

# 石油勘探开发中的随钻测井技术探究

王 磊

天津滨海概念人力信息科技有限公司 天津 300459

**摘要：**石油勘探开发对高效精准测井技术需求迫切，传统测井技术在复杂井况与地层条件下存在局限，难以满足实时地质导向与储层评价需求。随钻测井技术可在钻井中同步获取地层与工程参数，但应用中面临复杂地层适应性弱、数据传输效率不足等问题。本文阐述其核心构成与应用现状，提出提升地层适配能力、优化传输技术方向，为技术完善提供参考，助力石油勘探开发高效高质量发展。

**关键词：**石油勘探开发；随钻测井技术；应用现状；现存问题；优化方向

引言：石油作为重要的能源资源，其勘探开发效率与质量备受关注。传统测井技术在复杂井况与地层条件下存在局限性，难以满足高效勘探开发需求。随钻测井技术应运而生，它能在钻井过程中实时获取地层与工程参数，为地质导向、储层评价提供关键依据。深入研究随钻测井技术，剖析其构成、应用现状与问题，并提出优化方向，对提升石油勘探开发效益、推动行业发展具有重要意义。

## 1 石油勘探开发中随钻测井技术的核心构成

### 1.1 随钻测井数据采集系统

井下测量仪器是数据采集的核心，电阻率仪向地层发射电流并检测返回信号，通过分析地层导电特性判断岩性与含油性；伽马射线仪接收地层自然伽马辐射强度，依据不同岩性辐射差异区分储层与非储层；声波测井仪发射声波并记录传播时间，借助声波速度反演地层孔隙度与岩石密度<sup>[1]</sup>。数据传输模块需匹配不同钻井场景，泥浆脉冲传输依靠钻井液压力变化传递数据，适配常规井眼且成本较低；电磁传输通过地层电磁波信号实现数据传递，适用于无钻井液的特殊场景；光纤传输依托光纤传导光信号，具备高传输速率与抗干扰特性，适合深井作业。地面接收与处理单元负责实时接收数据，通过专用设备捕捉传输信号，将原始信号转化为可识别格式，同时进行初步解析与异常值筛选，最终以简洁界面显示关键参数，为现场人员提供实时参考。

### 1.2 随钻测井关键测量技术

地层参数测量技术针对储层关键指标设计方法，岩性测量组合电阻率、伽马射线等多参数数据，对比不同岩性参数特征差异识别；孔隙度测量利用声波或中子测井原理，依据地层对声波传播速度的影响或对中子的吸附能力，计算孔隙空间占岩石总体积比例；渗透率测量分析地层流体流动特性相关参数，间接判断流体在岩

石中渗透能力。井眼工程参数测量技术实时监测钻井状态，井斜角测量借助重力加速度传感器记录井眼轴线与铅垂线夹角；方位角测量通过地磁传感器或陀螺仪确定井眼轨迹在水平面投影方向；钻压与扭矩测量通过钻具上的传感器，直接获取钻井过程中作用力与旋转力矩数据。流体参数测量技术聚焦地层流体特性，地层流体质测量分析流体电阻率、介电常数等参数，区分油、气、水等类型；含油气饱和度测量结合电阻率与孔隙度数据，通过特定公式计算油气在孔隙流体中所占比例。

### 1.3 随钻测井数据处理与解释技术

实时数据预处理技术是保障数据准确性的关键，数据降噪通过滤波算法剔除传输与测量过程中引入的干扰信号，保留有效信息；数据校正针对仪器误差、环境影响等因素，通过预设校正模型调整数据偏差；格式标准化将不同设备输出的异构数据转化为统一格式，为后续处理提供一致基础。地层解释模型构建技术基于测井数据建立分析模型，岩性识别模型通过机器学习或统计方法，关联测井参数与已知岩性样本，实现未知地层岩性自动判断；储层评价模型整合孔隙度、渗透率、含油性等多参数，设定评价标准划分储层等级，筛选优质储层。数据可视化与实时反馈技术将处理结果转化为直观形式，通过图表展示参数变化趋势与差异，呈现井眼轨迹，让现场人员快速理解数据含义，及时调整钻井策略，辅助现场决策制定。

## 2 石油勘探开发中随钻测井技术的应用现状

### 2.1 勘探阶段应用

在勘探阶段，随钻测井技术通过实时地层评价为储层识别提供重要依据。技术人员借助随钻过程中获取的电阻率、伽马射线等多维度数据，能够快速判断地层岩性特征，清晰掌握储层厚度、孔隙度等发育情况，为后续勘探决策提供第一手资料。该技术还能辅助圈闭验

