

电化学传感技术在环境监测中的应用及发展前景

Yajie Zhang

辽宁科技大学 辽宁鞍山

【摘要】在当前的环境保护形势下，环境监测尤为重要。作为一种新兴的监测方法，电化学传感技术因其独特的优势正逐渐受到人们的重视。该技术不仅灵敏度高，能够快速检测环境中的痕量物质，而且成本相对较低，更易于在各基层单位推广使用。在空气监测领域，电化学传感技术可以实时追踪空气中污染物的浓度，包括二氧化硫、氮氧化物等有害气体。这些气体的存在不仅会影响空气质量，还可能对人体健康构成威胁。通过电化学传感技术，我们可以及时监测空气中的污染物浓度，并采取必要的控制措施。在水质监测领域，电化学传感技术也发挥着至关重要的作用。通过电化学传感技术可以检测水中的重金属、有机物等污染物。与传统的水质监测方法相比，电化学传感技术响应速度更快、灵敏度更高，能够更好地反映水质的实时变化。

【关键词】电化学传感技术；环境监测；应用；发展前景

【收稿日期】2025 年 3 月 15 日

【出刊日期】2025 年 4 月 16 日

【DOI】10.12208/j.epm.20250002

Application of electrochemical sensing technology in environmental monitoring and its development prospects

Yajie Zhang

University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning

【Abstract】In the current environmental protection scenario, environmental monitoring is particularly crucial. As an emerging monitoring method, electrochemical sensing technology is gradually gaining prominence due to its unique advantages. This technology not only has high sensitivity and can detect trace substances in the environment quickly, but it also comes at a relatively low cost, making it easier to promote and use in various grassroots units. In the realm of air monitoring, electrochemical sensing technology can track the concentration of pollutants in the air in real-time, including sulfur dioxide, nitrogen oxides, and other harmful gases. The presence of these gases will not only affect air quality but may also pose a threat to human health. Through electrochemical sensing technology, we can monitor the concentration of pollutants in the air promptly and implement necessary measures to control them. In the realm of water quality monitoring, electrochemical sensing technology also plays a crucial role. Heavy metals, organic matter, and other pollutants in water can be detected through electrochemical sensing technology. Compared with traditional water quality monitoring methods, electrochemical sensing technology offers a faster response speed and higher sensitivity, enabling better reflection of real-time changes in water quality.

【Keywords】Electrochemical sensing technology; Environmental monitoring; Application; Development prospects

1 简介

随着计算机技术、微电子技术的飞速发展以及诸多新工艺、新技术的广泛应用，电化学传感器在电化学传感技术中占有重要地位。它们通过传感器

与目标分析物相互作用产生特异性信号，并按照一定的规律转换成与目标分析物浓度成比例的可识别电化学信号，从而实现对目标分析物的定性或定量分析，具有灵敏度高、选择性好等优点。电化学传感

注：本文于 2024 年发表在 Journal of Electrical Power & Energy Systems 期刊 8 卷 1 期，为其授权翻译版本。

器成本低、操作简便,能够在复杂体系中进行在线监测甚至在体分析等优势,已成为电分析化学研究的一个方向。电化学传感器的分类方法有很多,根据其输出信号的不同,可分为电位传感器、电流传感器和电导传感器。电化学传感器是化学传感器的一种,也是现代化学分析测量中一类特殊的传感器。电化学传感技术将继续朝着智能化、集成化的方向发展,并将广泛应用于环境监测,提供快速简便的分析方法。本文主要从电化学传感技术的基本工作原理、环境监测的概述、电化学传感技术在环境监测中的应用现状、以及在环境监测中的具体应用三个方面进行详细的分析^[1]。

2 电化学传感器的工作原理

电化学传感器是一种通过测量目标分析物的电学或电学性质来实现定性或定量分析的测量方法。与传统方法相比,电化学传感器具有操作简单、价格低廉、分析速度快、适合现场检测等优势,已逐渐成为国内外研究的热点,在生态环境检测、医药、食品检测等诸多领域有着广阔的应用前景。

3 电化学传感器在环境监测中的应用

3.1 海洋水质监测

3.1.1 营养盐监测

海水中含有多种营养盐,如硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐、硅酸盐等。如果海水中营养盐浓度过高,将导致海水及海洋富营养化。藻类快速繁殖,消耗海水中大量溶解氧,导致许多海洋鱼类无法生存,甚至出现赤潮,严重破坏海洋生态环境。为了有效保护海洋生态环境,开展海水营养盐监测工作十分必要^[2]。硝酸盐是海水中重要的营养盐,对海洋初级生产力和海水人工养殖具有重要意义。基于功能纳米材料的电位型微流控传感器采用电化学聚合合成的硝酸盐掺杂聚吡咯纳米线,大大提高了传感器的选择性和灵敏度,并已成功应用于海水中硝酸盐的检测。

