

探秘生活中的电化学技术

李姝慧, 王旭岑, 潘英明*

广西师范大学化学与药学学院, 省部共建药用资源化学与药物分子工程国家重点实验室, 广西 桂林 541004

摘要: 近年来, 电化学技术不仅推动了能源、环保和材料科学等领域的进步, 还为我们的日常生活提供了许多便利和保障。为了让电化学能够更贴近现实生活, 让人们透过现象看到本质, 本文将通过介绍自热包、体育产业、核酸检测等方面的电化学知识, 主要包括电化学腐蚀发热、电化学储能技术以及石墨烯纳米复合材料在核酸传感器中的应用, 提高人们对电化学的认识, 从而更好地理解生活现象, 提高科学素养。

关键词: 电化学腐蚀发热; 电化学储能技术; 电化学传感器

中图分类号: G64; O6

Exploring the Role of Electrochemical Technologies in Everyday Life

Shuhui Li, Xucen Wang, Yingming Pan *

State Key Laboratory for Chemistry and Molecular Engineering of Medicinal Resources, School of Chemistry & Pharmaceutical Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China.

Abstract: In recent years, electrochemical technology has not only advanced progress in energy, environmental protection, and materials science but also enhanced the convenience and security of our daily lives. To bridge the gap between electrochemistry and real-world applications and to elucidate the underlying principles behind observable phenomena, this article introduces key electrochemical concepts in areas such as self-heating packs, the sports industry, and nucleic acid detection. The focus will be on electrochemical corrosion heating, electrochemical energy storage technologies, and the use of graphene nanocomposites in nucleic acid sensors. This paper aims to enhance public understanding of electrochemistry, thereby fostering a deeper comprehension of everyday phenomena and improving scientific literacy.

Key Words: Electrochemical corrosion heating; Electrochemical energy storage technology; Electrochemical biosensor

电化学技术在日常生活应用中逐渐变得广泛, 例如方便操作的自热锅和冬季必备的暖宝宝等产品, 均与其紧密相关。那么这些产品背后又隐藏着哪些电化学原理呢? 本篇文章通过剖析自热包、体育产业、核酸检测等领域中涉及到的电化学技术, 一一揭晓其背后的电化学原理, 以此增进公众对电化学的认识。

收稿: 2024-06-16; 录用: 2024-09-02; 网络发表: 2024-10-25

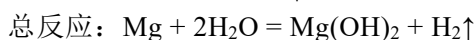
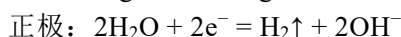
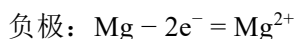
*通讯作者, Email: panym@mailbox.gxnu.edu.cn

基金资助: 国家级第二批一流本科课程线下一流课程“有机化学”; 广西壮族自治区级一流本科课程线下一流课程“有机化学”(桂教高教[2021]11号); 广西壮族自治区课程思政示范课程“有机化学”(桂教高教[2022]52号); 广西高等教育本科教学改革工程项目(2023JGB133, 2024JGZ113); 广西师范大学“专(思)创融合”示范课程建设项目(师政教学[2024]133号)和研究生课程思政示范课程建设项目(师政教学[2024]78号)

1 镁水型自热包的电化学腐蚀发热

在日常生活中，形形色色的自热产品屡见不鲜，诸如自热饭盒、发热贴等。下面将聚焦于以镁水为动力的自热包，探讨其基于电化学反应产生热量的机理。

依据所构建的原电池装置-原理二维认识模型(图1)^[1]，在设备层面，镁粒子承担了失去电子的任务，充当阳极(负极)；相对地，铁粉得到电子，充当阴极(正极)。阳极和阴极区域之间的直接接触，让它们同时扮演了电子导体的角色，因此不需要额外的导线就能传输电子。此外，通过将NaCl加入去离子水制成电解质溶液，该溶液的离子导电性得到增强，进而加快了溶液内阴阳离子的迁移速率。在理论层面，还原剂Mg粒子作为阳极，与氧化剂H₂O发生了镁的析氢腐蚀反应。以下是相关的电极反应以及总的化学反应方程式^[2]：



因此，在镁水型自热包工作的过程中，会产生较大的还原电势。通过精密压制，镁粉与铁粉合成相互连接的电池，提升其加热效果。这一过程催生了无数微型电池在液态介质中释放能量，迅速累积大量的热值，从而用于食物的加热。

