

北京六合伟业科技股份有限公司

# 技术季刊

2022年第1期 2022-04-30



86 13601157905



liuhe@liu-he.com



www.liu-he.com



北京市丰台区南四环西路188号十二区39号楼

# 目 录

## 产品及技术升级

LHE5616D 1.5bps 旋转阀脉冲器传输系统	3
LHE5811B 井下烃类含量随钻测量系统	4
C021 矿用泥浆脉冲无线随钻测斜仪	5
近钻头在复杂地层环境的应用	6
短半径无线随钻仪器的应用	8
三维仿真软件在石油井下仪器设计中的应用	12
随钻井深测量补偿性研究	17
钻井施工随钻防碰风险控制研究	20

## 产品工程更改

结构工程更改	22
硬件工程更改	22
固件工程更改	22

## 产品应用案例

### 随钻测井应用

随钻电阻率测量系统	24
❖ 辽河区块 4.75" 随钻电阻率表现优异	
随钻近钻头测量系统	25
❖ 煤层气精准施工, 钻遇率 100%	
❖ 页岩气水平进尺超 1800 米	

### MWD 应用

大排量旋转阀随钻测量仪	27
❖ 继胜利、大庆后, 四川 75L/s 大排量应用获得成功	
LHE5616B 转阀脉冲器	28
❖ 内蒙古转阀单井连续作业超 600 小时	
来自 SOCAR 的感谢信	29
❖ 阿塞拜疆国家石油公司对六合 MWD、陀螺高度认可	

### 陀螺应用

随钻光纤陀螺测斜仪 (FOGWD)	30
❖ 六合 FOGWD 在美国加州大放异彩	

## 产品及技术升级

永葆创新激情，用心服务客户，是公司始终践行的核心价值观，这也体现在研发产品和技术升级方面。通过市场调研、客户需求反馈，公司进行了以下产品的研发和升级。

1. LHE5616D 1.5bps 旋转阀脉冲器传输系统，充分发挥自研优势，通过大量上井数据分析，在结构上对定转子重新设计，电路上精确控制转子动作角度及速度，实现闭环控制，进而使信号传输速度从 0.5bps 提升至 1.5bps。
2. LHE5811B 井下烃类含量随钻测量系统，采用近红外光谱检测装置对井下外环空流体进行抽吸、采样、测量和排出，烃类含量测量数据通过 MWD 系统传送到地面，能够及时准确地分析油气藏的含量，同时为钻井安全提供了数据支撑。
3. C021 矿用泥浆脉冲无线随钻测斜仪，采用低排量泥浆脉冲传输技术，并经过矿用隔爆兼本安型认证，可广泛应用于煤矿水平钻孔的滑动钻进和复合钻进。
4. 近钻头地质导向，测点距钻头仅 0.5 米，通过测量上、下伽马变化趋势做到早预判、早调整，调整轨迹能够使井眼轨迹在储层内穿行，提高钻遇率，优化钻井轨迹，已在复杂地质环境成功应用。
5. 短半径技术，是在中长半径水平井技术基础上发展起来的一项钻井技术，该技术能成倍的提高油井产量和提高采收率，改善井网布置，合理有效的开发各类油藏。
6. 三维仿真软件在井下仪器设计中的应用，利用 3D 仿真软件对井下工程参数产品主要受力进行分析，得出工程参数的安全系数、应变、位移等相关数据，进而选取合适应变片。
7. 随钻井深测量补偿性研究，井深是衡量油气资产经济发展的关键指标。在井下作业过程中，利用电阻率，伽马等工具对岩石的物理测量进行测量时，井深是所有这些活动的共同参考。
8. 钻井施工随钻防碰风险控制研究，随着我国东部油田进入开发的中后期及海上油田的大力开发，加密井和丛式井技术得到广泛应用，井与井之间的距离越来越小，意外井眼交碰事故时有发生，给环境和生产都造成了巨大的损失。因此，利用风险指标及时评价和规避井眼交碰风险也越来越重要。

## 产品及技术升级

# LHE5616D 1.5bps 旋转阀脉冲器传输系统

## 一、研发背景

随着井下测量参数增加，现有井下工具对传输速率提出更高要求。1.5bps 旋转阀在现有转阀脉冲器的基础上，充分发挥自研优势，通过大量上井数据分析，在结构上对定转子重新设计，电路上精确控制转子动作角度及速度，实现闭环控制，进而使信号传输速度从 0.5bps 提升至 1.5bps。

## 二、产品特性

- ◆ 快速传输，上传速率 1.5bps。
- ◆ 兼容性强，可挂接目前市场 MWD。
- ◆ 电源管理设计，满足单趟钻 200 小时应用。



## 三、产品应用

- ◆ MWD 挂接近钻头、电阻率和工程参数等设备，可用快速脉冲将井下更多参数实时上传，高效及安全地指导施工作业。
- ◆ 常规脉冲通过更换定转子，并将软件设置为快速模式，兼容设计，降低用户的使用成本。
- ◆ 现有仪器组合满足客户一趟钻需求。

## 产品及技术升级

# LHE5811B 井下烃类含量随钻测量系统

## 一、研发背景

随钻测量是高效开发复杂油气藏的最重要手段，符合行业未来发展趋势。基于光谱技术的油气成份的随钻测量，可以有效地解决石油天然气钻探过程中油气成份的实时在线测量，为钻探决策提供可靠的依据。与众多传统技术相比，光谱技术具有多种成份同步探测、分析速度快、稳定性好等技术优势。

井下烃类含量随钻测量系统，采用近红外光谱检测装置对井下外环空流体进行抽吸、采样、测量和排出，烃类含量测量数据通过 MWD 系统传送到地面，能够及时准确地分析油气藏的含量，同时为钻井安全提供了数据支撑。

## 二、产品特性

- ◆ 采用红外光谱法检测油气水含量，总烃测量相对误差 $\pm 5\%$ 。
- ◆ 实时传输，可多组分同时定量分析。
- ◆ 快速识别与精准发现油气层，及时发现井侵、溢流等钻井风险，为钻探决策提供可靠的依据。
- ◆ 为井下油-水、油-气界面精确判断提供数据支持，油气水识别准确率 95%，解决了薄差、复杂、隐蔽油气层勘探难的问题。

## 三、产品应用

- ◆ 解决了传统 LWD 无法对井底流体性能参数进行定量分析和测量的问题。
- ◆ 实时测量上传数据，为调整钻进方向、保持油层高钻遇率提供依据。
- ◆ 准确确定所钻层段的油气含量和类型，及时发现和解释井下地层油气情况具有重要指导意义
- ◆ 应用于复杂结构井的地质导向和地层评价，大幅度提高钻井成功率、单井产量及采收率，降低油田开发与生产成本，实现油田的高效开发。



## 产品及技术升级

# C021 矿用泥浆脉冲无线随钻测斜仪

## 一、研发背景

煤矿井下瓦斯抽采及水排放等矿井致灾隐患的超前探测与治理过程中，定向钻进技术起着至关重要的作用。之前普遍使用有线随钻定向钻井技术，存在信号传输、钻具要求及地层适应性多方面制约。

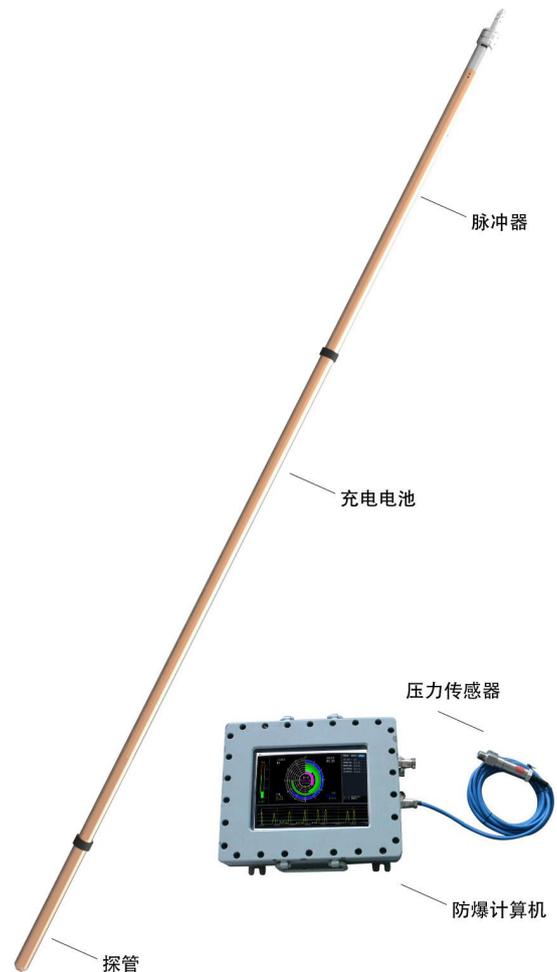
矿用泥浆脉冲无线随钻测斜仪，采用低排量泥浆脉冲传输技术，并经过矿用隔爆兼本安型认证，可广泛应用于煤矿水平钻孔的滑动钻进和复合钻进。

## 二、产品特性

- ◆ 采用泥浆脉冲技术，传输距离 > 1500 米。
- ◆ 适用于 90~300L/min 小排量应用环境。
- ◆ 采用充电电池，单次工作时间超过 15 天。
- ◆ 矿用隔爆兼本安型 “Ex d[iib] I Mb”。
- ◆ 兼容 DEES 软件，微小信号 5Psi 即可解码。

## 三、产品应用

- ◆ 采用无线技术，现场大数据传送云服务器，满足智能化煤矿需求。
- ◆ 适应煤矿井下各种定向钻孔的钻井液条件，降低客户对现有设备的要求。
- ◆ 低功耗设计，提升仪器工作时间，满足煤矿井下一趟钻的使用需求，降低使用成本。
- ◆ 获得煤安认证，适应客户使用环境。
- ◆ 采用先进的滤波算法和解码技术，解决仪器在复杂环境下的应用。



## 产品及技术升级

# 近钻头在复杂地层环境的应用

2021 年 2 月，中国石油天然气集团发布在四川海坝区块页岩气开发获得重大突破 (<http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c16794710/content.html>)。该区块作业运用“大钻压、大排量、大扭矩、高钻速、高泵压”的强化钻井参数措施施工，为有效调整轨迹，能够使井眼轨迹在储层内穿行，必须选择近钻头地质导向工具。



