

# 试油检测技术在低渗透油田开发中的应用

王 磊 段军平 张言玉

青海油田井下作业公司试油测试大队 青海 茫崖 736202

**摘 要：**本文旨在探讨试油检测技术在低渗透油田开发中的应用，分析其在提高油田采收率、优化开发方案及保障生产效益方面的作用。低渗透油田因其储层渗透率低、丰度低、单井产能低的特性，开发难度较大，但通过先进的试油检测技术，能够有效评估储层特性，指导油田开发策略的制定。文章首先概述了低渗透油田的开发特征与技术难点，随后详细阐述了试油检测技术的基本原理及其在低渗透油田开发中的具体应用，最后总结了技术发展的前景与挑战。

**关键词：**低渗透油田；试油检测技术；渗流特点；储层改造；采收率

## 引言

低渗透油田在全球油气资源开发中占有重要地位，尤其在我国的低渗透油藏储量占比高达三分之二以上，开发潜力巨大。然而，由于其特殊的储层性质，开发难度和技术要求也相应提高。试油检测技术作为油田勘探开发的关键环节，对于准确评估储层特性、优化开发方案具有重要意义。本文将从低渗透油田开发特征出发，探讨试油检测技术在其中的应用研究。

### 1 低渗透油田开发特征与技术难点

#### 1.1 开发特征

低渗透油田，作为油气资源开发领域的一个重要组成部分，其开发过程呈现出一系列独特的特征。首先，自然产能低是低渗透油田最为显著的特点之一。由于储层渗透率低，油气流动困难，导致油井自然产量有限。其次，弹性能量小，意味着在开采过程中，地层压力迅速下降，油井产能随之快速衰减。此外，注水后增产幅度大但产量下降快也是低渗透油田的一个重要特征。虽然注水可以有效提高油井产量，但增产效果往往难以持久，产量很快会再次下降。这些特征共同决定了低渗透油田的开发需要更加精细的技术支持和科学的开发策略。为了有效提高采收率，必须深入研究低渗透油田的储层特性，制定针对性的开发方案，并采用先进的开采技术。

#### 1.2 技术难点

在低渗透油田的开发过程中，存在多个技术难点需要克服：（1）剩余油分布规律不清是首要难题。低渗透油田的剩余油分布通常非常复杂，受到多种因素的影响，如储层非均质性、裂缝发育程度等。这使得准确预测剩余油的分布规律变得极为困难，给后续的开发工作带来了很大的不确定性。（2）注采井网问题也是低渗透

油田开发中的一个重要技术难点。由于长期开发，油井套管容易出现损坏，导致注采系统失衡。同时，随着开采的深入，油井含水率逐渐上升，部分油井需要转为注水井，这也进一步加剧了注采井网的复杂性<sup>[1]</sup>。如何优化注采井网，提高注水效率，是低渗透油田开发中亟待解决的问题。（3）裂缝分布考虑不足是另一个需要重视的技术难点。裂缝性低渗透砂岩油藏在注水开发过程中，由于裂缝的存在，水窜现象严重，导致注水效果大打折扣。因此，在开发过程中必须充分考虑裂缝的分布和影响，制定合理的注水策略，以提高开发效果。

### 2 试油检测技术的基本原理

试油检测技术是油气勘探与开发领域中一项至关重要的技术，它旨在通过直接测试初步确定的可能含油（气）层位，以获取详尽的地层产能、压力、温度、油气水性质以及地质资料。这一过程不仅有助于验证前期地震勘察、钻井录井、测井等间接手段的成果，还为后续的开发方案设计提供了坚实的数据支持。

#### 2.1 主要环节

试油检测技术主要包括射孔、洗井、诱流和测试等几个关键环节，每个环节都承载着特定的任务和目标。（1）射孔：这是试油检测的第一步，也是建立地层与井筒之间流体通道的关键步骤。通过专业的射孔设备，在井筒的预定深度向地层发射高速弹丸，穿透套管和地层岩石，形成一系列的小孔。这些小孔为地层流体提供了流入井筒的通道，是后续测试工作的基础。（2）洗井：在射孔完成后，井内往往会残留一些泥浆、污物及泥砂等杂质。这些杂质的存在会影响后续测试的准确性和可靠性。因此，需要进行洗井操作，通过注入清水或其他清洗液，将井内的杂质冲洗干净，确保测试环境的清洁。（3）诱流：诱流是试油检测中的一个重要环节，它的目

