

基于非线性稳定承载力的 铝合金板式节点网壳 形状优化

朱劭骏、大崎純、郭小农、曾强

汇报人：朱劭骏

2020.03.12



1. 问题背景
 2. 遗传算法简介
 3. 研究内容及成果
-



第 1 节

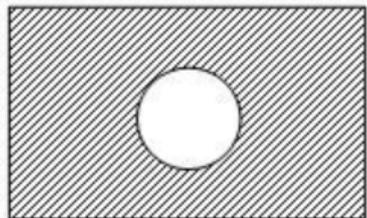
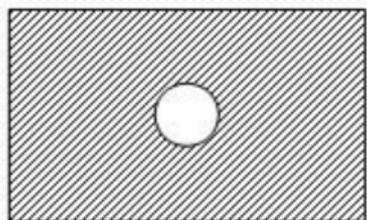
问题背景



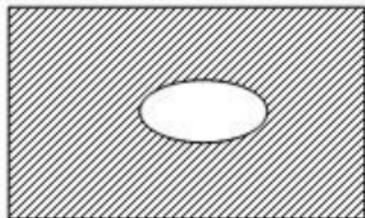
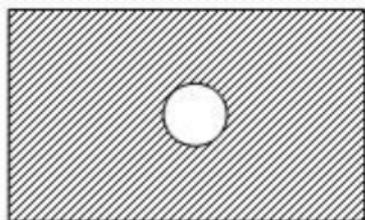
基于非线性稳定承载力的 铝合金板式节点网壳 形状优化

- 研究对象：铝合金板式节点网壳
 - 目标函数：非线性稳定承载力
 - 优化空间：结构形状
-

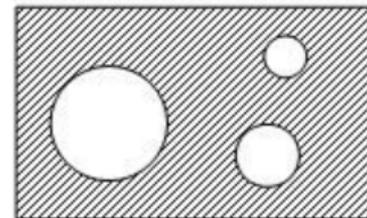
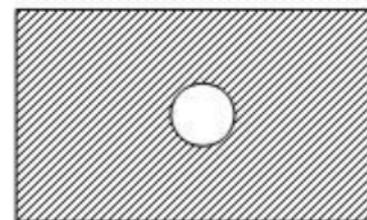
结构优化类型



