

应用理论

基于Python语言和Abaqus软件的轮胎参数化 高效建模技术

曹金凤¹, 王志文¹, 王慎平², 高明³, 曾雨培⁴, 贾舒安¹

[1. 青岛理工大学 机械与汽车工程学院, 山东 青岛 266520; 2. 浦林成山(青岛)工业研究设计有限公司, 山东 青岛 266000; 3. 赛轮集团股份有限公司, 山东 青岛 264200; 4. 青岛理工大学 理学院, 山东 青岛 266520]

摘要: 基于Abaqus软件提供的Python二次开发接口, 研究复杂结构轮胎的参数化高效建模方法。建模过程如下: 结合宏录制功能录制所需Python代码, 修改参数后生成脚本文件, 采用RSG对话框创建轮胎建模插件, 输入轮胎结构关键参数后可以一键生成轮胎有限元几何模型。该方法将原来需要数小时才能完成的轮胎建模缩短为几秒钟, 极大地提高复杂结构轮胎的设计效率, 为后续轮胎有限元仿真分析奠定了较好的基础。该技术可以推广应用于飞机、轮船、汽车等的其他复杂结构零部件的高效建模中。

关键词: 轮胎; 结构; 高效建模; 插件; 参数化; Abaqus; Python

中图分类号: TQ336.1; O241.82

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2021)11-0816-06

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2021.11.0816



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着汽车工业的迅速发展,我国已成为全球最大的轮胎生产国^[1-4],各大轮胎企业纷纷建立各自的轮胎生命周期管理系统,以保持其在轮胎设计和制造领域的优势^[5]。由于轮胎结构部件多、形状复杂,设计及建模费时费力,因此,开发实用、高效、准确和可靠的轮胎自动化建模软件或插件,对于新型轮胎的设计、研制和生产都至关重要^[6-8]。

目前,为了提高轮胎建模的效率,国内外众多学者、企业工程师开展了大量的研究工作。刘信奎等^[9]利用AutoCAD软件绘制了轮胎二维模型,并将其导入UG软件,完成轮胎三维实体建模,但该方法需要对AutoCAD软件绘制的模型进行大量重复的几何清理工作。刘野等^[10]基于三维建模软件CATIA对轮胎进行建模,首先在草图模块中绘制轮胎外轮廓,然后通过旋转体命令建立轮胎三维模型,但如果修改模型则需要大量鼠标选择操

作。杨进殿^[11]基于AutoCAD软件提供的二次开发接口,采用内嵌的Visual LISP语言开发了轮胎有限元建模几何清理模块,编写了样条曲线和多线段筛选及清理程序,对建模过程中不支持的线条进行了修改和替换,解决了CAD与CAE软件之间的接口问题,但仍需要一定的人工操作,且仅能生成仿真工况的充气轮胎有限元模型。梅飞^[12]基于由节点生成三维网格模型技术与AutoCAD软件二次开发技术,设计了轮胎花纹自动建模程序,实现了由花纹二维设计图直接生成三维网格图,减少了三维花纹几何建模的工作量,提高了建模效率,但该方法对工程师的有限元分析水平要求较高,且如果单元网格质量不符合要求,修改和替换工作量很大。洪圣康^[13]提出了基于IGES文件的最小独立区域识别算法,实现了对轮胎二维CAD图的区域识别,将CAD图中的节点坐标、线元素信息、区

基金项目: 山东省重点研发计划(公益类专项)(2019GGX101020)

作者简介: 曹金凤(1978—),女,山东青岛人,青岛理工大学副教授,博士,主要从事轮胎设计仿真一体化研究工作。

E-mail: caojinfeng@qut.edu.cn

引用本文: 曹金凤,王志文,王慎平,等. 基于Python语言和Abaqus软件的轮胎参数化高效建模技术[J]. 橡胶工业, 2021, 68(11): 816-821.

Citation: CAO Jinfeng, WANG Zhiwen, WANG Shenping, et al. Efficient parameterized modeling technology of tire based on Python language and Abaqus software[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(11): 816-821.

