

实验 7 等强度梁应力测量实验报告

姓名：邹佳驹

学号：12012127

同组人：刘鸿磊

1.实验目的

测定等强度悬臂梁上下表面的应力，验证梁的弯曲理论，计算泊松比。

2.实验仪器设备和工具

- 1) 材料力学组合实验台中等强度悬臂梁实验装置与部件
- 2) 力&应变综合参数测试仪
- 3) 游标卡尺、钢板尺

3.实验原理和方法

将试件固定在实验台架上，梁在纯弯曲时，同一截面上表面产生压应变，下表面产生拉应变，上下表面产生的拉压应变绝对值相等。计算公式为：

$$\varepsilon = \frac{6FL}{Ebh^2}$$

F 为梁上所加的载荷，L 为载荷作用点到测试点的距离，E 为弹性模量，b 为梁的宽度，h 为梁的厚度

在梁的上下表面分别粘贴上应变片 R1、R2、R3、R4 和 R5，如图所示，当对梁施加载荷 P 时，梁产生弯曲变形，在梁内引起应力。

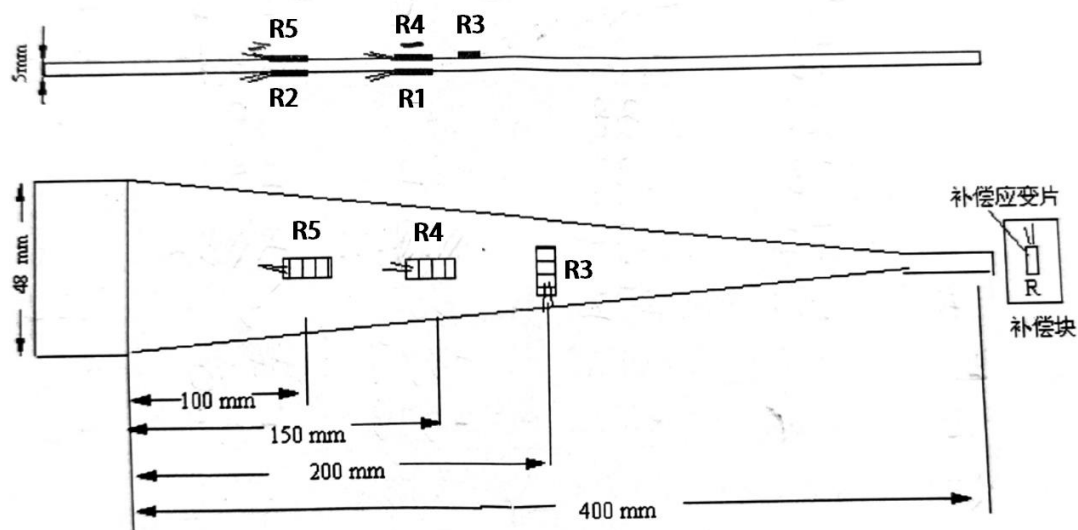


图 1 等强度梁外形图及布片图

4.实验步骤

- 1) 设计好本实验所需的各类数据表格;
- 2) 测量悬臂梁的有关尺寸，确定试件有关参数;

3) 拟定加载方案。选取适当的初载荷 $P_0=20\text{N}$ 左右，估算最大载荷 P_{\max} (该实验载荷范围 $\leq 100\text{N}$)，一般分 5 级加载；

估算最大载荷：

$$F.S = \frac{\sigma_{fail}}{\sigma_{allow}} = \frac{\sigma_{fail}}{\frac{M}{W}} = \frac{\sigma_{fail}}{\frac{PL}{bh^2/6}} = 4.5$$
$$P_{max} = \frac{\sigma_{fail} \times bh^2}{6L \times F.S} = \frac{355 \times 10^6 \times 0.048 \times 0.008^2}{6 \times 0.4 \times 4.5} = 101\text{N}$$

