汽车外覆盖件的制造质量故障诊断及模具调试冲压 CAE 分析的应用

马坚 金文辉 （江铃汽车）
李铁 张凤雷 颜熹 司马忠效 刘裕中 刘明隆（圣基尚源）

摘要：本文以某项目车门外板为例，详细阐述了冲压虚拟故障诊断的流程及工作方法。从现场数据采集，到故障诊断、故障原因分析、故障解决措施最后到故障解决措施验证。最终证明了冲压虚拟验证可以很好的还原冲压现场的实际状态，并以此为依据在虚拟的环境下，找到解决问题的最佳途径。指导冲压现场的实际调试。大大缩短了调试时间，降低了调试成本，并且能很好的控制因调试更改造成的模具报废风险。

关键词：故障诊断 CAE 分析 工艺参数 优化

1 引言

汽车的外观成为越来越多的人购车者选车的首要考虑因素，因此汽车外形的更新速度越来越快，外观设计也越来越时尚。而这些变化也给车身冲压件模具的设计和生产带来了更大的困难，生产中一旦因工艺设计不合理或参数设置不当，往往会影响冲压件生产的进度，甚至会影响整车的开发进度，还可能模具因此而报废，造成大量的人力、物力的浪费。

目前，冲压CAE技术已被广泛的应用于优化冲压工艺，冲压CAE分析人员可以在计算机上修改工艺参数直到得到满意的仿真结果，然后再投入生产[2]。而冲压生产是个非常复杂的过程，现场出现各种问题在所难免。对出现问题的模具进行冲压故障诊断，以便更快更准的找到模具调整方向在国内的应用还非常少，本文以某项目门外板为例，阐述冲压故障诊断在模具调试中的应用，证明冲压CAE分析不仅可以应用于前期工艺设计阶段，还可以作为现场故障诊断的一个重要手段。

图 1 故障零件照片

此门外板在最初的模具工艺设计阶段未经过冲压 CAE 分析，验证工艺的可行性。冲压件出来后发现零件存在刚度不足及滑移线等质量缺陷。严重影响整车的实物质量。表面刚度不足和滑移线是外板件常见的缺陷，产生的原因是多方面的，既可能有产品设计本身的问题，也可能有冲压工艺设计

不合理，模具调试不到位等问题，因此如何判断问题原因，从而快速有效的解决问题成为了关键。而对此零件我们采用了冲压虚拟故障诊断的方法，很好的解决了这一问题。

2 故障模具数据采集及模型建立

2.1 故障模具数据采集

冲压虚拟故障诊断必须尽可能的还原冲压现场的所有参数，这样才能真实的反映现场的实际情况，因此故障模具的数据采集非常重要，此项工作包括模具关键尺寸测量，试模坯料摆放位置测量，拉延筋分布测量，材料进料量测量等。由于此项工作在模具厂进行，涉及到数据保密问题，因此没有现场实测照片，现场实测的数据如下：

2.1.1 模具关键截面几何尺寸

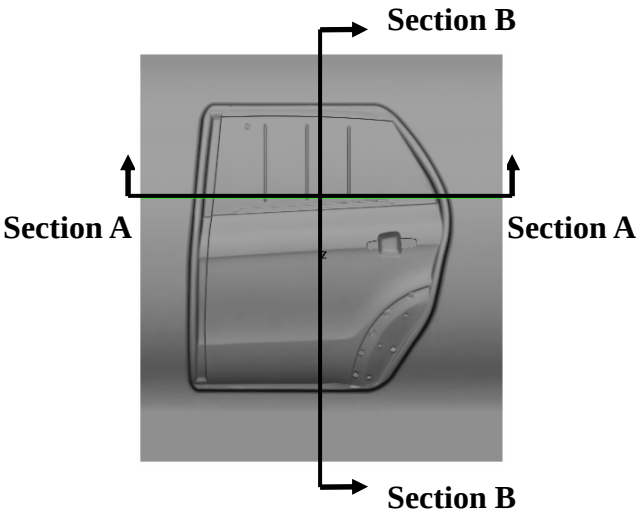


图 2 模具关键截面示意图

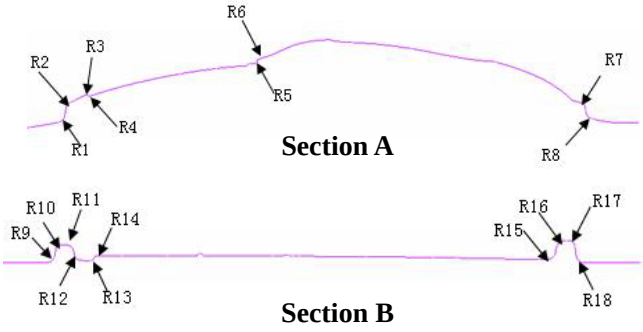


图 3 模具关键圆角示意图

截面	截面A							
圆角编号	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
设计圆角	19.5	13	2	3	3	9	13.5	19.5
实测圆角	20	13	2	3	3	9	12	20

