

Klystron status and future plan

Zusheng Zhou

Dec. 19, 2022

- ◆ **Review on HE klystron window**
- ◆ **MBK progress**
 - ◆ **MBK window high power test report**
 - ◆ **Fabrication @Guoli**
 - ◆ **HV power supply upgrade**
- ◆ **Design status and future plan**

Review on HE klystron window

Window Design Review on Dec. 6



高效率速调管输出窗优化设计评审会议日程表

2022 年 12 月 6 日

高能所 2#厅 202 会议室（腾讯会议：641-1572-0741）

时间	日程	报告人	主持人
09:00-09:15	650MHz/800kW 速调管输出窗运行情况总结	周祖圣	李煜辉
09:15-09:45	650MHz/800kW 高效率样管输出窗优化设计	陆志军	
09:45-10:00	ADS 325MHz/600kW 输出窗参数复核	荣林艳	
10:00-10:30	650MHz/800kW 高效率样管输出窗工艺与装配设计	熊 师	
10:30-11:30	问题讨论和评审意见		

专家组名单：

王光伟（组长）、潘卫民、高杰、何平、屈化民

高效率速调管输出窗优化设计评审意见

2022 年 12 月 6 日，CEPC 速调管研制课题组采用线下（高能所 2#厅会议室）和线上（腾讯会议：641-1572-0741）相结合的方式组织召开了高效率速调管输出窗优化设计评审会。专家组由王光伟、潘卫民、高杰、何平和屈化民等 5 位专家组成。专家组认真听取了课题组和合作厂家等四个技术报告，经质询及充分讨论后形成意见如下：

1. 优化水路结构，评估 T-bar 和陶瓷片外导体水冷必要性，可考虑改为风冷增加温度探头。
2. 优化电磁场分布，考虑窗体和输出腔整体的模拟。
3. 评估本设计中内导体插拔结构的可靠性。考虑弹簧片的必要性，注意机械结构设计对陶瓷表面应力的影响。
4. 考虑到国内瓷片工艺，建议 TiN 镀膜厚度 20nm。
在充分考虑上述建议后，开始研制加工。

专家组组长签名：王光伟 2022.12.6

专家组成员：

王光伟 研究员 中国科学院高能物理研究所

潘卫民 研究员 中国科学院高能物理研究所

高 杰 研究员 中国科学院高能物理研究所

何 平 研究员 中国科学院高能物理研究所

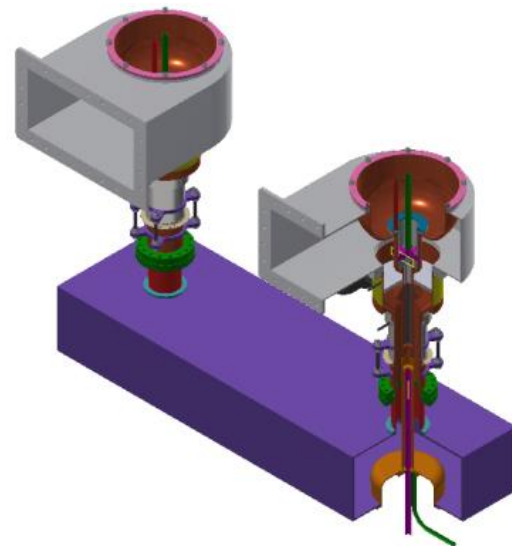
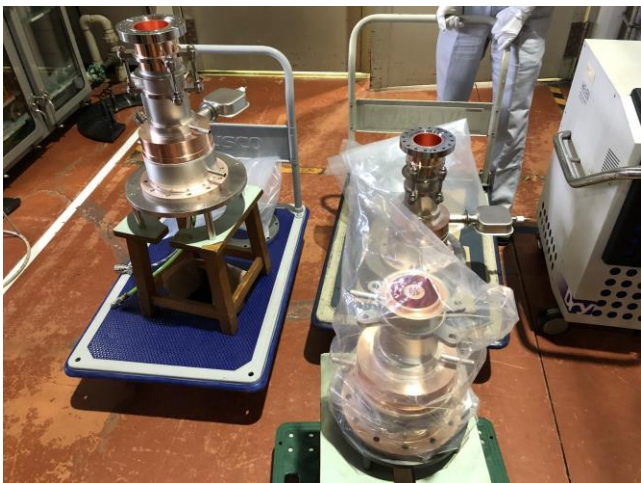
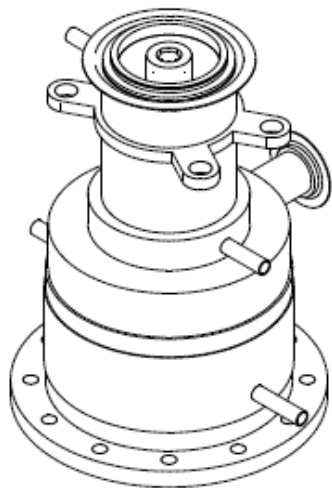
屈化民 研究员 中国科学院高能物理研究所

2022 年 12 月 6 日

Window R&D summary



- 2015年启动输出窗设计，2017年底完成。
- 2018年初启动输出窗加工。
 - 考虑到国内工艺，由日本佳能加工。在加工之前，方案得到KEK福田教授、日本佳能公司和高能所三方的确认。
 - 加工3支输出窗，计划一支装速调管上，另外两支利用首支样管搭建测试台进行高功率实验。
- 2019年4月到货。



Window R&D summary



- 2019年7月输出窗与输出腔在电子所进行焊接，由于焊接过程升温 and 降温速度过快，导致输出窗瓷片破裂(**第一支窗损坏**)。
- 2019年9月电子所在调整相关焊接工艺后，焊接取得成功。
- 2021年3月首支样管运行697kW，输出窗破裂。(b>第二支窗损坏)
- 2022年7月5日高效率样管运行630kW，输出窗破裂。(b>第三支窗损坏)
- 至此，从日本购买的三支窗均损坏，下一步速调管维修必须要自己研制输出窗。

New window design optimization by LuzjCEP

序号	设计思路	内外导体冷却方式	最高温度(°C)	陶瓷表面最大温度梯度(°C)	陶瓷最大应力(MPa)
1	原设计 (800kW/700kW/600kW)	水冷	143/124/110	73/61/52	201/169/145
2	延长同轴+短路面 (3/4波长, 346mm)	风冷	126	45	120
3	延长同轴+短路面 (3/4波长, 346mm)	水冷	81	30	80
4	T-bar	风冷	131	50	190
5	T-bar	水冷	81	35	90
6	T-bar (进一步优化结构)	水冷	73	25	70
7	T-bar (进一步优化结构)	风冷	87	20	60

