

可联动空芯斜向器定向射孔技术

徐太保¹, 谢伟¹, 张庆霖², 滕朔³

1. 中海油油田服务股份有限公司油田技术事业部 广东湛江 524057

2. 川南航天能源科技有限公司 四川泸州 646000

3. 中油测井辽河分公司 辽宁盘锦 124000

通讯作者: Email: xutb@cosl.com.cn.

引用: 徐太保, 谢伟, 张庆霖, 等. 可联动空芯斜向器定向射孔技术[J]. 油气井测试, 2022, 31(3): 45-49.

Cite: XU Taibao, XIE Wei, ZHANG Qinglin, et al. Oriented perforation with coordinated hollow whipstock[J]. Well Testing, 2022, 31(3): 45-49.

摘要 为沟通主井眼和分支井眼, 且不损伤主井眼套管, 使用穿深和孔径可控的射孔器, 辅以校深和管串定向技术, 利用炸药的聚能效应, 形成高温高速的金属射流, 在斜向器盖板要求位置进行射孔, 形成斜向器两侧间的流通过道。在地面对射孔器射孔性能进行模拟试验, 射孔器均可靠穿孔, 在斜向器不到 3 m 的射孔长度内, 各孔道面积之和大于 3 018 mm², 相当于 73 mm 油管内孔面积。在南海油田大斜度井 XXS1 井和 XXS2 井应用, 实现了在斜向器要求位置射孔, 角度偏移在 10° 以内, 射孔后主井眼与分支井眼间流动顺畅, 成功率 100%。该技术填补了南海油田定向射孔领域的空白, 成功助力增储上产, 为后续油气田开发提供了借鉴。

关键词 主井眼; 分支井眼; 定向射孔; 斜向器; 模拟试验; 现场应用; 提高采收率

中图分类号: TE257 **文献标识码**: B **DOI**: 10. 19680/j. cnki. 1004-4388. 2022. 03. 008

Oriented perforation with coordinated hollow whipstock

XU Taibao¹, XIE Wei¹, ZHANG Qinglin², TENG Shuo³

1. WellTech Business Division, China Oilfield Services Limited, Zhanjiang, Guangdong 524057, China

2. South Sichuan Aerospace Energy Technology Co., Ltd., Luzhou, Sichuan 646000, China

3. Liaohe Branch, CNPC Logging Company Limited, Panjin, Liaoning 124000, China

Abstract: To communicate the mainbore and the lateral without damaging the casing in the mainbore, a perforator with controllable penetration depth and aperture is used, together with the depth correction and string orientation technology, to perforate at the target position of the whipstock cover, so as to create flow channels between the sides of the whipstock. In this process, the energy-gathering effect of explosives is considered to form high-temperature and high-speed metal jets. The performance of the perforator was simulated on the ground, indicating that the perforator works reliably, with the total area of perforation channels within the length of less than 3 m of the whipstock greater than 3 018 mm², which is equivalent to the area of the inner hole of 73 mm tubing. The technology was successfully applied for perforation at the target position of the whipstock in two highly deviated wells (XXS1 and XXS2) in Nanhai Oilfield, with the angle offset less than 10° and the smooth flow achieved between the mainbore and the lateral, suggesting a success rate of 100%. This technology fills the gap in the field of oriented perforation in Nanhai Oilfield to successfully increase the reserves and production. It provides a reference for subsequent oil and gas field development.

Keywords: mainbore; lateral; oriented perforation; whipstock; simulation test; field application; enhanced oil recovery

早期开发的海上油气田逐步进入了生产的中后期^[1], 为实现增产稳产的目标, 需要经济、实用的技术提高采收率。分支井因其可以增大油藏的裸露面积, 提高泄油效率, 经济效益显著, 日益成为石油行业增产增效的重要手段^[2-5]。

分支井是指在 1 口主井眼中钻出若干进入油气藏的分支井眼^[6], 作业过程主要包括斜向器坐封、

套管开窗^[7]、井眼连接、工具重入。井眼连接是将主井眼和分支井眼连通, 为油气和井液提供流动通道, 连接效果的好坏直接影响油气采收效率^[8]。斜向器定向射孔的难点主要在于系统结构复杂, 施工作业难度高^[9-10]: 一是要在指定位置朝指定方向射孔, 校深精度和方位精度要求高, 且井况多样, 不同油气井要采用不同的定位方法; 二是射孔弹性能要

