

Design of the Spindle of a Small Portable Snow Cleaning Machine

Yibo Jiang, Chuxuan Zhu, Xinmin Feng, Liang Zhang

School of Mechanical & Power Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin, Heilongjiang
Email: wypbl@163.com

Received: Jul. 14th, 2018; accepted: Aug. 6th, 2018; published: Aug. 13th, 2018

Abstract

Based on the requirements of snow clearance in cold regions such as northeast region in China, a new type of small portable snow blower is developed. Spindle is the key part of snow cleaning machine, and its strength and stiffness directly affect the working of the main machine. In this paper, the main parameters of the spindle are determined according to the requirements of the work of the snow cleaning machine and the design theory of the shaft. Then the three-dimensional model of the spindle is established by using PRO/Engineer. Finally, the static analysis and modal analysis of the spindle are carried out with ANSYS.

Keywords

Spindle of Snow Cleaning Machine, Strength, Modal

小型便携清雪机主轴设计

姜祎博, 朱楚轩, 冯新敏, 张亮

哈尔滨理工大学机械动力工程学院, 黑龙江 哈尔滨
Email: wypbl@163.com

收稿日期: 2018年7月14日; 录用日期: 2018年8月6日; 发布日期: 2018年8月13日

摘要

针对我国东北等寒冷地区对清雪的要求,研发出一种新型的小型便携清雪机。主轴是清雪机的关键零件,其强度、刚度等性能直接影响主机的工作,本文根据清雪机的工作要求和轴的设计理论,确定了主轴的主要参数,并使用PRO/Engineer建立主轴的三维模型,最后用ANSYS对主轴进行了静力分析和模态分析。

关键词

清雪机主轴, 强度, 模态

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在我国东北地区, 冬季降雪频繁, 且降雪量较大, 如果无法及时清雪, 将会使得行人出行困难, 造成交通堵塞, 甚至会导致交通事故。因此冬天及时清雪有重要的实际意义。

我国现有清雪设备已经十分丰富[1][2], 但是, 这些大型的机械清雪机构大多数都体积庞大, 功率大, 噪音大, 通常只适用与大型道路, 主干道路等的积雪清理, 且使用时调度起来十分困难, 使用完成后, 进行储存时占地面积大, 浪费空间资源。由于其较为庞大的体积, 使其无法清理较为狭窄的地区, 例如: 小区内, 天桥上, 校园内的小路, 较为狭窄的人行路, 而这些道路恰恰又是人们平日中较多使用的道路, 如果不进行及时清理, 可能会对行人出行带来不便。而小型便携清雪机机构具有质量轻、噪声少、体积小和操作方便灵活等优点。此清雪机构通过采用可折叠式设计, 使得储存所占用的空间大大减小; 通过对小型清雪机的研究和优化, 我们可以很好地解决小面积的清雪问题, 在极大的程度上达到代替人工清雪的目的, 实现高效快速的清雪, 节省大量的人力物力。同时可以方便各清雪机构的调度, 将资源用在其他地方, 起到提高总体的清雪清障速度的作用, 加快交通系统的疏通。

主轴为本小型便携清雪机最重要的零件, 工作时将进行高速转动, 因此主轴的性能将直接影响清雪机的工作性能。本文针对主轴进行设计、分析与建模, 并且采用 ANSYS 对主轴进行静力学分析与模态分析, 从而分析此小型便携清雪机构的主轴在工作情况下的工作情况。

2. 主轴参数设计

首先, 进行积雪状况分析: 此小型便携式折叠清雪机主要应用于雪后及时清雪的作业。根据前苏联学者的研究和测量分析, 新降雪处于新结晶状态, 此时的密度为较小, 而且此时的新雪几乎没有抗压能力。虽然有道路会由于人流量, 导致积雪形成密度为 $0.45\sim 0.75\text{ g/cm}^3$ 的压雪[3], 导致积雪的抗压能力增强, 但考虑到短时间内积雪压雪化程度不高, 故仍然将其考虑为易于清除类。

其次, 进行清雪速度确定: 由于本小型便携清雪机动力装置为电机, 在此基础上由操作者控制方向, 因此将理想的清雪速度设置在 $3\sim 5\text{ km/h}$ 之间(即运行速度约为 $v_0 = 0.8\sim 1.4\text{ m/s}$)。

