

蔬菜纸面膜成型机滚切装置机架模态分析

卢宇宏¹, 杨传民², 汪浩³

(1. 天津福臻工业装备有限公司, 天津 300350; 2. 天津商业大学, 天津 300134;
3. 佛山市国星光电股份有限公司, 佛山 528000)

摘要: **目的** 研究滚切成型装置机架的动态特性, 为分析和评价蔬菜纸面膜成型机的工作性能提供理论依据。**方法** 通过Unigraphics NX建立滚切成型装置机架的实体模型, 然后导入Ansys Workbench进行模态分析, 提取并分析前6阶固有频率与振型变化。**结果** 滚切装置机架的最小固有频率为334.74 Hz, 机架最大变形发生在第4阶振型右支撑板前梁的中间部分。**结论** 滚切成型装置机架的激振频率远小于最小固有频率, 不会产生共振与严重噪声。

关键词: 蔬菜纸面膜; 滚切装置; 机架; 模态分析

中图分类号: TH206.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)15-0019-06

Modal Analysis of Frame of Roll Cutting Device in Vegetable Paper Facial Mask Molding Machine

LU Yu-hong¹, YANG Chuan-min², WANG Hao³

(1. Tianjin Fuzhen Industrial Equipment Co., Ltd., Tianjin 300350, China; 2. Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 3. Foshan Guoxing Photo-electricity Co., Ltd., Foshan 528000, China)

ABSTRACT: Objective To study the dynamic characteristics of the frame of roll cutting device, and to offer basis for the analysis and evaluation of the work performance of vegetable paper facial mask molding machine. **Methods** Entity model of the frame was established with Unigraphics NX, and modal analysis was carried out using Ansys Workbench, and then the first six orders of natural frequencies and the variation of vibrational mode were extracted and analyzed. **Results** The minimal natural frequency of the frame was 334.74 Hz. The Maximal amplitude occurred in the fourth order vibrational mode, which was in the middle of the front-axle beam in the right support plate. **Conclusion** The excitation frequency of the frame was far smaller than the minimal natural frequency. No resonance phenomenon and severe acoustic noise would occur.

KEY WORDS: vegetable paper facial mask; roll cutting device; frame; modal analysis

蔬菜纸是一种以菠菜、胡萝卜、茴香、黄瓜和芹菜等新鲜蔬菜加工而成的新型环保材料^[1]。利用蔬菜纸良好的吸水性、透气性、纯天然等特性将其应用于美容行业,可以减少化工材料的使用,更好地促进人类健康和环境美好^[2]。经研究发现传统材料的面膜成型机在加工蔬菜复合纸面膜时存在较多问题,为此研发

全自动蔬菜纸面膜成型机。

1 滚切成型装置总体结构设计

蔬菜纸面膜成型机(见图1)的核心部件为滚切成型装置,其工作性能将直接关系到蔬菜纸面膜成型机

收稿日期: 2014-06-20

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD32B04)

作者简介: 卢宇宏(1980—),男,吉林人,工程师,主要从事工程项目管理。

通讯作者: 杨传民(1959—),男,河北人,博士,天津商业大学教授,主要研究方向为机械设计及理论、包装工程。

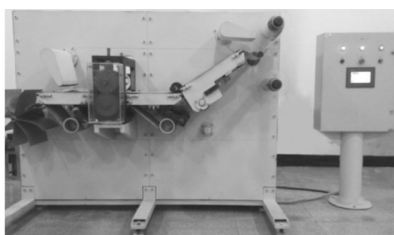
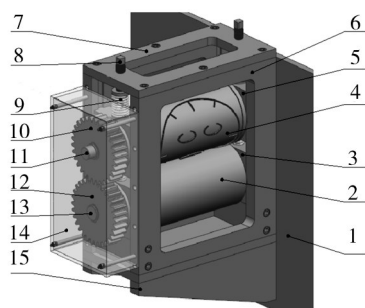