3.1.2 有机污染物监测

随着海洋石油开发和工业生产的快速发展,海洋环境污染问题日益严重。海洋环境污染物中最典型的有机污染物包括多环芳烃、多氯联苯、二恶英、有机农药等^[3]。在有机污染物监测方面,电化学传感技术凭借其显著的优势,可以在短时间内监测海水中有有机污染物的实际情况。海水中的有机污染物通常发生多种反应,利用氧化还原反应可以生成一些

具有强电学活性的物质。在海洋沉积物中多氯联苯(PCBs)的检测中,基于丝网印刷电极的电化学免疫传感器利用免疫磁珠实现了样品中多氯联苯的高效、高选择性分离。大多数有机污染物具有相对稳定的电学性质,不能直接在功能化电极表面产生电学响应。然而,大多数有机化合物可以通过电学氧化、还原或在线消解等衍生化过程生成具有电学活性的物质。结合电化学传感器灵敏度高、电学响应快的特点,开发电化学传感器在线快速检测具有广阔的应用空间。

3.1.3 致病菌及生物毒素检测

海水中的致病菌包括来源于陆地的大肠杆菌、志贺氏菌、单核细胞增生李斯特氏菌、沙门氏菌等,以及来源于天然海水的副溶血性弧菌、霍乱弧菌、创伤弧菌等。海水致病菌的污染不仅会给水产养殖业带来巨大的危害和损失,而且威胁着人们的健康和安全。免疫生物传感器具有快速、便携、特异性强、制作简单、识别灵敏等特点,成为致病菌检测领域的研究热点。Sharma等研制了一种电化学酶联免疫传感器用于检测海水中的霍乱弧菌^[4]。

3.2 有害气体监测

3.2.1 甲醛检测

本文选用的电化学甲醛传感器 ME3M-CH₂O,分辨率高达 0.02 ppm。当传感器暴露于甲醛气体中时,甲醛气体传感器采用丝网印刷碳电极作为基底,工作电极对甲醛气体作出响应,其表面采用改进的聚丙烯酸离子传感层产生与甲醛气体浓度成比例的非常小的电流,聚丙烯酸离子用于收集甲醛,同时它也是一个聚合物电极。根据甲醛传感器的结构,工作电极和对电极浸入电解液中时,通过测试电流的大小即可测定 CH₂O 的浓度。每 ppm 的甲醛气体输出 1.1±0.5uA 的电流。经过电流和电压转换后,得到 AD 转换器可以接收的模拟电压值。施加的电压会引起两个电极之间的极化^[5]。恒电位电化学甲醛传感器有三个电极。

3.2.2 一氧化碳检测

CO 传感器主要有两种类型:可变电阻型和电化型。CO 传感器采用郑州威盛电子科技有限公司的 ME2-CO。可变电阻型 CO 传感器采用高低温循环方式,量程可达 1000ppm。由于采用了气敏材料,高温可以清洗掉低温下吸附的杂散气体,在清洁空气中的电导率较低。电导率的变化通过电路映射到一

氧化碳气体浓度，然后输出相应的电信号。当室内气体超过 300ppm 时，指示可燃气体泄漏并实时报警。在低温下检测一氧化碳。随着空气中一氧化碳气体浓度的升高，一氧化碳传感器的电导率也会升高^[6]。

3.2.3 臭氧电化学气体传感器

臭氧测量是空气质量和许多大气化学实验的关键部分。传统的臭氧监测机制基于紫外线吸收，这种机制成本较高，且能量损耗较大，限制了固定位置的使用。电化学传感器仅需 5V 直流电源，总功耗小于 5W。该电化学传感器总重量不超过 1 公斤，可产生与 5-10 ppm 范围内臭氧浓度成比例的电压信号。两款臭氧传感器的性能均具有良好的线性度。传感器的校准和灵敏度受气体样品的相对湿度和流速的影响，因此分别进行。线性校准曲线显示，即使在不同的湿度和流速下，传感器在归零过程中的性能也完全相同，以补偿传感器的基线漂移。快速的湿度变化（约 20%/分钟）会导致传感器信号发生显著且即时的变化，传感器大约需要 40 分钟才能恢复到原始值。相比之下，缓慢的湿度变化对传感器响应的影响较小。为了测试微型臭氧仪的性能，在实验室中使用该臭氧仪检测了臭氧损失。通过 18 天的海水吸收和空气质量检测，研究表明，海水对臭氧的吸收与海水表面微层中的亚油酸呈线性关系。臭氧传感器 18 天的检测数据与紫外吸收法^[7]获得的数据一致性较好。

3.3 土壤监测

3.3.1 土壤 pH 值的测定

pH 值是反映土壤酸碱度的重要指标，对土壤的理化性质、养分状况、重金属活性等都有重要影响。电化学法测定土壤 pH 值是基于离子选择电极的原理，通过测量溶液中氢离子或氢氧根离子的浓度来实现的。试验中，将土样和水按一定比例混合，通过玻璃电极和参比电极测量土壤溶液的 pH 值。该方法具有快速、准确、操作简便等优点，适用于大批量样品的测定。

