

轿车共享底盘悬架平顺性分析模块的开发与应用^{*}

姜军平¹, 宁晓斌^{1*}, 张 杰³, 沈季胜¹, 谢伟东¹, 宋小文²

(1. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州, 310014; 2. 浙江大学 机械与能源工程学院, 浙江 杭州, 310027;
3. 万向集团技术中心, 浙江 杭州, 311215)

摘要: 为分析轿车共享底盘悬架行驶平顺性对不同车型的适应性, 以 VC++ 和 ADAMS/Car 为平台, 开发了共享底盘悬架平顺性分析专用模块, 该模块不仅能够快速、简捷地对共享底盘前、后悬架以及其它子系统进行参数化建模, 而且还具有对影响平顺性的各种因素进行分析优化的功能。最后应用该模块对两款使用该共享底盘的车型进行前后偏频的测定、脉冲激励仿真和 B 级路面仿真, 仿真分析结果表明采用该共享底盘的两款车型满足行驶平顺性要求。

关键词: 共享地盘; 悬架; 仿真; 平顺性

中图分类号: TH12; U463.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)06-0022-06

Vehicle shared chassis of suspension ride comfort analysis module of the development and application

JIANG Jun-ping¹, NING Xiao-bin¹, ZHANG Jie³, SHEN Ji-sheng¹,
XIE Wei-dong¹, SONG Xiao-wen²

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;
2. College of Mechanical and Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;
3. Department of Vehicle Design, Wanxiang Group, Hangzhou 311215, China)

Abstract: In order to analyze vehicle shared chassis of suspension ride comfort on adaptability to different types of cars, using VC++ and ADAMS/Car as platform, a shared chassis of suspension ride comfort analysis of specific module was developed, which can not only carry through parametric modeling of share chassis' front and rear suspension, and other subsystems function quickly and simply, but also has the function of analysis and optimization various factors which has an impact on ride comfort. Finally, the module was applied to test the two types of the vehicle which used shared chassis of front and rear frequency, pulse inspire simulation and B-road simulation. The results show that the share chassis' two types of vehicle meet the ride comfort requirements.

Key words: shared chassis; suspension; simulation; ride comfort

0 引 言

随着自主品牌汽车的快速发展, 国内汽车产业已经开始从“开发车身、借用成熟底盘”向“自主开发、多车型共享底盘”过渡, 国内汽车企业对底盘总成系统的需求日益强烈, 共享底盘平台的水平成为衡量一个

企业技术成熟度的标志。多车型共享底盘平台是当前国际主要汽车制造商的技术优势之一, 可以在共用平台的基础上, 针对具体车型的细分市场分析, 对共用平台进行局部调整, 甚而沿用现有平台, 开发出能满足不同市场需求的车型, 快速占领市场, 赢得更大的市场份额和利润。从现实意义看, 发展多车型共享底盘平台

收稿日期: 2009-10-22

基金项目: 浙江省重大科技专项资助项目(2008C01002); 浙江工业大学科学研究基金资助项目(20080174)

作者简介: 姜军平(1983-), 男, 陕西富平人, 主要从事汽车行驶平顺性方面的研究. E-mail: junping2007@163.com

通信联系人: 宁晓斌, 男, 副教授. E-mail: nxh@zjut.edu.cn

开发技术不仅仅是某个企业的产品发展战略,更重要的是能够带动一个省乃至一个国家汽车零部件产业的有效整合,形成具有国际竞争力的汽车底盘产品航母战斗群。同时,通过对多车型共享底盘平台的开发,可以掌握其中的关键技术,形成具有自主知识产权的核心技术产品,对汽车零部件产业的提升和提高汽车企业的竞争力有十分重要的战略意义。

由于像汽车这样的高技术产品的开发,不仅耗资巨大、周期较长,而且成功率较低、开发风险高^[1]。通过开发一个多车型共享地盘悬架设计分析平台,先对其进行虚拟仿真设计,等其各项指标满足要求后,再进行实体设计,这样就为汽车设计节省了很多环节,也为厂家节省了时间和资金。

