

文章编号:1671-5497(2005)02-0148-05

# KMAS 冲压分析 CAE 软件在车身件 设计及工艺预分析中的应用

丁 祎,胡 平,曹 颖,李运兴

(吉林大学 车身与模具工程研究所,长春 130022)

**摘 要:**论述了 CAE 冲压成形技术在车身件设计及工艺设计分析中的重要作用。并应用 KMAS 冲压分析 CAE 软件对某车型前地板进行了产品设计及工艺分析,提出了在车身件产品设计及模具设计中实施可制造性设计的方法,以及在最短时间内得到最优工艺方案的方法和实施过程。该设计及验证方法为车身设计师和制造工艺师提供了可行的产品并行工程设计方法,可有效地缩短设计验证周期并能提高设计质量,从而缩短产品开发周期。

**关键词:**计算机软件;CAE 软件 KMAS;车身设计;冲压件工艺预分析;CAD/CAE/DFM  
**中图分类号:**TH122.5;U270.386 **文献标识码:**A

## Application of CAE Software KMAS for Sheet Metal Forming in Auto-Body Component Design and Pre-analysis of its Formability

DING Yi, HU Ping, CAO Ying, LI Yun-xing

(Institute of Autobody and Die Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

**Abstract:** The important roles of the CAE for sheet metal forming in the field of auto-body components design and their processing analysis were discussed. The application of an independently developed CAE software King-Mesh Analysis System (KMAS) for sheet metal forming was exemplified by the design of the front floor panel of a new type car and its formability analysis. A formability oriented design technique for the auto-body components and their press mould and a process enabling to get the optimized processing plan and its implementation in the shortest possible time were proposed, providing a feasible parallel engineering design method for the auto-body designing and manufacturing engineers to shorten the development and its verification time and improve the product quality.

**Key words:** computer software; CAE software KMAS; auto-body design; formability pre-analysis; CAD/CAE/DFM

## 0 引 言

用户对汽车产品性能及质量的要求越来越

高,安全性法规和标准对汽车产品的约束也越来越严格,迫使汽车制造厂家在竞争中必须缩短产品开发周期、提高产品质量、降低开发成本。因而

收稿日期:2004-06-12.

基金项目:国家杰出青年科学基金资助项目(10125208);国家自然科学基金重点资助项目(19832020).

作者简介:丁祎(1967-),女,博士研究生.研究方向:基于 KBE 和 DFM 的车身设计方法. E-mail:elaineding@yahoo.com.cn

通讯联系人:胡平(1956-),男,教授,博士生导师.研究方向:车身虚拟设计与制造工程. E-mail:pinghu@jlu.edu.cn

发展和采用大量的信息及计算机高新技术并应用于设计、制造的全过程对加速汽车开发与生产十分必要。

汽车的整个设计、生产、制造、检验、营销是一个复杂的过程,信息量大,数据流复杂。应用先进的计算机技术,可实现汽车开发、试制、试验及制造全过程的高效率化。美国福特公司将计算机辅助设计 CAD (Computer Aided Design)、计算机辅助制造 CAM (Computer Aided Manufacturing)、计算机辅助工程 CAE (Computer Aided Engineering) 及产品信息管理 PIM (Product Information Management) 概括为 C3P, 这是一个将计算机技术合成的工具集。将零件形状设计、制造数据以及其他信息联系在一起,用来支持和优化汽车新产品开发系统。其关键技术包括:从概念到制造全部电子化;实施同步工程;用数字化的电子产品模型取代大量的实体模型;建立“数字化的虚拟工厂”来模拟生产过程和实际操作。C3P 要实现的先进的、重要的技术目标之一是使数字化的样车装配与验证成为可能。应用计算机技术,使实施同时工程 CE (Concurrent Engineering) 这一先进的工作模式成为可能。在汽车开发中,组织多学科小组提前介入设计阶段实行并行作业与协同工作,能提前发现问题,及早修改和解决问题。并行工程的实施可在最短的时间内实现高质量的产品设计与验证工作,体现了现代技术、管理和合作精神的综合效果。

