DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.12.011

基于弯曲疲劳仿真分析的铝制轮辋轻量化设计

李亚洲,柳　成,程　建
(大乘汽车集团有限公司 产品中心综合技术部,江苏 金坛 213200)

摘　要:利用有限元方法,获得铸造 A356 铝合金轮辋弯曲强度和疲劳性能。对比前后设计方案应力、损伤值大小和分布区域差异,验证轻量化方案的可行性,为轮辋减重提供有效依据,进而节省开发成本。

关键词:轮辋;弯曲疲劳;损伤值;轻量化设计
中图分类号: U463.342　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)12-1278-03

Lightweight Design of Aluminum Rim Based on Bending Fatigue Simulation Analysis

LI Yazhou, LIU Cheng, CHENG Jian
(Comprehensive Technology Department, Product Center, Dorcen Automobile Group Co. Ltd., Jintan 213200, China)

Abstract: The bending strength and fatigue properties of A356 aluminum alloy were obtained by finite element method. The difference of stress, damage value and distribution area before and after design scheme was compared. Verify the feasibility of lightweight scheme, provide effective basis for rim weight reduction, and then save development cost.

Key words: rim; rending fatigue; damage; lightweight design

车轮是汽车轻量化的重要组成部分,应在满足必要的强度和疲劳寿命的同时,仍能保持华美的外观和装饰性,因此乘用车大多采用铝合金车轮[1]。以往经验和相关研究表明,铝合金轮辋的破坏主要由力矩引起,弯曲疲劳是铝制轮辋损坏的主要因素[2]。本文基于铝合金轮辋的弯曲疲劳分析结果,对比某车型轮辋轻量化方案的性能变化,为整车轻量化提供试验支持。

1　有限元分析

弯曲疲劳试验中对轮辋施加一个旋转的弯矩,用以模拟车轮在持续转向中承受的弯矩状态。根据国内外相关法规要求,试验完成时轮辋表面不能出现裂纹等损坏状况[3]。试验方法如图 1 所示,固定轮辋边缘,螺栓连接法兰面和加载轴,轴末端加载旋转弯矩。在仿真分析中,轮辋处于静止状态,加载弯矩随时间变化。

使用有限元分析软件对轮辋进行网格划分。轮辋采用二阶四面体单元以提高计算精度,法兰面采用六面体单元, 旋转轴使用圆形截面的 Beam 梁单元模拟。分析模型中,法兰面与轮辋使用螺栓连接,

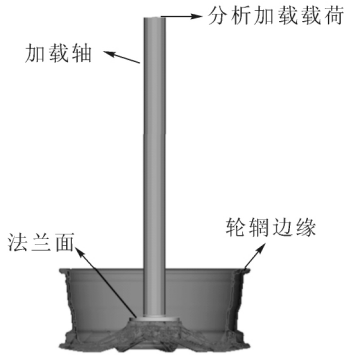

图 1 弯曲疲劳试验方法
Fig.1 Method of bending fatigue test

因此需要考虑预紧力的影响。研究表明[4],弯曲试验中离心力对整体结果的影响很小,本文忽略离心力。轮辋材料为 A356。

轮辋设计中轮辐位置处过盈量较多, 安全系数较高,因此该位置处存在轻量化的可能。本文轻量化方案拟对轮辐位置的厚度和弧度进行减薄, 同时调整侧面轮辋截面结构,轻量化方案如图 2 所示。针对原始方案中存在的装饰孔区域应力集中现象进行了结构调整,调整后的方案如图 3 所示。最终方案单个轮辋减重 0.56 kg,整车减重 2.2 kg。

1.1　旋转弯矩

轮辋试验中, 加载载荷在一个周期内方向随时间变化。依据有限元理论,将旋转过程离散化,分析类型为静力学分析, 因此可以通过固定时间步长的方式获得一个周期内不同方向的静力结果。将合力

收稿日期: 2019-07-25
作者简介: 李亚洲(1990-),山东临沂人,硕士,工程师. 主要从事结构耐久性分析方面的工作. 电话:18706188901,
Email:aisa123@126.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

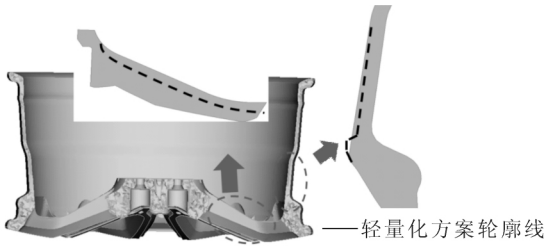

图 2 轻量化方案
Fig.2 Lightweight scheme

分解为相互正交的两个载荷，周期设定为 1 s，时间间隔为 0.05 s，分解载荷分别为 $F_x=F\sin(2\pi t)$ 和 $F_y=F\cos(2\pi t)$，t 为时间点，加载载荷如图 4 所示。这样可获得角度间隔 18°共计 20 个方向上的轮辋应力响应。并在随后的疲劳计算中将 20 个轮辋应力状态参照分析步次序输入，进行瞬态损伤叠加计算，获得最终轮辋损伤值。

