国力股份
电 真 空 科 技

The 2026 International Workshop on the High Energy Circular Electron Position Collider (Oct. 22-26,2026)

大功率速调管国力研制情况介绍

汇报人：王少哲

单　位：昆山国力大功率器件工业技术研究院

电真空技术应用专家
高压继电器 直流接触器 真空交流接触器 磁控管
真空电容器 真空开关管 大功率速调管 氢闸流管

目录

国力研究院 GUOLI INSTITUTE



- 公司介绍
- 650MHz/800kW连续波速调管
- 高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管
- 650MHz/800kW多注速调管
- 648MHz/1.2MW长脉冲速调管
- 324MHz/3MW脉冲速调管
- 能量回收型速调管
- 总结

国力研究院
GUOLI INSTITUTE



国力股份　电真空科技

昆山国力电子科技股份有限公司（简称“国力股份”，股票代码688103）是一家专业从事电子真空器件研发、生产和销售的科创板上市企业。公司经过五十多年的技术沉淀，自主研发能力和核心技术覆盖了电子真空器件生产制造的各关键环节，产品广泛应用在国防科技、航空航天、雷达通讯、半导体设备、新能源汽车、轨道交通、煤炭化工、能源（光伏、风能、电力、储能、充电桩）、安检辐照、工业探伤、医疗器械、大科学等关键领域。在有源电真空领域，国力股份开拓了速调管、磁控管、闸流管、X射线管和大功率电子枪等五大方向，并能够向客户提供定制化解决方案服务。

发展历程

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

初心 —— 奔赴国家三线建设 自主研发，提升国家科技力量



1966年

梦想从这里开始





1966年

“897厂”和“308将”奔赴支边前线



1985年

开启改革开放春风沐浴下的新征程

发展 —— 响应改革开放 创新产业驱动，助力解决卡脖子难题



2000年

成立昆山国力真空电器有限公司



2004年

成立昆山瑞普电气有限公司



2016年

更名为昆山国力电子科技股份有限公司



2016年

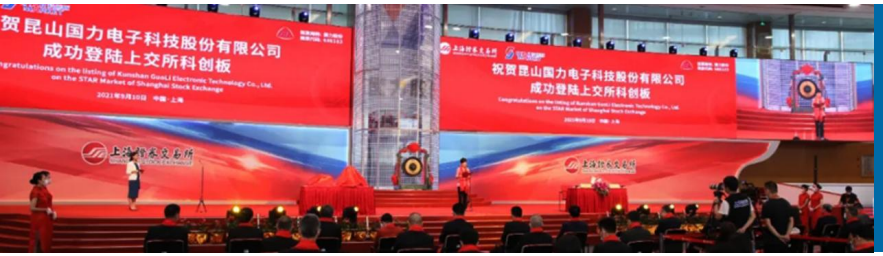
成立昆山国力源通新能源科技有限公司



2016年

成立昆大功率器件工业技术研究院





2021年
科创板上市

站在新能源、半导体、医疗等行业全新赛道上，助力新安全格局保障新发展格局。

公司架构

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

昆山瑞普电气有限公司
真空交流接触器、真空交流断路器及隔离换相开关等

昆山国力电子有限公司
大功率速调管、磁控管、闸流管、射线管等真空有源器件

昆山国力源通新能源科技有限公司
高压直流接触器、控制盒

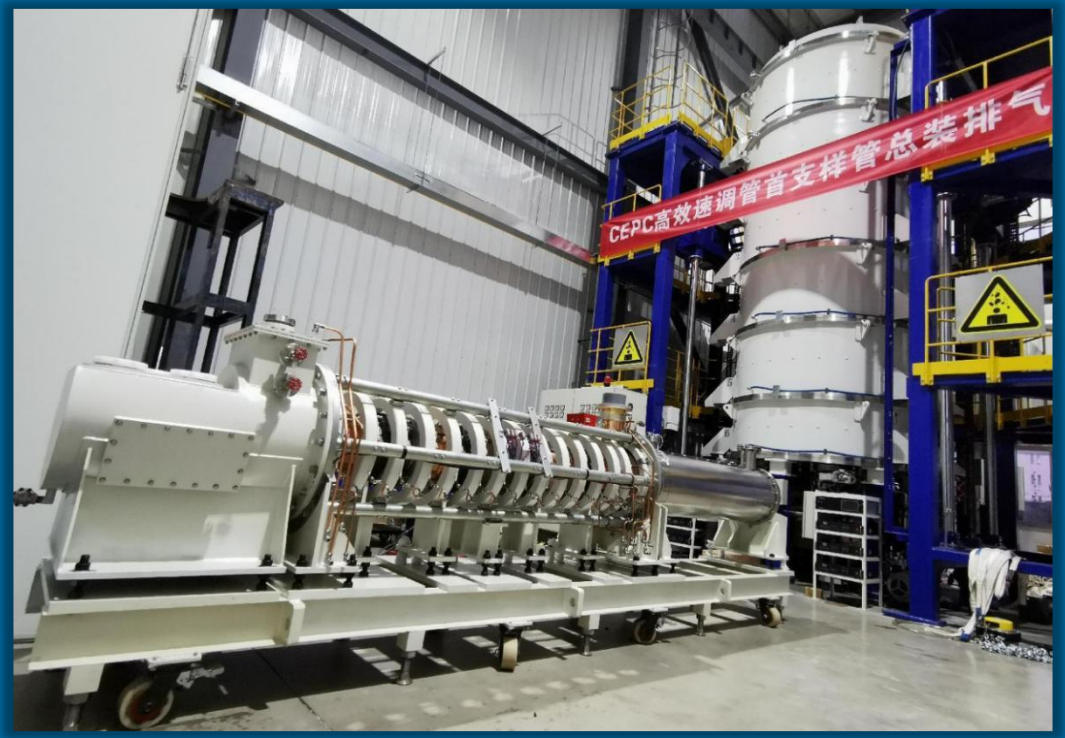


昆山国力电子科技股份有限公司
真空电容器、高压继电器、真空灭弧室等

昆山国力大功率器件工业技术研究院
大功率器件研发平台

目录

国力研究院 GUOLI INSTITUTE



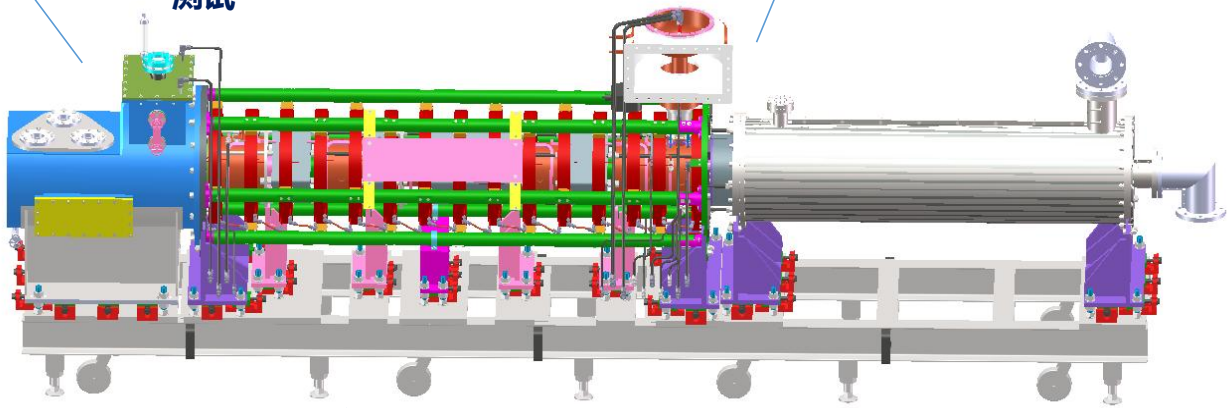
- 公司介绍
- **650MHz/800kW连续波速调管**
- 高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管
- 650MHz/800kW多注速调管
- 648MHz/1.2MW长脉冲速调管
- 324MHz/3MW脉冲速调管
- 能量回收型速调管
- 总结

650MHz/800kW连续波速调管

2018年，在国内首支P波段650MHz/800kW连续波速调管研制中，国力负责收集极、聚焦线圈、油缸、运行支架等速调管部件的研制任务以及总装、排气、后道、包装运输等关键工艺技术的攻关，并参与了后期测试。

- 物理设计
- 总装(参与)
- 排气 (参与)
- 后道(参与)
- 测试

- 电子枪
- 谐振腔
- 总装(参与)
- 排气 (参与)



- 收集极
- 聚焦线圈
- 油缸
- 运行支架

- 总装及排气
- 后道
- 包装与运输
- 测试 (参与)

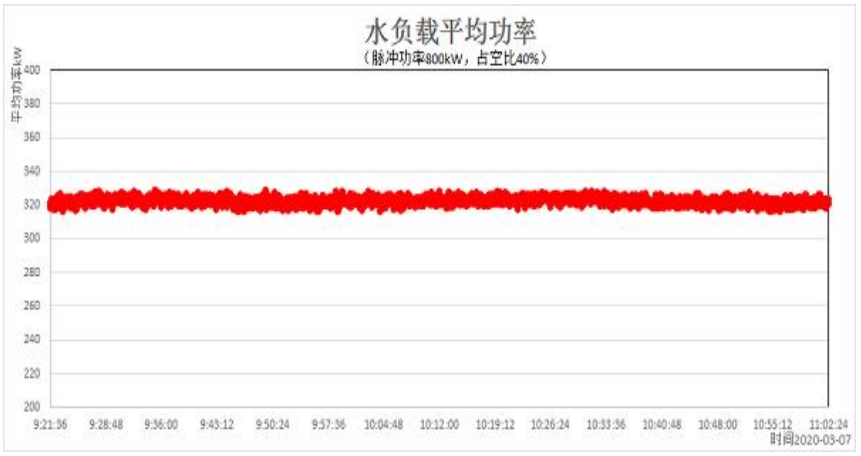
650MHz/800kW连续波速调管

2020年，首支样管经过高功率测试，实现连续波400kW和脉冲功率800kW，配合国产800kW负载，速调管输出连续波692kW。



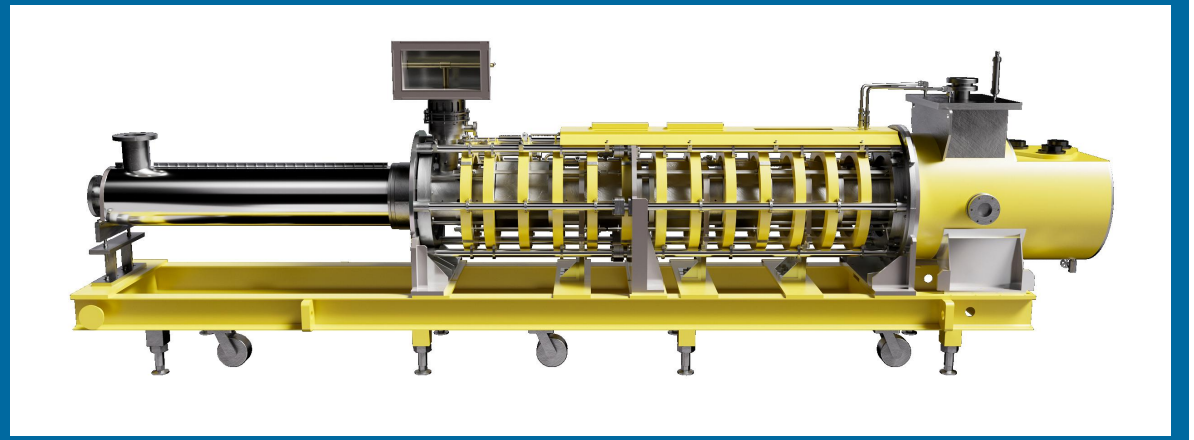






目录

国力研究院 GUOLI INSTITUTE



- 公司介绍
- 650MHz/800kW连续波速调管
- 高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管
- 650MHz/800kW多注速调管
- 648MHz/1.2MW长脉冲速调管
- 324MHz/2.5MW脉冲速调管
- 能量回收型速调管
- 总结

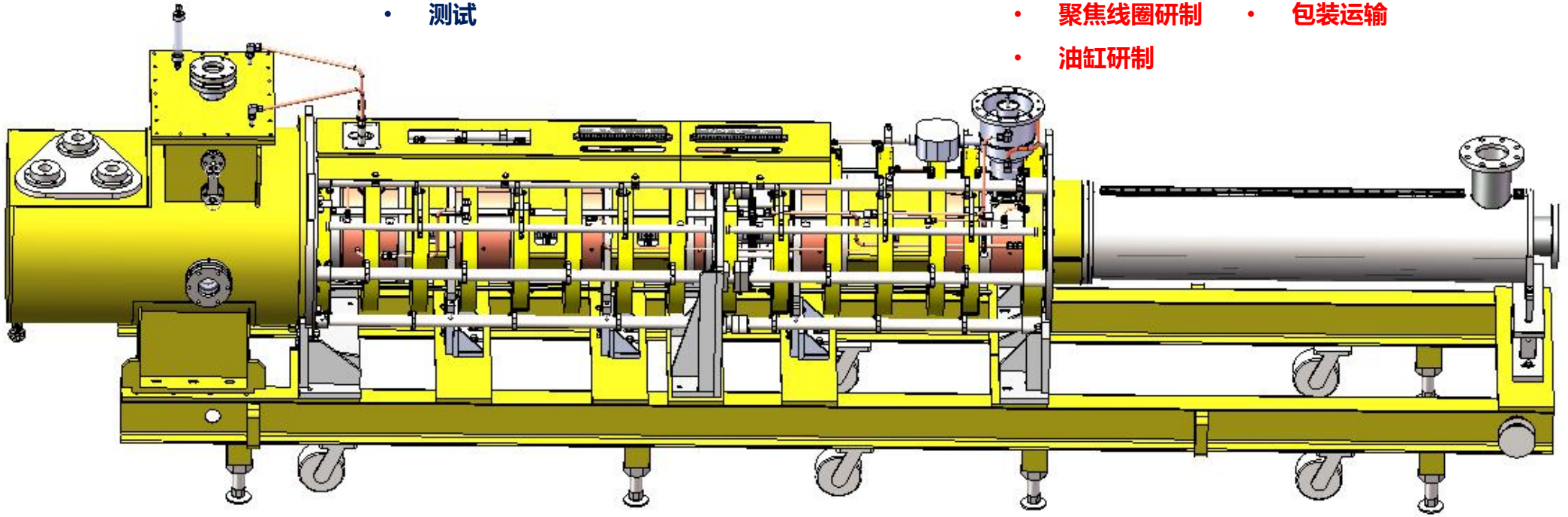
高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

2019年，在650MHz/800kW连续波高效率速调管研制中，国力负责机械设计、电子枪、谐振腔、收集极、聚焦线圈、油缸运行支架等一众关键部件的研制以及总装、排气、后道、包装运输等关键工艺任务

- 物理设计
- 谐振腔研制（质量把控）
- 总装（参与）
- 后道（参与）
- 测试

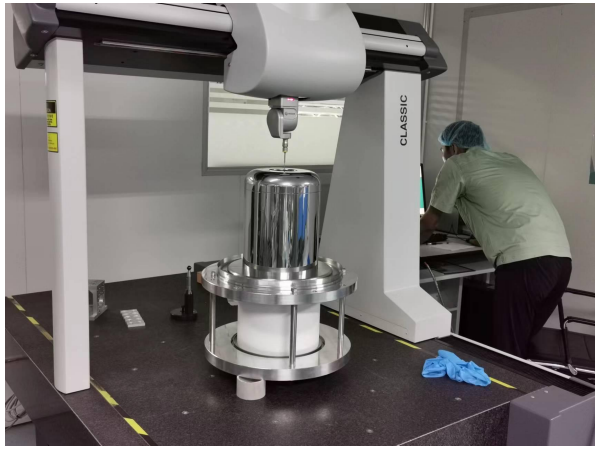
- 机械设计
- 电子枪研制
- 谐振腔研制
- 收集极研制
- 聚焦线圈研制
- 油缸研制
- 运行支架研制
- 总装
- 排气
- 后道
- 包装运输



