

剪叉式升降平台设计与有限元分析

曹菲¹, 赵友俊², 石军键³

(1.天津职业大学 包装与印刷工程学院, 天津 300410; 2.天津市包装生产线技术工程中心, 天津 300410; 3.赛闻(天津)工业有限公司, 天津 300457)

摘要: **目的** 针对市场上现有单级剪叉式升降平台的不足, 提出一种可变幅面、可设定升降高度的剪叉式升降平台, 设计其机械结构, 并进行力学性能分析。**方法** 利用三维建模软件 SolidWorks 对升降平台进行三维实体建模; 利用有限元分析软件 Ansys Workbench 建立有限元模型, 对其静态承载性能进行仿真分析。**结果** 得到了该平台在特定载荷下, 在升起且伸缩台板合上, 升起且伸缩台板拉开, 降下且伸缩台板合上, 降下且伸缩台板拉开 4 种工作状态下的总体变形和等效应力情况。其中最大总体变形主要位于伸缩台板左边缘, 上述 4 种工作状态下的最大总体变形分别为 1.97, 1.07, 0.73, 0.33 mm, 都在允许范围内; 最大等效应力出现在剪刀撑铰点附近, 上述 4 种工作状态下的最大等效应力分别为 47.51, 40.10, 185.34, 170.02 MPa, 均小于结构钢材料的屈服极限 (235 MPa), 强度满足要求。**结论** 所提出的可变幅面、可设定升降高度的剪叉式升降平台, 拓展了传统升降平台的功能。

关键词: 剪叉式升降平台; 可变幅面; 升降高度; 有限元分析

中图分类号: TH211⁺.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)21-0193-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.21.028

Design and Finite Element Analysis of Scissor Lift Platform

CAO Fei¹, ZHAO You-jun², SHI Jun-jian³

(1.College of Packaging and Printing Engineering, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China;
2.Tianjin Packaging Production Line Technical Engineering Center, Tianjin 300410, China;
3.Seven (Tianjin) Industrial Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a scissor lift platform which can vary the breadth and set the lifting height, design its mechanical structure and analyze the mechanical properties, with regard to the shortage of single-stage scissor lift platform in present market. The lift platform was modeled via three-dimensional modeling software SolidWorks. The finite element model was created via finite element analysis software Ansys Workbench, and the static bearing property was simulated and analyzed. The overall deformation and equivalent stress were obtained under specific load and four working conditions: lifting and telescopic table plate closing, lifting and telescopic table plate opening, falling and telescopic table plate closing, and falling and telescopic table plate opening. The maximum overall deformation was mainly located on the left edge of the telescopic table plate. The maximum overall deformation under the four working conditions above were 1.97 mm, 1.07 mm, 0.73 mm and 0.33 mm, respectively, and all of them were within the allowable range. The maximum equivalent stress appeared near the joint point of scissors brace. The maximum equivalent stress under the four working conditions above were 47.51 MPa, 40.10 MPa, 185.34 MPa and 170.02 MPa, respectively, which were lower than the yield limit of structural steel material (235 MPa), and the strength met the requirements. The proposed scissor lift plat-

收稿日期: 2019-05-26

作者简介: 曹菲 (1980—), 女, 硕士, 天津职业大学副教授, 主要研究方向为食品包装材料与技术。

form, which can vary the breadth and set the lifting height, extends the function of the traditional lift platform.

KEY WORDS: scissor lift platform; variable breadth; lifting height; finite element analysis

剪叉式升降平台具有结构简单、举升力大、可靠性高、通用性强等特点,在升降的过程中可以保持较好的平稳性,从而提高了作业的效率 and 安全性,广泛应用于现代物流装卸、工业生产、设备安装与维护等领域^[1-4]。

