

弯曲载荷下特殊螺纹接头密封性能的有限元分析

吴稀勇, 闫 龙, 陈 涛, 史 彬

(天津钢管集团股份有限公司技术中心, 天津 300301)

摘 要: 借助 Abaqus 软件建立了特殊螺纹接头弯曲性能分析有限元模型, 并对某个规格特殊螺纹接头进行了纯弯曲的有限元分析。结果表明: 随着弯矩的增加, 拉伸面接触应力下降, 接触长度减小, 密封性能下降; 而压缩面接触应力上升, 接触长度增加, 密封性能提高。这些结果说明提高特殊螺纹接头的弯曲性能需要同时提高接头的拉伸与压缩性能。

关键词: 油井管; 特殊螺纹接头; 弯曲; 密封性能; 有限元分析

中图分类号: TE931⁺2; O242.21 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2010)06-0070-04

Finite Element Analysis of Sealability of Premium Connections Subjected to Bending Load

Wu Xiyong, Yan Long, Chen Tao, Shi Bin

(R&D Center of Tianjin Pipe (Group) Corporation, Ltd., Tianjin 300301, China)

Abstract: The finite element analysis (FEA) methodology for premium connections subjected to bending load is established with the software of Abaqus, and then used for pure bending property analysis of premium connections with a certain size. The results reveals that along with the increasing of the bending moment, the contact stress, contact length and sealability decrease in the tensile side, whereas all of these values increase in the compression side, which implies that for improving the bending property of the premium connection both the tensile property and compression property thereof should be enhanced, too.

Keywords: OCTG; Premium connection; Bending; Sealability; Finite element analysis(FEA)

0 引 言

特殊螺纹接头的使用性能可以通过全尺寸试验和有限元分析进行评价, 其中有限元分析方法已经有大量的研究, 可是这些研究一般都集中在上扣、内压、外压、轴向压缩或拉伸等轴对称边界和载荷方面^[1-4]。由于弯曲是非轴对称载荷, 建立弯曲分析的有限元模型比较困难, 因此对于特殊螺纹接头的弯曲有限元分析研究目前很少^[5]。但在油田应用中, 特殊螺纹接头的弯曲角度是一个很重要的参数, 对特殊螺纹接头的弯曲进行有限元分析对提供这些参数具有一定的参考作用。本文采用 Abaqus 软件建立了接头弯曲性能分析的模型, 对 $\Phi 177.8 \text{ mm} \times$

10.36 mm、L80 钢级的某特殊螺纹接头进行了纯弯曲载荷的有限元分析, 并初步分析了其密封性能。

1 有限元模型的建立

特殊螺纹接头纯弯曲载荷的有限元分析几何模型如图 1 所示。与常规的轴对称模型分析相比, 弯曲的有限元分析的不同与难点在于: ①单元的选择。由于弯矩是非轴对称载荷, 常规轴对称模型不能加载, 因此需要使用可以施加非轴对称载荷的 CAXA 轴对称单元。②接触分析。由于选择的 CAXA 轴对称单元不能定义基于单元的面, 不能采用 surface-to-surface 的接触面计算方法, 需要使用滑移线接触单元算法, 在建模中用 Python 脚本从单元数据中顺序导出所有接触面的节点, 分别建立滑移线与接触单元。③弯曲的施加。根据材料

吴稀勇(1979-), 男, 博士, 主要从事油井管特殊螺纹接头研究工作。

力学, 可以通过在表面施加非均匀面载荷实现弯曲, 非均匀面载荷通过子程序 **DLOAD** 实现。

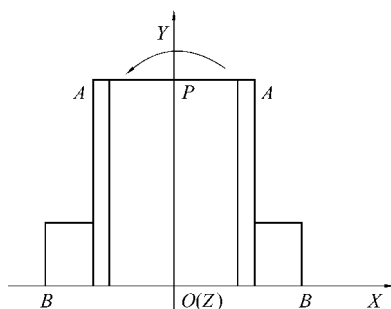


图1 几何模型示意

有限元模型的建立如下: **BB** 为特殊螺纹接头 **Box** 端面, **AA** 为特殊螺纹接头 **Pin** 端面。有限元分析中选择的单元为四节点可施加非轴对称载荷的 **CAXA4N** 轴对称单元(其中 $N=1, 2, 3, 4$, 对应 **CAXA** 单元的 4 种不同的 Fourier 模式)。4 种不同的 Fourier 模式表现为计算中选择的 **AA** 端面上的不同角度对应的截面, 如图 2 所示。

