

基于VisVSA对汽车柔性薄板件 三维偏差分析方法研究

□ 上汽通用五菱汽车股份有限公司 技术中心 / 朱立君 王浩

在数字化技术不断发展的今天，随着越来越多的软件提供了更多强大的功能，使得节约整车投产时间并在前期发现更多的问题成为可能，本文简要介绍了PD、PS软件在汽车总装的应用。

柔性薄板件广泛运用于汽车行业，其装配质量直接影响着汽车的外观与舒适性。汽车车身通常由300~500个柔性薄板件（含塑料薄件）经焊接、粘接以及机械连接等方法结合而成，其中焊接工位和拼装工位有200个左右，焊接工位上有夹具定位点达1 500~2 500个，因此，柔性薄板件尺寸公差的设计与控制在整个汽车开发过程占据重要的地位。

传统的装配偏差分析模型都是假设所有零件为刚体，在模拟装配过程中，装配零件只发生刚性移动或刚性转动，不考虑柔性薄板件的柔性，与实际装配过程相差较大。1980年，Takezawa在汽车柔性薄板件装配的研究中指出：“由于柔性薄板件容易变形，基于刚体假设的误差累积理论已较难适用于轿车柔性薄板件的装配，其装配误差可以小于零件偏差，并接近刚性

较大的零件。”1999年，通用的Hsieh开发了一种有限元偏差分析软件EAVS（Elastic Assembly Variation Simulation）来预测多工位装配偏差的累积和装配过程的优化。Siemens公司开发了基于蒙特卡罗模拟法的装配偏差分析工具——三维偏差分析软件VisVSA。

三维偏差分析软件 VisVSA及其算法

VisVSA通过三维建模和数理统计仿真来动态模拟总成零件在实际装配中的情况，进而进行公差分析和优化。通过三维偏差分析，不仅可以提前发现不满足尺寸公差要求的产品结构并及时进行更改，而且可以提前预知哪些是关键尺寸，后续要对KPC进行重点控制与管理，从而使设计的新产品具有更加合理和良好的加工性能。

Bend法原理浅析

三维偏差分析时的假设条件是所有零件为刚性，而在实际过程中，需要考虑到部分零件为柔性，或者说四个装配点中的一个装配点会发生柔性变形贴合。三维偏差分析软件VisVSA提供的Move4模拟了这个Bend变形操作（见图1），4个Object Point与4个Target Plane Point相对应，模拟实际装配的4个位置，通过设定是否具有装配顺序，来决定零件变形的装配区域是固定的还是随机的。

Bend法使用一般要求零件局部区域是刚性的，其装配顺序为刚性体的局部区域先按“3-2-1”的定位原则装配，然后再把柔性体部分进行弯曲变形Bend的自定义装配，也可根据需要进行2次及以上的Bend自定义装配。因此，一般车身钣金零件侧围单件或总成等可进行Bend

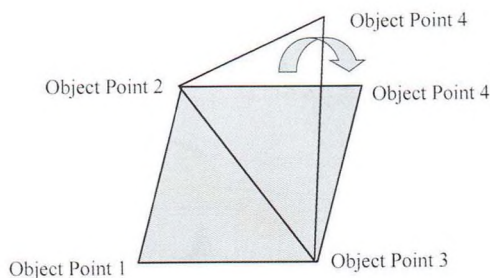


图1 Bend法的基本原理

操作，如：翼子板、侧围总成和顶盖等。

翼子板装配模型的创建

翼子板是偏柔性的零件，在实际装配过程中，会因各种外界因素的影响而发生弹性变形，所以在模拟装配过程中要考虑翼子板的柔性。下面以翼子板Fender与白车身BIW的装配情况为例，使用VisVSA软件提供的Bend自定义装配操作，对翼子板的柔性装配过程进行模拟装配，并对比不考虑翼子板柔性时而进行模拟装配的分析报告，从而探讨柔性薄板件的三维偏差分析方法。

