

基于 ABAQUS 的圆柱形橡胶堆参数化建模的二次开发

宋颖^{1,2}, 荣继刚², 马秋成¹, 黄友剑², 王金辉²

(1. 湘潭大学, 湖南 湘潭 411105; 2. 株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412000)

摘 要: 利用仿真技术优化橡胶减振件的结构时, 往往需要反复建立减振件的有限元模型, 这是一项繁琐而费时的的工作。以圆柱形橡胶堆为例, 基于 ABAQUS 二次开发功能, 用 Python 语言开发了圆柱形橡胶堆快速建模和结果分析的程序, 实现了 ABAQUS 前处理参数化建模及后处理结果输出的自动化。根据输出的结果分析了仿真刚度值与经验公式计算刚度值的差异, 提高了输出结果的准确性及建模和结构优化的效率。

关键词: 橡胶堆; ABAQUS; Python; 参数化建模

中图分类号: TB535⁺.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2022)01-0146-03

2nd Development of Parametric Modeling of Cylindrical Rubber Pile Based on ABAQUS

SONG Ying^{1,2}, RONG Jigang², MA Qiucheng¹, HUANG Youjian², WANG Jinhui²

(1. Xiangtan University, Xiangtan 411105, China;

2. Zhuzhou Shidai New Material Technology Co., Ltd., Zhuzhou 412000, China)

Abstract: It is tedious and time-consuming to repeatedly building a finite element model of the damping parts in the application of simulation technology to optimize the structure of rubber damping parts. With a cylindrical rubber pile as an example and based on the secondary development function of ABAQUS, a program for rapid modeling and result analysis of the cylindrical rubber pile is developed in Python language, which realizes the parametric modeling of ABAQUS pre-processing and the output of post-processing results. According to the output results, the difference between the simulation stiffness value and the empirical formula calculation stiffness value is analyzed, which improves the accuracy of the result output and the efficiency of modeling and structural optimization.

Keywords: rubber pile; ABAQUS; Python; parametric modeling

0 引言

随着我国铁路领域的快速发展, 尤其是高铁的飞跃发展, 人们对轨道交通的减振效果和降噪要求越来越高。一方面, 过多的噪声和过大的振动将影响乘客的舒适性和轨道沿线居民的日常生活; 另一方面, 噪声和振动也可能损坏车上相关电子设备以及轨道周边建筑物^[1]。为了更好地解决这一问题, 减振元件将广泛运用于高速铁路和城市轨道上。减振元件使车辆在提高运行速度和增加载质量的同时, 还能提高车辆的稳定性和舒适性, 降低运行的噪声, 减少磨损件^[2]。然而, 要使减振元件具有优良的隔振性能和可靠的使用寿命, 就必须通过合理的计算设计出减振效果较好的减振元件结构^[3]。目前主要是通过结构仿真技术实现减振元件的结构优化设计, 这往往需要反复建立减振件的有限元模型, 这是一项繁琐而费时的的工作^[4]。

橡胶堆(图 1)作为典型的减振元件, 具有良好的减振效果, 其广泛应用于车辆转向架和高速磁浮原型车电磁铁模块中。为了更准确和有效地完成橡胶堆结构的优化设计, 本文基于 ABAQUS 的二次开发功能, 使用 Python 语言开发了圆柱形橡胶堆快速建模、计算和结果分析的程序, 根据仿真结果能够快速评价不同减振元件的减振效果, 并

