

基于 ANSYS 的汽车横向稳定杆固定端螺杆 断裂问题的分析

李晓宇, 黄康

(合肥工业大学机械与汽车工程学院, 合肥 230009)

摘要: 针对某型号汽车横向稳定杆固定端螺杆出现的断裂现象, 利用 ANSYS 有限元分析软件, 建立了由螺杆端部、螺母及垫片所组成装配体的有限元模型。为了分析垫片形式对于螺杆断裂问题的影响, 分别建立了圆弧垫片和平垫片下的有限元模型。通过静力计算得知, 圆弧垫片的使用在提高预紧力的同时也会使螺杆的受力增大。此外, 螺杆实际断裂位置出现在螺纹根部, 因此根据螺纹的分布变化建立不同的有限元模型。通过对不同螺纹分布形式下螺杆的有限元静力分析, 确定了螺纹分布形式对螺杆断裂现象的影响程度, 并针对螺杆提出了一种改进的螺纹布置方案。

关键词: 车辆工程; 断裂; 螺杆; ANSYS; 垫片; 螺纹

中图分类号: U463.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2015)14-1497-06

Analysis of a screw crack problem in stabilizer bar based on ANSYS

LI Xiaoyu, HUANG Kang

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology,
Hefei 230009, China)

Abstract: Aiming to solve the problem of the crack of a screw in stabilizer bar of one kind of automobile, finite element models of assembly composed of the screw end, nut and shim is established based on ANSYS. Two finite element models with circular shim and flat shim are built for the comparison to get the effects of the shim on screw crack. The static calculation results show that the use of circular shim will increase the stress of the screw while improve the pre-tightening force. Besides, the crack position is at the bottom of the thread part, different models are built according to the distributions of thread. The finite element static calculation of the screw based on the distribution of thread confirms the degree of the influences of screw thread distribution on crack, which leads to two new solutions which are put forward to improve the screw thread distribution.

Key words: vehicle engineering; crack; screw; ANSYS; shim; thread

0 引言

横向稳定杆是汽车悬架中的一种辅助弹性元件。它的作用是防止车身在转弯时发生过大的横向侧倾, 改善汽车行驶中的平顺性。横向稳定杆是用弹簧钢制成的扭杆弹簧, 形状呈“U”形, 横置于汽车的前端和后端。杆身的中部用套筒与车架铰接, 杆的两端分别固定在左右悬架上。当车身只作垂直运动时, 两侧悬架变形相同, 横向稳定杆不起作用。当车身侧倾时, 两侧悬架跳动不一致, 横向稳定杆发生扭转,

作者简介: 李晓宇 (1988—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 数字化设计及现代设计方法

通信联系人: 黄康, 教授, 主要研究方向: 机械传动、机械系统设计等. E-mail: hfhuang98@163.com

杆身的弹力成为继续侧倾的阻力,起到横向稳定作用。由于稳定杆主要依靠自身的扭转来抵抗车身的侧倾力,因此稳定杆因扭转力产生的疲劳断裂甚至是刚性断裂是一般稳定杆断裂的主要原因,也一直是稳定杆断裂分析的重点。黄康等^[1~2]分别利用有限元分析软件 ANSYS 和 MSC. Fatigue 对稳定杆进行疲劳分析,得到的危险断面与理论预估位置大体相同,并将计算结果与稳定杆的弯曲疲劳试验结果进行对比,基本吻合。崔浩等^[3]利用 Abaqus 软件同样对稳定杆进行疲劳寿命分析,得到了相近的结果。陈红卫等^[4]通过对稳定杆断口处化学成分、金相组织等方面的对比,认为局部存在的加工硬化层导致冷成型过程中的应力集中,是稳定杆冷成型中断裂或产生裂纹的主要原因。罗贻正等^[5]对未达到实验寿命即发生断裂的稳定杆进行了金相检验、化学成分分析和硬度测试,认为早期压痕是引起提前断裂的主要原因。王国丽等^[6]对稳定杆连杆支架进行了疲劳仿真分析,提出通过改变支架截面的方式来提高部件的疲劳寿命。

