

平板电视EPS缓冲垫优化研究

白淑伟,王春香,刘剑

(内蒙古科技大学,包头 014010)

摘要: **目的** 对一款自主设计的EPS缓冲垫进行结构优化研究。**方法** 首先使用HyperWorks和LS-DYNA做跌落分析,然后结合模拟等相关数据用OptiStruct模块进行拓扑优化,最后对比优化前后结果。**结果** 缓冲垫结构优化后平板电视受到的最大冲击加速值小于45 g,满足了缓冲保护要求。**结论** 缓冲垫结构得到了优化,拓扑优化为此类问题提供了非常有益的探索和借鉴。

关键词: EPS缓冲垫;跌落分析;拓扑优化;HyperWorks;LS-DYNA;OptiStruct

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)17-0027-06

Optimization of EPS Cushion for FPTV

BAI Shu-wei, WANG Chun-xiang, LIU Jian

(Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

ABSTRACT: Objective To perform structural optimization for a self-designed EPS cushion. **Methods** First the drop analysis was conducted using HyperWorks and LS-DYNA, then OptiStruct was used to perform topology optimization, combining with simulation and related data, and finally the results before and after optimization were compared. **Results** The maximal impact acceleration value of the FPTV impacted was less than 45 g after the cushion structure optimization, meeting the requirement of buffering. **Conclusion** The cushion structure was optimized, and topology optimization provides very beneficial exploration and reference for such problems.

KEY WORDS: EPS cushion; drop analysis; topology optimization; HyperWorks; LS-DYNA; OptiStruct

随着电子技术的发展和制造工艺的进步,平板电视结构逐渐向大面积、薄尺寸趋势发展,这种结构特点给产品的缓冲保护结构设计带来了诸多问题。目前缓冲包装结构设计主要采用5步法或6步法进行,但很多时候存在缓冲材料浪费和危险部位使用不足等情况。

为了更好地提升产品的缓冲保护效果,许多学者进行了诸多相关研究,如材料缓冲性能研究^[1-2],缓冲材料结构经验设计和仿真分析研究^[3-6],实验、计算机模拟类似产品跌落、重现碰撞过程及问题解决等研究^[7-10],此外还有一些缓冲包装理论的研究^[11-14]。

文中使用HyperWorks和LS-DYNA进行平板电视包装件跌落分析和缓冲垫结构拓扑优化研究,希望既能满足缓冲保护需要,又能尽量节省材料。

1 缓冲垫原始设计和跌落分析

1.1 缓冲垫原始设计

某款平板电视的产品脆值为45 g。选择EPS作为缓冲垫材料,缓冲垫布局见图1,缓冲垫1,2对称分布,3,4对称分布。设计后缓冲垫1,3的3D模型见图2,缓冲垫1,2的结构相同,3,4的结构相同。

