

基于 Abaqus 的轨道车辆压型件成形模拟系统开发

鲁万彪¹,李树栋^{1,2},童娟¹,王雯²,樊胜宝²,鲍益东²

(1. 中车南京浦镇车辆有限公司,江苏 南京 210031;

2. 南京航空航天大学,江苏 南京 210016)

摘 要:轨道车辆压型件具有尺寸大、板料厚等特点,成形较为困难,成形过程也较为复杂。在使用有限元软件对其进行仿真时,操作过程非常繁琐,且容易出现误操作。基于 Python 语言,以 Abaqus 为平台开发了一种成形模拟系统,仅需输入工艺参数即可生成压型件成形分析所需的有限元模型,方便用户快速地建立有限元模型,节省建模时间,并以轨道车辆压型件中的小弯梁零件为例,验证了本系统的实用性与可靠性。

关键词:轨道车辆;压延成形;模拟系统;小弯梁

中图分类号:V216.61 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)01-0078-04

Development of Simulation System for Rail Vehicle Profile Forming Based on Abaqus

LU Wanbiao¹, LI Shudong^{1,2}, TONG Juan¹, WANG Wen², FAN Shengbao², BAO Yidong²

(1. CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., Nanjing 210031, China;

2. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Railway vehicle profiles are characteristic of large size and large thickness, so it is difficult to form and the forming process is complicated. If finite element software is used to simulate its operating process, it is very tedious and easy to misoperate. Based on Python language and Abaqus, a forming simulation system is developed, which is used to establish the requested finite element model for its forming analysis by inputting the process parameters. It is convenient for users to establish the finite element model quickly and save time of the modeling. The practicability and reliability of the system are verified by taking small bending beam parts in rail vehicle compression parts as an example.

Keywords: rail vehicle; profile forming; simulation system; small bending beam

0 引言

轨道车辆的结构件大多为压型件,因其尺寸大、板料厚等特点,易发生起皱、回弹等成形缺陷,且零件的成形较为困难^[1],需采用合理的成形工艺保证成形质量。鲁万彪等人^[2]通过研究不同下料尺寸对小弯梁成形结果的影响,以保证小弯梁成形质量。

传统的工艺过程制定依赖于工艺人员的经验,若采用试模法优化工艺过程,需耗费大量的时间和成本。随着有限元方法逐渐成熟,学者们开始采用有限元方法对成形过程进行分析、优化,节省了试模成本。谢秉顺等人^[3]模拟了小弯梁的成形过程,预测小弯梁的成形特性。栾小东等人^[4]利用 Abaqus 软件对小弯梁进行数值模拟优化。

在进行压型件成形过程的数值模拟时,软件操作比较繁琐且步骤单一,而且需要操作人员对所操作软件有一定的使用基础。Abaqus 软件不仅拥有很强的通用性,还有很好的扩展性。Abaqus 提供了多种开发方式,用户可以通过二次开发接口开发 Abaqus 前后处理功能,简化操作,节省建模时间。吴向东^[5]、连昌伟等人^[6]分别对板料成形模拟的前后处理进行了开发。

本文拟基于 Python 语言,以 Abaqus 为平台,开发压型件成形模拟系统。该系统可通过输入工艺参数自动建立压型件成形过程有限元模型,且 GUI 界面简洁易懂,方便用户快速地建立有限元模型,节省建模时间。本文将详细介绍该压型件成形模拟系统,并以小弯梁成形有限元建模过程为例,验证本系统的有效性与实用性。

1 基于 Python 的 Abaqus GUI 二次开发

Abaqus 提供了 Python 语言接口供用户进行软件前后处理的开发^[7-8]。本系统所采用的界面开发方式为先用 RSG 模块创建简单的基本界面,再使用 Abaqus GUI 工具包在基本界面上进行修改、调整,增加 RSG 模块缺少的控件。采用这种方式创建界面,可以在满足开发需求的基础上,充分利用已有资源,节省开发时间。

