

石油测井中测井仪器的运用与技术

阙世强

中石化经纬有限公司胜利测井公司 山东 东营 257000

摘要：石油，作为全球经济发展的“血液”，其勘探开采工作至关重要。本文围绕石油测井中测井仪器展开研究。先阐述了石油测井及测井仪器的基本概念，接着指出测井仪器运用面临复杂环境影响、精度与分辨率提升困难、数据处理与传输存在瓶颈、兼容性和集成化有困境以及维护校准复杂等挑战。然后介绍了电磁流量计、数控测井仪、探测传感器、声波测井和核测井等关键技术。最后提出通过应用新型材料与制造工艺、发展智能算法与数据分析技术、创新优化数据传输技术、构建统一标准与加强协同合作以及建立智能化维护与校准体系等应对策略，以推动石油测井技术发展。

关键词：石油测井；测井仪器；运用；技术

引言：石油测井在石油勘探开发中占据关键地位，而测井仪器作为获取地下油藏信息的核心工具，其性能和技术水平直接影响着测井数据的准确性和可靠性。随着石油勘探向更深、更复杂地层推进，对测井仪器的要求也越来越高。然而，当前测井仪器在实际运用中面临着诸多挑战，如复杂环境的干扰、精度提升的难题等。因此，深入研究测井仪器的运用与技术，解决现存问题，对于提高石油勘探开发效率和效益具有重要的现实意义。

1 石油测井及测井仪器概述

石油测井是一种在石油勘探与开采过程中，通过专业仪器对井下地质状况、油藏特性等进行测量与分析的关键技术手段。其目的在于精准获取地层岩性、孔隙度、渗透率以及含油饱和度等重要参数，为油藏评价、储量计算、钻井决策以及后续开采方案的制定提供坚实的数据支撑。测井仪器作为实现这一目标的核心载体，种类繁多且各具独特功能。按测量原理划分，有电法测井仪器，通过测量地层的电学特性来推断地质信息；声波测井仪器，利用声波在不同介质中的传播特性，分析地层的岩性和孔隙结构；放射性测井仪器，借助放射性与地层的相互作用，获取地层的密度、中子孔隙度等数据^[1]。这些仪器犹如地质学家伸向地下的“触角”，能在千米深的井下，以高分辨率采集各类数据，帮助人们洞察油藏的真实面貌，成为石油工业中不可或缺的关键装备，为高效勘探开发石油资源发挥着极为重要的作用。

2 石油测井中测井仪器运用面临的挑战

2.1 复杂环境对测井仪器的影响

石油测井常常处于高温、高压、高湿度且含腐蚀性物质的复杂井下环境。高温会使仪器电子元件性能劣化，

缩短使用寿命，甚至造成电路短路；高压可能导致仪器外壳变形，影响内部结构稳定性；高湿度易引发仪器内部结露，腐蚀线路板。而井下的腐蚀性物质，像含硫地层流体，会侵蚀仪器金属部件，降低仪器机械强度。复杂多变的地层结构还会产生强烈震动和冲击，致使仪器零部件松动，影响测量准确性与可靠性，严重制约测井仪器在恶劣环境下的稳定运行。

2.2 仪器精度与分辨率的提升难题

随着石油勘探开发向深部、复杂储层迈进，对测井仪器精度和分辨率要求愈发严苛。当前仪器在测量地层参数时，受限于传感器技术与测量原理，难以精确捕捉微小变化。例如在薄互层储层，现有仪器分辨率不足以清晰分辨不同岩性地层边界，导致储层参数解释误差大。并且仪器在测量过程中易受噪声干扰，无论是外界环境噪声，还是仪器自身电路噪声，都会掩盖微弱有效信号，使得测量精度难以提升。在追求高精度与高分辨率的路上，面临着材料、工艺以及信号处理技术等多方面瓶颈。

2.3 数据处理与传输的技术瓶颈

石油测井会产生海量数据，数据处理与传输面临严峻挑战。一方面，井下测量数据需经过复杂算法处理才能转化为有价值的地质信息，但现有数据处理系统运算速度慢，难以在短时间内完成大量数据解算，影响测井作业效率。另一方面，从井下到地面的数据传输易受干扰，传输速率低。传统电缆传输受线缆长度、信号衰减限制，难以满足大数据量快速传输需求；无线传输虽有发展，但在复杂井下环境中，信号易受地层屏蔽、干扰，出现丢包、误码等问题，导致数据传输不稳定，严重制约测井数据实时性与完整性。

