

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.01.019

# 一种自适应路况的重载 AGV 驱动单元设计与分析

卢彬

(南京机电职业技术学院,江苏南京 211306)

**摘要:**为使重载 AGV 更好地适应复杂路况,设计一种新型驱动单元并对其受力状态进行分析,为驱动电机的选型提供直接依据;对 AGV 底盘以及路况做出了分析,利用 SolidWorks Simulation 静力分析模块对底盘进行强度研究;对样机进行了实际测试,获取数据分析验证驱动单元设计的可行性。

**关键词:**重载 AGV;驱动单元;静力学分析;底盘

**中图分类号:**U464 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2024)01-0096-04

## Design and Analysis of a Driving Unit for Heavy-duty AGV Adaptive to Road Conditions

LU Bin

(Nanjing Vocational Institute of Mechatronic Technology, Nanjing 211306, China)

**Abstract:** In order to better adapt to the complex road conditions, a new design of drive unit was proposed, and its stress state was analyzed, providing a direct basis for the selection of driving motor. The AGV chassis and road conditions were analyzed. SolidWorks Simulation static analysis module was used to analyze the strength of the chassis, and the prototype was tested and the feasibility of the drive unit design was verified by data analysis.

**Keywords:** heavy-duty AGV; drive unit; statics analysis; chassis

### 0 引言

随着我国人口老龄化的加剧,势必将导致各行业人力成本的提高,又因现代工业智能化的蓬勃发展,对自动生产、柔性运输和物联网智能化的要求将不断提高<sup>[1]</sup>。自动导引车(automated guided vehicle, AGV)因其高效、经济、灵活及无人化的特点,高度契合现代工业生产和运输的要求。

AGV 诞生于 20 世纪 50 年代,而在我国的研究、应用和发展从 90 年代开始。虽起步较晚,但相关探索和研究并不缓慢。赵华东等研究了驱动轮“外掰”和启停“冲击”的问题<sup>[2]</sup>;郭宝喜等完成双车重载 AGV 系统设计<sup>[3]</sup>;徐恒才等基于 ADAMS 和 ANSYS workbench 完成了 AGV 剪叉式升降机构的仿真分析研究<sup>[4]</sup>;邓依婷等为了解决传统四轮小车运动模式单一的情况,设计了一种基于麦克纳姆轮的 AGV 小车<sup>[5]</sup>。

AGV 的额定负载是其性能的最重要参数之一。目前国内超过 2t 的额定负载可以定义为大负载,在较小尺寸的 AGV 车型中,一般按照实际

负载值与其尺寸及质量的比值来定义。

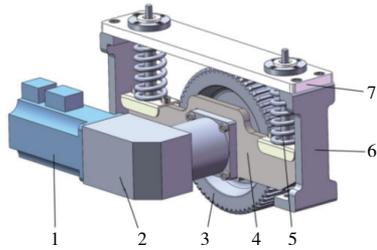
在实际工况中,不管 AGV 底盘采用的是三轮、四轮或六轮式,在遇到地面的窄沟(浅凹)及凸起都可能会导致车体驱动轮的悬空或摆动<sup>[6]</sup>。而 AGV 的发展逐步趋向于重载、全地形、全方位等方向,这就要求其驱动单元有更完美的适应性、更强大的负载能力和更好的灵活性<sup>[7]</sup>。本文以额定负载 250 kg、最大运行速度 1.5 m/s 的潜伏式 AGV 为基础,设计一种可适应复杂路况的重载 AGV 驱动单元,通过有限元仿真其主要承载机构的安全性及实地过沟测试、记录数据并分析,完成相关校核和验证。

### 1 新型驱动单元结构设计

驱动单元结构如图 1 所示,为节省空间,提高电机驱动效率,行走轮 3 由伺服电机 1 通过减速器 2 直接驱动;由悬挂板 4 通过减震装置 5(由弹簧和直线轴承组成)悬挂于横板 7,保证行走轮和地面有效接触并起到减震效果;固定板 6 通过固定螺栓将整个单元固定于 AGV 底板。

