

英国Daresbury同步辐射装置及单色仪

陈 星 旦

应用同步辐射进行光谱研究始于六十年代初，但那时都是利用现成的电子同步加速器。这种加速器是为高能物理实验设计的，只是附带用作同步辐射实验。七十年代以来，不少国家建造了一系列的贮存环，专为产生同步辐射，而不是为高能物理应用。最早之一是英国Daresbury的同步辐射专用贮存环(SRS)，也是目前国际上最大的同步辐射装置之一。

同步辐射的主要特点是它具有很宽波段的连续光谱，强度又大，特别是在真空紫外和X光谱区，为现有任何其他光源所不及。并加上它的偏振特性、准直性和脉冲时间结构等，使它在原子和分子物理、固体物理、生物、化学、医学等基础科学及超大规模集成电路光刻、辐射计量等工艺技术领域得到广泛应用。

由于同步辐射是一个连续光谱光源，对于大多数实验，都必须把它单色化。单色化的方法，取决于实验所需要的波长范围，从2000~300埃(5—40电子伏)，用正入射光栅单色仪；400—20埃(30—600电子伏)，用掠入射光栅单色仪。低于5埃，晶体单色仪能做到高分辨率和高效率。困难的区域是20—5埃，原则上可用光栅或晶体单色仪。由于用途的不同，虽然在相同波段，对单色仪的要求也不尽相同。例如，有的实验需要高分辨率，有的需要高光子通量或高亮度等。因此同步辐射用单色仪的设计，有各种各样的型式。

Daresbury 同步辐射装置(SRS)^[1-3]

1975年5月，英国科学研究委员会(SRC)，建议在Daresbury研究所建造一个2GeV电子贮存环，专用作同步辐射源，计划1979年底建成，用它取代5GeV电子同步加速器NINA。该同步加速器从1967年起用作高能物理实验，1972年兼作同步辐射使用。这样，NINA于1977年4月1日关闭，1978年拆除。这是因为NINA的运转费和维护费用太大。拆除后建筑物供建造新的贮存环使用，也不考虑用NINA作注入器，而重新建造了一个600兆电子伏的同步加速器作注入器，它再用一个15兆电子伏直线加速器注入。

弯转磁铁的磁场为1.2T，共十六块磁铁，每块长2.18米，贮存环平均直径30.5米，束流最大可达1A。从弯转磁铁出来的辐射的特征波长为3.9埃，安装两个5.0T的三极横向超导Wiggler后，最短可用波长可达0.1埃。贮存环真空度 10^{-9} 托，束流寿命可超过八小时，真空室用不锈钢制造。在正常情况下，贮存环以多束团方式工作，以得到最大总束流。但当需要作时间分辨测量时，也可以单束团方式工作。

贮存环共有十三个光束窗口，每个窗口发出的辐射再分成若干条光束线，供不同实验使用。光束线将分期兴建，1983年可有六至八条交付使用。最短光束线长25米，最长80米。1980年10月，最先两条光束线开始装配，一条真空紫外(VUV6)，一条X线(XR7)。目前，

VUV6 有两个实验站, 一个用于表面科学研究, 安装了光电子光谱设备, 光谱范围 50—300 埃, 另一个用于 SEXAFS 研究, 光谱范围 1.5—50 埃。XR7 也有两个实验站, 分别用作 EXAFS 和蛋白质结晶学研究。正在设计安装的光束窗口有大孔径窗口 (HA12), 第二个真空紫外窗口 (VUV3), 第二个 X 线窗口 (XR8), 红外窗口 (IR13) 和 Wiggler 窗口 (W9)。W9 所产生的 $\lambda < 1$ 埃的辐射将较 XR7 强两个数量级。

同步辐射用单色仪的设计^[4-6]

设计同步辐射用单色仪较之一般单色仪有许多特殊的考虑, 这主要是同步辐射较之一般光源有许多特殊性质所决定的。首先, 由于同步辐射具有一个很宽的连续谱, 因此消除二级或高级光谱就特别重要。可能有好几种消除二级光谱的方法: 第一是改变加速器能量, 使第二级不发射, 但当其他实验也在光路中进行的时候, 这是不允许的, 因此不是一种可行的办法。第二是用薄膜滤光片如铝或锡, 也有尝试使用气体池的, 这只适用于很窄的波段。第三是在单色仪设计时使它具有消除级次的功能, 对于一个特定的一级波长, 选择镜子或光栅(或两者)的入射角, 使得第一级被反射而第二级被介质吸收。为了减少杂光输出, 已建造双光栅单色仪, 由于结构复杂, 光通量损失大, 很少使用。