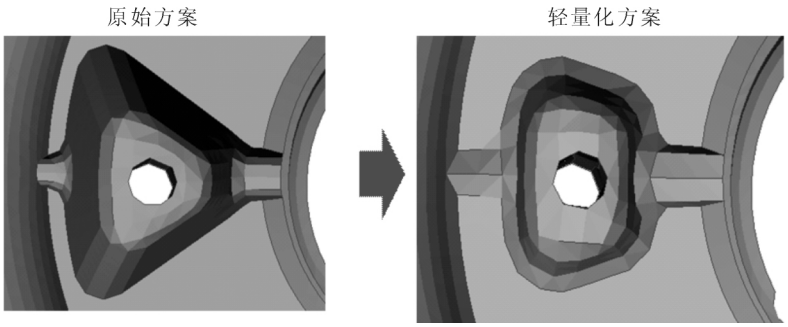

图 3 轮辋装饰孔结构优化
Fig.3 Structure optimization project of rim trim hole

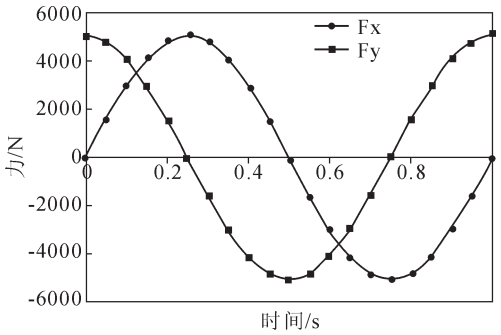

图 4 加载载荷
Fig.4 Loading force

1.2 预紧力

研究表明预紧力对轮辋表面应力有很大影响[5]。弯曲试验中螺栓规格与实际一致，螺纹规格为 M12×1.5，强度等级 8.8，在分析中施加的预紧力为 38 400 N，螺栓与轮辋的接触面需要与实际严格保持一致。

2 分析结果

轮辋模型较为复杂，采用 von Mises 应力评价分析结果。依照分析步长，统计 20 个方向轮辋应力值，轮辋应力数值均小于其屈服强度。受篇幅所限，文中仅展示周期结束时轮辋应力响应，见图 5。结果显示危险点集中于螺栓孔附近，减重前后应力值分别为 162.5 MPa 和 160.1 MPa，螺栓规格并未更改，最大应力值来自于预紧力，故仍需评估轮辋其它区域应力分布。隐藏螺栓区域后轮辋最大应力值出现在装饰孔凹槽处，应力值为 154.0 MPa，轻量化方案结构调整后该应力集中区域消失，最大应力为 105.1 MPa。从分析结果可以看到轻量化方案消除了应力集中区域，除螺栓孔加载区域外的最大应力降低 49 MPa，且应力分布更为均匀。

3 疲劳计算

轮辋疲劳寿命可以用台架试验和疲劳寿命分析两种方法获得。铝合金轮辋弯曲疲劳寿命通常需要达到几十万次以上，因此台架试验存在试验周期长和成本高的问题。研究表明，目前商业疲劳分析软件在预测轮辋寿命及损伤方面有较高的可靠度[6]。将强度结果导入 ANSYS 软件中，材料类型选择铸铝。使用瞬态疲劳计算方式获得一个周期内轮辋累积损伤，然后根据 Miner 线性累积损伤法则计算轮辋在 20 万次循环时表面损伤数值。

计算结果如图 6 所示，原始方案损伤 0.033，轻量化方案为 0.029，结构调整后损伤值并未增加，反而略有下降，表明对轮辋结构的优化是可行的。而强度分析结果中预紧力造成了应力集中现象，由于载荷恒定，该位置处疲劳损伤值很小。

从图 6 的分析结果可以看到，损伤值较大的区域大多出现在螺栓孔与轮心帽槽连接处以及螺栓孔附近。其它轮辋弯曲疲劳试验结果[7-9]也显示，弯曲试验中轮辋表面出现裂纹绝大部分同样出现在该位置处，这与本文分析结果一致。

4 结论

（1）螺栓预紧力在弯曲强度分析中产生较高应力，但疲劳损伤值较小。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

