

# 钻井井下工程参数测量应用研究新进展

鲁鹏飞

中石化中原石油工程有限公司钻井工程技术研究院 河南 濮阳 457001

**摘要：**在石油天然气勘探开发进程中，深井、超深井、水平井及大位移井等复杂结构井的应用日益广泛，钻井环境愈发严苛，井下事故与复杂状况频发。本文聚焦于钻井井下工程参数测量的应用研究新进展。先概述了井下工程参数测量技术，接着详细阐述了高精度传感器技术、高效数据传输技术等新进展。其应用广泛，涵盖钻井参数优化、井下事故预警、油藏监测调控等方面。未来，钻井井下工程参数测量将朝着智能化测量、多参数融合协同、绿色环保节能以及与多元场景深度适配的方向发展，有望为钻井工程带来更高效、精准、安全的解决方案。

**关键词：**钻井井下；工程参数；测量应用；研究新进展

引言：在石油与天然气等资源的勘探开发中，钻井工程是关键环节。井下工程参数的准确测量对于保障钻井安全、提高钻井效率、优化资源开采等具有重要意义。随着科技的不断进步，传统的井下工程参数测量技术已难以满足日益复杂的工程需求。近年来，高精度传感器、智能化系统等新技术不断涌现，为井下工程参数测量带来了新的机遇与挑战。深入研究这些新进展及其应用，对于推动钻井工程的发展、提升资源开发水平具有重要的现实意义。

## 1 井下工程参数测量技术概述

井下工程参数测量技术，作为石油天然气钻井作业的核心支撑，对保障作业安全、优化开采效率、实现资源合理开发，发挥着不可或缺的作用。早期，受技术条件限制，测量工作依赖人工记录和简易仪表，不仅工作效率低，测量精度和覆盖范围也极为有限。随着工业自动化与数字化的快速发展，井下工程参数测量技术取得显著突破，步入了实时、精准、智能的新阶段。现代测量系统由传感器、数据传输装置和数据处理终端构成。高精度传感器能够实时采集井下压力、温度、流量、振动等关键参数，并将其转化为电信号。数据传输装置通过有线或无线的方式，将采集的数据高速、稳定地传输至地面。数据处理终端则运用专业算法对数据进行深度分析，为工程人员提供直观、准确的决策依据<sup>[1]</sup>。

## 2 井下工程参数测量技术新进展

### 2.1 高精度传感器技术

近年来，高精度传感器技术取得了长足进步。为应对井下恶劣的工况，研发人员借助微机电系统（MEMS）技术，大幅提升了传感器的精度与可靠性。比如，新型压力传感器采用特殊的应变片材料和制造工艺，测量精度达到 $\pm 0.05\%$  FS，相较于传统传感器，精度提升了3倍。

在高温高压的深井环境中，耐高温的光纤传感器应运而生，它利用光的特性，不仅能准确测量井下的温度、压力，还具备抗电磁干扰的能力，有效避免了信号失真。此外，在振动测量领域，高灵敏度的加速度传感器，可以捕捉到极其细微的振动变化，为分析井下设备的运行状态提供依据，帮助工程师及时发现设备潜在的故障隐患，从而实现预防性维护，减少非计划停机时间，提高钻井作业的安全性及效率。

### 2.2 高效数据传输技术

随着井下数据量的爆炸式增长，高效数据传输技术成为研究热点。在有线传输方面，电缆传输技术不断优化，通过改进编码方式和传输协议，传输速率提升至10 Gbps，满足了海量数据的快速传输需求。同时，光纤传输凭借其带宽大、损耗低的优势，在长距离传输中得到广泛应用，有效解决了深井数据传输的难题。在无线传输领域，基于声波、电磁波等介质的传输技术取得了突破。声波传输技术利用井下的流体作为传输介质，在复杂的井况下也能稳定传输数据；而电磁波传输技术则通过优化信号调制与解调算法，提升了信号的穿透能力，减少了信号衰减。

### 2.3 智能化测量系统

智能化测量系统的出现，推动了井下工程参数测量技术的变革。这类系统融合了人工智能、大数据分析等先进技术，实现了数据的自动采集、分析与决策。系统中的智能算法能够对采集到的海量数据进行实时分析，快速识别井下的异常工况。例如，通过机器学习算法对钻井过程中的振动、压力等参数进行建模，一旦实际数据偏离模型预测范围，系统会立即发出预警，帮助工程师及时采取措施，避免事故发生。此外，智能化测量系统还具备自诊断和自优化功能，能够根据井下环境的变

化自动调整测量参数，确保测量数据的准确性。借助远程通信技术，工程师可以通过移动终端随时随地访问测量系统，实现远程监控与操作，打破了时间和空间的限制，显著提高了工作效率。

#### 2.4 多参量融合测量技术

多参量融合测量技术通过整合多种传感器的数据，为工程师提供更全面、准确的井下信息。该技术基于数据融合算法，将来自压力、温度、流量等不同类型传感器的数据进行综合分析，挖掘数据之间的内在联系，从而更准确地判断井下的工况。例如，在判断井漏事故时，单一的压力传感器可能无法准确判断漏失位置和程度，而多参量融合测量技术通过融合压力、流量和岩性等数据，能够精确定位漏失点，并估算漏失量。此外，在评价油藏特性时，融合地质、地球物理和工程参数，可以构建更精确的油藏模型，为油藏开发方案的制定提供科学依据。

#### 2.5 新型测量方法探索

科研人员积极探索新型测量方法，为井下工程参数测量开辟新的途径。其中，核磁共振测量技术逐渐受到关注，它通过测量岩石孔隙中的流体特性，获取岩石的渗透率、孔隙度等重要参数，为油藏评价提供更直接的数据支持。此外，基于人工智能的图像识别技术也开始应用于井下测量，通过井下摄像头拍摄的图像，利用深度学习算法识别岩石的结构和纹理，进而分析岩石的力学性质。在声波测量方面，多波列声波测量技术通过发射和接收多种类型的声波，获取更丰富的地层信息，提高了对地层特性的认识。这些新型测量方法不仅丰富了井下参数的测量手段，还为解决传统测量方法难以攻克的难题提供了新的思路，推动了井下工程参数测量技术向更高水平发展。

### 3 井下工程参数测量的应用

#### 3.1 钻井参数优化

井下工程参数测量为钻井参数的精准优化提供了依据。借助高精度传感器，工程师可实时获取钻头的扭矩、转速、钻压，以及泥浆的流量、密度等参数。对这些数据进行分析，能够明确不同地质条件下最适宜的钻进参数。比如，在钻进硬质地层时，依据岩石硬度和抗压强度数据，适当提高钻压与转速，以提升破岩效率；而在钻进易坍塌地层时，通过调节泥浆的密度和黏度，平衡井壁压力，防止井壁坍塌。通过对各项参数的持续优化，不仅能提高钻井速度，降低钻井成本，还能减少因参数不当引发的井下事故，确保钻井作业的安全与高效。

#### 3.2 井下事故预警与预防

井下工程参数测量在井下事故预警与预防方面发挥着关键作用。智能化测量系统通过对振动、压力、温度等多参数的实时监测与分析，能够及时发现井下异常情况。当监测到钻头振动突然加剧，且扭矩和钻压出现异常波动时，系统可判断可能发生了钻头泥包或卡钻事故，并立即发出预警。同样，当泥浆的流量和压力发生异常变化时，系统能够快速识别井漏或井涌风险。基于大数据分析和机器学习算法，系统还能对潜在事故进行预测，提前制定应对措施。这种主动式事故预警与预防机制，改变了以往被动应对的局面，极大地降低了井下事故的发生率，保障了人员和设备的安全，减少了因事故导致的经济损失。

#### 3.3 钻井优化系统与井下数据库建立

井下工程参数测量为钻井优化系统的构建和井下数据库的建立提供了数据支撑。将实时采集的各类参数整合到钻井优化系统中，结合地质模型和工程经验，系统能够为钻井作业提供全程指导。通过对历史数据的分析，可总结出不同地质条件下的最佳钻井方案，为新井的设计和施工提供参考。井下数据库不仅存储了大量的实时数据和历史数据，还能对数据进行分类管理和深度挖掘。例如，通过分析不同区块的地层特性和钻井参数，建立地层特性与钻井参数之间的关联模型，为后续钻井作业提供更准确的参数推荐。钻井优化系统和井下数据库的协同工作，实现了钻井作业的数字化、智能化管理，有效提升了钻井作业的整体效率<sup>[2]</sup>。

#### 3.4 油藏动态精准监测与调控

通过在油井中部署压力、温度、流量等传感器，可实时获取油藏内部的流体分布和运移情况。基于这些数据，利用数值模拟技术建立油藏动态模型，准确预测油藏的开发趋势。例如，当监测到油藏某区域的压力下降过快时，可及时调整注采方案，优化注水井和采油井的工作制度，实现油藏的均衡开采。此外，通过多参量融合测量技术，还能获取油藏内油水界面的变化信息，为合理开采提供依据。对油藏动态的精准监测与调控，能够提高原油采收率，延长油藏的开发寿命，实现油藏的高效、可持续开发。