域信息单独保存,但由于轮胎设计多在AutoCAD软件中进行,设计过程中经常出现区域不闭合、存在多余的点和线等问题,为了保证最小独立区域识别算法的正确运行,也需要对轮胎CAD图进行几何清理。

综上所述,已有众多学者对轮胎自动化高效建模工作进行了大量的研究,在一定程度上提高了复杂结构轮胎建模效率,但依然存在几何清理、人工参与多等问题。鉴于此,本工作提出一种基于Abaqus软件内置的Python二次开发接口的轮胎参数化高效建模方法,仅需输入轮胎各部件的关键参数,数秒钟即可完成复杂结构轮胎建模工作,并且无需手动修补模型,具有操作简单、效率高、可重复执行能力强等优势。本研究成果为轮胎开发的数字化、参数化、自动化和智能化发展奠定了基础。

1 在Abaqus软件中实现复杂结构轮胎建模

本工作主要研究轮胎高效建模方法及相应的参数化实现过程,故对轮胎结构进行适当简化,仅选取8个参数(见表1)来表达关键特征。在真实轮胎建模过程中,应该按照实际需求进行参数化设置。由于轮胎结构复杂、不同部件参数和材料种类多,轮胎建模工作复杂繁琐,因此,为了避免不同软件之间相互导入时出现线条重复、区域无法闭合等问题,本工作以某型号子午线轮胎为例,直接使用Abaqus软件提供的录制宏文件功能来建模,详细操作过程如下。

表1 轮胎结构参数
Tab. 1 Parameters of tire structure

参 数	定义	数值/mm
Outer diameter	外直径	500
Section width	断面宽	117
Section height	断面高	118
Sidewall H1 ¹⁾	下断面高	64
Sidewall H2 ¹⁾	上断面高	54
Bead width	胎圈宽度	15. 7
Shoulder ply	胎肩厚度	13. 8
Cap ply ¹⁾	冠部总厚	15

注:1)本设计所用名称。

(1) 启动Abaqus/CAE, 选择[File]菜单→[Macro Manager]→[Create]命令,弹出对话框(见图

- 1),将其命名为Tire_Profile,点击Continue按钮。
- (2) 在Part功能模块,创建名为OutProfile的二维可变形壳体部件,在草图使用Spot, Line, ArcByStartEndTangent等命令依次绘制轮胎外轮廓线、轮胎骨架(带束层帘线、胎体帘线和胎圈钢丝等)结构(见图2)。通过平移功能将轮胎外轮廓线、骨架结构组合在一起(见图3)。
- (3) 单击宏录制窗口中的Stop按钮结束宏录制,无须保存模型直接退出Abaqus/CAE。此时,宏文件AbaqusMacros.py中已经记录所有的Abaqus

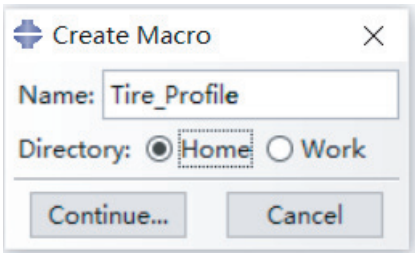


图1 录制名为Tire_Profile的宏文件
Fig. 1 Recording a macro file named Tire_Profile

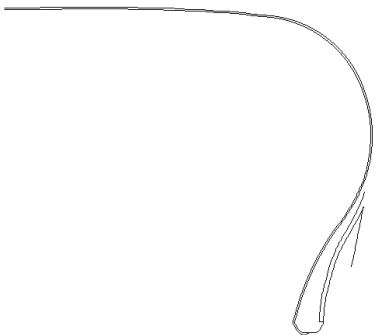


图2 轮胎骨架结构示意图
Fig. 2 Diagram of tire framework structure

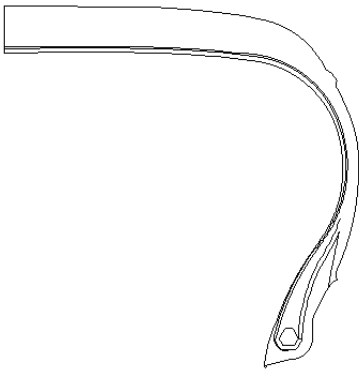


图3 轮胎材料分布示意
Fig. 3 Diagram of tire material distribution

操作^[14]。

2 复杂结构轮胎参数化高效建模技术

2.1 Abaqus软件的Python二次开发接口

Abaqus是一款功能强大的非线性有限元分析软件,其自带的Python二次开发接口具有简单易学、功能强大、模块化、可扩展性、开源、免费和面向对象等优点,可以方便地开发自动前处理、分析结果后处理、材料库定制、图形用户界面(GUI)等插件^[15-16],已广泛应用于汽车、机械、航空、航天、军事等领域。

