

冲压成形对汽车钣金件结构性能的影响研究

茆汉湖 叶远林 石文山 徐有忠 吴沈荣

(奇瑞汽车有限公司汽车工程研究院前瞻技术部, 安徽省汽车 NVH 与可靠性重点实验室, 安徽芜湖, 241009)

摘要: 在整车设计过程中, 通常车身结构分析是不考虑由于冲压成形引起的钣金厚度变化、残余应变等要素的影响, 显然这是与实际情况不相符的。因此本文以某车型前门为对象, 在冲压成形仿真分析的基础上, 将仿真分析结果映射到有限元模型中进行了模态、刚度与抗凹特性等结构分析, 并与传统的结构分析结果进行了对比, 大部分性能差异较小, 但最大偏差达到了 13% 左右。

关键词: 冲压成形 有限元分析 结构性能 单元映射

Study on Influence of Stamping Forming on Structural Performance of Automobile Sheet Metal

Abstract: In vehicle design, the thickness changes and residual strain of sheet metal by stamping forming usually don't account for BIW structural analysis. It is obviously inconsistent with the fact. Therefore, here is a case of the front door of one vehicle. On the basis of the stamping forming simulation, the calculation results are mapped into the finite element models for modal, stiffness and denting performance analysis. It is compared with the traditional structural analysis results. Most of results have inappreciable difference, but the maximum deviation reaches about 13%.

Key words: stamping forming, finite element analysis, structural performance, element mapping

1 引言

随着计算机技术和数值计算方法的广泛应用和快速发展, CAE 仿真分析已成为工程师进行创新研究和创新设计最重要的工具和手段。车辆开发过程中, 利用有限元分析软件对车身刚度、模态、强度及疲劳特性进行分析已经比较普遍。但目前的车身钣金件结构分析中, 往往使用名义厚度进行分析, 没有考虑钣金冲压成形引起的厚度、应变等变化, 与实际情况不相符。

本文以某车型前侧门为例, 首先进行冲压成形仿真分析, 然后将冲压成形引起的厚度变化、塑性应变等结果映射引入到车门有限元分析模型中, 进行车门模态、刚度和强度分析, 并与传统的(不考虑成形影响的)分析结果作对比, 研究冲压成形对汽车钣金件结构性能的影响。(注: 出于保密考虑, 本文研究中的有关数据做了一些假定处理, 不能代表实际情况。)

2 考虑冲压成形影响的车门刚度与模态分析

2.1 冲压成形分析及其结果

采用一步法分析, 经过模型检查与清理、调整冲压方向、圆整和指定零件外约束边界、施加约束力、摩擦系数和边界限制力系数等主要步骤来建立冲压仿真模型, 然后提交计算, 即可求解获得冲压仿真结果——包括零件的厚度、变薄率、成形性及塑性应变和主应变云图。如图 2.1 和图 2.2 分别为成形后的前门内板成形性和变薄率仿真结果。通过成形性云图, 可以看出该模型的分析结果较好。通过变薄率云图, 可以看出最大变薄率都控制在 30% 以内, 仿真结果可以接受。

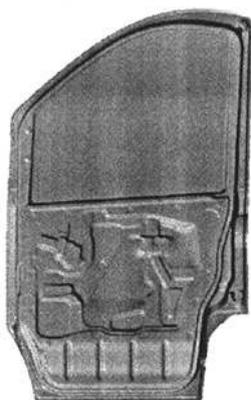


图 2.1 前门内板成形性云图

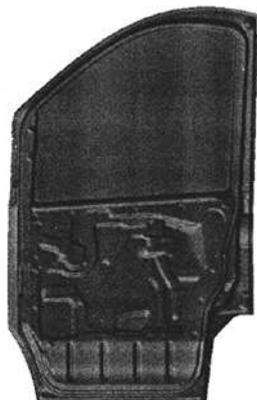


图 2.2 前门内板变薄率云图

2.2 传统结构分析模型的建立

按传统方法，建立整个前门总成的静态刚度和模态分析模型，其中包括前门外板和内板、加强板、玻璃导轨和防撞梁等多个零部件。各种部件之间还通过不同方式进行连接：前门外板和内板通过压合处理，防撞梁与外板之间通过涂胶的形式连接，其他钣金件之间则采用焊点单元连接。

2.3 成形结果映射与调用

由于成形分析模型的网格与结构分析模型的网格是不同的，因此，成形分析的结果应用到结构分析模型必须采用结果映射方法来实现。通过可以定义映射的结果变量，如厚度和塑性应变，进行零件与成形件的坐标转换，并指定映射的搜索容差，这样就可以实现调用和映射，进一步作有关结构分析的参数设置，然后能够输出需要的工况分析文件，此文件包括了成形分析后的厚度信息和应变信息。图 2.3 和图 2.4 分别表示映射后的内板网格和外板网格模型。

