

# 双桥转向的分析与优化

张曦, 周毅, 李艳斌

(北汽福田汽车工程研究院, 北京 102206)

**摘要:** 本文以多体系统动力学理论为基础, 利用 ADAMS/View 建立实验样车的双桥转向系统, 分析转向梯形断开点对阿克曼与车轮前束变化特性影响, 以及转向传动杆系对双转向桥转向传动比率的影响, 同时利用 ADAMS/Insight 进行优化计算, 得出最优结论。

**关键字:** 双轴转向; 优化; 阿克曼转向梯形; ADAMS

## The Analysis and Optimization of a Double-axle Steering System

Zhang Xi, Zhou Yi, Li Yan-Bin

**Abstract:** Based on the Multi-body Dynamic Simulation, the paper built the double-axle steering system model of a prototype heavy truck with ADAMS/View software. After analyzed the effect of tierod attachment point location on Ackerman steering and toe change and the influence of steering linkage mechanism on ratio of the 2 axles with wheel movement, we performed an optimization on the double-axle steering system with ADAMS/Insight software and found out the best solution to the steering system.

**Key words:** Double-axle steering, Optimization, Ackerman steer linkage, ADAMS

### 1. 概述

随着运输业的发展, 载货汽车的吨位逐渐增加。为此, 汽车车轴由两轴发展为三轴甚至多轴。与此同时, 多轴汽车为了满足车辆转向要求, 减小转向半径, 降低轮胎磨损, 就需要采用两轴或者多轴作为转向轴。转向梯形的设计是双桥转向分析设计的难点, 不仅需要考虑到转向时的内外车轮转角关系应尽量符合阿克曼转角几何条件、还需要考虑车轮前束角在常用跳动行程范围内的变化量最小、同时考虑所有车轴是否绕同一瞬心转动。

本文以多体系统动力学理论为基础, 利用 ADAMS/View 建立实验样车的双桥转向系统, 在原车模型进行转向性能相关分析, 并提出优化方案。文章讨论了转向分析转向梯形断开点对阿克曼的影响、车轮前束角变化特性影响以及转向传动杆系对一、二桥转向传动比率的影响, 同时利用 ADAMS/Insight 进行优化计算。

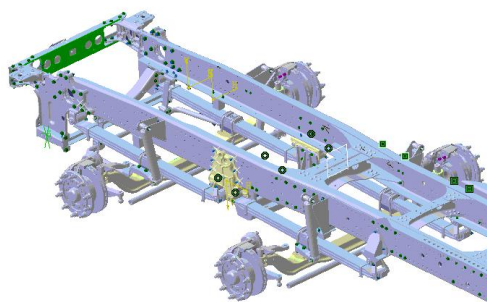


图 1-2 双桥转向系统 3D 模型

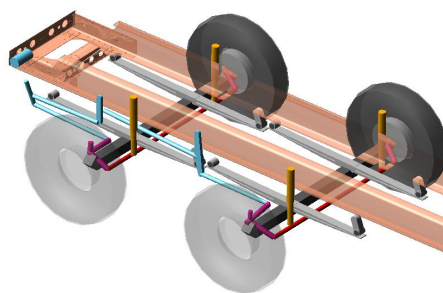


图 1-2 双桥转向系统多体模型

## 2. 双桥转向的分析与优化

本文涉及以下三部分的双桥转向分析：第一部分是由一、二桥各自转向梯形决定的内外转角差，也就是阿克曼百分比；第二部分是车轮跳动行程中，减小轮心运动干涉引起的前束角；最后是由双转向桥转向传动杆系决定的双桥传动比率。下面分别对这三部分进行优化。

