

文章编号: 1002-0268 (2005) 02-0131-04

整合的虚拟产品开发技术应用研究

林逸¹, 陈潇凯¹, 秦民², 马天飞²

(1. 北京理工大学, 北京 100081; 2. 吉林大学, 吉林 长春 130025)

摘要: 针对车辆这样复杂系统的开发工作, 构建一个整合的虚拟产品开发技术框架, 并成功地将其应用于某轻型客车的前悬架改型设计之中。本文建立了整车刚弹耦合动力学分析模型, 采用动力学分析软件 ADAMS 对整车进行了动力学性能分析, 确定了改型设计的实施方案, 并输出了后续有限元分析工作所需的动载荷; 利用数字化模型技术, 依据原有的零部件模型, 通过修改模型特定数字特征来完成零部件的改型设计; 使用有限元分析软件 NASTRAN 对改型零部件的静、动强度进行了分析, 提出改进方案, 确保改型设计方案的可靠、可行。整合的方法有效综合了各种开发手段的优势, 减少了重复设计时间, 避免了在产品开发后期阶段的返工, 并增强了物理样机与实际产品性能之间的相似性。

关键词: 整合; 虚拟产品开发技术; 改型设计

中图分类号: U461

文献标识码: A

Study on Integrated Virtual Product Development

LIN Yi¹, CHEN Xiao-kai¹, QIN Min², MA Tian-fei²

(1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. Jilin University, Jilin Changchun 130025, China)

Abstract: For simulation and design of the complicated systems like vehicle development, we use an integrated virtual product development frame based on MSC Software, with which, we have succeeded the project for the front suspension redesign for a light-bus. We build the whole vehicle dynamic model, analyse the dynamic performance using the ADAMS, ensure the reform scenario, and output the dynamic loads for the coming FEA analysis; with the software NASTRAN, the analysis of components' static stress and dynamic stress were performed to ensure the reform scenario was credible. The main benefits of the integrated method are reduction in product design-cycle time, avoidance of design iterations delay in the development process, and increased likelihood that physical prototypes will be closer to production quality.

Key words: Integrated method; Virtual Product Development (VPD); Reform design

由于在汽车产品开发中广泛采用 CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing/Computer Aided Engineering) 技术, 过去 5 年中汽车零部件的缺陷率降低了 40%, 但汽车主机厂采用这些零部件生产整车所需的维护费用仅降低了 20%, 说明优化的零部件所组成的系统并不是最优系统。提高产品质量、缩短产品开发周期及降低产品开发费用应当使用虚拟产品开发技术在系统级上进行开发设计工

作, 以期获得优化的系统设计。

由于计算机硬件和建模软件解算能力在过去 10 年里有了实质性的改善, 对复杂系统进行高精度仿真的能力有了很大发展。例如, 对车辆的整车动力学性能分析、优化, 以及系统的寿命预测分析等各方面高精度模型的建立和仿真都成为了可能, 尽管高精度模型的模拟是高效可用的, 但要联合这些技术来获取综合仿真能力仍是很困难的^[1]。系统综合能力的缺乏减

收稿日期: 2003-12-25

作者简介: 林逸 (1953-), 男, 吉林长春人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为车辆系统力学。(liny@bit.edu.cn)

弱了超越子系统级设计来进行复杂系统设计的能力,而整合的虚拟产品开发技术实质上是综合不同的子系统模型、算法、仿真工具以构建完整的系统仿真和设计环境^[2]。

本文主要是围绕着课题“某轻型客车前悬架加宽改进设计”而展开的,根据实际情况,厂家提出应在改动量尽可能小的前提下将前轮距加宽 180mm,相应地需要将有关底盘部分进行重新设计以满足生产要求。

1 数字化模型的建立

数字化模型是虚拟产品开发技术的基础,数字化模型是指利用 CAD/CAM/CAE 一体化技术对产品进行百分之百的数字化定义。数字化模型是对虚拟产品开发技术进行整合的基石和出发点^[3]。在模型的准备阶段,首先应考虑的是基于某一种或几种 CAD 建模系统建立整个系统的三维数字化模型。本项目中我们利用 UG 软件建立了整车的三维实体模型,其中前悬架部分如图 1 所示。