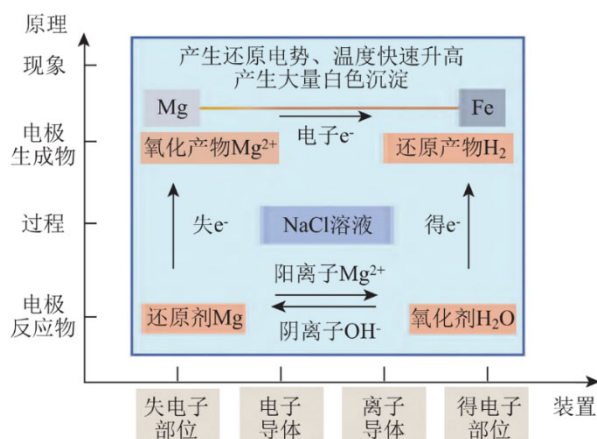


图1 镁水型自热包腐蚀原电池的装置-原理二维认识模型

2 电化学储能技术

自20世纪70年代起，人们开始将电化学储能技术视为一种有潜力替代传统大规模能量存储方法的先进技术。电化学储能技术是依靠化学反应或电能转换来辅助能量存储和释放，以提高能源使用效率的一种先进手段。

当前，全球新一轮科技革命和产业变革蓬勃发展，融汇新能源、新材料和互联网、大数据、人工智能等多种变革性技术，已成为全球能源发展的主要方向和促进世界经济持续增长的重要引擎^[3]。电化学储能技术的广泛应用推动了多个领域的进步，与此同时，将这一技术与多种其他技术融合，以应对分布式能源生产中的波动和稳定性挑战，已经成为储能研究领域的核心探索路径^[4]。随着体育产业的迅猛增长，电化学储能技术有望在体育领域占据一席之地。

2.1 体育场馆灯光系统

合理利用电化学储能技术，可以有效缓解体育场馆灯光系统能耗过高的问题。在国家积极倡导绿色发展的背景下，体育场馆灯光系统的电化学储能技术得到了广泛推广，这不仅提升了能源效率，还减少了成本和环境污染。此外，它还增强了能源安全保障，并推动了可持续发展的实现，成为了当前研究的主流趋势。

电化学储能技术被认为是可再生能源系统中一个重要的发展方向，它有助于满足绿色能源利用的现代化需求，从而推动体育行业的可持续发展。这项技术涉及化学能和电能之间的转换，旨在增强能源利用效率。其核心理念在于：在特定环境下，直流电流经储存系统时，能够将电能转变为化学能(图2)，这种转换使得能源的输出速率能够超过输入速率。高效的电化学能量存储设备在电力供应不足或出现系统故障时，能够向电网稳定地供应能量，从而显著降低对电能的需求^[4]。

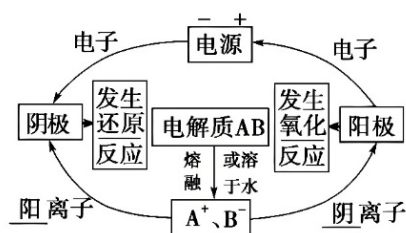


图2 电能转化为化学能的原理示意图

2.2 体育赛场用电

中国体育事业的蓬勃发展推动了各项体育赛事的举办，电化学储能技术的提升，也极大地促进了体育竞技产业的发展，同时可减少体育赛事的相关费用。把电化学储能技术融入到体育赛事相关的设备和场地中，不仅可显著降低电力消耗，而且符合我国目前推崇的绿色发展理念，对体育事业的推进也起到了积极作用。

在常规的体育场馆电力系统运作中，常常会出现电力超负荷的问题，从而引发电力系统故障，甚至在比赛中引起意外事故。鉴于以上情况，有必要构建一套智能化、专家级且效率卓越的大型赛事电力供应系统，确保赛事用电的可靠性，进而为参赛者营造一个安全环保的比赛氛围。电化学储能技术能将能量存储并转换，在电力需求高峰期间，将蓄积的电力转换成机械能或化学能，进而实现电力供需的平衡，减轻电力系统的供应压力^[4]。

电化学储能技术的发展和應用，推动了体育产业的科技创新，为体育产业提供了新的动力和发展路径。该技术的应用不仅为体育产业提供了稳定可靠的电力支持，还促进了体育产品质量和产业服务水平，通过推动体育与各行业的协同联动、融合互通，实现产业链供应链优化升级、培育新产业、新动能。

