

Innovative Research on Lag Time Calibration and Its Application in Bohai Oilfield

Lu Yang, Mingyu Guo, Zhen Chen, Baoluan Guan, Zhuo Zheng

Engineering Technology Branch, CNOOC Energy Development Co., Ltd., Tianjin
Email: yanglu@cnooc.com.cn

Received: May 30th, 2017; accepted: Jun. 7th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

The accuracy of lag time was crucial to geological logging and drilling engineering in drilling process, which was the guarantee for improving the coincidence rate of profile of mud logging and the rate of oil and gas discovery, and also the important prerequisite for an accurate monitoring of drilling engineering. There existed many factors influencing the lag time. Currently, the lag time was calibrated by adjusting the reaming rate through throwing calcium carbide or markers. This method often could not meet the requirements of stratigraphic profile homing in the drilling process of important and difficult wells in some areas. A comprehensive research is carried out on different sections in multiple wells of a certain area in Bohai oilfield, the result shows that different intervals have different hole enlargement features, thus the method for calculating lag time by section is summarized. Application of the method in Bohai Oilfield improves that the coincidence rate of logging profile and oil and gas discovery rate are improved significantly.

Keywords

Lag Time, Stratification, Lithologic Combination, Hole Enlargement Rate, Profile Coincidence Rate

迟到时间校正创新性研究及在渤海油田的应用

杨露, 郭明宇, 陈真, 管宝琛, 郑卓

中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津

作者简介: 杨露(1984-), 男, 工程师, 现主要从事钻井地质相关工作。

Email: yanglu@cnooc.com.cn

收稿日期: 2017年5月30日; 录用日期: 2017年6月7日; 发布日期: 2017年8月15日

摘要

在现场钻井过程中, 迟到时间的准确与否对地质录井及钻井工程都具有重大的意义, 它是提高录井剖面符合率及油气发现率的重要保障, 同时也是钻井工程准确监测的重要前提。迟到时间的影响因素较多, 当前渤海地区主要运用投电石或标志物法, 通过调整井眼扩大率来校正迟到时间, 该方法在某些区块重难点井作业过程中往往无法满足剖面归位的要求。通过对渤海地区某一区块不同层段的多口井进行综合研究, 发现该区块井眼扩大率在不同层位呈现出各自不同的特征, 最终总结出迟到时间分层段计算方法。该方法在渤海油田进行了应用, 录井剖面符合率与油气发现率都有较大的提高, 取得非常好的效果。

关键词

迟到时间, 分层段, 岩性组合, 扩眼率, 剖面符合率

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

对于地质录井而言, 迟到时间是一个最基本的参数, 它的准确性直接关系到录井剖面的符合率及油气发现的准确率, 同时对钻井工程的准确监测也有较强的指导意义[1]。现场钻井施工过程中, 当前渤海油田主要采用“泵冲数法”来计算迟到时间, 其原理是通过投电石, 检测乙炔气, 计算乙炔气在整个井眼环空流程的累积泵冲数[2], 用实测值与计算值进行比较, 再通过校正井眼扩大率, 从而得到真实的迟到时间。然而这只是对迟到时间进行调校, 不涉及到具体怎么通过扩大率来调校迟到时间的问题, 而且迟到时间也受到众多因素的影响。同时, 沉积相分析表明, 相同构造的不同井位在同一层位具有相似的岩性组合关系[3]。基于以上两点, 笔者进行了迟到时间分层段研究, 通过对渤海油田 X 构造所钻井的井径数据进行分析, 发现该构造不同井的相同层段往往具有相似的井径变化趋势。最终, 创新性提出了“迟到时间分层段研究方法”, 并在渤海油田后续井现场作业进行了应用, 有效地提高了现场录井剖面符合率与油气发现的准确率。

