

长圆螺纹套管接头工厂端滑脱失效原因分析

潘志勇, 韩礼红, 王建军, 王建东, 王新虎, 宋成立, 丁 晗, 张庶鑫

(中国石油集团石油管工程技术研究院, 陕西 西安 710077)

摘 要: 分析长圆螺纹套管接头工厂端发生脱扣事故的原因。观察失效试样的宏观形貌, 检测套管材质的理化性能, 对比分析脱扣接箍不同位置的外径、失效试样螺纹锥度, 并对同批次套管试样进行实物对比试验, 对螺纹接头进行拉伸条件下的有限元模拟分析。结果显示: 失效套管材料屈服强度小于 API Spec 5CT—2011 标准要求值; 螺纹接头工厂端上扣位置满足相关标准要求; 脱扣接箍不同位置外径差异较小; 脱扣接箍工厂端螺纹锥度波动范围较大; 有限元力学模拟分析反推接头工厂端不会在上扣痕迹位置发生脱扣失效。长圆螺纹套管接头工厂端发生滑脱失效的主要原因是套管材料屈服强度偏低和现场浮动上扣导致螺纹接头发生松动。

关键词: 套管; 圆螺纹; 接头; 滑脱; 失效分析; 屈服强度; 浮动上扣

中图分类号: TG335.71; TE931+.2 文献标志码: B 文章编号: 1001-2311(2018)03-0072-04

Analysis of Causes for Mill-end Dropout Failure of Casing-used Long Round Thread Connection

PAN Zhiyong, HAN Lihong, WANG Jianjun, WANG Jiandong,

WANG Xinqu, SONG Chengli, DING Han, ZHANG Shuxin

(CNPC Tubular Goods Research Institute, Xi'an 710077, China)

Abstract: Analyzed in the paper are the causes for mill-end dropout failure of the casing-used long round thread connection. The analysis involves such activities as observing the macro-morphology of the failure sample, testing the physical and chemical properties of the casing material, conducting a contrastive analysis of the dropout coupling's OD at different positions, checking the thread taper of the failure sample, performing contrastive physical object tests to samples from casings of the same lot, and making FE simulation analysis of the thread connection under tensile conditions, etc. The result shows that the yield strength of the failure casing's material is less than the value as specified under API Spec 5CT—2011; the make-up position of the thread connection mill-end is up to the requirement under the applicable specification; the dropout couple's outside diameter at different axial location is consistent and shows little difference; and variation scope of dropout couple's thread taper at mill-end is rather high. Moreover, it is inversed via the FE simulation analysis that it is impossible for the thread connection mill-end to drop out at the make-up trace location. It is therefore concluded that the said dropout failure is caused mainly due to the rather low yield strength of the casing material, and looseness of the thread connection itself as caused by the on-the-site float make-up operation.

Key words: casing; round thread; connection; dropout; analysis of failure; yield strength; float makeup

石油行业使用的 API 螺纹形式主要有圆螺纹和偏梯形螺纹。偏梯形螺纹抗轴向拉伸或压缩能力

强, 螺纹接头的连接强度能达到管体强度, 但其密封性能较差。圆螺纹牙型为三角形, 牙形角为 60°, 牙形角平分线与轴线垂直, 牙顶和牙底均为圆形, 当螺纹旋紧后, 内外螺纹牙侧面紧密配合, 牙顶和牙底之间挤满密封螺纹脂, 因而圆螺纹接头具有好的密封性能, 适合在中低压气井或油井中使

潘志勇(1976-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事管柱力学计算、特殊螺纹接头设计开发、油套管工况适用性评价等研究以及石油管材与装备的失效分析和预防。

用,但由于其牙形特点,圆螺纹在承受轴向载荷时易发生变形,圆螺纹接头的连接强度仅为管体强度的60%~80%。由于油田现场情况复杂,圆螺纹接头的脱扣失效容易发生在现场端,为减少或避免滑脱失效事故的发生,很多学者针对现场端的脱扣进行了研究^[1-10]。本文分析了一起长圆螺纹套管接头工厂端发生脱扣的原因。发生套管脱扣失效的井为直井,井深3 710 m,失效套管为P110钢级LC螺纹 $\Phi 139.7\text{ mm}\times 9.17\text{ mm}$ 规格,落鱼长度3 695 m。

1 宏观分析

脱扣接箍工厂端螺纹导向面和螺纹承载面形貌如图1所示。螺纹导向面摩擦痕迹明显,摩擦形貌延伸至第22扣;螺纹承载面摩擦痕迹也延伸至第22扣。因此,推断工厂端内螺纹已上扣到第22扣。

