纯电动跑车剪刀门匹配问题分析及研究

陈福龙

上海汽车集团股份有限公司乘用车福建分公司　福建宁德　352100

摘要：剪刀门作为跑车极具前瞻性的设计亮点，在当今的汽车市场，受到广大消费者关注。以某纯电动跑车开发过程为例阐述如何稳定控制剪刀门与侧围、剪刀门与翼子板间隙、面差等匹配问题，提升剪刀门外观感知质量，减少市场客户抱怨，为如何控制剪刀门匹配问题提供了解决方法和思路。

关键词：跑车；剪刀门；尺寸匹配

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.12.005

当今的新能源汽车充满了极具前瞻性的设计，其中很重要的一个组成部分就是车门设计。剪刀门作为跑车的专属设计，其车门的开启形似剪刀而得名。剪刀门通过铰链上下开启颠覆了传统的车门向外开启的方式，不仅可以在狭窄的区域打开车门，同时可以避免车门打开时碰伤路上的行人或碰擦刮伤隔壁车辆的车门。

某公司设计的这种剪刀门混合式开启方式既可以像普通车门一样向外开启，也可以向上开启。常规平开车门只需考虑一个方向的问题，而剪刀门会在两个方向运动，因此剪刀门从装配开始就会遇到尺寸、间隙、面差等难以控制的问题和困扰，做好剪刀门匹配工作，对提升跑车品质起着至关重要的作用。

如何稳定控制剪刀门与侧围、剪刀门与翼子板间隙、面差等匹配问题，成为了行业内研究的新课题，目前国内自主品牌几乎无剪刀门跑车大批量量产的先例，可借鉴的成果较少。本文通过某纯电动跑车车型，详细阐述如何解决剪刀门与侧围、剪刀门与翼子板匹配间隙、面差问题，为后续同类问题提供可借鉴的思路和解决方案。

某纯电动跑车剪刀门信息及故障模式

1.产品信息

剪刀门位于整车侧面，与侧围总成、翼子板总成、左/右翼子板下饰板及软顶玻璃相配合，为驾驶人和乘客提供出入车辆的通道，主要具备侧面防撞、乘车便利、保护乘员、提升美观等作用。某纯电动跑车剪刀门示意如图1所示。

该款剪刀门采用单轴铰链结构，拥有61°黄金开合角度，可以在30°～76°根据需求自由设定开合角度，并且在车门上侧、外侧均有超声波雷达，以实现

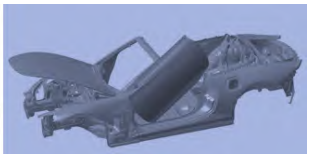


图1　剪刀门整车位置示意

避障和防夹功能。该款剪刀门拥有多种一键开门方式：车外开门按键、车内门板下方按键、副仪表台上开门按键以及语音控制开闭4种， 横向开启宽度仅457mm，极大提升开启空间便利性。

2.剪刀门故障模式

该款剪刀门跑车项目开发过程中，总装板链下线后剪刀门与侧围间隙值：2.5～2.8mm，CVIS标准（整车检验标准）：3.5mm±0.5mm//0.7mm；面差值：-0.7～0.8mm， CVIS标准：0±0.5mm（剪刀门高为+）；剪刀门与翼子板间隙值：3.2mm，CVIS标准：3.5mm±0.5mm//0.7mm；面差值：-0.5mm， CVIS标准：0+1.0mm/0（翼子板高为+），综合计算，一次合格率为0，极大影响整车报交，剪刀门外观感知质量不佳，直接影响了整车AUDIT评价及外部客户抱怨。具体故障位置见表1。

研究方法及故障原因分析

1.研究方法

为有效解决剪刀门与侧围、剪刀门与翼子板匹配间隙、面差问题，本文采用FTA故障树分析法，通过对可能造成产品故障的零件、工艺、工程设计、人为等因素进行分析，从而确定产品故障原因，发现可靠性和稳定性薄弱环节，采取改进措施，以提高产品可靠性和稳定性。现针对故障问题整理成故障树如图2所示，合计找到8个末端影响因素，接下来针对潜在原因

