

文章编号: 1006-4710(2015)02-0171-05

悬浮烘干系统烘箱体结构优化研究

卫延斌, 侯和平, 张海燕

(西安理工大学 印刷包装与数字媒体学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 烘箱体是悬浮烘干系统的核心部件,其主要功能是为干燥热风进行分配,使干燥热风均匀进入风嘴对基材进行烘干。本文以悬浮烘干系统的烘箱体为研究对象,采用 Gambit 软件对烘箱体结构进行三维建模,用 Fluent 软件进行热流体力学分析,根据分析结果优化改进烘箱体结构,并仿真对比几种结构优化效果。研究表明,改进的结构设计不仅能获得更好的热风分配效果,而且能降低烘箱体结构设计难度。

关键词: 涂布设备; 悬浮烘干系统; 烘箱体; 流体动力学; 结构优化

中图分类号: TS803.6 **文献标志码:** A

Research on drying oven body structure optimization of suspension drying system

WEI Yanbin, HOU Heping, ZHANG Haiyan

(Faculty of Printing, Packaging Engineering and Digital Media Technology,
Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The oven body is the core component of suspended drying system, whose main function is to allocate the hot drying air whereby making the hot air enter into the wind mouth evenly for drying the substrates. In this paper, with the oven body of the suspended drying system as an object, three-dimensional model of the oven body structure is set up with Gambit software, and the hot fluid mechanics are analyzed with Fluent software. According to the analysis results, the oven body structure is improved optimally, and several optimizing structure is further simulated and compared. The study results show that the improved structure can not only get the better effect of the hot air distribution, but also reduce the difficulty of the oven body structure design.

Key words: coating equipment; suspended drying system; oven body; fluid dynamics; structure optimization

悬浮烘干技术是一种新型的热风干燥技术,它利用空气动力学原理,由一系列上下水平交错或对称排列的空气喷嘴形成特殊热风流场,支撑基材在烘箱里面运行并进行干燥。该技术被广泛应用于化工、电力、建材、印刷包装等行业,尤其适用于高精度涂布机和凹印机以及造纸机等设备^[1-7]。近几年,国内外印刷包装行业发展迅猛,涂布机和凹印机是包装印刷企业的重要生产设备,其生产效率、产品质量等关键参数均与干燥装置有着相当大的关系,干燥装置的性能已成为制约涂布机、凹印机等设备发展的主要因素之一^[2-5]。

凹印机烘干装置主要由风机、风管、烘箱体和风嘴等部分组成。在烘干过程中,空气经加热后由风机引入风管,最后经风嘴吹向承印物表面以完成油

墨的干燥。近年来,相关学者对烘干系统各环节进行了研究,刘建等^[2]根据凹印机烘箱,建立了风嘴的三维流体数学模型,获得了风嘴出风场分布情况,发现风嘴出风不均匀且存在湍流,为风嘴的风场优化提供了基础;白文华等^[3]对烘箱喷嘴冲击流场进行了分析,研究了风嘴高度、宽度与壁面附近流速之间的规律;武吉梅等^[6]对凹印机烘箱进行了分析,应用流体力学对烘箱内部热风进行了运动学、动力学等分析,提出了烘箱的改进设计方案。从相关的研究结果看,尽管已经取得了一些成果,还存在一些不足之处,一是当前研究多集中在整个烘干系统中,对于风嘴、管道等基本部件分析不足;二是以主要部件为研究对象的研究内容有待继续扩展。

收稿日期: 2015-01-07

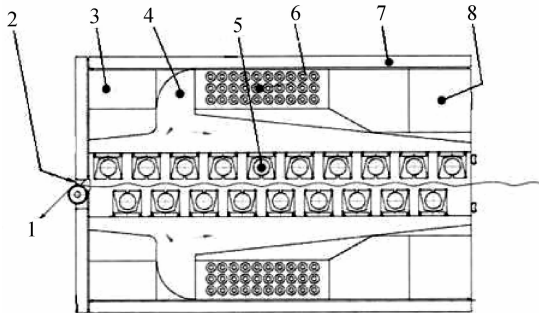
基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2013BAF04B00);陕西省科技计划资助项目(2014K07-03);陕西省教育厅重点实验室科研计划资助项目(14JS068)。