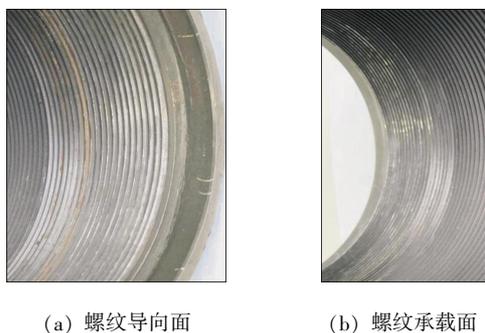


图1 脱扣接箍工厂端螺纹导向面和螺纹承载面形貌

与脱扣接箍工厂端连接的外螺纹形貌如图2所示,可见1~22扣螺纹导向面及承载面较为光亮,超过22扣的螺纹导向面及承载面均存在锈迹和固化的螺纹脂,推测外螺纹已上扣到第22扣。



图2 与脱扣接箍工厂端连接的外螺纹形貌

脱扣接箍工厂端端面形貌如图3所示,端面整圈磨损明显,表面光滑发亮,说明端面在承受挤压的同时存在相对滑动。



图3 脱扣接箍工厂端面形貌

2 尺寸检测

将脱扣接箍从工厂端到现场端沿轴向均匀分成9段,检测每一段0°方位、45°方位、90°方位、135°方位的外径,脱扣接箍不同截面处的外径如图4所示。从图4可以看出:脱扣接箍外径符合API Spec 5CT—2011《套管和油管规范》要求,整体上工厂端与现场端外径相同,未见局部外径增大现象。

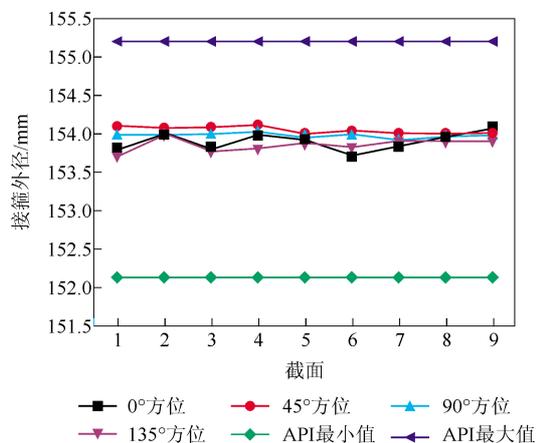


图4 脱扣接箍不同截面处的外径

检测脱扣接箍工厂端和现场端螺纹以及脱扣套管外螺纹0°方位、90°方位的锥度,结果如图5~7所示。结果显示:脱扣接箍现场端螺纹锥度符合API Spec 5B—2008《套管、油管和管线管螺纹加工、测量和检验规范》要求;但脱扣接箍工厂端少数内螺纹和脱扣套管少数外螺纹锥度不满足API Spec 5B—2008标准要求,且波动范围较大。

