

---

# 城市矿产中溴的人为循环策略

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/38474.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！**

城市矿产中溴的人为循环策略。

2026年2月24日，上海交通大学环境科学与工程学院许振明教授团队在Nature Sustainability期刊上发表了题为Catalytic bromine recycling from waste的研究成果。

该成果报道了一种基于Ullmann偶联反应的催化策略，可在温和条件下将废电路板等固废中的有机溴化物高效、选择性地转化为可回收的溴化物，为实现人为溴资源循环提供了新路径。论文通讯作者为许振明；共同第一作者为宋庆明、崔博凡。

溴元素作为全球供应链中不可或缺的关键资源，广泛以有机溴（如阻燃剂）的形式存在于电子产品、汽车及家居用品中，然而其线性的使用模式导致大量溴随电子垃圾被废弃，不仅造成了严重的资源流失，更因其释放出的持久性有毒污染物对全球生态安全构成了长久威胁。当前，传统的物理或高温化学处理手段普遍面临高能耗、低效率且易产生溴代二噁英等有害次生污染物等问题，难以实现溴资源的闭环回收。因此，探索一种能够在温和条件下，将复杂废弃物中形态多样的有机溴高效转化为无机溴盐的催化新路径，已成为构建可持续、低碳且环境友好的人为溴循环链条的关键突破口。

