



国家重大科技基础设施HIAF及CiADS建设进展与展望

徐珊珊 詹文龙 肖国青 胡正国 杨建成 何源 王思成 盛丽娜 李大蓬 强流重离子加速器装置及加速器驱动嬗变研究装置团队

HIAF and CiADS National Major Science and Technology Infrastructure: Progress and Prospect

XU Hushan, ZHAN Wenlong, XIAO Guoqing, HU Zhengguo, YANG Jiancheng, HE Yuan, WANG Sicheng, SHENG Lina, LI Dapeng, HIAF Team & CiADS Team

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.41.2023CNPC81>

引用格式:

徐珊珊, 詹文龙, 肖国青, 胡正国, 杨建成, 何源, 王思成, 盛丽娜, 李大蓬, 强流重离子加速器装置及加速器驱动嬗变研究装置团队. 国家重大科技基础设施HIAF及CiADS建设进展与展望[J]. 原子核物理评论, 2024, 41(1):60–66. doi: 10.11804/NuclPhysRev.41.2023CNPC81

XU Hushan, ZHAN Wenlong, XIAO Guoqing, HU Zhengguo, YANG Jiancheng, HE Yuan, WANG Sicheng, SHENG Lina, LI Dapeng, HIAF Team & CiADS Team. HIAF and CiADS National Major Science and Technology Infrastructure: Progress and Prospect[J]. Nuclear Physics Review, 2024, 41(1):60–66. doi: 10.11804/NuclPhysRev.41.2023CNPC81

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

加速器驱动嬗变研究装置顶盖漏束的热中子等效注量率评估

Estimation of Equivalent Thermal Neutron Fluence Rate in the Leakage Beam of China Initiative Accelerator Driven System
原子核物理评论. 2023, 40(3): 478–484 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.40.2022093>

重离子治疗装置同步加速器高频控制系统研制

Development of RF Control System for Heavy Ion Medical Machine
原子核物理评论. 2019, 36(1): 55–61 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.36.01.055>

加速器驱动嬗变研究装置中关键材料的辐照损伤分析

Analysis of Irradiation Damage of Key Materials in China Initiative Accelerator Driven System
原子核物理评论. 2019, 36(4): 484–491 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.36.04.484>

CiADS超导直线加速器超导腔失效的分段补偿与冗余设计

Piecewise Compensation and Redundancy Design for Superconducting Cavity Failure of CiADS Linac
原子核物理评论. 2019, 36(1): 62–70 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.36.01.062>

直线加速器超导段故障补偿的人工智能算法研究

Research on Segmented Failure Compensation of Superconducting Section in Linear Accelerator by Artificial Intelligence Algorithm
原子核物理评论. 2022, 39(1): 37–44 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.39.2021045>

强流重离子RFQ加速器高频反馈控制研究

Research on Radio Frequency Feedback Control of High Intensity Heavy Ion RFQ Accelerator
原子核物理评论. 2022, 39(4): 454–462 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.39.2022016>

国家重大科技基础设施 HIAF 及 CiADS 建设进展与展望

徐珊珊, 詹文龙, 肖国青, 胡正国, 杨建成, 何源, 王思成, 盛丽娜, 李大蓬,

强流重离子加速器装置及加速器驱动嬗变研究装置团队

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

摘要: 国家重大科技基础设施“强流重离子加速器装置(HIAF)”和“加速器驱动的嬗变研究装置(CiADS)”正在广东省惠州市建设。HIAF 拟建成国际领先水平的下一代强流重离子加速器装置, 于 2018 年开工, 建设周期 7 年, 已全面进入批量加工与测试、进场安装与调试阶段; CiADS 拟建成全球首个实现高功率耦合运行的兆瓦级加速器驱动嬗变研究装置, 于 2021 年开工建设, 建设周期 6 年, 分阶段推进工程建设, 强流直线加速器已开始逐步进场安装, 高功率散裂靶样机研制完成, 次临界反应堆正在进行工程设计。本文在之前介绍 HIAF 及 CiADS 项目专题文章的基础上, 进一步介绍了 HIAF 及 CiADS 项目科学及工程目标、工艺及土建进展, 并对未来发展进行了展望。

