

旋转台肩式螺纹的粘扣问题分析

王振志¹, 李艳丽¹, 廖红玲²

(1. 石家庄探矿机械厂, 河北 石家庄 050081; 2. 广东天乐通信设备有限公司, 广东 佛山 528300)

摘要: 螺纹粘扣是钻具失效的常见形式。旋转台肩式螺纹在目前的钻具螺纹中占很大比例。通过对旋转台肩式螺纹粘扣产生原因的分析, 指出材料、加工和使用因素对螺纹粘扣都会产生直接影响。提出了预防粘扣的主要措施。

关键词: 旋转台肩式螺纹; 粘扣; 钻具; 钻具失效

中图分类号: P634.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)01-0043-04

Analysis on Thread-sticky in Rotary-shouldered Threads/WANG Zhen-zhi¹, LI Yan-li¹, LIAO Hong-ling² (1. Shijiazhuang Exploring Machinery Plant, Shijiazhuang Hebei 050081, China; 2. Guangdong Tianle Telecom Equipment Ltd., Fuoshan Guangdong 528300, China)

Abstract: Thread-sticky is a popular failure mode of drilling tool, and rotary-shouldered thread takes a great proportion in drilling string thread. By the analysis on the cause of thread-sticky in rotary-shouldered threads, it is put forward that the manufacture material, processing and operation factor have direct influence. The paper suggested the main measures for thread-sticky prevention.

Key words: rotary-shouldered thread; thread-sticky; drilling tool; drilling tool failure

0 引言

旋转台肩式螺纹广泛应用于各种钻具的连接。钻具在施工中受力情况非常复杂, 在正常的旋转钻进中, 不仅要承受拉压、扭转、弯曲, 还要承受内压、外压、热循环等综合应力的作用, 而在整个钻具中螺纹连接部位是最薄弱的环节, 在现场使用中钻具失效形式之一便是螺纹粘扣, 此类失效约占整个钻具失效的 50% 以上。由于螺纹粘扣导致钻具失效事故频繁发生, 影响了钻井工程的正常进行。因此, 对旋转台肩式螺纹的粘扣问题进行分析探讨, 对预防和减少钻具失效事故有实用意义。

1 粘扣的形式

粘扣是一种发生在相互接触金属表面间的冷焊。根据粘扣的程度, 可分为轻度粘扣、中度粘扣和严重粘扣。轻度粘扣时, 螺纹牙型出现轻微变形或局部牙型磨损、掉块, 但不影响螺纹的拆卸和使用; 中度粘扣时, 螺纹拆卸困难, 强力拆卸后可见明显的螺纹损伤, 如大面积牙型磨损等, 如不修复, 无法按原设计紧密距使用; 严重粘扣时, 螺纹副无法卸开, 采用破坏手段剖开后, 可见螺纹牙侧撕裂, 公母螺纹相互嵌入, 即冷焊在一起。按粘扣发生的部位, 可分

为螺纹中部粘扣、台肩面损伤和其他部位粘扣, 螺纹中部(即在螺纹母线中部)粘扣比较常见, 约占粘扣现象的 80%, 其余两种发生的概率较少。螺纹粘扣的宏观形貌见图 1。



图 1 螺纹粘扣的宏观形貌

2 粘扣产生的原因

影响螺纹粘扣的因素是多方面的, 甚至是几个因素的综合结果, 但导致螺纹粘扣的根本原因是钻具在连接过程中, 相互接触的公母螺纹螺旋表面存在一定的粗糙度或形状误差, 在摩擦力的作用下从点接触开始, 造成局部接触点上的应力非常高, 超过螺纹基体屈服点的许用接触应力, 从而产生塑性变形, 达到一定程度, 螺纹接触点两侧会发生局部再结

收稿日期: 2010-08-24

作者简介: 王振志(1963-), 男(汉族), 河北石家庄人, 石家庄探矿机械厂教授级高级工程师, 机械设计专业, 硕士, 长期从事探矿工程机械研发工作, 河北省石家庄市中山西路 788 号, hb_shitan@163.com。

晶、扩散或熔化等变化,表面之间极易粘合形成冷焊。

2.1 材料因素

许用接触应力与材料的强度、硬度有关,按 API SPEC 5DP 规定,钻杆接头内螺纹的硬度应在 285 ~ 341 HBW,屈服强度在 827 ~ 1138 MPa,拉伸强度 \geq 965 MPa,如上述指标没有达到,螺纹表面的接触应力就会降低。