专家评审

设计前后经过了6次迭代，并汲取了专家建议，最终得到第7版参数。

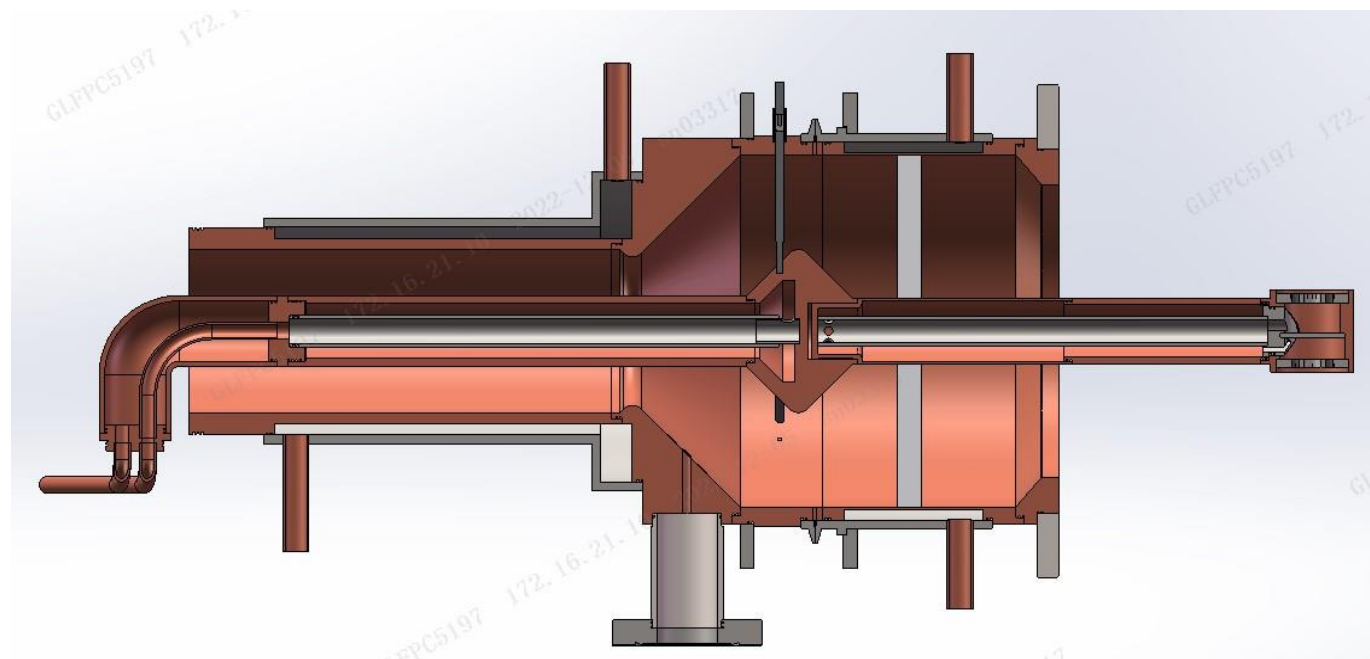
ADS Klystron window parameters by Rongly



序号	运行参数	内外导体冷却方式	最高温度(°C)	陶瓷表面最大温度梯度(°C)	陶瓷最大应力(MPa)
1	ADS @600kW	风冷	43.1	8.5	55
2	ADS @800kW	风冷	49.1	12	71
3	CEPC @800kW	风冷	87	20	60

