

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.05.003

喷气织机主喷嘴引纬特性实验研究

李相东¹, 金玉珍¹, 王健²

(1. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018; 2. 江苏麦普科技有限公司, 江苏 昆山 215300)

摘要:为分析喷气织机引纬过程中纬纱进入筘槽段内的运动状态,减少纬纱飞行过程中卷曲、飘动等不利运动情况,通过优化引纬工艺参数,搭建纬纱运动特性观测实验平台,利用高速摄影技术对纬纱飞入筘槽部分进行拍摄研究,获得气流特性与纬纱运动速度、加速度等参数之间的关系。实验结果表明,当主喷压力为0.3 MPa、主喷嘴出口距筘槽长度为20 mm,主喷嘴出口距第一辅喷嘴距离为50 mm时,织造能耗小,纬纱波动小,引纬效率高。研究结果为实际生产提供了参考。

关键词:喷气织机;主喷嘴;异型筘;气流引纬;高速摄影

中图分类号:TS103.3

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)05-0010-05

Experimental Investigation of Weft Yarn Insertion on Main Nozzle of Air-Jet Loom

LI Xiangdong¹, JIN Yuzhen¹, WANG Jian²

(1. School of Mechanical Engineering and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. Jiangsu Maipu Mechanical and Electrical Company, Kunshan, Jiangsu 215300, China)

Abstract: To further learn the motion state of weft yarn insertion of the air-jet loom, the adverse movements of reducing weft crimp, and fluttering etc in the process of weft flying, the weft yarn insertion process parameters were optimized. The weft insertion motion experimental platform was adopted, and the characteristics of the weft yarn motion were filmed by using the high-speed photography technology, and then the relationships of parameters between the airflow characteristics and the weft yarn velocity, acceleration and efficiency etc were given. Experiment results show that when the main injection pressure is 0.3 MPa, the distance between the main nozzle outlet and the profiled reed is 20 mm, and the distance between the main nozzle outlet and the first relay nozzle is 50 mm. The energy consumption and weft yarn fluctuation are small, and the production efficiency is high. The above research results provide reference to the actual production.

Key words: air-jet loom; main nozzle; profiled reed; weft insertion; high-speed photography

相比于其它织机,喷气织机具有效率高、噪声小、品种适应性强等优点,因而在现代纺织工业中得到迅速发展和应用。然而,因其采用气流引纬方式,能耗比其它织机大。国内外很多学者从实验测试和数值仿真等方面对喷嘴设计、流场分析以及纬纱在喷射流场内运动机理做了很多研究。M. H. MOHAM 等^[1-2]利用热线风速仪和压力传感器等装置测量不同结构喷嘴的气流速度和压力,通过实验测试方法对喷气织机主喷嘴结构进行研究改进,得出喷嘴各部件尺寸形状对喷射流

场的影响,并分析了流场分布与引纬速度等参数的关系;M. ISHIDA 等^[3-4]实验测量喷嘴内壁面静压分布,分析了供气压力和导纱管长度变化对气流速度的影响,并利用纹影摄影技术形象表示出喷管内射流加速趋势;T. H. OH 等^[5]利用数值模拟方法对主喷嘴内部和导纱管出口处流场进行仿真,得出射流压力、速度和马赫数等参数的分布规律,为合理设计喷嘴尺寸提供依据和指导;G. BELFORTE 等^[6]利用 FLUENT 流体仿真软件对喷嘴流场和气流对纬纱作用力进行仿真分

收稿日期:2015-06-08;修回日期:2015-07-02

作者简介:李相东(1990),男,江苏东海人,硕士研究生,主要研究方向为纺织机械气流应用。E-mail:lx0910011025@163.com

析,并与实验结果进行比较,得出不同供气压力、导纱管长度等参数下气流对纱线拖曳力的变化。国内祝章琛、郭兴峰等^[7-12]对喷气织机主喷嘴射流场特性进行了大量的分析研究,得出喷射气流速度分布规律和气流对纬纱作用力等特性,并分析不同喷嘴尺寸和供气压力对流场特性的影响。