但是,套管脱扣过程中,由于脱扣螺纹部位受到变形损伤,导致部分螺纹锥度发生变化;因此,检测结果不能作为原始螺纹的判定依据。

3 材质分析

在脱扣接箍和工厂端管体上取样,用ARL 4460直读光谱仪和LECO CS-444型红外碳硫分析

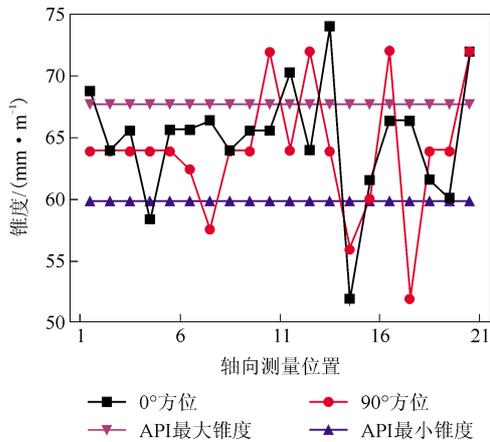


图5 脱扣接箍工厂端螺纹锥度

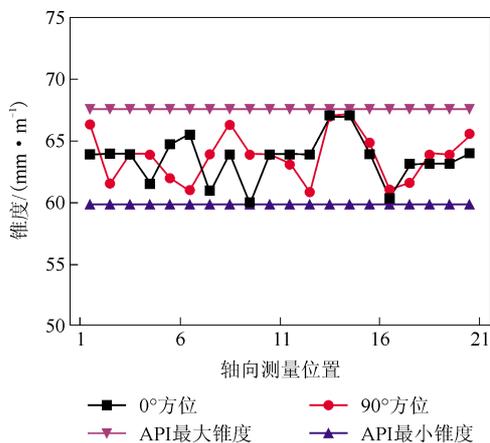


图6 脱扣接箍现场端螺纹锥度

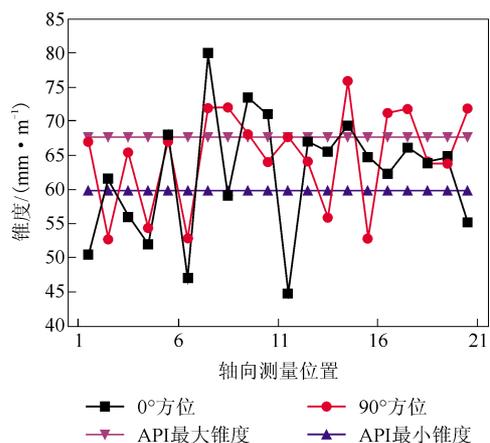


图7 脱扣套管外螺纹锥度

仪检测化学成分，接箍和管体化学成分符合 API Spec 5CT—2011 标准要求。

在脱扣接箍上截取 $\Phi 6.25$ mm 圆棒纵向拉伸试样，在工厂端管体上截取标距为 25.4 mm 的板状纵向拉伸试样，分别在室温条件下进行拉伸试验。在

脱扣接箍和工厂端管体上分别截取 $5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$ 夏比 V 型缺口横向冲击试样，并在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下进行冲击试验。试验结果显示：接箍拉伸试验结果和冲击试验结果以及管体冲击试验结果符合 API Spec 5CT—2011 标准要求，管体屈服强度略低于 API Spec 5CT—2011 标准要求。

4 有限元模拟分析

对螺纹接头进行拉伸条件下的有限元模拟分析，接箍中性横截面轴向固定，径向自由，摩擦因数 0.02，材料强度取实测数据，有限元模拟分析条件见表 1，采用理想弹塑性模型进行分析。

表1 有限元模拟分析条件

载荷种类	上扣过盈圈数	轴向拉伸载荷/kN	载荷依据
I	2	2 437	ISO/TR 10400 要求的最小滑脱强度
II	1	1 050	上提鱼头重
III	0	1 050	上提鱼头重
IV	-1	1 050	上提鱼头重

对齿顶与齿底分离距离较大的轴向位置进行编号，轴向不同位置编号如图 8 所示，轴向不同位置齿顶与齿底径向距离如图 9 所示。可见，III、IV 类载荷情况下螺纹齿顶与齿底分离距离已大于 I 类载荷情况，这就意味着 III、IV 类载荷情况下螺纹接头已存在脱扣风险，并且 IV 类载荷情况下脱扣风险较大。所以，螺纹松扣配合会大大降低接头的连接强度，容易导致脱扣的发生。

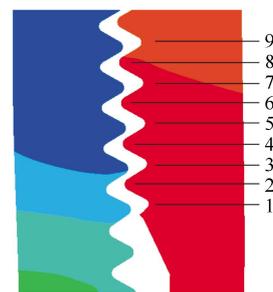


图8 轴向不同位置编号

螺纹接头在 I 类载荷条件下的应力分布及变形如图 10 所示。可见，外螺纹套管径向最大变形发生在第 18~19 扣，接箍径向最大变形发生在镗孔和螺纹过渡处，如果接头在 I 类载荷条件下发生脱扣，径向最大塑性变形也将发生在相应位置。工厂

