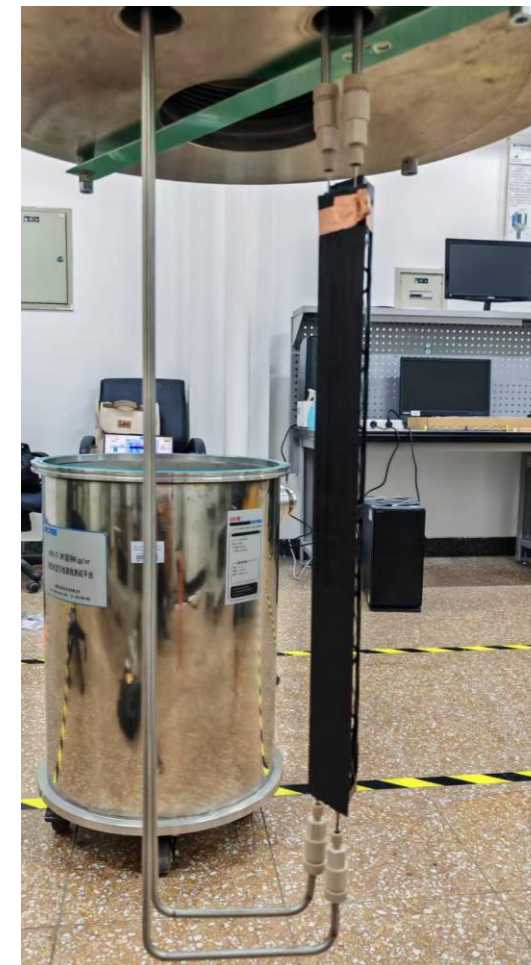
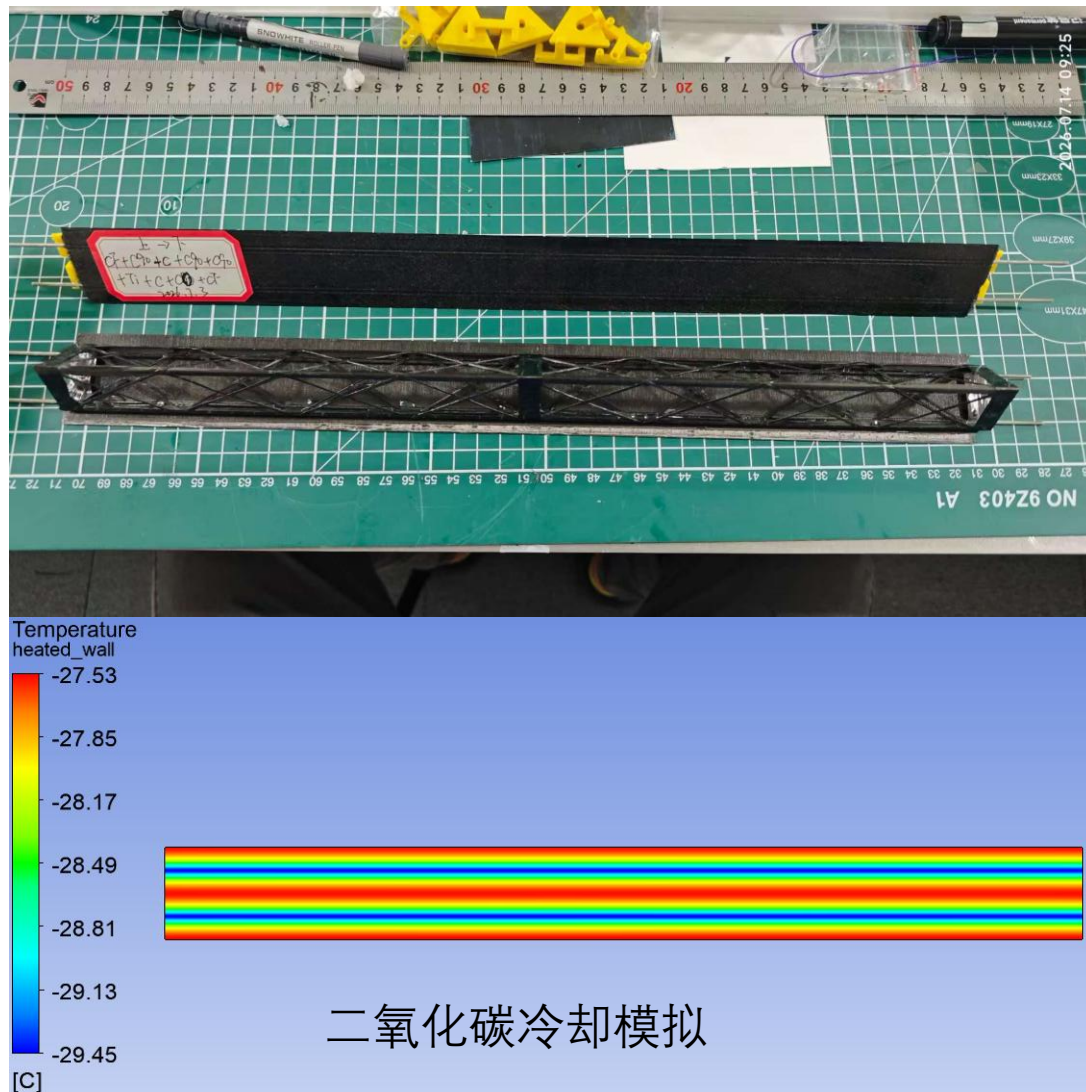