2.2 加工因素造成的螺纹副几何偏差

钻具螺纹一般为特梯形螺纹,牙型角、牙侧角、锥度、螺距等均影响螺纹副的几何精度,理想的状态是,除牙顶与牙底留有间隙外,牙侧工作面全接触,但加工中的偏差是必然的。

2.2.1 牙型角与牙侧角偏差

当螺纹副的牙型角或牙侧角不一致时(见图 2),接触的部位将承受比正常时更高的挤压应力,这种挤压应力的结果,一是使牙型变形,即俗话说的一边倒,二是接触部位过快、过早地磨损,严重时影响拆卸,即产生粘扣现象,现场操作人员经常说螺纹看着很好用着很“肉”,就是因为螺纹变形后,不同接头之间互换时,需克服已发生的变形所致。

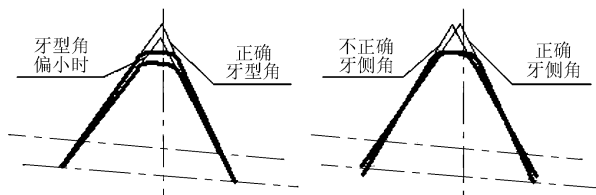


图2 牙型角与牙侧角偏差

2.2.2 螺距偏差

螺距偏差的后果是造成螺纹副的牙型单侧接触及在螺纹全长上的局部接触,对于单侧接触而言,情况与牙型一边倒相似,对于局部接触,则使螺纹副中的少数几个牙承受载荷,造成牙型变形或表面挤毁,一般螺距偏差造成的粘扣在螺纹全长的中部至螺纹小端的长度上。

2.2.3 锥度偏差

锥度偏差使螺纹副全长上的每个牙型的工作高度发生变化,不论是大端或小端接触,同样产生受载不均匀现象。相关研究人员通过对国内油田发生的钻具粘扣现象的分析发现,外螺纹锥度偏于下限,内螺纹锥度偏于上限都容易造成粘扣现象的发生。

2.2.4 紧密距偏差

旋转台肩式螺纹的紧密距是一个很重要的综合参数,在牙型角、锥度、螺距等单项测量合格的基础

上,将紧密距的偏差控制得越小,螺纹的精度越高。理想的状况是,当螺纹副即将拧紧时,即公、母螺纹中径重合时,公母螺纹的 2 个台肩也接触在一起,再施加到预紧力矩时,螺纹副之间、台肩面之间均产生一个弹性变形,此时的螺纹副就成了一个整体,那么多大的紧密距是适宜的呢?以 NC38 螺纹为例,API 给出的范围是:公螺纹 $S_2 \begin{matrix} +0.254 \\ -0.127 \end{matrix}$,母螺纹 $(S - S_1) \begin{matrix} +0.254 \\ 0 \end{matrix}$ (其中:S 为校对塞规与校对环规的配对紧密距值; S_1 为校对环规对工作塞规的互换紧密距值; S_2 为校对塞规对工作环规的互换紧密距值)。

经推算,公母螺纹之间最大正紧密距 0.254 mm,最大负紧密距 0.381 mm,此紧密距值经多年实践证明是合理的、可靠的。这里需要指出的一个问题是,关于紧密距测量的真实性问题,由于部分工厂的检验作业达不到 API 所规定的现场检验条件,不使用规定的扭矩锤,螺纹表面不能用油布擦拭干净,因此所测螺纹的单面螺距是不真实的,配对紧密距很可能是超差的。

紧密距超差的危害在于,如正紧密距过大,牙侧已经全部接触,而台肩面之间有距离,须继续上紧,造成牙侧过负荷而粘扣;如负紧密距过大,牙侧未接触时,台肩面已接触,此时只有螺纹小端与台肩面受载荷,极易造成螺纹小端及台肩面粘扣。

2.3 使用因素

2.3.1 螺纹脂使用不当

螺纹脂的作用除了降低螺纹旋合过程中的摩擦系数,在螺纹和台肩面之间形成一层致密的油膜,防止螺纹副干摩擦而损伤表面之外,还有一个更重要的作用是当公母接头上紧后,螺纹脂中的金属颗粒受到压力变形,填充了螺纹副及台肩面之间的间隙,形成“金属圈”,使接触面受载均匀。但在使用时经常发生螺纹脂选择不当或者使用不规范的情况,例如若台肩处螺纹脂涂抹不均匀,出现了空白处,那么在形成的“金属圈”上就会有间隙和凹口,这样就会使高压钻井液漏失,刺坏台肩和螺纹,冲走螺纹脂及其中的金属填充剂,当继续钻进时,会发生粘扣现象,见图 3。另外,在多年的现场实践中,经常发现有人认为泥浆就可以做润滑液,这种认识是非常错误的,事实上泥浆不但不能做润滑液,而且由于泥浆中的岩液颗粒在螺纹副中扮演了磨粒作用,反而加快了螺纹表面损伤的速度。

