

基于 ABAQUS-Python 二次开发的特定过盈配合结构参数化分析

吴建成¹ 朱以恒¹ 张春阳²

(1 杭叉集团股份有限公司 浙江 临安 311305; 2 西北工业大学航空学院 陕西 西安 710072)

摘要: 在过盈配合联接中, 过盈配合的参数会影响机械零件安装和工作时的可靠性, 因此需进行相关过盈配合参数的研究。为研究相关配合参数对非闭合空心圆柱结构过盈配合的压装力的影响, 并提高计算分析效率, 本文利用模型结构相似等特点, 将模型的几何结构进行参数化, 并通过 Python 语言对 ABAQUS 进行二次开发, 建立过盈配合的有限元模型, 实现几何模型和有限元网格模型的自动化建模及后处理等工作。根据自定义的界面调整过盈量、内圈壁厚和内圈豁口尺寸等参数并进行多组仿真, 将仿真结果进行对比, 分析了装配件压装力随不同配合参数的变化情况, 并建立拟合公式表达压装力与配合参数的关系, 以便于在实际生产当中应用, 提高工作效率。同时也为其他类似结构优化设计和加工改进提供参考途径。

关键词: 过盈配合; 有限元; ABAQUS; 二次开发

0 引言

过盈配合问题属于接触非线性问题, 配合表面的接触状态和应力分布较为复杂, 难以通过简单理论推导或简单试验来处理^[1], 因此有限元仿真在过盈配合分析中得到广泛应用。然而在有限元软件中, 对于复杂的有限元模型需要多次重复建模分析, 大大影响分析效率。而实际工程中的同类产品都有特定的组成规则, 结构相似, 在有限元分析中从前处理、求解到后处理都有一定的规律, 因此将同类产品的尺寸结构进行参数化, 并与有限元结合起来的方法尤为重要^[2]。

谢瑞敏等^[3]介绍了基于 Python 的 ABAQUS 二次开发原理, 讨论了 ABAQUS 的脚本接口和对对象模型在二次开发中的作用和调用流程, 以及实现自动化建模、访问结果数据库的方法。吴向东等^[4]采用 Python 语言提出了对 ABAQUS 的前处理模块二次开发的思路及一般步骤, 并利用二次开发程序完成板料快速冲压成形的模拟, 表明了二次开发程序界面友好、操作性强的优点。宋涛等^[5]使用 Python 对 ABAQUS 进行二次开发, 完成了滚筒柜框架件的参数化建模、模态提取、谐响应分析和结果数据提取等工作, 该方法显著缩短了建模分析的时间, 提高了工作效率。

本文使用 Python 对 ABAQUS 进行二次开发, 通

过在自开发的界面对分析过程中的参数变量进行操作控制, 研究相关参数对装配件压装力的影响情况, 同时利用非线性曲线拟合软件对压装力与相关参数的关系进行拟合。

1 过盈配合有限元模型

本文研究的特定非闭合空心圆柱结构过盈配合模型由非闭合空心圆柱(内圈)和闭合空心圆柱(外圈)两个零件装配而成。其中, 内圈侧面开有豁口, 下方有倒角, 便于过盈装配, 如图 1 所示; 外圈是简单闭合空心圆柱体。内圈和外圈零件几何尺寸、材料相关参数分别如表 1、表 2 所示。

表 1 内圈和外圈零件几何尺寸

内圈内径	14 mm	内圈外径	18 mm
外圈内径	17.7 mm	外圈外径	26 mm
过盈量	0.3 mm		

表 2 材料相关参数

	材料	密度 / (kg/m ³)	弹性 模量 /Pa	泊 松 比	屈服 强度 /MPa	抗拉 强度 /MPa	线膨 胀系数 /°C ⁻¹
内圈	65Mn	8000	2.1e11	0.28	430	735	1.3e-5
外圈	QT500-7	7300	1.9e11	0.27	320	500	1.2e-5