2 压型件成形过程模拟系统开发

2.1 系统总体框架设计

本系统模拟的压型件成形过程如图 1 所示,凸模 1 和

凸模2存在相互移动,凹模亦然。如果凹模1固定,则凸模1施加 $-y$ 向的力压住板料,凸模2施加 $-y$ 向位移,板料进行拉延过程,凹模2施加 $+y$ 向力,对板料施加压边力。

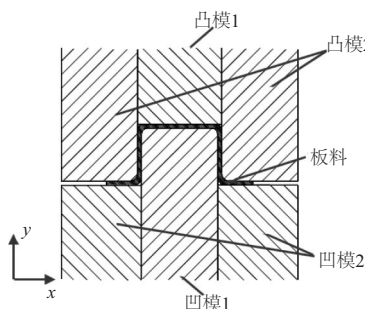


图1 成形过程模型图

本文在总结压型件成形的基础上,将成形过程的参数分为3个部分:板料定义模块、模具定义模块、分析参数设置模块。板料定义模块包含了板料模型的导入、网格参数的设置及材料的设置。模具定义模块包含了模具模型的导入及网格参数的设置,因为在分析中,需将模具设置成为刚体部件,故不需设置模具的材料参数。但是模具定义模块增加了模具边界条件设置,包含了模具运动方向、运动位移的设置。分析参数设置模块可以设置摩擦系数的大小以及分析步长,系统整体框架如图2所示。

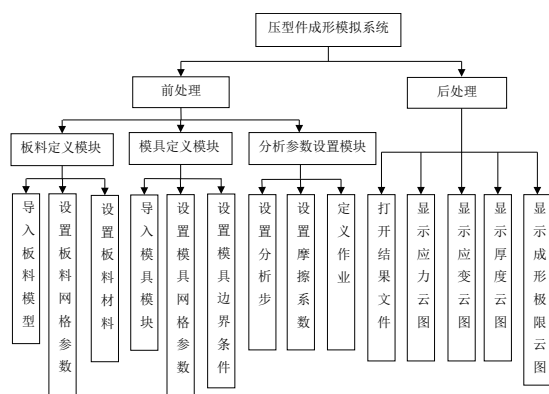


图2 系统界面开发框架设计

在Abaqus软件中,系统入口加载到Plug-ins菜单栏下的Forming子菜单,如图3所示。

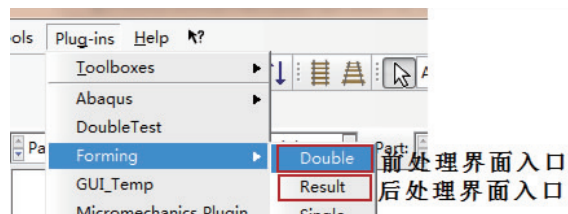
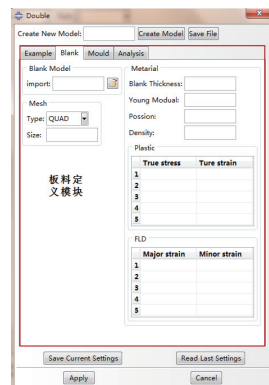


图3 系统及子菜单入口

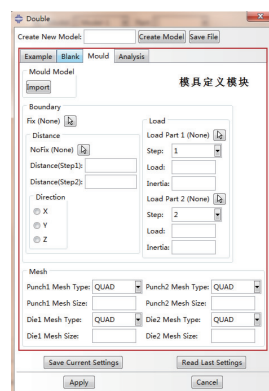
2.2 前处理界面开发

基于Python语言设计了压型件成形过程的有限元建模界面,前处理界面如图4所示。将每个模块内容放在同一个标签页里,便于使用者理解,操作方便。图4(a)为板

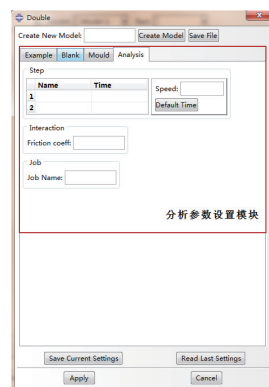
料定义模块,可以在该界面上导入板料模型,设置板料网格参数、板料材料参数、完成板料的定义操作;图4(b)为模具定义模块,可以在该模块下导入模具模型,设置模具的移动方向以及移动距离等边界条件参数,设置模具的网格参数。图4(c)为分析参数设置模块,可以在标签下输入分析步参数、摩擦系数、作业名称等有关分析的参数。



