



# CEPC Klystron development progress in EDR

周祖圣



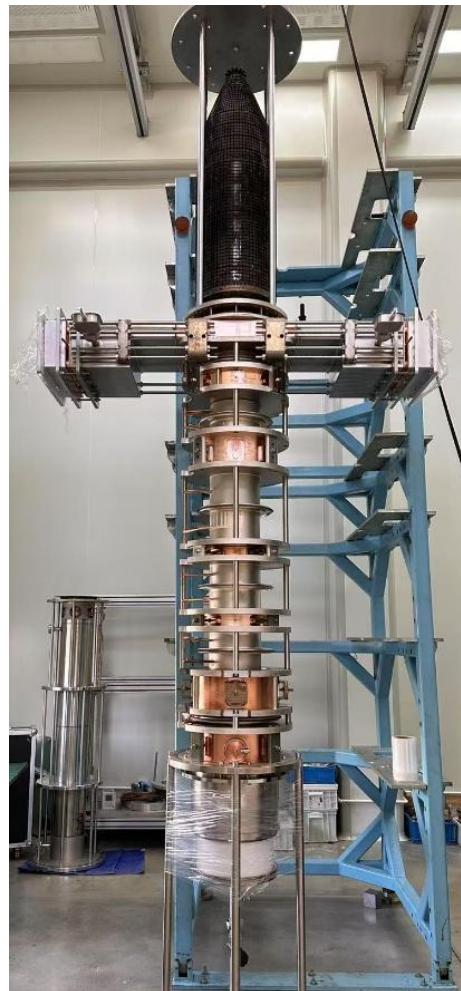
中国科学院高能物理研究所  
Institute of High Energy Physics  
Chinese Academy of Sciences

