塑料小循环　资源大循环

Dominik Stephan

化学循环技术被视为解决塑料废弃物问题的关键途径之一，而在废塑料化学循环众多工艺中，美国企业 Anellotech 开发的催化流化床技术可能脱颖而出，成为主导技术。这一技术已经引起了日本一家财团的高度关注，该财团正积极推动与 Anellotech 公司的合作，这将加速催化流化床技术的发展和应用，还可能为全球塑料废弃物处理带来新的解决方案。

塑料废弃物的循环：最终将再次转化为有价值的资源

Anellotech 是一家成立于 2008 年的可持续发展技术公司，总部设在美国纽约，专注于将成本竞争力强的可再生化学品和非食品生物质燃料的创新产品推向市场。Plas-TCat™ 技术能够直接回收大量废塑料，并将其转化为商品化学品。通过这种技术，废塑料可以被转化为如烯烃、烷烃和芳烃等化学品，这些化学品与目前制造商使用石油基原料生产的化学品相同。Anellotech 公司将进一步开发 Plas-TCat™ 技术，使其能够处理现今广泛使用的大多数塑料材料，包括复杂的薄膜塑料。为了实现这一目标，Anellotech 公司已经扩展了其开发计划，预计整个开发过程将持续数年。

Anellotech 公司的首席执行官 David Sudolsky 表示，尽管公司规模已经有所扩大，但从运营理念上依然保持着初创企业的灵活模式。公司现有 25 名员工，主要聚焦于生物质转化和化学回收替代原料的研究。团队成员包括行业资深专家、经验丰富的商业投资人，比如公司现任的首席科学官 Leslaw Mleczko 是拜耳前高管。这样的团队构成不仅为 Anellotech 公司带来了深厚的技术积累，也为其商业发展提供了强大的支持。

Anellotech 公司的项目融资策略也沿用了初创企业的模式，目前这种独特的组合策略已经助力 Sudolsky 有效地推进了其合作伙伴战略。现已有多个重要伙伴加入 Bio-Tcat™ 项目中，包括催化剂制造商庄信万丰（Johnson Matthey）、设备工程公司 Axens、法国研究机构 IFP Energies nouvelles、日本的丰田通商（Toyota Tsusho）以及日本饮料巨头三得利（Suntory）。这些合作伙伴共同投资了 8 500 万美元，在美国得克萨斯州的锡尔斯比

本文作者系《PROCESS》德文版编辑。

（Silsbee）建设了一座示范工厂。

这座工厂位于一家专业的石化生产基地，得到了 Trecora 公司的支持和运营。通过采用异相流化床催化技术，该工厂能够将落叶松废料转化为 BTX 芳烃（包括苯、甲苯以及间、邻、对二甲苯），这正是 Bio-Tcat™（热催化生物质转化技术）工艺的核心，Bio-Tcat™ 工艺生产效率高，原料适用性强，因此具有很好的成本竞争优势。该示范工厂已实现了 24/7 全天候连续运行超过 7 500 h，并已进入了商用开发阶段，第 2 座产能为 20 万 ~ 25 万 t/a 的商业化生产装置也已在建设中。

2021 年，双方合作取得了首个重要成果：成功开发出了一种透明 PET 瓶原型，该原型使用了由 Bio-Tcat™ 工艺生成的对二甲苯制成，而对二甲苯是生产 PET 组分 PTA（对苯二甲酸）的前体。这种新型 PET 瓶还结合了以糖蜜为原料的 MEG（单乙二醇），用于替代自 2013 年起三得利在日本品牌“Suntory Tennensui”中使用的 30% 生物 PET，该工艺可以制造 100% 植物性 PET 瓶。

1 从塑料废弃物到 BTX 和烯烃

接下来，Anellotech 公司将重点关注如何将塑料废弃物作为碳和氢的来源加以利用。由于塑料废弃物种类繁多，且因地区差异而成分复杂，许多回收工艺难以适用。但 Sudolsky 表示，这对 Plas-TCat™ 技术来说并非难题。因为大部分塑料废料主要由聚烯烃构成，如聚乙烯和聚丙烯，这些材料由碳氢化合物组成，能够确保高效率的产品产出。

