

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.07.014

复合载荷作用下特殊螺纹套管接头性能分析^{*}

宋伟伟¹, 纪爱敏^{1*}, 李 甄¹, 樊鑫业², 许才斌²

(1. 河海大学 机电工程学院, 江苏 常州 213022; 2. 江苏常宝钢管股份有限公司, 江苏 常州 213018)

摘要:针对在复合载荷工况下石油套管易失效和易泄漏的问题,对复合载荷作用下套管特殊螺纹接头的应力水平和接触压力沿密封面的分布规律进行了研究。依据材料性能和套管接头的结构特点,对特殊螺纹套管接头进行了简化;运用 ANSYS 软件建立了套管接头的有限元模型,包括网格划分、加载和约束,然后利用 ANSYS 接触分析功能模块计算得到了特殊螺纹套管接头在上扣过盈配合、轴向拉力、内压以及复合载荷下的应力云图和接触压力云图,着重研究了套管在不同荷载作用下的连接性能和密封性能。研究表明:复合载荷中的各个单一载荷对套管接头的性能影响是不同的;轴向拉伸荷载对扭矩台肩和主密封密封性能影响较大,内部压力的增大能够提高接头的密封性能。

关键词:特殊螺纹;ANSYS;接触分析;复合载荷;性能分析

中图分类号:TH131.3;TE319

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)07-0954-04

Analysis on ability of premium thread casing connection under complex loads

SONG Wei-wei¹, JI Ai-min¹, LI Qian¹, FAN Xin-ye², XU Cai-bin²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China;

2. Jiangsu Changbao Steeltube Co., Ltd., Changzhou 213018, China)

Abstract: Aiming at the problem of oil casing which is prone to failure and leak under complex loads, the stress and the contact pressure distribution rule of premium thread casing connection under complex loads along the sealing surface were investigated. According to the material properties and structural characteristics of casing connection, the model of casing connection was simplified; the finite element model of the casing connection was established in ANSYS software, including meshing, loading and constraint handle. Then the contact analysis module of ANSYS was used to calculate stress nephogram and contact stress nephogram under the make-up, the axial tension, the internal pressure and complex conditions. The connection and sealing performance of premium thread casing connection under different loads were investigated. The results indicate that each single load has a different effect on performance of connection. Axial tension has a greater influence on the sealing performance of connection. The internal pressure is beneficial to improve the sealing performance.

Key words: premium thread; ANSYS; contact analysis; complex loads; performance analysis

0 引 言

套管接头运用螺纹的连接作用,把几百根套管连接起来形成长度达到几千米的管柱,从而能够开采到贮藏在地表下石油。螺纹接头在套管连接中是最容易

失效的位置,其性能直接决定了整个套管柱的使用寿命。油套管螺纹接头一般分为两种:①按照 API 标准而生产的螺纹接头,包括圆螺纹和偏梯形螺纹的;②各个厂家根据实际使用环境而自行研究开发的特殊螺纹接头^[1]。虽然对圆螺纹和偏梯形螺纹的接头的研究

收稿日期:2015-01-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175146)

作者简介:宋伟伟(1990-),男,江苏阜宁人,主要从事数字化设计方面的研究。E-mail:sww101052@163.com

通信联系人:纪爱敏,男,教授,博士生导师。E-mail:jam@ustc.edu

较早,同时加工这两种螺纹的设备和技術都比较完善,能够减少很多不必要的成本。但是其存在很多缺点,如接头连接强度较低、接头应力水平高易失效,密封性能不可靠。随着油气资源钻采技术的不断提高,出现了很多深井、超深井和天然气井,使得油套管接头的使用条件更加的恶劣,API 螺纹由于本身存在的缺点已经不能满足日益恶劣的使用环境,各大油套管接头的生产厂商开始认识到特殊螺纹接头的研究的重要性和必要性^[2-3]。随着计算机技术的不断发展,有限元方法逐渐成为了一种方便有效的分析问题的方法,已经在很多领域得到了非常广泛地使用。利用有限元方法对在复合工况下套管螺纹接头进行力学性能分析,可以降低套管设计的周期和设计成本,也为套管设计提供了比较科学详细的论据^[4-7]。

