

ANSYS



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

飞行器关键结构拓扑优化设计

王伟达

安世亚太 高级工程师

目录

- **飞行器结构拓扑优化需求分析**
- **飞行器结构拓扑优化的解决方案及关键技术**
- **飞行器结构拓扑优化的最佳实践**
 - GE安装座拓扑优化分析及验证
 - 航空轴承支架拓扑优化
 - 直升机旋翼连接器拓扑
 - 模块化弹射座椅结构优化

飞行器结构拓扑优化需求分析

- 降低成本
- 轻量化需求
- 增材制造优势逐渐显现
- 拓扑优化技术日益成熟



GE 航空新型燃油喷嘴:

- 重量减轻25%
- 5倍寿命提升
- 设计生产效率提高20倍
- 更低成本

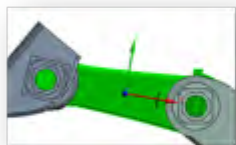
目录

- 飞行器结构拓扑优化需求分析
- 飞行器结构拓扑优化的解决方案及关键技术
- 飞行器结构拓扑优化的最佳实践
 - GE安装座拓扑优化分析及验证
 - 航空轴承支架拓扑优化
 - 直升机旋翼连接器拓扑
 - 舱门铰链臂拓扑优化
 - 模块化弹射座椅结构优化

飞行器结构拓扑优化的解决方案及关键技术

- 连接到静力学或模态
- 定义优化目标和约束
- 获取优化后的几何模型
- 验证优化后的几何模型
- SpaceClaim编辑优化后几何模型
- SpaceClaim创建尺寸参数化
- 对优化后模型进行参数优化分析
- 为3D打印导出优化后几何格式文件

原始模型



优化后零件



设计验证



飞行器结构拓扑优化的解决方案及关键技术

• 结构分析

- 线性静态结构分析
- 稳态分析
- 线性绑定接触
- 仅二维或三维实体结构分析

• 优化目标

- 最大刚度
 - 单个和多个载荷步
- 最大固有频率
 - 单个和多个频率
- 最小质量
- 最小体积

• 制造约束

- 最小元件尺寸
- 最大元件尺寸
- 脱模
- 挤出
- 周期对称

18.1

• 响应约束

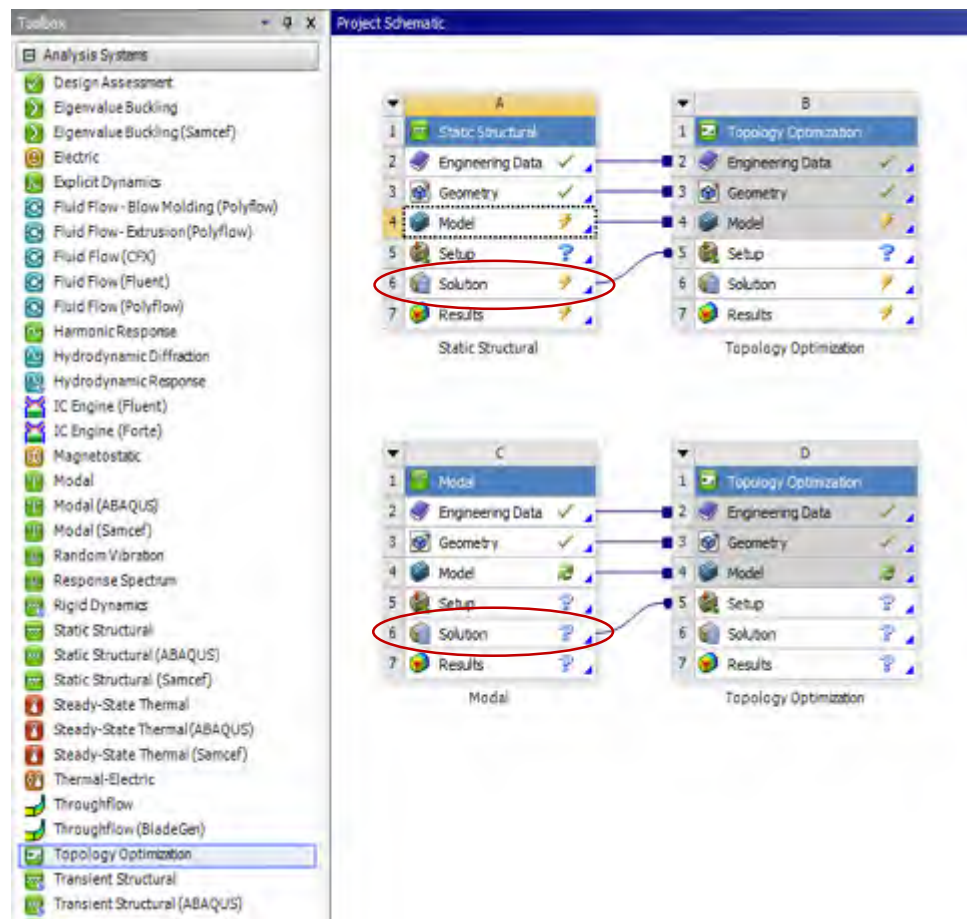
- 质量
- 体积
- 整体 (von-Mises) 应力
- 局部(von-Mises) 应力
- 反作用力
- 位移
- 固有频率

18.1



飞行器结构拓扑优化的解决方案及关键技术

- 通过Static Structural or Modal 模块将仿真数据传递到拓扑优化模块上**
- NOTE: 在R18.0 , 仅Static Structural or Modal支持拓扑优化**
- 支持低\高阶六面体 , 高阶四面体 , 具体单元包括 :**
 SHELL181、 PLANE182、
 PLANE183、 SOLID185、
 SOLID186、 SOLID187 ;

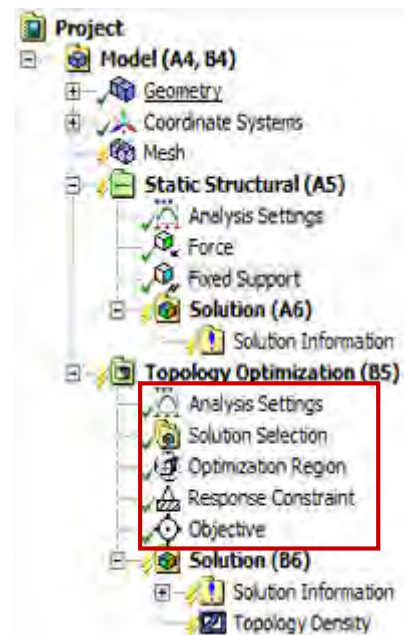


飞行器结构拓扑优化的解决方案及关键技术

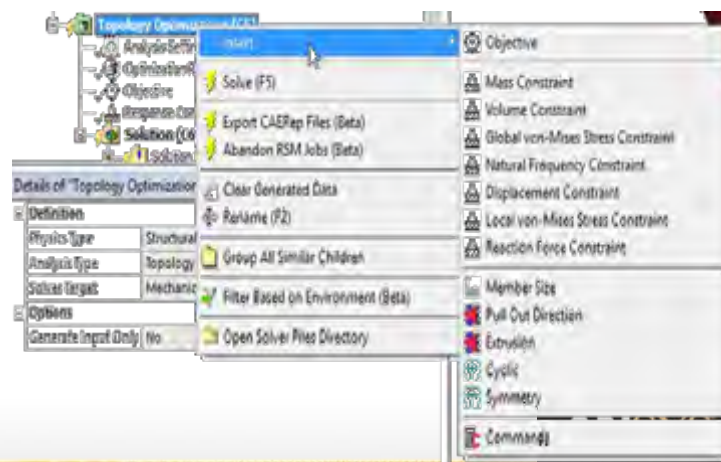
由于进行数据连接传递，“Topology Optimization”模块出现在仿真分析树状图下

