

测井技术在石油工程中的应用分析与发展思考

韩立勇

中石化经纬有限公司胜利测井公司 山东 东营 257000

摘要: 测井技术通过特制井下仪器获取地层与井筒信息,涵盖岩性、物性等内容,为石油工程提供数据支撑。包括常规与特殊测井技术,在勘探、钻井、完井、开发生产各环节有广泛应用。未来发展需在高精度仪器研发、智能化技术应用、应用模式优化、绿色高效及行业协同等方面发力,以提升石油工程效率与效益,保障能源稳定供应。

关键词: 测井技术;石油工程;应用分析;技术创新;行业协同

引言:石油工程中,测井技术作为连接勘探与开发的核心纽带,承担着获取地层与井筒关键信息的重任。从勘探阶段的地层岩性识别、储层物性评价,到开发阶段的井眼轨迹控制、完井质量检测,再到生产阶段的动态监测与修井指导,测井数据贯穿全周期,为井位部署、开采方案调整等决策提供科学依据。随着油气资源开发向深层、非常规领域延伸,测井技术需在精度、效率、适应性上持续突破,以应对复杂地质条件下的技术挑战。

1 测井技术相关理论基础

1.1 测井技术的定义与核心内涵

测井技术的本质是通过特制井下仪器深入井筒,在钻井、完井及生产全过程中持续获取地层与井筒信息的技术体系。这些信息不仅涵盖地层岩性、物性、含油性,还包括井筒结构完整性、流体流动状态等关键内容,能为石油工程从前期勘探到后期生产的各环节提供全面基础数据支撑^[1]。测井技术的核心功能包括地层评价、井筒监测、储层分析等,地层评价聚焦通过数据判断地层是否含油气、含油气潜力大小及分布范围,井筒监测关注井筒套管是否存在腐蚀变形、流体是否窜漏等问题,储层分析则深入剖析储层孔隙度、渗透率等参数与产能的关联关系,三者相互配合,共同构成测井技术服务石油工程的核心能力,确保从勘探到生产各阶段都能获得精准且贴合需求的数据参考。

1.2 测井技术的分类与技术原理

常规测井技术中,电阻率测井通过向地层发射稳定电流,根据不同地层对电流的阻碍程度差异,测量地层电阻变化来判断含油性,通常地层电阻越高,含油性越好;声波时差测井利用声波在不同岩性、不同孔隙度地层中传播速度的差异,通过记录声波传播时间差,分析地层孔隙度大小与岩性类型;密度测井通过向地层发射伽马射线,探测地层对伽马射线的吸收程度,再根据吸

收规律计算地层密度,进而推断地层孔隙度。特殊测井技术里,成像测井借助井下高清摄像头或多组阵列传感器,生成井筒周围地层的二维或三维图像,能直观呈现地层裂缝、溶洞、层理等细微地质特征;核磁共振测井利用特定强度磁场与地层流体中氢原子核的相互作用,通过检测原子核共振信号,分析流体类型(油、气、水)与含量比例;阵列感应测井通过多组不同间距的线圈组合,同时获取不同深度地层的电阻率数据,有效提高纵向分辨率,精准识别薄储层。测井数据采集与处理的基本流程始于井下仪器在井筒内按预设深度间隔获取信号,信号经电缆传输或无线传输技术传递至地面数据接收系统,再通过专业软件对原始信号进行降噪、校正等解析处理,结合区域地质背景知识完成数据解释,最终形成可供石油工程决策使用的成果报告。

1.3 测井技术在石油工程中的定位与价值

测井技术是衔接石油勘探与开发的关键技术纽带,勘探阶段通过测井获取的地层岩性、含油性等数据,可直接用于开发阶段井位部署的合理性判断、开采方案的优化设计,有效避免勘探与开发环节因数据断层导致的决策偏差。为石油工程决策提供数据支撑的核心意义体现在,从勘探阶段井位选择、储层储量估算,到开发阶段完井方式确定、射孔位置选取,再到生产阶段开采参数调整、修井方案制定,每一项关键决策都需以测井数据为科学依据,大幅减少决策的盲目性。在提升石油资源勘探效率方面,测井技术可快速区分有效储层与非储层,缩短勘探周期,减少无效钻井成本;在开发效益提升上,通过实时监测储层动态变化与井筒运行状态,及时调整开采策略,既能提高资源开采率,又能减少资源浪费与设备维护成本,成为石油工程高效、稳定推进的关键支撑。

