

基于ADAMS的不同滚子材料麦克纳姆轮小车动力学性能分析

金瑞琪, 翟羽佳, 梁正卓

中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海

收稿日期: 2026年7月13日; 录用日期: 2026年9月10日; 发布日期: 2026年9月20日

摘要

本文面向不同滚子材质麦克纳姆轮小车的运动稳定性差异问题, 采用ADAMS对四轮独立驱动麦克纳姆轮小车进行动力学仿真建模。对PU90A、PA66及橡胶三种滚子材料在钢制地面条件下的运动学响应分别开展小车直线运动和横向运动仿真, 通过对比分析车辆速度响应、运动位移、轮地接触力及驱动转矩等动力学参数, 研究滚子材料对麦克纳姆轮行驶性能的影响规律。结果表明, 滚子材料不影响小车完成行驶功能, 但由于材料摩擦特性、接触刚度及阻尼特性的差异, 车辆动力学响应存在明显区别。其中, PU90A滚子在运动平稳性和轮地接触特性方面表现较为均衡, 能够有效降低运行过程中的速度波动和接触冲击; PA66滚子具有较高的刚度, 运动响应较快, 但接触冲击较明显; 橡胶滚子具有较好的附着能力, 但较大的摩擦作用会增加驱动负荷。研究结果可为麦克纳姆轮移动平台的滚子材料选择及结构优化提供参考。

关键词

麦克纳姆轮, ADAMS, 滚子材料, 动力学性能, 轮地接触

Dynamic Performance Analysis of a Mecanum-Wheeled Vehicle with Different Roller Materials Based on ADAMS

Ruiqi Jin, Yujia Zhai, Zhengzhuo Liang

Marine Design & Research Institute of China, Shanghai

Received: July 13, 2026; accepted: September 10, 2026; published: September 20, 2026

Abstract

To investigate the differences in motion stability of Mecanum-wheeled vehicles equipped with rollers

文章引用: 金瑞琪, 翟羽佳, 梁正卓. 基于 ADAMS 的不同滚子材料麦克纳姆轮小车动力学性能分析[J]. 人工智能与机器人研究, 2026, 15(5): 1293-1305. DOI: 10.12677/airr.2026.155118

made of different materials, a dynamic simulation model of a four-wheel independently driven Mecanum-wheeled vehicle was established using ADAMS. Straight-line and lateral motion simulations were conducted for three roller materials, namely PU90A polyurethane, PA66 nylon, and rubber, on a steel floor. By comparatively analyzing the vehicle velocity response, displacement, wheel-ground contact force, and driving torque, the influence of roller material on the driving performance of the Mecanum-wheeled vehicle was investigated. The results show that the roller material does not affect the vehicle's ability to perform the required motion functions; however, obvious differences exist in the dynamic responses due to variations in friction characteristics, contact stiffness, and damping properties. Among the three materials, PU90A rollers exhibit relatively balanced performance in terms of motion stability and wheel-ground contact characteristics, effectively reducing velocity fluctuations and contact impacts during operation. PA66 rollers provide relatively high stiffness and rapid motion response, but generate more pronounced contact impacts. Rubber rollers offer good adhesion, whereas their relatively high friction increases the driving load. The results can provide a reference for roller material selection and structural optimization of Mecanum-wheeled mobile platforms.

Keywords

Mecanum Wheel, ADAMS, Roller Material, Dynamic Performance, Wheel-Ground Contact

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着智能制造、智慧物流及移动机器人技术的快速发展,麦克纳姆轮小车因为其良好的全向移动能力,在自动导引运输车(AGV)[1]、仓储物流[2]、工业巡检[3]及服务机器人等领域得到了广泛应用。相较传统差速驱动小车,麦克纳姆轮小车能够通过四个独立驱动轮的协调控制实现前进、横移、斜向运动及原地旋转等多种运动方式,具有机动性强、转弯半径小、运动灵活等优点。然而,由于麦克纳姆轮采用倾斜安装的滚子结构,轮地接触状态较为复杂,在运动过程中容易产生接触冲击、速度波动及滑移等现象,从而影响小车的运动稳定性和控制精度。因此,对麦克纳姆轮小车动力学性能开展研究具有一定的工程应用价值。

目前,国内外学者针对麦克纳姆轮小车已开展了大量研究,研究内容主要集中在运动学建模、动力学分析、轨迹跟踪控制、路径规划以及结构优化[4]-[6]等方面。随着多体动力学仿真技术的发展,ADAMS软件因具有建模方便、计算效率高及动力学分析能力强等特点,被广泛应用于移动机器人[3][7]和车辆系统[8]的动力学研究。利用ADAMS软件可对车辆运行过程中的速度、位移、接触力及驱动转矩等动力学参数进行分析,为结构设计与性能优化提供理论依据。

现有研究针对麦克纳姆轮滚子材料差异对整车动力学性能的影响研究相对较少。不同滚子材料具有不同的密度、摩擦特性及接触刚度,在地面上运动时会表现出不同的轮地接触状态,从而影响车辆的运动稳定性、驱动特性及轮地受力。因此,有必要对不同滚子材料条件下麦克纳姆轮小车的动力学性能进行对比分析,为滚子材料的选择提供参考。

基于此,本文以麦克纳姆轮小车为研究对象,建立其ADAMS动力学仿真模型,选取PU90A、PA66和橡胶三种滚子材料,在钢制地面条件下分别开展直线行驶和横向行驶仿真。通过对比分析不同材料条件下小车的运行速度、运动轨迹、轮地接触力及驱动转矩等动力学响应,研究滚子材料对麦克纳姆轮小

车动力学性能的影响规律，为麦克纳姆轮滚子的材料选型及移动平台优化设计提供一定的参考依据。

2. 麦克纳姆轮小车运动学与动力学分析

2.1. 小车结构及运动原理

本文研究对象为四轮独立驱动麦克纳姆轮小车，其整体结构主要由车架、四个麦克纳姆轮、驱动电机及控制系统组成。车架作为整车的承载结构，用于安装驱动系统、电池及控制器等部件；四个麦克纳姆轮分别安装于车架四角，由电机独立驱动，各车轮之间不存在机械传动连接，见图 1。



