

准噶尔盆地常规试油技术与评价

杨帆

西部钻探工程有限公司试油公司

DOI:10.32629/gmsm.v8i6.2361

[摘要] 准噶尔盆地作为中国陆上油气资源的重要接替区,其地质条件复杂,储层类型多样,从浅层疏松砂岩到深层致密砾岩、火山岩均有分布,对试油技术提出了极高要求。本文系统分析了适用于准噶尔盆地复杂地质条件的试油技术体系,重点评价了电缆地层测试(WFT)与随钻地层测试(LWD-FT)两大核心技术的适应性、优势及面临的挑战。研究表明,传统DST测试在盆地评价中仍具基础地位,而现代电缆与随钻测试技术凭借其高效率、高信息密度和实时性,在快速识别流体性质、获取地层压力剖面及指导地质导向钻井方面展现出巨大价值。然而,面对盆地腹部高压、深层高温、火山岩储层非均质性极强等特殊难题,现有技术测试成功率、取样代表性及设备耐温耐压极限等方面仍存在瓶颈。未来,发展超高温高压智能试井工具、集成化光谱流体实时分析、基于大数据与人工智能的测试数据解释模型,是提升准噶尔盆地复杂储层试油评价精度与效率的必然趋势。

[关键词] 准噶尔盆地; 试油技术; 地层测试; 电缆测试; 随钻测试; 致密储层

中图分类号: P536 文献标识码: A

Analysis and evaluation of conventional oil testing technology in the Junggar Basin

Fan Yang

Oil Testing Company, Xibu Drilling Engineering Co., Ltd.

[Abstract] As an important replacement area for onshore oil and gas resources in China, the Junggar Basin boasts complex geological conditions and diverse reservoir types, ranging from shallow unconsolidated sandstones to deep tight conglomerates and volcanic rocks, posing extremely high demands on well testing technology. This paper systematically analyzes the well testing technology system applicable to the complex geological conditions of the Junggar Basin, focusing on evaluating the adaptability, advantages, and challenges faced by two core technologies: wireline formation testing (WFT) and logging-while-drilling formation testing (LWD-FT). The research indicates that traditional DST testing still holds a fundamental position in basin evaluation, while modern wireline and LWD testing technologies, with their high efficiency, high information density, and real-time capabilities, demonstrate great value in rapidly identifying fluid properties, obtaining formation pressure profiles, and guiding geosteering drilling. However, in the face of special challenges such as high pressure in the basin's hinterland, high temperature in deep layers, and strong heterogeneity of volcanic rock reservoirs, existing technologies still encounter bottlenecks in terms of testing success rate, sampling representativeness, and equipment temperature and pressure resistance limits. In the future, the development of ultra-high temperature and pressure intelligent well testing tools, integrated spectral fluid real-time analysis, and testing data interpretation models based on big data and artificial intelligence is an inevitable trend to enhance the accuracy and efficiency of well testing evaluation for complex reservoirs in the Junggar Basin.

[Key words] the Junggar Basin; well testing technology; formation testing; wireline testing; testing while drilling; tight reservoir

引言

准噶尔盆地历经数十年的勘探开发,已进入寻找隐蔽性、深层、非常规油气藏的新阶段。盆地内构造演化复杂,沉积体系多

样,形成了如玛湖凹陷百口泉组致密砾岩、吉木萨尔凹陷芦草沟组页岩油、石炭系火山岩等一系列世界级难题储集体。这些储层普遍具有低孔低渗、压力系统复杂、流体性质多变的特点,

使得准确获取地层产能、流体性质及储层参数变得异常困难,也使得试油(地层测试)工作从单纯的“证实地层有工业油气流”向“精细描述储层特性、科学指导开发方案”的战略角色转变^[1]。

试油技术是连接勘探与开发的桥梁,其获取的流量、压力、温度及流体样品数据,是计算储量、设计井网、优化工艺的核心依据。传统的地层测试(DST)方法周期长、成本高,在复杂井况下风险大,已难以满足准噶尔盆地高效、精细化勘探的需求。以电缆地层测试(WFT)和随钻地层测试(LWD-FT)为代表的现代地层测试技术,以其快速、安全、信息丰富等特点,正逐渐成为盆地勘探评价的主力军。本文旨在结合准噶尔盆地实际地质需求,对主流试油技术进行深入分析与评价,以为盆地未来油气勘探决策提供技术参考。

1 准噶尔盆地试油技术体系概述

试油技术体系通常可分为传统方法和现代方法。在准噶尔盆地,两者形成了互补共存的格局。

1.1 传统方法: 钻杆地层测试(DST)

