

底盘零部件刚度系统化匹配在 底盘架构开发中的应用

张元伟

(上海汽车集团股份有限公司 技术中心, 上海 201804)

摘要: 分析了底盘系统刚度特性关键指标, 阐述了悬架和转向系统刚度对车辆性能的影响; 结合实际项目, 建立了底盘系统刚度特性优化体系和关键考核指标, 提出了影响整车性能的关键点刚度匹配和控制方法; 综合考虑系统中各部件的特点, 结合零件制造可行性及成本控制等因素对某车型多连杆后悬架进行优化, 提出了优化措施。

关键词: 汽车; 底盘; 零部件刚度; 系统刚度; 刚度优化

中图分类号: U463.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0005-04

在底盘架构开发中, 各零部件刚度及关键点衬套刚度直接影响车辆动力学性能。目前各主机厂主要通过在设计阶段对各底盘零部件定义零件刚度设计目标进行控制, 这种做法往往导致零件质量上升。而实际上影响整车性能的因素包括从轮端到车身之间所有零部件的系统刚度, 单一的零部件刚度设计意义不大, 整体评估和优化底盘的系统刚度更重要。该文在分析底盘系统刚度特性关键指标及悬架和转向系统刚度对车辆性能影响的基础上, 探讨在底盘架构开发阶段整体评估和优化底盘系统刚度的思路和方法, 并以多连杆悬架为例, 根据某车型硬点参数, 利用 ADAMS/CAR 建立多连杆独立悬架模型对系统刚度进行仿真, 结合 DOE 方法完成优化设计, 提升底盘的操控性能。

1 底盘系统刚度评价方法及考核指标

1.1 底盘系统刚度评价方法

悬架系统是车架与车轮之间传力连接装置的总称, 其主要作用是传递车轮与车身之间的力和力矩。底盘悬架传递路径上系统刚度主要指各结构件本体及连接点衬套的串联刚度, 它直接影响整车操纵稳定性和平顺性。以某车型多连杆后悬架为例, 其悬架系统的主要刚度包括上控制臂、下控制臂、前束杆控制臂本体刚度, 车轮支架本体各安装点刚度, 副车架本体各安装点支架刚度, 3 根控制臂与副车架连接处衬套刚度和控制臂与车轮支架侧连接处衬套刚度(见图 1)。

悬架系统刚度主要由衬套类柔性件刚度及结构件

刚度组成。评价过程中, 可拆分成多个子系统, 如控制臂子系统, $1/K_{\text{控制臂}} = 1/K_{\text{本体}} + 1/K_{\text{内衬套}} + 1/K_{\text{外衬套}}$ 。

