

关于某地铁车辆立扶手安装的力学分析与结构优化

文 | 中车南京浦镇车辆有限公司 李斌斌 张国旺 丁洁琼 李树栋

一、引言

城市化进程加快以及城市人口的增加对城市轨道交通提出了越来越高的要求。作为缓解地面交通拥堵的“地下巨龙”——地铁车辆的出现给人们的出行带来了方便,当然,地铁车辆的可靠性和美观性也是人们关注的焦点,本文就某地铁车辆内装部件——中部扶手出现的相关问题进行分析,为类似地铁车辆的结构分析提供解决措施及分析方法。

二、问题描述

某地铁部分车辆在实际运行过程中,发现在客室中部扶手下部安装座与铝蜂窝地板连接处地板有异响且在该处地板布出现起鼓现象,直接影响客室美观性和乘客的舒适度,如图1所示。



图1 地板布起鼓

三、中部扶手结构分析

某地铁车辆的铝蜂窝地板结构如图2所示:在铝蜂窝地板上开有一圆形凹槽,凹槽中心为长方孔结构;在中部扶手下部安装座处现场配孔,安装铆螺母;用M8的螺栓穿过椭圆形盖板上的安装孔,将中部扶手下部安装座紧固在底

架中部扶手橡胶安装座上;在此过程中,盖板使用艾纳纳8088 结构胶粘接在铝蜂窝地板凹槽处。

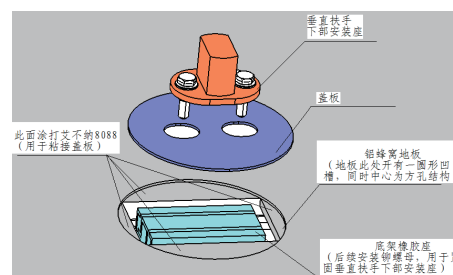


图2 中部扶手安装简图

四、现有模型的有限元分析

1、有限元模型的建立

在ABAQUS软件中建立中部扶手下部安装座与铝蜂窝地板安装结构的有限元模型,如图3所示,从图中可以看出:主要部件从上到下依次为:中部扶手立扶手①、下部罩杯②、扶手安装座③、盖板④、铝蜂窝地板⑤以及橡胶安装座⑥。

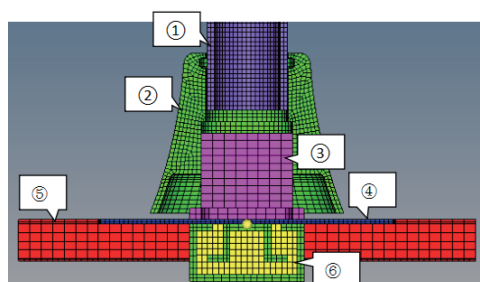


图3 中部扶手座的有限元模型

2、材料属性

中部扶手安装结构中各子件的材料属性如表 1 所列,其中橡胶安装座中橡胶的物料属性如表 2 所列。

表 1 各子件材料属性

名称	材料	杨氏模量 (MPa)	泊松比	屈服强度 (MPa)
立扶手	022Cr19Ni10	210 000	0.3	175
下部罩杯	022Cr19Ni10	210 000	0.3	175
扶手安装座	022Cr19Ni10	210 000	0.3	175
盖板	5754-H111	69 000	0.3	80
铝蜂窝地板	/	69 000	0.3	215
橡胶安装座 (铝板部分)	5052 H32	69 000	0.3	70

表 2 橡胶安装座属性

硬度	C10/(MPa)	C01/(MPa)
70	0.769 1	0.019 9

3、载荷及约束

中部扶手在正常安装工况下,载荷和约束情况如图 4 所示,①与②、③与②、④与⑤(盖板与铝蜂窝地板凹槽之间用结构胶连接,此次仿真将两者联接位置 Tie 绑定) Tie 绑定,即假设各部件之间没有相互移动;③与④、④与⑥之间设置为面接触约束,中部扶手安装座螺栓孔与橡胶安装座铆螺母孔之间建立 BEAM 刚性联接来模拟正常工况下的螺栓联接;橡胶安装座、铝蜂窝地板及中部扶手上部均约束所有的自由度,模拟完全固定工况。