除聚氯乙烯（PVC）外，Anellotech 公司的技术还可将 PET、丙烯酸、尼龙、ABS、聚碳酸酯及聚氨酯等塑料直接转化为 BTX（苯、甲苯、二甲苯）、烯烃及烷烃。这在技术上极具挑战性，特别是因为这些塑料含有氮和氧等杂原子。通常，热解过程需要预先对塑料废料进行分类，而且后续的下游处理也非常复杂。

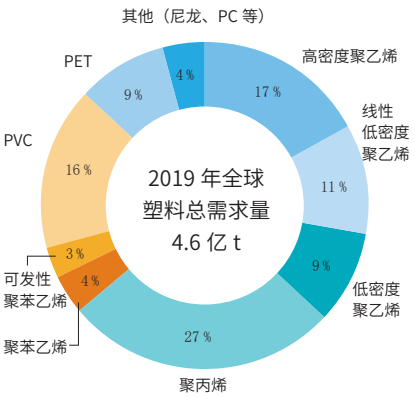
作为世界第二大塑料废弃物生产国，日本每年产生大约 900 万 t 塑料废弃物，因此对这项新技术尤其感兴趣。日本政府计划到 2030 年将化学回收能力提升至 150 万 t/a，并在 2050 年进一步增加到 250 万 t/a。为实现这一目标，包括三得利、东洋纺、联合纸业在内的 40 家公司成立了 R Plas Japan 联合企业。对于 Anellotech 公司而言，这可能是一次绝佳的机会，因为 Plas-TCat™ 工艺可以证明其技术优势。

Sudolsky 非常自信地指出了 Plas-TCat™ 技术相较于传统热解技术的优势所在：在传统的热解炉中，产生的烯烃和蜡类混合物需要在蒸汽裂解装置中进一步精炼；而通过 Anellotech 公司的精简催化热解技术，则可以在单一反应器内直接生成 BTX、乙烯、丙烯和烷烃，大大简化了处理流程。

基于一种专有的催化剂和流化床反应器－再生系统，Plas-TCat™ 提供了一种新的、直接的途径，从塑料废料流中获得轻烯烃和芳烃，如聚烯烃、聚酰胺（尼龙）、聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚碳酸酯和聚苯乙烯，而不需要蒸汽裂解炉。通过这一过程，可以获得苯、甲苯和二甲苯，以及乙烯、丙烯和丁烯（轻烯烃），这些物质可作为下游塑料制造商的生产原料。

2 降低大量成本

Sudolsky 指出，催化流化床技术



按聚合物类型划分的全球塑料需求

“我们的愿景是实现混合塑料废料的高效、经济和大规模回收。”

——Anellotech 公司首席执行官 David Sudolsky

“市场的所有信号都表明，Plas-TCat ™工艺的时机已成熟。”

——Anellotech 公司首席技术官 Leslaw Mleczko

的一个优势在于其易于规模化扩展。相较于热解技术需要通过增加多个热解炉来实现扩产，并面临一定限制，流化床反应器则几乎可以无限制地进行规模化扩展，这一点在全球塑料废料量迅速增长的背景下显得尤为重要。实际上，这一过程的主要限制在于塑料废料的收集和运输。此外，成本控制同样是关键因素——规模经济仍然是控制生产和销售成本的最佳方式。毕竟，化学回收产品的价格不应高于石油基产品。Sudolsky 强调，即便化学回收可以作为一个营销卖点，绝大多数公司仍然不愿支付更高的费用。

另外一个优势在于 Plas-TCat™ 工艺生产的化学品可以直接进入蒸汽裂解装置的下游处理流程，可以将塑料废物（如复合膜、混合塑料和纸质标签这种含生物质的塑料）直接转化为有价值的化学品。热解过程产生的复杂油混合物需要在蒸汽裂解装置中进行升级和额外转化，这有助于降低处理难度和投资成本。

目前，Anellotech 的团队正在紧锣密鼓地推进塑料回收技术的发展，计划的时间表非常紧凑，目标是在 2027 年之前实现 Plas-TCat™ 工艺的商业化应用。