

基于 Workbench 的粘箱机推动臂强度分析与优化设计

张平格, 辛高强

(河北工程大学, 河北 邯郸 056038)

摘要: **目的** 通过对推动臂结构尺寸进行优化设计, 得到在提高推动臂工作性能和力学性能的前提下减小质量的最优方案。**方法** 以推动臂的质量为优化目标, 以推动臂受到的压力大小为约束条件, 以推动臂的结构尺寸为优化设计参数, 建立优化的数学模型。应用 Workbench 的多目标驱动优化工具结合多目标遗传算法的理论对推动臂的结构尺寸进行优化设计。**结果** 通过优化分析, 结果表明, 优化后模型的等效应力极大值减少了 23.08%, 结构总质量减少了 7.42%。**结论** 通过对不同结构尺寸在其约束条件下的研究分析, 达到了最优结构尺寸下推动臂工作性能和力学性能更优、部件总质量更小的目的, 为以后粘箱机的结构优化设计提供了思路 and 参考。

关键词: 推动臂; 优化设计; 敏感度; 响应面; 多目标

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)21-0208-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.21.030

Analysis and Optimization Design of Push Arm Structure of Stick Box Machine Based on Workbench

ZHANG Ping-ge, XIN Gao-qiang

(Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

ABSTRACT: The paper aims to obtain the optimal scheme for reducing the mass while improving the working and mechanical properties of the push arm by optimizing the structural dimensions of the push arm. Taking the mass of the push arm as the optimization goal, the pressure of the push arm as the constraint condition, and the structure size of the push arm as the optimization design parameter, the optimized mathematical model was established. The multi-objective driven optimization tool of Workbench was applied to optimize the structural size of the push arm in combination with the theory of multi-objective genetic algorithm. Through optimization analysis, the results showed that the equivalent stress maximum value of the optimized model decreased by 23.08% and the total mass of the structure decreased by 7.42%. Through the research and analysis of different structure sizes under their constraints, better working and mechanical properties of the push arm are achieved under the optimal structure size. The total mass of the components is smaller. It provides ideas and reference for the structural optimization design of the box adhesive machine in the future.

KEY WORDS: push arm; optimal design; sensitivity; response surface; multi-objective

随着科技的发展和进步, 绿色环保概念越来越得到人们的重视^[1], 市场对瓦楞纸箱这类环保包装的使用量不断提高, 因此对纸箱包装的生产质量和回收再

利用的要求也日益提高^[2-3]。我国纸箱包装行业虽然起步较晚, 但近几年来取得了飞速发展^[4]。原先半自动的瓦楞纸箱生产速度已经不能满足我国日常瓦楞

收稿日期: 2020-01-07

基金项目: 河北省重点研发计划 (18211906D)

作者简介: 张平格 (1964—), 女, 硕士, 河北工程大学教授, 主要研究方向为液压传动与机械设计。

纸箱的使用量,因此全自动瓦楞纸箱生产机械应运而生,以达到满足我国瓦楞纸箱日常需求的目的,因此全自动瓦楞纸箱生产机械的工作能力和可靠性受到更多的关注^[5]。瓦楞纸板整理机构是全自动瓦楞纸箱生产机械的重要组成部分,纸板的整理排出是由整理机构完成的,因此整理机构的综合性能直接关系到全自动瓦楞纸箱生产机械的工作效率。排出机构的重量占整理机构的比重很大,因为当前全自动瓦楞纸箱生产机械中的整理机构存在自重过大的问题,影响了瓦楞纸板的整理和排出效率,所以应对排出机构进行结构的优化设计,在满足工作强度,刚度的同时,提高排出机构的工作性能。

应用 Ansys Workbench 的 DM 模块建立推动臂的三维参数化模型,对其进行静力学分析,然后通过优化模块对推动臂的结构尺寸进行分析,并结合多目标遗传算法的理论知识完成推动臂的优化设计^[6-8],提高推送板的工作性能,为全自动瓦楞纸箱生产机械的整理机构的优化提供参考。