### 2.1. Ackerman 百分比的优化

#### 2.1.1. 理想 Ackerman

为了确保汽车在转向时，车轮做纯滚动而不产生侧向滑移，同时减少轮胎磨损，降低汽车油耗，这就要求所有的车轮轴线交与同一点，即车轮都绕同一瞬时中心点转动。见下图所示。

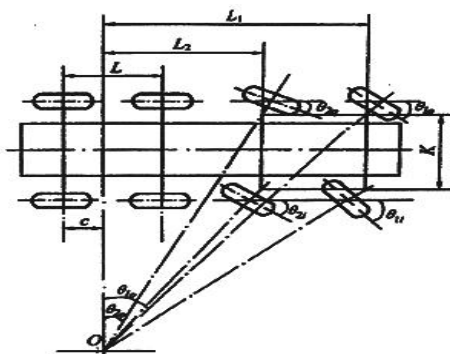


图 2-1 双前桥转向时理想的内、外前轮转角关系

$$\operatorname{ctg} \theta_{1o} - \operatorname{ctg} \theta_{1i} = K / L_1 \quad \text{----- 公式 2-1}$$

$$\operatorname{ctg} \theta_{2o} - \operatorname{ctg} \theta_{2i} = K / L_2 \quad \text{----- 公式 2-2}$$

图 2-1 所示是双前桥转向角的关系原理图，由图中关系可以得到公式 2-1、2-2。满足该关系内外转角构成理想阿克曼。同一转向轴的内外车轮的转角关系是通过转向梯形机构来实现的。

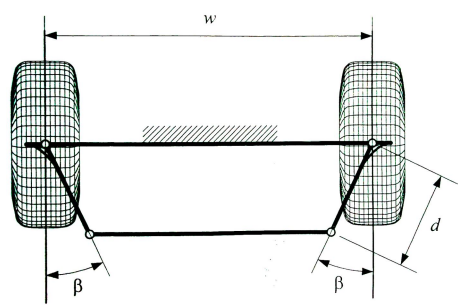


图 2-2 转向梯形几何结构 (0 转角)

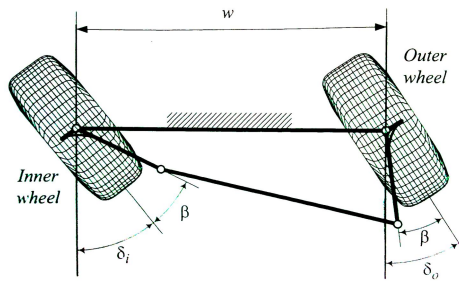


图 2-3 转向梯形几何结构 (\$\beta\$ 转角)

图 2-2、2-3 分别是转向梯形几何结构由未转向到转向 \$\beta\$ 角度的图示，由图中关系可以得到公式 2-3:

$$\sin(\beta + \delta_i) + \sin(\beta - \delta_o) = w/d + \sqrt{(w/d - 2\sin\beta)^2 - (\cos(\beta - \delta_o) - \cos(\beta + \delta_i))^2} \quad \text{--公式 2-3}$$

由上式可知，影响阿克曼百分比值的主要参数有转向拉杆臂长、转向梯形夹角和主销接地距（主销中心延长线与地面交点的距离）。其中，摇臂机构是通过转向直拉杆、转向节臂来操纵前轴主销转角使车轮产生转角的，由于整车前轮外倾角、主销后倾角和主销内倾角的存在，车轮转角与主销转角接近但不相同，若使用公式 2-3 进行计算，则是假定车轮转角与主销转角相同的情况，而使用 ADAMS 仿真则可以充分考虑四轮定位参数的影响。

### 2.1.2 阿克曼仿真及优化

在设计转向梯形时，需要尽量达到理想阿克曼要求的内外转角关系，而实际中不能完全吻合，这就存在阿克曼偏差，阿克曼偏差就是理想与实际的内外转角差。本分析优化以内转角在 30deg 以内的阿克曼偏差最小为原则。本文分析中保持轮距与主销倾角不变，只对转向横拉杆位置点进行优化。

