

# 智能 AGV 运输小车的设计



付贵科, 李晓骞\*, 张成雷\*, 王月华, 陈浩, 赵伟卿, 郭义

临沂大学机械与车辆工程学院, 山东临沂 276000

**摘要:** 无人引导小车 (AGV) 是一种新型的移动机器人, 广泛应用在各个领域中。针对复杂路况下专用的 AGV 运输小车的设计, 本文所研究的 AGV 运输小车是由底盘、行走机构、举升装置和可拆卸器件等组成。通过对 AGV 运输小车的机械结构进行设计与分析, 并结合静力学理论讨论本文设计的小车结构可行性。利用 Solid Works 软件对 AGV 运输小车进行三维模型建模, 并对小车的行走机构进行静力学分析, 将小车的三维模型通过 Solid Works Simulation 进行应力分析, 得到小车在负载状态下轮系结构的受力和变形情况云图, 通过 AGV 运输小车在各种工况下的变形云图验证轮系结构的合理性, 并基于变密度法拓扑数学模型优化对小车车体框架进行优化设计, 节省车体材料的使用。依照 TRIZ 理论的 4 个通用工程参数获得履带张紧结构和车架的设计。最后利用分割, 改变颜色, 维数变化等原理进行智能 AGV 运输的造型设计, 以期 AGV 运输起重装置方便货物的起降装卸, 改变了人力操作机器的传统搬运模式。

**关键词:** 轮系结构; 车体结构; 可拆卸器件; 静力学; 应力分析; 优化设计

**DOI:** [10.57237/j.mse.2022.01.006](https://doi.org/10.57237/j.mse.2022.01.006)

## Design of Intelligent AGV Transport Car

Fu Guike, Li Xiaoqian\*, Zhang Chenglei, Wang Yuehua, Chen Hao, Zhao Weiqing, Guo Yi

School of Mechanical and Vehicle Engineering, Linyi University, Linyi 276000, China

**Abstract:** Unmanned Guided Vehicle (AGV) is a new type of mobile robot that was applied in various fields. Aiming at the design of dedicated AGV transport vehicle for complex road conditions, this AGV transport vehicle is composed of chassis, traveling mechanism, lifting device, and removable components. By designing and analyzing the mechanical structure of the AGV transport vehicle, and it's combined with statics theory, and the feasibility of the trolley structure is designed and discussed. The three-dimensional model of AGV transport vehicle is established by Solid Works software, and the cloud diagram of the stress and deformation of the wheel system structure is analyzed by Solid Works Simulation, and the traveling mechanism of the trolley is analyzed by statics. The rationality of the wheel system structure is verified by the deformation cloud diagram of the AGV transport vehicle under various working conditions. Based on the mathematical model optimization of variable density method, the car body frame is optimized and designed to these materials of car body. The design of the track tensioning structure and frame is obtained according to the four general engineering parameters of TRIZ theory. Finally, the modeling design of intelligent AGV transportation car is carried out by using the principles such as division, color change, and dimension change, etc. In order to facilitate the take-off and landing loading and unloading of goods for AGV transportation lifting device, and it is changed to the traditional handling mode of manpower-operated machines.

基金项目: 临沂大学大学生创新创业训练计划项目资助 (No. X202210452428), (No. X202210452442), (No. S202210452087).

\*通信作者: 李晓骞, 18863237789@163.com; 张成雷, zhangchenglei@lyu.edu.cn

收稿日期: 2023-03-10; 接受日期: 2023-04-12; 在线出版日期: 2023-04-25

<http://www.mechscieng.com>

**Keywords:** Gear Train Structure; Vehicle Body Structure; Removable Devices; Statics; Stress Analysis; Optimal Design

## 1 引言

AGV 运输小车指装备有电磁或光学等自动导引装置,能够沿规定的导引路径行驶,具有安全保护以及各种移载功能的运输车,工业应用中不需驾驶员的搬运车,以可充电之蓄电池为其动力来源[1]。通常采用电脑来控制其行进路线以及行为,或利用电磁轨道 (Electromagnetic Path-following System) 来设立其行进路线,电磁轨道黏贴于地板上,无人搬运车则依靠电磁轨道所带来的讯息进行移动与动作[2-3]。随着科技的发展,市面上出现很多用于各种途径的 AGV 运输小车,但是专门应用于复杂路况的 AGV 运输小车少之又少,为了提高复杂路况应用的智能化,以及 AGV 运输小车的功能上对其进行机械架构的设计,使 AGV 运输小车更加适用于复杂路况,提高其工作效率[4]。

