

渤海油田大位移井钻井学习曲线修正系数的确立与应用

韩亮¹ 蔡润峰² 耿立军¹ 许迪¹

1.中海石油（中国）有限公司天津分公司 天津 300459

2.中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300459

摘要：渤海油田定向井井型的钻井学习曲线，仅针对常规定向井，不能包括更高难度的井型。而渤海油田渐多的大位移井不仅井斜大、返砂难导致起钻困难，且中小尺寸井眼穿过的层位多，裸眼浸泡时间长，易发生井下复杂情况。通过对已完成大位移井的复杂情况进行系统分析，并以此为依据，制定了一套符合大位移井难度的修正系数，并建立相应的学习曲线。为即将开展的大位移井钻井工期设计及进度调整提供参考依据。

关键词：渤海油田 大位移井 学习曲线 修正系数 钻井工期

Establishment of Drilling Curve Model for Large Displacement Wells in BoHai Oilfield

Han Liang¹, Cai Runfeng², Geng Lijun¹, Xu Di¹

1. CNOOC Energy Development Limited by Share Ltd Engineering Technology Branch, Tianjin 300452

2. Engineering Technology Company of CNOOC Energy Technology & Services Limited, Tianjin 300459

Abstract: The drilling learning curve of the directional well type in the BoHai Sea is representative of conventional directional wells and cannot include more difficult well types. Large-displacement wells are not only difficult to drill, but difficult to return to sand, and the small and medium-sized wells pass through many layers, and the naked eye is soaked for a long time, which is prone to complicated underground conditions. Based on the analysis of various complex situations of completed large displacement wells, a set of correction coefficients that meet the difficulty of large displacement wells is developed and a corresponding learning curve is established. Provide reference for the upcoming design and progress adjustment of the large displacement well drilling period.

Keywords: BoHai Oilfield; large displacement well; learning curve; correction factor; drilling period

自从1936年，由T. P. Wright提出学习曲线理论后^[1]，该理论先后被航空、化工等多项领域应用，其理论得到了各个业内人士的认可。随后1986年，美国的Amoco石油公司的Brett和Millheim首次将学习曲线的概念引入钻井行业^[2]，其对2000口井进行数据分析、统计，作业区域包括美国、中东、加拿大、北海，建立了相关钻井周期的学习曲线。

常规定向井的学习曲线经分析，建立了一套难度系数及修正系数对应的参考钻井周期，这虽然涵盖了渤海油田大部分的定向井，但是渤海某油田由于地质环境较复杂，如果照搬常规定向井的钻井周期方案，可能会对预测的结果产生较大误差从而带来巨大的经济损失^[3]。并且某油田自2016年起，针对大位移井从现场钻井作业中反复摸索，不断应用新工艺、新工具，对大位移井钻井，建立了一套属于本油田的学习曲线。笔者通过引用、对比、分析，将该油田的大位移井学习过程分为4个阶段，以修正渤海油田大位移井专用的钻井学习曲线，大幅度提高预测钻井周期的精度，为后续开发的大位移井的工期设计及费用控制提供了可靠的依据。

1 渤海常规定向井钻井学习曲线适用性分析

1998年由刘朝全等，建立了与井深相关的陆地钻井学习曲线^[5]，将钻井周期的对比误差控制在12%以内，后经刘兆年等，通过分析渤海与陆地的差异，引入难度系数与修正系数^[3]，将公式整合为：

$$T_n = e^{aH+b}r^{\log_2 n}\varepsilon \lg \frac{HL_{AHD}Q}{L_{TVD}}$$

(1)

式中： n 为开钻序号； a 、 b 和 r 为与区域地层及钻井作业队伍有关的常数； T_n 为钻第 n 口井的工期； H 为井深； ε 为修正系数； L_{AHD} 为视水平位移； L_{TVD} 为垂深； Q 为井曲度^[4]。公式（1）可以应用于同一区块井型和井身结构相同的井。

