计算机辅助

30

基于 NX 的汽车覆盖件可成形性分析系统

李玉琦,柳玉起,杜亭,章志兵

(华中科技大学 材料成形与模具技术国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要:基于NX平台,构建了参数化关联驱动的汽车覆盖件可成形性分析系统QFW(Quick Forming Wizard)。通过自定义数据框架和关联存储技术,建立了合理的驱动更新机制,实现了CAE 仿真过程参数化更 新。系统直接在NX产品模型中进行CAE 建模,将CAE 分析直接与产品进行参数关联,不用反复建模便可 实现产品数学模型和工艺参数更新后的模拟。采用改进的有限元逆算法,能快速预测覆盖件产品的整体可 成形性和局部翻边区域可成形性,同时计算出修边线尺寸。最后通过实例验证了模拟结果的准确性以及参 数化更新的便捷性。

关键词:参数化 CAE;关联存储;参数驱动更新;可成形性分析

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.06.008

中图分类号: TG386; TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-6457(2013)06-0030-06

Forming Analysis System for Automobile Panel Based on NX Platform

LI Yu-qi, LIU Yu-qi, DU Ting, ZHANG Zhi-bing

(State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Quick forming wizard (QFW), a parameterized product formability analysis system for automobile panel, was developed based on NX platform. With self-defined data structure and associative storage, a reasonable driven updating rule was set up, and the CAE simulation process parameterized updating was realized. CAE modeling was created directly in the product model, thus the product data was directly associated with CAE modeling, and simulation could be renewed by updating the product model or the process parameters instead of repeating modeling. Using the updated FE inverse approach, the system could predict the formability of both the whole product and the flanging area, and the trimming line was calculated simultaneously. In the end, examples were demonstrated to conform the accuracy of the simulation result and the convenience of the parameterized updating.

Key words: parameterized CAE; associative storage; parameter driving update; formability analysis

NX 具有强大的造型功能,在家电、汽车领域应 用广泛,目前一些大型的汽车制造厂如通用、日产等 公司,均使用 UG-NX 进行汽车覆盖件产品设计。在 产品设计早期,快速地预测产品的可成形性能够保 证零件设计的合理性,避免将设计问题遗留到后续 工序中;在工艺设计时,快速而准确地确定修边线的 尺寸可显著减少试模修正次数。所以,产品可成形 性快速预测和修边线展开是板料成形 CAE 的一个

收稿日期: 2013-08-14

作者简介:李玉琦(1988-),男,湖北广水人,华中科技大学硕士生,主攻板料成形数值模拟及模具设计。

31

研究重点[1]。

主流 CAE 软件如 Dynaform 和 Autoform 等,都 是独立的 CAE 平台,在修边线展开和产品可成形性 分析之前需要进行数据转换和 CAD/CAE 平台之间 的切换。针对这个问题,国内已有研究人员在主流 CAD 如 UG-NX, Catia, Pro/E 等平台上开发出了集 成的 CAE 系统^[1-3],但 CAE 建模是基于产品建立的 新工程,而且参数化关联多为 CAD 设计和 CAE 分 析模型以及各工艺步骤内部关联,并未很好地实现 仿真过程参数化。对于 NX 平台,参数化思想主要 在于产品模型的设计,而在建模环境中直接进行 CAE 分析的参数化程度并不高。

为实现NX平台上快速修边线展开及产品可成 形模拟过程参数化,文中采用NX自带的API接口 开发了QFW(Quick Forming Wizard)系统。基于改 进的有限元逆算法,能直接在产品模型中快速地对 覆盖件整体可成形性和局部翻边区域的可成形性进 行分析,同时可计算出展开后的修边线的尺寸,方便 设计人员分析产品中起皱、破裂等成形缺陷以及回 弹的预测,并优化工艺流程。系统基于参数化设计 思想,可快速地对CAE 仿真分析过程进行驱动更 新,大大提高了设计和分析的效率。

1 系统设计特点

QFW 系统设计界面如图 1 所示,主要有以下几 大工艺流程:图层过滤、材料定义、几何模型定义、翻 边工艺定义、求解计算、后处理结果显示。整个分析 过程与 NX 无缝集成,无平台独立或 CAE 建模独立 的缺点。系统直接在产品模型中进行 CAE 建模,按 照 QFW 操作流程定义相关工艺参数,然后求解计 算,并可在 NX 环境中显示后处理结果。

QFW 基于改进的有限元逆算法,在对局部翻边 区域可成形性分析的同时可计算出展开后的修边线 尺寸;同时,利用参考区域自动延伸技术,将零件上 某个平面定义为参考区域,可对零件整体成形性进 行快速分析。系统着重于构建一个参数化的 CAE 建模环境,将整个 CAE 分析流程参数化,并将其关 联起来,这样,在产品模型和 CAE 分析模型以及分 析流程之间实现同步关联和驱动更新。QFW 减少 了 CAE 分析时反复建模的麻烦,若不满意计算结 果,更改工艺参数或产品数学模型,可通过参数驱动



