

基于机器学习的空间网格 结构缺陷敏感度预测

朱劭骏、大崎純、郭小农

汇报人：朱劭骏

2020.05.21



1. 研究背景
 2. 监督学习算法演示
 3. 参数分析和拟合结果
-



第 1 节

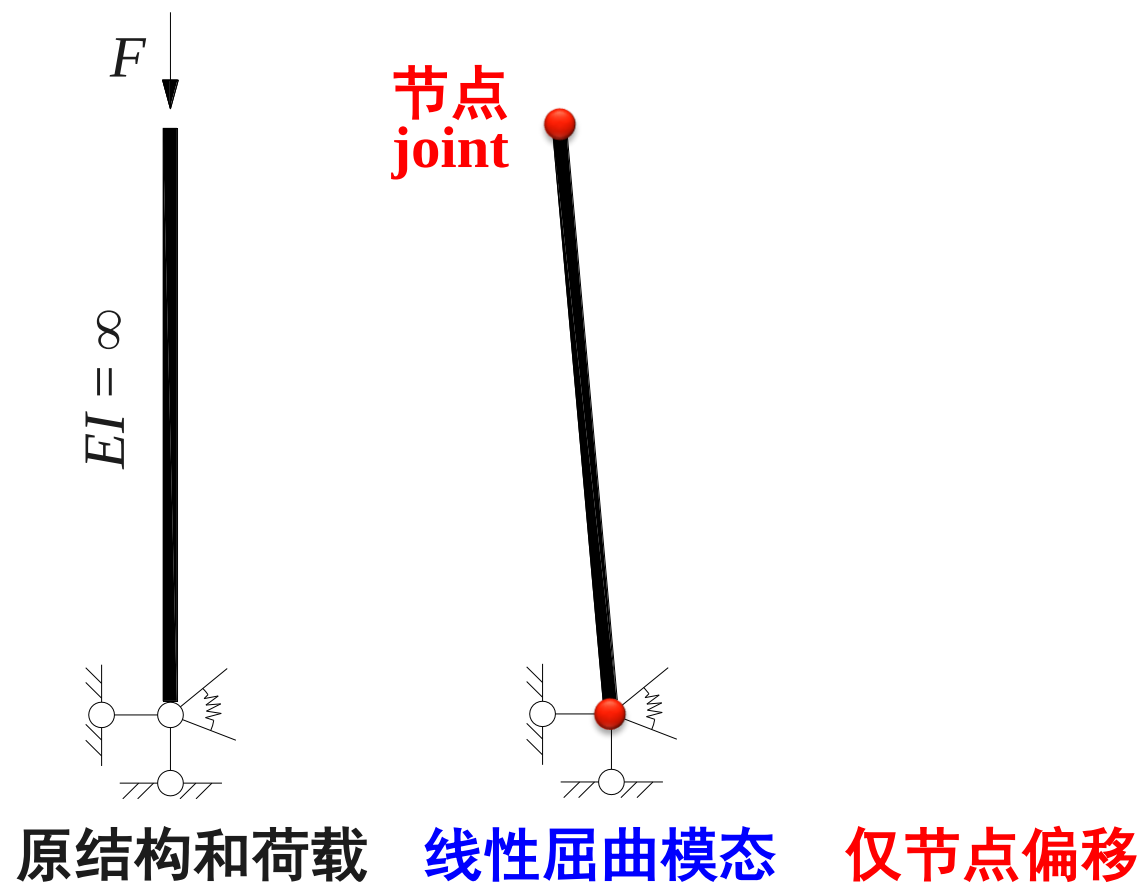
研究背景



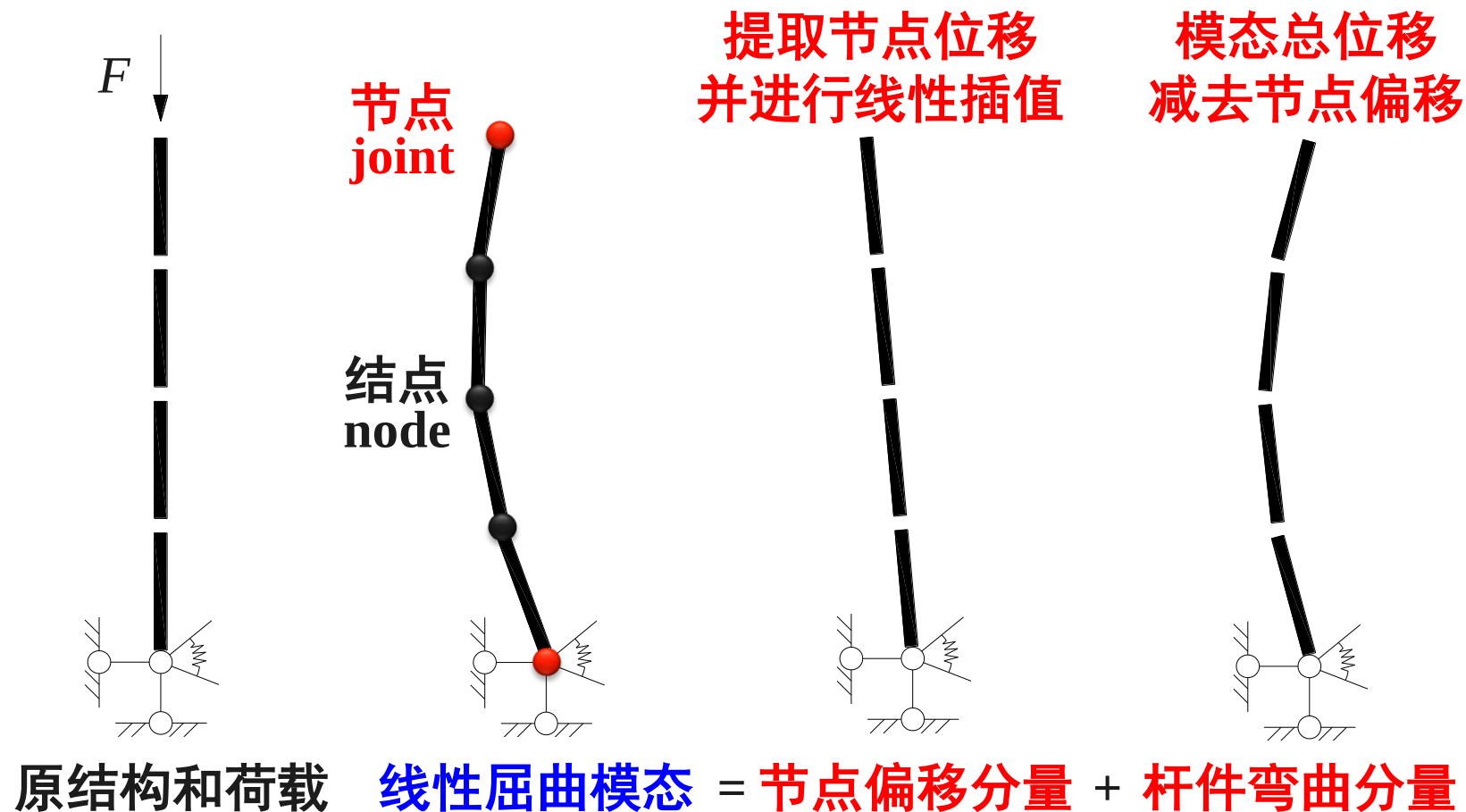
JGJ7-2010 空间网格结构技术规程

4.3.3 球面网壳的全过程分析可按满跨均布荷载进行，圆柱面网壳和椭圆抛物面网壳除应考虑满跨均布荷载外，尚应考虑半跨活荷载分布的情况。进行网壳全过程分析时应考虑初始几何缺陷（即初始曲面形状的安装偏差）的影响，初始几何缺陷分布可采用结构的最低阶屈曲模态，其缺陷最大计算值可按网壳跨度的1/300取值。