2.3.2 操作不当

螺纹副的旋合有 2 要点忌禁,一是未对正,二是转速太高。现场作业中处于旋接状态的钻杆均由游



图3 由于缺乏螺纹脂而使螺纹粘扣

动滑车(大钩)悬吊,滑车中心与转盘中心不对中(或司钻放绳量太大),都将使公、母螺纹的中心线处于斜交状态,此时若强力拧紧,势必造成接触牙型的损伤,更不必说公母对扣瞬间的冲击对螺纹副的损伤了。现场操作中,凡有规律的螺纹中部粘扣均与上述原因直接相关。转速太高时,即便已对正的螺纹也会发生咬牙现象,严重时,其中一螺纹的齿顶就会损伤偶合螺纹的齿面。

2.3.3 旋紧扭矩不合理

每一对旋转台肩式螺纹都有其设定的旋紧扭矩,当扭矩过小时,螺纹副之间没有达到预紧状态,在公母接头相互接触的台肩处没有形成足够的负荷,无法产生足够的弹性压缩变形,当钻具受压、振动或发生弯曲时,接头反复摆动,螺纹就会被反复松紧而研磨,导致螺纹变尖(见图4),或者台肩面分离,失去密封作用而发生被刺漏事故,公螺纹也会因为失去台肩面支撑致使在公接头根部与母接头啮合的第一扣附近出现应力集中区而发生根部折断。



图4 扭矩过小,螺纹被反复研磨变尖

当旋紧扭矩过大时,牙型侧面和台肩面的载荷都会增大,如超过允用应力,就会发生挤毁现象,如继续下井使用则会产生粘扣。

2.3.4 维护保养不当

在运输、吊装的过程中钻具螺纹很容易被磕碰,不管是牙型面还是台肩面,受到损伤的螺纹副再旋紧时,都会对偶合面产生破坏作用,严重时咬入对方

体内,即产生粘扣现象。另外,发生锈蚀的螺纹表面摩擦系数增大后,旋合时也容易造成表面损伤。

3 预防粘扣的措施

3.1 适当提高材料硬度,做好表面处理工作

目前制造接头的材料有 4137H、35CrMo、40Cr 等,笔者认为应采用与钢厂协议订货的方式,降低其中的 P、S 含量,这样材料的硬度就可以提高,根据笔者的经验,当 P 含量 $<0.020\%$, S 含量 $<0.015\%$ 时,材料的淬透性增强,螺纹副中径处的硬度可增加 2HRC,而屈服强度、拉伸强度等物理性能均不降低。此外,螺纹副的表面处理对于防止粘扣起着至关重要的作用,目前有物理和化学两种手段。物理手段主要是采用冷滚压、激光或等离子淬火等,目的在于改善表面的粗糙度,并提高硬度。化学手段有渗氮、磷化和镀铜等,渗氮的目的是提高表面硬度和抗咬合能力,一般渗入深度为 0.3 mm,但要注意对非螺纹表面的保护,避免为后续打捞带来不便;磷化和镀铜都是在螺纹表面形成一层 0.01 mm 左右的保护膜,加大表面的含油性,降低摩擦系数,当螺纹表面可能发生粘连时,起到保护使用。经过表面处理的螺纹,发生粘扣的概率 $<0.1\%$ 。

3.2 提高螺纹的几何精度

3.2.1 正确选择加工设备和刀具

目前有效的方法是选择高精度数控机床加工,采用成型的合金刀具,不但确保了螺纹的几何参数如螺距、锥度、牙型角等,螺纹表面粗糙度非常低,且紧密距一致,互换性能好。

3.2.2 缩小螺纹加工公差

《石油天然气工业旋转钻井设备第 2 部分:旋转台肩式连接螺纹和测量》(ISO 10424-2)规定了旋转式台肩螺纹加工与测量标准,可以看出该规范为螺纹的几何参数规定了较为宽松的加工公差,但这在两方面对螺纹的精度产生了影响,一方面是影响螺纹配合的过盈量,从而影响螺纹的接触应力;另一方面由于齿高、牙型角和锥度公差的变化可导致螺纹间隙的增大,从而增大泄露通道。生产厂家可结合自身的实际情况,制订严于 API 规范的螺纹加工内控公差,一般控制在 API 标准公差的 1/2 或 2/3,这在一定程度上可以提高螺纹的密封性,增强抗粘扣能力。比如在紧密距公差控制上,根据我们的经验,用数控车床加工的螺纹,螺纹中径 >90 mm 时,宜选用正紧密距,螺纹中径 <90 mm 时,宜选用负紧密距,这样发生粘扣现象的概率很低。

