

感知质量——轮眉的柔性变形分析

□ 长城汽车股份有限公司技术中心 /米晓宁 樊亚亚 吕会心
□ 河北省汽车工程技术研究中心

针对某款车型在实际装车过程中轮眉与翼子板间隙大、且存在不同程度的变形和卡扣易脱落现象，使用创新型感知质量模拟及可视化软件Aesthetica，结合现生产的实际现状，对该车型的轮眉与翼子板进行偏差分析，通过对轮眉的柔性变形和实际现状的分析，对定位装配方案提出整改方案，使得轮眉与翼子板间隙满足要求，消除脱落风险，提高整车感知质量。

随着中国汽车消费水平的提高，客户对于汽车感知质量的要求也越来越高，其中，车辆前部区域是客户评价当中最重要的部分。轮眉的配合度和外观直接影响到整车评价，其柔性变形则是该区域尺寸偏差控制的关键，本文将用Aesthetica软件分析、解决轮眉与翼子板配合间隙问题。

Aesthetica软件是一款以蒙特卡罗(Monte Carlo)计算方法为核心的、创新型感知质量模拟及可视化软件，广泛应用于汽车制造等领域。在整个产品开发的各个阶段，Aesthetica软件都可以用来对生产工艺、误差和变形等影响进行模拟计算，将各种复杂的形变效果（如：隆起、弯曲等扭曲）展示出来，从

而可以找到各种外观问题的深层原因。

问题描述及分析

某款车型在试制装车过程中，发现轮眉与翼子板部分区域间隙超差（轮眉与翼子板间隙的设计目标0~0.5mm），并且存在个别卡扣脱落的现象，如图1所示。初步判定



影响轮眉装配的因素为两排圆卡扣强制卡接，装配时产生临时力，导致配合度和外观出现问题，具体原因需结合Aesthetica和实际作进一步分析判断。测点的分布情况如图2所示，测量的结果如表1所示。



图1 轮眉与翼子板间隙过大



图2 实测点的分布图

1. 轮眉的理论数据分析

采用两排圆型卡扣设计,卡扣与安装底座采取孔轴浮动配合,与翼子板采取过盈配合。轮眉与翼子板的配合结构及卡扣的分布如图3所示,各特征的详细信息如表2所示。利用Aesthetica软件对轮眉的卡接装配设计进行柔性变形分析,深入查找影响间隙超差的根本原因。

在Aesthetica软件中通过对特征

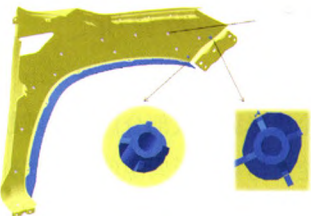


图3 原定位方案

提取面创建Feature,包含具体的位置、方向和大小,实现定位设计和公差值的输入,并建立各零部件之间的装配约束关系。零部件在材料属性杨氏模量和屈服强度允许的范围内,通过变形来满足约束要求。在轮眉上建立9个测点。

输入轮眉的材料属性(杨氏模量和屈服强度),Aesthetica软件会在轮眉几何体上自动生成三角形网格的Mesh。通过Nodes的数量,控制Mesh网格的精确程度。将卡接点设置在Mesh网格的Nodes,然后通过装配与翼子板进行约束。Nodes为了满足装配要求,会移动到翼子板对应位置并为Mesh产生新的边界,直至超出轮眉的材料属性,即杨氏模量和屈服强度的允许范围。变形后的Mesh映射到轮眉的几何体上,使得轮眉的几何体在不破损、

不断裂的情况下发生物理变形,去满足与翼子板的卡接约束。

2. 仿真计算

仿真计算随机抽取2 000个样本,模型定义假设:轮眉作为柔性件(可变性件),翼子板与卡扣作为刚性件进行分析;不考虑热膨胀、重力的影响;所有零件的公差只考虑在6σ范围内,在理论设计状态下进行蒙特卡罗计算。

由于卡扣与安装底座采取孔轴浮动配合、与翼子板采取过盈配合,所以在Aesthetica模型中,翼子板与卡扣作为一个整体,卡扣以pin的形式存在,对应的装配特征孔(hole)选取为轮眉卡扣安装底座上的安装孔。需要输入Aesthetica模型中的分析数据(见表3)。

仿真计算结果:分析计算结果见图4,变形情况详见图5,各测点

表1 测量结果

测量点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
间隙值/mm	0.6	1.1	1.6	1.8	1	1.2	1	1	1.8