最后, 进行主轴结构设计: 我们在此小型便携清雪机的主轴上设置了用于放置刷毛凹槽, 为保证清雪的充分性, 凹槽上一边为径向, 另一边为轴向。刷毛在非工作时可以沿径向收起, 从而达到减小体积的目的, 因此将主轴确定为空心结构, 用许用切应力法计算出轴外径为 600 mm , 厚度 2 mm ; 根据工作需要, 取轴的长度为 800 mm 。

3. 主轴静力分析

3.1. 主轴三维建模

在 Pro/ENGINEER 环境中, 应用了基本的绘图, 拉伸, 以及曲面, 用户自定义特征等高级功能建立

基本模型。先选定基准面，进行草绘主轴的横截面，直径为 600 mm 的圆；后选择拉伸功能，对草绘的圆截面进行拉伸，拉伸长度为 900 mm (工作长度为 800 mm)；进行毛刷预留孔的绘制，先在基准面中绘出一个毛刷预留孔，每个刷毛凹槽宽 $b = 20$ mm，平均 25 mm 一束刷毛，选择阵列，按每列 32 孔(用于装毛刷)处理，选择壳工具，选择两端面为抽壳面，输入壳厚度 2 mm，完成三维模型样板的建立。

3.2. 主轴静力学分析

用 ANSYS 对构件进行静力学分析是用来计算结构在固定不变的载荷作用下的响应，如位移，应力，应变等。也就是探讨结构受到外力之后的变形，应力，应变大小。与固定不变的载荷对应，结构的静力学分析的结构响应也是固定不变的。静力学分析中的，固定不变的载荷和相应只是一种假设，即假定载荷和结构的响应随时间变化非常缓慢。一般来说，用 ANSYS 进行静力学分析有以下步骤：第一步：导入几何模型；第二步：设置单元格类型；第三步：设定相关参数及材料类型；第四步：划分网格，进行求解。本主轴中，各个尺寸均为在 **Pro/Engineer** 中所构造的基本尺寸，由于工作要求，将材料选为 45 号钢，将模型(图 1)导入 ANSYS 中进行静力学分析。导入模型后，建立运动副约束(如图 2)。进行网格的划分，选择 6 级精度。通过在主轴两端施加载荷(如图 3)，得到主轴的变形云图如图 4 示，应力云图如图 5 示。通过采用 ANSYS 的分析计算，得到本主轴的最大变形为 2.106×10^{-3} mm，最大应力为 8.222 MPa，全部符合设计要求。