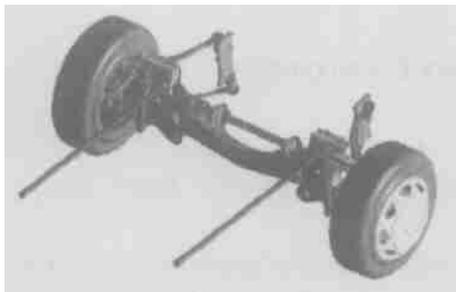


图 1 前悬架 CAD 模型

2 改型方案的确定

利用所建立的三维数字模型,通过数据接口文件将 CAD 模型传递到动力学分析软件 ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System) 中,建立运动学及动力学分析模型,对其进行相应的性能分析以确定适宜的改型方案。为了确定改型方案,所进行的性能分析主要有前悬架运动学分析、转向角关系分析,以及整车动力学分析等 3 部分内容。

2.1 加宽方案

为实现前轮距加宽 180mm,考虑到加宽的成本和工艺要求,可供选择的加宽方案在运动学部分总结来说可以按以下两种来进行分析:元宝梁加长或摆臂加长。

2.2 前悬架运动学分析

前悬架的运动学分析通常是指研究前轮定位参数随车轮跳动的变化情况。运动学分析的目的在于利用运

动力学模型,对几种改进方案与原车方案进行前轮各定位参数在车轮上下跳动过程中的变化进行对比分析,找到适合的初步加宽方案。根据该车型的悬架和转向系统实际结构,应用 ADAMS 软件建立如图 2 所示的前悬架系统运动学模型。

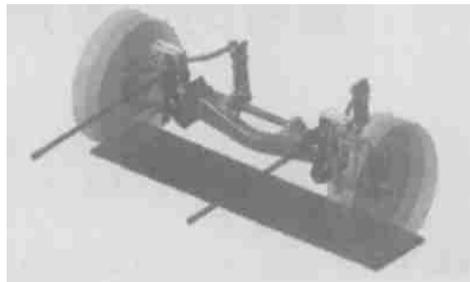


图 2 前悬架运动学分析模型

该模型由 31 个活动物体(不包括地面)组成。根据原车的实际结构,在模型中装有 8 个转动副,8 个球铰,4 个直线运动副,16 个固定铰,2 个平面原始铰组成。在车轮下的平板上加 Z 方向的直线运动,模仿地面激励。部分计算结果如图 3,图 4 所示。

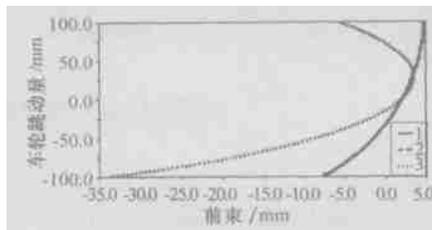


图 3 元宝梁加宽方案的前束变化

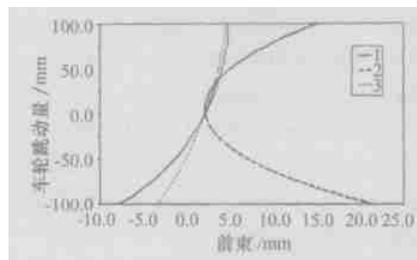


图 4 摆臂加长方案的前束变化

从运动学的分析结果可以看出,正确的改型方案是进行元宝梁的加宽,并相应地将转向器齿条部分加长。针对元宝梁加宽的两种方式,适宜的方案是将其端部加长,以后的工作在这一方案的基础上进行。

2.3 转向角关系确定

由于前左右轮距离加宽 180mm,破坏了原车转向轮的转角关系,势必造成转向轮的偏磨^[4]。必须对转向机构与原车的转向特性上对比分析,并进行优化设计。

转向角关系对转向节臂与转向拉杆处铰链位置的变化十分敏感,本文主要通过修改这一铰链位置来实

现对转向系的优化设计。利用所建立的转向系分析模型计算得出, 该铰接点外移 5mm 后能够较好的满足转向角关系优化的目的, 动力学仿真工作就是在该铰接点外移 5mm 的基础上进行的。

