



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

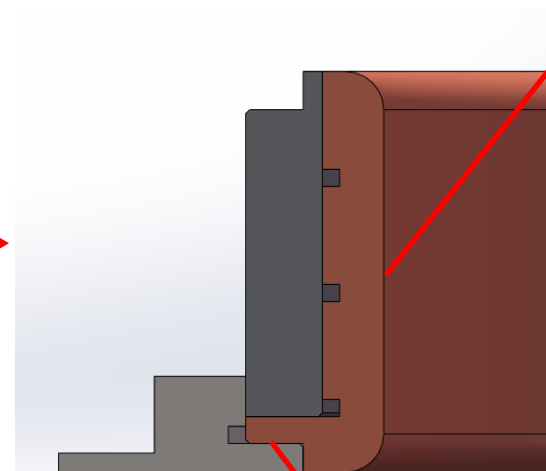
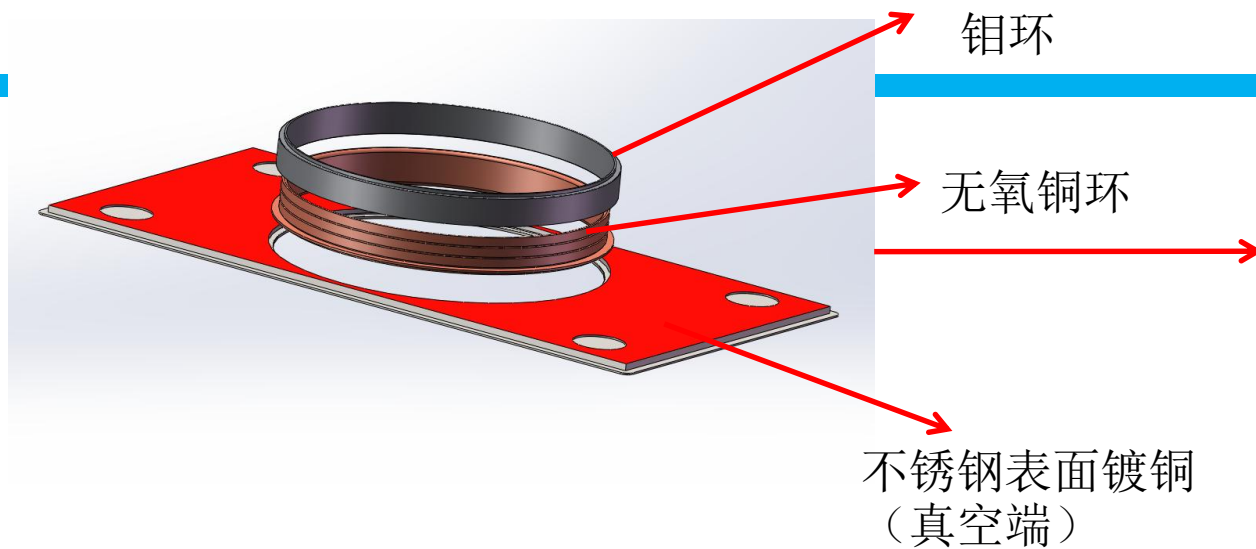
主要内容

