

强流重离子加速器装置 2022 年年度报告

一、工程简介

强流重离子加速器装置（High Intensity heavy-ion Accelerator Facility，简称 HIAF）是国家“十二五”重大科技基础设施建设内容之一。项目选址广东省惠州市，建设周期 7 年，总投资约 23 亿元，由项目建设法人单位—中国科学院近代物理研究所负责建设，项目主管部门为中国科学院。



图 1.1 HIAF 装置总体布局图

强流重离子加速器装置将建设一台国际领先水平的下一代强流重离子加速器装置，具备产生极端远离稳定线核素的能力，可提供国际上峰值流强最高的低能重离子束流、最高能量达每核子 4.25 吉电子伏（GeV/u）的脉冲重离子束流和国际上测量精度最高的原子核质量谱仪，为鉴别新核素、扩展核素版图、研究弱束缚核结构和反应机制、特别是精确测量远离稳定线短寿命原子核质量提供国际领先的实验研究条件。

HIAF 项目建设内容主要包括加速器系统、实验终端系统、相关配套设施及土建工程等。加速器系统以直线加速器 iLinac、同步加速器 BRing、储存环 SRing 为主体，提供高流强、高能量、高品质的重离子束流，产生极端远离稳定线的放射性核素。实验终端系统围绕 HIAF 可提供的束流布局，为核物理、原子物理、核天体物理基础科学研究及材料、生物等应用技术研究提供国际领先的实验平台。

二、建设进展

2022 年是 HIAF 攻坚之年,设备批量加工与测试、配套设备进场安装与调试、地上单体陆续封顶与室内装修、加速器隧道封顶与回填、加工与施工过程质量控制等全面展开。核心关键技术首台套成功研制与测试,启动批量加工;85%常规技术设备开展批量生产,部分设备完成测试准备进场;水风电等配套系统已进场开始安装调试,临时用电交付使用;国家投资土建施工完成总工程量 80%,地方投资土建施工完成总工程量 32%。计划 2023 年底完成建安工程施工,加速器隧道与地上单体交付使用,加速器设备陆续进场安装调试,部分开展联合测试。

(一) 核心关键技术

2022 年, HIAF 核心关键技术实现重要创新与突破,解决了一批强流重离子加速器核心技术难题和挑战。成功研制并测试核心关键技术首台套,设备全面进入批量加工,并陆续进入测试状态。

完成国际首台 45GHz 超导 ECR 离子源六极线圈、高功率注入/引出组件加工及测试,真机冷体开展三次集成与低温冷测。成功研制国际首台变前励全储能快循环大功率磁铁电源,实现了 52000 A/s 非谐振国际最快电流上升速率,创新的储能功率拓扑解决了百兆瓦级功率感性负载电源对电网冲击的国际难题,大幅降低了系统配电功率需求,开创大科学装置绿色节能运行新模式;批量化首台电源单元测试满足需求,已开展全部台套电源的加工。首创钛合金内衬大截面极高真空薄壁真空室方案,实现好于 $1\text{E-}12\text{ mbar}$ 水平的极高真空度,显著提高了磁铁气隙利用率,大幅降低加速器造价;首套 4 台 BRing 二极铁真空室成功研制并完成工艺样段安装。突破国外封锁与禁售,攻克高性能大尺寸纳米晶磁合金环工艺难题,成功研制国内首套高梯度、快响应、油冷大功率磁合金高频系统,核心指标在最具挑战的百千赫兹低频段超越国际同行,实现领先;已进入批量生产加工。攻克斜螺线管型线圈(简称 CCT)超导磁铁技术,成功研制四、六、八极组合线圈,实现大孔径、高磁场、小冷质量下好于 $5\text{E-}4$ 的磁场均匀度。