2.4 仪器的兼容性与集成化困境

在石油测井作业中,常需多种测井仪器协同工作,但不同厂家生产的仪器在接口标准、数据格式、通信协议等方面存在差异,导致仪器兼容性差。例如某一新型测井仪器可能无法与已有的测井系统无缝对接,需额外进行适配改造,增加成本与作业难度。同时,实现仪器集成化也困难重重,将多种功能模块集成在一个仪器内,会面临空间布局、电磁兼容等问题。各功能模块工作时产生的电磁干扰可能相互影响,降低仪器整体性能,使得仪器兼容性与集成化成为制约测井技术发展的关键难题。

2.5 仪器维护与校准的复杂性

石油测井仪器结构精密、技术复杂,维护与校准难度大。井下作业环境恶劣,仪器易受损,且故障排查困难,因为仪器内部故障可能由多种原因导致,难以快速定位。校准方面,仪器需定期校准以保证测量准确性,但不同类型仪器校准方法和标准不同,且校准过程需专用设备与技术人员。在野外作业时,缺乏完善校准条件,校准精度难以保证。此外,仪器更新换代快,新仪器的维护与校准资料相对匮乏,进一步增加了仪器维护与校准工作的复杂性,影响仪器正常使用与测量精度^[2]。

3 石油测井中测井仪器的关键技术

3.1 电磁流量计技术

电磁流量计技术基于法拉第电磁感应定律工作。当导电的流体(如地层中的油水混合物)在磁场中流动时,会切割磁力线,进而在与流体流动方向和磁场方向都垂直的电极上产生感应电动势。该电动势与流体流速成正比,通过测量电动势,就能精准计算出流体流量。其优势显著,测量不受流体密度、黏度、温度和压力变化的影响,可提供高精度的流量数据。在石油测井中,常用于测量油井产出液中各相流体的流量,帮助工程师准确了解油井的生产动态,判断油层的产能状况。例如,在油水同层的油井中,能清晰区分油和水的流量,为优化开采方案提供关键依据,有助于提高油井采收率,减少无效开采作业,在油田生产管理与油藏动态监测中发挥着重要作用。

3.2 数控测井仪技术

数控测井仪技术实现了测井过程的数字化与自动化控制。它以计算机系统为核心,对测井数据采集、传输、处理等环节进行精准调控。通过预先设定测量程序,仪器能自动完成多种参数的测量任务。在数据采集方面,具有高分辨率与高精度,可获取更丰富、准确的地层信息。例如,在测量地层电阻率时,能精确分辨不

同地层的细微差异。其数据传输采用数字通信方式,相较于传统模拟传输,抗干扰能力强,数据传输更稳定、高效,大幅减少了数据失真与丢失。数控测井仪还具备强大的数据处理功能,可在现场实时对采集数据进行分析、解释,快速生成直观的测井成果图。这种技术极大地提高了测井作业效率,降低了人工操作误差,为石油勘探开发提供了更可靠、及时的决策支持,广泛应用于各类复杂地质条件下的测井作业。

3.3 探测传感器技术

探测传感器技术是测井仪器感知地层信息的关键。不同类型的探测传感器基于不同物理原理,如电、声、光、核等,来探测地层特性。以电阻率传感器为例,利用地层岩石及所含流体的导电特性差异,测量地层电阻率,从而判断地层岩性、含油饱和度等信息。其设计不断向高灵敏度、高分辨率方向发展,能够捕捉到地层微小变化。例如,新型纳米材料制成的传感器,对微弱信号响应更灵敏,可探测到更薄地层的信息。此外,传感器的集成化趋势明显,将多种功能的传感器集成在一起,能同时获取多个地层参数,减少仪器尺寸与重量,便于井下作业。在复杂地层测井中,探测传感器技术的发展使得对地层信息的获取更全面、准确,为地质学家深入了解地下油藏结构提供了有力工具。

3.4 声波测井技术

声波测井技术利用声波在不同介质中的传播特性来获取地层信息。当声波在井下传播时,遇到不同岩性的地层会发生反射、折射和衰减等现象。通过测量声波的传播时间、幅度、频率等参数,可推断地层的岩性、孔隙度、渗透率等重要特性。例如,在疏松砂岩地层中,声波传播速度较慢,根据这一特性可计算出地层孔隙度。声波测井还能有效识别裂缝,当声波遇到裂缝时,能量会发生特殊变化,通过分析这些变化可确定裂缝的位置与规模。在石油勘探中,该技术对于评估储层质量、预测油气分布具有重要意义,为油藏评价提供了关键数据。并且,随着多极子声波、阵列声波等新技术的发展,声波测井能获取更丰富、准确的地层信息,应用范围不断扩大。

3.5 核测井技术

核测井技术借助放射性源与地层的相互作用来探测地层特性。常用的有伽马射线测井和中子测井。伽马射线测井通过测量地层自然伽马射线强度或人工放射性伽马射线的散射、吸收情况,判断地层岩性,识别泥质含量。例如,泥岩地层通常具有较高的自然伽马射线强度。中子测井则利用中子与地层原子核的相互作用,测