关键词: 国家重大科技基础设施; 强流重离子加速器装置; 加速器驱动嬗变研究装置

中图分类号: TL56

文献标志码: A

DOI: 10.11804/NuclPhysRev.41.2023CNPC81

0 引言

国家重大科技基础设施(又称“大科学装置”)是提升原始创新能力和支撑重大科技突破的“国之重器”、“科技利器”, 其建设和运行应用了大量新科学原理和先进前沿技术, 能够提供人类从事前沿研究所必需的极限、综合的研究手段, 是支撑战略性、基础性、前瞻性基础科学研究的重要平台, 为促进经济社会的全面协调可持续发展提供了重要保障。近年来, 国家先后发布《国家重大科技基础设施建设中长期规划(2012—2030 年)》、《国家创新驱动发展战略纲要》、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要》等, 对国家重大科技基础设施发展做出重要部署。2023 年 2 月 21 日, 习近平总书记在中共中央政治局加强基础研究进行第三次集体学习时强调: “要科学规划布局前瞻引领型、战略导向型、应用支撑型重大科技基础设施, 强化设施建设事中事后监管, 完善全生命周期管理, 全面提升开放共享水平和运行效率”。

当前世界已进入大科学时代, 我国在建和运行的重大科技基础设施项目总共 58 项, 在各自领域发挥着关键作用, 部分装置综合水平迈入全球“第一方阵”, 产生了一大批具有国际影响力的重大科学成果。强流重离子

加速器装置(High Intensity heavy-ion Accelerator Facility, HIAF)及加速器驱动嬗变研究装置(China Initiative Accelerator Driven System, CiADS)是由中国科学院近代物理研究所作为法人单位承担建设的 2 项国家重大科技基础设施建于广东省惠州市, 广东省及惠州市两级政府提供配套支持, 两装置建设效果图如图 1 所示。

1 强流重离子加速器装置(HIAF)

1.1 HIAF 的科学目标及工程目标

HIAF 科学目标是: 研究原子核幻数和壳层结构在远离稳定线核区的演化、奇特原子核的晕结构和集团结构等, 确定有效相互作用中三体力、张量力和同位旋相关的成分, 探索核内有效相互作用的新形式; 利用极强低能重离子束流合成新元素和超重新核素、研究超重元素化学性质、探索理论预言的超重核稳定岛; 产生丰中子核素, 系统测量质量和寿命以及相关反应率, 探索快中子俘获的路径、时间标度、物理环境和天体场所, 理解宇宙中从铁到铀重元素的来源; 利用宽能量范围的重离子束流, 解决与粒子辐射相关的关键技术难题^[1-4]。

HIAF 工程目标是: 建成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

收稿日期: 2024-01-30; 修改日期: 2024-02-25

基金项目: 国家重大科技基础设施-强流重离子加速器项目(2017-000052-73-01-002107); 国家重大科技基础设施-加速器驱动嬗变研究装置项目(2017-000052-75-01-000590)

作者简介: 徐珊珊(1964—), 男, 安徽潜山人, 研究员, 从事原子核物理研究; E-mail: hushan@impcas.ac.cn



图 1 HIAF 及 CiADS 建设效果图

素的能力，可提供国际上峰值流强最高的低能重离子束流，代表性指标见表 1。对于 $N=Z$ 的离子，HIAF 可提供最高能量达 4.25 GeV/u 的脉冲重离子束流。HIAF 也将建设国际上测量精度最高的原子核质量谱仪，这为新核素鉴别、核素版图扩展、弱束缚核结构和反应机制研究、特别是远离稳定线短寿命原子核质量的精确测量提供国际领先的实验研究条件。同时，HIAF 在航天元器件检测、核能材料、精准放疗、辐照育种、离子束精密加工等国家重大需求及人民生命健康领域也将发挥重要作用，进一步推动相关产业发展^[1-4]。HIAF 装置的验收指标见表 2。

HIAF 于 2018 年底开工，建设周期 7 年，国拨经费 16.71 亿元(含中国科学院匹配 5 000 万元)，广东省、惠州市为 HIAF 及 CiADS 提供配套支持约 23.54 亿元。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，HIAF 的布局见图 2。加速器系统以直线加速器 iLinac、同步加速器 Bring

(Booster Ring)、储存环 SRing(Spectrometer Ring)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。

表 1 HIAF 典型离子设计指标

离子	最高能量/(GeV·u ⁻¹)	脉冲流强/ppp
¹⁸ O ⁶⁺	2.60	1.0×10 ¹¹
⁷⁸ Kr ¹⁹⁺	1.70	7.5×10 ¹⁰
²⁰⁹ Bi ³¹⁺	0.85	3.0×10 ¹⁰
²³⁸ U ³⁵⁺	0.80	3.0×10 ¹⁰

