

# 高能同步辐射光源验证装置工程

---

## 高能同步辐射光源验证装置工程经理部关于征集 高能同步辐射光源首批光束线站建议(用户需求)的函

基于粒子加速器的同步辐射光源，可以产生高亮度、高通量、宽光谱的 X 射线。自上世纪七十年代以来，同步辐射光源已经成为支撑诸多学科前沿研究必不可少的研究设施。根据前沿科学和国家战略需求，以及国家在大科学装置上的建设规划，中国科学院高能物理研究所提出了高性能高能同步辐射光源（High Energy Photon Source, HEPS）的建设方案，计划在“十三五”期间开工建设，为我国的前沿科学和国家安全相关研究提供强大的支撑。

高能同步辐射光源储存环采用 48 组 7-弯铁消色散的电子光学结构（7BA），能够实现超低的发射度（ $\sim 0.06\text{nm}\cdot\text{rad}$ ），电子能量为 6GeV，电子束流强度为 200~300mA。HEPS 的储存环周长约为 1300m，有 48 个 6m 长的直线节可提供安装插入件，加上弯铁引出的线站，HEPS 可容纳建设 80 条以上高性能线站。从波荡器上获得的辐射光的亮度高于  $10^{22}\text{phs/s/mm}^2/\text{mrad}^2/0.1\% \text{BW}$ ，弯铁的特征能量能够达到 11.4keV。

高能同步辐射光源将列入“十三五”国家重大科技基础设施建设规划，预计将于 2018 年开工建设，其预制研究项目—高能同步辐射光源验证装置是《国家重大科技基础设施建设中长期规划（2012-2030）》“十二五”期间重点建设项目之一，其初设概算已于 2016 年 6 月获得国家发展改革委批复，进入全面实施阶段。

# 高能同步辐射光源验证装置工程

---

由于受经费限制，高能同步辐射光源首批拟建 10-15 条与储存环同期完工的光束线站。拟建的光束线站要充分利用高能同步辐射光源的优异性能，具有世界先进水平。与此同时，也要尽最大努力满足大多数用户的需求。为此，高能同步辐射光源验证装置工程经理部特发函征集用户单位对高能同步辐射光源拟建首批光束线站的意见和建议，请用户根据研究需求填写《高能同步辐射光源用户需求调研表》，见附件 1；在调研国际同类装置和征求部分同步辐射用户建议的基础上，我们例举了《高能同步辐射光源首批拟建 14 个候选线站》，供用户参考选择，见附件 3；欢迎您根据您的研究需要以及科学前沿和重大国家的需求，提议 14 个候选线站外的光束线站，请填写附件 2《用户新建的首批建设光束线信息表》。

请填写相关表格后，以邮件附件的方式将表格发送到以下邮箱：

联系人：苑梦尧，于梅娟；

联系方式：[yuanmy@ihep.ac.cn](mailto:yuanmy@ihep.ac.cn)，[yumj@ihep.ac.cn](mailto:yumj@ihep.ac.cn)；

反馈截止日期：2016 年 12 月 1 日。

在广泛征集科学用户的意见的基础上，我们将进一步举办各种研讨会，经过专家论证后确定优化 HEPS 的科学目标、装置特性，以及首批建设的光束线站种类和初步设计。

中国科学院高能物理研究所  
高能同步辐射光源验证装置  
工程经理部

2016 年 10 月 22 日



# 高能同步辐射光源验证装置工程

附件 1. 高能同步辐射光源用户需求调研表

姓 名		职称/职务		电 话	
E-mail		单 位			
研究领域					
拟使用的线站 (可多选, 线站详细参数、用途等可参见附件 3)	<p>1.工程材料线站; 2.硬 X 射线微/纳米探针线站; 3.X 射线时间分辨线站; 4.相干 X 射线衍射成像线站和 X 射线光子相关谱学线站; 5.非弹性 X 射线散射线站; 6.高压极端条件线站; 7.硬 X 射线多功能显微成像线站; 8.X 射线吸收谱线站; 9.表面界面衍射/散射线站; 10.蛋白质晶体学线站; 11.高通量小角 X 射线散射线站; 12.超高分辨纳米电子结构线站; 13.中能谱学线站; 14.结构/能谱微纳成像线站; 15.其他_____ (如用户新提出线站, 需另填写附件 2)</p> <p>1. <input type="checkbox"/>    2. <input type="checkbox"/>    3. <input type="checkbox"/>    4. <input type="checkbox"/>    5. <input type="checkbox"/>    6. <input type="checkbox"/>    7. <input type="checkbox"/>    8. <input type="checkbox"/>    9. <input type="checkbox"/></p> <p>10. <input type="checkbox"/>    11. <input type="checkbox"/>    12. <input type="checkbox"/>    13. <input type="checkbox"/>    14. <input type="checkbox"/>    15. <input type="checkbox"/></p>				
预期的科研产出					
需求或建议					

# 高能同步辐射光源验证装置工程

附件 2. 用户新建议的首批建设光束线站信息表

姓 名	职称/职务	电 话
E-mail	单 位	
新建议首批建设的光束线站		
科学意义或国家需求		
线站的特色和能 力		
预期的产出		
用户队伍		
其他需求或建议		

# 高能同步辐射光源验证装置工程

附件 3. 高能同步辐射光源首批拟建的 14 个候选线站

序号	名称	功能和特色	应用领域
1	工程材料	<p>工程材料束线以高能量（常用 X 光能量 60 ~ 120keV，最高可扩展至 300keV）、高穿透性（可穿透毫米级甚至更厚的金属样品）和高通量为特色，兼顾微聚焦实验模式，以衍射和成像类技术为主要研究手段。线站主要功能包括：</p> <p>(1) 原位动态衍射：原位变温/拉伸/压缩/剪切等不同环境条件下的材料合成加工过程研究。</p> <p>(2) 工程试样测量：工程试样铸造、锻压、服役等状态下的内部结构无损表征。</p> <p>(3) 微观结构测绘：用微束光斑测绘材料内部缺陷演化、晶粒结构与分布。</p> <p>(4) 对分布函数分析：利用高 q 散射数据分析非结晶试样的原子对分布函数（PDF）。</p>	<p>工程材料、考古、凝聚态物理等多个领域，为工业界和科学界用户提供一个研究表征平台，用于各种大块材料的内部微观结构无损表征，以及材料合成、加工、及服役过程中的原位实时微观结构变化过程的研究。</p>
2	硬 X 射线微/纳米探针	<p>硬 X 射线微/纳米探针束线是一个通用的硬 X 射线显微科学表征平台，致力于在纳米尺度上进行材料结构的研究。该线站将集成多种实验方法，从微米尺度到纳米尺度，研究原位或非原位实验样品的结构、元素、应变以及化学状态等关键信息，其极限空间分辨率将小于 10nm。</p> <p>该线站包含两个串/并联式实验站。第一个实验站采用 Kirkpatrick-Baez 反射镜聚焦，光斑尺寸 ~30*30nm<sup>2</sup>，最大光斑尺寸 ~1*1μm<sup>2</sup>，工作距离大于 20mm；第二个实验站采用多层膜劳埃透镜聚焦，最小光斑尺寸 ~8*8nm<sup>2</sup>，最大光斑尺寸 ~30*30μm<sup>2</sup>，工作距离 4~10mm。</p> <p>该线站工作能量范围为 4~30keV。常用的实验模式有 Ptychography，微/纳荧光扫描、断层扫描、微/纳衍射、微/纳吸收谱等，实验设备有高低温台、电镜、高分辨显微镜等。</p>	<p>硬 X 射线微纳探针束线涵盖了从地球与行星科学、环境科学、医学、物理、材料与工程、生命科学、到化学等众多学科领域中的大量应用。</p>
3	X 射线时间分辨	<p>光源拟采用长、短周期的双波荡器，高亮度粉光 pink beam（极高亮度 &gt;15keV pink beam）、能量范围</p>	<p>(1) <b>凝聚态</b>：非平衡态下光致相变过程。</p>

