

The Optimization of the Layout of Pedestal Key Components Based on ANSYS

Jiaomei Yin, Chunmei Jiang*, Peng Yin, Yang He

China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan
Email: yinjiaomeiabc@163.com, *408yinjm@caep.cn

Received: Sep. 20th, 2019; accepted: Oct. 8th, 2019; published: Oct. 15th, 2019

Abstract

The strength of the load-bearing parts such as the pedestal is directly related to the safety of the mechanical system. Taking the ribbed pedestal structure as the research object, the design position of the key ribs has a great influence on the strength of the pedestal. Based on the ANSYS Workbench, taking the rib position parameters as the optimization variables, and taking the structural strength and stiffness as the optimization targets, the rib position is optimized to realize the rational layout of the pedestal ribs on the basis of ensuring the structural strength. The results show that the max equivalent stress and the max deformation are decreased by optimizing the position of ribs.

Keywords

Pedestal Ribs, Structure Strength, Position Optimization

基于ANSYS的基座关键结构件布置优化设计

尹娇妹, 蒋春梅*, 尹鹏, 何阳

中国工程物理研究院, 四川 绵阳
Email: yinjiaomeiabc@163.com, *408yinjm@caep.cn

收稿日期: 2019年9月20日; 录用日期: 2019年10月8日; 发布日期: 2019年10月15日

摘要

基座等承重件的强度性能直接关系机械系统安全性。以筋板式基座结构作为研究对象, 其关键件筋的布置对基座结构强度性能影响较大, 基于ANSYS WorkBench, 以筋布置参数为优化变量, 以结构强度与刚度为优化目标, 在保证基座结构强度性能的基础上, 对筋布置位置进行优化, 实现基座筋理性化布局。结果表明, 通过优化筋布置位置, 基座结构的最大等效应力与最大变形量均降低。

*通讯作者。

关键词

基座筋, 结构强度, 位置优化

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

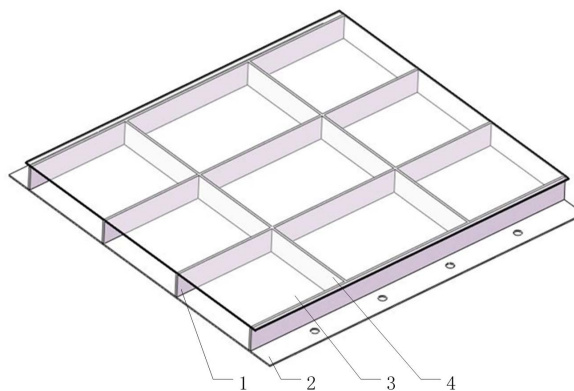
1. 引言

承重件作为机械系统重要组成部分, 连接设备与基建, 并承载重型装备重量, 其设计对保证整机结构的安全至关重要。目前机械系统的大型化、重型化发展对承载件的结构设计提出了越来越高的要求, 承重件结构强度性能往往依赖于其关键件设计[1]。

针对承重件结构关键件设计, 一些学者对关键件形体参数进行了优化, 使优化后的承重件结构在满足使用强度的基础上, 达到轻量化的目的: 黄海燕等学者面向基座结构的疲劳强度, 对基座主要结构的各列板的板厚作为优化变量, 保证强度要求的同时, 降低基座重量[2]; 陈凯等学者以结构重量与结构最大等效应力为优化目标, 对某潜水器承载框架关键件船艏横板、艏部铝环、艏部圆环厚度及纵梁的厚度参数进行优化, 降低了承载件的重量[3]; 周自阳等对机床立柱筋板结构进行尺寸优化, 使结构重量降低[4]。上述学者的研究主要侧重在承载结构关键件的形体参数设计上, 很少涉及关键件在空间的布置设计上, 一些学者虽对筋布置位置进行了分析, 但往往侧重在人工经验方面, 仅对几种布置位置进行对比研究[5]。针对此问题, 本文以传统筋板式基座结构为研究对象, 面向结构静强度性能, 建立基座结构关键件位置参数模型, 在结构稳定性、位置参数与几何参数关联性约束条件下, 对关键件的布置设计进行优化, 通过理性化地布置基座结构的关键件, 进一步增强基座结构安全性能。

