

# 智能钻完井技术在提高采收率中的应用与展望

张玉峰

中国海洋石油国际有限公司 天津 100029

**摘要：**智能钻完井技术通过集成先进传感器、自动化控制及数据分析技术，显著提升油气采收率。该技术实现钻井过程的精准导航与实时优化，有效应对复杂地质条件，提高储层钻遇率。展望未来，随着智能化、自动化水平持续提升，以及多学科融合创新，智能钻完井技术将进一步推动油气开采向高效、环保、可持续方向发展，为全球能源供应安全提供坚实保障。

**关键词：**智能钻完井技术；提高采收率；应用分析

引言：在油气资源日益紧张的背景下，提高采收率成为油气行业发展的关键。智能钻完井技术作为油气开采领域的前沿技术，正逐步展现出其巨大潜力。该技术通过智能化、自动化的手段，实现钻井过程的精准控制与优化，有效提升了油气采收效率。本文旨在探讨智能钻完井技术在提高采收率中的应用现状，并展望其未来发展趋势，以为油气行业的可持续发展提供有益参考。

## 1 智能钻完井技术概述

### 1.1 智能钻完井技术定义

智能钻完井技术是将大数据、人工智能、物联网、云计算、机械工程和工程控制等先进理论与技术应用于油气钻完井过程的一种综合性技术。它旨在实现钻井过程的智能化、自动化和高效化，通过感知、学习、传输、操作和反馈等功能，大幅提高钻井效率和钻遇率，降低施工成本，并有效应对复杂油气资源开发的挑战。智能钻完井技术被视为油气领域的变革性技术和前沿热点，是油气行业向智能化转型的重要方向。

### 1.2 智能钻完井技术的核心组成部分

智能钻完井技术由多个核心组成部分构成，共同协作以实现钻井过程的智能化和高效化。这些核心组成部分主要包括：（1）智能决策分析系统，这是智能钻完井技术的“大脑”，负责接收、处理和分析来自井下和地面的各种数据，并基于这些数据做出智能决策。它利用人工智能算法和大数据分析能力，对钻井过程进行实时优化和调整，以提高钻井效率和安全性<sup>[1]</sup>；（2）数据测量系统，该系统负责采集井下的各种地质和工程参数，如井斜、方位角、地层压力、温度等。这些数据是智能决策分析系统的基础，为钻井过程的优化和调整提供了重要依据；（3）信息传输系统，该系统负责将井下数据测量系统采集到的数据实时传输到地面，并将地面的指令传输到井下。它确保了井下和地面之间的信息畅通无

阻，是实现钻井过程智能化的关键；（4）自动控制系统，该系统根据智能决策分析系统的指令，对地面钻井设备和井下钻具进行自动化控制。它实现钻井过程的自动化和精细化操作，提高钻井效率和安全性；（5）智能工具装备，包括智能钻机、智能钻头、智能钻杆等。这些智能工具装备具有自主学习、记忆和判断功能，能够精确高效地完成钻台作业，并根据井下实时数据进行自适应调整；（6）远程实时作业中心，这是智能钻完井技术的指挥中心，负责对多个钻井现场进行远程监控和决策指挥。它利用先进的通信技术和数据分析能力，实现了对钻井过程的实时控制和优化。

## 2 智能钻完井技术在提高采收率中的应用

### 2.1 钻井阶段应用

在钻井阶段，智能钻完井技术通过其先进的感知、决策和优化能力，为提高油田采收率奠定了坚实基础。智能钻井技术能够利用高精度地质勘探数据和实时钻井参数，进行精准的井眼轨迹规划。通过融合地质-工程大数据技术，结合井眼轨迹参数、地层参数、钻井参数以及工具参数等，应用计算机视觉、定位感知等算法，智能钻井系统能够构建出精确的地层-井筒三维模型，从而优化井眼轨迹设计，确保钻头能够准确穿越目标油层，提高储层钻遇率。智能钻井技术还具备实时监测和调整钻井参数的能力。在钻井过程中，系统能够实时监测钻头的位置、速度、力度、转速等关键参数，并将这些数据实时传输到地面控制中心。地面控制中心则利用智能算法对这些数据进行分析和处理，及时发现钻井过程中的异常情况，并自动调整钻井参数，确保钻井过程的安全、高效进行。