本研究选择使用 ANSYS 有限元分析软件,对外径为 177.8 mm、壁厚为 9.19 mm 的特殊螺纹套管接头进行有限元建模和性能分析,利用 ANSYS 中接触分析功能模块分析特殊螺纹套管接头在上扣过盈配合、递增的轴向拉力、递增的内压以及复合载荷下的连接性能和密封性能。

1 套管螺纹接头模型简化和网格划分

该螺纹套管接头的螺纹牙形是对偏梯形螺纹进行了稍微的调整改造而成的,同时选择使用锥面对锥面的主密封与负角度的扭矩台肩的双重密封形式,来加强套管接头的密封性能。选择 -2.5°的扭矩台肩的设计形式是为了对接头上扣进行定位控制,同时有利于提高接头的抗粘扣的能力以及抗过扭矩能力,保证接头不被破坏。套管接头的主要结构参数如表 1 所示。螺纹接头的结构示意图如图 1 所示。

表 1 特殊螺纹接头主要结构参数

外径 /mm	壁厚 /mm	承载 面/°	导向 面/°	螺纹 锥度	外螺纹牙 高/mm	内螺纹牙 高/mm
177.8	9.19	-2.5	10	1: 16	1.575	1.775

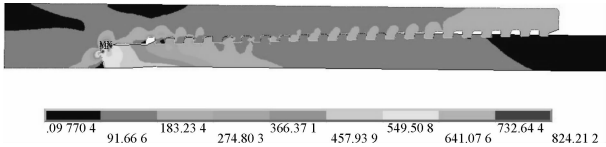


图 1 特殊螺纹结构示意图

为了保证分析结果的准确性,笔者在建模过程中考虑圣维南原理,有限元分析模型管体长度应该大于整个螺纹长度的 2 倍^[8]。为分析螺纹套管接头的管体和接箍的几何结构特征和材料特性,本研究在建模过

程中运用以下几个假设条件^[9-10]:套管接箍内螺纹在接箍的中间面两边是对称的,所以取中间面的一边进行有限元建模;接头和套管关于中心轴线对称,连接螺纹有螺纹升角,考虑到它的值很小,它对计算结果的影响忽略不计,使用二维弹塑性轴对称有限元简化模型;套管接箍和管体的材料均满足各向同性,同时当接头应力超过屈服极限后满足材料各向同性强化准则。

本研究根据套管接箍结构对称性和实际的载荷情况,约束住接箍中面沿轴向的移动,径向方向不施加约束。笔者选取 PLANE182 单元,然后在材料特性中设置套管材料的相关参数:材料的弹性模量 E 为 1.94×10^5 MPa,密度为 $8\,000\text{ kg} \cdot \text{m}^3$,泊松比为 0.3,屈服强度为 758 MPa,抗拉强度为 862 MPa。根据以上条件,本研究使用自由网格对套管接头模型进行网格划分,对螺纹和密封面的接触处的网格进行细化网格处理来增加分析的准确性。

螺纹接头在上扣后是非常复杂的非线性边界条件接触问题,套管螺纹接头的接触是典型的面-面接触,本研究采用 CONTA172 和 TARGE169 接触单元建立面-面接触对,划分完网格后在有限元模型的接触面上建立接触对;对有限元模型进行分析时,选择库伦摩擦模型来模拟套管主密封面和螺纹牙接触表面的摩擦。摩擦系数和套管的加工质量、套管的使用条件、螺纹表面粗糙度等很多原因有关,通常情况下取 0.015 ~ 0.035,本研究在分析时摩擦系数取为 0.03。由于考虑到材料在受载荷后表现出几何非线性的特点,求解过程中在 ANSYS 的求解器中把求解类型设置成大变形情况。

根据上面的描述对套管接头进行简化建模,设置单元属性并进行网格划分后得到套管接头有限元模型及加载示意图如图 2 所示。

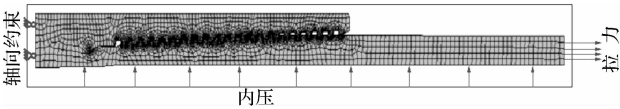


图 2 特殊螺纹套管接头有限元模型及加载示意图

2 计算结果分析

套管上扣时,螺纹接头产生过盈配合,随着螺纹的不断旋进,套管接头的应力分布和接触压力的水平会不断地变化。为了了解各载荷对螺纹接头的使用性能的影响,笔者主要研究了套管在上扣后轴向力和内部压力对接头性能的影响。