表1　剪刀门匹配故障表　（单位：mm）

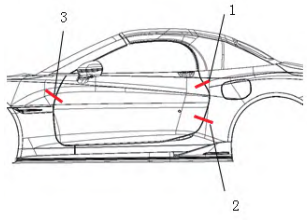
位置	故障位置	实际值	CVIS标准	判定
	剪刀门与侧围面差（位置1）	-0.7	0±0.5（剪刀门Y向高为+）	NOK
	剪刀门与侧围间隙（位置1）	2.5	3.5±0.5	NOK
	剪刀门与侧围面差（位置2）	0.8	0±0.5（剪刀门Y向高为+）	NOK
	剪刀门与侧围间隙（位置2）	2.8	3.5±0.5	NOK
	剪刀门与翼子板面差（位置3）	-0.5	0+1.0/0（翼子板Y向高为+）	NOK
	剪刀门与翼子板间隙（位置3）	3.2	3.5±0.5	OK

图2　剪刀门与侧围、翼子板匹配间隙、面差问题故障树

逐个分析，找出故障产生的主要原因。

2.故障原因分析

（1）分析剪刀门受撑杆力影响　该款剪刀门配备剪刀门撑杆总成（见图 3），由电撑杆、平衡杆组成，通过CAE分析撑杆总成对剪刀门姿态变化。其中，选定电撑杆力：1423N，平衡杆力：950N，因偏转的转动放大效应，CAE分析显示前部下测点A处*Y*向往车外偏转5.13mm，后部上测点B处*Y*向往车内偏转1.7mm。

选取白车身实车（匹配满足设定BVS白车身报交标准）进行剪刀门撑杆总成姿态变化验证。将同一台未安装剪刀门撑杆总成及安装剪刀门撑杆总成白车身进行蓝光扫描，根据故障位置对比剪刀门安装撑杆总成前后面差变化，如图4a所示；前后间隙变化如图4b所示。

根据蓝光扫描发现，白车身安装剪刀门撑杆总成后，位置1处间隙变小1.54mm，位置1处面差*Y*向往车内变化0.99mm，位置3处面差*Y*向往车外变化1.19mm，其余变化量较小，具体数据见表2。通过CAE分析及实车蓝光扫描对比，剪刀门受撑杆力影响是故障产生的主要原因。