本研究以多体动力学软件 ADAMS/Car 和 VC++ 为开发平台,开发出了一套用于进行平顺性分析的多车型共享地盘悬架分析专用模块。实现对整车模型以及其各个子系统的参数化自动建模,并具有对影响整车平顺性的各因素进行分析,以及对仿真结果数据进行后处理等功能。

1 多车型共享底盘悬架平顺性分析模块

该系统是以 ADAMS/Car 和 VC++ 为开发平台设计而成的,系统的主要功能包括:(1) 前后悬架系统、转向系统、前后横向稳定杆系统、车身系统、前后车轮系统的参数化自动建模功能,用于创建和修改整车装配中用到的一些子系统;(2) 整车模型的自动化装配功能,用于装配整车模型中用到的相关子系统;(3) 偏频的自动测定功能,用于测定并判定该车型的前后偏频是否满足平顺性要求;(4) 自动仿真分析功能,用于输入国标试验工况数据以进行自动仿真分析;(5) 结果数据后处理功能,用于重现工作状态的动画及提取符合汽车评价标准的仿真结果数据;(6) 优化功能,用于对整车模型中相关参数进行修改,使其满足平顺性要求。所有功能模块都是通过 VC++ 调用 ADAMS/Car 来完成的。

1.1 各子系统的参数化建模功能模块

1.1.1 前、后悬架建模功能模块

通过 VC++ 界面调用子系统建模菜单,然后选择前悬架系统建模菜单、前悬架的类型、驱动方式,当悬架的类型、驱动方式选定后,系统内部会自动调出对应该悬架类型和驱动方式的前悬架建模界面,通过在建模界面的输入对话框中输入相关参数就可以完成前悬

架的建模。这里以采用此款共享底盘的某款车型(代号 H1)为例进行说明,H1 前悬为麦弗逊悬架,驱动方式为前置前驱。在 VC++ 菜单界面选定这些条件后,系统根据选择的条件自动调出了前轮驱动式麦弗逊悬架建模界面,在建模界面输入对应的悬架系统属性文件的打开路径;然后在悬架系统建模界面输入悬架各个铰链对应的硬点坐标,螺旋弹簧刚度、减振器阻尼、前束角、外倾角等;点击“确定”后,系统就会根据选择的悬架属性文件和输入的相关参数,自动建立悬架模型;建模完成后,可以通过 ADAMS/Car 界面查看所建立的模型,点击保存退出,系统就会自动把建好的前悬架模型存放在指定位置以待整车装配时调用并退出(如图 1 所示)。建立后悬架模型的步骤和前悬架相同,只是输入界面输入参数稍有不同。



图 1 参数输入后建立的前悬架模型

1.1.2 车身建模功能模块

本研究建立车身模型时,考虑了司机、乘客、行李箱等质量分布对平顺性的影响^[2]。在车身建立了简化后的座椅-人模型,并进行了二次开发,开发出的建模界面如图 2 所示。进行车身建模时,通过 VC++ 调用相关命令,然后通过在建模界面输入相关参数就可完成车身的建模。



图 2 车身建模输入界面

1.1.3 其他子系统建模功能模块

转向系系统、发动机系统、前后横向稳定杆系统、前后车轮系统的建模方法和前悬的建模方法类似,分别通过 VC ++ 界面的建模菜单调用相关建模界面,通过在建模界面输入相关参数,就可完成该系统的建模。

1.2 整车建模功能模块

进行整车建模时,该分析系统提供两种 (MDI_SDI_TESTRIG, ARIDE_FOUR_POST_TESTRIG) 试验台供选择。当进行整车虚拟仿真分析时,通过 VC ++ 调用整车装配命令,系统会自动弹出整车装配界面 (如图 3 所示), 并且会自动调用 MDI_SDI_TESTRIG 试验台与各个子系统进行装配,同样,当进行四柱试验台仿真分析时,系统会自动选择 ARIDE_FOUR_POST_TESTRIG 试验台与各个子系统进行装配。各个子系统选择完成后,点击确定,即可完成整车的装配,最后点击“保存”并退出,装配好的整车模型就会被保存在指定位置,以待下一步分析调用。