3.3.2 土壤养分分析

土壤养分是植物生长所必需的元素，包括氮、磷、钾等。测定土壤养分的电化学方法主要基于离子选择电极和极谱分析。通过测量溶液中特定离子的浓度，可以测定土壤样品中的养分含量。例如，硝酸根离子选择电极可用于测量土壤中的氮含量，磷

酸根离子选择电极可用于测量土壤中的磷含量，钾离子选择电极可用于测量土壤中的钾含量。

3.3.3 有机质分解过程研究

土壤中有机的分解是生态系统循环的重要组成部分，对土壤质量、植物生长和污染物降解有着重要的影响。电化学方法研究土壤有机质分解过程的原理是通过测量有机质在电极上发生的氧化还原反应来研究有机质的分解过程。例如，有机酸在阳极上被氧化生成二氧化碳和水，同时释放出电流。通过测量电流的变化，可以研究有机酸的分解过程和动力学。

4 电化学传感器的优缺点

4.1 电化学传感器的优点

可以检测特定的气体：选择性的程度取决于传感器的类型、目标气体和目标气体的浓度；线性输出：低功耗和良好的分辨率；良好的重复性和准确性：一旦校准到已知浓度，传感器将提供目标气体的可重复、准确的读数；不受其他气体的污染：其他环境气体的存在不会缩短传感器的寿命；比大多数其他气体检测技术更经济：与红外和 PID 技术不同，电化学传感器经济实惠。

4.2 电化学传感器的缺点

温度范围有限：由于传感器对温度非常敏感，因此传感器通常会在内部进行温度补偿，以尽可能保持温度稳定；寿命短：电化学传感器的储存寿命通常为六个月到一年，具体取决于使用环境和被检测的气体；与其他气体的交叉敏感性高：虽然这是一个优点，但也是一个缺点。有些传感器容易受到其他气体的干扰。因此，了解哪些气体可能会干扰传感器并尽早发现潜在错误非常重要；传感器暴露在目标气体中的时间越长，其寿命就越短。一般而言，预期寿命为一到三年。低湿度和高温会导致传感器的电解质干涸。暴露在目标气体中或干扰气体交叉也会耗尽传感器上的电解质。

5 电化学传感器在环境检测中的应用前景

5.1 发展前景

5.1.1 多功能与集成

多功能化和集成化是电化学传感器发展的重要方向，各种传感器将被集成到一个系统中。例如，燃料电池传感器将多个传感器组合在一起工作，以实现更佳的性能。

5.1.2 小型化和便携性

电化学传感器的主要优势在于体积小、响应速度快, 因此未来传感器将朝着小型化、便携化的方向发展。同时, 降低成本也是小型化、便携化的一个重要方向。

5.1.3 智能化、网络化

利用物联网和云计算技术, 实现传感器互联互通和数据共享, 通过智能算法的优化和处理, 更好地分析传感器数据, 实现智能检测和控制。

5.2 展望

目前大多数电化学传感器通常只能对单一污染物进行研究, 而缺乏对整类污染物的系统研究, 虽然研究难度较大, 但随着电化学传感器技术的逐渐创新和完善, 未来将可以实现对相关企业的污水排放、废气排放的现场直径检测, 以及对城郊环境的检测, 实现在人工监督下的动态形态的实时监测, 而对于电化学生物传感器而言, 由于其对环境污染少、样品消耗少、样品损失低等特点, 电化学传感器广泛应用于实时、原位、连续监测等方面, 具有显著的应用潜力, 并取得了显著的发展前景。

参考文献

- [1] Sui Xiaoyu. Application of electrochemical sensing technology in marine environment monitoring. <https://eudl.eu/pdf/10.4108/eai.24-11-2023.2343445>.
- [2] Lei Dongwei. Research on electrochemical sensing

technology and nanomaterial application [J]. Information Recording Materials, 2019, 20(06): 47-48.

- [3] Li Hongtao, Liu Xiaoyu, Yu Guoqing. Research on the application of electrochemical sensing technology in marine environment monitoring [J]. Science and Technology Wind, 2014 (13): 209.
- [4] Lvarez-Romero G A, Alarcon-Angeles G, Merkoj A. Graphene. Insights of its Application in Electrochemical Biosensors for Environmental Monitoring [M]. John Wiley & Sons, Inc. 2014.
- [5] Tong W, Ruizeng W, Yong H, et al. Application Research of Satellite Remote Sensing Technology in Power System [C]//2019 5th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR). IEEE, 2019. DOI:10.1109/ICCAR.2019.8813736.
- [6] Zor K. Design and development of electrochemical sensors with application in bioanalysis [J]. Biology & Life Sciences, 2011.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS