

上海光源工程首批光束线站简介

- ◆ 生物大分子晶体学光束线站
- ◆ 衍射光束线站
- ◆ XAFS 光束线站
- ◆ 硬 X 射线微聚焦及应用光束线站
- ◆ X 射线成像及生物医学应用光束线站简介
- ◆ 软 X 射线谱学显微光束线站
- ◆ X 射线小角散射光束线站

生物大分子晶体学光束线站

1. 线站科学目标与设计指标

生物大分子晶体学光束线站瞄准生命科学前沿若干领域，拟开展生物大分子复合物结构、膜蛋白结构以及面向结构基因组学的大规模、高通量蛋白质结构和功能研究等。

在SSRF生物大分子晶体学光束线站上，将可以利用以下多种实验方法开展生物大分子结构研究：

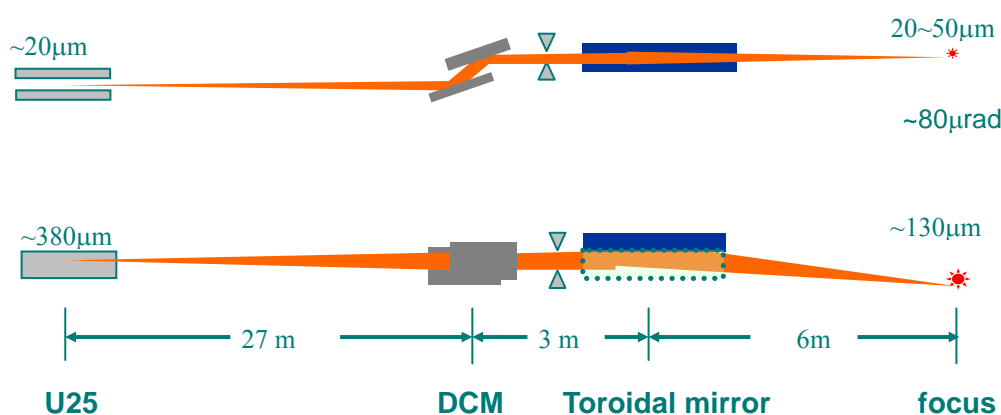
- 多波长反常衍射方法（MAD）；
- 单波长反常衍射方法（SAD）；
- 同晶置换、分子置换等其它单波长实验方法。

光束线站设计主要指标如下：

- 光子能量范围： 5~18 keV
- 能量分辨： $<2 \times 10^{-4}$
- 样品处光通量： $\sim 3 \times 10^{12}$ phs/s (12keV@300mA)
- 聚焦光斑尺寸： $\sim 130 \times 40 \mu\text{m}^2$ (12keV)
- 光束发散角： $\sim 0.3 \times 0.1 \text{ mrad}^2$

2. 光束线设计特点

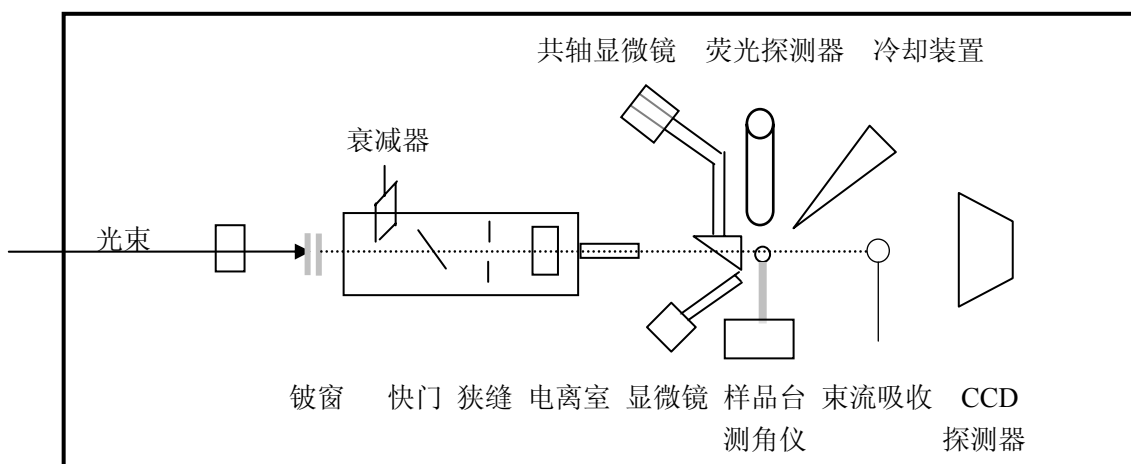
束线选取小间隙波荡器作为辐射光源，以得到高亮度的同步光束。束线光学结构原理示意图如下所示。现在的设计方案充分利用了波荡器辐射低发散角的特性，只采用了一个晶体单色器和一个超环面反射聚焦镜，束线所用的光学部件数量达到了最低限度，既降低了造价又能提高光子通量与束线的稳定性。