截面	截面B									
圆角编号	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18
设计圆角	21	13	19	14	8	5	18	22	13	21.5
实测圆角	21	22	20	14	8	5	18	22	17	22

图 4 模具关键圆角设计值与实测值对比图

2.1.2 板料尺寸及摆放位置测量

板料尺寸及其在模具上的摆放位置直接影响到零件的成型质量，因此需要实测模具调试时所用的板料尺寸及其在模具上的摆放位置，下图 5 为现场实测的板料尺寸及摆放位置数据：

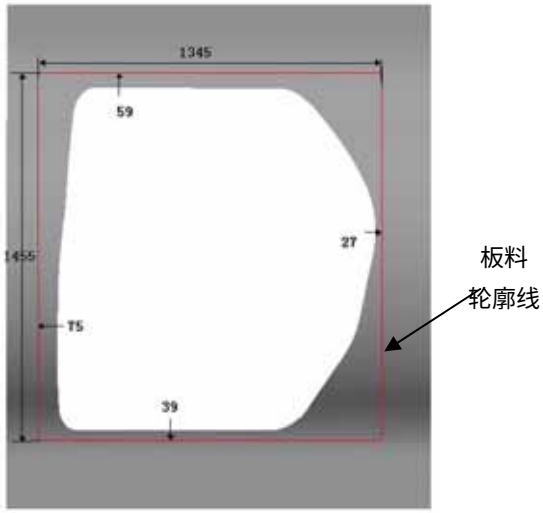


图 5 板料尺寸及摆放位置实测数据

2.1.3 板料进料量测量

板料成形后的进料量是对比 CAE 分析与实物冲压的重要依据，在进料量尽可能保持一致的条件下对比 CAE 分析结果与板材实际冲压成形结果，再现冲压现场故障，并以此作为故障诊断的依据。下图 6 为现场实测的板料进料量数据。

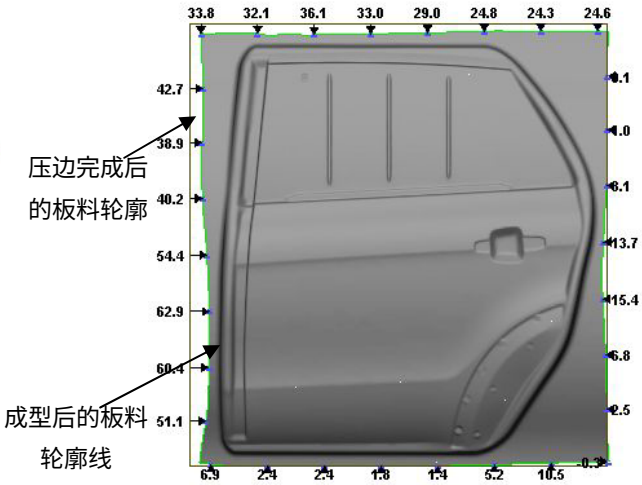


图 6 板料进料量实测数据

2.2 建立模型及定义边界条件

（1）材料参数

板料材质为DC04，料厚t＝0.7mm，其力学性能参数如下：屈服强度σ_s＝120～210MPa，抗拉强度σ_b270MPa，厚向异性系数r≥1.5，硬化指数n≥0.18。

（2）有限元模型

首先做出工序片体，再导入PAM-STAMP进行网格划分及参数设置。工具和板料采用BT壳单元进行几何离散，网格进行自适应划分[4]，同时假定凸模、凹模、压边圈为刚体，板料采用等向指数强化模型，其应力应变关系数学表达式[5]为：

$$\sigma_y = k\varepsilon^n = k\left(\varepsilon_{yp} + \bar{\varepsilon}^p\right)^n \qquad (2)$$

