

页岩油钻井技术创新与收益评估

谢 萌（中石化西南石油工程有限公司钻井一分公司，四川 成都 610500）

摘 要：页岩油作为一种重要的非常规能源，在全球能源结构中占据着日益重要的地位。随着传统油气资源的逐渐枯竭，页岩油的开采技术得到了快速发展，成为能源领域的一大亮点。然而，页岩油的开采过程复杂，技术要求高，成本投入大，这使得技术创新成为推动页岩油产业发展的关键。因此，对页岩油钻井技术创新及其收益进行评估，不仅有助于理解技术进步对产业发展的推动作用，还能为政策制定者和企业决策者提供科学的参考依据，促进页岩油资源的可持续开发利用。

关键词：页岩油；钻井技术；创新；收益评估

0 引言

在当前全球能源需求不断增长的背景下，页岩油作为一种新兴的能源资源，其开发利用对于保障能源安全具有重要意义。页岩油开采技术的创新，不仅能够提高开采效率，降低生产成本，还能减少对环境的影响，实现经济效益与环境效益的双赢。然而，页岩油开采技术的创新并非一蹴而就，它需要持续的研发投入和实践验证。因此，对页岩油钻井技术创新及其收益进行系统的评估，对于推动技术进步，优化资源配置，以及实现页岩油产业的可持续发展具有重要的理论和实践价值。

1 页岩油资源概述

页岩油是一种存在于页岩层中的非常规石油资源，它是由古代海洋生物遗骸在高压和高温作用下形成的。与传统的油田不同，页岩油不是以液态形式聚集在油藏中，而是分散在页岩基质中，因此其开采难度更大，技术要求更高。全球页岩油资源分布广泛，主要集中在美国、中国、阿根廷、加拿大等国家。其中，美国的巴肯、鹰福特和海恩斯维尔等页岩油田是全球最著名的页岩油产区，对全球能源市场产生了深远影响。页岩油的开采主要依赖于水平钻井和多级水力压裂技术。

水平钻井技术使得钻井轨迹能够在页岩层中横向延伸，从而接触到更多的油藏区域；多级水力压裂技术则是通过高压泵入液体，使页岩层产生裂缝，释放其中的石油。这两种技术的结合极大地提高了页岩油的开采效率和经济性。尽管页岩油开采技术取得了显著进步，但该行业仍面临诸多挑战，包括环境影响、水资源消耗、地质风险以及市场波动等。

因此，页岩油资源的开发需要在技术创新、环境保护和可持续发展之间找到平衡点。随着技术的不断

进步和政策的支持，页岩油有望在未来能源结构中扮演更加重要的角色。

2 页岩油钻井技术创新

2.1 钻井技术分类

页岩油钻井技术创新是推动页岩油开采效率和产量的关键因素。钻井技术的分类主要包括以下几个方面：水平钻井技术，这是页岩油开采中的核心技术之一。与传统的垂直钻井相比，水平钻井能够在页岩层中横向延伸，从而接触到更多的油藏区域，提高单井的产油量。水平钻井技术的发展经历了从简单的单水平段到复杂的多分支水平段的演变，极大地提升了钻井的灵活性和效率。多级水力压裂技术，这项技术通过在水平井的不同位置进行多次压裂作业，有效地扩大了油藏的渗透区域，增加了油气的流动通道。多级压裂技术的关键在于精确控制压裂液的注入和裂缝的生成，以最大化地释放页岩油资源。还有微地震监测技术，这是一种用于监测压裂作业过程中产生的微小地震活动的先进技术。通过实时监测微地震事件，可以评估压裂效果，优化压裂设计，减少对周围环境的影响，提高压裂的安全性和效率。钻井液和完井液的创新也是钻井技术中的重要组成部分。这些液体不仅需要具备良好的携岩能力，还要能够减少对页岩层的伤害，提高油井的产能和寿命。这些技术的不断创新和完善，推动了页岩油开采技术的进步，为页岩油资源的有效开发提供了技术支持。

2.2 技术创新案例分析

以美国巴肯页岩油田为例，该地区的页岩油开采技术经历了显著的创新和发展。巴肯页岩油田位于美国北达科他州和蒙大拿州，是全球最富产的页岩油区域之一。在技术创新的推动下，巴肯页岩油田的产量从2008年的几乎为零增长到2014年的超过100万桶

/天。在巴肯页岩油田，水平钻井技术的应用是提高产量的关键。钻井公司采用了更长的水平段和更密集的压裂段，使得单井的接触面积大大增加。例如，某些井的水平段长度超过了2英里（约3.2km），并且采用了超过30个压裂段，这比早期的水平井设计有了显著的提升。多级水力压裂技术的创新也是巴肯页岩油田成功的关键。通过使用更高效的压裂液和更精细的压裂设计，钻井公司能够更有效地打开页岩层，释放更多的石油。