束线光学结构示意图（上：侧视图，下：俯视图）

3. 实验站设置

实验站的布置如下图所示，主要设备配置如下：



实验站布置图

1) 样品台测角仪系统

拟采用 Kappa 转角仪 (Phi, Kappa, Omega 三轴转角仪), 转角仪顶端的样品台可进行三维平动。利用 Kappa 转角仪可选择最佳晶向收取衍射数据。

2) CCD 探测器及定位支撑系统

CCD 探测器的主要指标要求如下:

灵敏面积: $> 200 \times 200 \text{ mm}$; 空间分辨: $< 100 \mu\text{m}$; 读出时间: $\leq 1\text{s}$ 。

探测器与样品距离可调, 调节范围 80—1000mm; 探测器 2θ 角可调, 调节范围在 0—30 度之间。

3) 荧光探测器

4) 衰减器、狭缝、快门、电离室组合系统

电离室作为光强监测器, 狭缝用于对光束发散角和光斑大小进行调节, 快门用于控制曝光时间, 要求最小曝光时间小于 10ms。整个系统置于氦气环境下以减少对光束的散射。

5) 样品冷却系统

6) 样品定位系统

样品定位系统包括两个带有 CCD 相机的显微镜。一个高倍显微镜与入射 X 光共轴, 沿光束方向观察样品, 没有视差, 便于实现样品精确对准。另一个与入射 X 光束垂直放置, 可在较大的视场内对样品进行初步定位。

7) 减振实验平台

8) 实验站控制及数据采集系统

9) 数据存储及处理系统

包括一个 4T 的大容量存储服务器, 用于存储用户实验期间的数据。数台高性能 PC 和图像工作站用于处理数据, 配备常用的晶体学数据处理软件。

10) 其它辅助设施

包括实验准备室以及为用户实验提供必要的样品准备、保存等辅助设施。

衍射光束线站

衍射线站采用弯铁光源，光子能量在 4—22keV 的范围，覆盖了从钙(Ca)到铼(Tc)的 K 吸收边，包含了常用金属材料中的钛、钒、铬、锰、铁、镍、铜、锌和半导体材料中的镓、锗、砷等元素。光束线的水平接收角是 2.5mrad，以得到尽可能高的通量。光束线关键光学元件采用预准直镜、双晶单色器和后置聚焦镜，可以获得较高能量分辨率的 X 光，同时能得到较高的角分辨率。实验站采用六圆衍射仪，能够满足绝大多数衍射实验需求。

1. 科学目标

上海光源通用衍射光束线站目标定位于材料科学应用的通用衍射线站，以多晶粉末、薄膜、纳米材料等为主要研究对象，建成为以粉末晶体衍射实验方法为主，可同时开展纳米和表面材料的掠入射（反常）衍射（GIXAD）、反射率、倒易空间 mapping、DAFS 测量等实验技术及动态过程等研究的实验平台。

同步辐射具有准直性好、高通量的特点，高分辨粉末衍射实验站要求平行光束能达到~0.02mrad 的角分辨率，比实验室中常用衍射仪高一到二个量级，可以解决常规粉末衍射在材料结构测定中由于低通量或低的角分辨率带来的衍射峰重叠或不可分辨等方面的限制，提高从粉末衍射数据精修和解析晶体结构的能力。如可应用于制药工业中生成的化合物，它们大多对称性差、不能用单晶衍射来测定晶体结构；小分子晶体结构也是重要的研究对象，如可测定大小为几十微米的微小单晶晶体结构。

同步辐射光源的波长具有连续可调的特性，而原子散射因子中的色散项在元素吸收边附近有显著变化，扫描吸收边可以获取材料内不同元素的信息。最近发展的掠入射 X 射线反常衍射实验技术，对表面结构敏感的掠入射 X 射线衍射与反常散射原理相结合，可以测量表面或纳米结构中的化学元素分布信息。

本衍射线站的高通量和高分辨的特点有助于提高单晶尤其是新型纳米材料结构测定精度，如测量其中的缺陷、晶格畸变及微应变等对结构的影响，从而为材料制备提供物理依据。

X 射线反射率测量在薄膜表面、多层膜界面粗糙度、超晶格及 δ 掺杂结构研究中有独特而广泛的应用。

RSMs (reciprocal space mappings): 倒易空间 mapping 测量可以观察到所研究的如外延层倒易格点附近的形变等信息，是薄膜、外延生长等应变研究的重要方法之一。

DAFS: 通过选择晶体物质的衍射峰位，在保证衍射矢量不变的情况下，在某一原子的吸收边附近测量晶体的衍射强度随入射 X 射线能量变化的谱线。由于原子的反常散射因子含有类似于 XAFS 振荡的精细结构 ($f''[E]$ 正比于吸收截面 $\sigma[E]$)，所以 DAFS 测量可以确定这种原子在晶体中某一特定晶体位置处的配位环境。

