



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2409185

引用格式:周庆辉,张博宇. 双半挂汽车列车联合控制下高速横向稳定性[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(17): 7365-7372.

Zhou Qinghui, Zhang Boyu. High-speed lateral stability of double semi-trailer trucks train with coordinated control [J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(17): 7365-7372.

# 双半挂汽车列车联合控制下高速横向稳定性

周庆辉<sup>1,2</sup>, 张博宇<sup>1</sup>

(1. 北京建筑大学机电与车辆工程学院, 北京 100044;  
2. 北京市建筑安全监测工程技术研究中心, 北京 100044)

**摘要** 双半挂汽车列车具备较强的运输能力和相对较低的运输成本等优势。然而,与半挂车相比,双半挂汽车列车拥有更多的车辆单元,导致驾驶难度更高且高速横向稳定性更差。针对此问题,提出了模型预测控制(model predictive control, MPC)与差动制动相结合的控制策略。根据 MPC 原理,设计了 MPC 双半挂汽车列车横向稳定性控制器。通过 MPC 控制 3 个车辆单元的横摆力矩,结合差动制动技术从而实现各个车轮制动力的分配。在 Trucksim 搭建了双半挂汽车列车模型且 MATLAB/Simulink 中建立车辆简化模型。通过 Trucksim 与 MATLAB/Simulink 联合仿真,在不同车速、负载、附着系数情况下验证了所设计系统的有效性。研究结果表明:所设计的控制器有效地降低了各车辆单元的质心侧偏角、侧向加速度和横摆角速度等,提高了双半挂汽车列车高速变道时的稳定性。

**关键词** 双半挂汽车列车; 横向稳定性控制; 模型预测控制; 差动制动; 力矩分配

**中图分类号** U469.5; **文献标志码** A

## High-speed Lateral Stability of Double Semi-trailer Trucks Train with Coordinated Control

ZHOU Qing-hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Bo-yu<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical-Electrical and Vehicle Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;  
2. Beijing Engineering Research Center of Monitoring for Construction Safety, Beijing 100044, China)

**[Abstract]** The double semi-trailer truck train has strong transportation capacity and relatively low transportation costs. However, compared to semi-trailers, double semi-trailer truck train has more vehicle units, resulting in higher driving difficulty and lower lateral stability at high speeds. To address this issue, a control strategy combining model predictive control (MPC) with differential braking was proposed. Based on the principles of MPC, an MPC lateral stability controller for double semi-trailer truck trains has been designed. MPC regulates the yaw moments of three vehicle units, with differential braking technology dynamically allocating braking forces to individual wheels. The double semi-trailer truck train model has been built in Trucksim, and a simplified vehicle model has been established in MATLAB/Simulink. Through joint simulation of Trucksim and MATLAB/Simulink, the effectiveness of the designed system was verified under different vehicle speeds, loads, and friction coefficients. The research results indicate that the designed controller effectively reduces the centroid yaw angle, lateral acceleration, and yaw rate of each vehicle unit, thereby enhancing the stability of double semi-trailer truck train during high-speed lane changes.

**[Keywords]** double semi-trailer truck train; lateral stability control; model predictive control; differential braking; torque distribution

随着中国经济和物流行业的快速发展,目前所使用的货车已无法满足发展需要,急需引入新型货运车辆。双半挂汽车列车由于具有较好的运输能力、运输成本较低及节约能耗等特点,逐渐成为公路运输领域的主流选择<sup>[1]</sup>。经过欧洲多国家长期实践,目前提出了 3 种双半挂汽车列车形式<sup>[2]</sup>,即 A-double(半挂车加中置轴挂车)、B-double(牵引

车、带有铰接点的挂车加普通挂车)、C-double(牵引车、一挂车、拖台加二挂车)。欧洲主要进行了超长列车性能测试,总长度可达 30 m 以上<sup>[3]</sup>,但由于国内外对于上路车辆的限制不同,欧洲车辆在国内并不适用。国内为了更好地发展长重型汽车列车,2016 年 7 月,中国工业和信息化部发布《汽车、挂车及汽车列车外廓尺寸、轴荷及质量限值》(GB

收稿日期:2024-12-10 修订日期:2025-03-26

基金项目:住房和城乡建设部科学技术计划(2022-K-079);北京建筑大学研究生创新项目(双半挂横向稳定性研究)

第一作者:周庆辉(1973—),男,汉族,山东济南人,博士,教授。研究方向:车辆智能控制技术。E-mail:zhouqinghui@bucea.edu.cn。

1589—2016),该标准取消了车辆长度与最大总质量之间的限制,并放宽了车辆宽度的规定。此外,该标准还引入了中置轴货运挂车及其他新车型<sup>[4]</sup>;2022年前后,中国上汽红岩和吉利远程先后发布了“双挂列车”的产品,为双半挂汽车列车在国内的使用奠定了基础。

