ANSYS

CONVERGENCE CONFERENCES

2018年7月11-13日 上海

某型航空产品齿轮箱壳体拓扑优化设计

作者：马俊升

职务：仿真工程师

单位：航空工业南京机电

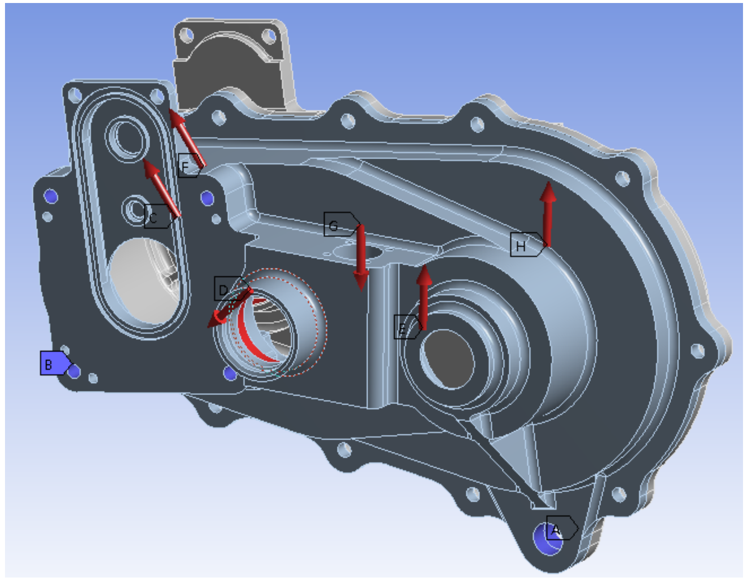
Email: mjs_hnu@163.com

行业与产品概述

- **行业背景**
  - 轻量化设计要求更加严格
  - 质量、可靠性要求教高
  - 研制周期正在压缩
  - 设计需求多次迭代
- **产品特点**
  - 机载设备
  - 设计安全裕度较小
  - 载荷环境复杂

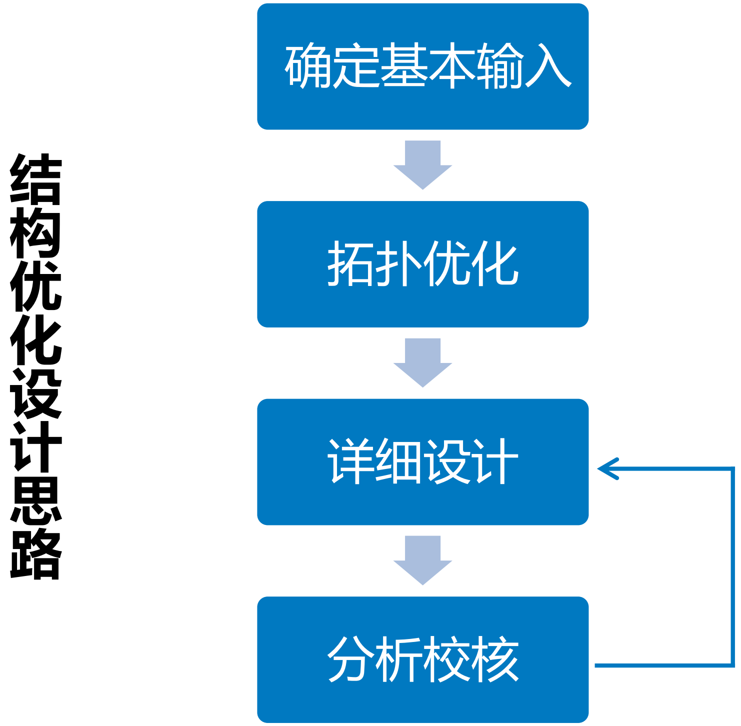
仿真需求分析

- **设计中的关键问题**
  - 以轻量化设计为目标
  - 满足强度条件
  - 壳体支撑刚度需要控制
- **仿真需求分析**
  - 在满足产品强度、刚度需求的前提下，设计最轻量化的壳体结构



