

文章编号: 1008-2336 (2025) 02-0089-05

渤海油田优快钻井高效决策支持关键技术

陈 真

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

摘要: 在海洋钻井技术高速发展的背景之下, 渤海油田以渤中 A 区块为靶区, 实施了新阶段优快钻井项目, 该项目的成功实施不仅给随钻过程的快速决策提出了更高要求, 也给钻井数字化、智能化建设带来了新的发展契机。通过全方位项目研究与技术解析, 构建了远程高效决策支持体系, 建立了适应渤海油田快速钻井的辅助决策支持关键技术。28 口钻井的应用实践表明, 该技术能较好地适应渤海快速钻井要求, 对于提速关键环节的决策控制也比较准确, 具有较好的推广价值。

关键词: 渤海油田; 快速钻井; 高效决策; 地质工程一体化; 辅助决策

中图分类号: TE52

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1008-2336.2025.02.089

Key technology of efficient decision support for optimal and rapid drilling in Bohai Oilfield

CHEN Zhen

(CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

Abstract: Under the background of the rapid development of offshore drilling technology, a new stage of optimal and rapid drilling project has been implemented in Kenli A Block in Bohai Oilfield. The implementation of the project not only puts forward higher requirements for rapid decision-making during drilling construction, but also brings new development opportunities for digital and intelligent drilling construction. Through comprehensive project research and technical analysis, the remote and efficient decision support system is constructed, and the key auxiliary decision support technology adapted to the rapid drilling in Bohai Oilfield is established. The application practice of 28 wells shows that this technology can be well adapted to the rapid drilling in Bohai Oilfield, and it is also more accurate for the decision control of the key link of speed increase. So it is well worth wide promotion.

Key words: Bohai Oilfield; rapid drilling; efficient decision support; geotechnical engineering integration; real time operating centre

随着海上油田钻井技术的不断发展, 各大油田开展了新一轮的提质增效工作, 在此背景之下, 新阶段的快速钻井成为了渤海油田重要课题。近年来, 在“优快”的号召下, 渤海油田开启了多个项目的快速钻井征程, 从海洋钻井来看, 这是技术体系和管理模式双重改革。优快精神对海洋钻井的影响深远, 提质增效工作是快速钻井的重要目标, 它需着力于钻井作业的各个环节。本阶段钻井新技术的发展, 不仅在工具制造、工艺设备方面提出了更高要求, 而且给钻井数字化建设带来了新的发展契机, 加强快速钻井远程辅助决策支持, 最大化发挥数字化建设的价值, 成为海上油田钻井数字化与智能化建设的新要求。本文根据靶区作业特点与提速提效工作需求, 创建了渤海油田优快钻井高效决策支持技术, 它能较好地适应渤海快

速钻井要求, 对于提速关键环节的决策控制也较为准确^[1-2]。

1 技术难点

本次优快项目试点区块是: 渤中 A 区块。它具有“边、小、碎、深”等边际油田特征, 这对现场钻井提速带来了很大挑战。如何开展科学的作业管理, 用数字化手段助力海上钻井提速, 从而建立符合靶区实际的远程高效决策机制, 成为了当前亟待解决的技术难点。

结合海上油田现行的辅助决策特点, 对施工靶区作业特点进行充分调研, 试点区块从施工角度分析, 主要有两个方面难点: (1) 靶区地层为新近系极疏

收稿日期: 2023-08-11; 改回日期: 2024-10-22

作者简介: 陈真, 男, 1988 年生, 本科, 高级工程师, 2012 年毕业于东北石油大学资源勘查工程专业, 从事海上油田钻井数字化建设及辅助决策支持工作。E-mail: chenchen5@cnooc.com.cn。

松地层，井壁失稳风险较高；（2）主要目地层埋深浅，井网设计复杂，高水垂比井所占比例较大，造成钻井过程摩阻较大。基于以上作业难点，为提升决策准确性与时效性，从远程高效决策机制方面考量，需要建立井壁稳定快速评价机制、快速钻井综合摩阻监测评价技术。

