

## ANSYS 拓扑优化-赵州桥

拓扑优化在工程设计中，常用于机械结构概念设计和轻量化设计，ANSYS 通用有限元分析软件提供了强大的拓扑优化功能，本文将通过一个简单实例进行展示。

### 【赵州桥简介】

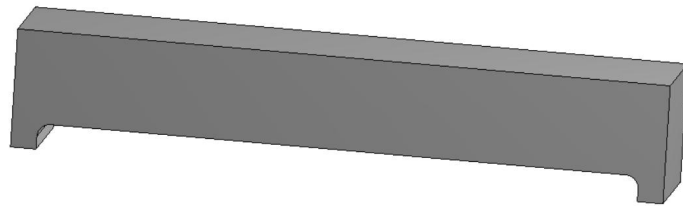


赵州桥又称安济桥，坐落在河北省赵县的洨河上，横跨在 37 米多宽的河面上，因桥体全部用石料建成，当地称做“大石桥”。建于隋朝开皇十一年至开皇十九年（公元 591 年—599 年）之间，由著名匠师李春设计建造，距今已有 1400 多年的历史，是当今世界上现存最早保存最完整的古代单孔敞肩石拱桥。赵州桥是古代劳动人民智慧的结晶，开创了我国桥梁建造的崭新局面。

2015 年荣获石家庄十大城市名片之一。它是我国第一石拱桥，在漫长的岁月中，虽然经过无数次洪水冲击、风吹雨打、冰雪风霜的侵蚀和 8 次地震的考验，却安然无恙，巍然挺立在洨河之上。

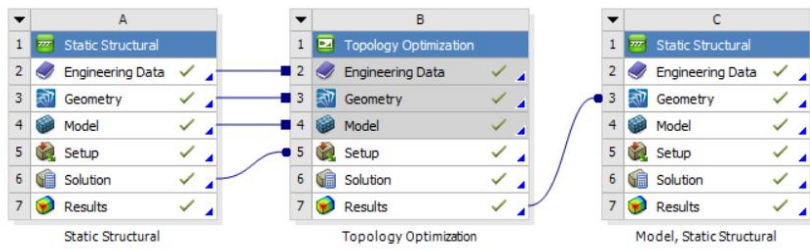
赵州桥为一座上承式拱桥，全长 50.82 米，桥宽 9.6 米，桥高 7.23 米，主孔跨径 37.02 米；主拱券等厚 1.03 米，上部有护拱石；主拱券两侧各有两个净跨分别为 3.8 米和 2.85 米的小拱，可增加过水面积 16%；桥梁重 2800 吨。

### 【案例描述】



按照赵州桥的尺寸参数缩小 100 倍建模，模拟赵州桥长为 50.82mm，宽为 9.6mm，高为 7.23mm，在两端下方增加宽 2mm，高 2mm 的底座用于施加固定约束，在桥面上施加 1000Mpa 的压力，求解桥体的变形和应力，然后用 ANSYS 拓扑优化工具对桥体优化，得到体积为原来 30%并且刚度最大的结构。

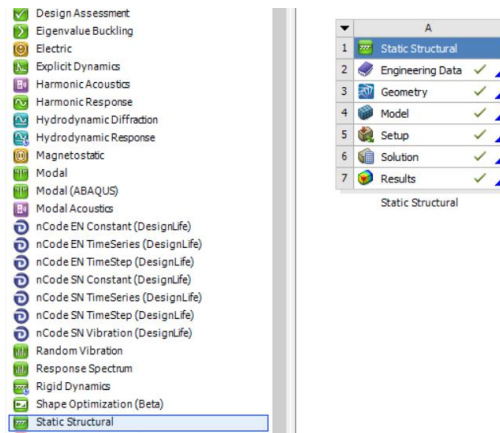
### 【案例分析】



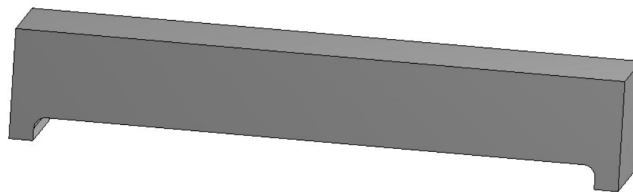
如案例描述过程，首先对实体模型结构分析得到应力和位移，然后用 ANSYS 拓扑优化对结构进行优化，最后对优化后的结构做验证分析。

**【案例过程】**

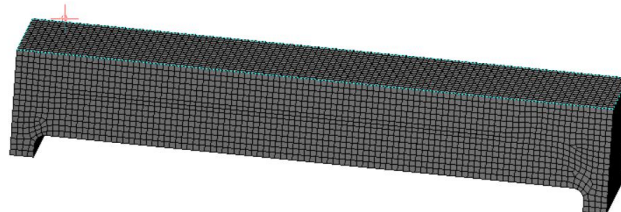
1) 打开 ANSYS WORKBENCH 打开 WORKBENCH 建立静力学分析系统,将单位改为 Kg, mm, s 系列。



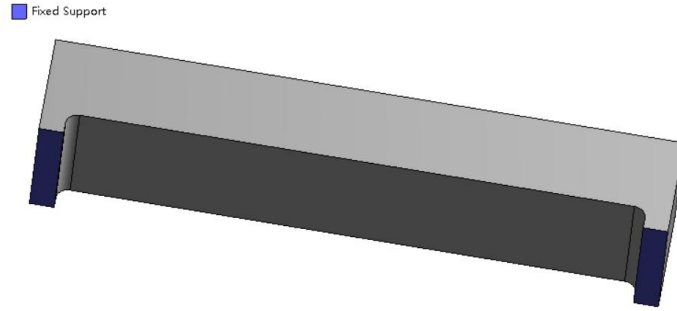
1) 右键点击 A3 并且打开 SCDM 开始建模，具体建模过程这里省略。



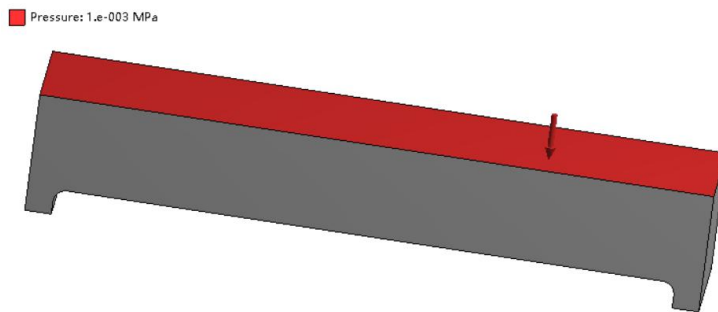
2) 划分网格，网格大小为 0.5mm 的六面体网格。



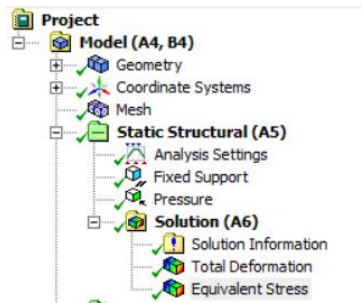
3) 桥的下方底座施加固定约束。



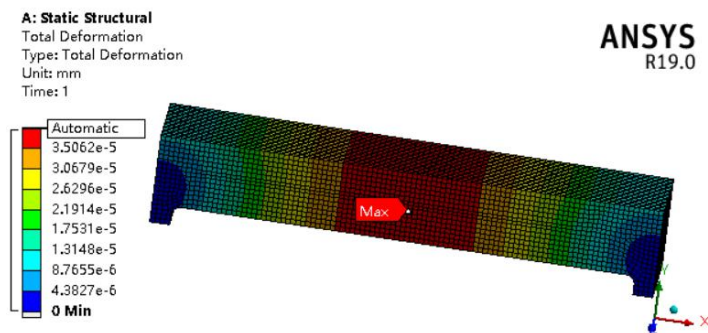
4) 桥面施加 1000Mpa 的压力。



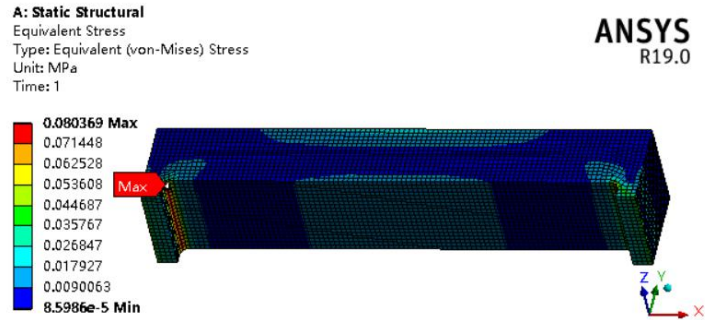
5) 在结果文件中插入位移和平均等效应力的结果并且求解。



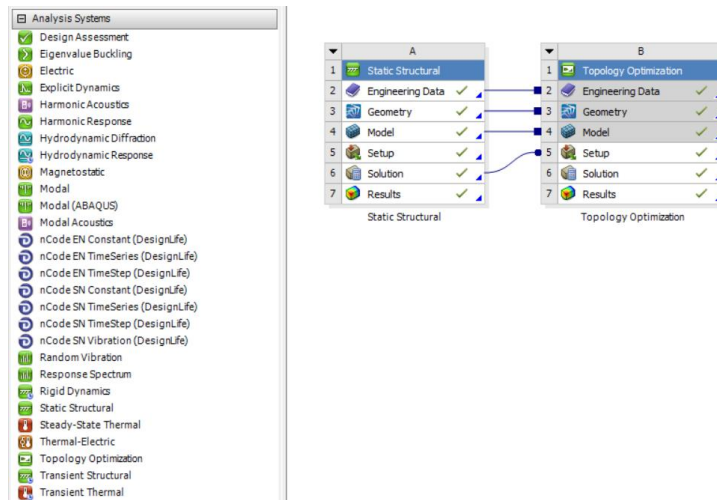
6) 位移云图，最大位移为  $3.94e-5$ mm，分布在桥体的中间。



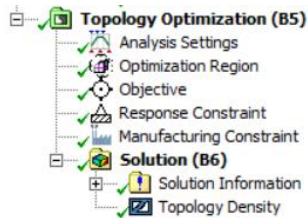
7) 应力云图，最大应力为 0.08Mpa，分布在桥底座与桥体连接处。



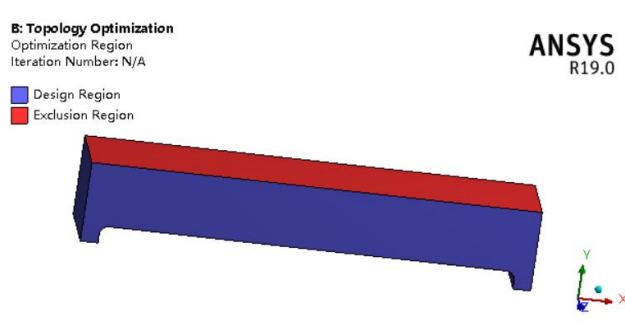
8) 返回 WORKBENCH, 在精力学分析后面添加拓扑优化模块, 并且点击进入。



9) 进入拓扑优化模块



10) 设置底座固定约束和桥面载荷约束均为非优化区域, 其余蓝色为优化区域



11) 设置优化目标为最小柔顺度。

Right click on the grid to add, modify and delete a row.

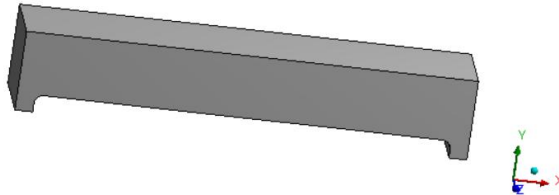
Enabled	Response Type	Goal	Formulation	Environment Name	Weight	Multiple Sets	Start Step	End Step	Step
<input checked="" type="checkbox"/>	Compliance	Minimize	Program Controlled	Static Structural	1	Enabled	1	1	1
<input type="checkbox"/>									

12) 相应约束设置保留 30%体积。

**B: Topology Optimization**  
Response Constraint  
Iteration Number: N/A

ANSYS  
R19.0

Response Constraint: 30 % Volume

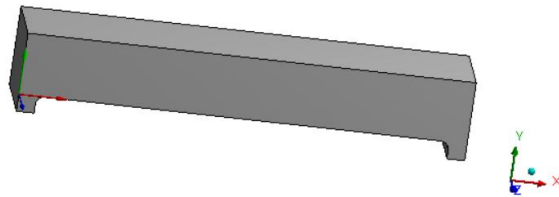


13) 设置制造约束为 Z 方向。

**B: Topology Optimization**  
Manufacturing Constraint  
Iteration Number: N/A

ANSYS  
R19.0

Manufacturing Constraint: Pull Out Direction

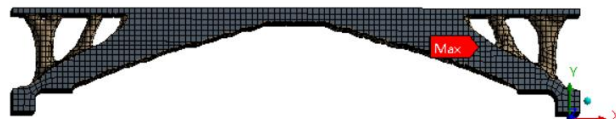


14) 求解并得到结果，从优化结果可以看出外形和赵州桥非常相似。

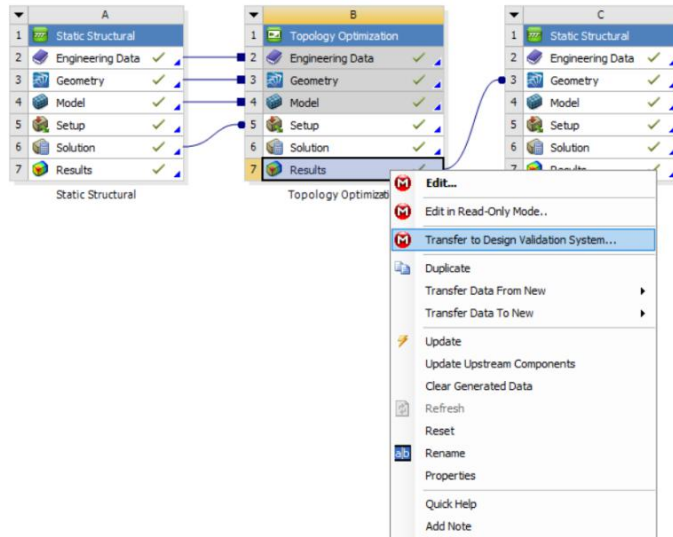
**B: Topology Optimization**  
Topology Density  
Type: Topology Density  
Iteration Number: 32

ANSYS  
R19.0

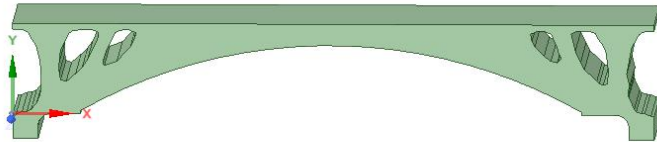
Remove (0.0 to 0.4)  
 Marginal (0.4 to 0.6)  
 Keep (0.6 to 1.0)



15) 返回 WORKBENCH 界面，拓扑优化 B7 右键，传送到设计验证系统。



16) 更新并且双击 C3 进入 SCDM 中对拓扑优化结果进行重新建模。

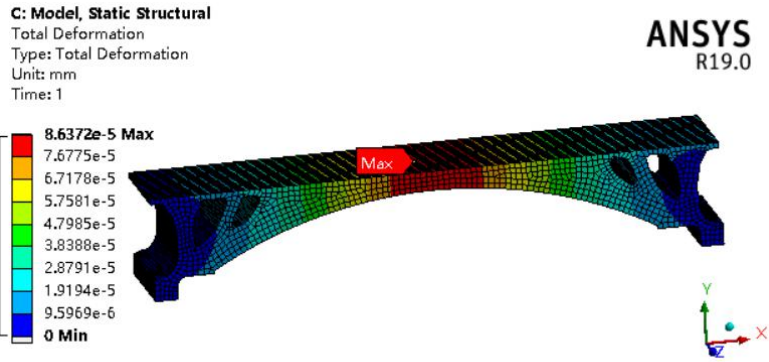


17) 双击 C4 进入验证界面，并且划分网格，并且施加约束，最后求解，这里与静态求解相似。

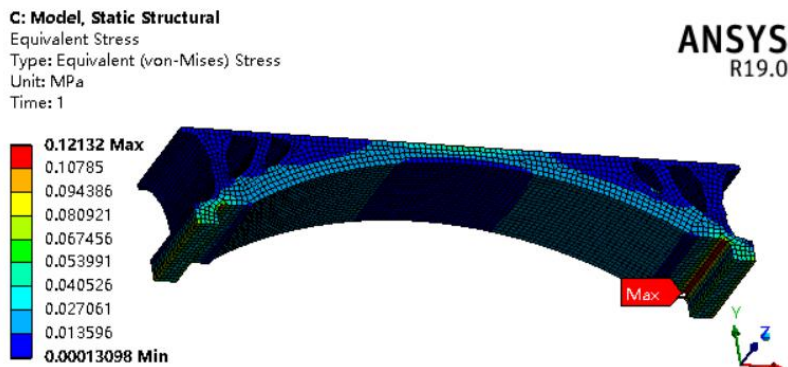


18) 位移云图，最大位移也在桥面中间为  $8.63e-5\text{mm}$





19) 应力云图，最大应力也分布在桥底座与桥体连接处为 0.12Mpa



**【案例总结】**

项目	优化前	优化后	变化
质量 (kg)	8.2989E-3	3.8799E-3	变小 0.4675
体积 (mm <sup>3</sup> )	3608.2	1686.9	变小 0.4675
位移 (mm)	3.9445E-5	8.6372E-5	变大 2.1896
应力 (Mpa)	0.08037	0.12132	变大 1.5095

项目	优化前	优化后	变化
质量 (kg)	8.2989E-3	3.8799E-3	变小 0.4675
体积 (mm <sup>3</sup> )	3608.2	1686.9	变小 0.4675
位移 (mm)	3.9445E-5	8.6372E-5	变大 2.1896
应力 (Mpa)	0.08037	0.12132	变大 1.5095