

# 低渗透气层中试气技术的应用及经济效益分析

台倩 (胜利油田石油开发中心科研所, 山东 东营 257000)

**摘要:** 随着全球能源需求的日益增长, 天然气作为一种清洁、高效的能源形式, 其开采与利用受到了广泛关注。但在实际开发中, 低渗透气层因其独特的储层特性, 往往面临开发难度大、采收率低等问题。而试气技术作为低渗透气层开发过程中的关键一环, 其在准确评估气层储量、优化开采方案、提高采收率等方面发挥着重要作用。本文分析了低渗透气层采用试气技术的作用和必要性, 并对试气技术的应用和经济效益进行分析, 进而对其未来发展前景进行展望, 以供参考。

**关键词:** 试气技术; 低渗透气层; 气层测试; 技术应用; 经济效益; 发展前景

## 1 低渗透气层概述

低渗透气层是油气勘探和开发中一类特殊的储层, 其在地质结构中占有重要的地位。这些气层的特点是孔隙度较大, 但孔隙喉道细小, 这导致气体分子的流动受到阻碍, 从而使得渗透率低。渗透率是衡量岩石层允许流体通过的能力的指标, 低渗透气层的渗透率通常在 0.1 毫达西 (MDD) 以下, 这意味着每米长度内的气体流量非常小。与其他地质结构相比, 低渗透气层具有渗透率低、储层压力高、气体产量低、开采难度大等特点。为提高气层的开采效果, 研究人员和工程师需要采用特殊的开采工艺和技术。例如水力压裂是一种常用的技术, 其通过高压将水注入岩石层, 从而增大孔隙喉道, 提高渗透率。此外, 气藏改造也是一种有效的开采方法, 主要通过注入一些化学物质来改变岩石层的性质, 从而提高气体的流动能力, 通过技术应用可以提高采收率, 实现油田经济效益。

## 2 低渗透气层采用试气技术的作用和必要性

鉴于低渗透气层由于其特殊的物理和化学性质, 实践中应用试气技术显得尤为必要。其具体作用主要体现在以下几方面: ①评估储层性质。试气技术可以帮助评估低渗透气层的孔隙结构、渗透率、含气饱和度等储层性质。通过试气, 可以更好地了解气层的储存能力和生产潜力; ②确定生产参数。试气结果可以帮助确定合理的生产压差、生产井的产能以及合理的井距和井网设计, 这对于低渗透气层的有效开发有着重要指导作用; ③诊断气藏动态。通过对低渗透气层进行试气, 工作人员可以详细了解气藏的压力、温度分布, 以及气藏流体的相态变化, 这对于制定气藏管理策略和生产计划提供了重要参考; ④识别开发难点。低渗透气层由于渗透率低, 气体的流动阻力大, 开采难度相对较高, 而试气技术则可以帮助识别气层中的

敏感性和潜在的流动性障碍, 为气藏改造提供依据;

⑤优化开采工艺。基于试气技术, 工作人员可以评估不同开采工艺 (如水力压裂、气藏改造等) 的效果, 从而优化开采方案, 提高气层的开采效率和经济效益;

⑥风险评估。试气技术可以帮助评估开发低渗透气层的风险, 包括气藏规模、可采资源量、生产寿命等, 为投资决策提供依据。

## 3 低渗透气层中试气技术的应用

### 3.1 气层测试与资料解释

为确保试井作业的顺利进行和获取精确的资料, 就需要先做好各项准备工作, 尤其是要对动态储层特征资料纪念性掌握。其中, 地层测试能够帮助获取储层的动态信息。这些信息对于理解和评估气层特性至关重要。在气层特征分析的基础上, 可以进一步选择合适的工具进行测试, 如 MFE (微流量测井) 工具就是一种常用于获取储层动态信息的工具, 气能够提供关于气体流动的详细信息。在某些情况下, 还可以将测射联作与 MFE 工具结合使用, 如此可以更全面地了解储层的特性。实践中, 气层测试与资料解释还涉及到压力卡片的应用和测试效果的评估。

#### 3.1.1 压力卡片的应用

压力卡片是测井资料中的一种重要工具, 气通过压力恢复曲线的形式提供了关于地层供液能力的宝贵信息。根据压力卡片的特征, 可以将压力恢复曲线分为四种基本类型, 每种类型都反映了地层的不同性质和供液能力。

首先, 干层曲线的特征是曲线平直, 表明地层供液能力差, 关井压力低且压力恢复速度慢。这种曲线的出现通常意味着地层渗透率极低, 流体在地层中的流动受到严重阻碍, 因此难以形成有效的供液。