(a) 板料定义模块



(b) 模具定义模块



(c) 分析参数设置模块

图4 前处理界面

用户可以在界面中输入相应的参数值,并确定界面中的参数,执行该界面下的内核程序,完成导入模型、装配模型、划分网格、定义相互作用、创建作业并提交等操作,简化了在Abaqus主界面中建立该模型的操作过程,简单快捷,节省了大量建模时间。

2.3 后处理界面开发

基于Python语言设计了压型件成形过程的有限元建

模界面,后处理界面如图5所示。可以在界面中打开 odb 文件,选择需要的云图类型,点击 Apply 显示云图,点击 Print Picture 输出云图的照片。

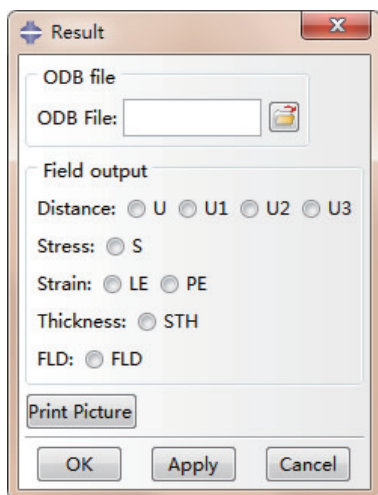


图5 后处理界面

3 小弯梁成形实例

小弯梁为轨道车辆压型件中的典型结构件,其厚度为 2 mm,截面为帽形,高为 70 mm,宽为 94 mm。小弯梁成形大致可分为两个过程,先压弯,再压延成形。在实际成形过程中,在两端侧壁处易发生破裂现象,小弯梁的零件模型如图6所示。本文选取小弯梁模型为例,验证本文所开发界面的实用性。

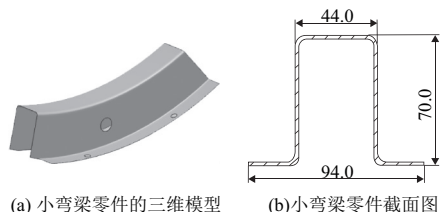


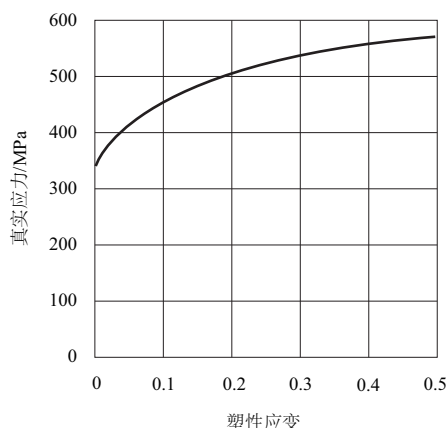
图6 小弯梁零件模型

3.1 小弯梁有限元模型参数

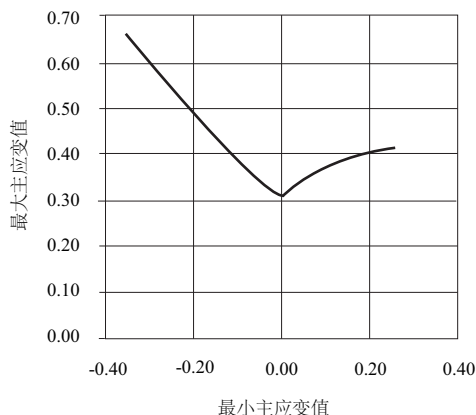
小弯梁板料模型为采用一步逆法进行展开计算的板料模型,采用一步逆法可以得到较为精确的下料尺寸,从而得到较好的成形零件尺寸。板料材料模型选用 Q345 钢,弹性模量为 206 GPa,泊松比为 0.28,密度为 7850 kg/m³。