2. 光束线主要性能指标

上海光源衍射光束线的关键元件采用预准直镜、弧矢聚焦双晶单色器（水平聚焦），可以有效提高束线的能量分辨率；后置聚焦镜能够根据样品的不同要求得到较小光斑。其主要指标为：

弯铁光源临界能量：10.35keV

光束线接受角：2.5mrad(H) × 0.12mrad(V)

能量范围：4 ~ 22 keV

能量分辨率： $\Delta E/E \sim 1.5 \times 10^{-4} @ 10\text{keV}$

不聚焦模式：样品处 { 光斑尺寸 $\sim 0.3_H \times 2.5_V \text{ mm}^2$
光子通量 $\sim 2.0 \times 10^{12} \text{ phs/s @ 10 keV}$

发散角： $\sim 2.5_H \times 0.02_V \text{ mrad}^2$

聚焦模式：样品处 { 光斑尺寸 $\sim 0.3_H \times 0.35_V \text{ mm}^2$
光子通量 $\sim 2.0 \times 10^{12} \text{ phs/s @ 10 keV}$

发散角： $\sim 2.5_H \times 0.15_V \text{ mrad}^2$

3. 实验站主要配置和性能指标

实验站的核心设备是一台六圆衍射仪，其转轴功能可以满足绝大多数衍射实验的需求。探测器系统配备的是选择能量所需要的固体荧光探测器和 NaI 闪烁晶体探测器。在二期建设中还将配备 IP 面探测器，以实现发展多种实验探测方法的需要。

衍射仪转轴主要性能指标：

6 圆衍射仪转轴	转动范围	最小分辨率	注
φ	360° unlimited	0.0001°	
χ	360° unlimited	0.00005°	
ω_{hor}	+130° ~ -130°	0.00005°	
ω_{ver}	+/-180°	0.00005°	
2 θ_{hor}	+130° ~ -130°	0.00005°	
2 θ_{ver}	+210° ~ -30°	0.00005°	
测角头样品台			optional
Xs/Ys	+/-75mm	1 μm	
Zs	25mm	1 μm	
准直平台			optional
X	+/-30mm	2 μm	
Z	+/-30mm	0.5 μm	
Rx (Z1/Z2)	+/- 1.5°	0.0005°	optional

XAFS 光束线站

1. 科学目标

X 射线吸收精细结构谱 (XAFS) 是随着同步辐射装置的发展而成熟起来用途广泛的实验技术, 是研究物质结构非常重要的方法之一。该技术的主要特点是能够在固态、液态等多种条件下研究原子 (或离子) 的近邻结构和电子结构, 具有其它 X 射线分析技术 (如晶体衍射和散射技术) 无法替代的优势。例如, 用 XAFS 研究单晶, 可以获得用晶体衍射方法所不能得到的和化学键有关的几何与电子结构信息, 如氧化态、自旋态、共价键等。由于具有上述特点, XAFS 分析技术被广泛地应用于材料科学、生物、化学、环境和地质学等诸多领域, 并涵盖从基础研究到工业应用等各个方面。目前, XAFS 光束线站是世界同步辐射装置上涉及学科面最广, 用户最多的光束线站。

SSRF 的 XAFS 光束线站是一个基于多极 wiggler 光源(MPW)的通用、高性能 X 射线吸收光谱实验装置。本光束线站将主要用于高能量分辨、高光谱纯度和高信噪比的 X 射线吸收精细结构谱学研究。在装置建成初期首先实现常规的透射和荧光 XAFS 实验方法, 为最广泛的用户群提供可靠、稳定和操作简便的实验平台, 同时为以后逐步发展全电子产额、组合实验技术以及其它新技术奠定基础。相对于弯铁光源, 采用多极 wiggler 光源, 可以获得高得多的光通量, 降低 XAFS 的检测限(检测限与光通量的平方根成反比)。实验站可实现如下的目标:

- 1) 进一步提高检测限, 预计可以达到 1ppm。
 - a) 对于土壤环境样品和地质样品等有很多荧光本底的样品中的重金属元素的实际检测限可望接近 10ppm。
 - b) 对于金属蛋白溶液样品, 检测限可以达到 20 μ M。
 - c) 通过调节 wiggler 的磁场强度, 对于低浓度的 K、Ca、V、Ti 等低 K 能量边的元素的检测十分有利。
- 2) 更适合开展时间分辨的 EXAFS(缩短快速扫描时间)。

2. 线站主要性能指标

- 光子能量范围: 4-22keV 聚焦、4-40keV 非聚焦
- 能量分辨(@10keV): 2×10^{-4} Si(111)晶体
- 样品处光通量(@10keV): $\geq 10^{12}$ phs/s /100mA
- 聚焦光斑尺寸: $\leq 0.5 \times 0.5 \text{ mm}^2$ (H \times V)
- 高次谐波含量(@6keV): $< 10^{-4}$