同步辐射在电子轨道平面内是高度线偏振的, 有许多原子、分子和固体物理实验需要高度偏振光, 使用恰当的反射系统, 可以保持甚至提高同步辐射的偏振性。就是说, 镜子和光栅的方向这样安排, 使辐射的 E 一向量垂直于入射平面。在某些情况下, 垂直色散可能不方便, 但在掠入射角度下, 可能既不使光通量损失过多, 又不引起明显的平面偏振度降低。

贮存环的真空度必须保持 10^{-9} — 10^{-10} 托, 这样的高真空使得单色仪变得复杂而昂贵, 所有的驱动部分都必须置于真空系统之外, 并尽可能简单。原则上, 光栅必须是原版的而不能是复制的; 光栅必须允许至少能烤到 100°C 或更高。若是用作原子或分子气体实验, 则必须加差分泵, 抽气速度必须大。SRS 单色仪用出射臂作为光栅与实验样品之间的差分泵级。

由于光源的强度大, 在光路中的光学元件要承受很强的辐照。在 SRS 垂直入射使用的许多镜子要接收到大约 2 千瓦的入射功率。当这样高的功率入射到光学元件上时, 一系列的问题将发生。镜子的有效曲率半径要改变, 镜子还可能出现局部损伤。在有些单色仪设计中没有入射狭缝, 这更要求镜子不热变形, 否则要引起分辨率降低和谱线位移。碳化硅镜子既可以加工成超光滑表面 (RMS 粗糙度 4—15 埃), 又可以受热不变形, 但目前还只能做成小样品, SRS 还没有正式使用这样材料。

SRS 光束线及单色仪^[7]

VUV3 这个窗口用于原子和分子气体实验, 安装两台正入射和一台掠入射单色仪。第一台正入射单色仪焦距 5 米, 超环面聚焦镜将辐射会聚在入射狭缝上。入射和出射狭缝臂夹角 10° 。光栅刻划面积 100 毫米 \times 100 毫米, 每毫米 1200 线。超环面镜 300 毫米 \times 40 毫米。当入射狭缝宽 0.1 毫米时, 分辨率 0.17 埃。另一台正入射单色仪为 Seya 型, 正在安装中。掠入射单色仪使用超环面光栅, 380 毫米 \times 40 毫米, 1500 线/毫米。当入射狭缝宽 0.2 毫米, 出射狭缝宽 0.1 毫米时, 分辨率 0.03 埃。

VUV6 这个窗口用于固体物理实验, 光束线压力保持 10^{-9} 托。有三台真空紫外单色仪。

一台为 Miyake 型平面光栅单色仪，用选择反射原理消除高级次，平面光栅置于聚焦镜前。这样，仅仅需要两个反射面。波长范围 50—400 埃 (30—250 电子伏)，分辨率受光源尺寸限制，优于 0.7 埃。这种单色仪曾在 Wisconsin 贮存环使用过一个时期，用于固体表面光电子的角分布实验，SRS 也用于相同的工作。另一台单色仪为光栅—晶体单色仪，波长范围 10—100 埃；再一台为改进的 Wadsworth 型正入射单色仪。

XR7 光束线长 80 米，这样可得到大的光束截面，用于 X 线形貌学实验。同步辐射通过 Be 窗，水平孔径起始 4 *mrad* 用作蛋白质结晶学实验；中央 10 *mrad* 用作小角度或大角度散射、形貌学和 X 线干涉学实验；最后 4 *mrad* 在较长波长用作 EXAFS 实验。

IR13 红外窗口设计为孔径 100 *mrad* × 50 *mrad*。为得到这样大的孔径，将镜子置于离电子轨道切点只有 1.5 米的地方。为了避免损伤镜子，将光束一分为二，让 X 线通过中心部份。这部份中心光束可以留作 X 线实验室用。

HA12 用作需要高光通量的寿命实验，孔径为 7 *mrad* (垂直) × 40 *mrad* (水平)。

参 考 文 献

- [1] V. P. Suller, D. J. Thompson, Nuclear Instruments and Methods, 1978, 152, 1.
- [2] D. J. Thompson, Nuclear Instruments and Methods 1980, 177, 27.
- [3] "Daresbury 1980".
- [4] J. B. West et al., J. Phys. E: Sci. Instrum. 1974, 7, 137.
- [5] M. R. Howells et al., J. Phys. E: Sci. Instrum., 1978, 11 199.
- [6] K. Codling, Nuclear Instruments and Methods, 1980, 172, 107.
- [7] K. Codling, Nuclear Instruments and Methods, 1980, 172, 137.