

AI 废塑料热解健康化的探讨（下）

张友根

（上海第一塑料机械厂，上海 201201）

摘要：本文提出了“AI 废塑料热解健康化”的新理念。“AI 废塑料热解健康化”旨在通过 AI 在废塑料热解健康化中的应用，减少热解过程有害副产品的产生，规避热解过程对人体和环境的健康风险，促进循环经济的发展。本文探讨了 AI 废塑料热解健康化的内涵；分析了废塑料热解副产品健康风险特征；论述了 AI 废塑料热解规避副产品健康风险的解析；探讨了 AI 废塑料热解副产品回收利用的健康化策略；分析了 AI 废塑料热解副产品规避健康风险的六个案例；研究了 AI 热解副产品终止废塑料生命周期健康化技术策略；论述了 AI 废塑料热解副产品健康风险的评估策略；指出 AI 废塑料热解健康化举措，不仅保护人类和环境健康，同时促进循环经济的发展。

关键词：AI；废塑料热解；健康化；探讨

中图分类号：TQ320.9

文献标识码：B

文章编号：1009-797X(2025)09-0001-08

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2025.09.001

（接上期）

4 AI 废塑料热解副产品回收利用的健康化策略

AI 优化副产品回收利用的健康化技术策略主要集中在保障人类健康、减少环境污染和提高回收效率三个方面。AI 技术通过深度学习、机器视觉、数据挖掘等方法，能够实现对废塑料热解过程产生的副产品的高效识别和分类。通过对大量的热解副产品样本进行训练，AI 系统可以精确识别不同类型的副产品，从而提高回收流程的自动化程度和准确性。AI 技术监测和控制回收过程中的环境影响，确保整个回收流程的健康化，避免有害物质的二次污染。通过智能化的决策支持系统，AI 能够优化副产品的回收路线，提高回收效率，确保回收操作的安全性和环保性，最终实现资源的高效利用和环境的可持续发展。

废塑料热解产生的副产品“健康化”回收利用是一个复杂且多维度的课题，涉及到技术创新、工艺优化、环境监测等多个方面，旨在减少或消除副产品中的有害物质，转化为安全、有价值的资源。

4.1 AI 废塑料热解副产品健康化回收预处理的技术策略

AI 通过集成多种先进的技术，如计算机视觉、自然语言处理和决策支持系统，回收物的分类与纯化过程得以实现智能化升级，显著提升了回收效率和产

质量。对不同副产品回收物进行分类和纯化处理，以确保它们能够被高效地应用于各种工业或消费领域。

通过集成多种先进的 AI 技术，如计算机视觉、自然语言处理和决策支持系统，回收物的分类与纯化过程实现智能化升级，显著提升了回收效率和产品质量，为废塑料热解过程的可持续发展提供了强有力的技术支撑。

AI 废塑料热解副产品健康化回收利用预处理策略：

（1）智能识别与分类的健康化技术策略

AI 系统基于历史数据训练模型，通过深度学习算法对不同类型的热解副产品进行快速、精准的识别与归类。这一过程不仅提高了分类效率，减少了人工操作的误差，还为后续的纯化处理提供了精确的质量、性能等再利用物化数据支持。

利用图像识别、深度学习等 AI 技术，可以从热解产物中自动识别和分类出不同类型的副产品，如液体燃料、气体燃料、破材料等，实现自动化分拣和处理，提高效率并减少人工成本。

（2）副产品纯化的健康化技术策略

借助机器学习算法，AI 系统能够自动调整反应条

作者简介：张友根（1947—），男，教授级高级工程师，终身享受国务院政府特殊津贴，主要从事塑料材料和工艺的相关研究，已在国家期刊上发表论文多篇。

件,例如温度、压力和催化剂使用量,以达到最佳的纯化效果。此外, AI 还能模拟和预测不同的纯化方案,通过仿真分析比较不同策略的效能,从而选择出成本效益最高的纯化路径。