图 2.1 全 Nb_3Sn 超导离子源冷体全尺寸真机



图 2.2 45 GHz 超导 ECR 离子源六极线圈及其测试

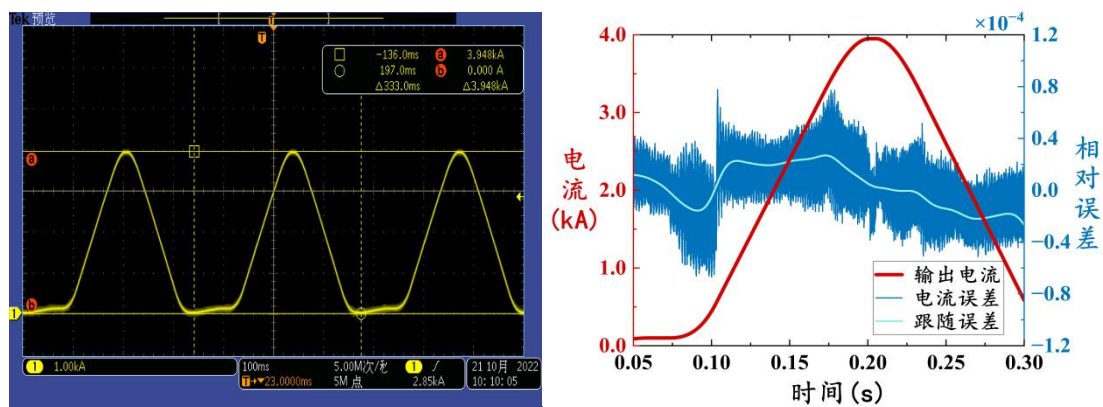


图 2.3 全储能快循环脉冲电源样机实际负载下测试结果（3950 A/3 Hz）



图 2.4 全储能快循环脉冲电源批量首台组装



图 2.5 钛合金内衬超薄壁极高真空室批量加工首台套测试



图 2.6 高梯度、大带宽、快响应磁合金高频系统

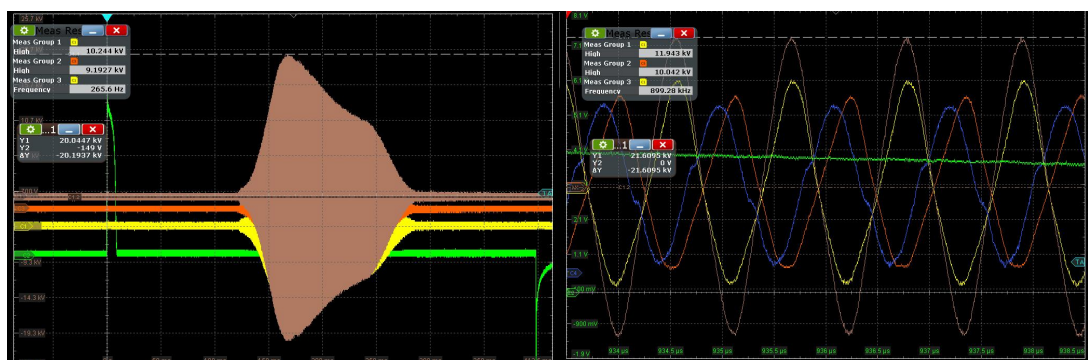


图 2.7 高梯度、大带宽、快响应磁合金高频腔体扫频电压波形

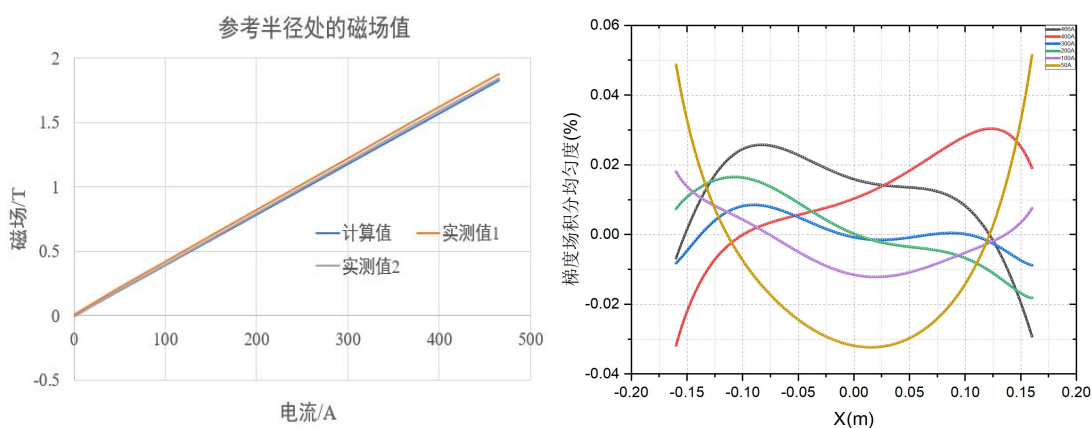


图 2.8 L800 四极、八极组合超导 CCT 线圈磁铁测试结果

(二) 设备加工测试

2022 年，HIAF 工程常规技术设备在首台套测试验收基础上陆续开展批量加工，部分设备已完成测试并准备进场。项目组严格落实加工过程质量控制，强化驻厂、重视巡检、严格测试，提高设备研制质量。

表 1 HIAF 工艺设备批量加工与测试进度

	批量加工进度					批量测试进度				
	20%	40%	60%	80%	100%	20%	40%	60%	80%	100%
束流前端	全部加工完成					80%测试				
超导直线	60%设备进入批量加工					5%批量测试				
BRing	80%设备进入批量加工					20%批量测试				