在距离地面 1.2m 的位置定义作用点,定义单一方向的载荷 F_1 ,其中考虑车辆最大的加速度为制动时的 1.2m/s^2 ;且在极限工况下,共有 9 个体重为 60kg 的乘客用单手扶住中部立扶手。此时: $F_1=ma=9 \times 60 \times 1.2=648\text{N}$ 。

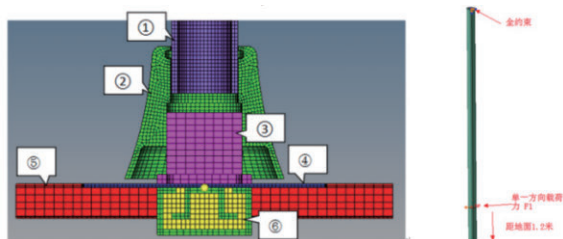


图 4 约束及载荷示意图

4、应力分析

在 ABAQUS 软件中进行应力计算,得出以下计算结果:分别取铝蜂窝地板粘接位置横向、纵向、垂向和切向 4 个方向的应力云图来分析,如图 5~8 所示。

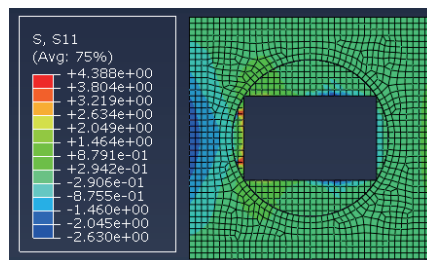


图 5 纵向方向应力（施力方向）云图

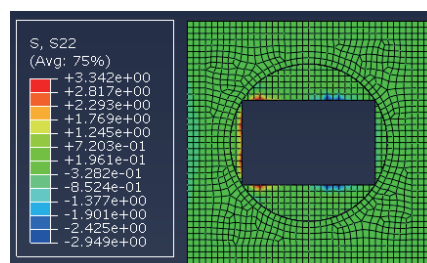


图 6 横向方向应力（施力方向的垂直方向）云图

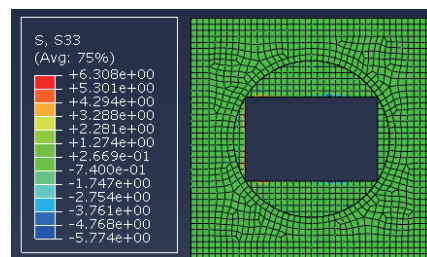


图 7 垂向方向应力（垂直地面方向）云图

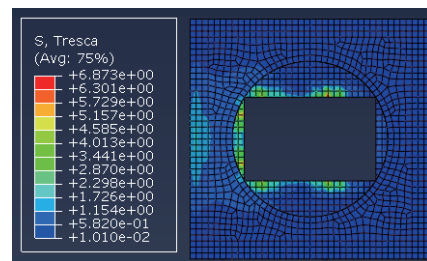


图 8 切应力云图

由图 5~8 可以看出:结构胶受到的力很大程度是由于立扶手受力造成下部结构胶撕扯的作用,图 8 中铝蜂窝地板所受最大切应力为 6.87 Mpa,主要出现在铝蜂窝地板凹槽的直角位置,很切合实际生产要求,因此,我们在实际安装结构中应该尽量避免凹槽处的直角接触。而由图 9 可以看出平均应力值最大值为 6.59 Mpa,也出现在铝蜂窝地板凹槽处。

