

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.12.007

园林修枝机跌落仿真研究及结构优化设计*

孙 亮^{1,2}, 陈希良^{1*}, 程 蓓³, 齐明思², 肖江剑¹

(1. 中国科学院 宁波材料技术与工程研究所, 浙江 宁波 315201;

2. 中北大学 机械与动力工程学院, 山西 太原 030051; 3. 宁波创跃园林工具有限公司, 浙江 宁波 315505)

摘要:针对园林修枝机在使用和运输中可能发生跌落破损的问题,对修枝机关键部位的跌落过程进行了研究。运用 Hypermesh 和 LS-DYNA 联合仿真技术对修枝机水平跌落、竖直侧向跌落两种极限工况进行了仿真分析,得到了修枝机发生跌落 after 关键部位的最大冲击应力和破损发生位置。然后对修枝机进行了实际跌落试验,观察到破损发生的位置。结合仿真试验和实际试验结果,得知修枝机发生跌落 after,其旋转管部件发生了较为严重的破损现象,影响了修枝机的使用寿命。对旋转管结构进行了优化设计,并通过跌落仿真进行了验证。研究及设计结果表明:改进后的结构在两种极限工况下跌落时关键部位不发生破损,满足设计需求。

关键词:修枝机;跌落仿真;旋转管;结构优化

中图分类号:TH122;S776.27⁺⁴

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)12-1402-05

Drop simulation and structural optimization design of garden pruning machine

SUN Liang^{1,2}, CHEN Xi-liang¹, CHENG Bei³, QI Ming-si², XIAO Jiang-jian¹

(1. Ningbo Institute of Material Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Ningbo 315201, China;

2. School of Mechanical and Power Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

3. Ningbo Cheery Garden Tools Co., Ltd., Ningbo 315505, China)

Abstract: Aiming at the problem that the garden pruning machine might be damaged result from the drop in the course of use and transportation, the dropping process of the key parts of the pruning machine was studied. Simulation analysis was carried out for two kinds of drop conditions namely horizontal falling and vertical lateral falling of the pruning machine based on Hypermesh and LS-DYNA. The maximum impact stress and damage location of the key parts after the fall of the pruner were gotten. The actual drop test was carried on the pruning machine and observed the location of the damage. Based on the results of simulation and experiment, we knew that rotating tube was the easily damaged part of the pruning machine. Pruning machine service life was affected by the drop impact. The structure of the rotating tube was optimized and verified by the drop simulation. The results indicate that the key parts of the improved structure don't damage dropped under the two limiting conditions and meet the design requirements.

Key words: pruning machine; drop simulation; rotary tube; structure optimization

0 引 言

随着园林工具市场对产品的要求不断提高,也要求国内园林工具生产厂家的设计水平和技术水平不断

提高^[1]。市场上现存各类电动系列园林修枝机、高枝机等产品的主要功能是用于修剪树枝。齿轮箱和旋接管是修枝机关键部件,其强度将直接影响整机性能。修枝机在使用、运输、堆码等过程中均可能发生跌落,从而造成修枝机的破损,影响使用寿命。

收稿日期:2017-04-11

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2015AA016403);宁波市产业技术创新重大专项资助项目(2015B11031)

作者简介:孙 亮(1993-),男,黑龙江牡丹江人,硕士研究生,主要从事机械 CAE/CAM 等方面的研究。E-mail: sanctitude@vip.qq.com

通信联系人:陈希良,男,研究员,博士生导师。E-mail: chenxl@nimte.ac.cn

目前电动园林修枝工具的抗冲击性能检测主要依靠传统的跌落试验方式,由于跌落试验的时间历程很短,过程很难控制,使得研究人员很难完整地观察到试验全过程,也无法掌握产品内部受冲击后的变化特性^[2]。同时,跌落试验需要大量重复性试验来确保试验结果的准确性^[3]。文献[4]中利用 Hypermesh 和 ANSYS/LS-DYNA 联合仿真技术对修枝机跌落过程进行仿真分析,得到详尽而准确的数据结果,并以表格、云图、曲线图等形式更直观地显示出来^[5]。同时,也可以便捷地观察到修枝机跌落时的全部动态过程信息^[6]。