的是通过降低井内液柱压力,诱使地层流体喷出<sup>[2]</sup>。这通常通过调整井口的压力控制设备来实现,如使用节流器或调整抽油泵的工作参数。诱流的成功与否直接关系到后续测试的顺利进行和测试结果的准确性。(4)测试:这是试油检测技术的核心环节。在诱流成功后,需要对地层流体的产量、压力、温度等参数进行精确测量。这些参数是评估地层产能、制定开发方案的重要依据。测试过程中,需要使用各种专业的测试仪器和设备,如流量计、压力表、温度计等,确保测试结果的准确性和可靠性。

## 2.2 技术特点

试油检测技术具有直接性、准确性和综合性的特点。通过直接测试地层流体,可以获得最真实、最准确的地层信息;同时,测试过程中获取的多种参数可以相互验证,提高测试结果的可靠性;此外,试油检测技术还可以结合其他勘探和开发技术,形成一套完整的油气勘探与开发技术体系。

## 3 试油检测技术在低渗透油田开发中的应用

### 3.1 储层特性的精确评估

在低渗透油田的开发中,储层特性的精确评估是至关重要的。试油检测技术作为一种直接测试地层流体的手段,能够准确获取地层压力、渗透率、流体性质等关键参数,为储层描述和分类提供科学依据。通过试油检测,可以首先获取地层压力数据。在低渗透油田中,地层压力往往较低,且随着开采的进行,压力会进一步下降。准确测量地层压力,有助于了解储层的能量状况,为制定合理的开采策略提供依据。渗透率是描述储层流体流动能力的关键参数。在低渗透油田中,渗透率通常较低,流体流动困难。试油检测技术可以通过测量流体的流量和压力变化,计算出渗透率,从而了解储层的渗透性能。这对于优化注采井网、提高采收率具有重要意义。此外,试油检测还可以获取流体性质数据。低渗透油田的流体性质往往较为复杂,包括原油的粘度、密度、含蜡量等。这些性质直接影响开采过程中流体的流动性和处理难度。通过试油检测,可以准确了解流体性质,为后续的开采和处理工艺提供指导。在具体应用中,脉冲曲线变化试井技术是一种有效的试油检测方法。该技术通过向地层施加压力脉冲,并监测压力随时间的变化,可以分析渗流特性,判断裂缝大小及其对渗流的影响。这对于裂缝性低渗透砂岩油藏的开发尤为重要,有助于优化注水策略,提高开发效果。

### 3.2 开发方案的优化

试油检测技术在低渗透油田开发中的应用不仅限于

储层特性的评估,更在于其能够为开发方案的优化提供科学依据。基于试油检测数据,可以制定更加科学合理的开发策略,以提高采收率和经济效益。根据油藏渗流规律,采用上、中、下均质技术是优化开发方案的重要手段之一。在低渗透油田中,由于储层非均质性强,流体流动差异大,因此需要通过均质技术来平衡地层压力,提高水驱效果。具体来说,可以在上部、中部和下部储层中分别部署注采井,通过调整注水压力和采油速度,保持各层位的压力平衡,从而实现平面的水驱效果。这种技术有助于减少环境污染,提高经济效益,因为它能够更高效地利用地层能量,减少无效注水。在注采井网部署时,结合裂缝特征进行优化是提高采收率的关键。低渗透油田中裂缝发育普遍,裂缝的存在对流体流动和注水效果产生重要影响。因此,在部署注采井网时,需要充分考虑裂缝的分布和走向,优化井距和注水方式<sup>[3]</sup>。例如,可以沿着裂缝方向部署注水井和采油井,以充分利用裂缝的导流作用;同时,通过调整注水压力和注水量,控制水窜现象,提高注水效率。此外,试油检测数据还可以为开发方案的动态调整提供依据。在开发过程中,地层压力和流体性质可能会发生变化,因此需要根据试油检测结果及时调整开发策略,以确保开采效果的最大化。

### 3.3 储层改造与增产技术

试油检测技术在低渗透油田的开发中,不仅用于储层特性的评估和开发方案的优化,还为储层改造与增产技术提供了重要依据。低渗透油田的储层往往渗透率低,流体流动困难,这严重限制了油井的产量。为了改善储层渗透性,提高单井产量,常采用水力压裂、酸化等储层改造措施。试油检测技术在这一过程中发挥着关键作用。水力压裂是通过向地层注入高压水,使地层岩石破裂,形成裂缝,从而增加流体流动的通道。在进行水力压裂前,试油检测技术可以用于评估地层的压力和渗透率,确定压裂的参数和方案。例如,通过试油检测获取的地层压力数据,可以指导压裂压力的设定,避免压力过大导致地层破裂过度或压力过小无法形成有效裂缝。酸化是通过向地层注入酸液,溶解地层中的部分矿物质,扩大流体流动的孔隙空间。试油检测技术可以用于评估地层的矿物组成和流体性质,为酸化方案的设计提供依据。例如,通过试油检测获取的流体性质数据,可以选择合适的酸液类型和浓度,以达到最佳的酸化效果。此外,试油检测技术还可以结合其他增产技术,如复合射孔技术。复合射孔技术是在传统射孔的基础上,结合高气体压裂,提高射孔速度与压裂性能,从而增加

