

上海光源线站工程光源性能拓展部分通过工艺测试

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19841.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近日，国家重大科技基础设施——上海光源线站工程光源性能拓展部分通过中国科学院条件保障与财务局组织的工艺测试。

工艺测试专家组由中科院近代物理研究所、中科院高能物理研究所、中国科学技术大学、上海交通大学等单位的7位专家组成，中国工程院院士夏佳文担任测试组长。专家组听取了工程加速器分总体负责人姜伯承汇报的光源性能拓展部分建设情况及自测报告，讨论确定了工艺测试内容和测试大纲，进行了现场实测。

经现场测试和对以往测试的确认，结果表明，光源性能拓展后的储存环加速器总体性能参数，以及超高磁场弯铁及长直线节双腰磁聚焦系统、低温系统、束流测量系统、束流控制系统、插入件系统、轨道快反馈系统、SLEGS光源系统的技术性能参数值均达到或优于设计指标。

上海光源二期线站工程根据光束线站的建设需求对储存环加速器进行了升级改造，即光源性能拓展：将储存环的第3和第13单元改造成带2.29T超高磁场弯铁的DBA磁聚焦结构单元，增加2段1.89m直线节用以引出更多束线（图1），提高弯铁辐射光子特征能量至18.7keV以满足用户需求（图2）；将第11和16单元的超长直线节改造成双腰低 β_y 直线节（图3），以满足安装两条高性能束线的要求；将第12单元的标准直线节进行局部消色散光学改造，以满足安装超导扭摆器的需要；以上改造均对局部光学函数进行了匹配（图4），以使全环的光学函数得到优化。储存环聚焦结构改造于2019年完成，随后投入日常运行，改造完成后的上海光源在第三代同步辐射光源中继续处于先进水平（表1）。研制了13台插入件（表2、图5），包括6台真空内波荡器（IVU）、3台低温永磁波荡器（CPMU）、1台椭圆极化波荡器（EPU）和1组双椭圆极化波荡器（DEPU）、1台多磁极永磁扭摆器（MPW）和1台超导扭摆器（SCW），并陆续安装到储存环上；在此基础上，新建了基于康普顿散射的激光和电子束伽玛源（图6），伽玛能量范围是0.4~20 MeV，满足

了新光束线站建设的要

求。新建了束团纯化系统和纯度监测系统，获得 10^{-5}

量级的高纯净度的高流强单束团束流（图7）来满足时间分辨实验的需求。新建了被动式超导三次谐波腔系统及配套的650W/4.5K液氦低温系统（图8、图9）并已完成调试，实现了24.5mA高流强单束团和200mA束团串混合填充模式的稳定运行，满足了快速成像线站的技术要求。此外，还增加了轨道快反馈系统矫正铁数量，提高轨道快反馈系统的抑制带宽和抑制效果（图10）；升级改造了横向束流反馈系统，实现了混合填充模式逐束团反馈，增加了系统动态范围到31db。

加速器性能拓展工程的实施，拓展了光源光子能谱范围，增加了插入件直线节占比，即增加了可

建束线的数量，实现了快速成像要求的高流强单束团和束团串的混合填充模式，同时，保持了加速器主要性能参数的先进性，提高了光源运行稳定性。

上海光源线站工程于2016年11月开工建设，在工程经理部的组织下，光源性能拓展部分按进度计划节点推进。2017年7月完成长直线节双腰改造，2018年7月完成第一台插入件（IVU）上线安装，2019年1月低温系统完成全部设备安装，2019年9月完成3和13单元超高磁场二极铁改造，2020年9月完成SLEGS光源系统相互作用腔上线安装，2021年3月完成超导扭摆器（SCW）上线安装，2021年9月完成三次谐波腔上线安装，并在2021年12月调试达到束线要求，实现了24mA单束团+200mA束团串填充模式，支撑快速成像线站完成了工艺测试。截至目前，上海光源线站工程已完成了用户支撑实验系统、实验辅助系统、光源性能拓展和11条光束线站（20个实验站）的工艺测试，新建光束线站试运行已支撑用户取得了一批高水平研究成果。