4) 实验采用多点测量中半桥单臂公共补偿接线法。将悬臂梁上两点应变片按序号接到电阻应变仪测试通道上，温度补偿片接电阻应变仪公共补偿端。

5) 按实验要求接好线，调整好仪器，检查整个系统是否处于正常工作状态。

6) 实验加载。用均匀慢速加载至初载荷 P_0 。记下各点应变片初读数，然后逐级加载，每增加一级载荷，依次记录各点电阻应变仪读数，直到最终载荷。实验至少重复三次。

7) 作完试验后，卸掉载荷，关闭电源，整理好所用仪器设备，清理实验现场将所用仪器设备复原，实验资料交指导教师检查签字。

5.实验数据记录与处理

1)表 1 试件测量表

| | |
|-------------------|---------|
| 梁的高度h(mm) | 8.05 |
| 梁的宽度b(mm) | 48.04 |
| 载荷作用点到测试点的距离L(mm) | 250、300 |
| 弹性模量E | 210GPa |
| 泊松比μ | 0.28 |

2)表 2 实验数据表

| | | | | | | | |
|--------|----------|------|------|------|-------|-------|-------|
| (με) | P(N) | -20 | -36 | -52 | -68 | -84 | -100 |
| 1/4桥应变 | ε1 | -75 | -135 | -190 | -250 | -304 | -361 |
| | ε2 | -73 | -135 | -188 | -251 | -305 | -364 |
| | ε3 | 20 | 38 | 52 | 69 | 85 | 102 |
| | ε4 | 73 | 137 | 192 | 251 | 309 | 368 |
| | ε5 | 74 | 134 | 189 | 250 | 306 | 365 |
| 邻臂半桥 | ε1-4 | 150 | 272 | 380 | 500 | 622 | 736 |
| | ε2-5 | -150 | -270 | -377 | -498 | -618 | -731 |
| 对臂半桥 | ε1-2 | -146 | -271 | -378 | -495 | -620 | -730 |
| | ε4-5 | 149 | 278 | 388 | 506 | 634 | 746 |
| 四臂全桥 | ε1-2-4-5 | -296 | -542 | -777 | -1005 | -1249 | -1465 |
| 串联双臂半桥 | ε1_4-2_5 | -153 | -270 | -387 | -512 | -627 | -744 |

3)实验结果处理

a) 应力, $\sigma = E\varepsilon$;

| | | | | | | | |
|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | P(N) | -20 | -36 | -52 | -68 | -84 | -100 |
| 1/4桥应变 | σ1(MPa) | -15.75 | -28.35 | -39.9 | -52.5 | -63.84 | -75.81 |
| | σ2(MPa) | -15.33 | -28.35 | -39.48 | -52.71 | -64.05 | -76.44 |
| | σ3(MPa) | 4.2 | 7.98 | 10.92 | 14.49 | 17.85 | 21.42 |
| | σ4(MPa) | 15.33 | 28.77 | 40.32 | 52.71 | 64.89 | 77.28 |
| | σ5(MPa) | 15.54 | 28.14 | 39.69 | 52.5 | 64.26 | 76.65 |

b) 应力理论解, $\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6\Delta PL}{bh^2}$

| | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| P(N) | -20 | -36 | -52 | -68 | -84 | -100 |
| σ1(MPa) | -15.42 | -27.75 | -40.09 | -52.42 | -64.76 | -77.09 |
| σ2(MPa) | -15.42 | -27.75 | -40.09 | -52.42 | -64.76 | -77.09 |
| σ3(MPa) | | | | | | |
| σ4(MPa) | 15.42 | 27.75 | 40.09 | 52.42 | 64.76 | 77.09 |
| σ5(MPa) | 15.42 | 27.75 | 40.09 | 52.42 | 64.76 | 77.09 |

c) 理论值与实验值比较

$$e = \frac{|\sigma_{li} - \sigma_{shi}|}{\sigma_{shi}} \times 100\%$$

| | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P(N) | -20 | -36 | -52 | -68 | -84 | -100 |
| Error σ1 | 2.10% | 2.10% | 0.47% | 0.15% | 1.44% | 1.69% |
| Error σ2 | 0.58% | 2.10% | 1.54% | 0.54% | 1.11% | 0.85% |
| Error σ3 | | | | | | |
| Error σ4 | 0.58% | 3.53% | 0.57% | 0.54% | 0.20% | 0.24% |
| Error σ5 | 0.78% | 1.37% | 1.00% | 0.15% | 0.78% | 0.58% |

