

# 物流集装箱移载装置的设计与研究

孙权

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

**摘要:**为了提高高铁物流装卸货物的效率,节约货运集装箱在车厢内部移载的时间,最大程度发挥高铁货运优势,设计研究一种新型的物流集装箱移载装置。对系统内部的横、纵向移载机构的设计思路及工作原理进行了阐述,并对横、纵向移载机构内关键零部件做了有限元分析。在此基础上,对纵移执行机构的卡爪进行了结构优化设计,同时对移载控制逻辑及效率进行了说明,为进一步研究货运集装箱的快速移载提供了基础。

**关键词:**集装箱;移载机构;有限元分析;优化设计;控制逻辑

**中图分类号:**TP23 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)03-0112-04

## Research on Loading Device for Logistics Container and Its Design

SUN Quan

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** To improve the efficiency of loading and unloading cargo in high-speed rail logistics, save the time of loading cargo container in the carriage, and exploit the advantages of the high-speed rail freight to the full, a new type of loading device for logistics container is designed and studied. The design idea and working principle of the transverse and longitudinal load-shifting mechanism in the system are expounded. Based on the finite element analysis of the key parts in the transverse and longitudinal load-shifting mechanism, the structural optimization of the claw of the longitudinal load-shifting mechanism is carried out, and the logic and efficiency of the load-shifting control are explained. A basis is provided for further researching on the rapid load-shifting of the freight container.

**Keywords:** container; loading mechanism; finite element analysis; optimal design; control logic

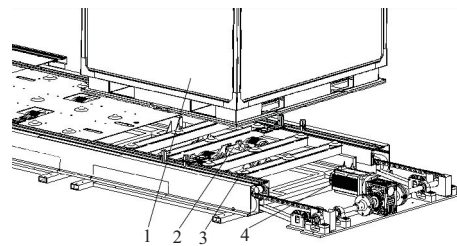
## 0 引言

目前,国内外高铁物流发展迅猛,高铁物流运输在运量、速度、价格、能耗、准点、安全等方面有着明显的优势,因此利用高铁进行快递的运输具有很大的市场,呈现出巨大的潜力<sup>[1]</sup>。目前我国正在加紧研发高铁货运专列,但是阻碍高铁快递发展主要原因是:高铁客运列车车厢的内部结构、车门构造影响快递的放置和装卸;高铁客运列车的停站时间太短,不能满足进行快递装卸的时间要求,导致高铁客运列车经过的中间站点所在城市的高铁快递货运需求不能得到充分满足<sup>[2]</sup>。我国在客运轨道车辆车体结构设计方面进行了大量的研究,也有对货运轨道车辆车体结构的设计及强度计算<sup>[3]</sup>。目前车厢内部集装箱移载均采用人力的方式进行,大大影响了装货效率。基于以上现状,为满足未来高铁物流对快速、自动化、低成本移载装置的需求,急需研制适用于高铁物流的集装箱快速移载装置<sup>[4]</sup>。

## 1 总体设计方案

物流集装箱的移载装置可以实现集装箱在高铁车厢内部的纵向移载及横向移载。该装卸系统主要由车厢底部纵向、横向移载装置及配套的集装箱组成。集装箱在地

板牛眼上运动,在接受到调度指令后,纵向移载装置通过拖拽小车的卡爪固定集装箱,再随链条传动至指定位置。横向移载装置利用轮毂电机外齿啮合集装箱底部限位槽内的软齿后,接力传动来实现集装箱的横向移载,从而实现高铁物流集装箱在车厢内部的快速移载,其总体结构示意图如图1所示。



1—集装箱;2—横向移载装置;3—牛眼;4—纵向移载装置。

图1 移载装置总体结构示意图

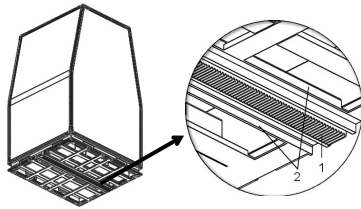
## 2 结构设计

### 2.1 集装箱的结构设计

物流集装箱主体框架采用铝型材焊接而成,外面板铝

作者简介:孙权(1993—),男,浙江绍兴人,硕士研究生,研究方向为机械设计及其自动化。

板采用铆接方式与框架连接,底部有长、宽两个方向的叉车槽口。集装箱底部承载框架中央有凹槽梁,梁上安装软齿条,软齿条是聚氨酯材料制造,能随时给车厢内横移机构动力齿提供可靠的啮合,使动力齿产生可靠的车厢内横移驱动力。集装箱底部凹槽梁两侧框架可作为纵向移载执行机构卡爪的夹爪处。集装箱底板采用金属耐磨板材,可以有效降低摩擦损耗和底板受力变形<sup>[5]</sup>。