高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

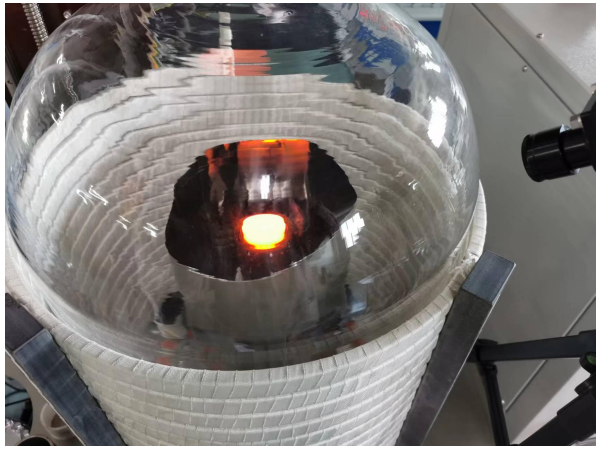
为了满足管芯的研制要求，研究院购买、使用了一批新设备，开发了一系列新工艺



三坐标测量，严格把控关键参数



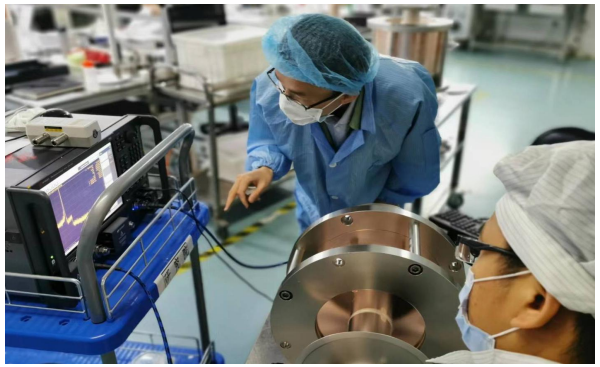
新的焊接工艺，提高可靠性



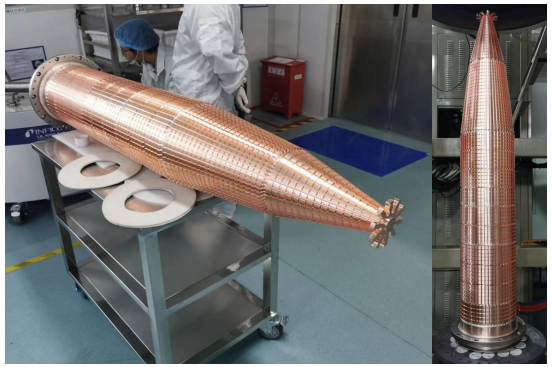
购置新的阴极除气台电子枪预除气及温度曲线测量



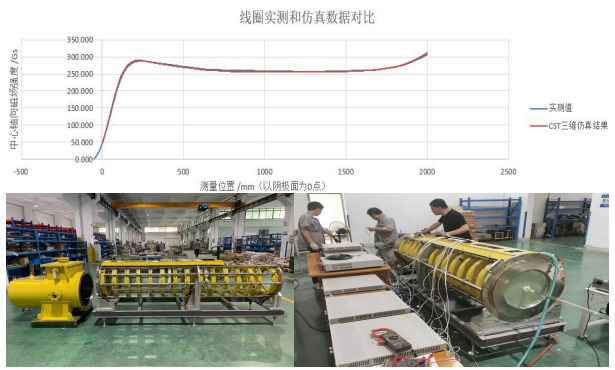
为速调管腔体设计了新的结构，摸索了新的装配、冷测、焊接和调谐工艺



邀请高能所老师来现场对我们的结构、工艺以及冷测性能进行严格把关和检验



改进收集极表面结构，提高其冷却效率



持续对聚焦线圈的制造严格把关，通过磁场测量对线圈进行调整达3次

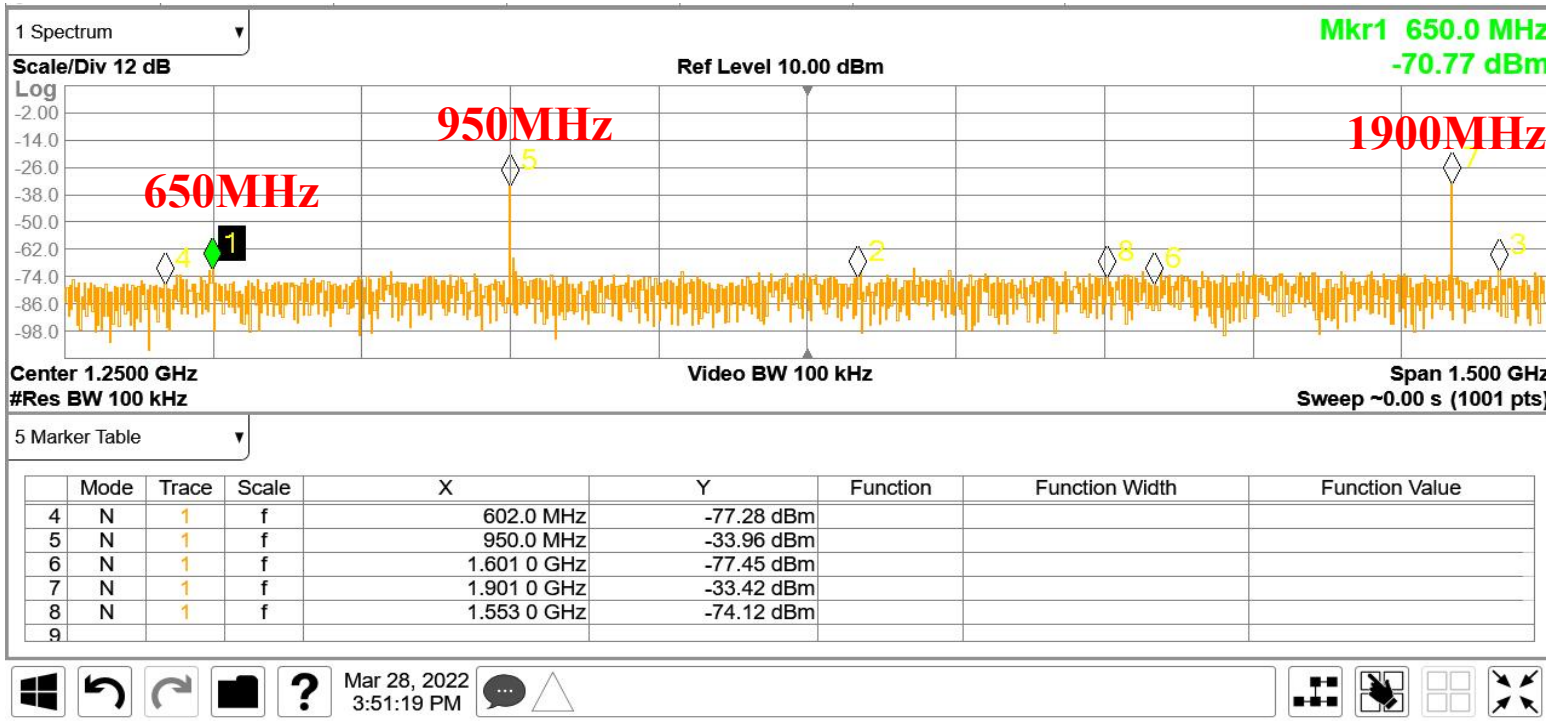


整管总装，使用了全新的结构，提高了装配精度也大大缩减了装配时间和装配人员数量

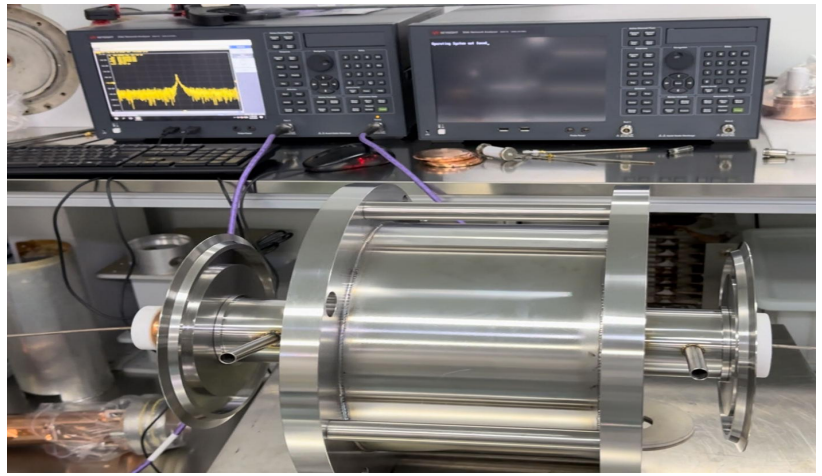
高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管

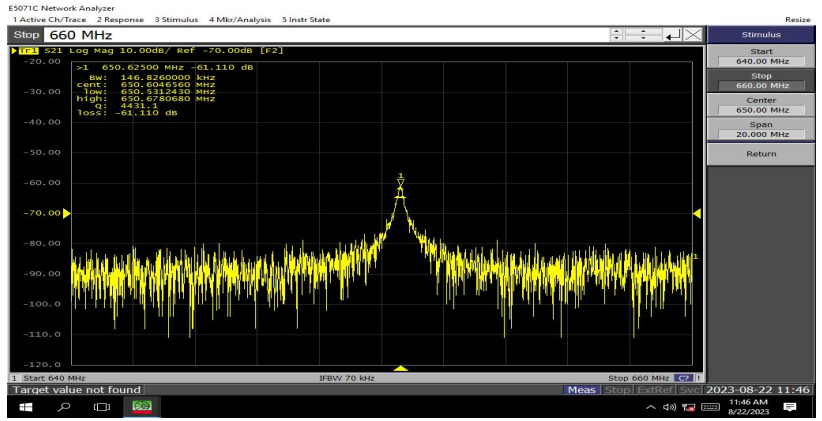
国力研究院 GUOLI INSTITUTE

重新研制了二号腔，来抑制速调管内部由腔体带来的自激振荡



	Mode	Trace	Scale	X	Y	Function	Function Width	Function Value
4	N	1	f	602.0 MHz	-77.28 dBm			
5	N	1	f	950.0 MHz	-33.96 dBm			
6	N	1	f	1.601 0 GHz	-77.45 dBm			
7	N	1	f	1.901 0 GHz	-33.42 dBm			
8	N	1	f	1.553 0 GHz	-74.12 dBm			
9								





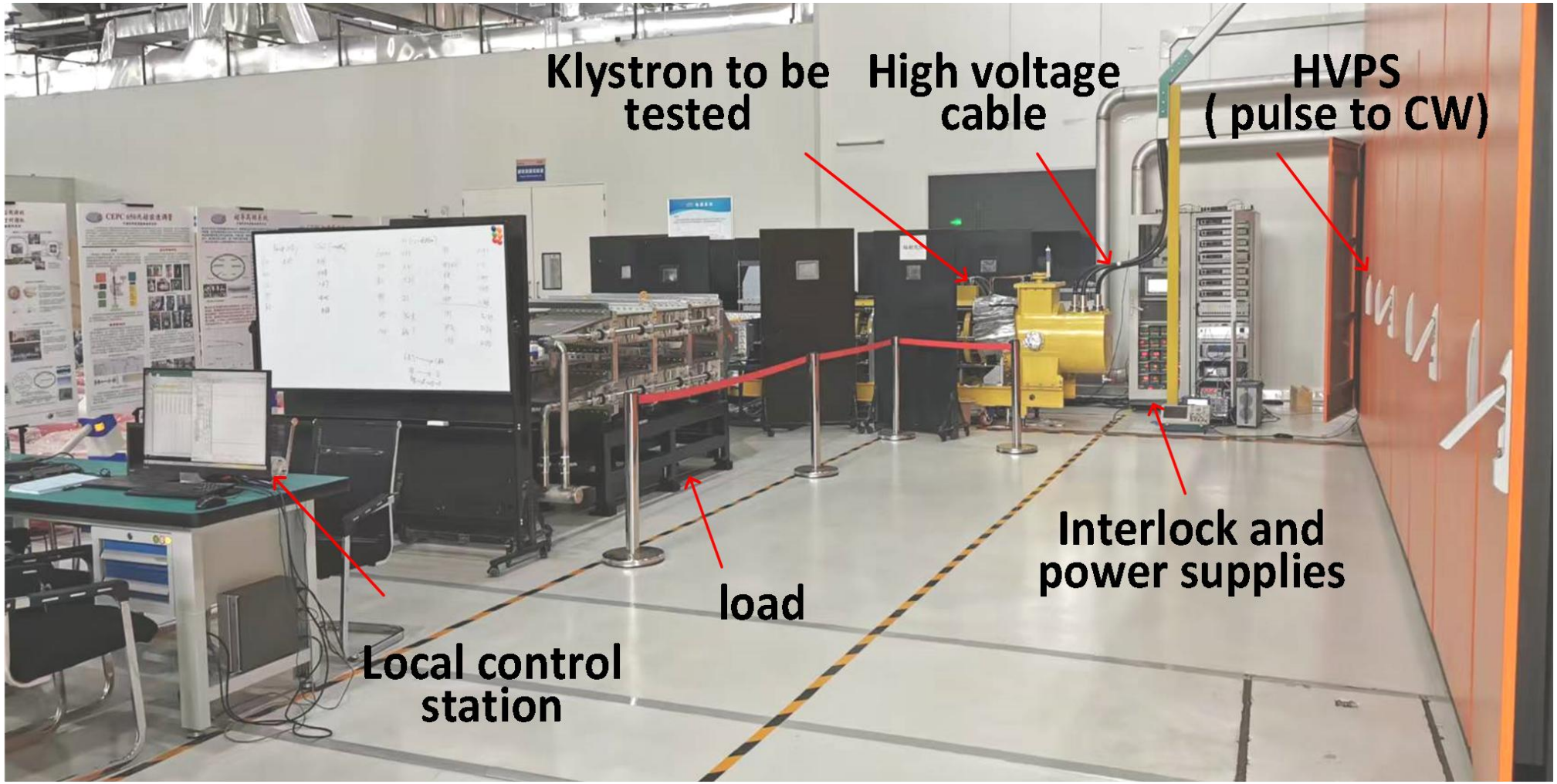
测试中，在直流状态下，电子枪79kV/5.5A，出现自激振荡，频率为950MHz及其谐波频率。

新二号腔冷测频率650.6MHz，Q值4431，通过仿真计算，可以有效抑制自激振荡

高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

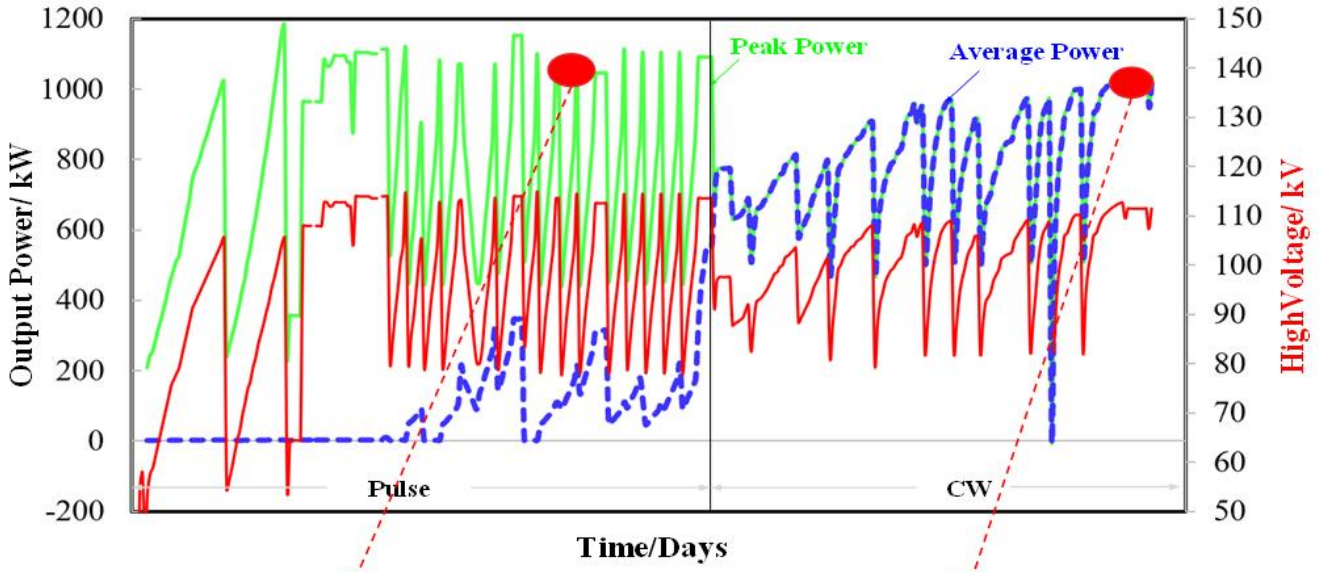
2024年1月11日至8月18日，速调管进行了高功率老炼和测试（高能所）

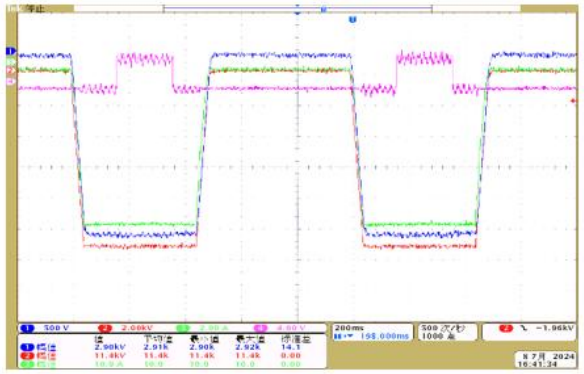


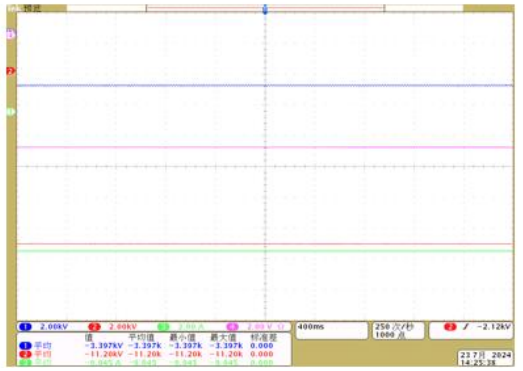
高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