ITK碳纤维三角桁架

20260915

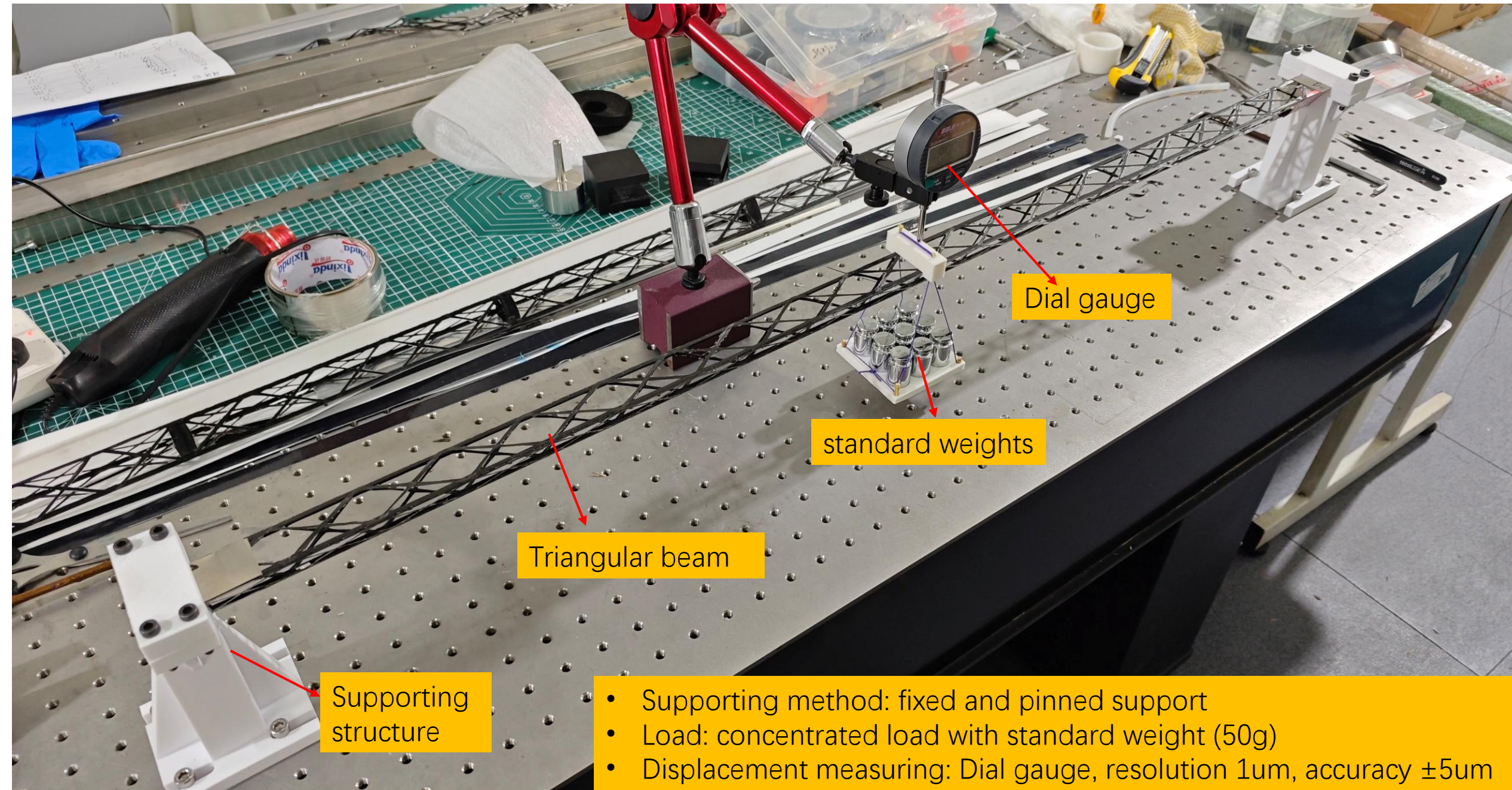
桁架+冷板测试

- 500mm样件制作，水冷测试（加速器常正泽）
- 10月份理化生二氧化碳冷却设备就位
- 准备9根1000mm长样件制作



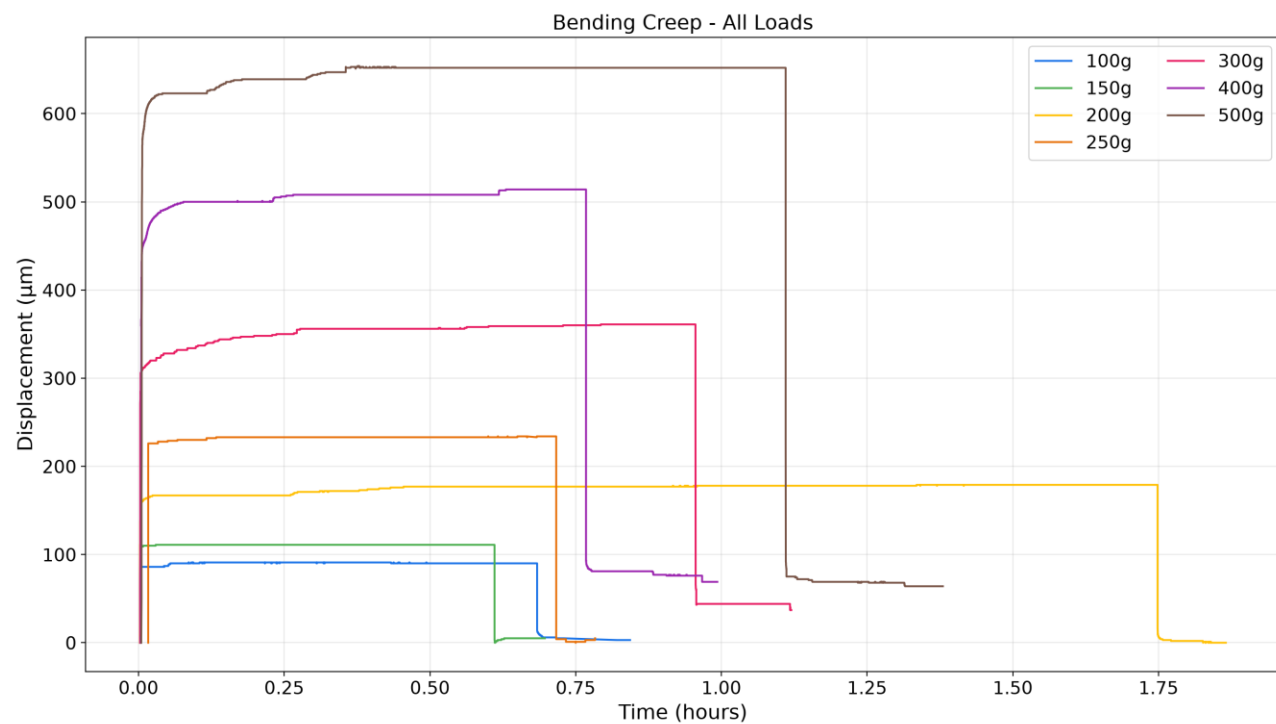
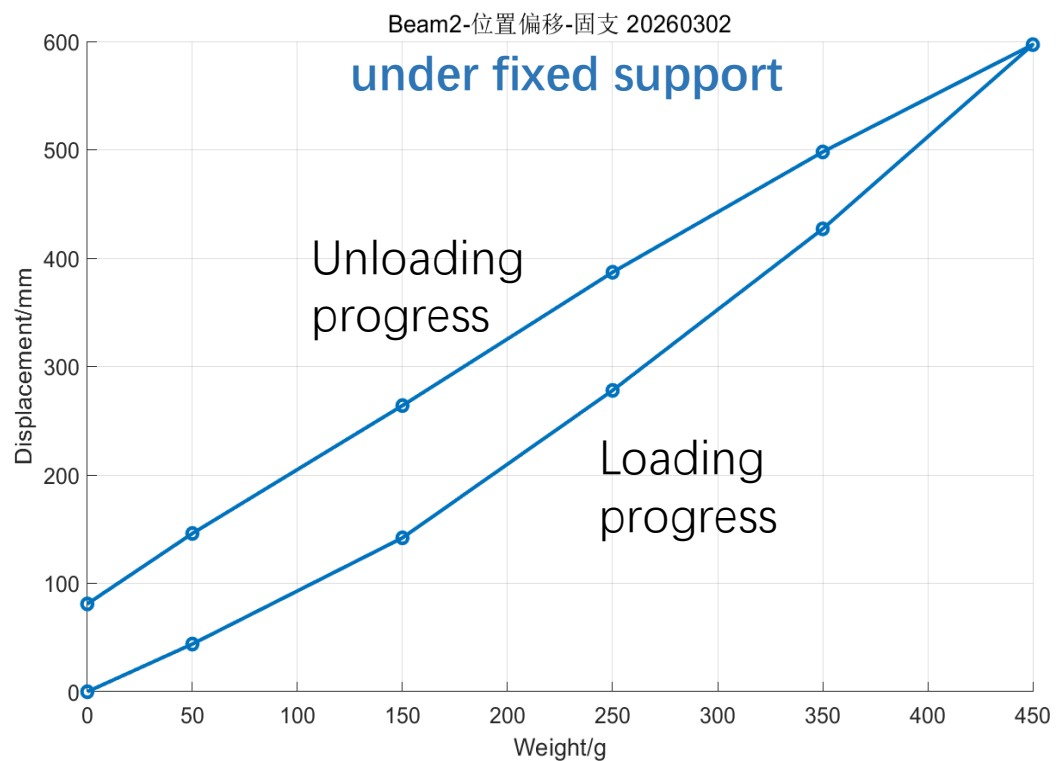
加速器常正泽实验室

Static mechanical test of triangular beam



蠕变测试和蠕变测试

- 静力测试：低荷载下，测试和有限元模拟比较一致
- 高荷载下：出现蠕变或微小开裂，加载和卸载曲线不重合
- 蠕变测试：200g以下集中荷载蠕变缓慢——卸载一定时间后能恢复到原状态



Back up

Deformation back to 0 μm under light load after some time.

