

# 复杂海况下海上石油钻完井工程挑战及其降本增效策略

郝振山（中海油田服务股份有限公司深圳分公司，广东 深圳 518000）

**摘要：**在复杂海况下进行海上石油钻完井工程面临着巨大的挑战，尤其是在成本控制和作业效率方面。本文重点研究了降本增效油管技术在提高海上钻完井工程经济性和安全性方面的作用。通过对现有技术进行深入分析，本文提出了一系列创新的工程策略和管理措施，这些策略不仅包括采用高性能油管材料以减少维护成本和延长使用寿命，还涵盖了优化钻井设计和实施精细化管理流程。研究结果表明，通过这些综合措施，可以有效降低海上钻完井工程的总体成本，同时提高作业的安全性和效率。

**关键词：**海上钻完井；复杂海况；降本增效；油管技术

海上石油钻完井工程，作为能源开采的关键环节，在全球能源结构中占据举足轻重的地位。然而，这一工程在波涛汹涌的海洋环境中进行时，不仅技术难度大，经济成本亦居高不下。油管技术，作为连接海面与油气藏的纽带，其性能的优劣直接关系到整个工程的成败。本文通过深入分析现有油管技术的局限性，并结合实际案例，探讨了在复杂海况下提升油管技术、优化钻完井策略的多种途径，以期达到降低成本、提高效率的双重目标。

## 1 复杂海况对海上钻完井工程的影响

### 1.1 海况对钻井平台稳定性的影响

在海上石油钻完井工程中，钻井平台的稳定性是确保作业顺利进行的首要条件。但是复杂海况，尤其是极端天气如风暴、巨浪和潮汐力，对平台稳定性构成了严峻的挑战。海浪的冲击力可以导致平台发生摇摆和倾斜，这种动态响应不仅增加了结构的应力，还可能引起设备故障和作业中断。例如，当海浪高度超过平台设计的安全阈值时，其产生的横向力会使平台结构产生显著的弯曲和扭转，从而影响其整体稳定性。海流的变化也会影响平台的锚定系统，可能导致锚链的过度拉伸或断裂，进一步威胁到平台的安全。因此，为了应对这些挑战，工程师们必须在设计阶段就充分考虑海况因素，采用先进的计算模型和模拟技术，优化平台的结构设计，增强其在恶劣海况下的稳定性和耐久性。

### 1.2 海况对钻井设备性能的挑战

海上钻完井作业依赖于一系列精密的机械设备，这些设备在复杂海况下的性能表现直接关系到作业的效率和成本。海况的波动，特别是温度和湿度的变化，会影响设备的润滑系统、电气元件和材料的物理性能。比如极端低温可能会导致润滑油粘度增加，从而降低

设备的运转效率；而高湿度环境则可能加速金属部件的腐蚀，缩短设备的使用寿命；海浪和海流的不断冲击也会对设备造成额外的机械应力，增加故障的风险。为了应对这些挑战，钻完井设备的设计需要考虑到环境适应性，采用耐腐蚀、耐冲击的材料，并配备有效的防护措施，如防水密封和防震装置。

### 1.3 海况对作业人员安全的风险

复杂海况不仅对设备和平台构成挑战，也对作业人员的安全带来极大的威胁。强风和巨浪可能导致人员滑倒、坠落或被抛离安全区域，而低温和高湿度环境则可能引发健康问题，如冻伤和热射病。海况的不确定性也增加了作业人员在紧急情况下的逃生难度。为了确保人员安全，必须采取一系列预防措施，比如提供适当的个人防护装备，如救生衣和防滑鞋；实施严格的安全培训和演练，提高作业人员对海况变化的应对能力以及建立有效的通讯和监控系统，确保在紧急情况下能够迅速响应。通过这些措施，可以在一定程度上降低复杂海况对作业人员安全的风险，保障海上钻完井工程的顺利进行。

## 2 海上钻完井工程的优化

### 2.1 高性能油管材料的应用

在海上钻完井工程中，随着技术的进步，新型油管材料如PPS（聚苯硫醚）逐渐在这一领域得到广泛应用。PPS材料以其卓越的耐高温、耐化学药品、良好的热稳定性和电性能等特性，成为油管制造的理想选择。在高温高压的恶劣环境下，PPS油管能够保持稳定的性能，满足在-40~135℃范围内的正常使用需求，同时对酸性和碱性物质都具有很好的抗性，可以有效的防止油管被腐蚀。而PPS材料的高机械强度和良好的热稳定性有助于提高油管的使用寿命和稳定性，减少更换频率和维护成本，从而在复杂海况下提