在Topology Optimization添加默认类型：

- Analysis Settings: 多种求解器设置和控制
- Solution Selection: 指示上游仿真类型
- Optimization Region: 定义优化区域或排除优化区域 (该区域不移除材料)
- 约束变量: 定义拓扑优化时极限质量或体积，最大应力等
- 目标变量: 定义优化目标，例如最小柔度或者最大固有频率



可在Topology Optimization处插入额外的分析功能



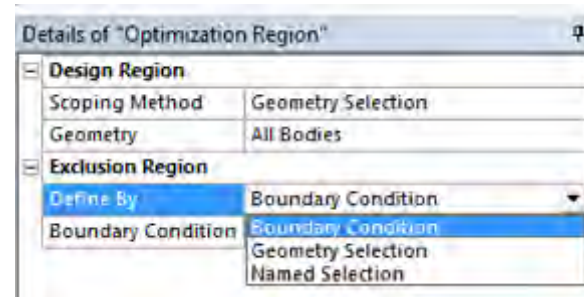
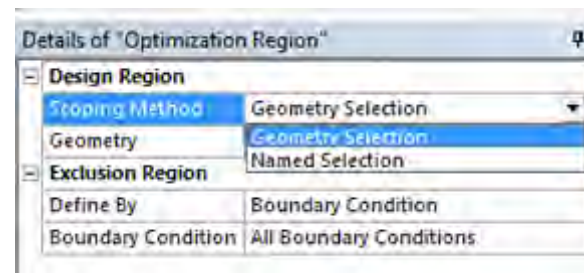
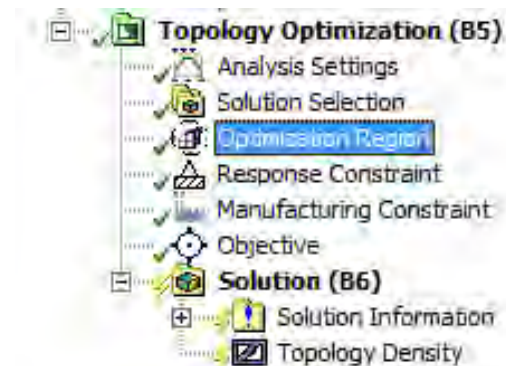
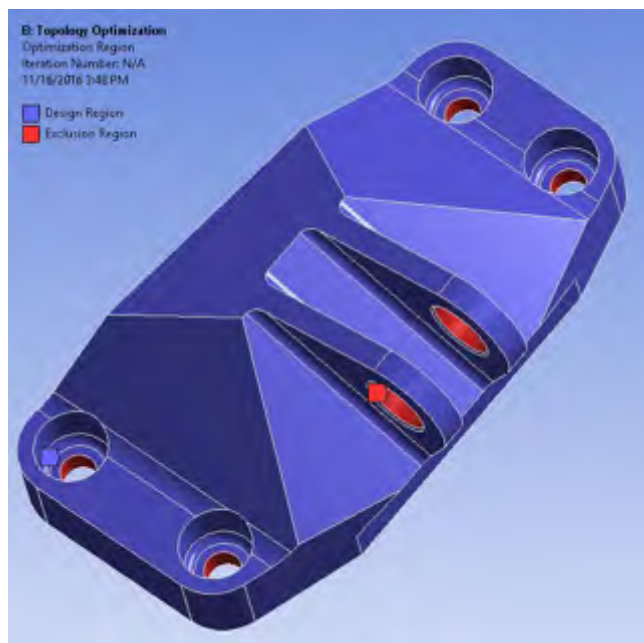
目录

- 飞行器结构拓扑优化需求分析
- 飞行器结构拓扑优化的解决方案及关键技术
- 飞行器结构拓扑优化的最佳实践
 - GE安装座拓扑优化分析及验证
 - 航空轴承支架拓扑优化
 - 直升机旋翼连接器拓扑
 - 舱门铰链臂拓扑优化
 - 模块化弹射座椅结构优化

GE安装座拓扑优化分析及验证

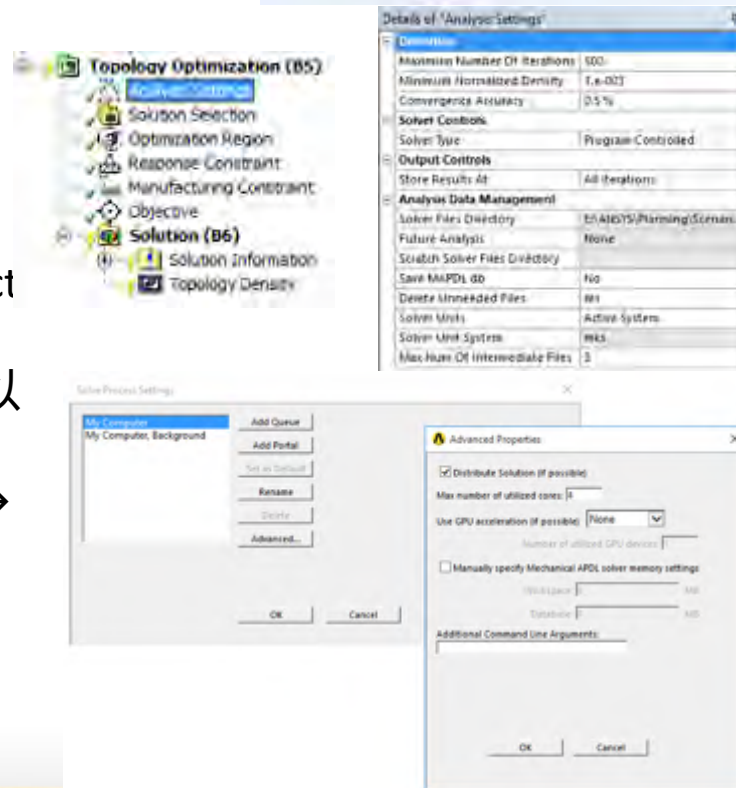
选择优化区域:

- **Geometry**
 - 可能是整个组装件, 部分组装件, 或者单个或多个零件
- **Named Selection**
 - 几何模型或者网格集合



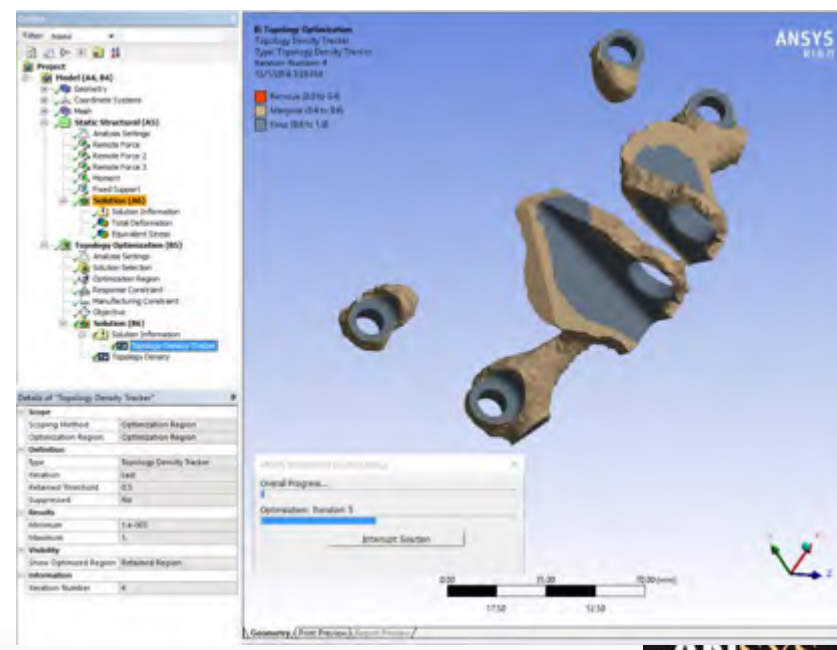
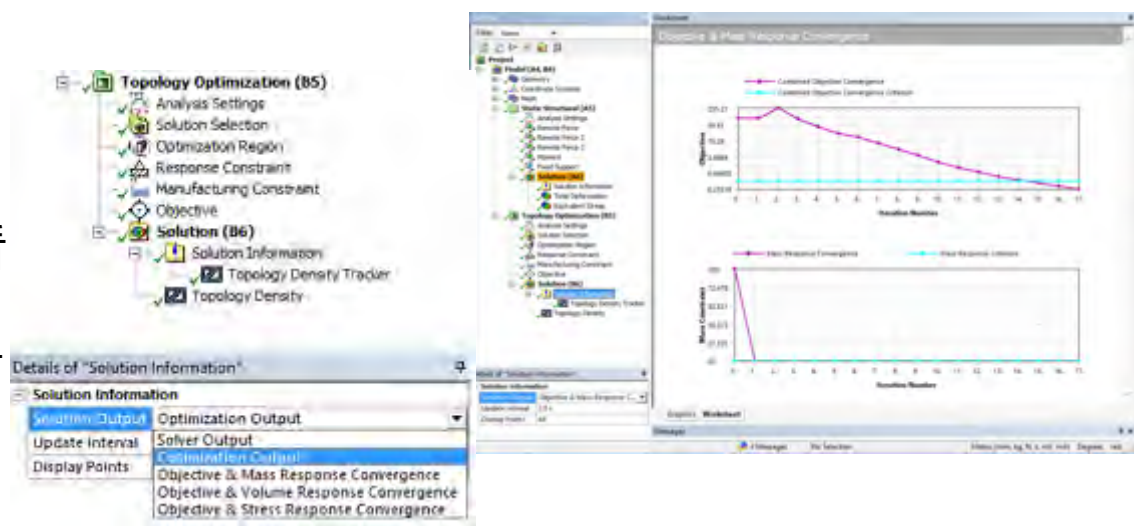
拓扑优化设置

- 对于Static Structural or Modal 分析的网格设置推荐：
 - 使用四边形网格 (保留中间节点)
 - 如果可能，使用网格常数尺寸
- 分析设置
 - 可以对收敛精度等进行检查或修改设置
 - 系统控制或者默认设置
- 启动拓扑优化
 - 右击Topology Optimization下的 Solution object 并且选择“Solve”
 - **注意:** 为了使用到最大数量的物理内核，可以使用SMP 和DANSYS方式来进行加速
 - 设置方法：Tools → Solver Process Settings... → Advanced...



监测优化过程

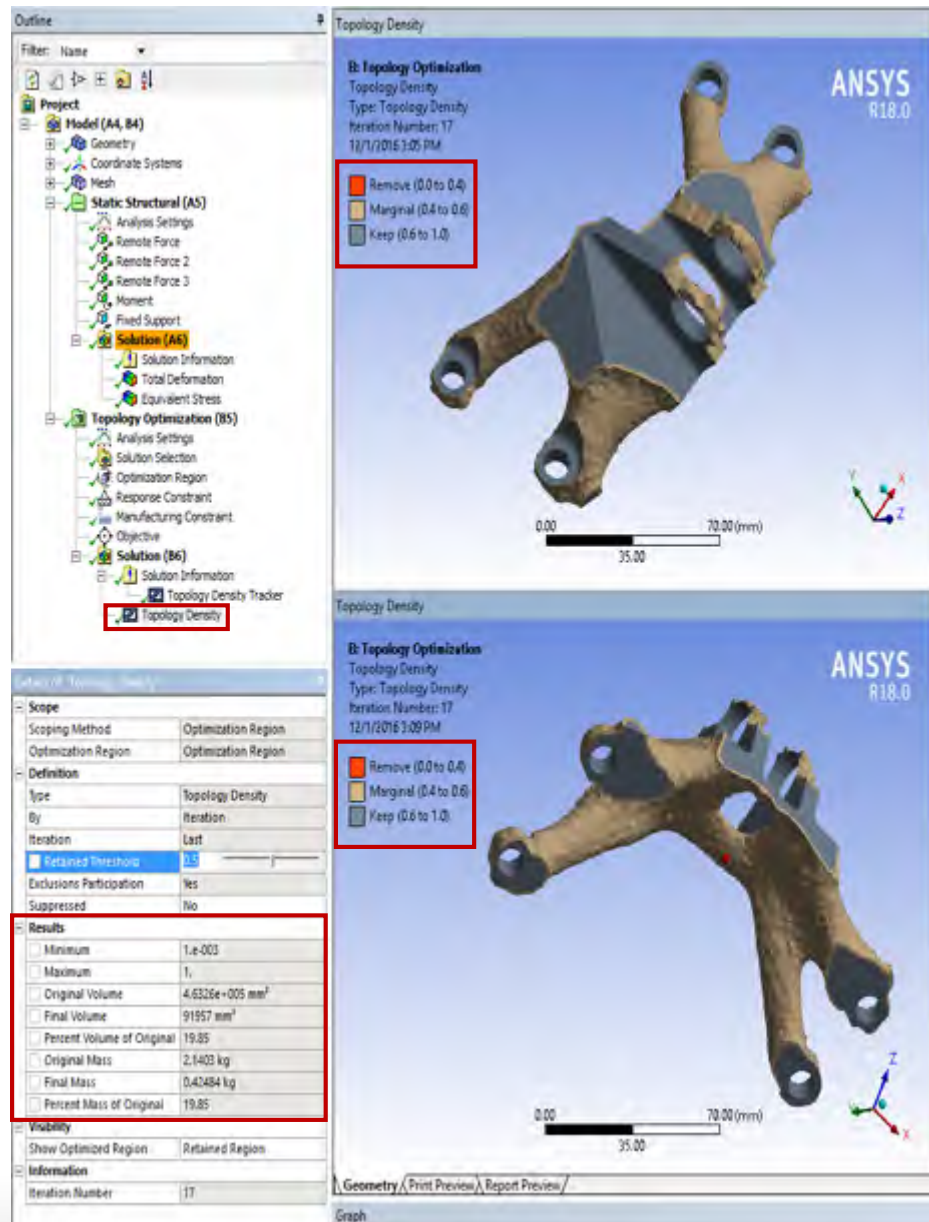
- 求解器输出和收敛表格**
 - 从Solution Information中查看求解信息
 - 从 optimization output中查看 objectives and response constraints 收敛图表信息
- 拓扑密度跟踪器**
 - 求解过程中，查看外形演变过程
 - Nodal Averaged (默认) and Elemental Topology Density 的结果可以被跟踪
 - 使用者可以在任何时刻停止求解 (假如外形优化过程已经稳定) 并且可以检查可用的结果信息