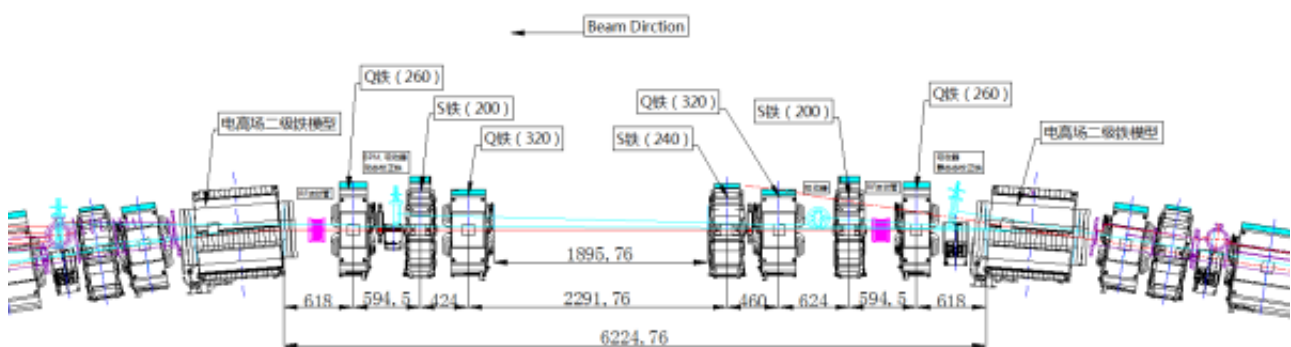


图1 超高磁场弯铁的DBA磁聚焦结构单元布局图及实景照片

图2 超高磁场弯铁照片以及常规和超高磁场弯铁的辐射功率谱比较图

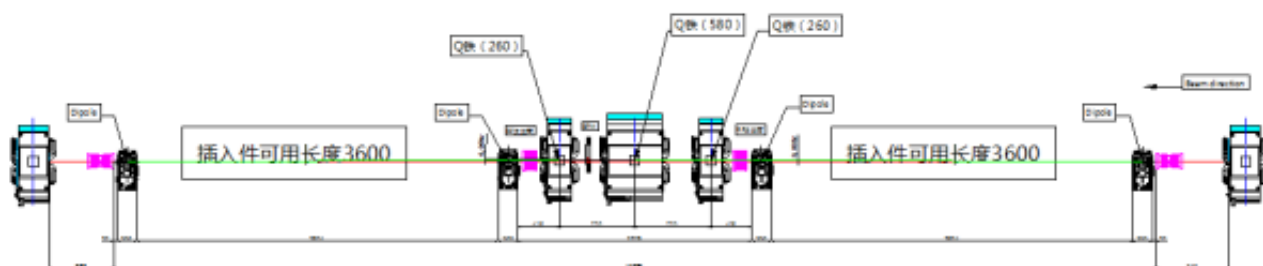


图3 长直线节双腰布局图及实景照片

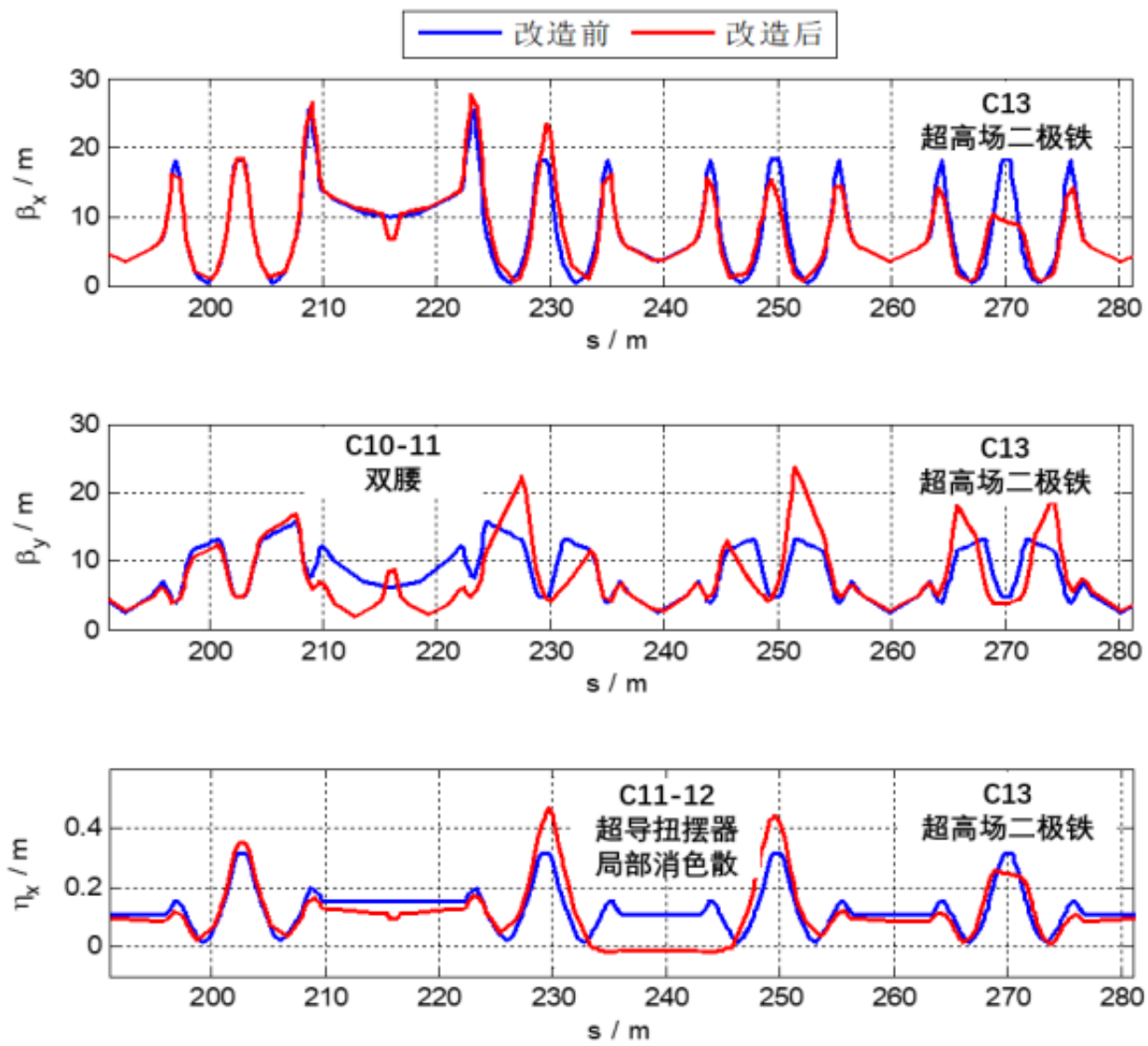


图4 改造前后的储存环光学函数（局部）对比图

参数名称	改造前状态	改造后的状态
束流能量	3.5 GeV	3.5 GeV
束流流强	200 ~ 300 mA (多束团) 5 mA (单束团)	200 ~ 300 mA (多束团) 20 mA (单束团) 20 mA (单束团) + 200 mA (束团串)
自然发射度	3.89 nm.rad	4.22 nm.rad (含超导扭摆器)
自然能散度	9.8×10^{-4}	11.1×10^{-4}
工作点 (H, V)	22.220, 11.290	22.222, 12.153
自然色品 (H, V)	-55.7, -18.0	-55.3, -20.4
动量紧缩因子	4.27×10^{-4}	4.2×10^{-4}
每圈辐射损失	1.44 MeV	1.70 MeV (含超导扭摆器)
阻尼时间 (H, V)	7.05 ms, 7.02 ms	5.98 ms, 5.94 ms
直线节长度	4×12 m 16×6.5 m 	4×12 m 16×6.5 m 2×1.89 m (新增)
高场二极铁强度/临界光子能量	—	2.29 T/18.7 keV

表1 上海光源储存环主要参数改造前后的对比

插入件 ^o	周期长度 ^o	周期数 ^o	最小间隙 ^o	峰值磁场 ^o	相位误差 ^o	安装线站 ^o
IVU ^o	2.0 cm ^o	80 ^o	6 mm ^o	0.84 T ^o	$<2.5^{\circ}$ ^o	时间分辨超小角散射线站 ^o
IVU ^o	2.2 cm ^o	72 ^o	6 mm ^o	0.92 T ^o	$<2^{\circ}$ ^o	P2 蛋白质晶体结构线站 ^o
IVU ^o	2.2 cm ^o	98 ^o	6 mm ^o	0.92 T ^o	$<2^{\circ}$ ^o	动力学结构研究线站 ^o
