

从92年1月25日-2月16日中国科学院同步辐射考察组,在刘乃泉团长带领下美国五大同步辐射实验室进行了为期三周的考察,所到之处受到美方热情接待,参观并座谈讨论,收获很大。我方代表团在访问中也向美方各实验室分别介绍了中国同步辐射装置的建造及运行情况,得到对方好评,从而加强了互相了解,并为今后扩大联系和交流起到了很好的作用。

(一) 美国同步辐射发展概况及趋势

美国是世界上最早应用同步辐射进行科学实验的国家之一。世界上第一台用作同步辐射的电子储存环,就是 Wisconsin 大学的 Tanalus 环,电子能量 240 MeV,它于 1965 年开始建造,1968 年起投入运行,直到 1986 年退役。但作为“历史文物”它仍保存在原先的位置,并处于随时可以启动状态。

目前美国正在运行的同步辐射实验室有 5 座,它们分别属于第一代和第二代的光源。另有 2 座第三代光源正在建造,将分别于今年、及 1995 年后可望投入运行(见下表)。

1. Stanford Synchrotron Radiation Laboratory (SSRL)

SSRL 建于 1973 年,是一台 4GeV 的正负电子对撞机,用于进行高能物理实验,SSRL 座落在 Stanford Linear Accelerator Center (SLAC)。它作为寄生模式的同步辐射光源,于 1974 年投入运行,在 SR 的发展史上曾经起过重要的历史作用。它首先开发了同步辐射科学实验的早期工作,探索并发展了产生和利用同步辐射的新方法。70 年代末和 80 年代初又是最早开发新型插入件 Wiggler 和 Undulator 光源的先驱者。

SSRL 早期是由美国国家科学基金委给的资助,从 1982 年开始改由能源部资助。SSRL 在 1990 年以前每年平均只有 3.5 月的专用运行时间,从 1991 年以来,由于中国 BEPC 在高能粒子物理实验方面的成功,使在 SPEAR 的粒子物理工作有可能移到北京来进行,从而使 SPEAR 成为一台同步辐射专用环。目前他们已经配备了--台 50MeV 的直线加速器和 3 GeV 的 Booster 作为 SPEAR 的注入器,而成为一套自成系统的 SR 专用光源。由于受运行经费限制,全年运行 6 个月,今后可能增加到 9 个月。SPEAR 的运行参数为:能量为 3.0—3.5GeV,流强 80—100 mA,4—20 束团,目前它有 9 个前端区,24 个实验站,其中 15 个做 X-ray 的实验,9 个属于 VUV。研究的重点和主攻方向有:Laue 晶体学,在线薄膜结构分析,快速 EXAFS;圆偏振辐射磁性薄膜的研究;反常 X-ray 散射;光电子显微等。属于束线运行及用户支持的研究人员约 20 人。总体如图 1 所示。

2. Cornell High Energy Synchrotron Source (CHESS)

CHESS 从 1980 年起投入运行,这是目前在美国能量最硬的同步辐射光源,也是一台正负电子对撞机,通常运行在 5.3—5.6GeV,专用运行时可达 8GeV,工

前他们已经配备了--台 50MeV 的直线加速器和 3 GeV 的 Booster 作为 SPEAR 的注入器,而成为一套自成系统的 SR 专用光源。由于受运行经费限制,全年运行 6 个月,今后可能增加到 9 个月。SPEAR 的运行参数为:能量为 3.0—3.5GeV,流强 80—100 mA,4—20 束团,目前它有 9 个前端区,24 个实验站,其中 15 个做 X-ray 的实验,9 个属于 VUV。研究的重点和主攻方向有:Laue 晶体学,在线薄膜结构分析,快速 EXAFS;圆偏振辐射磁性薄膜的研究;反常 X-ray 散射;光电子显微等。属于束线运行及用户支持的研究人员约 20 人。总体如图 1 所示。