优化结构后处理

可视化并检查 Nodal Averaged (默认) or Elemental Topology Densities

- 拓扑密度值范围 (0 ~ 1.0)**
 - 高数值表示材料必须被保留，低数值表示多余材料可以被去除
- 阈值选项**
 - 使用者可以改变默认阈值，并使用直觉来决定“最优”拓扑结果
 - 默认值0.5，作为优化拓扑结果参考值
 - 彩色云图为决定最终的阈值提供通用的指导
 - 高数值导致更“苗条”结构 (更大胆设计), 低数值导致“矮胖”结构 (更保守设计)
 - 根据所选择的阈值可以计算出拓扑优化后的体积和质量 并且和原始的体积和质量对比，帮助用户进一步确定“更优化”拓扑结构



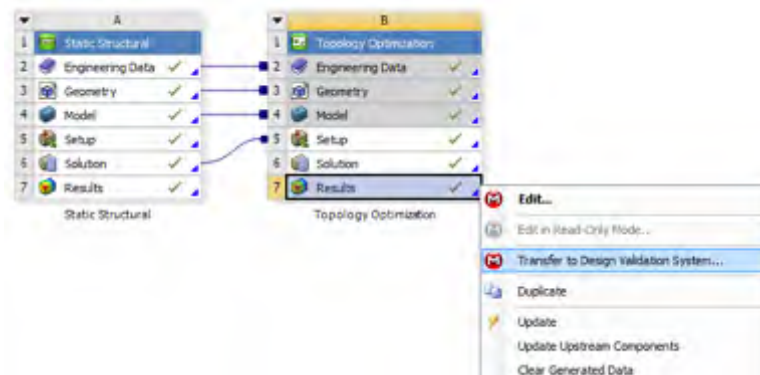
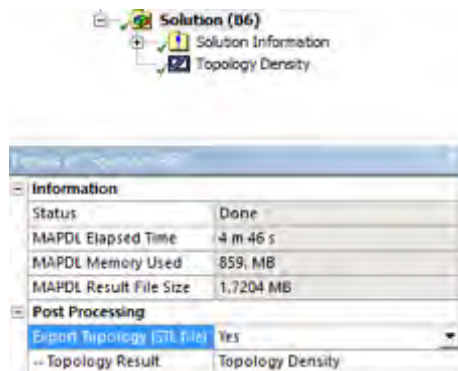
The screenshot displays the ANSYS interface during a topology optimization process. On the left, the Outline pane shows the project hierarchy, with 'Topology Density' selected under the 'Solution (B6)' folder. The 'Results' pane shows the 'Retained Threshold' set to 0.5. The 'Results' table is highlighted with a red box:

Results	Value
Minimum	1.e-003
Maximum	1.
Original Volume	4.6326e+005 mm ³
Final Volume	91957 mm ³
Percent Volume of Original	19.85
Original Mass	2.1403 kg
Final Mass	0.42484 kg
Percent Mass of Original	19.85

On the right, two views of the optimized part are shown. The top view is labeled 'B: Topology Optimization' and shows the part with a color-coded density distribution. A legend indicates: Remove (0.0 to 0.4) in red, Marginal (0.4 to 0.6) in yellow, and Keep (0.6 to 1.0) in blue. The bottom view shows the same part with a different density distribution. Both views include a scale bar from 0.00 to 70.00 (mm) and a coordinate system.

