

## 【工程与技术】

# 四轴重型汽车前轴转向模式 对高速行驶稳定性的影响

贾会星, 杨章林, 姚 芳

(滁州职业技术学院 机械与汽车工程学院, 安徽 滁州 239000)

**摘 要:**利用 Trucksim 软件建立了四轴重型汽车双移线行驶工况模型, 模拟重型汽车在高速行驶中紧急变道避险后再变回原行驶车道的高速换道行驶过程, 对采用双前轴转向和单前轴转向四轴重型汽车的车身稳定性参数进行了仿真分析。仿真结果表明, 四轴重型汽车高速变道行驶时, 采用单前轴转向与采用双前轴转向相对比, 四轴重型汽车的车身侧倾角、车身横摆角、车身横摆角速度差异不大, 但采用单前轴转向的四轴重型汽车的车身侧向加速度显著小于采用双前轴转向的四轴重型汽车, 尤其在路面附着条件良好时; 采用双前轴转向的四轴重型汽车在高速换道时, 可更好地保持在目标车道内行驶, 避免偏离出车道的风险。因此, 四轴重型汽车高速变道行驶时, 采用双前轴转向安全性更高。

**关键词:**四轴重型汽车; 行驶稳定性; 双轴转向; Trucksim; 仿真分析

**中图分类号:** U 469.2 **文献标识码:** A **DOI:**10.13486/j.issn.2097-4973.2025.06.008

四轴重型汽车装载质量大, 结构稳定性好, 被广泛应用于物流、建筑、矿产等领域。为了获得较高的机动性和灵活性, 减小转弯半径, 四轴重型汽车多采用双前轴转向系统。与传统的单前轴转向相比较, 双前轴转向低速转向时灵活性更高, 但转向系统结构更为复杂, 制造成本更高。目前对双前轴转向的研究主要集中在双前轴转向机构及其组件的优化设计等方面。王印等提出了一种电动转向器及电动推杆的匹配设计方法, 来优化多轴商用车的双前轴电动转向系统布置<sup>[1]</sup>; 刘晓等以某国产双前轴商用车为研究对象, 借助 3DCS 分析软件进行仿真计算, 求解出直拉杆长度的调节范围, 并识别出影响直拉杆参数的关键因素<sup>[2]</sup>; 田秋艳等研究了一种双前轴转向传动系统的设计思路及方法, 通过优化设计转向传动杆系及合理匹配转向梯形来实现双前轴(前桥)车辆稳定可靠的转向功能<sup>[3]</sup>; 王成志等根据 Ackermann 定理, 以最大绝对误差为目标函数进行数学优化, 以最大绝对误差及最小传动角的等值线图等可视化技术为辅助, 对双前轴转向车辆转向杆系进行了优化分析<sup>[4]</sup>; 左耘等对双前轴转向系统动力缸的结构特点、受力情况进行了分析讨论, 提出了整体式液压动力转向器和助力缸缸径的计算方法和匹配原则<sup>[5]</sup>; 孙亚伟等对双前轴自卸车转向机构进行优化, 以解决双前轴转向自卸车的轮胎异常磨损问题<sup>[6]</sup>。与传统单前轴转向相比, 采用双前轴转向的重型汽车, 分散了整车的转向负载, 转向时降低了单桥的磨损量, 延长了转向组件的使用寿命, 在相同转向工况下, 转向盘转角更小, 驾驶员操作更为轻便; 但采用双轴转向时, 由于增加了一个转向轴, 整车的转向机构更为复杂, 设计制造中需要考虑两个转向轴的运动学关系的协调性, 维护保养中需要养护

收稿日期: 2025-05-24

基金项目: 安徽省高校自然科学研究重点项目(2022AH052657); 安徽省高校中青年教师培养行动项目(DTR2024079)

第一作者简介: 贾会星(1978—), 男, 安徽来安人, 教授, 硕士, 主要从事汽车行驶稳定性研究。

E-mail: jiahuixing\_0@163.com

两个转向轴,增加了整车制造和使用成本。双前轴转向的四轴重型汽车在附着较差的非公路环境低速行驶时,转向灵活性较好。高速变道转向行驶时双前轴转向四轴重型汽车的驶稳定性和安全性如何,目前相关的研究较少,由于四轴重型汽车车身质量较大,重心位置高,高速行驶时突然遇到障碍物进行紧急换道避险时,很容易失去车身稳定性造成严重的交通事故。故研究四轴重型汽车高速换道行驶时的车身稳定性和保持在目标车道行驶的安全性有重要意义。

