

水力割刀双层套管切割技术在海洋弃置井中的应用及经济性分析

刘 鹏 王伟军 陈治中 黄 杰 卢忠润 (中海油田服务股份有限公司, 天津 300459)

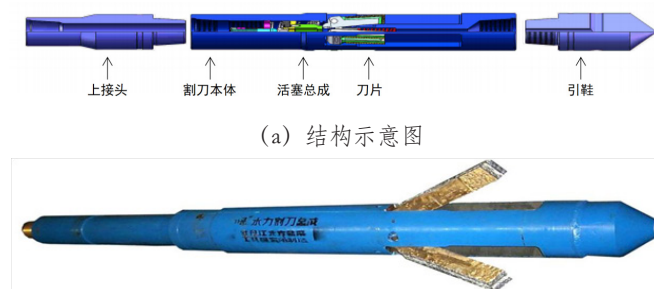
摘 要: 随着海上油气田的持续开发, 平台弃置作业量逐年增加, 为了更快速、高效地完成平台设施的拆除, 在渤海某平台的弃置项目中, 采用水力割刀双层套管切割技术, 对弃置平台三口井进行切割作业, 相比传统的水力割刀逐层切割工艺, 该技术显著提升了作业效率, 提高幅度达 30%, 本文就双层套管切割技术及其经济性展开探讨, 为海上油气井多层套管整体切割提供技术依据和实践总结, 旨在推动海洋弃置井相关技术的进步, 优化经济决策过程, 以更好应对能源行业未来的挑战。

关键词: 水力割刀; 双层套管切割; 海上油田; 弃井; 经济性分析

0 引言

随着海上油气田的持续开发, 部分早期投产的油气井的产能已明显下降, 经济效益显著降低, 不再具备继续开采的价值, 需实施弃置作业, 以防止油气泄漏造成环境污染。据统计, 到 2040 年, 国内海域将有约 81 个油气田 (不含在建海上油气项目) 进入停产退役阶段, 涉及 164 座平台, 未来海上平台弃置前景广阔, 需求持续增大。在临时弃井或永久弃井的套管处理过程中, 套管的切割与回收是关键环节, 目前在海上弃井作业中普遍使用水力割刀对 9-5/8"、13-3/8"、20"、30" 套管进行切割, 传统的水力割刀作业虽安全可靠, 但由于其工艺特点, 需要多次起下管柱更换割刀尺寸, 以逐层切割套管。这种方式的作业周期较长, 影响整体施工效率, 经济性有待提升。因此, 近年来水力割刀双层套管切割技术, 因其高效性和经济性, 在井口弃置作业中得到了广泛的应用。

1 机械水力割刀的工艺原理



(a) 结构示意图
(b) 实物图
图 1 机械水力割刀

C-1 水力割刀是一种液压驱动式的套管割刀, 主要由上接头、割刀本体、活塞总成、刀片与引鞋组成,

如图 1 所示。此工具无需借助特殊的地面设备, 能够高效安全的切割各种尺寸和磅级的套管或其他类型管柱, 割刀在达到设定的切割尺寸后会有压力降指示, 能够准确判断切割是否完成, 并可通过设定的切割尺寸保证不伤外层套管, 其简单可靠的性能使其成为同类工具中最易操作, 且又高效、安全、环保, 只需要更换刀片即可在其使用范围内切割任意尺寸和磅级的套管。

工作时, 水力割刀靠液压操作, 当下入井内达到预定切割位置时, 开泵循环, 逐渐加大排量, 钻井液通过推杆处水眼使活塞两端产生压差, 此压力差会推动活塞整体向下移动, 从而推动刀体向外旋转进入切割状态, 此时旋转钻柱就可进行切割套管。然后, 转速和泵压逐渐升高, 直至刀片将两层套管逐一割断, 并伸至最大位置, 推杆向下移动至限位, 推杆与活塞接触面分开, 钻井液从活塞处直接流出, 此时可观察到泵压骤降和扭矩降低并趋于平稳, 表明切割已完成。该割刀具有以下优点, 可平稳地切割多层套管; 最大刀刃展开至 5 倍于本体的直径; 坚固的三刀刃结构允许高速切割; 只要提起钻具, 刀臂就能回收; 在平台上就可更换刀片。

2 现场应用情况

此次作业是水力割刀双层套管切割技术在渤海地区的首次应用, 对锦州 20-2NW 平台的两口生产气井及一口空井槽进行套管切割作业, 锦州 20-2NW 平台弃置面临着环空带压、井筒状况不明、井控风险高等难题, 且该平台两口生产井的 13-3/8" 和 20" 套管之间有水泥, 如果采取套磨铣或者锻铣的方式处理双层