用化学或物理方法去除副产品中有害物质,如重金属、有机污染物等。通过物理或化学方法去除多余的水分,提高产品的纯度和储存稳定性。

去除附着在副产品表面的污垢、油渍或其他污染物,确保后续加工过程顺利进行。

(3) 决策支持的健康化技术策略

AI 系统可以提供决策支持,根据当前市场状况、资源可用性、环境影响等因素,推荐最优的回收路径或副产品处理方案。这有助于企业做出更明智的决策,优化资源分配和利用。

AI 通过模拟和优化模型,预测不同再利用路径的经济效益和环境影响,从而帮助决策者做出最优化选择。这种综合考虑环境、经济和社会因素的方法,不仅有助于提高资源利用效率,还能促进循环经济的发展,减少废弃物的产生,最终实现可持续发展目标。

4.2 AI 废塑料热解副产品优化回收的健康化技术实施策略

AI 优化副产品健康化回收发挥着至关重要的作用,主要涉及以下几个方面的技术策略:

(1) 智能温度控制与优化的健康化技术策略

利用 AI (人工智能) 算法预测最佳的热解温度区间,以减少有害物质(如二噁英、多环芳烃等)的生成,同时最大化有价值副产品的产出。AI 系统实时监控和调整反应条件,确保在高效回收有价值的裂解油、气体等的同时,减少对环境和人体健康的潜在危害。

(2) 副产品分类与精炼的健康化技术策略

通过先进的图像识别和机器学习技术,对热解过程产生的裂解油、气体、炭黑等副产品进行快速准确的分类和分级。随后,利用精细的精炼技术,将这些副产品进一步加工成高附加值的产品,如生物柴油、合成气体等,从而提高其市场价值和环境友好性。

4.3 废塑料热解副产品优化循环利用的集成系统的健康化技术策略

设计和实施一套集成系统,将废塑料的收集、热解、副产品处理和再利用过程有机连接起来。通过优化整个链条中的每一个环节,提高资源的循环利用效率,减少废弃物的产生,同时也确保每个环节的健康和环境标准得到满足。

智能配方设计的集成循环利用健康化技术策略。在将废塑料转化为新产品时, AI 可以根据特定的性能需求和原材料特性,设计最优的配方和工艺方案。例如,通过机器学习算法分析不同废塑料类型和添加物/添加剂的比例,生成最优的塑料合金配方,既满足性能要求,又最大限度地利用了可回收材料。通过机器学习模型预测不同塑料在特定条件下的性能表现,可以指导设计出适应性强、可循环利用的新型材料。

5 AI 废塑料热解创新热解工程技术规避健康风险的案例及分析

AI 废塑料热解创新热解工程技术通过集成 AI 技术,可以显著提升废塑料热解过程的效率、效果,并有效规避健康风险。本节 AI 废塑料热解创新热解工程技术规避健康风险的案例说明, AI 废塑料热解工程不仅能有效规避健康风险,还能提升资源利用效率,促进循环经济的发展,实现经济效益与环境保护的双赢,对于可持续发展具有重要意义。

5.1 AI 废塑料热解创新热解工艺规避健康风险的案例及分析

AI 低温连续化工艺,这是一种旨在高效且环保地处理废塑料的技术。低温热解产生的副产品通常比高温热解产生的副产品更容易处理,因为它们往往含有较少的有毒物质,对环境的影响较小。低温连续化工艺可能设计为多级操作,以最大化回收有价值的产物,如燃料油、气体、炭黑等,显著降低有害物质的生成。同时, AI 连续化工艺可以更精确地控制反应条件,进一步优化热解过程,减少有害气体的排放。同时减少废弃物的产生。低温热解工艺能够灵活处理不同类型的废塑料,并可根据市场需求调整产物的类型和产量。低温热解技术装备的出现提供了处理大量废塑料、减少环境污染、创造经济价值的新途径。

案例: 济南恒誉环保科技股份有限公司自主研发了环保型低温连续化废塑料热解技术装备,通过 AI 优化热解过程中的温度、压力和氧气供应等关键参数,实现了对废弃塑料的资源化、无害化处理。其设备具有优异的安全环保、节能高效性能,能够长时期连续稳定运行,显著减少了有害物质的生成,提高了热解油、炭黑等副产品的产率和质量。印度的科研机构和企业正在不断研发新技术,以提高废塑料热解的效率和产品品质,同时降低对环境的影响。印度的废塑料热解技术装备通常采用低温连续化工艺,相较于传统

