

快装箱箱板的蠕变非线性分析

曾珊琪, 张智杰, 向颖

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: 利用 ANSYS 建立了快装箱箱板的蠕变模型, 对快装箱箱板在受力情况下的蠕变非线性分析过程进行模拟, 得到了蠕变应变-时间曲线, 从而验证了快装箱箱板材料的蠕变特性, 为快装箱的强度设计和计算最长堆码时间提供了可靠的依据。

关键词: 快装箱; 非线性分析; 蠕变; ANSYS

中图分类号: TB484.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)11-0063-03

Non-linear Creep Analysis of Plywood Box's Board

ZENG Shan-qi, ZHANG Zhi-jie, XIANG Ying

(Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: Creep model of plywood box's board was established using ANSYS. Simulation and non-linear analysis of the board under different loading condition was carried out and creep strain-time curve was gained. The creep properties of the board were verified. The purpose was to provide liable basis for strength design of plywood box and calculation of the maximum stacking time.

Key words: plywood box; non-linear analysis; creep; ANSYS

由于近年木材供需间的矛盾越来越激烈, 以致于实木应用技术在包装工业中的进一步发展受到了极大的限制^[1]。一直以来, 各类新型木材包装箱不断出现, 快装箱就是其中最具代表性的。目前, 快装箱使用的主要材料是经干燥、热压等深加工工艺生产的包装胶合板, 因它在资源、结构和检验检疫方面的优势, 发展非常迅速, 在国内外包装运输界具有广阔的应用前景^[2-3]。

快装箱是将带齿的钢带及联结舌扣与胶合板压合组成箱子底、盖、端、侧等部件, 部件间通过联结舌扣与钢边上的长形孔进行咬合, 进而组装成的^[4-5]。其箱板材料为人工复合而成的优质胶合板, 不受木材纹理的影响, 独特的双面木夹板有效提高了水平张力, 其形成过程中, 胶木混合物经过充分搅拌、混合、挤压, 因此承载能力较高。

1 非线性分析概论

刚度较小的结构在载荷作用下会产生比较大的

变形, 并且随位移的增加, 结构中单元坐标发生改变, 结构刚度发生变化, 变化的结构刚性是非线性结构的表象特征。引起结构非线性的原因一般分为 3 类: 状态变化、几何非线性、材料的非线性。

ANSYS 程序的方程求解器是通过计算一系列联立线性方程, 预测工程系统的响应, 非线性求解被分成 3 个操作级别: (1)“顶层”级别, 它由在一定“时间”范围内明确定义的载荷步组成, 要假定载荷在载荷步内是线性变化的; (2)在每一个载荷子步内, 为了逐步加载, 可以控制程序来执行多次求解(子步或时间步); (3)在每一个子步内, 程序将进行一系列的平衡迭代, 以获得收敛的解。

虽然非线性分析相对于线性分析要更为复杂, 但处理方法本质上相同。在非线性分析过程中, 需要进行非线性特性的添加。非线性分析是静力学分析的一种特殊形式, 和静力学分析过程基本相同, 由 3 个主要处理流程组成, 即建模、加载且得到解及考察结果^[6]。

收稿日期: 2011-12-19

作者简介: 曾珊琪(1953—), 女, 浙江嘉兴人, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为机械设计、材料加工等。

2 蠕变理论介绍及算法

蠕变是跟速度相关的材料非线性,它是指材料在受到持续载荷作用时,不可恢复的应变随时间变化持续增加的现象。结构承受常位移,应力随时间而减小的应力松弛也属于蠕变行为,见图 1。

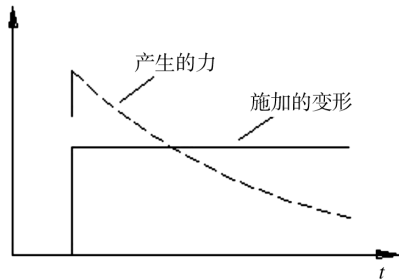


图 1 应力松弛曲线
Fig. 1 Stress relaxation graph

快装箱在流通过程中贮存时间比较长,材料发生蠕变是不可避免的,其结果会使材料的结构尺寸变小,从而使快装箱结构产生变形,导致内装物的破损率上升。典型的单轴蠕变曲线见图 2,在初始蠕变阶