复合冷板设计制作和测试

钱小辉等

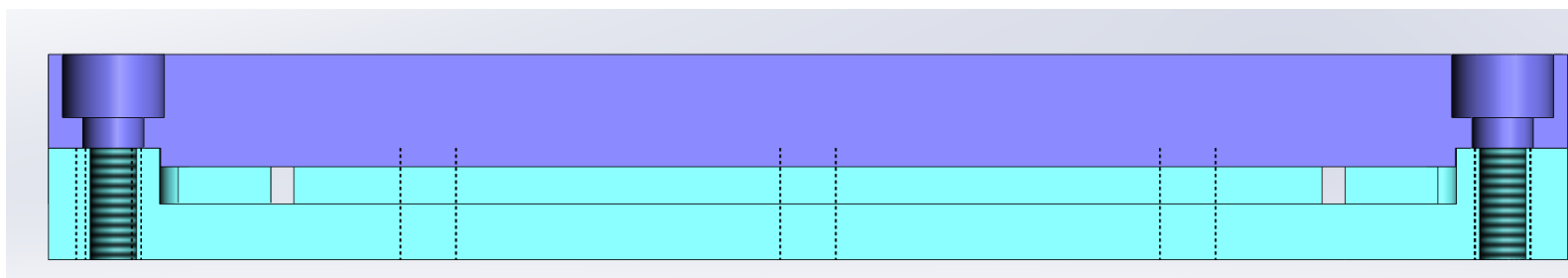
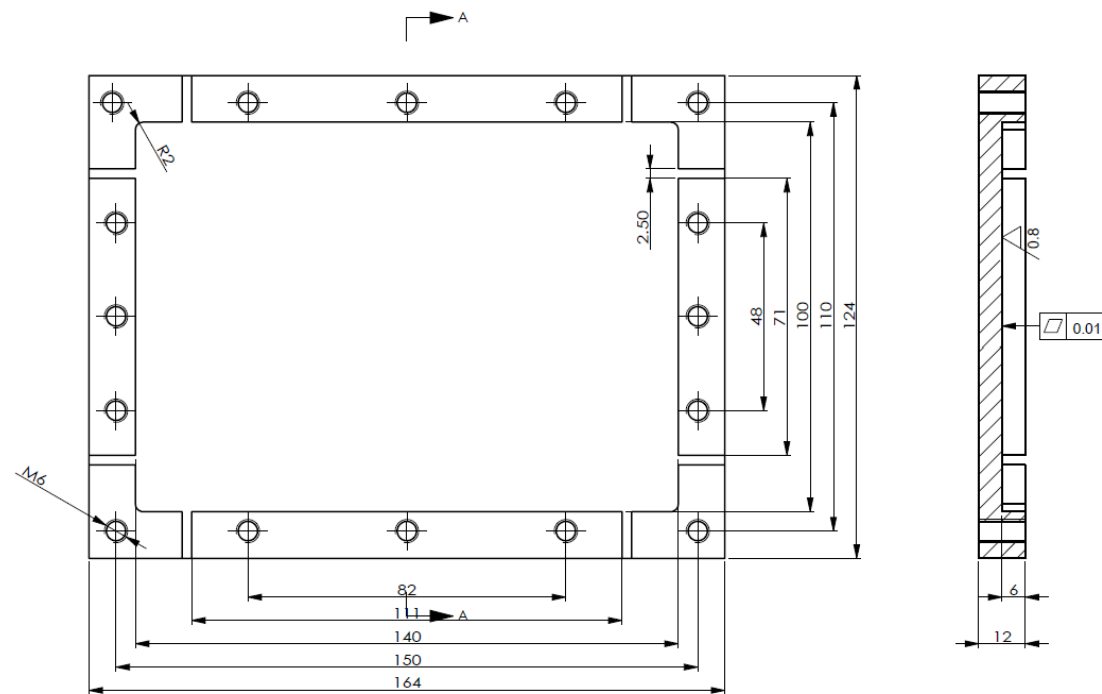
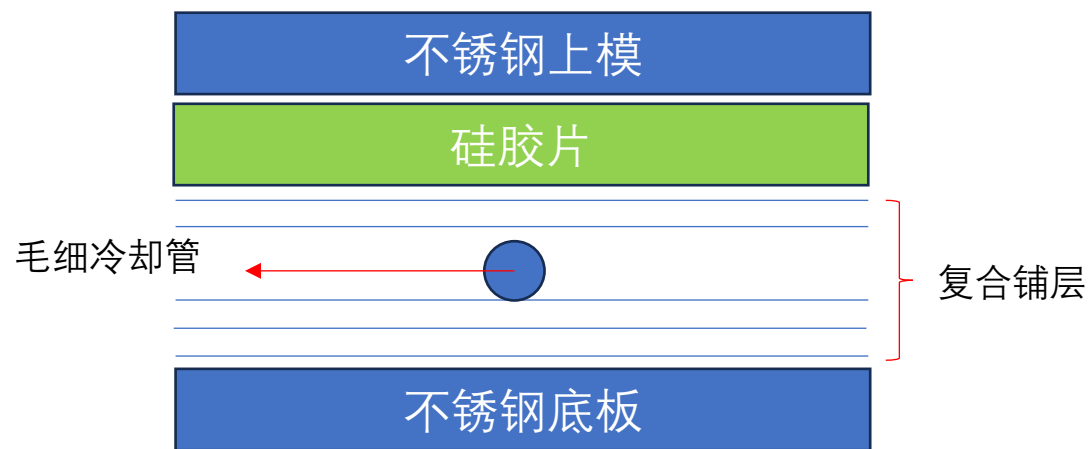
20260915

冷板设计要求

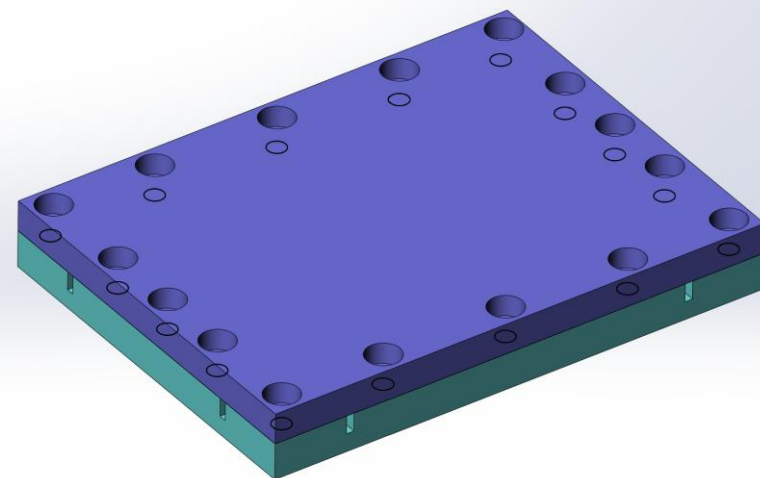
- 轻：低物质量，密度低于铝，
- 薄：更关注面内传导率，厚度传导率可放宽（~0.3mm）
- 高面内热导率：目标高于铝，突破铜热导率？——越高对芯片冷却效果越好
- 单面导热：更好利用冷能

模具设计

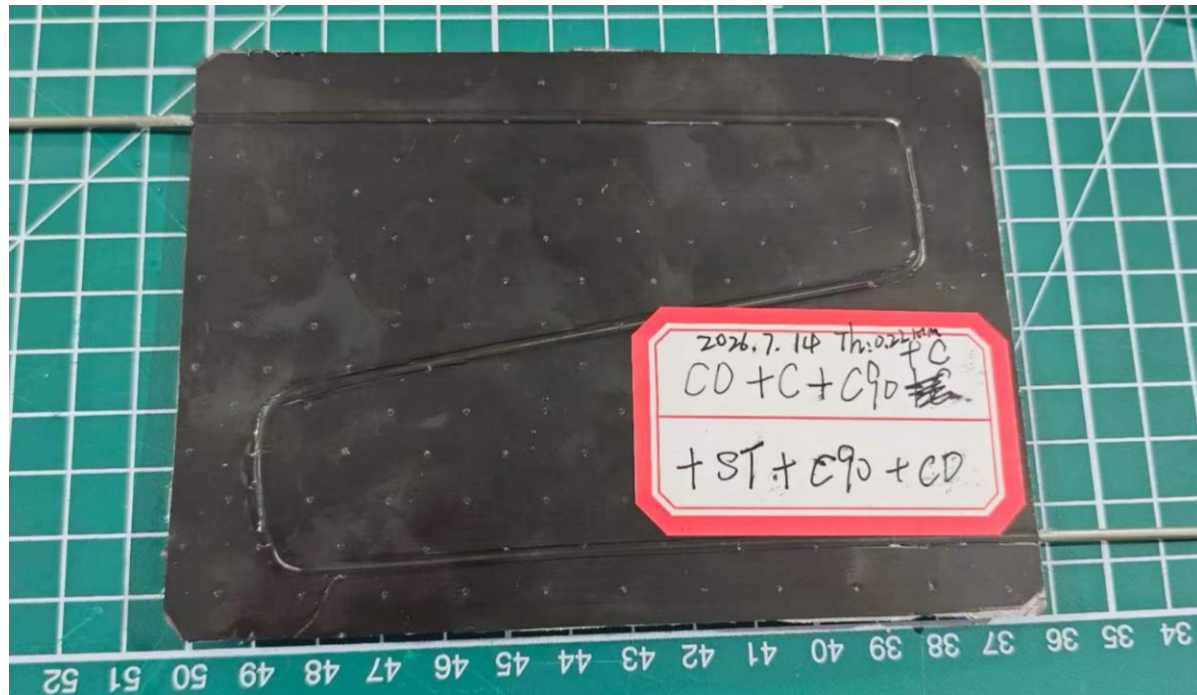
- 尺寸: 140X100mm
- ~2mm毛细铝管: 将来二氧化碳冷却
- 4~6mm硅胶垫
- 压力调节: 不锈钢片



