



中国环境与发展国际合作委员会

专题政策研究报告

以循环经济促进高质量发展



2025



**中国环境与发展国际合作委员会
专题政策研究报告**

以循环经济促进高质量发展

中国环境与发展国际合作委员会 2025 年年会

2025 年 10 月

专题政策研究项目组成员

组长*：

Ilka Hirt	国合会特邀顾问，外方联合组长，德国联邦环境、气候行动、自然保护和核安全全部（BMUKN）国际政策司副司长
胡 清	国合会特邀顾问，中方联合组长，南方科技大学教授
Jocelyn Blériot	外方副组长，艾伦·麦克阿瑟基金会董事执行官、国际机构与政府事务负责人
李文强	中方副组长，生态环境部固体废物与化学品管理技术中心主任

核心专家*：

外方团队

Per Ångquist	国合会委员，瑞典化学品管理局局长，前瑞典环境部国务秘书
Hans-Christian Stolzenberg	德国联邦环境署（UBA）国际事务与农药事务第四部门临时负责人，德国《全球化学品框架》《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》和《关于汞的水俣公约》国家联络点负责人
Valerie Boiten	艾伦·麦克阿瑟基金会纺织品高级政策官员
Henning Wilts	伍珀塔尔研究所循环经济部主任
Eva Bille	欧洲环境局（EEB）循环经济主任

中方团队

钟丽锦	北京环丁环保大数据研究院常务副院长
王 灿	清华大学教授、环境学院党委书记

顾问专家：

外方团队

Dr. Bodo Linscheidt	德国联邦环境、气候行动、自然保护和核安全全部（BMUKN）数字化、可持续消费和生产政策、资源保护司司长
Inga Wagner	德国联邦环境、气候行动、自然保护和核安全全部（BMUKN）负责循环经济、欧洲及国际资源效率与原材料政策的 TI 5 处长
Ulrich Nicklas	德国联邦环境、气候行动、自然保护和核安全全部（BMUKN）负责联合国《2030 可持续发展议程》、亚洲和拉丁美洲双边合作、国际气候与能源政策的 II4 处长

Claire Thibault	联合国环境规划署（UNEP）负责消费与生产单元、工业与经济部门的项目管理官员
Andrea Curcio Lamas	联合国环境规划署（UNEP）法律事务部官员
关一松	艾伦·麦克阿瑟基金会（英国）北京代表处首席代表
Christian Hudson	德国国际合作机构（GIZ）“支持欧盟在联合国、G20 和 G7 绿色经济外交”项目负责人
Patrick Schröder	查塔姆研究所高级研究员

中方团队

肖学智	生态环境部对外合作与交流中心首席科学家
么 新	清华苏州环境创新研究院副院长
林 军	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心固体废物管理技术部主任
方华玉	华峰华锦有限公司董事长
张 华	四川省化工行业协会会长，福华通达化学股份公司董事长

协调员：

外方团队

Siddharth Prakash	生态研究所（Oeko-Institute）可持续产品和材料流动部循环经济和全球价值链分部负责人
-------------------	---

中方团队

高菁阳	北京环丁环保大数据研究院上海事业部所长
赵子康	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心固体废物管理技术部工程师

支持团队：

外方团队

Greta Link	德国联邦环境、气候行动、自然保护和核安全部（BMUKN）负责联合国《2030 年可持续发展议程》、亚洲和拉丁美洲双边合作、国际气候与能源政策的 II4 工作组官员
Lola Renée Müller	德国联邦环境、气候行动、自然保护和核安全部（BMUKN）负责循环经济、欧洲及国际资源效率与原材料政策的 TI5 工作组官员

代 敏	德国国际合作机构（GIZ）环境与循环经济部门主任
Ashleigh McLennan	生态研究所（Oeko-Institute）可持续产品与材料流动部研究员
陈晓婷	艾伦·麦克阿瑟基金会（英国）北京代表处项目主任
Jan-Hendrik Eisenbarth	德国国际合作机构（GIZ）中德环境伙伴计划III期顾问
Katja Moch	生态研究所（Oeko-Institute）可持续产品和材料流动部高级研究员
Sarah Lauterwald	生态研究所（Oeko-Institute）可持续产品和材料流动部研究员

中方团队

石丕星	南方科技大学工程技术创新中心（北京）交叉技术研究所副所长
肖 垚	北京环丁环保大数据研究院科研助理
付 博	北京环丁环保大数据研究院科研助理
王业彤	北京环丁环保大数据研究院科研助理
付冬雪	北京环丁环保大数据研究院水土所助理所长
杨 阳	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心固体废物管理技术部副研究员
李天源	华峰华锦有限公司副总裁
唐智鹏	华峰华锦有限公司北京产业研究院总经理
李瑞琪	福华通达化学股份公司联席总经理
田金平	清华大学环境学院教授、环境生态学教研所所长

*本专题政策研究项目组联合组长、成员以其个人身份参加研究工作，研究成果不代表其所在单位观点，亦不代表国会观点。

执行摘要

“以循环经济促进高质量发展”专题政策研究是中国环境与发展国际合作委员会（**CCICED**，以下简称“**国合会**”）支持的“可持续生产与消费”课题下设专题之一，旨在通过国际最佳实践分析、中外政策比较评估，并以纺织和化学品行业为案例进行具体分析，识别可实现高质量发展、资源高效利用和包容性循环经济转型的关键路径。

目前，全球经济体系仍以线性模式为主，导致资源开采、温室气体排放和环境恶化这三大全球危机加剧，并达到不可持续的高水平。在此背景下，为实现经济增长与资源消耗脱钩的目标，“循环经济”在全球范围内都受到广泛关注和肯定，包括中国和德国在内，已有超过 75 个国家制定了与循环经济发展相关的战略和路线图，并建立了区域性联盟。

中国是全球主要的制造中心和原材料消费大国，其在向循环经济转型中的作用至关重要。中国的循环经济发展理念与《中华人民共和国宪法》中的“生态文明”概念相一致，即经济增长不应以环境退化为代价。此外，支持这一理念的一系列国家法律已出台，循环经济已被纳入高层政策，包括《“十四五”循环经济发展规划》。在国内层面，中国实施的循环经济政策与国家长期经济发展战略高度契合。目前，在回收基础设施建设、数字化应用和资源效率提升等方面，中国均取得了显著进展。例如，2024 年，中国的资源回收行业规模达到 4.01 亿吨，产值突破 1.33 万亿元，涉及企业数量超过 26 万家。在国际层面，中国的循环经济政策对全球供应链产生了重大影响。因此，推动中国循环经济高质量发展具有深远的区域性和全球性意义，为全球可持续发展、提升国家竞争力和增强国际领导力提供了可行路径。

欧盟（EU）是欧洲循环经济发展的主要推动力。过去十年间，循环经济已成为欧盟更广泛可持续性战略和工业战略的核心组成部分，欧盟出台的《欧洲绿色协议》《循环经济行动计划》和《清洁工业协议》等文件均强调循环经济是未来经济竞争力和气候中和的关键。为实现这些政策目标，欧盟已推出一系列横向层面和行业特定的立法举措，包括《可持续产品生态设计法规》（ESPR）。在德国，《国家循环经济战略》（NCES）以到 2045 年显著减少初级原材料消耗为总体目标，并提出了提高二次原材料总占比、增强原材料主权和供应安全，以及防止浪费等一系列雄心勃勃的目标。

然而，从全球范围来看，循环经济仍处于初级阶段，仅有 6.9% 的物质流实现了循环利用。各国在发展循环经济方面的努力往往呈现出碎片化的状态，而且面临资金不足、缺乏具有约束力的目标等问题。与此同时，社会公平、公正转型和全球协调等关键问题仍未得到充分解决。推动循环经济高质量发展，需要建立强有力的治理框架，并实施有针对性的政策干预，以确保线性模式与循环经济模式之间实现公平竞争，同时将环境成本内部化。德国和中国的循环经济政策具有推动结构性变革、减少原生材料使用量、实现材料循环闭合以及增强循环系统竞争力的潜力。然而，在国际价值链的框架下，要发展一个惠及所有人且尊重地球生态系统的高质量循环经济模式，需要强大的全球合作伙伴关系和具有约束力的承诺。

纺织行业中，快时尚模式持续助推过度消费现象，并促使低品质服装大量生产。同时，有害物质的存在阻碍了纺织品再利用与回收进程，消费者参与循环纺织品发展的意愿仍然不足。在欧盟和中国，技术限制（如可回收性缺失、分拣与回收技术及基础设施不完善）正延缓行业转型进程。一些颇具前景的技术，例如合成纤维解聚回收技术以及自动化分拣基础设施，目前仍处于研发阶段，尚未实现规模化应用。此外，政策框架碎片化、供应链不完善、财政激励措施不足以及全价值链数字化缺失，共同构成了行业系统性发展的障碍。

化学工业作为德国和中国的重要经济部门，目前仍高度依赖化石资源。因此，如何实现原料来源多元化，以支持向非化石和可持续替代品的转型，成为一个关键的战略问题。其核心挑战在于，如何在废物等级体系中有效整合化学回收、碳捕集利用与储存以及生物基材料应用等策略。化学工业的系

统性转型需要基于对环境与经济影响、潜在风险及未来市场发展的全面评估，合理组合运用创新方法。从环境角度而言，应优先支持并推动废物预防、减量化、再利用及机械回收等措施的实施。

建议

以下是对支持中国及全球范围内大规模发展循环经济的一系列总体政策建议的总结。这些政策建议旨在为中国政府在制定“十五五”规划以及修订《中华人民共和国循环经济促进法》时提供参考，在第六章中有更详细的阐述。建议特别强调了在中德环境伙伴关系框架下，中德两国在循环经济范畴可进一步推进的双边合作领域。

建议一：“十五五”期间，以高质量发展和“双碳”战略为指导，深化循环经济发展的顶层设计并推动其有效实施。一是建议在“十五五”规划中设立“循环发展”总目标，将“提高资源产出率、提升再生材料占比、提高再生资源回收利用率”等具体指标纳入其中。例如，率先在消费品领域（如纺织品、电子消费品、家用电器等）和影响广泛的行业（例如建筑、汽车、电池等）设定量化指标，并逐步考虑采用强制性或约束性指标，包括一次原材料消耗量、循环再生材料使用比例、废弃物产生率，以及使用更安全的高质量再生材料等。同时，在“十五五”规划中明确相关的社会经济指标，如循环经济技术和产业的投资额、国民生产总值中循环经济产业的占比、循环经济产业的就业人数等。二是深化和扩大“无废城市”和“废旧物资循环利用体系重点建设城市”试点，推动固体废物管理与循环经济工作的协同。选择典型城市，开展循环经济基础设施集成示范和现代化、自动化、智能化分拣系统应用示范，如研究废旧纺织品分类回收可持续模式、完善废旧家电收集体系。同时，开展针对废旧纺织品、废旧电子产品、废旧电池等废弃原材料供应的国家采购试点。三是在《中华人民共和国生态环境法典》的框架下，加快《中华人民共和国循环经济促进法》修订进度，扩大生产者责任延伸制度试点，进一步加强生态设计、强制使用再生材料等基本管理制度，包括明确区分实现再生目标的不同再生选项。这将为全面推进和实施高质量循环经济提供法律基础。四是将循环经济发展与“双碳”目标相联系，并将循环经济措施纳入中国的国家减排目标。加快健全固体废物资源化利用的碳减排方法学、排放因子研究、核算标准和市场交易机制，建立固体废物资源化减排模型，评估减排贡献量，结合“无废城市”建设，统筹建立“双碳”评价考核制度。五是开展基于循环经济的国家核证自愿减排量（CCER）方法学研究，推动中国碳交易市场的发展，识别显著减排潜力大、额外性好的大宗工业固体废物、低值可回收物等固体废物，优先开发 CCER 方法学，助推提升循环经济市场竞争力，并与欧盟的碳定价机制（如碳边境调节机制）相结合。六是设立中央循环经济领导小组，中央财政设立固体废物综合治理专项资金，加强循环经济发展与经济、工业、能源、环境、气候等各方面的协同。

建议二：结合废弃物分级原则，积极推动重点行业的高质量循环经济转型，培育经济增长新引擎，实现经济增长和绿色低碳发展的协同增效。一是推动重点产业在绿色转型中与循环经济深度融合。在传统高耗能产业（如钢铁、水泥、化工）中推动资源再生利用与能效提升协同改造，如大力推进化工行业循环经济产业链绿色制造。同时，在新兴产业（如新能源、半导体）中提前布局再生资源利用体系。二是基于循环经济原则，鼓励并支持高质量、高性能、高价值循环再造产品（如“纤维到纤维”“瓶到瓶”“化学品到化学品”等）和商业模式的发展，包括替换、再利用、再填充、翻新、再制造、再利用和循环等环节；并且根据不同循环技术的环境影响和经济评价建立分类分级制度，探索适合国情的“原级循环经济”发展道路，并逐步扩大试点示范范围。三是搭建以企业为核心的政府、高校、科研机构、企业联合的循环经济研发平台和人才培养体系，大力发展原级循环再生材料、去化石基材料和工艺革新技术研究，推动化工原材料、纺织产品等的“原级循环”再造；同时，加快加大循环经济技术人员培养，并确保人才培养遵循性别平等原则。四是加快构建“生态设计—再制造—再生原材料—产品使用服务（如再利用、维护、修补）—收集回收—循环再造”产业链，加大技术和机制创新，促进循环经济产业链的发展和延伸。五是通过“无废企业”“无废集团”“无废园区”和“大宗固废综合利用示范园区、企业”等示范建设，积极培育循环经济产业龙头企业，扩大循环经济产业规模，形成规模效应，降低再生产品成本，提高

市场竞争力。**六是**针对大宗工业废物提高资源化和治理专项投入，加快开展再生技术研发和应用示范，鼓励工业废物产业者、资源化技术拥有者、地方政府的强强联手和合作。**七是**通过需求侧引导和管理，加大和加快再生原材料或者再生产品需求市场的培育。例如，设立循环产品标签和补贴机制，鼓励和引导消费者选择更具循环性的产品；引导公共机构践行绿色采购，优先采购带有资源再生标识和具有更高循环性的产品等。**八是**加快数字技术与循环经济的融合，建立基于原材料和全产业链的数字化材料/产品溯源体系。例如，深入总结电池护照的经验，并逐步推广到其他行业或产品（如纺织品、建筑材料等）。同时，针对数据安全、数据质量、数据可信度、隐私保护、数据共享等数据问题，开展基于区块链的数据管理与共享技术研究和应用示范。

建议三：在国家 and 地方层面加快建立循环经济技术产品标准体系。一是加快研究并建立循环产品的设计和生产品标准，对产品的耐用性、可修复性、可循环性、再生原材料质量要求及使用比例等作出明确规定。**二是**加快研究并建立循环再生原材料、循环产品的性能质量标准。**三是**加快研究并建立循环再生材料和产品的分析检测标准、评级标准，引入“循环”标签/标识，提高市场信息透明度，引导和鼓励消费者选购高质量循环产品。**四是**加快研究并建立健全评估认证体系，确保市场监管严格到位，包括但不限于评估方法、认证标准，以及第三方检测和认证机构的建立与监管。**五是**加快研究和建立基于原材料、化学品的产品数据库。

建议四：加快绿色金融和融资机制创新，支持建立循环经济商业模式。一是开发专项融资工具（如循环经济转型债券），为循环经济商业模式的建立提供优惠融资。**二是**通过税收激励、定向补贴等支持性经济激励机制，提高循环经济企业的市场竞争力。例如，针对化石基原材料替代、回收原材料利用比例提高、再制造产品等措施提供专项经济激励支持。**三是**利用碳市场支持循环经济项目，促进降碳减污扩绿增长协同发展。**四是**加大绿色债券、绿色贷款服务于资源循环项目的力度，建立《绿色金融支持循环经济分类目录》，明确“绿色金融”框架下的循环经济项目分类标准，建立基于循环利用效果、碳减排效果、资源效率提升效果的项目融资绩效评估方法和体系，鼓励开展“绿色+循环”金融创新实践。

建议五：加强国际交流，推动全球循环经济发展与绿色低碳转型。一是加强国内循环产品认证标准与国际标准（如欧盟标准）的对标和互认。**二是**探索全球废旧物资贸易实现形式，并根据《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》（以下简称《巴塞尔公约》）和《关于在国际贸易中对某些危险化学品和农药采用事先知情同意程序的鹿特丹公约》（以下简称《鹿特丹公约》）等多边环境协议建立严格的管控标准，避免有害化学品和废弃物非法贸易。**三是**积极参与并推动国际进程中的循环经济议题，例如，中德两国应与其他国家共同积极推动 G20 资源效率对话工作计划，确保循环经济在 G20 的未来议程中保留重要位置；并借助联合国环境大会（UNEA）的支持，建立旨在减少全球原生材料消耗且确保循环经济公正转型的国际进程，共同推动全球塑料公约谈判，促进塑料循环经济双边和多边合作，将塑料循环经济作为治理塑料污染的关键手段。**四是**将循环经济纳入“一带一路”等国际合作框架。与共建国家构建跨境再生资源标准与监管体系，推动国际绿色资源流通；推动绿色产业园区建设，传播中国“无废城市”等成功经验。**五是**积极开展循环经济二轨对话交流，并积极创造 1.5 轨乃至一轨对话机会。通过双边或多边对话交流，解疑释惑、增强互信和理解，共同推动全球循环经济和气候变化多边进程。例如，中国和德国持续在“中德循环经济和资源效率对话”和“中德循环经济伙伴”框架下深化合作，加强中德环境伙伴关系双边合作，并在企业和政策层面深入交流循环经济实践，促进制定行业的循环经济路线图。建议中欧加强国际贸易相关对话，深入讨论碳边境调节机制（CBAM）、生产者责任延伸制度（EPR）等措施对发展循环经济的影响，以及中国应采取的应对措施。

除针对中国及全球推动循环经济发展的总体政策建议外，专题政策研究还针对**纺织行业**制定了具体建议：

- 1. 推广循环设计并改善循环纺织品生产的市场环境，以应对快时尚模式：**政策制定者应支持制定提升产品品质与循环性的纺织品设计标准，涵盖耐用性、可修复性、可回收性及再生材料含量配额等要素；应通过经济机制强化循环纺织品的竞争力，包括税收优惠、生产者责任延伸制度、循环制造补贴及循环产品优惠关税等措施；应通过将循环性标准纳入公共采购和生态标签等方式，提升对循环纺织品的需求，同时通过数字平台促进二手市场的发展。最后，制定一份涵盖所有纺织行业参与者的行动计划至关重要，以提高危险化学品相关信息的透明度，并提高纺织品价值链中危险化学品使用情况的透明度，例如，使用数字产品护照可以实现这一目标。对于全氟烷基和多氟烷基物质（PFAS）等有害物质组，应尽可能避免使用并逐步淘汰。若因实际需求必须使用且缺乏替代方案，则必须针对所有使用和回收环节实施严格的控制措施。对于那些被认定对社会具有重大意义且目前尚无合适替代方案的应用场景，应开展针对性研究。
- 2. 建设并扩大收集与分拣能力，整合数字化解决方案：**纺织废料收集基础设施应得到扩建，以确保“纤维到纤维”回收所需的材料输入量和质量充足。中国应通过加强家庭垃圾分类和增设专门的纺织品回收箱等方式，扩建纺织废料收集基础设施。相关举措应集中在将回收运营业务扩展到三线 and 四线城市，以改善纺织废料的源头收集工作。为了提高分拣和回收效率，中国和欧盟应投资自动纺织品分拣系统。关键行业参与者（如中国资源循环集团有限公司）可引领废纺织品分拣中心建设，并支持选定城市实施“无废城市”倡议。实施包含材料成分数据的数字产品信息系统（DPIS），对实现纺织品的高效回收至关重要。这些数字系统应具备简单易用、成本效益显著且跨市场兼容的特性，从而提升回收价值链中的分拣效率和可追溯性。引入纺织品生产者责任延伸（EPR）制度，对于提升纺织品回收的经济可行性至关重要，该制度必须涵盖国内生产和进口的纺织品，并建立有效的监控机制以确保落实。
- 3. 推进再利用准备工作，制定标准并扩大各类纺织品回收技术应用范围：**在纺织品处理中，再利用准备应始终优先于回收利用。通过制定纺织品质量标准，并开发能精准识别适合再利用的高质量纺织品的技能与技术，可有效提升再利用准备工作的成效。鉴于当前纺织品回收面临技术障碍，且相关基础设施也不完善，开发并推广各类回收技术至关重要。在选择回收工艺时，应综合考虑技术可行性、经济成本及环境影响等诸多因素。像用于“纤维到纤维”回收的解聚技术等具有前景的方法，应得到进一步发展。废旧纺织品回收行业需要构建更完善的标准体系，其中涵盖质量法规等内容。该体系应有效解决回收产品市场面临的瓶颈问题，并提升二手服装的卫生和消毒标准。最后，必须加快开发符合国际标准的纺织品信息追溯系统，以确保回收纺织品实现更高质量的管理和认证。
- 4. 实施纺织品废弃物出口监管制度：**应严格限制向无法证明能够对纺织品进行妥善终结处理的国家出口纺织品废料。同时，制定明确且与国际标准接轨的纺织品终结处理标准，以此区分可再利用纺织品与废物。此外，还应为进口国提供必要的支持，帮助其发展符合环境要求的纺织品回收和终结处理基础设施。
- 5. 分阶段实施再生材料含量配额制度：**金融激励措施和经济工具对于提高纺织品中的回收成分含量起着至关重要的作用。回收含量配额的高低，取决于高质量、价格合理且清洁的纤维的供应情况。而且，配额应针对特定纤维类型。为了维持 PET“瓶到瓶”的回收循环体系，PET 纤维应被排除在配额范围之外。具有约束力的配额必须可追溯且可监测，以避免市场出现扭曲现象。如果无法在产品层面可靠地追溯再生纤维含量，设定行业特定的再生纤维含量目标或许可以作为过渡阶段的解决方案。
- 6. 跨领域措施：**加大对以循环经济技术为重点的国家研发项目的支持力度，特别是纺织品回收领域。

加快推进废旧纺织品化学回收方法的研发进程，力争实现再生纤维的大规模、低成本生产。推进纤维分离、脱色、追溯和污染物去除等关键技术的研发。通过与具备相应能力的企业合作开展试点项目，积极探索标准化服装（如制服）的回收利用模式。此外，还应加强循环经济、纺织品设计和数字技能方面的培训。

此外，报告还围绕化学品制造领域，分别介绍了德国在应对塑料循环危机方面的思考和举措，以及中国化工企业通过循环经济理念实践实现绿色低碳转型的尝试。报告指出，循环经济对于化学品制造业意义重大，它不仅是应对环境问题的重要手段，还能提高资源安全水平、促进经济增长、激发创新活力，并助力实现国家可持续发展目标。在通过化学方法推动循环经济发展的过程中，要注意避免路径依赖、营造公平竞争的市场环境，同时也要加强政策支持力度，并做好执行层面的协调工作。

关键词：循环经济、纺织行业、化工行业、回收利用、中国

术语表

ACEA	非洲循环经济联盟
AEC	东盟经济共同体
AFIRM RSL	鞋服行业联盟发布的化学品限制物质清单
AI	人工智能
AR	增强现实
ARE	资源效率联盟
ASEAN	东南亚国家联盟（东盟）
BMBF	德国联邦教育与研究部
BMUKN	德国联邦环境、气候行动、自然保护与核安全部
BMUV	德国联邦环境、自然保护、核安全和消费者保护部
CAD	计算机辅助设计
CAS	化学文摘社
CBAM	碳边境调节机制
CBM	循环商业模式
CCER	中国核证自愿减排量
CCICED	中国环境与发展国际合作委员会（国合会）
CCU	碳捕集与利用
CE marking	欧盟合格认证标志
CEA	《循环经济法》
CEAP	《循环经济行动计划》
-CF ₃	全氟甲基基团
CID	《清洁工业协议》（欧盟倡议）
CLP	物质和混合物的分类、标签和包装法规
CMUR	循环材料使用率
CNY	元（人民币单位）
COM	欧盟委员会
COP	缔约方大会
COP28	《联合国气候变化框架公约》第 28 次缔约方大会
COVID-19	新冠肺炎
CPC	中国共产党
CRMA	关键原材料法案
CTC	催化摩擦化学转化工艺
DPIS	数字产品信息系统
DPP	数字产品护照
DSP	十二水合磷酸氢二钠
DWR	耐久防水涂层
EA	联合国环境大会
EC ₁	欧洲共同体
EC ₂	欧盟委员会

ECHA	欧洲化学品管理局
EEA	欧洲环境署
EEB	欧洲环境局（欧盟环境 NGO 联盟）
EEC	欧洲经济共同体
ELINCS	欧洲已通报化学物质清单
EPR	生产者责任延伸制度
ESPR	《可持续产品生态设计法规》
ETC CE	欧洲循环经济与资源利用专题中心
EU	欧盟
EV	电动汽车
FECO	生态环境部对外合作与交流中心
FONA	可持续发展研究计划
Fraunhofer ISI	弗劳恩霍夫系统与创新研究所
FYP	五年规划
G20	二十国集团
G7	七国集团
GACERE	全球循环经济与资源效率联盟
GDP	国内生产总值
GFC	《全球化学品框架》
GHG	温室气体
GIZ	德国国际合作机构（有限责任公司）
GOTS	全球有机纺织品标准
HD Institute	北京环丁环保大数据研究院
ICCA	国际化学品协会理事会
IEA	国际能源署
IOMC	化学品合理管理跨机构计划
IRP	国际资源专家小组
IUPAC	国际纯粹与应用化学联合会
JRC	欧盟委员会联合研究中心
LCA	全生命周期评价
MEE	中华人民共和国生态环境部
MIIT	中华人民共和国工业和信息化部
MMCF	人造纤维素纤维
MRSLS	制造受限物质清单
NABU	德国自然保护联盟
NCES	《国家循环经济战略》
NDCs	国家自主贡献
NDRC	中华人民共和国国家发展和改革委员会
NFC	近场通信
NGO	非政府组织
NIR-based technologies	基于近红外光谱的分拣技术

NKWS	德国国家循环经济战略
NLP	不再作为聚合物（按“单独化学物质”进行注册和管理）
NRW	德国北莱茵-威斯特法伦州
OECD	经济合作与发展组织
Oeko-Institute	德国生态研究所
OEWG	开放式工作组
PAN	农药行动网络
PCBs	多氯联苯
PET	聚对苯二甲酸乙二醇酯
PFAS	全氟和多氟烷基物质
PFC	全氟化合物
PFCA	全氟羧酸
PFOA	全氟辛酸
PFOS	全氟辛烷磺酸
PSA	压力变换吸附
PTFE	聚四氟乙烯
PV	光伏
QR	快速响应码（二维码）
R & D	研究与开发
REACH	化学品注册、评估、许可与限制法规
RED	资源效率对话
RES	可再生能源
RFID	射频识别
RMC	原材料消耗量
RSL	限制物质清单
SAICM	国际化学品管理战略方针
SCIP	成品及复杂制品中关注物质数据库
SDG	可持续发展目标
SMEs	中小企业
SoCs	值得关注的物质
SOE	国有企业
SPS	专题政策研究
SUSTech	南方科技大学
SVHCs	高度关注物质
UBA	德国环境署
UMSICHT	弗劳恩霍夫环境、安全与能源技术研究所
UN	联合国
UNDP	联合国开发计划署
UNEA	联合国环境大会
UNEP	联合国环境规划署
UNEP/EA.5/Res.11 (2022)	联合国环境规划署第五届环境大会（UNEA-5）2022 年通过的第 11 号决议

UNFCCC	《联合国气候变化框架公约》
UNIDO	联合国工业发展组织
USA	美国
VR	虚拟现实
VTT	芬兰技术研究中心有限公司
WCA	废弃物成分分析
WEEE	废弃电气电子设备
WWF	世界自然基金会
ZDHC	零有害化学品排放

