

考虑节点半刚性的自由曲面铝合金网格结构找形

朱劭骏、大崎純、曾强、郭小农

汇报人：朱劭骏

2020.12.10



1. 引言

2. 思考过程及成果



第 1 节

引 言



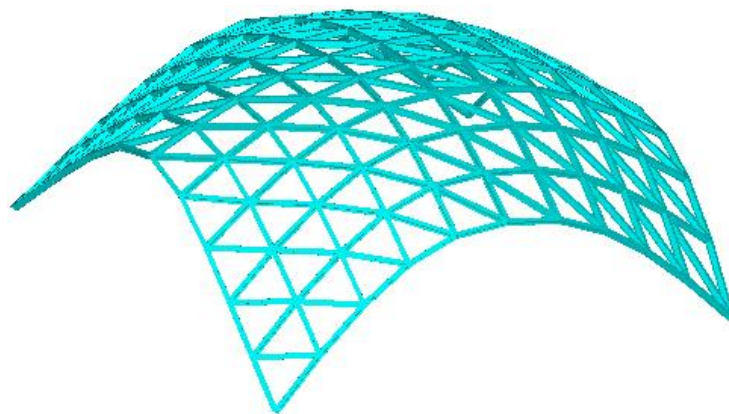
引言

工程师的直觉和科研人员的科学素养

以下哪个作为空间网格结构的形状更好？



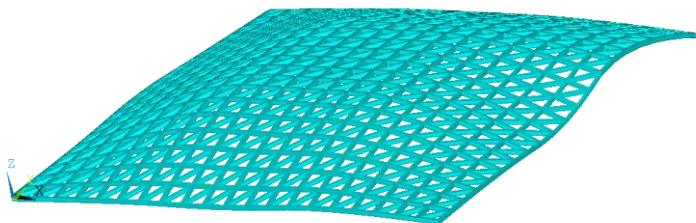
接近于平板的结构



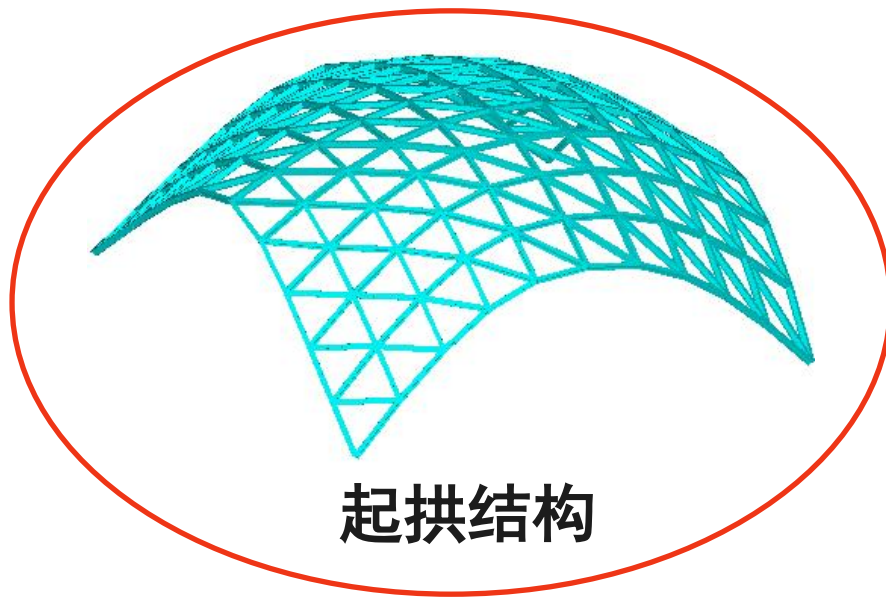
起拱结构

工程师的直觉

恒定的均布竖向荷载作用下，假定结构其他参数均一致（材料、网格、支座、节点刚度等），进行线性静力分析后，以下哪个形状所对应结构的应变能更可能较低？



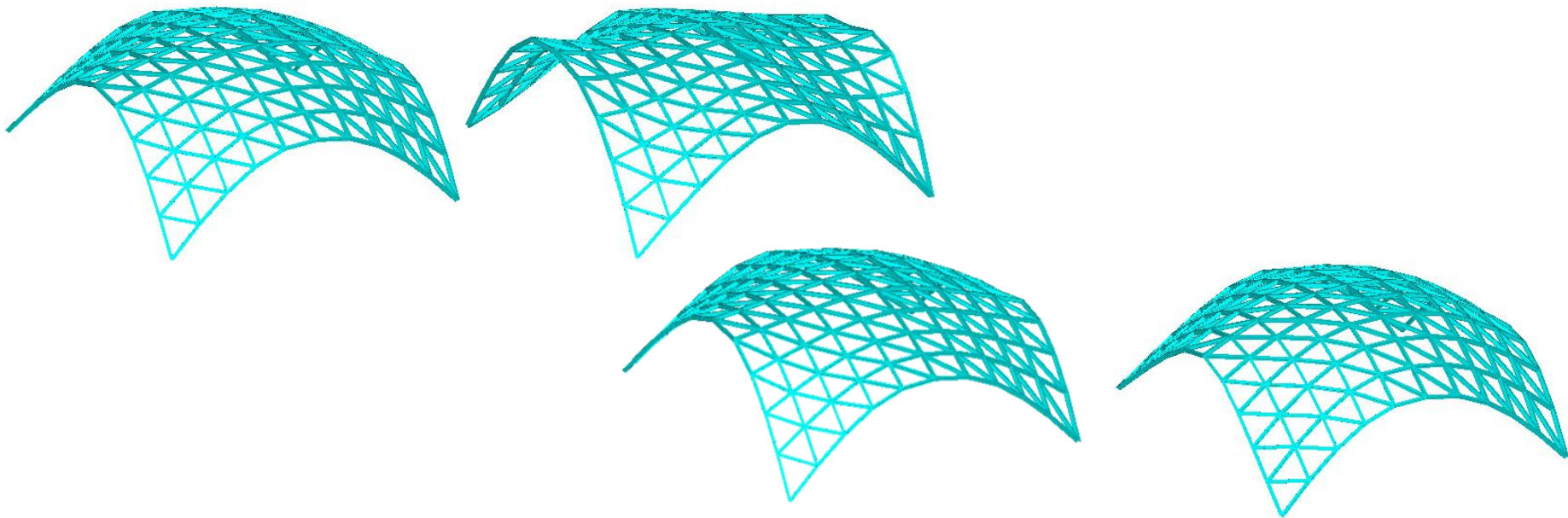
接近于平板的结构



起拱结构

工程师的直觉

恒定的均布竖向荷载作用下，假定结构其他参数均一致（材料、网格密度、节点刚度等），进行线性静力分析后，以下哪个形状所对应结构的应变能更可能较低？



引言

直觉一定正确吗？

例：三门问题

1



2



3



引言

直觉一定正确吗？

主持人知道汽车在哪个门里，并会给你排除一个不是汽车的门。

1



2



3



引言

直觉一定正确吗？

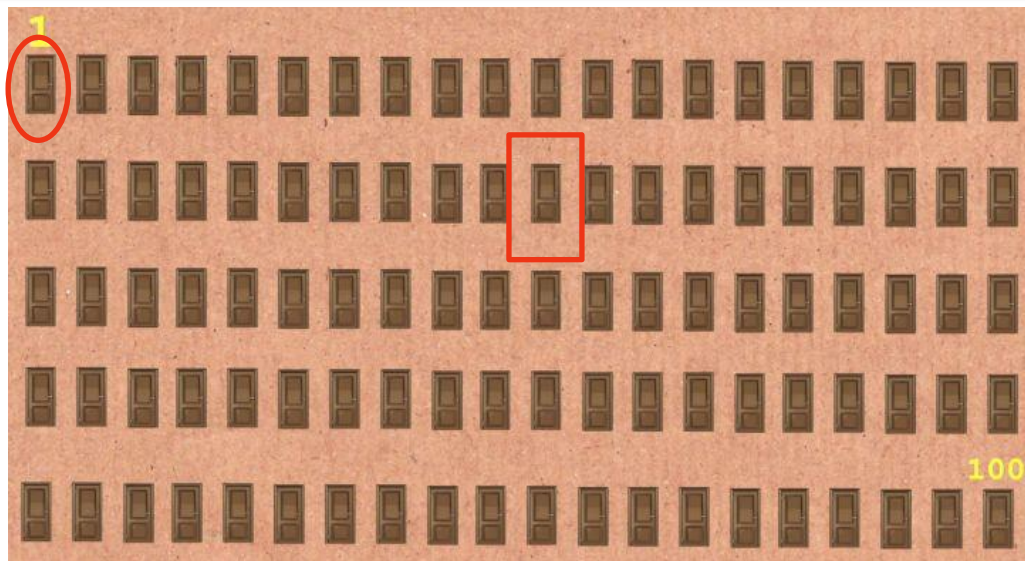
你要换门。基于概率论推导，换门后得奖概率是 $2/3$ 。

不换的话，代表你第一次选对了才能获得汽车（概率 $1/3$ ）

换的话，代表你第一次选错了就能获得汽车（概率 $2/3$ ）

如果是100扇门呢？

还坚持不换吗？





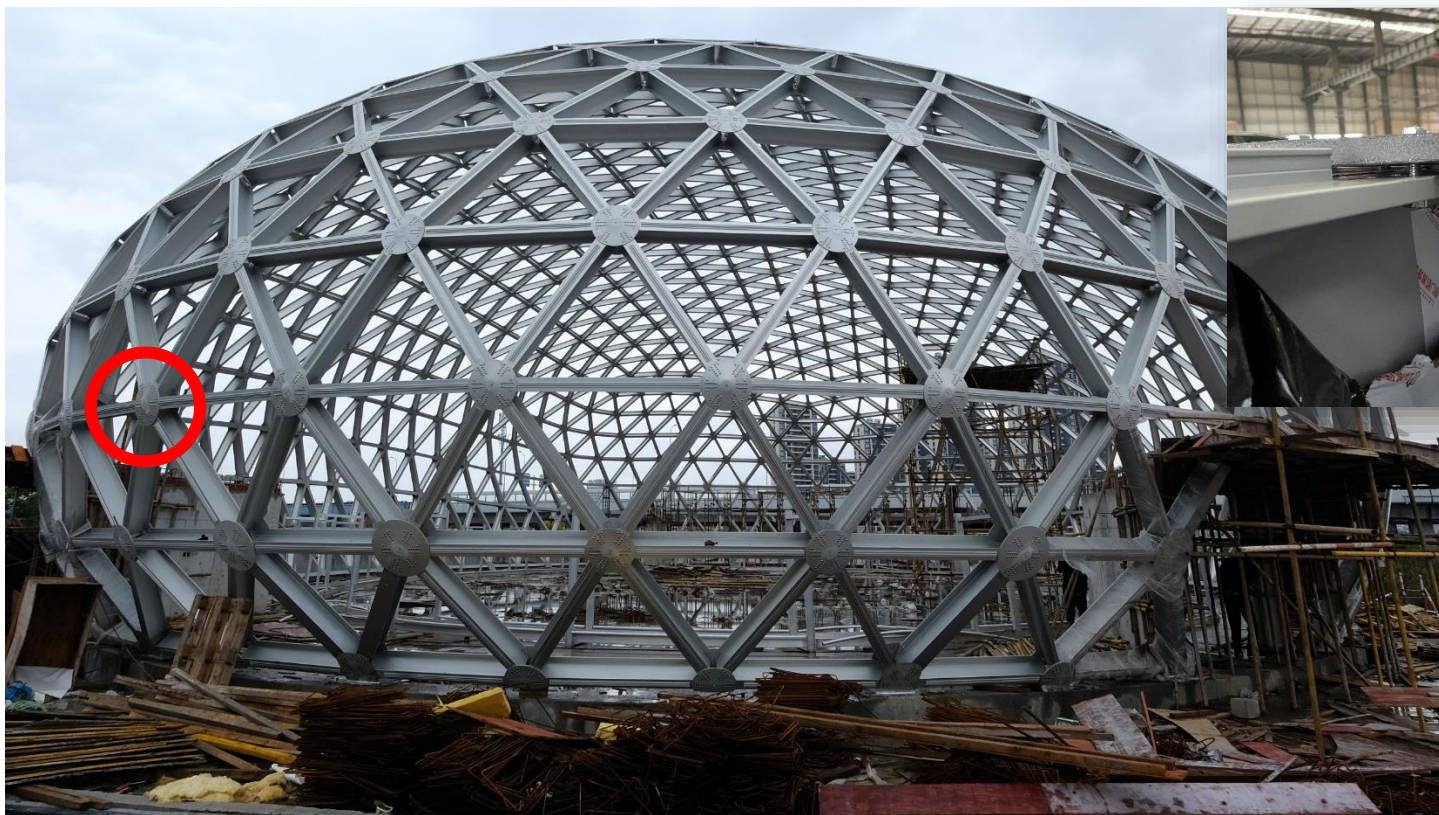
第 2 节

思考过程及成果及结果



思考过程及成果

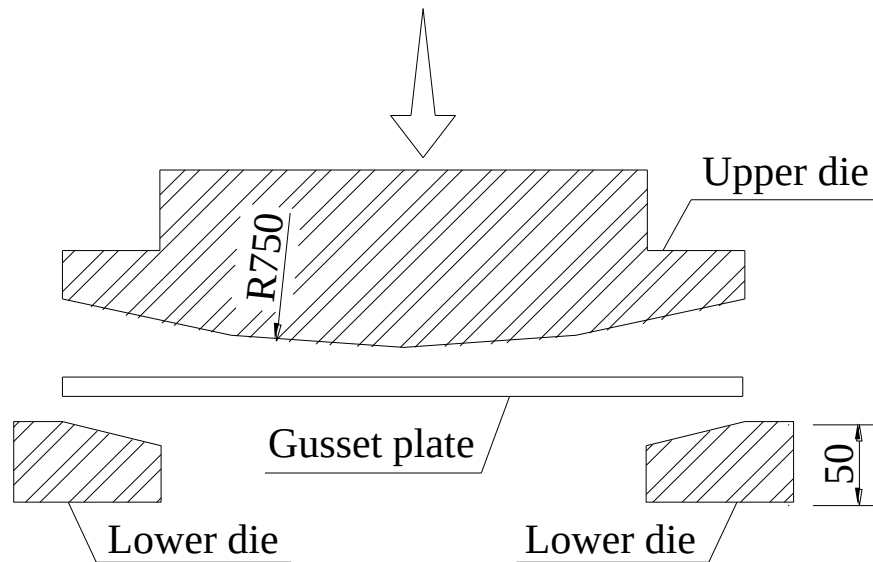
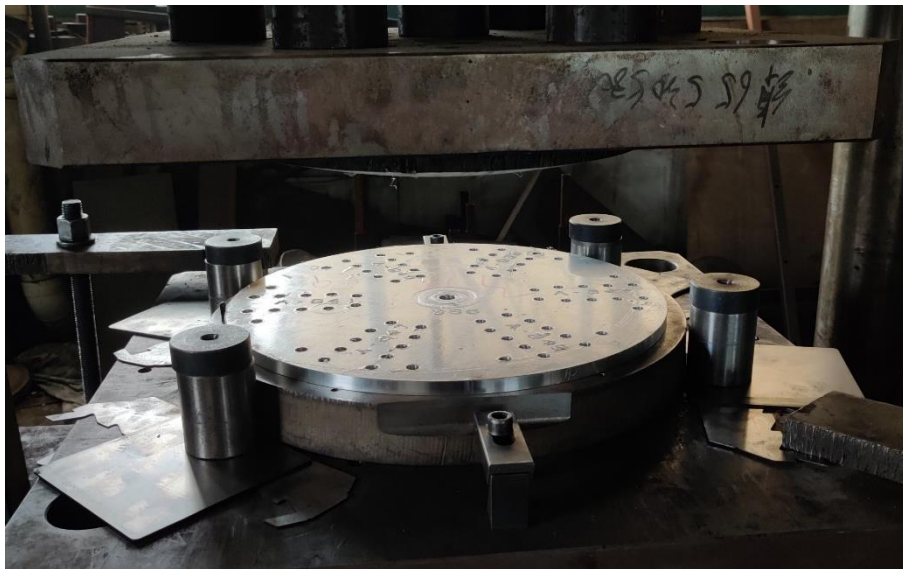
构思：自由曲面铝合金板式节点网壳找形方法