证与储量估算工作,将测井数据与地质分析相结合,有效验证勘探圈闭的含油气潜力,进一步提高储量评估的准确性。此外,依据随钻获取的地层数据,技术人员可及时调整探井并眼轨迹,在复杂构造区域避开非储层夹层,优化钻井方向,显著提高储层钻遇率,降低勘探成本,提升勘探成功率。通过对不同区域勘探数据的积累,还能为后续同类区块勘探提供可参考的经验模式,减少重复试错环节,缩短勘探周期。

## 2.2 开发阶段应用

进入开发阶段,随钻测井技术在生产井储层动态监测方面发挥重要作用。通过实时获取储层孔隙度、渗透率及流体饱和度等参数变化信息,技术人员能够准确掌握开发过程中储层的动态情况,据此及时调整注采方案、生产压力等开发策略,确保开发作业始终处于高效状态。在水平井开发中,该技术可实现对水平井轨迹的精准控制,依据随钻数据实时校正井眼位置,不断优化井眼在储层中的穿行路径,最大限度提高储层接触面积,有效提升水平井产能<sup>[2]</sup>。随钻测井技术还能实时监测钻井过程中的各类隐患,如井眼垮塌、卡钻等问题,通过参数异常变化提前发出预警信号,为钻井作业安全提供有力保障,减少事故发生概率,保障开发作业顺利推进。结合历史开发数据对比分析,还能更精准预判储层长期变化趋势,为长期开发规划制定提供数据支撑,延长油藏开发寿命。

## 2.3 技术应用的基础现状

从技术应用的基础现状来看,随钻测井设备的覆盖范围与适配性不断提升。针对不同井型,如直井、斜井、水平井等,以及不同地层条件,包括复杂岩性地层、高压高温地层等,相关设备已逐步实现广泛应用,设备性能不断优化,能够满足多样化的勘探开发需求。在数据采集方面,当前技术对关键参数的测量精度持续提高,无论是地层孔隙度、渗透率,还是流体性质等参数,测量结果的准确性均能满足实际作业要求。数据传输延迟大幅缩短,测井数据可快速传递至地面处理系统,为实时决策提供及时支持。在数据应用环节,测井数据与地质建模、开发方案的结合程度日益紧密。通过将测井数据有效融入地质建模过程,可提高地质模型的准确性,进而为开发方案的制定与优化提供可靠依据,实现测井数据价值的最大化发挥,推动石油勘探开发行业向更高效率、更高质量方向发展。

## 3 石油勘探开发中随钻测井技术应用的现存问题

### 3.1 复杂地层适应性弱

在石油勘探开发涉及的各类地层中,高盐、高孔

隙、非均质等复杂地层对随钻测井技术的适应性提出更高要求。这类地层的物理化学性质特殊,会对测井设备的测量过程产生干扰。例如高盐地层中的离子成分可能影响传感器信号,高孔隙地层的结构不均会导致测量数据波动,非均质地层的岩性突变则增加参数捕捉难度,最终使得测量精度下降,难以准确反映地层真实情况,给后续储层判断与开发决策带来阻碍,甚至可能导致对储层潜力的误判。尤其在页岩油、煤层气等非常规储层中,复杂的矿物组成与孔隙结构会进一步放大测量偏差,加剧储层评价的不确定性。

### 3.2 数据传输效率不足

数据传输是随钻测井技术实现实时应用的关键环节,当前部分传输方式存在明显短板。钻井液性能会直接影响传输介质的稳定性,当钻井液黏度、密度不符合传输要求时,数据信号易出现衰减。井深增加也会加剧传输难度,信号在长距离传输中易受干扰,导致数据传输速率降低,甚至出现数据丢失、传输中断等情况。这种不稳定的传输状态无法满足实时分析与决策需求,延缓作业进程,尤其在紧急工况下,可能错过最佳调整时机。对于超深井与大位移水平井,传输路径的复杂性还会进一步延长数据延迟时间,难以匹配高效钻井的节奏。

### 3.3 多参数协同解释难度大

随钻测井过程中会采集地层、井眼、流体等多维度数据,这些数据相互关联、相互影响,需要进行协同分析才能准确解读地下情况。但当前技术在数据关联处理上存在不足,缺乏高效的整合分析方法,难以建立各参数间的有效联系。工作人员在解读数据时,容易忽视参数间的内在关联,导致对地层结构、流体性质等判断出现偏差,解释准确性受限,进而影响勘探开发方案的合理性,增加方案调整的频率与成本。此外,不同来源数据的格式差异与精度不均,也会加大协同分析难度,难以形成统一的解释标准。