3.3 提高现场操作水平

多年的实践证明,新螺纹副比旧螺纹更容易发生粘扣现象,广大钻探工作者也发明了许多行之有效的办法来减少粘扣现象,如钻具螺纹在下井之前的三紧三松办法,即新钻具入井前,有意识地按上紧力矩上紧3次,松开3次,然后下井;还有的井场上使用了专用的丝扣膜,在新钻具下井前套在公螺纹上。这些方法都是有益的尝试,但还应注意以下几点。

(1)每次下钻前,加强钻具的探伤和检验,钻具的检验和探伤可分为3个层次进行:第一是井队在起下钻时快速目测检测;第二是专门人员在现场管架上进行目测及使用仪器检验;第三是在管子站进行全面严格的分级检验。要做到损坏了的钻具坚决不能下井,即使是轻微的损坏,也可能造成螺纹连接的漏失或松动,对于轻微损坏的钻具可以使用专用工具在现场修复,对于损坏较为严重的钻具应由修理车间进行修复。

(2)要保证对扣前丝扣的清洁度,用清水、毛刷去掉丝扣表面的泥浆污物,再均匀涂抹螺纹脂。选用合适的螺纹脂是非常关键的,螺纹脂作为螺纹连接中的一种必不可少的物质,不仅可增强螺纹的润滑性、提高螺纹的密封性,更重要的是合适的螺纹脂有助于减轻螺纹过度上紧,从而起到防止螺纹粘结的作用。在很高的扭力负荷下,普通的润滑脂将被挤出,螺纹副之间的分离油膜就会被破坏,然而含有软金属填充料的螺纹脂,不会那么容易被挤出,而且可以承受较大的扭力。根据多年经验,推荐锌基螺纹脂,此种螺纹脂含40%~60%(质量比)的细锌粉,这些固体填料中的软金属在螺纹接触压力的挤压下,形成固体颗粒的聚结,并堵塞了存在于啮合螺纹牙侧间的泄漏管道而形成密封,同时改变了螺纹之间的接触表面状态,降低了齿面的接触应力,从而对螺纹粘扣起到很好的预防作用。值得注意的是,按照API BULL 5A2生产的螺纹密封脂不能用于旋转台肩式螺纹,这种螺纹脂是用于油管 and 套管的,它是一种低摩擦系数螺纹脂,仅适用于低扭力。这种螺纹脂在施工现场很常见,钻井人员一定要避免误用,否则会由于紧扣扭矩不足而导致钻具事故。

(3)要严禁上扣时的野蛮操作,避免将公接头

端部冲击到母接头台肩上,否则容易造成公接头碰撞、母接头台肩面凹陷而影响台肩面密封性。另外,旋扣之前必须保证公母接头对中,如果有接头摇摆或卡阻现象,勿用高速旋紧强行上扣,否则会严重损坏螺纹,这时可以用大钳以左旋方向稍稍回转一下,让公母接头松脱,提起立柱,轻微转动,然后再对扣,也可以人工旋紧1~2扣再进行机紧作业,且司钻要随着旋紧情况松放刹把,保证钻杆垂直。

(4)要正确使用大钳紧扣,现在更广泛应用的上扣方式是转盘-垫叉和锚头轮-大钳方式,此种上扣方式均无法直接测得紧扣扭矩,全凭司钻的经验,因此建议使用可测扭矩的液压钳,按《套管和油管的维护与使用推荐作法》(API RP 5C1-1999)和《石油天然气工业套管和油管的维护及使用》(GB/T 17745-1999)推荐的上扣速度和上扣扭矩进行旋紧,一方面避免上扣速度过高以致在旋合过程中产生大量热量,导致粘扣的发生;另一方面,避免上扣扭矩不足或上扣扭矩过大导致螺纹受损或粘扣的发生。

(5)在钻杆移动和上架时,要保证护丝帽的完整,防止丝扣及台肩面损伤,钻杆在现场放置时要用木垫板卡紧接头,避免钻杆滚动;同时要做好钻杆停用期间的螺纹防护工作,避免氧化和锈蚀。

4 结语

本文以旋转台肩式螺纹为例,分析了粘扣产生的原因,并提出了预防措施。以上分析研究对地质钻杆接头螺纹以及绳索取心钻杆接头螺纹具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 史交齐,林凯,解学东,等.提高API螺纹油管和套管密封性的措施[J].石油机械,2002,(3)
- [2] 袁光杰,姚振强.石油套管螺纹连接抗粘扣技术的研究现状及展望[J].钢铁,2003,(11).
- [3] 张焱,刘坤芳,曹里民,等.石油钻铤螺纹失效的机理分析[J].探矿工程,2000,(6).
- [4] 万里平,孟英峰,等.钻柱失效原因及预防措施[J].钻采工艺,2006,(1).
- [5] ISO 10424-2,石油天然气工业 旋转钻井设备 第2部分:旋转台肩式螺纹连接的加工与测量[S].