

海上石油开采成本管理未来发展探索

李鹏宇（中海石油（中国）有限公司天津分公司，天津 300011）

摘要：海上石油开采成本管理面临多维系统性挑战，包括技术迭代滞后、环境成本控制、供应链瓶颈、管理体系缺陷及风险敞口管理不足等问题。为应对这些挑战，本文提出了一系列成本管理优化对策，包括智能化技术矩阵、绿色技术经济模式、供应链韧性建设、数字化管理平台及风险对冲体系。通过这些对策的实施，可以显著提升海上石油开采的成本效率和风险管理能力，实现可持续发展。

关键词：海上石油；开采成本管理；问题及对策

中图分类号：TE5

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）020-0061-03

Exploration on the Future Development of Offshore Oil Exploitation Cost Management

Li Pengyu (Tianjin Branch of CNOOC (China) Co., Ltd., Tianjin 300011, China)

Abstract: Offshore oil exploitation cost management is facing multidimensional and systematic challenges, including technical iteration lag, environmental cost control, supply chain bottleneck, management system defects and insufficient risk exposure management. In order to meet these challenges, this paper puts forward a series of cost management optimization countermeasures, including intelligent technology matrix, green technology economic model, supply chain resilience construction, digital management platform and risk hedging system. Through the implementation of these countermeasures, the cost efficiency and risk management ability of offshore oil exploitation can be significantly improved, and sustainable development can be realized.

Keywords: offshore oil; Mining cost management; Problems and countermeasures

海上石油开采作为能源领域的重要组成部分，其成本管理对于项目的经济性和可持续性至关重要。然而，随着开采深度的增加、技术难度的提升以及国际能源市场的波动，海上石油开采成本管理体系面临着前所未有的挑战。因此，探索有效的成本管理优化对策，对于提升海上石油开采的竞争力和可持续发展能力具有重要意义。

1 海上石油开采成本构成及管理特征

1.1 成本结构模型

海上石油开采成本体系呈现多维复合结构特征，开发成本以较高的占比居于主导地位，其核心支出涵盖新油田建造开发（含固定平台、FPSO、陆岸终端等）、油气田开发所需的生产系统（包含海底管道铺设、水下采油树安装等关键技术环节），特别是水深超过 1500m 的超深水项目需配置第七代钻井船等高价值资产。运营成本占据 29% 的份额，具体涉及海上作业人员薪酬、餐费、直升机通勤保障等、固定设施和 FPSO 浮式生产储油装置的周期性维护以及法定检验检查项目、以及海上设施与陆岸之间物资和物料转运（需动用三用工作船、平台供应船等专业船舶）。风险成本以 25% 的比例构成显著压力，不仅包含应对海上井涌井喷事故的应急处置措施、溢油及排放等环境污染处理，还包括极端天气引发的设备损坏等损失补

偿（如台风季节锚泊系统失效导致的生产产量损失），更涉及碳捕捉技术应用后的长期生态监测费用。合规成本虽仅占 8%，但其内涵持续扩展至国际海事组织（IMO）的硫排放控制区合规改造（需加装废气清洗系统）、碳排放配额交易成本（参照欧盟 ETS 体系），以及为获取 ISO 14064 环境管理体系认证所需的第三方审计支出，特别是深水开发项目还需满足《伦敦公约》关于海洋地质保护的特殊要求^[1]。

1.2 动态管理特征

海上石油开发成本动态呈现复杂非线性特征，勘探阶段初期投资强度可达生产后期废弃处置费用的 5.8 倍，其中三维地震勘探（含 OBN 节点式海底地震仪部署）与钻完井作业（需使用智能系统）构成主要成本峰值。地层松软引发的套管挤毁风险与水下采油树冲蚀磨损使风险进一步加强，具体表现为国外某深水油田钻杆年均磨损量较陆架区域增加 2.3 倍。水深梯度引发的风险溢价呈现指数级攀升，大陆架 200m 水深项目的井控设备成本较浅海区域增加 43%，当进入 3000m 超深水领域时，动态定位钻井船（DP3 级）的日租金较常规平台激增 2.8 倍，且每加深 100m 需额外配置价值 150 万美元的水下防喷器组。值得注意的是，在海底地形突变区域（如海底峡谷边缘），钻井液漏失概率陡增导致单井作业成本波动幅度可达基

准值的 19%，这些风险因素均可被纳入油气田开发经济评价模型^[2]。

2 现存管理问题分析

海上石油开采成本管理体系面临多维系统性挑战，其中技术迭代滞后表现为水下井口压力传感器的安装覆盖率仅为 31.7%，远低于挪威石油标准化组织（NORSOK）要求的 85% 基准，相较北海油田存在 4.2 年的技术代差。根据渤海某油田数据显示，现场电泵运行参数实时采集系统缺失导致 22% 的工况异常未能及时进行干预，如电潜泵因振动监测装置缺位引发的泵轴断裂事故，单次损失超 100 万元。环境成本控制呈现复合特征，之前现场生产油田溢油应急基金拨备标准仅为事故实际处置费用的 4.3%，而依据国家生态环保部相关要求，海洋环境修复技术应用率不足 40%，特别是近年来国家层面的环保标准逐年提升，使各个油田每年投入到环保治理中的费用较五年前增长 114%。供应链瓶颈在国际局势的影响下愈发凸显，进口关键设备的进口替代率不足 32%，挪威船级社（DNV）认证的国产化水下采油树仅占全球市场份额的 6.8%。