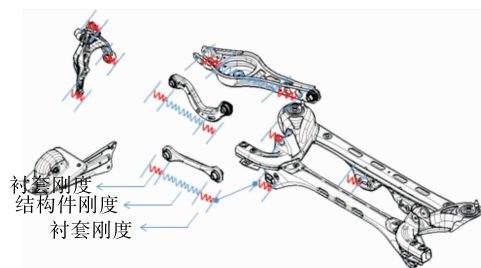


图 1 悬架系统主要刚度示意图

转向系统传递路径上系统刚度直接影响转向响应、转向手感等关键性能, 其刚度构成见图 2。

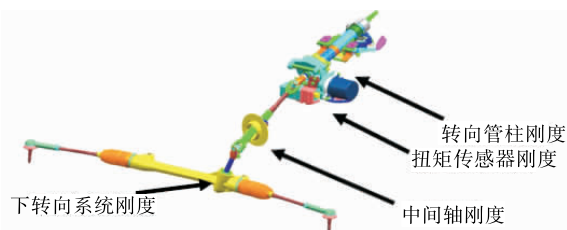


图 2 转向系统主要刚度示意图

1.2 底盘系统刚度关键考核指标

架构开发阶段需重点关注底盘前后桥系统刚度, 主要包括悬架的外倾刚度、前束刚度、侧向刚度、纵向刚度、回正力矩刚度。

(1) 外倾刚度。外倾刚度是指悬架系统在侧向力作用下外倾角的变化(见图 3), 它决定车辆在转弯过程中抓地能力的强弱。

(2) 前束刚度。前束刚度是指悬架系统在侧向力作用下前束角的变化(见图 4), 它决定车辆转向

时的稳定性,其值越大车辆转向越稳定。但过大的前束刚度会使车辆转向时响应变慢。

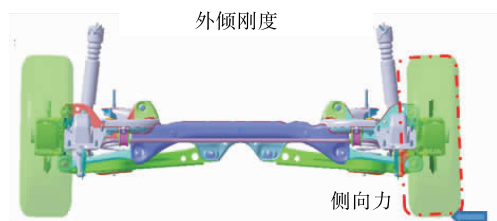


图3 外倾刚度示意图

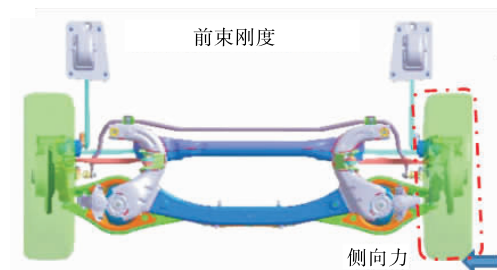


图4 前束刚度示意图

(3) 侧向刚度。侧向刚度是指悬架系统在侧向力作用下车轮轮心侧向位移的变化(见图5),它直接影响车辆的侧向响应,侧向刚度增加有利于提高悬架的侧向响应,增强侧向支撑能力。

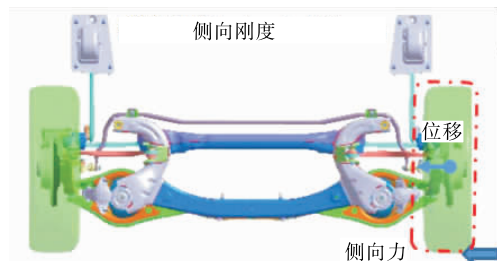


图5 侧向刚度示意图

(4) 纵向刚度。纵向刚度是指悬架系统在纵向力作用下车轮轮心纵向位移的变化(见图6),体现车辆的纵向冲击特性,纵向刚度越大则纵向冲击越大。纵向刚度调试需平衡纵向冲击及纵向抖动之间的关系。

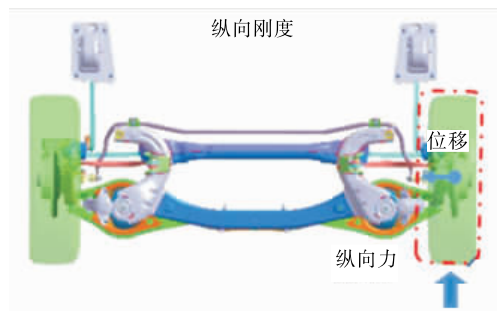


图6 纵向刚度示意图

(5) 回正力矩刚度。回正力矩刚度是指悬架系统在回正力矩作用下车轮前束角的变化(见图7),它影响车辆转向响应及车辆稳定性。

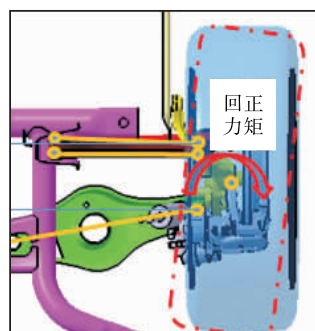


图7 回正力矩刚度示意图

(6) 偏心侧向刚度。在接地点后方25 mm处施加侧向力,轮心将同时产生力和力矩(见图8)。偏心侧向刚度是指系统受到偏心侧向力时车轮前束角的变化,可用来评价侧向刚度和回正力矩刚度两项指标的综合作用。

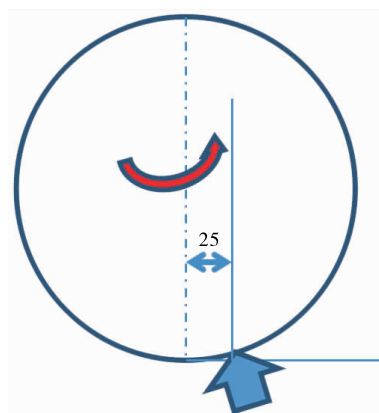


图8 偏心侧向刚度加载点示意图(单位:mm)

结合项目开发经验及同类竞争车辆相关信息,提出架构开发阶段前后桥系统刚度目标参考范围(见表1)。

表1 架构开发阶段前后桥系统刚度目标参考范围

刚度指标	前桥目标值	后桥目标值
外倾刚度/($\text{deg} \cdot \text{kN}^{-1}$)	0~0.25	-0.27~0
前束刚度/($\text{deg} \cdot \text{kN}^{-1}$)	>0.16	0~0.08
侧向刚度/($\text{mm} \cdot \text{kN}^{-1}$)	0~1.8	0~2
纵向刚度/($\text{mm} \cdot \text{kN}^{-1}$)	2.5~6	1.5~4
回正力矩刚度/ { $\text{deg} \cdot [100 \times (\text{N} \cdot \text{m})]^{-1}$ }	0.2~0.6	-0.1~0
偏心侧向刚度/($\text{deg} \cdot \text{kN}^{-1}$)	0~0.1	-0.1~0

