

基于 VC++ 和 Ansys 的液压缸参数化设计系统

姜考, 曾庆良, 万丽荣, 高魁东, 芦艳洁
(山东科技大学, 青岛 266590)

摘要: **目的** 针对打包机等包装机械液压缸设计标准多、系列化产品重复性设计的问题, 提出液压缸参数化设计系统。**方法** 以 Ansys 为平台, 利用 C++ 和 APDL, 通过混合编程技术和软件通信技术实现 Ansys 软件的二次开发。**结果** 开发出了基于工况条件自动匹配缸体型号的参数化设计系统, 建立了 VC++ 与 Ansys 软件间的数据传输与通信, 在 Ansys 环境中能自动完成缸体的建模与应力分析。**结论** 经验证, 该系统的设计结果满足强度要求, 对设计者与安装人员背景知识要求低, 可满足绝大多数人员使用, 对提高设计分析效率有较大帮助。

关键词: 液压缸; 混合编程; 参数化; Ansys; VC++

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0157-05

Parameterization Design System of Hydraulic Cylinder Based on VC++ and Ansys

JIANG Kao, ZENG Qing-liang, WAN Li-rong, GAO Kui-dong, LU Yan-jie
(Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

ABSTRACT: The work aims to put forward the parameterization design system of hydraulic cylinder with respect to the problems of various design standards of hydraulic cylinder and repetitive design of series products of such packaging machinery as packaging machine. With Ansys as the platform, the secondary development of Ansys software was achieved by C++ and APDL through the technologies of hybrid programming and software communication. The parameterization design system that automatically matched the cylinder model based on the working conditions was developed. The data transmission and communication between VC++ and Ansys software were established to automatically complete the modeling and stress analysis of the cylinder in the Ansys environment. After verification, the design results of the system meet the strength requirements. The requirements for the background knowledge of the designer and installation personnel are low. In such case, the system can be used by a vast majority of personnel and it will be a great help to improve the efficiency of design and analysis.

KEY WORDS: hydraulic cylinder; hybrid programming; parameterization; Ansys; VC++

液压缸是包装机械中重要的设备之一, 具有增力、增压、调高、支撑等功能, 广泛应用于包装机升降平台和电动升降机^[1]。液压缸的选型及其工作情况直接影响整台设备的工作可靠性和稳定性。目前, 传统理论公式与计算机辅助设计软件结合是常见的液压缸设计方法^[2], 利用传统理论公式和行业标准设计

液压缸尺寸, 根据设计尺寸建立液压缸三维模型, 最后导入有限元分析软件仿真分析, 检验应力与应变。运用上述方法存在着比较明显的缺陷和不足: 三维建模与有限元分析过程分离, 降低效率, 同时数据在不同软件间传输会出现精度误差; 系列化产品设计需要多次建模与分析, 这容易造成重复性设计, 降低效率,

收稿日期: 2017-04-25

基金项目: 国家自然科学基金 (51375282); 山东省科技发展计划 (2014GGX103043); 青岛市博士后研究人员应用研究项目 (2016120)

作者简介: 姜考 (1993—), 男, 山东科技大学硕士生, 主攻机电一体化设计。

通讯作者: 曾庆良 (1965—), 男, 博士, 山东科技大学教授、博导, 主要研究方向为机电一体化、并行工程、计算机集成制造系统 CIMS 等。

增加设计人员负担; 液压缸的设计需要查阅资料和标准, 同时有限元分析需要掌握软件操作, 需要对资料搜集和仿真操作有较高的要求; 传统液压缸设计多采用二维设计, 效率低, 柔性差, 不利于 CAD/CAM 系统集成^[3]。显然, 计算机在传统的液压缸设计方法中单纯负责建模与计算, 利用率不高的问题也限制了液压缸整体的设计与开发效率^[4]。

针对上述液压缸设计中的问题, 利用 VC++ 软件设计开发的液压缸参数化设计系统具有面向人机工程的交互界面^[5]和嵌入式数据库, 相比于传统缸体设计方法中存在的选型与校核工作量大、有限元分析软件要求高等问题, 该设计系统具有自动化的操作特点和可视化的操作方式, 能够根据用户对液压缸工况参数的输入自动在数据库中匹配出合适的缸径尺寸, 并通过软件接口实现与 Ansys 软件的通信, 自动完成液压缸的有限元建模及分析等操作, 实现 Ansys 软件的二次开发^[6]。最后通过可视化界面显示设计结果及有限元分析结果。设计系统所采用的参数化设计思路能够大幅度提升设计效率、减少分析成本和降低重复设计, 在复杂产品分析和系列化产品设计中具有应用价值^[7]。