忽略翼子板柔性的模型创建

在创建翼子板模型树时，首先需要确定翼子板的装配关系，翼子板直接装配到白车身上，因此创建模型时只需要考虑翼子板与白车身的装配关系。根据翼子板的GD&T图样以及基准定位策略CDLS，进行确定翼子板的装配点，如图2所示。根据公司现行制造水平与大数据库以及结合此新车型的DTS，进行翼子板、前大灯以及发罩的初步公差设计，具体数据如图4所示。其中公差越小，意味着制造成本越

大，所以一个零件不同的部分出现了不同的公差要求，与翼子板配合部分的白车身体轮廓度公差要求为3.0mm，位置度公差要求为 $\pm 1.5\text{mm}$ 。

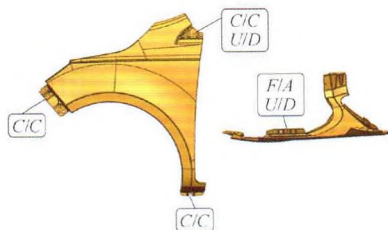


图2 翼子板的装配点

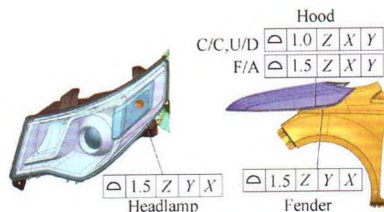


图3 初步公差设计

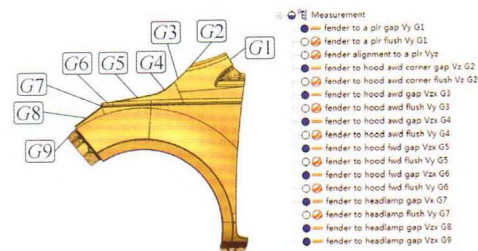


图4 创建测点

表1 测量点的 C_{PK} 和超差率（Out of spec）

测量点	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
C_{PK}	0.455	0.475	0.442	0.476	0.484	0.437	0.621	0.602	0.572
超差率 (%)	18.26	14.76	17.78	15.14	14.7	18.78	6.08	6.96	8.62

装配体上需要创建一些测量点，即创建测量目标，通过测量目标的尺寸偏差来评论装配质量。本文仅建立翼子板与前大灯（headlamp）、发罩（hood）、A柱的间隙（gap），不考虑其平行度（flush），具体见下图4所示。

把所有相关的设计信息输入VisVSA软件，进行创建模型树。设定仿真次数为5 000次，假设所有零件均为没有形变的刚体，不考虑零件本身因重力或外力而产生的变形，进行模拟仿真，其仿真结果如图5所示：红色代表不合格部分。

其中测量点的 C_{PK} 和超差率见表1。

基于翼子板柔性的模型创建

薄板件翼子板为具有较大柔性的外覆盖件，所处的位置较为特殊而成为匹配关系最为复杂的零件。薄板件翼子板与周围零件的匹配质量直接影响着用户的满意度。下面通过VisVSA软件提供的Bend自定义装配操作，对翼子板的柔性装配过程进行模拟装配。创建模型

树时，只有翼子板的装配点发生了变化，其余与上面操作都一样。根据Bend法的原理与翼子板的GD&T图样，此时翼子板非变形区域的装配点，如图6所示。安装打紧翼子板时，非变形区域刚性较好，变形较小，可以按正常装配进行Assembly。在变形区域中，补充了两个控制上下（U/D）方向的配合面，如图7所示，然后通过Bend自定义装配操作，对翼子板的柔性装配过程进行模拟装配，具体仿真结果，如图8所示，其中红色代表不合格部分，蓝色代表合格部分。

装配质量评价指标有尺寸超差率、过程能力指数 C_P 和 C_{PK} 等，尺寸超差率是评价装配质量最直观的指标， C_{PK} 通常是在产品试生产过程不稳定时用来衡量过程能力。其中测量点的 C_{PK} 和超差率，见表2。