剪叉式升降平台设计的关键问题主要包括结构形式、动力驱动和受力分析,尤其是力学性能会直接关系到平台整体载重和稳定性,因此,合理的结构设计及科学的力学计算尤为重要。国内外学者针对剪叉式升降平台的结构和性能进行了广泛的研究。SOLAZZI^[5]对采用复合材料的升降平台进行整体重量优化,其重量相比与传统平台降低 50%。DONG^[6]运用实验与建模的方法分析了影响剪叉式升降平台稳定性的因素。TIAN^[7]利用三维建模软件 Pro/E 设计了剪叉式升降平台,并进行了稳定性分析。HE^[8]对门式起重机进行了参数化设计,并对起重机进行了有限元分析,验证了其稳定性满足设计要求。PAN^[9]记录了剪叉式升降机的地面冲击力和姿势摇摆,提出了减少工人在进入或离开升降机时的滑倒/绊倒和姿势晃动的建议。杨明钊^[10]通过建立剪叉式升降平台的三维模型,利用 Ansys Workbench 对其进行有限元分析,得到了升降平台启动时刻的 Von-Mises 应力。霍晓春^[11]基于 Ansys 软件的 APDL 参数化建模语言,对剪叉式高空升降平台进行有限元静力结构分析,判断了其是否满足强度要求。孙磊博^[12]利用 Ansys 的 APDL 对剪叉臂进行了优化设计。张伟龙^[13]对起升过程中液压缸推力以及剪叉臂铰点受力情况进行了计算,借助 ADAMS 软件对剪叉式升降平台进行动力学仿真,验证了液压缸推力与铰点受力计算的正确性。何雪滢^[14]运用虚位移原理计算液压缸推力,采用先整体后分离的方法计算了铰点力。赵飞虎^[15]基于 ADAMS 对剪叉型升降平台进行参数化建模,仿真之后得到液压缸的推力,并与虚位移法理论计算值进行对比,验证了模型的正确性。

现代工厂生产和物流中的装卸过程存在作业量大、货物尺寸多样、物流装备技术和兼容性差等问题,使用升降平台完成包装货物或生产物料的装卸,可以极大程度提高物流作业的效率 and 安全性。现有的单级剪叉式升降平台大多通过液压缸实现升降动作,其优点是结构简单,举升力大;但其缺点是台面尺寸固定,不能精确设定升降高度,长期使用会造成液压油泄露等^[1]。而且现有的升降平台容易产生上翻,影响生产的安全性。

文中克服现有产品的不足,提出一种可变幅面、可设定升降高度的电动式剪叉升降平台。为了验证设

计的可行性,利用 Ansys Workbench 仿真软件,分析升降平台在特定载荷以及不同状态下的力学性能。

1 剪叉式升降平台总体设计

1.1 总体结构

剪叉式升降平台属于典型的非标机械设计产品,可根据装卸作业要求定制化生产。剪叉式升降平台结构见图 1,包括上台板、伸缩台板、顶板、剪刀撑、底板、减速电机、滚珠丝杠、滑动丝杠架及直线导轨等。其中剪刀撑位于顶板与底板之间,其上部一侧撑杆铰装于顶板下部,另一侧撑杆移动铰装于顶板下部;其下部一侧撑杆铰装于底板上,另一侧撑杆铰装于滑动丝杠架上。滑动丝杠架的两端均固装在底板上的直线导轨上,中部安装于底板上的滚珠丝杠上,通过减速电机驱动滚珠丝杠旋转,即可使剪刀撑机构张开或闭合,从而实现顶板的升降。

剪叉式升降平台结构设计合理,易于精确控制升降高度,升降过程安全、平稳、可靠,具有防止上掀的功能,且可增加幅面,适应不同尺寸产品的升降需求。

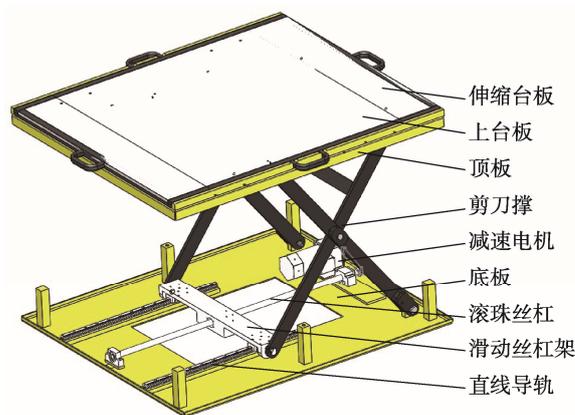


图 1 剪叉式升降平台结构

Fig.1 Structure of scissor lift platform

1.2 可变平台幅面设计

由于包装货物或生产物料的尺寸不一,为适应较大货物的装卸需求,需要对台面幅面进行调整,以提高剪叉式升降平台的通用性和兼容性。台板的初始幅面为升降台板的额定尺寸(可根据需求定制),升降台板安装有 4 个导柱,见图 2,在顶板上对应制有导套,导柱安装入顶板所制导套内,可手动提起;升降台板下部安装有 2 个可手动抽拉的伸缩台板。当台板