有限元分析表明, 4 种不同模式下的计算结果基本一致, 本文描述了 $N=1$ 下的计算结果。在 **AA** 端面的中心 **P** 点施加如图 1 所示绕 **Z** 轴(垂直于 **X**、**Y** 轴)的弯矩。根据材料力学分析与文献[6], 有限元分析中弯矩的加载通过在 **AA** 端面施加 **Y** 方向的表面应力实现, 采用 **DLOAD** 子程序, 应力大小为:

$$\sigma_y = \frac{M}{I} r \cos \theta \quad (1)$$

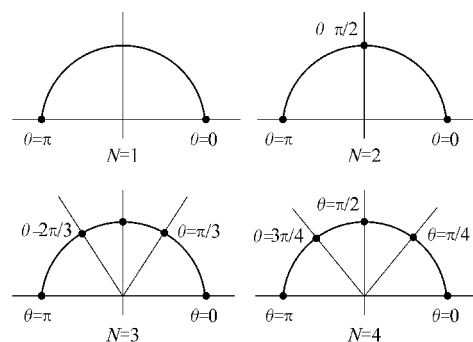


图2 CAXA 单元的 4 种模式

式中 **M** —— 弯矩;

I —— 转动惯量;

r —— 转动半径;

θ —— 转动角度。

图 1 中 **OP** 右边的截面受最大 **Y** 方向(即轴向)拉应力作用, 即 $\theta=0$; 而其左边的截面则受最大轴向压应力作用, 即 $\theta=\pi$ 。有限元模型中分析的就是这两个极端的截面的应力应变状态与密封性能。

另外, 由于 **CAXA4N** 单元不能定义基于单元的几何面, 模型中的接触算法采用了滑移线接触单元算法, 在接触的从面上定义接触单元, 主面上定义滑移线。模型中的边界条件为 **BB** 面 **Y** 方向位移为 0。图 3 所示为模型的网格划分。整个分析过程分为以下 4 步: ①上扣; ②20°/30 m 弯曲; ③30°/30 m 弯曲; ④40°/30 m 弯曲。最后分析其拉伸面和压缩面的密封性能。

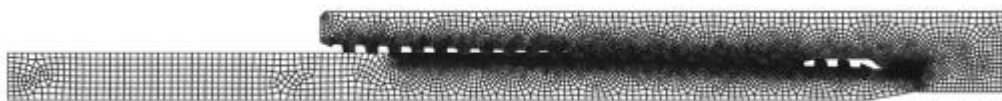


图3 模型的网格划分

2 滑移线接触单元算法与接触面算法的对比

由于在模型中采用了滑移线接触单元算法, 而不是常用的接触面算法, 因此需要将其计算结果与接触面算法对比, 以验证接触计算的有效性。采用滑移线接触单元和接触面算法分别计算了上扣过程, 对比了两种接触计算方法在上扣后接触从面(**Pin** 端)上的接触应力(图 4)以及 **Pin** 端面和 **Box** 端面的应力分布等, 结果表明两种计算方法的效果是一致的。计算模型中的接触面如图 5 所示, 接

触面包括扭矩台肩, 密封面和螺纹啮合部分, 接触线的长度从 **Pin** 端的鼻子开始计算。本文侧重的是密封性能, 因而将重点描述接触面上的接触应力、密封面的密封性能对比。

在本文中采用密封面上的接触应力与积分强度表征接头的密封性能。接触面算法中密封面上的接触应力为 **Abaqus** 软件中的 **CPRESS** 输出, 滑移线接触单元算法中密封面上的接触应力为接触单元的 **S11** 输出; 积分强度(**Sealindex**)定义为密封面上接