量地层的中子孔隙度，对于判断储层孔隙结构与含油情况十分有效。核测井技术不受泥浆侵入影响，能在复杂井况下准确获取地层信息，在评价深层、复杂地层的油藏时发挥着不可替代的作用，为石油勘探开发提供了重要的技术支撑，帮助地质工程师更精准地评估地下油藏潜力^[3]。

4 石油测井中测井仪器运用技术的应对策略

4.1 新型材料与制造工艺的应用

面对复杂井下环境，新型材料成为提升测井仪器性能的关键。采用耐高温、高压且抗腐蚀的新型合金材料制造仪器外壳，如镍基合金，能极大增强仪器在高温高压高腐蚀环境中的耐受性，降低仪器故障率。在电子元件方面，引入碳化硅等宽禁带半导体材料，可显著提升元件在高温下的稳定性与工作效率，保障测量精度。先进制造工艺同样不可或缺，3D 打印技术能够实现仪器零部件的个性化定制，制造出复杂结构，优化仪器内部布局，提高空间利用率。

4.2 智能算法与数据分析技术的发展

智能算法与数据分析技术为处理海量测井数据提供有效途径。利用深度学习算法，如卷积神经网络，可对测井图像数据进行智能识别，精准判断地层岩性、裂缝分布等复杂地质特征，大幅提高解释准确性。在数据降噪方面，采用自适应滤波算法，能根据井下环境动态调整滤波参数，有效去除噪声干扰，提升数据质量。聚类分析算法则有助于对多参数测井数据进行分类，挖掘数据间潜在关系，辅助地质学家更深入理解地层特性。通过这些智能算法，可从繁杂数据中快速提取有价值信息，为石油勘探开发决策提供科学依据，显著提升测井数据的应用价值，推动石油测井向智能化、精准化方向发展。

4.3 数据传输技术的创新与优化

创新数据传输技术是解决测井数据传输难题的核心。在有线传输方面，研发新型高速测井电缆，如采用光纤与铜缆混合的复合电缆，结合光纤的高带宽与铜缆的可靠性，大幅提升数据传输速率，减少信号衰减。对于无线传输，利用 5G、超宽带等先进无线通信技术，优化井下信号传输环境，增强信号抗干扰能力。同时，开发高效的数据压缩算法，在不损失关键信息的前提下，减少数据传输量，提高传输效率。这些技术的应用能确保测井数据快速、稳定地从井下传输至地面，为实时测

井分析与决策提供有力支持。

4.4 构建统一标准与加强协同合作

构建统一标准对解决仪器兼容性与集成化问题至关重要。制定统一的仪器通信接口标准、数据格式标准以及测量规范，使不同厂家生产的测井仪器能实现无缝对接与协同工作。加强产学研用协同合作，促进科研机构、高校、仪器制造商与石油企业间的深度交流。科研机构与高校提供前沿技术研究，仪器制造商将技术转化为产品，石油企业反馈实际应用需求，通过各方紧密合作，加速新型测井仪器的研发与推广，提升整个石油测井行业的技术水平与竞争力。

4.5 建立智能化维护与校准体系

智能化维护与校准体系能提高测井仪器的可靠性与准确性。利用物联网技术，实时监测仪器工作状态，收集仪器运行参数，通过数据分析预测潜在故障，提前安排维护，降低仪器突发故障风险。在仪器校准方面，开发智能化校准软件，结合虚拟仿真技术，模拟不同地质条件下的测量环境，实现仪器的自动校准。同时，建立仪器维护与校准数据库，记录仪器全生命周期信息，为后续维护、升级提供数据支持，保障测井仪器始终处于最佳工作状态^[4]。

结束语

在石油测井领域，测井仪器是获取关键地质信息的“先锋”。但从上述内容可见，仪器运用和技术发展障碍重重，环境干扰、精度局限、数据难题、兼容性困境及维护校准复杂等问题交织。不过，这些困境也点燃了创新的火种。展望未来，随着跨学科技术融合，新的耐高温、抗干扰材料，高效算法，统一接口标准等有望出现，助力测井仪器突破瓶颈，为石油勘探开发提供更精准、高效、稳定的技术支撑，推动行业迈向新高度。

参考文献

- [1]陈雪瑞.测井仪器在石油测井中的技术运用分析[J].工程地质学,2021.156-157
- [2]王肇晖.石油测井中测井仪器的技术应用[J].工程地质学,2023.198-199
- [3]唐雨辰.测井仪器在石油测井中的应用[J].建筑理论,2024.210-211
- [4]范重新.浅谈石油测井仪器的技术创新[J].建筑设计及理论,2021.256-257