2 底盘系统刚度仿真及试验验证方法

在架构开发阶段,可通过多体动力学仿真获取底盘系统关键考核指标;在零部件前期设计开发中,可结合有限单元法求得系统刚度并对零件进行优化设计;后期可通过弹性运动学试验台(KC 试验台)进行试验验证(见图 9)。

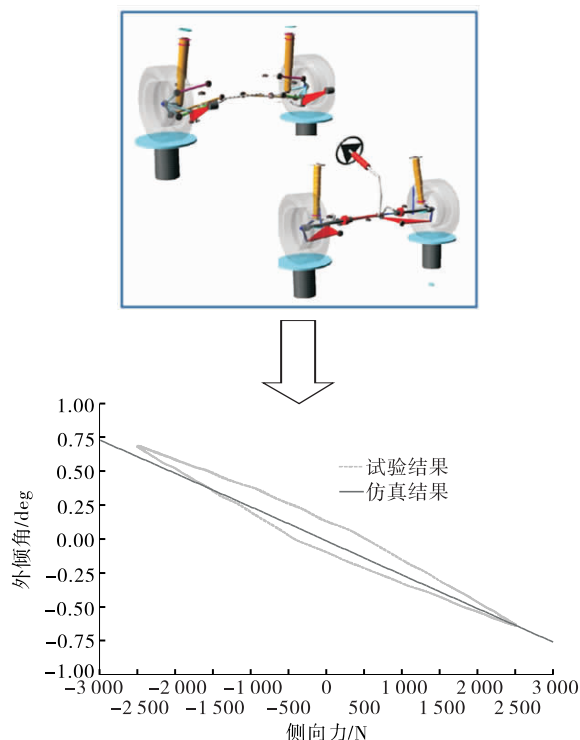


图 9 多体动力学仿真模型及分析结果

在多体动力学建模中对结构刚度进行简化,通常将结构件刚度与衬套刚度累积形成各子系统的刚度。建模麦弗逊前悬架时,对前桥转向节总成/减振器总成的结构刚度进行简化后累积到 Top mount 的径向刚度,对前/后桥摆臂、副车架的刚度进行简化后累积到 handling bush 的径向刚度,并将部分结构件刚度累积至转向拉杆(见图 10)。

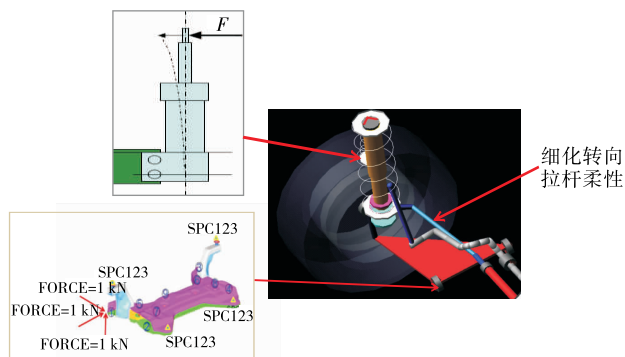


图 10 麦弗逊前悬架多体动力学简化建模方法

在零部件设计阶段,可建立悬架有限元模型进行零部件结构设计和优化(见图 11)。悬架系统刚度可通过 KC 试验台获取(见图 12)。

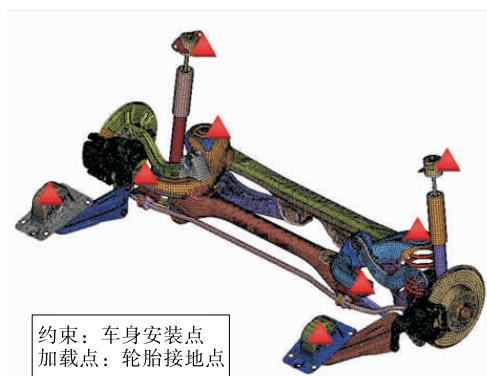


图 11 利用有限单元法进行悬架系统刚度计算的方法



图 12 KC 试验台架

3 系统刚度的应用

3.1 架构开发前期设定底盘连接点衬套刚度

在项目设计开发初期,可通过控制悬架系统刚度,结合动力学仿真结果调整底盘连接点衬套刚度来优化悬架特性。表 2 为多连杆后桥衬套刚度定义过程中的优化设计结果,通过调整各连杆衬套刚度使悬架系统刚度最优。