求高,穿深要控制在较窄的范围内,既能穿透斜向器,又不能损伤主井眼套管,孔径要够大,满足流通面积要求。

在已报道的研究中,邢仁东^[11]和梁拥华^[12]针对定位问题,采用同位素接头测定射孔器与斜向器间的距离;采用带导向装置的方位仪测量射孔器的方位;苏峰等^[13]针对射孔弹穿孔问题,采用欧文深穿透射孔弹进行射孔,射孔弹穿深432~508 mm,穿孔孔径8.5~8.8 mm。在特定井况下,实现了斜向器定向射孔的功能。方位仪定位较适用于直井,而不适用于大斜度井和水平井;射孔弹穿深太深,分支井眼与斜向器间隙较小时会损伤甚至穿透主井眼套管,导致油气溢入夹层,降低采收率;且射孔弹穿孔孔径偏小,不利于油气流通^[14]。

可联动空芯斜向器定向射孔技术可有效解决斜向器定向射孔技术的通用性、可靠性、安全性问题,满足直井、大斜度井、水平井等各种井况条件下的作业。为了达到这一目标,采用陀螺仪、MWD及旁通循环阀配合作业的方式,配合新型射孔弹,穿深可控,在不同套管和斜向器间隙条件下,可保证穿透斜向器盖板而不穿透斜向器背托,从而保护主井眼套管,且穿孔孔径可达10.2 mm,单位斜向器长度上能获得更大的流动面积。

1 分支井结构

分支井主井眼可以是直井、定向井,也可以是水平井,在主井眼中先下入斜向器,再开窗侧钻分支井^[15],分支井眼可以是定向井、水平井或波浪式分支井眼。

1.1 井身结构

按照完井作业的难易程度,将分支井分为六个级别^[16],其中四级以上的分支井,在套管内实现侧钻,需要专门的完井装置来实现分支井眼的机械连接、可重入型和水力密封性^[17],如图1所示,分支井射孔位置由主井眼、分支井眼、斜向器等构成。斜向器斜面正对分支井设计方位,坐入主井眼后,由于斜面作用,铣鞋磨铣套管开窗,分支井侧钻完成后,下入套管后浇筑水泥固井。

南海西部的油气井特点:

(1)井身斜度大;

(2)井况复杂,分支井套与斜向器之间水泥厚度不均,井眼侧钻方向多样,以致不同井之间枪套间隙变化范围大;

(3)射孔器下井后定位难度高,冲孔范围宽。

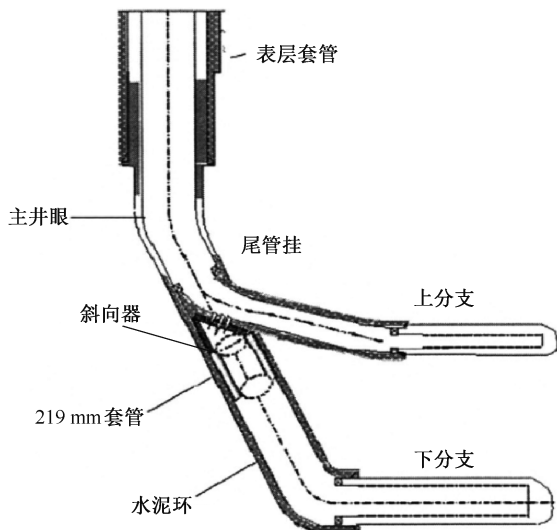


图1 分支井示意图

Fig. 1 Schematic diagram of branch well

1.2 可联动空芯斜向器结构

可联动空芯斜向器是一个带一定斜面,具有一定强度和集合形状的圆柱体,在侧钻过程中起到造斜、导斜和定向的作用^[18-19],广泛应用于各种石油勘探开发领域^[20]。可联动空芯斜向器结构如图2。盖板厚25.4 mm,材质为42CrMo,调质处理HB245-275,上端承托分支井套管,起隔离或联通主井眼和分支井眼作用。背板紧贴主井眼套管,与盖板呈2°夹角。斜向器盖板的弧面厚度、弧面宽度、盖板与背托间隙都是逐渐变化的^[21]。由于盖板结构限制,只有正中央轴线位置适合射孔。