根据尺寸偏差分析结果评价指标要求，其中超差率要小于5%， C_{PK} 越大越好，当 C_{PK} 小于0.65时是不可以接受的。在第一次未考虑翼子板的柔性进行建模时，其运行模拟仿真结果较差。基于单一变量法的原理，仅改变翼子板的装配方法，即使用Bend方法模拟翼子板柔性装配过程，其模拟仿真结果明显变好，前后两种建模运行结果对比，如图9和图10所示。

综上所述，未使用Bend自定义装配操作，即未考虑翼子板的柔性时，其进行建模模拟仿真结果偏离实际装配情况，会造成以下影响。首先，翼子板本身的模拟仿真结果不能真实地反映其实际装配过程，分析报告不能有效地解决实际装车问题；其次，因翼子板本身模拟装配存在误差，此时再分析与翼子板

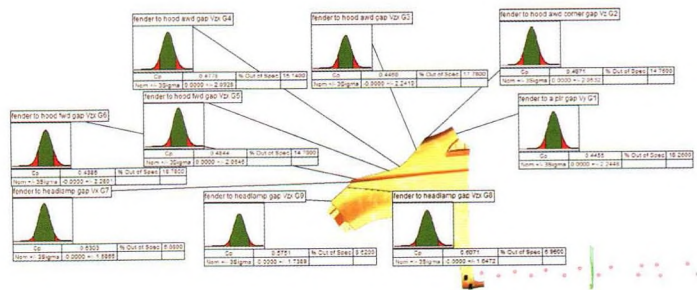


图5 模拟仿真报告

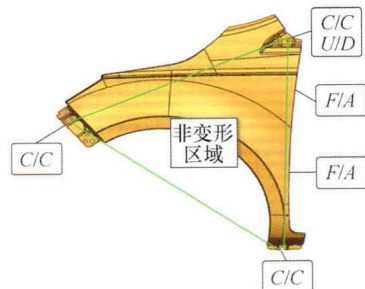


图6 翼子板装配点图

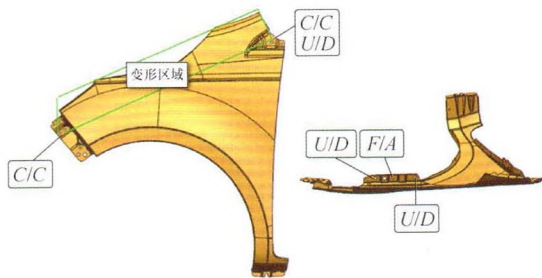


图7 翼子板的装配点

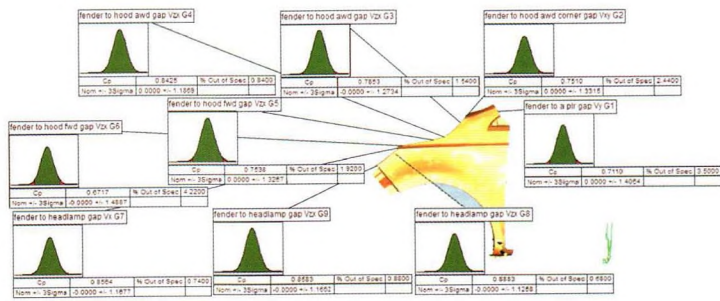


图8 模拟仿真报告图

表2 测量点的 C_{PK} 和超差率

测量点	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
C_{PK}	0.706	0.740	0.779	0.840	0.752	0.671	0.846	0.881	0.853
超差率 (%)	3.50	2.44	1.54	0.84	1.92	4.22	0.74	0.68	0.88