的间歇式或高温热解技术，低温连续化工艺能够减少能源消耗，降低污染物排放，更加环保。

分析：低温热解是降低热解健康风险副产品生成的热解形式的发展方向。AI 系统通过实时监测和分析热解反应器内的温度变化，精确控制温度曲线，确保在最佳温度范围内进行热解反应。这有助于提高热解效率，减少热解过程中的能量消耗，并优化产物的品质，进一步提高规避健康风险副产品的废塑料热解科学发展水平。

5.2 废塑料热解创新热解设备规避健康风险的案例及健康化分析

AI 废塑料热解集成装备和技术在规避健康风险方面采取了多种策略，旨在通过智能化手段优化热解过程，减少有害副产品的生成，同时提高资源回收的效率。实现从原料输入到产品输出的全链条智能化控制，通过反馈机制调整工艺参数，持续优化热解过程，减少健康风险。集成环境监测设备，实时检测热解过程中的有害气体排放，一旦超标立即触发 AI 算法进行调整，以保护工作人员和周边环境。集成 AI 的安全预警系统，通过大数据分析预测潜在的健康风险，如有害气体泄漏，及时通知操作人员并启动应急措施。集成 AI 的环境监测系统可以实时检测排放的气体成分，一旦发现有害物质超标，AI 系统会立即启动应急预案，调整操作参数，或者关闭部分设备，防止有害物质进一步扩散。选用低毒或无毒材料制造设备，减少设备本身的健康风险，并通过 AI 监测设备运行状态，及时发现并修复可能的隐患。

案例一：壳牌公司正在研究利用热解技术将难以回收的废塑料转化为有回收利用价值的裂解油。壳牌的热解技术研究整合了先进的工艺和设备，旨在优化废塑料的处理流程，提高能源效率，并减少有害物质的排放，开发符合国际标准和要求的热解技术解决方案。这包括对热解炉、冷却和分离系统等关键部件的改进和优化。壳牌在研究中注重技术的可持续性，寻求在减少塑料垃圾的同时，实现资源的有效循环利用。壳牌与多个收集和转化塑料废料的合作伙伴合作，共同扩大热解技术的产能，尤其是在亚洲、欧洲和北美地区，以满足全球对废塑料处理的需求。壳牌等公司的目标是实现大规模利用热解技术，以每年 100 万 t 的规模将废塑料转化为有价值的化学品，这不仅有助于减少塑料废弃物对环境的负担，还能促进循环经济的发展，提高资源利用效率。

实例二：美国 AI 废塑料热解集成装备和技术提高废塑料处理的效率、减少环境影响，并最大化资源的回收利用。系统结合了先进的机器学习算法与传感器技术，实现了对废塑料的智能识别、分类与预处理，显著提高了回收过程的智能化水平，这一系列 AI 集成系统在塑料回收领域的应用，不仅推动了技术的革新，也为全球范围内实现可持续发展的塑料管理提供了可借鉴的经验和模式。

分析：本节说明，创新热解设备是废塑料热解科学发展的重要元素，不但提高热解效率和资源回收率，而且有效减少有害副产品的生成，对环境保护和人类健康产生积极影响。这要求跨学科的合作，包括工程、化学、环境科学、计算机科学等领域，共同推进热解技术的健康发展。

5.3 AI 废塑料优化热解技术规避健康风险的案例及健康化分析

AI 模型能够预测热解过程中的副产品生成，通过分析温度、压力、氧气浓度等因素与副产品生成之间的关系，提前预测可能的有害物质，并据此调整热解参数。同时，AI 还可以对已产生的副产品进行分析，评估其健康风险，并提供处理策略。通过 AI 构建的闭环控制系统，可以持续优化热解工艺，有害副产品的产出并控制生成量最小化。

案例一：Recycling Technologies 公司的技术特别关注于处理聚苯乙烯（Polystyrene, PS）废弃物。通过热解过程，聚苯乙烯被转化为燃料油。相比于传统的石油提炼过程，这种方法可以显著减少温室气体的排放。

案例二：中国科学院上海硅酸盐研究所的研究团队利用 AI 技术优化热解过程参数，如温度、压力、氧气含量等，以减少有害物质的生成，提高热解油、炭黑等有价值的副产品的产率和品质。通过 AI 的精准控制热解温度，大幅度降低二噁英等有害物质的生成，同时提高副产品的经济效益。