4mm间隙,



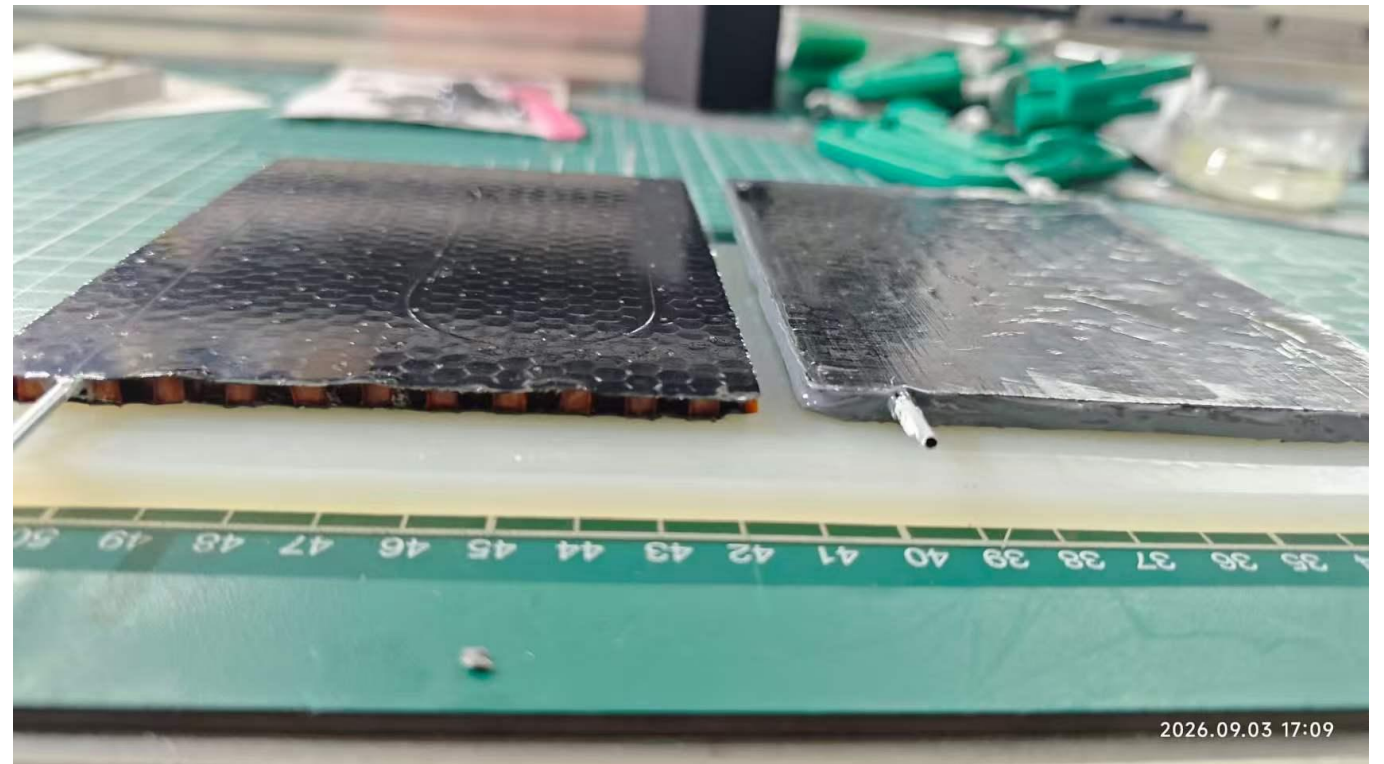
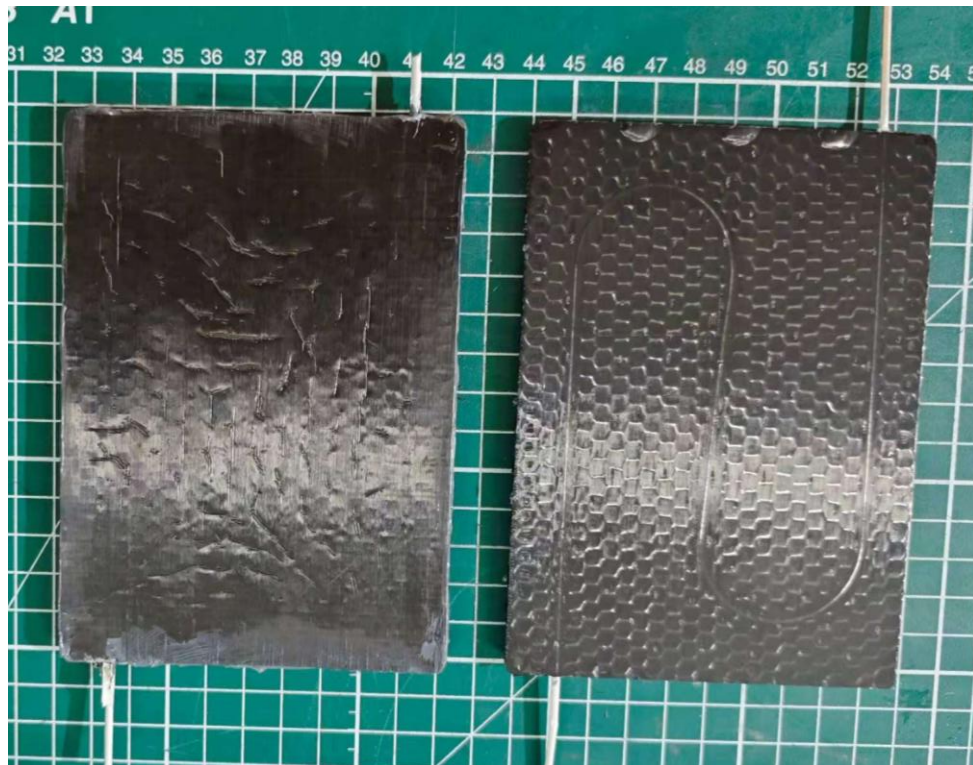
薄板+冷却管热压复合