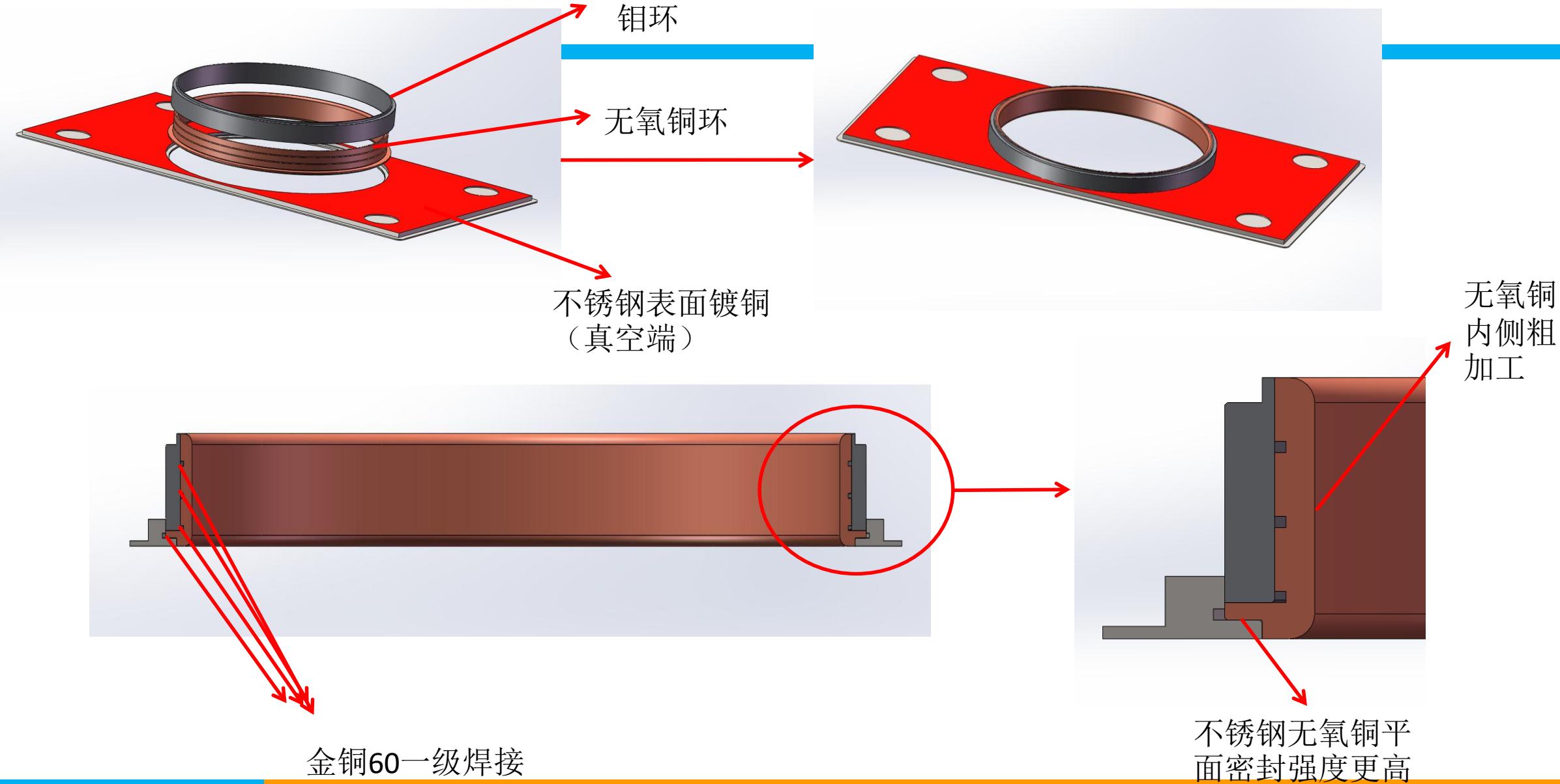
# 主要内容

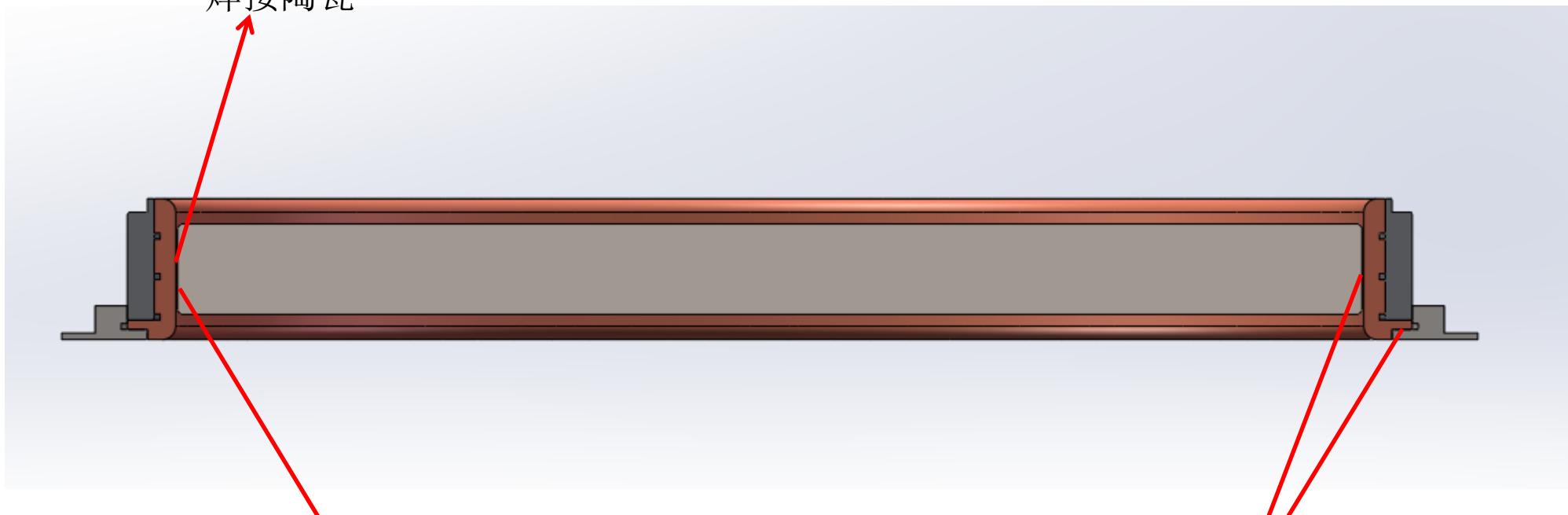
- 多注速调管 (MBK)
- 能量回收型速调管
- L波段速调管
- C波段速调管
- S波段高效率速调管
- P波段谐振环

# 多注速调管 (MBK)

- 25年6月总装排气输出窗漏气，开始设计第一版电子束补漏方案
- 25年10月~11月开始输出窗月牙型新结构补漏第二版设计
- 26年1月进行第三版钼框架结构新设计，正在加工焊接中

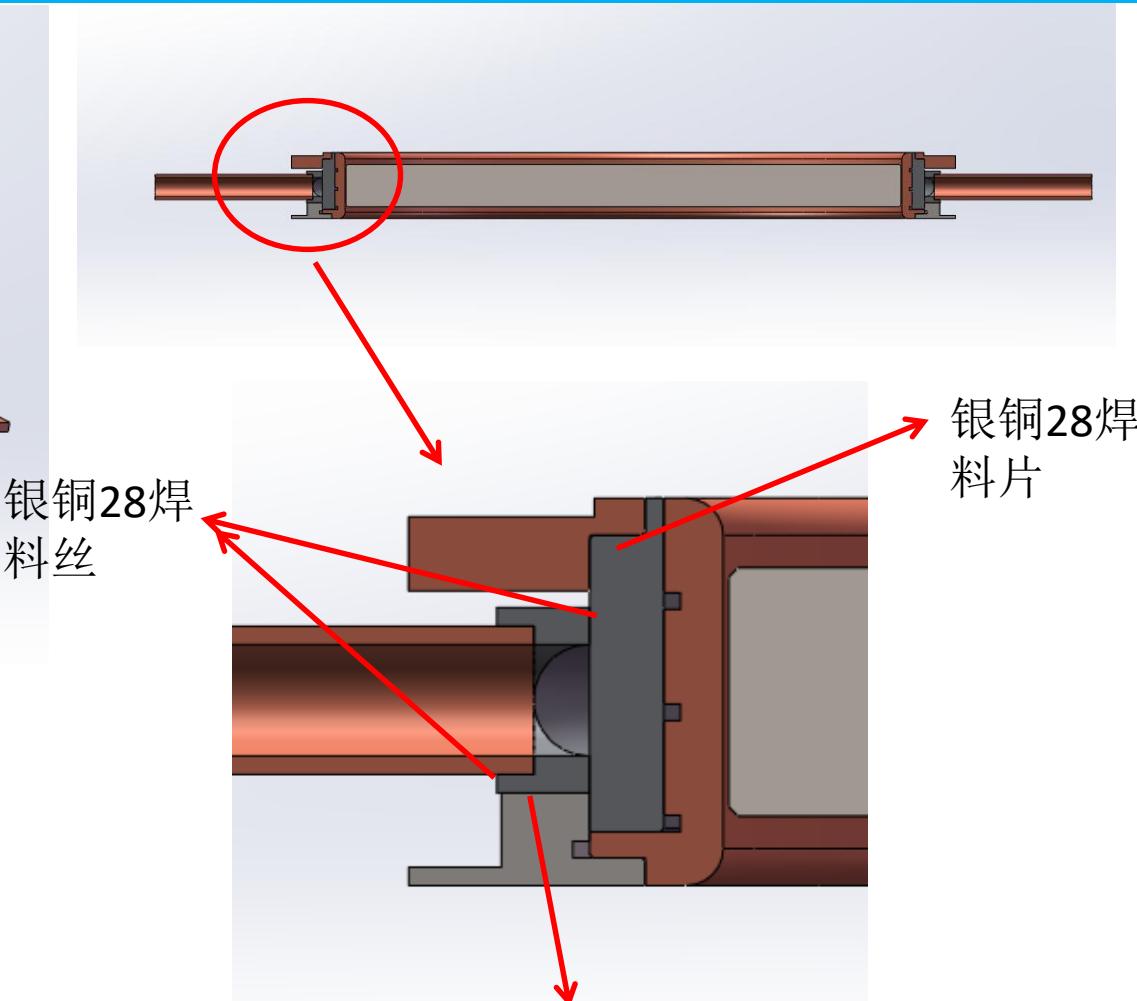
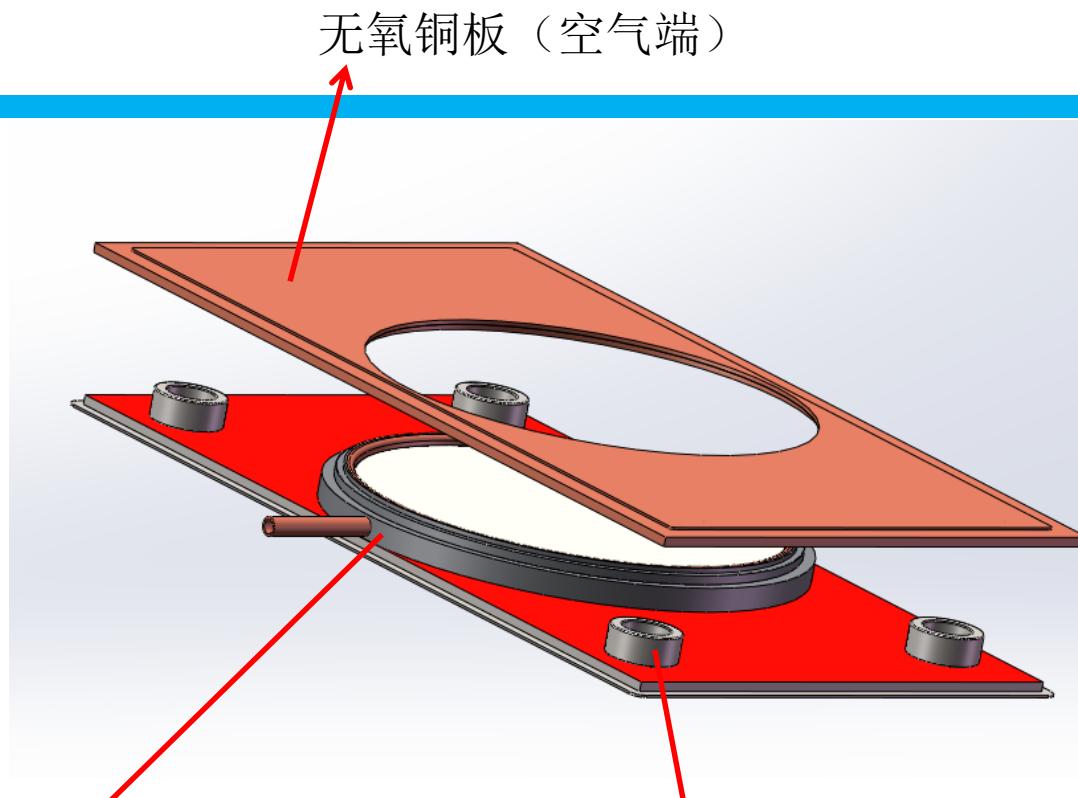