双半挂汽车列车由于负载重,尺寸长及车辆单元之间的耦合作用等因素,使其驾驶难度提高,容易发生严重交通事故<sup>[5]</sup>。因此双半挂汽车列车的高速行驶稳定性问题亟待解决。

目前,针对双半挂汽车列车的结构优化以确保其横向稳定性的研究已经相对成熟<sup>[6-9]</sup>。研究表明,不同结构的双半挂汽车列车在横向稳定性方面表现各异。Wang等<sup>[6]</sup>研究验证了通过适当增加后桥车身质量、提升轮胎侧偏刚度、后移质心以及前移铰接点,可以有效增大不足转向梯度,从而改善车辆在行驶过程中的横向稳定性。张义花等<sup>[7]</sup>总结了结构参数和使用参数以及各种主动控制策略对双半挂汽车列车横向稳定性的影响。基于此,为了进一步提升高速行驶时的横向稳定性,可以采用不同的控制策略。

应用于双半挂汽车列车的控制策略主要包括主动转向和差动制动等<sup>[10-12]</sup>。与主动转向相比,差动制动具有结构简单、成本更低的优势,且能够更直接有效地改善车辆的横向稳定性<sup>[13]</sup>。

然而,双半挂汽车列车作为一个复杂的非线性动力学系统,受到外部扰动和车辆状态等多种因素的影响<sup>[14]</sup>。因此,准确获取附加横摆力矩既具有挑战性又至关重要,而不同算法在横摆力矩的获取上效果各异。目前,应用于双半挂汽车列车的控制算法主要包括比例-积分-微分(proportion-integration-differentiation, PID)、线性二次型调节控制(linear quadratic regulation, LQR)和模型预测控制(model predictive control, MPC)等<sup>[10-12,15]</sup>。与其他算法相比, MPC 算法通过优化未来的控制动作<sup>[16]</sup>,能够有效应对多变量约束系统,使得外部扰动等不确定因素能够得到及时调整,从而实现更优的控制效果<sup>[17]</sup>。

基于此,现提出一种结合模型预测控制(MPC)算法与差动制动的双半挂汽车列车横向稳定性控制方法。该方法通过 MPC 控制器计算得到的横摆力矩,利用差动制动技术对牵引车和挂车的车轮施加制动力,从而有效提升高速行驶时的稳定性。

## 1 车辆动力学

B-double 汽车列车作为双挂汽车的一种,它由牵引车和两辆半挂车组成,各车辆单元通过鞍座进

行铰接。如图 1 所示,参数如表 1 所示。

B-double 汽车列车是多单元系统,内部存在复杂的约束关系<sup>[18]</sup>。为便于研究,做出以下假设。

- (1) 车轴的左右两侧车轮组等效为单个车轮。
- (2) 牵引车与挂车,挂车与挂车间铰接角小。
- (3) 侧倾和俯仰很小。
- (4) 将牵引车前轮转角作为动力学输入。

简化图如图 2 所示。

对牵引车进行受力分析,表达式为

$$\begin{cases} ma_y = F_{cf} + F_{cr} - F_1 \\ I_z \dot{r} = aF_{cf} - cF_{cr} + bF_1 \end{cases} \quad (1)$$

同理,将第一、二节半挂车分别进行受力分析,表达式为

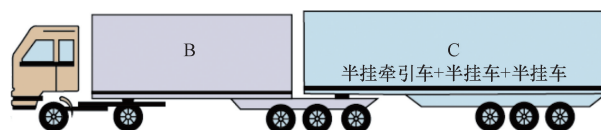


图 1 B-double 汽车列车侧视图  
Fig. 1 B-double truck train side view

表 1 车辆参数

Table 1 Vehicle parameters

名称	数值
牵引车长度/mm	6 440
一挂车长度/mm	9 060
二挂车长度/mm	12 176
总长/mm	21 974
牵引车重/t	8.4
一挂车空载/t	7.5
一挂车满载/t	25.3
二挂车空载/t	7.5
二挂车满载/t	25.3
牵引车转动惯量/(kg·m <sup>2</sup> )	43 996
一挂车空载转动惯量/(kg·m <sup>2</sup> )	107 400
一挂车满载转动惯量/(kg·m <sup>2</sup> )	760 280
二挂车空载转动惯量/(kg·m <sup>2</sup> )	107 400
二挂车满载转动惯量/(kg·m <sup>2</sup> )	760 280

