发动机盖外板棱线异常滑移的分析与对策

文 | 叶梦彬，赵维，王永利，孔祥翔，周晶 · 广州汽车集团乘用车有限公司

在汽车车身零件中，很多发动机盖外板的左右会设计有两条棱线（图 1）。这两条棱线在拉延过程中都会发生一定程度的滑移。对于外板件的滑移，我们一般采取控制滑移距离，使滑移距离在质量标准以内或者控制接触应力，使滑移不至于太明显，涂装之后基本上专业人士不是特别留意也看不出来这两个方法进行处理。但是发动机盖外板的滑移有时候比较难处理，如果工艺做的不好，会出现在接触应力较小的情况下滑移也非常严重，而滑移距离又难以控制的情况。本文介绍的就是这样一个非常有代表性的滑移异常案例及其分析与对策。

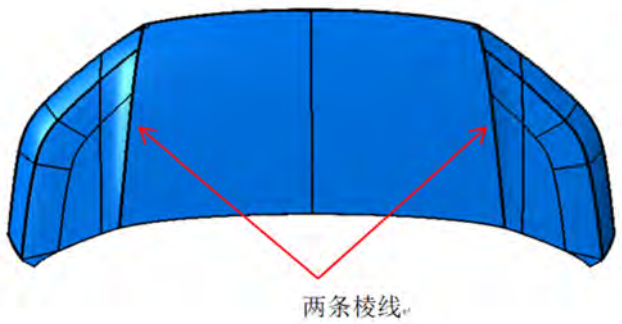


图 1 设计有左右棱线的发动机盖外板

发动机盖外板的棱线异常滑移

图 2 是一个非常有代表性的某公司的某车型发动机盖外板。这个件在冲压后出现了严重滑移，最大滑移距离达到 15 ㎜以上，涂装后看起来非常明显。当时这个件的模具调试已基本完毕，车型即将量产。必须在短时间内完成对一个已经基本做好的模具进行有限度改修，消除滑移，达成量产条件。在即将量产的模具上进行改修解决这样的问题，且量产生产材料已订购必须尽可能不改变坯料材质和尺寸，可见其难度不小。某公司技术人员进行了一系列测试与分析，均不能解决问题，通过业务关系找笔者寻求帮助。

图 2 某车型发动机盖外板

滑移原因调查与分析

该公司提供的之前的工艺设计，如图 3。坯料采用梯形料，拉延深度设计合理，冲压角度 7°。零件采用方形拉延筋设计，材料基本不流入。棱线高度 15.2 ㎜，棱线 R12.5 ㎜，棱线夹角 162°。CAE 的棱线最大滑移距离 12.1 ㎜，最大接触应力 7.6MPa，非弯曲应变 0.0004。零件最小主应变 0.035，

最小减薄率 5.4%。除了滑移距离较大，其他参数都符合经验标准。这个滑移这么严重，超越了我们一贯的经验判断，可以说是一个异常的滑移。

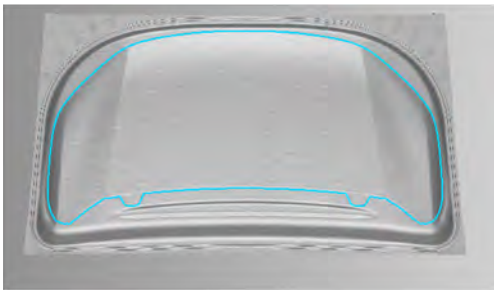


图 3 工艺设计图

与其他车型发动机盖外板工艺对比分析

对比笔者所在公司过往车型的发动机盖外板的工艺分析（表 1，A、B 为笔者公司过往车型）。本案例发动机盖外板与 A、B 车型使用材料材质相同。A、B 车型模具均采用半圆筋的工艺设计，滑移距离分别为 8.16 和 9.9 ㎜。本案例发动机盖外板采用方筋，滑移距离较 A、B 车型大。B 车型发动机盖外板棱线 R8，3 个车型中 R 最小；滑移区接触应力达到 15.7MPa，远超本案例车型的 7.6MPa；滑移距离达到了 9.9 ㎜。 B 车型完成车看不出来有滑移。本案例发动机盖外板相较 B 车型理应状态更好，我们不能通过对比找出出现严重滑移的理由。这一对比也说明棱线 R 和接触应力是滑移明显的影响因素，但不是滑移明显的决定因素。