1 推动臂的三维参数化模型

推动臂的优化是对结构尺寸的优化设计,在提高工作能力的同时降低重量,使受力更合理。排出机构推动臂的结构尺寸见图 1,其中 L 为上顶板的长度, D 为上顶板的宽度, m 为上顶板的厚度, n 为下推板的宽度, H 为下推板的高度, t 为下推板的厚度。此处将 6 个参数设定为优化的输入变量,见图 1—2。

2 推动臂的有限元分析

为了更好地优化参数,应先在 Ansys Workbench 的 DM 模块中建立相对应的推动臂的三维参数化模型,然后导入 Static Structural 模块中,对建立好的模型进行静力学有限元分析。在分析过程中,给模型划分网格,将网格大小设置为 10 mm,并对复杂部位进行细微划分网格。根据纸箱生产的最大规格

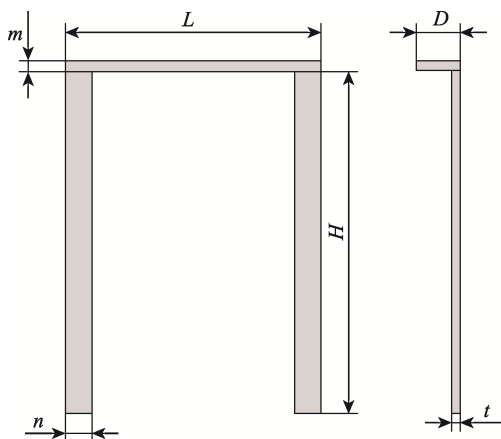


图 1 推动臂结构

Fig.1 Structure of the push arm



图 2 Workbench 的 DM 模块中建立的三维模型

Fig.2 3D model created in DM module of workbench

和每捆纸箱的数量来确定每捆的总重量,并根据相应的接触面积对推动臂受到的压力进行计算。添加载荷大小和约束条件,将推动整理好的纸板工作负载大小添加到推动臂下端面,在推动臂的下端面施加 1735.42 Pa 的正压力,方向为 y 轴负向,将推动臂上顶板的螺纹孔和下推板的螺纹孔同时施加固定约束,并将气缸、导管等零件的重量等效加载到推板上。选择模型材料为结构钢 (Structural Steel),添加应力、应变等分析结果,最后对设置好的模型参数进行有限元分析。分析结果得到应力图和应变图,见图 3。

由图 3 可知,推动臂的最大应力为 8.4887 MPa,最大变形量为 13.90 mm,推动臂采用的材料为碳素结构钢 Q235-B,其屈服强度为 235 MPa,抗拉强度为 375~460 MPa,许用应变量为 0.8%,因此,推动臂的结构是可靠的,而且强度、刚度的富余量充分,所以可以对推动臂的结构进行优化分析。

3 建立推动臂的数学模型

3.1 设计变量

将推动臂的 6 个参数 L, D, H, m, n, t 作为设计变量参数 $P_{10}, P_{11}, P_6, P_4, P_{12}$,其表达式为:

$$X = [L, D, H, m, n, t]^T \quad (1)$$

3.2 优化目标函数的建立

优化的目的是使推动臂的质量最小,但前提是要确保其强度、刚度等力学性能在许用范围之内,所以优化目标为质量最小,目标函数为:

