

筷子夹结构项目报告

组员：张启民 沈琮凯 熊肖潇 李承轩

分工情况：设计：沈琮凯 李承轩 熊肖潇

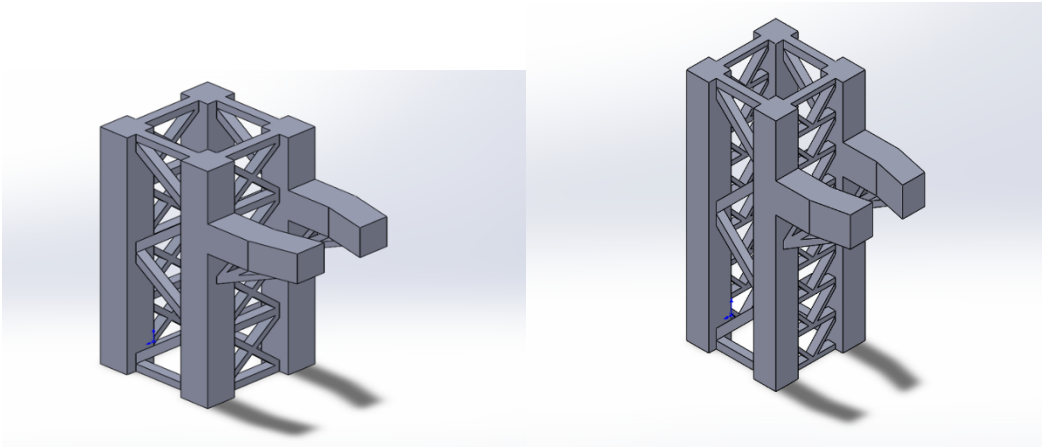
建模：张启民

有限元分析：张启民

1、设计:

我们想了构想了许多版本的设计，但最终还是认为马斯克 SpaceX 的结构最符合"筷子夹火箭"的主题，同时我们也想藉这次机会，验证这个在工程中有实际应用的设计，应用在使用力学性能较差的材料造出的缩小模型上，其性能会是如何。

在模仿马斯克设计的基础上，我们采用了两版桁架结构作为对比。第一版是经典的 X 型桁架结构，第二版则是马斯克的倒三角形。



第一版结构

第二版结构

同时，两重结构侧面都依照传力路径采用了之字型的桁架。分别建模并做有限元分析后，我们发现第二版的变形较小，这两种版本在承受 500g 载荷(一瓶矿泉水)时的情形如下图

参数指标	结构 I	结构 II
最大变形量 (m)	4.1106e-6	4.0938e-6 (优)
最大应力 (MPa)	0.05527 (优)	0.05866

我们采用变形较小的结构 2 作为最终版本，并做了几处修改：

1. 降低高度适配打印机，顺带减轻结构重量
2. 在夹臂内部增加凸纹加大摩擦
3. 在应力最大处增加圆角解决应力集中，并降低了最大应力

2、筷子夹结构有限元分析

有限元参数

网格方法：自动划分

网格尺寸：0.002m

载荷方法：0.5kg 的力分别作用在夹子部分面

固定方法：底面固支

结构 I (Version 1)

1.1 结构图

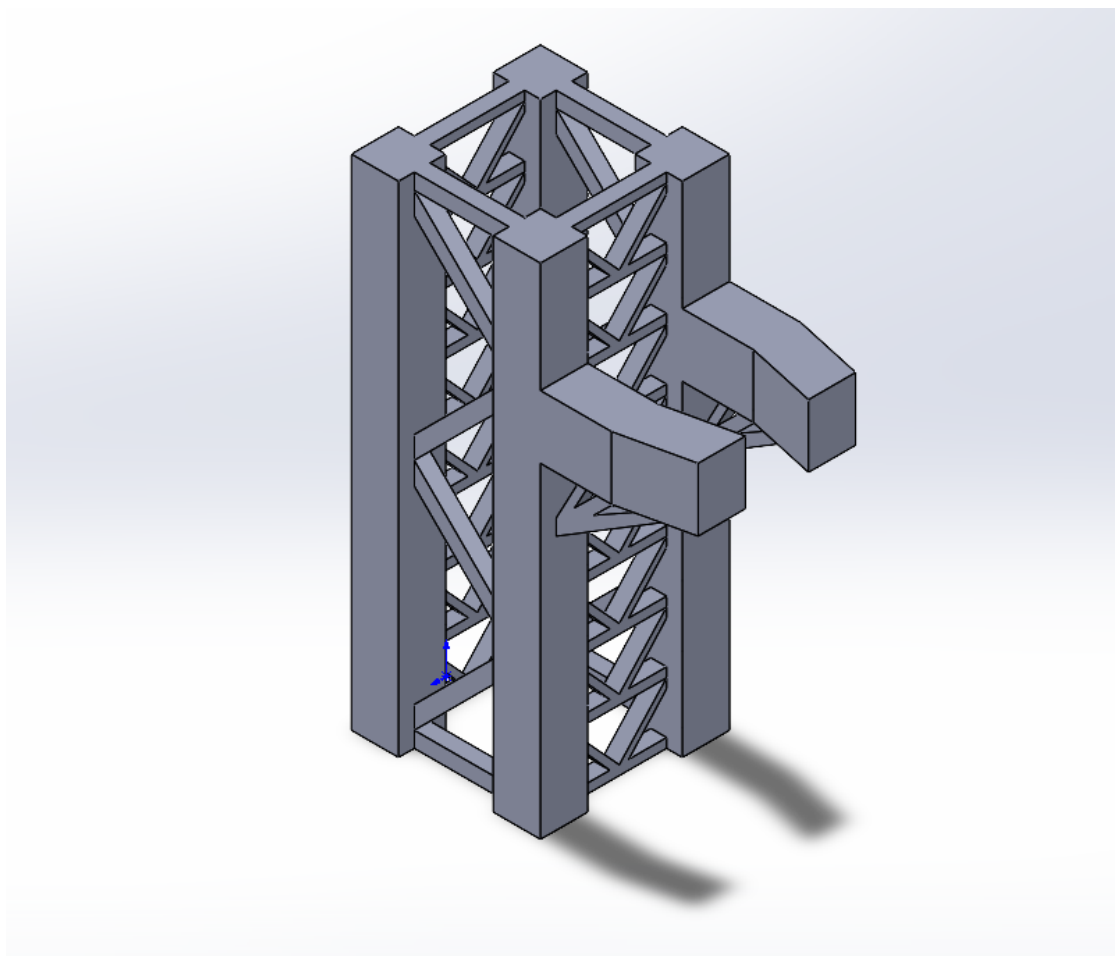


Fig1.1

1.2 载荷作用后结构的变形

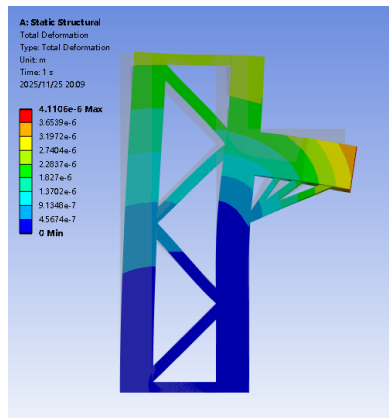


Fig1.2 左视图

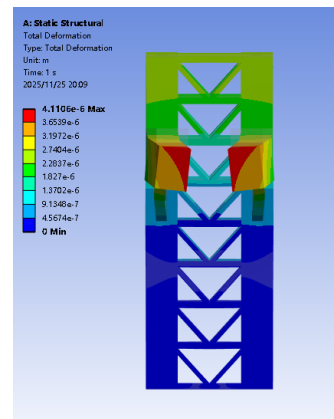


Fig1.3 主视图

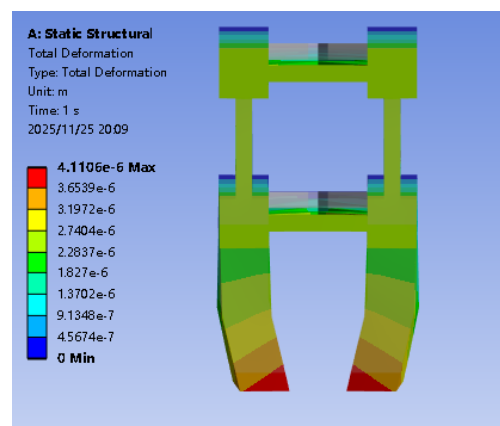


Fig1.4 俯视图

1.3 载荷作用后结构的应力分布

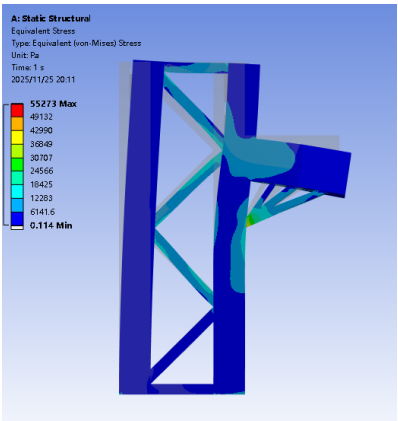


Fig1.5 左视图

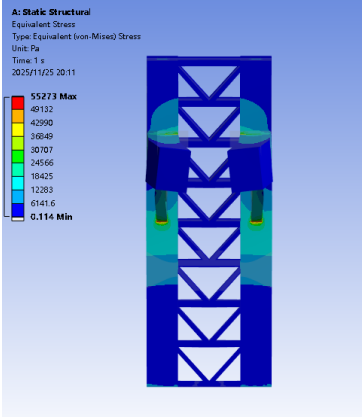


Fig1.6 主视图

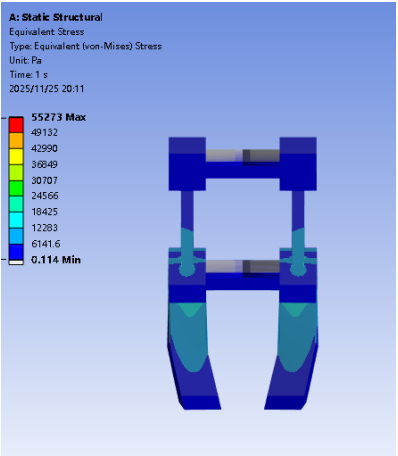
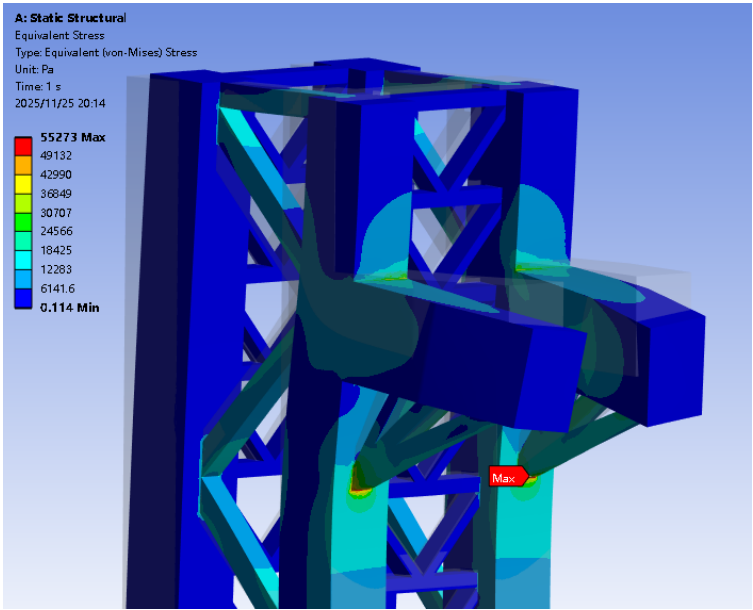