综上所述,人们对喷气织机主喷气流牵引纬纱飞进梭口的研究相对较少,本文在现有研究基础上,运用 FLUENT 软件仿真验证主喷嘴喷射气流的射流特性,利用高速摄影技术对主喷气流牵引纬纱飞入梭口的部分进行拍摄研究,两者结合分析纬纱运动状态,评估纬纱波动特征,找出引纬工艺参数对纬纱运动状态的影响。本文所做的研究及得出的结论对于认识喷气引纬过程中纬纱运动规律、优化引纬工艺参数、提高喷气织机效率具有一定的参考价值。

1 实验装置和测试方法

实验平台如图 1 所示,所用设备主要有:PCO.1200S 高速摄影仪,RFJA10 喷气织机引纬系统,高效摄影灯,计算机系统等。实验采用 21^s/2 纯棉纬纱,在纱线上间隔 10 cm 标记黑点,便于后期图像分析处理。将拍摄图片导入 Image Pro-Plus 6.0 (IPP) 软件中,手动跟踪纱线上的标记黑点,因相邻 2 帧之间时间间隔很小,故可以采用相隔 2 帧间距内标记黑点运动速度的平均值来表征纱线在此引纬条件下的飞行速度 V ,用相邻时刻的速度差来表示纱线此刻的加速度 a :

$$V = \frac{X_2 - X_1}{\Delta t}, a = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t} \quad (1)$$

式中: X_2 和 X_1 为前后帧中纬纱某标志黑点的轴向位置/mm,其值之差为在此时间段内的位移; Δt 为纬纱飞行一帧所需的时间/s,根据实验条件,本文中 Δt 为 0.000 727 s,纬纱飞行时间 $T = n\Delta t$,其中 n 为坐标轴所示数值。

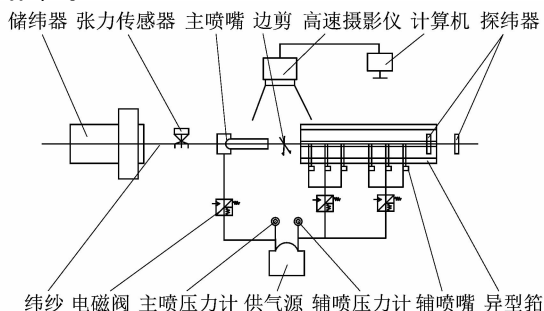


图 1 纬纱运动特性实验平台

Figure 1 Experimental platform of weft insertion motion

2 结果与分析

2.1 主喷嘴气流场特性

主喷气流主要作用是利用气流与纱线的摩擦带动纬纱快速稳定进入箱槽,纬纱受主喷气流作用主要分为导纱管内部气流对纬纱的作用力和导纱管外部气流对纬纱的作用力 2 个部分,本文主要分析导纱管外部纬纱受力运动情况。利用 FLUENT 软件对主喷嘴外部射流进行仿真计算,验证主喷射流的流场特性,射流流场特性如图 2 所示^{[7]453}。图 2(b)中, v_0 为喷嘴出口处中心气流速度, v_x 为射流轴线上距离喷嘴出口长度为 x 处点的速度。初始段 S_0 又称核心区,射流锥体 abc 叫做射流核心区,在核心段内,射流速度与喷嘴出口速度一致,此区域内气流速度快,可带动纬纱迅速加速;初始段以后到最后淹没在大气中的射流段为基本段,在基本段内,射流速度迅速衰减,但在此区前段内速度仍比纬纱飞行速度快,对纬纱仍有加速作用,后段速度小于纬纱速度,纬纱易出现弯曲。

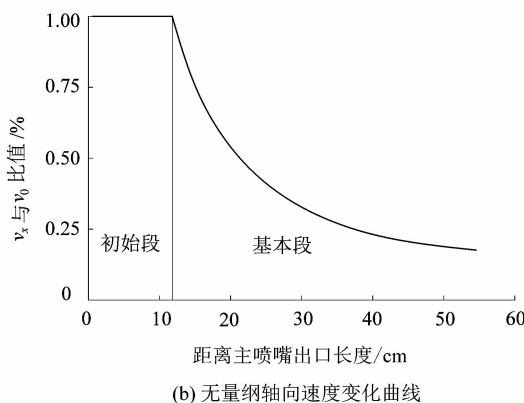
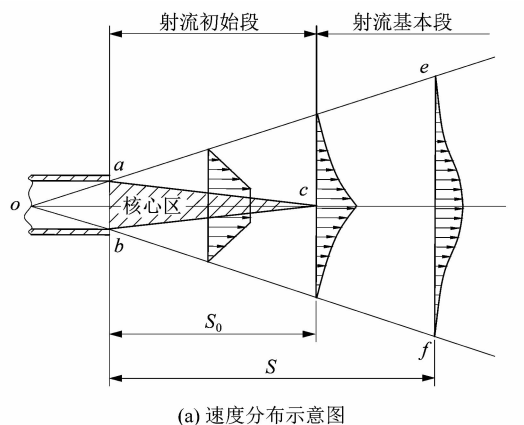