尺寸优化

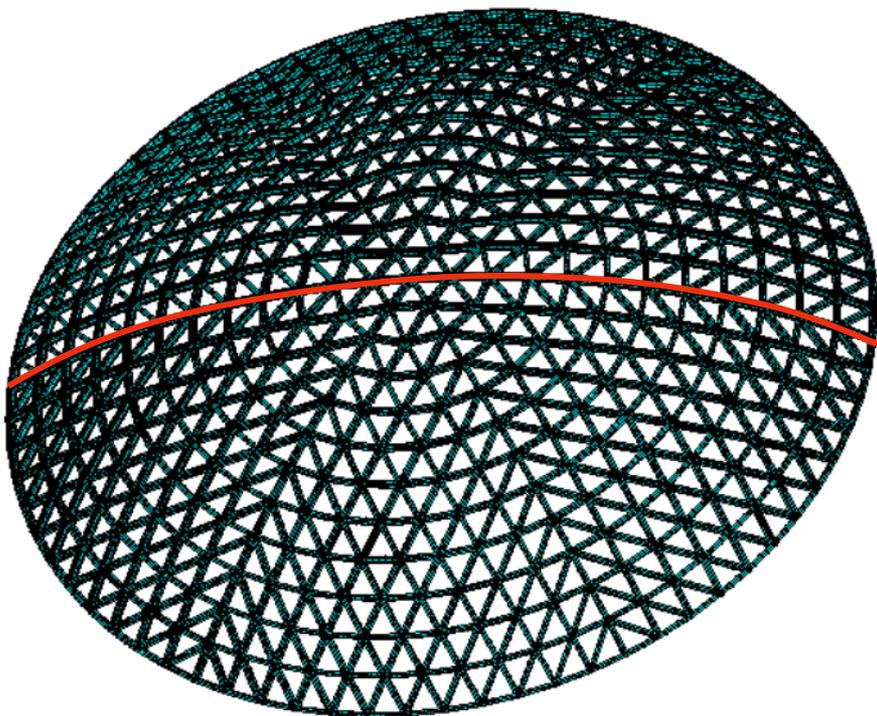


形状优化



拓扑优化

非连续体的形状优化——节点移动法



圆弧曲线

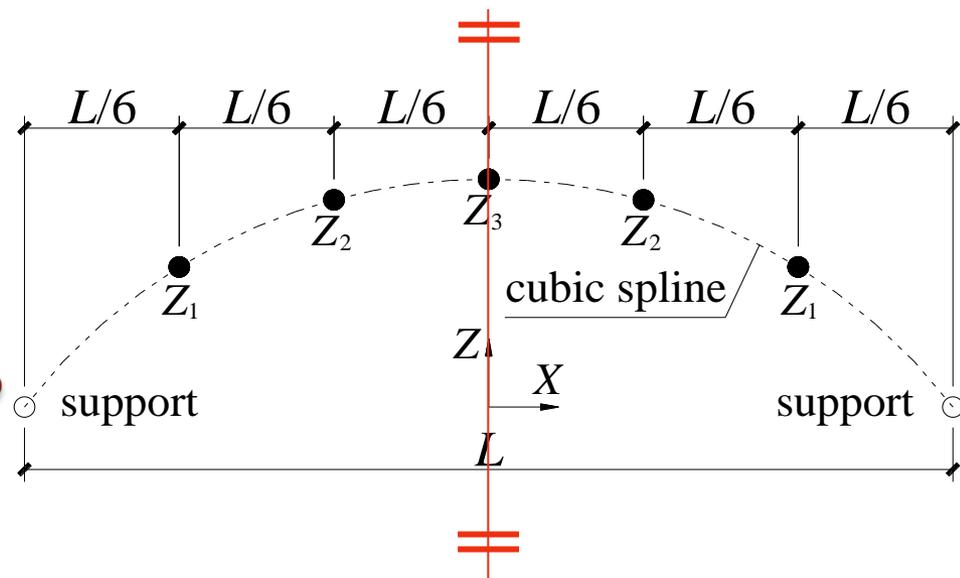
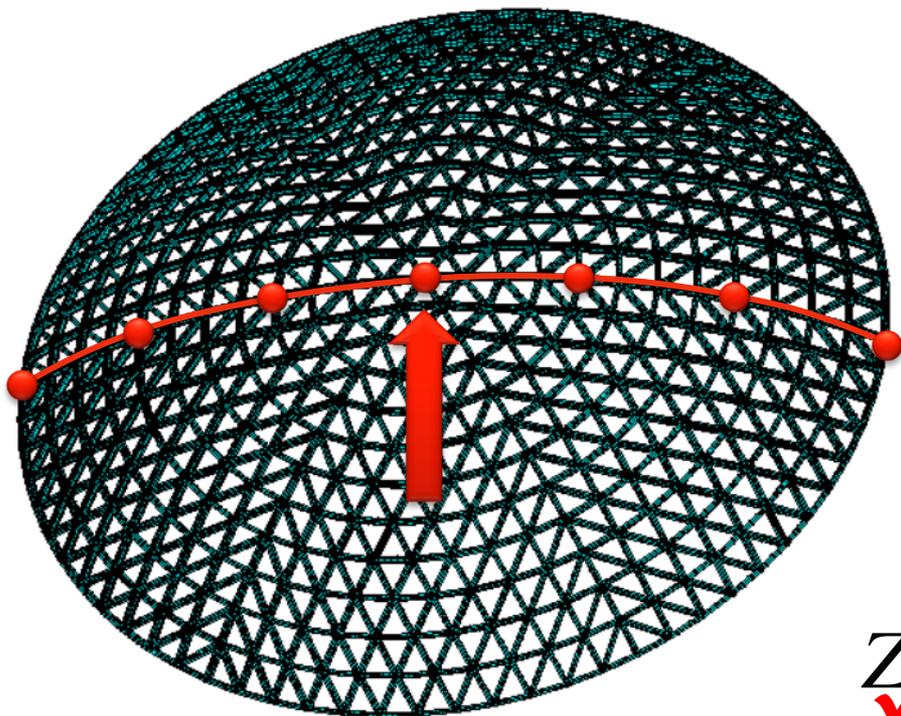
承载力最高？