d) 分析 6.4 节中不同的测量桥路中, 应变显示值与测点应变的关系。

| | | | | | | | |
|--------|----------|------|------|------|-------|-------|-------|
| (με) | P(N) | -20 | -36 | -52 | -68 | -84 | -100 |
| 1/4桥应变 | ε1 | -75 | -135 | -190 | -250 | -304 | -361 |
| | ε2 | -73 | -135 | -188 | -251 | -305 | -364 |
| | ε3 | 20 | 38 | 52 | 69 | 85 | 102 |
| | ε4 | 73 | 137 | 192 | 251 | 309 | 368 |
| | ε5 | 74 | 134 | 189 | 250 | 306 | 365 |
| 邻臂半桥 | ε1-4 | 150 | 272 | 380 | 500 | 622 | 736 |
| | ε2-5 | -150 | -270 | -377 | -498 | -618 | -731 |
| 对臂半桥 | ε1-2 | -146 | -271 | -378 | -495 | -620 | -730 |
| | ε4-5 | 149 | 278 | 388 | 506 | 634 | 746 |
| 四臂全桥 | ε1-2-4-5 | -296 | -542 | -777 | -1005 | -1249 | -1465 |
| 串联双臂半桥 | ε1_4-2_5 | -153 | -270 | -387 | -512 | -627 | -744 |

1/4 桥应变: 应变显示值即为测点应变 ε_1 、 ε_2 、 ε_4 、 ε_5

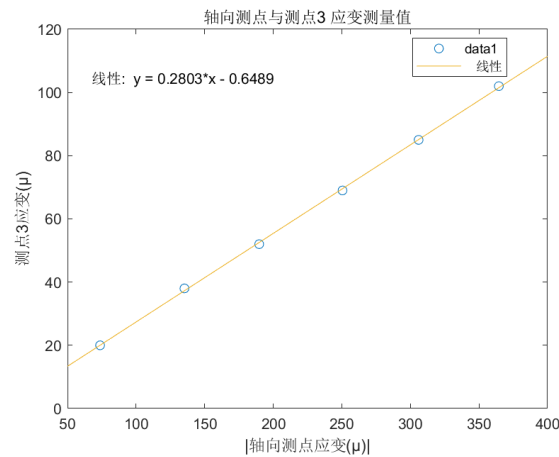
邻臂半桥: 邻臂相减, 应变显示值为 $\varepsilon_4 - \varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2 - \varepsilon_5$

对臂半桥: 对臂相加, 应变显示值为 $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_4 + \varepsilon_5$

四臂全桥: 应变显示值为 $\varepsilon_1 - \varepsilon_4 + \varepsilon_2 - \varepsilon_5$

串联双臂半桥: 应变显示值为 $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$

4)计算泊松比

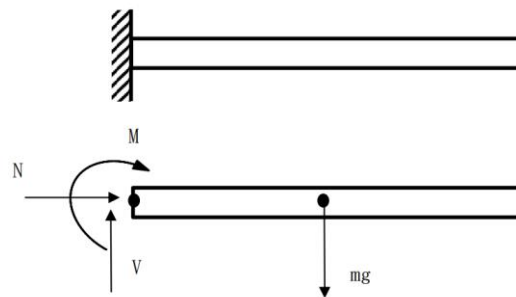


计算所得材料泊松比为 0.2803

6.思考题

- 1) 设计特定尺寸材料的试件，在自重作用下，试件在悬臂梁条件下自身破坏；

选取本实验中所用材料， $E=210\text{GPa}$ ，屈服强度 355MPa ，



$$\sum M_0 = 0 : -M - mg \cdot \frac{L}{2} = 0$$

$$\sigma = -\frac{My}{I_z} = \frac{mg \frac{L}{2} y}{I_z} = \frac{\rho b h L g \frac{L}{2} y}{\frac{1}{12} b h^3} = \frac{6 \rho g y L^2}{h^2}$$

$$\text{发生破坏: } \sigma_{\max} = \frac{6 \rho g \frac{h}{2} L^2}{h^2} = \frac{3 \rho g L^2}{h} = \sigma_{\text{fail}}$$

$$\text{即: } \frac{L^2}{h} = \frac{\sigma_{\text{fail}}}{3 \rho g} \quad (\text{悬臂梁满足该尺寸条件, 即在自重下发生破坏})$$

