

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.02.008

汽车覆盖件CAE抗凹分析流程自动化系统研究

苏占龙¹,王 霄^{1*},刘会霞¹,王雪峰²,陈 良¹

(1. 江苏大学 机械工程学院,江苏 镇江 212013; 2. 东风小康汽车有限公司,重庆 400033)

摘要: 针对车身覆盖件的常规CAE抗凹分析前处理过程中,重复性工作过多、分析效率低、容易出错的问题,利用HyperWorks软件的二次开发功能,借助于TCL/TK语言平台,以CAE分析经验为依托,设计出的一套完全流程自动化的CAE抗凹分析前处理平台,并对系统的开发软件平台、开发语言、开发流程等进行了详细地描述。以某车型的车门CAE抗凹分析为例,对流程自动化方法与常规方法的前处理效率进行了对比,对车门CAE抗凹分析结果与实验结果进行了对比。研究表明,流程自动化分析效率提高了92.8%,该流程自动化系统可为CAE分析人员提供专业、可靠、高效的前处理平台,大幅度提高了新车研发效率,减少了人工参与,降低了出错概率。

关键词: 汽车覆盖件; 抗凹分析; 流程自动化; TCL/TK; CAE

中图分类号: TH164; U463.87 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2015)02-196-06

Process automation system for automobile covering parts dent resistance analysis

SU Zhan-long¹, WANG Xiao¹, LIU Hui-xia¹, WANG Xue-feng², CHEN Liang¹

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. DFSK Industrial Group, Chongqing 400033, China)

Abstract: Aiming at the problems of repetitive work, low analysis efficiency, and error-prone, which exist in the conventional CAE dent resistance analysis of automobile covering parts, the process automation CAE sinking-resistance former processing platform was devised. It was developed under HyperWorks, with the utilization of the TCL/TK language platform, and based on the CAE analytic experience. A detail description of the system software development platform development language, and development process was given. Taking an example of the doors dent resistance analysis, comparisons of the pre-processing efficiency between process automation method and general way, the CAE sinking-resistance analysis results between experiment and simulation were made. The results indicate that the pre-processing efficiency increased by 92.8%, and provides professional, reliable, efficient pre-processing platform for CAE analyst, therefore it will greatly improves the efficiency of new car development, reduce artificial participation, and lower the error probability.

Key words: automobile covering parts; dent resistance; process automation; TCL/TK; CAE

0 引 言

近年来,CAE抗凹分析在企业中得到了广泛地应用。这是因为通过高效地运用有限元分析软件对覆盖件进行CAE抗凹分析,可以提前发现问题,避免后

期结构修改,降低开发成本。美国的Dylan Thomas^[1]以有限元方法对抗凹分析进行了全面的研究,并与实验对比,验证了CAE抗凹分析的可靠性。近年来大量国内文献也对天窗顶盖、车身外板、车门、发动机罩板等用常规CAE方法进行了抗凹分析,为设计师提供了参考,满足了客户要求^[2-5]。容易发现这些常规CAE

收稿日期: 2014-10-11

作者简介: 苏占龙(1990-),男,山东临沂人,主要从事汽车结构设计与分析方面的研究。E-mail:rain900730@163.com

通信联系人: 王 霄,男,教授,硕士生导师。E-mail:wx@ujs.edu.cn

抗凹分析还存在两个问题:

(1) 分析的效率过低。这是因为分析过程步骤繁多,需要不断调整模型,尤其是抗凹分析载荷和工况的建立过程,需要建立多个刚性柱的有限元模型,仿真分析师就需要做大量的重复性工作。这样前处理工作几乎占到整个分析过程的70%~80%,这必将导致整个分析过程大部分的时间耗费在前处理阶段,导致开发效率大大降低。

(2) 前处理工程中产生偶然误差甚至错误的概率很大:因为Hypermesh虽然前处理功能强大,但是模块众多,功能比较分散,在操作过程中需要在各界面间切换,往往依赖个人习惯和经验来进行操作,经验丰富与没有经验的工程师处理问题的方法也不同,会导致分析结果有很大的差异^[6-7]。郑国君,门永新等^[8]开发了基于知识平台的通用CAE后处理流程自动化平台,提高了研发效率,但没有对前处理进行开发。

针对上述问题,开发一套基于企业标准的流程自动化抗凹分析工具具有重大的意义。本研究综合运用TCL/TK语言和HyperWorks的内置API(application programming interface 应用程序接口)函数,借助于HyperWorks中专有的Processing Manager平台开发出高效率的流程自动化抗凹分析系统。