图 2 主喷嘴外部流场特性

Figure 2 External flow field characteristics of main nozzle

主喷嘴射流核心区长度及主喷射流中心线上气流速度均可通过经验公式确定:

$$S_0 = \frac{cD}{\delta}, v_x = v_0 \frac{0.97}{\frac{\delta x}{r_0} + 0.29} \quad (2)$$

式中: c 为实验常数, 约为 0.335; D 为喷管直径/mm, 本引纬系统喷管直径为 3.5 mm; δ 为紊流系数, 取 0.07; v_0 为喷嘴出口处中心气流速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); x 为距喷嘴出口的距离/mm; r_0 为主喷嘴半径/mm, 此处为 1.75 mm。

根据公式(2)计算出本引纬系统主喷嘴射流核心区长度约为 16.75 mm, 因第一辅喷距主喷嘴距离为 50 mm, 由公式可求得在第一辅喷嘴处主喷气流轴线速度约为 144 m/s。

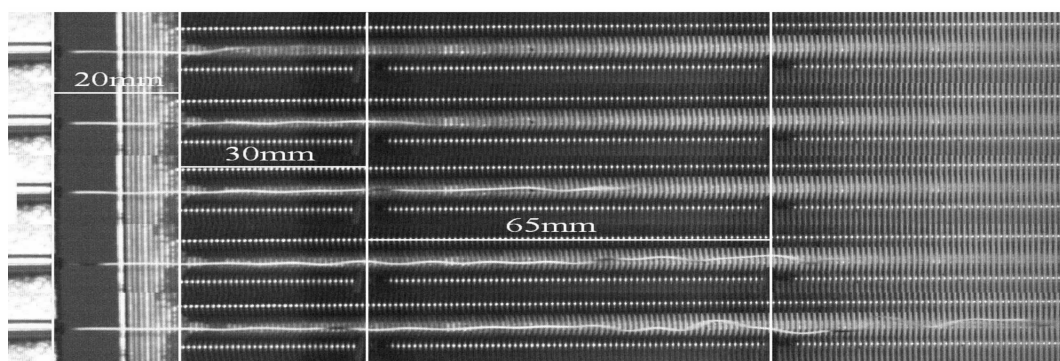


图3 纬纱飞行动态图

Figure 3 Dynamic state of weft flying

在主喷嘴出口到第一辅喷之间(简称主一段内), 纬纱基本无波动的平直飞行, 此时求取的速度误差最小, 在此区域内求取速度时假设纱线平直刚性飞行, 纱线上某点的速度便代表纱线整体速度。后续图中实验值便是在此假设条件下算出的。

2.3 主喷气压和异型筘影响

在有异型筘和无异型筘 2 种实验状况下, 测量不同主喷压力下的纬纱飞行速度, 进而分析异型筘和供气压力变化对引纬速度的影响。分别绘出纬纱飞行时间—速度曲线图, 如图 4 所示。从图中可以看出, 气压越大, 纬纱飞行速度越大, 纬纱喷出喷嘴后便处于加速阶段, 增加到最大速度后出现减速趋势, 纱线头端减速、后端加速是造成纱线不挺直飞行的主要原因。本文研究分析主喷嘴牵引纬纱飞行的主要目的便是在引纬整个过程中, 延长纬纱高速飞行时间, 此时纬纱速度大, 引纬效率高。沿异型筘排列的系列辅喷便起到维持纬纱速度与状态的功能。比较 4(a)、4(b) 两图可知, 无异型筘时, 纬纱整体运动趋势与有异型筘时相同, 纬纱速度随主喷压力增大而增大, 最大速度也随主喷压力的增大而提高, 但有异型筘时纬纱飞行达到最