本文拟通过 Trucksim 重型汽车动力学仿真软件,建立采用双前轴转向和单前轴转向的四轴重型汽车高速换道行驶工况的仿真模型<sup>[7-12]</sup>,对两者高速换道行驶时车身稳定性参数进行仿真研究,对比双前轴转向和单前轴转向对车身稳定性的影响,同时观测其高速换道行驶时的目标车道偏移情况,综合评估双前轴转向和单前轴转向四轴重型汽车高速换道行驶时的稳定性和安全性。

### 1 仿真模型的建立

为保证仿真结果的可靠性,选择 Trucksim 软件中经过验证的四轴重型汽车整车模型 4A LCF Van 进行仿真分析,该车为 8×4 双后轴驱动重型汽车,第一轴为转向从动轴,第二轴为从动轴可设置为转向轴或非转向轴,第三轴和第四轴为驱动轴。从动轴每侧为单轮,驱动轴单侧为双轮,具体外形结构如图 1 所示。本文将基于此车型设置单前轴转向和双前轴转向的四轴重型汽车仿真模型,研究两种转向方式对重型汽车车身高速行驶时稳定性的影响。该车型的主要结构参数:车身侧翻惯量为 2 309.5 kg·m<sup>2</sup>,车身俯仰惯量为 35 427.9 kg·m<sup>2</sup>,车身横摆惯量为 34 678.2 kg·m<sup>2</sup>,簧载质量为 4 455 kg,第一、二车轴非簧载质量为 275 kg,第一、二车轴轮距为 2 070 mm,第三、四车轴非簧载质量为 785 kg,第三、四车轴轮距(内侧)为 1 863 mm,第三、四车轴双胎距为 310 mm,第一、二车轴距为 1 850 mm,第一、三车轴距为 6 230 mm,第一、四车轴距为 7 430 mm,第一、二车轴侧倾/横摆惯量为 400 kg·m<sup>2</sup>,第三、四车轴侧倾/横摆惯量为 305 kg·m<sup>2</sup>,第一、二车轴左右车轮旋转惯量为 10 kg·m<sup>2</sup>,重心距地面的距离为 1 175 mm,重心距第一车轴的距离为 1 115 mm,轮胎宽度为 265 mm,轮胎自由半径为 520 mm,轮胎刚度为 980 N·mm<sup>-1</sup>。



图 1 四轴重型汽车模型

### 2 仿真工况的设置

仿真过程依据 ISO 3888-2:2011 标准的紧急双移线试验要求<sup>[13]</sup>,采用 Trucksim 中双移线行驶工况,仿真模拟四轴重型汽车在行驶中紧急变道避险后再变回原行驶车道的行驶过程。为了充分研究两种转向方式对高速行驶时的四轴重型汽车行驶稳定性的影响,仿真设定重型汽车初速度为 70 km·h<sup>-1</sup>,在变道转向操作中不进行制动减速,同时对路面附着情况进行设定,假设重型汽车在高附着路面上行驶时,路面附着系数取 0.85;在低附着路面上行驶时,路面附着系数取 0.35。仿真中重型汽车行驶路径的双移线轨迹如图 2 所示。

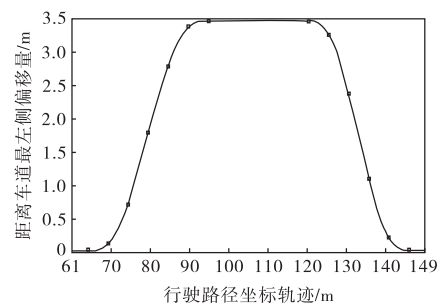


图 2 汽车的目标行驶轨迹

### 3 仿真结果分析

为研究两种转向对四轴重型汽车高速变道行驶时车身横向稳定性的影响,仿真过程中重点以衡量汽车行驶时车身稳定性的车身横摆角、车身横摆角速度、侧向加速度、车身侧倾角为指标参数,通过分析这些参数在车辆高速变道过程中的变化情况,评估四轴重型汽车高速变道行驶的车身横向稳定性。