分析了仿真刚度值和经验公式计算刚度值相对于试验刚度值的差异, 实现减振元件高效、准确的设计功能。



图 1 圆柱形橡胶堆图

1 橡胶堆的经验公式计算方法

如图 2 所示, 设 n 层圆柱形橡胶堆的半径为 r , 每层橡胶的高度为 h , 在受到垂向力时, 圆柱形橡胶的垂向刚度 K_1 可根据式(1)计算^[5]。

$$K_1 = \frac{A_c \mu_1 E}{nh} \quad \text{N/mm} \quad (1)$$

式中: A_c 为橡胶承载面积, $A_c = \pi r^2$, r 为橡胶堆的橡胶半径; n 为橡胶堆的橡胶层数; h 为每层橡胶原有高度; E 为

橡胶的弹性模量,根据橡胶的硬度得出; μ_1 为垂向形状系数,可根据式(2)进行计算。

$$\mu_1 = 1.2(1 + 1.65 \times S^2) \quad (2)$$

式中 S 为面积比,可根据式(3)进行计算。

$$S = \frac{A_e}{A_f} = \frac{\pi r^2}{2\pi rh} = \frac{r}{2h} \quad (3)$$

式中 A_f 为橡胶堆的橡胶单层圆周表面积, $A_f = 2\pi rh$ 。

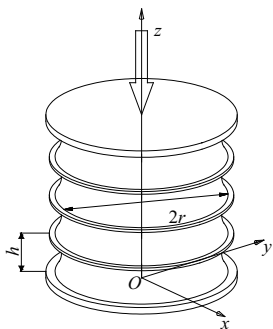


图2 圆柱形橡胶堆的加载示意图

2 橡胶堆仿真模块的设计

2.1 界面开发方式的确定

对橡胶堆进行二次开发的界面开发的方式主要有以下两种^[6]。

- 1) 创建 Plug-ins 插件程序;
- 2) 创建用户应用程序。

对于第2种方法,利用创建其他的应用程序(如 Visual Studio、Visual Basic 等)对 ABAQUS 软件进行可视化界面开发,它可以进行一些相对复杂界面的设计开发,并且还可以实现一些 Plug-ins 插件程序不能实现的功能。但是这种方法所需的程序相对复杂,需要创建新的接口和传入参数,不容易编写程序;而 Plug-ins 插件程序创建可视化界面相对简单方便。Plug-ins 插件程序提供了一些基本控件,用户可以更直观地对可视化界面添加所需的文本框、图片、标题、输入框、下拉选框及相关操作提示等功能,从而快速地建立一个较为友好的可视化界面^[7]。因此,本文采用第1种方式进行可视化界面开发,利用 ABAQUS 软件的 GUI 工具包中的命令或者借助 RSG (Really Simple GUI)对话框构造器开发 Plug-ins 插件程序。程序可以执行用户所添加的函数,然后通过自制的可视化界面输入相关参数,实现手动进行模型前后处理的复杂操作过程。插件程序基于 ABAQUS/CAE 中2个各自独立的执行程序 Kernel 与 GUI 之间互相通信完成的交互^[8-9]。

2.2 图形用户界面设计

用户进行界面设计必须在 abaqus_plugins 文件夹(位于安装目录\temp\abaqus_plugins)下注册 Plug-ins 插件程序才能进行。在启动 ABAQUS/CAE 后,单击“Plug-ins 菜

单”——“Abaqus”——“RSG Dialog Builder...”^[10]

如图3和图4所示,橡胶堆前处理的仿真模块将设置成 Model setting 和 Material and load setting 两个界面;通过界面的设置和输入相关参数,程序将快速完成几何建模、赋予材料、边界条件、施加载荷及网格划分等操作,并自动将作业提交分析,从而得出所需要的分析结果。