## 1 车身件的设计制造及冲压成形 CAE 分析技术

车身件的生产是汽车制造的一个重要生产过程,车身件模具的设计及制造水平一直是制约开发汽车产品品质与速度的核心因素。

由于汽车覆盖件大都是空间曲面结构,总体尺寸大、相对厚度小、形状复杂,同时在成形时影响毛坯变形的因素又很多,导致冲压成形中的变形状况复杂,变形规律不易被掌握,易出现质量问题。因此较好地把握汽车覆盖件的冲压成形特点,准确、详细地分析覆盖件成形过程中的状况和变形规律、预计可能出现的质量问题是车身件冲压工艺的关键技术。

在以往的汽车开发中,从事车身件冲压设计

的工程技术人员在进行冲压工艺设计、冲模设计时很大程度上依赖于自己的经验;对覆盖件冲压生产中出现的质量问题,也要靠技术人员的经验进行反复地试验。并且在冲模制造完成后,需要通过进行实件冲压来发现制件起皱、破裂、刚性不足、回弹过大等质量问题,再根据问题对模具进行调试及修改,直到冲制出合格的制件为止。致使制造周期长、反复多、成本高、技术难度高。

采用 CAE 技术进行冲压成形性分析<sup>[1]</sup>,一方面,能在模具制造之前,从理论上分析成形的可行性,指导模具方案设计,减少设计风险和反复;另一方面,通过模拟坯料在冲压过程的成形状况,优化模具设计与工艺参数。还可实现从坯料夹持、压边圈压合、拉延筋设置、冲压加载、卸载回弹及切边回弹的全过程模拟,定量地确定破裂、起皱、回弹的部位与程度;能够分析模具间隙、摩擦状态、压边力大小、材料参数、冲压速度等各种因素对冲压过程的影响;还可以根据坯料在冲压过程中的流动和变形情景确定合适的毛坯形状及尺寸<sup>[2,3]</sup>。

## 2 KMAS 冲压成形 CAE 软件在车身件产品设计阶段的应用实例

冲压成形 CAE 商品化软件 KMAS 是由吉林大学车身与模具工程研究所自主开发的专门用于金属和聚合物板材模压成形性分析的商品化软件<sup>[4~7]</sup>。本节以某车型的前地板的设计为例,着重论述了在产品阶段应用 KMAS 技术进行冲压成形过程的模拟及模具结构和参数的确定。

### 2.1 前地板结构设计形状及要求

图 1 为前地板为达到结构设计及底盘布置要求的形面造型。此前地板中央通道左右不对称,前部左侧形状变化较大,局部收形形成细颈,之后在中部加宽较多。属于大型复杂、拉延深度和难度均较大的车身内部构件。

地板材料为 08 AL-Z,板厚  $t = 1.0 \text{ mm}$ ,强度极限  $\sigma_b = 299.5 \text{ MPa}$ ,屈服强度  $\sigma_s = 173.0 \text{ MPa}$ ,加工硬化指数  $n = 0.198$ ,各向异性系数  $\bar{R} = 1.566$ ,硬化系数  $K = 503.1 \text{ MPa}$ 。

