

深水尾管回接工艺技术应用及发展

赵苏文, 黄小龙, 孙子刚, 卢先刚, 李 鑫

(中海油能源发展股份有限公司工程技术深圳分公司, 广东 深圳 518606)

摘要: 由于深水水下井口系统及井身结构设计套管层次多的特点, 尾管悬挂工艺和尾管回接工艺是深水井的一项重要工艺技术。对目前国内外深水使用的常规尾管回接工艺技术进行了分析的基础上, 详细阐述了其整个的工艺过程、相应工具的工作原理和特点以及现场应用情况, 提出了存在的常见问题, 并针对存在的问题结合目前常用的尾管回接工艺技术、使用情况以及国外行业的发展情况, 介绍了2种不同思路的深水尾管回接工艺技术的发展方向, 对后续深水尾管回接作业具有重要的借鉴意义。

关键词: 深水钻井; 尾管回接; 井口头; 悬挂器; 回接筒; 防喷器

中图分类号: TE256⁺.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)02-0043-05

Application and Development of Liner Tieback Technology in Deepwater/ZHAO Su-wen, HUANG Xiao-long, SUN Zi-gang, LU Xian-gang, LI Xin (Engineering Technology Company of CNOOC Energy Technology & Services Limited, Shenzhen Guangdong 518606, China)

Abstract: Due to the characteristics of wellhead system in deepwater, liner hanging and tieback technologies are important in deepwater wells. The paper introduces the conventional liner tieback technology in deepwater both in China and abroad, elaborates in detail about the whole process, working principles and characteristics of the corresponding tools and the field application; puts forward the existing problems. Aiming at the existing problems and according to the common-used liner tieback technologies and the application situation as well as the development conditions in foreign countries, the development direction of two liner tieback technologies, being developed with different ideas, for deepwater drilling are presented.

Key words: deepwater drilling; liner tieback; wellhead; hanger; a section of casing for liner tieback; blowout preventer

0 引言

深水钻井面临许多特殊作业环境, 随着水深的增加, 套管层次逐渐增多, 一些复杂情况下需要下入7~9层套管。而深水钻井通常采用水下井口工艺, 为与防喷器配合, 标准井口的表层套管尺寸为 $\varnothing 508$ mm或 $\varnothing 558.8$ mm, 限制了后续套管层次的尺寸。

由于受到这些因素限制, 尾管悬挂及回接工艺对深水钻井井身结构设计至关重要, 它既要解决增加套管层次的需要, 又要满足常规标准井口头的套管坐挂数量限制及满足后续完井或生产对套管尺寸的要求。墨西哥湾典型深水井的套管程序设计为: $\varnothing 911.14$ mm(导管) + $\varnothing 711.2$ mm(导管) + $\varnothing 558.8$ mm(表层套管, 其上连接着高压井口头, 座BOP组) + $\varnothing 457.2$ mm(上部尾管) + $\varnothing 406.4$ mm(上部尾管) + $\varnothing 346.08$ mm(中间套管) + $\varnothing 301.63$ mm(上部尾管) + $\varnothing 250.83$ mm(尾管) + $\varnothing 193.68$ mm(尾管)。其中上部的大尺寸尾管根据设计需要, 一般

是为了封隔上部的浅层地质灾害或特殊层位需要, 且一般不需要进行回接, 但是下部的生产尾管则往往需要回接至井口, 以满足后续的生产需要。

1 深水尾管回接工艺技术应用现状

1.1 尾管回接工艺简介

尾管回接工艺技术是一种利用特殊的回接工具与井下的尾管悬挂器回接筒相连接, 将套管回接至井口的一种工艺技术。在施工过程中, 不同的井眼情况, 尤其是回接工具操作方面、井下回接筒及对应的注水泥过程等实际问题, 出现了许多复杂情况及事故, 造成了巨大的经济损失, 因此, 如何正确地认识尾管回接工艺技术, 保证工艺的正常使用, 显得尤为重要。

1.2 尾管回接主要的工艺过程

目前国内外深水尾管回接工艺技术的一般过程: 回接筒磨铣及套管刮管—下入回接管柱—插入

收稿日期: 2015-09-10; 修回日期: 2015-12-25

作者简介: 赵苏文, 男, 汉族, 1982年生, 中海油能源发展股份有限公司工程技术公司钻井总监, 博士, 主要从事钻井监督和钻井工艺技术的研究工作, 广东省深圳市南山区蛇口金融中心大厦, zhaosw@cnooc.com.cn。