### 2.2 完井阶段应用

在完井阶段，智能钻完井技术通过智能完井系统的部署，进一步提升了油田的采收率。智能完井系统主要

由井下传感器、封隔单元、层段控制阀单元、数据传输和控制系统以及地面中央控制系统等组成。这些组件协同工作,实现了对井下环境的全面感知和精确控制。井下传感器能够长期放置在井下,实时监测储层的温度、压力和流量等参数。这些数据为地面控制中心提供了宝贵的井下信息,有助于准确判断井下的各种情况,并及时调整生产策略。封隔单元则负责封隔临近的储层,避免高压油、气窜层,确保各储层之间的独立性。层段控制阀单元则能够根据地面控制中心的指令,精确控制井下各储层的开启、关闭和节流,实现对油藏产能的主动管理<sup>[2]</sup>。数据传输和控制系统负责将井下传感器采集到的数据实时传输到地面控制中心,并将地面的指令传输到井下各控制单元。这种双向通信能力确保了地面控制中心能够实时掌握井下情况,并做出及时、准确的决策。地面中央控制系统则作为整个智能完井系统的指挥中心,负责对所有设备和工作状态进行监测和控制,确保整个系统的稳定运行。通过智能完井系统的部署,油田可以实现远程管理、实时监测和精确控制,从而大幅提高采收率。

### 2.3 开采阶段应用

在开采阶段,智能钻完井技术继续发挥其独特优势,为油田的高效、稳定开采提供了有力支持。首先,智能完井系统能够实时监测各储层的生产情况,包括产量、压力、温度等参数。这些数据为油田管理人员提供了全面的生产信息,有助于他们及时调整生产策略,优化生产流程。其次,智能钻完井技术还具备远程遥控功能,油田管理人员可以通过地面控制中心,远程操控井下的层段控制阀单元等设备,实现对油藏产能的精确控制。这种远程遥控能力不仅提高生产效率,还降低现场操作人员的风险。另外,智能钻完井技术还能够通过数据分析,预测油田的生产趋势和潜在问题。例如,通过对历史生产数据的分析,可以预测未来一段时间内各储层的产量变化趋势;通过对井下传感器数据的实时监测和分析,可以及时发现潜在的故障和安全隐患,并采取相应的措施进行预防和修复。在开采阶段,智能钻完井技术还与其他先进技术相结合,如注水开发技术、压裂酸化技术等,共同提高油田的采收率。

## 3 智能钻完井技术在不同地质条件下提高采收率的应用分析

### 3.1 海上油气田应用

在海上油气田的开发中,智能钻完井技术展现出了显著的优势,为提高采收率提供了强有力的支持。海上油气田通常面临着更为复杂的地质条件和恶劣的海洋

环境,传统的钻完井技术往往难以满足高效、安全开发的需求。而智能钻完井技术通过集成先进的传感器、自动化控制系统和数据分析技术,实现了对钻井过程的精准控制和优化。在海上钻井作业中,智能钻完井技术能够实时监测井下的地质情况和钻井参数,如地层压力、井斜角、钻头位置等。这些数据通过高速数据传输系统迅速传回地面控制中心,经过智能算法的分析处理后,为钻井工程师提供决策支持,帮助他们及时调整钻井策略,避免钻井事故的发生。智能钻完井技术还能根据实时数据自动调整钻井参数,如钻压、转速等,以提高钻井效率,减少非生产时间。在完井阶段,智能钻完井技术通过智能完井系统实现对井下生产管柱的远程控制和监测。这包括智能井口装置、井下流量控制阀等设备的精准操控,能够根据生产需求实时调整各层段的产量,优化生产流程。智能钻完井技术还能通过数据分析预测油藏动态变化,为海上油气田的长期稳产提供科学依据。

### 3.2 陆上复杂油气藏应用

对于陆上复杂油气藏,智能钻完井技术同样发挥着重要作用。复杂油气藏往往具有地质条件多变、储层非均质性强等特点,给钻完井作业带来了巨大挑战。智能钻完井技术通过其高精度的地质导向和自适应控制能力,有效应对了这些挑战。在钻井过程中,智能钻完井技术能够利用地质导向系统实时识别地层界面和储层特性,确保钻头准确穿越目标层位。通过自适应控制算法,系统能够根据地层变化自动调整钻井参数,保持钻井过程的稳定性和高效性。这不仅提高了储层钻遇率,还减少钻井过程中的复杂情况和事故风险<sup>[3]</sup>。在完井和开采阶段,智能钻完井技术通过智能完井系统和生产优化技术,实现了对油气藏产能的精细管理。智能完井系统能够根据生产需求实时调整井下流控设备的开度,优化各层段的产量分配。通过生产数据分析,系统能够预测油藏动态变化,为调整开发策略提供科学依据。智能钻完井技术还能与注水、压裂等增产措施相结合,进一步提高复杂油气藏的采收率。