工艺分析

前面说过，零件出现滑移的处理方法，要么控制滑移距离，要么控制接触应力，要么滑移距离和接触应力同时控制。我们首先分析控制滑移距离的可行性。

（1）滑移距离产生的原因和对策分析

板料的拉延过程中也是一个材料变形和流动的过程。拉延板料在接触棱线时，棱线位置的板料由于受到应力作用而硬化和变形，这一硬化和变形会随着拉延成形的过程发生位置移动，当移动出圆角后，就会形成滑移。有滑移就会有变形。在变形深度不大的情况下，变形范围随着滑移距离的变大而

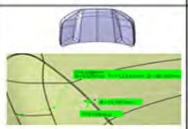
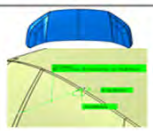
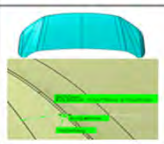
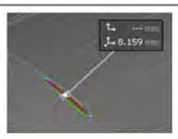
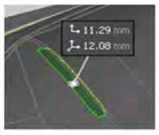
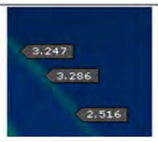
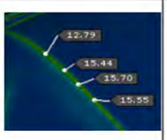
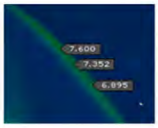
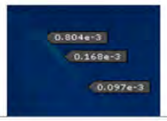
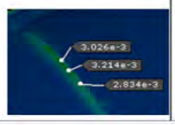
项目 \ 车型	A	B	异常车型	差异说明	比对结果
产品造型				A车型：R15、夹角172°、高28mm B车型:R8、夹角162°、高19.8mm 滑移异常车型:R12、夹角162°、高15mm	滑移异常车型棱线R角介于A、B车型之间，优于B
流入量				A、B车型均采用流料筋，流入量15mm以上 滑移异常车型采用锁死筋	滑移异常车型不走料
滑移量				A滑移量8.16mm B滑移量9.9mm 滑移异常车型滑移量12.1mm	滑移异常车型滑移量最大
最大接触应力				A最大接触应力3.3Mpa B最大接触应力15.7Mpa 滑移异常车型最大接触应力7.6Mpa	接触应力均不超标准值23.8Mpa
非弯曲应变				A非弯曲应变0.0008 B非弯曲应变0.0003 滑移异常车型非弯曲应变0.0004	非弯曲应变均不超标准值0.008

表 1 不同车型的发动机盖工艺对比

加大，变形变得更加明显。在滑移距离不大的情况下，变形深度如果较大，变形也会较明显。如果变形深度不大，滑移位置在成形过程中触料较早，则硬化变形区随着拉延成形的过程发生位置移动的时间就会加长，发生滑移的距离就会较大，变形也将更加明显。这就是滑移产生的原因。

接触应力是造成变形和硬化的原因。本案例，在方筋状态下拉延时材料基本不能流入，棱线位置的材料应力大，引起的滑移发生区域接触应力较大（图 4）。由于成形拉伸程度较大，滑移发生位置触料较早，材料移动动距离也较大。较大的接触应力部位（棱线）的变形和硬化区随着拉伸的材料移动而不断产生和移动，这是本案例滑移产生的原因。控制滑移棱线的触料时间，或者减小滑移方向的应力，或者改变滑移区的应力应变状态，就能改变滑移距离。这就明确了控制滑移距离的对策方向。