式中，K为材料常数（K>0）；n为硬化指数（0≤n≤1），当n＝0时为理想钢塑性模型，n＝1时为理想弹性模型。

最后得到拉延工序的有限元模型如图7所示。

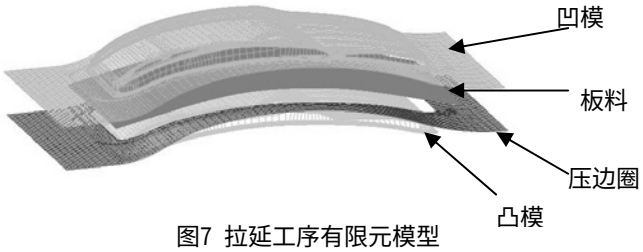


图7 拉延工序有限元模型

（3）边界条件

根据板料材质、润滑条件确立板料与模具各部件间的摩擦系数，同时设定压边速度。

3 冲压虚拟故障诊断

3.1 故障重现

根据现场实测数据，对故障零件进行了虚拟验证建模及 CAE 分析，并对分析结果进行了多轮的优化，通过调整虚拟拉延筋力等工艺参数匹配实测的板料进料量数值。最终得到了与实测进料量基本一致的CAE分析结果，如下图所示：

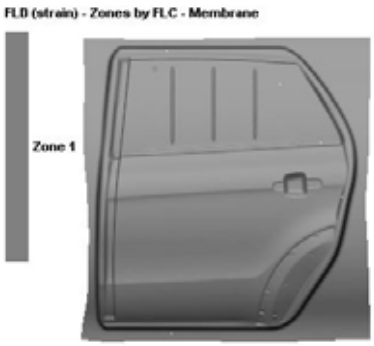


图 8 拉延工序 FLD 图

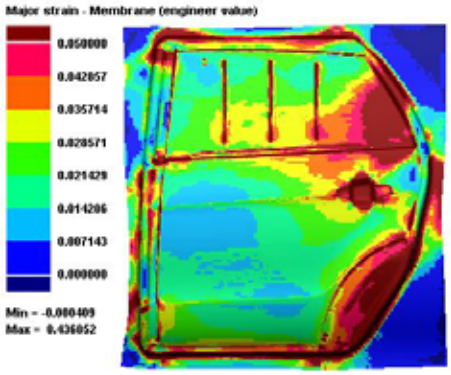


图 9 主应变云图

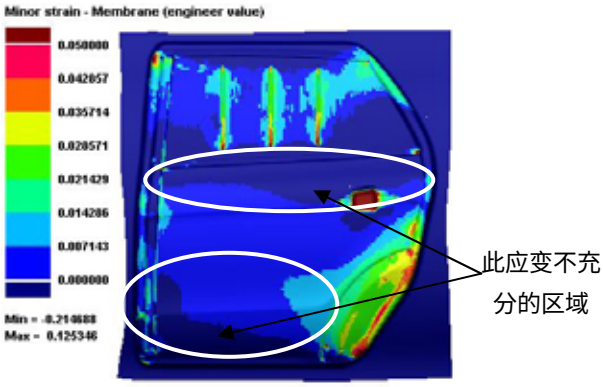


图 10 次应变云图

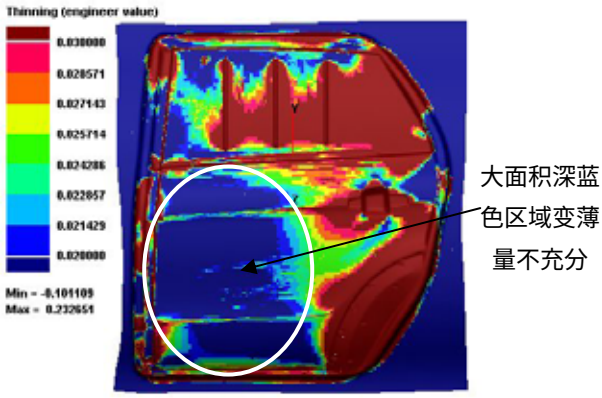


图 11 变薄量变云图

3.2 故障原因分析

通过匹配实际试模的参数，再现冲压件故障，并由计算结果可以直观、定量的分析故障原因。

图 8 的 FLD 结果可以看出此零件拉延成型不存在破裂问题。但在门框下部的大面积区域应变不充分，特别是图 10 次应变云图中线框内所示区域次应变为负值，并且图 11 中线框所示现同位置变薄量大部分低于 2 %。由上述定量化的分析结果可以看出此零件应变很差，这与零件在白车身试装后反馈的刚性不足的缺陷相吻合。