通过比较，目前的设计窗表面最高温度高于ADS速调管，但陶瓷表面最大应力已相当。

输出窗整体结构。

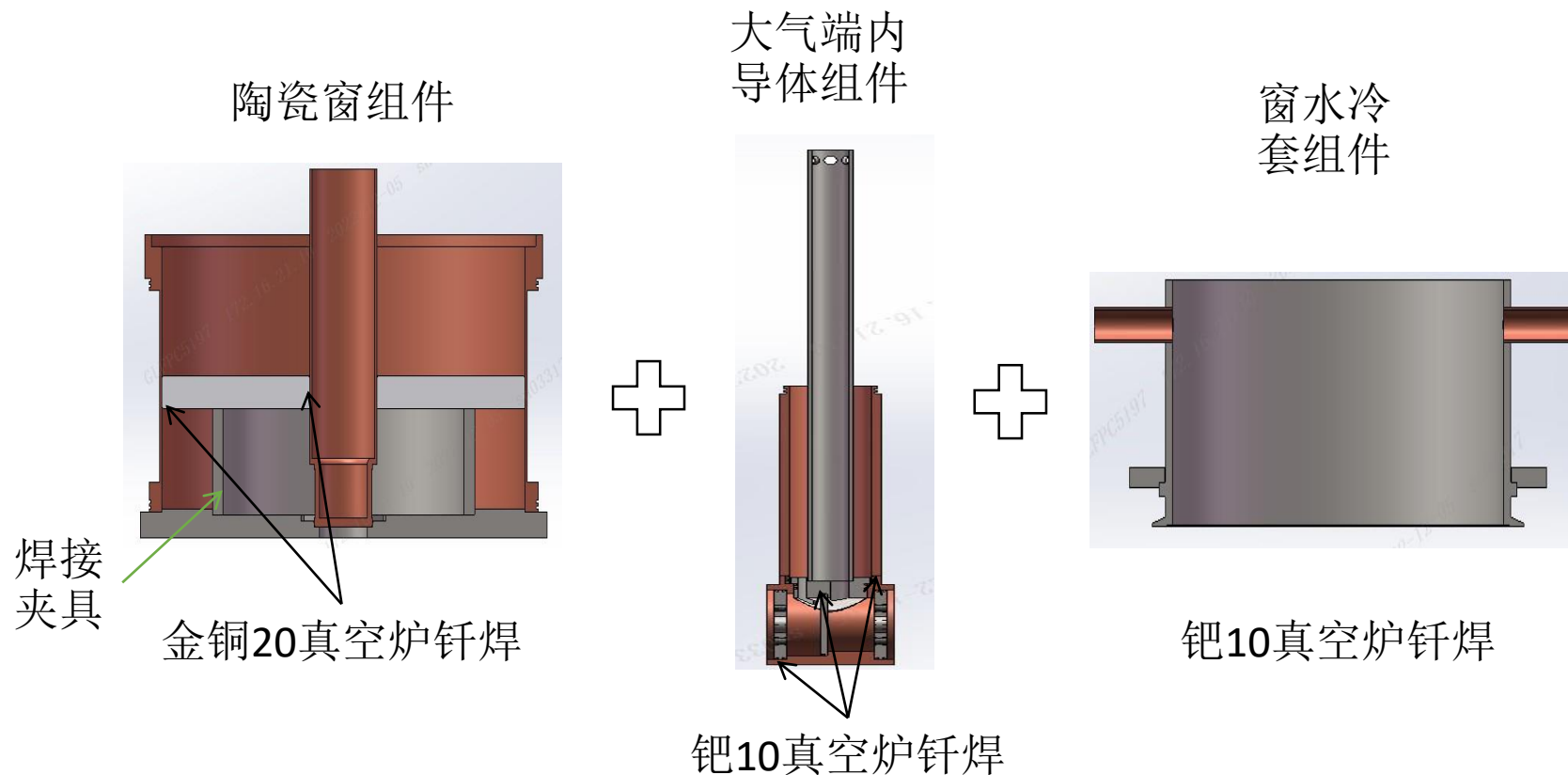


138 232

405.63

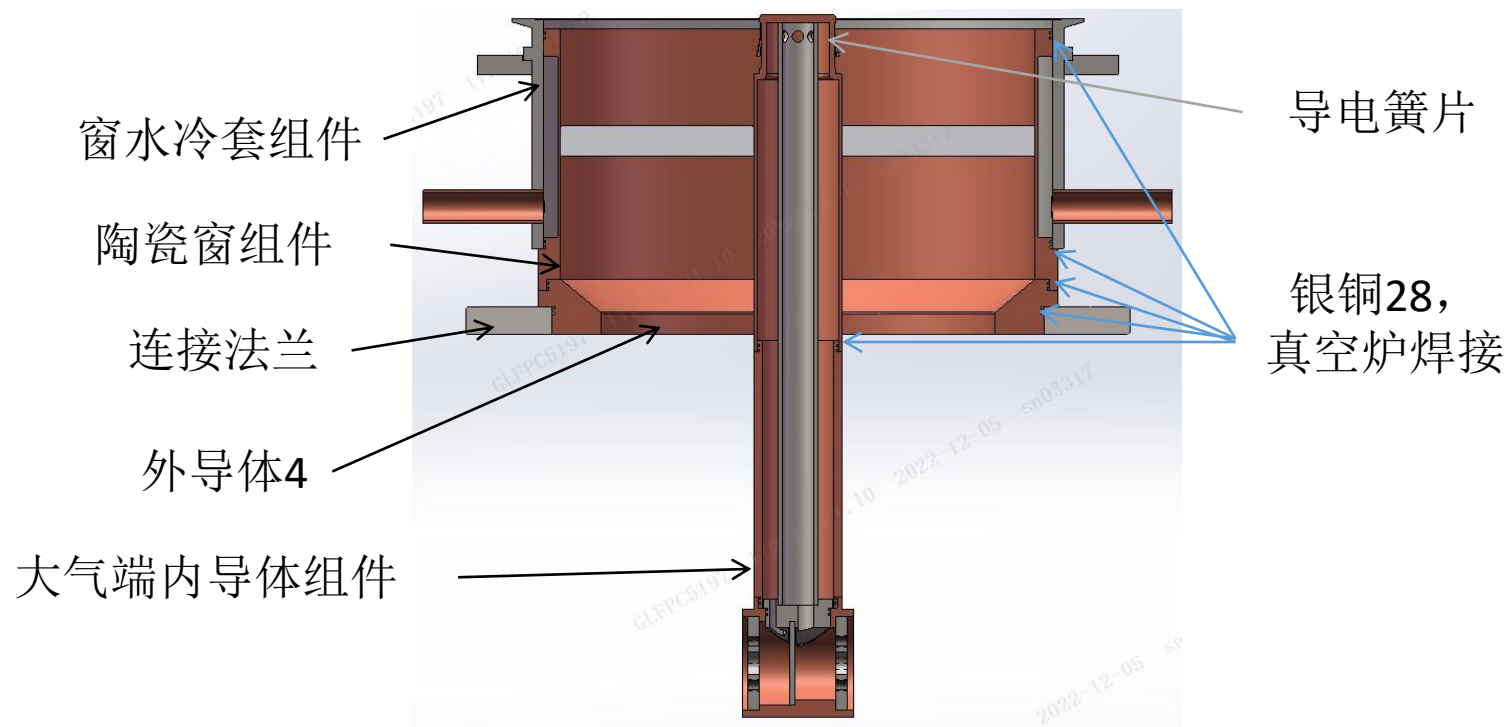
输出窗关键尺寸

窗体及水冷部件一级钎焊。



