

大国重器·在建设施
中国科学院重大科技基础设施建设与发展

X射线自由电子激光 试验装置

X射线自由电子激光试验装置



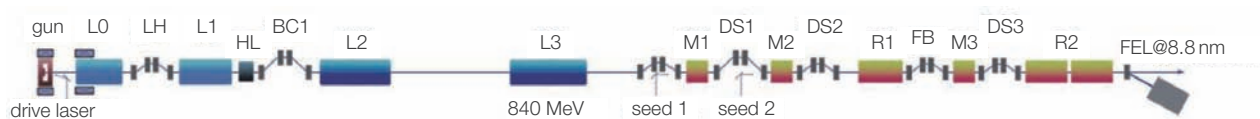
综述及基本情况

X射线自由电子激光试验装置（X-ray Free-Electron Laser Test Facility, SXFEL-TF）是由中国科学院和教育部共同向国家申请建造的国家重大科技基础设施，项目由中国科学院上海应用物理研究所作为法人单位，北京大学作为共建单位。项目的科学目标是探索两级外种子自由电子激光级联模式，以确定硬X射线自由电子激光装置发展的技术路线，解决并掌握关键技术，进行人才与技术储备，为我国建设硬X射线自由电子激光装置作预先研究。项目的工程目标是建成由射频电子直线加速器驱动的软X射线自由电子激光装置，为升级为用户装置提供基础。项目建设内容包括1台能量为840 MeV的电子直线加速器，1台两级级联的EEHG-HGHG外种子自由电子激光放大器，公用设施以及主体建筑和辅助建筑，目标是产生中心波长为8.8 nm的全相干软X射线自由电子激光脉冲。

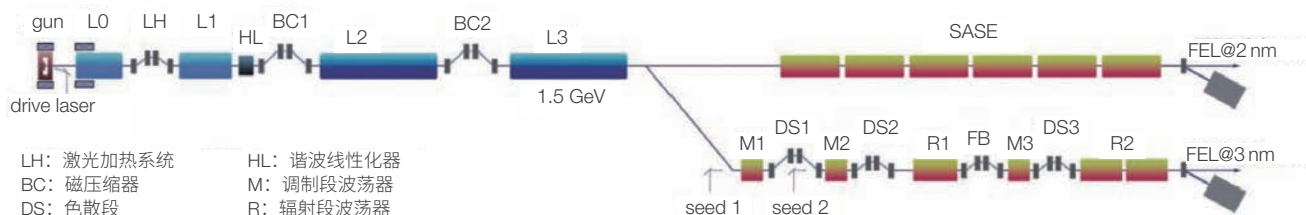
在X射线自由电子激光试验装置的基础上，后续将提升直线加速器能量到1.5 GeV，同时改造和新建总共2条波荡器线，提供3—20 nm种子型FEL辐射和2—10 nm SASE型FEL辐射，首批将为5个实验站供光，升级成上海软X射线自由电子激光用户装置（Shanghai Soft X-ray Free-Electron Laser User Facility, SXFEL-UF）。目前用户装置的基建和公用设施已经就绪，大部分设备研制已经完成，正在进行设备安装，预计2020年初开始调束，年底向用户开放。

研究进展与成果

作为新一代光源，X射线自由电子激光（XFEL）的峰值亮度比第三代同步辐射光源高 10 亿—100 亿倍；脉冲长度可达到飞秒量级，比第三代同步辐射光短 1 000 倍，而且相干性更好。XFEL 的出现，为物理、化学、生物、材料等学科前沿研究开辟了全新的领域，成为实现科学突破与技术创新的研究利器。



X 射线自由电子激光试验装置

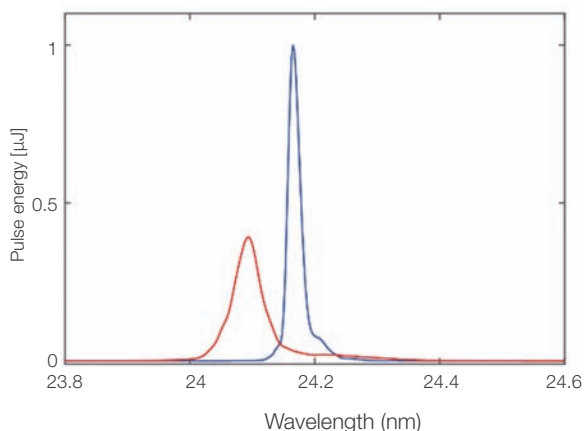
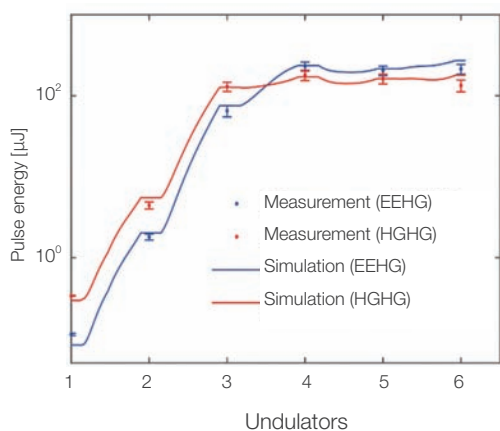