**基金项目:**江苏省高职院校教师专业带头人高端研修项目(2021GRFX039);“十四五”南京市教学创新团队建设项目;江苏高校“青蓝工程”资助项目

**作者简介:**卢彬(1985—),女,江苏泰州人,副教授,本科,研究方向为机械设计与制造,lb261506829@163.com。



1—伺服电机;2—减速器;3—行走轮;4—悬挂板;  
5—减震装置;6—固定板;7—横板。

图1 驱动单元三维模型

整个 AGV 由两套驱动单元提供行进转矩,差速驱动,采用四轮布局形式结构,以额定负载 250 kg、最大运行速度 1.5 m/s 为设计参数。AGV 在行进中,驱动单元所需克服的阻力包括行走轮的滚动摩擦阻力  $F_g$ 、风阻  $F_s$  以及斜坡上自身质量的分力  $F_C$ ,在加速阶段最大加速度为  $a$ ,则有公式

$$F_o = F_g + F_s + F_C + ma \quad (1)$$

式中: $F_o$  为驱动单元提供的牵引力; $m$  为 AGV 小车总质量。其中:

$$a = dV/dt \quad (2)$$

$$F_g = f_0 G \quad (3)$$

$$F_s = C_D \rho_a AV^2/2 \quad (4)$$

$$F_C = mg \cdot \sin\alpha \quad (5)$$

式中: $V$  为速度; $t$  为时间; $f_0$  为滚动摩擦因数; $G$  为单个驱动轮的负载; $\alpha$  为坡度角; $C_D$  为风阻系数; $\rho_a$  是空气密度; $A$  为迎风面积。由上文公式可确定电机转矩、减速器减速比、悬挂板强度要求及一系列连接件的选型参数<sup>[8]</sup>。

## 2 底盘设计与路况分析

### 2.1 底盘四轮布置

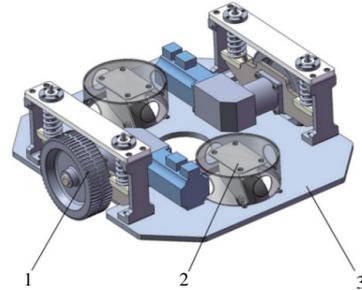
如图 2 所示,行走轮对称分布于底盘两侧,万向轮前后安装。这种形式既保证了机构的稳定性,又最大限度地降低了底盘尺寸。AGV 自身质量约 60 kg,额定负载 250 kg,则每个轮子负载 77.5 kg,又根据转矩、最大运行速度及路况复杂程度,选定驱动轮直径 140 mm,万向轮 560 mm(2.5 英寸),中心高 90 mm。

因驱动单元与底盘通过减震装置柔性连接,在行进中过沟、过坎或斜坡时具有很强的适应性<sup>[9]</sup>。

### 2.2 新型驱动单元与车体柔性连接路况分析

在车体设计组装时,前后万向轮轮面最低点高于行走轮轮面最低点,在车体自身质量压力下,

驱动单元减震弹簧收缩,万向轮下降,使万向轮和行走轮同时着地。不仅增加了整个底盘四点着地的稳定性,而且避免了行走轮悬空打滑现象的发生<sup>[10]</sup>。图 3 为方向轮和行走轮不同路况下的立姿状态。



1—驱动单元;2—万向轮;3—底盘板。

图2 底盘及四轮布置模型

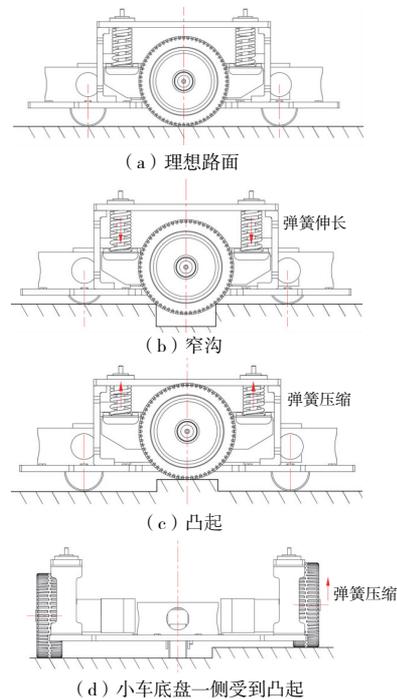


图3 万向轮和行走轮不同路况下的位姿状态

图 3(b) 和图 3(c) 分别为 AGV 底盘在通过地面窄沟和凸起时,新型驱动单元的适应性反应。图 3(b) 中,在行走轮进入窄沟,其中心由于弹簧的预紧力被推向下(弹簧伸长),行走轮轮面仍最大限度地接触地面<sup>[11]</sup>,可有效防止轮子因悬空而打滑空转;同样,当行走轮碰触路面凸起时,驱动单元的减震弹簧进一步压缩,行走轮中心提高,AGV 仍能平滑过度。图 3(d) 为小车底盘一侧受到凸起时,凸起侧行走轮中心提高,减震弹簧压缩,原理类似图 3(c),该设计可有效防止车体在