简单压杆的线性屈曲模态



多段梁法下的线性屈曲模态



线性屈曲模态的分解

网壳结构的一阶线性屈曲模态

$$L = 50 \text{ m}$$

$$f/L = 1/5$$

$$m = 6$$

$\Phi 180 \times 5$

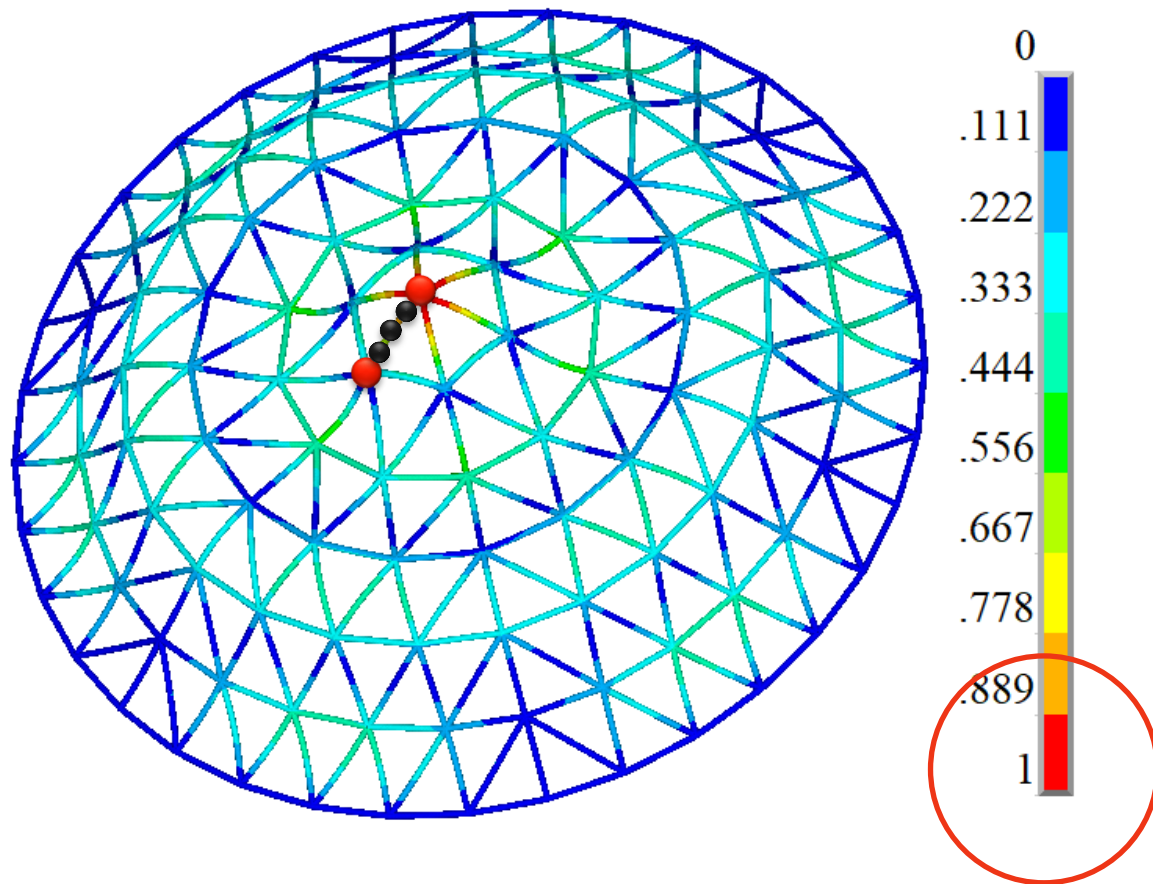
钢刚性节点

周边铰接

节点
joint



结点
node



线性屈曲模态的分解

节点偏移分量 实际加了多大的初始缺陷？

$$L = 50 \text{ m}$$

$$f/L = 1/5$$

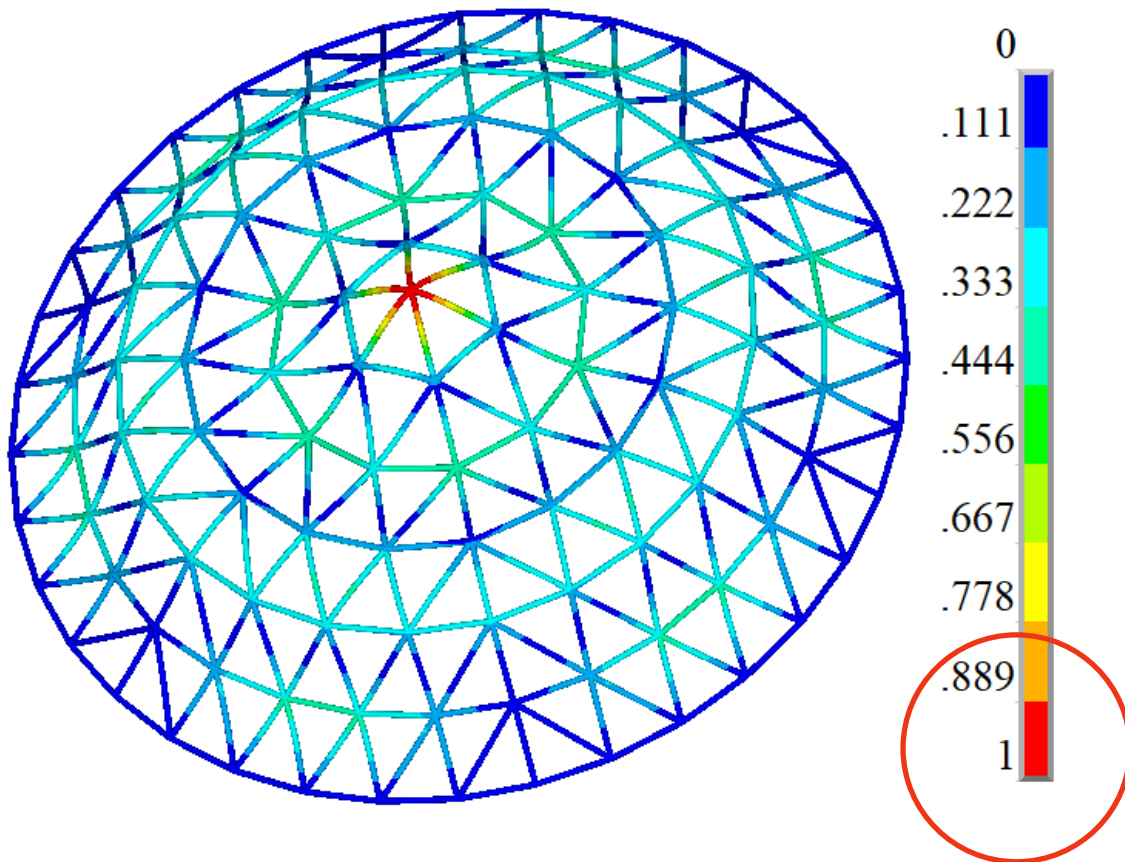
$$m = 6$$

$\Phi 180 \times 5$

钢刚性节点

周边铰接

$$L/300 = 0.167 \text{ m} \checkmark$$



线性屈曲模态的分解

杆件弯曲分量 实际加了多少的初始缺陷？

$$L = 50 \text{ m}$$

$$f/L = 1/5$$

$$m = 6$$

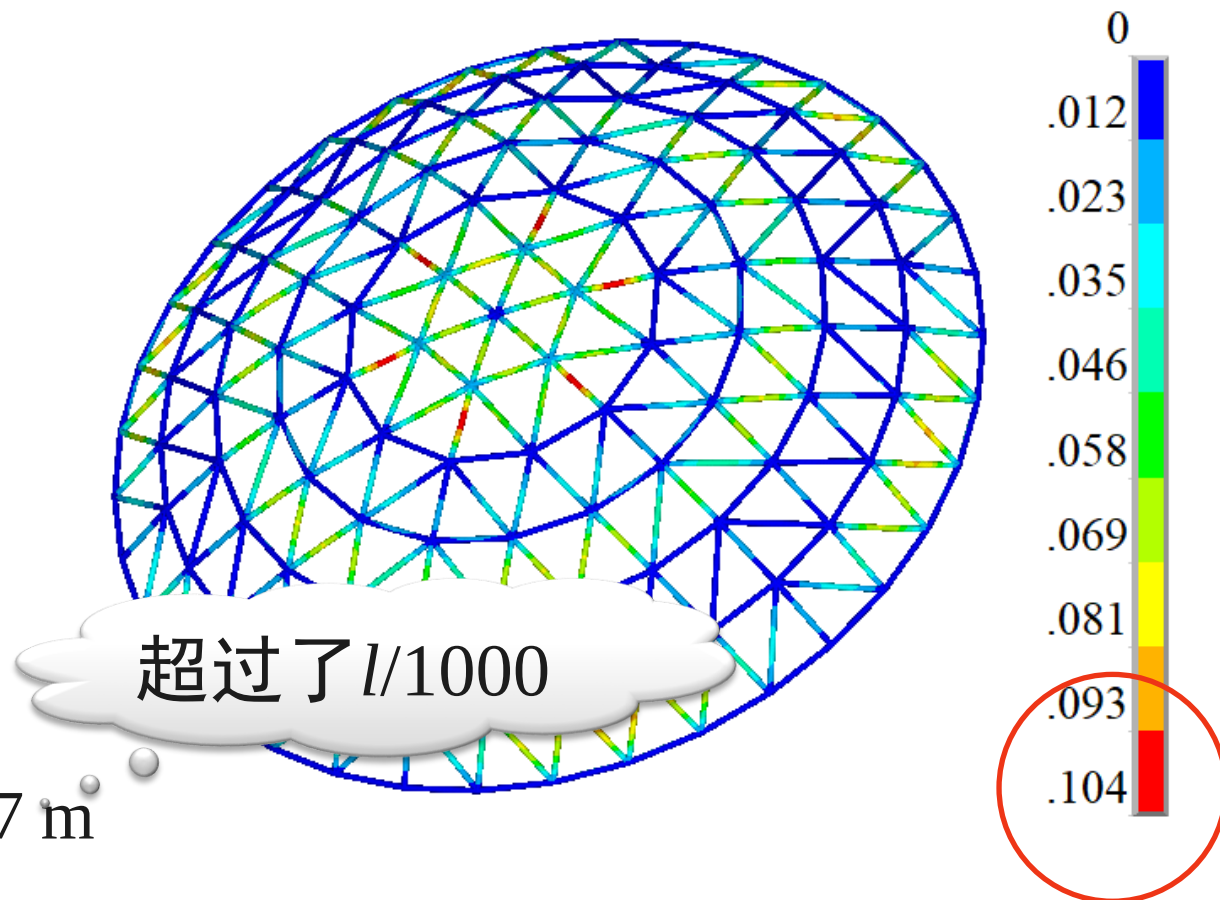
$$\Phi 180 \times 5$$

钢刚性节点

周边铰接

$$L/300 = 0.167 \text{ m}$$

$$L/300 \cdot u_{\max} = 0.017 \text{ m}$$



改进的一致模态缺陷

一致模态缺陷的改进

线性屈曲模态 = **节点偏移分量** + **杆件弯曲分量**

$$\Phi_o = \Phi_{o,j} + \Phi_{o,m}$$

$$\Phi_o = \{u_{o,1}, u_{o,2}, \dots, u_{o,n}\}$$