1 CAE抗凹分析流程自动化系统开发

所谓CAE分析流程自动化,就是指在流程自动化程序的引导下,完成用户需要的功能。CAE抗凹分析流程自动化就是在流程自动化程序的引导下,完成抗凹分析的功能。抗凹分析流程自动化系统开发平台如图1所示。

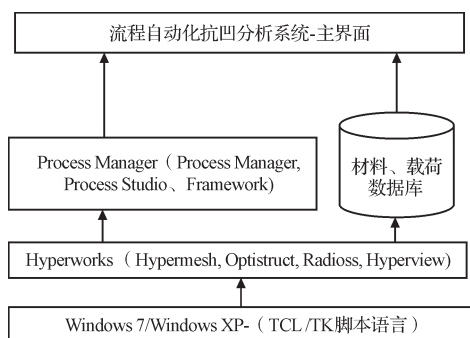


图1 抗凹分析流程自动化系统开发平台

该系统是以TCL/TK语言为开发语言,借助于Hyperworks, Process Manager软件平台,以材料载荷库为支撑开发的。

1.1 语言环境开发

TCL语言(tool command language)与C++、Java语

言类似,是一种脚本语言。TK是用于开发图形用户界面(graphical user interface, GUI)的应用程序工具集。与C++、java语言相比,TCL是一种解释语言,它的解释器是一个C函数库,可以很容易整合到应用程序中,故笔者将其选为本研究的开发语言^[9]。

1.2 软件平台开发

HyperWorks软件是一个开放的企业级的CAE平台,它集成各种设计与分析工具,具有强大的功能和高度的开放性^[10]。为方便用户二次开发,系统提供了丰富的内置API函数。

Process Manager是一个可编程任务管理软件包,包括3个模块:Process Manager、Process Studio和Framework。

Process Manager工具软件能够将工程师的专业知识转化为企业CAE流程并进行固化,最终实现分析流程标准化和自动化,提高企业CAE分析质量和效率^[11]。

Process Studio是为了Process Manager模板生成的集成开发环境。该软件中,用户可以借助于软件提供的控件创建流程模板的图形用户界面(GUI),可用的控件包括:按钮、文本域、单选框、多选框和文本浏览器等。这些控件与不同的后台函数相互关联,通过TCL语言编写的许多子程序(Procedures)一起实现不同的任务。

Framework是一套API集合,能够被Process Studio中开发的子程序进行访问和调用。在Process Studio公用两套API集:Java beans和TCL脚本。本研究中所所有的子程序都是用TCL脚本编写的。

1.3 流程化系统开发

本研究主要对网格划分后的前处理工作进行开发。因为几何清理、中面提取、网格化分部分在HyperWorks12.0已经有了专门的流程自动化平台,即BatchMesher,直接调用它就可以完成网格划分。

1.3.1 系统流程树定制

在专用流程自动化工具Process Manager下开发出的抗凹分析流程自动化系统的流程树如图2所示。

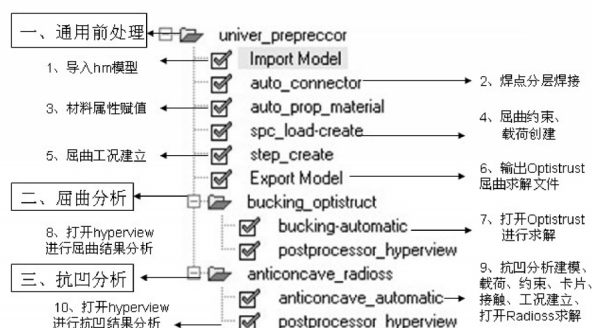


图2 抗凹分析流程图

1.3.2 材料和载荷数据库开发

本研究主要建立了材料数据库和载荷数据库。材料库以材料名、弹性模量、密度等字段建立,载荷库以载荷类型、分析类型、载荷大小等字段建立。为了方便维护,以 Ms sql2000 为环境,建立 TCL 脚本库。连接代码为:

```
package require concavemat_load;
Database connect db { DRIVER=SQLServer;
SERVER=dbs1;DATABASE=mydb; Username=user}
```

1.3.3 流程详细开发过程

1.3.3.1 模型导入的开发

本研究运用 Process Studio 的模板功能,以文本域、多选框、按钮、文本浏览器为组成元素,可以快速开发出适合模型导入的 GUI 界面,该界面如图 3 所示。GUI 的各个控件与不同的后台函数相互关联实现各自的功能。