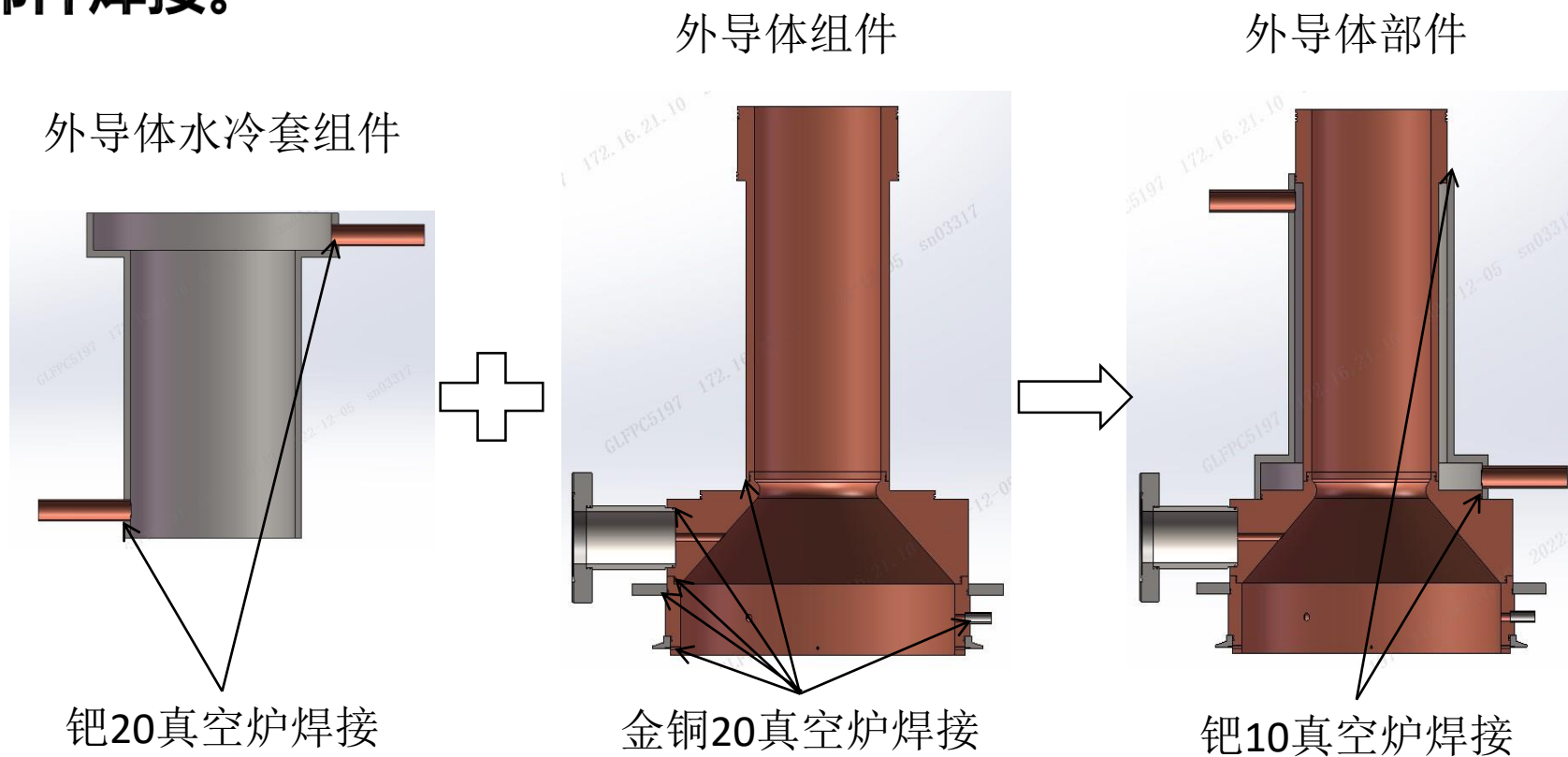
窗体及水冷部件各子组件按图示进行装配进行第一级钎焊。

窗体及水冷部件二级钎焊。



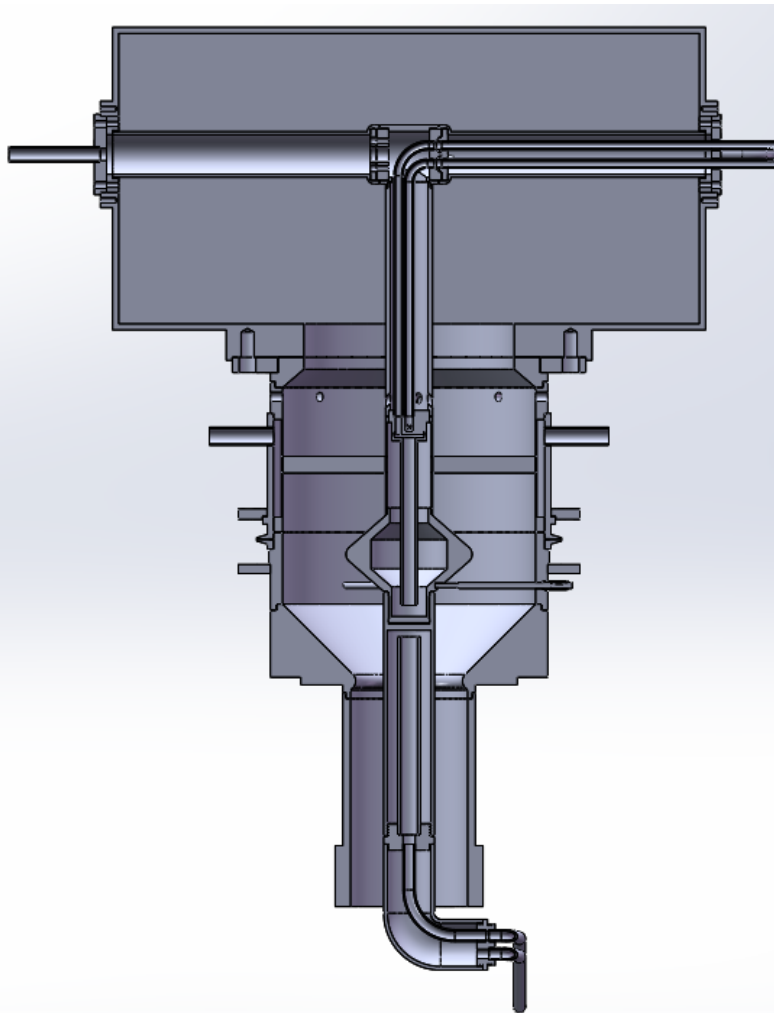
如图所示，各子组件焊接完成后并检漏后，按图示进行装配焊接。
各真空要求焊缝经检漏测试无误后按图示进行导电簧片点焊焊接。