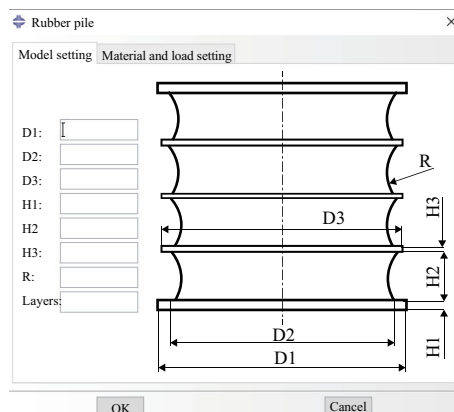


图3 Model setting 界面

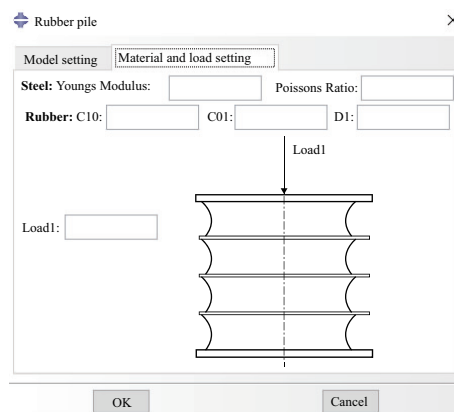


图4 Material and load setting 界面

3 编写代码

一个模型进行仿真计算的顺序一般为:建立 set,赋予材料和装配;建立分析步和接触属性;施加载荷和划分网格;计算和后处理。本文将按照此顺序编写代码。

3.1 建立 set

橡胶堆是一个有规律模型。可以通过旋转草图实现。因此首先建立草图,当橡胶堆只有一层的时候,就没有隔板,只有底板、橡胶和顶板3个 set;当橡胶堆层数>1时,就有底板、橡胶、隔板和顶板4个 set。建立橡胶堆的 set 大概分为以下几个步骤:

- 1) 程序中可以使用循环语句在草图中阵列某些线段来实现模型的建立,如图5所示的草图。
- 2) 通过旋转命令将草图旋转 360°得到几何模型。
- 3) 对模型进行切割,将掩码转成 index 表示,通过对 cells 的定义来建立 set,比如橡胶(rubber)的建立程序

如下:

```
p = mdb.models['Model-1']. parts['Part-1']
c = p.cells
sstr1=c[1:2]
newstr=sstr1
for i in range(2,Layers+1):
    S1=2*i-1
    S2=2*i
    sstri=c[S1:S2]
    newstr=newstr+sstri
cells = newstr
p.Set( cells=cells, name='rubber')
```

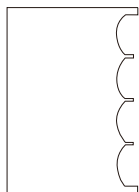


图 5 Sketch

3.2 赋予材料和装配

对之前建立的 set 进行材料赋予,并在可视化界面的 Material and load setting 界面中填写材料参数,完成材料赋予;然后对模型进行装配,由于建立的模型只有一个 part,所以直接进行装配,不需要添加其他的约束。

3.3 建立分析步和接触属性

计算橡胶堆的轴向刚度,建立分析步,分析步代码实现如下:

```
mdb.models['Model-1']. StaticStep( name='vertical-load',
previous='Initial', initialInc=0.1, nlgeom=ON)
session.viewports['Viewport:1']. assemblyDisplay.setValues
(step='vertical-load')
```

设置橡胶堆切向行为的摩擦系数为 0.25,并设置通用接触。

3.4 施加载荷和划分网格

分析步中对橡胶堆 load point 轴向施加 load1 的力,添加边界条件时对 fixed point 进行全约束,打开 load point 的 y 方向的自由度。

顶板、隔板和底板都是金属材料,网格属性不需要重新赋予,用初始的 C3D8R 即可。将顶板、隔板和底板的网格层数设为 3。由于橡胶材料的特殊性,需要对橡胶的网格属性重新定义,将橡胶的网格属性定义为 C3D8H,在程序中也是通过定义 cells 的值来定义橡胶网格的属性,部分代码如下:

```
elemType1=mesh.ElemType( elemCode=C3D8H, elemLibrary=
STANDARD)
elemType2=mesh.ElemType( elemCode=C3D6, elemLibrary=
STANDARD)
elemType3=mesh.ElemType( elemCode=C3D4, elemLibrary=
STANDARD)
p = mdb.models['Model-1']. parts['Part-1']
```

```
c = p.cells
cells = c[1:2]+c[6:7]+c[8:9]+c[13:14]
pickedRegions = ( cells, )
p.setElementType( regions = pickedRegions, elemTypes =
(elemType1, elemType2, elemType3))
```