注：ppp 代表每个脉冲的离子数。

表 2 HIAF 验收指标

离子	最高能量/(GeV·u ⁻¹)	脉冲流强/ppp
非金属 ¹⁸ O ⁶⁺ 或 ⁷⁸ Kr ¹⁹⁺ 任选一	¹⁸ O ⁶⁺	1.0×10 ¹⁰
	⁷⁸ Kr ¹⁹⁺	7.5×10 ⁹
金属 ²⁰⁹ Bi ³¹⁺ 或 ²³⁸ U ³⁵⁺ 任选一	²⁰⁹ Bi ³¹⁺	3.0×10 ⁹
	²³⁸ U ³⁵⁺	3.0×10 ⁹

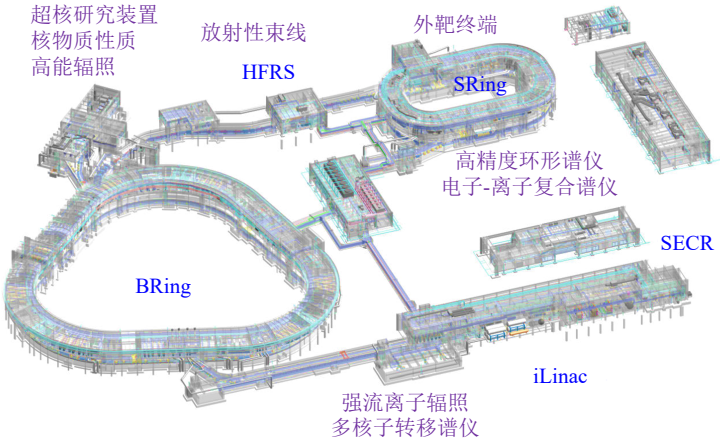


图 2 HIAF 布局图

1.2 HIAF 的工艺进展

HIAF 已全面进入批量加工与测试、进场安装与调试阶段。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,成功完成核心关键技术首台套设备的研制和测试;85%常规技术设备开展批量生产,部分设备完成测试并开始进场安装;水电等配套系统进场安装调试,部分开始试运行;国家投资土建施工已完成准备验收,加速器设备陆续进场安装调试,部分开展联合测试。

HIAF 各系统的核心关键技术见图 3,目前,已完成国际首台 45 GHz 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 52 000 A/s 非谐振国际最快电流上升速率,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 1×10^{-10} Pa 水平的极高真空度,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。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 5×10^{-4} 的磁场均匀度,正在开展三组合磁铁低温恒温器组装测试。

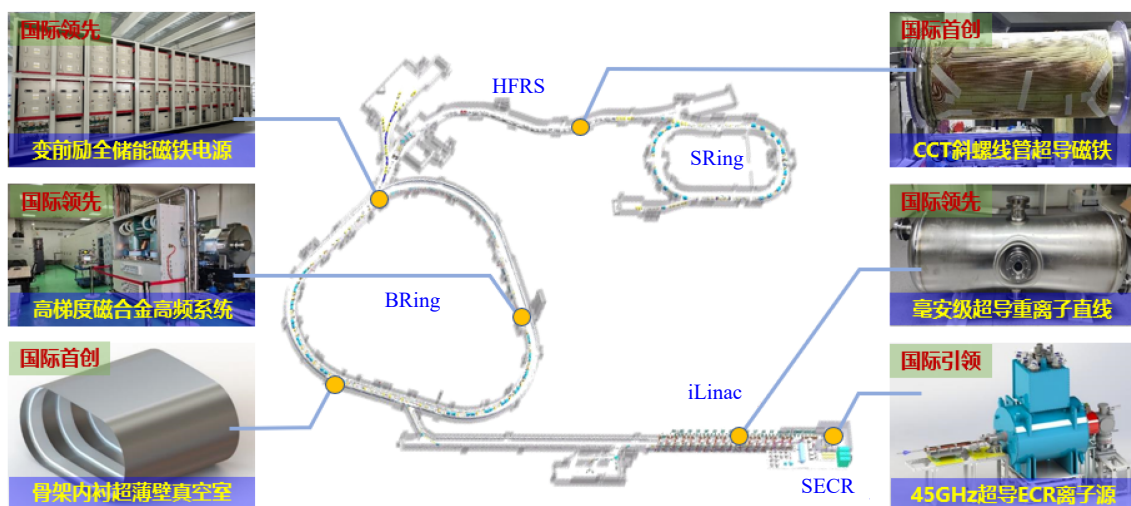


图 3 HIAF 各系统核心关键技术

常规技术设备在首台套测试验收基础上全面开展批量加工,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。

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。按照惠州现场安装要求,BRing 弧区样段全部完成安装与测试,正在开展系统间长期可靠性稳定性测试。