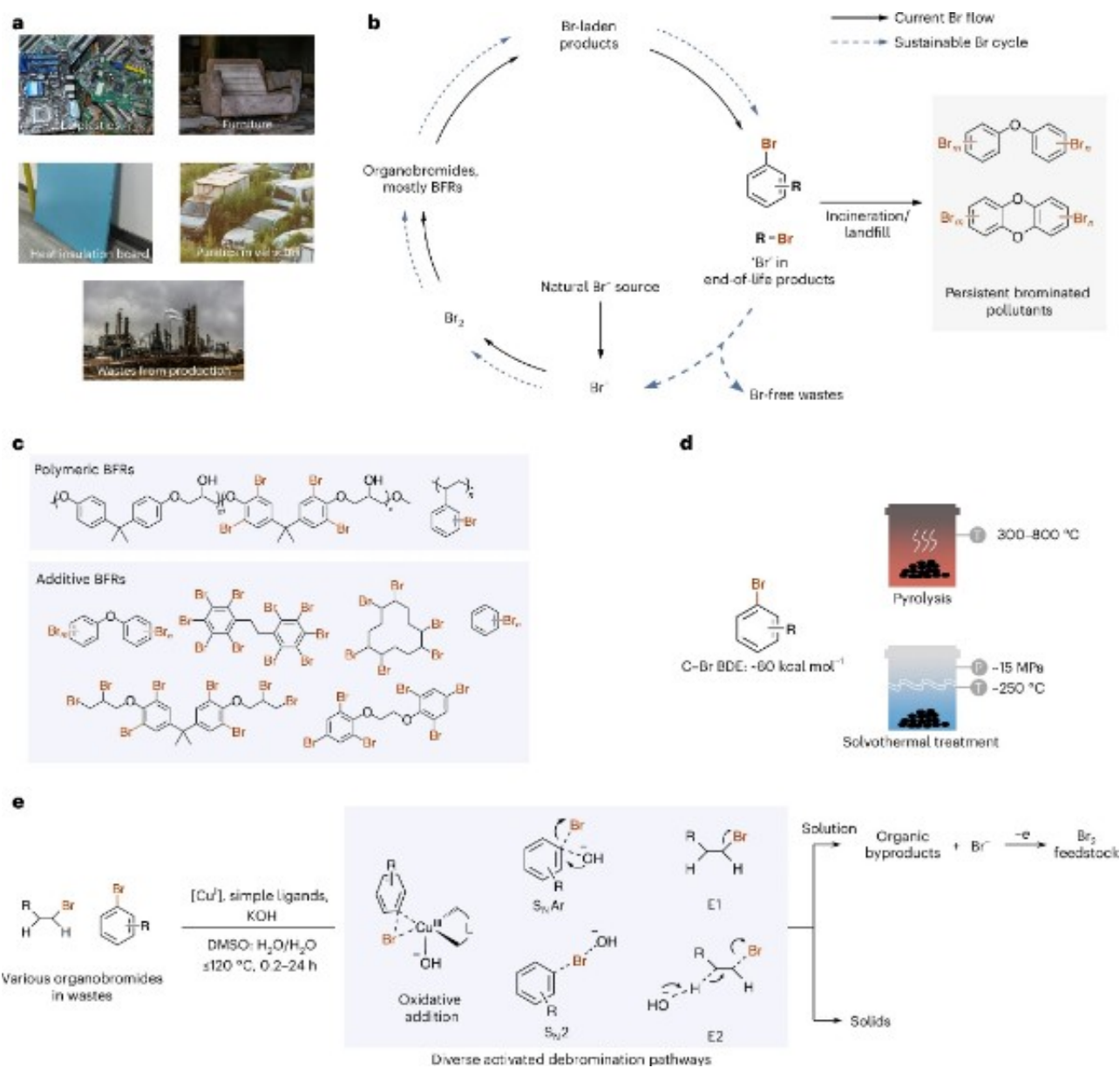


图1：溴现状及可能的循环过程。

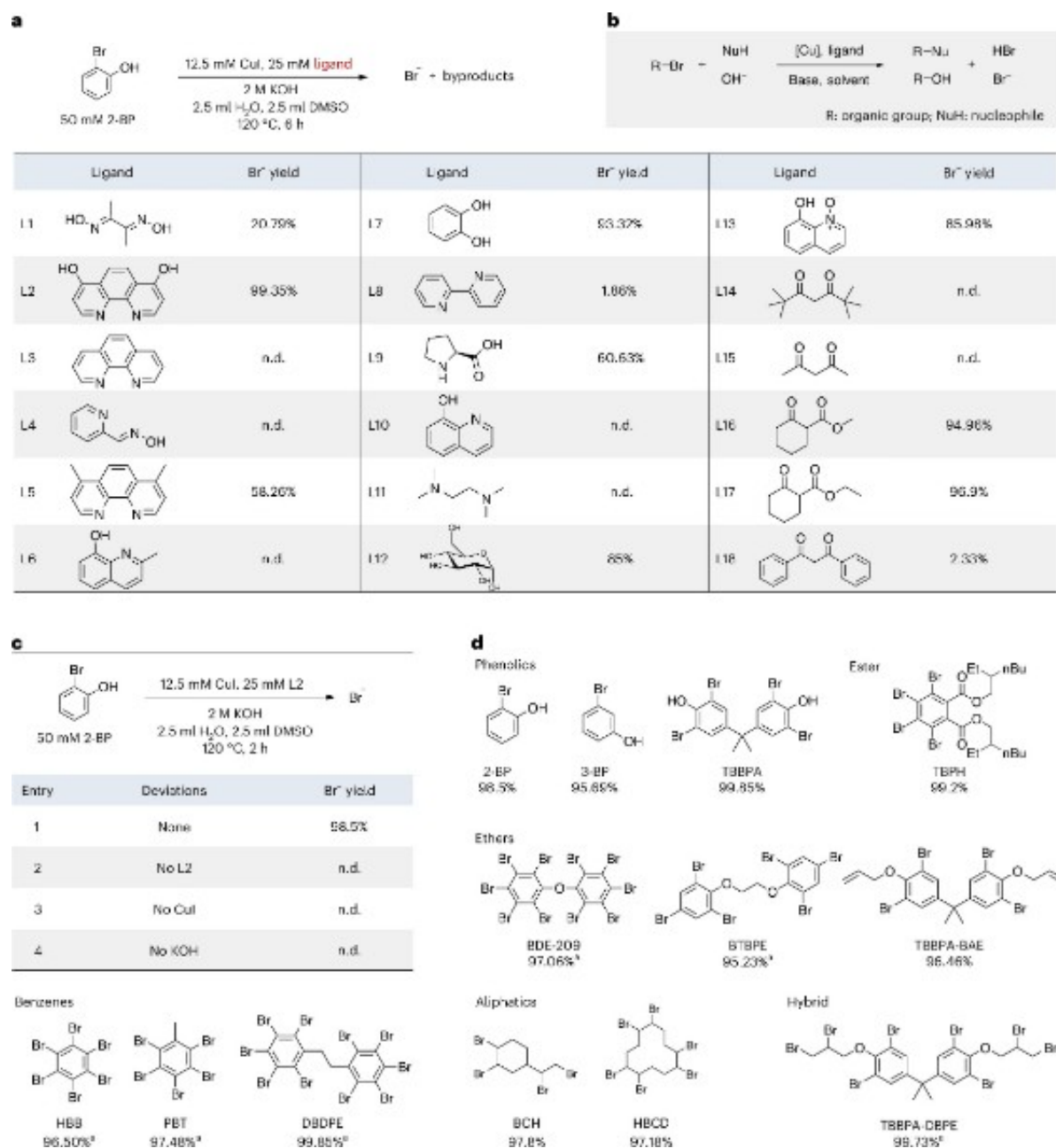


图2：Cu(I)催化有机溴转化体系。

在这项工作中，许振明教授团队受铜催化Ullmann偶联反应启发，开发了一种温和条件下（120 °C）高效断裂有机溴化物中C-Br键的催化体系。该体系采用廉价的铜(I)盐、简单的有机配体（如邻苯二酚）、氢氧化物以及DMSO-H<sub>2</sub>O混合溶剂，能够在120 °C以下实现各种形态有机溴化物和实际含溴废弃物的转化，溴离子产率超95%。

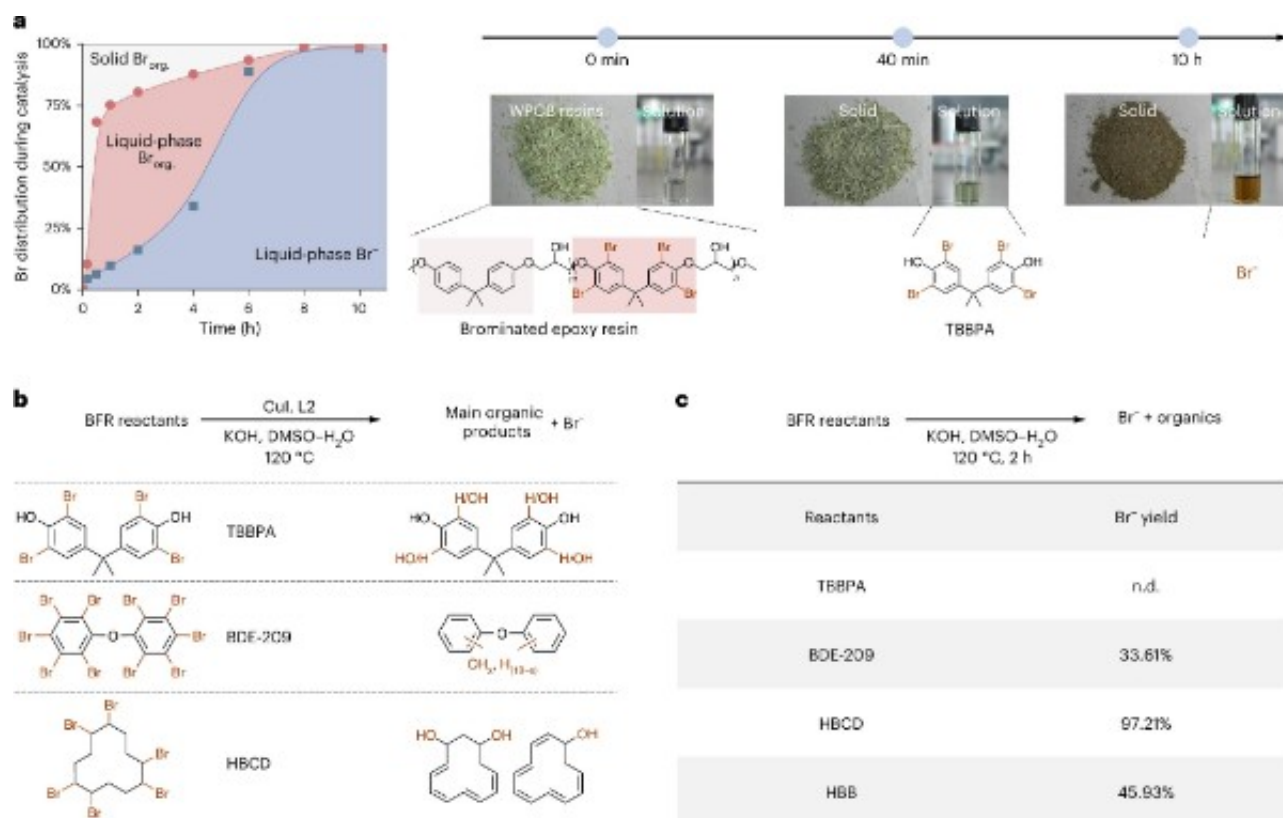


图3：不同有机溴的转化行为。

针对各形态有机溴的转化过程研究发现，不同有机溴形态表现出多种转化行为。四溴双酚A等苯环上溴发生铜催化羟基取代和氢取代反应，多溴代化合物甚至引发非铜催化部分脱溴。脂肪族溴化物主要发生溴化氢消除反应，而溴化环氧树脂同时发生四溴双酚A解离和溴转化反应。

