

Body Structure Design Optimization based on its Stiffness Sensitivity

XueyanJin,Zhijun Zhu,WeiweiHu, BenyouLv
Chery Automobile Co., Ltd., China (Wuhu)
Email: jinxueyan@mychery.com

Abstract: The demand of vehicle lightweighting has been growing stronger, particularly with stringent regulations and standards of energy consumption and emission reduction. The vehicle lightweighting can be achieved by various approaches, including optimizing structure design, deploying advanced manufacturing processes, and applying alternative materials such as plastics, carbon fiber reinforced polymers or advanced high strength steel. Design optimization is the key approach to cut vehicle weight due to its cost effectiveness. This paper exhibits the sensitivity between BIW (body in white) torsion stiffness and geometric inertia of main sections with computational finite element analysis. The computed sensitivity data is to guide automotive design optimization, and consequently to enhance the lightweighting effect.

Keywords: sensitivity, inertia, torsion stiffness, design optimization, lightweight

基于车身扭转刚度灵敏度的车身结构设计优化

金雪燕, 朱志军, 胡微微, 吕本友
奇瑞汽车股份有限公司, 中国(芜湖)
Email: jinxueyan@mychery.com

摘要: 汽车轻量化的需求压力越来越强, 主要是随着节能减排的法规及需求。轻量化的手段有多种, 例如通过设计优化, 通过新材料替换, 通过工艺变更等。本文以计算分析汽车车身骨架主要截面的惯性矩及其对整车扭转刚度间的灵敏度, 作为车身设计优化的指导依据, 提升了车身集成设计能力, 进一步提升车身轻量化效益。

关键词: C-NCAP, 惯性矩, 扭转刚度, 灵敏度, 设计优化, 轻量化

1. 前言

白车身的扭转刚度是操稳、耐久及 NVH 等性能的重要影响因素。车身刚度的影响因素较多, 包括整体框架布局、接头形式、主截面形式、材料选择及厚度等等。如何在白车身轻量化的约束条件下, 实现其刚度要求, 是目前白车身设计的一个重要工作内容。传统开发过程中, 一般是根据经验提出设计方案, 再由仿真分析进行验证, 这个过程对经验的依赖很强, 且存在着集成不足的可能。有限元法在汽车开发中起着重要的作用, 本文基于对白车身扭转刚度和截面惯性矩的分析, 简单说明了以仿真分析为基础, 构建灵敏度关系, 通过参数化表格提升工程师对设计方案的了解和掌控, 直接指导设计的工作思路。

2. 原理与分析

白车身主要由梁和薄板件构成。其中重量轻刚度高的闭合截面梁是白车身刚度的主要贡献者。梁的承载能力受限于其截面形状和厚度。对应车身不同位置的性能及布置等要求, 对梁的设计有不同的需求。

惯性矩是梁截面可参数化的一个变量, 且其比梁截面尺寸更能直接与抗弯抗扭性能关联。梁截面的惯性矩变化将影响整车的扭转刚度。不同的梁因其在整车上位置、连接形式及材料等差异, 其截面惯性矩对整车扭转刚度的影响也是不同的。

本文选择了车身中几个梁，对其截面进行了尺寸调整，通过仿真分析其截面调整前后的白车身扭转刚度，构建截面惯性矩与扭转刚度间的灵敏度，供车身结构设计工程师作为设计工作的参考。

3. 分析模型

基于本文的工作思路，选择了某 SUV 车型进行了仿真分析，模型单元数 85 万。加载及约束如图 1 所示。

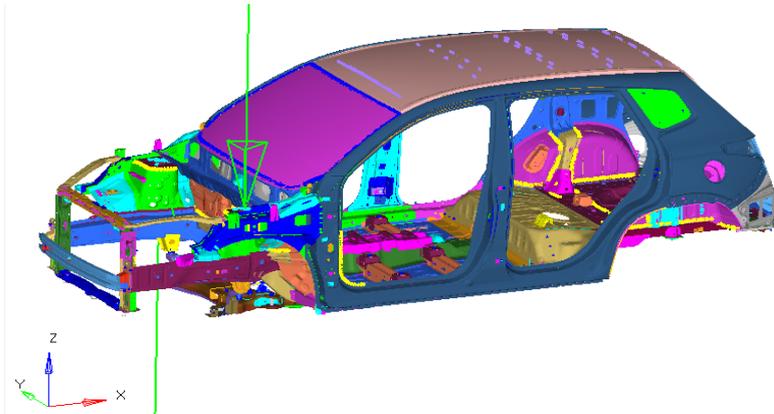


图 1 模型及加载状况

选取如下几个位置的截面进行分析，自车头至行李箱分别为前保横梁、副车架及后地板下横梁。本文主要为思路说明，故选择了几个在扭转刚度中表现差异较大的三个截面作为示例说明，没有展示车身所有主截面梁评估结果。