# 高能同步辐射光源验证装置工程

序号	名称	功能和特色	应用领域
		<p>6-60keV、高相干性、纳米聚焦。光束线满足高亮度、高相干传输，实现纳米-微米聚焦。</p> <p>实验站时间分辨能力为百皮秒到毫秒；提供纳米分辨时间分辨散射、衍射、谱学、成像等多种动态探测方法，并着重不同方法联测。主要发展动态串行晶体学(serial crystallography)、动态对分布函数(PDF)、高能 X 射线光子相关谱 (XPCS)、超快相干成像、X 射线 pump-X 射线 probe 等先进时间分辨探测方法。实现实际工作环境下实时 <i>in operando</i> 探测，着重非可逆过程和反应的动态探测。</p> <p>动态过程和反应激发手段：除了紫外到 THz 光激发，还包括电场、磁场、压力、热，以及溶液混合、反应气体等化学触发等多种激发方法。</p>	<p>(2) <b>化学和催化</b>：原位反应过程。</p> <p>(3) <b>材料工程领域</b>：材料损伤领域，断裂机理</p> <p>(4) <b>生物</b>：基于 pink beam 的动态串行晶体学</p> <p>(5) <b>极端条件</b>：强激光诱导温稠态结构探测、动态加载下材料结构变化捕捉。</p>
4	相干 X 射线衍射和 X 射线光子相关谱学	<p>利用高度相干的硬 X 射线，可以开展相干衍射成像实验，解析非晶体样品结构；同时 X 射线相干谱学方法可以研究各种物质的动态过程。该线站同时支撑两个实验站的实验。</p> <p><b>能量范围</b>：10keV-50keV  <b>亮度</b>：<math>10^{22}</math>Ph/s/0.1%bw/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>@20keV  <b>相干光通量</b>：<math>10^{13}</math>Ph/s/0.1%bw@20keV</p> <p><b>(1) 相干 X 射线衍射成像 (CDI) 线站</b>  <b>光斑大小</b>：0.1-20<math>\mu</math>m  <b>实验方法</b>：相干 X 射线衍射成像 (CDI), Bragg CDI, Ptychography  <b>功能</b>：非晶材料 3D 结构测定 (对于生物和软物质样品，分辨率小于 5nm；对于无机样品，分辨率小于 1nm)；多晶材料和纳米晶体 3D 结构、缺陷以及应力等的测定；扩展物体 (大尺寸) 结构的测定以及相干光学元件性能的在线表征。</p> <p><b>(2) X 射线光子相关谱 (XPCS) 线站</b>  <b>光斑大小</b>：1-20<math>\mu</math>m  <b>实验方法</b>：X 射线光子相关谱 (XPCS)  <b>功能</b>：软凝聚态物质、硬凝聚态物质以及生物样品等的平衡态动力学和非平衡态动力学性质测定，时间尺度范围 100s-10ns，空间尺度范围 100nm-0.1nm。</p>	<p><b>(1) CDI 线站</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 纳米晶体和多晶材料结构、缺陷和应力分布的测定；</li> <li>• 金属玻璃结构测定；</li> <li>• 多孔材料结构测定；</li> <li>• 微电子器件 (芯片) 结构的测定；</li> <li>• 半导体量子点 3D 结构的测定；</li> <li>• 表面界面结构的测定；</li> <li>• 全新人造晶体 (例如由纳米颗粒通过 DNA 链接构成的晶体) 结构的测定；</li> <li>• 细胞、病毒、细菌、染色体等 3D 结构的测定；</li> <li>• 蛋白质纳米晶体 3D 结构的测定。</li> </ul> <p><b>(2) XPCS 线站</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 软物质的动力学特性研究；</li> <li>• 材料制备合成中的动力</li> </ul>



# 高能同步辐射光源验证装置工程

序号	名称	功能和特色	应用领域
			学特性研究； <ul style="list-style-type: none"> <li>• 表面界面动力学；</li> <li>• 关联电子体系和磁性材料的动力学特性；</li> <li>• 浓缩蛋白质溶液的动力学特性。</li> </ul>
5	非弹性 X 射线散射	<p>该线站是一条硬 X 射线高能量分辨谱学线站，包含的非弹性 X 射线散射（IXS）和同步辐射核散射（SMS），以及中等能量分辨的共振非弹性 X 射线散射（RIXS）实验方法。所能够提供的实验技术为 <math>1\text{meV}/0.5\text{ nm}^{-1}</math> 能量/动量分辨的 IXS，<math>100\text{meV}</math> 能量分辨的 RIXS，和 <math>\text{meV}</math> 级的 SNS 等。</p> <p><b>主要功能：</b></p> <p>(1) <math>1\text{meV}</math> 或亚 <math>\text{meV}</math> 的高能量分辨非弹性 X 射线散射能够研究如液体、非晶、软物质和生物系统等大无序体系的低能元激发。</p> <p>(2) 硬 X 射线共振非弹性 X 射线散射谱学技术，能够提供 RIXS，高分辨 X 射线吸收近边谱，高分辨发射谱和 X 射线拉曼谱等技术。</p> <p>(3) 同步辐射核散射谱学技术中的同步辐射穆斯堡尔谱是在时间域上探测超精细谱学，可以研究静态或动态的磁学和电学性质，包括电子密度，磁或电场及其梯度。</p>	<p>(1) 非弹性 X 射线散射谱学技术的研究领域涉及材料科学、地球物理以及生物学等广泛学科，以及国家特殊需求等。</p> <p>(2) 共振非弹性 X 射线散射谱学技术的研究领域涉及材料科学、物理、化学以及生物学等广泛学科。</p> <p>(3) 同步辐射核散射谱学技术的研究领域涉及传统穆斯堡尔谱应用，以及材料、凝聚态物理、地球科学、生命科学等领域。</p>
6	高压极端条件	<p>该线站包含以下两部分内容：</p> <p>(1) 衍射实验平台，可结合高温或低温条件，能够完成静态加载或动态加载实验方法。可以提供从常压 <math>\sim 400</math> 万大气压以上的压力条件，以及从 <math>5\sim 5000\text{K}</math> 的温度环境。可在压力快速加载或者脉冲激光加热的条件下进行动态的衍射测量，时间尺度可以达到亚毫秒量级。</p> <p>(2) 高压光谱实验平台，结合高压吸收、高压发射、高压非弹等多种实验方法，可以提供从几十 <math>\text{meV}</math> 到几个 <math>\text{eV}</math> 能量分辨率的 X 射线谱学方法。可以对样品在高压下的磁激发以及相互作用、化学</p>	<p>(1) 物理；</p> <p>(2) 化学；</p> <p>(3) 材料科学；</p> <p>(4) 地球科学；</p> <p>(5) 国家安全。</p>