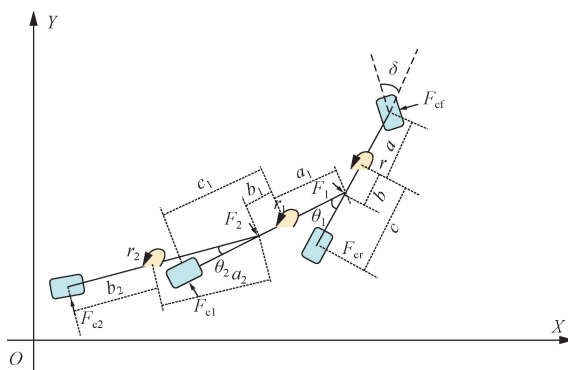


图 2 B-double 汽车列车简化示意图  
Fig. 2 B-double truck train simplified diagram



在 MPC 控制器中,目标函数的设计是为了在每个时间步长上优化控制器的决策,并使实际值与参考值之间的偏差尽可能小。目标函数表达式为

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} \left\| \mathbf{Y}_p(k+i) - \mathbf{Y}(k+i) \right\|_Q^2 + \sum_{i=0}^{N_c-1} \left\| \Delta \mathbf{U}(k+i) \right\|_R^2 + \rho \varepsilon^2 \quad (9)$$

式(9)中:  $N_p$  为预测时域;  $N_c$  为控制时域;  $\mathbf{Y}_p$  为参考输出;  $\mathbf{Y}$  为实际输出;  $\Delta \mathbf{U}$  为控制增量;  $Q, R, \rho$  分别为状态误差、控制增量和松弛因子的权重系数;  $\varepsilon$  为松弛因子。

对于控制量的约束,通过设置最大限制,确保生成的控制量不会超过车辆物理限制。对于控制增量的约束,目的是限制控制信号的变化幅度,以确保平滑的控制操作和防止过度调整。

$$|U_{k+i}| \leq U_{\max}, i = 0, 1, 2, \dots, N_c - 1 \quad (10)$$

$$|\Delta U_{k+i}| \leq \Delta U_{\max}, i = 0, 1, 2, \dots, N_c - 1 \quad (11)$$

$$|Y_{k+i}| \leq Y_{\max} + \varepsilon I_{N_p \times 1}, i = 0, 1, 2, \dots, N_p \quad (12)$$

式中:  $U_{\max}$  为控制量的最大值;  $\Delta U_{\max}$  为控制增量的最大值;  $Y_{\max}$  为输出量的最大值。

### 2.3 下层控制器设计

为简化计算,各车辆单元单侧同轴的轮胎简化为单个轮胎,则各车辆单元的轮胎制动力矩为

$$T_{1l} = T_{1r} = \frac{2M_1 l_1}{d_1} \quad (13)$$

$$T_{2l} = T_{2r} = T_{3l} = T_{3r} = \frac{M_1 l_2}{d_2} \quad (14)$$

$$T_{ml} = T_{mr} = \frac{2M_2 l_3}{3d_3}, m = 4, 5, 6 \quad (15)$$

$$T_{nl} = T_{nr} = \frac{2M_3 l_4}{3d_4}, n = 7, 8, 9 \quad (16)$$

式中:  $T_{ik} (i = 1, 2, \dots, 9; k = l, r)$  分别为牵引车前轴,后轴及一、二节挂车各轴的制动力矩;  $l_1, l_2, l_3, l_4$  分别为牵引车前轴,后轴及一、二节挂车轴的轮胎半径;  $d_1, d_2, d_3, d_4$  分别为牵引车前轴,后轴及一、二节挂车的各轴轮距。其制动简化图如图 4 所示。