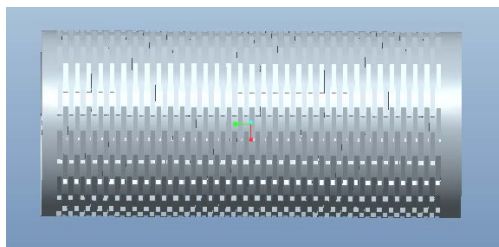


Figure 1. 3D-mode of spindle
图 1. 主轴三维模型

Fixed - Ground To PRT0001
2018/3/12 15:22

A Fixed - Ground To PRT0001
B Fixed - Ground To PRT0001

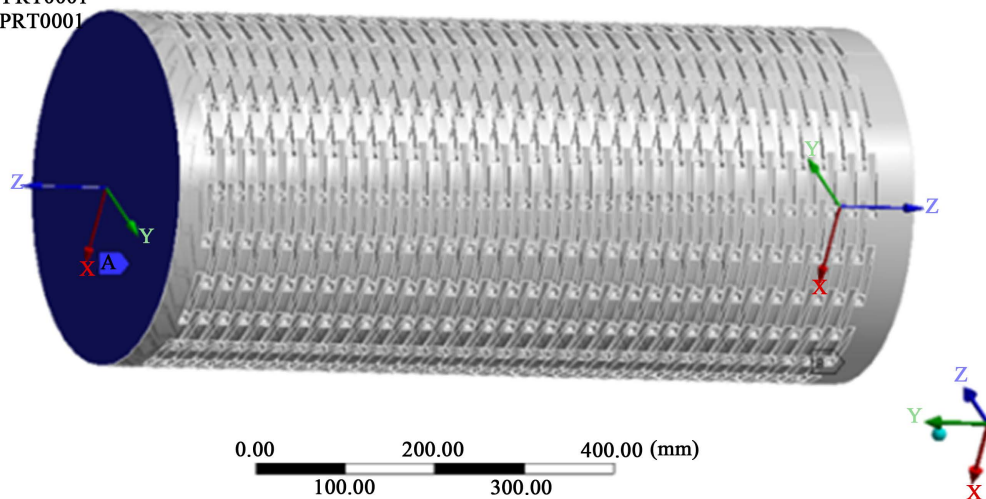


Figure 2. Set up constraints
图 2. 建立约束

D: Static Structural
Force

Time: 1.s
2018/3/12 15:25

Force: 128.54 N
Components: 0.,0.,128.64 N

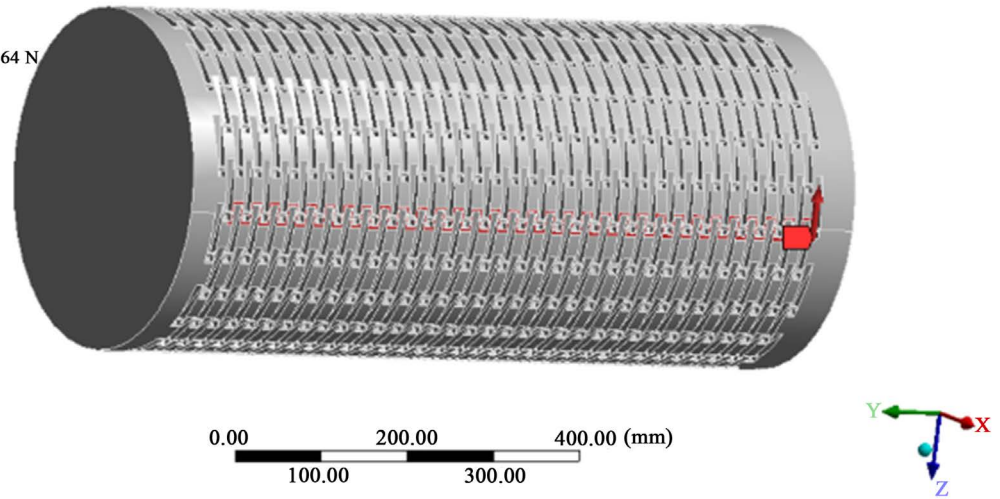


Figure 3. Applied load

图 3. 施加载荷

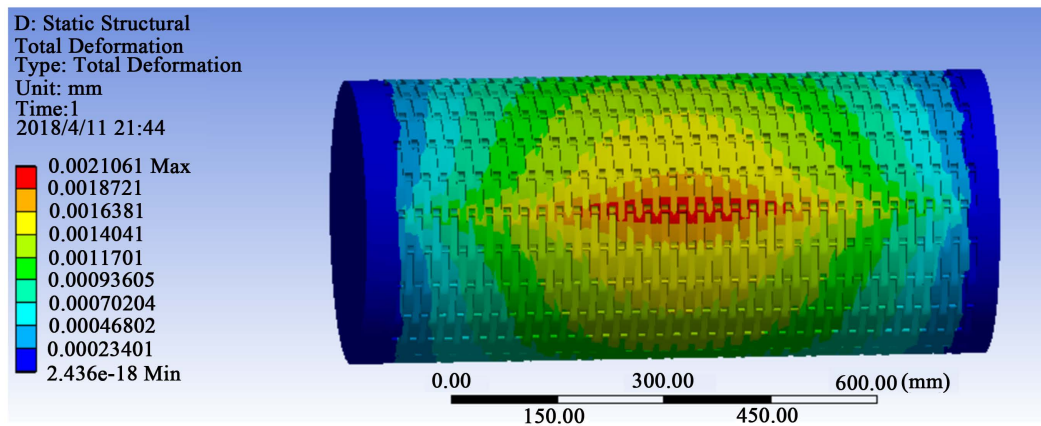


Figure 4. The cloud diagram of deformation

图 4. 变形云图

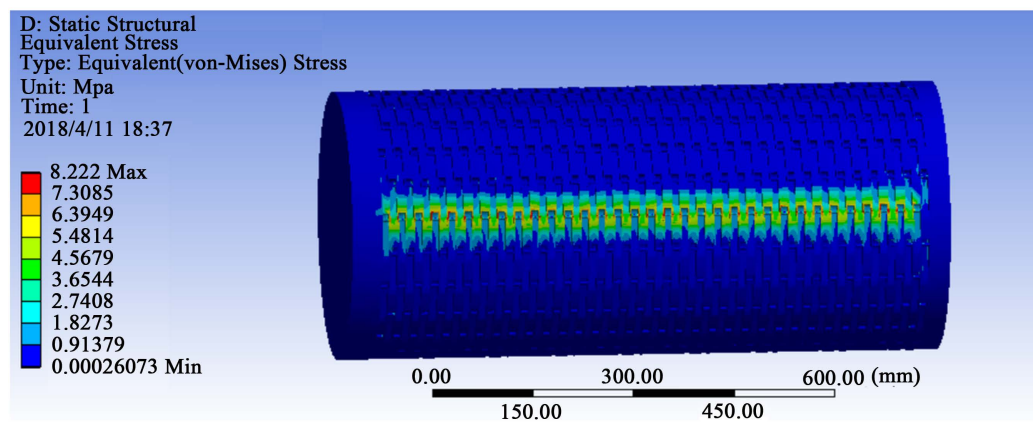


Figure 5. The cloud diagrams of stress

图 5. 应力云图

4. 主轴动力分析