Abaqus中的Python脚本接口可以实现Abaqus/CAE的所有功能,二者之间的通信关系如图4所示^[17]。操作者可以通过GUI窗口、命令行接口(Command Line Interface, CLI)和脚本发布命令,所有的命令都必须经过Python解释器后才能进入到Abaqus/CAE中执行,同时生成扩展名为.rpy的文件;进入到Abaqus/CAE中的命令将转换为INP文件,再经过Abaqus/Standard或Abaqus/Explicit求解器进行分析,得到输出数据库(ODB)文件,进而绘制变形图、等值线图。

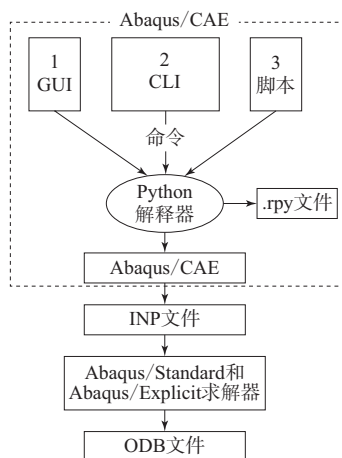


图4 Python脚本接口与Abaqus/CAE的通信关系

Fig. 4 Communication relationship between Python script interface and Abaqus/CAE

2.2 复杂结构轮胎参数化设计方法

2.2.1 自动化建模过程

为了更好地实现复杂结构轮胎的快速建模,本工作基于Abaqus的GUI脚本和内核脚本开发了Tire_Profile插件,操作过程如下。

(1) 将轮胎的建模操作宏录制完毕,所有的Python命令都已写入安装根目录的AbaqusMacros.py宏文件,操作者可以根据需求对文件进行编辑,生成内核脚本工作件。

(2) 使用Abaqus/CAE的Plug-ins子菜单中的RSG对话框构造器,设计制作自动建模插件。

(3) 使用RSG对话框构造器创建自定义图形用户界面,并将内核脚本工作件与GUI标签页中的内核函数绑定,实现参数传递,完成参数化程序设计^[18]。

2.2.2 编辑和修改录制的宏文件

使用编辑器打开AbaqusMacros.py宏文件,按照下列步骤编辑和修改代码。

(1) 导入相关模块。基于Abaqus的Python二次开发接口编写代码时,首先需要导入开发过程中所需的所有相关模块,本工作导入Abaqus和AbaqusConstants两个模块,代码如下:

```
from Abaqus import*
from AbaqusConstants import*
```

(2) 删除import section, import regionToolset等宏文件自动导入的相关模块代码行。

(3) 建议删除Abaqus自动生成的视窗代码。例如,session.Viewports['viewport;1'].makeCurrent。

(4) 通过def()函数定义表1中的8个关键参数,代码如下:

```
def OuterProfile(Outerdiameter, Sectionwidth,
SetionHeight, SidewallH1, SidewallH2, Beadwidth,
Shoulderply, Capply)
```

其中,Outerdiameter, Sectionwidth, SetionHeight, SidewallH1, SidewallH2, Beadwidth, Shoulderply, Capply分别对应建模所需的8个参数,其值全为浮点型数据。

(5) 创建约束草图ConstrainedSketch,大致尺寸为2 000,代码如下:

```
s = mdb.models['Model-1'].ConstrainedSketch
(name='__profile__', sheetSize=2 000. 0)
```

(6) 创建二维变形体的轮胎部件模型,代码如下:

```
p = mdb.models['Model-1'].Part(name='Part-
Tire_Profile', dimensionality=TWO_D_PLANAR,
```

type=DEFORMABLE_BODY)