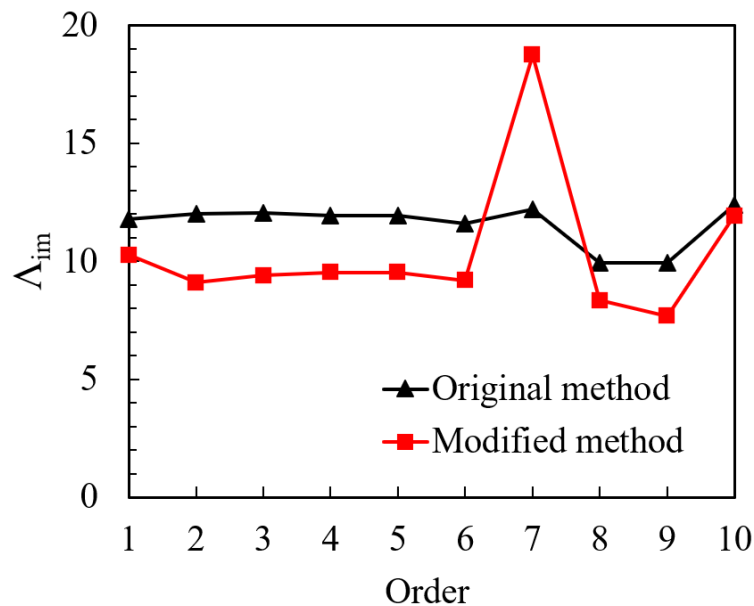
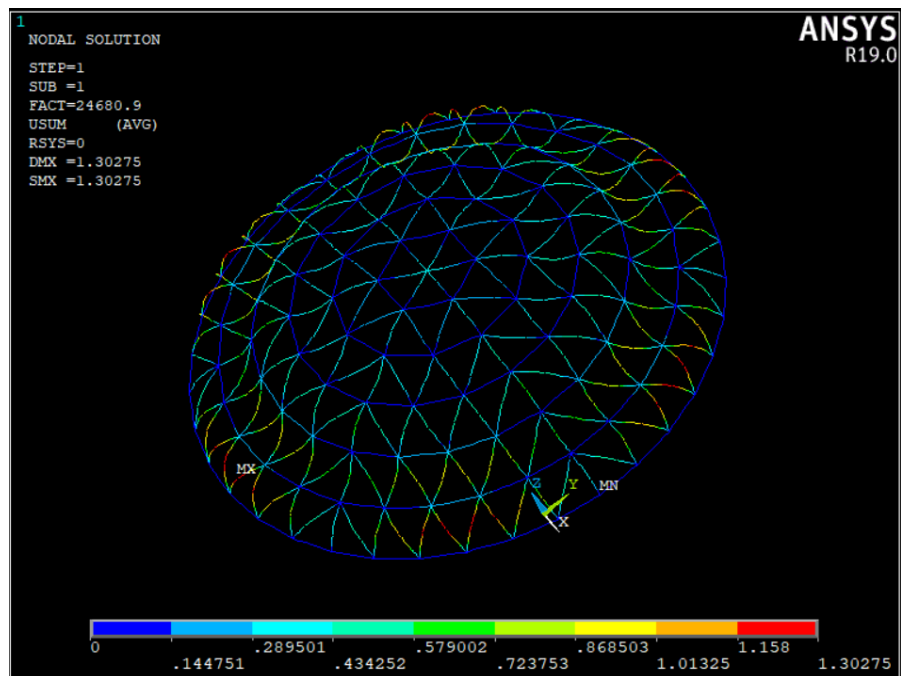
正则化方法 $u_{o,\max} = \max \{|u_{o,1}|, |u_{o,2}|, \dots, |u_{o,n}|\} = 1$

原一致模态缺陷 $\mu_{b0} = \frac{L}{300} \Phi_o$

改进一致模态缺陷 $\mu_b = \frac{L}{300u_{o,j,\max}} \Phi_{o,j} + \frac{l}{1000u_{o,m,\max}} \Phi_{o,m}$

改进的一致模态缺陷

缺陷结构的稳定承载力



$\Phi 100 \times 5$

为什么有大有小?