思考过程及成果

构思：自由曲面铝合金板式节点网壳找形方法

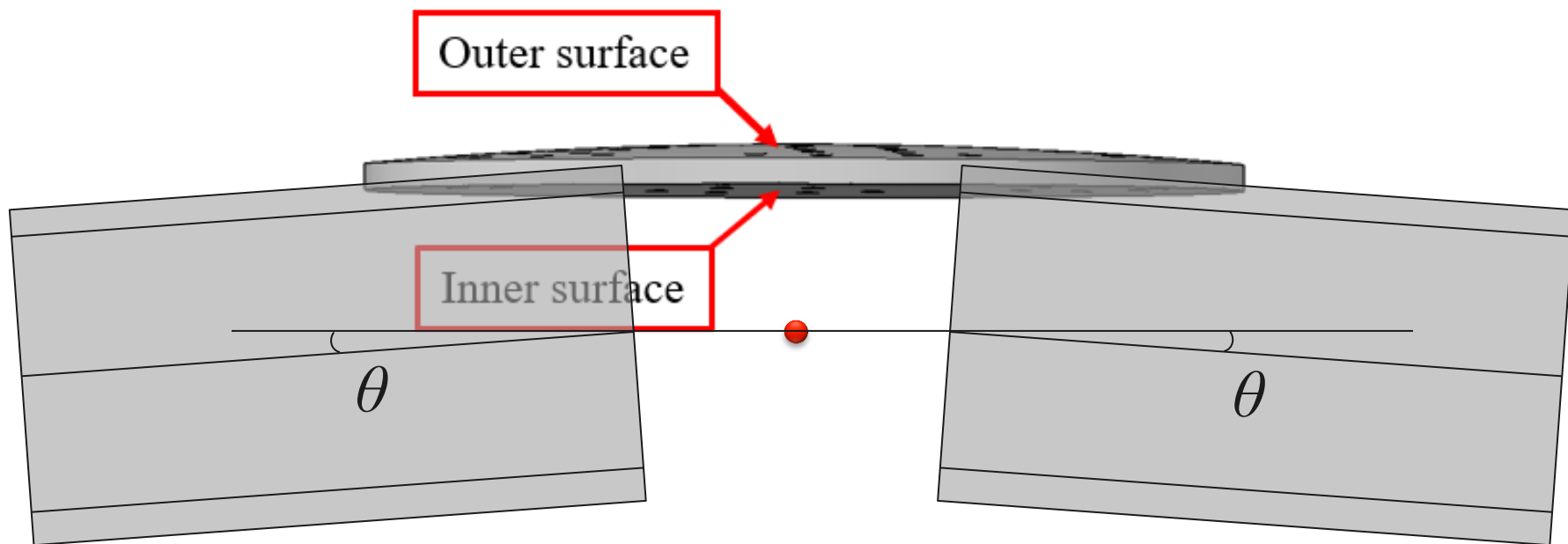
弧形铝合金节点板的加工



思考过程及成果

构思：自由曲面铝合金板式节点网壳找形方法

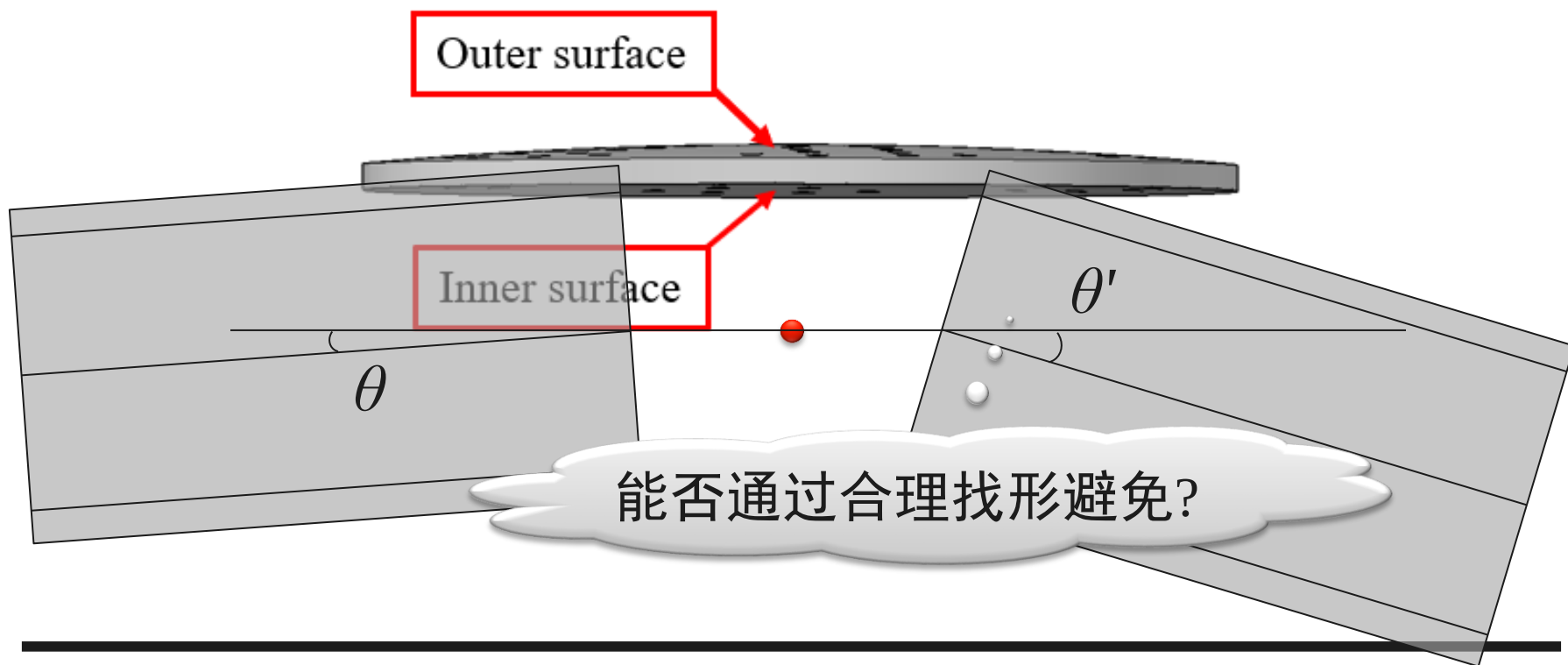
弧形铝合金节点板的加工



思考过程及成果

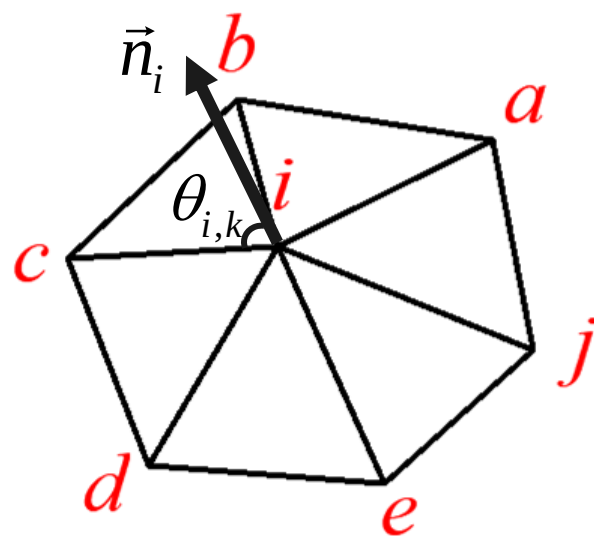
构思：自由曲面铝合金板式节点网壳找形方法

弧形铝合金节点板的加工



构思问题：用遗传算法解决优化问题

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{find } \mathbf{z} & \text{控制点的竖向坐标为变量} \\ \text{max. } P_{\text{nl}}(\mathbf{z}) & \text{最大化非线性稳定承载力} \\ \text{min. } C(\mathbf{z}) & \text{最小化结构应变能} \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m (\theta_{i,k} - \theta_{i,\text{avg}})^2 \leq \theta_{\text{lim}} & \text{曲率梯度约束} \end{array} \right.$$



思考过程及成果

遇到困难：通过编程我可以生成NURBS曲面了，但无法通过映射法划分网格。

$$u, v \in [0, 1]$$

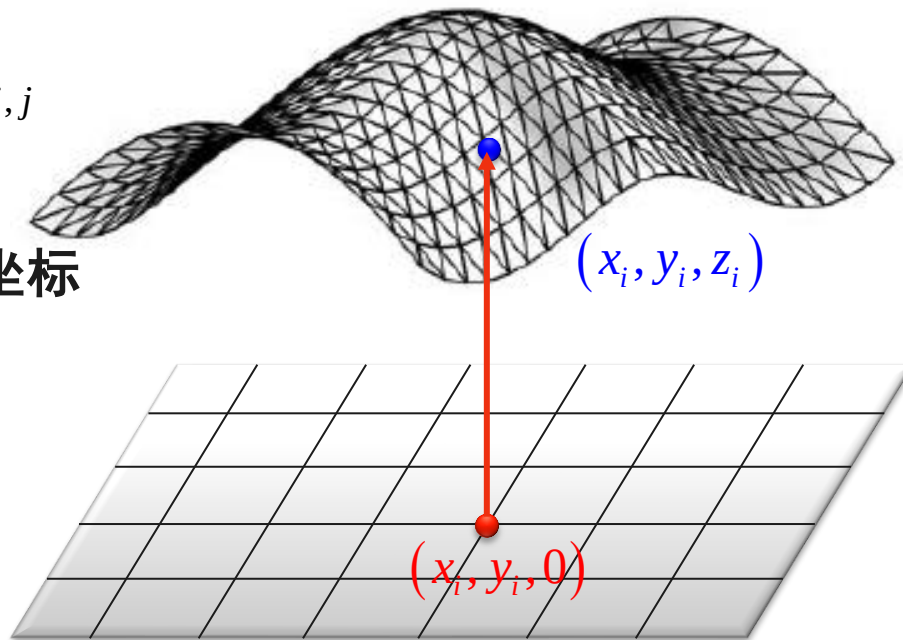
$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) \mathbf{P}_{i,j}$$