目录

一、 引言	1
(一) 研究背景	1
(二) 研究目标	2
(三) 报告结构	2
二、 循环经济发展进展：政策视角	3
(一) 国际循环经济倡议进展	3
(二) 欧盟循环经济政策	4
(三) 德国循环经济战略	5
(四) 中国循环经济战略与政策	6
(五) 欧盟、德国与中国循环经济进展	7
(六) 中国、欧盟及其他国家循环经济政策比较	10
三、 纺织行业循环经济	14
(一) 循环经济在纺织行业中的重要意义	14
(二) 纺织行业构建循环经济面临的主要挑战	25
(三) 构建纺织行业循环经济的建议	26
四、 化工行业的循环经济	30
(一) 德国化工行业的循环实践——迈向“去化石化”原材料的转型	30
(二) 循环经济助推化工生产绿色增效：中国案例	33
(三) 化学方法推动循环经济的政策建议	34
五、 建设与实施循环经济中的性别问题	36
六、 政策建议	37
(一) “十五五”期间，以高质量发展和“双碳”战略为指导，深化循环经济发展的顶层设计并推动其有效实施	37
(二) 结合废弃物分级原则，积极推动重点行业的高质量循环经济转型，培育经济增长新引擎，实现经济增长和绿色低碳发展的协同增效	38
(三) 在国家和地方层面加快建立循环经济技术产品标准体系	38
(四) 加快绿色金融和融资机制创新，支持建立循环经济商业模式	39
(五) 加强国际交流，推动全球循环经济发展与绿色低碳转型	39
附录	40
附录 A 国际循环经济倡议与合作平台	40
附录 B 与循环经济相关的欧盟（行业/领域特定）战略与法规示例	41
附录 C 中国福华化学案例研究——通过循环经济实现绿色升级	42
附录 D 全球循环经济现状	46
附录 E 德国发展循环经济的障碍	47
附录 F 中国发展循环经济的障碍	48

附录 G 纺织品的生产、消费、贸易流向与生命期末端管理（德国与欧盟）49

附录 H 纺织行业的环境影响54

附录 I 纺织品回收技术实例.....55

附录 J 《全球化学品框架》的战略目标与具体目标.....56

附录 K 关注物质的定义及说明59

附录 L 全氟和多氟烷基物质（PFAS）的应用领域、使用量及排放情况.....61

附录 M VAUDE 案例研究：户外行业逐步淘汰 PFAS 的实践62

附录 N 纺织行业的数字化64

附录 O BMBF 资助的与纺织业数字化相关的项目68

附录 P 联合国环境署报告《纺织价值链的可持续性与循环性：全球路线图》（2023）摘要.....72

致 谢74

参考文献.....75

图目录

图 1: 欧盟各国 2010 年和 2024 年的原材料足迹对比概览 (吨/人)	8
图 2: 2010 年与 2023 年欧盟各国循环材料利用率发展情况对比	9
图 3: 欧盟、德国与中国循环经济政策比较 19F	12
图 4: 纺织行业中的“获取—制造—废弃”线性模式	14
图 5: 不同化学回收技术在材料闭环循环层级中的贡献	31
图 6: 福华化学的业务领域发展历程	42
图 7: 福华化学磷元素、氯元素平衡图	43
图 8: 技改前后钠元素平衡图	44
图 9: 稀释盐水循环利用项目实施前后的水平衡	44

表目录

表 1: 德国和欧盟纺织品生产、消费、贸易流动以及废旧纺织品的管理和加工概况	51
表 2: 全球与欧洲纺织行业的环境与人类健康影响	54
表 3: GFC 的具体目标	56
表 4: 关注物质的定义及说明	59
表 5: 不同领域的 PFAS 使用量 (吨位范围)、生产和使用阶段排放量及其在 PFAS 总排放中的占比	61
表 6: RESEt——合成混纺面料的回收解决方案	68
表 7: HOLITeXCycle——循环纺织品的整体标准和软件解决方案	68
表 8: ZIRTeX——防护服行业的模块化概念和循环流程	69
表 9: KISSTeX——基于人工智能的旧纺织品分拣与可穿性评估	69
表 10: ZIRKUS——具有集成管理功能的数字化人造草坪系统	70
表 11: zPP——面向交通运输行业的聚丙烯循环可持续技术纺织品	70
表 12: UEBER-AUS——通过区域循环系统利用纺织盈余与边角料	71

专栏目录

专栏 1: 二手服装贸易	16
专栏 2: 德国及欧盟的纺织品收集与再利用准备	18
专栏 3: 德国和欧盟的纺织品回收与终端处理	18
专栏 4: 回收技术的分类	19
专栏 5: 纺织行业的数字化管理	24

以循环经济促进高质量发展

一、 引言

“以循环经济促进高质量发展”专题政策研究（SPS）是国合会“可持续生产与消费”课题框架下的重要研究任务，于 2025 年 1 月正式启动。本研究旨在系统梳理各国推进循环经济的优秀实践，深入分析纺织与化工行业实现循环经济高质量发展的潜力，并就推动中国及全球范围内的循环经济转型提出具有操作性的政策建议。

2025 年，研究团队围绕中国、德国及欧盟在循环经济领域的政策体系开展了系统性比较研究，分析了其中的关键议题与主要挑战。同时，围绕纺织和化工两个重点行业，研究团队选取典型企业开展实地调研与案例分析，深化对循环转型路径及关键支撑因素的理解。此外，研究团队还组织了多场专题研讨会、政策交流和国际考察活动，广泛汇聚中外专家的前沿见解，进一步丰富了对构建高质量循环经济体系的政策认知与战略思考。

（一）研究背景

近年来，从“获取—制造—废弃”的线性发展模式向**循环经济系统性转型**的理念正日益受到国际关注。当前，在多数经济领域中，以高资源消耗、高环境负荷为特征的线性发展模式仍占据主导地位。据国际资源专家组（International Resource Panel）测算，若按当前趋势发展，到 2060 年，全球资源开采总量将比 2020 年增长约 60%（UNEP, 2024b），这必将进一步加剧气候变化、生物多样性丧失以及污染与废弃物问题等“三重全球危机”。为应对上述挑战，发展循环经济已成为全球广泛共识。包括中国和德国在内的多个国家均已出台国家层面的循环经济战略与相关政策措施，旨在重塑经济发展模式。**尽管全球对循环经济的关注度不断上升，但是资源消耗总量仍在持续增长，全球经济的循环率反而呈下降趋势**（Circle Economy, 2025）。

因此，要推动循环经济转型，必须在经济发展的各个方面进行统筹协调，并制定系统性的政策措施。循环经济转型不仅需要满足创新、监管、财政激励等跨行业的共性需求，同时，由于不同行业面临各自的挑战与机遇，因此也亟须开展有针对性的分析研究。本报告聚焦于纺织和化工两个重点行业，通过对其价值链中的典型挑战与潜在机遇开展研究，剖析循环经济转型的路径，同时总结可推广、复制到其他行业的政策经验和启示。

全球纺织行业每年消耗约 32.5 亿吨材料，其中超过 99%来自原生资源。目前，全球约 61%的废旧纺织品被填埋或焚烧处理（Circle Economy, 2024）。作为全球最大的纺织品生产国和出口国，中国在全球纺织产业链中发挥着重要作用，其政策不仅深刻影响国内市场，也会对国际市场格局产生广泛影响。根据《“十四五”循环经济发展规划》，中国政府于 2022 年提出，到 2025 年废旧纺织品回收率应达到 25%，到 2030 年提高至 30%，再生纤维年产量达到 300 万吨（国务院，2022）。相比之下，德国每年大约收集 100 万吨废旧纺织品，回收率约为 64%，其中约 62%经过分拣后进入再使用环节，约 26%进入材料回收流程（Wagner 等，2022）。

化工行业是众多产品价值链的基础性环节，包括中国和德国在内，化工行业在众多国家经济体系中占有举足轻重的地位。自 2000 年以来，全球化工产品产量几乎翻倍，从约 12 亿吨增长至 23 亿吨（UNEP, 2019）。与此同时，化工行业面临资源消耗大、能源强度高、环境污染严重和气候变化压力大等挑战。通过推广最佳实践案例、落实循环经济理念，有望为化工行业构建绿色、高效、低碳的转型路径，为中国、德国乃至全球的可持续发展提供示范。

（二）研究目标

在 2024—2025 年的研究任务中，“以循环经济促进高质量发展”专题政策研究（SPS）旨在系统梳理各国循环经济的最佳实践，深入研究纺织与化工等重点行业利用循环经济实现高质量发展的潜力，进而为中国乃至全球推进制定循环经济政策并全面实施提出有针对性的建议。

（三）报告结构

为研究以循环经济促进高质量发展的必要条件，本报告首先对循环经济相关政策及其进展进行梳理分析，包括循环经济作为政策目标在国际上的地位，以及循环经济在欧盟、德国、中国等地区和国家政策体系中的具体体现，还有这些政策所取得的成效（见第二部分）。研究发现：应建立健全的治理框架，出台有针对性的政策，确保线性发展模式与循环发展模式能够公平竞争，同时推动环境成本实现内部化；此外，还需构建稳固的全球合作机制，并达成具有约束力的承诺，以应对全球价值链带来的挑战。

在第三部分和第四部分中，本报告分别以纺织行业和化工行业为例，探讨循环经济对于关键产品价值链的意义。这两部分内容分别分析了两个行业在德国和中国特定背景下所面临的具体驱动因素与挑战，探讨了由于贸易动态变化而带来的两国在行业价值链上的关联性，并据此提出行业层面的具体政策建议。作为分析的一部分，本报告还提供了两个行业的相关案例。

第五部分聚焦于推动循环经济过程中必须考虑的性别问题。这不仅关系到可持续发展所应体现的社会效益核心目标，也关乎建设更加有韧性和包容性的经济转型进程。

最后，在第六部分中，本报告汇总了本次专题政策研究（SPS）所提出的总体政策建议。这些建议旨在应对第二至第五部分中识别出的共性问题 and 行业特定挑战，最终形成覆盖政策全链条、可供各级政府参考的系统性的、可操作性强的政策建议框架。

在主报告的基础上，研究团队还提供了一系列相关附录，旨在进一步丰富有关政策、法律、研究成果与倡议的信息。这些附录在正文中被多次引用，并提供相关参考支持。

二、循环经济发展进展：政策视角

（一）国际循环经济倡议进展

循环经济战略在应对气候变化方面发挥着关键作用，通过减少资源开采量、最小化废弃物产生量以及降低整个价值链上的温室气体排放，助力实现减缓气候变化的目标。全球高达 45% 的温室气体排放源自商品生产过程，因此，提高资源利用率与推动循环转型已成为重要的减排手段。据估算，若仅在水泥、铝、钢铁、塑料和食品五个关键行业应用循环经济战略，到 2050 年，就有可能将商品生产相关的排放量削减近一半，相当于减少约 93 亿吨二氧化碳当量排放（GACERE，2021）。同时，循环经济战略也将有助于大幅降低纺织行业（其碳排放约占全球碳排放的 3.5%）和化工行业（其碳排放约占全球碳排放的 5%）的碳足迹。由此，循环经济实践在全球层面正日益获得广泛关注，并被快速推进。根据联合国工业发展组织（UNIDO）与查塔姆研究所（Chatham House）2024 年联合发布的《全球国家循环经济路线图盘点》（*Global Stocktake of National Circular Economy Roadmaps*），自 1999 年以来，全球各国已正式发布 75 项国家级循环经济倡议（包括行动号召、路线图和实施战略¹），大多数集中在 2016 年²之后发布（Barrie 等，2024）。其中，欧洲国家占比最大，达 70%。但自 2018 年以来，拉丁美洲、非洲和亚洲国家发布的国家级循环经济倡议数量在不断增长，且内容涵盖多个领域和议题，并提出了包括知识共享、多方利益相关者合作、财政工具运用，以及对创新与科研支持等多样化的政策措施。在所有政策工具中，生产者责任延伸制度（EPR）被广泛提及和推荐。不同地区的政策重点也有所差异，拉丁美洲多关注劳动者与消费者权利，亚太地区强调贸易政策、循环基础设施和国际治理，而欧洲则更重视政策设计与治理机制、监测体系以及财政工具的完善（Barrie 等，2024）。

尽管循环经济具有巨大潜力，但其理念尚未被广泛纳入《巴黎协定》框架下各国提交的国家自主贡献（NDCs）中。截至 2023 年，仅有 28% 的 NDC 明确提及循环经济，且多数局限于废弃物管理，缺乏具体措施。分析显示，农业、工业、交通运输等领域在推动循环转型方面均具有巨大潜力，但是尚未被充分挖掘（UNEP、UNDP、UNFCCC，2023）。因此，各国需要在 NDC 中将循环经济与气候承诺进行系统性、整体性衔接³。

除国家层面的循环经济倡议外，多个区域性和国际性倡议也相继启动，旨在加强跨国合作与政策协调，如欧盟的《循环经济行动计划》（*Circular Economy Action Plan, CEAP*）（见第 2.2 节）、非洲循环经济联盟（*African Circular Economy Alliance, ACEA*）、东南亚国家联盟（*the Association of Southeast Asian Nations, ASEAN*）的《循环经济框架》（*Circular Economy Framework*）。其中，《循环经济行动计划》在第 2.2 节有详细介绍，非洲循环经济联盟由 15 个非洲国家政府联合发起，致力于加速循环经济转型（ACEA，年份不明），而在《循环经济框架》中，东盟十个成员国共同制定了循环经济发展的长期愿景与优先合作领域（*ASEAN Circular Economy Stakeholder Platform*，年份不明）。此外，循环经济议题正越来越多地被纳入多边合作机制，例如，七国集团资源效率联盟（*G7 ARE*）、二十国集团

¹ 根据 2024 年《全球国家循环经济路线图盘点》的分类，“行动倡议”指的是启动循环经济相关对话与协调机制的倡议，通常为未来战略或路线图的制定奠定基础；“路线图”则描绘了循环经济发展的长期愿景，突出重点领域和政策方向，为后续的具体规划提供指导；而“实施战略”则详细列出了具有时间约束的具体行动，明确了责任主体、治理机制和资金安排，通常是政府正式计划的一部分。

² 这其中包括中国的《“十四五”循环经济发展规划》和德国的《国家资源效率计划》（*NKWS*）。《“十四五”循环经济发展规划》被《全球国家循环经济路线图盘点》分类为“实施战略”，明确提出了包括资源生产率、循环利用率、能源与水资源消耗强度、再生资源产出等方面的量化目标；《国家资源效率计划》根据《全球国家循环经济路线图盘点》分类被视为“路线图”。

³ 为支持这一进程，联合国环境规划署（UNEP）联合联合国开发计划署（UNDP）及《联合国气候变化框架公约》秘书处（UNFCCC Secretariat）共同开发了《将循环性纳入国家自主贡献：实用工具箱》（*Building Circularity into NDCs - A Practical Toolbox*）。该工具箱旨在为政策制定者提供指导，帮助其识别负面发展趋势与循环经济干预的切入点、优先明确关键部门、使用合适指标量化潜在效益、评估融资选项，并开展进展跟踪与报告工作，从而加快国家自主贡献（NDCs）目标的提升与落实进程（UNEP、UNDP 及 UNFCCC 秘书处，2023）。

资源效率对话（G20 RED），以及《联合国气候变化框架公约》第 28 次缔约方大会（COP28）均将循环经济纳入其中。值得一提的是，在 **COP28 成果中，循环经济首次被正式写入气候谈判成果文本**。与此同时，联合国层面的《国际塑料条约》谈判自 2022 年启动，目标是制定一项具有法律约束力的国际协议，以终结全球塑料污染，并覆盖塑料全生命周期的治理，德国在这一进程中发挥了领导性作用。作为**终结塑料污染雄心联盟（High Ambition Coalition to End Plastic Pollution）**的共同发起国，德国积极推动达成一项有力且具有雄心的国际条约（UNEP, 2025a; BMUV, 2024）。关于全球与区域层面的循环经济倡议详细列表，请参见附录 A。

简而言之，循环经济已被广泛视为在保障物质福祉的同时实现尊重地球生态边界的重要解决方案，并在全球政策议程中日益成为主流。然而，在国家层面，许多循环经济倡议仍面临**治理机制缺失、责任主体不明确、约束性目标缺乏及资金保障不力**等问题。目前，仅有 48% 的循环经济倡议设定了量化目标，且很少有文件明确财政投入承诺（Barrie 等，2024），其执行效果也常受制于治理结构薄弱、政治周期短视化以及跨部门协同不足等问题。此外，**社会公平与公正转型**等关键议题在政策中往往被边缘化。值得注意的是，相较于应对气候变化和生物多样性丧失两大全球危机主流议题，**循环经济**目前尚缺乏有效的**全球治理与协调机制**。在当前全球经济高度一体化的背景下，实现循环经济的深层次转型亟须多边协调与统一行动。

（二）欧盟循环经济政策

循环经济转型已成为欧盟实现可持续增长、增强经济竞争力以及实现气候中和目标的核心支柱。欧盟在高层战略层面为 27 个成员国制定了共同愿景，并出台了一系列相关政策。自 2015 年首次发布《循环经济行动计划》（CEAP）以来，欧盟的循环经济政策已经在多项关键政策举措中得到不断完善与深化，包括：

- **《欧洲绿色协议》（European Green Deal, 2019 年）**：该协议是欧盟总体经济发展战略框架，旨在到 2050 年使欧洲成为全球首个实现气候中和的大洲，打造资源高效、竞争力强的经济体，实现经济增长与资源利用脱钩，同时确保“一个也不掉队”。循环性被列为该协议的核心组成要素之一，强调在建筑、食品、交通等关键行业中通过再利用、维修和回收等方式，达到减少废弃物、节约资源的目标（European Commission, 2019; n.d.c）。
- **《新循环经济行动计划》（New CEAP, 2020 年）**：作为《欧洲绿色协议》的重要组成部分，《新循环经济行动计划》为推动循环与可持续产品、服务及商业模式成为常态提供了战略框架与未来行动议程，旨在让资源在欧盟经济体系中尽可能长时间地循环利用。该计划设定了战略目标，并针对具有较高循环潜力和影响力的重点行业提出具体行动要求，计划通过后续立法推动实施⁴。该计划核心理念是推动产品整个生命周期的循环经济路径——从设计、生产，到使用，再到维修、再利用和回收的各个环节（European Commission, 2020 年 3 月 11 日；n.d.a）。
- **《清洁工业协议》（Clean Industrial Deal, 2025 年 2 月）**：作为欧盟工业战略的一部分，该协议为加快工业脱碳提供了清晰的路线图，同时致力于增强欧洲经济的竞争力与韧性。其中，循环性被列为增强欧盟竞争力的六大驱动因素之一⁵，协议重点聚焦于推动循环商业模式发展、促进技术

⁴ 通过上述具体立法措施，《循环经济行动计划》（CEAP）旨在到 2030 年将欧盟的循环材料使用率提高一倍，显著降低消费足迹，减轻自然资源压力，保护生物多样性，助力实现 2050 年气候中和目标，同时增强经济韧性并促进就业。为实现这些目标，该计划提出了一系列关键措施，包括扩大生态设计要求的适用范围、禁止销毁未售出的商品、强化生产者责任延伸制度（EPR）和绿色公共采购机制、设定废弃物减量目标并推动欧盟废弃物立法现代化、动员欧盟资金与私人融资、通过赋予消费者维修权和提供更完善的产品信息等方式提升消费端赋权，以及支持并引领全球循环经济与资源治理的相关进程。

⁵ 《清洁工业协议》（CID）涵盖六大重点议题：保障能源可负担性；打造绿色与清洁产品的引领市场并激发市场需求；通过公共与私人投资为清洁转型提供融资支持；推动循环经济发展并保障关键材料获取；多元化供应链，增强欧盟工业的经济韧性；发展和投资必要技能，创造高质量就业岗位。

创新与发展区域循环枢纽。此外，该协议还提出建设欧盟关键原材料联合采购中心，并打造统一的欧盟再生原材料市场（European Commission, 2025）。

- **《循环经济修订案》（Circular Economy Act, 立法修订案预计于 2026 年发布）**：欧盟委员会在《清洁工业协议》中指出将提出《循环经济修订案》提案，旨在通过对现有立法的针对性修订，进一步强化欧盟的循环经济政策。当前讨论显示，该法案可能会涉及三个重点领域：一是《废弃物框架指令》与《填埋场指令》；二是《电子电气设备废弃物（WEEE）指令》；三是配套措施，包括统一环境税基准、规范矿产废弃物管理及关键原材料回收的相关要求等。正在审议的具体措施包括扩大生产者责任延伸制度（EPR）的适用范围、推广循环产品公共采购、统一“废物终止标准”，以及推动在生产中使用再生材料等⁶。该法案的制定将借助以利益相关方为导向的磋商过程加以推进（European Commission, 2025；2025 年 7 月 2 日）。

在落实政策目标，特别是推进《循环经济行动计划》（CEAP）方面，欧盟已出台了一系列通用和行业专项的法规与指令。其中，法规指的是对所有欧盟成员国具有直接约束力的法律要求，指令则设定统一目标，由各成员国通过本国立法在规定期限内加以落实。相关示例详见附录 B。

其中，《可持续产品生态设计法规》（Ecodesign for Sustainable Products Regulations, ESPR）是欧盟产品政策框架的核心。该法规不仅对 2009 年以来实施的生态设计与能源标签规则进行更新，同时会纳入更广泛的循环性要求，并大幅扩展受监管的产品类别（尤其是将生态设计要求从仅限能源相关产品拓展至几乎所有产品类型）。需要注意的是，ESPR 本身并不包含具体产品的技术要求，而是确立了一个**通用法律框架**，用以设定与循环性相关的性能和信息披露要求。具体产品的要求将通过授权法案（delegated acts）形式制定。目前，ESPR 与《2025—2030 年能源标签工作计划》⁷中已明确了优先监管的产品类别（如纺织品）及初步的立法时间表。其中关于纺织品的授权法案预计于 2026 年通过，并将纳入数字产品护照的相关规定（European Parliament and the Council, 2025）。

简而言之，欧盟是推动循环经济在欧洲落地的关键力量。通过在欧盟层面的统一行动，可协调推进可持续发展目标的实现，避免在欧洲单一市场（即欧盟成员国及欧洲经济区国家所组成的贸易共同体）内部形成跨境流通障碍。实际上，欧盟对进入其市场产品所设定的法规要求也产生了全球影响：全球价值链若希望出口至欧洲，必须对其产品进行调整，提高其循环性水平。例如，“CE”是一种产品合格标签，表明产品符合欧盟范围内关于安全、健康和环境保护的要求，并可在欧洲市场自由流通交易。

《可持续产品生态设计法规》（ESPR）针对能耗产品的环保设计和环境兼容性制定了具体要求，因此，该法规是这些产品获准加贴“CE”标签的先决条件。欧盟通过将可持续发展目标与经济竞争力和韧性目标相结合，同时融入“公平转型”的社会维度，使循环经济理念在欧洲各类利益相关方中获得广泛认同。这些利益相关方也积极参与政策制定过程，通过磋商推动将高层次政策目标转化为可操作的措施与要求。

（三）德国循环经济战略

2024 年，德国联邦环境、自然保护、核安全与消费者保护部（BMUV）⁸发布《国家循环经济战略》（NCES），构建了一个**覆盖全价值链、跨行业的战略框架和路线图**，系统推进从产品设计到再生原材料回归生产环节的全过程循环。该战略通过包容性、多利益相关方参与的制定过程⁹，综合考量环境、

⁶ 其目标包括简化循环产品和再生原材料在欧盟内部的流通、提升再生材料的可获得性与市场需求、降低再生原材料成本、提升其市场竞争力。

⁷ 参见 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52025DC0187&qid=1744814743855>。

⁸ 《国家循环经济战略》（NCES）最初由德国联邦环境、自然保护、核安全与消费者保护部（BMUV）发布，该部现已更名为联邦环境、气候行动、自然保护与核安全部（BMUKN）。

⁹ 在战略制定过程中，德国广泛吸纳了来自工业界、民间社会、学术界与政策制定部门的代表参与，确保了多元视角与专业知识的融入。

经济与社会维度，且与国家及欧盟层面的相关政策与法规保持高度一致¹⁰，旨在将循环经济与资源利用目标全面融入原材料政策体系（BMUV，2024；n.d.）。

NCES 明确列出**重点实施领域的具体目标、行动和政策工具**¹¹，同时设定一系列**跨领域议题**¹²，并为每个议题配套设定相应的政策目标与实施措施。该战略的**总体指导目标**是到 2045 年**显著减少初级原材料消费量**，并与联合国环境规划署国际资源专家组（UNEP International Resource Panel）提出的“人均 6~8 吨资源使用量”目标（至 2050 年）¹³保持一致（BMUV，2024；n.d.）。此外，该战略还提出了三大核心目标：

- **闭合资源循环**：到 2030 年，将再生原材料的总体占比在 2021 年基础上提高一倍。
- **确保原材料主权与供应安全**：通过实现欧盟《关键原材料法案》（CRMA）¹⁴的核心目标来降低进口依赖度，具体而言，一是在欧盟本土实现 10% 的战略原材料和 40% 的加工原材料生产，二是到 2030 年确保 25% 的战略原材料来自欧盟内部的循环利用，三是任何单一非欧盟国家对任何关键原材料的供应占比不得超过 65%。
- **预防废弃物产生**：推广循环产品设计，减少城市人均生活垃圾产生量（以 2020 年为基准，到 2030 年减少 10%，到 2045 年减少 20%）。

NCES 的核心要素是“**10R 策略**”，即根据各类循环经济措施（包括拒绝使用、重新思考、减量等）对循环性的影响程度进行分类，体现了超出废弃物管理的广义循环经济理念。德国计划通过这条循环化路径，推动**可持续消费、减少工业碳排放**，并实现其具有法律约束力的**气候目标**。同时，循环经济也被视为增强德国**经济韧性与竞争力**、降低对波动性**原材料进口依赖**的重要手段（BMUV，2024；n.d.）。在战略设计方面，NCES 还整合了联合国环境规划署（UNEP/EA.5/Res.11, 2022）及欧盟委员会（European Commission, 2019；n.d.c）等国际机构以往的工作成果，将循环经济的关键要素纳入其范畴。

此外，德国还致力于通过加强双边与多边伙伴关系、积极参与国际治理平台，并设定推动全球进程的雄心目标，推动资源高效型的循环经济发展，力求在**全球循环经济转型中发挥引领作用**（BMUV，2024）。

（四）中国循环经济战略与政策

在中国，循环经济已成为将环境可持续性纳入国家长期经济发展战略的关键路径。事实上，“生态文明”理念——即经济增长、人类社会与自然环境处于和谐平衡的状态——已被写入《中华人民共和国宪法》，而循环经济的发展也通过全国人民代表大会得到了系统立法支持。具体包括：

- 《中华人民共和国循环经济促进法》（中华人民共和国主席令，2008 年）：建立了产业规划、评估与管理体系，并授权财政支持和政府采购激励，以推动生产、流通和消费全过程中的减量化、再利用和资源化。
- 《中华人民共和国环境保护税法》（第十二届全国人民代表大会常务委员会 2016 年审议通过，2018 年修正）：对符合国家和地方环保标准的固体废物资源化企业免征环境保护税。

¹⁰ 如《国家资源效率计划》《原材料战略》，以及欧盟层面的《废弃物框架指令》《可持续产品生态设计法规》等，为政策一致性和落地实施奠定了基础。

¹¹ 该战略明确了十大重点实施领域，包括数字化与循环经济、循环与资源高效型生产、车辆与电池及出行系统、信息与通信技术、电子设备、可再生能源系统、服装与纺织品、建筑与建材、金属、塑料以及公共采购。

¹² NCES 还确立了一系列横向议题，作为跨行业推动循环转型的核心支撑，包括“10R 策略”、面向循环性与耐久性的产品设计、可持续消费与贸易、标准化、经济激励与融资机制、有害物质清除、生物循环经济与生物原材料、全球物质流动、研发、专业能力建设与培训，以及废弃物预防与资源回收。

¹³ 自 2030 年起，该战略目标将每五年评估一次，并在必要时作出调整，评估过程将吸纳工商界的参与，强化实践导向与可持续性。

¹⁴ 基于 2023 年 3 月的提案，战略性原材料包括电池材料（如锂、镍、天然石墨、锰和钴）、技术材料（如用于磁体的稀土元素、钨、锆和铼）以及使能材料（如铜、硅金属、镁金属和铂族金属）。

- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（第八届全国人民代表大会常务委员会 1995 年审议通过，2020 年修订）：提出国家绿色发展理念，鼓励清洁生产和循环经济发展，推进生活垃圾分类体系建设，并对工业、农业、建筑和生活固废的减量化、资源化和无害化处理作出系统安排。
- 《中华人民共和国生态环境法典》（草案）：在“绿色与低碳发展”部分专门设立了“发展循环经济”独立章节。当前讨论强调，工业政策需与发展循环经济的要求保持一致，同时制定专项循环经济计划，并指出清洁生产、废物回收和绿色消费三大支柱。该草案提议建立多个系统，包括用于跟踪和评估循环经济发展情况的统计指标（如原材料消耗量、循环材料使用率、废物产生量），绿色设计、绿色制造、工业废物综合利用以及市政废物收集与回收的标准和/或指南，在选定行业（如电子设备、铅酸电池、汽车动力电池）实施生产者责任延伸制度，在选定产品中强制使用循环材料（尚未明确），以及废物交换信息系统。

