

用三坐标测量机调整掠入射光栅谱仪

何绍堂 陈 渊 淳于书泰 钟先信 兰 红

(西南核物理与化学研究所,成都 610003) (重庆大学,重庆 630064)

用三坐标测量机调整掠入射光栅谱仪是我们在研制掠入射光栅谱仪中采用的新方法。我们用这种方法研制了一台曲率半径为 1m 的光栅谱仪,在 2—32nm 波段范围内,谱线分辨达 0.005nm,与通常采用的用光源摄谱调整光栅谱仪的方法相比,节省了人力、物力,缩短了研制周期。

研制掠入射光栅谱仪的过程,一般分为:光路设计,机械设计和加工,机械安装,摄谱精调四步^[1]。其中摄谱精调是最困难和最关键的一步。摄谱精调要采用合适的 X 射线源,用谱仪来摄谱,根据获取的谱线的质量来调节谱仪元件(狭缝、光栅和记录胶片)的几何位置,使谱仪的指标达到设计要求。对掠入射光栅谱仪的研制来说,这是一件很难的事。首先要有适合谱仪诊断范围的 X 射线源,还要有配套的实验仪器和设备。在调整过程中,要做大量的实验和多次反复的调整,直至谱仪获取的谱线质量达到设计要求为止。

我们在研制掠入射光栅谱仪的过程中,没有采用传统的摄谱精调方法,而采用了三坐标测量机进行谱仪元件位置的精密机械调整,获得了满意的结果。结果表明,这种方法完全可以取代传统的摄谱精调方法,并大大节省了人力和物力,缩短了研制周期。

一、谱仪的技术指标

我们研制的掠入射光栅谱仪技术指标如下:光栅曲率半径 1m,光栅常数

$$d = \frac{1}{1200} \text{ mm},$$

波段范围 2—32nm,入射角 $\alpha = 88^\circ$,谱分辨 $< 0.01 \text{ nm}$ 。

二、谱仪的调整要求

图 1 是掠入射光栅谱仪结构和调整示意图。图 1 中 S 为狭缝,缝宽 0—100 μm 可调;G 为光栅,曲率半径 R 为 1m;F 为胶片定位架,也称罗兰导轨,它的曲率半径为 $R/2 = 0.5\text{m}$; α 为入射角, β 为衍射角。当 X 射线沿 α 角入射时,胶片上记录到的谱线服从光栅方程:

$$k\lambda = d(\sin \alpha - \sin \beta), \quad (1)$$

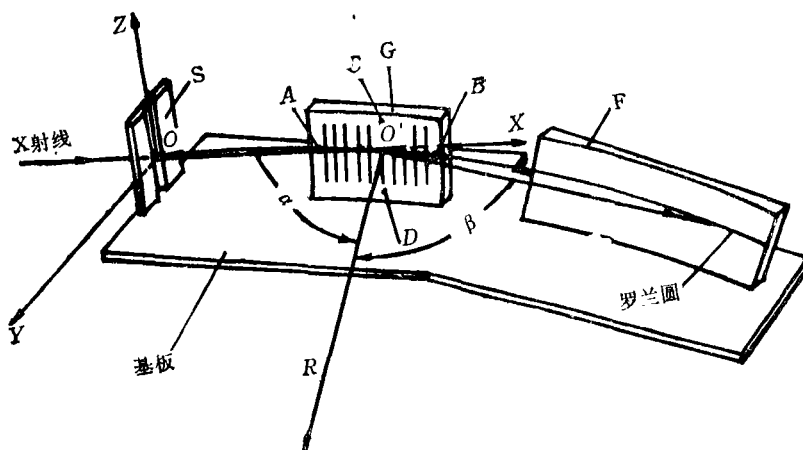


图 1 谱仪调整示意图

式中 k 为衍射级数, λ 为波长, d 为光栅常数。

调整要求:

1. 狭缝的中点 O , 光栅的顶点 O' 和胶片中心圆弧上任意一点均在以 $R = 1\text{m}$ 为直径的罗兰圆上; 2. 狭缝平行于光栅的刻划线, 并平行于胶片的凹圆柱面的母线; 3. 入射光线与光栅法线的夹角为 88° 。

调整过程中, 我们通过三坐标测量机来监视各元件之间的相对位置, 要求谱仪元件最后定位在三坐标测量机的测量误差范围内。

日本产 F 604 型三坐标测量机测量精度能满足我们的要求。它的同一坐标点重复测量误差 $\leq 1\mu\text{m}$, 变位置测量误差 $\leq \left(3 + \frac{l}{300}\right)\mu\text{m}$ 。

其中 l 为待测工件长度, 单位为 mm 。

三、装调方法

狭缝、光栅和胶片定位架(罗兰导轨)都安装在同一基准板上(见图 1)。先固定狭缝, 以狭缝为基准建立 XYZ 坐标系, 光栅和罗兰导轨按光路的尺寸要求在此坐标系中进行安装和调整。

光栅是由美国 Milton Roy 公司生产的, 毛坯尺寸为 $30 \times 25 \times 10\text{mm}^3$, 刻划区面积为 $20 \times 20\text{mm}^2$, 表面镀铂。由于三坐标测量机是用红宝石探头进行接触式测量, 所以不能直接

测量光栅的刻划区域。我们在刻划区域外选取图 1 中的 A, B, C, D 四点作为测量点。在以狭缝的中心 O 点建立的坐标系中, 预先计算好此四点的坐标值, 再通过调整光栅支架使此四点的三坐标的读数满足要求的值, 其偏差在三坐标测量机的误差范围之内, 光栅的位置便调整好了。

罗兰导轨的调整方法与光栅类似, 只是在罗兰导轨上可以取更多的测量点。

狭缝、光栅和罗兰导轨是光栅谱仪的主要部件, 此三者的几何位置调整好了, 其他元件进行一般的机械安装, 整个谱仪也就调整完毕。调整好谱仪后, 在可动部位粘胶定坐, 以防谱仪在使用过程中的变位, 影响谱仪的技术性能。

四、谱仪的性能

掠入射光栅谱仪的调整完成以后, 我们对它进行了性能测试, 并用它完成了多次 X 射线激光实验研究任务。在高功率激光装置上, 我们先后用此谱仪作为主要诊断设备, 完成了类铍铝的 10.57nm X 射线激光增益系数测量^[2] 和类氟锗的 $3S-3P$ X 射线激光五条跃迁线的增益系数测量^[3]。图 2 是激光加热线状锗靶获取的谱线的一部分。其中波长为 23.2nm 和 23.6nm 线是类氟锗 $3S-3P$ 激光跃迁线中最强的两条谱线。结果表明, 当谱仪狭缝宽度小于 $10\mu\text{m}$

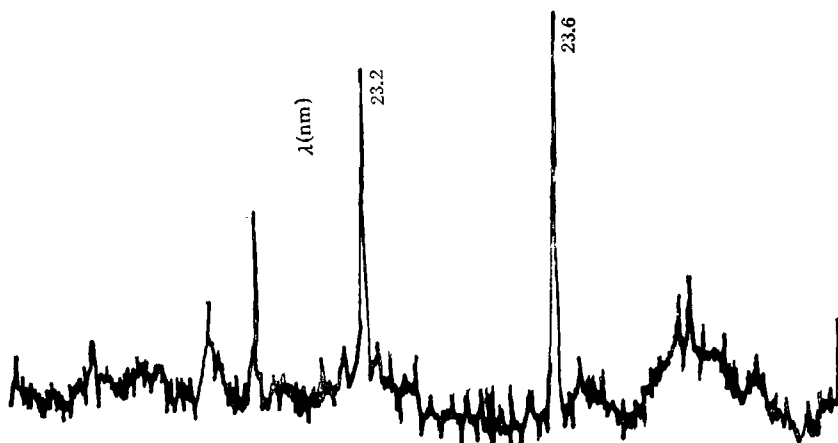


图 2 Ge 的 XUV 谱的微密度计痕迹

时,获得的谱线分辨为 0.005nm,超过了我们的设计指标 (0.01nm)。

我们采用三坐标测量机对掠入射光栅谱仪的元件的几何位置进行调整,研制了一台掠入射光栅谱仪,谱仪的能谱分辨达 0.005nm。从谱仪的设计方案考虑开始到投入实验使用,仅

用了不到一年的时间。这证明用三坐标测量机调整掠入射光栅谱仪是一种简便而可靠的方法。

- [1] 吴国安,光谱仪器设计,科学出版社,(1978),289.
- [2] 何绍堂等,强激光与粒子束,2-3(1990),291
- [3] 淳于书泰等,强激光与粒子束,2-3(1990),280.