金铜20焊料，二级焊接

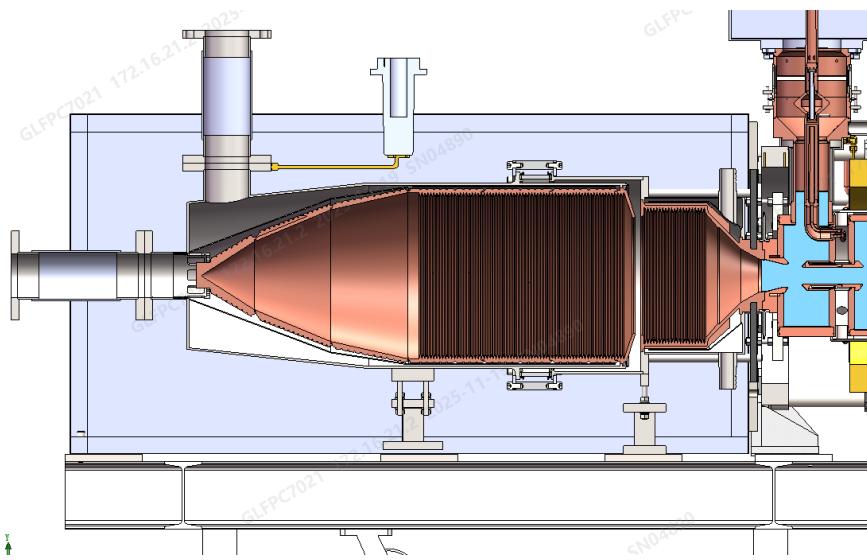
整个组件两处关键焊缝：1、陶瓷无氧铜侧封焊接。2、不锈钢无氧铜平面焊接。钼框架为接触焊接即可。



# 下一步计划

| 实施内容      | 完成时间  |
|-----------|-------|
| 输出窗焊接（三级） | 2月2日  |
| 窗热冲击实验    | 2月15日 |
| 整管装配      | 2月28日 |
| 速调管排气     | 3月1日  |
| 装配发货      | 5月31日 |

# 能量回收型速调管



设计阶段 (25年  
-26年1月)

- 收集极支撑改进，确保强度和刚度
- 高压插头位置平移，收集极接口设计
- 观测摄像头位置移动
- 铅屏蔽方案确定
- 热偶安装位置及数量
- 重新建模收集极内腔
- 更改腔体回水与水套焊接方式
- 降压收集极底部内腔重新根据真空模型设计
- 内腔体水冷槽工艺设计优化
- 根据分级焊接要求重新建模
- 与供应商调研沟通加工具体细节

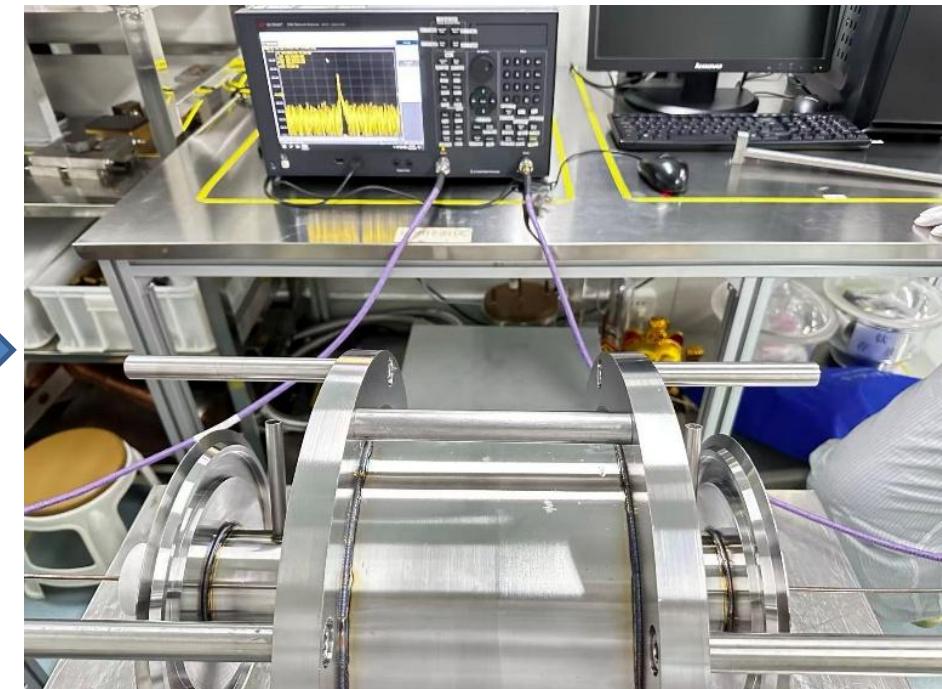
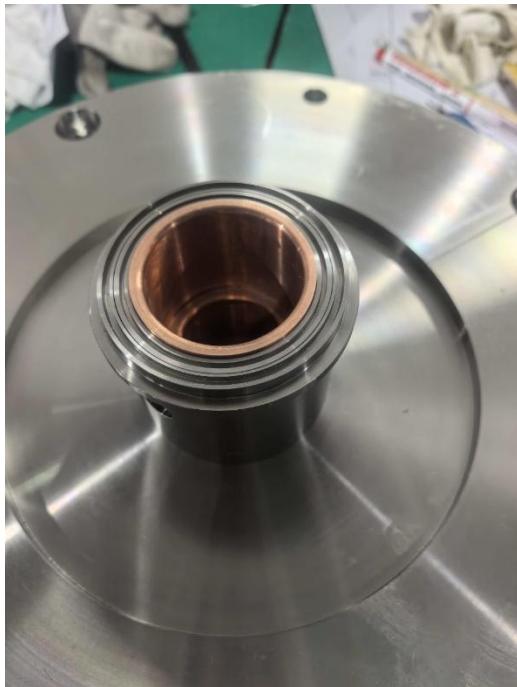
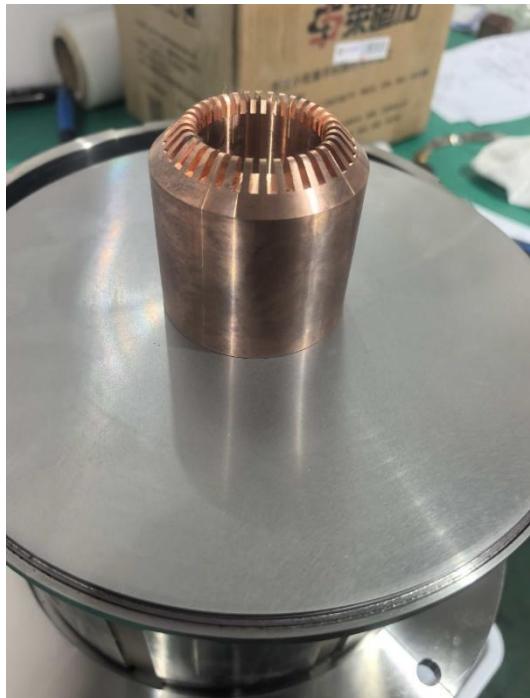
# 主要时间点