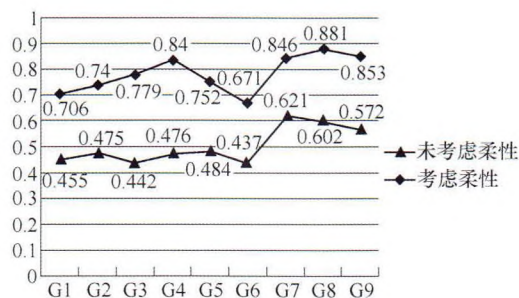


图9 C_{pk} 对比

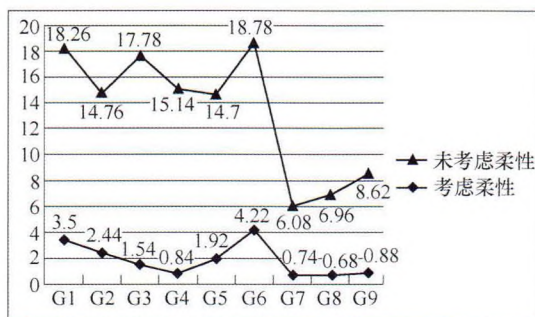


图10 超差率的对比

相匹配零件的尺寸偏差时，其所建模拟仿真结果也存在较大的误差，使其分析报告失去了指导价值。因此，运用Bend自定义装配方法模拟柔性薄板件装配过程，所得的模拟仿真报告更贴合实际，能更好地指导解决实际问题。

Bend方法有效地解决了柔性薄板件三维偏差分析时无法模拟其柔性装配过程的难题。由于Bend法的使用一般要求零件有局部区域是刚性的。所以，前保、后保等内外饰柔性很大的塑料件，不建议使用Bend方法，可以使用分块法。

分块法的原理与运用

在定位或是装配时，前保、后保等内外饰件具有很大的柔性，很容易发生弹性变形。1996年密歇根大学Cai和Hu提出了适用于薄壁零件装配定位的定位原理——“N-2-1”定位原理，在考虑薄板件的柔

性进行定位或者装配时，需要更多的定位点或者夹紧点来保证装夹定位点的稳定性和准确性。沈阳航空航天大学提出一种基于“N-2-1”定位原理的柔性件多点阵曲面夹持原理定位理论，一种高精度的柔性定位方法。

总结上述两种方法的基本原理，结合有限元法的基本思路，在运用三维偏差分析软件对柔性较大的零件进行模拟装配或者模拟定位时，提出一种分块法的处理方法。

1.分块法的基本思路及其运用探讨

分块法的基本思路是结合有限

元法的基本原理，根据零件的尺寸匹配关系以及功能要求，把柔性较大以及体积较大的薄板件或者塑料件，假设分成几个小块，并且把每个小块都默认接近刚性体。然后，根据刚性体的定位或者装配的原理——“3-2-1”原理或者“N-2-1”原理，把每个小块进行模拟装配或者定位，进而进行三维尺寸偏差分析，其运行模拟结果更接近实际装配或者定位效果。

由上述分块法的基本思路可知，分块法一般运用于柔性较大的薄板件，其刚性较低，体积较大，极易发生弹性变形，且与其匹配的零件达到2个以上，比如整车的前保、后保等。

2.不使用分块法进行后保建模分析

根据工艺工程师提供的BOP，确定零件在生产线上的装配顺序。左右后保支架固定在车身上，然后后保直接卡在后保支架上并固定在白车身上。

根据后保的GD&T图以及后保的CDLS（定位基准策略），确定后保的基准位置与其所控制的定位方向，见图11所示，并运用了柔性件装配定位的原理——“N-2-1”定位原理的思路，使后保的装配定位点尽量多，抑制后保的弹性变形。根据公司现行制造水平与大数据库以及经济性，输入后保的初步

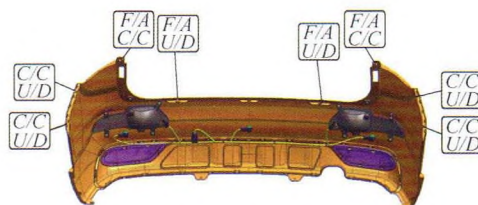


图11 后保的基准图

公差设计，如图12所示。

因篇幅所限，暂不考虑其平行度Flush，本文仅建立后保 fascia与尾灯A rearlamp A、尾门 liftgate 的间隙Gap。把所有相关设计信息输入VisVSA软件，进行创建模型树。设定仿真次数为5 000次，假设所有零件为刚体，不考虑零件本身因重力或外力而产生的变形，其仿真结果如图13所示：红色代表不合格部分，蓝色代表合格部分。

