



2002年



2004年



2005年



2006年

SHANGHAI SYNCHROTRON RADIATION FACILITY



2007年

SSRF



中国科学院上海应用物理研究所
Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences

www.sinap.ac.cn 电话: +86-021-59553998
张江园区: 上海市张衡路239号 (邮编201204)
嘉定园区: 上海市嘉罗公路2019号 (邮编201800)



上海光源工程进展 2008/07



SHANGHAI
SYNCHROTRON
RADIATION
FACILITY



1. 150MeV电子直线加速器
2. 150MeV—3.5GeV增强器
3. 3.5GeV电子储存环
4. 光束线实验站

神奇的同步辐射光源



光是一个很大的家族，让人类看见多彩世界的可见光只是光家族中很小的一页。在用光探测物体或分辨两物体时，光的波长应当与物体的大小或两物体的间距相近或更短。因此，为了探索微观世界，必须选用更短波长的光，利用光的衍射、折射、散射等特性，或者光与物体相互作用时光的激发、吸收、荧光、碎片等特性来探究未知世界。



DIAMOND



SOLEIL



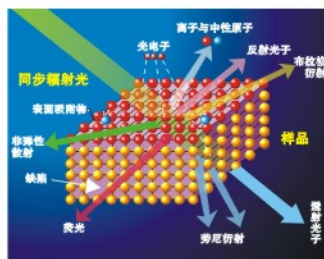
ALBA



SSRF

同步辐射光是真空中以接近光速运动的电子束在运动方向改变时，沿切线方向放出的光。同步辐射光具有一系列独特而优异的性能，它波长范围宽，从远红外到硬X射线连续可调；强度和亮度高，是X光机的上万吨上亿倍；高准直性，几乎是平行光；优良的脉冲时间结构，脉冲宽度 10^{-11} 秒、脉冲间隔达 10^{-9} 秒；高偏振、准相干性、高纯净；可准确计算同步辐射的光子通量、角分布和能谱等；可以提供十几到几十小时的稳定光束。因此，同步辐射光源被科学家称之为继电光源、X光源和激光光源之后，第四次为人类的文明带来革命性推动的新光源。

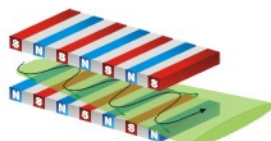
第一代同步辐射光源“寄生”于高能物理实验用电子储存环。随着同步辐射光巨大利用前景和需求的显现，专门用来产生同步辐射光的第二代同步辐射光源应运而生。当探索微观世界的进程越来越深入，迫切需要亮度更高、性能更好的光源，科学家们使用特殊设计的插入件，使电子束运动方向发生周期性变化，从而叠加得到亮度增加上万倍的同步辐射光，这就是目前国际上最先进的第三代同步辐射光源。



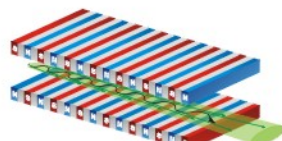
科学家利用同步辐射光与样品的相互作用，探索未知的微观世界



弯转磁铁发光



扭摆器发光

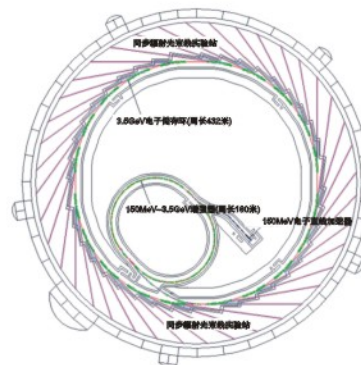


波荡器发光

上海光源是先进的第三代同步辐射光源

上海光源是世界上同能区正在建造或设计中性能指标最先进的第三代同步辐射光源之一，现阶段与之可比的有英国的DIAMOND光源、法国的SOLEIL光源和西班牙的ALBA光源。包括一台150MeV电子直线加速器、一台周长180米的全能量增强器、一台周长432米的3.5GeV电子储存环和沿储存环外侧分布的光束线实验站，座落在上海浦东张江高科技园区。