外导体部件焊接。



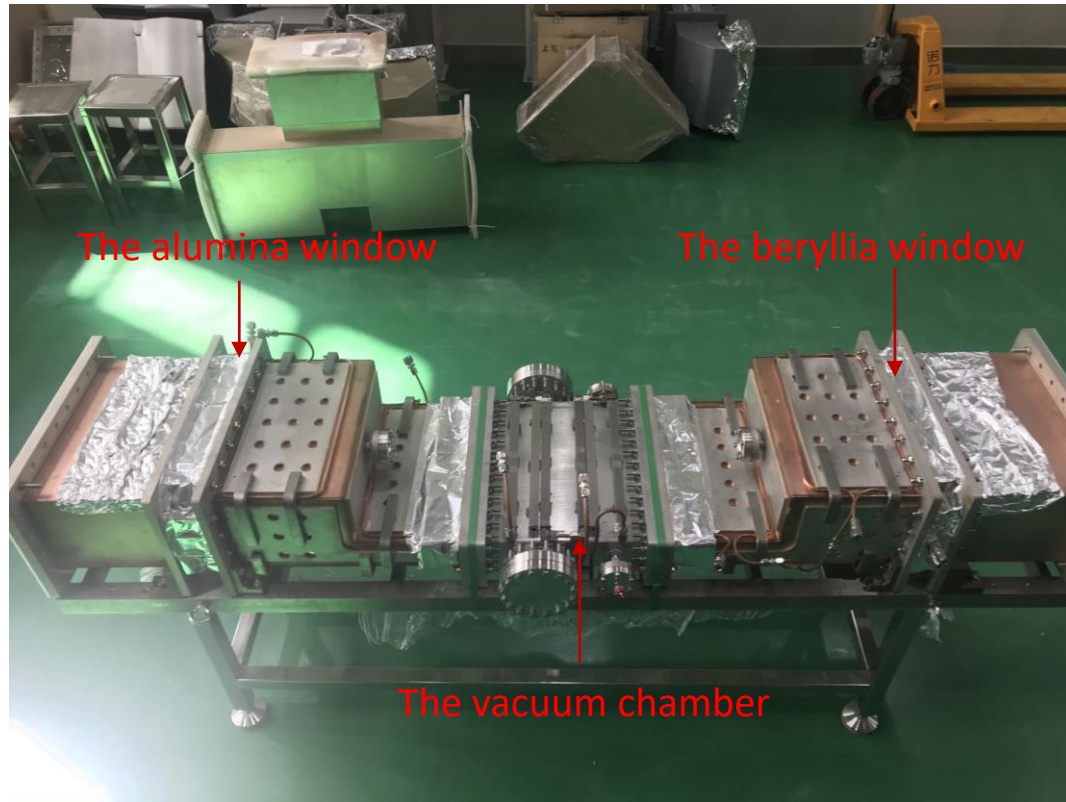
如图所示：各子组件经一级钎焊并完成检漏后装配进行二级钎焊

- 根据评审专家意见，在完善相关冷却系统安排后，启动输出窗加工。



MBK progress

Preparation for high power test

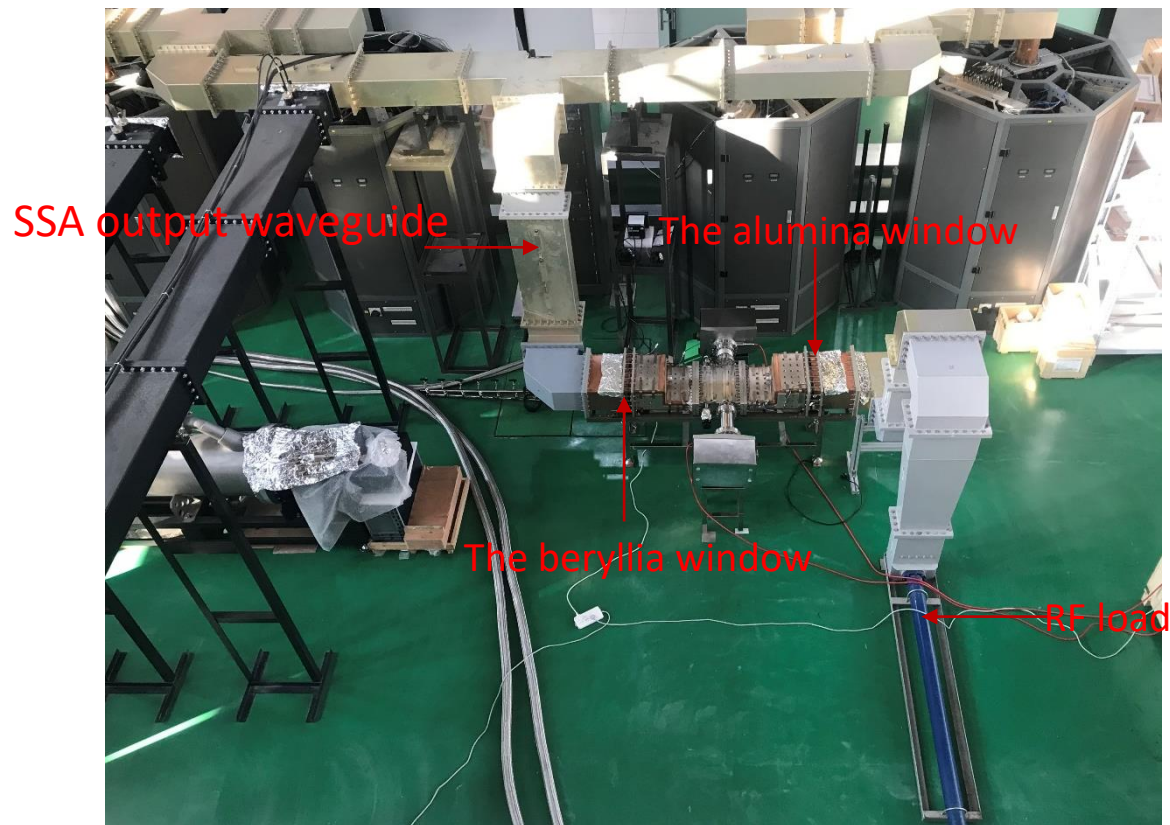


80°C baking for 48 hours



Vacuum leak rate

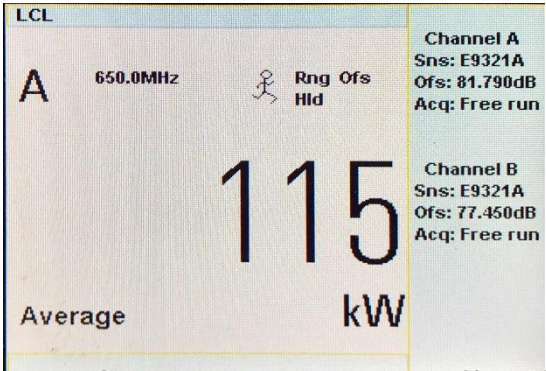
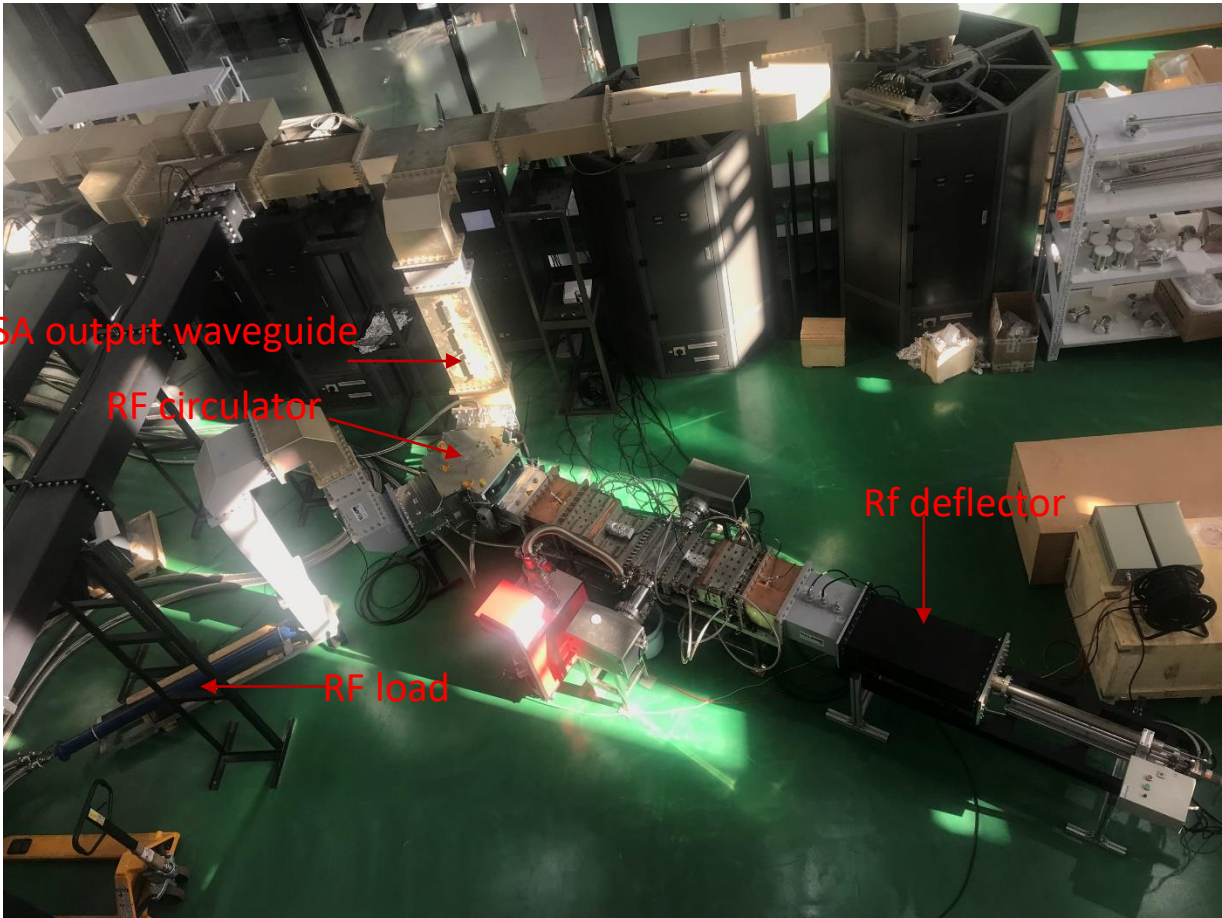
Travelling wave by 150kW SSA power



Measured CW power

parameter	value
SSA output power	143 kW (CW)
Temperature rise on alumina disk	10.2 °C
Temperature rise on beryllia disk	8.7°C
Duration of time	4 hours