DST通过钻杆将封隔器、测试阀等工具下至待测层位,构建临时性生产系统,进行开井流动和关井压力恢复测试。该方法在准噶尔盆地应用历史最长,技术最成熟。其优势在于能够进行较长时间的测试,获取稳定的产能和较大的流体样品量,对低渗储层的产能评价相对可靠。例如,在盆1井西凹陷的深层评价中,DST获得的压力恢复数据对于认识异常高压系统的形成机制至关重要。但其缺点同样明显:作业周期长(通常数天至数周)、费用高昂、对井筒条件要求高,且在高压、含H₂S等复杂井况下作业风险大。

1.2 现代方法: 电缆与随钻地层测试

为克服DST的局限性,以点测为主的现代地层测试技术得到快速发展。电缆地层测试(WFT):在完井后,通过电缆将测试工具下入井中,在多个预定点进行液压推靠、密封、泵抽和取样,实时测量压力、抽取流体并分析。随钻地层测试(LWD-FT):将测试模块集成在钻井底部钻具组合(BHA)中,在钻进过程中实时测量地层压力、温度,并可进行流体采样。现代方法的核心优势是高效率和高信息密度。一次下井可在多个深度点获取数十个压力数据和多个流体样品,快速构建全井段的地层压力剖面 and 流体性质垂向分布图,极大缩短了评价周期。

2 关键技术分析与评价

2.1 电缆地层测试(WFT)技术: 精细化评价的利器

WFT技术在准噶尔盆地的复杂岩性油气藏评价中发挥了不可替代的作用。压力剖面构建与流体界面识别:通过密集的压力点测量,可精确绘制地层压力梯度线。例如,在玛湖凹陷MHHW38井区,利用WFT数据清晰揭示了油层、油水同层及水层的压力梯度差异,精准确定了油水界面,避免了传统依赖测井电阻率解释的不确定性^[2]。流体实时识别与取样:新一代WFT工具集成了光学流体分析(OFA)和电阻率-粘度-密度(RVD)等模块。在泵抽过程中,可实时监测流体的光学特性、电阻率变化,从而在井

下直接区分油气水,并指导采集到最具代表性的原状地层流体样品。这对于准噶尔盆地吉木萨尔页岩油这类轻质油、挥发性油的准确识别至关重要。储层渗透性评价:通过分析压力恢复曲线和泵抽流阻,可以对储层的流动性进行半定量评价。虽然在超低渗储层(如渗透率<0.1mD)中求取绝对渗透率仍较困难,但其提供的相对流动能力指数对于优选压裂层段、判断储层品质具有重要指导意义。

评价:WFT是当前准噶尔盆地探井和评价井完井后综合地质评价的标准配置。其“点测”特性使其在薄互层、复杂岩性层的精细评价上优势显著。但缺点是依赖于稳定的电缆作业环境,在大斜度井、水平井中下入困难,且对于严重污染或钻井液侵入深的井壁,难以取得真实的地层流体。

2.2 随钻地层测试(LWD-FT)技术: 实时决策与地质导向的革命

LWD-FT技术将地层测试从“事后验证”推向“事中决策”,是应对盆地复杂钻井工程挑战的有效手段。实时孔隙压力监测:在钻进过程中实时测量地层孔隙压力,是LWD-FT最核心的功能。准噶尔盆地腹部南缘存在多套超压系统,钻井过程中窄密度窗口易引发井涌、井漏。LWD-FT提供的实时压力数据,是优化钻井液密度、实现平衡钻井、保障钻井安全的关键^[3-5]。例如,在高泉背斜的深井钻井中,利用随钻压力数据成功避免了多次可能的井控风险。流体采样与地层评价:部分高端LWD-FT工具已具备井下流体采样能力。在钻进疑似油气层时,可立即获取流体样品并初步分析,实现了“钻遇即评价”。这在大位移水平井勘探中价值巨大,可实时判断是否钻遇目标甜点区,指导地质导向调整轨迹。节省作业周期与成本:LWD-FT将测试工作融入钻井过程,避免了后期专门的电缆测试作业,尤其适用于深海、滩海等作业成本高昂或电缆作业风险大的环境。在准噶尔盆地,对于设计要进行长水平段钻探的井,采用LWD-FT可以提前获取地层压力信息,优化后续完井和压裂设计。

