

电调制非分光红外(NDIR)气体传感器

本文介绍一种采用电调制红外光源的新型红外气体传感器。该传感器通过采用电调制红外光源，省却了传统方法中的机械调制部件；同时采用了高精度干涉滤光片一体化红外传感器以及单光束双波长技术，配合易拆卸的镀金气室及数据采集系统，可以实现 SO₂、NO、CO₂、CO、CH₄、N₂O 等气体的实时测量。

一 前言

NDIR 红外气体分析仪作为一种快速、准确的气体分析技术，特别连续污染物监测系统（CEMS）以及机动车尾气检测应用中十分普遍。国内 NDIR 气体分析仪的主要厂家大都采用国际上八十年代的红外气体分析方法，如采用镍铬丝作为红外光源、采用电机机械调制红外光、采用薄膜电容微音器或 InSb 等作为传感器等。由于采用电机机械调制，仪器功耗大，且稳定性差，仪器造价也很高。同时采用薄膜电容微音器作为传感使得仪器对震动十分敏感，因此不适合便携测量。随着红外光源、传感器及电子技术的发展，NDIR 红外气体传感器在国外得到了迅速的发展。主要表现在无机机械调制装置，采用新型红外传感器及电调制光源，在仪器电路上采用了低功耗嵌入式系统，使得仪器在体积、功耗、性能、价格上具有以往仪器无法比拟的优势。

二 NDIR气体分析基本机理

当红外光通过待测气体时，这些气体分子对特定波长的红外光有吸收，其吸收关系服从朗伯—比尔(Lambert-Beer)吸收定律。设入射光是平行光，其强度为 I₀，出射光的强度为 I，气体介质的厚度为 L。当由气体介质中的分子数 dN 的吸收所造成的光强减弱为 dI 时，根据朗伯—比尔吸收定律： $dI/I = -KdN$ ，式中 K 为比例常数。经积分得： $\ln I = -KN + \alpha$ (1)，式中 N 为吸收气体介质的分子总数； α 为积分常数。显然有 $N \propto cL$ ，c 为气体浓度。则式(1)可写成：

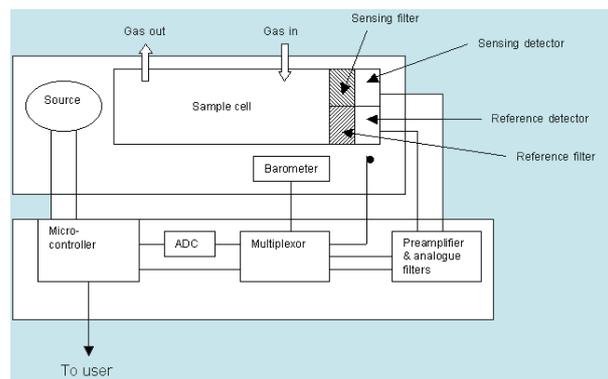
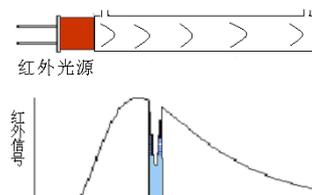
$$I = \exp(\alpha) \exp(-KN) = \exp(\alpha) \exp(-\mu cL) = I_0 \exp(-\mu cL) \quad (2)$$

式(2)表明，光强在气体介质中随浓度 c 及厚度 L 按指数规律衰减。吸收系数取决于气体特性，各种气体的吸收系数 μ 互不相同。对同一气体， μ 则随入射波长而变。若吸收介质中含 i 种吸收气体，则式(2)应改为：

$$I = I_0 \exp(-\sum \mu_i c_i) \quad (3)$$

因此对于多种混合气体，为了分析特定组分，应该在传感器或红外光源前安装一个适合分析气体吸收波长的窄带滤光片，使传感器的信号变化只反映被测气体浓度变化。

图1为 NDIR 红外气体分析原理图：以 CO₂ 分析为例，红外光源发射出 1-20 μ m 的红外光，通过一定长度的气室吸收后，经过一个 4.26 μ m 波长的窄带滤光片后，由红外传感器监测透过 4.26 μ m 波长红外光的强度，以此表示 CO₂ 气体的浓度，