其中难度系数 D 可表示为：

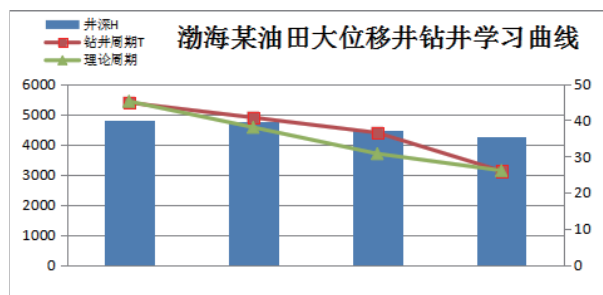
$$D = \lg \frac{HL_{AHD}Q}{L_{TVD}}$$

当 $D>6.4$ 时，修正系数 ε 值如下：

难度系数	渤海
<6.4	不修正
6.4~6.8	加8%
>6.8	加15%

抽取其中具有代表性的4口井，其目的层位均为沙河街组，并且井身结构相同，井身相近，根据对应的数据及上述公式计算结果如下：

钻井顺序	井深	钻井周期	理论工期
1	4788	44.85	45.22
2	4766	40.73	38.03
3	4482	36.52	30.74
4	4248	25.96	26.71



经拟合分析，对于井型、井斜、方位相似的井，理论工期与实际发生工期，最大误差可达15%，分析认为虽然海上的钻井曲线模型的建立，相比陆地钻井曲线模型，已经大幅度缩小误差。但对于海上的一些难度较高的大位移井，由于施工设备的影响，泵压、排量、扭矩都会受到一定程度上的限制，导致施工难度会大幅度增加。因此，海上通用的钻井曲线模型已经不能对海上大位移井的钻井工期进行精确地拟合和预测。

针对大位移井的施工难点，作业者从工具、工艺等多方面入手，积极探讨，形成了一套属于海上大位移井作业提速提效的新技术体系，间接性的优化了大位移井的独特模型曲线。

2 渤海油田大位移井的4个阶段

2.1 摸索阶段

最早，在摸索阶段的3口井准备阶段，渤海某油田的作业者尤为重视，召集各个专业的专家，对作业过程中的各个细节进行分析、探讨、制作方案，准备了岩屑床清洁器、扭矩环、可旋转式尾管挂等新工具，尽管如此，作业中还是出现了一些问题，例如工具强度不够、顶驱连续输出扭矩不足等。最终导致摸索阶段的钻井工期较长。

2.2 完善阶段

随后，某区域油田有2口难度较大的大位移井，将其展开，分阶段分析、解决。作业中，首次在渤海使用大尺寸表层预斜技术，填补了海上钻井作业在该领域的空白；随后，使用马达配合水力振荡器在其中一口大位移井中的4070m深处滑动调整井眼轨迹，节约了大量时间及费用，并大幅度提升了一趟钻的可能性。

2.3 成熟阶段

2018年下半年组织实施的3口大位移井，钻井前准备阶段根据之前的作业经验，推陈出新，使用钠盐等新材料优化钻井液体系，缩短起下钻时间；使用随钻核磁工具，阶梯式的缩短了单独测井的时间；优化作业队伍能力、增加设备针对性保养，减少修理及复杂情况的处理时间。

2.4 推广阶段

近期渤海某油田准备使用较为成熟的技术体系，组织实施新的一批大位移井，作业前夕，召开联合技术交底会，旨在结合现场作业人员，提升钻井平台的作业能力，加强关键环节管控，例如优化测井井段、

钻具组合、钻井液性能等，重点加快中完作业，降低非生产时间的时效损失。加强油田协调，建立保障体系，确保钻井时效高位运行的态势。

3 渤海油田大位移井的修正系数

海上油田大位移井经过不断进步，模型也需要进一步更新，在原有常规定向井的难度系数之上，拟合了属于大位移井专用的修正系数 λ ，计算公式如下：

$$T_n = e^{aH+bT \cdot \log_2 n} \lambda \varepsilon D$$

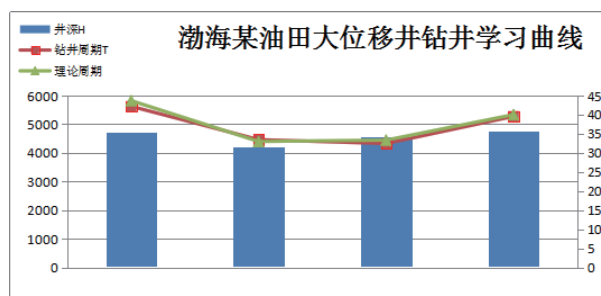
其中大位移井的专用修正系数 λ 值如下：

难度系数D	修正系数 λ
>6.6	1
6.4~6.6	1.07
6.0~6.4	1.12
<6.0	0.96

对渤海另一批大位移井进行统计，各井的定向井难度计算结果如下：

井名	完钻层位	井深	难度系数
A1	沙三段	4742	6.641
A3	沙三段	4226	6.464
B20	沙三段	4576	6.402
B62	沙三段	4770	6.438

