

半挂牵引车悬架转向系统干涉模型及运动学分析*

劳孟潇¹, 张渤¹, 郝新刚^{1,2}, 侯嘉晖¹, 张瀚文¹, 陈泽宇¹

(1. 东北大学 机械工程与自动化学院车辆工程研究所, 辽宁 沈阳 110819;

2. 北汽福田汽车股份有限公司 工程研究总院, 北京 102200)

摘要: 半挂牵引车制动时悬架系统与转向系统存在干涉而引发制动时跑偏是共性问题, 严重影响车辆高速制动时的稳定性与安全性。机构运动学分析是检验干涉并进行结构优化的重要手段。文中建立悬架与转向系统的干涉空间数学模型, 研究不同制动强度下悬架跳动量与纵扭角度的变化规律, 得到转向直拉杆与转向节臂球销中心的运动轨迹运动学模型, 进而通过对比转向杆系修正前后转向直拉杆与转向节臂球销中心的空间位置关系揭示干涉的发生过程, 阐明转向节臂等关键部件的尺寸对跑偏的影响。

关键词: 汽车; 半挂牵引车; 制动跑偏; 悬架系统; 转向系统; 干涉模型; 运动学分析

中图分类号: U469.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)01-0001-04

半挂牵引车是一种常见的由前置驱动车头与挂车组成的载货商用车, 其悬挂系统多为后置转向梯形与纵置钢板弹簧结构, 紧急制动时, 由于钢板弹簧变形, 转向传动机构与悬架系统极易发生干涉, 致使车辆跑偏。针对转向系统与悬挂系统干涉问题, 李玉明等建立悬架与转向系统空间模型, 将转向节臂球销中心随悬架的跳动与转向直拉杆末端绕转向摇臂球销中心的运动置于同一平面分析干涉问题; 古玉峰等提出空间模型对悬架跳动所致的干涉进行了讨论。该文基于悬架转向空间模型, 引入悬架纵扭量, 分析干涉产生的原因, 进而利用现有车型对悬架跳动和纵扭所致的转向系统杆件的运动轨迹进行建模, 得到转向系杆件在紧急制动时的运动学轨迹, 通过仿真分析关键部件的结构尺寸对跑偏结果的影响并探讨减小制动跑偏的设计方法。

1 干涉机理分析

半挂牵引车制动时, 前轴载荷增加, 导致悬架被压缩, 由于钢板弹簧前端是固定端, 后端是游离端, 钢板弹簧安装点向半挂牵引车后上方摆动, 并带动前桥与转向节臂以相同轨迹运动, 采用圆弧近似算法(简称 SAE 圆弧)加以描述, 结果见图 1(a)实线轨迹。由于转向直拉杆长度不变, 转向节臂通过球销与转向直拉杆相连, 转向节臂球销中心必然做以

转向摇臂球销中心为圆心、转向直拉杆长度为半径的球面运动[见图 1(a)中虚线轨迹]。这两种运动轨迹不完全重合, 转向节将绕主销偏转一定角度, 使转向节臂固定端依然为虚线轨迹, 转向节臂球销中心为实线轨迹, 从而导致车轮偏转, 发生制动跑偏。而且随着半挂牵引车制动强度的不断增加, 两种轨迹在空间中的距离越来越远, 干涉越来越严重。

