

压裂技术的经济性分析与投资决策

刘 蕾 刘路标 孙成斌 王 青 李晶秋

(中国石化胜利油田分公司河口采油厂, 山东 东营 257000)

摘要: 本文探讨了压裂技术在油气开采中的应用及其经济性分析, 重点分析了压裂技术的成本构成、投资决策影响因素及其在不同规模油田中的经济性对比。通过案例分析, 展示了压裂技术在页岩气开采中的成功应用, 揭示了技术优化、长期回报与短期效益之间的关系。研究结果表明, 尽管初期成本较高, 但随着技术进步和规模化应用, 压裂技术能够实现高效的资源开发与可持续的经济回报。

关键词: 压裂技术; 经济性分析; 投资决策; 油气开采

1 引言

随着全球能源需求的不断增长, 压裂技术作为提升油气产量的重要手段, 在现代油田开发中发挥了关键作用。压裂技术不仅显著提高了油气田的开采效率, 还推动了非常规油气资源的开发。然而, 压裂技术的高成本和复杂性使其经济性评估成为决策中的重要环节。本文旨在通过分析压裂技术的经济性, 探讨其在投资决策中的影响因素, 为油气领域的投资者提供决策支持。

2 压裂技术概述

2.1 压裂技术的定义与发展历程

压裂技术, 又称水力压裂, 是一种通过高压液体注入地下岩层, 产生裂缝以增加储层渗透性的技术。其主要目的是提高油气资源的采收率, 特别是在非常规油气(如页岩气、致密油)开发中起着至关重要的作用。压裂通过注入水、砂和化学剂的混合物, 创造裂缝通道, 使得油气能够更容易地流向井筒, 从而显著提升产量。

压裂技术最早在1947年由美国的Halliburton公司应用于油田开采中, 最初用于常规油田的增产。20世纪90年代, 水力压裂技术被广泛应用于页岩气、致密油等非常规资源的勘探开发, 成为油气开采的重要手段之一。近年来, 技术的不断发展大大提高了压裂技术在深层、超深层和复杂地质条件下的应用, 使其成为全球能源发展的重要技术支柱。

2.2 压裂技术的分类与操作流程

压裂的主要类型包括水力压裂、气体压裂、酸压裂和固体压裂。水力压裂法是通过注入水、沙子和化学品的混合物形成裂缝的最常见方法, 而气体压裂法主要用于天然气储层; 酸压裂法使用酸性液体溶解岩石中的矿物质, 从而增加裂缝的渗透性; 固体压裂则

利用固体颗粒代替液体, 以防止裂缝闭合。

压裂技术广泛应用于常规油气田、页岩气、致密油及煤层气的开采, 尤其在非常规油气资源开发中发挥了关键作用。随着技术进步, 压裂还被应用于地下储气、地热能开采等领域, 成为现代能源开发的核心技术之一。

其操作流程通常包括几个步骤: 首先, 进行地质勘探与井位选择; 然后, 准备并注入压裂液, 在井筒内建立高压; 接着, 进行液体注入, 直到岩层裂开并形成裂缝; 最后, 通过多次注入, 保持裂缝的稳定, 并确保油气流动通道畅通。压裂完成后, 井口可开始产出油气, 通常需要持续的监测和后续处理以保持产量稳定。

2.3 压裂技术的主要设备与技术要求

为确保高效、安全地进行压裂作业, 需要一系列专用设备。关键设备包括压裂泵、储液罐、压裂管道、支撑剂存储和供应系统以及监控系统。压裂泵是用于向地下高压注入压裂液的核心设备, 储液罐用于储存和供应压裂液及化学添加剂, 压裂管将设备与井口连接起来, 以确保向地下裂缝有效供应压裂液。支撑剂储存系统用于储存和供应砂子或其他固体支撑剂, 以保持裂缝畅通。

技术要求方面, 压裂过程中要求液体注入的压力和流量必须精确控制, 以确保岩层裂开并维持裂缝稳定。此外, 压裂液的配方、支撑剂的选择以及液体的注入方式都需要根据地下地质条件进行优化。为保障作业安全, 必须进行实时监测, 确保设备运行正常, 并应对可能出现的高压、温度等极端作业环境。

3 压裂技术的经济性分析

3.1 压裂技术的成本构成

压裂技术的成本主要由设备成本、材料成本、人

工成本、施工成本和后期维护成本构成。设备成本包括压裂泵、管道、储液罐等必需的高压设备和辅助设施；材料成本主要包括压裂液（水、化学添加剂、砂等）及支撑剂（如沙子）；人工成本涵盖了操作、监测、后勤支持等人员的工资；施工成本包括现场作业、运输和井场设施的搭建；后期维护成本则涉及设备检修、压裂液补充和监测工作。此外，不同油气田的地质条件和作业规模也会影响成本结构，复杂地质条件下的压裂作业成本较高。