收稿日期:2014-02-27

作者简介:白淑伟(1985—),男,山东泰安人,助理工程师,内蒙古科技大学在读硕士生,主攻结构设计、有限元分析和优化。

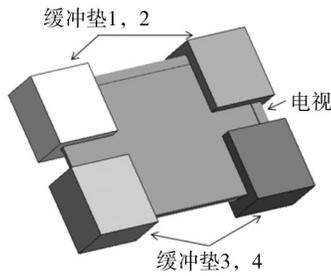


图1 缓冲垫布局示意

Fig.1 Schematic of cushion configuration

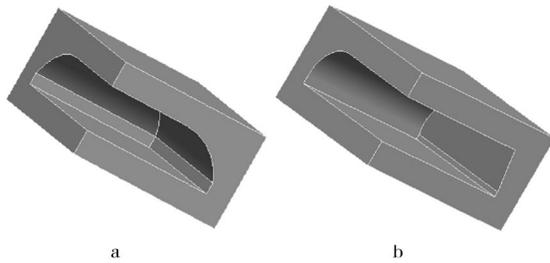


图2 缓冲垫3D模型

Fig.2 3D model of cushion

1.2 跌落分析

跌落模拟方位标识见图3,依照标识进行一点三线六面模拟,模拟结果见表1。

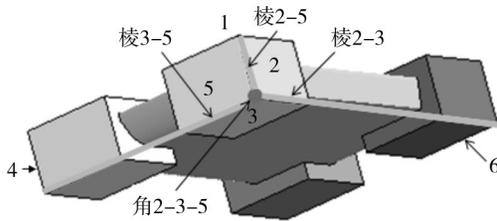


图3 跌落方位标识

Fig.3 Marked graph of drop orientation

平板电视跌落分析有限元模型见图4,其他方位模型按照图3标识调整电视与地面的跌落角度即可。

2 拓扑优化模型建立

2.1 等效静态载荷

为了把模型等效为一静态拓扑优化问题,对动态载荷进行等效静态处理。等效静态载荷^[15]是指结构在

表1 跌落加速度和碰撞力数据

Tab.1 Data of drop acceleration and impact force

方位	序号	最大冲击加速度/g	电视和缓冲垫冲击力/N
面	1	101.8	29 573
	2	53.6	15 638
	3	143.8	41 765
	4	49.2	14 661
	5	47	13 637
	6	46.1	13 402
角	2-3-5	11	3266
	2-3	28.3	8417
	2-5	12.3	3670
棱	3-5	31.2	9070

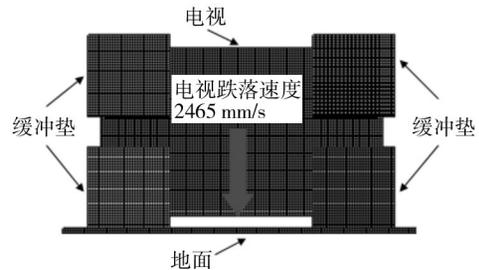


图4 跌落分析有限元模型

Fig.4 Finite element model for the drop analysis

承受动态载荷时的某一时刻,结构会发生变形并形成位移场,如果一个静态载荷也能够产生相同的位移场,就把该载荷称作动态载荷在此时刻的等效静态载荷。依照上述定义,通过静力学分析方法和相关换算得到等效静态载荷。

静压有限元模型见图5,其他5个面方位跌落时缓冲垫与平板电视作用部位结构存在差异,需对各个面方位跌落进行上述类似换算,从而得到不同跌落情况下的等效静态载荷,结果见表2。

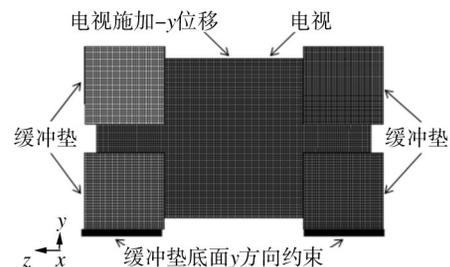


图5 等效静压有限元模型

Fig.5 Equivalent static finite element model

表2 电视与缓冲垫作用力

Tab.2 TV set and reaction force of cushion

次序	面1	面2	面3	面4	面5	面6
最大冲击力	29 573	15 638	41 765	14 661	13 637	13 402
静压力	28 702	13 876	38 814	12 170	11 965	11 479
等效静态载荷	11 794	10 783	11 293	10 087	10 662	10 408
单缓冲垫等效静态载荷	2949	5391	2823	5044	5331	5204

2.2 优化问题描述

拓扑优化可以简单理解为在给定设计空间内寻找最优的材料分布,为此充分使用OptiStruct 模块的拓扑优化^[16]功能。OptiStruct是HyperWorks中的模块,是以有限元法为基础的结构优化设计工具,提供拓扑优化、形貌优化、尺寸优化、形状优化等多种优化方法,适用于设计开发过程的各个阶段,其自带的线性求解器能够进行线性静力分析、模态分析、屈曲分析、惯性释放、频率响应等各类结构分析。

优化设计中有3要素,分别是设计变量、目标函数和约束条件等。优化问题的数学模型可表述为^[17]:使 $f(x)=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 最小,约束条件为 $g_j(x) \leq 0 (j=1, 2, \dots, n)$, $h_k(x)=0 (j=1, 2, \dots, m_h)$, $x_i^L \leq x_i \leq x_i^U (i=1, 2, \dots, n)$ 。其中 $x=x_1, x_2, \dots, x_n$ 为设计变量,此处为单元密度; $f(x)$ 为目标函数,此处为体积; $g(x)$ 为不等式约束函数,此处为等效静态力作用下的位移; $h(x)$ 为等式约束函数,此处不存在;上角标U, L分别为上下限。

2.3 拓扑模型建立

缓冲垫3的拓扑优化模型见图6,缓冲垫1的优化模型做相似处理。为实现优化目的,在HyperMesh中设置优化要素:设计变量和单元密度。在这个优化问题中有2个响应,一个是定义目标的体积响应,另一个是位移响应目标函数。文中目标是最小化已定义体积全局响应设计约束,不同面优化时,对已定义的位移响应施加一个位移上限约束,见表3。优化模型中单缓冲垫等效静压力数值见表2。

