集成控制系统实现的是对智能化钻井井场的数据集成和实时控制，首先开发针对设备的数据集成驱动程序，实现屏蔽设备差异的数据通讯与采控交互，这里主要针对设备的各类型 PLC（可编程逻辑控制器）驱动程序、HTTP 接口、TCP/IP 协议访问组件、串口及其他通信组件，开发对应的内置组件，实现标准化双向通信。提供点对点的物联通信协议，实现数据文件的双向通信，同时配置标准数据采集程序，兼容传统 WITS 格式数据采集。

其次开发现场集成总线，包含所有可以展示的动态数据，以及不能直观展示的基础数据项和运算统计数据项，同时实现井场与远程的数据统一。集控系统内置数据采集和控制网关，实时管控自动化钻机与配套装备等设备驱动程序，实现设备的物理驱动。开发现场的虚拟模拟，基于数据、驱动程序及物理驱动，构建虚拟现实场景，实现智能化井场的实时监控，其主界面如图 5 所示。

3.2　实现及应用

井场集成控制系统部署在井场，其载体为防爆仪器房，满足井场安全和设备连接需求。为了满足井场、远程、云端的信息连接，分别设置了移动网络、有线和无线局域网络、设备数据总线、射频总线、音视频接口、多分复用信号总线等各种连接硬件。实现 OPC（过程控制接口）、ModBus、TCP、数据库等多种数据组件采集，支持井场数据集成以及决策指令的实时驱动。

井场集成控制系统在胜利页岩油示范区完成了 FY1-2 集群井的现场应用试验，在数据采集和控制规范下，对井场自动化钻机、录井、随钻测量、旋导控制、岩屑识别、自动配浆等井场所有产生数据的设备进行了数据集成。数据和指令通过本地 - 云端的闭环交互，通过数据和指令的实时驱动，实现钻井参数优化、井下风险识别、随钻地质导向、钻井虚拟仿真等场景操作，对自动化钻机设备、井上自动配浆装置、随钻旋导控制等井上工程作业进行实时的指令提示或控制，基本实现了对智能化钻井井场作业的决策和自动化控制，如图 6 所示。

图 5　井场集成控制系统主控界面

4　结语

井场集成控制系统建立了数据标准和采集控制规范，对智能化钻井现场设备、远程关联数据进行集成，通过一系列数据和硬件驱动程序以及井场和云端的集成交互，搭建井场智能化作业的现场与远程控制、虚拟与现实的载体。通过应用，基本实现了井场智能化作业支持。后期将在数据处理、分发及应用，以及智能化作业模型建立方面继续深入研究。

参考文献：

[1] 李阳，廉培庆，薛兆杰，等．大数据及人工智能在油气田开发中的应用现状及展望 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2020, 44(4): 1-11.

[2] 王海广．大数据技术打造油田智能云平台展望 [J]. 化学工程与装备，2020(12):106-107.

[3] 岳登进，冯明．过去 10 年国外钻井技术的重要进步 [J]. 钻采工艺，2001, 24(4): 5-7.

[4] QIN H., LIU Q. Y..Intelligent Drilling: A Prospective Technology of Tomorrow[C]// 2006 SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition. Beijing, China: SPE, 2006: SPE-103781.

[5] HILL J. R. M., SMELSER T. W., SIGNER S. P., et al. Intelligent Drilling System for Geological Sensing[C]// IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Yokohama, Japan: IEEE, 1993: 1-5.

[6] 刘振武，方朝亮，王同良．高新技术在石油工业中的应用展望 [M]. 北京：石油工业出版社，2003.

[7] 石崇东，李琪，张绍槐．智能油田和智能钻采技术的应用与发展 [J]. 石油钻采工艺，2005, 27(3) :1-4

[8] 张绍槐．论智能钻井理论与技术及其发展 [J]. 天然气工业，2008, 28(11): 3-7.

[9] 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): 133-140.

[10] 刘伟，闫娜．人工智能在石油工程领域应用及影响 [J]. 石油科技论坛，2018, 37(4): 32-40.

[11] 李根生，宋先知，田守．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.

[12] 汪湖滨．井场多专业数据发布平台的设计与实现 [J]. 化工管理，2020(20): 80-82.

[13] 段绪林，文苏苏．应用井场信息远程传输系统减少钻井复杂故障 [J]. 安全，2017, 38(12):13-15.

(上接第 51 页)

设计脱水后污泥含水率可降至 70% 以下，体积减小至原来的 1/3 ～ 1/5，便于后续运输和处理。叠螺脱水机相比传统的板框压滤机和离心脱水机，具有能耗低、运行稳定、维护简单、不易堵塞等优势，特别适用于含油污泥和高黏性污泥的处理。

4 环保效益分析

1）该技术采用厌氧折流板反应器（ABR）与序批式活性污泥法（SBR）相结合的效果，提高了废水的生物可降解性，有效降解了高浓度有机污染物，减少了有害物质进入环境，对水环境保护意义重大。混凝沉淀工艺的应用进一步降低了废水中的悬浮物和胶体污染物，提高了出水水质，确保达标排放或回用，减少对水体生态的污染 [4]。

2）SBR 工艺无需污泥回流，减少了污泥产生量，同时通过优化曝气方式，降低了氧气供应能耗，提高了系统的经济性。厌氧处理过程中，部分有机污染物可转化为甲烷等可回收能源，实现资源化利用，进一步减少碳排放。污泥处理方面，采用重力浓缩 + 叠螺脱水工艺，降低了污泥的含水率和外运成本，同时减少了污泥处置带来的二次污染 [5]。

3）使用自动控制技术提高了系统的稳定性与工作效率，减少了人为干预，提高了废水分系统处理过程的智能化水平。通过优化药剂投加和污泥管理，降低了化学品的使用量，减少了二次污染的风险。

5 结语

本文研究了精细化工废水的水质特性及其处理工艺，重点探讨了 ABR+SBR 两级生化处理结合混凝沉淀的优化方案。试验表明，该工艺能有效降解有机污染物，减少 COD、BOD_5 和 NH_3-N 排放，并显著提高系统的抗冲击能力。EST 复合菌的应用进一步增强了废水处理的稳定性，提升了污染物去除率，同时减少污泥排放和二次污染。相比传统工艺，该方案在环保效益、经济性和可持续性方面均表现优越。

参考文献：

[1] 郭路．生态环境保护中环境监测的作用及技术应用研究 [J]. 黑龙江环境通报，2025, 38 (02): 61-63.

[2] 刘伟．城市水资源污染治理与环境保护探析 [J]. 黑龙江环境通报，2025, 38 (02): 118-120.

[3] 吕银凤．化工行业废水处理技术创新与环境友好型工艺研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量，2025, 45 (01): 196-198.

[4] 姜林，何蕾．化工企业废水环保处理的现状和湿式氧化技术应用案例分析 [J]. 科技与金融，2024(12): 9-17.

[5] 张雨琦．节能减碳技术在煤化工废水催化氧化处理中的应用 [J]. 中国轮胎资源综合利用，2024(10): 35-37.