(7) 其他代码保持不变即可。

2.2.3 定制轮胎建模插件的参数输入界面

Python核心代码开发完成后,为了使各参数的输入更加便捷、高效,还需要定义参数输入界面。使用Abaqus自带的RSG快速创建插件(Ping-in)来定义参数输入界面。实现方法如下:在Abaqus/CAE中选择[Plug-ins]菜单→[Abaqus]→[RSG Dialog Builder],将弹出RSG对话框构造器界面,如图5所示。

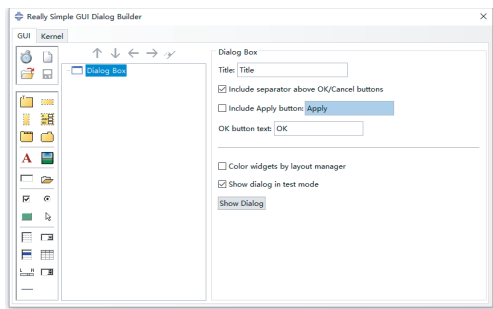


图5 RSG对话框构造器界面

Fig. 5 Interface of RSG dialog box constructor

修改标题为Tire_Profile,增加Parameters组框的同时增加文本框、标签、关键字、默认值等,按照同样的方法设置8个参数值,完成后的对话框如图

6所示。

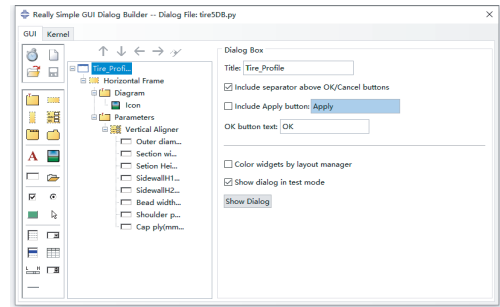


图6 RSG对话框设置效果示意

Fig. 6 Diagram of setting effect of RSG dialog box

2.2.4 将内核脚本变量与GUI标签页中的内核函数绑定

切换到Kernel标签页,选择修改后宏文件CreateTire.py来加载内核模块,在下拉列表中选择OutProfile函数,如图7所示。重新切换到GUI标签页,保存对话框,设计完成后的界面如图8所示(D , B , H , H_1 , H_2 , M , I 和 T 分别为轮胎外直径、半断面宽、断面高、下断面高、上断面高、胎圈宽度、胎肩厚度和冠部总厚)。此时,所有的插件文件都保存于根目录的Abauqs_plugins文件夹。