2 测井技术在石油工程各环节的应用分析

2.1 石油勘探阶段的测井技术应用

地层岩性识别通过分析不同测井曲线特征实现,砂岩在电阻率测井中因含油或孔隙发育常表现为较高电阻值,泥岩因黏土成分多电阻值较低,碳酸盐岩则因孔隙大小、裂缝发育情况不同呈现差异化电阻响应,结合声波时差测井曲线中不同岩性声波传播速度的明显差异,可准确区分砂岩、泥岩、碳酸盐岩等主要岩性类型,为后续储层筛选提供基础。储层物性评价利用多种测井数据协同分析,密度测井通过地层对伽马射线的吸收程度计算孔隙度,声波时差测井借助声波传播时间差辅助验证孔隙度结果,电阻率测井结合核磁共振测井对流体信号的敏感特性,能精准推断含油饱和度,再通过成熟经验模型将孔隙度与渗透率关联,明确储层存储油气与允许流体渗流的能力,判断储层是否具备开采价值。地质构造分析借助多口井的测井资料横向对比,通过观察同一标准地层在不同井中的深度偏移、岩性组合突变情况,辅助判断断层存在与否及走向,结合声波测井曲线对地层层理的清晰响应,识别褶皱构造的隆起与凹陷形态及分布范围,为勘探区域构建三维地质模型提供关键数据支撑。

2.2 油井钻井阶段的测井技术应用

随钻测井技术在钻井过程中实时获取井眼轨迹数据,通过连续监测井斜角、方位角变化,及时发现井眼偏离设计路径的情况并调整钻进方向,确保井眼精准穿越目标地层;实时采集地层压力数据,当压力异常升高时及时预警以预防井喷风险,跟踪钻井液密度、黏度等性能变化,判断地层是否存在漏失或钻井液污染地层的问题,为钻井作业安全提供动态保障。井眼质量评价通过井径测井曲线的形态变化判断井径规则性,若曲线显示井径局部扩大,往往提示该段井壁岩石稳定性差易坍塌,需立即调整钻井液黏度与护壁性能;结合声波测井数据中井壁附近岩石声波传播速度的异常变化,提前识别易发生井塌、卡钻的风险区域,减少钻井过程中的突发事件^[2]。钻井参数优化依据随钻测井反馈的地层岩性实时变化,当地层硬度显著增加时,适当降低钻井速度并更换耐磨型钻头以保护设备,当地层松软易垮塌时,调整钻井液黏度增强护壁效果防止井眼坍塌,通过动态调整钻井参数平衡作业效率与井眼质量。

2.3 油井完井阶段的测井技术应用

储层保护评估通过对比完井作业前后的测井数据,重点分析完井液侵入储层后电阻率、孔隙度的变化趋势,若电阻率明显降低、孔隙度较完井前减小,表明完井液中的固相颗粒堵塞储层孔隙或与地层流体发生反应,导致储层受到伤害,据此量化判断伤害程度并制定

针对性解堵措施,减少对储层产能的影响。套管质量检测中,声波测井通过向套管发射声波并接收反射信号,根据声波传播时间差异判断套管壁厚是否均匀、接箍连接处是否牢固无缝隙;电磁测井则利用电磁感应原理,当套管存在腐蚀变薄或孔洞时,感应信号会出现异常变化,通过分析信号特征可精准定位问题位置,确保套管密封性满足长期生产过程中的耐压与防窜需求。射孔方案制定结合电阻率测井反映的含油层段分布、核磁共振测井获取的含油饱和度数据,优先选择含油饱和度高、渗透率好的层位作为射孔目标,根据储层厚度与物性特点精确定射孔深度与射孔密度,避免因射孔位置偏差或密度不当导致储层沟通失效,保障油气流能顺畅从储层进入井筒。

2.4 油田开发与生产阶段的测井技术应用

生产动态监测通过生产测井中的流量测井仪器,在井筒内不同深度采集流体流量数据,生成油、气、水产量剖面,清晰呈现各生产层段的贡献比例,结合压力测井获取的井筒内压力分布数据,分析流体在储层与井筒间的流动规律,及时判断是否存在水窜、气窜等影响产能的问题。储层动态评价通过定期复测电阻率、声波时差等关键测井曲线,将新测数据与开发初期数据对比,分析储层压力的变化趋势与含油饱和度的衰减速率,掌握储层能量消耗与油气开采情况,为调整开采参数、制定地层能量补充方案(如注水、注气)提供科学依据。修井作业指导利用套管检测测井技术,通过特殊测井仪器精准定位套管破损、内壁结垢的具体深度与范围,借助成像测井直观观察井筒内堵塞物的形态、分布情况,为修井作业中的套管修复、清垢疏通工作提供精准位置参考,减少修井作业的盲目性,缩短修井周期以降低停产损失。

