

环境监测中传感器技术的应用

王谦¹ 李秀华²

(1. 济宁市汶上生态环境事务中心 山东省济宁市 272500)

(2. 济宁市汶上生态环境监控中心 山东省济宁市 272500)

摘要: 本文首先介绍了环境监测的常规传感器分类, 然后围绕智能传感器在环境监测中的应用原理、具体应用方式展开介绍, 希望为从业者提供一定的参考。

关键词: 环境监测; 传感器技术; 半导体; 智能传感器

时至今日, 人们已经逐渐形成了环保意识, 相继提出了可持续发展、绿色发展理念, 希望使人类发展过程与自然环境之间保持和谐共生的特点。为达到这一目的, 人类需要对自然环境中含有的各类污染物的成分、含量进行监测, 用以判断环境条件处于什么样的状态, 之后将相关结果应用于政策制定。由此可见, 环境监测工作在现代社会不可或缺, 必须引起重视。在监测环境质量的过程中, 多种类型的传感器技术已经得到了广泛应用, 具有较强的分析价值。

1 应用于环境监测的常规传感器分类及应用分析

1.1 气体传感器在环境监测中的应用分析

1.1.1 气体传感器在环境监测中的综合应用

气体传感器是能够对大气环境中污染物进行有效监测的重要设备, 包括含硫氧化物等污染物质, 均能够应用到气体传感器形成更加精确的检测结果^[1]。并且在室内空气环境质量检测工作当中, 同样也可以应用到气体传感器实施, 尤其是房屋中的空气污染相对较为严重的环境, 通过气体传感器技术, 能够形成高效环境检测效果。以生活中最为常见的氮氧化物作为空气污染物进行研究, 这样的空气污染物大多数情况下来源于汽车尾气。随着我国不断提高国民经济水平, 促使社会整体经济消费规模不断扩大, 其中, 以汽车行业为代表, 获得了良好的发展, 近年来, 汽车供应量不断提高, 促使汽车尾气排放量同样随之提升。大量的氮氧化物就隐藏在这样的汽车尾气中, 而实施气体传感器检测技术对这样的物质进行检测则可以应用到金属氧化物半导体。

并且在应用到气体传感器技术检测大气环境时, 其中的另一重点内容则是关于酸雨的检测^[2]。酸雨的形成是由于空气中含有大量的含硫氧化物, 从而在降雨过程当中随雨水降落到地面, 酸雨所具有的污染危害相对较为严重, 因此则需要紧密关注酸雨污染问题。大气环境中的含硫氧化物实际含量, 一般情况下低于 1×10^{-6} , 因此, 需要应用到灵敏度相对较为良好的传感器设备, 才能够精准检测含硫氧化物含量。

气体传感器检测技术实际应用过程当中, 一般情况下会应用到氧化锡、氧化钨等直径处于 $8 \sim 16\text{nm}$ 之间的纳米颗

粒。检测氮氧化物或是二氧化氮等, 最低的检测限度一般控制在 5×10^{-8} 左右, 要求处于标准的大气检测条件, 才能够精准获取大气环境中的污染物含量。并且通过纳米颗粒结合传感器的技术应用, 促使实际检测反应面积有所提高, 能够形成更加精准的检测效果。对于常规传感器而言, 不仅能够避免其在工作运行过程中的温度过高, 同时也能够降低能源资源消耗。

1.1.2 半导体气体传感器的应用

气体传感器在实际应用过程当中分为众多不同类型, 其中最常见所应用到的传感器则是半导体气体传感器以及电化学法气体传感器。其中, 半导体气体传感器在环境监测过程当中应用原理则是通过在半导体材料表面所吸附的分子, 形成电化学反应变化。大多数的半导体气体传感器最高使用时限为两年, 相较于电化学气体传感器而言, 这样的半导体气体传感器本身具有相对较低的灵敏度, 并且价格昂贵, 但是由于其在监测环境污染过程中的运行状态能够始终处于相对稳定的效果, 受到广泛欢迎。