2 技术攻关

通过对渤海油田十多年来各阶段钻井提速的技术研究，结合当前海洋钻井技术现状，制定了明确的技术研究路线。

（1）进行渤中 A 区块作业难点分解，提出远程作业支持亟待解决的技术关键点：需要构建线下+线上载体模式；需要构建解决靶区作业特点的快速钻井辅助决策支持关键技术。

（2）在作业支持及科学管理方面，建立多方联动的钻完井信息共享平台，集成地质油藏部门、钻井液、定向井、固井等服务商，以及随钻辅助决策专家团队等专业优势，从而构建匹配快速钻井速度的高效决策机制。

（3）针对靶区作业井主要特点，特别针对大位移井、大斜度井的作业需求，开展技术调研及攻关，明确了辅助决策技术在井壁稳定、摩阻精确评估方面的关键问题，进行远程作业支持两项关键技术研究方向：极疏松地层井壁稳定精准评估；浅层大位移井摩阻扭矩模拟论证以及随钻监测。

通过以上三个阶段的技术攻关，形成初步技术成

果，在预案编制、随钻支持、钻后优化等过程中不断应用及改进，最终形成适用于渤中 A 区块的快速钻井高效决策关键技术。

3 构建远程作业高效决策机制

基于渤中 A 区块快速钻井项目的技术攻关，横向对比国内各海域的远程钻井辅助决策机制的优缺点，提出了快速钻井高效决策机制，筹备建立了高效远程决策办公室。组建技术团队，明确各环节责任人，从钻前、钻中、钻后等环节，对钻井作业进行全过程跟踪支持^[3]。

高效决策机制的核心内容包含三个方面：（1）依托高效办公室，建立信息共享、多方联动、决策通畅的高效决策机制；（2）充分利用现行钻井大数据及辅助决策系统相关成果，组建全天候的在线支持团队；（3）需要构建钻前、钻中、钻后全过程快速钻井支持关键技术。

实际工作中，以高效决策办公室为依托，建立多方联动的信息共享平台，联动作业现场、优快项目组、服务商、地质油藏部门，开启海陆联合作业模式，开展 7×24 h 数据分析支持工作，发挥专家支持团队价值。充分利用现有专家、软件、数据等资源，构建作业现场-专家在线分析系统-高效决策办公室的远程决策支持体系，以数字化手段+多元技术融合的方式，提升作业效率，保障作业安全，进而实现钻井作业提质增效的目的^[4]（图 1）。