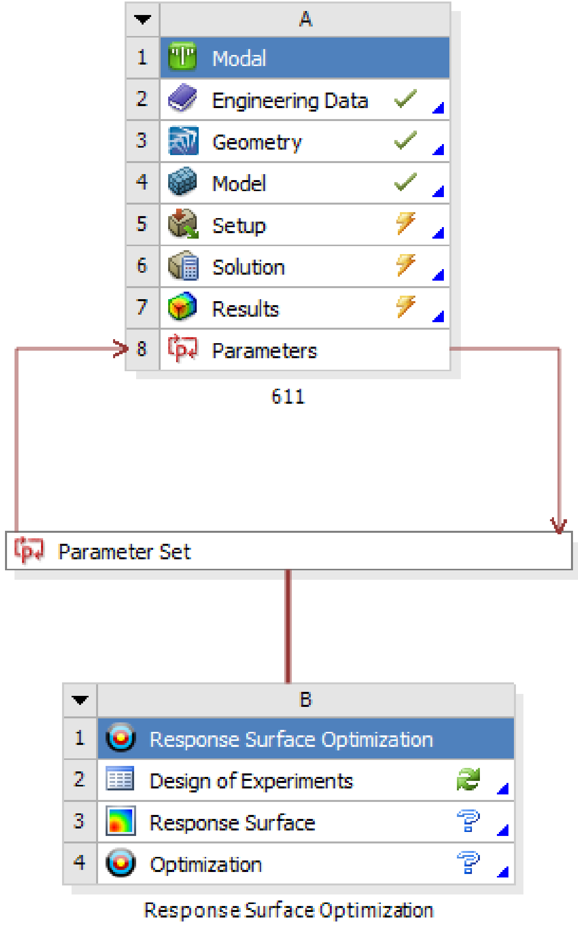
仿真设计过程简述

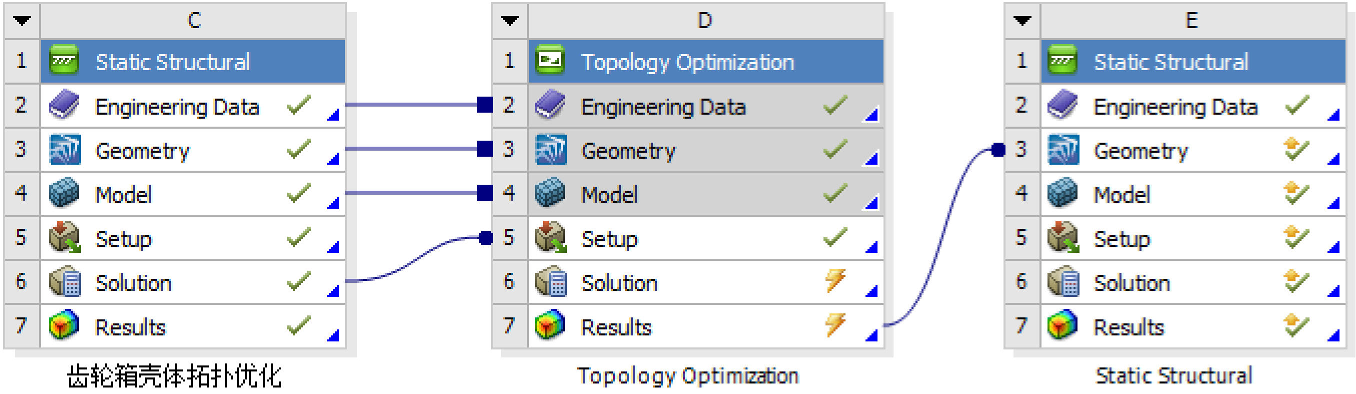
- **静力分析**
  - 确定边界和输入
- **拓扑优化**
  - 最小化柔顺性
  - 最小化质量：含位移约束，修改节点坐标系
- **结果验证**
  - 验证优化结果



ANSYS的优化方法

- **Design Exploration**
  - Direct Optimization
  - Response Surface
- **拓扑优化**
  - 最小化柔顺性
  - 最小化质量/体积

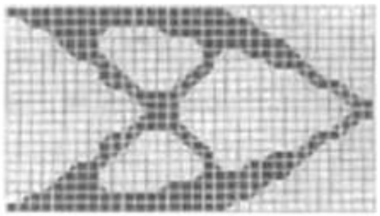




拓扑优化的一般方法

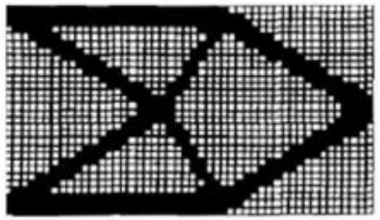
- 均匀化方法
- 变厚度法
- 变密度法
- ICM法
- ESO法
- 水平集法

均匀化方法(50步)



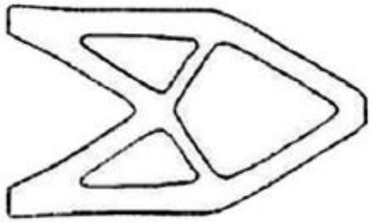
变厚度法(6步)

变密度法(12步)



ICM法(32步)

BESO法(33步)

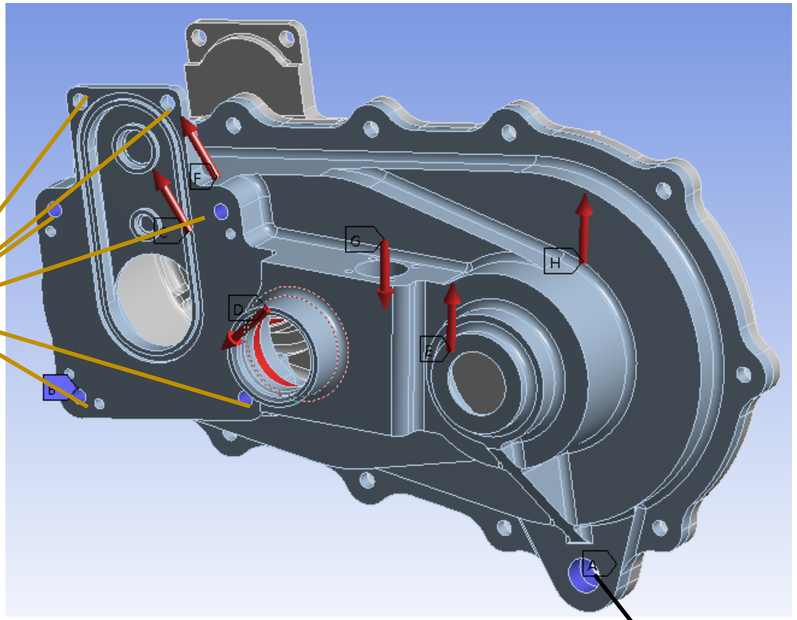


水平集法(30步)

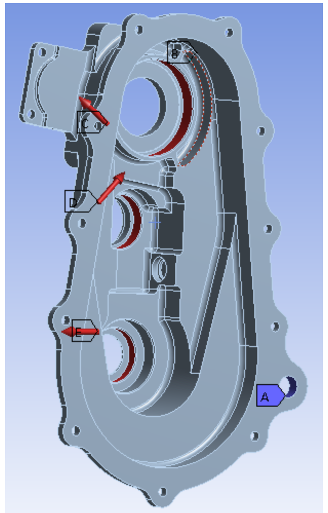
例子1 齿轮箱壳体

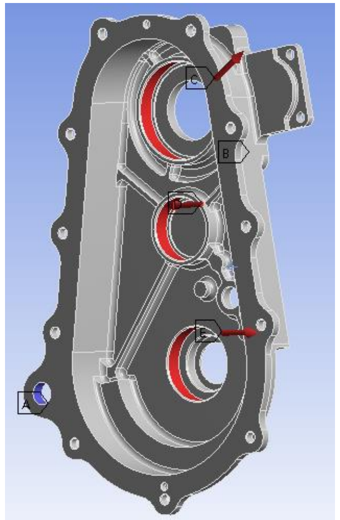
- **模型或数据**
  - 齿轮箱壳体
- **参数与条件**
  - 边界条件：约束安装脚
  - 将连接处简化为弹性支撑
  - 齿轮力施加到轴承孔上
  - 材料：7A09
- **软件**
  - ANSYS Workbench 18.1