由于制件具有沿轴向截面变化的特征,预计在冲压成形过程中收形细颈段会出现皱折及破裂,需对其冲压成形性进行全面评估,在保证结构

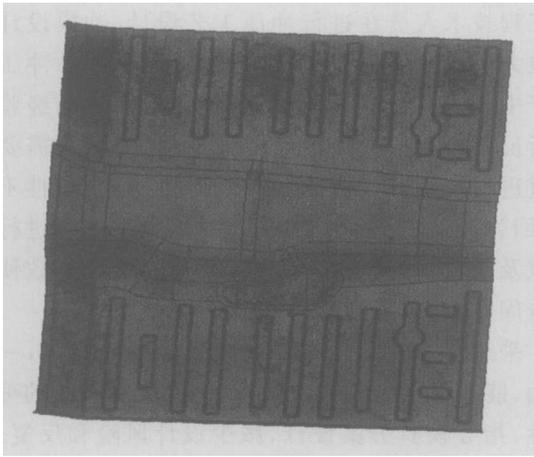


图 1 原设计地板结构

Fig. 1 Original design of floor panel

设计要求的前提下,对出现的质量问题提出对模具结构和参数的改进建议,或提出对结构的局部更改建议,。

### 2.2 地板模具结构设计初步方案

前地板属于成形面积很大的大型拉延件,一般在双动压床上加工,制件的冲压加工位置与其在设计时的整车坐标系中的位置相同,凸模为凹型。在设计工艺补充及压料面时必须遵循两个原则:一是压料面的长度必须小于凸模截面线周长;二是压料面截面线夹角必须大于凸模截面线夹角,以保证冲压过程中制件表面不发生皱折。根据此件结构特点进行了凹模、工艺补充及压料面的形面设计,如图 2 所示。其中 A - A, B - B, C - C, D - D, E - E, F - F 的断面形状如图 3 所示。