中国政府持续推动循环经济目标体系的设立与更新，体现出对该领域政策推进成效的动态评估与调整：

- 2021 年，国务院发布《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》，提出到 2025 年，基本建立市场导向的绿色技术创新体系，初步形成绿色低碳循环的生产、流通与消费体系。
- 2024 年，国务院发布《关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》，提出到 2030 年，基本建成覆盖全面、高效有序的废旧物资循环利用体系，资源循环利用产业规模和质量显著提升。
- 2024 年，中共中央、国务院联合发布《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》，进一步强调大力发展循环经济，提出到 2030 年，年综合利用大宗固体废弃物量达到约 45 亿吨，重点资源产出较 2020 年提高 45%。
- 2024 年，中央经济工作会议提出“协同推进降碳减污扩绿增长，加紧经济社会发展全面绿色转型”。
- 2024 年 10 月，中国成立新央企“中国资源循环集团有限公司”，注册资本 100 亿元，旨在打造全国性功能性资源回收再利用平台
- 《2025 年国务院政府工作报告》提出“加强废弃物循环利用，大力推广再生材料使用”。

此外，循环经济也被纳入中国高层政策规划中，如《“十四五”循环经济发展规划》《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》以及《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》。相关部门还发布了《绿色低碳转型产业指导目录》《产业结构调整指导目录》等政策文件，通过制定资源综合利用企业所得税减免目录和资源化产品及服务增值税减免目录，优化财政税收激励机制。

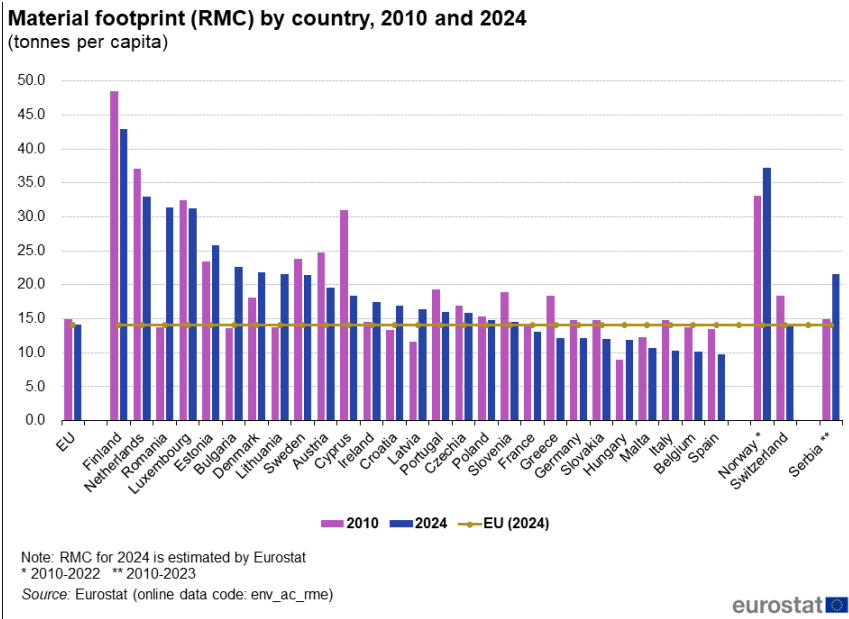
在财政支持方面，中国政府不断加大对重点循环经济项目的资金投入，包括中央预算内投资及各类专项资金。同时，中国政府围绕绿色信贷、绿色证券、绿色债券和绿色保险等工具，构建多元化绿色投融资政策体系，支持循环经济发展，并通过科技支撑计划、重点研发计划“循环经济专项”等部署百余项重点科技项目，持续为循环经济注入创新动力。

（五）欧盟、德国与中国循环经济进展

在德国与欧盟，循环经济进展通过综合指标体系进行评估。欧盟的《循环经济监测框架》包括五大主题领域¹⁵的 11 个统计指标，其中部分指标还设有子指标。德国《国家循环经济战略》（NCES）也提出了类似的指标体系，旨在全面衡量循环经济转型对环境、经济和社会层面的影响。衡量循环经济转型进展的关键指标包括原材料消耗量、循环材料使用率、总材料生产率以及城市生活垃圾产生量等（BMUV, 2024；未注明日期；European Commission, 未注明日期；Eurostat, 未注明日期；Prakash 等, 2023b；Lutter 等, 2022）。

¹⁵ 五大主题领域包括生产与消费、废物管理、二次原材料、竞争力与创新、全球可持续性与韧性。

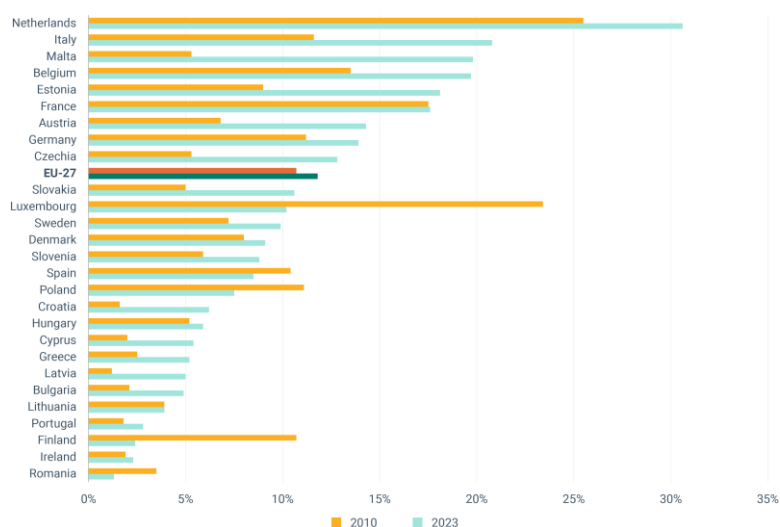
- 原材料消耗量（Raw Material Consumption, RMC）**用于衡量一个国家的物质足迹，即满足国家最终需求所需的人均年原材料使用量（包括国内开采与进口部分），不含出口部分。作为德国 NCES 的核心指标，RMC 反映了减少初级原材料使用的战略目标。2024 年，德国 RMC 为 12.2 吨/人，略低于欧盟平均水平（14.1 吨/人），但仍显著高于联合国环境规划署提出的 2050 年 6~8 吨/人的目标。近年来，德国的原材料消耗量进展有限，2010 年（14.8 吨/人）到 2021 年（15.19 吨/人）期间，指标数值徘徊不前，但后续呈现积极趋势，至 2024 年下降至 12.2 吨/人。图 1 提供了欧盟各国 2010 年和 2024 年的原材料消耗量对比概览。



来源：Eurostat（env_ac_rme）

图 1：欧盟各国 2010 年和 2024 年的原材料足迹对比概览（吨/人）

- 循环材料使用率（Circular Material Use Rate, CMUR）**用于衡量二次原材料在总材料使用中的占比，是欧盟与德国循环经济战略的共同核心指标，两者均设定了到 2030 年实现循环材料使用率翻番的目标。2023 年，德国的循环材料使用率为 13.9%，高于欧盟平均水平（11.8%）。然而，自 2010 年（11.2%）以来，该比率总体处于停滞状态，进展有限。相比之下，荷兰（2023 年 30.6%）和意大利（2023 年 20.8%）等国已取得显著进展。图 2 展示了 2010 年和 2023 年欧盟各国循环材料使用率发展情况的对比。



来源：欧洲环境署（EEA）¹⁶，基于 Eurostat 数据（env_ac_cur）

图 2：2010 年与 2023 年欧盟各国循环材料利用率发展情况对比

- **总材料生产率（Total Material Productivity）**：该指标可反映经济产出与物质投入的关联度¹⁷。2010—2021 年期间，德国总材料生产率提高 15%，但是当前年均增长率仅为 1.3%，未能达到实现《德国国家可持续发展战略》2030 年目标所需的年均 1.6% 的增幅。
- **城市生活垃圾产生量（Municipal Waste Generation）**：从源头预防废弃物产生并减少城市生活垃圾产生量是德国 NCES 的核心目标之一。2023 年，德国人均生活垃圾产生量为 601 千克/人·年，显著高于欧盟平均水平（511 千克/人·年），并且自 2010 年以来改善有限。相比之下，瑞典（392 千克/人·年）、西班牙（465 千克/人·年）和荷兰（468 千克/人·年）的人均垃圾产生量更低。
- **其他指标**：德国的城市生活垃圾回收率（68.2%，欧盟平均为 48.2%）和循环技术专利数量均位居欧洲首位，但原材料进口依赖度（37.5%）显著高于欧盟平均水平（22%）。

2024 年发布的《德国循环经济现状报告》（Prognos AG, 2024）¹⁸显示，2021 年德国循环经济领域实现营业额约 1050 亿欧元（约合 8265 亿元）。该行业全国从业人员规模几乎与能源行业持平，且达到水务与污水处理行业从业人员的近四倍。更值得注意的是，循环经济以约 31 万名从业人员成为环境领域最重要的就业领域之一，且呈现持续增长趋势。在欧盟层面，循环经济从业人员数量也呈现显著增长，从 2015 年的约 330 万人（占欧盟总就业人数的 1.7%）增长至 2021 年的约 430 万人（占欧盟总就业人数的 2.1%）¹⁹。

在中国，可通过以下数据分析循环经济的进展情况：

- **再生资源产业增长情况**：《中国再生资源回收行业发展报告（2025）》显示，2024 年，中国再生资源产业规模为 1.33 万亿元（中国物资再生协会，2025）。2024 年，废弃物综合利用行业增加值

¹⁶ 参见：<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/circular-material-use-rate-in-europe>。

¹⁷ 总材料生产率被定义为国内生产总值（GDP）加上进口的货币价值再除以初级原材料投入量，它是衡量资源使用效率的一个指标。

¹⁸ Prognos AG（2024）发布的《德国循环经济现状报告》（Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft）由 INFA GmbH、INZIN e.V.、Breer 视觉传播公司（Breer visuelle Kommunikation）、TafelmitKollegen 联合编写，受 ASA、BDE、BDSAV、BDSV、BRB、bvse、DGAW、IFAT Munich、IGAM、InwesD、ITAD、VDMA、VHI、VDM、VKU 委托。参见：<https://www.prognos.com/de/projekt/statusbericht-der-deutschen-kreislaufwirtschaft-2024>。

¹⁹ 数据来自欧洲环境署（European Environment Agency），基于欧盟统计局（Eurostat）指标 [CEI_CIE011]，参见：https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/CEI_CIE011_custom_6290509/default/table?lang=en 和 <https://www.eea.europa.eu/en/circularity/thematic-metrics/business/employment-in-the-circular-economy?activeTab=230b8465-152e-4079-8377-3d63e44f39a1>。

同比增长 10.2%（国家统计局工业统计司，2025）。中国再生资源回收企业超过 26 万家，成为稳就业、惠民生的重要领域。通过完善再生资源回收链条和推动区域集群发展，该行业已从分散、薄弱状态逐步走向规模化、高值化和集约化发展。

- **循环材料利用情况：**2024 年，包括废钢、废有色金属、废塑料在内的 11 大类再生资源回收总量约 4.01 亿吨，同比增长 6.5%（中国物资再生协会，2025）。
- **城市生活垃圾管理情况：**根据 196 个城市的相关数据，2023 年生活垃圾分类平均覆盖率达 92.9%（生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，2024）。主要城市已建成回收网点约 15 万个，逆向物流体系日益健全，互联网与物联网技术在回收体系中得到广泛应用。
- **资源利用效率：**2012—2023 年期间，中国资源利用效率持续提高，单位 GDP 能耗下降 26.8%，单位 GDP 二氧化碳排放量下降超过 35%，主要资源产出率提高逾 60%（人民日报，2024）²⁰。2024 年，一般工业固体废物综合利用量增至 26.5 亿吨，利用率达 59.3%（生态环境部，2025）。附录 C 以福华集团有限公司为案例，展示了提高资源利用效率的良好实践。
- **试点示范进展情况：**中国多部门共同推动循环经济试点示范体系建设取得显著成效：工业和信息化部主导建成近 6430 家绿色工厂、491 余家绿色工业园区²¹；工业和信息化部与生态环境部联合推进多个省市开展“无废工厂”和“无废园区”建设；生态环境部指导建成超 2.5 万个“无废细胞”（社区、学校、机关、酒店、景区等）；国家发展改革委主导的 129 家园区循环化改造试点中，117 家已完成改造，累计利用固废 2.3 亿吨，实现节能 2.08 亿吨标准煤，节水 4.08 亿吨。
- **其他循环经济相关指标：**截至 2023 年，中国累计淘汰落后钢铁产能超过 1.5 亿吨，完成 1.34 亿吨钢铁产能超低排放改造。农业循环经济发展成效显著，秸秆综合利用率达 88.3%，畜禽粪污资源化利用率达 79.4%；累计建成 300 个国家现代农业产业园、180 个优势特色产业集群和 1509 个农业产业强镇，实现美丽乡村建设与生态农业经济转型协同推进。

（六）中国、欧盟及其他国家循环经济政策比较

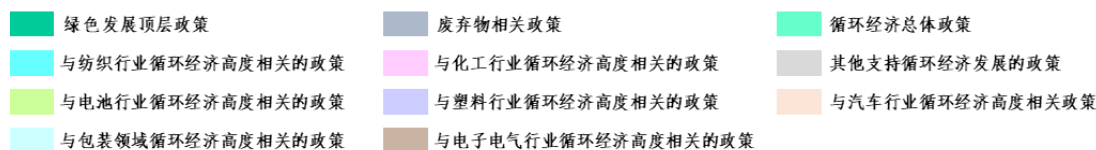
尽管德国、欧盟与中国在经济结构和工业发展阶段方面存在差异，但循环经济已成为三方共同关注的政策优先事项，体现出循环经济概念为推动高质量发展所勾勒出的引人瞩目的愿景。在欧盟、德国和中国的实践中，循环经济均与顶层绿色发展战略、气候政策以及废弃物管理政策实现了有机结合。图 3 总结呈现了欧盟、德国和中国支持循环经济发展的关键政策，并特别聚焦纺织和化工领域的专项政策。

不同地区在循环经济的概念界定框架和具体实施要求方面存在差异。在德国和欧盟，循环经济政策主要源于资源效率与废弃物管理议程，其核心目标被理解为实现经济增长与资源消耗的脱钩。因此，德国和欧盟的政策提出强制性要求，并着重强调“从设计端消除废弃物”的策略（即生态设计）、助力废弃物管理的生产者责任延伸（EPR），以及针对回收率和再生材料使用率的强制性目标设定。相比之下，中国现有的循环经济政策更注重回收量目标，并采用更多自愿性措施，如在相关规划中推行清洁生产以及垃圾收集、分类与回收。中国正通过总结 60 个再制造、餐厨垃圾利用和/或资源循环利用基地建设等循环经济案例，积极探索多元化转型路径与模式。目前，中国正在探讨构建高质量循环的新模式，预计近期将纳入政策考量。

²⁰ 参见：https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202404/content_6948005.htm。

²¹ 参见：https://www.cnii.com.cn/yw/202509/t20250909_683782.html。

欧盟	德国	中国
1984 《关于危险废物越境转移监督与控制的欧洲共同体措施》	1991 《包装法令》	
	1994 《循环经济和废物处置法》 《德国废物运输法》	
	1997 《报废车辆条例》	
2000 《报废车辆指令》	2002 - 首版《德国可持续发展战略》 《报废车辆法》	2002 《中华人民共和国清洁生产促进法》
2003 《关于限制在电子电器设备中使用某些有害成分的指令》 - 首版《废弃电气电子设备指令》	2005 《德国电子电气设备法》	
2006 《废物运输条例》 《电池指令》 《化学品注册、评估、授权和限制法规》（REACH 法规）	2006 新版《德国废物运输法》	
2008 《废弃物框架指令》	2007 为执行 REACH 规定而修订的《国家化学品法》	2008 《中华人民共和国循环经济促进法》
2010 《工业排放指令》	2009 《电池法》	
2011 新版《关于限制在电子电器设备中使用某些有害成分的指令》	2012 新版《循环经济法》	2012 修订《中华人民共和国清洁生产促进法》
2014 新版《废弃电子电气设备指令》	2013 《废物预防计划》	2013 《循环经济发展战略及近期行动计划》
2015 首版《循环经济行动计划》	2015 修订《德国电子电气设备法》	
	2017 新版《德国可持续发展战略》	2017 《生产者责任延伸制度推行方案》 《循环发展引领行动》
2018 《循环经济下的欧洲塑料战略》 - 修订《欧盟报废车辆指令》 - 修订《废弃物框架指令》		2018 修订《中华人民共和国循环经济促进法》
2019 《一次性塑料指令》 《欧洲绿色新政》 《循环经济欧盟监测框架》	2019 《包装法》 《联邦气候保护法》	
2020 - 新版《循环经济行动计划》 《欧盟分类法》 《可持续化学品战略》	2020 《循环经济法》修订案	2020 修订《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》
	2021 - 更新《废物预防计划》 - 进一步修订《可持续发展战略》 《一次性塑料制品条例》 - 修订《气候保护法》 《包装法》修正案	2021 《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》 《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》 《“十四五”循环经济发展规划》 《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》 《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》
2022 《欧盟可持续和循环纺织品战略》 - 修订《循环经济欧盟监测框架》	2022 《德国电子电气设备法》修订案	2022 《关于加快推进废旧纺织品循环利用的实施意见》 《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》 《石化化工行业稳增长工作方案》
2023 《化工行业转型路径》 - 修订版《循环经济监测框架》 - 关于《报废车辆条例》的提案 - 新版《电池法规》 - 修订 REACH 法规	2023 《循环经济标准化路线图》 《一次性塑料基金法》	
2024 - 修订《废弃电子电气设备指令》 - 新版《废物运输法规》 《商品维修指令》 《可持续产品生态设计法规》	2024 - 进一步修订《气候保护法》 《国家循环经济战略》	2024 《关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》 《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》
2025 《清洁工业协议》 《包装和包装废弃物法规》 《欧洲化工行业行动计划》		



（来源：北京环丁环保大数据研究院汇总整理，2025）

图 3：欧盟、德国与中国循环经济政策比较²²

尽管各国推行循环经济的动因各异，但关键都在于审视其是否产生预期成效。《2025 年循环差距报告》基于数据揭示了全球物质流与循环利用现状。截至 2021 年，全球原材料投入中仅 6.9% 为再生材料（较 2015 年的 9% 不升反降），循环利用率差距扩大至 93.1%。这种倒退主要源于原始材料开采量的绝对增长（现开采量已超过每年 1000 亿吨），其增速持续高于再生材料使用量的增速。此外，化石燃料使用量仍处于高位并享受补贴，全球能源需求、温室气体排放与废弃物产生量持续上升，而废弃物回收率仅为 11.2%。“物质存量”（长期储存在建筑和基础设施中的材料）快速积累，目前已占原材料投入总量的 38%（Circle Economy，2025）。更详细的全球循环经济现状分析参见附录 D。

相较于全球整体情况，德国和中国可被视为资源循环发展的引领者。例如，尽管过去十年中增幅有限，但德国再生材料使用占比仍是全球平均水平的两倍。而在中国，再生材料利用也在加速发展，再生资源量实现同比增长。然而，就原始材料开采总量而言，德国和中国都未能逆转全球整体趋势。如果不能同时提升再生材料使用比例并降低原始资源消耗，真正的循环经济将无法实现。

尽管中德两国在材料使用消费水平和政治优先事项上存在差异，但本专题政策研究也发现了两国在实施循环经济过程中所面临的一些共同的关键障碍²³，例如：

- **初级原材料成本过低**，主要是由于环境外部性未纳入成本核算体系。这削弱了再生材料的市场竞争力，后者通常会面临更严格的环保监管。同时，尽管废弃物回收具有显著的碳减排效益，但尚未建立统一的方法论和碳交易标准。
- **消费者支付意愿不足**：市场对环保产品溢价的接受程度低，大宗再生资源市场需求疲软。
- **循环技术和解决方案的研发投入有限**，尤其是针对高质量循环经济的新技术研发投入不足。例如，大宗工业废弃物（如煤矸石、磷石膏、退役光伏风机设备等）资源化利用技术尚不成熟。中小企业自有资金有限，难以承担技术创新成本，更倾向于作为“后发跟随者”来规避创新的高成本。
- **行业缺乏规模性龙头企业和稳定市场**。再生资源市场需求波动较大，导致行业利润不稳定，抑制了投资积极性。
- **循环基础设施缺口**：废旧产品回收、分拣及预处理投资对私营部门缺乏吸引力，需依靠法规强制或政府投资推动。
- **企业环境管理和工艺水平参差不齐**，部分企业环境管理措施与工艺体系不完善，不仅影响再生材料质量提升，更增加环境污染风险，导致市场对再生材料信任缺失。
- **标准体系与协作机制缺失**：循环产品缺乏统一标准，产业链协同不足，且未建立再生材料使用比例的强制性要求。

²² 该图涵盖了欧盟、德国及中国多项重要的循环经济政策，但出于简化考虑，所列内容并未完整呈现。同时，图中也未能完全包含上述所有政策的最新更新与修订版本。需要特别说明的是，一些特定领域（如电子电气设备）的要求已被纳入《可持续产品生态设计法规》（ESPR）和《废弃物框架指令》（WFD）等整体立法政策中。此外，欧盟指令和条例在德国已转化为国家法律，这些转化后的法律也未在图中完全体现。

²³ 德国和中国发展循环经济面临的障碍分别见附录 E 和附录 F。

- **价值链信息透明度不足：**原材料开采、产品设计及生产等关键数据难以获取，限制了维修、再利用和回收等生命周期后端环节的发展。

简而言之，循环经济需要**强有力的治理框架与有针对性的政策，确保线性发展模式与循环发展模式能够公平竞争**，同时推动**环境成本实现内部化**（Prakash 等，2023b）。德国和中国的循环经济政策若能够以足够的雄心且协调一致地加以落实，将有望推动结构性变革，减少初级原材料需求，实现物质循环闭合并增强循环系统竞争力。然而，在全球经济格局和国际价值链的大背景下，要取得实质性进展，还需要建立强有力的全球伙伴关系，并达成具有约束力的承诺。这些伙伴关系与承诺必须同时解决驱动线性经济的消费模式与生产模式问题，进而构建一个兼顾公平发展与生态边界的高质量循环经济体系。本报告后续章节将以纺织品与化学品两大价值链为例展开深入探讨。

三、 纺织行业循环经济

(一) 循环经济在纺织行业中的重要意义

1. 纺织行业传统线性经济模式对环境与社会造成显著影响

纺织产业呈现出高度复杂的全球化价值链特征。2023 年，全球纺织行业从业人数约为 1.4 亿人（Huygens 等，2023），产业总产值达 1.7 万亿欧元（约合 1.8 万亿美元）（Circular Economy，2024）。其中，中国是全球最大的纺织品出口国，美国则是全球最大的纺织品进口国。2022 年，欧盟进口新纺织产品约 1100 万吨，贸易总额达 1530 亿欧元，主要来源国包括中国、孟加拉国和土耳其。从进口结构来看，服装占比最高，约为 45%；其次为家用纺织品（21%）和鞋类产品（17%）（Eionet，2025b）。相较之下，欧盟同期出口纺织成品约 400 万吨，出口额为 730 亿欧元，主要出口目的地包括瑞士、英国、美国和中国等（Eionet，2025b）。就消费情况而言，2022 年欧盟人均家用纺织品消费量约为 19 千克²⁴，人均纺织废弃物产生量高达 16 千克，大部分进入混合生活垃圾处理系统（Eionet，2025a；2025b）。以德国为例，居民年人均纺织品消费量为 18.8 千克，同时也是欧盟纺织废弃物产生量排名前五的国家之一（Oeko-Institute e.V.，2023；UBA，2022b）。相比之下，中国在 2024 年加工了超过 6000 万吨纤维，消费了 3700 万吨纤维（人均 26 千克）²⁵，并产生了超过 2200 万吨废纤维（绿色发展创新研究院，2024）²⁶。

然而，纺织行业对环境与社会的影响依然显著，这主要源于其传统的“获取—制造—废弃”线性模式²⁷（见图 4）。该模式在快时尚驱动下表现尤为突出，导致系统性过度生产并产生大量废弃物（Ellen MacArthur Foundation，2017）。例如，自 2000 年以来，全球纤维产量已翻了一番，至 2023 年创下 1.24 亿吨的历史新高。增长的主要动力来自以化石资源为基础的原生合成纤维，市场份额达 67%，其中聚酯纤维占比高达 57%。天然纤维约占全球纤维产量的 25%，其中棉花贡献了 20%（Textile Exchange，2024）。



图 4：纺织行业中的“获取—制造—废弃”线性模式

全球范围内，纺织行业的原材料足迹占比超过 3%，每年消耗约 32.5 亿吨各类材料，其中 99%来自原生资源（Circle Economy，2024）。在欧盟，纺织品是第五大原材料消费类别。为满足欧洲家庭的纺织品需求，2022 年欧盟共消耗原材料达 2.34 亿吨，折合人均 523 千克。其中，仅有 32%的原材料来源于欧洲本土，其余主要依赖全球供应链（Eionet，2025b）。

纺织行业还带来多项关键环境影响，包括温室气体大量排放（主要来源于化石燃料、化肥与农药）、水资源与土地大量占用、微塑料污染、水体富营养化、大气污染、生物多样性丧失以及陆地与淡水生态

²⁴ 其中，服装约占 8 千克，家用纺织品约占 7 千克，鞋类产品约占 4 千克。

²⁵ 参见：<https://www.xinhuanet.com/fashion/20250224/70de0ae543664d6099b529214fbfce75/c.html>。

²⁶ 参见：

<https://www.igdp.cn/%e7%bb%bf%e8%89%b2%e6%96%b0%e8%b4%a8%e7%94%9f%e4%ba%a7%e5%8a%9b%ef%bd%9c%e5%be%aa%e7%8e%af%e5%86%8d%e7%94%9f%e6%8a%80%e6%9c%af%e5%8a%a9%e5%8a%9b%e7%ba%ba%e7%bb%87%e5%92%8c%e5%a1%91%e6%96%99%e8%a1%8c/>

²⁷ 德国及欧盟在纺织品生产、消费、贸易流向以及纺织品使用后与废弃管理等方面的详细情况，详见附录 G。

系统酸化等²⁸。例如，纺织行业产生的温室气体排放量占**全球总量的3.5%以上**（Circle Economy, 2024），也有研究认为纺织行业温室气体排放量占全球总量的8%~10%（Leal Filho等，2022）。2022年，欧盟为满足居民纺织品消费需求而进行的生产活动共排放1.59亿吨二氧化碳当量，折合人均排放355千克，使纺织品成为欧盟居民气候影响的第六大来源。其中，约70%的碳排放发生在欧洲以外地区（Eionet, 2025b）。在中国，纺织行业温室气体排放占全国排放总量的2%，占工业排放总量的2.8%（Economic Investigation Newspaper, 2025）²⁹。此外，由于染色和后整理等环节的高耗水特性，纺织行业给**全球水资源稀缺**问题带来了压力，其用水量占全球总用水量的4%（Circle Economy, 2024）。该行业还导致海洋富营养化（占比5%）与淡水富营养化（占比4%），并因棉花及动物性纤维（如羊毛）生产而占用大量土地资源（Circle Economy, 2024）。以欧盟为例，2022年，居民纺织品消费所需土地总面积达14.4万平方千米，其中86%位于欧洲以外地区，主要集中在中国和印度（Eionet, 2025b）。

微塑料污染是纺织行业面临的另一项主要环境影响，合成纤维是其主要来源。据估算，全球合成纺织品产生的微塑料占进入海洋微塑料总量的16%~35%，每年通过洗涤、穿着及废弃等环节释放至海洋的微纤维达20万至50万吨（Circle Economy, 2024）。纺织品在首次洗涤过程中释放的微塑料最多。据欧洲环境署统计，欧洲每年约有1.3万吨纺织微塑料（约合人均25克）进入地表水体，占有进入水体的初级微塑料排放总量的8%（EEA, 2022）。

纺织行业的其他环境影响包括：占**全球空气污染**总量的2%以上，占**生物多样性丧失、陆地及淡水生态系统酸化**的3%以上。纺织生产还与人类健康问题密切相关，其影响主要通过暴露于有害化学物质、空气和水体污染，以及气候相关影响（如热浪侵袭和营养不良）来体现，尤其集中于中国、美国和印度等主要纺织生产区域。在欧盟，纺织品在不同环境影响类别中位列居民家庭消费的第四至第六大类。纺织品中含有全氟和多氟烷基物质（PFAS）等有害物质，这进一步阻碍了纺织品的安全再利用、回收及使用寿命的延长，对提升纺织循环利用率构成挑战（Circle Economy, 2024; Eionet, 2025b）。