能否通过节点坐标变化
提高承载力？



这样可以吗？

非连续体的形状优化——节点移动法



$$Z(X) = aX^3 + bX^2 + cX + d$$



第 2 节

遗传算法简介



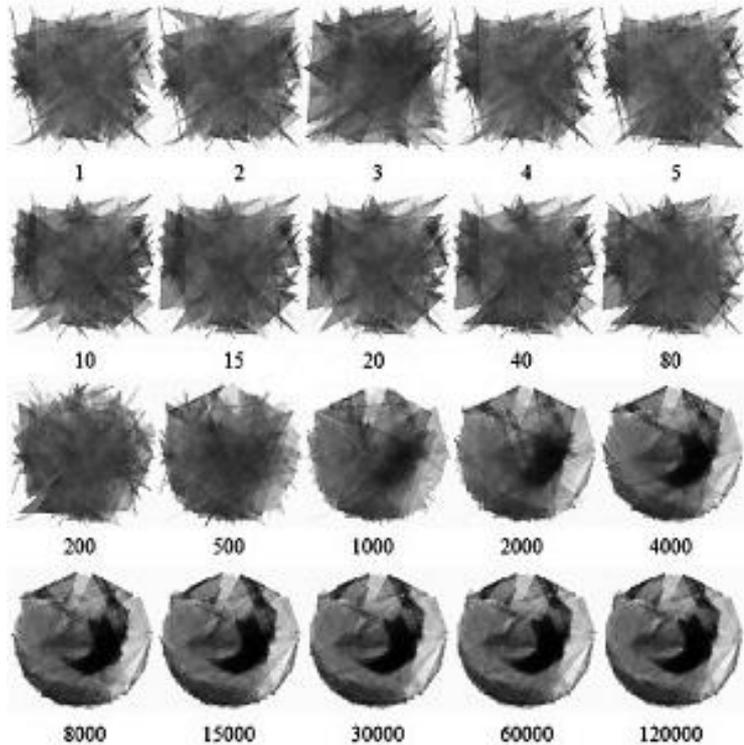
引子——扇贝壳和火狐家族



1. 海滩上有 n 个扇贝
2. 每次拿走 m 个扇贝吃
不拿花纹像  图案的
3. 剩下的扇贝随机交配
使得其总数仍为 n

120000次循环后，花纹？

引子——扇贝壳和火狐家族



1. 海滩上有 n 个扇贝
2. 每次拿走 m 个扇贝吃
不拿花纹像  图案的
3. 剩下的扇贝随机交配
使得其总数仍为 n

120000次循环后，花纹？

引子——扇贝壳和火狐家族

种群大小



1. 海滩上有 n 个扇贝

基因/适应度
自然选择



2. 每次拿走 m 个扇贝吃
不拿花纹像  图案的

交叉+变异

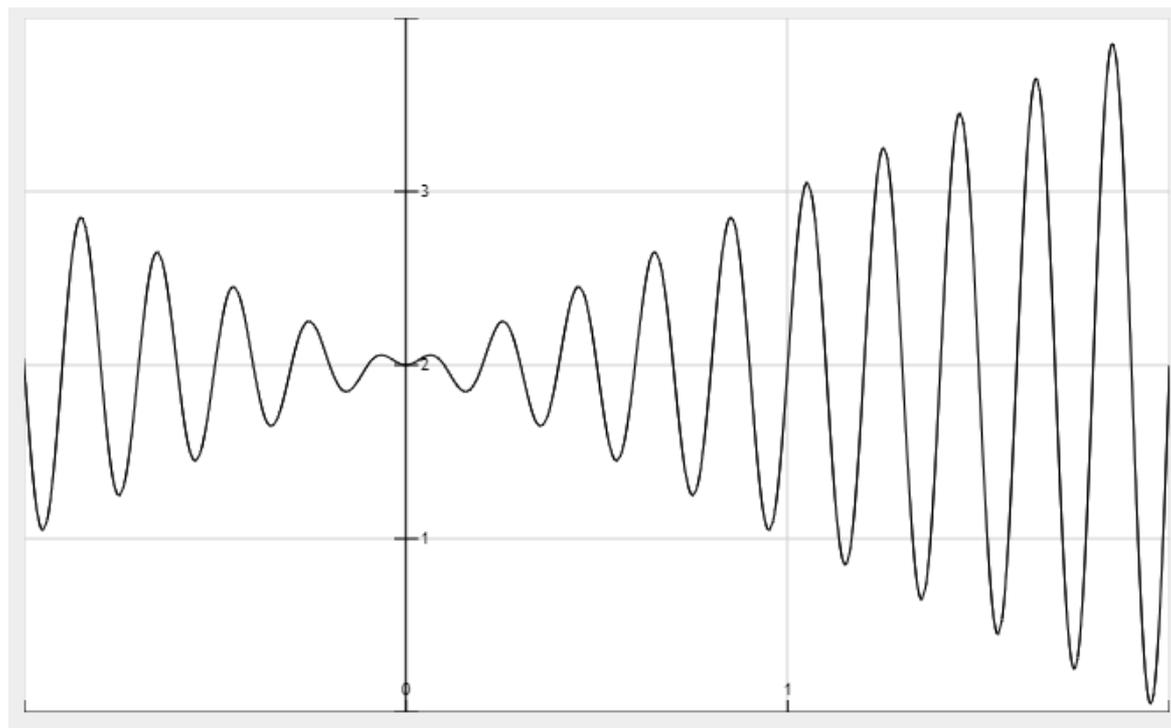


3. 剩下的扇贝随机交配
使得其总数仍为 n

120000次循环后，花纹？

实例——求函数最大值

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$



遗传算法简介

实例——求函数最大值

精度要多高?

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$

第1步：编码

请精确到**6位小数**

每一份的长度 $\frac{3}{(3 \times 10^6)}$

这个区间应分为 $[2 - (-1)] \times 10^6 = 3 \times 10^6$ 份

二进制编码 由于 $2^{21} < 3 \times 10^6 < 2^{22}$ ，**至少需22位**

解码**染色体** **二进制数**转十进制数

实例——求函数最大值

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$

第2步：初始化种群

随机生成 n 个长度为 22 的二进制数

种群大小

实例——求函数最大值

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$

第3步：计算**适应度**

适应度大的个体其存活和被选中的概率大

要选择使 $f(x)$ 最大的 x ，适应度函数即 $f(x)$

例：	$[1000101110110101000111]$	$f(x_1) = 2.286345$
	$[0000001110000000010000]$	$f(x_2) = 1.078878$
	$[1110000000111111000101]$	$f(x_3) = 3.250650$