经 CAE 分析,其结果如图 4 所示,成形时 A 断面处破裂、B 断面处皱曲严重。

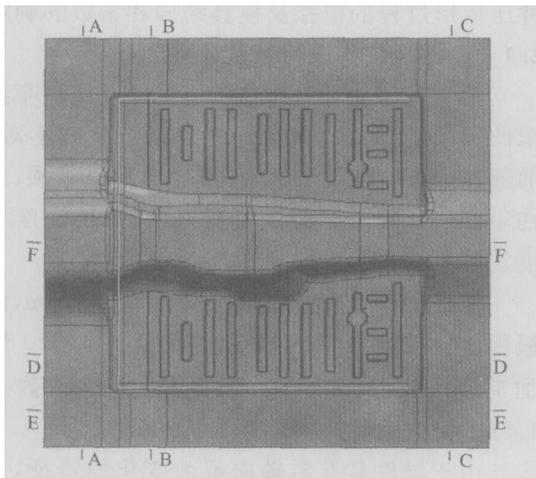


图 2 原模具设计方案

Fig. 2 Design scheme of original die-face

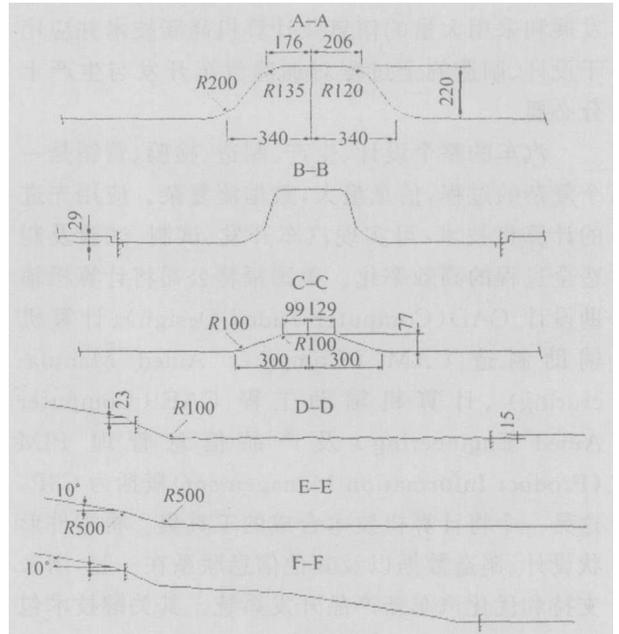


图 3 模具相关断面图

Fig. 3 Cross-sections of die design

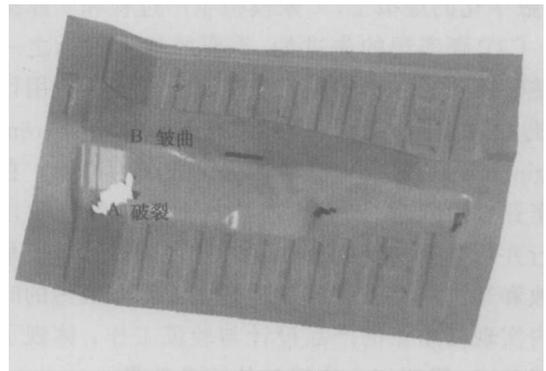


图 4 原设计方案的 CAE 分析结果

Fig. 4 CAE analysis result of original design scheme

### 2.3 根据 KMAS 成形分析结果确定改进方案

#### (1) 改变端头工艺补充参数

前后端头工艺补充均为梯形截面,工艺补充形式及参数见图 3 中 A - A 和 C - C 断面。

前端头梯形截面下底边  $L_1$  尺寸分别取 340 mm 和 380 mm 两种方案计算,后端头梯形截面尺寸始终保持不变。由 CAE 分析计算可知,当  $L_1$  增大时,由于模腔内积料增加,A 处破裂程度要小些。 $L_1$  增大对改善 A 处破裂有一定好处。另一方面,当  $L_1$  增大时,细颈处积料增多,导致皱折加重。

#### (2) 改变两侧压料面

因为制件前端上翘  $22^\circ$ ,如果两侧压料面按等距向上提升,则压料面在前端有一折曲段,初始方案采用  $R 500$  侧向压料面(图 5),在光顺折曲段采用两种“桥接”曲线方式,其折曲点处压料面

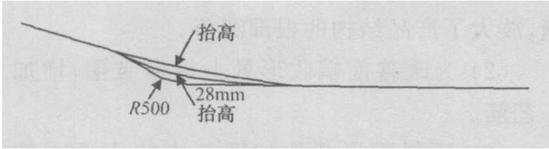


图 5 侧向压料面

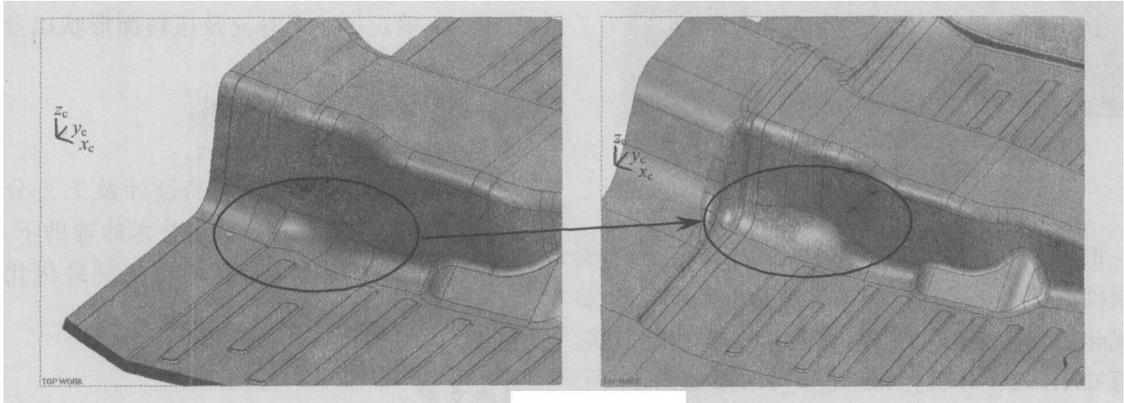
Fig. 5 The blank holder on side wall

高度相对原始方案分别抬高 16 mm 和 28 mm。由 CAE 分析计算可知,侧向压料面升高使压边后模腔内制件构形更光滑。但由于压料面升高后,压边后模腔内积料相对减少,导致最终冲压