半导体气体传感器结构本身所应用到的材料存在一定差异性, 不同的半导体材料可以分为碳纳米类型、金属氧化物类型以及有机半导体类型。碳纳米类型的半导体气体传感器最早则是在2011年创新研发所形成的, 并对室温环境下空气中的氢气进行了检测试验, 获得了良好成效, 随后在逐渐发展过程当中, 在2016年借助于有机金属络合物能够敏感检测空气环境中的温室气体, 从而在气体传感器技术中成为了最为先进的应用设备。金属氧化物半导体气体传感器结构一般情况下应用到众多复杂的材料, 在这样的技术发展过程当中, 首先则是应用到 ZnO 、 WO_3 等, 对空气环境中的氢气敏感性进行测量。随后在2015年中适用于室温气体环境下的金属氧化物传感器应运而生, 通过不断发展至今, 现已能够对空气中的二氧化氮浓度进行检测。

1.1.3 电化学法气体传感器的应用

电化学法气体传感器同样也是现阶段在空气环境监测中最为常见应用到的气体传感器类型^[3]。其应用检测原理则是通过气体扩散在传感器设备的催化电极中产生氧化还原反

应,进而在电流检测下反映出气体电流数值参数对应气体浓度,从而完成空气中的污染物含量检测。这样的电化学法气体传感器检测功率相对较高,并且运行成本消耗相对较少,具有相对较高的灵敏度,在气体检测过程当中,所需要的实际检测时间相对较短,操作简便。但是相对而言,这样的电化学气体传感器设备仅能够维持一年的使用寿命,并且在检测过程当中,包括 NO_2 、 CO 、 VOC_3 等众多物质均能够对检测结果产生一定程度的干扰,促使最终的检测数值始终处于漂移不定状态,则需要对传感器设备进行重复校准调整。在2013年中,电化学法气体传感器的应用技术实现了创新优化,改善了灵敏度与信噪比,从而能够对 NO 、 CO 等处于10-9状态形成更加精确的检测效果。

1.2 液体传感器在环境监测中的应用分析

液体传感器本身常见应用在检测水体环境中,这是由于水环境一般情况存在着众多复杂多样的污染物种类,并且相较于气体传感器而言,液体传感器本身在应用中能够体现出更加强大的实用性,具有相对较高的检测效率。并且对于水环境而言,在实际当中的污染物并不仅仅是局限于简单的天然污染,更是基于社会生产以及生活中的人为因素造成复杂的污染状态。水环境中存在着大量的有机物以及无机物等。常见在水环境中存在的污染物包括激素类代谢物或是杀虫剂等众多有机污染物,而无机物则主要是以重金属等离子为代表所形成的。这样的污染物在水体环境中的含量如若出现严重的超标现象,则将会促使水体本身受到严重的影响,威胁自然环境的同时,促使人类的生命安全等同样受到影响。

1.2.1 液体传感器应用于检测无机物中的重金属离子

我国工业发展处于良好势态,包括矿业,印刷等众多企业在产品生产,建设过程当中消耗大量的水资源并进行排放,众多污水中含有大量的重金属离子^[4]。这样的工业废水包括汞、铬、锰、铅等重金属离子,如若在水体环境中经过检测,处于超标状态,则会导致水体富集,从而引发水环境中的各种生物体出现大面积集体中毒或是死亡的现象。而对于这样的工业废水处理重金属离子时,仅仅是能够改变重金属离子的外在形态,而无法彻底解决重金属离子对水体环境所带来的毒害污染问题。因此,在应用到液体传感器对水体环境进行检测的过程当中,需要对地下水形成自动采样抽取检测工作。使用自动化传感器借助于分光光度计,结合1,2-联苯卡巴肼的作用,从而能够精准识别地下水环境中所存在的重金属铬含量。

1.2.2 液体传感器应用于检测农药残留物

农业始终是我国的大规模生产建设产业,在实际发展农业的过程当中,为了能够获得更好的经济效益,往往会应用到大量的农药,对农业生产种植中的病虫害进行防治。然而,

根据在农业生产中的农药实际应用效果而言,对农林病虫害的抑制效果仅能够维持相对较短的时间。过量使用农药,不仅会对农业生产产量与质量造成影响,同时也会对人畜生命健康造成一定危害。根据有关调查研究显示,大多数的农业生产中,利用农药消灭病虫害的过程中,最高仅能够达到10%的有效利用率,其余的农药在农业土壤环境中残留,并随地下水逐渐向附近的河流水源等汇集,从而造成严重的土壤污染与水体污染。通过水源在食物链中的作用,促使人类的生活活动中会使用到众多含有农药污染的水源,促使人体中逐渐被农药侵蚀,长此以往,将会严重威胁到人类健康。

