



基于 ANSYS 鼓形齿联轴器螺栓连接有限元分析

郑志军, 王 平

(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘 要: 采用 ANSYS 对非标准鼓形齿联轴器螺栓连接进行有限元分析. 首先, 利用 UG 软件进行联轴器螺栓连接实体建模; 然后, 用 ANSYS 软件对其进行有限元分析. 考虑螺栓连接的接触特性, 通过改变摩擦因数分析螺栓所受的拉伸应力和剪切应力, 得到螺栓受拉伸和受剪切的危险截面均在螺母与内齿套法兰结合面靠近内齿套外圆部位; 摩擦因数增大时螺栓所受拉伸应力明显减小, 而剪切应力变化不大; 选择高强度联接螺栓和螺母、通过合理的加工工艺适当增加法兰面的摩擦因数, 可保证螺栓联接强度.

关键词: 鼓形齿联轴器; 螺栓; 有限元分析; 预紧力

中图分类号: TH131.3 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2011)05-0052-05

Finite Element Analysis on Bolt Connection of Crown Gear Coupling Based on ANSYS

ZHENG Zhi-jun, WANG Ping

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: The software ANSYS was used for the finite element analysis (FEA) of the bolt connection of the crown gear coupling (CGC). The solid modeling of bolt connection of the CGC was established by means of UG, and then it was analyzed by ANSYS. Considering the contact characteristics of the bolt connection, tensile stress and shear stress that the bolt suffered were analyzed by changing friction coefficient, it can be obtained that the dangerous parts of tension and shear on the bolt are set in the jointing surface of the nut and flange surface anear the inner gear sleeve; with the increase of the friction coefficient tensile stress of bolt reduces significantly, but little change occurs in shear stress. By using high strength bolt and nut and reasonable processing technology to increase friction coefficient of the flange surface, the strength of bolt connection can be guaranteed.

Keywords: crown gear coupling (CGC); bolt; finite element analysis (FEA); pre-tightening force

双螺杆磨浆机是一种新型的节约型磨浆设备, 在造纸工业中受到广泛重视. 它的传动箱与两螺杆之间采用鼓形齿联轴器联接. 鼓形齿式联轴器采用普通平键和螺栓双层联接, 中间的鼓形齿允许两被联接轴有一定的摆动角度. 由于双螺杆磨浆机需要传递的扭矩很大, 而且两螺杆中心距较小, 不能采用标准的鼓形齿联轴器, 需要设计结构更加紧凑的非标鼓形齿联轴器. 由于联轴器外径受限, 螺栓孔定位圆尺寸受到限制, 只能采用直径较小的螺栓.

螺栓联接利用螺纹零件构成, 拆卸方便、应用很

广. 螺栓和法兰联接系统的失效将直接影响到设备的可靠性, 带来经济损失. 文献[1-4]对螺栓联接进行有限元分析, 通常情况下都是建立有限元模型, 然后施加约束和载荷, 最后将求解结果与理论结果进行比较, 并得出结论; 但是, 没有考虑螺帽、螺母与法兰面之间以及两法兰面之间的摩擦因数不同对有限元分析结果的影响.

材料的摩擦因数与零件接触表面粗糙度及表面处理方式有关, 摩擦因数影响联接螺栓的预紧力, 从而影响联接的安全性和可靠性. 本文通过 UG 进行三

收稿日期: 2011-06-02; 修回日期: 2011-06-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50675155)

作者简介: 郑志军(1985—), 男, 河北张家口人, 硕士研究生; 通信作者: 王 平, 教授, wp2004@tust.edu.cn.