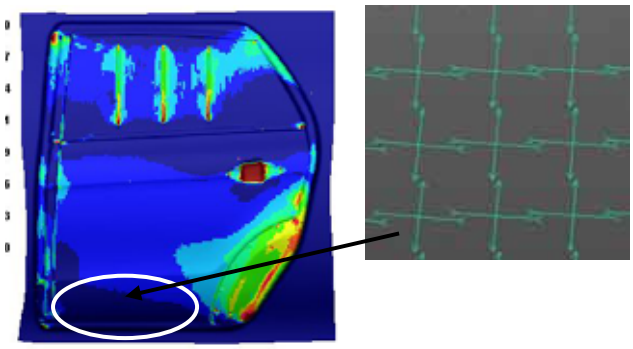


图 12 局部应变方向示意图

零件刚度不足的原因主要是由于变形不充分造成的。由上图 12 可以看出，零件在车身坐标系下的 X 方向为压缩应变，证明此零件在 X 方向的进料量太多，拉伸不够充分。那么只要减小 X 方向的进料量增大拉伸应变就可以改善零件刚度不足的缺陷。

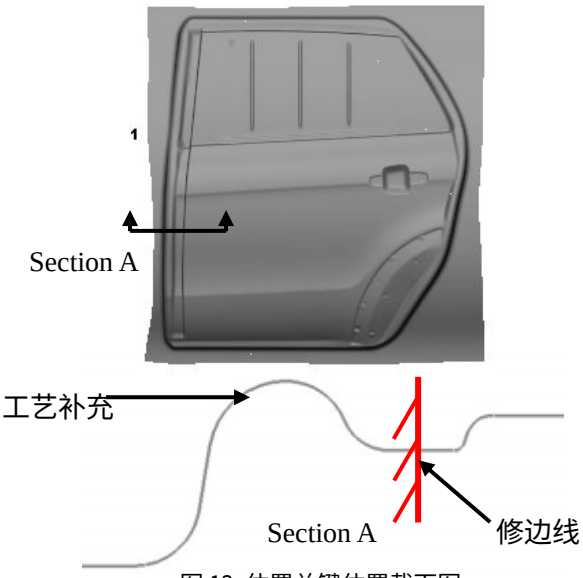


图 13 位置关键位置截面图

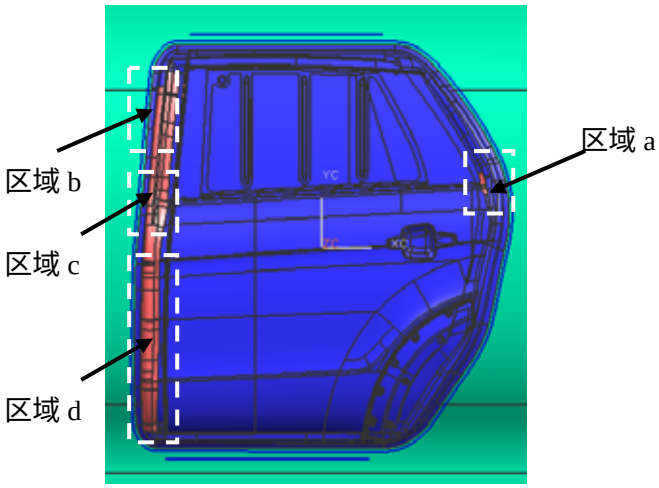
根据过程计算结果发现，造成车向坐标 X 向拉伸不足的原因是零件工艺补充设计不合理，如图 13 的 Section A 断面所示，工艺补充设计高度较高且圆角小，如果控制材料流入量将造成产品位置破裂，而为了保证零件不破裂，那么材料的流入量势必增加，就会造成零件应变不充分。因此要解决刚度不足问题需要优化此零件工艺补充形状。

