■ 安徽江淮汽车股份有限公司/李月伟

提升车身外板件刚性的途径

随着我国成为世界第一大汽车消费市场，国内外汽车厂家展开了激烈的市场竞争。汽车车身外板件直接可见，其品质会让消费者产生先入为主的印象。一般车身外板件尺寸大、带曲率，有一定的预变形，在使用过程中常常会受到外载荷的作用，如人为的触摸按压、积雪的静载荷以及行进过程中的振动与碎石冲击动载荷等，这些载荷往往使外板件形状发生凹陷挠曲甚至产生局部永久凹痕；另一方面，从节能环保的角度考虑，汽车轻量化成为一种趋势，车身工程师们越来越倾向选择强度更高、料厚更薄的板材，容易导致外板件成形刚性不足，汽车行驶过程中产生振动和噪声。

本文着重探讨引起车身外板件刚性不足的因素并进行分类，在此基础上，探讨如何系统地在车身开发的不同阶段进行相应的刚性提升，以利于在保证车身整体性能的前提下，兼顾缩短车身开发的周期、降低车身开发的成本。

引起外板件刚性不足的因素分类

在汽车制造领域，把外板件承受外部载荷作用，抵抗凹陷挠曲及局部凹痕变形、保持形状的能力称为刚性。它是评价和反映外板件表面质量和使用性能的一项重要指标和特性，与汽车板材品质、外板件的结构形式设计和冲压成形工艺密切相关。

为使系统提升外板件刚性成为可能，有必要对引起外板件刚性不足的因素进行探讨与梳理，以下从外板件单件及总成件两个角度进行探讨。

1.单件

外板件成形中的预变形程度是影响外板件刚性的重要因素之一，汽车工装模具行业通常以材料的拉延变薄率作为量化指标，拉延变薄率≥3%，能满足外板件单件刚性的微观层面的基本要求；但单件的几何形状对外板件的抗凹刚度产生更为直接的影响。如果几何形状已引起抗凹刚度不足，无论拉延变薄率是否达到3%，单件整体的抗凹刚度都反映为不达标。如图1所示，某发动机盖外板拉延减薄率＞3%，但实物刚性仍不达标；相反，对部分外板件，因为单件结构强度较好，即使拉延变薄率＜3%，其整体刚性亦满足要求。

因此，单件的刚性需统筹宏观、微观两个层面综合考虑。

图1 某车型发动机盖外板

单件的几何形状包括：外板件的曲面曲率、大曲率曲面面积大小、曲率面的边界条件及外板件截面形状等。

此外，经研究表明，单件的材质亦对单件的刚性产生较明显的影响。

2.总成件

总成件的相关因素对外板件的刚性不产生根本性的影响，主要体现为总成件的结构形式能否对刚性不足的外板件的单件提供针对性的补强作用。

（1）有无支撑条件　在单件刚性不足的区域，如有良好的支撑条件，会对外板件的刚性进行补强，能明显改善其刚性。

（2）支撑条件的有效性　对改善外板件刚性的程度有直接的影响，车身外板件的一般支撑结构如图2所示。内板的支撑臂与外板件不能刚性接触或连接，因此要求内外板的间隙L_1、L_2>0，为使支撑有效，内外板通常通过填充胶粘合。支撑的疏密度、内外板支撑间隙、填充胶的性能和无支撑条件下的刚性补强，四个因素都会影响外板件的刚性。

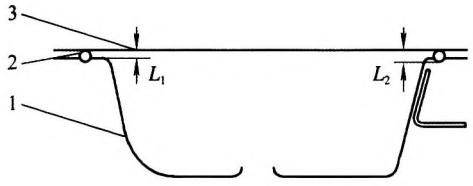

图2　总成件一般支撑结构示意

1.内板 2.填充胶 3.外板

外板件刚性的提升途径

刚性的提升是个系统工程，根据影响因素的分类，可结合车身开发的不同阶段的实际情况，来提升其刚性。以下按照外板件单件产品造型设计、总成件支撑条件设计、冲压工艺设计、冲压工艺调试、焊涂装工艺调试五个阶段进行分述。

1.外板件单件产品造型设计阶段

（1）造型上考虑单件的几何形状、边界条件　造型上尽量回避大而平。零件不同部位的刚度不同，弯曲半径小的部位刚度高，比较平坦的部位刚度低。

通过增加棱线特征、减小外观面的曲率、缩小单一大曲率的外观面的面积或改善单一大曲率外观面的边界条件等方式，对提升其刚度是有益的。但大多数时候，受制于整车的外观风格，单件造型和结构可调整的空间并不大，此阶段强行提升刚性，得不偿失；其单件刚性不足可通过总成件的支撑条件进行补强。

（2）外板件板材材质的选择　外板件的刚性，可作为设计和制造过程中选择钢板等级和规格的重要依据之一，比如，在其他条件相同情况下，BH180P1等BH系列材料较ST14或DC04等系列普板，刚性上具有优势（见图3）。