- 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

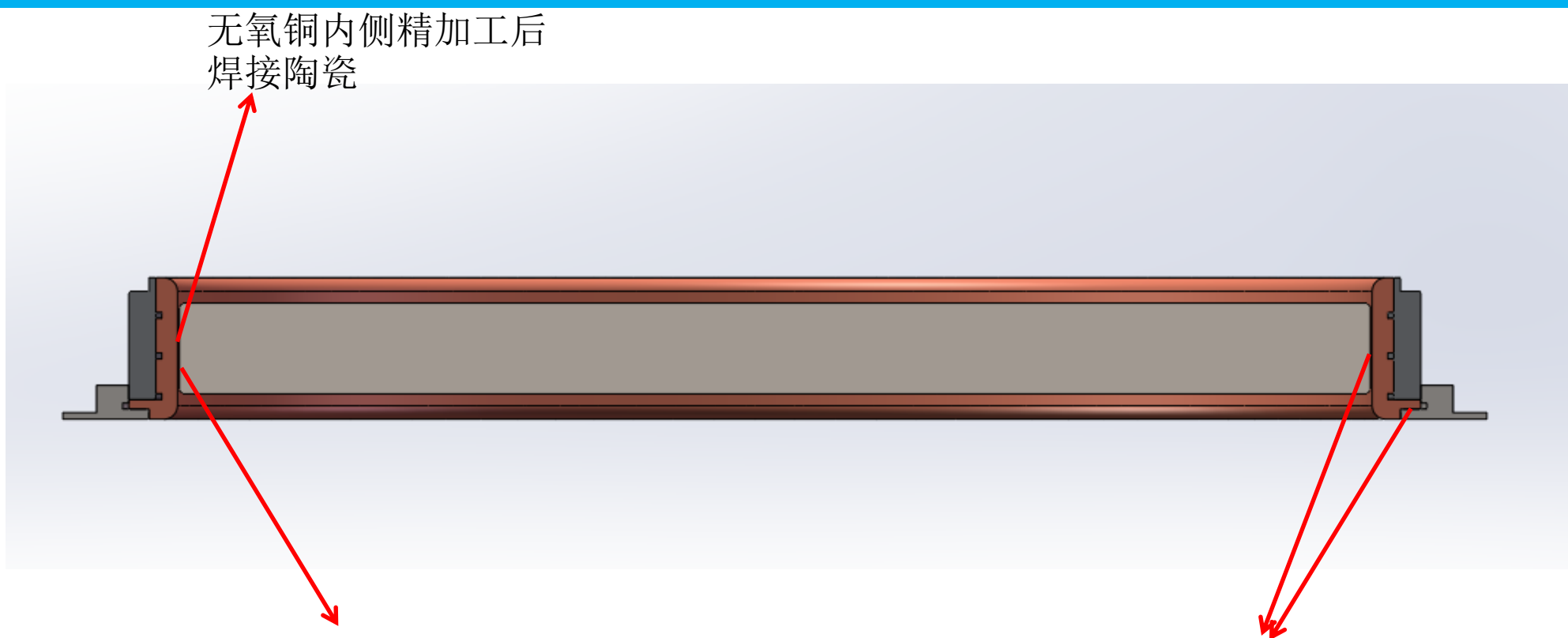




金铜60一级焊接

不锈钢无氧铜平面密封强度更高

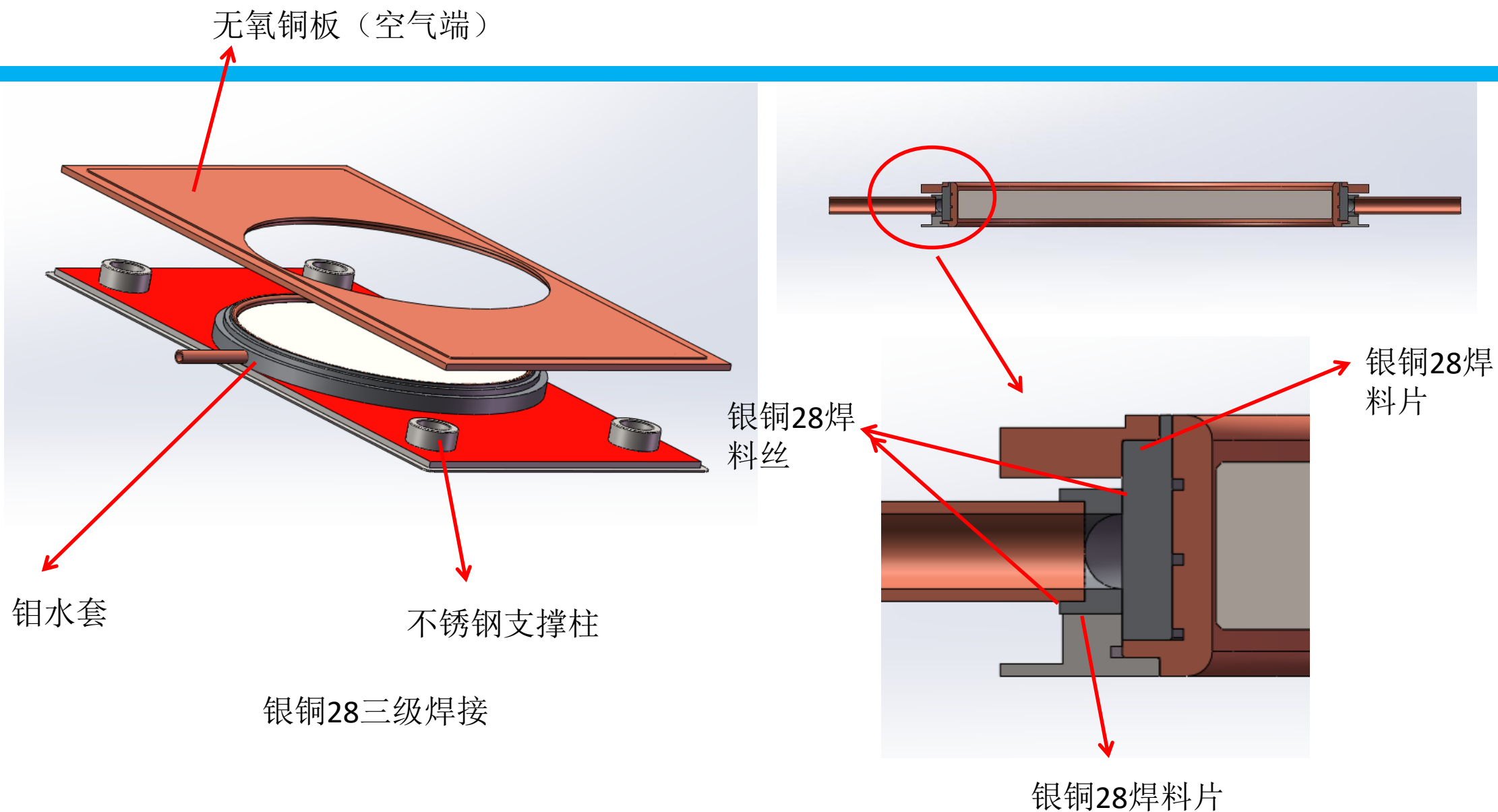
无氧铜
内侧粗
加工



无氧铜内侧精加工后
焊接陶瓷

金铜20焊料，二级焊接

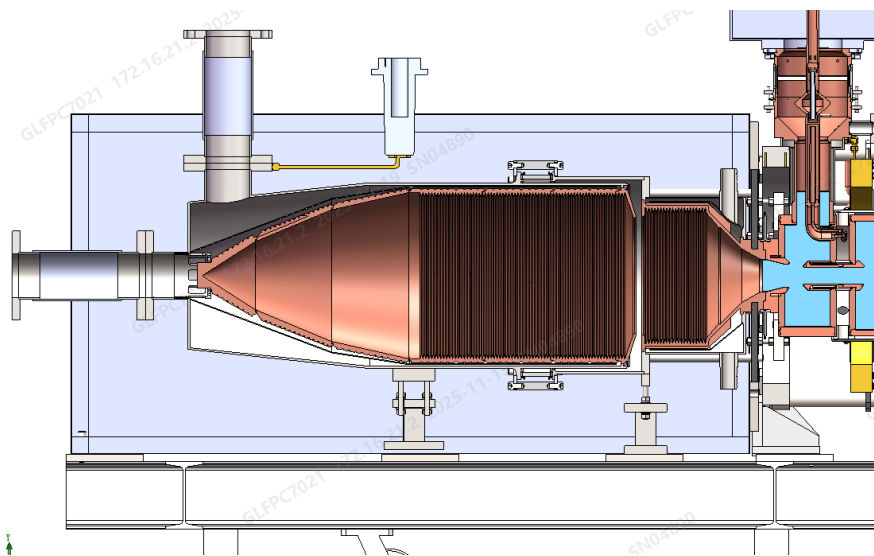
整个组件两处关键焊缝：1、陶瓷
无氧铜侧封焊接。2、不锈钢无氧铜平
面焊接。钼框架为接触焊接即可。