图 1 系统界面及工艺流程 Fig. 1 System interface and process

更新重新模拟,直至获取满意的结果。

2 关键技术

参数化 CAE 包括仿真模型的参数化和仿真过 程的参数化、自动化^[4-5],将 CAE 模型和分析流程 转化为对应的属性参数和数据类,可以在仿真过程 中动态地改变参数值,实现数据的同步更新。QFW 以参数关联和驱动更新为构建思想,将各工艺步骤 转换为以参数标识的属性数据,并通过操作状态标 识参数以及各步骤之间数据传递共享关联,实现整 个模拟工艺流程的参数化、自动化。当产品数学模型 发生更改时,仿真模型同步更新,仿真过程各步骤中 参数化的属性数据按系统更新规则自动更新。所以, 系统参数化的关键是搭建合适的数据框架,实现数据 的关联存储,以及工艺流程之间的参数驱动更新。

2.1 数据框架构建

在 QFW 系统建模时,每一个工艺步骤都被赋 予对应的属性参数驱动执行,执行的结果和属性参 数本身往往都涉及大量的数据,系统数据结构及数 据的存储直接关系到系统的稳健性和操作的灵活 性。QFW 系统将数据分为五大类构建:工艺参数、 网格数据、临时数据、操作标识、结果数据,见图2。



图 2 系统数据分类 Fig. 2 System data classification

模型数据包括与分析模型有关的数据,如对象的有限元网格数据、材料信息等;工艺参数主要是系统建模时前处理工艺步骤设置时所产生的数据,如翻边方向、约束条件等;临时数据是建模过程中生成并临时存储的,以便系统在同一模型参数更新时快速读取;操作标识是工艺步骤设置时的状态标识,作为参数更新时的依据;结果数据主要是求解完成后结果的存储,作为产品模型分析的依据,可单独读取显示。模型数据和工艺参数作为求解计算的输入参数,数据量庞大,需要设计合理的数据结构,以方便存储和传递。

2.2 数据关联存储

根据系统数据特点,QFW 中采用了不同的方式 来实现数据关联,主要有以下 3 种:UDO 关联存储、 自定义的拓扑网格中间数据结构体、配置文件。所 有参数的存储都在系统后台完成并关联。

NX 为开发者提供了特殊的实体对象类 UDO (User Define Object), UDO 有五大属性:类名、状态 字、自由形态数据、可转换数据和关联对象^[6]。 QFW 在分析过程中将不同的工艺数据创建一个 UDO 类来对应,每一个操作步骤的属性参数及其执 行生成的数据存储在对应 UDO 的自由形态数据区 域,操作步骤中与分析模型有关的实体特征则通过 UDO 的关联对象关联。

拓扑网格中间数据结构体是用户根据 QFW 系统特点构建的临时数据存储容器,由于有限元基于网格模型,模拟对象必须网格化为单元和节点数据。在 QFW 前处理设置中,网格数据是操作的主体,翻边方向的自动优化、网格修复、网格偏置等都基于网格数据进行处理。拓扑网格中间数据结构体中定义了围绕网格操作的一些必备数据类型,各操作步骤中以此结构体的形式进行参数传递,实现了前后步

骤中参数的关联衔接。

配置文件是以文件的形式将建模中常用的数据 存储起来,QFW 建模时将此数据传递到系统中作为 默认设置,以此减少工艺参数的设置和修改。

2.3 参数驱动更新

QFW 中采用带识别标志的参数驱动机制来实 现参数自动更新。由于系统数据采用关联存储方 式,当某项属性参数更改后,系统根据各步骤操作标 识判断是否需要更新以及更新方式,然后通过对应 的 UDO 实例名查找到存储在后台的数据对象,对相 应的数据进行添加、编辑、删除等操作,实现材料、翻 边方向、网格剖分、偏置、约束等步骤的数据更新。 该驱动更新机制充分利用系统五大数据类中的临时 数据和操作标识,快速实现更新自动化。如几何模 型网格剖分后,若对剖分结果不满意而修改网格剖 分参数后,系统自动进行驱动更新,驱动更新示意图 如图 3 所示。