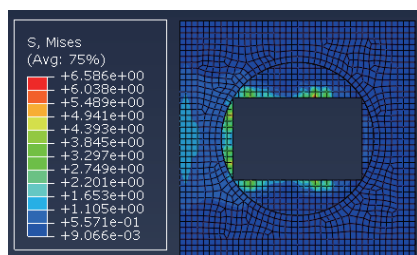


图9 平均应力云图

中部扶手在正常安装工况下,在 ABAQUS 软件中进行应力计算,取盖板应力及位移应力云图进行分析,如图 10、11 所示。

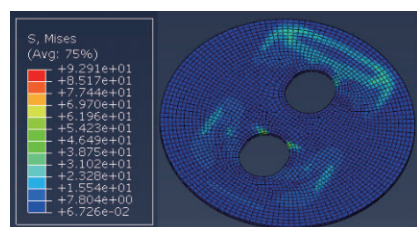


图10 盖板平均应力云图

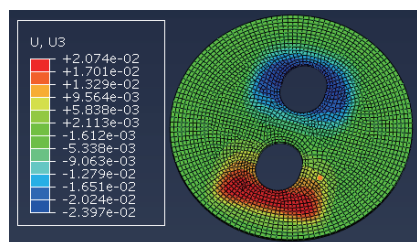


图11 盖板位移云图

在正常工况下,由图 10 可以得到,盖板所受最大平均应力为 92.91 MPa,出现在螺栓安装孔的位置,而盖板材料的屈服强度为 80 MPa,所受应力大于材料的屈服强度,而由图 11 可以看出盖板安装孔位置的总位移为 0.02 mm,盖板产生了小范围的塑性变形。

同样,在 ABAQUS 软件中进行应力计算,取盖板与铝蜂窝板凹槽粘接位置所受应力进行分析,如图 12、13 所示。表 3 为艾布纳 8088 结构胶强度测试结果。

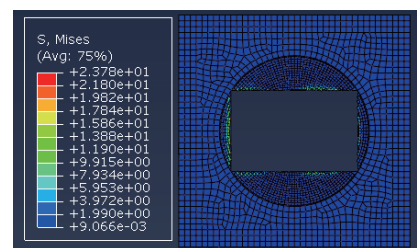


图12 盖板与铝蜂窝板胶粘位置应力云图

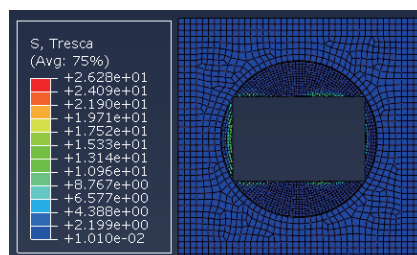


图13 盖板与铝蜂窝板胶粘位置切应力云图

表3 艾布纳 8088 结构胶强度测试结果

熟化时间 (h)	剪切强度 (MPa)
1	9.254
3	13.238
6	13.984
9	14.483
12	14.785
24	14.898
48	14.982

图 8 中铝蜂窝地板所受最大切应力为 6.87 MPa,小于艾布纳 8088 结构胶的强度,但在扶手受 648 N 纵向力的工况下,由图 12 和 13 可以得到盖板粘接位置所受剪切应力为 23.78 MPa 及平均应力 26.28 MPa 均大于胶固化 48 小时后的强度值 14.98 MPa,有脱胶的风险,因此,盖板与铝蜂窝地板粘接位置脱胶导致出现起鼓和异响。

五、优化方案

由图 2 的客室中部扶手安装结构简图可以看出:

首先,盖板与铝蜂窝地板之间的接触面积小且存在尖点接触,更严重的是盖板与铝蜂窝地板凹槽四周的搭接量不均匀,在涂胶的过程中很容易出现粘接不良的现象;其次,盖板与底架橡胶安装座直接通过螺栓连接,若底架橡胶安装座高出铝蜂窝地板凹槽位置会顶起盖板,若底架橡胶安装座低于铝蜂窝地板凹槽位置,盖板与铝蜂窝地板粘接后与底架橡胶座存在间隙,螺栓紧固过程中会是盖板中间下陷;以上两种情况都会导致盖板脱胶,车辆运行过程中,在中部扶手下部位置地板很容易出现异响且该位置地板布有起鼓现象。

针对上述问题,对图 2 的中部扶手安装结构给出以下改进建议及方案:

(1) 将图 2 中的盖板直接去掉,采取的措施为:使用中心开 $\Phi 72$ 的开孔器将铝蜂窝盖板凹槽切除,使用紧固件

将中部扶手下部安装座直接紧固在底架橡胶安装座上,如图 14 所示。

(2) 将原结构中,盖板与铝蜂窝地板之间使用的艾不纳 8088 结构胶换为 Lord 406,此胶粘接性能更优。

改进后模型的有限元分析

在 ABAQUS 软件根据图 14 所示的改进后的中部扶手结构简图,建立如图 15 所示的有限元模型,载荷施加与边界约束跟改进前相同。

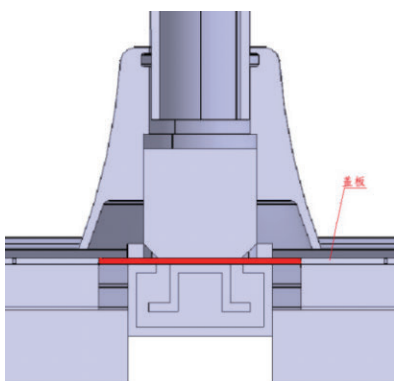


图 14 切除盖板模型

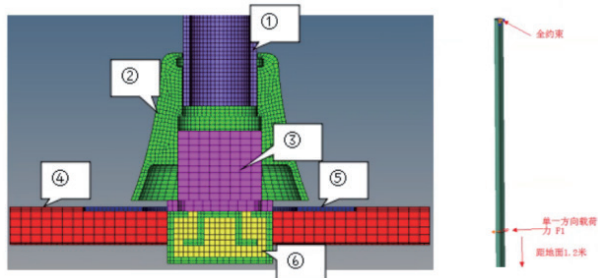


图 15 改进后模型的约束及载荷示意图

在 ABAQUS 软件中对改进后的客室中部的扶手结构进行计算,得出以下计算结果:取结构胶连接位置应力云图进行分析。分别取铝蜂窝地板粘接位置处横向、纵向、垂向和切向 4 个方向的应力云图,如图 16~19 所示。

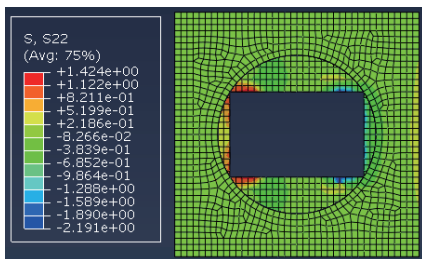


图 16 纵向方向应力（施力方向）云图

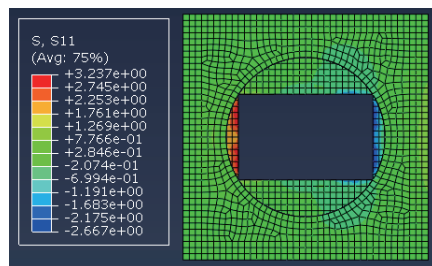


图 17 横向方向应力（施力方向的垂直方向）云图

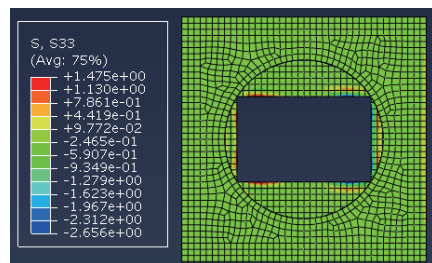


图 18 垂向方向应力（垂直地面方向）云图

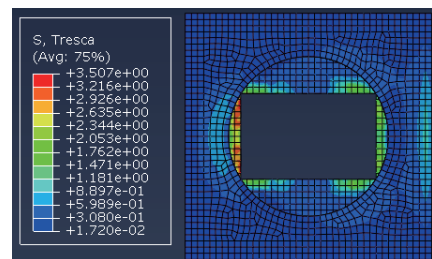


图 19 切应力云图

由图 16~19 可以看出:结构胶受到的力很大程度是由于立扶手受力造成下部结构撕扯的作用,即图 18 中的受力为 1.48 Mpa,沿着施力方向的应力分布并不是最大的;而图 19 中铝蜂窝地板最大切应力值为 3.51 Mpa,出现在铝蜂窝地板凹槽处;图 20 为平均应力云图可以看出,应力最大值为 3.21 Mpa,同样出现在铝蜂窝地板凹槽处。

