

Error Analysis of Horizontal Well Path Control

Ruiping Zhang¹, Fei Gao², Qian Xu¹, Hongjun Zheng¹, Tianya Jiang¹, Qing Miao¹

¹CNPC Xibu Drilling Directional Drilling Technology Services Company, Urumqi Xinjiang

²Xinjiang Oil Field Co. Development Corporation, Karamay Xinjiang

Email: zhrp22@163.com

Received: Sep. 30th, 2016; accepted: Oct. 14th, 2016; published: Oct. 19th, 2016

Copyright © 2016 by authors 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

Abstract

With many new directional wells and horizontal wells (such as Multilateral wells, Cluster wells, ERW, SAGD, Fire Flooding wells) application, the geological environment is becoming more complex. The accuracy requirement of monitoring and controlling the trajectory of horizontal well in drilling is higher and higher, especially in the old wells and ultra dense marginal reservoirs wells. Due to the environment, the precision of the instrument, the change of the magnetic field, and so on, the influence of the factors on the measuring instrument in the measuring process is measured. So there is deviation between the real drilling trajectory and design trajectory. By recognizing the importance of measuring instrument error on trajectory control, this error can be reduced in slim hole trajectory control, and it also can improve the control precision of the well trajectory. It can reduce the risk of well drilling and improve the accuracy of the target. It has great realistic significance to field operation.

Keywords

Trajectory Control, Horizontal Well, Measurement Error, SAGD

水平井井眼轨迹控制误差分析

张瑞平¹, 高飞², 许倩¹, 郑红军¹, 蒋天涯¹, 苗青¹

¹中国石油西部钻探定向井技术服务公司, 新疆 乌鲁木齐

²新疆油田公司开发公司, 新疆 克拉玛依

Email: zhrp22@163.com

收稿日期：2016年9月30日；录用日期：2016年10月14日；发布日期：2016年10月19日

摘要

随着诸多新型定向井、水平井(如分支井、丛式井、大位移井、绕障井、SAGD水平井、火驱井等井型)的应用,所钻遇的地质环境日趋复杂,在井眼密集的老区和超薄边际油层钻井中,对水平井井眼轨迹监测与控制的精度要求越来越高。由于随钻测量仪器在测量过程中由于受到环境、仪器精度、磁场变化等因素影响,实钻井眼轨迹就会与设计轨道产生偏差。认识测量仪器误差对轨迹控制的重要性,减小井眼轨迹控制的误差,提高井眼轨迹的控制精度,可以有效降低井眼防碰的风险,也可以提高水平井的中靶精度,对水平井的现场施工具有重要的指导意义。

关键词

轨迹控制, 水平井, 测量误差, SAGD

1. 前言

随着石油钻井业的飞速发展,油气田勘探开发的不断深入,定向井、水平井成为目前石油勘探开发的最主要开采方式,定向井钻井技术作为实用而且有效的钻井方法,在钻井工程中得到了快速的发展。但井眼在地表之下,无法用肉眼进行观察,只能间接的通过测量仪器对井眼轨迹进行测量,通过分析计算测量的数据了解到井下的情况。近年来,虽然随钻测量技术、测井技术得到了快速发展,一定程度上提高了实钻轨迹的控制精度,但随钻测量仪器在测量过程中由于受到环境、仪器精度、磁场变化、测量仪器位置以及最后对数据的计算方法等因素影响[1],实钻井眼轨迹就会与设计轨道产生误差。

实际钻出的定向井、水平井井眼轨迹是一条空间曲线,轨迹某点测量数据包括井深、井斜角、方位角3项基本参数;把相邻两测点间井眼轨迹假设不同曲线形式,使用相应的数学计算方法[2],计算出实钻井眼轨迹。由于假设条件和数学算法的不同,到目前为止,国内外已经提出的轨迹计算方法有20多种,所有这些方法的计算结果都不一致,且没有一种计算方法可以完全准确地计算出真实的井眼轨迹曲线。目前国内普遍使用轨迹计算方法是极小曲率法和圆柱螺旋线法。

实钻轨迹中测量取得参数中井斜角和方位角是测量的关键参数。方位角在水平井轨迹控制中扮演着重要的角色。方位角是靠磁性测斜仪测量出,为了监测和控制井眼轨迹,必须将井眼轨迹归算到同一个坐标系内,这将涉及到磁偏角和子午线收敛角。假设某油田的子午线收敛角为 2° ,这对于水平位移为1000 m的水平井,如果钻井中不考虑子午线收敛角的影响,实钻井眼轨迹的在水平方向上将会产生超过34.9 m的偏差。由于实钻井眼轨道的误差,可能发生井眼相碰或不能钻达设计目的油气藏,导致钻井事故发生或钻穿油气层。