然而,在工程实际中,出现了横向稳定杆固定端螺杆断裂的现象。而稳定杆在固定端的扭转载荷非常小,可以忽略不计,因此对横向稳定杆由扭转作用以外的其他因素所引起的断裂也需要予以考虑和研究,进而可以更全面地保证稳定杆的安全性。许阳钊^[7]曾对某前稳定杆拉杆球头螺栓断裂问题进行了研究,根据有限元分析结果对球头螺栓进行了结构上的改进,并通过试验验证了结构改进的有效性。但其结构改进仅使出现的最大应力降低 13%,且垫片等其他因素的影响并未予以考虑。这里将针对稳定杆在固定端断裂失效的现象,利用有限元法进行静力分析,研究其失效机理,为汽车横向稳定杆安装时的细节工艺提供改进方法,也为稳定杆的断裂分析提供了新的思路。

1 某型号汽车稳定杆断裂问题分析

某型号汽车横向稳定杆在行驶过程中,在其固定端处螺杆出现了断裂现象,且断裂寿命非常短。横向稳定杆的安装状态如图 1 所示,螺杆断裂位置如图 2 所示。



图 1 横向稳定杆安装状态

Fig. 1 Installation of stabilizer bar



图 2 螺杆的实际断裂位置

Fig. 2 Fracture position of screw

图 1 中摆臂的运动方向垂直于稳定杆,摆臂在上下摆动时,会使衬套向外挤压形成一个轴向随机力载荷 F 。此外,横向稳定杆固定采用圆弧垫片形式,在螺母拧紧时垫片发生弹性变形,从而提供更大的预紧力,同时也对固定端螺杆产生更大的轴向力。由于稳定杆固定端所承受的扭矩作用非常小,此处可以忽略其对于螺杆断裂现象的影响。因此,在实际工作状况下,横向稳定杆固定端螺杆主要受轴向载荷作用,且实际断裂的断口形状粗糙,可以判断是由于轴向载荷所产生的应力超过螺杆本身的抗拉强度,从而导致螺杆发生拉伸断裂^[8]。垫片的圆弧形式则是导致螺杆所受轴向力增大的重要原因。

由图 2 可以看出, 螺杆断裂位置出现在距离安装衬套的阶梯轴 1~2 个螺距处, 说明在此位置出现了较大的应力集中, 导致该处存在的应力大于螺杆的拉伸强度而产生断裂。因此, 螺杆上的螺纹结构产生了一个较大的应力集中, 导致螺杆的局部应力过大而发生断裂。

2 有限元模型的建立

2.1 几何模型

在进行有限元建模时, 考虑到所涉及的螺杆、螺母和垫片的结构及受力对称性特点, 为方便分析和观察, 选取装配体的 1/4 截面进行有限元分析。根据已有的几何参数, 首先在 CATIA 三维 CAD 软件中建立了螺杆、螺母和垫片组成的装配体的 1/4 模型; 为了简化操作, 将螺母与螺杆的配合处做凸台处理, 螺杆无配合处做以大径为直径的光轴处理; 然后导入 ANSYS 有限元分析软件进行网格划分, 将实体模型转化为有限元模型。

2.2 材料参数

各零件材料均为 60Si2Mn。该材料的弹性模量为 206 000 MPa, 泊松比为 0.29, 密度为 7 800 kg/m³。

2.3 网格划分和边界条件

为了获得较好的计算精度, 特别是针对螺纹结构的准确模拟, 选用 Solid285 单元进行网格划分。将装配体模型切割成规则的几块区域, 然后在某一面上进行四边形网格划分, 拉伸得到四面体网格。以平垫片为例, 固定端螺杆装配体有限元模型如图 3 所示。

为了研究垫片结构形式对螺杆应力状态的影响, 需要在其他条件相同的情况下, 只考虑圆弧垫片与平垫片不同的结构形式对螺杆应力状态的影响。因此方便起见, 可假设衬套的轴向随机载荷力为零。在正常的工作状态下, 螺母是紧压着垫片的, 此时圆弧垫片就会出现较大变形, 从而因变形产生一个很大的轴向力。因此对垫片与螺母(即凸台)的接触面建立接触对, 对螺杆靠近衬套的一端进行自由度约束处理, 并建立一个简化的衬套模型, 使衬套给圆弧垫片一个强制位移来模拟圆弧垫片被压紧时的形变。

3 不同垫片形式下装配体的静力分析

3.1 圆弧垫片下装配体的静力分析

根据螺杆的工作情况和受力分析, 在 ANSYS 软件中将螺杆靠近衬套的一端做 6 自由度全约束处理。基于所使用圆弧垫片的结构形式, 通过衬套对垫片施加一个轴向位移量为 0.34 mm 的位移载荷, 使圆弧垫片与螺母发生完全接触。然后对装配体进行静力分析, 得到其 Mises 应力云图, 如图 4 所示。