对于目标制动车轮的选择,主要由双半挂汽车列车的实际横摆角速度与期望横摆角速度决定。如表 2 所示。其中,以逆时针方向为正方向。

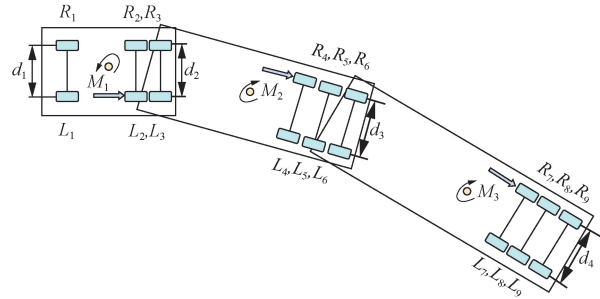


图 4 制动简化图

Fig. 4 Brake simplified diagram

### 3 仿真验证

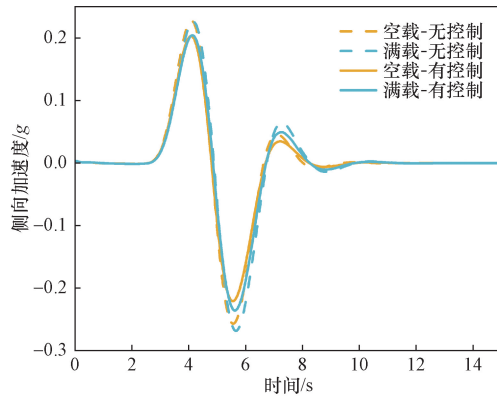
为了验证上述设计模型的有效性,在 Trucksim 中建立了非线性车辆模型,与 MATLAB/Simulink 进行联合仿真。环境因素(如天气等)的变化会影响路面的附着系数,同时随着载重的增加,双半挂汽车列车的横向控制能力会有所下降。因此,设置两种工况,工况一:附着系数  $\mu$  为 0.85、车速  $v$  为 100 km/h; 工况二:附着系数为 0.5、车速为 88 km/h。并在两种工况下分别对空载、满载两种载重进行单移线工况测试。仿真结果如图 5 ~ 图 10 所示,其中最大侧向加速度,最大横摆角速度,最大质心偏转角的绝对值  $a_{yi, \max}, r_{i \max}, \beta_{i \max} (i = 1, 2, 3)$ , 如表 3 与表 4 所示。

表 2 目标车轮的选择

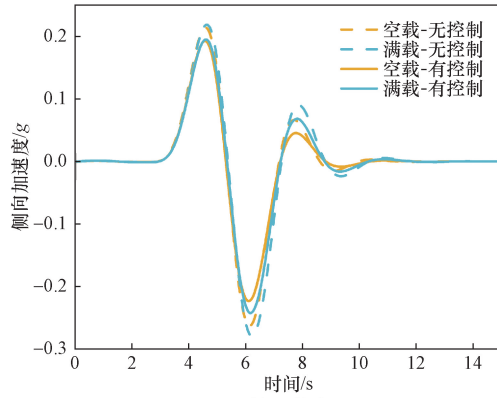
Table 2 Selection of target wheels

$r_{i\_ref}$	$r_i$	$r_i - r_{i\_ref}$	$M_i$	制动车轮		
				牵引车	一挂	二挂
逆时针	逆	+	顺	$R_1$	$R_4, R_5, R_6$	$R_7, R_8, R_9$
	逆	-	逆	$L_2, L_3$	$L_4, L_5, L_6$	$L_7, L_8, L_9$
	顺	-	逆	$L_1$	$L_4, L_5, L_6$	$L_7, L_8, L_9$
	0	-	逆	$L_2, L_3$	$L_4, L_5, L_6$	$L_7, L_8, L_9$
顺时针	顺	+	逆	$L_1$	$L_4, L_5, L_6$	$L_7, L_8, L_9$
	顺	-	顺	$R_2, R_3$	$R_4, R_5, R_6$	$R_7, R_8, R_9$
	逆	+	顺	$R_1$	$R_4, R_5, R_6$	$R_7, R_8, R_9$
	0	+	顺	$R_2, R_3$	$R_4, R_5, R_6$	$R_7, R_8, R_9$
0	顺	-	逆	$L_1$	$L_4, L_5, L_6$	$L_7, L_8, L_9$
	逆	+	顺	$R_2, R_3$	$R_4, R_5, R_6$	$R_7, R_8, R_9$

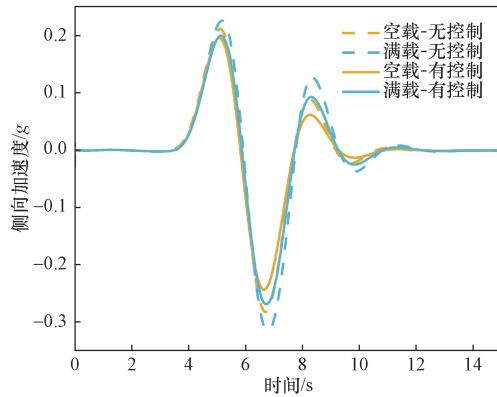
注:  $r_{i\_ref}, r_i, M_i (i = 1, 2, 3)$  分别为各车辆单元的参考横摆角速度、实际横摆角速度及横摆力矩方向;  $L_i (i = 1, 2, \dots, 9), R_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  分别为各轴的左右侧轮胎。



