

# Design and Research of Adaptive Protection Storage and Logistics Handling Robot

Yan Wang Cheng Zeng Gang Liang Kelong Peng Wen Zhou

Sichuan China Tobacco Industrial Co., Ltd. Chengdu Cigarette Factory, Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

To address the lack of effective protective limit mechanisms in existing automated guided vehicles (AGVs) for pallet handling in warehousing and logistics, which often causes material boxes to wobble, shift, or even drop during transit, this study proposes a gravity-sensing adaptive protection system for warehouse logistics robots. The robot consists of a mobile chassis, pallets, placement racks, and elastic components. By utilizing the material boxes' own weight to trigger the placement plate's downward movement, the system automatically raises the barrier plate to form a protective enclosure, thereby securing the material boxes from lateral movement. The paper details the robot's overall structural design, specific parameters of each functional module, and their operational principles. This design provides a novel technical solution for optimizing protective limit mechanisms in warehousing logistics equipment, demonstrating significant practical value.

## Keywords

warehousing and logistics; handling robots; AGV; stability design

## 一种自适应防护型仓储物流搬运机器人的设计与研究

王岩 曾诚 梁罡 彭柯龙 周文

四川中烟工业有限责任公司成都卷烟厂, 中国·四川 成都 610000

## 摘 要

针对现有仓储物流搬运机器人 (AGV) 托盘缺乏有效防护限位机构, 导致物料箱在转运过程中易晃动、偏移甚至掉落的问题, 设计了一种基于重力感应自适应防护的仓储物流搬运机器人。该机器人主要由移动车体、托盘、放置架及弹力组件构成, 通过物料箱自身重力触发放置板下移, 驱动挡板自动立起形成围合防护结构, 实现对物料箱的侧边限位固定。详细阐述了机器人的整体结构设计、各功能模块的具体参数及工作原理。该设计为仓储物流搬运设备的防护限位机构优化提供了新的技术方案, 具有重要的实际应用价值。

## 关键词

仓储物流; 搬运机器人; AGV; 稳定性设计

## 1 引言

### 1.1 研究背景

随着智能制造技术的快速发展, 仓储物流作为现代工业生产的关键环节, 其自动化、智能化水平直接影响整个生产链条的效率与成本控制<sup>[1]</sup>。自动导引车 (Automated Guided Vehicle, AGV) 作为仓储物流自动化的核心设备, 凭借自主导航、精准定位等优势, 已广泛应用于汽车制造、电子加工、烟草生产等多个领域<sup>[2-3]</sup>。在卷烟生产过程中, 仓储物流环节需完成卷烟纸、滤嘴棒、包装材料等多种辅料的转运作业, 对搬运设备的稳定性与防护性能提出了严格要求<sup>[4]</sup>。

卷烟厂的仓储物流系统具有作业流程连续、物料周转量大、转运路径复杂等特点, AGV 小车需频繁完成启动、

制动、转向等操作, 且部分仓储区域地面存在轻微不平整现象。传统 AGV 小车的托盘多采用开放式平面结构, 仅能提供底部支撑, 缺乏有效的侧边防护与限位装置。这一设计缺陷导致敞口物料箱在转运过程中易发生晃动、偏移, 严重时还会从托盘上掉落, 造成物料浪费、生产污染及物流通道堵塞等问题, 直接影响卷烟生产的连续性与产品质量, 制约了仓储物流环节的作业效率提升。

### 1.2 国内外研究现状

#### 1.2.1 AGV 托盘结构研究现状

目前, 国内外针对 AGV 托盘的研究主要集中在承载能力优化、轻量化设计及多功能集成方面。国外品牌如瑞典 Kollmorgen、德国 SICK 等企业的 AGV 产品, 采用高强度铝合金托盘, 通过结构拓扑优化提升承载比, 但在防护限位设计上多采用固定式护栏结构。这种固定式护栏虽能起到防护作用, 但存在上下料不便的问题, 需配合叉车等辅助设备, 降低了作业灵活性。

