

3.39 微米 He-Ne 激光在瓦斯管路检测中的应用

目前,煤矿进行瓦斯抽放。为了确保瓦斯质量和输送安全,必须随时检测抽放管中瓦斯浓度。然而目前十分缺乏抽放瓦斯泵房专用的检测瓦斯的装置。

由于 He-Ne 激光器可输出波长为 3.39 微米的激光,符合甲烷 3.3 微米吸收带,这就提供了利用光吸收原理检测甲烷的可能性。其特点是灵敏度高、响应快、调节容易、选择性好,对背景气体无严格要求,不受干扰气体影响,被测气体不和电气元件或电热元件接触,安全性能好,容易达到自动化检测和遥测、遥控相结合等优点。

1. 基本原理

检测装置的工作原理是根据被测气样受到特定波长的辐射后表现强烈的吸收效应。

对于气体(物质),由分子的振动转动产生较小的能量跃迁时,分子的吸收光谱在红外波段。对于异核分子,由于具有偶极矩,当它吸收红外线辐射时便发生分子的振动—转动而产生能级跃迁。吸收波长取决于构成分子的原子种类、原子核质量、原子之间相互结合的强弱、位置,即对应于分子结构具有特定的红外吸收波长。对于红外区有吸收带的气体的定量测定来说,对一定波长的辐射衰减由朗伯—比尔定律得出:

$$I = I_0 e^{-kc'l}$$

式中 I_0 、 I 分别为入射光和透射光的强度; c 为介质浓度; l 为辐射穿过介质的厚度; k 为介质对入射光的吸收系数。

纯甲烷发生在红外区域的特征吸收光谱有 3.3 微米和 7.6 微米两个吸收带。其中 3.3 微米峰值的吸收带相应于甲烷 ν_3 带 $P(7)$ 线 $F_1^{(2)}$ 分量和 He-Ne 激光器中 $3S_2 \rightarrow 3P_4$ 发射线的波长(3.39 微米)相符合。发射出来的单色性极好的激光波长对应于甲烷的吸收波长,这样用不着滤光片,辐射光全部有效地用于气体检测上。这时 k 值大约取 $9.5 \times 10^{-2}(\text{厘米} \%)^{-1}$ 。由于上述原因,以发射 3.39 微米

波长的 He-Ne 激光作为辐射源,利用光吸收原理检测甲烷是极为合适的方法。

2. 主要结构

检测装置工作原理方框图见图 1。整个装置由激光器、调制系统、气室、光接收系统、放大整流部分以及显示部分组成。

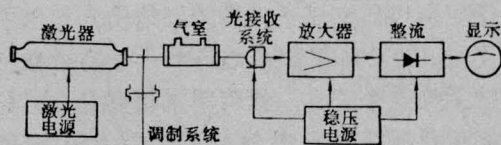


图 1 原理方框图

激光器发射的 3.39 微米波长的单色光,由调制盘从连续光切换成断续光,然后通过被测气样(抽放管中的瓦斯)后,由光接收系统接收光信号而转换成电信号,再由放大器放大经整流最后由微安表显示甲烷含量。

(1) 激光器

检测装置要求 3.39 微米 He-Ne 激光器具有: (1)有足够大的输出功率,一般在 1 毫瓦以上可以满足测量的要求。(2)激光器有足够长的寿命,免得现场使用时经常更换。(3)要求输出功率稳定,减少测量的误差。

为了达到上面三个要求,激光器采用了石英玻璃材质和内镜式平凹型谐振腔。石英玻璃的膨胀系数仅为一般硬玻璃膨胀系数的 1/8,大大地减少了因环境温度变化而导致的腔长变化,提高了输出功率的稳定性。激光器的几何形状如图 2 所示。管内充以光谱纯氦和光谱纯同位素氖 20,充气总压力为 5.4 托,分压比为 17:1。试制的管子,输出功率在 1~2.6 毫瓦之间。