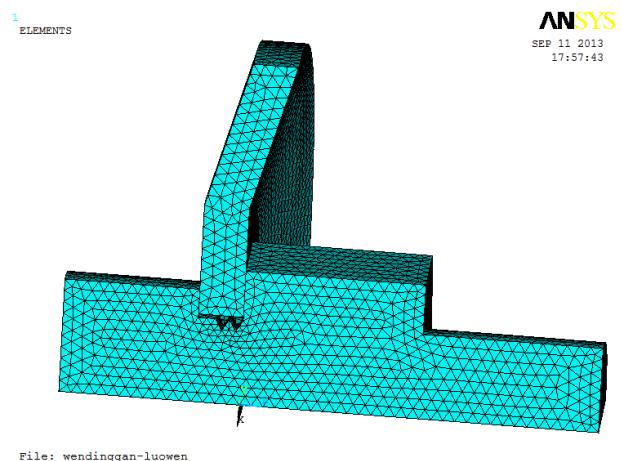


图 3 基于 Solid285 单元的有限元模型

Fig. 3 Finite element model based on Solid285

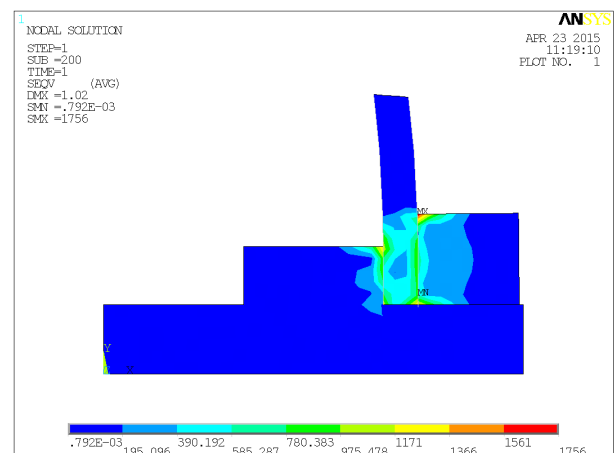


图 4 圆弧垫片下螺杆装配体应力云图

Fig. 4 Stress of the assembly with circular shim

由图 4 可知，装配体的最大应力点出现在螺母角端点与垫片的接触区域，而发生断裂部位的应力在 1 171~1 366 MPa，大于 60Si2Mn 材料的抗拉强度 1 274 MPa。说明在螺母拧紧的过程中，螺杆上出现的最大应力很容易超出材料本身的抗拉极限而产生拉伸断裂。因此，需要利用平垫片替代圆弧垫片，从而改善螺杆的受力情况。

3.2 平垫片下装配体的静力分析

根据螺杆的工作情况和受力分析，在 ANSYS 软件中将螺杆靠近衬套的一端做 6 自由度全约束处理，通过衬套对垫片施加一个轴向位移量为 0.03 mm 的位移载荷，以模拟螺母拧紧时平垫片发生的微小形变。然后对装配体进行静力分析，得到 Mises 应力云图，如图 5 所示。

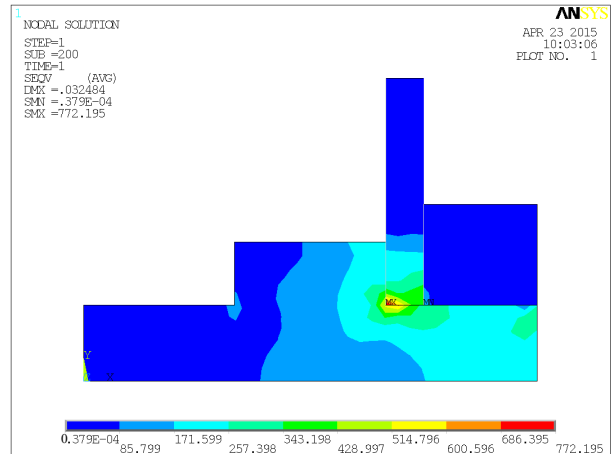


图 5 平垫片下螺杆装配体应力云图

Fig. 5 Stress nephogram of the assembly with plat shim

由图 5 可以看到，采用平垫片时最大应力出现在断裂处，其大小为 772.195 MPa，几乎为圆弧垫片在相应位置应力的一半。

因此，在工作状态下，平垫片因弹性变形在螺杆上所产生的应力远比圆弧垫片因弹性变形而产生的应力小。从改善螺杆受力情况，防止螺杆发生断裂的角度来说，平垫片要优于圆弧垫片。同时，为了弥补平垫片所提供预紧力的不足，可以考虑在使用平垫片时增加一个防松构件，从而提高横向稳定杆固定的可靠性。