图 1 近钻头系统整机

由于地理特性，该区块井轨迹是正北方向，在进行方位判定过程中遇到挑战。为解决这一难题，西钻工程技术研究院技术团队升级了近钻头程序，优化方位伽马测量算法，仪器可自适应井下地层干扰和钻具干扰，从而缩小盲区范围，通过实验室测试和现场应用情况分析验证，顺利完成技术攻关。

井下地质环境复杂，对跨螺杆通信产生干扰。技术团队通过软件算法对发射端数据进行了编码调制，在接收端进行译码纠错。使用纠错算法可以使近钻头跨螺杆通信的抗干扰能力提高 50% 以上，极大的提高了近钻头仪器对复杂环境的适应性。

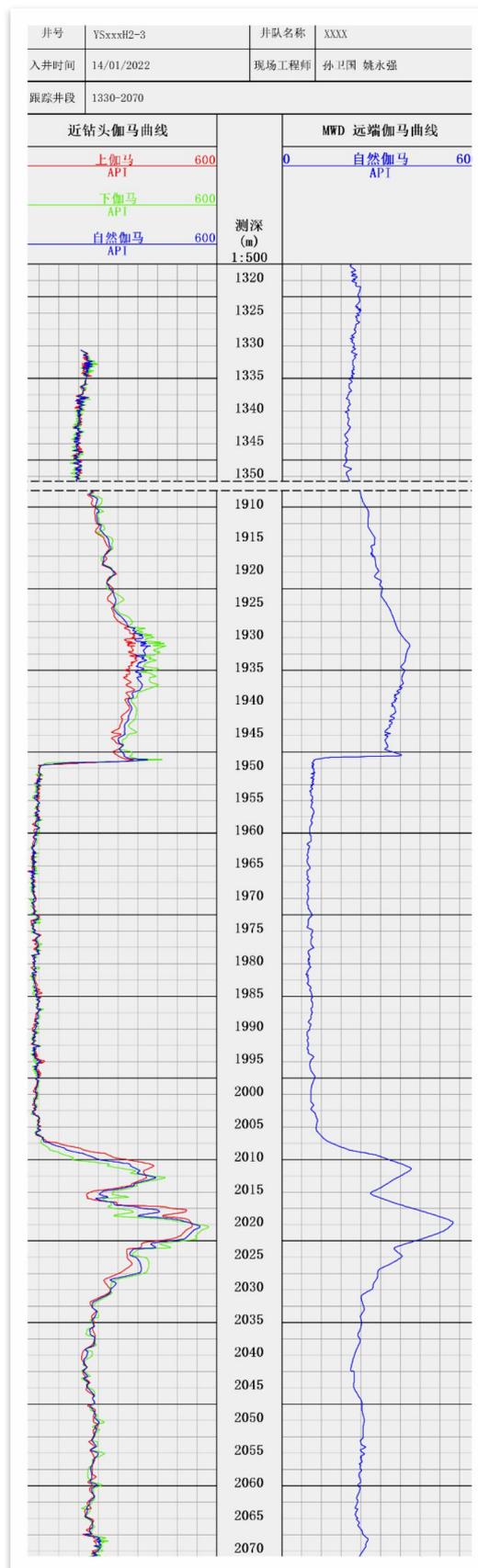
该区块目前施工 12 口井，我司用升级后近钻头测量系统已完成了 7 口井的钻进，总进尺 9125 米，工作时间 1546 小时，平均钻遇率为 98.64%，现场故障率为 0，未出现井下异常，无论数量和质量，都得到客户的充分认可。

井号	井型	入井时间	完钻时间	进尺 (米)	工作时间 (小时)	钻遇率 (%)
井 1	水平井	2022/1/25	2022/2/3	1611	310	100
井 2	水平井	2022/1/14	2022/1/20	947	156	99.2
井 3	水平井	2022/2/24	2022/3/6	1348	229	100
井 4	水平井	2022/2/20	2022/3/10	1194	283	98.78
井 5	水平井	2022/3/14	2022/3/20	1295	154	91.27

井 6	水平井	2022/3/24	2022/4/8	1340	210	100
井 7	水平井	2022/4/19	2022/4/28	1390	204	100

其中，井 2 为大斜度定向井，最大井斜 77°，方位 358°，井深 2277 米。近钻头仪器入井后，井下仪器工作正常：

1. 跨螺杆通信正常，通信成功率为 100%。
2. 方位伽马测量正常，和远端自然伽马趋势一致。
3. 方位伽马值能够真实反映地层信息（如右图）：
  - 仪器入井从 1330 米开始一直在目的层穿行至 1910 米。
  - 准备降斜从龙马溪层龙一段 2 号层到 1 号层，钻进至 1948 米时，伽马忽然变小，遇断层，进入保塔层灰岩段。
  - 从 1950 米开始，进行增斜处理，一直到 2005 米，出断层，伽马开始变大，2020 米时进行龙一组地层的中心。
  - 进行降斜处理，至 2035 米时，进行稳斜处理，仪器稳定在目的层钻进，直至完钻。



## 产品及技术升级

# 短半径无线随钻仪器的应用

## 一、研发背景

短半径技术是在中长半径水平井技术基础上发展起来的一项钻井技术，该技术能成倍的提高油井产量和采收率，改善井网布置，合理有效的开发各类油藏。不但可以节约钻井及油田开发综合成本，而且可以对难开发的薄油气层进行开采，极大地提高了采收率和经济效益。

利用短半径技术可以对低产、低效的老井进行剩余油改造挖潜，提高老井原油产量；可以多油层开窗，满足多层、薄互储层的水平井钻井；可以满足小规模砂体水平井的钻井，有效避开水层、不需固井堵水，实现一次性完井。

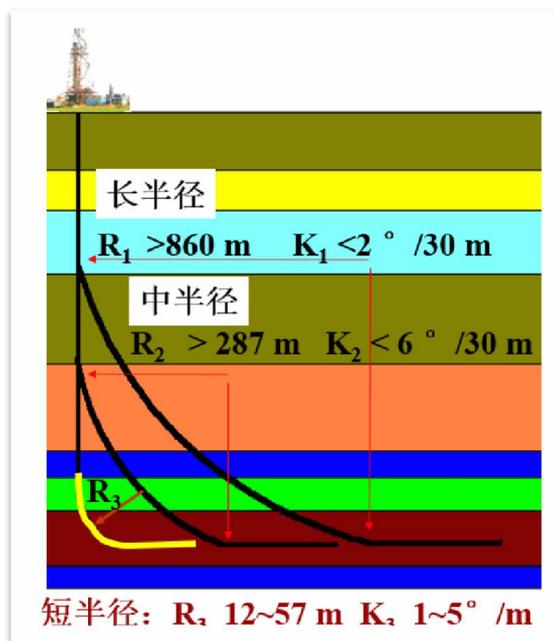
我公司研究开发了短半径无线随钻测量仪器，该仪器可以随钻实时测量井眼轨迹参数，提供准确的钻井轨迹数据。配合短半径钻井施工工艺及短半径钻井设备，实现了短半径钻井技术。

## 二、短半径水平井的特点

短半径水平井，一般是指造斜井段的造斜率大于 1 度/米的水平井，曲率半径小于 57.3m。短半径水平井具有井眼小、造斜率高、曲率半径和靶前位移等特点。

短半径水平井的造斜率高，常规钻井设备、钻井工艺及测量仪器难以满足短半径井的施工要求。短半径施工需要从剖面设计、钻井技术、井下马达和钻头、测量方式（测量仪器）等几个方面共同进行。

- 剖面设计：主要从以下几个方面进行：剖面选择时曲率半径选择大于 60m；井身剖面设计应留有余地；避开三维井身剖面；对老井数据进行校准。
- 钻井技术：要求有合适的、成熟的开窗工具；短半径水平井的开窗方式。
- 井下马达和钻头：需要匹配合适的造斜马达；动力马达要与井身剖面相匹配；合适的小尺寸钻头。
- 测量仪器：通过率要与井身剖面、钻井技术和设备相匹配。短半径水平井造斜率高，常



## 产品及技术升级

规测量仪器难以通过井下钻柱，需要使用专用的短半径测量仪器，此类仪器尺寸小或配有柔性短节。

### 三、短半径仪器使用

国外短半径水平井钻井始于 20 世纪 30 年代，国内开展短半径水平井的研究工作始于 90 年代初，由于国外有关公司对外技术封锁，配套工具只服务不出售，加上对短半径水平井的优势还有一个认识过程，所以该项技术在国内的发展比较缓慢，在有关院所和油田总公司的支持下，研究取得了一些进展，例如铰接螺杆马达系统、柔性钻杆、钛合金钻杆、短半径测量 MWD 等。

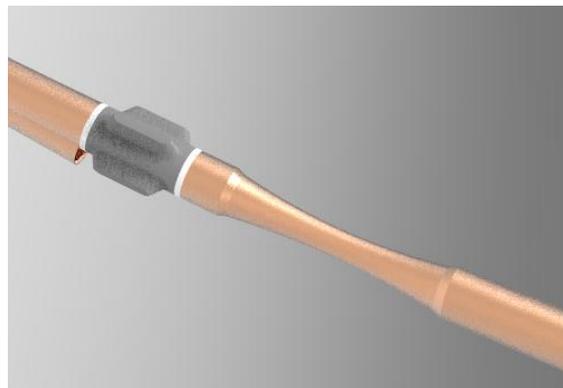
侧钻测量方式的选择是确定侧钻精度的条件之一，侧钻精度是有效控制斜井段并眼轨迹的保证，应根据实际情况选择合适的侧钻测量方式。在井深、钻井液密度、通过能力允许的情况下，应优先考虑 MWD 无线随钻测量。侧钻定向有磁干扰时，先用有线随钻测量方式或陀螺测量方式，侧钻完成后改用 MWD 无线随钻测量。

短半径水平井的并眼轨迹，要严格做到随钻随测，及时掌握剖面动态。应该禁止先钻后补测，对于高造斜率的斜井段，如果钻进时增斜率稍有失控，并眼轨迹将很难控制，随钻随测过程中，随时对钻头至仪器的零长井段并眼轨迹进行预测，通井后下多点测量仪器补测零长段轨迹数据。