3.2 零部件设计中指导零件优化

悬架系统刚度优化过程见图 13。

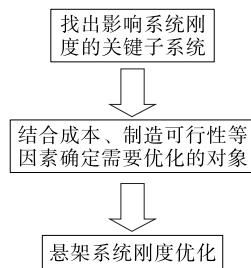


图 13 悬架系统刚度优化过程

例如:根据系统刚度分析结果,某悬架系统外倾刚度需增加,而根据供应商的反馈,衬套刚度已无法

增加。可采取2种措施:

(1) 优化上摆臂结构,将双片式冲压结构优化为3片工字形截面结构,使上摆臂本体刚度从原来的17.2 kN/mm提高至21.3 kN/mm、重量从1.5

kg减小至1.34 kg(见图14)。

(2) 优化上摆臂到副车架安装点,通过CAE分析,将安装支架厚度增加1 mm,使刚度提高3 kN/mm,增重0.28 kg(见图15)。

表2 多连杆后桥衬套刚度优化设计结果

纵臂衬套刚度/ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$)	弹簧臂衬 套刚度/ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$)	上摆臂衬 套刚度/ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$)	前束拉杆 衬套刚度/ ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$)	前束刚度/ ($\text{deg} \cdot \text{kN}^{-1}$)	外倾刚度/ ($\text{deg} \cdot \text{kN}^{-1}$)	回正力矩刚度/ ($\text{deg} \cdot [100 \times (\text{N} \cdot \text{m})]^{-1}$)
180	6 500	8 000	3 750	0.062 860	-0.216 34	-0.110 000
300	6 500	8 000	4 750	0.045 140	-0.201 15	-0.092 580
180	8 000	8 000	4 750	0.048 520	-0.200 06	-0.094 787
300	8 000	8 000	3 750	0.070 467	-0.215 57	-0.096 555
180	6 500	11 000	4 750	0.042 923	-0.192 77	-0.098 859
300	6 500	11 000	3 750	0.064 781	-0.208 32	-0.100 000
180	8 000	11 000	3 750	0.068 027	-0.207 20	-0.100 000
300	8 000	11 000	4 750	0.050 318	-0.192 04	-0.088 426
240	7 250	9 500	4 250	0.056 011	-0.202 64	-0.096 274

两措施均提高了刚度,但措施1更经济。

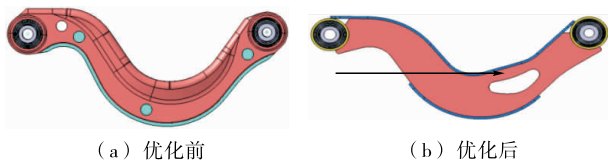


图14 优化上摆臂结构实现悬架系统刚度优化



图15 优化上摆臂到副车架安装点实现悬架系统刚度优化

4 结语

适当增加关键点的刚度可提升车辆关键性能指标。该文通过对悬架结构及底盘性能试验结果的总结,开发了新的悬架系统设计方法,更新了传统的控制单个零部件刚度的设计方法,用系统的思路满足底盘刚度特性要求,使零部件成本、性能、制造可行

性得到平衡。

参考文献:

- [1] 陈家瑞.汽车构造[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [3] 陈达亮,李洪亮,顾灿松,等.副车架系统边界约束对计算模态分析精度的影响研究[J].汽车技术,2016(4).
- [4] 周兵兵,李惠林,刘倩.基于Adams/Car的汽车前悬架仿真分析及优化设计[J].计算机辅助工程,2013,22(增刊1).
- [5] 周红妮,冯樱,李向阳.基于ADAMS的汽车前悬架仿真分析及优化方法研究[J].湖北汽车工业学院学报,2010,24(3).
- [6] 林涌周,王廷喜,谷玉川,等.多连杆悬架后轴节强度分析与优化设计[J].客车技术与研究,2015(5).
- [7] 王德成,袁帅,张宇,等.结构优化设计方法在发动机零部件开发中的应用[J].客车技术与研究,2016(5).
- [8] 刘显贵,郑从兴,林勇明.基于遗传算法的汽车底盘系统协调控制优化[J].机械设计与制造,2015(3).
- [9] 彭岳华.汽车构架底盘技术方案研究[J].汽车与配件,2012(19).
- [10] Hendrik Sell, Tobias Ehrt, Michael Meß.汽车底盘系统零件的振动性能优化技术[J].汽车与配件,2009(31).

收稿日期:2018-03-16