上海光源工程是中国科学院与上海市人民政府共同向国家申请建造的国家重大科学工程，同时被列为上海市重大工程和首批“科教兴市”重大产业科技攻关项目，由中国科学院上海应用物理研究所承建。工程于2004年12月25日正式破土动工，于2007年12月24日成功实现出光，将于2009年4月完成调试并向用户开放。

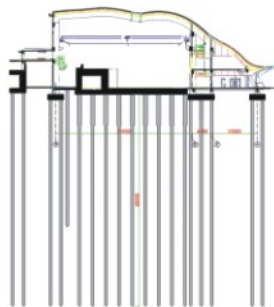


上海光源主要性能指标

加速器	
直线加速器	能量150MeV; 单束团模式1ns, 1nC, 多束团模式200 ns, 3nC; 中心能量稳定性0.5%; 能散度0.5%
增强器	注入能量150MeV; 引出能量3.5GeV; 自然发射度<105 nm·rad; 重复频率2Hz; 单束团流强>1mA, 多束团流强>5mA; 能散<1×10 ⁻³
储存环	电子束能量3.5GeV; 流强200~300mA; 最小自然发射度4nm·rad; 能散度1×10 ⁻³ ; 垂直方向轨道稳定度1微米; 束流寿命10小时
同步辐射实验设施	
生物大分子 晶体学线站	能量范围5~18keV; 能量分辨率(@12keV)≤2×10 ⁻¹ ; 光子通量 (@12keV)>2×10 ¹² phs/s (@200mA); 光斑尺寸(H×V)≤150×50μm ² @12keV; 发散角(H×V)≤0.4×0.1mrad ²
衍射线站	能量范围4~22 keV; 能量分辨率ΔE/E≤2×10 ⁻⁴ @10keV; 光子通量≥2×10 ¹¹ phs/s @10keV@ 200mA; 聚焦光斑尺寸≤0.4H×0.4V mm ²
XAFS线站	能量范围4~22.5 keV; 能量分辨率(@10keV)≤2×10 ⁻¹ ; Si(111)晶体样品处光通量(@10keV): ≥2×10 ¹² phs/s (200mA); 聚焦光斑尺寸(H×V)≤0.5×0.5 mm ²
硬X射线微聚焦线站	能量范围5~20keV; 能量分辨率(@10keV)≤2×10 ⁻¹ ; 最小光斑尺寸≤3mm (FWHM); 光子通量(@10keV)≥6×10 ¹⁰ photons/s (200mA)
X射线成像及生物 医学应用线站	能量范围10~60keV; 能量分辨率≤5×10 ⁻¹ ; 光子通量≥1×10 ¹⁰ phs/s/mm ² (@20keV @200mA); 光斑尺寸≤45mm(H)×5mm(V) @30mA @20keV
软X射线谱学 显微线站	光子能量范围250~2000eV; 分辨能力3000 @410eV, 1500 @1840eV; 空间分辨率≤150 nm; 光子通量≥10 ⁶ (phs/s)@410eV, ≥10 ⁷ (phs/s) @1840eV
X射线小角散射线站	能量范围5~20keV; 能量分辨率≤6.0×10 ⁻¹ @10keV; 光子通量≥3×10 ¹⁰ @10keV @200mA; 光斑尺寸: 0.4×0.5mm ² @10keV
公用设施	
辐射防护系统	职业辐射[5mSv/a]; 公众照射[0.1mSv/a]
供电系统	二路进线; SC9-16000/35/10型16000kVA 二台、SC9-40000/35/10型一台; 电压偏差在±5%以内; 电压波动在±2.5%以内
工艺冷却水系统	系统供水温度的控制精度划分为6类、13个系统; (30℃±0.2、30℃±0.5、45℃±0.1、45℃±0.2、35℃±0.5等)
纯水站	产水量6m ³ /h、电阻率≥14 MW·cm (25℃)、PH值6.5~7.5
压缩空气系统	6kg/cm ² 以下: 供气量2 NM ³ /min, 供气压力4.5~6kg/cm ² 8kg/cm ² 以下: 供气量2 NM ³ /min, 供气压力6.5~7.5kg/cm ²
制冷/空调系统	储存环隧道: 夏季27±0.5℃, 冬季20±0.5℃, 最终束流稳定时夏季27±0.2℃; 增强器隧道: 夏季27±2℃, 冬季20±2℃; 实验大厅工作区: 夏季26±2℃, 冬季20±2℃, 目标温度精度达到±1℃
低温系统	工作介质He(氦); 制冷量650W/4.5K; 工作温度4.4~4.5K 工作压力0.12~0.125MPa; 液氮杜瓦内压力波动<±300Pa