### 3.4 设备运维与可靠性待提升

随钻测井设备需在井下高温、高压、高磨损的恶劣环境中长时间工作,设备部件易出现损耗、老化等问题,故障发生率较高。设备出现故障后,不仅需要投入大量人力、物力进行维修更换,增加维护成本,还会导致钻井作业被迫中断。频繁故障与停机不仅降低设备使用效率,还会打乱作业计划,对整体勘探开发进度造成不利影响,设备的可靠性与运维水平亟待提升,以适应高强度、复杂环境下的作业需求。部分核心部件依赖进口,备件采购周期长,进一步延长故障修复时间,加剧对作业连续性的影响。

## 4 石油勘探开发中随钻测井技术的优化方向

### 4.1 提升复杂地层适配能力

提升复杂地层适配能力需从硬件升级与算法优化双管齐下。研发抗干扰的测量传感器要针对高盐、高孔隙、非均质等复杂地层特性，采用新型敏感元件与屏蔽技术，减少地层中离子干扰、岩性不均对测量信号的影响，确保传感器在恶劣地层环境中仍能稳定捕捉岩性、孔隙度等关键参数<sup>[3]</sup>。优化数据校正算法需结合不同复杂地层的地质特征，建立专属校正模型，通过对比历史测井数据与实际地层情况，不断调整算法参数，消除地层干扰因素带来的测量偏差，进一步减少地层环境对测量的影响，让测井数据更精准反映真实地层状况，为后续储层评价与开发决策提供可靠依据。

### 4.2 优化数据传输技术

优化数据传输技术需兼顾现有技术改进与新技术探索。改进现有传输模块性能要针对泥浆脉冲、电磁等传统传输方式的短板，升级泥浆脉冲发生器的信号强度与传输效率，增强电磁传输模块的抗干扰能力，减少钻井液性能波动、井深增加对传输的不利影响。探索新型高效传输方式可重点关注光纤传输技术，利用光纤传输速率高、抗干扰性强的优势，突破传统传输方式的速率瓶颈；同时研究适用于深井、超深井的新型无线传输技术，通过技术创新提升数据传输速率与稳定性，确保随钻测井数据能实时、完整地传输至地面，避免因数据延迟或丢失影响钻井作业决策。

### 4.3 强化多参数协同解释

强化多参数协同解释需构建完善的数据处理与分析体系。构建多维度数据融合模型要整合地层、井眼、流体等多维度测井数据，打破不同参数间的信息壁垒，通过数据标准化处理将各类参数转化为统一格式，为协同分析奠定基础。引入智能算法挖掘参数间关联可采用机器学习、深度学习等算法，对海量测井数据进行训练学习，识别不同参数间的潜在关联规律，如地层岩性与孔隙度、含油气饱和度的关联关系，井斜角与储层钻遇率

的映射关系等。通过模型构建与算法应用，提升多参数协同解释的准确性，让测井数据能更全面、深入地反映储层与钻井状态，为勘探开发提供更科学的解释结果。

### 4.4 增强设备可靠性与运维效率

增强设备可靠性与运维效率需从设备制造与运维管理两方面发力。采用耐高温、高压、抗腐蚀的材料制造仪器要选用特种合金、陶瓷复合材料等高性能材料，提升井下仪器对钻井过程中高温、高压环境的耐受能力，减少钻井液腐蚀对仪器部件的损耗，延长设备使用寿命，降低故障发生率。建立设备健康状态监测系统需在仪器关键部件安装状态传感器，实时采集设备运行参数，如温度、压力、振动频率等，通过数据分析判断设备健康状况，提前预警潜在故障风险。同时制定标准化运维流程，明确设备巡检、维护、更换的周期与要求，提升运维效率，避免因设备故障导致钻井作业中断，保障随钻测井作业持续稳定开展。

## 结束语

随钻测井技术作为石油勘探开发的关键支撑技术，其核心构成体系完善，在勘探与开发阶段均展现出显著应用价值，但仍面临复杂地层适配、数据传输等方面的问题。通过针对性优化，该技术将更贴合行业需求，进一步提升对勘探开发的支撑能力。未来，随着技术持续创新，随钻测井技术有望在更多复杂场景中实现突破，为石油勘探开发应对资源勘探难度加大、开发要求提高等挑战提供有力保障，推动行业向更高效率、更高质量方向发展。

## 参考文献

- [1]薛晓卫.随钻测量技术的发展现状和前景研究[J].化工管理, 2022(18): 161-164.
- [2]周玉旋.页岩气钻井中随钻测井技术的应用分析[J].内蒙古煤炭经济, 2022(02): 178-180.
- [3]王延文,叶海超.随钻测控技术现状及发展趋势[J].石油钻探技术,2024,52(1):122-129.