2.1 套管接头上扣后管体和接箍的应力水平分布

套管接头采用过盈配合来模拟上扣扭矩,在螺纹处

标称过盈量为 0.14 mm,密封面标称过盈为 0.321 5 mm。套管接头在上扣后 Von Mises 应力水平和分布情况如图 3 所示。

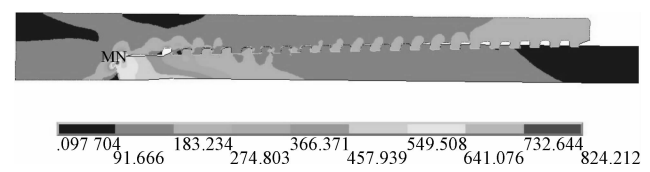


图 3 上扣完全后套管接头的 Von Mises 应力水平

由图 3 可以看出,特殊螺纹接头上扣后,套管外螺纹和接箍内螺纹彼此之间产生挤压作用,从而在螺纹接头密封面和扭矩台肩上的 Von Mises 应力都较大,密封面为 732 MPa 而扭矩台肩达到 824 MPa;应力沿着套管大端方向逐渐减小直到接近 0;在扭矩台肩面与主密封面交汇的地方存在应力集中,应力值已经大于材料的屈服强度 758 MPa,表明在交汇区域已经产生了轻微的塑性变形。但是,由于在这一区域产生的应力集中为压应力,并不会损坏套管接头,接头承载能力并没被破坏。接头管体的主密封面上的 Von Mises 应力值都处在屈服极限以下,所以主密封面上并没有产生塑性变形,防止了套管接头在旋紧过程中的粘结损伤。

2.2 轴向拉力对套管螺纹接头连接和密封性能的影响

由于套管柱受到重力的作用,螺纹接头连接处承受轴向的拉力。靠近油井口,在套管柱最上部的套管接头承受的轴向拉力最大,即整个套管柱的重量,增加了螺纹失效的可能性。为了降低风险,减小损失,必须研究不同的轴向拉力对特殊螺纹接头特性影响。

2.2.1 应力分析

计算得到套管螺纹接头在不同轴向拉伸载荷作用下的管体和接箍的应力分布云图如图 4 所示。与偏梯形螺纹接头不同,特殊螺纹套管通过螺纹部分的相互啮合来抵抗轴向拉伸载荷;螺纹部分不再起密封作用,而是通过设计的密封面和扭矩台肩的来达到密封效果。由图 4 可以看出,随着轴向拉伸载荷的不断增大,扭矩台肩和主密封面的最大等效应力从 456 MPa 增大到 481 MPa,应力的变化很小同时应力的分布变化很小,说明轴向拉伸载荷对特殊螺纹套管接头密封部分的应力水平和分布影响不大;管体的应力从 196 MPa 增大到 574 MPa,靠近螺纹接头两端的几个螺纹牙的应力也由 196 MPa 增大到了 667 MPa,表明靠近接头两端的几个螺纹牙承受了大部分的轴向拉力,轴向拉伸载荷过大,两端螺纹应力超过屈服强度,可能发生粘扣甚至失效。

