 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i7.6718

# An Intelligent Driller Control System for Workover Rigs and Its Research

**Defeng Zhu Zhugang Fan Kai Zhou Qiang Han**

Wuxi Zhihan Intelligent Machinery Technology Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214000, China

**Abstract**

The intelligent driller control system for workover rigs is one of the key technologies in the current oil well workover field. This paper introduces the design principle, key technologies and related research results of the intelligent driller control system for workover rigs. It elaborates on the background and significance of the workover rig driller control system, and points out the problems and deficiencies of the current traditional driller system. It details the architecture and working process of the intelligent driller control system for workover rigs, and elaborates on the key technologies, including data acquisition and processing, intelligent control algorithms, and system optimization methods. The system performance is verified through experiments, and the experimental results are analyzed. Finally, the advantages and application prospects of the intelligent driller control system for workover rigs are summarized, and the future research directions are prospected.

**Keywords**

Workover rig, Intelligent driller, Control system, Data acquisition and processing, Intelligent control algorithm

# 一种修井机智能司钻控制系统及研究

朱德峰 范竹刚 周凯 韩强

无锡智瀚智能机器技术有限公司，中国 · 江苏 无锡 214000

**摘 要**

修井机智能司钻控制系统是当前石油修井领域的关键技术之一。本论文介绍了修井机智能司钻控制系统的设计原理、关键技术以及相关研究成果。阐述了修井机司钻控制系统的背景与意义，指出当前传统司钻系统存在的问题和不足。详细介绍了修井机智能司钻控制系统的架构和工作流程，并阐述了其中的关键技术，包括数据采集与处理、智能控制算法以及系统优化方法。通过实验验证系统性能，并分析实验结果。最后，总结修井机智能司钻控制系统的优势和应用前景，并展望未来的研究方向。

**关键词**

修井机；智能司钻；控制系统；数据采集与处理；智能控制算法

## 1 引言

修井是石油开采过程中的重要环节之一，而修井机司钻作为关键设备，对保障修井作业效率和安全性具有重要意义。传统的修井机司钻控制系统存在操作人员依耐性较高；位置精度低、反应速度慢等问题，限制了修井作业的效率和质量。因此，研究和开发修井机智能司钻控制系统具有重要的理论和实际意义。

修井机智能司钻控制系统利用先进的传感器、数据处理和智能算法，实现对修井机司钻过程的实时监测、智能化控制。该系统不仅能提高修井作业的安全性、效率和质量，还减轻作业人员劳动强度，降低安全风险，具有重要的经济和社会效益。

【作者简介】朱德峰（1987–），男，中国江苏宝应人，本科，工程师，从事石油机械设备自动化与控制研究。

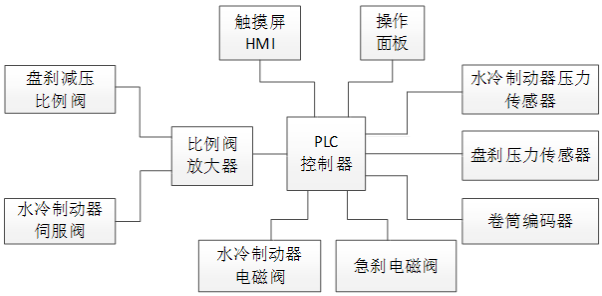
## 2 修井机智能司钻控制系统设计原理

### 2.1 修井机智能司钻控制系统概述

修井机智能司钻控制系统是一种基于先进技术的智能化系统，旨在实现自动化修井机过程的实时监测、智能决策和自动控制。系统主要由传感器模块、卷筒编码器、盘刹系统、水冷制动器、控制器以及执行机构等组成。通过对修井机作业过程的实时监测和数据分析，系统能够根据监测数据和修井作业施工方案自动调整修井参数、监测故障并进行及时诊断，并根据工况变化做出智能决策，实现对大钩上提 / 下放的自动控制。

### 2.2 系统组成

修井机智能司钻控制系统的架构包括传感器模块、卷筒编码器、盘刹系统、水冷制动器、控制器、执行机构以及数据管理模块。




**智能司钻系统架构图**

1.2.1 传感器模块：传感器模块负责实时采集自动化运行状态和环境参数的数据，包括卷扬转速、游走大钩速度、自动化大钳扭矩、液压系统压力、负载、井深等。传感器的选择和布置根据油田实际工况设计，确保证检测数据的准确性和可靠性。

1.2.2 卷筒编码器：卷筒编码器主要判定大钩上提 / 下放的状态，同时计算出卷扬速度、大钩速度以及高度。

1.2.3 盘刹系统：主要承担着对提升系统中大钩、游动滑车等重载部件的安全制动与精确控制作用。

1.2.4 水冷制动器：提升系统下放重物（如钻具、管柱）时会产生较大惯性，通过水冷制动器提供连续可调的阻尼力，控制下放速度，防止载荷失控下滑或冲击。从而保障作业安全与设备稳定运行。

