

面向对象的钣金成形有限元分析系统开发与应用

Customizing Procedure of Finite Element Analysis for Sheet Metal Forming

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 李光俊 袁 胜 许旭东
北京伊萨科技发展有限公司 魏战冲 黎方学 陈源宏



李光俊

研究员级高级工程师,中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司主任工艺师,长期从事飞机钣金、导管零件数字化制造技术研究。

为满足军用和民用飞机对研制周期更短、制造精度更高的要求,全机三维数字化的设计与制造成为现代飞机研制的主流。在飞机钣金零件制造领域,应用有限元数值模拟技术已成为解决飞机钣金零件精确制造的有效手段,是钣金成形工艺从传统的“经验型”转变为“科学型”的

建立钣金成形有限元分析系统的最大优势在于建立了标准化的分析流程、工程化的分析参数,简化了分析步骤,提高了效率。每个用户能清楚知道有限元分析参数与实际工程参数之间的逻辑关系,有助于优化工艺参数,提高零件成形质量。但是,目前的钣金成形有限元分析系统还没有完全覆盖飞机全部的钣金成形工艺,特别是还没有涉及与机床轨迹相关的蒙皮拉伸、型材拉弯、导管弯曲工艺,需要在后续工作中不断补充完善。

重要标志。

目前,国外的有限元分析软件通常要求操作人员具有良好的英语阅读能力、专业的有限元知识和丰富的工程经验,在国内高校、研究所应用广泛。对于飞机制造企业,因技术人员对有限元的专业知识了解有限,还无法将实际工程数据与有限元参数完全对应,时常出现有限元分析结果与实际情况差异比较大的情况。因此,针对飞机制造企业的实际需求,有必要利用国外有限元软件平台,针

对典型的飞机钣金成形零件,建立标准化的有限元分析流程,汉化操作界面、简化操作步骤、明确参数设置要求,开发钣金成形有限元分析系统,方便工程技术人员快速进行有限元分析。

国内外有限元分析技术现状

1 国外钣金成形有限元分析技术的发展

国外有限元数值分析技术在

板料成形领域的应用始于 20 世纪 70 年代。到 20 世纪 90 年代末,有限元分析开始向专业化、集成化方向发展,一些商品化的有限元软件平台相继出现,如 MARC、ANSYS、ABAQUS、AutoForm、Pam-Stamp、Dynaform 等。伴随着计算机技术的发展与进步,有限元分析技术开始向“当天工程”甚至是“2h 工程”目标推进,板料成形有限元分析技术开始全面进入工业领域,成为制造领域必不可少的环节^[1]。

近年来,一些有限元分析软件开始面向特定的工艺与对象推出专用的分析模块,在保证精度的前提下简化了前置处理操作。如 Pam-Stamp 软件中的“Pam Tube”模块针对导管弯曲工艺简化有限元分析前置处理^[2];在 MARC 软件中的“Supper Plasticity Control”界面简化了超塑成形有限元分析的参数设置^[3]。这些专用的分析模块更加接近工程实际应用,得到用户的认可。

2 国内钣金成形有限元分析的应用

受国外汽车行业的影响,国内汽车行业首先开始应用有限元分析技术,并逐渐推广应用到航空航天、电子、冶炼等行业。鉴于国内有限元分析软件在功能方面暂时还无法与国外有限元分析软件媲美,国内各行业主要还是根据各自专业的特点来选择不同有限元分析软件进行数值模拟。如南京工业大学用 Pam-Stamp 软件进行了汽车覆盖件冲压成形的数值模拟研究^[4];西北工业大学应用 ABAQUS 软件进行了大口径薄壁小弯曲半径数控弯管有限元建模和试验^[5]。

对于功能相同、结构相似的钣金零件,有限元分析过程有很强的相似性,国内各行业开始面向对象进行有限元分析前置处理的开发。北京航空航天大学以飞机蒙皮零件为对象进行了拉伸成形有限元分析系统的开发^[6],并以汽车覆盖件为对象

进行了冲压成形有限元分析系统的开发^[7];南京航空航天大学以发动机压气盘为对象进行了有限元分析系统的开发^[8];成都电子科技大学以螺钉为对象进行了有限元分析过程的开发^[9]。由于国外公司不开放有限元软件接口,这些系统主要对前置处理过程进行优化与改进,形成数据文件,再用国外的有限元软件读入数据文件,提交有限元计算,有限元分析结果、分析报告等全部需要人工处理,没有实现真正意义的系统集成。