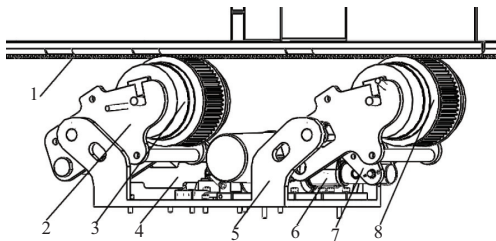
1—软齿条;2—纵移卡爪夹爪处。

图2 集装箱示意图

## 2.2 横向移载装置的结构设计

横向移载装置由轮毂电机、动力推杆、摆杆机构、联动杆和底座板构成,2个轮毂电机外轮缘各有1个齿圈。其工作原理为:首先电动推杆推动摆杆机构向前运动,由于摆杆机构和1号轮毂电机固定架的旋转轴机械锁死,带动1号轮毂电机向上升起,同时2个轮毂电机的固定架又通过联动杆连接在一起,联动杆的带动使得2号轮毂电机随着1号轮毂电机的升起而同步升起。轮毂电机的降落原理同上。大部分结构均安装于重新设计的底座板上,该底板在保证足够的结构强度下,能支撑住2个轮毂电机。

电动推杆收缩状态下轮毂电机下降,电动推杆伸出状态下轮毂电机升起。当轮毂电机升起时,其外齿与集装箱底部限位槽内软齿啮合,移载装置开始工作。横向移载装置工作原理如图3所示。



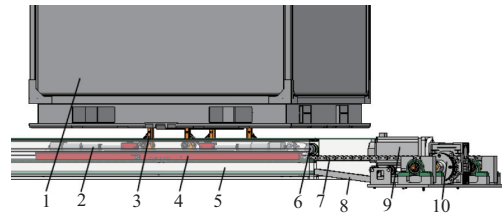
1—集装箱软齿条;2—固定架;3—1号轮毂电机;4—联动杆;  
5—底座板;6—电动推杆;7—摆杆机构;8—2号轮毂电机。

图3 横向移载装置工作示意图

## 2.3 纵向移载装置的结构设计

纵向移载装置工作原理如图4所示,移载小车与链条之间通过链条销轴相连接,小车上安装有卡爪、电动推杆及计米轮等装置。在接到调度指令后,移载小车通过滑轮在铝合金导轨内直线移动,依靠计米轮反馈的位置距离,运动到指定的集装箱下方。随后两端的电动推杆开始工作,推动与之相连的卡爪旋转到90°位置,使卡爪能与集装箱底部横梁夹紧配合。此时,集装箱可随移载小车通过链条传动运动至指定位置。在集装箱到达目标位置后,电动推杆收缩,卡爪旋转平放,则移载小车可继续随链条进

行下一次的纵向调度运动。移载小车和链条均在自行设计的铝合金导轨约束下进行运动,这样既保证了移载运动的直线度和平稳性,同时又能起到良好的密封作用,减少后期的维护工作。每个集装箱纵向移载时,均采用两组移载小车进行同步移载,保证了移载的平稳性。



1—集装箱;2—电动推杆;3—卡爪;4—移载小车;5—导轨;  
6—计米轮;7—链条;8—导油槽;9—减速电机;10—膜片联轴器。

图4 纵向移载装置工作示意图

## 3 关键零部件有限元分析

### 3.1 横向底座板有限元分析

横向移载装置的底座板受载荷比较大,其在竖直方向上的主要受力为轮毂电机的质量,而在水平方向上主要受力为电动推杆的水平推力。计算载荷时考虑如下工况,两个轮毂电机的压力为 $392 \times 2 = 784 \text{ N}$ ,推杆水平推力为 $1500 \text{ N}$ 。底座板需施加固定约束,在相关载荷作用下,横向移载机构底座板的应力、应变云图如图5所示。

