

基于人机工程学原理的超市无人车设计

王力洋 刘子仪 程凯麟 王文亚*
电子科技大学成都学院, 四川 成都 611731

[摘要] 线下购物存在排队多, 寻找物品耗时长等问题。使用购物车时, 其高度固定, 对于不同身高的购物者而言, 使用不便。为解决诸多麻烦, 给人们带来方便, 新智能无人超市的出现, 智能购物发展迅速。鉴于此, 本论文提供一种智能超市购物车的新思路。该购物车能实现自主跟随。本论文主要从结构设计, 应力分析等为主。且根据人机工程学进行用户使用设计, 便于物品的运输, 提高了用户的接收率。

[关键词] 超市无人购物车; 人机工程学; 机械爪; 机械臂

DOI: 10.33142/sca.v8i2.15440

中图分类号: U472.2

文献标识码: A

Design of Supermarket Unmanned Vehicles Based on Ergonomics Principles

WANG Liyang, LIU Ziyi, CHENG Kailin, WANG Wenya*

Chengdu College of University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan, 611731, China

Abstract: Offline shopping has problems such as long queues and long search times for items. When using a shopping cart, its height is fixed, which makes it inconvenient for shoppers of different heights to use. In order to solve many problems and bring convenience to people, the emergence of new intelligent unmanned supermarkets has led to rapid development of intelligent shopping. In view of this, this paper provides a new approach for intelligent supermarket shopping carts. This shopping cart can achieve autonomous following. This paper mainly focuses on structural design, stress analysis, etc. Based on ergonomics for user design, it facilitates the transportation of items and improves the acceptance rate of users.

Keywords: supermarket unmanned shopping vehicles; ergonomics; mechanical claws; mechanical arm

引言

随着智能化购物的发展, 传统的单一售卖逐渐发展为新型的智能销售。

(1) 如马云在杭州举办的云栖大会上提出的“新零售”概念, 如无人零售、无人与有人相结合的智慧门店、新型超市等场景^[1]。

(2) 客户也可以利用智能无人车采购所需的物品并直接支付商品费用^[2]。

(3) 智能购物车紧密结合机电技术与商业模式, 解决超市整体无人化改造, 增强使用者的体验感, 在零售行业引用新兴技术研发超市智能购物车, 将成为智能化购物新的突破口。有助于零售商降低运营成本, 提高服务质量, 为顾客提供多样化服务场景, 从而提升顾客的体验^[3]。

1 新智能超市无人车整体结构设计

1.1 整车设计参数

据相关的人机工程的分析, 本文的智能超市购物车, 置物箱用于盛放商品等, 行走机构用于行走, 其中, 每个行走组件均单独工作, 伸缩气缸能够驱动轮架转动, 从而带动车轮转动, 从而改变置物箱的高度, 适应不同身高的顾客需求, 使顾客更加舒适, 提高顾客的满意度。新智能超市无人车结构简图如图1所示。

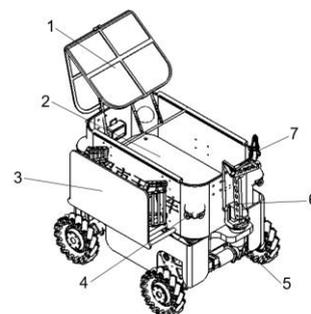


图1 新型智能超市无人车结构简图

1-盖子; 2-置物箱; 3-置物架; 4-防撞雷达; 5-行走机构; 6-机械臂; 7-机械爪

1.2 设计原理

该智能超市购物车包括置物箱和行走机构, 行走机构包括底架和四个呈矩形分布的行走组件; 行走组件包括轮架、车轮和伸缩气缸, 轮架铰接于底架的底部, 车轮可转动的设置于轮架上且采用麦克纳姆轮, 伸缩气缸的两端分别与底架和轮架铰接且用于带动轮架转动^[4]。

1.2.1 轮组设计

车辆运动采用电机与法兰盘跟麦轮直连, 拥有更高的传动效率。并且四个麦轮可对每个轮子进行单独调速就可以实现转向, 还能实现原地自转^[5]。不需要加转向器, 让结构更加的简洁轻便, 能更有效的装载更多的货物。

