

井筒清洁工具在海上钻完井工艺中的应用技术

王应好 董云峰

中海油能源发展股份有限公司工程技术湛江分公司 广东 湛江 524000

【摘要】：伴随着海洋石油工艺的发展，海上钻完井及测试作业逐步向深井、大位移井及深水区域发展。随着钻井难度增加，完井测试作业的井筒环境复杂，完井测试作业风险高，不可预知情况多发。据不完全统计，对钻完井下复杂情况原因分析，接近 35% 的非生产时间与井筒清洁不完善有关。特别是海上钻完井作业成本高昂，如何做好井筒清洁工作尤为重要。

【关键词】：井筒清洁；测试；完井；深水

1 引言

井筒清洁是指利用井筒清洁工具和特制的清洁剂，通过下入井中，建立循环通道清洗井筒中的碎屑和杂物。将可能影响正常钻完井作业的碎屑去除。

在海上钻完井作业中，作业成本高昂，如何做好井筒清洁工作尤为重要，井筒清洁原因导致的后果将极其严重，特别在水下井口及深水钻完井作业过程中将产生不可接受的后果，甚至导致井筒报废。

2 影响井筒清洁的因素

影响井筒清洁的因素有八个方面：钻完井液体流动形态、碎屑的下滑速度、环空返速、转速与上下往复运动、井筒尺寸、井斜、钻杆居中度以及碎屑的尺寸和形状，下面分别予以分析。

2.1 钻完井液体流动形态

堵塞流（Plug）：当钻井液非常粘稠并且环空返速很低时，靠近井筒中心位置的钻井液，会形成塞状流体，对钻杆壁有一定的剪切力，此时，对于碎屑上返非常不利。

层流（Laminar）：流体越靠近中心，流速越快，在离钻杆最近的位置获得最大环空返速，但是，此时在附着在井壁上的碎屑几乎静止不动，因此，对于我们清除井筒的碎屑来说，这种流动类型也不是我们所需要的。

紊流（Turbulent）：紊流会在井筒中产生横向和纵向的推动，能够将井筒中的碎屑带出到地面，通过配置合适的井下工具，采用高粘度的清洗液，旋转管柱创造紊流的环境，特别是在安全运行范围内采用一个大的排量 and 转速有利于井下清洁。

2.2 环空返速

钻井液的粘滞力提供碎屑上返的动力，环空返速直接关系到粘滞力的大小，尤其是在大位移井中（In highly deviated wells），环空返速往往是井筒清洁能否完成的最关键因素。为达到井筒清洁的要求，环空返速要求不小于 150feet/min（约合 0.76m/s）。

2.3 碎屑的下滑速度

碎屑的下滑会影响井筒清洁，需要采用高密度，提高清洗液的流动速度，以减小碎屑的下滑速度。

2.4 管柱居中度

在直井中，管柱居中度对于碎屑上返影响很小。在直井中，管柱旋转时，前后运动，对于碎屑上返影响很小。

在斜井中，若是管柱不居中，那么环空上返速度在径向上会有所不同，这时大的碎屑会向低边沉淀，并且管柱两侧上返速度不同，会造成井筒清洁不彻底。因此在大斜度井中，使用粘度系数较低、形成紊流的钻井液对于井筒的清洁效果是最好的（紊流和粘度低冲洗效果最好）。

2.5 井筒尺寸

井筒的规则及尺寸对井筒清洁影响比较大，不规则的井筒位置，

循环清井的时候流动状态也会不一致，会形成碎屑的堆积从而导致卡钻风险，只要井筒规则，尺寸的大小可以通过调节井下工具的配置形成一个优良的清洁系统。

2.6 井斜变化率

井斜变化率	碎屑沉淀趋势变化
井斜小于 10 度的井段	与直井大体相同，几乎没有向一侧沉淀的趋势。
井斜大于 10 度，小于 40 度的井段	碎屑向井筒低边轻微堆积沉淀。
井斜大于 40 度，小于 50 度的井段	在流速较低的情况下，碎屑会不断向一侧堆积在钻杆或者油管周围，堵塞环空，这时适当的提高流速可以改善岩屑上返情况。
井斜大于 50 度的井段	碎屑会快速堆积在钻杆或者油管周围，清洁困难。