1 液压缸设计系统框架

1.1 系统开发环境

液压缸参数化设计系统的开发工具及运行环境主要包括: Visual C++ 作为系统开发平台, Microsoft SQL Server 作为后台数据库管理系统进行包括缸型选择数据库和有限元模型数据库在内的数据库管理与设计结果的保存^[8], ANSYS 环境下的有限元建模及仿真分析, 另外系统中还包括 Visual C++ 与 Ansys 软件的通信接口, 用户能够根据需要直接利用设计结果驱动有限元建模与分析。

1.2 操作流程

系统流程见图 1, 包括标准库和非标准库在内的 2 种设计数据库, 主要基于产品的可制造性因素考虑^[9]。标准化设计的思路在既有的缸径数据库中选择满足设计强度的标准化液压缸, 而非标准化设计则需要是在标准化设计的基础上逐步增加或减小缸径尺寸与厚度, 反复进行理论和有限元的强度计算和校核直至满足材料强度和工况条件要求。

系统采用理论+仿真的强度校核方式, 确保设计结果可靠性更高。系统根据原始参数匹配缸径尺寸, 设计结果在校核数据库中完成理论强度校核, 达到理论强度要求的设计结果需通过有限元仿真的应力-应变图进行二次强度校核, 只有同时满足上述 2 种校核方式的结果才会显示在界面中。

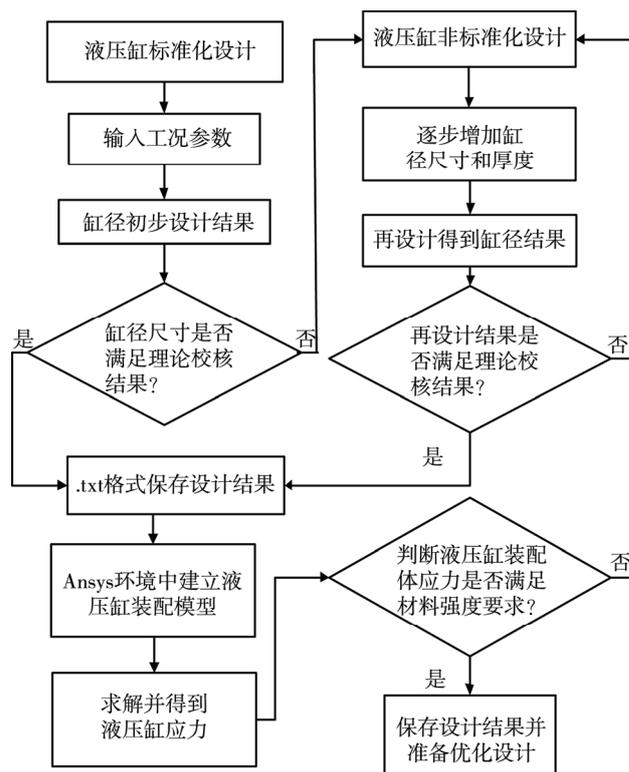


图 1 系统流程

Fig.1 The flow chart of the system

非标准化的设计方式与理论+仿真的校核方式对于人工设计而言耗时费力, 而将上述设计与校核方式包装成数据库嵌入设计系统中, 通过计算机运行即可实现求解与仿真, 方便快捷^[10]。用户得到液压缸的工况参数后输入系统中, 传统方法由设计人员计算校核的部分通过计算机的内在数据库进行处理。同时, 经过计算后的结果会由校核数据库进行强度校核, 如果设计结果能够满足强度要求, 则进行有限元分析进一步确定设计结果能否满足强度要求, 否则, 系统返回缸体设计阶段。需要重点说明的是, 重新返回缸体设计阶段后, 系统控制权由数据库自动控制转移到操作者控制, 缸体设计由标准化设计变为非标准化设计, 用户可以根据已有经验逐步增加缸体直径或壁厚等, 最终得到满足强度要求的缸体尺寸, 上述即为系统基于工况条件匹配缸体型号的功能实现。