3 优化结果

3.1 拓扑结果

提交任务运行成功后,在HyperView中查看结果

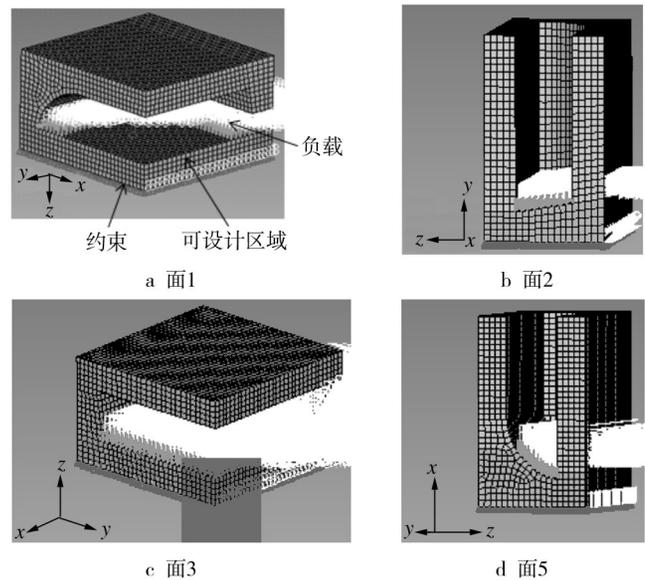


图6 缓冲垫模型的载荷和约束情况
Fig.6 Loads and constraints of cushion model

表3 位移约束上限值

Tab.3 Upper limits of displacement constraints

次序	面1	面2	面3	面4	面5
位移/mm	6.4	10.64	4.43	12.02	12.71

和后处理,在HyperView中观察到的阈值(单元密度)为0.25的密度云图,见图7—8。云图中显示部分为模型中密度值超过0.25的部分,其余部分则从视图中删除。