维实体建模, 然后采用 ANSYS 软件模拟分析, 对用于双螺杆磨浆机的非标鼓形齿联轴器的螺栓进行强度和刚度校核, 以选择满足要求的联接螺栓; 进一步找到摩擦因数与联接螺栓强度、刚度之间的联系, 从而选择合理的摩擦因数及表面加工工艺, 以保证螺栓联接的安全性和可靠性。

1 鼓形齿式联轴器的结构参数

鼓形齿式联轴器结构简图见图 1, 其结构与标准鼓形齿联轴器结构基本相同, 但由于径向结构受限, 内孔采用两个尺寸较小的普通平键, 以减小键槽对鼓形齿齿圈套筒强度的削弱, 此外, 由于联轴器外径受限, 螺栓孔定位圆尺寸受到限制, 只能采用直径较小的螺栓。

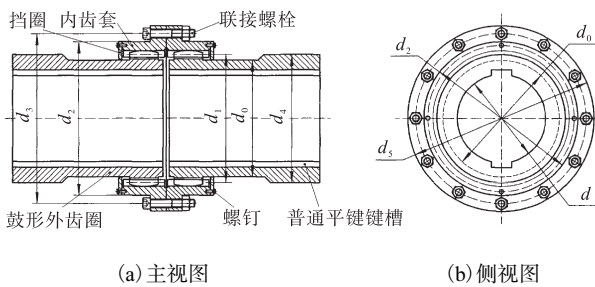


图 1 鼓形齿式联轴器结构简图

Fig.1 Structure diagram of crown gear coupling

双螺杆磨浆机传动箱输出轴单轴最大扭矩为 30 000 N·m, 双螺杆中心距为 300 mm, 传动箱输出轴和螺杆输入轴的轴端直径均为 $d = 140$ mm, 由于联轴器的径向受限, 取鼓形齿联轴器的外直径尺寸为 $d_5 = 295$ mm, 鼓形齿外齿圈外径 $d_0 = 185$ mm, 内齿套外径 $d_2 = 244$ mm; 螺栓联接中心线直径 $d_3 = 270$ mm, 初步选择螺栓的直径为 12 mm, 螺栓个数为 12 个, 进行强度校核。

2 有限元分析过程

2.1 建立有限元模型

接触分析是一种高度非线性分析, 会占用大量的计算资源. 为了在有限元软件分析中节省计算资源, 所以对鼓形齿式联轴器螺栓联接进行简化, 由于只想知道螺栓联接强度, 所以只需对螺栓、螺母及与螺栓相连接的内齿套建模. 为简化计算, 在内齿套建模过程中省掉内齿, 在法兰上直接加载扭矩, 这对螺栓的

作用效果是一样的, 不会影响分析结果. 另外, 考虑结构的对称性, 假设每个螺栓受转矩均匀, 因此只对单个螺栓进行分析, 运用 UGNX 4.0 软件进行三维实体建模, 结果如图 2 所示。

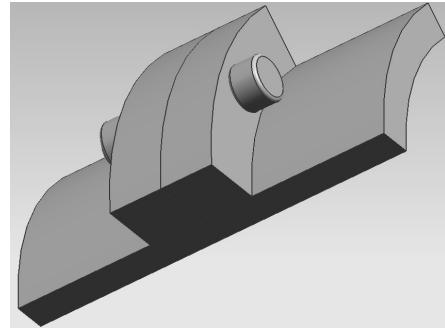


图 2 螺栓分析实体模型

Fig.2 Solid model of bolt analysis

将用 UGNX 4.0 软件建立的三维实体模型以 x_t 文件格式通过 Parasolid 接口导入 ANSYS11.0 软件中. 首先, 定义单位属性, 通过分析选择 solid 45 单元; 然后, 定义材料属性, 内齿套材料为 42 CrMo, 螺栓材料为 40 Cr, 设置材料属性: 弹性模量 206 MPa, 泊松比 0.3; 最后, 对模型进行划分网格, 考虑计算精度和计算规模, 采用 Free Mesh 形成有限元模型, 网格大小采用默认值, 单元总数为 34 939 个, 结果如图 3 所示。