2.4 整车动力学分析

以运动学模型为基础, 根据实际情况修改有关铰链, 加入有关的力、扭矩、阻尼等力学参数; 设定运动发生器; 按照试验得出的减振器力学特性曲线建立样条函数来模拟减振器的非线性力学特性; 根据试验得到的轮胎力学特性参数建立轮胎模型, 编制相应的路面文件。车辆系统中所包含的诸如橡胶衬套、钢板弹簧以及横向稳定杆等诸多非线性元件对车辆性能具有显著影响^[9]。本文针对不同元件采用不同手段进行处理, 以使分析模型更加精细, 准确模拟实际系统的性能。例如, 使用了无质量 Beam 梁建立多达 658 个自由度的钢板弹簧模型, 并通过在接触位置加虚拟辅助物体和使用带判断条件的 Sforce (Single force) 实现主、副簧之间的接触问题。使用有限元软件 NASTRAN 对柔度较大的横向稳定杆进行模态分析, 用模态集成方法将其与多刚体动力学模型耦合。

考虑到整车模型的复杂性, 将前悬架及转向系模型、传动系模型、钢板弹簧模型、轮胎和路面模型分别建立, 然后组装到一起建立整车动力学模型。根据仿真项目的不同需要将该模型修改为操纵稳定性模型和平顺性模型。利用建立的整车动力学模型, 依据有关的国家标准进行了稳态回转试验仿真、转向回正试验仿真、角阶跃输入仿真、整车模态分析、脉冲输入仿真和随机输入仿真分析等仿真项目, 对加宽后整车的操纵稳定性和平顺性特性进行了较全面的仿真分析, 并与原型车的实车试验数据进行了对比分析以保证改进方案的整车动力学性能。

以上所进行的前悬架运动学、转向角关系, 以及整车动力学等性能分析保证了按照本文所提出的方案对该轻型客车进行前悬架的加宽改进设计是合适的。接下来的工作就是要对改型方案进行进一步的确定, 以保证改型方案在具体到零部件的改制时是可实现的。

3 改型件的设计

针对元宝梁端部加宽方案, 需要改动的零部件主要有: 元宝梁 (带上、下腹板)、拉杆固定支架、转向横拉杆、前横向稳定杆、扭杆弹簧后固定支架、转向节臂垫块等。对于数字化模型技术, 在改进方案确定后, 就可以非常方便地根据原有的零部件数字模

型, 通过修改模型特定的数字特征来完成改进零部件的设计和优化。下面只对最主要的改进件——元宝梁的改进设计加以阐述。

根据对改进设计的分析结果, 将元宝梁和上、下腹板在左右外端部各向外加长 90mm。加长是利用摆臂固定支架与元宝梁的固定位置内侧、原元宝梁平整部位的截面形状进行的, 并进行了适当的过渡。上、下腹板的加长同样是利用了原部件的走势进行适宜的过渡。元宝梁带上下腹板总成加宽前、后的形式如图 5、图 6 所示。

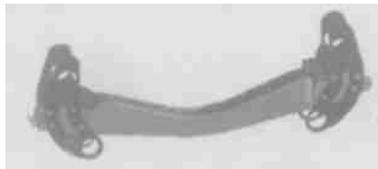


图 5 元宝梁原型

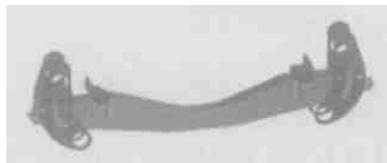


图 6 元宝梁端部加长效果图

4 改型件的有限元分析

多系统动力学与有限元分析的结合越来越广泛, 在本项目中, 利用有限元软件 NASTRAN 与动力学分析软件 ADAMS 相结合进行了关键零部件的强度校核分析。

4.1 元宝梁有限元分析模型建立

为了便于有限元分析, 首先对元宝梁进行简化。将原结构简化为上腹板、下腹板和前后两个挡板。根据元宝梁结构的对称性, 做出 1/4 的几何模型, 其线框图见图 7。

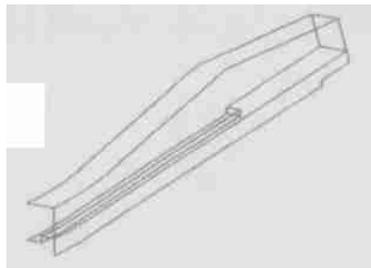


图 7 元宝梁 1/4 部分简化几何模型

对几何模型进行网格划分, 手工修改边界节点位置, 删除畸形的单元并重新划分, 消除重复节点使各个面贴合完好, 检查有限元网格的质量直到符合要求。再根据对称性将生成的单元相对于 YOZ 坐标平面