2. 分层段迟到时间创新性研究

2.1. 影响因素分析

岩屑迟到时间定义是正常钻进时岩屑从井底返到井口所用的时间。迟到时间影响因素众多[4], 主要

受到地层岩性及压力、钻头及套管程序、钻井液性能、泵排量等多方面的影响。

通过大量的数据统计，同一区块或相邻区块的多口井迟到时间影响因素主要有两个方面：①海水膨润土浆转化的深度。钻井液体系对井径影响主要体现在海水膨润土浆的转换深度，无论是转化为 KCl 聚合物体系还是转化为 PEC 体系，转化后井径整体较规则，迟到时间变化较规律。②地层的岩性。地层岩性对迟到时间的影响主要体现在不同岩性对井壁稳定性的影响。不同地层由于岩石力学性质、胶结程度、孔隙流体压力、岩石的化学组成等方面的差异[5]，在实际钻井过程中会出现不同井壁稳定性差异。譬如：浅层疏松砂岩由于储层成岩程度低，井眼钻开后，井壁周围的围岩由于蠕变而逐渐向井眼收缩变形[6]，而造成井壁垮塌，井径扩大；泥岩由于受地层水化作用影响产生水化膨胀应力，同时由于水的进入削弱黏土矿物颗粒之间的联结力，促使岩石力学强度减小，造成井壁容易不稳定，出现井眼扩径甚至出现垮塌；裂缝性发育的特殊岩性地层由于地层裂缝发育、破碎、地层应力不均造成地层坍塌，井径扩大[7]；盐膏岩地层由于发生盐溶和地层蠕动以及石膏吸水膨胀而造成地层变形，井径缩小。虽然各种岩性的井径变化不一样，会造成迟到时间的影响也不一样，但是相似的构造条件下，岩性及岩性组合是基本一致的，井径变化整体情况也基本一致，迟到时间的变化规律基本相似。

现场油气田钻井作业时，同一区块或相邻区块的多口井，往往具有相似的钻头套管程序、钻井液性能及钻井参数要求。基于相同构造的背景下，笔者重点研究相同层段的迟到时间[8]，即相同地层组合对迟到时间的影响。

2.2. 迟到时间方法创新性研究

在同一构造上，如果井型相同、层位相同、工程参数及钻井液参数相近，那么岩性组合相似，井径变化情况相似(图 1)。

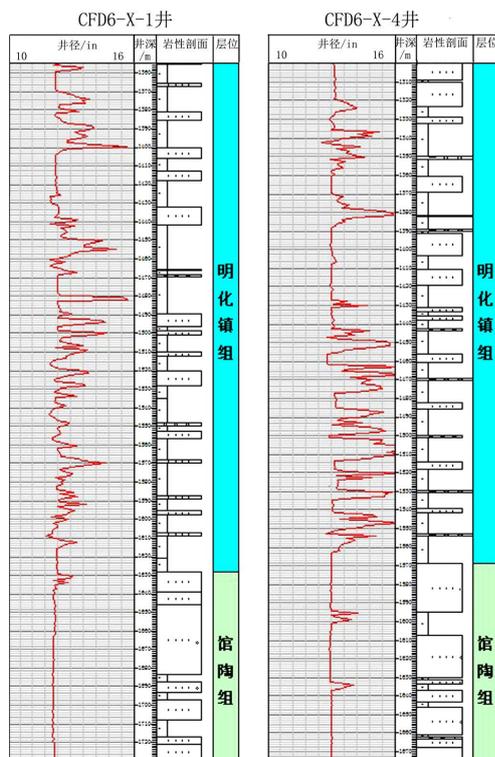


Figure 1. The comparison curve of Well 1 and Well 4 in CFD Oilfield
图 1. CFD 油田 1 井与 4 井井径对比曲线

通过对相同或相邻区块已钻井井径数据进行统计，分析邻井各层段井径变化情况，得出该区块各层位平均井径，在此基础上结合各井各层段的井段长度，分析各层段的迟到时间系数，形成随钻迟到时间公式，达到随钻迟到时间监测的目的，分析流程图如图 2 所示。在这个过程中主要应用加权平均法和归一化处理法。



