

包装机封口机构转轴有限元分析

秦信春, 郑银环, 董森
(武汉理工大学, 武汉 430070)

摘要: **目的** 验证封口机构主要受力零部件转轴满足实际工况的需求。**方法** 基于某袋成型包装机的整体布局设计、封口机构的方案设计以及理论计算, 完成对相应封口机构的三维建模, 再利用 Ansys Workbench 对其进行静力学分析、模态分析, 以及使用疲劳分析软件 nCode DesignLife 进行疲劳分析。**结果** 转轴表面所受应力最大为 29.94 MPa, 其固有频率均大于 1246.6 Hz, 同时转轴绝大部分的疲劳次数大于 1.127×10^8 。**结论** 证明符合理论设计的要求, 在实际工况条件能正常工作且不发生共振及安全疲劳, 由仿真分析可对可能发生疲劳破坏的位置进行预测。

关键词: 封口机构; 转轴; 静力分析; 模态分析; 疲劳分析

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0175-05

Finite Element Analysis on Rotating Shaft of Sealing Mechanism of Packaging Machine

QIN Xin-chun, ZHENG Yin-huan, DONG Sen
(Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: The work aims to verify that the main stressed component (rotating shaft) of the sealing mechanism meets the needs of the actual working conditions. Based on the design of the overall layout for a bag forming packaging machine and the design scheme and the theoretical calculation of the sealing mechanism, the 3D modeling of the corresponding sealing mechanism was completed. Then, the static analysis and modal analysis thereof were carried out with Ansys Workbench and the fatigue analysis was conducted by fatigue analysis software nCode DesignLife. The maximum stress on the surface of the rotating shaft was 29.94 MPa, the natural frequency was more than 1246.6 Hz, and the life of most parts of the shaft was more than 1.127×10^8 . The results show that it can meet the requirement of theoretical design, work normally in the actual working conditions, and will not produce resonance and safety fatigue. The location of fatigue failure can be forecasted according to the simulation analysis.

KEY WORDS: sealing mechanism; rotating shaft; static analysis; modal analysis; fatigue analysis

包装机械是现代包装工业的基本设备, 是产品包装实现机械化、自动化的根本保证^[1]。目前, 国外的袋成型包装机已具有品种全面、自动化程度高、精度高、操作简单方便等显著优势^[2-8]。相比之下, 国内袋成型自动包装机虽然取得了很大发展, 但仍存在包装精度不高、包装速度低、封口质量不稳定等问题^[9-11]。针对目前因封口机构设计不合理问题而造成的封口质量问题, 国内学者做了很多工作, 赵晓丽等^[12]完成了粉粒自动包装机的封口机构的改进设计, 并通过试验验证了结构的合理性。程雪叶等^[13]完成了凸轮和弹

簧的封口机构改进设计。张晓春^[14]分析了当前茶叶自动包装机封口机构的运动缺陷, 完成了封口机构的设计及运动仿真分析。特别在包装机封口机构力的传递过程中, 轴是组成机构的重要零件之一, 负责传递运动和动力、回转零件等。吴晓敏等^[15]基于 Ansys 对包装机端封机构的低速轴有限元分析, 以此来判断其强度刚度是否满足要求, 这样大大地提高了设计效率, 同时也缩短了产品研发周期, 降低了成本。模态分析可以研究机械结构或机器零部件的振动特性, 得到其固有频率和振型, 从而可以在结构工作过程中避免因

收稿日期: 2016-12-12

作者简介: 秦信春 (1993—), 男, 武汉理工大学硕士生, 主攻 CAD/CAE 及机电系统动力学仿真。

通讯作者: 郑银环 (1974—), 女, 武汉理工大学副教授、硕导, 主要研究方向为 CAD/CAE 技术及机电系统动力学分析与仿真。

共振造成不必要的损失。陈开源等完成了基于 Ansys 对转轴进行模态分析,验证了转轴的模态分析对实际结构的工作稳定性的必要性^[16]。

此处封口机构采用的摆动气缸带动摆杆滑块机构完成封口工序,转轴作为该机构中传递动力及运动的重要零件,其结构不仅要满足刚度和强度要求,还必须考虑其使用工况条件下的动态要求,故转轴结构稳定性直接影响封口机构的封口效果。文中基于有限元理论,运用 Ansys Workbench 和 nCode DesignLife 分别对其进行静力学分析、模态分析及疲劳分析,验证转轴理论设计的合理性和是否满足实际工况需求并针对分析结果提出相应的建议。

