
上海硅酸盐所等发表评述低品位热能利用技术论文

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/12484.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

人类的生产、生活活动中较多的能量以废热形式排放至环境中，其中，在室温附近存在大量温差在几十甚至几度以内的低品位热能。对此类热能进行回收再利用可有效提高能源的综合使用效率，有望广泛应用于通讯电子、医疗健康等领域，成为改变人类未来生活的关键性技术之一。热电技术、热离子电容器和热电池是三种典型的低品位热能利用技术，虽然它们均利用温差（ ΔT ）产生输出电压（ ΔVD ）进而驱动外部回路中的电子做功，工作原理却不尽相同。 $\Delta VD/\Delta T$ 作为主要性能指标之一，常用来评价这三种能量转换技术的优劣；即使 $\Delta VD/\Delta T$ 与热电势的单位相同，但很多时候它们的物理内涵不相同，将它们等同并与性能评价简单关联，导致了一些基本概念的混淆和性能评价上的偏颇。

近期，中国科学院上海硅酸盐研究所研究员史迅与美国克莱姆森大学教授Jian He在Science上，发表了题为Thermopower and harvesting heat A metric to compare low-grade heat-to-electricity conversion can be misleading

的评论文章，阐述了热电势的物理内涵和热电、热离子电容器及热电池的工作原理，提出热电势不能用于这三种技术的性能评价普适参数，应针对不同工作原理采用相应的评价标准。

热电势是材料的一种物理参数，源于材料的Seebeck效应。在电子导体两端施加温差 ΔT ，驱动带电载流子从热端扩散到冷端，导体两端的开路电压 ΔVM 即为 ΔT 诱导的电化学势差，定义 $\Delta VM/\Delta T$ 为该材料的热电势，其数值在 $\mu V/K$ 量级。热电势的符号取决于材料中主要载流子的导电类型，其大小与每个载流子电荷的平均熵相关。类似地，离子热电势来自温差下离子导体中离子从热端至冷端扩散导致的浓度梯度（即Ludwig-Soret效应），其数值在 mV/K 量级。

Seebeck和Soret效应是材料本征的物理效应，分别基于两种效应集成的热电器件和热离子电容器具有更丰富的内涵，而非组成材料的简单累加。热电器件中输出电压 ΔVD 主要取决于材料自身产生的 ΔVM ，然而，热离子电容器的输出电压 ΔVD 不仅来自材料产生的 ΔVM ，还与离子/电子在电极处的相互作用密切相关。热电池的输出电压 ΔVD 则更复杂，主要包括电解液中离子的热扩散（物理过程）和两端电极处的氧化/还原化学反应导致的电势差（化学过程）。这三种技术的 $\Delta VD/\Delta T$ 存在本质区别，对它们的数值大小进行简单比较、或利用 $\Delta VD/\Delta T$ 计算热电优值来评价热离子电容器和热电池中电解液的性能并不正确。

热电技术和热电池可连续工作，功率密度与能量密度的物理内涵一致，通常采用功率密度作为性能评价参数。热离子电容器间断性工作，与常规电容器类似，功率密度的物理内涵不同于能量密度，两者均是主要的性能评价参数。虽然热离子电容器和热电池的 $\Delta VD/\Delta T$ 高达 mV/K 量级，但过高的内阻导致其归一化功率密度数量级低于热电技术。减小电极间的距离以获得较小的内阻虽

已运用于常规的电容或电池中，但在热离子电容或热电池中会阻碍甚至消减电极间温差的建立。此外，热离子电容器的功率密度和能量密度低于常规的电容器及电池。

这些显著的性能差别，一方面来自工作驱动力的差异，常规电容器和电池的离子驱动力在eV量级，而低品位热能技术的驱动力来自小温差，其大小在meV量级；另一方面与能量转换过程的复杂程度相关，能量转换的总效率受制于每步的效率及它们之间的耦合。热电技术的能量转换过程较简单，仅有一步，即温差驱动的载流子扩散；热离子电容器的能量转换过程包括两步，即温差驱动的离子扩散、电极处聚集的离子和电子的相互作用。热电池中的能量转换过程较复杂，包括温差驱动的离子迁移、化学反应诱导的离子浓度梯度建立、电极处的氧化还原反应、电解液与电极的相互作用等。理解这三种低品位热能利用技术的工作原理与不同机制，对相关研究具有重要意义。

