



## Topic Insights

## 绿色过程——变废为宝

Veena Sahajwalla

Australian Research Council (ARC) Laureate Professor; Director of ARC Green Manufacturing Research Hub; Director of the Centre for Sustainable Materials Research and Technology (SMaRT) at UNSW Sydney, Australia

## 1. 引言

未来几年, 随着有限的原材料供应不断减少, 低价的化石燃料越来越少, 全球制造业将面临严峻挑战。许多传统制造工艺将会因环境问题而被淘汰。对于工程师和科学家来说, 这些相互关联的问题也提供了巨大的契机。我们需要强大的新技术: 这些新技术必须具备较高的成本效益和能效, 必须最大限度地减少污染。

应对挑战的解决方案可能藏在另一个全球性问题中——工业废物(包括有毒废物)的快速积累。研究须聚焦发现“绿色过程”——简单、可持续地将废料转变成可供制造使用的新资源。实施这些新过程的机器设备必须易于建造和广泛使用。同时缓解这两个问题的社会效益是不可估量的; 这样的解决方案在“三E”(工程、经济和环境)方面将带来双赢结果。

## 2. 绿色过程科学技术

绿色过程使复杂的废物流转变成有附加值的资源, 然后作为工业供应链的原料。其中一个例子是加强荧光体废物中稀土元素的回收。比利时的研究人员最近发现了两种绿色过程, 可使回收率分别提高60%和98%, 并指明了造成这种现象的晶态变化(Steff Van Loy等, 本刊)。

绿色制造过程可能无法垂直融合于传统原材料的供应, 但我们可以创造新的供应链, 将废物加工成替代原

料, 然后进行横向融合。废物富含碳、氢、硅土、金属、有机组分等有用资源, 在不进行回收的情况下, 这些资源只能从初始原料中获得。通过研究如何将再生资源整合到工业过程中, 我们可以并行解决废物和供应的双重挑战, 创造附加价值。

其他研究人员正在寻找工业用替代能源。例如, 可用煤基液体燃料代替石油基碳氢化合物。与化石燃料相比, 潜在的更可持续的两个选择是由替代原料(如生物燃料)和无碳能源载体(如氢气、电池和超级电容器)生产的碳氢化合物。在美国, 食物废物产生 $3.4 \times 10^7$  t CO<sub>2</sub>当量, 其处置费用为19亿美元; 印第安纳州的研究人员正在研究如何从食物废物中提取营养物质和生物活性化合物, 将其转化为挥发性酸或甲烷, 然后出售赚取利润(Raymond RedCorn等, 本刊)。

太阳能、风能、潮汐能和生物能等可再生能源均可通过电解转化为燃料电池, 这比内燃机、锅炉和电池更有效。加拿大和中国的研究人员正在研究如何通过大规模应用燃料电池来实现向绿色经济的转型(Junye Wang等, 本刊)。

华东理工大学的研究团队认为安全提取有机废液中的可重复利用材料是“环境工程的前沿之一”。该研究团队发明了有机物旋流自转脱除法来分离废液中的有机物, 用气流加速度过程对无机物进行分选。这些过程可回收大量柴油燃料和净化用的活性催化剂, 还可减少新鲜催化剂的需要量(汪华林等, 本刊)。

绿色技术和研究将提高消毒、净化、回收和再利用

的标准。它们将有助于保护环境，减少污染和降低成本——不仅在工业化国家，而且在新兴世界，都迫切需要能源密集度较低的技术。

### 3. 原材料与废物利用

工程项目消耗大量原材料，原材料需要低价、可靠并适合预期目的。因此，最近的研究是迫切需要开发可以使用低成本资源的产品和工艺，包括从工业废物中回收的资源。许多有用材料藏在电子废物、汽车和工业废物以及市政废物等废物流中。美国两名研究人员正在研究一种水热液化（HTL）过程，将一般含碳废物转化成简单的生物油，然后通过电化学过程将其转化成可替代石油产品的燃料或化学品（Robert S. Weber 和 Johnathan E. Holladay，本刊）。