1.2.5 控制器：PLC 控制器模块是修井机智能司钻控制系统的核心部分，基于传感器模块和数据管理系统提供的数据，采用先进的智能算法进行修井参数的分析和优化，实现对修井机的智能决策和自动控制。该模块通常包括修井参数分析算法、故障检测与诊断算法、自适应控制算法等。

1.2.6 执行机构：执行机构是修井机智能司钻控制系统的执行部分，负责根据控制器模块输出的控制指令，实施相应的操作控制，包括调整修井参数、控制修井作业执行机构动作等。

1.2.7 数据管理系统：数据管理模块接收传感器模块采集到的数据，并进行数据处理。该模块通常包括数据采集设备状态信息和数据处理算法。

### 2.3 工作流程

修井机智能司钻控制系统的工作流程包括数据采集、信息处理、决策生成和控制指令输出等环节。

1.3.1 数据采集阶段：利用传感器模块实时采集修井机的运行状态和环境参数数据，并将数据传输给数据管理模块。

1.3.2 信息处理阶段：通过数据管理模块对采集到的数据进行预处理和特征提取，生成修井机的状态信息。

1.3.3 决策生成阶段：中央处理器模块根据修井机的状态信息和预设的决策算法，分析当前工况，生成相应的智能决策，例如调整修井参数、诊断故障等。

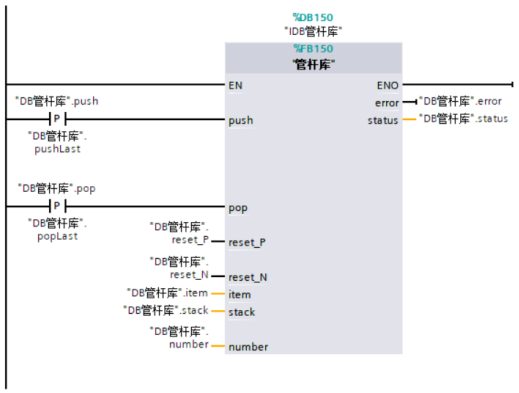
1.3.4 控制指令输出阶段，中央处理器模块将生成的控制指令传输给执行机构，执行机构根据指令进行操作控制，实现对修井机的自动调节和控制。

## 3 关键技术

### 3.1 数据采集与处理

数据采集与处理是修井机智能司钻控制系统中的关键技术之一。在数据采集方面，需要选择合适的传感器，并合理布置在修井机的关键位置，以获取准确、全面的数据。常用的传感器包括钻压传感器、扭矩传感器、转速传感器、井深传感、管杆规格器等。

程序中设计了 IDB 管杆库控制功能块，可以记录管杆的数据（item、stack、number、）、起油管杆（push）和下油管杆（pop）。程序根据修井作业条件判断当前起下状态。同时程序增加数据预处理涉及到数据的滤波和数据补偿等处理，提高数据的准确性。数据处理环节主要包括数据预处理和特征提取两个步骤。特征提取则是从原始数据中提取有用的特征信息，用于后续的分析和决策。IDB 管杆库控制功能块如图 2 所示。




**IDB 管杆库控制功能块**

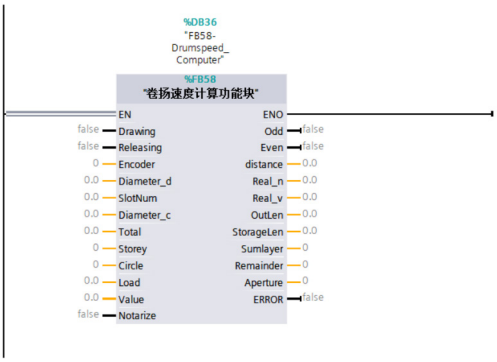
### 3.2 智能控制算法

在修井机智能司钻控制系统中，核心控制逻辑基于实时采集的卷扬编码器（Encoder）信号和钩载传感器（Load）数据，通过智能算法动态优化起降过程。系统通过安装在卷扬轴上的编码器获取其正转（Drawing）、反转（Releasing）状态及卷扬转速（Real_n），结合设定的钢丝绳圈数（Circle）与钢丝绳层数（Storey），自动计算出钢丝绳放出长度（OutLen）以及大钩的实际运动速度（Real_v），如图。

作业前，系统执行大钩高度零位标定（Notarize），作为后续位移判断的参考点。在起提油管杆作业中，系统实时监测钩载（load）变化和位移（distance）趋势，根据负载情况动态调整发动机的输出功率（Engine），以保障在负载增加时提供足够扭矩并维持稳定上行速度，实现效率与安全的平衡。而在下放油管杆过程中，系统采集大钩下行速度及位移数据，智能计算下行减速需求，并控制水刹车的夹紧力度（Aperture），使其逐级缓冲制动，确保设备运行平稳、避免冲击与失速。