$$F = \min M = \rho \sum_i^j V = \rho V_{\text{tot}} \quad (2)$$

式中: ρ 为材料密度 (kg/m^3); V 为每个单元体积 (m^3); V_{tot} 为单元体积和 (m^3); i, j 为单元数。

3.3 设计变量的范围

在实际工况的条件下确定变量参数的优化输入值范围,上推板长度 L 是取值范围为 490.38~669.62 mm

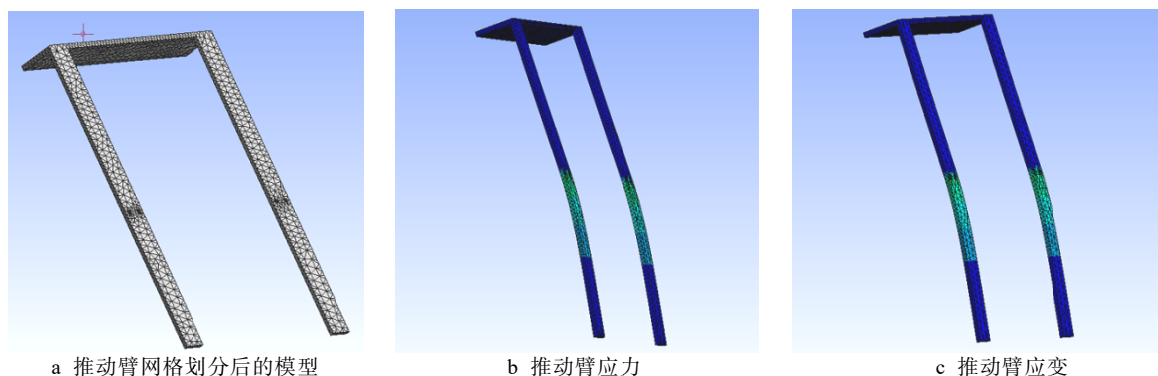


图3 推动臂静力学分析结果
Fig.3 Static analysis results of push arm

的连续变量,上推板宽度 D 是取值范围为 84.55~115.45 mm 的连续变量,上推板厚度 m 是取值范围为 10.15~13.85 mm 的连续变量,下推板宽度 n 是取值范围为 50.73~69.27 mm 的连续变量,下推板高度 H 的取值范围为 676.39~923.61 mm 的连续变量,下推板厚度 t 的取值范围为 8.45~11.55 mm 的连续变量。

4 推动臂结构的优化设计

4.1 优化设计理论和参数设定

对于优化的参数变量为推动臂的结构尺寸参数,约束条件为推动臂在工况下受到的最大压应力,目标函数是推动臂在满足强度的条件下质量最小,即对于推动臂结构尺寸的改变,要承受住最大压应力的考核,并找出最小质量的设计方案^[9],优化程序见图4。

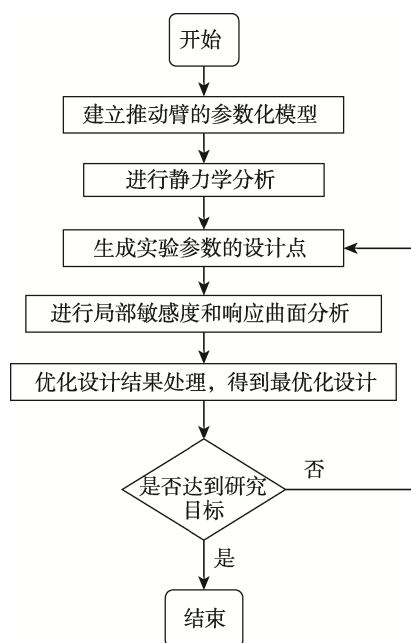


图4 推动臂优化设计流程
Fig.4 Flow chart of optimization design of push arm

4.2 敏感度分析

敏感度是指参数模型的输入值对于输出结果的影响程度强弱^[10],敏感度分析主要是对参数模型本身的一些属性,使其在可能的参数范围内取值,研究和分析这些属性的变化量对模型输出值的影响程度大小^[11-13]。通过应用 Workbench 对设计参数进行优化计算之后得出敏感度表,见表1。通过观察敏感度表可知,推动臂的应力、应变对结构尺寸的敏感程度较大的是 P_2 和 P_{12} ,对其他参数变量的敏感程度趋近于零。这说明 P_2 和 P_{12} 2 个参数变量的大小对推动臂结构的受力情况影响较大,应进行优化分析,找到较为合理的优化结果。

表1 各设计参数对优化结果敏感度
Tab.1 Sensitivity graph of each design parameter to the optimization result