2.7 管柱的旋转

旋转管柱可以减少碎屑上返阻力，冲碎碎屑，形成紊流状态，最终有利于碎屑返出地面。

2.8 碎屑形状影响碎屑的清除。

大的碎屑或者重的碎屑，会导致下滑速度增加，影响上返速度，因此在判断井筒中的碎屑比较大，或者返出来的部分碎屑比较大的时候，需要研磨大碎屑至合理的尺寸，有利于碎屑的清除。

3 井筒清洁工具

SP（Standard Performance）、EP（Extended Performance）、XP（Extreme Performance），三种系统分别有优缺点，标准清洁系统（SP）费用低、时效低，适合日费较少的陆地油田；高级系统（EP）和超级系统（XP），费用较高，但是时效性好，清洁彻底，能有效降低后续作业事故发生的概率，在深井及深水钻井中推荐使用。下面就 EP 系列中的井筒清洁工具分别进行分析。

3.1 导管刮管刷（Clean Bore Riser Brush and Boot Basket）

功能描述：上部毛刷可以有效清洁导管内壁，下部自带的捞篮可以有效回收刮下的碎屑。

工具特色：整体没有活动的部件，减少了井下落物的风险；工具外径较大，有效增加环空返速；采用了高强度的毛刷，对内壁清洁效果更好；可以承受高达 100rpm 的转速且转动时毛刷不动减少导管的磨损。

尺寸规格：可以对以下四种内径的隔水管进行清洁：19.25”、18.63”、19.63”、20.5”。

3.2 BOP Jet Sub（BOP 喷射接头）

功能描述：喷射钻井液，清除内壁的碎屑。可以清洁 BOP 内部、

导管内壁、井口头内壁、套管挂和油管挂内壁,提高环空返速。

结构原理:通过内部投堵头,堵头上下两端是截面积不同的锥面,井口打压至约1300psi,靠锥面上下的压差剪切喷射接头内部的销钉,滑阀下移,露出冲洗水眼,通过喷射功率较大的水眼,可以实现对BOP内部、井口头内壁、套管挂内壁实现充分全方位的喷射,高效地对以上部位实现清洁。

工具特色:优质的碳化钨喷嘴,可以随时根据泥浆泵功率进行更换,适应性更强;堵头内部结构可以用电缆回收,效率更高;投堵后,不会堵塞管柱内部的流通通道,便于处理紧急情况。

3.3 MTWF 工具 (Multi-Task Wellbore Filter) ——多功能过滤器

工作原理:MTWF在下入(RIH)和起出(ROOH)井筒时,下入时调整为管柱内外联通模式,可以避免压活塞情况出现,工具自动灌浆,提高下钻速度;起钻模式时,环空只有一处通道供环空液体流动,液体携带的碎屑经过MTWF的滤网时就回收到了打捞篮中。

功能描述:通过上部Baker专用毛刷和下部筛缝过滤器实现一趟下钻,同时有刮管和收集碎屑的效果。

工具应用:大位移井、大斜度井,地层薄弱的地层钻完井中可以应用,或者对井筒清洗要求极高的井中也可以配合实用。

3.4 Pump out Sub (喷射接头)

功能描述:喷射接头用于避免湿管柱起钻,以及在VACS技术(后面会分析VACS技术)中捕获落鱼后大排量循环。

结构原理:投球,剪切销钉,打开循环环。设计简单,工作稳定性好。

3.5 超级套管内剃刀刮管器 (ULTRA-CLEAN Casing Scraper)

功能描述:清刮套管内壁,清除内壁的泥饼、水泥环、射孔产生的毛刺、磨铣产生的碎屑、石蜡等。

工作原理及功能特点:

以下两种工作状态可以自由选择:

①自由旋转状态:该状态下刀片和扶正套相对套管不发生旋转,心轴可以高速旋转,从而增加环空返速和降低套管磨损。

②解卡状态:当遭遇井下复杂情况时,上提管柱,刮管器可以通过剪切相应的剪切环,实现刀片和扶正套同步转动,达到解卡效果。

3.6 VACS 喷射短节

VACS技术的概念:

所谓VACS技术是以文丘里效应为依据,通过营造局部负压(Vacuum),将井底落物等吸入工具内部,通过工具内部配备的打捞篮、过滤器等打捞工具,实现井筒清洁的一门技术。