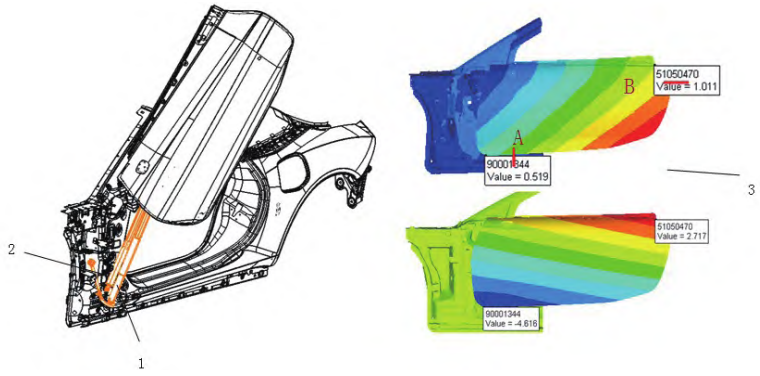
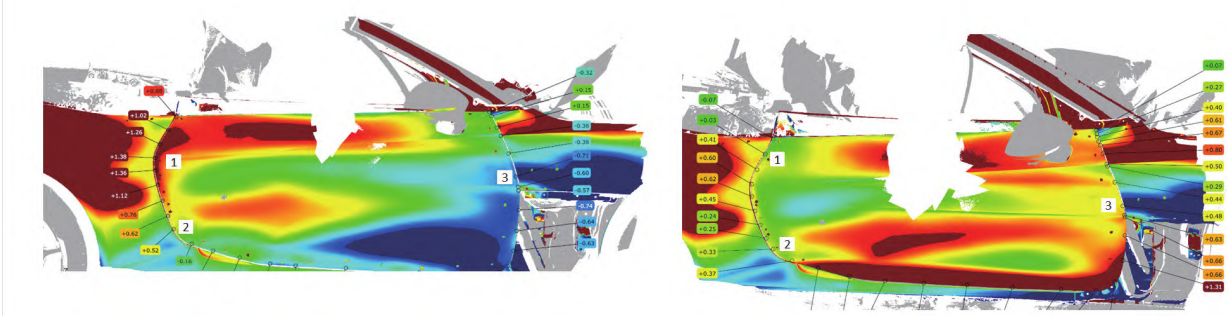
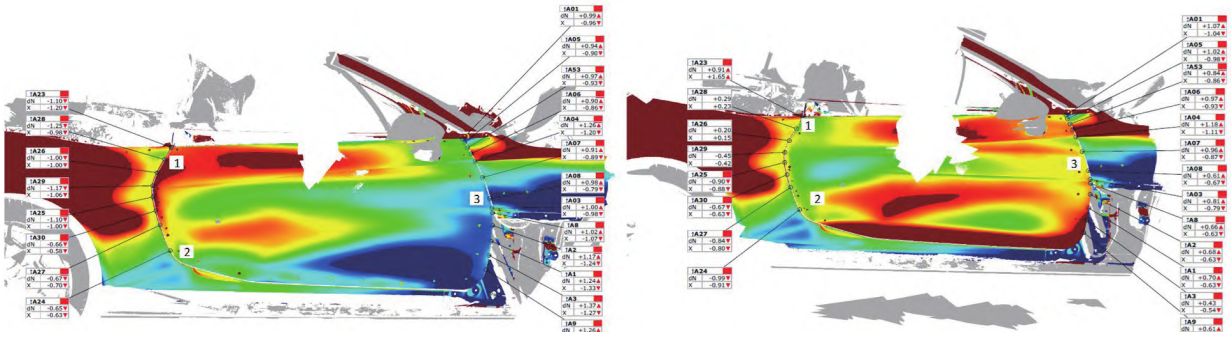


图3　剪刀门撑杆总成及CAE分析示意

1－剪刀门撑杆总成（电撑杆）　2－剪刀门撑杆总成（平衡杆）　3－剪刀门撑杆总成CAE姿态变化分析结果



a）面差变化



b）间隙变化

图4　剪刀门实车变化蓝光扫描结果

表2　剪刀门实车安装撑杆总成前后变化（蓝光扫描）　（单位：mm）

位置	未安装剪刀门撑杆总成	已安装剪刀门撑杆总成	变化量	备注
间隙（位置1）	-1.25	+0.29	1.54	间隙变小↓（变化>0.5）
间隙（位置2）	-0.65	-0.99	-0.34	间隙变大↑（变化较小）
间隙（位置3）	+0.98	+0.61	-0.37	间隙变大↑（变化较小）
面差（位置1）	+1.02	+0.03	-0.99	面差*Y*向往车内（变化>0.5）
面差（位置2）	+0.52	+0.33	-0.19	面差*Y*向往车内（变化较小）
面差（位置3）	-0.71	+0.48	1.19	面差*Y*向往车外（变化>0.5）

（2）分析剪刀门受软顶顶出力影响　通过实车验证，剪刀门玻璃上升后软顶对剪刀门面差影响较大，其中位置1处面差影响0.2mm（面差*Y*向往车内），位置2处面差影响1.2mm（面差*Y*向往车外），间隙影响0.6mm（间隙变小），其余无明显变化，剪刀门受软顶顶出力影响为位置2处面差、间隙变化产生的主要原因。

