

基于 ANSYS-DYNA 的松木座椅冲击仿真分析

王 巍,程玉龙*,王 博,李建文

(东北林业大学 工程技术学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要:通过有限元软件 LS-DYNA 分析了松木椅在冲击载荷下的动态响应,模拟了整个冲击过程,分析了冲击高度和衬垫对松木椅动态响应的影响。结果表明,1)冲击高度越高,实木椅受到的最大应力越大,产生的最大形变量越大,应力集中出现在座面的受冲击区域及附近的椅后腿上。2)有衬垫时座椅受到的最大应力值与最大形变量值比无衬垫时显著减小,衬垫能有效地减小实木椅及其组件受到的冲击破坏。3)通过模拟分析,针对应力集中区域,可以采取不同的预防措施来降低实木椅的破损率。4)所得结论可为计算机仿真技术在家具结构强度分析中的应用提供有益的参考,从而达到以最佳品质、最低成本和最佳安全为目标的精益生产目的。

关键词:有限元;松木椅;冲击仿真;动态响应;ANSYS/LS-DYNA

中图分类号:S781.21 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)01-0257-05

Impact Simulation Analysis of Solid Wood Chair Based on ANSYS-DYNA

WANG Wei,CHENG Yu-long*,WANG Bo,LI Jian-wen

(College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

Abstract: Impact dynamic properties of pinewood chair under impact load were investigated by using FEA software LS-DYNA. The process of drop impact was simulated. Effects of drop height and cushioning buffer to the dynamic response of the wooden chair were dealt with. The results indicated that 1) the higher the impact height was, the greater the maximum stress and the maximum deformation of wooden chair were, and the stress concentrated on the affected area and the back legs of the chair near the seat. 2) The wooden chair with the cushion showed lower maximum stress and deformation than the chair without the cushion, and the cushion could effectively reduce the impact damage of the solid wood chair and its components. 3) Aiming at the stress concentrated area, different prevention measures could be adopted to reduce the breakage rate of solid wood chairs. 4) The conclusions could be used as references for product design and packaging design. On this basis, the ultimate goal of lean production which strive to provide the best quality, the lowest cost and best security for production would be achieved.

Key words: finite element analysis (FEA); solid wood chair; drop simulation; dynamic response; ANSYS/LS-DYNA

当今,实木家具因其健康、绿色、环保等特色而受到大众的喜爱,但随着国家对林木的限采限伐,用于生产实木家具的木材越来越少,所以如何科学高效地利用木材成为林业研究者关注的焦点。我国东北地区松木资源丰富,同时松木具有抗弯强度高、不

易变形等优点,是制作实木家具的良好材料,因此用松木来制造家具能有效缓解国内对实木家具用材极度需求的问题。

当一个人坐进椅子,或者由坐着站起来的时候,就会产生动态座面载荷。研究表明,当人无意识地

收稿日期:2017-03-25 修回日期:2017-07-20
基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(2572015CB06);黑龙江省出国留学基金(LC201407)。
作者简介:王 巍,女,博士,副教授,研究方向:工业工程。E-mail:cedar3@163.com
* 通信作者:程玉龙,男,硕士研究生,研究方向:工业工程。E-mail:1271817913@qq.com

坐下时,能对座椅产生近 2 倍于体重的载荷^[1],因此绝大部分家具产品的损坏都源于这种无意识的冲击碰撞。同时也可能因为椅子的座面强度不够,而发生冲击破坏从而使人们受到不必要的伤害,因此很有必要研究座面在冲击载荷下的结构强度。目前已有相关研究者^[2-3]将 ANSYS 软件应用于家具结构的分析中,吕艳红^[4]等运用 ANSYS 软件对果木座椅的座面和靠背进行了强度分析,得出座椅的强度满足使用要求。宋明强^[5]等运用有限元法对橱柜隔板的应力分布及结构变形情况进行了分析,得到了隔板最容易发生破坏的危险区域。马岩^[6]等运用 ANSYS 方法对暗直榉木窗机床的主轴分别进行了刚度分析和模态分析,验证了主轴设计的合理性。也有学者运用 ANSYS/LS-DYNA 对各类电子、机械产品进行跌落模拟分析^[7-9],分析产品在跌落过程中的应力应变情况,从而找出产品设计中存在的问题,提高产品的抗冲击性能,但此方法用于松木家具受冲击载荷的仿真较少看到。