弹性支撑



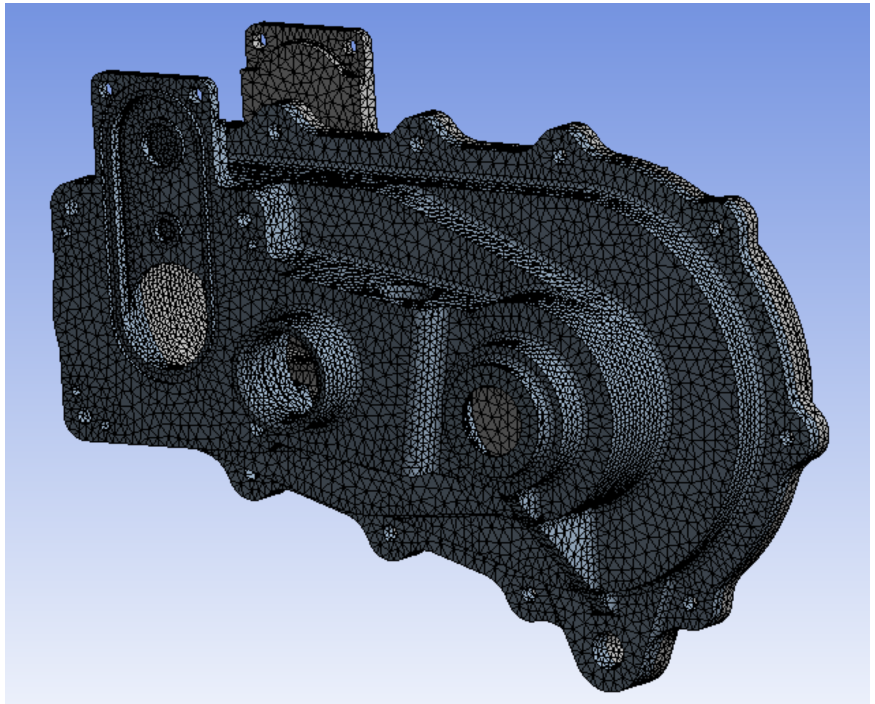
安装脚

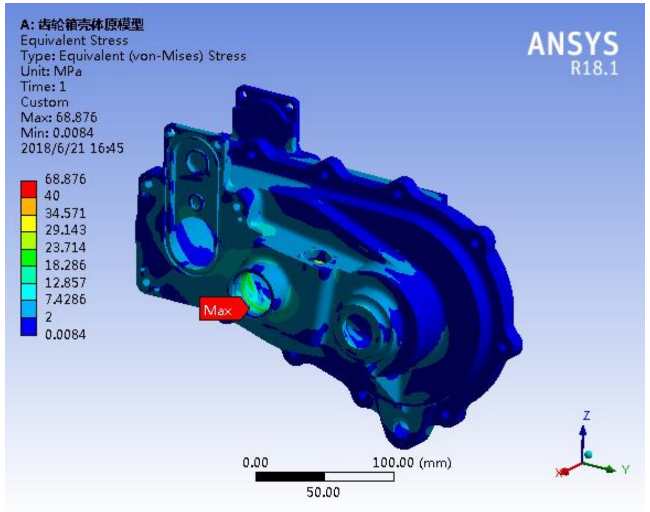




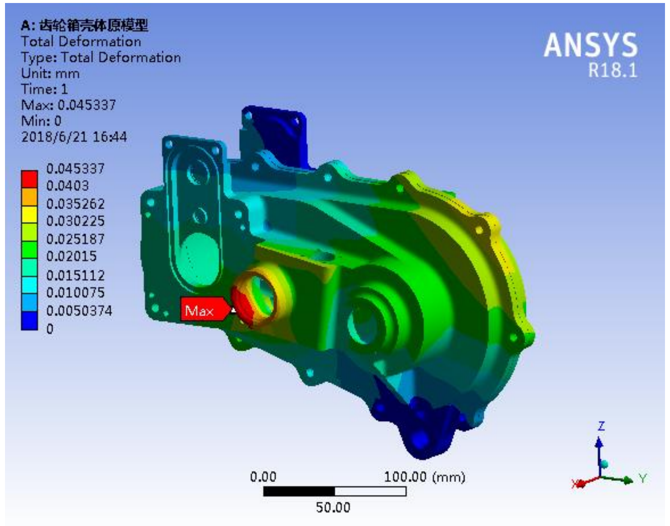
内部齿轮力以Force施加（注：Workbench拓扑优化不支持bearing load）