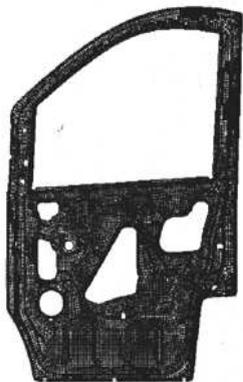


图 2.3 映射后的内板网格模型

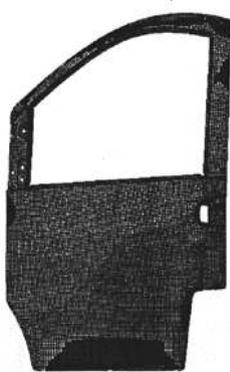


图 2.4 映射后的外板网格模型

2.4 两种仿真结果对比

本次分析的前门结构分析模型对如下工况进行了分析，包括前门约束模态、前门窗框内外侧挤压刚度、前门横向刚度、前门锁安装点垂直刚度、前门喇叭安装点刚度、前门锁安装

点刚度。分析模型包括不考虑成形影响的模型和考虑成形影响的模型。前门约束模态、刚度、安装点刚度分析结果对比情况如表 2.1、表 2.2 和表 2.3 所示。两种方法之间还是有一定差异的，无论模态还是刚度，都有一定的差别。考虑成形影响后，零件单元厚度变薄，低于原始材料的厚度，所以前门总成的模态和刚度都有所下降。

表 2.1 前门约束模态分析结果对比

模态阶数	传统分析模型 (Hz)	一体化分析模型 (Hz)	性能下降 (Hz)
1	28.13	27.6	0.53
2	45.86	44.25	1.61
3	55.22	54.49	0.73
4	59.33	58.45	0.88
5	65.24	64.11	1.13
6	68.9	66.57	2.33

表 2.2 前门刚度分析结果对比

工况	传统模型刚度(N/mm)	一体化模型刚度(N/mm)	性能下降
窗框内侧挤压	104.35	90.9	12.88%
窗框外侧挤压	85.53	82.3	3.80%
窗框横向刚度	34.85	33.5	3.88%
窗框垂直刚度	252.53	250.00	1.00%

表 2.3 前门安装点刚度分析结果对比

工况	传统模型刚度(N/mm)	一体化模型刚度(N/mm)	性能下降
锁安装点 1	3030.30	2898.55	4.35%
锁安装点 2	3846.15	3597.12	6.47%
锁安装点 3	1470.59	1408.45	4.23%
扬声器安装点 1	240.38	224.92	6.43%
扬声器安装点 2	89.17	82.17	7.84%
扬声器安装点 3	168.07	154.75	7.93%
扬声器安装点 4	581.40	529.10	9.00%

3 考虑冲压成形影响的车门强度分析研究

3.1 冲压成形分析模型准备

采用增量法分析，经过模面设计、模型检查与清理、分离出压料面、调整冲压方向、设置冲压类型与落料线、定义板料的厚度和材料、定义好拉延筋布置（板料轮廓线和拉延筋布置如图 3.1 所示），再进行材料流动摩擦系数设置、冲压过程设置和输出结果设置（完整的分析模型如图 3.2 所示）。提交计算，即可求解获得冲压仿真结果——包括零件的厚度、变薄率、成形性及塑性应变和主应变云图。如图 3.3 和图 3.4 分别为成形后的前门外板成形性和变薄率仿真结果。通过成形性云图，可以看出该模型的分析结果较好。通过变薄率云图，可以看出最大变薄率都控制在 30% 以内，仿真结果可以接受。