### 3.1 高附着路面仿真分析

在高附着路面上, 双前轴转向与单前轴转向的车身稳定性参数仿真结果如图 3~6 所示。图 3 为四轴重型汽车在高速变道行驶时车身侧向加速度。在高速变道行驶时, 采用双前轴转向的四轴重型汽车最大车身侧向加速度达到了约  $0.34g$  ( $g \approx 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ), 出现在第二次变道时; 而单前轴转向的四轴重型汽车最大车身侧向加速度约为  $0.28g$ , 出现在第一次变道时。就车身侧向加速度而言, 单前轴转向的车身稳定性显著优于双前轴转向的车身稳定性。

图 4 为四轴重型汽车在高速变道行驶时的车身侧倾角。在高速变道行驶时, 采用双前轴转向的四轴重型汽车与采用单前轴转向相比, 车身侧倾角要稍大一点, 第一次变道时, 车身侧倾角约  $0.05^\circ$ ; 第二次变道时, 车身侧倾角约  $1^\circ$ 。就车身侧倾角而言, 两者之间差异非常小, 可忽略不计。

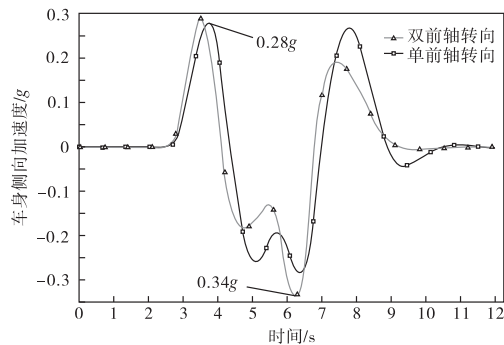


图 3 高附着路面上的车身侧向加速度

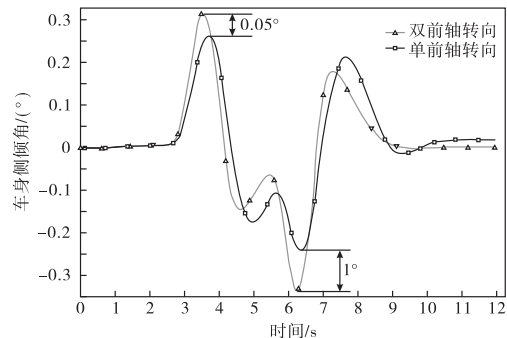


图 4 高附着路面上的车身侧倾角

图 5 为四轴重型汽车在高速变道行驶时的车身横摆角。在高速变道行驶时, 与采用单前轴转向相比, 采用双前轴转向的四轴重型汽车车身横摆角要稍小一点, 第一次变道和第二次变道时, 车身横摆角均约  $1^\circ$ , 差异不显著。

图 6 为四轴重型汽车在高速变道行驶时的车身横摆角速度。在高速变道行驶时, 采用双前轴转向的四轴重型汽车与单前轴转向相比, 其车身横摆角速度变化情况要优于单前轴转向。单前轴转向的车身横摆角速度在第一次转向回正时和第二次转向回正时约比双前轴转向大  $2^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ 。就车身横摆角速度而言, 采用双前轴转向的四轴重型汽车车身稳定性有优势, 但不显著。