除环境问题外，纺织行业还存在严重的社会及社会经济层面的负面影响，具体表现为恶劣的工作条件、低廉的工资水平以及有害的劳工行为，尤其集中于环境和劳工法规执行薄弱的地区³⁰（UNEP, 2020）。

在欧盟，尽管近年来在资源利用效率方面有所提升，但2010—2022年期间，纺织品消费量增长了15%，部分抵消了已取得的环境与气候效益。2010—2022年间，欧盟的温室气体排放实现了绝对脱钩，下降了22%；原材料使用亦实现了24%的绝对脱钩；而土地使用和水资源消耗分别仅实现了3%的相对增长和1%的相对下降。这进一步凸显了应对过度消费、加快推动纺织行业循环经济进程的紧迫性（Eionet, 2025b）。

总而言之，纺织品价值链具有高度全球化特征，同时仍以高度线性化运作为主，该行业在全球温室气体排放和原材料消耗方面均位居前列。纺织品生产环节是环境影响最为集中的阶段，而该阶段的产业活动高度集中于以中国为主的少数国家。这在本国引发了一系列环境问题，如土地和水资源过度使用、微塑料污染、水体富营养化、空气污染、生物多样性丧失，以及陆地与淡水生态系统酸化等。然而，这些问题的根源具有全球性。大量纺织产品生产后被出口，主要面向以德国为代表的西方消费市场。在这些国家，过度消费现象普遍，进而造成大量纺织废弃物。与此同时，这些废弃物又被出口至缺乏完善废弃物管理基础设施的发展中国家，导致当地出现新的环境与健康风险。

²⁸ 全球及欧洲纺织行业对环境与人类健康影响的更多信息，详见附录H。

²⁹ 参见：<https://www.myzaker.com/article/685c136a8e9f09470e39e0b5>。

³⁰ 如需详细了解整个纺织价值链中的环境和社会经济热点问题，以及不同价值链阶段中不同影响的相关性，请参阅联合国环境规划署发布的《纺织价值链中的可持续性和循环性——全球盘点》报告（UNEP（2020）），该报告列出了应对这些影响的举措，并确定了推进纺织价值链循环性和可持续性所需的优先行动，已在联合国环境规划署的纺织倡议下发布，参见：<https://www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/circularity-sectors/sustainable-and-circular-textiles>。

专栏 1：二手服装贸易

2020 年，二手服装的最大净出口国包括美国、中国、英国、德国和韩国，最大净进口国则有加纳、乌克兰、尼日利亚、肯尼亚和坦桑尼亚。2000—2019 年间，欧盟二手纺织品出口量几乎增长了三倍，至 2023 年达到 140 万吨，且大部分用于再利用（Eionet 2025b）。欧盟内约有 50% 的收集并预分类纺织品出口至第三国（主要是非洲和亚洲国家），而仅有约 10% 的最高质量纺织品（德国仅 1%~2%）留在欧盟本土用于本地再利用。（Huygens 等 2023；EEA 2023；UBA 2022）。欧盟内部的贸易动态受制于各国分拣和回收能力及劳动力成本的差异（European Environment Agency 2024）。德国是欧盟内外二手及废弃纺织品的重要出口国。由于国内分拣能力有限，德国将大部分分开收集的纺织品出口至分拣基础设施较完善的国家，如波兰和荷兰（EEA 2023；2024c；JRC 2023）。这些国家作为复杂逆向价值链的枢纽，常将纺织品再出口至全球南方，主要是非洲（占 45%）和亚洲（占 43%），其最终去向尚不明朗（Circle Economy 2023）。在非洲，进口纺织品主要用于再利用，但仍大量进入无序填埋场或被露天焚烧。绿色和平组织调查显示，向加纳、肯尼亚和坦桑尼亚等国的纺织品出口显著加剧了污染、环境破坏、气候变化及健康风险。在加纳和肯尼亚，约 30%~40% 的进口服装被判定为无用，直接送往填埋场（Greenpeace e.V. 2022）。在亚洲，纺织品通常经过分拣后进行本地回收或再出口，不可回收或不可再利用的纺织品大多被填埋。预计未来几年，欧盟二手纺织品的单独收集量将持续增长。若无相应的监管措施，欧盟纺织品收集量的增加将推动纺织废弃物出口上升，并加剧进口国的环境和社会问题（EEA 2023；Manshoven 等 2025）。

因此，尽管纺织品价值链覆盖全球，但各地区的优先任务与干预机会不尽相同。对于中国等以纺织制造为重要经济支柱的国家而言，重点应放在更清洁、资源消耗更低的生产模式上，以缓解本地环境压力并实现气候目标。而对于德国等消费型国家而言，应更加注重减少资源消耗与废弃物产生，既有助于减轻本地废弃物收集处理系统的压力，也有助于降低人均环境足迹与原材料使用强度。通过全球价值链中的协作与协同，各国均可从循环经济战略中受益：提升纺织品的生产与消费质量，增强产品与材料的回收再利用能力，进而创造新的经济价值，同时有效减少环境影响与资源浪费。

2. 推动纺织品价值链的循环经济转型

循环经济作为一种可持续发展模式，通过持续推进产品与材料的减量使用、再利用、翻新与再循环，在有效提高资源利用效率的同时，最大限度地减少资源消耗与环境成本。“减量”策略在降低纺织行业显著环境影响方面最为有效，亦符合废弃物管理层级中“废弃物预防”这一最高优先级。例如，相关研究表明，在德国实施一揽子纺织品循环经济措施，到 2045 年有望使多个环境影响类别的总影响降低至少 35%。在各类措施中，减少纺织品的生产与消费（如延长产品使用寿命、转变消费者使用模式）具有最高的减排与减耗潜力，模型测算显示：该策略可在 2045 年前使温室气体排放、资源消耗及土地使用量减少约 30%（Oeko-Institut e.V., 2023a）。

从环境和经济角度来看，纺织品再利用优于回收。对可穿戴纺织品进行转售，不仅有助于确保回收与分拣环节的经济可行性，还能通过规避原材料的初级生产过程，延长产品生命周期并节约资源，从而显著降低纺织品生产的环境影响³¹（van Duijn 等，2022；Wagner 等，2022）。与再利用密切相关

³¹ 根据 Sandin 等人（2019）的研究，如果服装的平均穿着时间翻倍，其气候足迹和水足迹均可降低约 50%。同样，2024 年《循环差距报告》（Circularity Gap Report）通过“慢时尚”情景建模（即通过再使用、维修、租赁以及减少生产过剩来降低消费和延长产品寿命）。在最激进的情景下（消费减少 5%、生产过剩减少 50%），气候影响下降了 10.1%，材料足迹下降了 10.3%，水资源紧缺影响下降了 11.9%（Circular Economy, 2024）。

的策略还包括通过维修手段将受损纺织品从废物流中分流，进一步延长其使用寿命并减少资源浪费。

在使用阶段结束后，纺织品应与其他废物流分开收集，并经过后续分拣处理，以便**为再利用做好准备**，或作为回收利用工艺的原材料^{32,33}。与回收利用或原生纤维生产相比，对二手纺织品开展**再利用准备工作**，在环境和经济效益方面展现出更显著的优势。尽管二手服装的环境效益主要体现在实际穿着这些衣物的海外地区，但这一路径仍显著优于其他处理方式。这一做法也符合**废弃物管理层级**的基本原则，即在处理优先级方面，应优先推进再利用准备工作，而非物质回收（Löw 等，2024；Oeko-Institut e.V.，2023a）。通过再利用延长纺织品使用寿命，在很大程度上有助于节约资源，并减少与生产相关的环境负担（UBA，2022）。从经济角度分析，转售可穿戴服装目前是后消费纺织品管理中盈利性最强的方式，也是纺织品分拣企业的主要收入来源（Circle Economy；Fashion for Good，2022）。

最后，当纺织品不再适合再利用时，回收利用成为替代初级原材料的重要途径（UBA，2022b）。因此，回收**应作为实现循环经济的补充策略予以推动**³⁴（UBA，ongoing）。此外，生产和加工过程中产生的液态废弃物（如废水等）及固体废弃物，亦可通过先进处理技术实现综合利用和循环利用。据测算，回收 1 千克废弃纺织品可节约 1.1 吨石油，减少 3.6 千克二氧化碳排放，节约 6000 升水（经济日报，2023）³⁵。

全球范围内，二手纺织品能够被回收再利用并制成新纺织品的比例不足 1%（Circle Economy，2024；Ellen MacArthur Foundation，2017）。2023 年，全球再生纤维的市场占有率仅为 7.7%（约 900 万吨），其中大部分为再生聚酯纤维。聚酯纤维是全球使用最广泛的化学纤维，其主要成分为聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET），2023 年，全球聚酯纤维产量约为 7110 万吨，占全球纤维总产量的 57%，其中仅有 12.5% 为回收纤维（Textile Exchange，2025）³⁶。然而，**纺织品中 98% 的 rPET 来自 PET 瓶**，而非纺织废弃物（Textile Exchange，2024）。尽管该原料来源纯净且稳定，但此类物料主要用于“瓶到瓶”的闭环回收，**未能有效解决核心问题——纺织废弃物大量产生**（Klinge 等，ongoing）。鉴于聚酯纤维在纺织纤维市场中的重要份额，实现聚酯纤维的全面回收将对构建纺织品循环经济体系有示范和引领作用。

简而言之，实现纺织行业循环经济需要在生产、消费以及产品生命周期终结阶段采取系统性行动。从环境影响的角度来看，减少与再利用策略具有最大的潜力。在当前市场条件下，再利用对于确保回收与分拣工作的经济可行性也至关重要。然而，考虑到目前的市场动态和消费者行为，闭环的“纤维对纤维”回收同样是实现循环性的关键策略，因为它能够处理那些无法再利用的纺织废料。因此，在整个纺织价值链中必须同步推进减少消费、提高再利用率、增强回收能力三项策略，才能实现真正的循环经济。

附录 G 提供了德国和欧盟在**使用后和废弃纺织品的管理与进一步处理**方面的概览和**具体数据**（包括收集、分拣、再利用准备等内容）。

³² 根据德国《循环经济法》（German Circular Economy Act, KrWG），可再使用准备包括对已成为废弃物的产品或部件进行检查、清洁或修理，以便其无须进一步处理即可按原用途再次使用（Wagner 等 2022）。

³³ 关于再使用准备和回收的现状，详见附录 G。

³⁴ 使用再生纤维替代原生纤维进行纺织品生产，可以显著减少温室气体排放。多项生命周期评估（LCA）研究表明，对原本会被填埋或焚烧的消费后纺织品进行回收利用的潜力巨大，且与使用原生纤维相比，再生纤维在纺织生产中的应用可显著降低温室气体排放（UBA ongoing）。

³⁵ 参见：http://paper.ce.cn/pad/content/202308/22/content_279701.html。

³⁶ 参见：<https://textileexchange.org/app/uploads/2024/09/Materials-Market-Report-2024.pdf>。

专栏 2：德国及欧盟的纺织品收集与再利用准备

德国回收的废弃纺织品比例约为 64%，显著高于欧洲平均水平（约 38%）。欧洲大部分纺织废弃物未实行单独回收，而是被焚烧或填埋，导致其无法实现再利用或回收（Deckers 等 2024; Duhoux 等 2025; Huygens 等 2023; Wagner 等 2022）。在欧洲各国，消费后纺织品的回收主要由**私营机构、慈善组织或公共废弃物管理部门**负责，整个过程主要通过**投放点和回收中心**负责实施。投放点回收量较大，但存在较高的污染风险。尽管如此，投放点仍被普遍视为既能保证足量消费后纺织品供应，又能获得质量较好的纺织品的最佳方式（Deckers 等 2024; van Duijn 等 2022; Wagner 等 2022）。纺织品的**回收与分拣**主要依赖于二手服装销售收入的支持，该收入占分拣企业总收入的比例可高达 90%（van Duijn 等 2022）。

尽管存在效率较低、成本较高及依赖熟练技术人员等制约因素，**手工分拣**仍然是德国和欧盟纺织废弃物分拣的主导方式。实现高质量回收的关键前提之一是根据纤维类型进行精准分拣，自动化分拣技术（如近红外光谱检测、射频识别技术等）能够实现此目标，但大多数技术方案尚处于研发阶段。拟进行再利用的纺织品通常会根据质量、颜色、尺寸及时尚趋势等因素，被分拣为数百个类别以满足市场需求（Köhler 等 2021; Huygens 等 2023）。

van Duijn 等（2022）估算，欧盟单独回收的纺织品中约有 **55%**用于再利用，其中大部分出口至第三国，仅有 10%（质量最好的部分）在本地再利用（Huygens 等 2023）。在德国，62%的回收和分拣纺织品经过预处理进入再利用准备流程，但仅有 1%~2%在国内实现再利用。

专栏 3：德国和欧盟的纺织品回收与终端处理

在德国，大约 **26%**的回收纺织品被用于某种形式的**材料回收**（主要为开放循环回收），通常用于制作工业擦拭布或切碎成纤维（EEA 2023; Wagner 等 2022），另有 **8%**用于焚烧以**回收能源**，**4%**被直接**处置**（Wagner 等 2022）。在欧盟，约 **30%**的回收与分拣纺织品被用于**材料回收**，同样主要通过开放循环方式回收，约有 **14%**被**焚烧**，**12%**最终进入**填埋场**（Deckers 等 2024; Huygens 等 2023; Wagner 等 2022）。

专栏 4：回收技术的分类

纺织品回收技术大致可分为材料回收和原料回收两大类。**材料回收**产生固态产物，如颗粒、纤维或特定分子，主要包括机械回收、溶剂回收、解聚回收和组合回收；**原料回收**则是将纤维降解为气态或液态碳氢混合物（Löw 等 2024）。附录 I 列举了参与不同纺织品回收技术的回收企业。

材料回收：

- **机械回收（Mechanical recycling）**是目前欧盟最主流回收方式，且已实现工业化规模。该方式通过物理手段将纺织品破碎，广泛用于生产保温材料、无纺布或清洁布。虽然它可以从纯棉或合成纤维中回收出部分可纺纤维，但该过程会降低纤维质量，混纺面料通常不适合进行纤维到纤维的闭环回收（Huygens 等 2023；Löw 等 2024；Wagner 等 2022）。
- **溶剂回收（Solvent-based recycling）**可选择性溶解混纺材料中的某一种纤维（例如棉涤混纺），回收如 PET 或纤维素等具有原生质量的聚合物。尽管其技术潜力较大，但目前仍处于工业发展早期阶段，且对能源与化学品的需求较大（Huygens 等 2023；Löw 等 2024；Duhoux 等 2021）。
- **解聚回收（Depolymerisation）**是将纤维化学分解为单体（尤其适用于 PET/聚酯），可有效去除污染物，并恢复为原生质量的纤维。尽管其能耗较高且目前应用规模有限，但在实现高质量“纤维到纤维”闭环回收方面具有巨大潜力（Duhoux 等 2025；Huygens 等 2023；Löw 等 2024；Systemiq 2025）。
- **组合回收（Combined approaches）**可以处理**混纺纤维**，例如，利用解聚回收法处理一种纤维时，可通过溶剂回收法提取另一种纤维（Löw 等 2024）。

原料回收：

- 原料回收（如**气化和热解**）通过热化学方式将纤维转化为气态或液态碳氢化合物，用作替代燃料或化工原料。由于能耗高、环境负担大，目前该技术在纺织领域应用受限（Löw 等 2024）。

鉴于材料回收的能源消耗较低，通常情况下，**材料回收优于原料回收**，后者仅在特定条件下作为最后的回收方法使用。在材料回收的各种方式中，**机械回收应被优先考虑**，因为其能源、化学品和技术成本均低于溶剂回收和解聚回收（Löw 等 2024）。然而，不同的回收方法之间并非相互竞争，而是具有互补性，因为不同类型的纺织废弃物需采用定制化的回收解决方案。机械回收受限于纤维质量的下降，而**解聚回收则在高质量“纤维到纤维”闭环回收方面展现出巨大潜力**，值得进一步研究以实现规模化应用（van Duijn 等 2022；Huygens 等 2023；Löw 等 2024）。鉴于当前回收能力的限制以及纺织品闭环回收适用性的差异，开环回收仍具有重要意义，且在环境上具有可行性（Klinge 等 ongoing）。

3. 与化学品相关的纺织品问题

化学品在纺织品生产过程中发挥着关键作用，影响材料的性能、耐久性与美观性；但与此同时，许多化学品具有危害性，会阻碍纺织品的再利用、回收以及安全处置。因此，合理使用化学品是实现循环经济战略的必要前提，尤其是在推动无毒、可回收、耐用的纺织产品方面。本节将介绍应对纺织行业中化学品问题的整体策略（如《全球化学品框架》），并进一步阐释若干关键概念，包括“关注物质”（Substances of Concern, SoCs）及欧洲《可持续产品生态设计法规》（ESPR）中针对此类物质的应对举措，同时还会涉及全氟和多氟烷基物质（PFAS），这些物质是与循环性和纺织品化学品相关的优先处理议题。

《全球化学品框架》（GFC）对纺织品行业的重要性

《全球化学品框架》（Global Framework on Chemicals, GFC）与其前身《国际化学品管理战略方法》（SAICM）一样，是一项多利益相关方、多部门参与的全球性倡议，旨在协调各国政府与政府间组织、民间社会组织、私营部门及其他相关方开展合作，推动全球范围内的化学品管理行动（ICCM5, 2023a; UNEP, 2023; ICCM5, 2023b），并致力于将与化学品相关的工作更好地融入《2030 年可持续发展议程》（ICCM5, 2023b; United Nations General Assembly, 2015）。GFC 通过设立**五大战略目标和 28 个具体目标**（详见附录 J），进一步明确和强化了化学品安全管理的全球愿景。

多个 GFC 目标可直接应用于纺织行业，具体内容见附录 J。在这一背景下，联合国环境规划署（UNEP）发起“纺织品倡议”（UNEP, n.d.b），积极推动 GFC 的实施，旨在协调和动员纺织行业各相关方参与，推动将 GFC 的目标具体化并应用于纺织品领域。此外，有害化学品零排放（ZDHC）组织、英国农药行动网络（PAN UK）和雄心闭环（Ambition Loop）等国际机构也正参与这一进程，并已在乌拉圭召开的《全球化学品框架》下的第一次开放式工作组（OEWG）会议上提供了支持。

以下内容总结了 GFC 在纺织行业中的整体性做法，以利于具体落地实施，包括：

- **协作方式：**通过多方利益相关者伙伴关系及商业伙伴关系推进落实（详见本报告其他部分）。
- **自愿性工具：**ChemSelect³⁷是一款在线工具，用于评估和比较物质及混合物的可持续性，主要面向化学品使用者，如生产混合物的企业或在产品和工艺中使用物质/混合物（即助剂）的企业。
- **监管工具：**如《可持续产品生态设计法规》（ESPR）（相关背景详见第 2.2 节）。
- **经济手段：**涵盖报告、投资与融资机制（详见本报告其他部分）。

为推动上述方法与工具在实际工作中的有效应用，强烈建议制定并落实具有约束力的路线图或行动计划，推动纺织行业相关各方围绕成果导向和影响导向开展协同合作，并优先由政府部门进行总体监督与协调。

在《生态设计可持续产品法规》（ESPR）中应对纺织品中的关注物质（SoCs）

作为欧盟循环经济政策的一部分（背景见第 2.2 节），纺织品被列为优先产品类别，针对该领域将制定专项的生态设计最低要求。《生态设计可持续产品法规》第 5 条明确定义了需符合特定要求的产品属性，其中包括关注物质的含有情况³⁸。此外，ESPR 中关于产品参数的规定（附件 I）进一步强调，在产品制造过程中使用化学品（特别是关注物质）时，凡涉及物质单体、物质成分或混合物中含有的关注物质，或最终导致产品中含有此类物质（包括产品成为废弃物后的情况），都必须对其对人体健康和环境的影响进行评估。目前，针对服装类纺织产品的生态设计要求正在制定中（暂不涵盖家用纺织品及鞋类产品），最终要求预计将于 2026 年确定，并在至少 18 个月的过渡期后正式生效。

尽管产品具体生态设计要求仍在制定中，但 ESPR 第 7 条第 5 款已对**信息披露要求**作出详细规定，旨在实现对相关产品**全生命周期内关注物质的追踪管理**。所要求的信息应包括：物质的唯一识别标识³⁹，以及最终成品中的浓度、与回收利用及产品生命周期终结阶段环境友好处置相关的信息等内容。总

³⁷ ChemSelect 可通过 <https://chemselect.uba.de/> 访问（最后访问时间为 2025 年 6 月 5 日）。

³⁸ 《生态设计可持续产品法规》（ESPR）第 2 条第 27 款对“关注物质”（Substances of Concern, SoCs）进行了定义，涉及四项独立的判定标准。这一定义一方面基于欧洲化学品立法中对有害特性的界定，包括《化学品注册、评估、许可和限制法规》（REACH）、《化学品分类、标签和包装法规》（CLP）以及《持久性有机污染物法规》（POP）。除了《化学品注册、评估、许可和限制法规》中列出的高度关注物质（Substances of Very High Concern, SVHC，或称候选清单物质）外，还包括其他危害物质，例如第 2 类致癌、致突变或生殖毒性物质（CMR）、所谓的新型危害类别物质（如对人类健康或环境具有影响的内分泌干扰物质，或具有持久性、迁移性和毒性特征的物质）以及致敏物质，这些物质均列于 CLP 法规的附录中。除这些被归类为对环境或人类健康有危害的物质外，“关注物质”的最后一个判定标准是：该物质“对其所含产品中材料的再使用和回收产生不利影响”。该定义的具体措辞及进一步说明见附录 K。

³⁹ 产品中所含关注物质的名称或编号，应包括以下信息：以国际纯粹与应用化学联合会（IUPAC）命名法表示的名称，或在 IUPAC 名称不可用时使用的其他国际名称；其他名称，包括常用名称、商品名、缩写；欧洲共同体（EC）编号，如《现有商业化学物质清单》（EINECS）、《已申报化学物质清单》（ELINCS）、“已不再是高分子物质”（NLP）清单中所列，或由欧洲化学品管理

的来看, ESPR 在制造过程中使用的关注物质的数据收集与信息传递方面设定了高度严格和具有前瞻性的要求, 反映了其在化学品可追溯性和可持续管理方面的雄心。

德国联邦环境署(UBA)目前正在开展一项关于纺织品生态设计要求的 research 项目(Umweltbundesamt, ongoing), 该项目指出, 当前纺织企业和品牌在应对高度关注物质及其他限用化学物质时, 主要采用**限用物质清单**的管理方式。在相关实践中, 较为常见的工具包括有害化学物质零排放计划所发布的生产限用物质清单(ZDHC MRSL)、AFIRM 限用物质清单(AFIRM RSL), 以及其他自愿性标准的 RSL 或 MRSL。根据企业提供的信息, 一些企业已在合同中明确禁止使用高度关注物质, 并要求供应商为相关产品提供无此类物质的合规证明。通常, 限用物质清单的管理也被用于指导最终产品基于风险的检测工作。此外, 企业还采用正面清单的方式进行补充管理, 如依据全球有机纺织标准(GOTS)、Oeko-Tex 系列标准、bluesign 等环境标签的要求筛选合规原料或产品。最常见的合规手段之一是通过文件传递的方式完成相关证明材料的移交。目前, 对于影响纺织品回收或再利用的物质, 其识别与管理仅在个别特定场景中被提及, 尚未形成系统化机制, 主要原因在于整体层面的知识仍存在空白。

基于上述分析, ESPR 针对关注物质(SoCs)提出了若干建议。第一项建议是在数字产品护照(DPP)的公开部分中引入关于高度关注物质(SVHCs)的信息要求, 涵盖其识别信息、浓度及在产品及其部件(包括配件)中的存在情况, 从而使终端消费者能够获取相关信息。此举将有助于减轻企业根据《化学品注册、评估、许可和限制法规》第 33 条对消费者个别查询作出回应的负担。同时, 也需确保**数字产品护照与 SCIP 数据库之间实现系统互认**⁴⁰, 避免企业在多个平台重复录入数据的情况。

第二项建议提出, 应对产品中具有功能性的化学物质进行**内部记录**, 因为这些物质被设计为保留在产品中以实现特定功能。此举应作为**推进透明化管理的起点**, 逐步建立起从产品设计阶段的化学品使用信息, 到供应链中化学品管理系统之间的有效衔接。为实现这一目标, 零售商及其他相关运营方应在产品设计阶段, 在技术规格中明确说明所需功能性化学品(如常见的防水整理剂等), 并将该信息传递至相应的生产环节(尤其是湿法加工阶段)。在湿法加工过程中, 所有关于功能性化学品的使用要求都应被纳入相应的生产配方之中。这些功能性化学品通常会被纳入生产过程中的化学品库存管理系统。关于化学品的毒性、反应性等理化属性信息, 主要来源于化学品供应商提供的安全技术说明书(SDS)。这一做法强调, 应在设计阶段将产品可能产生的环境与健康影响纳入考量, 强化设计环节对产品整个生命周期中化学品影响所承担的责任(Umweltbundesamt, ongoing)。

纺织品中全氟和多氟烷基物质(PFAS)的管理

全氟和多氟烷基物质(PFAS, 亦称为高氟化物质)涵盖数千种合成化学物, 广泛应用于各类产品中, 且在环境中极具持久性。根据经济合作与发展组织(OECD)的定义, PFAS 指的是含有至少一个全氟甲基(-CF₃)或全氟亚甲基(-CF₂-)碳原子的氟化物, 且该碳原子不得与氢、氯、溴或碘相连(Wang 等; 2021)。

全氟和多氟烷基物质(PFASs)被广泛应用于多个领域和行业。其中, 热泵与空调系统、纺织品、医疗器械以及制造工业领域是其使用量最为集中的行业(参见**附录 L**)。凭借优异的防水防油特性, PFASs 在纺织品领域应用广泛, 包括运动服装、户外服饰、雨伞、帐篷、汽车内饰、鞋类、地毯及浸渍剂等。纺织品中使用的 PFASs 种类繁多, 包括氟聚合物(如聚四氟乙烯 PTFE, 俗称特氟龙)以及侧链氟化聚合物, 而后者是全氟烷基羧酸(PFCAs)的前体物质。

同时, PFAS 具有一系列可能对人体健康(包括增加癌症发生风险)和环境造成不利影响的特性。

局(ECHA)分配的编号(如适用); 化学文摘社(CAS)名称和编号(如可用)。

⁴⁰ SCIP 是欧洲化学品管理局(ECHA)设立的数据库, 收录了物品中所含的质量分数超过 0.1% 的高度关注物质(SVHC)的信息。SCIP 是 Substances of Concern In articles as such or in complex objects (Products) 的缩写, 意为作为物品或复杂产品中的关注物质。制造商、进口商和供应商有义务提供相关产品的信息, 参见: <https://echa.europa.eu/de/scip>。

所有 PFAS 在环境中都具有极高的持久性⁴¹，因此被称为“永久性化合物”，其中一些还具有高度的环境迁移性。此外，许多 PFAS 已被证实具有毒性，并可在人体及其他生物体内累积。例如，全氟辛烷磺酸（PFOS）和全氟辛酸（PFOA）被归类为生殖毒性物质，且为疑似致癌物。针对哺乳动物的研究表明，PFAS 可能影响肝脏、血脂、甲状腺激素、免疫系统和生殖系统。对因水源污染而长期暴露于高浓度 PFOS 和 PFOA 的人群所开展的观察性研究发现，其血液中 PFAS 浓度升高与免疫功能受损之间存在关联。其他研究还显示，血液中 PFOA 浓度升高与肝功能异常、胆固醇水平变化存在相关性，同时也观察到对新生儿出生体重的影响。尽管已取得部分研究结果，但对于许多其他种类 PFAS 的健康影响而言，目前仍缺乏充分的科学认识。

在许多欧洲国家，机场周边的地下水和饮用水中均检测出了全氟和多氟烷基物质（PFAS），其主要来源为用于灭火的泡沫材料。此外，氟聚合物的制造过程也是广为人知的污染源之一。然而，PFAS 在其整个生命周期内都会持续释放到环境中，即便在远离其生产或使用地点的区域也能发现其踪迹。因此，PFAS 污染已构成全球性环境问题。

在过去五年中，PFAS 成为欧洲最受关注的化学物质议题之一，受到科研人员、环保非政府组织及政策制定者的高度关注。其中，全氟辛烷磺酸（PFOS）、全氟辛酸（PFOA）和全氟己烷磺酸（PFHxS）是研究最为充分的几种 PFAS 物质，均已纳入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》（以下简称《斯德哥尔摩公约》）限制名录。2025 年 5 月，长链全氟羧酸（PFCA）亦被增列其中。