2. Cornell High Energy Synchrotron Source (CHESS)

CHESS 从 1980 年起投入运行,这是目前在美国能量最硬的同步辐射光源,也是一台正负电子对撞机,通常运行在 5.3—5.6GeV,专用运行时可达 8GeV,工

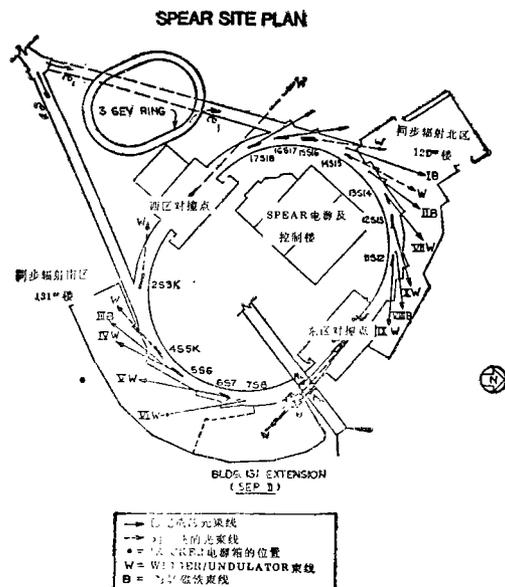


图 1 Stanford 同步辐射实验室平面布置图

作电流 100mA。由于对撞物理的要求,当流强下降到 40mA 时即打掉,然后再注入到 100mA。经常维持在高流强情况下工作。束团数: 7,束团长度 160Ps。这是一台兼用的同步辐射光源。同步辐射实验室分为东、西两个大厅,西厅以 e⁻为光源,它包括 3 个前端区、6 条光束线;东厅以 e⁺为光源,它包括 2 个前端区、5 条光束线。他们的研究方向主要在硬 X 波段的物理工作,例如:蛋白晶体学;高能晶体学;高压粉末衍射;核共振散射;驻波物理;反常散射等。实验运行人员共 17 人。总体布置如图 2 所示。

3. National Synchrotron Light Source (NSLS)

NSLS 是美国最大的专用的同步辐射光源,它受

美国主要同步辐射光源一览表

	第一代同步光源		第二代同步光源			第三代同步光源	
	74	80	82	84	85	93	96
1.运行年代							
2.实验室	SSRL	CHESS	BNL	BNL	SRC	LBL	ANL
3.地点	Stanford	Madison	Longisland	Longisland	Wisconsin	Berkley	Argonne
4.储存环	SPEAR	CESR	NSLS(VUV)	NSLS(X-ring)	ALADDIN	ALS	APS
5.能量(GeV)	3-3.5	4.7-5.5	0.75	2.5	0.8-1.0	1.5	7
6.流强(mA)	80-100	100	1000	250	200	400	100
7.亮度 P/ S.mrad. 0.1%BW	$5 \times 10^{13}(B)$	$2.5 \times 10^{14}(W)$	$1.0 \times 10^{13}(B)$	$5 \times 10^{14}(U)$ $1.3 \times 10^{13}(B)$	$3 \times 10^{14}(B)$	$2 \times 10^{13}(U)$	$10^{13} \sim 10^{19}(U)$
8.发射度 (nm-rad)	110		150/0.3	100/1	300/4	10/1	10/1
9.临界能量 (KeV)		11	0.48	5	0.54-1.06	3.1(W)	32.6(W)
10.光束线数	9(FE)	11	15(FE)	29(FE)	26	58(FE)	36(直线)+ 40(弯铁)
11.实验站	24	11	30	55		12(第一期工程)	32(FE)(一期)
12.特点	最早投入使用,最早使用插入件	目前最硬的X光源	目前最大的综合性的同步辐射光源		最早利用SR进行科学试验的实验室	将是世界上最亮的软X光源	将是世界上最亮的硬X光源
13.研究重点	薄膜结构,心血管X成像,磁性薄膜,反常散射,laue晶体学	蛋白晶体学,高能晶体学,高压粉末衍射注波物理,反常散射,硬X反射光学	光刻、超导原子分子物理核物理,光发射表面物理, X显微术		软X光刻, X-显微, 高分辨率吸收, 反射谱学	原子分子物理, 化学动力学, 表面介面物理, X光学成像, 材料科学, 生命科学	* **

*. 笔者未曾去 APS 考察, 但为完整起见把 APS 有关参数也列出此表.