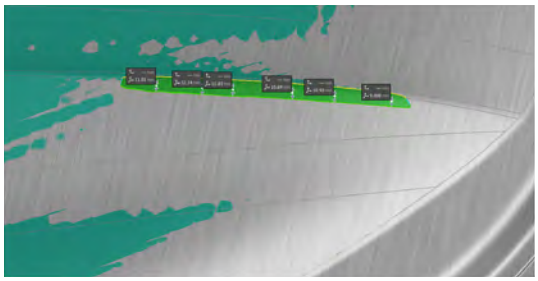


图 4 滑移与应变、应力的关系

本案例模具已经做出来了，触料时间已无法改变。根据以上对策方向，通过减小发动机盖外板滑移方向的应力，或者加大垂直于滑移方向的方向的应力，或者同时进行减小滑移方向应力和加大滑移垂直方向的应力，就是减小滑移距离的对策。

（2）接触应力产生的原因和对策分析

分析本案例发动机盖外板的冲压角度（图 5），对比滑移位置，发现在当前这样的冲压角度（7°）下，滑移位置刚好处于冲压的先触料位置。由于滑移位置棱线比较尖利，在冲压的时候，触料的瞬间冲击产生的应力会比较大。冲压的速度越快，冲击产生的力越大，接触应力也越大，滑移痕就越深。这就有了第一个减轻接触应力的对策方向：改变触料冲击力。要改变触料冲击力有两个方向，一是改变棱线的锐利程度。在产品造型已确定的前提下这一对策方向显然不可能。二是改变触料时间，使当前滑移位置后触料，让不会产生滑移的位置先触料。这样，当前的滑移位置触料的时候，冲压冲击力已经被先触料位置降低了，滑移位置的接触应力相应就能降下来。第三个改变触料冲击力的方向是调整压机冲压速度，使冲压速度降低，降低触料冲击。在条件允许的情况下，这几个方向可以同时采取对策。

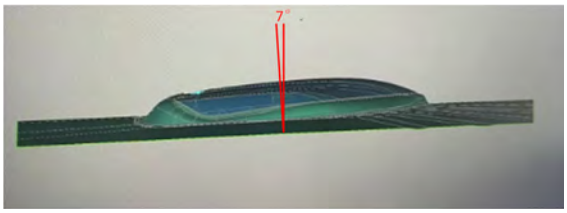


图 5 冲压角度分析

（3）针对当前工艺设计的对策思路。

前面说过，当前的问题状态是，模具都做好了，就等着量产，不可能有太多的时间改修模具，也不可能考虑重做模具。改修对策必须在当前模具基础上通过风险最小、改修工作量最小、万一对策不行模具可尽快恢复当前状态的对策对模具进行改修。分析前面的改变接触应力的对策方向，现在模具都做好了，要改变先触料位置显然不可能。要改变冲压速度也不可能，该公司已确定了生产线且基本完成了生产准备，不可能换压机冲压。而确定的拉延压机，冲压速度因为需要协调整线的动作节拍，冲压速度是不允许调节的。所以，降低接触应力对策方向在这里不能采用。这样就只有减小滑移距离一个对策方向。

分析当前的拉延工艺，发现原设计为了获得较好的切边冲压角度，在发动机盖外板的左右前车大灯处各做了一个较大的工艺补充凸包（图 6）。这两个工艺补充包在拉延到底前 40 ㎜左右开始成形，由于凸包设计较大，增加了滑移方向的应力，同时加大了图示断面方向的断面线长。通过测算，如果将这两个凸包去掉，断面线长可以缩短 22 ㎜左右，能有效减小滑移距离减。这是对策思路一。这个对策几乎不影

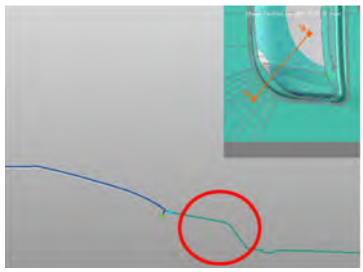


图 6 前大灯处的工艺补充凸包

响当前模具状态，万一对策效果不好要恢复模具状态，这里也可以维持不变，对策风险最小。

为改变滑移区的应力应变状态，可考虑在发动机盖外板的前后方向加大应力应变，从而减小延滑移方向的应变，减小滑移距离。分析工艺设计方案，发动机盖外板前后都是方形拉延筋，这两个位置不可能改变应力应变状态。整个发动机盖外板区域都是 A 面，没有任何的对策空间。但是在后侧，就是靠前挡风玻璃的位置这一侧的拉延筋到切变线之间的废料区，原工艺设计做了一个长形的工艺补充凹槽（图 7）。改变这个凹槽的深浅程度，可以对加大前后方向的应力应变有直接的较显著影响。这是对策的思路二。这个对策也不影响当前模具状态，万一效果不行不需要进行恢复，对策风险很小。

