DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.11.016

三自由度智能零售柜的传动设计与力学分析*

白金婷,潘存云*,吴懋亮
(上海电力大学 能源与机械工程学院,上海 200090)

摘要:针对当前零售柜行业产品众多,却普遍存在空间小、占地面积大等问题,设计了一种新型三自由度、升降回转推拉式智能大容量柜。首先,介绍了零售柜的垂直升降、推拉取送、往复回转结构及传动方面的设计;然后,基于 SolidWorks 和 ANSYS 等软件对托架模型进行了网格划分,设定了施加载荷及边界条件,并进行了力学分析和优化设计;最后,对所提出的三种方案结构及型材的三角支撑架进行了受力分析和成本计算。研究结果表明:通过焊接井字梁加强筋,可使托架达到强度要求,且在同样的容许变形量情况下,利用品种法对不同方案支撑架进行成本计算能够选出最佳方案,单个支撑架成本降低 28.6%。

关键词:零售柜;三自由度;力学分析;成本计算
中图分类号:TH692.62;TH122 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-4551(2019)11-1208-05

Transmission design and mechanical analysis of three degree freedom retail cabinet

BAI Jin-ting, PAN Cun-yun, WU Mao-liang
(College of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: Aiming at the problem of large occupied space and small inside space in retail cabinet industry, a new type of three degrees of freedom and lifting and rotating push-pull intelligent large-capacity cabinet was proposed. Firstly, The vertical lift, push-pull-take-send, reciprocating rotary structure and transmission design of retail cabinet were introduced respectively. Then the grid of bracket model was divided based on Solidworks and ANSYS software, and by loading and setting boundary conditions to mechanically analyze and optimized design. At last, the stress of the triangle support of the profile of the proposed three schemes was analyzed and its cost was calculated. The results indicate that the bracket can reach the strength by means of welded grillage beam reinforcement, under the same allowable deformation, the cost calculation of different schemes of brackets with varietal method can select the optimal one and the cost of a single bracket can reduce by 28.6%.

Key words: selling cabinets; three degree of freedom; mechanics analysis; cost calculation

0 引 言

近年来,无人零售柜得到了业界的广泛重视[1]。智能零售柜凭借其智能机械化、存储空间大等优势,现已成为零售行业的重要设备[2]。

针对传统零售业普遍存在的场地租金和人工成本逐年上升,导致利润下滑的问题,本文将研制一款新的三自由度、升降回转推拉式智能大容量柜。

1 三自由度八角式柜体设计

本文设计的三自由度零售柜采用八角边形结构,具有以下特点:

(1)采用环形设计,场地利用率高;

(2)可根据货物大小和高度智能分配空间;

收稿日期:2019-04-23
基金项目:深圳市科技创新委技术创新计划项目(201803093000200)
作者简介:白金婷(1994-),女,满族,辽宁大连人,硕士研究生,主要从事智能机械设计方面的研究。E-mail:bjtting@foxmail.com
通信联系人:潘存云,男,博士,教授。E-mail:pancunyun@sina.com

(3)充分利用存储空间;

(4)货物收纳和推送全自动化,单件存、取货物时间短;

(5)采用多仓共门共锁结构设计;

(6)包含常温、制冷两个温层,生鲜、冷饮皆可售卖;

(7)外观连续平整,适合平面广告投放。

三自由度八角式零售柜结构由三大部分组成:升降机提升机构、回转变向机构和推拉取货机构。以托盘为存储单元,由减速器、伺服电机驱动的传动机构,可以实现有序的运行,使其能够准确地取送。零售柜柜体包括基底、外壳、雨棚、三角架托盘储柜、伺服电机、电磁吸附器、旋转机构、控制系统等。8 个三角货架储货柜分置八边形基底上,中心电机模块可进行升降达到高度(变 h)、回转至指定角度(变 θ)、推拉取出货物(变 r)等功能。