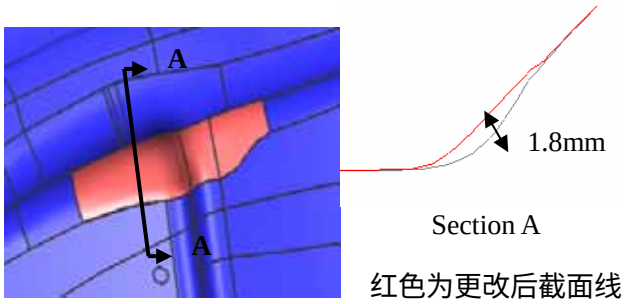
4 故障解决方案验证

4.1 故障解决方案

工艺补充优化方案：

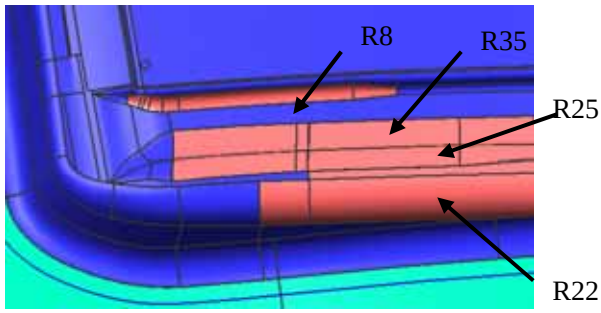
上文中的故障原因分析中已经详细分析了故障的原因以及初步的解决方向。根据此零件的过程分析结果提出以下工艺补充的具体优化方案：



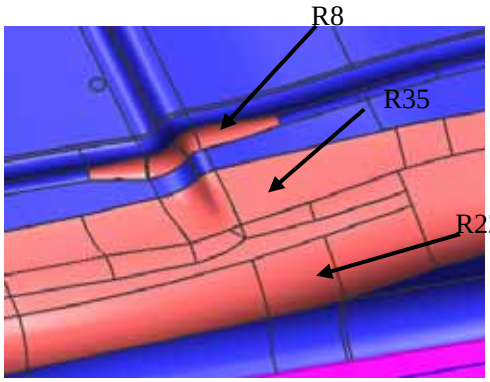


红色为更改后截面线

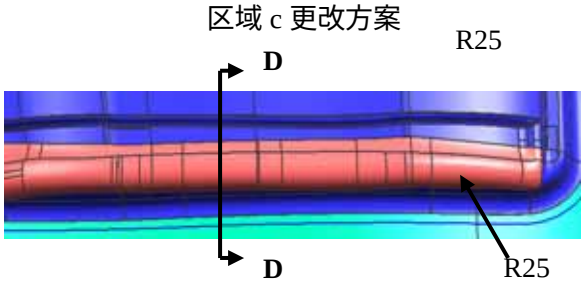
区域 a 更改方案



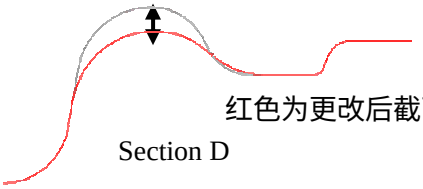
区域 b 更改方案



区域 c 更改方案



工艺补充降低 7.5mm



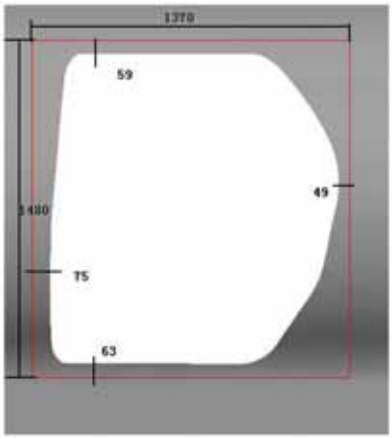
区域 d 更改方案

图 14 工艺补充优化方案

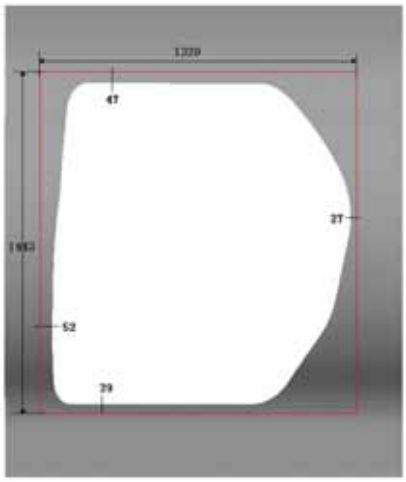
图14是对工艺补充的具体更改方案，图示中的圆角量值为优化工艺补充后的圆角半径。

板料优化方案：

经虚拟验证，发现实际试模所用板料zh整体尺寸偏大，经过对工艺补充的优化可以通过增大拉延筋力来控制板料的流入，这样即有利于零件的成型又可以节省材料，避免浪费。板料优化方案见下图15。