2. 基座结构静力学分析

本文以筋板式基座结构为优化对象, 筋板式基座结构如图 1 所示, 主要由面板、底板、筋组成, 基座结构采用对称的布置方案, 分别在基座面板与底板之间交错布置加强筋。



1-The vertical rib; 2-The bottomplate;
3-The faceplate; 4-The horizontal plate
1—纵筋; 2—底板; 3—面板; 4—横筋

Figure 1. The composition of stiffened base structure

图 1. 筋板式基座组成

基座服役状态主要承受其上板负担的结构重量，底部连接基建，将负担的结构重量传递至基建。其服役过程主要受静载荷，其安全性能主要取决于基座结构的静强度，因此首先对基座进行静力学分析。针对两种不同位置参数的筋板布置情况，对基座下板底面施加固定约束，在上板所负担的结构接触区域施加力，分析基座结构强度，其中布置方案 1 中横筋、纵筋距基座中心布置距离分别为 350 mm、500 mm，布置方案 2 中横筋、纵筋距基座中心布置距离分别为 700 mm、900 mm，通过静力学分析，基座结构等效应力与应变分布云图如图 2、如图 3 所示。

如图 2、图 3 所示，在不改变基座样式的前提下，筋布置位置参数的改变不仅改变了基座最大等效应力分布区域，并且最大等效应力数值由 32.943 MPa 增大为 129.38 MPa，数值发生明显变化，对比基座最大变形位置与最大变形量，同样发生明显变化。由此可以看出基座关键筋布置位置的改变直接影响结构的强度及刚度，需对其布置进行合理性设计，优化筋位置参数，以最大程度提升基座结构的强度。

3. 关键筋位置优化模型构建

3.1. 优化变量参数设定

由基座结构静力学分析可知，筋布置位置对结构强度影响较大，因此选取主要构成筋的布置位置进行优化。基座结构主要设计参数如图 4 所示，针对基座关键组成筋，由于筋 4 布置位置需预留出地脚螺栓安装空间，因此筋 4 布置位置为确定量，选取 P1、P2 与 P3 参数作为设计变量分别表征筋 1、筋 2 与筋 3 的布置位置。

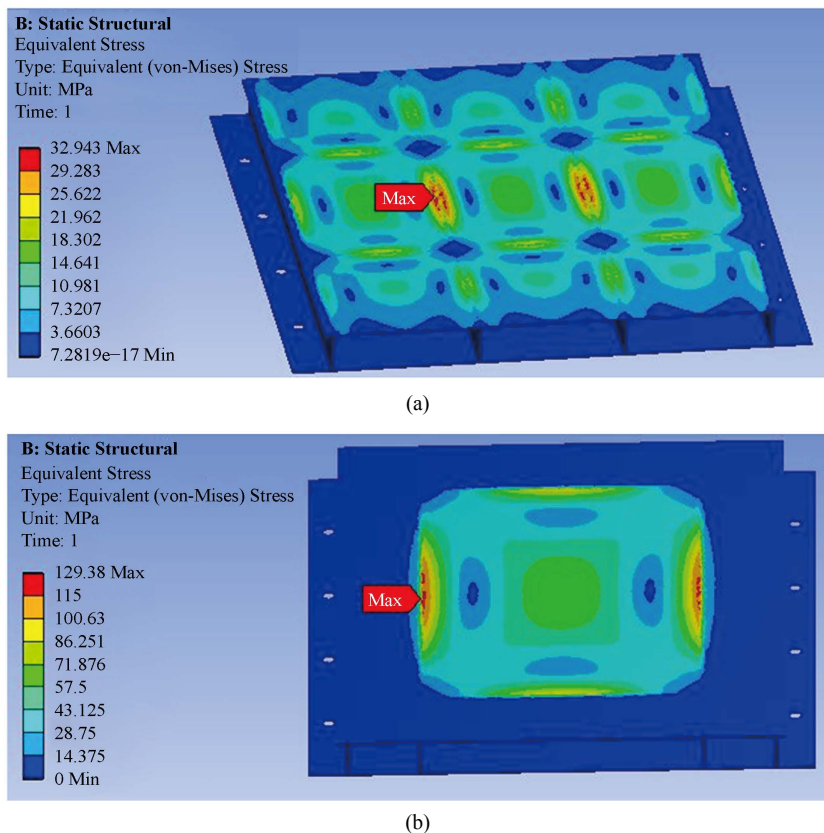


Figure 2. The comparison of the equivalent stress of stiffened base structure. (a) The equivalent stress of the first plan of rib layout; (b) The equivalent stress of the second plan of rib layout