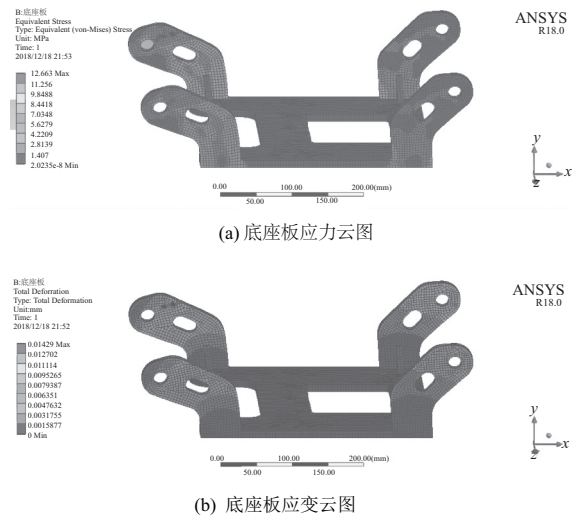


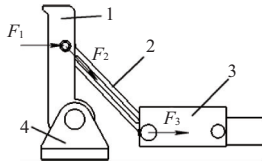
图5 底座板的应力与应变云图

从上述有限元分析可以得出以下结论:在给定的载荷工况下,底座板的最大位移为 $0.014 \text{ mm}$ ,最大应力为 $12.66 \text{ MPa}$ ,卡爪材料Q235的屈服应力为 $235 \text{ MPa}$ ,等效应力低于许用值,因此底座板的结构是安全的。

### 3.2 纵向执行机构有限元分析

纵向移载装置在工作时,其执行机构相对其他零部件而言,更容易受到载荷的破坏。执行机构主要包括卡爪、连杆、旋转支架、执行滑块及电动推杆等,其中卡爪直接和

集载器相连接,是最为关键的零件,需要对其进行有限元分析。对执行机构的受力分析如图 6 所示。



1—卡爪;2—连杆;3—执行滑块;4—旋转支架。

图 6 执行机构的受力简图

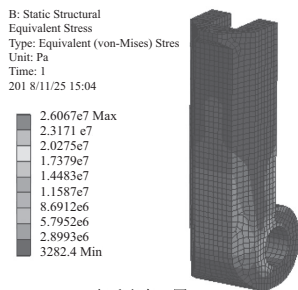
执行机构开始运动时,根据设计要求,需要将满载集载器在 1 s 内从静止到达最大的拖拽速度 0.1 m/s,其会受到一定加速度的冲击,在进行有限元分析时,承载极限工作载荷的集载器质量为 850 kg,且集载器是在万向滚珠上进行移动的,则集载器所需的启动力为

$$F_1 = \mu mg + ma \quad (1)$$

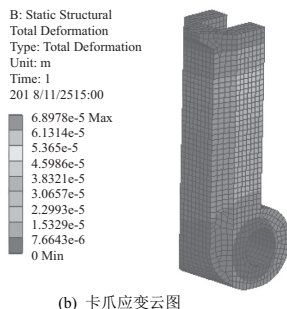
式中: $F_1$  为集载器所需的启动力, N;  $\mu$  为万向滚珠的摩擦系数;  $m$  为集载器箱的质量, kg;  $a$  为集载器静止到匀速运动加速度,  $m/s^2$ 。

根据设计指标,取  $\mu = 0.025$ ,  $m = 850$  kg,  $a = 0.1$   $m/s^2$ 。计算可得  $F_1 = 380$  N,则该启动力对卡爪产生的纵向载荷为 380 N。

在建立卡爪模型时,选择简化处理了倒角和圆角等一些对计算结果的影响基本可以忽略的细节,以减少后续模型计算的时间,提高运算效率。卡爪采用四面体网格划分,模型的前处理和后处理通过 ANSYS 软件实现。离散后卡爪模型总的单元数和节点数分别为 8 751, 34 212。在利用 ANSYS/Workbench 进行的有限元仿真后,其应力、应变云图如图 7 所示。