分析：AI 精准控制热解温度，有效减少健康风险副产品的产生。AI 热解废塑料健康风险副产品最少化技术不仅解决了环境保护的问题，也保障了公众的健康，是实现循环经济和可持续发展的重要手段。

5.4 AI 废塑料热解副产品高值化的案例及健康化分析

AI 在热解废塑料副产品高值化回收利用发挥着至关重要的作用。AI 基于图像识别和计算机视觉的 AI

系统，能够高效准确地从复杂副产品混合物中分离出回收利用的高值化目标的副产品，即使是在副产品混杂的情况下也能自动化分拣和处理，为后续的资源优化利用提供数据支持。

案例：德国企业使用热解产生的化学品时，遵循质量平衡方法，确保每一种副产品都能被充分地转化为高价值的最终产品，不仅提高了资源的利用率，减少了废弃物的产生，还开发出新的高价值化学品。质量平衡方法是一种系统性的分析工具，它追踪化学物质在一系列连续过程中的流动，确保输入和输出之间的质量守恒。

分析：案例中质量平衡方法在废塑料热解领域中主要用于计算和验证热解过程中各产物的质量守恒，确保化学反应的物理和化学性质符合实际。这种方法基于质量守恒定律，即在一个封闭系统中，进入系统的总质量等于离开系统的总质量加上系统内质量的变化。在废塑料热解过程中，质量平衡方法用于追踪原始废塑料中的各种元素和化合物如何转化为热解油、气体、炭黑等产物。质量平衡方法不仅有助于理解废塑料热解过程的复杂性，而且对于优化热解工艺、提高资源回收效率、减少环境污染等方面具有重要意义。通过这种方法，可以更精确地控制热解过程，实现资源的最大化利用和环境的最小化影响。

5.5 AI 废塑料热解有害副产品资源化的案例及健康化分析

AI 在热解技术中通过优化热解过程和副产品的处理方式，有害副产品成为生产其他物质的资源，显著减少热解过程中有毒有害副产品的生成。利用 AI 算法优化热解过程，通过对产生的副产品进行深度分析与筛选，开发出一系列性能优异、环保无害的新型材料。这些新材料可以作为替代品用于制造各种产品，减少对传统资源的依赖，同时降低环境污染。

案例一：德国的 Recycling Technologies 公司开发了热解技术，能够将废弃塑料转化为燃料油。通过这一技术，塑料废弃物不再被视为垃圾，而是被视为一种资源，可以转化为有用的能源。

案例二：美国 Clean Energy Fuels 公司从废塑料热解过程中产生的混合气体中提取生物甲烷，并通过净化过程去除其他杂质，确保生物甲烷的质量和纯度，适合用于汽车燃料。不仅减少了传统石化燃料的使用，还促进了废物的循环利用，为环境可持续发展做出了

贡献。这一过程有助于降低碳足迹，减少空气污染，并推动清洁能源的广泛应用。

案例三：日本研究人员将废塑料热解产生的碳纳米管用于增强复合材料的研究，这反映了当前材料科学领域对可持续性解决方案的追求。碳纳米管因其独特的力学、电学和热学性质，在复合材料增强方面显示出巨大潜力。使用废塑料热解产生的碳纳米管，不仅能够减少对传统资源的依赖，还能提高复合材料的性能，如强度、韧性和导电性。

分析：本节三个案例说明 AI 废塑料热解有害副产品“资源化”，展现了减少环境污染、促进资源循环利用方面的共同愿景，不仅有助于解决塑料废弃物的环境问题，同时也推动了材料科学的可持续发展，拓展了循环经济领域。通过这样的研究，为未来的资源开发、材料设计等提供新的思路，为解决塑料污染问题“健康化”转型提供了一种创新的解决方案。

资源化利用的技术挑战与未来趋势涉及多个层面，首先在技术层面，废塑料热解副产物的高效分离、纯化以及转化为高价值产品面临复杂性与成本双重挑战。由于副产品种类繁多，包括有机物、无机物以及可能的重金属污染物，实现精确、经济的分离与纯化需要开发更为先进、高效的分离技术，比如膜分离、超临界流体萃取等，以确保资源化产品的品质和安全性。