（3）分析剪刀门*Y*向调整影响　从3D数模模拟发现剪刀门铰链C处*Y*向偏转1mm，剪刀门位置D处*Y*向整体偏转14.48mm，理论放大14倍，如图5所示。经过多辆实车抽样验证，放大倍数在4～6倍，由于铰链整体*Y*向变化，可通过铰链*Y*向调整进行消除，所以不是故障产生的主要原因；但*Y*向设计上仅可调整剪刀门铰链（车门侧），而剪刀门铰链（车体侧）无法调整，因此，需进行铰链结构优化，释放剪刀门铰链（车体侧）*Y*向调整自由度，提升匹配调整效率。

（4）分析剪刀门总成尺寸状态是否合格　查看ICQ测量数据分析系统，剪刀门总成包边面近5期数据稳定，且间隙、面差一致性均在0.3mm以内（见图6），满足产品尺寸要求，非故障产生的主要原因。

（5）分析白车身尺寸状态是否合格　查看ICQ测量数据分析系统，白车身侧围轮廓与剪刀门匹配间隙、面差近5期数据稳定，且一致性均在0.7mm以内，如图7所示，满足产品尺寸要求，非故障产生的主要原因。

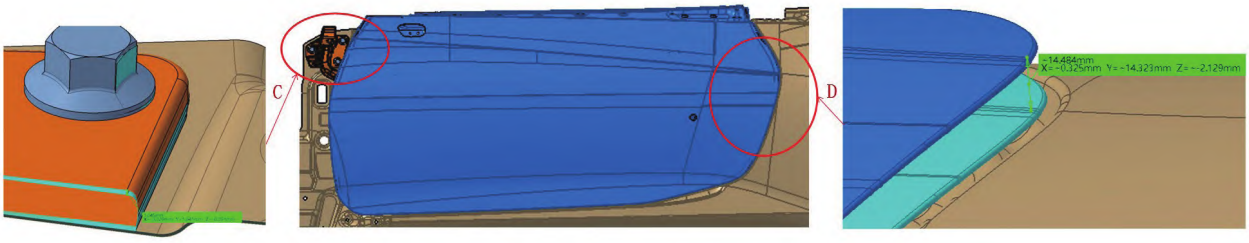


图5　剪刀门铰链Y向调整影响示意

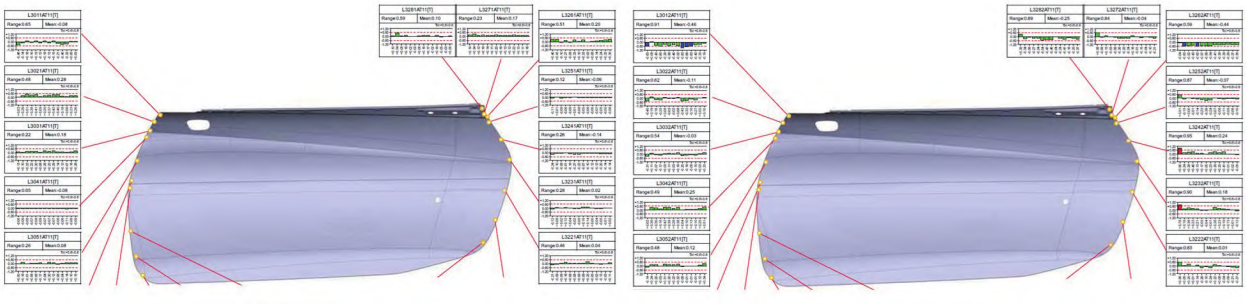


图6　剪刀门总成ICQ测量数据示意

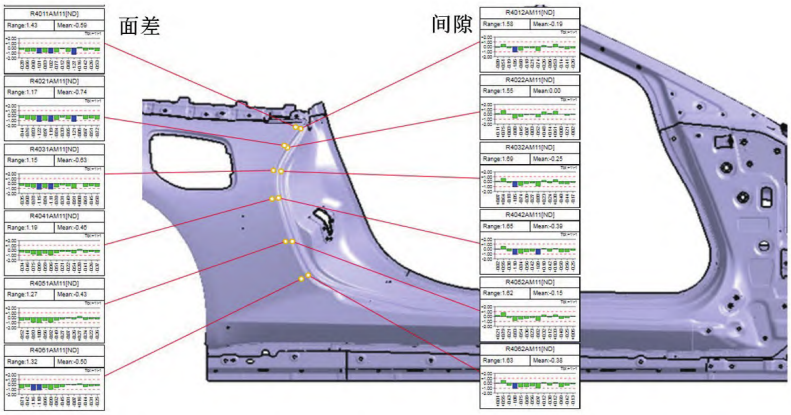


图7　白车身ICQ测量数据示意

（6）分析白车身报交标准是否正确　项目初期，根据整车DTS设计[1]及历史项目经验制定白车身报交标准（见表3），前期制定时未考虑剪刀门跑车单铰链结构差异及撑杆力姿态变化特殊性，对故障问题具有一定影响。

（7）分析白车身剪刀门匹配报交状态是否合格　根据白车身抽样数据（随机抽查20组），对实车进行匹配测量，剪刀门匹配报交数据见表4，白车身报交均满足白车身报交标准，人员调整非故障产生的主要原因。