图 2. 基座应力云图分析对比。(a) 筋布置方案 1 应力分布图；(b) 筋布置方案 2 应力分布图

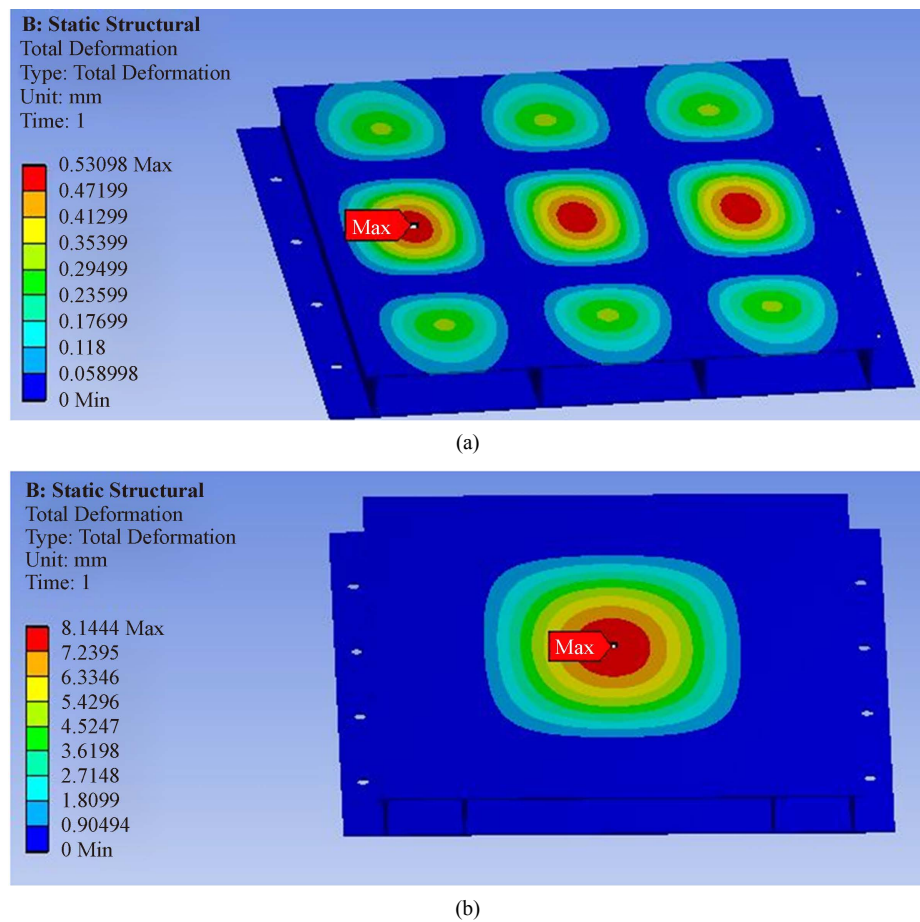


Figure 3. The comparison of the max strain of stiffened base structure. (a) The strain of the first plan of rib layout; (b) The strain of the second plan of rib layout

图 3. 基座最大变形分析对比。(a) 筋布置方案 1 应变分布图; (b) 筋布置方案 2 应变分布图

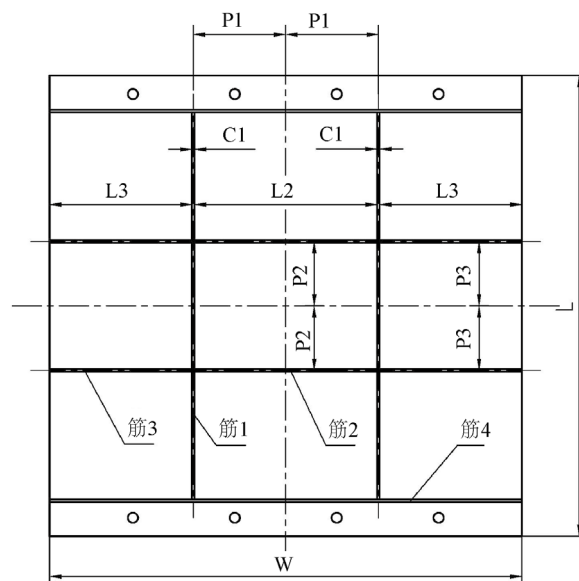


Figure 4. The optimization of stiffened base composition

图 4. 基座构件优化参数

由于位置参数与基座其余结构的几何参数具有关联性, 位置优化参数的改变造成其它筋长度的改变, 因此从空间约束出发, 以其余关键件几何参数变化为约束条件, 建立关键筋位置优化参数模型。基座关键筋布置位置优化参数模型设定为公式(1)~(4):