实例——求函数最大值

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$

第4步：选择个体繁殖

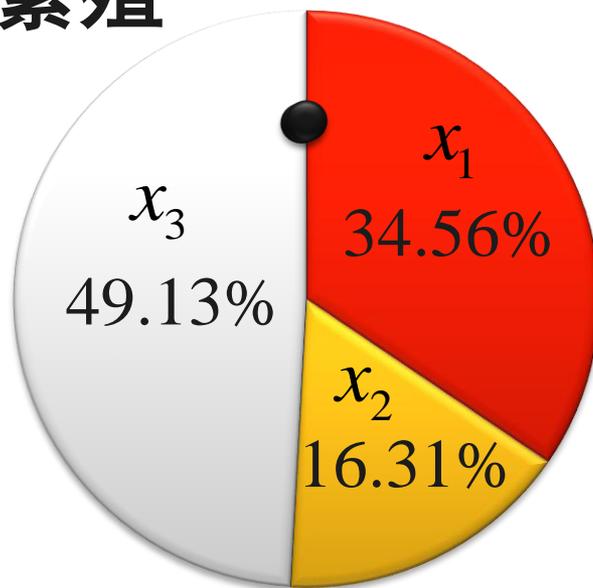
轮盘赌选择

$$f(x_1) = 2.286345$$

$$f(x_2) = 1.078878$$

$$f(x_3) = 3.250650$$

$$\sum f = 6.615873$$



选中个体

x_3

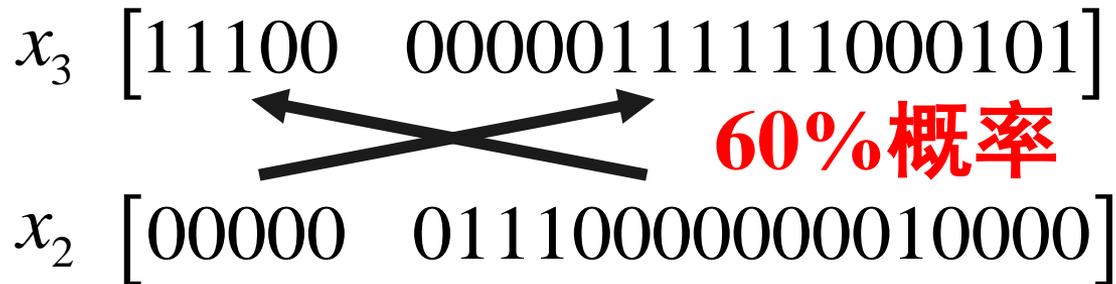
x_2

实例——求函数最大值

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$

第5步：交叉

选中个体



实例——求函数最大值

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$

第5步：交叉

选中个体

局部搜索得到了更好的个体

$$x_3' [11100 \quad 01110000000010000] \quad f = 3.459245$$

$$x_2' [00000 \quad 00000111111000101] \quad f = 1.940865$$

实例——求函数最大值

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$

第6步：变异

选中个体

全局搜索得到了更好的个体

$$x_3 \quad [1110000000111111000101] \quad f = 3.250650$$

↓ 2%概率

$$x_3'' \quad [1110000000011111000101] \quad f = 3.343555$$

实例——求函数最大值

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$

第7步：精英遗传 **运气不好，总是得到差个体？**

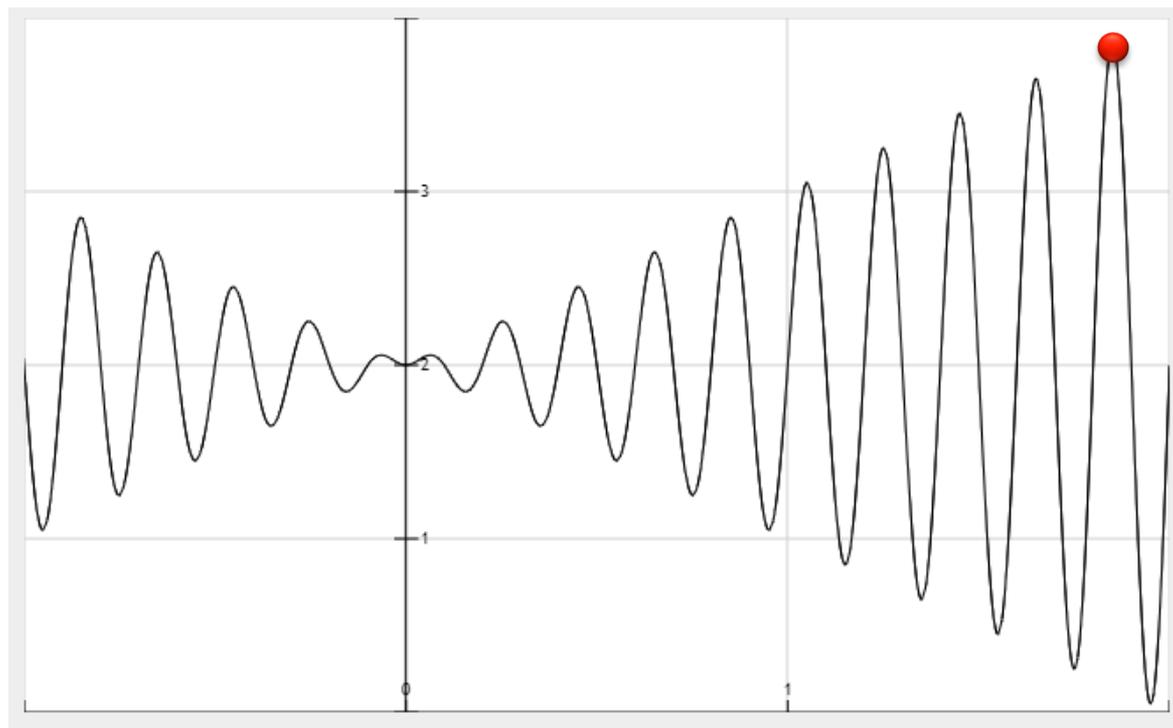
例：

$[1000101110110101000111]$	$f(x_1) = 2.286345$
$[0000001110000000010000]$	$f(x_2) = 1.078878$
$[1110000000111111000101]$	$f(x_3) = 3.250650$

x_3 **VIP通道进入下一代**

实例——求函数最大值

$$f(x) = x \sin(10\pi x) + 2 \quad x \in [-1, 2]$$



思考

有人说：“遗传算法就是暴力枚举。”