储层渗透率。试油检测技术可以用于评估射孔和压裂的效果，为技术的优化和调整提供依据。

#### 4 技术发展的前景与挑战

##### 4.1 前景

随着科技的持续进步和跨学科融合的加速，试油检测技术将迎来前所未有的发展机遇，展现出广阔的前景。

##### 4.1.1 智能化与自动化

未来，试油检测技术将深度融合人工智能、机器学习、大数据分析等先进技术，实现数据的自动采集、智能处理与深度分析。这将极大地提高试油检测的效率和准确性，减少人为误差。例如，通过构建智能模型，可以对储层特性进行实时预测与模拟，为开发方案的动态调整提供科学依据。同时，智能化技术还将推动试油检测过程的自动化与远程监控，降低作业风险，提高安全性。

##### 4.1.2 精细化与高精度

随着测试仪器与传感器的不断升级，试油检测技术将实现更高精度的测量与分析。这包括对地层压力、渗透率、流体性质等参数的微小变化进行精确捕捉，从而更准确地评估储层特性、产能潜力以及流体流动规律<sup>[4]</sup>。这将为低渗透油田的开发提供更为精细化的指导，提高开发效率和经济效益。

##### 4.1.3 多学科综合研究与应用

未来，试油检测技术将更加注重地质学、流体力学、化学、物理学等多个学科的综合研究与应用。通过跨学科的合作与交流，可以实现对低渗透油田的全方位、多角度评估，为开发策略的制定提供更为全面的支持。这将有助于揭示储层内部的复杂机制，为低渗透油田的高效开发提供新的思路和方法。

##### 4.1.4 技术创新与突破

随着新材料、新工艺的不断涌现，试油检测技术将不断实现技术创新与突破。例如，研发更先进的射孔技术、压裂技术、酸化技术等，以提高储层改造的效果和增产潜力。同时，还将探索新的测试方法和手段，以满足不同类型低渗透油田的开发需求。

##### 4.2 挑战

尽管试油检测技术有着广阔的发展前景，但在实际应用中仍面临着诸多挑战。

##### 4.2.1 技术难度高

低渗透油田的储层特性复杂多变，如孔隙结构复

杂、渗透率低、非均质性强等，这对试油检测技术的精度与可靠性提出了更高要求。如何在复杂的地质条件下准确测量地层参数、评估储层特性，是试油检测技术需要不断攻克的技术难题。

##### 4.2.2 环境保护压力

试油检测过程中产生的废水、废气、废渣等污染物可能对环境造成不良影响，如土壤污染、水源污染、空气污染等。随着环保法规的日益严格和公众环保意识的提高，如何在确保检测效果的同时，减少对环境的污染，实现绿色开采，是试油检测技术需要关注的重要方面。

##### 4.2.3 成本投入大

高精度的试油检测设备和技术研发投入较大，包括研发成本、设备成本、运维成本等。如何平衡技术投入与经济效益，确保技术的可持续发展与应用，是试油检测技术发展需要考虑的重要问题。特别是在低油价时期，如何降低技术成本、提高经济效益，是试油检测技术面临的挑战之一。

##### 4.2.4 人才短缺与培训

随着试油检测技术的不断发展和创新，对专业人才的需求也越来越高。然而，目前试油检测领域的人才短缺问题较为突出，尤其是具备跨学科知识和实践经验的高端人才。如何加强人才培养和引进，提高试油检测领域的人才素质和技能水平，是试油检测技术发展需要解决的重要问题。

#### 结语

试油检测技术在低渗透油田开发中具有不可替代的作用。通过精确评估储层特性、优化开发方案及实施储层改造措施，可以显著提高低渗透油田的采收率和生产效率。面对技术发展的前景与挑战，需不断加强技术研发和推广应用，为低渗透油田的高效开发提供有力保障。

#### 参考文献

- [1]吴东明.试论低渗透油田开发与压敏效应[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(15):124-125.
- [2]贾越.油田试油流程及其技术要点[J].化学工程与装备,2022,(11):92-93.
- [3]张珂.井下作业试油测试技术措施分析[J].冶金与材料,2020,40(01):84+86.
- [4]袁春宏.低渗透储层试油工艺应用现状及趋势[J].中国石油和化工标准与质量,2021,31(09):179.