3 石墨烯复合材料电化学传感器

当前，病毒检测技术主要有：(1) 聚合酶链反应(PCR)、等温扩增技术；(2) 基于规律间隔成簇短回文重复序列(CRISPR)及相关蛋白(Cas)的生物传感技术；(3) 荧光法^[5]、表面增强拉曼光谱(SERS)^[6]、比色法^[7]、电化学传感器^[8,9]。在这些技术检测手段中，电化学传感器因其设备结构简单、操作便捷、成本低、样本需求量少、反应迅速、敏感度高等特点而突出重围，使得电化学传感器依托智能设备，近年来成功地实现了商品化和规模化生产。

电化学传感器利用导电或半导体材料构建传感平台，将识别单元附着于其表层，通过检测目标物质与识别单元之间发生的特异性生物互动所转化的电化学波动，实现对物质的识别与量化分析。伴随着纳米技术的兴起与进步，电化学传感器的创新及研制得以拓展至新的维度。特别是石墨烯这类具有二维结构的纳米材料，以其卓越电子传输性能(拥有最佳的载流子迁移率)、机械强度(拥有高的抗拉强度)、吸光特性(拥有相对较高的吸光率)以及出色的生物兼容性，在生物传感领域的研究与产品开发中占据了重要地位^[10]。

3.1 石墨烯-金属纳米复合物

金属纳米颗粒对碳基纳米材料(碳纳米管和石墨烯等)进行修饰，极大提升了其在生物分子检测

中的应用性能,有效增强了信号放大效应,同时提高了灵敏度和特异性识别能力。

金纳米颗粒(AuNPs)与石墨烯材料相结合,被长期应用于基于金属纳米材料的生物传感器中,从而实现DNA检测技术(图3)。如Malla团队^[11]开发的一种针对新冠病毒核衣壳蛋白基因的电化学检测传感器,该团队成功合成了AuNPs修饰的磁性还原氧化石墨烯(AMRGO),并将该材料用作传感器的电极(图3a)。而Alafeef等人^[12]选择了一种以石墨烯为核心的纸基电化学传感器,该传感器用4个硫醇修饰的单链DNA封端的AuNPs作为感应单元,凭借石墨烯的优异吸附能力和高电荷载流子传输特性增强对新冠病毒的检测敏感度(图3b)。

