四、主要技术性能

1. 水中遥测距离 160m, 工作深度可达 80 m.

2. 心率测量范围 40-200 次/min,误差≤ ±5%,并设有高、低限报警.

3.水下发射部分特性:发射筒直径 80mm, 高 450mm,重 2.5kg,电池水下工作时间 3 小时,可重复充电.

五、现场试用

在潜水员使用 69-IV 型轻潜装具 情况下, 分别对 5m、8m 和 12m 潜水过程进行了监测, 在潜水员使用 HY-6071 型重潜装具情况下,曾



图 4 12m 潜水过程中心率的变化

对 32m 空气潜水和 80m 氦氧潜水过程进行 了 监测,均获得满意效果。

图 4 为深度为 12m 潜水过程中心率变化 情况,从图中可以看出,在潜水员下潜和返回水 面过程中心率上升,在水底停留时,心率趋于 平稳,当潜水员在水中游泳时,心率迅速升高.

六、结 语

我们研制的水下心率遥测系统,经现场应 用表明,能在湿式和干式两种情况下,实时监测 潜水员在水下作业时的心率变化,对潜水生理 研究和潜水医务保障有重要意义.水下生理遥 测工作在国内还刚开始,在小型化和多通道化 方面还有许多工作要做.

参考文献

- [1] AD 691897.
- i2] AD 776308.
- +3] Slater A., et al., *IEEE Trans.* on *BME*, **16**-2 (1969), 148-151.
- [4] Roger B., et al., *Bio-selemetry*, 1-1 (1974), 50-55.
- [5] AD 785477.
- [6] Kanwishor J., et al., Undersea Biomedical Research, 1-1 (1974), 99-102.

高分辨率 mm-波声光射电频谱仪

许炳活

裴立本

(上海硅酸盐研究所) (南京紫金山天文台) 1988 年 5 月 25 日收到

本文介绍高分辨率 mm-波声光射电频谱仪. 本频谱仪是利用大孔径"在轴型" TeO₂ 横波声光偏转器,接收器是采用1024 阵元光电二极管阵列以及微机处理系统. 本频谱仪的特点是其频谱分辨率和系统的稳定性比目前国外文献上发表的任何频谱仪高. 它的频率分辨率高达17.5kHz,带宽为12.3 MHz. 每小时漂移为 ±0.03 通道.

• 10 •

8卷3期

一、引 言

最近时期,在射电天文领域中重要发展之 一是已发现50多种宇宙分子。这些发现对研究 恒星的形成、演化及生命起源具有很深远的意 义. 在观测宇宙分子中, 近几年发展的声光射 电频谱分析技术优于传统的多通道滤波器组型 和自相干型频谱仪。声光射电频谱仪首先用于 观测太阳辐射的动态频谱。 Cole 等人利用自 扫描光电二极管阵列,很方便地把测量结果数 字化处理". 他们曾把水作为声光互作用介质 研制了分辨率为 20kHz, 带宽 1.5MHz 声光射 电频谱仪^[2]。但是由于系统的稳定性等问题未 能得到解决,没有在实际观测中应用。后来,日 本东京天文台 N. Kaifu 等人利用 TeO₂ 声光 偏转器研制成分辨率为 57kHz, 带宽为 10.4 MHz mm-波声光射电频谱仪¹³¹. 这以后很多 研究者的工作集中在提高系统的分辨率和稳定 性. 为了研制高分辨率声光射电频谱仪,首先 应研制高分辨率偏转器。上海硅酸盐所蒲之分 等同志用下降法研制的大尺寸 TeO2 晶体,提 供研制高分辨率声光偏转器的可能。云南天文 台王京生同志等利用上海硅酸盐所研制的"离 轴型" TeO2 偏转器在澳大利亚 CSIRO 研制 了 28kHz 分辨率 mm-波声光射电频谱仪^[4].但 是利用"离轴型"TeO2 偏转器,要进一步提高分 辨率是很困难的。1982年南京紫金山天文台决 定从美国引进13.7m 射电望远镜之后,我们开 始准备研制分辨率20kHz以下,稳定性±0.8%/ h的频谱仪,并将作为13.7m射电望远镜的终 端,能够观测宇宙谱线群的精细结构。我们研 制的频谱仪,主要特点是频率分辨率高,稳定性 好和灵敏度较高。下面将介绍声光射电频谱仪 的系统结构,高分辨率 TeO2 偏转器,系统的 频谱分辨率分析,系统噪声及工作参数确定等.