图3 模型导入GUI界面

1.3.3.2 自动创建焊点功能的开发

该功能主要涉及 3 个方面的开发:焊点分层、焊点归类和焊接实现。

(1) 焊点分层。企业一般用不同颜色的焊点分别代表不同的焊接层数(焊点几何文件中将通过颜色的焊点区分焊点层数)。这样就可以将不同的层数的焊点放在不同的 comp 里面,便于焊接的实现。现在的问题就转化为如何利用软件实现焊点颜色的识别了。这里本研究运用 HyperWorks 的内置 API 中的 Query 命令函数 `hm_getentityvalue comps $compweldid color 0 - byid` 进行焊点的颜色标识;

(2) 焊点归类。通过分层已经可以把不同的焊点区分出来,要进行归类最大的问题就是 comp 名字的统一,本研究用 `modify` 命令函数 `*renamecollector comps "newname" "oldname"` 实现 comp 的重命名,并设计了 TCL 判断语法判别 newname 是否已经存在,如果存在就取消重命名,直接将相应的焊点移动到 newname 所在的 comp 里面,否则重命名该 comp。

(3) 焊点的实现。用户在运行 Hypermesh 软件过程中会产生记录文件 `command.cmf`,利用该记录文

件通过 Word 等文本编辑器制作一个宏命令进行语法转换,使得记录文件中的命令符合 TCL/TK 语法,这也是二次开发常用的开发方式之一。焊点的实现过程就利用该方法进行开发。

焊点的实现过程的记录文件格式是:“*CE_ConnectorCreate,points(1)”,转换后为“*CE_ConnectorCreate points 1”。再将随机产生的 ID 编号参数化便可实现焊点实现的开发。

1.3.3.3 自动赋材料和属性功能开发

脚本的开发思路是:通过 TCL 的文件打开和读取功能读取设计部门提供的 BOM 表,获得零件号对应的厚度属性。通过 `package require concavemat_load` 调用材料数据库中的对应材料名称的数据参数。然后利用 Hypermesh 提供的 API 函数实现自动给模型自动赋材料属性,并且自动重命名 comps 的名字。最终将开发好的 TCL 脚本放到 Process Studio 的脚本研究件夹 `tclicludes` 中,实现 TCL 脚本的调用。

定义属性和材料参数的过程,往往因个人习惯导致模型的 collector 的名字不同,缺乏规范,对于模型的修改极为不便。本研究开发的自动赋材料属性的工具不仅仅可以用于抗凹分析中,在整车建模中的使用更为方便。材料属性表如表 1 所示。根据企业建模 comps 命名规范自动命名的:

片体:N零件号_项目代号_T厚度×100;

实体:S零件号_项目代号。

表1 材料属性表

Comp Name	ID	Prop	PID	Thick	Mat Name	Mat id
N6101121_T0070_P102	1	PSHELL	15	0.7	DC04	3
N6101135_T0200_P102	3	PSHELL	17	2	STKM	8
N6101153_T0100_P102	4	PSHELL	18	1	DC01	4
N6101101_T0070_P102	7	PSOLID	21	0.7	DC04	3
N6101113_T0120_P102	8	PSHELL	22	1.2	DC01	4
N6101111_T0080_P102	9	PSHELL	23	0.8	DC01	4
N6101133_T0120_P102	10	PSHELL	24	1.2	DC01	4
N6101131_T0150_P102	11	PSHELL	25	1.5	DC01	4

1.3.3.4 屈曲工况面板开发

本研究设计了一个快捷创建屈曲工况的面板,界面如图 4 所示。图 4 中的文本域,多选框,按钮都属于 `utils` 控件,它们可以通过 TCL 脚本实现数据通信。要获得工况面板中 name 文本框的值 buck,可以通过语句: `set strValue[::hw::pmgr::PmgrGetData 0 "name.val-`

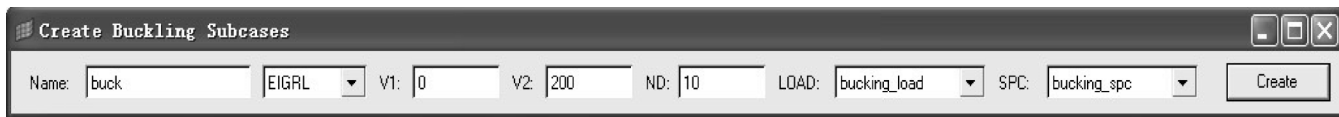


图4 屈曲分析面板

ue"]实现。

整个面板可以一步实现静态工况、屈曲工况、载荷、约束的创建,屈曲工况自动调用静态分析子工况的所有过程。避免了正常条件下不同界面的切换来实现屈曲工况引用静态工况的繁琐过程。