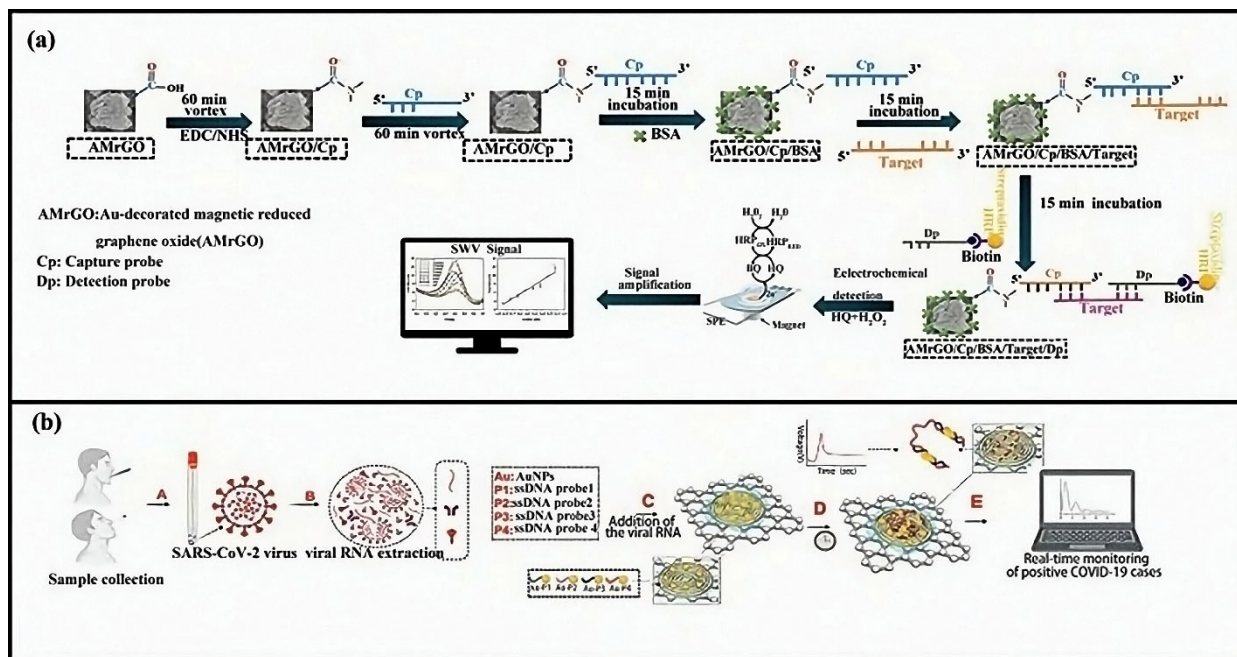


图3 石墨烯-AuNPs在新冠病毒检测中的应用

(a) AMRGO修饰电极检测新冠病毒流程图^[11]; (b) 纸基石墨烯-AuNPs电化学传感器检测新冠病毒流程图^[12]

科研人员除了探索前述两种用途外,还致力于将金纳米颗粒以多种不同形态运用于电化学传感器的制造过程,实现核酸检测中的双重信号增强。当石墨烯的不同衍生物,与不同形态的金属纳米粒子相结合时,形成的复合物能显著影响电催化作用、分散性以及生物兼容性,极大地拓展了其在核酸检测领域的潜在应用范围。

3.2 石墨烯-金属氧化物复合物

通过将金属氧化物纳米颗粒插入石墨烯层间,优化石墨烯电极材料的能量密度的这种方法有助于防止石墨烯层的堆叠,确保了电荷的高容量。

在Chen等^[13]的研究中,独特的传感电极由三维氮掺杂石墨烯(3D NG)和 Fe_3O_4 纳米颗粒组成,3D NG- Fe_3O_4 纳米颗粒展现出了显著的协同效应。由于3D NG的高度多孔性使得表面积增大,从而使 Fe_3O_4 能够均匀地分布在3D石墨烯水凝胶上,不仅促进了电子的转移,还提升了DNA检测的特异性和灵敏度。

与金属纳米材料相比,金属氧化物不仅稳定性更佳,而且应用范围更为广泛。借助不同种类的金属氧化物对石墨烯及其氧化物进行功能化处理,从而有效提升其作为传感材料的电催化性能,同时可增大活性表面积、电导率、功能多样性以及电子的转移速率^[13]。

3.3 石墨烯-金属有机框架(MOF)复合物

金属有机骨架(MOF)是通过无机金属核心(金属离子或金属团)与有机配体通过自组装作用相互

联结, 构成一种具有规律性网络结构的晶态多孔固体。MOF通常具有高孔容量, 可通过选取适当的金属离子及连接剂来调控其结构系统, 进而对表面进行改良, 从而提升其功能性^[14]。MOF作为一种新兴的吸附催化介质, 因其具备较大的比表面积、可调控的孔道结构、可调整的孔径大小以及丰富的活性中心, 在电化学领域中被广泛认可为理想的电极材料^[15]。

Wang等^[16]提出了一种高效且操作简便的电极修饰方案, 通过使用简易的超声波技术成功制备了Cu-MOF与还原氧化石墨烯(RGO)的纳米复合材料, 此材料被进一步应用于制作传感电极, 为同时检测鸟嘌呤和腺嘌呤提供了实际可行的电化学方法。MOF作为一种新型的纳米材料, 在生物医学和生物传感领域展现出广阔的应用前景。然而, 通常它们的性能会遭受化学稳定性弱以及导电性和孔隙大小不匹配的制约, 而石墨烯作为一种拥有稳定骨架与活性表面的导电二维(2D)物质, 能够与MOF构造单元结合, 由此生产的MOF纳米复合材料具备了可变的孔隙, 使得它们在生物检测领域中的应用效能得到显著提升。同时, 石墨烯-MOF复合物的制备过程是可控的, 并且具备可再生性, 这为材料的循环使用提供了可能。

3.4 石墨烯复合材料应用优势

上述三种复合物都以石墨烯作为基础材料, 利用石墨烯与不同材料结合的优势, 提升材料的整体性能, 如与金属纳米粒子结合表现出更高的活性和选择性, 与金属氧化物结合提高了复合材料的电化学稳定性, MOF的多孔结构和电化学稳定性使得复合材料在气体吸附和分离方面表现出色等, 从而可以满足特定应用的需求。