甘特图及主要节点 ★ 路标

| 关键时间节点   | 目标日期       | 十一月 | 十二月 | 一月 | 二月 | 三月 | 四月 | 五月 | 六月 | 七月 | 八月 |
|----------|------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 机械设计优化完成 | 2025.11.15 |     |     |    | →★ |    |    |    |    |    |    |
| 开始材料购买   | 2026.01.30 |     |     | →  |    |    |    |    |    |    |    |
| 开始询价下订单  | 2026.02.1  |     |     |    | →  |    |    |    |    |    |    |
| 开始零件加工   | 2026.03.1  |     |     |    |    | →  |    |    |    |    |    |
| 完成组装焊接总装 | 2026.07.1  |     |     |    |    |    | →  |    |    |    |    |
| 完成排气     | 2026.08.15 |     |     |    |    |    |    | →  |    |    |    |
| 包装发货     | 2026.08.30 |     |     |    |    |    |    |    | →  |    |    |

# 目前状态

样件制造阶段  
(25年10月)



# 下一步计划

| 实施内容     | 完成时间  |
|----------|-------|
| 零部件加工    | 3月1日  |
| 装配、焊接和检漏 | 5月1日  |
| 整管装配     | 7月1日  |
| 速调管排气    | 8月1日  |
| 装配发货     | 8月30日 |