## 4 智能钻完井技术在提高采收率中的发展趋势与展望

### 4.1 智能化与自动化程度提升

随着人工智能、大数据、物联网等技术的飞速发展,智能钻完井技术在提高采收率方面的智能化与自动化程度将不断提升。未来的智能钻完井系统将更加依赖于先进的传感器技术,这些传感器能够实时、精准地监测井下环境参数,如温度、压力、流体性质等,为钻井决策提供更为可靠的数据支持。借助机器学习算法,系统能够对这些海量数据进行深度挖掘和分析,自动识

别地层特征、预测钻井风险，并据此优化钻井轨迹和参数，实现钻井过程的自适应调整。自动化程度的提升将使得钻井作业更加高效、安全。例如，自动化钻机能够根据预设程序自动完成钻杆的起下、钻头的更换等操作，减少人工干预，降低劳动强度和安全风险。远程监控与操控技术的成熟将使得钻井作业不再受限于地理位置，专家可以在千里之外对钻井现场进行实时监控和指导，进一步提高钻井效率和成功率。

#### 4.2 多学科融合与技术创新

智能钻完井技术的发展离不开多学科知识的融合与技术创新。未来，该技术将更加注重与地质学、地球物理学、材料科学、控制工程等学科的交叉融合，共同推动钻井技术的革新。例如，地质学与地球物理学的结合将使得地层预测更加准确，为钻井轨迹的优化提供更为科学的依据；材料科学的发展将推动新型钻井工具和材料的研发，提高钻井效率和耐用性；控制工程技术的进步则将使得钻井过程的自动化和智能化控制更加精准、可靠。技术创新方面，智能钻完井技术将不断探索新的应用场景和技术手段。例如，利用虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，可以构建出逼真的井下环境模型，为钻井工程师提供更为直观、全面的决策支持；通过区块链技术，可以实现钻井数据的不可篡改和可追溯，提高数据的安全性和可信度；而量子计算技术的应用，则有望大幅提升数据处理和分析的速度和精度，为智能钻完井技术的发展注入新的动力。

#### 4.3 绿色环保与可持续发展

在全球环保意识日益增强的背景下，智能钻完井技术在提高采收率的同时，也将更加注重绿色环保与可持续发展。未来的智能钻完井系统将致力于减少对环境的影响，降低能源消耗和废弃物排放。智能钻完井技术还将积极探索废弃井的处理和再利用途径。通过智能监测和评估废弃井的状况，采取合适的封井和修复措施，防止其对环境造成潜在危害。研究废弃井的再利用技术，

如将其改造为地热能开发井或储能井等，实现资源的循环利用和可持续发展。

#### 4.4 应用前景展望

智能钻完井技术在提高采收率方面的应用前景广阔。随着技术的不断成熟和成本的降低，该技术将在全球范围内得到更广泛的应用。特别是在深海、极地等极端环境下的油气资源开发中，智能钻完井技术将发挥不可替代的作用。通过实现钻井过程的智能化和自动化控制，可以大幅降低在这些恶劣环境下作业的风险和成本，提高油气资源的开发效率和采收率<sup>[4]</sup>。智能钻完井技术还将为老油田的增产和稳产提供有力支持。通过优化钻井轨迹和参数、提高储层钻遇率等手段，可以充分挖掘老油田的剩余潜力，延长油田的生产寿命，该技术还将与页岩气、可燃冰等新型能源的开发相结合，推动能源结构的多元化和清洁化进程。

#### 结束语

综上所述，智能钻完井技术在提高采收率方面已展现出显著成效，其通过智能化、自动化的创新手段，有效应对复杂地质挑战，优化钻井与完井流程，大幅提升油气开采效率。展望未来，随着技术的持续进步与多学科深度融合，智能钻完井技术必将在推动油气行业高效、绿色、可持续发展中发挥更加核心的作用，为全球能源安全与低碳转型贡献重要力量。

#### 参考文献

- [1]陈晨,智能化技术在提高油田采收率中的应用研究[J].石油与天然气,2022,34(2):45-50.
- [2]张华,智能油田管理系统在提高采收率中的实践与思考[J].石油科技进展,2021,39(4):112-119.
- [3]陈世军,先思蓉.油田用纳米驱油剂提高采收率的机理与影响因素[J].化工技术与开发,2020,49(11):50-54.
- [4]沈阔.油田注水开发后期提升采收率的技术措施[J].石化技术,2020,27(02):36,38.