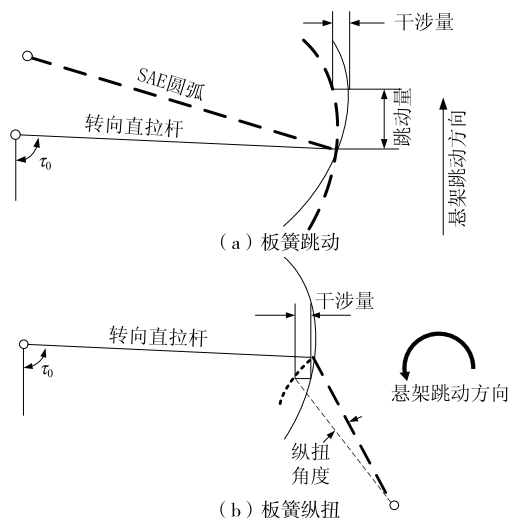


图 1 板簧跳动与纵扭所致干涉原理示意图

紧急制动时, 板簧同时会受到一个制动力矩的作用, 产生 S 形变形, 使前桥向前扭转一个角度。转向节臂本应随前桥扭转产生相应移动[见图 1(b)虚

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51977029); 汽车仿真与控制国家重点实验室开放基金项目(20161106); 中央高校基本科研业务专项资金资助项目(N2003002)

线轨迹],但由于转向节臂与直拉杆相连,转向直拉杆长度不变,从而使转向节臂产生相对于主销的转动,这是引起转向轮转动与汽车跑偏的重要原因。

2 干涉问题的数学模型

基于上述分析建立悬架转向系统干涉模型。以转向摇臂固定端为坐标原点 A 、车辆行进方向为 X 轴正方向、车的左侧为 Y 轴正方向、垂直于地面向上为 Z 轴正方向建立空间坐标系,得到空间几何模型(见图2)。

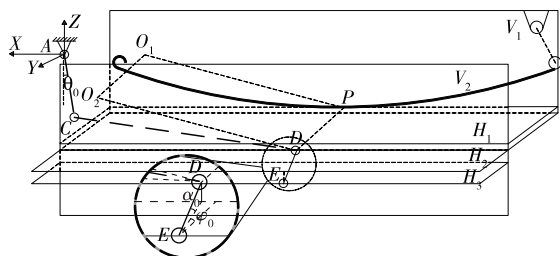


图2 悬挂转向系统空间几何模型

由于板簧跳动导致的干涉与板簧纵扭导致的干涉互不影响,将两种干涉的具体过程分开建模。两种干涉的产生均是由于转向节臂球销中心随板簧变形的运动轨迹与绕转向摇臂球销中心转动的运动轨迹不重合。为区分上述两种运动轨迹,在两种干涉的建模过程中以转向节臂球销中心的坐标来表示随板簧变形的运动轨迹,以转向直拉杆末端坐标来表示绕转向摇臂球销中心的运动轨迹,而在制动过程中,随着制动强度的变化,上述两点的坐标也相应发生变化。

2.1 板簧跳动轨迹运动学模型

转向节臂球销中心随板簧跳动的运动轨迹方程如下:

$$\begin{cases} (x-x_{O_2})^2+(y-y_{O_2})^2+(z-z_{O_2})^2=\overline{O_1P^2} \\ y=y_{O_2} \end{cases} \quad (1)$$

将制动强度为 z 时的悬架跳动量代入式(1),即可求得该制动强度下转向节臂球销中心坐标 $I(x_I, y_I, z_I)$ 。

转向直拉杆末端绕转向摇臂球销中心转动的球面轨迹为:

$$\begin{aligned} (x-x_C)^2+(y-y_C)^2+(z-z_C)^2= \\ (x_D-x_C)^2+(y_D-y_C)^2+(z_D-z_C)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

将制动强度为 z 时的悬架跳动量代入式(2),即可求得该制动强度下转向直拉杆末端绕转向摇臂球销中心运动的圆弧轨迹:

$$\begin{aligned} (x-x_C)^2+(y-y_C)^2 &= (x_D-x_C)^2+ \\ & (y_D-y_C)^2+(z_D-z_C)^2-(z_D+ \\ & \Delta F_z/(2k)-z_C)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $\Delta F_z/(2k)$ 为悬架跳动量。