## 2 整体结构设计分析

如图 1 所示,为智能 AGV 运输小车示意图。本 AGV 运输小车包括底盘、行走机构、车架和可拆卸器件等部分。其中,应用模块包括举升模块、运输模块、固定模块等,通过不同模块的相互配合实现智能 AGV 运输小车的运动。

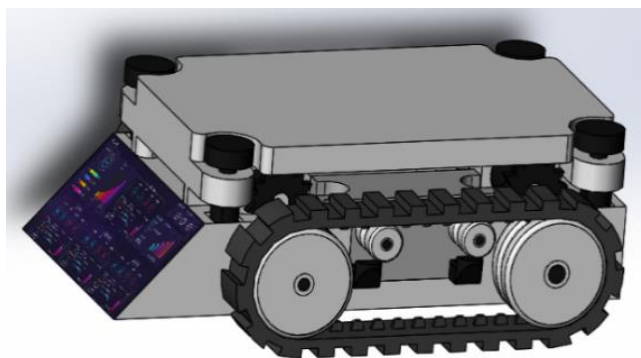


图 1 AGV 运输小车整体图

AGV 运输小车和可拆卸器件,通过螺栓柱与螺母的配合以及公母插头对接,完成不同器件的搭载,进而实现功能的多样化。另外该智能 AGV 运输小车还包括驱动部分、负载部分、动力源、传感器部分、可升降部分等[5]。通过各个部分的相互配合 AGV 运输小车实现

运行,AGV 运输小车整体控制示意图,如图 2 所示。

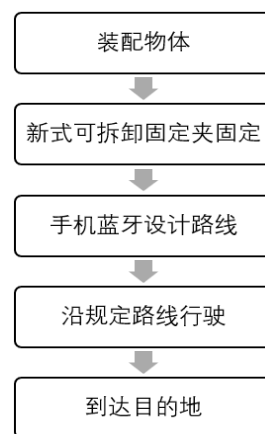


图 2 AGV 运输小车整体控制示意图

### 2.1 驱动部分

驱动部分主要包括驱动电机和驱动轮,该部分由驱动电机对驱动轮进行驱动实现其各种运动。电机是将电源提供的电能转换为机械能带动负载运行的一种驱动装置,也是 AGV 智能小车驱动系统的重要部件[6]。本设计产品行走机构是履带式,故采用直流无刷电机和步进电机两种电机。

#### 2.1.1 直流无刷电机

为解决电刷换向存在的问题,直流无刷电机采用电子换向代替电刷换向,其结构上主要由定子和转子组成[7]。转子上装有永磁体,定子被扭曲成特定的极数,通过内置霍尔传感器感应转子位置,实现换向。直流无刷电机除需要专用控制器外,在效率、能耗、噪音等各方面优势都较为突出。

#### 2.1.2 步进电机

步进电机是通过接收电脉冲信号来实现驱动控制的。它可将脉冲信号转换成位移矢量,每接收一个脉冲信号,转子就转动一下,实现电机运转。步进电机可以通过控制脉冲个数和脉冲频率来改变角位移量和电机转速,能起到调速作用。

## 2.2 动力源

目前普遍使用的动力源为电能，但使用工业电缆传输电力会使 AGV 运输小车的灵活性降低，所以一般采用蓄电池对 AGV 运输小车进行电力供应。小车需要预先设计出电池安装空间[8]。

## 2.3 传感器部分

传感器部分由安装在车体上的各种传感器组成，该部分负责对小车行驶过程中的各种运动变量进行实时监控，在根据传感器采集到的实时信息反馈到控制器，由控制器对小车进行控制，提高小车的智能化程度。