套管，整体作业工期就会大大延长，成本也相应增加。为保证降本增效，采用水力割刀一次性切割双层套管的方案。水力割刀在套管既定位置顺利切开内层套管，破碎水泥环又顺利割断外层套管，以单井切割效率提升 30% 的成绩，一次性顺利完成两口井的双层套管切割作业。

2.1 作业参数

锦州 20-2NW 平台采用 3 井槽设计，20" 隔水导管预先锤入泥线 55m，三角形排列方式，间距 2.0m×2.0m；其中 3 号为空槽口。根据锦州 20-2 凝析气田生产井废弃处置方案，对 2 口生产井（N1/N2）和 1 口空井槽的导管实施永久性弃置。弃置作业前 N1 井处于关井状态，N2 井处于生产状态。20 寸隔水导管导向孔共有 3 层，其中在顶甲板这一层的导向孔与隔水导管焊接，其余未焊接。2 口井全部为定向井，最大井斜为 21°，井身结构及套管程序数据见表 1。

表 1 锦州 20-2 平台井身结构数据表

井名	井深 (m)	井斜 (°)	井型	井身结构
N1	2489.3	21	定向井	20"×107.37m+13-3/8"×810m +9-5/8"×2355.36m+7"× (2224.45m-2489m)
N2	2443.22	17.8	定向井	20"×107.37m+13-3/8"×815.5m +9-5/8"×2349.85m+7"×(2302m- 2443.1m)

钻具组合为 8-1/4" 水力割刀（配 3 片式切割 13-3/8"×20" 双层套管刀片）+ 变扣 + φ311mm 螺旋扶正器 + 变扣 +4" 短钻杆 +4" 钻杆。水力割刀切割套管的技术参数见表 2。

表 2 水力割刀技术参数

套管尺寸 (in)	7"	9-5/8"	13-3/8"	20"
割刀型号 (in)	5-1/2"	8-1/4"	8-1/4"	12"
工作排量 (L/min)	300-400	300-500	300-500	400-600
工作转速 (r/min)	80-100	70-80	60-80	40-50
推荐泵压 (Psi)	300-600	400-800	500-900	600-1000

2.2 作业过程

N1 井的套管切割作业过程，现场切割参数见表 3。

①进行 SBT 测井作业，确认 B 环空水泥返高高度，避开套管接箍，选定 9-5/8" 套管切割深度 59.1m（泥线以下 6m、接箍以下 2m）；

②组连切割 13-3/8" 套管钻具组合；

③地面测试：排量 220L/min、泵压 0.4MPa，刀片张开有力，最大张开范围 40"（原机械设置刀片泄压最大张开范围为 23"）；

④入井切割：下钻至切割深度 59.1m，测上提

/下放悬重：20.5/21T，缓慢开转测正空转扭矩：30RPM/0.5KN.m、50RPM/0.7KN.m、80RPM/0.9KN.m，降低转速至 30RPM 后缓慢开泵，逐步提高至切割参数；

⑤判断割断后先停转后停泵放压至 0MPa，此时停泵起钻，刀片挂卡，过提 20t（套管浮重约 18t）连同双层套管一起提活，确认双层套管已割开，退出割刀后起钻；

⑥拆甩钻具，检查刀片磨损情况。

表 3 现场切割参数记录表

切割时间 / min	排量 / L/min	泵压 / MPa	转速 / rpm	扭矩 / KN.m	下放距离 / cm
10	400	5.5	60	1~2	/
33	470	8.2	80	1.5~2.6	/
61	490	8.6	80	2~3.7	1
77	490	8.6	80	2~3.5	2
142	490	8.6	80	2~3.2	7
193	530	10.4	80	2.3~5.6	8
253	530	10.4	80	2.3~5.6	10
315	530	10.4	80	2.3~5.6	14

2.3 效果分析

水力割刀在既定位置顺利切开内层套管后，破碎水泥环又顺利割断外层套管，并一次性提活，观察到 13-3/8" 套管割口较为圆润，而 20" 套管割口斜度较大、毛刺较多，如图 2 所示。



图 2 出井后的双层套管割口

割刀起出后观察到刀片出现较少磨损，刀翼有两处明显凹痕已磨损掉约 1.5cm 深刀体（分别对应 13-3/8" 及 20" 套管），刀片下部本体也有一处深 3cm 左右磨损，如图 3 所示。