$$P = [P1 \ P2 \ P3] \quad (1)$$

$$P1 = (L2 + 2 * C1) / 2 \quad (2)$$

$$P1 = (W - 2 * L3 - 2 * C1) / 2 \quad (3)$$

$$P2 = P3 \quad (4)$$

式中: P1-筋 1 位置参数;

P2—筋 2 位置参数;

P3—筋 3 位置参数;

L2—筋 2 长度;

L3—筋 3 长度;

C1—确定量, 表征筋 1 厚度尺寸约束;

W—确定量, 表征基座宽度尺寸约束。

基于约束条件, 以位置设计变量 P 为驱动尺寸, 其余结构尺寸在保证结构正确性基础上发生从动变化。

基于以上约束条件, 选取基座关键筋布置位置为优化参数, 并设置关联约束条件保证结构其余尺寸发生关联变化, 完成基座筋布置位置参数化模型构建。

3.2. 优化目标选取

由基座结构静力学分析可知, 筋布置位置的改变影响基座最大等效应力与最大变形量的分布与数值大小, 因此基于关键筋布置位置参数化模型, 面向基座强度与刚度, 选取基座结构最大等效应力与最大变形量为优化目标对优化参数进行寻优, 实现基座筋布置位置优化。

因此, 为了获得基座更理想的强度性能及刚度性能, 以降低基座结构最大等效应力与变形量为优化设计目标, 确定优化目标函数为:

$$\text{in} \begin{cases} f1(P) f1(P) < [\sigma] \\ f2(P) f2(P) < x \end{cases} \quad (5)$$

式中, $f1(P)$ —基座最大等效应力;

$[\sigma]$ —结构许用应力;

$f2(P)$ —基座最大变形量;

x —结构允许最大变形量。

3.3. 优化结果

基于基座关键筋布置位置参数化模型, 以降低最大等效应力与最大变形量为目标对设计变量进行寻优, 首先需建立基座设计变量与优化目标的映射关系, 基于两者关联关系, 以此进行后续优化。

目前群智能算法在工程结构优化设计方面具有很高的应用价值, 使优化后的结构质量及成本均得到有效控制[6] [7] [8], ANSYS Workbench 在优化模块集成了预测模型构建与结构优化智能算法, 在结构设计方面应用也得到了广泛应用[9] [10] [11] [12]。基于 ANSYS WorkBench 优化模块, 针对各设计变量,

选用拉丁超立方抽样方法在优化参数取值空间内随机抽取 300 个样本点训练设计变量与优化目标映射关系预测模型, 其中 P1 位置参数取值变化为 100 mm~950 mm, P2 位置参数取值变化为 100 mm~850 mm。对于训练样本点选用 Kriging 算法建立设计变量与优化目标映射模型, 基于公式(3)目标约束关系, 基座最大等效应力上限值为 250 MPa, 结构允许最大变形量为 5 mm, 并利用多目标遗传算法进行优化。其中筋布置参数灵敏度分析结果如图 5 所示, 筋布置参数优化结果如表 1 所示。