(a) 卡爪应力云图



(b) 卡爪应变云图

图 7 卡爪的应力与应变云图

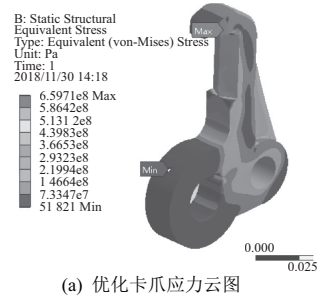
从上述有限元分析可以得出以下结论:在给定的载荷工况下,卡爪的最大位移为 0.006 8 mm,最大应力为 26.06 MPa,卡爪材料 Q235 的屈服应力为 235 MPa,等效

应力低于许用值,因此卡爪的结构是安全的。

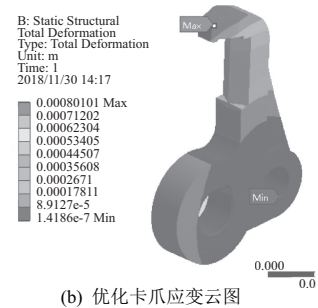
### 3.3 卡爪优化设计

纵向移载作业中,原先执行机构的卡爪结构在推拉满载集载器时比较不稳定,在进行有限元仿真时也只考虑了承受启动时纵向加速度载荷的情况。卡爪采用 Q235 材料,虽然经静力学分析后其应力、应变均在许可范围之内,但考虑实际移载情况下的复杂工况,卡爪机构需要承受纵向  $\pm 5G$ 、垂直  $1\pm 2G$ 、侧向  $\pm 1G$  的组合加速度(其中  $G$  是单个卡爪所承受的集装箱重力,  $G = 0.5mg$ ),在这一载荷的作用下,卡爪机构必须锁紧集载器并防止其倾覆。因此需要对执行机构卡爪进行结构优化设计,以满足实际移载需求。

在对卡爪进行结构优化设计后,其材料重新选用为 40Cr,验算卡爪可能受到的最危险情况,即纵向和侧向均达到最大加速度  $5G$  和  $1G$ 。而垂直加速度在达到  $-1G$  时,将会在卡爪上产生一个向上的力,使卡爪更易损坏;垂直加速度达到  $3G$  时,将在卡爪上产生一个向下的力,抵消  $5G$  纵向载荷产生的向上力,减小了卡爪上的载荷。因此验算时考虑纵向  $5G$ 、垂直  $-1G$  以及侧向  $1G$  的组合加速度载荷,根据对各向加速度分析,得到卡爪与集载器接触处受水平方向 20 825 N 的载荷,垂直方向 28 092 N 的载荷以及侧向 4 165 N 的载荷。在对模型进行简化和网格划分后,结构优化后的卡爪应力、应变云图如图 8 所示。



(a) 优化卡爪应力云图



(b) 优化卡爪应变云图

图 8 优化后卡爪的应力与应变云图

根据优化后卡爪的应力、应变云图可知,在极限工况下,整个卡爪的应力集中现象发生在顶部尖角处,其最大的等效应力大约为 659.7 MPa,结果仍要小于 40Cr 材料的屈服强度。为了尽可能保证设备运行时夹爪结构的安全,可通过添加圆角的方法来改善。夹爪的最大位移为 0.8 mm,符合要求。卡爪其他部分虽有个别局部应力集中现象,但其应力较小且整体形变量较小,可见优化后的卡爪结构的设计较为合理。在对卡爪进行优化后,后续还需要对纵向移载执行机构的其余零件进行相应的配套设



计,最终实现整个执行机构的优化。

## 4 控制逻辑及效率

集装器在高铁内部的位置调整主要是纵向移载及横向移载。横向移载相对纵向移载更为频繁,同时,横向调整也离不开纵向移载的配合。内部位置调整流程如下:控制系统在接收总调度台指令后,将指令解析为执行程序,内部位置调整开始。启动横向纵向移载装置移至相应集装器位置后,纵向移载装置夹爪夹紧集装器,横向移载装置轮毂电机升起和集装器底部齿条啮合,相应集装器锁定系统解锁。移载系统按执行程序将集装器移位至指定位置,锁定系统锁定集装器,移载装置脱位。完成以上操作后,进入下一调整流程,最后向总台上报任务执行情况。集装器在高铁车厢内部位置调整的具体控制逻辑及流程如图9所示。