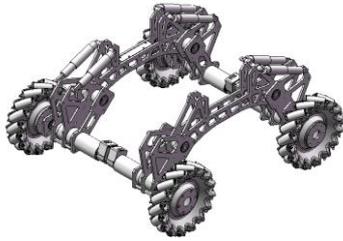


图2 悬挂结构图

1.2.2 购物车体设计

智能超市购物车端盖可以被支撑架支撑起来并通过箱体两边的导轨让支撑架可以横向移动来达到支撑起端盖的作用。

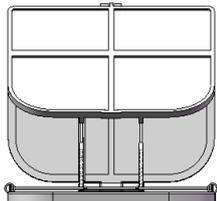


图3 端盖结构图

2 新智能超市无人车结构应力分析

采用有限元分析法和理论计算相结合,分析求解机械零件和机械构件的各个点的应力跟应力分布,通过对应力及其分布的分析来确定机械零件和机械构件失效有关的危险点跟危险截面的应变。

2.1 理论分析

2.1.1 机械爪装配体

机械爪装配体的材料为合金钢 40cr, 其弹性模量 $E=2.1e+11N/m^2$, 泊松比 $\mu=0.28$, 密度 $\rho=7.9g/cm^3$, 屈服强度 $6.20422e+08N/m^2$ 。模拟抓取 20kg 的大米情况, 由于四组机械爪夹头结构完全一致, 下文取其一组进行分析。机械爪装配体受力情况如下图所示。

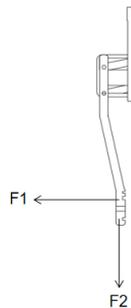


图4 机械爪受力示意图

机械爪在夹紧大米后, 会受到大米的夹紧反力 F_1 , 大米的重量大约为 20kg, 夹取大米需要的摩擦力均分到四边的手爪, 即摩擦力 $F_2=50N$ 。由于爪头包裹了一层弹性橡胶, 摩擦系数取 $\mu=0.3$, 大米承受正压力 $F_1=N/F_2/\mu \geq 166.67N$, 及机械爪承受的夹紧反力以 $166.67N$ 来计算^[6]。
($A_1=24.23m^2$, $A_2=23.92m^2$)

机械爪抓取物体时需要有足够的强度和刚度抵抗形变和破坏。

即在手爪夹处, 需抵抗 F_1 , F_2 造成的组合变形。以单个爪子为分析对象, 根据材料力学简化受力分析如下图所示。

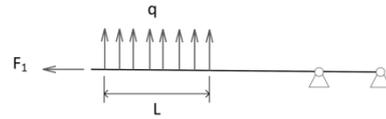


图5 机械爪受力简化图

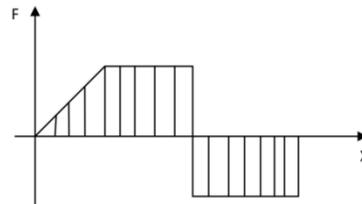


图6 机械爪剪力图

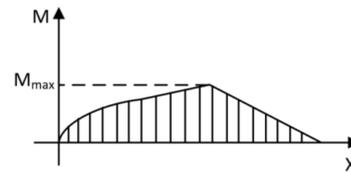


图7 机械爪力矩图

$$\sigma_2 = \frac{M_{\max} \cdot y}{I_z} \quad (1)$$

$$I_z = \frac{\pi d^3}{32} \quad (2)$$

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad (3)$$

$$\sigma' = |\sigma_1 + \sigma_2| \quad (4)$$

由(1)、(2)、(3)、(4)得, $\sigma_1=6.88MPa$, $\sigma_2=2.09MPa$, 即 $\sigma' =8.97MPa$

合金钢为塑性材料, 在机械爪中收到的破坏主要为屈服。合金钢的屈服强度为 $6.20422e+08 N/m^2=620.422MPa$, $\sigma=4 \sigma' =35.88MPa$, 远小于合金钢的屈服强度, 满足提起 20kg 大米的需求。

2.1.2 车身腹板

车身腹板的材料为 AISI 347 退火不锈钢, 其弹性模量 $E=1.95e+11N/m^2$, 泊松比 $\mu=0.27$, 密度 $\rho=7.8g/cm^3$, 许用应力为 $4.39e+06N/m^2$ 。模拟载荷 440N 力下, 模拟购物车 20kg 大米、10kg 肉和 1 箱矿泉水 (24 瓶约 14kg)。

