

后备箱扭杆弹簧计算及开启过程仿真分析

于明晓, 宋年秀, 张利

(青岛理工大学 汽车与交通学院, 山东 青岛 266520)

摘要: 扭杆弹簧是后备箱盖顺利开闭的关键部件之一, 目前扭杆弹簧的设计主要通过反复试验验证来进行, 开发成本大、周期长。文中利用力学原理计算扭杆弹簧的刚度系数, 借助 ADAMS 软件对后备箱动力学特性进行仿真分析, 在设计阶段对扭杆弹簧刚度进行调整, 并通过试验验证仿真的有效性, 为快速有效地进行后备箱扭杆弹簧设计提供参考。

关键词: 汽车; 后备箱; 扭杆弹簧; 仿真分析; ADAMS

中图分类号: U463.83

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)01-0008-03

1 扭杆弹簧简介

鹅颈式铰链加扭杆弹簧形式的后备箱具有结构简单、布置简便、占用空间较小、有足够的强度且可靠耐久等优点(见图 1), 在中低档轿车上运用广泛。扭杆弹簧是一种具有扭力特性的金属圆杆, 它直接或间接地与后备箱盖左右铰链连接, 能协助车主打开后后备箱盖并支撑其处于打开状态。扭杆弹簧通过扭转产生弹性变形而输出扭矩, 在后备箱盖开关过程中平衡后备箱盖的重力矩和铰链系统的摩擦力矩等, 从而获得满意的后备箱盖开关性能。

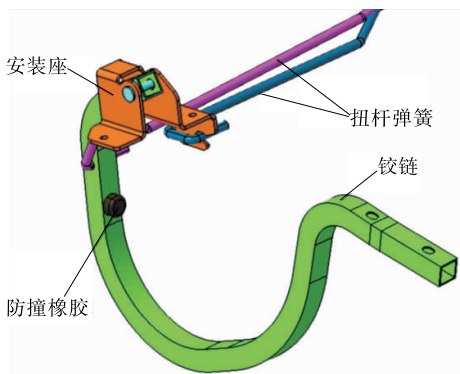


图 1 鹅颈式铰链加扭杆弹簧(左侧放大)

扭杆弹簧的弹性会影响后备箱开闭过程中的安全可靠。目前后备箱扭杆弹簧设计的一般方法为根据经验提出初步方案或沿用标杆车设计, 后期在实车上进行调试, 使后备箱的开启角度、开启力、开启速度和关闭力符合设计要求, 形成最终产品。为了在设计阶段就提前了解后备箱扭杆弹簧的设计是否符合要求, 保证良好的使用效果, 该文运用多体动力学软件 ADAMS 对设计的后备箱进行动力学仿

真, 分析后备箱的开启角度、开启力是否符合设计要求, 在设计阶段发现问题, 并通过对扭杆弹簧的调整加以解决, 缩短汽车的生产周期, 节约制造成本。

2 扭杆弹簧刚度系数理论计算

2.1 后备箱开启过程重力矩计算

在 CATIA 软件中打开设计好的后备箱盖三维数模图, 根据数模测量后备箱盖的质量 m 和质心位置 C , 将质心投影到 YOZ 平面上, 其与 Y 轴之间的夹角为 α (见图 2)。用 θ 表示后备箱盖的开启角度, L 表示质心到铰链轴销的距离。后备箱盖参数测量值见表 1。

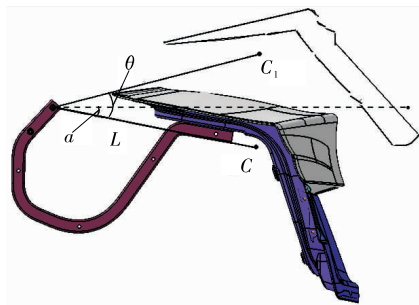


图 2 后备箱盖质心位置示意图

表 1 后备箱盖参数测量值

参数名称	参数值
质量 m/kg	14.69
夹角 $\alpha/(^{\circ})$	17.13
距离 L/m	0.365
x 轴主动惯量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	0.632
y 轴主动惯量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	1.822
z 轴主动惯量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	2.196