由于高铁列车的停站时间较短,为满足集装器快速装卸的时间要求,需要对移载效率进行计算。表1是设计的

移载效率主要计算参数。

表1 移载效率核算依据参数

机构动作	指标参数
横向移载机构轮毂升起时间/s	3
横向移载机构轮毂复位时间/s	3
横向移载速度/(m/s)	0.20
纵向移载机构空载移动速度/(m/s)	0.40
纵向移载机构带载移动速度/(m/s)	0.15
地锁机构起复时间/s	5

集装器在车厢一侧对角位置进行移载时耗时最大,根据移载流程及装卸效率计算参数可以计算集装器在极限位置时内部移载的耗时,通过计算其总时间为110s,符合设计要求。

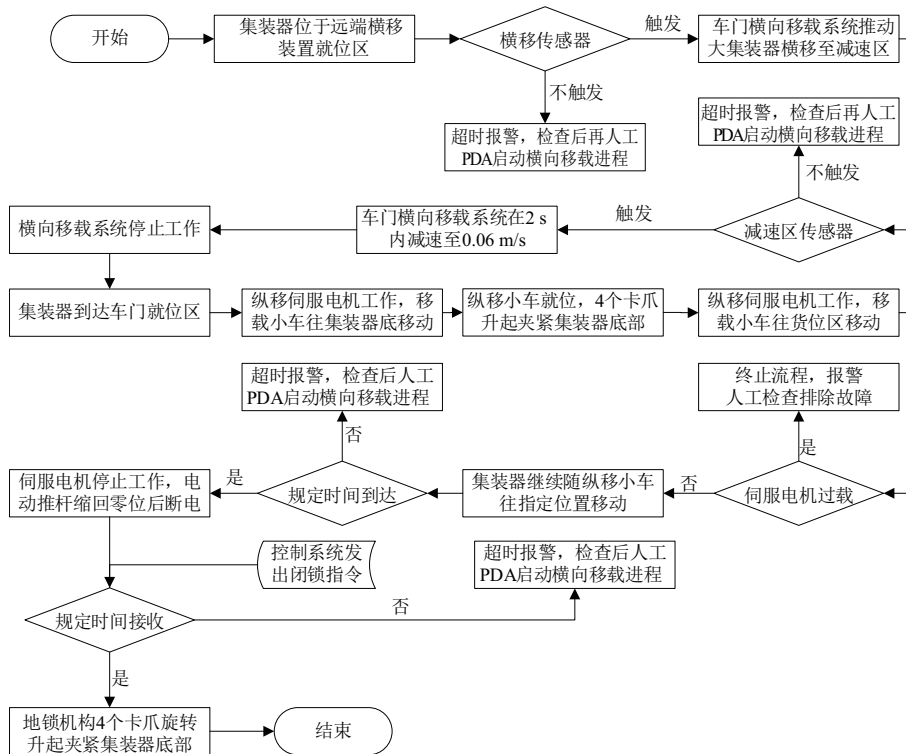


图9 移载控制逻辑及流程图

## 5 结语

高铁货运是铁路向物流转型发展的重要举措,是满足高端物流市场需求、扩大铁路物流市场份额的重要手段。设施设备配置是影响高铁货运业务水平的一项重要因素<sup>[6]</sup>。物流集装器移载装置利用横、纵向移载机构实现了集装器在高铁内部移载的全自动化,提高了货物移载效率,节约了运送货物进出站台的时间,更大程度上发挥出高铁货运的优势。

### 参考文献:

[1] 王海志,王荣辉. 我国发展高铁货运的可行性分析及方案选

择[J]. 综合运输,2012(6):56-60.

[2] 张庆轩. 高铁快递专列开行方案研究[D]. 北京:北京交通大学,2018.

[3] 任筱伟,田毅,文超贤,等. 货运轨道车辆车体强度有限元分析及结构设计[J]. 机械制造与自动化,2017,46(2):109-111.

[4] 燕山大学. 一种基于高铁物流的高速装卸设备:中国, CN204702243U[P].2015-10-14.

[5] 丁立卿,熊力,梁永廷,等. 高速货运动车组的研制[J]. 中国铁路,2017(11):91-98.

[6] 叶飞,孙文桥,席江月,等. 高铁快运设施设备配置优化对策[J]. 铁道货运,2016,34(2):1-5.

收稿日期:2019-01-07