本研究在仿真试验的基础上,将对修枝机进行实际跌落试验研究及结构优化。

1 园林修枝机跌落仿真

1.1 ANSYS/LS-DYNA 仿真分析流程

和大多数的辅助分析软件相似,ANSYS/LS-DYNA 仿真分析的一般流程包括问题的规划、前处理、求解和后处理 4 个方面^[7],具体流程图如图 1 所示。

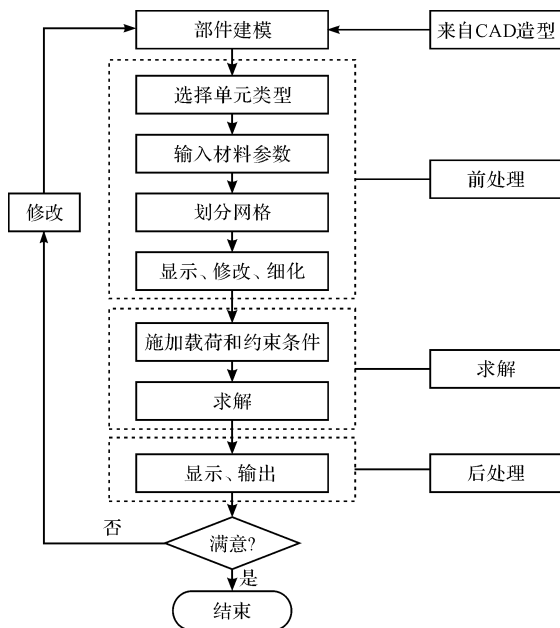


图 1 ANSYS/LS-DYNA 仿真分析流程图

1.2 修枝机的跌落仿真

1.2.1 修枝机几何模型的建立

本研究选用的园林修枝机主要由刀片系统、齿轮箱、旋转管、铝管、电机等组成,根据修枝机各个部件的形状及装配关系,运用 UG 建立了修枝机的三维模型,如图 2 所示。

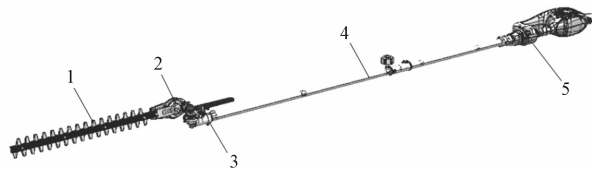


图 2 修枝机整机三维模型

1—刀片;2—齿轮箱;3—旋转管;4—铝管;5—电机

1.2.2 修枝机有限元模型的建立

修枝机的结构非常复杂,如果不进行模型的简化而直接把模型导入有限元软件分析,其计算量将十分巨大^[8]。所以为了能够高效地进行有限元分析,且又能较为真实地模拟园林修枝机跌落冲击的全过程,对园林修枝机进行适当的模型简化是十分重要的。关于笔者所研究的园林修枝机,修枝机的齿轮箱、刀片和电机等组件上的一些位置都设计了一些孔洞以用于满足工艺及定位等需求。而在修枝机有限元分析过程中,非结构性的小孔对分析过程及结果影响很小。因此将园林修枝机的三维模型导入到 Hypermesh 后,要对导入的修枝机模型进行上述的相应清理工作,然后再进行下一步的有限元分析^[9-10]。