Figure 2. The technological analysis flow chart of stratified sections

图 2. 分层段研究技术分析流程图

首先，通过对邻区分层段迟到时间权重系数推导(分层段实际环空容积/理论环空容积)，然后通过加权平均的方法，得出这个区块全井的迟到时间计算公式。以下为公式推导过程：

1) 分层段环空容积之和等于全井段环空容积：

$$\frac{\pi[(D_1^2 - d^2)h_1 + \dots + (D_n^2 - d^2)h_n]}{4} = \frac{\pi(\bar{D}^2 - D^2)(h_1 + \dots + h_n)}{4}$$

式中： D_n 为分层段井径，m； d 为钻杆直径，m； h_n 为各层段井段长度，m； \bar{D} 为全井加权平均井径，m。

2) 迟到时间系数：

$$k_i = \Phi_i / \Phi$$

式中： k_i 为分层段迟到时间系数，1； Φ_i 为各层段实际环空容积， m^3 ； Φ 为各层段理论环空容积， m^3 。

3) 全井迟到时间：

$$T = k \times t$$

式中： T 为全井迟到时间，min； k 为迟到时间系数，1； t 为理论迟到时间，min。

4) 井径计算公式：

$$D_p = [(D_t^2 - d_g^2)k + d_g^2]^{1/2}$$

式中： D_t 为理论钻头直径，m； d_g 为钻杆直径，m； D_p 为实际井径，m。

根据上述方法，形成了智能化井眼扩大率和迟到时间调校方法，在邻井转化钻井液体系密度、井身结构、各层段平均井径等资料数据统计的基础上，只需要填写当前所钻井的各层位的井段和当前的钻井液泵排量，就能自动生成当前井所需要的迟到时间和井眼扩大率调校数据。

2.3. 技术创新性及优势

对于海洋钻井来说, 由于生产平台造价成本较高, 同一生产平台数量有限, 对于某一层位的开发, 井型多为大斜度定向井或水平井。由于井斜较大, 现场无法进行电缆测井, 而目前随钻测井仪器, 包括 Schlumberger、Baker Hughes 等国际大公司都无法通过随钻测井方式测得准确的井径曲线, 所以通常情况下随钻测井都没有井径数据。井径大小直接关系到井眼环空的容积, 对指导后续固井水泥附加量的计算有至关重要的作用, 笔者通过分段研究模型进行井眼扩大率的计算, 从而求得定向井或水平井的井径。

根据迟到时间公式推算出井眼扩大率公式, 得出扩眼率和迟到系数的转换关系, 这样能更方便现场对井眼扩大率的调校。解决了以往在明确实际迟到时间与计算得出的迟到时间情况, 靠个人经验去调校井眼扩大率的情况, 使井眼扩大率调校更具科学性。

$$\theta = \frac{(k-1)(D_t^2 - d_g^2)}{D_t^2}$$

式中: θ 为井眼扩大率, 1。

推算了不同井眼尺寸下的转换关系, 以直径 12.25 in 井眼和直径 8.5 in 井眼为例。

直径 12.25 in 井眼和 5.5 in 钻杆井眼扩大率: $\theta = 0.7984(k-1)$;

直径 8.5 in 井眼和 5.5 in 钻杆井眼扩大率: $\theta = 0.5813(k-1)$ 。

3. 应用实例

3.1. 地质方面应用

3.1.1. 岩性剖面符合率和油气发现率明显提高

2016 年在渤海油田开始运用该技术, 取得了不错的成效。首先选取了 2015 年渤海油田录井剖面符合率较低的几个探区, 分析了共 47 口探井数据, 2016 年进行了相同构造的评价井试点应用。结果显示, 录井剖面符合率从 2015 年 74.4% 上升为 2016 年的 76.6%, 油气发现率从 2015 年的 80% 上升为 2016 年的 88.4% (图 3)。

