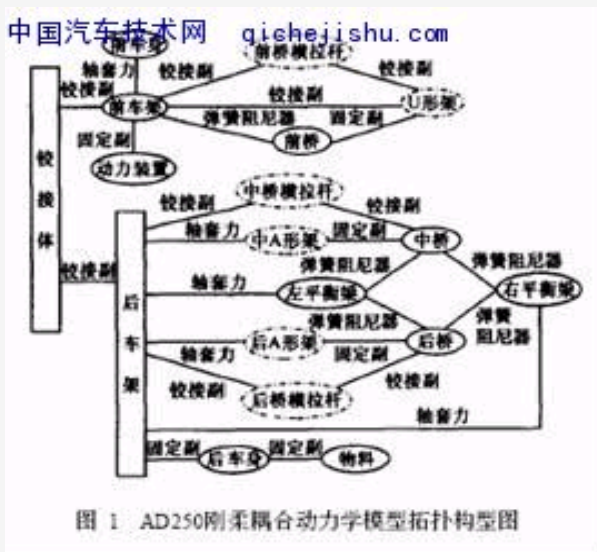




1所示。图中虚线表示的为柔性体。



## (二) 柔性体的修正Craig2Bampton模态分析

对于AD250铰接式自卸车多体系统中的柔性部件,采用了修正的Craig2Bampton模态综合方法。其特点是选取固定边界正则模态和约束模态来表示柔性体的变形

$$\begin{Bmatrix} u_I \\ u_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_N & \Phi_C \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_N \\ q_C \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式中 $u_I$ 是内部自由度, $u_B$ 是边界自由度, $\Phi_N$ 和 $\Phi_C$ 分别表示主模态阵和约束模态阵, $I$ 、 $0$ 分别表示单位阵和零矩阵, $q_N$ 和 $q_C$ 分别表示对应主模态和约束模态的模态自由度。此时的模态刚度阵 $K^{\wedge}$ 和质量阵 $M^{\wedge}$ 为

$$\hat{K} = \Phi^T R \Phi$$

$$\begin{bmatrix} \Phi_N & \Phi_C \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_N & K_{NC} \\ K_{CN} & K_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_N & \Phi_C \\ 0 & I \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} K_{NN} & 0 \\ 0 & K_{CC} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\hat{M} = \Phi^T M \Phi$$

$$\begin{bmatrix} \Phi_N & \Phi_C \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{NN} & M_{NC} \\ M_{CN} & M_{CC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_N & \Phi_C \\ 0 & I \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{M}_{NN} & \hat{M}_{NC} \\ \hat{M}_{CN} & \hat{M}_{CC} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中下标 $I$ 、 $B$ 、 $N$ 、 $C$ 分别表示内部自由度、边界自由度、主模态和约束模态。可以看出 $K^{\wedge}$ 为块对角阵,说明在固定界面主模态和约束模态之间不存在刚度耦合,而主模态和约束模态之间的惯性耦合使得 $M^{\wedge}$ 不是块对角阵。并且这里所获得的模态也不是一一正交的,通过求解特征值问题

$$\hat{K}q = \lambda \hat{M}q \quad (4)$$

将求得特征向量组成变换矩阵  $N$ , 可以将 Craig-Bampton 方法求得的模态自由度转换到等价的正交基  $q^*$  上

$$q = Nq^* \quad (5)$$

这样就可以将柔性部件的变形表示为

$$u = \sum_{i=1}^M \Phi_i q_i = \sum_{i=1}^M \Phi_i N q_i^* = \sum_{i=1}^M \Phi_i^* q_i^* \quad (6)$$

式中  $\Phi_i^*$  是正交后的Craig2Bampton模态。它不是由原始模型的模态向量组成。正交正则后的Craig2Bampton模态能够解决未修正时存在的缺点,前6阶刚体模态能被剔除掉,所有的模态都有对应的固有频率并可关闭对仿真结果影响不大的约束模态。

有限元分析在整个部件柔性化分析过程中起着重要的作用。对U形架、前横拉杆、中A形架、中横拉杆、后A形架和后横拉杆等6个柔性部件在ANSYS中进行有限元建模并进行固定边界子结构的模态分析,基于Craig2Bampton方法生成各柔性部件的模态中性文件,使用ANSYS2ADAMS接口工具将模态中性文件导入到ADAMS/Flex中生成柔性体。

## 频道推荐图片与文章



日本制定...



日产全球...



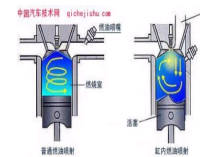
马自达AT...