转向直拉杆末端在该制动强度下绕转向节臂固定端转动的圆弧轨迹为:

$$(x-x'_E)^2+(y-y'_E)^2=J^2(\cos\alpha)^2 \quad (4)$$

式中: E' 点为转向直拉杆末端; J 为转向节臂长; α 为转向节臂水平转角。

联立式(3)、式(4),即可求得制动强度 z 下转向直拉杆末端坐标 $U(x_U, y_U, z_U)$ 。

2.2 板簧纵扭轨迹运动学模型

设制动强度 z 下板簧的纵扭转角为 β , 此时转向节臂固定端坐标为:

$$\begin{aligned} x''_E &= x_E + N \sin\beta \\ y''_E &= y_E \\ z''_E &= z_E - N + N \cos\beta \end{aligned} \quad (5)$$

式中: N 为转向节臂固定端距其纵扭旋转中心的距离; E'' 点为纵扭后转向节臂固定端。

又因在随板簧变形的运动过程中,若不考虑转向直拉杆的影响,转向节臂球销中心与转向节臂固定端的相对位置不会发生改变,此时转向节臂球销中心坐标 $I'(x'_I, y'_I, z'_I)$ 为:

$$\begin{aligned} x'_I &= x''_E + J \cos\alpha \sin\varphi \cos\beta + J \sin\alpha \sin\beta \\ y'_I &= y''_E - J \cos\alpha \cos\varphi \\ z'_I &= z''_E - J \cos\alpha \sin\varphi \sin\beta + J \sin\alpha \cos\beta \end{aligned} \quad (6)$$

式中: φ 为转向节臂垂向转角。

转向直拉杆末端在制动强度 z 下绕转向节臂固定端转动的圆弧轨迹为:

$$\begin{cases} (x-x''_E)^2+(y-y''_E)^2+(z-z''_E)^2=J^2 \\ N \sin\beta(x-x'_I) + N \cos\beta(z-z'_I) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

联立式(2)、式(7),即可求得制动强度 z 下转向直拉杆末端坐标 $U'(x'_U, y'_U, z'_U)$ 。

3 运动学分析

基于上述干涉模型,对该车转向直拉杆末端及转向节臂球销中心进行运动学仿真,探究结构干涉

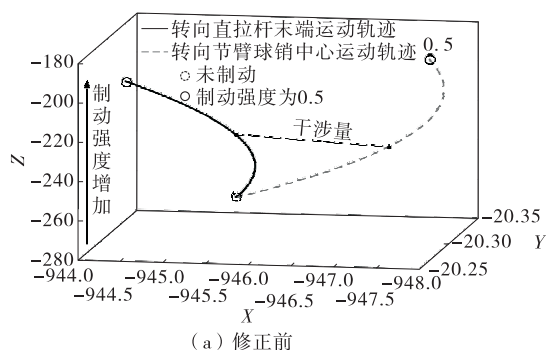
引发半挂牵引车跑偏问题的特征及影响规律。仿真时设置制动强度为0~0.5,车辆转向系统各部件尺寸见表1。

表1 仿真参数设置

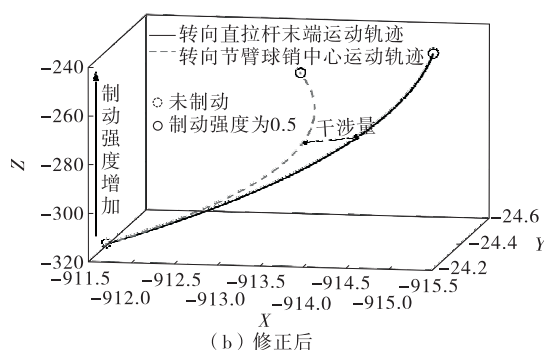
参数名称	修正前参数值	修正后参数值
转向节臂长 J/mm	279.761	299.419
转向节臂水平转角 α/rad	0.012	0.132
转向摇臂长 γ/mm	243.187	240.999
转向摇臂垂向转角 θ/rad	0.177	0.166
转向节臂垂向转角 φ/rad	-0.175	-0.344