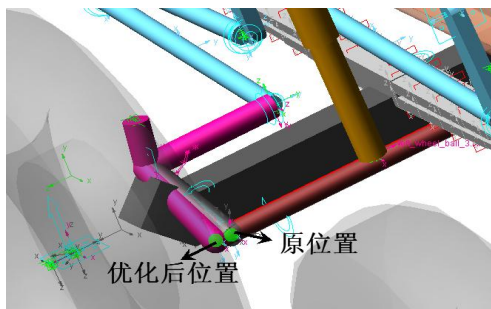


图 2-4 一桥转向横拉杆优化视图

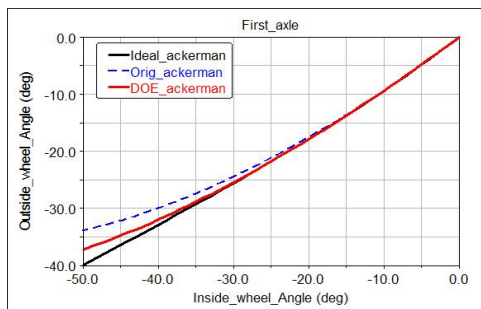


图 2-5 一桥左右轮最优转角

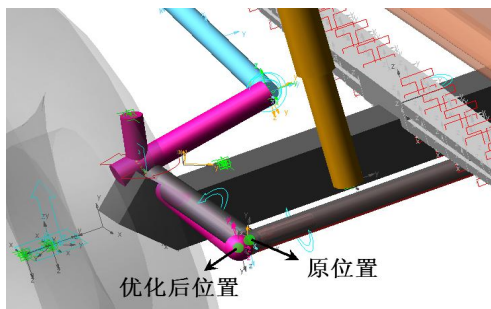


图 2-6 二桥转向横拉杆优化视图

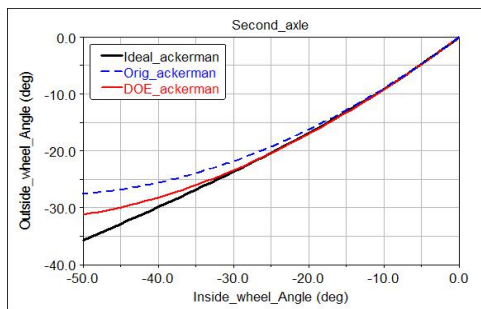


图 2-7 二桥左右轮最优转角

优化结果见图 2-5、2-7。图中黑色实线为理想内外转角值、红色实线为优化后内外转角值、

而蓝色虚线为原车状态下的内外转角值。

经过优化，一桥在内转角在 30deg 的优化数据与理想数值相差 0.13deg，比原始方案优化了 88.87%；在 40deg 时相差 0.87deg，比原始方案优化了 69.60%；在 50deg 处相差 2.66deg，比原始方案优化了 55.64%。二桥在内转角在 30deg 的优化数据与理想数值最大相差 0.29deg，比原始方案优化了 84.69%；在 40deg 时相差 1.7deg，比原始方案优化了 60.34%；在 50deg 处相差 4.57 deg，比原始方案优化了 44.83%。

## 2.2. 平行跳前束变化的优化

### 2.2.1. 轮跳干涉理论

双轴汽车一般采用非独立悬架，汽车转向梯形和前悬架运动干涉使车轮绕主销旋转，从而改变车轮前束值，转向节臂的位置点直接决定了前束随车轮跳动量的变化特性。摇臂机构型式的选择，与摇臂和直拉杆的位置点有关，为了保证前束角度在轮跳过程中要尽量小，所以要考虑摇臂机构与悬架在运动关系上的协调一致性，尽量减小或消除转向节臂与直拉杆连接点随悬架运动轨迹和绕转向直拉杆与摇臂的连接点摆动轨迹的偏差。本分析模型采用固定卷耳均在前的双摇臂机构，采用该布置可以避免前后布置卷耳要求的中间拉杆过长而出现的失稳现象。

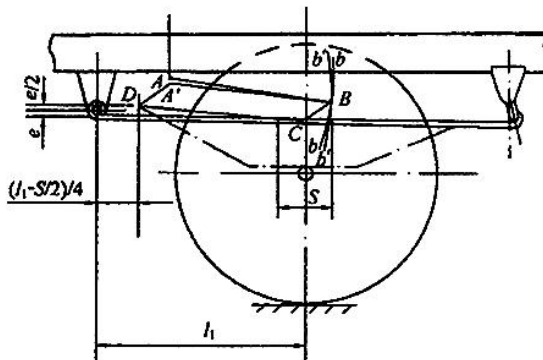


图 2-8 二分之一双轴转向系统图示

如图所示，板簧主片中心点 C 的轨迹近似与以 D ( $l_1-s/2$ )/4,  $e/2$ ) 点为相对吊耳主销中心，转向节臂与转向直拉杆的连接点 B 点和主片中心点 C 都是随悬架一同上下跳动，因此可以使用平行四边形机构原理找出 B 点随前悬架 A' 和转向摇臂与转向直拉杆的连接点 A 点同时摆动，而两弧干涉则造成前束变化，干涉越小，前束变化越小。