此外，压裂液中添加的支撑剂（如砂子）的质量和数量也得到了优化，以确保裂缝在压裂后能够保持开放状态，持续导流油气。这些技术创新不仅提高了巴肯页岩油田的产量，还降低了每桶油的成本，使得页岩油开采在经济上更具吸引力。巴肯页岩油田的成功案例为全球其他页岩油产区的开发提供了宝贵的经验和参考。

2.3 技术创新对成本与效率的影响

技术创新对页岩油开采的成本与效率产生了深远的影响。随着钻井和压裂技术的不断进步，页岩油的开采成本显著下降，同时开采效率大幅提升。水平钻井技术的应用使得单井能够接触到更广泛的油藏区域，从而提高了单井的产油量。这种技术的创新减少了所需钻井的数量，降低了土地使用和环境影响，同时也减少了钻井作业的时间和成本。多级水力压裂技术的改进，特别是压裂液和支撑剂的优化，使得压裂作业更加高效和精确。这不仅提高了油井的初始产量，还延长了油井的生产寿命，减少了后续的维护和干预成本。微地震监测和数据分析技术的引入，使得钻井和压裂作业能够更加精确地定位和优化，减少了无效的作业和资源浪费。这些技术的应用提高了作业的安全性，减少了事故风险，进一步降低了总体成本。技术创新通过提高开采效率和降低成本，使得页岩油开采在经济上更具竞争力。这些技术进步不仅推动了页岩油产业的发展，也为全球能源供应的多元化和可持续发展提供了重要支持。

3 页岩油钻井收益评估方法

3.1 收益评估指标体系

初始投资成本：包括钻井、完井、设备购置、土地租赁等直接成本，以及项目管理和行政费用等间接成本。运营成本：涵盖了油井的日常运营和维护费用，如人工、能源消耗、材料更换、设备维修等。产量预测：基于地质数据和技术参数，预测油井的初始产量、

递减率和总产量，这是计算收益的基础。油价预测：考虑到国际油价的波动性，需要对未来油价进行合理预测，以评估收入的不确定性。税收和特许权使用费：包括国家和地方税收、特许权使用费等，这些都会直接影响项目的净收益。折现现金流（DCF）分析：通过将未来现金流折现到当前值，评估项目的经济可行性和投资回报率。风险评估：包括市场风险、技术风险、环境风险等，通过风险分析确定项目的整体风险水平。环境和社会影响评估：考虑项目对环境和社会的影响，评估可能的负面后果和相应的成本。

通过这些指标的综合评估，可以对页岩油钻井项目的经济效益进行全面分析，为投资者和决策者提供科学的依据，以确保项目的财务稳健和可持续发展。

3.2 收益评估模型构建

确定模型的输入变量，包括但不限于初始投资、运营成本、产量预测、油价假设、税收政策、特许权使用费等。这些变量是模型计算的基础，需要基于历史数据、市场趋势和技术分析进行合理估计。选择合适的财务评估工具，如净现值（NPV）、内部收益率（IRR）、回收期（Payback Period）等，这些工具可以帮助量化项目的经济效益和投资吸引力。构建现金流预测模型，考虑油井的产量递减模式、油价波动、运营成本变化等因素，计算出每个时间段的现金流入和流出。进行敏感性分析，评估关键变量（如油价、产量）变化对项目收益的影响，以识别项目的潜在风险和不确定性。结合风险评估结果，调整模型参数，确保模型能够反映项目的真实经济状况。这可能包括对不同情景的模拟，如最佳情况、最差情况和基准情况，以提供全面的决策支持。通过这些步骤，构建的收益评估模型能够为页岩油钻井项目提供一个量化的经济分析框架，帮助投资者和决策者做出明智的投资决策。

3.3 收益评估实证分析

实证分析是评估页岩油钻井项目收益的关键环节，它通过收集和分析实际数据来验证模型预测的准确性和可靠性。数据收集，包括历史产量数据、油价变动、成本记录、税收政策、市场趋势等。这些数据需要从可靠的数据源获取，以确保分析的准确性。数据清洗和处理，由于实际操作中可能存在误差和缺失值，需要对数据进行清洗和填充，以提高数据的质量。应用构建的收益评估模型，利用实际数据进行模拟和计算，得出预测结果。对比模型预测与实际运营数据，

评估模型的准确性和稳健性。这可以通过计算预测误差、相关系数等统计指标来完成。根据实证分析结果,对模型进行调整和改进,以提高未来的预测精度。实证分析不仅能够验证模型的有效性,还能够揭示项目收益的实际驱动因素,为未来的投资决策提供有力的支持。