作者简介: 卫延斌,男,博士,讲师,研究方向为印刷设备设计优化及其自动化。E-mail: yb_wei@163.com。

本文以悬浮烘干系统的烘箱体为研究对象,分析了影响烘干效果的几种因素,对箱体结构尤其是导流板进行了优化设计,并仿真对比了几种优化效果。

1 悬浮烘干系统分析

悬浮烘干系统主要由供风系统、排风系统、烘箱体、风嘴和外箱体组成(见图1)。基材的烘干过程在烘箱体内完成,因此,烘箱体是烘干系统的核心部件。



1. 基材; 2. 端面密封件; 3. 排气管; 4. 平稳的气流;
5. 风嘴; 6. 热交换; 7. 绝缘; 8. 再循环

图1 悬浮烘干系统的结构图

Fig. 1 Structure diagram of suspended drying system

悬浮烘干系统箱体由上箱和下箱组成,上、下箱体为长方体并铺有保温层,上箱体和下箱体间一端使用铰链连接,另一端通过气缸实现辅助开合功能。平稳的气流进入烘箱体,经过烘箱体的引导和分配形成均匀热风进入每个风嘴,风嘴喷出高速热风在风嘴和基材之间形成湍流完成烘干,完成干燥任务的热风由抽风机抽出,从排风管排出烘箱。

烘箱体是悬浮烘箱的内腔体,体内安装依据箱体结构设计的导流板,由导流板对干燥热风进行引导和分配,使干燥热风均匀分布于烘箱体内。因此,导流板规格和位置对烘干效果影响很大。

2 烘箱体建模与数值模拟

2.1 烘箱体模型的建立

依据资料对某公司烘箱体进行建模。模型热风入口为长方形,10个长方形出口与10个风嘴相连,导流板长700 mm,宽186 mm,距离干燥热风入口150 mm;采用Gambit对导流板进行设计并用Pro/E软件建立三维模型(如图2所示)。烘箱体主要结构参数如表1所示。

表1 烘箱体主要结构参数

Tab. 1 The main structure parameters of the oven body

项目	规格	项目	规格
总长	3 000 mm	入口	314 mm × 143 mm
总宽	800 mm	出口	106 mm × 800 mm
总高	286 mm	上壁面 倾斜角度	5°和7°

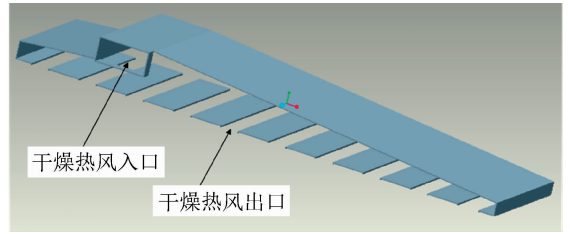


图2 烘箱体结构三维模型图

Fig. 2 The 3D model structure diagram of drying oven body

为后面对比分析方便,定义资料模型为模型结构A。

2.2 边界设定及求解方法

根据烘箱体内干燥热风的物理性质,200℃时,干燥热风密度 ρ 为1.235 kg/m³;动力粘度 μ 为2.58×10⁻⁵ Ns/m²;比热容 C_p 为1.034 kJ/(kg·K);热传导系数 λ 为0.039 3 W/(m·K)。

速度进口边界条件是用进口处流场的速度及相关流动变量作为边界条件。本文模型中采用给定速度值且假定速度垂直于边界,速度值以及当量直径等参数的设定均以计算值为准。依据计算分析,速度入口边界条件设为:热风速度取12.06 m/s;湍流强度 I 取3.55%;湍动能 k 为0.274 9 m²/s²;湍流耗散率 ϵ 为1.206 9 m²/s³。