高效率测试平台650MHz/800kW高功率老炼全过程，脉冲→直流（高能所）







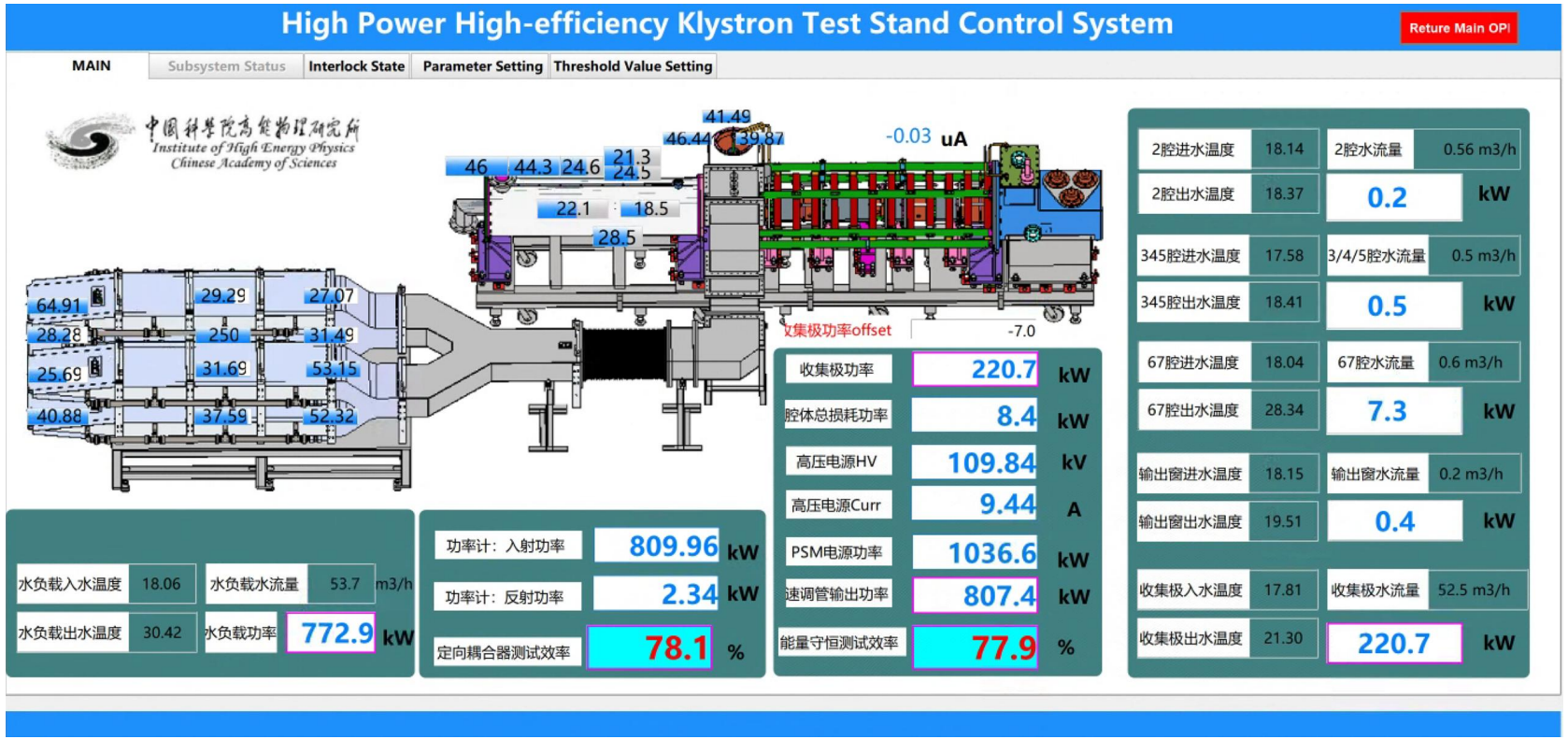
高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

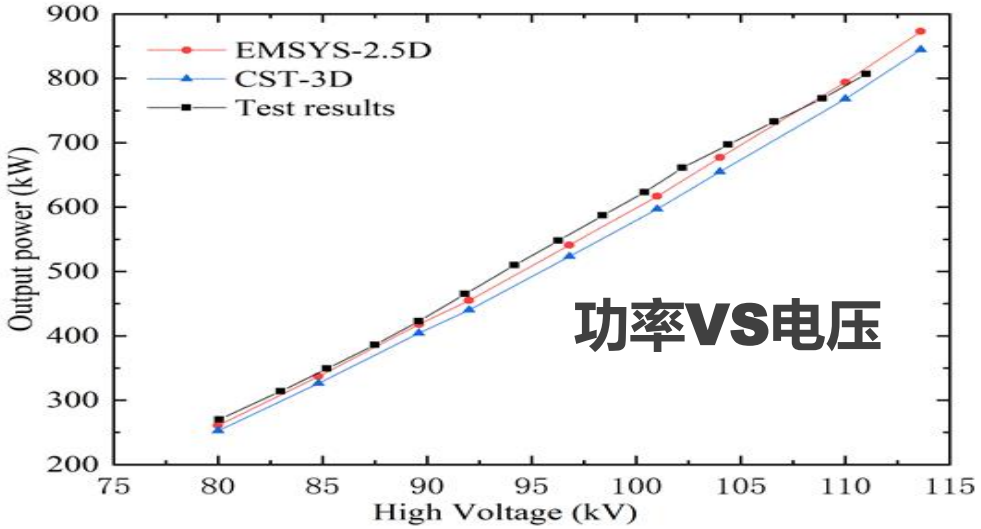
功率测量（高能所）

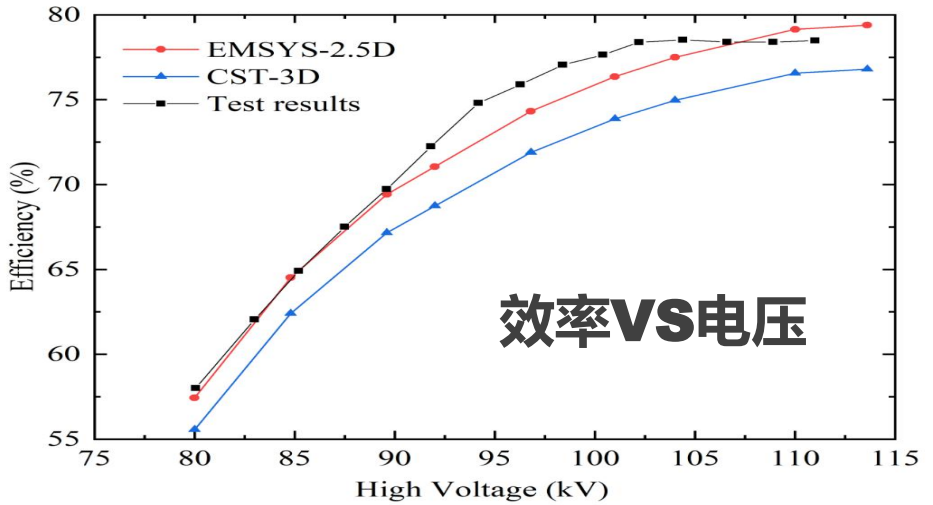
- 方法1：通过Mega 60dB定向耦合器输出信号至安捷伦功率计测量，定向耦合器耦合度，线缆和衰减器插损使用Keysight E5080B网络分析仪标定，总插损73.36dB。
- 方法2：通过能量守恒

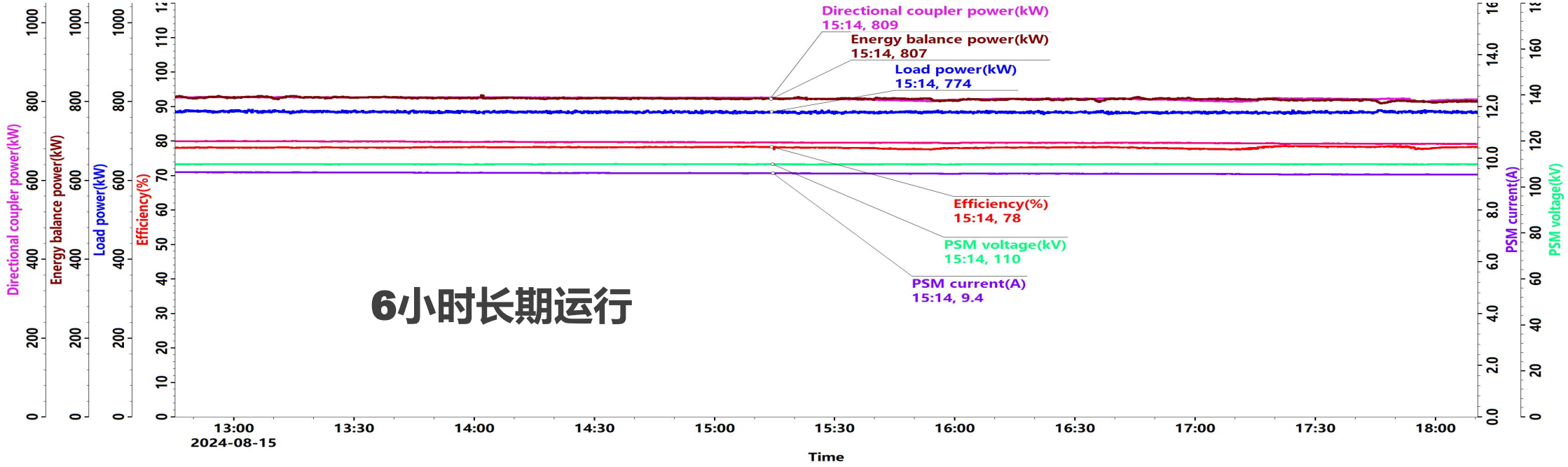
  输出功率=高压电源功率（电压×电流）-腔体总损耗-输出窗损耗-收集极功耗
- 方法3：通过水负载



高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管



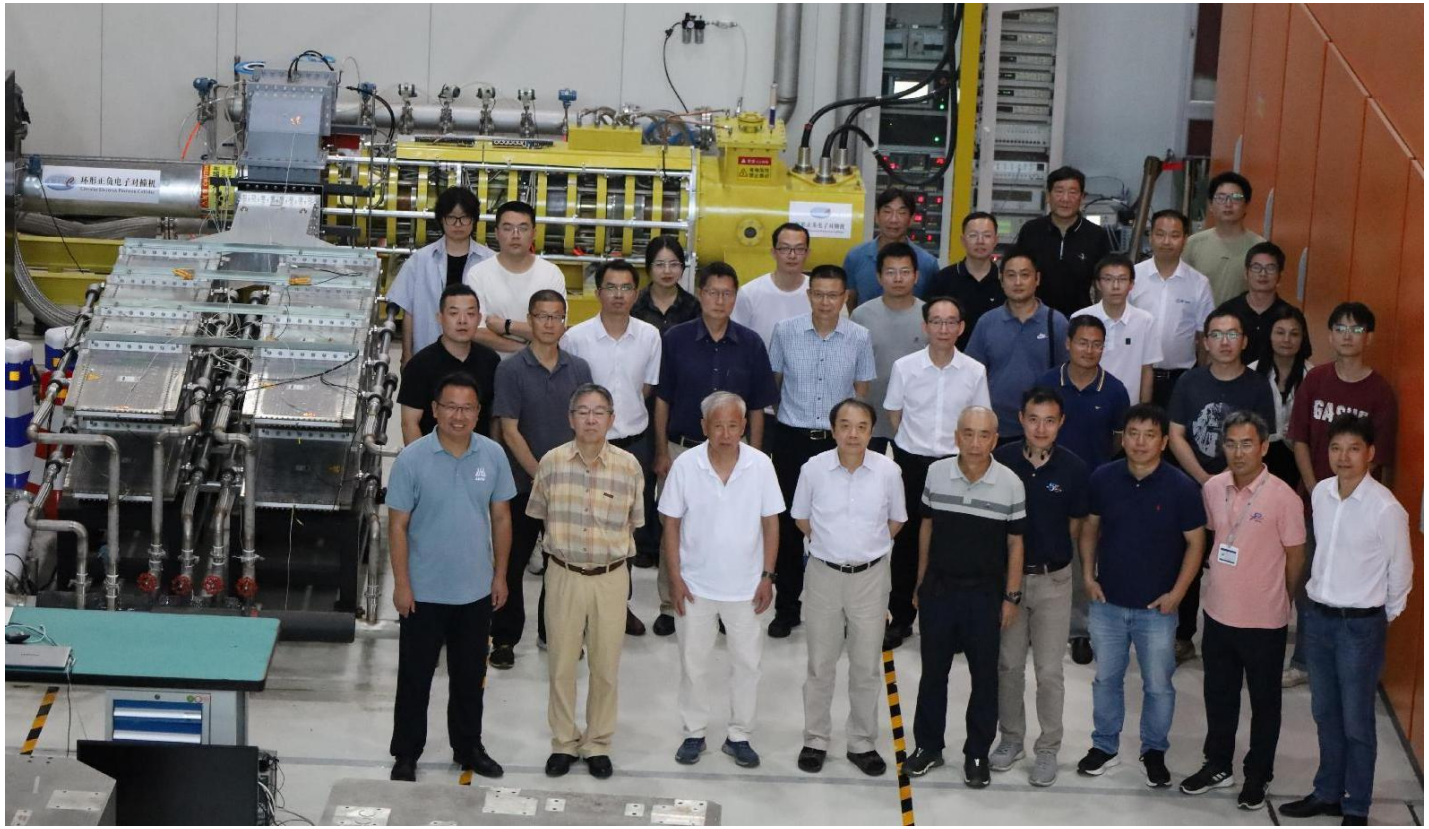




高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

2024年8月18日，中国科学院高能物理研究所在北京组织召开了环形正负电子对撞机（CEPC）高功率高效率P波段连续波速调管测试会。专家组认为，该速调管在连续波工作模式下运行稳定，输出功率、效率和频率等指标均达到CEPC的设计要求。**连续波输出功率803千瓦，效率78.5%**，在此类速调管中处于**世界领先水平**。该速调管的研制成功，**标志着高功率高效率连续波速调管自主研制水平再上新台阶**。



目录

国力研究院 GUOLI INSTITUTE



- 公司介绍
- 650MHz/800kW连续波速调管
- 高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管
- 650MHz/800kW多注速调管
- 648MHz/1.2MW长脉冲速调管
- 324MHz/3MW脉冲速调管
- 能量回收型速调管
- 总结

650MHz/800kW多注速调管

2021年9月多注速调管通过机械评审开始正式实施；由于技术难度巨大，多注速调管项目主要分两期，第一期是完成腔体、输出窗的研究以及束流管的研制；第二期是完成整管。



650MHz/800kW 高效率连续波多注速调管
工艺设计评审意见

2021 年 9 月 11 日，CEPC 速调管项目组在昆山国力电子科技股份有限公司组织召开了 650MHz/800kW 高效率连续波多注速调管工艺设计评审会。来自中科院空天信息创新研究院、湖北汉光科技股份有限公司和中科院高能物理研究所等 7 位专家（名单见附件），听取了项目组成员王盛昌和汪同生作的 《650MHz/800kW 高效率连续波多注速调管工艺设计》报告。专家组经质询和讨论，一致认为 650MHz/800kW 高效率连续波多注速调管工艺设计方案合理可行，通过评审。请项目组根据专家的建议进一步完善结构和工艺。