【作者简介】王岩 (2000-), 男, 中国四川南充人, 硕士, 助理工程师, 从事机器人, 人机交互研究。

### 1.2.2 自适应防护机构研究现状

自适应防护机构的核心是通过外部激励(如重力、压力、位移)自动调整防护状态,无需人工或复杂电控系统干预。在物流设备领域,现有自适应防护技术多应用于输送线的物料定位,如基于弹簧复位的挡料机构、基于气压驱动的自适应夹紧装置等。这些技术虽能实现一定程度的自适应防护,但存在结构尺寸较大、不适用于AGV托盘空间受限场景,或响应速度较慢、无法满足AGV动态转运过程中快速防护需求等问题。

针对AGV托盘的自适应防护需求,现有技术尚未形成成熟的解决方案,缺乏一种结构紧凑、响应迅速、无需复杂电控系统的防护限位机构。因此,设计一种基于机械结构自身特性的自适应防护型仓储物流搬运机器人,成为解决当前仓储物流转运稳定性问题的关键。

### 1.3 研究目的与主要内容

#### 1.3.1 研究目的

本研究旨在设计一种自适应防护型仓储物流搬运机器人,通过机械结构的创新设计,实现物料箱及托盘叉起后自动触发防护机构启动,形成围合限位结构,解决传统AGV托盘物料箱易掉落的问题,同时保证上下料操作的便捷性,降低维护成本,提升仓储物流转运效率。

#### 1.3.2 主要研究内容

机器人整体结构设计:构建由移动车体、托盒、放置架及弹力组件组成的核心架构,明确各模块的功能定位与连接关系;

关键部件详细设计:包括放置架的自适应防护机构、导向定位机构、弹力复位机构及可拆卸维护结构的设计,确定各部件的材料、尺寸及参数;

工作原理分析:阐述物料箱放置、转运及取下过程中,各机构的协同工作机制;

## 2 机器人总体设计

### 2.1 设计原则

为满足仓储物流搬运的实际需求,本机器人设计遵循以下原则:

(1) 稳定性原则:防护机构需能有效限制物料箱在转运过程中的晃动与偏移,确保物料箱不脱落;

(2) 自适应原则:无需人工干预或复杂电控系统,仅通过物料箱重力触发防护机构动作;

(3) 便捷性原则:上下料操作简单,初始状态下挡板与放置板平行,不影响物料箱的放置与取下;

(4) 可靠性原则:结构设计简洁,减少易损部件,适应仓储物流的恶劣工作环境;

### 2.2 整体尺寸参数设计

结合卷烟厂仓储物流常用物料箱的尺寸,确定机器人的关键尺寸参数如下:

(1) 移动车体:长800mm×宽600mm×高300mm,采用四轮驱动结构,最小转弯半径≤500mm;

(2) 托盒:长700mm×宽500mm×高200mm,容纳腔尺寸为长650mm×宽450mm×高180mm,采用Q235钢板焊接成型,壁厚5mm;

(3) 放置板:长600mm×宽400mm×厚15mm,采用铝合金板加工,表面设置防滑纹理,摩擦系数≥0.6;

(4) 挡板:数量4块,每块尺寸为长600mm×宽150mm×厚8mm、长400mm×宽150mm×厚8mm,采用铝合金板,边缘做圆角处理;

(5) 弹力组件:阻尼杆行程100mm,最大阻尼力500N;弹簧采用圆柱螺旋压缩弹簧,钢丝直径8mm,中径50mm,自由高度120mm,刚度系数20N/mm。

## 3 关键部件详细设计

### 3.1 放置架设计

放置架是实现自适应防护功能的核心部件,由放置板、挡板及合页组成。

#### 3.1.1 放置板设计

放置板作为物料箱的直接承载部件,需具备足够的强度与刚度,同时需减轻重量以降低弹力组件的负荷。选用铝合金板作为基材,该材料具有密度小( $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ )、强度高(抗拉强度 $\geq 240\text{MPa}$ )、耐腐蚀等优点,符合轻量化与高强度的设计要求。放置板的底壁四角固定安装有导向滑块,导向滑块采用45号钢加工,呈L形结构。