Figure 1. Mecanum-wheeled vehicle
图 1. 麦克纳姆轮小车

为了保证小车具备全向移动能力，四个麦克纳姆轮采用左右对称、交叉布置(X 型)的安装方式，使各车轮产生的驱动力能够相互叠加或抵消，从而实现不同方向的运动。麦克纳姆轮由轮毂和若干自由滚动的滚子组成，滚子均匀分布于轮毂外缘，其轴线与轮毂旋转轴线通常呈 45° 夹角。当车轮旋转时，滚子与地面接触产生的驱动力可分解为纵向和横向两个分力，通过合理控制四个车轮的转速和旋转方向，可实现车辆前进、后退、横向移动、斜向移动以及原地旋转等多种运动形式，见图 2。由于滚子能够自由转动，轮地作用力会分解为车体纵向和横向分量，四轮独立控制后，各轮驱动力按照矢量叠加形成车辆的整体运动，因此麦克纳姆轮平台无需转向机构即可完成三自由度平面运动。

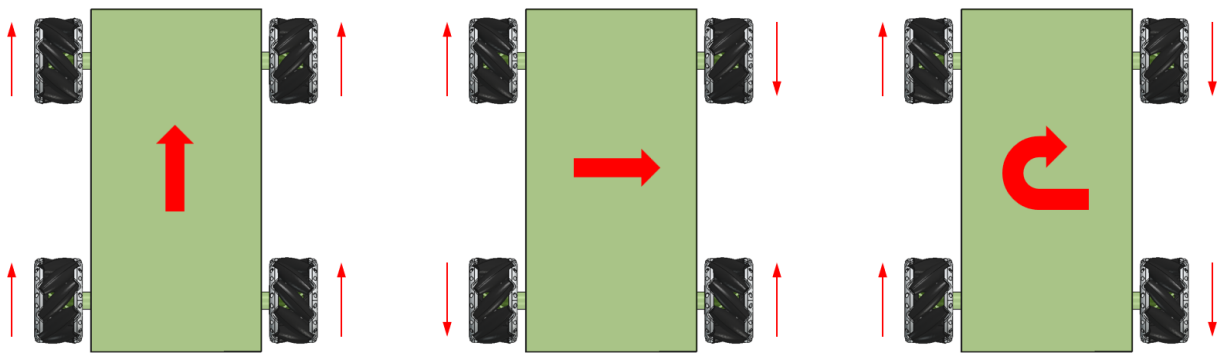


Figure 2. Omnidirectional rotation mechanism of a Mecanum-wheeled vehicle
图 2. 麦克纳姆轮小车全向回转机理

为便于运动分析，建立车体坐标系(O-XY)，其中 X 轴为车辆前进方向，Y 轴为车辆横向方向，车辆绕垂直于地面的 Z 轴旋转形成偏航运动。设车辆纵向速度为 v_x ，横向速度为 v_y ，角速度为 ω_z ，左前、右

前、左后、右后车轮角速度分别为 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 ，则车辆运动逆运动学矩阵为：

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -(L+W) \\ 1 & 1 & (L+W) \\ 1 & 1 & -(L+W) \\ 1 & -1 & (L+W) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix}$$

式中： r ——麦克纳姆轮半径；

L ——车体质心到前后轮轴的距离(半轴距)；

ω ——车体质心到左右轮的距离(半轮距)。

2.2. ADAMS 模型建立

为分析不同滚子材料对麦克纳姆轮小车动力学性能的影响，本文采用三维建模软件建立小车三维模型，并导入 ADAMS 软件进行动力学仿真。为了提高计算效率，在保证整车运动特性不受影响的前提下，对车架、轮毂等零部件进行了适当简化，将其视为刚体，仅保留与动力学分析密切相关的结构特征，如图 3 所示。

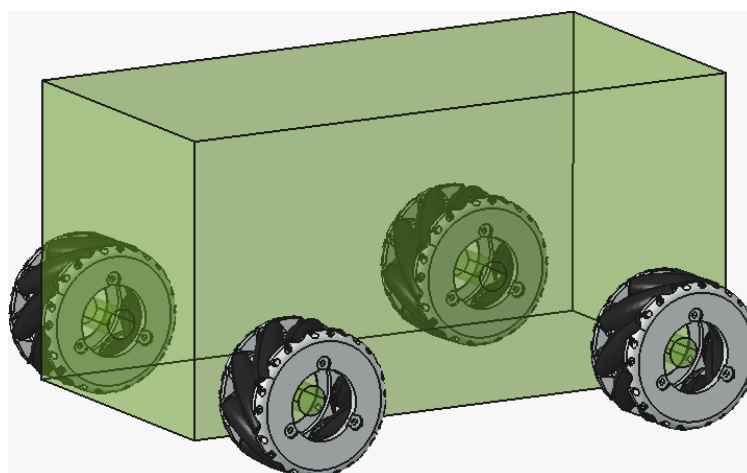


Figure 3. Simplified model of Mecanum-wheeled vehicle

图 3. 麦克纳姆轮小车简化模型

模型主要由车架、四个麦克纳姆轮、滚子及驱动机构组成。四个麦克纳姆轮分别通过转动副与车架连接，各滚子通过转动副安装于轮毂上，使滚子能够绕自身轴线自由转动，从而实现麦克纳姆轮全向运动特性。地面采用刚性钢制平面，并与滚子之间建立接触副，通过设置接触刚度、阻尼以及静、动摩擦系数模拟轮地接触过程。

驱动方式采用四轮独立驱动，通过在各车轮施加相应的角速度函数实现直线行驶和横向行驶两种运动工况。为保证不同材料之间具有可比性，除滚子材料相关参数外，其余模型参数均保持一致，包括车体质量、几何尺寸、驱动输入、仿真时间及求解参数等。本文分别建立 PU90A、PA66 和橡胶三种滚子材料模型，通过修改材料对应的密度及轮地接触参数，实现不同材料条件下麦克纳姆轮小车动力学性能的对比分析。