## 2.4 可升降部分

如图 3 所示，为可升降装置由液压底座和升降柱组成。先将液压底座安装在 AGV 运输小车的中间整体部分，然后通过升降柱连接液压底座和 AGV 运输小车上盖，使可升降装置与 AGV 运输小车结合，该装置通过液压控制升降，保证了升降时的稳定性[9]。在中小型工作台或储物柜等上，AGV 运输小车也不够高的情况下，加入可升降装置更加人性化；在运输大型仪器时，不能直接人为搬运到 AGV 运输小车上，只能通过 AGV 运输小车进入仪器底部，使用可升降装置把仪器搬运到小车上[10]。

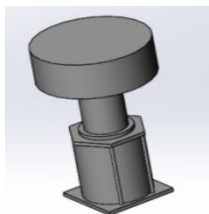


图 3 可升降装置

## 3 AGV 运输小车行走机构设计

由于某些特殊环境是不规则的山地果园等场合，行驶条件复杂并恶劣，本设计采用的行走机构是双履带行走机构，解决行动不便的问题[11]。如图 4 所示，为底盘行驶机构设计示意图。

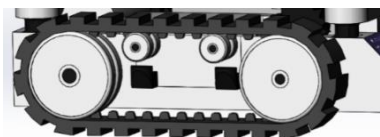


图 4 底盘行驶机构

其中，履带底盘行驶机构主要包括 2 个履带轮系和相应的传动机构，每个履带轮系由 1 个驱动轮和从动轮及 2 个承载轮组成。工作时，电机通过控制主动链轮实现减速增矩，将动力传递给后轮驱动，从而驱动履带运行。

## 3.1 主要参数

针对土壤松软、地形复杂的山地环境等特殊应用场景下，本设计采用履带式行走装置。履带式行走装置相对于轮式行走装置具有接地面积大、接地比压小、附着性能好、爬坡能力强、转弯半径小及跨越沟壑能力强的特点，克服了轮式结构驱动能力差、地形适应性差、易打滑的问题[12]。本文结合特殊应用场景的使用要求，确定 AGV 运输小车的主要性能参数，如表 1 所示。

表 1 AGV 运输小车的主要参数

参数名称	单位	数值
外形尺寸长（长×宽×高）	mm	1025×520×550
电机功率	kw	2
电机工作电压	v	48
空车质量	kg	80
平地最大装载质量	kg	175
最大爬坡角度下最大装载质量	kg	150
平地最高行驶速度	m/s	1.5
最大爬坡角度	(°)	15

## 3.2 履带张紧结构设计

本履带张紧结构采用内张紧设计将张紧螺栓设置在内侧，通过调节张紧螺栓将从动轮向外推，进而实现调整驱动轮和从动轮之间的间距，达到履带张紧的目的[13]。在此，通过计算 AGV 运输小车的主减速比，需分别计算驱动轮和驱动电机的转速。驱动轮转速为：

$$N_0 = 1.5 / 2\pi r \quad (1)$$

AGV 运输小车主减速比设计为：

$$i = N_1 / N_0 \quad (2)$$

其中， $N_0$  是驱动轮的转速； $N_1$  是驱动电机的转速。

## 3.3 传动结构设计

履带运输车采用链轮传动实现减速增矩，主动链轮固定于驱动电机转轴上同轴转动，从动链轮则与驱动轮固定在传动轴承上。

## 4 车架与可拆卸器件的设计

### 4.1 车架设计

AGV 运输小车的车架部分是 AGV 运输小车的负载装置, 该部分负责装载不同重量的货物, 而且车体部分也有可能发生与其他 AGV 运输小车或其他发生碰撞所以该部分要求有足够的刚度和强度, 并且不易变形和一定的抗压性, 但该部分重量不能过重, 则该部分由有很高的刚度和强度但重量相对较轻的合金板材压制而成[14]。

根据经典力学理论可知, 车架的动力学通用方式如下:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (3)$$