3D坐标

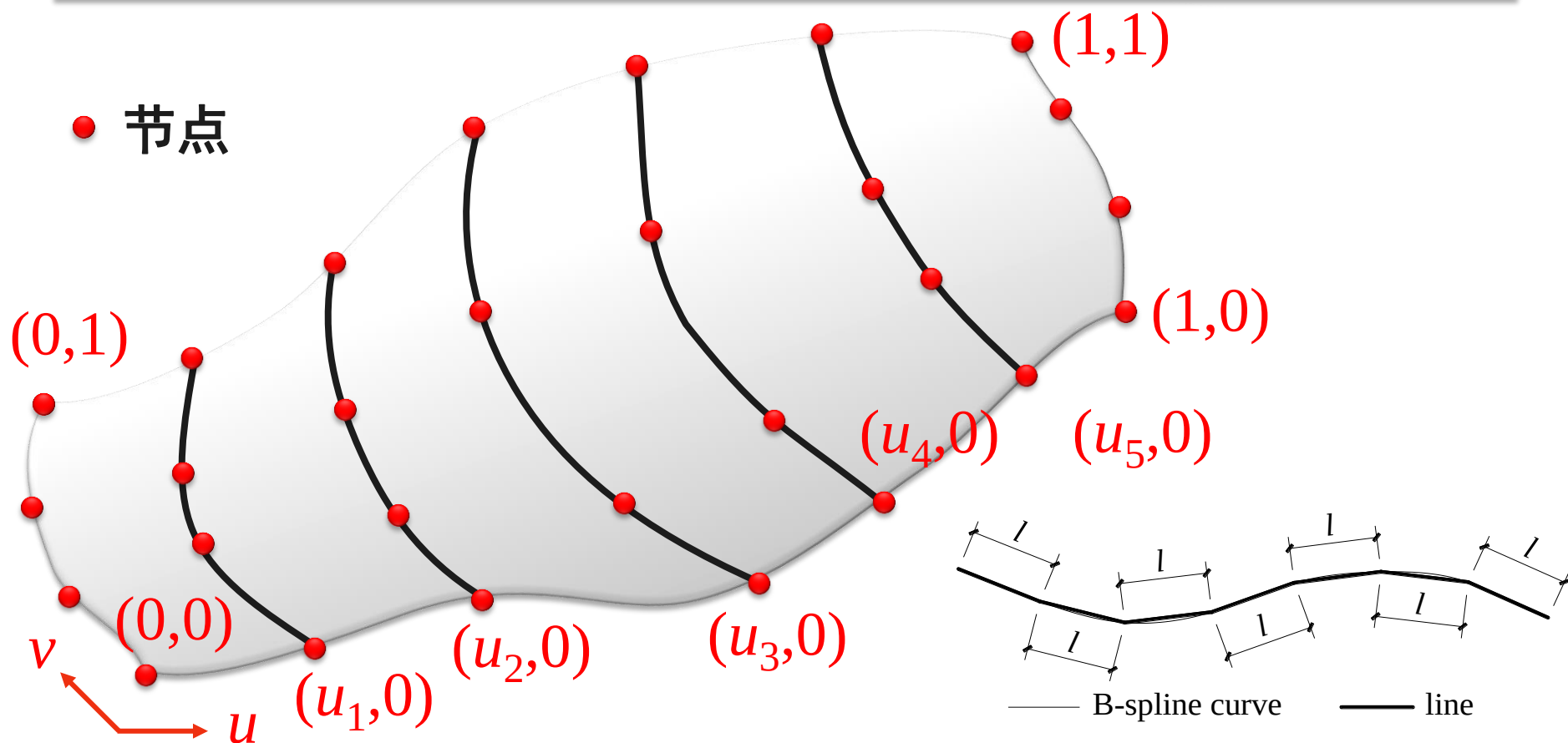
基函数

3D坐标

$$S(u, v) \not\rightarrow S(x, y, z)$$

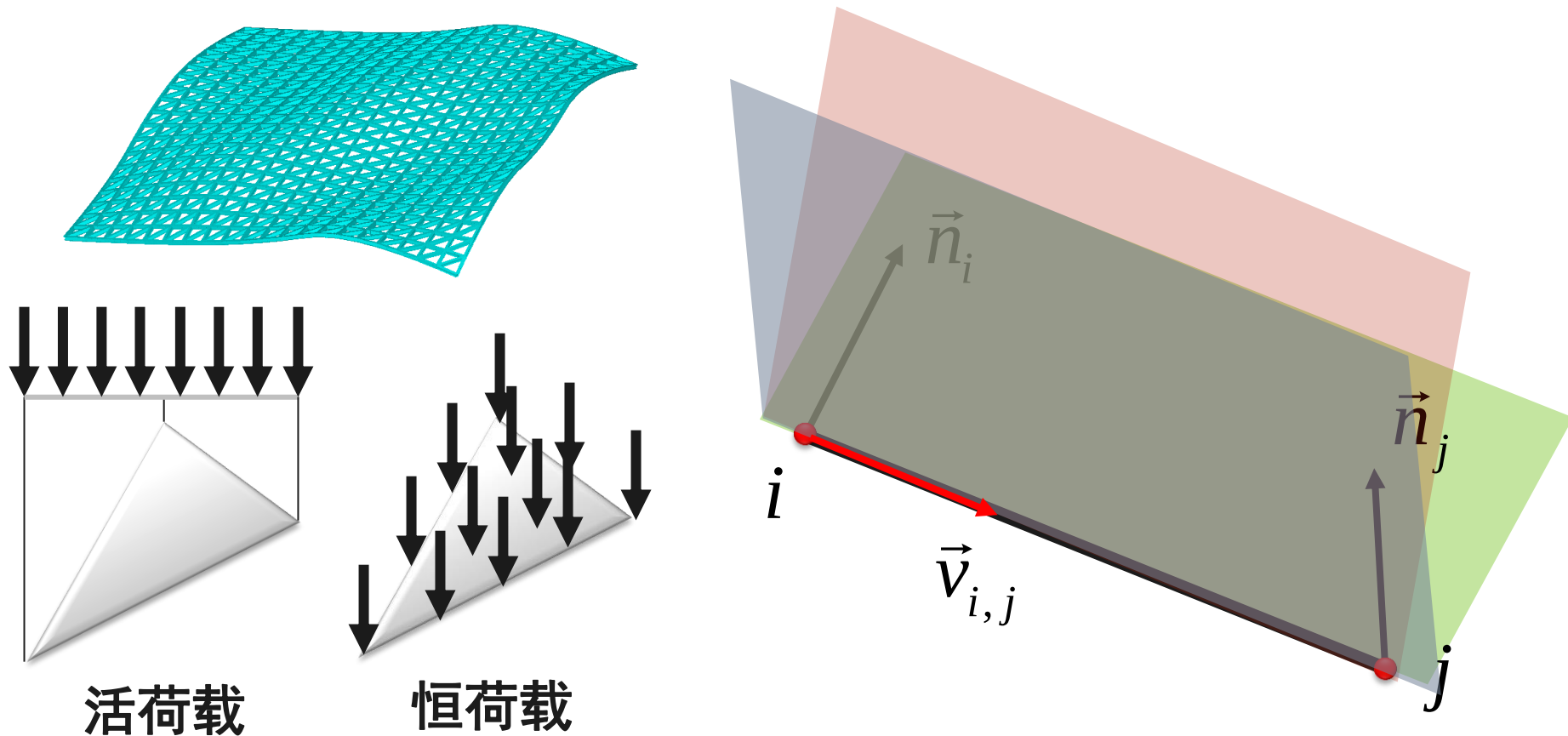


解决办法：通过等参线划分生成优质网格。



思考过程及成果

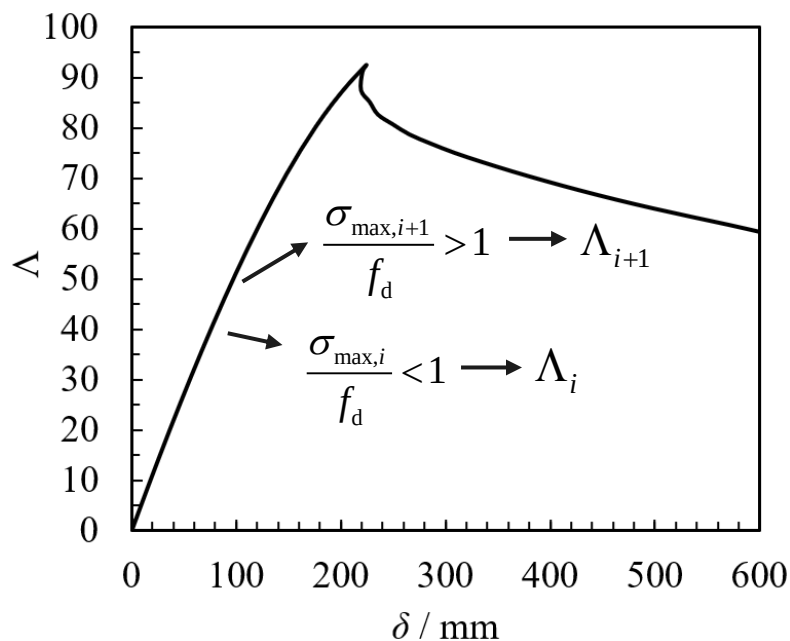
附加说明：杆件方位和荷载确定



思考过程及成果

思考：如何实现应力比约束？

采用ANSYS进行非线性分析，逐步检查即可。

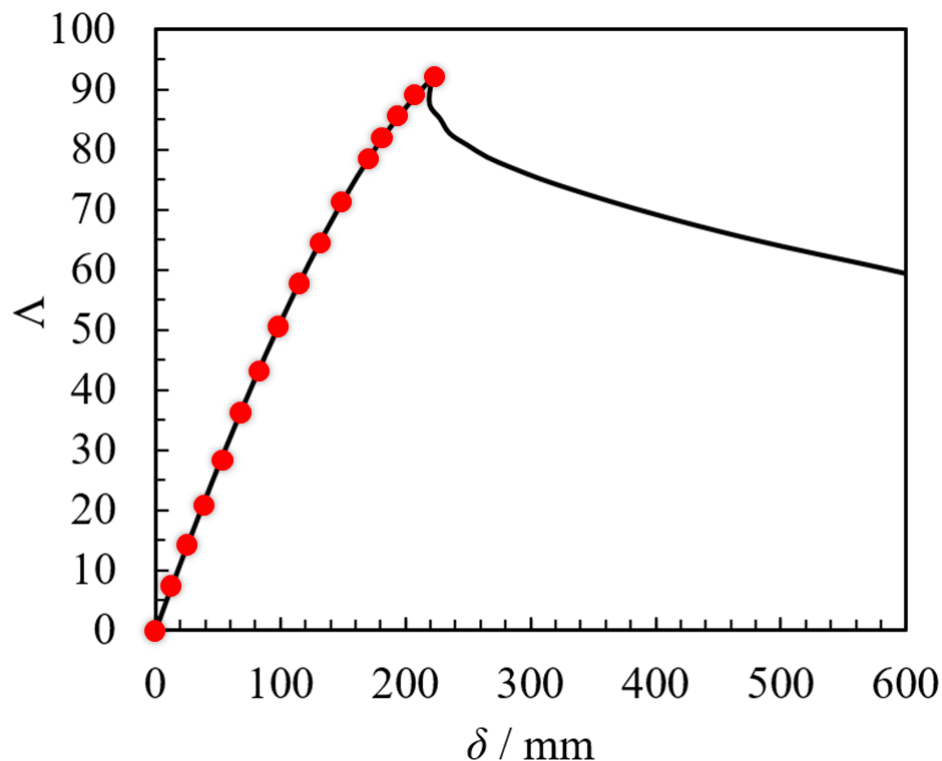
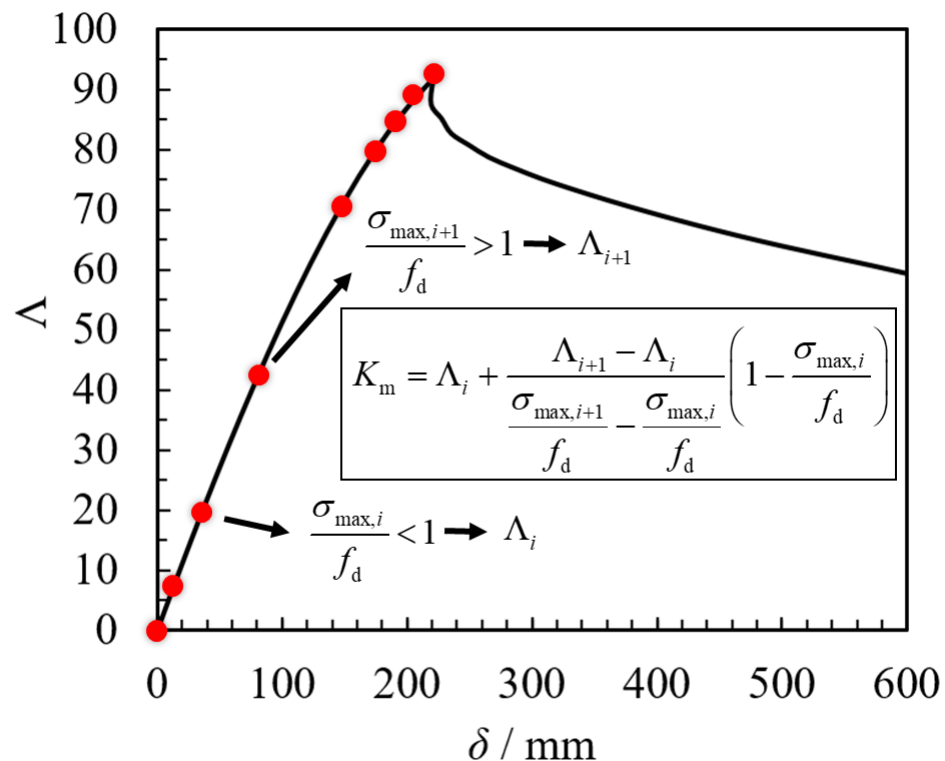


$$K_m = \Lambda_i + \frac{\Lambda_{i+1} - \Lambda_i}{\frac{\sigma_{\max,i+1}}{f_d} - \frac{\sigma_{\max,i}}{f_d}} \left(1 - \frac{\sigma_{\max,i}}{f_d} \right)$$

思考过程及成果

思考：如何实现应力比约束？

注意：自动步长造成的结果误差！