二、声光射电频谱仪的系统结构

目前的声光技术和光电接收器阵的发展, 应用声学

使研制一种新型射电频谱仪可成为现实15-61.声 光射电频谱仪原理已有很多著作阐述[1-3],是利 用声光的互作用: 从天线接收的 mm 波射电信 号,经变频输入到声光池的超声换能器。超声 波在介质中传播时,介质的折射率被调制,另 一方面,一束激光照明整个声光池孔径,其中一 部分光通过介质折射率的调制被超声波 衍射。 衍射光经 Fourier 变换,在其焦平面上呈现的 光学模拟图象将反映被测谱线的功率谱。图1 是 mm-波声光射电频谱仪示意图. 它由稳 功率 He-Ne 激光器、扩束器、TeO2 声光偏转器,傅 氏透镜,光电二极管阵列、A/D及68K 接口组 成,并通过 DR11-W 通信接口与 PDP11 计算 机相连. 其中 He-Ne 激光器的功率稳定度达 ±0.8%. 扩束器的空间滤波器小孔孔径为10 μ, 傳氏透镜焦距为 1.2m, 接收器是 Reticon RL1024H H/20 光电二极管阵列, 其相邻两个 阵元中心距离为15μ,间隔7μ,高度300μ,接 口采用 68K, 包括一块转换速率为 2 µs 的 A/D 板. 系统的积分时间为 30ms.

声光射电频谱仪的原理性实验是比较容易 做的,但是具有实用价值的频谱仪的研制是比 较困难的. 主要困难在于系统的稳定性. 特别 是高分辨率 mm-波声光射电频谱仪,由于其光 学孔径大,傅氏透镜焦距长,保证系统的稳定度 很困难,在我们系统中相邻二个二极管阵元对 应的光学张角只有 3",因此只要有系统的微动 就会引起"穿道现象"。mm-波声光射电频谱仪 观测对象是宇宙星际分子,它的信号往往比周 围的噪声弱得多,因此必须进行几小时甚至几 十小时积分,才能从强大噪声中把信号显示出 来。所以我们把大量工作放在解决系统的稳定 性方面。我们把激光器、声光偏转器,光学系统 以及光电二极管安装在一只隔震光具座上,以 此避免各部分之间相对震动。我们先用两种抗 震器,采用不同方法减震,最后在光具座的三个 支架上垫 3 只 RM-60-2H 日产橡皮抗震器. 整个系统放在屏蔽、恒温暗室里。同时 Reticon 的母板和阵板分开 (因为母板上有电源变换器 等发热元件),放入过渡箱内.把馈电电源也移

· 11 ·



图 1 mm-波声光射电频谱分析仪示意图

到暗室外。采用上述措施后,最后把系统的漂移可控制在每小时±0.03通道。

光电二极管和计算机之间接口是多路转换 系统.从光电二极管上输出的视频信号经A/D 转换后设置了两个独立的 32bit 缓冲存储器, 分别完成信号和背景累加,而后相减以恢复微 弱信号.我们在实验中用微机替代一些硬设备 功能;用 MC6800十六位单板机,配上小量逻辑 电路和十二位 A/D 转换器,组成 MC68K 接口. 它的优点是灵敏,可以联机工作,数据采样,累 加及控制等予以处理.

三、高分辨率 TeO2 声光偏转器

TeO₂ 横波声光偏转器按其工作模式可以 分为"在轴型"和"离轴型"^[7].其区别在于:"在 轴型"器件的声波沿[110]轴方向传播,光波沿 [001]轴方向入射. 这种器件的主要缺点是中 心频率处模式简并,出现 dip 效应."离轴型" 偏转器的特点是声波偏离[110]轴一定角度传 播,光波入射方向也跟[001]轴成一定夹角.这 时我们适当选择声波传播方向和[110]轴之间 角度,可以把"dip"区移到工作带宽以外。

我们在频谱仪系统设计时,把实际分辨率 指标定为优于 20kHz.因此声光器件的理论分 辨率必须在 10kHz 左右.它需要很大尺寸的 TeO₂ 晶体.对"在轴型"器件,其尺寸为: 60mm_[110] × 20mm_[001] × 10mm_[110].对"离轴型" 器件,其尺寸为: 60mm_[110] × 80mm_[001] × 10 mm_[110].这么大的 TeO₂ 晶体很难生长,而且 光学质量也不容易保证.相比之下,"在轴型" 可以做到 10kHz 分辨率器件,"离轴型"器件则 很难做到.同时"在轴型"器件成本可以明显降 低.