原方案板料尺寸及摆放位置



优化方案板料尺寸及摆放位置

图 15 板料优化方案

优化后的板料在宽度方向由1370mm减小到1320mm,减少了50mm，在长度方向由1480mm减小到1443mm，减小了37mm。

4.2 解决方案验证

对工艺补充和板料进行了优化后，在分析条件不变的情况下，对拉延筋也重新进行了优化，分析结果如下：

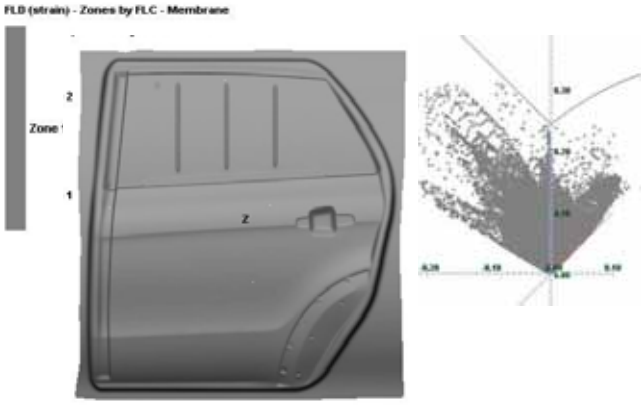


图 16 拉延工序 FLD 图

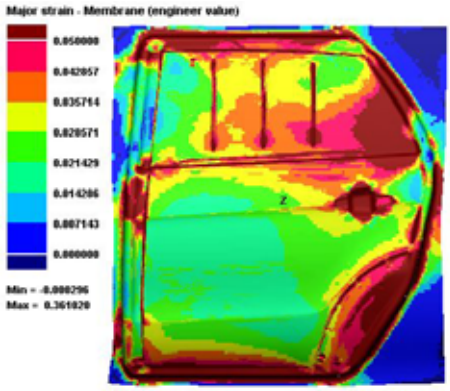
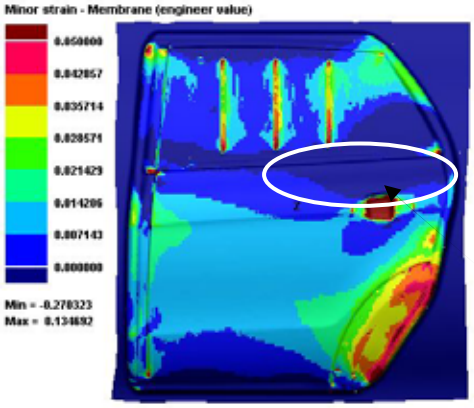
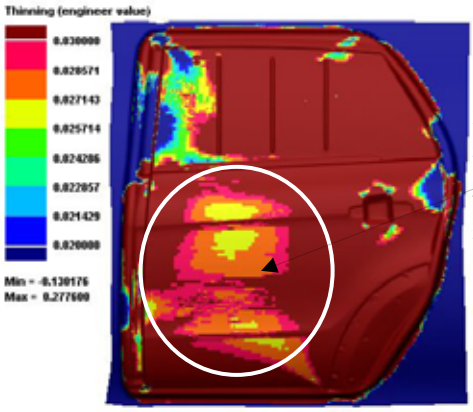


图 17 主应变云图



图示产品位置次应变不充分区域

图 18 次应变云图



大部分区域变薄量充分，局部图示位置变薄量已有较大改善！

图 19 变薄量云图

由图19变薄量可以看出经过优化工艺补充和板料后，大部分区域的变薄量充分，只有局部图示位置变薄量较充分，较之前大面积区域变薄量有显著的改善，次应变不充分的区域只有窗口右下角局部区域，由于此区域有产品特征决定无法再继续增大车向坐标X向的拉伸力，而且此处区域面积小，同时存在产品的形状特征；因此对零件的整体刚性影响有限。

由此可见通过优化工艺补充、板料以及调整拉延筋等工艺参数，有效的解决了此零件刚度不足的缺陷

5 结束语

冲压CAE技术目前已广泛的应用于产品设计阶段的冲压工艺验证以及工装开发阶段的冲压工艺设计验证，但在指导模具调试以及模具故障诊断方面很少应用，本文正是从模具故障诊断的角度，利用冲压CAE分析软件PAM-STAMP虚拟冲压现场，分析定量化的CAE结果，从中找出故障原因。并以此为依据优化了工艺补充及板料尺寸。最终通过CAE分析确认工艺补充和板料的优化可以很好的解决此零件刚度不足的问题。

冲压虚拟故障诊断可以很好的分析故障原因，并找到更简单更有效的解决方案，较传统的在模具上进行更改及调试，大大缩短了调试时间，降低了调试成本，并且能很好的控制因调试更改造成的模具报废风险。