

文章编号:1671-6833(2014)01-0124-05

机场集装箱/板升降平台车桥平台的设计与研究

李霞^{1,2}, 张志显¹, 张三川¹, 刘剑²

(1. 郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州新大方重工科技有限公司, 河南 郑州 450064)

摘要: 设计机场集装箱/板升降平台车的桥平台结构, 对桥平台的关键受力部件上台面和剪叉臂进行静力学分析, 并校核其强度. 对桥平台处于最高位置时进行模态分析, 提取运算结果. 桥平台前五阶固有频率集中在 3~17 Hz 的低频阶段, 各阶振型主要表现为上台面和剪叉臂摆动、扭曲. 桥平台的静力学及模态分析结果为桥平台的设计提供了理论依据.

关键词: 机场集装箱/板升降平台车; 桥平台; 静力学分析; 模态分析

中图分类号: TH137.3 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.01.029

0 引言

机场集装箱/板升降平台车是机场用来装卸集装箱或者集装板的一种专用车型^[1]. 近年来, 随着我国民航运输业的发展, 集装箱/板升降平台车的需求量不断增加, 而且伴随大型飞机出现的加大加重集装箱对升降平台车承载能力要求更高. 此外, 我国现有飞机集装箱/板升降平台车大多是 90 年代中期购买的, 目前已进入更新换代密集期^[2]. 新建机场及原有机场的改扩建对升降平台车的新增需求和机场现有升降平台车的更新需求为集装箱升降平台车的发展带来了契机.

桥平台作为整车中的重要一部分, 起着与飞机舱门对接, 在飞机舱门和主平台间水平传送飞机集装箱/板的作用^[1], 桥平台的使用避免了主平台在重载下完成举升的同时需不断与飞机舱门实现对接造成平台车与飞机碰撞等危险发生.

笔者根据设计目标通过分析、计算设计机场集装箱/板升降平台车桥平台的结构, 然后利用 ANSYS 软件对两个重要的承载部件——上台面、剪叉臂进行静力学分析, 最后分析桥平台处于最高位置时的振动频率及振动模态.

1 机场集装箱/板升降平台车简介

机场集装箱/板升降平台车主要由桥平台、主平台、操作台、底盘总成、动力总成、液压总成、电

气总成及爬梯等辅助件组成, 如图 1 所示.

底盘总成为平台车提供支撑, 主平台将集装箱/板提升或下降到装卸高度, 然后通过桥平台将其送上或从飞机上取下前(后)剪撑借助自带的液压缸提升和降下桥(主)平台.



图 1 双平台式升降平台车

Fig.1 Lifting loader with double table

2 桥平台的结构设计

本论文是 40 t 双平台式机场集装箱升降平台车研究的一部分, 要求桥平台能够承载一个 3 175 mm×2 438 mm 的集装板, 所能承载的航空货物的重量为主平台的 1/2, 即 20 t.

根据设计目标桥平台应能够承载一个 3 175 mm×2 438 mm 的集装板, 使一个 3 175 mm 宽的

收稿日期:2013-09-01; 修订日期:2013-11-09

基金项目:河南省科技攻关计划资助项目(2011B460014); 郑州市科技攻关项目(10TTGS483-4).

作者简介:李霞(1973-), 女, 山东郓城人, 郑州大学讲师, 博士, 研究方向为非公路汽车设计与分析, E-mail: jennyhit@163.com.

集装箱通过.考虑平台车操纵台位于桥平台上.桥平台长度设计为 4 460 mm,宽度为 4 500 mm.

1)剪叉结构.

剪叉的结构形式主要有单级剪叉和双级剪叉^[3-5]两种,如图 2 所示.单级剪叉式结构简单、运行稳定,但支反力比较大,安装所占的纵向空间较大.双级剪叉式结构紧凑,但相对复杂.由于桥平台纵向结构尺寸较小,且举升高度大,采用双级剪叉式结构更加合适.

8 根剪叉臂的主体部分选用截面边长为 140 mm、厚度为 8 mm 的方管,两端设计专门的连接头,用于方管与上下台面或滚轮连接,方管与连接头焊接在一起,焊后经退火处理去除残余应力.成副的剪叉臂之间在其中点由销轴连接,剪叉臂的连接头通过销轴分别于桥平台的上下台面或滚轮连接.剪叉臂采用 Q345B 低合金结构钢.