（8）分析剪刀门受油漆撑杆工装影响　白车身报交后，经过油漆撑杆工装支撑24h及72h验证，位置2处间隙面差影响0.3～0.45mm（面差*Y*向往车内），位置2处间隙影响0.3～0.4mm（间隙变小），其余剪刀门匹配受油漆撑杆工装影响较小，如图8所示，油漆撑杆对故障位置2处有一定贡献。

表3　白车身剪刀门报交标准（BVS）　（单位：mm）

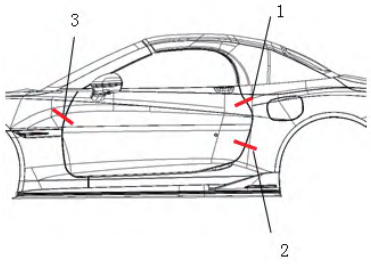
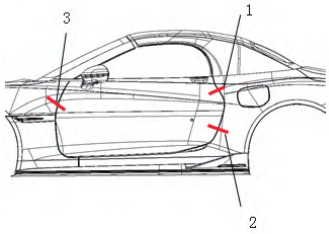
位置	故障位置	BVS标准
	剪刀门与侧围面差（位置1）	0.5±0.5（剪刀门*Y*向高为+）
	剪刀门与侧围间隙（位置1）	4.0±0.3
	剪刀门与侧围面差（位置2）	0±0.5（剪刀门*Y*向高为+）
	剪刀门与侧围间隙（位置2）	4.0±0.3
	剪刀门与翼子板面差（位置3）	0.5±0.5（翼子板*Y*向高为+）
	剪刀门与翼子板间隙（位置3）	3.0±0.3

表4　白车身剪刀门匹配报交数据　（单位：mm）

位置	故障位置	BVS标准	实际值
	剪刀门与侧围面差（位置1）	0.5±0.5（剪刀门*Y*向高为+）	0.3～0.8
	剪刀门与侧围间隙（位置1）	4.0±0.3	3.8～4.2
	剪刀门与侧围面差（位置2）	0±0.5（剪刀门*Y*向高为+）	-0.2～0.4
	剪刀门与侧围间隙（位置2）	4.0±0.3	3.9～4.3
	剪刀门与翼子板面差（位置3）	0.5±0.5（翼子板*Y*向高为+）	0.2～0.85
	剪刀门与翼子板间隙（位置3）	3.0±0.3	2.8～3.3