(2) 调制系统

调制系统的作用是将激光器连续发射的光进行切光,使光接收系统输出近似方波的电信号,以便交流放大器进行放大。它由两部分组成:晶体管开关

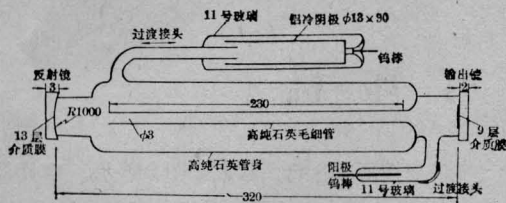


图2 高纯石英半球腔3.39微米 He-Ne激光器示意图

电路和由它驱动而进行连续转动的调制盘。

调制盘的形状见图3，它的每叶宽度等于1/12圆周长。调制盘旋转一周，把入射的激光均匀地切断6次。为了减少调制盘旋转时的阻力，将转轴置于一对宝石轴承上。

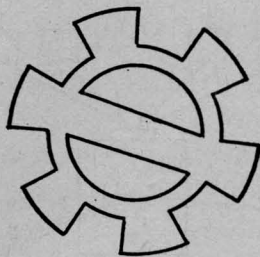


图3 调制盘形状

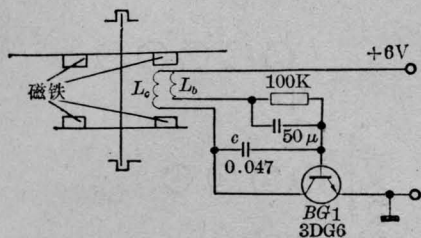


图4 调制系统电路

调制系统电路见图4。

这种调制系统工作可靠、体积小、转速稳定、耗电量小、无噪音，是光调制的方便手段。

(3) 气室

气室结构如图5所示。两侧窗口采用对3.39微米 He-Ne 激光有较高透射率的石英玻璃(大约1毫米厚)。

气室长度的选定是在保证线性显示基础上获得尽可能大的灵敏度。检测装置中气室的长度约1毫米，在0~100% CH₄ 测量范围内确保非线性误差远小于允许误差。

(4) 光接收系统

光接收系统包括红外探测器和给它提供偏流的电路。检测装置中所用的红外探测器为浸没型室温

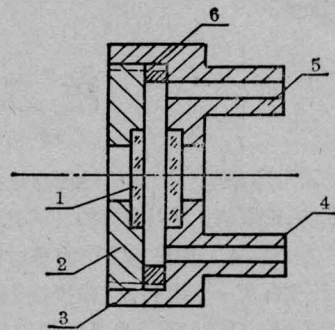


图5 气室结构示意图

1—气室窗口；2—压盖；3—主体；
4、5—进出气嘴；6—垫圈

碲镉汞探测器。这种探测器对3.39微米 He-Ne 激光有较高的灵敏度，并且视场较大，有效通光口径可达4毫米，使用较方便。

探测器的结构见图6。

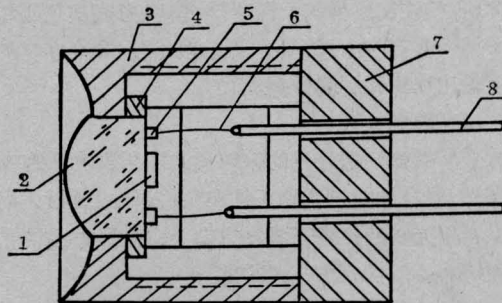


图6 红外探测器结构示意图

1—光敏元件；2—锗透镜；3—管帽；4—包边；
5—过渡电极；6—引线；7—管座；8—管脚

3. 应用结果

我们从1976年开始开展了激光瓦斯管检测装置的研制，先后进行了几个月的现场试验。实践表明，这一原理适用于瓦斯管路中甲烷的检测。检测装置作为专门检验瓦斯管路中的甲烷，其量程为0~100% CH₄，测量误差为±3% CH₄。

激光技术作为新技术引进到煤矿生产中，目前仍处于初步阶段，一些问题有待于进一步深入研究。利用3.39微米 He-Ne 激光检测瓦斯管路中的甲烷，有它明显的长处。如果进行进一步改进并做成适合于自动化检测，能够和遥测、集中监视结合起来并达到自动记录、自动警报、自动控制的装置系统，那就更有意义了。

(煤炭工业部煤炭科学研究院抚顺研究所
杜继祥 胡泰康 尹芳雄)