

石油水平井生产测井仪器输送工艺的研究

曾 明

中石化经纬有限公司胜利测井公司 山东 东营 257100

摘 要：随着石油工业的不断发展，水平井技术已成为提高油气产量的重要手段。本文针对石油水平井生产测井仪器的输送工艺进行了系统研究，概述了水平井的基本概念与测井仪器的基本原理，详细分析了随钻测量法、钻杆输送测井法等多种输送工艺及其应用效果。重点探讨了输送工艺中的关键技术，旨在为石油勘探开发提供理论支持和实践指导，提升测井作业效率和数据质量。

关键词：石油水平井；生产测井仪器；输送工艺

引言：石油资源的勘探与开发面临诸多挑战，水平井技术的引入极大地提升了油气采收率。然而，水平井复杂多变的地质构造和长井段特性，对生产测井仪器的输送提出了更高要求。本研究聚焦于石油水平井生产测井仪器的输送工艺，旨在通过综合分析现有输送方法及其技术瓶颈，探索高效、安全的仪器输送策略，以提升测井数据质量，为油气田的高效开发提供坚实的技术支撑。

1 水平井测井仪器输送工艺的基础理论

1.1 水平井的基本概念与特点

（1）水平井的定义。水平井是指钻井过程中的井斜角接近或达到 90° ，并在目的层中维持一定长度的水平井段的特殊井。这种井型的设计旨在增大油气层的裸露面积，从而提高油气产量。（2）水平井的分类及特点。水平井按照曲率半径和水平段特性可以分为多种类型。大曲率半径水平井、中曲率半径水平井和小曲率半径水平井是主要的分类方式，它们各自的弯曲段造斜率不同，适用于不同的地质条件和开采需求。水平井的主要特点是能够平穿油层很长一段，显著增加油层的裸露面积，进而提高油气采收率。此外，水平井还适用于薄层油藏、低渗透油藏以及裂缝性油气藏的开发。

1.2 测井仪器的基本原理与构成

（1）测井仪器的类型及工作原理。测井仪器是用于测量地层参数的设备，其核心原理包括核磁共振、电阻率测量、声波测量等多种技术。例如，随钻核磁测井仪利用核磁共振原理测量地层中氢核的弛豫特性，反演获得孔隙度、渗透率等关键地质参数。电阻式阵列持水率仪则通过鉴别水和碳氢化合物的不同电导率来判断流体。（2）测井仪器的构成及关键部件。测井仪器通常由井下传感器、数据传输装置、电源系统以及保护设备等构成。井下传感器是测井仪器的核心部件，负责测量地层参数；数据传输装置负责将测量数据实时传输到地

面；电源系统为仪器提供电力支持；保护设备则用于保护仪器免受井下恶劣环境的影响^[1]。

1.3 测井仪器输送工艺的基本原理

（1）输送工艺的分类及适用范围。测井仪器输送工艺主要包括钻杆输送测井法、湿连接工具输送法、保护篮式工具输送法以及随钻测量法等。这些输送工艺各有特点，适用于不同的井型和地质条件。（2）各种输送工艺的优缺点对比。钻杆输送测井法稳定可靠，但操作复杂；湿连接工具输送法灵活高效，但对设备要求较高；保护篮式工具输送法适用于复杂井况，但成本较高；随钻测量法能够实时监测井眼轨迹，但技术难度较大。在实际应用中，需要根据井型、地质条件以及作业需求选择合适的输送工艺。

2 水平井测井仪器输送工艺的主要方法

2.1 随钻测量法

（1）随钻测量法的原理及工作原理。随钻测量法是在钻井作业的同时，实时获取井眼轨迹参数、地层特性参数等信息的技术。其核心原理是利用安装在钻铤上的传感器，如电阻率传感器、伽马射线传感器等，对周围地层进行探测。探测到的信号经数据处理模块转换为数字信号，再通过钻井液脉冲、电磁波等传输方式发送至地面接收设备。地面系统对接收的信号进行解析和处理，得到实时的测井数据，为钻井轨迹调整和地层评价提供依据。（2）随钻测量法的应用效果分析。随钻测量法能实时提供精确的井眼轨迹和地层信息，显著提高了水平井的钻井效率和油藏穿透率。在页岩气水平井开发中，应用该方法可使水平段与目的层的吻合度提升30%以上，单井产量平均增加20%。同时，减少了因钻井轨迹偏差导致的无效进尺，降低了钻井成本，缩短了钻井周期，在复杂油气藏的勘探开发中表现出显著的技术优势。

