

海洋激光 RAMAN 雷达硬、软件系统

张锦龙 黄晓圣 陈文忠 刘智深

(青岛海洋大学, 266003)

1986 年至 1990 年我们承担了国家科技攻关 76-06-05 专题, 其目的在于开展海洋激光雷达探测海洋温度剖面的应用基础研究, 该专题已于 1990 年 12 月通过国家级鉴定, 本文就该专题研究的海洋激光 RAMAN 雷达硬软件系统作一简要介绍。

I. RAMAN 散射测海水温度原理

RAMAN 散射测量海水的物理基础概述为: (1) 水是由带氢键的簇团也称为多分子 (Polymer) 及没有氢键的单分子 (Monomer) 组成; (2) 这两种结构是温度的化学平衡函数; (3) 多分子与单分子 O-H 键 RAMAN 频移是不同的; (4) 通过 RAMAN 谱可从测量水中多分子与单分子浓度关系, 从而可到水的温度值。水的 RAMAN 散射模式^[1]见图 1。

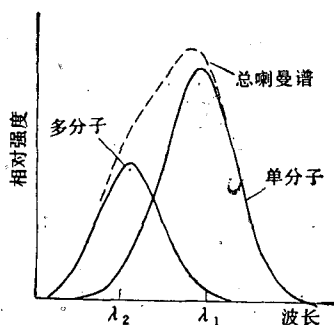


图 1 水的 RAMAN 散射模式

Polymer, Monomer 分别为多分子, 单分子的 O-H RAMAN 谱, 在温度一定时, 它们处于平衡状态, Sum 为观察到的总 RAMAN

谱。当温度升高时, 单分子水分子浓度增多, 多分子簇团减少, RAMAN 谱向长波方向移动, 亦称红移。同时测量 λ_1 与 λ_2 波长处的 RAMAN 值, 其比值是两种分子的浓度比, 也是温度的平衡常数^[2]。

$$I(\lambda_1)/I(\lambda_2) \propto \text{单分子浓度} / \text{多分子浓度} \\ = f(T)$$

II. RAMAN 雷达系统

RAMAN 雷达系统见图 2。

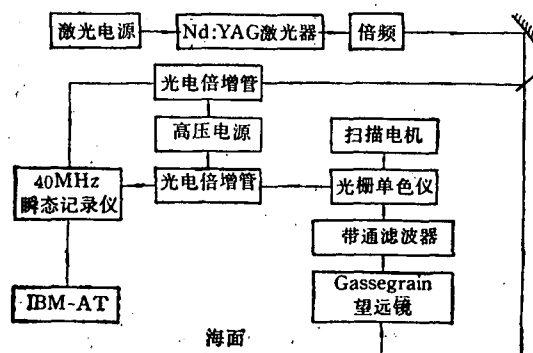


图 2 RAMAN 雷达系统框图

Nd:YAG 激光器产生的脉冲激光经倍频至 532nm, 由光学平晶分为 2 束, 绝大部分透射, 经棱镜组依所需角度射入海水, 小部分反射至能量监视系统。

海水的 RAMAN 散射信号经反射镜被 Cassegrainian 望远光学系统接收, 经光栅单色仪分光后由光电探测器接收。

信号探测器和能量监视探测器的输出信号

经同轴电缆送至 IBM-AT 控制的瞬态波形数字化仪,记录数据由 IBM-AT 进行处理。

III. RAMAN 雷达系统硬件设计

激光雷达传输方程^[2]:

$$N_{De} = N_{laser} b_{Raman} \Delta R \left(\frac{Q}{n^2} \right) \epsilon_d \eta T_{\lambda_1} T_{\lambda_2}$$

其中, N_{De} 为接收到的每一个 RAMAN 光电子数; N_{laser} 为激光器每个脉冲发射的光子数; b_{Raman} 为 RAMAN 回向散射系数; ΔR 为深度分辨率; Q 为探测器对被探测水体所张的立体角; n 为海水的折射率; ϵ_d 为探测器的量子效率; η 为光学接收系统的通光效率; T_{λ_i} 为波长 λ_i 处的海水透射率。