(a) 牵引车



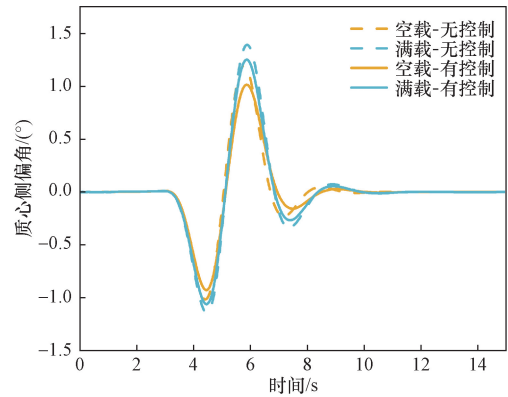
(b) 一挂车



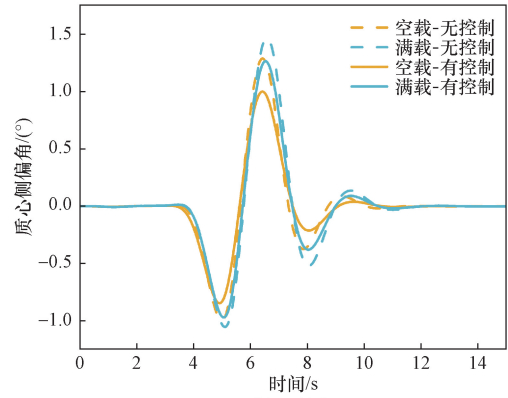
(c) 二挂车

图5 侧向加速度

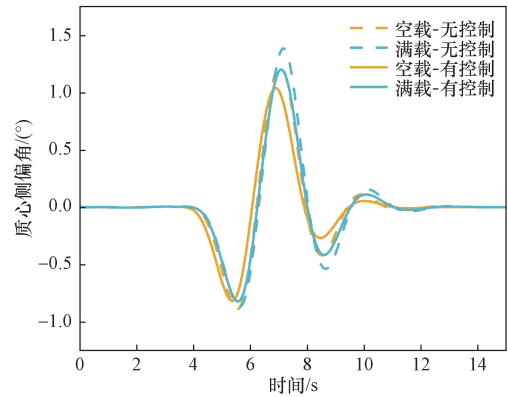
Fig. 5 Lateral acceleration



(a) 牵引车



(b) 一挂车



(c) 二挂车

图6 质心侧偏角

Fig. 6 Sideslip angle of center of mass

表3 工况一仿真结果

Table 3 Simulation results of operating condition 1

$v = 100 \text{ km/h}$ $\mu = 0.85$	满载		空载	
	无控制	有控制	无控制	有控制
$a_{y1}$	0.258	0.236	0.255	0.221
$a_{yi, \max}/g$	$a_{y2}$	0.280	0.242	0.263
	$a_{y3}$	0.334	0.268	0.291
	$r_1$	7.304	6.366	6.923
$r_{i \max}/$ $[(^\circ) \cdot \text{s}^{-1}]$	$r_2$	7.848	6.653	7.224
	$r_3$	8.232	6.919	7.424
	$\beta_1$	1.393	1.252	1.194
$\beta_{i \max}/(^\circ)$	$\beta_2$	1.474	1.267	1.270
	$\beta_3$	1.385	1.202	1.238

表4 工况二仿真结果

Table 4 Simulation results of operating condition 2

$v = 88 \text{ km/h}$ $\mu = 0.5$	满载		空载	
	无控制	有控制	无控制	有控制
$a_{y1}$	0.213	0.196	0.203	0.180
$a_{yi, \max}/g$	$a_{y2}$	0.223	0.192	0.208
	$a_{y3}$	0.244	0.209	0.217
	$r_1$	6.513	5.676	6.019
$r_{i \max}/$ $[(^\circ) \cdot \text{s}^{-1}]$	$r_2$	6.553	5.668	6.003
	$r_3$	6.596	5.663	6.083
	$\beta_1$	1.086	0.954	0.881
$\beta_{i \max}/(^\circ)$	$\beta_2$	1.001	0.853	0.888
	$\beta_3$	0.829	0.714	0.785

### 3.1 工况一仿真分析

与无控制情况下相比,所提出的控制方法能够有效降低车辆的最大侧向加速度、最大横摆角速度以及最大质心偏转角的绝对值。由于牵引部分本身较为稳定,因此其控制效果相对较弱。第一节半挂车居中,而第二节半挂车的控制效果则显得尤为明显。与满载状态相比,空载时车辆的稳定性更好,3个车辆单元的最大侧向加速度、最大横摆角速度和最大质心偏转角的绝对值均较低。

如图5~图7和表3所示,满载时,3个车辆单元的最大侧向加速度降幅分别为8.74%、13.38%和19.86%;最大横摆角速度降幅分别为12.85%、15.23%和15.96%;最大质心偏转角降幅分别为10.07%、

14.05%和13.25%。空载时,3个车辆单元的最大侧向加速度降幅分别为13.40%、15.14%和16.79%;最大横摆角速度降幅分别为4.62%、11.04%和12.18%;最大质心偏转角降幅分别为15.41%、16.02%和19.17%。

### 3.2 工况二仿真分析

对于双半挂汽车列车而言,在恶劣天气条件下进行高速变道极具危险性,容易引发瞬态侧翻等事故。这主要是因为湿滑的路面会降低路面的附着系数,从而降低车辆的稳定性。因此,解决恶劣天气条件下的高速变道问题显得尤为重要,以确保车辆的稳定性和人员的安全。工况二的仿真结果表明,所提出的控制方法在改善这一问题方面具有显著效果。