后备箱开启过程中重力矩的计算公式为:

$$M_G = mgL \cos(\theta - \alpha) \quad (1)$$

根据式(1)和表 1 绘制后备箱盖开启过程中的重力矩变化曲线,结果见图 3 中 I 曲线。

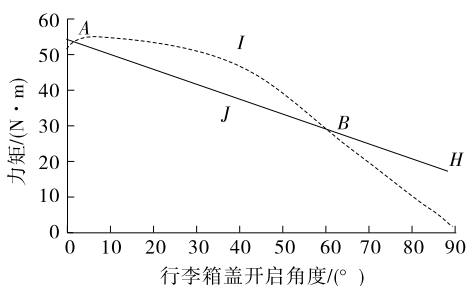


图 3 后备箱盖重力矩曲线和扭杆弹簧扭矩曲线

2.2 扭杆弹簧刚度系数计算

2.2.1 扭杆弹簧扭矩公式

根据文献[5],扭杆弹簧的扭矩可按式(2)计算。由式(2)可知扭杆弹簧扭矩与后备箱盖开启角度呈线性变化关系(见图 3 中 J 曲线), J 曲线斜率为扭杆弹簧的刚度系数。

$$M = 2K(\varphi - \theta) \quad (2)$$

式中: M 为扭杆弹簧的扭矩; K 为扭杆弹簧的刚度系数; φ 为扭杆弹簧的初始扭转角。

根据图 3 所示后备箱盖重力矩随开启角度变化曲线与扭杆弹簧扭矩变化曲线的关系,可把开启过程分为 3 个阶段:1) 后备箱盖锁扣打开瞬间,后备箱开启角度为零,扭杆弹簧的扭矩大于后备箱盖的重力矩,后备箱盖自动开启到一定高度后达到第一平衡点 A;2) 达到第一平衡点 A 时,后备箱盖重力矩和扭杆弹簧的扭矩相等,这时需在后备箱盖上作用一外力使后备箱盖继续开启,达到第二平衡点 B;3) 达到第二平衡点 B 后,扭杆弹簧的扭矩大于重力矩,在扭矩的作用下后备箱盖开到极限位置 H 并保证后备箱盖在极限位置不会受外界条件的影响而关闭。

2.2.2 达到第一平衡点 A 时扭杆弹簧的扭矩

根据人机工程学要求和设计经验,后备箱盖开启高度为 30~100 mm 时能达到第一平衡点 A,在平衡点 A 处,扭杆弹簧的扭矩 M_A 等于重力矩。这里所研究的后备箱盖达到第一平衡点时,后备箱盖的开启角度设计值为 $(4 \pm 1)^\circ$,开启角度小于 3° 时,开启高度不符合要求, 4° 时开启高度为 42.8 mm,由式(1)计算出 A 点的重力矩为 51.2 N·m。

2.2.3 达到最大开启角度时扭杆弹簧的扭矩

根据人机工程学要求和设计经验,后备箱盖开

启到最大角度时,施加一个 1.5~3 kg 的外力能使后备箱盖关闭,这里取 1.5 kg。关闭力对应的力臂为 DF ,关闭力矩 $M_C = 1.5g \cdot DF$;重力臂为 DE ,重力矩 $M_G = mg \cdot DE$ (见图 4)。达到最大开启角度时扭杆弹簧的扭矩 M_H 为:

$$M_H = M_C + M_G = 1.5g \cdot DF + mg \cdot DE \quad (3)$$

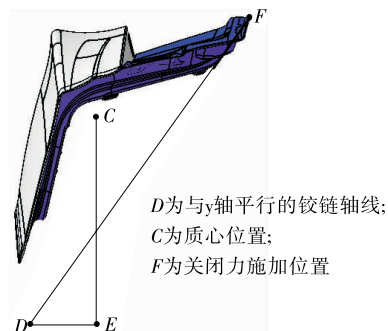


图 4 后备箱盖达到最大开启角度时的力臂 DF

该后备箱盖最大开启角度为 87° ,达到极限位置 H 时, $DF = 0.71$ m, $DE = 0.13$ m,由式(3)计算出 M_H 为 28.6 N·m。

2.2.4 扭杆弹簧的刚度系数

根据由式(1)和式(3)计算出的 A、H 两点的扭矩值 M_A 、 M_H ,得到扭杆弹簧的刚度系数 $K = 272.3$ N·mm/ $^\circ$,开启角度为零时扭杆弹簧的初始扭矩 $M_0 = 52.3$ N·m,扭杆弹簧初始扭转角 φ 为 192.1° 。

一般情况下,无法对摩擦力进行有意的控制,不能加入计算中,需在后备箱试制过程中进行调试,使后备箱的开启过程符合要求。

3 后备箱开启过程仿真分析与验证

3.1 ADAMS 仿真模型建立

将在三维制图软件 CATIA 中装配好的后备箱模型导入 ADAMS/View 中,为了避免固定副多产生过约束,将后备箱盖与左右铰链视为一个 Part,在铰链与底座连接处 P、Q 建立旋转副,用 ADAMS 中的 Torsion_Spring 代替扭杆弹簧,如此简化的仿真模型见图 5。