$$\mu_b = \frac{L}{300u_{o,j,\max}} \Phi_{o,j} + \frac{l}{1000u_{o,m,\max}} \Phi_{o,m}$$



第 2 节

监督学习算法演示



监督学习算法

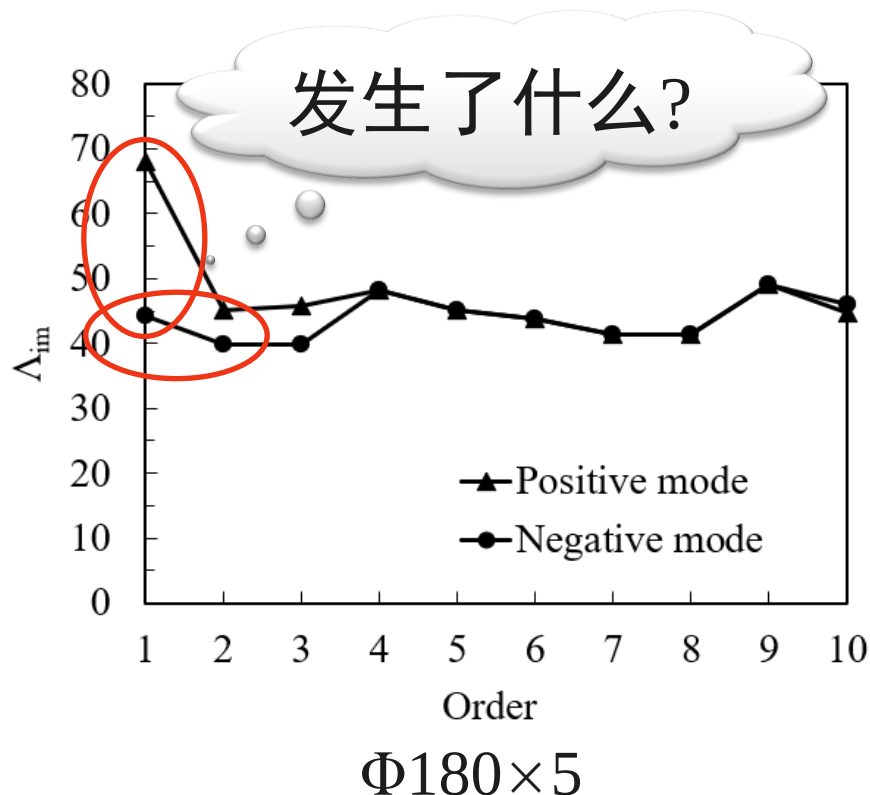
算法的训练



算法的使用



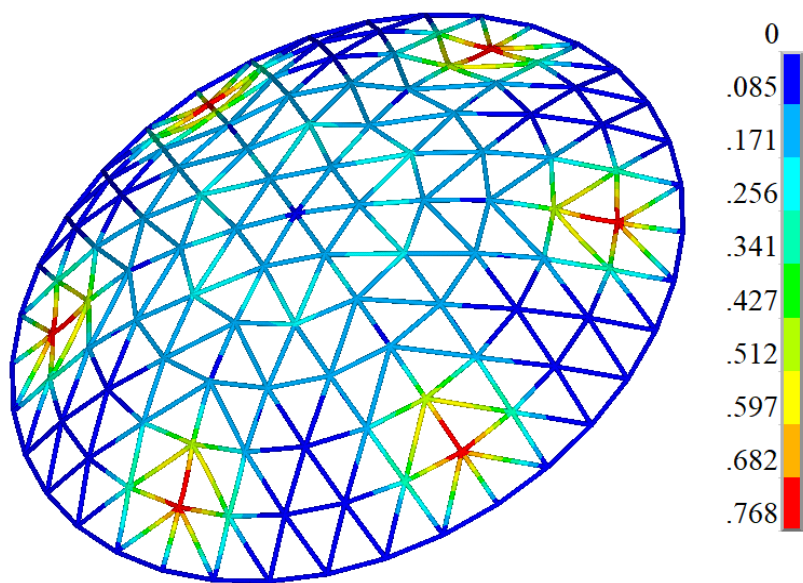
本课题研究内容及应用演示



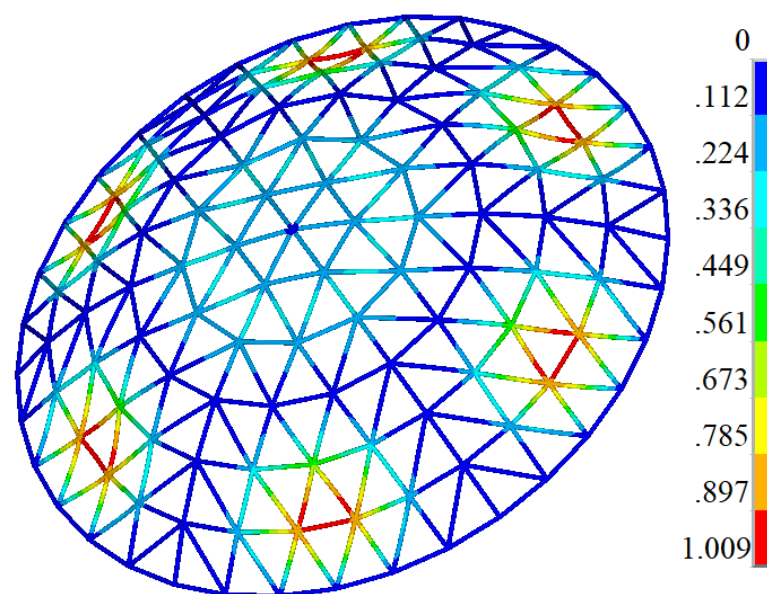
观察左图:

1. 同样是线性屈曲模式，**缺陷敏感度**相差非常大
2. 一阶线性屈曲模式（考虑正、负缺陷）可能**并不是最不利情况**

本课题研究内容及应用演示



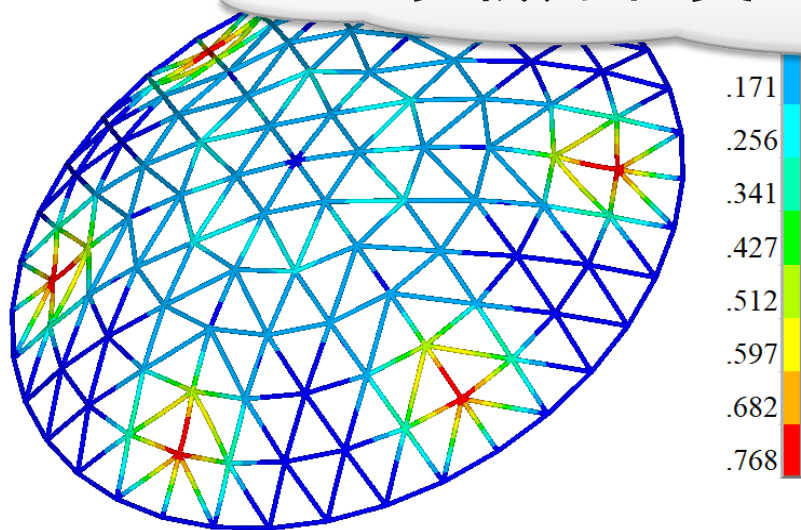
完善结构的极限变形



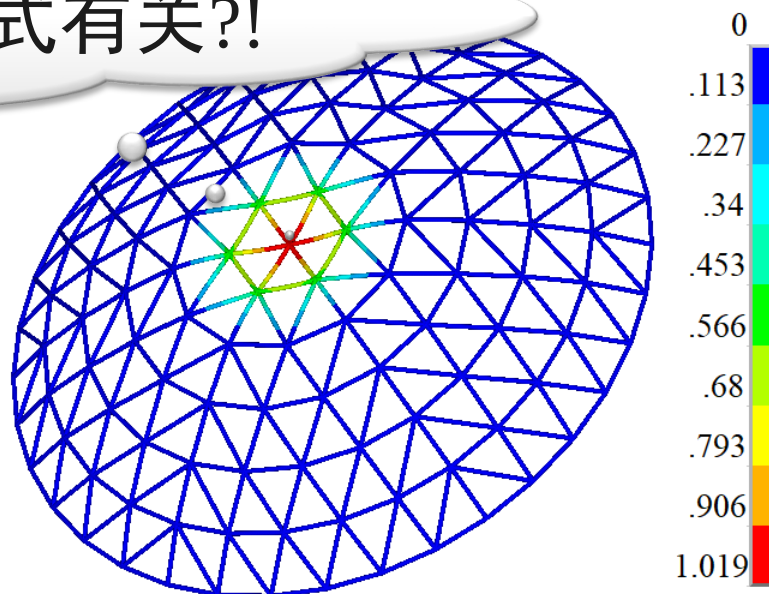
缺陷结构的极限变形
(承载力较高时)

本课题研究内容及应用演示

承载力和变形模式有关?!



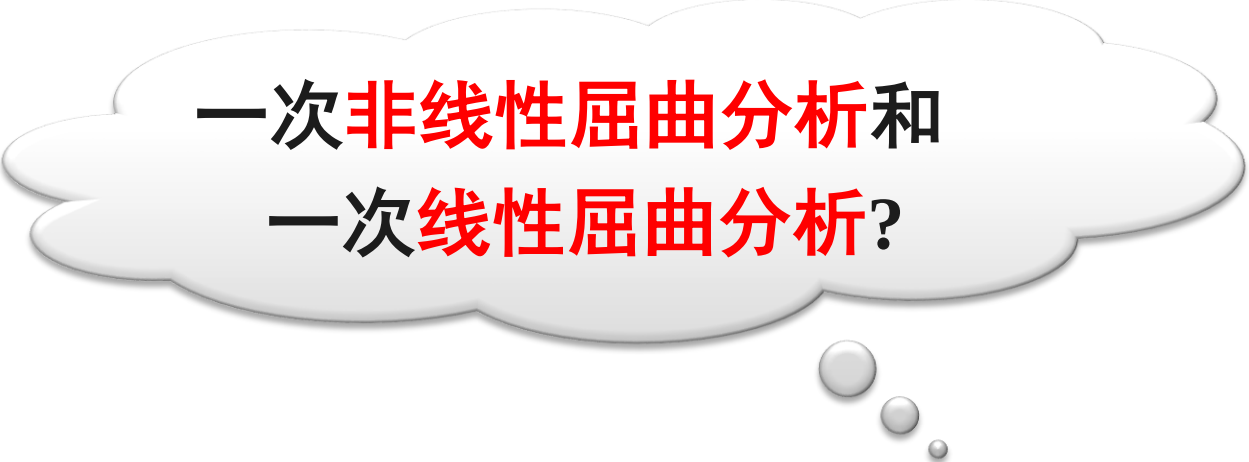
完善结构的极限变形



缺陷结构的极限变形
(承载力较低时)

本课题研究内容及应用演示

一次非线性屈曲分析和
一次线性屈曲分析?