件破裂更加严重。

(3) 设计结构改进方案

由前面的分析(图 4)可以看到,消除收形颈处顶面皱曲和根部的破裂是前地板成形的难点。破裂与皱曲又是相互耦合的,单纯靠工艺措施已经无法解决。所以可通过在保证制件结构和使用功能的前提下,加大其局部圆角尺寸,改善其成形性。图 6(a)为制件的驾驶员侧原设计根部圆角结构图,图 6(b)为改进后的根部圆角,详细的断面更改尺寸如图 7 所示。



(a) 改进前

(b) 改进后

图 6 前部收形处圆角的改进

Fig. 6 Improvement for front corner area

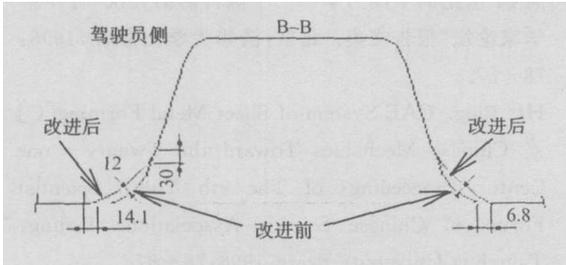


图 7 前部收形处圆角改进的断面图

Fig. 7 Sections of front corner improvement

为减少收形细颈处顶面皱折,前端头梯形截面底边  $L_1$  取 340 mm,侧向压料面取原始方案,即前端转折处用  $R 500$  过渡方案,前端头加双道筋。