主要建议如下：

1、进一步优化和完善输出波导的支撑与加固方式。

2、进一步优化和完善整管的支撑结构和方式。

3、对比不同线规、线包尺寸和冷却方式得到重量和功率损耗最小的方案。

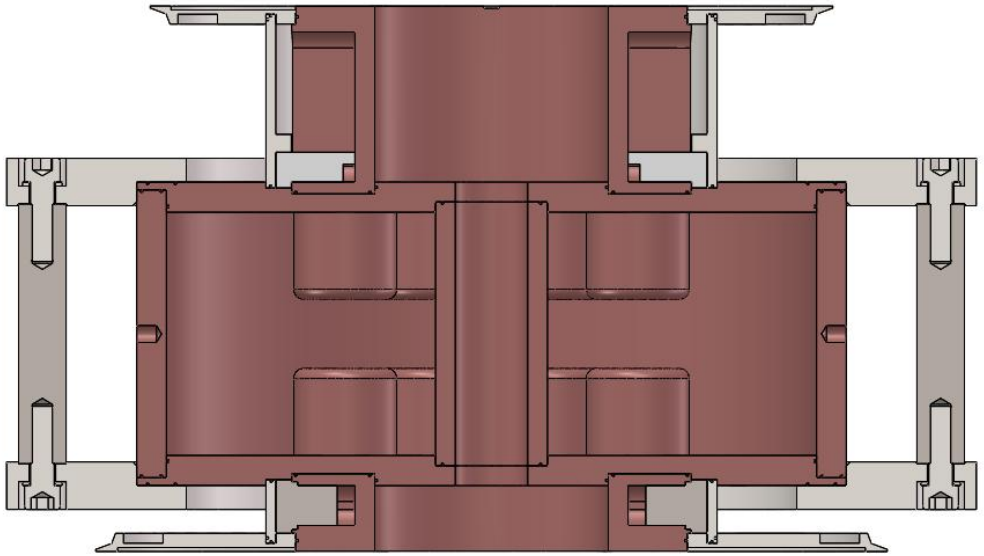


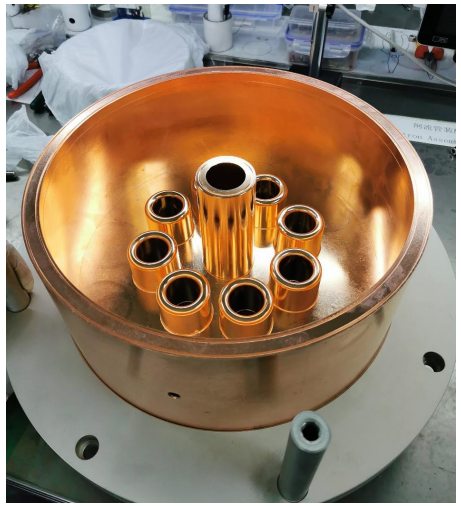


650MHz/800kW多注速调管

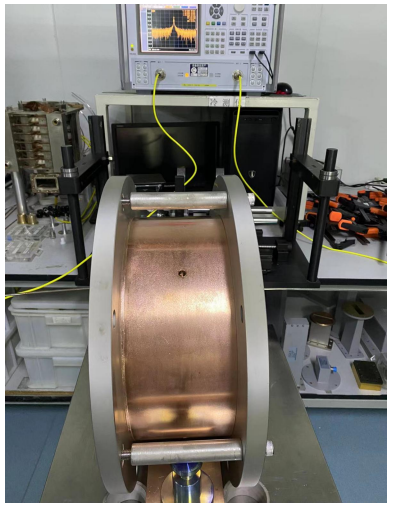
国力研究院 GUOLI INSTITUTE

选择2号腔进行工艺实验；克服了腔体焊接过程中频率漂移问题。

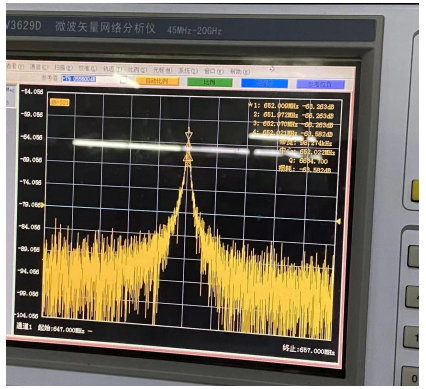




装配



冷测



原本腔频率为652MHz

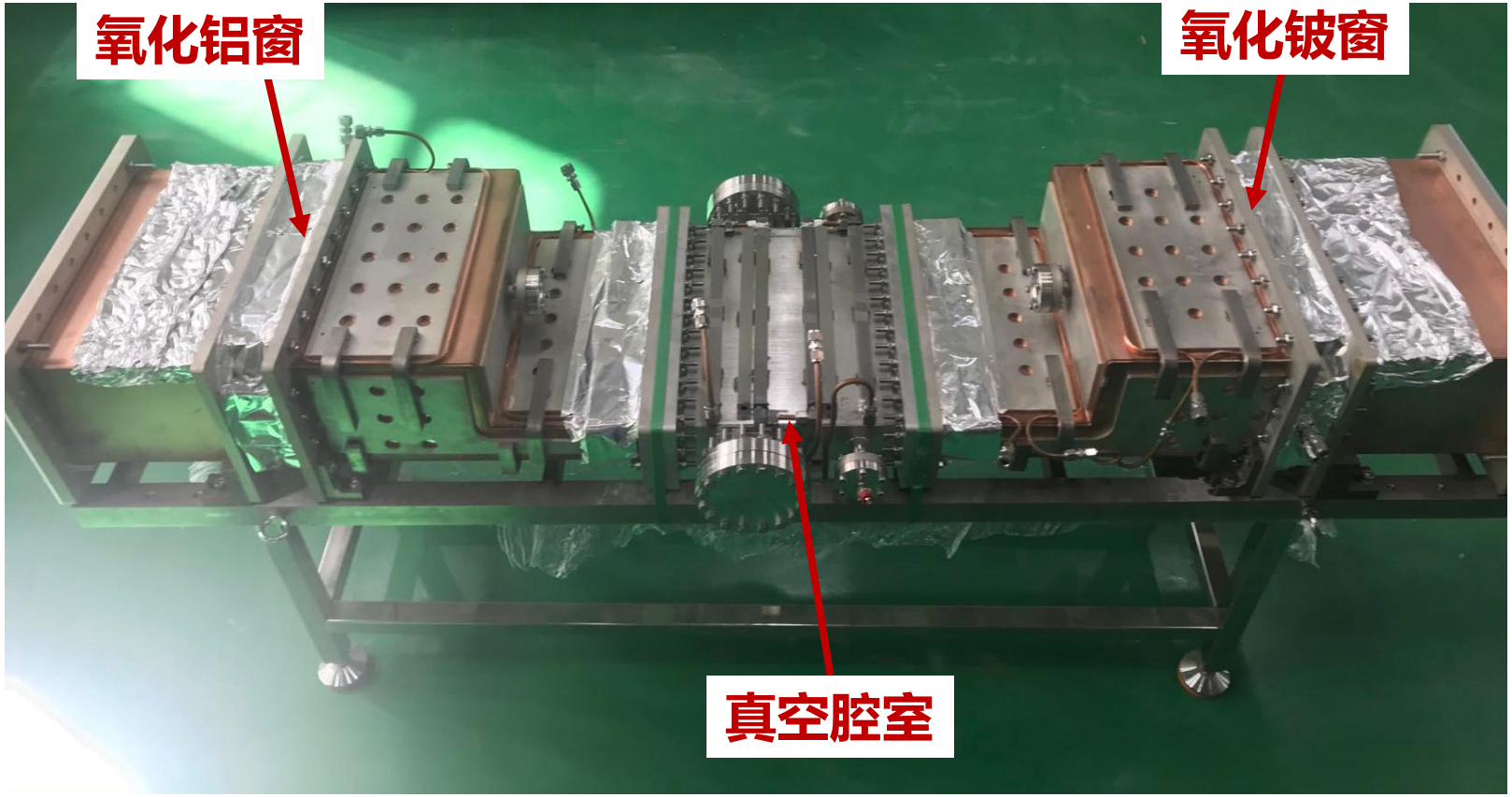
进行频率调谐



调谐到651.237MHz

650MHz/800kW多注速调管

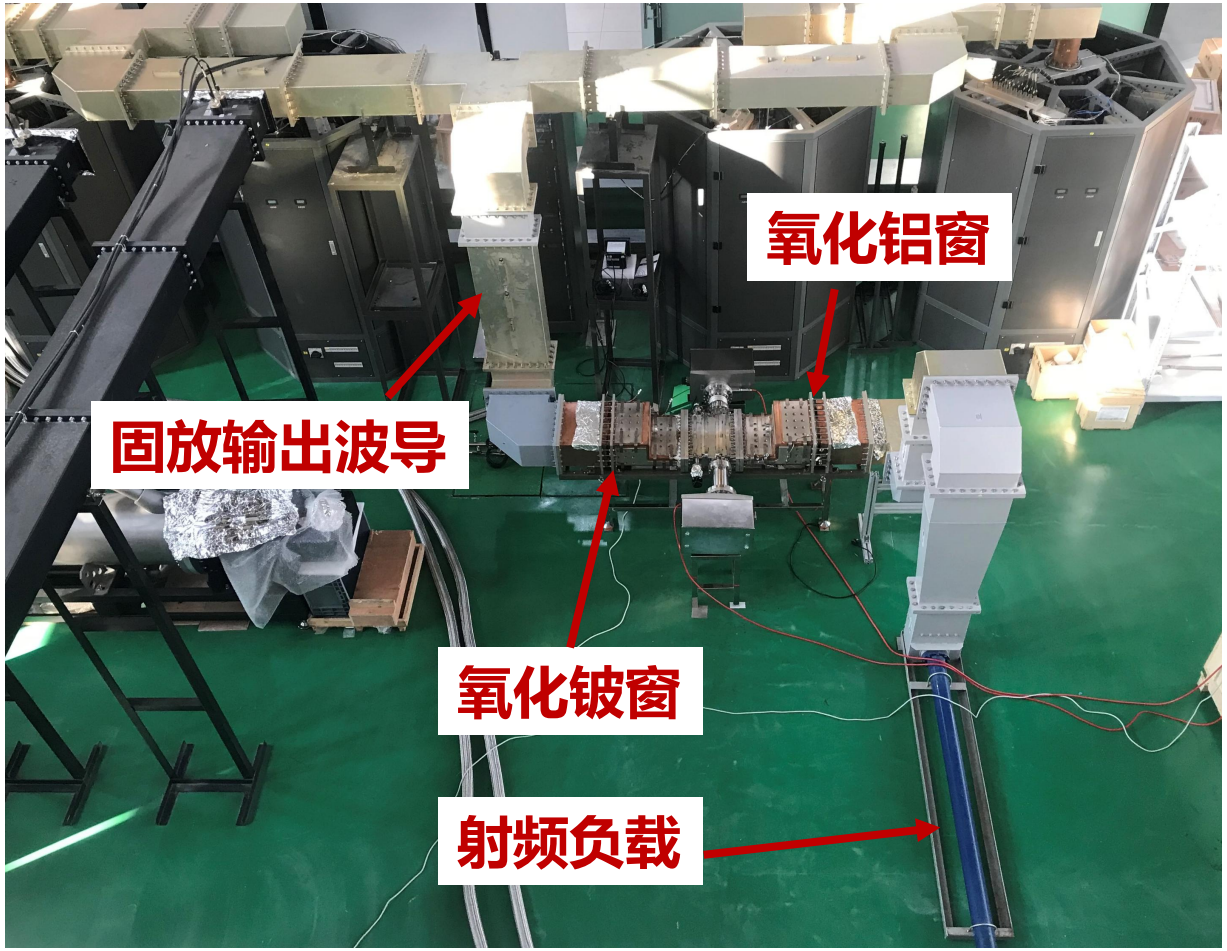
针对多注速调管的双窗结构、波导耦合输出，研究了**波导的焊接制造**工艺以及**氧化铝瓷**和**氧化铍瓷**分别作为输出窗的设计方案研证



650MHz/800kW多注速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

150kW固态放大器功率源行波热测（高能所）





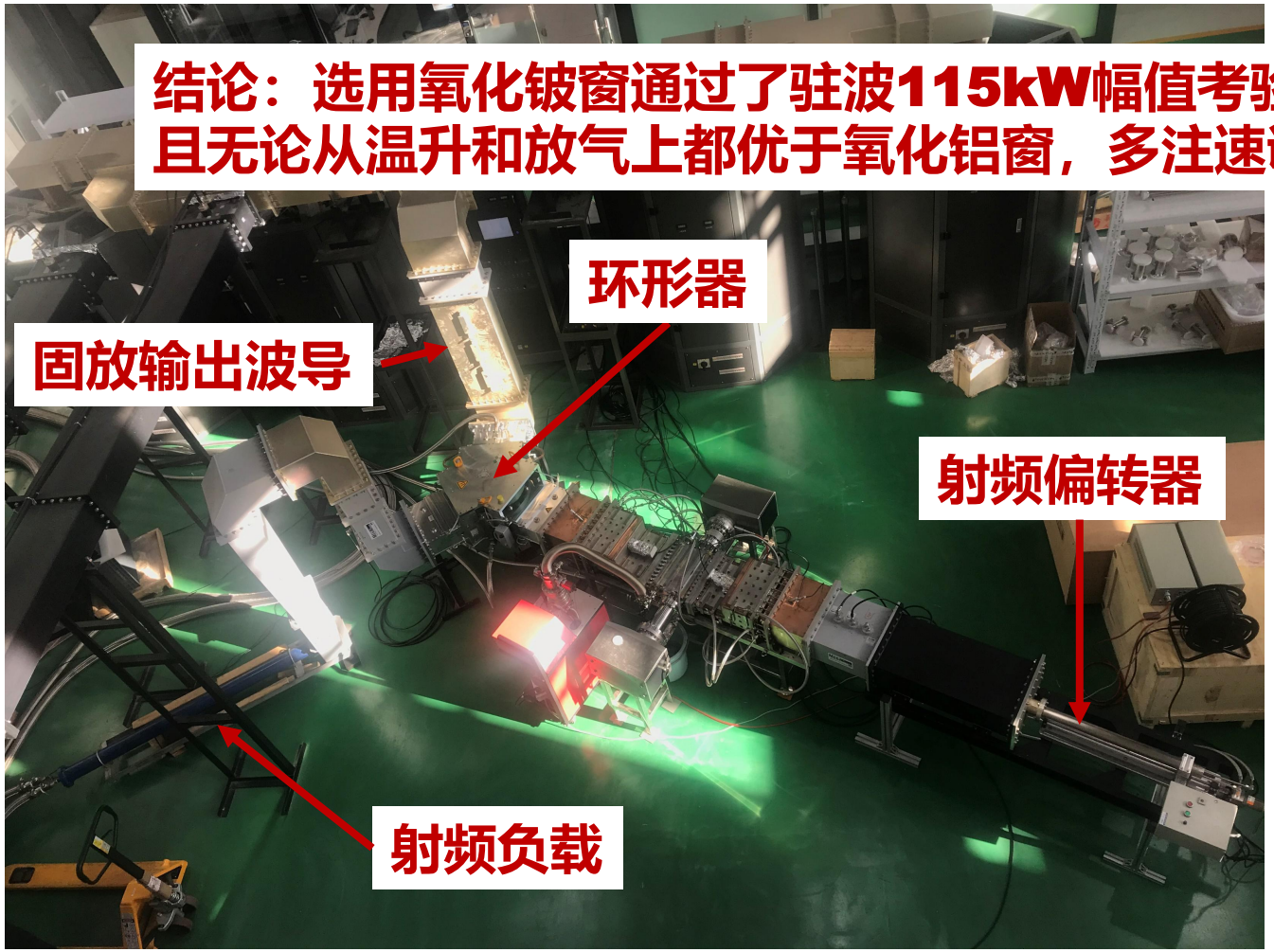
测得的连续波功率

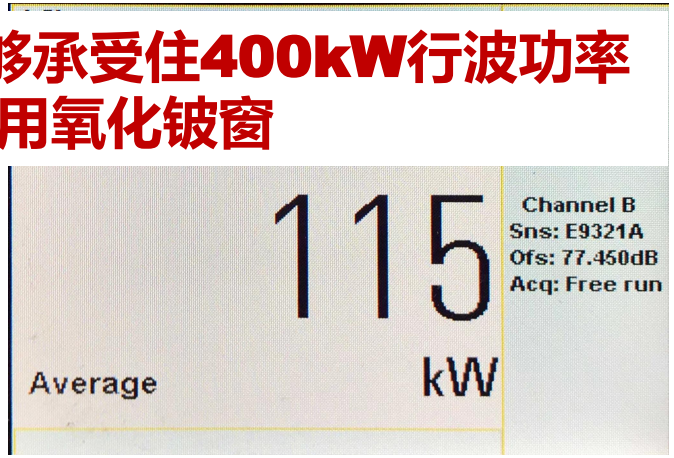
参数	数值
固放输出功率	143 kW (CW)
氧化铝陶瓷表面温升	10.2 ℃
氧化铍陶瓷表面温升	8.7℃
持续时间	4 hours

650MHz/800kW多注速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

150kW固态放大器功率源驻波热测（高能所）





氧化铍窗片上测得的连续波功率
该处为注波电压幅度峰值位置

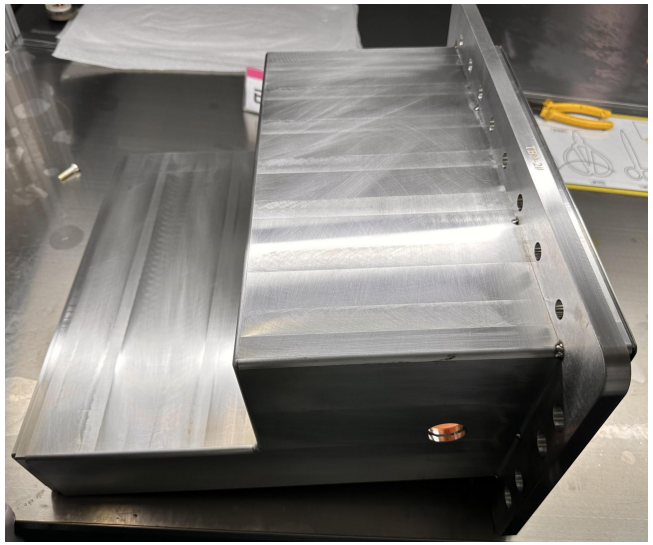
	氧化铝窗	氧化铍窗
固放输出功率	110 kW CW	115 kW CW
温升	37.0 ℃	27.4 ℃
持续时间	＞2 hours	＞2 hours