### 四、六合短半径仪器介绍

六合短半径随钻测量仪，通过减小仪器外径，提高仪器自身的弯曲能力，同时适配变径的柔性短节，进一步提高仪器的弯曲能力。仪器具有以下特点：

- 耐温 175°C，耐压 140Mpa（仪器外径 $\phi$ 35mm）。
- 下座键仪器，采用防脱结构。
- 外径为 35mm。
- 采用柔性短节的连接方式。
- 仪器可打捞，能够满足水平井的施工需求。
- 满足大造斜率需求：100°/30 米。
- 可选配伽马/探管式方位伽马，准确的测量地质参数。



## 产品及技术升级

### 该仪器可以使用在如下的短半径钻井施工中：

- 对井下钻井轨迹与地质参数进行实时测量，为随时调整钻进方向提供依据。
- 能够实现 100°/30 米的造斜率，有效降低工程及运维成本。
- 设备简单、施工方便、作业周期短，大修设备即可满足施工要求。
- 可以对低产、低效的老井进行剩余油改造挖潜，提高老井原油产量。
- 可以多油层开窗，可满足多层、薄互储层的水平井钻井。

### 仪器使用情况说明：

- ❖ 2021 年，35mm 短半径仪器在大庆成功完钻一口井，并获得了客户的认可。

### 短半径无线随钻测斜仪使用报告

一、施工信息

井号	茂 9-13 井	队号	钻井三公司 15162 队
井况信息	施工井段：1625m-1832m		
	施工总进尺：207m		
	设计造斜点：1625m		
	设计斜深：1836.36m		
	设计垂深：1669.79m		
	实钻造斜点：1625m		
	完钻斜深：1832.5m		
	完钻垂深：1669.79m		
完钻井斜	完钻井斜：89.23°，最大井斜：89.71°，完钻方位：314.5		
最大曲率	造斜率：45°/30m		
仪器型号	LHE624602 短半径无线随钻测量仪	使用时间	270 小时
生产厂家	北京六合伟业科技股份有限公司		

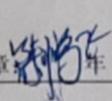
二、仪器特点

LHE624602 短半径无线随钻测量仪，可以随钻实时测量井眼轨迹参数，提供准确的钻井轨迹数据；仪器外径 35mm，适应直径更小的钻具组合；采用柔性短节的连接方式，提高造斜率，缩短钻井周期，有效降低工程成本。

单位（公章）：大庆钻探钻井工程研究院技术管理部  
日期：2022 年 2 月 10 日

产品及技术升级

❖ 2022 年，38mm 短半径仪器在天津海油的实验井，完成入井实验，测试报告如下。

表号: LH-QP-009-37		北京六合伟业科技股份有限公司	
		编号: LHE614601.023	
<b>LHE614601.023.短半径项目产品入井测试报告</b>			
版本:			
使用项目	PRJ2103. 短半径项目		
使用井号	JJSY-2H	使用日期	2 月 27 日至 3 月 1 日
施工单位	中海油能源发展股份有限公司	规格型号	
生产厂家	北京六合伟业科技有限公司	产品编号	LHE614601
施工进尺	下钻至 512 米	使用时间	40 小时
使用目的	测试仪器性能、仪器精度；测试仪器信号传输的稳定性。		
预期目标	仪器测量各数据正常；信号传输正常，数据解码正常。 下钻至 510 米左右，测试仪器，信号传输正常。		
使用过程描述	2022 年 2 月 27 日，下午进行地面整机测试，仪器工作正常。 2022 年 2 月 28 日，上午 10 点仪器入井；下午 13:00 井口测试仪器，限流环、主阀芯配比为 22.2/19.1，泥浆密度为 1.0，排量为 6—10L/S（分别进行 6/7/8/9/10 的排量测试），仪器解码正常。 2022 年 2 月 28 日 14:00—20:00，下钻至 370 米，中途测试仪器，信号传输正常，解码正常。 2022 年 3 月 1 日 9:—11:30，下钻至 512 米，测试仪器，信号传输正常，解码正常。		
服务评价	仪器测量井斜值与测试井轨迹一致。		
使用单位签章	井队签章:  2022.3.1 年 月 日      项目部签章: 年 月 日		
第 1 页 共 1 页			

# 三维仿真软件在石油井下仪器设计中的应用

随着科技和软件技术的发展,3D 仿真软件在产品的设计过程使用越来越广泛,基于有限元技术的 3D 仿真软件,可以对产品结构的应力分析、频率分析、屈曲分析、热分析和优化分析等工作,为结构零部件的设计评估提供了一种简易手段。3D 仿真软件具有显著计算速度优势,但 3D 仿真分析软件只是个智能的大型计算软件,分析方法的确定、分析结果的正确性与可靠性评估、以及计算数据的取舍则是每个设计或分析工程师所必然面对的问题。虽说“实践是检验真理的唯一标准”,但是对于一些复杂、重大的零部件要具备试验的条件,且要保证试验输出结果的准确性和可靠性同样是一件很困难的事情,不仅需要投入较大的人力、物力,还需要较长的周期。就如何经济、快捷的获得精度满足项目需要的分析结果,本文通过一些分析实践,探讨 3D 仿真软件在石油井下仪器设计中结构件分析方法。

随着石油化工工业的迅速发展,石油钻井施工时,第一时间了解仪器井下载荷情况的需求日益突出,特别是随着井下仪器设计方法的改进,设计标准中的安全系数也在不断下降,这些因素造成石油井下仪器失效事故的可能性也在增加。本文利用 3D 仿真软件对井下工程参数产品主要受力进行分析,得出了工程参数的安全系数、应变、位移等相关数据,进而选取合适应变片。

## 一、筒体结构模型

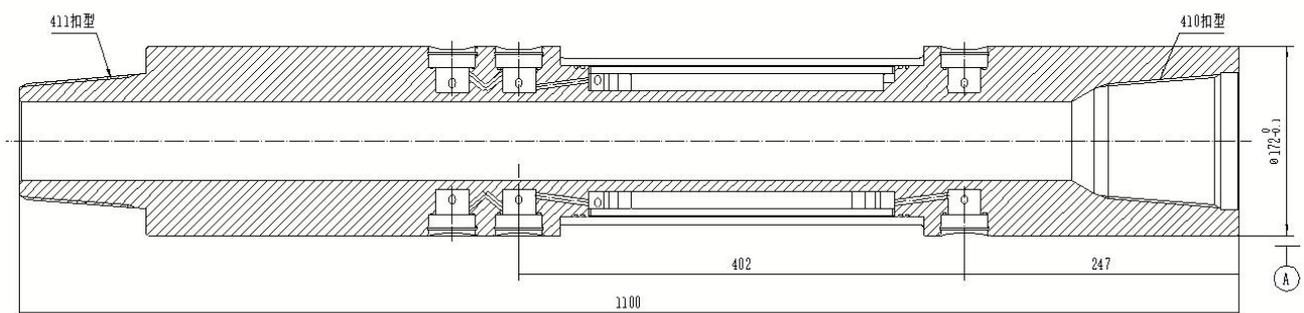


图 1 工程参数的基本结构

工程参数平面图如图 1 所示,选用无磁钻铤钢 P550 材料,抗拉强度 $\geq 1100\text{MPa}$ ,屈服强度 $\geq 900\text{MPa}$ 。

工程参数全长 1100mm,外径 $\phi 172\text{mm}$ ,设计轴向载荷为 300KN,扭矩 30KN.m,设计最大承压 120MPa。

## 产品及技术升级

### 二、静态分析

#### 2.1 三维模型的建立

3D 软件若要进行分析, 必须先对分析对象作静态分析, 因此此处先对工程参数作静力有限元分析。



图 2 工程参数三维模型

#### 2.2 约束、加载及网格的划分

在完成三维模型建立后, 对工程参数三维模型进行约束、加载及划分网格, 使其转为有限元模型。根据 P550 材质, 其属性定义为: 弹性模量(EX)、泊松比值分别取为 200GPa 和 0.28, 屈服强度为 1000MPa。对工程参数三维模型内壁加载设计压力(120MPa), 母扣端面施加轴向钻压 (300KN), 母扣螺纹锥面施加扭矩 (30KN.m), 其结果如图 3 所示。公螺纹端是起连接作用, 故不加载, 端面部位为固定约束, 对工程参数三维模型划分网格, 结果得节点数为 107863 个, 单元数为 68033 个, 网格划分结果及解算器信息如图 4 所示。