3. 实验站配置

- 1) 实验平台(1.2 x 2.4 m), 可升降, 用于安装整个探测的光学系统及采集系统。

实验平台可垂直方向行程 100mm 左右，定位精度 10 μ m，使样品处光斑的非常稳定，这点对聚焦光斑尤其重要。一个典型平台的主要参数如下：

- 水平行程: 50 mm x 100 mm
- 垂直行程: 100 mm
- 载重: 450 kg
- 重复精度 < 10 micron
- 分辨率 < 4 micron
- 运动控制: 步进电机
- 平台表面孔型: 1/4-20, 1 inch (25.4 mm)

2) 带精密转角仪的样品台（多维运动平台），用于放置样品和探测器，可以灵活地调整安装方式以适应不同的实验要求，主要为方便掠入射实验和衍射实验。样品台含有三维平动(精度 1 μ m)、两维角度调整及一维转动。技术参数如表所列：

运动轴	行程	分辨率	全程精度	单向重复性	速度	偏心	晃动
Y 方向移动	100mm	1 μ m	10 μ m	1 μ m	2mm/s	_____	_____
X 方向移动	100mm	1 μ m	10 μ m	1 μ m	2mm/s	_____	_____
Z 方向移动	30mm	1 μ m	10 μ m	1 μ m	2mm/s	_____	_____
投角和滚角	+/-5°	0.001°	0.01°	0.001°	5°/s	0.1mm/5°	_____
绕 Z 轴转动	360°	0.005°	0.05°	0.005°	15°/s	0.1mm/360°	20 μ rad

- 3) 激光准直器和摄像头，用于监视样品的安放位置。
- 4) 单色光狭缝，用于限制照射在样品上的光束尺寸，并提高光束位置稳定性，调节范围 0.05mm-10mm，精度 1 μ m。
- 5) 样品室（高低温附件），用于提供样品的环境温度，包括液氮低温室（77~300K）和高温加热装置(300K-1250K)及真空机组。
- 6) 供气设备，提供电离室、样品室所需的各种气体。
- 7) 高性能计算机，具有很强的在线分析、图形处理和快速存取等功能，用于实验进程的监控和实验数据的处理。
- 8) 用于不同探测方式的探测器及电子学设备：
 - 电离室及电子学设备（主要包括电流放大器、高压源及采集卡），用于透射 XAFS 探测和光强检测。
 - 常规的 Lytle 型荧光电离室及吸收片，用于普通的荧光 XAFS 探测。
 - 多探头阵列固体探测器（32 元Ge固体探测器）及电子学设备（XIA），还包括一个固体探测器专用的小安装调整平台（0.5 x 0.5 mm²）。用于极低浓度样品和掠入射的荧光XAFS探测。
- 9) 样品准备、保存等辅助设施。
公用的准备间等其它辅助设备。

硬 X 射线微聚焦及应用光束线站

硬 X 射线微聚焦及应用光束线站将利用上海光源高亮度的 X 射线辐射，结合先进的 X 射线光学系统，在实验站得到高通量、能量可调的单色 X 射线微束，配备先进的探测系统，使之成为具有国际先进水平的 X 射线微探针装置。本线站将主要用于开展微束 X 射线荧光分析(μ -XRF)、微束 X 射线谱学(μ -XAFS)以及微束成像实验研究，具备原位分析样品的元素组分、化学特性、物质结构及其二维分布的能力。空间分辨达到微米至亚微米量级，元素分析的灵敏度达到 ppb 级。

光束线主要设计指标如下：

- 光子能量范围：3.5keV~22.5keV
- 能量分辨率($\Delta E/E$): $<2 \times 10^{-4}$
- 样品处最小光斑尺寸：
~2 μ m (采用 K-B 镜聚焦)
~100nm (采用波带片聚焦)
- 样品处光子通量(@10keV): $>10^{11}$ phs/s (采用K-B镜聚焦)
 $>10^8$ phs/s (采用波带片聚焦)

1. 光源

光束线采用真空室内波荡器作为光源，波荡器的周期长度为 2.5 cm，总长度为 2.0 m，最大磁场强度为 0.94 T。通过引出高次谐波，该波荡器可覆盖线站所需要的能量范围，光子能量在 2-23keV 连续可调。