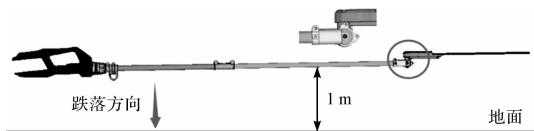
进行清理后的园林修枝机模型如图 3 所示。



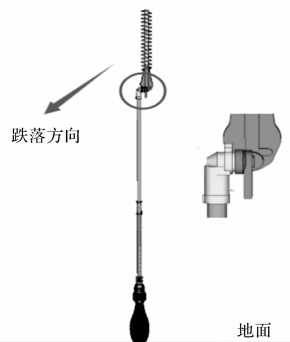
图 3 简化后修枝机有限元模型

1.2.3 跌落仿真工况设定

本研究基于园林修枝机生产公司提供的相关数据并结合修枝机使用的实际情况,设定修枝机在极限工况下跌落的有限元模型。跌落姿态如图 4 所示。



(a) 水平跌落



(b) 竖直侧向跌落

图 4 跌落姿态

1.2.4 修枝机综合模型建立

(1) 定义材料。修枝机中各部件使用的材料及具体参数如表 1 所示。

表 1 主要材料参数

| 部位 | 材料 | 密度/ kg · m ⁻³ | 弹性模 量/MPa | 泊松比 | 屈服应 力/MPa |
|------|-----------|-----------------------------|--------------|------|--------------|
| 旋转管 | ZL104 铝合金 | 2 700 | 70 | 0.3 | 380 |
| 电机外壳 | ABS 塑料 | 1 020 | 2 | 0.3 | 125 |
| 其余结构 | 结构钢 | 7 830 | 207 | 0.3 | 350 |
| / | 地面 | 2 750 | 27 | 0.19 | / |

(2) 网格划分。网格划分的目的是把模型的求解域分解成适当数量的单元以得到准确解。网格划分对于有限元分析过程有着极其重要的意义^[11]。采用自动划分法为水平跌落和竖直侧向跌落下的修枝机模型进行网格划分,最后划分得到 164 851 个节点,576 493 个单元。

(3) 约束及载荷设置。水平跌落时,本研究设定修枝机做自由落体运动跌落至地面,研究发现,修枝机由最高点自由跌落至地面的过程中,其应力应变没有发生任何变化,却浪费了较多的计算时间。在水平跌落工况,为减少仿真计算时间,设置修枝机模型相距地面较小距离 h_0 ,则由下式可求得修枝机跌落初速度 v :

$$v = \sqrt{2g(h - h_0)} \quad (1)$$

本研究在 Hypermesh 中设置修枝机模型距离地面的距离 h_0 为 25 mm,计算得出 $v = 4\,372.127$ mm/s。

同理在竖直侧向跌落工况中,则可由下式求得修枝机侧向旋转跌落的角速度 ω :

$$v = \omega \cdot r \quad (2)$$

计算得到 $\omega = 3.13$ rad/s。同时,在两个工况中均对地面施加全约束。

1.3 仿真结果及分析

本研究在 Hypermesh 中对修枝机水平跌落至地面的模型进行前处理,生成的 K 文件递交到 LS-DYNA 中进行仿真运算,然后利用后处理器 LS-PREPOST 对模型在 LS-DYNA 计算的结果进行可视化处理。

1.3.1 水平跌落仿真结果

观察仿真结果可知,园林修枝机在发生水平跌落时最大冲击应力出现在 0.01 s,此时修枝机的冲击应力分布情况(关键部位)如图 5 所示。

可以直观地发现在旋转管的转弯处发生应力集中现象。修枝机发生水平跌落时,在旋转管上的 129 146 号单元处冲击应力最大,修枝机在跌落过程中最大应力为 655.267 MPa。