出口条件为压力出口边界条件,压力出口边界条件设为静压定义为0 Pa;湍流强度 I 为4.96%;湍动能 k 为6.2×10³ m²/s²;湍流耗散率 ϵ 为6.13×10³ m²/s³。

求解算法采用SIMPLE算法,模拟计算的求解插值方法使用二阶迎风格式。首先,假定一个作为计算动量离散方程中的系数及常数项的速度分布和一个压力场,然后对动量方程依次进行求解;通过求解结果对压力进行求证,根据修正后的压力值对速度值进行改进;利用改进后的速度场求解那些通过源项物性等于速度场耦合的变量,如果变量并不影响流场,则应在速度场收敛后再求解;利用改进后的速度场重新计算动量离散方程的系数,并利用改进后的压力场作为下一层次迭代计算的初值^[8]。通过不断地修正计算结果,交替求解压力场和速度场的迭代过程,直到获得收敛解。

2.3 数值模拟结果分析

迹线是单个质点在连续时间过程内的流动轨迹线,速度迹线图可以清晰地显示计算域内速度粒子的流动情况。根据分析数据,结构A干燥热风轨迹线图如图3所示,左边的颜色标尺代表速度,速度不同颜色不同,流线越密表示此处干燥热风速度越大。

从图3速度粒子的流动轨迹可以看出,干燥热

风进入烘箱体后,一部分干燥热风由于导流板的作用在导流板处往两边流动;一部分干燥热风直接流到烘箱体的入口对侧的壁面上,在壁面的作用下往两边流动。

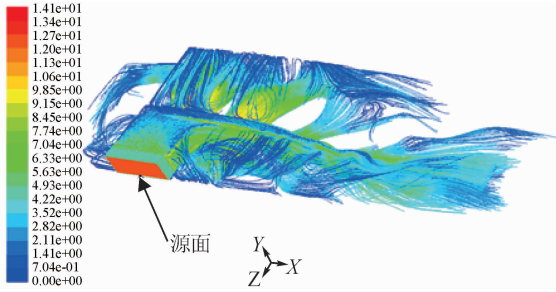


图3 热风迹线图

Fig. 3 Path line of the hot air

速度等值线云图中不同颜色代表不同的速度,颜色越均匀代表速度的均匀性越好。图4所示为十个出口的速度等值线云图。从图4可以看出,十个出口的干燥热风速度很不均匀。

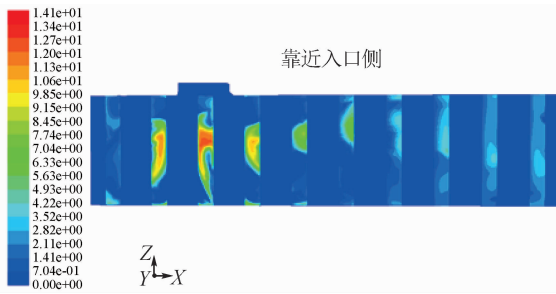


图4 出口的速度等值线云图

Fig. 4 Velocity magnitude cloud contours on outlet

从图3和图4可知,悬浮烘干系统的烘箱体结构A热风分配效果与目标热风分配效果差距很大。因此,必须对该烘箱体结构进行优化,以求更好的热风分配方案和烘干效果。

3 烘箱体结构优化

经验表明,影响烘箱体对干燥热风分配的关键因素有烘箱体的长和宽、干燥热风入口的位置和形状、导流板的位置和形状,以及某些对干燥热风分配有影响的附加结构如导风管等^[2-6]。由于烘箱体的长和宽需根据风嘴的结构来确定,文献[5]研究确定了风嘴的最优结构,因此本文烘箱体结构优化项目选择不考虑烘箱体的长和宽,优化的目标为使烘箱体十个出口的干燥热风速度均匀性更好。