本研究采用 LS-DYNA 对松木椅进行瞬态分析,研究其不同冲击高度、有无衬垫的冲击器作用下的动态响应。通过分析其应力应变云图,得到产生应力集中的危险区域,针对该区域,可以预先采取保护措施以避免实木椅的损坏^[10]。该方法避免了传统冲击试验的破坏性,同时有助于家具设计人员设计出高抗冲击性的实木座椅,降低生产成本,增强实木椅的安全性与耐久性^[9]。

1 材料与方法

1.1 产品与材料

该实木椅材质为兴安落叶松(*Larix gmelinii*),平均含水率为 14.2%,平均密度为 0.774 g·cm⁻³。结合市场上实木座椅的常用尺寸,座椅尺寸取为:座面高 420 mm、宽 420 mm、深 400 mm,椅腿的截面尺寸为 35 mm×35 mm,总高 860 mm。根据《GB/T 10357.3—2013 椅凳类强度和耐久性》中有关座面冲击试验的规范,圆柱体、弹簧组件与球状表面的冲击头共同构成了座面冲击器。为便于研究,将冲击器加以简化(图 1、图 2)。其中圆柱体直径为 200 mm;冲击头为半径 100 mm 的刚性圆形物体,其加载表面为球面,球面的曲率半径为 300 mm,其周边倒圆半径为 12 mm,整个座面冲击器的质量为 25 kg^[11]。衬垫为泡沫塑料,厚度为 25 mm,密度为 0.03 g·cm⁻³,各部件的材料参数见表 1。

1.2 研究方法

有限元模型选择 SOLID164 实体单元,并把材质相对较硬的冲击器视为刚体,然后把座面冲击器

置于指定高度,使其在重力作用下以 1 m·s⁻¹ 的初速度下落,冲击座面与椅背交点向前 175 mm 的部位。在模拟中忽略了冲击器在下落过程中的摩擦阻力,以便减少建模工作量与计算用时^[14]。鉴于对精度和运算时间的考虑,本研究采用自由网格划分。模型各部分之间接触界面均采用面-面自动接触(ASTS)。模型 1(无衬垫)(图 1)共有 72 624 个单元、21 777 个节点。模型 2(有衬垫)(图 2)共有 74 976 个单元、25 141 个节点。

表 1 材料参数^[12-13]
Table 1 Parameters of material model

材料	密度 /(g·cm ⁻³)	弹性模量 /MPa	泊松比
实木椅(落叶松)	0.774	16 425	0.027
冲击器	7.80	200 000	0.30
衬垫	0.03	0.8	0.45

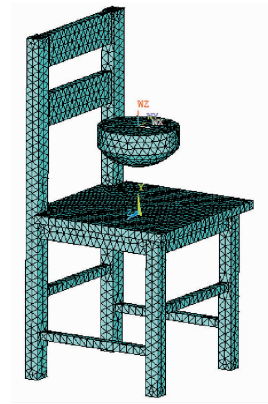


图 1 模型 1(无衬垫)

Fig. 1 Model 1 without a cushion

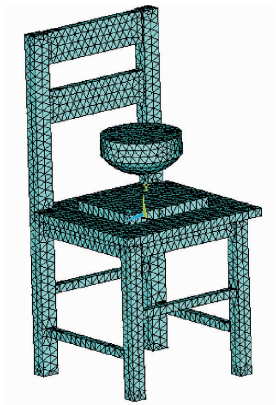


图 2 模型 2(有衬垫)

Fig. 2 Model 2 with a cushion

2 结果与分析

2.1 冲击高度对座椅动态响应的影响

通过 LS-PREPOST 可以动态显示冲击器从下落到接触再到反弹的冲击过程,还可以结合动画控制区的按钮动态显示松木椅在冲击过程中不同时刻

的应力变化过程。图 3 是松木椅在冲击作用下不同时刻的应力云图($h=0.14\text{ m}$),可以清晰地显示各个部位的应力大小,其中不同的颜色代表不同的应