图1 蔬菜纸面膜成型机实物

Fig.1 The image of vegetable paper facial mask molding machine

运行的可靠性与稳定性,决定蔬菜纸面膜的生产质量与效率。滚切装置装配见图2。由图2可知,滚切装置中上刀辊为面膜模具刀辊,其圆周面上加工有2个面膜模具。下刀辊为承压辊,表面是光滑的。下轴承盒和上轴承盒两侧的凸台可以在左、右2块支撑板上的纵向导轨内上下滑动,上、下刀辊以键的形式分别与上、下刀轴连接,且上、下刀轴上的轴承分别支撑于上、下轴承盒内。上、下刀辊通过主动齿轮与从动齿轮之间的啮合传动而做相对滚切运动,实现蔬菜纸面膜的成形。调节调压螺杆的松紧时,上刀辊通过弹簧对下刀辊加减压,来实现滚切力度和间隙变化的调节。



1.墙板 2.下刀辊 3.下轴承盒 4.上刀辊 5.上轴承盒 6.左右支撑板
7.上盖板 8.调压螺杆 9.弹簧 10.从动齿轮 11.上刀轴 12.主动齿轮
13.下刀轴 14.安全罩 15.三角支撑板

图2 滚切装置装配

Fig.2 Assembly diagram of roll cutting device

2 滚切装置机架有限元模型的建立

滚切装置中,机架由三角支撑板、上盖板、左右支撑板及其连接板通过螺钉连接而成,通过安装在其上的上下轴承盒来固定和支撑上下刀轴,由此其刚度和动态特性将直接影响滚切装置的加工精度和

加工平稳性,从而影响蔬菜复合纸面膜的成形质量。遵循结构固有频率避免与外界激励频率重合的原则,结构固有频率与外界激励频率相近时,机架将发生共振现象^[3-4],从而使滚切装置产生严重噪声与振动。振动通过轴承盒和轴承传递到上下刀轴,使上下刀辊产生冲击,损害零部件,从而带来经济损失,甚至会引起安全问题。研究滚切装置机架的结构动态特性(固有频率和振型)是分析和评价滚切装置整体工作性能的重要指标,为确定机架结构的固有频率和振型,需要对其进行模态分析。

2.1 滚切装置机架实体模型的建立与导入

建立正确而有效的机架实体模型是进行模态分析极为重要的一个环节,机架模型的合理性将直接关系到软件相关计算结果的准确性,因此,建立的有限元模型必须能够真实反映机架整体结构,并在动态特性的前提下对其进行适当的简化和修改。在机架建模过程中,忽略模型中对机架结构模态分析影响很小而对计算资源有很大耗费的零部件结构或细小特征,如过渡倒角、圆角、凸台以及小孔等^[5-7],并对CAD实体模型中的小曲率曲面简化为规则形状(如进行平面化处理)。按照以上的简化思路,在UG环境中进行机架的三维实体建模,并通过UG设计界面关联的加载项 Ansys 12.1, 直接将该实体模型导入 Ansys Workbench 的工作界面,并使用 Generate 命令实现模型重建。导入 Ansys Workbench 得到滚切装置机架的简化实体模型见图3。

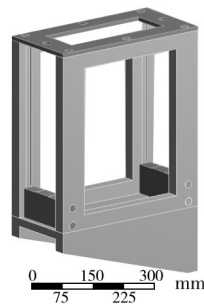


图3 机架简化实体模型

Fig.3 The simplified model of frame

2.2 定义材料属性

机架各零部件材料皆为碳素结构钢 Q235, 在 Shape Optimization 模块中双击选项 Engineering Data,

然后选择结构钢(Structural Steel),密度(Density)为 7850 kg/m^3 ,弹性模量(Yong' s Modulus)为 200 GPa ,泊松比(Possion' s Ratio)为 0.3 。

2.3 划分网格

在 Ansys Workbench 进行有限元分析的过程中,网格划分程度将影响模型求解结果的精确性^[8-9]。Workbench 对大尺寸零件进行网格划分时,默认的单元尺寸(Element Size)较大,不够精确^[10]。文中对下支撑板、左右支撑板及其连接板添加自定义单元尺寸命令,且值设为 10 mm ,划分方法(Method)为自动,其他零部件采用单元尺寸默认的自动网格划分。机架简化模型网格划分见图4。