2023 年 1 月，五个欧洲国家的相关主管机构联合向欧盟提交了一项关于在《化学品注册、评估、许可和限制法规》（REACH）框架下全面禁止 PFAS 的提案（European Parliament and the Council, 2025）。该提案为不同领域设定了不同的过渡期，依据是可替代技术的可获得性及其对社会的重要程度。目前，该提案正由欧洲化学品管理局（ECHA）下属的科学委员会进行评估，预计将于 2026 年底向欧盟委员会提交正式建议。

支持全面禁止 PFAS 的核心理由在于它具有极端的环境持久性。PFAS 在自然环境中残留的时间可能比任何其他人为合成物质更长。一旦持续释放，其环境浓度将不断累积，因为在自然条件下这些物质几乎不会发生矿化分解。一旦进入环境，PFAS 在地表水、地下水、土壤、沉积物以及生物体中的去除难度极高，不仅技术实现难度大，而且经济成本高昂。此外，历史经验（如多氯联苯 PCB 和溴化阻燃剂等案例）表明，许多最初被广泛应用的技术功能型化学品，其潜在危害往往在广泛使用、污染已成事实后方才为科学界所认知。同样情况也出现在 PFAS 的部分替代品中，这些替代品因初期监管较少而被误认为危害较低，但后续研究表明，它们同样存在环境和健康风险。即使技术上可实现清除，其高昂的治理成本往往最终由社会承担，而非原始污染者。

对于大多数纺织品的应用场景而言，尤其是在消费品领域，已存在可行的替代方案。许多知名品牌已主动将 PFAS 从其产品中剔除。例如，“ChemSec PFAS 行动倡议”由 H&M、宜家等企业组成，旨在推动 PFAS-free（无 PFAS）纺织产品的转型。户外品牌 VAUDE 也已承诺从其产品中全面淘汰 PFAS 及其他有害化学物质——相关案例见附录 M。

建议如下：

- 应将 PFAS 作为一个物质类别进行整体管理，避免出现“令人遗憾的替代”情况，即用另一种对健康和环境具有类似影响的 PFAS 物质替代原有物质。
- 目前，人们对这些人造物质的（生态）毒理学影响仍缺乏充分了解。鉴于其在环境中具有极高的持久性，应尽量避免使用和回收含 PFAS 材料。如果某种 PFAS 在某些用途被认为仍属“关键应用”，且目前尚无可行替代方案，必须对所有使用和回收环节实施严格的控制措施，包括最大限度减少工人和消费者的暴露风险，并防止对环境的排放。

⁴¹ 所有 PFAS 本身具有持久性，或在降解过程中转化为其他具有持久性的 PFAS。

- 总体目标应为逐步淘汰 PFAS。对于那些对社会具有重要意义，且目前尚无合适替代方案的应用场景，应有针对性地开展相关研究。

4. 欧盟应对纺织品环境影响的政策工具

2022 年 3 月，欧盟发布《可持续与循环纺织战略》（EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles），旨在将纺织行业转型为更加可持续和循环的产业。该战略为多个立法提案提供了总体框架。以下部分概述了欧盟层面上与纺织品相关的三项主要政策措施与倡议（European Commission, 2022）。

- **《可持续产品生态设计法规》（ESPR）**（生效中）：该法规建立了一个框架，用于设定强制性的产品可持续性要求（包括纺织品领域）。未来该法规修订时，预计将制定耐用性、可修复性、可回收性以及再生材料含量等方面的最低生态设计要求（European Commission, n.d.）。不过，针对服装类纺织品的首批生态设计要求最早也要到 2028 年中期才会生效。此外，ESPR 还包含禁止销毁未售出商品的规定，并要求通过数字产品护照加强信息披露。针对纺织品的数字产品护照的制定将与《纺织标签法规》的修订同步推进，修订后的《纺织标签法规》将强制要求部分信息在实体和数字标签上都披露（EEB, 2024）。
- **《欧盟废物框架指令》**（2025 年 2 月修订，生效中）：该法规确立了废物管理的优先顺序，要求欧盟成员国在 30 个月内实施针对纺织品的生产者责任延伸制度（EPR），所有成员国自 2025 年 1 月起必须对使用过的纺织品实施强制性单独收集（European Commission, n.d.b）。
- **《欧盟废物运输法规》**（2024 年，生效中）：该法规要求，自 2027 年 5 月起，将限制向非 OECD 国家出口纺织废弃物，除非能证明这些废弃物已获得适当处理；目前，欧盟正在制定“废物终止标准”，以便区分可再使用纺织品和废弃物（European Commission, n.d.c）。

综上所述，欧盟正从整体价值链出发，全面制定政策和措施，以应对纺织品对环境的影响。在这方面，ESPR 具有重要意义，因为它面向的是产品设计阶段，而该阶段对产品的回收利用和生命周期末端处理有重要影响。例如，设计阶段决定了材料是否具有多样性、零部件是否可分离，以及是否含有有害杂质等问题。在使用阶段结束后，迫切需要改进纺织品的收集体系、推动再利用准备工作，并扩大回收能力，尤其是“纤维到纤维”回收能力。因此，必须大力推进《欧盟废物框架指令》的实施。应采取措施，推动按纤维成分自动分拣技术的发展。最终目标应是实现高效的分类处理：一方面将适合再利用的纺织品筛选出来，另一方面将不适合再利用的纺织品根据其适配性分流至不同的回收工艺流程中。然而，从长远来看，仅仅依赖于回收或提高纺织品的可回收性，不足以从根本上降低其对环境造成的影响。要最大程度地减缓这种影响，关键在于减少消费。这要求社会在文化层面发生转变，即增强对纺织品价值的认知，并积极倡导适度、理性的服装消费模式。

专栏 5：纺织行业的数字化管理

纺织行业的数字化转型将成为欧洲迈向循环经济与可持续发展的关键驱动力。工业 4.0 技术——如人工智能（AI）、物联网（IoT）、区块链、机器人、计算机辅助设计、传感器以及数字产品护照（DPP）——能够大幅推动效率、生产力、韧性和市场响应能力的提升。这些技术还能够支持供应链的实时优化、增强透明度、赋能消费者，并促进科学决策。数字化工具在纺织产品生命周期的各个阶段均具有重要价值——从**优化和自动化制造及物流**，到实现**循环产品设计、数字原型制作**，以及**高质量回收和自动分拣**等先进的生命周期终端解决方案。数字化有助于延长产品使用寿命、减少废弃物、降低成本，并推动资源的更高效利用与共享。此外，数字化还支持**新型循环商业模式的发展**，如维修、再利用和共享。一些纺织企业已围绕数字技术构建商业模式，提供创新服务，开拓新的收入来源。然而，数字化转型亦伴随若干**风险与权衡**。数据中心与人工智能技术的高能耗和材料需求，以及效率提升可能引发的反弹效应，均可能抵消数字化转型对可持续发展目标的促进作用。此外，数据验证与执行的不确定性（尤其是涉及数字产品护照时）依然存在，中小企业在采用数字化技术的过程中面临显著障碍，包括投资成本高昂、供应链分散以及数字技能不足等。要充分释放数字化转型的潜力，**不仅需要技术创新，更需要行为变革及政策支持框架的保障**（EEA 2025；Manshoven 等 2025；European Commission 2022）。有关纺织行业数字技术应用机会的更详细信息，请参见附录 N。此外，与纺织行业数字化相关的德国联邦教育与研究部（BMBF）资助项目清单，请参见附录 O。

5. 中国纺织品环境影响的政策工具

纺织行业作为提升民生福祉的重要行业，在中国具有举足轻重的地位。2024 年，中国纺织服装出口总额达到 3011 亿美元（中国纺织工业联合会，2025）。然而，传统的线性纺织产业存在能耗和用水量高、原材料（包括棉花及石化基材料）消耗压力大、环境污染和排放严重等问题。据估算，若能将所有使用过的纤维都进行再利用和回收，每年可节省约 2400 万吨石油，并减少 8000 万吨二氧化碳当量（CO₂e）的排放⁴²。因此，近年来，中国在纺织制造绿色化方面采取了多项举措，包括短流程染色、水节约染色、废水质量分离、深度处理与再利用，以及清洁生产技术的研发和应用。此外，节能设备、废热废压回收等资源利用技术和清洁能源的应用规模显著扩大，废纤维产品物理和化学回收利用关键技术方面取得突破，回收纤维的应用规模不断增长，资源利用效率稳步提升。全国范围内关于促进循环经济（见第 2.4 节）的政策为纺织行业提供了顶层指导和总体要求。以下内容对纺织行业中规定的关键政策进行了总结。

- 2022 年，国家发展改革委、商务部、工业和信息化部联合印发《**关于加快推进废旧纺织品循环利用的实施意见**》，细化具体措施并设定目标：到 2025 年，废旧纺织品回收率达到 25%，废旧纺织品再生纤维产量达到 200 万吨；到 2030 年，回收率提升至 30%，再生纤维产量达到 300 万吨。
- 2023 年，工业和信息化部等四部门联合发布了《**纺织工业提质升级实施方案（2023—2025 年）**》。该方案将推动纺织行业绿色循环体系建设作为重点任务，提出了多项政策措施，包括制定循环纺织品标签标准、通过绿色设计降低废旧纺织品收集与分类难度，以及制定循环纤维质量标准。同时，该方案鼓励相关机构制定循环纺织品发展目标及路线图，研究量化循环纺织品资源价值的方法，并扩大再生纺织品的应用领域。
- 自 2009 年以来，一系列规范健康循环纺织行业及市场的行为准则已陆续制定。《**再加工纤维质量行为规范（试行）**》（原中国纤维检验局，2009）明确规定，禁止重复使用和回收来自危险和/或

⁴² 参见 http://paper.cc.cn/pad/content/202308/22/content_279701.html。

有毒来源的废旧纺织品，此类来源包括医院、殡葬用品相关场所、疫区及其他类似场所。2016 年，《纤维制品质量监督管理办法》明确禁止废纤维及再生纤维用于医用及婴幼儿产品。2019 年，工业和信息化部修订《循环再利用化学纤维（涤纶）行业规范条件》，有效推动纺织回收行业绿色发展。2021 年，国务院印发《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》，对纺织行业绿色转型和循环经济物流体系建设作出顶层设计。2022 年，国家发展改革委、商务部联合发布《鼓励外商投资产业目录（2022 年版）》，废旧纺织品分选、回收、利用入选。

为确保政策落地，国家及行业技术机构联合制定并发布了一系列技术标准，主要包括：

- **产品技术标准：**明确废旧纺织品及再生纤维产品的技术要求，涵盖强制性国家标准《絮用纤维制品通用技术要求》（GB 18383—2007）、推荐性国家标准《再加工纤维基本安全技术要求》（GB/T 32479—2016），以及行业标准《废旧纺织品再加工短纤维》（FZ/T 07002—2018）和《绿色设计产品评价技术规范 再生涤纶》（FZ/T 07015—2021）等。
- **回收体系标准：**为纺织废弃物回收奠定基础，如推荐性国家标准《废旧纺织品分类与代码》（GB/T 38923—2020）、《废旧纺织品回收技术规范》（GB/T 38926—2020）和《废旧纺织品再生利用技术规范》（GB/T 39781—2021）。
- **监管与识别标准：**包括强制性国家标准《国家纺织产品基本安全技术规范》（GB 18401—2010），以及推荐性国家标准《循环再利用聚酯（PET）纤维鉴别方法》（GB/T 39026—2020）等。

总体来看，中国政府积极推动一系列政策与标准的实施，致力于构建纺织行业绿色、低碳、循环发展的路径，既保障国家生态与资源安全，也助力生态文明建设目标的实现。鉴于中国在纺织制造与出口领域的领先地位，中国践行的循环发展模式有望提升全球纺织品质量，促进成本效益的可持续发展，建立二次利用市场，发展本地修复与转售等配套产业。这对于推动地方产业链的包容性发展及绿色转型具有重要意义。

（二）纺织行业构建循环经济面临的主要挑战

纺织行业向循环经济转型过程中，在再利用、回收、材料投入质量以及系统性层面均面临诸多挑战。

1. 减少材料消费难度较大

在减少纺织品消费方面，**行为与经济层面**均存在显著障碍。当前，消费者行为深受以**潮流驱动**、鼓励过度消费的商业模式影响，导致大量服装**过早被淘汰**。同时，受**材料质量下降**和以速度与成本为导向的设计选择影响，**服装使用寿命普遍缩短**，耐用性明显降低。**本地修补服务的衰落**及消费者修补技能的退化，进一步限制了产品延长使用周期的可能性。维修往往被视为既麻烦又成本高昂的选择，尤其是在替代产品廉价且易得的情况下。上述因素共同作用，使线性消费模式在系统层面被固化，严重阻碍了“适度消费”和“循环利用”等理念在纺织行业的落地与推广（Circular Economy, 2024; Ellen MacArthur Foundation, 2017）。

2. 回收体系发展布局不均衡

目前，中国尚未建立强制性的废旧纺织品分类回收系统，但已初步建立了线上线下相结合的废旧纺织品收集体系（即融合网络平台与实体收集点的混合模式）。然而，线上收集服务和线下收集点主要集中在一二线城市，地理覆盖范围存在明显不均衡。相比金属等传统可回收物，废旧纺织品的**经济价值相对较低**，回收便利性不足时，公众参与废弃物分类的积极性较低，许多废旧纺织品长期闲置于家庭中未被利用。此外，大多数回收企业为小微企业或个体户，面临规模小、分布分散且能力薄弱等问题，这与其他回收行业类似，表明纺织品整体回收能力和体系仍需大幅提升和完善。

在欧盟，强制性分类回收预计将增加废旧纺织品的收集量，但**平均质量将下降**——部分归咎于低价值的快时尚产品及类似 Vinted 等点对点二手交易平台⁴³，它们使高品质物品流失于正规回收渠道之外。这**威胁**了依赖二手销售收益的分拣系统的**经济可行性**。由于**国内需求有限**（部分原因是快时尚产品价格低廉），**本地再利用**受限，同时，大量收集的纺织品被**出口再利用**，但其**最终去向往往不明**，可能会流入缺乏完善废弃物管理基础设施的国家。这削弱了循环经济的闭环效应，并将环境及社会负担从全球北方转移至全球南方（EEA，2024b、2025；Wagner 等，2022）。

3. 回收行业整体技术水平偏低

服装在设计阶段通常**并未将回收纳入考量**，**后端消费废旧纺织品种类繁杂**，导致分拣复杂且主要依赖人工完成，成本高且耗时长。**自动化分拣技术尚未成熟**，服装标签信息常有误，**材料成分有时不明确**。此外，**纤维混纺、化学整理、染色及涂层**等工艺进一步增加了回收难度，降低了再生产品质量。**目前，只有机械回收才能实现工业规模运作**，但回收物中可能含有**有害物质**，且**去除手段有限**。“**纤维到纤维**”的机械回收仅占较小比例，主要利用较为单一的后端工业废料，但其**过程会缩短纤维长度、降低产品质量**。相比之下，**解聚技术**虽具备生产与原生纤维相近质量纤维的潜力，但仍处于研发或规模化阶段（Huygens 等，2023；Löw 等，2024；Klinge 等，ongoing）。

中国许多创新型企业**在成功实现高品质“纤维到纤维”回收方面取得了进展**。然而，回收行业的**平均技术水平不高**，主要依赖简单、低附加值的物理回收技术。高附加值的化学回收技术尚未实现大规模工业应用，无法满足对纺织品进行高质量回收准备时日益增长的分拣需求。此外，超过 85% 的废旧纺织品为混纺面料（如棉、麻、毛、涤纶、腈纶、氨纶），价值低且分离困难，且通常经过染色和加工处理，增加了纤维分离与脱色的技术难度。同时，消费者对再生纺织品质量的认知仍存在较大差异。出于卫生等方面的顾虑，大部分消费者倾向于选择和使用原生材料制品，这在一定程度上削弱了再生纺织品的市场竞争力。

4. 循环纺织品制造困难，标准体系亟须完善

由于原生纤维价格较低、供应需求**波动大**，以及缺乏针对再生纤维使用或可回收设计的监管或财政激励措施（目前大部分再生聚酯纤维来源于 **PET 瓶**），**使用再生纤维在经济上尚不具备可行性**。因廉价快时尚纺织品兴起、私人二手交易市场扩大以及欧盟强制分类回收导致废旧纺织品平均质量下降，分拣设施的经济效益（主要依赖二手销售）持续面临挑战。此外，纺织品价值链中，分拣商、回收商与纱线生产商之间**缺乏高效整合**，难以通过“规模经济”降低成本（Deckers 等，2024；Löw 等，2024；Textile Exchange，2024；Klinge 等，ongoing）。

中国已制定并修订《废旧纺织品分类与代码》（GB/T 38923—2020）等废旧纺织品回收利用相关标准，浙江省等地也发布了《捐赠用纺织品回收技术规范》等地方标准，废旧纺织品整体标准规范体系已完成初步搭建，但废旧纺织品成分检测、回收分拣、标识、交易等系列标准规范仍待补充完善。2017 年，国内首项纺织绿色产品评价推荐性国家标准《绿色产品评价 纺织产品》（GB/T 35611—2017）发布，开始对纺织品实施国推绿色产品认证，但并不适用于回收、再生材料。目前，国内尚未建立再生材料、再加工纤维溯源国家标准或认证体系，行业依赖海外认证机构进行管理。

（三）构建纺织行业循环经济的建议

若缺乏以结果为导向的监管与协作措施，当前纺织品的生产与消费趋势将持续推升废弃物总量并对环境造成危害。应制定系统性战略，在最大限度减少环境影响和资源消耗的同时，确保纺织行业的

⁴³ Vinted 是一个在线平台，用户可以在这里购买、出售或交换二手服装、鞋子和配饰，主要面向希望轻松安全地交易二手时装的个人，参见：<https://www.vinted.de/>。

竞争力和经济韧性⁴⁴。针对中国纺织品领域的环境影响，现提出以下建议：

1. 推广循环设计并改善循环纺织品生产的市场环境，以应对快时尚模式

- 政策制定者应**支持制定产品设计标准**，提升市场流通纺织品的质量与循环性⁴⁵。相关标准应基于对生命周期影响的全面评估，并涵盖纺织品的**耐用性、可修复性与可回收性**（如采用单一材料或限制有害物质），同时考虑设定**再生材料最低含量要求**。

为改善**循环纺织品和循环商业模式**的市场条件——同时确保高质量、循环纺织品的可获得性和可负担性——应运用经济手段提高循环商业模式相对于线性“获取—制造—废弃”模式的竞争力。此类机制的核心目标在于将纺织品生产过程中产生的环境外部成本内部化，并为循环纺织品市场创造公平竞争环境。合适的机制可包括对践行绿色生产的企业给予税收激励、对符合生态设计的产品予以奖励、探索建立中国纺织品生产者责任延伸（EPR）制度试点工作、为循环制造能力投资提供补贴或低息贷款支持、对符合循环生产要求的产品和技术实施优惠关税或零关税。

- 为激励循环纺织品生产，应实施**需求侧措施**，提升对循环纺织品的需求。一是在**绿色公共采购和生态标签**中引入并强化循环性标准，例如，可在学校、医院、政府等机构的纺织品采购中试点推行关于耐用性、可修复性、可回收性及再生材料使用比例的标准。二是应开展**消费者意识计划**，向公众宣传可持续消费的重要性与益处，并重点关注消费与资源使用的脱钩（即减少总体材料消耗，转向高质量、可持续的消费）。三是充分利用数字经济优势，结合线上线下模式规范国内二手市场发展，培育二手商品交易平台，使个人和家庭能够最大化发挥闲置物品的使用价值。
- 化学品相关导向应遵循《全球化学品框架》（GFC）的目标与指标（ICCM5, 2023b）。建议制定并达成强制性路线图或行动计划，使纺织行业所有相关主体能够以结果和影响为导向开展协作，最好由政府部门进行总体监督与协调。有必要提高纺织价值链中有害化学品使用的透明度，如采用数字产品护照。应尽可能避免并逐步淘汰有害物质群组（如 PFAS），对于目前仍必不可少且缺乏替代品的应用场景，必须实施严格的使用和回收流控制措施；对于对社会至关重要且尚无合适替代品的用途，则应开展针对性研究。

2. 建设并扩大收集与分拣能力，整合数字化解决方案

- 应扩大纺织品废弃物**收集基础设施**规模，确保为“纤维到纤维”回收提供充足且优质的原料。在中国，应进一步加强生活垃圾分类实效，增加专用废旧纺织品回收箱的布设，并引导回收企业向三四线城市拓展业务，从源头提升废旧纺织品收集水平。
- 为提高分拣及最终回收效率，从人工分拣转向自动化纺织品分拣及高效预处理工艺至关重要。应重点**投资自动化分拣设施**（如采用基于近红外的先进技术），并通过**金融工具**（如投资补贴、税收优惠或折旧方案）予以支持。按纤维成分进行规模化自动分拣是实现高级材料（特别是“纤维到纤维”）回收的关键，应配套可有效去除有害化学物质及其他杂质的净化技术。当前背景下，应充分发挥中国再生资源开发集团有限公司等行业巨头的引领示范作用，战略性建设废旧纺织品分拣中心，提升回收分拣精准度。结合“无废城市”建设，建立纺织品独立的垃圾分类体系，系统性提升

⁴⁴ 联合国环境规划署 2023 年发布的《纺织价值链的可持续性和循环性：全球路线图》以《全球盘点报告》为基础，概述了不同利益相关者群体如何单独或集体地为建设循环型纺织业做出贡献。它确定了三个相互关联的总体优先事项，即转变消费模式、改进实践、基础设施投资，并将其细分为九个可操作的组成部分。针对利益相关者的附件（包括为政策制定者量身定制的附件）概述了与这些组成部分相关的关键行动（2025c），可通过 <https://www.unep.org/resources/publication/sustainability-and-circularity-textile-value-chain-global-roadmap> 在线查阅，最后访问日期：2025 年 7 月 22 日。联合国环境规划署《纺织价值链的可持续性与循环性：全球路线图》的简短摘要见附录 P。

⁴⁵ 例如，正在实施的欧盟《可持续产品生态设计法规》（ESPR）中也有这样的设想。更多详情请参阅联合研究委员会正在进行的纺织品筹备研究。可通过 <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/467/home> 在线查阅，最后访问日期：2025 年 5 月 5 日。

废旧纺织品的维修再用和再利用价值，形成可推广的高效回收与精细分拣模式，推动建立政府引导、市场运作、公众广泛参与的废旧纺织品回收体系。

- **数字产品护照（DPP）**或数字产品信息系统（DPIS）必须包含分拣商和回收商所需信息（如材料成分），以提升回收价值链的效率和经济效益。集成数字识别技术可有效提高分拣效率与可追溯性，在这一过程中，关键是要尽可能**简化**信息存储与共享流程并**降低成本**，确保所有利益相关方都能轻松操作。同时，数字系统开发应确保与其他市场的互操作性，以此促进贸易的顺利开展。
- 针对当前纺织品回收经济可行性不足的问题，亟须快速实施**纺织品生产者责任延伸（EPR）制度**。该制度要求生产者承担产品全生命周期成本，从而为收集、分拣和回收提供资金保障。其能否有效发挥作用，取决于是否明确界定各方职责、实现费用生态调节、构建强有力的独立监管体系，以及避免出现“搭便车”行为。制度设计方面，必须**涵盖进口商品**，以确保制度切实有效；在实施过程中，应最大限度精简行政程序，同时确保各利益相关方之间能够开展有力的协调。

3. 推进再利用准备工作，制定标准并扩大各类纺织品回收技术应用范围

- **相较于回收，再利用应始终作为优先选项**。可通过建立纺织品质量标准，并开发识别优质纺织品（适合直接再利用）的技术与专业技能，实现有效的再利用准备工作。
- 纺织品回收面临诸多挑战，包括技术障碍和基础设施缺失。因此，必须**发展并扩大多样化的纺织品回收技术**，且**不应预先限定**单一技术路线。应根据原料特性、质量要求和最终用途，选择适合的回收工艺。
- 回收工艺的选择与推广应**基于技术、经济和环境三重标准**，重点推进具有前景的“纤维到纤维”回收技术（如解聚工艺）。除闭环回收外，若开环工艺（将废旧纺织品转化为其他产品）能比新服装带来更大环境经济效益，也应予以认可。
- **完善废旧纺织品回收行业标准体系**，健全化学法回收废旧纺织品的产品质量标准，破解再生制品下游市场瓶颈。推进废旧纺织品回收、消毒、分拣及综合利用等技术标准与规范制定，为行业发展提供指引。修订更新二手服装清洗消毒标准，强化卫生防疫监管，完善二手服装市场交易管理制度。
- 加快探索建立**符合国际规范的再生纤维信息化追溯体系**，通过质量追溯、认证等手段提升再生纺织品质量管理水平。

4. 实施纺织品废弃物出口监管制度

- 必须严格限制向无法证明具备按废弃物等级制度妥善处理纺织品能力的国家出口纺织品废弃物。制定“废弃物终结”标准对防范欺诈行为至关重要。
- 应支持**进口国建设环境友好型回收及最终处理基础设施**。
- **“废弃物终结”标准**极为必要，能够明确区分可再利用二手纺织品与废弃物。该标准应实现国际统一。
- 积极参与联合国环境规划署（UNEP）牵头的全球纺织品政策对话，推动建立全球纺织价值链政策协调机制⁴⁶。

5. 分阶段实施再生材料含量配额制度

- 应通过**财政激励和经济手段**提升纺织品中的再生材料含量。未来，当高质量、无污染且价格具有竞争力的再生纤维供应充足时，**再生材料含量配额**可成为有效补充。配额标准不应一刀切，而应根据**纤维类型**、纺织品功能及回收工艺差异化制定。相关要求应坚持市场导向，并尽可能简化行政程序。

⁴⁶ 参见：<https://buildingcircularity.org/global-policy-dialogue-for-textiles/>。

- 为保护 PET 闭环回收体系，**PET 纤维不应计入再生配额统计**（但仍允许使用来自瓶片的 PET 纤维）。
- 强制性配额必须**可追溯、可监测，以避免市场混乱**。对于**进口纺织品**应彻底检查，而不应接受自我声明和认证。如果再生纤维含量无法在产品层面可靠追踪，设定和监测特定行业的再生材料含量目标可以作为一个过渡解决方案。

6. 跨领域措施

- 加大对“循环经济关键技术与装备”国家重点**研发计划**的支持力度，促进废旧纺织品回收技术的发展。加快废旧纺织品化学回收方法的研发，旨在通过化学工艺实现再生纤维的大规模、低成本生产。同时，加速突破废旧纺织品高值化利用关键技术及其产业化发展，重点完善废旧纺织品纤维分离、脱色、褪色技术⁴⁷，再生纤维追溯技术以及污染物去除技术。
- 加强废旧军装、校服、警服、工作服等标准化服装的回收利用工作，组织有资质的企业开展废旧制服回收试点，提高典型废旧纺织品的高值化利用率。
- 必须加强循环经济、循环纺织品设计和数字技能方面**专业人才的培养**。
- 加强纺织价值链上所有利益相关方之间的协调与对话，包括**加强政策制定者、品牌商和其他关键利益相关方**之间就现存差距开展合作⁴⁸。

⁴⁷ 脱色和褪色这两个概念有时可以互换，因为两者的目的类似，都是为了去除不需要的颜色。但是，脱色通常指处理液体（如废水），而褪色则是从纺织品本身去除颜色。脱色处理的常用方法包括化学氧化、吸附、生物处理及高级过滤技术；而纺织品的褪色则普遍采用化学剥离、漂白或酶处理等工艺。

⁴⁸ 例如《纺织品价值链中的可持续性和循环性：全球路线图》（2025c），以及联合国环境规划署（UNEP）主持的全球政策对话系列《纺织品政策行动——由 UNEP 主持的对话系列》，可通过 <https://buildingcircularity.org/global-policy-dialogue-for-textiles/> 在线获取，最后访问日期：2025 年 7 月 22 日。

四、 化工行业的循环经济

化工行业是全球经济的基础产业，对全球 GDP 的贡献约达 7%（International Council of Chemical Associations，2019）。但是，该行业也是工业碳排放的主要来源，2022 年，基础化学品生产产生的直接排放量约为 9.35 亿吨（International Energy Agency，2023）。在全球实现碳中和的迫切需求驱动下，循环经济已成为解决资源短缺、缓解环境压力和实现可持续发展的核心。欧盟正引领这一转变，将循环经济原则纳入监管体系，推动化工等重点行业向资源利用更高效、产品寿命更长且废物产生更少的商业模式转型。本章将围绕塑料领域介绍德国化工行业的循环经济实践，以及中国化工行业的循环经济要求。

