

# 3W1 永磁多极 Wiggler 的辐射特性

唐鄂生 黄宇营 吴应荣 伊福廷

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

**摘要** 给出了北京正负电子对撞机(BEPC)同步辐射新组装的3W1 Wiggler束斑强度分布及光子束流的测量结果,并与理论计算作了比较,两者得出了一致的结果.

**关键词** 同步辐射 Wiggler 辐射特性

## 1 引言

插入件的引入使同步辐射的辐射特性在能区、强度及偏振特性等方面都有很大的提高,因而也是第三代同步辐射装置重要的发展方向. 3W1是BEPC上新组装的永磁多极Wiggler,目前,该插入件运行的基本参数为:周期数5,周期长度30cm,磁极间隙4.3cm,磁场强度1.43T,临界能量4.6keV,偏转系数40.

BEPC“八五”改进项目中,新建的3W1已于1996年11月7日首次调试出光,高亮度的同步辐射打在靶站的荧光屏上,发出耀眼的光斑. 经多次实验测定和数据核实,并与理论数据比较,两者的功率在2%的范围内完全一致. 显示了该光源已达到原定设计目标.

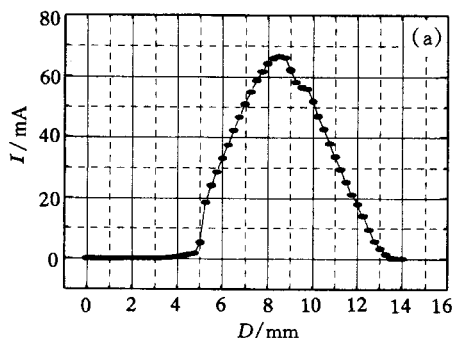
3W1的测试包括:实验站束斑的强度分布;光子束流的绝对标定.

## 2 实验站的束斑分析

光束进入前端后,经水冷Mask分束器,光束被分成A、B两条束线. A束(水平接收角1mrad)为白光束线,B束(水平接收角1mrad)为单色聚焦软X光束线. 束线A上设计有金属靶屏及单丝垂直位置监测器BPM等探测器,用以观测束斑的传递. 1996年11月7日首先在靶屏见到明亮的同步光,随即在单丝BPM上测到光束强度定量的垂直分布,最后在Hutch内束线A的末端,A1窗出口处的荧光靶上看到明亮的同步辐射光斑.

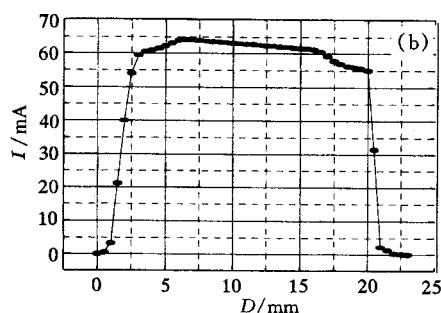
用充Xe电离室,微束光栏( $\phi 0.3\text{mm}$ )及扫描平台,对束线A靶室内的束斑进行了仔细的测试. 图1(a)及(b)显示了束斑的垂直及水平方向的光强分布. 先作垂直扫描找到束斑最强点,然后作水平方向扫描. 在15mm范围内,水平方向光强分布的不均匀性在

$\pm 4\%$  以内(未作 wiggler 水平束流强度及能谱角分布的变化引起的修正).



(a) 束线A末端样品台上监测到的光强的垂直分布

$I$ 为电离室输出的弱电流,  $D$ 为电离室扫描的范围



(b) 束线A末端样品台上监测到的光强的水平分布

$I$ 为电离室输出的弱电流,  $D$ 为电离室扫描的范围

图 1

### 3 辐射功率的绝对标定

#### 3.1 辐射功率

辐射功率的测定在 3W1A 束线的末端进行. 选用充 Xe 平行板电离室作为标定的探测器, 该电离室的基本参数为: 极间距离 10mm, 电离室厚度 100mm, 入射小孔  $\phi 0.3$ mm, 外层铅屏蔽厚度 2mm. 为了避免电离室在强辐照下引起收集效率的过度下降, 选用了 5.1mm 的纯 Al 片作为吸收片, 束线上 Be 窗及 Al 窗的厚度分别为 250 $\mu$ m 和 200 $\mu$ m.