而应用到液体传感器检测农业生产中的农药残留状况以及残留含量等,可以应用到电流计或是钴-苯二甲蓝染料等^[4]。通过实际的应用检测结果发现,在实际中的检测,以三嗪类除草剂为例,最低的检测含量为 $50\mu\text{g/L}$,并且在这一基础上浓缩检测样品,最大的检测限度上升至 200ng/L 。并且除此之外,在应用到液体传感器检测杀虫剂的过程当中,通常情况下,以最常见的红外光谱传感器作为检测设备。这样的传感器由于其本身携带有光钎,因此,能够有效避免在传感器在线监测过程当中出现明显的信号耗散问题,确保能够通过光谱作用对杀虫剂中的有机磷类物质进行分析检测,并确定相关环境中的含量。

1.2.3 液体传感器应用于检测多环芳香烃类化合物

多环芳香烃类化合物,大多数情况下是由于在工业生产建设过程当中所造成的,这样的污染物,其具有着较强的污染特性,并且容易引发癌症等重大疾病,这样的物质属于当前环境污染中最为严重的污染物质。但是一般情况下而言,这样的芳香烃类化合物,其本身在水体环境中所存在的含量处于相对较为微弱的状态,因此,在环境监测过程当中,检测芳香烃类化合物要求所使用到的传感器设备及灵敏度相对较高。而根据现阶段的液体传感器发展技术水平而言,光纤光学荧光传感器则是能够灵敏检测芳香烃类微弱物质化合物的有效传感器设备。但是在检测过程中,由于多环芳香烃类化合物的含量十分微小,常常会受到其他物质的检测干扰,从而影响到检测信号值。为了能够有效解决这一问题,则需要传感器检测过程当中应用聚合物膜,促使水体环境中的芳香烃类物质等形成富集效果,从而实施荧光检验,能够形成更加真实可信的检测效果,有效降低干扰信号问题。

1.3 湿度传感器在环境监测中的应用分析

1.3.1 湿度传感器的结构

湿度传感器的主要作用是,对大气环境中的水分含量进行监测,最终测定空气湿度。相较于气态二氧化硫、氮氧化物、碳氧化物等物质,人们在面对“水”时,首先映入脑海中的印象是“水是生命的源泉”,对水普遍持有“好感”^[5]。

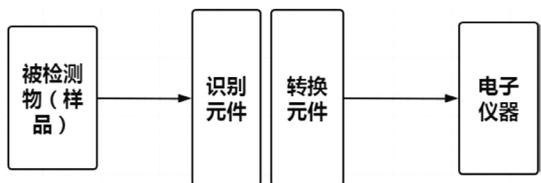


图 1: 生物传感器的运行原理



图 2: 不同类型的生物传感器

但自然规律讲究“平衡”，任何事物一旦“过度”，则好事也会转变为坏事。比如人们在生活中都有如下体验，如果空气的湿度较大，无论温度高低，身体的舒适感均会明显下降。如在高温环境下，湿度较大，则人们仿佛置身于汗蒸桑拿房之中，全身上下长时间处于“湿漉漉”的状态；而在低温环境下，湿度较大，则人们会感觉“冷风仿佛往骨头里钻”，感受到刺骨的寒冷。而决定空气湿度的根本性因素便是空气中的水分含量。现阶段，应用于测量空气湿度的传感器的结构并不复杂，由电源、感知空气中水分含量的数字传感器、单片机、触摸屏等组成。其中，数字传感器基于对空气中水分的感知原理制成；单片机的核心元器件是监测用芯片，内中含有控制程序；触摸屏负责人机交互操作，体现设备的智能性。

1.3.2 湿度传感器在环境监测中的应用原理

湿度传感器应用于环境监测（主要用于对空气环境中的水分进行监测）的原理为：传感器的核心元器件是电敏感元件，会根据空气中的水分含量的差异而出现不同的变化，这种变化最终会以数字的形式呈现出来。现阶段最常用的电敏感元件是电阻式氯化锂湿敏元件。具体而言，氯化锂是一种具有代表性的湿敏物质，空气中湿度的大小直接影响该物质对水分的吸收能力——当空气中的湿度提升时，氯化锂会因吸收大量空气中的水分而导致内部带电粒子的活性提升，对应电阻的阻值会下降；如果空气湿度降低时，氯化锂吸收的水分降低，带电粒子的活性也会随之降低，电阻值便会增加。