本课题研究内容及应用演示

探索性参数分析方案

$$L = 50 \text{ m}$$

$$f/L = 1/5$$

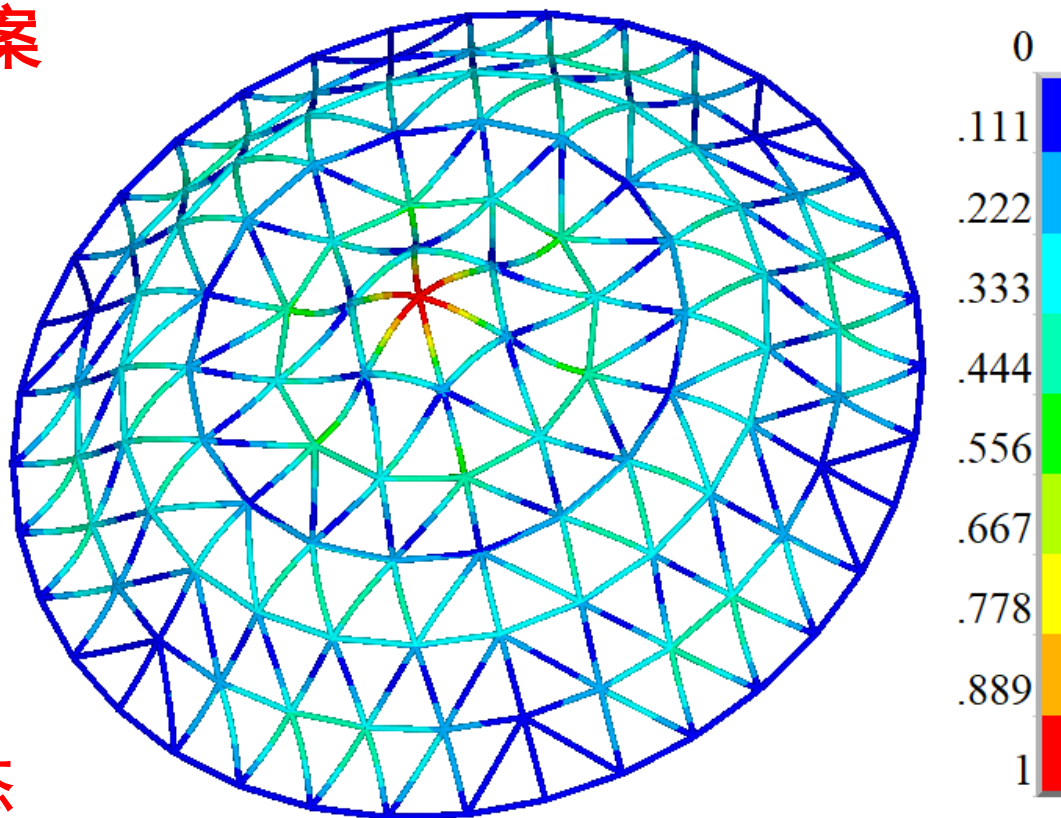
$$m = 6$$

钢刚性节点

$\Phi 180/130/100 \times 5$

周边铰接

50种线性屈曲模态





本课题研究内容及应用演示
机器学习输入输出变量设置

$$y_j = r_{im} = \frac{\Lambda_{per} - \Lambda_{im}}{\Lambda_{per}}$$

缺陷模式
向量长度

完善结构极值点变形
趋势向量长度

$$\mathbf{x}_j = \left\{ D_j, p_{j,j}, |\boldsymbol{\mu}_{b,j}|, |\boldsymbol{\Phi}_{non,per,j}|, \frac{1}{d_{per,b,j}} \right\}$$

杆件直径

节点偏移分量
参与系数

$$d_{per,b} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{u_{non,per,i}}{|u_{non,per,max}|} - \frac{\mu_{b,i}}{|\mu_{b,max}|} \right)^2}$$



第 3 节

参数分析和拟合结果



参数分析



训练集参数方案

$L = 50 \text{ m}$

$f/L = 1/3, 1/4, 1/5, 1/6$

$m = 6, 8, 10, 12$

钢刚性节点

$\Phi 100 \sim 190 \times 5$ (共10种)

周边铰接、刚接

5种线性屈曲模态

测试集参数方案

$L = 50 \text{ m}$

$f/L = 1/5$

$m = 7, 9, 11$

钢刚性节点

$\Phi 105 \sim 185 \times 5$ (共9种)

周边铰接、刚接

5种线性屈曲模态

拟合参数

机器学习输入输出变量设置

采用线性核函数的支持向量回归机

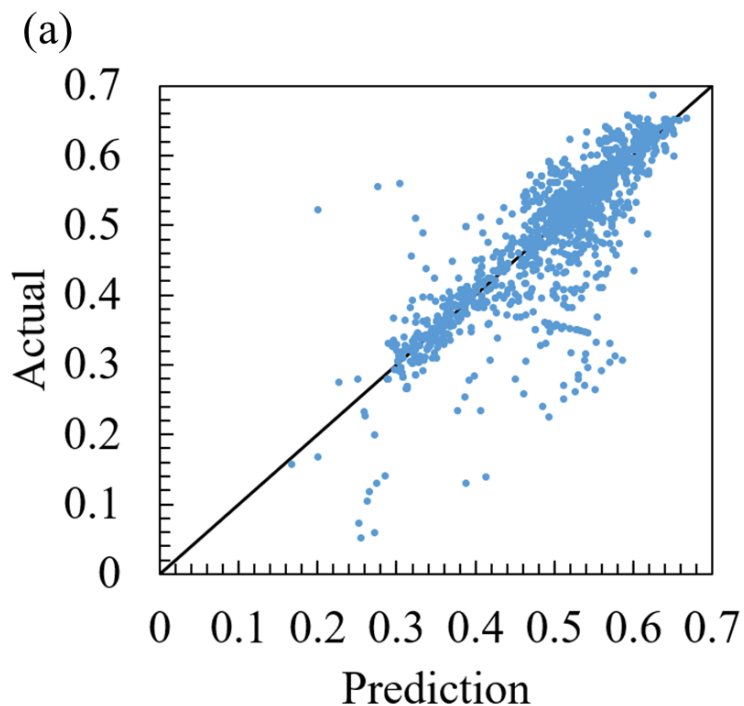
$$y_j = r_{\text{im}} = \frac{\Lambda_{\text{per}} - \Lambda_{\text{im}}}{\Lambda_{\text{per}}}$$

$$\mathbf{x}_j = \left\{ \underbrace{\left(\frac{f}{L} \right)_j, m_j, D_j, p_{j,j}, |\boldsymbol{\mu}_{\text{b},j}|, |\boldsymbol{\Phi}_{\text{non,per},j}|, \frac{1}{d_{\text{per,b},j}^{\text{I} \sim \text{VI}}}}_{\text{一次项}}, \underbrace{\left(\frac{f}{L} \right)_j^2, \left(\frac{f}{L} \right)_j \cdot m_j, \dots, \left(\frac{1}{d_{\text{per,b},j}^{\text{VI}}} \right)^2}_{\text{二次项}} \right\}$$