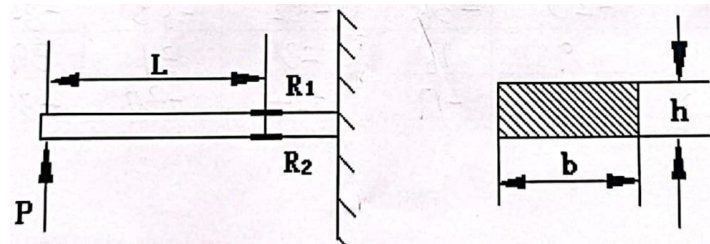
$$\text{例: } \sigma_{\text{fail}} = 355\text{MPa} \quad \rho = 7.85\text{g/cm}^3 \quad L=18\text{m} \quad h=0.2\text{m}$$

- 2) 将 6.3 节中的载荷加载方向旋转 90 度，相应的，悬臂梁实验件的 b、h 对换；考虑到实际情况下，固定端支持加强，以距离固定端边界 100mm 处的屈服强度（45#钢，360MPa）为判定准则，通过理论和有限元计算比较试件承载能力的变化，同时注意需要理论计算、有限元模型需要实验的验证。

$$\sigma_{\max} = \frac{PL \frac{h}{2}}{\frac{1}{12} b h^3} = \frac{6PL}{b h^2}$$

$$P_{\max} = \frac{\sigma_{\max} b h^2}{6L}$$

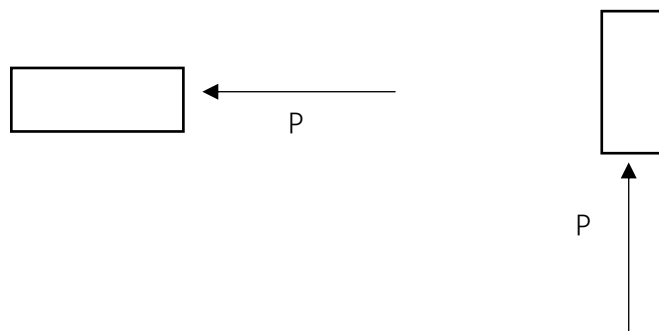
6.3 节中 $b=48.04\text{mm}$, $h=8.05\text{mm}$



设定安全系数 $F.S=6$, 距固定边界 100mm , 即 $L=300\text{mm}$

$$P_{max} = \frac{\sigma_{max} b h^2}{6L \times F.S} = \frac{360 \times 10^6 \times 0.04804 \times 0.00805^2}{6 \times 0.3 \times 6} = 103.77\text{N}$$

载荷方向旋转 90° 度, 相应的, 悬臂梁实验件的 b 、 h 对换:



$$P_{max} = \frac{\sigma_{max} b h^2}{6L \times F.S} = \frac{360 \times 10^6 \times 0.00805 \times 0.04804^2}{6 \times 0.3 \times 6} = 619.27\text{N}$$