是对是错？还是半对半错？错的部分如何反驳？

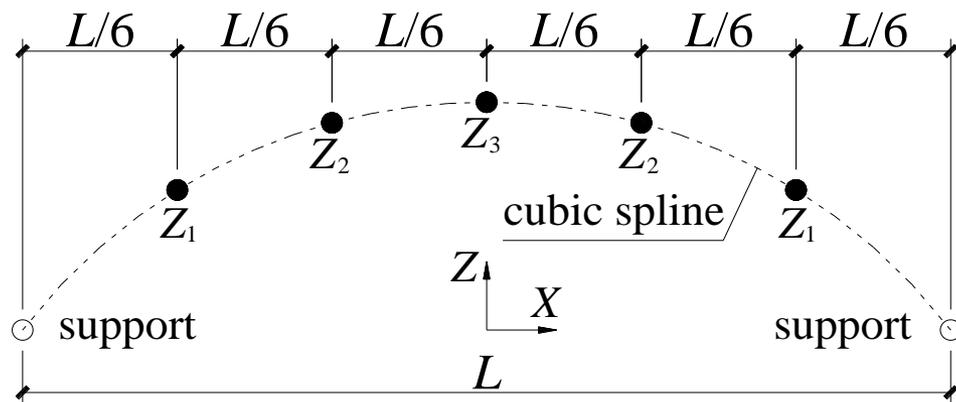
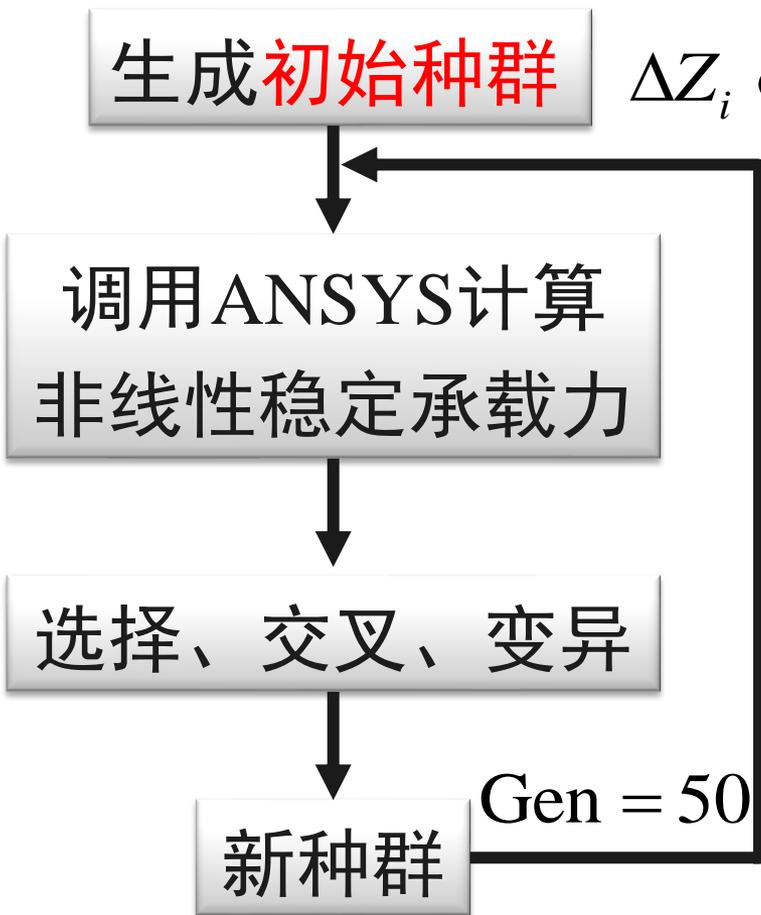


第 3 节

研究内容及成果

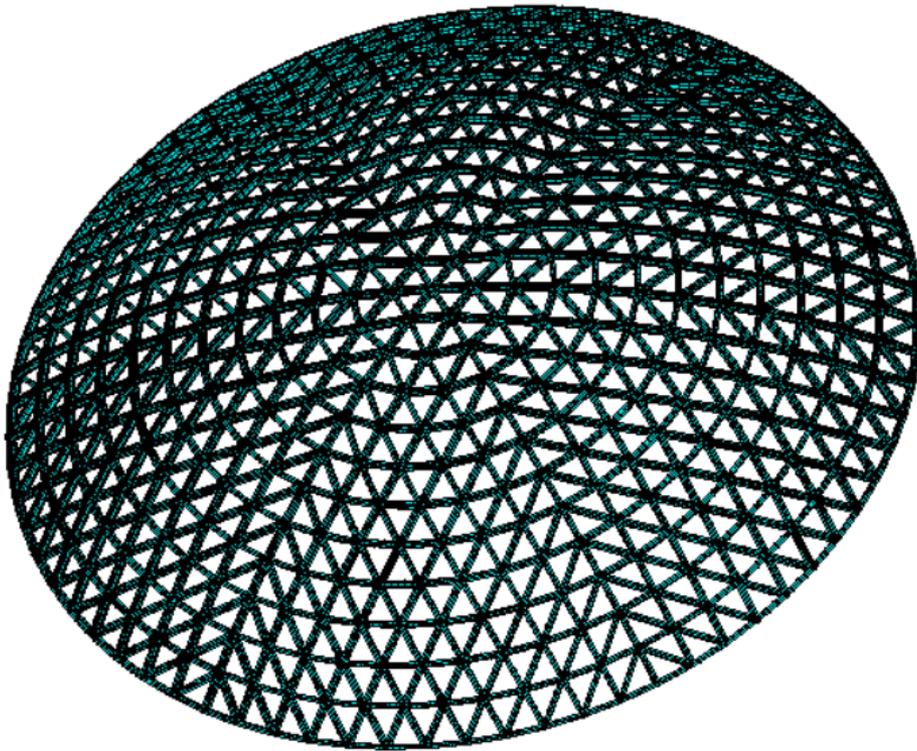


研究内容



$$\begin{cases} \max. P_c(\mathbf{Z}) \\ \text{s.t. } \Delta Z_{\min} \leq \Delta Z_i \leq \Delta Z_{\max}, \quad (i = 1, 2, 3) \end{cases}$$