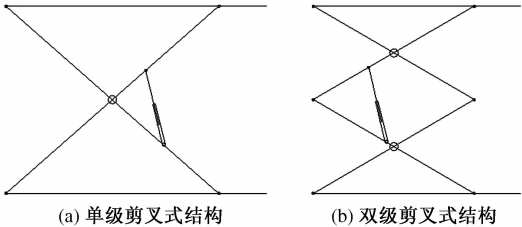


图 2 桥平台两种结构形式

Fig. 2 Two structure of the bridge table

2)上台面及剪叉臂运动导向装置.上台面的 4 根纵梁和两根横梁均采用截面边长为 180 mm、厚度为 18 mm 的方管,材料为 Q345B 低合金结构钢.剪叉臂运动的导向装置选用型号为 14a 的热轧槽钢.导向槽钢与车架纵梁或上台面纵梁焊接在一起,然后退火处理去除焊接应力.

3)液压缸安装方式.传统的提升系统利用液压缸活塞作用在剪叉臂上实现平台升降(如图 1),由于液压缸的输出力与其体积直接相关,要想实现单个单级液压缸推力的提升,液压缸的体积势必增大,但剪叉下的空间有限,液压缸体积受限,其最大提升力也受到限制.为提升剪撑提升系统的最大提升力,笔者采用一组多级液压缸直接支撑桥平台上平台面框架实现桥平台的升降.多级相对于单级液压缸可有效提升其最大提升力,且液压缸活塞杆直接支撑上台面框架,增大了液压缸活塞杆的伸缩的有效空间.

利用 Solidworks 软件建立桥平台的三维模型,如图 3 所示.

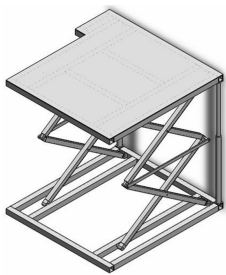


图 3 桥平台三维模型

Fig. 3 Three-dimensional model of the bridge table

3 桥平台关键部件的静力学分析

3.1 桥平台上台面的静力学分析

桥平台工作时,需升降并固定在一个较高的位置,承受着集装箱或者集装板带来的压力,强度必须满足条件才能正常工作.桥平台结构复杂,利用力学相关知识验证上台面及剪叉机构是否满足强度要求,工作困难且复杂,使用有限元分析软件进行分析,则简单的多^[6-7].

桥平台上台面由方管、辊筒、万向转动装置、滚轮导向槽、与剪叉臂的连接件等零部件组成,其中辊筒、万向转动装置、滚轮导向槽起辅助作用,主要承载力部件是由 4 根纵向方管和横向方管组成的上台面框架.对上台面进行分析时主要考虑其主体框架的结构强度.主平台的上台面属于组合结构,建立其三维模型并导入 ANSYS,建立其有限元模型. Q345B 力学特性^[8]如表 1 所示.

表 1 平台车材料属性及力学特性				
Tab.1 Material properties and mechanical properties of the Lifting Loader				
材料	弹性模量/ Pa	泊松比	密度/ (kg·m ⁻³)	屈服极限/ MPa
Q345B	2E11	0.3	7 800	345

上台面单元类型选用实体单元 solid185, solid185 单元有 8 个节点,每个节点有 3 个沿着 xyz 方向平移的自由度.自由网格划分,网格划分后的有限元模型如图 4 所示.

桥平台上台面一端与剪叉机构铰接,另一端通过滚轮导向槽与滚轮接触,静力分析时对上台面施加以下约束:上台面与剪叉机构铰接部位,限制除绕销轴轴线方向转动的自由度以外的所有自由度;上台面与滚轮连接部位,只限制其竖直方向的自由度.