更令人振奋的是^[10], 石墨烯复合材料电化学传感器的应用范围并不局限于传统的检测领域, 它同样可以将触角伸展至临床诊断和社区健康监测等新兴领域, 其简便的操作程序使其同样适合于家庭使用乃至紧急事故地点以及传染病严重影响区域的检测。此外, 融合互联网技术与先进的石墨烯电化学传感平台, 不仅使远程监测患者健康状况成为可能, 促进了医疗资源的优化配置和使用, 而且有助于整理和分析医疗诊断数据, 进而制定出定制化的治疗计划。但是, 虽然在石墨烯及其衍生物如氧化石墨烯(GO)和RGO的纳米复合材料制作方面已取得一定成就, 但对这些材料的功能性理解, 以及它们与表面修饰的聚合物或无机纳米颗粒相互作用的掌握依旧面临着重重困难, 为了能够精确地合成石墨烯纳米复合材料, 目前迫切需要开发更为精细的科学研究方法。

4 结语

电化学对现代生活的影响, 无形中已经延伸至日常生活的每一个角落。从能源转换与利用, 到环保技术应用, 再到电子科技革新, 乃至工业生产的优化、医学诊疗的发展、材料科学的进步以及智能生活的推动, 电化学都在发挥着不可或缺的作用。电化学作为探索电与化学反应互动的学科, 在为我们带来生活上的便利与效率的同时, 对社会科技的进步、环境品质的提升以及医疗卫生条件的改善也起到了积极的促进作用, 其地位无可取代。随着科技的不断进步, 深入探索生活中的电化学研究与应用, 充分发挥其在现代社会中的重要作用, 为人类创造更加美好的未来, 将电化学领域拓展至更为深远的应用天地。

参 考 文 献

- [1] 王维臻, 王磊, 支瑶. 化学教育, **2014**, *35* (1), 34.
- [2] 温金菊, 钱扬义, 张佳钰, 谭宇凌. 化学教育(中英文), **2023**, *44* (9), 112.
- [3] 朱永明, 胡会利, 于元春, 李旭东, 高鹏. 大学化学, **2024**, *39* (8), 44.
- [4] 蔡冠蓝. 储能科学与技术, **2023**, *12* (8), 2699.
- [5] Gassman, N. R.; Holton, N. W. *Curr. Opin. Biotech.* **2019**, *55*, 30.
- [6] Chen, H.; Park, S.-K.; Joung, Y.; Kang, T.; Lee, M.-K.; Choo, J. *Sens. Actuators B: Chem.* **2022**, *355*, 131324.

- [7] Zhang, W. S.; Pan, J.; Li, F.; Zhu, M.; Xu, M.; Zhu, H.; Yu, Y.; Su, G. *Anal. Chem.* **2021**, *93* (8), 4126.
- [8] Zhu, L.; Zhang, X.; Yuan, R.; Chai, Y. *Anal. Chem.* **2022**, *94* (2), 1264.
- [9] Yu, S.; Chen, S.; Dang, Y.; Zhou, Y.; Zhu, J.-J. *Anal. Chem.* **2022**, *94* (41), 14349.
- [10] 李亚婷, 刘仲明, 陈钰, 郭彦彤, 杨欢, 张海燕. 材料导报, **2024**, *38* (24), 23070077.
- [11] Malla, P.; Liu, C.-H.; Wu, W.-C.; Kabinsing, P.; Sreearunothai, P. *Talanta* **2023**, *262*, 124701.
- [12] Alafeef, M.; Dighe, K.; Moitra, P.; Pan, D. *ACS Nano*, **2020**, *14* (12), 17028.
- [13] Chen, M.; Hou, C.; Huo, D.; Fa, H.; Zhao, Y.; Shen, C. *Sens. Actuators B: Chem.* **2017**, *239*, 421.
- [14] Giliopoulos, D.; Zamboulis, A.; Giannakoudakis, D.; Bikiaris, D.; Triantafyllidis, K. *Molecules* **2020**, *25* (1), 185.
- [15] Kishore babu, S.; Jayachandran, M.; Maiyalagan, T.; Vijayakumar, T.; Gunasekaran, B. *Mater. Lett.* **2021**, *302*, 130338.
- [16] Wang, X.; Zhang, J.; Wei, Y.; Xing, T.; Cao, T.; Wu, S.; Zhu, F. *Analyst* **2020**, *145* (5), 1933.