

气体传感器原理及应用概览

所谓气体传感器是指用于探测在一定区域范围内是否存在特定气体和/或能连续测量气体成分浓度的仪表。在煤矿、石油、化工、市政、医疗、交通运输、家庭等安全防护方面，气体传感器常用于探测可燃、易燃、有毒气体的浓度或其存在与否，或氧气的消耗量等。在电力工业等生产制造领域，也常用气体传感器定量测量烟气中各组分的浓度，以判断燃烧情况和有害气体的排放量等。在大气环境监测领域，采用气体传感器判定环境污染状况，更是十分普遍。

气体传感器的分类，从检测气体种类上，常分为可燃气体传感器（常采用催化燃烧式、红外、热导、半导体式）、有毒气体传感器（一般采用电化学、金属半导体、光离子化、火焰离子化式）、有害气体传感器（常采用红外、紫外等）、氧气（常采用顺磁式、氧化锆式）等其它类传感器；从仪表使用方法上，分为便携式和固定式；从获得气体样品的方式上，分为扩散式（即传感器直接安装在被测对象环境中，实测气体通过自然扩散与传感器检测元件直接接触）、吸入式（是指通过使用吸气泵等手段，将待测气体引入传感器检测元件中进行检测。根据对被测气体是否稀释，又可细分为完全吸入式和稀释式等）；从分析气体组分上，分为单一式（仅对特定气体进行检测）和复合式（对多种气体成分进行同时检测）；按传感器检测原理，分为热学式、电化学式、磁学式、光学式、半导体式、气相色谱式等。

热学式气体传感器

热学式气体传感器主要有热导式和热化学式两大类。热导式是利用气体的热导率，通过对其中热敏元件电阻的变化来测量一种或几种气体组分浓度的，其在工业界的应用已有几十年的历史，其仪表类型较多，能分析的气体也较广泛（如 H_2 、 CO_2 、 SO_2 、 NH_3 、Ar等）。热化学式是基于被分析气体化学反应的热效应，其中广泛应用的是气体的氧化反应（即燃烧），其典型为催化燃烧式气体传感器，其关键部件为涂有燃烧催化剂的惠斯通电桥，主要用于检测可燃气体，如煤气发生站、制气厂用来分析空气中的 CO 、 H_2 、 C_2H_2 等可燃气体，采煤矿井用于分析坑道中的 CH_4 含量，石油开采船只分析现场漏泄的甲烷含量，燃料及化工原料保管仓库或原料车间分析空气中的石油蒸气、酒精乙醚蒸气等。美国RAE Systems公司生产的FGM-3100催化燃烧式可燃气体检测仪，其采样方式为扩散式，检测精度达 $\pm 2\%$ 满量程，响应时间 $< 15s$ 。催化燃烧式气体传感器的主要优点是对所有可燃气体的响应有广谱性，对环境温度、湿度影响不敏感，输出信号近线性，且其结构简单，成本低。但其主要不足是精度低，工作温度高（内部温度可达 $700\sim 800^\circ C$ ），电流功耗大，易受硫化物、卤素化合物等中毒的不利影响等。

电化学式气体传感器

电化学式气体传感器是利用被测气体的电化学活性，将其电化学氧化或还原，从而分辨气体成分，检测气体浓度的。较常见的电化学传感器类型有原电池型（其工作原理类似于燃料电池）、恒定电位电解池型（在电流强制作用下工作，属库仑分析类传感器）等。目前，电化学传感器是检测有毒、有害气体最常见和最成

熟的传感器。其特点是体积小，功耗小，线性和重复性较好，分辨率一般可以达到 0.1ppm，寿命较长。不足是易受干扰，灵敏度受温度变化影响较大。霍尼韦尔旗下的英国城市技术公司所生产的用于检测 H₂S 的 3HH 电化学传感器，其测量范围 0~50ppm，最大允许值 500ppm，分辨率为 0.1ppm，外形尺寸约为外径 42mmX 高 18mm，其主要交叉干扰源有 CO、SO₂、NO、NO₂、H₂ 等。氧化锆氧量传感器是电化学式成分分析传感器中发展比较晚的一种，开始出现于 20 世纪 60 年代，其工作基理是根据浓差电池原理，通过测量待分析气体和参比气体因氧气浓度差异而导致的浓差电动势，来测量待分析气体中的含氧量。由于它具有结构简单、工作可靠、灵敏度高、稳定性好、响应速度快、安装使用方便等优点，因此发展较快。常应用于硫酸、空气分离、锅炉燃烧等多组分气体的氧量分析以及熔融金属的含氧测定等。

磁学式气体分析传感器

在磁学式气体分析传感器中，最常见的是利用氧气的高磁化特性来测量氧气浓度的磁性氧量分析传感器，其氧量的测量范围最宽，是一种十分有效的氧量测量仪表。常用的有热磁对流式氧量分析传感器（按构成方式不同，又可细分为测速热磁式、压力平衡热磁式）和磁力机械式氧量分析传感器。其典型应用场合有化肥生产、深冷空气分离、火电站燃烧系统、天然气制乙炔等工业生产中氧的控制和连锁，废气、尾气、烟气等排放的环保监测等。