力值。由图 3 可知,应力大多集中在座面的受冲击区域以及望板与后腿的连接处。 $t=0.107\text{ 2 s}$ 时存在最大应力,值为 82.506 7 MPa 。

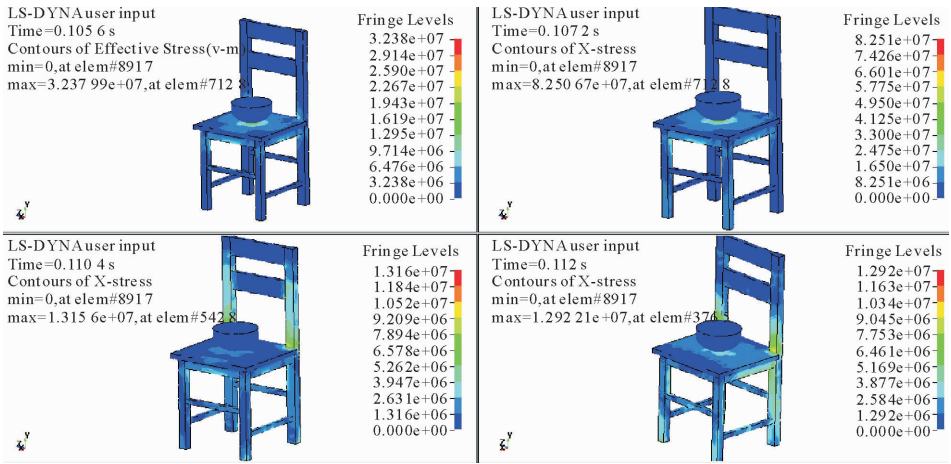


图 3 不同时刻的 Von Mises 应力分布

Fig. 3 Von Mises stress distributions at different time

通过 LS-DYNA 动画控制区的按钮还可以动态显示实木椅在冲击过程中的变形情况。图 4 所示是实木椅在 0.105 6 、 0.107 2 、 0.112 和 0.16 时刻的变形图($h=140\text{ mm}$)。通过观察发现,座面在 $t=$

0.107 2 s 时发生最大形变,最大变形量为 3.444 45 mm 。最大变形位置出现在座面的受撞击区域,后腿与望板连接处产生局部最大变形。

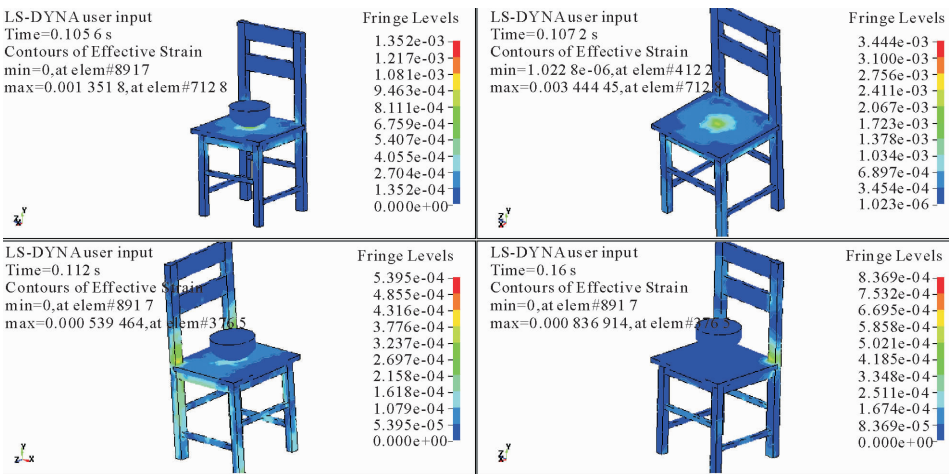


图 4 各个时刻的变形图

Fig. 4 Deformation diagram at any time

同样可以得到冲击高度分别为 180 、 240 、 300 mm 时实木椅受到的最大应力与变形,具体结果见表 2。结果表明,随着冲击高度的增加,实木椅受到的最大应力与最大形变量也越来越大。应力集中区域均分布在后腿与座面的结合处以及座面的受冲击处,具体情况如图 5。