工艺冷却水与通风空调系统、高低压配电、桥架与综合布线、低温系统等公用配套系统已全部进场安装与调试,现场具备配电条件,部分设备开始试运行。

1.3 HIAF 的土建进展

HIAF 项目批复新建建筑面积 33 124 m²,建设内容

包括地下加速器隧道、直线设备楼、综合站房、运行楼等。HIAF 土建工程于 2021 年 9 月进场施工,原计划 2023 年 12 月完成建设并交付使用。建设过程中,受疫情等的影响,工程建设延期约 4 个月,目前已进入收尾阶段,现场建设情况见图 4。针对土建工程延期的问题,项目团队优化安装流程,重新制定了进场安装、设备调试等计划,保证项目整体进度不受影响。



图 4 HIAF 现场航拍(2024 年 2 月 27 日)

2 加速器驱动嬗变研究装置 (CiADS)

2.1 CiADS 的科学目标和工程目标

CiADS 的科学目标：开展加速器驱动系统中超导直线加速器、高功率散裂靶、次临界反应堆芯/包层各单项系统稳定、可靠、长期运行的科学研究，逐渐实现加速器驱动系统从低功率到高功率的耦合运行，开展次锕系元素嬗变原理性实验探索，开发具有自主知识产权的加速器驱动嬗变系统设计、控制软件系统，为未来建设加速器驱动嬗变工业示范装置奠定基础^[1, 5-6]。

CiADS 的工程目标：建设全球首个实现高功率耦合运行的兆瓦级加速器驱动嬗变研究装置。全超导加速器驱动系统热功率 10 MW，包含束流功率约 2.5 MW，次临界反应堆芯/包层热功率约 7.5 MW，可以实现单次大于 24 h 满功率耦合运行^[1, 5-6]。CiADS 工程竣工验收指标见表 3，具体分为三个阶段：1) 超导直线加速器：束流能量>250 MeV，束流功率>25 kW；2) 高功率散裂靶：单质子中子产额大于 1.0 n/p；3) CiADS 系统：在大于 250 kW 质子束流驱动下稳定耦合运行 1 h 以上，散裂靶承受质子束流功率>250 kW，次临界堆芯功率约 30 kW。CiADS 在竣工验收后，基于国际上首台 ADS 原理验证装置将充分开展系统耦合运行的各项研究工作，逐步提高系统耦合功率到设计目标。

CiADS 项目于 2021 年 7 月开工，建设周期 6 年，国拨经费 28.16 亿元(含中国核工业集团建设资金 10 亿元，中国科学院匹配 5 000 万元)，项目参建单位为中国原子能科学研究院。建设内容主要包括超导直线加

表 3 CiADS 设计及验收指标

阶段	项目	测试内容	验收指标
第一阶段： 超导直线加速器验收	超导直线加速器	束流能量	> 250 MeV
		束流功率	> 25 kW
第二阶段： 高功率散裂靶验收	高功率散裂靶	单质子平均中子产额	> 1.0 n/p (> 250 MeV)
		超导直线加速器	束流功率 250 kW (>250 MeV)
第三阶段： CiADS 系统验收(燃料装量为 3 盒组件，器靶堆高功率耦合)	高功率散裂靶	承受束流功率	> 250 kW
		次临界反应堆	堆芯功率 ~ 30 kW
	CiADS 系统	稳定运行时间	≥ 1 h

速器、高功率散裂靶、次临界反应堆芯/包层、总控制系统以及配套设施等，如图 5 所示。具体包括：超导直线加速器主要建设质子源、低能传输线、射频四极加速器、中能传输线、超导加速器段、高能传输线和束流收集终端等；高功率散裂靶主要建设靶体、颗粒提升装置、颗粒纯化装置、靶回路系统、换热系统、测控系统、器靶耦合系统以及辅助配套系统等；次临界反应堆芯/包层主要建设堆靶耦合界面、次临界包层控制、冷却回路系统等；总控制系统主要建设支撑装置系统人机交互、过程控制、状态监测、安全保护和信息存储等软硬件系统；配套设施主要建设加速器隧道、设备厅、厂房以及电气系统、给排水系统、通风与空调系统、低温系统、压缩空气系统以及辐射防护体系及三废系统等。