（一）德国化工行业的循环实践——迈向“去化石化”原材料的转型

1. 背景：塑料循环危机

德国在全球温室气体减排方面发挥着引领作用，并承诺在 2045 年前实现气候中和目标。作为全球领先的工业强国，德国希望通过率先推动关键产业转型，不仅向世界释放积极信号，也在战略上获取先发优势。在此背景下，由于化工行业不仅依赖能源，且其资源基础仍主要来自化石资源，因此被视为关键行业之一。鉴于全球必须大幅减少化石资源的开采和使用，化工行业如何实现原料结构多元化并逐渐转向非化石可持续替代品，已成为核心战略议题。

然而，德国化工行业正面临严峻的结构性危机，具体表现为关键市场需求陷入停滞、全球产能出现过剩、存在结构性成本劣势，以及面临高昂的转型成本。这种局面使得探索既经济可行又生态可持续的新商业模式变得愈发困难⁴⁹。例如，低成本聚合物的进口量不断增加，加剧了德国本土企业的经营压力。

德国联邦政府联合协议和《国家循环经济战略》已明确化工行业在国家经济、气候和环保目标中的重要地位。特别是在塑料领域，以下几方面将对德国化工行业产生深远影响：

- 受人口结构变化及国家和家庭消费优先级转变影响，消费者行为正在发生改变。
- 随着产品可回收性持续提升，机械回收规模不断扩大，单体和聚合物的原始产量将逐步下降。
- 化石原料在单体生产中的地位将被化学回收塑料、生物基和合成材料所替代。

在此背景下，当前循环经济发展中的一个重点方向是：**将化学回收作为机械回收之外的补充路径，同时继续优先发展机械回收**。化学回收涵盖多种工艺，可将塑料废弃物转化为石化行业的原料。这类原料可用于生产质量接近原材料的单体和聚合物，且不含添加剂、染料以及来自上一个生命周期阶段的污染物。塑料中常含有阻燃剂等有害添加剂，造成回收利用困难，使得再生塑料的应用范围受到严重限制。在当前的材料流中，化学回收技术之所以受到特别关注，正是因为它为从这些（受污染或复合的）废料中提取塑料生产所需的基础化合物提供了可能性⁵⁰。**与机械回收相比，化学回收虽然能耗更高，但能避免材料品质下降和价值递减的问题。**

目前，德国 90% 以上的塑料废弃物已不采取填埋处理，其中约 40% 被回收，其余多为热回收（如焚烧）。受限于对塑料强度、柔韧性、半渗透性或不渗透性、阻燃性等功能性的要求，现代塑料常含多种添加剂或为复合材料，这使得并非所有类型的塑料都能以机械方式回收利用，**典型案例如多层包装材料**。在此背景下，化学回收技术的规模化应用，将显著推动化工行业循环经济的发展，也有望构建以本国产业资源为基础的“去化石化”原材料体系。例如，**合成原料的能耗远高于化学回收，投资成本也更高**⁵¹。

⁴⁹ 参见 Sievering 2024 年的相关研究。

⁵⁰ 参见弗劳恩霍夫环境、安全与能源技术研究所 2025 年的相关研究。

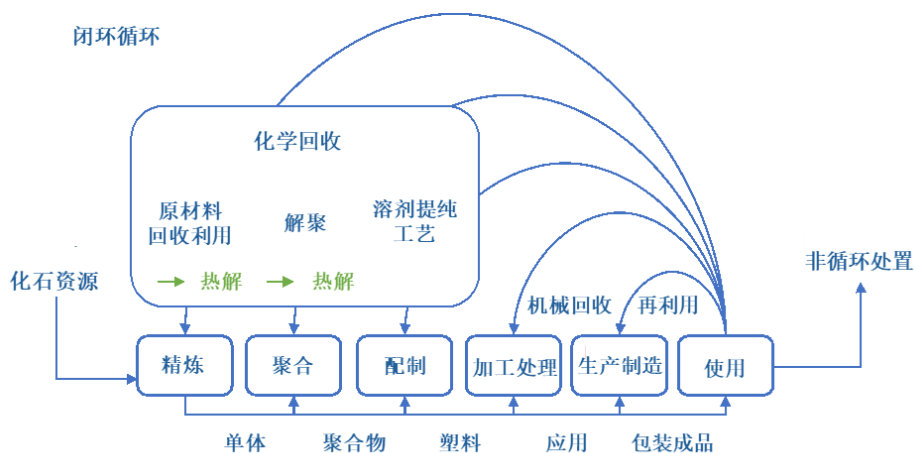
⁵¹ 参见 Hermanns 等人 2023 年的相关研究。

因此，为调动私营部门的投资积极性，德国《国家循环经济战略》重点推动绿色引领市场建设，例如通过制定国家和欧盟层面的最低回收比例要求，创造对高质量塑料再生料的稳定市场需求。特别是对于与食品接触的包装材料，化学回收是当前唯一可行的生产路径。

化学回收虽然有巨大潜力，但也伴随着一定风险，主要体现在高能耗，以及对机械回收可能产生的“挤出效应”⁵²。因此，对于机械回收和化学回收两种回收方式，应采取相互补充、差异化并以市场需求为导向的策略，有助于最大化主要物质流的循环利用水平。因此，亟须从环境表现、经济效益、监管框架和未来市场发展的角度，对相关技术开展系统的差异化评估。

2. 化学回收是塑料循环解决方案的组成部分

化学回收并不特指某一项技术，而是一个统称，涵盖了所有既不单纯依赖物理或材料处理过程，又未与空气中的氧气发生完全反应（如燃烧）的化学转化过程的回收技术⁵³。这些技术包括解聚、热解、催化裂解或加氢裂解、气化等。不同技术适用于处理不同类型的塑料废物流，例如，解聚技术适用于处理用于制造尼龙的聚酰胺类塑料废料。图 5 展示了不同化学回收技术在材料闭环循环层级中的贡献。



来源：In4Climate.NRW，2020

图 5：不同化学回收技术在材料闭环循环层级中的贡献

德国联邦环境署（UBA）委托的生命周期评价研究表明，在工艺技术优化、能源集成的前提下，化学回收“能够为循环经济带来积极贡献”⁵⁴。与焚烧（当前德国仍占主导地位的处理方式）相比，化学回收可有效减少温室气体排放和资源消耗。根据伍珀塔尔研究所（Wuppertal Institute）的分析结果，相较于垃圾焚烧，在不同热解工艺下，化学回收可降低约 46% 的碳排放⁵⁵。然而，具体的环境影响取决于多个因素，包括原料选择、在化工生产流程中的整合程度，以及关于替代目前常见水泥窑协同焚烧塑料废物所使用材料的相关假设。考虑到某些化学回收过程的高能耗，未来仍需提升可再生能源的供给，以优化其生态足迹⁵⁶。

3. 化学回收亟须建立可靠的政策框架

⁵² “挤出效应”是指化学回收法可能会挤占机械回收法的原料来源或投资，从而降低机械回收的效率。

⁵³ 参见 Acatech 和 Systemiq2021 年的相关研究。

⁵⁴ 参见 Quicker 和 Seitz2024 年的相关研究。

⁵⁵ 参见 Meys 等人 2022 年的相关研究。

⁵⁶ 参见 Quicker 和 Seitz2024 年的相关研究。

所选参数及其对化学回收生态评估范围的影响，凸显出建立明确的政策框架对于推动该技术在欧洲（特别是德国）化工行业的发展具有重要意义。考虑到化学回收本身，以及为满足产品质量要求（如蒸汽裂解处理过程）所需的高额投资，目前亟须提供长期稳定的政策预期。其中的一个核心因素是：**化学回收过程能在多大程度上计入强制性回收配额。**

同时，要**建立可行的化学回收商业模式，还需确保回收产品有稳定的市场需求**，以便将当前明显高于传统的基于化石原料的线性加工的生产成本传导至下游价值链。为此，欧盟委员会正致力于推动绿色引领市场的发展，如设定最低回收含量比例。例如，未来在饮料瓶的塑料中必须有 25% 的材料来自（机械）回收。目前，车辆、纺织品和建筑等领域也正在制定类似的要求。

将化学回收产生的再生材料纳入最低回收配额体系的核心前提是实施质量平衡核算。考虑到化学回收材料的供应量无法达到蒸汽裂解装置的规模要求（年处理能力为 400 万~500 万吨碳氢化合物），在可预见的未来，无法实现在蒸汽裂解装置中 100% 使用化学回收材料，在实际的应用组合中，回收材料只能占所需材料总量的小部分。因此，需要采用虚拟的质量平衡方式，释放化学回收的潜力。与机械回收不同，化学回收难以溯源至产品中的聚合物或单体含量，无法验证所使用的塑料中再生材料的实际比例。为了确保投资规划的确定性，同时防止“漂绿”或欺诈行为，有必要制定明确且可验证的规则，规定必须在哪些环节验证塑料废弃物的实际回收行为⁵⁷。例如，在实现强制性再生材料的目标比例时，监管体系应明确规定不同回收技术（机械、解聚、溶剂提纯、热解/气化等）所允许计入的再生材料含量的最低比例。这些标准也应适用于自愿回收声明，特别是在热解和气化工艺方面，要加强限制，防止“漂绿”风险。

数字产品护照（Digital product passport）将有望成为保障整个价值链透明性的关键工具，每个产品在投放至欧洲市场前，均需将其关键信息（如材料组成、再生材料含量和可回收性等）上传至安全数据平台。未来，这些数据将助力通过化学回收的方式，推动化工行业实现“去石化”目标。预计到 2030 年，若相关监管框架能够尽快落地，欧洲化工行业将总计投资 80 亿欧元用于化学回收设施建设，且每年预计产出 280 万吨高质量再生材料⁵⁸。

为了推动化学回收技术的发展，除了需要政策和监管的支持外，从循环经济可持续性的角度来看，**还应注意，只有无法用于机械回收的材料（环境影响显著较低）才能作为化学回收技术的输入原料。**必须通过明确的指引来防止两种回收方式之间的“挤出效应”（cannibalization），同时，不得延缓产品机械可回收性的进一步开发，尤其需要加大对分拣能力建设的投资力度。根据《欧盟包装指令》的要求，所有包装材料应在 2030 年前实现完全可回收，因此需统筹规划化学回收设施的产能。

在这一背景下，吸取过往经验教训（如 21 世纪初德国垃圾焚烧装置处理能力过剩产生的“虹吸效应”），建立“化学回收真实场景试验平台”（real-world laboratories）是一种技术和管理层面的可行路径。这类实验室可能通过获得针对建设和运行此类基础设施的、在空间和时间范围均设限的特别许可，更高效、快速地识别相关技术潜力与风险。

4. 概念验证：Carbolic—多层塑料薄膜解聚

如前所述，目前的大规模投资通常受限于明确的政策框架。然而，一些创新型初创企业已通过示范项目验证了利用多种化学技术回收塑料废弃物的可行性，同时也揭示了相关技术的局限性。位于德国北莱茵-威斯特法伦州小城雷姆沙伊德（Remscheid）的 CARBOLIQ 公司，基于现有工业装备技术开发了采用催化摩擦化学转化（CTC）工艺的直接油转化装置。该装置的技术成熟度已达到 7~8 级，能够在工业规模上将受污染的塑料废弃物（如生活垃圾或包装废弃物）转化为液体资源，重新回流至现有材料循环体系。其产品既可作为化学工业原料，也可用于生产先进的环保燃料。

CARBOLIQ 采用单段液化工艺处理固体烃类物质，结合热力、催化与机械化学（摩擦）机制的协

⁵⁷ 参见 Plastics Europe 2024 年的相关研究。

⁵⁸ 参见 Ibid 的相关研究。

同作用，适用于多类原料。整个过程的能量完全通过摩擦输入，常压下在 400°C 以内操作，仍可获得较高的产油率。处理塑料废弃物的过程中气体产量较少，固体残留物可进一步回收或妥善处置。该技术目前已在当地垃圾处理中心进行工业级示范应用，为本地化废弃物管理提供了分散化的基础设施，服务范围通常覆盖至市政垃圾焚烧厂的辐射半径⁵⁹，可与垃圾焚烧厂联动。相关设备采用模块化设计，单模块处理能力为 600~1000 千克/小时，每小时产出 350~500 千克液态产物。4 个模块由一支团队操作，运营成本预计低于 400 欧元/吨（按当前德国价格测算）。整套设备年处理能力为 1 万吨，总投资约 1500 万欧元⁶⁰。

5. 后续行动：实现闭环体系规模化应用

化学回收是化工行业迈向可持续、气候中和型循环经济的重要组成部分。长期来看，将涉及价值链的深度整合：为获得“去化石化”的原材料，化工行业不仅需要开发新的原料销售策略，还必须制定在原材料使用寿命结束时将其回收的商业模式。该模式具有较高的复杂性，因此依赖数字化管理手段显得至关重要，如借助数字化手段管理塑料等产品的使用情况和流向。

当前，推动化工行业进行系统转型的过程中，面临的核心挑战是巨大的时间压力与日益加剧的国际竞争态势⁶¹，必须在稳健的环境和经济影响评估基础上，采取多元化创新手段，统筹考量潜在风险并做好市场预判。德国学界普遍认为，化学回收在推动经济去化石化、减少初级资源消耗方面发挥着重要作用，但也明确指出，化学回收只是整体解决方案中的一部分，应排在废弃物管理层级的较低位置，如排在预防、再使用和机械回收之后。未来，除了构建化工行业的碳循环路径外，还应考虑互补方案，如碳捕集与利用（CCU），以闭合二氧化碳循环。

未来。来自可持续途径的生物基原料将持续面临供应局限性，并受到其他行业（如食品安全体系）高度竞争的影响。然而，并不应全盘否定生物质原料的应用价值，而应将其视为具有较高可持续性风险的路径，优先考虑选用农业废弃物等未被其他行业或应用领域利用的生物质残余物。

（二）循环经济助推化工生产绿色增效：中国案例

1. 中国化工行业绿色化要求：政策视角

作为全球最大的化学品生产和消费国之一，中国的化工行业面临着碳排放大、能源强度高、资源利用效率相对较低的挑战。该行业的二氧化碳排放量约占中国总排放量的 13%，这凸显了它在实现国家碳达峰目标中的关键作用（石油和化学工业规划院，2022）。中国的化工行业目前仍然以线性经济模式为主导，在原材料回收和副产品及工业残渣利用方面存在明显不足。

除了针对各行业的一般循环经济要求外，中国还为化工行业制定了一系列政策文件，提出了更具针对性的措施。例如：

- 《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》（工业和信息化部等，2022）和《石化化工行业稳增长工作方案》（工业和信息化部等，2023）明确提出要促进全产业链碳排放减排，加强副产品的利用，并推动相关产业的协同发展。这些政策为将循环经济和绿色发展高层次战略转化为该行业可衡量的具体行动提供了实质性的工具。

⁵⁹ 这里指市政垃圾焚烧厂的**服务半径**，即其收集投入物料（垃圾）和分发产出物（如能源、灰渣等）的地理覆盖区域。

⁶⁰ 参见 Carboliq 公司 2024 年的相关研究。

⁶¹ 具有里程碑意义的《德拉吉报告》针对欧盟竞争力问题，清晰阐述了欧盟能源密集型产业（包括化工行业）竞争力衰退的根本原因。该报告指出，欧盟能源密集型产业竞争力主要面临以下挑战：相较于全球竞争者更高的能源价格与排放成本、脱碳转型所需的巨额投资需求、过于复杂的监管体系以及不公平的行业竞争环境——包括绿色产品市场受限和循环经济潜力未充分释放。参见：https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/draghi-report_en#paragraph_47059（B 部分：深度分析与建议），访问时间：2025 年 8 月 27 日。

- 自 2022 年以来，工业和信息化部多次强调推进工业副产品（如磷石膏）高值化利用的必要性。在上述政策的基础上，还联合其他部门，发布了更多行业专项文件，包括《**推进磷资源高效高值利用实施方案**》（工业和信息化部等，2023）和《**磷石膏综合利用行动方案**》（工业和信息化部等，2024），推动化工行业与建材、冶金等行业的协同发展，旨在建立资源循环的闭环系统。
- 欧盟和中国都非常重视推动化工行业的绿色转型和循环经济发展，但在政策架构和实施路径上有显著差异（见图 3）。欧盟优先关注全生命周期管理，重点在于绿色产品设计、通过提高再生材料使用和生物基替代品实现原材料替代、提高生产中的资源利用效率，以及确保化学品使用安全性和预防废弃物产生。欧盟旨在借助严格的法规和市场机制，减少化石能源和初级原材料消耗，同时推动全产业链开展合作。相比之下，中国强调节能降碳、综合资源利用和清洁生产，将顶层规划与行业专项战略相结合。其方法注重优化和升级传统工艺，鼓励企业进行节能改造，提高工业副产品的资源利用率，并推动工业园区的循环转型，从而提高整个行业的资源效率和环境表现。

2. 循环经济在中国化工行业中的意义

在中国化工行业实施循环经济，不仅有助于应对关键的环境和气候挑战，为可持续发展创造机会，还完全契合国家推动经济模式向更可持续转型、满足更严格环保法规要求的优先任务。

- **解决环境恶化和资源匮乏问题。**以大规模生产、大规模消费和大规模废弃为特点的传统线性模式给中国化工行业造成了巨大的环境负担，其能源和物料密集型工艺会产生巨大的碳排放。例如，中国已累计倾倒超过 7 亿吨磷石膏，每年新增约 8000 万吨（白春华等，2025）。这种情况对水、空气和土地造成了较高的环境风险，与此同时，中国还面临磷资源匮乏的挑战。
- **提高经济效益并促进创新。**向循环经济转型为节约成本提供了机会，企业可通过减少废弃物、提高资源效率，并围绕资源回收和再利用开发新商业模式等方式实现这一目标。此外，化工行业中的循环实践还可通过重新加工废弃材料以及发展产品租赁和维护等新服务，创造新的收入来源。例如，中国民营化工企业**福华通达化学股份公司**（以下简称福华化学）在过去几十年里努力建设并从中受益，建立了一个循环化工生产系统。通过技术创新和多元化产品生产，福华化学成功提升了资源利用效率（例如，工业磷的利用率从 67.79% 提高到 99.80%，氯的利用率从 87.66% 提高到 92.41%，钠的利用率超过 96%）。同时，福华化学通过发展循环经济模式，显著减少了废物产生，为废物处置节省了资金并避免了高环境污染风险。**附录 C** 详细介绍了福华化学在发展循环经济方面的实践及其经济和环境效益。
- **建设更绿色、更健康的社会。**减少污染并促进化工行业的可持续实践，能够显著改善公共健康和生态系统质量，尤其是那些受到化学废弃物和排放影响的生态系统。世界经济论坛指出，向循环经济转型不仅能创造新的就业机会，还能培养资源回收、绿色技术和可持续制造领域的高技能劳动力。

总之，在中国化工行业推行循环经济，对于应对环境问题、提高资源安全、促进经济增长、推动创新，以及对接国家可持续发展目标至关重要。这一转变标志着向更绿色、更坚韧和更健康的未来迈进，对行业和国家整体都具有深远意义。

（三）化学方法推动循环经济的政策建议

1. 保障公平竞争环境

确保化学回收产生积极环境效益的前提，是避免其对塑料废弃物机械回收市场造成任何形式的“挤出效应”。德国的机械回收市场目前正面临巨大压力，部分原因是未来化学回收发展和定位的不确定性。因此，若需引入质量平衡机制（如在热解工艺中），应为机械回收制定类似的保障机制，以维持公平的竞争环境。德国《国家循环经济战略》提出的一个具体方案是引入“可交易的再生材料证书”，以降低使

用再生塑料的成本。

2. 避免路径依赖

化学回收有助于减少焚烧或填埋（在多数国家中）塑料废弃物的操作。然而，任何形式的公共支持（如研发资金、风险投资等）均应协调推进，同时综合考虑其潜在市场的实际规模及对当前回收流程的可能影响。从可持续性的角度来看，关键挑战在于如何将化学回收整合至塑料循环系统，而不降低源头减量、分类回收和高效使用塑料制品方面的激励力度。

3. 加强政策法规的制定并协调执行

为了促进相关国家（特别是中国）化工行业的循环经济发展，有必要通过在国家经济和发展计划中设定明确且具有约束力的目标（如强制使用循环材料）等方式加强法律框架，同时，采取有效措施（如生产者责任延伸制、生态设计等）、制定经济激励措施（如补贴、碳排放交易机制等）、出台政府主导的倡议（如政府主导的研发预算），并鼓励私营部门投资和参与循环创新。

五、 建设与实施循环经济中的性别问题

尽管循环经济在环境和经济维度常常成为关注焦点，但其社会维度，尤其是性别问题，却相对较少受到重视。随着各国致力于实现《2030 年可持续发展议程》的目标，包括可持续发展目标 5（性别平等）、目标 12（负责任消费和生产）和目标 13（气候行动），人们日益认识到需要将性别视角更系统地纳入循环经济转型之中。

以纺织行业为例，女性在该行业劳动力中占较大比例，尤其是在制造岗位。然而，在领导、设计和创新岗位上，女性的人数却相对不足。设计循环产品和管理循环流程将需要开展培训和技能再提升工作，这些举措应确保女性有平等的机会，并积极提高女性在领导岗位和技术岗位上的比例。

同样，在基层层面，许多非正式和社区驱动的循环经济活动，如二手纺织品市场、衣物修补和旧物改造，往往由女性主导。尽管这些领域对循环经济的贡献至关重要，但此类活动往往缺乏正式的认识和政策支持。将这些分散且具有性别特征的实践纳入循环经济规划，将有助于增强循环经济模式的社会包容性和本地相关性。

在化工行业中，性别问题又有所不同。在中国和欧洲，该行业仍由男性主导，尤其是在工程、监管和研发岗位上。然而，无论是在下游产业作为工人，还是作为消费者，女性往往更容易受到化学品暴露的影响。现有的监管框架很少考虑性别特定的健康风险，按性别分类的化学品暴露数据仍十分有限。更完善的数据和更具包容性的风险评估，将有助于提升政策和健康保护的有效性。

中国和欧盟都是《巴塞尔公约》《鹿特丹公约》和《斯德哥尔摩公约》等国际化学品与废物治理机制的积极参与者。尽管这些国际文书提及了弱势群体，但如果在执行过程中更明确地融入性别因素，可能进一步提升其成效。《中国妇女发展纲要（2021—2030 年）》以及欧盟《性别平等战略（2020—2025 年）》等国家和地区层面的战略文件，均为使循环经济政策更加关注性别问题提供了切入点。

总之，随着中国和欧洲循环经济议程的不断推进，将性别视角纳入不仅是公平的体现，对于构建更具韧性与包容性的经济转型模式而言，也至关重要。

六、 政策建议

在以线性经济为主导的模式下，原材料的高需求是引发气候危机、环境污染及生物多样性丧失的核心诱因。联合国环境规划署（UNEP，2024）指出：55%以上的温室气体排放及40%的颗粒物健康危害源自物料资源的开采加工。《2025 年全球循环率报告》最新数据显示，全球循环率已从 2024 年的 7.2% 降至 2025 年的 6.9%——这意味着全球经济体系输入的物料中仅有 6.9% 为再生材料。尽管再生材料利用有所提升，但资源开采量持续攀升、生物质消费扩张及库存积压加剧等挑战依然严峻。

向**循环经济转型**对于实现全球和国家层面的气候与环境目标**至关重要**，因为它能够减少对原级资源的依赖，降低相关排放，并缓解对生态系统和生物多样性的压力。在中国，循环经济的概念已受到多年关注。循环经济在中国战略上的重要性也体现在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中，其中设定了资源生产率、回收利用率和废物利用率等方面的目标和指标。此外，中国政府已实施了一系列政策，支持循环经济在应对气候变化和实现 2060 年碳中和目标中发挥作用。

尽管中国在循环经济领域取得显著进展，但规模化推广循环战略仍面临共性挑战（与欧盟等地区相似，详见附录 F）（Prakash 等，2023b）：

- 原生原材料价格低位运行，环境成本未充分内部化。
- 循环产品及工艺基础设施缺位。
- 循环经济研发投入不足。
- 价值链信息数据透明度缺失。
- 线性技术投资导致长期路径依赖。
- 循环产品标准体系尚未统一。

以下是针对阻碍中国及其他地区大规模实施循环经济的关键挑战所提出的总体政策建议。这些政策建议旨在为中国政府制定“十五五”规划以及修订《中华人民共和国循环经济促进法》提供参考。建议还强调了在中德环境伙伴关系框架下，中德两国在循环经济领域可进一步推进双边合作的重点领域。

（一）“十五五”期间，以高质量发展和“双碳”战略为指导，深化循环经济发展的顶层

设计并推动其有效实施

一是建议在“十五五”规划中设立“循环发展”总目标，将“提高资源产出率、提升再生材料占比、提高再生资源回收利用率”等具体指标纳入其中。例如，率先在消费品领域（如纺织品、电子消费品、家用电器等）和影响广泛的行业（如建筑、汽车、电池等）设定量化指标，并逐步考虑采用强制性或约束性指标，包括一次原材料消耗量、循环再生材料使用比例、废弃物产生率，以及使用更安全的高质量再生材料等。同时，在“十五五”规划中明确相关的社会经济指标，如循环经济技术和产业的投资额、国民生产总值中循环经济产业的占比、循环经济产业的就业人数等。

二是深化和扩大“无废城市”和“废旧物资循环利用体系重点建设城市”试点，推动固体废物管理与循环经济工作的协同。选择典型城市，开展循环经济基础设施集成示范和现代化、自动化、智能化分拣系统应用示范，如研究废旧纺织品分类回收可持续模式、完善废旧家电收集体系。同时，开展针对废旧纺织品、废旧电子产品、废旧电池等废弃原材料供应的国家采购试点。

三是在《中华人民共和国生态环境法典》的框架下，加快《中华人民共和国循环经济促进法》修订进度，扩大生产者责任延伸制度试点，进一步加强生态设计、强制使用再生材料等基本管理制度，包括明确区分实现再生目标的不同再生选项。这将为全面推进和实施高质量循环经济提供法律基础。

四是将循环经济发展与“双碳”目标相联系，并将循环经济措施纳入中国的国家减排目标。加快健全固体废物资源化利用的碳减排方法学、排放因子研究、核算标准和市场交易机制，建立固体废物资源化减排模型，评估减排贡献量，结合“无废城市”建设，统筹建立“双碳”评价考核制度。

五是开展基于循环经济的国家核证自愿减排量(CCER)方法学研究，推动中国碳交易市场的发展，识别显著减排潜力大、额外性好的大宗工业固体废物、低值可回收物等固体废物，优先开发 CCER 方法学，助推提升循环经济市场竞争力，并与欧盟的碳定价机制（如碳边境调节机制）相结合。

六是设立中央循环经济领导小组，中央财政设立固体废物综合治理专项资金，加强循环经济发展与经济、工业、能源、环境、气候等各方面的协同。

(二) 结合废弃物分级原则，积极推动重点行业的高质量循环经济转型，培育经济增长新引擎，实现经济增长和绿色低碳发展的协同增效

一是推动重点产业在绿色转型中与循环经济深度融合。在传统高耗能产业（如钢铁、水泥、化工）中推动资源再生利用与能效提升协同改造，如大力推进化工行业循环经济产业链绿色制造。同时，在新兴产业（如新能源、半导体）中提前布局再生资源利用体系。

二是基于循环经济原则，鼓励并支持高质量、高性能、高价值循环再造产品（如“纤维到纤维”“瓶到瓶”“化学品到化学品”等）和商业模式的发展，包括替换、再利用、再填充、翻新、再制造、再利用和循环等环节；并且根据不同循环技术的环境影响和经济评价建立分类分级制度，探索适合国情的“原级循环经济”发展道路，并逐步扩大试点示范范围。

三是搭建以企业为核心的政府、高校、科研机构、企业联合的循环经济研发平台和人才培养体系，大力发展原级循环再生材料、去化石基材料和工艺革新技术研究，推动化工原材料、纺织产品等的“原级循环”再造；同时，加快加大循环经济技术人员培养，并确保人才培养遵循性别平等原则。

四是加快构建“生态设计—再制造—再生原材料—产品使用服务（如再利用、维护、修补）—收集回收—循环再造”产业链，加大技术和机制创新，促进循环经济产业链的发展和延伸。

五是通过“无废企业”“无废集团”“无废园区”和“大宗固废综合利用示范园区、企业”等示范建设，积极培育循环经济产业龙头企业，扩大循环经济产业规模，形成规模效应，降低再生产品成本，提高市场竞争力。

六是针对大宗工业废物提高资源化和治理专项投入，加快开展再生技术研发和应用示范，鼓励工业废物产业者、资源化技术拥有者、地方政府的强强联手和合作。

七是通过需求侧引导和管理，加大和加快再生原材料或者再生产品需求市场的培育。例如，设立循环产品标签和补贴机制，鼓励和引导消费者选择更具循环性的产品；引导公共机构践行绿色采购，优先采购带有资源再生标识和具有更高循环性的产品等。