HFRS		20%设备进入批量加工				5%批量测试				
SRing	60%设备进入批量加工					10%批量测试				
束线终端	90%设备进入批量加工					5%批量测试				

束流前端系统完成设备批量加工和 80%设备的测试。超导直线加速器 RFQ 完成 2 段腔体精加工，开展剩余 7 段腔体粗加工；完成首套 QWR007 和 HWR015 两种型号低温恒温器及内部装配件超导腔、耦合器、调谐器、超导螺线管设备加工，进行分项测试与整体装配；BRing 加速器二极磁铁铁芯和线圈全部加工完成，

组装 33 台，四极及六极磁铁各加工完成 2 台，开展剩余部分批量加工；注入引出设备完成批量招标、工艺方案评审与图纸会签。HFRS 段温铁超导二极磁铁、常温直流电源、束诊设备完成首台套加工与测试，启动剩余部分量产。SRing 加速器开展二极、四极、六极、校正共 126 台磁铁批量加工；真空标准件陆续到货验收；完成电子冷却段线圈、电子枪、收集器的测试验收，其他类型线圈、高压系统、加速管正在批量加工。束线及终端完成磁铁、电源、束诊批量招标、工艺方案评审与图纸会签，进入加工阶段；真空非标件完成方案优化，准备招标。机器保护系统完成 Interface 电子学、联锁光环电子学首台套测试与批量加工，开展与其他系统联合通信测试。定时系统完成终端节点、同步网络、数据主节点首台套的研制及联合测试，开始批量加工。实验终端系统完成石墨初级靶、位置灵敏探测器、能损探测器、飞行时间探测器等核心设备的研制，正在进行测试。



