

天然辉锑矿自上而下气相浸润制备限域 $\text{Sb}_2\text{S}_3/\text{C}$ 纳米复合负极及其优异的锂电循环性能【CEJ, 2026】

高性能过渡金属硫化物电极材料的制备通常依赖于自下而上的湿化学途径（如溶胶-凝胶法、水热/溶剂热法等）。然而这些传统方法受限于前驱体的溶解度和复杂的多步处理工艺，阻碍了辉锑矿等不溶性天然矿物的应用。天然过渡金属硫化物矿物（如辉锑矿 Sb_2S_3 ）储量丰富且成本低廉，但直接将其转化为高性能电池电极材料仍面临巨大挑战。现有的自上而下策略（如机械球磨、熔融浸润）在处理矿物原料时，往往难以在导电碳骨架中实现活性相的纳米级均匀分散和孔隙限域，导致电极在充放电过程中因体积膨胀而循环稳定性较差。因此，亟需开发一种能将天然矿物直接转化为高性能复合电极的绿色、高效合成方法。

据此，课题组博士研究生王硕男在廖立兵教授和刘昊教授的指导下，联合西班牙加泰罗尼亚能源研究所（IREC）Andreu Cabot 教授提出了一种基于焦耳热驱动的非溶剂、自上而下气相浸润（Vapor-Phase Infiltration, VPI）新方法。该方法通过简单的“蒸锅”式装置，直接对天然辉锑矿（ Sb_2S_3 ）或商业 Sb_2S_3 粉末进行加热使其气化， Sb_2S_3 蒸气随之浸润并沉积在多孔碳基底中。与传统的熔融浸润方法不同，VPI 方法能够使非晶态 Sb_2S_3 均匀沉积在碳基体的三维孔隙网络内部，而非仅附着于外表面。这不仅实现了从矿石到电极的直接转化，还构建了牢固的孔隙限域结构。本研究工作亮点如下：

1. 提出了一种可扩展的气相浸润（VPI）方法，无需任何有机溶剂或复杂的液相处理，即可将天然辉锑矿直接转化为限域的 $\text{Sb}_2\text{S}_3/\text{C}$ 纳米复合材料，大幅简化了合成步骤并提高了工艺的可持续性。
2. 得益于均匀的孔隙内部沉积与非晶态结构，制备的介孔碳/ Sb_2S_3 （MC/ Sb_2S_3 ）纳米复合负极展现出优异的循环性能。在 1 A g^{-1} 的电流密度下，2500 次循环后容量保持率高达约 87%，电化学性能显著优于传统的熔融浸润法制备的同类电极。
3. 实验表征与密度泛函理论（DFT）计算证实，由基底缺陷和表面化学主导的活性相/碳界面相互作用是控制 VPI 气相沉积行为的核心机制。
4. SnS 与 Sb_2S_3 的共浸润研究证明 VPI 方法可兼容多活性组分体系，实现多活性组分的均匀共沉积。在多活性组分共浸润体系中，活性相前驱体与碳骨架之间的界面键合作用以

及电子转移能力是影响其有效沉积的关键因素。

这项研究为利用天然矿物原料直接构建孔隙限域的活性材料/碳架构提供了一种通用、可扩展的自上而下新方法,也为合理设计高性能多组分复合电极材料提供了有益的理论指导。凭借其在构筑纳米限域结构方面的优势, VPI 策略有望作为一个通用的材料制备平台,进一步扩展至其他先进活性材料领域(体系可涵盖过渡金属硫化物、硒化物乃至金属单质等)。

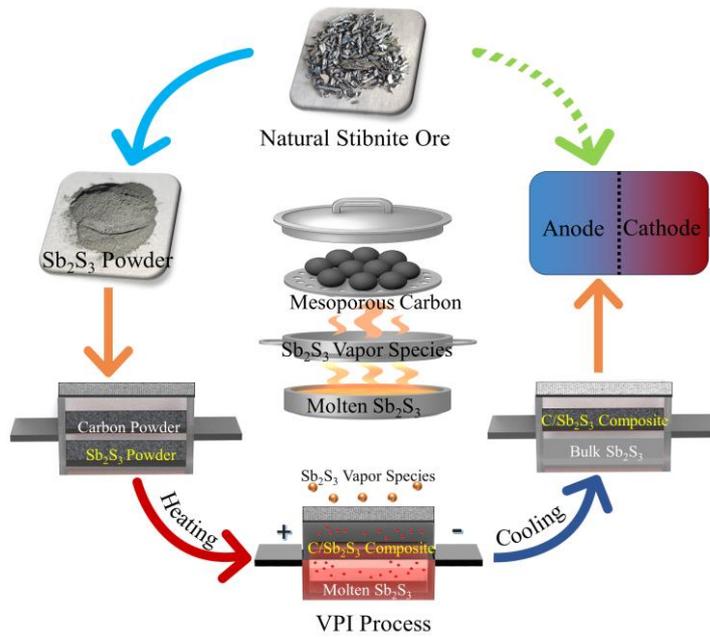


图 1. 图文摘要

上述研究成果发表于材料领域国际权威期刊《Chemical Engineering Journal》上: Shuonan Wang, Di Jiang, Shaozu Yan, Yao Hao, Kai Zhang, Shanfeng Wang, Xin Liu, Libing Liao, Andreu Cabot, Hao Liu. Top-down vapor-phase infiltration of natural stibnite to produce confined Sb₂S₃/C nanocomposites as anodes for superior cycling Li-ion battery, Chemical Engineering Journal, Volume 534, 2026, 175194, ISSN 1385-8947, DOI: 10.1016/j.cej.2026.175194. [IF2025=13.2]

全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2026.175194>.