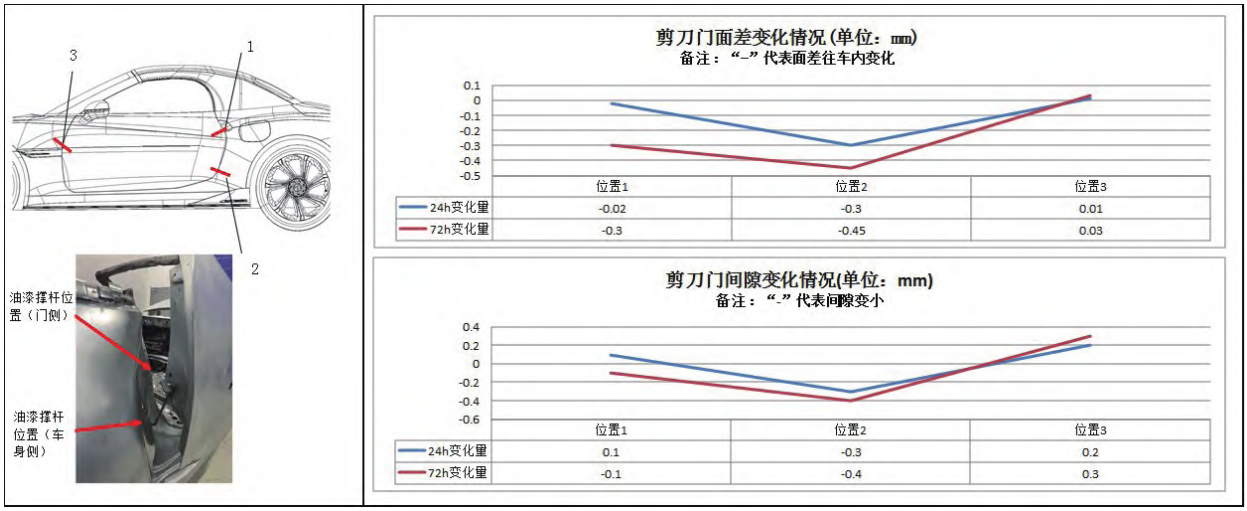


图8　剪刀门匹配受油漆撑杆工装影响

（9）故障原因确认　针对8个潜在末端因素进行逐一验证确认后，确认故障问题原因如下：

1）剪刀门受撑杆总成影响，位置1处间隙、位置1处面差（*Y*向），位置3处面差（*Y*向）产生变化，为故障产生的主要原因之一。

2）剪刀门受软顶顶出力影响，位置2处间隙、面差（*Y*向）产生变化，为故障产生的主要原因之一。

3）白车身报交标准制定时未考虑剪刀门特殊结构，为故障产生的间接原因。

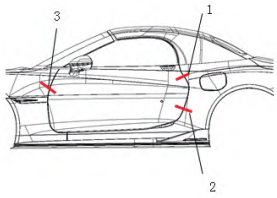
4）油漆撑杆工装对故障位置2处间隙、面差（*Y*向）有一定贡献，为故障次要原因。

改进措施及成果评价

1.改进措施

（1）剪刀门姿态变化优化措施　由于剪刀门受撑杆总成、软顶顶出力影响，前期对撑杆力进行多轮优化，故障未改善，姿态产生的变化设计上无法消除，故对白车身报交标准要求进行调整优化。结合剪刀门撑杆总成、软顶顶出力、油漆撑杆工装导致的匹配变化量，进行多轮试装及反复验证，最终确定优化白车身报交标准（见表5），其中位置1与位置2面差新增一致性要求*P*：1.5mm±0.5mm（位置一减去位置二面差

表5　白车身剪刀门报交标准（BVS优化后）　（单位：mm）

位置	故障位置	原BVS标准	优化后BVS标准	
	剪刀门与侧围面差（位置1）	0.5±0.5（剪刀门*Y*向高为+）	1.0±0.5（剪刀门*Y*向高为+）	位置1与位置2面差一致性*P*：1.5±0.5（位置一减去位置二面差值）
	剪刀门与侧围间隙（位置1）	4.0±0.3	5.0±0.3	
	剪刀门与侧围面差（位置2）	0±0.5（剪刀门*Y*向高为+）	-1±0.5（剪刀门*Y*向高为+）	位置1与位置2面差一致性*P*：1.5±0.5（位置一减去位置二面差值）
	剪刀门与侧围间隙（位置2）	4.0±0.3	4.3±0.3	
	剪刀门与翼子板面差（位置3）	0.5±0.5（翼子板*Y*向高为+）	1.5±0.5（翼子板*Y*向高为+）	
	剪刀门与翼子板间隙（位置3）	3.0±0.5	3.0±0.3	