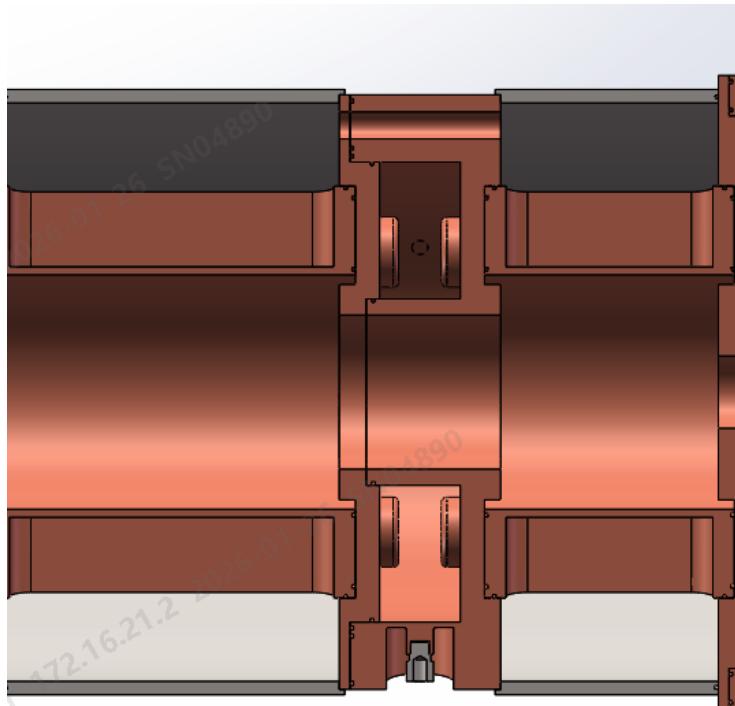
# L波段速调管

甘特图及主要节点 ★ 路标

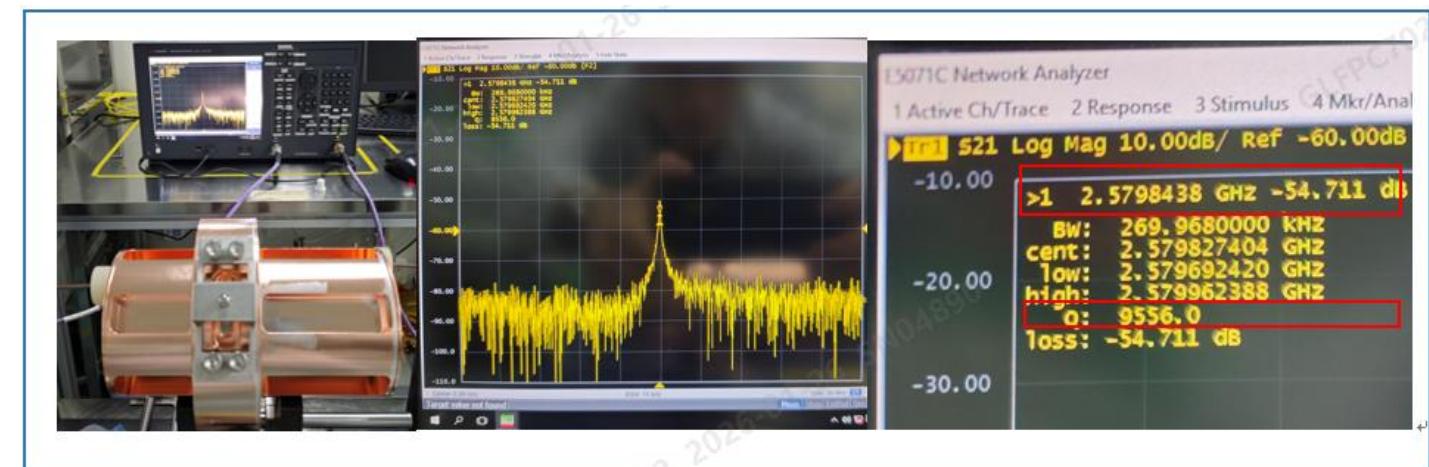
| 关键时间节点   | 目标日期       | 十一月 | 十二月 | 一月 | 二月 | 三月 | 四月 | 五月 | 六月 | 七月 | 八月 |
|----------|------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 机械设计优化完成 | 2025.11.15 |     |     |    | →  |    |    |    |    |    |    |
| 3号腔完成制造  | 2025.11.20 | →   | ★   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 开始材料购买   | 2026.01.30 |     |     | →  |    |    |    |    |    |    |    |
| 开始询价下订单  | 2026.02.1  |     |     |    | →  |    |    |    |    |    |    |
| 开始零件加工   | 2026.03.1  |     |     |    |    | →  |    |    |    |    |    |
| 完成组装焊接总装 | 2026.05.1  |     |     |    |    |    | →  |    |    |    |    |
| 完成排气     | 2026.06.25 |     |     |    |    |    |    | →  |    |    |    |
| 包装发货     | 2026.07.20 |     |     |    |    |    |    |    | →  |    |    |

# 目前进展

样管图纸转化阶段  
(25年10月)



样管制造阶段  
(25年11月)

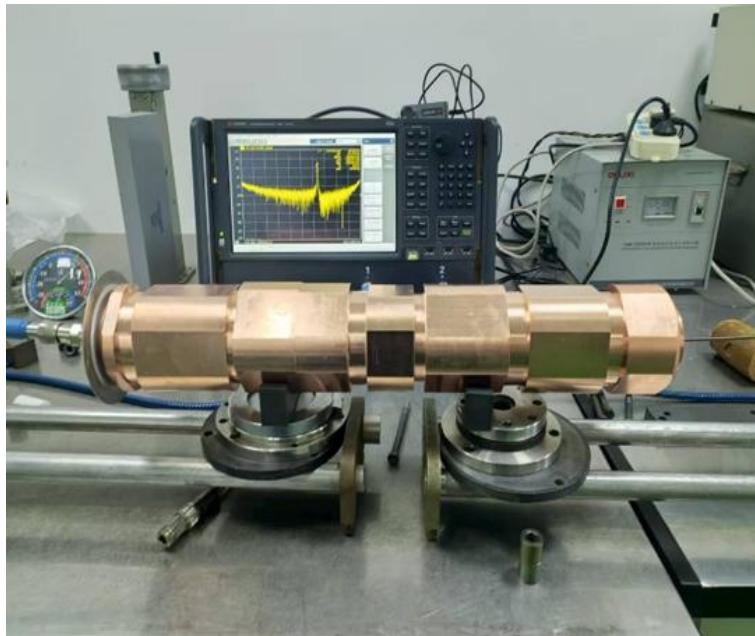


# 下一步计划

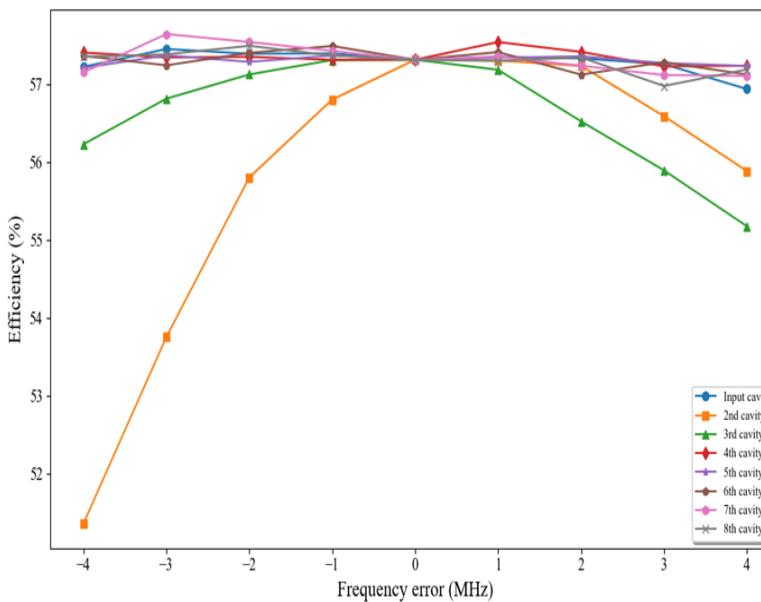
| 实施内容     | 完成时间  |
|----------|-------|
| 零部件加工    | 3月1日  |
| 装配、焊接和检漏 | 4月1日  |
| 整管装配     | 5月1日  |
| 速调管排气    | 6月1日  |
| 装配发货     | 7月20日 |

# S波段高效率80MW速调管

## ■ 腔体冷测，测试值符合设计要求



谐振腔冷测



谐振腔频率误差对效率影响

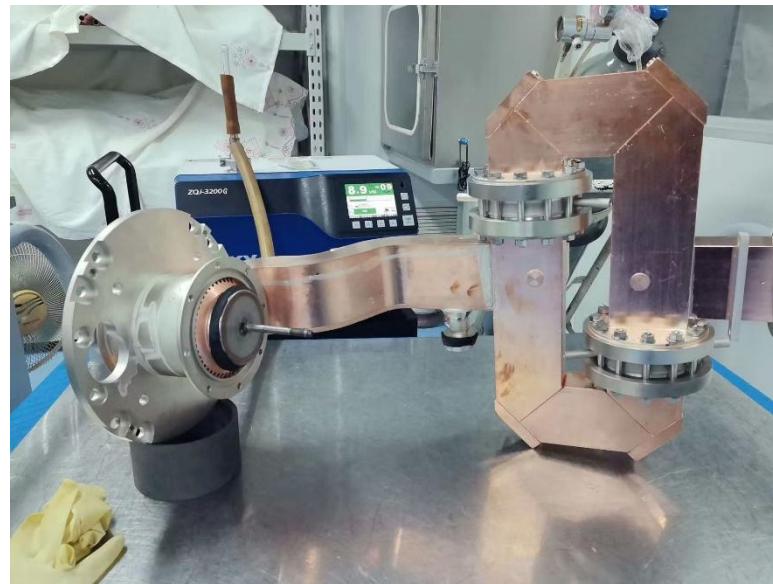
| Num | 设计值(MHz) | 测试值(MHz) |
|-----|----------|----------|
| 1   | 2859     | 2857     |
| 2   | 2853     | 2853     |
| 3   | 2870     | 2871     |
| 4   | 2326     | 2328     |
| 5   | 5558     | 5559     |
| 6   | 3010     | 3010     |
| 7   | 3065     | 3065     |
| 8   | 2852     | 2853     |