在安全系数为 6 的情况下, 理论计算得出, 试件承载能力提高 515.5N

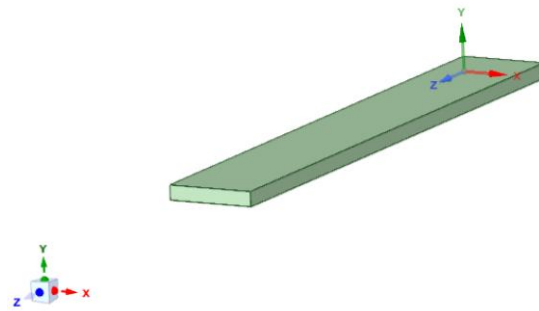
有限元计算

设定材料为#45 钢

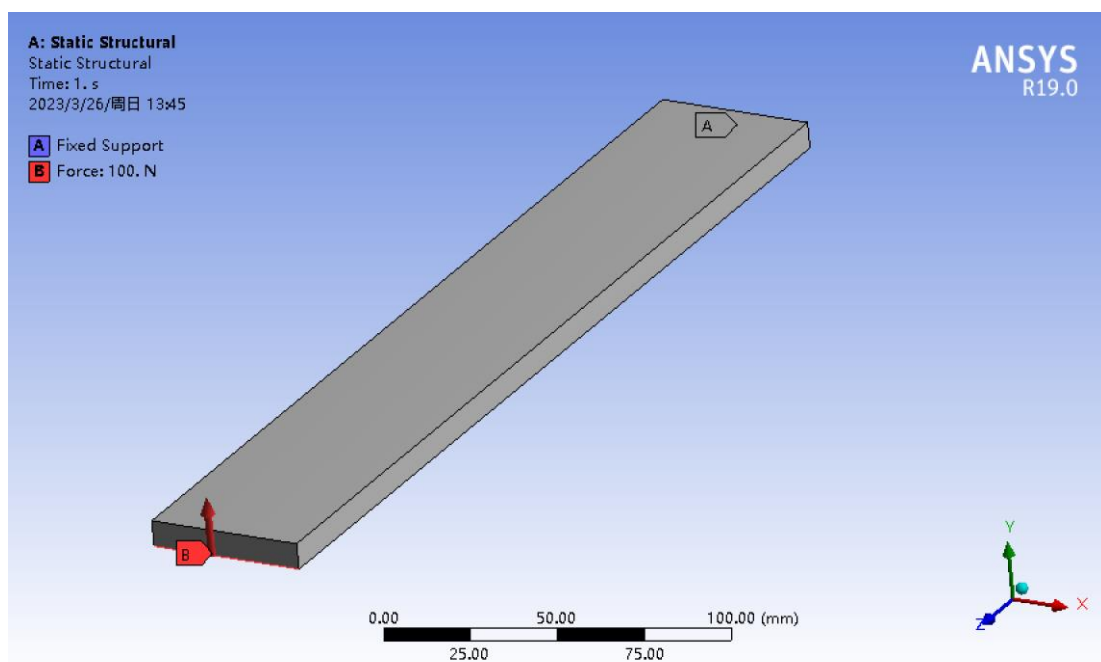
| 1 | Contents of Engineering Data | Source | Description |
|---|----------------------------------|--------|---|
| 2 | Material | | |
| 3 | 45# | D | |
| 4 | Structural Steel | G | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |
| * | Click here to add a new material | | |

| Properties of Outline Row 3: 45# | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|-----|
| | A | B | C | D E |
| 1 | Property | Value | Unit | |
| 2 | Material Field Variables | Table | | |
| 3 | Density | 7890 | kg m^{-3} | |
| 4 | Isotropic Elasticity | | | |
| 5 | Derive from | Young's Modulus and... | | |
| 6 | Young's Modulus | $2.09\text{E}+11$ | Pa | |
| 7 | Poisson's Ratio | 0.269 | | |
| 8 | Bulk Modulus | $1.5079\text{E}+11$ | Pa | |
| 9 | Shear Modulus | $8.2348\text{E}+10$ | Pa | |
| 10 | Tensile Yield Strength | $3.6\text{E}+05$ | Pa | |
| 11 | Compressive Yield Strength | $3.6\text{E}+05$ | Pa | |