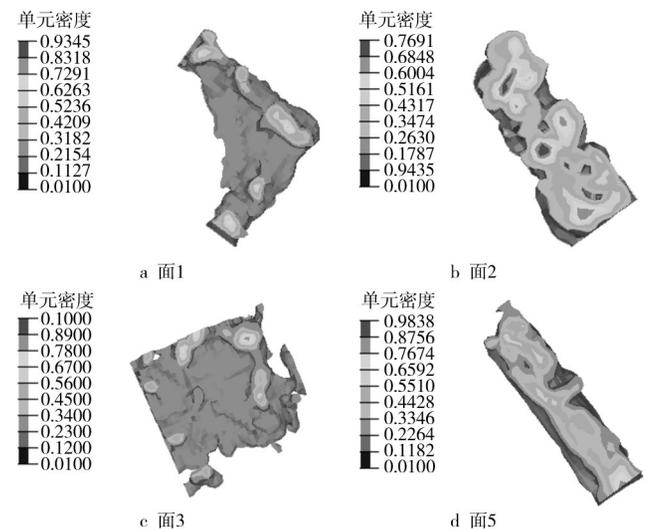


图7 缓冲垫3可设计区域材料的最优化布局等值面
Fig.7 Contour of bearing area for cushion 3

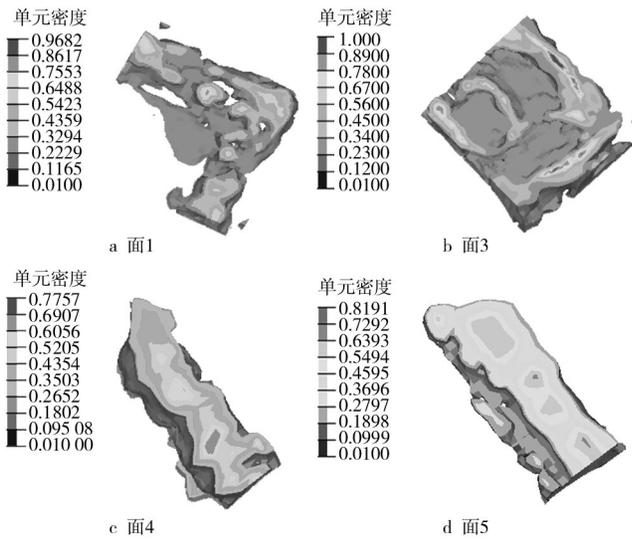


图8 缓冲垫1可设计区域材料的最优化布局等值面

Fig.8 Contour of bearing area for cushion 1

3.2 优化后有限元模型

改变阈值,观察材料分布变化趋势,根据单元密度是0.25的等值面图,删除单元密度低于0.25的单元。在优化过程中反复做适当的修改和跌落分析验证,最终确定有限元模型,见图9。为了保证优化后跌落分析结果的准确性和优化前后数据的可对比性,直接在原始缓冲垫有限元模型基础上进行网格删除,具体工作在HyperMesh中以直接删除网格单元的形式完成。

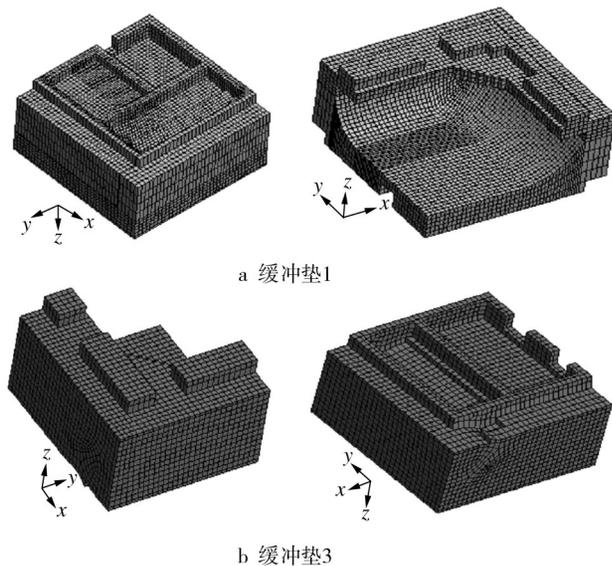


图9 缓冲垫优化后有限元模型

Fig.9 Optimized finite element model for cushion

3.3 优化前后结果对比

结构优化后再次进行跌落分析,对比优化前、后平板电视的最大冲击加速度和最大冲击力,发现优化后的缓冲垫满足缓冲保护设计的要求,见表4。

表4 优化前后数据对比

Tab.4 Data comparison before and after optimization

方位	序号	最大冲击加速度/g		电视和缓冲垫冲击力/N	
		初始值	优化结果	初始值	优化结果
面	1	101.8	41.6	29 573	12 095
	2	53.6	42.5	15 638	12 358
	3	143.8	44.3	41 765	12 867
	4	49.2	40.7	14 661	11 824
	5	47	38.2	13 637	11 101
	6	46.1	37.1	13 402	10 770
角	2-3-5	11	9.1	3266	2640
	2-3	28.3	27.8	8417	8067
棱	2-5	12.3	11.3	3670	3271
	3-5	31.2	33.5	9070	9724

优化后面冲击加速度接近40g,小于平板电视能够承受的加速度45g(查表类比和经验估算法确定)。考虑到外包装瓦楞格纸箱的保护,足以满足平板电视缓冲保护需要,角跌落和棱跌落冲击加速度比初始值略微减小。总体而言,达到了结构优化和节省材料的目的。

3.4 优化后3D模型

结构优化后的冲击加速度值、冲击力得到了极大的改善,说明结构优化非常成功。根据优化后的有限元模型在Pro/E中重新生成3D图形,缓冲垫优化后的最终模型见图10。

3.5 结构对比

目前典型缓冲包装结构主要有:通用包装技术,分为全封装结构和脚垫结构;面积调整技术,增加或减小特定方向的受力面积;不规则形状产品包装技术,有模制衬垫结构和产品固定在内部容器内结构;其他一些特殊形式的结构。平板电视的缓冲结构根据使用材料主要分为2种:单一材料结构和组合材料结构。单一材料结构主要有EPS,EPE,EPP等3类,其中EPS,EPP结构类似,主要采用外筋式结构和U,Z型