### 产品及技术升级

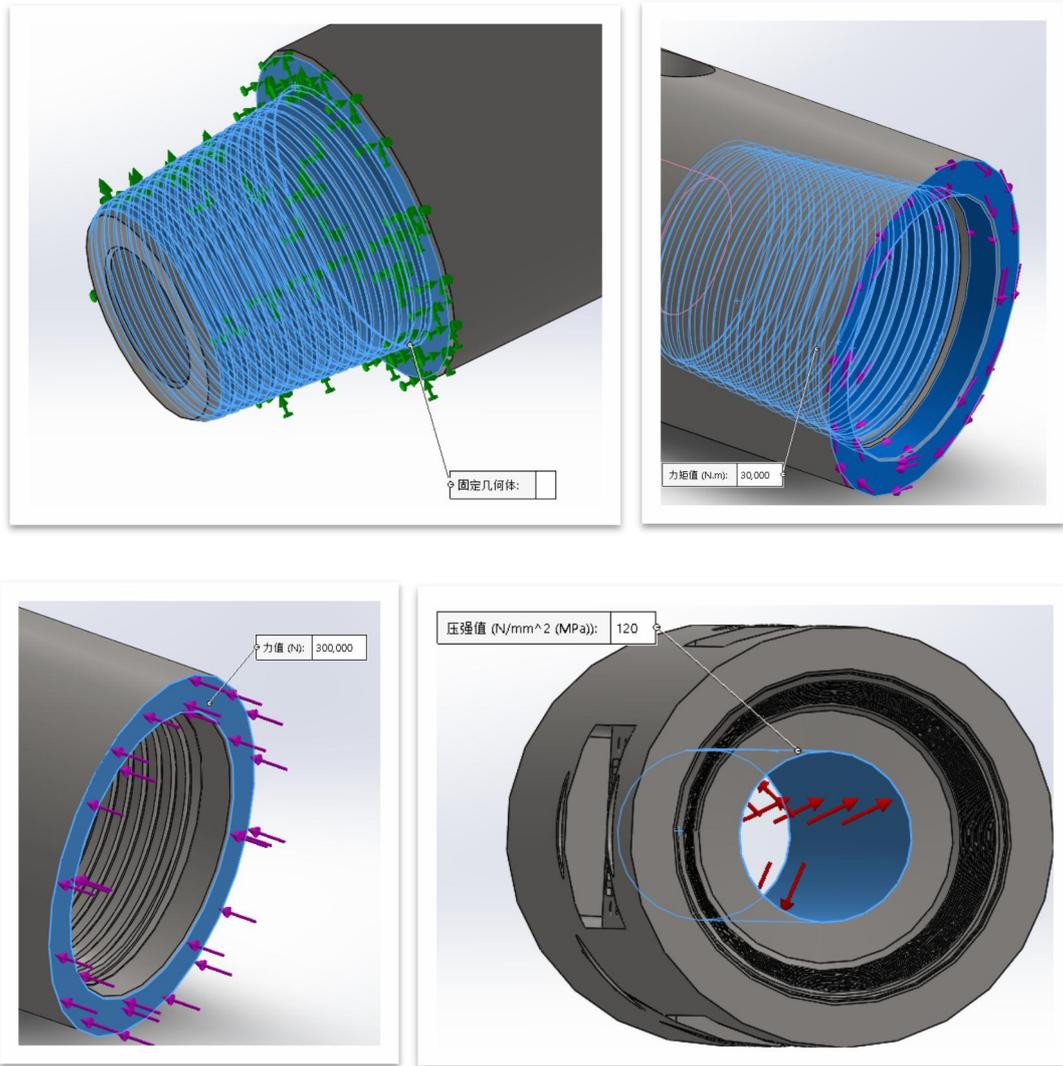


图 3 工程参数三维模型约束及载荷

模型名称: LHE6150K-01测量钻铤  
实例名称: 静应力分析 1(默认)  
网格类型: 实体网格

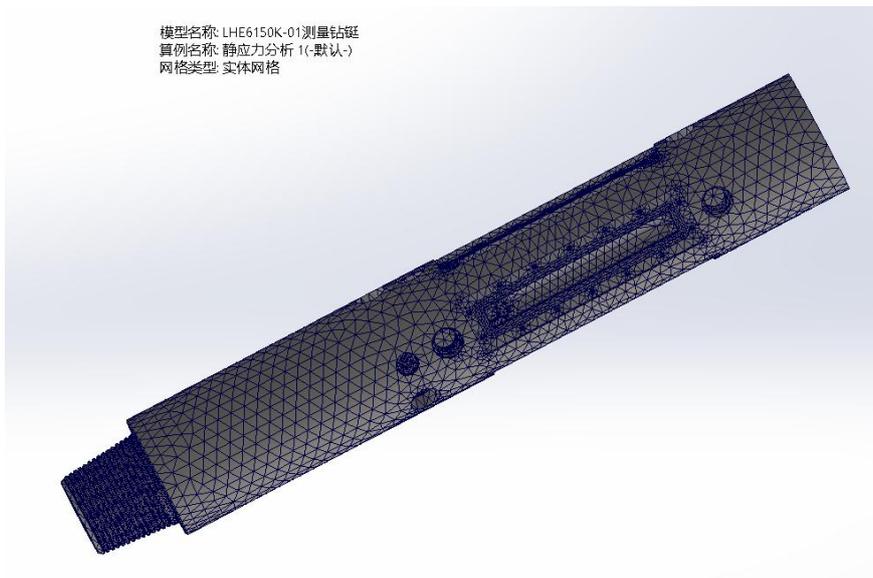


图 4 工程参数三维模型网络划分

### 产品及技术升级

**说明：** 由于工程参数产品的测量传感器、主控电路等采用侧壁开槽安装，开槽位置不对称，施加外环空压力不均匀，会导致变形不对称，故对工程参数本体进行静力学分析时只施加内环空压力。

### 2.3 静态分析结果

当模型、材料、网格、约束及加载均已完成后，即对工程参数三维模型，在此条件下的求解，由图 5 可知，最大应力发生在工程参数三维模型走线孔边沿，数值为  $8.979e+08$  ( $N/m^2$ )，远小于材料的屈服极限值  $1030MPa$ ，并且安全系数达到 1.2，因此用材质为 P550 的无磁不锈钢，加工成工程参数产品的设计是安全的。

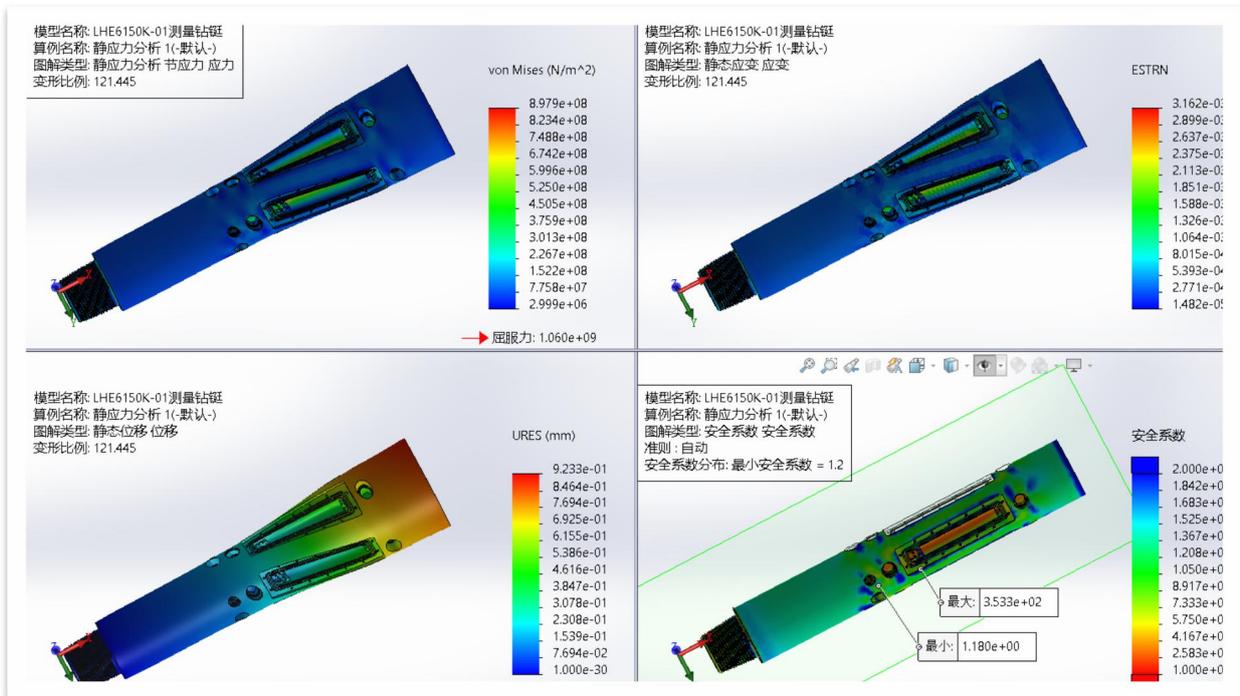


图 5 工程参数三维模型静态分析结果

### 2.4 应变分析结果

在进行静态分析时，单独对钻压/扭矩测量位置进行分析，工程参数三维模型应变片黏贴处应变量为  $1.363e-03$ ，工程参数三维模型整体最大应变量为  $3.162e-03$  (具体详见图 6)，满足电路处理信号的要求，根据此数据进行扭矩/钻压测量用应变片选取。

## 产品及技术升级

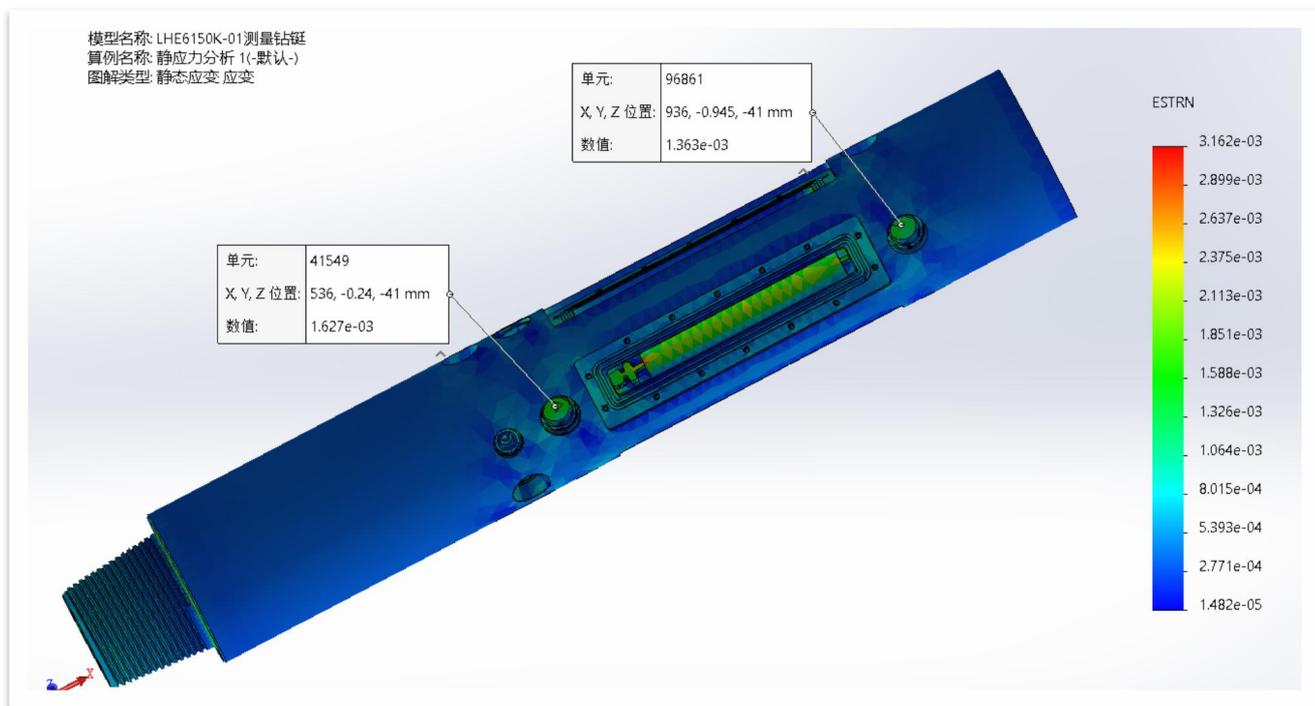


图 6 工程参数三维模型应变分析结果

### 三、结语

在运用 3D 仿真软件进行结构的分析实践中,有限元方法是建立在严格的理论基础之上,也经过众多实际工程案例的检验。作为研发工程师,如何正确应用软件工具,并简便、快捷的得到正确、可靠的分析结果,是在分析过程中需要认真思考的问题。运用软件仿真进行分析成本低,分析者可以大胆的对各种想法进行分析测试,然后比较选优,增强了在产品阶段对其性能的预见性,可提高产品性能可靠性,缩短研制周期具有重要价值。