在器件的性能要求方面,"在轴型"器件是 可以满足高分辨率的要求。频谱仪对分辨率要 求很高,而系统的带宽受光电二极管阵列阵元 数的限制较窄,一般15MHz 左右。因此可以把 器件调制成单峰状而避开"dip"区使用,从而 得到比较平坦的频响。

对 TeO₂ 声光偏转器来说,声衰减是影响 提高分辨率的重要因素。我们用阴影法观察横 波沿 [110] 轴传播时声场分布和用小孔激光束 衍射法测量横截面上声场强度分布。在实验中

• 12 •

8 卷 3 期

发现,随着[110]轴方向尺寸的增加,声场的发 散很严重。并且声强峰值偏离[110]轴。另一 方面,声场的发散使由几片换能器发出的声波 之间互相叠加产生干涉。图 2a 是由 4 片换能 器串联驱动时声场分布情况。这时偏转器的频 响出现山峰状高低起伏。而如果采用单片或双 片换能器可以克服或改善声场分布(图 2b)。由 此而获得比较平坦的频响。最后我们研制成频 率分辨率为 10kHz、带宽 25MHz、效率 50% 的 "在轴型"偏转器。







图 2 声场分布图 (a) 4 片换能器串联驱动时声场分布; (b) 二片 换能器串联驱动时声场分布.

四、系统的频率分辨率分析

我们设计的 TeO₂ 偏转器其理论分辨率 为 10kHz. 但它在系统中由于一些加权因子而加 宽. 系统的加宽因子主要有衍射光主瓣变宽和 光电二极管阵的空间响应不均匀引起的分辨率 的降低。在声光互作用中,人射光强分布对分 辨率产生明显的影响. 均匀光束分辨率 最高, 但其衍射光斑的旁瓣电平高达-13.2dB. 如果

应用声学

我们采用截断高斯光束,可以降低旁瓣电平,取 截断比 $\rho = 1.5 (\rho = D/d_0, 其中 d_0 为 \frac{1}{e^2}$ 光强处 的宽度, D 为入射光孔径),则加宽因子为 R = 1.3.

目前使用的光电二极管阵列的空间响应是 不均匀的,另外,阵元间有 7µ间隔,由它接收到 的光束,其频率分辨率下降。相应的加宽因子 *B*,可以用光束的半宽度所包含的 阵元数*N*来 表示。我们取 *N* = 1.4,这时 *B* = 1.1.考虑到 上述加宽因子,系统的实际分辨率应为

$$df = df' R B, \qquad (1)$$

其中 df 是器件的理论分辨率. 在系统中 我 们 实际使用的偏转器孔径为 φ50mm,可得其理论 值为 12.3kHz. 故计算的系统分辨率为:

 $df = 12.3 \times 1.3 \times 1.1 = 17.6(kHz);$ 另一方面,我们用频率综合器 (Fluke 6160B) 送入单频信号,从接口打印机打印数据,按 衍射图形 FWHP 定义用高斯曲线拟合求得 df = 17.5kHz.这数据与上述分析相符合.本 系统的带宽是 12.3MHz (即第一个阵元相对应 的频率和第 1024 阵元对应的频率间隔).