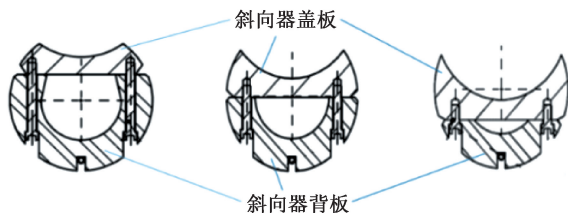


图2 斜向器结构示意图

Fig. 2 structure diagram of whipstock

2 可联动空芯斜向器定向射孔技术

为了实现空芯斜向器的可联动功能,需要利用定向射孔技术射穿盖板。联通前,主井眼和分支井眼分隔,联通后,主井眼和分支井眼之间油气或井液可自由流动。

2.1 技术原理

可联动空芯斜向器定向射孔技术结合了管柱定向技术和深度可控的射孔技术。

定向技术通过在定向射孔管柱中连接定向接

头,定向接头内部装有定向座,在井口连接射孔枪及定向接头时,准确测量射孔孔眼与定向键块的方位角一致。下入陀螺仪到定向接头处,陀螺仪底部的键槽引导定向座的键块插入,利用陀螺仪确认定向座的方位,然后上提仪器再次坐入键槽,测量两次的方位角偏差不超过 5°时,可确认陀螺仪测得准确的射孔管柱方位角,从而确认射孔枪孔眼的方位。

深度可控的射孔技术依靠新型射孔弹实现,采用聚能效应原理,结合斜向器射孔作业需要进行一定范围内射孔需求,在药型罩结构上采用大孔深穿结构,通过仿真及试验,调整药型罩配方,保证合适的药型罩密度及声速,将射流速度和动能控制在一定范围内,足够射穿斜向器,同时加入适量活性金属成分,在井液中能快速耗散剩余能量,避免损伤主井眼套管。

2.2 技术特点

该技术适应性强,不受井斜度、井温、井压等因素影响,可根据流通面积要求灵活调整射孔器孔密和射孔长度,也可根据井下条件灵活选择定位方式。

该项技术对精度要求很高:

- (1)穿透射孔枪、分支井眼套管、水泥层和斜向器盖板,不损伤主井眼套管;
- (2)定向射孔方位误差在±5°范围内;
- (3)能适应多种复杂条件的井身结构。

3 斜向器定向射孔器试验情况

为了提升产品性能和研究效率,首先使用多种仿真软件进行数值模拟、优选,然后对较优方案参照 API RP19B 标准进行射孔试验验证。

射孔器在井下依靠设备进行定位,有一定的误差范围,且分支井套管与斜向器之间水泥环有不同的厚度,如图 3 所示,所以需要模拟多种极限井况进行试验,如表 1 所示。

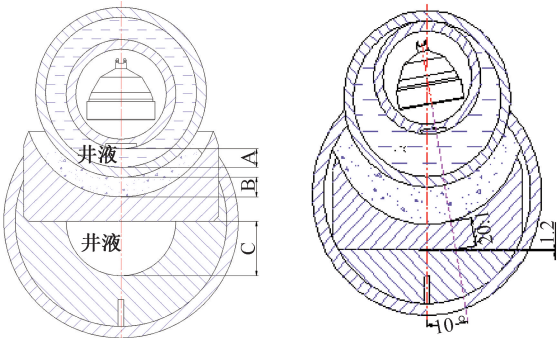
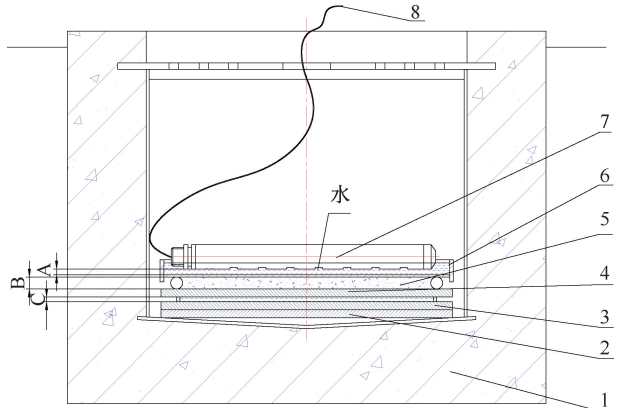


