

测井技术在油气田勘探开发中的应用

郭永春

延长石油股份有限公司井下作业工程部测井大队 陕西延安 716000

摘要：测井技术作为油气田勘探开发中的关键工具，其在地层评价、地质探测、钻采过程及油气藏描述中扮演着不可或缺的角色。本文详细探讨了从常规到新型的各类测井技术，并深入分析其在实际应用中的具体表现与挑战。通过对核测井、声波测井等技术的讨论，揭示了提高测量精度和分辨率、多源信息融合及智能化处理的重要性。此外，还强调了国际合作与交流对于推动测井技术进步的意义。综上所述，测井技术的发展不仅对提升油气田勘探开发效率至关重要，而且对于应对复杂地质条件下的勘探难题具有重大意义。

关键词：测井技术；油气田勘探；地层评价；核测井；声波测井

引言

测井技术自诞生以来，便成为油气田勘探开发领域不可或缺的重要手段之一。这一技术不仅能够提供地下岩石物理性质的详尽数据，还能帮助科学家和工程师们更精确地评估潜在油气储量，优化钻井方案，以及监控生产过程。随着科技的进步，测井方法经历了从传统向现代技术的演变，这其中包括了核测井、声波测井等高级技术的应用。这些技术的引入极大地提升了对地下构造的理解能力，同时也为解决复杂地质条件下勘探面临的挑战提供了可能。因此，研究并应用先进的测井技术，对于提高油气田勘探开发效率、降低成本、减少环境影响具有重要意义。

一、测井技术的概述

（一）测井技术的定义

测井技术指的是利用特定仪器设备，在不直接接触目标岩层的情况下，通过测量岩石及其流体的物理性质来获取地层信息的一系列方法。该技术依赖于地球物理学原理，如电学、声学、放射性等，以探测地层结构、岩石类型及其中包含的流体性质。测井过程中，井下探头沿着钻孔移动，连续记录不同深度处的物理参数变化，从而构建出反映地下情况的图像或数据集。这些数据不仅有助于确定储层位置和特征，还可以指导后续钻井作业的方向和策略选择，是实现高效油气田勘探开发的关键环节。

（二）测井技术中的常规技术

在测井技术的历史长河中，电阻率测井、自然伽马测井和声波测井构成了早期技术体系的核心。电阻率测

井通过检测地下岩层电阻率的变化，识别含油层与非含油层之间的差异。这种基于电学特性的方法，尽管简单却有效，广泛应用于初步勘探阶段。自然伽马测井则关注岩石中放射性元素含量的测量，以此区分砂岩、页岩等不同类型沉积物。这种方法在判断地层岩性和划分地质单元方面发挥了重要作用。声波测井通过记录声波在地层中传播的速度，间接推断岩石密度及孔隙度等重要参数。

（三）测井技术中的新型技术

近年来，随着科技发展，一系列新型测井技术逐渐崭露头角，包括核磁共振测井、成像测井等先进技术。核磁共振测井利用核磁共振现象，直接测量地层孔隙空间内流体的分布情况，提供关于饱和度、可动流体体积等关键信息，极大提高了对储层特征的认识水平。成像测井技术则借助高分辨率传感器捕捉地层微细结构，生成二维或三维图像，使地质学家能够直观观察裂缝网络、层理方向等地质细节。这类新技术不仅克服了传统方法的局限性，还在数据采集速度、分辨率等方面实现了显著突破，为解决复杂地质条件下的勘探难题提供了强有力支持。

二、测井技术在油气田勘探开发中的应用

（一）地层评价及地质探测中测井技术的应用

在地层评价过程中，测井技术发挥着至关重要的作用。首先，电阻率测井结合自然伽马测井，能够准确识别不同类型的地质岩石，这对于理解地层序列和划分地质单元极为关键。其次，核磁共振测井提供的信息有助于评估储层孔隙结构及其内部流体特性，这对预测油气储量和规划开采方案有着不可替代的价值。另外，成像测井技术的应用使得地质学家可以直接观测地层内部微

观结构，如裂缝系统和层理特征，从而更全面地了解地层属性。

（二）油气钻采中测井技术的应用

在油气钻采阶段，测井技术同样不可或缺。钻井过程中，实时监测井下状况对于确保安全高效作业至关重要。例如，随钻测井（LWD）和电缆测井（WL）技术能够动态跟踪钻头前方地层特性，及时调整钻进参数，避免遇到不利地质条件导致事故。此外，核测井技术在评估钻遇地层的放射性元素含量方面表现出色，有助于进一步细化地质解释。同时，声波测井可用于测定地层压力梯度，指导完井设计，确保最佳生产性能。这些技术共同作用，保障了钻采作业的顺利进行，并最大限度地提高了资源回收率。