图 3 进行整车虚拟仿真的装配界面

为了验证建立的共享底盘能否适用于不同的车型,本研究以该共享底盘的两种车型 H1、C2 为例,两款车型主要参数如表 1 所示。通过修改共享底盘的轴距、轮距、重心位置、整车质量以及轮胎等参数,分别建立两款不同车型的参数化整车模型如图 4 所示。

表 1 两款车型主要参数对比

主要参数	H1	C2
满载质量/kg	1 607	1 845
前轴荷/kg	829.5	849
后轴荷/kg	777.8	996
前轮距/kg	1 470	1 420
后轮距/kg	1 470	1 440
前螺旋弹簧刚度/(N·mm ⁻¹)	24.7	24.7
后螺旋弹簧刚度/(N·mm ⁻¹)	15.56	15.56
整车质心高度/mm	680	595
整车质心距前轴距/mm	1 042	1 132
整车质心距前轴距/mm	1 566	1 563
轮胎型号	205/50 R16	185/70 R14

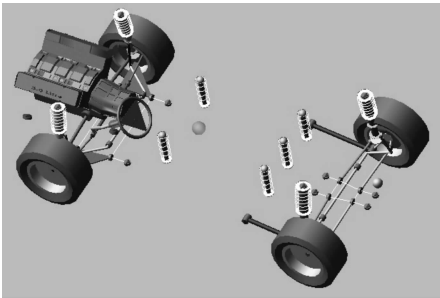


图 4 H1、C2 仿真模型

1.3 平顺性仿真分析功能模块

参照国标试验工况的要求,开发了基于整车虚拟仿真的平顺性仿真功能模块和基于四柱试验台平顺性仿真功能模块。该功能模块可以实现如下要求:前后偏频的测定;制动点头量和加速抬头量的优化;横向稳定杆刚度的优化;三角凸块脉冲和长方形凸块脉冲激励下的平顺性仿真分析优化;B、C 级路面平顺性仿真分析优化。这样,通过 VC 界面调用相关命令,就可以自动进行各种工况下的平顺性仿真分析,并能通过用户仿真输入界面,对仿真中需要调整的相关参数进行修改。B 级路面平顺性仿真分析优化界面如图 5 所示,通过点击界面上的相关按钮,就可以自动进行仿真分析、查看仿真动画、修改弹簧刚度、减振器阻尼等。



图 5 B 级路面平顺性仿真分析优化界面

1.4 结果数据后处理功能模块

对于每一个仿真分析模块,都有一个与之对应的结果数据后处理模块,利用该模块,不仅能从仿真结果中方便地读取各种位移、速度、加速度和构件间相互作用力等数据信息,还可以进一步得到车辆性能数据信息,如车身各个轴向加速度功率谱、座椅各个轴向加速度功率谱,以及适用于国标的各种车辆评价指标数据信息等。这样,汽车设计师能非常方便、直观地得到所设计车辆的性能信息,从而提高其设计效率。B 级路面仿真结果后处理功能模块如图 6 所示,当仿真完成后进入后处理功能模块,通过点击相应的按钮,就可以