参数	对等效弹性应变的敏感度/%	对等效应力的敏感度/%
P_2	85.8	93.2
P_4	18.6	13.6
P_6	14.4	14.9
P_{10}	13.4	4.8
P_{11}	12.5	10.2
P_{12}	77.8	72.6

4.3 响应面分析

响应面是在三维坐标下表示输入和输出的参数关系,其中 x 和 y 坐标轴为输入参数轴,而 z 轴用于表示输出参数^[12-13]。等效应力最大值响应面输出的 x , y 和 z 轴分别为 P_2 , P_{12} , P_{15} , 输出结果见图5。等效应力的极大值在 P_{12} 由 8.5 增大到 11.5 时急剧下降,对于 P_2 来说,由 676 增大到 923 时急剧上升。所以推动臂受到的等效应力随 P_2 的增大而减小,随 P_{12} 的减小而增大。当 P_2 取最小值, P_{12} 取最小值时模型质量达到最小点,其最小值出现在 (8.4549,

676.39, 11.25) 点, 但该点的等效应力极大值较大, 不是最优设计点, 所以综合强度的条件选择质量最优的设计点为 (10.893, 728.55, 11.901)。

4.4 多目标优化结果分析

选用遗传算法的理论方法对优化目标进行理论分析, 遗传算法是依靠一定概率统计下对全局并

行随机优化的搜索算法, 比较适合优化计算离散变量^[9,14]。在此采用 Ansys Workbench 中的多目标优化模块 (GDO) 与遗传算法 (MOGA) 相结合的方法对推动臂参数化模型进行优化分析^[15-16], 得到 4 组优化参数点, 见表 2。

通过对优化前后推动臂各参数的对比得出结论, 见表 3。

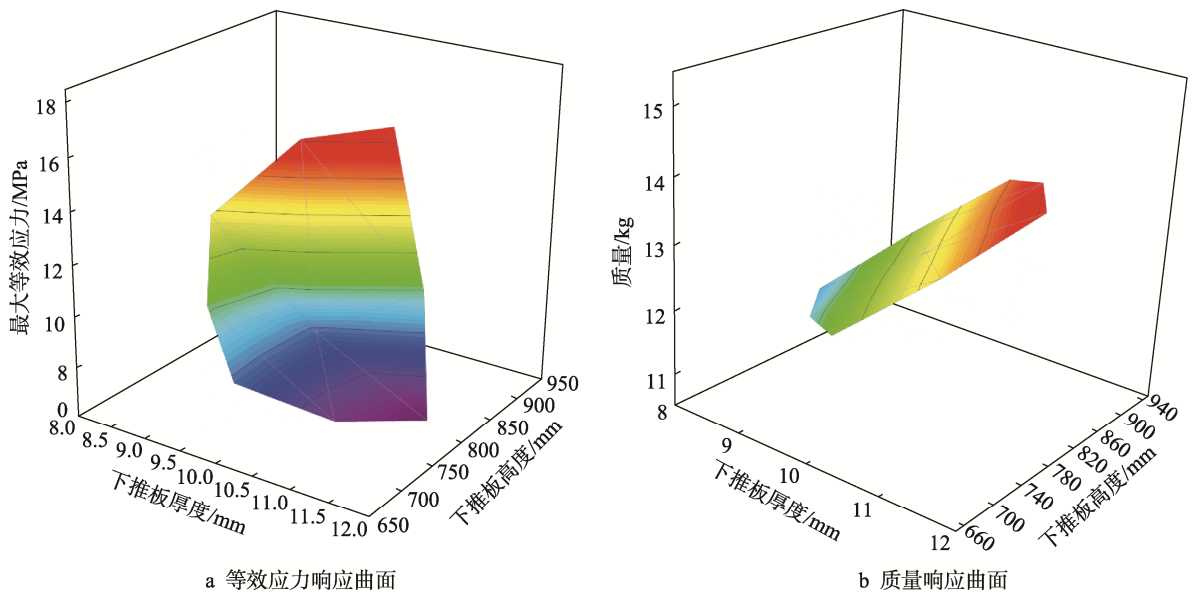


图 5 等效应力和质量影响因素的响应曲面
Fig.5 Response surface plots of equivalent stress and mass influencing factors