1 封口机构转轴模型的建立

袋成型包装机整体布局见图 1,封口机构在包装机中完成包装薄膜的纵封、横封及横切等工序。此处所研究的封口机构为完成横封及横切的机构部分,它主要由气缸、摇杆、转轴、横封面板、内热封组件、导杆、外热封组件、导杆支撑架等组成。根据对该封口机构的设计及理论计算,利用三维建模软件 SolidWorks 对封口机构建模并进行虚拟装配,所得到的三维模型见图 2。

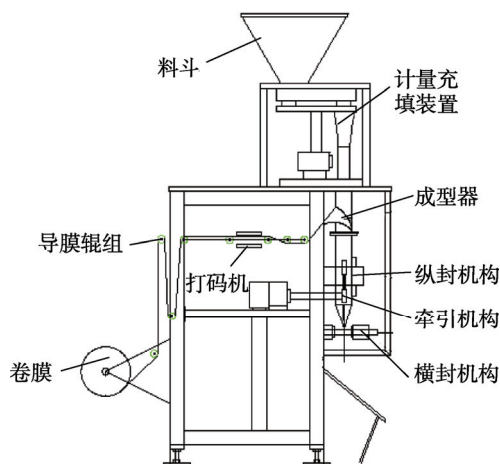


图 1 包装机的整体布局

Fig.1 The overall layout of the packaging machine

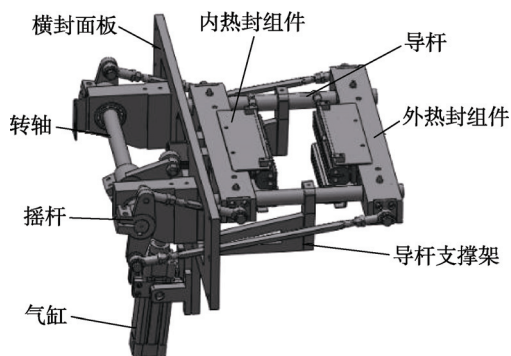


图 2 封口机构装配

Fig.2 The assembly drawing of the seal mechanism

转轴作为该封口机构中传递动力及运动的重要零件,在实际工作中,为了便于轴上零件装配、拆卸及减小轴的应力集中,在轴肩处都设计有倒角,在有限元分析中考虑到这些倒角会使网格划分非常密集而增加分析计算时间和难度,而这些倒角对轴的分析结果影响不大,所以在进行几何建模时,可以忽略这些次要的细节进行简化,再将 SolidWorks 中保存为 Parasolid 格式的转轴简化模型导入 Workbench 生成几何模型,见图 3。

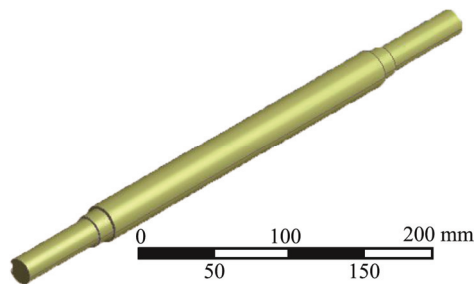


图 3 转轴几何模型

Fig.3 The geometric model of the rationing shaft

该次分析中,单元类型采用系统默认的 10 节点四面体单元 solid 187。为了便于转轴分析过程中施加载荷和设定边界条件,此处将转轴进行分段处理,根据转轴上零件的安装位置及键槽长度,利用 Slice 工具将转轴分割为 5 段。转轴的几何形状具有阶梯形,需要对过渡区域进行网格细化处理,所以采用高级划分方式 Proximity 进行划分,单元尺寸设置为最大 5 mm。网格划分结果见图 3。划分后有限元模型包括 98 500 个单元和 150 202 个节点。划分网格后的转轴有限元模型见图 4。根据转轴设计,其材料为 45 钢,密度为 7890 kg/m^3 ,弹性模量为 209 GPa,泊松比为 0.269。



图 4 转轴的有限元模型

Fig.4 Finite element model of the rationing shaft

2 转轴静力学分析

转轴在工作时两端需要轴承支撑,在进行静力学分析中假定转轴是固定不动的,故对转轴轴承安装面施加固定约束。转轴在静平衡状态时除重力外所受载荷:两端受力为垂直方向 48.51 N、转矩为 $44.35 \text{ N}\cdot\text{m}$,中间受力为水平方向 566.23 N、垂直方向 348 N、转矩为 $88.7 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。转轴施加约束和载荷后的结果见图 5。