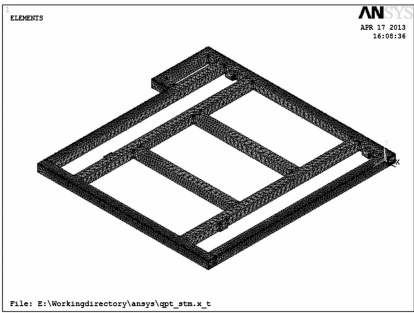
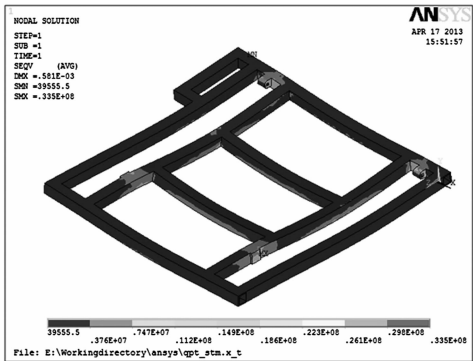
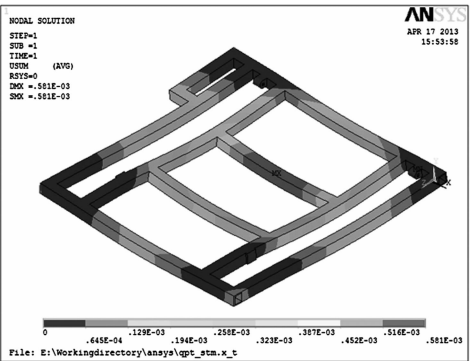


图 4 上台面的有限元模型
Fig. 4 Finite model of the up table



(a) 应力云图



(b) 应变云图

图 5 上台面应力应变云图
Fig. 5 Strain and stress cloud chart of the up table

上台面材料 Q345B 屈服强度为 345 MPa,安全系数 n 取 1.5,计算可得:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{345 \times 10^6 \text{ Pa}}{1.5} = 230 \text{ MPa}. \quad (1)$$

根据式(1)可知,上台面的最大应力 33.5 MPa 小于材料的许用应力,因此由截面边长为 180 mm,厚度为 18 mm 的方管组成的桥平台上台面的强度满足材料要求。

3.2 剪叉机构的静力学分析

桥平台的剪叉机构由方管、连接头和销轴组成,建立其三维模型并导入到 ANSYS 建立有限元模型.解除上台面及车架的约束,用相应力和约束代替.剪叉机构单元类型选用 Solid185,材料 Q345,材料参数如表 1 所示,其有限元模型如图 6 所示。

根据实际情况对其进行施加约束和载荷.在剪叉结构的右下端限制除绕销轴轴线方向旋转的自由度外的所有自由度,在剪叉机构左下端限制其除 z 方向的移动自由度外的所有自由度.在对剪叉结构左上和右上端的销轴孔处分别施加相应的 y 轴方向的载荷。

对剪叉机构进行静力学分析,提取其等效应力云图和位移图,如图 7 所示。

上台面的上表面受到的载荷来自航空货物的压力,可近似看作均布力.为便于对上台面加载,把上台面上的辊筒、万向转动结构简化成一个薄板,加载时均布力加载到薄板的表面。

对上台面进行有限元静力学分析,提取上台面的应力应变分布云图,如图 5 所示。

由图 5 可知:上台面最大等效应力为 33.5 MPa,发生在上台面与剪叉臂的铰接部位.最大的应变为 0.583 mm,在上台面的中间部位。

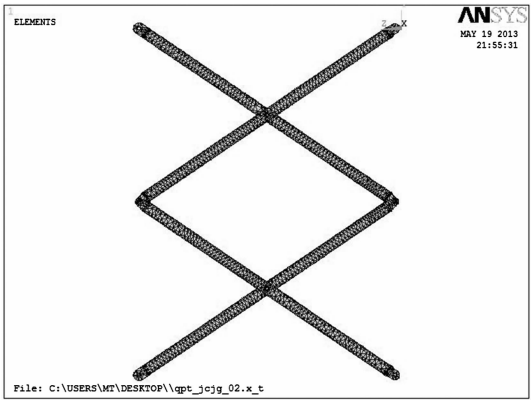


图 6 剪叉机构的有限元模型
Fig. 6 Finite model of the fork mechanism

由图 7 可知:剪叉机构的最大等效应力为 179 MPa,在右中部位的销轴上.剪叉臂的中间变形最大,为 9.717 mm,在剪叉机构的左上端。

剪叉机构材料 Q345B 屈服强度极限为 345 MPa,安全系数 n 为 1.5.根据式(1)可知,剪叉臂的最大应力 179 MPa,在材料许用应力范围内,因此该剪叉机构满足材料强度要求。

4 桥平台模态分析

桥平台工作时通常被固定在较高位置,此位置对桥平台的稳定性要求比较高,计算此位置桥

平台的振型及固有频率^[9]. 根据分析结果可知桥平台对激振力的响应,从而对桥平台的设计方案

进行评价. 为提高运算效率,对分析结果影响不大的结构进行简化,如下处理.