** APS 的平面布置见图 6.

美国能源部资助, 位于纽约市东面 96 公里的长岛的 Brookhaven 国家实验室内. NSLS 包括两个专用的电子储存环. 它于 1978 年开始建造, 1982 年 VUV 环投入运行, 1984 年 X 环投入运行, 真空紫外环 (VUV) 运行能量 750MeV, 流强 800mA; 临界能量 0.48keV; 17 个前端; X 环运行能量 2.5GeV, 流强 200mA, 临界能量 5keV 有 30 个前端, 目前共有 85 条光束线. 两个储存环共用一套注入系统: 85MeV 的直线注入器和 750MeV 的 Booster. NSLS 是第二代的专用光源: 它的研究课题涉及面极宽, 包括: 原子+分子物理; 能量色散衍射物理; 光刻与显微; 核物理; 光发射显微物理; X-ray 成像; 心血管造影; 晶体学; 荧光; 散射……等. 总布置如图 3 所示.

4. Synchrotron Radiation Center (SRC)

这是美国最早利用同步辐射光源进行科学研究的实验室. 1968 年世界上第一座用作同步辐射光源的电子储存环 Tentalus 就是座落在这里. 1977 年开始建造 1GeV 的电子储存环 Aladdin 作为专用同步辐射光源, 并于 1985 年投入运行, 流强 200mA, 全年运行 42 周, 约 4500hr/年. 以 1991 年为例, 其中 2000hr 用于软 X 光刻的研究, 另外 2500hr 为其他用户研究, 机器可靠性达 96.5%, 是一台利用效率很高的同步辐射装置. 目前已有 26 条光束线投入运行. 从机时分配可以看出 SRC 的研究重点为: 软 X 光刻, 以及 X-显微术, 高温超导等. 整个实验装置包括储存环的运行人员在内, 共 46 人. 总体布置如图 4 所示.