通过分析计算得到转轴的应力和位移云图见图 5—6。由图 6 可看出,该转轴在弯扭矩共同作用下,轴两端及中间处有弯曲变形和扭转变形,与实际情况相符。由位移云图可以看出转轴最大变形发生

在轴两端，其最大变形量为 0.0092 mm。从应力云图上可以看出，键槽处及轴阶梯处外表面所受应力最大，最大值为 29.94 MPa。轴的材料为 45 钢，其许用扭转切应力 $[\tau_T]=40$ MPa，抗拉强度 $[\sigma_{-1b}]=600$ MPa，可见材料强度适合。轴在实际制造生产中，其阶梯处设计有过渡圆角可以有效降低应力集中，并采用适当的热处理，能够提高轴危险截面处强度，提高轴的安全性。

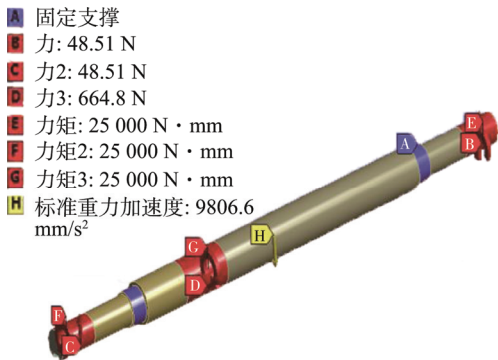


图 5 转轴载荷及约束施加情况
Fig.5 The shaft loads and imposed constraints conditions

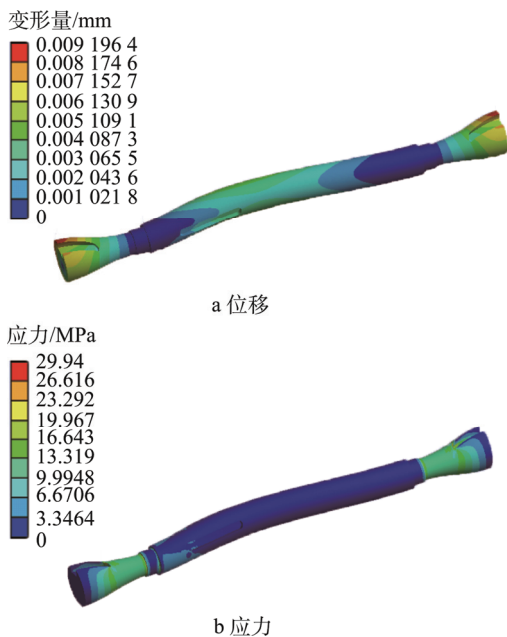


图 6 转轴的云图
Fig.6 The displacement nephogram of the rationing shaft

3 转轴模态分析

该封口机构在进行包装时，其速度为 60 包/min，即该机器工作频率为 1 Hz。为了使机器具备合理的动态特性，避开工作频率可能导致的共振，减小振动和噪声，需要对该转轴进行模态分析，提取结构的固有频率和振型，避免转轴在工作时共振或以特定频率振动。同时可以认识到该零件对不同类型的动力载荷的响应情况，从而有助于提升整机的综合性能。

在模态分析中，转轴几何模型导入、单元类型、材料的选择以及网格划分跟静力分析过程基本相同。在这里转轴两端也是通过轴承进行支撑，把转轴视为刚性约束，因此在转轴的轴承安装面上施加固定约束。该次分析采用系统默认的 Program Controlled 法，设置扩展模态数为 12 阶，得到该转轴前 12 阶模态的频率和振型图，其中几种典型阶模态的固有频率和振型见表 2。

表 2 典型模态的固有频率及振型		
Tab.2 Inherent frequency and mode shapes of typical modal		
阶数	固有频率	振型描述
1	1246.6	中部沿 x 轴方向上下摆动
2	1246.6	中部沿 y 轴方向上下摆动
3	2192.2	两端沿 x 轴方向上下摆动
4	2192.2	两端沿 y 轴方向上下摆动
7	3231.3	中部在 xOz 平面内二阶扭曲
10	5969	中部在 xOz 平面内三阶扭曲