Fig1.7 俯视图

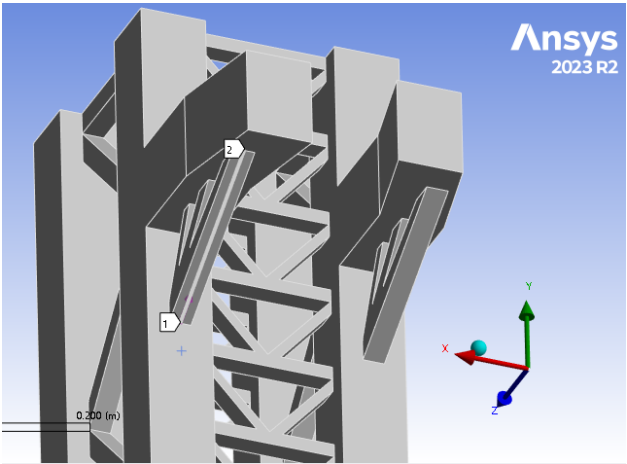
1.4 结构应力分析



最大应力 $\sigma_{\max} = 0.055273\text{MPa} \ll$ 拉伸强度（41 – 50）MPa

1.5 危险路径的应力曲线分析

路径 1



路径 1 的正应力和剪应力曲线分布

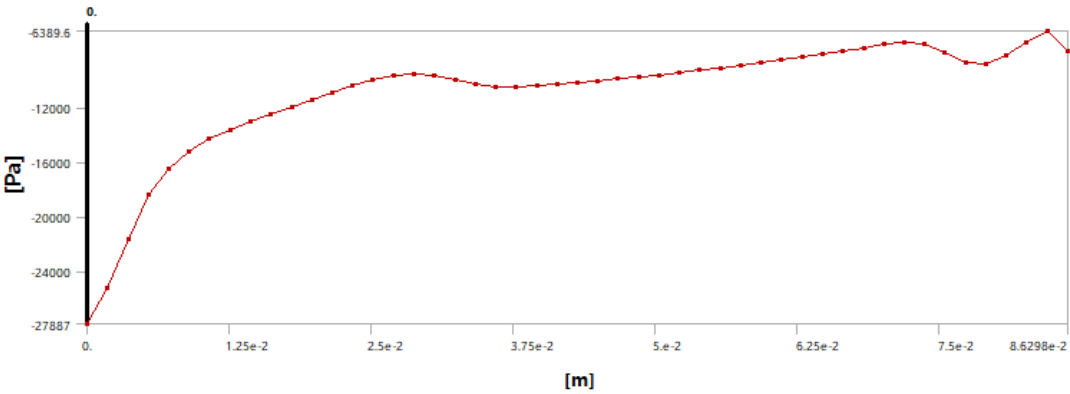


Fig1.8 σ_x 分布

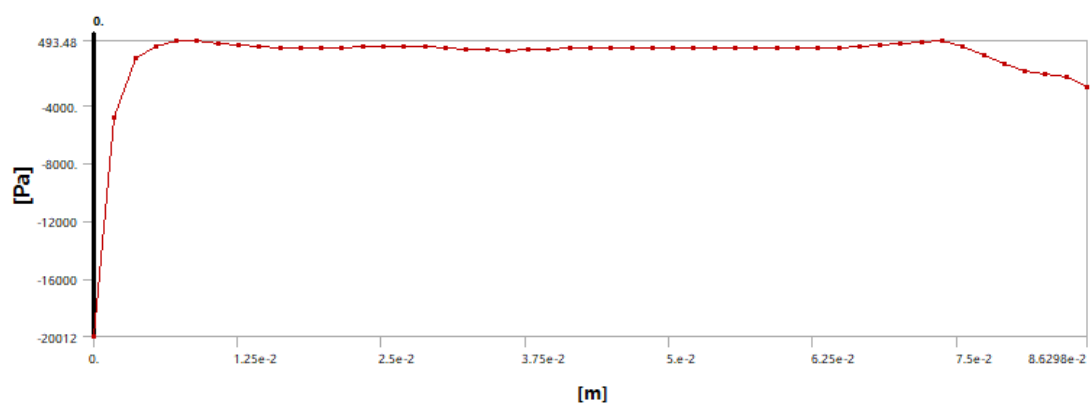


Fig1.9 σ_y 分布

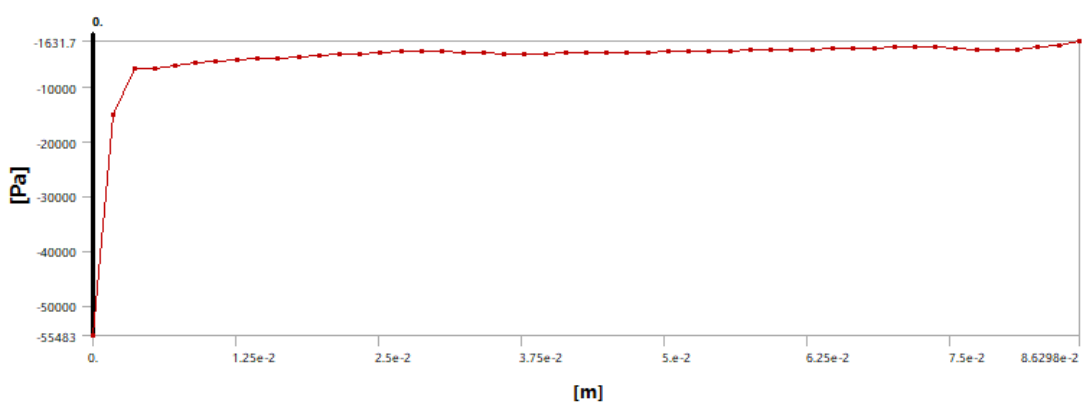


Fig1.10 σ_z 分布

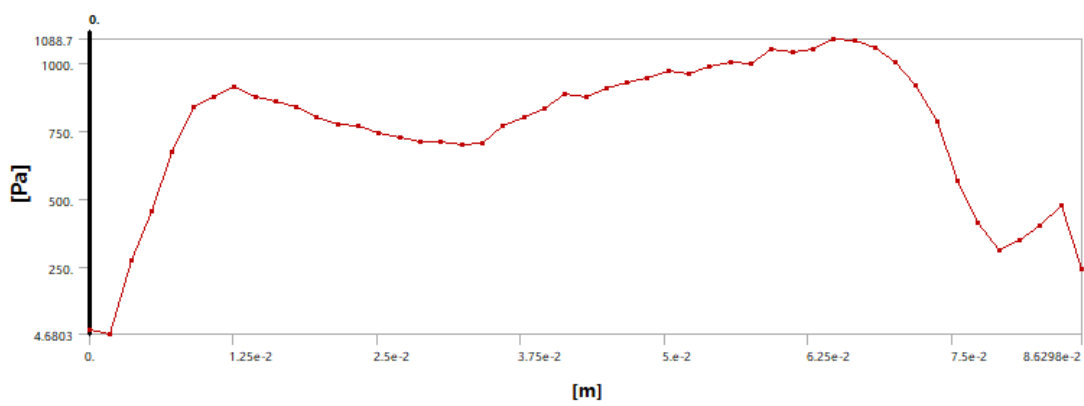


Fig1.11 τ_{xy} 分布

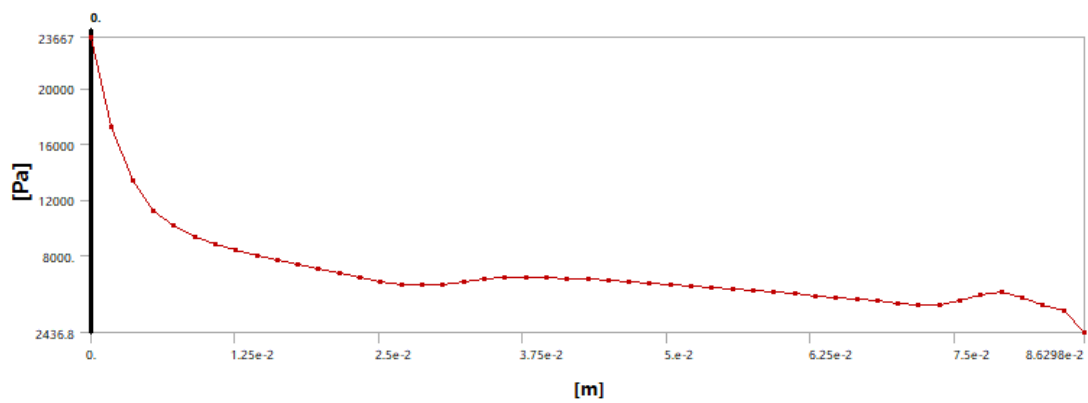


Fig1.12 τ_{yz} 分布

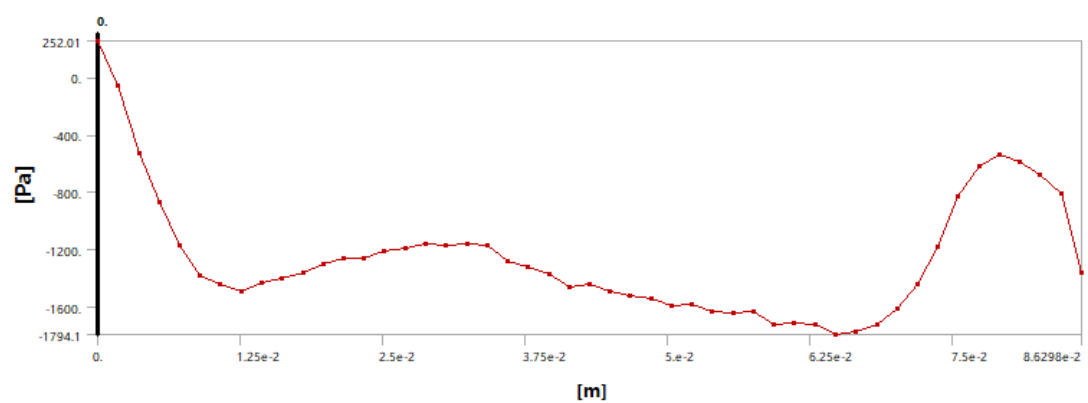
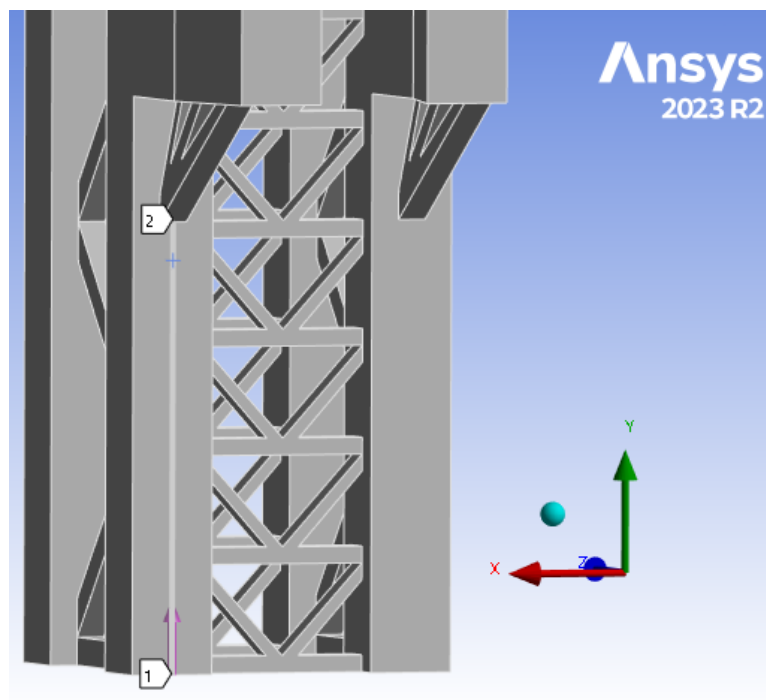