3.1 优化方案

在烘箱体结构A的基础上,对烘箱体结构设计了4种优化方案,如表2所示,干燥热风入口参数依据不同方案计算如表3所示。

表2 烘箱体的优化方案

Tab. 2 The optimization scheme of the oven body

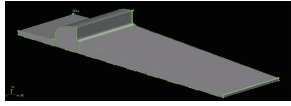
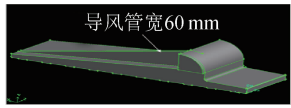
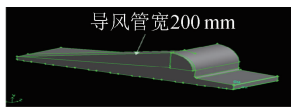
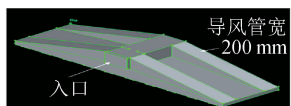
方案	名称	优化特征	流体域
1	结构B	1/4圆入口,位于上部	
2	结构B加导风管A	导风管宽60mm	
3	结构B加导风管B	导风管宽200mm	
4	结构C	对称结构,4个导风管	

表3 干燥热风入口的计算参数

Tab. 3 The calculation parameters of drying air entrance

方案	1	2	3	4
入口速度/(m/s)	14.24	14.24	14.24	13.70
当量直径/mm	314	314	314	280
雷诺数 Re	214 036	214 036	214 036	183 622
湍流强度 $I/\%$	3.45	3.45	3.45	3.52
湍动能 $k/(\text{m}^2/\text{s}^2)$	0.362	0.362	0.362	0.348 8
湍流耗散率 $\epsilon/(\text{m}^2/\text{s}^3)$	1.628	1.628	1.628	1.727