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

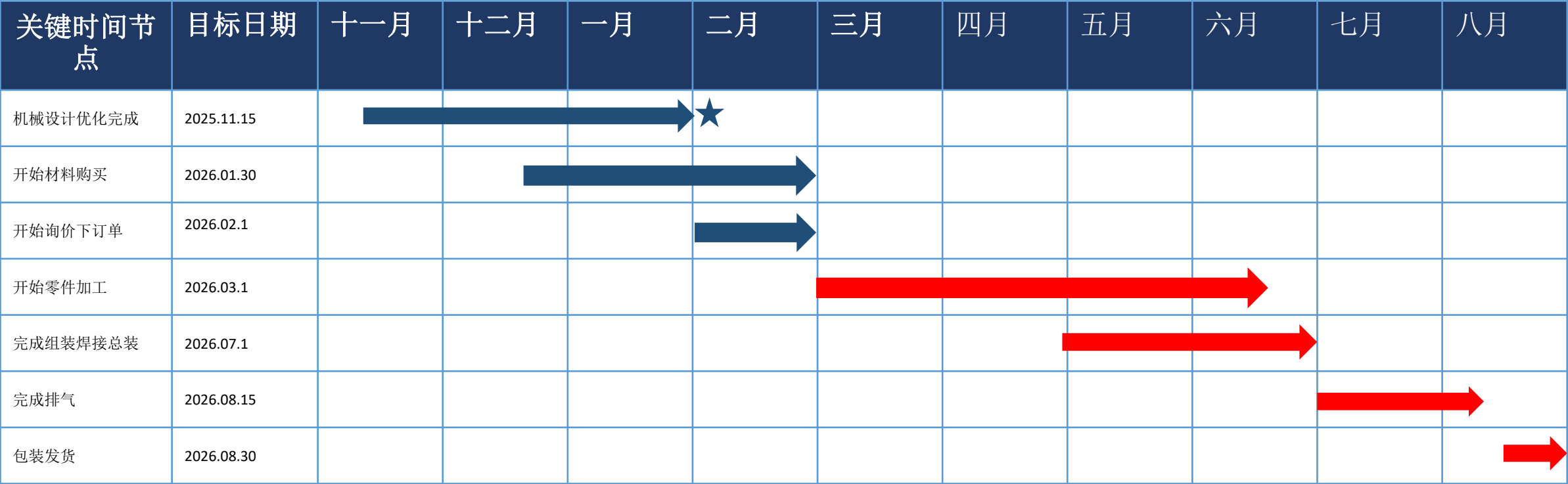


设计阶段（25年
-26年1月）

- 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

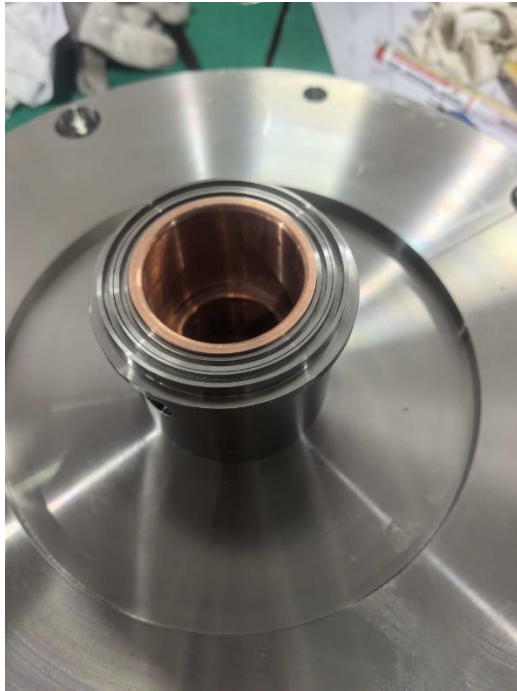
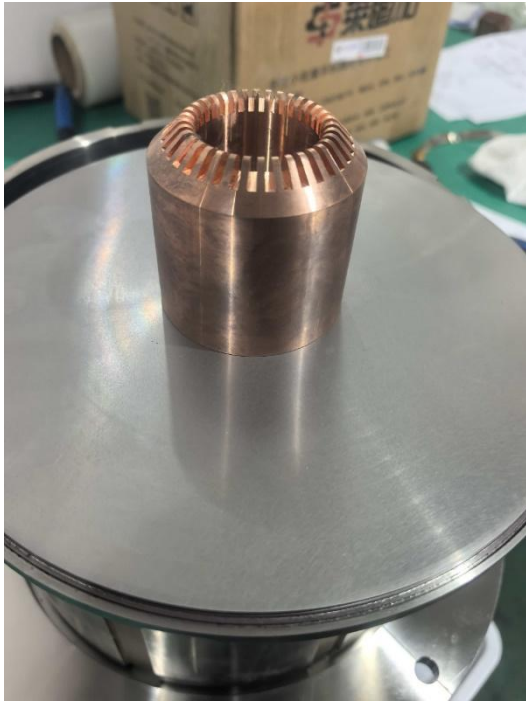
主要时间点

甘特图及主要节点 ★ 里程碑



目前状态

样件制造阶段
(25年10月)