2. 光束线

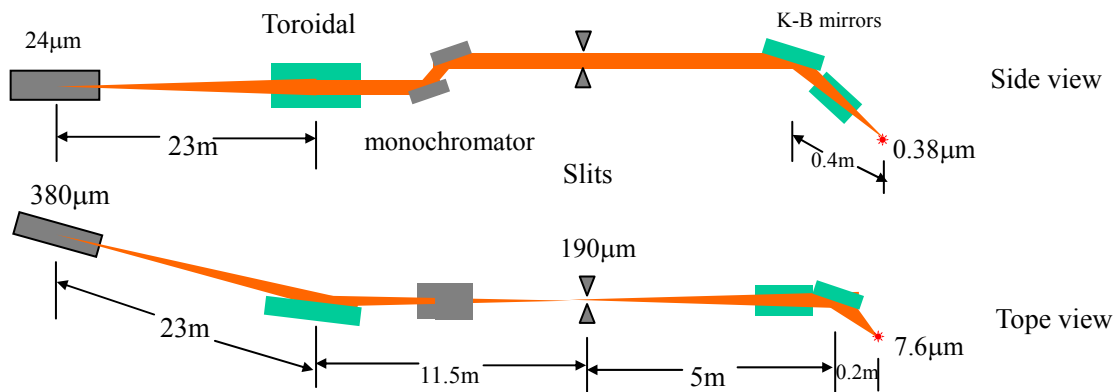


图 1. 光束线光学原理示意图

光束线前端区采用 SSRF 波荡器辐射前端区的标准设计。光束线采用分级聚焦的光学方案(如图 1 所示)，主要光学部件包括预聚焦镜、单色器、K-B 微聚焦镜和狭缝。从前端区引出的 X 光由掠入射水冷狭缝限束，然后由预聚焦镜在垂直方向平行化，在水平方向 2:1 聚焦产生次级光源，预聚焦镜后的单色器对光子能量进行选择，最后由 K-B 微聚焦镜将 X 射线聚焦到样品处，光学系统对光源

的水平方向和垂直方向的总缩小比分别为 50:1 和 57.5:1。采用分级聚焦方案可以方便地通过次级光源狭缝调节样品处光斑尺寸和光通量，并且部分隔离了上游光源和光学部件不稳定对样品处光斑位置的影响。实现微米亚微米光斑的基础上，光束线站设计中采用多种措施以保证样品处光斑位置稳定。

预聚焦镜为超环面镜，由柱面镜压弯成，预聚焦镜采用垂直放置，尽可能减小了面形误差对光束线性能的影响。单色器采用固定出口双平晶单色器，晶体为 Si(111)和 Si(220)；单色器的第一块晶体承受的热功率密度很高，采用间接液氮冷却方式。K-B 微聚焦镜系统由两块镜子分别对光束的垂直方向和水平方向聚焦，K-B 镜的掠入射角可调，用于高次谐波抑制。移开 K-B 聚焦镜，用波带片聚焦，可获得 100nm 级的聚焦光斑。

3. 实验站

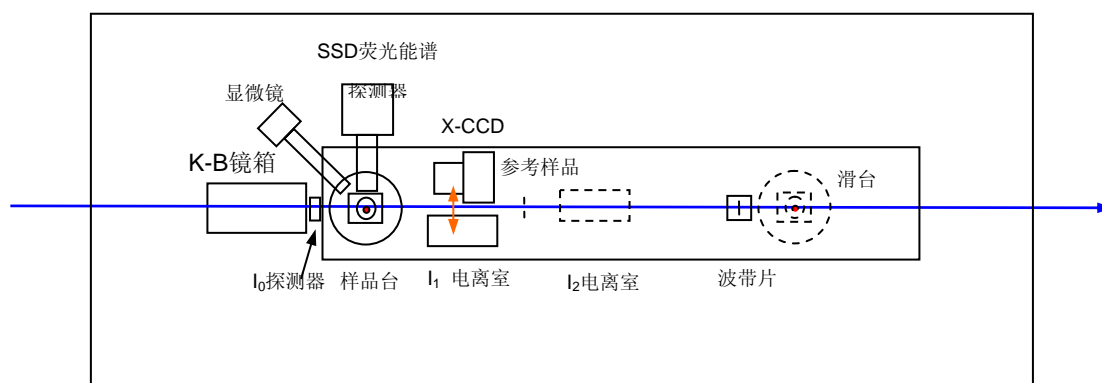


图 2. 实验站布局示意图

实验站利用光束线输出的光束，开展微束 X 射线荧光分析、微束 XAFS、微束 X 射线成像等实验研究。实验站布局如图 2 所示，主要包括如下仪器设备：

- 抗振实验平台，用于安装微聚焦系统、样品台、探测器等。
- 多元固体探测器系统，最大计数率>100kcps/单元，最佳能量分辨~140eV @ 5.9keV，用于荧光分析和荧光 XAFS 实验。
- X 射线 CCD，用于微束 X 射线成像和光束检测。
- 若干个电离室，用于透射 XAFS 实验和光强检测。
- 多维高精度样品台，包括 3 维平动和 4 维转动，用于样品的定位，扫描，最小步长分辨为 20nm。
- 温控样品架，温度调节范围 80K—1000K。
- 带同轴照明的长物镜工作距离的光学显微镜，配 CCD 相机和监视器相连，用于样品检测和对光。