### 2.2.2. 轮跳下前束变化仿真及优化

由图 2-8 可以得知，要优化前束变化量，与固定卷耳位置（吊耳上、下位置也有关）和转向节臂点相关，由于工艺要求，下面就转向节臂点进行优化分析。

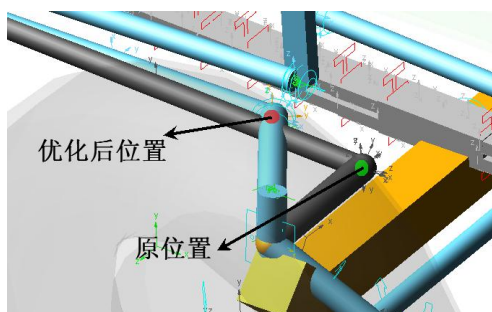


图 2-9 一桥转向节臂优化视图

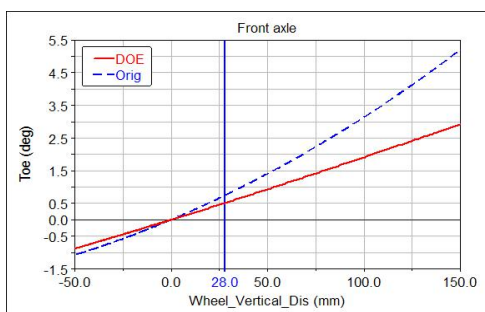


图 2-10 一桥平行轮跳下前束变化量

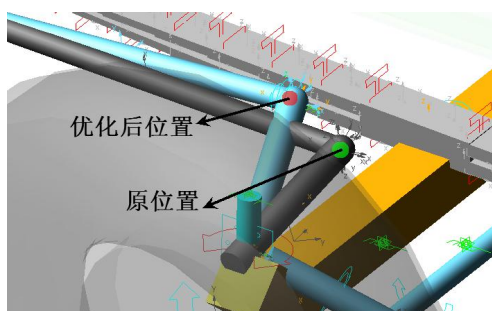


图 2-11 二桥转向节臂优化视图

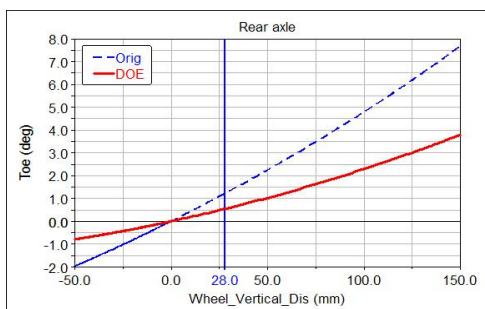


图 2-12 二桥平行轮跳下前束变化量

优化结果见图 2-10、2-11。图中红色实线为优化后前束变化值、蓝色虚线为原车状态下的前束变化值。

整备状态为弧高 28mm 处, 经过优化, 一桥在整备状态下的前束角变化梯度为 18.4deg/m, 比原始方案的 28.5deg/m 优化了 35.4%; 一桥在整备状态下的前束角变化梯度为 20.1deg/m, 比原始方案的 45.2deg/m 优化了 55.6%。

### 2.3. 一、二桥转向传动比的优化

为了使一桥与二桥的转向角与后桥中心线交与同一瞬时中心点, 不同转向轴的同侧车轮(外轮或者内轮)的转角关系通过摇臂机构来实现。通过优化摇臂硬点来达到传动比的优化。

#### 2.3.1 理想的双桥转向传动比

双桥转向的转向轮分析关系如图 2-1 所示。由图中关系可以得到以下公式, 其中  $c$  定义为  $L/2$ 。

$$\theta_2 = \arctan \left\{ \frac{[L_1 + (L - c)] \times \tan \theta_1}{[L_2 + (L - c)]} \right\} \quad \text{----- 公式 2-4}$$