2. 特殊井对轨迹控制技术要求

SAGD 水平井: SAGD 井组对轨迹控制要求: 生产井(P井)A点垂深以上20~30 m,要求井斜角不得超过 60° ,狗腿度小于 $3^{\circ}/30\text{m}$;注气井I井在水平段开始就与已完钻的P井的轨迹平行垂向距离始终控制在5 m(误差 $\pm 0.5\text{ m}$),水平方向偏移量控制在 $\pm 1\text{ m}$ 。

火驱油: 火驱井轨迹控制技术要求是:水平井水平段靶区B点与直井间距离在3 m以内且不能打穿。

“U”型井: 轨迹控制技术要求是:实现水平井与直井(洞穴井)的连通。

3. 井眼轨迹控制的误差分析

现场获得实钻井眼轨迹[3]的操作分为两个步，第一步是测斜，测出井眼轨迹上多个点的测斜数据；第二步是计算，把测斜数据输入轨迹计算软件，计算出井眼轨迹曲线。下面主要分析在测斜过程中，导致测量数据出现误差，以至于对井眼轨迹控制的影响。

3.1. 测斜仪器精度的影响

测斜仪器因工作原理、制造工艺和功能不同而影响仪器精度误差，仪器自身系统误差是普遍存在且无法被消除的。无论是 MWD、电子多点还是陀螺仪器都存在此项误差。因各类测斜仪器精度不同的影响，所产生的测量误差也会不同。表 1 介绍了目前公司常用的几种仪器精度对比。

3.2. 方位角的影响及校正

在钻井中，井眼轨迹方向在水平面上的投影与磁北方向之间的夹角为方位角。由于存在不同的基准，所以有不同的方位角。目前，在施工现场定向井、水平井的井口、目标靶区位置几乎都是用高斯投影坐标来表示的，所以用于轨迹计算的方位角必须以网格坐标为参照。在使用磁性测斜仪测量数据时，测得的方位角需要对磁偏角和子午线收敛角[4]进行校正才能参与井眼轨迹的计算。方位角的校正公式为：

$$\varphi = \varphi_s + \delta - \gamma$$

式中： φ ——经过校正之后的方位角； φ_s ——磁性测量仪器测得的方位角； δ ——磁偏角； γ ——子午收敛角。

磁偏角和子午收敛角都是随着时间和地区的不同在变化的动态值。当前方位的磁偏角校正已经在我国各油田普遍推行，而子午收敛角的校正某些油田仍然被忽略。如一口定向井设计水平位移为 1500 m，靶区半径为 25 m，该井所在位置的子午收敛角为 1°，而在现场轨迹控制过程中，对方位角只进行了磁偏角校正，没有进行子午收敛角校正，以致计算出的井眼轨迹在靶点处的误差将达到 26.2 m，将很难命中靶区。因此进行子午收敛角校正是非常必要的，该对水平位移越大的井，越是重要。

3.3. 磁干扰

磁性测斜仪器如果测斜环境磁场受到干扰，测出的方位角和磁性工具面不能够真实反映实钻轨迹。要想得到准确的测量数据，就必须使得测量仪器处于一个没有磁场干扰的环境。施工现场磁干扰影响因素有：1) 仪器和套管距离太近，仪器探管距常规钻具太近；2) 地层含磁性矿物质，如钻遇含有磁铁矿地层时；3) 邻井套管的影响；4) 钻具在地磁场作用下发生磁化。

在定向钻井现场使用无磁钻铤或者钻杆来保证测量仪器处在无磁环境之中，减少来自外界磁场的干扰。磁干扰防范措施：1) 探管在无磁钻铤中处于合适位置；2) 对照行业标准 SY/T5619-1999《定向井下部钻具组合设计方法》[5]，根据测量井段的井斜角和方位角来选择无磁钻铤的长度，从而降低钻具产生的磁场环境对测量探管的磁干扰。

Table 1. MWD instrument accuracy comparison table

表 1. 常用的几种仪器精度对比表

序号	仪器类型	测量精度		
		井斜精度	方位精度	工具面精度
1	电子单多点	±0.2	±1	±1.5
2	海蓝 48R	±0.1	±1	±1
3	哈里伯顿 FEWD	±0.2	±1	±1.5
4	恒泰 MWD	±0.2	±1	±1.5
5	GE-MWD	±0.1	±0.25	±0.25