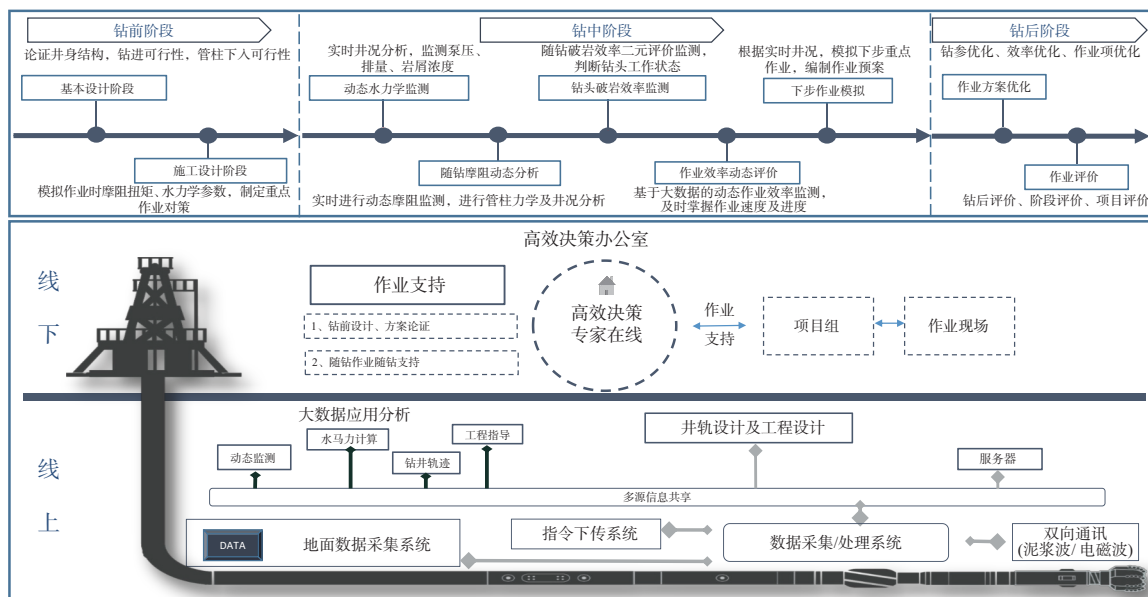


图 1 高效决策机制图

Fig. 1 Efficient decision-making mechanism

4 建立快速钻井辅助决策支持关键技术

4.1 大位移、大斜度井动态摩阻监测论证技术

本项目靶区设计井以大位移、大斜度井为主，常规的摩阻分析方法主要是两段式分析法，分别对套管内以及裸眼段进行摩阻分析，无法满足较高水垂比的浅层大位移井的摩阻计算需求，特别是对极限工况的模拟准确性较差。针对渤中 A 区块作业井特点，通过调研发现，运用三维摩阻分析方法能解决该问题。结合前沿动态摩阻分析理念，研究建立大位移、大斜度井 IS 动态摩阻监测论证技术^[5-6]。

其技术内涵主要包含以下 4 个方面。

(1) 动态摩阻监测技术是充分利用现有技术手段，开展全工况的摩阻实时监测工作，连接实时数据库，随钻监测钻进状态下摩擦系数变化，结合地层、轨迹等信息综合判断井下状态，提供远程决策支持。在此基础上，开展全工况摩阻反演，通过本井及邻井钻进/起下钻/下套管摩阻系数模拟分析，模拟潜在系数条件下本井下步作业风险，结合本井实际井况表现给出推荐方案。

(2) 创新建立裸眼三段式摩阻分析方法。结合大位移井、大斜度井轨迹的特点，首创裸眼三段式摩阻分析方法，将裸眼分为造斜段、稳斜段、降斜段进行分段研究，从而对钻进及下套管进行准确的模拟

监测。

以浅层大位移井 A21 井为例，311.15 mm 井段作业过程中，常规的两段式摩阻分析方法，无法满足钻进过程中摩阻监测以及下步下套管模拟需求，团队构建了裸眼三段式分析法。该类浅层大位移井上层 339.73 mm 套管下深在 700~900 m 之间，通过邻井分析，套管内摩擦系数普遍在 0.28~0.30 左右，但造斜段、稳斜段、降斜段的摩阻呈现不同程度的变化。本井通过起下钻反演分析，摩擦系数为：套管内 0.30，造斜段 0.35，稳斜段 0.43，降斜段 0.38。基于该结果，团队准确模拟了难度较高的下 244.48 mm 套管作业，及时给现场提供了决策依据（图 2）。

(3) 创新建立扭矩分解技术

基于算法研究与代码开发，编程实现钻井过程中的扭矩自动分解，将作业过程中扭矩值分解成：钻头扭矩、接立柱前划眼扭矩、启动扭矩、旋转钻进扭矩等四种扭矩，再结合井壁稳定及井眼清洁进行综合分析，从而达到井况分析的目的（图 3）。

(4) 大位移井模拟论证技术

本技术主要是对难度较高的浅层大位移井进行方案论证，具体实施过程分三个步骤：① 首先利用上述的三维摩阻分析法对已钻大位移井进行全方位摩阻反演，提取关键参数；② 利用关键参数，基于数据回归对论证井进行摩阻趋势分析；③ 最后基于已钻井与平台能力的边界条件，对钻大位移井进行作业能力

