

基于 SOLIDWORKS Simulation 的汽车转向支架零部件的拓扑优化设计

达索析统（上海）信息技术有限公司 张启成

将 CAE 工具用于设计仿真的目的是为了创建一个即能满足使用和加工要求，又能最小化质量和成本的产品。目前大部分公司的产品设计工程师都是基于经验去改进设计结果，这使得产品优化周期变长，而且很难得到最优的产品结构。以往传统的加工方式也导致了某些设计优化的理念因为加工工艺的限制而无法实施。拓扑优化技术作为一种高级的设计优化方法被越来越广泛地应用于汽车关键零部件的设计。随着增材制造行业的发展，如三维打印等技术的推广，突破了很多加工工艺上的瓶颈，使产品的最优设计成为可能。

一、引言

设计更加轻量化、高强度的产品一直以来是高端汽车制造业所关注的重点，如一级方程式赛车等。近些年来，很多以往的高端技术被越来越多地应用在量产型汽车上。随着整个行业的发展以及汽车保有量的不断增加，社会对于燃油经济性、环境污染和安全性等问题的关注度不断提高。整车重量以及结构强度成为关键的设计指标。基于有限元分析的设计优化方法让汽车整车及零部件厂商有能力找到更加创新、高效的方法去创建更轻量化且更高可靠性的产品。

以往的零部件产品开发流程往往是从产品设计开始，进而由专业的分析工程师进行产品结构强度、电磁或热仿真分析，然后进行样机试制及检测。当实物样机进入试制及检测阶段时，企业往往要付出大量的成本应对可能出现的设计

错误及返工。基于时间及成本因素的考虑，设计师开始越来越广泛地采用结合设计优化的产品开发流程，如图 1 所示。



图 1 结合设计优化的产品开发流程

拓扑优化是行业中领先的优化手段之一，如图 2 所示。从一个初始的设计开始，产品研发人员借助相应的 CAE 软件，自动进行迭代，最终得到一个符合硬性指标要求同时其他方面最优化的设计。拓扑优化多应用于满足结构强度的前提下，寻找材料使用最小、形状最优的设计优化场景中。

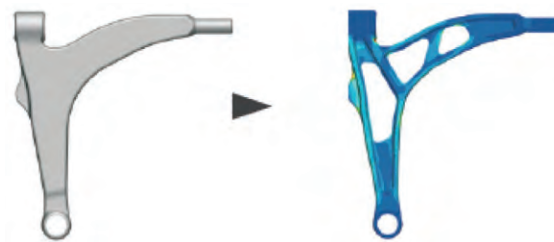


图 2 拓扑优化得到最轻量化的产品设计

SOLIDWORKS Simulation 提供了简单易用的拓扑优化解决方案，帮助普通结构工程师更加简单快速地在—个软件环境下优化自己的设计。工程师只需指定模型的材料，定义其约束条件、工作载荷以及其他关键性能指标等基本 CAE 分析的参数，设置好目标，SOLIDWORKS Simulation 会自动进行迭代，直至找到最优的结果。

二、汽车转向系统关键零部件拓扑优化设计

接下来我们将拓扑优化用于一个汽车转向系统中的关键支架零件设计。图3中的红色零件是此零件以往常见的设计，分析工程师已经对其进行了有限元分析，其可以满足在振动环境中的结构强度。但是目前我们对此零件提出了更高的要求，即在满足原有使用条件的前提下，尽量降低其重量及材料成本。

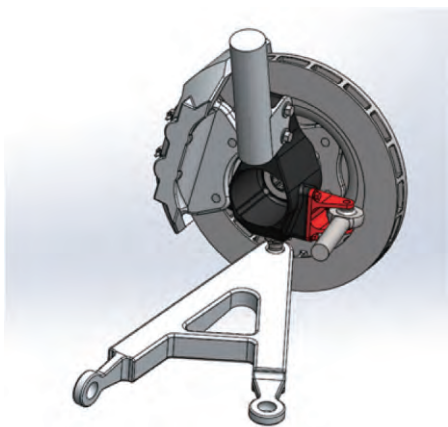


图3 汽车转向系统中的关键支架零件设计

三、在 SOLIDWORKS 中进行设计优化

拓扑优化是基于一个已有的初始设计模型，这里我们可以看到该支架零件与周边各零部件的连接及装配关系，如图4所示。

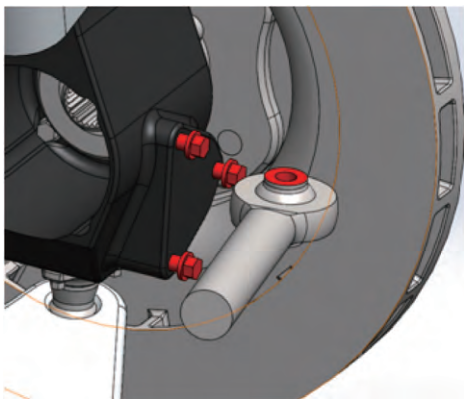


图4 支架零件装配环境

参考周边已有的零部件，我们得到一个初始设计模型，如图5所示。

我们可以重用以往的历史数据，也可以快速新建一个粗略的模型。拓扑优化技术会自动进行迭代而找到最优的结

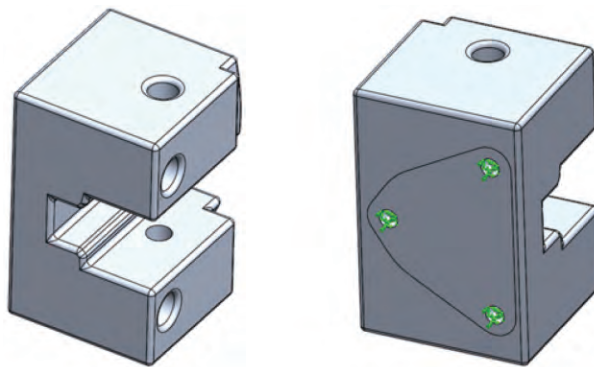


图5 支架零件初始设计模型

果。这对于创新产品的研发具有很大的实用价值，因为工程师在一个创新产品的最初阶段，往往没有历史数据或知识可以借用，对未来的设计结果可能会有多种方案选择，工程师会对这些选项进行试探性的设计并验证，这无疑浪费了大量的时间和精力，而且无法确定最优的设计方案。