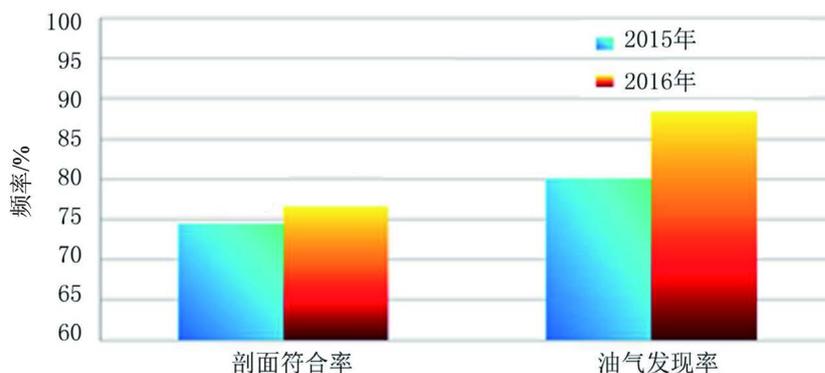


Figure 3. The profile coincidence rate and oil and gas discovery rate between 2015 and 2016

图 3. 2015 年与 2016 年剖面符合率及油气发现率对比

针对定向井录井过程中技术难点: ①由于钻井参数不稳定、钻压扭矩规律难寻、钻时代表性差等方面造成的地层岩性参数难以识别的难题; ②由于细小岩屑经清洗、冲刷油气散失严重、钻井润滑剂影响真假显示判断等方面造成的油气显示落实及归位困难。迟到时间的准确性显得尤为重要, 一方面, 提高

了气体曲线对地层剖面归位的参考性，另一方面加强了气测异常段加密观察样捞取的代表性，保证了录井工作质量。

举例分析：X1-5D 井于 2017 年初钻探，最大井斜 23.2°，自斜深 777.00 m 转换为 PEC 钻井液体系，斜深 907.00 m 进入目的层明下段，斜深 1845.00 m 完钻，自上而下钻遇了明上段、明下段、馆陶组(未穿)。

通过实钻后录井与测井曲线及测井解释的对比，明下段录井剖面符合率为 83.9%，油气发现率为 92.9%；馆陶组录井剖面符合率为 94.0%，油气发现率为 97.6%；目的层段(明上段、明下段、馆陶组)录井剖面符合率为 84.5%，油气发现率为 96.4%。

将计算迟到时间与实际迟到时间进行对比(表 1)，可以看出，各深度点该技术计算的迟到时间误差值小，误差率低，迟到时间计算准确。

Table 1. Comparison between calculated late arrival time and actual late time of X1-5D well

表 1. X1-5D 井计算迟到时间与实际迟到时间对比

井深/m	排量/(L·min ⁻¹)	实际迟到时间/min	计算迟到时间/min	误差值/min	误差率/%
1300	3773	23.34	23.88	0.54	2.31
1400	3573	27.35	27.05	-0.30	-1.10
1500	3277	31.92	31.29	-0.63	-1.97
1600	3290	32.83	33.03	0.20	0.61
1700	3229	34.91	35.53	0.62	1.78
1800	3218	37.19	37.55	0.36	0.97

3.1.2. 邻区指导新区勘探卡准钻井取心层位

KL16-X-X 井是 2016 年初渤海油田钻探的一口预探井，该井在馆陶组有钻井取心计划，迟到时间的跟踪及调校至关重要。

该井在井深 972.50 m 第一次地质循环，揭开储层 2.50 m，从录井图上的钻时曲线和气测曲线来看，迟到时间准确。实际在井段 972.50~976.60 m 钻井取心，进尺 4.10 m，心长 3.55 m，收获率 86.59%，其中含油储层 2.55 m，泥岩夹层 1.0 m。通过实钻后测井与录井资料对比验证：录井取得的地层资料与测井曲线响应特征及完井剖面归位情况完全一致，气体资料参考性强，迟到时间准确。

该井在井深 988.16 m 第二次地质循环，揭开储层 2.16 m，从录井图上的钻时曲线和气测曲线来看，迟到时间准确。实际在井段 988.16~997.16 m 钻井取心，进尺 9.00 m，心长 4.74 m，收获率 52.67%，全为含油储层。通过实钻后测井与录井资料对比验证：录井取得的地层资料与测井曲线响应特征及完井剖面归位情况完全一致，气测资料参考性强，迟到时间准确。