静力分析





应力



位移

壳体变形过大，会影响齿轮传动。因此，在减重的同时，需要控制壳体刚度。

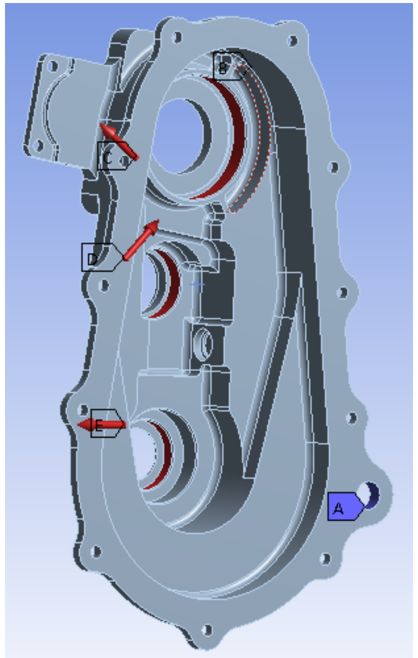
拓扑优化

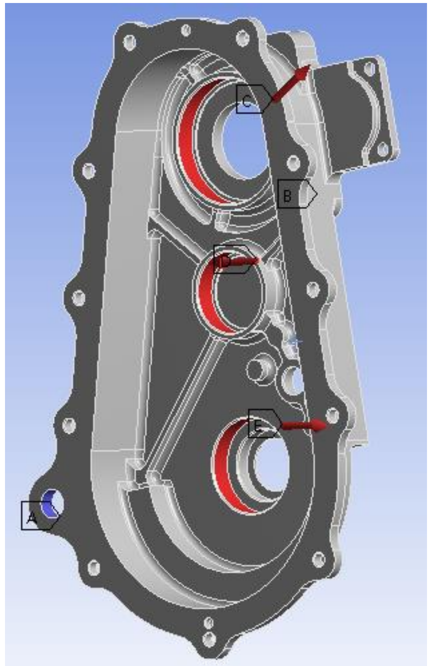
- **最小柔顺性**
- 优化目标：柔度最小
- 约束：体积/质量百分比

Enabled	Response Type	Goal	Formulation	Environment Name	Weight	Multiple Sets	Start Step	End Step	Step	Start Mode	End Mode	Mode
☑	Compliance	Minimize	Program Controlled	Static Structural	1	Enabled	1	1	1	N/A	N/A	N/A

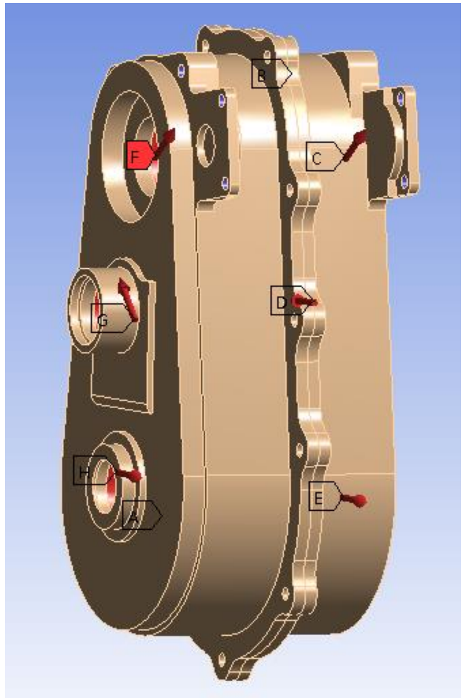
- **最小质量/体积**
- 优化目标：体积/质量最小
- 约束：应力约束、位移约束