Standing wave(SW) by 150 kW SSA



Measured CW power as Beyllia disk at position of the SW peak amplitude

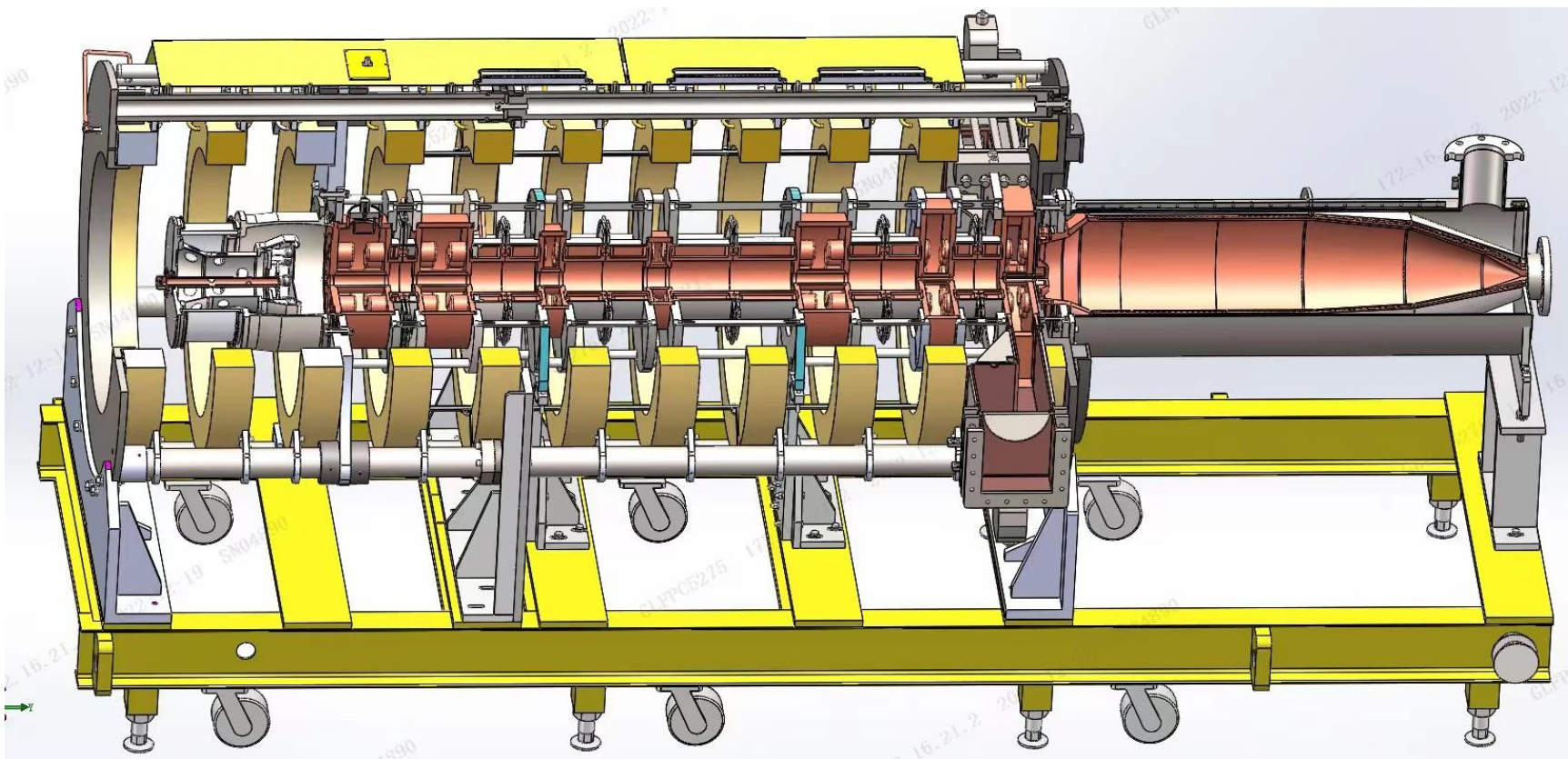
	Alumina window	Beryllia window
SSA output power	110 kW CW	115 kW CW
Temperature rise	37.0 °C	27.4 °C
Duration of time	>2 hours	>2 hours

MBK输出窗优化措施

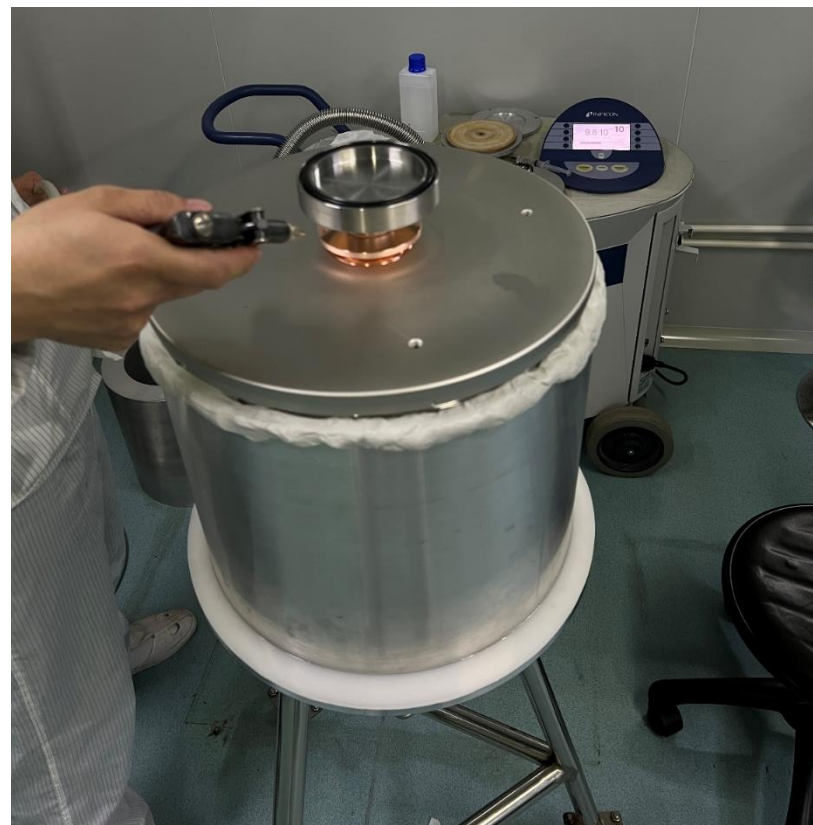


- 采用氧化铍陶瓷。
- 增加真空盒波导窄边冷却。
- 调整焊接工艺。

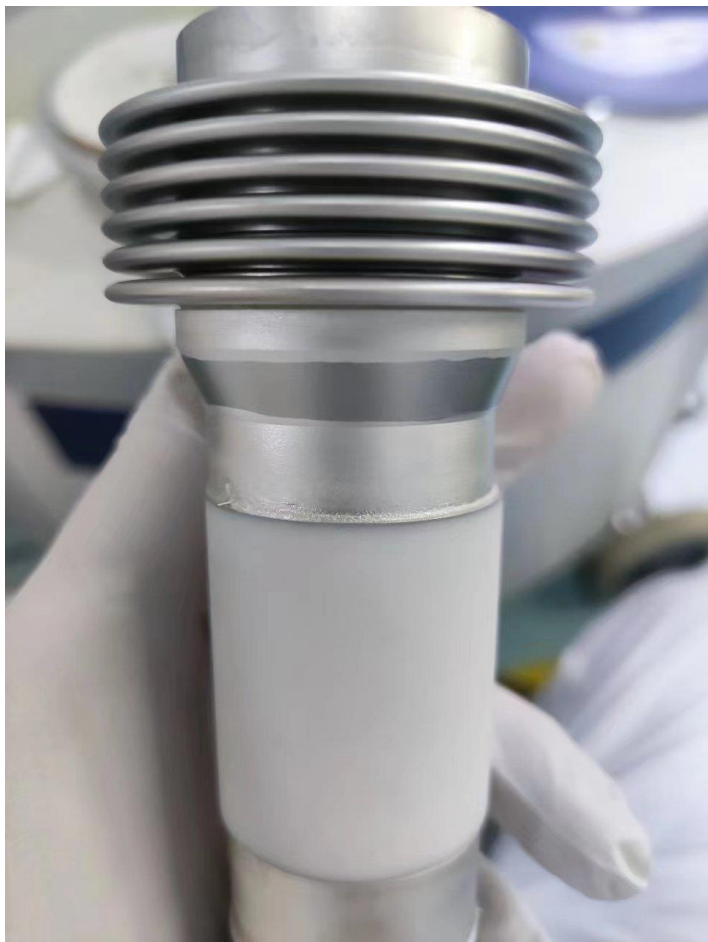
- 第一阶段-MBK束流实验装置
 - 电子枪、收集极、束流管、聚焦线圈和运行支架。
(完成90%加工)