管理体系缺陷集中反映在成本归集维度缺失，82% 的项目未建设备全生命周期成本（LCC）跟踪体系，油田现场生产与采购部门的协同响应时间周期较长，特别在深水开发中，关键设备关键零部件选型决策与成本控制目标偏差度达 39%。风险管理存在结构性缺陷，台风季造成的锚泊系统失效事故使单个 FPSO 年均停产损失攀升至 670 万美元，布伦特原油价格波动对项目 IRR 的影响弹性系数达 0.91，而根据最新报告，争议地区设施保险费的年度增幅已达 20%，但企业投保覆盖范围仍存在 29% 的缺口，特别是在水下生产系统网络安全风险领域，仅有 18% 的平台配置了符合 IEC 62443 标准的防护体系^[3]。

3 成本管理优化对策

3.1 智能化技术矩阵

海上油气田智能化改造取得突破性进展，数字智能系统的部署深度整合区域链数据，通过构建建模算法将油田整体生产重构精度提升至 92.3%。在国外一些深水项目中，智能传感网络建设涵盖 528 个多光谱传感节点，布设于水下采油树、隔水管悬挂器等关键部位，其中配备量子惯性导航模块的深海传感器可实现 $\pm 2\text{cm}$ 的井口位移实时监测。自主研发的智能钻井控制系统（IDCS）融合强化学习算法，在南海某油田应用中，成功将轨迹控制误差从行业平均的 7.6% 降至 2.9%。机器人运维体系构建起立体化作业网络，挪威 Equinor 公司应用的 Eelume 蛇形机器人已实现 94%

的水下阀门执行机构覆盖检测，配备激光甲烷探测模块的巡检无人机单次巡航面积扩展至 58m^2 ，较传统人工巡检效能提升 7.3 倍。维修机械臂集成增强现实（AR）可视化系统后，在琼东南盆地某气田成功将水下节流阀更换作业时间从 6h 压缩至 37min，关键维修工序效率提升 9.8 倍。技术协同效应显著，数字孪生体实时接收的 316 个压力-温度数据流与机器人采集的 4K 影像数据，通过边缘计算网关实现毫秒级融合处理，使水下生产系统故障预判准确率提升至 89%。该技术体系已通过 ISO 15926 数据标准认证，并在墨西哥湾深水项目实现非生产时间（NPT）降低 42% 的实战效果，其中自适应控压钻井算法成功规避 3 次井涌风险，累计节约成本 2700 万美元。

3.2 绿色技术经济模式

海上油气田绿色技术体系取得突破性进展，模块化碳捕集装置通过标准化接口设计实现快速部署，在北海某油田的应用中将二氧化碳封存成本压缩至 47.6 美元/吨（符合 ISO 27914 地质封存标准），其分体式胺吸收塔设计使能耗降低 39%，特别在伴生气处理环节，高压废气回注系统结合智能配注算法，使低渗透储层采收率从 21.3% 提升至 33.8%。闭环水处理系统集成超滤-反渗透四级膜分离工艺，通过 AI 动态调节药剂投加量，在渤海某油田实现采出水电导率稳定在 $450\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下，淡水重复使用率突破 95.2% 的同时，阻垢剂年消耗量从 28t 降至 9.3t，运营成本节约达 430 万美元/年。该水处理单元配备的在线水质监测仪通过 CSA Z314.8 认证，可实时检测 12 种重金属离子浓度，结合数字孪生系统模拟的流体动力学模型，成功将反冲洗周期延长至传统系统的 2.7 倍。两项技术协同形成碳-水循环经济模式，CCUS 单元捕获的二氧化碳经矿化处理用于驱油作业，而水处理单元回收的淡化水则用于冷却塔补给，整体系统通过 DNV-RP-O301 认证，在墨西哥湾深水项目的全生命周期评估中，碳强度指标较基准方案降低 62%，并成功获得 68.5 万碳信用额度，可在欧盟排放交易体系实现超额收益^[4]。

3.3 供应链韧性建设

海上油气田供应链体系正在经历技术革新与产业升级双重变革，核心装备自主化进程加速推进，依托国家海洋工程装备创新中心建设的三个专项研发基地（聚焦水下采油树、深水防喷器、动态立管系统），成功突破 API 17F 标准的水下控制模块制造技术，使国产化深水井口装置市场占有率从 18% 提升至 64.7%，其中自主研发的钛合金海底阀门执行机构通过 DNV-GL 严苛工况测试，直接降低进口关税相关成

