

基于柔性钻具的水平井钻进扭矩预测

夏环宇¹ 黄毓祥¹ 田 峥² 郑 伟¹ 吴事难¹

(1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

(2. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518067)

摘 要: 短半径或超短半径水平井作业时, 采用柔性钻具组合是较好的选择。柔性钻具在井下易受扭破坏而失效, 所以对其扭矩的准确预测非常重要。本文将水平井分为常规钻具井段和柔性钻具井段, 对两个井段分别采用软件预测和实钻数据拟合的方法进行扭矩计算, 通过结果的累加实现对整个井段的扭矩预测。研究结果表明: 通过实钻数据拟合, 简化了柔性钻具段钻进条件下的扭矩预测方法, 对短半径和超短半径井钻进扭矩的预测有指导意义, 可作为现场钻进实时扭矩的数据参考。

关键词: 短半径; 超短半径; 柔性钻具; 扭矩预测; 水平井

短半径和超短半径井, 它的井眼曲率半径范围分别为 29m~8.5m 和小于等于 8.5m, 相较于利用小钻管、水力/酸液喷射钻进等方式, 采用柔性钻具钻进时, 有成本低、轨迹控制相对较好, 后期易于井筒改造等优点, 应用较广。柔性钻具在井下与井壁接触^[1-4] 点位多, 再加上小井眼曲率半径的影响, 导致钻具所受扭矩较大, 有较高失效风险, 所以钻前的扭矩预测是必要的。目前, 基于常规钻具的扭矩预测技术^[5-14] 成熟, 有多种商业软件可实现快速预测; 柔性钻具钻进工况下的扭矩预测方法^[2, 4, 15-18] 则较为复杂, 无成熟的软件, 难以应用于现场。本文就柔性钻具扭矩预测技术开展针对性的研究, 提出解决方案, 为现场钻进扭矩实时预警提供数据支持。

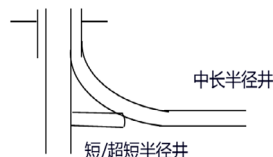


图1 短半径和超短半径井与普通井对比示意图

1 水平井钻进扭矩预测方法

柔性钻具在井下的状态难以预测, 令短半径和超短半径井在钻井过程中的扭矩预测变得困难。短半径或超短半径水平井钻进时, 上部采用常规钻具, (下部) 造斜段和水平段采用柔性钻具, 且因钻进扭矩向上叠加传递, 扭矩分段预测方法不影响结果的准确性。因此本文采用“上部软件计算+下部实钻数据拟合”的方法分段预测扭矩, 再将结果按井深叠加, 实现了全井段的扭矩预测。

1.1 基于常规钻具的扭矩预测

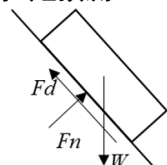


图2 钻具受力示意图

取钻具上的一个单元进行分析。在已知井眼轨迹、钻井液性能参数、钻具组合和钻井参数的情况下, 利用

软件可以得到钻具在井眼中任意一点的受力大小, 受力状态如图2。其中: W 表示重力, 单位 N ; F_n 表示侧向力, 单位为 N ; F_d 表示摩擦力, 单位为 N 。

有了受力大小, 可根据下式可以求取钻具的扭矩:

$$\tau = F_n \times r \times \mu \times \frac{A}{V} \quad (1)$$

式中: τ —扭矩, 单位 $N \cdot m$; F_n —侧向力, 单位 N ; r —钻具外径, 单位 m ; μ —摩擦系数, 无量纲; A —角速度, 单位 m/s , $A = 2\pi r \times \frac{RPM}{60}$; V —线速度, 单位 m/s , $V = \sqrt{(T^2 + A^2)}$; T —机械钻速, 单位 m/s ; RPM —转速, 单位 $转/min$ 。

1.2 基于柔性钻具的扭矩预测

利用柔性钻具造斜时, 其造斜率通常由井眼和钻具尺寸、柔性短节万向接头的角度和斜向器参数确定, 意味着对于常规井眼尺寸及常用的钻具组合, 造斜率基本固定; 水平钻进时, 钻具无主动造斜能力, 轨迹呈自然降斜趋势, 在同类型地层中钻进时, 实钻轨迹较为接近。以上短半径和超短半径水平井在造斜段以下轨迹相似的特点, 决定了用实钻数据拟合的方法进行柔性钻具段扭矩预测, 有较强的普遍适应性。

对于水平段扭矩, 在特定储层、井眼尺寸、钻具组合条件下, 柔性钻具扭矩可以用水平段进尺进行表示:

$$\tau = Ax + B \quad (2)$$

式中: A —常数系数, kN ; B —常数系数, $kN \cdot m$; x —水平段进尺, m 。根据实钻资料数据, 求取 A 和 B 的值, 即可用式2来预测柔性钻具钻进时的扭矩。

2 应用案例

表1 老井基本信息

井名	套管尺寸 (mm)	造斜点井深 (m)	钻头尺寸 (mm)	柔性钻具组合	斜向器角度 (°)	设计造斜率 (°/m)	设计水平段长 (m)	设计钻进扭矩 (kN·m)

A	244.5	3210	133	133mm 钻头 + 柔性钻杆 + 变扣 + 常规钻具	23	36	100	5
---	-------	------	-----	-----------------------------	----	----	-----	---