但是在 1000.00 m 左右砂体迟到时间明显偏小，推断是刚钻探的井段出现井径扩大严重，需要增加井眼扩大率，调整迟到时间，同时根据掉块情况决定是否需要调整钻井液性能。迟到时间分层段研究方法的应用为工程决策提供了参考依据，准确地卡准了取心层位，达到了钻探目的。

3.2. 钻井工程应用

高质量的固井作业，能有效地封隔油、气和水等地层，确保油气井钻完井作业安全顺利的进行[9]，提高生产井的油气产量及生产寿命。

NB35-X-X 井是一口定向调整井，井眼直径为 12.25 in，深度为 2006.00 m，最大井斜 81.47°，录井在井段 1698.00~1732.00 m 发现油气显示，最高气全量 7.53%，组分不全，只有 C₁，岩性为细砂岩。测井采

用 Drilling Log 方式对设计测井井段进行测井, 测井项目为电阻率+自然伽马, 最终在该段测得电阻率为 119.1 $\Omega\cdot\text{m}$, 泥质质量分数为 4.7%, 测井解释为油层。

为了保证油层的固井质量, 防止油气发生窜层, 通过该项迟到时间方法和实钻的录井情况, 为固井作业测得迟到时间为 33.44 min, 井眼扩大率为 8.49%, 最终固井施工设计在井段 750.00~1500.00 m 设计 1.75 g/cm^3 领浆附加量 80%, 在井段 1500.00~2003.00 m 设计 1.90 g/cm^3 尾浆附加量 80%。确保了无井径曲线数据情况下的固井质量。

4. 结论

沉积相分析表明, 相同构造的不同井位在同一层位具有相似的岩性组合关系, 实际应用证实, 基于某构造的不同井分层段研究迟到时间的方法行之有效, 对于提高录井剖面符合率和油气发现率取得了非常好的效果。

1) 通过迟到时间创新性研究, 形成了一套相同或相邻区块迟到时间变化规律研究的技术思路, 为以后进一步细化研究迟到时间指引了方向。

2) 通过该技术方法在渤海油田卡取心层位、录井剖面符合率及油气发现率等方面的应用, 效果良好, 提高了录井质量, 为管理者快速决策提供了依据。

3) 通过对无井径数据的定向井固井作业, 迟到时间法为固井水泥附加量提供了依据, 为固井质量控制、减少井下作业风险提供了保证。

参考文献 (References)

- [1] 乔艳艳. 实测迟到时间在岩屑、气测录井中的重要性[J]. 西部探矿工程, 2010, 22(7): 81-82.
- [2] 王守君, 刘振江, 谭忠健, 等. 中海油勘探监督手册地质分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 2013.
- [3] 杨明清. 颗粒等效直径对岩屑迟到时间的影响和校正[J]. 录井工程, 2005, 16(4): 40-43.
- [4] 沈书锋, 郑玉朝, 李伟. 井径扩大率对岩屑迟到时间的影响校正[J]. 录井工程, 2009, 20(2): 61-62.
- [5] 郭宝民. 油田地应力确定方法在井壁稳定性分析中的应用[D]: [硕士学位论文]. 东营: 中国石油大学(华东), 2006.
- [6] 孙翠遥, 楼一珊, 邹小鹏, 等. 疏松砂岩井眼安全钻井周期研究[J]. 吐哈油气, 2011, 16(4): 392-394.
- [7] 徐同台. 井壁不稳定地层分类及对策[J]. 钻井液与完井液, 1996, 14(4): 42-45.
- [8] 王建立, 管宝深, 苑仁国, 等. 岩屑迟到时间分井段计算校正法在渤海 X 构造的应用[J]. 录井工程, 2015, 26(3): 24-26.
- [9] 沈海超, 胡晓庆, 王希玲, 等. 监测井下循环情况的迟到时间法在固井中的应用[J]. 钻井液与完井液, 2012, 30(4): 58-60.

[编辑] 帅群

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org