

基于有限元法的动车组行李架优化分析

王宇驰 李占一

(中车长春轨道客车股份有限公司设备研发部,130062,长春//第一作者,工程师)

摘要 为解决现有高速动车组行李架玻璃承载面板易破损的安全隐患,利用有限元方法对玻璃承载面板和聚碳酸酯承载面板这两种行李架的应力和位移进行比较分析,寻找聚碳酸酯承载面板位移变化的原因和优化措施。结合动车组行李架内部结构分析,提出了行李架结构优化建议,为承载面板由玻璃板更改为聚碳酸酯板的优化措施提供技术论证。

关键词 动车组;行李架;聚碳酸酯承载面板;有限元计算

中图分类号 U270.38*7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.02.020

Optimization of EMU Luggage Rack Applicability Based on Finite Element Calculation

WANG Yuchi, LI Zhanyi

Abstract In order to reduce damage risks of the widely used glass EMU luggage rack, the stresses and displacements of glass luggage rack and polycarbonate bearing plate rack (PBPR) are compared and analyzed, the main reasons for the displacement of PBPR and improvement measures are discussed. On this basis, combined with the internal structure analysis of EMU luggage rack, an optimization scheme is proposed to provide technical demonstration for PBPR that will replace the glass bearing panel.

Key words electric multiple unit (EMU); luggage rack; polycarbonate bearing plate; finite element calculation

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

动车组行李架位于客室座椅上方,供旅客乘放行李、随身物品等,是动车内部设备的重要组成部分。近年来,随着工业水平的提高以及对美观性需求的增大,通常选择钢化玻璃板或聚碳酸酯板作为承载面板,其优点是表面通透方便旅客查看行李,且能增强动车组客室光亮度。

钢化玻璃面板刚度大,内部结构稳定,受力后变形量小,但玻璃的尖角冲击和自爆问题无法避免;聚碳酸酯面板密度小,质量轻,加工性与可塑性好,受力变形后易恢复,但硬度低,刚度小,受力状

态下变形较大,使用时易出现划痕。因此,行李架设计时,面板材料和结构的选择与设计显得非常重要。

1 行李架结构与材质

动车组行李架主要由托架、型材框架和承载面板 3 个部分构成,通过插接、压接、螺钉连接等方式组装固定。其中,承载面板主要有铝板、钢化玻璃板和聚碳酸酯隔板 3 种形式。

现以某型号动车组行李架(长度 2 040 mm)为例介绍其结构组成。行李架由左右托架、前型材、承载面板、后型材、拉杆、支架、销轴等部件构成,如图 1 所示。现保持结构不变,只更改承载面板材质,通过行李架受力及变形情况探讨钢化玻璃板承载与聚碳酸酯板承载的差异性。

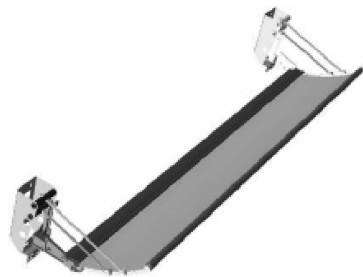


图 1 动车组行李架结构

2 行李架有限元模型

有限元模型的前处理和后处理均通过 Abaqus 分析软件实现。由于行李架部件多,建模工作量大,需对模型进行简化处理以减少计算量,因此,模型中忽略了较小的圆角、倒角等细节。忽略这些元素不会对所关心的计算结果产生影响,但可以大大减小计算量,提高工作效率^[1]。模型中端部托架、销轴、前后型材采用线性实体单元 C3D8R 划分,其余部件采用壳单元 S4R 划分,整个模型的单元数约为 27.4 万个,节点数约为 20.8 万个。离散后的行