5.6 AI 提高 AI 废塑料热解副产品环境价值的案例及健康化分析

提升废塑料热解副产品的环境价值主要体现可用副产品的回收率和回收量最大化，废弃物最小化。使用和创新热解技术，如催化热解、快速热解或微波辅助热解，提高可再生副产品的环境价值，同时降低有害副产品的产生。开发多元化的下游产品，包括但不限于热解油、炭黑、生物炭、气体（如氢气、甲烷）、有机酸、生物降解材料等。开发副产品的特定的应用领域，提高副产品的环境价值，如热解油可用作燃料，生物炭可用于土壤改良，生物降解材料则有助于减少传统塑料的使用。推动废塑料的闭环循环利用，即从回收、分类、预处理、热解、产品制造直到最终消费和再回收的全链条闭环管理。通过精细控制反应条件（如温度、压力、停留时间等），可以优化热解过程，得到更高的产率和更高质量的产品。

例一：日本则侧重于通过技术创新提升资源回收

效率，利用 AI 实现自动化和智能化的废弃物分拣与处理，确保了高纯度的副产品产出，减少有害气体的排放。

例二：国内某单位通过深度学习模型的应用，成功减少了有毒副产品的产生量与种类，使得轻烃类产物的比例增加，而有毒副产品如二噁英、多环芳烃（PAHs）和重金属残留等的生成量大幅度降低，副产品中二噁英的生成量减少了约 70%，PAHs 的含量降低了 50%，同时重金属残留也得到了有效控制。通过精确控制热解过程中的温度、压力、氧气含量和停留时间等参数，可以减少有毒有害气体的生成。例如，适当降低温度或增加氧气含量可以抑制二噁英等有害物质的形成。

例三：Recycling Technologies 公司还与英力士苯领（Ineos Styrolution）等大型化工企业合作，共同研究如何将聚苯乙烯废弃物转化为高质量的再生聚苯乙烯，以供食品接触应用，提高聚苯乙烯废弃物，这进一步展示了热解技术在循环经济中的潜力，即通过资源回收和再利用，促进可持续发展的目标。

分析：在探讨提高高效回收环境价值策略时，首先要评估现有的回收技术，包括物理回收、化学回收和生物回收等，分析它们的优缺点及适用范围。随后，探索创新回收技术的发展趋势，如热解气化、催化裂解等，这些技术能够更有效地分解废塑料并提取出有价值的副产品，提高塑料废弃物的环境价值。

6 AI 热解副产品终止废塑料生命周期健康化技术策略的探讨

AI 废塑料热解技术融入到循环经济体系中，终止废塑料的塑料属性的生命周期，实现废塑料热解“无毒化”的环境友好最高目标。

AI 在废塑料热解副产品转换为其他物质的应用中，主要通过数据分析、预测模型和优化算法，提升资源转化效率和价值。废塑料热解副产品不仅可以被更有效地转化为有价值的物质，而且整个过程更加高效、环保，有助于推动循环经济的发展。

6.1 AI 废塑料热解副产品无毒化再利用技术的探讨

AI 在废塑料热解副产品无毒化再利用技术领域扮演着至关重要的角色，旨在将热解过程中产生的有害副产品转化为安全且环境友好的产品，从而减少环

境污染。以下是一些具体的 AI 无毒化再利用技术：

（1）构建全生命周期的闭环管理系统

跟踪从废塑料到热解副产品再到最终转化产物的整个过程，帮助企业根据市场条件、成本效益和环境目标，选择最优的副产品转化策略，对回收、处理、转化过程进行实时监测与智能调控，确保过程安全可控，同时减少能源消耗和环境污染。从而终止废塑料生命周期。

（2）精准预测与优化

AI 通过大数据分析和机器学习技术，能够预测废塑料热解过程中的副产品特性，如油泥、焦炭等的成分、性质和可能的有害物质含量。基于这些预测，AI 可以优化热解工艺参数，减少有害物质的产生，从而在源头上保障副产品的安全性。

（3）预测和评估

AI 系统可以建立复杂的风险评估模型，对热解副产品的潜在健康风险进行量化分析。通过模拟不同处理方案下的健康影响，AI 能够指导决策者选择最安全、最健康的处理方案，保障公众健康。