重新启动Abaqus/CAE, Plug_ins菜单下将出现本工作开发的插件[Tire_Profile],单击OK按钮,

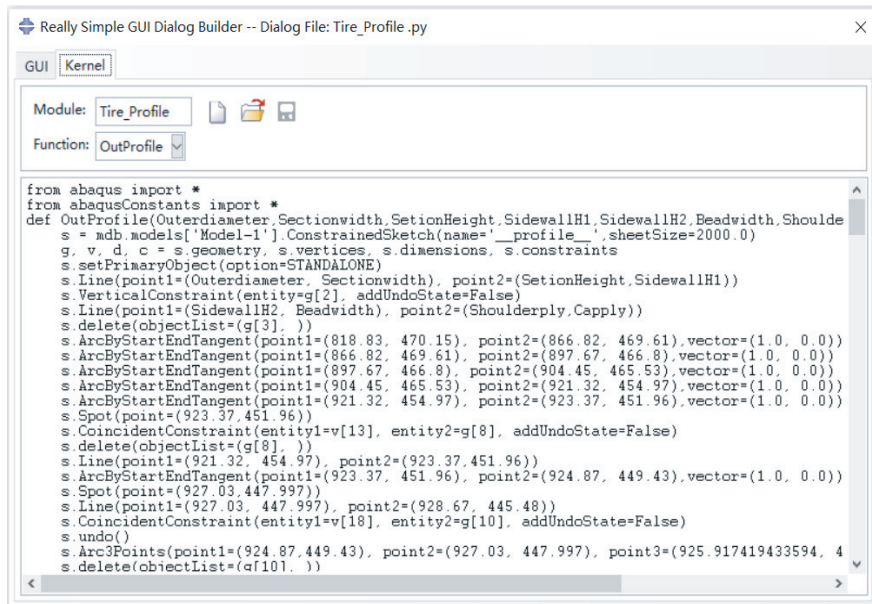


图7 内核模块绑定效果示意

Fig. 7 Diagram of kernel module binding effect

仅需几秒钟即可完成复杂结构轮胎二维建模,如图9所示。

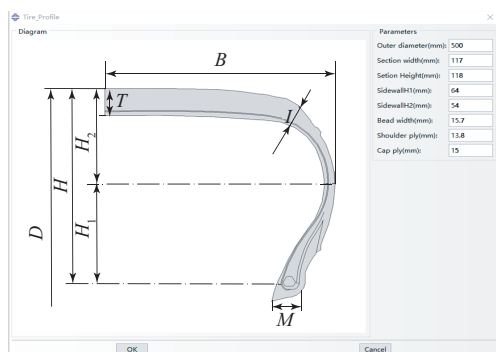


图8 轮胎关键参数的输入界面

Fig. 8 Input interface of tire key parameters



图9 本开发插件生成的轮胎模型

Fig. 9 Tire model generated by plug-in developed from this work

2.3 运行效果和效率

本工作开发了基于参数驱动的复杂结构轮胎建模插件,输入关键参数后仅需数秒钟即可完成复杂结构轮胎建模工作,方便、快捷、高效,可以大幅缩减轮胎开发周期,而且可以极大减小仿真分析人员的劳动强度,可以避免因设计者水平不同造成的设计差异。

3 结论

本工作基于Abaqus软件内置的Python二次开发接口,通过修改录制宏文件的方法,研发了复杂结构轮胎建模插件Tire_Profile,得到如下主要结论。

(1)与传统的轮胎建模相比,使用本开发插件的轮胎建模仅需数秒钟即可完成,极大提高了轮

胎设计效率。

(2)本开发插件可以与Abaqus软件无缝连接,避免几何模型的修补和清理工作。

(3)使用Plug-ins菜单插件进行复杂结构轮胎参数化建模,当需要对轮胎某些尺寸进行修改时,只需修改对应参数值即可,避免手动修改模型时的重复性操作,修改过程简单、高效。

参考文献:

- [1] 李良. 浅析轮胎行业现状、发展及面临主要挑战[J]. 中国设备工程, 2019(8): 178-179.
LI L. Analysis on the current situation, development and main challenges of tire industry[J]. China Plant Engineering, 2019(8): 178-179.
- [2] 曾季, 阙元元, 蔡尚脉, 等. 电动汽车轮胎的发展现状与设计思路[J]. 橡胶工业, 2019, 66(12): 883-894.
ZENG J, QUE Y Y, CAI S M, et al. Development status and design ideas of electric vehicle tires[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(12): 883-894.
- [3] 李良. 智能轮胎技术的发展现状及前景[J]. 化工管理, 2019(4): 69-70.
LI L. Current status and prospect of intelligent tire technology[J]. Chemical Enterprise Management, 2019(4): 69-70.
- [4] 李本杰. 汽车行业轮胎现状及发展趋势探讨[J]. 时代汽车, 2018(7): 137-138.
LI B J. Discussion on the current situation and development trend of tires in automobile industry[J]. Auto Time, 2018(7): 137-138.
- [5] 哈斯巴根, 朱凌, 石琴, 等. 轮胎有限元建模过程优化及刚度特性仿真研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2015(7): 944-948.
HA S B G, ZHU L, SHI Q, et al. Optimization of finite element modeling of tire and simulation of its stiffness characteristics[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2015(7): 944-948.
- [6] 孙晓强, 胡伟伟, 吴鹏程, 等. 轮胎非线性纵滑力学特性的分段仿射辨识建模方法[J]. 西安交通大学学报, 2021, 55(7): 52-60.
SUN X Q, HU W W, WU P C, et al. Modeling of tire longitudinal-slip mechanical characteristics based on piecewise affine identification method[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2021, 55(7): 52-60.
- [7] 危银涛, 刘哲, 魏胜, 等. 基于刚柔耦合环模型轮胎均匀性建模与分析[J]. 轮胎工业, 2021, 41(3): 167-175.
WEI Y T, LIU Z, WEI S, et al. Modeling and analysis of tire uniformity based on rigid-flexible coupling ring model[J]. Tire Industry, 2021, 41(3): 167-175.