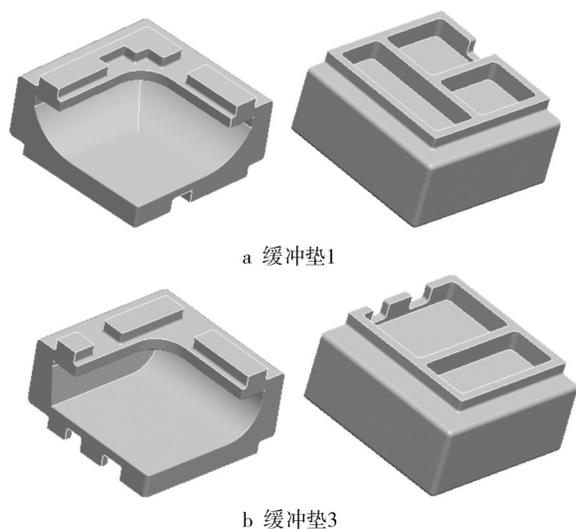


图10 缓冲垫优化后3D模型

Fig.10 3D model of cushion after optimization

弹性结构来提高缓冲性能。EPE结构常先将其先做成平板形状,利用冲裁或手工加工成形状不一的组件,然后把各组件热合或粘合成完整的缓冲垫,但其结构压缩强度低,有时需要加强辅助结构,如在纸箱外部增加木框架,采用双层纸箱,内部四角、棱等位置使用纸角钢支撑柱等。组合材料结构是根据泡沫类材料和纸质材料各自特点按照一定规则搭配使用。常见的有EPS与蜂窝纸板组合结构和EPE与纸角钢组合结构,前者的结构特点是在已有的EPS结构外侧放置缓冲蜂窝纸板,后者是把各EPE缓冲垫单元粘连在纸角钢上面,形成EPE和纸质材料的组合件^[18]。对比文中结构和现行结构发现,优化后的面1、面3结构为筋条式结构;面2、面4、面5、面6的可设计区域材料的最优化布局也呈现筋条变化趋势。考虑到EPS缓冲垫需要模压成形制造,为减少模具复杂度将其简化为平面结构,能满足缓冲保护需要。优化结构和现行结构有相似之处,但局部根据实际情况进行了改进。

4 结语

缓冲垫拓扑优化以后,平板电视面跌落时受到的冲击加速度小于45 g,角、棱跌落时的冲击加速度也有改善。总体而言,拓扑优化是成功的,达到了结构优化和节省材料的目的。在研究过程中还存在一些不足:由于条件的局限性,无法利用实验来验证模拟结

果;拓扑优化中只设定了体积响应和位移响应,其他响应如运输过程中的振动频率没有考虑;跌落分析中没有考虑外包装瓦楞格纸箱的缓冲保护作用;没有考虑堆码因素等,今后研究需要进一步考虑以上因素。大尺寸平板电视的缓冲保护是一个极其复杂的问题,需要考虑多种因素,文中只是对此类问题进行了简单的探索。

参考文献:

- [1] LIN H, SHI X D, XIAO S L. Research on Wood Fiber Cushion Packaging Material[C]// International Conference on Environmental Biotechnology and Materials Engineering. Harbin, 2011:2110—2114.
- [2] 潘小青,王桂英,曹斌.药用植物剩余物发泡缓冲包装材料的制备及性能研究[J].包装工程,2013,34(5):37—40.
PAN Xiao-qing, WANG Gui-ying, CAO Bin. Development and Performance Investigation of Foaming Cushion Material for Medical Plant Residues[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5):37—40.
- [3] 刘学.发泡聚乙烯包装系统动力学有限元分析[J].包装工程,2011,32(13):11—13.
LIU Xue. Finite Element Analysis of Dynamic Properties of Expanded Polyethylene Cushion Packaging System[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13):11—13.
- [4] 王鹤腾,董静.基于ANSYS的植物纤维缓冲包装跌落仿真分析[J].包装工程,2013,34(1):47—48.
WANG He-teng, DONG Jing. Drop Simulation Analysis of Plant Fiber Cushion Packaging Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1):47—48.
- [5] 刘壮,高德.基于有限元玉米秸秆纤维缓冲包装材料性能分析[J].包装工程,2010,31(9):46—49.
LIU Zhuang, GAO De. Investigation of Cushioning Performance Produced by Corn Stalk Fibers Based on the Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(9):46—49.
- [6] 朱大鹏,周世生.瓦楞纸板在冲击激励下的动态特性建模与响应分析[J].机械科学与技术,2013,32(2):257—262.
ZHU Da-peng, ZHOU Shi-shen. Dynamic Modeling and Response Analysis of Corrugated Paperboard to Shock Excitation[J]. Mechanical Science and Technology, 2013, 32(2):257—262.
- [7] 杨朝丽.大平面液晶显示器的缓冲包装结构设计与研究[J].包装工程,2009,30(8):52—54.
YANG Chao-li. Research and Design of the Cushion