推荐文章

热门文章

- 走出1.8T误区 浅谈...
- AMT换挡品质的研究...
- 带您真正去了解汽...
- 带您真正去了解汽...
- 带您真正去了解汽...
- 带您真正去了解汽...
- 带您真正去了解汽...

## 栏目最新专题



带您真正去了解汽车一...  
随着当代汽车行业的飞速发展,其技术含量越来越高。当今汽车的制造和使用都应用了大量的精密科学技术,其中包括上个世.....



带您真正去了解汽车一...  
汽车的附属设备主要包括仪表、照明及信号装置、风窗刮水及清洗装置、防盗装置等。同样,这些附属设备都是维持汽车正常行.....

## 汽车百科

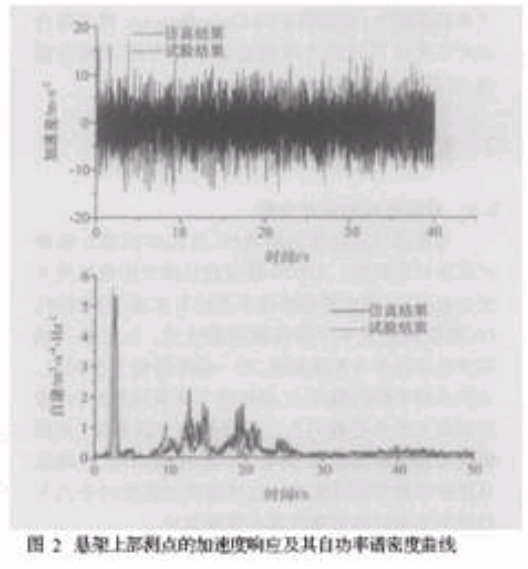
电子电器	· 传感器  继电器  仪表
底盘总成	· 火花塞和电热塞  启动马达  点火系统
动力总成	· 蓄电池  空调系统  汽车线束
车身附件	· 汽车车灯  报警器  风窗玻璃洗涤器
内饰外饰	· 电动顶窗  车载影音设备  车载导航/通讯装置
其他	

## 汽车百科

百科热点	·  汽车概述 动力系统 汽车底盘
汽车概述	·  电子电气 车身内饰 工程材料
	·  维修保养 维修常识 保养常识

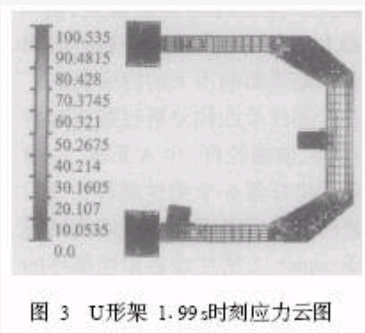
基于ADAMS平台建立AD250铰接式自卸车虚拟样机,首先要建立该车各个零部件的几何实体模型,这里采用Pro/E对各个零部件进行几何实体建模并装配;在实体建模完成并定义为刚体后,赋予其相关材料属性(如密度等),计算出各个刚体的质量和相对刚体质心的转动惯量,输入到ADAMS中作为动力学仿真分析时的物理特性参数。对已建立的多刚体模型施加运动副和约束,得到AD250铰接式自卸车的虚拟样机模型。按照试验得出的橡胶弹簧和减振器的力学特性曲线建立样条函数来模拟橡胶弹簧和减振器的非线性力学特性,根据轮胎力学特性参数建立轮胎模型,编制相应的路面文件。在ADAMS/Flex中读入柔性体的模态中性文件,将相应的柔性体部件引入到已建立的多刚体系统中,建立的整车刚柔耦合模型共105个自由度。

为了验证所建立的动力学模型,在不同等级路面、不同载荷和不同车速下对整车进行了动力学仿真分析,并使用SCHENCK整车道路模拟试验台对AD250整车进行动力学试验,试验时在悬架弹性元件(橡胶弹簧)上下部位和驾驶室座椅处安装加速度传感器,在不同载荷与车速下采用不同等级的路谱信号进行激励。图2给出了GB\_C级路谱激励、40km/h、25t载荷时前悬架上部测点的仿真与试验得到的加速度响应及其自功率谱密度曲线,从加速度响应曲线可以得到加速度均方根值的试验值为3.803m/s<sup>2</sup>,仿真值为4.159m/s<sup>2</sup>,相对误差为9.36%;从图2中还可以看出仿真计算与整车台架试验得到加速度自功率谱密度曲线形状相似,变化趋势一致,峰值及其对应的频率差别不大,峰值频率的仿真值为2.67Hz,试验值为2.29Hz,相对误差为16.59%。其它各种工况下的试验结果也能够与仿真分析结果较好地吻合,表明所建立的整车刚柔耦合模型能较好地反映悬架的动力学特性。