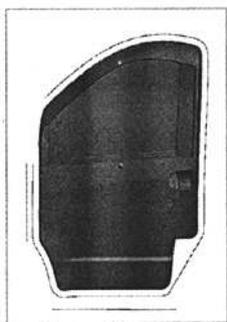


图 3.1 前门外板拉延筋布置图

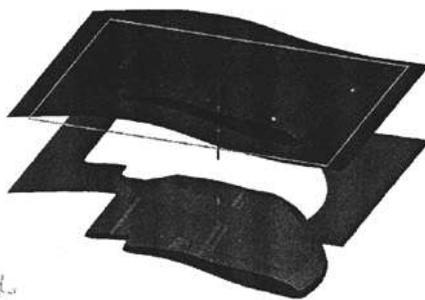


图 3.2 前门冲压分析模型

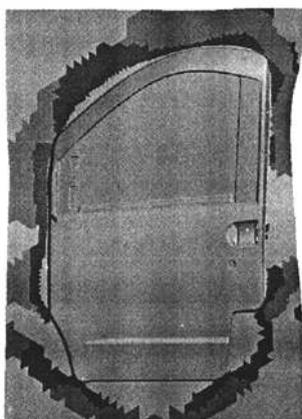


图 3.3 前门外板成形性云图

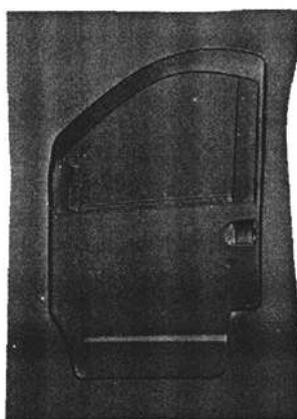


图 3.4 前门外板变薄率云图

3.2 仿真结果对比

结果映射方法与前面类似，映射后输出需要的工况分析文件，此文件包括成形分析后的厚度信息和应变信息。映射后的模型从卡片上可以看出直接对各个节点施加厚度和初始应变。

本文的前门结构分析模型主要对车门的抗凹特性进行分析，分析选取的车门上的 5 个点。分析模型包括不考虑成形影响的模型和考虑成形影响的模型。

表 3.1 前门抗凹特性分析结果对比

分析区域	传统分析模型		一体化分析模型	
	最大位移(mm)	残余变形(mm)	最大位移(mm)	残余变形(mm)
1	7.7	0.22	8.1	0.03
2	10.9	0.23	11.3	0.06
3	11.8	0.26	12.25	0.012
4	8.9	0.21	9.2	0.02
5	6.96	0.18	7	0.04

表 3.1 反映了各点映射前后的最大位移和残余变形，从表上可以看出，考虑成形影响时，最大位移变大，残余变形变小。加载的力和位移曲线以点 3 为例，对映射前后结果进行了比

较，如图 3.5 所示，其它点与其相似。图 3.6 为点 3 映射后模型加载结束时应力云图。

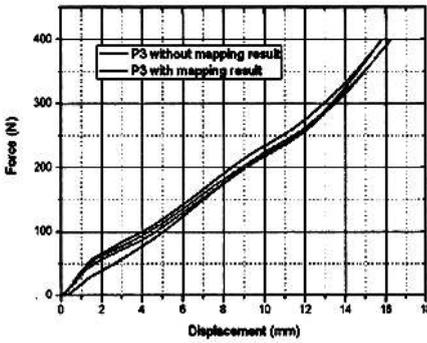


图 3.5 点 3 映射前后位移载荷曲线

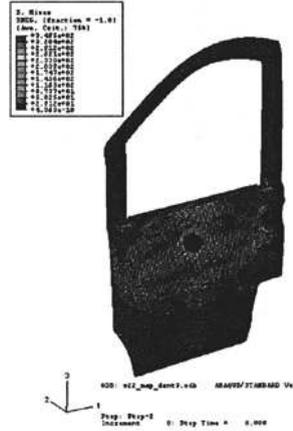


图 3.6 点 3 映射后应力云图

4 结论与展望

通过结果映射方法，将钣金冲压成形分析结果引入到车门结构模态、刚度与强度分析中，完成了考虑冲压成形影响的车身结构分析，对考虑成形影响分析的结果与传统分析结果进行了比较。分析结果显示，考虑成形影响后，钣金厚度总体减薄，材料性能冷作硬化，车门结构的总体结构性能略有下降，个别指标下降较为明显，但抗凹分析中的残余变形大大减小，这些与理论分析是相符的。一方面，对于上述结果需要进行试验验证，提升分析精度，以便开发中更好控制差异明显的指标；另外一方面，需要进一步地研究成形对于碰撞安全分析和结构疲劳分析的影响。

参考文献：

- [1] 林忠钦，车身覆盖件冲压成形仿真，北京：机械工业出版社，2005
- [2] 崔令江，汽车覆盖件冲压成形技术，北京：机械工业出版社，2003
- [3] 刘斌、张雨，基于 HyperForm 的车身结构一体化仿真分析方法应用研究，ALTAIR 年会论文，2007
- [4] ABAQUS6.5 DOCUMENTATION
- [5] MSC. NASTRAN QUICK REFERENCE GUIDE

作者简介：

郝汉湖，硕士，工程师，1979年5月生于江苏盐城，现在奇瑞汽车有限公司汽车工程研究院前瞻技术部和安徽省汽车 NVH 与可靠性重点实验室工作。邮箱地址：maohanhu@mychery.com，移动电话：13956155786。