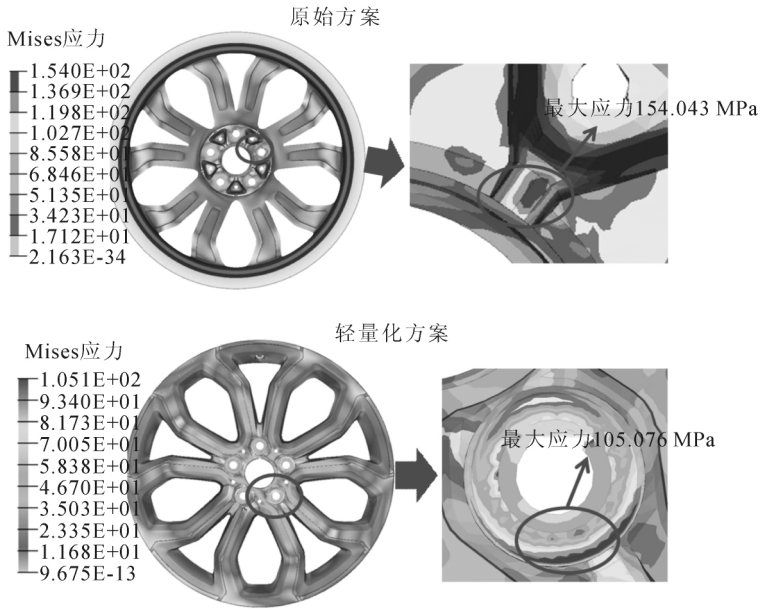

图 5 轮辋应力分布

Fig.5 Rim stress distribution

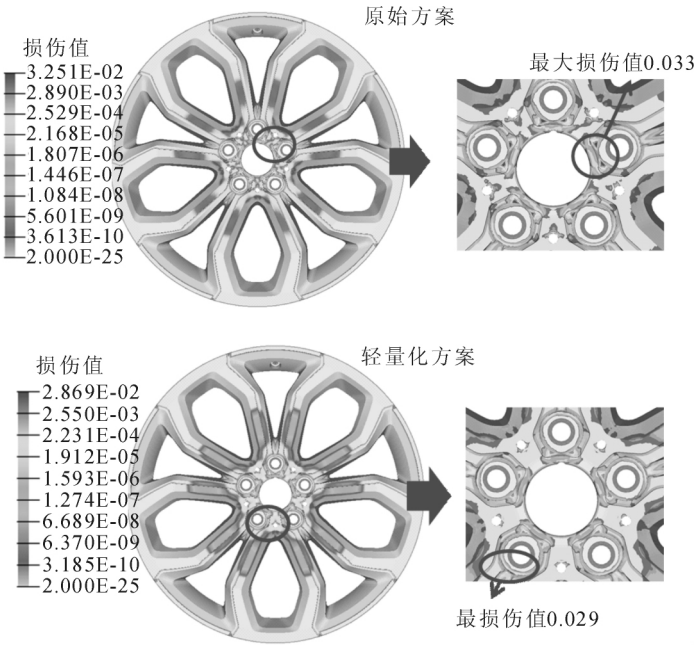

图 6 轮辋疲劳损伤

Fig.6 Rim fatigue damage

（2）轮辋原始设计中保持有较高安全余量，轻量化方案降低了轮辋整体损伤值，方案可行。

（3）有限元技术能够提供较为准确的轮辋弯曲疲劳损伤预测，可以有效的缩短开发周期和节约开发成本。

参考文献：

[1] 王良模，陈玉发，王晨至，等. 铝合金车轮弯曲疲劳寿命的仿真分析与试验研究[J]. 南京理工大学学报(自然科学版), 2009, 33(5):571-575.

[2] 崔胜民，杨占春. 汽车车轮疲劳寿命预测方法的研究[J]. 机械强度，2002, 24(4):617-619.

[3] 钟翠霞，童水光，闫胜暂，等. 基于有限元分析的铝合金车轮的弯曲寿命的预测[J]. 机械设计与制造, 2006，(12):85-87.

[4] 闫胜咎，童水光，张响，等. 汽车车轮弯曲疲劳试验分析研究[J]. 机械强度，2008, 30(4):687-691.

[5] 郎玉玲.铝合金轮毂弯曲试验非线性有限元分析[J].中国机械，2015，(17):124-126.

[6] 童水光，徐立，刘岩，等. 集成铸造缺陷的铝合金轮毂疲劳寿命预测[J]. 汽车技术, 2008，(11):54-57.

[7] 马泽云，杨金岭. 锻制铝合金轮毂弯曲疲劳试验研究[J]. 锻造与冲压, 2015，(11):42-45.

[8] 张响，童水光，闫胜咎，等. 铝合金车轮弯曲试验疲劳寿命预测研究[J]. 机械强度，2008, 30(4):673-677.

[9] 宋渊，徐燚. 基于 ANSYS 的汽车铝合金轮毂弯曲疲劳分析及优化[J]. 农业装备与车辆工程, 2013, 51(8):24-28.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net