图 2.9 束流前端真空系统（左）与束诊系统（右）批量到货



图 2.10 HIAF-iLinac 超导腔批量加工与测试



图 2.11 HIAF-iLinac 低温恒温器批量首台组装与测试



图 2.12 HIAF-BRing 二极磁铁批量加工

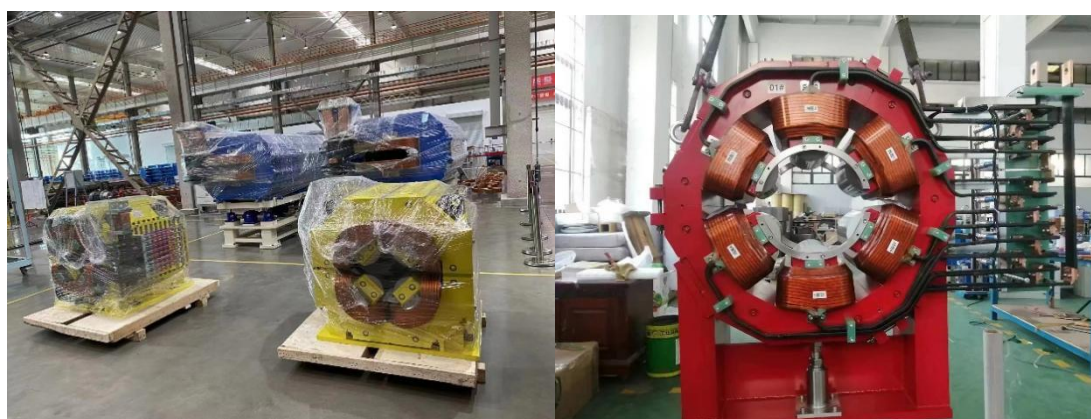


图 2.13 HIAF-BRing 四极磁铁（左）及六极磁铁（右）批量加工

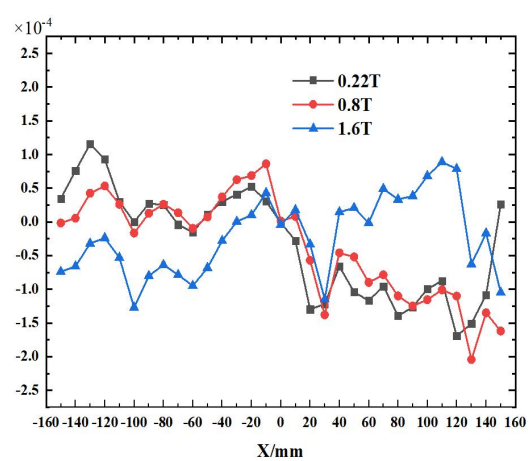


图 2.14 HIAF-HFRS 温铁超导二极磁铁及其场均匀性



图 2.15 HIAF-SRing 电子冷却加速管（左）与冷却段磁轭（右）

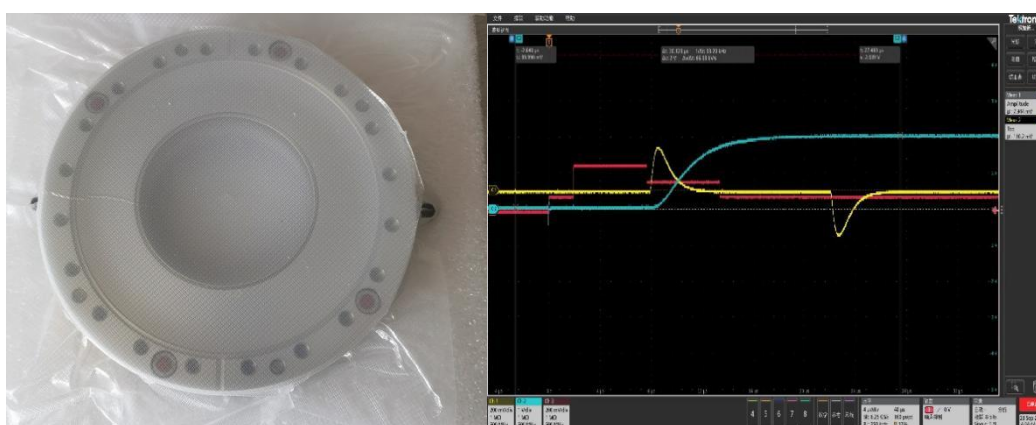