高海上钻完井工程的经济性和安全性。

## 2.2 钻井自动化技术的发展

随着集成电路计算机和标准化编程语言的发展，自动化钻井技术开始实现对钻机设备的计算机程序控制。例如，1969年，F.S.YOUNG等人设计的计算机控制钻井系统，通过钻速测试和参数优化，实现了低成本钻井的目的，尽管早期试验因条件限制未能持续，但这标志着自动化钻井技术的初步探索。在进入21世纪后，随着传感器技术的进步，自动化钻井技术迎来了新的发展机遇。J.F.BRETT等人设计的计算机控制系统，集成了多种传感器和仪器，实现了自动控制钻压和转速的技术试验。尽管面临传感器可靠度和成本的挑战，但这些试验为后续技术发展奠定了基础。近年来，自动化智能化钻井整体技术发展迅猛，单项技术走向整合，新的技术组织、服务公司和现场试验项目不断涌现。

自动化钻井技术路线图的制定，为自动化钻井技术的快速推进提供了明确的方向。通过实时分析软件和控制系统监测和控制的钻完井施工，以及基于业务流程管控的钻完井，自动化钻井技术正逐步实现闭环控制，提高作业的精度和速度。自动化钻井技术的发展，不仅提高了钻井作业的效率和安全性，还为未来钻井技术的进步提供了新的可能性。预计到2025年，半自主控制作业模式的智能钻井将初步实现，而到2050年，无人化全自主控制钻完井作业施工模式有望成为现实。

## 2.3 钻完井工艺的优化

钻完井工艺的优化是提高海上钻完井工程效率和降低成本的关键。通过优化井身结构设计，可以减少固井工作量和候凝时间，从而缩短钻井周期；而采用高效钻头和个性化的优质钻井液，可以提高机械钻速，减少钻头用量和起下钻次数，进一步降低钻井成本。同时，强化参数钻井和高压喷射钻井技术的应用，也是提高钻井效率的有效手段。通过这些综合措施，钻完井工艺的优化不仅能够提高单井产量，还能够在复杂海况下实现降本增效，为海上钻完井工程的可持续发展提供有力支持。

## 3 管理策略对成本控制的影响

### 3.1 精细化项目管理的实施

在海上钻完井工程中，通过精细化管理，项目团队能够对作业的每一个环节进行严格监控，以确保资源的合理分配和使用。比如对作业时间与作业类型的

详细记录和分析，可以更准确地进行成本分配和跟踪，从而及时发现并解决成本超支的问题。精细化管理还包括对项目进度的严格把控，通过设定明确的里程碑和关键绩效指标（KPIs），确保项目按计划推进，避免因延期而产生的额外成本。这种管理方式不仅有助于降低不必要的成本支出，还能提高作业效率和项目的整体经济效益。

海洋石油钻完井技术的发展对提高海洋石油勘探开发效率、降低成本、保障安全具有重要意义。中国海油在“十三五”期间，通过科技创新，攻克了一系列核心技术，实现了钻完井作业效率的显著提升。例如，垦利16-1油田“新优快”钻完井试点项目通过管理与科技创新双轮驱动，钻完井作业效率提升58%，近海高效环保钻完井技术、大位移井等多项关键技术达到国际领先水平，为我国油气增储上产发挥重要作用。而良好的采购经验可以让油公司最多降低10%~15%钻井成本，有助于实现降低钻井成本50%的总体目标。然而，这需要从根本上反思现行的商业模式，并采取积极方法应对当前市场低迷的形势。一些油公司已经成功使用了新的付款模式，如按时效付款，而不是固定的日费等来激励服务提供商，同时完成公司的目标。

## 3.2 技术革新与成本控制

在现代海上石油钻完井工程中，技术革新已成为推动成本降低的关键驱动力。通过采用信息化、自动化、智能化和无人化技术，企业能够显著优化作业流程，提升作业效率，并在复杂海况下实现成本的大幅度降低。而信息化技术的引入，让海上钻完井作业的数据管理更加高效和准确。利用云计算和大数据分析，企业可以实时监控作业状况，快速处理和分析数据，从而做出更精准的决策。这种技术的应用不仅提升了作业的透明度和响应速度，还有助于预防潜在的作业风险，减少不必要的成本支出。

同时，通过自动化控制系统，可以有效的减少人为操作错误，提高作业的安全性和精确度。智能化技术，比如机器学习和人工智能算法，能够预测作业中可能出现的问题，并提前给出解决方案，从而降低维护成本和减少停工时间。无人化平台和数字孪生技术的应用，代表了海上钻完井技术发展的最新趋势，它可以在极端海况下进行作业，极大地降低对作业人员的需求和相关安全风险。而数字孪生技术可以创建实际作业环境的虚拟模型，在虚拟环境中进行模拟和优