评估不同处理方案对环境的影响，帮助企业遵守环保法规，同时优化工艺以减少对环境的负担。AI 的集成使得无毒化再利用过程更加高效、精准，有助于实现资源的循环利用和环境保护的目标。

（4）资源化策略制定。AI 可以根据副产品的特性，制定出最优的资源化利用策略，如将油泥转化为肥料、将烟气中的有害物质转化为有用化学品等。通过模拟和优化算法，AI 可以预测不同策略的效果，帮助企业做出最优决策。

（5）副产品识别与分类。利用计算机视觉和深度学习技术，AI 可以精确识别和分类热解过程中的副产品，如油泥、烟气中的有害物质等，为后续的去毒化处理提供依据。

（6）塑料属性转换

AI 在废塑料热解副产品转换为其他物质的应用中，主要通过数据分析、预测模型和优化算法，提升资源转化效率和价值。废塑料热解副产品不仅可以被更有效地转化为有价值的物质，而且整个过程更加高效、环保，有助于推动循环经济的发展。

（7）无毒化处理技术优化：AI 可以集成多种无毒化处理技术，如生物降解、化学沉淀、催化转化等，并通过算法优化这些技术的参数组合，实现副产品的

高效无毒化处理。AI 的动态调整能力确保了处理过程的灵活性和效率，减少对人体健康和环境的潜在危害。

(8) 经济效益

AI 将帮助我们识别和预测哪些副产品具有更高的经济价值和环境可持续性，从而指导资源的高效分配和再利用策略，为每种回收物设计最合适的回收再利用方案。

6.2 热解副产品终止其属性的无毒化处理技术的策略

废塑料热解副产品无毒化处理不仅有助于减少环境污染，还能提高资源的循环利用率，创造经济价值。在实施这些技术时，还需要考虑技术可行性和经济性，以确保项目的可持续性和成功实施。以下是一些热解废弃物无毒化处理技术：

(1) 油泥（残渣）无毒化的处理

物理分离：通过过滤、沉降等物理方法，将油泥中的固体杂质与液体分离，降低后续处理的难度。

化学沉淀：使用化学试剂促使有害物质沉淀，如重金属离子，便于后续的回收与无害化处理。

生物处理：引入特定微生物进行分解，将有害物质转化为无害物质，如二氧化碳和水，或者转化为有机肥料。

(2) 二噁英的无毒化

添加脱二噁英催化剂：使用特定催化剂，铜基催化剂，促进二噁英的分解。

(3) 烟气净化

袋式过滤器。通过纤维过滤材料捕获烟气中的颗粒物，实现净化。

湿式洗涤器。利用水或其他溶剂吸收烟气中的有害气体，如二氧化硫、氮氧化物等。

静电除尘器。利用电场作用分离烟气中的微小颗粒物，提高净化效率。

(4) 副产品的资源化利用

焦炭作为炼钢原料：通过热解过程产生的焦炭，可以作为钢铁生产的燃料和还原剂。

活性炭作为吸附剂：活性炭可以用于废水处理、空气污染控制等领域，吸附有害物质。

土壤改良剂：将部分热解副产品制成土壤改良剂，提高土壤肥力，促进植物生长。

(6) 催化裂解和重整

催化裂解：使用催化剂将大分子化合物裂解成小

分子化合物，提高热解油的热值和挥发性。

催化重整：通过化学反应，改变热解油的化学结构，提高其品质和使用性能。

催化剂重整：使用催化剂进行化学重整，提高热解油的热值和品质，使其更适用于能源或化工用途。

7 AI 废塑料热解健康风险评估策略

废塑料热解健康风险评估是确保技术安全、环境友好、合法合规和可持续发展的重要手段，对于推动循环经济和环境保护具有不可替代的作用。健康风险评估能帮助我们量化这些有害物质的产生量及其可能的环境影响，从而指导采取相应的预防措施。通过健康风险评估，可以识别出废塑料热解过程中的关键风险因素，进而优化热解技术参数，减少有害物质的生成。这不仅提高了资源回收的效率，也保障了操作人员和周围环境的安全。健康风险评估的结果有助于与利益相关方进行有效的风险沟通。废塑料热解健康风险评估是确保技术安全、环境友好、合法合规和可持续发展的重要手段，对于推动循环经济和环境保护具有不可替代的作用。