优化算例尝试

采用遗传算法求解半刚性节点结构

$$\begin{cases} \text{find } \mathbf{z} \\ \text{min. } C, \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \left(\theta_{i,k} - \theta_{i,\text{avg}} \right)^2, -K \\ \text{s.t. } H_{\max} \in [H_{\text{lb}}, H_{\text{ub}}] \end{cases} \quad \text{最大应力比为1时非线性荷载系数}$$

跨度: 30 m × 30 m

划分段数: 10 × 10

控制点个数: 5 × 5

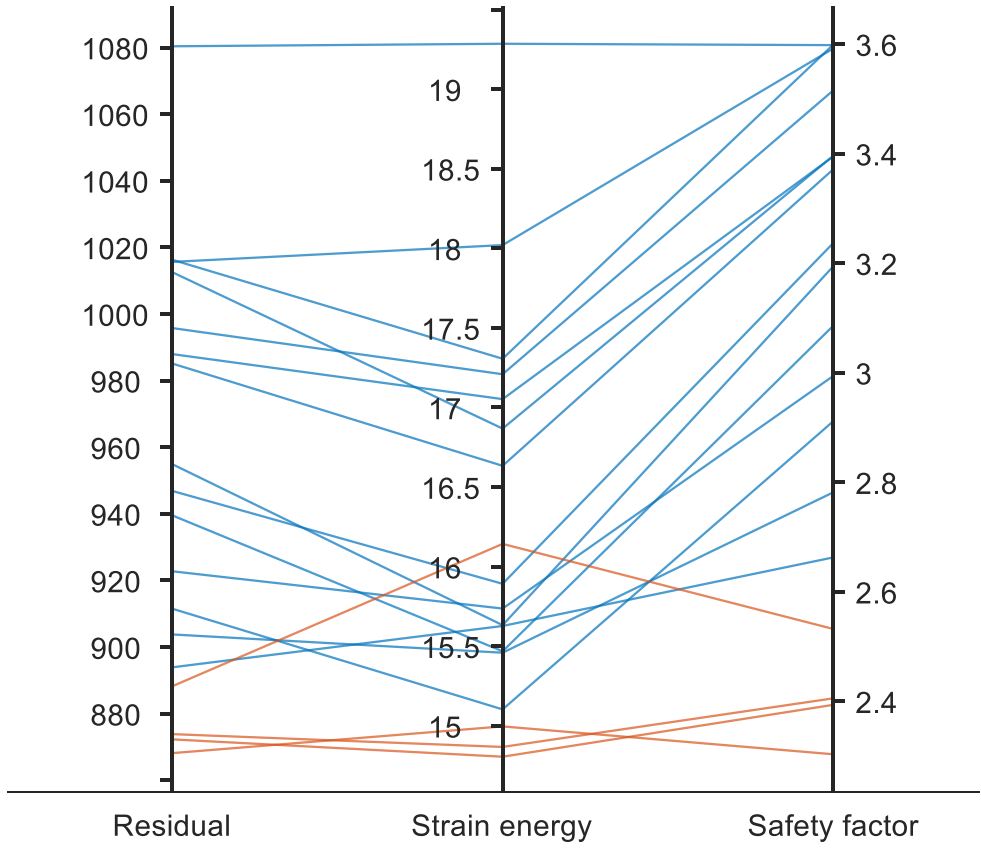
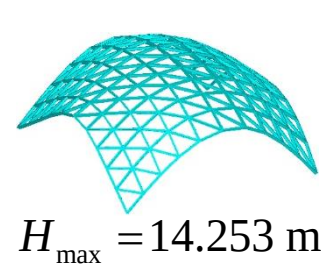
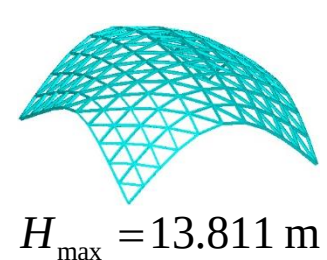
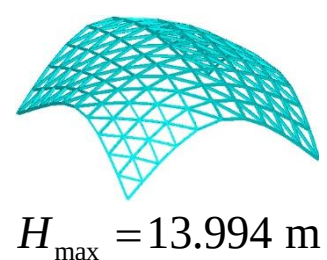
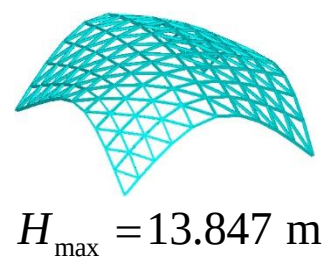
杆件截面: I300 × 150 × 8 × 12

高度范围: 5 m ~ 20 m



优化算例尝试

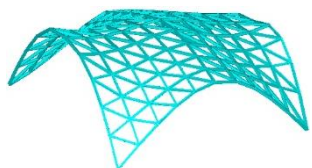
采用遗传算法求解半刚性节点结构



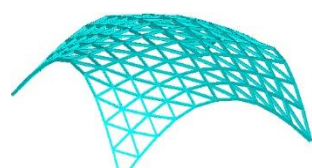
思考过程及成果

优化算例尝试

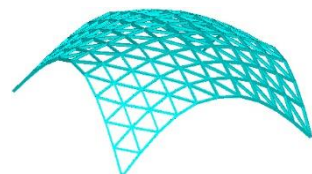
采用遗传算法求解刚性节点结构



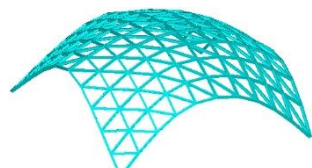
$$H_{\max} = 13.320 \text{ m}$$



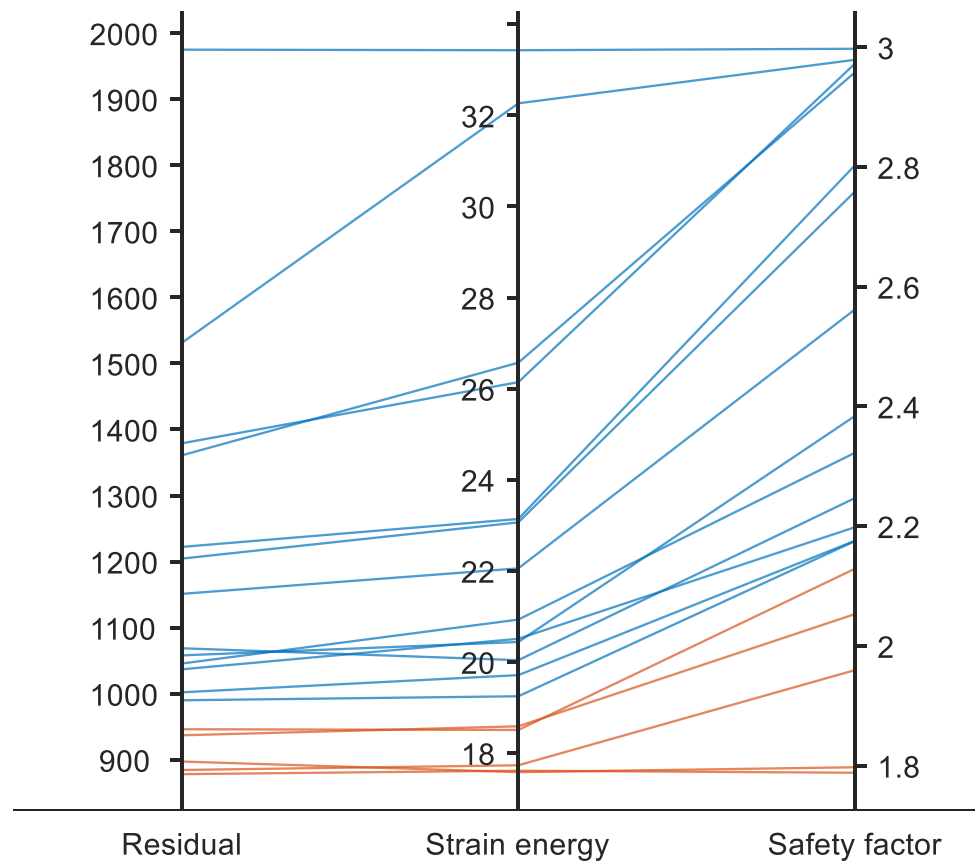
$$H_{\max} = 13.374 \text{ m}$$



$$H_{\max} = 13.827 \text{ m}$$



$$H_{\max} = 14.014 \text{ m}$$

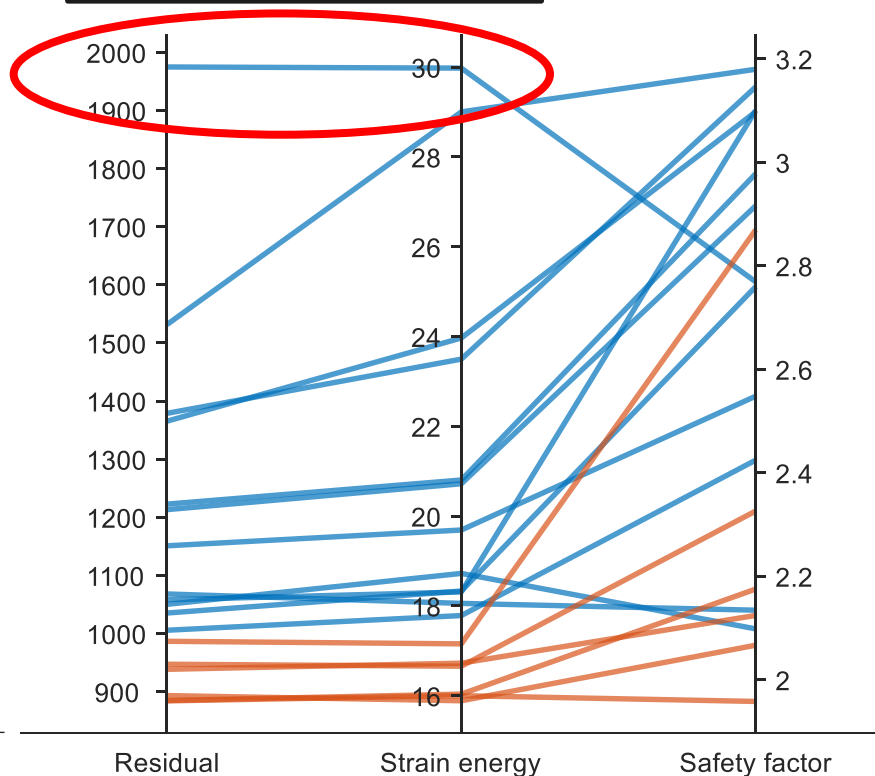
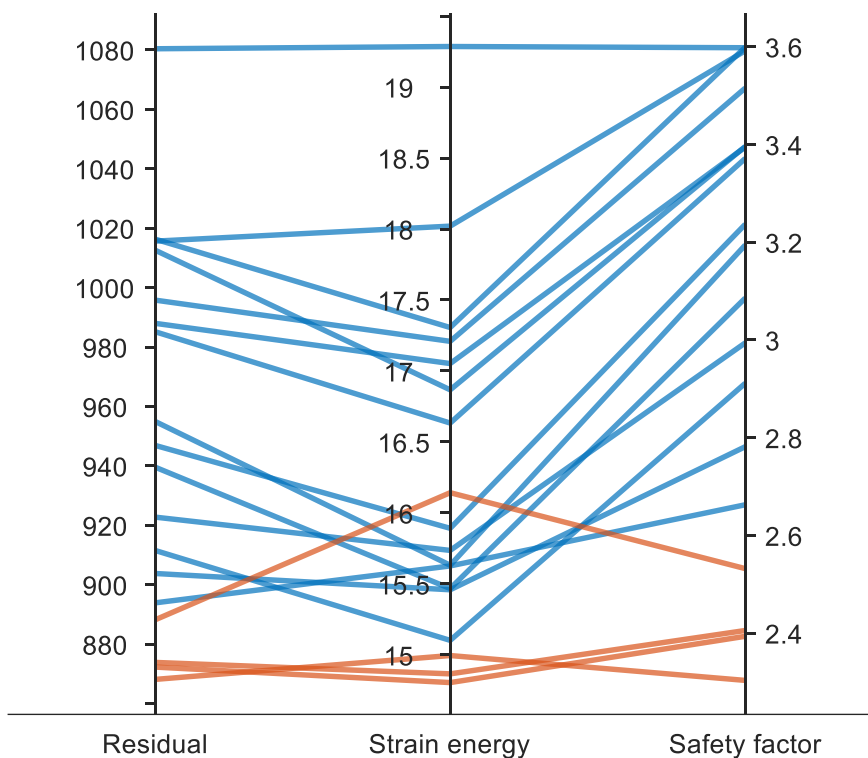