图 3 出井后的刀片

3 经济性分析

在海上平台弃置作业中,套管切割技术的经济性直接影响整体作业成本。本文介绍的水力割刀双层套管切割技术,相较于传统的水力割刀逐层切割方法,在作业效率、成本节约和设备利用率等方面均表现出显著优势。

3.1 作业效率提升

传统的水力割刀逐层切割技术需要多次起下钻更换割刀尺寸,以逐层切割不同尺寸的套管。以锦州20-2NW平台为例,传统方法切割13-3/8"和20"双层套管通常需要2-3次起下钻,而采用水力割刀双层套管切割技术后,仅需一次起下钻即可完成双层套管的切割,显著减少作业时间,效率提升约30%,直接减少了设备租赁时间和人工成本。

3.2 作业成本降低

传统切割方法需要多次起下钻,增加了作业时间,且由于频繁的更换割刀,导致设备利用率较低,增加了设备故障风险。而双层套管切割技术通过一趟钻完成双层套管的切割,显著提高了设备利用率。以C-1水力割刀为例,其刀片耐磨性高,可重复使用多次,进一步降低了设备维护和更换成本。此外,该技术减少了起下钻次数,降低了设备磨损和故障率,延长了设备使用寿命。

3.3 环境影响与间接经济效益

传统切割方法由于作业周期长,增加了海上作业的环境风险,如泥浆泄漏、设备故障导致的污染等。而双层套管切割技术通过缩短作业时间,降低了环境风险,减少了潜在的环保治理费用。此外,该技术的高效性使得平台弃置作业能够更快完成,为后续的海洋环境恢复和资源再利用争取了时间,间接提升了经济效益。水力割刀双层套管切割技术展现了显著的经济性优势。未来,随着该技术的进一步优化和推广,其经济效益将更加显著。尽管双层套管切割技术在经济性方面表现优异,但仍存在进一步优化的空间。例如,通过改进刀片材料和结构设计,提高切割效率;通过智能化控制技术,实现切割参数的实时优化,进一步降低作业成本。

4 结论与建议

本文介绍的弃井割刀钻具组合可一趟钻完成9-5/8"和13-3/8"双层套管的切割,优化了传统作业流程,避免了频繁起下钻和更换割刀的繁琐操作,显著缩短了钻井工期,实现了单井切割效率提升30%的

效果。该技术有助于降低海上平台弃置成本并提升作业效率,且切割过程环保无污染,在海洋石油平台弃井作业中具有广泛的应用前景。

多层管柱水力割刀本质实为老式单管割刀的升级品,相比于单管割刀,其优势在于切割范围可自由设定,刀片耐磨性高可切割多次/多层套管。但通过本次作业仍暴露一些不足之处,切割效率较低、无法控制机械最大张刀角度。后续应优化切割参数,并将块状硬质合金移置刀剑,以提高合金利用率;制作带限位的刀片,从机械角度限制其最大张刀范围。

参考文献:

- [1] 孙慧铭,李鑫,王兴旺,等.海上弃井多层水泥固结套管分段切割设备选型设计研究[J].清洗世界,2024,40(12):64-66.
- [2] 蔡灿,曾浪,刘家炜,等.油气井井下切割技术发展现状及趋势[J].西安石油大学学报(自然科学版),2024,39(01):89-96+113.
- [3] 华泽君.海上油田弃井关键技术及低成本弃井作业模式探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(12):175-177.
- [4] 贾宗文,耿亚楠,幸雪松,等.泥线下多层套管切割技术研究及适用性优选[J].石油矿场机械,2020,49(02):71-75.
- [5] 王同辉.锻铣+水力切割处理多层套管技术实践[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(10):196-198.
- [6] 赵传伟,刘晗,吴仲华,等.双层套管段铣工具研制[J].石油机械,2022,50(11):43-49.
- [7] 刘晓军,李康康,靳楠,等.单层套管专用高效切割工具研究与应用[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(04):138-140.
- [8] 朱国宁,和鹏飞,关贺坤,等.水力切割双层套管一次作业式技术在海洋弃井中的应用[J].石油工程建设,2016,42(05):23-26.
- [9] 周仁斌,张帅.一趟式套管切割回收技术在海洋半潜式平台中的应用[J].石化技术,2022,29(02):102-104.
- [10] 赵云良.机械水力割刀套管切割技术在煤矿区域治理中的应用[J].煤炭与化工,2022,45(09):55-57.
- [11] 韩同方,冯一璟.套管切割工具割刀的结构优化及试验研究[J].石油机械,2022,50(06):44-49.

作者简介:

刘鹏(1984-),黑龙江哈尔滨人,毕业于大庆石油学院石油工程系,工程师,研究方向:钻完井工程。