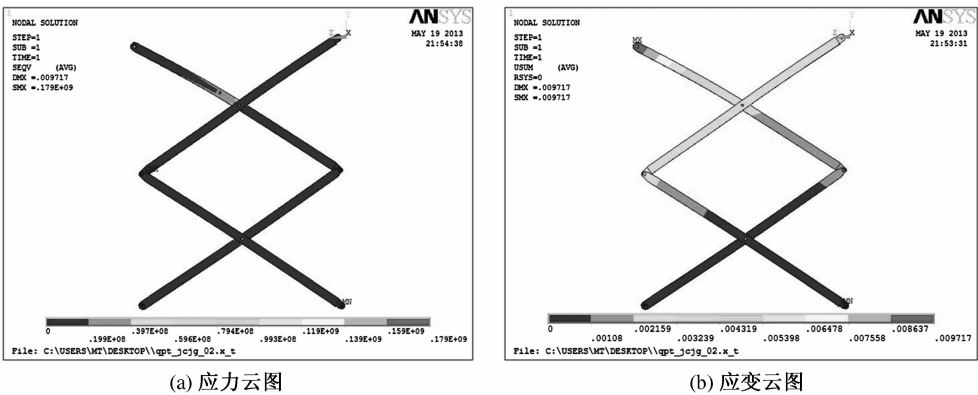


图 7 剪叉机构的应力应变云图

Fig.7 Strain and Stress cloud chart of the fork mechanism

- (1) 去除辊筒、万向传动部件、螺栓等零部件,用覆盖在上台面主体框架上的平板代替.
 - (2) 对销轴、液压缸等零部件做适当简化.
- 桥平台模态分析时单元类型选用 Solid185,材料为 Q345,材料参数如表 1 所示.

采用 Block Lanczos 法进行模态分析,提取桥平台前五阶固有频率及振动模态,如图 8、图 9 所示.

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	3.0093	1	1	1
2	5.0265	1	2	2
3	5.5045	1	3	3
4	11.539	1	4	4
5	16.123	1	5	5

图 8 桥平台处于最高位置时前 5 阶固有频率

Fig.8 First five natural frequencies of the bridge platform in the highest position