单位储存环电子流强的束斑功率  $P$  可由下式算出:

$$P = i \cdot E_{\text{Xe}} \cdot \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{I_c}, \quad (1)$$

式中,  $i$  为实验测得的信号电流;  $E_{\text{Xe}}$  为 Xe 原子的平均电离能,  $E_{\text{Xe}} = 20.8\text{eV}^{[1]}$ ;  $I_c$  为实验当时储存环的电子流强, 不考虑到流强随时间的下降, 其不确定度  $\leq 5\%$ ;  $T$  为电离室对同步光的吸收系数;  $f$  为电离室的复合系数.

#### 3.2 吸收系数 $T$

来自 3W1 的同步辐射经 Al 片吸收后, 进入电离室, 部分光子被吸收, 部分光子穿透电离室而泄漏出去. 用 TRANSMIT 程序模拟结果表明, 进入电离室的同步辐射总功率密度为  $99.0 \times 10^{-3} \text{W} / \text{cm}^2$ ; 透过电离室的总功率密度为  $47.8 \times 10^{-3} \text{W} / \text{cm}^2$ ; 电离室的吸收系数  $T$  为 51.7%.

#### 3.3 复合系数 $f$

进入电离室的光子束, 在引起 Xe 分子电离的同时, 电离后的离子又可能会重新复合, 在电离密度极大的情况下, 一般复合现象就会相当严重, 从而使收集效率  $f$  下降. 此处定义收集效率或复合系数  $f = i / i_0$ ,  $i$  为实验测得的信号电流,  $i_0$  为理想的饱和电流.

根据理论分析<sup>[2]</sup>:

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{i_0} + \frac{C}{V^2}, \quad (2)$$

式中,  $C$  为常数;  $V$  为电离室极间偏压, 当  $V \rightarrow \infty$  时,  $i = i_0$ , 因而可以用外推的方法求出  $i_0$ .

实验上将电离室的工作偏压由 200V 升至 600V, 得到的  $1/i$  与  $C/V^2$  的关系曲线如图 2 所示. 由此外推得到  $i_0 = 400\text{nA}$ , 其不确定度约 10%. 在 1996 年 11 月 7 日的实验中  $i = 69\text{nA}$ ,  $I_e = 8.9\text{mA}$ , 即复合效率  $f = 69 / 400 = 0.17$ , 将以上数据代入公式 (1), 得到

