

基于转动铰静强度试验与仿真分析研究

彭丽军 刘佼龙 姜宇飞 杨冠男
(株洲九方装备股份有限公司 湖南 株洲 412001)

摘要：文章针对转动铰按照现有试验要求的载荷加载方式，分别采用分力和合力两种加载方式，计算转动铰的应力分布情况和变形情况。根据计算结果，对比试验真实应力情况。结果表明，有限元计算结果与实际试验结果具有很高的 consistency。

关键词：转动铰；静强度试验；仿真分析

0 引言

随着客流量的大幅增加，低地板轻轨车辆具有多节连挂和编组灵活多变等特点，成为了城市交通的新宠。而低地板车的地板面距轨面较近，没有传统的车钩空间，同时城市内轨道交通路线具有曲线半径小和坡道陡且多的特点，铰接装置作为低地板轨道车辆的连接装置，被广泛地应用。

低地板车铰接装置布置在车体两端连接部分。一般采用上、下铰配合的方式，相邻车厢的车底间一般采用固定铰装置，相邻车厢的车顶间一般采用转动铰装置或转动铰与自由铰结合的方式。

转动铰为低地板车车体连接的关键安全部件，对行车安全具有重要的作用，通过对转动铰强度计算和有限元分析，加上试验验证，保证转动铰的设计、工艺、生产制造等能够满足低地板车的运用要求。

1 试验及数据分析处理

1.1 试验

试验过程分为分力加载和合力加载两种加载方式，如图 1 ~ 图 3 所示。

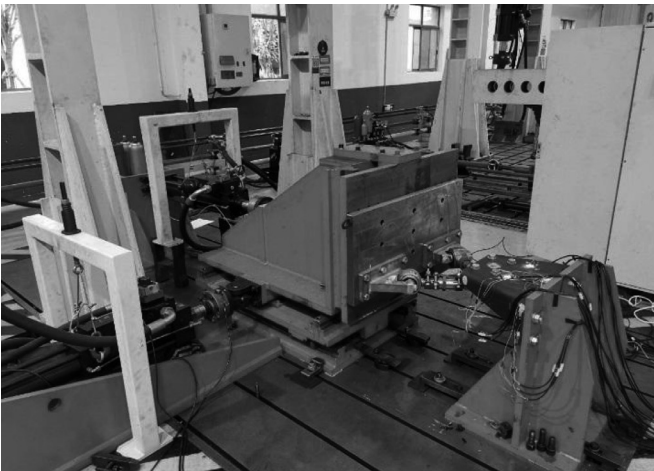


图 1 分力加载试验



图 2 合力加载试验

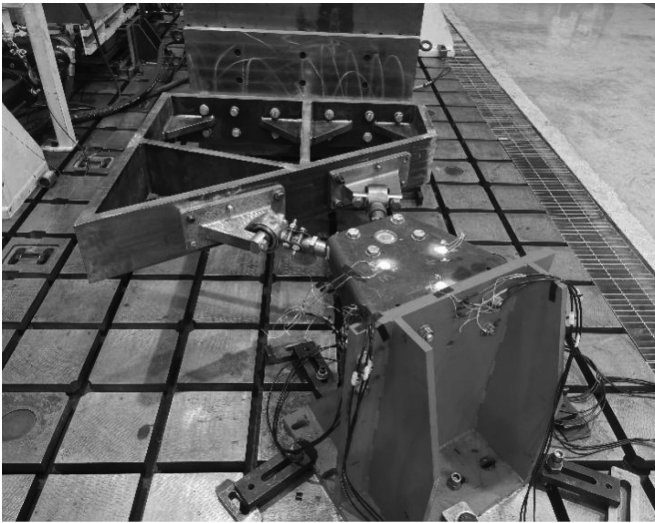


图 3 合力加载试验

- (1) 分力加载: X 、 Y 方向分别安装一条 100kN 的油缸进行试验。工况载荷见表 1 (X 方向为列车前进的方向)。
- (2) 合力加载: 通过理论计算，设计带有 31.686° 角度的试验工装进行试验， $F_{合}$ 为 95.2kN，用一条 100kN 的油缸进行试验。

表 1 工况载荷

序号	F _x /kN	F _y /kN	F _z /kN	载荷
工况 1	+81	-50	0	最大拉伸力

注：+ = 牵引力；- = 推力。

合力理论计算如下：

$$F_{合}=\sqrt{81^2+50^2}=95.2\text{ (kN)}$$
$$\tan \alpha=\frac{50}{81}\quad \alpha=31.686^{\circ}$$