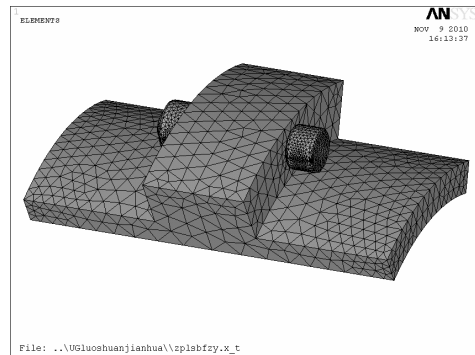


图 3 螺栓连接有限元模型

Fig.3 Finite element model of bolt connection

2.2 接触设置

利用 ANSYS 11.0 接触对生成向导, 采用目标单元 Target 170 和接触单元 Contact 174 分别建立左侧内齿套与右侧内齿套、右侧内齿套与螺帽、左侧内齿套与螺母、螺栓与螺栓孔之间的接触对, 如图 4 所示. 摩擦因数为 0.4, 接触刚度为材料的弹性模量, 计算时采用完全牛顿-拉普森方法。

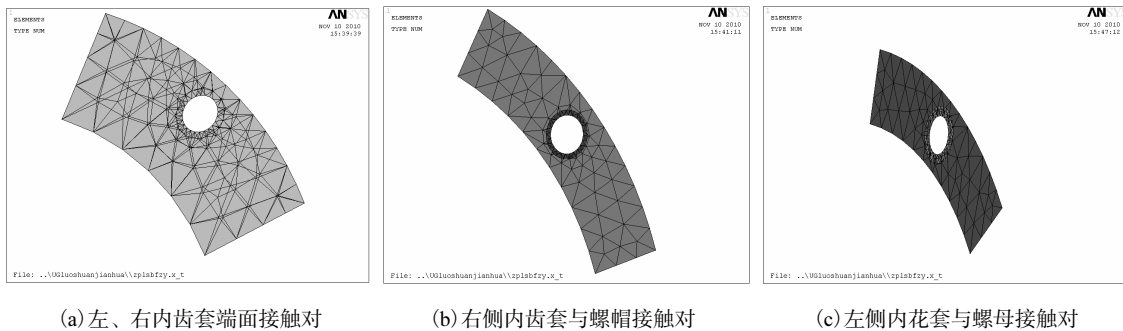


图4 有限元分析模型的几个接触对

Fig.4 Contacts of finite element analysis model

2.3 耦合自由度

一般情况,在有限元结构分析中真实反映螺纹联接作用是很困难的.当生成模型时,典型的方法是用单元去联接节点以建立不同自由度之间的关系,当需要迫使两个或多个自由度取得相同但未知的值时,可以将这些自由度耦合在一起.螺纹牙部分的接触关系比较复杂,用有限元的方法实现比较困难.而相接触的两个螺纹面在预紧力的作用下紧贴在一起,它们具有相同的位移,所以节点耦合能模拟螺栓联接的联机机理.把螺栓与螺母之间螺纹部分的联接关系简化为轴孔配合关系,轴孔接触面为螺纹联接段,用节点耦合来模拟螺栓联接的联接作用^[1].

2.4 约束与预紧力加载

在静态分析中,假设左侧内齿套是不动的,对左侧内齿套端面进行全约束,两侧面进行对称约束.为了施加主动力矩,将主动力矩转化为右侧内齿套端面边缘节点上的切向力,在鼓形齿啮合中心轴上定义局部坐标系,激活该坐标系,然后将右侧内齿套端面边缘上所有节点的节点坐标系转化到总体柱坐标系下,使节点坐标系的y轴与柱坐标系的y轴(周向)平行.在右侧内齿套端面外缘上施加集中圆周力 F_y ,它的大小由式(1)确定.

$$F_y = \frac{2T}{d_2 z} \quad (1)$$

式中: T 为联轴器传递的转矩, $T = 30\,000\text{ N}\cdot\text{m}$; d_2 为内齿套外径, $d_2 = 244\text{ mm}$; z 为内齿套法兰所用螺栓的个数, $z = 12$.得到每个联接螺栓在内齿套外缘作用的圆周力 $F_y = 20\,492\text{ N}$.