如图8~图10和表4所示,满载时,3个车辆单

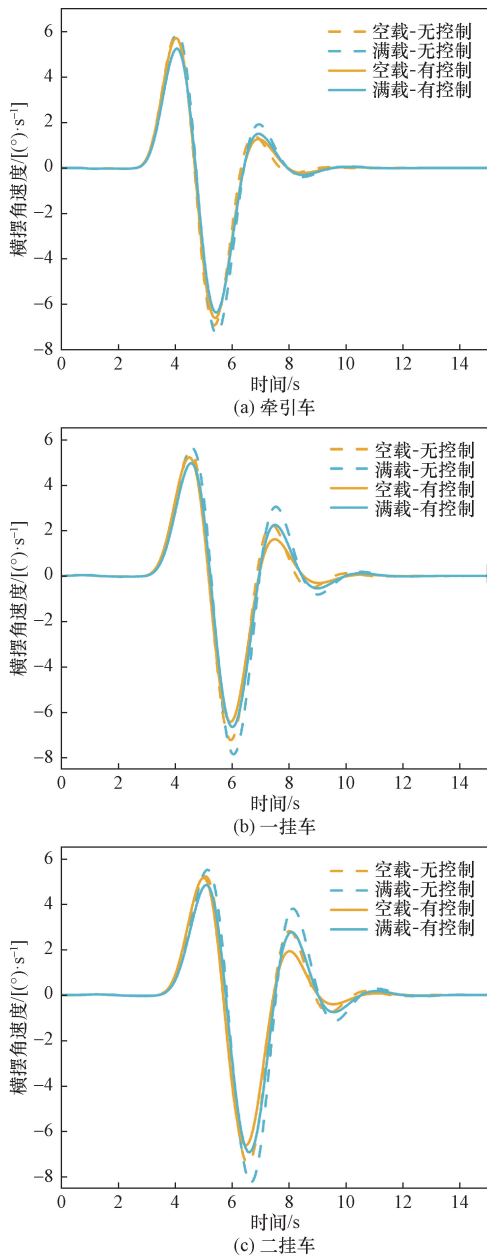


图7 横摆角速度  
Fig. 7 Yaw rates

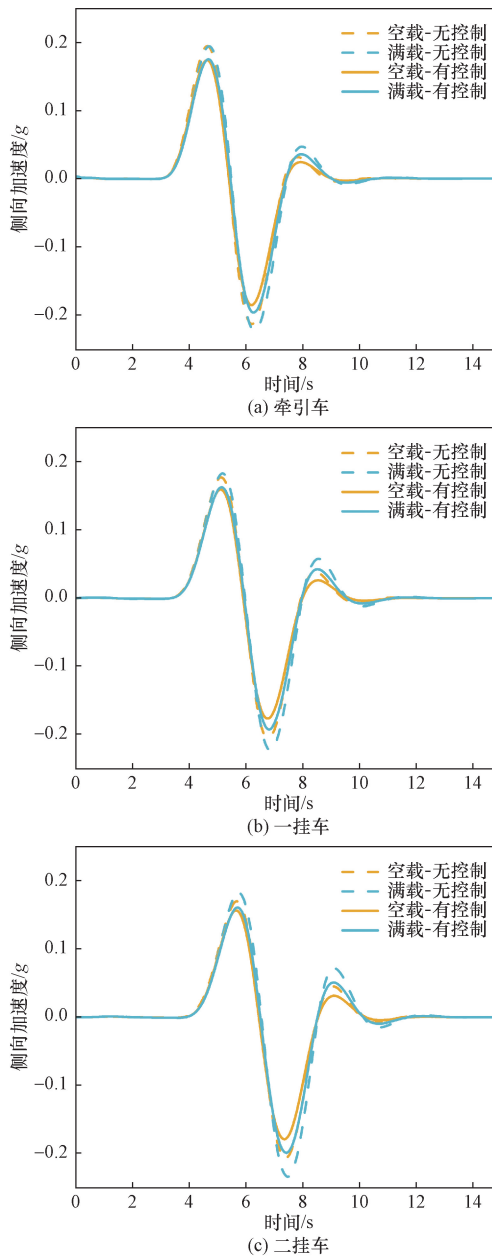


图8 侧向加速度  
Fig. 8 Lateral acceleration

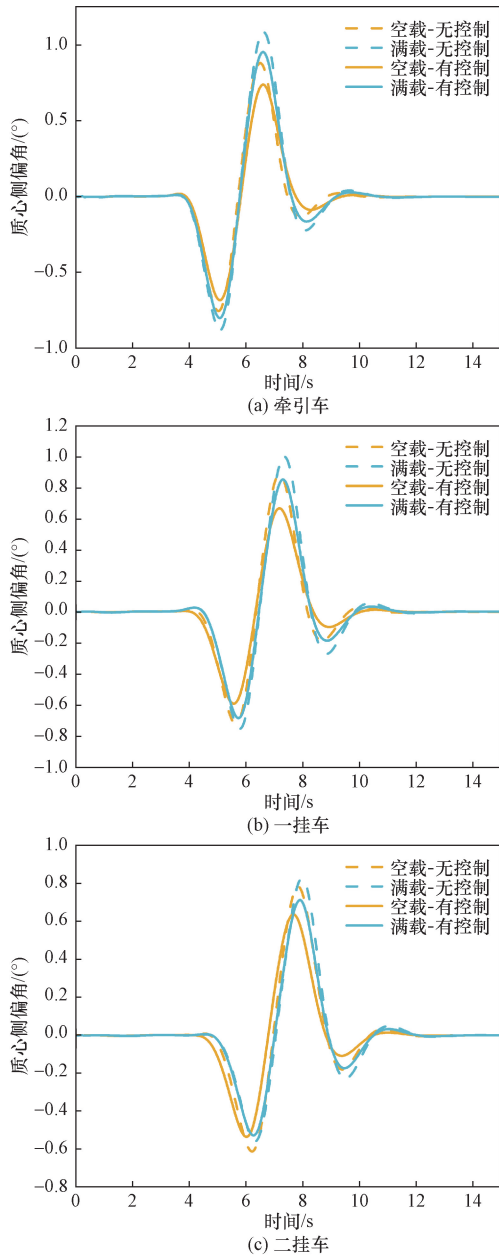


图9 质心侧偏角

Fig. 9 Sideslip angle of center of mass

元的最大侧向加速度降幅分别为 7.78%、13.90% 和 14.41% ;最大横摆角速度降幅分别为 12.85%、13.51% 和 14.14% ;最大质心偏转角降幅分别为 12.19%、14.77% 和 13.95%。