上海光源工程建设大事记

2004年12月25日	上海光源工程开工典礼。
2005年1月27日	主体建筑开始打桩。
2005年8月14日	主体建筑打桩工程完成。
2006年4月28日	主体建筑钢结构吊装合拢。
2006年5月10日	动力设备用房土建完成, 交付公用设施安装。
2006年6月10日	主体建筑结构封顶。
2006年10月15日	35kV电站安装调试完成, 正式受电并开始试运行。
2006年10月26~27日	上海光源工程5条光束线站和电子直线加速器的调整方案通过专家评审论证。
2006年11月10日	150MeV电子直线加速器开始隧道内安装。
2007年1月19日	餐厅试运行。
2007年2月	直线加速器45±0.1℃、35±0.5℃冷却水调试达到设计要求。
2007年4月16日	增强器开始隧道安装。
2007年5月15日	开始直线加速器总体调试, 当日实现电子束出束。
2007年6月11日	储存环设备总体安装启动。
2007年6月28日	直线加速器各项技术指标都基本达到设计要求。
2007年9月30日20:20	增强器启动调束; 当晚实现束流注入。
2007年10月5日04:25	增强器调束成功实现3.5GeV电子束升能。
2007年11月9日	储存环机械设备安装完成。
2007年11月9日	光束线站前端区开始隧道安装。
2007年11月30日	首批全部7条光束线站前端区设备安装完成。
2007年12月21日18:20	储存环调束启动; 当晚21:18实现束流多圈循环。
2007年12月24日06:54	储存环调束成功实现3GeV电子束储存, 并在同步光诊断线和BL16B光束线前端区观测到同步辐射光——在开工三周年之际, 上海光源出光。
2007年12月26日	储存环调束获得10mA储存束流。
2008年1月3日20:19	储存环调束成功获得100mA储存束流。
2008年5月12日晨	X射线小角散射线站(BL16B1)调试将同步辐射光引导样品处——第一条光束线站初步调束成功。
2008年6月5日晨	BL14B衍射线站调试将同步辐射光引到实验站。
2008年6月17日晚	储存环实现流强200mA (2GeV) 束流储存, 束流寿命11小时。



桩基工程

要求的最大振动容许值1微米（峰~峰值）
 地块振动实际测量值3.8微米（均方根）
 使用钻孔灌注桩共约2100根（桩长约48米，桩径0.6米）
 加厚底板：实验大厅1.45米，隧道1.05米
 结果：安静时段0.15微米，躁动时段0.25微米(RMS)