CAE 分析计算表明,圆角部更改方案达到了预期解决破裂的目的。

为解决皱褶问题,在收形部上板面增加了如图 8 所示的工艺筋,以解决该部分的材料积料问题。

通过对几个不同尺寸的工艺筋进行对比分析,由 CAE 分析计算确定了如图 8 所示的工艺筋的形面尺寸,达到了预期的消除皱褶的目的。

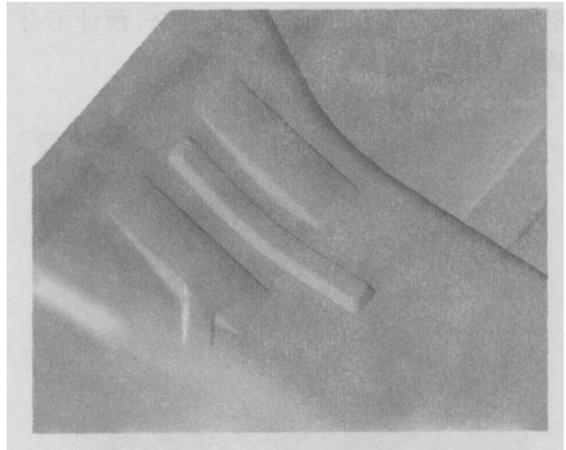


图 8 增加工艺加强筋方案

Fig. 8 The scheme of adding reinforcement

(4) 预弯坯料与平板坯料

在模具改进与工艺条件相同的情况下,分别进行了平板坯料和预弯坯料的成形分析。由 CAE 分析计算结果显示,在当前情况下预弯坯料优越性不大。

(5) 拉延筋的布置

通过多个不同方案的拉延筋的布置分析比

较,确定了如图 9 所示的拉延筋(黑色线条)的布置方案。该方案能满足冲压成形性要求。

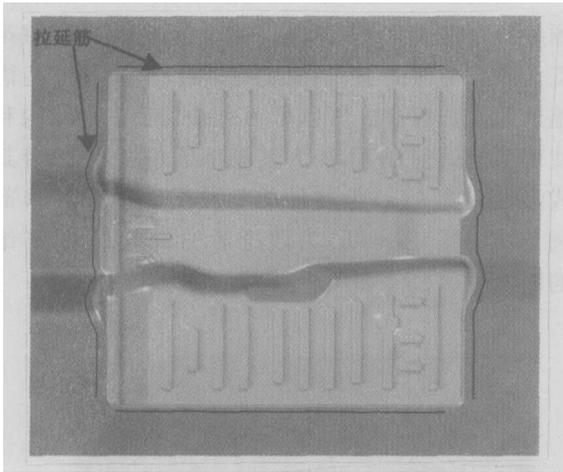


图 9 最终模具方案

Fig. 9 Final die - face design scheme

根据多种方案的分析对比,最终确定了可解决制件前部收形引起的颈面皱曲和根部破裂的最终优化的产品结构和模具(见图 9)。采用该方案进行 CAE 成形分析,其最终分析结果如图 10 所示。图中标记 A 处的局部厚度为 0.70 mm 左右,减薄率为 30%,实际冲压不会破裂。图中标记为 B 和 C 处在冲压过程中发生不大的皱曲,但在距冲压下死点 5 mm 前已全部展开,预计不会有皱,但可能有痕迹。

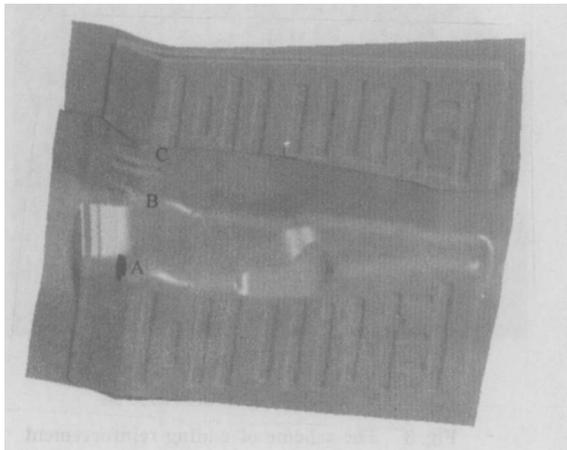


图 10 最终方案的 CAE 分析结果

Fig. 10 CAE analysis result of final design scheme

### 3 结 论

(1) 为了改善前端收形处条件,解决破裂问

题,放大了产品结构的根部圆角。

(2) 为改善前端收形处上端面皱褶,增加了工艺筋。

(3) 压料面形状取如图 5 中的 R 500 的方案。

(4) 为防止细颈顶面皱折和改善成形条件,前端工艺补充的梯形截面下底边  $L_1$  取为 340 mm。

(5) 为防止冲压过程前端头进料,从而加剧细颈顶面皱折,采用 R 6 双筋,其效果比拉延筋好。

(6) 确定了工艺补充及压料面形状以及加强筋的布置。

(7) 建议采用矩形板料。

(8) 压边力  $F_{BH} = 110 t$ 。

通过此前地板件的产品设计及工艺分析实例,说明了在 CAE 冲压成形技术的辅助下,产品及模具设计在最短的时间内可找到最优化的方案,为后续设计提供了可靠的依据。

### 参考文献:

[ 1 ] 胡平.大型覆盖件冲压成形 CAE 软件系统[C] 走向 21 世纪的中国力学——中国科协第九次“青年科学家论坛”报告文集.北京:清华大学出版社,1996: 78 - 87.

HU Ping. CAE System of Sheet Metal Forming[C] Chinese Mechanics Toward the Twenty - one Century-Proceedings of The 9th Youth Scientist Forum of Chinese Science Association. Beijing: Tsinghua University Press,1996:78 - 87.

[ 2 ] 胡平,柳玉起,李运兴.板材成形缺陷及其数值仿真[J].应用基础与工程科学学报,1999,7(1):39 - 48.

HU Ping, LIU Yur-qi, LI Yur-xing. Numerical Simulation of Forming Defects of Stamped Sheets [J]. Chinese Journal of Applied Basis and Engineering Science,1999,7(1):39 - 48.

[ 3 ] 胡平.汽车覆盖件模具 CAD/CAE/CAM 一体化技术现状与发展[J].机电一体化,2000(5):22 - 26.

HU Ping. Present Situations and Future Developments of the CAD/CAE/CAM Technique of Automobile Panel Forming and its Die - face Design [J]. Mechatronics, 2000(5):22 - 26.