头试插入回接筒—初始压力试验—上提回接管柱—注水泥过程—下放管柱、回接插入头插入回接筒—候凝—钻除水泥塞及附件—密封验证。

1.2.1 回接筒磨铤及套管刮管

尾管挂回接筒磨铤及刮管作业,主要是为了检查判断回接筒的实际情况、通井检查井眼情况及清除磨鞋磨出的任何杂物等。

回接筒磨铤及套管刮管过程中要确保工具配长的正确性,以保证顶部磨鞋坐落在延伸回接筒的顶部,且刮管磨鞋刚好能位于回接筒底部 100 ~ 150 mm 以上。另外,操作方面的要求,当磨鞋缓慢下入回接延伸筒时,监测压力和扭矩变化情况;当顶部磨鞋坐到回接筒顶部时,注意扭矩和压力的变化,准确判断到位,并在钻杆上做好标记;将磨鞋组合在回接筒里旋转上提下放最少 3 次,若扭矩不平稳,则重复直到平稳;边循环,边将回接磨鞋组合提至回接筒顶部以上 1.5 ~ 3.5 m,增加排量循环;检查磨鞋,以便确认磨鞋确实已经磨掉回接延伸筒,磨鞋组合有任何不正常磨损显示,要下入备用工具进行处理。

1.2.2 回接插入头试插入回接筒及试压

整个回接管柱的配长很关键,既要保证回接插入头完全进入回接筒,又要保证井口处的套管悬挂器可以完全坐到位且密封。

主要的操作过程:以小泵压(约 1.38 MPa 压力)建立循环,检查上提下放悬重。根据厂家给定的下压距离,下压插入头进入回接筒,在第三道密封插入 PBR 时,会观察到起压,压力起来后马上停泵,泄压。在钻台上对第三道密封位置对应的钻杆做好标记,继续下放将密封组合插入 PBR,直到定位环受压 8 t,钻台对对应位置的钻杆做好标记。内管柱打压对插入密封总成试压 2.09 MPa/5 min,6.89 MPa/15 min,确认合格后进行下部作业。上提至压力下降时,对钻台上对应的钻杆位置进行标记,在此基础上继续上提 0.5 m,开泵循环,准备下步的固井作业。

1.2.3 注水泥工艺

采用深水配合水下井口系统使用的水下释放塞法注水泥工艺。注水泥的主要目的:(1)用以实现对回接管柱的密封作用;(2)可以固定回接管柱,保证在后期的生产过程中,回接管柱在回接筒内的位置。

1.2.4 下放管柱、回接插入头重新插入回接筒

固井结束,停泵卸压。结合前面试插入时钻台

上钻杆做的标记缓慢将插入头及密封总成插入 PBR,要确保插入到位。

对于一些特殊的回接工具上带有封隔器及卡瓦悬挂器的,需要提前做好刮管处理,确认插入头完全插入到位后,继续下压 10 t 座封封隔器,下压 20 t 坐挂卡瓦悬挂器。

1.2.5 钻水泥塞及套管附件

主要是钻掉回接管柱内的注水泥胶塞、附件及管柱内的水泥,打通回接管柱和下部尾管,建立起井筒的完整通道。

1.3 回接工具主要工作原理及特点

专用磨/铤鞋:不同厂家的铤鞋设计,结合对应的尾管悬挂器也各有不同,大部分的铤鞋在锥面和柱面上均设有 4 排均匀分布的铣刀,清洗回接筒内表面,且不会对其产生损伤,不影响密封位置。

节流浮箍:节流浮箍与常规浮箍的区别在于其内套有 2 个小孔。当回接插头插入回接筒时,回接插入头与回接筒形成密封,继续下插时,节流浮箍以下的泥浆及压力通过该小孔传到节流浮箍以上。

回接插入头及密封总成:主要由导向头、循环孔、密封组件及接箍等组成。其随回接套管下入,插入到悬挂器回接筒内,插入头上的密封总成有效密封与回接筒间的间隙,接箍处密封垫被回接筒喇叭口挤压起到一定的辅助密封。

1.4 回接装置的主要类型

回接装置是整个尾管回接工艺技术的最主要工具,其不仅要把回接管柱和井下尾管连接起来,还需要实现对回接位置的有效密封。

提出式回接装置,其密封组件在插入回接筒后实现密封功效,主要用于尾管重叠段或整个尾管环空无水泥的情况。

封隔式回接装置,回接装置和插入头均带有封隔功能,尾管回接及固井后,重新建立新的密封,尾管顶部和底部环空受水泥和橡胶双重密封。

短回接装置,具有回接和密封双重功能,回接插头与密封总成之间可根据现场需要连接不同长度的套管,固井后送入钻具与密封总成分离。

2 深水尾管回接工艺技术存在的主要问题

2.1 回接位置密封失效或回接管柱移动

尾管回接工艺技术是确保回接管柱和尾管悬挂器的连接及回接位置的密封性。目前的工艺技术,

利用与尾管悬挂器配套的回接插入头,实现回接管柱和尾管悬挂器的连接,两者的密封问题,主要是通过插入头上的密封组件有效密封与回接筒间的间隙,接箍处密封垫被回接筒喇叭口挤压后起到辅助密封作用。此外,回接管柱外的水泥浆实现回接管柱和外层套管之间的环空的密封。