李架有限元模型如图 2 所示。

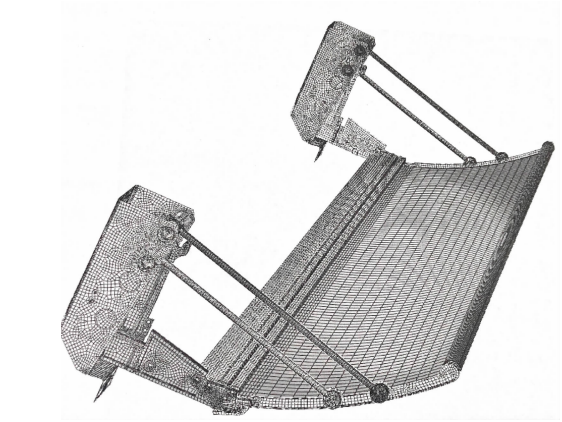


图 2 行李架有限元模型

边界条件为在行李架表面施加均布载荷 2 040 N(均载 1 000 N/m),在前端型材中部施加 850 N 集中力。

3 材料参数与计算载荷

行李架有限元模型中共涉及 6 种材料,其力学参数如表 1 所示。

根据 UIC 566 标准,计算载荷考虑变形最大的一种工况^[2],即行李架沿长度方向施加均布载荷 1 000 N/m,前端型材中部施加集中力 850 N。

4 结构强度评定标准

根据德国标准 DIN EN 12663—2000《铁道车辆

表 1 行李架材料参数

部件	材质	密度/(kg/m³)	杨氏系数/MPa	泊松比	屈服应力/MPa	抗拉强度/MPa
左右托架	YL112	2 800	69 000	0.33		320
后型材	6063-T5	2 700	69 000	0.33	130	175
前型材	6061-T6	2 700	69 000	0.33	240	260
拉杆	Q235	7 900	206 000	0.30	235	370
钢支架	Q345	7 900	206 000	0.30	345	470
支撑面板 1	钢化玻璃	2 180	70 000	0.20		84
支撑面板 2	聚碳酸酯	1 000	2 350	0.38		65

车体结构要求》规定,动车组行李架结构在各个工况的载荷综合作用下,材料的许用应力与计算等效应力之比不应小于 DIN EN 12663 标准中第 3.4.2 节中给出的安全系数 S 值。若取材料许用应力值为其屈服应力值进行校核,则安全系数 $S_1 = 1.15$,若取材料许用应力值为其抗拉强度进行校核,则安全系数 $S_2 = 1.5$ ^[3],即:

$$\frac{R_{p0.2}}{\sigma_c} \geq S_1; \quad \frac{\sigma_m}{\sigma_c} \geq S_2$$

式中:

- $R_{p0.2}$ ——材料许用应力;
- σ_m ——材料抗拉强度;
- σ_c ——计算等效应力。

5 计算结果

5.1 位移结果

图 3 和图 4 给出了支撑面板分别为钢化玻璃和聚碳酸酯板的位移云图。从位移云图上可以看出,钢化玻璃位移为 41.36 mm,聚碳酸酯板位移为

59.08 mm。根据设计任务书最大位移不得超过 45 mm 的要求,此结构的聚碳酸酯板行李架不合格。

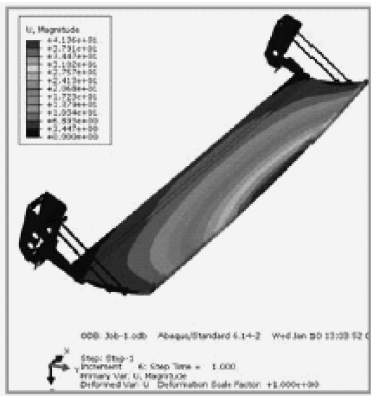


图 3 钢化玻璃板行李架位移云图

由此可见,在相同结构和相同载荷的条件下,聚碳酸酯板的位移比钢化玻璃要大。需要特别指出的是,前后型材的抗弯截面系数直接决定行李架的位移量,特别是前型材的抗弯截面系数的影响最为明显。