表 2 多目标优化参数点
Tab.2 Multi-objective optimization parameter point

参数	P_2/mm	P_4/mm	P_6/mm	P_{10}/mm	P_{11}/mm	P_{12}/mm	P_{15}/MPa	P_{17}/kg
优化参数点 1	728.55	54.64	13.07	528.2	91.07	10.89	6.5325	11.901
优化参数点 2	759.52	57.69	11.41	631.8	108.93	11.29	7.0089	13.862
优化参数点 3	871.45	53.56	10.92	528.2	98.05	11.34	9.36	12.596
优化参数点 4	923.61	60.53	12.37	580.63	102.44	10.76	15.236	13.444

表 3 优化前后的参数对比
Tab.3 Comparison of parameters before and after optimization

参数	P_2/mm	P_4/mm	P_6/mm	P_{10}/mm	P_{11}/mm	P_{12}/mm	P_{15}/MPa	P_{17}/kg
优化前	788	60	12	580	100	10	8.4887	12.856
优化后	728.55	54.64	13.07	528.2	91.07	10.89	6.5325	11.901
优化效果							减小 23.08%	减小 7.42%

5 结语

根据 Workbench 中敏感度和响应曲面的结果图可知, 对等效应力有较大影响的是下推板的高度和厚度, 对推动臂质量有较大影响的是下推板的高度和上

顶板的长度。
Workbench 的优化工具与多目标遗传算法相结合对推动臂的结构尺寸进行优化分析, 获得合理的设计参数, 优化后等效应力极大值减少了 23.08%, 结构总质量减少了减小 7.42%, 在提高推动臂综合性能的基础上减少质量的目的。

遗传算法和有限元软件相结合的实现了对推动臂的优化设计,该思路对解决非线性优化问题有显著优势,为粘箱机整理部结构的优化提供了参考。

参考文献:

- [1] 毛盾. 瓦楞电商包装的发展现状及发展趋势[J]. 印刷技术, 2019(3): 1—3.
MAO Dun. Development Status and Development Trend of Corrugated E-commerce Packaging[J]. Printing Technology, 2019(3): 1—3.
- [2] 董晓博. 全自动瓦楞纸板钉箱机的结构设计和工作性能研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2015: 1—5.
DONG Xiao-bo. Automatic Nail Corrugated Cardboard Box Machine Structure Design and The Research of Working Performance[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2015: 1—5.
- [3] 麦志坚. 粘箱机在生产中的优势及其未来发展趋势探讨[J]. 中国高新技术企业, 2016(5): 69—70.
MAI Zhi-jian. Discussion on The Advantages of Sticking Box Machine in Production and Its Future Development Trend[J]. China High-tech Enterprises, 2016(5): 69—70.
- [4] 陈毅莹. 我国智能包装设备发展现状及技术特点[J]. 今日印刷, 2019(12): 39—41.
CHEN Yi-ying. Development Status and Technical Features of Intelligent Packaging Equipment in China[J]. Printing Today, 2019(12): 39—41.
- [5] 陈克复, 陈广学. 智能包装——发展现状、关键技术及应用前景[J]. 包装学报, 2019, 11(1): 1—17.
CHEN Ke-fu, CHEN Guang-xue. Intelligent Packaging——Development Status, Key Technologies and Application Prospects[J]. Journal of Packaging, 2019, 11(1): 1—17.
- [6] 闫晓青, 万韬. 三峡升船机闸首卧倒门支铰结构优化改造[J]. 水电能源科学, 2018, 36(7): 156—159.
YAN Xiao-qing, WAN Tao. Structural Optimization of Support Hinge of Lock Head Tumble Gate for Three Gorges Ship Lift[J]. Hydropower Energy Science, 2018, 36(7): 156—159.
- [7] 黄全. 海洋油气管道卡压式连接器密封研究与优化设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2015: 51—63.
HUANG Quan. Research On Sealing and Optimal Design of Press-fitting Connector of Submarine Pipeline[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2015: 51—63.
- [8] 李星峰, 尹湘云, 殷国富. 基于 CFD 和多目标算法的离心叶轮参数优化[J]. 流体机械, 2019, 47(3): 31—36.
LI Xing-feng, YIN Xiang-yun, YIN Guo-fu. Parameter Optimization of Centrifugal Compressor Impeller Based on CFD and Multi-objective Algorithm[J]. Fluid Machinery, 2019, 47(3): 31—36.
- [9] 张平格, 李向良, 王新怡, 等. 作业车吊臂结构分析与优化设计[J]. 煤炭工程, 2018, 50(3): 152—154.
ZHANG Ping-ge, LI Xiang-liang, WANG Xin-yi, et al. Structure Analysis and Optimization Design of Hangingarm of Mine Operation Vehicle[J]. Coal Engineering, 2018, 50(3): 152—154.
- [10] 易婷, 焦志伟, 杨卫民. 基于 ANSYS Workbench 的塑料容器结构尺寸优化设计[J]. 塑料, 2017, 46(1): 65—67.
YI Ting, JIAO Zhi-wei, YANG Wei-min. Optimal Design of Plastic Containers' Structure Dimensions Based on ANSYS Workbench[J]. Plastics, 2017, 46(1): 65—67.
- [11] 刘承杰, 罗鹏, 赵磊, 等. 基于 ANSYS Workbench 的曲柄销轴的优化设计[J]. 应用力学学报, 2017, 34(6): 1140—1144.
LIU Cheng-jie, LUO Peng, ZHAO Lei, et al. Optimal Design of Crank Pin Based on ANSYS Workbench[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2017, 34(6): 1140—1144.
- [12] 李向良. 折叠式高空作业车臂架结构仿真分析与优化设计[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2018: 39—48.
LI Xiang-liang. The Simulation Analysis and Optimum Design of The Arm Frame Structure of The Folding High Altitude Operating Vehicle[D]. Handan: Hebei Engineering of University, 2018: 39—48.
- [13] 崔瀚, 焦志刚, 刘强. 某大口径枪弹药筒结构强度分析与优化设计[J/OL]. 兵器装备工程学报: 1—5 [2020-01-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1213.TJ.20191207.1518.006.html>.
CUI Han, JIAO Zhi-gang, LIU Qiang. Strength Analysis and Optimization Design for Cartridge Case of A Large Caliber Bullet[J/OL]. Journal of Ordnanced Equipment Engineering: 1—5 [2020-01-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1213.TJ.20191207.1518.006.html>.
- [14] 万佳先, 王安麟. 基于有限元分析的混凝土泵车臂架优化设计[J]. 中国工程机械学报, 2013, 11(2): 122—124.
WAN Jia-xian, WANG An-lin. FEA-based Optimal Design for Cantilever Crane of Concrete Pump Vehicles[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2013, 11(2): 122—124.
- [15] 邢亮亮, 仲梁维. 基于 ANSYS Workbench 的管道疲劳强度分析及优化[J]. 软件导刊, 2017, 16(7): 145—148.
XING Liang-liang, ZHONG Liang-wei. Frame Fatigue Strength Analysis and Optimization on Pipeline Based on ANSYS Workbench[J]. Software Guide, 2017, 16(7): 145—148.
- [16] 耿贺松, 陈博文, 李明伟, 等. 基于遗传算法与 ANSYS 的结构优化方法研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, 40(4): 26—31.
GENG He-song, CHEN Bo-wen, LI Ming-wei, et al. Research on Structure Optimization Method Based on Genetic Algorithm and ANSYS[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power(Natural Science Edition), 2019, 40(4): 26—31.