Fig1.13 τ_{xz} 分布

路径 2



路径 2 的正应力和剪应力曲线分布

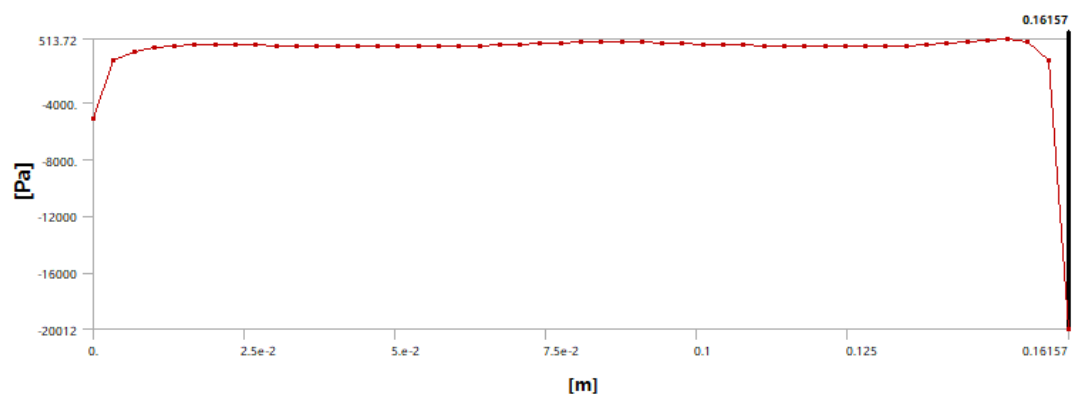


Fig1.14 σ_x 分布

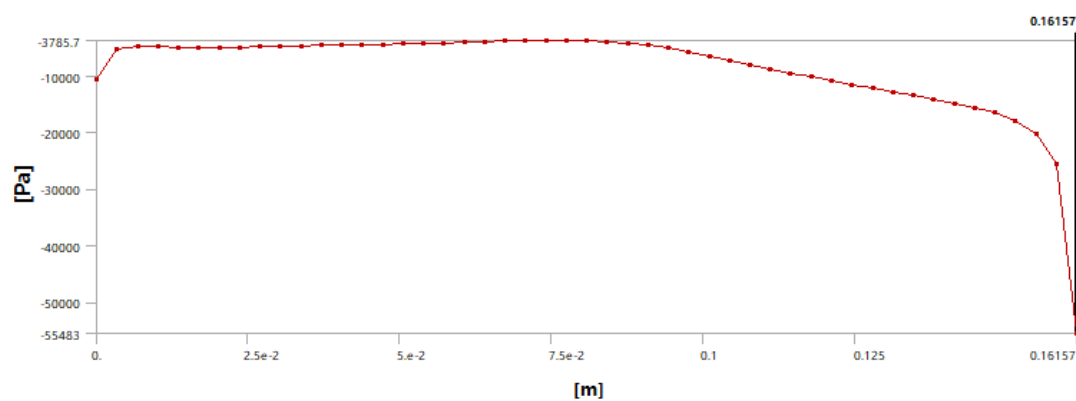


Fig1.15 σ_y 分布

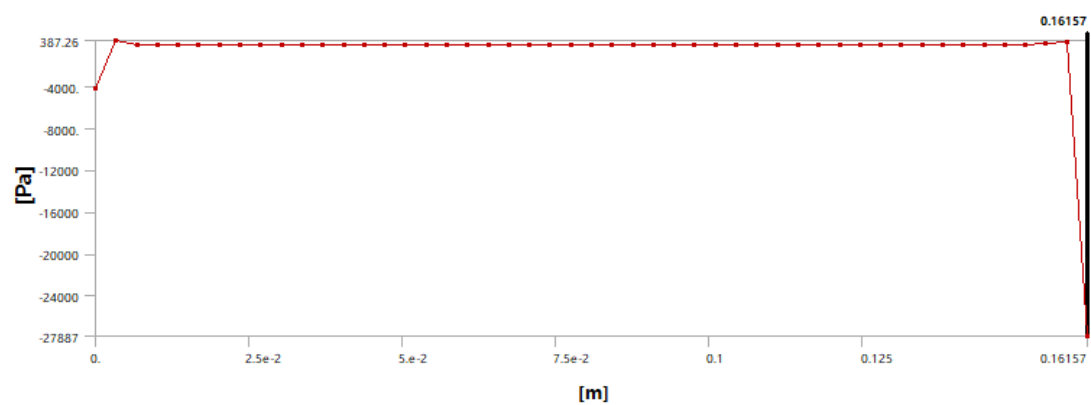


Fig1.16 σ_z 分布

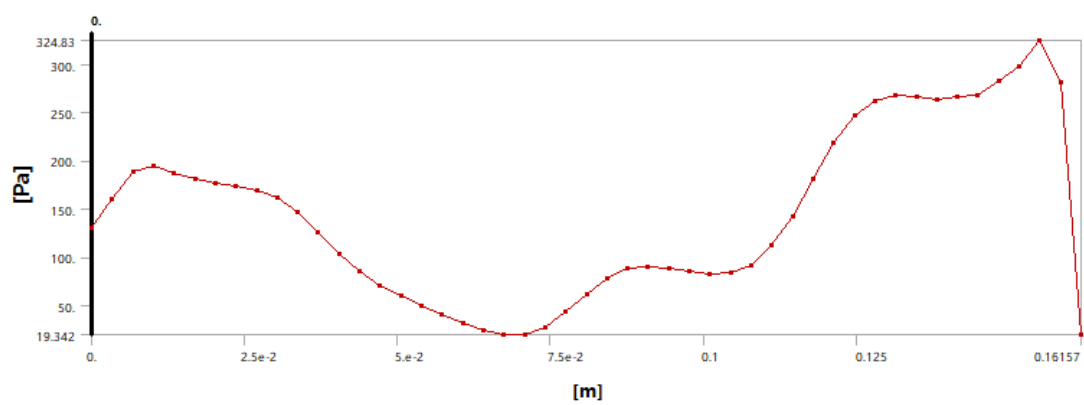


Fig1.16 τ_{xy} 分布

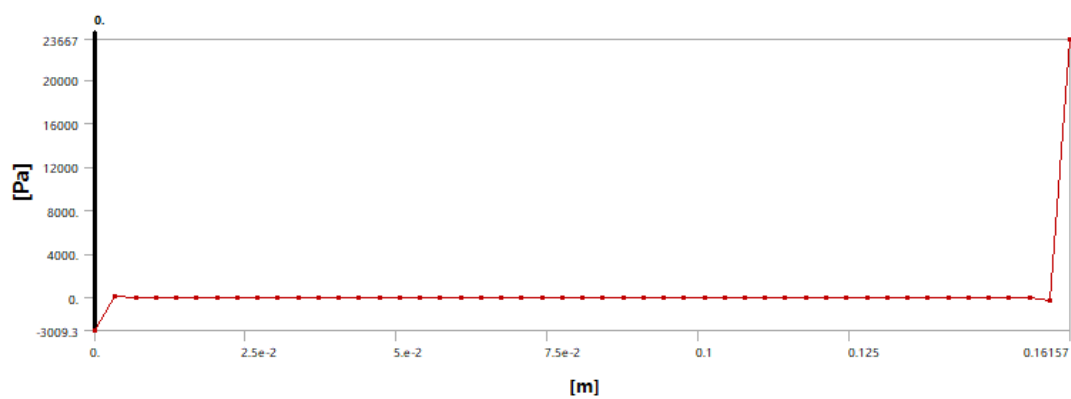


Fig1.17 τ_{yz} 分布

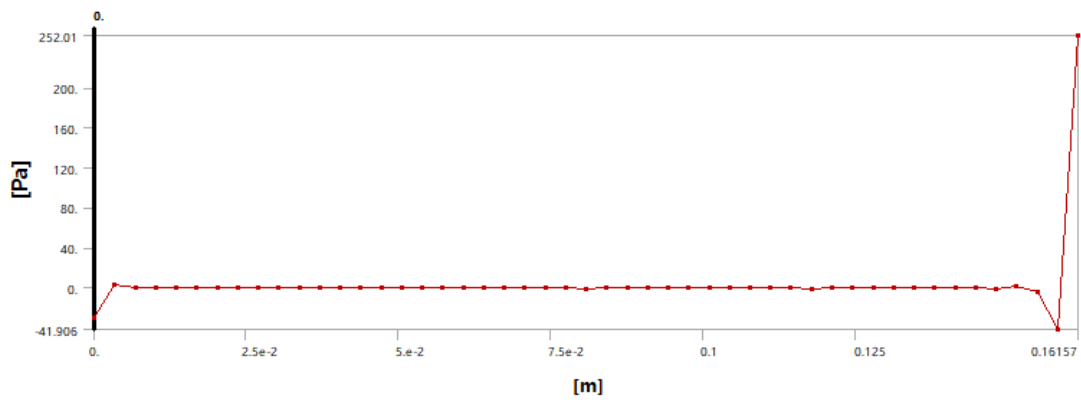


Fig1.18 τ_{xz} 分布

结构 II (Version 2)

2.1 结构图

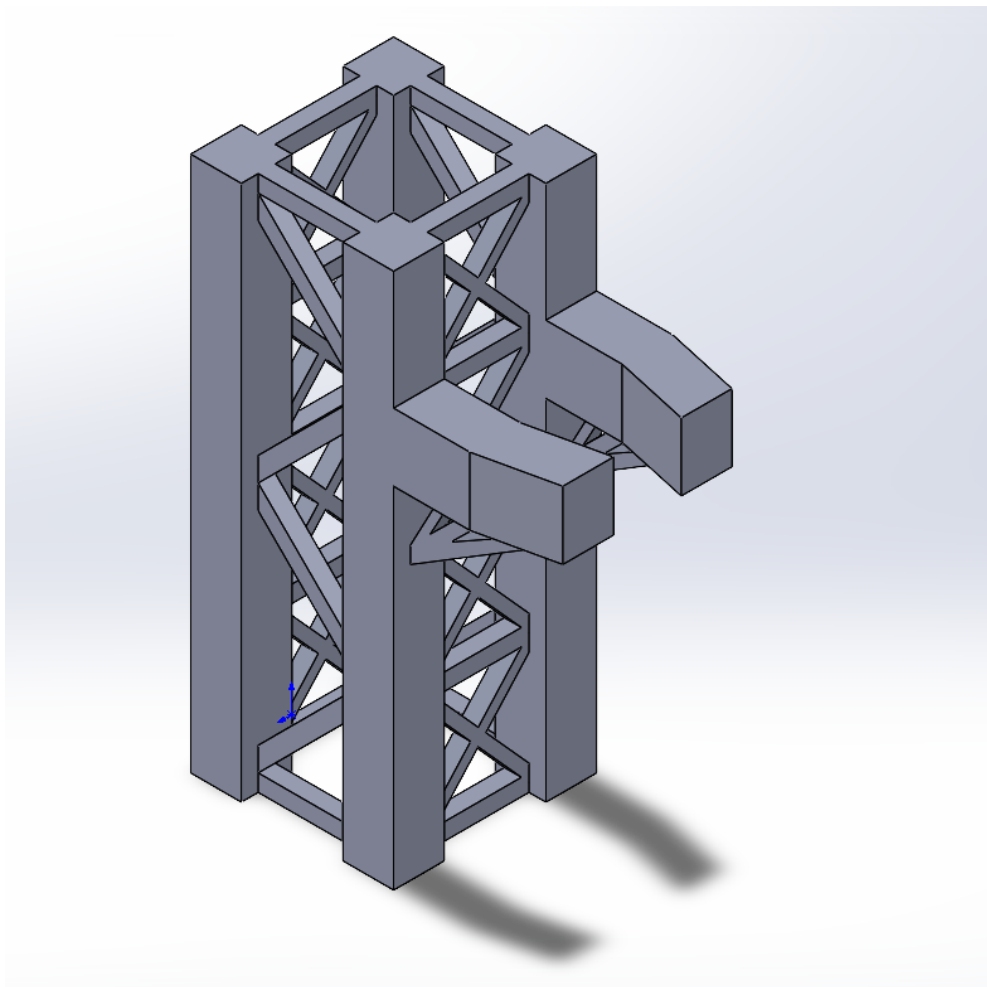


Fig2.1

2.2 载荷作用后结构的变形

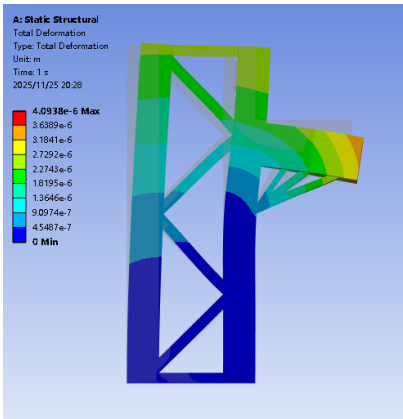


Fig2.2 左视图

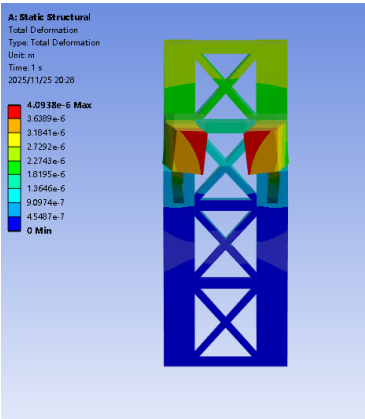


Fig2.3 主视图

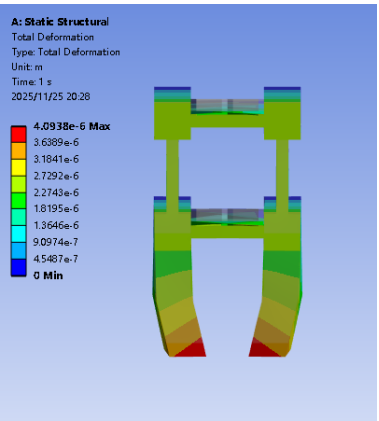


Fig2.4 俯视图

2.3 载荷作用后结构的应力分布

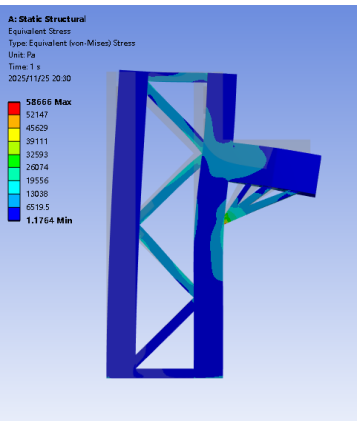


Fig2.5 左视图

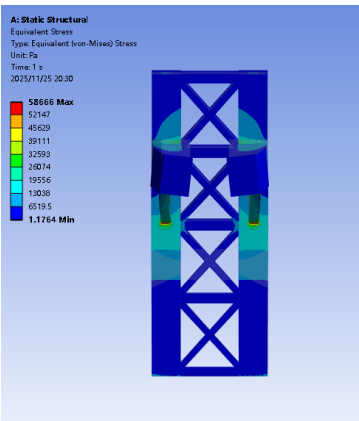


Fig2.6 主视图

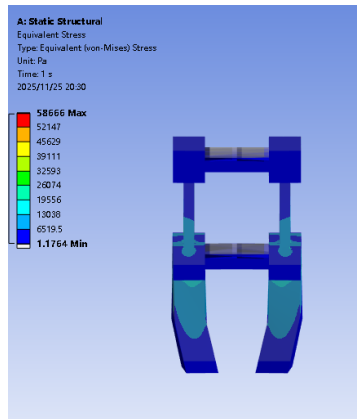
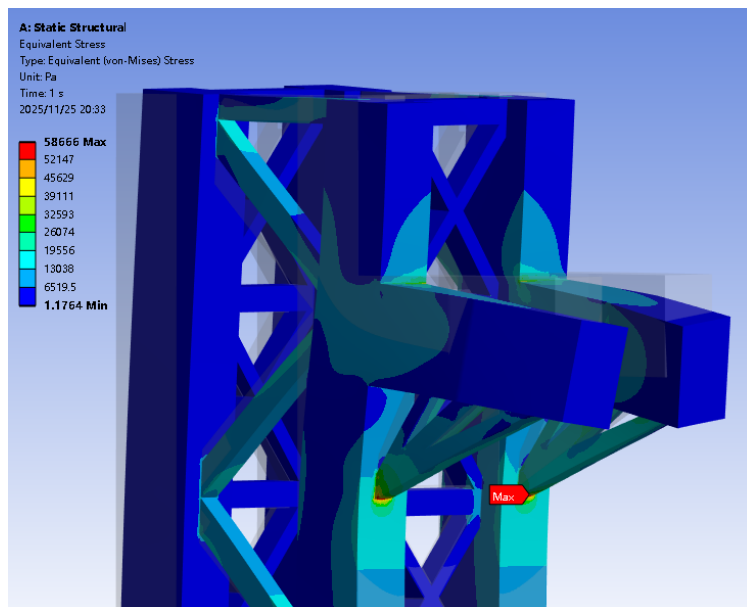