由此可见，空气中的水分含量（即空气湿度）与电阻式氯化锂湿敏元件的实时电阻值之间具有反比例的关系——空气湿度越大，电阻值越低；空气湿度越小，电阻值越大。

1.4 生物传感器技术在环境监测中的应用分析

1.4.1 生物传感器技术在环境监测中的应用原理

生物传感器应用于环境监测中的原理为：基于不同的生物、物理、化学要素，相结合后对被分析物进行监测。其中，不同的物质对生物物质具有敏感性，不仅能够切实监测到目标生物，还能够将其浓度转换为电信号。这种能够产生电信号的生物敏感材料一般被制作成识别元件与理化换能结构器，前者主要包括各种生物酶、抗体、抗原、微生物、细胞、组织等；后者主要包括氧电极、光敏管、场效应管等。生物传感器具体应用于环境监测时，主要由其中的“分子识别模块”首先接触被测区域，用于确定其中是否含有目标物质。当生物酶、抗体、组织、细胞等物质成功识别目标检测物之后，会与其结合成复合物。具体的原理为：抗体会与目标抗原相结合（反之也成立，即抗原会与目标抗体相结合），生物酶会与基质相结合。完成上述流程之后，目标监测物与检测物质生成的复合物会进入得到固化的生物敏感膜层，最后经过分子识别，产生生物学反应。对应的信息会被生物传感器中的化学换能器转变成能够被定量处理的电信号，之后与其他信号类似，经由放大器输出处理后，可得到目标检测物的浓度。具体如图 1 所示。

1.4.2 生物传感器技术的具体应用

如图 2 所示，为不同类型生物传感器的具体分类情况。可以看到，不同的敏感材料、分子识别部分、信号转换部分、信号转换器之间均存在一一对应的关系。

（1）在监测空气中二氧化硫浓度方面的应用。

生物传感器在一定程度上替代了传统的气体传感器，可应用于气态二氧化硫、氮氧化合物的监测^[6]。但具体的原理与气体传感器存在差异。比如生物传感器应用于空气环境中的气态二氧化硫检测时，主要应用的物质是氧电极以及含有亚硫酸盐氧化酶的肝微粒体。具体的应用时间为：必须在降雨发生期间，这种生物传感器才能够对雨水中的亚硫酸盐的浓度进行监测，最终根据化学反应方程，确定空气中气态二氧化硫的浓度。主要过程为：传感器中含有的微粒体与雨水接触后，如果其中确实含有亚硫酸盐，则二者接触并立刻发生氧化反应。这一过程必定会消耗一定量的空气氧，造成的结果是：空气中氧电极周围的溶解氧浓度会降低，之后会导致生物传感器的电流出现相同变化，最终引起间接反应，进而确定亚硫酸盐的浓度。

（2）在监测空气中氮氧化物浓度方面的应用。

对空气中以二氧化氮为代表的氮氧化合物的浓度进行监

测的原理为：氧电极同样不可或缺，但其他物质转换为固定化的硝化细菌、多孔气体渗透膜等物质。其中，亚硝酸盐被用作硝化细菌能源，该物质的含量增加后，传感器的“呼吸活性”也会随之增加。在呼吸过程中，氧电极附近区域同样出现氧含量（溶解氧）含量降低的情况，最终便可完成对亚硝酸盐含量的检测，进而体现出空气环境中气态二氧化氮等氮氧化合物的浓度。