IVU ^o	2.4 cm ^o	65 ^o	6 mm ^o	0.96 T ^o	$<3^{\circ}$ ^o	能源材料线站 ^o
EPU ^o	6.0 cm ^o	30 ^o	14.5 mm ^o	0.93 T ^o	Quasi-period ^o	
MPW ^o	10 cm ^o	13 ^o	16 mm ^o	1.6 T ^o	- ^o	稀有元素线站 ^o
DEPU ^o	5.8 cm ^o	84 ^o	16.5 mm ^o	0.8 T ^o	$<12^{\circ}$ ^o	纳米自旋与磁学线站 ^o
	9.0 cm ^o	53 ^o	18.8 mm ^o	0.87 T ^o	Quasi-period ^o	
CPMU ^o	2.0 cm ^o	75 ^o	6 mm ^o	1.09 T ^o	$<3.5^{\circ}$ ^o	表面衍射线站 ^o
CPMU ^o	2.0 cm ^o	160 ^o	6 mm ^o	1.09 T ^o	$<3.0^{\circ}$ ^o	膜蛋白线站 ^o
CPMU ^o	1.8 cm ^o	170 ^o	6 mm ^o	1.02 T ^o	$<3.5^{\circ}$ ^o	快 X 射线成像线站 ^o
IVU ^o	2.6 cm ^o	120 ^o	6 mm ^o	1.12 T ^o	$<3.0^{\circ}$ ^o	中能谱学线站 ^o
IVU ^o	2.0 cm ^o	200 ^o	6 mm ^o	0.88 T ^o	$<4^{\circ}$ ^o	硬 X 射线纳米探针线站 ^o
SCW ^o	4.8 cm ^o	22.5 ^o	14.4 mm ^o	4.2 T ^o	- ^o	超硬多功能线站 ^o

表2 上海光源线站工程插入件参数

图5 各种类型插入件

图6 SLEGS光源系统

图7 束团纯化系统照片和效果图

图8 超导三次谐波腔和束团纯化测量装置测得单束团流强

图9 低温系统（液氮/氦气储罐、4.5K和2K冷箱）

图10 轨道快反馈系统。左图参与快轨道反馈系统的轨道稳定性（快轨道反馈系统8小时工作）；
右图束流轨道噪音积分谱（FOFB打开/关闭）

研究团队单位：上海高等研究院

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发