通过应用上述关键技术，修井机智能司钻控制系统能

够实现对修井机的精确监测、智能决策和自动控制，提高修井作业的效率和质量，并降低事故风险。




## 4 修井机智能司钻控制系统优势与应用前景

### 4.1 优势

修井机智能司钻控制系统具有多方面的优势，包括但不限于以下几个方面：

提高修井效率：智能司钻控制系统能够实时监测修井机的运行状态和环境参数，通过优化修井参数和调整控制策略，提高修井作业的效率和速度，减少非作业时间。

保障作业安全：系统通过实时监测和故障诊断，能够及时发现和处理修井机的故障和异常情况，降低事故风险，提高作业安全性。

提高作业质量：通过智能控制算法的优化，系统可以实现对修井参数的精确调整，提高修井作业质量，减少修井事故和设备损坏的风险。

减轻人员劳动力：智能司钻控制系统能够自动调整控制参数和执行操作控制，减轻人员劳动力，降低人为错误的发生，提高工作效率。

可持续发展：通过优化修井参数和控制策略，智能司钻控制系统能够降低能源消耗和环境影响，实现可持续发展的目标。

### 4.2 应用前景

修井机智能司钻控制系统在石油修井领域具有广阔的应用前景。随着石油开采技术的不断发展和修井作业的复杂化，智能化控制系统将成为必不可少的工具和技术支持。

在油田常规修井作业中，智能司钻控制系统可以帮助实现更高效、更安全、更可控的修井作业，提高修井作业效率。通过实时监测和智能决策，提高修井作业的效率和质量，降低维护成本和作业风险。随着人工智能、大数据和物联网等技术的不断发展，修井机智能司钻控制系统还可以与其他智能化系统和设备进行集成，实现更高级的自动化和智能化水平。随着相关技术的不断进步和成熟，该系统将在石油工业领域得到广泛应用。

## 5 未来研究方向

### 5.1 优化智能控制算法

修井机智能司钻控制系统的智能控制算法是关键的研究方向之一。可以通过优化起降的过程刹车控制，提高系统的大钩的刹车精度和起降的稳定性。将整个刹车过程分为 n 个小段进行控制（i=1、2、3.....n），其中 M 为提升系统负载的等效质量（包括游车大钩负载、游车大钩重量、吊卡重量），$F_i$ 为第 i 个小段的刹车等效力，$t_i$ 为第 i 个小段的控制时间，$\Delta V_i$ 为第 i 个小段结束后与开始的速度差，按照冲量、动量转化关系，整个下行过程满足以下公式：

$$\sum_{i=1}^{n}\left(M*\ g*\ t_i-F_i*\ t_i\right)=\sum_{i=1}^{n}M*\ \Delta V_i=0$$

第 j 个控制过程结束后，$V_j$、$S_j$ 分别代表此时为速度、位移（其中：$V_0=0$）：

$$V_j=\sum_{i=1}^{j}\Delta V_i=\sum_{i=1}^{j}\left[g*\ t_i-\left(\frac{F_i}{M}\right)*\ t_i\right]$$

$$S_j=\sum_{i=1}^{j}\left[\left(\frac{V_{i-1}}{2}+\frac{V_i}{2}\right)/t_i\right]$$

### 5.2 提高系统稳定性与可靠性

提高系统稳定性与可靠性 修井机智能司钻控制系统在实际应用中需要具备良好的稳定性和可靠性。可以研究系统的鲁棒控制策略，提高系统对扰动和干扰的抗干扰能力。此外，建立可靠性评估模型，对系统的可靠性进行定量评估，并开发相应的容错和自动恢复机制，提高系统的可靠性和鲁棒性。

通过对智能司钻控制系统的进一步研究和改进，将推动修井机作业的智能化、自动化发展，提高作业效率和安全性。

## 6 结语

本论文针对修井机智能司钻控制系统进行了全面的研究和论述。通过对修井机智能司钻控制系统的设计原理、关键技术的介绍，展示了该系统在提高修井作业效率、保障作业安全和降低事故风险方面的优势和应用前景。同时，提出了未来研究方向，包括改进智能控制算法、提高系统稳定性与可靠性。通过持续的研究和创新，修井机智能司钻控制系统将为石油修井领域带来更高效、安全和可持续的作业模式。

## 参考文献

[1] 杨双业，张鹏飞，王飞等. 新型自动化技术在钻机及钻井中的应用展望. 石油机械，2019，47(5).

[2] 李维校. 基于石油钻井大数据技术的钻进优化控制的研究. 西安：西安石油大学，2018.

[3] 于兴军.自动化钻机向智能化发展的关键技术分析. 兰州：石油矿场机械，2020，49(5).

[4] 崔坚. SIMATIC S7-1500与TIA博途软件使用指南. 北京：机械工业出版社，2016.

[5] 刘伟，孙斌，张帆. 一种智能钻井班前会议模式研究与应用. 信息系统工程，2016.65-67