Fig2.7 俯视图

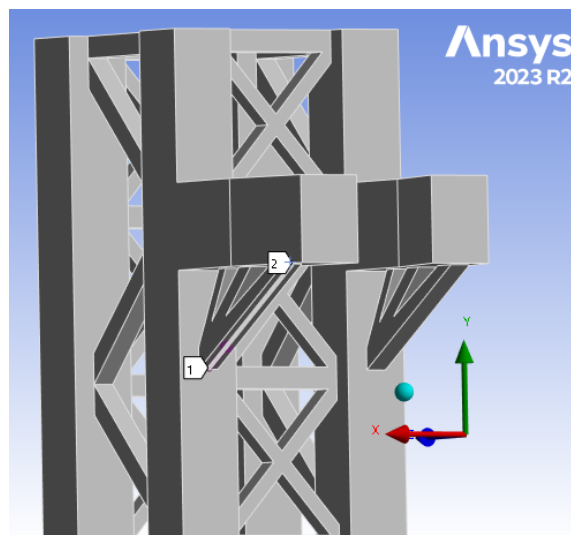
2.4 结构应力分析



最大应力 $\sigma_{\max} = 0.058666\text{MPa} \ll \text{拉伸强度} (41 - 50) \text{MPa}$

2.5 危险路径的应力曲线分析

路径 1



路径 1 的正应力和剪应力曲线分布

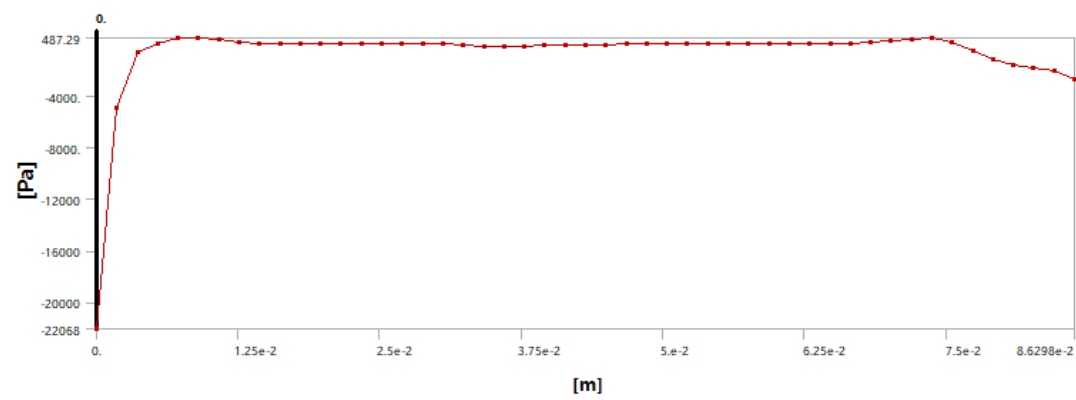


Fig2.8 σ_x 分布

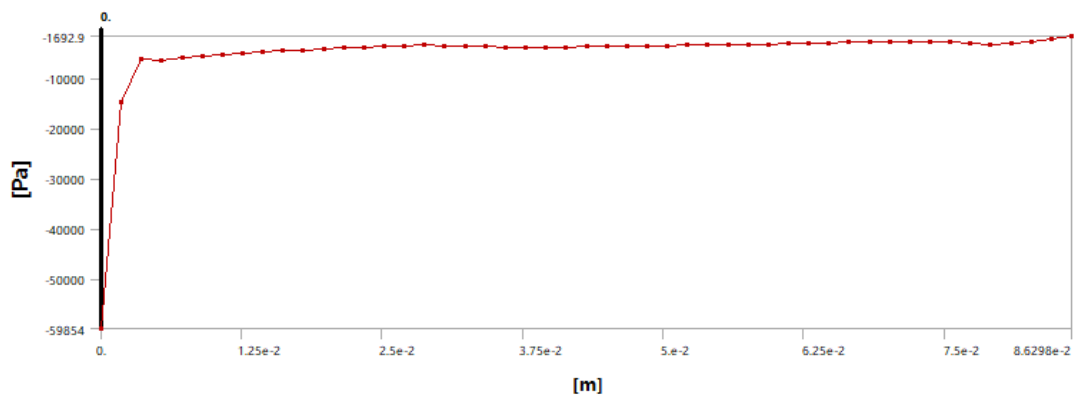


Fig2.9 σ_y 分布

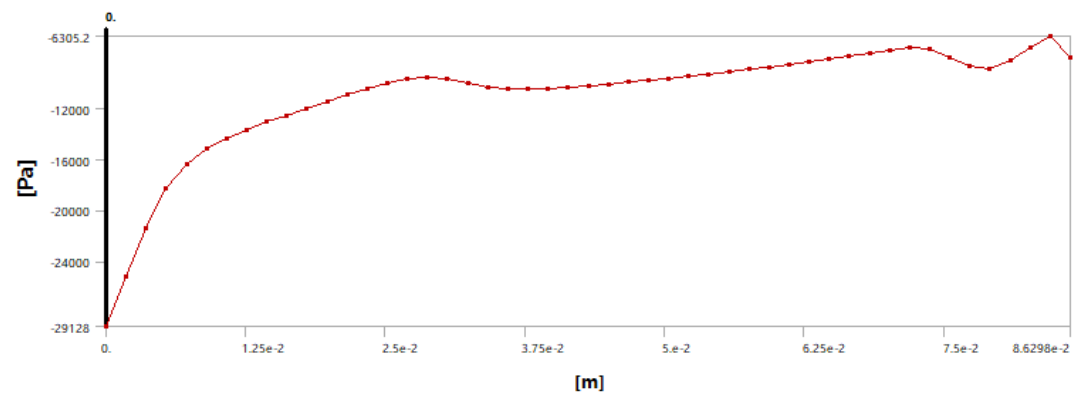


Fig2.10 σ_z 分布

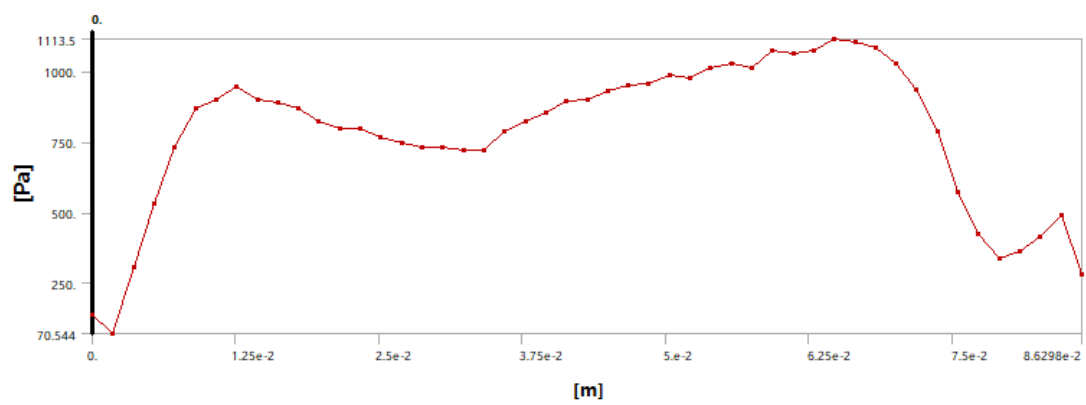


Fig2.11 τ_{xy} 分布

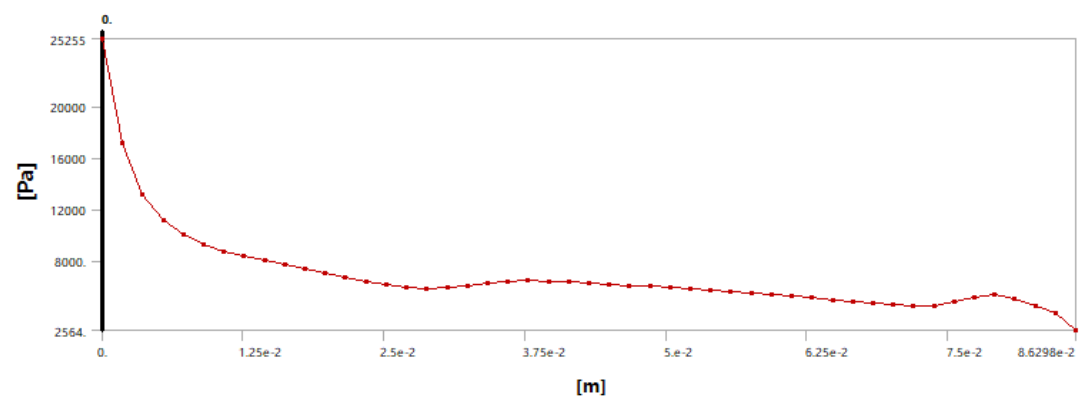


Fig2.12 τ_{yz} 分布

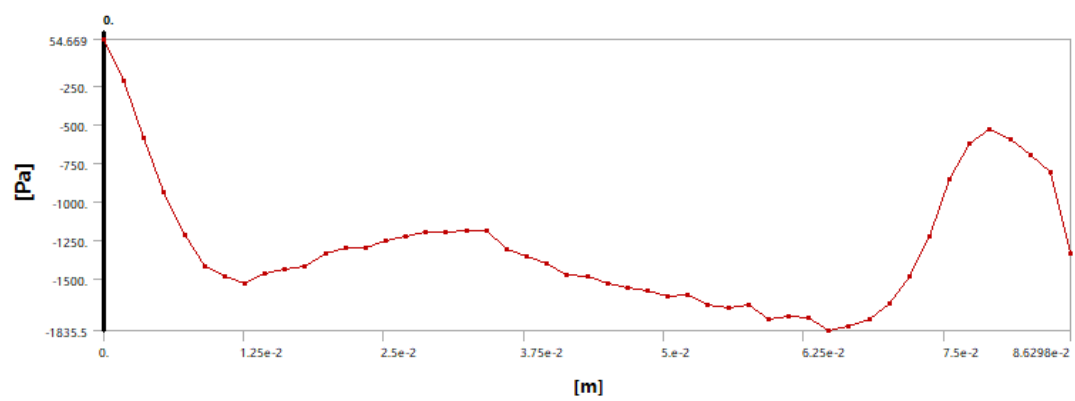
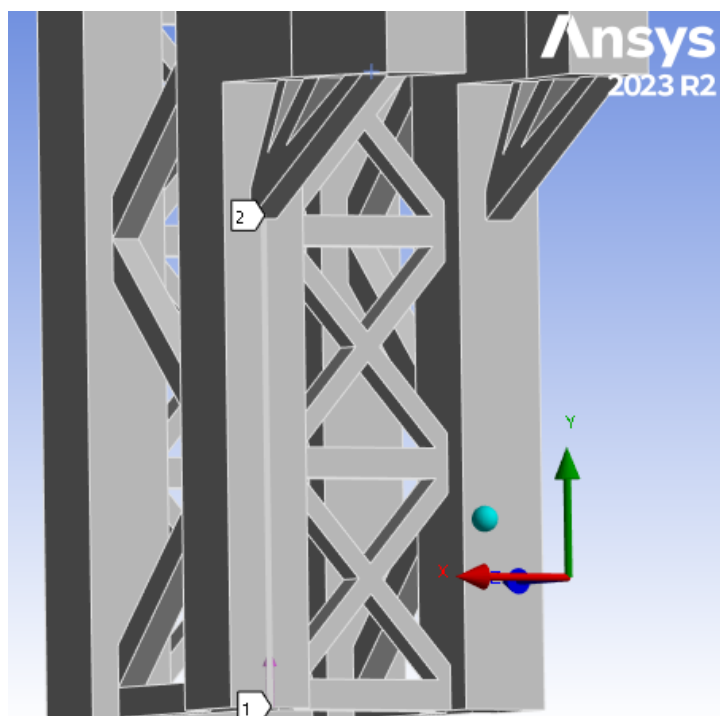