光学式气体传感器

光学式气体传感技术是起步较晚，但发展最快的技术之一。工业中常用的类型有红外线气体分析仪、紫外线分析仪、光电比色式分析仪、化学发光式分析仪、光散射式分析仪等。

红外线式的工作原理是利用被测气体的红外吸收光谱特征或热效应而实现气体浓度测量的，常用光谱范围 1~25μm，常用的类型有 DIR 色散红外线式和 NDIR 非色散红外线式。日本岛津所生产的 SOA-307/307Dx 二氧化硫连续分析仪，测量方法是采用单光源双光柱非色散红外线吸收法，即通过向被测气体辐射宽带红外线并用波长选择检测器来选择指定频带，以此来测量 SO₂ 特定波长红外线辐射的吸收，其测量范围为最小 0~100ppm，最大可达 0~1vol%。

常用的紫外线分析仪有不分光紫外线分析仪和紫外荧光式分析仪，前者与红外线吸收原理类似，也是基于实测气体对紫外线选择性地吸收，其吸收特性也遵守比尔定律，所使用的紫外波长范围是 200~400nm。后者如紫外荧光式 SO₂ 分析仪，是一种干法式分析仪，工作原理是基于 SO₂ 分子接受紫外线能量成为激发态的 SO₂ 分子，在返回稳态时产生特征荧光，其发出的荧光强度与 SO₂ 浓度成正比。紫外荧光式可做到不破坏样品而连续自动测量大气中的 SO₂ 含量。其灵敏度可达测量范围的 0~2×10⁻⁷，稳定性可做到在 24h 的漂移为满刻度的 ±2%，重复性达 ±2% 满刻度，且共存的背景气体对测量的影响较小，具有寿命长，维修工作量小的显著优点。

光电比色式是基于比尔定律实现自动光电比色测量的，其适用的分析对象有SO₂、NO、碳氢化合物、卤素化合物等。

化学发光式分析仪是利用化学氧化反应伴有的光热生成原理而工作，常用的化学发光式分析仪有臭氧分析仪(利用O₃-C₂H₄产生化学发光反应所放出的光子来测定臭氧)和化学发光式NO_x分析仪(利用O₃的强氧化作用，使NO与O₃发生化学发光反应来实现测量)。

光散射式分析仪是利用光束与气体中的颗粒相互作用产生散射(前散射、边散射、后散射)来进行气体浊度或不透明度测量的，是环境排放监测中最常用的分析仪表之一。

半导体式气体传感器

半导体式气体传感器是根据由金属氧化物或金属半导体氧化物材料制成的检测元件，与气体相互作用时产生表面吸附或反应，引起载流子运动为特征的电导率或伏安特性或表面电位变化而进行气体浓度测量的。从作用机理上可分为表面控制型(采用气体吸附于半导体表面而产生电导率变化的敏感元件)、表面电位型(采用半导体吸附气体后产生表面电位或界面电位变化的气体敏感元件)、体积控制型(基于半导体与气体发生反应时体积发生变化，从而产生电导率变化的工作原理)等。可以检测百分比浓度的可燃气体，也可检测ppm级的有毒有害气体。具有结构简单、检测灵敏度高、反应速度快等诸多实用性优点，但其主要不足是测量线性范围较小，受背景气体干扰较大，易受环境温度影响等。

气相色谱式分析仪

气相色谱式分析仪是基于色谱分离技术和检测技术，分离并测定气样中各组分浓度，因此是全分析仪表。在发电厂锅炉试验中，已有应用。工作时，从进样装置定期采取一定容积的气样，在流量一定的纯净载气(即流动相)携带下，流经色谱柱，色谱柱中装有称为固定相的固体或液体，利用固定相对气样各组分的吸收或溶解能力的不同，使各组分在两相中反复进行分配，从而使各组分分离，并按时间先后流出色谱柱进入检测器进行定量测定。根据检测原理，又细分为浓度型检测器和质量型检测器两种。

浓度型检测器测量的是气体中某组分浓度瞬间的变化，即检测器的响应值和组分的浓度成正比。

质量型检测器测量的是气体中某组分进入检测器的速度变化，即检测器的响应值和单位时间进入检测器某组分的量成正比。最常用的检测器有TCD热导检测器、FLD氢火焰离子化检测器、HCD电子捕获检测器、FPD火焰光度检测器等。其中TCD检测器、HCD检测器属于浓度型，FLD检测器、FPD检测器属于质量型。TCD检测器是应用最早且最广的通用性检测器，具有灵敏度适宜，通用性强，稳定性好、结构简单的特点。FLD检测器对大多数有机化合物具有很高的灵敏度，一般比TCD灵敏度约高3~4个数量级，能检测至ppb级的痕量物质，且响应速度快。HCD检测器是一种具有选择性的高灵敏度检测器，对电负性物质具有非常

高的灵敏度，其灵敏度比 FID 还要高出 2~3 个数量级。FPD 广泛用于 SO₂、H₂S 等的分析。

总之，气相色谱仪的主要优点是灵敏度高，适合于微量和痕量分析，能分析复杂的多相分气体。缺点是定期取样不能实现连续进样分析，系统较为复杂，多用于试验室分析用，不太适合工业现场气体监测。目前已有采用计算机控制仪表系统的操作和进行数据运算的气相色谱仪，并可进行组分越限报警，还具有自动检查仪表故障等功能。(end)