### 三、动应力分析

在GB\_C级路谱、满载25t工况下,对AD250铰接式自卸车悬架传力构件进行动应力分析。分析时车辆以2.22m/s<sup>2</sup>的加速度加速到40km/h后匀速。图3~图8为此工况下各悬架构件在各自应力最大时刻的vonmises应力分布图。



动力底盘	·  化学制剂 汽车工业 汽车文化
车身电子	·  汽车标志 汽车运动 汽车竞赛  ·  汽车之最 组织机构 汽车运动
汽车文化	·  汽车贸易 汽车交通 机械生产
汽车工业	<input type="text" value="输入关键字"/> <input type="button" value="百科搜索"/>



图 4 中 A形架 2.91s时刻应力云图

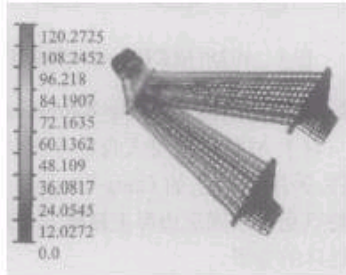


图 5 后 A形架 3.19s时刻应力云图

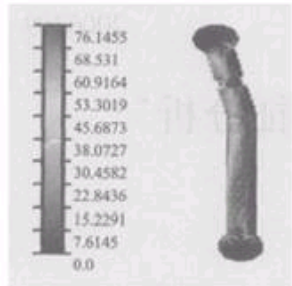


图 6 前横拉杆 6.7s时刻应力云图



图 7 中横拉杆 2.91s时刻应力云图

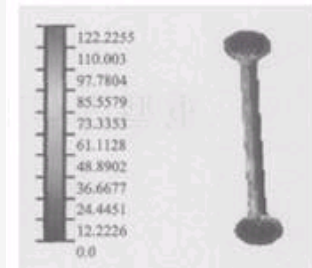
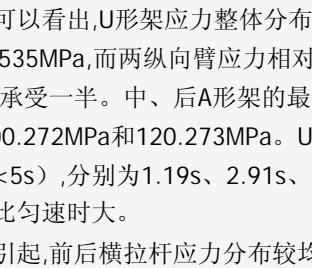


图 8 后横拉杆 4.73s时刻应力云图



从各构件瞬时最大应力云图可以看出,U形架应力整体分布较均匀,在靠近前车架连接处的横向臂的应力值最大,为100.535MPa,而两纵向臂应力相对较小,主要是因为横向臂承受全部前桥牵引力,而两纵向臂各承受一半。中、后A形架的最大应力部位都发生在与后车架连接处的筋板位置,分别为100.272MPa和120.273MPa。U形架,中、后A形架的应力最大时刻均发生在加速过程中( $t < 5s$ ),分别为1.19s、2.91s、3.19s,说明加速时承受纵向牵引力的悬架杆件的瞬时动应力比匀速时大。

横拉杆的动应力由侧向推力引起,前后横拉杆应力分布较均匀,没有明显的应力集中部位,原因是前后横拉杆为接近直线的管状结构,特别是后横拉杆为完全直线管状结构,使其只受压或拉,改善了部件的受力情况。中横拉杆在与车架、中桥连接部位附近应力较大,原因是中横拉杆受装配空间限制设计成弯曲状,而使其受力为弯压(弯拉)结合,且两端截面较小,故产生较大局部应力。

图9给出了U形架动应力最大节点的vonmises应力—时间历程。其动应力均值为20159MPa,均方根为28107MPa,由图9可清楚看出加速行驶过程中( $t < 5s$ )动应力逐渐增加后降低到匀速行驶的水平。各悬架构件动应力最大点的应力—时间历程统计值如表1所示,可得出如下结论:AD250铰接式自卸车悬架各构件在此满载工况下,动应力的最大值均小于其相应的屈服极限,符合强度要求。

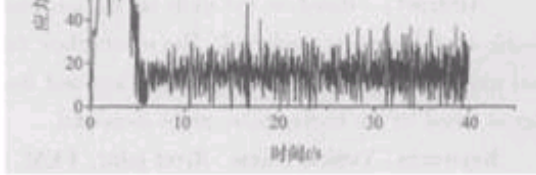


图 9 U形架动应力最大节点的 von mises-应力-时间历程

表 1 悬架构件动应力最大点的应力时间历程统计值

部件名称	材料	屈服极限 /MPa	动应力最大点的节点号	最大 von mises 应力 /MPa	应力均值 /MPa	应力均方差 /MPa
U形架	16Mn	260	11507	100.53	20.59	28.07
中 A形架	16Mn	260	1605	100.27	31.13	39.42
后 A形架	16Mn	260	15718	120.27	24.49	30.25
前横拉杆	35	230	235	78.15	44.08	54.26
中横拉杆	ZG310-570	250	36	106.69	45.11	50.75
后横拉杆	35	230	1041	122.23	60.52	68.06

