

激光雷达广域甲烷气体检测系统

由激光进行微量气体遥测，使点采样检测力所难及的广域气体浓度测试成为可能。这类方法一般称为激光雷达法。激光雷达的研究近年来正以用于大气污染检测为中心而广泛开展。激光雷达根据激光与气体分子相互作用的种类（光吸收、喇曼散射、荧光等）不同而分为几种类型。本文介绍其中的气体分子红外吸收的“差分吸收激光雷达”。这种雷达采用了双波长激光，对城市气体的主要成分——甲烷具有不同的吸收系数，根据其大气的穿透率的不同，便可遥测气体漏泄。

本文首先对系统的原理和结构作简要叙述，并谈及实验论证了的项目，最后介绍最新研制的双波长激光器。

一、原 理

我们知道，甲烷具有吸收 $7\mu\text{m}$ 光波带（ V_4 波带）， $3\mu\text{m}$ 波带（ V_3 波带）及混合波带—— $1.6\mu\text{m}$ 波带的特性。本系统利用容易操作的氦氖激光作为光源。检测利用的是 $3\mu\text{m}$ 波带的吸收特性。在这一波带中，由于不含有太阳光和热辐射光的光谱分布，因而其背景噪声较小。

一般 $3\mu\text{m}$ 波带的氦氖激光在真空中的波长为 $3.3922\mu\text{m}$ ，大气中的甲烷能强烈地吸收，其吸收系数约为 $8.8\text{cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$ 。同时，由于氦氖激光振荡器中插入有甲烷盒，因而产生的 $3.3912\mu\text{m}$ 激光很少被甲烷吸收，这一波长对大气甲烷的吸收系数约为 $0.8\text{cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$ ，约为前者的十分之一。以这种双波长He-Ne激光为光源，对道路表面和墙壁表面等目标进行照射，从其漫反射光的强度差来检测光路中的甲烷浓度。由于使用的是双波长，对甲烷以外的因素产生的光量衰减可予以补偿，因而能高精度地检测甲烷。

二、系 统 结 构

本系统如图1所示，由光源部，光接收部和信号处理部构成。

光源部由上述 $3.3922\mu\text{m}$ 氦氖激光和新研制的 $3.3912\mu\text{m}$ 氦氖激光及导向用红色激光组成。其中 $3.3922\mu\text{m}$ 和 $3.3912\mu\text{m}$ 激光以机械斩波方式交替射出。

在光接收部分中，用30cm的柯塞古型聚光镜对路面等的漫反射激光进行聚光，经过

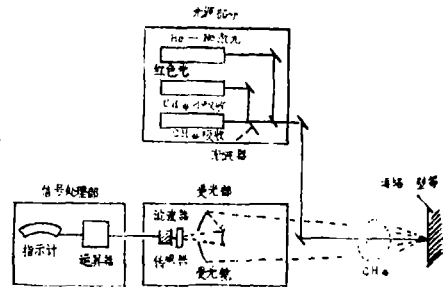


图1 激光雷达广域甲烷检测系统结构图

3. 39μm带通滤波器后，用InSb红外传感器接收并进行光电转换。

在信号处理部分，由锁定放大器检测并显示红外传感器输出电信号中与斩波器同步的频率成分。

三、信 噪 比

传感器的接收光量，可从激光雷达方程式导出，如下式：

$$I = \frac{I_0 A \rho \eta f(\theta)}{\pi R^2} \times \exp\{-2\alpha(cl + CR)\} \quad (1)$$

式中，I是传感器接收光量，I₀是激光器输出光量，R是距目标的距离，ρ是目标体的反射率，A是聚光镜的有效面积，f(θ)是角度因子(θ=0°时f=1)，η是接收光学系统的效率，α是吸收系数，C是大气中甲烷浓度，c是漏泄甲烷浓度，l是漏泄甲烷的分布距离。