如图 4 在 ADAMS 软件中构建麦克纳姆轮接触模型，建立完成后的 ADAMS 虚拟样机能够较好地反映麦克纳姆轮小车在钢制地面上的运动状态，为后续动力学仿真及性能分析提供模型基础。

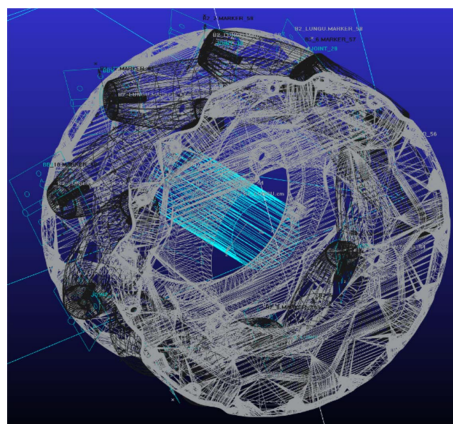


Figure 4. Preprocessing of Mecanum wheels in ADAMS

图 4. 麦克纳姆轮在 ADAMS 中的前处理

2.3. 材料及接触参数设置

为研究不同滚子材料对麦克纳姆轮小车动力学性能的影响，在保持整车结构尺寸、质量分布、驱动方式及仿真工况一致的条件下，本文分别选取 PU90A 聚氨酯、PA66 尼龙和工业橡胶三种材料作为麦克纳姆轮滚子材料进行对比分析，该三种滚子材料的主要参数及轮地接触参数如表 1 所示。三种材料均具有较好的工程应用基础，其中 PU90A 聚氨酯具有较高的耐磨性和良好的弹性，广泛应用于物流搬运及移动机器人；PA66 尼龙具有质量轻、刚度高及耐磨性能较好的特点；工业橡胶具有较大的摩擦系数和较好的减振性能，在需要提高附着能力的运动场景中具有一定优势。因此，选择上述三种材料能够较好地反映不同材料特性对麦克纳姆轮小车动力学性能的影响。

Table 1. Main parameters of three roller materials and wheel-ground contact parameters

表 1. 三种滚子材料的主要参数及轮地接触参数

参数	PU90A	PA66	橡胶
密度(kg/m ³)	1200	1140	1100
钢制地面静摩擦系数	0.50	0.32	0.75
钢制地面动摩擦系数	0.42	0.28	0.65
接触刚度(N/mm ^{1.5})	8000	12,000	6000
接触阻尼(N*s/mm)	12	8	18
杨氏模量(MPa)	50	2800	10
泊松比	0.49	0.39	0.49

上述参数将在后续仿真中用于建立不同材料条件下的轮地接触模型，穿透深度因为它符合经典 Hertz 弹性接触理论统一取为 1.5；穿透深度为避免失真取为 0.1 mm；静平移速度为避免速度经过零点时，摩擦方向发生突变而引起数值振荡取 0.1 mm/s；摩擦平移速度取 10 mm/s。由此可以通过对比分析不同材料对麦克纳姆轮小车动力学性能的影响规律。

2.4. 仿真工况及评价指标

根据麦克纳姆轮小车的典型运动形式，本文设置直线行驶和横向行驶两种仿真工况。直线行驶工况中，四个驱动轮在仿真时间 10 秒内采用相同的驱动速度，以相同方向和相同角速度旋转，驱动轮从 0 速度开始起步，过程中采用 step 函数体现 0 至 2 秒逐渐加速的过程，直至第 2 秒速度达到 360 度每秒，使

车辆沿纵向匀速前进；横向行驶工况中，四个驱动轮在仿真时间 4.5 秒内按照麦克纳姆轮横移运动规律输入对应角速度，驱动轮从 0 速度开始起步，过程中采用 step 函数体现 0 至 2 秒逐渐加速的过程，直至第 2 秒速度达到 360 度每秒，实现车辆沿横向平移。

为了较完整地考察各种滚子材料对麦克纳姆轮小车所涉动力学性能的实际影响，文中将车体速度、运动状况、轮地接触力及驱动轮转矩列作评价指标。有关速度的数据是判断车辆响应快慢的依据；运动轨迹有助于分析其稳定程度和定位精确性；轮地接触力可用来说明滚子同钢面接触的性质以及所受冲击的大小；驱动轮转矩能表征所用材料对驱动负荷的制约或促进作用。按此思路对各项动力学量做比较分析，就可以归纳滚子材料影响麦克纳姆轮小车性能的方式，同时给出未来材料选用的一些可能的参考意见。

3. 仿真结果与分析

3.1. 模型后处理工作

为分析麦克纳姆轮小车车体运行速度、运动轨迹、轮地接触力及驱动轮转矩，需要针对性分别提取小车车体沿 XYZ 方向行驶速度、车体沿 XYZ 方向行驶位移、麦克纳姆轮各个滚子与地面接触力以及麦克纳姆轮驱动转矩，其中 Z+方向为小车前向方向，X+方向为横向方向，Y+方向为垂直方向。本文模型中的麦克纳姆轮由 9 个滚子组成，为研究麦克纳姆轮与钢制地面的接触力，需进行前处理将各个滚子受力进行求和，得出各麦克纳姆轮与钢制地面的接触力，提取后将结果输出为数值结果形式，以便于后续进行分析，本节以 PA66 材料纵向移动(Z+向移动)计算结果为例，展示 ADAMS 图表计算结果，如下图 5 所示。