AI 在废塑料热解健康风险评估过程中发挥着重要作用，通过大数据分析、机器学习、模式识别等技术，可以更准确、高效地处理和分析海量数据，辅助评估人员做出更为精准的判断和决策。

AI 实时对人类和环境健康的潜在风险评估，识别潜在的健康风险，制定相应的预防和缓解措施，确保废塑料热解过程不会对人类和环境健康造成不可接受的危害。

废塑料热解的健康风险评估包括以下几个主要方面：

(1) 健康风险的评估标准

遵循国际卫生组织（WHO）、环境保护署（EPA）等机构发布的指导原则和标准。具体标准和程序可能因国家和地区而异，但基本框架和核心原则通常是相似的。例如，美国环保署的《有害物质排放清单》（HAP List）和欧盟的《持久性有机污染物（POPs）指令》都是在制定和执行相关标准时的重要参考。

(2) 评估数据的收集与分析

整合过往的热解数据，包括不同工艺参数下产生的副产品类型、数量及可能的健康风险。结合气象数据、地理位置信息、人口密度等外部数据，评估潜在

的健康风险扩散范围。

(3) 构建评估模型

确定风险特征,如风险系数、风险水平等。评估热解副产品对人体健康的潜在风险,包括对呼吸系统、皮肤、神经系统等的影响。评估潜在的健康风险扩散范围。

利用机器学习或深度学习算法,构建模型预测热解过程中可能产生的有毒有害物质种类、浓度及变化趋势。

开发基于 AI 的健康风险评估模型,考虑不同人群对有害物质的敏感度差异,预测潜在的健康影响。

(4) 人体暴露的评估

暴露评估需要遵循当地和国际的相关法规和指南,如欧盟的 REACH 法规、美国的 TSCA (Toxic Substances Control Act) 等,确保评估过程的科学性和合法性。

首先确定环境中有害物质的来源、传播途径以及可能接触到的人群。

确定潜在的有毒有害副产品通过热解过程释放到环境中的途径、剂量和速率。这涉及到对热解过程中的化学反应、副产品性质、排放条件(如温度、压力、空气流通状况等)进行详细分析。

基于评估结果,提出减少暴露的措施,如改进生产工艺、加强环境监测、个人防护装备使用等。

(5) 环境对人类健康影响的评估

环境对人类健康影响的评估目的是为了预防或减轻混杂有毒有害气体的环境物质对人类健康的影响。这一健康风险评估需要跨学科的合作,包括环境科学、公共卫生、政策制定、法律等领域的专家参与。

(6) 剂量-反应关系的评估

基于现有的科学证据,建立有毒有害物质排放剂量与人体、环境健康之间的关系。这通常需要回顾性研究、流行病学调查和动物实验数据来确定安全范围和可能的健康影响。

(7) 健康风险特征的描述

整合暴露评估和剂量-反应关系的分析结果,描述特定人群在特定条件下暴露于有害物质时的健康风险特征。这包括估计平均暴露水平、暴露人群、潜在的健康风险。

(8) 健康风险的管理

基于风险评估结果,制定相应的风险管理策略和

措施,以降低或消除健康风险。这可能包括改进热解工艺、优化操作条件、增加排放控制设备、设置合理的操作规程和安全措施等。

(9) 持续评估和优化

建立系统的监测体系,定期评估热解技术的健康风险,随着技术进步、科学研究进展或新信息的出现,不断更新风险评估和管理策略。

建立数据收集与分析的闭环反馈系统,根据监测结果和实际风险评估,持续优化热解工艺和风险管控策略。

AI 定期进行健康化风险评估和监测,确保热解有毒有害副产品的生成和排放符合相关的“健康化”标准,这包括严格控制废气、废水、固体废物的生成和排放对环境的影响。

(10) 健康风险标准的设定与监测

AI 可以设定和监测副产品的健康化标准,确保产品在生产、使用和处置过程中的安全性,包括对人类健康和生态系统的潜在风险评估。

8 结语

AI 在废塑料热解及回收利用领域的应用将更加广泛和深入,有望实现废塑料高效循环利用,促进绿色经济可持续发展。

健康化分析表明,AI 废塑料热解健康化技术在减少有害物质排放、提高能源效率以及促进循环经济方面展现出明显优势。有资料显示,AI 废塑料热解相比于常规热解,导致了副产品中二噁英的生成量减少了约 70%,PAHs 的含量降低了 50%,同时重金属残留也得到了有效的控制,实现了健康化热解。