其次, 低产层曲线的特征是弧形恢复, 曲线平缓

上升,表明地层具有一定的供液能力,但供液量有限。在低产层中,延长关井时间可以帮助我们获得更多的地层压力信息,这对于评估地层潜力和制定合理的开采策略具有重要意义。

再次,高产层曲线的特征是曲线陡峭上升,呈现出明显的弧线形状,表明地层供液能力强,流体能够迅速进入井筒。高产层通常具有较高的渗透率和产能,是油气田开发中的重点目标。

最后,污染型曲线的特征是恢复陡峭但曲线平直,具有方角特征。这种曲线是由近井带污染导致的,污染可能来自钻井泥浆、完井液或其他外来物质。压裂酸化等增产措施可以有效改善地层渗透率,从而提升产能。

### 3.1.2 试井效果分析

分析试井效果常用导数曲线和双对数曲线,其可以用来判断井的生产能力、储层特性、污染程度以及井筒的储集情况。

导数曲线和双对数曲线通过图形化的方式展示了压力和产量之间的关系,从而使得我们可以直观地识别出试井的边界。在曲线中,如果出现续流现象,即产量随时间的增加而持续上升,这通常表明储层的供液能力较差或者气体压缩系数较大。在吐哈油田的测试中,低产含水气层往往具有较长的续流段,这正是因为这些层段的供液能力不足,同时气体在流动过程中的压缩效应也加剧了这一现象。当径向流段出现后,导数曲线通常会出现上翘的现象。这种现象并不是由断层的影响,而是由于储层横向物性差异造成的。储层横向物性差意味着流体在横向上的流动受到了限制,从而导致了导数曲线的上翘。

试井解释的过程中,如果能够观察到无限导流裂缝的特点,则将为井的增产提供重要的信息。例如在某井进行二次酸化或压裂后,双对数曲线和导数曲线均上升,且斜率减半,这表明存在垂直裂缝与井相交,这些裂缝极大地提高了井的导流能力,从而有望显著提升井的产能。

## 3.2 常用试气技术

### 3.2.1 射孔技术

油气井射孔技术在提升油气井产能方面起着重要的作用。合理选择和应用射孔技术不仅可以有效控制储层伤害,还能进一步完善油气井系统,从而提高油气井的产能。目前,测射联作负压射孔是一种主要的射孔工艺。这种工艺需要配备油管传输负压射孔。以

吐哈油田的红台2井为例,该井采用了YD-89弹射孔,并在清水压井后进行了联作,结果表明,这种方法能够得出超完善井底。对于低渗透井,为了提高射孔效果,应该选择大直径枪身,并配备强穿透力的弹药。例如,可以使用102mm或127mm枪身,并搭配YD-127弹药。这种组合可以在提高射孔效率的同时,减少对储层的伤害。近年来,氮气垫射孔技术在实际应用中也取得了显著的效果。以吐哈油田的东深1井为例,该井进行了氮气垫射孔技术的试验,结果表明,这种新技术在降低储层伤害,提高油气井产能方面具有显著的效果。

### 3.2.2 气层酸化技术

气层酸化技术的核心机制是通过应用酸性溶液来溶蚀气层中孔壁和裂缝壁面上的碳酸盐等矿物质,从而增大孔径和孔隙度,进而显著提高气层的渗透率。这一过程不仅增加了气体流动的通道,而且还能有效溶解堵塞在孔道中的杂质,破坏这些堵塞物的结构,从而进一步疏通气流通道,为天然气的高效开采创造了条件。

在吐哈油田的气层酸化应用实践中,技术专家们针对八层不同的低渗透气层进行了尝试。令人鼓舞的是,其中六层的酸化处理效果显著,展现了该技术的强大潜力。在实施过程中,技术人员精心选择了包括土酸、盐酸和氯硼酸在内的多种酸液类型,这些酸液具有不同的溶解能力和特性,能够针对性地应对不同地质条件下气层的特点。而为达到最佳的酸化效果,施工团队在压力控制方面也做了精细的工作,最高泵压达到了惊人的77MPa。

### 3.2.3 水力压裂技术

水力压裂技术是一种通过高压泵入水和其他化学添加剂(如压裂液)到岩石层中,以裂开岩石,形成裂缝,从而增大气体流动的通道。这些裂缝可以连接到原有的孔隙网络,形成更大的流动路径,使得气体能够更自由地流动到井筒中。

对于低渗透气层,水力压裂技术的应用尤其重要,因为其可以显著提高气层的渗透率,从而使得原本难以开采的气层变得可采。但这项技术需要精确的地质评估和工程设计,以确保压裂效果最大化,同时减少对环境的影响。