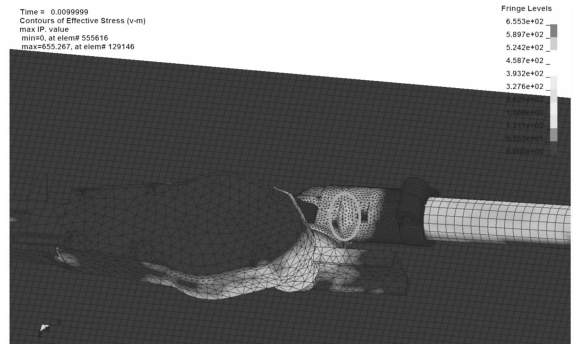


图 5 水平跌落应力分布

1.3.2 竖直侧向跌落仿真结果

同理,观察仿真结果可知,园林修枝机在发生竖直侧向跌落时最大冲击应力出现在 0.012 s,此时修枝机的冲击应力分布情况(关键部位)如图 6 所示。

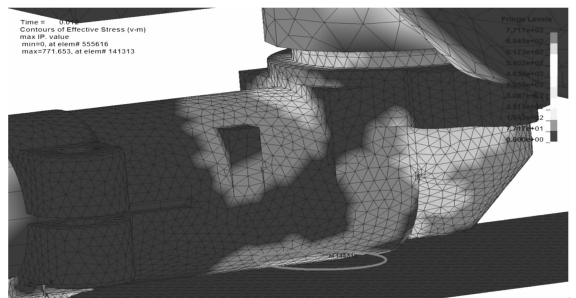


图 6 竖直跌落应力分布

可以直观地发现在旋转管与地面接触位置发生应力集中现象。修枝机发生竖直侧向跌落时,在旋转管上的 141 313 号单元处冲击应力最大,修枝机在跌落过程中最大应力值为 771.653 MPa。

1.3.3 仿真结果分析

综合上述仿真试验结果可知,修枝机在水平跌落和竖直侧向跌落两种工况下分别在弯折处和与地面接触处发生应力集中现象,两种工况下修枝机关键部件最大应力分别为 655.267 MPa 和 771.653 MPa,均远超过材料许用应力(安全系数 1.2,下同)。说明在两种工况下旋转管分别在弯折处和与地面接触处发生破坏。

2 修枝机现场跌落试验

本研究通过 Hypermesh 和 ANSYS/LS-DYNA 的联合仿真,得知修枝机在发生水平跌落和竖直侧向跌落时,旋转管部件会发生破坏。为了验证在实际使用中是否如此,本研究进行实物跌落现场试验。由于不需要提取修枝机跌落冲击的各项力学参数,只需观察跌落的最终结果,笔者采用简单的手持跌落试验。

结合实际使用情况,本研究分别将修枝机置于和

跌落仿真完全相同的极限工况下进行现场跌落试验。观察修枝机现场跌落试验的结果,发现修枝机在水平跌落工况下,旋转管部件在弯折处发生断裂,水平跌落试验结果如图7(a)所示。修枝机在竖直侧向跌落工况下,旋转管底部交界面处发生断裂,竖直侧向跌落试验结果如图7(b)所示。



(a) 水平跌落

(b) 竖直侧向跌落

图7 跌落试验结果

本研究将修枝机现场跌落试验的结果和修枝机跌落仿真的结果进行对比分析后发现,无论是仿真还是现场试验修枝机均是在旋转管部位发生了破坏,说明现场试验和跌落仿真的结果是一致的。因此,有必要对修枝机的旋转管部位进行结构改进,以提高修枝机的整体性能。

3 修枝机结构优化设计

3.1 旋转管结构改进

综合仿真实验和实际试验结果,得知园林修枝机在水平跌落和竖直跌落两种工况下分别在旋转管的弯折处和与地面接触处发生了破损,故本研究考虑增加旋转管弯折处的厚度,并使得弯折处的结构更平滑,去除旋转管工艺性的凸起结构,从而减小应力集中。本研究通过查阅相关资料并结合修枝机生产公司的技术要求,对该型号修枝机旋转管结构进行改进^[12]。