图 3 射孔试验井示意图
Fig. 3 Schematic diagram of perforation test wel

表 1 整枪射孔试验状态				
Table 1 whole gun perforation test status				
序号	A 值	B 值及介质种类	C 值	状态
1	0	0	13 mm	射孔枪串贴套管下端
2	43 mm	38.1 mm/水泥	13 mm	射孔枪串贴套管上端
3	43 mm	38.1 mm/水泥	13 mm	射孔枪串贴套管上端、方向偏移 10°

射孔器外径 $\phi 114.3$ mm,孔密 13 孔/m,单相位。1 m 射孔器共装 13 发射孔弹。试验使用与井场相同厚度、相同材料和硬度的零件进行射孔试验,射孔器装入外径 178 mm 套管内,点火后射孔。

在图 4 所示的试验井内进行整枪射孔试验,通过绕轴线旋转射孔器模拟定向误差情况下的射孔情况。



1-试验井; 2-219 mm 套管; 3-斜向器背托; 4-斜向器盖板; 5-水泥层; 6-178 mm 套管; 7-射孔器; 8-引线

图 4 射孔试验井状态

Fig. 4 perforation test well status

试验结果如图 5、表 2 所示。



图 5 射孔后的背托、盖板、178 mm 套管
Fig. 5 back support, cover plate and 178 mm casing after perforation

表 2 射孔试验结果				
Table 2 perforation test results				
序号	178 套管孔径 /mm	盖板 通径 /mm	背托 深度 /mm	状态
1	22.5	13.0	12.6	射孔枪串贴套管下端
2	21.1	10.5	1.8	射孔枪串贴套管上端
3	22.4	10.3	1.0	射孔枪串贴套管上端、方向偏移 10°

试验结果表明:在各种极限条件下,射孔弹均能依次射开 178 mm 套管、水泥和盖板,且不损伤 244 mm 套管。斜向器每米流通面积最小值为 1 083 mm²。

4 现场应用情况

在南海油田,为了提高油气采收率,提出了主井眼和分支井眼同时开采的全新模式,需要射开空芯斜向器,联通主井眼和分支井眼,达到共同开采的目的。

4.1 油气井基本情况

已作业的 XXS1 和 XXS2 井均为生产井,位于南海西部,最高井温小于 100 ℃,采用钻杆传输 TCP 射孔方式。

XXS2 井:从 X5 井 244 mm 套管内 1 056 m 处开窗侧钻 216 mm 井眼至 2 040 m 完钻,下入 178 mm 尾管;XXS1 井:从 X3 井 244 mm 套管内 505 m 处开窗侧钻 216 mm 井眼至 1 821 m 完钻,下入 178 mm 尾管,其井身结构数据见表 3。

表 3 井身结构数据表
Table 3 data sheet of well bore structure

井段	井名	XXS2		XXS1
	侧钻老井	B5		B3
	槽孔	6#		Slot3
	井型	定向井←定向分支井		定向井
914 井段	914 井眼深/m	-		215
	762 导管深/m	-		214. 67
660 井段	660 井眼深/m	268. 8	-	
	508 导管深/m	268. 1	-	
445 井段	445 井眼深/m	-		448
	340 导管深/m	-		443. 84
311 井段	311 井眼深/m	1246	1 056	-
	244 套管下深/m	1 242. 2	侧钻点	侧钻点 505
216 井段	216 井眼测深/m	1 965	2 040	1 821
	178 套管下深/m	1 962. 3	2 035	355~1 815