压裂技术的成本和效益密切相关，通常用投入产出比来表示。就成本而言，压裂技术的初始投资较高，主要包括设备、材料、人工和施工成本，这些成本与储层开发程度、地质条件和压裂技术的复杂程度直接相关。收益主要来自石油和天然气产量的增加，特别是在非常规资源中，压裂技术可以显著提高产量和采收率，并产生高额经济回报。

然而，成本与收入之间并不是线性关系。随着压裂技术的成熟和大规模应用，单位成本会逐渐下降，而收入增长通常会受到碳氢化合物市场价格波动、开采难度和油田储量的影响。因此，必须结合长期生产评估和市场预期来衡量压裂技术的经济可行性。

3.2 压裂技术对油气开采的生产效率提升作用

压裂技术大大提高了石油和天然气的生产效率，尤其是在开发非常规石油和天然气储藏方面。通过在地下岩层中形成裂缝，压裂技术增加了储层的渗透性，有利于石油和天然气流入井筒。对于页岩气和致密油等传统开采方法难以开采的矿藏，压裂法可以突破这些技术瓶颈，增加可开采的油气储量。

此外，压裂还能够有效延长油气井的生产寿命。通过持续的压裂作业，井口产量能保持较高水平，避免了过早的产量衰退，进一步提高了油田的整体开采效率。总体而言，压裂技术是现代油气开采提高生产效率的核心技术之一。

3.3 不同规模与类型油田的经济性对比

根据油田规模和类型的不同，压裂的经济效益也大不相同。在大型常规油田，压裂通常用于以可控成本提高产量，经济回收期相对较长。在这类油田，压裂的高初始成本通常会得到长期稳定的产量和更稳定的投资回收期的回报。

与此不同，小型油田或非常规油气田则面临更高的压裂成本，尤其是在复杂地质条件下，技术要求更高，成本压力较大。然而，这些油田的潜力往往较大，压裂技术能够有效提高油气采收率，并通过提高产量

实现快速回本，虽然短期内成本较高，但随着产量增长，经济回报迅速增长。

总的来说，小型油田和非常规油田的投资回报期较短，但依赖压裂技术的经济性较为敏感；而大型油田则通过规模效应在长期内实现较为稳定的收益。

4 投资决策中的压裂技术考量

4.1 投资决策理论概述

投资决策理论旨在帮助企业或个人在面对多种投资选择时，选择最具经济效益和最符合风险承受能力的方案。常见的决策理论包括净现值法（NPV）、内部收益率法（IRR）、回收期法、以及风险调整资本回报率（RAROC）等。净现值法通过计算未来现金流的折现值，帮助决策者评估投资项目的经济效益；内部收益率法则通过比较预期收益率与资本成本，评估项目的可行性。此外，现代投资决策理论还涉及到博弈论、行为金融学等领域，考虑了风险管理、市场波动及不确定性对决策的影响。在油气行业，投资决策通常需结合技术可行性、市场需求及资源开发的特殊性进行综合分析。

4.2 压裂技术应用的决策影响因素

压裂技术应用的决策受到多种因素的影响，包括经济、技术可行性、地质条件和市场需求。经济性是一个重要因素，它考虑了压裂的初始投资成本、运营成本和预期收益之间的平衡。技术可行性考虑了压裂设备的可用性、技术成熟度以及是否能满足特定油气田的生产需求。储层类型、岩性和渗透率等地质条件对压裂效果有重大影响，复杂的地质条件可能需要更具技术挑战性的压裂解决方案。市场需求和油气价格波动也会对投资决策产生直接影响，市场前景较好的油气田更具吸引力。此外，环保政策、法律法规及社会舆论等非经济因素也可能对决策产生影响，要求企业在技术选择和实施过程中综合考量。

4.3 不同规模与类型油田的经济性对比

压裂技术的经济性在不同规模和类型的油田中差异显著。对于大型常规油田，压裂技术通常作为增产手段，能够在较低的单位成本下提高采收率。这类油田的压裂成本较为分摊，且已有基础设施支持，投资回报期较长，收益较为稳定，因此适合长期投资。

相较而言，小型油田和非常规油田面临较高的初期投资和较复杂的技术要求。特别是在复杂地质条件下，压裂技术的成本较高，但通过压裂能够大幅提升产量，回报期相对较短。小型油田若采用压裂技术，往往能迅速提高产量，迅速回收投资，尤其在油气价