1.3 文本框架

液压缸设计系统基于封装功能实现简单操作完成复杂分析的任务, 将液压缸设计过程中设计算法、校核算法、建模程序、加载程序以及后处理等程序封装在特定文件中形成数据库, 见图 2。

系统根据封装的算法设计液压缸, 保存在文档中 (result.txt), 经过用户操作后, 保存在文档的数据传递到 Ansys 中的建模宏文件 (Model.mac), 此时 Ansys 调用建模文件、加载文件 (Load.mac) 及分析文件(result.mac) 完成液压缸的建模与分析过程, 生

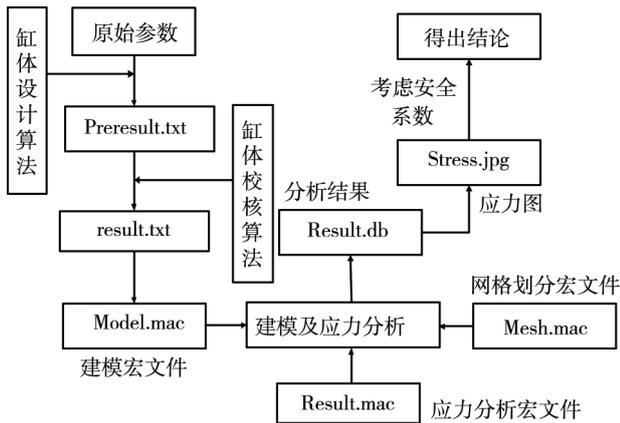


图 2 文件框架
Fig.2 Document framework

成的结果分别保存在 Result.db 和 Stress.jpg 文件中，供使用者分析和查看。

2 液压缸设计系统功能实现

2.1 人机界面

软件界面的编排能否清晰、准确地表达是十分重要的^[11]。根据功能的需要，液压缸参数化设计系统采用分割法实现人机界面的功能布局，见图 3。该界面具有的功能如下所述。

1) 原始参数输入。液压缸设计参数包括工况参数和材料参数，工况参数包括阻力，行程比等，材料参数包括泊松比、材料强度等。工况参数用于设计尺寸，材料参数用于有限元分析。

2) 消息响应触发功能。通过设置响应触发条件，计算机能够根据设置自动连接设计、校核或有限元建模数据库，实现相应的设计、校核等功能。

3) 设计结果显示。设计系统除了能够显示缸体设计结果，还增加了与液压缸配套设备的运行参数的显示，为安装人员选择设备提供参考。

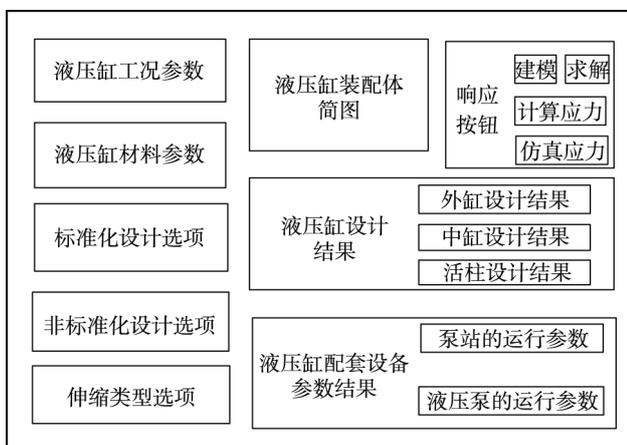


图 3 系统界面布局
Fig.3 The interface layout of the system

2.2 自动建模

Ansys 软件是国际通用的融多种分析于一体的有限元软件^[12]，在 Ansys 软件的环境中进行建模与分析有 2 种方式^[13]：GUI 方式和 APDL 方式，其中 GUI 方式操作简单，但在自动建模方面不如参数化编程语言（APDL），参数化编程语言具有重复利用率高、命令流简要、容易分析与修改等特点，通过将参数化编程语言封装的宏文件嵌入液压缸设计系统，极大地简化了对 Ansys 的直接操作。