回接位置的密封性好坏直接关系到整个回接工艺技术的成败。往往由于回接段较长、井眼的实际情况、井型等因素影响,导致插入头上的密封圈损坏或脱落;操作人员的不当操作及插入头密封总成的质量等因素,导致插入头无法实现有效的密封。

回接管柱和外层套管之间的水泥,主要起到隔离作用,确保没有油气水等可以通过二者之间的环空间隙上串到井口;水泥还起到固定回接管柱的作用,确保回接管柱的插入头可以始终牢固在尾管悬挂器的回接筒内,进而保证其两者始终有效的密封,如果注水泥不满足要求,会因为后期生产过程中压力和温度的变化等导致回接管柱向上移动,从而可能使插入头总成脱离,导致其密封失效。

可能影响回接位置密封或回接管柱移动的因素有以下几个方面。

(1)后期的开发生产过程中井下压力、温度等情况变化引起,回接插入头的密封总成及回接筒之间的移动。

(2)固井结束后,在水泥没有初凝前,尽快把回接插入头完全插入回接筒内,以免水泥浆初凝等因素,影响插入头的到位。

(3)由于环空间隙的影响,导致回接插入头的水泥混浆影响,降低这个位置的水泥的封固质量和密封效果。

(4)注水泥过程中及结束后,整个的回接管柱的重力会发生变化,有可能影响到回接插入头的插入距离判断,影响回接插入头的完全插入。

(5)固井使用的胶塞组,当固井结束碰压后,将限制对回接位置密封情况试压的压力值。

2.2 注水泥过程存在较大风险

配合深水尾管回接的固井工艺,常用的水下释放塞法,其工艺技术较复杂,中间环节较多,如何保证整个过程中不出现问题,是保障整个尾管回接工艺的重要基础。

注水泥过程是一项风险极高的作业,主要是由于水泥浆的化学特性,如何保证水泥浆的性能稳定

可靠,满足整个的施工过程需要,也是整个工艺过程的重要方面。

2.3 回接位置存在水泥

常规的尾管固井由于工艺需要,回接筒上部设计留有一段水泥塞,候凝结束后需先用钻头钻除这部分水泥,然后更换小钻头,通井及探水泥塞后,才能进行回接作业。钻除这段水泥塞过程中,由于回接筒深度校核不准以及钻头选择不当等原因,回接位置存在较厚的水泥环,造成回接插入头无法进入回接筒,从而致使整个回接作业失败。根据水泥环的不同位置,可分为上部水泥环及回接筒内水泥环2种情况。

2.3.1 回接筒上部水泥环

钻头钻尾管悬挂器顶部水泥塞过程中,未能准确钻至回接筒喇叭口位置等导致,间接作业失败。

2.3.2 回接筒内水泥环

在钻除尾管悬挂器内水泥时,钻头选择不当,造成与回接筒内径不匹配。另外,在后续的回接筒磨铣过程中,钻压作用下持续有进尺,磨铣长度超过了回接筒的有效长度,可以判断是由于回接筒内存在水泥环。

2.4 回接筒损坏

根据以往的统计,对回接筒的损伤,主要存在以下2种情况。

(1)回接筒的喇叭口出现椭圆形变。在回接筒磨铣过程中,铣鞋进入回接筒困难。正常磨铣钻压下,铣鞋无法顺利进入回接筒,在喇叭口位置出现磨铣假象。铣鞋的斜肋位置同样会出现磨铣痕迹,但铣槽形状与回接筒底部密封外壳形状不符等,都可以判断回接筒的喇叭口可能出现椭圆形变。

(2)回接筒部分缺失。由于操作不当,回接筒出现部分被钻除或出现磨损情况的发生,给回接作业带来很大困难。磨铣时,铣鞋进入回接筒困难,磨铣到底时,有效磨铣距离小于回接筒的有效长度,磨铣距离为回接筒剩余长度,都可能是出现了回接筒部分缺失的情况。