另外，与红外传感器的热噪音电平相应的光量NEP用下式表示：

$$NEP = a^{1/2} \tau^{1/2} / D^* \quad (2)$$

式中，a是传感器的面积，τ是时间常数，D*是标准检测灵敏度。

从(1)、(2)两式可求出系统的理论信噪比。当代入I₀=1₀25μm、ρ=0.07、η=0.2等典型值时，理论信噪比与R的函数关系如图2的实线所示，虚线为本系统以混凝土为目标进行实测的S/N。理论值与实测值约差三倍，这是由于传感器及其后级产生的噪音比理想值还要大，因而实测结果实际上接近于极限值。

从系统的信噪比可换算出检测极限内的甲烷量，在目前，已达到在50m远处测出100 ppm·m²浓度的甲烷。

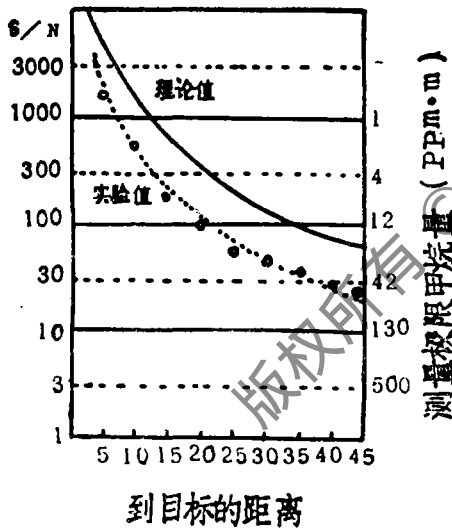


图2 到目标的距离与S/N及甲烷检测量的关系

四、信 号 处 理

在本系统中，两种波长的激光按斩波方式交替射出，使输出功率相同，其原理如图3所示，虽然各波长的光用斩波频率进行了调制，但InSb红外传感器不能识别这两个波长，因而整个接收光量中不含调制成分。当甲烷存在时，只有一种波长的光被吸收而衰减，如图3b所示，总输出中含调制频率成分，经锁定放大器测出其大小对应于两者的接收光量之差。设

该光量差为ΔI，根据(1)式，在α(cl+CR)≪1的低浓度区，ΔI如下式所示：

$$\Delta I = \frac{I_0 A \rho \eta f}{\pi R^2} \times 2\Delta\alpha(cl + CR) \quad (4)$$

式中，Δα是两个波长的吸收系数差。由(4)式可见，ΔI与甲烷量成正比。

五、红外光的漫反射特性

人们已经对可见光的漫反射特性（在粗糙面上）进行了很多实验，但在 $3\mu\text{m}$ 左右的红外

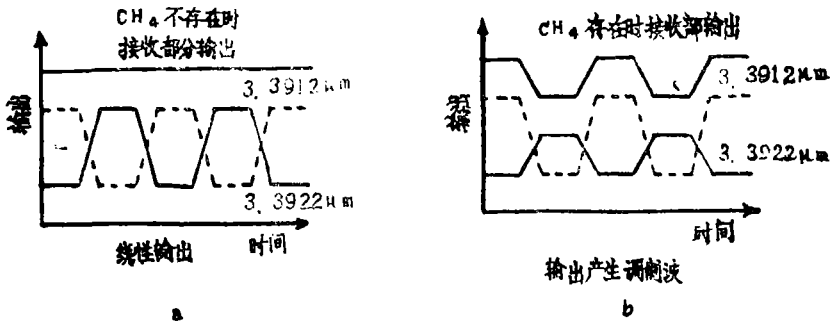


图3 信号处理方式

光领域几乎无数据可查。因此，我们重新进行了这一波带的漫反射特性研究。将表示漫反射与角度关系的米内尔公式用于本系统的光学系，则角度因子 $f(\theta)$ 可表示为：

$$f(\theta) = \cos^2 k - 1 \theta \quad (5)$$

式中， k 为米内尔常数，在完全漫反射情况下 $k=1$ ，越接近镜面反射其值越大。图4是以混凝土为目标时的红外（ $3.39\mu\text{m}$ ）漫反射特性。根据这一结果，用非线性最小二次方求出的米内尔常数约为1。由此可知，红外光几乎都是完全漫反射。另外，以沥青等作为目标也可得到相同的特性。同时，在这些实验中，得出这些物体的反射率为 $0.05\sim 0.1$ ，从这些数据可见，该系统以扫描方式斜向入射路面等目标，也是很有效的。