2.2.2 密封性能的分析

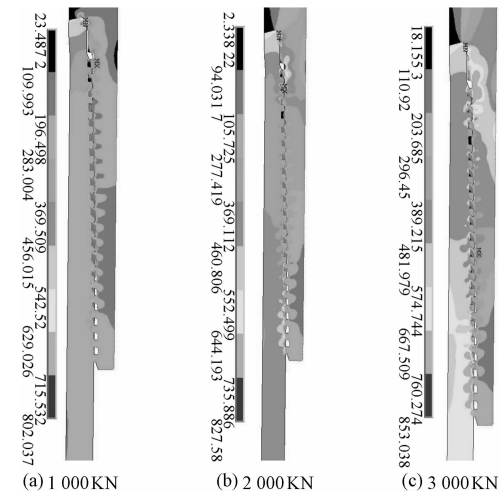


图 4 不同轴向拉伸载荷下管体和接箍应力水平

套管接头上扣后施加不同轴向拉力下主密封面和扭矩台肩的的接触压力分布如图 5 所示。

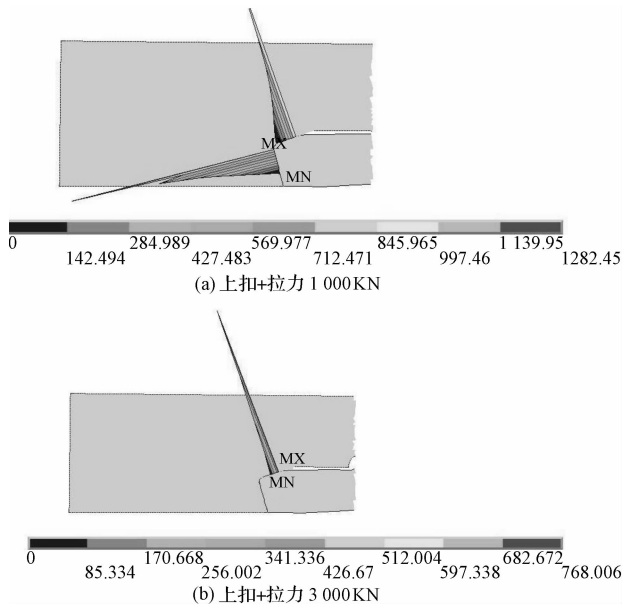


图 5 上扣后不同轴向拉力下密封面和台肩接触压力

由图 5 可知,随着距套管端部距离的增大,密封面上的接触压力的变化趋势都是先增大到最大值后迅速下降到 0。轴向拉伸载荷使套管与接箍在密封部分的产生了分离的趋势。随着放入井下套管不断增加,轴向拉力不断增加,密封面和扭矩台肩面的过盈量不断减小,降低了它们之间的接触压力,同时接触区域的面积也不断减小。由于台肩面的接触压力是轴向的,台肩面在轴向拉力的作用下接触压力下降得更为明显;当轴向拉伸载荷增加到 3 000 kN 时,扭矩台肩处就没有接触压力,从而失去了辅助密封的作用。本研究在有限元模型的主密封面取 8 个节点并查看它们的接触压力值,绘制出主密封面在不同拉伸载荷下的接触压力曲线示意图如图 6 所示。随着轴向拉力的不断增

大,特殊套管接头主密封面的接触压力从上扣作用下的1 343 MPa减小到 768 MPa,下降的程度比较明显。但是轴向拉伸荷载为 3 000 kN 时,密封面的接触压力为768 MPa,即仍然能够有效地保证螺纹接头不产生泄漏。

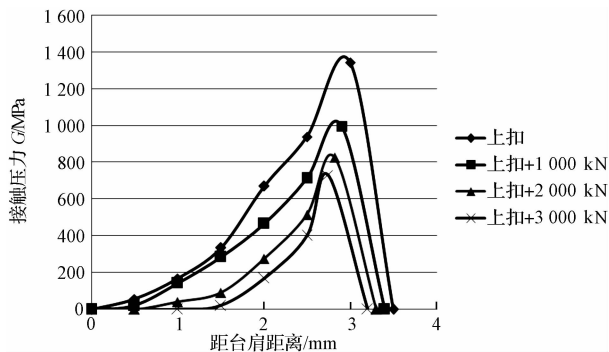


图6 上扣+不同轴向拉力下主密封面的接触压力曲线示意图

2.3 复合载荷对套管螺纹接头性能的影响

本研究对套管接头在上扣+轴向拉力 3 000 kN + 不同内压的复合载荷工况下进行计算,得到了密封面的接触压力分布云图。在主密封面上取 8 个节点并查看它们的接触压力值后绘制出的密封面的接触压力曲线如图 7 所示。特殊螺纹接头在内部压力的作用下使得套管管体和接箍出现向外扩张的趋势,因此随着内部压力不断增加,它们之间将会越来越紧。管体内部施加 20 MPa 压力时,由结果可以看出接头主密封面上的最大接触压力为 877 MPa,台肩面的为 438 MPa。随着内部压力的不断增大,接头主密封面上的最大接触压力逐渐上升到了 1 213 MPa,台肩也上升到了 539 MPa。说明在一定的范围内,管体内压越大,越有利于提高螺纹接头的密封性。