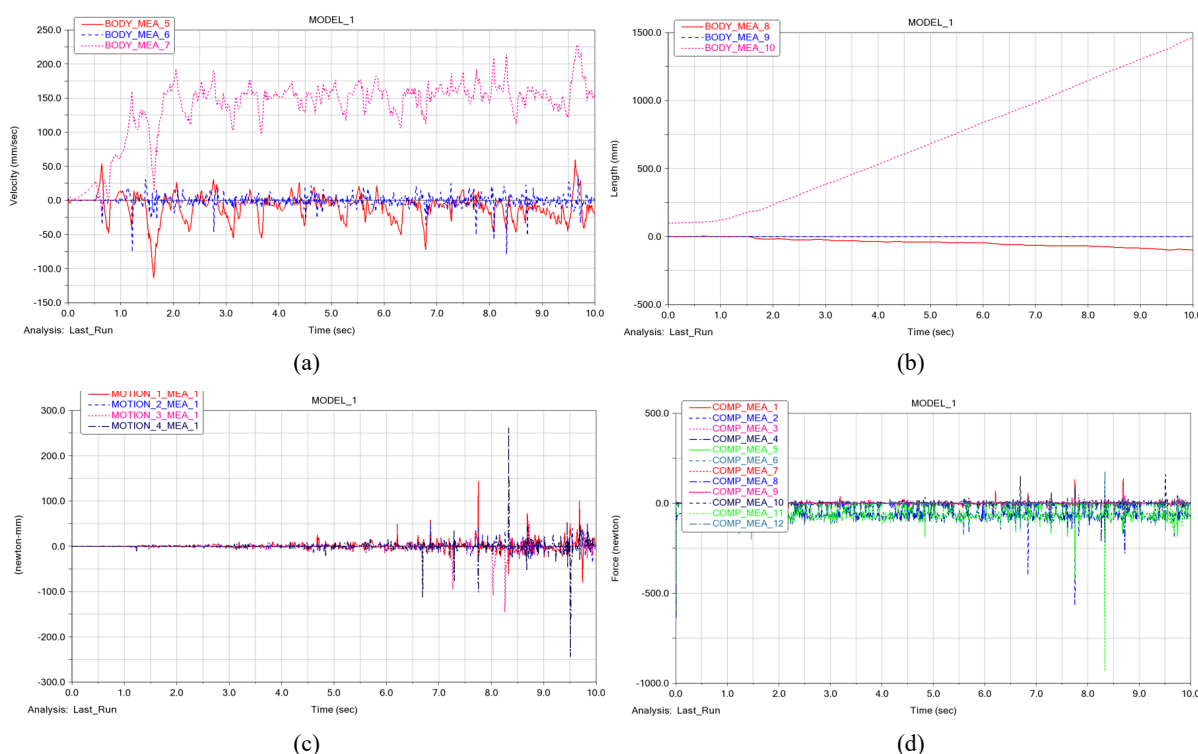


Figure 5. ADAMS software simulation result diagrams. (a) Result diagram of the traveling speed of the vehicle body along the XYZ axes; (b) Result diagram of the traveling displacement of the vehicle body along the XYZ axes; (c) Result diagram of the component of the contact force between each McNamee wheel and the ground along the XYZ axes; (d) Result diagram of the driving torque of each McNamee wheel

图 5. ADAMS 软件仿真结果图。(a) 小车车体沿 XYZ 方向行驶速度结果图；(b) 小车车体沿 XYZ 方向行驶位移结果图；(c) 各麦克纳姆轮与地面接触力沿 XYZ 方向分量结果图；(d) 各麦克纳姆轮驱动转矩结果图

后续提取各工况计算结果，用于分析滚子材料对麦克纳姆轮小车动力学性能的影响。

3.2. 直线行驶结果分析

为研究不同滚子材料对麦克纳姆轮小车直线行驶动力学性能的影响，分别采用 PU90A、PA66 及橡胶三种滚子材料建立动力学模型，在相同驱动条件下进行仿真分析。其中，小车沿 Z+方向完成直线运动，并对车体速度、位移、轮地接触力及驱动轮转矩等参数进行对比分析。

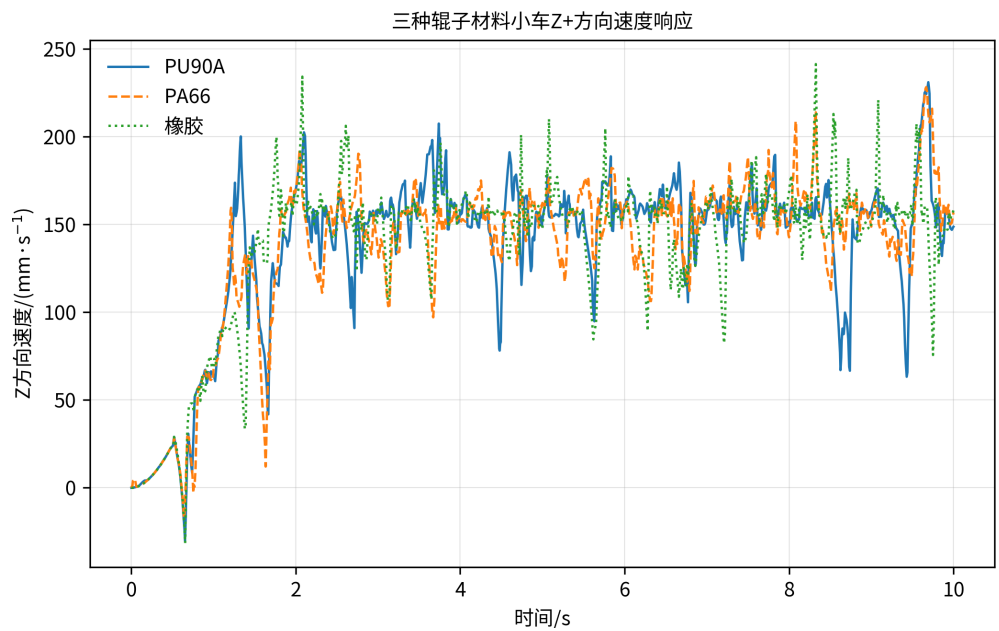


Figure 6. Comparison of speeds of vehicle made of three different roller materials when traveling in a straight line forward
图 6. 三种滚子材料小车向前直线行驶时的速度对比