3.4. 测量仪器不对中误差的影响

在井眼轨迹测量中，如果使用测井仪器在裸眼中测量，由于仪器外径比井眼的直径小很多，探管总是靠在井壁的一侧，而实钻的裸眼井壁是不规则，此时测量得到的井眼轨迹参数会出现较大的误差。

仪器轴线与井眼轴线不重合的相对位置呈现随机性，其所引起的轴线对中误差也就表现为随机误差[6]。这种随机误差相对其它轨迹测斜误差因素，仪器不居中产生的误差相对较小。

现场施工中通过安放稳定器增加钻具居中度，同时在仪器串中加入扶正器并且要胶翼完好，保证仪器在钻具中的居中，降低仪器不对中带来的误差。虽然仪器不对中带来的误差较小，在大井眼中施工仪器的不对中可能会产生较大的误差，所以在在大井眼水平井的施工要重视此项误差对轨迹的影响。

3.5. 测深误差的影响

导致测深取值出现误差的主要原因为：钻柱或是电缆的伸缩造成的；也有可能是人为的操作不当造成的。例如在使用随钻测斜仪随钻跟踪测斜时，根据仪器零长值计算测深位置出现误差，该点测深误差引起的井眼轨迹不确定性，与井段的井眼曲率大小有关。井段内的井斜角和方位角的变化越大，测点并深误差引起的井眼轨迹误差也就越大。对于浅层定向井、水平井此项误差影响较小。

考虑钻具自身重量的影响，根据胡克定律

$$\text{公式: } \delta = \frac{wL^2}{2EF}$$

式中： δ ——钻具总伸长量，m；

L ——钻具总长，m；

w ——钻具每米产生的拉力，N/m；

E ——钢材的弹性模量，N/cm；

F ——钢材的截面积，cm。

根据资料表明，但对于一口完钻井深 4500 m 左右的直井，考虑上述因素，钻具伸长可高达 10 m 左右，相当于多打了一个单根长度。同时，测量误差对井眼轨迹不确定性的影响，是随着测点数量增多而叠加的过程，即存在误差的测斜点数量越多，由计算得到的井眼轨迹误差就越大，在井眼轨迹的末端误差最大。

4. 结论及认识

1) 进行磁偏角校正，重新测绘作业区域磁场强度和磁偏角，重新绘制作业区域磁偏角分布图。油田进入开发中后期，对磁偏角和子午线收敛角的校正必须引起足够重视。

2) 现场使用的测斜仪器探管必须进行定期校验，从而保证测量精度满足轨迹的要求，在仪器使用过程中随时关注仪器 Gt 值和磁场强度值的变化。

3) 在新疆油田风城重油 SAGD 井组施工中为了减小测量误差，施工中通过选用两根无磁钻杆并且合理选择高精度探管与常规钻具的位置来降低磁干扰增加测量精度。磁导向系统[7]用于 SAGD 水平井能够满足两井的井眼轨迹控制要求，实现上下两井水平段的水平度和平行度的精准控制。

4) 根据测量井段的井斜角和方位角，来合理选择无磁钻铤的长度以及仪器探管所在位置。

5) 仪器精度误差、人员操作水平、环境等影响因素是客观存在的，这就决定了测量计算轨迹与实际的井眼轨迹会有一定的误差，控制这些误差在允许的范围内，是定向井技术服务追求的目标。

6) 现场导致井眼轨迹位置出现误差的因素有很多，这些误差因素总是存在于井眼轨迹的测斜与计算

过程中。事实上目前还没有办法去获取绝对准确的井眼轨迹。在水平井井眼轨迹的控制过程中，必须考虑到井眼轨迹的不确定性以及轨迹误差的范围，对于油田的高效开发至关重要。

参考文献 (References)

- [1] 刘修善. 井眼轨道几何学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [2] 刘永旺, 管志川, 石玉才, 等. 井眼防碰技术存在的问题及主动防碰方法探讨[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(6): 14-18.
- [3] 董本京, 高德利. 井眼轨迹不确定性分析方法的探讨[J]. 天然气工业, 1999, 19(4): 59-63.
- [4] 韩志勇. 关于子午线收敛角校正问题[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(4): 1-4.
- [5] 国家石油和化学工业局. SY/T 5619-1999 定向井下部钻具组合设计方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [6] 陈炜卿, 管志川, 赵丽. 井眼轨迹随钻测量中的测斜仪器不对中随机误差分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2006, 30(2): 41-44.
- [7] 杨明合, 夏宏南, 屈胜元, 等. 磁导向技术在 SAGD 双水平井轨迹精细控制中的应用[J]. 钻采工艺, 2010, 33(3): 12-14.

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: me@hanspub.org