(3) 在监测水环境中 BOD 物质、苯酚类化合物浓度方面的应用。

生物传感器的优势在于，除了直接对空气环境中的目标物质进行监测之外，还可以应用于其他环境。如对水环境中的 BOD（生物化学需氧量）物质、苯酚类化合物的浓度进行监测的原理如下：其一，BOD 物质。将微生物混合菌或单一菌种制作成生物敏感元件。当 BOD 出现加入、降解代谢等情况时，呼吸方式会发生转化——从之前的呼吸方式转化为微生物内外源呼吸方式。与此同时，耦连输出电流的强弱性会发生变化，呈现出的规律为：传感器的输出电流值与 BOD 的浓度之间呈现出明显的线性关系。其二，苯酚类化合物。在存在分子氧的情况下，可依靠酪氨酸酶实现对单分子单酚类物质的氧化，最终使其生成二酚，最后氧化成苯醌类物。苯醌类物质的特点在于：能够基于电化学反应的过程，实现对电子的吸收，最后会转化成邻苯二酚。通过对邻苯二酚生成量（包括对苯醌类物的生成量）的监测，最终可以实现对苯酚类化合物浓度的监测。

2 智能传感器技术在环境监测中的应用分析

2.1 智能传感器的构成及运行原理

在多种传感器应用于环境监测之后，为了提高监测效率和质量，从业者对传感器的微处理器提出了新的需求^[7]。在新型智能微处理器问世之后，在不断升级改造的过程中，设计人员逐渐将各类传感器、微处理器、信号处理电路集成一个整体。相较于普通传感器，智能传感器实际上可被视为具有专业用途的微型计算机，无论是监测目标物质还是分析相应的信号，整个过程的自动智能化水平都得到了提升。

2.2 智能传感器在环境监测中的具体应用

2.2.1 应用于温室环境监测的复合传感器技术

一种应用于温室环境监测的智能传感器的构成为：具有一个微处理器，可实现信号的统一输出与分析、传播，能够有效减少处理流程；同一个电源，实现供电的统一；在内部设置分压器，可对多个器件进行分压处理，以达到降低电源连接压力的目的。

2.2.2 应用于温室环境监测的标准化智能传感器技术

最近几年，应用于温室环境监测的传感器大多采用分布式结构，普遍存在引线多、传感器位置与控制器之间距离较远等问题，直接导致传感器产生的模拟信号无法与计算机进行直接连接的问题。但随着集成电路工艺的进展，上述问题自然而然便得到了解决——以 LG 公司推出的 SmartThinQ 为代表的智能传感器能欧清晰感知振动及温度等情况，相关信息可迅速上传并得到分析，最终得到准确的环境监测结果。

3 结语

综上所述，在现代社会，传感器是一类对特定物质具有较强敏感性的元器件，应用于环境监测时，能够基于多样化的运行原理，实现对某种目标物质在一定环境中的浓度的检测，具有较强的精确性。常规的检测传感器一般具有明显却单一的特征，如很多气体传感器只能用于监测空气中的气态污染物，液体传感器只能用于监测某种物质中残留的液体污染物。但近年来，随着技术的革新及思路的转变，以生物传感器、智能传感器为代表的新技术已经打破了局限性，如生物传感器在很大程度上具备了气体传感器的功能，但气体传感器却无法具备生物传感器的其他功能。由此可见，当传感器技术不断升级，环境监测工作的开展质量也会随之提升，将会促进绿色发展时代早日到来。

参考文献

- [1] 周晓珏. 基于多传感器融合技术的粮仓环境监测系统设计[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2022, 21(02): 23-28.
- [2] 王永杰, 孙皓. 湿度传感器在环境监测中的技术应用研究[J]. 环境技术, 2022, 40(01): 206-210.
- [3] 张旭帆. 面向水环境监测的传感器网络视觉感知方法研究[D]. 中国地质大学, 2021.
- [4] 贺俊宾. 面向计量实验室环境监测的多传感器数据融合算法研究[D]. 湖南师范大学, 2021.
- [5] 王艳丽. 环境监测无线传感器网络虚假数据检测算法研究[D]. 河北地质大学, 2020.
- [6] 梁壮. 高速列车车厢运行环境监测无线传感器网络高效路由协议研究[D]. 兰州交通大学, 2020.
- [7] 秦孝良, 高健, 王永敏, 等. 传感器技术在环境空气监测与污染治理中的应用现状、问题与展望[J]. 中国环境监测, 2019, 35(04): 162-172.

作者简介

王谦(1971-), 女, 山东省济宁市人。大学本科学历, 高级工程师。研究方向为环境监测与保护。

李秀华(1982-), 女, 山东省济宁市人。硕士研究生, 工程师。研究方向为环境监测与保护。