4 不同螺纹形式下装配体的静力分析

4.1 原有螺纹结构下装配体的静力分析

考虑到处在垫片位置的螺杆是螺纹结构，且没有对应的螺母与之配合，因此会产生应力集中，影响螺杆的应力状态，故在原有有限元模型的基础上，在此处添加螺纹来模拟实际情况。同时，去掉衬套及其施加的位移载荷，并在垫片上施加沿轴向方向、大小为 100 MPa 的轴向力。需要说明的是，由于稳定杆固定端摆臂在上下摆动时会使衬套向外挤压形成一个轴向随机力载荷，该轴向力大小难以测定。因此，通过选取一个大于预紧力的轴向载荷（100 MPa）研究螺纹结构对螺杆应力的影响，目的是得到螺杆应力的变化趋势。

在 ANSYS 软件中进行静力计算，得到在原有螺纹结构下螺杆装配体的 Mises 应力云图，如图 6 所示。

由图 6 可以看到，最大应力点出现在距阶梯轴 1~2 个螺距处，基本上就是实际断裂的位置，最大值达到 1 225 MPa。因此，可以通过改变该段螺纹结构：将螺杆上不参与配合的螺纹部分变为以螺杆小径为直径的光轴（因考虑到不影响螺母正常拧紧，所以选取螺杆小径为直径）。

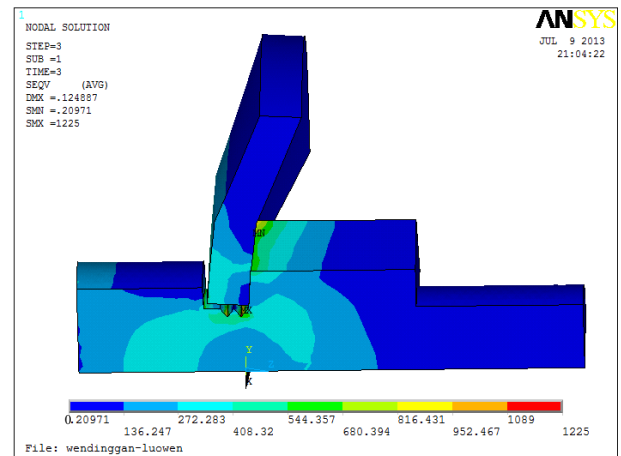


图 6 原有螺纹结构下螺杆装配体应力云图

Fig. 6 Stress nephogram of the screw assembly with the original thread structure

4.2 螺纹结构改进后装配体的静力分析

将螺杆上处在垫片位置且不参与同螺母配合的一段螺纹, 变为以螺杆小径为直径的光轴, 并在垫片上施加沿轴向方向、大小为 100 MPa 的轴向力, 利用 ANSYS 软件进行静力计算, 得到螺纹结构改进后的装配体 Mises 应力云图, 如图 7 所示。

由图 7 可以看出, 最大应力点出现在螺母角端点与垫片接触的区域, 大小为 1 050 MPa。而在实际断裂处, 其应力为 700.271~816.946 MPa, 可见螺纹结构改进后的螺杆装配体中最大应力出现的位置发生了变化, 且实际断裂处的应力较改进前减小了 33%, 改善效果较为明显。