3 测井技术在石油工程中的发展思考

3.1 技术创新方向

高精度、耐高温高压测井仪器的研发需聚焦核心部件材质升级与结构优化,选用镍基合金、陶瓷等耐极端环境材料制作传感器外壳与核心组件,采用耐高温芯片与抗干扰电路设计,提升仪器在深井、高温高压地层中的运行稳定性,同时改进数据采集模块的信号放大与滤波功能,减少地层干扰信号对数据精度的影响,确保在复杂环境下仍能获取精准的地层岩性、孔隙度等关键数据。智能化测井技术发展需引入人工智能、机器学习算法,通过海量测井数据与地质资料训练构建自动解释模型,模型可自主识别测井曲线特征与地层响应规律,实现地层岩性分类、储层参数计算的自动化处理,减少人

工对数据解释的干预,降低人为经验误差,同时缩短解释周期,提升解释效率与准确性。一体化测井技术整合需打破不同技术间的数据壁垒与格式差异,开发兼容随钻测井、成像测井、核磁共振测井的统一数据处理平台,平台可实现多技术数据实时联动分析,通过随钻测井实时反馈的地层位置信息,引导成像测井重点扫描目标储层区域,结合核磁共振测井对流体类型的敏感特性验证储层含油性,形成“实时引导-精细扫描-数据验证”的协同应用体系。

3.2 应用模式优化方向

测井数据与地质建模、数值模拟的深度融合需建立标准化数据接口与映射关系,将测井获取的地层厚度、孔隙度、渗透率等参数按统一格式导入地质建模软件,结合地震数据构建精准三维地质模型,再将模型中的储层分布、物性分布数据接入数值模拟系统,模拟不同开采方案下的储层压力变化、油气运移规律,形成“测井数据-地质建模-数值模拟”一体化油藏评价体系,为开发方案优化与产能预测提供更全面的数据支撑^[1]。远程实时测井与决策支持系统建设需优化数据传输技术,采用卫星通信或高速无线传输模块实现测井数据从井下到地面再到云端的实时回传,搭建具备数据存储、解析、可视化功能的云端平台,配备专业技术团队远程分析数据并生成储层评价报告与决策建议,同时开发移动端应用程序,让现场钻井、完井人员通过终端及时获取解析结果与操作指导,实现测井数据与工程决策的快速联动。

3.3 绿色与高效发展方向

低伤害测井技术研发需从仪器结构与测井液配方两方面改进,仪器端开发小直径、低摩擦测井仪器,减少对井眼壁的刮擦与扰动,降低井塌风险;测井液端研发无固相、低黏度、可降解的环保型测井液,避免固相颗粒堵塞储层孔隙,减少化学物质对地层流体与周边环境的污染,同时优化测井作业流程,通过提前规划测井顺序、精简设备起下次数,缩短在井作业时间,进一步降低对储层与环境的影响。轻量化测井设备与流程优化需采用模块化、小型化设计理念,将测井主机、传感器、数据采集器拆分为独立小型模块,模块重量控制在便于

人工搬运或小型车辆运输的范围,减少大型运输设备投入;流程端制定标准化作业手册,明确测井前设备检查、测井中数据记录、测井后设备回收的具体步骤,减少现场操作的随意性,提升作业效率,缩短单井测井周期,降低设备运输与现场作业成本。

3.4 行业协同发展方向

石油企业与科研机构的技术合作需建立长期稳定的合作机制,石油企业结合现场勘探开发需求,向科研机构提供复杂储层测井难题、实测数据与应用场景反馈,科研机构聚焦这些技术痛点开展针对性研发,如针对页岩油储层研发专用测井仪器、针对高矿化度地层优化数据解释算法,研发成果优先在合作石油企业的工程现场进行测试与改进,加快技术从实验室到实际应用的转化落地速度。测井技术标准体系完善需由行业协会牵头,联合头部石油企业、科研机构共同制定统一标准,内容涵盖测井数据采集格式、存储编码规则、传输协议,明确储层参数解释方法、评价指标与误差允许范围,同时建立标准更新机制,结合新技术应用情况定期修订标准内容,确保标准的时效性与适用性,提升不同企业、不同设备获取的测井数据的可比性与共享性,推动行业整体应用水平提升。

结束语

测井技术是石油工程不可或缺的支撑,在各环节发挥着关键作用。面对石油工程发展的新需求,测井技术在仪器研发、智能化应用、应用模式优化、绿色高效及行业协同等方面有着明确的发展方向。通过不断技术创新与模式优化,测井技术将更好地服务于石油工程,提高资源勘探开发效率,为保障能源安全、推动石油行业可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]陈继胜,赵创,刘士潮.声学测井技术在石油工程中的应用研究[J].石化技术,2024,31(8):141-143.
- [2]崔猛.声学测井技术在石油工程中的应用探索[J].石化技术,2024,31(12):108-110.
- [3]冉强,蔡键键.测井技术在石油工程中的应用新进展[J].石化技术,2024,31(5):156-158.