

工厂智能物流车辆车轮的发展研究

王建军¹, 闫克帅²

(1. 风神轮胎股份有限公司, 河南 焦作 454003; 2. 北京橡胶工业研究设计院有限公司, 北京 100143)

摘要:介绍了工厂智能物流车辆的发展情况,以自动引导小车和自主移动机器人为例,重点介绍了工厂智能物流车辆的特点及其车轮的规格尺寸、负荷能力、运行速度、胎面材料和结构特点,并提出工厂智能物流车辆车轮发展中面临的问题和今后的研究方向。

关键词:工厂智能物流车辆;自动引导小车;自主移动机器人;车轮

中图分类号:TQ336.1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)06-0323-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.06.0323



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着社会的进步,以人为本的理念已深入人心。人们需求的高度个性化使工厂生产线的智能化和柔性化逐步深入,产品创新周期持续缩短,工厂生产节拍不断加快,工厂物流也随着工业4.0的到来进入智能时代。

传统的工厂物料搬运主要使用输送带、叉车、拖车和各种牵引设备,其中还需要较多的人力参与,搬运效率不高,准确性和及时性差,且容易发生意外事故。随着人工成本增大和人本理念的逐步深入,传统的物料搬运方式越来越不能适应工业4.0发展的需要。

近年来,自动化的搬运工具不断出现并得到迅速推广,其中研究和应用较广的是自动引导小车(简称AGV小车)和自主移动机器人(简称AMR机器人)^[1],分别如图1和2所示。

1 AGV小车和AMR机器人的特点

1.1 AGV小车

相对传统物流工具,AGV小车的主要优点如下。

(1)安全性高。AGV小车设有声光信号装置,可以提醒过往行人注意安全。AGV小车还安装有红外线防撞传感器,在靠近障碍物时会减速行驶,当距离到达临界值时,AGV小车自动停止,至

作者简介:王建军(1978—),男,河南修武人,风神轮胎股份有限公司工程师,硕士,主要从事子午线轮胎生产制造的过程设计及管理工作。

E-mail:wangjianjun10@sinochem.com



(a) 叉车



(b) 平面小车

图1 AGV小车



图2 AMR机器人

障碍解除恢复正常行进^[2]。

(2)作业效率高。除了充电时间,其他时间AGV小车都可以满负荷工作,较传统的搬运工具作业效率提高^[3]。

(3)可靠性高。传统的搬运工具主要由司机

驾驶,其行驶路线存在不确定性。而AGV小车由计算机控制系统确定的导引路径更加合理,因此物料搬运的准确性可以得到很大提高^[4-5]。同时,AGV小车的监控系统还可以对搬运任务的执行进行跟踪监控,搬运可靠性高^[6-7]。

(4)投入和运行成本较低。随着智能控制技术的日益成熟,AGV小车的固定成本已接近传统的叉车成本,近年来由于人工成本不断增大,AGV小车的投入和运行成本甚至低于传统的物流成本^[8]。

但是,AGV小车只是一个大型的执行器,仅限于固定的线路,其运行均依赖于中央控制系统的调度^[9]。因此,AGV小车可以探测出面前的障碍物,但是无法绕行,需要人工移除障碍物。因此,AGV小车更适合线路基本固定,运载量大,柔性要求不太高的场合。

1.2 AMR机器人

AMR机器人在工厂智能物流领域也得到了广泛应用。其能够利用照相机、内置传感器、激光扫描仪以及软件中的数据探测周围环境,自动避开障碍物,同时具备强大的计算能力,可以选出到达目的地的最有效的途径^[10]。

由于AMR机器人装载了较多的先进技术,成本相对较高,更适合智能化和柔性要求高的场合^[11]。

2 智能物流车辆对其车轮的要求

2.1 直径小

工厂智能物流车辆主要用于物料的装载、搬运和卸载作业等,为了实现物流作业的安全和便捷,车辆设计一般都会尽可能降低其重心,因此车辆底盘一般较低,则要求其车轮尺寸较小。