模态分析适用于确定机械部件的振动特性，机构构件的固有频率和振型，这些都是结构承受动态载荷设计中的重要参数。模态分析是将线性时不变系统振动微分方程组中的物理坐标变换为模态坐标，使方程组解耦，成为一组以模态坐标机模态参数所描述的独立方程组[4]。坐标变换的变换矩阵为振型矩阵，其中，每列即为各阶振型。通过模态分析，可以得到结构固有的动态特性：固有频率，振型，阻尼比等重要数据。通过获得固有频率可以避免共振现象的发生；而且采用模态叠加法求结构响应，确定动强度以及疲劳寿命[5]。其主要步骤是：建立模型；施加载荷和求解；扩展模态；查看结果。通过 ANSYS 分析，我们先导入主轴模型，然后进行材料参数的设定，进行网格的划分(如图 6)，添加边界条件(如图 7)，得到固有频率(如图 8)。经计算，得出主轴的临界转速为 $n = 1297.3 \times 60 = 77,838 \text{ rpm}$ ，从而得到主轴的工作转速远小于临界转速，因此可以有效避开共振。最后得到主轴 1 阶振形图(图 9)，主轴 2 阶振形图(图 10)，主轴 1、2 阶振形均为一阶弯曲；主轴 3 阶振形图(图 11)为绕 y 轴旋转，主轴 4 阶振形图(图 12)，主轴 5 阶振形图(图 13)为二阶弯曲，主轴 4、5 阶振形均为二阶弯曲主。

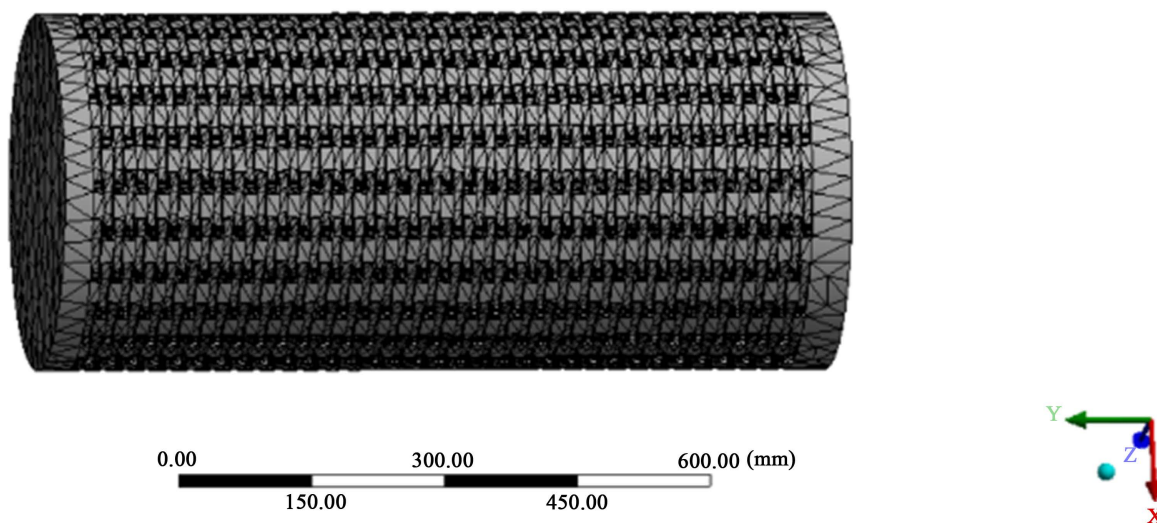


Figure 6. Set up the grid

图 6. 设置网格

B: Modal
Modal
Frequency: N/A
2018/3/12 14:51
A Remote Displacement
B Remote Displacement 2