从图 6 可以看出所用三种材料的车都可作直线行驶处理，在驱动轮开始转动之后车速很快上升并基本趋于稳定。由于所用材料的轮地摩擦性质、接触刚度不完全一样，所以各模型达到稳定行驶速度的时间存在一定差别，不同滚子材料下的速度标准差见下表 2。

Table 2. The standard deviation of the speed of the three roller materials when moving forward in a straight line forward
表 2. 三种滚子材料向前直线时的速度标准差

材料	速度标准差
PU90A	24.223
PA66	20.295
橡胶	22.413

从表 2 中可以看出，PA66 材料速度标准差最大，可能是因为其接触刚度和车速有较明显的波动现象；PU90A 材料速度标准差最小，代表其在运行中速度变化平顺，稳定性较好；橡胶材料摩擦大、附着性高，对地面适应能力强，只是因弹性大而不能很快建立起速度，三种材料差距并不明显。

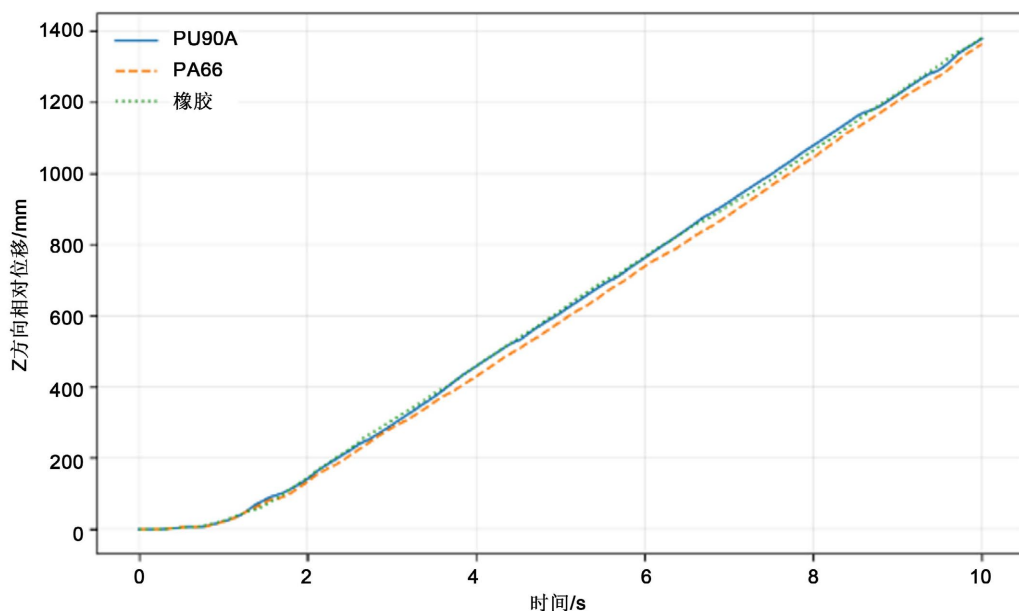


Figure 7. Comparison of relative displacements of vehicle made of three different roller materials traveling in a straight line forward

图 7. 三种滚子材料小车沿向前直线行驶时的相对位移对比

由图 7 车体位移曲线可以看出, 三种材料均能够沿设定方向完成直线运动, 运行轨迹基本保持一致, 说明不同材料均能够满足麦克纳姆轮小车的基本运动要求。相比之下, PU90A 材料运行过程中轨迹变化较为平稳, PA66 材料由于轮地接触刚度较大, 在启动阶段产生较明显的瞬态波动, 而橡胶材料由于具有较好的缓冲作用, 其位移变化较为连续。

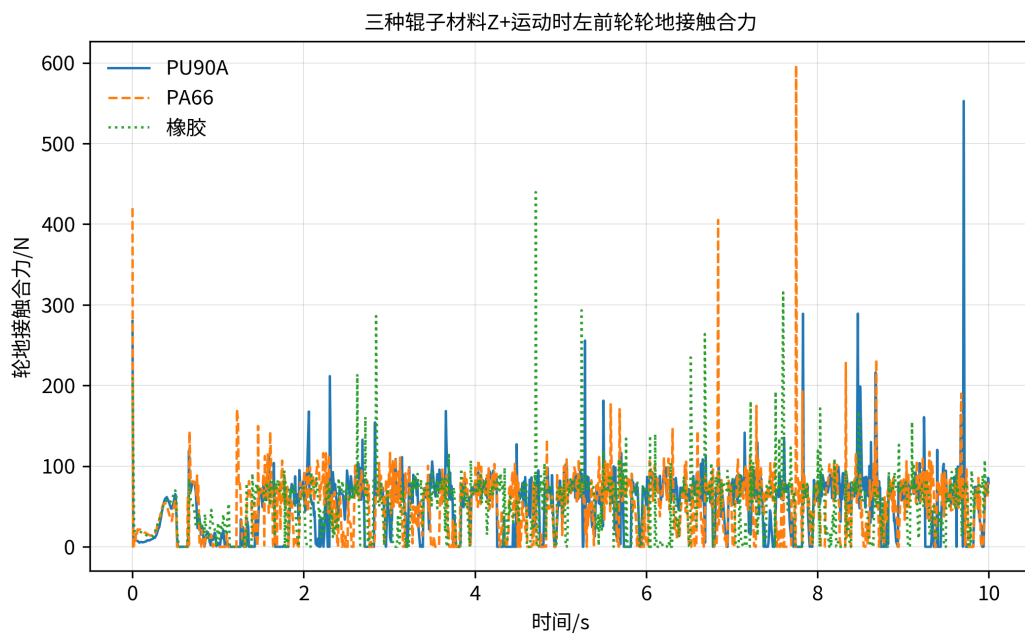


Figure 8. Comparison of the resultant force of wheel-ground contact when a vehicle made of three different roller materials travels forward in a straight line forward

图 8. 三种滚子材料小车沿向前直线行驶时的轮地接触合力对比

Table 3. Contact forces of three roller materials moving forward in a straight line forward
表 3. 三种滚子材料向前直线时的接触力情况