3.1 板簧跳动轨迹

通过仿真分析得到悬架跳动单独作用下转向直拉杆末端及转向节臂球销中心的三维轨迹,同时发现系统结构的修正有益于降低干涉量,从而减轻制动时的跑偏程度。



(a) 修正前



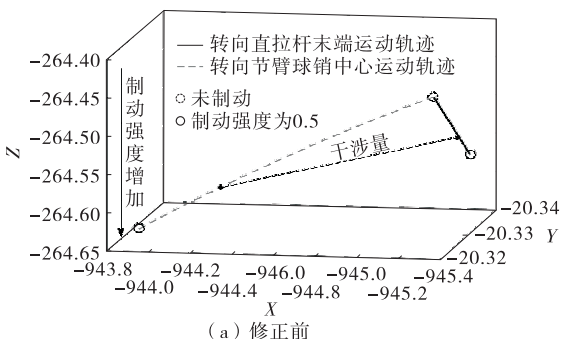
(b) 修正后

图3 板簧跳动所致转向直拉杆末端和转向节臂球销中心的运动轨迹

3.2 板簧纵扭轨迹

图4为悬架纵扭单独作用下转向直拉杆末端及转向节臂球销中心的三维轨迹。

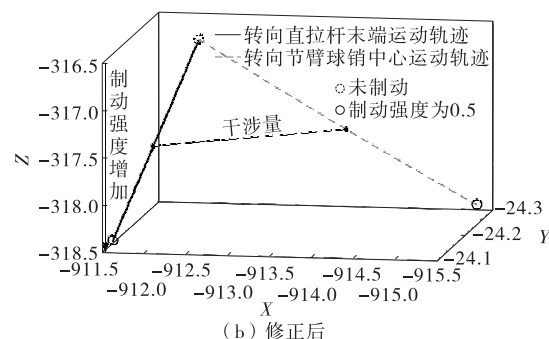
如图4(a)所示,结构位置修正前,在悬架纵扭单独作用下,转向直拉杆末端运动轨迹在转向节臂球销中心的后方,转向节臂绕主销向车后方扭转,导



(a) 修正前

致车轮向右偏转。

如图4(b)所示,对结构位置进行修正后,转向节臂的尺寸发生变化。在悬架纵扭单独作用下,转向节臂球销中心在板簧纵扭时向车的后下方移动,而转向直拉杆末端运动轨迹在其前方,半挂牵引车在制动时会出现向左偏转的运动特性。



(b) 修正后

图4 板簧纵扭所致转向直拉杆末端和转向节臂球销中心的运动轨迹

3.3 修正前后运动学分析

对比修正前后在悬架跳动和纵扭条件下转向直

拉杆末端、转向节臂球销中心的运动轨迹,可知:受悬架跳动的影响,修正前制动跑偏方向为向左跑偏,

修正后为向右跑偏;悬架纵扭则相反,修正前制动跑偏方向为向右,修正后为向左。造成这种现象的原因是转向节臂垂向转角发生了较大改动,通过对该角度的修正,转向节臂球销中心降低。如图5所示,转向节臂球销中心 D 与转向直拉杆 CD 相连,转向直拉杆与地面垂线之间的夹角 τ 会有减小趋势。

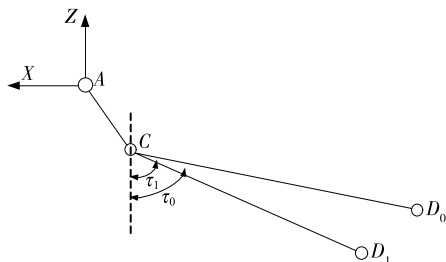


图5 转向直拉杆修正前后空间位置示意图

悬架后跳时,转向直拉杆末端做以转向摇臂球销中心为圆心的上摆运动,会相对于转向摇臂固定

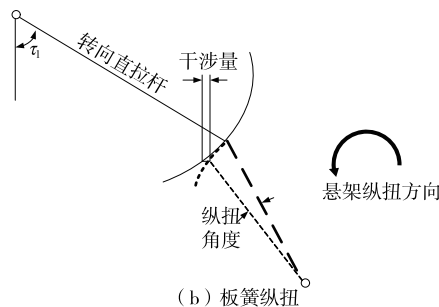
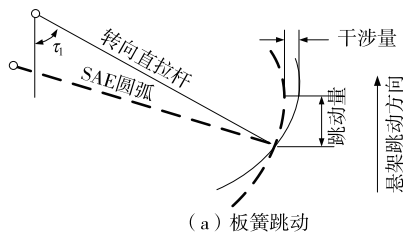