2.5 回接管柱的配长问题

套余的计算、调节以及回接管柱的配长是尾管回接工艺中管串组合的关键点。尤其对于深水水下井口系统,套管调整精度要求高,既要满足回接插入头完全插入回接筒的要求,同时也要保证套管悬挂器可以顺利坐到水下井口头内。预留量过大,套管

重力全部作用于回接管上,套管悬挂器无法坐挂到水下井口头内;套余预留量过小,套管悬挂器在水下井口头内成功坐挂后,回接插入头不能完全与回接管连接,或者不能实现有效的密封等造成回接失败。

3 深水尾管回接工艺技术的发展

结合使用的深水注水泥工艺技术,增加了整个尾管回接工艺技术的复杂性,增加了施工时间。另外,由于回接管柱和外层套管之间的间隙较小,水泥浆的封固质量难以保证等,导致了后期的回接管柱出现很多问题,给生产造成很多影响。

目前,深水尾管回接工艺的主要发展就是从这些方面入手,简化工艺过程,节约作业时间,提高作业效率和成功率。

3.1 可膨胀封隔器工艺技术

可膨胀封隔器随着回接管柱一起入井,安放在回接插入头上面合适的位置,封隔器的橡胶材料遇到氢类(原油、柴油或合成基的泥浆等或水基的完井液),膨胀到一定的尺寸,从而到达隔离封隔器上下环空和固定回接管柱的作用。

根据井眼需要,选择不同密封压力等级的封隔器。当其膨胀到合适的体积后,其可以提供一个固定作用,确保插入头在后期的生产等过程中始终在回接管内,保证回接位置的密封。这个固定作用及效果受到膨胀压力、橡胶的接触面积大小以及橡胶和外层套管内壁之间摩擦力大小等因素的影响。

可膨胀封隔器的使用可简化整个尾管回接工艺技术过程,降低工艺风险,节约作业时间。工艺技术没有以往常规的注水泥工艺及过程;不需要单独钻除回接管柱内的水泥及注水泥附件等,将极大地降低整个施工工艺的风险。

目前这种工艺技术已经在墨西哥湾深水尾管回接中开始使用,某公司的 $\varnothing 193.68$ mm 尾管回接管柱上的相应可膨胀封隔器,其长度达到 5.03 m,满足了对环空的压力隔离目的,另外,在后期的生产等作业中,随着温度和压力的变化,其提供的锚定力,确保了回接管柱能够始终插入在回接管中,达到了很好的效果。在实际使用中,该技术减少了整个回接作业的费用,简化了整个工艺技术的流程,降低了操作风险,这些对深水钻井来说都是至关重要的因素。

不同类型的井需要使用的可膨胀封隔器不同,

需要做详细的设计和选择,其主要考虑因素是:井的压力情况、膨胀需要的介质类型、井底的温度情况及井的生产周期或回接位置的密封时间要求,以及回接管柱的固定时间长短等。

其一般的施工过程为:现场检查评估使用的封隔器是否满足需要—随回接管柱一起下入井筒—回接插入头插入回接管—测试回接插入头的密封情况—封隔器膨胀橡胶遇膨胀介质开始膨胀—测试回接插入头的密封情况—作业结束。

需要注意的是,当回接插入头插入到回接管后,确保插入到位,可以通过管柱内试压检验是否完全插入或是否实现密封。另外,确认插入头到位且回接位置实现密封后,确保管柱位置不移动,按照选择的膨胀介质,给封隔器充分的膨胀时间。

3.2 金属密封尾管回接工艺技术

金属密封尾管回接工艺技术是指通过专用的外补贴工具对套管端面铣平的井下套管进行回接密封,建立完整的管串(见图1),最终工具与管串连成一体留在井内,实现井筒密封。这种技术可以解决一些深水钻井中套管无法下到位、水下井口套管悬挂器的更换或者套管修复等情况。目前其工艺技术可以覆盖 $\varnothing 177.8 \sim \varnothing 355.6$ mm 套管,包括不同的钢级和磅级。

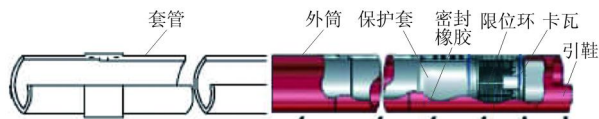


图1 金属密封尾管回接管柱图

新型的金属密封尾管回接工艺技术是一种VO型金属对金属的变形,达到气密、载荷连接的尾管回接工艺技术,通过特殊的金属回接插入头,插到与对应的金属回接管内,金属对金属的变形以实现密封,完成回接管柱和尾管的连接及密封,而不需要额外的橡胶密封件。