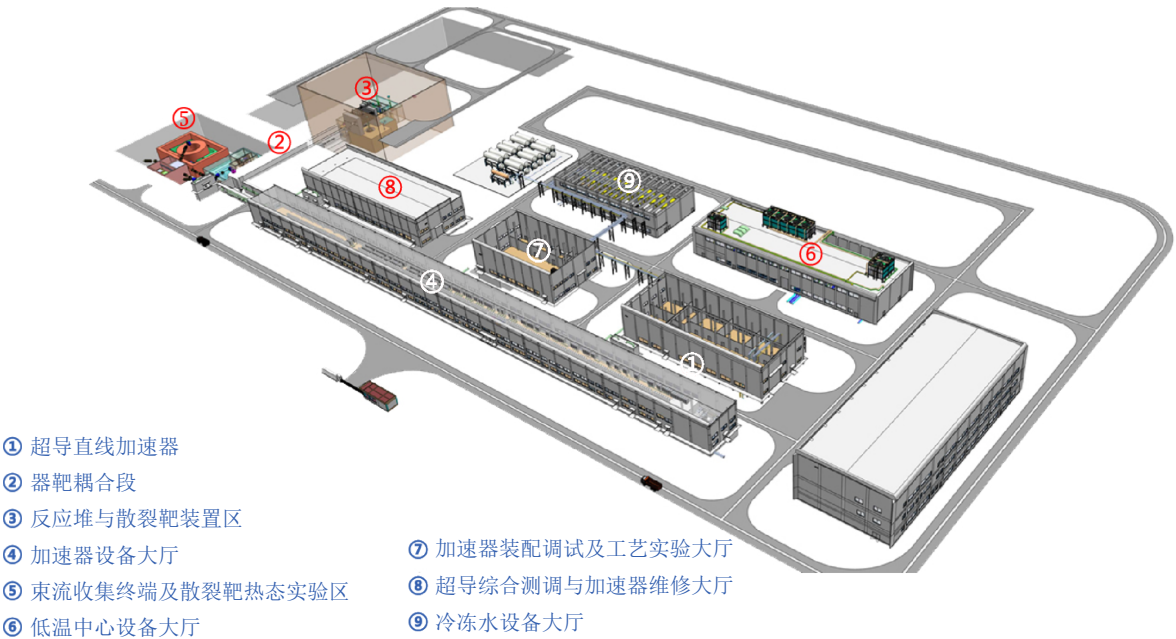


图 5 CiADS 总体建设方案

2.2 CiADS 的工艺进展

CiADS 项目自开工建设以来, 按照计划有序推进工程进度, 各工艺系统已取得了阶段性的进展。

超导直线加速器是国际上首台驱动嬗变研究装置的高功率连续波运行超导加速器。其设计流强为 5 mA, 能量为 500 MeV, 未来的升级要求为 10 mA 和 1 GeV。基于总体束流参数要求, 完成物理设计方案的确定, 相关硬件系统研发已经进入样机加工测试阶段。超导直线加速器以高可靠性、高可用性为目标, 以数字化加速器为核心, 完成了多项关键技术的标准化模块化, 为最终高可用性的加速器奠定了坚实的基础。2022 年 12 月 25 日, 超导直线加速器常温前端成功调试出束, 测试情况如图 6, 束流流强超过 5 mA, 能量 2.18 MeV, 均达到设计指标; 同时, 项目团队完成了国内首个铜铌复合腔体的加工研制; 完成了功率源、数字化板卡的标准样机研制, 性能参数行业内国际领先; 完成了 HWR010 底部支撑的低温恒温器工艺设计; 完成了 HWR010 超导螺线管的批量生产和样机测试。

高功率散裂靶按照进度计划包含四个关键的任务节点见图 7, 分别是: 散裂靶热工样机 (2022 年完成热工关键技术验证任务); 散裂靶靶窗样机 (2023 年完成低功率器靶耦合验证任务); 热试终端散裂靶 (2025 年完成 250 kW 器靶耦合验证任务); 堆靶大厅散裂靶 (2027 年完成 10 MW 器靶堆耦合验证任务)。当前散裂靶工程取得的主要进展如下: 1) 散裂靶热工样机已于 2022 年度研制成功并投入运行, 于 2022 年 9 月 18 日通过专家验收, 已在散裂靶热工样机上开展了一系列热工流体实验。2) 靶窗样机已完成设备加工以及系统装配工作, 包括铅铋回路、电磁泵的加工安装, 控制系统的调试以及核测系统的开发。目前已完成了低功率器靶耦合验证实验。3) 热试终端的物理设计已经完成, 工艺设计基本完成。正在进行土建提资, 并于 2024 年年底启动靶体回路、换热系统、保护气系统等主设备的加工制造。4) 堆靶大厅散裂靶将联合加速器和反应堆开展器靶堆耦合运行实验。目前已经完成包括散裂靶设计准则、事故清单等设计文件的起草工作, 基本确定了器靶堆耦合运行方案。

