

基于 HyperWorks 的高速列车侧窗强度仿真分析

张崇 廖淑香 王倩

(唐山华达轨道交通装备有限责任公司 河北 唐山 063035)

摘要: 运行的列车在交汇时产生的压力波对侧窗的安全性产生非常不利的影响, 影响乘客的乘车安全。为避免列车侧窗在运行时受到压力波影响发生破坏, 本文通过利用 HyperWorks 软件, 根据设计的车窗及安装环境建立侧窗的模型, 对在会车压力波作用下的一种高速列车侧窗进行强度仿真分析计算, 模拟 12 种工况, 得到各工况下侧窗的机械结构强度及粘接力学分析计算结果, 计算结果表明侧窗的结构及胶粘强度均满足设计要求, 为侧窗的设计提供有力依据, 保证侧窗使用的安全性。

关键词: 压力波; 侧窗; 强度; 安全性

0 引言

高速运行的列车在会车时车周空气运动发生变化, 瞬间产生巨大的压力波, 压力波随着列车速度提高而增大。现运行列车不断提速, 压力波的影响也逐渐明显, 会给交会列车的侧窗带来较大冲击, 可能会发生破窗事故。为保证乘客及列车运行安全, 车窗能否承受压力波的影响尤为重要。本文通过有限元分析, 保证侧窗的安全性。

1 结构选型

侧窗外形尺寸长 1260mm、宽 810mm。侧窗玻璃组成采用由外到内 (4+0.76+4) +9+5, 侧窗窗框与玻璃的连接方式采用胶条连接, 窗框的内框与外框铝型材使用胶粘接, 外框与内框之间切断热传递, 起到隔热作用, 可在高寒的车况下使用。组装完成后, 重心应该位于其几何中心处。车窗通过安装块螺纹安装在车体侧面, 使用密封胶密封。

2 仿真强度分析

2.1 仿真模型建立

计算采用软件 HyperWorks 根据侧窗模型进行处理, 为更贴近车窗的实际使用环境, 整体模型采用实体单元。

首先进行侧窗外框、内框及粘接胶实体单元建立。三维模型转换格式后导入, 将模型从中间部位切割得到侧窗断面, 可以清晰的看到侧窗结构组成, 整理连接断面, 划分断面网格, 确保各部分网格分割并连接, 检查二维网格质量, 雅可比大于 0.6, 整理修改二维网格。二维网格划分完成后, 在模型中绘制扫描轨迹, 按照同一轨迹、同一网格大小扫描得到窗框及粘接胶的实体单元, 再使用边界融合, 连接相邻单元, 得到整体的实体单元, 完成窗框及胶部分的有限元模型建立。

玻璃模型建立分两部分, 一部分为胶结部分玻璃, 这部分网格需要保证与胶的网格一致; 一部分为玻璃中间部分, 只需保证与胶结部分玻璃保证连接即可。将这两部分玻璃面分割, 利用 face 命令, 得到粘接胶部分面网格, 映射到胶结玻璃部分, 并建立网格节点。以外部网格为基础建立中间部分网格, 检查网格质量合格后, 将面网格拉伸得到玻璃的实体单元, 并使用边界融合, 连接单元, 完成玻璃部分的有限元模型建立。

对部分连接部位和部分轴采用刚性元和梁单元进行模拟, 整体有限元模型如图 1 所示。侧窗结构规模为 1770681 个单元和 2348817 个节点。车窗施加载荷情况, 施加 ±6000Pa 的压力。模型建立后应用分析软件 ANSYS 进行计算, 按照标准施加载荷工况, 工况如表 1 所示。



图 1 侧窗有限元模型

2.2 侧窗结构强度

通过计算, 得到 12 个工况下侧窗结构强度计算结果, 如表 2 所示。

侧窗在各个载荷工况作用下的最大应力出现在车窗安装块螺栓连接处, 最大应力值为 93.4MPa (工况 6), 小于材料的许用应力 96MPa, 满足强度设计要求。

侧窗整体的薄弱点在外框的安装块的螺栓连接处, 可

表 1 结构工况列表

工况	X 向 (纵向)	Y 向 (横向)	Z 向 (垂向)	气动载荷 (Pa)
S01	+3 g	0	-1 g	+6000
S02	+3 g	0	-1 g	-6000
S03	-3 g	0	-1 g	+6000
S04	-3 g	0	-1 g	-6000
S05	0	+1 g	-1 g	+6000
S06	0	+1 g	-1 g	-6000
S07	0	-1 g	-1 g	+6000
S08	0	-1 g	-1 g	-6000
S09	0	0	-3 g	+6000
S10	0	0	-3 g	-6000
S11	0	0	+1 g	+6000
S12	0	0	+1 g	-6000