某油田有一口套管生产井需要进行超短半径水平井改造, 轨迹已知, 其他基础信息见表 1。

老井的井身结构如图 3:

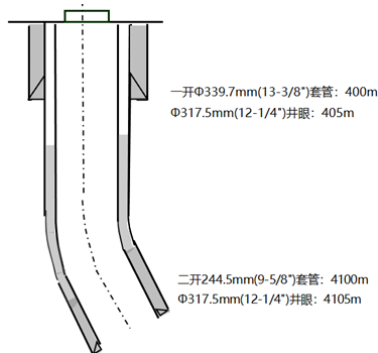


图 3 老井井身结构

根据老井轨迹信息及常规钻具组合表, 可以用软件求得上部井段扭矩值。根据表 1 信息, 找到相同作业条件下的已钻井扭矩数据如表 2:

表 2 已钻井实钻扭矩数据

参数名称	参数值									
	井 B							井 c		
水平段进尺 (m)	1	4	5	11	49	54	73	1	45	54
扭矩 (kN.m)	2.20	1.35	2.71	4.89	8.13	10.84	14.90	5.42	10.84	11.50

对表 2 数据进行拟合, 可以得到如图 4 的结果, 其中 $A=0.1555$, $B=2.502$ 。

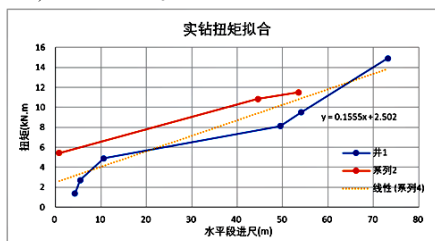


图 4 水平段钻进扭矩拟合结果

利用软件计算数据及下部井段实钻拟合结果, 可以求得钻进至任意井深的最大扭矩如表 3:

表 3 钻进至某井深处的扭矩预测结果

井深 (m)	上部井段扭矩 (kN.m)	下部井段扭矩 (kN.m)	总扭矩 (kN.m)
1000	7.81	0.00	7.81
2000	13.62	0.00	13.62
3210	20.94	0.00	20.94
3212.5	20.94	2.50	23.44
3312.5	20.94	18.05	38.99

3 结论

①采用“上部软件计算 + 下部实钻数据拟合”的方

法分段预测扭矩, 是柔性钻具钻进条件下全井段扭矩预测的可行方案; ②通过实钻数据的拟合, 简化了柔性钻具段钻进条件下的扭矩预测方法, 对短半径和超短半径井钻进扭矩的预测有指导意义, 可作为现场钻进实时扭矩的数据参考。

参考文献:

- [1] 高加强. 超短半径水平井柔性钻具关键部件结构设计及力学分析 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2012.
- [2] 杨洪波, 董洪铎, 蔺健. 超短半径水平井柔性钻具力学分析与安全评价 [J]. 化学工程与装备, 2020(9):62-63,117.
- [3] 徐亭亭. 超短半径水平井柔性钻具设计及力学分析 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2016.
- [4] 罗敏, 徐亭亭, 贾丽, 等. 超短半径水平井柔性钻杆非线性力学分析 [J]. 机械设计与制造工程, 2016,45(07):21-24.
- [5] 李娟, 唐世忠, 李文娟, 等. 埕海一区大位移水平井摩阻扭矩研究与应用 [J]. 石油钻采工艺, 2009,31(03):21-25.
- [6] 周洪林, 毛凯, 董静辉, 等. 塔中 862H 超深水平井摩阻扭矩分析 [J]. 钻采工艺, 2017,40(02):5-8.
- [7] 祝效华, 李柯, 安家伟. 水平井钻柱动态摩阻扭矩计算与分析 [J]. 天然气工业, 2018,38(08):75-82.
- [8] 李子丰, 马兴瑞. 油气井杆管柱动力学基本方程及应用 [J]. 石油学报, 1999,20(3):87-87.
- [9] 高德利. 油气井管柱力学与工程 [M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2006.
- [10] 赵国珍, 龚伟安. 钻井力学基础 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [11] 高德利. 钻柱力学若干基本问题的研究 [J]. 中国石油大学学报, 2018(1):24-35.
- [12] 陆宏剑. 大庆深层砾岩层水平井钻井技术研究 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2014.
- [13] 李波. 大斜度井摩阻扭矩分析与延伸极限研究 [D]. 重庆: 西南石油大学, 2015.
- [14] 李金平. 小井眼长水平段水平井摩阻扭矩分析方法研究 [J]. 中外能源, 2013,18(09):58-62.
- [15] 管中, 郭浩, 程林, 张铨, 刘智勤, 艾常明. WZ-X1 井超短半径水平井轨迹控制技术研究及应用 [J]. 钻采工艺, 2020(09).
- [16] 高加强. 超短半径水平井柔性钻具关键部件结构设计及力学分析 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2012.
- [17] 张绍林, 孙强, 李涛, 等. 基于柔性钻具低成本超短半径老井侧钻技术 [J]. 石油机械, 2017,45(012):18-22.
- [18] 杨刚, 孟尚志, 李斌, 等. 深部煤层气 T 型井钻井技术 [J]. 煤炭科学技术, 2018,46(06):189-194.

作者简介:

夏环宇 (1984-), 男, 博士研究生, 工程师, 研究方向: 油气井工程。