五、系统噪声及有关工 作参数的确定

声光射电频谱仪的接收器会引入附加噪声。这些噪声的主要来源是光电二极管阵的散 粒效应噪声(光子起伏及其电子、空穴对产生、 复合起伏),暗电流噪声及量子化噪声等。

假设光电二极管的视频饱和输出经运行放 大后输出电压等于 A/D 转换器的满量程,并忽 略视频放大器以及跟随电路噪声,则声光射电 频谱仪的归一化噪声可表示如下

散粒效应噪声
$$N_s = \frac{Q/Q_s}{\sqrt{Q/2e}};$$
 (2)

量化噪声
$$N_q = \frac{l/2}{2^c} = 2^{-(c+l)};$$
 (3)

中频噪声
$$N_{IF} = \frac{Q_{IF}/Q_{IF}}{\sqrt{B\tau}}$$
 (4)

• 13 •

从光电二极管视频输出的总电荷 Q 为

 $Q = Q_{IF} + Q_d$, (5) 其中 Q_{IF} 是由中频信号产生的电荷, Q_d 是由二 极管阵元暗电流引起的电荷, Q_r 为光电二极管 输出的饱和电荷, I为 A/D 转换器的 bit 数, e为电子电荷, B 为每一阵元的带宽, r 为积分时 间.

Reticon RL1024H H/20 输出饱和电荷 Q, 为 2.2×10⁻¹²(C). 在室温 20℃ 时,暗电流 I_a 为 0.5×10⁻¹²A. 与其相对 应 的 暗 电 流 电 荷 $Q_a = I_{ar} = 0.25Q, r$ (C).

欲使这些噪声小于 0.25dB (即增量为 6%),则由

$$\left(\sum_{i}N_{i}^{2}+N_{IF}^{2}\right)^{1/2}/N_{IF}<0.25\text{dB},$$
 (6)

可得
$$\left(\sum_{i} N_{i}^{2}\right)^{1/2}/N_{IF} = 0.35.$$
 (7)

经变化可得: $N_i/N_{IF} = 2meB\tau/Q_i = 0.2.$ (8) 其中 $m = \frac{Q_i}{Q_{IF}}$. 如要观测水分子,我们可取 $m = 100, 则 \tau < 70 \text{ms}$,我们取 $\tau = 30 \text{ms}$ 进而可得关系式

$$N_{a}/N_{IF} = mB\tau 2^{-(e+1)} = 0.2, \qquad (9)$$

由上述诸量可得 *l* ≥ 12bit,我们取 12bit.这 样,可获较理想的灵敏度.

六、结 论

我们研制了一种频率分辨率高,灵敏度高, 稳定性好的频谱仪. 该仪器适合于观测宇宙分 子的精细结构,和弱信号的长时间积分.

由于青海站 13.7m 射电望远镜正处安装调 试阶段,mm-波声光射电频谱仪还没有与天线 连接进行天文观测。

参考文献

- [1] CCole, T. W., Stewart, R. T., et al., Astron., Astronphys, 67(1978), 277-279.
- [2] Cole, T. W., Ables, T. G., Astron., Astronphys, 38 (1974), 149-153.
- [3] Kaifu, N., Ukita, N., et al., Publ. Assron. Soc., (Japan), 29(1977), 429-435.
- [4] Wang Jing-sheng, Hang Geng-chen, et al; Prog. Cryst. Growth & Charact. (GB) 11-4 (1985). 275-282.
- [5] Lambert, L. B., IRE National Convention Record, Vol. 10, Part 6, 1962, 69-78.
- [6] Hecht, D. L., Optical Engineering, 10-5 (1977), 461-466.
- [7] Yano. T., Appl. Phys. Let., 26(1971), 689-691.

用超声技术测量河流含沙量的研究

刘玉英 刘增厚 (中科院山西煤化所) 任志德 李风林

(山西省水文总站)

1988年5月9日收到

本文介绍了一种应用超声在液固两相介质中传播衰减的原理监测河流含沙量的仪器,该仪器结构 简单,操作方便,测量迅速,不需采样分析。经实验室模拟试验和现场实际测量,基本能满足水文测试的 要求,可以根据需要测量任一瞬间,任一位置的河流含沙量,并能连续记录沙量变化的全过程,为泥沙的 自动化观测创造了条件,是泥沙测量技术的一种新途径。



泥沙测验的目的主要是为掌握河流泥沙运

动规律,河床冲淤变化,沙量平衡计算,水土流 失规律及治理效益,水资源开发与利用等提供 确切的泥沙资料.多年来,沿用人工取样分析 的器测法,这种方法工作效率低,劳动强度大,

• 14 •

8 卷 3 期