查看驾驶员座椅处和副驾驶座椅处各个轴向的加速度功率谱密度曲线。

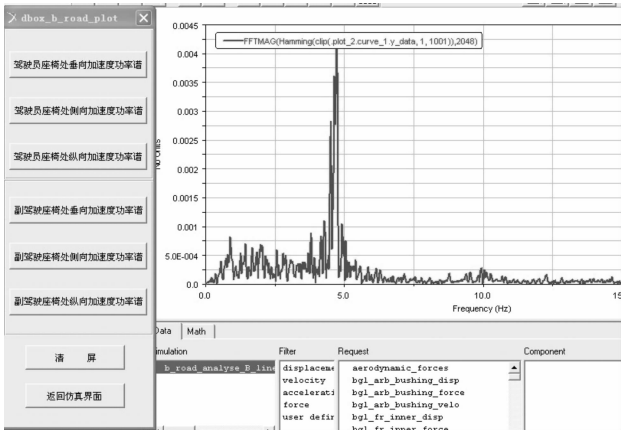


图6 B级路面仿真结果后处理界面

2 平顺性仿真分析

2.1 偏频的测定

前、后悬架及其簧上质量组成的振动系统的固有频率是影响汽车行驶平顺性的主要参数之一。汽车前、后部分车身的固有频率 n_1 、 n_2 (亦称偏频) 的表达式为:

$$n_2 = \frac{\sqrt{c_2}}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{c_2}}, n_1 = \frac{\sqrt{c_1}}{2\pi} \sqrt{\frac{m_1}{c_1}} \quad (1)$$

式中 c_1 、 c_2 —前、后悬架刚度; m_1 、 m_2 —前、后悬架簧上质量。

根据文献[3]中关于汽车悬挂系统的固有频率和阻尼比测定方法,通过在 ADAMS/Car 中进行二次开发,分别建立了通过四柱试验台测试前、后偏频的试验系统和整车虚拟仿真测试前、后偏频的试验系统,测试前偏频的虚拟试验系统如图7所示。用该分析模块中的整车虚拟仿真测试前、后偏频试验系统对 H1 和 C2 型车的前、后偏频分别进行了测试。测出 H1 型车前、后偏频分别为 1.38 Hz、1.20 Hz, C2 型车前、后偏频分别为 1.4 Hz、1.28 Hz,根据文献[4]中对前、后偏频的要求可知,该两种车型的前后偏频满足平顺性要求。H1 和 C2 型车的前、后偏频曲线如图8、图9所示。