常见的工厂智能物流车辆透视图如图3所示,其车轮的规格尺寸如表1所示。

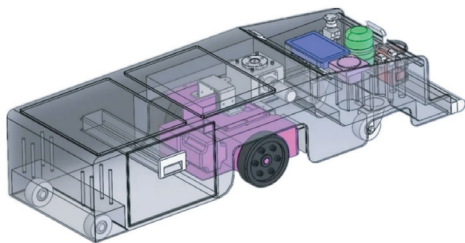


图3 工厂智能物流车辆透视图

表1 工厂智能物流车辆车轮的规格尺寸

规格 ¹⁾	外直径/ mm	宽度/ mm	轮位	备注
2	55	46/85	从动轮	双轮并装/单轮
2.5	65	46/85	从动轮	双轮并装/单轮
3	75	46/85	从动轮	双轮并装/单轮
4	100	50/60/90	驱动轮/从动轮	单轮
5	125	50/60/90	驱动轮/从动轮	单轮
6	150	50/60/90	驱动轮/从动轮	单轮
8	200	60/75/90	驱动轮	单轮
10	250	60/75/90	驱动轮	单轮
12	300	60/75/90	驱动轮	单轮
14	360	75/100	驱动轮/从动轮	单轮
16	400	100/120/150	驱动轮/从动轮	单轮
20	500	150/200	驱动轮/从动轮	单轮
24	600	150/200	驱动轮/从动轮	单轮
28	700	200	驱动轮/从动轮	单轮

注:1)单位为英寸。

2.2 单轮负荷大

工厂智能物流车辆除了在电子产品工厂、快递仓库物流线以及医院等轻载工况下应用外,还大量应用于轮胎制造工厂、汽车制造工厂和一些中重型批量标准件工厂。后者主要使用在中/重载工况下,单轮负荷为400~11 500 kg,是工厂智能物流应用最为广泛的情况。

常见的工厂智能物流车辆车轮的负荷能力如表2所示。

表2 工厂智能物流车辆车轮的负荷能力

规格 ¹⁾	单轮负荷/kg	规格 ¹⁾	单轮负荷/kg
2	100~400	10	1 200~1 800
2.5	120~450	12	2 000~2 500
3	150~500	14	2 500~3 000
4	300~550	16	3 500~4 000
5	400~600	20	5 700~8 000
6	500~700	24	8 250~10 000
8	1 100~1 500	28	11 500

注:同表1。

2.3 负荷作用频率高

工厂智能物流车辆通常的运行速度为15 km·h⁻¹,运行速度很低,但其胎面材料经受负荷作用频率并不低。以常见规格为6的AGV小车车轮为例:速度为15 km·h⁻¹,即4.17 m·s⁻¹,单位时间(每秒)内车轮的转动圈数为4.17/(3.14×0.152 4)=8.71,则AGV小车车轮负荷作用频率为8.71 Hz。高速大巴轮胎负荷作用频率计算以常见规格315/80R22.5 16PR为例:外直径为1 080

mm, 速度为 $110 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 即 $30.56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 单位时间内轮胎的转动圈数为 $30.56 / (3.14 \times 1.08) = 9.01$, 则轮胎负荷作用频率为 9.01 Hz 。

可见, 以 $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 运行的AGV小车车轮与以 $110 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 在高速公路上运行的大巴轮胎的负荷作用频率相近。

2.4 胎面材料强度要求高

由于工厂智能物流车辆车轮的直径和宽度都比较小, 造成车轮接地面积较小, 其胎面接地压力反而比大巴轮胎大很多, 胎面材料磨损很快, 车轮的使用寿命明显短于高速大巴轮胎。

AGV小车车轮胎面平均接地压力计算以常见规格为6的AGV小车车轮为例: 负荷 400 kg , 宽度 90 mm (市面常见该规格车轮的最大宽度), 接地印痕长度 31.6 mm , 接地印痕面积 2844 mm^2 , 则平均接地压力为: $400 \times 9.8 / 2844 = 1.38 \text{ MPa}$ 。

高速大巴轮胎胎面平均接地压力计算以常见规格315/80R22.5 16PR为例: 轮胎标准负荷为 3450 kg 。按照HG/T 2443—2012《轮胎静负荷性能试验方法》测试数据如下: 轮胎接地印痕宽度

260 mm , 接地印痕长度 268 mm , 接地印痕面积 69680 mm^2 , 则平均接地压力为 $3450 \times 9.8 / 69680 = 0.49 \text{ MPa}$ 。

可见, AGV小车车轮胎面平均接地压力达到高速大巴轮胎的2.82倍, 这将造成AGV小车车轮胎面的快速损坏。

3 工厂智能物流车辆车轮的结构特点

工厂智能物流车辆车轮主要由金属芯轮上包覆高弹体材料而成, 这种结构的车轮直径能够做的较小, 可以降低车辆底盘的重心。

在工厂/车间等空间狭窄区域还经常使用安装麦克纳姆轮的智能物流车辆 (见图4), 这种车轮的主要结构特征是在轮毂上安装了多个 45° 方向的轱轮, 通过精确控制麦克纳姆轮的旋转方向和速度可以实现车辆的全方位移动。