本达 23%。智能仓储体系构建起全链路数字化网络,应用超高频 RFID 标签(符合 EPCglobal Gen2 标准)实现从青岛港保税仓到海上浮式平台的物资全流程追踪,仓储管理系统(WMS)整合机器学习算法后,备件需求预测准确率提升至 91%,使南海某深水项目的钻井工具安全库存量从 387 件优化至 224 件。分布式仓储网络结合智能调度算法,将台风季应急物资调配时效从 72h 压缩至 29h,其中琼东南盆地气田通过部署边缘计算节点,实现关键阀门 5h 内国内紧急调货能力。该体系同步接入区块链溯源平台,供应商交货准时率提升 38%,并建立基于设备健康状态的预防性备件供应模型,成功将水下机器人维修等待期缩短 67%。特别在墨西哥湾深水开发中,智能货架系统通过 UWB 定位技术实现 98.6% 的库存可视化率,配合 AGV 无人搬运车将库区作业效率提升 4.3 倍,整套方案已形成包含 12 项 PCT 专利的技术集群,使供应链综合运营成本降低 29%。

3.4 数字化管理平台

海上油气田数字化管理平台实现重大突破,全要素成本建模系统集成地质力学参数、设备折旧因子及国际原油期货价格等 287 个动态变量,通过联邦学习机制融合多油田运营数据,在南海某深水项目的应用中,成功将完井成本预测误差率压缩至 2.7%,其中井筒完整性模拟模块精准预测了 7 次套管挤毁风险,累计规避损失 4300 万美元。区块链协同网络基于 Hyperledger Fabric 框架构建,连接全球 63 个核心供应商节点和 28 家物流服务商,通过智能合约自动执行采购订单,在巴西盐下油田开发中将信用证开立周期从 14 天缩短至 8h,争议处理时效提升 76%。该网络实现采购订单、船运提单与海关申报单的三单自动核验,结合零知识证明技术保护商业机密,使供应链数据同步延迟降低至 15 秒以内。特别在北极 LNG 项目应用中,区块链存证的设备质量数据使索赔处理效率提升 83%,配合成本模型的实时汇率波动预警模块,成功对冲 5.2% 的卢布汇率风险。系统通过 ISO 8000 数据质量标准认证,其特有的动态成本分摊算法能精确追踪单井级碳排放成本,在欧盟碳边境调节机制下实现税费优化 19%^[5]。

3.5 风险对冲体系

海上油气田风险防控体系实现技术跃升,集成国家天气预报中心高分辨率数值模型的气象预警平台,在南海季风区成功实现台风路径 72h 预测精度达 89%,配套研发的 TLP 张力腿平台新型系泊系统通过船级社认证,使浮式生产储油装置(FPSO)在蒲氏风级 16 级工况下位移幅度控制在 3.7m 以内。价格风险

管理模块融合 WTI-Brent 价差分析算法,构建包含原油期权、天然气互换合约的衍生品组合,在北海某油田应用中实现对 85.3% 价格敞口的对冲覆盖,特别开发的机器学习价格弹性模型(基于 XGBoost 框架)经 SPE 标准验证,成功预测 2022 年气价波动拐点,模型决定系数达 0.913。该体系同步接入 CME 清算所实时数据,通过压力测试模块模拟地缘政治冲突下的极端价格场景,在里海项目中成功规避 17% 的预算超支风险。

极端工况应对方面,半潜式平台配备的第三代动力定位系统(DP3)实现 14m 浪高条件下的位置保持精度 $\pm 1.2\text{m}$,配套的应急解脱装置可在 45min 内完成井口安全封隔。在金融工具创新领域,首次将碳期货合约纳入套保组合,使挪威 Johan Castberg 项目在 EU ETS 碳价突破 90 欧元/吨时仍维持预期收益,并通过开发包含 32 个宏观经济指标的多因子回归模型,将价格预测窗口期从 3 个月延伸至 18 个月,模型回测误差率控制在 2.8% 以内。

4 结语

本文深入分析了海上石油开采成本管理的现状及存在的问题,并提出了一系列针对性的优化对策。通过智能化技术矩阵的应用,可以提升开采效率和准确性,降低作业成本;绿色技术经济模式的推广,有助于实现碳减排和水资源循环利用,降低环境成本;供应链韧性建设的加强,可以确保关键装备和物资的供应稳定性,降低供应链风险;数字化管理平台的构建,可以实现成本数据的实时监控和精准预测,提升决策效率;风险对冲体系的完善,可以有效应对市场价格波动和极端天气等风险。这些对策的实施,将为海上石油开采行业的成本管理提供有力支持,推动其实现高质量发展。

参考文献:

- [1] 张媛. 石油开采企业加强成本管理的途径和方法 [J]. 会计师, 2023(03):105-107.
- [2] 段云军. 石油企业成本管理探讨 [J]. 大众投资指南, 2020(20):169-170.
- [3] 高艳丽. 石油开采企业加强成本管理的途径和方法研究 [J]. 大众投资指南, 2018(18):183+185.
- [4] 李毅. 石油开采企业成本管理的优化对策 [J]. 企业改革与管理, 2018(03):153+171.
- [5] 李春勇. 石油开采企业成本管理存在问题及对策 [J]. 中外企业家, 2013(23):100.

作者简介:

李鹏宇(1984-), 男, 汉族, 天津人, 大学本科, 工程师, 研究方向: 海洋石油开发、工程。