其测量点的CPK和超差率如表3所示。

3.使用分块法进行后保建模分析

后保为体积较大的外覆盖件，且其刚性很低，柔性较大，极易发生弹性变形。下面使用分块法，根据后保的匹配关系以及其功能性要求，把后保的装配定位分为5小块，即后保与左右侧围匹配、后保与左右尾灯匹配、后保与尾门匹配。每小块根据装配定位的原理——“3-2-1”定位原理或者“N-2-1”定位原理，对后保的柔性装配过程进行模拟装配。基于单一变量法的原理，在创建模型树时，只有后保的装配定位点发生了变化，其余与上面操作都一样。

根据后保的GD&T图样以及零件的装配搭接关系，适当增加装配定位基准，即满足装配定位的原理——“3-2-1”定位原理或者“N-2-1”定位原理，然后，进行装配操作Assembly Operation。设定模拟次数依然为5 000次，其模拟结果见下图14所示，红色代表不合格部分，蓝色代表合格部分。

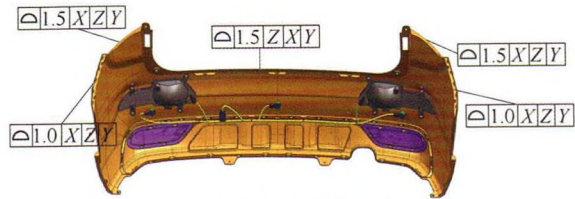


图12 后保的初步公差设计

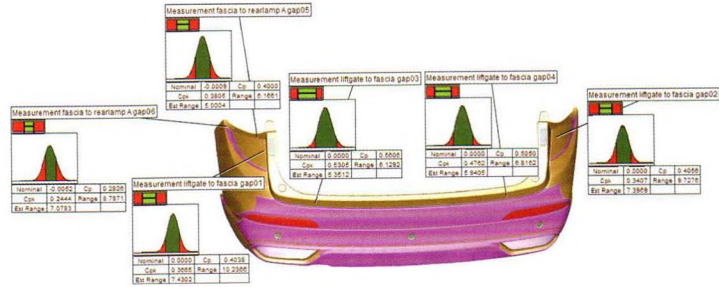


图13 模拟仿真报告图

表3 测量点的 C_{PK} 和超差率

测量点	gap01	gap02	gap03	gap04	gap05	gap06
C_{PK}	0.3665	0.3407	0.5305	0.4762	0.3805	0.2444
超差率 (%)	23.14	23.20	9.58	13.00	22.32	39.42

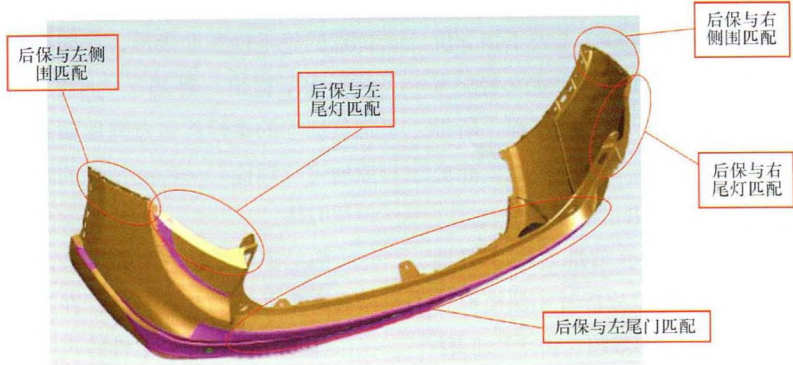


图14 后保分块法模型

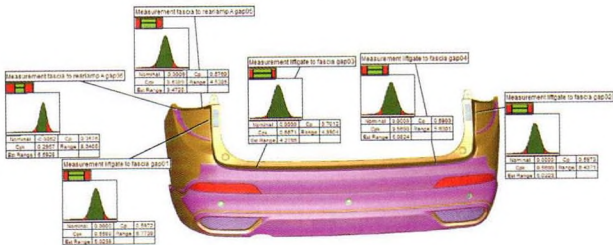


图15 模拟仿真报告图

表4 测量点的 C_{PK} 和超差率

测量点	gap01	gap02	gap03	gap04	gap05	gap06
C_{PK}	0.5588	0.5699	0.6671	0.5690	0.5389	0.2957
超差率 (%)	7.78	7.66	3.54	7.66	7.68	22.86