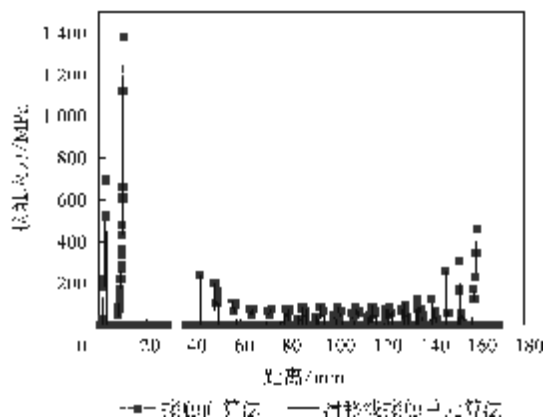


图4 两种计算方法下接触面接触应力对比



图5 计算模型的接触面示意

触应力对接触长度的积分^[5], 接触应力反映了接触面上对应点的应力大小; 积分强度则综合体现了接触应力和接触长度的效果。计算公式如下:

$$\text{Sealindex} = \int_L \sigma_c dx \quad (2)$$

式中 σ_c —— 接触应力, MPa;

L —— 接触长度, mm。

图6所示为滑移线接触单元和接触面算法下密封面接触应力的对比, 计算模型中的密封面如图7所示, 可以看出两种计算方法下密封面上的接触应力一致。滑移线接触单元和接触面算法下积分强度值也基本一致, 分别为793.35和802.11。这些分析表明滑移线接触单元和接触面算法在接触计算方面的效果是等同的。

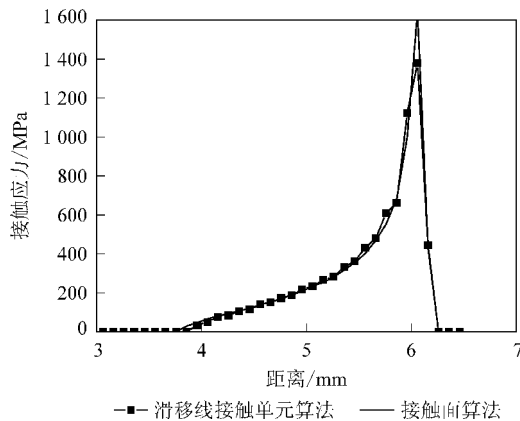


图6 两种计算方法下密封面接触应力对比



图7 计算模型中的密封面示意

3 弯曲载荷下的结果分析

3.1 密封面上的接触应力与积分强度

图8与图9分别是不同弯曲角度下拉伸端与压缩端密封面上接触应力分布, 从接触应力分布看, 随着弯矩(弯曲角度)的增加, 拉伸面接触应力下降, 接触长度减小, 而压缩面接触应力上升, 接触长度增加。图10是不同弯曲角度下拉伸端与压缩端密封面上积分强度变化, 可知随着弯矩(弯曲角度)的增加, 拉伸面积分强度下降; 而压缩面积分强度上升。这些结果与文献^[5]的有限元分析结果类似。