基本网壳算例



$$L = 40 \text{ m}$$

$$f/L = 1/4$$

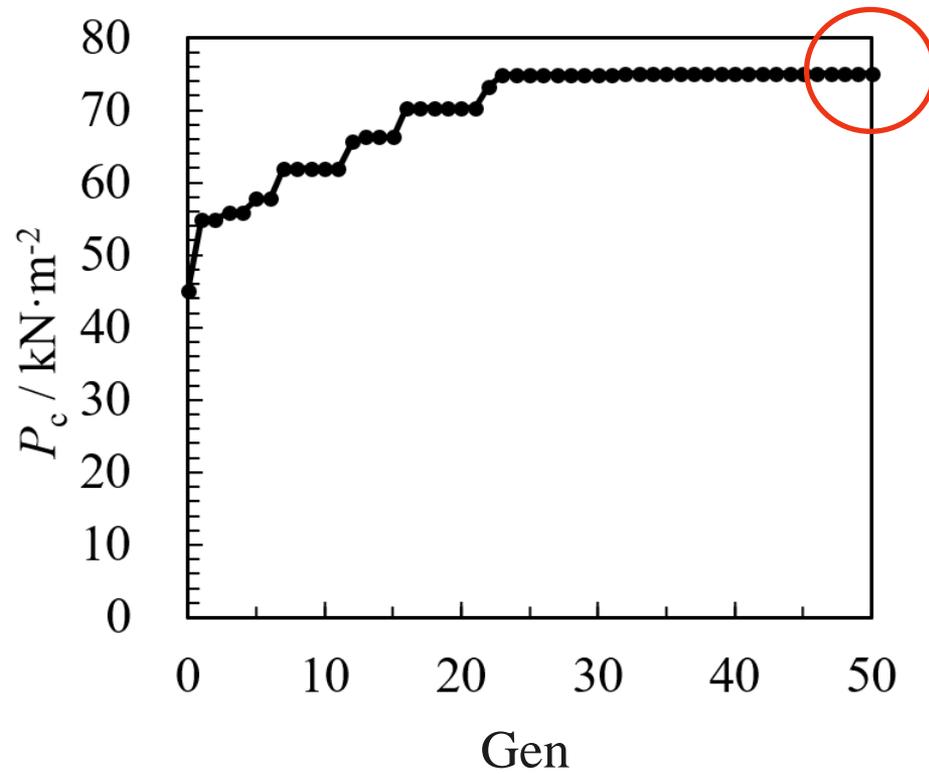
$$m = 12$$

$$I400 \times 200 \times 10 \times 16$$

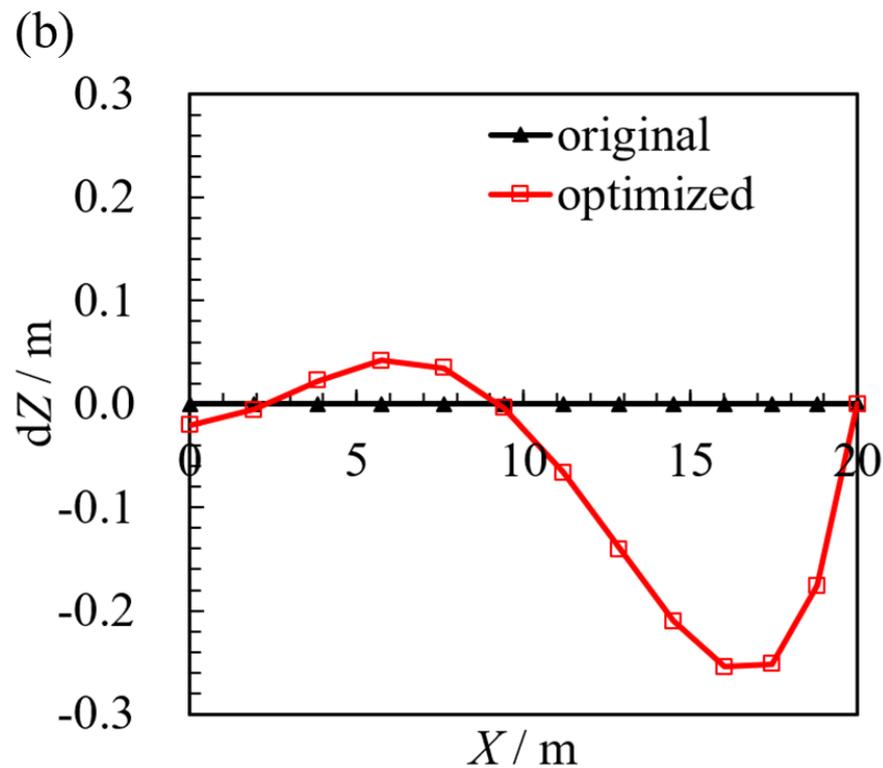
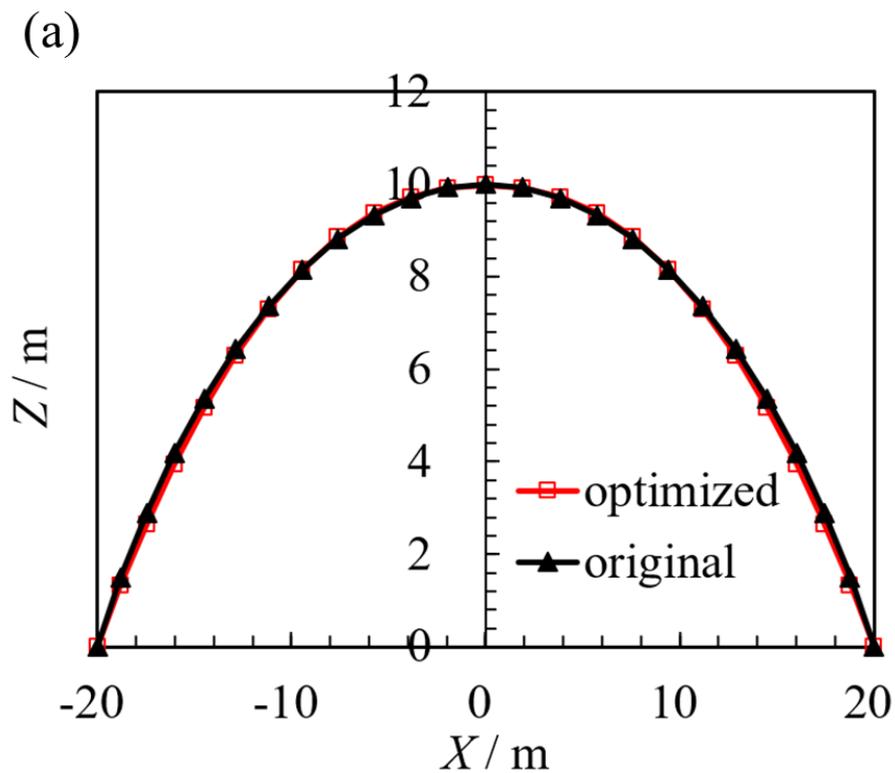
$$t = 16 \text{ mm}$$