2006年2月5日—4月28日钢结构吊装



加速器隧道防护墙



增强器隧道



储存环隧道



实验大厅



内技术走廊



外技术走廊



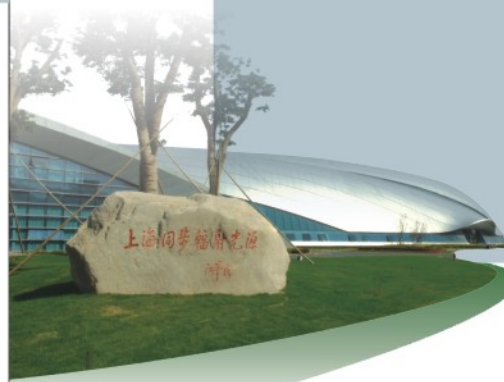
综合实验楼大厅



用户招待所与餐厅



动力中心





35kV变电站中央控制室



35kV变电站高压柜和变压器



10kV电气柜



地下管线走廊



纯水站



冷冻机房



工艺冷却水系统



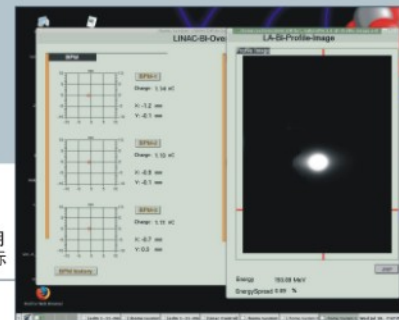
2006年11月10日
直线加速器设备进场安装



2007年3月
完成直线加速器设备安装



2007年7月
直线加速器束流达到指标



2007年5月15日
实现直线加速器出束

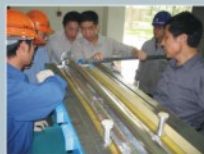


低温系统



高频系统





2006年6月
完成增强器单元
试安装



增强器单元预准直



2006年6月完成
储存环单元试安装



储存环单元预准直



2007年5月完成储存环
C10单元集成试安装



增强器电源厅



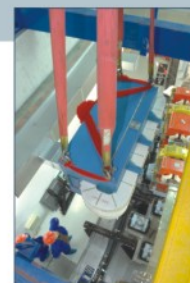
2007年4月16日~9月底增强器机械和电气安装完成



中央控制室



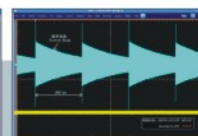
储存环内技术走廊



2007年6月11日至
12月10日完成储存环总
体安装



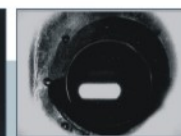
多圈循环



束流储存



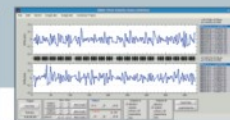
可见光斑



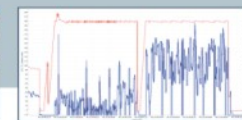
X射线光斑



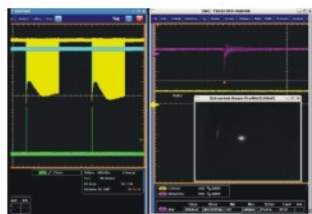
100mA储存束
流 (3GeV)



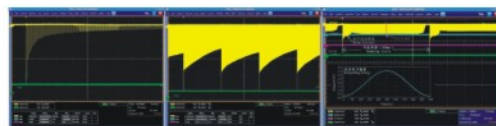
闭轨校正至水平/垂直RMS
值均 50 μm内



200mA储存束流 (2GeV)