腹板受两侧轮组带来的支撑力, 车身腹板受力情况如下图所示。

即在车身腹板处, 需抵抗 $F=440N$ 造成的变形。以单块腹板为分析对象, 根据材料力学简化受力分析如下图所示。

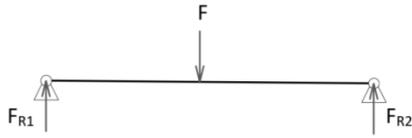


图 8 车身腹板受力简化图

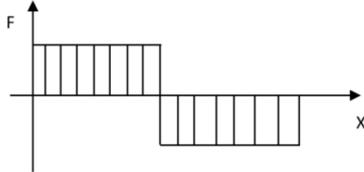


图 9 车身腹板剪力图

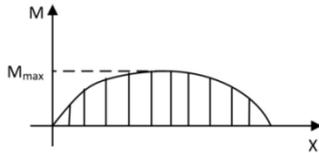


图 10 车身腹板力矩图

$$\sigma_3 = \frac{M_{max}}{W} \quad (5)$$

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \quad (6)$$

由 (5) 得 $\sigma_3 = 55902.64 \text{ N/m}^2$ 。

AISI 347 退火不锈钢为塑性材料，其受到的破坏主要为断裂破坏。退火不锈钢的 $[\sigma]$ 许用应力为 $4.39 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 远大于 σ_3 。满足及模拟购物 20kg 大、10kg 肉和 1 箱矿泉水（24 瓶约 14kg）的需求。

2.2 仿真验证

2.2.1 机械爪装配体

通过静应力的分析，先设置网格为混合网格，将热力效果，计算自由实体力与不兼容接合选项打开。对每个爪头都添加 166.67N 的压力和 50N 的摩擦力，应力分析结果如下：

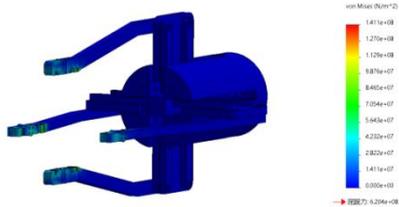


图 11 应力云图

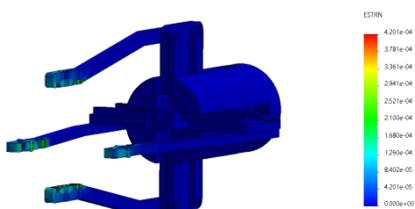


图 12 应变云图

从上述分析结果可看出，在机械爪模拟 10kg 的大米的条件下，机械爪的最大应力分析结果为 $1.411 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 明显小于合金钢材料的屈服应力： 6.204×10^8 。最大应变为 4.201×10^{-4} 也明显小于材料要求。而最大位移为 4.562×10^{-3} 所以变形量可以忽略。综上所述合金钢材料的机械爪满足在模拟 10kg 的大米的条件。

2.2.2 车身腹板

通过静应力的分析，先设置网格为基于混合曲率的网格，雅可比点为 4 点，最大单元大小 0.0143247 m ，最小单元大小为 0.00286494 m ，网格品质图解为草稿品质网格，最大高宽比例为 17.353。将热力效果，计算自由实体力与不兼容接合选项打开。对车身腹板左右两侧都添加 50N 的压力，对车身腹板上侧都添加 100N 的压力，则对单块车身腹板总力为 150N 的力，四块车身腹板 440N 的总应力分析结果如下：

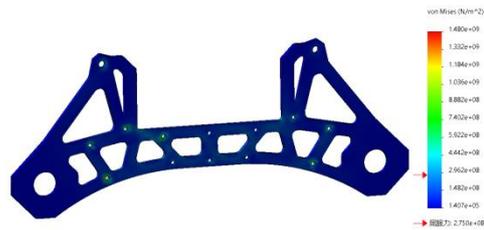


图 13 应力云图

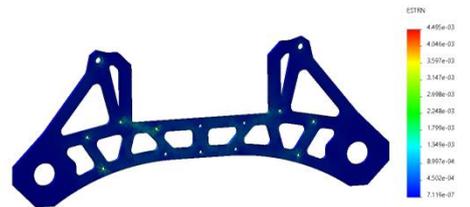


图 14 应变云图

表 1 仿真结果

名称	单位	单位	参数
最大应力	N/m²		4.390e+06
屈服应力	Mpa		2.750e+08
最大应变	—		2.967e-05 2875 单元
最大位移	mm		1.117e-03 1074 节

