

Study on Anti-Tilt Mechanism of High Efficiency and Multi-functional Drilling Tool Combination

Xinghua Fan

China Petroleum Group Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd. Changqing Drilling Corporation, Xi'an, Shaanxi, 710021, China

Abstract

This high-efficiency multifunctional drilling tool assembly features an integrated configuration of "PDC bit + rotary stabilizer + non-stabilizer screw". Originally developed to address sliding pressure issues in horizontal and steeply inclined wells, specialized research was conducted due to its exceptional anti-slip performance during vertical wellbore operations. Classified as single-bend screw tools, this configuration differs from conventional models by eliminating the built-in stabilizer on the screw and adding an intermediate stabilizer between the bit and screw, thereby extending the distance from the bit to the elbow point and enhancing anti-slip capability. Studies demonstrate that the assembly achieves active anti-slip control and dynamic stability through coordinated effects of support point constraints, stiffness optimization, and vibration damping, significantly improving wellbore integrity. These advancements provide theoretical foundations and technical support for efficient vertical drilling in complex geological formations.

Keywords

High-efficiency multifunctional drill string assembly; anti-slope straight drilling; screw drill string,

高效多功能钻具组合的防斜机理研究

范兴华

中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 中国·陕西 西安 710021

摘要

高效多功能钻具组合, "PDC 钻头 + 旋转扶正器 + 无扶正器螺杆" 一体化配置。原针对水平井及大斜度井滑动托压问题研发, 因直井段防斜打直效果优异开展专项研究。该组合隶属于单弯螺杆钻具范畴, 与常规单弯螺杆钻具的核心差异是去除螺杆自带扶正器、在钻头与螺杆间增设扶正器, 延长了钻头至肘点的距离, 进而提升防斜能力。研究表明, 该钻具组合依靠支点约束、刚度优化及减振稳斜协同作用, 实现主动防斜与动态稳斜, 显著提升井身质量, 为复杂地层直井高效钻进提供理论依据与技术支持。

关键词

高效多功能钻具组合; 防斜打直; 螺杆钻具

1 引言

高效多功能钻具组合由 "PDC 钻头 + 旋转扶正器 + 无扶正器螺杆" 构成, 该组合最初针对水平井及大斜度井钻井过程中的滑动托压问题研发。通过设计滑动防托压工具及配套钻具组合, 可实现水平井直井段、斜井段及水平段的高效一趟钻施工, 显著提升施工效率。在直井段施工实践中, 意外发现该钻具组合展现出优异的防斜打直效能, 鉴于此, 本文针对高效多功能钻具组合的防斜打直功效展开专项研究, 旨在厘清其防斜机理并为现场应用提供理论支撑。

2 单弯螺杆钻具组合防斜机理基础

要系统厘清高效多功能钻具组合的防斜打直机理, 需首先明确其所属范畴的单弯螺杆钻具组合的基础防斜机理, 为后续对比分析奠定理论基础。

2.1 单弯螺杆钻具组合防斜核心机理

单弯螺杆钻具组合的防斜机理主要通过以下三方面实现: 一是通过结构设计增强钻头侧向力, 提升对井斜的校正能力; 二是增加单位进尺内钻头的横向切削次数, 强化井壁规整度控制; 三是钻具转动过程中钻头转角呈正负交替变化, 形成动态防斜校正效应^[1]。

2.2 单弯螺杆钻具组合井斜控制影响因素

影响单弯螺杆钻具组合井斜控制效果的关键因素经研究可归纳为以下五点: 1、稳定器安放位置: 稳定器与钻头的距离越大, 钻头侧向力越强, 防斜效果越显著; 2、钻压

【作者简介】 范兴华 (1984-), 男, 中国甘肃涇川人, 本科, 工程师, 从事石油钻井工程研究。

参数：钻压增大可使钻头侧向力略有提升，但整体对防斜效果的贡献度较低；3、螺杆弯角角度：随着单弯螺杆钻具弯角的增大，钻头侧向力呈近似线性增长，合理增大弯角有助于提升防斜效果；4、肘点位置参数：肘点位置对钻头侧向力影响显著，研究数据显示，当肘点位置从1m调整至3m时，钻头侧向力提升近2倍；5、转盘转速参数：转盘转速提高可使钻头侧向力有所增加，但增幅相对较小，对防斜效果的改善作用有限^[2]。