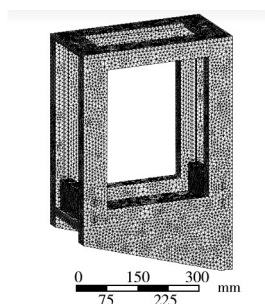


图4 网格划分

Fig.4 Meshing

2.4 模态分析参数设置

Ansys Workbench 进行模态分析时模态阶数范围在 $1 \sim 200$ 之间,软件默认阶数为 6 ^[11-12]。由于中低阶模态对振动系统产生的影响较大,且从滚切装置机架工作环境的角度来考虑,6阶模态便可以满足要求。从工程应用的角度考虑,设置频率范围为 $0 \sim 100 \text{ MHz}$ ^[13]。机架模态分析参数设置见图5。

Details of "Analysis Settings"	
Options	
Max Modes to Find	6
Limit Search to Range	Yes
Range Minimum	0. Hz
Range Maximum	1.e+008 Hz
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled

图5 参数设置

Fig.5 Parameter setting

2.5 添加边界条件与载荷

在机架模态分析过程中,设置的边界条件应该与机架工作环境的实际情况一致。边界的正确设置对模态分析来说极为重要,这将影响整个结构的固有频率和振型^[14]。对于模态分析中载荷的设置,一般不加载各项外界载荷,只有要求分析预应力作用下的模态分析时才添加载荷^[15-16]。如图2所示,机架的一个侧面通过螺栓固定在墙板上,为模拟机架的实际工作情况,以实现机架动态特性的准确预估,对该侧面添加面约束。机架边界条件的设置见图6。

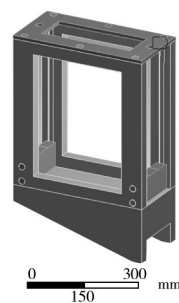


图6 边界条件的设置

Fig.6 Boundary condition settings of the frame

3 模态分析结果输出

通过求解得到机架前6阶模态分析参数见表1。机架前6阶振型见图7—12。

表1 机架前6阶模态参数

Tab.1 Analysis results of the first six orders of modes

模态阶数	固有频率/Hz	最大变形/mm
1	334.74	11.874
2	605.34	7.1659
3	688.85	10.006
4	717.19	14.165
5	765.71	9.3836
6	1153.5	11.09

如图7所示,机架第1阶振型最大变形为 11.874 mm ,发生在上盖板与左右支撑板连接处的前端部分,表现为该部分沿 x 轴方向左右摆动,频率为 334.74 Hz 。