根据文献[5]可知,采用普通螺栓时,靠联接预紧后在结合面间产生的摩擦力矩来抵抗转矩.此时螺栓所受预紧力 F_0 可由式(2)求得.

$$F_0 \geq \frac{K_s T}{f \sum_{i=1}^z r_i} \quad (2)$$

式中: f 为结合面的摩擦因数; K_s 为防滑系数, $K_s = 1.2$; T 为联轴器传递的转矩, $T = 30\,000\text{ N}\cdot\text{m}$; z 为内花键轴连接所用螺栓的个数, $z = 12$; r_i 为第*i*个螺栓的轴线到螺栓组对称中心的距离, $r_i = 0.135\text{ m}$.

本文主要研究的是摩擦因数 f 对螺栓强度的影响,根据式(2)可以求得选取不同摩擦因数所施加的预紧力的大小,见表1.

表1 摩擦因数与预紧力的关系

Tab.1 Relation between friction coefficient and pretightening force

f	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
F_0/N	22 2222	111 111	74 074	55 556	44 444	37 037	31 746

在每种工况下对螺母和螺帽分别施加预紧力 F_0 来模拟螺栓所受预紧力的作用.施加载荷和约束后的有限元模型如图5所示.

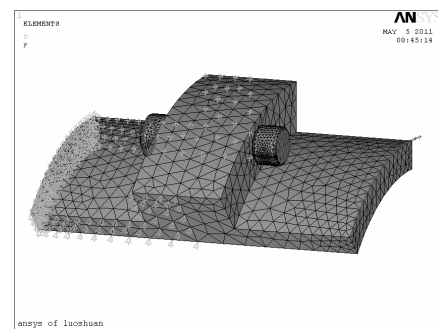


图5 分析模型的约束与载荷

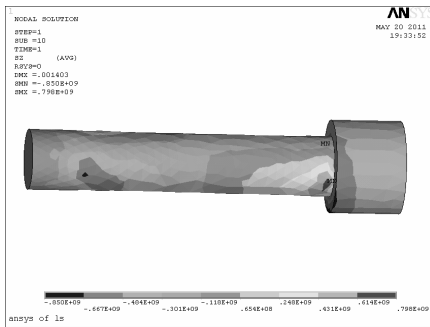
Fig.5 Constraints and load of analysis model

2.5 分析结果

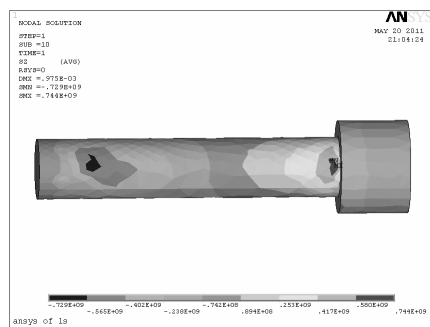
根据计算模型及所设置的边界载荷、接触条件,经ANSYS 11.0计算,其部分等效应力云图如图6和图7所示.