#### 3.1.2 挡板设计

挡板共4块,分别安装于放置板的四条侧边,形成矩形围合结构。挡板采用铝合金板加工,厚度8mm,其高度设计为150mm,既能保证对物料箱的有效防护,又不会影响上下料操作。挡板与放置板通过合页转动连接,合页选用弹簧合页,型号为304不锈钢材质,额定载荷50N,回弹扭矩 $1.5\text{N}\cdot\text{m}$ 。弹簧合页的回弹扭矩需满足在无外力作用时,能驱动挡板转动至与放置板平行的初始位置,通过弹簧合页的设计,实现了挡板的自动复位。

### 3.2 导向机构设计

导向机构由导向滑块与导向滑槽组成,用于保证放置板在上下移动过程中的平稳性,避免发生左右偏移或倾斜。为防止放置板复位时因过度移动导致与托盒分离,导向滑槽的顶部设置有限位台阶,当导向滑块移动至限位台阶处时,被限制继续向上移动,此时放置板的顶部与托盒的顶部齐平,确保整体结构的稳定性。

### 3.3 弹力组件设计

弹力组件是实现放置板复位与平稳移动的关键部件,由阻尼杆、弹簧及两个圆形板组成。

#### 3.3.1 阻尼杆与弹簧选型

阻尼杆选用液压阻尼杆,行程100mm,最大阻尼力500N,阻尼系数可调。阻尼杆的作用是减缓放置板的下移速度,避免因物料箱重力导致放置板快速下落,造成物料箱冲击损坏。

弹簧选用圆柱螺旋压缩弹簧,材料为60Si2Mn合金钢,

该材料具有高强度、高弹性极限及良好的疲劳性能,适用于长期反复压缩的工作场景。弹簧的设计参数如下:钢丝直径  $d=8\text{mm}$ , 弹簧中径  $D=50\text{mm}$ , 自由高度  $H_0=120\text{mm}$ , 工作高度  $H_1=70\text{mm}$ , 刚度系数  $k=20\text{N/mm}$ , 额定载荷  $F=1000\text{N}$ 。弹簧的刚度系数根据放置架的重量及物料箱的最小重量确定, 确保在放置最小重量物料箱时, 弹簧能被压缩至使挡板立起的有效行程。

### 3.3.2 连接结构设计

两个圆形板分别固定安装于阻尼杆的两端, 圆形板的直径为  $60\text{mm}$ , 厚度  $10\text{mm}$ , 采用 45 号钢加工, 表面设有定位销孔。这种可拆卸式设计, 使得当弹簧弹性势能弱化或阻尼杆出现故障时, 可快速拆卸更换, 降低维护难度与成本。

### 3.4 托盒设计

托盒采用 Q235 钢板焊接成型, 壁厚  $5\text{mm}$ , 顶部设有翻边结构, 增强整体刚度。托盒的内部容纳腔尺寸为长  $650\text{mm} \times$  宽  $450\text{mm} \times$  高  $180\text{mm}$ , 与放置板的尺寸相匹配, 确保放置板能顺利进入容纳腔内。托盒的内壁四角开设导向滑槽, 滑槽长度  $100\text{mm}$ , 与放置板的下移行程相适应。

托盒的内侧壁顶部采用倒角设计, 倒角角度为  $45^\circ$ , 便于在放置板下移时, 托盒的侧壁能顺利顶压挡板的底部, 驱动挡板立起。托盒的底部设有排水孔, 孔径  $10\text{mm}$ , 用于排出仓储环境中可能渗入的积水, 避免内部部件生锈损坏。

## 4 工作原理分析

本自适应防护型仓储物流搬运机器人的工作过程主要分为初始状态、物料箱放置与防护启动、转运防护、物料箱取下与复位四个阶段, 各阶段的机构运动原理如下:

### 4.1 初始状态

初始状态下, 在弹力组件的支撑作用下, 放置板处于托盒上方的最高位置, 此时导向滑块位于导向滑槽的顶部, 与限位台阶接触。弹力组件中的弹簧处于自由状态, 阻尼杆处于最大伸长量位置。挡板在弹簧合页的回弹扭矩作用下, 与放置板保持平行状态, 平铺于放置板的侧边上方, 不影响物料箱的放置操作。

### 4.2 物料箱放置与防护启动

当小车的液压组件作用, 将托盘及货物抬起时, 物料箱的重力作用于放置板, 使放置板克服弹力组件的支撑力向下移动。此时, 导向滑块沿导向滑槽同步下滑, 保证放置板移动的平稳性。

随着放置板逐渐进入托盒的容纳腔内, 托盒的内侧壁顶部与挡板的底部接触并产生顶压力。由于挡板通过弹簧合页与放置板连接, 顶压力克服弹簧合页的回弹扭矩, 驱动挡板绕合页向上转动。当放置板下移至最大行程时, 挡板转动至与放置板垂直的状态, 4 块挡板形成矩形围合结构, 对物料箱的四周侧壁进行限位防护。

### 4.3 转运防护阶段

当移动车体启动、制动、转向或经过不平整地面时,

物料箱会产生惯性力, 试图发生晃动或偏移。此时, 围合的挡板会对物料箱产生反向支撑力, 限制物料箱的位移。同时, 放置板表面的防滑纹理增大了与物料箱底部的摩擦力, 进一步阻止物料箱滑动。挡板内侧的橡胶缓冲垫能吸收物料箱的冲击能量, 避免物料箱与挡板发生刚性碰撞, 既保护了物料箱, 又减少了振动对转运稳定性的影响。

### 4.4 物料箱复位阶段

当机器人到达目标位置后, 机器人放下托盘及货物, 放置板所受重力消失。此时, 弹簧的弹性势能释放, 产生向上的弹力, 驱动放置板沿导向滑槽向上移动复位。同时, 挡板所受的托盒侧壁顶压力消失, 在弹簧合页的回弹扭矩作用下, 挡板同步向下转动, 恢复至与放置板平行的初始状态。当导向滑块移动至导向滑槽的顶部并与限位台阶接触时, 放置板停止移动, 完成复位过程, 为下一次物料转运做好准备。

## 5 结论与展望

### 5.1 研究结论

本文针对现有仓储物流搬运机器人托盘缺乏有效防护限位机构的问题, 设计了一种自适应防护型仓储物流搬运机器人, 主要研究结论如下:

提出了基于重力感应的自适应防护设计方案, 通过物料箱自身重力触发放置板下移, 驱动挡板自动立起形成围合防护结构, 无需人工干预或复杂电控系统, 实现了防护功能的自适应启动与复位;

该设计结构简洁、成本低廉、操作便捷, 适用于卷烟厂等仓储物流场景, 为仓储物流搬运设备的防护限位机构优化提供了新的技术方案。

### 5.2 未来展望

本研究虽取得了一定的成果, 但仍有进一步改进与拓展的空间:

智能化升级: 未来可在机器人上集成红外传感器或视觉传感器, 检测物料箱的尺寸与位置, 自动调节挡板的立起高度与围合范围, 适应不同尺寸物料箱的防护需求;

多功能集成: 在防护机构的基础上, 集成物料箱定位、重量检测等功能, 实现物料转运过程的全程监控与数据采集, 为仓储物流智能化管理提供支持;

通过以上改进与拓展, 有望进一步提升机器人的性能与适用性, 推动仓储物流搬运设备向更智能、更高效、更可靠的方向发展。

### 参考文献

- [1] 杨善林,付超,任明仑,等.中国管理科学与工程学科的形成与发展[J].中国管理科学,2026,34(01):1-27.
- [2] 汤伟.叉车AGV车架结构优化设计与稳定性分析[D].安徽理工大学,2025.
- [3] 付豫.基于AGV小车的制造企业内部物流智能调度策略研究[D].福建理工大学,2025.
- [4] 李勇健,吴珂雨,曾真.基于双种群协同NSGA-II的卷烟厂卷包排产方法[J].自动化应用,2025,66(07):258-261.