4 页岩油钻井技术创新的挑战与对策

4.1 技术创新的挑战

技术创新是推动社会进步和经济发展的核心动力,但在这个过程中,创新者往往会面临各种挑战。以下是技术创新过程中可能遇到的一些挑战:研发成本高昂,技术创新需要大量的研发投入,包括人力资源、实验材料、设备购置等,这些都需要巨额的资金支持。对于许多企业来说,尤其是初创企业,筹集足够的研发资金是一个巨大的挑战。技术风险,技术创新的过程中,很难保证每一次尝试都能成功。很多时候,企业需要承担技术失败的风险,这可能会导致企业的声誉受损,甚至影响到企业的生存。市场风险,即使技术创新成功,产品或服务也有可能因为市场需求的变化而无法获得预期的收益。市场风险包括消费者偏好变化、竞争对手的行为、政策环境的变化等。知识产权保护也是一个挑战,在技术创新的过程中,企业需要保护自己的知识产权,避免技术被侵权或窃取。但知识产权的保护往往需要投入大量的法律资源,对于一些企业来说,这是一个额外的负担。技术创新还需要克服人才流失的挑战,技术创新需要高素质的人才,但优秀的人才往往容易流失,尤其是当企业的激励机制不足时。尽管技术创新过程中存在诸多挑战,但只有克服这些挑战,才能推动技术的进步,实现社会和经济的发展。

4.2 技术创新的对策

面对技术创新的挑战,需要采取一系列的对策来提高创新的成功率和效率。加大投入,政府和企业应增加对科技创新的投入,通过财政补贴、税收优惠、设立专项基金等方式,为技术创新提供充足的资金支持。建立风险投资机制,通过设立风险投资基金,鼓励民间资本投入科技创新领域,为初创企业和中小企业提供资金支持,以降低研发过程中的资金压力。强化知识产权保护,通过完善相关法律法规,加大执法力度,保护企业的知识产权,维护公平竞争的市场环境。建立技术创新平台,通过建设实验室、研发中心等技术创新平台,为企业提

培养等服务,降低技术创新的成本和风险。优化人才培养和激励机制,通过提高科研人员的待遇,完善激励机制,激发科研人员的创新积极性,同时加强人才培养,提高科技创新的人才储备。通过这些对策,可以有效应对技术创新过程中的挑战,推动科技创新的发展,为经济社会发展提供强大动力。

5 结束语

页岩油钻井技术创新与收益评估是我们理解并推动页岩油产业发展的关键。技术创新为钻井作业带来了更高的效率和更低的成本,而准确的收益评估则为我们提供了决策的依据。在未来的发展中,我们应继续坚持技术创新,提高页岩油钻井的技术水平和效率,同时,也要不断完善收益评估模型,准确预测和评估钻井项目的经济效益,为页岩油钻井的发展提供有力的支持。

参考文献:

- [1] 孙焕泉,王海涛,杨勇,等.陆相断陷湖盆页岩油开发技术迭代与发展方向[J].石油勘探与开发,2022(11):11-13.
- [2] 万绪新.渤南区块页岩油地层油基钻井液技术[J].石油钻探技术,2022,41(6):7.
- [3] 刘江涛,邹灵战,李忠明,等.页岩油气钻机装备配套能力提升研究与认识[J].石油机械,2023,51(12):38-43.
- [4] 迟建功.大庆古龙页岩油水平井钻井技术[J].石油钻探技术,2023,51(06):12-17.
- [5] 田启忠,戴荣东,王继强,等.胜利油田页岩油丛式井提速提效钻井技术[J].石油钻采工艺,2023,45(04):404-409.
- [6] 王延斌,王玉鹏,李海燕.数字化钻井技术加速页岩油勘探开发[N].科技日报,2023-07-11(005).
- [7] 王海斌.牛庄洼陷页岩油大尺寸井眼优快钻井技术[J].石油机械,2023,51(07):43-50.
- [8] 谢鑫,窦正道,付成林,等.江苏油田百色探区坤页AHF井钻井提速技术[J].海洋石油,2023,43(02):64-67.
- [9] 孙晨,寇园园,路盼盼,等.页岩油勘探开发关键技术综述[J].精细石油化工进展,2023,24(02):39-43.
- [10] 赵波,陈二丁.胜利油田页岩油水平井樊页平1井钻井技术[J].石油钻探技术,2023,49(4):6.

作者简介:

谢萌(1997-),女,汉族,黑龙江哈尔滨人,硕士学历,助理工程师,研究方向:钻井工程、科研管理。