Fig. 3 Diagram of driven updating

网格剖分参数改变后触发后续操作更新,系统 根据几何模型标识和网格剖分状态标识选择网格剖 分方法。若模型未更改且参数更改前已执行过剖分 操作,系统会调用临时存储的几何模型 NURBS 转 换数据,直接进行网格剖分,避免重复进行几何模型 数据化转换,当翻边区域和参考区域较大时,这种方 式能显著提高更新速度。网格更新完成后,系统根 据网格修复、偏置、边界约束等操作标识判断是否触 发下一步操作,若触发产生,则自动执行下一步操 作。网格偏置时,系统根据中性层偏置公式计算偏 置距离:

d = x/t

式中:d为偏置距离;x为中性层位移系数;t为 材料厚度。

32

x 值由 R/t 值自动从配置文件参数表中查询, 其中R为模型曲面最小圆角半径。网格约束定义 时,系统采用包容球搜索算法自动搜索翻边区域网 格边界上与参考区域距离最近的节点作为约束节 点。

驱动更新过程中,需人机交互的操作会直接进 入操作界面(网格修复),可自动完成的操作则在后 台自动执行(如网格偏置和边界固定约束),若不满 意自动更新结果,可手动进行局部自定义。系统采 用 NX 小平面技术将模型网格数据转换为可视化的 模型,能实时地显示模拟对象在参数更新时的状态。 网格约束,偏置的更新显示如图4所示。



Fig. 4 Display of mesh data

重新操作产生的数据会替换原有的数据和对象 关联,实现局部数据的更新,从而避免因全局数据更 新导致 CAE 建模效率低下。

面向产品的参数化关联 2.4

对于汽车覆盖件这类包含复杂翻边区域的产 品,其翻边区域的翻边方向各不相同,此时需要根据 翻边工艺进行分区展开,否则可能导致求解结果误 差较大,甚至求解失败^[7]。另外,在设计-分析模式 下,对产品模型的不断更改也需反复建模。为更好 地面向产品设计,OFW 系统设置模型重置功能,保 留已有的建模框架,仅需替换翻边模型,然后利用系 统内部完整的参数化关联体系完成新的建模过程中 新数据的替换。这样,无需反复建模便可实现更新 模拟。

OFW 系统直接在产品数学模型中建模,利用 UDO 实例与产品模型的关联性,在建模框架中存储 的与产品模型相关的数据,通过 UDO 与产品模型关 联起来,在对同一产品重新建模时,可直接获取与产 品对象关联的数据,与新的建模对象建立关联,提高 模拟过程参数化和自动化程度,更符合参数化 CAE 思想。

实例应用 3

3.1 产品整体可成形性分析

某汽车地板件的产品数学模型和实际零件见图 5,材料为 DC04,厚度为1.0 mm,将整个零件作为翻 边区域,利用 OFW 参考区域自动延展技术,对此模 型的整体成形性进行分析。



a 产品数学模型



b 实际零件 图 5 汽车地板件数学模型和实际零件 Fig. 5 Mathematical model and real product of car floor





图 6 为零件整体可成形性模拟结果。通过图 6

和图 5b 对比可以看出,零件在 2 个拐角处出现起 皱,模拟结果与实际成形结果一致,说明 QFW 系统 能够比较准确地分析产品的整体可成形性。

3.2 局部翻边区域可成形性分析

某汽车翼子板的产品数学模型见图 7,产品边 缘处均需要翻边成形,且翻边区域比较复杂。产品 材料为 ST14,厚度为 0.8 mm,取图中区域 1 运用 QFW 进行分析,成形性分析结果和实验结果如图 8 所示,修边线展开尺寸结果如图 9 所示。



图 7 汽车翼子板产品数学模型 Fig. 7 Mathematical model of car fender



Fig. 8 Comparison of flange area formability result and real part

从图 8 和图 9 中可以看出,零件起皱区域和实验结果比较吻合,修边线展开结果可方便工艺设计中修边位置的确定。

图 8 中翻边区域圆角较多,圆角部分厚度变化 集中,容易起皱。增大过渡圆角半径可减轻厚度变 化集中的现象,系统检测到 CAD 数学模型更新后, 自动重新剖分网格,同时更新其他工艺参数,可快速



图 9 修边线展开结果

Fig.9 Result of trimming line unfolding 得到更新后的计算结果。图 10 是局部过渡圆角半 径增大前后模拟结果厚度变化对比,圆角部分厚度 变化集中显现为得到了改善,最大增厚也由 0.04 mm 减小为 0.018 mm。



系统参数化后,避免了重新建模,通过自动更新 机制,大大简化了分析过程、提高了分析效率。

4 结论

基于 NX 平台,采用改进的有限元逆算法构建了 参数化关联驱动的汽车覆盖件产品可成形性分析系 统 QFW,可快速分析零件的整体可成形性和局部翻 边区域的可成形性,同时可获得展开后的修边线尺 寸,为设计人员提供准确的模拟结果作为设计依据。

系统采用数据关联存储和驱动更新技术,CAE 建模与产品数学模型一体化,实现了参数更改后工 艺流程的自动驱动更新,减少了反复建模的麻烦,体 现了参数化的 CAE 设计思想,提高了分析效率。

34

参考文献:

 [1] 阚文军,柳玉起,杜亭.基于 CATIA 的修边线展开与翻 边成形性模拟系统[J].塑性工程学报,2012,19(1): 50-54.