技术方案

参考国内外的一些经验,结合飞机钣金成形工艺的特点、行业 CAD/CAE 的软件平台,需要针对典型钣金成形工艺,以 Pam-Stamp 为有限元分析平台、以 CATIA 为模型交换接

口,通过软件开发、材料性能测试,将有限元分析前/后处理中的模型建立、网格划分、边界条件设置、提交运算、查看结果、回弹分析、生成分析报告等过程进行标准化、流程化处理与系统集成,建立钣金成形有限元分析系统。系统的关键技术是材料性能测试、模型交换接口、系统集成。系统信息流程见图 1。

1 材料性能测试

要使仿真分析结果更加真实可信,对实际工程应用具有指导意义,就必需对常用的航空钣金材料进行性能测试。飞机航空钣金材料的种类多(如铝、钢、钛、铜等),状态不同(如 O、T、M、CS、CZ 等),形状各异(如板材、型材、管材)。如果对所有钣金材料都进行性能测试明显太费时、耗力,特别是钛合金高温条件下的性能

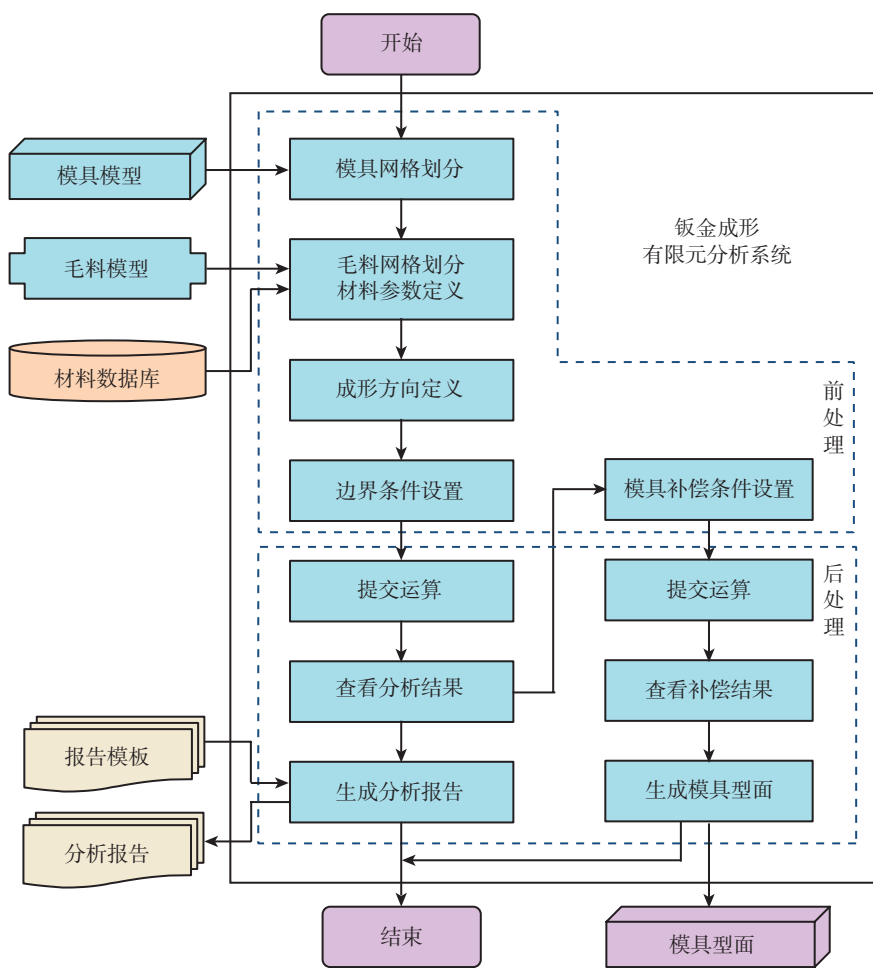


图1 钣金成形有限元分析信息流程

测试过程周期长、费用高。需要对现有材料进行统计分类,从生产现场获取材料试片进行性能测试,获得材料应力应变曲线,通过数据分析后,按 Pam-Stamp 软件的文件格式,建立仿真材料文件。

2 模型交换接口

国内航空制造企业基于 CATIA 实现了飞机零件三维数字化设计/制造,建有完整的零件模型、模具模型,可供有限元仿真分析用。但由于模型格式不同,有限元仿真软件无法直接识别,需要通过中间格式转换。目前常见的办法是将模型转换为通用格式(*.igs),再由有限元仿真软件读入。这样做虽然解决了模型格式不同的问题,但在转换过程中损失了一定的精度,有些型面还需人工修补,操作比较烦琐。最理想的办法是建立专用 CATIA 模型接口,直接读入模型文件,减少精度损失,简化操