5. Advance Light Source (ALS)

ALS 是第三代同步辐射专用光源, 建于 California

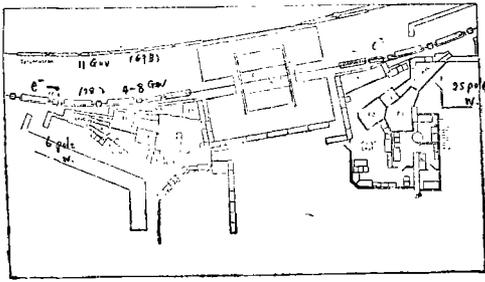


图2 Cornell 高能同步辐射光源平面图

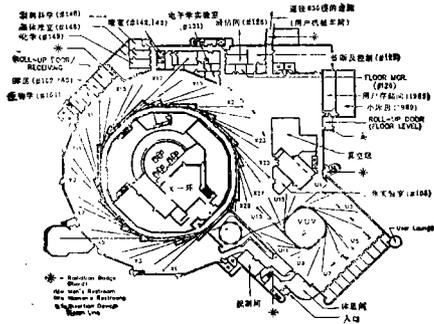


图3 美国国家同步辐射光源平面图

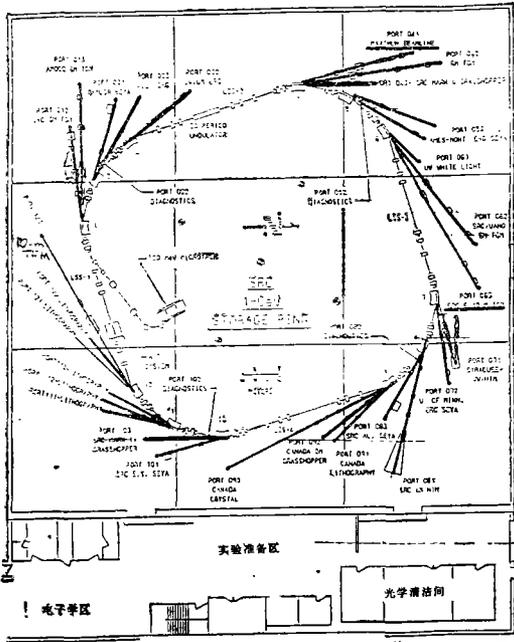


图4 Wisconsin 同步辐射中心 (SRC) 平面图

大学 Berkeley 分校的 Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), 它受美国能源部资助, 投资 \$99.5M。该装置计划于今年 4 月完成。

ALS 包括 50MeV 的直线加速器, 1Hz 1.5GeV 的 Booster 以及电子储存环。电子能量可在 1.0—1.9

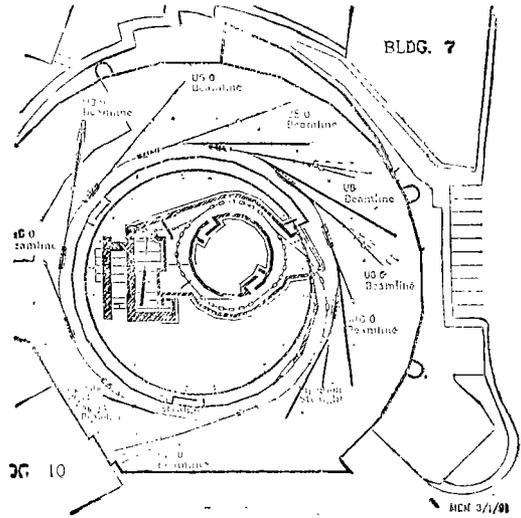


图5 ALS 的平面布置图

GeV 范围内变化, 能量为 1.5GeV 时有最优的性能。ALS 具有 10 个可用于插入件设计的 (4.5 米) 长直线节。24 个高质量的弯转磁铁前端口。最大电流 400 mA。束团宽度 35ps, 最大束团数 250。

ALS 建成后在软 X 波段, 其亮度将比目前世界上最亮的 X1(NSLS) 还要高一个数量级, 它将在材料科学、生物应用、以及原子物理、化学等研究领域开辟一个新的研究方向。具体的科学目标有: 化学动力学; 原子分子物理学; 时间分辨; 表面及界面物理; X 成像; X 光学、生命科学、偏振科学、自旋态与物质相互作用等。总布置如图 5 所示。

(二) 几项专题的调研

在参观访问中就几个关心的专题与有关同行进行了详细的讨论。这对我们目前的工作及今后将遇到的问题都有重要的参考价值。

1. 核共振散射

核共振散射的研究可以将 X 射线的能带宽度从通常的 1eV 改进到 $10^{-7} \sim 10^{-9} \text{eV}$ 。从而可以将同步辐射的研究推进到超精细结构的领域, 这无疑具有重大的开拓意义。然而人们对其困难和可行性具有不同的看法。

考察了 SSRL, NSLS, CHESS 的核共振实验站, 并与有关专家 S. Ruby, J. Authur, P. Siddons 等人进行了仔细的讨论。

目前世界上利用同步辐射进行核共振散射实验的研究所有 6 家: 美国的 SSRL; NSLS 及 CHESS; 德国的 BESSY 以及日本的 PF, AR。今后几年内, 随着第三代光源 ESRF 及 APS (图 6) 的建成, 核共振散射的研究水平将推进到一个新台阶, 竞争是很激烈的。

(待续)