

无碳小车车架拓扑优化

Topology Optimization of The Frame of Carbonless Car

申鑫泽

(南京理工大学 工程训练中心,江苏 南京 210094)

摘 要: 针对全国大学生工程训练综合能力竞赛要求,设计了一款无碳小车的车架,并用 Altair 公司的 Inspire 软件对其进行拓扑优化,在保证其刚度的前提下减重 52.5%,有效降低了小车制作成本,完成了对无碳小车车架的轻量化设计目标。

关键词: 无碳小车 车架 Inspire 拓扑优化 轻量化设计

Abstract: Aiming at the requirements of National Undergraduate Engineering Training Integration Ability Competition, we designed a car frame, and carried out topology optimization for it using Altair's Inspire. Finally its weight was reduced by 52.5% with sufficient stiffness, effectively reducing the production cost of the car and achieving the goal of lightweight design.

Key words: carbonless car, car frame, Inspire, topology optimization, lightweight design

1 概述

全国大学生工程训练综合能力竞赛是教育部高等教育司发文举办的全国性大学生科技创新实践竞赛活动,针对第六届竞赛双 8 项目要求,学生需自主设计制作一辆以 1kg 的重锤重力势能驱动无碳小车完成双 8 字轨迹的周期性绕桩行驶。因为桩距较小,对小车的精度要求极高,因此小车车架的设计应在保证结构刚度的前提下达到轻量化的要求。为尽量减少安装时定位带来的误差,设计了一款将后轮支座与底板做为一体的车架,为保证强度,材料选用性能较优异的 7075 铝合金,因为 7075 铝合金价格较高,所以在设计时更需要做到轻量化。考虑到 Altair 公司的 Inspire 软件有着十分便利的分析、优化功能,因此选用该软件对车架进行拓扑优化。本文概述了用 Inspire 软件对车架的拓扑优化过程,并将优化完的结果与优化前进行对比分析,车架经过优化实现了减重 52.5%且保证了足够的刚度,可有效降低制作成本。

2 原模型有限元分析

2.1 模型导入

原模型包含前部两个 $\Phi 3$ 螺栓孔,中部 3 个 $\Phi 6$ 螺栓孔,后部支座上两个 $\Phi 13$ 轴承通孔,导入 Inspire 后将几个孔处划分为非设计空间,模型如下:

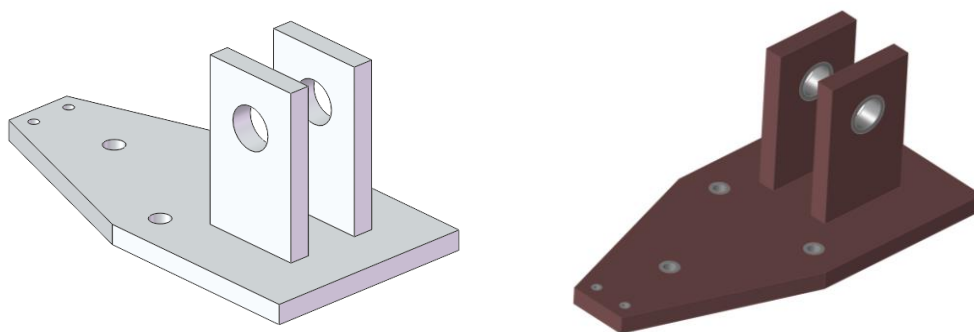


图 1 原始车架模型

2.2 材料与属性

所使用材料为 7075 铝合金，材料参数如下：

表 1 材料参数

| 杨氏模量/MPa | 泊松比 | 密度 kg/m ³ | 屈服应力 MPa |
|----------|------|----------------------|----------|
| 75000 | 0.33 | 2.8 e+3 | 413 |

2.3 车架有限元模型受力和约束图

工况：

- (1) 车架前部两个螺栓孔以及支架上两个轴承座孔固定约束；
- (2) 中间三个孔需承受 1kg 重锤的重力，考虑到定位精度要求，将载荷放大为 2.1kg，三个孔共承受向下的 21N 的力，平均每个孔受 7N 的力；
- (3) 对结构施加重力载荷。