思考过程及成果

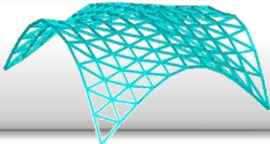
尝试：最优找形结果交叉，观察性能？

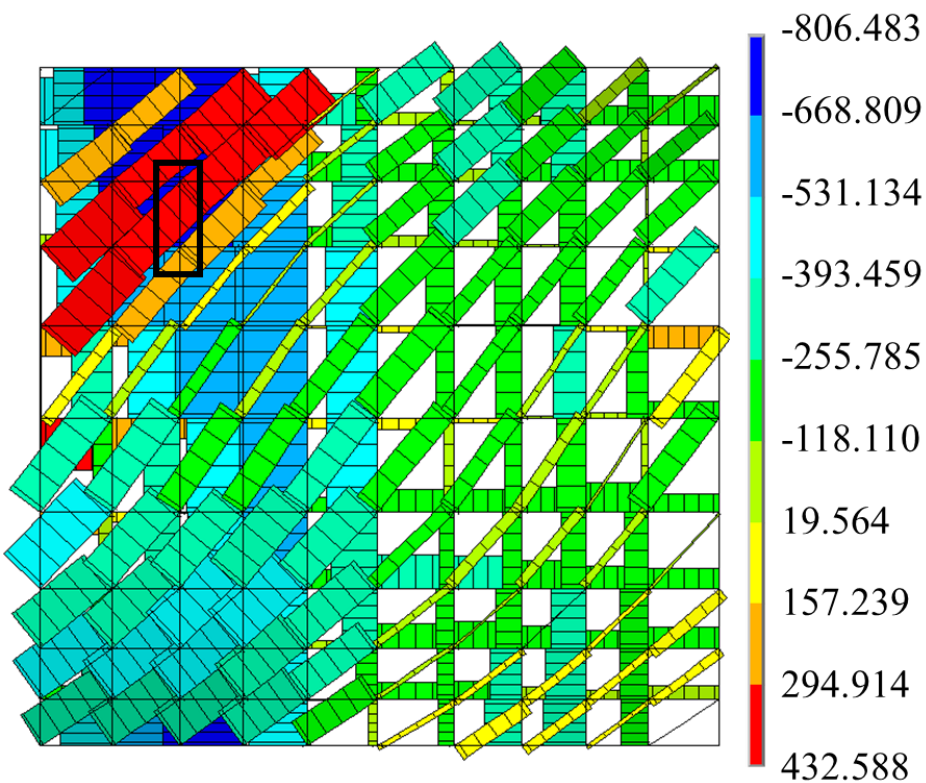
刚性节点结构的找形结果

半刚性节点结构

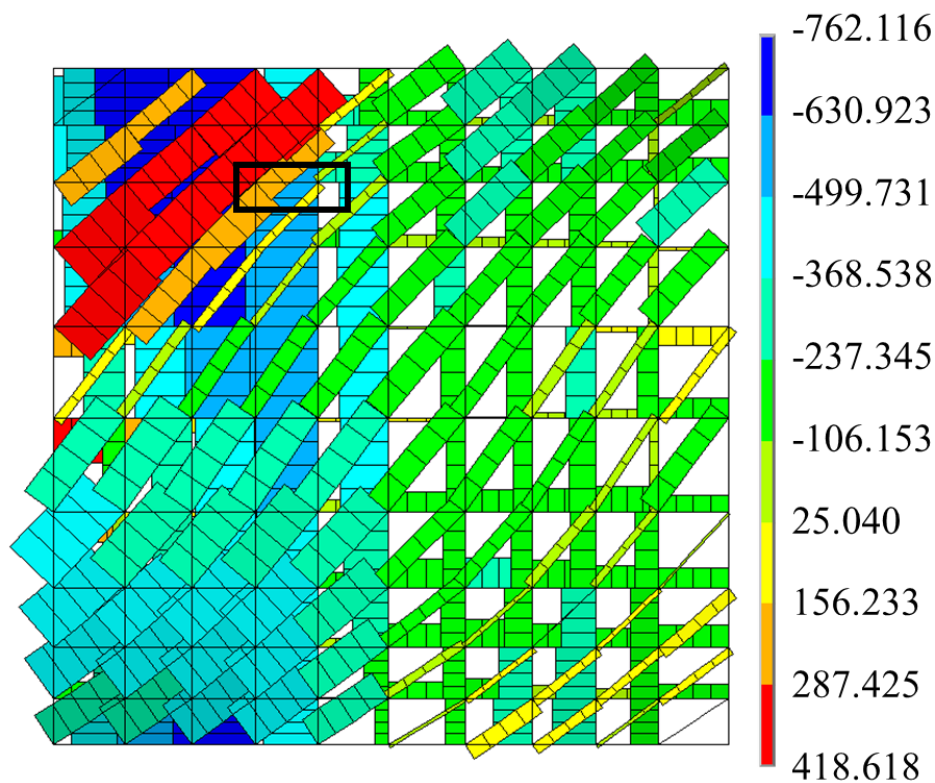


思考过程及成果

为什么  在半刚性节点结构中性能不好？

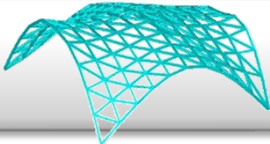


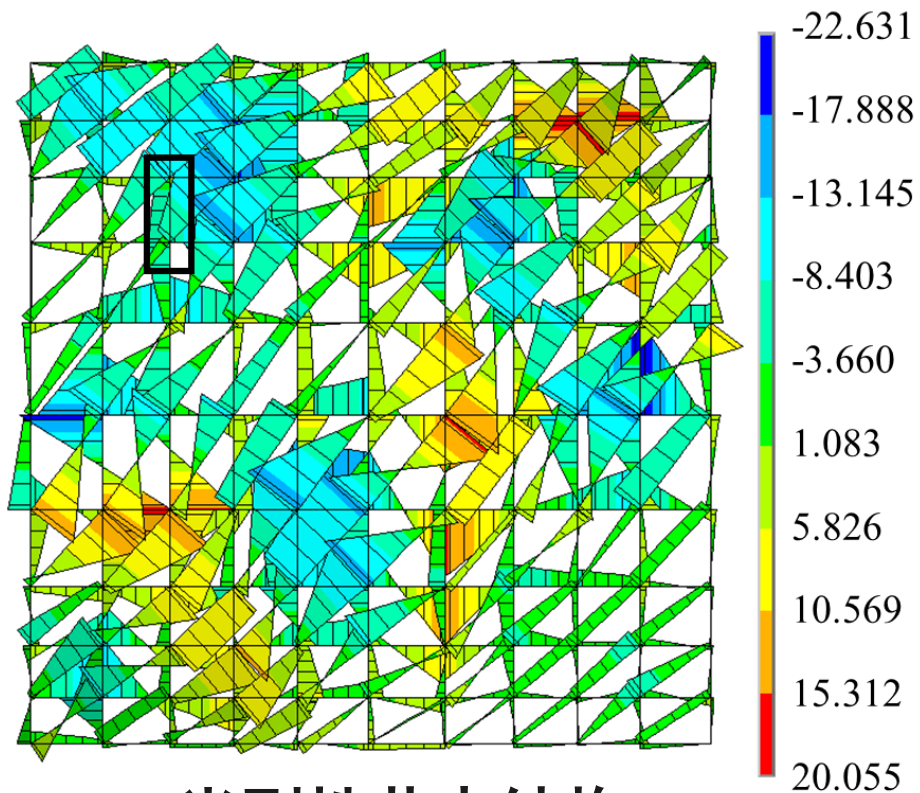
半刚性节点结构



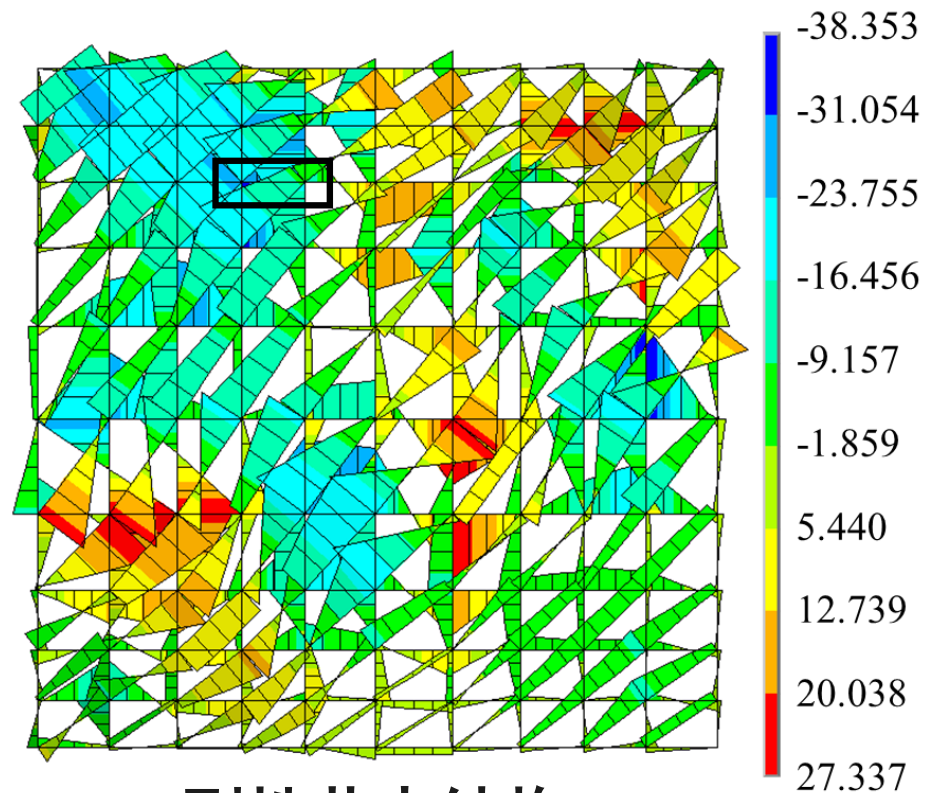
刚性节点结构

思考过程及成果

为什么  在半刚性节点结构中性能不好？

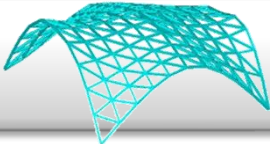