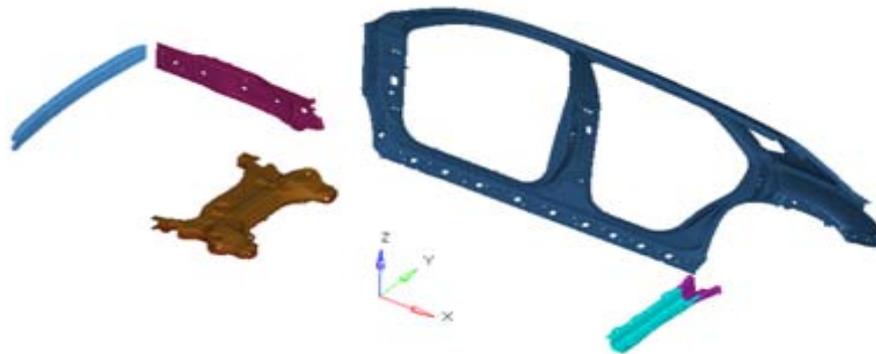


图 2 本文关注的几个截面在整车上的位置

对每个截面均进行了单向尺寸增大。后续将计算其截面惯性矩增量，作为考核基础。三个截面前后变化如下图所示。依照车头至行李箱排序。

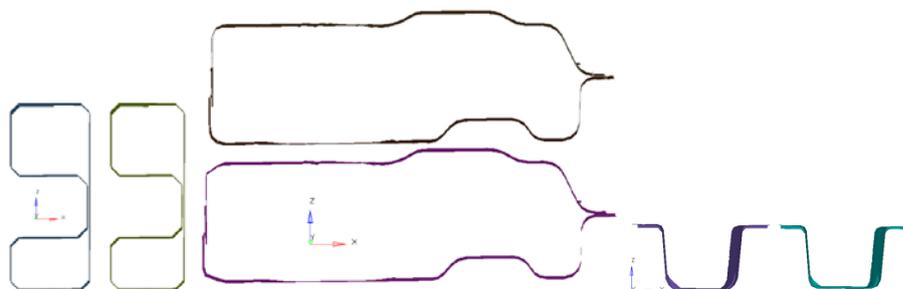


图 3 梁截面的变化

4. 仿真结果与分析

下图展示了其中一个仿真结果。

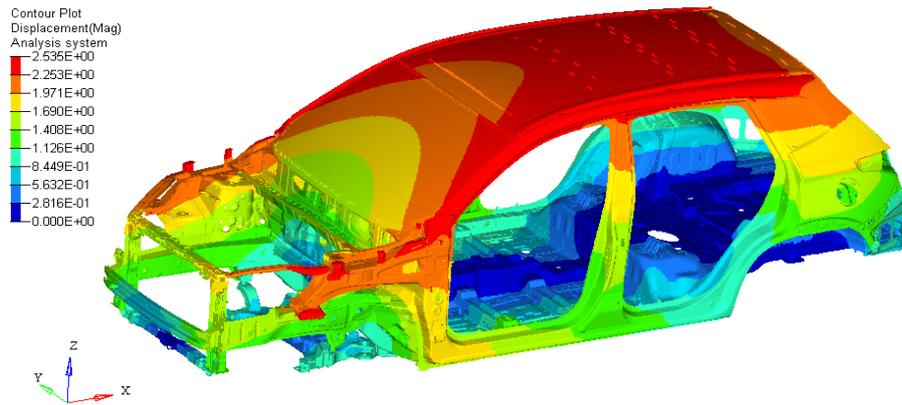


图 4 仿真分析结果

对应 4 个测试工况及其结果进行了处理，灵敏度的计算采取如下方法：

$$\text{sen}(T/I) = \Delta T / \Delta I$$

结果如表 1。

表 1 灵敏度结果表

截面	最终扭转刚度	惯性矩	灵敏度
初始	17553.68	1	
后地板下横梁	17601.99	1.1	483.1
前保横梁	17553.12	1.2	-2.8
副车架	17553.12	1.05	-11.2

表 1 展示了各截面惯性矩变化对整车扭转刚度的影响及排序，基于此表格，车身结构设计工程师可以获知不同截面的惯性矩对整车扭转刚度的影响情况，如表 1 所示，后地板下横梁截面惯性矩对扭转刚度的灵敏度为正值，且远大于其他截面。则此时车身设计工程师可选择后地板下横梁截面开展优化。并可基于初步优化方案的截面惯性矩，依据表 1 初步量化评估整车扭转刚度，初步验证优化结果，进而确定后续的设计优化方向。在车身设计工程师做了初步评估及优化后，再进行仿真分析验证。

5. 结束语

本文介绍了通过仿真分析协助构建正向设计开发指导的工作思路。以车身主截面惯性矩与白车身扭转刚度之间的灵敏度为示例进行了展示。通过以简单易行的 excel 表格为操作基础的灵敏度近似方法，提升车身设计工程师对白车身结构的理解，替代部分白车身规模的仿真分析，提升正向设计能力，提升设计效率，提升仿真分析对设计的指导作用。