表2 特征信息

方案	主定位	副定位	孔1~孔11		孔12
轮眉/mm	φ 9.4 (锥销)	φ 7	φ 9.0		10.5×7.5
卡扣/mm	—	—	φ 5.6 (卡扣底座)	φ 8.3 (翼子板)	φ 6 (弹簧卡扣)
翼子板/mm	φ 9	12×9	φ 8.0		9×9

表3 零部件的公差及材料属性

项 目		主定位	副定位	孔1~孔11	孔12
装配特征	轮眉/mm	φ 9	φ 7	φ 9.0	10.5×7.5
	翼子板/mm	φ 9	12×9	φ 5.6	φ 6
公差	翼子板/mm	孔: φ 0.6 面: 1.0			
材料属性		轮眉的厚度2.5mm; 杨氏模量: 21GPa, 屈服强度: 17MPa			

的分析计算数据见表4。

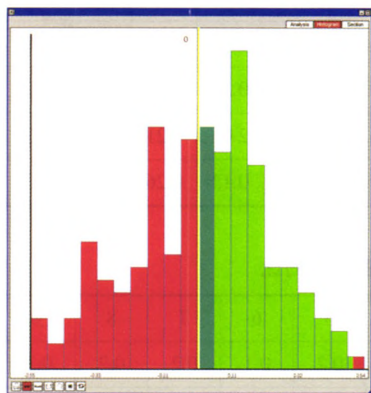


图4 测量点1的正态分布图

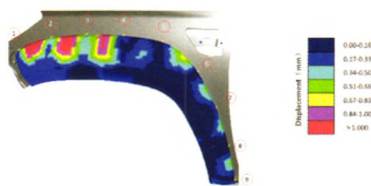


图5 彩色位移云图

注：1.轮眉与翼子板留有一定的预干涉，在实际装车过程中会通过零间隙表现，而不存在干涉现象；
2.不同颜色对应变形后发生的位移大小，由深蓝到红色，变形的位移逐渐增大。

结果分析：可以从图5很直观、很形象地看到轮眉的变形程度；

从表4看到各测量点的间隙超差情况。测量点4、6、9处的干涉量较大，分别对应最近的卡扣位置为卡扣8、11、13，此处装配时产生的临时受力最大，卡扣无法承接应力从而容易脱落。上述结果与实际情况相符。

对每个测量点间隙超差贡献最大的因素主要为：

- (1) 距离该测量点最近的卡扣安装面的面轮廓度公差。
- (2) 距离该测量点最近的卡扣安装孔的位置度公差。

表4 测点分析计算结果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
最大间距/mm	0.54	1.12	1.57	1.84	1.02	1.19	1.14	1.04	1.89
干涉量/mm	0.55	1.84	1.97	2.17	1.28	2.06	1.21	1.59	2.32

3. 整改方案分析及验证

根据上述分析，在轮眉的整改方案（经过CAE分析，满足疲劳耐久试验）中，设计一排卡扣，减少装配时产生的临时受力；并且翼子板上放开X方向控制，轮眉上适当地放开Z向控制，以便吸收公差。在满足尺寸控制的前提下，尽量减小装配时临时受力。轮眉与翼子板的开孔方向，以及与卡扣的配合结构如图6、图7所示，各特征信息见表5。

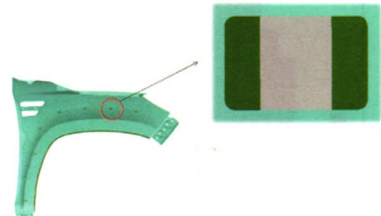


图6 开孔方向

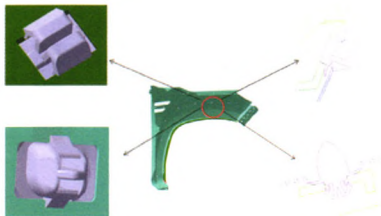


图7 与卡扣的配合

卡扣在轮眉X方向的卡接是过盈配合，过盈量为0.1mm；Z方向上为间隙配合，主副定位的浮动量为0.4mm，其余安装孔的浮动量为0.2mm。因此在Aesthetica模型中，可将卡扣和轮眉做为一个整体，以pin的形式存在，对应的装配特征孔

(hole) 选取为翼子板上的卡扣安装孔。需要输入Aesthetica模型中的分析数据（见表6）。

仿真计算结果：分析计算结果如图8所示，变形情况如图9所示，各测量点的分析计算数据如表7所示。

表5 特征信息

方案	主定位	副定位	孔3~孔9	孔10
轮眉/mm	11×9	11×9	9×7	10.5×7.5
卡扣/mm	10.6×9.1 10.8×8.8	10.6×9.1 10.8×8.8	8.8×7.1 10.7×8.8	φ6（弹簧卡扣）
翼子板/mm	9×9	11×9	14×9	9×9

