

井下试油检测技术在复杂地质条件下的应用

张言玉 段军平 王 磊

青海油田井下作业公司试油测试大队 青海 茫崖 736202

摘要：随着全球油气勘探开发的不断深入，复杂地质条件下的油气藏勘探与开发成为行业关注的重点。井下试油检测技术作为油气勘探开发中的重要环节，其在复杂地质条件下的应用直接关系到勘探开发的效率和成功率。本文旨在探讨井下试油检测技术在复杂地质条件下的应用现状、技术挑战及发展趋势，以为相关领域的实践与研究提供参考。

关键词：井下试油检测；复杂地质条件；高温高压环境；应对策略

引言

复杂地质条件包括但不限于高温高压环境、低渗透储层、裂缝性储层、含酸性气体储层等，这些条件给井下试油检测工作带来了诸多挑战。井下试油检测技术作为评估油气藏生产潜力、确定开采方案的关键手段，其在复杂地质条件下的应用显得尤为重要。

1 井下试油检测技术的基本原理与方法

1.1 基本原理

井下试油检测技术，根植于渗流力学理论的深厚土壤，是一种通过人为调控井筒工作制度，进而观察和分析流体在储层中动态行为的技术手段。这一技术的核心在于精确捕捉流体动态参数的变化，如流量、压力、温度等，这些参数是揭示储层特性和生产能力的关键。通过高精度的测量和深入的数据分析，井下试油检测技术能够为油气藏的开发提供科学、可靠的依据，确保开发方案的合理性和有效性。

1.2 主要方法

1.2.1 地层测试技术

地层测试技术，作为井下试油检测领域的重要一环，其应用范围广泛，涵盖了海洋、陆地、沙漠等多种地质环境。这项技术通过中途测试或完井测试的方式，在井筒内模拟实际生产条件，动态记录地层的各项关键参数。这些参数不仅包括了流体的压力、温度、流量等基本信息，还涵盖了地层的渗透率、孔隙度等重要储层特性。地层测试技术的优势在于其高效、精准的测试能力，以及简便易行的操作方式，这使得它在复杂地质条件下的试油检测中显得尤为适用。在实际应用中，地层测试技术通常与钻井作业紧密结合，通过在钻井过程中进行中途测试，可以及时发现并评估潜在的油气层，为后续的勘探和开发工作提供重要指导。同时，完井测试则是对整个钻井作业的总结和验证，通过全面、系统地测试地层的各项参数，为油气田

的开发方案提供科学依据。

1.2.2 电子压力计试井技术

电子压力计试井技术，是另一种在井下试油检测中广泛应用的重要方法。这项技术依靠高精度电子压力计，实时监测井筒内的压力变化，从而准确反映储层中流体的动态行为。与传统的机械式压力计相比，电子压力计具有更高的精度和稳定性，能够捕捉到更为细微的压力变化，为储层特性的评估提供更为准确的数据支持。在电子压力计试井技术的应用过程中，数据处理和分析软件发挥着至关重要的作用。这些软件能够实时接收并处理电子压力计传输的数据，通过先进的算法和模型，对储层的渗透率、孔隙度等关键参数进行高精度评估。同时，这些软件还能够生成清晰、直观的图表和报告，为技术人员提供便捷的数据分析和解读工具。电子压力计试井技术的优势在于其适用于环境复杂、工作危险性较高的条件下。在深海、极地等极端环境中，传统的试油检测方法往往难以实施，而电子压力计试井技术则能够凭借其高精度、高稳定性的特点，为这些地区的油气勘探和开发提供有力支持^[1]。此外，该技术还能够提供完整、清晰、精准的数据和图像，为勘探开发的后续工作提供有力依据，确保开发方案的合理性和有效性。

2 复杂地质条件下井下试油检测技术面临的挑战

2.1 高温高压环境

在高温高压的极端条件下，常规测试仪器面临着严峻的考验。首先，高温环境可能导致仪器内部的电子元件、传感器以及密封材料发生性能变化，甚至失效，从而严重影响数据的采集和传输。其次，高压环境对仪器的机械结构和耐压性能提出了极高的要求，一旦仪器无法承受高压，就可能发生泄漏或破裂，不仅导致测试失败，还可能对测试人员和设备的安全构成严重威胁。此外，高温高压环境下，流体的物理和化学性质也可能发

生变化,如粘度、密度的改变,这进一步增加了数据采集的难度和不确定性。

2.2 低渗透储层

低渗透储层是油气勘探和开发中的难点之一。在这类储层中,流体流动性差,往往被束缚在狭小的孔隙或裂缝中,难以自由流动。这导致测试过程中流体难以与测试仪器充分接触,从而影响测试结果的准确性^[2]。同时,低渗透储层中流体流动缓慢,测试过程中易产生堵塞现象,如泥沙、杂质等堵塞测试管道或仪器,进一步影响数据的采集和分析。此外,由于流体流动性差,达到测试所需的稳定状态所需的时间较长,这也增加了测试的难度和成本。