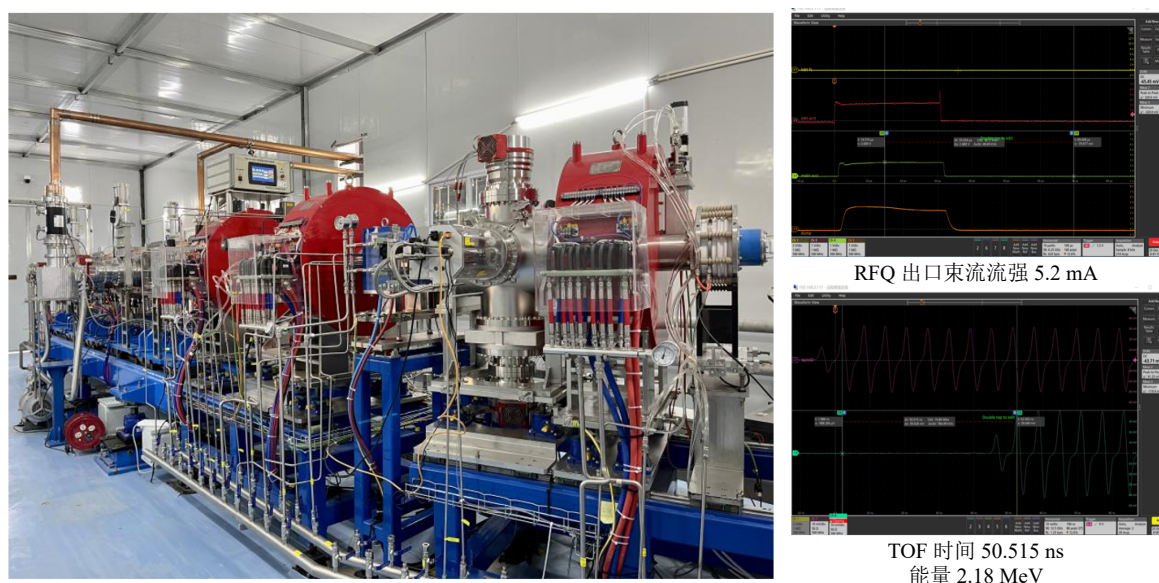


图 6 超导直线加速器常温前端安装现场及测试结果

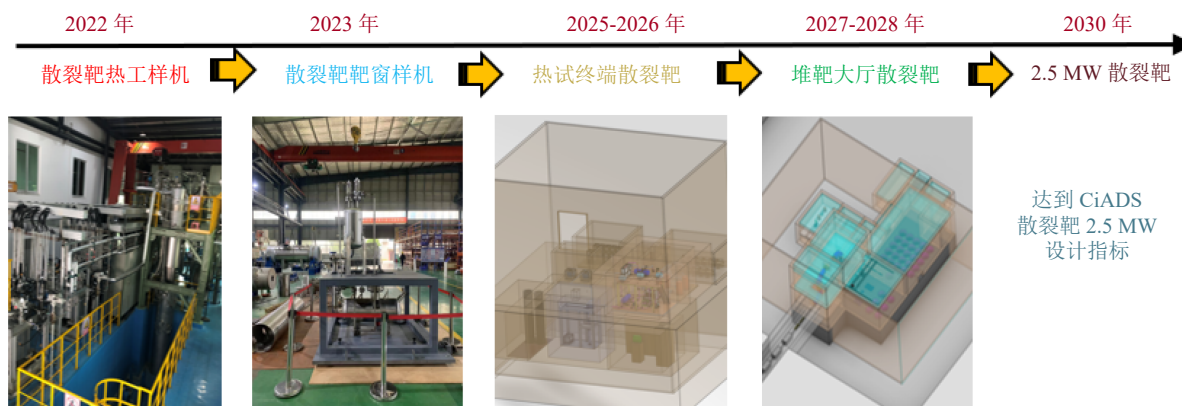


图 7 高功率散裂靶建设计划

2021 年 8 月,中国科学院近代物理研究所与中国原子能科学研究院签订了《关于联合建设加速器驱动嬗变研究装置(CiADS)的合作协议》。CiADS 次临界反应堆核岛主工艺部分由中国核工业集团公司中国原子能科学研究院负责设计、建造,现已完成核岛主工艺系统的总体设计,正在开展初步设计工作,并完成了反应堆初步安全分析报告的编制。同时,中国原子能科学研究院与近代物理研究所工程团队不断强化协作、开展联合设计,持续攻关堆靶耦合等难题并已取得初步成果。同时,为了研究铅铋次临界快堆主设备的设计技术、运行特性、加工技术以及主设备与全系统热工安全特性和运行特性,近代物理研究所团队开展了反应堆主设备样机的研制工作。现已完成主容器、顶盖、堆内构件、主换热器、铅铋主泵等反应堆主设备样机、非核集成验证装置熔料罐及储料罐的概念设计和详细设计,并进入制造阶段,部分设备已开始安装。

公共配套设施方面,完成了高低压配电系统、工艺循环冷却水系统、工艺通风空调系统、压缩空气系统均的设计,并进行了设备的招标采购。

2.3 CiADS 的土建进展

CiADS 项目批复建筑面积 42 570 m²,建设内容包括加速器及器靶耦合隧道、加速器设备厅、器靶耦合设备厅、束流收集终端与散裂靶热态调试试验区、超导综合测试与维护大厅、反应堆厂房及附属配套厂房、低温中心大厅、加速器测试厅、保护区主出入口。

根据项目特点,结合工程建设进度和工艺的需求,CiADS 项目的土建工程分两部分建设。第一部分已于 2022 年 10 月进场施工,包含加速器隧道、加速器设备厅、超导综合测试与维护大厅、低温中心大厅、加速器测试厅等,占工程总建筑面积的 43.4%。各单体建筑建设已基本完成,正在进行内部装修等收尾工作,装置区现场情况见图 8。第二部分的工程正在进行接口提资相关工作,即将启动施工招标。



图 8 CiADS 现场航拍(2024 年 2 月 27 日)

3 未来发展及展望

目前,广东省是我国重大科技基础设施规划布局最多的省份,以在粤国家重大科技基础设施的发展为契机,将助力粤港澳大湾区综合性科学中心及粤港澳国际科技创新中心建设。