- MBK电子枪枪外筒完成补焊和检漏，电子枪零部件处理完毕，等待阴极。
- 电子枪枪后法兰与灯丝组件焊接完毕并完成检漏。



- MBK束流管流强检测陶瓷组件完成第二级钎焊焊接和检漏



- MBK阴极发射测试，在中频除气台上进行，真空度优于在 1.2×10^{-5} Pa，500V电压测得发射流强超过3mA（电流表最大量程3mA），工作电压电流为8.53V/12A，温度1080度。

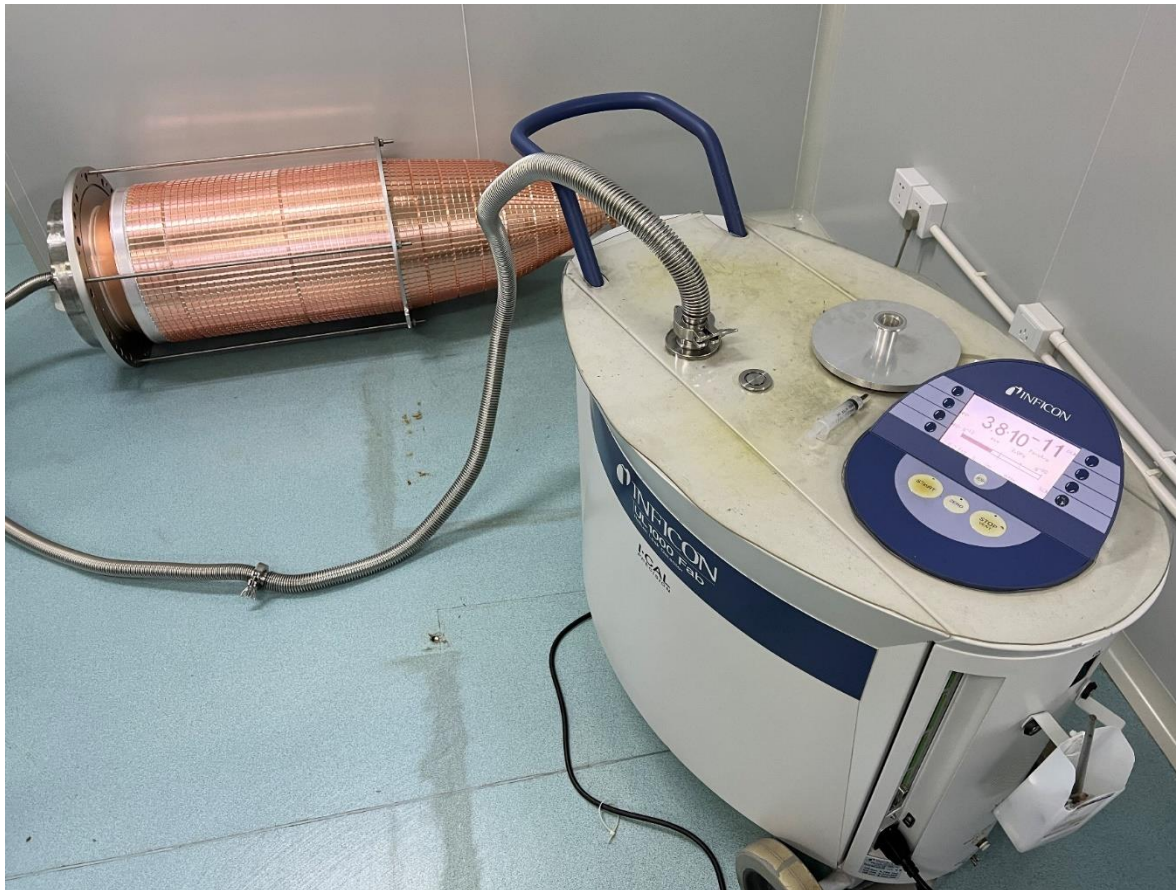


MBK 阴极激活记录

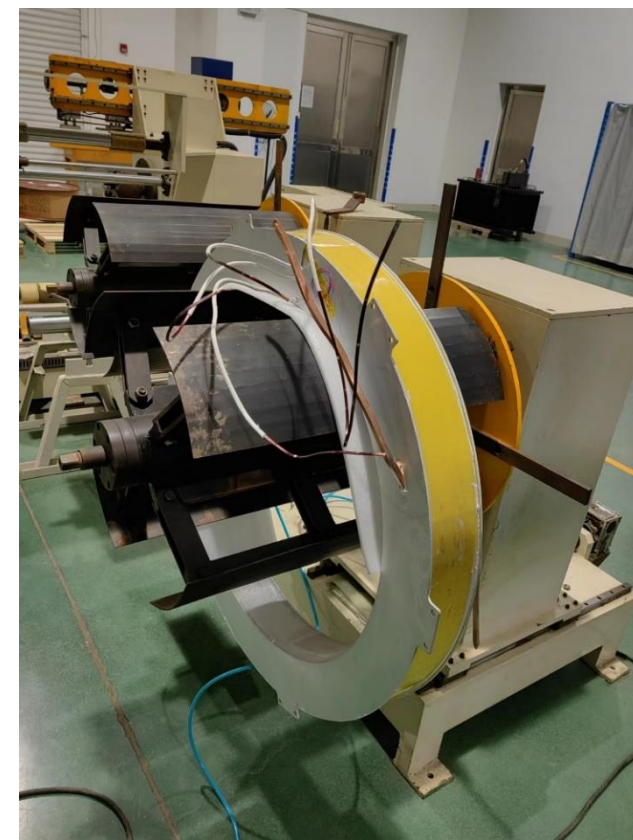
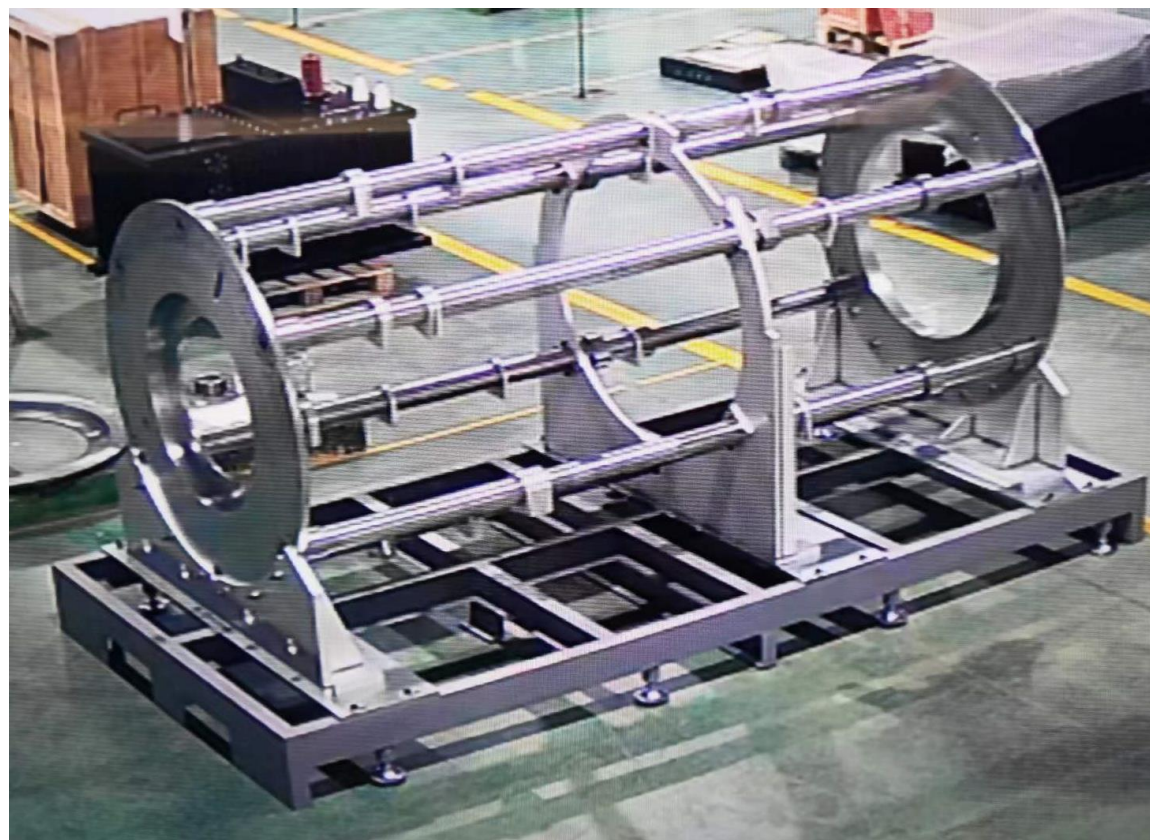
时间	热丝电压	热丝电流	真空度	温度	阳极电压	阳极电流
13:15	0.17	0.51	7.9×10^{-4}			
14:10	0.31	1.30	8.9×10^{-4}			
14:30	0.477	1.477	8.2×10^{-4}			
14:40	0.478	1.977	8.8×10^{-4}			
14:50	0.878	2.476	9.7×10^{-4}			
15:00	1.183	2.976	1.1×10^{-3}			
15:10	1.478	3.479	1.2×10^{-3}			
15:20	1.861	4.001	1.4×10^{-3}			
15:36	2.384	4.501	1.7×10^{-3}	378 / 270°C		
16:10	2.397	4.470	1.8×10^{-3}	377°C		
17:40	2.910	5.003	1.6×10^{-3}	469°C		
17:50	3.264	5.502	1.0×10^{-3}	517°C		
18:00	3.734	6.005	1.0×10^{-3}	582°C		
18:10	4.207	6.501	1.1×10^{-3}	667°C		
9:07	4.125	6.501	3.8×10^{-4}	705°C		
9:07	4.582	7.004	3.8×10^{-4}	699°C		
9:20	5.103	7.504	2.8×10^{-4}	764		
9:25	5.180	7.504	4.0×10^{-4}	804		
9:30	5.611	8.006	4.1×10^{-4}	811		
9:35	5.656	8.006	4.2×10^{-4}	851		
9:40	5.979	8.241	4.2×10^{-4}	866		
9:45	5.979	8.332	4.2×10^{-4}	877		
9:50	6.641	9.009	4.6×10^{-4}	877		