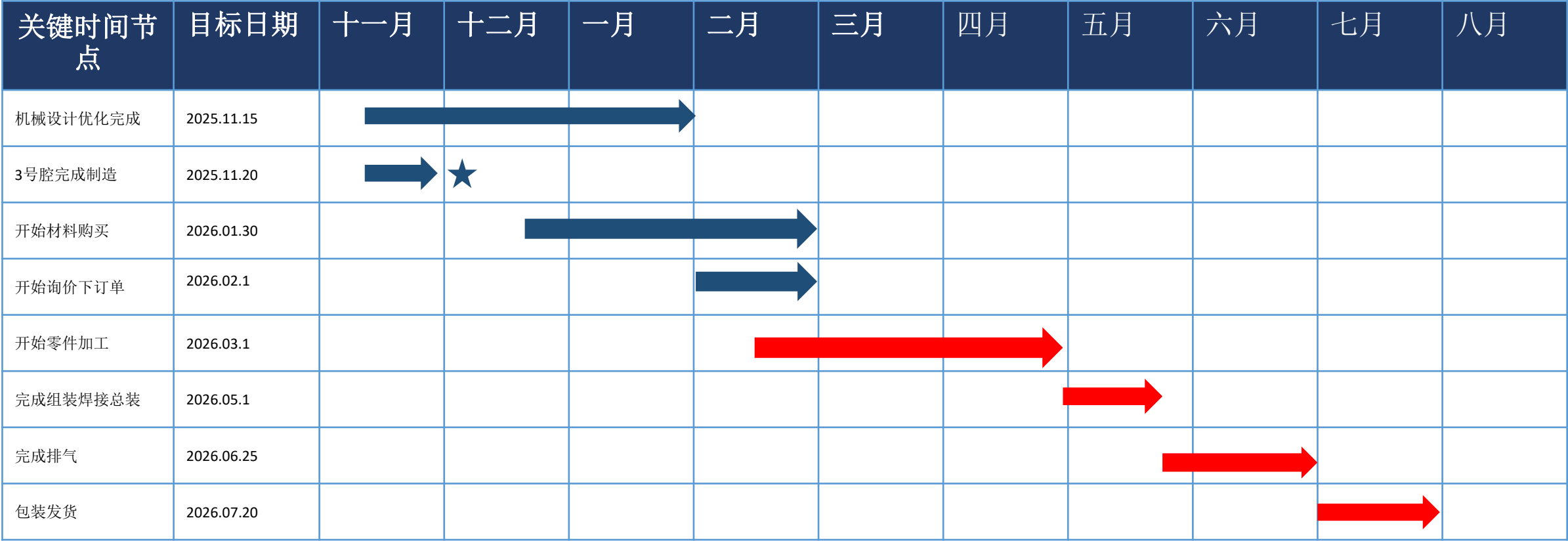


下一步计划

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

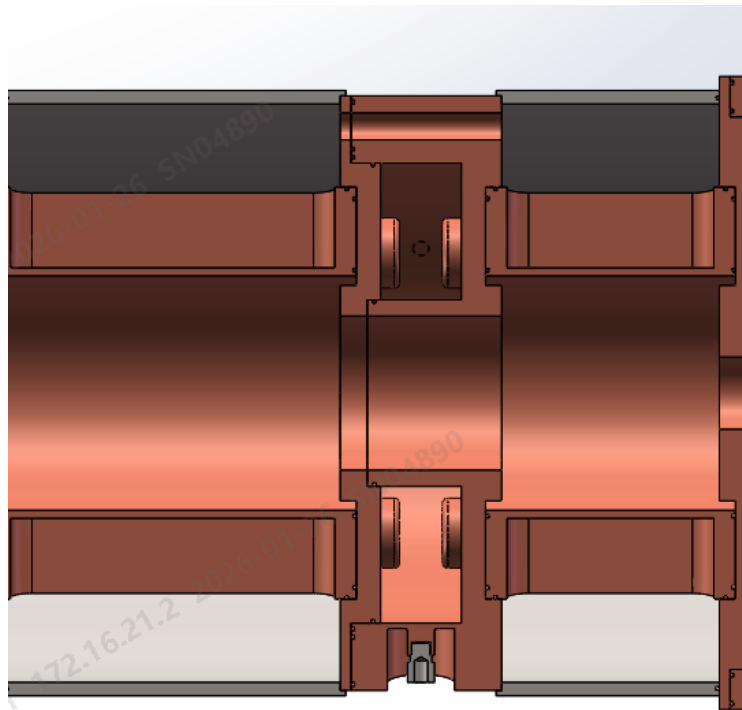
L波段速调管

甘特图及主要节点 ★ 里程碑



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)

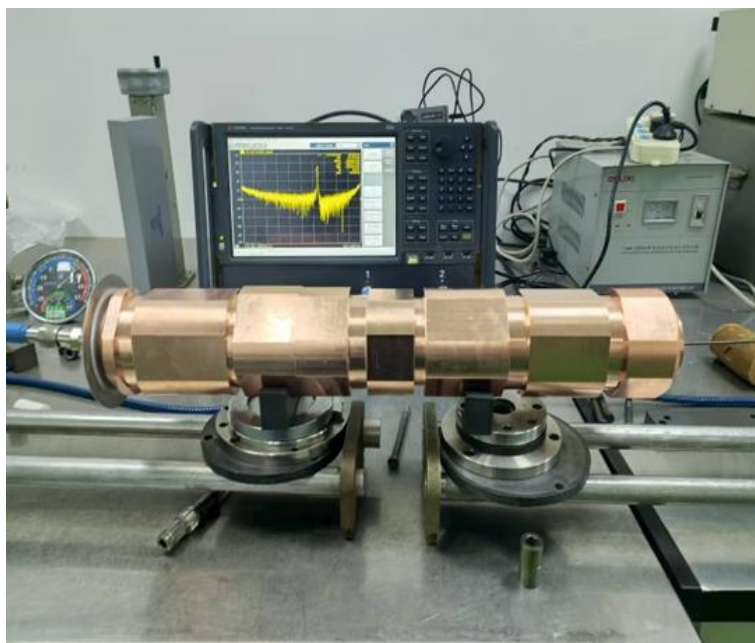


下一步计划

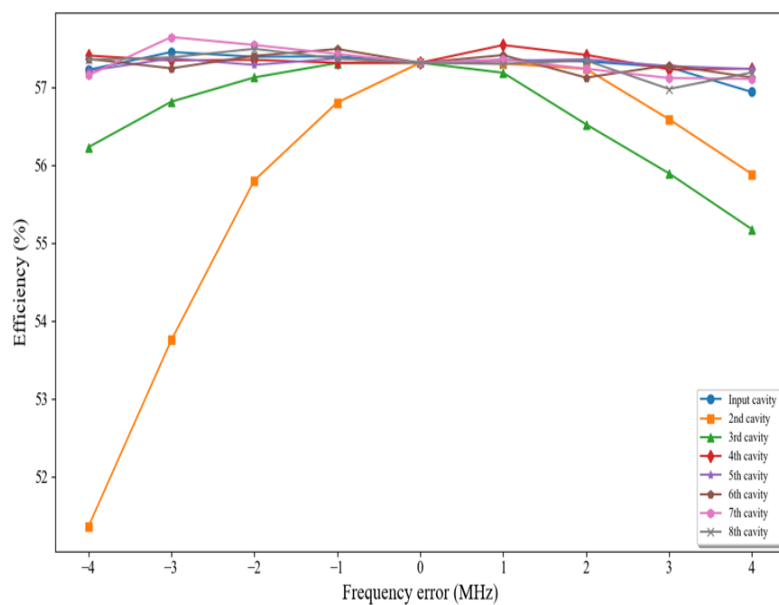
实施内容	完成时间
零部件加工	3月1日
装配、焊接和检漏	4月1日
整管装配	5月1日
速调管排气	6月1日
装配发货	7月20日