的幅面尺寸需要加大时,可将升降台板人工提起,分别抽出两侧的伸缩台板,抽出后将升降台板放下保证上表面平齐,达到增大幅面的目的。当伸缩台板合上时,台面有效长度 1400 mm、有效宽度 1100 mm;当伸缩台板拉开时,台面有效长度 1740 mm、有效宽度 1100 mm,增大了台面幅面。

为了避免上板发生上翻的情况,该平台设有防止上翻机构。顶板底部焊接 2 个带有滑槽的钢板作为滑动导轨,用一根长轴将左右 2 个剪刀撑连接成一体,长轴可在滑槽内做滑动移动,也可将长轴上安装轴承,使得滑动移动改为滚动移动,增加使用寿命。

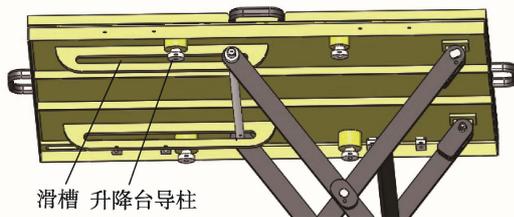


图 2 可变平台幅面设计
Fig.2 Design of variable platform breadth

1.3 可设定升降高度设计

为适应不同装卸高度的需求,需要对升降高度进行精确设定。传统的液压驱动方式不能精确设定升降高度,且需配备液压站或是液压动力单元作为动力输出装置,因此采用电机带动丝杠作为动力的方式,可以对举升高度、举升精度做精确控制,通过 PLC 或触摸屏控制,可更好地与自动化输送设备进行无缝衔接,对不同尺寸的物料兼容性更好。

安装在底板上的减速电机通过同步带、链条或齿轮传动使滚珠丝杠旋转,滑动丝杠架沿着直线导轨做直线运动,最终作用在剪刀撑上,使其完成升降动作,见图 1。该结构可实现升降速度精确设定、升降高度自由设定。可配备光栅,当升降过程中遇到异物阻挡可停止运动,当物料过重也可报警提示。减速电机选用带制动结构,遇到断电情况升降平台可停在所在高度,并配有手动释放机构,可在停电状态下手动完成平台升降。升降平台顶板与底板的距离为 200~1000 mm,可以满足滚轮传送带和不同厢式货车的物流装卸高度需求。

2 剪叉式升降平台静压仿真分析

2.1 有限元建模

利用三维建模软件 SolidWorks 建立升起且伸缩台板合上、升起且伸缩台板拉开、降下且伸缩台板合上、降下且伸缩台板拉开等 4 种工作状态下的剪叉式升降平台模型,并将模型另存为 x_t 格式。升降平台

升起状态时顶板与底板距离为最大距离 1000 mm;降下状态时顶板与底板距离为最小距离 200 mm,此时顶板未与底板上的 6 个支座接触,还是由剪刀撑承受载荷。伸缩台板合上时,伸缩台板完全位于上台板下部,载荷由上台板承受;伸缩台板拉开时为拉开到极限位置,载荷由上台板和 2 块伸缩台板共同承受。

在 Ansys Workbench 中创建 4 个“Static Structural”进行静压仿真分析,以模拟上述 4 种工作状态下的剪叉式升降平台承受载荷的情况。在每个分析的 Geometry 模块中分别导入对应的 x_t 格式模型,生成 4 个升降平台有限元分析模型。

2.2 材料参数设置

升降平台的各个部分需要设置不同的材料参数,其中模型大部分结构用到的材料是结构钢,其密度为 7850 kg/m^3 ,弹性模量为 200 GPa,泊松比为 0.3;模型中的旋转部分,如剪刀撑机构的铰接部分,用到的材料是铜合金,其密度为 8300 kg/m^3 ,弹性模量为 110 GPa,泊松比为 0.34。伸缩台板幅面较大,要有一定的厚度才能保证强度,但提升需要手动操作,选择材质时最好选用密度小、质量轻的材料。而金属材质质量较大,人工提升比较费力,且物料在金属台面上拖拽还会对物料有一定的划伤,因此选用亚克力(化学名为聚甲基丙烯酸甲酯,PMMA),俗称特殊处理有机玻璃,其密度为 1200 kg/m^3 ,弹性模量为 4.12 GPa,泊松比为 0.39。亚克力材料密度小,不会划伤物料,且符合食品级标准。