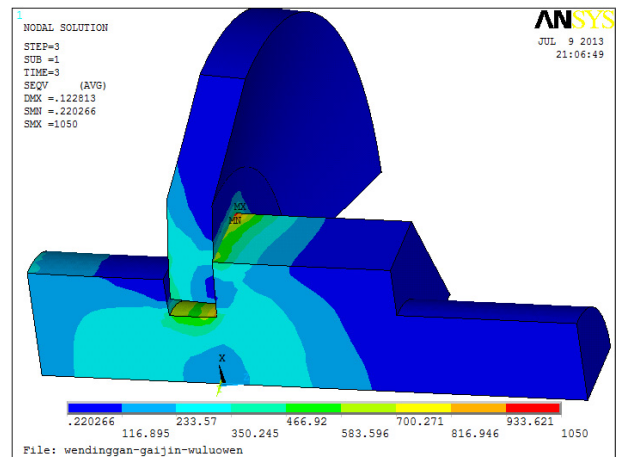


图 7 螺纹结构改进后的螺杆装配体应力云图

Fig. 7 Stress nephogram of the screw assembly with the improved thread structure

5 结论

1) 对于工程实际中出现的螺杆断裂现象, 很大一个原因是由于圆弧垫片在螺母拧紧时发生较大变形而使螺杆产生较大的轴向拉伸载荷, 导致拉伸载荷大于材料的抗拉极限而产生拉伸断裂。因此, 从防止发生螺杆断裂的角度来看, 比起圆弧垫片, 在使用平垫片时螺杆的应力状况更好, 因此可以尝试通过使用平垫片替代圆弧垫片的方法来防止螺杆断裂现象的发生;

2) 圆弧垫片比起平垫片的优势在于: 圆弧垫片比平垫片有更大的预紧力, 在正常工作过程中不容易出现松动, 因此可以在使用平垫片的时候增加一个简单的防松构件;

3) 对于工程实际中出现的螺杆断裂现象, 主要是因为圆弧垫片在螺母拧紧时发生形变而产生较大轴向拉伸载荷, 在螺杆上的螺纹结构中产生较大应力集中, 导致拉伸载荷大于材料的抗拉极限而产生拉伸断裂;

4) 处在垫片位置且不参与同螺母配合的一段螺杆结构形式, 对螺杆上应力最大值和应力分布有较大影响;

5) 这里给出的改进形式可以作为改善应力状况的参考, 在改进结构的基础上, 还可以通过将螺杆上的螺纹段和光轴段进行圆弧过渡的方法进一步改善应力集中情况。

[参考文献] (References)

- [1] 黄康, 仰荣德. 基于 ANSYS 的汽车横向稳定杆疲劳分析[J]. 机械设计, 2008, 25 (12): 66-68.
HUANG K, YANG R D. Fatigue analysis on the automobile transverse stability rod based on ANSYS[J]. Journal of Machine Design, 2008, 25(12): 66-68. (in Chinese)
- [2] 黄康, 威士兵, 叶鹏. 基于 MSC. Fatigue 的汽车横向稳定杆疲劳可靠性仿真及试验研究[J]. 起重运输机械, 2012 (7): 85-88.
HUANG K, QI S B, YE P. Fatigue reliability simulation and experimental study of stabilizer bar based on MSC[J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2012(7): 85-88. (in Chinese)
- [3] 崔浩, 李晓晨, 李志强, 等. 基于 Abaqus 的稳定杆失效分析及优化[J]. 计算机辅助工程, 2013, 22 (增 2): 162-165.
CUI H, LI X C, LI Z Q, et al. Failure analysis and optimization on anti-roll bar based on Abaqus[J]. Computer Aided Engineering, 2013, 22(Suppl. 2): 162-165. (in Chinese)

- [4] 陈红卫, 李绍杰. 55Cr3 钢冷弯成型汽车稳定杆断裂分析[J]. 河北冶金, 2013 (5): 59-61.
CHEN H W, LI S J. Analysis of break of cold-roll-formed automobile stabilizer bar of 55Cr3 steel[J]. Hebei Metallurgy, 2013(5): 59-61. (in Chinese)
- [5] 罗贻正, 李基琳, 肖春军. 某车型横向稳定杆路试断裂失效分析[J]. 热加工工艺, 2013, 42 (2): 213-215.
LUO Y Z, LI J L, XIAO C J. Fracture analysis of horizontal stabilizer bar[J]. Hot Working Technology, 2013, 42(2): 213-215. (in Chinese)
- [6] 王国丽, 黄小海, 刘树晖, 等. 汽车悬架稳定杆连杆支架的疲劳仿真分析及结构优化[J]. 工程设计学报, 2013, 20 (1): 18-21.
WANG G L, HUANG X H, LIU S H, et al. Fatigue simulation and structure optimization of suspension stabilizer link bracket[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2013, 20(1): 18-21. (in Chinese)
- [7] 许阳钊. 前稳定杆拉杆球头螺栓断裂问题的分析与解决[J]. 汽车零部件, 2012 (11): 98-102.
XU Y Z. Analysis and solution of the ball bolt fracture of front anti-roll bar link[J]. Automobile Parts, 2012(11): 98-102. (in Chinese)
- [8] 钟群鹏, 赵子华. 断口学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
ZHONG Q P, ZHAO Z H. Fracture[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese)