

可变椭圆极化波荡器 EPU10.0 的传动控制

张继东¹, 周巧根¹, 张红辉², 欧阳联华¹, 李宇¹

(1. 中国科学院 上海应用物理研究所, 上海 201800; 2. 上海克林技术开发有限公司, 上海 200240)

摘要:可变椭圆极化波荡器 EPU10.0 是一种可产生多种极化模式相干太赫兹辐射的波荡器。EPU10.0 的主要特点是波荡器内的磁块分上下各两排, 上下气隙固定, 一对对角线永磁块排列固定, 另一对可独立做纵向移动, 移动重复定位精度小于 0.01 mm。对该波荡器的磁测结果显示: 在水平线极化和圆极化模式下, 磁场的两个横向分量的一、二积分分别为 0.012 T·cm 和 0.7 T·cm², 达到了设计指标。

关键词:波荡器; 传动控制; 磁场测量

中图分类号: TL503.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2006)05-0602-03

Phase Driving System for Variable Elliptically Polarized Undulator EPU10.0

ZHANG Ji-dong¹, ZHOU Qiao-gen¹, ZHANG Hong-hui², OUYANG Lian-hua¹, LI Yu¹

(1. Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China;

2. Shanghai Kelin Co. Ltd, Shanghai 200240, China)

Abstract: A new type of coherent THz light source is being built in Shanghai Institute of Applied Physics. It will use the femto-second electron beam passing through a variable elliptically polarized undulator to produce the high bright THz radiation with various linear, elliptical or circular polarization. The gap-fixed variable elliptically polarized undulator EPU10.0 was built and its magnetic fields were measured and optimized. The details of the EPU10.0 control and magnetic measurement is presented in the paper.

Key words: undulator; control; magnetic measurement

中国科学院上海应用物理研究所正在研制的相干太赫兹辐射装置是一台利用飞秒电子束团通过可变椭圆极化波荡器产生高亮度水平/垂直线极化光或各种椭圆极化光的强相干太赫兹辐射光源的装置。目前, 该装置的关键设备之一——可变椭圆极化波荡器 EPU10.0 已研制完成^[1]。该波荡器采用螺旋型插入件, 它不

仅能提供高亮度的水平/垂直线极化、正负螺旋圆极化以及任意的中间状态椭圆极化光, 而且极化状态连续可调, 适应范围极其广泛。

1 EPU10.0 结构及其主要参数

EPU10.0 由 4 排钕铁硼永磁块、整体支架、活动大梁、固定大梁、导轨、滚珠螺杆和伺服

电机等部件构成。其中,里面的4个标准纯永磁“Halbach-Type”磁排列分布在电子轨道的上、下方,组成两对平行的永磁块排列,一对对角线永磁块排列固定,另一对可独立做纵向移动(或称相移),从而产生不同的磁场分布,以满足各种极化模式的要求。当相移动为零时,将产生水平线级化辐射;当相移为半周期长时,将产生垂直线极化辐射;当相移介于零和半周期之间时,可得到各种右旋或左旋椭圆极化辐射。

EPU10.0的主要参数如下:插件类型为APPLE_2;周期长度10.0 cm;周期数为5;插件总长1 m;插件横梁为1 m;上两排和下两排的间隙为36 mm;上面两排之间和下面两排之间的间隙为1 mm;包括端部磁铁在内的每排磁化块总长为566.14 mm;磁化块纵向移动 ± 60 mm;磁化块纵向移动频率(右-左-右)0.5 Hz;最大纵向移动重复定位精度为0.01 mm;水平线极化模式下峰值场强 B_y 为0.35 T;垂直线极化模式下峰值场强 B_x 为0.59 T;每排磁化块所受到的纵向最大力为1.96 kN。

2 磁结构与传动机构的接口

EPU10.0内的伺服电机通过KTR联轴器与精密滚珠螺杆相连,滚珠螺杆上的滑块又与活动大梁基座相连,从而实现磁极纵向往返运动。用伺服电机内的旋转编码器闭环反馈移动的位置,用光栅尺直接测量活动大梁移动的真实距离。用光缝定位移动的起始点,并设置双重限位开关保护及机械限位保护。

通过每排磁化块所受到的纵向最大力,可计算出螺杆的直径和驱动力矩。螺杆选择初始条件如下:精密螺杆工作长度为280 mm;螺旋副使用寿命为15 000 h;螺杆平均工作载荷为2 000 N;螺杆一端固定,一端自由;螺杆两支撑间最大距离为280 mm。

螺杆计算结果如下:计算载荷,2 860 N;计算动载荷,34 767 N;计算静载荷,2 200 N;公称直径,32 mm;螺距,6 mm;驱动力矩,3.001 9 N·m。本工作选用直径为32 mm的滚珠螺杆,其固定方式采用主动端固定,另一端自由,使得轴向力全部转移到轴承座,再引到整体支架上。系统的重复精度反映到丝杆滚珠螺母的间隙上,调整螺母间隙以获得满意的精度要求。

3 伺服电机

根据以上计算,选择松下MDM系列1 kW伺服电机。该电机额定力矩4.8 N·m,最大力矩14.4 N·m。按波荡器0.5 Hz移动 ± 60 mm的要求和螺杆螺距为6 mm的条件,算出电机转速为600 r/min。松下MDM系列伺服电机额定转速可达2 000 r/min,完全符合速度要求。伺服电机内的旋转编码器为每转2 500个脉冲,4倍频后送入驱动器反馈,得到电机的分辨率为0.6 μm 。这样,纵向移动重复定位精度则取决于螺杆的精度。另外,由于波荡器机械无锁定功能,而磁化块平时有吸力和斥力,所以,应选择带制动的伺服电机。

4 运动控制器

选择日本乐兹定位控制器RC-234A作为运动控制器。RC-234A可以脉冲串输出形式对伺服电机进行控制,1台控制器可同时控制2台电机。通过控制器的串口可与上位计算机接口通讯。图1所示为控制器、伺服电机驱动器和计算机之间的接口图。

5 控制计算机

上位控制计算机可在本地控制,也可通过串口扩展驱动与主控室的计算机接口。控制软件采用LabVIEW编写。图2所示为波荡器控制方框图。

6 光栅尺

磁极位置的读取采用两根国产分辨率为0.5 μm 的增量型光栅尺KA-500NC。它们各自安装在固定坚固的测量支撑块上,测量支撑块提供基准或参考系统。相对该基准,梁的运动被精确测量。测量支撑块的固定点应选在支柱受磁力影响小的部位。

7 限位开关

为限制纵向移动范围,在波荡器控制系统中,当纵向移动达到设定的最大和最小值时,计算机从光栅尺读数,伺服马达将自动停止。用微动开关实现二级保护(4个),用机械死挡块实现三级保护。

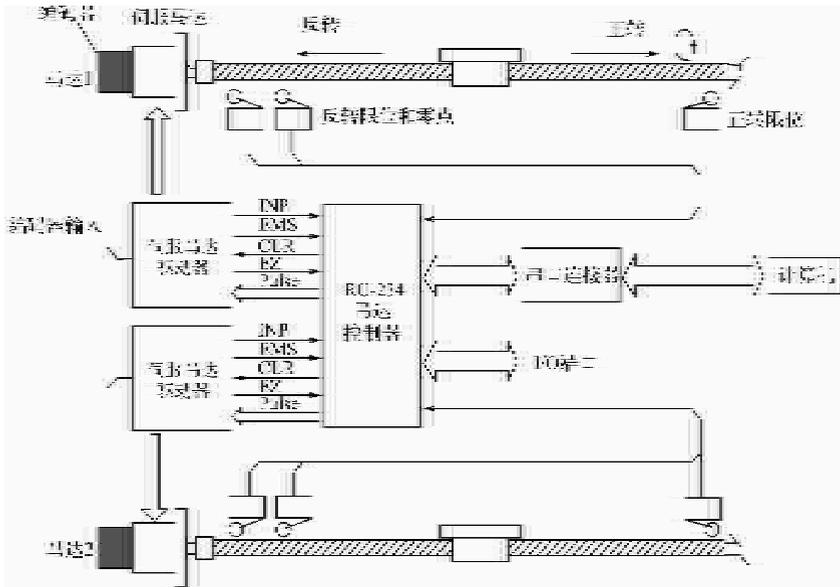


图 1 控制器、伺服电机驱动器和计算机间的接口

Fig. 1 EPU10.0 control system interface

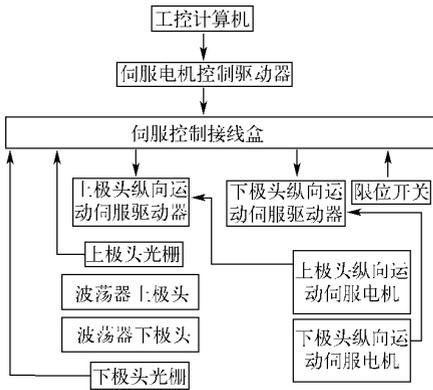


图 2 EPU10.0 控制方框图

Fig. 2 EPU10.0 control scheme

8 磁场测量结果

波荡器的磁场测量分永磁块的磁矩测量和整机的磁场测量。永磁块的磁矩测量主要是测量钕铁硼永磁块的主磁矩在 3 个方向的分量 M_z 、 M_x 和 M_y ，以作为编组的依据，达到各极 \bar{M}_z 均匀和降低误差场对束流的作用。在不同的极化模式下，EPU 有不同的磁场分布。在螺旋极化模式下，中心轴上的磁场有垂直方向分量 B_y 和水平方向分量 B_x ，在偏离轴线处，还有纵向分量 B_z 。EPU10.0 的场质量主要指标要求：在水平线极化和圆极化两种模式下，磁场的两个横向分量的一、二次积分均小于

$0.16 \text{ T} \cdot \text{cm}$ 和 $10 \text{ T} \cdot \text{cm}^2$ 。为保证一、二次场积分的测量精度，采用新西兰 Group3 公司精度达万分之一的 DTM141 高斯计和高精度三维点测量机来测量整机的一、二次场积分。通过对所用的 100 块永磁块的排列优化以及对端部永磁块横向位置的调整，使最终在水平线极化和圆极化两种模式下磁场的两个横向分量的一、二次积分均小于 $0.012 \text{ T} \cdot \text{cm}$ 和 $0.7 \text{ T} \cdot \text{cm}^2$ ，测量结果好于设计指标。

9 结论

通过调试和磁场测量显示，可变椭圆极化波荡器 EPU10.0 的传动控制和磁场分布均满足设计要求。如果采用光栅尺作直接位置反馈传感器，梁或辅助梁的变形后果以及滚珠丝杠、导轨系统引起的误差可以完全避免，即对滚珠丝杠的精度要求可以降低，且纵向移动重复定位精度可提高到 μm 量级，适合新一代光源对插入件的要求。

参考文献：

[1] ZHOU Q, ZHANG J, ZHANG H, et al. The design of a variable elliptically polarized undulator for the coherent THz light source[J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2004, 14(2): 1 343-1 345.