

实验中采用小米 13 后置 5000W 像素级摄像头作为标准参照的拍摄设备,眼镜样机考虑到低成本与低功耗采用 200W 像素级摄像头。图 3 是设备拍摄质量对照图,其中图 3 上方是设备拍摄图片,A1 是白天,B1 是阴天,C1 是夜晚;图 3 下方是手机拍摄的三张对应场景图像 A2、B2 和 C2。

实验通过图像质量对比算法,进行多维度参考评估方法分析图像特征,主要包括基于拉普拉斯算子的清晰度评估、局部方差中位数的噪声检测、直方图分布的曝光分析、标准差的对比度测量以及 RGB 通道均衡性的色彩平衡检查。该算法以参考图像为基准,通过 Python 计算机语言实现计算测试图像各指标的相对变化率(如清晰度比值、噪声倒数比),通过加权融合生成综合质量评分,并采用雷达图、直方图叠加和条形图实现可视化对比如图 5 所示。

通过对 A、B、C 三组场景的图像质量对比分析,可以得出以下结论:基于 OV2640 的眼镜设备在多数指标(如清晰度、噪声控制)上与小米 13 存在明显差距,这主要受限于眼镜设备的硬件成本与功耗设计。作为一款轻量化、低功耗的嵌入式图像传感器,OV2640 在分辨率(200 万像素)和感光能力上无法与旗舰手机传感器抗衡,导致在动态范围、低光表现等场景中相对劣势。在部分光照条件稳定的场景(如阴天 B 组),OV2640 的色彩平衡(1.00)和曝光控制(0.91)接近参考水平,表明设备图像处理算法在中等光照下能有效还原色彩真实性。这一特性使其在特定应用场景(如户外较好光照环境)中具备实用价值。



图 3 设备拍摄质量对照

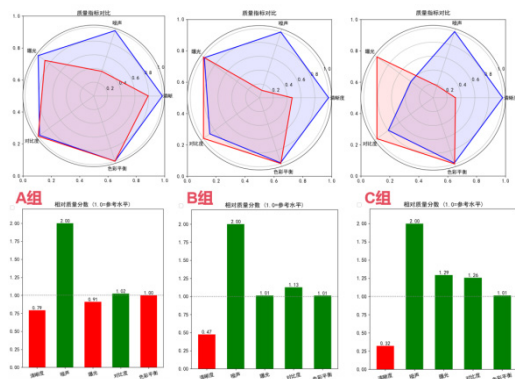


图 4 多场景图像质量参数对比可视化分析

4 智能眼镜硬件组成

本文设计并实现了一款基于实时图像获取的助盲导航智能眼镜系统,致力于提升视障人士在复杂城市环境中的独立出行能力与安全性。该系统以双微控制器为核心处理单元,配合低功耗的图像传感器实时采集环境信息,并通过嵌入式算法实现对障碍物的距离、速度与方位的快速估算。结合语音芯片与双侧振动马达组成的双模态反馈机制,系统能够以听觉与触觉相结合的方式,为用户提供清晰、直观的导航与避障提示。实验验证表明,受限于硬件成本与功耗要求,当前选用的 OV2640 传感器在图像分辨率及低光环境下的表现仍与高端商用传感器存在差距。但,在户外较好光照环境(盲人出现场景)中具备实用价值。

5 结语

展望未来,我们计划深化云端协同机制,整合多源地理信息与实时交通数据,构建更具智能性与个性化的导航策略。最终目标是研制出一套真正实用、可靠且普惠的助盲出行工具,为视障群体的社会融入与自主生活提供坚实的技术支持。