式中：α - 合力与列车前进的方向所成的角度。

1.2 数据分析处理

按照加载方式，分别进行分力、合力试验，分力、合力加载方式各取了 10 组试验数据进行计算、分析，求平均值的结果。处理后的试验数据见表 2。

表 2 试验数据

数据来源	加载方式	点 1	点 2	点 3	点 4
试验	分力加载	325.53	116.82	302.14	53.26
试验	合力加载	256.44	66.45	268.94	46.37

2 有限元计算

2.1 材料参数

转动铰金属件部分均为钢件，弹性模量 E=210GPa，泊松比取 0.3。在此次计算中，忽略橡胶关节弹性部分的影响，将其视为一个整体的金属件。

2.2 工况载荷

转动铰静载强度试验工况见表 1。

2.3 有限元模型修正

因实物、应变片尺寸及粘贴的限制，实际试验中各测试点位置与之前有限元分析中输出应力测试位置存在差异，根据试验中各测试点实际位置重新提取有限元计算结果。

根据计算结果，对转动铰上 4 个点进行应力数据采集（图 4），安装座分力加载应力（图 5），安装座合力加载应力（图 6）。

各点有限元计算应力结果见表 3、表 4。

3 对比分析

提取试验数据平均值与有限元模型位置修正后的理论值形成见表 5。由表 5 可看出：

- (1) 分力试验数据与有限元模型位置修正后理论计算值基本一致；
- (2) 合力试验数据与有限元模型位置修正后理论计算值在应力集中的位置基本一致，分力、合力试验结果分别跟模型位置修正后的有限元分析数据进行比较，吻合度高；
- (3) 分力与合力试验数据差别较大。
- (4) 应力集中点试验数据与有限元模型位置修正后