3 高效多功能钻具组合防斜机理分析

3.1 钻具组合结构特性

高效多功能钻具组合隶属于单弯螺杆钻具范畴，其与常规单弯螺杆钻具组合的核心结构差异在于：去除了螺杆自带的扶正器，在螺杆驱动头与钻头之间增设了一个独立扶正器。该结构优化使高效多功能钻具组合既继承了单弯螺杆钻具的所有基础防斜特性，又形成了独特的防斜优势。

3.2 防斜机理优势推导

基于“肘点与钻头距离越大，钻头侧向力越强”的基础规律，高效多功能钻具组合通过在钻头与无扶正器驱动头之间增设扶正器的结构设计，显著延长了钻头至肘点的距离。据此可进行理论推导：在弯度相同、肘点位置不变的条件下，高效多功能钻具组合的防斜能力可达常规单弯螺杆钻具组合的两倍，为其优异防斜效果提供了理论支撑^[3]。

4 现场应用研究

4.1 试验井基本概况

本次试验选取H探8井、H探10井两口井作为研究对象，两口井均位于甘肃省庆阳市H县。试验目的层位为盒8层，兼探山1层、太原组及下古生界顶部风化壳；二开井

眼尺寸均为241.3mm，其中H探8井试验井段为二开1810-3951m，H探10井试验井段为二开1657-4388m。H探10井井身结构设计参数详见表1。

4.2 试验效果分析

4.2.1 参数强化效果

为验证高效多功能钻具组合的作业性能，对不同地层钻进参数进行了强化对比试验，结果详见表2。由表中数据可知，采用高效钻具组合后，各地层钻进参数均实现显著强化：钻压平均提升20-40kN，扭矩提高1000-2000N·m，加压压差增大1-1.5MPa，充分证明该组合具备优异的参数承载能力。

4.2.2 防斜效果验证

两口试验井采用无扶正器螺杆的高效多功能钻具组合施工，在参数强化的同时，对井斜数据进行了持续监测，结果详见表3。由表中数据可见，两口井各测深点的井斜角度均保持在1°以内，其中H探8井最大井斜仅为0.84°（3639.24m处），H探10井最大井斜为0.92°（4084.15m处），充分验证了该钻具组合具备优异的防斜性能，与前文理论推导结论一致。

4.2.3 提速效果分析

以QT33井作为对比基准，分析高效多功能钻具组合在两口试验井中的提速效果，结果详见表4。由表中数据可知，该组合通过参数强化实现了各地层的显著提速：延长地层提速效果最为显著，达74.42%；石千峰地层次之，提速72.66%；刘家沟、石盒子地层提速幅度分别为33.52%、59.97%；延安、纸坊、和尚沟地层也实现了4.71%-17.26%的提速。整体而言，平均机械钻速提升34.19%，提速效果十分显著。

表1. 井身结构设计数据表

开钻次序	钻头尺寸 mm	井段 m	套管尺寸 mm	套管下入地层层位	套管下入井段 m	水泥封固井段 m	人工井底深度 m
一开	346.1	0 ~ 1650	273.1	延安组	0 ~ 1650	地面 ~ 1650	1630
二开	241.3	1650 ~ 4490	177.8	张夏组	0 ~ 4487	表层套管内200m以上	4465

表2. 气探井高效多功能组合参数强化表

地层	钻压 (KN)		加压压差 (MPa)		扭矩 (N.m)	
	强化前	强化后	强化前	强化后	强化前	强化后
延安-延长中部	120-140	140-160	3-4	5	8000-9000	10000
延长底部	120	140	3	4	8000	8000
纸坊-和尚沟	140-160	180-200	4	5	7000	8000-10000
刘家沟	140-160	200-220	3	4	6000-7000	7000-8000
石千峰-山西	100-120	140-160	2-3	3-4	7000	7000-8000