#### 3.5 井身结构健康诊断与维护

井身结构的健康状况直接关系到钻井和采油作业的安全。井下工程参数测量技术可对井身结构进行实时监测与健康诊断。利用声波、超声波等测量技术，检测井壁的厚度、完整性以及套管的腐蚀情况。通过对井斜、方位等参数的监测，判断井身是否发生变形。当发现井身结构存在安全隐患时，及时采取修复措施。例如，对

于轻微的套管腐蚀，可通过注入防腐药剂进行防护；对于严重变形的井段，可采用套管补贴或修复技术进行处理。定期对井身结构进行健康诊断与维护，能够确保井身的稳定性，延长井的使用寿命，保障后续作业的顺利进行。

#### 4 钻井井下工程参数测量应用的未来发展趋势

##### 4.1 智能化测量

在未来，智能化测量将成为钻井井下工程参数测量的核心特征。随着人工智能、大数据与物联网技术的深度融合，测量系统将拥有更强大的自主决策能力。智能传感器不仅能高精度采集数据，还可对数据进行实时分析，依据井下复杂多变的工况自动调整测量策略。例如，在钻进过程中，系统借助机器学习算法实时分析钻头的工作参数，精准预测钻头磨损程度，并提前发出更换预警，避免因钻头过度磨损引发的事故。此外，通过远程操控与虚拟现实技术，工程师无需亲临现场，就能实现对井下测量设备的远程运维与操控，极大提升作业的便捷性与安全性，降低人力与时间成本，助力钻井作业向智能化、无人化方向迈进。

##### 4.2 多参数融合与协同测量

多参数融合与协同测量将成为必然趋势，以满足对井下复杂环境全面认知的需求。不同类型的传感器将实现更紧密的协同工作，采集的数据不仅能反映单一参数的变化，还可通过多维度数据融合，构建更精确的井下模型。例如，综合地质、工程和地球物理等多方面数据，不仅能准确判断油藏边界，还能清晰掌握油藏内部的流体流动特性，为油藏开采方案的制定提供更可靠的依据。此外，多参数融合技术将推动测量设备向微型化、集成化发展，减少井下设备数量，降低设备故障风险，同时提升数据采集与分析的效率，实现对井下工况的全方位、精细化监测。

##### 4.3 绿色环保与高效节能

面对日益严格的环保要求，绿色环保与高效节能将成为钻井井下工程参数测量技术发展的重要方向。一方

面，研发人员将致力于降低测量设备的能耗，采用新型低功耗传感器与节能型数据传输技术，减少对电力资源的消耗。另一方面，优化测量技术流程，避免因测量误差导致的资源浪费与环境污染。例如，精准的油藏动态监测技术可助力优化注采方案，减少无效注水，降低水资源浪费，同时减少因开采不当引发的环境污染。此外，对废旧测量设备的回收与再利用也将得到重视，形成绿色循环的产业生态，推动钻井行业的可持续发展。

##### 4.4 测量技术与多元场景深度适配

随着钻井作业向深海、深层以及非常规油气资源领域拓展，测量技术需与多元场景深度适配。针对深海高压、低温且复杂的海洋环境，将研发耐高压、抗腐蚀的专用测量设备，保障数据采集的准确性与稳定性。在深层油气开采中，耐高温、高压的测量技术将成为关键，以满足超深井的测量需求。对于页岩气、煤层气等非常规油气资源的开采，测量技术将结合其独特的地质特征进行优化，实现对储层特性的精准测量<sup>[3]</sup>。

#### 结束语

通过梳理钻井井下工程参数测量领域，可以看到，当下技术革新显著，从高精度传感器到智能化测量，大幅提升了数据获取的精度与效率，为井下作业安全与优化筑牢了根基。但面向深海、深层等复杂场景，技术仍需持续迭代升级。未来，科研机构、高校和企业要紧密合作，集中力量攻克关键难题。凭借各方合力，钻井井下工程参数测量技术有望取得更大突破，为能源行业的智能化、绿色化转型提供强劲动力，在保障全球能源供应的同时，实现可持续发展的长远目标。

#### 参考文献

- [1]沙林秀.钻井参数优化技术的研究现状与发展趋势[J].石油机械,2021,44(2),129-133
- [2]杨金华,等.未来10年极具发展潜力的20项油气勘探开发新技术[J].石油科技论坛,2021,38(1),138-148
- [3]李根生,宋先知,田守增.智能钻井技术研究现状及发展趋势[J].石油钻探技术,2021,48(1),111-117