2.3 裂缝性储层

裂缝性储层具有复杂的流体流动路径,这使得准确评估储层特性和生产能力变得极为困难。在裂缝性储层中,流体往往沿着裂缝网络流动,而这些裂缝的分布、形态和连通性都难以预测和控制。这导致测试过程中难以捕捉到真实的流体动态行为,无法准确测量流体的流量、压力等关键参数。同时,裂缝性储层的非均质性强,即储层物性在空间上分布不均,这使得测试结果的代表性受到质疑,难以准确反映整个储层的特性。

2.4 含酸性气体储层

含酸性气体的储层对测试设备和管柱材料构成了严重的腐蚀威胁。酸性气体如硫化氢、二氧化碳等具有强腐蚀性,能够腐蚀金属材料 and 密封材料,导致设备性能下降甚至失效。这不仅增加了测试的难度和成本,还可能对测试人员和设备的安全造成严重影响。同时,酸性气体还可能与测试流体发生化学反应,改变流体的性质,从而导致测量参数的失真。此外,含酸性气体的储层往往还伴随着高压、高温等恶劣条件,这进一步增加了测试的难度和复杂性。

3 复杂地质条件下井下试油检测技术的应对策略

3.1 研发耐高温高压测试仪器

针对复杂地质条件下高温高压环境对测试仪器的严格要求,研发耐高温高压的测试仪器成为当务之急。这一策略的实施,依赖于材料科学和微纳加工技术的不断进步与创新。在材料选择方面,应优先考虑那些具有优异耐高温高压性能的材料。例如,某些特种合金和陶瓷材料,它们能够在极端条件下保持稳定的物理和化学性质,从而确保仪器的结构完整性和功能可靠性。同时,对于仪器的关键部件,如传感器和电子元器件,也需要采用耐高温高压的特殊材料或进行特殊的防护处理,以延长其使用寿命并提高数据采集的准确性。在微纳加工

技术方面,可以利用先进的微纳制造技术,如光刻、蚀刻等,来加工仪器的微小部件和结构。这些技术能够精确控制部件的尺寸和形状,从而提高仪器的精度和灵敏度。此外,还可以利用微纳技术来制造具有特殊功能的材料,如纳米涂层,以增强仪器的耐高温高压性能。在仪器设计方面,需要充分考虑高温高压环境对仪器的影响。例如,可以设计更为合理的密封结构,以防止高压流体渗入仪器内部;同时,还可以采用热隔离技术,来降低高温环境对仪器内部电子元器件的影响。此外,为了提高仪器的可靠性和稳定性,还可以采用冗余设计、故障诊断与自修复技术等先进的设计理念和方法。

3.2 优化低渗透储层测试工艺

低渗透储层由于其流体流动性差,测试过程中易产生堵塞,严重影响测试结果的准确性。为了克服这一挑战,需要优化低渗透储层的测试工艺,具体策略包括采用超深穿透技术和定方位射孔技术。超深穿透技术是一种通过增加流体与储层的接触面积来提高流体流动性的方法。在低渗透储层中,流体往往被束缚在狭小的孔隙或裂缝中,难以自由流动。通过超深穿透技术,可以在储层中形成更深的穿透通道,使得流体能够更容易地流动并与测试仪器充分接触。这不仅可以提高流体的流动性,还可以减少堵塞现象的发生,从而确保测试结果的准确性。定方位射孔技术则是一种通过优化射孔布局和射孔方向来提高流体流动性的方法。在低渗透储层中,流体流动路径往往复杂多变,难以预测和控制。通过定方位射孔技术,可以根据储层的特性和流体流动方向,精确控制射孔的位置和方向,从而优化流体的流动路径。这不仅可以提高流体的流动性,还可以减少流体在储层中的滞留时间,提高测试效率。在实施这两种技术时,需要充分考虑储层的特性和流体性质^[1]。例如,对于孔隙度较小的储层,可以采用更细的穿透通道或更密集的射孔布局来提高流体流动性;对于渗透率较低的储层,则可以通过增加穿透深度或优化射孔方向来改善流体流动。此外,为了确保测试结果的准确性,还需要对测试过程进行严格的监控和管理。例如,可以实时监测流体的流量、压力等参数,以及堵塞现象的发生情况,及时调整测试工艺和参数,确保测试结果的准确性和可靠性。通过优化低渗透储层的测试工艺,采用超深穿透技术和定方位射孔技术等方法,可以提高流体流动性,减少堵塞现象,确保测试结果的准确性。这将为低渗透储层的勘探和开发提供有力的技术支持。

