

新一代同步辐射光源及其应用

徐洪杰

(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

摘要 扼要地介绍了同步辐射的历史和现状,以及在我国建设新一代同步辐射光源的必要性.设计中的上海同步辐射装置(SSRF)在其建成时将具有世界一流的光源性能,和一批覆盖面广、兼顾基础研究、应用研究和产业发展及具有世界先进水平的光束线和实验站.

关键词 同步辐射光源 SSRF 光束线 实验站

1 引言

在 1995 年的上海市科技大会上,新一代同步辐射光源被正式列为上海市“九五”第一号标志性科学工程.这台新一代同步辐射光源暂定名为“上海同步辐射装置”,英文简称“SSRF”.该装置计划“九五”初期(1996 年)立项,用五年左右的时间建成,届时 SSRF 将拥有世界一流水平、中等规模(能量)的同步辐射光源和一批侧重于 X 射线应用、覆盖面广、兼顾基础研究和应用研究,具有世界先进水平的光束线和实验站.

2 同步辐射的历史和现状

同步辐射光源具有:高亮度、准直性好、波长范围宽且连续可调、脉冲短($\sim 10^{-10}$ s)、稳定性高、超纯净、高偏振和准相干等优点,性能远优于其它人造光源.自 1947 年首次观察到同步辐射以来,同步辐射装置的发展已历经三代.第一代兼用机,起源于 50 年代初,是利用一些高能物理实验的正负电子对撞机所产生的同步辐射光兼作其它学科的研究.如寄生于北京正负电子对撞机的北京同步辐射装置,其光谱的最高亮度为($10^{13} \sim 10^{14}$)*.第二代同步辐射流行于 70~80 年代,是专用光源,其光谱的亮度提高了两个数量

级($10^{15} \sim 10^{16}$)*,如合肥同步辐射光源.第三代同步辐射光源产生于 80 年代,繁荣于 90 年代,光源的电子储存环中引入大量的多功能插入件,即所谓的波荡器或扭摆器,光谱的亮度达($10^{17} \sim 10^{19}$)*.世界上已有的和正在建造中的同步辐射光源的电子能量的范围可分为三段,即 0.8 GeV、2 GeV、6 GeV,由弯转磁铁引出的光子特征能量分别为 0.5 keV(真空紫外)、2.5 keV(软 X 射线)、25 keV(硬 X 射线).目前,世界上已建成的第三代同步辐射光源有五台(包括台湾地区的一台),正在建造和设计的有十几台.更多的国家特别是新兴国家对建造同步辐射光源表示了兴趣(如泰国、新加坡).预计到本世纪末,每天将有上万名科学家和工程师同时使用几千个同步辐射光源的实验站,从事前沿学科和高技术产业的研究和开发工作.

我国的两台同步辐射光源装置在其性能和应用范围均有很大的局限性,难以满足下世纪我国科学发展的需要.因此,着手利用地方和中央两个积极性,在上海这样经济和科技高度发达的地区,建造一台中等规模和世界一流同步辐射装置是完全必要的.

3 SSRF 的性能和特点

SSRF 具有以下特点:(1)规模中等 储

* 光子/(s · mm² · mrad² · 10⁻³BW).
1995 - 12 - 25 收稿.

存环能量为 2.2~2.5 GeV; (2) 全波段 装有超导磁铁可引出从真空紫外至硬 X 射线宽波段谱线; (3) 高亮度 储存环的自然发射度约为 3 纳米弧度, 较多的直线节和超长直线节, 光源亮度大于 10^{19} ; (4) 高通量 储存环流强为 300~400 mA; (5) 快时间分辨 单束团运行时脉冲宽度约为几十皮秒; (6) 高相干性 两个以上的超长波荡器可提供相干的高亮度软 X 射线; (7) 高效性 约 50 条光束线和上百个实验站, 每年供束 5 000 h 以上; (8) 灵活性 四种运行模式(高亮度、高通量、快时间分辨和通用模式), 并留有充分的扩展余地(足够的发展空间和用于自由电子激光发展的旁通型超长直线节)。