上海软 X 射线自由电子激光用户装置

SXFEL 采用常温直线加速器产生高能量的电子束团，随后在波荡器系统中产生高功率的相干辐射

X 射线自由电子激光试验装置加速器

X 射线自由电子激光试验装置的项目建议书于 2011 年 2 月获得国家发展和改革委员会批复，2014 年 12 月在“上海光源”园区内举行开工奠基仪式，启动工程建设。SXFEL-TF 是基于外种子模式的自由电子激光装置，采用光阴极注入器产生高亮度电子束，采用 C 波段常温直线加速器作为主加速器将电子束团加速至高能量，随后在波荡器系统中产生全相干的软 X 射线自由电子激光，其 FEL 输出波长为 8.8 nm。SXFEL-TF 主要开展对先进 FEL，尤其是外种



2018 年，24 nm FEL 饱和输出

注入器		
	设计值	2019/3
电荷量 (nC)	0.5	0.51
能量 (MeV)	~130	125
发射度 (umrad)	≤1.0	0.895(x)/0.837(y)
束团长度 (ps)	~9	~8
能散 (%)	0.14	0.1
主加速器		
	设计值	2019/3
电荷量 (nC)	0.5	0.51
能量 (MeV)	840	864
发射度 (umrad)	≤2.5	1.76(x)/1.83(y)
束团长度 (ps)	≤1	~0.93
能散 (%)	0.14	0.11

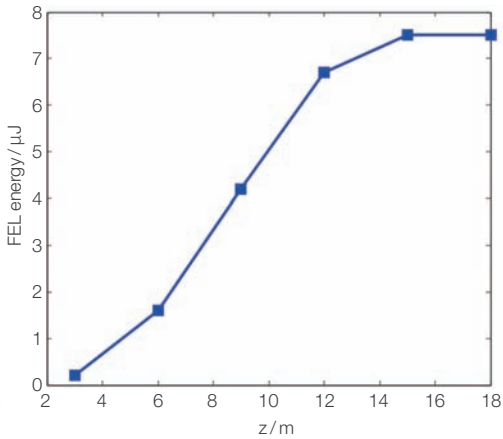
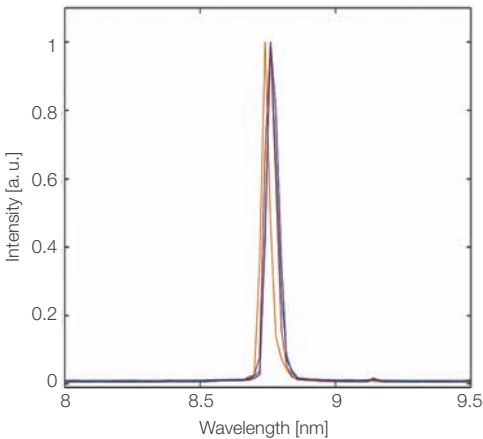
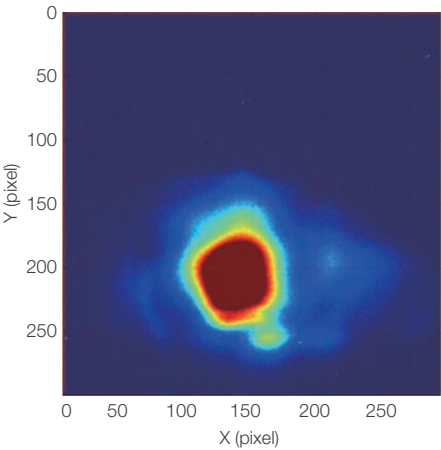
SXFEL-TF 加速器主要参数

子型 FEL 运行模式的实验研究。2018 年实现了 HGHG 和 EEHG 模式下的 24 nm FEL 饱和输出，这是国际上首次在 EUV 波段实现 EEHG 放大饱和，其脉冲能量达到百微焦量级，同时由测量光谱可见 EEHG 的相干性好于 HGHG；2019 年 3 月主加速器进行了技术测试，全面达到设计指标；2019 年 4 月实现 8.8 nm 自由电子激光的出光放大，光子能量及脉冲长度达到设计指标，辐射功率接近设计指标。



自由电子激光新原理实验和关键技术

该项目在高梯度加速结构、高性能波荡器、高精度束测和光学诊断、激光-电子束同步设备以及种子和驱动激光系统等关键技术研制方面也取得了重要进展。其中，C 波段高梯加速单元实现了国际上最高的平均运行加速梯度 37.1 MV/m，X 波段线性化微波单元和 X/C/S 波段偏转腔测量系统也投入了工程应用，这些关键技术成功研制保证了直线加速器达到设计指标和种子型 FEL 顺利出光。



8.8 nm FEL 放大饱和：光斑、光谱、能量增益