由应力应变图还可以看出,由于在座面的中心处以及望板与椅腿连接处等位置产生应力集中,该区域在使用过程中会最先发生破坏。所以在对实木椅进行结构设计时,处于应力集中区域的座面、后腿、望板以及横枨等部件的尺寸大小及其相互之间

表 2 不同高度的冲击仿真结果		
Table 2 Simulation results of impact at different heights		
冲击高度 /mm	最大应力 /MPa	最大形变量值 /mm
140	82.506 7	3.444 45
180	85.079 7	3.551 90
240	89.716 4	3.984 09
300	100.466	4.363 88

的连接方式需要特别注意,如根据不同的连接部位设计不同的榫卯结构,增加望板厚度等方式来提高实木椅结构的力学性能。另外,在应力集中的危险区域,可以预先采取保护措施,如在后腿与望板的连

接处注胶加楔并用木螺丝固定等方法来增强此区域的安全性及牢固性;在实木椅使用过程中应尽量避免误用情况的发生,如尽量不要把脚放在横枋上,也不要站在横枋上从高处拿取物品,以防实木椅部件的突然失效破坏而使人们受到意外的伤害。

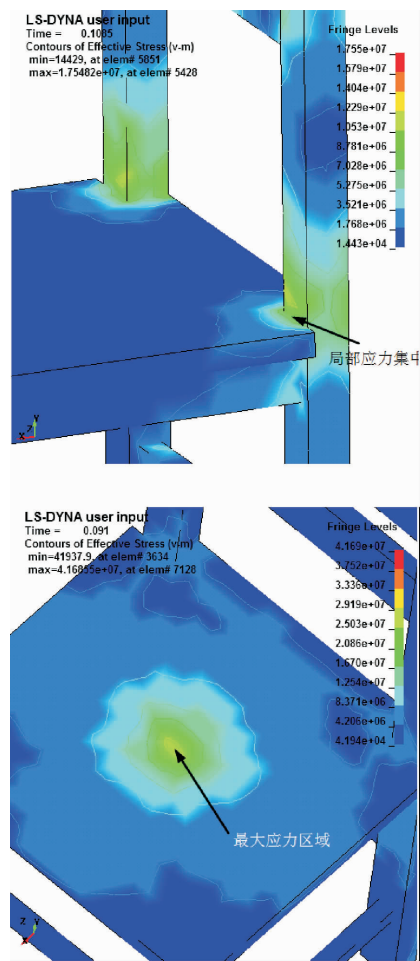


图 5 应力集中位置及其放大

Fig. 5 The stress concentration zone and its local enlarged drawing

2.2 衬垫对实木椅动态响应的影响

在冲击高度同为 140 mm 的条件下,比较座面有无衬垫时松木椅的应力应变情况。衬垫的长、宽、高分别为 250 mm×200 mm×25 mm。以无衬垫时座椅的应力应变情况作参考,有衬垫时座椅的应力应变云图见图 6。图 6a 是 $t=0.091$ s 时带有衬垫的座椅受到的最大 Von Mises 应力云图,图 6b 是 $t=0.091$ s 时带有衬垫的座椅受到的最大变形图。

比较有无衬垫时的效果图可以发现:有衬垫时,座椅的最大应力是 41.685 5 MPa,最大形变量值为 1.740 28 mm;无衬垫时的最大应力是 82.506 7 MPa,最大形变量值为 3.444 5 mm。最大等效应力与形变量值都有不同程度的下降,应力从 82.506 7 MPa 减小到 41.685 5 MPa,最大形变量则从

3.444 5 mm 减小到 1.740 28 mm。可见衬垫能显著减小冲击时冲击器上的惯性力和应力,减轻对实木椅的破坏作用。此外,衬垫还具有缓冲冲击的作用,在缓冲过程中能吸收冲击器大部分的冲击能,进而有效地分散座面所受到的冲击力,减轻对实木椅及其组件的破坏。