作步骤。

3 系统集成

钣金成形有限元分析系统是有多项标准化的钣金成形有限分析过程组成,包含了前处理和后处理,需要反复将数据传递给 Pam-Stamp 的前处理、后处理模块,将处理后的图形界面直接返回,供用户选取、放大、缩小、旋转等。因此,需要开放 Pam-Stamp 的前处理、后处理、图形显示模块的接口,要实现无缝集成,建立一个完整的有限元分析系统。

实施途径

1 选择典型化的分析对象

相同类型的钣金零件一般采用同样的钣金成形工艺。通过对飞机行业钣金零件的统计、分类,初步确定了与机床运动轨迹无关的冲压成形、落压成形、橡皮囊成形、充液成形、热压成形、超塑成形 6 种钣金成

形工艺作为典型的分析对象。另外,考虑到钣金零件展开、模具回弹补偿是工程技术人员常见的工作,将零件展开、模具回弹补偿过程也作为一种典型的分析对象。

2 提炼模块化的分析流程

一般说来,有限元分析过程涉及前处理、后处理等多个环节,每个环节还有多个操作步骤,每个步骤需要设置多个分析参数。但对于典型的钣金零件对象,许多步骤可以按默认的参数与要求进行设置,从而可以简化操作流程,提高操作效率。因此,可以将有限元分析中与结构、材料、工艺密切相关的模型建立、网格划分、材料性能赋值、设置边界条件等分析步骤进行标准化处理,形成模块化的界面,通过定义模块之间的逻辑关系从而形成一个完整的钣金成形有限元分析流程。当有新的钣金成形工艺出现时,重新定义一种新的逻辑

表1 钣金成形有限元分析的典型流程

序号	典型模块	展开	冲压	落压	橡皮囊	充液	热压	超塑	模具补偿
1	定义文件存放路径	●	●	●	●	●	●	●	●
2	读入模具模型,网格划分		●	●	●	●	●	●	
3	读入零件模型,网格划分、材料定义	●							
4	读入毛料模型,网格划分、材料定义		●	●	●	●	●	●	
5	创建橡皮囊和工作台				●				
6	定义成形方向	●	●	●	●	●	●	●	
7	修正网格方向				●	●		●	
8	创建凸模/压边圈	●	●	●		●	●	●	
9	设置展开约束条件	●							
10	设置冲压成形条件		●						
11	设置落压成形条件			●					
12	设置橡皮囊成形条件				●				
13	设置充液成形条件					●			
14	设置热压成形条件						●		
15	设置超塑成形条件							●	
16	设置模具补偿条件								●
17	提交运算	●	●	●	●	●	●	●	●
18	查看分析结果	●	●	●	●	●	●	●	●
19	生成模具型面								●
20	生成分析报告	●	●	●	●	●	●	●	

辑关系、补充少量的边界条件要求,就确定了一种新的钣金成形有限元分析流程。

通过对钣金成形有限元分析前处理、后处理等多个环节进行分析,提炼出 20 个标准化的有限元分析模块。利用这些模块形成的钣金成形有限元分析的典型流程见表 1。

3 确定准确化的分析参数

边界条件中设置准确的仿真参数是提高有限元分析结果准确性的基本保证。因此,在钣金成形有限元分析的每个界面中有详细的提示信息,将有限元的基本理论与实际工程情况紧密结合起来,让每个工程技术人员都能理解参数的真实含义。

提示信息有常规提示、操作提示、参数提示、错误提示等。常规提示主要向用户传递有限元分析的基本知识、一般性要求。操作提示信息主要提示用户应该如何进行操作。参数提示信息提示用户该参数的计算/试验依据、单位,与实际工程参数的逻辑关系,指出在一般情况下的最大值、最小值和推荐值。错误提示提示用户操作错误,并说明为何出现该错误。

4 建立标准化的报告模版

根据技术管理体系的要求,仿真分析报告应审签发布,供相关人员审查和传阅。考虑钣金成形有限元仿真分析报告的格式、内容的相似性,建立零件展开、成形分析、模具回弹补偿 3 种标准化的仿真分析报告模版。钣金成形有限元分析系统在完成仿真分析后,自动将零件模型、仿真模型、分析结果的图片和各种仿真分析参数传递到报告模版,直接形成分析报告。用户仅需对结论部分进行少量的修改即可发布,从而减少用户人工截图、编辑仿真分析报告的时间,提高操作效率。