X 射线成像及生物医学应用光束线站简介

1. 科学目标

随着第三代同步辐射光源的广泛使用, X 射线光源的特性得到了极大的改善。从而为新的 X 射线成像方法的诞生创造了条件, 传统的成像方法也得到了显著改善。目前的研究已大大丰富了 X 射线显微成像的衬度机制, 除传统的吸收衬度外, 相位衬度、化学衬度、元素衬度、磁二色衬度、散射衬度、衍射衬度等等, 同时大幅拓展了 X 射线显微的应用领域。

动态 X 射线同轴位相衬度成像是近年来发展起来的一种新的成像方法, 它利用了 X 射线透过样品时携带的位相信息进行成像, 可以对轻元素组成的样品内部结构成高分辨率像。由于通量的关系, 在第一、二代同步辐射上只能进行静态成像研究。而第三代同步辐射的高亮度和高相干性, 使得动态研究成为可能, 如 2002 年的 *Nature* 报道了在第三代同步辐射源上用位相衬度成像观察到了电化学反应的动态过程, 2003 年 *Science* 第一次报道了昆虫的呼吸全过程。时间分辨可达几个毫秒到几十个毫秒。SSRF 是第三代光源, 因此非常适合于进行高分辨率的动态 X 射线位相衬度成像研究。

另一个重要成像手段是显微断层成像(XMCT), 三维空间分辨率可达微米乃至纳米量级。第三代同步辐射的插入件辐射是目前 XMCT 的理想光源, 单色 X 射线的使用还有助于消除彗像, 同时减小样品的辐射剂量, 这对生物医学样品研究显得尤为重要。XMCT 现已成为中能或高能第三代同步辐射装置上的重点发展的技术, 甚至还提出了时间分辨 XMCT 的概念。

目前国际上的成像技术趋向于更高的空间分辨(纳米量级)和更快的时间分辨(1 毫秒或更小)。上海光源作为第三代高性能同步辐射光源, 它的 X 射线成像及生物医学应用光束线站也将朝着这些方向努力, 为我国的 X 射线成像研究的发展作出自己的贡献。同时还将更多地关注国内外的应用研究前沿, 如医学应用中的早期肿瘤诊断、辐射治疗等, 其它领域的应用包括如植物和农作物、先进制造业、考古学和地球物理学、先进材料(功能性聚合物, 制陶业, 纳米材料, 金属和合金, 微电子学和磁性材料, 生物样品)等。

2. 线站主要性能指标

- 不聚焦单色光束
- 成像方式: IL-PCI, MCT
- 光子能量范围: 8-72.5keV
- 能量分辨率($\Delta E/E$): $<5 \times 10^{-3}$
- 最大束斑尺寸: 45mm(H) × 5mm(V) @30m@20keV
- 光子通量密度: 6×10^{10} phs/s/mm²@20keV@Si111 (理论计算值)
 7×10^8 phs/s/mm²@70keV@Si311 (理论计算值)

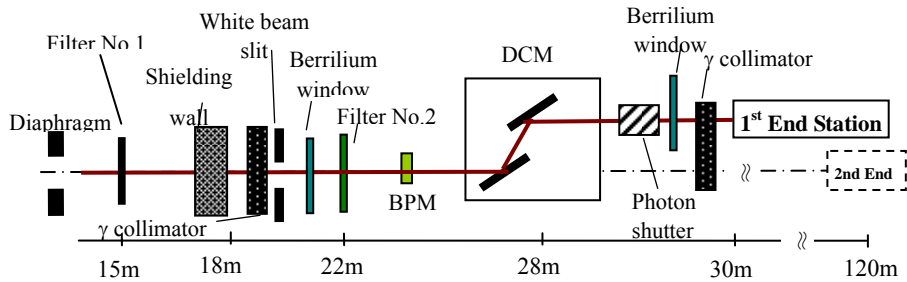
- 成像分辨率:

时间分辨设计目标: 1.0 ms/frame

空间分辨的设计目标: 1.0 μm

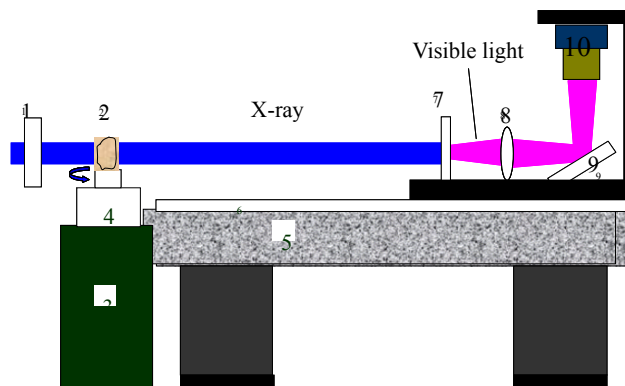
上述指标可以满足绝大部分的生物医学成像及其它一些热门的 X 射线成像应用。如果使用更高指数面的 Si 晶体, 光子能量可以到 120keV 左右。本光束线设计的能量范围基本上涵盖了目前的实验要求, 同时保留了使用更高能量的光子来作辐射治疗等应用研究的可能性。

下图是光束线布局示意图:



X 射线成像及生物医学应用光束线布局示意图

3. 实验站配置



1: 电离室; 2: 样品室; 3: 样品台; 4: 精密旋转台; 5: 长平台; 6: 导轨; 7: 荧光靶; 8: 透镜; 9: 反射镜; 10: 可见光CCD

(1) 探测器

- 高时间分辨、高空间分辨 X 射线数字探测系统。设计空间分辨率 500nm, 时间分辨 1ms。它由一套荧光屏、透镜和可见光 CCD 组合而成, X 射线透过闪烁体后发出可见光, 被高数值孔径的透镜收集, 再用可见光 CCD 接收。主要用于高分辨率、动态成像。
- 普通高分辨率 X 射线 CCD, 含锥形光纤放大器。主要指标:
像素尺寸: 6 μm ; 像素数: 4000 \times 2500; 读出时间: >10 帧/秒, 主要用于较大视场、分辨率相对较低的相衬成像、CT 成像研究。
- 高分辨率的 X 射线胶片和核乳胶片。需要配备相应的暗室。
- 监视摄像机。

- (2)电离室：用于测量 X 射线剂量。
- (3)多维运动平台：它有六个自由度，平台线性运动精度好于 1 μm ，转角精度为 0.5 arcsec。用六个步进电机驱动平台实现各种运动。主要用于 MCT 成像。
- (4)精密导轨。导轨总长度 10m，最大移动速度 50mm/s，移动精度 100 μm 。主要用于 IL-PCI 成像。
- (5)分析晶体：在 DEI 成像中需要分析晶体作为一个带通滤波器，选择折射的光子进行成像。
- (6)准直及扩束晶体：用于二维直接成像。选用非对称切割的Si(311)。晶体大小为 100 \times 100mm²。
- (7)荧光靶和可见光 CCD：主要用于调束。
- (8)单色光狭缝：用于阻挡不需要的杂散光。

软 X 射线谱学显微光束线站

1. 科学目标

随着科学技术的发展，越来越多的研究领域要求在亚微米、甚至纳米空间尺度内开展样品的光谱成像研究。因为，这样空间尺度的异质成分组成以及化学性质决定了许多重要材料（如多相聚合物材料、生物材料、合成材料等）的宏观物理化学性质。此外，环境与生物过程经常涉及到微观领域内变化的化学过程。既存的对化学态灵敏的研究方法，如红外光谱、核磁共振谱无法满足高空间分辨要求。电子显微术虽具备优异的空间分辨特性，但很难获取样品化学成分信息，且一般无法适用于含水的或者辐射损伤敏感的样品。软X射线谱学显微光束线站结合了扫描透射X射线显微术（STXM）的几十个纳米左右的高空间分辨能力和适用于近边吸收精细结构谱学(NEXAFS)研究的高化学态分辨能力(高能量分辨率)，与电子显微术、TXM相比样品辐射损伤相对较小，可以在介观尺度研究固体、液体、软物质（如水凝胶）等多种形态的物质。因此，与其它技术相比具有独特的优越性，其应用研究已渗透到材料、环境、生物、有机地球化学、陨星等众多学科领域。

上海光源谱学显微光束线站光源采用 EPU 光源，满足众多用户对偏振可调性能（线偏振、圆偏振）的需求。该线站将瞄准世界前沿的发展，主要针对人体健康和生活条件改善等方面，重点开展自然状态下的细胞结构和功能关系，以及具有一定活性的生物样品的元素空间分布研究。同时还可开展：多相聚合物复合材料特性研究；蛋白质与人工材料的兼容特性研究；微生物体及微生物-微矿物相互作用特性；介观尺度污染物的空间分布和化学态分布；组织-金属相互作用的化学分析；物种形成；固体水溶液及界面特性；磁性材料；新型材料设计等方面的研究。这些研究将有助于深入理解纳米空间尺度的物质及其相互作用的化学基础，并以此为基础积极探索如何改善人类环境、健康、以及设计制造新型材料。

2. 线站主要性能指标

主要参数	设计目标
● 插入件光源	EPU
● 光子能量范围:	250~2000eV
● 能量分辨本领($E/\Delta E$):	6000 @285eV; 2500 @1840eV

- 空间分辨率: $\leq 50\text{nm}$
- 光子通量: $\sim 10^9$ (photons/s)

3. 实验站配置

- 主体 STXM 显微镜一台 (空间分辨率 50nm)
- 快速正比计数管、光电二极管
- 湿样品槽二个 (供二维成像和三维成像用)
- 工作站一台
- 分析软件: NEXAFS 分析软件、元素成分分析软件、三维图像分析
- 辅助光学平台
- 样品储藏室
- 氦气
- 光学显微镜

4. 基本实验方法

- 1) 光谱显微分析— x, y, E 三维扫描
- 2) 形态三维显微成像— x, y, ϕ 三维扫描
- 3) 透射软 X 射线近边吸收谱分析 (NEXAFS 谱)