图 2.16 束线及终端积分式电流互感器（ICT）及其电子学测试

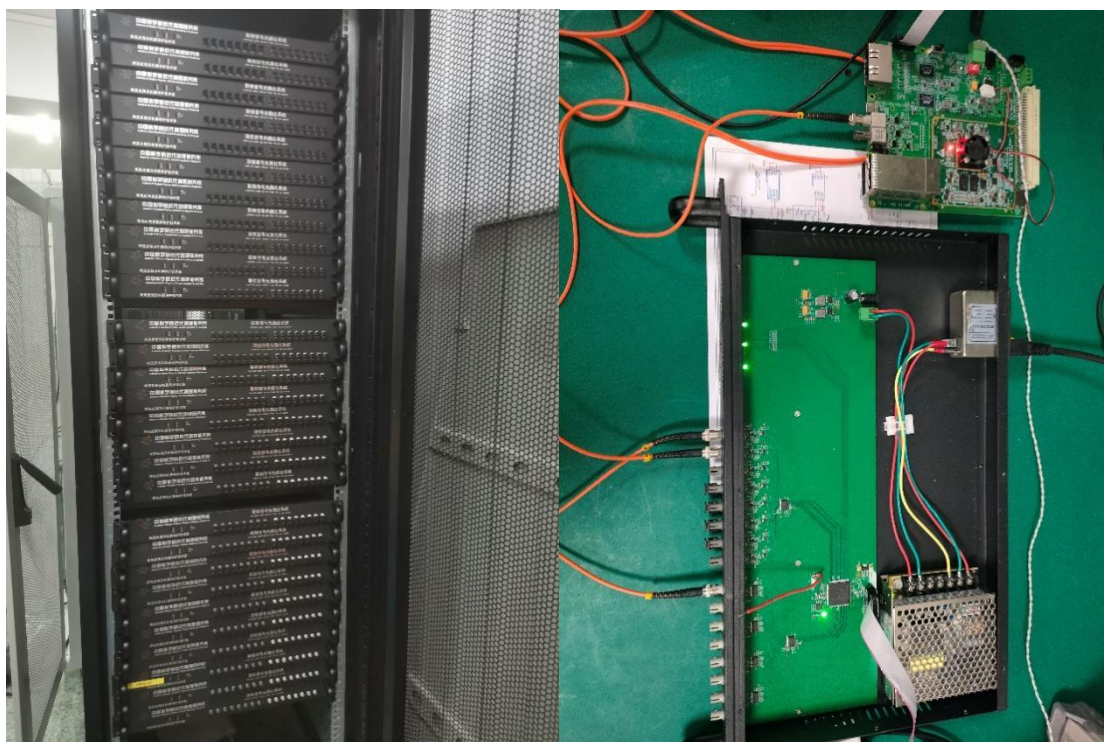


图 2.17 机器保护系统联锁光环（左）及与电源控制联测（右）

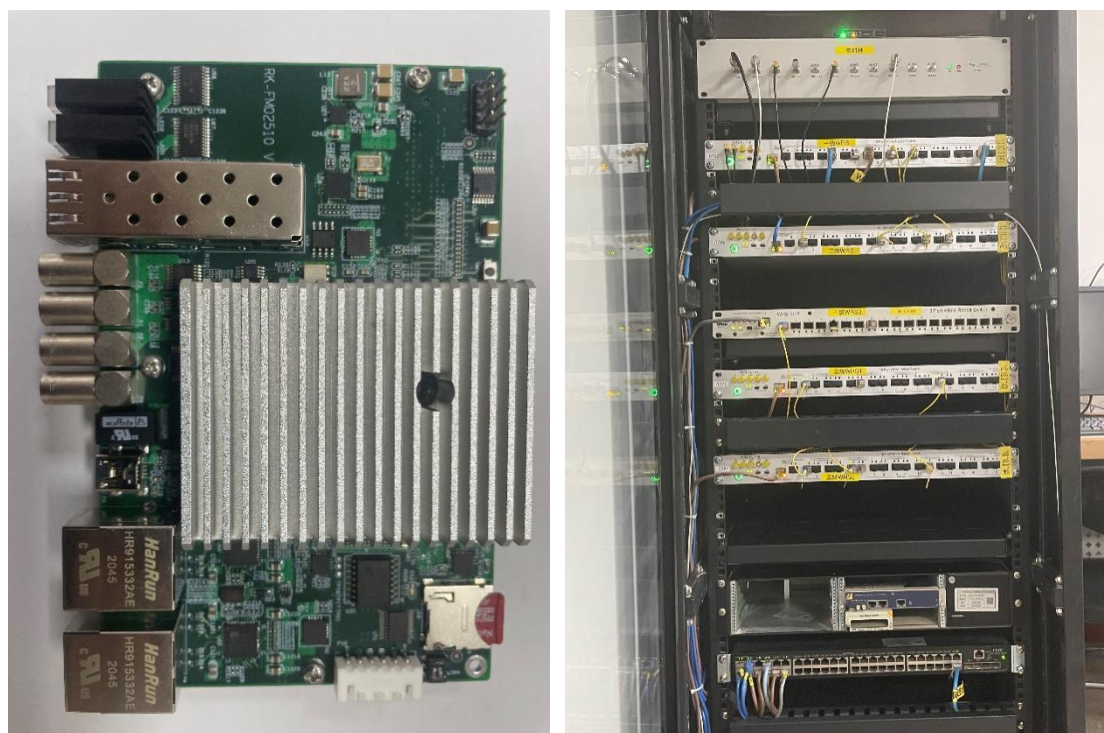


图 2.18 定时系统组件数据主节点（左）及同步网络组网测试（右）

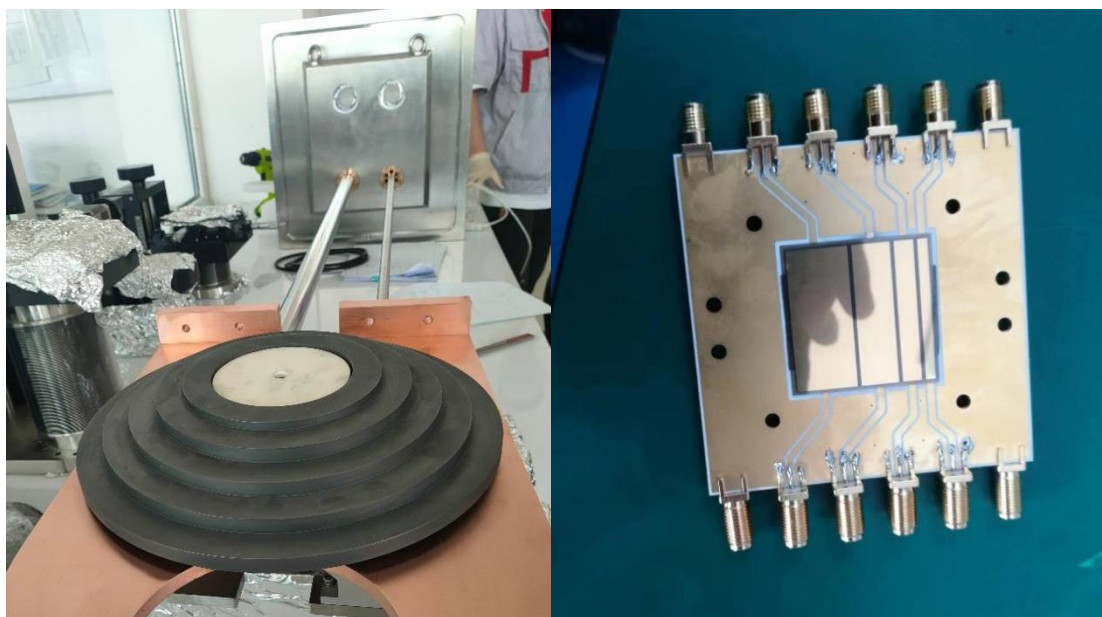


图 2.19 实验终端系统石墨初级靶（左）与位置灵敏探测器（右）

（三）工艺样段安装

2022 年，HIAF 工程实施工艺样段安装与测试，验证设备与配套接口，优化配套工艺系统安装工序与布线流程，预制管线安装连接件，并最后测试联合运行的可靠性，以期实现加速器系统安装的标准化、流程化，从而保证隧道内现场安装的质量，提升安装效率。

HIAF 工艺样段包括 BRing 弧区样段和 HFRS 超导样段，分别安装于天水 and 兰州的测试现场。BRing 弧区样段含磁铁、电源、真空、束诊等加速器系统对应的各类设备，包含 4 台二极磁铁、2 台四极磁铁、2 台六极磁铁、1 台校正磁铁，各磁铁对应的真空室与电源，1 个 BPM、1 组 Collimator 及所需的靶室与泵室。HFRS 超导样段含 1 台温铁超导二极磁铁、一套三组合多极透镜低温恒温器，磁铁对应的真空室与电源，2 套阀箱与若干复合管路，真空泵室等。BRing 弧区样段已完成安装，HFRS 超导样段完成 50%，计划 2023 年完成样段的测试与验证。