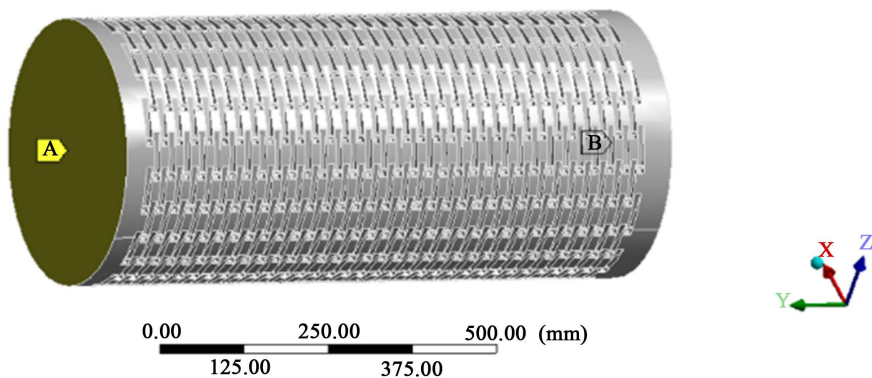


Figure 7. Added boundary conditions

图 7. 添加边界条件

	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz]
1	1.	0.
2	2.	1297.3
3	3.	1297.4
4	4.	1678.3
5	5.	2613.4
6	6.	2613.5
7	7.	2735.3
8	8.	3357.4
9	9.	4144.
10	10.	4144.1
11	11.	5038.4

Figure 8. Natural frequency

图 8. 固有频率

B: Modal
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Frequency: 1297.3 Hz
 Unit: mm
 2018/3/12 14:55
 1.6623 Max
 1.4779
 1.2936
 1.1092
 0.92482
 0.74045
 0.55609
 0.37172
 0.18735
 0.0029863 Min

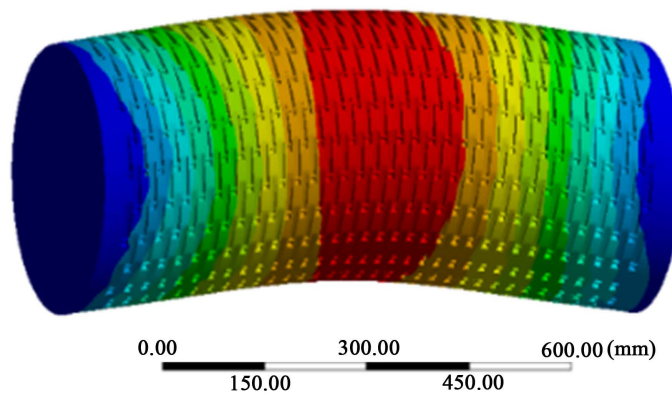


Figure 9. The 1st vibration pattern of spindle

图 9. 主轴 1 阶振形图

B: Modal
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Frequency: 1297.3 Hz
 Unit: mm
 2018/3/12 14:55
 1.6623 Max
 1.4779
 1.2936
 1.1092
 0.92482
 0.74045
 0.55609
 0.37172
 0.18735
 0.0029863 Min

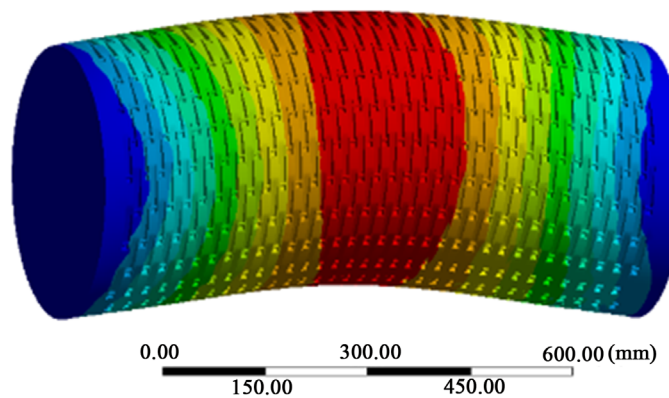


Figure 10. The 2nd vibration pattern of the spindle

图 10. 主轴 2 阶振形图

B: Modal
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 1578.3 Hz
Unit: mm
2018/3/12 15:05
2.1975 Max
1.9533
1.7092
1.4651
1.2209
0.97681
0.73268
0.48855
0.24442
0.00029452 Min