材料	接触力峰值(N)	接触力均方根(N)
PU90A	552.757	74.539
PA66	596.942	73.715
橡胶	439.789	66.792

由图 8 可知,随着滚子不断与地面交替接触,轮地法向接触力呈现明显的周期性变化,这是麦克纳姆轮运动过程中滚子循环接触地面的典型特征。由表 3 可知,PA66 材料在相同法向位移条件下会产生较大的法向恢复力,且接触时间较短,容易形成较高的冲击峰值;橡胶材料由于具有较好的弹性,能够通过较大的接触变形吸收和耗散部分冲击能量,因此接触力峰值和均方根值均较低。

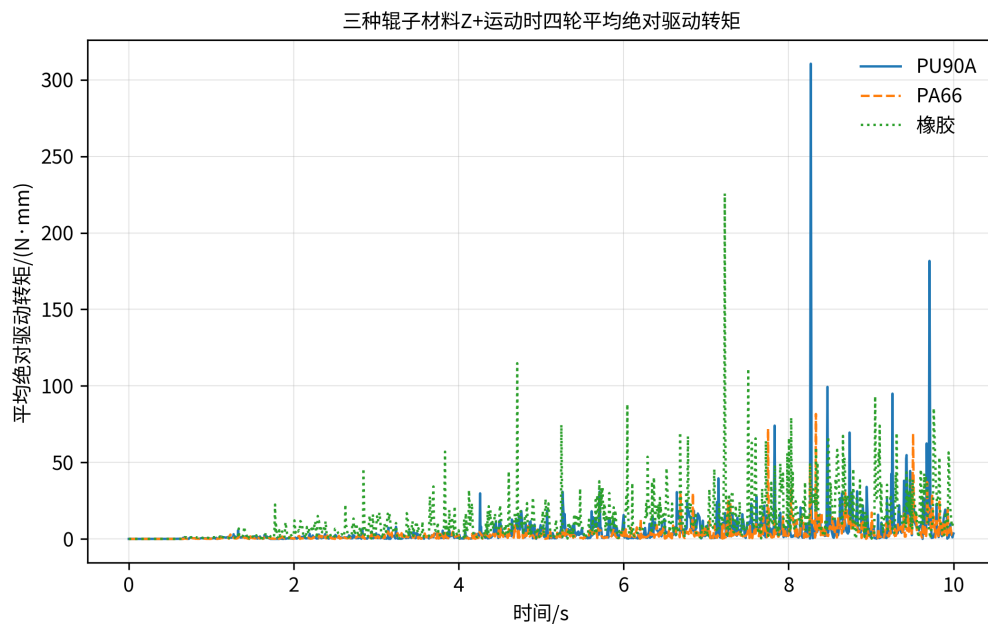


Figure 9. Comparison of the average absolute torque of the four wheels of a vehicle made of three different roller materials when moving forward in a straight line forward

图 9. 三种滚子材料小车沿向前直线时的四轮平均绝对转矩对比

Table 4. Torque characteristics of three roller materials in forward straight line forward
表 4. 三种滚子材料向前直线行驶时的转矩情况

材料	转矩均方根
PU90A	35.165
PA66	14.293
橡胶	39.047

由图 9 可知,车辆刚启动时驱动转矩要很快上升,用来抵消全部惯性以及轮地摩擦所耗的力;待车辆达到稳定状态后,驱动转矩即趋于平缓。由表 4 可知,PA66 的转矩均方根值最低,表明其在直线行驶过程中所需的持续驱动负荷较小;橡胶材料的转矩均方根值最高,约为 PA66 的 2.73 倍。这主要是因为

橡胶与钢制地面之间具有较大的摩擦和变形损耗，电机除克服车辆运动阻力外，还需要补偿材料周期性变形和轮地黏着产生的能量损失。

综合直线行驶工况分析可知，橡胶材料在直行工况下具有较好的接触缓冲性能，但驱动负荷较大；PA66 能够降低持续驱动转矩，并保持较小的速度波动，但接触冲击相对明显；PU90A 各项指标处于两者之间，表现出较为均衡的动力学特性。

3.3. 横向行驶结果分析

为进一步研究不同滚子材料对麦克纳姆轮小车横向运动性能的影响，在保持车辆结构参数、驱动输入以及仿真环境一致的条件下，对 PU90A、PA66 和橡胶三种材料模型进行横向行驶仿真。由于横向运动过程中麦克纳姆轮滚子主要依靠倾斜滚动实现侧向位移，轮地接触状态相比直线运动更加复杂，因此选取车体横向速度、横向位移以及轮地接触合力作为评价指标，对不同材料条件下车辆动力学响应进行对比分析。

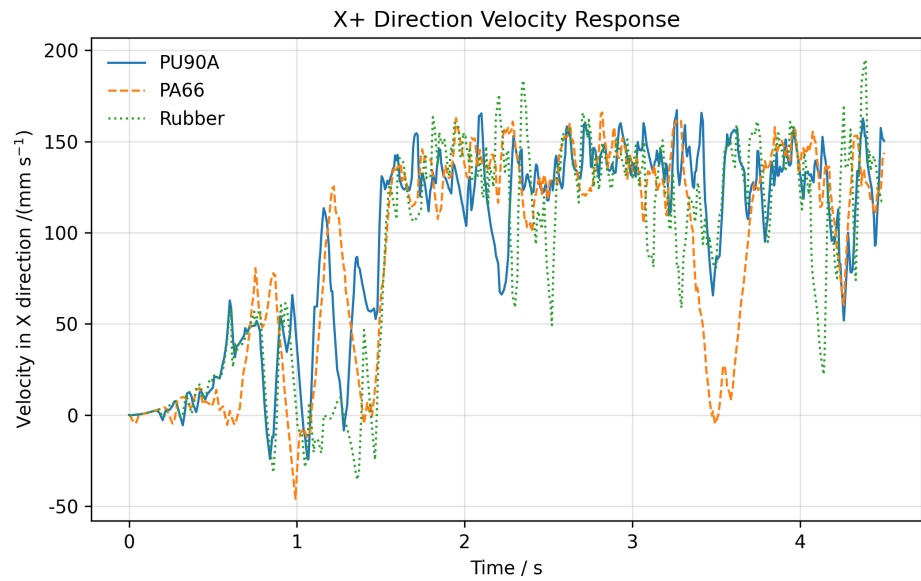


Figure 10. Comparison of speeds of vehicle made of three different roller materials when traveling in a straight line laterally