(下转第 137 页)



图 2 防寒材各部位安装效果

50mm 厚防寒材用在小间底梁下面，在除小间外的整体地板安装时地板分上、下两层安装，45mm 厚防寒材用在地板一层，40mm 厚防寒材用在地板二层模块，30mm 厚防寒材用在地沟条中，由波纹地板高度决定。

外端墙防寒材应用：防寒材厚度为：50mm、30mm、30mm。50mm 厚防寒材用在外端墙上，20mm 厚防寒材用在线槽里面，等车体布线后在再用 30mm 厚防寒材进行安装，外露梁柱表面用 5mm 厚橡塑海绵。

内端墙防寒材应用：防寒材厚度为：65mm。根据内端

拉门间距确定安装 65mm 厚防寒材。

车顶防寒材应用：防寒材厚度为：75mm、50mm。50mm 厚防寒材用在端部平顶压板处，此位置有固定搭线用滑槽，如果太高就会超差，无法固定，尺寸必须保证。75mm 厚防寒材用在车顶大面积区域，根据车体梁深及计算确定。为了防止冷凝水的产生，防寒材外露安装厚度 0.15mm 铝箔，弯梁、有平面的纵梁、风道周围、水箱大盖周围、端顶槽钢的侧面和底面等部位安装 5mm 橡塑海绵。

侧墙防寒安装：防寒材厚度为：75mm。75mm 厚防寒材用在侧墙大面积区域，为了防止冷凝水的产生，在外露帽型柱表面粘贴 5mm 橡塑海绵。

3 结语

动力集中动车组防寒材的选型和应用方案，经过对密度、导热系数、含水率、憎水率、体积吸湿率、纤维平均直径、有机物含量、渣球含量、防火要求、降噪系数、环保要求、禁用限用物质要求、甲醛和挥发性有机化合物限量、重量要求进行试验，各种性能均符合相关要求。对整车隔热系数进行试验验证和 K 值理论计算，满足各种条件的运营，与普通客车比减轻了重量，降低了成本，提高了乘客出行的舒适度，推进了铁路技术装备的升级，同时提高了铁路产品的供给质量。

参考文献：

[1] 刘应清, 蔡德源, 王运时. 客车隔热壁传热系数的热电模拟试验研究 [J]. 西南交通大学学报, 1985(01):78-88.
 [2] 25.5 米空调客车隔热性能试验报告, 四方车辆研究所, 1981.8.

(上接第 135 页)

表 2 结构强度计算结果列表

工况	许用应力 (MPa)	最大计算应力 (MPa)	工况	许用应力 (MPa)	最大计算应力 (MPa)
S01	96	89.9	S07	96	91.9
S02	96	91.6	S08	96	89.7
S03	96	90.1	S09	96	88.5
S04	96	91.5	S10	96	93.1
S05	96	88.1	S11	96	91.6
S06	96	93.4	S12	96	90.0

以考虑增加安装块数量或者次用更高强度的铝合金材质。

2.3 粘接力学分析

侧窗使用粘接胶的物理属性：杨氏模量为 3.4MPa (N/mm²)；泊松比为 0.48；密度为 1.50 × 10⁻⁹T/mm³；强度值，剪切强度为 6.1MPa，剪切老化强度为 3.58MPa，拉压强度为 9.6MPa，拉压老化强度为 7.26MPa。

在 12 种静强度工况下，通过计算得到胶粘剂计算结果，

最大主应力 0.118MPa，小于许用应力 7.26MPa；最大主应变 2.7%，小于许用应变 20%；最大剪应力 0.064 MPa，小于许用应力 3.58MPa；最大剪应变 2.8%，小于许用应变 50%，粘接剂满足静强度要求。

3 结语

高速运行的列车通过空气动力学分析，分析列车在各种情况下会车时的压波干扰，得到侧窗应能承受连续正负交变的气压载荷 ±6000Pa。通过以上仿真计算可得，此结构侧窗可承受 ±6000Pa 气压载荷，满足强度设计要求。

参考文献：

[1] 徐继航, 周楠. 高铁列车车窗玻璃破损现场勘验 [J]. 铁道警察学院学报, 2019,29(01).
 [2] 何中建, 胡桂明. 160km/h EMU 侧窗结构选型及强度验算 [J]. 技术与市场, 2012,19(12).
 [3] 李人宪, 赵晶, 刘杰, 张卫华. 高速列车会车压力波对侧窗的影响 [J]. 机械工程学报, 2010,46(04).