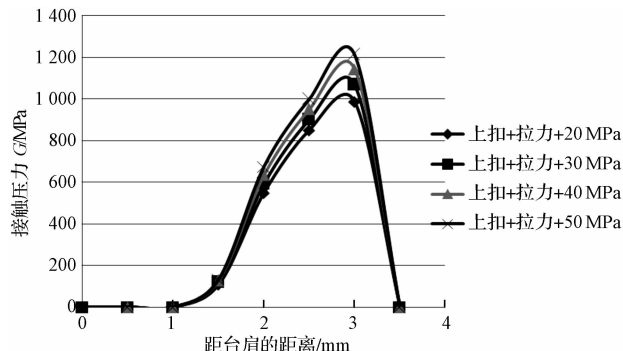


图7 复合载荷下密封面接触压力曲线

3 结束语

本研究选择使用 ANSYS 有限元分析软件,对外径为 177.8 mm、壁厚为 9.19 mm 的套管接头在上扣过盈配合、轴向拉伸载荷、内部压力载荷等复合载荷作用下的连接和密封性能进行了分析研究。通过对应力云图和接触压力云图的对比分析得到:轴向拉伸荷载对扭矩台肩和主密封密封性能影响较大,内部压力的增大能够提高接头的密封性能。该研究结果为特殊螺纹套管的设计提供了一定的参考依据。

后续研究中,笔者将对有限元模型进行参数化设计,研究各结构参数对特殊螺纹接头性能的影响,并且对套管接头进行优化设计以得到最优设计。

参考文献(References):

- [1] 美国研究会. API SPEC 5CT, 油管和套管规范: 第 8 版 [S]. API Publishing Services, 2005.
- [2] 蔡晓闻, 高连新. 我国油套管特殊螺纹接头的发展现状 [J]. 焊管, 2008, 31(4): 41-44.
- [3] SUGINO M, NAKAMURA K, YAMAGUCHI S, et al. Development of an Innovative High-Performance Premium Threaded Connection for OCTG [C]//SIMULIA Customer Conference. Providence: [s. n.], 2010: 25-27.
- [4] 吴稀勇, 闫 龙, 陈 涛. 特殊螺纹接头扭矩的分析 [J]. 焊管, 2010, 33(9): 12-14.
- [5] 赵 鹏. 石油钻杆加厚过渡区失效分析及有限元分析的研究现状 [J]. 钢管, 2009, 38(5): 28-34.
- [6] XIE Jue-ren. Analysis of Strain Rate Impact on Make-up of Oilfield Premium Casing Connections [C]//SIMULIA Customer Conference. Providence: [s. n.], 2011: 110.
- [7] 周 星, 高学仕, 李文勇. 双级套管螺纹连接有限元分析 [J]. 管道技术与设备, 2009(5): 31-32.
- [8] 石晓兵, 陈 平, 聂荣国, 等. 高压对气井套管接头螺纹接触应力的影响研究 [J]. 石油机械, 2006, 34(6): 32-34.
- [9] 高连新, 张亚勤, 李飞键, 等. WSP 特殊螺纹接头油井管的研制 [J]. 石油机械, 2003, 31(9): 33-36.
- [10] 曹银萍, 张福祥. 不同外载作用下特殊螺纹油管接头应力有限元分析 [J]. 制造业自动化, 2012, 30(7): 95-98.

[编辑: 洪炜娜]

本文引用格式:

宋伟伟, 纪爱敏, 李 玺, 等. 复合载荷作用下特殊螺纹套管接头性能分析 [J]. 机电工程, 2015, 32(7): 954-957.

SONG Wei-wei, JI Ai-min, LI Qian, et al. Analysis on ability of premium thread casing connection under complex loads [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(7): 954-957.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>