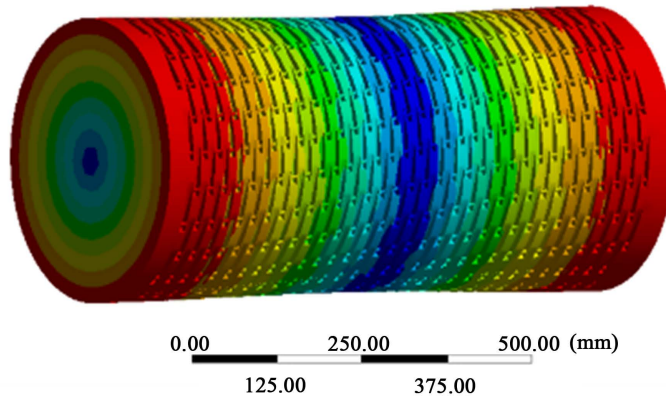


Figure 11. The 3rd vibration pattern of the spindle
图 11. 主轴 3 阶振形图

B: Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 2613.4 Hz
Unit: mm
2018/3/12 15:05
1.5909 Max
1.4143
1.2378
1.0612
0.8846
0.7081
0.53154
0.35498
0.17841
0.0018541 Min

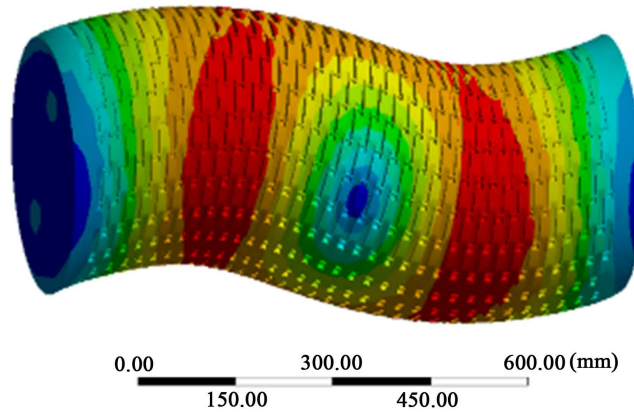


Figure 12. The 4th vibration pattern of spindle
图 12. 主轴 4 阶振形图

B: Modal
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 2613.5 Hz
Unit: mm
2018/3/12 15:10
1.5908 Max
1.4144
1.238
0.88532
0.70895
0.53258
0.35622
0.17985
0.0034866 Min

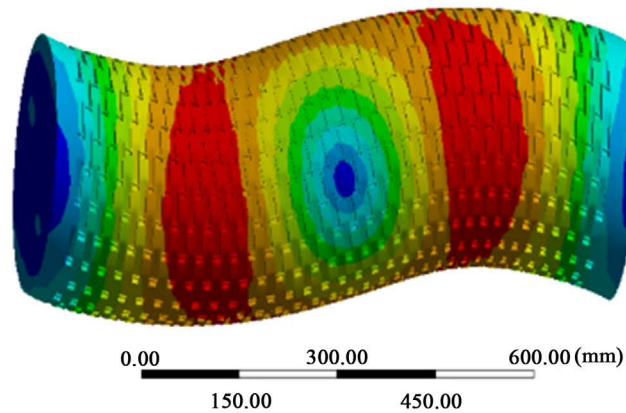


Figure 13. The 5th vibration pattern of spindle
图 13. 主轴 5 阶振形图

5. 结论

通过使用 Pro/ENGINEER 建模, 并使用 ANSYS 对此小型便携清雪机主轴进行两方面分析, 主轴的静力学分析, 和主轴的动力分析之模态分析, 从分析结果可以看出轴的强度, 刚度足够, 满足清雪机的工作要求。

参考文献

- [1] 李静. 新型组合式滚刷除雪机研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2013.
- [2] 赵丽丽. 推扫一体式散雪除雪机研制[J]. 中国新技术产品, 2015(7): 108-110.
- [3] 李文峰. 多功能清雪车碾压碾工作机理及参数优化研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [4] 高耀东. ANSYS 机械工程应用精华 50 例[M]. 第 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [5] 孙惠娟, 殷国富. 基于 ANSYSAPDL 语言的高速主轴参数化有限元分析方法[J]. 设计与研究, 2011(10): 53-56.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2167-6631, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: met@hanspub.org