如图8所示,机架第2阶振型最大变形为 7.1659 mm ,发生在上盖板前端调压孔附近,表现为整个机架

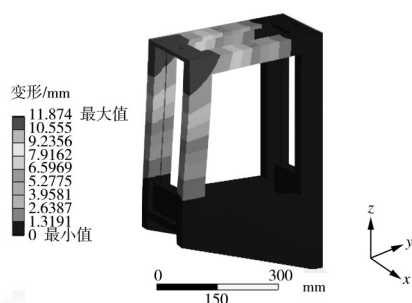


图7 机架第1阶振型

Fig.7 The first order vibrational mode

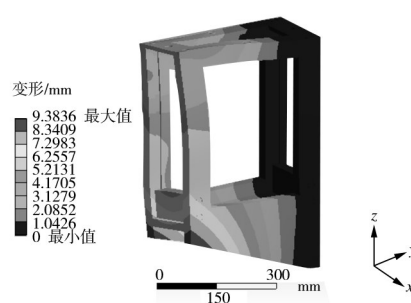


图11 机架第5阶振型

Fig.11 The fifth order vibrational mode

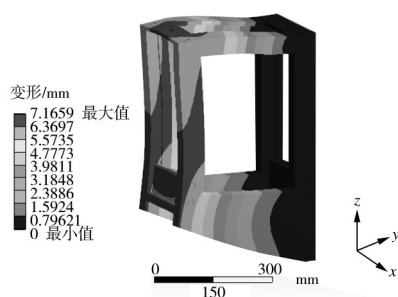


图8 机架第2阶振型

Fig.8 The second order vibrational mode

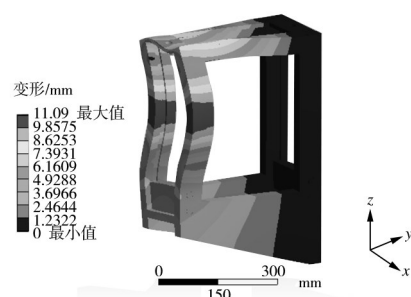


图12 机架第6阶振型

Fig.12 The sixth order vibrational mode

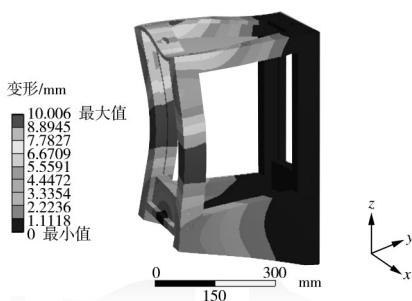


图9 机架第3阶振型

Fig.9 The third order vibrational mode

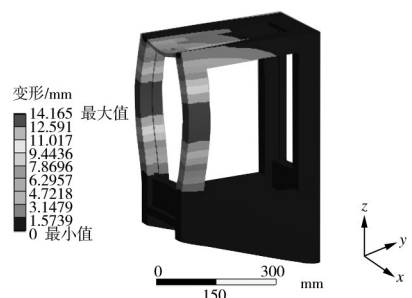


图10 机架第4阶振型

Fig.10 The fourth order vibrational mode

如图9所示,机架第3阶振型最大变形为10.006 mm,发生在左支撑板前梁的中间部分,表现为整个机架前端沿 x 轴方向的左右扭动,频率为688.85 Hz。

如图10所示,机架第4阶振型最大变形为14.165 mm,发生在右支撑板前梁的中间部分,表现为左右支撑板前梁沿 x 轴方向相对摆动,呈现扩展收缩状态,频率为688.85 Hz。

如图11所示,机架第5阶振型最大变形为9.3836 mm,发生在下支撑板前端部分,表现为下支撑板前端沿 x 轴方向的左右摆动和机架前端沿 x 轴方向的左右扭动,频率为765.71 Hz。

如图12所示,机架第6阶振型最大变形为11.09 mm,发生在右支撑板前梁中间部分,表现为左右支撑板前梁沿 x 轴方向左右同向扭摆,频率为1153.6 Hz。

4 结果分析

经过以上6阶模态频率和振型比较分析发现,各阶共振变形在7.1659~14.165 mm之间。机架最大变形发生在第4阶振型的右支撑板前梁的中间部分,最大值为14.165 mm,第6阶振型的最大变形量也发生在

前端沿 z 轴方向上下摆动,频率为605.34 Hz。

此处,由此可知右支撑板前梁的中部为滚切装置机架中最薄弱的地方。由前6阶模态振型分析可知,机架在工作过程中最易发生沿 x 轴向的振动,如第1,3,4,5,6阶振型都显示沿 x 轴方向的振动,只有第2阶振型显示沿 z 轴方向的振动。

滚切装置机架的最小固有频率(为第1阶频率)为334.74 Hz,设计要求面膜的成形速率为5~20个/分钟,为保证该参数的可靠性,实际设计的最大速率为40个/分钟,且上刀辊(模切辊)有2个面膜模具,则设计的上、下刀轴的最大转速为20 r/min。对滚切装置机架的激振频率为0.33 Hz,远小于滚切装置机架的最小固有频率,说明上、下刀辊进行面膜成形时不会引起机架的共振,由此也达不到1阶共振变形11.874 mm。

由于面膜纸制作的模切力较小,以上分析仅是未加激振载荷条件下各共振模态的固有频率和振型分析,并非激振响应分析。经过运转和第三方检测报告(CNASL044检测编号149030),实际生产能力为15个/分钟,即上、下刀轴的转速为7.5 r/min,且运转平稳。