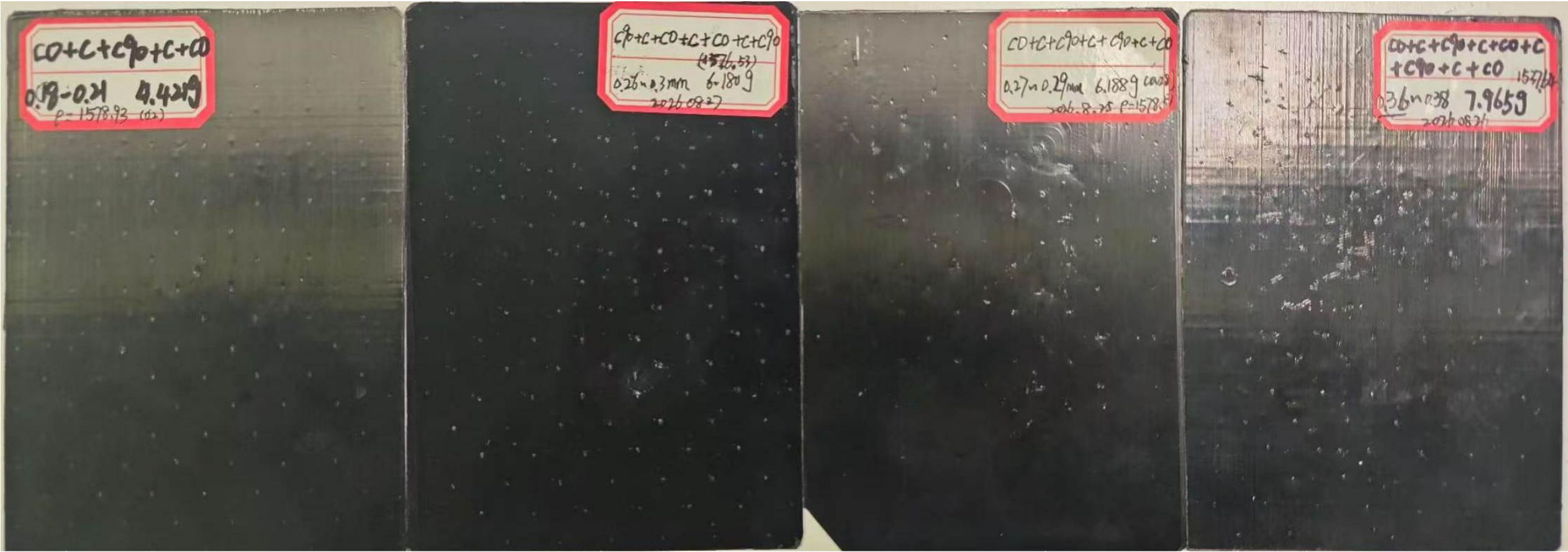
带冷却管蜂窝冷板

- 样品密度~339.69 kg/m³ (包括铝管)
- 下一步:
 - 导热系数
 - 贴加热片测试效果

尺寸140X100X4.4mm



复合材料表层冷却面



	排布(碳纤维60um+石墨烯25um)	厚度 (mm)	重量 (g)	密度(kg/m^3)	热导率
1	C0+C+C90+C+C0	0.18~0.21	4.421	1578.93	
2	C90+C+C0+C+C0+C+C90	0.26~0.30	6.180	1576.53	
3	C0+C+C90+C+C90+C+C0	0.27~0.29	6.188	1578.57	
4	C0+C+C90+C+C0+C+C90+C+C0	0.36~0.38	7.965	1537.64	

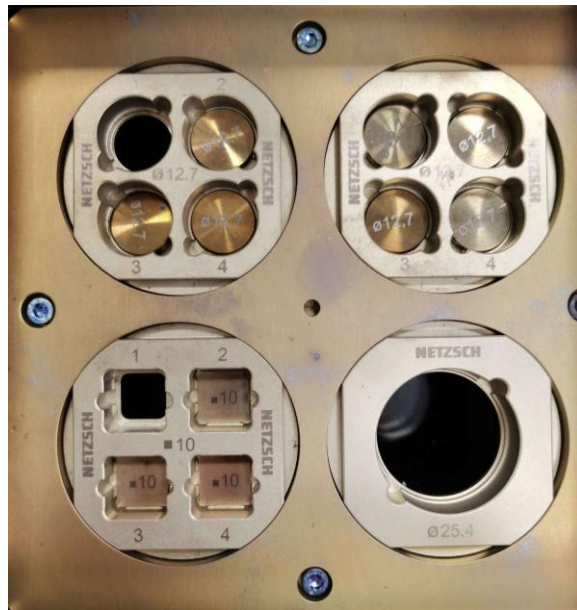
热导率测试

目前市面热导率测试：

- 激光法：测试用样品厚度~2mm，面内热导率需叠层成10X10mm厚度（30层）GB/T 22588或GB/T 42919.4，可测试温度范围为-100℃~2800℃，热扩散系数，另外还需要单独测试密度（可用排水法）和比热（使用差示扫描量热仪）， $\text{热扩散系数} \times \text{密度} \times \text{比热} = \text{热导率}$
- 稳态法：只能测厚度方向，对热导率有要求