2.2 纬纱运动分析

图 3 所示为纬纱飞行动态图, 从图中可以看出, 在喷嘴射流核心区内纬纱呈直线飞行状态进入筘槽, 此处喷嘴出口处离筘槽距离 20 mm。在射流核心区以外至第一辅喷范围内纬纱仍平直飞行但稍有波动。其主要是因为射流核心区外气流速度比核心区内低很多, 给纬纱的摩擦力比核心区内给纬纱的摩擦力小, 这样纬纱后部速度高于前部, 便会出现后部推动前部而波动前进的现象。在 80 mm 后出现剧烈波动现象。故现代喷气织机引纬系统便沿异型筘分布辅助喷嘴, 以维持纬纱飞行速度, 减少卷曲波动, 提高引纬质量与效率。

大速度所用时间比无异型筘时少, 相同气压下纬纱运动的最大速度值也有差异, 具体差异如图 5、图 6 所示。

图 5 所示为不同主喷压力下纬纱飞行最大速度图, 图 6 所示为不同主喷压力下纬纱飞行达到最大速度所用时间图。从图中可以看出, 主喷压力越大, 纬纱飞行的最大速度越大, 达到最大速度所用时间越短。异型筘对纬纱速度增加、减小达到最大速度时间有明显促进作用。主喷压力在 0.12 ~ 0.47 MPa 时, 异型筘对纬纱速度的提高有很大促进作用, 在 0.12 MPa 之前和 0.47 MPa 之后, 异型筘对纱线速度的影响相对较小。因为当气压大于 0.47 MPa 时, 气流集束性强, 主一段内气流速度大, 气流分散少, 异型筘限制气流扩散的作用便不明显; 当气压小于 0.12 MPa 时, 气流速度小, 压力低, 气流极易扩散, 在很短距离内速度、压力等参数降至最低, 异型筘对气流约束作用便不显著, 所以对纬纱速度影响较小。综上所述, 采用主喷、辅喷和异型筘相结合的引纬方式可以明显提高引纬速度。从减少能耗方面考虑, 主喷压力在 0.3 MPa, 主喷嘴距异型扣槽距离 20 mm 时引纬效率最高。