控制系统对售物柜内所有物品进行编号,以根据指令完成存取。

1.1　垂直升降机构

升降作业平台有很多结构样式,如堆垛机系统电机驱动钢丝缸筒升降平台,起吊机常常用液压放大机构等等[3]。本文涉及的传动机构多采用同步带传动方式。

联轴器用来传递扭矩[4],由升降电机作为动力源,通过被轴承座固定的联轴器带动两边同步带轮旋转,将轴向圆周运动转变为直线升降运动,带动升降托架的竖直运动。在托架下部四角安装导向装置,滑块沿着安装在立柱侧面的导轨上滑动,以增加升降托架运行的平稳性。

1.2　推拉取送机构

推拉机构可使托盘完成 r 方向的取送功能。推拉电机向同步带轮输送动力,从而带动同步带直线运动,托架上滑块机构随着同步带运动,并在导轨上滑行,完成电磁铁的水平运动,托盘吸附在电磁铁上完成取送货功能。

1.3　往复回转机构

行星齿轮传动具有高扭矩、质量比等优点[5]。旋转电机直接带动减速机总装下部的小齿轮(行星轮),小齿轮与基座中心的大齿轮(中心轮)啮合,完成回转运动。回转机构可完成托盘 θ 方向的运动。

本设计采用的是 2K－H 型周转轮系,其基本构件为太阳轮 1 和行星架 H,辅助构件为行星轮 2。

轮系按 $-\omega_H$ 反转,角速度变化如表 1 所示。

表 1　角速度变化

构件	原角速度	转化后角速度
1	ω_1	$\omega_1-\omega_H$
2	ω_2	$\omega_2-\omega_H$
H	ω_H	$\omega_H-\omega_H=0$

转化后:系杆 → 机架,周转轮系 → 定轴轮系,传动比如下式所示:

$$i_{12}^{H}=\frac{\omega_1-\omega_H}{\omega_2-\omega_H}=\frac{0-\omega_H}{\omega_2-\omega_H}=-\frac{z_2}{z_1} \tag{1}$$

2　线性静力学结构理论分析

线性静力学的结构分析是分析具体结构在特定静力载荷下的响应[6]。

对于静力学理论分析,通常忽略通用运动方法与时间相关的选项,其方程式为:

$$[\boldsymbol{K}]\{u\}=\{F\} \tag{2}$$

线性静力学分析需要考虑如下假设条件:刚度系数矩阵 $[\boldsymbol{K}]$ 必须是常值;$\{u\}$ 为线弹性材料,采用小变形理论,采用部分非线性边界条件;$\{F\}$ 为静力载荷,不考虑随时间变化的载荷,不考虑惯性等影响。

等效应力和主应力的关系定义如下:

$$\sigma_e=\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]} \tag{3}$$

等效应变的计算公式如下:

$$\varepsilon_e=\frac{1}{1+v}\sqrt{\frac{1}{2}[(\varepsilon_1-\varepsilon_2)^2+(\varepsilon_2-\varepsilon_3)^2+(\varepsilon_3-\varepsilon_1)^2]} \tag{4}$$

3　托架受力分析及优化

托架为升降回转推拉平台的核心结构。做推拉运动时,托架上部承受电磁铁重量,且两侧需支撑同步带运动作用,受到较大载荷会发生变形。因此,本研究在推拉工况下对托架受力状况进行校核,以验证托架优化的正确性。

本文通过 SolidWorks 对托架进行模型设计,基于 ANSYS Workbench 建立托架简易的有限元模型,并进行仿真计算。笔者定义该托架的工程材料为默认的结构钢,并对模型进行网格划分。

本研究在托架的 4 条支架底面设置固定面支撑,两侧同步带接触位置分别施加方向向内的载荷设置,进行仿真运算,得到优化前变形量及应力如图 1 所示。

通过计算结果可知:在此种工况下,同步带作用在托架两侧梁上,最大变形量位于两侧固定同步带的位置,其值为 4.118 mm,最大应力为 492.6 MPa,大于钢材的抗压强度 235 MPa,故要对该托架进行结构优化。