- Packaging Structure for LCD with Large Plane[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8): 52—54.
- [8] 马国鹭, 刘丽贤, 曾国英. 长虹某型电视机包装的跌落冲击响应分析[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 6—7.
MA Guo-lu, LIU Li-xian, ZENG Guo-ying. Dropping Impact Analysis of the Packaging Structure of Changhong Television [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 6—7.
- [9] YANG J, ZHAO XD, Ji Z. Drop Simulation and Cushioning Package Analysis of 19-inch LCD[C]// International Conference on Packaging Technology and Science. Ningbo, 2012: 582—585.
- [10] 赵郁聪, 张丽娜, 刘乘. 液晶电视跌落测试动态脆值分析[J]. 包装工程, 2013, 34(9): 40—42.
ZHAO Yu-cong, ZHANG Li-na, LIU Cheng. Analysis of Dynamic Fragility of LCD TV in Drop Test[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(9): 40—42.
- [11] PAULIN K, BATT G, DAUM M. Statistical Analysis of the Stress-energy Methodology Applied to Cushion Curve Determination[J]. Journal of Testing and Evaluation, 2013, 41(3): 409—416.
- [12] ZHONG C, SAITO K, KAWAGUCHI K. Improvement of Equivalent Drop Theory for Transport Packaging[J]. Packaging Technology and Science, 2013, 26(2): 67—81.
- [13] ZHAO D F, MA G L, ZENG G Y. Optimal Design of Television Packaging Based on Drop Analysis[C]// International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes. Shenzhen, 2011: 713—716.
- [14] WANG Y H, BAO L, JIN H M. A Method Research to Obtain Quickly the Vibration Transmissibility of Cushioning Packaging Materials[C]// 2nd International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology (AEMT). Zhuhai, 2012: 87—90.
- [15] 赵礼辉. ESL法在汽车结构优化设计中的应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
ZHAO Li-hui. Application of ESLM in Optimal Design of Automobile Structure[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009.
- [16] MARTIN P B, SIGMUND O. Topology Optimization: Theory Methods and Applications[M]. New York: Springer-verlag Berlin and Heidelberg, 2003.
- [17] 张胜兰, 郑冬黎, 郝琪, 等. 基于HyperWorks的结构优化技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
ZHANG Sheng-lan, ZHENG Dong-li, HAO Qi, et al. Based on the HyperWorks Structure Optimization Technology[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2007.
- [18] 梅建平, 张涛. 平板显示产品缓冲包装方法及其设计要领[J]. 中国包装工业, 2005(6): 34—38.
MEI Jian-ping, ZHAO Tao. Packaging Method and Design Key of the Board Products[J]. China Packaging Industry, 2005(6): 34—38.

(上接第5页)

- Water Treatment on Physiological and Biochemical Quality of Fresh-cut Lettuce[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2010, 32(3): 451—457.
- [21] 马玉荣. 鲜切马铃薯褐变控制研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
MA Yu-rong. Browning Inhibition of Fresh-cut Potato[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2010.
- [22] 张资. 蔬菜采后热处理抗氧化机理的研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
ZHANG Zi. Study on Antioxidative Mechanism of Vegetables by Postharvest Heat Treatment[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009.
- [23] 孙芝杨, 钱建亚. 果蔬酶促褐变机理及酶促褐变抑制研究进展[J]. 中国食物与营养, 2007(3): 22—24.
SUN Zhi-yang, QIAN Jian-ya. Advances in Research on Mechanism of Enzymatic Browning and Inhibition Methods for Fruits and Vegetables[J]. Food and Nutrition in China, 2007(3): 22—24.
- [24] 郝浩永, 陈莉, 张伟峰. 采后热处理对番茄保鲜效果的影响[J]. 农业与技术, 2009, 29(1): 27—29.
HAO Hao-yong, CHEN Li, ZHANG Wei-feng. Effects of Heat Treatment on Postharvest Preservation of Tomato[J]. Agriculture and Technology, 2009, 29(1): 27—29.
- [25] 刘程慧, 胡文忠, 姜爱丽. 不同贮藏温度下鲜切马铃薯的生理生化变化[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 38—42.
LIU Cheng-hui, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li. Physio-biochemical Changes of Fresh-cut Potato at Different Storage Temperatures[J]. Food and Machinery, 2008, 24(2): 38—42.