178 mm 尾管与 244 mm 套管之间依靠可联动空芯斜向器过渡,178 mm 尾管与斜向器之间有不同厚度的水泥。为了实现主井眼和分支井眼的同时开采,要求射孔射穿新井眼套管及斜向器且不伤害老井眼套管,流通面积大于 3 018 mm²,主井眼和分支井眼实现可分可合,不要求重入主井眼,且分支井满足后续控水的需求。

4.2 应用情况

XXS2 井和 XXS2 井为大斜度井,要求在空芯斜向器开窗位置进行定向射孔,射孔长度 3 m。根据空芯斜向器整枪冲孔实验结果,射孔孔眼的流通面积大于 3 018 mm² 的流通面积需求。

为了实现射孔定向精准,采用伽马仪器测量校深,并针对常规陀螺仪定位受限,无法满足定位的作业环境,创新性地采用 MWD 及旁通循环阀配合作业的方式,解决定向难题的同时能有效对射孔枪进行点火。

射孔弹采用 692C-114R-1 A 射孔弹,匹配 114 型 13 孔/m 射孔枪。确认射孔枪引爆后,上提管柱 5 m。静置观察井筒漏失情况,与射孔前进行对比,漏失比之前变大,确认射孔成功,主井眼和分支井眼流通正常,定位误差仅为 1°。

5 结论

(1)斜向器定向射孔技术克服了技术指标要求高、工艺复杂、作业风险大等问题,它的成功实施,证明了定向射孔工艺的可靠性和通用性,填补了南海西部大斜度井斜向器定向射孔领域的空白。

(2)斜向器定向射孔技术适用于大斜度井、水平井、直井等各种井况的斜向器射孔作业,随着海上油田的持续发展,可为后续油气田开发提供借鉴,助力油田增储上产。

致谢:感谢同事及合作单位从该技术的设计到现场应用,以及后期论文的撰写提供的帮助。

参考文献

[1] 王超,徐鸿飞,范白涛,等. 海上平台老井槽侧钻井泥线预开窗斜向器设计[J]. 石油矿场机械,2017,46(1): 29-33.
WANG Chao, XU Hongfei, FAN Baitao, et al. Design and evaluation of the mudline whipstock for well slots to be re-used on offshore platform [J]. Oil Field Equipment, 2017,46 (1): 29-33.

[2] 张玉霖,菅志军,兰洪波,等. 造斜器结构分析及其坐封技术研究[J]. 石油矿场机械,2008(4):66-71.
ZHANG Yulin, JIAN Zhijun, LAN Hongbo, et al. Construction analysis of whipstock and research of anchoring technology[J]. Oil Field Equipment, 2008,(4): 66-71.

[3] 张迎春,赵春明,刘歆,等. 水平分支井技术在渤海稠油油田开发中的应用[J]. 岩性油气藏,2011,23(1): 118-122.
ZHANG Yingchun, ZHAO Chunming, LIU Xin, et al. Application of multilateral well technology to development of heavy oil fields in the bohai sea [J]. Lithologic Reservoirs, 2011,23 (1): 118-122.

[4] 罗旋. 分支井完井技术及增产措施效果评价[D]. 成都:西南石油大学,2014.

[5] 王光颖. 多分支井钻井技术综述与最新进展[J]. 海洋石油,2006,(3):100-104.
WANG Guangying. The multi- branch well drilling technical