(下转第 162 页)

- [ 9 ] THOMAS Schreiber , HOLGER Kantz. Noise in Chaotic Data: Diagnosis and Treatment [ J ]. Chaos , 1995 , 5(1) :133 - 142.
- [ 10 ] LING Cong , WU Xiao-fu , SUN Song-geng. A General Efficient Method for Chaotic Signal Estimation [ J ]. IEEE Trans Sig Proc , 1999 , 47 ( 5 ) :1424 - 1427.
- [ 11 ] BROOMHEAD D S , HUKEJ P , POTTS M A S. Cancelling Deterministic Noise by Constructing Nonlinear Inverses to Linear Filters[J]. Physica D , 1996 , 89:439 - 458.
- [ 12 ] BROCKER Jochen , PARLITZ Ulrich , OGORZALEK Maciej. Nonlinear Noise Reduction [ J ]. Proceedings of IEEE , 2002 , 90(5) :898 - 917.
- [ 13 ] STARKJ ,ARUMUGAM B V. Extracting Slowly Varying Signals from Chaotic Background[J]. Int J Bif & Chaos , 1992 ,2(2) :413 - 419.
- [ 14 ] 黄显高 ,徐健学 ,何岱海 ,夏军利 ,吕泽军. 利用小波多尺度分解算法实现混沌系统的噪声缩减[J]. 物理学报 ,1999 , 48(10) :1810 - 1817.  
HUANG Xian-gao , XU Jian-xue , HE Dai-hai , XIA Jun-li , LÜ Ze-jun. Reduction of Noise in Chaotic Systems by Wavelet Multiscaling Decomposition Algorithm[J]. ACTA Physica Sinica , 1999 ,48 (10) : 1810 - 1817.
- [ 15 ] HUANG Xian-gao , XU Jian-xue , HUANG Wei , LÜ Ze-jun. Unmasking Chaotic Mask by a Wavelet Multiscale Decomposition Algorithm [ J ]. Int J Bif & Chaos , 2001 , 11(2) :561 - 569.
- (责任编辑 张祥合)

### (上接第 152 页)

- [ 4 ] 胡平 ,李运兴 ,柳玉起. 车身覆盖件成形与模具设计数值仿真一体化技术[C] 第四届全国塑性力学及其应用学术研讨会论文集. 长春 , 1997 : 122 - 128.  
HU Ping , LI Yun-xing , LIU Yu-qi. Numerical Simulation and 3C Technique Applications of Auto - body Panel Forming and Die-design[C] Proceedings of the Fourth Symposium of Chinese Plasticity Mechanics and Its Applications in Industry. Changchun , 1997 : 122 - 128.
- [ 5 ] 胡平 ,王成国 ,庄茁. KMAS 软件系统与冲压模具虚拟制造技术[C] 虚拟工程与科学. 中国科协青年科学家论坛文集. 北京 :气象出版社 ,2001.  
HU Ping , WANG Cheng-guo , ZHUANG Zhuo. KMAS Commercial Software System and Virtual Manufacture Technology of Sheet Metal Forming[C] Virtual Engineering and Science —Proceedings of the Youth Scientist Forum of Chinese Science Association. Beijing: Weather Press ,2001.
- [ 6 ] HU P , LIU Y Q , WANG P C. Numerical Study of the Flange Earring of Deep - drawing Sheets with Stronger Anisotropy [ J ]. Int J Mech Sci , 2001 ,43 (1) :279 - 298.
- [ 7 ] 丁祎 ,尹伟 ,胡平. 应用虚拟技术加快汽车开发进程 [ J ]. 吉林大学学报(工学版) ,2002 ,32(3) :91 - 95.  
DING Yi , YIN Wei , HU Ping. How to Speed up Vehicle Developing by Appling Virtual Technology [ J ]. Journal of Jilin University ( Engineering and Technology Edition) ,2002 ,32(3) :91 - 95.
- (责任编辑 陈永杰)