2.3 接触设置

Ansys Workbench 共有 5 种接触类型,并且带有接触侦测功能,自动侦测并建立各部件间的接触关系,默认情况下各零部件的装配关系为绑定。根据升降平台各个部分之间的装配方式,修改设置接触关系为:底板与导轨之间、底板与滚珠丝杠轴承之间等,均定义为绑定(Bonded)接触;剪刀撑与滑动丝杠架铰点、与顶板铰点、自身铰点等都定义为摩擦(Frictional)接触,摩擦因数为 0.12;滑动丝杠架与直线导轨定义为摩擦(Frictional)接触,摩擦因数为 0.12;台面上翻机构的滑杆和滑槽之间定义为摩擦(Frictional)接触,摩擦因数为 0.2。

2.4 网格划分

网格划分是有限元分析的重要步骤,其质量关系到有限元的准确度,同时还会影响到有限元分析的时间。一般来说,在计算时间允许的前提下,网格划分越细越好。网格划分采用 Hex Dominant(六面体主导)的方法,网格尺寸设置为 10 mm,升起状态且伸缩台板拉开时升降平台有限元网格模型见图 3,网格模型包含 557 202 个节点、207 512 个单元。

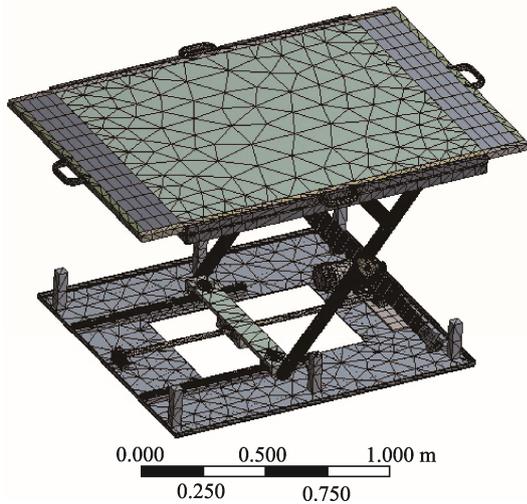


图3 升降平台有限元网格模型
Fig.3 Finite element mesh model of lift platform

2.5 载荷与约束

升降平台的主要载荷是压力,按生产情况,设升降平台额定载荷为 500 kg,在升降平台台板施加力载荷,并假定载荷均匀分布。当伸缩台板合上时,载荷作用在上台板;当伸缩台板拉开时,载荷作用在上台板和伸缩台板。升起状态且伸缩台板拉开时的加载情况见图 4。在边界约束处理上,设置底板为固定约束,见图 5。

2.6 结果分析

2.6.1 总体变形情况

升降平台在压力载荷和 4 种工作状态下的总体变形云图见图 6。结合升降平台结构可知,伸缩台板是延伸部分,易产生较大变形,最大总体变形位于伸缩台板左边缘,可见亚克力材料承受最大总体变形。

升起且伸缩台板合上时的最大总体变形为 1.97 mm,升起且伸缩台板拉开时的最大总体变形为 1.07 mm,都在允许范围内。当升降平台降下时,防上翻机构的滑杆将沿滑槽向伸缩台板外侧移动,剪刀撑的支撑作用将更平衡,相应伸缩台板合上和拉开到极限位置时的最大总体变形分别为 0.73 mm 和 0.33 mm,与升起状态相比显著减小,结构更加稳固;当伸缩台板合上时,最大总体变形发生在上台板中间,而非伸缩台板左边缘,主要是顶板四周支撑比较均衡、中间部位倒显得薄弱的原因。其他部件主要是结构钢,总体变形更小,对升降平台影响较小。

2.6.2 等效应力情况

升降平台在压力载荷和 4 种状态下的等效应力云图见图 7,因升降平台等效应力集中在剪刀撑上,为更好显示剪刀撑的等效应力情况,其他部分仅显示了半透明结构。由图 7 可见,剪刀撑自身铰点、与顶板铰点、与滑动丝杠架铰点,以及剪刀撑连杆等部位的等效应力较大,其中最大等效应力出现在剪刀撑铰点附近。剪刀撑为交叉结构,上下各有一侧铰接点固定,另一侧铰接点随上台板升降而水平移动,剪刀撑中心与上台板中心并不处于垂直位置,因此载荷重心一般不在剪刀撑中心位置,而在其中心位置附近。升起且伸缩台板合上时的最大等效应力为 47.51 MPa,升起且伸缩台板拉开时的最大等效应力为 40.10 MPa,均小于结构钢材料的屈服极限 235 MPa,强度满足要求。当升降平台下降时,剪刀撑上下夹角将变大,最大等效应力有所增大,相应伸缩台板合上和拉开到极限位置时的最大等效应力分别为 185.34 MPa 和 170.02 MPa,该值也小于结构钢材料的屈服极限 235 MPa,强度仍满足要求。