拓扑优化





齿轮箱壳体



增材后

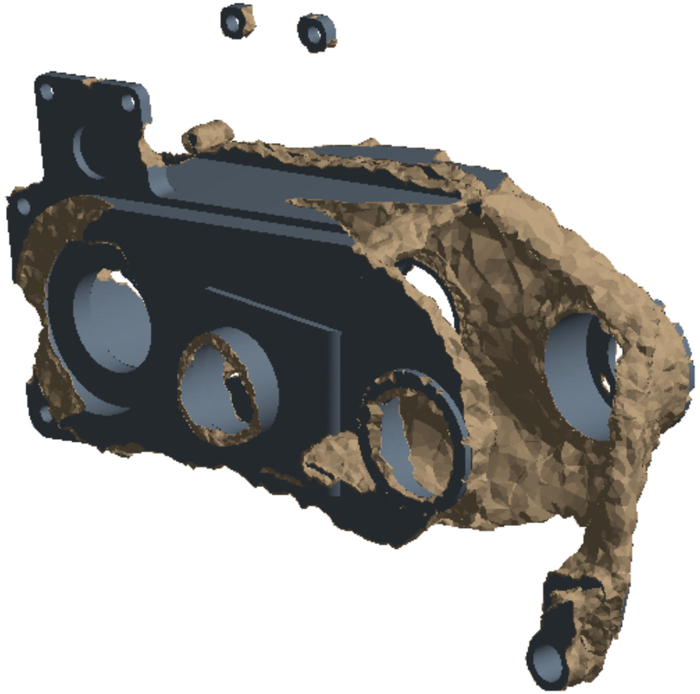
为了充分探究结构可能的拓扑形式，先对壳体进行了增材处理。

后续产品设计，应先进行整体拓扑结构设计，再进行细节设计。

拓扑优化

- **最小柔顺性的优化**

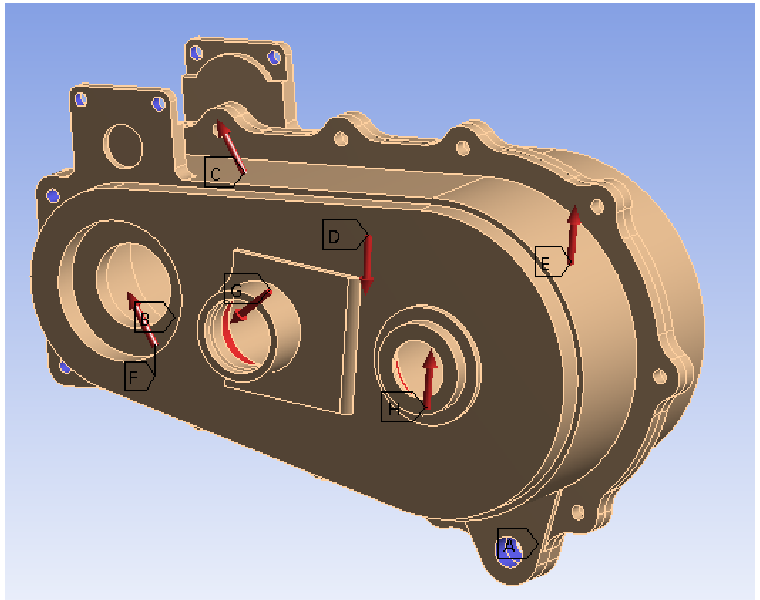
优化目标：柔度最小
约束：体积/质量百分比



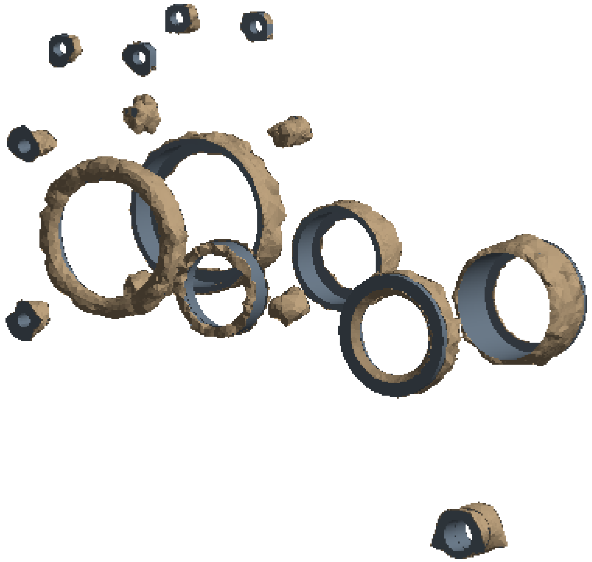
约束：20%质量

拓扑优化

- **最小化质量**



目标：质量最小
约束：应力

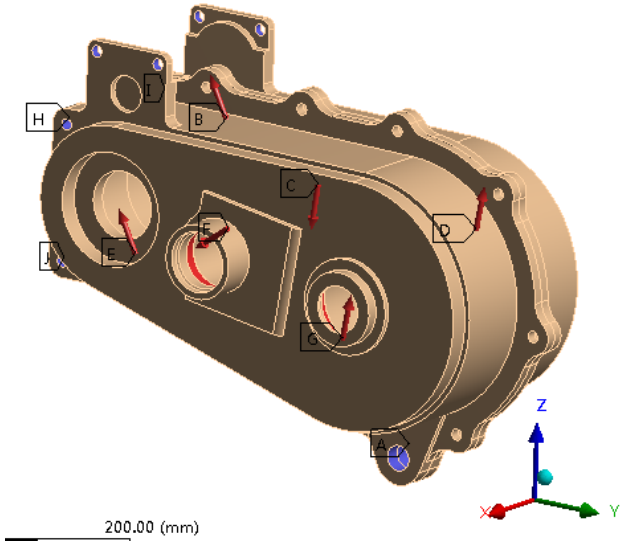


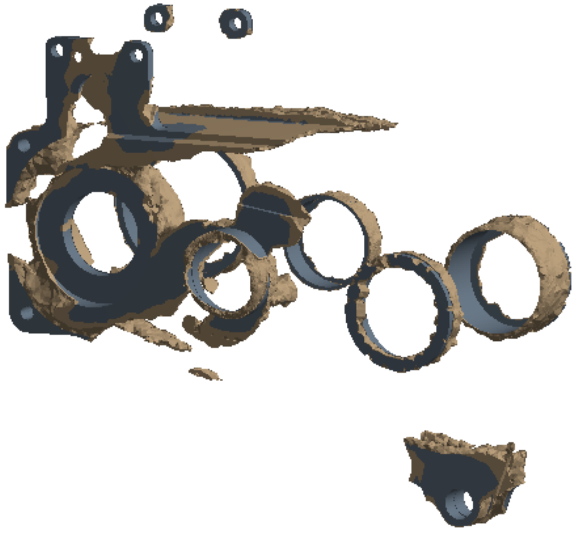
只约束应力，优化结果出现孤岛，分布在受力的轴承孔周围。

没有对位移进行限制，则应力约束也没有意义。

拓扑优化

目标：质量最小
约束1：应力
约束2：孔边位移





Workbench的位移约束不能选择方向和坐标系，因此当受力方向跟系统自身坐标系不一致时，位移约束就无法起作用。

Details of "Displacement Constraint 2"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Node
Definition	
Type	Response Constraint
Response	Displacement
Coordinate System	Nodal Coordinate System
X Component (Max)	Free
Y Component (Max)	4.e-002 mm
Z Component (Max)	Free
Environment Selection	All Static Structural
Suppressed	No

拓扑优化

解决方式：添加命令语言。
通过添加命令，改变节点坐标系的方向，再进行位移约束。

Details of "Displacement Constraint 2"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Node
Definition	
Type	Response Constraint
Response	Displacement
Coordinate System	Nodal Coordinate System
X Component (Max)	Free
Y Component (Max)	4.e-002 mm
Z Component (Max)	Free
Environment Selection	All Static Structural
Suppressed	No

- **Static Structural (I5)**
  - Analysis Settings
  - Force
  - Fixed Support
  - Fixed Support 2
  - Elastic Support
  - Elastic Support 2
  - Elastic Support 3
  - Elastic Support 4
  - Commands (APDL)
  - **Solution (I6)**
    - Solution Information
    - Equivalent Stress
    - Total Deformation