3.3 裂缝性储层综合监测

裂缝性储层因其复杂的流体流动路径和非均质性,

给储层特性和生产能力的评估带来了极大挑战。为了更准确地了解这类储层的动态变化,提高评估精度,需要采用多参数综合监测技术。多参数综合监测技术是一种通过同时监测多个物理参数来全面掌握储层动态变化的方法。在裂缝性储层中,流体流动路径复杂,单一参数的监测往往无法准确反映储层的真实情况。因此,需要结合流量、压力、温度等多个参数进行同步监测。流量监测可以反映流体在裂缝中的流动速度和方向,有助于了解裂缝的连通性和流体的分布情况。压力监测则可以反映储层中的压力变化,对于评估储层的产能和预测流体流动趋势具有重要意义。温度监测则可以提供流体在裂缝中流动时的热交换信息,有助于了解裂缝的导热性能和流体的温度变化。在实施多参数综合监测时,需要选择合适的监测设备和传感器,并确保其精度和可靠性。同时,还需要制定合理的监测方案,包括监测点的布置、监测频率的确定以及数据的采集和处理等^[4]。为了确保监测结果的准确性,还需要对监测数据进行严格的质量控制和校验。通过多参数综合监测技术,可以全面掌握裂缝性储层的动态变化,包括裂缝的开启和关闭、流体的流动速度和方向、储层压力的变化等。这些信息对于评估储层的特性和生产能力、制定开发方案以及监测开发过程中的动态变化都具有重要意义。

3.4 防腐蚀材料与工艺应用

含酸性气体的储层对测试设备和管柱材料构成了严重的腐蚀威胁,这不仅增加了测试的难度和成本,还可能对测试人员的安全造成严重影响。为了应对这一挑战,需要选用耐腐蚀材料制作测试设备和管柱,并同时采用防腐蚀工艺处理。在材料选择方面,应优先考虑那些具有优异耐腐蚀性能的材料。例如,某些不锈钢、合金钢以及非金属材料,如陶瓷、塑料等,都能够在酸性气体环境中保持稳定的物理和化学性质。对于测试设备和管柱的关键部件,如传感器、阀门、接头等,更需要采用高耐腐蚀性的材料,以确保其在使用过程中的稳定性和可靠性。除了选用耐腐蚀材料外,还需要采用防腐

蚀工艺处理。这包括在设备和管柱表面涂覆防腐蚀涂层、进行电镀或化学镀处理、以及采用阴极保护等方法。防腐蚀涂层可以隔绝设备和管柱与酸性气体的直接接触,从而减缓腐蚀速度;电镀或化学镀处理则可以在设备和管柱表面形成一层保护层,提高其耐腐蚀性能;阴极保护则是通过外加电流的方法,使设备和管柱成为阴极,从而减缓其腐蚀。在实施防腐蚀材料与工艺时,需要充分考虑储层的特性和酸性气体的成分。例如,对于含有高浓度硫化氢的储层,需要选择对硫化氢具有优异耐腐蚀性的材料和工艺;对于含有高浓度二氧化碳的储层,则需要选择对二氧化碳具有优异耐腐蚀性的材料和工艺。通过选用耐腐蚀材料制作测试设备和管柱,并同时采用防腐蚀工艺处理,可以确保测试过程的安全和稳定。这不仅可以在延长设备和管柱的使用寿命,还可以提高测试数据的准确性和可靠性,从而为含酸性气体储层的勘探和开发提供有力的技术支持。

结语

井下试油检测技术在复杂地质条件下的应用是油气勘探开发中的重要环节。面对高温高压环境、低渗透储层、裂缝性储层、含酸性气体储层等复杂地质条件带来的挑战,需要不断创新和优化测试技术,提高监测仪器的精度和稳定性,普及多参数综合监测技术,并推进智能化监测系统的建设。只有这样,才能更好地应对复杂地质条件下的勘探开发需求,推动油气工业的持续健康发展。

参考文献

- [1]黄志强,马生远,沙妮娅.井下试油作业中存在的问题及有效处理对策探析[J].化工管理,2020,(02):221.
- [2]方正魁.井下作业技术现状及工艺优化措施分析[J].中国设备工程,2023,(13):86-88.
- [3]任世举.复杂油气藏试油测试配套技术研究与应用.天津市,中国石油大港油田石油工程研究院,2021-12-15.
- [4]向荣鹏,蒋恩平.井下作业试油测试技术现状与发展探究[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(13):255-256.