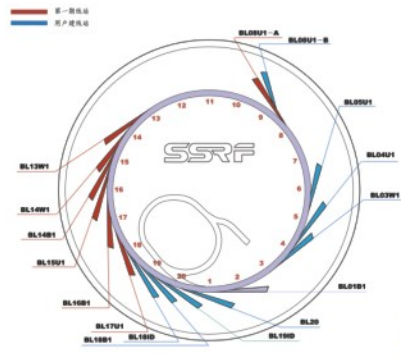


2007年10月30日增强器实现3.5GeV
电子束引出



2007年9月30日至10月5日增强器调束并升至3.5GeV





- BL11001 加速器束流诊断线
- BL10001 复旦大学线
- BL10002 物理所线
- BL17001 生物大分子线
- BL1800 蛋白质科学线
- BL1900 蛋白质科学线
- BL1900 蛋白质科学线
- BL1900 X射线显微成像线
- BL1900 X射线显微成像线
- BL20 上海光源电子加减速器系统(超导腔、应用物理所)
- BL10001 A 蛋白质科学线
- BL10001 B 蛋白质科学线
- BL10001 C 蛋白质科学线
- BL10001 D 蛋白质科学线
- BL10001 E 蛋白质科学线
- BL10001 F 蛋白质科学线
- BL10001 G 蛋白质科学线
- BL10001 H 蛋白质科学线
- BL10001 I 蛋白质科学线
- BL10001 J 蛋白质科学线
- BL10001 K 蛋白质科学线
- BL10001 L 蛋白质科学线
- BL10001 M 蛋白质科学线
- BL10001 N 蛋白质科学线
- BL10001 O 蛋白质科学线
- BL10001 P 蛋白质科学线
- BL10001 Q 蛋白质科学线
- BL10001 R 蛋白质科学线
- BL10001 S 蛋白质科学线
- BL10001 T 蛋白质科学线
- BL10001 U 蛋白质科学线
- BL10001 V 蛋白质科学线
- BL10001 W 蛋白质科学线
- BL10001 X 蛋白质科学线
- BL10001 Y 蛋白质科学线
- BL10001 Z 蛋白质科学线



前端区安全光闸



Undulator前端区光子吸收器



Wiggler前端区固定光闸



ID前端区前置光闸



前端区预安装



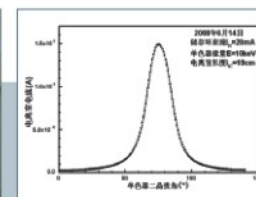
2007年11月9日至11月30日完成首批线站的前端区全部吊装



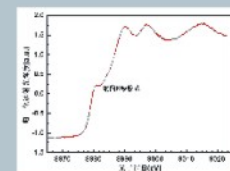
聚焦镜压弯机构



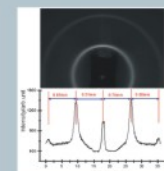
光束线站安装



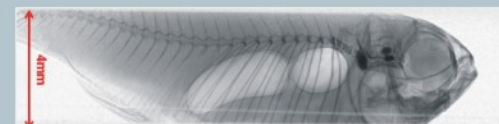
白光狭缝开口尺寸为5mmx1mm时的单色器摇摆曲线,宽度FWHM=22"



衍射线站分辨率测试



二十二烷酸银标样小角散射实验



相衬成像实验

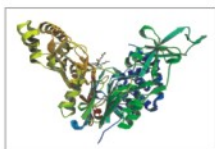
2008年5月12日、6月5日小角散射站和衍射线站调试成功



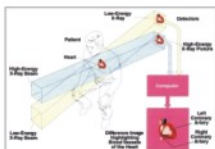
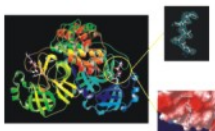
同步辐射光源具有广阔的应用前景

上海光源具有建设60多条光束线、上百个实验站的能力，向用户供光机时将超过5000小时/年，可同时容纳成百上千名科学家和工程师，日以继夜地在各自的实验站上开展科学研究和技术研发工作。作为具有国际先进水平的高能科学平台，上海光源将为生

命科学、材料科学、地球与环境科学、纳米科技、医学与药学、化学化工、微细加工等诸多学科前沿研究和高新技术开发应用提供不可替代的实验研究手段。依托上海光源，将形成我国重要的科技创新基地。



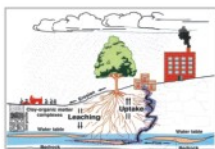
同步辐射X射线衍射方法是测定生物大分子三维结构的最主要手段。同步辐射光的高亮度特性，使得这一类测定的精度显著提高，时间大大缩短，从以天为单位缩短到以小时、分钟为单位。