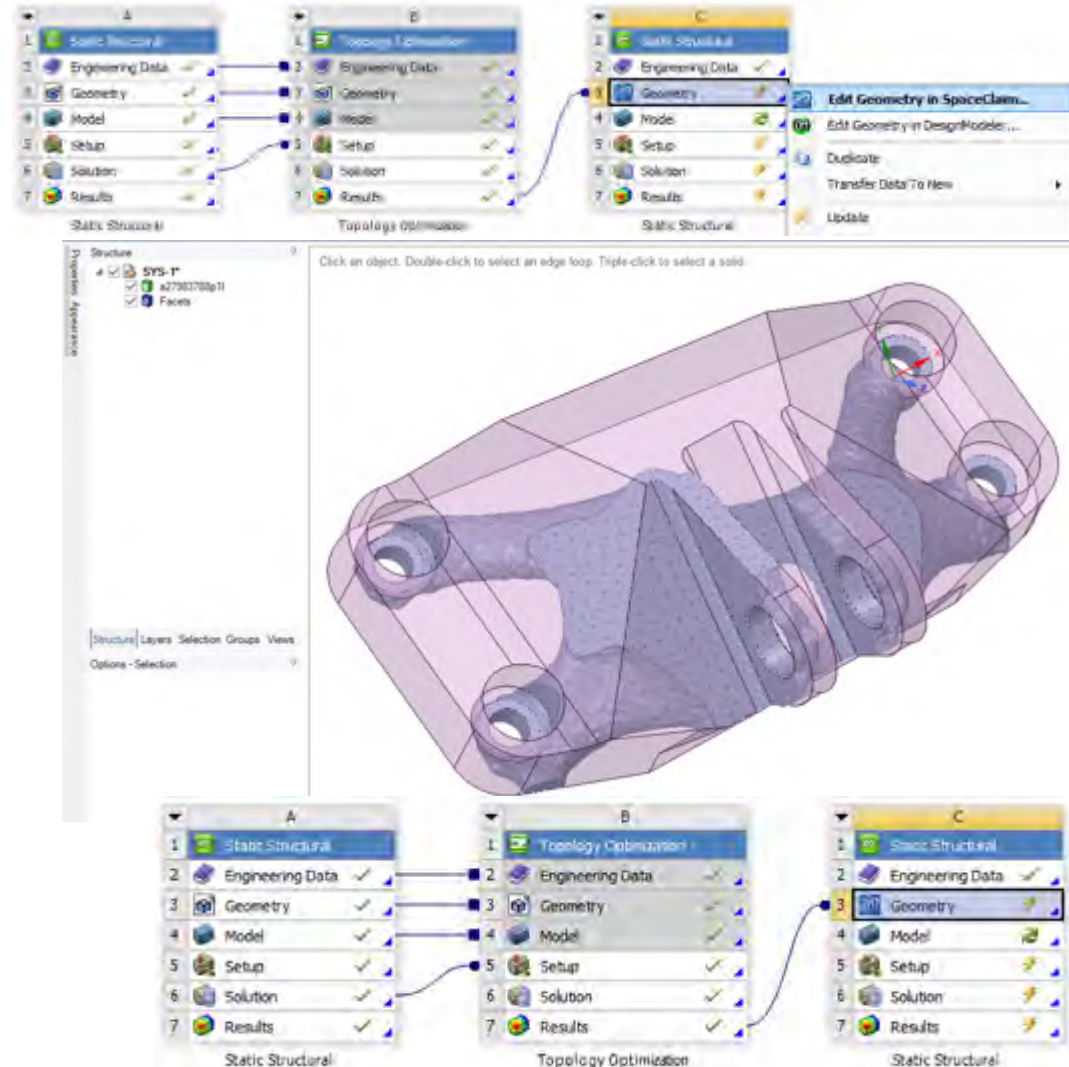
设计验证流程

1. 首先确认输出拓扑（ STL文件 ）选项设置为Yes
2. 从拓扑优化系统的结果选项中启动设计验证系统
 - 复制拓扑优化系统前的分析模块并且放在拓扑优化系统的下游
 - 数据传递链接在拓扑优化系统的结果选项和设计验证系统的几何选项之间建立
3. “更新” 拓扑优化系统的结果选项
4. “更新” 验证系统的几何选项
 - 优化后的STL格式文件和原始CAD模型都被传递到验证系统的几何模块中
 - 默认使用SpaceClaim进行几何修正



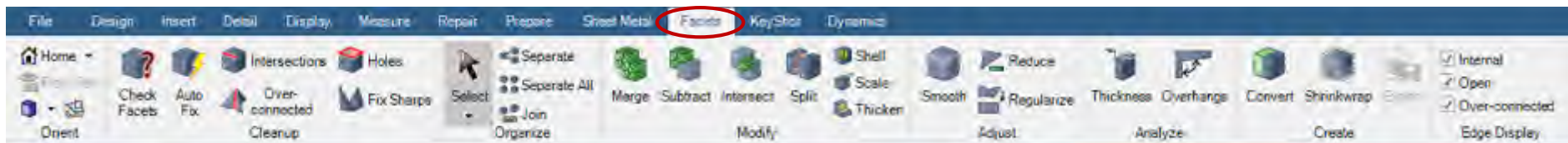
在SpaceClaim编辑STL文件（优化后几何）

- 在优化设计系统中启动 SpaceClaim
- 优化后的STL格式文件和原始CAD模型都被传递到SpaceClaim中
- 重要: 导入的STL文件不适用于进行验证分析. 它必须被编辑并转化为实体几何模型
- 在SpaceClaim进行接下来的编辑操作
 - 对小平面进行处理
 - 可选择性对螺栓孔和接触面进行添加材料
 - 精确捕捉原始CAD模型上施加边界条件的“棱柱”面
 - 转化并编辑STL几何模为实体几何