由图6可以看出,螺栓受拉伸危险截面为螺母与左侧内齿套法兰结合面靠近内齿套外圆部位,且随着摩擦因数增大螺栓所受拉伸应力明显减小;相对于拉

伸, 螺栓受剪切应力较小, 且危险截面也为螺母与左侧内齿套法兰结合面靠近内齿套外圆部位, 同时随着摩擦因数增大剪切应力没有明显变化。



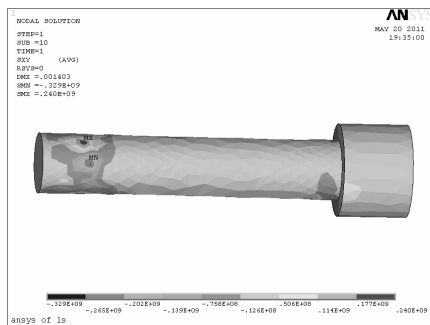
(a) $f=0.2$



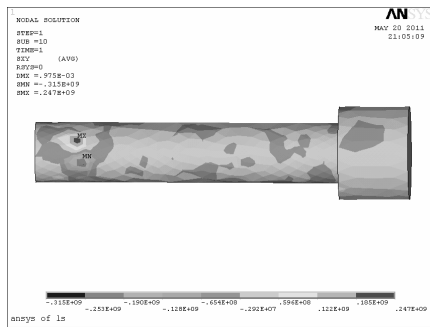
(b) $f=0.4$

图 6 螺栓在不同摩擦因数下拉伸应力等效云图

Fig.6 Tensile stress distribution of bolt under different friction coefficient



(a) $f=0.2$



(b) $f=0.4$

图 7 螺栓在不同摩擦因数下剪切应力等效云图

Fig.7 Shear stress distribution of bolt under different friction coefficient

3 理论计算结果与分析结果比较

根据文献[1]螺栓危险截面的理论拉伸应力 σ_{ca} 可由以下公式求得:

$$\sigma_{ca} = \frac{1.3F_0}{\frac{\pi}{4}d_0^2} \quad (3)$$

式中: F_0 为螺栓所受的预紧力; d_0 为螺栓直径。

受旋转力矩 T 作用, 螺栓组的最的螺栓工作剪力为

$$F_{max} = \frac{Tr_{max}}{\sum_{i=1}^z r_i^2} \quad (4)$$

式中: T 为螺栓组所受转矩, $T = 30\ 000\ \text{N}\cdot\text{m}$; r_i 、 r_{max} 分别为第 i 个螺栓和受力最大螺栓的轴线到螺栓组对称中心的距离, 即 $r_{max} = r_i = R = 135\ \text{mm}$; $z = 12$ 为螺栓个数。

可求得受力最大的螺栓的工作剪力为 $F_{max} = 1.85 \times 10^4\ \text{N}$, 最大剪切应力为 $\tau_{max} = 4F_{max}/(\pi d_0^2) = 164\ \text{MPa}$ 。根据文献[5]选择高强度螺栓, 性能等级为 9.8 级, 可知抗拉强度极限 $\sigma_B = 900\ \text{MPa}$, 屈服极限 $\sigma_s = 720\ \text{MPa}$, 取安全系数 $S_p = 1.2$, $S_r = 1.5$ 。因此可得许用拉伸应力为 $[\sigma_p] = \sigma_B/S_p = 750\ \text{MPa}$, 许用剪切应力为 $[\tau] = \sigma_s/S_r = 480\ \text{MPa}$; 螺母性能等级为 9 级, 螺栓和螺母的材料均为低碳合金钢或中碳钢。

根据公式理论推导结果与有限元软件 ANSYS 11.0 分析结果分别绘制螺栓的拉伸应力曲线和剪切应力曲线, 见图 8 和图 9。通过理论结果与分析结果比较可知: 摩擦因数大于 0.2 时, 拉伸应力的理论结果与分析结果基本相符; 而剪切应力分析结果均大于理论计算结果。这是因为根据理论公式求解, 有很多理论假设, 如应力分配均布, 所以结果趋于保守。但是在实际工作中会有应力集中产生, 这是理论公式无法考虑的。另外, 对于剪切应力, 在分析时综合考虑了螺栓预紧力和剪切的作用, 而计算时剪切作用和预紧力是分别考虑的, 这就导致理论结果远小于分析结果。当摩擦因数小于 0.35 时, 螺栓所受拉伸应力超过了许用抗拉应力 750 MPa, 而不满足强度要求, 因此合理的摩擦因数应大于 0.35, 可以通过在法兰两侧面涂富锌漆或喷砂处理可增大摩擦因数, 此时所需预紧力应大于 63 500 N。