VACS技术的典型工具结构:

VACS技术系列工具主要包含两部分,一是打捞部分,包含打捞爪、捞篮、过滤器、铣鞋等等;二是标准VACS短节(含驱动短节),其中的喷射衬套(Jet Bushing)是VACS技术的核心。

关键技术分析:喷射衬套(Jet Bushing),以后的日志里,称之为VACS短节。

VACS短节原理:巧妙的应用文丘里效应设计的工具。即意大利物理学家文丘里(Giovanni Battista Venturi)指出的高速流动的气体附近会产生低压,从而产生吸附作用的原理。

在VACS短节中,通过投入一个坐封球,此时,改变循环流道,在工具内部形成一个速流低压区,在井筒环境下,工具周围的区域为高压环境,而这个低压区域将产生一项强吸附功能,从而准确吸附井筒的碎屑。这项工具的应用可以通过钻完井管柱配置,将吸附口设置到任何深度和位置,对于复杂情况下的套铣,打捞等工艺具有极大的应用价值。也可以推广应用到深井或者高固相的井筒清洁作业中。

3.7 强磁刮管器

功能描述:通过工具携带超强磁铁,吸附井筒中的铁屑。主要应用于以下情况清除井筒里的金属碎屑;套铣作业时,回收产生的金属碎屑(不能用于粗磨,否则容易形成桥堵)。

4 井筒清洁系统应用实例介绍

应用实例:南海某深水井水深1340m,完钻井深4080m,最大井斜90°。2020年对该井实施了测试作业,井筒清洁作业中采用了多功能井筒清洁工具系统,组合为:冲洗头(410)+变扣接头(411×DSHT50 B)+5"钻杆(DSHT50 P×B)2柱+变扣接头(DSHT50 P×410)+浮阀接头(带阀芯,411×410)+9-5/8"旋转刮管器(411×410)+9-5/8"旋转刮管器(411×410)+5"短钻杆(411×410)+9-5/8"强磁刮管器(411×410)+9-5/8"强磁刮管器(411×410)+9-5/8"多功能过滤器(411×410)+5"短钻杆(411×410)+变扣接头(411×DSHT50 B)+5"钻杆(DSHT50 P×B)6柱+变扣接头(DSHT50 P×410)+变扣接头(411×TT585 B)+5-7/8"钻杆(TT585 P×B)52柱+变扣接头(TT585 P×410)+隔水管清洁刷(411×410)+变扣接头(411×TT585 B)+5-7/8"短钻杆(TT585 P×B)+5-7/8"钻杆(TT585 P×B)。期间大排量冲洗BOP组、井口,循环参数:2900L/min@750~800psi;增压泵排量:3000L/min。正循环泥浆循环冲洗干净。循环参数:2750L/min@1800~1850psi;增压泵排量:2000L/min;返出最大气测值0.6%。强磁回收20kg混合碎屑,过滤器回收16.8kg混合碎屑。检查9-5/8"旋转刮管器、强磁刮管器、套管刷及多功能过滤器状态正常,回收刮管碎屑超出多功能过滤器容积的70%。清洁效率良好,该井生产时间100%。

5 结论

(1)海上钻完井作业中,控制时间是控制成本的首要考虑,井筒清洁在整个作业周期中占比很少,但是尤为重要,能够大大降低事故发生的概率,可以有效降低完井过程中的风险。

(2)井筒清洁工具多样,每一种工具设计巧妙,各有优势,根据实际作业井的井筒特性,科学组合井筒清洁工具能够有效实现清洁任务,又能提高作业效率,从而降低作业成本。

(3)多功能井筒清洁系统在某深水井的应用情况表明,该工艺具有可操作性,清洁及回收效果优良,一趟钻时效整个井筒系统清洁工作。国内海上油气田可以根据自身情况引进和推广使用该井筒清洁工艺。

参考文献:

- [1] 李舜水,唐鹏磊,吴健.东海大位移井完井技术研究与应用[J].海洋工程装备与技术,2020,7(1):6.
- [2] 闫彦铄.多功能井筒清洁器在渤海油田分支水平井应用[J].石油矿场机械,2020,49(1):4.
- [3] 余涵,刘全全.井筒清洁"四合一"新理念工程应用分析[J].石化技术,2018,25(4):2.