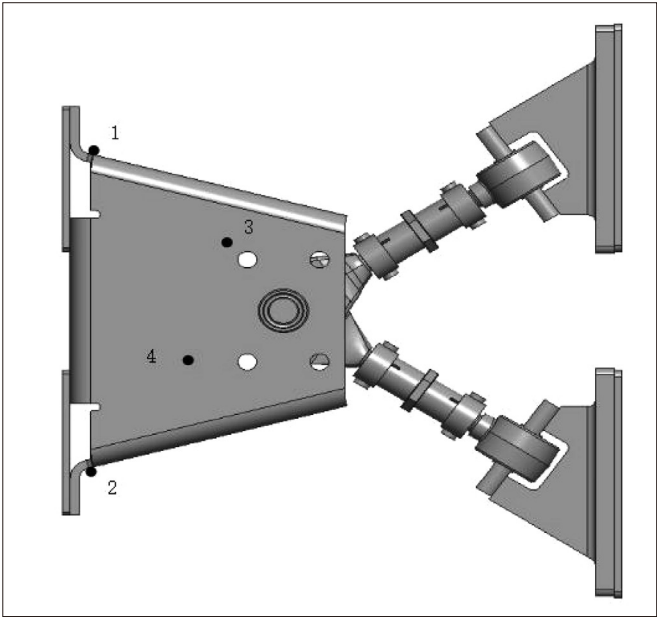


图 4 采集点

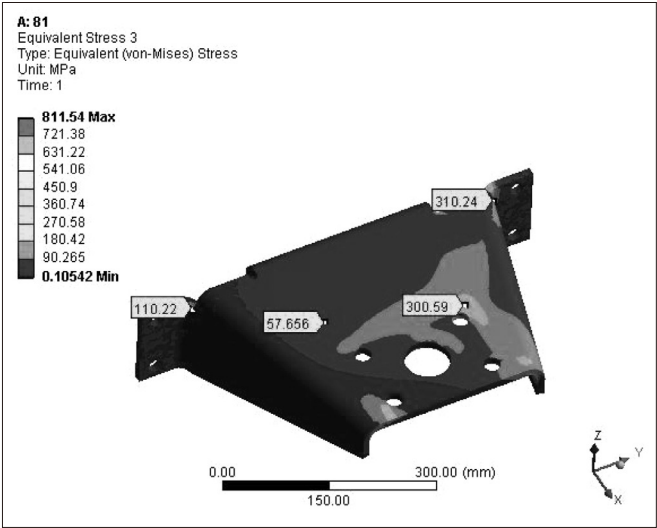


图 5 安装座分力加载应力

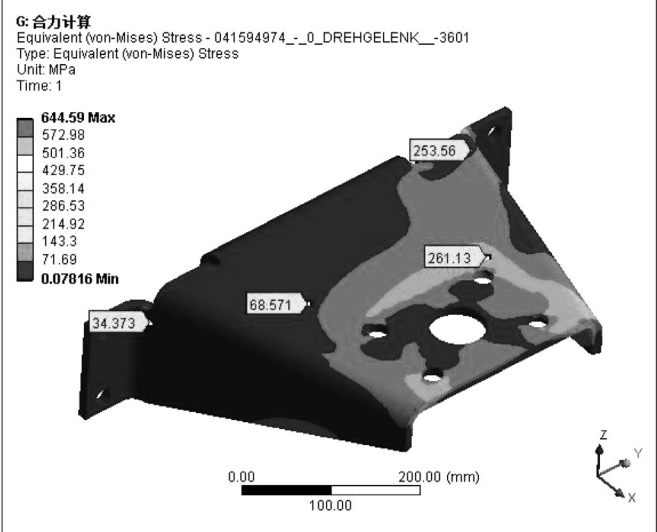


图 6 安装座合力加载应力

表 3 分力（有限元分析）

序号		1	2	3	4
Von-Mises 应力 /MPa	工况 1	310.24	110.22	300.59	57.66

表 4 合力（有限元分析）

序号		1	2	3	4
Von-Mises 应力 /MPa	工况 1	253.56	34.37	261.13	68.57

表 5 对比表

数据来源	加载方式	点 1	点 2	点 3	点 4
有限元计算	分力加载	310.24	110.22	300.59	57.66
试验		325.53	116.82	302.14	53.26
有限元计算	合力加载	253.56	34.37	261.13	68.57
试验		256.44	66.45	268.94	46.37

理论计算值基本一致，应力小的点试验数据与有限元模型位置修正后理论计算值差别较大。

4 结语

（1）有限元计算对于试验具有较大的指导意义。

（2）后续强度计算采取有限元仿真计算－静强度试验－有限元修正模型的模式，从而形成有效指导设计的有限元分析模型。

（3）分力和合力从实际的试验效果验证可以得出，因工装、加载相序会对实验结果有影响，涉及多向加载的试验尽量使用多向加载的方式。

（4）有限元分析应力集中点理论值与试验结果误差较小，在以后的有限元分析与试验验证中，应尽量选取应力集中点，减小误差。

参考文献：

[1] 李刚，李芾，黄运华.100% 低地板轻轨车辆的发展与运用 [J]. 机车电传动,2013(4):51-55+64.
[2] 罗斌. 轨道车辆低地板车车体铰接装置研制 [D]. 成都：西南交通大学,2018.
[3] 罗斌，刘文松，庄征宇，等. 低地板车车体转动铰接装置的研究 [J]. 机车电传动,2018(6):93-96+101.
[4] 彭立群，林达文，王进，等. 低地板车铰接装置力学性能试验设计与研究 [J]. 机车电传动,2020(6):149-154.

作者简介：彭丽军（1986-），男，汉族，湖南常德人，本科，工程师，研究方向：机械开发设计及试验验证。

（上接第 84 页）

要求，降低实车使用风险。同时也有利于保证产品稳定性。

电子电器零件固有模态通过 CAE 分析计算出频率 H_{CAE} 。固有频率应不小于各个轴测试出的最小共振频率，即：

$$\begin{aligned} H_X &\leq H_{CAE} \\ H_Y &\leq H_{CAE} \\ H_Z &\leq H_{CAE} \end{aligned}$$

在电子电器零件设计过程中，应考虑安装在车身上可能出现的共振风险。零件与车身振动频率关系满足如下要求，旨在尽可能地保证产品的可靠性。

$$\begin{aligned} H_X &\leq H_{CAE} < 1/2 \times H_{\text{车身}} \text{ 或 } 2 \times H_{\text{车身}} < H_X \leq H_{CAE} \\ H_Y &\leq H_{CAE} < 1/2 \times H_{\text{车身}} \text{ 或 } 2 \times H_{\text{车身}} < H_Y \leq H_{CAE} \\ H_Z &\leq H_{CAE} < 1/2 \times H_{\text{车身}} \text{ 或 } 2 \times H_{\text{车身}} < H_Z \leq H_{CAE} \end{aligned}$$

3 结语

本文介绍了一种基于电子电器零件安装在车辆车身不同位置 and 不同安装方向的共振频率研究，以确保电子电器

零件满足车辆运行要求。通过分析整车车身仿真模态，将相应布置位置的实测数据作为被测电子电器零件的共振测试依据，得出共振数据。同时计算出零件固有频率。参数值关系均满足 2.2 部分的要求，电子电器零件越安全。在电子电器零件设计阶段，固有频率设计在条件允许的情况下，越大越好。

参考文献：

[1]Heylen W, Lammens S,Sas P. 模态分析理论与试验 [M]. 白化同，郭继忠，译. 北京：北京理工大学出版社,2001.
[2] 郭耀麟. 某乘用车白车身模态分析 [J]. 内燃机与配件,2019(17):72-74.

作者简介：彭玉环（1990.06-），女，汉族，江西南昌人，本科，助理工程师，研究方向：电磁兼容，可靠性；刘卫东（1989.08-），男，汉族，江西南昌人，硕士研究生，工程师，研究方向：电子电器、智能网联。