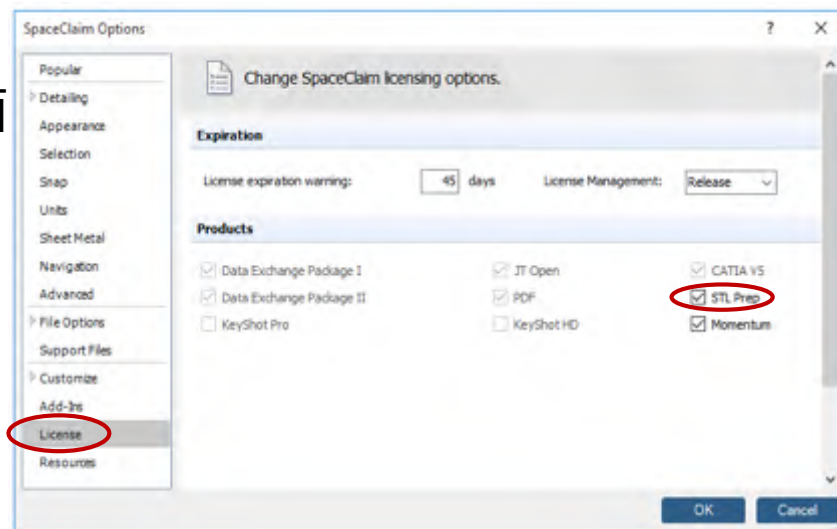


在SpaceClaim编辑STL文件（优化后几何）

- 在SpaceClaim使用小平面功能用来编辑 STL几何
 - 大量可用的编辑工具

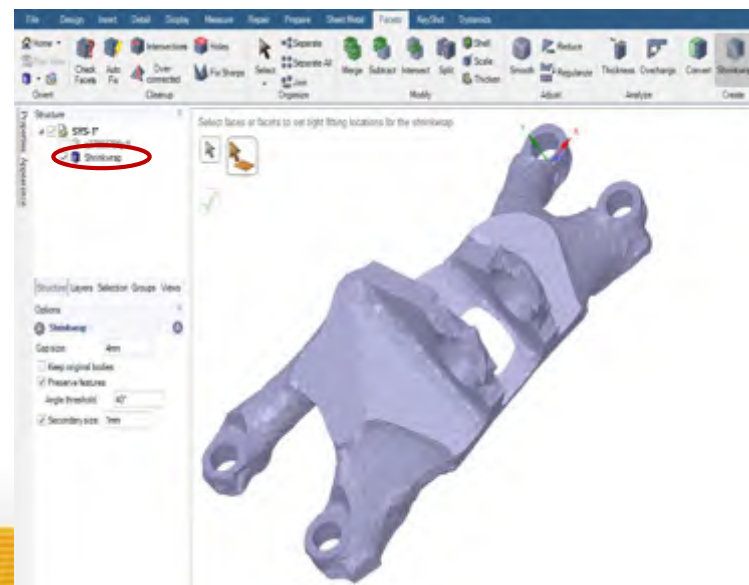
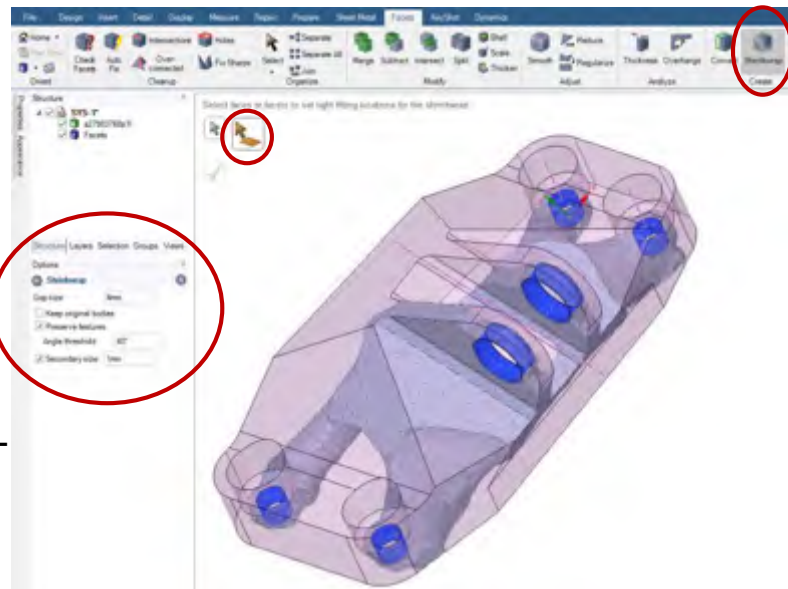


- 重要：**
 - 使用小平面功能需要额外的许可证
 - 根据如下操作激活 SpaceClaim 中的小平面功能：
 - File → SpaceClaim Options → License
 - Check STL Prep checkbox



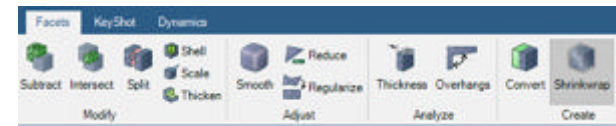
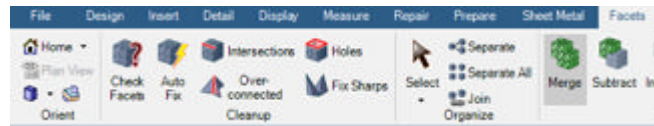
在SpaceClaim编辑STL文件（优化后几何）

- 使用最优数量的小平面精确呈现优化后的几何模型
- 在SpaceClaim里有无数工具可以使用，得到高质量的小平面来呈现优化后的几何模型
- Shrinkwrap 工具是实现上述目的的较好工具.它允许用户:
 - 使用粗糙的小平面尺寸捕捉“有机”曲面.
 - 使用“Gap size” 来设置需要的粗糙小平面的尺寸
 - 使用高精度的小尺寸平面捕捉“棱柱”曲面和其它重要几何特征
 - 使用“Secondary size” 设置需要的小平面尺寸
 - 使用“Select Tight-Fit Faces of Facets” 选项选择原始CAD模型中的曲面(如图中高亮蓝色显示)，这些曲面将会使用小平面的尺寸
 - 使用“Angle threshold” 设置需要的角度值，接下来满足此角度值的特征将会被保留
- 在SpaceClaim结构树下仅选择小平面的选项，然后点击绿色对号，用于包裹优化后的STL几何模型



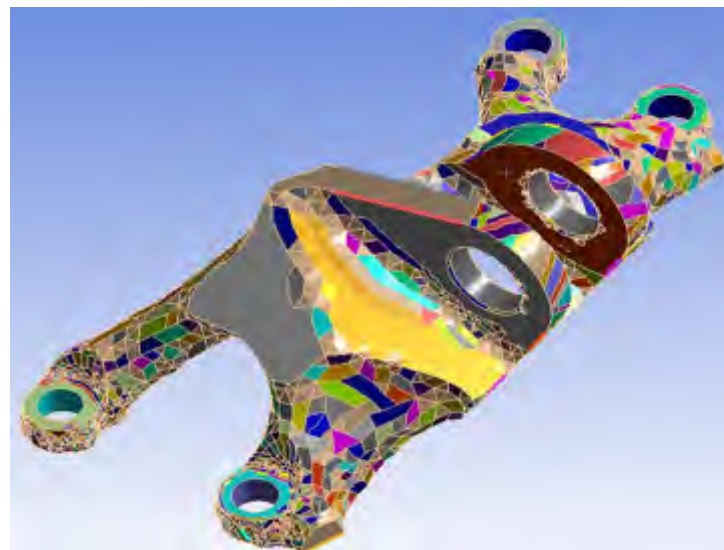
在SpaceClaim编辑STL文件（优化后几何）

- 在螺栓孔和吊耳处创建实体区域
- 将建立好的实体区域添加到优化后的STL几何中
- 依据角度阈值，间隙和二次尺寸设置，将融合后的几何进行收缩包裹



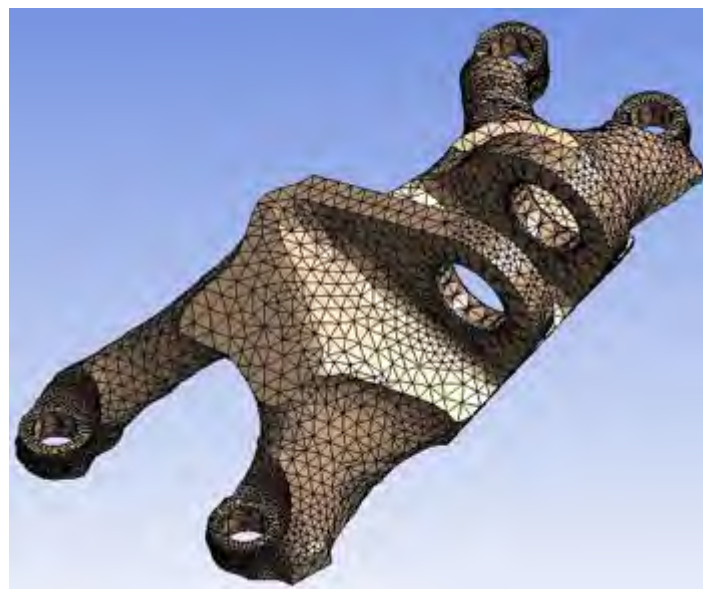
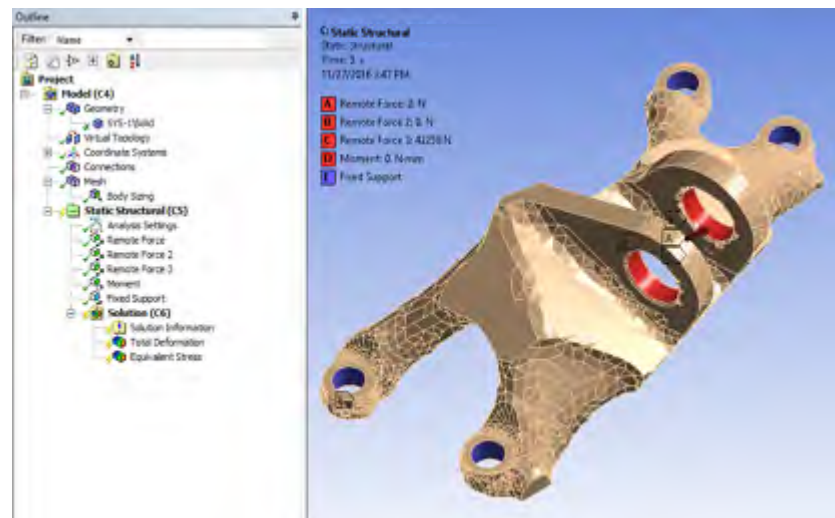
转换为实体模型并传递到设计验证系统