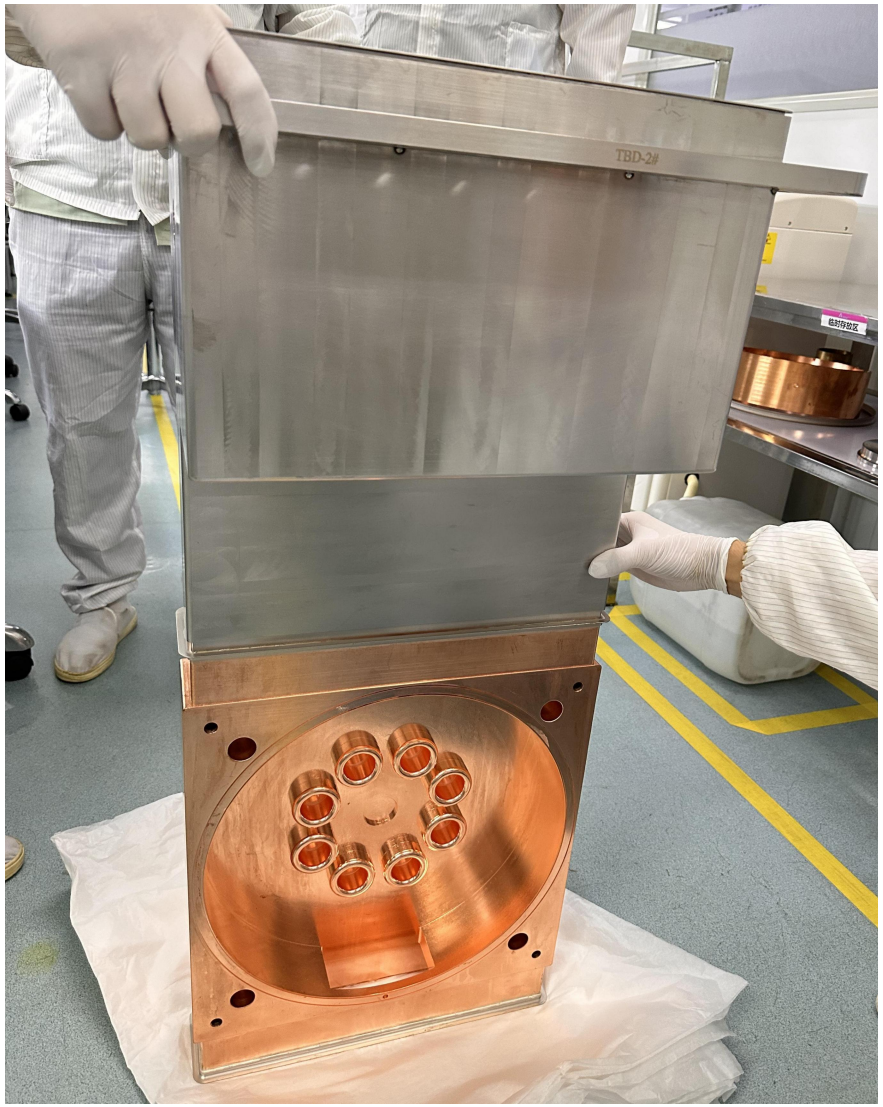
650MHz/800kW多注速调管

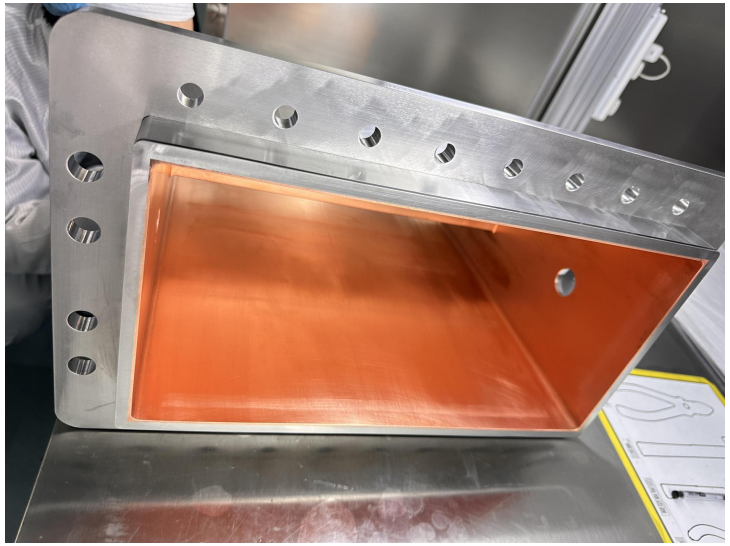
国力研究院 GUOLI INSTITUTE

运用了不锈钢+铜复合材料技术克服了方形铜波导真空下变形问题。





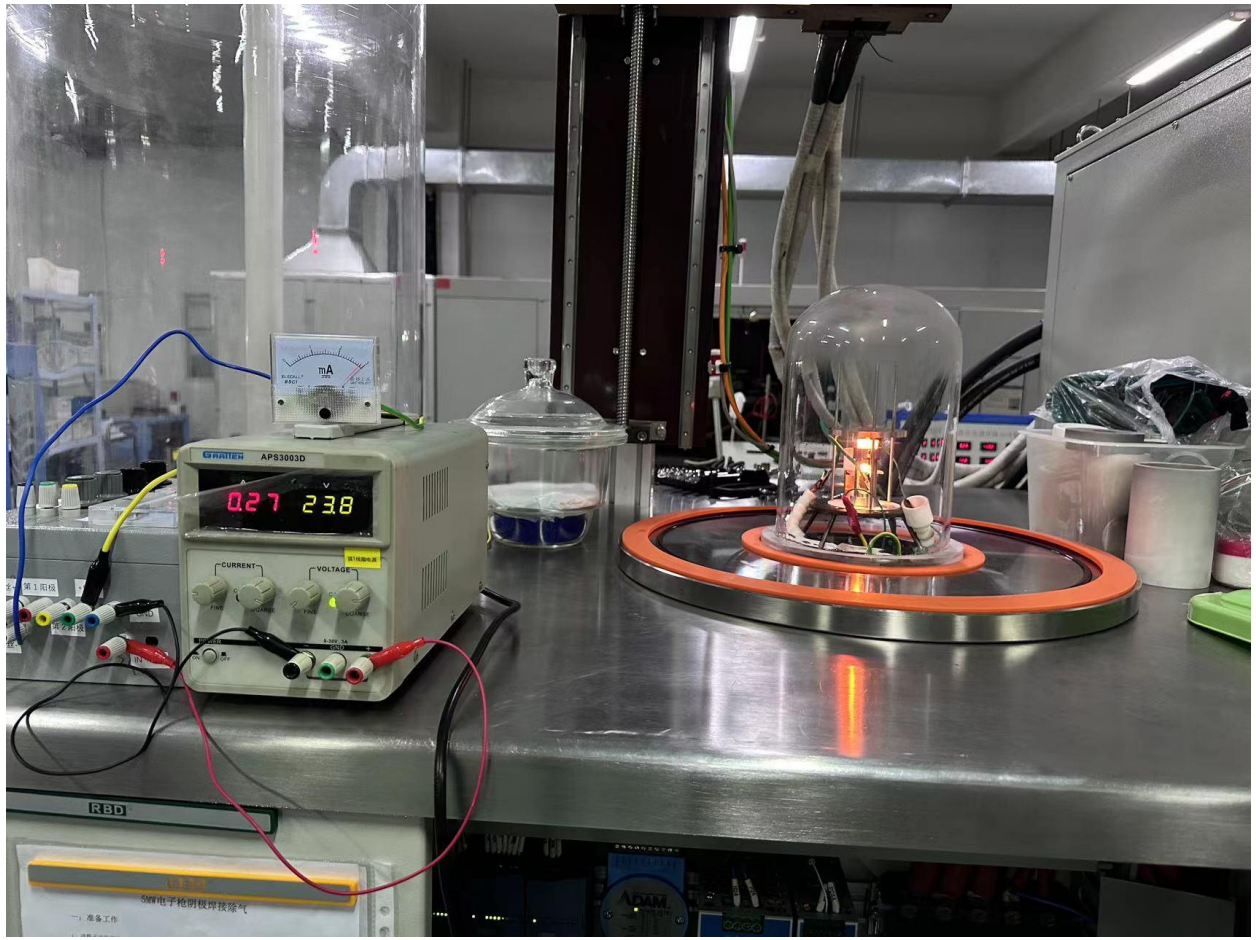


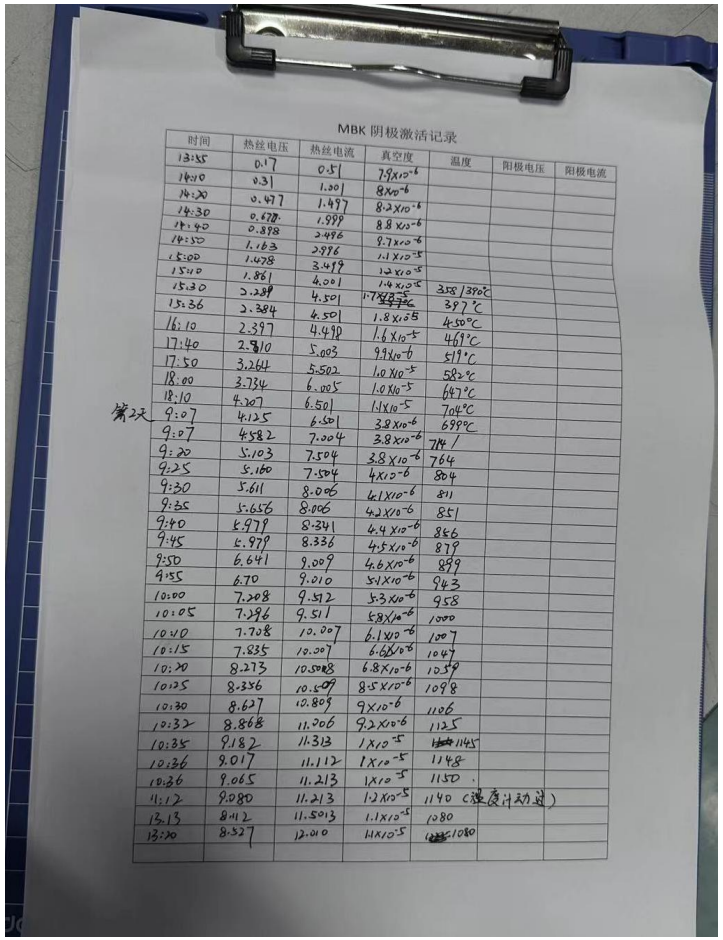




650MHz/800kW多注速调管

阴极发射性能测试





MBK 阴极激活记录

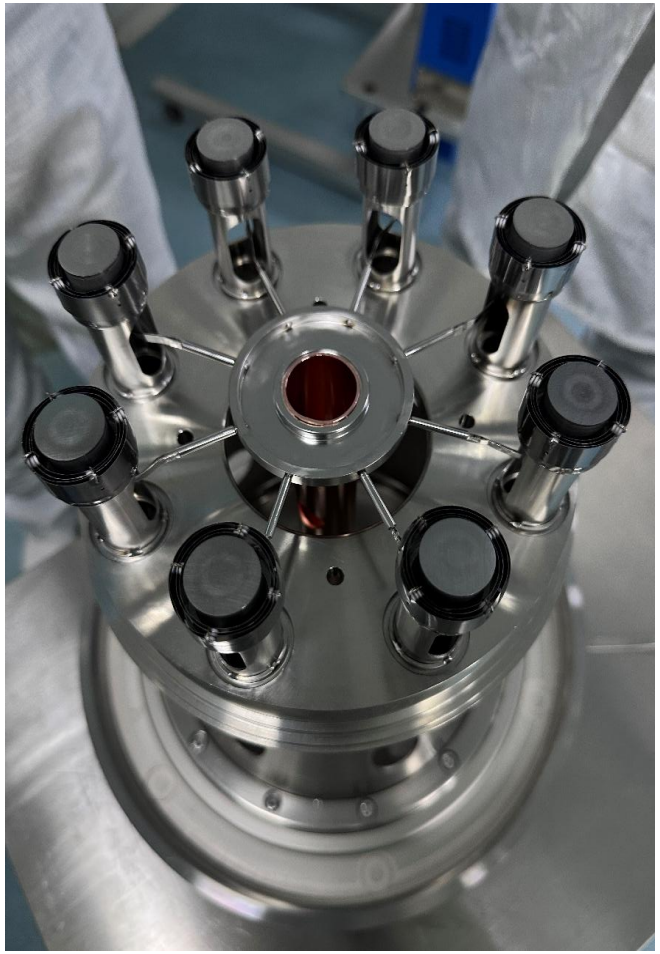
时间	热丝电压	热丝电流	真空度	温度	阳极电压	阳极电流
13:55	0.17	0.51	7.9X10⁻⁶			
14:10	0.31	1.201	8X10⁻⁶			
14:20	0.477	1.497	8.2X10⁻⁶			
14:30	0.678	1.998	8.8 X10⁻⁶			
14:40	0.898	2.496	9.7X10⁻⁶			
14:50	1.163	2.996	1.1X10⁻⁵			
15:00	1.478	3.499	1.2X10⁻⁵			
15:10	1.861	4.001	1.4X10⁻⁵			
15:20	2.289	4.501	1.7X10⁻⁵	358/380℃		
15:36	2.384	4.501	1.8X10⁻⁵	397℃		
16:10	2.397	4.498	1.6X10⁻⁵	450℃		
17:40	2.810	5.003	9.9X10⁻⁶	469℃		
17:50	3.264	5.502	1.0X10⁻⁵	519℃		
18:00	3.734	6.005	1.0X10⁻⁵	582℃		
18:10	4.207	6.501	1.1X10⁻⁵	647℃		
第2天 9:07	4.125	6.501	3.8X10⁻⁶	704℃		
9:07	4.582	7.004	3.8X10⁻⁶	699℃		
9:20	5.103	7.504	3.8 X10⁻⁶	774 /		
9:25	5.160	7.504	4X10⁻⁶	764		
9:30	5.611	8.006	4.1X10⁻⁶	804		
9:35	5.656	8.006	4.2X10⁻⁶	811		
9:40	6.979	8.341	4.4 X10⁻⁶	851		
9:45	6.979	8.336	4.5X10⁻⁶	866		
9:50	6.641	9.009	4.6X10⁻⁶	879		
9:55	6.70	9.010	5.1X10⁻⁶	899		
10:00	7.208	9.512	5.3X10⁻⁶	943		
10:05	7.396	9.511	5.8X10⁻⁶	958		
10:10	7.708	10.007	6.1X10⁻⁶	1000		
10:15	7.835	10.207	6.6X10⁻⁶	1007		
10:20	8.273	10.508	6.8X10⁻⁶	1047		
10:25	8.336	10.509	8.5X10⁻⁶	10.59		
10:30	8.627	10.809	9X10⁻⁶	10998		
10:32	8.868	11.006	9.2X10⁻⁶	1106		
10:35	9.182	11.313	1X10⁻⁵	1125		
10:36	9.017	11.112	1X10⁻⁵	1145		
10:36	9.065	11.213	1X10⁻⁵	1148		
11:12	9.080	11.213	1.2X10⁻⁵	1150		
13:13	8.412	11.5013	1.1X10⁻⁵	1140 (温度开始降)		
13:20	8.327	12.010	1.1X10⁻⁵	1080		

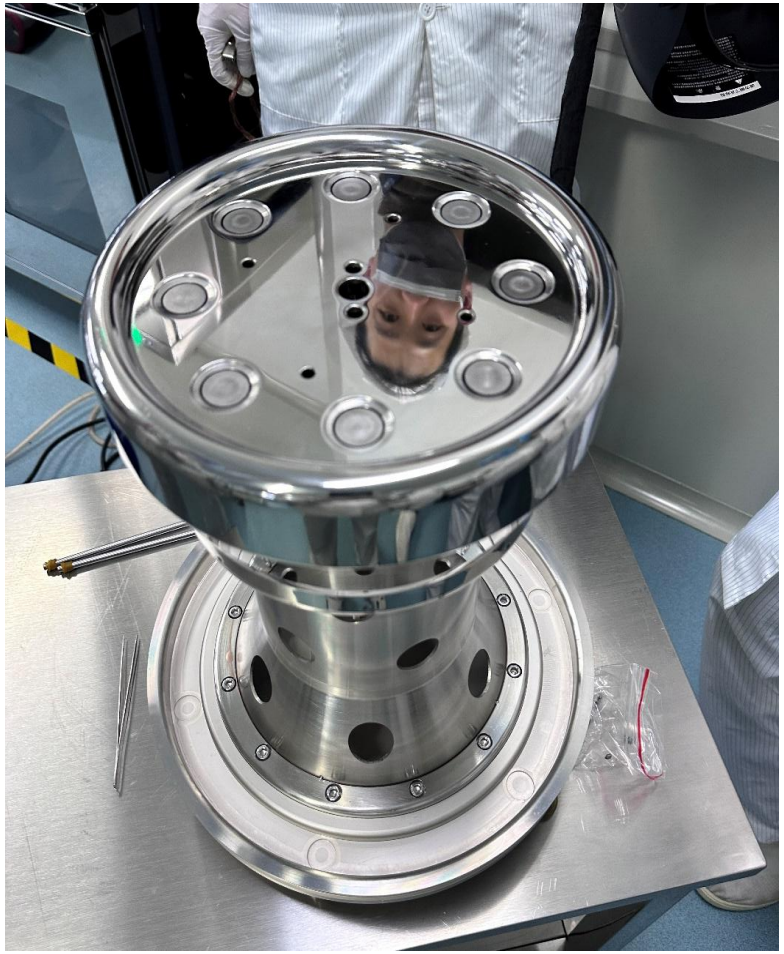
在中频除气台上进行束流管阴极发射测试，测试环境真空度优于1.2*10-5Pa，500V电压测得发射流强超过3mA（手头的电流表最大量程3mA），工作时候的电压电流为8.53V，12A，温度1080度

650MHz/800kW多注速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

电子枪





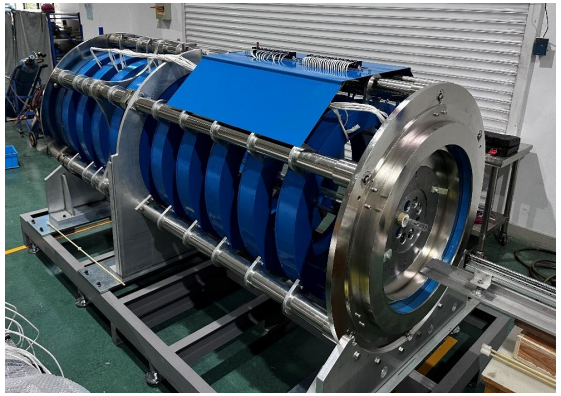
束流管电子枪阴极安装

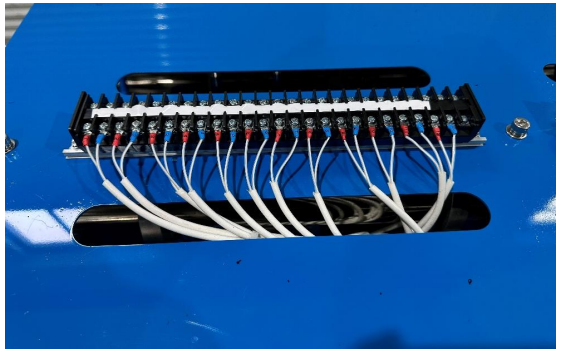
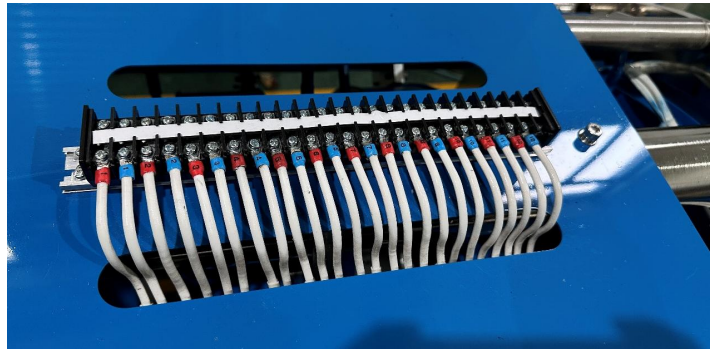