六、双波长长振荡激光器

作为本系统的光源，对两个波长使用了两条激光光线，因而系统很庞大。此外光波合成

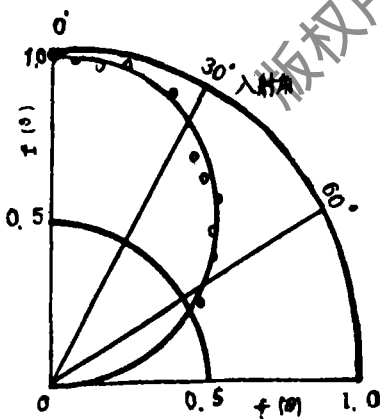


图4 照射混凝土对漫反射光强与入射角的关系

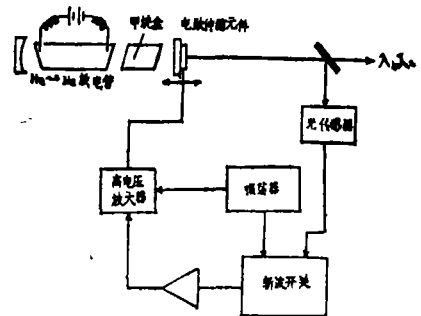


图5 双波长He-Ne激光器结构图

的光学系统也很烦杂。为了消除这一缺点，在庆应大学上原副教授的协助下，研制了一根激

步枪瞄准装置

本发明介绍的步枪瞄准装置利用可见光或红外电视摄像机,把目标场景信号输给自锁跟踪(ALF)电路。使ALF电路锁定在射手操纵瞄准装置所瞄准的区域。当步枪瞄准目标偏差位于ALF电路预定曲线范围以内时,自动射击。

本发明与步枪瞄准装置有关。这种装置包括

- (a) 摄像机用于接收目标场景图象,并对图象取样以产生代表图象的信号;
- (b) 为操纵者显示目标场景图象的装置;
- (c) 自锁跟踪电路;
- (d) 目标选择装置,使自锁跟踪电路优先响应选取的场景区域;
- (e) 人工操纵装置,用于操纵选择装置去选取场景区域;

连接于摄像机接收信号的自锁跟踪电路及连接于选择装置的设备响应于这些信号,并选择区域,以便指示目标场景区域的位置。

(f) 响应自锁跟踪电路以产生发射信号的装置,当指示位置与步枪瞄准点的偏差在预定范围以内时,该装置即产生发射信号使步枪实施射击。

(g) 人工操纵开关装置,用于选择地连接自锁跟踪电路到产生射击信号的装置上。

为了清楚地理解以便于实施本发明,现在通过一个实例来描述本发明的一种优选方案,其中有关的附图有:

参见图1,步枪1的枪管2上面安装的红外望远镜或普通望远镜,由外壳3罩住,外壳里还装有微型电视摄像机,电视摄像机的光感应元件比如可用电荷耦合器件或摄像管等构成。显示荧光屏4安装在外壳3的后部。步枪触发器5可分别位于称为“缓冲”、“自锁跟踪”、“发射”的三个位置上,其工件原理后面详述。安装于触发器后面及步枪托架上

光管中可双波长振荡的双波长激光振荡器,其结构如图5所示。通过激光振荡器内的甲烷盒使两个波长的激光增益大致相等。由压电自动转换器使反射镜轻微震动,从而使共振腔的长度呈周期性变化。这时,如果共振腔的长度变化能满足两个波长激光交替振荡的条件,便实现了双波长的激光振荡器,然后,由后置反馈系统使两个波长的激光输出功率相同,以提高激光输出的稳定性。

本文主要介绍了刚刚开始研制阶段的基本数据,今后,打算向双波长激光器的小型化、实用化的方向进行研制,同时改善其特性和操作性能等。

译自 センサ技术, 1986, Vol.6, No.2, P.29~31.

刘洪兴 译 汪建设 校