Fig2.13 τ_{xz} 分布

路径 2



路径 2 的正应力和剪应力曲线分布

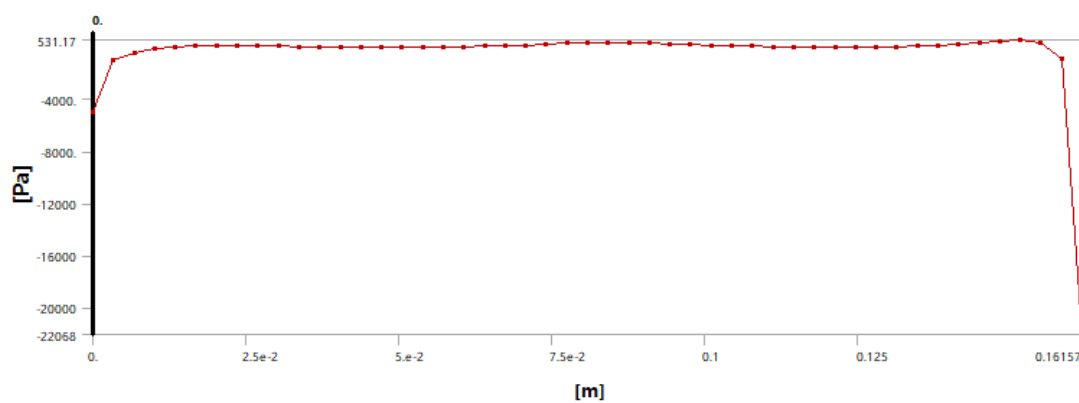


Fig2.14 σ_x 分布

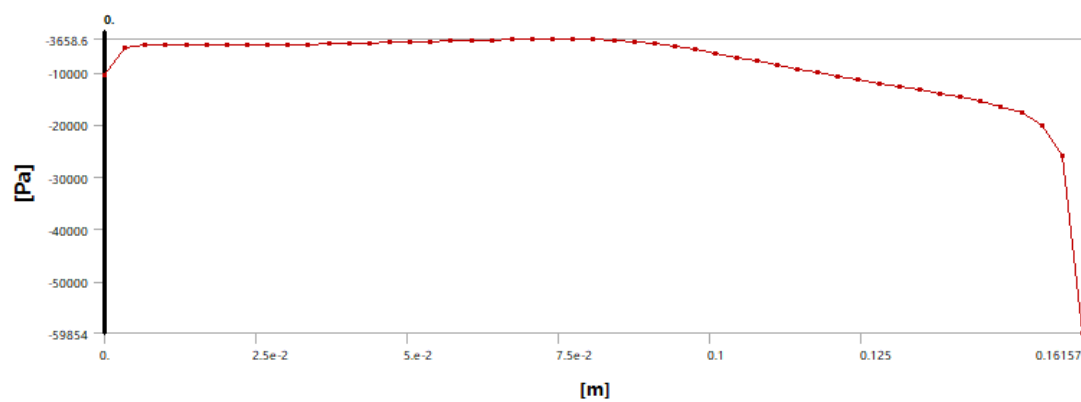


Fig2.15 σ_y 分布

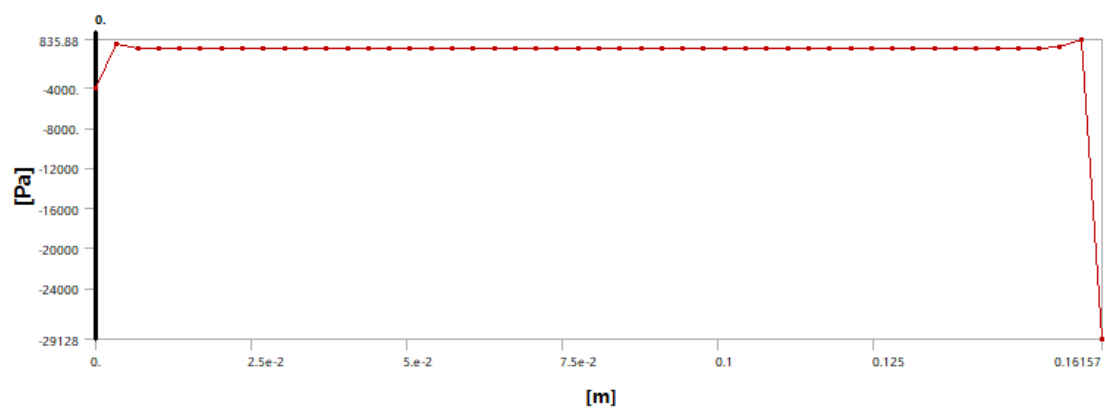


Fig2.16 σ_z 分布

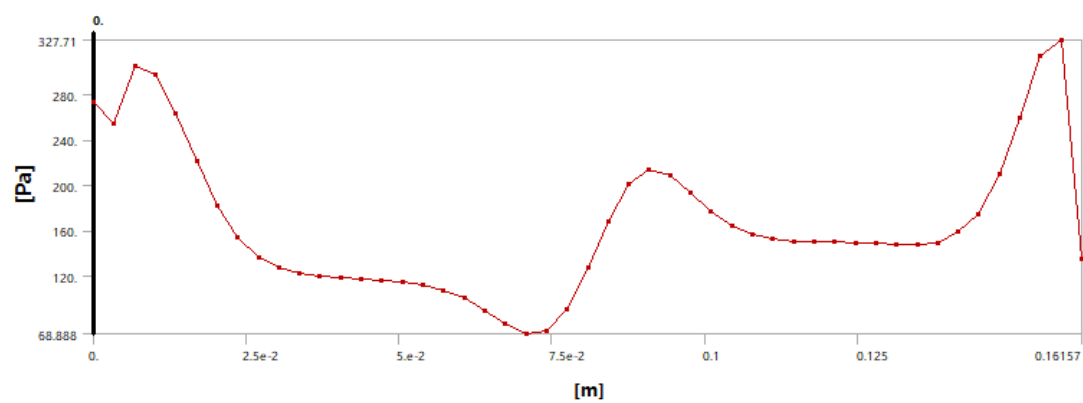


Fig2.17 τ_{xy} 分布

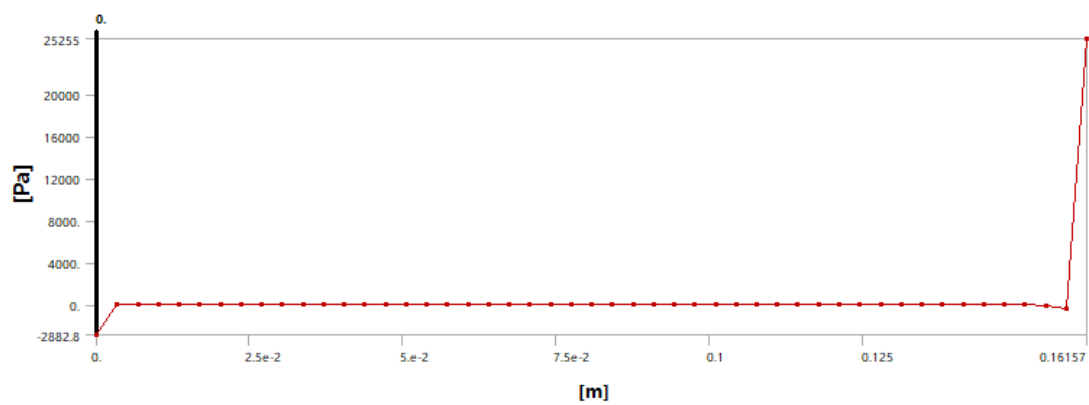


Fig2.18 τ_{yz} 分布

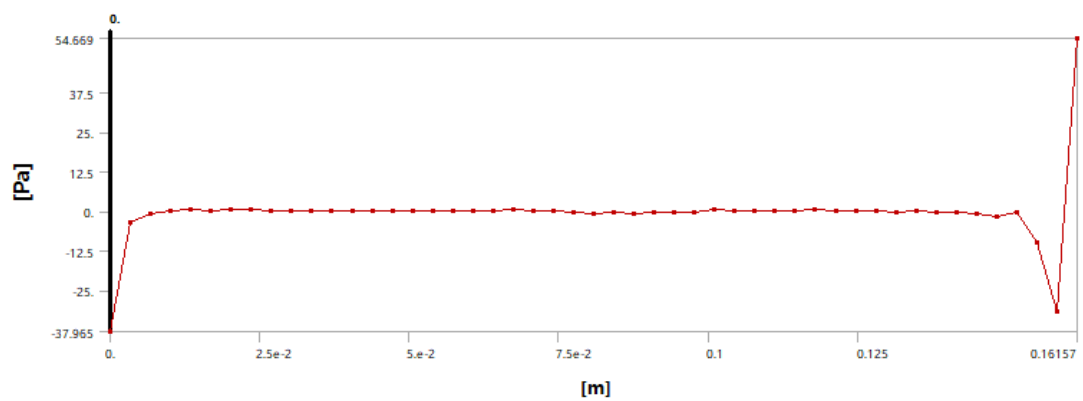


Fig2.19 τ_{xz} 分布

结构 III (Version1 Opt)