(a) 变形量

(b) 应力

图 1　优化前变形量及应力

为减小同步带方向的变形量,本文在托架下侧焊接2 mm井字形加强筋,如图 2 所示。

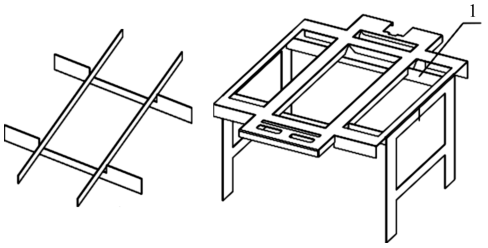
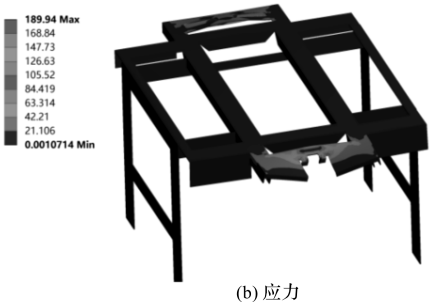


图 2　优化结构

1—井字梁

本文对优化的托架模型进行同样的仿真计算,可以得到优化后变形量及应力,如图 3 所示。

(a) 变形量



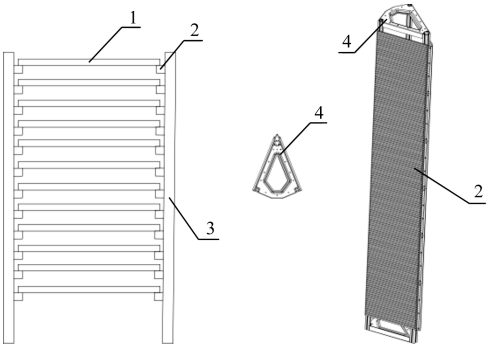
(b) 应力

图 3　优化后变形量及应力

由图 3 可知:其最大变形量同样位于两侧固定同步带的位置,其值为 0.530 8 mm,是优化前的 18.6%;其最大应力 189.9 MPa,小于钢材的抗压强度 235 MPa;故优化后的托架满足设计要求。

4　三角支撑架分析

传统货柜存储支架及新型可旋转货柜支架如图 4 所示。



(a) 传统货柜存储支架　　(b) 新型三角支撑架

图 4　支撑架

1—托盘;2—隔板;3—传统支撑架;4—三角板支撑架

图 4 中,传统支架的隔板焊接在矩形支撑架上,托盘可在隔板上移动,该结构不可回转,只能完成水平竖直方向推拉运动,空间利用率不高,只适用于小型售货机;新型可旋转货柜支撑架由三角货架构成,8 个带隔板的支撑架围绕中心托架放置,形成 8 个货道,该方式空间利用率高,可存放大小不一、种类不同的货物。

4.1　结构设计

现有的 3 种三角板支架结构与型材为:方案 A 为铝型材骨干模块,竖直方向分置 4 块 3 mm 厚钢材钣金件三角板与骨干模块进行连接,隔板为塑料材质;方案 B 骨干模块三角板支架合为一体,为 2.5 mm 厚钢材钣金件,隔板为 0.8 mm 厚钢材钣金;方案 C 骨干模块呈槽钢型,与三角板同样为 2.5 mm 厚钢材钣金件,隔板为塑料材质。