从上述分析结果可看出，在车身腹板模拟购物 20kg 大米、10kg 肉和 1 提矿泉水的条件下，单块车身腹板所受的载荷为 150N，根据最大应力分析结果为 4.390×10^6 远远小于不锈钢材料的屈服应力： 2.750×10^8 。最大位移为 $1.117 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 也很小可以忽略。最大应变为 2.967×10^{-5} 也远小于材料条件。所以不锈钢材料的车身腹板满足模拟边界载荷 400N 力的条件。

3 基于人机工程学购物车的使用设计

3.1 人机工程学的材料设计

购物车支架材料：支架起到了支撑整个机器和货物的作用，在承受压力的方面要求高，对此铝合金的强度高，

耐腐蚀，且密度很轻，对整体重量起到了减轻的作用，由此选用铝合金作为支架材料。

货物篮子材料：为保证购物篮的耐磨性高，质地坚硬，材料美观且塑性好，因此选用聚乙烯材料作为购物篮子材料。

购物车盖材料：车盖材料需要质量轻，方便机械折叠的运动，表面强度高，化学稳定性好，因此选用 ABS 工程塑料。

3.2 人机工程学的色彩设计

产品颜色配置方面，为了给人们一种强烈的科技感，和未来使用感，表达人们对未来的向往，因此选用蓝色作为主颜色，其他部分使用深褐色，是整体颜色更加的协调，且易于清理。

4 新智能超市无人车控制分析

4.1 系统整体设计

系统整体设计参考



图 13 系统整体设计流程图

智能超市购物车四周都均匀分布了八个小型车载雷达传感器，能够检测智能超市购物车与人之间的距离和智能超市购物车与障碍物之间的距离，并规避人与障碍物，达到安全的作用；并且配合识别传感器能起到自动跟随人的功能，使得智能超市购物车非常的智能化。

本智能超市购物车还包括自动跟随机构，所述自动跟随机构包括带有 UWB 芯片的固定件和随身件，所述固定件嵌设于所述置物箱内，所述随身件或所述固定件上设置有磁铁且二者通过磁性吸附作用吸附，所述固定件和所述随身件之间的距离超过预设距离阈值时同时报警。

4.2 机械臂控制分析

机械臂使用微型 PLC (Fx1n-10) 控制器，设置有手

动和自动两个挡位。E1 为按钮的手动挡，可以手动调节八个按钮，分别控制八个电机正反转，实现机械臂的 6 个自由度跟机械爪的收缩。

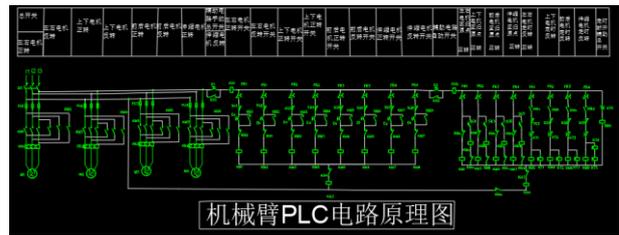


图 14 机械臂 plc 电路原理图

5 结语

本文以一款新型超市购物车为研究对象，对其结构进行设计并使用 Soildworks 三维建模，基于建立的模型，先通过理论计算后利用 Soildworks Simulation 分析得出其应力状态。再通过人机工程学进行材料和色彩设计，使其更加符合人们的使用习惯。结果表明，该设计符合实际需求。最后得到一款结构和强度满足性能要求的新型智能无人车。

[参考文献]

[1]王先庆,雷韶辉.新零售环境下人工智能对消费及购物体验的影响研究——基于商业零售变革和人货场体系重构视角[J].商业经济研究,2018(17):5-8.
[2]严亚宁.物联网超市智能购物车调研分析[J].现代信息技术,2018,2(3):184-185.
[3]刘丽莎,徐力.新零售商业模式下超市智能购物车的设计研究[J].工业设计,2020(4):131-132.
[4]许斌.基于凯恩方法的麦克纳姆轮 AGV 动力学建模及仿真[J].工业控制计算机,2021,34(9):17-19.
[5]冯长业.基于麦克纳姆轮技术的自动化引导车 (AGV) 设计[J].河南科技,2024,51(15):31-36.
[6]王金龙,张俊亮,张夏琦,等.修井作业机械臂受力分析及结构优化[J].潍坊学院学报,2022,22(2):29-32.
作者简介:王力洋(2005—),男,本科生,主要从事机械设计制作及其自动化专业的学习与研究;*通信作者:王文亚(1988—),女讲师,硕士,主要从事机械设计。