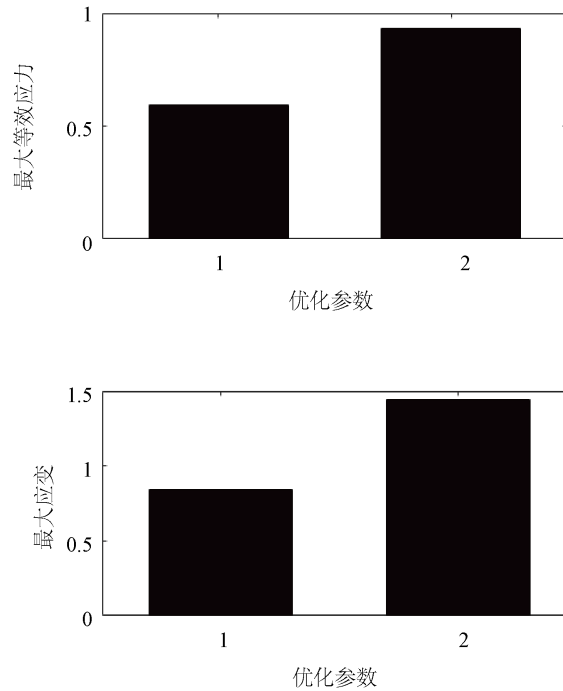


Figure 5. The sensitivity analysis result of rib layout parameters

图 5. 筋布置参数灵敏度分析结果

通过灵敏度分析, 对比各筋的布置对强度的影响, 可以看出筋 2 的布置位置对结构强度的影响较大。

Table 1. The optimization solution

表 1. 优化解集

优化解集	布置方案		最大等效应力数值 (MPa)	最大变形量 (mm)
	P1 (mm)	P2 (mm)		
数值	387.55	330.57	28.458	0.445

对优化解集 P1 与 P2 布置方案进行结构分析, 最大等效应力分析实际值为 26.766 MPa, 预测误差为 0.06; 最大变形量分析实际值为 0.44 mm, 预测误差为 0.01, 预测误差均满足要求。

为方便加工, 对筋布置位置参数进行修正满足加工设计, 优化后基座结构等效应力与最大变形分布如图 6 所示。优化后基座结构与初步设计方案 1 进行对比, 对比结果如表 2 所示。

通过表 2 可以看出, 在不改变基座结构样式及筋主要形体参数的基础上, 通过合理性优化筋的布置位置, 使基座结构最大等效应力值降低了 18.77%, 最大变形量降低了 17.14%, 改善了基座结构的强度和刚度, 证明了基座筋合理性布置优化的可行性。