NMODIF, 15735, , , , , -180,

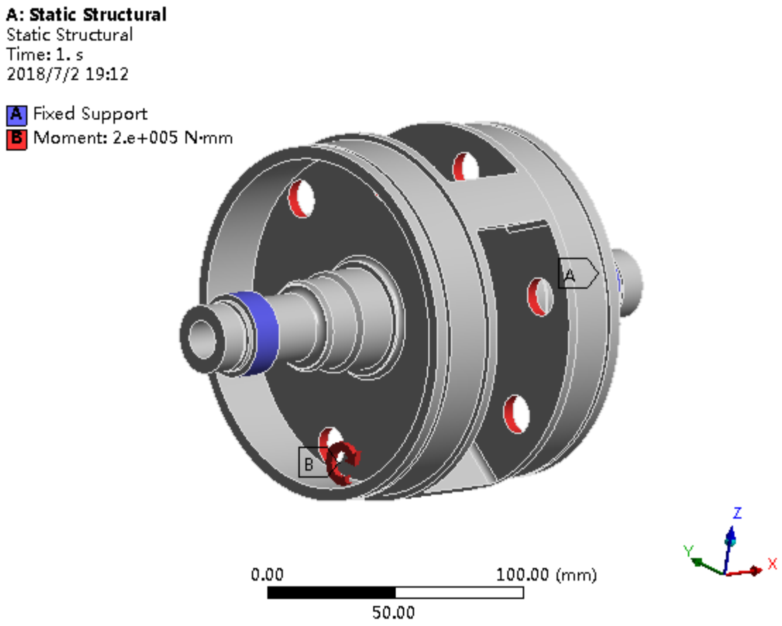
节点号

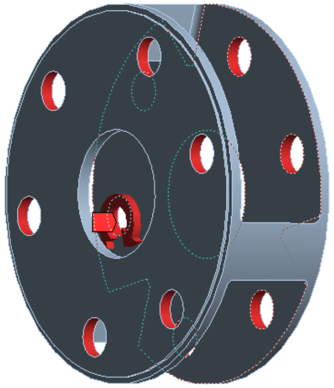
绕轴旋转角度

参考优化结果在中间齿轮周围布置了加强筋，减重的同时保证了壳体刚度。

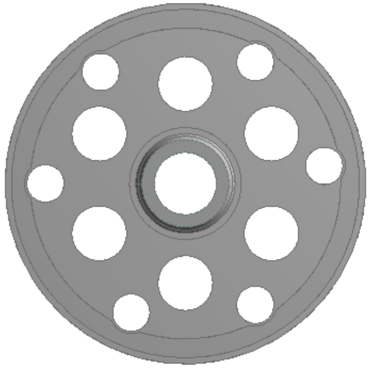
例子2 行星架方案设计

如下图所示的行星架，两端通过轴承固定，中间连接行星轴，轴上承受扭矩。

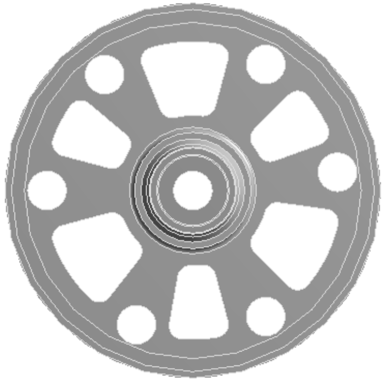




优化区域



方案一

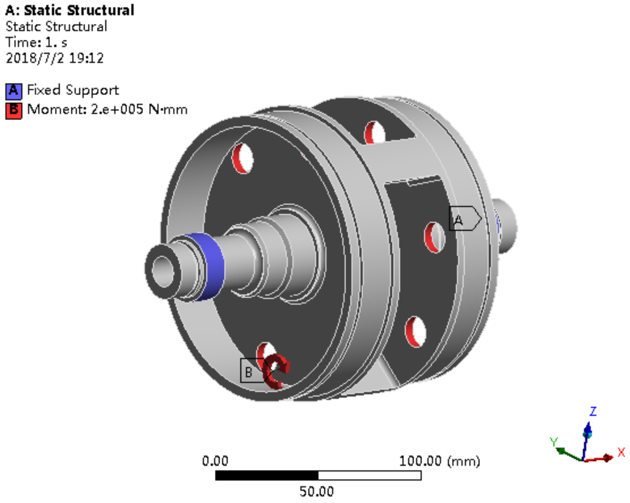


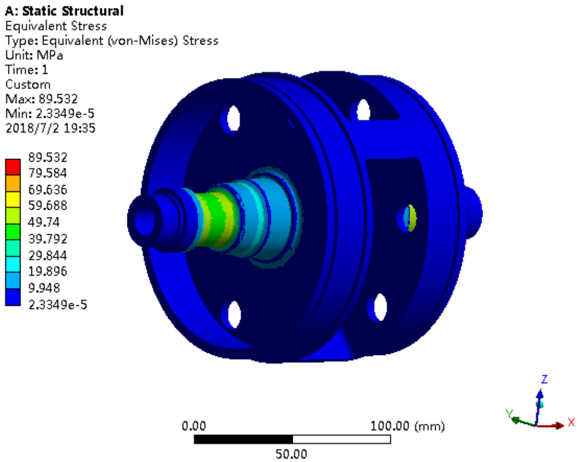
方案二

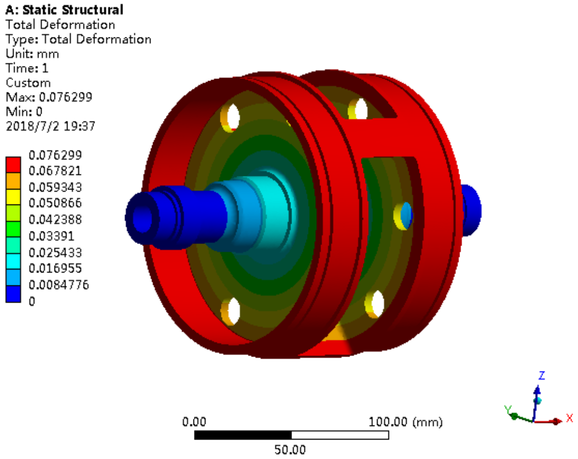
?