第 1 阶、第 3 阶、第 4 阶、第 7 阶及第 10 阶的模态分析结果云图见图 7。从图 7 中可知转轴每阶的振幅都比较大，说明转轴在工作过程中，共振时产生的振动和噪音会比较大，会严重影响到机器的稳定性。转轴的振动主要集中在轴的中间和轴肩处，在第 1 阶、第 2 阶模态中，主要表现为轴的中间摆动较大，分别沿着 x, y 轴摆动。在第 3 阶、第 4 阶模态中，表现为轴的两端轴肩处沿着 x, y 轴上下摆动。第 7 阶模态中，轴的中部出现 2 次扭曲。在第 10 阶模态中，最大振幅为 3 mm。从模态分析的结果中可以得出，转轴的固有频率均大于 1246.6 Hz。该次转轴外部载荷频率为 1 Hz，与最低固有频率的差距较大，因此该转轴在正常工作时不会引起共振，能够稳定工作，符合使用要求。

4 转轴的疲劳分析

考虑到转轴上固定频率的循环载荷的作用的受力情况，运用疲劳分析软件 nCode DesignLife 进行疲劳仿真，可以提前判断转轴的疲劳状况，从而为转轴的设计提供理论依据^[17]。将转轴受到载荷的有限元分析结果导入 DesignLife 软件，定义载荷序列及建立材料映射，得到转轴的材料疲劳寿命 S-N 曲线见图 8—9。

根据载荷的变化情况对转轴进行高周应力疲劳分析得到转轴的疲劳特性，其分析结果见图 10。深色区域为薄弱区域，位于轴两端阶梯处，说明此处易发生疲劳裂纹和破坏，即受到静力较集中的位置。由图 10 可知转轴绝大部分的疲劳次数大于 1.127×10^8 ，高于无限疲劳次数 (10^7)，故符合安全寿命要求，深色区域为寿命较低的位置，主要集中在键槽圆角处、