空载时,3 个车辆单元的最大侧向加速度降幅分别为 11.15%、12.03% 和 12.85% ;最大横摆角速度降幅分别为 3.42%、9.28% 和 11.59% ;最大质心偏转角降幅分别为 19.57%、16.11% 和 18.69%。

### 4 结论

针对双半挂汽车列车车辆单元多,负载大,尺寸长等特点,综合考虑 MPC 与差动制动的控制策

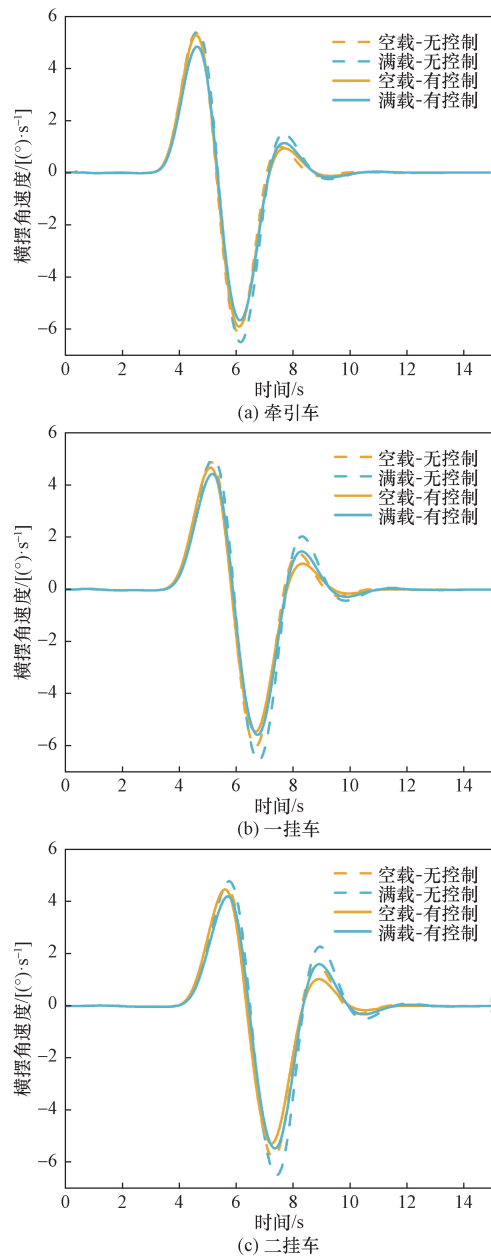


图10 横摆角速度

Fig. 10 Yaw rates

略,分析了在参数不确定条件下双半挂汽车列车高速变道过程中的横向稳定性控制问题。在单移线变道工况下,以不同负载、车速和附着系数在 MATLAB/Trucksim 下联合仿真。有如下结论。

(1)所设计的控制器在不同速度和附着系数的工况下均表现出良好的控制效果,能够有效保持双半挂汽车列车在高速变道时的横向稳定性。

(2)所设计的控制器在变道过程中有效抑制了因双半挂汽车列车重量变化引起的横向失稳,表现出较强的应对车辆重量变化的鲁棒性,可以作为双半挂汽车列车横向稳定性控制的有效方法。