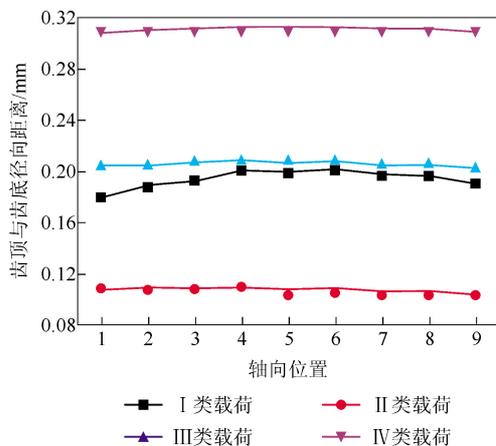


图9 轴向不同位置齿顶与齿底径向距离

端套管外螺纹宏观观察未见凹陷变形,脱扣接箍镗孔和螺纹过渡处未见鼓胀变形,所以脱扣事故发生时螺纹接头位置不在第22扣。

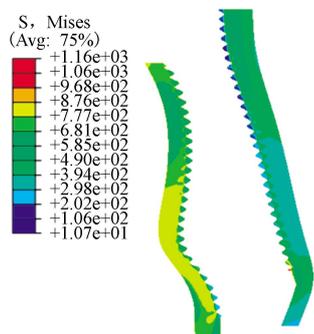


图10 螺纹接头在I类载荷条件下的应力分布及变形

5 综合分析

对现场同批次试样螺纹参数进行检测,结果符合 API Spec 5B—2008 标准要求。选取两根试样上扣后进行拉伸至失效试验,一根试样手动拧紧上扣至外露外螺纹3扣,另一根试样按最小扭矩上扣,两种情况下螺纹接头的连接强度均符合 ISO/TR 10400—2007《石油和天然气工业 套管、油管、钻杆和作为套管或油管使用的管线管的性能用公式和计算》要求,所以圆螺纹接头只有在较松的配合条件下其连接强度才会达不到标准要求。根据螺纹接头有限元模拟分析结果,可推断脱扣事故发生时螺纹接头上扣位置不在第22扣且承受的拉伸载荷小,脱扣接箍外径检测显示工厂端与现场端外径相同,未见局部外径增大现象,也说明螺纹接头失效时的上扣位置不在第22扣,而宏观分析显示工厂端螺纹接头上扣位置达到第22扣。综合以上分析,推断脱扣事故是在螺纹配合松动后发生的。管体屈服

强度略低于 API Spec 5CT—2011 标准要求,这对于接头脱扣有促进作用。

现场采用浮动方式上扣,上扣过程中坐在吊卡上的接箍未使用大钳夹持,根据脱扣接箍工厂端面形貌,浮动上扣过程中接箍与吊卡发生相对转动,即套管柱在浮动上扣过程中发生了转动。套管柱长达3700 m,由于受到井壁摩擦阻力和泥浆粘滞阻力的作用,套管柱类似一根扭转弹簧,在由上至下转动传递过程中会储存变形机械能,能量达到极限时会突然释放,结果导致套管柱发生突然反转,由于井口吊卡处接箍受到最大的转动阻力,此处螺纹接头受到的卸扣扭矩最大,容易导致螺纹接头发生松扣。

6 结论

脱扣事故发生在长圆螺纹套管接箍工厂端,脱扣失效是在螺纹发生松动条件下发生的;现场浮动上扣引发螺纹接头发生松扣;有限元模拟分析法是一种研究螺纹接头受力状态的重要方法。

7 参考文献

- [1] Lu Shuanlu, Han Yong, Terry Changyi Qin, et al. Analysis of well casing connection pullout[J]. Engineering Failure Analysis, 2006, 13(4): 638–645.
- [2] 潘志勇, 陈鹏, 王建军, 等. 某井偏梯形螺纹接头脱扣原因分析[J]. 金属热处理, 2012, 37(4): 124–127.
- [3] 潘志勇, 燕铸, 刘文红, 等. 两起套管脱扣失效的典型案例分析[J]. 钻采工艺, 2012, 35(5): 83–86.
- [4] 潘志勇, 宋生印, 刘文红, 等. 某井圆螺纹套管接头滑脱事故分析[J]. 石油矿场机械, 2011, 40(12): 20–24.
- [5] 申昭熙. 材料形变强化和摩擦系数对圆螺纹接头滑脱性能的影响[J]. 应用力学学报, 2008, 25(2): 293–295.
- [6] 高连新, 史交齐, 金焯. 上扣扭矩对圆螺纹套管连接强度的影响[J]. 天然气工业, 2005, 25(2): 87–89.
- [7] 齐俊林, 罗维东, 张宏, 等. 圆螺纹套管接头上扣与滑脱的数值模拟[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 1998, 22(4): 68–71.
- [8] 杨富荣, 薛自建, 韩旭, 等. 某油田 N80 钢级长圆螺纹套管螺纹黏结原因分析[J]. 钢管, 2015, 44(3): 55–58.
- [9] 吕拴录, 袁鹏斌, 张伟文, 等. 某井 N80 钢级套管脱扣和粘扣原因分析[J]. 钢管, 2010, 39(5): 57–61.
- [10] 张连业, 王双来, 彭娜. 某井油管脱扣原因分析[J]. 钢管, 2012, 41(5): 66–71.

(收稿日期: 2017-07-28; 修定日期: 2017-08-30)