图6 修正后板簧跳动与纵扭所致干涉示意图

4 结语

半挂牵引车制动跑偏问题可总结为转向直拉杆绕转向摇臂球销中心的摆动轨迹与悬架跳动纵扭带动转向节臂球销中心的运动轨迹之间的干涉问题。文中从运动学角度分析半挂牵引车制动跑偏问题的原因,通过对悬架转向系统进行三维空间建模,阐述板簧跳动与板簧扭动产生干涉的机理,通过仿真得出修正前后由板簧变形造成的转向直拉杆和转向节臂球销中心的空间运动轨迹,直观地揭示干涉的产生及跑偏的原因。仿真结果表明转向直拉杆与地面垂线之间的夹角 τ 是两个轨迹干涉的关键,通过改变转向节臂垂向转角使 τ 角减小,可使制动跑偏问题得到改善。

参考文献:

[1] 蔡玉强,鞠康,李哲丞.半挂牵引车牵引座尺寸优化设计[J].机械设计与制造,2016(10):240-243+247.

点后移[见图1(a)],直拉杆末端移动距离比悬架跳动带动的转向节臂球销中心后移的距离小。因此,转向直拉杆末端在前,转向节臂球销中心在后,转向节绕主销偏转一定角度,使转向节臂球销中心尽量与转向直拉杆末端重合,最终导致车轮向左偏转。

由于修正后的 τ_1 比修正前的 τ_0 小,在相同悬架跳动量下,直拉杆末端后移的距离更大,甚至大于悬架跳动后摆所带动的转向节臂球销的移动距离[见图6(a)]。此时,转向直拉杆末端在前,转向节臂球销中心在后,转向节绕主销偏转一定角度,车轮向右偏转。悬架纵扭的情况则相反,纵扭导致转向直拉杆末端做以转向摇臂球销中心为圆心的下摆运动,会相对于转向摇臂固定点向车前方移动。由于修正后的 τ_1 比修正前的 τ_0 小,相同制动强度下,其向车前方移动的距离更远,甚至大于悬架纵扭带动的转向节臂球销中心前移的距离[见图6(b)]。

- [2] 张黎骅,徐中明,史方圆.商用车驱动桥壳 CAE 分析[J].机械设计,2009,26(12):75-78.
- [3] 李志魁,王建宇,温圣灼.某自卸车转向与悬架干涉的 ADAMS 校核和优化设计[J].汽车技术,2012(2):30-34.
- [4] 宋韩韩.基于 ADAMS 的刚柔耦合整车模型平顺性仿真研究[D].锦州:辽宁工业大学,2015.
- [5] 李玉民,李旭宏,过学迅.转向梯形驱动机构的运动分析及优化设计[J].公路交通科技,2004,21(8):124-128
- [6] 古玉锋,赵稳庄,方宗德.非独立悬架与转向传动机构运动干涉分析方法研究[J].机械设计,2009,26(12):52-54.
- [7] 郭孔辉.板簧变形运动学分析及其应用[J].汽车工程,1990,12(2):7-15.
- [8] 王锋,王亮,刘俊荣.直拉杆与板簧运动干涉对制动跑偏的影响分析[J].轻型汽车技术,2011(10):28-29+47.
- [9] 李伯岳,陈靖芯,李红.汽车转向干涉校核的快速实现[J].客车技术与研究,2009,31(5):18-21.