$$q/g = 0.5$$

迭代历史

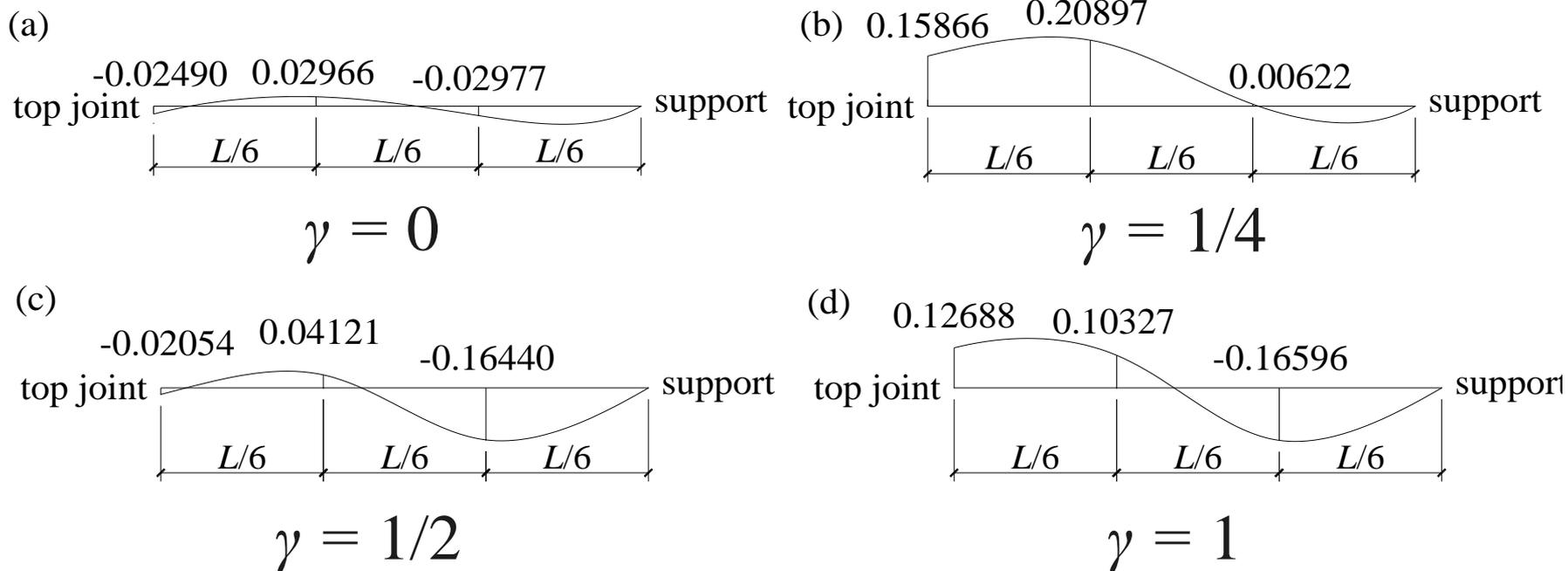


最优解形状对比



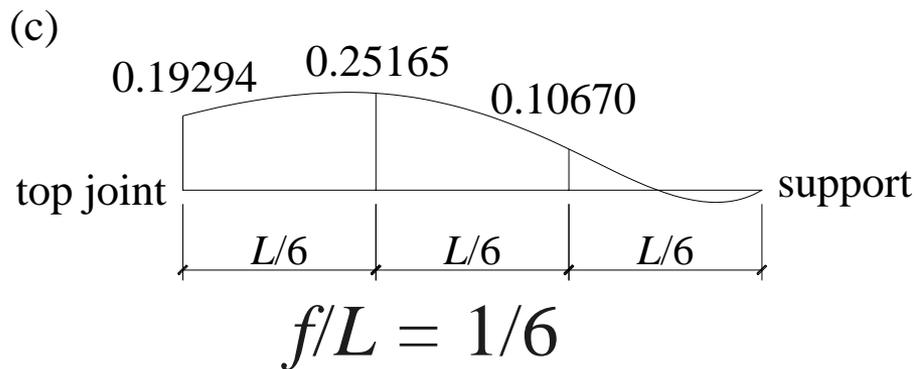
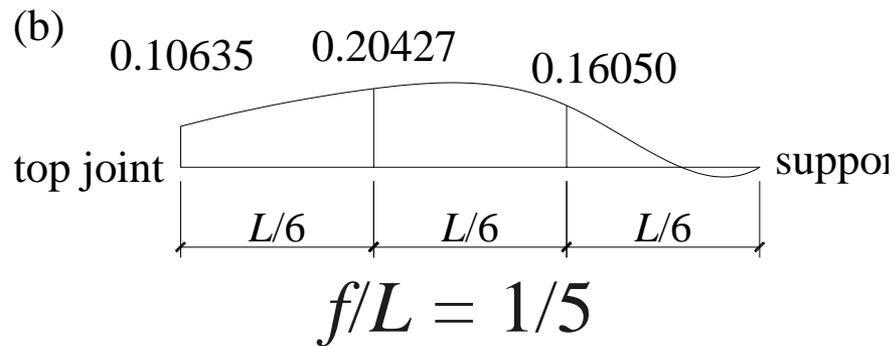
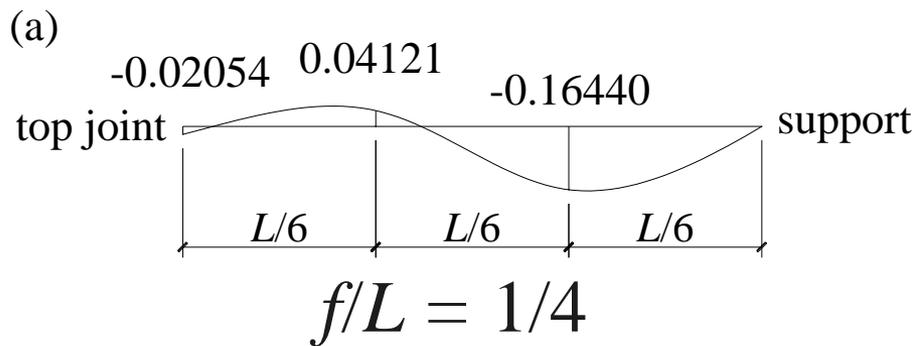
参数分析 优化的形状可能和哪些参数有关?

1. 荷载系数 $\gamma = p/g$



参数分析

2. 矢跨比



参数分析

不同矢跨比下，**消除跨度影响**

$$Z(X) = \begin{cases} \frac{a_1}{L^2}(X - X_1)^3 + \frac{b_1}{L}(X - X_1)^2 + c_1(X - X_1) + d_1L & 0 \leq |X| \leq \frac{1}{6}L \\ \frac{a_2}{L^2}(X - X_2)^3 + \frac{b_2}{L}(X - X_2)^2 + c_2(X - X_2) + d_2L & \frac{1}{6}L \leq |X| \leq \frac{1}{3}L \\ \frac{a_3}{L^2}(X - X_3)^3 + \frac{b_3}{L}(X - X_3)^2 + c_3(X - X_3) + d_3L & \frac{1}{3}L \leq |X| \leq \frac{1}{2}L \end{cases}$$

研究结果

参数分析 矢跨比1/5情况

Para.	dZ1/m	dZ2/m	dZ3/m	i	a_i	b_i	c_i	d_i	IR
$\gamma=0$	-0.02977	0.02966	-0.02490	1	-0.50771	-0.68103	0.00000	0.24938	73%
				2	-0.93044	-0.93488	-0.26932	0.22811	
				3	-0.93044	-1.40010	-0.65848	0.15295	