为充分发挥 HIAF 及 CiADS 的优势及其在科学研究方面的效益,在两装置设计、建造过程中,已充分考虑了将来升级的空间和能力,未来将进一步建造缪子束产生装置+双离子束装置、国际领先的高流强在线同位素分离(ISOL)型放射性核束装置以及高亮度极化电子离子对撞机(EicC)等,建成后将有可能成为世界上性能领先的用于核物理和核科学技术研究的大型粒子加速器集群装置,是世界最高束流强度重离子同步加速器、世界最强放射性束装置、世界最高功率连续波重离子超导直线加速器及世界亮度最高的中低能 EIC 装置,最终将打造成为国际核物理科学与技术研发中心[7]。

同时,在实施中国科学院战略性先导科技专项(A 类)“未来先进核裂变能—ADS 嬗变系统”过程中,中国科学院近代物理研究所原创提出了集乏燃料嬗变、核燃料增殖及核能发电于一体的先进核燃料闭式循环方案—加速器驱动先进核能系统(Accelerator Driven Advanced Nuclear Energy System, ADANES),可将铀资源的利用率由现在不到 1% 提高到约 95%,产出的核废料的放射性寿命(衰变到天然铀矿的放射性水平所需的时间)相比于商业压水堆乏燃料,从数十万年缩短到约几百年。ADANES 是具有完整自主知识产权的一种变革性技术体系,不仅能高效处理现有商业核电积存的乏燃料,与现有技术和工业体系“无缝”衔接,还可以直接利用天然铀构建完整的闭式循环,实现对现有核裂变能的升级换代。作为波动性可再生能源的“稳定电源”,ADANES 可成为碳中和能源体系的重要组成部分。基于该系统的特点,尤其可为胡焕庸线以西开发一批人造绿洲以及沿海建人工岛提供低碳、基荷电力。未来将依托 CiADS 装置进一步开展 ADANES 再生燃料嬗变增殖验证[8-9]。

致谢 感谢国家发展改革委员会、国家自然科学基金委员会、科技部等国家部委,广东省、惠州市政府及各职能部门,中国核工业集团有限公司等企业,中国原子能科学研究院、先进能源科学与技术广东省实验室、惠州离子科学研究中心、中国科学院高能物理研究所、清华大学、北京大学等单位在项目推进过程中给予的大力支持和帮助,感谢中国科学院近代物理研究所同仁对项目建设给予的支持和理解,感谢 HIAF 及 CiADS 项目团队的努力工作和辛勤付出。