拓扑优化

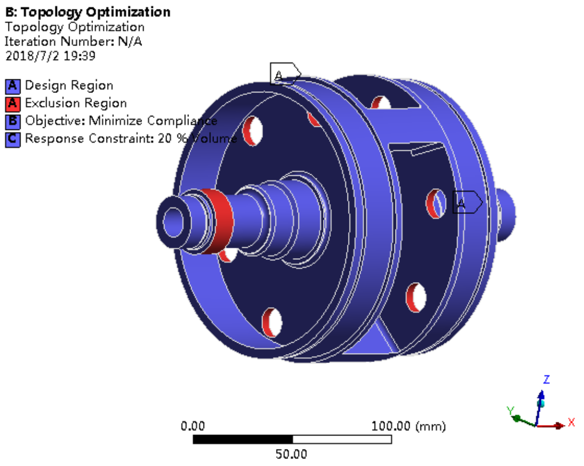
静力分析

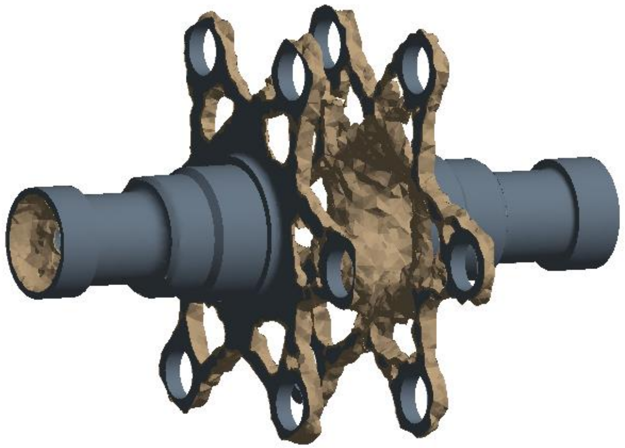






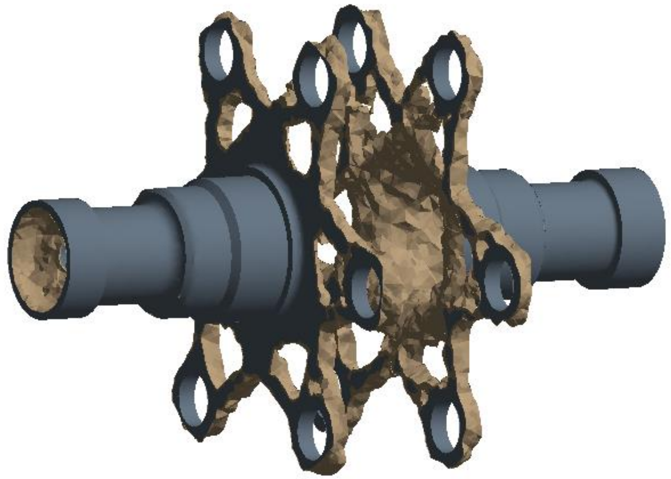
拓扑优化

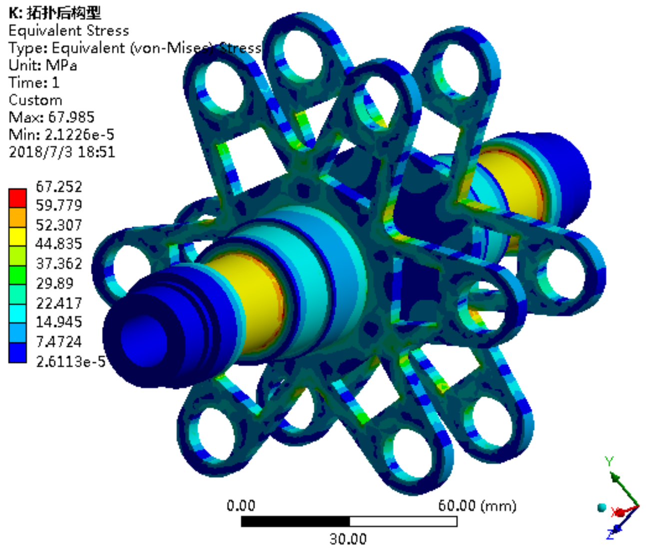


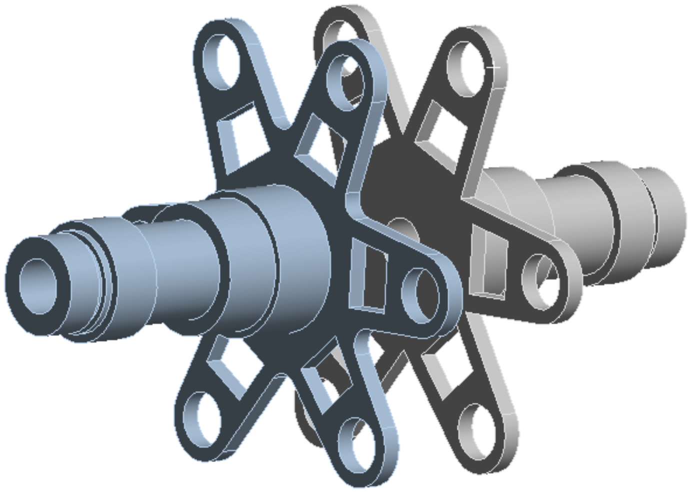


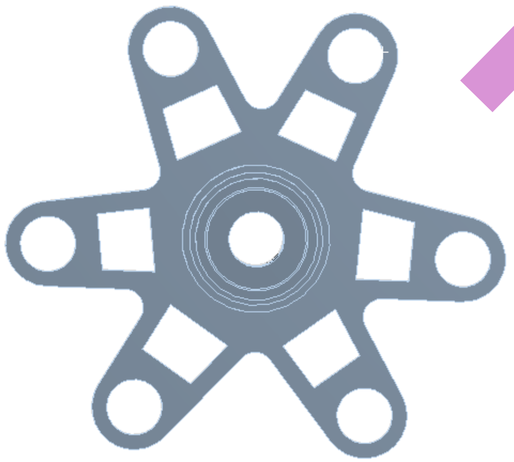
以柔顺性最小为目标，20%的体积约束

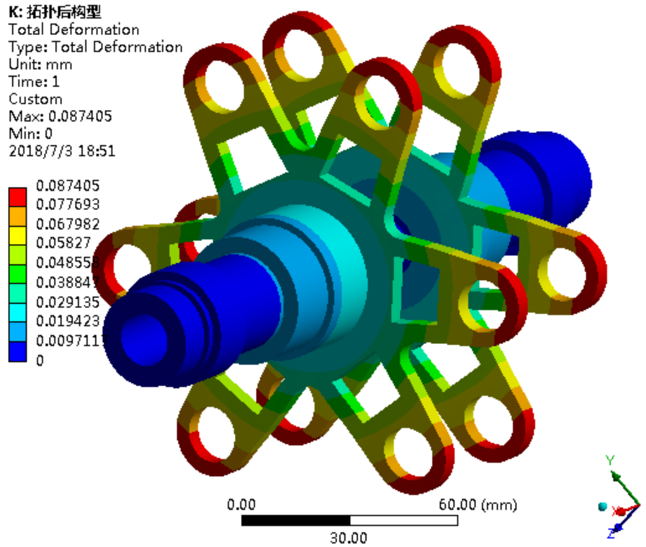
优化后处理

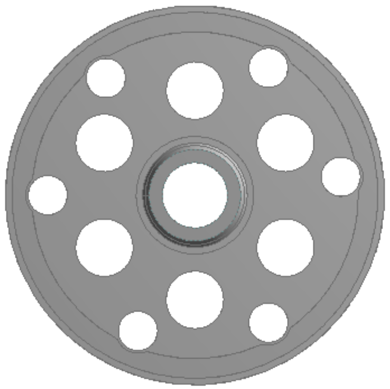
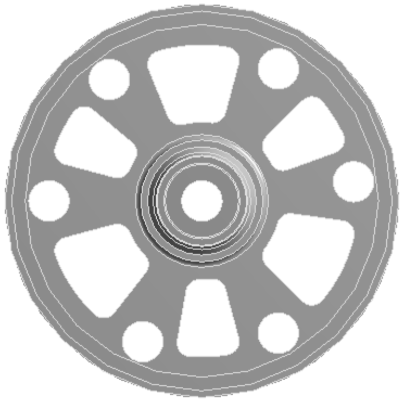


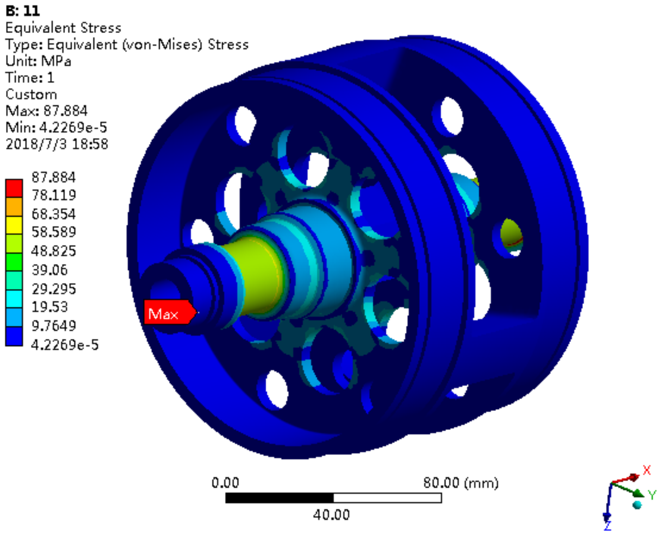

K: 拓扑后构型
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 67.985
Min: 2.1226e-5
2018/7/3 18:51
67.252
59.779
52.307
44.835
37.362
29.89
22.417
14.945
7.4724