化, 从而在实际作业前预测并解决潜在问题, 显著提高作业成功率和降低成本。

### 3.3 风险评估与应对策略

在海上钻完井工程中, 及时对项目可能面临的风险进行全面识别和评估, 可以让项目团队制定有效的风险应对措施, 减少不确定性对项目成本的影响。例如, 通过建立应急预案和风险缓解计划, 可以降低自然灾害和意外事件对项目进度和成本的影响。而采用先进的预测技术和实时监控系统, 可以提前预警潜在的风险, 使项目团队能够迅速采取行动, 避免或减轻风险带来的损失。这些措施, 能让项目团队更好地控制成本, 以确保项目的顺利进行。在实施上述管理策略时, 项目团队需要不断地学习和创新, 借鉴行业内的最佳实践, 同时结合项目的具体情况, 制定和优化管理策略。通过持续改进和精细化管理, 海上钻完井工程的成本控制将更加有效, 从而提高项目的经济效益和市场竞争力。

## 4 经济分析与成本效益评估

### 4.1 钻完井工程成本构成分析

钻完井工程的成本构成是多方面的, 涉及到从前期准备到后期完井的各个环节。根据相关研究数据, 钻完井成本主要可以划分为几个关键部分: 钻机及钻井液、套管及泥浆、水力压裂等。其中, 水力压裂技术是页岩气开发中成本最重的部分, 也是技术进步、降本增效的重要源头。在钻完井成本中, 钻机及钻井液占据了相当的比例, 这包括了钻机的租赁费用、钻井液的采购与维护等。套管及泥浆的费用同样不容忽视, 它们是保证钻井顺利进行的基础材料。其中, 完井液和回注处理、支撑剂等其他相关费用也构成了钻完井成本的一部分。为了有效控制成本, 需要对这些成本构成进行细致的分析, 识别出成本控制的关键点。例如, 通过优化钻井设计、提高作业效率、采用成本效益更高的材料和技术, 可以有效降低钻完井成本。

### 4.2 降本增效措施的经济影响

实施降本增效措施后, 经济效果显著。根据实际案例分析, 通过技术创新、管理提升、合同降价三方面综合降本体系, 可以实现钻井成本的显著降低。例如, 一家业务主要在墨西哥湾的油公司, 通过有效组织并改善采购和供应链, 降低了约 19% 的海上钻井成本。这表明, 通过精细化管理和优化供应链, 可以显著降低成本, 提高油田开发效益。降本增效措施不仅能够减少成本支出, 还能提高作业效率和资源利用率,

从而带来更高的投资回报。这些措施包括但不限于采用高性能油管材料、钻井自动化技术、钻完井工艺优化等。

### 4.3 长期投资回报率的预测

预测长期内降本增效措施对投资回报率的影响是一个复杂的过程, 它涉及到对多个变量的深入分析和理解。降本增效措施通过减少不必要的开支和提高操作效率, 能够直接影响企业的净现值和内部收益率, 这种影响是直接且显著的, 因为它涉及到成本结构的优化和资源的更有效利用。而通过优化供应链管理, 可以有效的降低物料成本和提高物流效率, 这是降本增效的直接体现。降本增效措施还能够提高企业的市场竞争力, 增强其在市场中的抗风险能力。在竞争激烈的市场中, 能够控制成本的企业往往能够更好地生存和发展, 这种竞争力的提升, 不仅能够吸引更多的客户, 还能够在谈判中获得更有利的条件, 从而提高整体的盈利能力。在长期投资回报率的预测中, 还需要考虑行业发展趋势、技术进步、市场需求变化等因素。这些因素虽然不直接受控于企业, 但它们对企业的长期发展有着深远的影响。最后, 通过综合分析这些因素, 可以更准确地预测降本增效措施对长期投资回报率的影响, 这种预测不仅需要对历史数据进行分析, 还需要对未来的趋势进行合理的假设和推断。在这个过程中, 企业需要不断地调整和优化自己的策略, 以适应不断变化的市场环境。

## 5 结语

在对复杂海况下海上石油钻完井工程的挑战进行了全面分析的基础上, 本文提出了一系列创新的技术和管理办法, 以期实现成本的有效控制和作业效率的提升。虽然这些策略在理论上和初步实践中显示出了积极的效果, 但我们必须认识到, 海上作业环境的不确定性和动态变化要求我们持续地进行技术创新和优化管理实践。未来的研究需要进一步探索这些策略在不同海况和地质条件下的适用性和效率, 同时也要关注新兴技术在提高作业安全性和经济性方面的潜力。我们期待通过不断的研究和实践, 能够为海上石油钻完井工程的可持续发展贡献更多的智慧和力量。

### 参考文献:

- [1] 王同良, 杨梦露. 海洋油气工程数字化智能化发展现状与展望 [J]. 前瞻科技, 2023, 2(2):105-120.
- [2] 葛辉, 张玉. “红色引擎”驱动胜利石油工程迎难而上 [J]. 中国石化, 2021(7):73-74.