为了研究过盈配合压装力的相关特性, 需要在内圈轴向上方新建一个刚性部件, 用来模拟装配过程

中的压头。其刚体类型选择为解析刚体 (Analytical rigid)，并在压头中部定义参考点作为装配压装力的施加点。最终的装配示意图如图 2 所示。

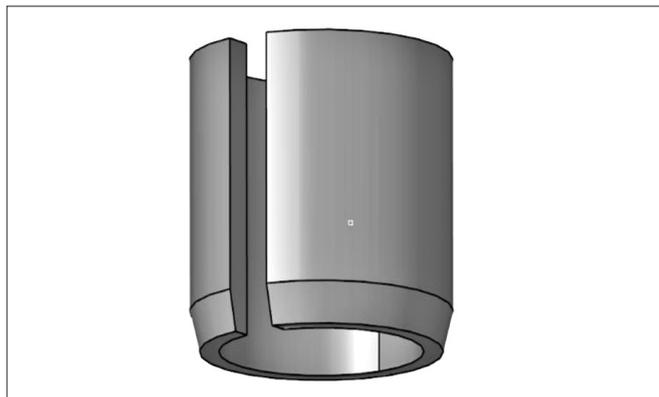


图 1 内圈示意图



图 2 装配示意图

对模型的压头和内圈之间建立一对接触对，接触属性定义为无摩擦。内外圈配合面建立一对接触对，接触属性设置为库伦摩擦，接触算法选用罚函数法，摩擦系数为 0.18。在实际工况中外圈周向受约束没有位移，故需在外圈周向施加固定边界条件。在压头的参考点上施加轴向向下的位移条件， $U_1=U_3=UR_1=UR_2=UR_3=0$ ， $U_2=-18\text{mm}$ ，其中， U_1 、 U_2 、 U_3 分别对应 X 、 Y 、 Z 轴三个方向的平移自由度， UR_1 、 UR_2 、 UR_3 分别对应 X 、 Y 、 Z 轴三个轴旋转自由度，即约束外圈 x 、 z 方向的位移和 x 、 y 、 z 方向的转角，且 y 负方向的位移为 18mm。

通过网格无关性验证确定，单元尺寸为 0.5mm 时即可满足求解精度的要求。内圈的倒角处是结构的关键部位，也是接触对建立的初始位置，在此区域对网格进行局部细化。网格类型选用 C3D8R 六面

体减缩积分单元，内圈包含 11284 个单元，外圈包含 45573 个单元，网格示意图如图 3 所示。



图 3 网格示意图

2 模型参数化与二次开发

2.1 模型参数化

为了研究过盈配合的过盈量、内圈的壁厚、内圈豁口尺寸等相关因素对装配件压装力的影响，需要将内外圈的几何尺寸全部参数化。本文中定义参数包括内圈内径、内圈外径、内圈长度、外圈内径、外圈外径、外圈长度、温度、计算 CPU 数和作业名称 9 个参数。

2.2 二次开发过程

ABAQUS 软件允许用户根据自己的需要编写子程序，用户通过编写的子程序可以调用图形用户界面 (GUI) 工具，执行 ABAQUS 脚本命令，从而实现模型的修改。

二次开发的主要过程可分为 Python 主程序设计和 GUI 开发两部分。

2.2.1 Python 主程序设计

(1) 结构建模、装配与网格划分。输入内外圈长度和内外径等参数定义结构尺寸后，对零件进行装配。然后采用 Global Mesh 定义网格尺寸，对模型进行网格划分，并赋予材料属性。

(2) 建立接触、边界和仿真过程定义等。设置内圈和压头的接触面以及内圈和外圈的接触面，分别定义摩擦系数和接触类型。在压头中心的参考点处施加轴向位移和其他边界条件。最后根据计算需求定义步长。