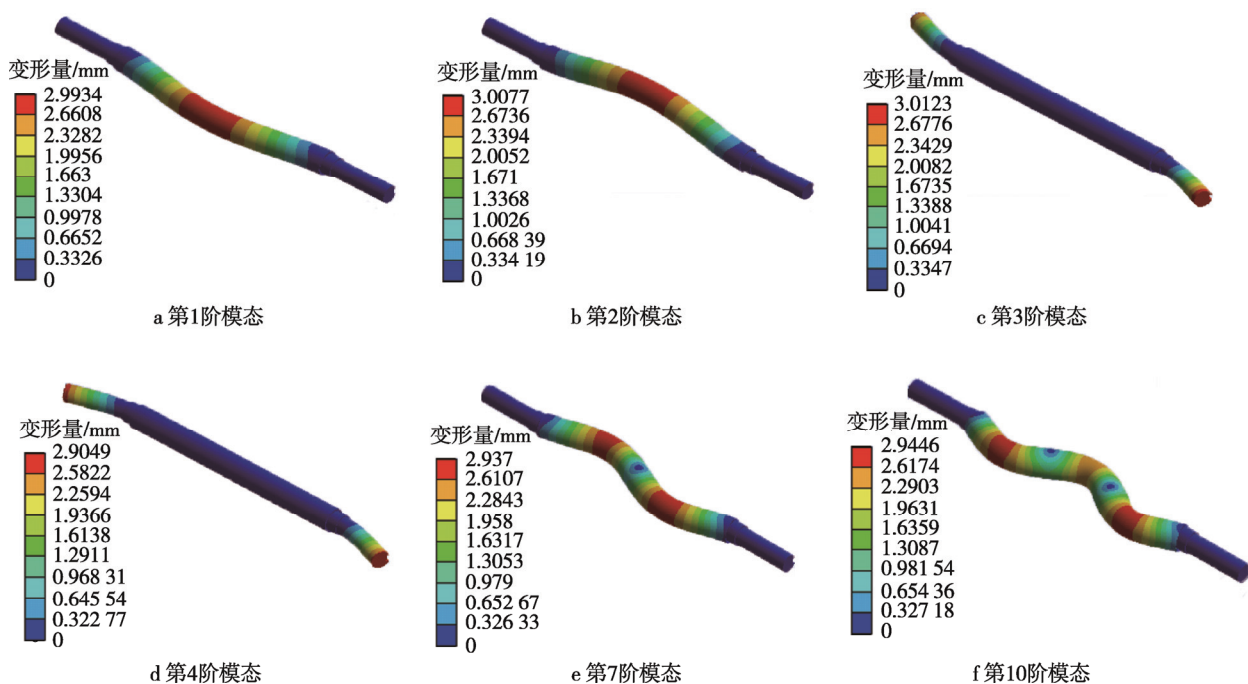


图 7 各阶模态振型位移云图

Fig.7 The displacement nephogram of modal shapes

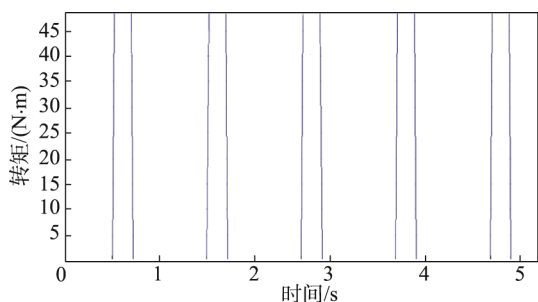


图 8 时间载荷曲线

Fig.8 Loading history curve

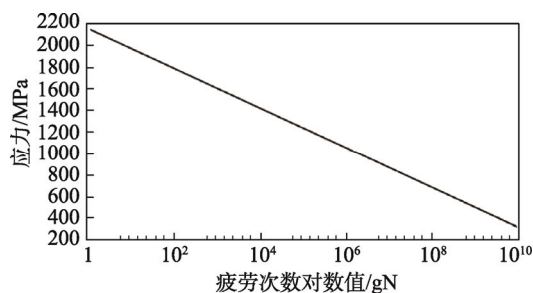


图 9 转轴的材料疲劳寿命 S-N 曲线

Fig.9 The fatigue life S-N curve of the rationing shaft

轴阶梯处的外表面,且区域相对较小,因此,根据仿真分析结果,在对转轴进行加工时,可对可能发生疲劳破坏的位置添加圆角、减小过渡表面的粗糙度值,以减小疲劳裂纹发生概率,提高使用寿命,降低成本。

5 结语

通过 Ansys Workbench 有限元方法对袋成型包装机的封口机构关键零件转轴的静力分析及模态分析,

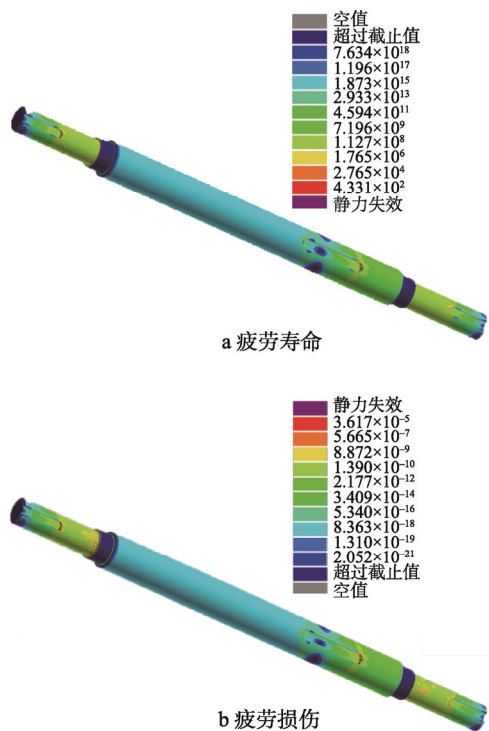


图 10 转轴高周云图

Fig.10 The high cycle clouds of the rationing shaft

证明该零件满足实际的设计需要在具有外部振动载荷的工作条件下不会发生共振,能够稳定工作。同时通过 nCode DesignLife 软件对该转轴进行了疲劳分析,结果表明所设计的转轴满足安全寿命的需求。根据有限元分析结果,该转轴实际生产制造时,采取适当的热处理及对于可能发生疲劳破坏的地方添加圆角、减小过渡表面的粗糙度值等措施有利于减小应力

集中及提高疲劳寿命。该转轴的有限元分析为该类产品封口机构的设计制造提供了理论基础。

参考文献:

- [1] 杨良渠, 杜力. 机械原理与设计[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2014.
YANG Liang-qu, DU Li. Mechanical Principle and Design[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2014.
- [2] 戴宏民, 戴佩燕, 周均. 世界包装机械的发展趋势及中国包装机械的发展对策[J]. 包装学报, 2012, 4(2): 46—51.
DAI Hong-min, DAI Pei-yan, ZHOU Jun. Development Trend of Packaging Machinery in the World and Developmental Countermeasures of Packaging Machinery in China[J]. Journal of Packaging Science, 2012, 4(2): 46—51.
- [3] KUSUDA Y. Food Packing in Past 30 Years and Future Forecast of Packing in the 21st Century[J]. Packaging Japan, 2008(3): 23—27.
- [4] 屈平. 世界包装机械生产现状和发展趋势[J]. 包装机械, 2006(10): 7—10.
QU Ping. Production Status and Development Trend of Packaging Machinery in the World[J]. Packaging Machinery, 2006(10): 7—10.
- [5] HASHIMOTO Y, TETSUYA T, ISHIAKU U S, et al. The Effect of Heat Sealing Temperature on the Properties of OPP or CPP Heat Seal I Mechanical Properties[J]. Polymer Engineering and Science, 2006, 46(2): 205—214.
- [6] MA Li-hui, TAN Run-hua, ZHANG Huan-gao, et al. TRIZ Application in Conceptual Design of Packaging Machine for Dropping Pill of Chinese Tradition Medicine[J]. Management of innovation and Technology, 2006: 21—23.
- [7] YAVUZ H, RZAEV Z, DILSIZ N. Characterisation of Flame Retardant Plasma Polymer Deposited BOPP Film[J]. Plastics, Rubber and Composites, 2008, 37: 268—275.
- [8] SUN X F, CHEN G, LI W. Study on Work Improvement in a Packaging Machine Manufacturing Company [J]. Industrial Engineering and Engineering Management, 2009, 21/21/23: 1155—1159.
- [9] 郭洪鑫. 我国食品和包装机械行业发展趋势[J]. 机械工程师, 2013(2): 3—7.
- GUO Hong-xin. Development Trend of Food and Packaging Machinery Industry in China[J]. Mechanical Engineers, 2013(2): 3—7.
- [10] 王柳莹. 就我国实现全面包装机械自动化的相关探讨[J]. 包装世界, 2013(5): 24—25.
WANG Liu-ying. Discussion on the Realization of Full Packaging Machinery Automation in China[J]. Packaging World, 2013(5): 24—25.
- [11] 唐唤清, 吕建军. 我国包装机械的现状与发展趋势[J]. 中国包装工业, 2015(9): 81—84.
TANG Huan-qing, LYU Jian-jun. Present Situation and Development Trend of Packaging Machinery in China[J]. China Packaging Industry, 2015(9): 81—84.
- [12] 赵晓丽, 董欣, 李紫辉. 粉粒成型充填包装机的改进设计[J]. 制造业信息化, 2006(10): 133—135.
ZHAO Xiao-li, DONG Xin, LI Zi-hui. Improved Design of Filling and Packing Machine for Powder Forming[J]. Manufacturing Informatization, 2006(10): 133—135.
- [13] 陈雪叶, 魏兴. 粉末包装机纵封-横封机构的设计[J]. 制造业信息化, 2014, 36(6): 66—68.
CHEN Xue-ye, WEI Xing. Design of Longitudinal Seal-sealing Mechanism of Powder Packaging Machine[J]. Manufacturing Informatization, 2014, 36(6): 66—68.
- [14] 张晓春. 茶叶自动包装机封口机构的设计与仿真[J]. 机械与电子, 2012(11): 40—42.
ZHANG Xiao-chun. Design and Simulation of Sealing Mechanism for Automatic Packaging Machine[J]. Machinery & Electronics, 2012(11): 40—42.
- [15] 吴晓敏, 龚发云. 基于 ANSYS 的枕式包装机端封机构的低速轴有限元分析[J]. 软件导刊, 2012, 11(3): 92—93.
WU Xiao-min, GONG Fa-yun. Low-speed Axial Finite Element Analysis of End Cap Mechanism of Pillow Packaging Machine Based on ANSYS[J]. Software Guide, 2012, 11(3): 92—93.
- [16] 陈开源, 李柏青, 朱秀娟, 等. 基于 ANSYS 的转轴模态分析[J]. 机械工程师, 2014(12): 196—198.
CHEN Kai-yuan, LI Bai-qing, ZHU Xiu-juan, et al. Modal Analysis of Revolving Shaft Based on ANSYS [J]. Mechanical Engineers, 2014(12): 196—198.
- [17] SIGMUND K A. Fatigue Assessment of Aluminum Automotive Structure[D]. Norwegian: Norwegian University of Science and Technology, 2002.