3.2 优化结果分析

采用本文前述方法分别对4种优化方案结构进行仿真分析,分析结果如图5所示。

对比分析优化前结构A和优化后结构B可以看出,烘箱体结构B干燥热风的入口位置和形状优化后,10个出口的热风速度均匀性得到了改善。

对结构B进一步优化,增加导风管结构,随着导风管宽度增加,如方案2和3,10个出口干燥热风的速度均匀性更好。

综合考虑几项优化因素,并采用对称结构给出优化结构C,可以看出,出口热风的均匀性远远优于之前的几个结构,并且对称结构有助于降低箱体结构设计难度。

进一步对烘箱体结构C的仿真分析数据进行研究,提取10个出口干燥热风的平均速度值,列于表4。

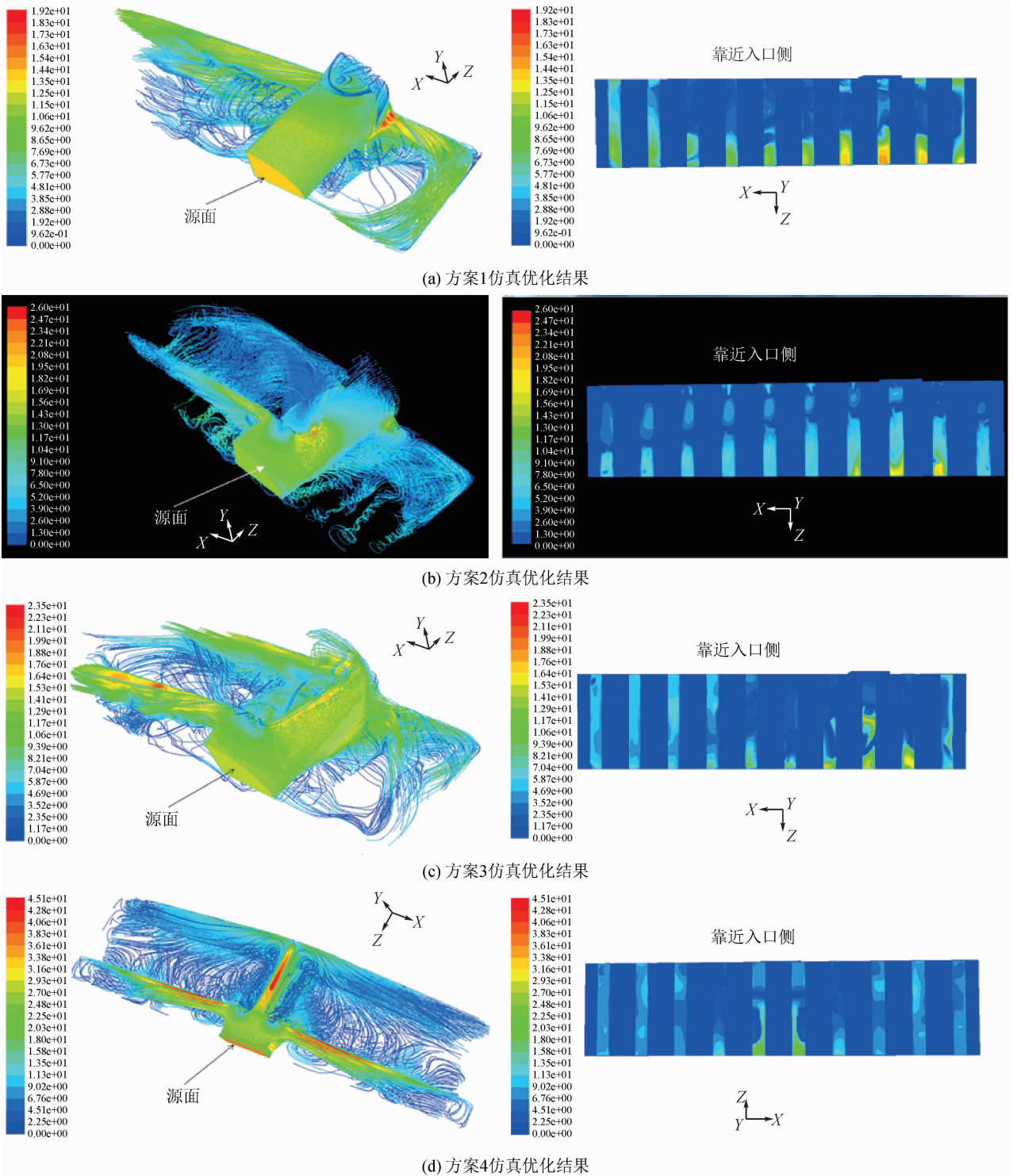


图5 四种优化方案仿真分析结果图

Fig. 5 The analysis results of 4 kinds of optimization scheme

表4 10个出口的平均速度

Tab. 4 Average velocity of ten outlets

出口	平均速度/(m/s)	出口	平均速度/(m/s)
1	7.232 571 1	6	8.080 787 7
2	7.742 569 4	7	6.548 502 7
3	7.580 235 5	8	7.702 854 6
4	6.679 709 7	9	7.868 861 2
5	8.117 085 5	10	7.726 536 3
Average	7.527 971 3 m/s		

由表4可看出,1、2、3、8、9、10出口的平均速度基本持平;4、7出口的平均速度基本持平,且比其它出口的平均速度要小一些;5、6出口的平均速度基本持平,比其它出口的平均速度大一些。

整体来看,10个出口的平均速度相差不大。

4 结 论

1) 现有资料提供的烘箱体结构较差,此结构烘箱体十个出口干燥热风的均匀性很差,需要对它进行结构的优化;

2) 影响干燥热风均匀性因素较多,导风管的位置和尺寸对热风的分配也有影响,增加导风管可以明显改善十个出口热风均匀性;

3) 综合考虑干燥热风入口、导流板、导风管对烘箱体内热风分配的影响,采用优化方案 4 对称机构优化烘箱体结构利于热风的更好分配,同时能降低设计难度。

参考文献:

- [1] 赵仁平,何鹏德. 纸张干燥技术及其能效分析(上)[J]. 中华纸业,2014,35(16):10-14.
Zhao Renping, He Pengde. The paper drying technology and its analysis on energy consumption[J]. China Pulp & Paper Industry,2014,35(16):10-14.
- [2] 刘建,张海燕,刘琳琳. 凹印机喷嘴风速损失问题的流体动力学分析[J]. 轻工机械,2011,29(3):1-4.
Liu Jian, Zhang Haiyan, Liu Linlin. Fluid dynamics analysis about the lose of the velocity of the air nozzles of gravure press [J]. Light Industry Machinery,2011,29(3):1-4.
- [3] 白文华,黄清明,包能胜,等. 凹版印刷机干燥过程分析与节能优化设计[J]. 包装工程,2010,31(23):28-31.
Bai Wenhua, Huang Qingming, Bao Nengsheng, et al.