> KAN Wen-jun, LIU Yu-qi, DU Ting. Developing System of Trimming Line Unfolding and Simulation Based on CatiA [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2012, 19(1):50–54.

- [2] 王艳波,柳玉起,杜亭,等. 汽车覆盖件修边线展开及 优化[J]. 精密成形工程,2011,3(6):42-46.
 WANG Yan-bo,LIU Yu-qi,DU Ting, et al. Trimming Line Unfolding and Optimization of Auto Body[J]. Journal of Netshape Forming Engineering,2011,3(6):42-46.
- [3] 王伟,柳玉起,钟文,等. 基于 Pro/E 平台的修边线展开 与翻边成形模拟系[J]. 锻压技术,2010,35(6):45-48.

WANG Wei, LIU Yu-qi, ZHONG Wen, et al. Developing of Trimming Line Unfolding and Flanging Forming Simulation System Based on Pro/E Platform [J]. Forging & Stamping Technology, 2010, 35(6):45-48.

[4] 黄飞. 网络环境下桥式起重机参数化 CAE 技术研究[D]. 太原:中北大学,2012.

- (上接第22页)
- [4] 刘润农,李玉花,白富真. 3Cr3Mo3VNb 钢的性能及热 作模具钢的性能与模具寿命的关系[J]. 模具技术, 1985(5):60-66.

LIU Run-nong, LI Yu-hua, BAI Fu-zhen. Property of 3Cr3Mo3VNb and Relation between Property of Hot Die Steel and Die Life[J]. Die and Mould Technology, 1985 (5):60-66.

[5] 何文超.3Cr3Mo3VNb 钢热锻模失效的特征分析及提高模具使用寿命的措施[J].工具技术,2004(2):30-32.
HE Wen-chao. Efficacy Lose Analysis of 3Cr3Mo3VNb Steel Mold and Measure of Increasing Molding Service Life[J]. Tool Engineering,2004(2):30-32.

(上接第26页)

WANG Xian-kui. Mechanical Assembly Process [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2007.

- [7] 刘立. 数控编程[M]. 北京:北京理工大学出版社,2008.
 LIU Li. CNC Programming[M]. Beijing: Beijing University of Science and Technology Press,2008.
- [8] 陈旭东. 机床夹具设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.

CHEN Xu-dong. Machine Tool Fixture Design [M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2007. HUANG Fei. Research on Overhead Crane Parameter CAE Analysis Method in Network Environment [D]. Taiyuan:North University of China,2012.

- [5] 孙伟,李朝峰,刘杰,等. 面向复杂机构设计的参数化 仿真技术研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2008,29(9):1319-1321.
 SUN Wei,LI Chao-feng,LIU Jie, et al. Study on Parameterized Simulation Process for Complicated Mechanism Design[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science),2008,29(9):1319-1321.
- [6] 周盛.关联设计技术及其在三维模具设计中的应用
 [D].武汉:华中科技大学,2005.
 ZHOU Sheng. Association Design Methods and Their Applications in 3D Mould Design[D]. Wuhan:Huazhong University of Science and Technology,2005.
- [7] 章志兵. 面向冲压产品设计的快速仿真与优化技术的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2008.
 ZHANG Zhi-bing. Research on Fast Simulation and Optimization Technology for the Stamping Product Design [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology,2008.

- [6] 杨哲晨.3Cr3Mo3VNb 钢应用于 AT 轨模具的工艺试验
 [J]. 热加工工艺,2001(3):70-71.
 YANG Zhe-chen. Technological Test of 3Cr3Mo3VNb Applied to the Die for AT Rail[J]. Hot Working Technology,2004(2):30-32.
- [7] 张志明,黄少东,王长朋. 高强度钢热挤压模的失效分析[J]. 精密成形工程,2013,5(1):12-15.
 ZHANG Zhi-ming, HUANG Shao-dong, WANG Changpeng. Failure Analysis of Hot Extrusion Die for Highstrength Steel[J]. Journal of Netshape Forming Engineering,2013,5(1):12-15.
- [9] 张平.焊接应力、变形的控制工艺[M].北京:高等教 育出版社,1999.

ZHANG Ping. The Control Technology of the Welding Stress and Deformation [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.

[10] 易丹青.金属材料及热处理[M].长沙:中南大学出版 社,2010.

> YI Dan-qing. Metal Materials and Heat Treatment [M]. Changsha; Central South University Press, 2010.