9:55	6.70	9.010	5.1×10^{-4}	943		
10:00	7.208	9.392	5.3×10^{-4}	958		
10:05	7.296	9.511	5.9×10^{-4}	1000		
10:10	7.708	10.207	6.1×10^{-4}	1007		
10:15	7.835	10.207	6.6×10^{-4}	1047		
10:20	8.273	10.506	6.8×10^{-4}	1057		
10:25	8.236	10.509	8.5×10^{-4}	1098		
10:30	8.627	10.809	9×10^{-4}	1106		
10:35	8.868	11.206	9.2×10^{-4}	1125		
10:35	9.182	11.313	1×10^{-3}	1140 (温度计失效)		
10:40	9.017	11.112	1×10^{-3}	1148		
10:45	9.065	11.213	1×10^{-3}	1150		
11:12	9.080	11.213	1.2×10^{-3}	1140		
12:13	8.412	11.5013	1.1×10^{-3}	1280		
12:20	8.327	12.000	1.1×10^{-3}	1285/1080		

MBK加工

- MBK收集极内腔完成焊接和检漏
- 收集极水套完成加工，并完成水压测试



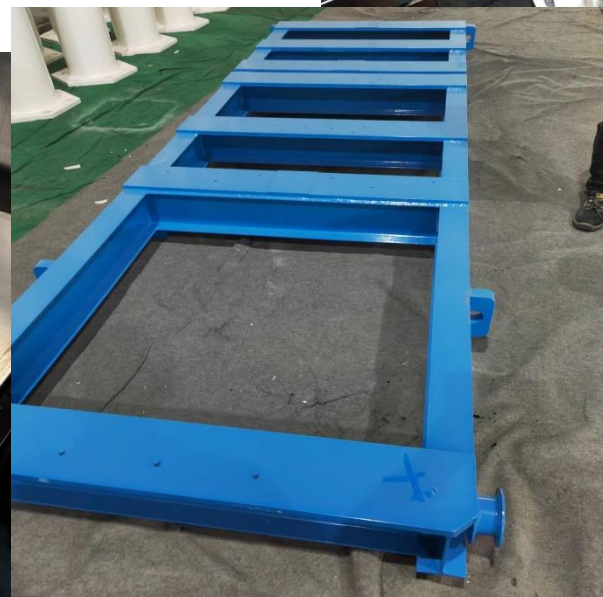
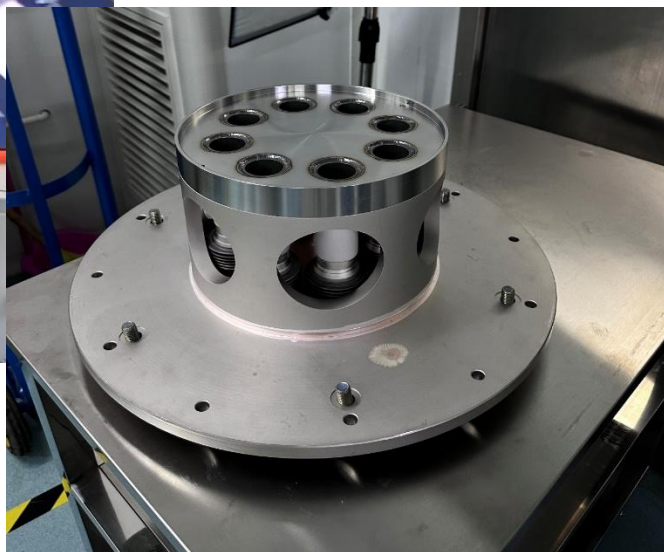
- 线圈骨架已经完成，线圈开始绕制，已经完成3个绕制



MBK加工



- MBK束流管阳极段完成焊接和检漏
- MBK输出段完成焊接
- MBK束流管其他零件已经完成加工
- MBK运行支架已经完成烤漆，正在做零件组装



平台PSM电源改造

- 经过与厂家沟通，在满足高效率样管继续测试的基础上，需对现有电源模块软件进行相关升级即可完成MBK的高功率测试使用。



Design status and future plan

Design status and future plan



Detail	调研	设计	加工
能量回收型速调管			
S波段80MW速调管			经费已落实
C波段80MW速调管			
C波段50MW速调管			

- 高效率样管输出窗优化设计已完成，启动加工；
- MBK束流验证装置已基本完成加工，预计春节前可运抵怀柔平台现场进行高功率实验；
- S波段80MW速调管设计在完成三维软件复核后，即可开始样管加工；
- C波段50MW和80MW速调管电子枪设计完成，正进行束流动力学设计；
- 新型能量回收型速调管的设计已启动。

谢谢大家!