2.6113e-5
0.00
60.00 (mm)
30.00

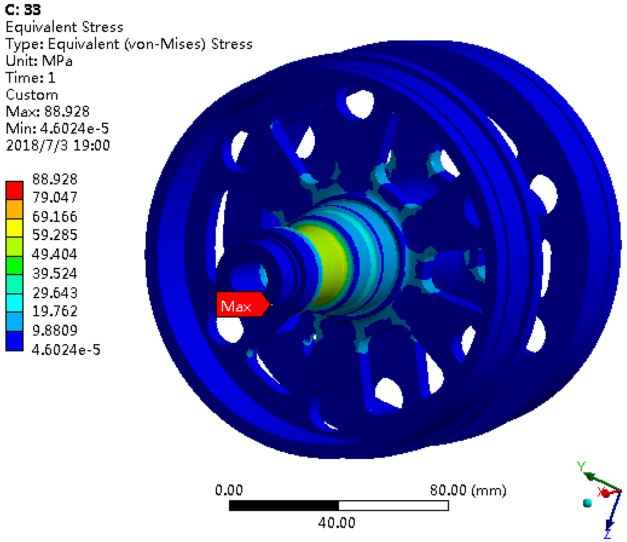


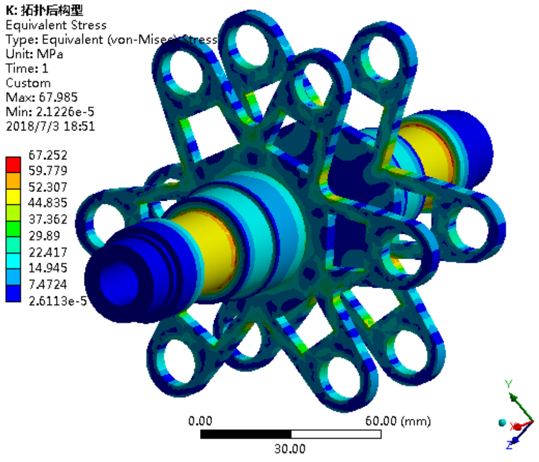



K: 拓扑后构型
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
Custom
Max: 0.087405
Min: 0
2018/7/3 18:51
0.087405
0.077693
0.067982
0.05827
0.04855
0.03884
0.029135
0.019423
0.009711
0
0.00
60.00 (mm)
30.00





质　　量　3.25kg
最大应力　89MPa
最大变形　$82\mu m$

质　　量　3.16kg
最大应力　89MPa
最大变形　$79\mu m$

质　　量　1.37kg
最大应力　67MPa
最大变形　$87\mu m$

小结

- 可通过在workbench中添加命令的方式，来合理设置计算条件
- ANSYS拓扑优化会是结构优化设计的一个有力工具，在产品设计流程早期使用效果更佳。

THANK YOU

姓名　马俊升
Email:　mjs_hnu@163.com
Phone: 183 6086 6954
航空工业南京机电

感谢聆听！

ANSYS-China

ANSYS中国