其中,  $[M]$  是车架与各个车身装配组建之间的质量矩阵;  $[C]$  是车架与各个车身装配组建之间的阻尼矩阵;  $[K]$  是车架与各个车身装配组建之间的加速度矢量。

而现行结构分析中, 与时间  $t$  相关的量可以忽略不计, 则上述公式简化为:

$$[K]\{x\} = \{F\} \quad (4)$$

由此可知, AGV 运输小车的车架部分所承受的动力冲击应力关系为线性, 变化是可恢复的。另外, 结构发生的是小位移、小应变、小转动, 结构刚度不因变化而变化。

### 4.2 可拆卸器件的设计

产品的可拆卸性是产品回收的前提, 直接影响产品的再生性。产品拆卸的目的主要有三方面, 一是拆下那些可以被再销售和再利用的部件, 二是拆下那些有毒的、有害的材料, 三是尽可能容易地将残余的材料分离成纯净的材料[15]。

#### 4.2.1 新式可拆卸固定夹

如图 5 所示, 新式可拆卸固定夹由中间固定部分和 4 个可伸缩的固定角组成。

其中, 中间固定部分是通过螺栓柱与螺母的配合以及公母插头对接与 AGV 运输小车相结合或与其他固定地方相结合。如图 6 所示, 4 个可伸缩的固定角是可以通过搭扣联接, 从而实现不同形状固定角的轮换。4 个可伸缩的固定角是用于新式可拆卸固定夹固定物体的, 由于固定的物体有大有小, 采用可伸缩的固定角能更好把物体固定住, 使物体在 AGV 运输小车上更加

稳定, 并且也能保证物体的安全卸载[16]。由于被固定物体的形状各不相同, 可以通过采用不同形状的固定角来实现物体的固定。

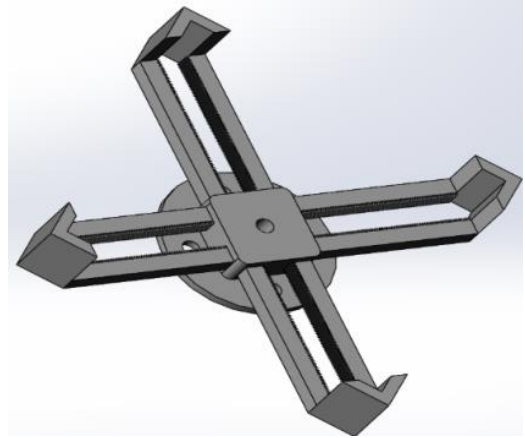


图 5 新式可拆卸固定夹（直角）

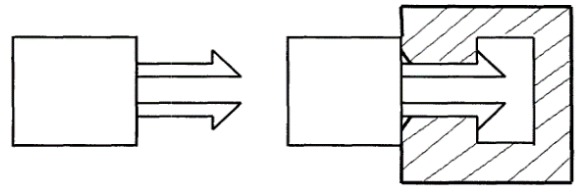


图 6 搭扣联接示意图

#### 4.2.2 新式可拆卸固定夹的计算

当 AGV 运输小车进行运输时, 在 AGV 运输小车上安装新式可拆卸固定夹, 通过调整新式可拆卸固定夹 4 个可伸缩的固定角的形状, 从而实现固定不同形状的物体运输[17]。当 AGV 运输小车没有运输时, 可在 AGV 运输小车上安装上新式可拆卸固定夹, 通过固定夹把小型工作台或垃圾桶固定在 AGV 运输小车上, 并通过手机蓝牙控制, 使 AGV 运输小车变成移动工作台或移动垃圾桶, 节约运行环境的空间和资源。

## 5 AGV 运输小车模型静力学分析

本文利用 Solid Works 软件对 AGV 运输小车的履带轮系和车架在负载状态下的静力学特性。具体过程如下:

### 5.1 履带轮系静力学分析

在最大负载的情况下, 小车两履带均匀分担荷载, 则设定出每个轮毂, 所受的反作用力均为 860N, 可以得到履带轮毂的应力变形图, 如图 7 所示。



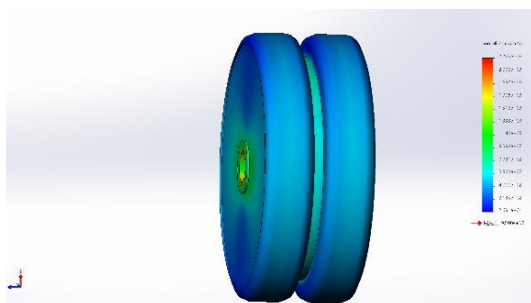


图7 履带轮毂应力变形图

在约束和施加负载的情况下, 分别对其定向变形、等效应力、沿横向和纵向刨开进行分析, 得出相关应力变形图, 如图8所示。

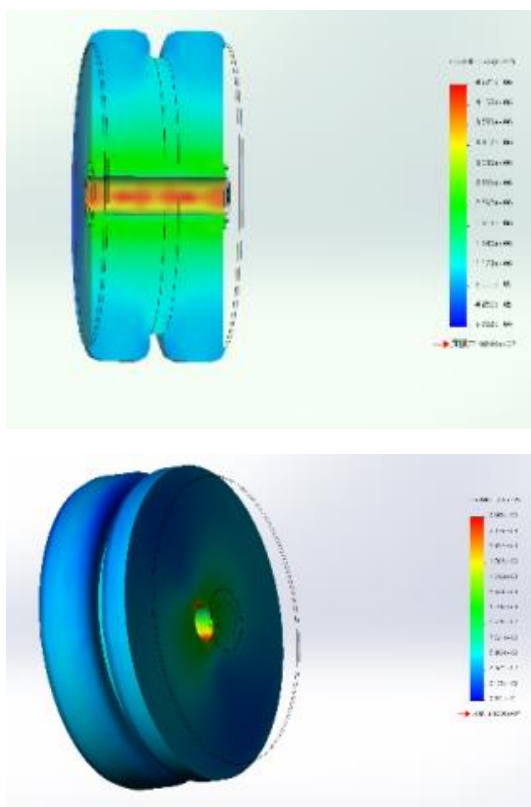


图8 应力变形图

在施加负载力和车身自重的情况下, 对履带轮毂的各方向应力变形进行静力分析, 确定了履带轮毂与轮轴之间接触点的形变程度最大。

## 5.2 车架静力学分析

在约束和附加载荷的情况下, 车身主体均匀分担荷载。选择车身重量和最大载荷, 对车架进行静力学分析, 则车架的应力变形图, 如图9所示。

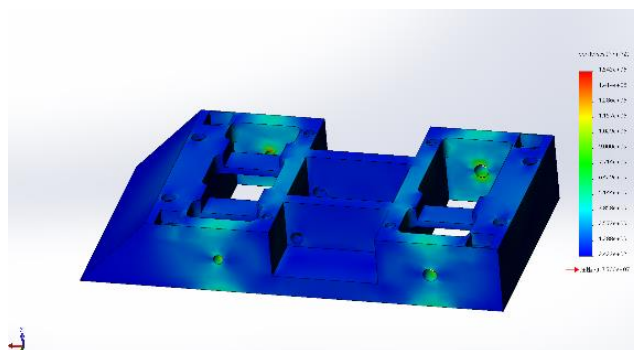


图9 车架应力变形图

在受约束和施加负载的情况下, 分别对其定向变形、等效应力、沿横向和纵向刨开进行分析, 得出相关应力变形图, 如图10所示。

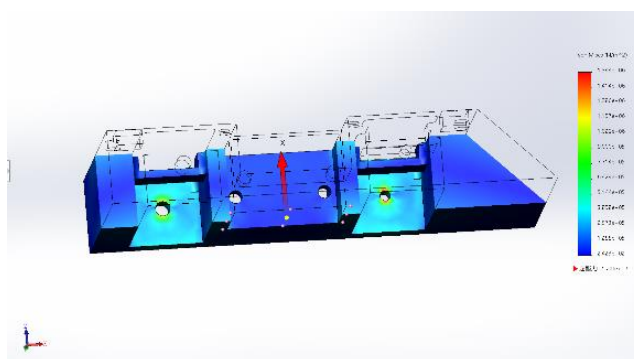


图10 车身相关应力变形图

在施加了负载力和车身自重的情况下, 对车架的各方向应力变形情况进行了分析, 在静力学情况下对车架进行分析得出, 车架与轮轴接触点最易发生应力变形。

## 6 结语

目前 AGV 运输小车在中国还处于初始阶段, 但是随着科技化智能化的推进, 在不久的将来, AGV 运输小车必将进入高速发展阶段。基于以上背景分析, 通过对 AGV 运输小车进行设计, 研究 AGV 运输小车与履带、可升降装置和可拆卸器件等静应力和动应力分析, 对该款小车的受力情况进行优化改进, 以获得更加科学的 AGV 运输小车的车身结构, 确保产品的环保化、高效化、实用化, 具有广泛的应用前景。

## 参考文献

- [1] 于洪. 智能 AGV 在汽车物料运输系统的应用 [J]. 内燃机与配件, 2021 (02): 208-210.

- [2] 江鸿怀. 面向智能仓储的 AGV 运输小车运动学研究 [D]. 上海工程技术大学, 2020.
- [3] 曲晓坤, 邱浩峰, 何武剑, 尹沼臣, 孙俊巧, 赵怡. 一种智能智能小车设计 [J]. 河南科技, 2023, 42 (01): 40-43.
- [4] 吴科奇. 玻璃基板运输自动导引小车(AGV)设计 [D]. 西安石油大学.
- [5] 易远飞, 李震, 陈珊, 周岳淮, 熊诗路, 洪添胜, 朱余清. 轻筒电动履带运输车的设计与试验 [J]. 农机化研究, 2023, 45 (09): 226-232.