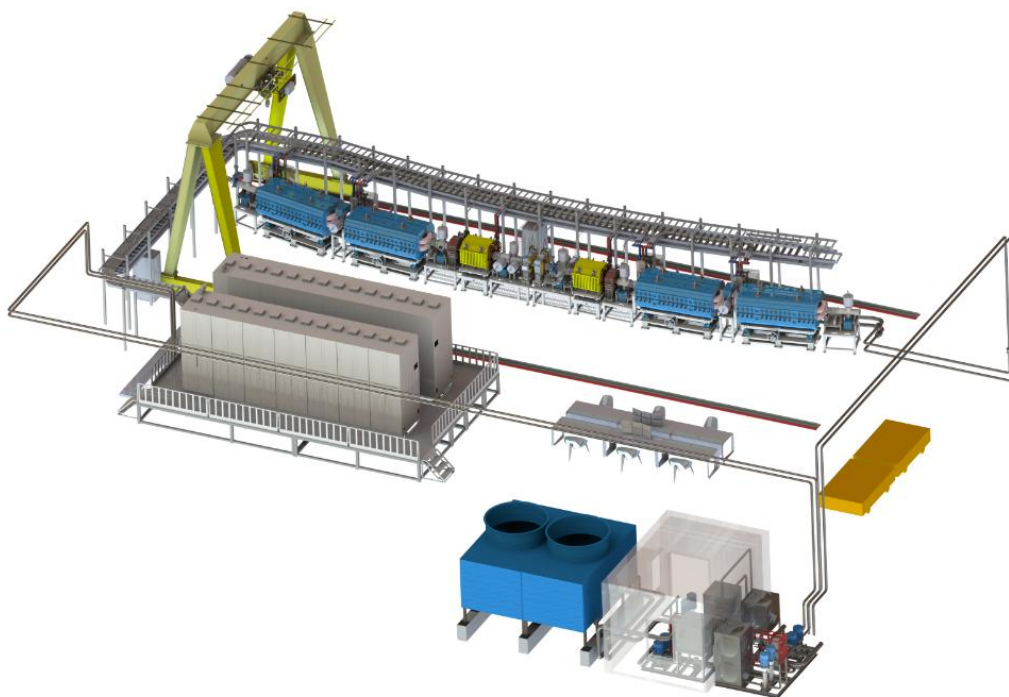


图 2.20 HIAF-BRing 弧区样段安装效果总图



图 2.21 HIAF-BRing 弧区样段安装现场

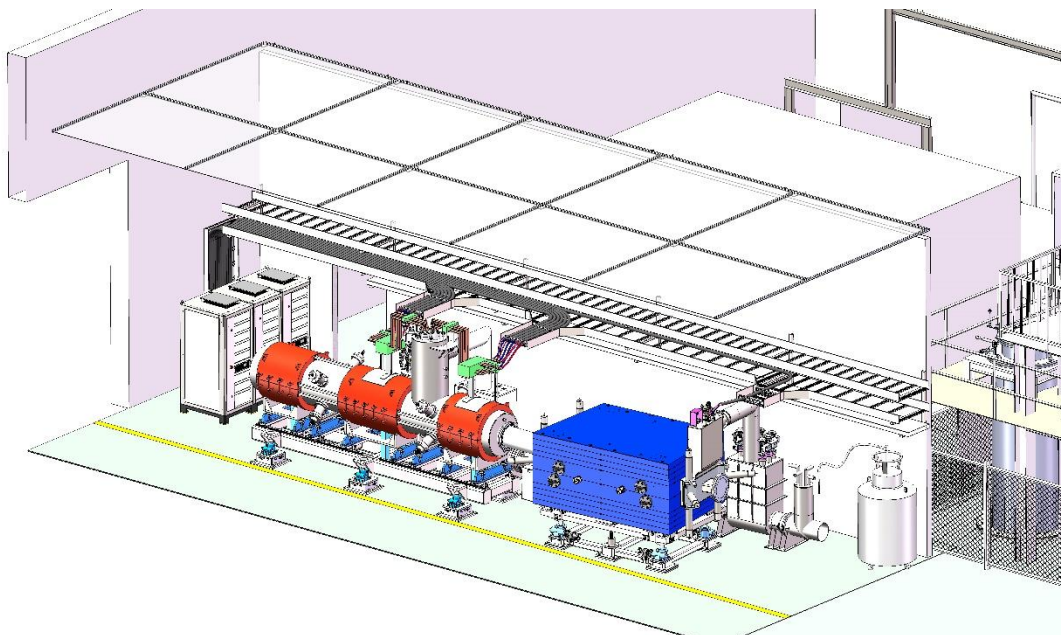


图 2.22 HIAF-HFRS 超导样段安装效果总图



图 2.23 HIAF-HFRS 超导样段阀箱（左）与复合管路（右）

（四）土建及配套

工艺冷却水与通风空调系统根据加速器需求,结合土建设计开展全专业 BIM 建模,完成工艺设备、机电和土建 BIM 模拟装配和集成,于 11 月份进场安装。施工过程中严格执行样段制,明确标准,跟踪检查。低温系统和电气系统完成元件采购与加工,开始集成装配。