八是加快数字技术与循环经济的融合，建立基于原材料和全产业链的数字化材料/产品溯源体系。例如，深入总结电池护照的经验，并逐步推广到其他行业或产品（如纺织品、建筑材料等）。同时，针对数据安全、数据质量、数据可信度、隐私保护、数据共享等数据问题，开展基于区块链的数据管理与共享技术研究和应用示范。

(三) 在国家和地方层面加快建立循环经济技术产品标准体系

一是加快研究并建立循环产品的设计和生产品标准，对产品的耐用性、可修复性、可循环性、再生原材料质量要求及使用比例等作出明确规定。

二是加快研究并建立循环再生原材料、循环产品的性能质量标准。

三是加快研究并建立循环再生材料和产品的分析检测标准、评级标准，引入“循环”标签/标识，提高市场信息透明度，引导和鼓励消费者选购高质量循环产品。

四是加快研究并建立健全评估认证体系，确保市场监管严格到位，包括但不限于评估方法、认证标准，以及第三方检测和认证机构的建立与监管。

五是加快研究和建立基于原材料、化学品的产品数据库。

（四）加快绿色金融和融资机制创新，支持建立循环经济商业模式

一是开发专项融资工具（如循环经济转型债券），为循环经济商业模式的建立提供优惠融资。

二是通过税收激励、定向补贴等支持性经济激励机制，提高循环经济企业的市场竞争力。例如，针对化石基原材料替代、回收原材料利用比例提高、再制造产品等措施提供专项经济激励支持。

三是利用碳市场支持循环经济项目，促进降碳减污扩绿增长协同发展。

四是加大绿色债券、绿色贷款服务于资源循环项目的力度，建立《绿色金融支持循环经济分类目录》，明确“绿色金融”框架下的循环经济项目分类标准，建立基于循环利用效果、碳减排效果、资源效率提升效果的项目融资绩效评估方法和体系，鼓励开展“绿色+循环”金融创新实践。

（五）加强国际交流，推动全球循环经济发展与绿色低碳转型

一是加强国内循环产品认证标准与国际标准（如欧盟标准）的对标和互认。

二是探索全球废旧物资贸易实现形式；并根据《巴塞尔公约》和《鹿特丹公约》等多边环境协议建立严格的管控标准，避免有害化学品和废弃物非法贸易。

三是积极参与并推动国际进程中的循环经济议题，例如，中德两国应与其他国家共同积极推动 G20 资源效率对话工作计划，确保循环经济在 G20 的未来议程中保留重要位置；并借助联合国环境大会（UNEA）的支持，建立旨在减少全球原生材料消耗且确保循环经济公正转型的国际进程，共同推动全球塑料公约谈判，促进塑料循环经济双边和多边合作，将塑料循环经济作为治理塑料污染的关键手段。

四是将循环经济纳入“一带一路”等国际合作框架。与共建国家构建跨境再生资源标准与监管体系，推动国际绿色资源流通；推动绿色产业园区建设，传播中国“无废城市”等成功经验。

五是积极开展循环经济二轨对话交流，并积极创造 1.5 轨乃至一轨对话机会。通过双边或多边对话交流，解疑释惑、增强互信和理解，共同推动全球循环经济和气候变化多边进程。例如，中国和德国持续在“中德循环经济和资源效率对话”和“中德循环经济伙伴”框架下深化合作，加强中德环境伙伴关系双边合作，并在企业和政策层面深入交流循环经济实践，促进制定行业的循环经济路线图。建议中欧加强国际贸易相关对话，深入讨论碳边境调节机制（CBAM）、生产者责任延伸制度（EPR）等措施对发展循环经济的影响，以及中国应采取的应对措施。

附录

附录 A 国际循环经济倡议与合作平台

多边区域倡议实例：

- **非洲循环经济联盟（ACEA）**：由 15 个非洲国家组成的政府主导联盟，是协调国家、区域和大陆层面行动的平台，旨在推动非洲向循环经济转型，以促进经济增长、创造就业和保护环境。（非洲循环经济联盟，未注明日期）。
- **东南亚国家联盟（ASEAN）**：由十个东南亚国家组成的政府间区域组织。2021 年，该联盟发布了推动成员国向循环经济转型的长期愿景（《东盟经济共同体循环经济框架》），确定了在整个地区加速采用循环经济原则的优先领域和赋能措施（东盟循环经济利益相关方平台 ASEAN Circular Economy Stakeholder Platform，未注明日期）。

为推动全球循环经济转型，德国支持并参与多项正式国际倡议与平台（BMUV，2024）：

- **七国集团（G7）**：2015 年，德国担任主席国期间发起 G7 资源效率联盟，用于交流资源效率问题。在此基础上，2022 年，德国担任 G7 主席国时通过《G7 柏林路线图》，制定了雄心勃勃的计划，强调资源效率与循环经济对实现联合国 2030 年可持续发展目标以及全球气候与生物多样性目标的核心作用，并为 G7 国家制定了 2022—2025 年间的具体实施措施。
- **二十国集团（G20）**：2017 年，德国担任主席国期间发起的 G20 资源效率对话成为协调资源效率与循环经济努力的核心平台，汇集 G20 国家政府、私营部门、学术界和国际组织，旨在促进可持续消费与生产、对接可持续发展目标、消除贫困并支持环境与气候行动（G20，2017 年）。
- **第 28 届联合国气候变化大会（COP28）**：循环经济首次被正式纳入联合国气候谈判成果，这标志着循环经济作为全球气候政策关键工具的重大突破。
- **联合国层面的塑料公约谈判**：自 2022 年起，关于《国际塑料条约》的谈判旨在制定具有法律约束力的协议以终结全球塑料污染，同时涵盖塑料全生命周期管理。德国在这些谈判中发挥领导作用，共同创立了终结塑料污染雄心联盟（High Ambition Coalition to End Plastic Pollution），并倡导制定强有力且富有雄心的条约（UNEP，2025a；BKNU）。

附录 B 与循环经济相关的欧盟（行业/领域特定）战略与法规示例

- **《废弃物框架指令》**：确立了废弃物管理的优先顺序（即“废弃物阶梯”），规定了分类收集义务，并为各个行业设定了回收与废弃物预防的目标，包括推广生产者责任延伸（EPR）机制。
- **《关键原材料法案》（CRMA）**：旨在通过加强关键原材料的本地开采、加工与回收利用，以及促进资源的循环使用，确保欧盟对关键原材料的可持续获取。
- **《报废机动车管理条例》**：对车辆全生命周期中的设计、收集、再利用与回收等环节做了具有约束力的规定。
- **《电池法规》**：目标是在电池整个生命周期中实现可持续发展——涵盖原材料采购、收集、回收以及再利用等各个阶段。
- **《包装与包装废弃物条例》**：旨在规范包装设计与废弃物管理，提出了包装材料的可回收性、可重复使用性及回收成分含量等方面的要求。
- **《废弃电子电气设备指令》（WEEE 指令）**：为电气和电子废弃物的分类收集、再利用、回收、再生利用以及出口等设定了相关规则和目标，统一了注册要求，推动产品在全生命周期中的资源利用效率与环境绩效提升。
- **《可持续与循环纺织品战略》**：旨在通过产品设计、重复利用和回收等举措，全面应对纺织品生产和消费对环境与社会造成的影响。
- **《欧盟塑料战略》**：旨在通过提升塑料回收利用率、减少一次性塑料制品使用及降低环境污染，使塑料价值链彻底转型。

（来源：European Commission，无年份）

附录 C 中国福华化学案例研究——通过循环经济实现绿色升级

摘要：面对日益突出的资源环境压力和碳减排挑战，循环经济正成为化工行业绿色低碳转型的重要发展方向。福华化学作为综合性化学品企业，围绕磷、氯、钠等关键元素构建循环产业链，促进资源高效利用与清洁生产。通过实施多项技术改进，磷元素利用率由 67.79%提升至 99.80%，氯元素利用率由 87.66%提升至 92.41%。同时，企业通过有机废液资源化利用、淡盐水回注盐矿、副产物综合利用等方式，显著降低资源消耗量和碳排放强度。福华化学的循环经济典型实践表明，围绕关键元素优化生产工艺，延伸企业产业链，构建企业间资源循环链条，是推动化工行业实现资源利用减量化、高值化和循环化的有效路径。

关键词：元素经济学、废弃物资源化、绿色低碳转型

附录 C1 福华化学推动循环经济发展的阶段性历程

福华化学位于中国四川省乐山市五通桥经济开发区，是一家集矿产资源开发、基础化学品与精细化学品应用研究开发于一体的全球性综合化学品企业。自 2003 年进入化工行业以来，福华化学的发展历程可分为 4 个关键阶段：

- **第一阶段（2003—2005 年）：建设初期。**福华化学以制备烧碱为起点，收购植物保护产品（以下简称植保产品）产线之后以植保产品为主营业务。
- **第二阶段（2006—2011 年）：元素经济探索期。**2006 年，福华化学引入循环经济理念，开始探索以核心元素（如磷、氯等）构建垂直一体化循环产业链，并积极实践清洁生产（图 6-a）。
- **第三阶段（2012—2015 年）：资源化与清洁化生产发展期。**福华化学持续完善垂直一体化循环产业链，多次尝试技术改进，探索有机磷废水的资源化路径，制备附加值更高的磷产品。
- **第四阶段（2016 年至今）：循环经济深化与升级期。**福华化学聚焦磷、氯、钠等元素的高效和高价值利用，开展多项节能技术改进项目。2023 年，福华化学从构建垂直一体化循环产业链的实践经验中提炼出“元素经济学”理念，持续推进副产物资源化利用与中间体深加工，延伸产业链条，提升产品附加值与资源利用效率。目前，福华化学的业务领域涵盖作物科技、化学品和新材料 3 大模块，支持新能源电池、半导体、光伏等 8 个产业（图 6-b）。

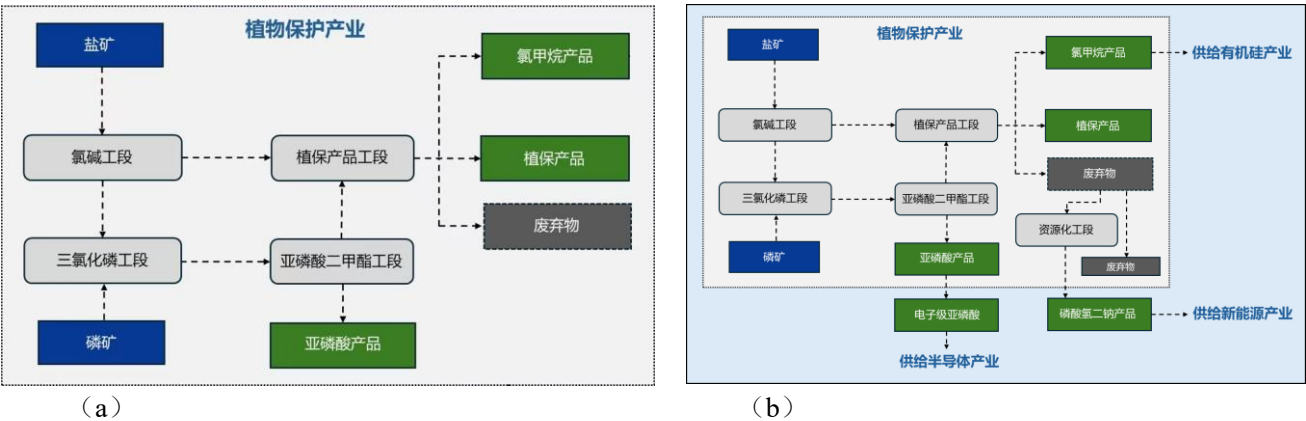


图 6：福华化学的业务领域发展历程

附录 C2 主要实践

- 元素经济学驱动产业链延伸

磷元素

2012 年，福华化学首次开展有机磷废液资源化利用，将有机磷废液制备为可供给新能源产业的高价值十二水磷酸氢二钠 ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，以下简称二钠) 产品，同时减少有机源磷石膏产生量，引进多种新技术，于 2016 年实现有机源磷石膏零排放。技改前，福华化学每生产 1 吨植保产品，将产生约 4.5 吨有机磷废液和 0.5 吨有机源磷石膏。若未开展有机磷废液资源化利用项目，预计当前每年将产生有机源磷石膏 7.65 万吨。

为提高氯元素的利用效率并减少工业盐的产量，福华化学采用双极膜电渗析工艺，将有机磷含废液中的盐电解为稀盐酸和低盐度卤水。由此，工业盐中氯的含量从升级前的约 30.51% 降至总氯输入量的约 21.58%。2016 年，福华化学引入压力摆动吸附（PSA）技术，利用两年时间将甲基氯（ CH_3Cl ）——一种易挥发且有毒的气体——的回收率从 92% 提升至 99%，使 CH_3Cl 中的氯含量增加了约 0.85%（图 7）。当向中国西南地区的硅胶生产商供应时， CH_3Cl 可带来约 7% 的经济收益提升，实现氯资源在产业链内的闭环回收与高价值转化。因此，氯的利用率从 87.66%（图 7-a）提升至 92.41%（图 7-b）。



钠元素

43

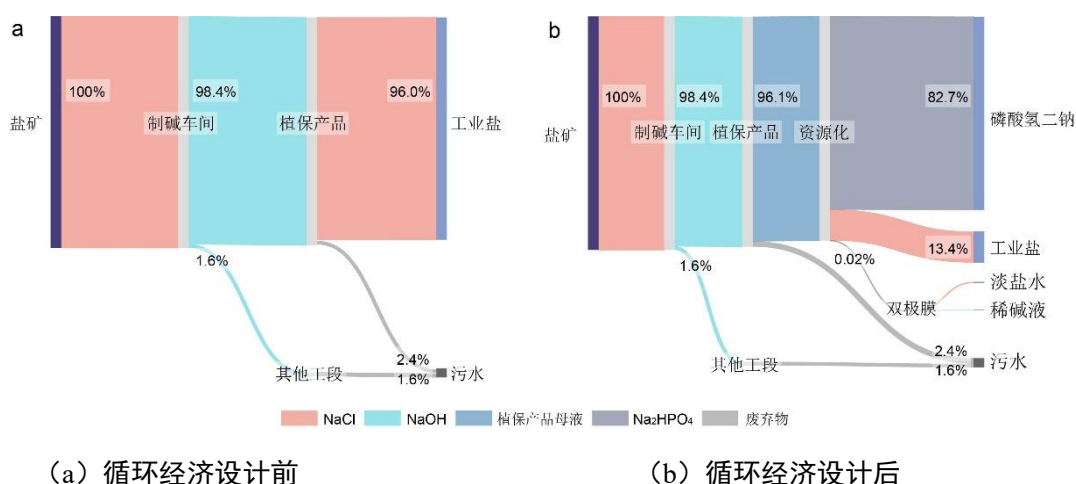


图 8：技改前后钠元素平衡图

• 循环利用淡盐水协同节水降碳

2021 年，福华化学开展淡盐水循环利用技术改进项目，2022 年正式运行。项目取消了三效蒸发装置，将淡盐水和制碱装置的蒸发冷凝水直接回注至盐矿，减少新鲜水的取用量和水蒸气损失量，同时大幅降低能源消耗量。技改前，生产每吨 NaOH（折百）所需的新鲜水量约 5 吨（图 9-a）；技改后，新鲜水消耗量降低至 1.04 吨（图 9-b），综合降低碳排放约 415.88 千克二氧化碳当量。

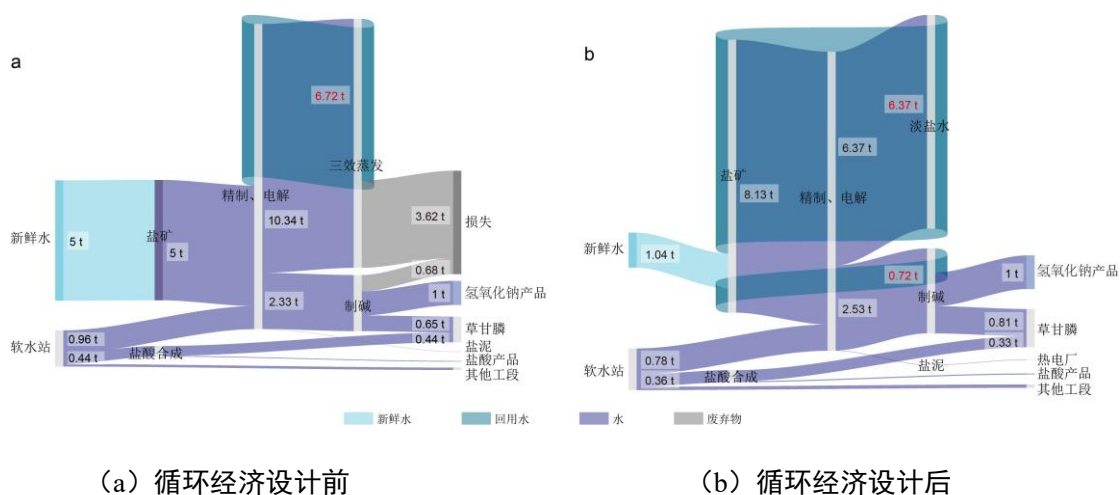


图 9：稀释盐水循环利用项目实施前后的水平衡

• 盐泥废弃物资源化利用

由于盐矿中含有钙、镁等杂质离子，在向盐矿中注入新鲜水使其溶解形成氯化钠溶液后，需经过盐水精制程序将这些杂质去除。精制过程产生的盐泥（主要成分为碳酸钙、氢氧化镁等）可替代石灰石（碳酸钙），用于园区内的热电厂烟气脱硫（图 9-b）。开展此项目以前，盐泥作为固体废弃物与污水污泥共同运输至园区外集中处置。2022 年，福华化学利用自身氯碱工段产生的废弃盐泥，以及免费接收邻近造纸厂的白泥废弃物，构建企业间资源循环利用链条，每年避免的碳排放量最高约 15166.02 吨

二氧化碳当量。

- **副产品区域化协同供给**

福华化学依托自身盐矿资源，逐步扩大 NaOH 产能，保障植保产品关键原料的稳定供给，同时构建以氢和氯元素为核心的副产品高价值利用途径，推动原材料的本地循环与区域产业协同发展。2009 年，福华化学建设氯碱装置电解盐水生产 NaOH，副产氢气和氯气，同时合成氯化氢（HCl），以上产品在满足企业内部需求之后，还供应至园区内、邻近省市及西南地区的化工及新能源企业，提升区域原料保障能力。此外，福华化学于 2013 年建成蒽醌法过氧化氢装置，为新能源和新材料产业提供关键氧化剂。

附录 C3 经验启示

- 以元素为主线优化生产流程，有助于识别资源循环潜力。
- 产品结构升级是实现资源高质高效利用的核心途径。
- 延长自身产业链和构建企业间资源循环链条可促进减污降碳协同。

附录 D 全球循环经济现状

《2025 年循环差距报告》（Circularity Gap Report, 2025）基于数据驱动对全球物质流和循环经济现状进行了评估（基准年为 2021 年）。该报告提供了一套可归类为循环性、线性或兼具双重特征的指标体系。其核心指标——**全球循环率（Circularity Metric）**——每年接受评估，用于衡量全球经济中**再生材料**的使用比例，是衡量循环转型进展的关键参考。自 2018 年首份报告（当年循环率为 9%，基准年为 2015 年）发布以来，该指标持续恶化，目前全球原材料投入中再生材料占比**仅为 6.9%**（基准年 2021 年）。这种下降趋势主要源于**原始材料开采绝对量的持续增长**（现已超 1000 亿吨），其增速始终高于再生材料使用量的增长，导致**全球循环缺口高达 93.1%**。目前，化石燃料在能源消耗中的占比仍处于高位（13.3%），而生物质开采量（虽因碳吸收作用常被视为碳中性）在过去半个世纪增长逾一倍，加剧了土地利用变化和生物多样性丧失。与此同时，全球仅 11.2% 的废弃物得到回收利用。**物质存量**（长期储存于建筑、基础设施或机械设备中的材料）目前已占材料投入总量的 38%。20 世纪期间，存量规模增长 23 倍，并随着经济快速增长和城市化进程持续扩大。

该报告指出若干负面趋势与缺陷：**回收率持续走低，而材料开采量与废弃物产生量仍在持续扩大**；全球尚未建立统一的、以科学为基础的资源使用减量目标；**化石能源消费量持续上升，且仍获得大量财政补贴**——2021 年全球补贴规模约达 1.4 万亿美元；**能源需求增长、碳排放增加、物质存量持续累积**，以及碳排放闭环机制的缺失，均对全球循环化进程构成实质性制约。

总之，尽管人们对循环经济的认知不断提升，但**全球循环化水平仍在持续下降**。若无国际层面的政策协同、对循环基础设施的投资以及对生产和消费体系的系统性重构，全球气候、生物多样性和可持续发展目标将面临更大风险。

（来源：Circle Economy, 2025）

附录 E 德国发展循环经济的障碍

2023 年发布的《德国模式：循环经济——政策蓝图》系统梳理了阻碍循环经济在德国广泛实施的一系列障碍，尤其体现在资源节约、产品寿命延长、维修及二次原材料使用等方面(Prakash 等, 2023b)。

- **主要障碍之一是初级原材料价格偏低**，这主要是由于环境外部成本未被计价。这些外部成本贯穿整个价值链，尤其在资源开采和加工阶段，大量温室气体排放、生物多样性丧失、水土资源退化等问题未被纳入成本考量，进而削弱了受更严格环境法规约束的二次原材料的市场竞争力。
- **基础设施不足也构成挑战**。用于产品再利用准备、回收及处理的基础设施投资，若无法规要求或市政驱动，对私人企业通常缺乏吸引力。在建筑和家具等领域，循环使用所需的基础设施仍然缺失。
- **私营部门在循环解决方案的研发和创新方面投入有限**，原因在于激励机制不足以及其带来的正外部成本效应。许多企业倾向于作为“第二行动者”(second mover)等待市场成熟后再采纳创新方案，而不是主动承担初期成本。然而，在废弃物预防、循环产品设计和基于服务的商业模式等方面仍迫切需要重大创新。
- **整个价值链的信息不透明和共享不足也限制了循环经济发展**。原材料开采、产品设计及制造等阶段的重要数据往往不可得，阻碍了后续维修、再利用和回收等环节的高效开展。目前尚缺乏对信息采集与共享的有效激励。
- **路径依赖性是一项难以由个体经济行为者克服的障碍**。现有的工业资产、基础设施和法规体系是为线性经济模式优化的，某些既有做法因此享有优势，从而形成了对变革的结构性抵抗。例如包装废弃物的回收和处理基础设施便体现了这一现象。
- **缺乏循环产品的统一标准及行业间协作**，也是阻碍市场采纳的重要因素。缺少共同规范和协同创新活动，使得循环解决方案的潜在效益难以充分释放。此外，部分法规仍阻碍循环技术和实践的应用，尤其是对材料标准的限制，亟需修订以支持再生材料的使用。

要克服上述障碍，必须建立强有力的治理框架，并出台有针对性的政策干预措施，以在线性与循环经济模式之间创造公平竞争环境，并实现环境成本的内部化。如果德国国家循环经济战略(NCES)以及欧盟的清洁工业协议(Clean Industrial Deal)能够得到雄心勃勃且协调一致的实施，它们将有潜力推动结构性变革、减少对初级原材料的需求、实现物质闭环，并增强循环体系的市场竞争力。然而，真正的进展还依赖于强有力的全球伙伴关系及有约束力的国际承诺，特别是来自欧盟和中国等主要经济体的积极参与。

附录 F 中国发展循环经济的障碍

中国地域广阔、人口众多，城乡之间及不同区域之间资源禀赋差异显著，发展不平衡不充分的问题依然突出。在实现高质量发展的过程中，中国仍面临诸多问题，包括科技创新能力不足、生态环境保护任务艰巨，以及推动循环经济绿色高质量发展难度较大等，具体表现为资源循环利用产业大而不强、大宗再生资源市场需求不足，以及环保型再生产品的附加值尚未体现。

资源循环利用产业大而不强

我国循环经济产业相关企业普遍规模偏小、分布分散，限制了资源回收利用效率和绿色发展水平的提升。数据显示，我国固体废物资源化回收行业中近一半企业的注册资本不足 100 万元，注册资本超过 1 亿元的企业仅占全部企业总数的 0.5%（全国组织机构代码数据服务中心，2024）。缺乏既具规模又具专业化的龙头企业。中小企业研发能力和技术水平受限，导致产品低端化、同质化严重，行业内部竞争激烈。再生产品和高附加值产品供给不足，参与循环经济的利润空间相对有限，在一定程度上制约了产业的成长空间。此外，部分企业环保投入不足，环境过程管理不规范，既不利于再生产品质量的提升，也增加了环境污染的风险，形成了“劣币驱逐良币”的负面效应，破坏了市场公平竞争环境。

大宗再生资源市场需求不足

部分大宗废弃物的回收技术和再生产品仍较为初级，受下游市场需求波动影响较大，导致行业利润水平不稳定。例如，国内房地产市场增速放缓，导致水泥、混凝土、隔墙板等建材需求下降，进而影响到粉煤灰、炉渣、建筑垃圾、脱硫石膏等大宗固废的综合利用。统计数据显示，2023 年全国砂石骨料需求减少 7.13 亿吨，下降 4.49%，吨均价格同比下跌 6.4%（中国砂石协会，2024）。受此影响，以尾矿制砂、免烧砖、煤矸石烧结砖、二次粉煤灰、矿渣微粉、粉煤灰（砂）加气块等为代表的传统循环产品市场需求下滑，众多传统循环经济企业面临生存压力。

环保型再生产品的附加值尚未体现

尽管废弃物资源化利用具有显著的碳减排效益，但目前尚未建立统一的方法体系和碳交易标准，再生产品的环境价值尚未完全转化为经济效益，价格竞争力不足。目前，高附加值再生产品较少，加工成本较高，虽然具有环保效益，但这些效益并未体现在产品价格中，使其在与原生产品的竞争中处于不利地位，甚至在未形成规模效益前出现价格“倒挂”现象，造成行业发展困难。因此，在探索将固体废物资源化利用的碳减排效益纳入碳减排市场的过程中，需要解决诸如涉及部门和行业众多、价值链条长、核算难度大等技术难题。此外，行业内固废资源化利用方式多样，自主核算方式各异，尚难以形成统一、权威且广泛认可的标准和方法体系。

附录 G 纺织品的生产、消费、贸易流向与生命周期末端管理（德国与欧盟）

需要注意的是，关于废旧纺织品的收集与后续处理的数据存在较大不确定性，因此在解读和比较这些数据时应保持谨慎。各国在数据采集方法和定义（如废弃物成分分析，WCA）方面尚未达成共识，也没有强制性报告要求。因此，目前的数据大多为估算或预测，各国之间的直接比较较为困难（Wagner 等，2022；Duhoux 等，2025；Huygens 等，2023）。此外，有关废旧纺织品处理的数据不包括大量未单独收集但最终进入混合废物的纺织品废物。

废旧纺织品的收集与分拣现状

在使用寿命结束后，纺织品需与其他垃圾分开单独收集，随后进行分拣，以便为再利用或作为回收原料做准备。值得强调的是，目前关于废旧纺织品收集与处理的数据仍存在**显著不确定性**。⁶²

收集

据 Wagner 等（2022）估算，2018 年，德国废旧纺织品的收集量为 100 万吨（其中约 75% 为服装），对应的收集率为 64%。这一收集率显著高于约 38% 的欧洲平均水平（UBA，2022；Huygens 等，2023）。⁶³在德国未被单独收集的纺织品中（占比 36%），约有 67% 最终成为生活垃圾。据估计，德国每年成为生活垃圾的废旧纺织品数量约为每人 4.5~6.8 千克（UBA，2022；EEA，2024）。剩余部分则被个人储存为未穿衣物，或作为二手商品转让或售卖（UBA，2022；EEA，2024）。

在欧盟 27 个成员国中，大多数废旧纺织品目前尚未被单独收集，而是与其他生活垃圾一同处理。2022 年，欧盟每人仅单独收集了 4.6 千克纺织品与鞋类，而混入生活垃圾中被当作残余垃圾处理的废旧纺织品则超过此数值的两倍，达每人 11.1 千克。这部分纺织废弃物通常被焚烧或填埋，从而无法实现再利用或回收（EEA，2024；Eionet，2025a）。