# 部件焊接

对速调管输出波导进行压窗组装，后整管除阴极外的部件完成钎焊和氩弧焊。



输出波导压窗



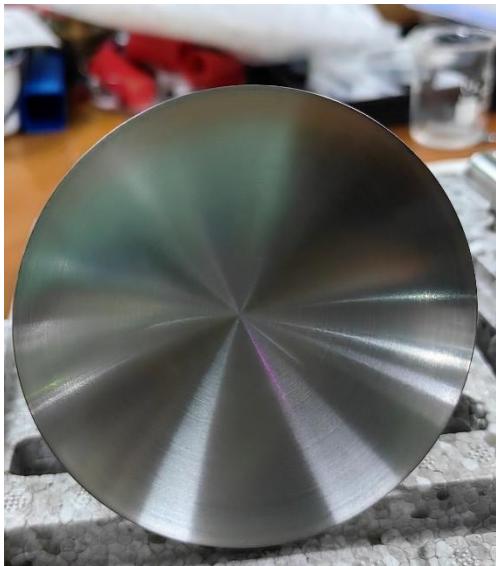
输出波导组装



除阴极外焊接完成状态

# 阴极除气

阴极在除气台进行除气和温度实验，阴极到达电流35A，电压19V，测温1130°C后，开始维持真空，降温。



阴极初始状态



阴极在除气台上



阴极高温状态



阴极除气完成

# 焊接和排气

阴极、阳极外壳和陶瓷筒进行组装和氩弧焊，上到排气台进行排气。



阴极、阳极外壳  
和陶瓷筒组装



整管组装完成



整管上排气台

# 下一步计划

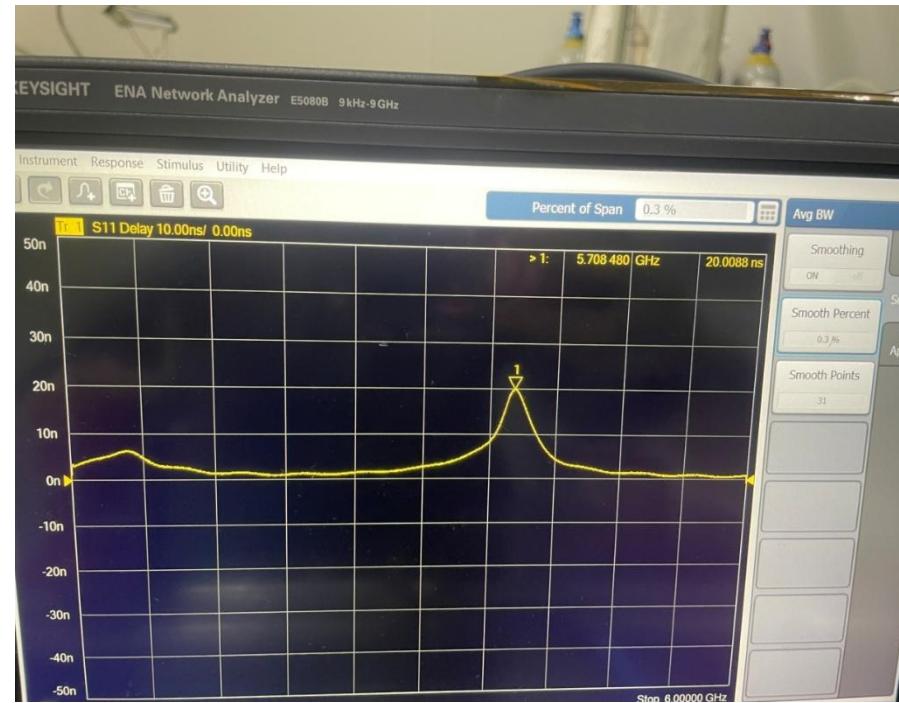
| 实施内容  | 完成时间  |
|-------|-------|
| 整管排气  | 2月16日 |
| 管外件装配 | 2月20日 |
| 高功率测试 | 3月1日  |

# C波段80MW速调管

- 完成输出波导、输出窗、收集极、陶瓷筒、阳极外壳、阴极支架等大部件的焊接。
- 除输入腔外，其他腔串已焊接完成，并满足设计要求。
- 焊接的第1套的输入腔Q值偏大，第2套冷测输入腔Q值稍偏小，已开始焊接，待焊接后再次测试调整。