表6 零部件的公差及材料属性

项 目		主定位	副定位	孔1~孔11	孔12
装配特征	轮眉/mm	9×8.8	9×8.8	9×8.8	10.5×7.5
	翼子板/mm	9×9	11×9	14×9	φ 6
公差	翼子板/mm	—	—	φ 0.6安装孔/1.0安装面	
材料属性		轮眉的厚度2.5mm，杨氏模量：21GPa，屈服强度：17MPa			

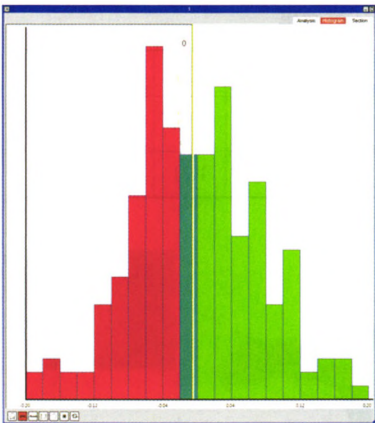


图8 整改后测量点1的正态分布图

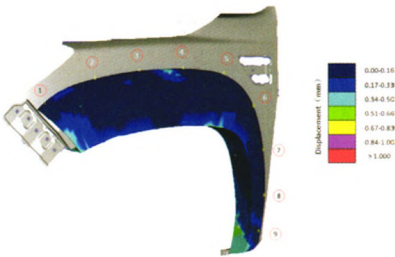


图9 整改后彩色位移云图

结果分析：可以从彩色位移云图很直观、很形象地看到轮眉的变形程度，明显比之前方案好。从表7中可以看到各测量点的间隙大致在0.2mm内，符合设计要求0~0.5mm；各测量点的干涉量也基本上控制在0.2mm左右，基本上可以消除卡扣脱落的风险。

根据Aesthetica的柔性仿真分析计算，采用整改方案。

4. 整改结果

轮眉装配方案进行整改后，实际装车状态、实车测量情况见图10。

由图9可以看到，轮眉的变形程度明显减小，见表8的数据显示，装车后轮眉与翼子板间隙满足设计目标（0~0.5mm），且多台份装车，无卡扣脱落现象出现。

表7 原方案与整改方案的对比

项目	方案	1	2	3	4	5	6	7	8	9
最大间距/mm	原方案	0.54	1.12	1.57	1.84	1.02	1.19	1.14	1.04	1.89
	整改方案	0.20	0.18	0.24	0.24	0.25	0.23	0.19	0.23	0.31
干涉量/mm	原方案	0.55	1.84	1.97	2.17	1.28	2.06	1.21	1.59	2.32
	整改方案	0.20	0.19	0.26	0.29	0.26	0.13	0.26	0.21	0.31

表8 测点的分析数据对比

项目	方案	1	2	3	4	5	6	7	8	9
间隙/mm	左侧	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3
	右侧	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2

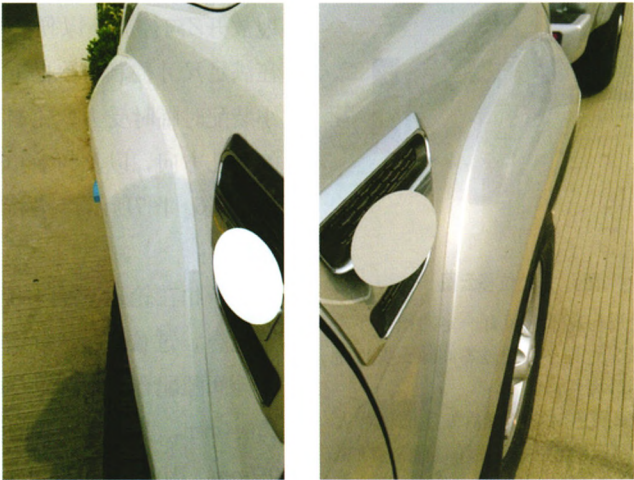


图10 整改后装配间隙

结语

此问题的解决，一方面是利用了Aesthetica软件，对轮眉定位方案的进行柔性变形的对比分析，根据彩色位移云图判断变形程度的大小，确定轮眉的整改方案。另一方面，在汽车生产过程中，每件产品都会受到各种变量不同程度的影

响。因此，设计工艺中至关重要的一环就是要了解产品变量，计算累计公差以及随之产生的形变，并了解这些变形对产品零部件及组装件的形状、配合度和功能的影响。最后，希望此文章能够为中国品牌汽车感知质量的提升作出贡献。

AME



米晓宁
长城技术中心 整车工程研究院
平台管理部 副部长