- overview and the latest progress [J]. Offshore Oil, 2006, (3): 100-104.
- [6] 孟韶彬,王玲云,刘永刚,等. 国外分支井技术的发展和应[J]. 石油石化节能,2005,(4):19-20.
MENG Shaobin, WANG Lingyun, LIU Yonggang, et al. Development and application of foreign branch well technology [J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2005, (4): 19-20.
- [7] 金鑫,张飞,王占领,等. 小井眼侧钻水平井钻完井工艺在 QHD32-6 油田的应用 [J]. 海洋石油,2011,31(3): 89-92.
JIN Xin, ZHANG Fei, WANG Zhanling, et al. Application of horizontal well sidetrack drilling and completion in slim hole in QHD32-6 oilfield [J]. Offshore Oil, 2011, 31(3): 89-92.
- [8] 梁拥华. 定方位射孔技术研究及应用 [J]. 科技创新导报, 2012, (17): 11-12.
LIANG Yonghua. Research and application of directional perforation technology [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2012, (17): 11-12.
- [9] 王界益,王存田,周绪国. 垂直井定向射孔技术在克拉玛依油田的应用 [J]. 测井与射孔, 2008, 11(2): 4.
WANG Jieyi, WANG Cuntian, ZHOU Xuguo. Application of vertical well directional perforation technology in karamay oilfield [J]. Logging and Perforation, 2008, 11(2): 4.
- [10] 袁吉诚,陈锋. 水平井重力定向射孔方式研究 [J]. 测井技术, 1999, (1): 57-61.
YUAN Jicheng, CHEN Feng. On oriented gravity perforating modes in horizontal well [J]. Well Logging Technology, 1999, (1): 57-61.
- [11] 邢仁东. 斜向器封隔器定向射孔施工工艺 [C]//中海油田服务有限公司油田技术事业部科技论文报告会. 中海油田服务有限公司, 2013.
LIANG Yonghua. Research and application of integrated technology of directional perforation and perforation pressure test in vertical wells [D]. China University of Petroleum (East China), 2013.
- [12] 梁拥华. 直井定方位射孔和射孔压力测试一体化技术研究应用 [D]. 青岛:中国石油大学(华东), 2013.
LIANG Yonghua. Research and application of integrated technology of directional perforation and perforation pressure test in vertical wells [D]. China University of Petroleum (East China), 2013.
- [13] 苏峰,姚志奇,谢新荣. 空芯斜向器开窗和定方位射孔技术在水下分支井中的应用 [J]. 长江大学学报(自科版), 2018, 15(23): 52-56.
SU Feng, YAO Zhiqi, XIE Xinrong. Application of hollow deflector windowing and directional perforation technology in underwater branch wells [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2018, 15(23): 52-56.
- [14] 林琪,林阳萍,李骥,等. 气井射孔参数选择 [J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 1999, (3): 44-46.
LIN Qi, LIN Yangping, LI Ji, et al. Perforation parameter selection of gas well [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 1999, (3): 44-46.
- [15] 赵东平,张子杰,谢剑晨. 一体式斜向器 [P]. 中国专利:CN2787814.
- [16] 赵云. 六级及四级分支井工具研究 [D]. 哈尔滨:东北石油大学, 2017.
- [17] 刘乃震,喻晨,陈振刚,等. 一种分支井结构及其形成工艺 [P]. 中国专利:CN107152268A.
- [18] 孙利海. 煤矿井下定向侧钻斜向器的研制 [J]. 煤炭技术, 2021, 40(8): 165-167.
SUN Lihai. Development of sidetracking whipstock in underground coal mine [J]. Coal Technology, 2021, 40(8): 165-167.
- [19] 林晶. 分支井专用工具-可回收式斜向器的结构设计 [J]. 西部探矿工程, 2002, (S1): 128-129.
LIN Jing. Structural design of retrievable deflector, a special tool for branch wells [J]. West-China Exploration Engineering, 2002, (S1): 128-129.
- [20] 杨进,吴怡,魏倩,等. 隔水导管预斜斜向器装置 [P]. 中国专利:CN201210030575. 9.
- [21] 姚元文,汪长栓,冯国富,等. 造斜器定向射孔技术探讨 [J]. 测井技术, 2009, 33(6): 593-596.
YAO Yuanwen, WANG Changshuan, FENG Guofu, et al. Study on oriented perforation technology of whipstock [J]. Well Logging Technology, 2009, 33(6): 593-596.

编辑 刘振庆

第一作者简介:徐太保,男,1984 年出生,高级工程师,2008 年 7 月获得西安石油大学测控技术与仪器工学学士学位,现任中海油服油田技术事业部湛江作业公司套管井作业中心经理,多年从事海上 TCP 射孔、电缆射孔、电缆切割、铰孔等工程作业、生产测井现场作业及管理工作。电话: 0759-3900127,15976848939,Email:xutb@cosl.com.cn。通信地址:广东省湛江市坡头区 23#信箱测井大院,邮政编码:524057。