5 结语

在Unigraphics NX和Ansys设计软件之间建立关联的加载项后,Unigraphics NX和Ansys Workbench之间可以实现无缝连接,实体的导入无需其他格式的转换,且实体在Unigraphics NX界面追踪修改后,Ansys Workbench界面可使用Refresh命令,直接更新模型的相关数据。采用Ansys Workbench有限元分析软件对滚切装置机架进行模态分析,获得前6阶固有频率以及与之对应的振型。结合有关原始数据进行比较分析,可验证机架前期结构设计的可靠性,同时还能确定该机架结构的薄弱环节,可为今后相关结构的技术优化与改进提供参考,为深入研究滚切装置疲劳与噪声问题奠定了基础。

参考文献:

- [1] 吴则人,周伦辉,傅玉丽,等.蔬菜纸研究现状与发展前景[J].长江蔬菜,2009(14):83—85.
WU Ze-ren, ZHOU Lun-hui, FU Yu-li, et al. Research Present Situation and Development Prospect of Vegetable Paper[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2009(14):83—85.
- [2] YU Long, DEAN K, LI Lin. Polymer Blends and Composites from Renewable Resources[J]. Progress in Polymer Science, 2006, 31(6):576—602.
- [3] 潘道津.蜂窝纸板固有频率的研究[J].包装工程,2004,25(5):14—15.
PAN Dao-jin. Research on Natural Frequency of Honeycomb Board[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(5):14—15.
- [4] 张元通.基于Ansys Workbench的颗粒机机架的模态分析[J].机械制造与自动化,2011(2):110—112.
ZHANG Yuan-tong. Modal Analysis of Frame for Granulation Machine Based on Ansys Workbench[J]. Machine Building & Automation, 2011(2):110—112.
- [5] 吴斌方,袁博,严明霞,等.基于UG和Ansys软件的瓦楞辊振动与模态分析[J].包装工程,2013,34(3):55—58.
WU Bin-fang, YUAN Bo, YAN Ming-xia, et al. Vibration and Modal Analysis of Corrugated Roller Based on UG and Ansys Software[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3):55—58.
- [6] 胡世军,梁东旭,张代录,等.基于ANSYS的主轴箱体模态分析及拓扑优化[J].机械制造,2012(11):6—9.
HU Shi-jun, LIANG Dong-xu, ZHANG Dai-lu, et al. Modal Analysis and Topology Optimization of Spindle Box Based on ANSYS[J]. Machinery, 2012(11):6—9.
- [7] 徐春雨,陈刚,周渊键.基于Solid Works和ANSYS某舵机齿轮装配体模态分析[J].机械传动,2012(4):81—83.
XU Chun-yu, CHEN Gang, ZHOU Yuan-jian. The Modal Analysis of the Steering Gear Assembly Based on Solid Works and ANSYS[J]. Mechanical Drive, 2012(4):81—83.
- [8] HUANG J L, CLEMENT R, SUN Z H, et al. Global Stiffness and Natural Frequency Analysis of Distributed Compliant Mechanisms with Embedded Actuators with a General-purpose Finite Element System[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 65(5/8):1111—1124.
- [9] CHEN Gang, MU Yu, ZHAI Peng-cheng, et al. Modal Analysis and Study of the Vibration Characteristics of the Thermo-electric Modules of Vehicle Exhaust Power-generation Systems[J]. Journal of Electronic Materials, 2014, 43(6):1952—1958.
- [10] 张荣荣,郭彦峰,张伟,等.弹力型瓦楞纸板衬垫振动特性有限元分析[J].包装工程,2008,29(7):59—61.
ZHANG Rong-rong, GUO Yan-feng, ZHANG Wei, et al. Elastic Corrugated Cardboard Liner Vibration Characteristic Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3):55—58.
- [11] 袁安富,陈俊. ANSYS在模态分析中的应用[J].制造技术与