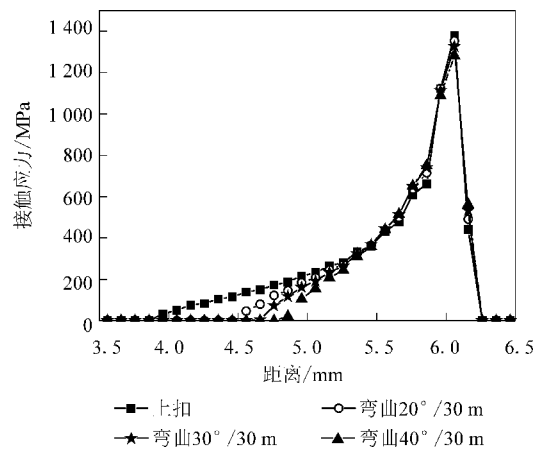


图8 拉伸端密封面上的接触应力

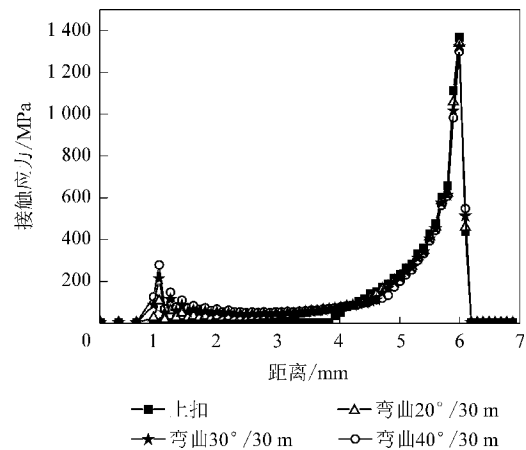


图9 压缩端密封面上的接触应力

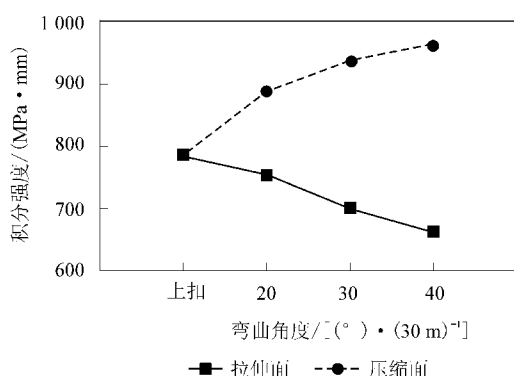


图 10 不同弯曲角度下的积分强度

3.2 等效应力分析

图 11 所示为 40°/30 m 弯曲下拉伸面与压缩面等效应力。从等效应力结果看，弯曲下无论是拉伸

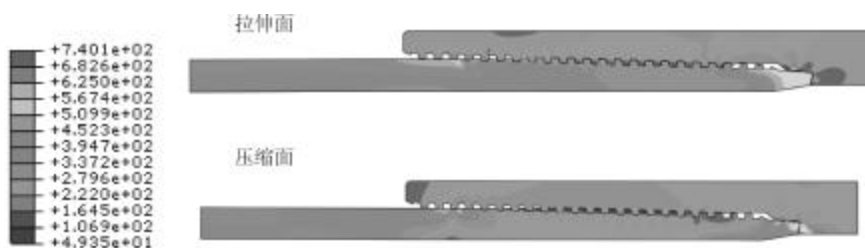


图 11 40°/30 m 弯曲下拉伸面与压缩面等效应力

(3) 由于弯曲体现了拉应力与压应力的综合作用，因此提高接头的抗弯曲性能就需要提高接头的抗拉伸性能与抗压缩性能。

5 参考文献

- [1] Assanelli A P, Xu Q, Benedetto F, et al. Numerical/experimental analysis of an API 8-round connection [J]. Journal of Energy Resources Technology, 1997, 119(1): 81-88.
- [2] Yuan Guangjie, Yao Zhenqiang, Wang Qinghua, et al. Numerical and experimental distribution of temperature and stress fields in API round threaded connection[J]. Engineering Failure Analysis, 2006, 13(8):

1275-1284.

- [3] 高连新, 史交齐. 油套管特殊螺纹接头连接技术的研究现状及展望[J]. 石油矿场机械, 2008, 37(2): 15-19.
- [4] 杨智春, 李斌, 史交齐. 特殊螺纹套管的应力及密封特征分析[J]. 机械科学与技术, 2004, 23(7): 771-774.
- [5] Xie Junren. Analysis of oil well casing connections subjected to non-axisymmetric loads[C]. 2007 ABAQUS Users' Conference.
- [6] Tafreshi A. SIF evaluation and stress analysis of drilling threaded joints[J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 1999, 76(1): 91-103.

(修订日期: 2010-10-15)

欢迎订阅“中国期刊方阵”双效期刊·钢管(双月刊)