铝型材为铝合金,钢材为 Q235,塑料选用 POM 聚甲醛树脂。

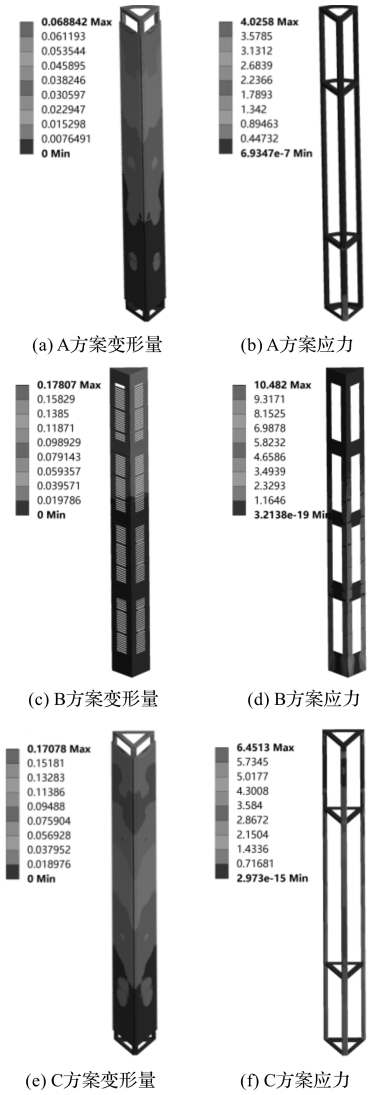
材料属性如表 2 所示。

表 2　材料属性

材料名称	弹性模量 E /(N·m^{-2})	泊松比 μ	质量密度 ρ /(kg·m^{-3})	屈服强度 σ_s /(N·m^{-2})
Q235	2×10^{11}	0.274	7.8×10^{3}	2.35×10^{8}
Alloy 铝合金	6.9×10^{10}	0.330	2.7×10^{3}	2.76×10^{7}
POM 聚甲醛树脂	2.6×10^{9}	0.386	1.39×10^{3}	6.06×10^{7}

本文建立简化模型,定义材料属性,在隔板上施加分布载荷。

3 种方案变形量及应力如图 5 所示。



(a) A方案变形量　(b) A方案应力

(c) B方案变形量　(d) B方案应力

(e) C方案变形量　(f) C方案应力

图 5　3 种方案变形量及应力

图 5 中,方案 A 最大变形量为 0.068 84 mm,最大应力为 4.026 MPa;方案 B 最大变形为 0.178 1 mm,最大应力为 10.48 MPa;方案 C 的最大变形量为 0.170 8 mm;最大应力为 6.451 MPa。3 种方案应力均远小于材料的屈服强度,且变形量都在容许范围内。

4.2　成本经济性分析

产品设计阶段的经济性分析是减少整个产品成本的关键环节[7]。成本计算最基本的方法有:品种法、分批法和分步法[8]。

本文采用品种法计算成本。通过 SolidWorks 质量属性可查询到 3 种方案的质量。铝合金骨干为 3030 铝型材,3 080 mm(3 个)长度的单价为 200 元/个;Q235 材料费为 6 元/kg,加工费为材料费的 3 ~ 4 倍;POM 隔板(10 块)单价为 50 元/块。

3 种方案的质量及报价如表 3 所示。

表 3　质量及成本报价

方案	质量 m/kg				报价/RMB
	铝合金	Q235	POM	总量	
a	17.438	3.365 * 4	4.076 * 10	71.658	1 500
b	—	45.270	—	45.27	1 360
c	—	23.080	4.076 * 10	63.84	1 100

表 3 中,方案 B 的质量轻,但报价最高;A 的报价低,但质量较重,故本文选用 C 方案。单个三角支架成本降低 400 元,同比降低 28.6%,整台零售柜的成本降低 3 200 元。

5　实际应用

本文设计的新型智能零售柜已批量生产,并已应用于北京、深圳、贵州、山东等地小区。

零售柜落地图如图 6 所示。

图 6　智能零售柜落地图

6　结束语

本文设计了一种新型三自由度升降回转式大容量零售柜,对其升降(h 方向变化)、回转(θ 方向变化)、

(下转第 1220 页)

本文引用格式:

白金婷,潘存云,吴懋亮. 三自由度智能零售柜的传动设计与力学分析[J]. 机电工程,2019,36(11):1208 - 1211,1220.

BAI Jin-ting, PAN Cun-yun, WU Mao-liang. Transmission design and mechanical analysis of three degree freedom retail cabinet[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(11):1208 - 1211,1220.