单侧遇到窄沟或凸起时摇摆现象的发生,增加底盘稳定性<sup>[12]</sup>。

### 3 底盘结构静力分析

底盘不仅承受 AGV 车体的全部质量,在运载工作时还将承受货物的质量。采用有限元思想对其进行静力分析,可在很大程度上验证其可靠性<sup>[13]</sup>。

有限元思想是一种将连续的求解域离散成为有限个单元组合,这些离散体是由单元、节点连接构成的集合来无限地靠近原来连续的求解域,从而把连续问题转化为离散问题,把无限自由度问题转化为有限自由度问题<sup>[14]</sup>。本节将通过 SolidWorks Simulation 静力分析模块对底盘进行强度分析和验证。

#### 3.1 模型导入、定义材料

底盘上附着多种元器件,结构相对复杂,为简化仿真过程,加快仿真速度,模型底板做了适当简化,网格划分如图 4(a)。为减轻小车整体质量并

保证所需的力学性能,底盘板材采用铝合金 5454-O,弹性模量  $7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ,泊松比 0.33,屈服强度 115 MPa。

#### 3.2 添加约束和载荷、网格划分

在实际工况中,所有负载均有四轮承担并反作用于与底盘的连接部位。在仿真分析中,设定底盘与万向轮和驱动单元的连接部位为“固定几何体”,底盘平面其余部位为受力点。因额定负载 250 kg,自身质量 60 kg,添加压力为  $12\,000 \text{ N/m}^2$ ,图 4(a)中红色箭头代表负载力,绿色代表“固定几何体”(本刊黑白印刷,相关疑问请咨询作者)。

#### 3.3 结果分析

上述准备工作结束后,运行仿真算例,得到结果如图 4(b)、图 4(c)所示,分别为底盘板应力和位移云图。从图中可知,最大应力  $1.818 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ,安全系数达到 6.3,位移最大变形为 0.101 mm,相对较小,满足强度要求。

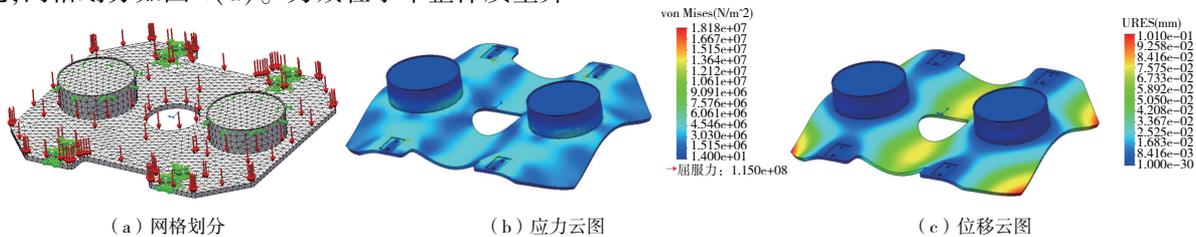


图 4 模型网格划分及仿真结果云图

## 4 样机实测数据分析

在实际验证测试中,对 AGV 负载逐步加大,在负载一定的工况下,观察记录车体通过一系列宽度沟的动作表现,形成数据如表 1—表 4 所示。

表 1 负载为 0 时过沟检测

序号	沟宽/mm	试验次数	动作记录
1	2.0	10	顺利通过,无明显颠簸
2	4.0	10	顺利通过,无明显颠簸
3	6.0	10	顺利通过,无明显颠簸
4	8.0	10	顺利通过,无明显颠簸
5	10.0	10	顺利通过,开始出现微弱颠簸
6	12.0	10	通过,颠簸开始变大
7	14.0	10	通过,颠簸开始明显
8	16.0	10	通过,颠簸逐渐剧烈

表 2 负载为 50 kg 时过沟检测

序号	沟宽/mm	试验次数	动作记录
1	2.0	10	顺利通过,无明显颠簸
2	4.0	10	顺利通过,无明显颠簸
3	6.0	10	顺利通过,无明显颠簸
4	8.0	10	顺利通过,无明显颠簸
5	10.0	10	顺利通过,开始出现微弱颠簸
6	12.0	10	通过,颠簸开始变大
7	14.0	10	通过,颠簸开始明显
8	16.0	10	通过,颠簸逐渐剧烈

表 3 负载为 100 kg 时过沟检测

序号	沟宽/mm	试验次数	动作记录
1	2.0	10	顺利通过,无明显颠簸
2	4.0	10	顺利通过,无明显颠簸
3	6.0	10	顺利通过,无明显颠簸
4	8.0	10	顺利通过,无明显颠簸
5	10.0	10	顺利通过,开始出现微弱颠簸