2.2 钻杆输送测井法

(1) 钻杆输送测井法的流程及操作步骤。钻杆输送测井法首先将测井仪器组合通过特殊接头与钻杆连接,然后利用钻机将钻杆连同仪器一起下入井中。当下放至距离目的层段一定距离时,停止下放钻杆,通过钻杆内的电缆将仪器推送至测井位置。测井过程中,实时传输数据至地面。测井完成后,先回收电缆,再将钻杆和仪器一同起出井口。操作时需严格控制下放速度和电缆张力,确保仪器安全运行^[2]。(2) 钻杆输送测井法的技术特点及应用范围。该方法的技术特点是输送能力强,可将仪器输送至深井、超深井及复杂井眼条件的水平井段。但作业流程较为繁琐,耗时较长,且需要钻井设备配合。其应用范围广泛,适用于各种类型的水平井测井,尤其是在井眼稳定性差、井斜度大的井中,能有效保障测井仪器的顺利输送和测井作业的完成。

2.3 泵入法

(1) 泵入法的原理及实施步骤。泵入法借助钻井液的水力作用,将测井仪器推送至水平井段。实施时,先将仪器放入井口,然后启动泥浆泵,通过钻杆向井内泵入高压钻井液。钻井液在井内形成的液流推动仪器沿着井眼移动,直至到达测井目的层。在推送过程中,通过调节泵压和流量,控制仪器的移动速度和位置。到达预定位置后,停止泵入钻井液,进行测井作业,测井完成后反向泵入钻井液将仪器回收。(2) 泵入法的优缺点及改进措施。泵入法的优点是设备简单、操作便捷,成本较低。但缺点也较为明显,受钻井液性能和井眼条件影响较大,当井眼存在不规则或井眼直径过大时,推送效率会大幅下降,甚至无法将仪器送达预定位置。改进措施包括优化钻井液性能,提高其携砂能力和流动性;设计专用的导向装置,减少仪器在井内的卡顿;采用分段泵入的方式,提高推送的稳定性和可靠性。

2.4 连续油管输送法

(1) 连续油管输送法的工艺流程及设备配置。连续油管输送法的工艺流程为:将测井仪器与连续油管端部连接,通过连续油管注入头将连续油管连同仪器一同下入井中。在输送过程中,连续油管不断从滚筒放出,注入头提供推进力。当下入至水平井段时,依靠连续油管的刚性和水力辅助,将仪器送至测井位置。测井数据通过连续油管内的电缆传输至地面。设备配置主要包括连续油管滚筒、注入头、动力系统、控制系统及测井仪器等。(2) 连续油管输送法的优越性及应用前景。该方法的优越性在于连续油管具有良好的柔韧性和强度,可适应复杂的井眼轨迹,且作业过程中无需频繁连接钻杆,减少了井口操作时间。同时,能实现带压作业,避免了

井喷等安全风险。其应用前景广阔,随着水平井技术的不断发展,在页岩气、煤层气等非常规油气藏的开发中,连续油管输送法将发挥越来越重要的作用,尤其在水平井的后期生产测井和修井作业中具有独特优势^[3]。

2.5 PCL输送工艺

(1) PCL输送工艺的原理及实施步骤。PCL输送工艺利用可降解材料制成的输送管,将测井仪器包裹其中,通过钻井液推送至水平井段。其原理是借助输送管的刚性和钻井液的推力,确保仪器准确到达测井位置。实施步骤为:将测井仪器装入PCL输送管内,密封后连接到钻具底部;将钻具和输送管一同下入井中,直至接近水平井段;通过泵入钻井液,推动输送管带着仪器进入水平井段;到达目的层后,PCL输送管在井内环境作用下逐渐降解,释放出仪器进行测井作业。(2) PCL输送工艺在水平井测井中的应用案例。在某油田的水平井测井项目中,应用PCL输送工艺取得了良好效果。该井水平段长度为1200米,井眼存在多处缩径和井眼不规则情况。采用传统方法多次尝试均未成功将仪器送达预定位置,而使用PCL输送工艺后,凭借输送管的良好通过性,顺利将仪器输送至测井位置,完成了全井段的测井作业,获取的测井数据质量满足地质分析要求,为该井的开发方案制定提供了可靠依据。

3 水平井测井仪器输送工艺中的关键技术

3.1 仪器定位与锁定技术

3.1.1 仪器定位与锁定的原理及方法

仪器定位技术主要基于多种测量手段实现精准定位。通过随钻测量系统实时获取井眼轨迹参数,结合地层电阻率、伽马射线等地质参数,利用数据融合算法确定仪器在水平井段的位置。此外,还可借助电磁定位技术,在仪器和地面分别设置发射与接收装置,通过电磁信号的强弱和相位变化计算仪器的具体坐标。锁定技术则是通过机械结构实现仪器的固定。常见的机械锁定装置有卡瓦式、爪式等,当仪器到达预定位置后,地面发出控制信号,使锁定装置的卡瓦或爪片张开,与井壁紧密贴合,将仪器牢牢固定。同时,部分锁定装置还配备有传感器,可实时监测锁定状态,确保锁定可靠^[4]。