深入探索 AI 提高副产物回收效率及精准预测环境健康影响方面的潜力。探索和创新副产品“健康化”处理与再利用方案。废塑料热解副产品的高效分离、纯化以及转化为高价值产品面临复杂性与成本双重挑战,开发更为先进、高效的经济分离技术。在转化为高附加值产品过程中,需要解决催化剂选择、反应条件优化、工艺集成等问题,以提高转化效率和降低能耗。

本文研究还揭示了当前在废塑料热解副产品规避健康风险方面存在的技术挑战,并对未来的研究方向提供了前瞻性的建议,为废塑料热解可持续发展提供了参考方案。

Exploration of AI based healthy pyrolysis of waste plastics (Part 2)

Zhang Yougen

(Shanghai First Plastic Machinery Factory, Shanghai 201201, China)

Abstract: This article introduces a novel concept: "Healthy Pyrolysis of Waste Plastics through AI". The concept aims to mitigate the production of harmful by-products during the pyrolysis process, circumvent health risks to humans and the environment, and foster the development of a circular economy by leveraging AI in the healthy pyrolysis of waste plastics. This article delves into the essence of healthy pyrolysis of waste plastics through AI; analyzes the health risk characteristics associated with waste plastic pyrolysis by-products; discusses the application of AI in waste plastic pyrolysis to avoid health risks posed by by-products; explores strategies for the healthy recycling and utilization of by-products from AI-assisted waste plastic pyrolysis; analyzes six cases where AI-assisted waste plastic pyrolysis by-products successfully avoided health risks; examines technological strategies for terminating the lifecycle of waste plastics through healthy AI pyrolysis by-products; discusses assessment strategies for the health risks of AI-assisted waste plastic pyrolysis by-products; and highlights that measures for healthy pyrolysis of waste plastics through AI not only safeguard human and environmental health but also propel the development of the circular economy.

Key words: AI; pyrolysis of waste plastics; healthification; discussion

(R-03)

(全文完)

米其林半年报：大尺寸轮胎拉动销量

Michelin's semi-annual report: Large-sized tires drive sales

近日，米其林集团发布财报，其 2025 年上半年业务线营业利润达到 15 亿欧元，并确认 2025 全年指导目标维持不变。

财报显示，上半年米其林集团销售额为 130 亿欧元，同比下降 3.4%。受欧元升值影响，汇率变动产生 1.5% 的下行影响，在第二季度降至 3.6%。轮胎整体销量下滑 6.1%，主要由于原配市场依然疲软，尤其是卡车、农业与工程基建轮胎板块。

替换市场方面，在终端销售持续稳定的支撑下，销量基本与去年同期持平，同比微降 1%。鉴于市场对关税政策调整的预期，跨洲进口显著增长，对售入市场节奏产生一定扰动。

汽车与两轮业务方面，营业利润率达 12.2%。尽管原配销量下滑影响盈利能力，但销售组合显著改善，大尺寸（18" 及以上）乘用车轮胎占米其林品牌销售的比重提升 4 个百分点，达 68%。集团正加快推进产品更新计划，包括米其林浩悦与米其林 CrossClimate 系列的全面焕新，以及推出全新米其林 CrossClimate3 Sport 轮胎，以开拓新兴细分市场。

道路运输业务方面，营业利润率降至 5.5%，这一暂时性下降主要归因于原配销售的急剧下滑，导致固定成本吸收不足。尤其是在北美地区，该市场在上半年收缩了 19%。同期，车队服务业务收入增长，集团加快其在欧洲与北美市场的新产品发布节奏。

特种轮胎业务方面，营业利润率为 14.5%。农业、工程基建与物料搬运轮胎的原配需求持续走低，导致整体销量承压。飞机与矿业轮胎业务则保持增长态势。聚合物复合解决方案板块持续扩张，尤其在涂层织物、功能薄膜与高科技密封件业务方面，持续体现出较高的盈利水平。

财报展望，预计 2025 年轮胎售入市场将与 2024 年大致持平。但经济形势、关税政策及汇率走向仍充满不确定性。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)