5. 实验站应用例

- X 射线成像
- 透射 NEXAFS 分析
- 化学成分成像 (Chemical mapping)
- 微细磁畴成像 (Magnetic mapping)
- 偏振特性研究
- 三维形态 Nano-CT

X 射线小角散射光束线站

X 射线小角散射光束线站将面向化学、材料科学、生命科学等领域，以聚合物、纳米材料、生物分子、液晶等为主要研究对象，提供一个以常规小角散射为主、兼顾反常小角散射、掠入射小角散射、小角散射和广角散射同时测量、以及动态过程研究等技术的实验平台。

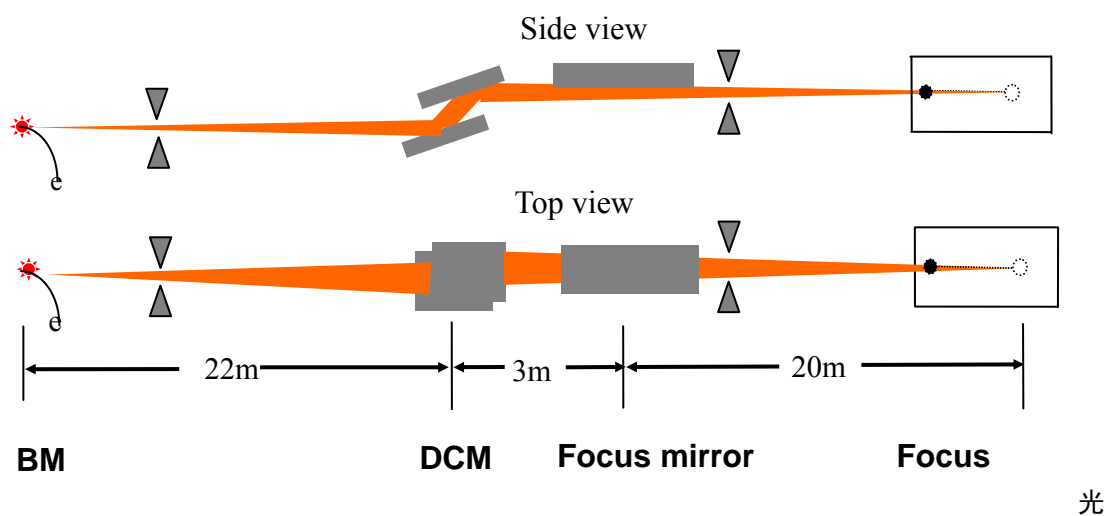
1. 性能指标

能量范围:	5~20 keV
能量分辨率:	$\Delta E/E \sim 5.0 \times 10^{-4} @ 10 \text{keV}$
光子通量:	$\sim 10^{12} \text{ phs/s} @ 10 \text{keV}$
聚焦光斑尺寸:	$\sim 0.35 \text{ (h)} \times 0.35 \text{ (v)} \text{ mm}^2 @ 10 \text{keV}$
垂直方向最小测量角度:	$\sim 0.4 \text{mrad}$

2. 光束线

X 射线小角散射光束线将从储存环弯转磁铁的 1 度处引出。通过调节安装在光束线上游的水冷白光四刀狭缝，光束线接收到水平方向 3.0 mrad、垂直方向 0.12mrad 的同步辐射。

双晶单色仪对同步辐射进行单色化。单色仪晶体为两块(+N,-N)无色散排列的 Si(111)单晶。其中第一晶体为水冷平晶，第二晶体在弧矢方向压弯，使其在水平方向具有聚焦功能。调节晶体不同的 Bragg 角可得到不同能量的单色 X 光。



束线光学结构示意图

双晶单色仪后的垂直压弯聚焦镜对单色 X 光在垂直方向上进行聚焦。镜子表

面的一半为 Si 基底反射层，另一半为 Rh 反射层。在掠入射角为 3.2 mrad 的情况下两个反射层具有两个不同的截止能量：10 keV (Si)、20keV (Rh)。调节不同的反射层可覆盖整个能量范围，并能有效地抑制高次谐波。

3. 实验站

实验站主要设备包括：

- 探测器系统：a) 用于探测小角散射信号的两维气体多丝气体探测器，一维 Quadrant 气体探测器。b) 用于探测广角散射信号一维线性气体探测器。
- 不同长度的、带有直通光束阻挡器的真空管道系统。
- 精密可调狭缝系统。
- 高低温样品室及掠入射散射样品台。
- 电离室系统。
- 电子学和自动控制系统。

实验方法的实现：

小角散射实验通过测量主光束下半部分的散射信号来实现，广角散射实验则通过测量主光束上半部分的散射信号来实现。

样品台与探测器之间的距离可调以实现不同的最小测量角度和不同的角度测量范围。

反常小角散射实验通过改变单色光能量来实现。

掠入射小角散射实验通过在样品处安装专用的可调样品台来实现。