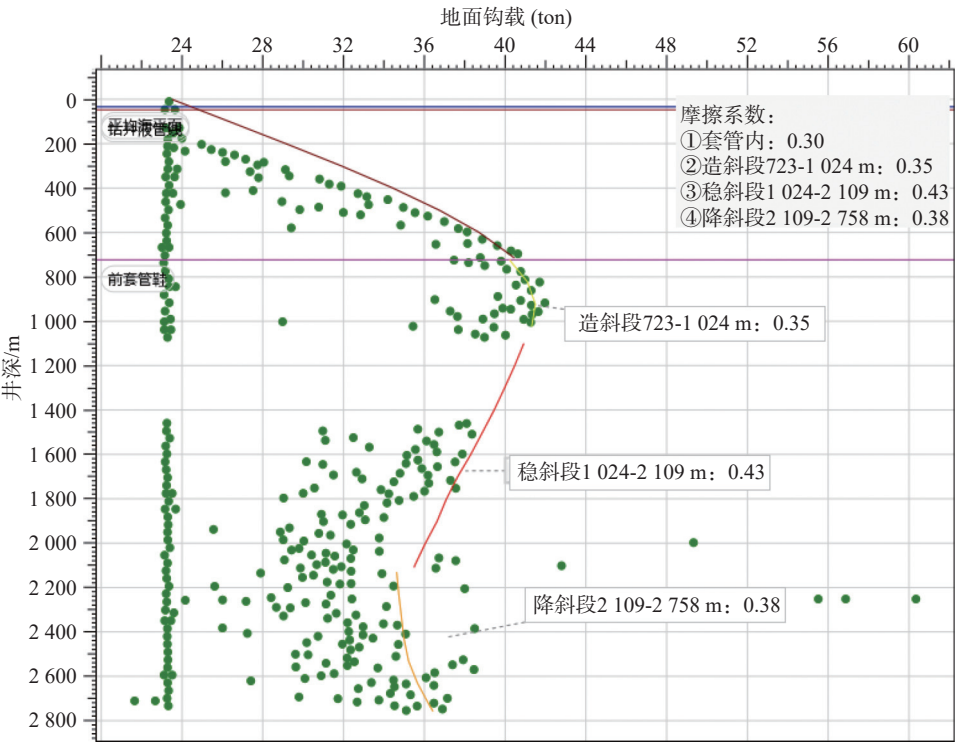


图 2 裸眼三段式摩阻分析

Fig. 2 Open-hole three-stage friction analysis

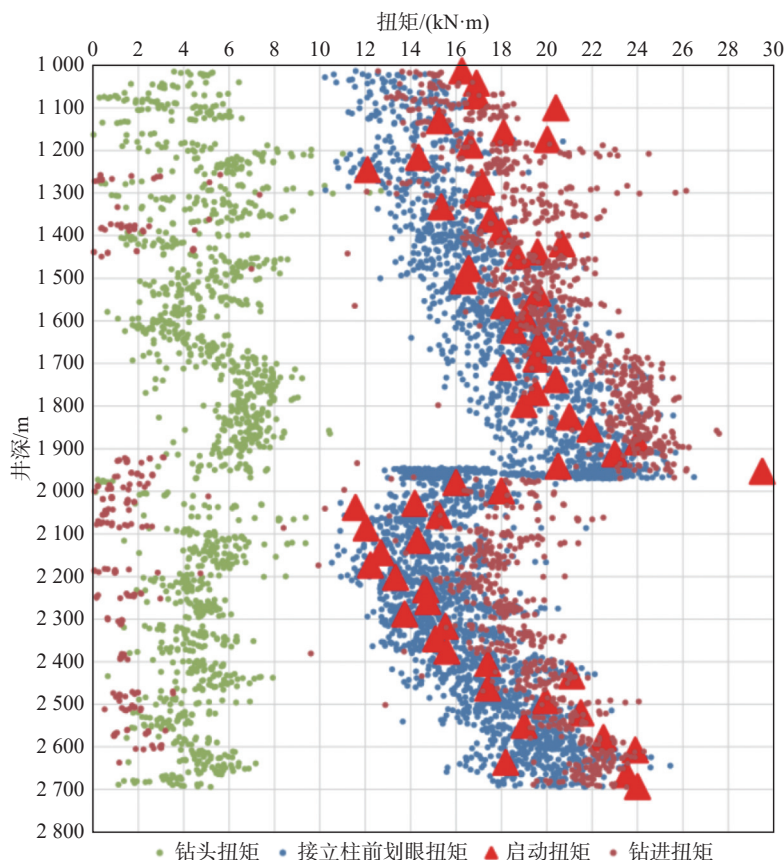


图 3 扭矩分解图

Fig. 3 Torque decomposition diagram

论证。

举例分析, A1 井是本项目作业难度最高的一口井。设计最高水垂比接近 3.9, 设计阶段需要论证不同方案的作业难度以及机具作业能力匹配度, 在施工阶段提前制定应对措施。通过团队技术攻关, 建立了大位移井 IS 模拟论证技术, 对该井作业进行模拟论证。具体实施过程如下: ① 基于已钻井回归反演分析, 提炼出不同井段摩擦系数以及作业支持关键参数; ② 论证不同摩阻情况下, 不同井身结构对应的钻进、下套管的摩阻情况以及难易程度; ③ 将不同方案对应的悬重、扭矩等数值与平台机具作业能力进行对比分析, 从而确定最优的井身结构与作业方案; ④ 随钻跟踪过程中, 根据模拟监测结果, 动态优化作业参数, 准确预估下步作业可能的摩阻极值, 及时制定短起下、倒划眼等决策, 从而降低作业风险。

4.2 新近系极疏松地层井壁稳定动态评估技术

本项目靶区地层疏松、井壁失稳风险高、ROP (rate of penetration, 机械转速) 较快, 这给钻井过程中井壁稳定动态评估提出极大挑战, 同时, 评估的准确性与效率直接决定了作业速度^[7-8]。

本研究步骤分 4 步。