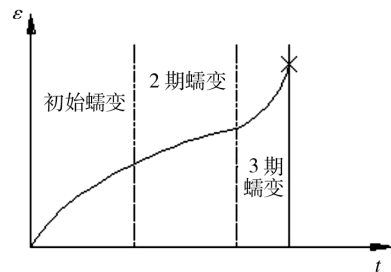


图 2 蠕变过程曲线
Fig. 2 Creep process graph

段,应变率随时间增加而减小;在 2 期蠕变阶段,应变率基本保持为一常数;在 3 期蠕变阶段,应变率迅速增加直至材料破坏。ANSYS 程序可以模拟蠕变的前 2 个阶段,蠕变系数可以是应力、应变、温度、时间或其它变量的函数。

ANSYS 中的蠕变分析有显式和隐式积分 2 种方法,都可用于静态和瞬态分析。通常使用隐式蠕变进行分析,因为隐式蠕变分析方法比显式蠕变分析方法要更为强大、更快、更精确。它可以模拟蠕变与等向强化塑性模型以及处理温度相关蠕变常数^[7]。

隐式蠕变分析的基本步骤包括应用 TB 命令

(Lab = CREEP)及通过 TBOPT 值选择蠕变方程。TBOPT 的输入值对应于特定的蠕变方程,ANSYS 程序所提供的隐式蠕变方程见表 1。

表 1 隐式蠕变方程
Tab. 1 Implicit equations of creep

TBOPT	名称	蠕变方程	类型
1	应变强化	$\dot{\epsilon}=C_1\sigma^{C_2}\epsilon^{C_3}e^{-C_4/T}$	主蠕变
2	时间强化	$\dot{\epsilon}=C_1\sigma^{C_2}t^{C_3}e^{-C_4/T}$	主蠕变
3	普通指数	$\dot{\epsilon}=C_1\sigma^{C_2}re^{-n}, r=C_5\sigma^{C_1}re^{-C_4/T}$	主蠕变
4	普通 Graham	$\dot{\epsilon}=C_1\sigma^{C_2}(t^{C_3}+C_4t^{C_5}+C_6t^{C_7})e^{-C_8/T}$	主蠕变
5	普通 Blackburn	$\dot{\epsilon}=f(1-e^{-n})+gt, f=C_1e^{C_2\sigma}, r=C_3(\sigma/C_4)^{C_5}, g=C_6e^{C_7\sigma}$	主蠕变
6	修正时间强化	$\dot{\epsilon}=C_1\sigma^{C_2}t^{C_3+1}e^{-C_4/T}/(C_3+1)$	主蠕变
7	修正应变强化	$\dot{\epsilon}=\{C_1\sigma^{C_2}[(C_3+1)\epsilon]^{C_3}\}^{1/(C_3+1)}$	主蠕变
8	普通 Garofalo	$\dot{\epsilon}=C_1[\sinh(C_2\sigma)]^{C_3}e^{-C_4/T}$	2 期蠕变
9	指数	$\dot{\epsilon}=C_1e^{\sigma/C_2}e^{-C_3/T}$	2 期蠕变
10	Norton	$\dot{\epsilon}=C_1\sigma^{C_2}e^{C_3/T}$	2 期蠕变
11	时间强化	$\dot{\epsilon}=C_1\sigma^{C_2}t^{C_3+1}e^{-C_4/T}/(C_3+1)+C_5\sigma^{C_6}te^{-C_7}$	主+ 2 期蠕变
12	有理多项式	$\dot{\epsilon}=C_1\frac{\partial \epsilon_c}{\partial t}, \epsilon_c=\frac{cpt}{1+pt}+\dot{\epsilon}_m, \dot{\epsilon}_m=C_210^{C_3C}, C=C_7\dot{\epsilon}_m^{C_8}\sigma^{C_9}, p=C_{10}\dot{\epsilon}_m^{C_{11}}\sigma^{C_{12}}$	主+ 2 期蠕变

3 有限元模型的建立

蠕变机理是结构组成分子在外力长时间作用下发生的构形和位移变化,研究材料的蠕变性质,对安全、经济地设计尺寸结构具有重要意义。一般来说,胶合板材料的蠕变特性主要受环境温湿度、材料含水率、受力方式等因素的影响。快装箱箱板的材料有蠕变效应,其蠕变应变率为 $d\epsilon/dt=k\sigma^n$ 。

设定箱板的长为 0.78 cm,宽为 0.58 cm,弹性模量 $E=8.0\times10^7$ kPa,泊松比 $\mu=0.1$ 。有限元简图见图 3,网格划分见图 4。