# 高能同步辐射光源验证装置工程

序号	名称	功能和特色	应用领域
		键、电子结构、激子以及等离子激发等相关性质进行测试。	
7	硬 X 射线多功能显微成像	<p>本线站融合高电子密度灵敏度、多尺度分辨、大视场、深穿透、多衬度机制、多场耦合样品环境和超快时间分辨等优点，功能和特点如下：</p> <p>(1) 系统点扩展函数小 (25nm@1m 物像距离@330m 物源距离)、宽能区 (10-150keV)、探测器性能先进 (高分辨率、高 MTF、大像素数，高效率)。</p> <p>(2) 高相干高能 X 射线 (50-150 keV) 大视场 (水平 300mm) 相衬成像具有高密度灵敏度高穿透低剂量等优点。</p> <p>(3) SRX 超分辨成像同时获得高空间分辨率和大视场，分辨率 20nm，视场比常规 SRX 成像大 100 倍。</p> <p>(4) 将建立高分辨率高精度 DCT 和 SRX 相衬成像联合成像系统，DCT 获取晶粒晶界信息后用 SRX 相衬成像原位实时观察蠕变和裂纹生长等。</p> <p>(5) SRX 超快成像可提供多时空、多维度、多物理参数、多加载路径、多环境条件的原位实时表征手段，在高空间分辨和高时间分辨率 (百皮秒至毫秒) 的成像和衍射上有优势。建立高速 X 射线立体电影系统，开展多维成像研究。</p>	<p>主要应用领域为古生物学、生物医学、材料科学与工程等。</p> <p>(1) 利用同步辐射 X 射线 (SRX) 相衬成像和快速 SRX 荧光成像等对重要古生物化石开展高密度分辨跨尺度多衬度的无损成像研究；</p> <p>(2) 利用 SRX 相衬成像和超分辨成像，开展多模态跨尺度从静态到动态的成像研究。</p> <p>(3) 原位融合 DCT 和 SRX 相衬成像，耦合多种样品环境与载荷，原位无损研究重要工程材料。</p>
8	X 射线吸收谱	<p>能量覆盖广,同时具有高通量的硬 X 射吸收谱实验系统,兼容 XRD、XRF 等实验技术。</p> <p><b>功能:</b> 可以提供空间分辨(微米量级),时间分辨(毫秒),痕量元素 (ppm), 表面界面 (掠入射), 极端条件 (高温高压) 等相应的 XAFS 实验技术及 XRD/XRF;</p> <p><b>特色:</b></p> <p>(1) 能量覆盖范围广, 满足过渡金属、贵金属、铜系元素的测量要求;</p> <p>(2) 多方法结合的原位实时测量能力;</p> <p>(3) 痕量元素的快速测量。</p>	<p>(1) 化学催化;</p> <p>(2) 材料科学;</p> <p>(3) 环境科学;</p> <p>(4) 铜系元素应用研究。</p>