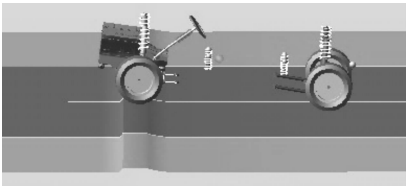


图7 前偏频测试虚拟试验台

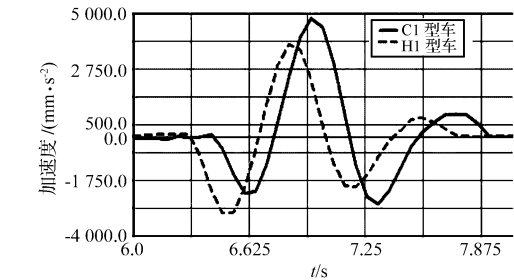


图8 H1、C2 型车前车架加速度衰减曲线

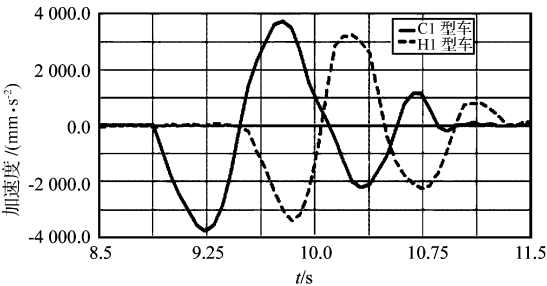


图9 H1、C2 型车后车架加速度衰减曲线

2.2 脉冲激励仿真分析

根据国标 GB5902-86^[5] 的要求,该模块开发出了两种脉冲激励(三角凸块脉冲激励和长方形凸块脉冲激励)作为脉冲输入,在后处理界面以座椅传给乘客的最大加速度响应(绝对值)作为评价标准,以 ISO2631 新草案对健康的评价方法作为依据进行评价,ISO2631 中脉冲输入下平顺性评价指标的限值为:座椅传递给乘员的最大加速度响应超过 43.02 m/s² 时将危害健康,低于 31.44 m/s² 时对健康没有危害,在 31.44 m/s² ~43.02 m/s² 这个区间内对健康有一定的危害^[6]。选择仿真分析系统中的三角凸块脉冲进行仿真分析,H1、C2 两种车型分别以不同的仿真速度驶过三角凸块脉冲路面时,驾驶员座椅处垂直方向的加速度最大值如表2所示,由表2可知,座椅传给乘客的加速度最大响应均小于 31.44 m/s²,故在常速以下,该脉冲对人体健康没有危害。

表2 不同车速时驾驶员座椅处加速度最大值

车速/(km·h ⁻¹)	10	20	30	40	50	60	70
H1 型车/(m·s ⁻²)	0.29	0.4	0.43	0.55	0.8	1.29	2.26
C2 型车/(m·s ⁻²)	0.3	0.43	0.56	0.76	1.3	2.41	3.79

2.3 随机路面平顺性分析

2.3.1 B级随机路面文件的生成

在 ADAMS/Car 中,没有符合国标要求的随机路面模型,根据文献[7]的要求,先用下式求解出路面空间位移功率谱密度:

$$G_q(n) = (2\pi n_0)^2 G_q(n_0) \quad (2)$$

式中 $G_q(n)$ —路面空间位移功率谱密度; $G_q(n_0)$ —路面不平度系数; n —空间频率; n_0 —空间参考频率, $n_0 = 0.1 \text{ m}^{-1}$; w —频率指数, $w = 2$ 。

接下来用高斯伪白噪声的路面空间速度功率谱密度信号获得 $G_q(n)$ 的信号, 即:

$$G_q(n) = G_q(n_0) \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-w} \quad (3)$$

最后用 ADAMS/Car 中的功率谱逆变换的函数 INVSPD 生成随机路面数据^[8-9]。

$$\begin{aligned} \text{INVSPD} &= \sum_{i=1}^N A_i \cdot \sin(2\pi \cdot f_i \cdot x + \varphi_i) \\ f_i &= f_{\min} + \frac{1}{N}(f_{\max} - f_{\min}) \end{aligned} \quad (4)$$

式中 N —伪随机信号中所包含的频率数量; f_i —伪随机信号的频率; x —二维路面的纵向位置; φ_i —相角, 由随机函数发生器产生, 取值范围为 $0 \sim 2\pi$; A_i —相应频率对应的幅值; $f_{\min}$ —构成伪随机信号的频率下限; $f_{\max}$ —构成伪随机信号的频率上限。

2.3.2 B 级路面平顺性仿真分析

根据文献[10]中汽车平顺性的测试方法, 该平顺性仿真分析系统提供两种随机激励仿真系统, 分别为: 随机路面虚拟仿真平顺性分析系统、四柱试验台随机激励仿真平顺性分析系统。利用随机路面虚拟仿真平顺性分析系统对 H1 型车和 C2 型车分别进行了平顺性分析。H1 型车和 C2 型车驾驶员座椅处 3 个轴向的加速度功率谱如图 10~图 12 所示。根据文献[11]可知, 驾驶员座椅垂直轴向的频率加权函数最敏感的频率范围标准规定为 $4 \text{ Hz} \sim 12.5 \text{ Hz}$, 驾驶员座椅水平轴向的频率加权函数最敏感频率范围为 $0.5 \text{ Hz} \sim 2 \text{ Hz}$, 故在垂直方向加速度功率谱的峰值应该避开 $4 \text{ Hz} \sim 12.5 \text{ Hz}$ 这个敏感范围, 在水平方向加速度功率谱的峰值应该避开 $0.5 \text{ Hz} \sim 2 \text{ Hz}$ 这个敏感范围。通过图 10~图 12 可知, H1、C2 型车驾驶员座椅处 3 个轴向的加速度功率的峰值均避开了各自的敏感范围。