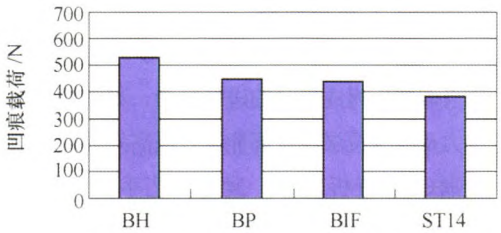

图3　相同条件下不同板材刚性柱状图

2.总成件支撑条件设计阶段

刚度和起伏负荷主要决定于材料的弹性模量、板材的厚度、零件的形状和装配状况（影响零件的支撑状况），单件刚度的不足可通过总成件的支撑条件进行补强，总成件设计时应着重对支撑条件加以设计和改善。

1）采用高刚性结构。所谓高刚性结构，可以通过很多手段实现，最简单的方法是在钣金零件上合理地布置一些加强筋，从而达到增强单个零件强度和刚性的目的。

此外，还有一种重要的方法就是通过改变车身在某个部分的断面结构，从而达到提高车身整体刚性的目的，当然这样的部分可以是某单个零件，也可以是由几个零件组成的焊接总成。例如，在满足空间尺寸限制的前提下，增加矩形截面高度，可以有效提高其弯曲和扭转的刚性，增加宽度仅能提高其扭转刚性，而改变壁厚往往是毫无效果；增加圆筒截面的直径比改变其壁厚更能提高其刚性，而且前者效果远远优于后者；形成封闭断面结构的刚性要远大于不封闭状态的情况。

在设计之初，就应进行屈曲抗凹分析，即针对外板的刚性和稳定性分析，通过对外板可能发生屈曲的部位进行加载和卸载，根据分析结果与目标值的对比来评价外板件的屈曲刚性。针对不足的部位进行各种

方法的补强。

2）增加支撑密度。外板件刚性不足时，支撑密度是影响支撑条件的重要因素之一，结合安全性等其他车身性能，适当地增加支撑密度对提升外板件整体刚性具有重要作用。

3）合理设计内外板间支撑间隙、合理选取填充胶型号也是提升外板件刚性的可选途径。

4）无支撑条件下减振消声隔片的使用，有助于提升外板件刚性和减振降噪。

3.冲压工艺设计阶段

（1）使外板件拉延时充分变形　成形工艺条件中，适当调整板材成形时的进料阻力，如加拉延筋、增大压边力及改变拉深深度都能有效提高外板件的刚度。

借助CAE分析软件，通过工艺手段，努力使外板件充分变形，提高拉延变薄率。除上述工艺方法以外，可供选择但不限于以下方法：合理与充分设计拉延工艺补充面、设计调整分模线位置、设定拉延筋形状、设计坯料边界尺寸等。以车型翼子板（见图4）和前门外板（见图5）为例，通过以上工艺手段的组合设计，最小变薄率分别达到4.5%和5.2%。

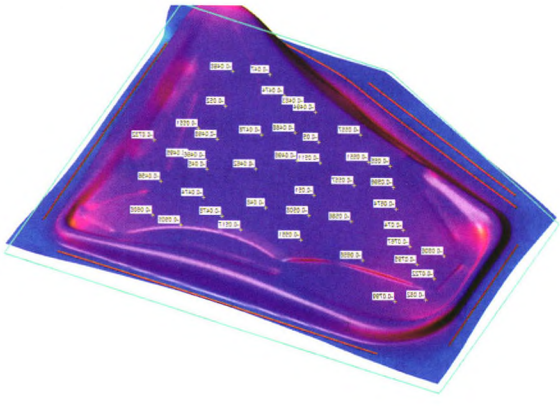

图4　翼子板拉延变薄率分布

（2）材质的更换论证　但工艺并非万能，有时，外板件的材料变薄率提升因受到滑移线等外观质量的牵制，提升其拉延减薄率的工艺难度加大。图6所示的某车型发盖外板，因造型相对平缓，且面积较大，发动机盖中间部位的变薄率仅略大于3%，通过增加工艺凸包、加大拉延筋摩擦系数等常规手段，变薄率与滑移线难以兼顾。

在此情况下，提升单件的刚性，可尝试通过材质的变更，以提升现有产品结构和工艺方案条件下的外板件刚性。将上述发盖外板的材质更换为B180H1、微调工艺方案后，滑移线、变薄率与DCO4材质时差别不大，但BH系列钢较DCO4普板具有更好的刚性。