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

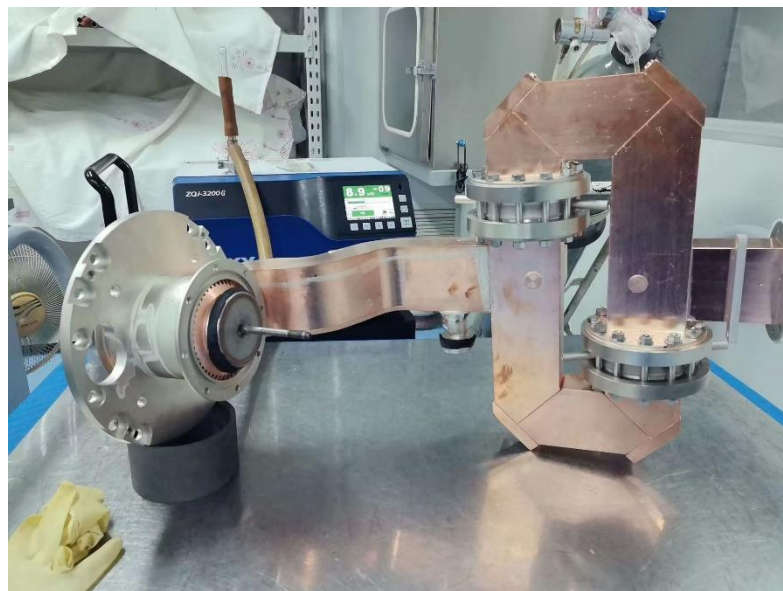
Num	设计值(MHz)	测试值(MHz)
1	2859	2857
2	2853	2853
3	2870	2871
4	2326	2328
5	5558	5559
6	3010	3010
7	3065	3065
8	2852	2853

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



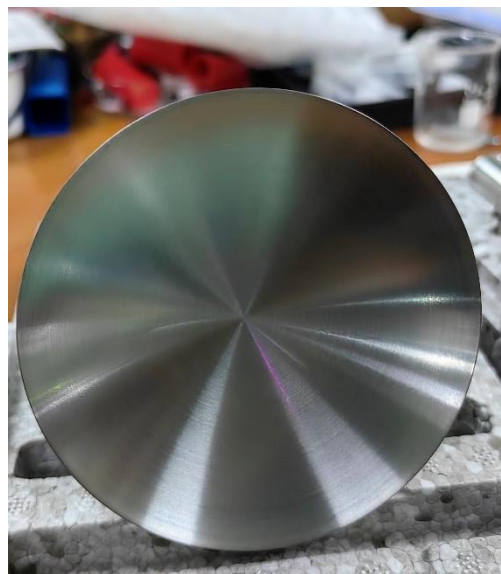
输出波导组装



除阴极外焊接完成状态

阴极除气

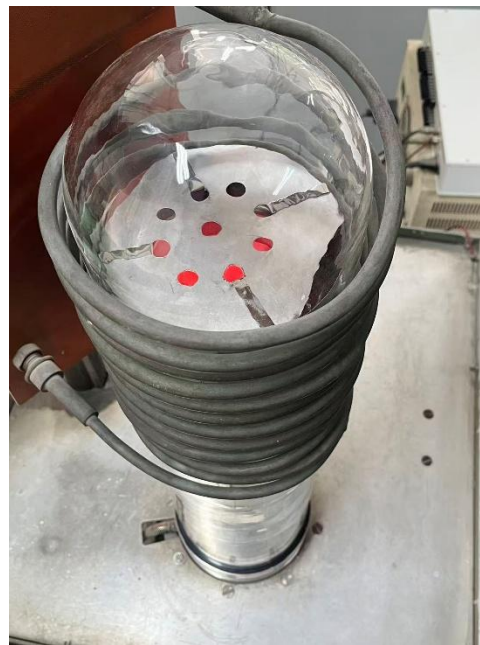
阴极在除气台进行除气和温度实验，阴极到达电流35A，电压19V，测温1130°C后，开始维持真空，降温。