- [8] 于海勇,韩聪聪,郑植,等. 航空轮胎胎坯径向均匀性建模分析[J]. 橡胶工业,2020,67(5):341-345.
YU H Y, HAN C C, ZHENG Z, et al. Modeling and analysis on radial uniformity of green tire of aircraft tire[J]. China Rubber Industry, 2020, 67(5): 341-345.
- [9] 刘信奎,王好臣,李玉胜. UG在子午线轮胎CAD建模中的应用[J]. 山东理工大学学报(自然科学版),2003(3):17-19.
LIU X K, WANG H C, LI Y S. Application of UG in radial tyre CAD modeling[J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2003(3): 17-19.
- [10] 刘野,廉哲满. 基于ANSYS的汽车轮胎有限元分析[J]. 机械工程师,2014(3):105-106.
LIU Y, LIAN Z M. Finite element analysis of tyre based on ANSYS software[J]. Mechanical Engineer, 2014(3): 105-106.
- [11] 杨进殿. 半钢轮胎有限元仿真过程中的建模自动化[D]. 济南:山东大学,2015.
- [12] 梅飞. 子午线轮胎胎面花纹有限元自动建模技术的研究[D]. 济南:山东大学,2020.
- [13] 洪圣康. 轮胎有限元分析自动化建模与处理系统[D]. 镇江:江苏大学,2019.
- [14] 曹金凤. Python语言在Abaqus中的应用(第二版)[M]. 北京:机械工业出版社,2020.
- [15] 邵培,于存贵,魏浩. 基于Abaqus二次开发的旋压参数化加工研究[J]. 机械制造与自动化,2015,44(1):109-112.
SHAO P, YU C G, WEI H. Parametric processing of spinning based on Abaqus secondary development[J]. Machine Building & Automation, 2015, 44(1): 109-112.
- [16] 曹金凤. Abaqus有限元分析常见问题解答与实用技巧[M]. 北京:机械工业出版社,2020.
- [17] 钟同圣,卫丰,王鸢,等. Python语言和Abaqus前处理二次开发[J]. 郑州大学学报(理学版),2006,38(1):60-64.
ZHONG T S, WEI F, WANG Z, et al. Second development for pre treatment of Abaqus using Python language[J]. Journal of Zhengzhou University (Natural Science Edition), 2006, 38(1): 60-64.
- [18] 贺尚红,刘小恒,欧阳旭,等. 塔式起重机臂架参数化建模与应力分析[J]. 建设机械技术与管理,2020,33(6):123-128.
HE S H, LIU X H, OUYANG X, et al. Parametric modeling and stress analysis of tower crane boom[J]. Construction Machinery Technology & Management, 2020, 33(6): 123-128.

收稿日期:2021-08-30

Efficient Parameterized Modeling Technology of Tire Based on Python Language and Abaqus Software

CAO Jinfeng¹, WANG Zhiwen¹, WANG Shenping², GAO Ming³, ZENG Yupe¹, JIA Shu'an¹

[1. Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China; 2. Pulin Chengshan (Qingdao) Industrial Research and Design Co., Ltd, Qingdao 266000, China; 3. Sailun Group Co., Ltd, Qingdao 264200, China]

Abstract: Based on the Python secondary development interface provided by Abaqus software, the efficient parameterized modeling method of complex tires was studied. The modeling process was as follows: recording the required Python code in combination with the macro recording function, generating the script file after modifying the parameters, creating the tire modeling plug-in using RSG dialog box and inputting the key parameters of the tire structure to generate the finite element geometric model of the tire with one click. This method shortened the tire modeling time from several hours to several seconds, greatly improved the design efficiency of complex structure tires, and laid a good foundation for the subsequent finite element simulation analysis of the tire. This technology could be applied to the efficient modeling of other complex structural parts of aircrafts, ships and automobiles.

Key words: tire; structure; efficient modeling; plug-in; parameterization; Abaqus; Python

欢迎参加第13期全国轮胎结构设计技术高级培训班
(2021年11—12月 线上)