# 高能同步辐射光源验证装置工程

序号	名称	功能和特色	应用领域
9	表面界面衍射/散射	<p><b>功能:</b> 包括 X 射线散射、衍射、反射和驻波方法</p> <p><b>特色:</b> 基于散射的表面界面晶格结构和电子结构研究, 具有原位样品制备能力和表面界面的结构和电子态深度分辨能力能力。</p>	(1) 凝聚态物理; (2) 材料科学; (3) 化学材料; (4) 工程器件; (5) 地学; (6) 能源技术等。
10	蛋白质晶体学	<p>进行微米、亚微米甚至纳米尺寸蛋白质晶体衍射的高性能光束线站, 为大尺寸晶胞蛋白质如病毒、核糖体、膜蛋白及大型蛋白质复合物等的结构解析提供重要的研究基础。</p> <p>提供单色光和白光两种运行模式。单色光模式主要针对普通蛋白质晶体, 开展常规晶体衍射实验; 白光模式在通量和亮度方面较单色光有较大提高(至少一个量级), 主要针对微小尺寸的晶体, 开展白光劳厄衍射实验。实验站将配备的快速读出探测器(千赫兹量级)开展串列晶体学实验。</p>	(1) 结构生物学; (2) 药物筛选。
11	高通量小角 X 射线散射	<p>小角 X 射线散射束线拟直接使用波荡器产生的高通量、小尺寸、低发散度、固定能量(8keV)的准单色粉光, 经准直后(或直接)照射到样品上, 散射信号可在 <math>\leq 20</math>米相机长度范围内被探测器接收。</p> <p><b>特点:</b> 具备高通量、高稳定性、高信噪比、高效率、结构简单、易于维护、建设运行维护成本低等特色。</p> <p><b>主要功能:</b> 常规小角散射的静态和动态测量; 具有广角散射、小角/广角散射同时测量; 掠入射小角 X 射线散射。</p>	(1) 纳米材料研究; (2) 介孔材料研究; (3) 生物材料研究; (4) 软物质/聚合物研究。
12	超高分辨纳米电子结构	<p>该线站是一条具备超高分辨(能量分辨与空间分辨)的纳米电子结构研究束线, 其设计特色如下:                      (1) 能量范围 200~2000eV, 优化光子能量分辨达到 5 优化光<sup>4</sup>@1000eV, 光束扫描空间分辨率优于 40nm。此能量范围在保证角分辨光电电子能谱所需超高能量分辨率的同时, 涵盖了 C、N、O 等</p>	(1) 凝聚态物理; (2) 纳米功能材料研究; (3) 新型二维材料表界面电子结构研究。

# 高能同步辐射光源验证装置工程

序号	名称	功能和特色	应用领域
		<p>轻元素 K 边, 过渡族金属 L 边, 以及稀土元素 M 边等丰富的谱学信息。</p> <p>(2) 实验站拟设计为一线两站: 超高能量分辨站和超高空间分辨站, 保证了实验用户不同实验需求对光源的不同优化要求。</p> <p>(3) 建设多种原位生长与表征手段结合。</p>	
13	中能谱学	<p>中能微区谱学线站能量范围为 1.75-8KeV 可以对低 Z 元素的 K 边和部分过渡金属元素的 L 边开展 X 射线微区荧光 (<math>\mu</math>-XRF) 和 X 射线微区近边吸收谱 (<math>\mu</math>-XANES) 研究, 配备的 XANES 全场成像实验装置, 在微米、纳米尺度关注各种复杂基质中元素的形态和配位信息。并配置一些原位反应环境。</p>	<p>(1) 生命科学;</p> <p>(2) 材料科学;</p> <p>(3) 环境、地球科学;</p> <p>(4) 化学 (配位化学, 有机金属化学和催化等)。</p>
14	结构/能谱微纳成像线站	<p>开展从纳米分辨到微米分辨率的三维结构成像、谱学成像和荧光成像。其中, 纳米分辨成像能量范围为 5-60keV, 空间分辨率可达 20nm@8keV 和 50nm@30keV; 微米成像的能量范围为单色光模式 10-60keV、白光模式 10-150keV, 空间分辨率达到亚微米。</p> <p><b>主要功能:</b></p> <p>(1) 微纳米尺度能谱成像: 多能 CT 成像, 单次 CT 成像可同时获取多种元素的三维空间分布信息。</p> <p>(2) 微纳米尺度结构成像: 全尺度分辨 CT 成像, 获取样品从微米到纳米分辨的三维结构信息。</p> <p><b>线站特色</b></p> <p>(1) 高分辨结构成像和能谱成像的紧密结合, 实现样品的三维空间结构信息、元素分布信息和谱学信息的获取及融合。</p> <p>(2) 从纳米分辨到微米分辨的全尺度成像。</p> <p>(3) 多能 CT 成像, 可同时、快速获得多种元素的空间分布信息。</p> <p>(4) 宽能量范围 (5-60keV) 的纳米分辨 CT 成像。</p> <p>(5) 动态过程的三维成像, 揭示样品演化过程。</p>	<p>(1) 物理学;</p> <p>(2) 化学;</p> <p>(3) 能源科学;</p> <p>(4) 材料科学;</p> <p>(5) 环境科学;</p> <p>(6) 地球科学;</p> <p>(7) 生物医学;</p> <p>(8) 考古学。</p>