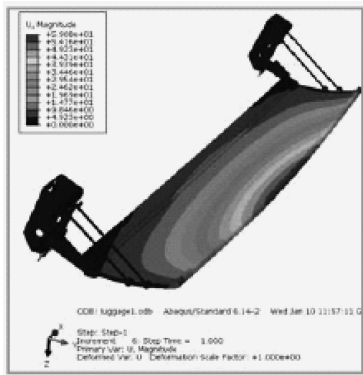


图4 聚碳酸酯板行李架位移云图

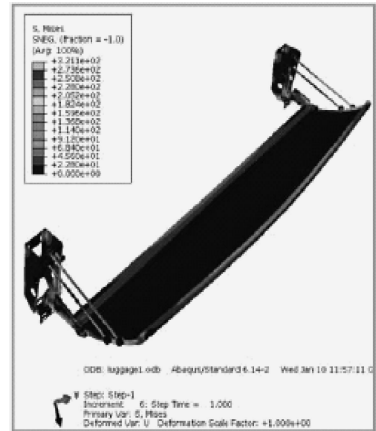


图7 聚碳酸酯板行李架应力云图

5.2 最大等效应力

通过计算得到每个主要部件的应力云图分布及最大等效应力。图5为钢化玻璃板行李架应力云图,最大应力为222.8 MPa,发生在支架拐点处(见图6);图7为聚碳酸酯板行李架应力云图,最大应力为273.6 MPa,发生在前端托架处(见图8)。

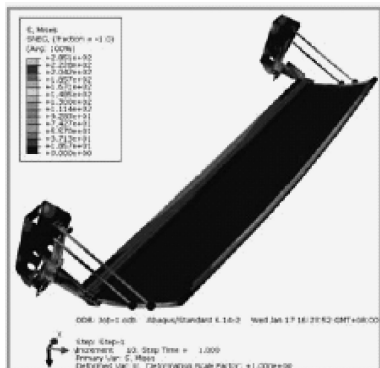
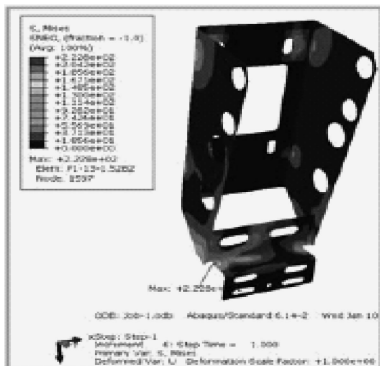
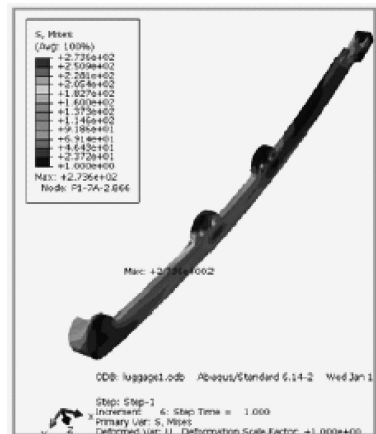


图5 钢化玻璃板行李架应力云图

图6 钢支架应力云图分布($\sigma_{\max} = 222.8 \text{ MPa}$)

两种承载面板行李架的各部件受力情况如表2所示。由表2可见,当前型材的位移量较小时,托架和框架型材的强度能满足要求;当前型材的位移量较大时,托架和框架型材的强度不足。因此,前型

图8 前端托架应力云图($\sigma_{\max} = 273.6 \text{ MPa}$)

材的位移量影响托架和型材的应力大小,而前型材的位移量则由其抗弯截面系数决定。

6 结果分析及改进建议

由表1的材料参数可见,钢化玻璃的弹性模量比聚碳酸酯板的弹性模量大很多。根据线应力除以线应变等于弹性模量的关系可知,相同条件下,对相同截面积的钢化玻璃板和聚碳酸酯板在相同位置施加相等的应力时,聚碳酸酯板的变形量会比钢化玻璃大很多,这与计算结果相吻合。

由于弹性模量是材料固有的性质,无法改变,因此,若采用聚碳酸酯板为承载面板,则需考虑加强行李架的主要框架强度,以保证行李架整体强度和零部件的安全系数。

首先考虑将最容易变形的前型材强度增强,并将左右托架壁厚加大,以达到行李架整体强度要求^[4]。根据梁的强度条件,纯弯曲梁的最大弯曲正应力 $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$ 。对于等截面直梁,中性轴为横截面对称轴,则有:

表 2 行李架各部件等效应力

面板材质	部件	σ_{\max}/MPa	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	S_1	抗拉强度 σ_b/MPa	S_2	结论
钢化玻璃	钢支架	222.8	345	1.55	470	2.11	通过
	销轴	102.5	345	3.37	470	4.59	通过
	拉杆	200.5	235	1.17	370	1.85	通过
	前端托架	196.1			320	1.63	通过
	后部托架	146.0			320	2.19	通过
	前型材	125.1	240	1.92	260	2.08	通过
	后型材	92.1	130	1.41	175	1.90	通过
	钢化玻璃板	36.3			84	2.32	通过
	钢支架	247.0	345	1.40	470	1.90	通过
	销轴	114.9	345	3.00	470	4.09	通过
聚碳酸酯	拉杆	200.0	235	1.18	370	1.85	通过
	前端托架	273.6			320	1.17	未通过
	后部托架	181.5			320	1.76	通过
	前型材	165.0	240	1.45	260	1.58	通过
	后型材	112.3	130	1.16	175	1.56	通过
	聚碳酸酯板	9.6			65	6.77	通过

$$\sigma_{\max} = M_{\max}/W_z$$

式中：

M_{\max} ——最大弯矩；

W_z ——抗弯截面系数。

抗弯截面系数越大,材料的最大弯曲正应力越小。空心圆截面的抗弯截面系数计算公式为：

$$W_z = \frac{\pi D^3}{32}(1 - \alpha^4) ; \quad \alpha = d/D$$

式中：

D ——空心圆截面外径；

d ——空心圆截面内径。

空心圆截面的抗弯截面系数与外径的 3 次方成正比,外径越大相应的抗弯截面系数越大;另外,壁厚($D - d$)越大相应的抗弯截面系数也越大。

综上所述,若承载面板由钢化玻璃更改为聚碳酸酯板,则需考虑加大框架型材外径及壁厚的优化措施。优化后再次进行有限元计算得出,优化后的聚碳酸酯板行李架最大变形量为 39.01 mm,部件最大应力出现在钢支架支座拐角处,为 235.5 MPa,均符合要求。图 9 和图 10 为优化后的行李架位移和钢支架应力云图。表 3 为优化后聚碳酸脂板行李架各部件等效应力计算结果。

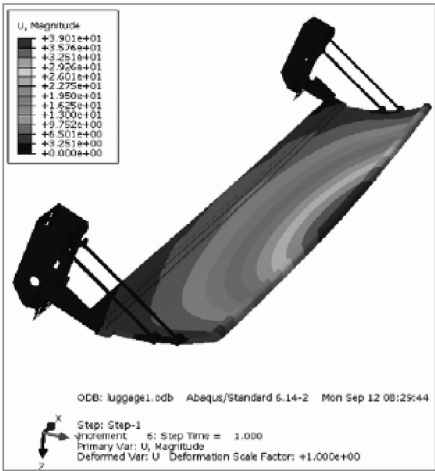


图 9 优化后聚碳酸酯板行李架位移云图

7 结论

- (1) 原行李架结构不变的情况下,聚碳酸酯板承载位移量比钢化玻璃板要大,且前型材位移量影响托架和型材的应力大小。
- (2) 前后型材的抗弯截面系数对行李架的位移量影响显著,特别是前型材的抗弯截面系数,其影响最为明显。因此,在设计行李架时,需要综合考虑,如果对行李架抗变形要求高,就需要选用抗弯截面系数较大的型材。

表 3 优化后聚碳酸酯板行李架各部件等效应力

部件	σ_{\max}/MPa	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	S_1	σ_b/MPa	S_2	结论
钢支架	261.90	345	1.32	470	1.79	通过
销轴	197.30	345	1.75	470	2.38	通过
拉杆	206.90	235	1.15	370	1.79	通过
前托架	210.20			320	1.52	通过
后托架	177.40			320	1.80	通过
前型材	85.29	240	2.81	260	3.05	通过
后型材	95.43	130	1.36	175	1.83	通过
聚碳酸酯板	3.52			65	18.47	通过