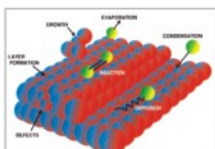
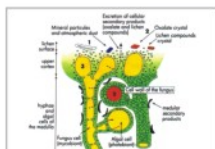
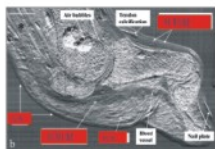
利用同步辐射光的双色减影血管造影技术，能为心血管病的早期诊断提供安全、快速、高清晰的诊断依据。以同步辐射光源替代普通X光，能大大提高CT的空间分辨率，缩短扫描时间，提高图像质量。利用同步辐射X射线的相衬成像技术，人们将能看到边缘清晰的X光片。

同步辐射技术在医学应用中的优势

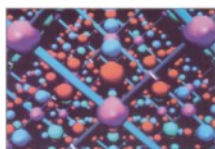
同步辐射技术	常规方法	同步辐射技术的优势
同步辐射心血管造影术	选择性冠状动脉造影术	安全、无并发症
同步辐射胸部X光成像术	X光透视、~1cm	<1cm, 提高患者五年生存率
衍射增强成像技术—乳房	Mammography, ~1cm	<1cm, 早发现
同步辐射微束治疗	X刀、 γ 刀、调强适形放疗术	进一步减小副作用—肿瘤



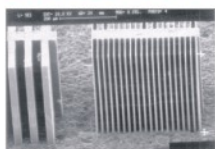
在环境科学领域，同步辐射光能动态分析污染物的成分、来源、转移路径等。



同步辐射光源产生的高亮度X射线光，能清楚地描述原子的精确构造和有价值的电磁结构参数等信息，在材料科学研究中，既是理解材料性能的钥匙，也是设计新材料的理论来源。



第三代同步辐射光源的X射线深度刻蚀光刻技术（LIGA技术），可以制造肉眼难以看清的微型马达、微型齿轮、微型传感器、微型喷嘴、微型泵阀、微型电子开关、微型医用器件、微型光纤耦合接插件和微型微电子器件接口接插件等许多三维微型装置，并可进一步发展为高度智能化、集成化的微型电子—机械系统（MEMS），如微型仪器、微型机器人，它们在航天、医学、国防、自动化等许多领域有广阔的可开发市场。



同步辐射的相关实验技术及其应用领域

应用领域	凝聚态物理	材料科学	原子物理	分子物理	化学	光化学	核物理	结构生物学	细胞生物学	医学诊断	辐射治疗	分子环境科学	地质学	工业制造与检测	药学及制药
相关实验技术															
X射线衍射/散射	○	○	○		○	○		○				○	○	○	○
光子非弹性散射、磁散射	●	●	●	●	●										
EXAFS, XANES	○	○	○	○	○	○		○	○			○	○		
X射线荧光分析	○		○	○	○	○		○	○			○	○	○	
X射线反射/漫散射	○	○			○	○		○					○	○	
光谱显微术(光子发射和吸收)	●	●			●				●	●					
光发射谱学(能量、时间和自旋分辨)	○	○	○	○		○		○					○		
光电子谱学(UPS/XPS)	○	○	○	○	○	○		○					○		
光电子衍射	○	○			○										○
光电子显微	●	●										●			
光离子谱学	○	○	○	○	○	○							○		
圆二色、磁圆二色	○	○		○	○			○	○						○
穆斯堡尔谱学	●		●	●		●	●	●					●		
小角X射线散射		○			○	○		○					○		○
X射线吸收成像		○							○	○	○	○	○	○	
X射线衍射成像/相干成像	●	●						●	●	●		●			
X射线驻波术	○	○			○										
显微X射线CT		●							●	●	●	●			
X射线形貌术		○												○	
X射线干涉术	○	○	○	○				○							
光激励分解	●	●			●	●									
软X射线显微术								○	○	○				○	
全息成像	●	●			●										
超快时间分辨术	●	●	●	●	●	●		●							
X射线光刻		○													○
光子吸收治疗										●					
微细加工														○	

○表示在第一或第二代同步辐射光源上已实现，在第三代上不仅有量的提高且会有质的飞跃
●表示只有在第三代同步辐射光源上才能实现