参考文献

- [1] 安业,李光胜,杜青,等.盲人语音导航避障系统的设计[J].电子测试,2020,27(17):12-14.
- [2] JIANG C, LIU Y, WANG Q, et al. Development and evaluation of a smart glass system to support indoor wayfinding for people with visual impairments[J]. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 2018, 112(6): 447-457.
- [3] SMITH G, BENFATTOUM L. Understanding the needs of blind and visually impaired pedestrians through real-world trials of an audio belt navigation system[J]. *Journal of Pervasive Computing*, 2019, 4(3): 69-82.
- [4] 国际助盲技术协会.全球助盲技术发展白皮书(2023版).
- [5] 汪冰倩.导盲犬为何发展难[J].中国工作犬业,2023(5):13-14.
- [6] 王梦菲.基于视障用户体验的.出行辅助产品设计研究[D].天津:天津科技大学,2022.
- [7] 武璧晗,荣学文,范永.导盲机器人研究现状综述[J].计算机工程与应用,2020,56(14):1-13.
- [8] 黄晨光,吴晓.视障人士辅助设备的人因工程学分析[J].人类工效学,2021,37(2):189-193.
- [9] 高德地图开放平台. Web服务AOI开发指南.(2023)[2025-09-07].<https://lbs.amap.com/api/webservice/guide>.
- [10] ALWI S R A W, AHMAD M N. Survey on outdoor navigation system needs for blind people[C]//2013 IEEE Student Conference on Research and Development. Piscataway: IEEE, 2013: 147-148.
- [11] 北京宇音天下科技有限公司. SYN6288 中文语音合成芯片数据手册 V2.1[Z]. 北京:宇音天下, 2015.
- [12] 李强,张磊.基于NPN三极管的TTL电平转换电路设计与可靠性分析[J].现代电子技术,2020,43(9):112-115

Research on Material Innovation and Multi-Performance Optimization Based on ISWE Technology

Ziheng Yin Yaxuan Deng Yuhuan Wang Xiangyu Zhang

Chengxian College, Southeast University, Nanjing, Jiangsu, 210088, China

Abstract

Global water shortage and uneven distribution of safe drinking water are urgent issues that need to be addressed today. Utilizing solar energy technology to evaporate water can effectively alleviate people's concerns about the lack of fresh water resources and is also one of the key technologies to solve the uneven distribution of safe drinking water in the world today. Solar-driven interinterface water evaporation (ISWE) is an emerging energy conversion technology. This review is based on the research of material innovation and multi-performance optimization of ISWE technology. By analyzing the development trends of ISWE solar thermal conversion technology in recent years, it focuses on three directions: environmental protection design, thermal management optimization, and salt resistance innovation for detailed analysis. Finally, it summarizes and presents prospects. This review provides insights into the future development direction of ISWE and emphasizes the importance of interdisciplinary collaboration in promoting progress in this field.

Keywords

Interface solar water evaporation (ISWE); Photothermal conversion materials; Optimization of salt resistance performance; Thermal management; Sustainable water purification

基于 ISWE 技术的材料创新与多性能优化研究

尹子恒 邓亚轩 王雨涵 张翔宇

东南大学成贤学院, 中国·江苏 南京 210088

摘要

全球水资源短缺和安全饮用水分布不均衡是当今急需解决的问题, 利用太阳能技术蒸发水可以有效地缓解人们对淡水资源缺乏的担忧, 也是解决当今世界安全饮用水分布不均匀的关键技术之一。太阳能驱动界面水蒸发 (ISWE) 是一种新兴的能源转换技术, 本综述基于 ISWE 技术的材料创新与多性能优化研究, 通过分析近年来 ISWE 光热转换技术的发展趋势, 聚焦环保设计、热管理优化与抗盐创新三个方向进行详细分析, 最后进行总结和提出展望。本综述为 ISWE 的未来发展方向提供了见解, 并强调了跨学科合作在推动这一领域进步中的重要性。

关键词

界面太阳能水蒸发 (ISWE); 光热转换材料; 抗盐性能优化; 热管理; 可持续水净化

1 引言

在水资源和能源短缺的情况下, 太阳能作为一种清洁、可再生、低成本、易采集的能源得到了全球的关注, 太阳能驱动水净化技术开始迅速发展, 其中界面太阳能水蒸发 (ISWE) 技术因其具备高效的能量转化和易制备的特性, 这使它成为解决水资源短缺的前沿技术之一。

ISWE 光热转换技术的核心在于光热转换材料, 该材料凭借出色的光吸收能力, 能够高效吸收太阳光中的可见光和近红外辐射, 使热量集中于蒸发界面, 从而实现高效水蒸发。