加速器隧道 BRing、HFRS、SRing 完成主体结构施工,开展侧墙防水及土方回填、隧道内墙及地面处理;离子源、超导直线加速器、注入线开展侧墙及顶板结构施工。运行楼、三号综合站房、综合测试大厅、制冷中心等地上单体完成土建二次结构施工,开展机电安装、装饰装修、门窗工程,预计 2023 年 3 月中旬将陆续投入使用。项目组组建工艺团队进驻施工现场,全流程跟踪检查施工工艺、接口、进度与质量。



图 2.24 HIAF 装置区航拍图（2022 年 12 月 20 日）

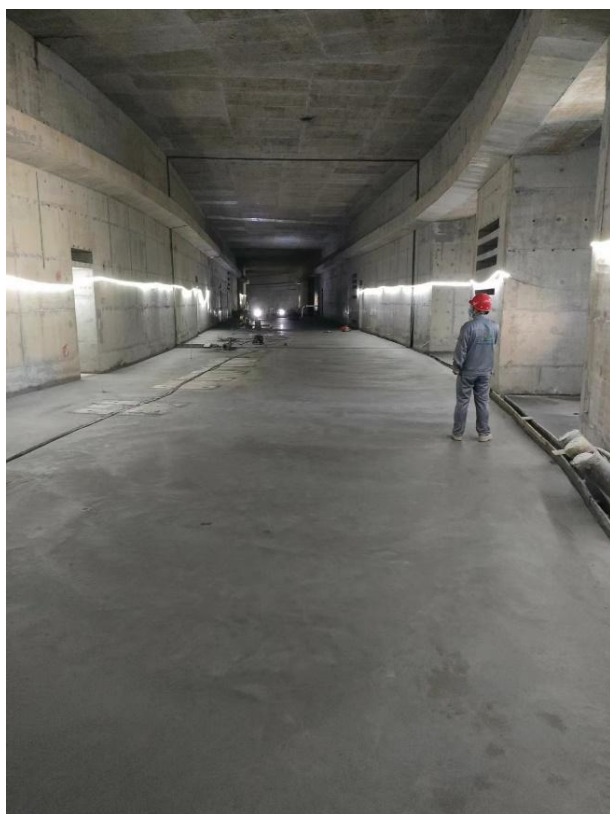


图 2.25 HIAF-BRing 加速器隧道



图 2.26 HIAF-SRing 加速器隧道回填



图 27 HIAF 三号综合站房



图 2.28 HIAF 地上单体转运天车



图 2.29 HIAF 综合测试大厅工艺配套系统安装

三、大事记

1 月 25 日，国家两大科学装置 HIAF、CiADS 总部暨中国科学院近代物理研究所惠州研究部园区正式启用。



图 3.1 惠州总部区园区全景图

2月9日，惠州市委副书记、市长温金荣一行调研 HIAF 及 CiADS 两大科学装置建设复工复产、安全生产和疫情防控等情况。



图 3.2 温金荣一行调研现场

3月23日，广东省副省长、中科院院士王曦一行来访位于惠州市惠城区新桥北路1号的中国科学院近代物理研究所惠州研究部，调研 HIAF 及 CiADS 两大科学装置建设情况。



图 3.3 座谈现场

5月3日，惠州市委书记、市人大常委会主任刘吉一行调研 HIAF 及 CiADS 两大科学装置及东江实验室同位素研发平台建设情况。



图 3.4 刘吉书记一行调研现场

四、单位通讯录

单位：中国科学院近代物理研究所

地址：兰州市城关区南昌路 509 号

邮编：730000

网址：<http://hiaf.impcas.ac.cn/>

电话：0931-4969977

邮箱：hiaf.pmo@impcas.ac.cn

五、编委与责任编辑

编委：肖国青

编辑：王一涵、盛丽娜