束流管总装

650MHz/800kW多注速调管

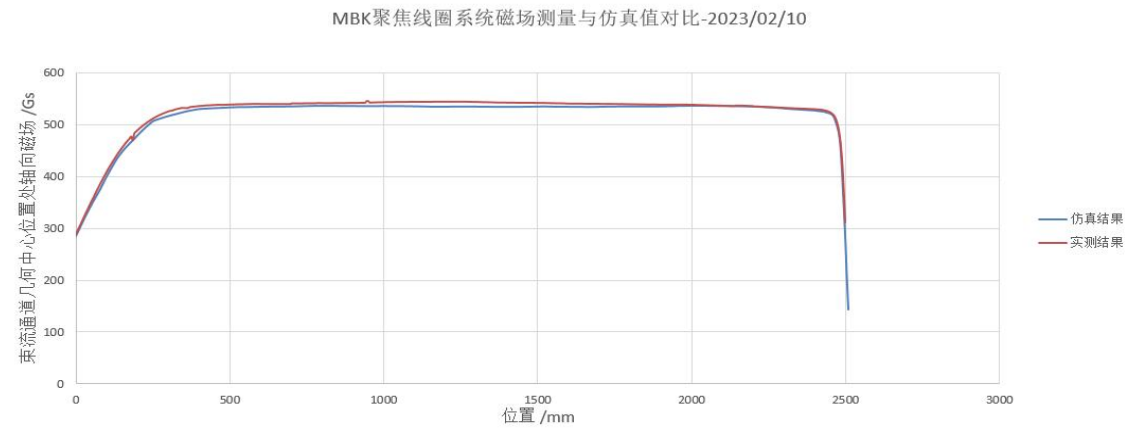
成功完成了重达3吨的聚焦线圈系统的研制和测试

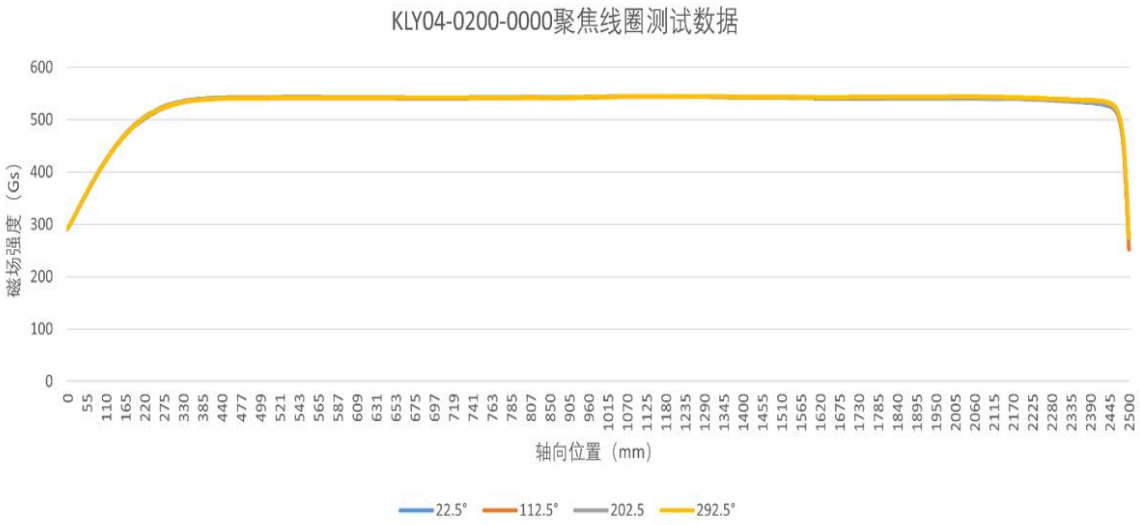




聚焦线圈系统测试现场





线圈磁场测量结果与仿真结果对比 以及不同位置磁场均匀性结果

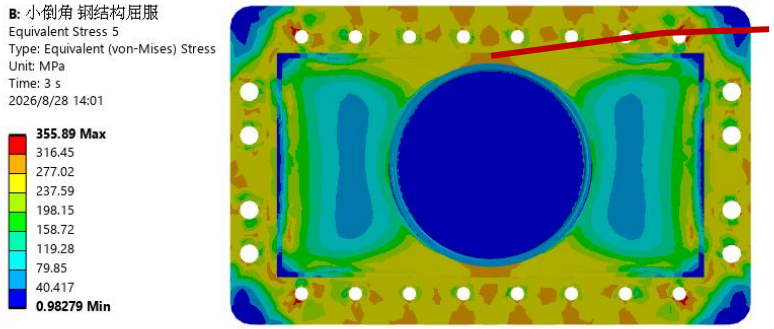
650MHz/800kW多注速调管



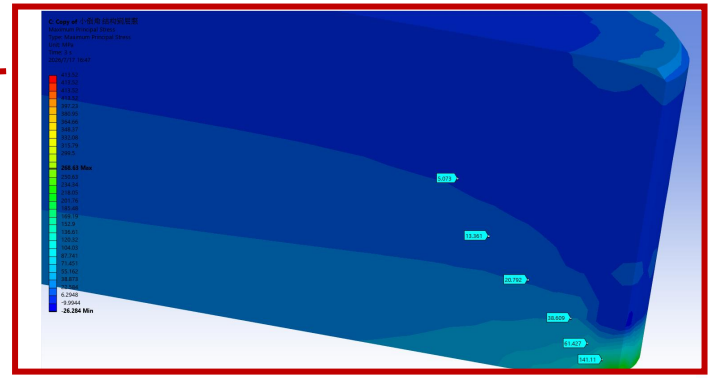
窗结构设计存在严重问题至管芯无法通过排气



输出窗陶瓷宽边焊缝排期后开裂漏气

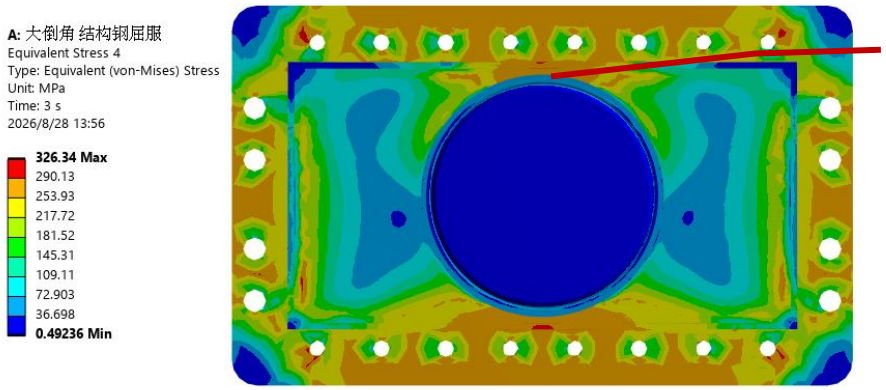


结构整体等效应力分布云图

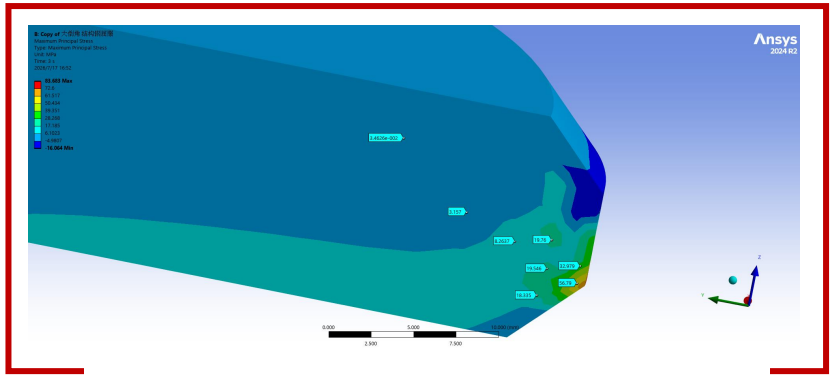


第一主应力为拉应力，最大**超过200MPa**

后续措施——设计改进型输出窗结构



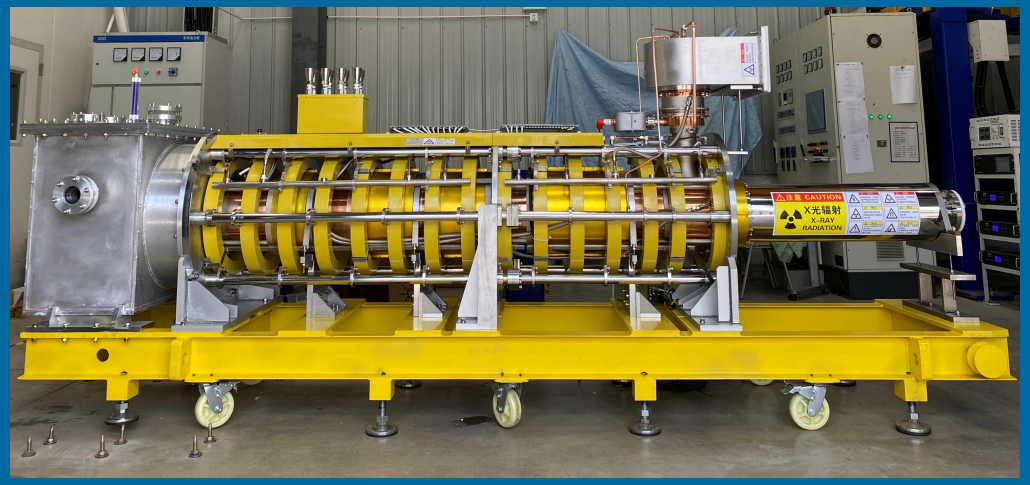
结构整体等效应力分布云图



第一主应力为拉应力，**最大为56MPa**

目录

国力研究院 GUOLI INSTITUTE



- 公司介绍
- 650MHz/800kW连续波速调管
- 高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管
- 650MHz/800kW多注速调管
- 648MHz/1.2MW长脉冲速调管
- 324MHz/3MW脉冲速调管
- 能量回收型速调管
- 总结

648MHz/1.2MW速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

22年，在650MHz速调管基础上研制了648MHz/1.2MW长脉冲速调管



腔体研制与总装



排气与线圈参数测量



钳口后道
客户现场验收



完成包装，押车送至散裂现场

648MHz/1.2MW速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

648MHz/1.2MW长脉冲速调管在散裂中子源测试大厅

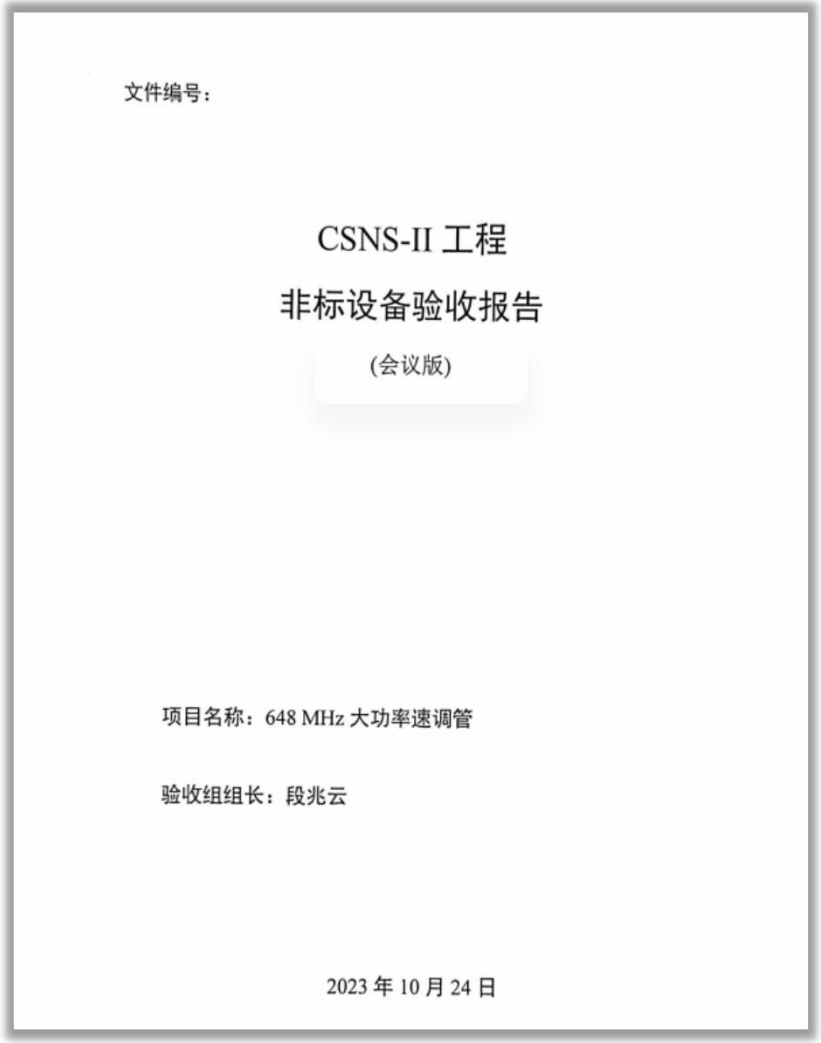
设计指标	
工作频率	648MHz
带宽（1dB）	±0.5MHz
峰值功率	≥1.2MW
RF脉冲宽度	1.2ms
脉冲重复频率	25Hz
效率	≥50%
增益	≥45dB
阴极电压	＜105kV



648MHz/1.2MW速调管

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

23年十月通过验收，速调管在接入环形器和终端匹配负载条件下满功率运行，所有技术指标均达到设计要求。



文件编号：

CSNS-II 工程

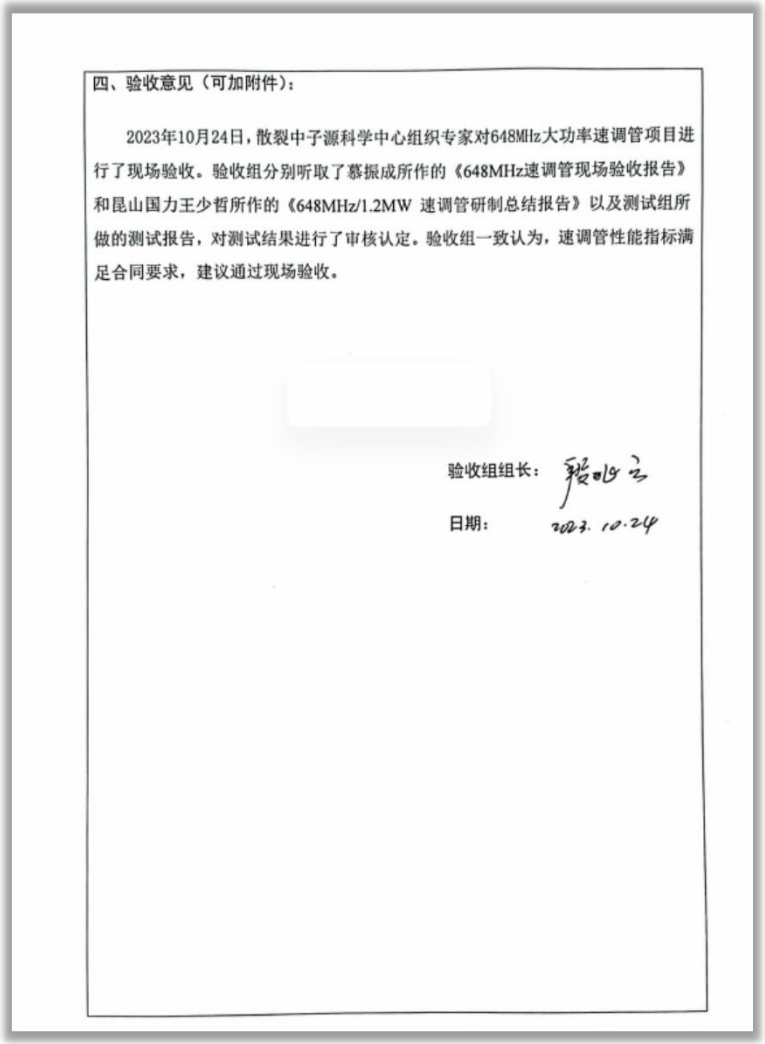
非标设备验收报告

(会议版)

项目名称：648 MHz 大功率速调管

验收组组长：段兆云

2023 年 10 月 24 日



四、验收意见（可加附件）：

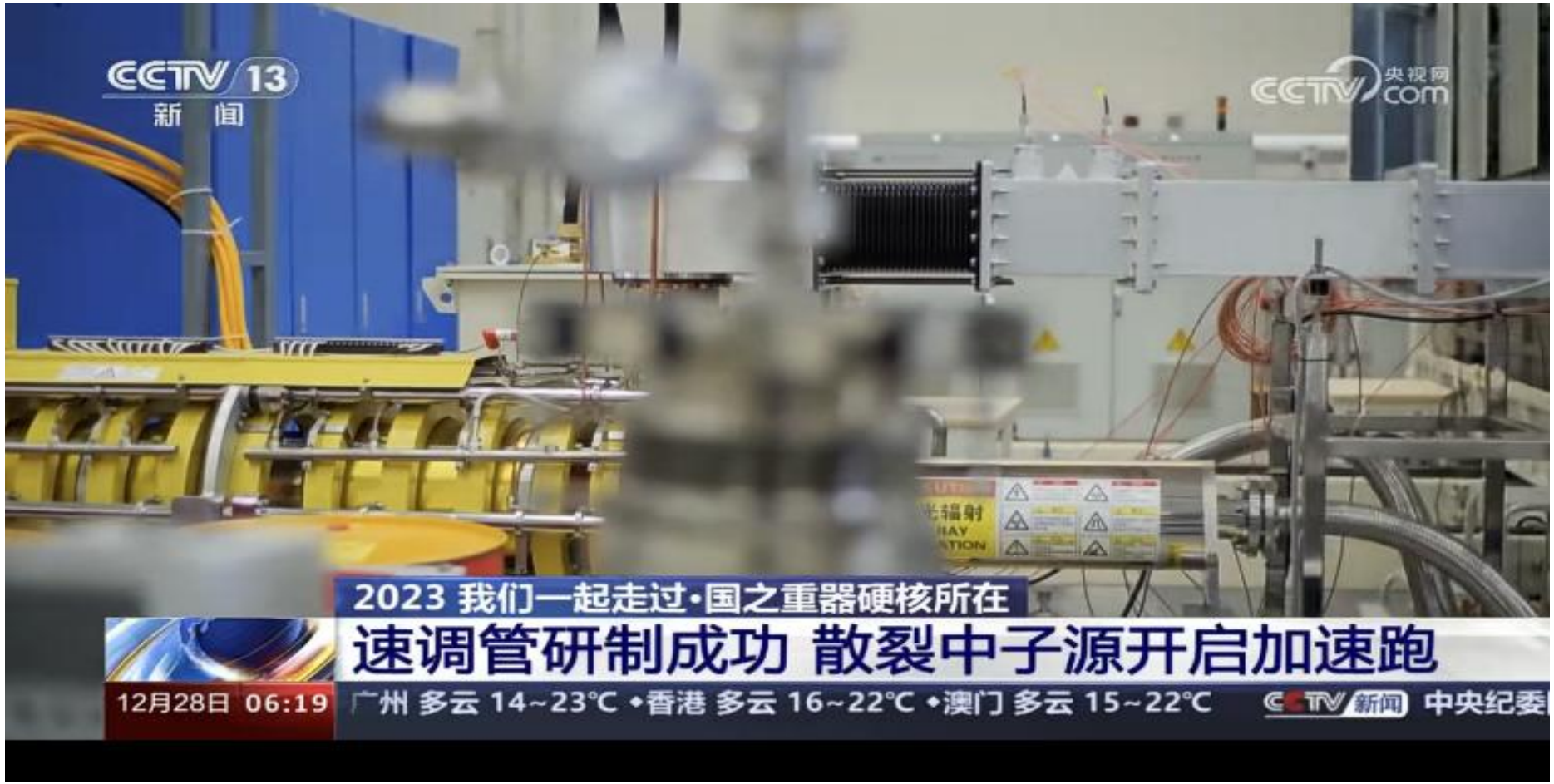
2023年10月24日，散裂中子源科学中心组织专家对648MHz大功率速调管项目进行了现场验收。验收组分别听取了慕振成所作的《648MHz速调管现场验收报告》和昆山国力王少哲所作的《648MHz/1.2MW 速调管研制总结报告》以及测试组所做的测试报告，对测试结果进行了审核认定。验收组一致认为，速调管性能指标满足合同要求，建议通过现场验收。