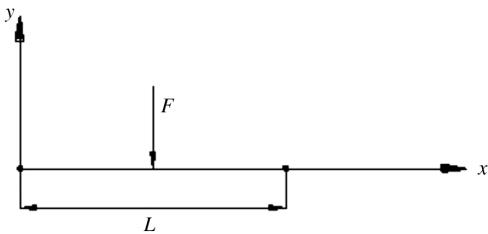


图 3 蠕变有限元简图
Fig. 3 Finite element graph of creep

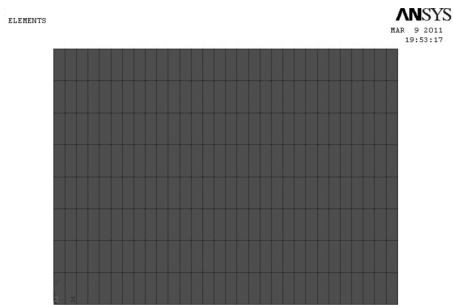


图 4 网格划分
Fig. 4 Meshing graph

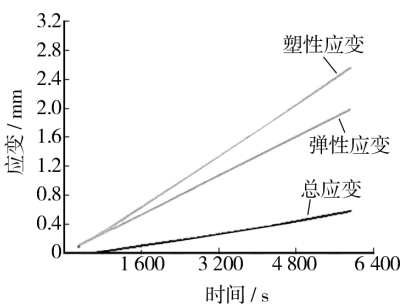


图 7 快装箱箱板的蠕变应变-时间曲线
Fig. 7 Strain-time curves of creep of plywood box's board

4 施加载荷及求解分析

结构变形前后的形状见图 5, 观察其变形^[8], 得到蠕变过程中的应力分布图, 见图 6。

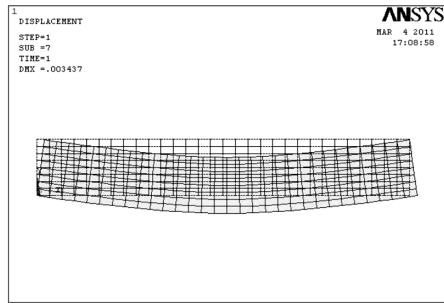


图 5 快装箱箱板的蠕变变形
Fig. 5 Creep deformation graph plywood box's board

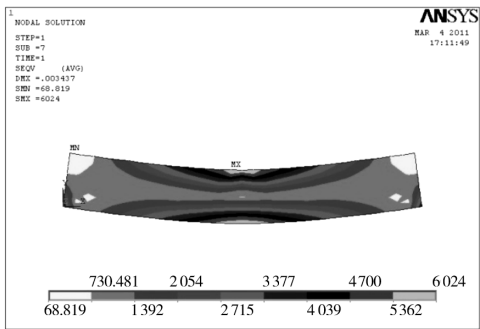


图 6 快装箱箱板的应力分布
Fig. 6 Stress distribution graph of plywood box's board

在胶合板蠕变过程中, 由应力分布图可以判断箱板的强度是否满足要求。可以看出, 在蠕变过程中, 胶合板的长边边缘中部受到的应力最大, 材料失效最容易在这里发生, 且横向弯曲初始蠕变量比纵向弯曲初始蠕变量大。

对变量进行定义分析, 在时间历程类型中全取单元结果分析, 得到材料的蠕变应变-时间曲线, 见图 7。

在蠕变应变-时间曲线图中可以看到, 随着时间的延长, 变形量都呈直线增加趋势, 弹性形变比塑性形变要快一些, 进一步可知, 对于胶合板这种材料而言, 受弹性变形影响比较大。在分析开始后, 材料开始发生形变, 最小形变为 0.01 mm, 在蠕变加载后期, 最大形变为 2.4 mm。

根据分析进行曲线拟合, 得到的关系式为: $y = 0.004\ 29t + 0.01$ 。

5 结论

在运输物流过程中, 包装件通常会在仓库中存放相当长时间, 在长期载荷作用下, 胶合板将发生蠕变现象, 抗压强度必然会下降。通过研究快装箱箱板材料的蠕变特性, 可以推算出快装箱的最长堆码时间, 对提高其安全系数及延长流通使用时间提供了有效参考。

参考文献:

[1] 张方文, 于文吉. 木质包装材料的发展现状和前景展望[J]. 包装工程, 2007, 28(2): 27-30.
ZHANG Fang-wen, YU Wen-ji. Current Status and Development of Wood-based Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(2): 27-30.
[2] 丁毅, 高雁. 木质包装箱结构优化设计[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 131-132.
DING Yi, GAO Yan. Optimum Structural Design of Wooden Packaging Box [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 131-132.
[3] 汪如红, 丁毅. 快装箱连接件舌扣受力分析与研究[J]. 包装工程, 2010, 31(5): 62-65.
WANG Ru-hong, DING Yi. Stress Analysis and Research on Quickly Assembling Box's Tongue[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5): 62-65.