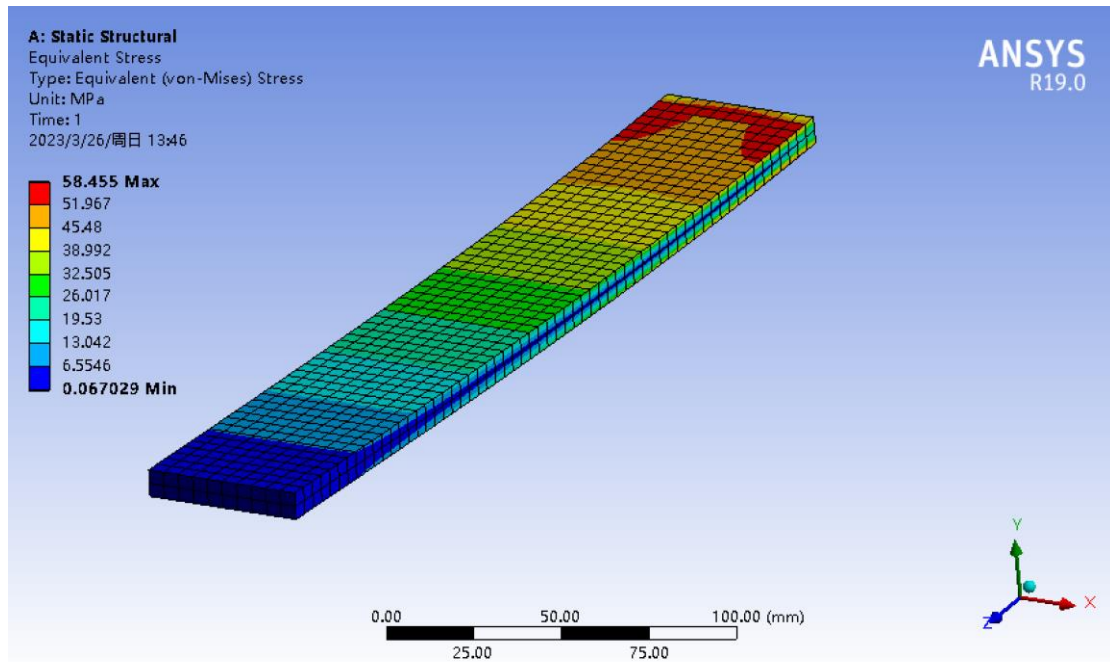
模型长宽高分别为 300mm、48.04mm、8.05mm



设定边界条件



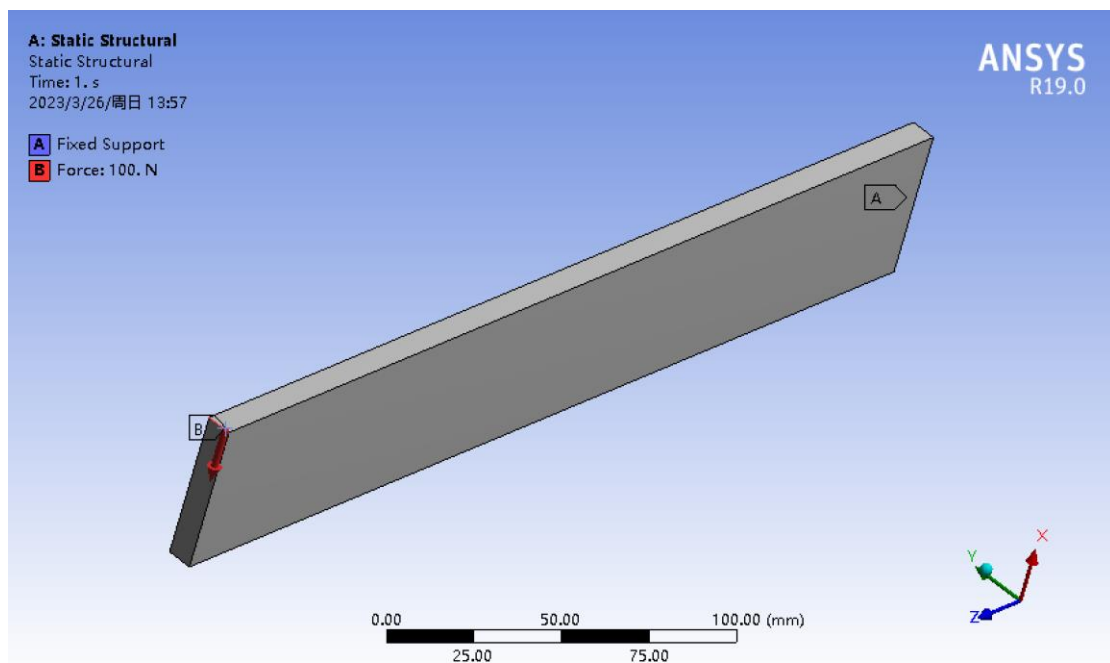
计算 100N 载荷下，最大应力为 58.455MPa

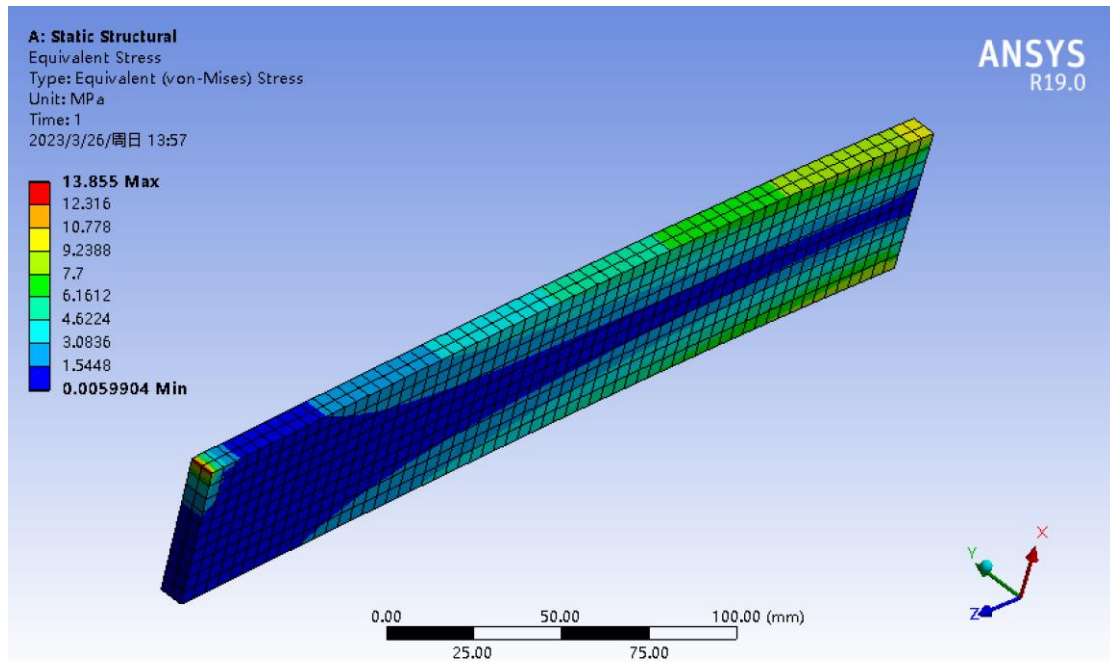


设定安全系数为 6，考虑线性弹性形变

$$P_{max} = \frac{P_{100N}}{\sigma_{100N}} \times \sigma_{yield} \times \frac{1}{F.S} = \frac{100}{58.455} \times 360 \times \frac{1}{6} = 102.643N$$

将载荷方向旋转 90 度后





同理，设定安全系数为 6，考虑线性弹性形变

$$P_{max} = \frac{P_{100N}}{\sigma_{100N}} \times \sigma_{yield} \times \frac{1}{F.S} = \frac{100}{13.855} \times 360 \times \frac{1}{6} = 433.057N$$

该结果与理论计算所得（619.27N）结果不同，原因在于理论计算考虑的是连接处应力最大而发生破坏，但在该情况下，最大应力出现在载荷作用点处，该处将最先被破坏。

与载荷旋转 90 度前相比，试件承载能力在安全系数为 6 的条件下，提高了 330.414N。