三 电调制NDIR红外气体传感器关键技术

在设计传感器的光学系统部分时，为了减少红外传感器微弱信号的衰减以及外界信号干扰，将前置放大电路也一并放在光学部件上，并采取了一定的电磁屏蔽措施。为了使气体红外吸收信

号具有较好的分辨率，在进行结构设计时，红外光源、气室、红外探测器应设置在同一光轴上。

此外为了使得信号足够大，可以使用**椭圆型或抛物线型反射镜**。红外光源由稳流供电，供电电压和电流根据使用的光源不同而不同。工作时，传感器根据预先设定的调制频率发出周期性的红外光，红外光源发出的红外光通过窗口材料入射到测量气室，测量气室由采样气泵连续将被测气体通入测量气室，气体吸收特定波长的红外光，透过测量气室的红外光由红外探测器探测。由于调制红外光的作用红外传感器输出交流的电信号，通过其后的前置放大电路放大后在一次经过高精密放大整流电路，得到一个与被测气体浓度对应的直流信号送入测控系统处理。红外传感器内有温度传感器探测其工作环境温度。红外传感器信号经过测控系统，并经数字滤波、线性插值及温度补偿等软件处理后，给出气体浓度测量值。

采用了以下关键技术：

1. 红外光源及其调制

新型电调制红外光源等，升降温速度很快。

红外光源发射窗口上安装有透明窗，一方面可以保证发射的红外光波长在特定范围内，适合于对常规的气体如CO₂、CO、CH₄、NO、SO₂等气体进行测量。此外也可以阻止外界环境对光源温度的影响。

2. 镀膜气室

采用气室与外支撑分离的结构，安装时只需将气室固定安装在支撑结构的中心即可。此种结构设计保证了该部件易于装卸、更换；同时由于与外支撑分离，进一步减小了外界条件的影响，使仪器能适应复杂环境下工作。此外原来一些需要较长气室的传感器，采用以往方法加工镀膜工艺十分困难，采用此法后将十分容易，成本也将大大降低。传统气室采用了与外支撑一体化设计，具有制造容易、安装方便等优点，但受外界温度波动影响较大；其次，由于被分析气体成分复杂，具有一定的腐蚀性，如SO₂、NO_x等，长时间使用后气室极易被污染，直接影响测量精度。

3. 红外探测器

红外探测器，NDIR气体传感器的核心部件，测量精度很大程度取决于传感器的性能高低。本研究采用高灵敏度红外传感器，例如HTS E21 F3. 91/F4. 26，在其封装上固定安装有针对不同气体的窄带干涉滤光片，可以实现对不同气体的测量。为了确保红外探测器得到较强的稳定信号，可以设计一种红外探测器定向轴，即使在前置放大板上焊接的红外探测器位置有一定的偏差，本传感器也可确保与红外光源和气室位于同一光学中心轴上。

红外探测器接收红外光产生的信号十分微弱，极易受外界干扰，因此稳定可靠的前置放大电路是关键，最好采用高精密、低漂移的模拟放大电路，并采用窄带滤波电路。前置放大电路具有精度高、漂移小、响应快的特点。前置放大出来的信号通过二级放大电路，直接输出一个与气体浓度对应信号，并送入测控系统，通过非线性校正和补偿后得到气体浓度。

4. 传感器测控系统

为了实现NDIR气体传感器的测量、控制以及自动标定等功能，需要一个合适的微控制器来管理传感器。传感器测控系统通过采集红外输出信号及测量标准气体曲线，采用非线性校正算法可以直接得到测量气体的浓度。

通过采用以上技术，NDIR红外气体传感器的结构比以往仪器将大大简化，仪器功耗也大幅度降低（只有以往的1/4），传感器的成本也不到以往技术的1/4。此类传感器可以实现模块化和标准化，因此更加适合在我国广泛使用。