阴极初始状态



阴极在除气台上



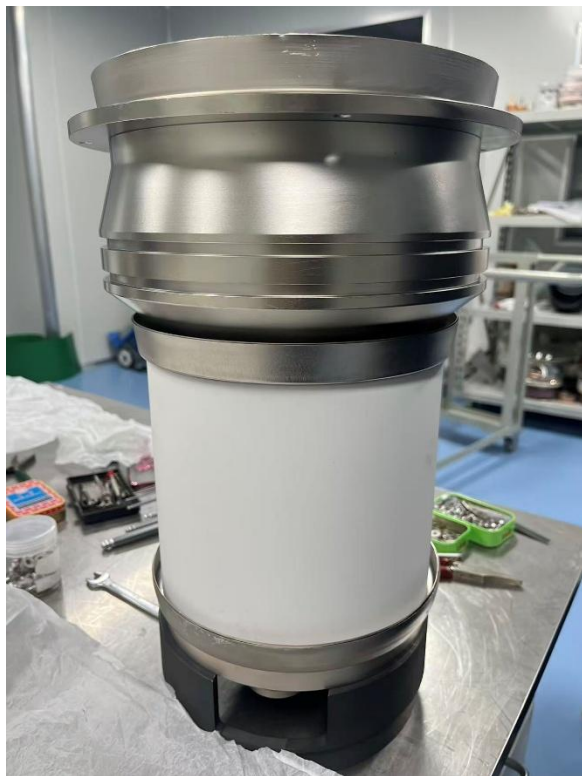
阴极高温状态



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

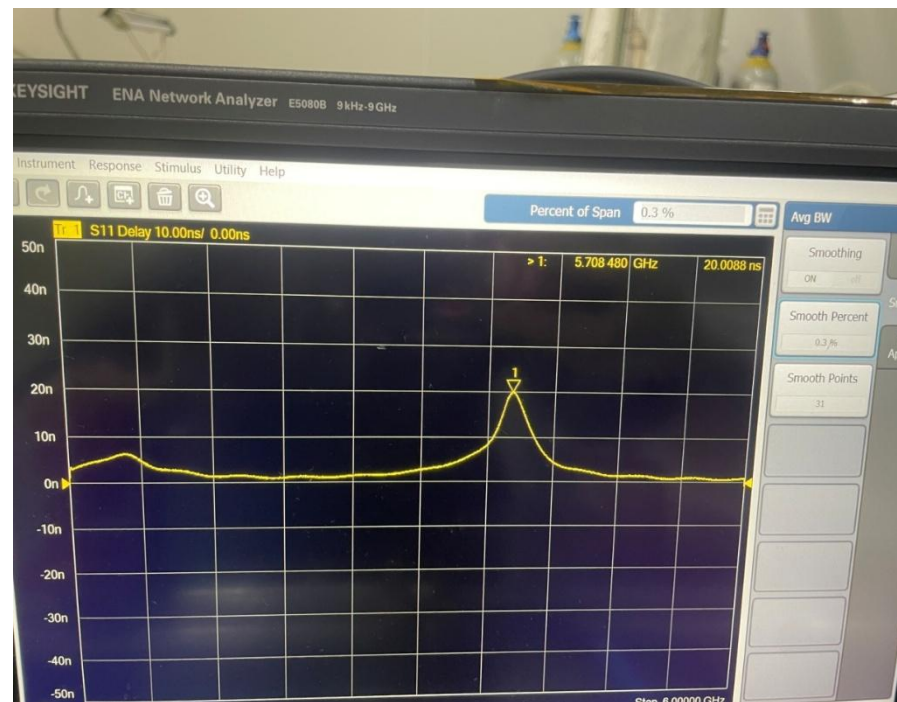
实施内容	完成时间
整管排气	2月16日
管外件装配	2月20日
高功率测试	3月1日