评价:LWD-FT代表了地层测试技术的发展方向,其实时性和钻井工程的无缝结合是最大优势。它特别适用于压力不确定地区的探边井、大位移水平井以及地质条件复杂的深井。但目前该技术设备昂贵,测试点密度和取样能力通常低于专门的WFT作业,且对数据传输速率(泥浆脉冲遥测)有一定依赖。

3 准噶尔盆地应用面临的特殊挑战与技术对策

尽管技术不断进步,但准噶尔盆地的特殊地质条件仍给试油工作带来严峻挑战:

(1)超深、高温、高压(HPHT)挑战:盆地腹部及南缘的深层目标(>6000m)普遍存在高温(>150℃)、高压(压力系数>1.8)。现有商用测试工具的耐高温耐压极限面临考验,电子元器件失效、密封件损坏风险增高。对策是研发和应用专为HPHT条件设计的测试工具,并优化测试工艺,缩短井下作业时间。

(2)致密/非常规储层的低流速与污染问题:玛湖砾岩、吉木萨尔页岩等储层渗透率极低,地层流体流动困难。无论是DST还是WFT,都面临测试周期长、压力恢复慢、钻井液污染影响严

重的问题。对策是发展超长关井时间的微型DST、采用超低侵入钻井液体体系,并结合数值模拟反演来求取可靠的储层参数。

(3)复杂岩性与非均质性:火山岩、砂砾岩储层非均质性极强,孔隙结构复杂,常规的均质模型解释结果误差大。需要发展基于数字岩心和核磁共振测井的储层分类方法,对不同类型储层采用差异化的试油解释模型。

(4)水平井/大位移井测试难题:水平井段长,储层接触面积大,但流态复杂,传统试井解释模型不适用。需要推广适用于水平井的分布式光纤测温测压(DTS/DAS)监测技术,结合产剖测试,实现对水平段各簇贡献率的精细化评价。

4 技术发展趋势与展望

未来,准噶尔盆地试油技术将朝着“智能化、集成化、高效化、环保化”方向发展。智能化工具:研发具备自适应控制、智能诊断功能的测试工具,能根据井下情况自动优化泵抽和采样策略,提高一次成功率。集成化数据采集:将地层测试与高精度核磁、声波、元素测井等数据深度融合,构建多维度储层数字孪生体,实现从“参数获取”到“储层系统认知”的飞跃。高效化作业模式:推广“一趟钻”式综合测试服务,将WFT与射孔、泵送桥塞等作业结合,大幅缩短试油周期。环保化技术应用:发展无缆式(存储式)测试技术、更高效的井下流体分离与回注技术,减少地面污染和碳排放。

5 结论

(1)在准噶尔盆地复杂油气藏的勘探开发中,试油技术已从单一的产能验证手段,发展成为集储层评价、流体识别、压力系统分析和钻井安全指导于一体的综合性关键技术。

(2)电缆地层测试(WFT)与随钻地层测试(LWD-FT)是现代试

油技术体系的两大支柱。WFT在完井后的精细评价中不可替代,而LWD-FT在实时决策和钻井安全中的价值日益凸显,两者应针对不同勘探阶段和地质目标优化组合使用。

(3)面对盆地超深、高压、致密和非均质性强等特殊挑战,必须持续开展技术攻关,重点突破HPHT工具瓶颈、发展低渗储层高效评价方法、创新复杂结构井测试工艺。

(4)融合大数据、人工智能及新一代传感技术的智能试油技术,是未来提升准噶尔盆地油气发现效率和开发效益的关键路径。通过技术进步,必将为盆地的油气资源持续高效勘探开发提供更加坚实的技术支撑。

【参考文献】

[1]马文平.地层测试新技术在油田勘探开发中的应用[J].西部探矿工程,2022,34(02):111-113.

[2]孙雄伟,霍进,赵海燕,等.玛湖凹陷致密砾岩油藏地层测试资料应用研究[J].新疆石油地质,2021,42(04):478-484.

[3]刘鹏,王磊,陈晓智.随钻地层压力测试技术在准噶尔盆地高泉构造的应用[J].钻采工艺,2023,46(01):55-59.

[4]Li X, Yang D. Simultaneous Interpretation of Three-Phase Relative Permeability and Capillary Pressure for a Tight Carbonate Reservoir From Wireline Formation Testing[J]. Journal of Energy Resources Technology, 2020, 142(6).

[5]王辉,郑佳奎,陈俊,等.准噶尔盆地吉木萨尔凹陷页岩油试油关键技术[J].石油钻探技术,2020,48(05):94-100.

作者简介:

杨帆(1984-),男,汉族,四川遂宁人,本科,工程师,研究方向:石油工程。