其中, $\Delta R = 2.5m$; $\epsilon_d = 0.1$; $\eta = 0.2$ 。

在不考虑后接电子学及数据处理引入的误差时,系统的信噪比主要由光量子起伏决定,即:

$$SNR = \sqrt{N_{De}}$$

系统设计时取 $SNR > 100$ 。

III.1. 激光器的选择

选择 Nd:YAG 脉冲激光器,倍频输出波长为 5320Å, 1.06μm 波长处单脉冲的能量大于 1J,调 Q、倍频后单脉冲能量大于 100mJ,脉冲宽度约为 20ns,所以峰值功率大于 5MW,重复频率可达 20Hz。

III.2. 接收光学系统选择

散射水体距接收系统较远,要求选用望远系统,现选用卡塞格伦望远镜系统,系统有效孔径为 120mm,焦距 575.15mm, F 数为 5,成像质量很好。

III.3. 分光系统选择

因为海水的 Raman 谱的宽度只有 20nm,所以,光谱仪的光谱分辨率应优于 0.5nm,现选用的光栅单色仪,其光谱分辨率优于 2nm,重复性优于 1nm。又因为海水的 Raman 散射几率约为 Rayleigh 散射几率的 1‰,所以单色的散射光影响小于 10^{-5} ,但光栅单色仪的杂散光只能达到 10^{-3} ,我们在入缝和出缝各加一滤色片后,杂散光的影响可小于 10^{-6} ,完全能满足系

统要求。

III.4. 光电倍增管的选择

Raman 散射非常弱,对探测器的要求很高,要求量子效率高、噪声低、暗电流小、响应速度快、光谱响应合适。现在选用的光电倍增管,经厂家优选后,性能指标均满足系统的要求。

III.5. 前置放大器的选择

采用自己研制的前置放大器,此放大器的增益大于 26dB,带宽大于 145MHz,上升时间小于 2.5ns,线性优于 1%,

III.6. 数据采集系统设计

已知回波信号宽度为 100~1000ms,按 Niquist 采样定律及深度分辨率的要求,采样时间现取为 25ns,即采集率为 40MHz,现对应的深度分辨率为 2.8m。

III.7. 计算机接口

在瞬态记录仪内设有 8K 缓存,然后经 I/O 接口进计算机,以此保证系统可工作于高速采集状态。

III.8. 系统的 SNR 估计

$$N_{laser} = E_{laser} / h\nu = 2.7 \times 10^{17} \text{ 光子}$$

根据 Slusher^[3] 给出的水的 Raman 散射截面数据,在 2800~3700cm⁻¹ 波段 Raman 散射截面为 $(4.5 \pm 0.3) \times 10^{-29} \text{ cm}^2 \text{ molecule}^{-1} \text{ Sr}^{-1}$ 。

$$b_{Raman} = \sigma_{Raman} \times \text{单位体积内的分子数} \\ = 1.6 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1} \text{ Sr}^{-1}$$

系统距水面高度约为 3m。

$$Q = \pi D^2 / 4H^2 = 1.3 \times 10^{-4} \text{ Sr}$$

对海面,有 ($T_{\lambda_i} \approx 1$):

$$N_{De0} = 2.8 \times 10^8 \text{ (光电子)}$$

设海水的衰减系数为 k , 深度为 d 处的海水散射,系统接收到的光电子数为:

$$N_{De} = N_{De0} e^{-2kd} \text{ 光电子}$$

在 3 倍衰减长度 (IC) 处,有 $kd = 3$,

$$N_{De} = N_{De0} e^{-6} = 6.9 \times 10^5 \text{ 光电子}$$

$$SNR = 830$$

在 5 倍 IC 处有 $kd = 5$

$$N_{De} = 1.3 \times 10^4 \text{ 光电子}$$

$$SNR = 114$$

可见,在 $d \leq 5IC$ 条件下,系统的信噪比 >100 , 满足设计要求。

IV. 数据采集软件设计

激光入射海水,水体的回向散射信号以及入射激光能量监测信号分别由两只光电倍增管接收,并同时送入瞬态记录仪的 A,B 通道。瞬态记录仪以并行工作方式、40MHz 的采样率进行数据采集。