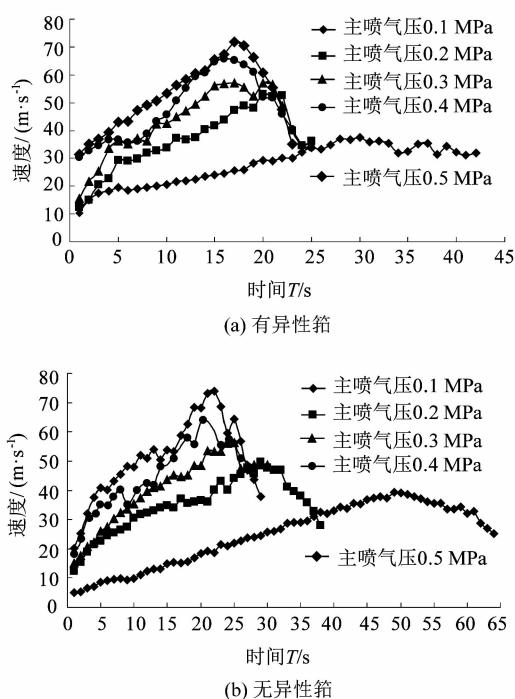


图4 纬纱速度曲线

Figure 4 Variation trend of weft velocity

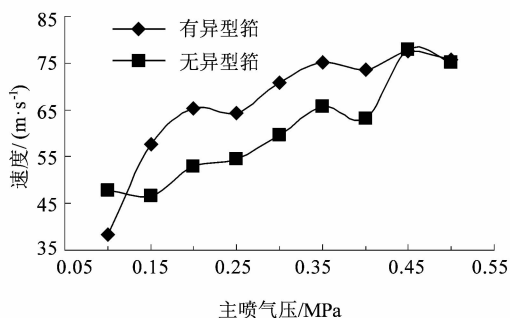


图5 最大速度与主喷气压关系

Figure 5 Relationship between max-velocity and tank pressures

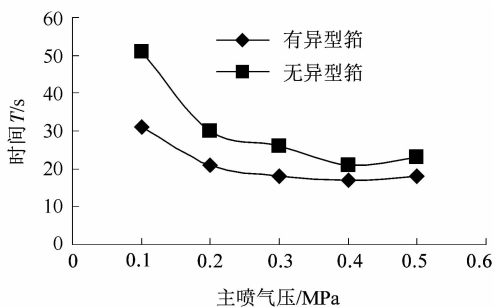


图6 达到最大速度所需时间与主喷气压关系

Figure 6 Relationship between needed time of max-velocity and tank pressures

2.4 纱线线密度影响

分别用 21^s 和 32^s 2 种不同线密度纯棉纱线进行实验,提取数据做出图 7 所示的时间—速度曲线图。从图中可以看出,在相同供气压力条件下,纱线线密度越小,即纱线越细,质量越小,其加速度越大,达到最大速度所用时间越少。图 7(a) 所示在 0.35 MPa 压力下 21^s 纱线在 $T = 10\Delta t$ 时达到最大速度 65 m/s,而 32^s 纱线达到最大速度需时间为 $T = 20\Delta t$;图 7(b) 所示在 0.45 MPa 压力下,21^s 纱线达到最大速度 85 m/s 用时约为 $T = 7\Delta t$,而 32^s 纱线达到最大速度所用时间相对较长,根据其曲线趋势可以判断约为 $T = 14\Delta t$ 。可以推断,在主喷压力相同的条件下,21^s 和 32^s 2 种纯棉纱线飞行的最大速度基本相同,达到最大速度所用时间约为 2 倍关系。进而推测,在相同主喷压力条件下,同种结构纱线飞行的最大速度相同,加速度不同,即纱线线密度越大,纱线的直径和质量也就越大,其达到最大速度所用的时间也要大于线密度小的纱线,生产效率也就低于线密度小的纱线。如果纱线支数太小,喷嘴气压较大,容易出现纬纱吹断现象,后续还需继续研究。

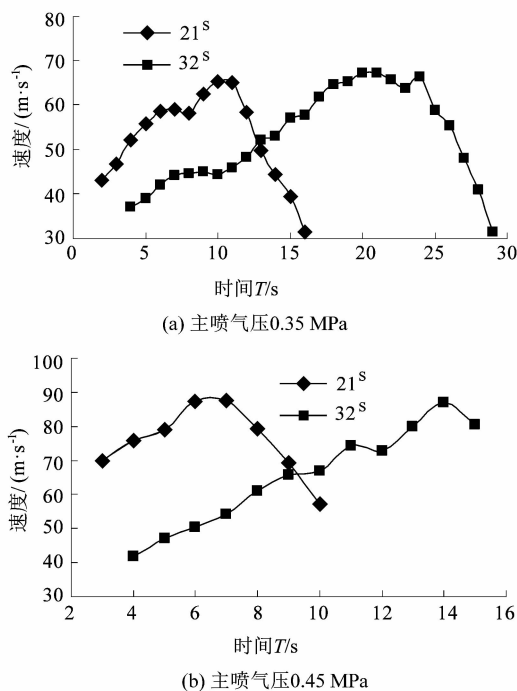


图7 不同线密度纬纱速度曲线

Figure 7 Variation trend of weft velocity with different liner density

3 结语

通过对纬纱运动状态的拍摄研究,发现:

1) 引纬运动中,纬纱速度、初始加速度、最大飞行速度随主喷压力增大而增大,达到最大速度所用时间随压力升高而减小。

2) 异型箱有明显限制气流扩散、增加纬纱速度的作用,有异型箱时纱线最大速度和加速度都要大于没有异型箱时情况,达到最大速度所用时间也要少,在主喷气压为 0.12~0.47 MPa 时限制气流扩散,促进纬纱增速作用十分明显。

3) 在主喷压力相同的条件下,同种规格不同线密度纱线飞行最大速度相同,加速度不同,纱线支数越大,直径和质量也越大,在射流中的加速度便越小,达到最大速度所需时间便越长。故喷气织机生产粗特纱线效率要低于细特纱。

4) 结合实验和仿真,将引纬系统参数设置成主喷压力为 0.3 MPa,主喷出口距箱槽为 20 mm,主一距离为 50 mm,辅喷间距为 65 mm 时纱线波动情况小,能耗小,引纬速度快,效率高。

参考文献:

- [1] MOHAMED M H, SALAMA M. Mechanics of a single nozzle air-jet filling insertion system part I: nozzle design and performance [J]. Textile Research Journal, 1986(56): 683-690.
- [2] SALAMA M, ADANUR S, MOHAMED M H. Mechanics of a single nozzle air-jet filling insertion system: part III: yarn insertion through

tubes[J]. Textile Research Journal, 1987, 57(1): 44-54.