- 在SpaceClaim 模型树下选择Shrinkwrap 模型
 - 右键并选择转换为实体 → 融合表面
 - 创建实体
- 为传递数据做准备
 - 重点是保证仅是用于验证的几何体传递到设计验证系统中
 - 选择原始几何并进行抑制- 右键并选择“Suppress for physics”
 - 退出 SpaceClaim
- 使用 “Generate Virtual Cells” ，使用默认的 “Automatic” 设置



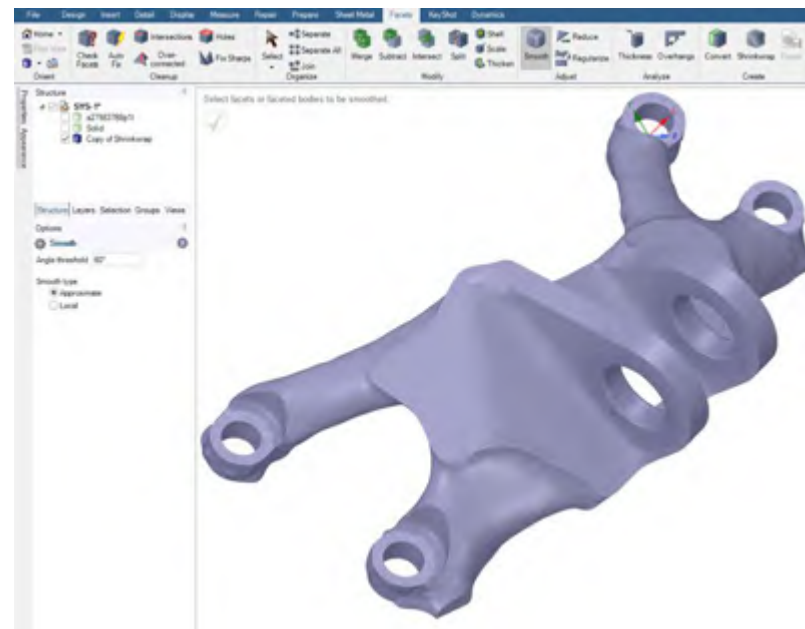
进行设计验证

- 再次对优化后的几何模型赋予材料和相关性能
- 再次施加载荷，约束和其它边界条件
- 再次应用和调整任何需要的网格尺寸并重新划分网格
- 也可以使用单元剖分方法中的Patch Independent快速生成质量较高的单元。



为3D打印准备并输出优化后几何

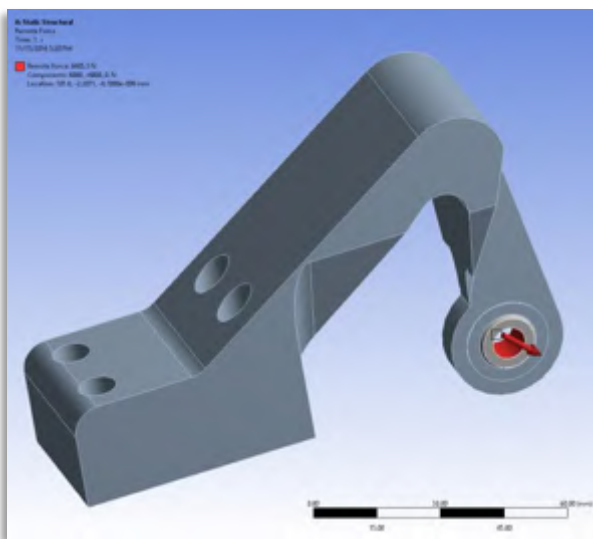
- 在优化设计得到验证后，返回SpaceClaim为增材制作准备并输出优化后的几何
- 收缩包裹模型可以为3D打印直接输出STL文件