参考文献:

- [1] XIAO Guoqing, XU Hushan, WANG Sicheng. *Nuclear Physics Review*, 2017, 34(3): 275. (in Chinese)
(肖国青, 徐珊珊, 王思成. *原子核物理评论*, 2017, 34(3): 275.)
- [2] YANG Jiancheng, ZENG Gang, XIAO Guoqing, et al. *Chinese Science Bulletin*, 2020, 65(1): 8.
- [3] XIAO Guoqing, ZHAO Hongwei, XIA Jiawen, et al. Feasibility Study Report of the High Intensity Heavy-ion Accelerator Facility[R]. Lanzhou: Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, 2017 (in Chinese)
(肖国青, 赵红卫, 夏佳文, 等. 强流重离子加速器可行性研究报告[R]. 兰州: 中国科学院近代物理研究所, 2017.)
- [4] XIAO Guoqing, ZHAO Hongwei, XIA Jiawen, et al. Preliminary Design Report of the High Intensity Heavy-ion Accelerator Facility[R]. Lanzhou: Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, 2017. (in Chinese)
(肖国青, 赵红卫, 夏佳文, 等. 强流重离子加速器初步设计报告[R]. 兰州: 中国科学院近代物理研究所, 2017.)
- [5] XU Hushan, HE Yuan, PAN Weimin, et al. Feasibility Study Report of the China initiative Accelerator Driven System[R]. Lanzhou: Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, 2020 (in Chinese)
(徐珊珊, 何源, 潘卫民, 等. 加速器驱动嬗变研究装置可行性研究报告[R]. 兰州: 中国科学院近代物理研究所, 2020.)
- [6] XU Hushan, ZHAO Hongwei, HU Zhengguo, et al. Preliminary Design Report of the China Initiative Accelerator Driven System[R]. Lanzhou: Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, 2020. (in Chinese)
(徐珊珊, 何源, 胡正国, 等. 加速器驱动嬗变研究装置初步设计报告[R]. 兰州: 中国科学院近代物理研究所, 2020.)
- [7] ZHAO Hongwei, XU Hushan, XIAO Guoqing, et al. *SCIENTIA SINICA Physica, Mechanica & Astronomica*, 2020, 50(11): 112006. (in Chinese)
(赵红卫, 徐珊珊, 肖国青, 等. *中国科学: 物理学力学天文学*, 2020, 50(11): 112006.)
- [8] LUO Peng, WANG Sicheng, HU Zhengguo, et al. *Physical*, 2016, 45(9): 569. (in Chinese)
(骆鹏, 王思成, 胡正国, 等. *物理*, 2016, 45(9): 569.)
- [9] Team of Strategic Priority Program on ADS. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2015, 30(4): 527. (in Chinese)
(中国科学院 ADS 科研团队. *中国科学院院刊*, 2015, 30(4): 527.)

HIAF and CiADS National Major Science and Technology Infrastructure: Progress and Prospect

XU Hushan¹⁾, ZHAN Wenlong, XIAO Guoqing, HU Zhengguo, YANG Jiancheng, HE Yuan, WANG Sicheng,

SHENG Lina, LI Dapeng, HIAF Team & CiADS Team

(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Major national science and technology infrastructures, the High Intensity Heavy-ion Accelerator Facility (HIAF) and The China initiative Accelerator Driven System (CiADS) are under construction in Huizhou, Guangdong Province, China. HIAF, which aims to build a next-generation, world-leading high intensity heavy-ion accelerator, started construction in 2018 with a seven-year construction period and has now entered the phase of batch processing and testing, as well as on-site installation and commissioning. CiADS is proposed to be the world's first megawatt-scale accelerator-driven transmutation research facility to realize high-power coupled operation, started construction in 2021 with a construction period of six years. The construction is progressing in phases, the accelerator has started on-site installation, the high-power target has completed prototype development and the subcritical reactor is under engineering design. Building on the previous article which introduced the basics of the HIAF and CiADS projects, this paper further describes the scientific and engineering objectives, process development and civil progress, and provides an outlook on future developments.

Key words: national major science and technology infrastructure; HIAF; CiADS

Received date: 30 Jan. 2024; **Revised date:** 25 Feb. 2024

Foundation item: Major National Science and Technology Infrastructures-High Intensity Heavy-ion Accelerator Facility (2017-000052-73-01-002107); Major National Science and Technology Infrastructures-China initiative Accelerator Driven System (2017-000052-75-01-000590)

1) E-mail: hushan@impcas.ac.cn