3.5 计算和后处理

前处理完成后,ABAQUS 将自动在工作目录写入 job 命令文件并提交作业进行计算;当计算完成后,程序将自动读取 ODB 文件里的数据,然后将所需要的应力、应变云图和刚度曲线图导出到指定文件夹中,这样就能节约大量的手动操作时间,部分程序代码实现如下:

```
session.mdbData.summary()
o3=session.openOdb( name='D:/A2019/temp/xjd_10_ceng.
odb')
session.viewports['Viewport:1']. setValues(displayedObject=o3)
session.viewports['Viewport:1']. makeCurrent()
session.viewports['Viewport:1']. odbDisplay.display.setValues
(plotState=CONTOURS_ON_DEF, )
session.printToFile( fileName='D:/A2019/temp/picture/10ceng_
S.png', format=PNG,
canvasObjects=( session.viewports['Viewport:1'], ))
```

4 实例验证

在固定圆柱形橡胶堆的自由高度为 253.5 mm、自由直径为 286 mm、垂向载荷为 118 100 N 的工况下,对圆柱形橡胶堆进行结构优化,要求得到一个垂向刚度为 $[17.5 \times (1 \pm 15\%)]$ kN/mm 的圆柱形橡胶堆。为此,通过 ABAQUS 仿真、试验以及经验公式 3 种方式计算得出垂向刚度值。

利用之前开发的 Model setting 界面和 Material and load setting 界面,分别输入不同橡胶层数的结构来达到最好的减振效果,本文将分别对 7 层、8 层、9 层、10 层、11 层、12 层、13 层的 7 个橡胶堆模型进行垂向刚度计算。在可视化界面上分别输入各层相关的参数,程序将快速生成有限元模型,自动将作业提交计算。计算完成后,将自动导出应力应变云图、刚度曲线图。整合 7 个橡胶堆的垂向刚度曲线,如图 6 所示。图 7 为实验室对橡胶堆进行垂向载荷试验图。

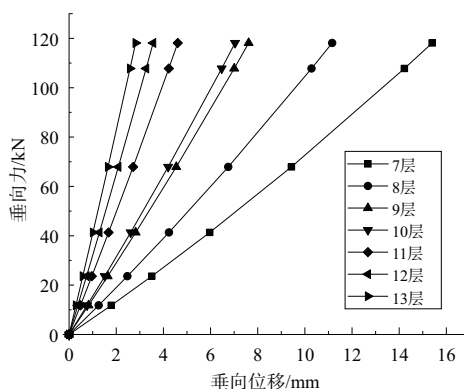


图 6 垂向刚度曲线图

(下转第 160 页)

过程中操作人员变量的影响;高精度的投影能够有效提升装配质量;实时检测能有效减少制造错误^[6-7]。

2)相比工装、样板、钻模等物理手段,激光引导装配方法可快速实现设计的变更或偏离,且不会产生相应工装变更的成本,具有较好的经济性,一次性投入的成本也不高^[8-9]。

3)采用激光引导装配和过程验证之后,局部自动化、数字化程度提高,操作时不必查看总图和零件图,只需按照图号选择相应装配程序,选定基准后,只需1人按照投影划线,减少了大量的看图、看工艺、安装工装等的时间,工作效率显著提升。

4)通过数字化激光引导装配与过程验证技术的研究与应用,打通了航天制造设计端到现场制造端的全三维数字化,提高了现场生产可视化与工艺集成应用能力,起到了良好的全三维数字化制造示范作用。

参考文献:

- [1] 王声,吴军豪,牛润军,等. 激光投影技术在飞机导管支架安装中的应用[J]. 导航与控制,2018,17(3):48-54.

- [2] 郭丽丽. 智能激光3D投影系统及空间定位精度标定技术研究[D]. 长春:长春理工大学,2018:15-16.
- [3] 叶顺坚,周改超,梁莹,等. 运载火箭结构件产品过程质量控制研究[J]. 质量与可靠性,2017(6):18-22,33.
- [4] ZHENG Y, CHEN X H, ZHAO Y F. The overview of laser marking on-line system[J]. Journal of China E-Market, 2003(5):48-51.
- [5] 唐珊珊. 复合材料数字化制造技术在飞机壁板上的应用[J]. 航空制造技术,2010,53(17):53-55.
- [6] 陈国强,李辉,余宁. 激光投影技术在装配连接中的应用[J]. 航空制造技术,2015,58(S2):20-22.
- [7] 林海峰. 基于激光投影的飞机装配定位技术应用[J]. 科技创新,2018(34):33-34.
- [8] 韩伟. 激光投影定位技术在飞机装配中的应用研究[J]. 科技创新与应用,2019(8):142-143.
- [9] 吴剑英,平雪良,张逸伦,等. 可移动智能垃圾桶定位及检测技术[J]. 机械制造与自动化,2020,49(4):162-164.