验收组组长：段兆云

日期：2023.10.24

648MHz/1.2MW速调管

该型号速调管在23年12月28日的央视新闻上进行了特别报道，**是CEPC预研项目支撑国家大科学装置关键核心部件国产化的典型案例**。



目录

国力研究院 GUOLI INSTITUTE



- 公司介绍
- 650MHz/800kW连续波速调管
- 高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管
- 650MHz/800kW多注速调管
- 648MHz/1.2MW长脉冲速调管
- 324MHz/3MW脉冲速调管
- 能量回收型速调管
- 总结

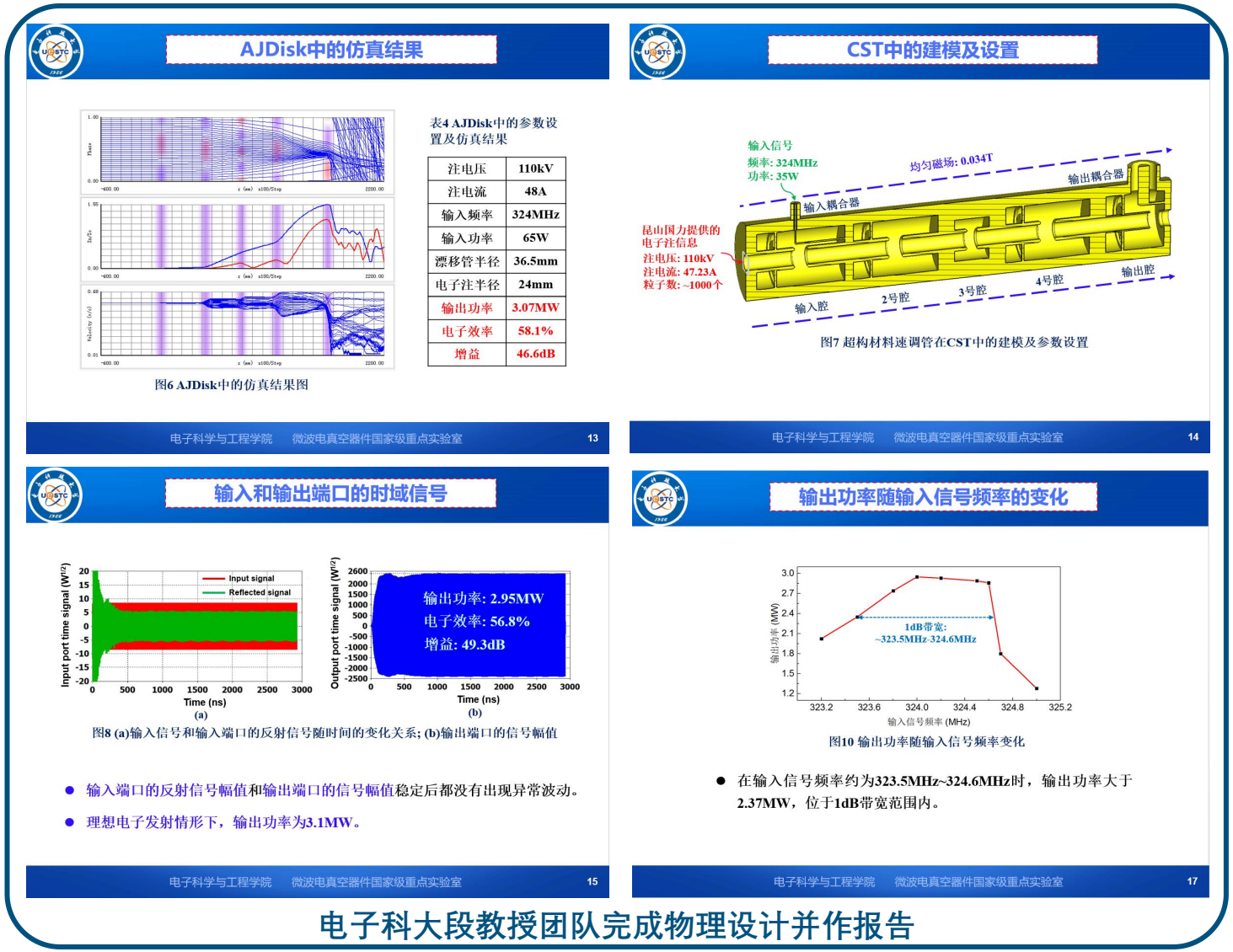
324MHz/3MW速调管研发

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

22年联合电子科技大学完成速调管物理设计评审，23年开始速调管研制

设计指标

工作频率	324MHz
带宽（1dB）	±0.1MHz
峰值功率	≥2.5MW
RF脉冲宽度	650μs
脉冲重复频率	25Hz
效率	≥55%
增益	≥45dB
阴极电压	-110kV

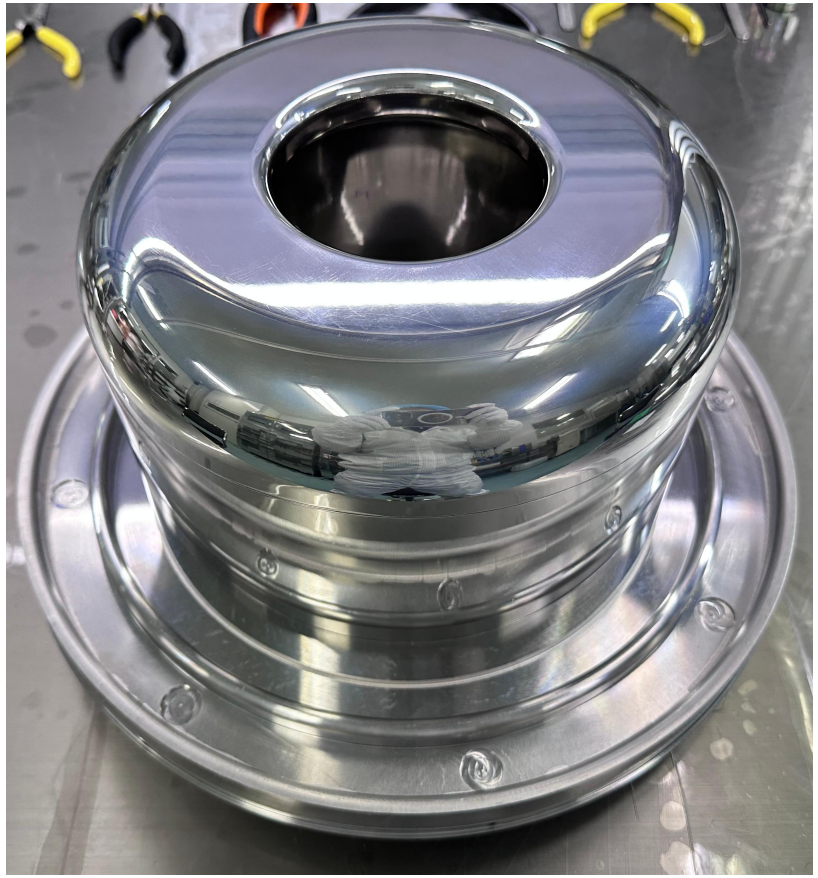


电子科大段教授团队完成物理设计并作报告

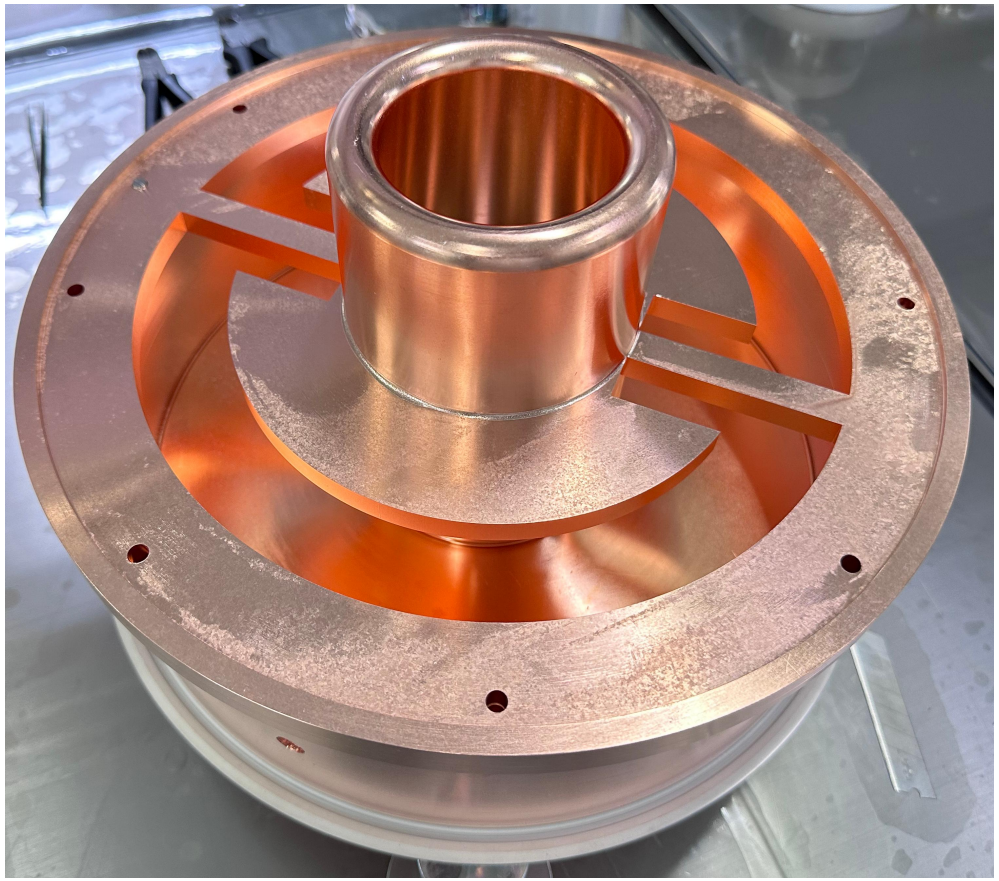
324MHz/3MW速调管研发

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

研制中国自主创新的超构材料谐振腔体，开启P波段速调管小型化之路。



电子枪组件研制

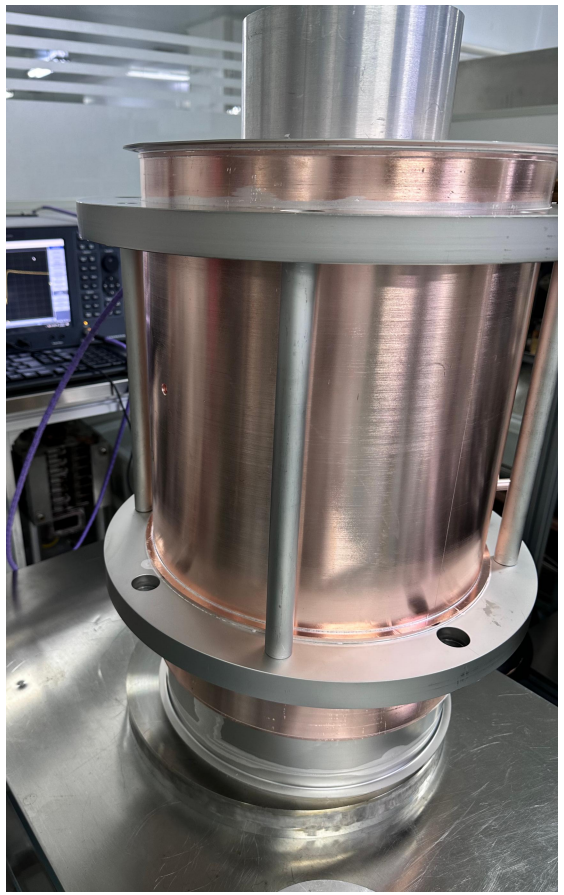
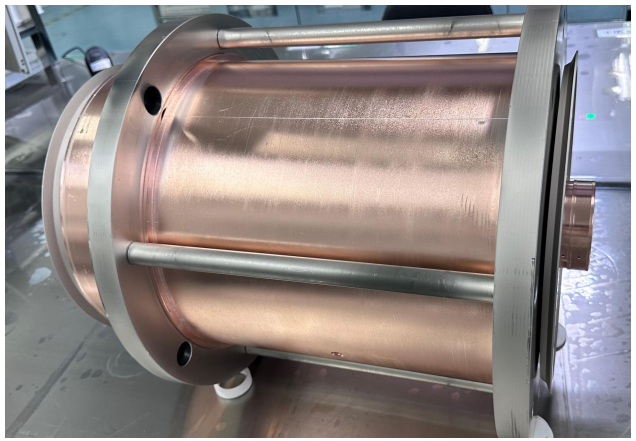
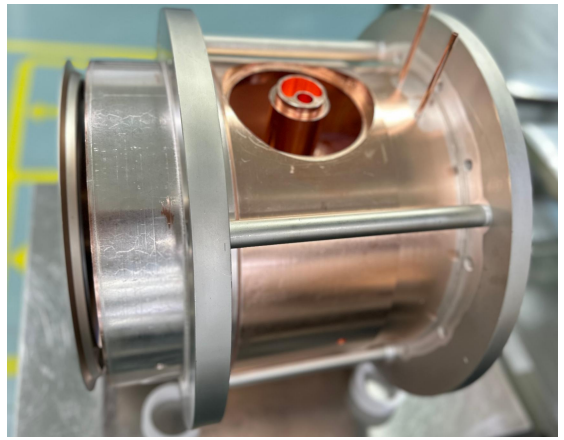


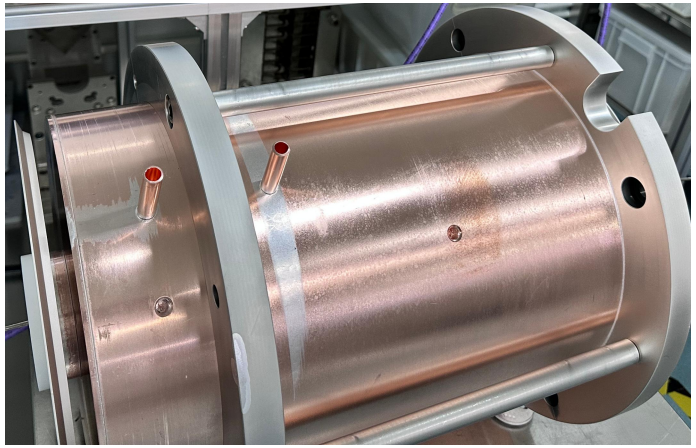
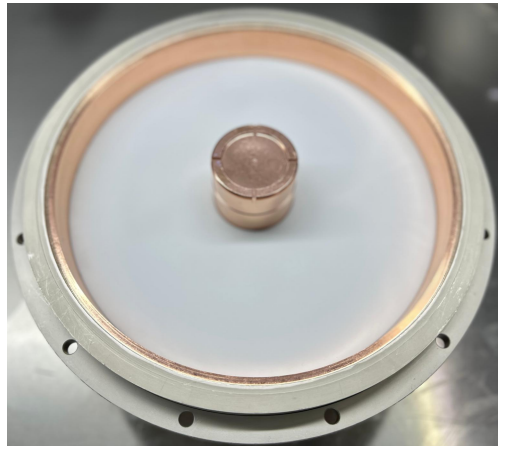
腔体超构体结构组件研制

324MHz/3MW速调管研发

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

324MHz/2.5MW速调管的腔体、输出窗及收集极等部件

324MHz/3MW速调管研发

24年8月，速调管完成冷高压老炼，运至中国散裂中子源测试平台。2025年6月7日，由中国散裂中子源（CSNS）加速器射频团队牵头，国力股份联合电子科技大学电子科学与工程学院段兆云研究小组、CEPC速调管团队共同研制的国际首支紧凑型P波段大功率超构材料速调管，以全指标达标的卓越表现一次通过验收





324MHz/3MW速调管研发

国力研究院 GUOLI INSTITUTE

该成果被新华社、央视网、新华网、中国新闻网等国家级主流媒体重点报道，全网累计点击量超过1200万；《中国科学报》《科技日报》《南方日报》等权威报纸在头版刊发相关成果，《澳门日报》等港澳媒体亦广泛关注，成为“近年来真空电子器件领域最具代表性的技术突破”。