航空轴承支架拓扑优化

优化后的主轴承座取代了原有设计方案，并实现了结构创新设计。

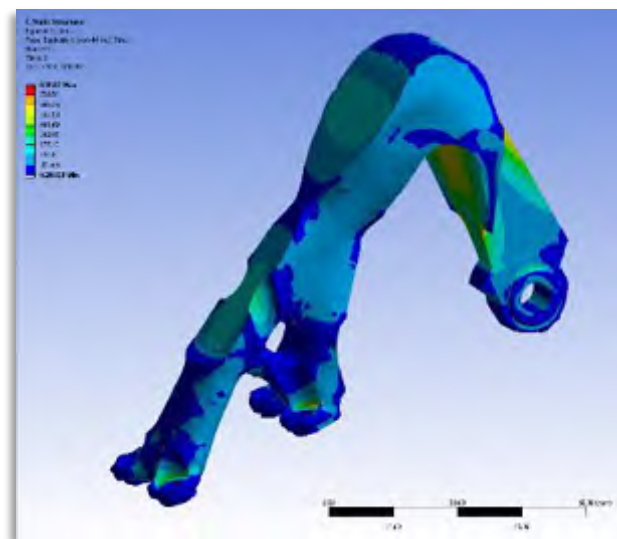
优化后的结构减重40%



原始模型



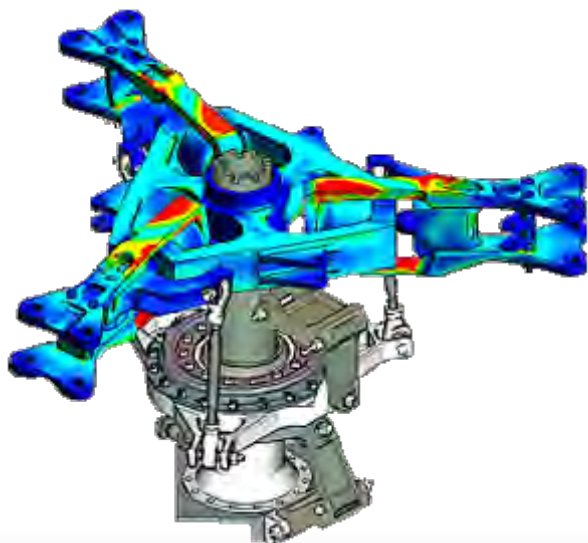
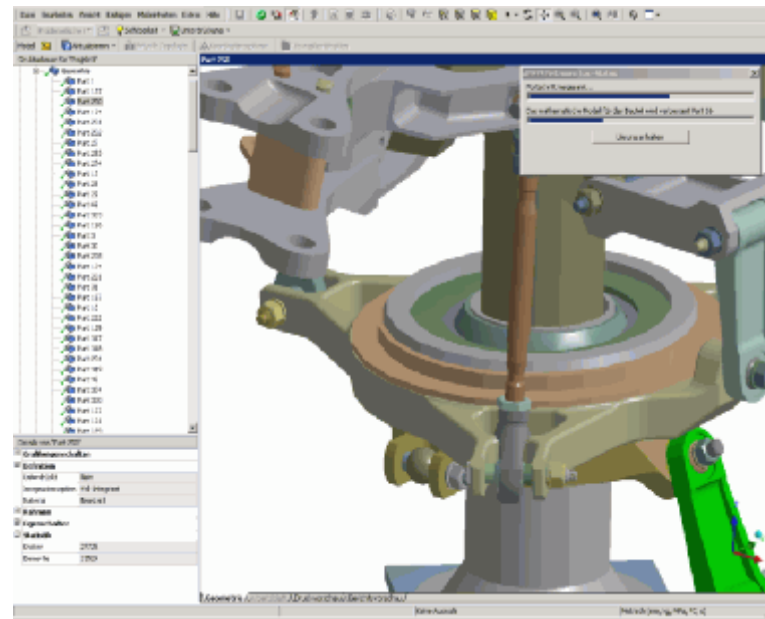
优化后零件



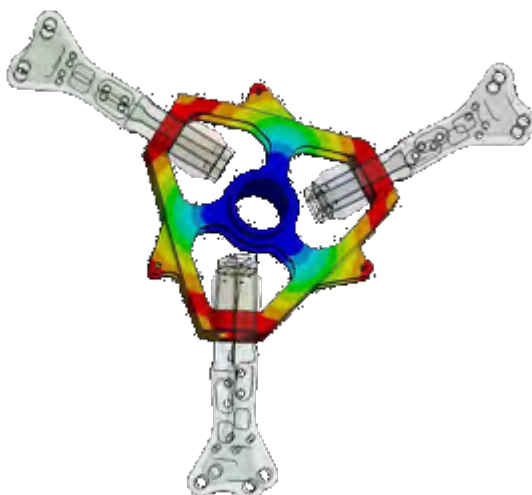
设计验证

直升机旋翼连接器拓扑优化

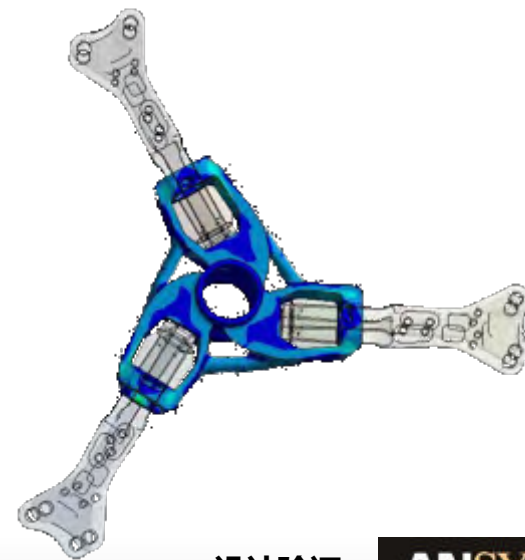
直升机旋翼连接器装配体复杂，基于静力学工况的拓扑优化分析对直升机飞行机动性有较大提升，优化后的结构减重30%，结构受力更均匀。



原始模型



优化后零件



设计验证

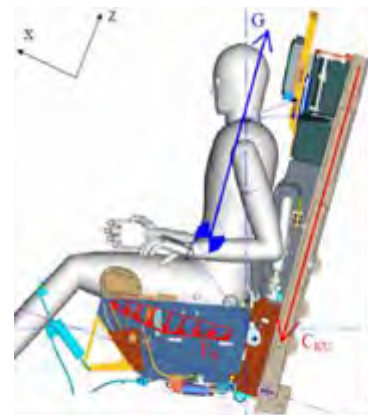
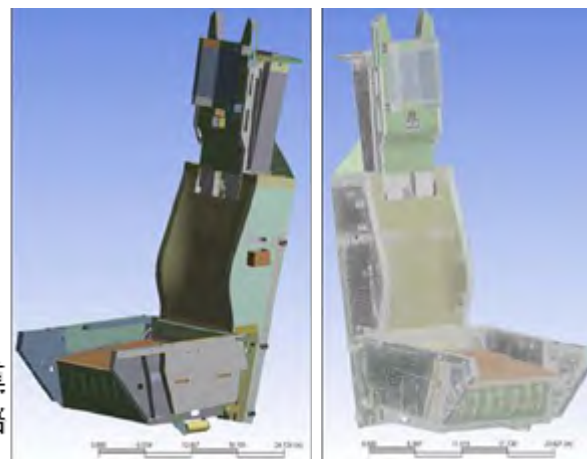
模块化弹射座椅结构优化

F-15飞机的弹射座椅通过拓扑优化，最终设计的座椅在可维护性、安全性、舒适性等方面都有很大程度提高

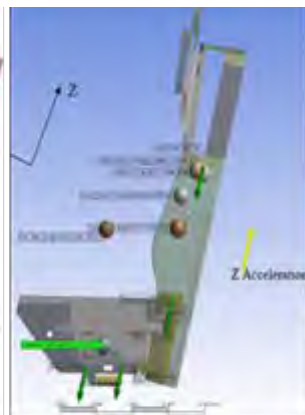


F-15弹射座椅

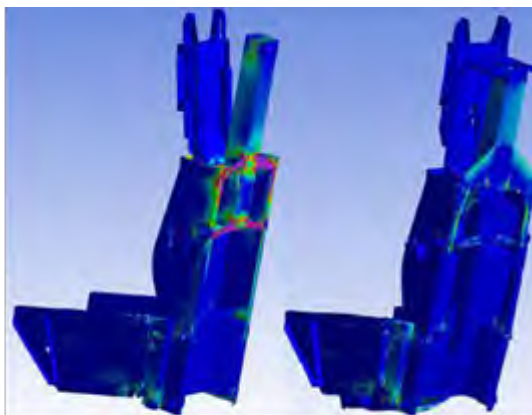
从Pro/E传入Workbench的几何模型和Workbench划分的网格



座椅载荷示意图



载荷和边界条件施加
座椅弹射状态结构强度计算



改进前后的结构应力分布

ANSYS



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

感谢聆听



ANSYS-China