(3) 自动设置作业，提交计算。本文仅列出简化代码及注解如下，程序中使用的各关键词含义见表 3。

表3 参数名关键词对照表

关键词	参数名称	默认初值
hole_i	外圈内径/mm	17.7
hole_o	外圈外径/mm	26.0
hole_l	外圈长度/mm	17.0
axle_i	内圈内径/mm	14.0
axle_o	内圈外径/mm	18.0
axle_l	内圈长度/mm	18.0
temperature	温度/℃	0
jobname	作业名称	"job_8_85"
ncpu	计算CPU数	4

```
# 主程序 fit.py :
# 定义前处理函数类 cs, 包括 part, assembly,
step, material, interaction, load, mesh, job 等函数
class cs():
    def __init__(self, hole_i, hole_o, hole_l, axle_i, axle_o, axle_l, width, temperature, jobname, ncpu):
        def part(self) ...
# 定义主函数并调用 cs 类中的函数
def main(hole_i, hole_o, hole_l, axle_i, axle_o, axle_l, width, temperature, jobname, ncpu):
    cs = cs(hole_i, hole_o, hole_l, axle_i, axle_o, axle_l, width, temperature, jobname, ncpu)
    cs.part() ...
# 定义参数初值
if __name__ == '__main__':
    main(hole_i=17.7, hole_o=26.0, hole_l=17.0, axle_i=14.0, axle_o=18.0, axle_l=18.0, width=3.0,
        temperature=0.0, jobname="job_8_85", ncpu=4)
```

2.2.2 图形用户界面 (GUI) 开发

图形用户界面的作用是定义图形界面的框架和各类控件, 并关联控件的执行目标、执行动作。本文通过软件自带的 Really Simple GUI (RSG) 插件设计得到图形用户界面 (GUI)。RSG 插件编写工作分为两部分: 一部分是对话框编辑, 这一部分需要通过 ABAQUS /CAE 主窗口的“Plug-ins”菜单“ABAQUS”子菜单中“RSG dialog Builder”打开 RSG 插件, 设置好需要选择的参数, 进行界面布置; 另一部分是编写 Kernel 函数, 该函数用来接收来自 GUI 对话框的输入信息并执行相应的功能。