其各测量点的 C_{PK} 和超差率见表4。

从上述模拟仿真报告图以及各测点的 C_{PK} 和超差率的前后对比,可知:基于单一变量法的基本原理,仅改变一个变量,即使用分块法后,各测点的 C_{PK} 和超差率有明

显的改善。模拟仿真报告图中,红色部分(红色代表不合格部分)也明显减少了,具体参数对比,见图16和图17所示。

由以上各测点的 C_{PK} 和超差率的对比图,明显可以看出,使用分块法,对柔性件的尺寸偏差分析有

较好的效果。其不仅解决了像后保等较大体积的柔性件,本身尺寸偏差分析的结果不准确现象,也消除了因柔性件自身偏差分析不准确对其他零件尺寸偏差分析时的影响。

结语

本文介绍了柔性薄件的三维偏差分析方法——Bend法和分块法,并介绍了这两种柔性件偏差分析方法的基本原理以及对其运用的探讨。

这两种柔性件偏差分析方法也适用于其他柔性零件三维尺寸偏差分析,具有普遍推广意义。分块法适用于形状和体积较大的柔性薄板件三维尺寸偏差分析;Bend法的使用一般要求零件局部区域具有刚性,根据柔性件的匹配情况和结构以及材质,有针对性地选择分析方法,使其虚拟模拟装配过程与实际装配制造过程更加吻合,也使仿真结果更有实际指导意义,为解决实际装配过程中出现的尺寸匹配问题提供了理论依据与分析指导,并能准确快速地找到问题根本原因。

AUTO1950

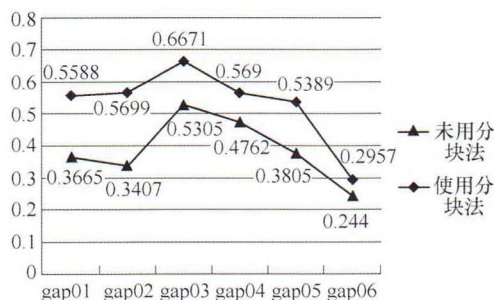


图16 C_{PK} 的对比图

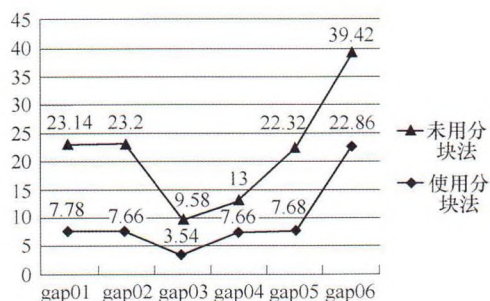


图17 超差率的对比

车身加长120mm 捷豹XEL路试谍照曝光

近日,海外媒体曝光了一组捷豹XEL加长版车型的路试谍照,该车车身尺寸方面要比现款车型加长120mm。据外媒猜测,该车很有可能在2017年4月的上海车展首发并且将于年内在奇瑞捷豹路虎常熟工厂投产。

据外媒透露,在外观上依旧遵循了现款车型的设计样式,但

车身尺寸方面要比现款车型加长120mm。现款捷豹XE车身尺寸长宽高分别为4686/1850/1416mm,轴距为2835mm。所以捷豹XEL车身长度有望达到4800mm以上。我们预计,随着车身和轴距的加长,其后排腿部空间将得到明显改善。

在动力方面,捷豹XEL继续沿用2.0L涡轮增压发动机和3.0L机械增

压发动机,其中由于车身加长的原因仅采用2.0L涡轮增压发动机高功率版本,最大功率为240马力,3.0L机械增压发动机的最大功率则为340马力。在传动系统方面,该车将使用8速自动变速箱。据外媒猜测,该车很有可能在2017年4月的上海车展首发并且将于年内在奇瑞捷豹路虎常熟工厂投产。