RFQ 加速结构样机通过鉴定

北京大学技术物理系和重离子物理研究所承担的国家自然科学基金项目“整体分离环型高频四极场(RFQ)加速技术研究”在陈佳洱教授主持下,经过几年努力奋斗,取得重要阶段成果,成功地设计和研制出全尺寸 RFQ 加速腔高频结构样机,并完成了高频满功率试验。国家自然科学基金委员会组织专家组,于 1992 年 3 月 17 日对此成果进行了鉴定。

RFQ 加速结构是一种利用径向的高频电极场分量约束低能粒子束并用轴向电场分量加速粒子束的新型加速结构。1970 年,苏联科学家卡帕钦斯基(M. Kapchinskij)首先提出这种结构的设想。经过不断的试验和改进,苏联和美国先后做出试验样机。1980 年,美国洛斯阿拉莫斯国家实验室建成的第一台四翼型 RFQ 加速器,获得 26 mA 质子束流和 87% 高束流利用效率。它具有结构简单、体积小、使用方便等特点。

RFQ 结构中轴对称安放的四个电极间的高频电极场随时间交变,当粒子沿轴向运动时,时间交变场对它的径向作用表现为空间交变场,只要参数选得合适,这种径向作用将使粒子束聚焦。同时由于电极头沿轴向做成波浪形,使相对两电极间的间隙沿轴向周期性地调变,而且两组相对电极间的最大、最小间隙交替排列,以产生轴向电场分量,用于加速粒子。

由于 RFQ 结构把聚束、加速、横向匹配和聚焦集中于一个腔中,所以具有束流强度高(可达几百 mA)、品质好(规一化发射度 $\sim 10^{-1} \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$)和束流利用效率高(90%以上)等优点。它可直接加速由离子源引出的束流。国际上许多实验室已用 RFQ 加速器取代体积庞大的高压倍加器作为高能加速器的注入器。RFQ 加速器在重离子束物理及离子注入等技术应用方面也得到迅速发展。

北京大学加速器组在重离子分离环谐振腔研究的基础上,于 1984 年提出由四杆型电极取代漂浮管的整

体分离环型 RFQ 加速结构,从 1986 年起,该组连续得到国家自然科学基金资助,对 RFQ 加速结构进行了一系列研究,包括粒子动力学设计、腔的高频特性与几何参数的关系、工艺加工可行性等一系列理论、实验和工艺上的研究,完成了高功率腔的物理、工艺设计和加工,并研制出结构样机。

谢家麟、王淦昌、胡济民等九位专家一致认为:

1. 北京大学研究人员于 1984 年提出的“整体分离环型”RFQ 结构是一种很有特色的结构。在完成本项目过程中所进行的一系列试验和研究,充分证实了这种结构的可行性,它具有尺寸小、电稳定性好以及工作频率低、适宜加速重离子等优点。

2. 本项目设计并研制成功的高功率 RFQ 腔的主要高频性能指标包括:工作频率 $f_0 = 26 \text{ MHz}$, 品质因数 $Q = 1358$, 比分路电阻 $\rho = 204 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$, 极间电压 $V = 82 \text{ kV}$ 已达到国际同类结构的较先进的水平,特别是工作频率的可调范围(f 为 24—40 MHz)和脉冲条件下工作的负载因子(15—25%)都达到了国际的先进水平。

3. 本项目采用的水内冷和可拆换的“微扇”型器电极结构,设计思想新颖、工艺性能良好。

4. 经过本项目移植和改进的国际通用动力学计算程序 PARMTEQ, 不仅能方便可靠地在 PC 机上运行,而且具有计算迅速、图形功能强、人机对话方便等优点,可供推广使用。

RFQ 结构样机鉴定委员会认为:该课题组几年的研究填补了国内在 RFQ 加速技术上,特别是实验和工艺研究上的空白,为我国发展这类加速器技术提供了有益的经验和技术基础,建议有关部门能继续给予支持,使这种先进的加速器技术能在我国得到应用和发展。

(国家自然科学基金委员会
数理科学部 陈思育)