(下转第 87 页)

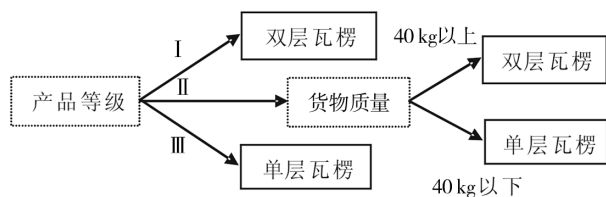


图 4 规则决策树
Fig. 4 Decision tree of rules

入 RFID 标签,不作为自动分拣的依据。

4 结论

该自动识别分拣系统中采用 C/C++ 编写相应 ID3 算法代码, ID3 算法建立的决策树判别具有很好的两元性,这种判定机制可以较好转换成数字逻辑系统,可进一步开发成功能芯片或功能卡嵌入到机器人硬件中,使其具有很好的工业应用价值。在实践过程中,所使用的数据样例可以根据企业需求预先定制,然后借助 ID3 算法构建识别规则,从而增加包装机器人对特定情况的识别处理功能。

参考文献:

[1] 王保升,汪木兰. 基于货单的多品种产品自动分拣系统[J]. 包装工程,2010,31(19):109-112.
WANG Bao-sheng, WANG Mu-lan. Automatic Sorting System for Multi-variety Product Based on Manifest[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19):109-112.

[2] 晏祖根,王立权,孙智慧,等. 面向食品生产的高速自动分拣系统的研究[J]. 包装工程,2009,30(7):16-18.
YAN Zu-gen, WANG Li-quan, SUN Zhi-hui, et al. Study

of High-speed Auto-sorting System for Food Production [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7):16-18.

[3] 刘琼,刘炜琪,张超勇. 基于 GA-PSO 的多目标混流装配线排序研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2011(10):1-5.
LIU Qiong, LIU Wei-qi, ZHANG Chao-yong. Hybrid GA-PSO Algorithm for Sequencing Multi Objective Mixed-model Assembly Lines[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2011(10):1-5.

[4] 黄国栋,陈杰. CONWIP 拉式机制在自动包装线中的应用设计[J]. 包装工程,2011,32(11):58-68.
HUANG Guo-dong, CHEN Jie. Design of CONWIP Pull Mechanism Implementation in Automatic Packaging Line[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11):58-68.

[5] QUINLAN J R. Induction of Decision Tree[J]. Mach Learn, 1986, 1(1):81-106.

[6] SHANNON C E. A Mathematical Theory of Communication[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27:379-423.

[7] OSEIBRYSON K. Post-Pruning In Decision Tree Induction Using Multiple Performance Measures[J]. Computers & Operations Research, 2007, 11(34):3331-3345.

[8] LOMAX S, VADERA S. An Empirical Comparison of Cost-Sensitive Decision Tree Induction Algorithms[J]. Expert Systems the Journal of Knowledge Engineering, 2011, 28(3):227-268.

[9] ATRAMENTOV A, LEIVA H, HONAVAR V. Learning Decision Trees from Multi-Relational Data[C]//Proceedings of the 13th International Conference on Inductive Logic Programming, 2003.

[10] SELVAMANI B, KHEMANI D. Decision Tree Induction with CBR[J]. Pattern Recognition and Machine Intelligence, 2005, 3776:786-791.

(上接第 65 页)

[4] KENT Wahlen. Sheet Material Export Packaging[Z]. NEFAB, 2003.

[5] DING Yi, XIANG Ying. The Transient Response Analysis for the Damped Free Vibration of Plywood Box[J]. Advanced Material Research, 2011, 338:513-517.

[6] 王新荣. 有限元基础及 ANSYS 应用[M]. 北京:科学出版社,2008.
WANG Xin-rong. The Finite Element-based and ANSYS Application[M]. Beijing:Science Press, 2008.

[7] 邓凡平. ANSYS10.0 有限元分析自学手册[K]. 北京:人民邮电出版社,2007.
DENG Fan-ping. ANSYS10.0 Self-Study Manual[M]. Beijing:People Post Press, 2007.

[8] 洪庆章. ANSYS 教学范例[M]. 北京:中国铁道出版社,2002.
HONG Qing-zhang. ANSYS Teaching Example [M]. Beijing:China Railway Press, 2002.