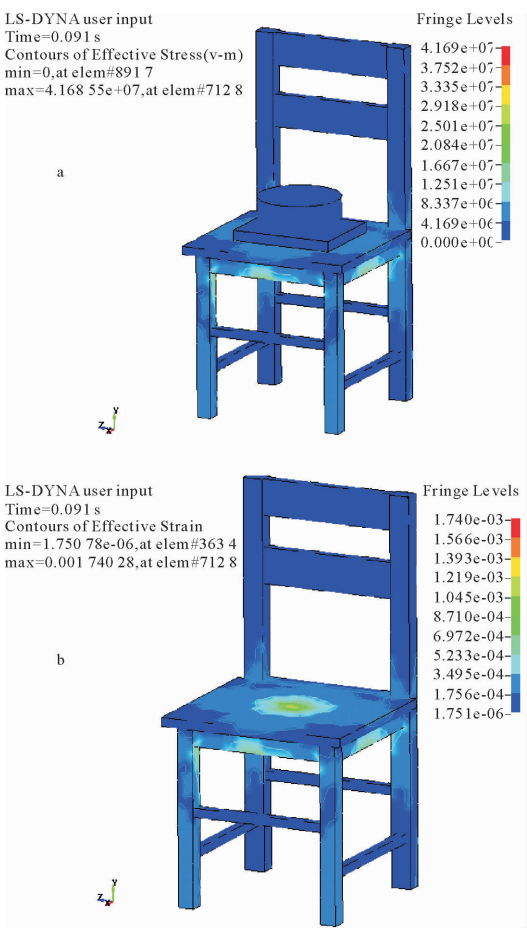


图 6 带有衬垫的座椅受到的最大应力与最大变形图

Fig. 6 Maximum stress and deformation of chair with cushion

3 结论与讨论

本研究对松木椅在冲击过程中的动态响应进行了分析,讨论了冲击高度和衬垫对实木椅受到的最大应力与最大变形的影响。

LS-DYNA 模拟仿真具有传统试验无法比拟的优势。利用 ANSYS LS-DYNA 有限元法来模拟实木椅在偶然遇到的冲击载荷条件下所产生的冲击力,可以降低生产成本,避免传统冲击试验所造成的破坏与损失。通过分析还可以预先采取更多有效的保护措施以提高实木椅的抗冲击性,减少实木椅在日常使用时因意外冲击所造成的破坏,从而为实木家具的冲击模拟仿真试验提供有益的参考。

在座面冲击处及后腿与座面结合处会产生应力集中,需加强对此区域的保护。根据有限元仿真结

果,随着冲击高度的增加,实木椅所受到的最大应力与最大变形量也相应增加,椅子也越容易损坏,并且在座面冲击处及后腿与座面结合处产生应力集中,形成了一个危险区域。这很容易使此区域中的实木椅部件发生结构松动、开裂、失效、变形等问题,进而影响座椅的正常使用。所以,在实际使用时,需要加强对此区域的保护。

衬垫有助于降低对座椅的冲击破坏。在座面上增加衬垫,不仅可以增强人体的舒适度,还可以有效地减小实木椅在冲击载荷作用下所受到的冲击破坏,并及时地吸收大部分冲击能,使实木椅所受的冲击破坏得到有效的减缓。

需要指出的是,本研究中的模型都进行了简化处理,因此上述结果仍具有一定的局限性。另外,还可进一步讨论利用 ANSYS 优化工具对实木椅的连接位置进行优化设计,如对处于应力集中区域的后腿与面板、横枋结合处的榫头加以尺寸优化,这样不但可以在相同条件下提高实木椅的承载力,还有利于提高其稳定性与安全性^[15]。其次,本研究只考虑某一特定含水率下松木椅的应力应变情况,那么在此基础上,可以探究不同含水率、不同材质条件下实木椅的动态响应。本研究只考虑冲击高度、衬垫对松木椅的冲击作用,事实上,冲击初速度、实木椅各部件的连接方式乃至不同类型的网格划分方式都会对实木椅的冲击作用产生影响。本研究可以作为进一步探索有限元软件并结合田口试验法的家具结构稳健优化设计研究的基础^[16-17]。

参考文献:

[1] 美卡尔·艾克曼. 家具结构设计[M]. 北京:中国林业出版社, 2008.