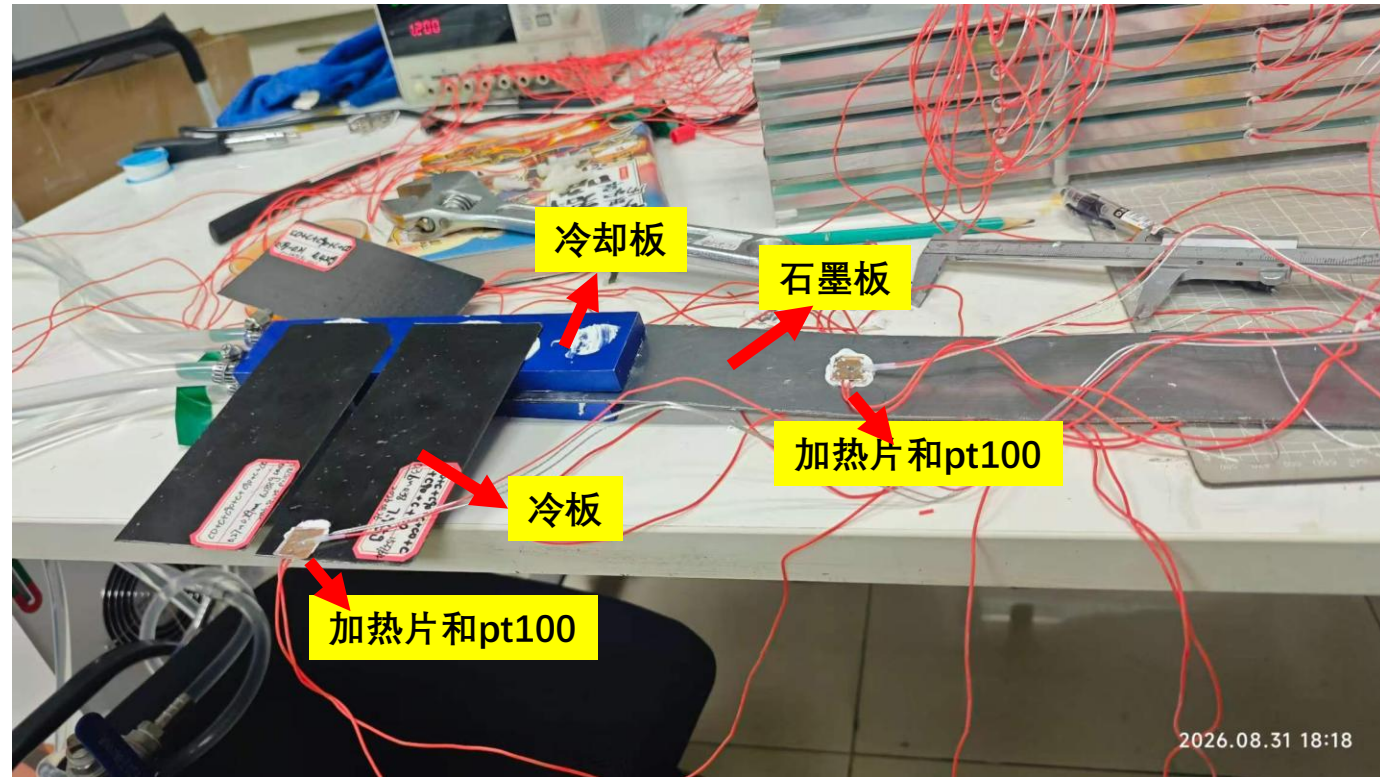
急切需求：

搭建能够测试极薄板面内热导率设备，以便做后续研究优化

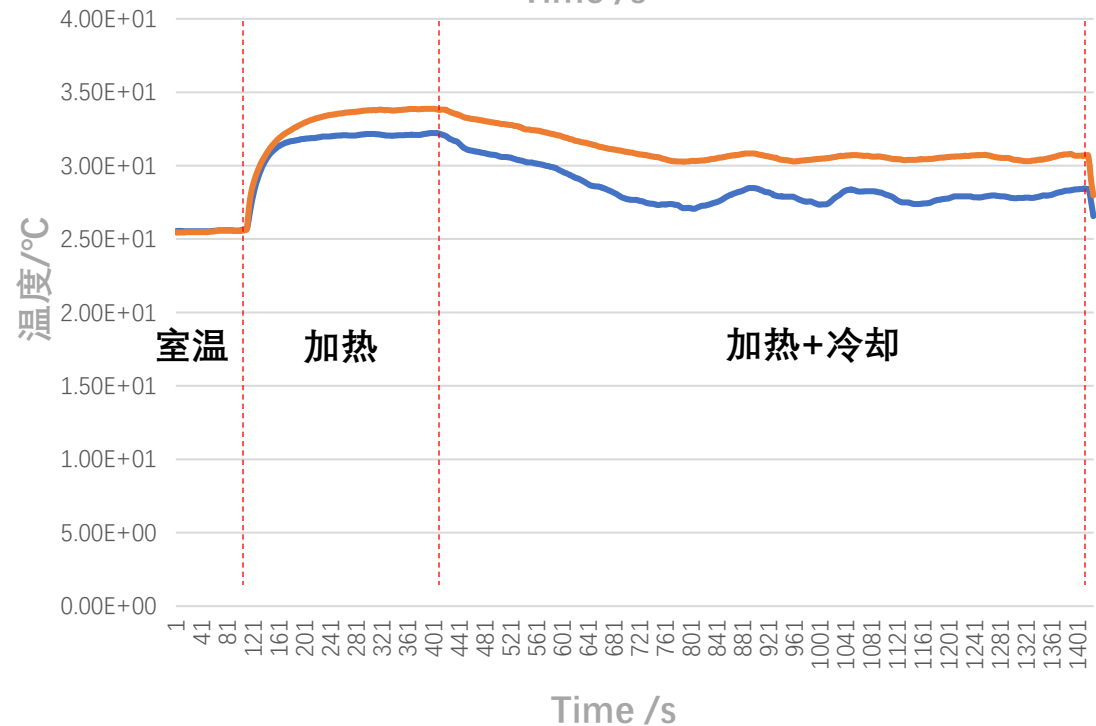
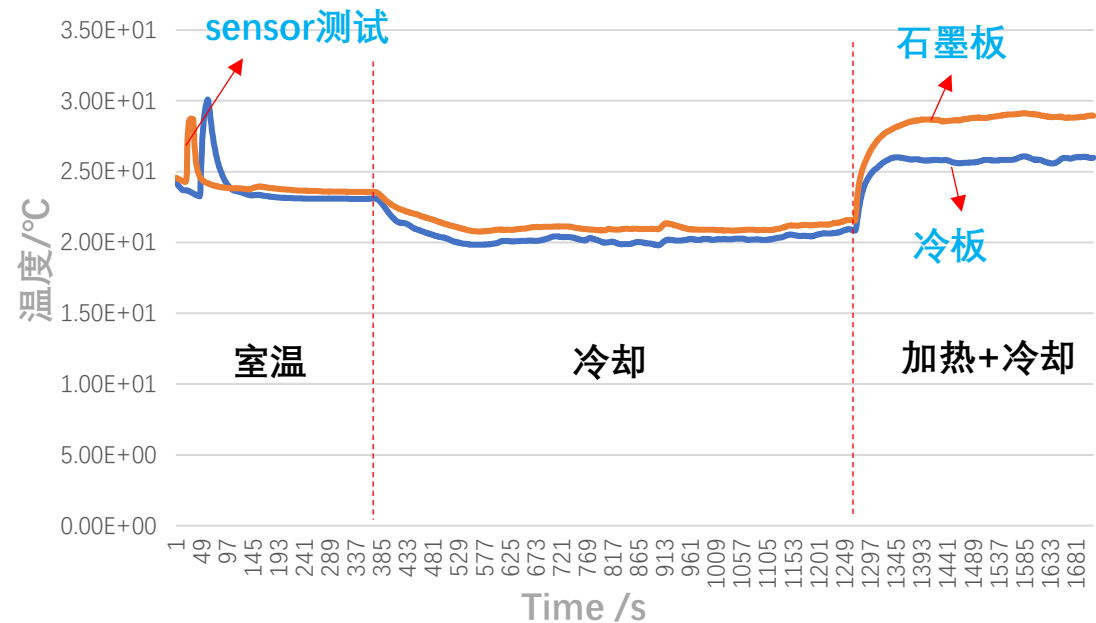


样品盒子

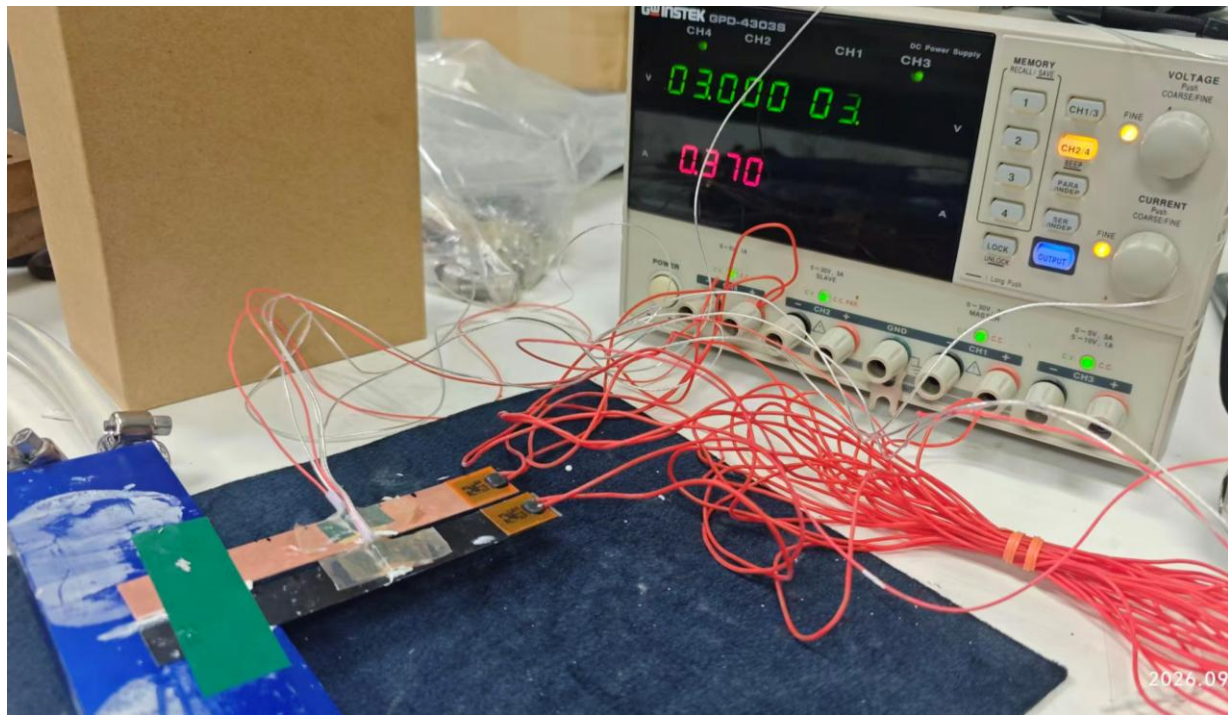
冷板对比测试一



- ❑ PI加热片0.5w, 距离冷却板~95mm, 温度~15℃
- ❑ 对比测试:
 - 石墨: 厚度1mm, 宽度50mm, 导热系数200W
 - 冷板: 0.37mm, 宽度70mm,
- ❑ 结论:
 - 冷板更容易反应冷却水的温度, 波动更大
 - 冷板冷却效果优于石墨板