# 输入腔焊前冷测

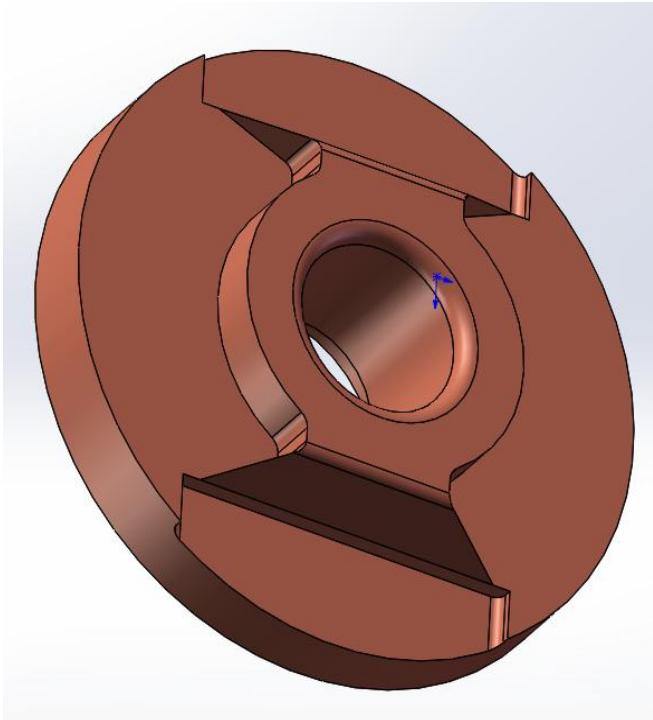
- 重新设计的输入耦合体焊接完成；输入腔焊接前完成冷测，等待最终待焊接。



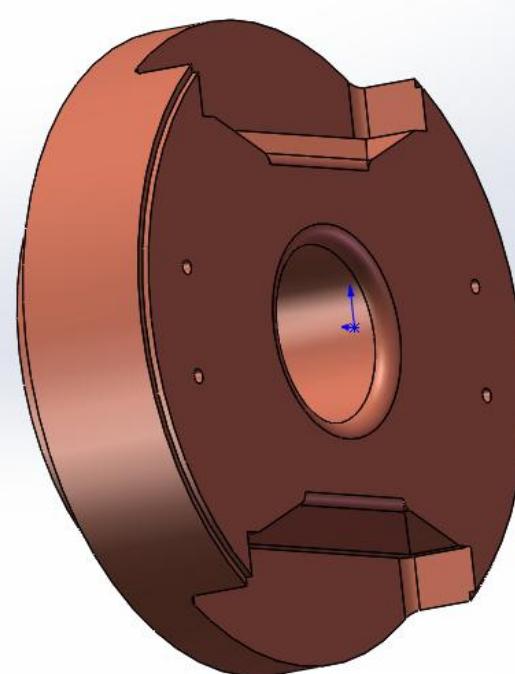
# 输出腔优化设计

- 对第三腔的焊接结构重新进行了设计

改前

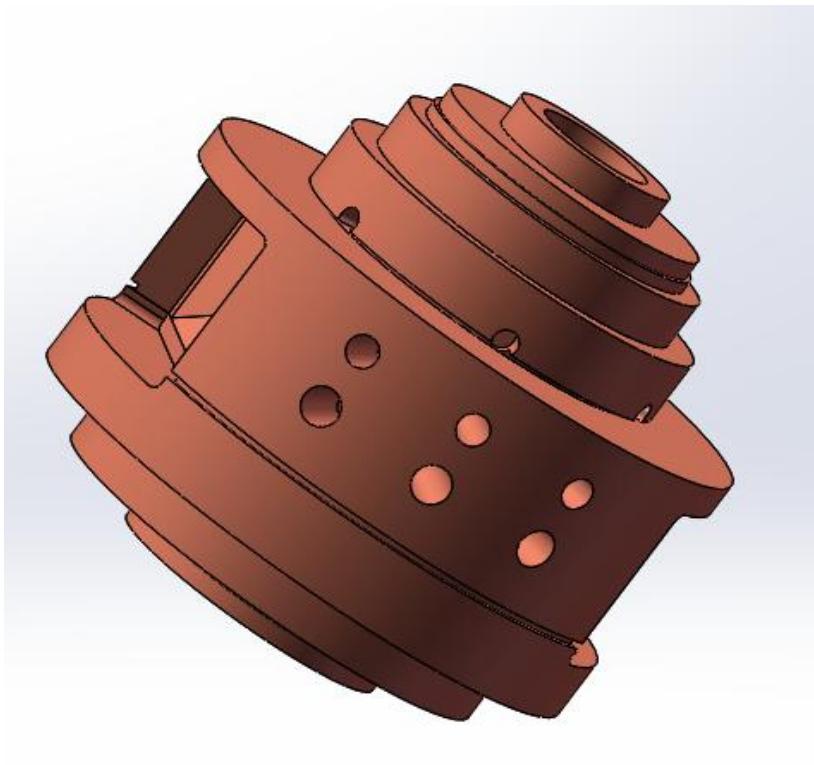


改后



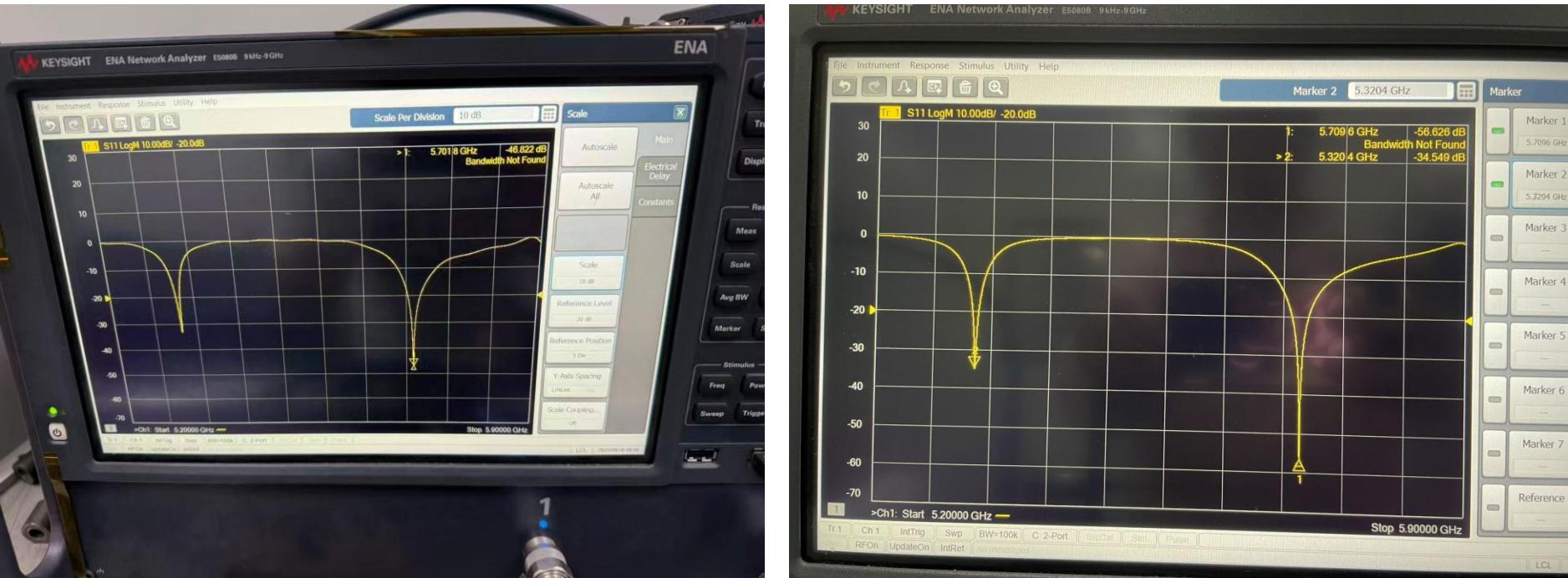
# 输出腔调谐孔

- 在腔体外面增加调谐孔，便于对腔体频率进行调整。

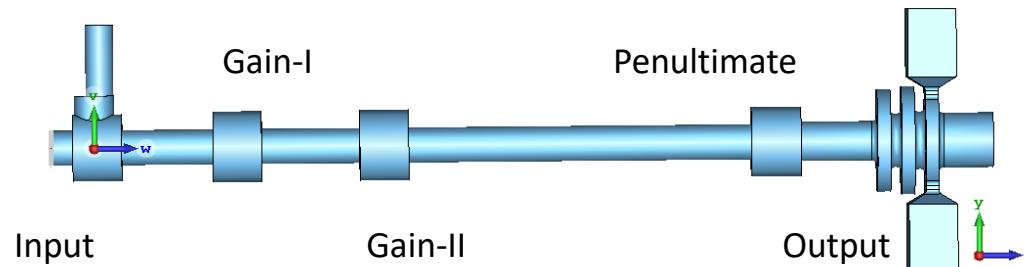


# 输出腔冷测

- 输出腔重新进行结构设计后，进行冷测  
焊接前频率5701.5MHz，焊接后频率5701.8MHz，  
通过调谐孔调整频率5709.6MHz（要求： $5712 \pm 3$ MHz）