最后开发完成的插件 GUI 如图 4 所示。

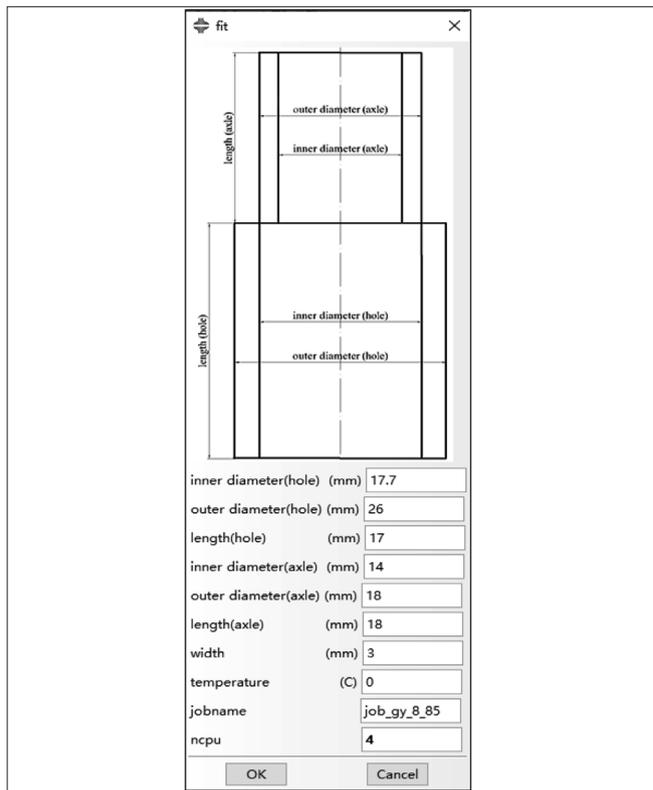


图4 二次开发插件图形用户界面示意图

3 参数影响分析与公式拟合

3.1 参数影响分析

为了研究过盈量、内圈壁厚、内圈豁口尺寸等参数对过盈配合压装力的影响, 利用建立的二次开发插件, 分别调整参数进行多组计算, 相应计算参数如表 4 所示。

通过二次开发插件对 27 组数据进行仿真, 得到压装力随配合长度的变化曲线, 图 5 三个分图分别为过盈量、内圈壁厚、豁口尺寸参数随配合长度变化对压装力的影响情况, 从图 5 中可以看出不同参数对压装力的值会产生影响, 但压装力的变化趋势保持不变, 即在装配开始时压装力产生较大的峰值, 当内外圈建立稳定配合后压装力降低并进入稳定缓增的状态。压装力的稳定阶段也是研究的关键之处, 因此对压装力的稳定段取平均值进行研究, 结果如表 5 所示。

3.2 公式拟合

为了用数学公式描述压装力稳定段均值与参数的关系和变化趋势, 以便于在实际生产当中应用, 本文使用非线性曲线拟合程序, 通过 27 组仿真结果对压装力进行计算拟合。拟合公式如下:

表4 计算参数表

组数	过盈量 / mm	内圈内径 / mm	内圈外径 / mm	内圈长度 / mm	内圈壁厚 / mm	豁口尺寸 / mm	外圈内径 / mm	外圈外径 / mm	外圈长度 / mm
1	0.1	14	18	18	2	3	17.9	26	17
2	0.1	14.5	18	18	1.75	4	17.9	26	17
3	0.1	14.5	18	18	1.75	5	17.9	26	17
4	0.1	14.5	18	18	1.75	3	17.9	26	17
5	0.1	14	18	18	2	4	17.9	26	17
6	0.1	13.5	18	18	2.25	3	17.9	26	17
7	0.1	14	18	18	2	5	17.9	26	17
8	0.1	13.5	18	18	2.25	4	17.9	26	17
9	0.1	13.5	18	18	2.25	5	17.9	26	17
10	0.2	14	18	18	2	3	17.8	26	17
11	0.2	14.5	18	18	1.75	4	17.8	26	17
12	0.2	14.5	18	18	1.75	5	17.8	26	17
13	0.2	14	18	18	2	4	17.8	26	17
14	0.2	14	18	18	2	5	17.8	26	17
15	0.2	14.5	18	18	1.75	3	17.8	26	17
16	0.2	13.5	18	18	2.25	4	17.8	26	17
17	0.2	13.5	18	18	2.25	5	17.8	26	17
18	0.2	13.5	18	18	2.25	3	17.8	26	17
19	0.3	14.5	18	18	1.75	3	17.7	26	17
20	0.3	14.5	18	18	1.75	4	17.7	26	17
21	0.3	14.5	18	18	1.75	5	17.7	26	17
22	0.3	14	18	18	2	3	17.7	26	17
23	0.3	14	18	18	2	4	17.7	26	17
24	0.3	13.5	18	18	2.25	3	17.7	26	17
25	0.3	14	18	18	2	5	17.7	26	17
26	0.3	13.5	18	18	2.25	4	17.7	26	17
27	0.3	13.5	18	18	2.25	5	17.7	26	17

$$F(x_1, x_2, x_3) = p_1 + p_2 \cdot x_1^{p_3} \cdot x_2^{p_4} \cdot x_3^{p_5}$$

式中： F —压装力的稳定段均值；

x_1 、 x_2 、 x_3 —过盈量、内圈壁厚和内圈豁口尺寸；

p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 p_5 —拟合系数。

通过麦夸特法+通用全局优化法拟合得到的函数模型拟合系数如表6所示。决定系数 (R -square) 达到了0.9996, 拟合结果理想, 说明该拟合公式可以很好地描述过盈配合压装力稳定段均值随相关配合参数过盈量、内圈壁厚以及内圈豁口尺寸的变化规律, 通过此公式可方便估算不同参数下的过盈压装力的大小, 进一步降低工作量。