改进前的旋转管如图8所示。

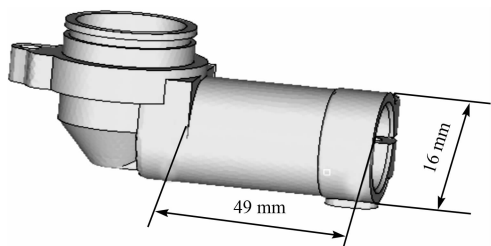


图8 改进前的旋转管

为避免旋转管应力集中现象的发生,并考虑旋转管加工工艺,笔者结合三维建模软件和 ANSYS 仿真软

件的反复设计与验证,将距离旋转管右端口 49 mm 处凸起的棱柱特征和右端口下部的凸台特征去掉。增大修枝机与铝管相连处圆柱的外径,并将此圆柱的高延长至 61 mm,使其与旋转管左部的圆柱相贯。笔者结合三维建模软件和有限元仿真软件的反复设计和验证,研究发现将修枝机与铝管相连处圆柱的外径由 16 mm 增至 20 mm 时,在修枝机跌落后旋转管所受的冲击应力小于其屈服应力,满足设计要求。再增加外径尺寸时,发现旋转管部件的冲击应力无明显变化,这说明旋转管(与铝管相连处)外径的最佳尺寸为 20 mm。

改进后的旋转管如图9所示。

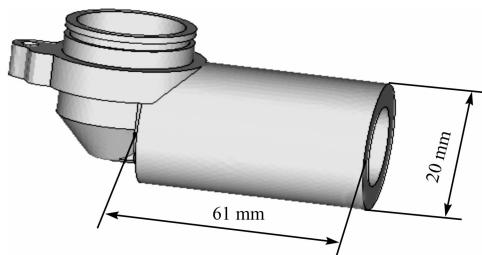


图9 改进后的旋转管

3.2 结构改进后的跌落仿真分析

本研究对改进后的修枝机模型进行前处理,修枝机各部件材料设置、网格划分、控制卡片设置、约束及载荷设置等都和修枝机跌落仿真的设置相同。采用自动划分法为改进后修枝机模型进行网格划分,最后划分得到 134 992 个节点,406 386 个单元。

3.2.1 水平跌落仿真分析

观察仿真结果可知,改进后的园林修枝机在发生水平跌落时,其主要部件(齿轮箱和旋转管)的应力分布情况如图10所示。

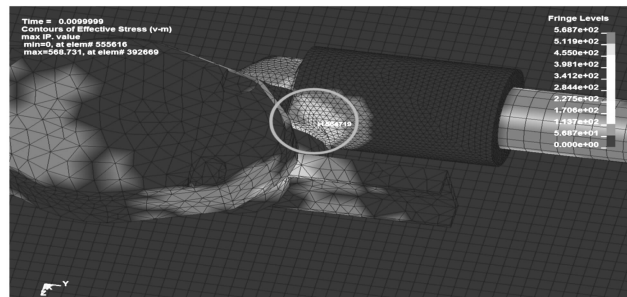


图10 改进后修枝机水平跌落应力分布

可以直观地发现在旋转管的弯折处应力较大。修枝机发生水平跌落时,主要部件上的 564 719 号单元处冲击应力最大,修枝机在跌落过程中最大应力值为 220.89 MPa,小于材料许用应力,说明改进后的修枝机在发生水平跌落时,其主要部件没有发生破坏。

3.2.2 竖直侧向跌落仿真结果分析

观察仿真结果可知,改进后的园林修枝机在发生竖直侧向跌落时,其主要部件(齿轮箱和旋转管)的应力分布情况如图 11 所示。

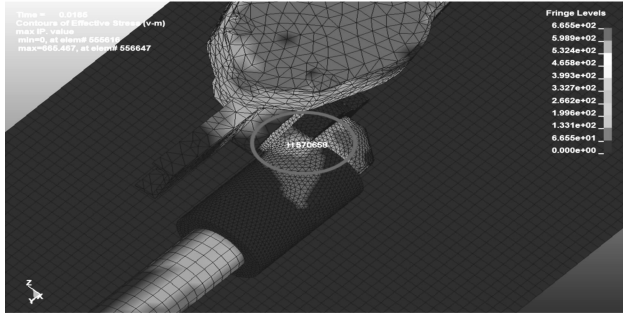


图 11 改进后修枝机竖直跌落应力分布

可以直观地发现同样在旋转管的弯折处应力较大,而旋转管与地面接触位置应力很小。修枝机发生竖直侧向跌落时,主要部件上的 570 658 号单元处冲击应力最大,修枝机在跌落过程中最大应力值为 302.97 MPa,小于材料许用应力,说明改进后的修枝机在发生竖直侧向跌落时,其主要部件也没有发生破坏。