本文建立了工程参数的结构模型,对工程参数三维模型进行了静态分析计算,获取模型的应力、应变强度、位移等相关信息。同时利用 3D 仿真软件对工程参数三维模型分析,得出了其载荷的安全系数等相关数据,该分析在理论上为以后进行其他同类型工程参数产品的设计、检验以及安全评估,具有重要的参考价值。

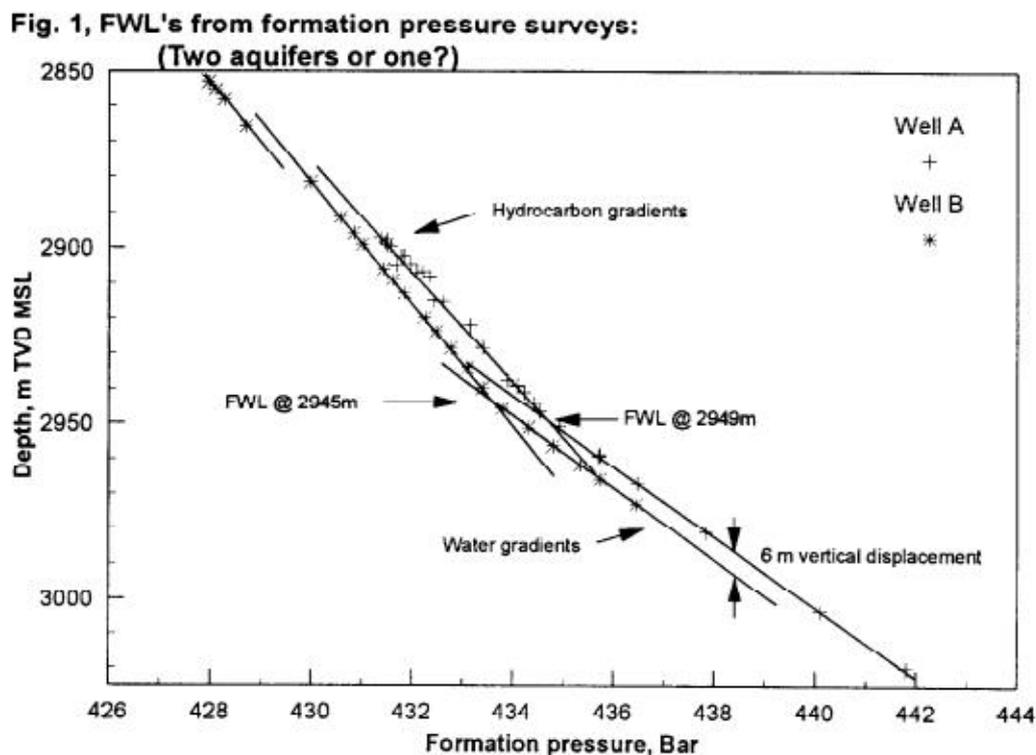
# 随钻井深测量补偿性研究

## 一、深度测量的意义

深度是衡量油气资产经济发展的关键指标。在井下作业过程中，利用电阻率、伽马等工具对岩石的物理测量进行测量时，深度是所有这些活动的共同参考。很多用户会确定目标油层区域，根据地层评价，随后使用指定深度的工具和程序进行开采，而严重的深度误差可能会产生大量的财务影响。

例如，在 A 井中进行深度校正，但在 B 井中没有，那么两口井之间可能会引入显著的相对深度误差。这些误差可能会传播到地质解释、绘图和压力分析中。

下图描述了挪威海上油田的真实数据集，其中两口井的地层压力测量显示了两个不同的含水层。随后的评估结果显示，B 井的测井深度存在 6 米的误差，并对单个含水层进行了解释。



可以发现，根据地层压力测试仪数据推断的自由水位（FWL）将显示出显著的误差。不正确的自由水位导致现场体积估算和采收率不确定，还可能导致不正确的构造解释，尤其是在高度分隔的油田。

## 产品及技术升级

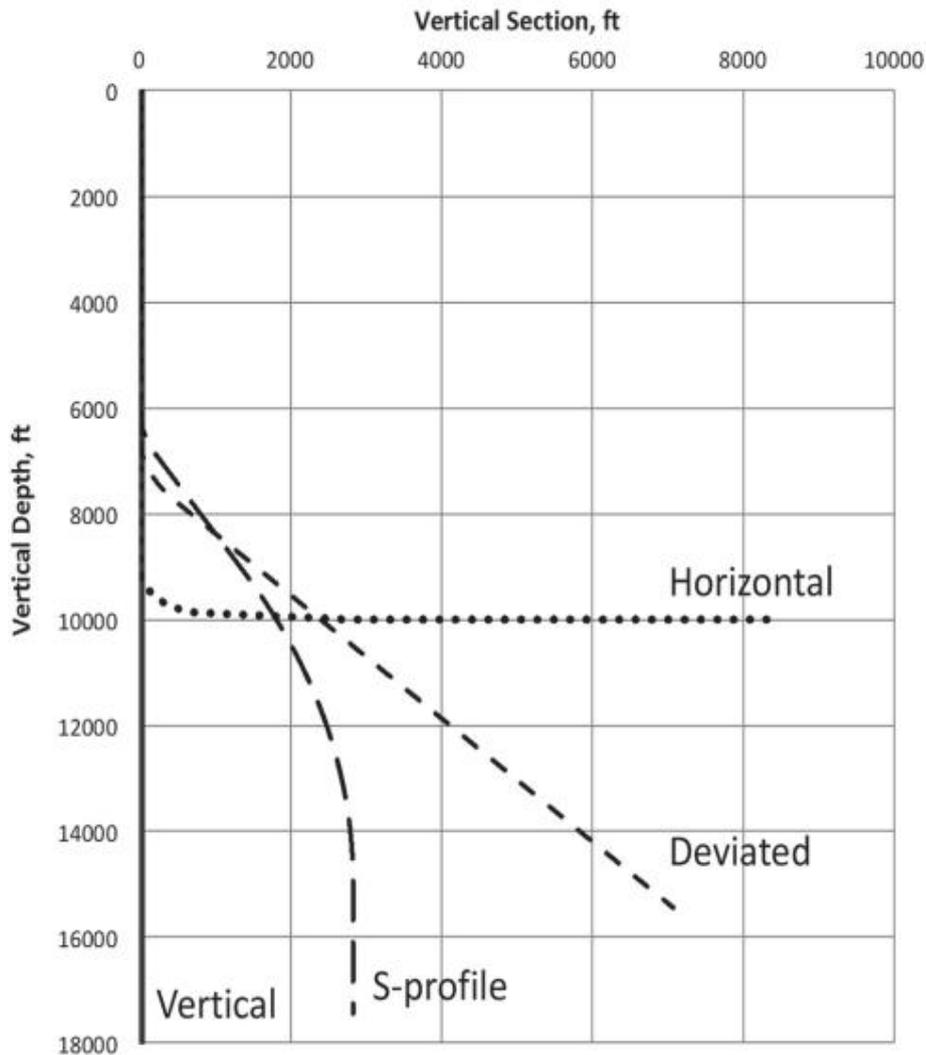
### 二、深度测量的影响因素及补偿

对于司钻深度，最重要的误差源于温度和压力形变。

物体因温度改变而发生的膨胀现象叫“热膨胀”，而钻柱为多种材料混合制成，一般的线热膨胀  $20 \times e-6 / K$ 。井下  $100^{\circ}C$  时(373.15K)，10m 的钻柱会伸长 0.007463m。

压力形变主要来源于泥浆压力等外力导致的固体形变，一般钢的杨氏模量大概为 207gpa。

下面介绍一个实际例子。图中分别为直井、S 曲线井、斜井和水平井的井眼轨迹。



## 产品及技术升级

其司钻深度的矫正补偿量如下:

### 温度修正量

Along-Hole Depth (ft)	Thermal-Expansion Correction at Depth (ft)			
	V	S	D	H
5,000	1.94	1.94	1.94	1.94
10,000	7.78	7.67	7.50	7.77
15,000	17.50	17.00	16.21	15.52
18,000	25.20	24.44	22.85	20.19

### 弹性拉伸修正量

Along-Hole Depth (ft)	Elastic-Stretch Correction at Depth (ft)			
	V	S	D	H
5,000	1.50	1.50	1.45	1.50
10,000	6.02	6.10	5.90	6.02
15,000	13.54	14.13	13.38	12.39
18,000	19.49	20.69	19.31	16.59

### 总修正量

Along-Hole Depth (ft)	Total Correction at Depth (ft)			
	V	S	D	H
5,000	3.45	3.45	3.45	3.45
10,000	13.79	23.78	13.41	13.79
15,000	31.04	31.13	29.58	27.91
18,000	44.69	45.13	42.16	36.78

当随钻深度为 18000ft(5486.4m)时, 直井的深度误差为 44.69ft(13.1355m), 斜井的深度误差为 42.16ft(12.8503m)。且误差会随着钻柱材料、受压、温度而变化。主要表现为:

- (1) 材料抗应变越强, 误差越小。
- (2) 钻杆受压越小, 误差越小。
- (3) 温度越低, 误差越小。

利用上述计算的补偿量, 对随钻深度进行补偿, 可以获得更加准确的测量值。

## 产品及技术升级

# 钻井施工随钻防碰风险控制研究

## 一、目的与意义

随着我国东部油田进入开发的中后期及海上油田的大力开发，加密井和丛式井技术得到广泛应用，井与井之间的距离越来越小，意外井眼交碰事故时有发生，给环境和生产都造成了巨大的损失。

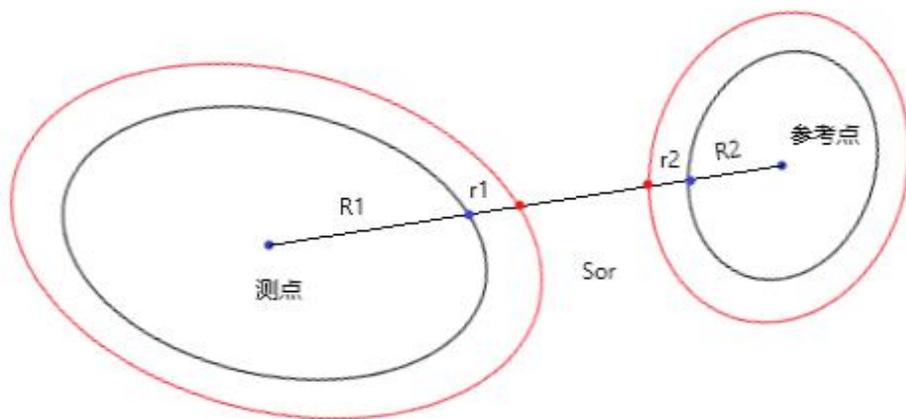
案例一：2008 年 1 月，国内某陆上油田发生了一起较严重的井眼交碰事故。其中，基准井 L111-X7 井（正钻井）、比较井 L111-X5 井（邻井）位于同一井场，地面井口中心距约 5m，造斜点井深分别为 3100m 和 2900m。L111-X7 井钻进至井深约 2470m 出现井下异常情况，停钻循环钻井液，发现钻屑中含铁屑较多，邻井井口有钻井液流出。上述异常现象足以判断出该井与邻井交碰了，并且已经将邻井套管打穿了。

案例二：延 816 井是一口预探井，位于延安市甘泉县，在钻至井深 848.39 米时发现邻井(泉丛 7315-3 井)井口返泥浆。观察后发现，沙子里面有铁屑，因此判断可能钻遇邻井。井队立即停止施工，根据实钻数据计算出相碰井深为 849 米。

因此，利用风险指标及时评价和规避井眼交碰风险也越来越重要。风险指标有多种计算方法，包括传统分离系数、中心向量法分离系数、垂足线法分离系数、定向分离系数等。

## 二、分离系数与风险控制

井眼分离系数指标综合考虑了井间最近距离和井眼位置的不确定度，评价结果比井间距离更准确，计算过程比交碰概率简单，是钻井现场最常的井眼交碰风险评价指标。



### 产品及技术升级

两个点的分离系数的计算方法为：

$$SF = \frac{Sor - r1 - r2}{R1 + R2}$$

其中，Sor 是测点和参考点的距离。

r1、r2 分别是测点和参考点的误差半径，由误差模型计算得到。

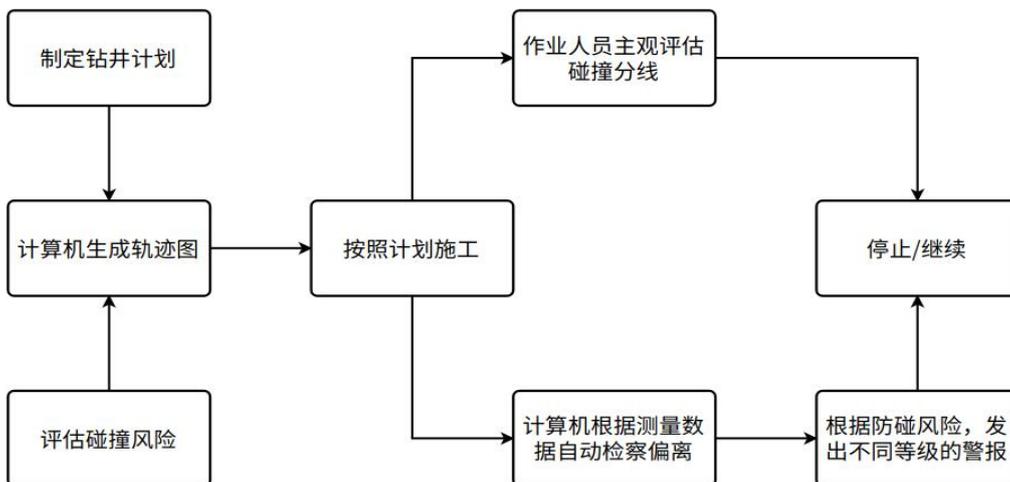
R1、R2 分别是测点和参考点的井眼半径。

利用计算方法，计算出分离系数 SF 后，可根据下列表格采取措施。

分离系数 SF	防撞措施
SF ≤ 1.0	停钻
1.0 < SF ≤ 1.5	制定防撞措施，修改轨迹
1.5 < SF ≤ 5.0	警戒，实时监测
5 < SF	安全钻进

### 三、数字化控制流程

ISCWSA 结合计算机软件，提出了一个防撞风险控制的管理办法，用以指导现场工作人员如何作业，具体如下，通过计算机软件实时分析碰撞风险，进而帮助工程人员进行风险决策。



# 产品工程更改

## 结构工程更改

### 1. LHE6351 加长杆升级

版本升级：由 LHE6351-03 升级为 LHE6351-03a

解决问题：公司所有加长杆表面增加特殊工艺处理，加强仪器保护。

### 2. LHE6023D 配套表升级

版本升级：LHE6023A 升级为 LHE6023D

解决问题：升级外壳材质，提高密封性能。

### 3. LHE6028E 配套表升级

版本升级：LHE6028D 升级为 LHE6028E

解决问题：结构升级，提高测量精度。

产品升级

产品升级

产品升级

## 硬件工程更改

### 1. LHE6517 175°C伽马程序升级

版本升级：由 V1.0.4 升级为 V1.0.5

解决问题：增加维保次数记录功能。

### 2. LHE6150C-08 172mm 随钻工程参数硬件升级

版本升级：由 LHE6150N 升级为 LHE6150C-08

解决问题：地面下载数据读取速度提升至 1MB/s。

产品升级

产品升级

## 软件工程更改

### 1. DEES-deep earth exploration system Setup 软件升级

版本升级：由 V1.2.7 升级为 V1.2.8

解决问题：

- 1) 增加钻铤式三传感器的方位伽马，解决滑动钻进时方位识别问题。
- 2) 增加云平台访客账号注册功能。
- 3) 增加直井测斜仪。

### 2. 云平台 DEES ON CLOUD 软件升级

版本升级：由 V1.1.0 升级为 V1.2.0

解决问题：

- 1) 实现软件在线授权功能。
- 2) 增加云平台访客账号注册功能。
- 3) 增加 WEB 数据条件筛查。
- 4) 增加生命周期档案录入及管理功能。

产品升级

产品升级

## 产品应用案例

北京六合伟业科技股份有限公司工程服务事业部专业服务项目包括各类定向井、水平井定导一体化技术服务、工程设计、轨迹测量、随钻测井、仪器检测与标定等业务。具备各类定向井、水平井、丛式井、分支井、套管开窗井、大位移井、深井超深定向井（水平井）、小井眼定向井（水平井）、连通井技术研究和工程服务能力。

事业部先后为国内和国外公司在陆上和海上提供了 2000 余口各类定向井、水平井的技术服务。其主要服务区域包括：长庆陇东及陕北区块油气井、长庆苏里格气田、川渝区块页岩气水平井、山西煤层气水平井、吉林致密油水平井、新疆区块油气井、西藏高寒缺氧区块探井、国外阿塞拜疆等。

事业部现有工程技术人员 116 人，其中高级工程师 2 人，水平井工程师 32 人，定向井工程师 63 人，地质导向工程师 19 人，具有可同时为客户提供至少 30 口井的现场技术服务的服务能力。

2022 年第一季度，事业部累积工程服务时间：22,020.82hrs，累积工程服务总进尺：127,881.24m。在此分享典型案例：

- ❖ 随钻测井应用，包括随钻电阻率测量系统和随钻近钻头测量系统的上井案例。
- ❖ MWD 应用，包括公司转阀在堵漏剂环境下的应用。
- ❖ 陀螺应用，展示了阿塞拜疆 SOCAR 公司对六合 MWD 和陀螺产品的认可，并介绍了随钻光纤陀螺测斜仪在美国加州的上井案例。

## 随钻测井应用

# 随钻电阻率测量系统

## 产品简介

随钻电阻率测量系统，基于完备电磁场理论，采用 2MHz 和 500KHz 工作频率。利用测量仪器穿过不同电阻率地层时，改变接收线圈的幅度和相位差，再转换得到地层的电阻率信息。该仪器的应用可以提高油藏探测效率，降低工程成本。将定向与地质参数很好的结合起来，提高了石油工程的测量效率。将钻井工程服务提高到了一个新的技术高度，为开采复杂地质油藏，提供新的技术支持。