图 7 工艺补充凹槽

如果上述对策还不足以达成，要改变滑移方向的应力，只有改拉延筋了。改拉延筋就是将当前的方形拉延筋改成半圆筋。首先是改两前大灯位置外侧的拉延筋，这里属于材料的角度，成形时材料流入量小，风险可控。其次是发动机盖左右两侧靠两前大灯端的拉延筋，这里的拉延筋对零件的刚性和拉延变形有较大影响，风险较大，需要慎重分析，细化对策细节。这是对策思路三。改拉延筋的对策，万一不行，需要恢复模具原状态，难度也不大。

对策模拟分析和确定最终对策

对策分析和确定

根据以上对策思路，我们根据对策由易到难，先制定方案一：削掉两前大灯处的工艺补充（图 8）。

以下为分析结果（图 9）。滑移距离缩小为最大 9.8 ㎜，接触应力几乎没有变化，最大值在 7.5 左右。对策有一定效果，但是达不到预定目标。

方案二：在方案一基础上补充将两角部拉延筋改为半圆筋（图 10）

分析结果如图 11。滑移距离减小到 10.2，接触应力基本不变。

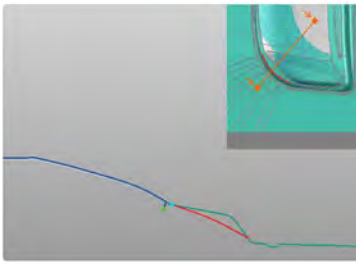


图 8 方案一：削掉两前大灯处的工艺补充

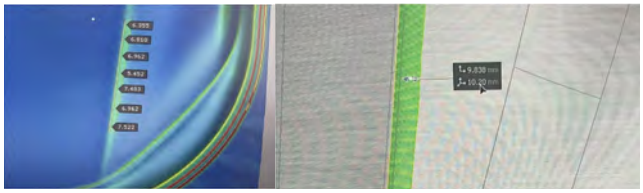


图 9 方案一的对策效果

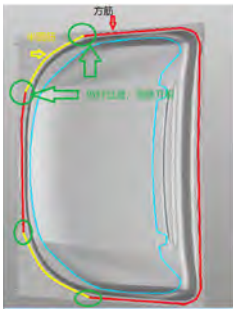


图 10 方案二：角部改半圆筋

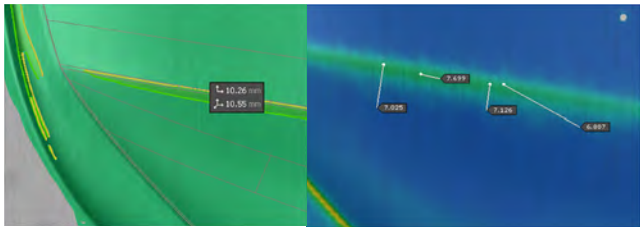


图 11 方案二分析结果

方案三：在方案二的基础上追加加深发动机盖外板后侧的长槽，槽深加到 7 ㎜。分析结果见图 12，滑移距离由

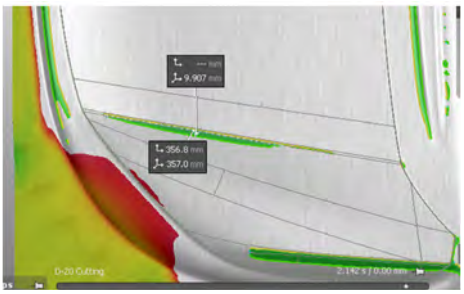


图 12 方案三分析结果

10.2 变小到 9.9，未达成目标。

方案四：在方案三基础上优化角部拉延筋并发动机盖外板左右两侧方筋改 S 型筋（图 13），并做好过渡；将发动机盖外板后端长凹槽深度加到 8 mm，同时为防止开裂，加大了槽宽和 R 角（图 14）。