图 10. 三种滚子材料小车横向行驶时的速度对比

Table 5. Speed variation of the three roller materials when moving forward in a straight line laterally

表 5. 三种滚子材料横向行驶时的速度变化情况

材料	速度均值	速度标准差
PU90A	131.321	20.737
PA66	120.623	38.191
橡胶	124.822	30.057

由图 10 可以看出，三种材料模型均能够实现横向移动，车辆速度在启动阶段迅速增加，随后逐渐进入稳定运动状态。由表 5 可知，PU90A 的速度均值最高且标准差最低，标准差较 PA66 降低约 45.7%，较橡胶降低约 31.0%，表明 PU90A 辊子在水平移动过程中具有更好的速度稳定性。

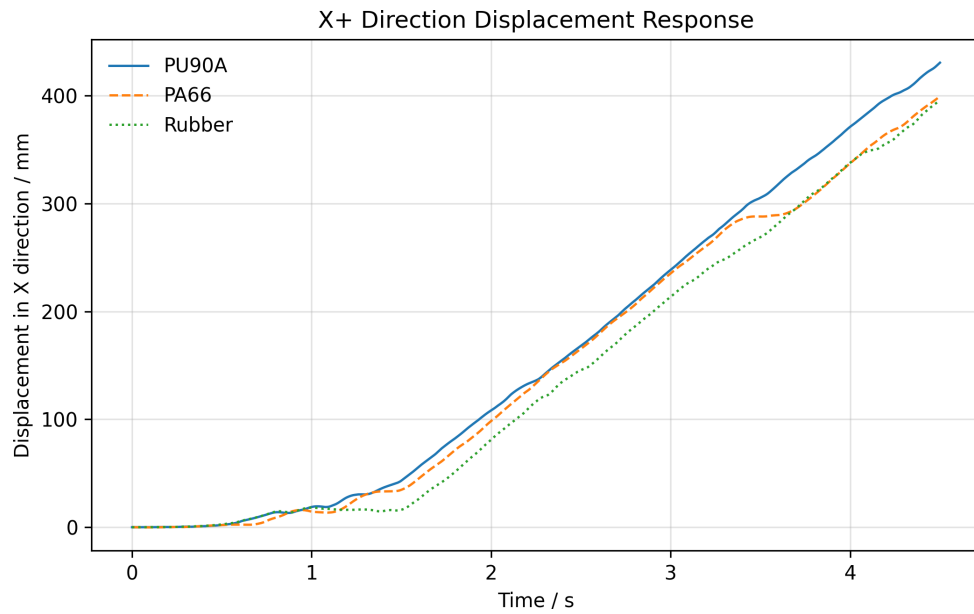


Figure 11. Comparison of relative displacements of vehicle made of three different roller materials traveling in a straight line laterally

图 11. 三种滚子材料小车横向行驶时的相对位移对比

由图 11 可以看出，三种材料模型的横向位移均随时间持续增加，说明车辆能够按照设定方向完成横向移动。不同材料之间位移变化趋势基本一致，但运动过程中存在一定差异。其中，PU90A 材料位移曲线连续性较好，表明车辆横向运动稳定性较高；PA66 材料由于接触刚度较大，在滚子交替接触过程中容易产生较明显的位移波动；橡胶材料由于具有较好的弹性和减振能力，位移变化较为平滑，但由于摩擦作用较强，其运动响应相对滞后。

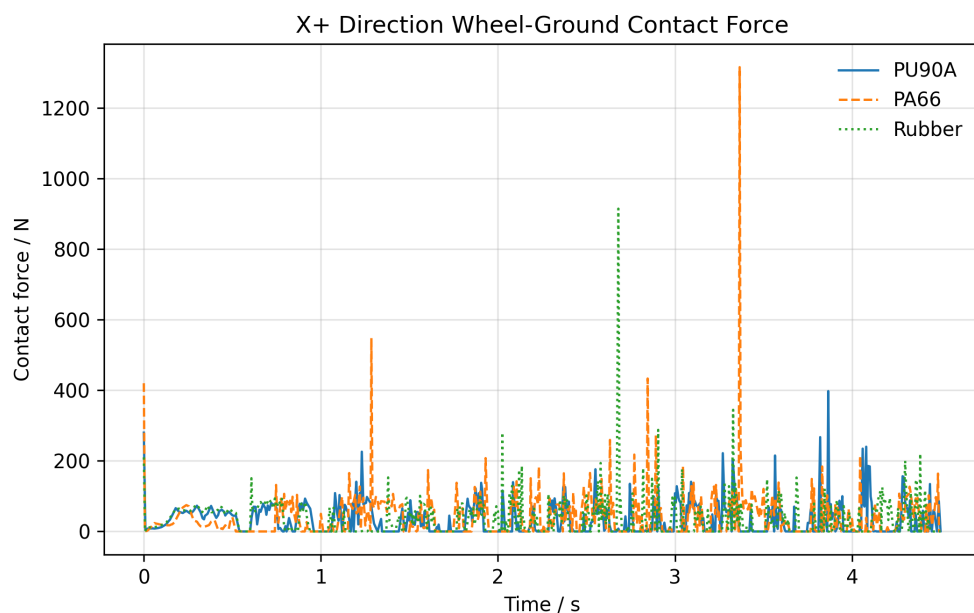


Figure 12. Comparison of the resultant force of wheel-ground contact when a vehicle made of three different roller materials travels forward in a straight line laterally