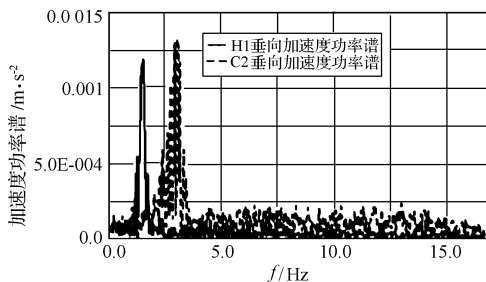


图 10 驾驶员座椅处垂直方向加速度功率谱

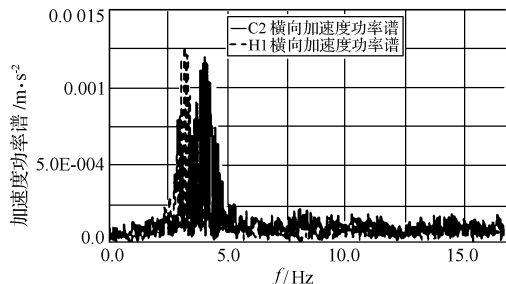


图 11 驾驶员座椅处横向加速度功率谱

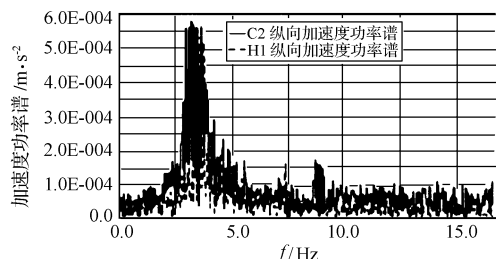


图 12 驾驶员座椅处纵向加速度功率谱

计算加权加速度均方根值 a_w :

$$a_w = \left[\int_{0.5}^{80} W^2(f) G_a(f) df \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

式中 $W(f)$ —频率加权函数, $W(f)$ 的取值范围如下:

(1) 水平方向的振动频率加权函数:

$$W(f) = \begin{cases} 1.0 & 0.5 \leq f \leq 2 \\ 2/f & 2 < f \leq 80 \end{cases} \quad (6)$$

(2) 垂直方向的振动频率加权函数:

$$W(f) = \begin{cases} 0.5 & 0.5 < f \leq 2 \\ f/4 & 2 < f \leq 4 \\ 1 & 4 < f \leq 2.5 \\ 12.5/f & 12.5 < f \leq 80 \end{cases} \quad (7)$$

(3) 计算总加权加速度均方根值:

$$a_{wo} = \left[(1.4a_{xw})^2 + (1.4a_{yw})^2 + a_{zw}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

将所得的驾驶员座椅处 3 个轴向的加速度功率谱函数数据分别导出, 然后再利用 Matlab 软件编程, 求出总加权加速度均方根 a_{wo} 的值为:

$$a_{H1_wo} = 0.286, a_{C2_wo} = 0.312$$

根据文献[5]中的评价标准可知, H1 和 C2 型车均满足平顺性要求。

3 结束语

(1) 通过对 ADAMS/Car 的二次开发, 完成对整车模型中的各个子系统: 前后悬架系统、前后横向稳定杆系统、转向系统、发动机系统、前后车轮系统、车身系统的参数化建模。

(2) 在 ADAMS/Car 平台之上, 建立了基于平顺

性的多车型共享底盘悬架设计及仿真分析系统,该系统提供两种实验台:整车虚拟仿真试验台和四柱试验台。运用该仿真分析系统可以对影响整车平顺性的各因素进行分析,此外,该分析系统具有很强的通用性,可作为通用的平顺性仿真分析试验平台,因此具有重要的工程应用价值。

(3) 通过利用该分析模块对两款使用共享底盘的车型(H1、C2)进行前后偏频的测定、脉冲激励仿真和B级路面仿真分析,结果表明采用该共享底盘的两款车型满足行驶平顺性要求。

参考文献(References):

[1] 张红斌. 三维数字化技术在汽车分析中的应用[J]. 机电工程技术, 2008, 37(8): 60, 124.