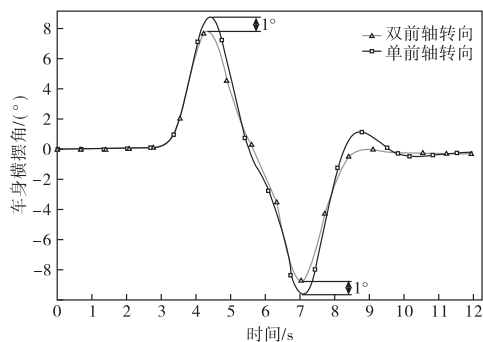


图 5 高附着路面上的车身横摆角

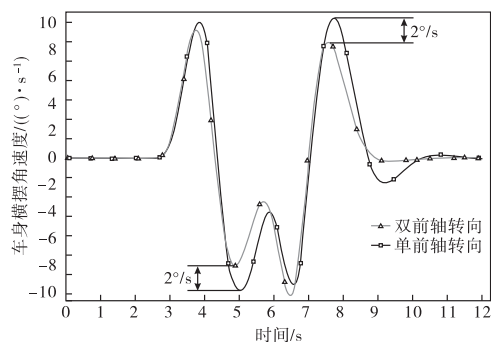


图 6 高附着路面上的车身横摆角速度

### 3.2 低附着路面仿真分析

低附着路面上, 双前轴转向与单前轴转向的车身稳定性参数仿真结果如图 7~10 所示。由图 7~10 可以看出, 四轴重型汽车在低附着路面高速变道行驶时, 单前轴转向的车身侧向加速度、车身侧倾角变化情况要优于双前轴转向, 但不如在高附着路面上行驶时显著; 车身横摆角变化情况, 双前轴转向要优于单前轴转向, 但不显著; 车身横摆角速度数值上, 单前轴转向要优于双前轴转向。由此可见, 就衡量重型汽车高速换道行驶时的车身稳定性评价参数而言, 车身的横摆角、侧倾角与横摆角速度的变化很小, 而侧向加

速度的单位  $g$  较大,故在四轴重型汽车高速变道行驶双移线工况中,单前轴转向的四轴重型汽车保持车身稳定的性能显著优于双前轴转向的四轴重型汽车。

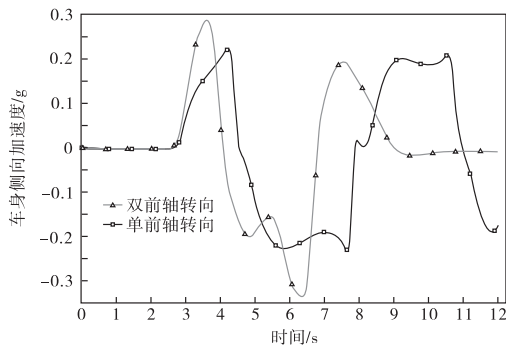


图 7 低附着路面上的车身侧向加速度

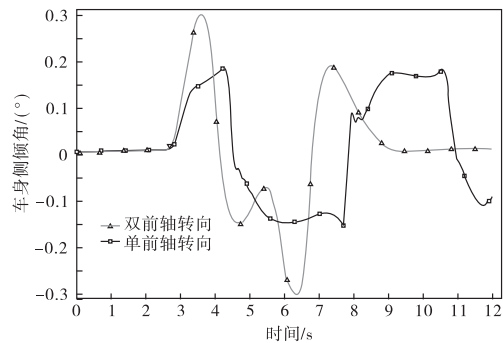


图 8 低附着路面上的车身侧倾角

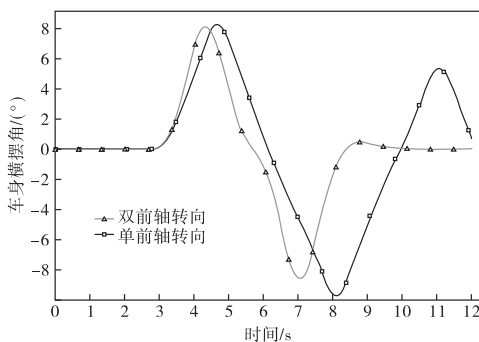


图 9 低附着路面上的车身横摆角

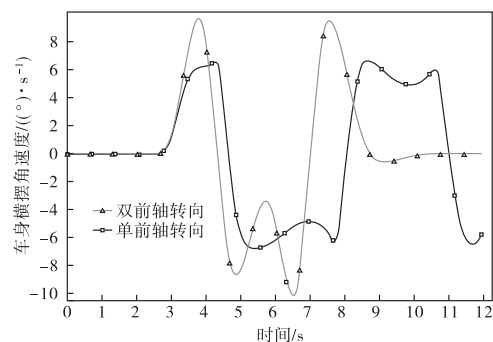


图 10 低附着路面上的车身横摆角速度

### 3.3 车道保持情况仿真分析

重型车辆高速变道行驶时,保持目标车道行驶对于行车安全至关重要。图 11 为四轴重型汽车在高附着道路上高速变道行驶时,车辆行驶轨迹对目标车道的偏移情况。采用单前轴转向时,四轴重型汽车换道行驶至 110 m 时偏离车道较大,向另一车道外侧偏移约 0.2 m,在换回原车道行驶至 160 m 时,又发生了向原车道外侧约 0.2 m 的偏移;而双前轴转向对目标车道的保持效果较好,偏移量非常小。