1.3.3.5 自动创建抗凹工况脚本的开发

创建抗凹分析工况脚本的开发思路:首先,利用加载点的ID号,找寻该点所属单元,利用该单元的法向作为下一步建立刚性块建立的方向以及后续的力的加载方向;其次,刚性块是带有0.5 mm倒角的刚性块,需要对刚性块的几何模型进行倒角,就需要对刚性块的几何面以及几何线进行编号,然后利用内置API函数对其倒角。最后,利用TCL的while[[eof \$elem_file]==0]循环语句实现多次加载,从而完成一个多工况抗凹分析的前处理部分。为了满足不同企业对于刚性块的几何形状以及加载力的大小等标准的差异,本研究在开发中实现了抗凹分析加载模型的参数化设计,刚性柱的底面半径、高度及加载力的大小设为可变变量,用户在运行流程自动化程序时可以根据企业标准合理地设置。

2 应用流程自动化系统与常规CAE分析方法效率实例对比

本研究以某车前门的在抗凹分析为例(24个加载点),约束车门的铰链和门锁安装机构的6个自由度,以直径为12 mm,边缘倒角0.5 mm的刚性圆柱模拟人的手指按压门外板的工况,当压力达到40 N时,要求外板变形量小于1.2 mm。

2.1 系统运行

2.1.1 通用前处理过程

如图3所示,本研究选择几何类型为catiaV5,导入焊点几何数据;选择有限元数据类型为hm,导入划分好网格的车门有限元模型。自动跳转到下一步。点击connector按钮,输入焊点搜索容差(默认值为10mm),apply后即可自动完成焊点的创建。跳到下一步后,系统提示:“是否创建bolt连接”。点击yes,输入螺栓半径范围,完成螺栓连接的创建。下一步点击auto_mat_prop,系统会自动调用材料库进行搜索,完成材料和属性卡片的创建。

2.1.2 屈曲过程分析

本研究利用如图4所示的面板建立屈曲分析工况:点击按钮spc建立的约束情况(如图5所示),然后点击load调用屈曲分析载荷库,添加均布载荷,选择施加表面是门护板外表面。



图5 抗凹分析约束

接着计算前10阶屈曲。本研究首先以静态位移最大点作为抗凹分析的第一个加载位置。再根据屈曲分析结果找出分析薄弱点,作为抗凹分析的其他加载位置。在实际工作中也常常根据工程经验确认其余加载点的位置。本研究采用屈曲结果与工程经验结合的方法,以屈曲分析结果得到的薄弱点的单元ID号作为抗凹分析的输入条件。

2.1.3 抗凹过程分析

参考屈曲分析结果,只需要输入加载点的element的ID,即可一键完成抗凹分析的所有流程,包括:约束的选择(同屈曲工况)、刚性圆柱体的建立、圆柱体倒角,圆柱体网格划分,圆柱体局部加载位置网格的细化、接触的建立、载荷的施加(调用抗凹分析载荷库)、工况的建立、非线性卡片的设置。