（三）油气藏描述中测井技术的应用

油气藏描述涉及多个层面的信息整合，测井技术在此间起到了桥梁的作用。利用测井资料，结合地震数据和其他地质信息，可以建立三维甚至四维油气藏模型。核磁共振测井提供的流体性质信息，结合电阻率测井得到的地层电性特征，能够精确描绘油气藏内部结构。成像测井则增强了对裂缝网络和孔隙连通性的认识，这对于制定合理的开发策略尤为重要。不仅如此，通过历史匹配和数值模拟，测井数据还被用于验证和优化油气藏模型，提高预测准确性，从而指导高效、经济的开采计划实施。

（四）核测井技术

核测井技术以其独特的物理机制，在油气田勘探开发中占据重要地位。它主要包括伽马射线测井、中子测井等多种形式。伽马射线测井通过测量天然放射性同位素发出的伽马射线强度，来判别地层岩性及其矿物成分。此方法特别适用于区分泥岩与砂岩等常见沉积岩类型。而中子测井则依据快中子与地层物质相互作用。

（五）石油测井中的应用

石油测井技术涵盖了从勘探到生产的全过程，尤其在确定油藏边界、评估产能潜力方面显示出巨大价值。电阻率测井与声波测井相结合，能精准定位油水界面，为油藏工程提供基础数据。核磁共振测井则进一步深化了对油藏内部流体分布的理解，有助于优化注水采油方案。与此同时，成像测井技术的应用使得地质学家能够细致观察油藏内部结构，包括裂缝系统和层理方向，从而更好地规划生产井布局。

（六）声波测井技术

声波测井技术凭借其对地层弹性特性的敏感性，在

油气田勘探开发中扮演了重要角色。该技术通过发射声波脉冲并接收反射信号，计算声波在地层中传播的时间和速度，从而推算岩石密度、孔隙度等关键参数。在复杂地质环境中，声波测井能够有效识别裂缝带和异常高压区域，为钻井路径规划提供科学依据。此外，声波测井还常用于监测井壁稳定性，预防井筒坍塌等风险。随着技术进步，全波形声波测井和阵列声波测井等先进方法不断涌现，大幅提升了数据质量和解析能力，促进了油气田勘探开发技术水平的持续提升。

三、测井技术在油气田勘探开发中的发展方向

（一）提高测量精度和分辨率

1. 研发更灵敏的传感器与高性能数据采集系统

研发更灵敏的传感器及更高性能的数据采集系统成为提升测井技术测量精度和分辨率的关键路径。精密传感器的设计与制造，使得对地层物理参数变化的捕捉能力显著增强，从而实现对岩石性质更加细致入微的理解。先进材料的应用和微电子技术的进步，赋予了传感器更高的灵敏度和稳定性，确保在复杂地质环境中亦能获取准确可靠的数据。数据采集系统的升级，则集中于提高采样频率和动态范围，以适应不同尺度下地质特征的探测需求。通过优化信号处理算法，能够有效抑制噪声干扰，进一步提升数据质量。集成化设计思路促使传感器与数据采集设备之间的无缝对接，确保信息传递高效无误，为后续数据分析奠定坚实基础。

2. 算法改进与软件升级

算法改进与软件升级对于提升测井技术的测量精度和分辨率具有不可忽视的作用。反演算法的发展，旨在从有限的测井数据中提取尽可能多的有效信息，通过对观测数据进行数学建模，可以重建地下介质的真实结构。复杂的数值模拟方法允许对多种可能解进行评估，最终确定最符合实际情况的解释结果。现代计算机技术的迅猛发展，使得大规模计算成为可能，极大地提高了数据处理效率。与此同时，用户界面友好的专业软件不断涌现，简化了操作流程，降低了使用门槛，使得非专业人士也能轻松上手。高级可视化工具的应用，不仅增强了数据呈现效果，还促进了跨学科团队间的沟通协作，为科学决策提供了强有力的支持。