输入的瞬态信号经过信号处理后,直接送到 A/D 转换器变成 8 位二进制数码,然后存贮到 RAM 中,经 I/O 接口送到微机内存进行显示和处理。

数据采集软件的主程序用高级语言 BASIC 编写,程序中调用汇编语言数据采集子程序从瞬态记录仪读取数据,由微机实现不同波长、不同深度 RAMAN 谱形数据的直接显示及同一波长数据的多次平均等功能;采集到的谱形数据存贮在微机硬盘或软盘上,可随时调用进行处理以提取感兴趣的温度等信息。主程序和子程序的框图见图 3~4。

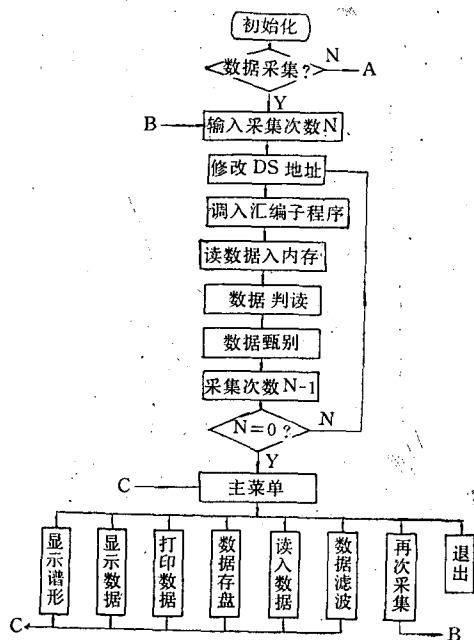


图3 主程序流程

数据采集程序具有以下特点:

海洋科学, 1991 年 11 月, 第 6 期

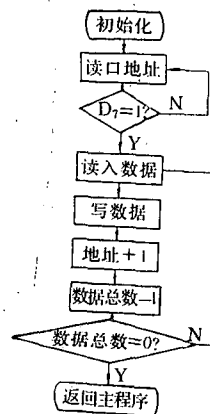


图4 汇编语言子程序流程

1. 用能量监测信号对水体散射信号进行归一, 消除了由于激光入射能量不稳定引入的误差;

2. 采用多次平均的处理方法, 可提高信噪比 $\sqrt{N}$ 倍 (N 是平均的次数);

3. 同一波长的信号可同时显示, 便于直观监测能量和信号的起伏。不同深度的 RAMAN 散射谱可同时采集和显示, 便于进行比较和分析。

V. 结语

于 1990 年 10 月和 11 月两次在我校“东方红”调查船上进行了现场实验, 结果表明, 此系统完全能够满足在海上恶劣环境条件下进行微弱海水 RAMAN 谱的测量, 测量精度亦达到设计要求, 由测得的不同深层的海水 RAMAN 谱典型曲线(图略)通过海水散射的理论模型及数据处理得到海水温度的信息。

参 考 文 献

- [1] Measures, R. M., 1984. Laser Remote Sensing. A. Wiley-Interscience Publication John Wilry Sons, 458.
- [2] Leonard, D. A. et al., 1979. Remote sensing of subsurface water temperature by raman scattering, *Appl. Opt.* 18(11): 1 732.
- [3] Slusher, R. B. and V. E. Derr, 1975. Temperature dependence and cross section some stokes and anti-stokes Raman lines in ice in *Appl. Opt.* 14(9): 2 116.