表 3. 高效多功能组合防斜效果

H 探 8				H 探 10			
序号	测深 (m)	井斜 (°)	方位 (°)	序号	测深 (m)	井斜 (°)	方位 (°)
1	2712.86	0.53	154.69	1	3415.43	0.48	22.59
2	2770.8	0.35	137.72	2	3473.23	0.44	41.41
3	2828.74	0.48	113.12	3	3560.3	0.48	35.96
4	2886.61	0.53	105.46	4	3618.38	0.53	35.9
5	2944.5	0.44	104.94	5	3676.45	0.48	41.49
6	3002.55	0.26	62.55	6	3734.33	0.44	57.41
7	3031.6	0.31	65.28	7	3792.22	0.44	91.08
8	3089.44	0.26	85.15	8	3879.19	0.31	126.95
9	3147.41	0.48	104.67	9	3939.16	0.48	150.33
10	3205.38	0.51	88.69	10	4026.15	0.79	77.8
11	3263.3	0.62	80.49	11	4084.15	0.92	64.18
12	3321.26	0.6	84.52	12	4141.95	0.66	74.81
13	3378.69	0.35	61.94	13	4200	0.88	70.68
14	3436.64	0.48	62.29	14	4257.81	0.53	106.9
15	3523.44	0.57	49.63	15	4333.9	0.67	112.3
16	3581.34	0.79	47.7	16	4420.84	0.42	89.63
17	3639.24	0.84	42.69	17	4530	0.35	85.54

表 4. 高效多功能组合提速效果

地层	QT33	H 探 8+H 探 10	提速效果
延安	33.33	39.09	17.26%
延长	16.00	27.91	74.42%
纸坊	16.09	17.32	7.65%
和尚沟	11.49	12.04	4.71%
刘家沟	6.13	8.19	33.52%
石千峰	8.80	15.19	72.66%
石盒子	5.04	8.06	59.97%
平均	13.54	18.17	34.19%

4.2.4 综合优势总结

结合试验数据与施工实践，高效多功能钻具组合的防斜及作业优势主要体现在以下三方面：（1）防斜效果优异：得益于螺杆较高的转速特性，在相同进尺条件下，钻头切削下井壁的转数较常规组合提升数倍。当钻头紧贴下井壁时，可形成强效防斜效应，尤其在倾斜地层中，该优势更为突出，试验中井斜全程控制在 1° 以内即是有力证明。（2）机械钻速高效：螺杆高速转动的特性直接提升了机械钻速，尤其在软 / 中软地层中表现更为显著。试验数据显示，各地层平均机械钻速提升 34.19%，大幅缩短了钻井周期。（3）钻井成本可控：机械钻速的提升直接缩短了钻井作业时间，同时优异的防斜性能避免了定向纠斜作业产生的额外费用，从施工周期与作业成本两方面实现了成本节约。

5 结论与认识

高效高效钻具组合通过在钻头与螺杆间增设扶正器，

增大了钻头与肘点间的距离，显著提升了防斜效果。将其应用于直井施工时，可充分发挥防斜效能，进而实现钻压释放与钻进参数强化，最终使机械钻速平均提升 34.19%，实现了防斜与提速的协同优化。高效高效钻具组合的防斜效果具备可调节性，通过调整上扶正器与钻头的间距，可根据不同地层条件优化防斜性能，提升了工具的现场适应性。施工参数优化可进一步强化防斜效果，在现场施工中，选用弯角角度较大的无扶正器螺杆钻具，可有效增强钻头侧向力，为实现更优防斜效果提供保障。

参考文献

[1] 姜兴福.单弯螺杆钻具组合防斜打快技术研究[J].长江大学学报(自然科学版),2011,8(10):57-59+277.
 [2] 黄壮,侯作富,陈锬,等.水平井眼中单弯螺杆钻具组合力学分析方法[J].石油机械,2021,49(08):8-15.
 [3] 王建龙,柳鹤,于琛,等.多功能振荡旋冲螺杆钻具研制与应用[J].西部探矿工程,2022,34(12):49-52+55.