3. 多维度数据融合与综合分析

多维度数据融合与综合分析有助于全面深化对地层特性的认识，从而提高测井技术的整体效能。将不同类型测井数据整合在一起，如电阻率、声波、核磁共振等，利用交叉验证的方法，可以弥补单一技术存在的局限性，

形成更为完整准确的地层描述。数据融合过程涉及复杂的数学运算和统计分析，需要开发专门的算法框架来实现异构数据的统一表示与处理。此外，智能化处理技术的应用，如机器学习和人工智能，可以在海量数据中自动识别模式，发现潜在规律，辅助地质学家做出精准判断。这种多源信息的深度融合，不仅提升了测井结果的可靠性，也为制定科学合理的勘探开发策略提供了有力依据。

（二）多源信息融合和智能化处理技术的应用

1. 集成地震与测井数据构建统一地层模型

集成地震与测井数据以构建统一的地层模型，成为提升油气田勘探开发效率的重要手段。在这一过程中，地震数据提供的宏观地质结构信息与测井数据揭示的微观岩石物理特性相互补充，形成对地下环境更加全面的认识。利用先进的数学算法和计算机技术，能够将来自不同来源的数据进行精确配准和融合，确保各种信息在空间上的准确对应。数据整合阶段，通过复杂的数据预处理步骤，消除噪声干扰并优化信号质量，使得最终生成的地层模型具备高度的可靠性和准确性。

2. 智能化处理技术在数据分析中的应用

智能化处理技术如机器学习和人工智能，在测井数据分析中展现出巨大潜力。这类技术的核心在于其能够自动识别模式、发现规律，并基于此作出预测或建议。具体而言，深度学习算法通过对大量历史测井数据的学习，建立起复杂的非线性映射关系，从而实现对新数据的有效解读。特征提取作为关键环节，旨在从原始数据中筛选出最具代表性的信息，以便于后续分析。与此同时，自然语言处理技术也开始应用于地质报告和文献的自动化解析，从中抽取有价值的知识用于指导实际操作。

（三）推动测井技术的绿色环保和安全生产发展

在全球倡导可持续发展的大背景下，测井技术也需要朝着绿色化和安全化的方向迈进。首先，研发低辐射或无辐射的新型测井工具，既能保护环境又能保障工作人员健康。其次，推广环保型钻井液和封堵材料，减少对地下水系的污染风险。再者，加强现场安全管理，制定严格的操作规程和技术标准，确保每一项作业都在安全可控范围内进行。通过以上措施，既有利于实现油气资源的清洁开发，也为行业长远健康发展奠定了良好基础。

（四）加强国际合作与交流

1. 合作方向

加强国际合作与交流是促进测井技术进步的有效途径之一。各国之间可以通过共享最新研究成果、联合开展科研项目等方式，拓宽视野，吸收国际前沿理念和技术。特别是在全球气候变化背景下，跨国合作对于探索低碳能源解决方案具有重要意义。此外，针对一些共性的技术难题，如极端环境下的测井作业，国际间的协作能够汇聚各方智慧，加速攻克难关。

2. 合作方式

在具体操作层面，国际合作可以通过多种方式进行。例如，举办国际研讨会和专题培训，邀请业内专家分享经验和见解；建立双边或多边科研基金，资助联合研究项目；设立开放实验室，供各国研究人员共同使用先进设备开展实验。这些合作方式不仅促进了知识流动和技术转移，也增进了彼此之间的理解和信任，形成了良性互动局面。

结语

综上所述，测井技术在油气田勘探开发中的应用范围广泛且深远，无论是地层评价还是钻采过程，再到油气藏描述，无不彰显其核心价值。核测井、声波测井等技术的不断创新与发展，为解决复杂地质条件下的勘探难题提供了强有力支持。提高测量精度和分辨率、多源信息融合及智能化处理技术的应用，将进一步推动测井技术向更高层次迈进。同时，推进绿色环保和安全生产也是行业发展的必然趋势。

参考文献

- [1] 王昊. 随钻测井技术在我国石油勘探开发中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022(24)
- [2] 杨凯. 油气田勘探开发中测井技术的应用研究[J]. 科技风, 2021(24)
- [3] 朱红璋, 马小飞, 简涌钱, 王亚男, 张依依. 油气田勘探开发中测井技术的应用研究[J]. 中国管理信息化, 2020(24)
- [4] 陈辉, 陈志强, 李海龙. 测井技术在地层评价中的应用[J]. 化工设计通讯, 2020(08)