Q345 材料的塑性曲线以及 FLD 曲线如图7所示。

板料和模具模型的网格设置为四边形网格 (QUAD),板料全局种子尺寸为 3 mm,模具全局种子尺寸为 4 mm。模型装配如图8所示。在本例中,固定部件为凹模1,成形方向为 z 向;移动部件为凸模2,第一阶段为 -45 mm,第二阶段为 -62 mm (即 -z 向 45 mm 和 -z 向 62 mm)。加载部件1为凸模1,在分析步1加载,加载力约为 -180 000 N,加载部件2为凹模2,在分析步2加载,



(a) 塑性曲线



(b) FLD曲线

图7 Q345 钢的塑性曲线和 FLD 曲线

加载力约为 7 000 N。

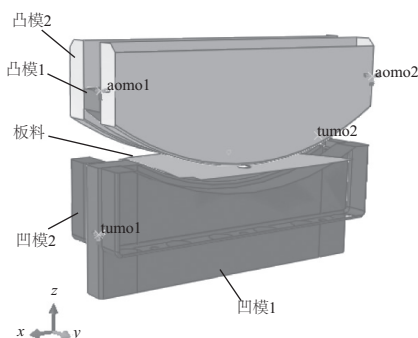
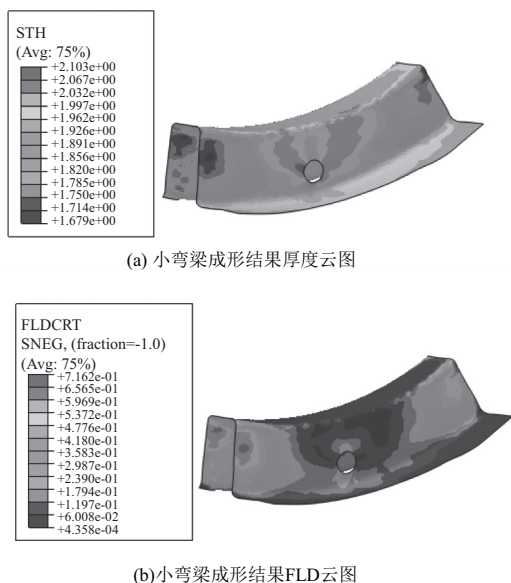


图8 小弯梁装配模型

分析步设置为 2 步,第 1 步时长为 0.006 s,第 2 步时长为 0.008 s,摩擦系数设为 0.1。设置作业名称,完成有限元模型建立的参数输入过程,确定所输参数无误后,将参数提交到内核程序,完成有限元模型的建立过程。

3.2 小弯梁成形结果

将建立好的模型提交到 Abaqus/Explicit 求解器进行计算,所得结果基本符合设计要求。图9为小弯梁成形结果的厚度云图和 FLD 云图,最小厚度为 1.679 mm,减薄率为 16.05%,成形极限最大为 0.7162,未超过 1,所以本例属安全成形,且减薄区域与实际相符。



(a)小弯梁成形结果厚度云图
(b)小弯梁成形结果FLD云图
图9 小弯梁成形结果

3.3 讨论

在本算例中,因模具大体有6部分,需分别定义每部分模具与板料的接触对,共需定义6对接触对,并且材料设置、边界设置等也较为复杂。在Abaqus传统界面中定义这些内容需耗费30~60 min,且人为定义,接触对易出错。本算例采用本文开发的系统界面定义了前处理过程,仅需10 min输入前处理所需参数,即可完成本算例的前处理过程,不仅节省了建立有限元模型的时间,而且避免了人为操作的失误。