SSRF 的电子储存环采用全能量注入, 注入器由 100 MeV 电子直线加速器和 2.5 GeV 同步加速器组成, 置于储存环内侧。束流寿命大于 8 h, 引出光斑位置稳定性为 $10\ \mu\text{m}$ 、周长约为 300 m、周期数 $N \geq 10$ 、长直线节长度约为 7 m。SSRF 场地面积约为 $30\ 000\ \text{mm}^2$, 光源实验厅径向跨距约为 20 m。SSRF 的光源亮度的主要指标约为: 真空紫外(undulator) $> 10^{18}$ 、软 X 射线(undulator) $> 10^{19}$ 和硬 X 射线(B. Ms.) $> 10^{15}$ 。光源的这些特点使得通常无法进行的微区、动态、瞬变、原位和极端条件下的结构组份与动力学性质的实验研究成为可能。二十一世纪初 SSRF 投入运行后, 可以有力地支持凝聚态物理、分子原子物理、团簇物理、材料科学、化学、生命科学、医药学、地矿学等学科的基础研究, 以及医疗诊断和微加工等技术的产业开发。SSRF 性能优异、用途广阔并有充分的发展余地, 其科学寿命估计可达 30 年或更长。SSRF 的电子储存环的总体聚焦结构尚未最后确定, 设计方案尚须经国内外专家的论证。

SSRF 建设的关键技术: 500 MHz 低高次模高频系统、超导磁铁、低阻抗超高真空系统、高稳定建筑结构、高稳定光斑位置反馈系统、束流测量与反馈系统、闭环控制技术、高性能插入件的研制、高强度辐射的吸收及屏

蔽、高亮度束线的研制及光学器件的制造、光学元件热负载的缓释及新型 X 射线探测器研制。SSRF 的建设无疑将推动我国, 特别是上海现代高能加速器、超导磁铁、超高真空、高精密加工、X 射线光学、快电子学及系统反馈控制高稳定建筑等高新技术和产业的发展。

SSRF 的主要性能的设计指标均好于现有的第三代同步辐射光源, 尤其在光源亮度和偏振性等方面。国际上这类装置还处于设计和立项阶段, 科学界已有人开始称其为第四代同步辐射光源。为稳妥起见, 现将 SSRF 暂定为第三代半同步辐射光源。目前, 类似 SSRF 的装置仅有瑞士和法国等少数国家在设计。

4 SSRF 的应用

SSRF 的科学目的为: 生物大分子三维结构及其功能的研究; 活生物微结构全息成像和演变机理观测; 心、脑血管高清晰安全造影术; 高通量光子激发超微量分析; 新型材料精细结构显微分析和全息成像; 表面-介面显微分析和环境科学的“pump-probe”模拟实验; 超级集成电路 X 射线光刻产业开发; 微机械加工产业; 圆极化 X 射线及信息科学相关的研究与产业开发; 新药研究和产业开发; X 射线光化学及相关的产业开发等。

SSRF 具有安装五十多条光束线和上百个实验站的潜力(约四十个弯转磁铁和十个以上直线节)。按国际惯例, 一期工程往往是选建少量的光束线和实验站, 其余留待以后补建。SSRF 首批拟建 5~7 条光束线和若干相应的实验站。建站遵循以下原则: (1) 先进性, 为下世纪学科的发展(尤其是新兴学科、边缘学科和交叉学科)提供第一流的实验手段; (2) 现实性, 结合国内和上海的实际性情况, 对有特色的研究方向和重点发展领域将给予优先的考虑; (3) 社会性, 坚持面向经济建设主战场、服务于社会的科技方针, 有社会影响的和有可能形成高新技术产业的研究项

目将予以重点考虑. 初步拟定的首批建设的实验站和光束线如下: 扫描光电子显微学实验站、软 X 射线显微学实验站; 磁圆二色实验站、通用散射实验站(磁散射、非弹散射)、核共振实验站; 蛋白质晶体学站(空间、时间分辨)、通用(多功能)衍射实验站(高温、高压和电磁)、XAFS 实验站、医学实验站、荧光分析

实验站; 光刻与 LIGA 技术实验站.

SSRF 全部建成后, 在其几十条光束线和上百个实验站上, 每天可容纳数百名来自不同学科和领域的科学家和工程师同时开展前沿学科探索和高技术产业开发研究. 届时, SSRF 将成为全国乃至世界的多学科前沿研究中心和高技术产业的开发研究基地.

A New Generation Synchrotron Radiation Light Source and Its Application

Xu Hongjie

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The yesterday and today of synchrotron radiation, and the necessity for building a new generation synchrotron radiation light source in China are briefly introduced. The SSRF (Shanghai Synchrotron Radiation Facility) being designed would be one of the first classic synchrotron radiation light sources in the world when it is commissioned to use at beginning of next century.

Key Words new generation synchrotron radiation light source SSRF light beamline experimental station