3.1.2 仪器定位与锁定技术在输送工艺中的应用

在钻杆输送测井中,仪器定位与锁定技术能确保仪器准确停留在目的层段,避免因井眼倾斜或钻井液流动导致仪器移位,保证测井数据的准确性。在连续油管输送工艺里,该技术可使仪器在水平段稳定工作,即使遇到井眼不规则的情况,也能通过及时锁定防止仪器晃动,提高测井效率和数据质量。例如,在某页岩气水平

井测井中,应用先进的定位与锁定技术后,仪器定位误差控制在0.5米以内,锁定成功率达100%,大幅提升了测井作业的可靠性。

3.2 电缆保护与管理技术

3.2.1 电缆在输送过程中的保护措施

为避免电缆在输送中受损,需采取多重保护措施。在电缆外部加装耐磨、耐腐蚀的防护套,如聚氨酯材料套,能有效抵御井壁的摩擦和钻井液的侵蚀。合理设计电缆的敷设路径,尽量避开井眼的弯曲和突出部位,减少弯曲应力对电缆的损害。同时,在电缆与仪器、钻杆的连接部位使用专用的缓冲接头,降低振动和冲击力对电缆的影响。此外,控制电缆的下放和提升速度,避免因速度过快导致电缆承受过大的拉力。

3.2.2 电缆的管理方法及使用注意事项

电缆管理需建立完善的台账,记录电缆的型号、使用时间、维护情况等信息,定期对电缆进行检测,包括绝缘性能、抗拉强度等指标的测试。在存放时,将电缆整齐缠绕在专用滚筒上,避免过度弯曲和挤压,并存放在干燥、通风的环境中,防止受潮老化。使用过程中,要避免电缆与尖锐物体接触,严禁超负荷使用。当电缆出现局部破损时,需及时进行修补或更换,防止故障扩大。

3.3 动力传递与控制技术

3.3.1 动力传递的原理及设备配置

动力传递主要依靠液压、机械等方式实现。液压动力传递利用液压泵产生的压力,通过液压管路将动力传递给执行机构,如液压缸、液压马达等,驱动仪器的移动和锁定装置的动作。机械动力传递则通过齿轮、链条等传动部件,将电机的动力传递到相关设备。设备配置方面,包括液压站、电机、传动部件、控制阀门等。液压站提供稳定的液压动力,电机为整个系统提供动力源,传动部件负责动力的传递,控制阀门用于调节动力

的大小和方向,确保动力传递的精准性和稳定性。

3.3.2 动力控制在输送工艺中的重要性及实施策略

动力控制在输送工艺中至关重要,它直接影响仪器输送的速度、位置精度和运行安全性。精准的动力控制能使仪器按照预定轨迹平稳移动,避免因动力过大导致仪器碰撞井壁,或动力不足无法前进。实施策略上,采用闭环控制系统,通过传感器实时监测仪器的位置、速度、受力等参数,将这些参数反馈给控制系统,控制系统根据预设的目标值调整动力输出。例如,在仪器接近预定位置时,自动减小动力输出,实现平稳减速和精准定位。同时,设置过载保护装置,当动力超过设定阈值时,自动切断动力,防止设备损坏和事故的发生。在某水平井测井作业中,应用该动力控制策略后,仪器运行平稳性显著提高,动力系统故障率明显降低。

结束语

综上所述,本文针对石油水平井生产测井仪器的输送工艺进行了系统分析,旨在探索更安全、高效的输送方案。通过理论与实践的结合,我们提出了一系列改进建议。展望未来,随着材料科学与智能技术的持续进步,石油水平井生产测井仪器的输送工艺将迎来更多创新。本研究望为后续研究奠定坚实基础,为石油工业的持续健康发展贡献力量。

参考文献

- [1]田伟,张文,孙延明.水平井钻井技术及其在石油开发中的应用概述[J].科学与信息化,2020,(04):42-43.
- [2]唐洪林,杨春旭,仲俊霖.长水平段水平井钻井技术在ZC1井的应用[J].石油机械,2020,(03):28-29.
- [3]张旭东.探析水平井钻井技术在石油开发中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2021,(19):172-173.
- [4]张宏亮.浅谈水平井钻井技术在石油开发中的应用[J].石油石化物资采购,20120,(05):58-59.