在 SOLIDWORKS Simulation 中选择一个新的算例，并选择拓扑算例。这里软件会引导用户按照一个简单且标准化的流程进行设计优化。一旦进入拓扑优化的工作流程，用户在指定好材料、边界条件、负载以及优化目标后，软件会自动迭代直到最优结果产生。最终的结果依然在 SOLIDWORKS 环境下，虽然拓扑优化的目的是为了得到一个最优化的模型，但是用户依然可以在 SOLIDWORKS 中对设计进行调整及修正，或进行加工仿真。本文对初始零件进行材料、边界条件和负载的定义如图6所示。

属性	数值	单位
弹性模量	7.2e+10	牛顿/m ²
泊松比	0.33	不适用
中抗剪模量	2.69e+10	牛顿/m ²
质量密度	2810	kg/m ³
张力强度	570000000	牛顿/m ²
压缩强度		牛顿/m ²
屈服强度	505000000	牛顿/m ²
热膨胀系数	2.36e-05	/K
热导率	130	W/(m·K)

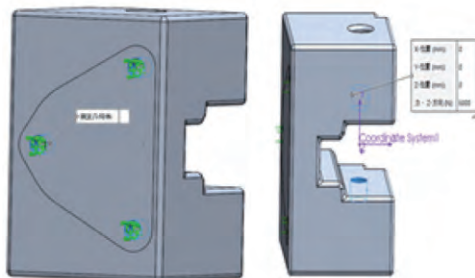


图6 基本参数和条件定义

接下来就是拓扑优化与其他设计优化不同的地方。在拓扑优化的流程中，用户需要指定优化目标。SOLIDWORKS Simulation 中允许用户选择最佳强度重量比、最小化最大位移等多种目标。另外，考虑到加工工艺，软件允许用户单独定义一些保留区域，作为强制保留的面，在优化过程中禁止被移除。在进行最终运算之前，我们可以看到所有设置完成以后的 SOLIDWORKS Simulation 模型树，所图 7 所示。



图 7 Simulation 模型树

运行算例后我们就可以看到在 SOLIDWORKS Simulation 中的拓扑优化迭代情况。为了更好地了解拓扑优化每次迭代的准确数据，可以查看收敛数据图表，如图 8 所示。

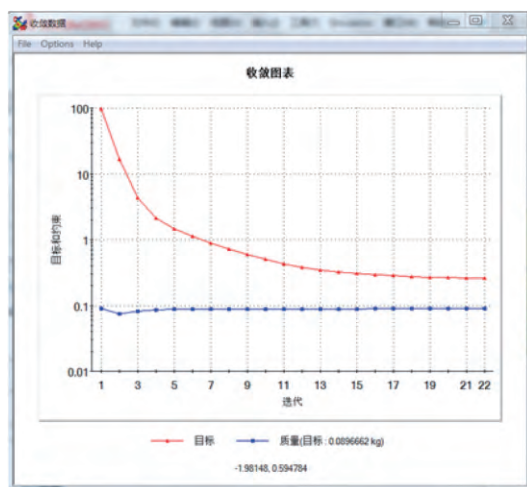


图 8 收敛数据图表

在迭代至 21 次之后结果开始趋于收敛。最终我们得到一个材料质量图解，灰色部分为该零件初始的设计空间，而

绿色部分就是经过拓扑优化之后的最优结果。这个结果可以导出实体或曲面模型，继续在 SOLIDWORKS 中进行设计修改或调整，由此可以得出图 9 的结果。

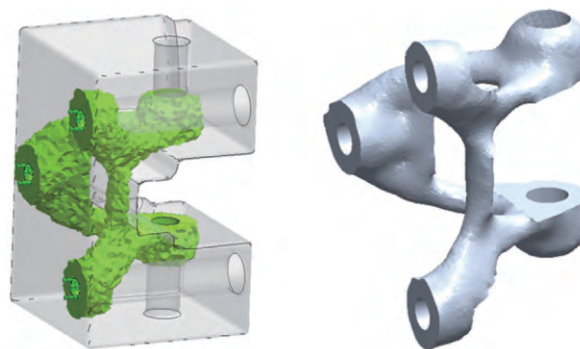


图 9 最优结果

四、结语

在产品开发早期采用设计优化研究可以最大程度地降低因为设计变更造成的浪费及返工成本。而拓扑优化作为一项成熟的设计优化方法，可以通过自动迭代的方式帮助工程师得到最优结果。可以看到，采用 SOLIDWORKS Simulation 拓扑优化，给定材料、边界条件和负载等设置后，设定相应的目标，我们可以将支架零件的重量从最初的 0.15kg 优化到最终的 0.09kg，这无疑会显著地缩减成本。这个结果也证明了 SOLIDWORKS Simulation 的拓扑优化技术可以帮助用户成功地设计更加轻量化的汽车零部件。IM