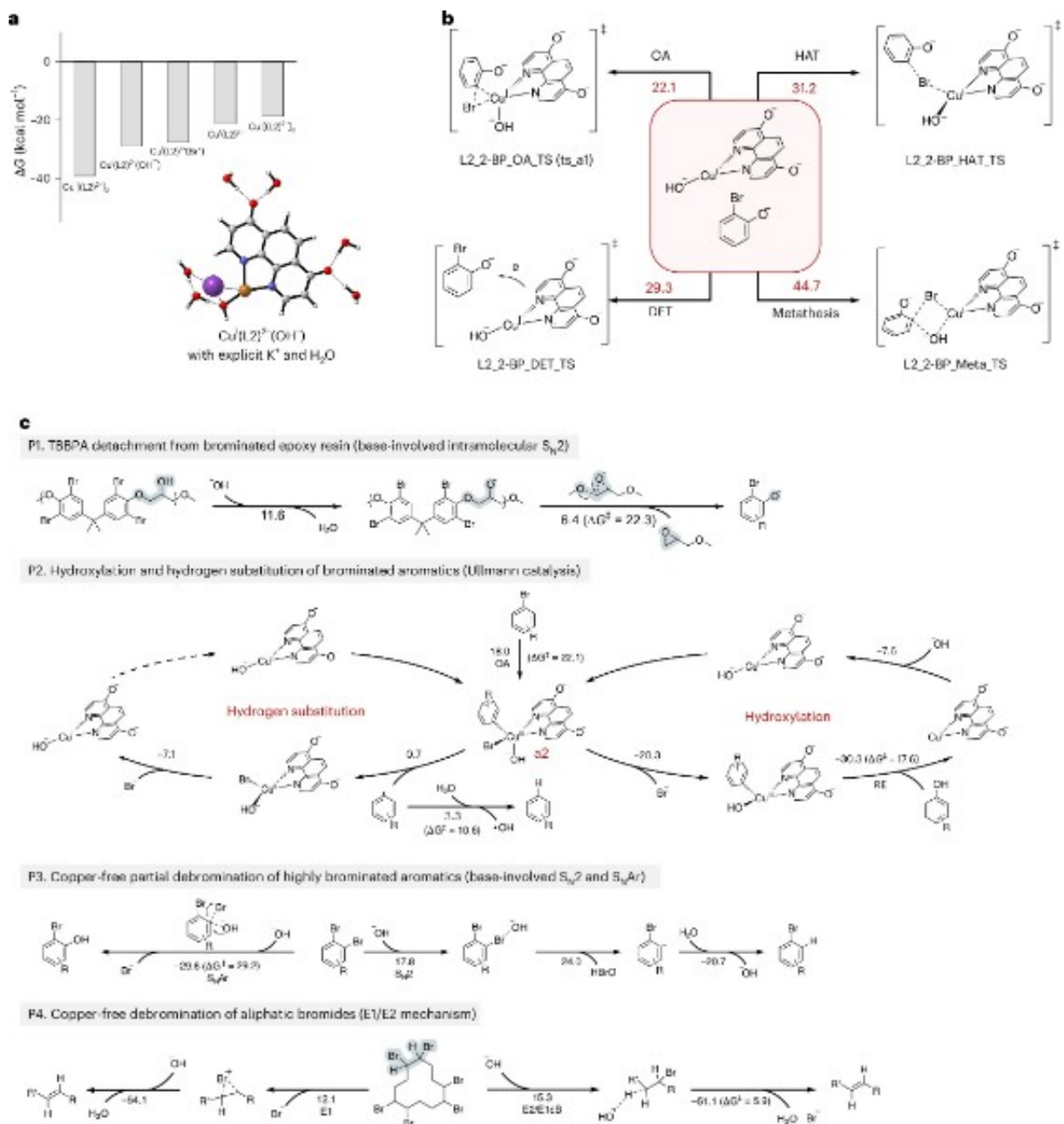


图4：机理研究。

进一步的机理研究表明，溴苯酚类阻燃剂通过氧化加成、溴离子离去、还原消除的羟基取代路径和氧化加成、苯酚自由基解离、质子转移的氢取代路径，多溴代苯类阻燃剂在无铜催化剂条件下通过氢氧根离子对C-Br键的碳和溴位点分别进行S<sub>N</sub>2亲核进攻的脱溴路径，溴代烷烃类阻燃剂遵从溴离子离去的S<sub>N</sub>1/E1机制或氢氧根离子攫取碳上质子的E2/E1cB机制。