- [6] Tanabata T, Kodama K, Hashiguchi T, et al. Development of a plant conveyance system using an AGV and a self-designed plant-handling device: A case study of DIY plant phenotyping [J]. Breeding science, 2022 (1): 72: 85-95.
- [7] 任培华. 果蔬仓储搬运的 AGV 运输小车机械结构分析研究 [J]. 潍坊工程职业学院学报, 2022, 35 (05): 76-79.
- [8] 贺雪梅, 匡胤, 杨志鹏, 等. 基于深度强化学习的 AGV 智能导航系统设计 [J]. 计算机应用研究, 2022, 39 (5): 1501-1504.
- [9] 金泽. 自动导引小车动力学建模与运动控制系统设计 [D]. 太原理工大学, 2019.
- [10] 罗欣. 智能 AGV 系统设计与关键技术研究 [D]. 华南理工大学, 2017.
- [11] Wang L, Li C L, Yu Z Q, et al. An Edge Computing Based Path Planning System for AGV With Intelligent Deviation Correction Algorithm:, WO2022002885A1 [P]. 2022.
- [12] 朱剑峰. 结构拓扑优化理论及在轿车副车架开发中应用研究 [D]. 北京理工大学, 2015.
- [13] 李梁. 机电产品可拆卸性设计理论研究及实现 [D]. 安徽理工大学, 2005.
- [14] Yan R, Dunnett S J, Jackson L M. Model-Based Research for Aiding Decision-Making During the Design and Operation of Multi-Load Automated Guided Vehicle Systems [J]. Reliability Engineering and System Safety, 2022, 219: 108264.
- [15] 段海峰, 黄凌森, 江丽珍. 基于 AGV 的注塑原料自动供应系统设计 [J]. 塑料, 2022, 051 (004): 40-45.
- [16] 魏相圣, 苗德元, 周兴动, 等. 推土机履带安装遥控小车的设计研发[J]. 机械设计与研究, 2022, 038 (004): 213-218.
- [17] 毕娜. 考虑 AGV 路径规划的智能制造流水线车间布局研究[J]. 浙江工业大学学报, 2022, 050 (005): 568-573.