为了使模型更接近实际,修改后备箱盖与铰链的质量、质心坐标和各向主转动惯量,使之与在 CATIA 中测取的数值一致。依据设计标准,将各运动副的动摩擦系数设置为 0.1,静摩擦系数设置为 0.3。在铰链防撞橡胶安装点与车身防撞橡胶安装点之间建立一个力,用来描述一个冲击函数以使后备箱盖达到极限开启位置 87° 时能停止运动。

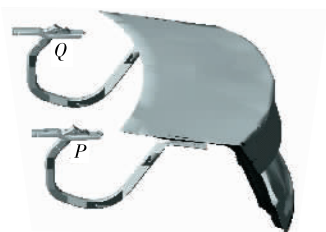


图5 后备箱 ADAMS 仿真模型

3.2 仿真分析

(1) 第一平衡点开启角度分析与扭杆弹簧调试。进行仿真分析,在后备箱盖上不施加开启力,由于扭杆弹簧扭矩大于重力矩,后备箱开启达到第一平衡点,因仿真模型考虑了摩擦力的影响,达到第一平衡点时后备箱盖的开启角度约为 1.7° ,小于后备箱盖第一平衡点开启角度设计最小值 3° (见图6)。反复调整扭杆弹簧的初始扭矩,进行仿真,当后备箱盖第一平衡点开启角度为 4° 时,扭杆弹簧的初始扭矩为 $54.7 \text{ N} \cdot \text{m}$,扭杆弹簧的初始扭转角为 200.8° 。

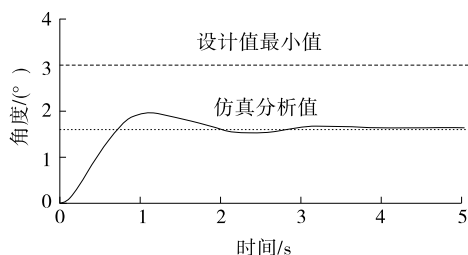


图6 考虑摩擦时第一平衡点开启角度

(2) 最大开启角度与开启力分析。根据人机工程学的要求,后备箱开启的操作力应维持在使乘客感到舒适的力度,为 $10 \sim 20 \text{ N}$ 。达到第一平衡点后,在后备箱盖上施加开启力,将该力作为设计变量,以 1 N 为增量逐渐增大,当开启力增大到 14 N 时,后备箱能开启到极限位置 87° ,满足要求。

3.3 验证

为了验证计算和仿真分析的正确性,用拉力计对试制的样车后备箱盖的开启力和关闭力进行测量。实测后备箱盖的开启力约为 13 N ,关闭力约为 18 N ,与仿真分析和计算结果吻合较好。

4 结语

该文对汽车行李箱盖铰链进行抽象简化建立 ADAMS 仿真模型,对后备箱的开启过程进行动力学仿真分析,通过调整由理论计算出的扭杆弹簧参数使后备箱开启过程符合要求,并通过对样车后备箱盖进行实际测量验证了该计算和仿真分析方法的准确性。

参考文献:

- [1] 刘淡,陆劲昆,姚斌.FN 轿车后备箱盖铰链受力分析及其在扭杆设计中的应用[J].汽车科技,2006(5).
- [2] 刘福强,马帅帅,刘同金,等.轿车后备箱铰链的参数设计[J].汽车实用技术,2012(12).
- [3] 马天航,徐文韬,姚慧丽,等.某车型行李舱门开启弹力过大的解决措施[J].汽车工程师,2014(1).
- [4] 沈茂涛.车门铰链及后备箱盖扭杆弹簧的布置计算[J].汽车技术,2012(8).
- [5] 哈尔滨工业大学理论力学教研室.理论力学(I)[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [6] 周志龙.后备箱间接式扭杆弹簧设计[J].中国科技信息,2012(10).
- [7] 全建辉,邓裕文.汽车行李箱盖铰链机构分析及优化[J].河南科技大学学报:自然科学版,2013,34(6).
- [8] 王宏雁,刘忠铁.汽车车身造型与结构设计[M].上海:同济大学出版社,1996.

收稿日期:2016-06-01

《中外公路》2017 年征订通知

《中外公路》(原《国外公路》)属全国中文核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊、首届(2006 年)中国高校特色科技期刊、中国高校技术类优秀期刊、中国科技核心期刊、湖南省十佳科技期刊,“桥梁工程与隧道工程”栏目荣获首届(2008 年)湖南省优秀栏目,2009 年获全国高校科技期刊优秀编辑质量奖,并多次被评为交通部、湖南省优秀期刊。

每册定价 15.00 元,全年 6 期共 90.00 元。邮发代号:42-63。读者也可通过邮局或银行汇款至杂志社直接订阅。

地址:长沙理工大学云塘校区 58 号信箱 邮编:410004

收款单位:《中外公路》杂志社

户名:长沙理工大学

帐号:18-051401040000158

开户行:长沙市农行高云支行