运行完流程自动化系统后,工况卡片如图6所示,载荷加载情况如图7所示。

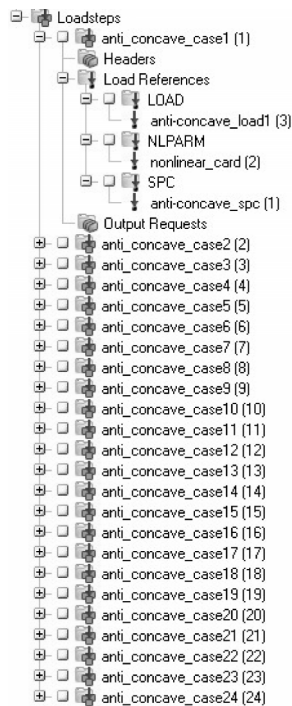


图6 抗凹分析工况

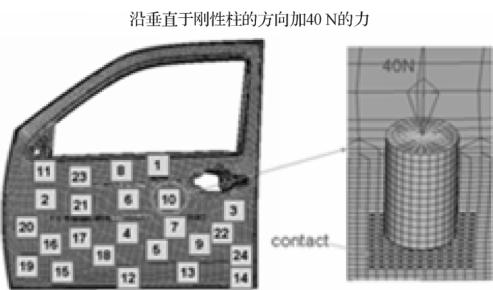


图7 载荷加载情况

2.1.4 结果求解

加载点很多,因此本研究只选取几个关键加载点的位移云图。位移云图如图8所示。

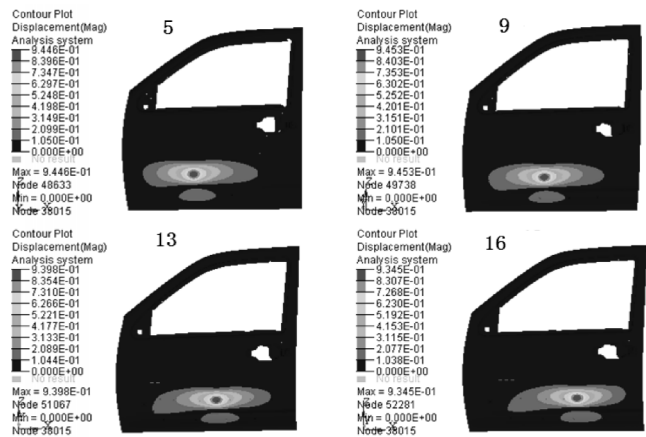


图8 位移云图

2.2 分析结果与实验结果对比

分析结果与实验结果汇总如表2所示。

表2 仿真与试验结果

加载点	分析值 /mm	实验值 /mm	加载点	分析值 /mm	实验值 /mm	目标值 /mm
1	0.375	0.386	13	0.945	0.956	≤1.2
2	0.343	0.353	14	0.483	0.495	
3	0.419	0.423	15	0.708	0.720	
4	0.799	0.810	16	0.944	0.953	
5	0.987	1.002	17	0.858	0.862	
6	0.428	0.439	18	0.876	0.882	
7	0.687	0.788	19	0.494	0.500	
8	0.400	0.500	20	0.518	0.519	
9	0.946	1.021	21	0.396	0.421	
10	0.430	0.463	22	0.716	0.726	
11	0.405	0.413	23	0.405	0.502	
12	0.863	0.921	24	0.449	0.505	

由表2可以看出,分析结果与试验结果基本相符,

验证了该系统分析结果的可靠性。

2.3 应用流程自动化系统与常规方法对比

本研究另外分别让8位有经验的CAE分析工程师按常规的分析方式进行分析,并与该流程自动化抗凹分析系统分析进行对比。经过验证,通过利用流程自动化系统进行车门的抗凹分析,可以得出理想的位移变形结果。研分人员记录下分析所用时间,经过统计得出的前处理所需时间对比情况如表3所示。

表3 两种方法前处理时间对比(24个工况)

前处理过程	时间	总时间	节省时间 百分比
焊接、螺栓创建	30 min~40 min	10 h~12 h	92.8%
常规 材料属性的创建	30 min~40 min		
方法 屈曲工况的创建	10 min~20 min		
抗凹工况的创建	8 h~12 h		
焊接、螺栓创建	3 min~4 min	6 min~8 min	
流程 材料属性的创建	0.5 min~1 min		
自动化 屈曲工况的创建	0.5 min~1 min		
方法 抗凹工况的创建	2 min~3 min		

由表3可以看出,原来整个抗凹分析前处理过程需要12 h或者,现在只需要短短的不到8 min的时间就能完成(节约了大约92.8%的时间),应用流程自动化系统进行抗凹分析的前处理,不仅大大减少了出错几率,还有效地节省了工作时间,有效验证了该流程自动化系统的实用性及有效性。

一方面,对工程师而言,他们可以分配更多的时间专注于分析而不是仿真的前处理操作上,提高了CAE工程师工作效率,更好地发挥了CAE工程师在产品开发中的核心价值;另一方面,对企业而言,该系统提高了设计方案分析和新车型研发效率,最终达到快速建模、快速设计、快速生产的研发目的,为积累企业经验及仿真分析标准化进程起到催化剂的作用。

3 结束语

(1) 当前常规抗凹分析前处理过程中存在大量的重复性劳动,浪费人力、财力和时间,降低了研发效率。本研究结合企业需求和CAE分析经验,在HyperWorks中利用TCL/TK、Process Manager、Process Studio等技术手段开发了CAE抗凹分析流程自动化系统。

(2) 流程自动化抗凹分析系统以工程经验库的材
(下转第205页)

本文引用格式:

苏占龙,王 霄,刘会霞,等. 汽车覆盖件CAE抗凹分析流程自动化系统研究[J]. 机电工程,2015,32(2):196-200,205.

SU Zhan-long, WANG Xiao, LIU Hui-xia, et al. Process automation system for automobile covering parts dent resistance analysis[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(2): 196-200, 205.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>