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

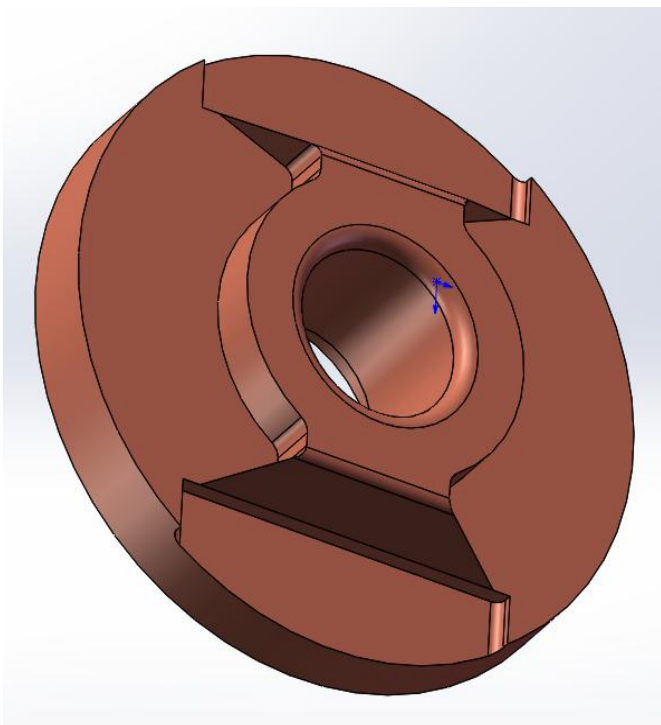
- 重新设计的输入耦合体焊接完成；输入腔焊接前完成冷测，等待最终待焊接。



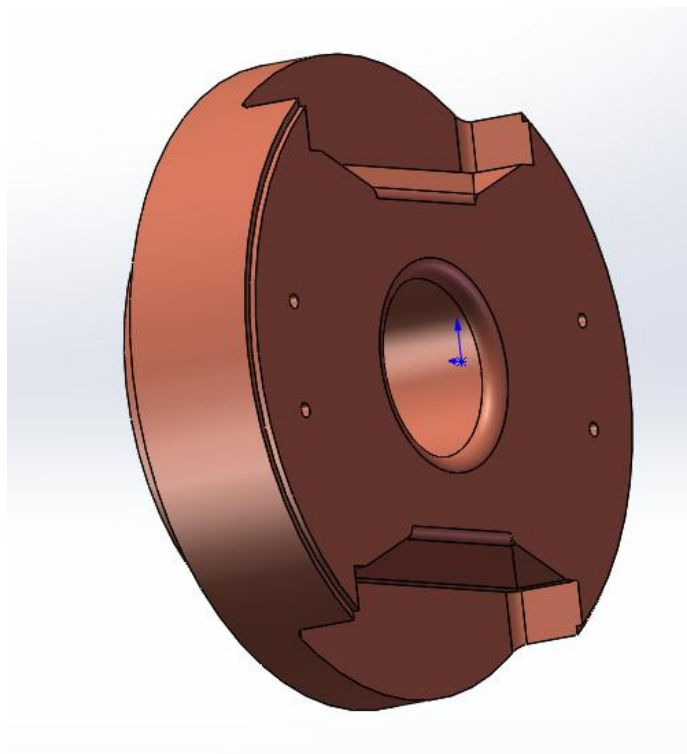
输出腔优化设计

- 对第三腔的焊接结构重新进行了设计

改前

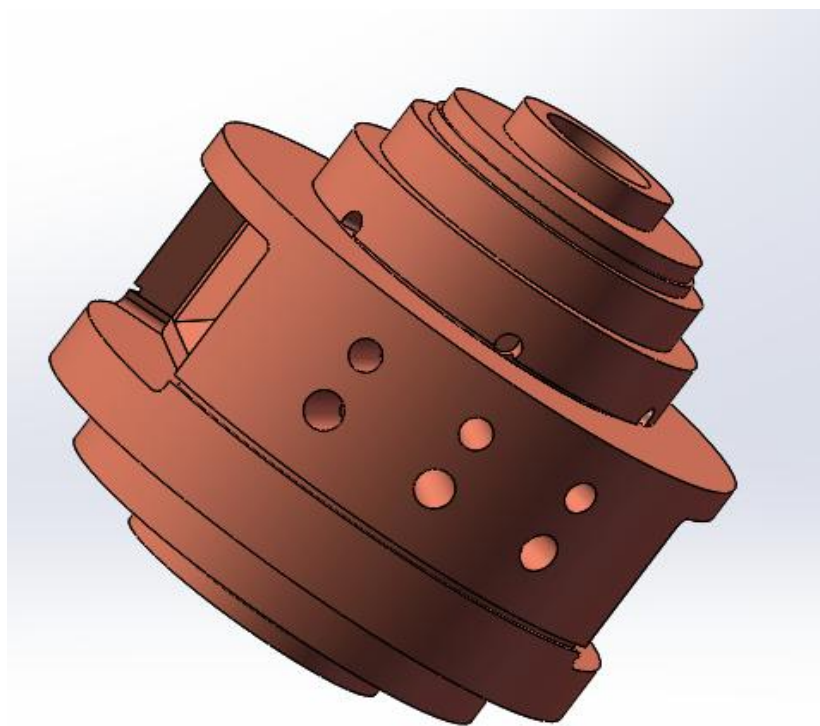


改后



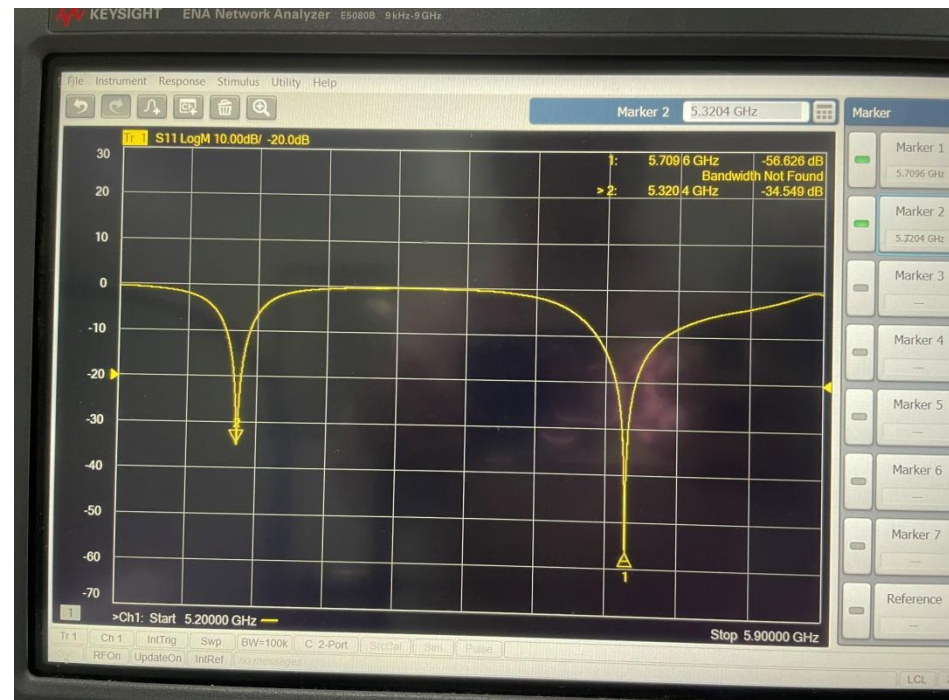
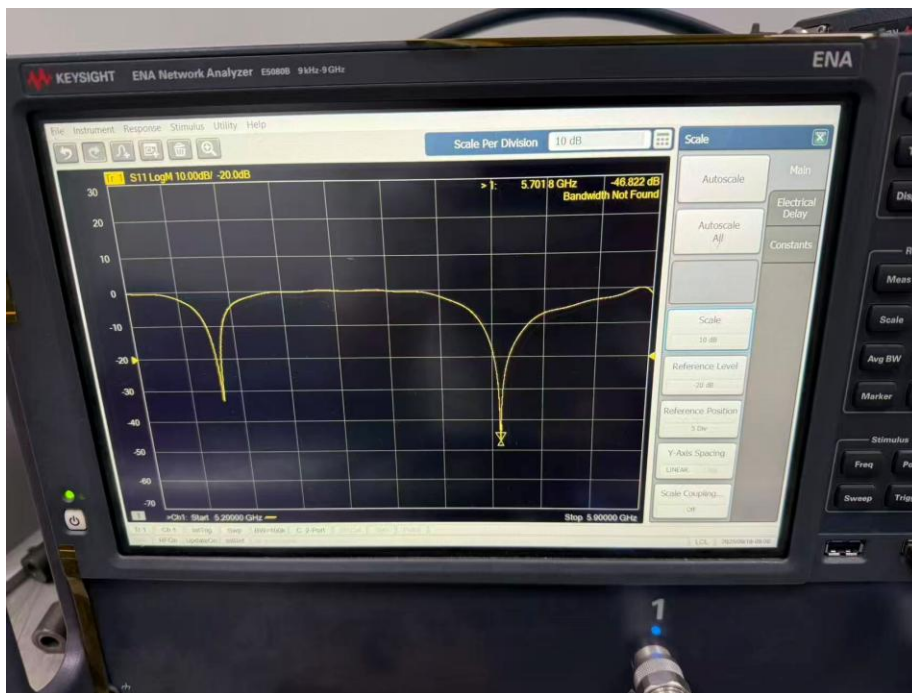
输出腔调谐孔