## 产品应用案例

### 1. 应用结论：

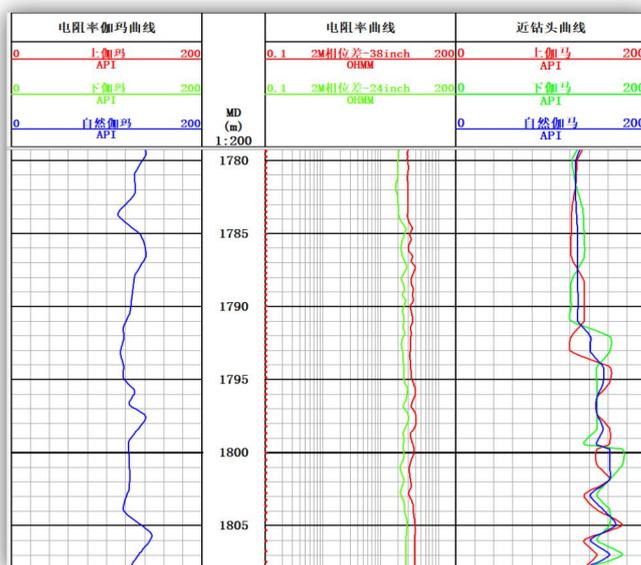
- ◆ 电阻率与上悬挂 MWD 无线传输稳定可靠，无丢数据情况。
- ◆ 电阻率数据上传及时、准确，实时反映不同地层的变化。
- ◆ 电阻率数据显示变层时通过地质录井砂样、气测分析的多重确认，数据准确可信，为地质导向提供了准确的数据支持。

### 2. 具体施工：

2021 年 12 月-2022 年 2 月，在盘锦辽河油田海外河区块共计施工 6 口侧钻水平井，仪器连接：LHE525601 旋转阀 MWD+LHE7310A 4.75 电阻率+LHE023501 井深测量系统。

### 3. 以上案例体现的仪器特点：

- ◆ 电阻率可通过下端挂接无线接收短节与近钻头系统挂接配合，实现近钻头数据与电阻率数据的同时传输，通讯稳定可靠。
- ◆ 电阻率可在现场更换电池组，简单方便，无需返回车间维修更换电池。
- ◆ 共计施工 6 口井，电阻率累计工作 763 小时，工作期间稳定可靠，电阻率零故障。
- ◆ 本区块油层较薄，油层含有夹层或油层底部为水层，电阻率数据灵敏可靠地提示了地层变化，精准及时的调整轨迹，提高了钻遇率。



## 随钻测井应用

## 随钻近钻头测量系统

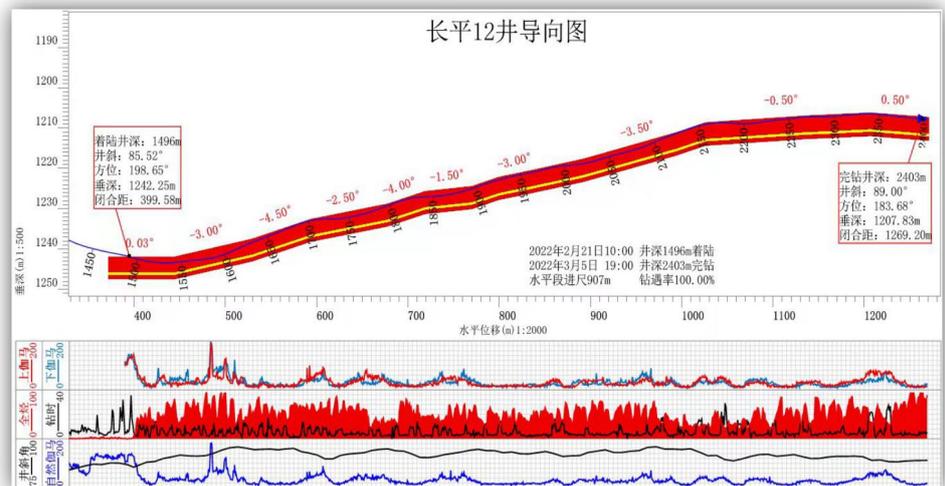
## 产品简介

六合公司与西部钻探工程院联合开发的 XZ-NBMS 型随钻近钻头测量系统，测量参数距钻头小于 0.5 米，比常规 MWD 测量提前 15 米以上，可及时获得钻头处的井斜、方位伽马等数据，解决常规伽马地质导向工具的不足。该系统的应用推动薄油层、超薄油层及复杂油气层水平井的开采，可缩短钻井周期，降低钻井成本。

## 产品应用案例一

## 1. 应用结论:

- ◆ 近钻头伽马数据上传及时、准确，实时反映不同地层的变化。
- ◆ 近钻头伽马数据显示变层时通过地质录井砂样、气测分析的多重确认，增强数据可信度。



## 2. 具体施工:

2022 年 2 月 11 日-2021 年 3 月 6 日，在山西长治区块施工一口评价井，仪器连接：造斜段使用 LHE6101MWD+自然伽马，着陆后 6.75" 近钻头+LHE6101MWD 进行轨迹控制施工。为了防止煤层坍塌，水平段要全段控制在煤层底部钻进，更加大了施工难度。钻进过程中根据伽马曲线数据与沙样校正，上下伽马曲线数据与地层吻合，为定向提供了精准的地层伽马曲线数据，最终以钻遇率 100%顺利完井。

## 3. 本案例体现出的仪器特点:

- ◆ 造斜段使用 LHE6101MWD+伽马进行造斜工作，着陆后近钻头方位伽马复测，自然伽马数据与自然伽马同点吻合。
- ◆ 水平段钻井过程中井斜最小 86°，最大 95°，地层倾角变化大，一直定向控制轨迹钻进，全井下坐键 MWD 从未出现脱键或伽马数据错误现象。

## 随钻测井应用

### 产品应用案例二

#### 1. 应用结论:

- ◆ 近钻头伽马数据上传及时、准确，实时反映不同地层的变化。
- ◆ 近钻头伽马数据显示变层时通过地质录井砂样分析的双重确认，增强数据可信度。

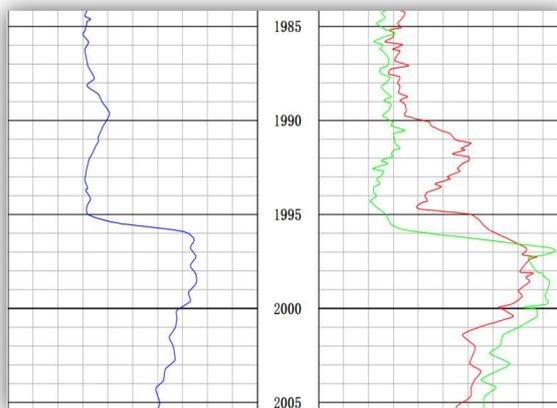
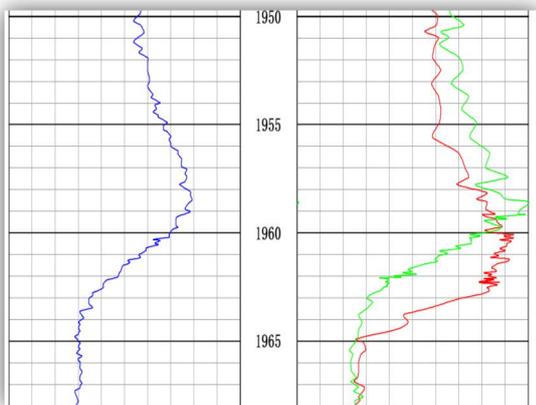
#### 2. 具体施工:

2021 年 12 月 23 日-2022 年 1 月 4 日，在四川泸州叙永海坝区块服务，服务时长 270.96h，服务井段 1670m-3480m，水平段长 1810 米，仪器全程工作正常。

仪器连接：6.75" 近钻头+125°CMWD（含 LHE6117 自然伽马）。

#### 3. 本案例体现出的仪器特点:

- ◆ 近钻头加 MWD 的远端自然伽马，在同一测深位置能显示相同的伽马值及变化。
- ◆ 施工中钻遇地层变化时，能及时准确的做出判断，更好的配合导向工作（见下图）。
- ◆ 该次服务全程工作正常，未出现数据不更新或不准确等异常情况，且伽马值反应灵敏。



## MWD 应用

# 大排量旋转阀随钻测量仪

## 产品简介

大排量旋转阀 MWD 系统是基于旋转阀脉冲器成熟设计，针对大排量钻井特点进行升级改造，使仪器可以在 50-75L/s 排量范围工作。该仪器的应用提高了大排量下泥浆脉冲信号的通信质量，有效控制了仪器冲损，降低了仪器的使用成本。

## 产品应用案例

### 1. 应用结论：

- ◆ 仪器在大排量下工作稳定可靠，已在 75L/s 排量下得到有效应用。
- ◆ 仪器耐冲刷性能优异，连续四趟钻使用 508h，仪器无明显冲损。
- ◆ 本次上井成功，实现了大排量、高密度环境下的随钻测量，为四川区块大排量旋转阀 MWD 应用积累了宝贵的经验，同时也标志着六合大排量旋转阀 MWD 在国内主要区块均实现成功应用，在国内大排量 MWD 测斜领域处于领先地位。

### 2. 具体施工：

仪器在泸 203H9 井从 2022 年 3 月 13 日 2 点 30 分开始入井使用，至 2022 年 4 月 9 日 1 点 00 分出井，仪器连续工作时间 508 小时至井深 2480m 完钻，总进尺 2400m。

在四川大排量（75L/s）、高密度（1.86g/cm<sup>3</sup>）环境下，脉冲信号清晰稳定，仪器工作稳定可靠，能有效指导大排量钻井作业，同时，仪器无明显冲损。

### 3. 本案例体现出的仪器特点：

- ◆ 脉冲器可在大排量、高密度环境下使用，脉冲信号清晰，仪器工作稳定可靠。
- ◆ 通过改进脉冲器设计，仪器无明显冲损，降低了大排量井仪器使用成本。
- ◆ 得益于高精度地面解码系统，可以通过配置进一步降低脉冲器工作负载，进一步提高仪器大排量适用性。



## MWD 应用

# LHE5616B 旋转阀脉冲器

## 产品简介

LHE5616B 旋转阀脉冲器，是由电机通过高减速比齿轮箱带动转子旋转，剪切掉卡阻脉冲器的堵漏剂材料，通过单向钻井液流道，以及抗干扰处理，以泥浆正脉冲的方式输出信号，极大程度减少了信号干扰和阀头堵塞情况的发生，因此对于泥浆比重与井底工况的适用范围较广。