[2] DAI L. Design and structural analysis of sofa frames[D]. Mississippi:Mississippi state University, 2007.

[3] ECKELMAN C A, LIN F C, ZHANG J. A technique for structural modeling of front rails for sofas[J]. European Journal of Wood and Wood Products. 2002, 60(1): 60-65.

[4] 吕艳红, 张远群. 有限元软件 ANSYS 在果木家具强度分析中的应用[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(6): 181-184.

LYU Y H, ZHANG Y Q. Application of finite element software ANSYS on strength analysis of fruitwood furniture[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(6): 181-184. (in Chinese)

[5] 宋明强, 沈隽. 有限元法与 ANSYS 在家具结构分析中的应用

[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 174-177.

SONG M Q, SHEN J. Application of finite element method and ANSYS in the analysis of furniture structure[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(1): 174-177. (in Chinese)

[6] 马岩, 岳彩裙, 郝思明. 暗直榫欧式木窗专用数控机床主轴的有限元分析[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(1): 185-187.

MA Y, YUE C Q, HAO S M. Finite element analysis of the spindle of special machine tools of dark straight european wooden tenon[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(1): 185-187. (in Chinese)

[7] 陆维生, 冯志华, 邹甲军. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的 PCB 板跌落仿真[J]. 苏州大学学报, 2006, 26(1): 42-46.

LU W S, FENG Z H, ZOU J J. Drop-impact simulation of PCB based on ANSYS/LS-DYNA[J]. Journal of Soochow University, 2006, 26(1): 42-46. (in Chinese)

[8] 张璐. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的瓦楞纸箱跌落仿真研究[D]. 西安:陕西科技大学, 2014.

[9] 董海东, 葛正浩. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的产品跌落仿真[J]. 洛阳理工学院学报:自然科学版, 2010, 20(3): 35-39.

DONG H D, GE Z H. Drop-impact simulation of product based on ANSYS/LS-DYNA[J]. Journal of Luoyang Institute of Science & Technology. 2010, 20(3): 35-39. (in Chinese)

[10] 宋日恒, 张治国. 基于 ANSYS 的笔记本电脑包装件跌落仿真研究[J]. 浙江科技学院学报, 2009, 21(4): 332-335.

SONG R H, ZHANG Z G. Simulation on laptop package dropping by using ANSYS software[J]. Journal of Zhejiang University of Science & Technology, 2009, 21(4): 332-335. (in Chinese)

[11] 舒巍. 有限元法在实木椅子结点设计中的应用研究[D]. 株洲:中南林业科技大学, 2013.

[12] 家具力学性能试验椅凳类强度和耐久性:GB/T10357. 3-2013[S]. 北京, 2013.

[13] 刘艳. 落叶松指接材力学性质的研究 [D]. 北京:北京林业大学, 2005.

[14] 唐长刚. LS-DYNA 有限元分析及仿真[M]. 北京:电子工业出版社, 2014.

[15] 何风梅. 板式家具强度设计[M]. 北京:化学工业出版社, 2009.

[16] 柯清, 杨舒英, 杨诺. 基于稳健设计思想的家具结构优化设计[J]. 林产工业, 2016, 43(2): 30-33.

KE Q, YANG S Y, YANG N. Optimization design of furniture structure based on robust design[J]. China Forest Products Industry, 2016, 43(2): 30-33. (in Chinese)

[17] 柯清, 陈绍禹, 杨诺. 松木 L 型构件整体式单榫稳健优化设计研究[J]. 林产工业, 2016, 43(3): 19-23.

KE Q, CHEN S Y, YANG N. Study on robust design of l-shaped corner motise and tenon joint in pine[J]. China Forest Products Industry, 2016, 43(3): 19-23. (in Chinese).