- 在腔体外面增加调谐孔，便于对腔体频率进行调整。

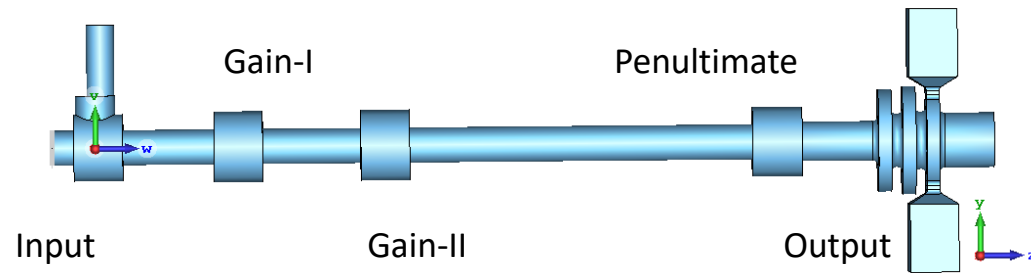


输出腔冷测

- 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： $5712 \pm 3\text{MHz}$ ）



腔体冷测结果



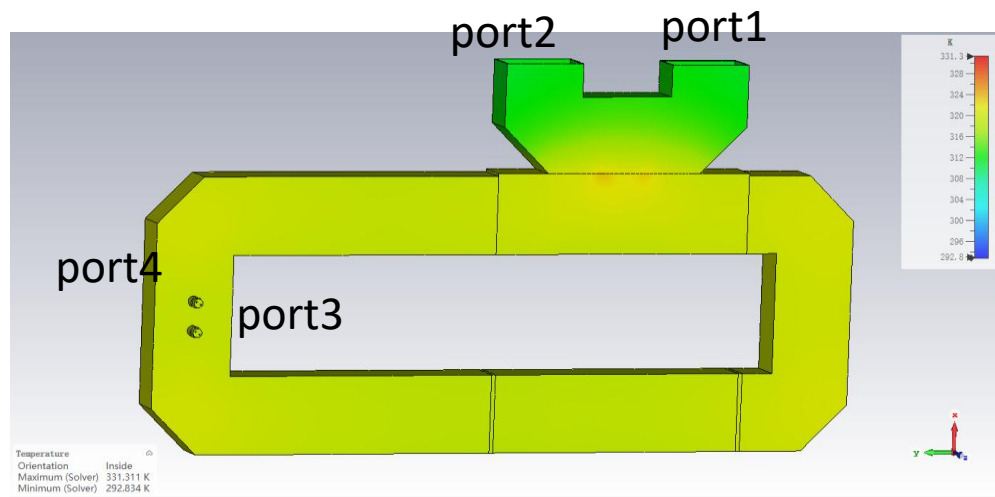
Cav. No.	Type	Freq.(MHz)	$\pm \Delta f$ (MHz)	1 st Cold Measure. Before brazing
1	输入腔	5710	-1.6	5708.4
2	增益腔-I	5728	+0.4	5728.4
3	增益腔-II	5759	-2	5757
4	倒数第二腔	5897	-1.2	5895.8
5	输出腔	5712	-2.4	5709.6

下一步计划

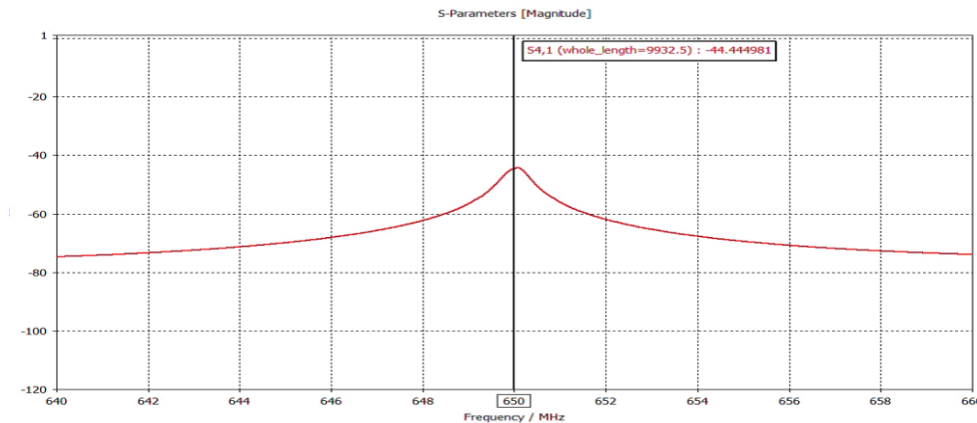
实施内容	完成时间
输入腔Q值测试调整	2月13日（春节前）
阴极除气	2月28日
整管装配	3月3日
整管排气	3月18日
管外件装配	3月22日

1.2MW P波段谐振环

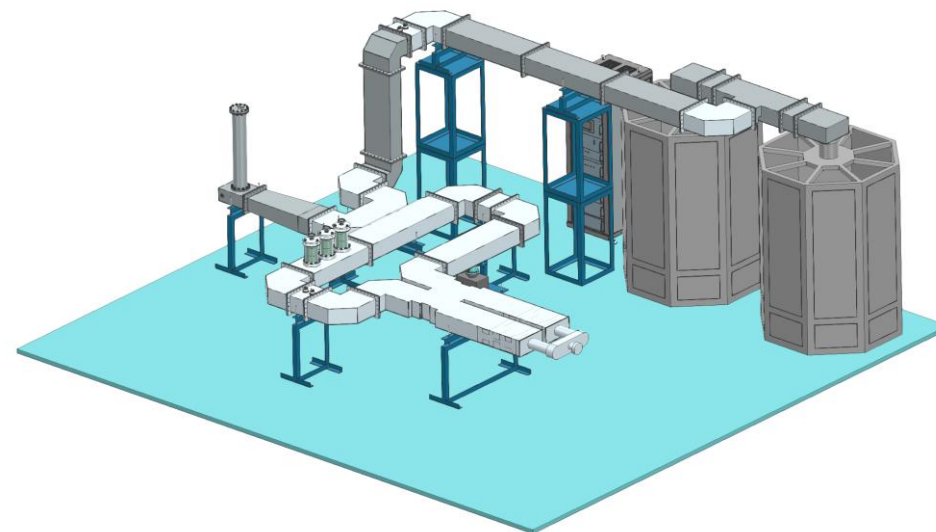
- 完成物理设计，正进行工艺设计
- 部分关键部件开始加工
- 2026年5月开始高功率实验



Temperature rise of P-band TWRR



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



谢谢大家