值），以确保位置1与位置2面差合格率。

（2）剪刀门铰链结构优化　现场验证发现，部分白车身无法调整至优化后的报交标准范围内，原因在于剪刀门与侧围的面差需反复调整铰链*Y*向尺寸才得以保证，且剪刀门铰链（车门侧）*Y*向涉及5颗螺栓需同时调整，在线调整难度大、效率低。因此，需进行剪刀门铰链（车体侧）结构优化，释放*Y*向调整自由度，以提升匹配调整效率及合格率。经过多次讨论确定铰链结构优化方案：在铰链车身页进行分体式设计，新增铰链*Z*向打紧面，释放*Y*向转动调整自由度，调整量*Y*设定为±2mm，如图9所示。

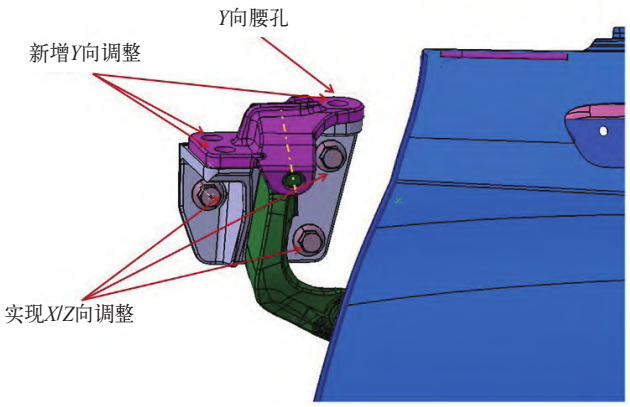


图9　剪刀门铰链结构（优化后）

2.成果评价

（1）改进成果评价　本文以FTA故障树作为分析研究方法，将潜在8个因素进行系统分析，制定相应解决措施，经过半年的实际运行，取得了一定成果，各指标均有较大提升，满足了量产目标（见表6），同时该款纯电动跑车也进入了细分市场前列。

（2）跟踪评估与监控　为持续提升剪刀门匹配稳定性，需要开展常态化的跟踪与监控，跟踪过程指标对稳定剪刀门匹配一次合格率具有重要意义，具体跟踪与监控方式，见表7。

表6　改进前后指标状态

类别	目标	改进前	改进后	优化
剪刀门与侧围匹配板链一次合格率（%）	＞95	0	97.1	97.1
剪刀门与翼子板匹配板链一次合格率（%）	＞95	0	95.8	95.8
剪刀门与侧围匹配调整工时/min	＜5	30	4.5	25.5

表7　常态化跟踪与监控状态

分类	监控指标	监控频次	监控方式
剪刀门总成尺寸稳定性	剪刀门包边面间隙、面差一致性	每周1轮	三坐标测量
白车身（不带剪刀门）尺寸稳定性	侧围轮廓与剪刀门匹配处间隙、面差一致性	每周1轮	三坐标测量
白车身（带剪刀门）尺寸稳定性	剪刀门与翼子板、侧围匹配处间隙、面差一致性	每周1轮	三坐标测量
白车身（带剪刀门）报交匹配稳定性	剪刀门与翼子板、侧围匹配处间隙、面差一致性	每台	离线手工测量

结语

本文以某纯电动跑车剪刀门为研究案例，针对跑车中新结构、新工艺产生的新问题，较全面地探究了剪刀门匹配故障产生的原因，并针对产生原因及时有效制定及验证改进措施，确保了跑车量产稳定性及可靠性。目前自主品牌剪刀门跑车量产的案例较少，本文为后续开发剪刀门遇到的类似匹配类问题提供了解决思路及方向。

参考文献：

[1] 杨旭乐，张晓春，齐向阳，等.汽车白车身车门区域DTS设计[J].汽车工艺与材料，2019（8）：63-65.