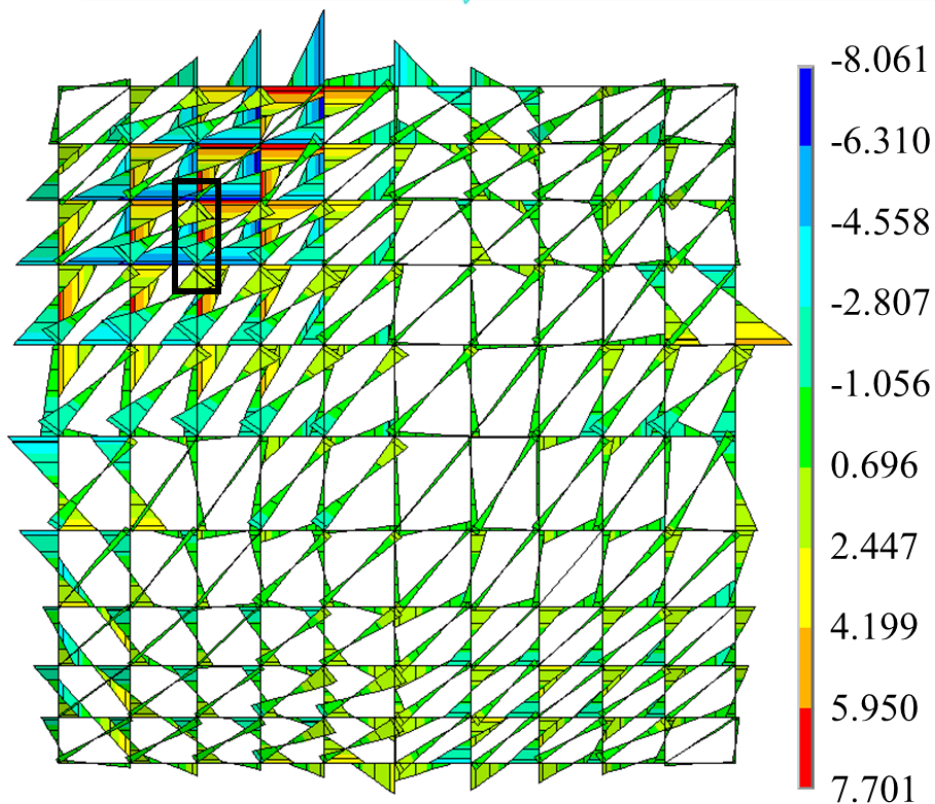
半刚性节点结构



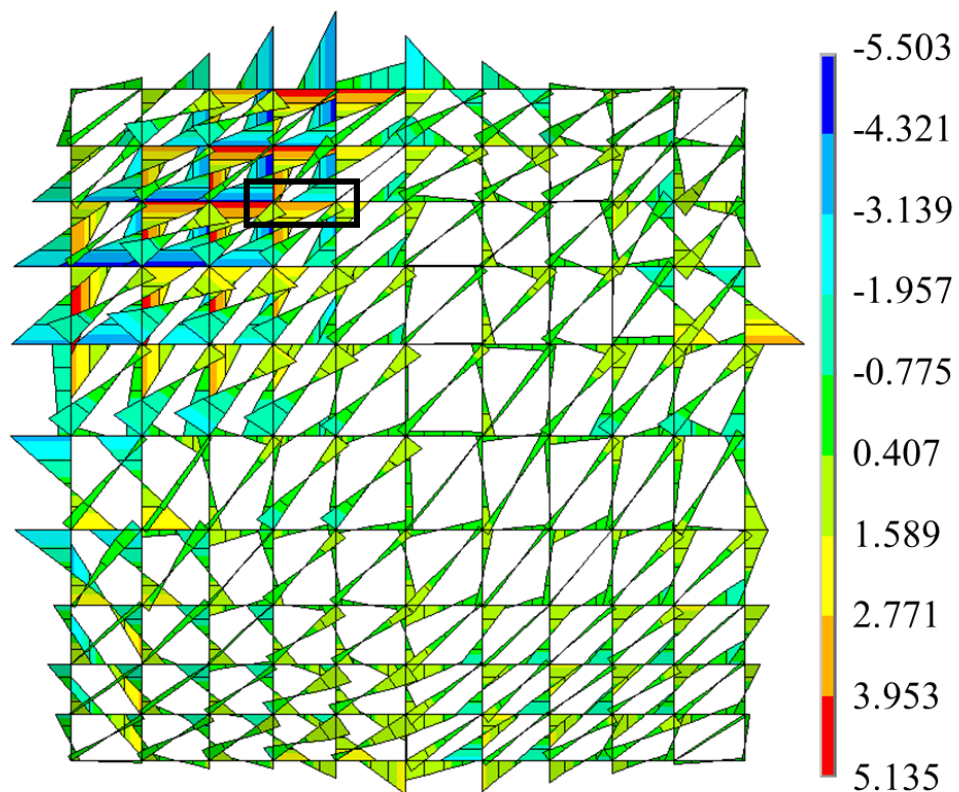
刚性节点结构

思考过程及成果

为什么  在半刚性节点结构中性能不好?



半刚性节点结构



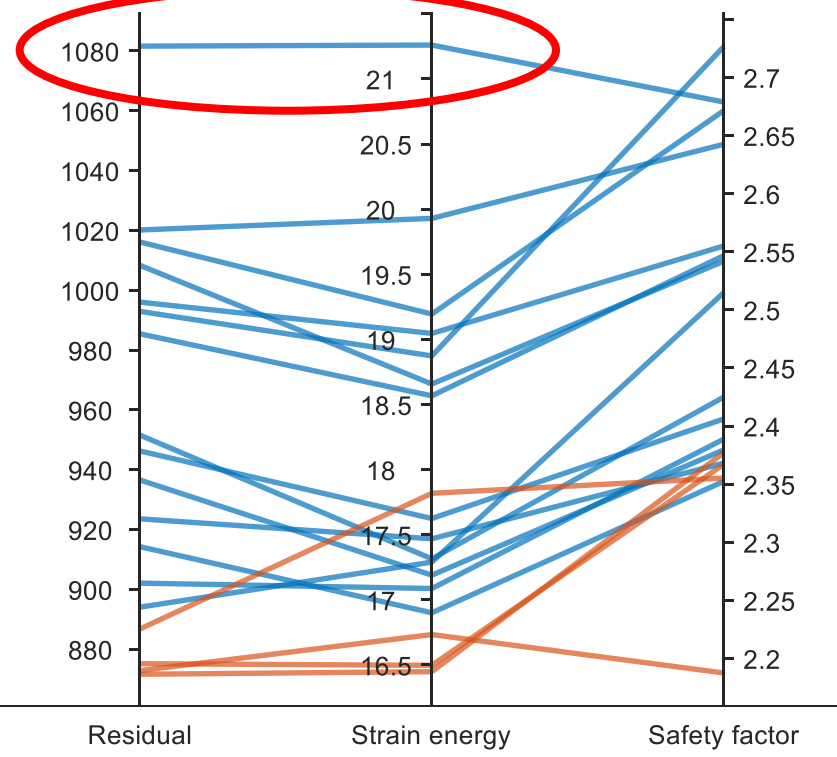
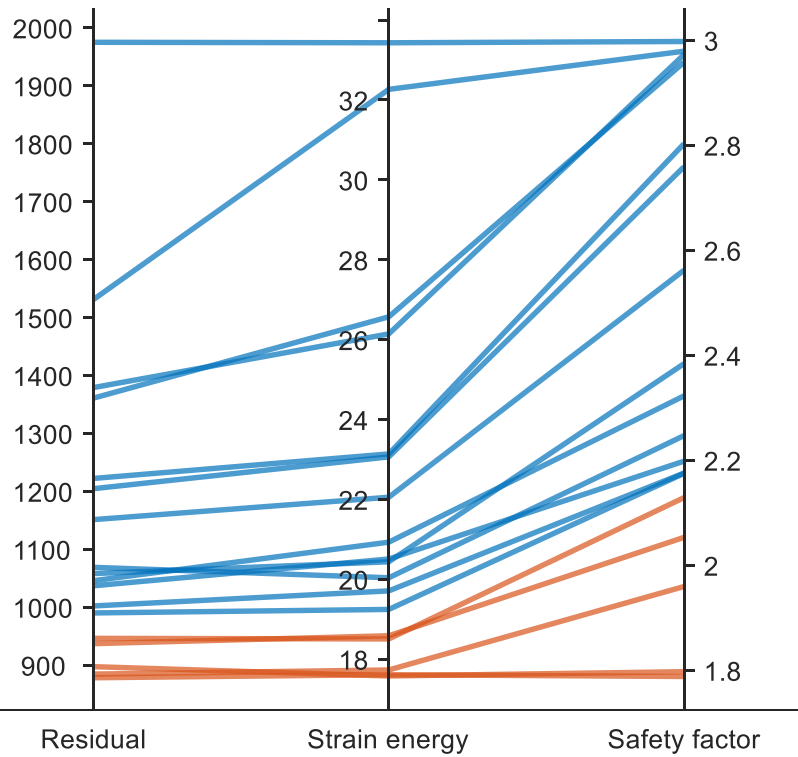
刚性节点结构

思考过程及成果

尝试：最优找形结果交叉，观察性能？

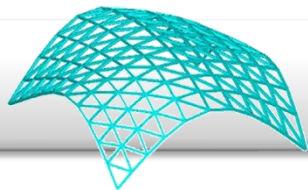
半刚性节点结构的找形结果

刚性节点结构

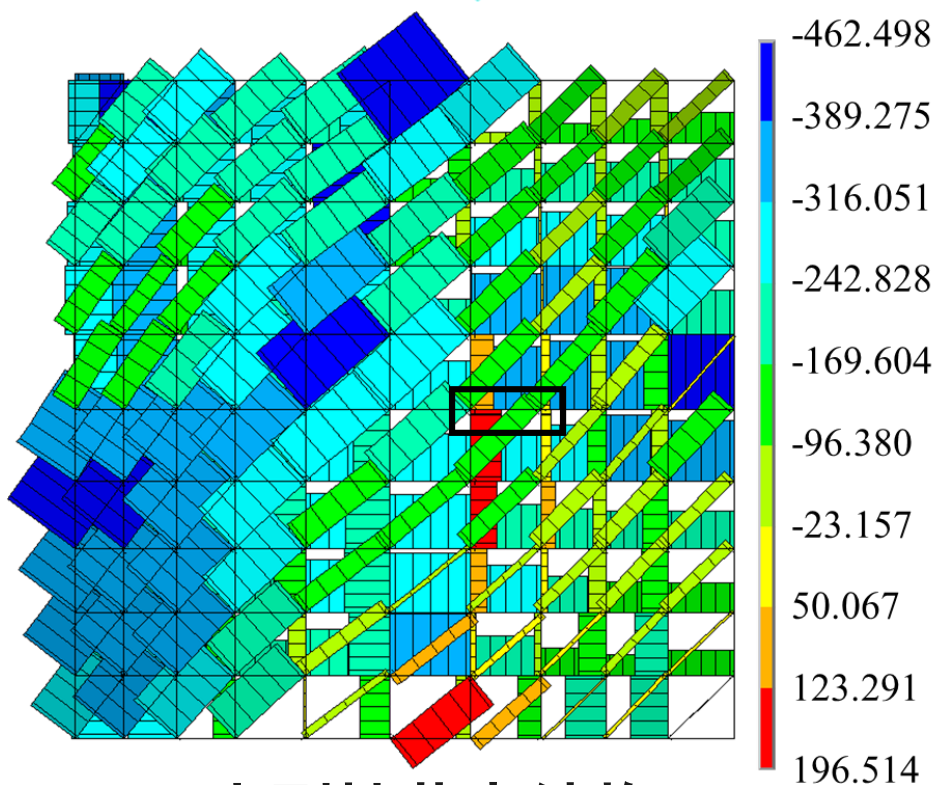


思考过程及成果

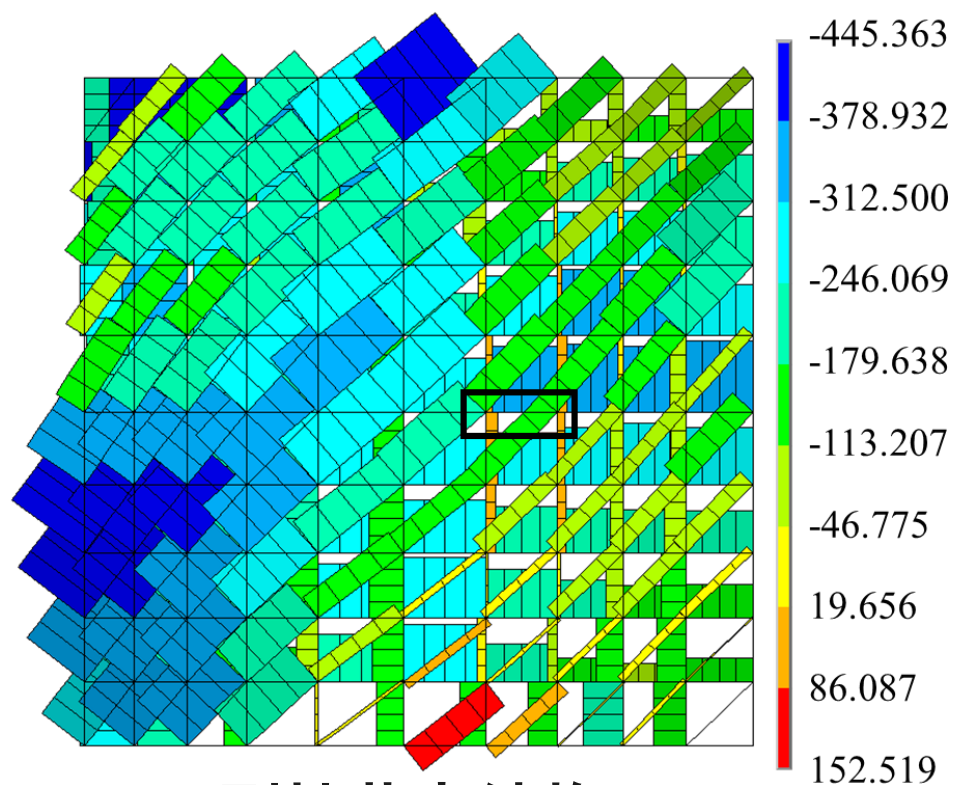
为什么



在刚性节点结构中性能不好?