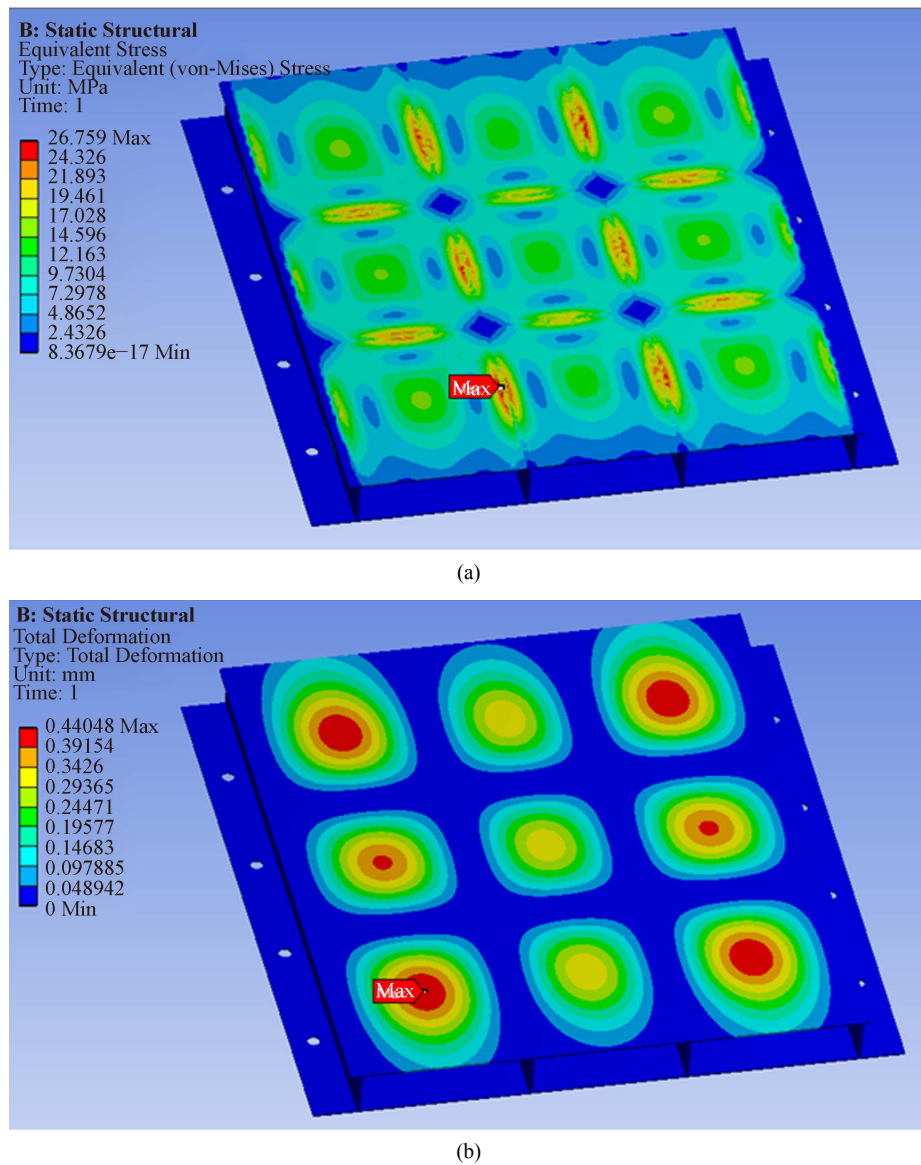


Figure 6. The max equivalent stress and the strain of the optimized of stiffened base. (a) The max equivalent stress; (b) The max strain

图 6. 优化后基座结构应力、变形分布图。(a) 最大等效应力分布; (b) 最大变形分布

Table 2. The comparison of optimization result

表 2. 优化解集

	布置方案		最大等效应力数值 (MPa)	最大变形量 (mm)
	P1 (mm)	P2 (mm)		
优化前	500	350	32.943	0.531
优化后	387.5	330.5	26.759	0.44

4. 结论

针对筋板式基座结构, 分析了关键筋的布置位置变化对基座结构强度与刚度的影响, 表明筋的理性化布置是基座结构设计的关键部分, 并以关键筋布置位置参数为优化变量, 以结构强度指标最大等效应

力、刚度指标最大变形量为优化目标, 基于 ANSYS WorkBench 优化模块选取了神经网络建立了优化输入与输出模型, 并选用多目标遗传算法对关键筋布置位置进行了寻优。结果表明, 通过合理性优化基座关键结构件筋的布置位置, 可在不增加结构重量的前提下, 改善结构的强度及刚度性能, 为基座结构设计提供了参考。

参考文献

- [1] 徐建. 当前形势下我国重型机械行业发展的思考[J]. 重型机械, 2014(5): 1-4.
- [2] 黄海燕, 刘晓卫, 姜树卫. 基于疲劳强度的主机基座优化设计[J]. 中国造船, 2010, 51(3): 101-106.
- [3] 陈凯, 龙连春. 某潜水器承载框架结构优化设计[C]//北京力学会. 北京力学会第 18 届学术年会论文集. 北京: 北京力学会, 2012: 345-346.
- [4] 周自阳, 洪荣晶, 袁鸿. 成形铣齿机床立柱筋板结构优化设计[J]. 机械设计与制造, 2012(11): 149-151.
- [5] 虞自奋, 褚亮, 时立军. 框架式液压相架立柱筋板位置优化[J]. 工程机械, 2008, 39(7): 35-39.
- [6] Bator, M. and Nieniewicz, M. (2012) Detection of Cancerous Masses in Mammograms by Template Matching: Optimization of Template Brightness Distribution by Means of Evolutionary Algorithm. *Journal of Digital Imaging*, **25**, 162-172. <https://doi.org/10.1007/s10278-011-9402-1>
- [7] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京: 清华大学出版社有限公司, 2004.
- [8] Kaveh, A. and Talatahari, S. (2009) Particle Swarm Optimizer, Ant Colony Strategy and Harmony Search Scheme Hybridized for Optimization of Truss Structures. *Computers & Structures*, **87**, 267-283. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2009.01.003>
- [9] 黄席樾, 胡小兵. 现代智能算法理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [10] 刘晓东, 陈鑫玉, 唐俊杰, 等. 基于 ANSYS 的薄壁结构件的多目标铣削参数优化[J]. 现代制造工程, 2014(9): 90-94.
- [11] 彭细荣, 向春霞. 基于 ANSYS 优化模块的大体积混凝土热学参数识别[J]. 湖南城市学院学报, 2014, 23(4): 1-5.
- [12] 王野平, 李晓国, 钱海宁. 基于 ANSYS Workbench 的多层热压机框架结构分析及优化[J]. 设计与研究, 2018(2): 77-81.