自动建模功能的实现是基于 Ansys 软件与 txt 格式的文件之间参数传递实现的。利用 Ansys 环境中自带的参数化编程语言，经过液压缸物理模型转化为有限元模型^[14]，以命令流（APDL）的方式实现有限元模型各个部分的参数化以及 Ansys 软件中加载模块与后处理模块的参数化^[15-16]，最后基于软件之间的通信通道，通过设计结果（.txt）与 Ansys 软件中设计变量的交互，实现相关设计参数的重定义与更新，保证建模与分析数据的准确性。

1) 建模参数化命令流(部分)。

```

/PREP7          SPHERE,dout1,din1,0,180,
ET,1,SOLID185   WPRO,,90,
/UNITS,SI      CYL4,0,0,dout1,,din1,,L1
MP,EX,1,elas  CYL4,0,0,dout2,,din2,,L2
MP,PRXY,1,px   CYL4,0,0,din1,,din2,,L3
WPRO,,,-90,    CYL4,0,0,din1,,dout2,,L4
  
```

2) 加载与后处理命令流。

```

/SOLU          ASEL,A,,,47
ANTYPE,STATIC  DA,ALL,ALL,0
ASEL,S,,,1     ASEL,S,,, 11
ASEL,A,,,2     ASEL,A,,, 12
ASEL,A,,,46    SFA,ALL,PRS,1.5*p*1000
  
```

2.3 消息响应

在液压缸设计系统中，界面是通过 MFC 开发出来。界面包括静态文本控件（Static text）和编辑框（Edit Box）。编辑框通过 GetMessage API 获得消息，消息通过 SendMessage API 传递程序队列，等待外部事件（BN_CLICKED）的触发，一旦系统队列（System Queue）中产生消息，那么程序队列（Application Queue）中的消息将传递到编辑框控件中，进而实现设计结果的实时显示。

液压缸参数化设计系统中的消息响应有显示设计结果响应、保存设计数据响应、唤醒有限元分析软件响应、传递设计结果响应等，消息的产生需要响应触发，下面的 2 段程序分别为保存设计结果的响应程序和唤醒有限元分析软件的响应程序。

1) 显示设计数据及保存设计结果响应。

```

ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON,OnSave as)
Void CSCylinderDlg::OnSave as()
CFileDialog FileDlg(FALSE)
FileDialog_m_ofn.lpstrFilter="Text (*.txt)\0*.txt\0";
  
```

```

FileDlg.m_ofn.lpstrDefExt="txt";
FileDlg.m_ofn.lpstrinitialDir="F:\\";
If(IDOK==FileDlg.DoModal())
{
    CString temp_din1;
    Ofstream ofs(FileDlg.GetPathName());
    GetDlgItemText(IDC_EDIT_DIN1,temp_din1);
    Ofs.write("din1=",strlen("din1="));
    din1=atoi(temp_din1);
    ofs<<din1;
    ofs.write("\r\n",strlen("\r\n"));
}

```

该程序实现了以文本文档的形式保存人机界面的设计结果，以备后续查看与调用。

2) 唤醒有限元分析软件的响应程序。

```

ShellExecute(NULL,"open","E:\ANSYS\Cylinder.
Model.db",NULL,NULL,SW_SHOWNORMAL);

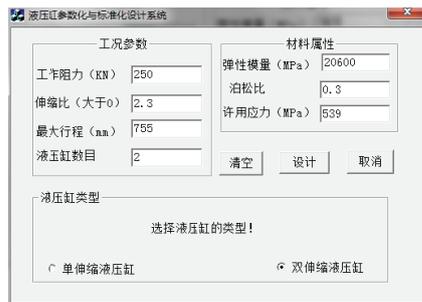
```

该程序能够调用唤醒有限元分析软件并使之置于窗口前端，同时能够调用液压缸有限元模型数据库，实现基于设计结果驱动的液压缸建立方法，为后续的求解与分析做准备。

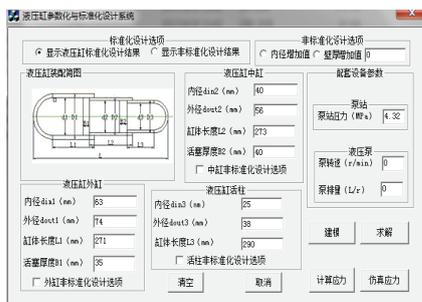
3 系统仿真与分析

基于以上软件系统的架构和关键问题的解决，设计开发了基于 Visual C++和 Ansys 的液压缸参数化与标准化设计系统。系统可以初步根据液压缸工况条件实现缸体尺寸的设计、优化以及 Ansys 分析功能。