$\gamma=1/4$	0.00622	0.20897	0.15866	1	-0.85456	-0.62705	0.00000	0.25397	43%
				2	-0.59496	-1.05433	-0.26932	0.23259	
				3	-0.59496	-1.35180	-0.65848	0.15385	
$\gamma=1/2$	-0.16098	0.04263	-0.02054	1	-1.00074	-0.59111	0.00000	0.24949	67%
				2	-0.36940	-1.09148	-0.26932	0.22843	
				3	-0.36940	-1.27618	-0.65848	0.14967	
$\gamma=1$	-0.16596	0.10327	0.12688	1	-0.64428	-0.72862	0.00000	0.25317	66%
				2	-0.38729	-1.05076	-0.26932	0.22995	
				3	-0.38729	-1.24441	-0.65848	0.14954	

结果验证 对于其他参数，适用吗？

截面大小 环数 支座 提升比例

Series	L/m	f/L	Section	m	γ	Support	$P_{c0}/kN \cdot m^2$	$P_{c1}/kN \cdot m^2$	IR
h	40	1/4	I400×200×10×16	12	1/2	Hinged	44.972	75.064	67%
			I450×225×10×16				56.868	66.160	16%
			I500×250×10×16				50.475	73.430	45%
m	40	1/4	I400×200×10×16	12	1/2	Hinged	44.972	75.064	67%
				14			50.585	63.712	26%
				16			59.932	76.760	28%
				18			62.211	79.620	28%
S	40	1/4	I400×200×10×16	12	1/2	Hinged	44.972	75.064	67%
						Fixed	44.412	48.377	9%