[2] ELS P S. The applicability of ride comfort standards to off-road vehicles[J]. Journal of Terramechanics, 2005, 42(1): 47 - 64.

[3] SLATENGREN J. Utilization of ADAMS to Predict Tracked Vehicle Performance[C]//SAE Paper, 2000 - 01 - 03.

[4] 刘 涛. 汽车设计[M]. 1 版. 北京: 北京大学出版社, 2008.

[5] GB5902 - 86. 汽车平顺性脉冲输入行驶试验方法[S]. 国家标准局, 1983 - 03.

[6] ISO 2631 - 1:1997(E). Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part1: General requirements[S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 1997 - 05.

[7] GB7031 - 1987 车辆振动输入-路面平度表示方法[S]. 国家标准局, 1986 - 11.

[8] 张挺玖, 李 丹, 黄兴无. 基于 ADAMS 软件的 WWB 型脉动式无级变速器速度分析[J]. 轻工机械, 2008(6): 110 - 113.

[9] 贺 兵, 刘 扬, 刘建华. 基于 ADAMS 软件的啤酒瓶装箱机双回杆机构的运动仿真优化[J]. 轻工机械, 2008(5): 34 - 37.

[10] Mechanical Dynamic Inc.. ADAMS/Tire Option[M]. Mechanical Dynamic Inc, 1999.

[11] 余志生. 汽车理论[M]. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2006.

[编辑: 李 辉]

(上接第 16 页)

[4] LEE S H. A CAD-CAE integration approach using feature-based multi-resolution and multi-abstraction modelling techniques[J]. Computer-Aided Design, 2005, 37(9): 941 - 955.

[5] CIGNONI P, MONTANI C, SCOPIGNO R. A comparison of mesh simplification algorithms[J]. Computer Graphics, 1998, 22(1): 37 - 54.

[6] CHOI D H, KIM T W, LEE K. Multiresolutional Representation of B-rep Model using Feature Conversion[C]//Proceedings of Trans Soc CAD/CAM Eng. Korean: [s. n.], 2002: 121 - 30.

[7] FRANCOIS V, CUILIERE J C. 3D automatic remeshing applied to model modification[J]. Computer-Aided Design, 2000, 32(7): 433 - 444.

[8] SHEFFER A, UNGOR A. Efficient Adaptive Meshing of Parametric Models[C]//Proceedings of the Sixth ACM Symposium on Solid Modeling and Applications. Michigan, United States: ACM Press, 2001: 59 - 70.

[9] SMIT M S, BRONSVOORT W F. Efficient tetrahedral remeshing of feature models for finite element analysis[J]. Engineering with Computers, 2009, 25(4): 327 - 344.

[10] REZAYAT M. Midsurface abstraction from 3D solid models: general theory and applications[J]. Computer-Aided Design, 1998, 28(11): 905 - 915.

[11] CAO Wei-juan, WU Hai-pang, JIANG Yu-qin, et al. Automated Generation of Analysis Feature Model for Interaction of CAD and FEA[C]//Proceedings of ASME DETC/CIE 2009. San Diego, California, USA: [s. n.], 2009: [s. n.].

[12] SHIM K W, MONAGHAN D J, ARMSTRONG C G. Mixed dimensional coupling in finite element stress analysis[J]. Engineering with Computers, 2002, 18(3): 241 - 252.

[13] 胡恩球, 张新访, 向 文, 等. 有限元网格生成方法发展综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1997, 9(4): 378 - 383.

[14] BENZLEY S E, PERRY E, MERKLEY K, et al. A Comparison of all Hexahedral and all Tetrahedral Finite Element Meshes for Elastic and Elastic - plastic Analysis[C]//Proceedings of the Fourth International Meshing Roundtable. Sandia National Laboratories: [s. n.], 1995: 811 - 47.

[编辑: 李 辉]