运行《液压缸参数化设计系统》，进入缸体尺寸设计-输入界面，见图 4a，输入液压缸运行的工况参数和缸体材料属性中各参数，并在“液压缸类型”中



a 输入界面



b 输出界面

图 4 缸体尺寸设计

Fig.4 Cylinder dimension design

选择液压缸的伸缩类型，完成上述工作后，单击“设计”按钮，进行缸体的设计。“清空”按钮用于快速消除界面输入的参数。“取消”按钮用于放弃设计任务。

进入缸体设计尺寸-输出界面，见图 4b，默认显示的设计结果为液压缸标准设计结果，此时可选择“计算应力”进行理论强度校核，若理论校核满足结果，依次单击“建模”“求解”“仿真应力”进行有限元分析与校核，同时满足上述 2 种校核方法的设计结果会保存至文本文档中，以备后续使用。若设计结果不满足任何一种校核方法时，单击“显示非标准化设计结果”进行非标准化设计，可根据“非标准化设计选项”中的“内径增加值”与“壁厚增加值”单选框选择增加壁厚或内径以满足强度等要求，在此基础上，重复标准化设计的操作即可。

利用上述界面中的工况参数和材料参数设计的双伸缩液压缸有限元模型和应力分析见图 5—6。

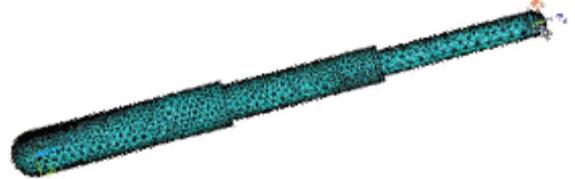


图 5 系统调用 Ansys 建立网格划分模型
Fig.5 Meshing model in Ansys called by the system

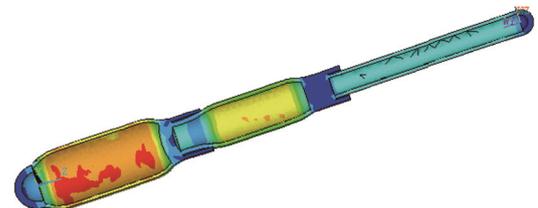


图 6 系统调用 Ansys 分析液压缸应力模型
Fig.6 Stress model of hydraulic cylinder analyzed with Ansys called by the system

4 结语

利用 Visual C++软件作为平台开发的液压缸参数化设计系统，实现了基于工况的液压缸体选型和多种方式校核的功能，主要由人机界面、软件通信接口以及选型数据库和校核数据库等在的嵌入式数据库等模块组成。相对于现有的设计方法，该设计方法具有优点：系统实现了液压系统设计资源的数字化，整合通用液压系统设计资料和数据，减少计算选型、查阅标准及强度校核等中间过程，既能提高设计开发效率，又减少了设计人员的负担；有限元分析软件直接嵌套在系统中，设计结果可直接导入有限元软件实现自动分析，对设计人员的软件操作要求较低；数据库兼备标准化数据库与非标准化数据库，系统采用 2 种优先级，优先选择标准化数据库结果，满足国标要求；

非标准化数据库赋予设计者结果修改权限以保证设计结果满足生产和强度要求。

系统除了具备缸型设计与校核的功能外,还尝试添加了缸配套设备的运行参数要求,为设计人员选择液压缸配套的泵设备型号等提供参考。由于液压缸在包装提升机械中应用较广,使得配套设备种类繁多,难以全部囊括,这一点也正是液压缸参数化与标准化设计系统需要完善和改进的地方。

参考文献:

- [1] 向雪梅, 马振利, 欧忠文, 等. 受限空间车载升降装置方案研究[J]. 包装工程, 2013, 34(7): 56—60.
XIANG Xue-mei, MA Zhen-li, OU Zhong-wen, et al. Scheme Research of Vehicular Lifting Device for Restricted Space[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(7): 56—60.
- [2] 林荣川, 郭隐彪, 魏莎莎, 等. 液压缸临界载荷计算和最优设计[J]. 中国机械工程, 2011, 22(4): 389—393.
LIN Rong-chuan, GUO Yin-biao, WEI Sha-sha, et al. Critical Load and Optimum Design for Hydraulic Cylinders[J]. China Mechanical Engineering, 2011, 22(4): 389—393.
- [3] JIANG S B, HUANG B B, LI X Y. Development of Parameterized Simulation and Analysis System for Cylindrical Gear Based on VC++ and ANSYS[M]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 423: 1866—1869.
- [4] 刘海生, 王宏达, 李涵, 等. 基于 Solidworks 的包装机送料系统参数化设计[J]. 制造业自动化, 2016, 36(6): 145—147.
LIU Hai-sheng, WANG Hong-da, LI Han, et al. Parametric Design of Feeding System in Package Machine based on SolidWorks[J]. Manufacturing Automation, 2016, 36(6): 145—147.
- [5] 罗仕鉴, 孙守迁, 唐明晰, 等. 计算机辅助人机工程设计研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2005, 39(6): 805—809.
LUO Shi-jian, SUN Shou-qian, TANG Ming-xi, et al. Study on Computer-aided Ergonomics Design[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2005, 39(6): 805—809.
- [6] 邓彩艳, 赵俊美, 王东坡, 等. 基于 ANSYS 二次开发的堆焊应力与变形分析系统[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2016, 49(12): 1330—1334.
DENG Cai-yan, ZHAO Jun-mei, WANG Dong-po, et al. System of Surfacing Residual Stress and Deformation Based on Secondary Development of ANSYS[J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2016, 49(12): 1330—1334.
- [7] 徐延宁, 孟祥旭, 吕琳. 基于知识的参数化设计层次模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(10): 1430—1436.
XU Yan-ning, MENG Xiang-xu, LYU Lin. Knowledge-Based Hierarchical Model Supporting Parametric Design[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(10): 1430—1436.
- [8] 孙睿珩, 徐涛, 张昊, 等. 组合近似重分析方法的 ANSYS 二次开发[J]. 吉林大学学报(工学版), 2009, 39(9): 396—400.
SUN Rui-heng, XU Tao, ZHANG Hao, et al. Secondary Development of ANSYS of Combined Approximations Method[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2009, 39(9): 396—400.
- [9] XUE De-yi, DONG Zuo-min. Developing a Quantitative Intelligent System for Implement Concurrent Engineering Design[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 1994(4): 251—267.
- [10] 陈雨, 毛恩荣, 吕黄珍, 等. 基于推理的大型收获机械变速箱参数化设计[J]. 农业机械学报, 2013, 44(10): 278—282.
CHEN Yu, MAO En-rong, LYU Huang-zhen, et al. Parametric Design of Large Harvesting Machinery Transmission Gearbox Based on Reasoning[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 278—282.
- [11] 李余峰, 薛艳敏, 张晓辉. 基于人机工程学的电子设备人机界面设计[J]. 包装工程, 2011, 32(6): 63—66.
LI Yu-feng, XUE Yan-min, ZHANG Xiao-hui. The Human-machine Interface Design of the Electronic Instrument Based on Ergonomics[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(6): 63—66.
- [12] 战丽, 匡立莲, 马岩. 板材推送机送料台结构设计及有限元分析与改进[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 146—150.
ZHAN Li, KUANG Li-lian, MA Yan. Structure Design, Finite Analysis and Improved Design of Sheet Feeding Table[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(5): 146—150.
- [13] PAVEL B, DRAZAN K, PEJO K. Optimization of Thin-walled Constructions in CAE System ANSYS[J]. Tehnicki Vjesnik, 2014, 21(5): 1051—1055.
- [14] 查太东, 杨萍. 基于 Ansys Workbench 的固定支架优化设计[J]. 煤矿机械, 2012, 33(2): 28—30.
CHA Tai-dong, YANG Ping. Optimization Design of Fixed Support Based on Ansys Workbench[J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(2): 28—30.
- [15] TARIQ M M, PASHA M, AHMED M N. A. Munir. Development of APDL Program for Analysis of Composite Material Multicell Beams[J]. Advanced Materials Research, 2012, 443/444: 855—861.
- [16] LI Fu-xu, LI Guang-ji. Application of ANSYS APDL in the Design of Piezoelectric Transducer[C]// International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology, 2015.