4 结语

本文利用Python语言对Abaqus进行GUI二次开发,开发自动成形有限元模型建立过程功能的GUI界面,简化通用软件建立小弯梁成形有限元模型的过程,方便用户快速地建立有限元模型,节省了建模时间,并以小弯梁成形有限元建模过程为例,将小弯梁的仿真参数输入到界面中,自动完成小弯梁成形有限元模型的建立。经实例验证后,求解器计算的结果与实际相符,故本文所开发的系统具有一定的实用性。

参考文献:

- [1] 赵亚夫. 轨道客车关键不锈钢零部件数控拉弯成形工艺研究[J]. 模具制造, 2017, 17(8):16-19.
- [2] 鲁万彪, 李国苹, 解瑞豹. 车顶小弯梁成形工艺[J]. 金属加工(冷加工), 2016(S1):103-105.
- [3] 谢秉顺, 王兴元, 朱健军, 等. 城市轨道车辆小弯梁成形数值模拟[J]. 机械制造与自动化, 2013, 42(5):120-122.
- [4] 栾小东, 李希勇, 孙廷俭. 基于ABAQUS的弯梁成形工艺研究[J]. 锻压技术, 2012, 37(4):167-171.
- [5] 吴向东, 刘志刚, 万敏, 等. 基于Python的ABAQUS二次开发及在板料快速冲压成形模拟中的应用[J]. 塑性工程学报, 2009, 16(4):68-72.
- [6] 连昌伟, 王兆远, 杜传军, 等. ABAQUS后处理二次开发在塑性成形模拟中的应用[J]. 锻压技术, 2006(4):111-114.
- [7] 苏景鹤, 江丙云. ABAQUS Python二次开发攻略[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
- [8] 贾利勇, 富琛阳子, 贺高, 等. Abaqus GUI程序开发指南(Python语言)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016.

收稿日期:2018-10-29

(上接第74页)

4 结语

本文针对PC+可编程I/O(接口)体系结构的开放式数控系统,为满足不同控制对象的仿真需求,基于IEC61499基本功能块模型设计了适应本开放式数控系统的轨迹仿真功能的通用模型。仿真建模时,为改善毛坯数学模型离散化精度和仿真速度之间存在的矛盾,在均匀网格离散基础上加以改进,并以数控铣床为例,基于通用模型和改进离散矢量建模法设计开发了三轴动态加工仿真功能单元,实现了试切模拟和轨迹错误检查。毛坯建模时,离散化精度和仿真速度之间存在矛盾,本文采用改进离散矢量建模法,使之得到一定改善,但仍有待进一步探索新方法,以提高仿真精度和兼顾速度。

参考文献:

- [1] 叶佩青, 张勇, 张辉. 数控技术发展状况及策略综述[J]. 机械工程学报, 2015, 21:113-120.
- [2] 任景刚. 数控加工仿真技术发展现状与趋势[J]. 航空制造技

术, 2016, 500(5):62-66.

- [3] 张天其, 于忠海, 张晓峰. 数控机床三维建模与加工仿真技术研究[J]. 机械工程师, 2009(1):62-63.
- [4] 姜晓峰, 李云飞. 计算机数控加工仿真中误差检测技术的研究与实现[J]. 小型微型计算机系统, 2002(7):886-889.
- [5] 李军. 基于离散建模的三轴数控铣削加工仿真算法研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2009.
- [6] 李炳然, 张辉, 叶佩青. 智能制造环境下的数控系统发展需求[J]. 航空制造技术, 2017, 525(6):24-30.
- [7] 李式真. 开放式数控系统运动控制可配置的研究[J]. 机械制造与自动化, 2015, 44(4):174-176.
- [8] 涂钰青. 基于IEC61499标准的组件化模型集成数控系统形式化建模与验证的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [9] 黄明吉. 虚拟数控技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [10] 黄锥良. 基于Linux的软件型开放式数控系统高速运动控制技术的研究[D]. 福州: 福州大学, 2010.

收稿日期:2018-10-24