但是, 与普通车轮相比, 麦克纳姆轮也有其不足之处: 其一, 运行效率较低, 麦克纳姆轮的全方位运动是牺牲了两轮相反方向的速度, 也就是两轮之间相互抵消了相反方向的那部分摩擦力; 其



(a) 整车



(b) 麦克纳姆轮

图4 安装麦克纳姆轮的智能物流车辆

二, 结构复杂, 一个车辆上的4个车轮都需要单独的动力, 而且每个小轱轮的两端都需要足够的强度来支撑整体车辆; 其三, 在崎岖不平的地面上车轮之间的旋转方向和速度不能很好地匹配, 无法实现全方位移动; 其四, 麦克纳姆轮的机械结构复杂, 需要一套复杂的控制系统来实现车轮的转向和速度匹配, 成本较高。

另外, 数量不多的底盘较高的智能物流车辆也采用普通的充气轮胎, 这种车辆更适合长时间、连续、高速运行的工况。

4 工厂智能物流车辆车轮胎面材料的选择及其适用工况

由于工厂智能物流车辆车轮有极高的平均接地压力和负荷作用频率, 车轮使用寿命低于高速大巴轮胎。因此, 车轮胎面材料的选择以及其使用场所的甄别成为一项比较重要的工作。

胎面材料本身的拉伸强度、撕裂强度和压缩生热等性能极大影响了车轮的使用寿命。在常用的胎面材料中, 橡胶材料强度为 $10 \sim 24 \text{ MPa}$, 聚氨酯材料强度为 $28 \sim 43 \text{ MPa}$, 锦纶材料强度为 $60 \sim 90 \text{ MPa}$ 。在实际应用中, 橡胶材料主要用于低负荷的小车车轮, 聚氨酯材料主要用于中、高

负荷的小车车轮,锦纶材料更适用于超高负荷的车轮^[12](见图5)。

在特殊场合还有一些特别的要求,例如,在强酸或强碱环境下,要求车轮具有耐腐蚀能力;在高温环境下,要求车轮具有耐高温和阻燃等要求;在医疗食品加工厂或仓库,要求车轮无污染性;在有

油污的环境下,要求车轮具有耐油性;在易燃、易爆工况环境下,要求车轮具有抗静电性能等,都需要考虑采用特殊的配方和材料来实现。

如上所述,不同胎面材料和结构形式的车轮的特性不同,安装了这些车轮的智能物流车辆适用的工况自然不同(见表3)。



图5 不同胎面材料的智能物流车辆车轮

表3 安装不同胎面材料和不同结构形式车轮的车辆适用工况

车轮类别	负荷类别	速度类别	其他
胎面材料			
橡胶胎面	轻/中载	高速	
聚氨酯胎面	中/重载	低/中速	易脱胶
锦纶胎面	中/重载	低/中速	易破坏地面,噪声大,更适用于轨道车辆
麦克纳姆轮	轻/中/重载	偶尔移动/低速	空间狭窄

5 工厂智能物流车辆车轮发展面临的问题及其研究方向

5.1 发展面临的问题

对于橡胶材料胎面的车轮,其材料本身的拉伸强度较低,在中/重载、高速工况下,车轮寿命偏短。对于聚氨酯材料和锦纶材料胎面的车轮,虽然其在承受高负荷方面表现良好,但是,聚氨酯材料正常使用的温度上限(80℃)较低,物流车辆在重载、高速运行时,轮芯上包覆的聚氨酯材料温度会超过120℃,远远超过聚氨酯材料正常使用的温度上限,车轮容易出现覆胶脱落的情况^[13]。对于锦纶材料胎面,其弹性极差,车轮在长期持续使用的工况下易造成路面损坏,且有噪声大的缺点。

5.2 研究方向

5.2.1 采用新结构

工厂智能物流车辆车轮的功能主要是支撑车

辆负荷、减震缓冲和传递驱、制动力矩。此外,车轮运行过程中还要保护地面免受损伤,同时尽量实现平稳静音旋转。

支撑车辆负荷的功能是车轮最基本的功能,需要首先满足。其次是减震缓冲功能,橡胶及聚氨酯材料的广泛应用就是为了实现轮胎的减震缓冲功能。但从另一个侧面考虑,通过对车轮进行全新结构设计,再结合新材料的应用,可以更好地实现减震缓冲功能。这一点从米其林和普利司通的非充气轮胎上可以看出。