通过大位移井专用的修正系数 λ 对钻井周期进行计算，各井拟合后的理论周期和实际钻井周期对比如下：



根据以上结果分析，在考虑定向井难度以及大位移井专用的修正系数后，理论周期与实际周期吻合度较高，最大误差控制在5%左右，钻井工期预测提高显著。

4 认识与结论

(1) 海上钻井学习曲线仅适用于常规定向井，对于难度较大的大位移井，仍然存在一定预测误差；

(2) 本文通过统计近年来的大位移井的各个阶段，总结了在不同定向井难度系数下，大位移井专用

的修正系数 λ ;

(3) 通过大位移井钻井曲线模型的建立, 可以对渤海某油田即将开发大位移井的钻井工期进行高精度的预测。

参考文献

- [1] Wright T. Factors affecting the costs of airplanes [J]. J of Aeronautical Sci, 1936, 3 (4): 122~128.
- [2] ASHER H. Cost—quantity relationships in the airframe industry [M]. Santa Monica, California: The Rand corporation, 1956: 66–63.
- [3] 刘兆年, 刘书杰, 孙东征, 等. 海上油田钻井学习曲线模型的建立 [J]. 中国海上油气, 2014, 26 (6): 70–74.

[4] 刘修善. 井眼轨迹的平均井眼曲率计算 [J]. 石油钻采工艺, 2005 (5): 14–18; 94.

[5] 刘朝全, 俞新永. 用修正学习曲线测算钻井周期 [J]. 石油大学学报(自然科学版), 1998 (4): 44–45; 6–7.

作者简介

韩亮, 男, 37岁, 本科, 高级工程师, 钻井总监, 从事监督行业14年, 先后参与多个开发项目, 研究方向为海洋石油钻井完井

(上接第142页)

3 沉积构造特征

沉积构造可以反映沉积时占优势的沉积介质和能量条件, 是碎屑岩最为重要的成因标志之一^[2]。发育丰富的层理构造、侵蚀构造和生物成因构造, 构成了研究区块延安组油层组的沉积构造。层理构造的形式多种多样, 最发育的是块状层理、水平层理、平行层理等。在河道砂体底部, 由单一成分的沉积物在静水环境中沉积而成块状层理, 如浅湖、河漫滩等, 主要发育在泥岩、粉细砂岩以及砂砾岩中。

4 砂体展布

延10以河流相粗碎屑沉积为主, 受到构造抬升影响, 河流下切作用强, 延9期时, 分流河道砂体发育于盆地河流汇聚成的浅湖, 其厚度一般在15至30m, 为主要储集体, 下伏延10河道展布方向在一定程度上控制着延9展布方向。延9砂体展布为近南北向, 延10砂体展布为近东西-西南向。研究表明, 延9、延10河道砂体展布特征明显受古地貌形态控制。

5 油藏类型

研究表明, 区块内延10、延9的油藏类型是以构造

为主的岩性-构造油藏, 其形成受到岩性和构造的共同控制。其中, 差异压实、砂体展布以及构造等因素发挥了共同作用, 岩性遮挡出现在油藏上倾方向, 而构造在下倾方向控制油藏。

6 结束语

(1) 本文主要研究了吴起油田吴仓堡油区延安组油藏的地质特征, 包括地层岩电特性, 地层对比和划分, 岩性和沉积构造特征, 砂体展布、油藏成藏规律及类型等, 对延安组油藏有了更加清晰的地质描述, 为今后油藏上产, 后续的增储建产提供了指导方向。

(2) 明确延安组油藏的沉积相, 对于今后的勘探开发工作具有非常重要的作用。

参考文献

- [1] 张尚锋著, 高分辨率层序地层学理论与实践 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
- [2] Robert L. Cullers. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian–Permian age, Colorado [J], USA: implications for provenance and metamorphic studies, Lithos, 2000, 51 (3): 181–203.