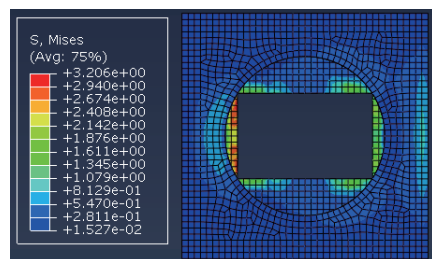


图 20 平均应力云图

在 ABAQUS 软件中对改进后的结构进行计算,取盖板应力及位移分布进行分析,如图 21、22 所示。

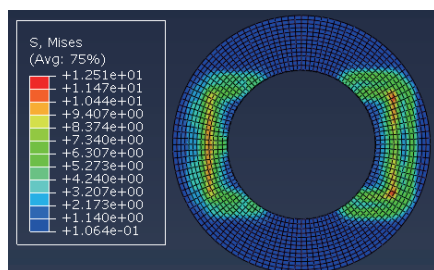


图 21 盖板应力云图

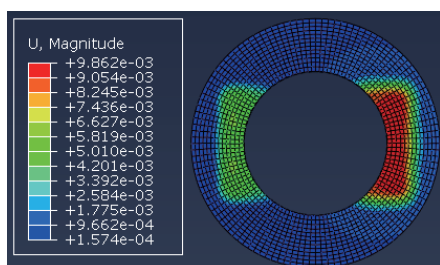


图 22 盖板位移云图

对改进后的结构进行分析, 由图 21 可以看出: 盖板所受最大平均应力值为 12.51 MPa, 而盖板材料的屈服强度为 80 MPa, 所受应力远小于材料的屈服强度, 在此工况下盖板不会发生变形。

在 ABAQUS 软件中对改进后的结构进行计算, 取盖板与铝蜂窝板凹槽粘接位置所受应力进行分析, 得到如图 23、24 的应力云图。

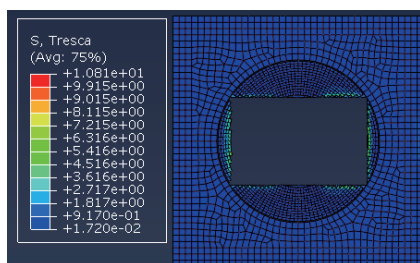


图 23 盖板与铝蜂窝板胶粘位置应力云图

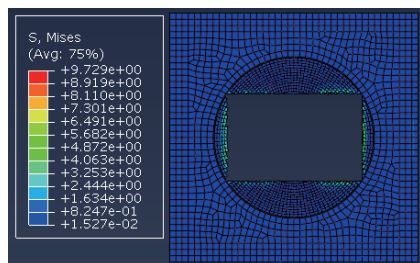


图 24 盖板与铝蜂窝板胶粘位置切应力云图

根据表 3 的结构胶参数可以得到: 由图 19 可以得到铝蜂窝地板粘接位置最大切应力 3.51 Mpa, 小于艾布纳 8088

结构胶的强度; 由图 24 可以得到盖板粘接位置所受剪切应力位 10.81 Mpa, 由图 23 可以得到盖板与铝蜂窝板凹槽粘接处的平均应力为 9.73 Mpa, 均小于艾布纳 8088 结构胶固化 48 小时后的强度值 14.98 Mpa, 无脱胶的风险。整改方案中铝蜂窝地板与盖板粘接位置的应力值均相对下降了大约 50%; 如果整改方案中将结构胶艾布纳 8088 可以替换成粘接性能更强的 Lord 406, 则更无脱胶风险。

六、结论

通过以上分析, 得出如下结论:

(1) 正常工况下, 扶手受纵向 948 N 的力, 铝蜂窝地板粘接位置最大切应力为 6.87 Mpa, 小于艾布纳 8088 结构胶的强度, 但盖板粘接位置所受剪切应力 26.28 Mpa 及平均应力为 23.78 Mpa, 均大于胶固化 48 小时后的强度值 14.98 Mpa, 有脱胶的风险。

(2) 正常工况下, 扶手受纵向 948 N 的力, 盖板所受最大平均应力为 92.91 MPa, 而盖板材料的最小屈服强度为 80 MPa, 所受应力大于材料的屈服强度, 盖板产生了小范围的塑性变形。

(3) 改进工况下, 扶手受纵向 948 N 的力, 铝蜂窝地板粘接位置最大切应力为 3.51 Mpa, 小于艾布纳 8088 结构胶的强度, 盖板粘接位置所受剪切应力为 10.81 Mpa 及平均应力为 9.73 Mpa 均小于胶固化 48 小时后的强度值 14.98 Mpa, 无脱胶的风险。

(4) 改进工况下, 扶手受纵向 948N 的力, 盖板所受最大平均应力为 12.51 MPa, 而盖板材料的屈服强度为 80 MPa, 所受应力远小于材料的屈服强度, 在此工况下盖板无屈服风险。

(5) 改进后相对改进前而言, 铝蜂窝地板与盖板粘接位置的应力下降了约为 50%, 若将改进方案中的结构胶艾布纳 8088 替换成了粘接性能更强的 Lord 406, 则更无脱胶风险。■