尽管该技术具备成本低廉、高效转化和易制备等优点, 但在蒸发器的长期工作中, 蒸发器表面盐结晶、热损耗管理和冷凝水收集等问题也日渐显现。本综述旨在为 ISWE 光热转换技术的进一步发展提供理论支持, 而多学科的交叉融合成为推动该技术发展的核心驱动力。

2 ISWE 光热转换技术的发展趋势

随着 ISWE 技术被全世界的研究人员所关注与研究, 其存在的问题也在被逐个攻破, 我们将根据 ISWE 蒸发器主要针对的光热转换分为 3 类, 并对此展开详细的分析, 它们分别是环保可持续发展、热管理性能的优化以及耐盐性能的优化。

【作者简介】尹子恒 (20014-), 男, 中国江苏昆山人, 在读本科, 从事功能材料研究。

2.1 更加环保的光热转换技术

近期, ISWE 的绿色环保以及可持续性开始被研究人员格外地关注, 如何在不施加非体系内能源装置的基础上实现纯净水的高产能以及将废料和 ISWE 技术相结合实现高转换率是研究人员频繁所关注的点^{[11][3]}。

为提高 ISWE 蒸发效率, 可将其与新能源设备结合实现净水与再生能源联产。太阳能利用途径包括光伏、光热、光催化, 常见联产系统为清洁水 - 电及清洁水 - 氢热电联产^[4]。单一光伏发电效率仅 20%-30%, 大部分能量以热能形式损耗。Qu 团队^[5]将光伏板、加热元件与 ISWE 结合形成光 - 电 - 热蒸发系统, 虽提高蒸发速率但未充分利用光伏板能源价值。相比之下, Ma 等人采用 RGO 复合纳米材料构建串联九网蒸发 / 发电阵列, 通过不对称策略实现太阳能 - 热电集成, 可持续输出 6V 电压, 蒸发速率达 1.88kg/(m²·h), 光热转换效率 94.3%。Xu 等人^[6]设计的防水热互联层 (WTIL) 可直接传递光伏板热能至净水装置, 实现 0.8kg/(m²·h) 蒸发速率、20.4% 光电转换效率、54.2% 光热转换效率及 54.2% 蒸发效率, 最大化光伏板能源价值。

随着城市化进程地不断推进, 城市生活垃圾产量快速增长, 2021 年已达到 26913 万吨, 而且每年仍以 10% 速度不断增长, 同时垃圾污染也危害人类的健康, 废弃垃圾的再利用开始被众多研究人员所重视^{[7][9]}。受此启发, Zhang 等人以废塑料瓶为多孔炭材料, 用生活垃圾常用的木制海绵作为支撑载体, 构建了三维太阳能蒸发器, 相应的蒸发速率和能量转换效率分别达到 1.59kg/(m²·h) 和 88.49%, 除此之外, 该材料还具有优秀的耐盐性。

尽管本节仅总结了光伏 - 清洁水热电联产系统及单一杂化材料案例, 但其他联产系统与杂化材料同样具备设计优势。近十年通过学科交叉, 研究人员从光伏转热到余热回收, 实现了高效、经济且环保的太阳能水蒸发方案。复合式热电联产与杂化材料技术对提升能源效率、推动环保可持续发展意义重大, 其应用是实现绿色可持续城市化的关键。

2.2 热管理优化的 ISWE 光热转换技术

正如上一章节所提到的, 蒸发系统中常见的热损失分为热传导损失、热对流损失以及热辐射损失, 其中水蒸发的总热量可由下式计算:

$$m\dot{h}_{fg} = Aa q_{solar} - A\varepsilon\sigma(T^4 - T_{amb}^4) - Ah(T - T_{amb}) - Aq_{water}$$

式中: A: ISWE 蒸发表面积; a: 材料的太阳能吸收率; q_{solar} : 太阳能输入的总能量, 即单位时间内接收到的太阳能能量; ε : 材料表面发射率; σ : 斯特藩 - 波尔兹曼常数, 约为 $5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$; T: 蒸发表面的温度; T_{amb} : 环境温度; h: 对流换热系数, 表示由于空气流动导致的热量传递速率; $m\dot{h}_{fg}$: 水蒸发的总热量; $Aa q_{solar}$: 太阳能输入的总能量; $A\varepsilon\sigma(T^4 - T_{amb}^4)$: 热辐射的损失能量, 该公式基于斯特藩 - 波尔兹曼 (Stefan-Boltzmann) 定律, 表明物体的辐射能量与其绝对温度的四次方成正比; $Ah(T - T_{amb})$:

热对流的损失能量, 该公式遵循牛顿冷却定律, 表明当物体表面与周围存在温差时, 单位时间从单位面积散失的热量与温度成正比; Aq_{water} : 热传导损失, 通常可忽略不计。

ISWE 因材料特性可忽略热传导损失, 但需关注热对流与热辐射损失对效率的影响, 需通过材料导热性优化、界面结构调控及表面性质设计降低热损失^[10]。Chen 等人^[11]于 2014 年建立热管理系统并减少热损失, 为太阳能辅助蒸汽产生提供参考。Qu 团队^[12]对比泵送冷凝与冷凝涂层技术发现, 泵送内部空气导致热量和蒸汽泄漏, 影响 SMDW 产量效率。传统蒸发器设计侧重增加蒸发表面, 但蒸汽若无法从多孔结构有效扩散, 仍难以实现高蒸发速率。封闭端多孔结构中, 蒸汽滞留会限制水分子补充及热量散失, 导致蒸发速率下降和热损失增加^[13]。近年研究表明, 引入空气对流可改善蒸发性能与热损失: Zhu 团队^[14]设计的 3D 互联多孔结构 (3D IPCF) 通过增强蒸汽扩散能力, 在 1 sun 和 2 m/s 风速下实现 5.6 kg/(m²·h) 的蒸发速率, 其 3D 架构允许蒸汽有效扩散, 对流风速加速蒸汽向大气传递, 确保相变与扩散高效协同。

Zhu 等人^[15]设计了一种利用太阳能和海水同时产生清洁水和电力的太阳能设备, 其核心技术在于存储和回收由界面太阳能蒸汽生成过程中产生的蒸汽焓。设备的太阳能吸收器基于石墨 / 非织造布, 具有高效的太阳能吸收和宽带吸收特性。该吸收器通过石墨乙醇溶液喷涂预加热非织造材料制成, 具备 250nm-2500nm 宽带吸收特性, 光吸收率达 98%。热存储腔室温度维持 100° C (室温 25° C) 时, 热电模块随温度升高输出电压与电流增加, 在 30 kW/m² 辐照下最大输出功率 574 mW, 功率密度 292.9 W/m², 效率 0.98%。

综合来看, 热对流和热辐射的共同作用影响了界面太阳能蒸发的总热量利用效率。而 ISWE 的热管理未来发展将是一个多方面、跨学科的挑战, 通过材料的导热性优化、界面几何结构的调控以及表面性质的设计, 可以有效减小这两种热损失, 从而提高蒸发效率和能量利用率, 这不仅是优化界面太阳能蒸发系统的重要技术路径, 也是未来实现更高效能量转换的关键点。

2.3 抗盐性能优化后的光热转换技术

ISWE 连续运行中, 表面盐积聚严重影响蒸发器稳定性及太阳能吸收、供水与蒸发效率^[16]。海水中总溶解固体含量为 3-3.5wt%, 蒸发器表面因 Marangoni 效应, 中心卤水浓度高于边缘, 导致盐溶液向边缘迁移并结晶 (图 6)。尽管盐分可在光照不足时溶解返回 bulk water, 但仍降低日间蒸发效率, 盐积聚仍是研究较少的关键挑战^{[17][19]}。

He 团队^[20]以玉米芯三维纤维网络为载体, 通过负载聚吡咯 (PPy) 增强碳化玉米芯 (PCC) 的亲水性与抗腐蚀性, 提升材料在恶劣环境下的稳定性。Yu 团队^[21]开发的复合表面水凝胶蒸发器 (PSH) 虽非碳基材料, 却实现 1 sun 下 4.0 kg/m²·h 的蒸发速率与 93% 效率。其表面经三氯辛基硅烷 (OTS) 部分修饰形成疏水 / 亲水区域, 水分子在亲水区域