3.1 结构图

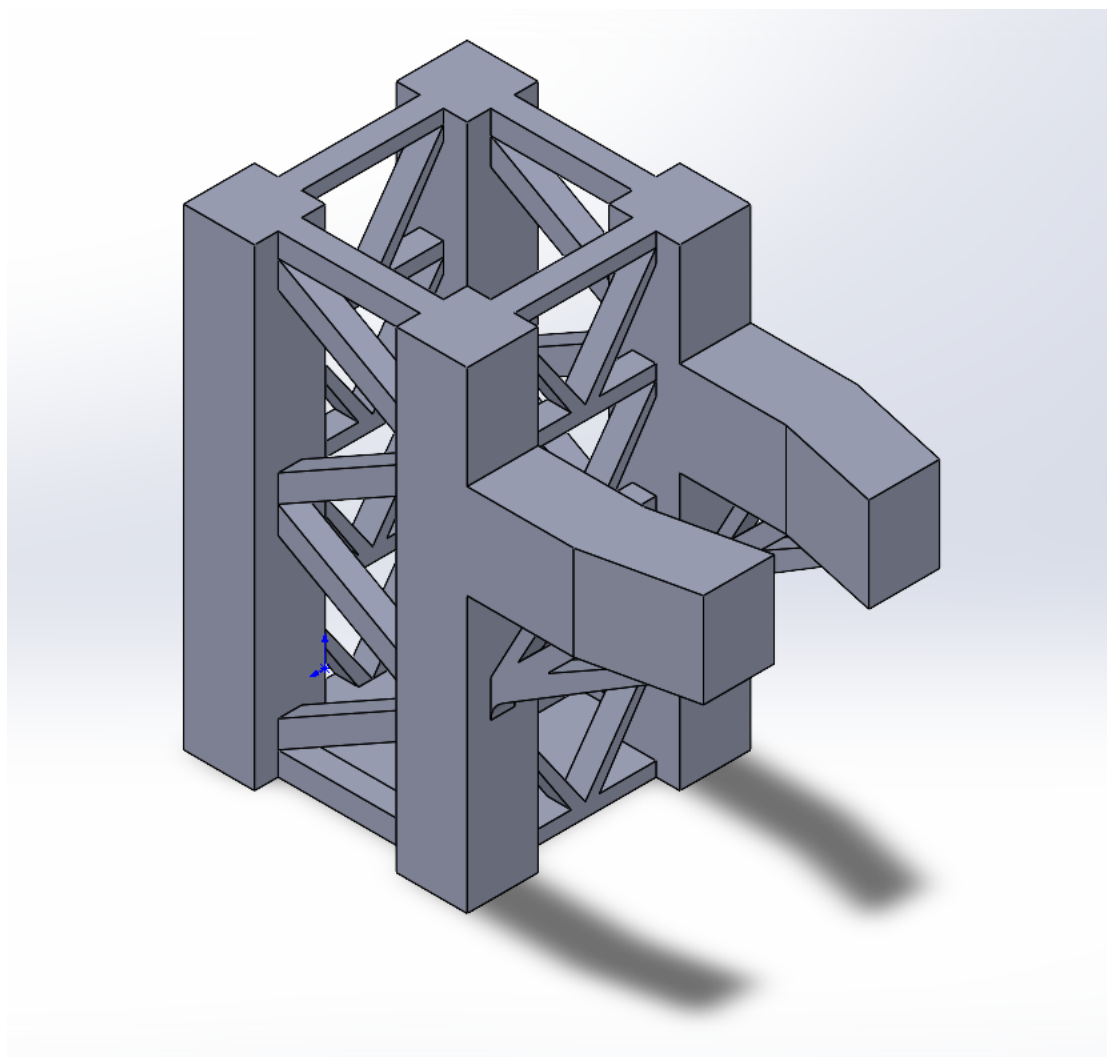


Fig3.1

3.2 载荷作用后结构的变形

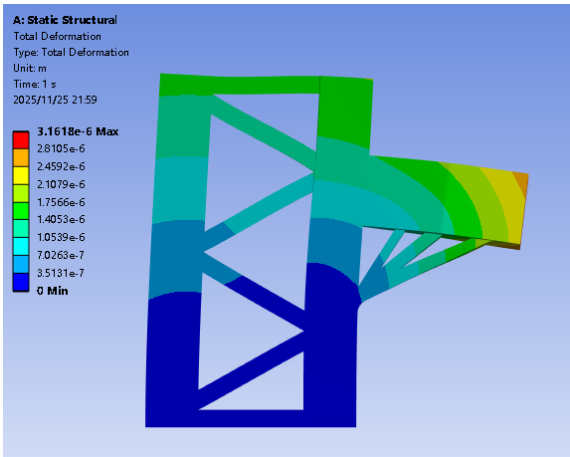


Fig3.2 左视图

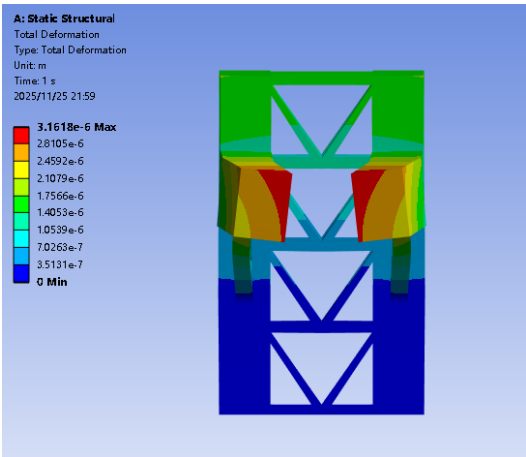


Fig3.3 主视图

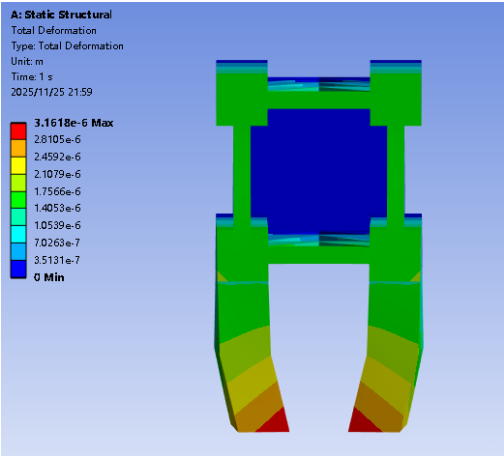


Fig3.4 俯视图

3.3 载荷作用后结构的应力分布

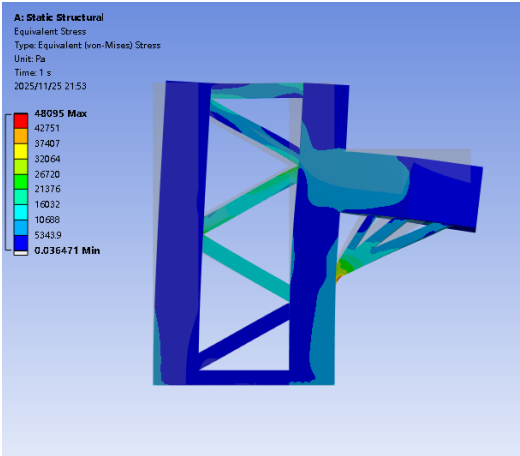


Fig3.5 左视图

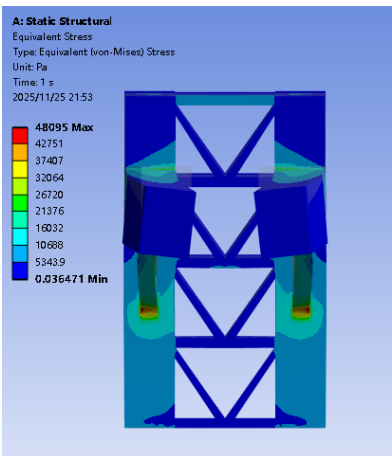


Fig3.6 主视图

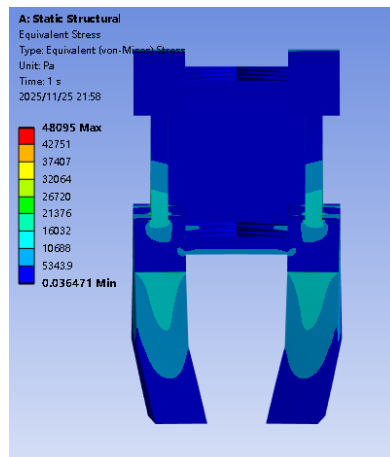
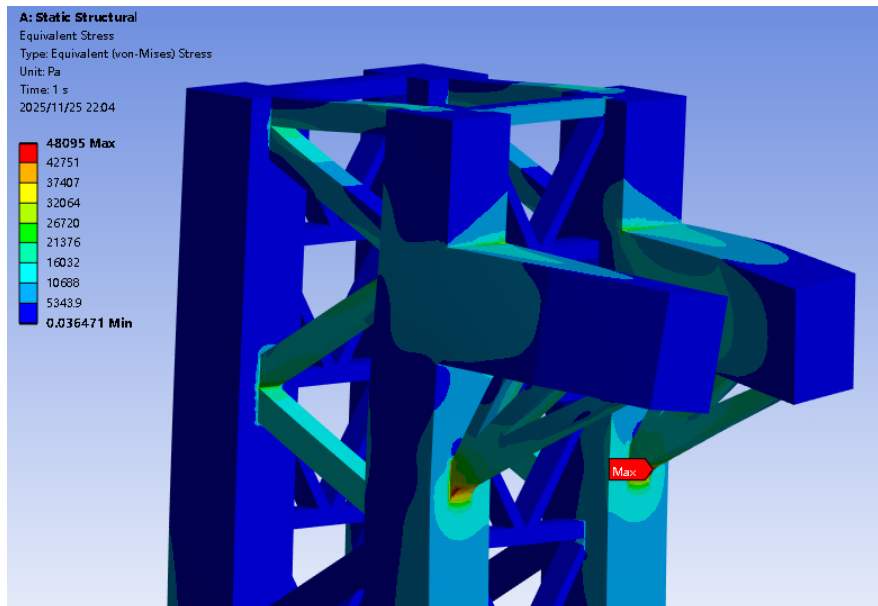