分析改进后的修枝机跌落仿真结果,可知改进后的修枝机结构符合设计需求。

4 结束语

本研究运用有限元跌落仿真和现场跌落试验的方法确定修枝关键部件破损位置,再针对破损位置进行结构优化设计。

本研究中,首先在 UG 软件中建立修枝机的几何模型,导入 Hypermesh 中进行相应的简化处理,并结合修枝机实际使用情况建立修枝机跌落的综合模型,然后在 LS-DYNA 中对修枝机在水平和竖直两种极限工况下的跌落进行仿真分析。修枝机关键部件最大冲击应力发生在旋转管处,最大应力分别为 655.267 MPa 和 771.653 MPa,均远超过材料许用应力。说明在两种工况下旋转管部件发生了破坏。通过修枝机的现场

跌落试验,验证了有限元仿真结果的正确性。

本研究针对旋转管部件的破损位置,对旋转管部件的结构进行优化设计,并通过有限元仿真进行验证。改进后的修枝机在两种极限工况下关键部件最大冲击应力分别为 220.89 MPa 和 302.97 MPa,均小于材料许用应力。说明优化设计后的修枝机结构在两种极限工况跌落仿真中,关键部件处均没有发生破坏现象,达到设计要求。

参考文献 (References):

- [1] 杨宏玲. 中国大陆外向型加工制造基地区位选择初探[D]. 上海:华东师范大学资源与环境科学学院,2011.
- [2] 郝智伟,钱静. 洗衣机关键部件的跌落仿真分析[J]. 包装工程,2009(7):27-29.
- [3] 汤静,张宇. 仪器仪表运输、运输贮存环境试验中碰撞和跌落试验[J]. 自动化与仪器仪表,2011(2):110-111.
- [4] 孙亮,陈希良,齐明思. 基于 LS-DYNA 的修枝机跌落仿真分析[J]. 包装工程,2017(3):33-37.
- [5] 罗尧治,吴启敏. 空间结构施工过程虚拟仿真分析[C]. 全国现代结构工程学术研讨会,保定:中国钢结构协会,2006.
- [6] 车宪香. 包装件跌落模拟计算与缓冲结构优化[D]. 济南:山东大学材料科学与工程学院,2013.
- [7] 华丽. 洗衣机运输包装的跌落仿真及可靠性探讨[D]. 无锡:江南大学机械工程学院,2008.
- [8] 彭昌坤. 汽车车身结构正面碰撞仿真分析[D]. 北京:中国农业大学工学院,2007.
- [9] 边弘晔,李鹤,闻邦椿. HyperMesh 有限元前处理关键技术研究[J]. 机床与液压,2008,36(4):160-161.
- [10] 刘荣军,吴新跃,郑建华. 有限元建模中的几何清理问题[J]. 机械设计与制造,2005(9):145-147.
- [11] 葛彦竹. 基于 Hypermesh 的某中型货车车架仿真分析与改进设计[D]. 长春:吉林大学汽车工程学院,2010.
- [12] 孙亮,陈希良,齐明思. 基于 Workbench 的二通阀疲劳分析及结构优化设计[J]. 包装工程,2016(19):132-136.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

孙亮,陈希良,程蓓,等. 园林修枝机跌落仿真研究及结构优化设计[J]. 机电工程,2017,34(12):1402-1406.

SUN Liang, CHEN Xi-liang, CHENG Bei, et al. Drop simulation and structural optimization design of garden pruning machine[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(12):1402-1406.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>