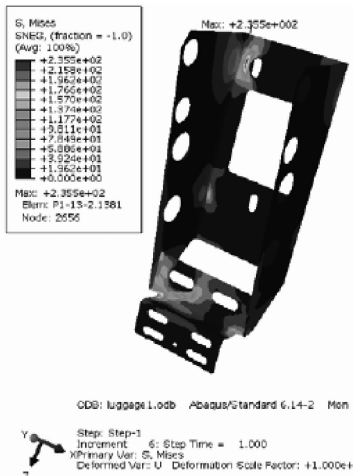


图 10 优化后钢支架应力云图

(3) 通过分析比较可知,聚碳酸酯板具有密度

小,质量轻、可塑性好的优势,适用于动车组行李架承载面板,但同时应考虑加强框架的强度。

参考文献

[1] 曾攀. 有限元法[M]. 北京: 清华大学出版社,2008.
[2] UIC. Loadings of coach bodies and their components; UIC 566—1990[S]. Paris: UIC, 1990.
[3] CEN. Railway applications—Structural requirements of railway vehicle bodies—Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons); BS EN 12663-1—2010 [S]. Brussels: CEN, 2010.
[4] 牟少弟,李智国,李乐营. 新型轻量化行李架研究[J]. 沿海企业与科技, 2012(12):13.
[5] 王晓明,宋晓文,刘德刚,等. 动车组行李架支座结构拓扑优化设计[J]. 铁道车辆, 2013,51(2):11.

(收稿日期:2018-10-11)

(上接第 83 页)

7 结论

- (1) 座椅腿开裂是典型的高强度铝合金应力腐蚀开裂。椅腿在腐蚀状态下承受负载能力降低,在长期处于应力腐蚀工况下,易引发开裂。
- (2) 清洗剂中含有对铝合金起缓蚀的成分,能够造成铝合金腐蚀。
- (3) 油漆表面的防腐性能过低,不能满足设计寿命要求,如将喷漆改为喷塑处理,能够有效提高表面防腐能力。

参考文献

[1] 章淑芳,王晓敏,陈辉,等. 7003 铝合金动车柜体的应力腐蚀开裂[J]. 材料工程, 2015,43(7):105.
[2] 宫岛,马梦林,邓海,等. 动车组车辆地板振动问题及其优化[J]. 同济大学学报(自然科学版),2017,45(8):1174.
[3] 吴影,陈辉,苟国庆,等. 高速列车用 6061 和 7N01 铝合金焊

接接头断裂韧性分析[J]. 焊接学报,2014,35(9):77.
[4] 倪维源,杨尚磊,贾进,等. 高速列车用高强 A7N01 铝合金焊接接头的组织与性能[J]. 热加工工艺,2014,43(19):22.
[5] 国家质量监督检验检疫总局. 变形铝及铝合金化学成分: GB/T 3190—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
[6] 国家质量监督检验检疫总局. 一般工业用铝及铝合金挤压型材: GB/T 6892—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
[7] 国家质量监督检验检疫总局. 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验: GB/T 10125—2012[S]. 北京:中国标准出版社,2012.
[8] 王学慧. 不锈钢和铝合金在典型环境中的应力腐蚀特征与检测方法[D]. 天津: 天津大学, 2015.
[9] 孟祥瑞. 铝合金材料的应力腐蚀及腐蚀疲劳特性实验研究[D]. 上海: 上海交通大学,2012.
[10] 张晓云,霍乾明,孙志华,等. 高强铝合金在不同环境下的应力腐蚀行为[J]. 科学通报,2008(23):2860.
[11] 杨玉洁,吴明,王旭,等. 铝合金应力腐蚀开裂的影响机制[J]. 轻合金加工技术,2017,45(10):5.
[12] 李安敏,王晖,郭长青,等. 7xxx 系铝合金应力腐蚀的控制[J]. 材料导报,2015,29(17):84.

(收稿日期:2018-10-11)