Fig3.7 俯视图

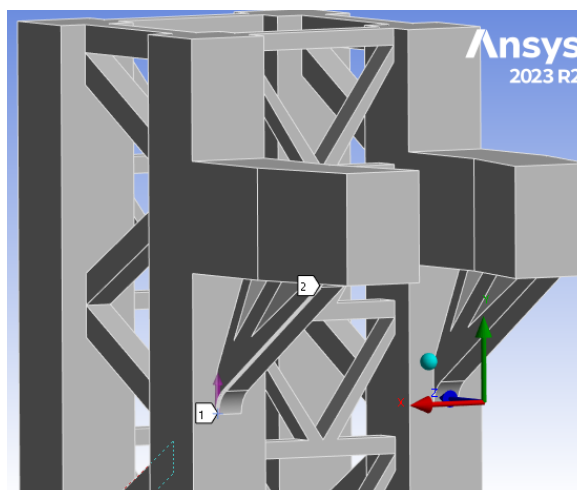
3.4 结构应力分析



最大应力 $\sigma_{\max} = 0.048095\text{MPa} \ll \text{拉伸强度 (41 - 50) MPa}$

3.5 危险路径的应力曲线分析

路径 1



路径 1 的正应力和剪应力曲线分布

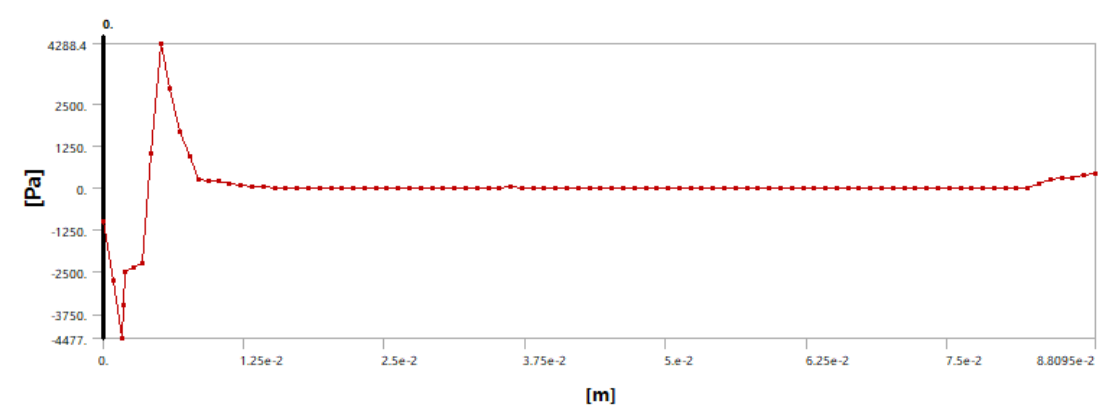


Fig3.8 σ_x 分布

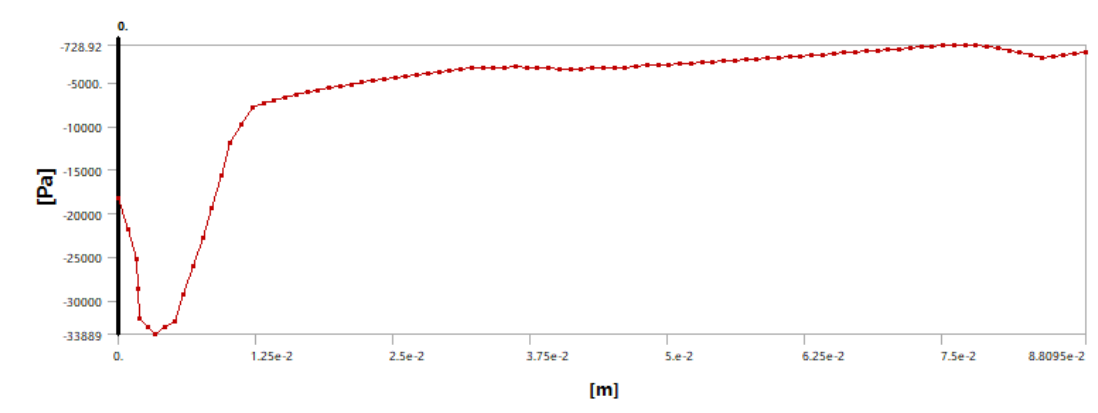


Fig3.9 σ_y 分布

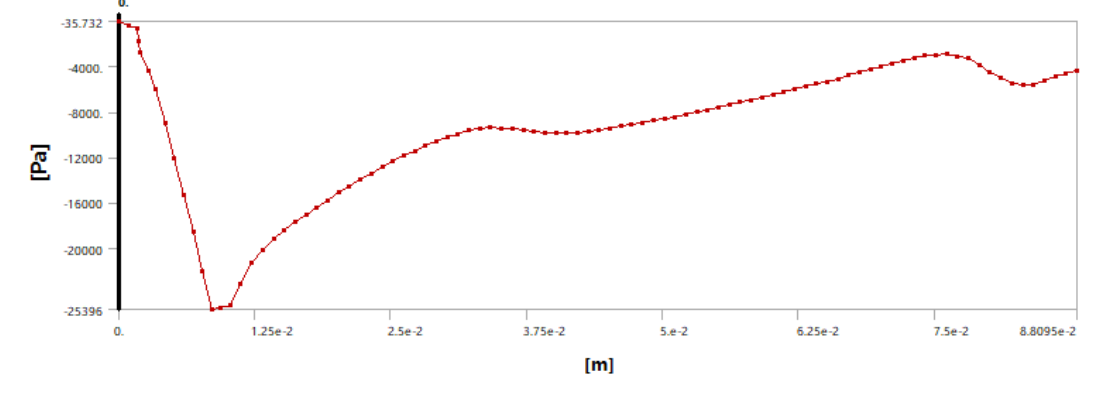


Fig3.10 σ_z 分布

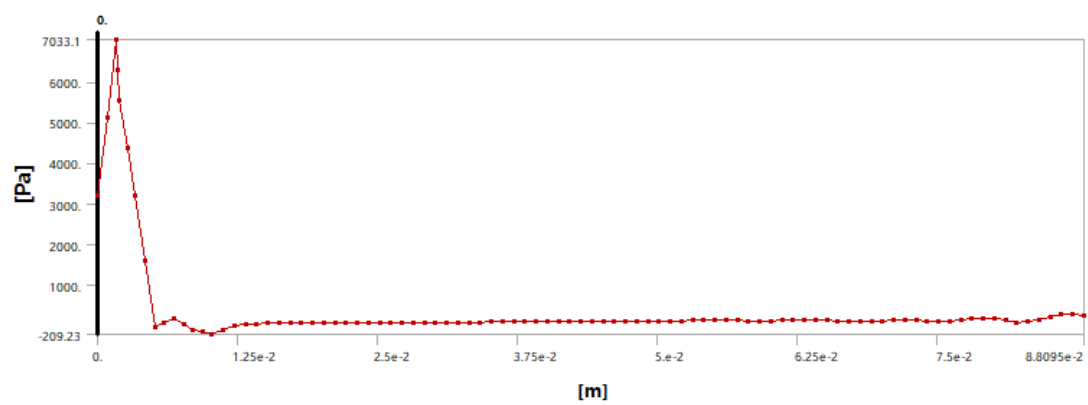


Fig3.11 τ_{xy} 分布

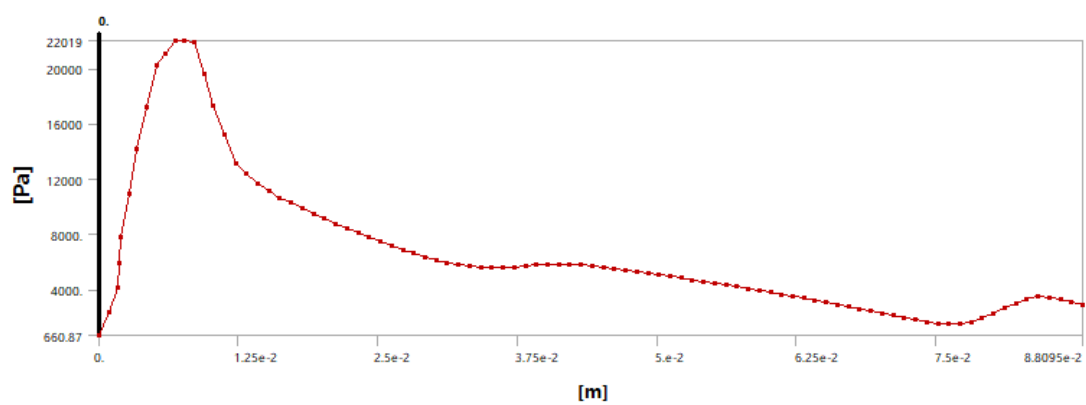


Fig3.12 τ_{yz} 分布

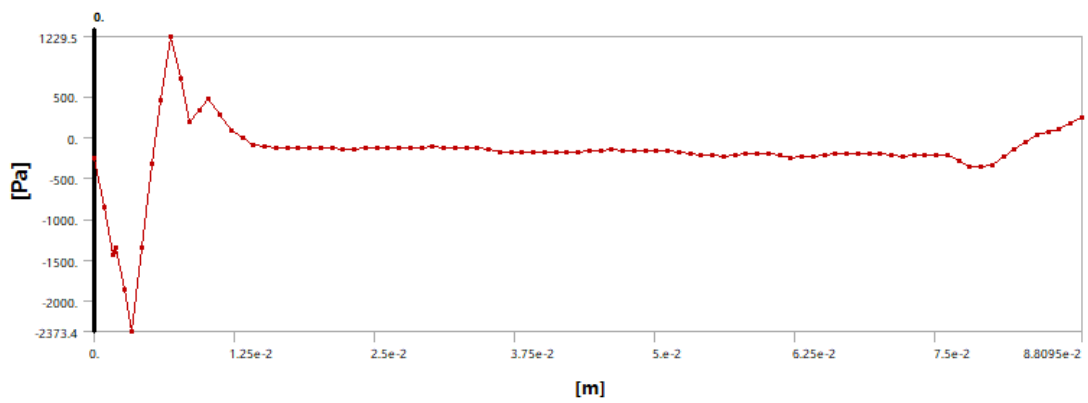
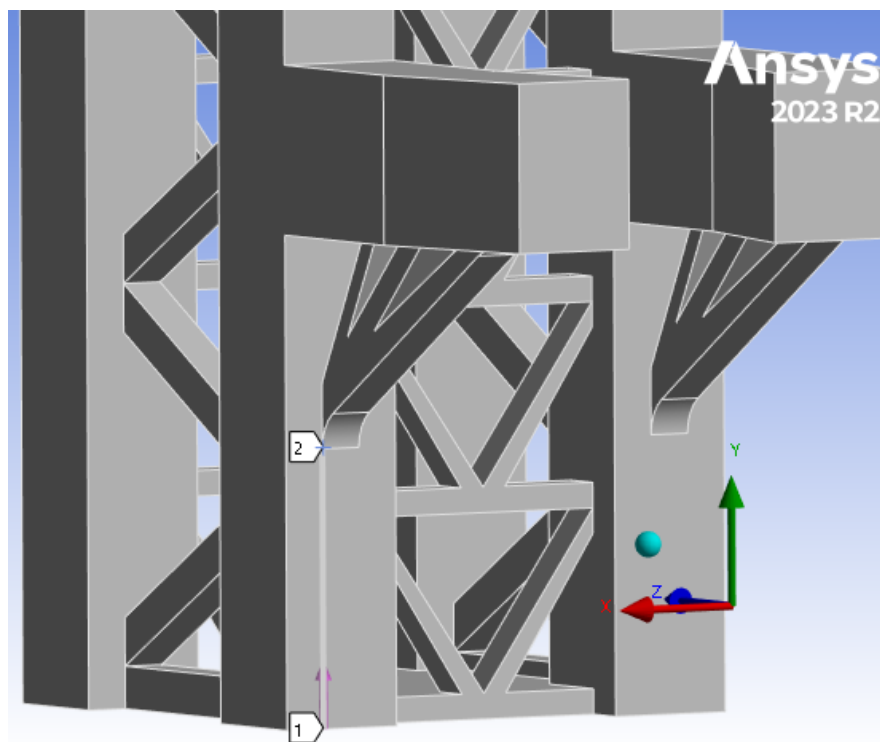


Fig3.13 τ_{xz} 分布

路径 2



路径 2 的正应力和剪应力曲线分布

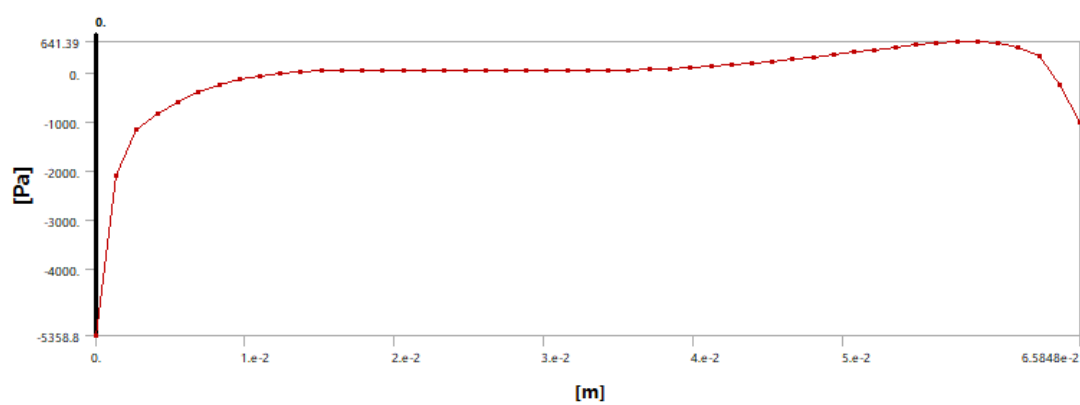


Fig3. 14 σ_x 分布

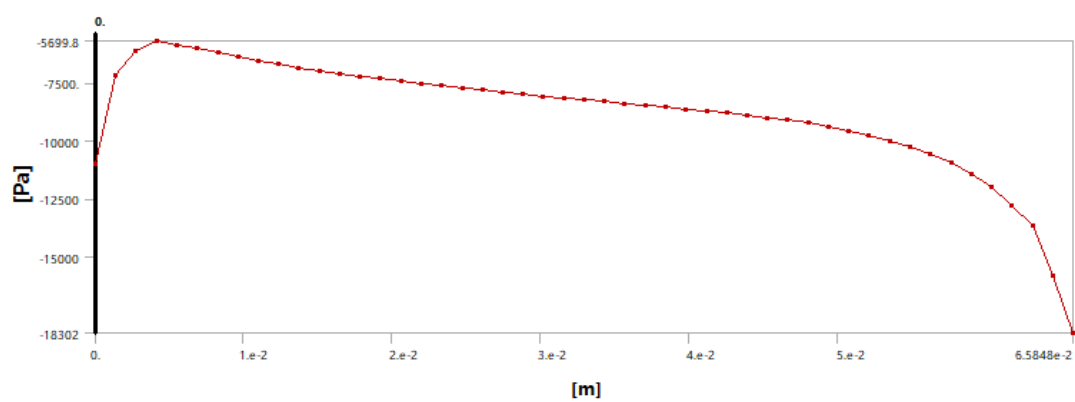


Fig3. 15 σ_y 分布

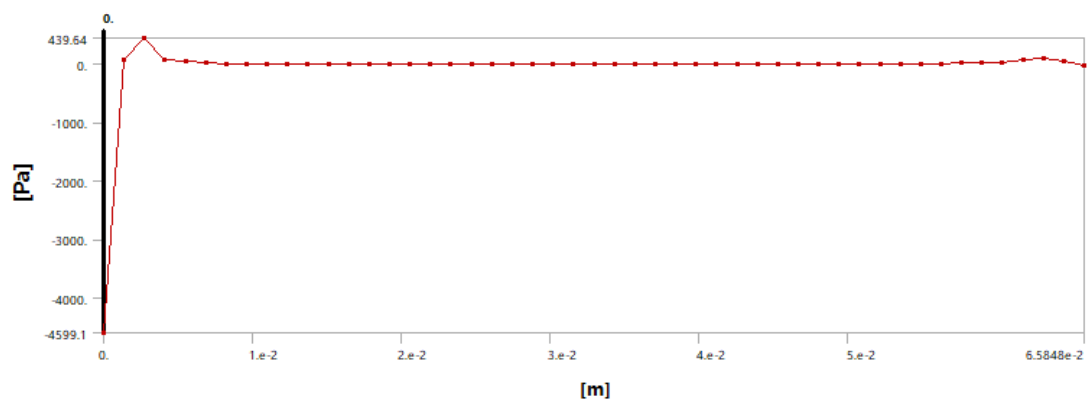


Fig3.16 σ_z 分布

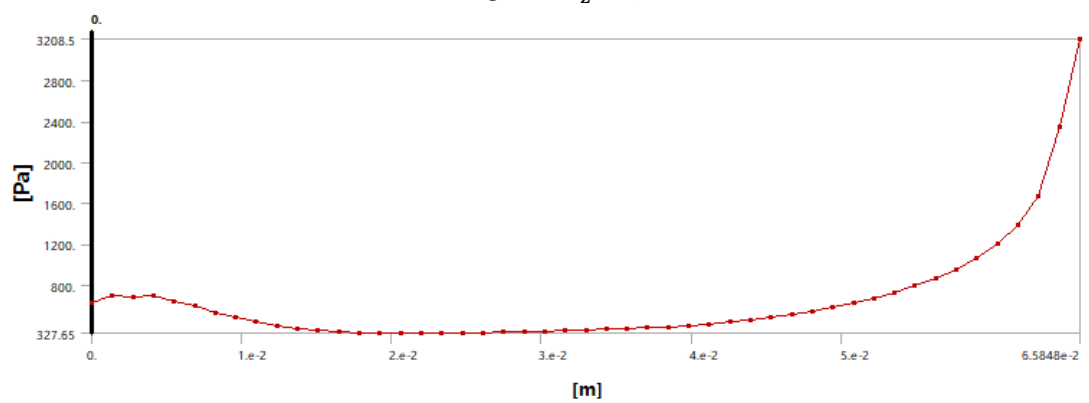


Fig3.17 τ_{xy} 分布

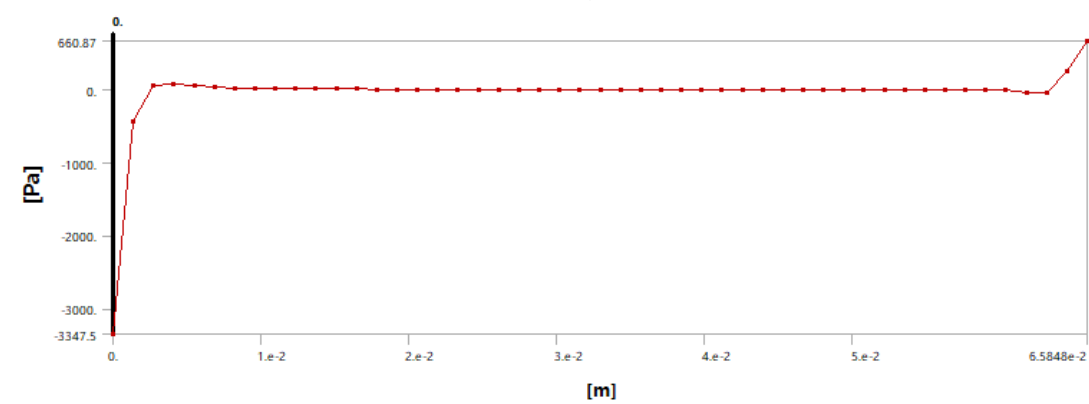


Fig3.18 τ_{yz} 分布

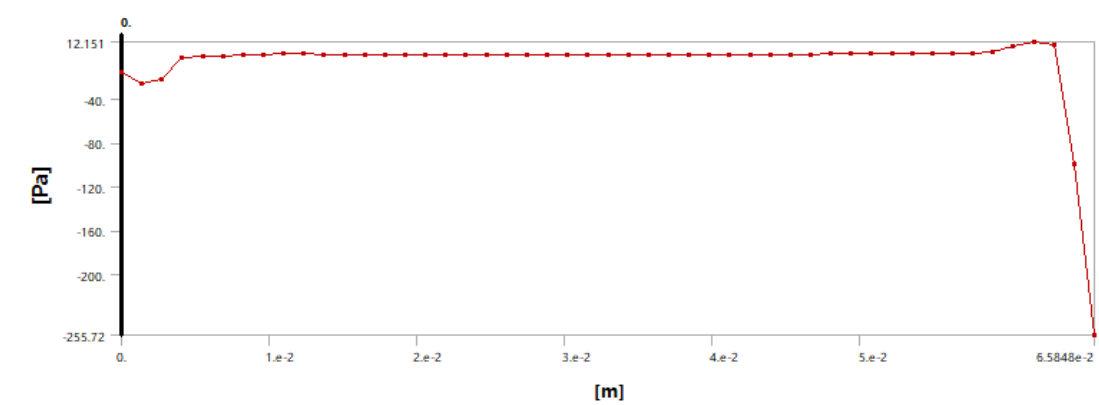


Fig3.19 τ_{xz} 分布

3、缺陷与展望：

实物打印出来后，与其他组对比发现质量和体积过于大，根据有限元分析，安全系数数量级为 $1e3$ ，选择这么大的安全系数主要是为了保证结构的绝对安全，也因此得到了能站人的好结果，但这在工程中是不可接受的，结构具有极大的冗余，那么优化方案可以从缩小体积，优化结构出发。