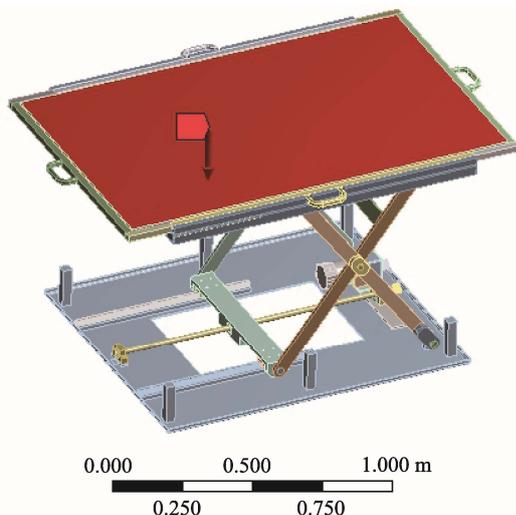


图4 施加载荷
Fig.4 Adding load

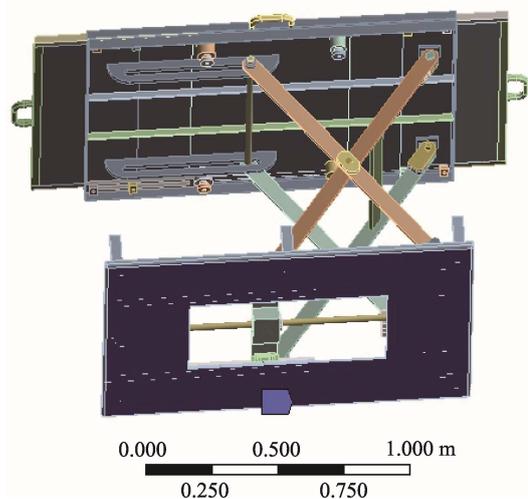


图5 设置约束
Fig.5 Setting constraint

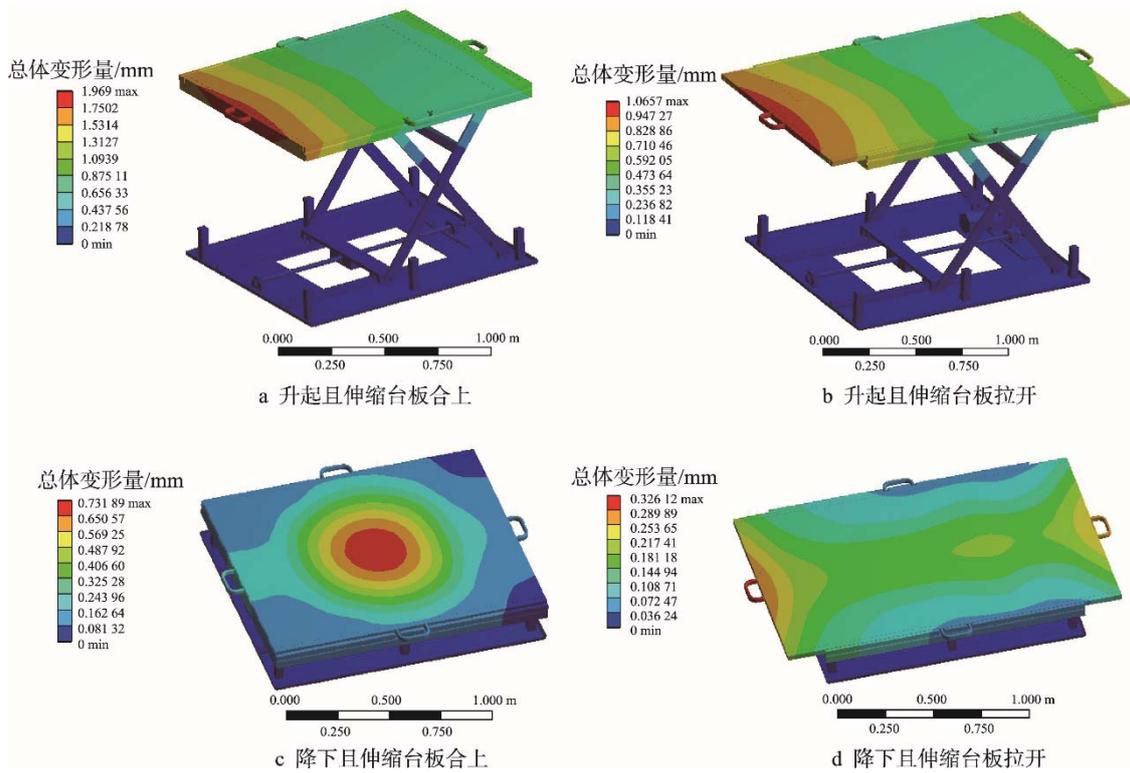


图 6 升降平台总体变形云图
Fig.6 Overall deformation nephogram of lift platform

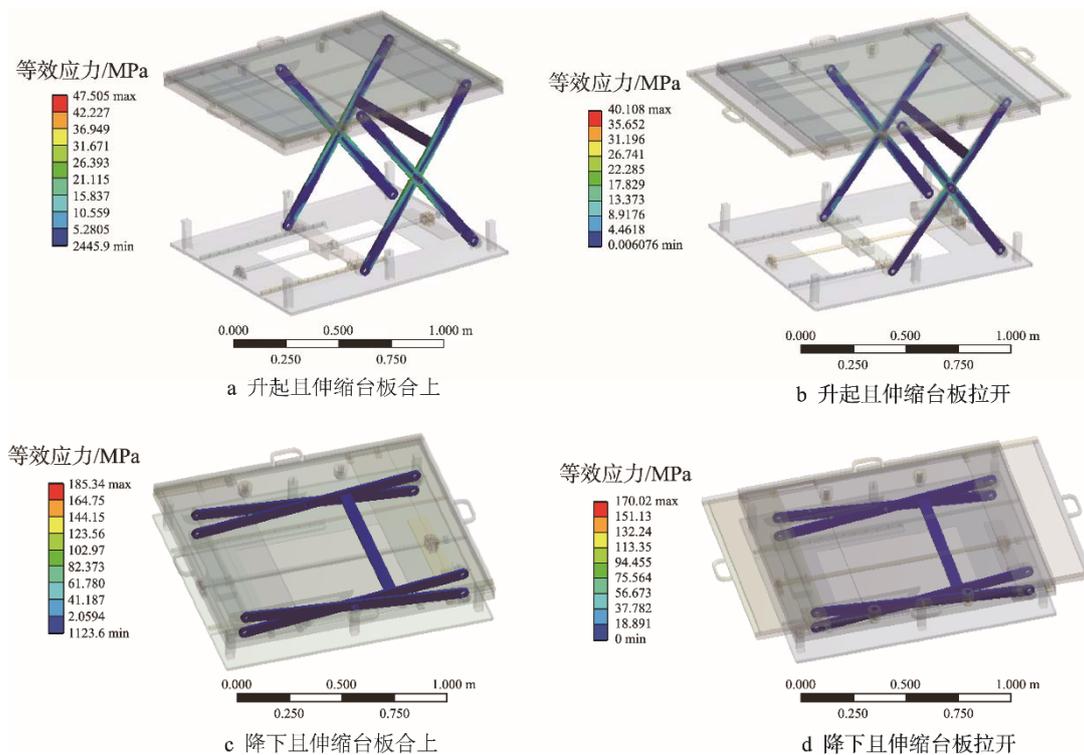


图 7 升降平台等效应力云图
Fig.7 Equivalent stress nephogram of lift platform

3 结语

包装货物的装卸作业在工厂生产和物流过程中

占有很重要的位置。针对市场上现有单级剪叉式升降平台的不足，提出了一种可变幅面、可设定升降高度的新型剪叉式升降平台，拓展了传统升降平台的功能。利用有限元分析软件 Ansys Workbench 建立了其

升降平台有限元模型, 对其在升起和降下, 以及伸缩台板合上和张开 4 种工作状态下的静态承载性能进行了仿真分析, 升降平台在特定载荷情况下的总体变形和等效应力小于许用载荷, 该升降平台结构稳定, 满足强度要求, 为剪叉式升降平台的设计和力学性能分析提供了参考。