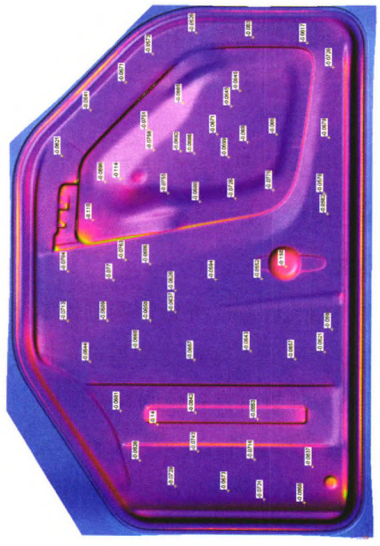

图5　车门外板拉延变薄率分布

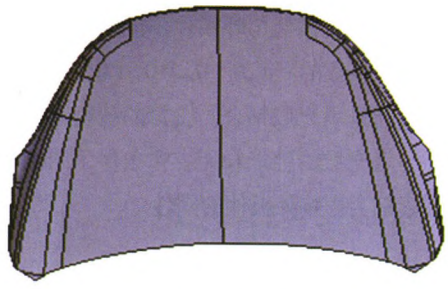

图6　某发动机盖外板产品

（3）外板件成形时预变形程度的控制　提高拉延变薄率，增加预变形的程度。随着预应变的增大，应变硬化效应提高了外板件的刚性，但同时外板件厚度减薄量进一步增大，应变硬化效应产生的材料强化不足以抵消厚度减薄对外板件刚性的影响。由此可见，外板件成形时的拉延减薄率不是无限制得越大越好，其与应变硬化效应对刚性影响的具体量化关系仍有待进一步研究，对于现实使用情况，最小变薄率一般控制在5%以内。

4.冲压工艺调试阶段

制造与设计的差异总是存在的，探讨如何基于制造阶段的实物状态提升外板件刚性，也具有实际意义。

（1）基于现场条件下的刚性的测量或评价　在实

验室条件下，实物的刚性测量或评价，国内外做过很多相应的研究，但目前尚没有快捷、统一的方法适用于调试现场。本文提供两种方式供参考：一种为常见的静态载荷（拇指按压），感受其变形的难易，优点是操作简单、方便，缺点是凭主观判断，不能量化，依赖于经验；另一种通过简易的压力位移法，简单量化其刚性。如图7所示，在外板件外围支撑及压边条件一定的条件下，使用压力仪和钢尺、游标卡尺，测量刚性目标部位，记录各测点一定位移量时的压力值或一定压力值时的位移量，通过比较，评价其刚性。优点是简单、快捷、适用于现场，缺点是相比实验室的测定方法，误差较大。

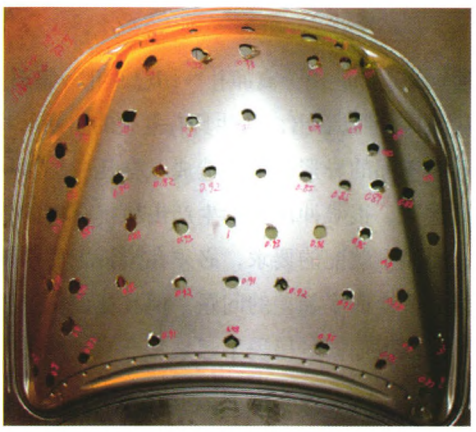

图7　外板变薄率测量准备

无论现场还是实验室条件下，都是基于施加静载荷，在制件上形成凹痕，按一定载荷、产生的凹痕深度或产生一定深度凹痕所需的载荷作为评价静态局部凹陷抗力的方法。

（2）基于现场条件下的变薄率测定　冲压工艺调试时，主要针对材料变薄率的参考指标，考察是否达到工艺设计时的理论变薄率，基于实物是否还有提升的空间。两者都基于变薄率的实际测定，实验室条件下可采用更多的手段，但都基于测其实际料厚t，与板材的初始料厚t_0进行比较。

（3）基于现场条件的调试方法　对比CAE模拟结果，实物变薄率（$t/t_0\times100\%$）＜理论变薄率时，进一步对比CAE分析时的相关参数与实物调试时的差异，通过调整，使其达到理论变薄率；实物变薄率≈理论变薄率时，为进一步提升其刚性，常用方法有增大压边力法、压边区垫砂纸法、调整平衡垫块减小压边间隙法、增大料边法、拉延筋位置、数量、形状调整法和废料区做余肉法。

调试方法的选用次序，应从实施方面先易后难、由简到繁，减少对模具的损害、减少不必要的返工。如具备条件，应配合CAE的模拟，预先评价拟采取措施的效果。

5.焊、涂装工艺调试阶段

（1）重点对总成件的外板件支撑条件进行检测、验证　内容包括内外板支撑间隙、胶槽涂胶的稳定性和涂装后胶的生效效果。

在保持焊装稳定的前提下，内外板支撑间隙和胶槽涂胶的稳定性，可通过内板模具的翻边、整形等工序的调整，提高内板支撑臂的尺寸精度，填充胶的效果需通过涂装受热使其硬化膨胀后检查效果，必要时更换膨胀胶进行验证。

（2）无支撑条件下的刚性补强　在上述措施仍不足以提升其刚性时，通过在无支撑条件区域，贴减振消声隔片，对提升外板件的整体刚性、消间降噪有一定的作用。

结语

本文通过对汽车外板件的刚性影响因素进行分类讨论，并以此为基础，探索和阐述了外板件在车身开发的不同阶段，提升外板刚性的方法。本文提出了系统提升外板件刚性的途径，对提高车身外板件品质，改善整车的NVH性能大有裨益，同时可以缩短外板模具调试周期、提高产品市场竞争力。

关键词：
外板件 刚性 因素 提升 途径
（收稿日期20140715）