参 考 文 献

- [1] 林武, 李强, 张皓, 等. 模块化的双挂汽车列车研究[J]. 专用汽车, 2024(3): 55-58.  
Lin Wu, Li Qiang, Zhang Hao, et al. Modular double-trailer truck research[J]. Special Purpose Vehicle, 2024(3): 55-58.
- [2] Aurell J, Koppenaal J. Simplified procedure for determining lateral stability of heavy vehicle combinations[C]//5th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions. Maroochydore: IEEE, 1998: 130-147.
- [3] Zhu S, He Y. A unified lateral preview driver model for road vehicles[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2019, 21(11): 4858-4868.
- [4] 中国国家标准化管理委员会. 《汽车、挂车及汽车列车外廓尺寸、轴荷及质量限值》: GB 1589—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.  
Standardization Administration of the People's Repub. Limits of dimensions, axle load and masses for motor vehicles, trailers and combination vehicles; GB 1589—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 20016.
- [5] 李道飞, 查安飞, 徐彪, 等. 半挂汽车列车紧急避撞轨迹跟踪控制算法[J]. 汽车工程, 2022, 44(7): 1098-1106, 1115.  
Li Daofei, Cha Anfei, Xu Biao, et al. Trajectory tracking control algorithm of emergency collision avoidance for tractor semi-trailer combination[J]. Automotive Engineering, 2022, 44(7): 1098-1106, 1115.
- [6] Wang G, Xu H, Liu H. Study on directional stability of B-double vehicle combination[J]. IEEE Access, 2018, 6: 77624-77633.
- [7] 张义花, 许洪国, 刘宏飞, 等. 双挂汽车列车操纵稳定性评价指标研究[J]. 中国公路学报, 2017, 30(5): 145-151.  
Zhang Yihua, Xu Hongguo, Liu Hongfei, et al. Research on the evaluation index of handling stability of tractor and double trailer combination[J]. China Journal of Highway and Transport, 2017, 30(5): 145-151.
- [8] Chen Y, Peterson A, Zhang C, et al. A simulation-based comparative study on lateral characteristics of trucks with double and triple trailers[J]. International Journal of Vehicle Safety, 2019, 11(2): 136-158.
- [9] Li Y, Zhang H, Zhang H, et al. Simulation analysis of steering wheel angle step input double-trailer combination handling stability[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1626(1): 012132.
- [10] Sikder T, Kapoor S, Zhou Q, et al. An active trailer steering design for long combination vehicles[J]. Mechanics Based Design of Structures and Machines, 2024(9): 1-34.
- [11] 赵侃, 屈怀琨, 全煜坤, 等. 双挂汽车列车横向稳定性控制策略[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2024, 30(4): 581-594.  
Zhao Kan, Qu Huaikun, Quan Yukun, et al. Control strategy of lateral stability for double trailer trains[J]. Journal of Shanghai University(Natural Science Edition), 2024, 30(4): 581-594.
- [12] 曹艺凡, 邓召文, 高伟, 等. 基于硬件在环的双挂汽车列车高速横向稳定性控制研究[J]. 现代制造工程, 2024(3): 79-88.  
Cao Yifan, Deng Zhaowen, Gao Wei, et al. Research on high speed lateral stability control of double-truck train based on hardware-in-the-loop[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2024(3): 79-88.
- [13] Wu J, Cheng S, Liu B, et al. A human-machine-cooperative-driving controller based on AFS and DYC for vehicle dynamic stability[J]. Energies, 2017, 10(11): 1737.
- [14] 徐晓美, 王雨婷, 蔡浩浩. 基于 MPC 的半挂汽车列车高速变道稳定性研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2023, 42(2): 136-143.  
Xu Xiaomei, Wang Yuting, Cai Haohao, et al. High-speed lane-change stability of the tractor-semitrailer based on the model predictive control[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science), 2023, 42(2): 136-143.
- [15] Han S, Yoon K, Park G, et al. Robust lane keeping control for tractor with multi-unit trailer under parametric uncertainty[J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2024, 9(1): 2333-2347.
- [16] 张昊, 李擎. 微型货车高速转弯的改进模型预测防侧翻控制[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(19): 8264-8272.  
Zhang Hao, Li Qing. Improved model predictive anti-rollover control for high-speed turning of minivan[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(19): 8264-8272.
- [17] 刘溯奇, 王刚, 安伟彪, 等. 基于变预测时域的电动汽车轨迹跟踪控制[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(17): 7348-7354.  
Liu Suqi, Wang Gang, An Weibiao, et al. Trajectory tracking based on the varied prediction domain[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(17): 7348-7354.
- [18] 王郭俊. 双半挂汽车列车横向动力学仿真及模拟试验的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.  
Wang Guojun. Research on lateral dynamics simulation and simulation test of B-double vehicle combination[D]. Changchun: Jilin University, 2019.