(1) 利用地质工程一体化多源技术优势与邻井大数据, 进行坍塌压力多源校正。首先, 充分分析邻

井测井资料, 利用现有岩石力学参数库数据, 计算出坍塌压力大致范围; 然后, 利用动静态数据库优势, 对目标邻井起下钻及倒划眼摩阻进行分析, 通过与静态数据库钻井液密度对比, 进一步优化坍塌压力范围。

(2) 根据靶区地层井壁稳定性评估情况, 确定海水深钻井段, 同时为了实现最大化提速需求, 随钻过程中, 开展基于环空返速+岩屑浓度的监测模拟, 及时制定扫稠浆建议。

(3) 开展基于边界 ECD (equivalent circulating density, 当量循环密度) 的井眼清洁研究。对于钻井而言, 井眼清洁是保证快速钻井的必要条件, 钻井大数据分析表明, 靶区漏失 ECD 大致在 1.68 g/cm^3 以内, 过高排量会导致井漏的发生。具体实施工程中, 在线决策团队随钻模拟实钻条件下的最小清洁排量以及造成漏失的最大排量, 及时制定井眼清洁措施。

(4) 开展基于最大 ROP 的提速控制研究

对于新优快靶区大斜度以及大位移井钻进过程而言, 如何保障始终以安全条件下的最大 ROP 钻进至关重要。具体做法是: ① 基于区域已钻井数据分析, 得出区域安全岩屑浓度; ② 随钻过程基于实测 ECD, 动态反演岩屑浓度; ③ 基于岩屑浓度变化, 建立动态决策机制。随钻过程中, 将实测 ECD 与模拟值对比,

动态反演岩屑浓度，当 311.15 mm 井段岩屑浓度达到 3%，或者 311.15 mm 井段达到 5%，实测 ECD 与模拟值差达到 0.05 g/cm³，及时考虑降低 ROP，否则始终以满足井眼清洁的最大 ROP 进行钻进。