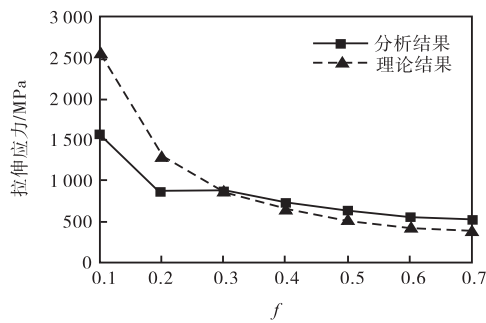


图8 螺栓拉伸应力理论结果与分析结果对比

Fig.8 Comparison of theoretical results and analysis results of tensile stress of bolt

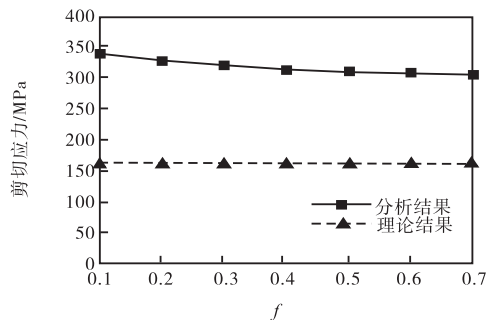


图9 螺栓剪切应力理论结果与分析结果对比

Fig.9 Comparison of theoretical results and analysis results of shear stress of bolt

4 结 语

(1) 利用 UG 软件对鼓形齿式联轴器螺栓联接进行三维实体建模, 然后用有限元分析软件 ANSYS 对其进行分析计算, 将分析结果与理论公式计算值进行比较, 结果表明螺栓的危险截面是螺栓与螺母联接内侧靠近内齿套外圆的部位。

(2) 对于大扭矩、外径受限的螺栓联接, 保证螺栓联接强度有效方法是选择高强度螺栓和螺母, 并适当增加联接法兰两侧的摩擦因数; 通过涂富锌漆或喷砂处理钢制法兰表面, 静摩擦因数可大于 0.35, 此时

所需预紧力应大于 63 500 N。

(3) 用节点耦合模拟螺纹联接的接触行为, 使分析结果与理论结果相符合, 取得了预期的效果。同时提出的螺栓预紧模拟方法, 通过分析可保证螺栓联接的可靠性。

(4) 在螺栓分析有限元模型中, 把联轴器及被联接件的匀速转动当作静态受力情况进行处理, 实际上, 当磨浆机起动、制动或者加料不均匀时联轴器会受到冲击作用, 这些还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 夏卫明, 郑翔, 杨晓俊. 基于 ANSYS 的盲孔螺栓联接的有限元仿真[J]. 机械设计与制造, 2009(7): 42-44.
- [2] 郭铮. 摩擦型高强螺栓连接受力性能有限元分析[J]. 甘肃科技, 2009, 25(11): 91-93.
- [3] 谢慧敏, 马岳峰, 韩建保. 螺栓连接件的有限元仿真计算[J]. 现代制造工程, 2002(1): 48-49.
- [4] 许丕元. 梁柱螺栓连接中接触摩擦机理及有限元分析[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2008, 24(2): 237-239.
- [5] 濮良贵, 纪名刚, 陈国定, 等. 机械设计[M]. 8 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [6] 方栋, 陈继志. 高强度螺栓螺纹根部应力集中的有限元分析[J]. 材料开发与应用, 2007, 22(2): 37-39.
- [7] 王建, 罗善明, 诸世敏, 等. 风电齿轮三维接触有限元分析[J]. 机械传动, 2010, 34(3): 26-28.
- [8] 康渊, 陈信吉, 王超辉. Ansys 入门[M]. 3 版. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [9] 张朝晖. ANSYS12.0 结构分析工程应用实例解析[M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [10] 付本国, 管殿柱. UG NX6.0 三维机械设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [11] 蔡春源. 机械零件设计手册 [M]. 3 版. 北京: 冶金工业出版社, 1995.