测试二



$$\lambda = (Q - Q_s) * L / A / \Delta T$$

其中:

$$L = 30 \times 10^{-3} \text{ m}$$

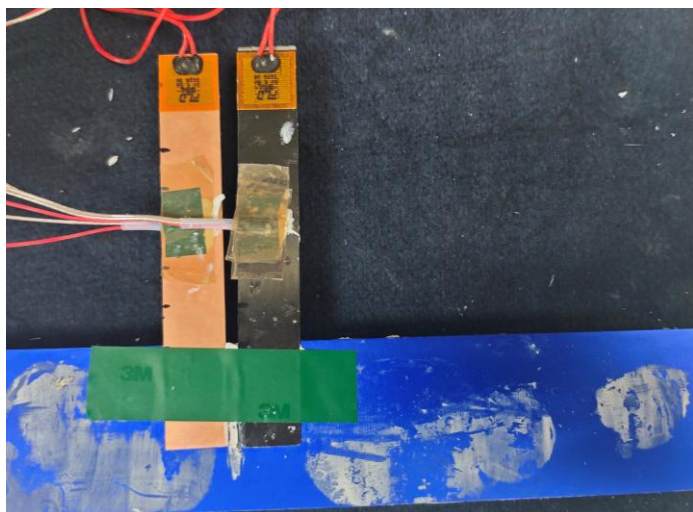
$$A = 15 \times 0.2 \times 10^{-6} \text{ m} = 3 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Delta T_1 = 25.15 - 15 = 10.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 26.3 - 15 = 11.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$(Q - Q_s) = \lambda_c * A * \Delta T_1 / L$$

$$\lambda_{ca} = \lambda_c * \Delta T_1 / \Delta T_2 = 390 * 10.15 / 11.3 = \mathbf{350 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}}$$



未考虑两者的热散失

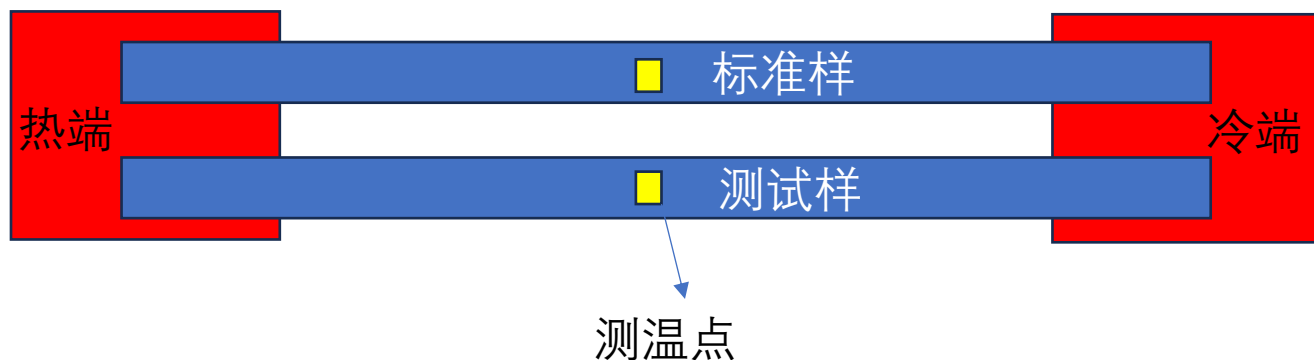
超薄（亚毫米）冷板面内方向热导率测试仪器研究

等温边界中点测温法

- 样品长度较短，如 100~150mm
- 高导热材料，半无限长假设不成立
- 使用双 TEC 或水冷铜块精确控温
- 只需测热端、中点、冷端三个温度

$$m = \frac{2}{L} \cdot \operatorname{arcosh} \left(\frac{\theta_h + \theta_c}{2\theta_{\text{mid}}} \right)$$

其中： $\frac{\theta_h + \theta_c}{2\theta_{\text{mid}}} > 1$ 达到稳态，5分钟前
后温差小于0.1℃



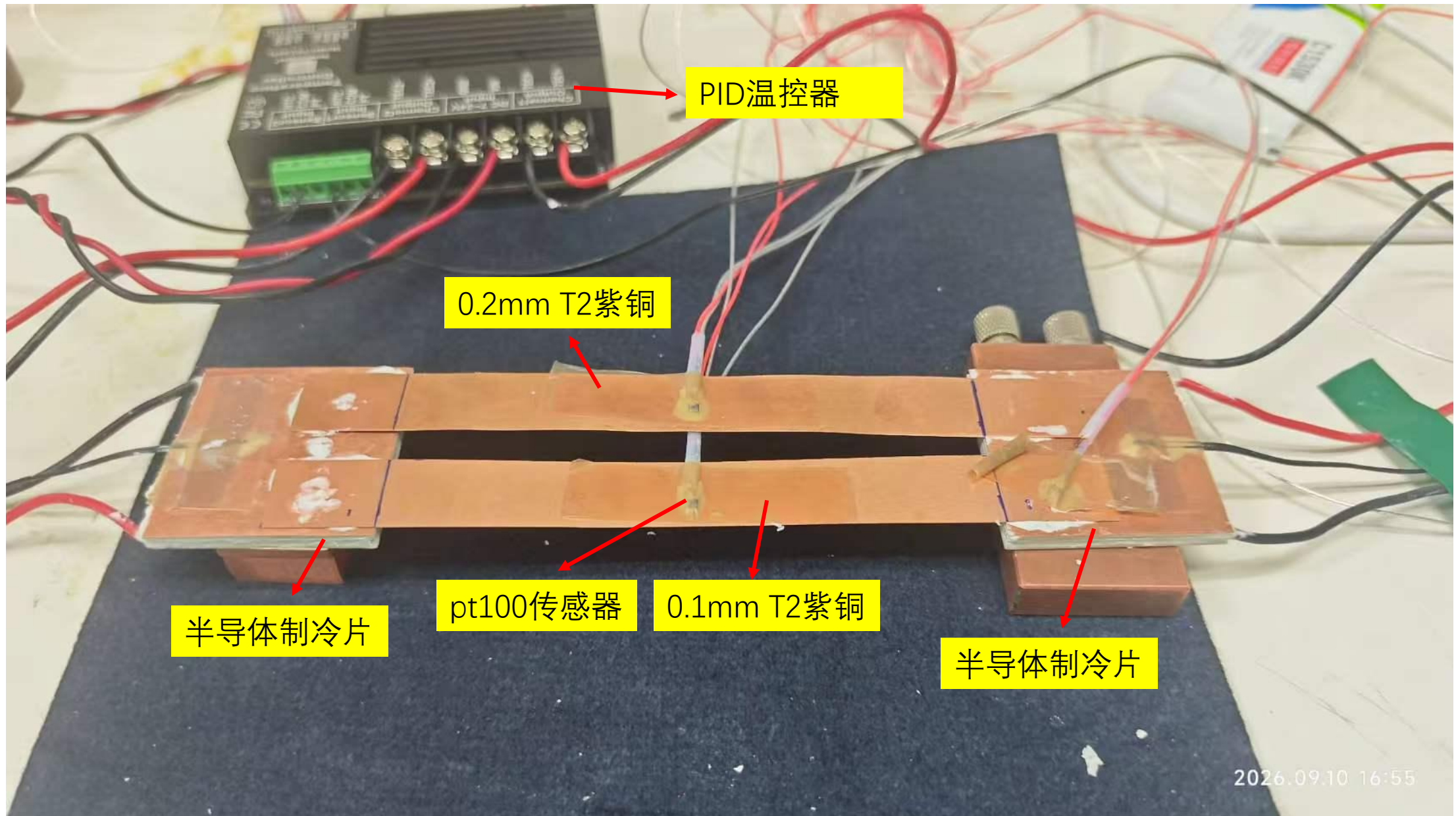
若标准样和被测样**宽度相同**，即 $w_s = w_x = w$ ，则：

$$\lambda_x = \lambda_s \cdot \frac{t_s}{t_x} \cdot \frac{w + t_x}{w + t_s} \cdot \left(\frac{m_s}{m_x} \right)^2$$