通过全方位调研与技术攻关，综合多个辅助决策关键技术内容，建立了优快钻井高效决策支持关键技术，对渤中 A 区块快速钻井进行了全程跟踪支持。

5 应用效果

通过对渤中 A 区块新优快项目钻井过程的综合评估，28 口井实际工期 172.50 d，较基本设计工期提速 166.06 d。作为对比，选取了近期作业的渤中 B 区块 27 口邻井进行分析，该区块与新优快靶区在地层层位、井身结构等方面较为相似，但未使用钻井辅助决策系统，分析结果表明，邻区 27 井工期提速仅 75.28 d，提速效果远不及应用了高效决策技术的渤中 A 区块（表 1）。

表 1 渤中 A 区块钻井指标对比					
Table 1 Comparison of drilling index in Bozhong A Block					
区块	新优快渤中A区块				邻区渤中B区块
工期	钻井总 工期/d	一开工 期/d	二开工 期/d	三开工 期/d	27口井 总工期/d
基本 设计	338.56	43.60	238.12	56.84	326.78
实钻 情况	172.50	31.84	112.20	28.46	251.50

本项目大位移、大斜度井数量占比较高，通过井眼清洁关键参数的精准预测，推荐最优 ROP，实现 15 口井完钻后无倒划眼起钻作业，提高了钻井效率。作为对比，邻区渤中 B 区块每口井完钻后均进行了倒划眼短起下钻。

摩阻计算方面，通过对 28 口井下 244.48 mm 套管及 177.8 mm 尾管进行综合分析，悬重模拟精度达

到 95.3% 以上。同时基于 IS 动态摩阻监测论证技术，随钻过程中对 8 口重点井井况进行综合分析，及时制定倒划眼方案。特别是难度最高的 A1 井，通过技术分析，完钻后快速确定井况异常井段，及时建议针对性的倒划与循环方案，通过高效决策机制，快速完成短起下作业，保证了这口大位移井 177.8 mm 尾管顺利到位。

6 结论

- （1）构建远程作业高效决策机制需建立多专业、多方联动的管理机制，以及快速、通畅、高效的决策机制，更重要的是充分发挥数据分析及辅助决策技术价值，组建全天候的在线支持团队，给现场提供准确高效的决策判断。
- （2）优快钻井在线支持过程需要融合“地质+工程”的多专业技术优势，在对靶区综合研究基础上开展快速钻井与安全作业两项重点工作。本文针对新近系极疏松地层提速的辅助决策关键技术类似区块具有较好的推广价值。

参考文献：

[1] 姜韩, 李基伟, 张瑞, 等. 东海西湖凹陷安全高效钻井技术优化研究 [J]. 海洋石油, 2021, 41 (4): 57-62.

[2] 韦龙贵, 向良伟, 陈波. 渤海边际油田高效钻井关键技术研究 [J]. 石化技术, 2023, 30 (6): 79-82.

[3] 马志忠, 袁则名, 贾雍, 等. 海洋石油实时智能钻井辅助决策技术进展 [J]. 海洋石油, 2023, 43 (3): 84-89.

[4] 史旻, 袁洪水, 徐辉, 等. 海洋石油钻井智能辅助决策监控系统研究 [J]. 天津科技, 2019, 46 (11): 101-105.

[5] 严圣飞. 靖中北小三开型三维水平井快速钻井技术 [J]. 化学工程与装备, 2022 (9): 137-138.

[6] 尹敬军, 杨敏. 苏里格气田小井眼定向井快速钻井技术 [J]. 天然气与石油, 2020, 38 (1): 77-81.

[7] 余昕泽. 赵集盐矿钻井提速提质技术 [J]. 复杂油气藏, 2024, 17 (4): 480-485.

[8] 夏泊渺. 钻完井一体化远程辅助决策技术研究 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2016.