#### 四、结论

依据AD250铰接式自卸车多刚体动力学模型,应用修正的Craig2Bampton模态综合法对AD250的悬架杆件进行模态分析,把生成的模态中性文件引入到多刚体模型中取代相应的刚体,建立整车刚柔耦合多体动力学模型。对此模型进行悬架系统的动态响应分析,并与试验对比,结果表明仿真与试验值的变化趋势基本一致,且相对误差较小,说明刚柔耦合模型有较高的仿真精度,能很好地反映整车的动力学特性。

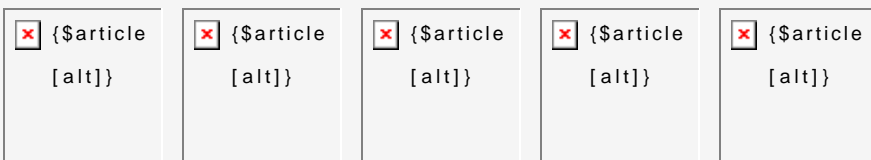
基于整车刚柔耦合多体动力学模型,分析了悬架杆件的动应力,指出了各杆件的应力最大部位并评价了其动强度。此方法不仅可以获得各悬架杆件在某一瞬时的应力云图,而且可以获得其各个节点在车辆运行过程中的动态应力-时间历程,为通过计算来评估悬架杆件的疲劳寿命创造了条件。文中所提出的方法亦可应用于汽车其它部件,只要对其柔性化,通过对启动、直线行驶、紧急制动、拐弯等多种工况的联合仿真,如果仿真时间足够长,就可以得到充足的模拟计算数据,也就完全可以通过仿真计算来评估汽车零部件的疲劳寿命。

#### 参考文献

- [1]YimHJ,HaugEJ,KimSS.  
AnEfficientComputationalMethodforDynamicStressAnalysisofFlexibleMultibodySystems  
[J].Computers&Structures,1992,42 (6) :969-977.
- [2]KhoukhiA,GhoulA.OntheMaximumDynamicStressSearchProblemforRobotManipulators  
[J].Robotica,2004,22 (5) :513-522.
- [3]MasatakaT,MasayukiN,KazuhikoA.  
ComputationofDynamicStressIntensityFactorsUsingtheBoundaryElementMethod  
BasedonLAPLACETransformandRegularizedBoundaryIntegralEquations  
[J].JSMEInternationalJournal,SeriesA:MechanicsandMaterialEngineering,1993,36  
(3) :252-258.
- [4]  
DominguezJ,GallegoR.TimeDomainBoundaryElementMethodforDynamicStressIntensityFactorComputations  
[J].InternationalJournalforNumericalMethodsInEngineering,1992,33 (3) :635-647.
- [5]  
MartinT,EspanolP,RubioMA.MechanismsforDynamicCrackBranchinginBrittleElasticSolids:  
StrainFieldKinematicsandReflectedSurfaceWaves  
[J].PhysicalReviewE2Statistical,Nonlinear,andSoftMatterPhysics,2005,71 (3) :1-17.

发表评论 加入收藏 告诉好友 打印本页 关闭窗口 返回顶部

#### 今日图片故事



戴姆勒展出... 阿斯顿·马... 戴姆勒在量... IIHS公布9款... 欧宝公开“...



台电MP4与广告美女窒息图赏

- 中国汽车技术论坛
- 中国汽车百科网
- 中国汽车人才网
- 中国汽车视频网
- 中国汽车技术网

### 今日图片故事



丰田AURIS: ...



丰田AURIS: ...



一汽-奥迪今...



[试驾]: 车...



[试驾]: 外...

搜索论坛:

[搜索](#)

[进入论坛](#) [精彩更多](#)

[Top](#)

[友情链接](#) | [诚聘英才](#) | [关于我们](#) | [加入我们](#) | [汽车翻译](#) | [站点地图](#) | [广告服务](#) | [联系我们](#) | [版权声明](#) | [加入我们](#) |

版权所有 © 2005-2008 中国汽车技术网 [www.qichejishu.com](http://www.qichejishu.com)

闽ICP备06043450号