和 xoy 坐标平面做镜像, 最后得到了包含 11 085 个节点和 9 912 个四边形单元、48 个三角形单元的元宝梁有限元模型。

将元宝梁与摆臂支架之间 4 个螺栓连接点所围成的区域内的节点作为系统约束, 固定其 6 个自由度; 考虑到原车结构中车架纵梁托架一方面与元宝梁上表面相接触, 另一方面通过支架与元宝梁侧面相联接, 因此应在前梁上表面和侧面的节点上施加载荷, 并通过作用面积的等效原则将纵梁对前梁的垂直载荷均匀分布于各个节点。所建立的元宝梁有限元分析模型如图 8 所示。

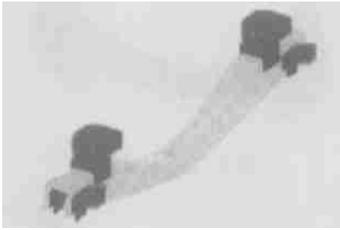


图 8 元宝梁有限元分析模型

4.2 元宝梁静强度分析

根据上述有限元分析模型, 利用在汽车静平衡位置附近元宝梁所受的静载荷对其进行静强度分析, 元宝梁的静强度足够。接下来, 关键要考察在恶劣使用条件下元宝梁的动强度情况。

4.3 元宝梁动强度分析

元宝梁的动强度分析是针对汽车在恶劣使用条件下元宝梁所承载荷来进行的。动载荷是利用动力学分析模型模拟汽车通过凸起或凹坑路面的恶劣工况得到的。将所得动载荷作为载荷施加到有限元分析模型中。分析的结果表明其强度需要加强, 应对结构加以改进。改进方案考虑了以下两种情况:

方案 1: 元宝梁中其它零件的厚度不变, 只将前梁厚度增加至 4mm, 计算动载荷作用下部件的应力状况, 所得结果表明其最大应力值已经能够满足材料的强度要求。

方案 2: 元宝梁中其它零件的厚度不变, 只将上腹板的厚度增加至 9mm, 计算其应力值, 计算结果表明只增加腹板的厚度对改进元宝梁的强度几乎没有影响, 因此该方案不可取。

根据多体动力学模型所输出的动载荷, 使用有限元的分析手段对改动量较大的元宝梁进行了静、动强度分析。为了保证元宝梁在各种工况的使用过程中都具有足够的强度, 必须在原结构的基础上, 增加前梁的厚度到某一数值。

5 结论

本文在消化和吸收 CAD/CAM/CAE 一体化技术的基础上, 构建整合的虚拟产品开发技术框架。提出以 CAD/CAM 环境下的数字化模型为基础平台; 以多体系统动力学分析为主要系统性能研究手段; 根据仿真分析结果指导进一步的设计工作, 充分利用数字化模型的特征可编辑性进行改动零部件的改型设计; 并辅以有限元技术对改进后零部件进行强度分析, 保证设计方案的可靠性。

整合的虚拟产品开发技术有效综合了各种开发手段的优势, 它的应用能够减少产品开发的重复设计时间, 避免在产品开发后期阶段返工, 并增强了物理样机与实际产品性能之间的相似性。

参考文献:

- [1] P Papalambros, N Michelena, N Kikuchi Distributed Cooperative Systems Design [R]. Finland: Proceedings of the 11th International Conference on Engineering Design, 1997, 2: 265-270.
- [2] Fellini R. A Model-Based Methodology for Product Family Design [D]. Michigan: University of Michigan, 2003.
- [3] 陈潇凯. 多体系统动力学应用于某轻型客车数字化模型的研究 [D]. 吉林大学硕士论文, 2002.
- [4] [德] 耶尔森·赖姆帕尔, 著. 汽车底盘基础 [M]. 北京: 科学普及出版社, 1992.
- [5] Lin Yi, Chen Xiaokai, Yu Fan, Guan Xiqiang. Dynamic Simulation and Characteristics Analysis for a Light Bus Based on a Detailed Multi-Body Model [C]. SAE, 2002-01-0989.