原结构中四根支柱是实心的，可以将其也换为由更小杆搭建起的桁架，此外，支柱间侧面的连接杆也可以替换成更细的杆，然后复杂化；

夹臂本身也可以替换为桁架结构，不过一定要考虑结构改变后它刚性的变化，原结构夹臂间距只比农夫山泉水瓶小 2mm，依靠着弹力压紧表面，产生摩擦力来支撑住水瓶，改换结构后，刚性变小，形变变大，弹力变小，摩擦力可能难以支撑，需要缩小间距，其中水瓶弹力产生的摩擦力难以量化，实际尝试时可能要经过几次迭代；

第三处改进可以替换夹臂底部的支撑杆，原来的支撑杆太过简单，冗余很大的情况下不会有问题，但换为桁架结构后，应力不可避免的会集中在根部，导致其断裂，改进方法可以将支撑换为纵向的肋板，或者是利用桁架结构。

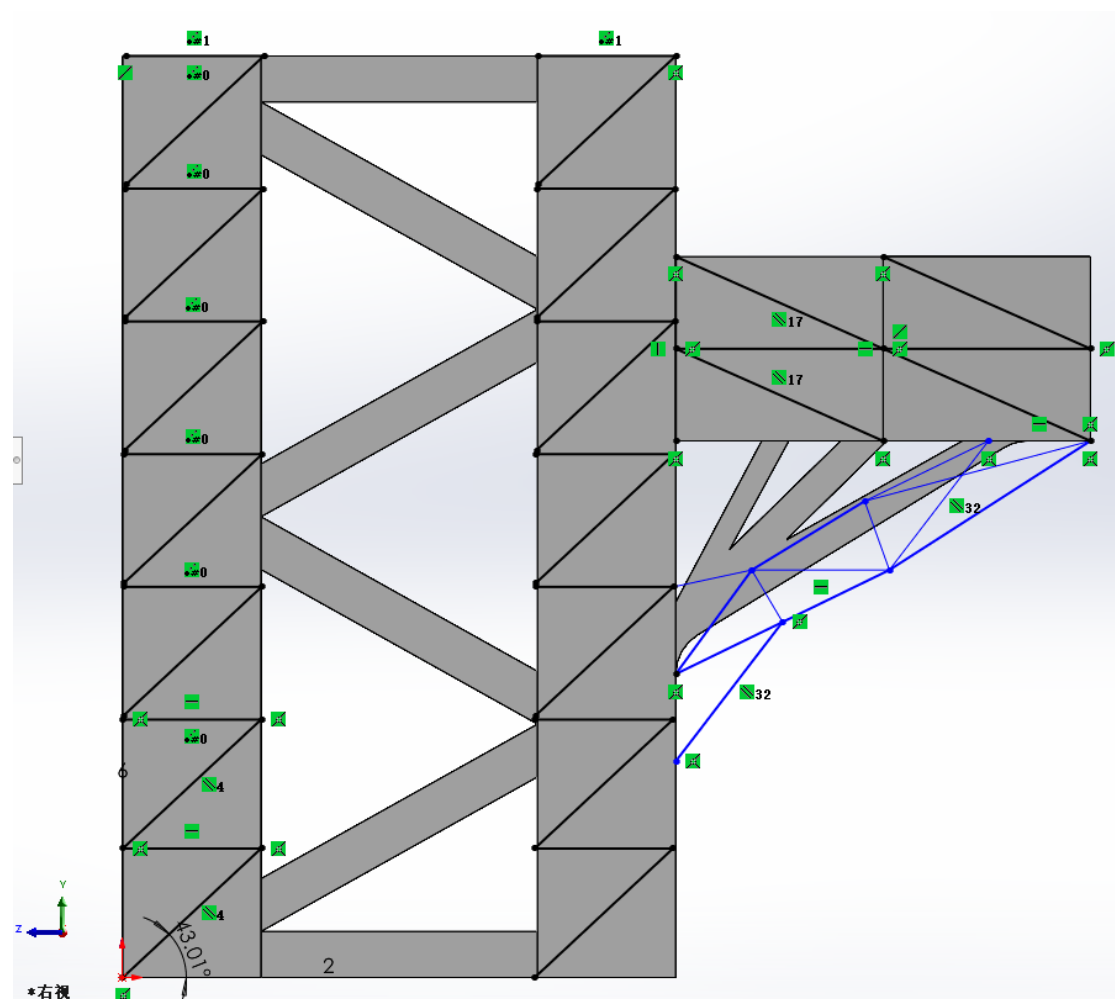
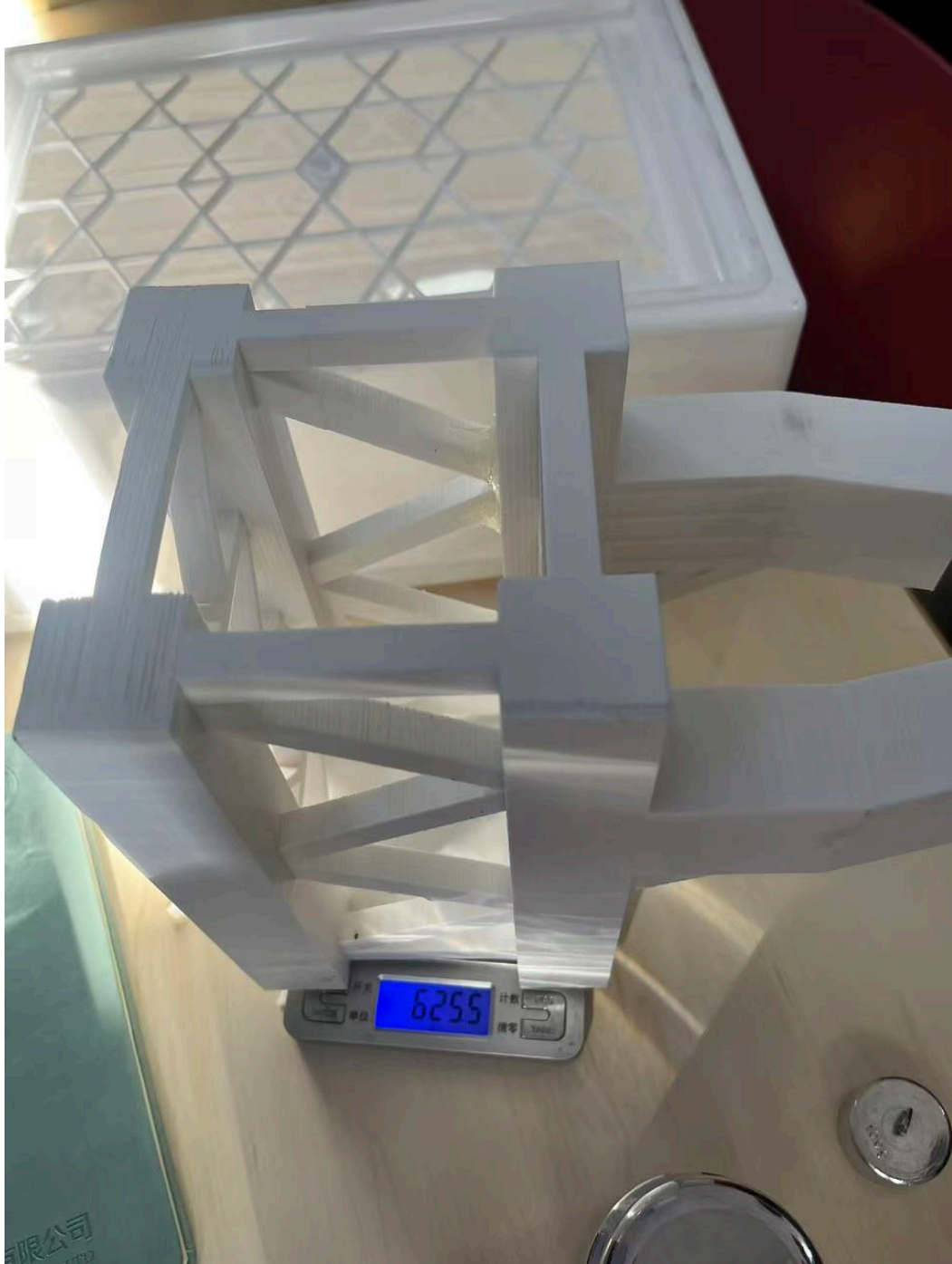


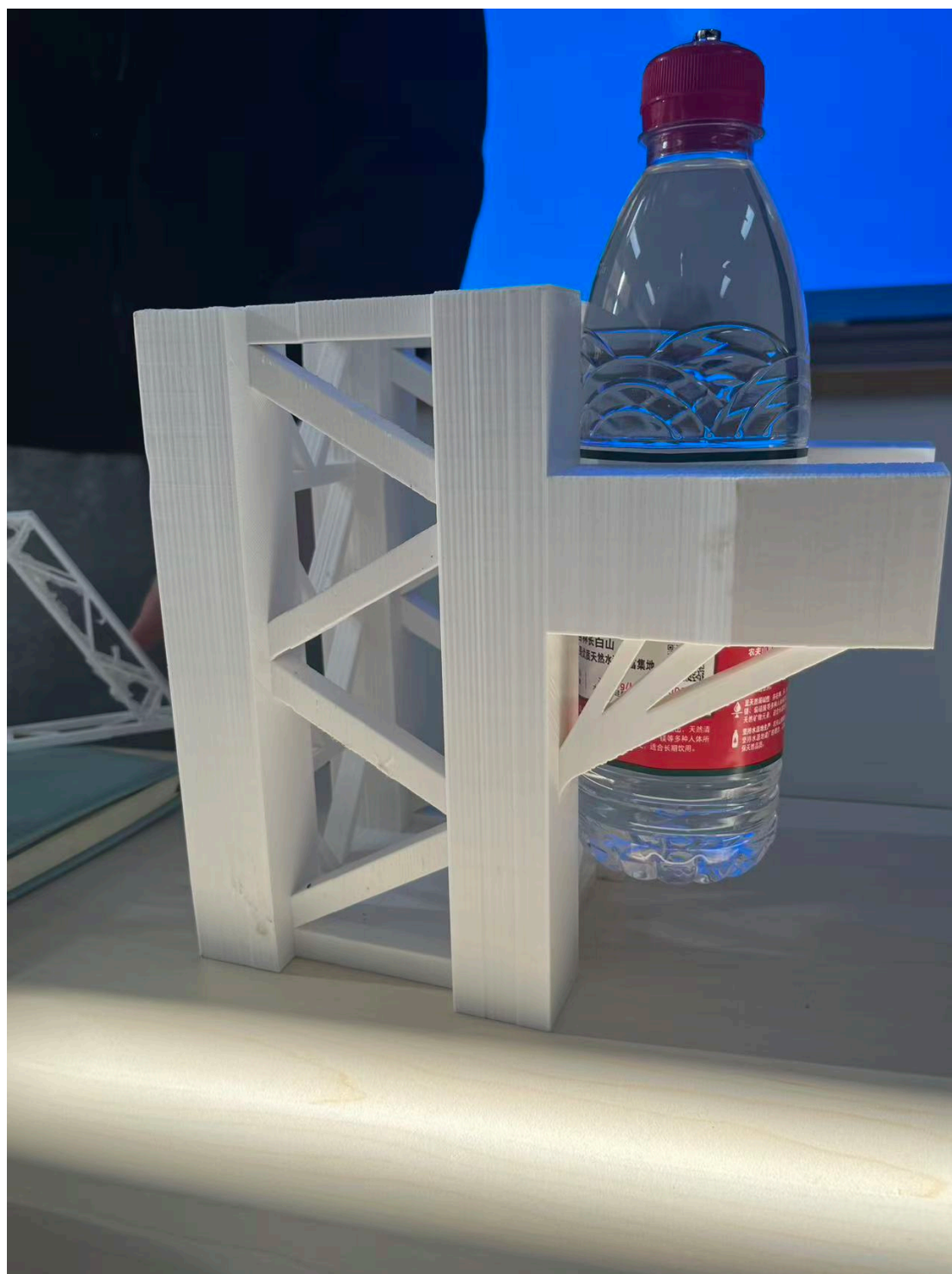
图 1

4、承力测试结果

结构自重 625.5g



夹持承重



结构承重