# 腔体冷测结果



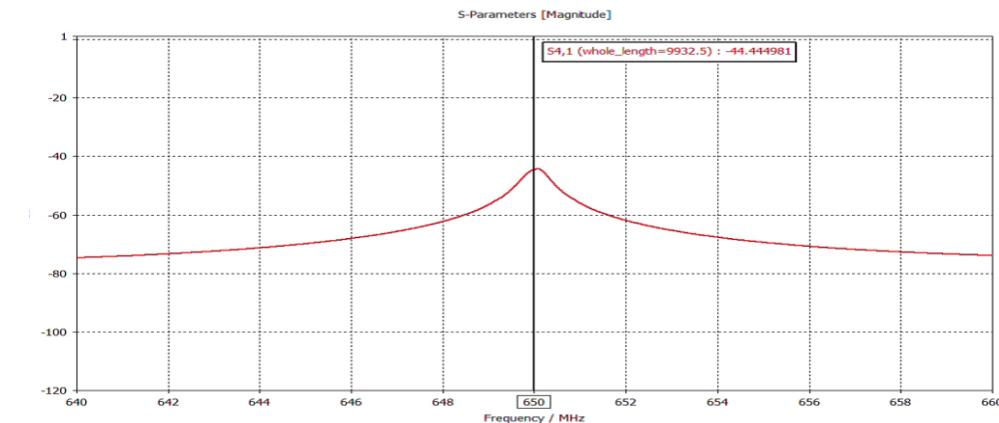
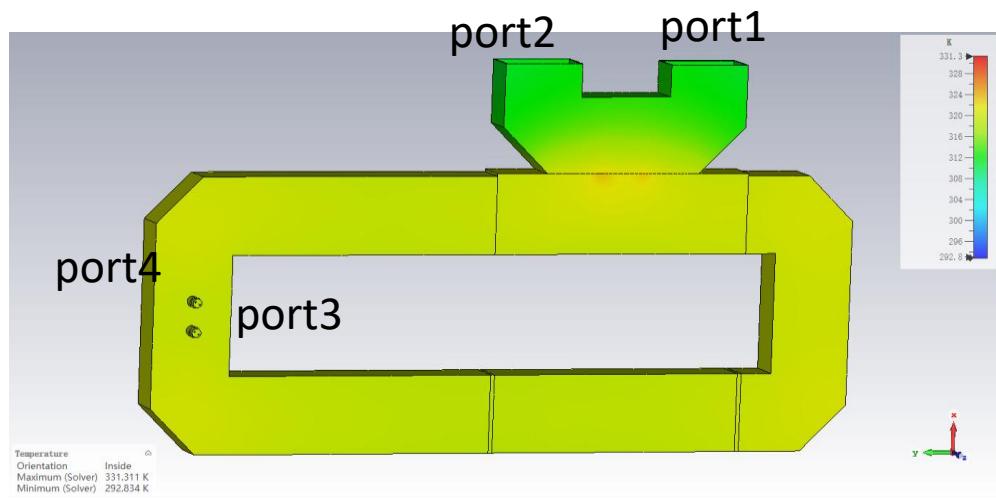
| Cav. No. | Type   | Freq.(MHz) | $\pm \Delta f$ (MHz) | 1 <sup>st</sup> Cold Measure. Before brazing |
|----------|--------|------------|----------------------|--|
| 1        | 输入腔    | 5710       | -1.6                 | 5708.4                                       |
| 2        | 增益腔-I  | 5728       | +0.4                 | 5728.4                                       |
| 3        | 增益腔-II | 5759       | -2                   | 5757   |
| 4        | 倒数第二腔  | 5897       | -1.2                 | 5895.8                                       |
| 5        | 输出腔    | 5712       | -2.4                 | 5709.6                                       |

# 下一步计划

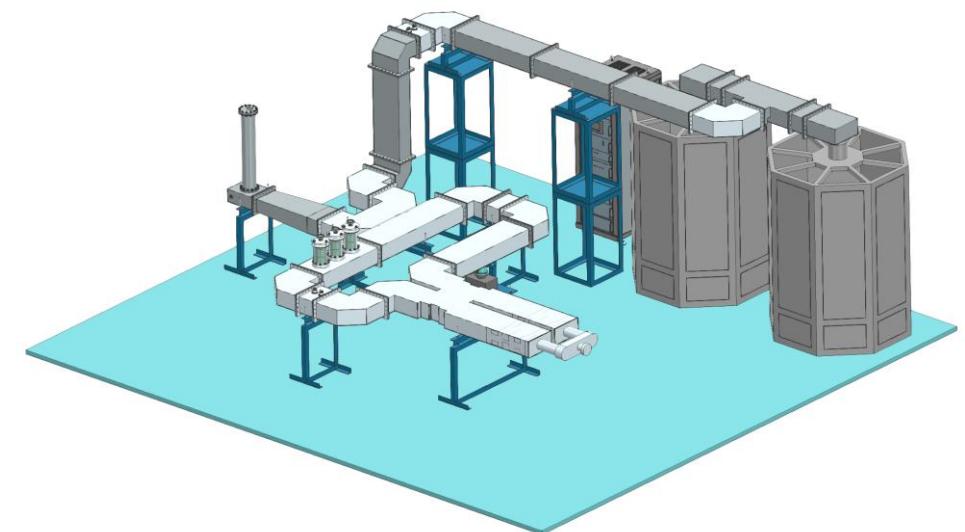
| 实施内容      | 完成时间       |
|-----------|------------|
| 输入腔Q值测试调整 | 2月13日（春节前） |
| 阴极除气      | 2月28日      |
| 整管装配      | 3月3日       |
| 整管排气      | 3月18日      |
| 管外件装配     | 3月22日      |

# 1.2MW P波段谐振环

- 完成物理设计，正进行工艺设计
- 部分关键部件开始加工
- 2026年5月开始高功率实验



P-band TWRR power gain is 15.56dB@650MHz (35.9)



# 谢谢大家