Analysis of drying process and energy-saving optimization design of gravure oven[J]. Packaging Engineering,2010,31(23):28-31.

- [4] 张海燕,刘金金,徐卓飞,等. 凹印机烘干装置风嘴横风板结构参数研究[J]. 包装工程,2014,35(24):94-99.
Zhang Haiyan, Liu Jinjin, Xu Zhuofei, et al. Structural parameters of cross-wind-board for drying nozzle in gravure printing machine[J]. Packaging Engineering,2014,35(24):94-99.
- [5] 厉胜. 悬浮式烘箱的数值模拟分析[D]. 西安:西安理工大学,2012.
Li Sheng. Structural analysis of the floating drying oven [D]. Xi'an:Xi'an University of Technology,2012.
- [6] 武吉梅,徐宗磊,陈允春,等. 凹版印刷机干燥箱流体动态分析及参数优化[J]. 振动与冲击,2012,31(6):53-57.
Wu Jimei, Xu Zonglei, Chen Yunchun, et al. Fluid dynamic analysis and parametric optimization for drying-oven of a gravure printing machine[J]. Journal of Vibration and Shock,2012,31(6):53-57.
- [7] 李海鹏,孔德勇. 干燥滚筒内流场和传热过程的数值模拟[J]. 工程机械,2011,42(6):20-43.
Li Haipeng, Kong Deyong. The flow distribution and heat transfer process numerical simulation of the drying drum [J]. Construction Machinery and Equipment,2011,42(6):20-43.
- [8] 王福军. 计算流体力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京,清华大学出版社,2004:134-167.

(责任编辑 王卫勋)

(上接第 163 页)

- [8] Ducotey K S. A Numerical algorithm for determining the traction between a web and a circumferentially grooved roller [J]. ASME Journal of Tribology,2000,122:578-584.
- [9] Hashimoto H. Improvement of web spacing and friction characteristics by two types of stationary guides [J]. Journal of Tribology,2001,123(7):509-516.
- [10] 马利娥,吴志勇,武吉梅,等. 凹版印刷机导向辊的挠曲变形分析及结构优化[J]. 包装工程,2014,35(13):100-104.
Ma Li'e, Wu Zhiyong, Wu Jimei, et al. Deformation analysis and structure optimization of flexure gravure printing machine roller guide[J]. Packaging Engineering,2014,35(13):100-104.
- [11] 马利娥,梅雪松,李彦峰,等. 薄膜传输系统导向辊的力学特性分析[J]. 西安交通大学学报,2014,48(11):86-91.
Ma Li'e, Mei Xuesong, Li Yanfeng, et al. Mechanical behaviors of guide roller in web transfer system[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University,2014,48(11):

86-91.

- [12] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [13] 武吉梅,王忠民. 用无网格法分析弹性约束运动薄膜的振动特性[J]. 西安理工大学学报,2009,25(1):56-61.
Wu Jimei, Wang Zhongmin. Vibration characteristics for moving membrane with elastic constraint by meshless method[J]. Journal of Xi'an University of Technology,2009,25(1):56-61.
- [14] 戴少度. 材料力学[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [15] 胡国良,任继文,龙铭. ANSYS 13.0 有限元分析实用基础教程[M]. 北京:国防工业出版社,2012.
- [16] 胡仁喜,徐东升,李亚东. ANSYS13.0 机械与结构有限元分析从入门到精通[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [17] 郑子君,陈璞,王大钧,等. 杆、梁有限元模型的模态的振荡性质[J]. 振动与冲击,2012,31(20):79-83.
Zheng Zijun, Chen Pu, Wang Dajun. Oscillation property of modes for FE models of bars and beams[J]. Journal of Vibration and Shock,2012,31(20):79-83.

(责任编辑 王卫勋)