## 产品应用案例

### 1. 应用结论：

- ◆ 跟踪最大井深 5375 米，仪器工作正常。
- ◆ 全井试用共 673.5h，仪器零故障。

### 2. 具体施工

施工地点：内蒙古鄂托克前旗昂素镇

设计参数：设计井深 5070m；设计入窗点 3880m；设计水平段长 1190 米。

仪器组合：LHE5616B-100+LHE61136A-1078/1951+LHE6118B-028+LHE6117-238。

施工过程：

施工井段	进尺	入井时间	出井时间	使用时长	使用状态
60-1415m	1345m	2021-08-15 10: 00	2021-08-19 11: 30	97.5h	一开完钻
1435-3150m	1715m	2021-08-22 07: 00	2021-08-28 04: 00	148h	造斜段换旋导
4166-5141m	979m	2021-09-12 16: 00	2021-09-24 12: 30	284.5h	更换钻具
5141-5375m	234m	2021-09-24 13: 30	2021-09-30 13: 00	143.5h	全井完钻
<b>合计</b>	<b>4273m</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>673.5h</b>	<b>/</b>

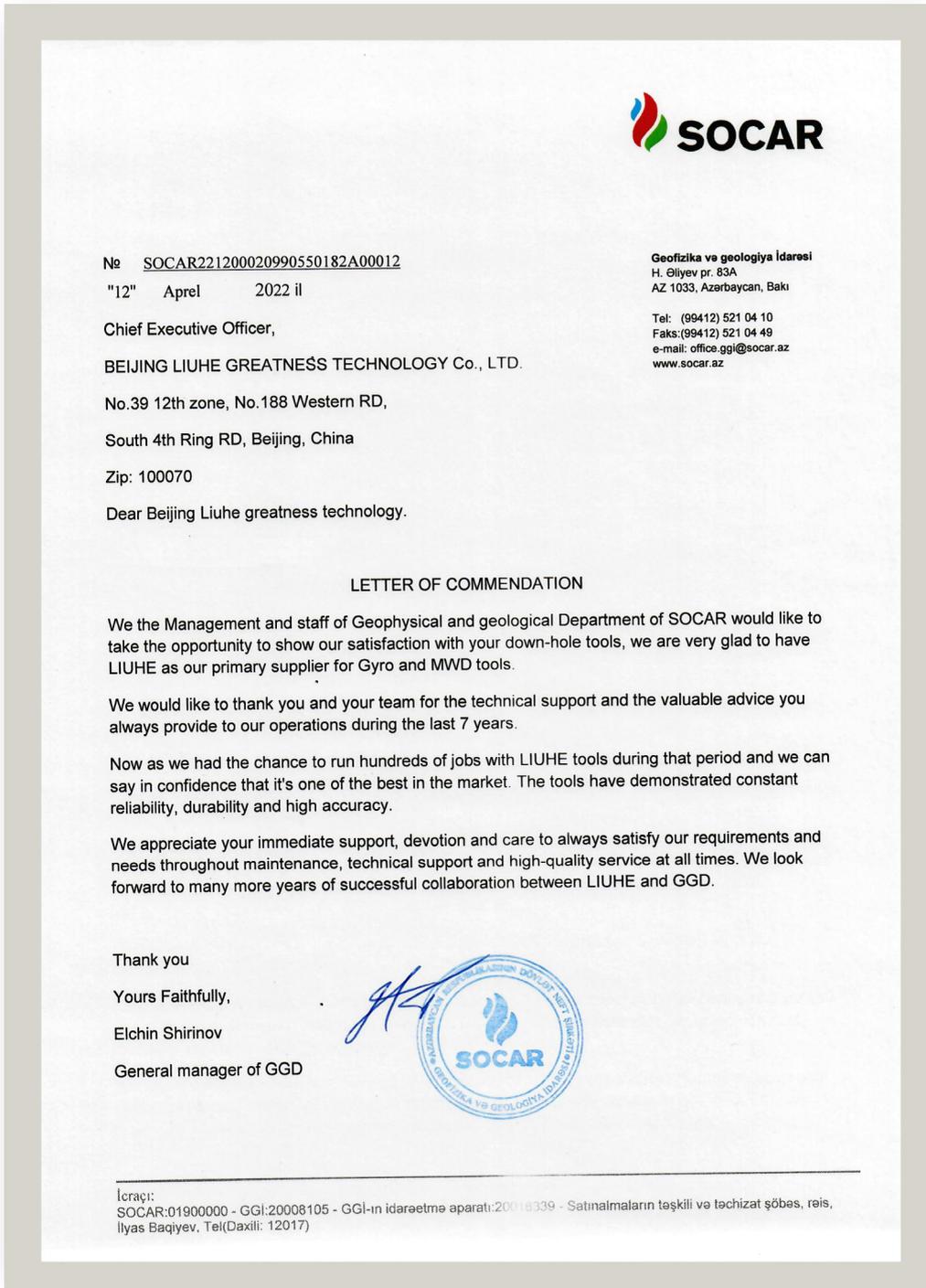
### 3. 本案例体现的仪器特点：

- ◆ 仪器可应用于超深井，有效预防沙卡。
- ◆ 地面无线传输，井下采用磁耦合连接，使用方便。
- ◆ 耐冲蚀，全井工作 673.5 小时外观正常。

## 陀螺应用

## 来自 SOCAR 的感谢信

阿塞拜疆国家石油公司 (SOCAR) 自 2015 年一直使用六合公司的陀螺和 MWD 产品, 已成功完成了上百口井的相关作业, 仪器的表现一直稳定可靠。六合产品持续的高精度、高可靠性获得了客户的高度认可。同时, SOCAR 对六合公司从技术支持到维保等多方面的高质量、全方位的技术解决方案和服务表示赞赏, 并期待更加长久的合作。



陀螺应用

# 随钻光纤陀螺测斜仪 (FOGWD)

2022 年 2 月，客户在美国加州使用 FOGWD 上井，施工一口与老井平行的减压井并在一定深度与老井接通。客户使用 FOGWD，在钻井时实时获取数据，并可以掌握井的走向，在需要时进行调整。若使用线缆陀螺仪，则需要额外的起钻、下钻时间，而使用 FOGWD 不仅为客户节省了近 60 小时的施工时间，同时保证了钻井轨迹的正确。FOGWD 的成功应用，获得了客户的高度认可。

### FOGWD Use Case:

**Target:**

Complete a professional standard Plug and Abandon (P&A) of an old well from the 1950's.

**Challenge:**

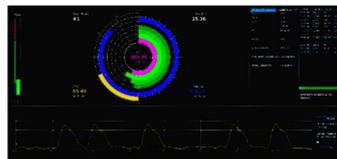
The old well had downhole problems preventing the access to its original TD and thus proper P&A was not visible through the original well.

**Action:**

Drill a relief well to intercept with the old well at the depth where access is restricted.

**Drilling Challenge and Solution:**

Because of the proximity of the interception well to the original old well, using a regular Magnetic measurement system for directional drilling is not recommended as the interference is too high. As a result, it is recommended to us a Gyro system that can measure correct Azimuth readings and not be affected by the well interference. The FOGWD system was utilized for the directional drilling portion of the process from 500' MD. To 3290' MD. Using the Gyro was necessary due to the proximity of the target from current well bore, less than 20". The drilling program used the tool to steer the new well in parallel with the old well and approximately 100' above the target interception point, the well was deviated and pointed towards the target point. The drilling was successful, and the interception occurred exactly where it was intended.



**Conclusion:**

The FOGWD allowed the customer to drill ahead and survey without stopping for a Wireline Gyro verification or Single-Shot. The use of a wireline Gyro would have added extra time for preparing the system for a survey as well as tripping in/out of the hole with wireline Gyro. So the estimated time save is 2 hours per verification with a total of 30 verification points leading to a 60 hours save in rig time. As well as the FOGWD readings are all on the fly, while the wireline Gyro is an after the fact verification. The FOGWD allowed for quick correction to maintain the well on the planned path.

Wire Line FOG			FOGWD			Compare		
MD	Inc.	Azimuth	MD	Inc.	Azimuth	MD	Inc.	Azimuth
770	9.66	302.89	772	9.41	303.38	-2	0.25	-0.49
800	9.98	303.46	804	10.51	301.63	-4	-0.53	1.83
830	11.12	303.9	835	12.31	303.38	-5	-1.19	0.52
900	16.45	299.69	898	17.83	299.87	2	-1.18	-0.18
1000	22.05	300.56	993	22.51	300.75	7	-0.46	-0.19
1050	24.5	301.87	1056	25.54	301.89	-6	-1.04	-0.02
1179	33.81	299.38	1179	35.21	299.6	0	-1.30	-0.22
1211	36.88	299.91	1211	38.55	300.66	0	-1.67	-0.75
1250	39.73	297.15	1242	40.26	297.23	8	-0.53	-0.08
1300	40.08	298.54	1305	40.22	299.6	-5	-0.14	-1.06
1375	41.93	296.99	1367	42.15	297.67	8	-0.22	-1.28
1400	43.2	296.38	1400	43.52	296.09	0	-0.32	0.29
1425	43.57	295.89	1450	43.65	294.86	-5	-0.08	1.03
1500	43.53	295.02	1493	43.52	294.24	7	0.01	0.78
1550	43.81	295.18	1556	43.65	294.33	-6	0.16	0.85
1595	43.38	296.85	1587	43.34	296.79	8	0.04	0.06
1620	42.67	296.62	1619	42.24	296.09	1	0.43	0.53
1650	42.02	295.14	1652	41.85	296.97	-2	0.17	-1.83
1680	41.87	295.27	1681	41.89	295.21	-1	-0.02	0.06
1715	41.79	294.54	1713	41.76	293.36	2	0.03	1.18
1745	41.84	294.43	1745	41.71	294.86	0	0.13	-0.43
1775	41.65	294.84	1777	41.88	295.47	-2	-0.33	0.63
1805	42.01	295.12	1808	41.98	294.33	-3	0.03	0.79
1840	42.03	296.57	1839	42.29	295.56	1	-0.26	1.01

LIUHE 六合伟业

## 我们的使命

提供先进技术，探测地下资源

## 我们的愿景

成为中国一流地下资源探测仪器  
制造与技术服务商

## 核心价值观

永葆创新激情，用心服务客户

---

地址：北京市丰台区南四环西路188号十二区39号楼

电话：86 13601157905

网址：<http://www.liu-he.com>

邮箱：[liuhe@liu-he.com](mailto:liuhe@liu-he.com)

---

2022-04-30