4 结语

本文基于 ABAQUS /Standard 建立非闭合空心圆柱结构过盈配合有限元模型, 通过 Python 对 ABAQUS 进行二次开发, 并根据自定义的界面调整过盈量、内圈壁厚和内圈豁口尺寸等参数, 对不同参数下的过盈配合装配压装力的变化情况进行了分析和公式拟合。结论如下:

(1) 通过对 ABAQUS 的二次开发, 可以实现通过用户交互界面中对参数的自定义, 实现参数化有限元模型的建立和分析, 可以大大减少工作量, 提高工作效率。

(2) 过盈量、内圈壁厚和内圈豁口尺寸都会对过盈配合所需的压装力的大小产生影响, 但压装力随

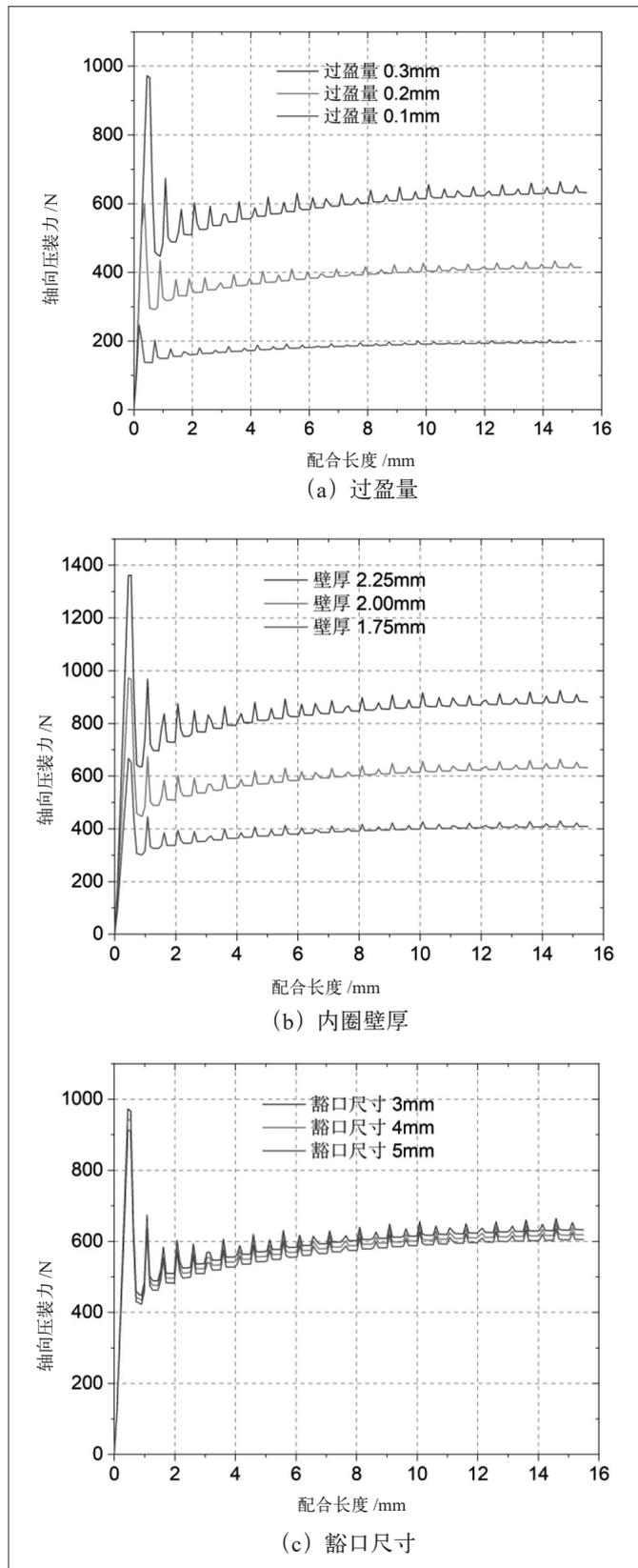


图5 不同参数对过盈配合压装力的影响

配合长度的变化趋势保持不变。

(3) 对压装力稳定段的均值随相关配合参数的变

表5 仿真结果

组数	过盈量/mm	内圈壁厚/mm	豁口尺寸/mm	压装力(稳定段均值)/N
1	0.1	2	3	184.20499
2	0.1	1.75	4	117.37911
3	0.1	1.75	5	112.53563
4	0.1	1.75	3	121.86103
5	0.1	2	4	181.53456
6	0.1	2.25	3	278.11798
7	0.1	2	5	176.72211
8	0.1	2.25	4	271.30791
9	0.1	2.25	5	263.00046
10	0.2	2	3	390.52778
11	0.2	1.75	4	245.68369
12	0.2	1.75	5	240.49010
13	0.2	2	4	379.90231
14	0.2	2	5	368.90269
15	0.2	1.75	3	251.47981
16	0.2	2.25	4	566.39850
17	0.2	2.25	5	551.74066
18	0.2	2.25	3	583.85734
19	0.3	1.75	3	389.73257
20	0.3	1.75	4	380.14376
21	0.3	1.75	5	366.86764
22	0.3	2	3	598.65732
23	0.3	2	4	584.65709
24	0.3	2.25	3	843.95616
25	0.3	2	5	570.97116
26	0.3	2.25	4	824.91474
27	0.3	2.25	5	797.01339

表6 拟合公式中各系数值

P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
-45.2211	294.6405	0.9129	2.8582	-0.0972

化情况进行公式拟合, 最终的拟合结果理想。