全球范围内对资源管理和废物的态度发生了根本性改变，这意味着应系统地重新评价所有工业过程，以确定其可持续性。南非的研究人员认为工业生产设备和机械应定期进行资产全生命周期管理（ALCM）[1]。他们认为，通过运营可靠性和系统工程可以最好地实现设施生命周期内有形资产的最佳价值。

还要避免浪费昂贵的资源。近年来，工程和（或）环境管理工具已融入许多工业过程。本刊涉及部分此类工具，包括自动化、信息技术、数字和人工智能以及跨学科技术，这些可成为实现清洁生产和可持续发展的有效途径。一项研究提出了一种针对大量复杂液体的在线、实时、非接触式的监测方法。这一方法用智能光学分析代替昂贵、耗时的实验室样品测试，可应用于许多其他制造过程（段宁等，本刊）。

另一项研究介绍了如何用智能无人值守控制技术运行地下金属矿山（李建国和战凯，本刊）。如果将环境因素与工程过程相结合，可回收可供使用的材料，而且可以避免、去除不寻常或危险的材料，或将其安全地转换为其他原料，从而减少对环境的破坏。例如，针铁矿是锌生产过程中产生的富含金属的灰渣。金属的回收是可能的，但不具有经济可行性，因此通常对针铁矿进行填埋处理，不仅成本高，而且还危害环境。本刊中，研究人员介绍了一种新型稳定化方法，将针铁矿中的锌释放出来，同时产生可作为新型建材的清洁副产品（Andrea Di Maria 和 Karel Van Acker，本刊）。

从废物中回收资源时，要保证采用的方法无副作用，不会危害人类健康和环境。CO<sub>2</sub>泡沫常用于提高原

油采收率，可通过各种添加剂使其运行更加高效；北卡罗来纳州的研究人员正在研制生物可降解的无毒发泡剂（Jennifer A. Clark 和 Erik E. Santiso，本刊）。

### 4. 悉尼新南威尔士大学 SMarT 中心的绿色化学

我们在 SMarT 中心的主要工作是寻找可持续处理废物流的创新型方式，实现废物的资源化利用。我们的电弧炉（EAF）法在“绿色炼钢”过程中用使用过的汽车轮胎代替化石燃料，已经使超过 1000 万只轮胎摆脱了进入垃圾填埋场的命运。我们在发达国家和发展中国家建立了供当地使用的“微工厂”（最小的只有 50 m<sup>2</sup>），从电子废物中回收金属合金和一系列可用于工业陶瓷的纳米颗粒。从计算机、打印机等回收的塑料可转化成细丝，用于三维（3D）打印。我们将来还会研究回收电池的新方法，并始终考虑对环境的影响。像医生一样，我们首先考虑的是“避免伤害”；然而，我们的绿色过程还必须使企业有利可图。

### 5. 结语

人类面临前所未有的巨大挑战。工业世界不能再靠从陆地和海洋索取新的资源而生存了。开采这些资源带来的气候变化或对水源或食物供应的灾难性破坏等有害影响使其不再安全。传统能源在环境方面的表现已令人无法接受。急需寻找颠覆性的新方法。

本刊中的大量证据表明，全世界的科学家正在直面这些挑战：绿色过程的开发在许多领域方兴未艾，对废物和保护的根本态度正在被颠覆，我们逐渐明白可持续能力才是实现繁荣的关键。这仅靠科学还远远不够。实验室的众多创新技术需要被理解、被接受，进而转化为生产力。这就需要与我们的同事——工程师紧密合作，因为他们能够将实验室发现的绿色化学推广应用到现实世界中。工程、经济和环境之间的协同作用十分强大。我们必须保护环境，改善经济，而要做到这一切，离不开工程界的全身心投入。

### Reference

- [1] Schuman CA, Brent AC. Asset life cycle management: towards improving physical asset performance in the process industry. *Int J Oper Prod Manag* 2005;25(6):566-79.