在水力压裂过程中,压裂液的选择和配比至关重要,这是因为其需要有足够的粘度和压力来裂开岩石,还需要能够在裂缝中保持稳定,以便气体能够长期流

动。此外，水力压裂还需要考虑地下水资源的保护，确保压裂活动不会对地下水造成污染。

#### 4 低渗透气层中采用试气技术的经济效益分析

低渗透气层的开发具有挑战性，因此，采用试气技术来评估和提高这些气层的经济效益至关重要。实践中，有诸多采用采用试气技术提升低渗透气层开发经济效益的成功案例，值得我们分析和借鉴。

例如 Barnett Shale 气田位于美国德克萨斯州东北部，是美国最早采用水力压裂技术（hydraulic fracturing）进行商业开发的低渗透气田之一。水力压裂是一种提高岩石渗透性的技术，通过高压泵入水、沙子和化学添加剂的混合物（压裂液），在地层中形成裂缝，从而释放被封锁在岩石中的天然气。

首先，从产量提升方面看，Barnett Shale 气田在实施水力压裂之前，这些低渗透气层的产量非常低，无法商业开采。而通过水力压裂，气井的日产量增加了数十倍甚至上百倍，从而使得气田的经济效益大幅提升。其次，从开发成本分摊角度看，水力压裂技术的应用使得该气田原本无法经济开发的低渗透气层变得具有商业价值。虽然单井的水力压裂成本可能较高，但随着气田的规模开发，这些成本可以通过多井的分摊而降低，从而降低了每单位气体的开发成本。再次，从生产寿命的延长角度看，水力压裂不仅提高了气井的初始产量，还可以延长气井的生产寿命。气通过定期重新压裂，使得气井可以保持较高的生产率。而随着 Barnett Shale 气田的开发，也进一步推动了水力压裂技术的发展和不断创新。随着技术的不断进步，包括压裂液配方、压裂设计、监测技术和水平井钻井等在内的各种技术得到了改进，这使气田的开发效率和经济效益得到进一步提升。最后，Barnett Shale 气田的成功开发对美国天然气市场产生了深远影响，提高了天然气的供应量，对天然气价格产生了抑制作用，从而提升了整个行业的经济效益。

由此可见，试气技术的应用不仅提高了单井产量和气田的整体开发效率，还对整个天然气行业的经济效益产生了积极影响。这个案例成为了低渗透气层开发的一个典范，并为其他国家的类似气田开发提供了宝贵的经验和启示。

#### 5 低渗透气层中试气技术的发展前景

从未来的能源利用与开发方向看，低渗透气层的试气技术仍具有较为广阔的发展前景，这是因为低渗透气层储量丰富，但开发难度较大。而随着技术的进

步和对这类气层认识的加深，未来低渗透气层试气技术将不断取得新的突破。

一方面，通过地质、地球物理、地球化学等多学科的综合研究，结合先进的财运和测井技术，未来将更精准地预测和评价低渗透气层的地质特征、储量规模和开发潜力，从而为试气工作提供可靠的数据支持。

另一方面，现有的气层酸化、压裂、蒸汽吞吐等增产技术在未来也将进一步完善和优化，从而进一步提高对低渗透气层的适应性和效果，降低开发成本，提高气田的整体经济效益。而随着现代人工智能和数字技术的发展，智能化与数字化也将成为试气技术的发展趋势一直。在未来，借助大数据、人工智能、云计算等现代信息技术，低渗透气层试气过程的智能化和数字化水平将不断提升，其试气效率和成功率也将得到相应提高。

此外，在当前全球范围内对环境保护重视程度日渐提升的背景下，未来的试气过程也将更加注重环境保护和安全生产，绿色、环保的试气技术和方法的开发将成为重点，这使得该技术也将想着环境友好的方向进行转型和创新。

#### 6 结语

综上所述，低渗透气层试气技术的发展前景十分广阔。随着科技的不断进步，尤其是人工智能和数字化技术的应用，未来试气技术将更加精准、高效。同时，环境保护和安全生产的重视也将推动试气技术向更加绿色、安全的方向发展。而低渗透气层试气技术的进步，则将进一步为全球能源供应和我国能源安全作出更大贡献。

#### 参考文献：

- [1] 冯珊珊. 试气配套技术在低渗透气层的应用 [J]. 石化技术, 2017, 24(09): 85.
- [2] 范宜仁, 宋岩, 张海涛, 等. 低渗透致密砂岩气层产能预测方法研究 [J]. 测井技术, 2016, 40(05): 602-608.
- [3] 张鹏. 鄂尔多斯盆地东部低渗透砂岩气层测井评价方法研究 [D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2014.
- [4] 聂玲. 盒8低渗透气层压裂优化的研究 [D]. 西安: 西安石油大学, 2013.
- [5] 王智. 松南低渗透致密气层测井的评价方法研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2008.

#### 作者简介：

台倩（1988.10—），女，汉族，安徽人，学历：大学本科，职称：工程师，职位：低渗透油藏室主任，研究方向：低渗透油藏开发。