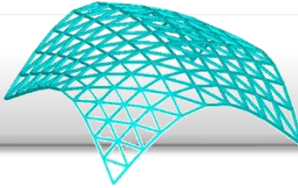


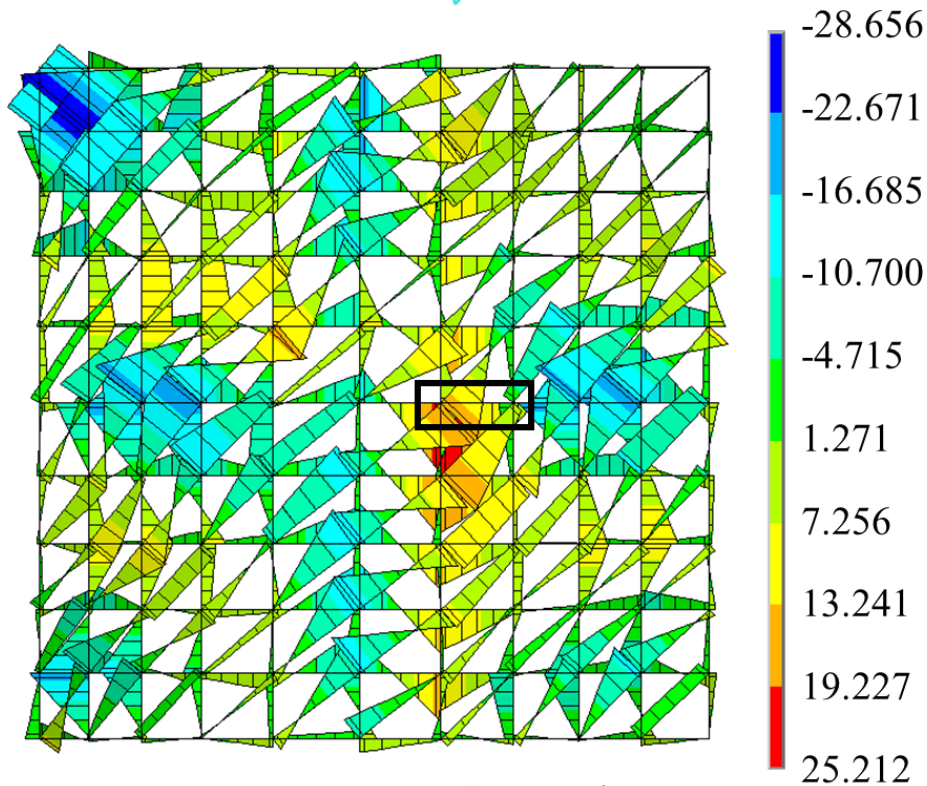
半刚性节点结构



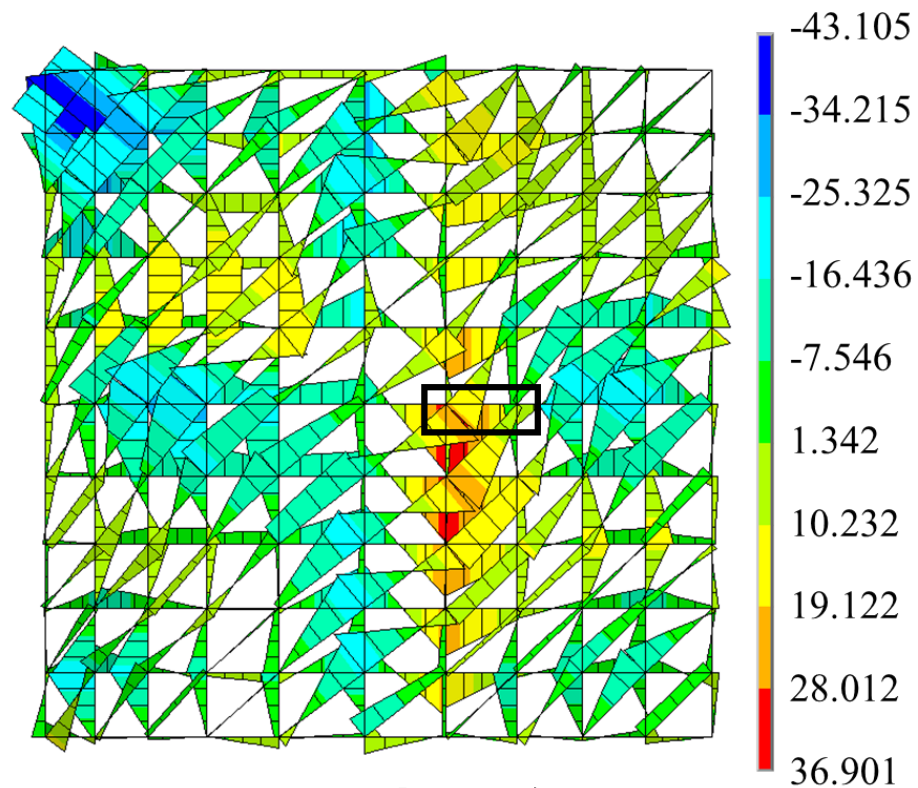
刚性节点结构

思考过程及成果

为什么  在刚性节点结构中性能不好?

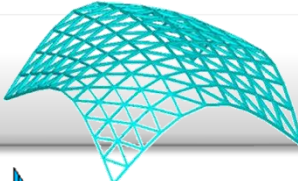


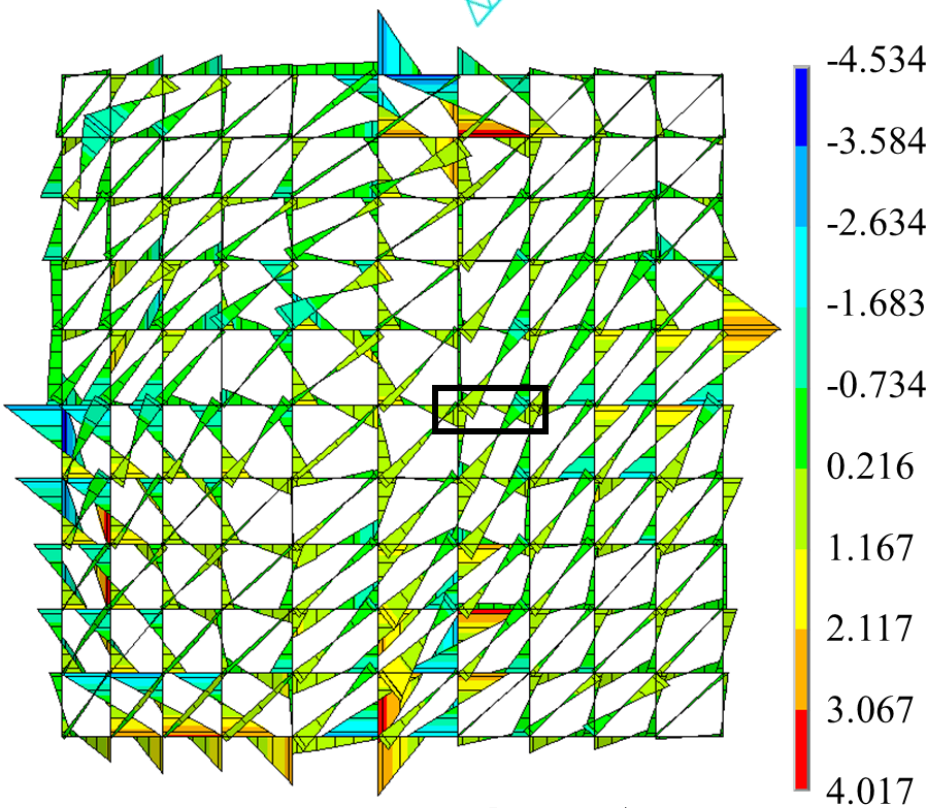
半刚性节点结构



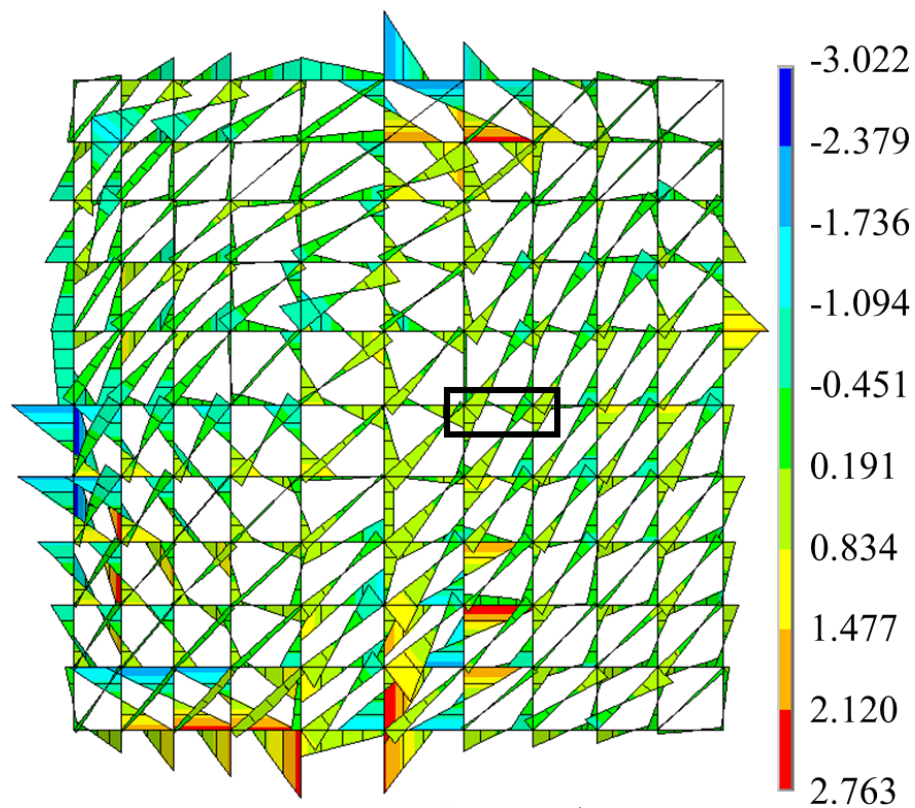
刚性节点结构

思考过程及成果

为什么  在刚性节点结构中性能不好？



半刚性节点结构



刚性节点结构