- 机床, 2007(8):79—82.
- YUAN An-fu, CHEN Jun. Application of ANSYS in Model Analysis[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2007(8):79—82.
- [12] 孙广敏, 安丰柱. 基于ANSYS Workbench对立式车床横梁的模态分析[J]. 机械研究与应用, 2013, 26(4):40—41.
- SUN Guang-min, AN Feng-zhu. Modal Analysis of Vertical Lathe Beam Based on ANSYS Workbench[J]. Mechanical Research & Application, 2013, 26(4):40—41.
- [13] 王一江, 张晓艳, 庞学慧. 基于ANSYS的龙门铣床龙门结构模态分析[J]. 机械, 2010, 37(4):48—50.
- WANG Yi-jiang, ZHANG Xiao-yan, PANG Xue-hui. Modal Analysis of a Gantry Type Milling Machine's Gantry Based on ANSYS[J]. Machinery, 2010, 37(4):48—50.
- [14] 杨军, 吕露, 王凯, 等. 基于ANSYS的装配体的模态分析[J]. 汽车实用技术, 2011(5):24—26.
- YANG Jun, LYU Lu, WANG Kai, et al. Modal Analysis of Assembly Based on ANSYS[J]. Automobile Technology, 2011(5):24—26.
- [15] 王川. 基于Pro/Mechanica的印版滚筒体有限元模态分析[J]. 包装工程, 2012, 33(15):72—74.
- WANG Chuan. Finite Element Modality Analysis of Plate Cylinder Body Based on Pro/Mechanica[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15):72—74.
- [16] 袁清珂, 杜亚男, 王同乐, 等. 印刷机滚筒的模态分析[J]. 包装工程, 2011, 32(15):102—105.
- YUAN Qing-ke, DU Ya-nan, WANG Tong-le, et al. Modal Analysis of Printing Cylinder[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15):102—105.

(上接第4页)

- Food Science & Technology, 1996(7):179—187.
- [6] ROMANAZZI G, NIGRO F, IPPOLITO A, et al. Effect of Short Hypobaric Treatments on Postharvest Rots of Sweet Cherries, Strawberries and Table Grapes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 22(1):1—6.
- [7] MUSTONEONH M. The Efficiency of Range of Sulfur Dioxide Generating Quality of Calmeria Table Grapes[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1992, 32:389—393.
- [8] 于雪梅. 乙烯抑制剂的控释薄膜的研究及保鲜性能研究[D]. 北京: 北京印刷学院, 2012.
- YU Xue-mei. Study on the Preparation of Control-released Ethylene-inhibitor Composite Film and Its Preservation Performance[D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2012.
- [9] GB/T 6195—1986, 水果、蔬菜维生素C含量测定法(2,6-二氯酚滴定法)[S].
- GB/T 6195—1986, Determination of Vitamin C in Vegetables and Fruits(2,6-Indophenol Titration Method)[S].
- [10] 张敬勇, 李东立, 许文才, 等. 二氧化硫缓释杀菌袋对樱桃保鲜性能影响的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(15):49—52.
- ZHANG Jing-yong, LI Dong-li, XU Wen-cai, et al. Effect of SO₂ Controlled Release Packaging on Preservation Performance of Cherry[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15):49—52.
- [11] 曾庆孝. 食品加工与保藏原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- ZENG Qing-xiao. Food Processing and Preservation Principles[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [12] 梁洁玉, 朱丹实, 冯叙桥, 等. 果蔬气调贮藏保鲜技术研究现状与展望[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(6):1617—1622.
- LIANG Jie-yu, ZHU Dan-shi, FENG Xu-qiao, et al. Status and Prospects of the Fruits MAP Technology[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2013, 4(6):1617—1622.
- [13] 姜艳茹, 付亚波, 李东立, 等. 分子筛改性LDPE活性包装膜在草莓保鲜中的应用研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2013, 5(1):61—65.
- JIANG Yan-ru, FU Ya-bo, LI Dong-li, et al. Molecular Sieve Modified LDPE Active Packaging Film for Strawberry Preservation[J]. China Printing and Packaging Study, 2013, 5(1):61—65.
- [14] 袁军伟, 赵胜建, 魏建梅, 等. 葡萄采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 河北农业科学, 2009, 13(4):80—83.
- YUAN Jun-wei, ZHAO Sheng-jian, WEI Jian-mei, et al. Advances in Physiology and Storage Technology of Grapes After Picking[J]. Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(4):80—83.
- [15] 李琛, 刘颖, 翁桢, 等. 贮运环境对葡萄品质的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(2):230—235.
- LI Chen, LIU Ying, WENG Zhen, et al. The Impact of Transportation Environment on Grape Quality[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(2):230—235.