$$P = (1.82 \pm 0.10) \times 10^{-6} \text{W} / \text{mA}.$$

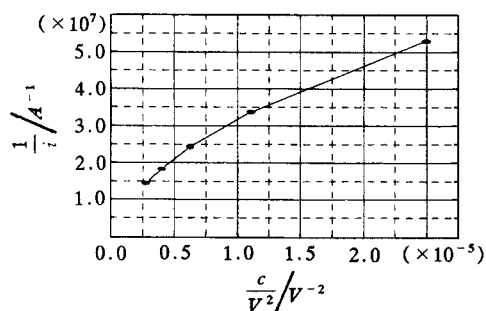


图2  $1/i$  和  $C/V^2$  关系曲线

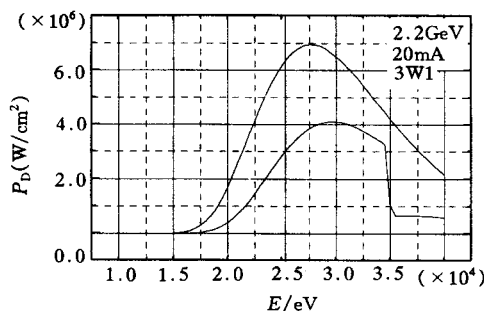


图3 能谱图

上曲线为透过 Al 片, 下曲线为透过 Al 片和 Xe 气,

$P_D$  为辐射功率密度,  $E$  为光子能量

### 3.4 辐射功率的理论模拟

SHADOW 是国际上普遍使用的同步辐射模拟分析的大型程序. TRANSMIT 是其中的一个子程序, 专用于分析光子通量在介质中的传输. 模拟计算中, 为了更接近实验条件, 假设  $E_c = 2.2\text{GeV}$ ,  $B = 1.43\text{T}$ , 10 极 wiggler  $I_e = 20\text{mA}$ , 水平及垂直接收角均取为  $0.02\text{mrad}$ . 计算表明, 穿透  $5.3\text{mm}$  Al 吸收片 (含  $200\mu\text{m}$  的 Al 窗) 后, 单位贮存环电流条件下电离室的吸收功率为:  $P = 1.79 \times 10^{-6} \text{W} / \text{mA}$ . 能谱见图 3. 实测辐射功率与计算的结果相对偏差为 1.7%, 由此可见实验数据与理论值在 2% 范围内完全一致, 也说明 3W1 光子通量确已达到原设计指标.

## 4 实验能力的拓宽

3W1 光强的提高极大地拓宽了实验能力, 使过去不能进行的实验如今成为可能.

### 4.1 深度光刻

深度光刻工艺是三维微结构制造的关键技术. 过去用 3B1 亚微米光刻专用束线进行深度光刻, 由于它的能区太软, 强度太弱而极大的限制了深度光刻的发展. 例如, 在 3B1 上辐照  $40\mu\text{m}$  深的光刻胶, 需要 8—10 小时, 而且效果

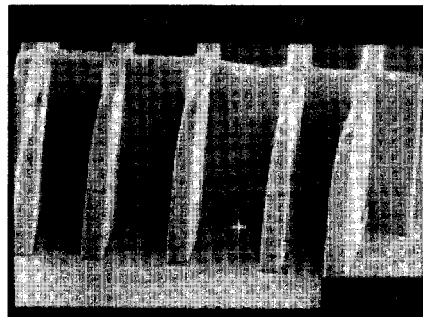


图4 深度光刻胶照片

很差甚至有时底层胶模难以清除。而在 3W1, 在 BEPC 低流强为 20mA 条件下, 700 $\mu\text{m}$ 厚的胶层只用了 30 分钟(见图 4)。照片表明图形侧壁陡直, 底层清晰, 高宽比分别为 8 和 14。这不仅极大地提高了曝光效率, 而更重要的是为深度光刻工艺的开展创造了良好的条件。这是目前国内唯一的可以进行 LIGA(光刻、电铸和塑铸)技术研究的实验光源。

#### 4.2 微束荧光分析

微束荧光分析实验站在生物细胞, 地矿石油, 医学诊断等方面都做过许多工作。过去由于光强限制, 微束限于 50 $\mu\text{m}$   $\times$  50 $\mu\text{m}$ , 使更细致的分辨失去可能。在 3W1, 由于光强的提高, 在微束扫描光斑减小到 10 $\mu\text{m}$   $\times$  10 $\mu\text{m}$ 的情况下, 仍然达到过去同样的相对浓度 $\mu\text{g} / \text{g}$ 级的检测限, 表明微探针荧光分析上了一个新台阶。

笔者感谢阎永廉对本工作的全面支持和帮助。衷心感谢储存环、前端、真空保护和安全联锁等方面的同志, 是他们提供了很好的束流以及有关设备的安装和调试。

#### 参 考 文 献

- [1] Douglas Vaughan, X-Ray Data Booklet, Lawrence Berkeley Laboratory, 1986
- [2] Attix Frank H, Roesch William C. Radiation Dosimetry. Vol. II Instrumentation. New York and London: Academic Press, 1966. 11—13

### Radiation Character of 3W1 Permanent Magnet Multipole Wiggler

Tang Esheng    Huang Yuying    Wu Yingrong    Yi Futing

(*Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*)

**Abstract** The beam intensity and its distribution from the new installed 3W1 Wiggler at Beijing Synchrotron Radiation Facility of BEPC were measured. The experimental results quite consist with the theoretical calculation.

**Key words** synchrotron radiation, Wiggler, radiation character