图 12 为四轴重型汽车在低附着道路上高速变道行驶时,车辆行驶轨迹对目标车道的偏移情况。采用单前轴转向时,四轴重型汽车换道行驶至 130 m 时偏离车道很大,向另一车道外侧偏移约 1 m,在换回原车道行驶至 190 m 时,又发生了向原车道外侧约 2 m 的偏移;而双前轴转向对目标车道的保持效果较好,没有偏移出两个车道。

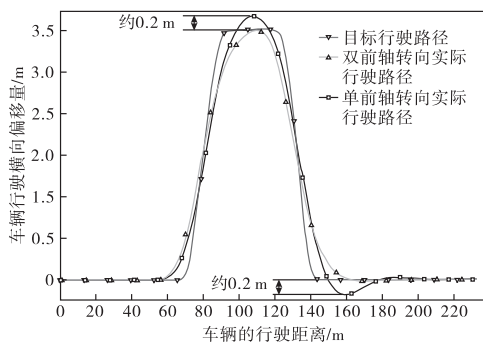


图 11 高附着路面车辆对目标车道的偏移

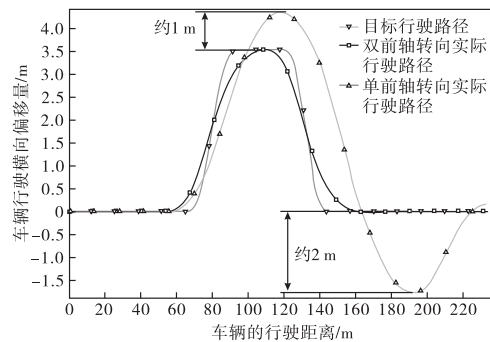


图 12 低附着路面车辆对目标车道的偏移

低附着路面目标车道保持情况的仿真动画演示如图 13 所示,可以看出,单前轴转向的四轴重型汽车已经偏离了车道。结合仿真结果分析可知,四轴重型汽车在高速变道行驶时,采用传统的单前轴转向的车

身稳定性要优于双前轴转向,而此过程中双前轴转向的四轮重型汽车对目标车道保持性能要优于单前轴转向。

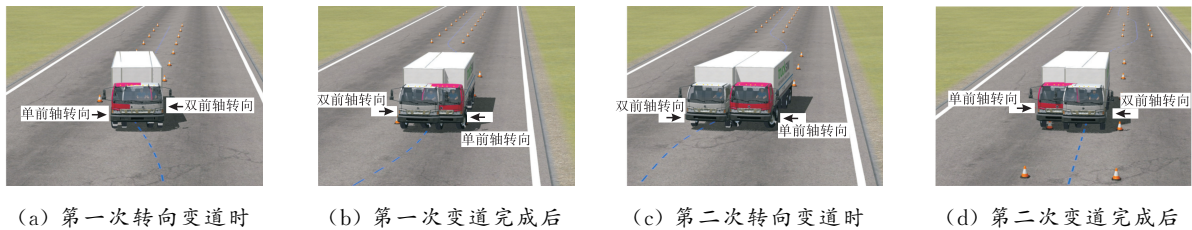


图 13 低附着路面目标车道保持情况的仿真动画演示

车身稳定性参数主要衡量车辆高速换道行驶时,维持自身横向稳定性,不至于发生横向失稳而侧翻的能力。一般认为,行驶中车辆的侧向加速度不超  $0.4g$  时,车身能较好地保持横向稳定性<sup>[14]</sup>。而高速避障行驶时,偏离车道驶入其他车道,会造成与其他车道正常行驶车辆发生碰撞的风险,尤其重型汽车发生碰撞造成的危害更大。在上述的仿真过程中,两种转向时重型汽车的侧向加速度均未达到  $0.4g$ ,可保持高速行驶时车身的横向稳定性;而高速换道行驶时,单前轴转向在附着性较差路面上,重型汽车已偏移到其他车道,给高速安全行驶带来了很大的安全隐患。综上所述,两种转向在高速变道行驶时,双前轴转向的安全性应优于单前轴转向。

#### 4 结论

采用前双轴进行转向的四轴重型汽车在高速变道行驶时,其车身侧倾角、车身横摆角、车身横摆角速度与采用单前轴转向的四轴重型汽车相对比,差异不显著;但在车身侧向加速度方面,单前轴转向的四轴重型汽车却比双前轴转向的四轴重型汽车有优势,路面附着条件好时尤为显著。在高速变道行驶时,四轴重型汽车对行驶车道的保持情况,双前轴转向要显著优于单前轴转向,特别是附着条件差的路面,前单轴转向容易偏离出目标车道,无法按目标车道行驶,安全风险很大。综合考虑,双前轴转向的四轴重型汽车在高速变道行驶时,其安全性优于单前轴转向四轴重型汽车。