其中,  $\theta_1$  为内轮转角,  $\theta_2$  为外轮转角。

#### 2.3.2 优化数值

双转向桥的转向传动比主要由车体左侧的转向杆系决定, 本分析采用方向盘到一桥传动比不变, 优化一桥到二桥之间的传动比。优化对象分别为二桥摆臂中点、二桥摆臂下点和二桥的转向节臂点。在整备状态下, 对各点的硬点坐标进行 DOE 优化。

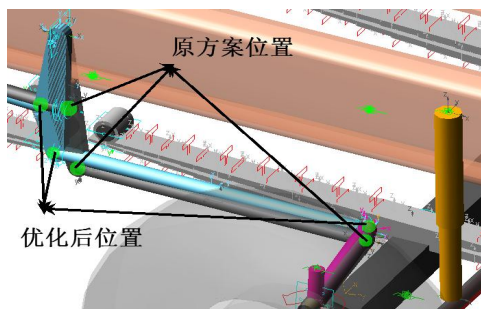


图 2-13 一、二桥内转角优化曲线

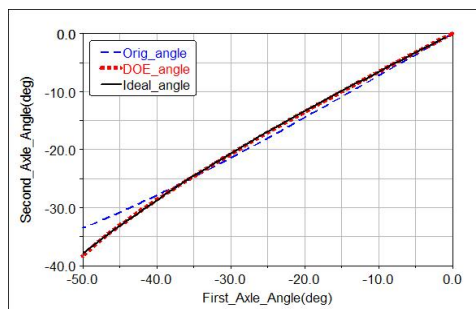


图 2-14 一、二桥内转角最优曲线

优化结果见图 2-13、2-14。图中黑色实线为理想一、二桥内转角值、红色实线为优化后一、二桥内转角值、而蓝色虚线为原车状态下的一、二桥内转角值。

优化的部分结果如图 2-14 所示, 由图中可知, 优化后数据与理想数据相关性好。在内转角在 30deg 的优化数据与理想数值最大相差 0.16deg, 比原始方案的最大 1.13deg 小了近 1deg; 在 30~50deg 之间, 优化数据最大相差 0.44deg, 比原方案的 4.39deg 小了近 4deg。



### 3. 结 论

本文分三个方面介绍了双桥转向的设计点，分别是阿克曼梯形转向、轮跳下前束角变化量和双桥转向传动比率。在介绍了各自的理论基础后，利用 ADAMS 的 DOE 技术，分别进行优化仿真，提出最优方案。使用优化仿真指导设计的方法，降低了研发成本，缩短了研发周期，具有工程实用性。

#### 参考文献：

- [1]. 余志生. 汽车底盘设计. 北京：清华大学出版社，2010
- [2]. 张洪欣. 汽车设计[M]，北京：机械工业出版社，2002

#### 作者简介：

张曦 工程师 硕士 专业方向：多体动力学，车辆动力学，联系方式：北京市昌平区沙河镇沙阳路北汽福田工程研究院 性能开发一部 操稳平顺性能室。

周毅，工程师，硕士， 专业方向：多体动力学，车辆动力学，联系方式：北京市昌平区沙河镇沙阳路北汽福田工程研究院 性能开发一部 操稳平顺性能室。

李艳斌，工程师，学士，专业方向：机构振动测试，联系方式：LMS 北京代表处。

---

（上接第 181 页）

#### 参考文献：

- [1]. 潘璠, 朱西产, 王立志. 燃料电池轿车碰撞安全性仿真研究[J], 汽车工程, 2008 , 30 (1)
- [2]. 郭诚君, 王宏雁. 基于虚拟碰撞试验分析燃料电池轿车车身结构的安全性[J], 安全与环境学报, 2006, 6 (1)
- [3]. 张维刚, 钟志华, 赵幼平, 谷莉, 刘永超. 计算机仿真技术在汽车正碰安全性能改进中的应用研究[J], 机械工程学报, 2002, 38 (3)
- [4]. 何建, 万党水. 燃料电池轿车氢瓶保护系统设计分析研究[J], 上海汽车, 2008 (7)