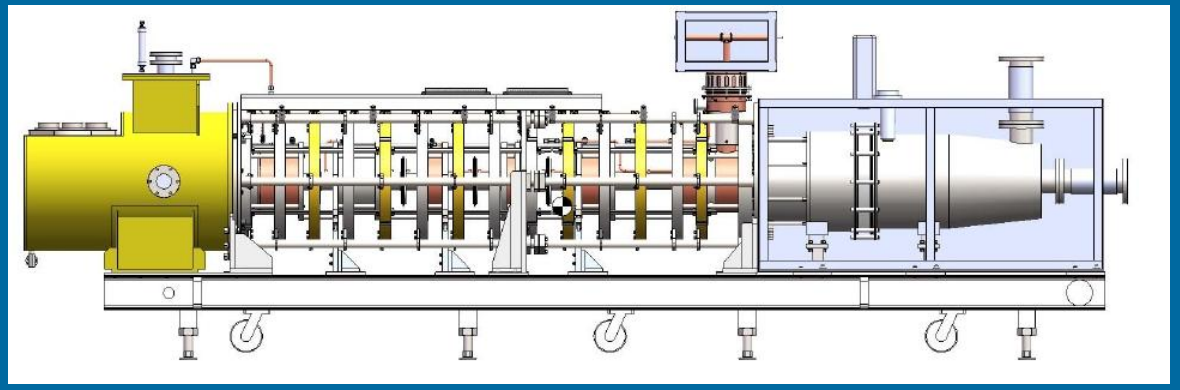






目录

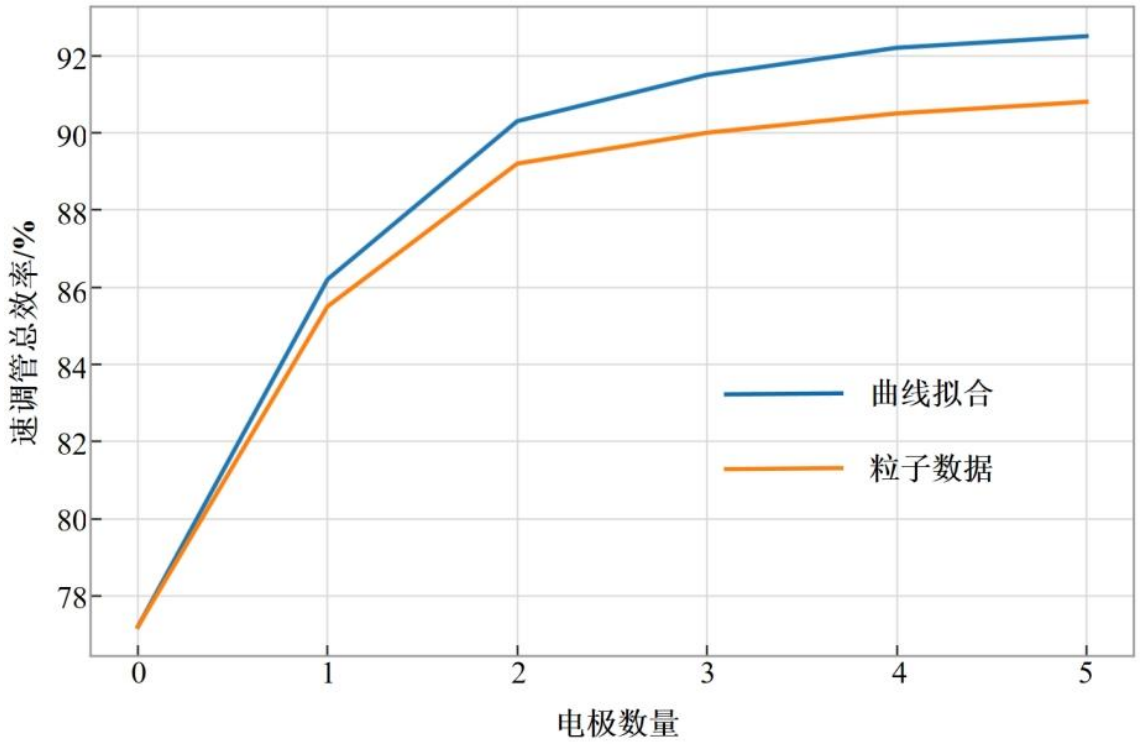
国力研究院 GUOLI INSTITUTE

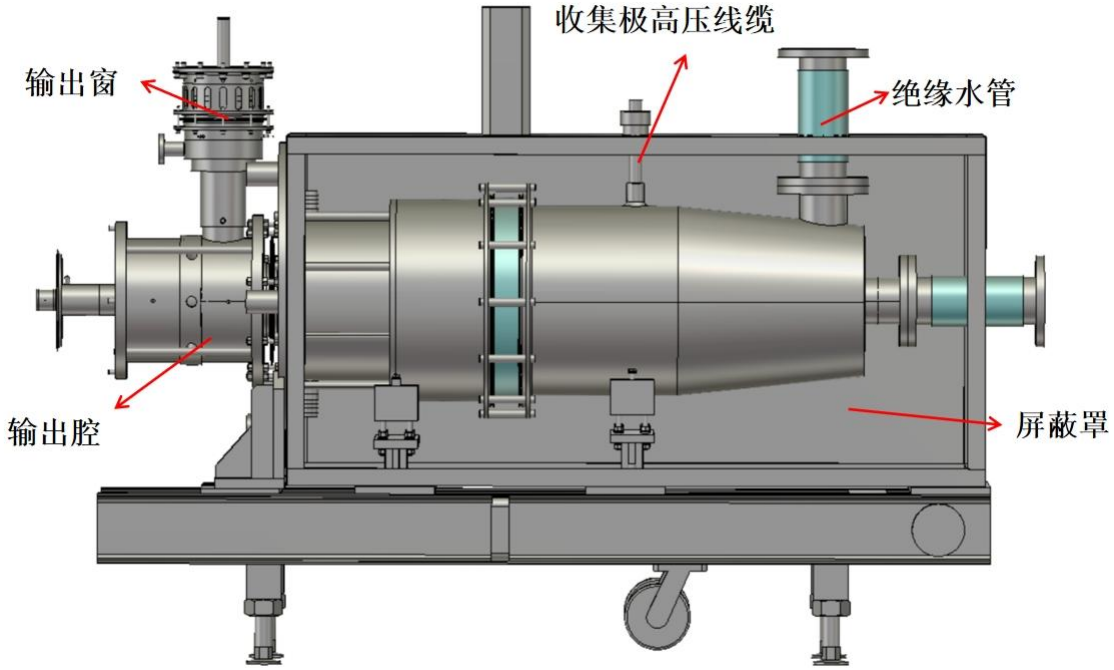


- 公司介绍
- 650MHz/800kW连续波速调管
- 高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管
- 650MHz/800kW多注速调管
- 648MHz/1.2MW长脉冲速调管
- 324MHz/3MW脉冲速调管
- 能量回收型速调管
- 总结

能量回收型速调管

在物理设计和工程实现的权衡下单注速调管效率已几乎达到极限，为了进一步提高速调管效率我们考虑**使用降压收集极技术进行能量回收**。基于真实粒子数据计算得到，单级降压收集极最大回收功率为 104 kW，其中收集极压降为 14 kV。二级降压收集极最大回收功率为 145 kW，其中收集极第一电极压降为 13 kV，第二电极压降V2为 40 kV。对应回收效率为 42.5%和 59.3%，速调管总效率分别为 85.5%和 89.2%





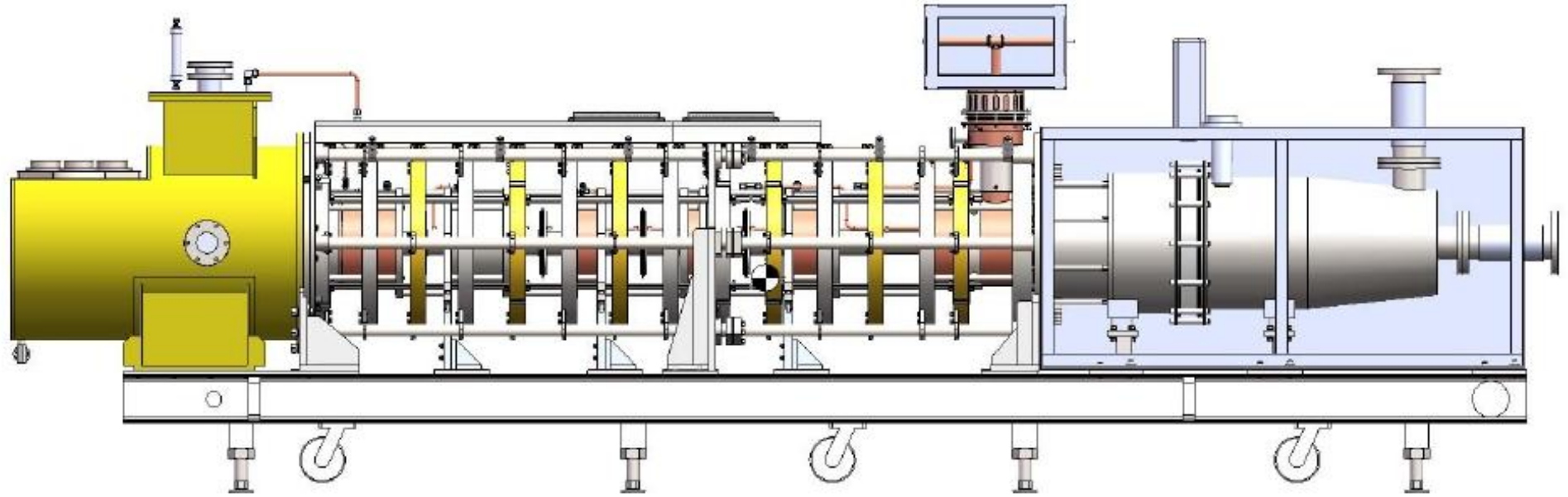
单级降压收集极的机械结构

能量回收型速调管

2025年，在能量回收型速调管研制中，国力负责机械设计、电子枪、谐振腔、收集极、聚焦线圈、油缸运行支架等一众关键部件的研制以及总装、排气、后道、包装运输等关键工艺任务

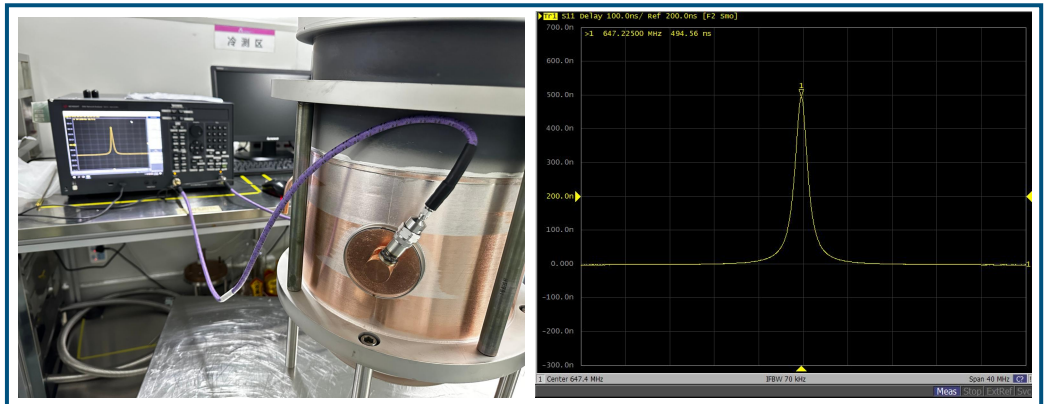
- 物理设计
- 谐振腔研制（质量把控）
- 总装（参与）
- 后道（参与）
- 测试

- 机械设计
- 电子枪研制
- 谐振腔研制
- 收集极研制
- 聚焦线圈研制
- 油缸研制
- 运行支架研制
- 总装
- 排气
- 后道
- 包装运输

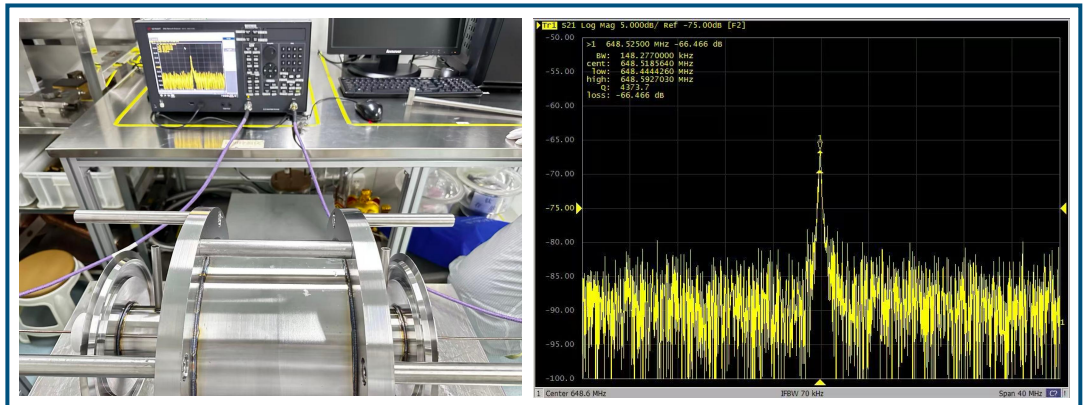


能量回收型速调管

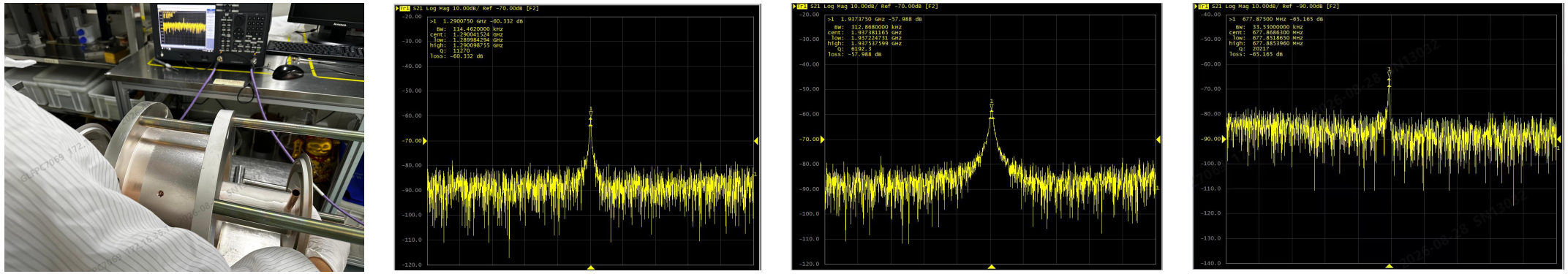
目前输入（1号）谐振腔至5号谐振腔已经完成研制，收集极和电子枪也在按计划制造中，预计26年底至27年除能够完成制造并进行测试



输入谐振腔完成冷测和调谐



2号谐振腔完成冷测和调谐



3、4、5号谐振腔完成冷测和调谐

目录

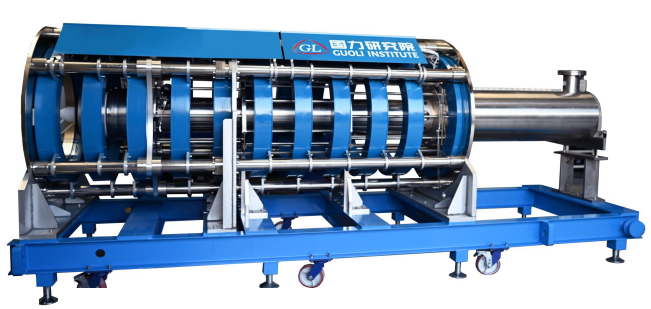
国力研究院 GUOLI INSTITUTE



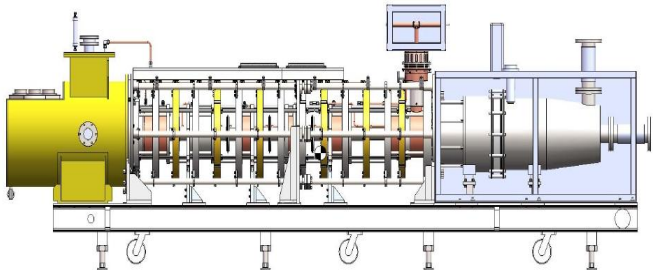
- 公司介绍
- 650MHz/800kW连续波速调管
- 高功率高效率650MHz/800kW连续波速调管
- 650MHz/800kW多注速调管
- 648MHz/1.2MW长脉冲速调管
- 324MHz/3MW脉冲速调管
- 能量回收型速调管
- 总结

总结









2020年 650MHz/800kW速调管样管

2023年 650MHz/800kW多注速调管束流管

2024年 324MHz脉冲速调管

2026年 能量回收型速调管

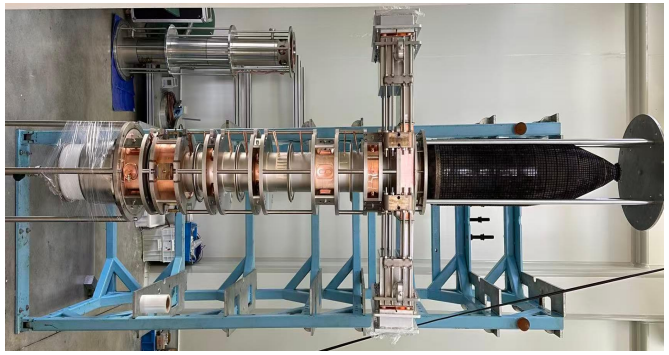
2021年 650MHz/800kW高效率速调管样管

2022年 648MHz脉冲速调管

2025年 650MHz/800kW多注速调管







国力股份
电 真 空 科 技

感谢您的观看！

【国力股份-电真空科技】证券代码：688103

官方网站

官方微信

昆山国力电子科技股份有限公司
Kunshan Guoli Electronic Technology Co.,Ltd

地址：江苏省苏州昆山市开发区西湖路28号 | 总机：(86-21)512-3687-2111 | 传真：(86-21)512-3687-2112 | 网址：www.glvac.cn