因此,在智能物流车辆车轮的研究开发方面,可以开发设计新结构形式的车轮替代目前以金属芯轮包覆弹性体为主要结构形式的车轮。

5.2.2 开展短纤维/浆粕增强橡胶复合材料的研究

与聚氨酯材料相比,橡胶材料本身的强度较低,使用其制作的工厂智能物流车辆车轮在中/重载工况下,使用寿命非常低,但是橡胶材料的耐高温性能明显优于聚氨酯材料,进一步通过短纤维/浆粕增强橡胶复合材料的研究仍有较大的实用价值。目前对短纤维/浆粕材料研究较多的是芳纶、碳纤维、玻璃纤维,还有金属纤维等。

5.2.3 提高聚氨酯材料的使用温度上限

工厂智能物流车辆在重载、高速运行工况下,车轮温度很容易高于其上限温度,这是目前聚氨

酯车轮易出现包覆材料脱落的主要原因。因此,如何提高聚氨酯材料的使用上限温度,也具有很大的研究价值。

5.2.4 组织编写国家/行业标准

目前,工厂智能物流车辆车轮还没有统一的国家/行业标准,市场上车轮的胎面材料、外直径、宽度等关键性能和参数没有统一的标准,造成车轮的生产成本较高,相关制造材料和社会资源未能得到充分利用。建议组织相关研发和生产单位共同编写工厂智能物流车辆车轮的国家/行业标准。这样,既可推动智能物流车辆车轮相关技术的进步,又可以节约社会资源。

6 结语

在工业4.0的大背景下,工厂物流智能化要求越来越高,智能物流车辆的应用越来越广泛,相应的其车轮的数量和品种会大幅增加。了解工厂智能物流车辆的特点及其车轮的规格、负荷能力、运行速度、胎面材料和结构特点,积极解决目前工厂智能物流车辆车轮发展中面临的问题,并进行新结构、新材料等的研究和相关标准的编制,将促进工厂智能物流车辆车轮的更好应用。

参考文献:

- [1] 曹文慧,满翼,朱现伟,等.智能仓储物流机器人的研制[J].山东化工,2019,48(15):160-162.

- [2] 巩固,朱华.基于目标识别与避障的煤矿救援机器人自主行走[J].南京理工大学学报,2022,46(1):32-39.
- [3] NAGARATHINAM D. Current status about automated guided vehicle and their advantages and application[J]. Carbohydrate Research,2020,6(2):10-16.
- [4] 郑亮,孙龙龙,陈双.一种改进工业自动导引车路径规划算法[J].科学技术与工程,2021,21(16):6758-6763.
- [5] KUMAR R, HALEEM A, GARG S K, et al. Automated guided vehicle configurations in flexible manufacturing systems: A comparative study[J]. International Journal of Industrial and Systems Engineering,2015,21(2):207-226.
- [6] 陈志刚.基于生产工艺流程的AGV系统研究[D].北京:北京邮电大学,2017.
- [7] LEITE L F V, ESPOSITO R M A, VIEIRA A P, et al. Simulation of a production line with automated guided vehicle: A case study[J]. Independent Journal of Management & Production,2015,6(2):269-285.
- [8] 桂仲成,吴建东.全球机器人产业现状趋势研究及中国机器人产业发展预测[J].东方电气评论,2014,28(112):4-10.
- [9] PATRICIO R, MENDES A. Consumption patterns and the advent of automated guided vehicles, and the trends for automated guided vehicles[J]. Current Robotics Reports,2020,1(3):145-149.
- [10] 徐晓璇.中美物流机器人产业发展比较研究及启示[J].物流技术,2021,40(4):18-22.
- [11] 孙明,王思元,谢梓烺,等.面向智能物流的自主移动机器人(AMR)分析[J].大众标准化,2021(6):151-153.
- [12] GENT A N, WALTER J D. 轮胎理论与技术[M].危银涛,李勇,冯希金,等译.北京:清华大学出版社,2013:176-192.
- [13] 秦璇.基于分子组装技术新型聚氨酯弹性体的制备、结构及性能研究[D].北京:北京化工大学,2018.

收稿日期:2023-01-16

Research on Development of Wheels of Intelligent Logistics Vehicles for Factory Applications

WANG Jianjun¹, YAN Keshuai²

(1. Aeolus Tyre Co., Ltd, Jiaozuo 454003, China; 2. Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry Co., Ltd, Beijing 100143, China)

Abstract: The development of intelligent logistics vehicles in factories was introduced. Taking the automated guided vehicle and automated mobile robot as examples, the features of intelligent logistics vehicles in factories and the specifications, dimensions, load capacity, operating speed, tread materials, and structural characteristics of the vehicle wheels were discussed in detail. Furthermore, the problems and future research directions in the development of wheels for intelligent logistics vehicles in factories were presented.

Key words: intelligent logistics vehicle in factory; automated guided vehicle; automated mobile robot; wheel