本文使用 Python 对 ABAQUS 进行二次开发, 实现了结构几何模型和有限元网格模型的自动化建模、后处理等工作, 解决了繁琐重复的建模问题, 进一步为实际生产提供了依据。

参考文献:

[1] 陈道礼. 过盈联接的有限元分析[J]. 机械设计, 2001, 18(2):46-48.

[2] 李婷婷, 王宗彦, 吴淑芳, 等. 参数化有限元分析在模块化产品中的应用 [J]. 机械设计与制造, 2016(1):115-118.

[3] 谢瑞敏, 王雪军. 基于Python的ABAQUS二次开发应用 [J]. 中国水运(下半月), 2017, 17(10):77-79.

[4] 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.

[5] 宋涛, 马成功, 王贺, 等. 基于ABAQUS-Python二次

开发的滚筒柜框架参数化建模与谐响应分析 [J]. 建材世界, 2018, 39(1):61-64.

作者简介: 吴建成(1988.08-), 男, 汉族, 浙江衢州人, 本科, 工程师, 研究方向: 传动及转向系统; 朱以恒(1991.06-), 男, 汉族, 浙江杭州人, 本科, 工程师, 研究方向: 传动与转向系统; 张春阳(1998.07-), 男, 汉族, 山西太原人, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向: 固体力学仿真技术。

广告征订



版位 Format	价格 Price (RMB)
特殊版位 Specified Ads. Position	
封面	25,000
封二	16,000
封三	12,000
封底	18,000
扉一	15,000
扉二	10,000
后扉一	12,000
后扉二	9,000

版位 Format	价格 Price (RMB)
正常版位 Editorial Page	
编辑页	10,000
编辑页跨页	15,000
1/2编辑页	5,000
1/3编辑页	3,500
1/4编辑页	2,500

注: 所有特殊版位广告均为4C广告, 正常版位广告均为黑白色; 所有广告需提供成熟设计稿, 如需编辑部制作需单独收费。

优惠说明:

在原价格基础上, 连续预定3期, 优惠**8%**; 连续预定6期, 优惠**15%**; 连续预定12期, 优惠**20%**; 连续预定18期, 优惠**30%**; 连续预定36期, 优惠**40%**。另, 如提前一次性付款, 可在享受优惠的基础上享受**8%**的额外折扣。

广告预定热线: 010-6741 0664 / 1368 332 6370