- [3] ISHIDA M, OKAJIMA A. Flow characteristics of the main nozzle in an air-jet loom part I: measuring flow in the main nozzle[J]. Textile Research Journal, 1994, 64(1): 10-20.
- [4] ISHIDA M, OKAJIMA A. Flow characteristics of the main nozzle in an air-jet loom part II: measuring high speed jet flows from the main nozzle and weft drag forces [J]. Textile Research Journal, 1994, 64(2): 88-100.
- [5] OH T H, KIM S D, SONG D J. A numerical analysis of transonic/supersonic flows in the axisymmetric main nozzle of an air-jet loom [J]. Textile Research Journal, 2001, 71(9): 783-790.
- [6] BELFORTE G, MATTIAZZO G, VIKTOROV V, et al. Numerical model of an air-jet loom main nozzle for drag forces evaluation [J]. Textile Research Journal, 2009, 79(18): 1664-1669.
- [7] 祝章琛. 主喷射气流的引纬特性[J]. 棉纺织技术, 1994, 22(8): 4-9.
- [8] 郭兴峰. 喷气织机主喷嘴气流特性及能耗研究[J]. 天津纺织工学院学报, 1996, 15(2): 28-32.
- [9] 郭兴峰. 喷气织机引纬气流速度分布规律[J]. 天津纺织工学院学报, 1996, 15(4): 27-30.
- [10] 王贯超, 杨昆, 梁海顺. 喷气织机主喷嘴的流场分析[J]. 西安工程大学学报, 2008, 22(4): 424-426.
- [11] 薛文良, 魏梦媛, 陈革, 等. 喷气织机主喷嘴内部流场的数值计算[J]. 纺织学报, 2010, 31(4): 124-127.
- [12] 路翔飞, 冯志华, 孙中奎, 等. 基于 Fluent 的喷气织机主喷嘴纬纱牵引力分析与计算[J]. 纺织学报, 2011, 32(9): 125-129.

(上接第 9 页)

寸;缸盖厚度 T_1 、内拉筒厚度 T_2 、缸体与缸盖连接过渡处弧度 R_1 和内拉筒半径 R_2 。

2) 在此基础上,通过有限元分析软件 ANSYS 编写命令流,建立了基于烘缸结构的参数化模型,运用 ANSYS 软件的优化功能对烘缸结构进行了优化设计。基于优化设计的烘缸结构不仅满足强度要求,而且体积明显减小,有效地实现了轻量化设计,为钢制扬克烘缸结构优化设计提供参考。

3) 钢制扬克平盖烘缸工程设计时,尚需进一步考虑烘缸的刚度及稳定性要求。

参考文献:

- [1] 中国机械工业联合会. QB/T 2556-2008 造纸机械用铸铁烘缸设计规定[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.
- [2] 章春亮. 造纸机用钢制烘缸设计[J]. 中国造纸, 2001, 20(1): 47-49.

- [3] 高红利, 李伟军. 基于有限元的钢制烘缸应力计算与评定[J]. 轻工机械, 2014, 32(3): 71-73.
- [4] 田明德, 沈敏德. 焊接 Yankee 烘缸的设计与分析[D]. 济南: 山东轻工业学院, 2012: 23-44.
- [5] 李杰, 焦磊, 王乐勤, 等. 大型高压铸铁烘缸有限元分析与应力产生机理[J]. 中国造纸学报, 2005, 20(2): 160-163.
- [6] GUO Xu, CHENG Gengdong. Recent development in structural design and optimization[J]. Acta Mechanica Sinica, 2010, 26(6): 807-823.
- [7] 全国压力容器标准化技术委员会. JB4732-1995(R2005) 钢制压力容器: 分析设计标准[S]. 北京: 中国机械工业出版社, 2005.
- [8] MUELLER G, TIEFENTHALER P, IMGRUND M. Design optimization with the finite element program ANSYS [J]. International Journal of Computer Applications in Technology, 1994, 7(3/6): 271-277.
- [9] 顾元宪. 结构优化设计的研究与应用[J]. 国际学术动态, 1991(6): 81-83.