#### 参考文献:

- [1] 王印,马相飞,郭志龙,等.商用车双前轴电动转向系统的设计与匹配[J].汽车实用技术,2024,49(17):65-69.
- [2] 刘晓,晋振业,王佳,等.基于3DCS的双前轴商用车转向拉杆关键尺寸识别方法[J].重型汽车,2024(3):21-22.
- [3] 田秋艳,李鹏,田健桥.8×4换电自卸车转向传动系统设计[J].重型汽车,2022(6):20-22.
- [4] 王成志,王云超.双前轴转向机构的运动分析及优化设计[J].汽车安全与节能学报,2019,10(3):300-307.
- [5] 左耘,晁鹏翔.双前轴转向汽车转向动力缸缸径的匹配设计[J].汽车实用技术,2017(18):19-20.
- [6] 孙亚伟,赵华杰,韩梅.双前轴自卸车转向机构的优化[J].汽车实用技术,2017(16):66-68.
- [7] 贾会星.重型汽车转向制动稳定性的仿真研究[J].滨州学院学报,2020,36(6):59-62.
- [8] 贾会星.轮距对重型汽车行驶稳定性影响的仿真研究[J].长春工程学院学报(自然科学版),2021,22(3):35-38.
- [9] 龙佳庆,韦超毅.基于TruckSim的半挂汽车列车转向特性的仿真分析[J].河池学院学报,2016,36(2):79-82.
- [10] 董志圣,田国富,王涛,等.基于TruckSim的重型清障车操纵稳定性分析[J].交通节能与环保,

2019,15(2):21-25.

- [11] 陈静,徐延海,朱鹏兴,等. 基于 Trucksim 整车操纵稳定性影响参数的研究[J]. 郑州大学学报(工学版),2020,41(1):13-19.
- [12] 章雪华,石柏军,李岩. 基于 Trucksim 整车操纵稳定性仿真分析研究[J]. 机械设计与制造工程,2017,46(2):30-34.
- [13] Passenger cars-test track for a severe lane-change manoeuvre-part 2:obstacle avoidance;ISO 3888-2;2011[S]. Geneva:ISO Copyright Office,2011;1-12.
- [14] 余志生. 汽车理论:第 5 版[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

## The impact of the front axle steering mode of four-axis heavy vehicles on high-speed driving stability

JIA Huixing, YANG Zhanglin, YAO Fang

(College of Mechanical and Automotive Engineering, Chuzhou Polytechnic,  
Chuzhou 239000, China)

**Abstract:** A dual lane changing driving model of a four axle heavy-duty vehicle was established using the Trucksim software to simulate the process of emergency lane changing and avoidance before returning to the original driving lane during high-speed driving. The stability parameters of the vehicle body were simulated and analyzed for four axle heavy-duty vehicles with dual front axle steering and single front axle steering. The simulation results show that when a four axle heavy-duty vehicle changes lanes at high speeds, the difference in body roll angle, body yaw angle, and body yaw rate between using traditional single front axle steering and using dual front axle steering is not significant. However, the lateral acceleration of a four axle heavy-duty vehicle using single front axle steering is significantly lower than that using dual front axle steering, especially when the road adhesion conditions are good; four axle heavy-duty vehicles with dual front axle steering can better maintain driving in the target lane and avoid the risk of deviating from the exit lane when changing lanes at high speeds. Therefore, when four axle heavy-duty vehicles change lanes at high speeds, using dual front axle steering is safer.

**Keywords:** four-axle heavy-duty vehicle; driving stability; dual-axle steering; Trucksim; simulation analysis

(责任编辑:王新亮)

**引用格式** 贾会星,杨章林,姚芳. 四轴重型汽车前轴转向模式对高速行驶稳定性的影响[J]. 山东航空学院学报,2025,42(6):61-66.

JIA H X, YANG Z L, YAO F. The impact of the front axle steering mode of four-axis heavy vehicles on high-speed driving stability[J]. Journal of Shandong University of Aeronautics, 2025, 42(6): 61-66.