格较高时，经济效益突出。

总体而言，大型油田依赖于规模效应实现较低的单位成本，适合稳定投资；而非常规油田则依赖于压裂技术带来的高产出，高风险伴随高回报，是短期高收益的投资选择。

4.4 投资决策中的长期效益与短期回报权衡

在投资决策中，长期效益与短期回报的权衡是关键问题，特别是在压裂技术应用的决策过程中。短期回报主要指初期阶段的投资回收速度，尤其是在油气价格较高时，压裂技术能够迅速提升产量，实现较快的经济回报。这种模式适用于资金回流较为紧迫、风险承受能力较强的投资者。然而，压裂技术的高初期成本和复杂性往往意味着短期回报较高的同时，也面临较大的投资压力和市场波动风险。

相比之下，长期效益侧重于项目的可持续性和稳定回报。在油气储量下降、市场价格波动的背景下，投资者往往需要考虑技术的长期可行性、资源的可持续发展以及未来的环境政策。长期投资注重项目生命周期内的稳定回报，持续使用压裂技术可以延长油田的生产寿命。

因此，投资者需要根据自身的风险偏好、资金状况以及市场环境，灵活平衡短期回报与长期效益。

5 案例分析

近年来，我国在页岩气开发中成功应用了压裂技术，特别是在四川盆地的气田开采中，展现了压裂技术在非常规资源开发中的经济性和高效性。2017年，中石油通过压裂技术成功实现了四川盆地涪陵页岩气田的大规模商业化开发。这一项目成为了中国页岩气产业化发展的重要标志。

涪陵页岩气田的开发初期，虽然面临着高昂的初期投资，主要是压裂设备、钻井、技术研究等费用，但通过高效的压裂作业，项目在短时间内实现了较高的气井产量，成功克服了常规开采技术在此类低渗透油气田中的局限性。2017年，涪陵气田日产天然气达到了约200万立方米，单位投资成本逐步降低，经济回报逐渐显现。

在决策过程中，首先是对地质条件的详细评估，四川盆地页岩气的储层特性适合采用水力压裂技术。其次，技术可行性分析表明，结合水平钻井与水力压裂能大幅提高气田的开发效率，因此该技术方案获得了批准。在投资决策上，项目团队考虑了油气价格的波动、技术实施的风险及政府的政策支持。随着压裂技术的不断优化和生产效率的提高，项目的长期经济

效益逐步得以体现。

此外，我国政府在这一过程中提供了政策支持，鼓励能源自主创新并扶持非常规能源的开发。在市场需求增长和环保政策日益严格的背景下，页岩气成为了补充传统天然气供应的重要来源，推动了能源结构的多元化。

涪陵页岩气田的成功案例表明，压裂技术虽然具有较高的初期投资，但在长期运营中能够通过提高产量、降低单位成本以及获得政策支持，实现较好的经济回报。决策过程中，技术可行性、经济性评估和市场需求分析等多个因素相互作用，确保了项目的成功实施。

6 结论与建议

压裂技术是提高油气产量和利用非常规资源的重要手段，其经济性和技术可行性在全球范围内得到广泛应用。国内外的案例研究表明，尽管压裂技术的初期投资较高，但通过优化技术和提高产量，有可能带来显著的长期效益。同时，压裂技术可以有效提高石油和天然气生产的效率，延长油田的生命周期，促进能源结构的多样化。

未来建议在压裂技术应用中，投资者应综合考虑油气市场的价格波动、地质条件和技术更新等因素，确保风险控制与收益最大化。当然，政策支持和环境保护措施也应得到充分关注，推动技术的可持续发展。

参考文献：

- [1] 孟祥桦. 低渗透油藏的采油技术与经济性分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(01):163-165.
- [2] 李高峰, 梁健龙, 陈昆, 等. 定向长钻孔区域压裂技术在深埋煤层顶板卸压的应用 [J]. 煤炭技术, 2025, 44(01):32-36.
- [3] 陈天欣, 赵靓, 王红娟, 等. 压裂返排液处理规模效应经济分析 [J]. 油气田环境保护, 2020, 30(04):25-27+75.
- [4] 郭永峰. 美公司推出压裂作业井眼监测技术以评估井组压裂经济性 [J]. 中国石油企业, 2021, (04):67-68.
- [5] 袁文奎.BZ25-1 区块压裂井重复压裂技术与经济可行性研究 [D]. 中国石油大学(华东), 2012.
- [6] 祝道平, 宁正福. 利用高能气体压裂技术开采天然气水合物可行性分析 [J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2009, 11(3):4.
- [7] 王凤江, 丁云宏, 路勇, 等. 水力压裂对边际油藏经济开采下限的影响 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(6):4.