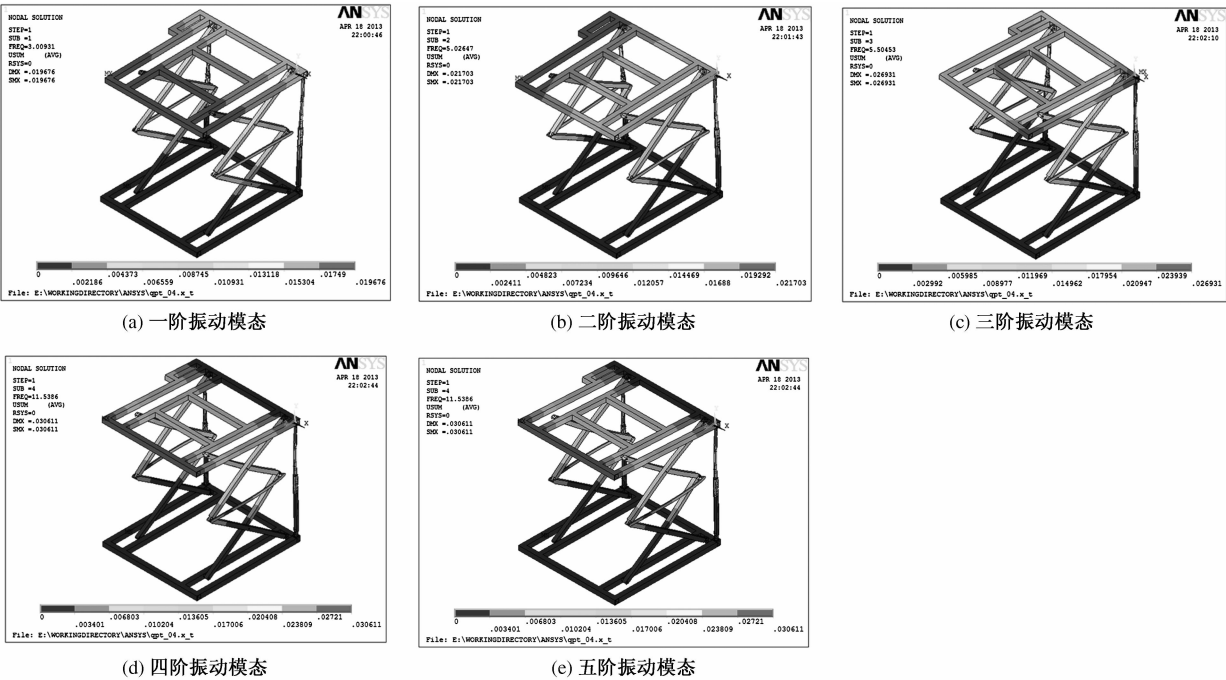


图 9 桥平台处于最高位置时前五阶振动模态

Fig.9 First five vibration mode of the bridge platform in the highest position

由图 9 可知,桥平台处于最高位置时的前五阶固有频率主要分布在 3 ~ 17 Hz 以内,处于较低的

频率段且分布较为密集. 其振动模态主要为平台上台面的弯曲变形以及剪叉臂的弯曲及扭转变形.

5 结论

在机场集装箱/板升降平台车介绍的基础上,针对其桥平台进行设计,并应用 ANSYS 软件从静态和动态两个方面对所设计桥平台的上台面和剪叉臂进行了较为系统的分析. 分析结果表明,桥平台上台面和剪叉臂均满足材料强度要求,桥平台前五阶振动频率集中在 3 ~ 17 Hz 的低频阶段,各阶振型主要表现为上台面和剪叉臂弯曲及扭转,设计时应尽量避开这些共振频率,以上分析结果对平台车的优化设计及产业化开发具有重要的指导意义.

参考文献:

- [1] 中国民用航空局机场司. GB/T 23423—2009, 宽体飞机主舱集装箱、集装板装载机功能要求[S]. 北京:中国国家标准化管理委员会, 2009.
- [2] 曹蕾. 关注航空货运中的重要设备—升降平台车[J]. 中国招标, 2010(22):26-27.
- [3] 孙光旭, 袁端才. 液压剪叉式升降台的动力学仿真[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(11): 2650-2653.
- [4] 胡小舟, 胡军科, 何国华. 剪叉式举升机构建模及关键参数的研究[J]. 机械研究与应用, 2006, 19(4):84-85.
- [5] 李鄂民, 齐文虎, 王滨, 等. 液压缸双梁铰接式剪叉机构动力学及运动学分析[J]. 机床与液压, 2011, 39(22):34-37.
- [6] REN G D. An investigation on the dynamic stability of scissor Lift [J]. Open Journal of Safety Science and Technology, 2012, 2(1): 8-15.
- [7] 张三川, 彭楠, 李霞. 两轮自平衡电动车的结构设计与有限元分析[J]. 郑州大学学报:工学版, 2011, 32(1):30-33.
- [8] 成大先, 王德夫, 姬奎生, 等. 机械设计手册—常用机械工程材料[M]. 北京:化学工业出版社, 2010.
- [9] 解本铭, 郭海乐. 叉剪式液压平台车结构模态有限元分析[J]. 中国民航大学学报, 2007, 25(2):25-27.

Research and Design of the Airport Container/pallet Lifting Loader

LI Xia^{1,2}, ZHANG Zhi-xian¹, ZHANG San-chuan¹, LIU Jian²

(1. School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Zhengzhou New Dafang Heavy Industry Science & Technology Co., LTD, Zhengzhou 450064, China)

Abstract: The bridge platform's structure of airport container/pallet lifting loader is designed. Static analysis on up table and fork arm which are key mechanical parts of bridge platform is carried out to verify the structural strength. The modal analysis on bridge platform is, the result show that the first 5 frequency is concentrated in 3 ~ 17 Hz low-frequency phase, vibration mode appears on the swing and twist on the up table and fork arm. The static and modal analysis results of the bridge platform provide a theoretical basis for the design of the bridge platform.

Key words: airport container/pallet lifting loader; bridge platform; static analysis; modal analysis