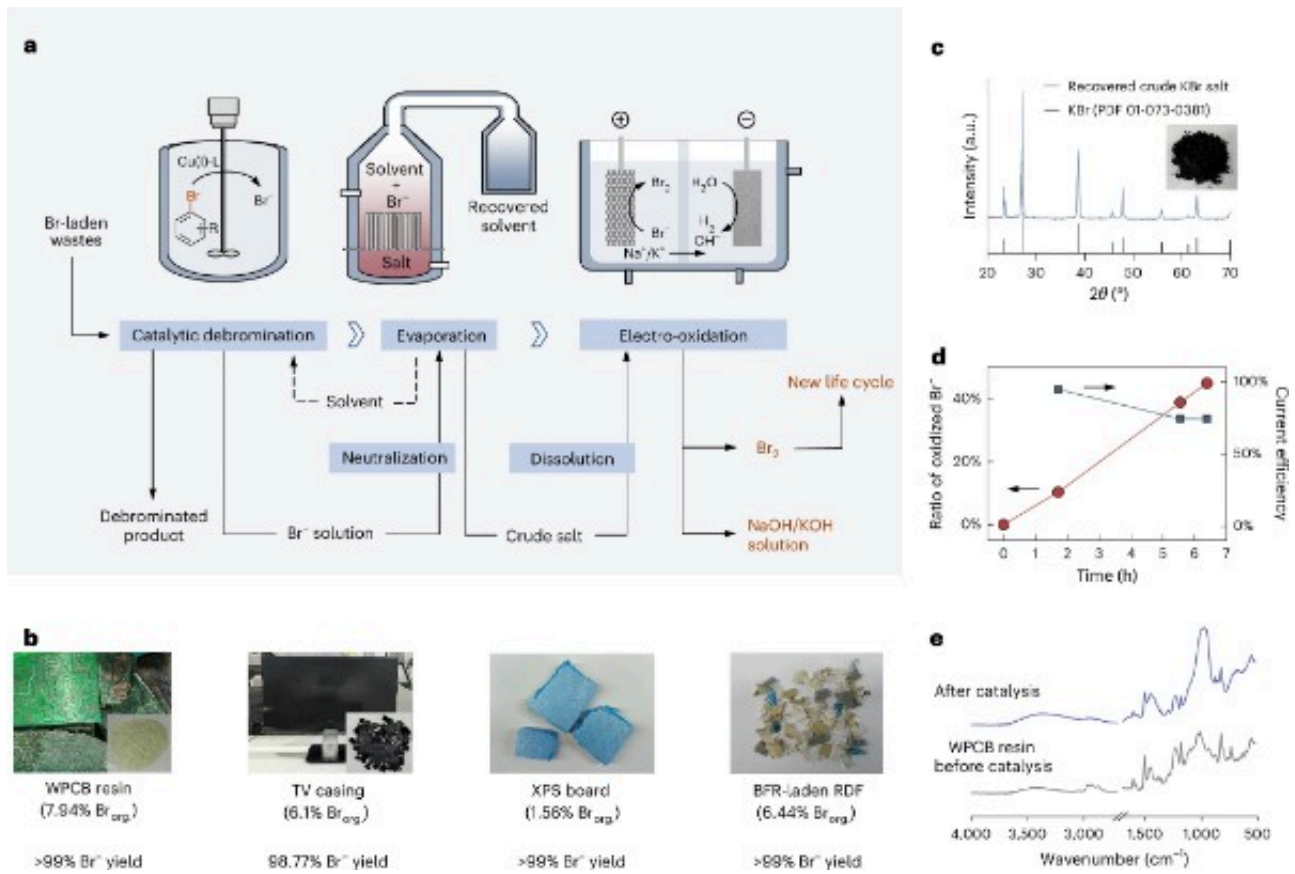


图5：溴回收方法。

基于该反应，该工作进一步构建了催化转化-蒸发-氧化的溴回收流程，成功从废电路板等含溴废弃物中回收溴素原料，且脱溴后固相保留了树脂基本结构。

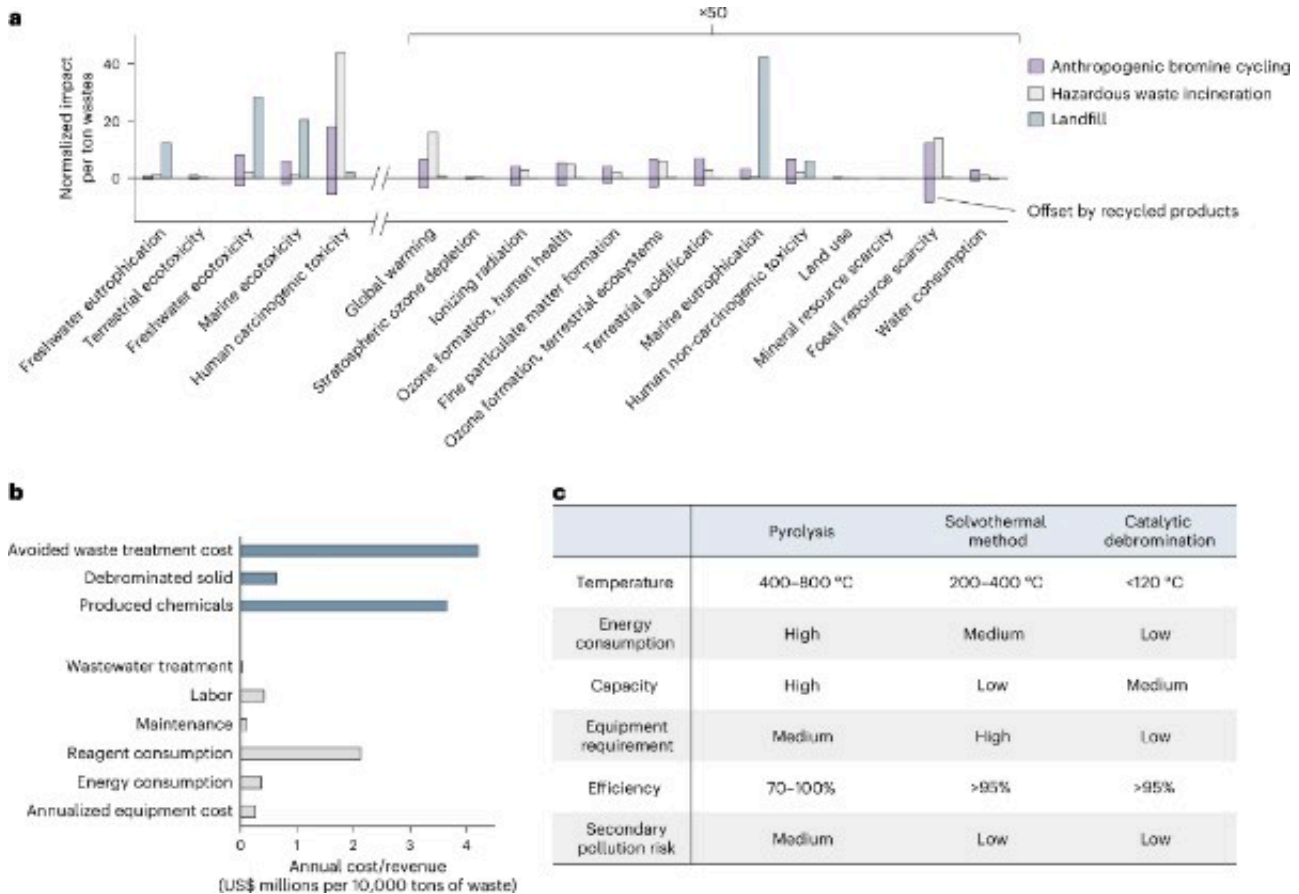


图6：过程评估。

初步技术经济分析和环境影响评价揭示了潜在的经济与环境效益。这项工作为溴回收提供了一种可行方法，并有望促进可持续的溴循环。（来源：科学网）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41893-026-01777-z>

作者：许振明等 来源：《自然-可持续》

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