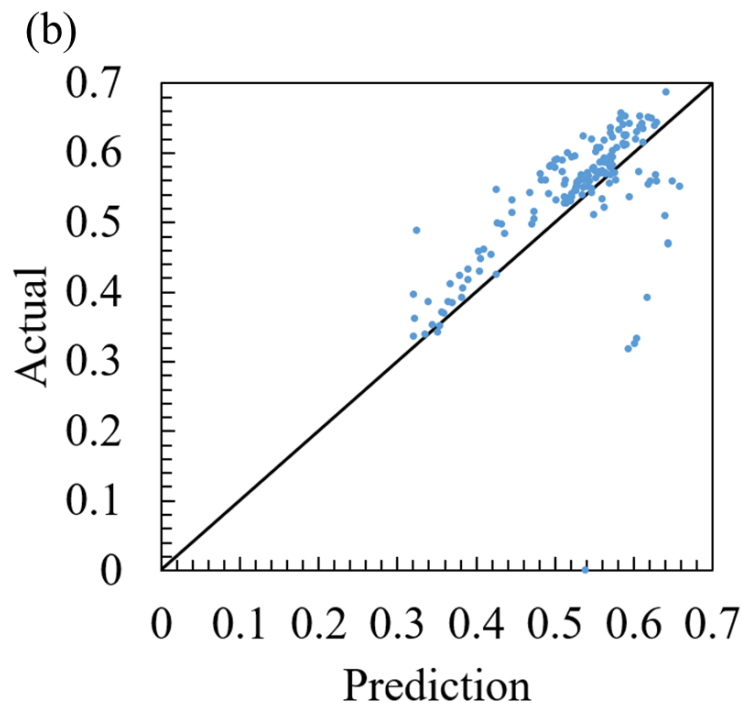


拟合结果

拟合结果 – 铰接网壳



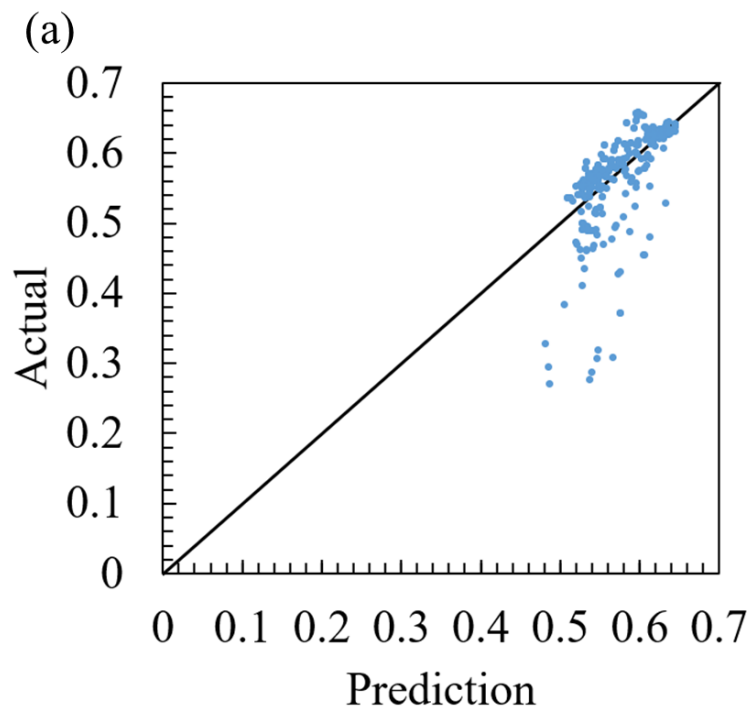
训练集全部样本



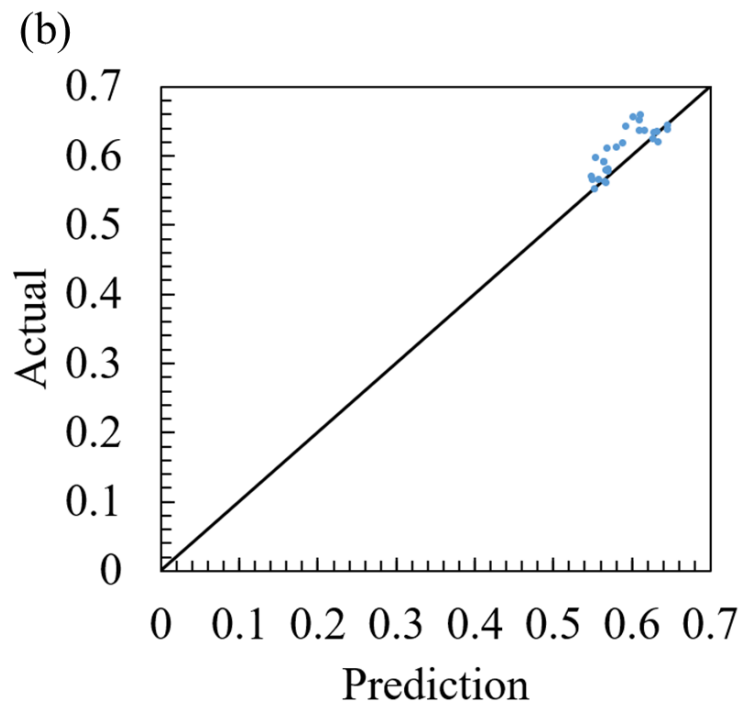
样本中最大敏感度

拟合结果

拟合结果 – 铰接网壳



测试集全部样本



样本中最大敏感度