参考文献:

- [1] 刘蕾, 高伟光. 剪叉式升降平台设计及应用研究[J]. 航空精密制造技术, 2018, 54(1): 56—59.
LIU Lei, GAO Wei-guang. Application & Research of Scissor Lift Platform Design[J]. Aeronautical Precision Manufacturing Technology, 2018, 54(1): 56—59.
- [2] 乞英焕, 董为民, 孙健, 等. 对称驱动剪叉液压升降平台的动力学仿真[J]. 新技术新工艺, 2013(5): 40—41.
QI Ying-huan, DONG Wei-min, SUN Jian, et al. Dynamics of Symmetrically Driven Hydraulic Lifting Platform for Scissors[J]. New Technology and New Process, 2013(5): 40—41.
- [3] 张鸿鹄, 郭蓬, 王宇恒. 剪叉式液压升降平台的设计[J]. 机械设计与制造工程, 2014(12): 69—72.
ZHANG Hong-hu, GUO Lian, WANG Yu-heng. Design of Hydraulic Lifting Platform with Scissors[J]. Mechanical Design and Manufacturing Engineering, 2014(12): 69—72.
- [4] 李乐毅. 新型升降平台的运动仿真和有限元分析[J]. 机电技术, 2016(4): 66—69.
LI Le-yi. Motion Simulation and Finite Element Analysis of a New Lifting Platform[J]. Mechanical & Electrical Technology, 2016(4): 66—69.
- [5] SOLAZZI L, SCALMANA R. New Design Concept for a Lifting Platform Made of Composite Material[J]. Applied Composite Materials, 2013, 204: 76—89.
- [6] DONG R G, PAN C S, HARTSELL J J, et al. An Investigation on the Dynamic Stability of Scissor Lift[J]. Open Journal of Safety Science and Technology, 2012, 2(1): 8—15.
- [7] TIAN Hong-yu, ZHANG Zi-yi. Design and Simulation Based on Pro/E for a Hydraulic Lift Platform in Scissors Type[J]. Procedia Engineering, 2011, 16: 772—781.
- [8] HE Bin-hui. Research and Key Bearing Part Simulation of Finite Element Analysis Platform of Gantry Crane Based on ANSYS[J]. Sensors & Transducers, 2013, 159(11): 92—99.
- [9] PAN C S, CHIOU S S, KAU T Y, et al. Evaluation of Postural Sway and Impact Forces during Ingress and Egress of Scissor Lifts at Elevations[J]. Applied Ergonomics, 2017, 65: 152—162.
- [10] 杨明钊, 黄文婷, 孙东明. 基于 Ansys Workbench 的剪叉式升降平台有限元分析[J]. 机械工程, 2013(6): 11—13.
YANG Ming-zhao, HUANG Wen-ting, SUN Dong-ming. Finite Element Analysis of Scissors Lifting Platform Based on Ansys Workbench[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013(6): 11—13.
- [11] 霍晓春. 剪叉式高空升降平台整机有限元分析及软件开发[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2017.
HUO Xiao-chun. Global Finite Element Analysis and Software Development of Scissor Aerial Work Platform[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2017.
- [12] 孙磊博. 剪叉式液压升降平台结构优化[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2015.
SUN Lei-bo. Structural Optimization of Scissors Hydraulic Lifting Platform[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2015.
- [13] 张伟龙. 剪叉式升降平台性能分析与优化设计[D]. 沈阳: 东北大学, 2015.
ZHANG Wei-long. The Analysis of Scissor Lift Platform and Optimization Design[D]. Shenyang: Northeastern University, 2015.
- [14] 何雪滋, 殷其阵, 鲁文佳, 等. 剪叉式升降平台液压缸推力与铰点力的计算[J]. 机电工程, 2017, 34(2): 115—118.
HE Xue-hong, YIN Qi-zhen, LU Wen-jia, et al. Calculation on Hydraulic Cylinder Driving Force and Joint-Force for Scissors Lifting Platform[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(2): 115—118.
- [15] 赵飞虎, 宋强, 赵国良, 等. 剪叉型升降平台的参数化建模与优化设计[J]. 机械工程与自动化, 2018(2): 95—97.
ZHAO Fei-hu, SONG Qiang, ZHAO Guo-liang, et al. Parametric Modeling and Optimal Design of Scissors Lifting Platform[J]. Mechanical Engineering and Automation, 2018(2): 95—97.