约束及载荷图如右所示：

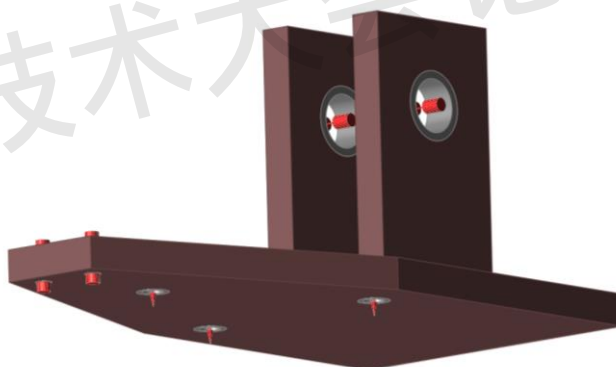


图 2 约束及载荷图

2.4 车架有限元分析结果

分析结果如右图所示，腹部下降较明显，最大位移为 0.6698μm，尚不会对配合造成明显影响，且后部位移明显较小，存在较大优化空间。

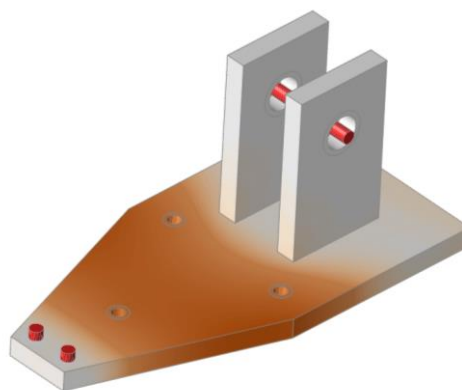


图 3 原模型位移云图

3 模型优化

3.1 模型预处理

因为模型后部有两较薄支架，为扩大优化空间，首先将两支架中间填充实体，并在对应位置施加约束及载荷，结果如下：

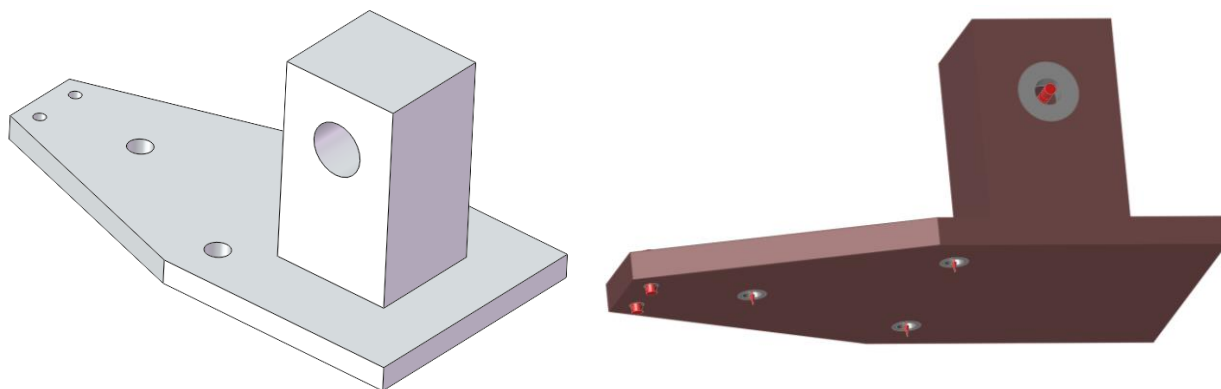


图 4 预处理后模型及其约束载荷图

3.2 预处理后模型优化及 NURBS 曲面重建

通过 Inspire 的拓扑优化模块对该模型进行结构优化，工况与原模型一致，设置优化目标为刚度最大化前提下，质量减为原来的 30%，模型优化结果如下，并构造 NURBS 曲面重建模型。



图 5 优化模型及 NURBS 曲面重建模型

3.3 优化模型分析及与原模型的对比分析

在相同的工况下对优化模型进行分析，结果如右图所示，最大位移为 $0.7414\mu\text{m}$ 。

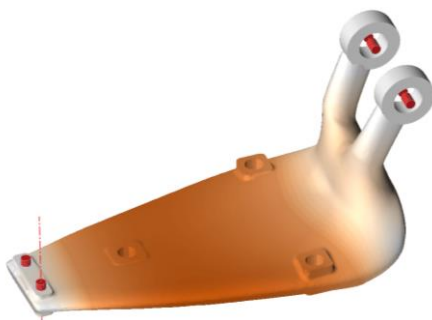


图 6 优化模型位移云图

原模型与优化模型的质量与刚度对比结果如下：

表 2 原模型与优化模型对比分析

| | 质量/kg | 最大位移/ μm |
|------|---------|---------------------|
| 原模型 | 0.15091 | 0.6698 |
| 优化模型 | 0.07169 | 0.7414 |

由分析对比得车架经拓扑优化后质量降低了 52.5%，最大位移增大了 10.7%，可见在刚度基本保证的前提下车架质量大大降低，完成了轻量化设计目标。

4 结论

工程训练综合能力竞赛是大学生中规格非常高的国家级竞赛，对学生的分析、建模、操作能力提出了很高的要求，但能够将优化的思想在这项赛事中体现出来的队伍不是很多，而 Altair 公司的 Inspire 软件则降低了优化分析的门槛，为学生以及设计师提供了非常方便且功能齐全的优化功能，可作为高校优化分析相关课程的教学软件，Inspire 软件不光在设计界，在高等教育中同样有着巨大应用前景。