研究工作得到国家自然科学基金的资助；论文撰写过程获得上海硅酸盐所副研究员仇鹏飞和瞿三寅、研究员陈立东以及美国克莱姆森大学Dr. Don Liebenberg的支持和帮助。

[论文链接](#)

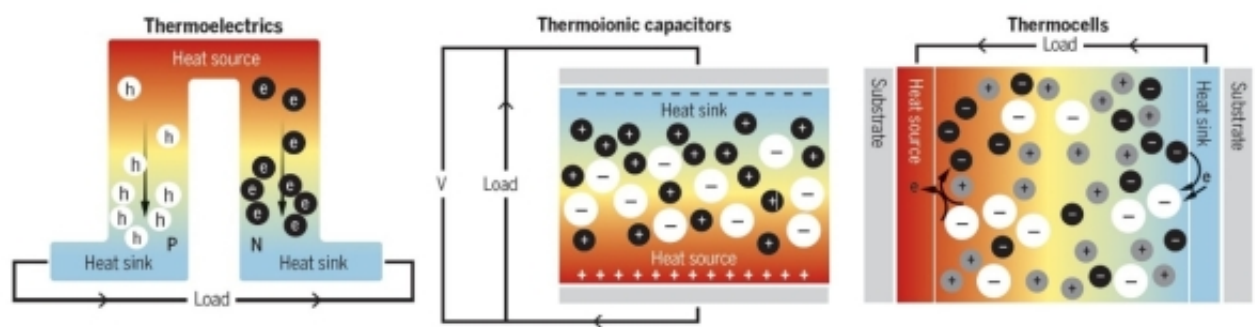


图1.热电器件、热离子电容器和热电池的工作原理示意图。热电器件依赖于p/n型热电材料中载流子从热端向冷端的扩散（左图）；热离子电容器依赖于电解液中阳离子和阴离子的分离（中图）；热电池依赖于电解液中不同价态离子和电子的循环（右图）

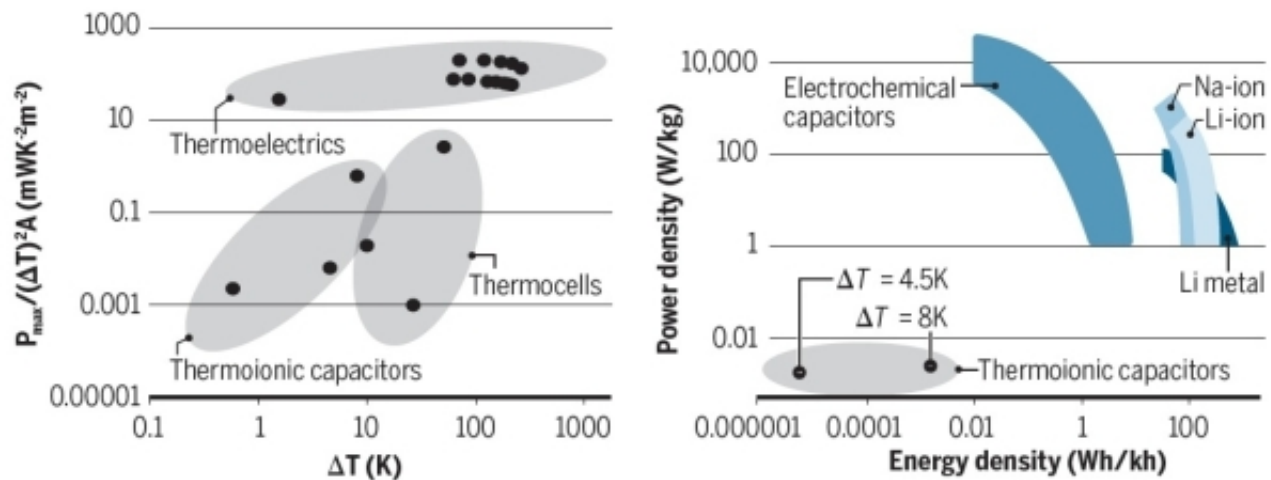


图2.不同温差下热电器件、热离子电容器和热电池的归一化功率密度（左图）；热离子电容器和代表性储能技术的功率密度和能量密度（右图）

研究团队单位：上海硅酸盐研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发