收稿日期:2020-11-17

(上接第148页)

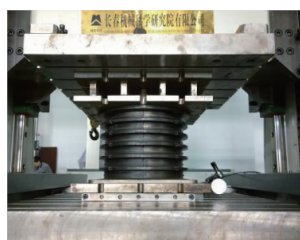


图7 垂向载荷试验图

通过仿真的刚度曲线计算出来的7个橡胶堆的垂向刚度值,通过试验得出的垂向刚度值,根据式(1)计算得出的经验公式计算垂向刚度值分别如表1所示。

表1 各个层数的垂向刚度值 单位:kN/mm

层数	仿真刚度	试验刚度	经验刚度
7层	7.67	8.05	10.05
8层	10.58	11.24	12.83
9层	15.50	15.92	18.41
10层	16.78	17.28	24.23
11层	25.62	26.05	31.86
12层	33.12	33.88	41.16
13层	41.83	43.23	52.41

通过表1刚度值的对比中可以看出经验刚度值和仿真刚度值是有一定的差异的。这个差异是由于经验计算方法的开发方式是基于材料的物理结构和经验计算出来的,没有考虑到一些实际的工况,比如橡胶材料的不同,顶板、底板还有隔板材料和结构的不同等,均会影响计算的准确度,而仿真刚度值与试验刚度值是比较接近的。因此,需要通过仿真计算才能更准确地计算开发。

从表1可以得出10层橡胶堆的刚度值是最符合要求的,减振效果是最好的。利用二次开发的界面完成7个模型的

刚度计算只需要1~2h,如果需要逐个建模仿真求解可能需要2~3天的时间,利用二次开发将极大地提高工作效率。

5 结语

1)本文研究的圆柱形橡胶堆二次开发模块能够利用ABAQUS提供的脚本接口,开发了GUI可视化界面,方便快捷地输入需要的关键参数,程序便能够自动创建圆柱形橡胶堆有限元仿真模型,自动提交计算,自动导出应力应变云图、刚度曲线等;

2)分析了仿真刚度值相比传统理论公式计算刚度值的准确性,提高了结果的准确性;

3)有效解决手动建模的重复费时问题,缩减数据读取与处理及结果输出等过程,提高了前处理和后处理的效率,可以为其他类似减振元件开发提供参考。

参考文献:

- [1] 宋传江. 高速铁路和城市轨道线路橡胶减振制品的现状和发展[J]. 橡胶科技市场,2009,7(6):1-6.
- [2] 刘建勋,黄友剑,张亚新,等. 结构仿真技术在高速铁路减隔振领域的应用与发展[J]. 机车电传动,2011(3):6-8.
- [3] 王彤,周瑾,孟凡许,等. 一种列车垂向磁流变减振器结构优化设计方法[J]. 机械制造与自动化,2018,47(1):101-104.
- [4] 李涌,孙亚东. 基于ABAQUS的减隔振仿真模型的二次开发[J]. 船舶物资与市场,2020(2):8-10.
- [5] 刘建勋,卜继玲. 轨道车辆转向架橡胶弹性元件应用技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2012.
- [6] 秦宇,陈良玉. ABAQUS前处理二次开发在切削过程参数化建模中的应用[J]. 机床与液压,2017,45(13):139-142.
- [7] 钟同圣,卫丰,王莺,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.
- [8] ABAQUS Inc.. ABAQUS Scripting User's Reference Manual: version 6.9[Z]. Pawtucket: ABAQUS Inc.,2009.
- [9] 张江溯,李旭东. ABAQUS二次开发在材料微结构计算中的应用[J]. 甘肃科学学报,2020,32(3):34-39.
- [10] 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.

收稿日期:2020-12-08