这种工艺技术的特点是:全通径的回接装置,其内径实现了和回接管柱内径的一致性;实现多重的金属对金属密封,其密封性可靠持久,而且避免了常规的橡胶密封件在入井过程中的损坏或脱落问题,且达到气密封;对套管的钢级及质量没有要求和限制;可以达到更高的压力和温度条件下使用,而且其轴向承载能力强。

在墨西哥湾,这种尾管回接工艺技术首先使用

在 $\varnothing 355.6$ mm尾管的回接上。 $\varnothing 355.6$ mm尾管是通过特殊的尾管悬挂器悬挂在其外层的 $\varnothing 406.4$ mm套管上,而尾管回接筒放置在 $\varnothing 355.6$ mm尾管及悬挂器之上,其特殊的尾管回接筒长15.24 m,而对应的回接插入头仅仅是4.57 m,确保了在复杂情况下,插入头可以完全插入到对应的回接筒内。其连接是由回接筒上的特殊槽环和回接插入头上的对应设计的卡箍实现,密封主要是由其特殊的VO型金属对金属变形来实现。

这种尾管回接工艺技术在尺寸尾管回接上的成功使用,基于此种工艺思路和理念,下部井段的小尺寸,如 $\varnothing 193.68$ mm生产尾管回接工艺技术也已经发展。小尺寸的生产尾管回接不同于上部大尺寸工艺在于,其不仅仅需要实现回接管柱和井下尾管悬挂器的连接及有效密封,而且实现了对回接管柱的固定问题,解决后期生产过程中压力、温度等变化引起的管柱移动,所以,在工艺技术上增加了一个压缩负载锚,其主要作用就是实现对回接管柱的位置固定,减少或降低管柱移动产生的回接插入头脱离回接筒,导致回接位置连接和密封失效,或井口头处悬挂器的位置移动,进而产生密封失效等情况。

4 结语

(1)深水的尾管回接工艺是深水钻完井工艺中的一个重要内容,特别是对于地层压力系统复杂、需要套管层次多的深水井。

(2)对于尾管回接工艺技术,目前常规的回接插入头总成实现回接位置密封,结合回接管柱和外层套管环空注水泥技术,满足作业需要,但是,对于深水作业,其工艺过程较复杂,作业程序较多,可能出现问题的环节较多,需要的作业时间较长。

(3)可膨胀封隔器工艺技术应用到尾管回接过程中,不需要注水泥作业及后续的钻除回接管柱内水泥及附件等作业,极大地简化了尾管回接工艺技

术,减少了可能出现问题的环节,提高了工艺时效。

(4)金属密封尾管回接筒和回接插入头,其特殊设计的尾管悬挂器和回接筒,以及回接插入头等,其特殊的连接方式及金属对金属密封,减少了以往常规橡胶密封总成回接工具的稳定性、成功率差等问题,而且其密封性能强,密封时间持久。

(5)小尺寸金属密封尾管回接工艺中,压缩负载锚可以有效地固定回接管柱,阻止其移动,可以成功地应用在深水小尺寸生产尾管回接作业中,整个工艺过程较简单,稳定性较好,风险较小,时效性较强。

(6)深水特殊的水下井口系统及套管悬挂技术,对尾管回接管柱的配长要求高,其原则是既要保证回接插入头的有效插入,又要保证回接管柱的套管悬挂器成功座挂到井口头内,悬挂器的密封总成有效密封。

参考文献:

- [1] 管志川,柯珂,苏堪华.深水钻井井身结构设计方法[J].石油钻探技术,2011,39(2):16-21.
- [2] 杨进,曹式敬.深水石油钻井技术现状及发展趋势[J].石油钻采工艺,2008,30(2):10-13.
- [3] 徐庆,徐锋,陈斌,等.高压气井套管回接固井预应力技术[J].天然气工业,2009,29(4):52-53.
- [4] 马开华,马兰荣,陈武军.高压油气井尾管回接新技术[J].石油钻采工艺,2005,27(3):22-23.
- [5] 任生军,李磊,丁洁茵,等.大邑401井修井套管回接工艺技术[J].钻采工艺,2011,34(3):100-103.
- [6] 马开华,朱德武,马兰荣.国外神经尾管悬挂器技术研究新进展[J].石油钻探技术,2005,33(5):52-53.
- [7] Tarr B A, Taklo T, Hudson A, et al. Surface BOP system for sub-sea development offshore Brazil in 1,900m of water[R]. SPE 112788, 2008.
- [8] 刘国祥.尾管回接工具现场应用探讨[J].石油矿场机械,2015,(2):63-67.
- [9] 吴柳根,滕照正,侯婷,等.国内尾管固井完井技术现状[J].石油矿场机械,2013,(10):52-56.