续表

序号	沟宽/mm	试验次数	动作记录
6	12.0	10	通过,颠簸开始变大
7	14.0	10	通过,颠簸开始明显
8	16.0	10	通过,颠簸逐渐剧烈

表 4 负载为 250 kg 时过沟检测

序号	沟宽/mm	试验次数	动作记录
1	2.0	10	顺利通过,无明显颠簸
2	4.0	10	顺利通过,无明显颠簸
3	6.0	10	顺利通过,开始出现微弱颠簸
4	8.0	10	通过,颠簸开始变大
5	10.0	10	通过,颠簸开始明显
6	12.0	10	通过,颠簸逐渐剧烈
7	14.0	10	不能通过,卡死
8	16.0	10	—

通过对上述表格的数据和描述分析可得,AGV 车体在负载从 0 增大到 100 kg 的过程中,在沟宽不大于 14.0 mm(包括 14.0 mm)的工况下,均可以顺利通过,无明显颠簸;但在 250 kg 负载下,在沟宽达到 8.0 mm 时开始出现颠簸,在 14.0 mm 时车体卡死,无法顺利通过。综上,该新型驱动单元设计满足额定负载的要求,且在负载不大于 100 kg 时,表现出较强的过沟能力。

### 参考文献:

- [1] 房智祥. 适用于 AGV 的紧凑型驱动转向伺服舵轮开发与应用研究[D]. 济南:山东大学,2020.
- [2] 赵华东,江南,雷超帆. 基于差速驱动的 AGV 驱动单元分析与改进设计[J]. 郑州大学学报(工学版),2018,39(5):73-78.

(上接第 95 页)

企业近半年的实际生产使用,该夹具构造简单、适用范围广,且成本低、操作简单,深受企业的欢迎。

### 参考文献:

- [1] 施江澜. 工程材料学[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册[M]. 3 版. 北京:机械工业出版社,2009.
- [3] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学·下册[M]. 5 版. 北京:高等教育出版社,1997.
- [4] 华中理工大学数学系. 高等数学[M]. 北京:高等教

- [3] 郭宝喜,孙铁华. 双车联动重载 AGV 设计[J]. 中国新技术新产品,2021(1):73-75.
- [4] 徐恒才,李鹭扬. 基于 ADAMS 和 ANSYS Workbench 的 AGV 剪叉式升降机构的仿真分析研究[J]. 机械工程师,2021(4):24-26,30.
- [5] 邓依婷,徐曦,李亚宁,等. 基于麦克纳姆轮的 AGV 小车[J]. 物联网技术,2021,11(1):65-66,71.
- [6] 马越,王永恩,马睿. 重载 AGV 机械结构设计[J]. 机械研究与应用,2018,31(2):112-113.
- [7] 陈沛宇,袁勤政,戴鹏飞,等. 多技术融合的室内无线定位方法发展综述[J]. 导航定位学报,2022,10(3):9-13.
- [8] 张森. 全轮转向移动底盘设计及运动控制研究[D]. 西安:西安理工大学,2021:30-35.
- [9] 江亚峰,王彬彬,袁明新,等. 基于自适应反演滑模的全向 AGV 运动控制[J]. 计算机仿真,2019,36(2):349-353.
- [10] 孙超,杨前明,王飞,等. 基于协同模糊控制的四轮驱动 AGV 稳定性研究[J]. 机床与液压,2020,48(17):162-169.
- [11] 高磊,秦建军,黄梦雨,等. 一种新型零转轮式机器人底盘设计与仿真[J]. 中国科技论文,2021,16(8):911-918.
- [12] 史亚贝,刘欣宇. 采用 AGV 小车的柔性生产线技术方案设计[J]. 机械设计与制造,2017(7):118-120.
- [13] 于济群,刘宁,吕琼莹. 基于 Adams 用于康复可穿戴上肢外骨骼运动学分析及仿真[J]. 机械传动,2020,44(11):89-93.
- [14] 杨许,王若澜,王良文,等. 凸轮连杆组合机构驱动的四足仿生马机器人运动学建模与分析[J]. 机械传动,2021,45(1):77-84.

收稿日期:2022-08-08

育出版社,1997.

- [5] 朱耀祥,浦林祥. 现代夹具设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [6] 杨义蛟,谭青,周铁. 自动平衡回转机械的工作机理研究[J]. 机械设计与研究,2009,25(4):33-36.
- [7] VALENTINO J V, GOLDENBERG J. 数控加工导论[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [8] 刘正士,高荣慧,陈恩伟. 机械动力学基础[M]. 北京:高等教育出版社,2011.

收稿日期:2023-07-05