5 开发网络化的材料数据库

在钣金材料性能测试的基础上,建立了网络化的材料数据库,保

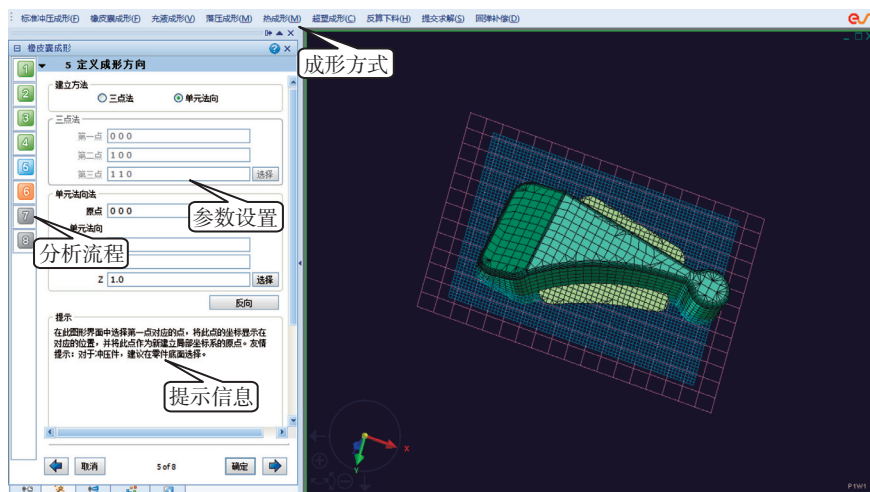


图2 钣金框橡皮囊液压成形有限元分析界面

证了数据源的唯一性、合法性。数据库中包含了每种材料的基本属性(牌号、状态、技术条件等),机械性能(抗拉强度、屈服强度、延伸率等),物理特性(密度、热膨胀系数、热传导系数等),测试温度,应力应变曲线,仿真材料文件。通过建立数据库,用户总能下载当前有效的材料性能参数,有效提高有限元分析结果的真实性。

应用情况

通过软件开发、材料性能测试,成飞公司基于 Pam-Stamp 建立了钣金成形有限元分析系统。在某型飞机研制中,针对典型钣金零件,应用该系统实现了零件展开、冲压成形、落压成形、橡皮囊成形、充液成形、热压成形、超塑成形、模具回弹补偿的有限元快速工艺分析,提高了工艺设计质量、缩短了工艺准备周期,取得良好的技术、经济效益。图 2 是钣金框零件进行橡皮囊液压成形有限元分析界面。

结束语

建立钣金成形有限元分析系统的最大优势在于建立了标准化的分析流程、工程化的分析参数,简化了分析步骤,提高了效率。每个用户能清楚知道有限元分析参数与实际工

程参数之间的逻辑关系,有助于优化工艺参数,提高零件成形质量。但是,目前的钣金成形有限元分析系统还没有完全覆盖飞机全部的钣金成形工艺,特别是还没有涉及与机床轨迹相关的蒙皮拉伸、型材拉弯、导管弯曲工艺,需要在后续工作中不断补充完善。

参考文献

- [1] 印雄飞,阮学榆. 板料成形过程的数值模拟技术. 塑性工程学报, 1999,6(1):20-24.
- [2] 李泷泉. 金属板料成形有限元模拟基础[D]. 北京:北京航空航天大学, 2008.
- [3] 张超,沙玲,芮玉龙. 铝镁钛合金超塑性胀形工艺有限元分析. 机械工程材料, 2008(2):81-84.
- [4] 董云海. 汽车覆盖件冲压成形的数值模拟研究[D]. 南京:南京工业大学, 2006.
- [5] 李恒,杨合,詹梅,等. 大口径薄壁小弯曲半径数控弯管有限元建模和实验. 锻压技术, 2006,31(5):136-139.
- [6] 白雪飘,李东升,万敏,等. 基于蒙皮拉形模拟系统的数值拉形仿真与实践. 塑性工程学报, 2004,1:43-45.
- [7] 徐国艳,高峰,施法中. 面向对象的冲压成形一步法有限元分析系统研究与开发. 高技术通讯, 2004(9):86-89.
- [8] 朱恒山. 面向对象有限元程序的设计及工程应用. 南京航空航天大学学报, 2001(6):521-525.
- [9] 周晴,杜平安,刘孝保. 面向对象有限元分析技术及其实现方法研究. 系统仿真学报, 2012(3):69-73.

(责编 深蓝)