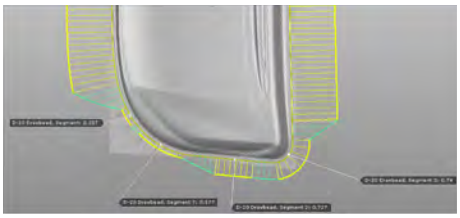


图 13 拉延筋优化方案

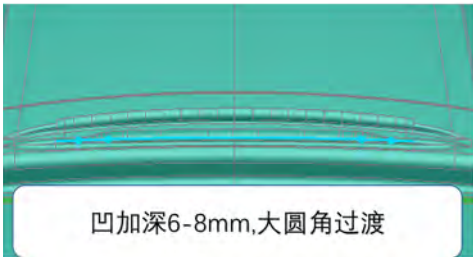


图 14 长槽优化方案

分析结果如图 15，最大滑移距离 5.6 mm；最大接触应力从原来的 7.5 降到 6.83，降的不多，这也符合前面对接触应

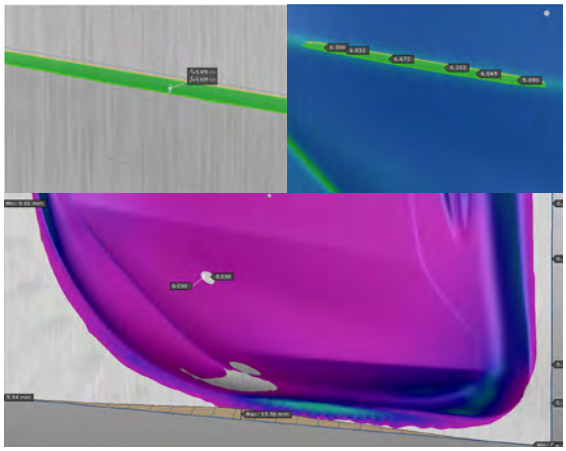


图 15 方案四分析结果

力难以降低的判断；最小变薄率 0.03，符合技术标准要求。

根据以上分析，确定将方案四作为最终对策。

对策实施效果验证

对策给到该公司并指导该公司技术人员进行细化和进一步分析确认后，对策进行了实施，效果如图。滑移距离控制

图 16 对策效果

达成目标。

关于接触应力与滑移产生的探讨

在发生滑移情况下工艺分析时接触应力应控制在多大的范围内可以保证滑移不明显，当前各个厂家都有自己的经验技术标准。上述发动机盖外板棱线的滑移分析告诉我们，这个所谓的技术标准没有多大的存在意义。接触应力 15.7，滑移可以看不出来，接触应力 7.6，滑移却异常明显（表 1）。本案例的滑移就是接触应力未超出所谓的标准的。这也是为什么把这种滑移称为异常滑移的原因。从这个事例上来看，用接触应力来判断滑移是否可以接受，其实没有什么标准值。滑移是否明显的影响因素还有造型特征、冲压角度和板材型号，而不仅仅是接触应力。

结束语

本案例的对策思路对于解决发动机盖外板的拉延滑移问题，有重要的参考意义。目前部分企业遇到类似问题，采取的对策是，拉延先将棱线 R 放大到压痕很轻，后再追加一序整形模具整出合格的棱线 R。这一方法不是所有滑移都可以采用的，尤其发动机盖这类零件，采用这种策略，整形的时候会可能会出现变形。本案例中，滑移仅仅出现在棱线的前段，滑移范围之外全是高光 A 面，采用这样的对策，整形的时候造成变形的可能性极大。我们在本案例中也验证了棱线 R 由 R12 放大到 R18, 接触应力没有改善，滑移距离加大了，这意味着一定程度的放大 R，变形会恶化。至于 R 要放大到多少才能改善接触应力到可以接受，我们认为经过前述分析，在材料不变、冲压角度不变、冲压速度不变的条件下不可能有多大的改善空间。影响滑移的关键因素还是造型特征、冲压角度和板材型号。MFC