若进一步满足 $w \gg t$ ，可近似：

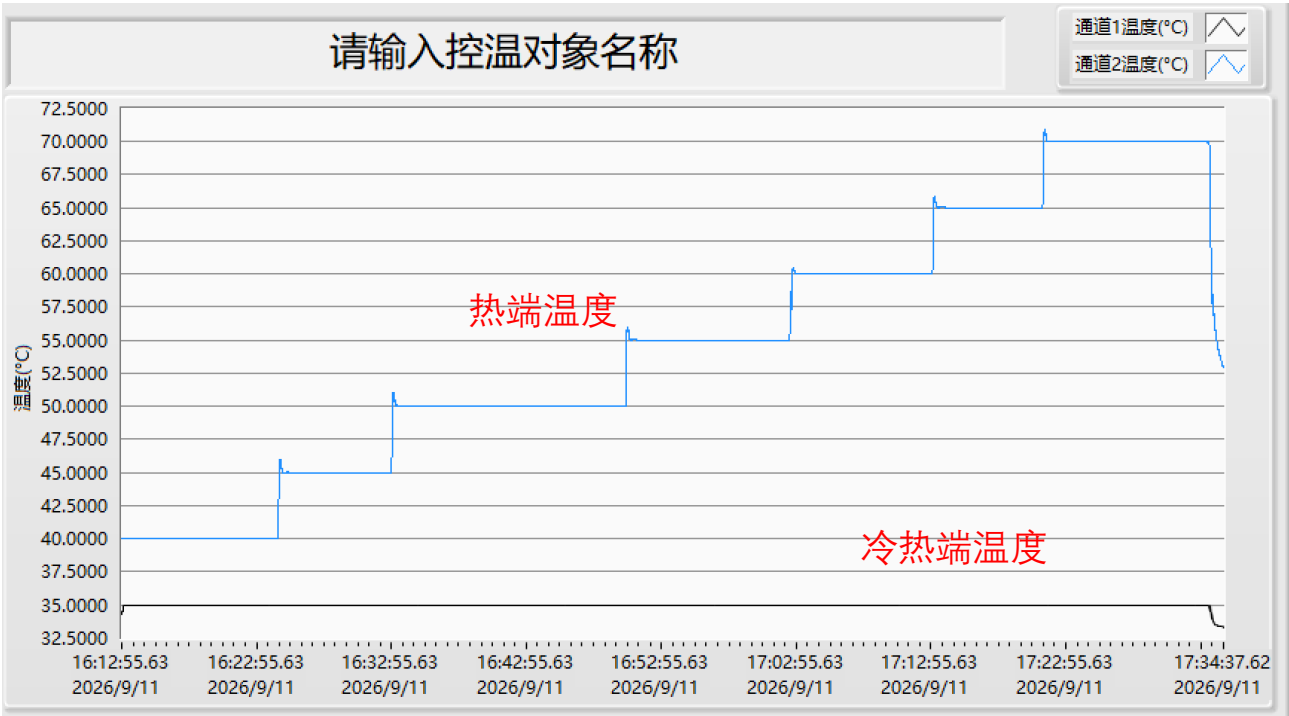
$$\lambda_x \approx \lambda_s \cdot \frac{t_s}{t_x} \cdot \left(\frac{m_s}{m_x} \right)^2$$

超薄（亚毫米）冷板面内方向热导率测试原理测试



宽度15mm，长度150，跨度110mm

	热端温度/℃	S1=0.1mm	S2=0.2mm	冷沉温度/℃		
1	40	34.70	35.37	35		
2	45	36.46	37.26	35		
3	50	38.44	39.40	35		
1	55	40.19	41.31	35		
2	60	42.07	43.27	35		
3	65	43.78	45.13	35		
4	70	45.63	47.08	35		



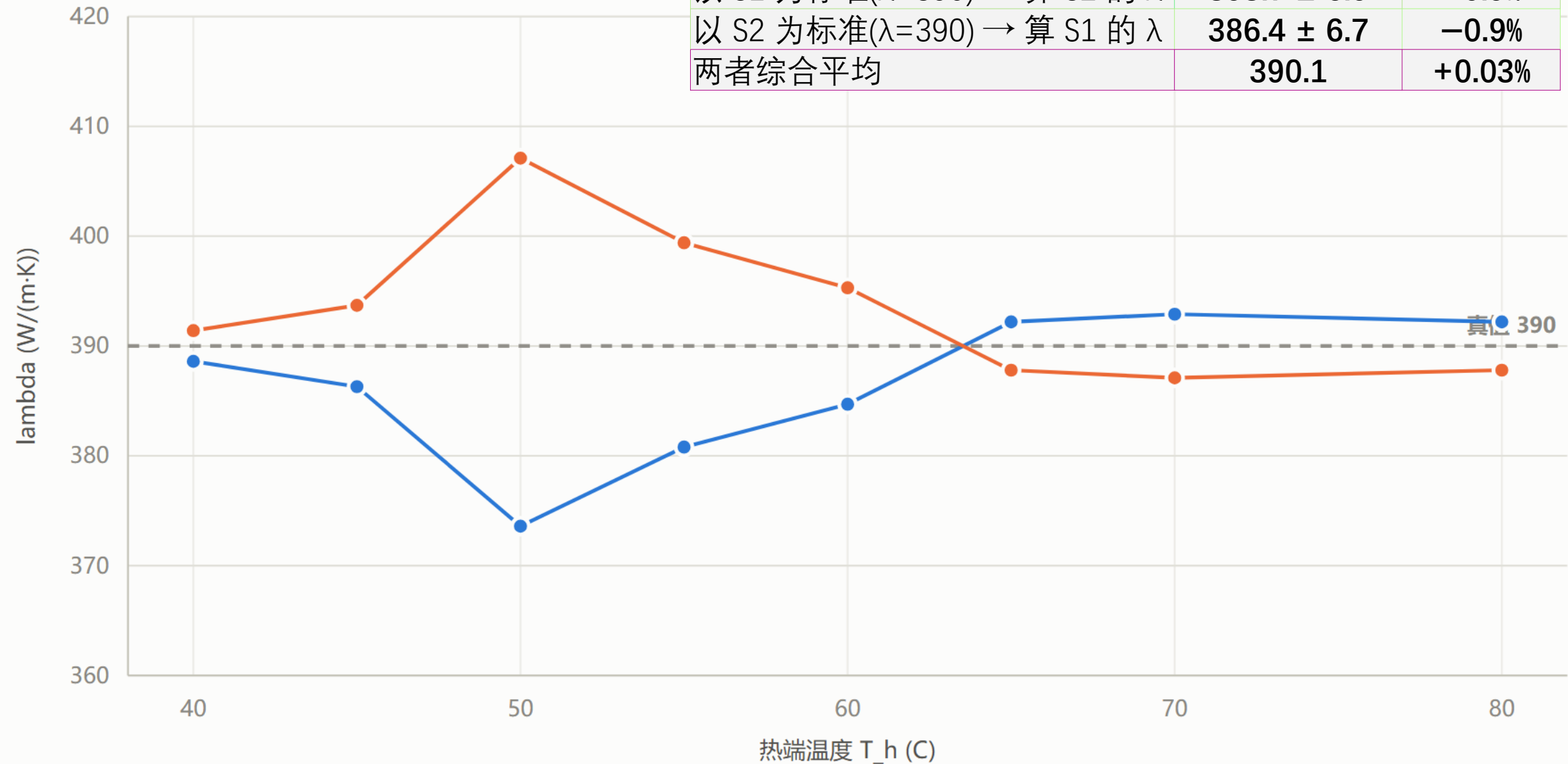
T03	28.14 °C	设置
T04	28.18 °C	设置
T05	28.29 °C	设置

T4:S1
T3: S2

精度： 0.01℃

真值 390 W/(m·K)，两条线应重合在虚线上

情形	计算结果	偏差
以 S1 为标准($\lambda=390$) $\rightarrow$ 算 S2 的 λ	393.7 ± 6.9	+0.9%
以 S2 为标准($\lambda=390$) $\rightarrow$ 算 S1 的 λ	386.4 ± 6.7	-0.9%
两者综合平均	390.1	+0.03%



— 用 S2 的 h 算 S1 的 λ — 用 S1 的 h 算 S2 的 λ — 真值 390

总结

- ❑ 冷板制作工艺还行
- ❑ 热导率测试原理验证可行性
- ❑ 大致测试结果，冷板密度小于铝，热导率远大于铝，接近铜材
- ❑ 进一步提高冷板热导率研究：
 - 铺层：优化铺层
 - 工艺研究：热压技术参数对层间热阻影响
 - 碳纤维：目前用pan基纤维，可改用沥青基纤维
 - 环氧胶：绝热，自配导热环氧胶，适应后续抗辐照和高导热要求
 - 冷管与冷板结合工艺研究：减小热阻，增加传热