图 12. 三种滚子材料小车沿横向行驶时的轮地接触合力对比

Table 6. Variation of contact forces of three roller materials moving forward in a straight line laterally
表 6. 三种滚子材料横向行驶时的接触力变化情况

材料	接触力峰值(N)	接触力均方根(N)
PU90A	397.554	62.558
PA66	1315.043	100.823
橡胶	914.280	77.379

由图 12 可以看出, 横向运动过程中轮地接触合力呈现周期性波动特征, 这是由于麦克纳姆轮滚子不断与钢制地面发生接触转换所导致。不同材料由于自身刚度、阻尼及摩擦特性的差异, 使接触力变化幅值存在明显区别。由表 6 可以看出, PA66 的接触力峰值显著增大, 说明高接触刚度在横向载荷分解和接触点切换的共同作用下, 容易造成较强的瞬态冲击。PA66 同时表现出最高的接触力峰值和最大的速度标准差。该结果体现了接触载荷与运动稳定性之间的内在联系: 接触力变化越剧烈, 输入到车体的高频激励越强, 车辆速度和姿态越容易发生周期性波动。

从所作的横向运动仿真整体分析来看, 各种滚子材料都可用来实现麦克纳姆轮小车横向运行的目的, 不过材料本身对平稳性与轮地接触有较大影响。水平移动工况中, 接触冲击、速度波动和驱动消耗之间存在明显的相互制约关系。较高的材料刚度有利于减小变形损耗和驱动转矩, 但会增强接触冲击及速度波动; 较软材料可以吸收冲击, 但过大的摩擦和变形会增加能量消耗; PU90A 在接触冲击、速度稳定性和驱动负荷之间取得了较好的折中。

3.4. 综合对比

综合两种运动工况可知, 辊子材料对麦克纳姆轮小车的影响并不存在单一的最优结果, 而是表现为接触平顺性、运动稳定性和驱动效率之间的权衡。PA66 辊子的接触刚度较高、变形损耗较小, 在两种运动工况下均表现出最低的稳态转矩均方根值, 说明其具有较好的驱动效率; PU90A 材料综合性能较好, 能够兼顾运动稳定性及轮地接触平顺性, 在两种工况下取得相对合理的平衡; 橡胶材料直行工况下具有最优性能, 但在水平移动工况下却不然。

综上, 若应用场景以低能耗和高刚度为主要目标, 可优先选择 PA66; 若主要考虑直线行驶中的缓冲减振性能, 可选择橡胶; 若要求麦克纳姆轮小车兼顾直线行驶和水平移动性能, 尤其重视横移速度稳定性及轮地冲击控制, 则 PU90A 具有更好的综合适用性。

4. 结论

本文针对不同滚子材料对麦克纳姆轮小车动力学性能的影响问题, 建立了基于 ADAMS 的四轮独立驱动麦克纳姆轮小车动力学模型, 并选取 PU90A、PA66 和橡胶三种材料作为滚子材料, 在钢制地面条件下开展直线运动和横向运动仿真分析。通过对车辆速度响应、运动位移、轮地接触力及驱动转矩等参数进行对比, 得到以下结论:

- 1) 所用的各类滚子材料对麦克纳姆轮小车的基本运行来说都是适用的, 不过材料本身有其特性上的区别。就驱动状况相同的情形而论, 三种材料模型都可达到所希望的方向运动, 只是有关速度、接触力或驱动转矩的细节未必完全一致。
- 2) 滚子所用的材料是车辆轮地接触特性的主要影响因素。PA66 类材料本身较硬, 在轮地运动时接触所受的冲击比较强; PU90A 类材料弹性、阻尼都较好, 能减缓力的波动, 使车辆实际运行更接近理想状态; 橡胶类材料摩擦系数较大, 虽然有助于轮地结合、防止打滑, 却也增大了做功(即驱动)时遇到的阻力。

3) 对于直线或横向两种运动来说, PU90A 所述材料从总体上说有较优良的动力学表现, 所对应的运动稳定性及接触平顺性又不会与驱动负荷过分冲突, 是用作钢制地面麦克纳姆轮滚子材料的理想选择。PA66 类材料适合以刚度为主要考虑因素的设计, 而橡胶类材料比较适合用来满足附着性能很高的运动条件的要求。

4) 文中所用的 ADAMS 仿真方法是针对各种滚子材料而设计的、有关麦克纳姆轮小车动力学的分析, 对移动机器人轮组材料有一定理论意义。今后若能将实验测量引入讨论, 对各材料的摩擦及接触情况作较准确的标定, 就可以使仿真的结论更接近于真实条件下的运动表现。

参考文献

- [1] 辛强, 赵琛, 李思颖, 张星晨, 赵泽阳. 基于麦克纳姆轮的 AGV 小车设计[J]. 数字技术与应用, 2023, 41(10): 169-172.
- [2] 王霄琳. 麦克纳姆轮智能小车机械手臂设计[J]. 设备管理与维修, 2023(6): 105-106.
- [3] 黄大原. 基于麦克纳姆轮的管道机器人系统设计与性能研究[D]: [硕士学位论文]. 秦皇岛: 燕山大学, 2025.
- [4] 马琳涵, 张慧, 周健, 等. 麦克纳姆轮 AGV 运动轨迹控制研究[J]. 齐鲁工业大学学报, 2024, 38(3): 24-33.
- [5] 江梦林, 赵德权, 孙永福, 等. 麦克纳姆轮移动底盘的自适应滑模控制器设计[J]. 制造业自动化, 2022, 44(1): 164-169.
- [6] 王文杰, 等. 全向麦克纳姆轮遥控小车设计[J]. 电子制作, 2025, 33(13): 69-72.
- [7] 苏林, 周元培, 梁博文. 自爬行管道牵拉机器人动力系统运动模型研究[J]. 石油矿场机械, 2026, 55(4): 1-10.
- [8] 李力. 面向商用车动态品质的车辆动力学建模及仿真研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2025.