当前，大多数单独收集系统的重点在于**提取可再利用部分**，因为与纺织品回收相比，再利用的经济效益更高（Eionet，2025a）。在一袋捐赠纺织品中，仅约 10% 的纺织品就贡献了超过 50% 的经济价值（Publications Office of the European Union，2021b）。消费后纺织品的收集，特别是适用于再利用的部分，往往由**慈善组织和私营企业**主导。在欧盟中，奥地利、比利时、捷克、冰岛和瑞典等国表明，这类组织是主要的收集方（EEA，2024）。德国的纺织品收集系统主要由**私营企业主导**（其中**29% 为慈善组织**），约占总收集量的 73%，而公共废物管理机构仅负责 27%（UBA，2022）。德国最常见的收集方式是通过**投放式回收箱**（包括回收中心的集装箱）收集，占比高达约 96%（UBA，2022）。在欧盟 27 国中，收集通常依赖于**街头回收箱**（自投点），许多国家还辅以市政回收站点（EEA，2024；Eionet，2025a）。虽然街头回收箱收集量大，但同时存在较高的污染风险。然而，目前普遍认为，就数量和质量而言，接头回收箱仍是获取使用后纺织品较为理想的方式（UBA，2022；Circle Economy；Fashion for Good，2022）。

分拣

纺织品的收集与分拣工作主要依赖**二手衣物的销售来提供资金支持**，这是目前最有利可图的商业模式。多达 90% 的分拣企业收入来自所收集纺织品中可再利用的部分（Circle Economy；Fashion for Good，

⁶² 各国没有统一的数据收集方法和定义，也没有强制性的报告要求。大部分数据都是估算或预测，因此很难在国家之间进行直接比较（UBA，2022；Eionet，2025a；Huygens 等，2023）。此外，关于废旧纺织品处理的数据并不包括大量未单独收集但最终被归入混合废物的纺织品废物。

⁶³ 在解释这一数据时应谨慎。收集率衡量的是某一年单独收集的废旧纺织品总量与投放市场的纺织品总量之间的关系。这种方法忽略了家庭纺织品存量，可能会导致高估实际收集量，而收集率可能更有助于估算收集系统的效率。Eionet（2025a）报告称，欧盟 27 个成员国的平均收集率仅为 15%。

2022)。纺织品常被出口至具有大规模分拣能力的其他国家（主要是欧盟国家）进行处理，如荷兰和波兰。2018 年，这两个国家各自进口了超过 20 万吨废旧纺织品（Publications Office of the European Union, 2021b）。

人工分拣是目前最广泛采用的纺织废弃物分拣方式，但这一方式需要经验丰富、经过培训的人员。分拣设施通常会将**预备再利用的纺织品**按照质量、颜色、服装类型、材料、尺码和流行趋势等因素分为数百类，以满足市场需求。**用于回收的纺织品**则需主要按照纤维成分进行分拣。特别是在作为高质量材料回收原料的情形下，分拣过程可通过不同程度的技术自动化（**自动化或半自动化分拣**）加以支持。这对于准确识别材料和纤维种类至关重要，是许多回收工艺的前提。自动分拣技术主要基于**光谱技术**（主要是近红外）来识别材料成分，或使用**射频识别技术**（Radio Frequency Identification, RFID）存储和读取有关纺织品的信息（见第 3.2.2 章）。然而，**大多数自动分拣技术仍处于研发阶段**。在欧盟，目前采用自动分拣系统的废旧纺织品比例不足 1%，而现有自动分拣系统的年处理能力仅为几千吨（Publications Office of the European Union, 2021b; Huygens 等, 2023）。

再利用准备

根据德国《循环经济法》（German Circular Economy Act, KrWG），**再利用准备**是指对已成为废弃物的产品或产品组件进行检查、清洁或修理的任何操作，使其在**不经进一步预处理的情况下，能够再次用于原本设计用途**（UBA, 2022）。

再利用准备能够**延长纺织品的生命周期**，并通过**避免初级生产**而节省资源。这显著减少了与纺织生产链相关的环境影响，并且比回收更为环保（因此被认为更优先）（UBA, 2022）。Sandin 等人（2019）指出，将服装的**平均穿着时长延长一倍**，可将其气候和水足迹降低约 50%。《**2024 年纺织品循环缺口报告**》（Circle Economy, 2024）构建了一个“**慢时尚**”情景模型，结合了减少纺织消费与延长产品使用寿命，通过提升再利用、维修、租赁行为以及减少过度生产，实现更高的资源效率，并且所有环境影响指标均出现下降。在最具雄心的情景中（消费减少 5%、过度生产减少 50%），气候影响下降 10.1%，材料足迹下降 10.3%，水资源稀缺性下降 11.9%。这些发现凸显了再利用和延长使用阶段在资源消耗和减排方面的积极作用。考虑到**私人衣橱中大约有 40% 的服装未被穿着**，消费者行为的改变——如购买二手衣物——在环保方面具有巨大潜力（UBA, 2022）。

据 Huygens 等（2023）报道，在欧盟，大约 **10%** 的单独收集纺织品（即质量最高的部分）在本地实现了**再利用**。2021 年，欧盟人均再利用纺织品为 2.3 千克⁶⁴，占人均总纺织品消费量约 13%（Eionet, 2025a）。另一方面，同年欧盟有 **48%** 的单独收集纺织品在**分拣后被出口**，且大约 **50%** 的纺织废弃物**甚至在未经分拣的情况下直接被出口**（Huygens 等, 2023）。虽然相当一部分出口至第三国的纺织品旨在用于再利用，但这些纺织品往往进入一个复杂的逆向供应链，其最终命运（如填埋、露天倾倒或焚烧）并不明确，因此很难追踪欧洲纺织废弃物的实际再利用率（见第 3.2.1 章）（EEA, 2025）。根据 Publications Office of the European Union（2021b）的数据，欧洲各国在单独收集纺织品后的再利用率为 **50%~75%**，取决于收集国家与方式。Circle Economy、Fashion for Good（2022）估算，在欧盟单独收集的纺织品中（约占全部纺织废弃物的 38%），平均有 **55%** 是以**再利用**为目的被销售的。

在德国，至少 50% 的单独收集纺织品被出口至其他（主要是欧洲）国家进行分拣。UBA（2022）报告显示，约 **62%** 的已收集和分拣的废旧纺织品被**准备用于再利用**，其中大部分被出口，只有 **1%~2%** 在**国内实现再利用**。德国在参考年度 2021 年的人均纺织品再利用量为 **2.4 千克**，与欧盟平均水平相当。

⁶⁴ 自 2023 年起，欧盟成员国必须根据（EU）2021/19 号决定向欧洲环境署报告纺织品再利用数据，其中 2021 年是第一个参考年。这是第一个报告周期。数据质量各不相同，应谨慎解释（Eionet 2025a）。可通过以下方式访问单独报告的国家/地区数据：<https://www.eea.europa.eu/en/circularity/sectoral-modules/textiles/textile-reuse-per-person-per-year?activeTab=658e2886-cbf4c2f-a603-061e1627a515>。

回收

当纺织品不再适合再利用时，各种回收选项可以替代对原生原材料的需求（UBA，2022）。因此，在推进循环经济的过程中，除了废弃物预防、再利用和消费模式转变外，废旧纺织品的回收也应被视为一项互补性的关键策略，因为它在减少原材料需求方面可以发挥重要作用（UBA，ongoing）。原本将被填埋或焚烧的消费后纺织品具有很大的回收潜力。多项生命周期评估（LCA）研究得出结论：与原生纤维相比，使用回收纤维生产纺织品可以减少温室气体排放（UBA，ongoing）。

在德国，约 26%的收集纺织品被用于某种形式的材料回收。其中大多数是开放式回收（open-loop recycling），用于服装与纺织品行业以外的领域。最常见的方式是将其降级为低价值产品，如工业擦布（占比 14%）。通过机械方式将纺织品回收为碎纤维的比例为 12%（UBA，2022；EEA，2023）。当无法进行材料回收时，能源回收成为废弃物处理等级中的下一个选择。德国相关报告显示，约有 8%的纺织品被焚烧用于能源回收（UBA，2022）。

在欧盟，约有 30%的收集并分拣后的纺织品以某种形式被回收。对于留在欧洲的单独收集纺织品，有 10%最终被焚烧或填埋（Huygens 等，2023；UBA，2022；European Environment Agency，2024）。

所收集的消费后纺织品大多数为混合纤维，最常见的是棉-聚酯混纺或在棉质衣物中掺有氨纶（弹性纤维），而仅约 20%是单一材质的纤维（主要为棉）（Circle Economy；Fashion for Good，2022）。据 Huygens 等（2023）估计，目前欧盟每年约有 70 万~85 万吨纺织品被回收。其中超过三分之二属于开放式回收（即每年 50 万~60 万吨），这些纺织废料被用于非服装行业，如生产清洁布、保温材料或无纺布等。Huygens 等（2023）还估算，当前用于服装领域潜在再用途的回收设施（即闭环回收，closed-loop recycling）年处理能力约为 20 万~30 万吨，仅占欧盟回收总量的约 30%。当目标是进行先进的“纤维到纤维”回收（fibre-to-fibre recycling）时，回收的目的是生产可纺纤维。然而，由于当前回收技术仍受限（如纤维长度变短等问题），欧盟仅有少部分回收产物可达到可纺标准（Löw 等，2024；Huygens 等，2023）。在全球范围内，只有约 1%的纺织废弃物被回收用于制成新的纺织品（EMF，2017）。此外，用于“纤维到纤维”回收的原料中，有相当大一部分（至少 50%）并非来自消费后废弃物，而是来自生产过程中产生的边角料和未售出的纺织品（Huygens 等，2023）。

尽管此前经历了数年增长，但全球回收纤维在整体纤维市场中的份额在相对比例上略有下降，从 2021 年的 8.5%下降至 2023 年的 7.7%，其中绝大多数为再生聚酯（rPET）。回收纤维的绝对数量在此期间保持相对稳定，维持在 900 万~1000 万吨。然而，目前纺织行业中使用的大部分再生聚酯并非来自纺织废弃物，而是来自 PET 饮料瓶（其中 98%为 rPET）。2023 年，再生棉产品仅占全球棉花产量的 1%（Textile Exchange，2024）。虽然来自瓶子的 rPET 提供了清洁且稳定的原料来源，但其用于纺织品生产，会影响已有 PET 瓶闭环回收系统的原材料供应，同时并未解决大量纺织废弃物被填埋或焚烧的核心问题（UBA，ongoing）。

德国和欧盟纺织品生产、消费、贸易流动以及废旧纺织品的管理和加工概况见表 1。

表 1：德国和欧盟纺织品生产、消费、贸易流动以及废旧纺织品的管理和加工概况

	德国	欧盟
纺织品生产		
营业额	105 亿欧元（2024）（Statistisches Bundesamt，2025）	1700 亿欧元（2023）（Manshoven 等，2025）
产量	8.3 万吨，仅限服装（2020）（bvse，2020）	760 万吨，含所有纺织制成品，服装占 8%（2020）（Manshoven 等，2025）

从业人数	4.5 万人 （2024）（Statistisches Bundesamt，2025）	130 万人 （2023）（Manshoven 等，2025；Huygens 等，2023）
企业数量	340 家 （2024）（Statistisches Bundesamt，2025）	19.7 万家 ，其中 99.7%为中小微企业（2023）（Manshoven 等，2025）
纺织品消费		
总消费量	156 万吨 家庭纺织品消费（2018）（Wagner 等，2022）	850 万吨 家庭纺织品消费（2022）（Duhoux 等，2025）
人均消费量	18.8 千克/人 （2018）（Wagner 等，2022）	19 千克/人 （2022）（Manshoven 等，2025）
贸易动态		
新纺织品进口	—	1100 万吨 ，价值 1530 亿欧元（2022），主要来自中国、孟加拉国、土耳其（Manshoven 等，2025）
新纺织品出口	—	400 万吨 ，价值 1730 亿欧元（2022），主要出口至瑞士、英国、美国、中国（Manshoven 等，2025）
废旧纺织品出口	—	140 万吨 （2023），45%出口至非洲，43%出口至亚洲（Manshoven 等，2025）
纺织废弃物产生		
总量	欧盟五大废弃物产出国之一 （Prakash 等，2023b）	694 万吨 ，85%来自消费后（2022）（Duhoux 等，2025）
人均产生量	—	约 16 千克/人 （2022）（Duhoux 等，2025）
收集		
单独收集量	100 万吨，12 千克/人 （2018）（Wagner 等，2022）	195 万吨 （2020）（EEA，2024b）， 4.6 千克/人 （2022）（Duhoux 等，2025）
未单独收集纺织品	67% ⁶⁵ 的未单独收集纺织品最终成为生活垃圾，相当于 4.5~6.8 千克/人 （Wagner 等，2022；Deckers 等，2024）	生活垃圾中未单独收集纺织品折合 11.1 千克/人 （2022）（Duhoux 等，2025）
收集率 ⁶⁶	64% （2018）（Wagner 等，2022）	38% （Köhler 等，2021）
捕获率 ⁶⁷	18% （2020）（Deckers 等，2024）	15% （2022）（Duhoux 等，2025）
收集主体	73%为私人主体（其中 29%为慈善组织），27%为公共机构（Wagner 等，2022）	通常涉及慈善与社会企业（Deckers 等，2024）
收集系统	96% 采用 投放箱 （回收站）和 回收场所 （Wagner 等，2022）	多为街头回收箱 （投放点），辅以回收站（Deckers 等，2024）

⁶⁵ 剩余部分要么作为未使用的衣服保存，要么私下传递或作为二手商品出售。

⁶⁶ **收集率**衡量的是单独收集的二手纺织品的总量与同年投放市场的纺织品总量之间的关系。这种方法忽略了家用纺织品库存，可能导致对实际收集量的高估（Deckers 等 2024）。

⁶⁷ **捕获率**在估计收集系统的效率方面可能更有用。它衡量的是单独收集的纺织品数量与产生的纺织废物总量（单独收集的纺织品废料加上混合城市废物中的纺织品）的关系（Deckers 等 2024）。

分拣		
分拣方式	以人工分拣为主；自动化分拣占欧盟分拣能力不足 1%，仅几千吨/年（Köhler 等，2021；Huygens 等，2023）	
分拣能力	19.05 万吨，大部分出口至分拣能力较强的国家（Köhler 等，2021）	约 150 万吨（EEA，2024b），其中荷兰为 23.4 万吨（Köhler 等，2021），波兰为 20 万吨（Köhler 等，2021）
废旧纺织品分拣前后出口	50%在分拣前即出口（Löw 等，2024）	50%在分拣前出口（2021）（Huygens 等，2023），48%在分拣后出口（2021）（Huygens 等，2023）
再利用准备	62%（Löw 等，2024）	55%. ⁶⁸ （van Duijn 等，2022）
国内再利用	1%~2%（Wagner 等，2022），2.4 千克/人（2021）（Duhoux 等，2025）	10%（Huygens 等，2023），2.3 千克/人（2021）（Duhoux 等，2025）
材料回收	26%（Löw 等，2024）	30%（Huygens 等，2023）；70 万~85 万吨（Huygens 等，2023）
降级使用/开放式回收	14%用作工业擦布（Löw 等，2024），12%通过机械回收为碎纤维（Löw 等，2024）	50 万~60 万吨用作清洁布、保温材料、无纺布等（Huygens 等，2023）
同级回收	—	20 万~30 万吨（占欧盟回收能力的 30%）用于服装行业。 ⁶⁹ （Huygens 等，2023）
焚烧	8%用于能源回收（Löw 等，2024）	14%含/或不含能源回收（2022）（Manshoven 等，2025）
填埋	4%（Löw 等，2024）	12%（2022）（Manshoven 等，2025）

⁶⁸ Köhler 等（2021）发布的报告称，根据收集国家和收集方法不同，欧洲单独收集纺织品的重复利用率为 50%~75%。出口到第三国的纺织品中有很大一部分是为了再利用，但往往进入一个命运不明的复杂逆向供应链（垃圾填埋、露天倾倒和焚烧盛行），这使得跟踪欧洲废旧纺织品的实际再利用率变得困难（见第 3.2.1 章）。

⁶⁹ 即以生产可纺纤维为目标的回收业务，然而，由于加工过程中纤维缩短等技术限制，目前只有一小部分产量符合纺纱质量要求。

附录 H 纺织行业的环境影响

表 2：全球与欧洲纺织行业的环境与人类健康影响

影响类别	纺织行业的影响	地区
材料使用	3.25 × 10⁹吨 （在全球材料使用量中的占比大于 3% ；99%来自原生资源）	全球 ⁷⁰
	234 × 10⁶吨或 523 千克/人 （其中 32%来自欧洲本土）	欧盟 ⁷¹
温室气体排放	对全球气候影响的占比大于 3% （尤其是合成纤维）	全球 ³⁸
	159 × 10⁶吨二氧化碳当量或 355 千克/人 （其中 70%在欧洲外 ）	欧盟 ⁷¹
水资源使用	93 × 10⁹吨 （占全球用水量的 4% ，主要来自棉花种植）	全球 ³⁸
	5.3 × 10⁹吨“蓝水”消耗 （主要发生在亚洲）	欧盟 ⁷¹
	居民洗衣：每千克衣物平均使用 6.2 千克水、15.8 克洗涤剂、0.405 千瓦时电力	瑞典 ⁷²
土地使用	14.4 万平方米 （其中 86%位于欧洲以外，主要用于棉花和动物纤维）	欧盟 ⁷¹
微塑料污染	每年 0.2~0.5 × 10⁶吨 ，主要通过洗涤、穿着和处置释放（合成纺织品占海洋微塑料污染的 16%~35% ）	全球 ³⁸
	每年约 1.3 万吨或 25 克/人 的微塑料进入地表水（占水体微塑料排放总量的 8%）	欧洲 ⁷³
水体富营养化	5% （海洋富营养化）或 4% （淡水富营养化）	全球 ³⁸
空气污染	大于 2%	全球 ³⁸
生物多样性丧失	大于 3%	全球 ³⁸
酸化	大于 3% （Terrestrial and freshwater acidification）	全球 ³⁸
人类健康与福祉	有害化学物质（如全氟化物 PFAS）、污染和气候影响带来的 健康风险 （特别是在中国、美国、印度等生产区域） 社会经济影响 ，包括恶劣的工作条件和低工资 ⁷⁴	全球 ³⁸

⁷⁰ 全球纺织行业的环境影响数据来自 Circule Economy（2024）。

⁷¹ 欧盟家庭纺织品消费对环境的影响来源于 Manshoven 等（2025）。

⁷² 相关数值参考了 Sandin 等（2019）对瑞典家庭消费环境影响的研究。

⁷³ 部分数据来自 EEA（2022）。

⁷⁴ 除了环境问题之外，纺织行业在价值链早期阶段还存在严重的社会和经济影响。棉花种植、纱线与织物生产、服装组装等环节常常伴随着较高的社会风险，包括恶劣的工作条件、过低的工资和有害的劳动行为，尤其是在环保与劳动法规薄弱的地区。尽管该行业在低收入地区提供了就业和基础人力服务，但当前的生产模式加剧了社会不平等，并阻碍了可持续发展（2020）。

附录 I 纺织品回收技术实例

所列回收技术案例均基于 Löw 等（2024）的研究。

机械回收

- **Wolkat**（荷兰，回收及分类在摩洛哥）：Wolkat 覆盖整个纺织价值链，从消费后纺织品的收集、分拣、再利用到机械回收，以及纱线、织物和纺织品制造，整个过程中不使用染料、化学品或水。Wolkat 以“废弃物等级制度”为导向，专注同级回收，目标是将材料重新用于纺织行业。其残余废弃率仅为 4%。Wolkat 与 Nike、Filippa K、HEMA 以及市政当局、零售商等合作伙伴开展合作，年产能可为 0.9 万~3 万吨。
- **Altex Textil-Recycling**（德国）：年产能可为 3 万~3.6 万吨，主要从事开放式循环回收（产品包括撕裂纤维、混合纤维或短纤维）。
- **Antex**（西班牙）：该公司采用热机械回收工艺，将消费后和工业剩余纺织废料转化为可重复使用的聚合物。

基于溶剂的回收

- **WornAgain**（瑞士）：该公司正在扩大其聚酯-棉混纺纺织品的闭环化学回收技术，将其转化为可纺纤维所需的 PET 和回收纤维素。该公司目前在瑞士建有示范工厂，最大产能可为每年 1000 吨，商业规模可达每年 5 万~10 万吨。
- **Circulose**: CIRCULOSE®是一种新型材料（人造纤维素纤维，MMCF），通过从旧衣物与生产废料中回收纤维素制成，原料 100%来自纺织废弃物。

解聚回收

- **Carbios**（法国）：该公司开发出一种酶解解聚工艺，可将塑料废弃物和消费后纺织品中的聚酯回收为质量与原生 PET 相当的材料。该工艺可生产 100%再生 PET（rPET）产品。2021 年，Carbios 在法国投产了一座年产能约 4 万吨的示范工厂。相比其他解聚法，酶解法使用更少化学品和溶剂，环境影响更小（Duhoux 等，2021），但在再聚合过程中仍需使用化学品。尽管机械回收所得 PET 质量较差，无法用于 100%再生产品，但其环境足迹更小（Huygens 等，2023）。
- **BASF、Inditex**：两家公司合作生产一款由 100%纺织废料制成的夹克，所有纺织部件（包括拉链、魔术贴、标签等）均由 loopamid®（再生尼龙-6 纱线）制成，来源于工业剩余和消费后纺织废弃物（Huygens 等，2023）。Inditex 推行“为回收而设计”理念，所有部件都采用统一材质，有助于未来进一步回收。

原料回收

- **Eastman Carbon Renewal Technology**（美国）：该公司将混合塑料废料（包括地毯）回收为单体，并与 60%木浆一同加工，制成再生纤维（Naia™）。

附录 J 《全球化学品框架》的战略目标与具体目标

《全球化学品框架》（Global Framework on Chemicals, GFC）提出了一项全面的行动计划，涵盖以下 5 项战略目标和 28 项具体目标（ICCM5, 2023b）：

战略目标（ICCM5, 2023b）：

- A. 立法框架、体制机制和能力建设，支持并实现化学品全生命周期的安全与可持续管理。
- B. 生成、提供并确保所有相关方可获取全面、充分的知识、数据和信息，以支持决策与有效行动。
- C. 识别优先排序并有效应对重点关注问题。
- D. 在产品价值链中推广更安全的替代品及可持续的创新解决方案，最大程度提升对人类健康和环境的正面效益，同时预防或在无法预防的情况下尽量降低相关风险。
- E. 通过调动资源、伙伴关系、合作、能力建设以及将化学品管理纳入各类决策进程，有效提升执行力。

具体目标（ICCM5, 2023b）见表 3。

表 3：GFC 的具体目标

序号	目标
A1	到 2030 年，各国政府应根据本国国情，制定并实施法律框架，建立相应的体制，以防止或在无法防止的情况下尽可能减少化学品和废弃物的不良影响
A2	到 2030 年，各政府间利益相关方应制定指导文件，支持有需要的国家和相关方有效实施化学品和废弃物管理战略，参考更新后的“化学品良好管理政府间组织合作计划”（IOMC）决策工具箱
A3	到 2030 年，企业应采取措施，防止或在无法防止的情况下最小化化学品全生命周期对人类健康和环境的不良影响
A4	到 2030 年，各相关方应有效杜绝所有非法化学品和废弃物贸易与运输
A5	到 2030 年，各国政府应致力于依据国际义务，通报、监管或禁止本国禁止的化学品出口
A6	到 2030 年，各国都应配备具有预防和应对中毒基本能力的毒物控制中心，相关人员应获得化学风险防控及临床毒理学培训
A7	到 2035 年，在无法有效控制风险且存在更安全、可负担替代方案的情况下，各相关方应采取有效措施，淘汰农业中使用的高危农药，并推广和提供替代方案
B1	到 2035 年，已生成全面的化学品性质数据和信息，并对所有相关方都可获取、可利用
B2	到 2030 年，各相关方应尽可能在整个价值链中提供关于材料 and 产品中化学品的可靠信息
B3	到 2035 年，各相关方应生成关于化学品生产的数据，包括其在材料和产品中的使用情况，以及化学品和废弃物的环境排放相关数据，并确保这些数据可公开获取
B4	到 2035 年，各相关方应在化学品和废弃物管理中，应用适当的指南、最佳可行技术和标准化工具开展危害与风险评估

B5	到 2030 年，已制定并实施关于化学品安全、可持续性、更安全替代品及降低化学品和废弃物风险益处的教育、培训与公众意识提升项目，整个过程中充分考虑性别响应的方式
B6	到 2030 年，所有国家依据本国国情，在所有相关领域全面实施《全球化学品统一分类和标签制度》（GHS）
B7	到 2030 年，各相关方应尽可能生成并提供关于人类（按性别、年龄、地区和其他可行的健康决定因素细分）、其他生物体和环境介质中化学品浓度及潜在暴露来源的全面监测与监视数据和信息
C1	已建立、通过并实施相关流程和工作方案（包括时间表），以应对已识别的关注问题
D1	到 2030 年，企业持续投资整个化学品生命周期，并推动实现可持续化学和资源效率的创新
D2	到 2035 年，各国政府实施促进在整个生命周期中使用更安全替代品和可持续方法的政策，包括最佳可用技术、绿色采购和循环经济路径
D3	到 2030 年，私营部门（包括金融部门）在其融资模式和商业模型中纳入实施化学品和废弃物安全管理的战略与政策，并采用国际认可或等效的报告标准
D4	到 2030 年，相关方在其研究与创新计划中优先考虑可持续解决方案和更安全的替代有害物质的方案，包括在消费品中的应用
D5	到 2030 年，各国政府实施相关政策与计划，加大对更安全、更可持续农业实践的支持力度，包括生态农业、综合病虫害管理和非化学替代品的使用
D6	到 2030 年，各主要经济和工业部门已制定并实施可持续的化学品和废弃物管理战略，识别需重点关注的化学品，采用相关标准与方法（如化学足迹）减少其影响，并在可行情况下减少其在价值链中的使用
D7	到 2030 年，各相关方在所有相关行业和整个供应链中落实并推进有效的职业健康安全实践及环境保护措施
E1	到 2035 年，化学品和废弃物的安全管理已成为各国的主流任务，纳入所有相关部门的规划、预算、发展计划及发展援助政策和项目中
E2	到 2030 年，通过加强各部门和利益相关方之间的伙伴关系和网络，推动实现化学品和废弃物的安全管理
E3	根据本框架愿景、战略目标和各项指标，在所有部门及利益相关方中识别并动员足够、可预测和可持续的财政资源，以支持实现化学品和废弃物的健全管理，包括撬动私人融资及推广创新和混合融资机制
E4	识别实施化学品和废弃物安全管理的资金缺口，并将其纳入能力建设支持范围，包括通过全球化学品框架基金
E5	到 2030 年，各国政府已采取政策措施，通过多种方式实现化学品和废弃物安全管理成本内部化
E6	到 2030 年，各相关方识别并加强化学品和废弃物管理与其他关键环境、健康与劳动政策之间的协同和联动，如气候变化应对、生物多样性保护、人权保障、全民健康覆盖或基础卫生服务等

《全球化学品框架》（GFC）中的部分目标与纺织行业高度相关：A1、A2、A3 和 A4 涉及立法框架、体制机制和能力建设，旨在支持和实现化学品全生命周期的安全与可持续管理；B1~B7 全部目标涉及相关知识、数据和信息的生成、可获取性和可用性；C1 涉及设立、通过并实施包含时间表的工作流程和计划，以应对纺织行业的关注问题；D1、D2、D3、D4、D6 和 D7 涉及产品价值链中更安全的

替代品以及创新和可持续解决方案，以最大化对人类健康和环境的益处，同时预防或在不可预防的情况下尽量降低风险；E1～E7 全部目标涉及增强实施、资源动员、伙伴关系、合作、能力建设，以及纳入所有相关决策进程。此外，如果棉花等纺织品的原材料是农业生产的，则目标 A7 和 D5 同样适用（ICCM5，2023b）。

此外，GFC 第VI部分以及 ICCM5 决议 V/8 所规定的若干机制，为如何组织相关流程与参与方提供了关键参考（ICCM5，2023b；UNEP，2024a）。在联合制定全球层面实施方案的过程中，由国际化学品管理联合协调小组（IOMC）推动相关展示与讨论，鼓励各方依据 GFC 指引推进国家层面实施、区域协作与协调，特别是加强行业与利益相关方参与，从而产生实质影响并推动实现 GFC 的目标以及《2030 年可持续发展议程》中的多个可持续发展目标（IOMC，n.d.；UNEP，2025b）。

此外，一份关于“化学品与废弃物管理一体化”概念的讨论文件也提供了补充性的实施方向，重点聚焦于国家体系、行业参与（如纺织行业）以及与可持续发展之间的关联（IOMC，2024）。

附录 K 关注物质的定义及说明

表 4：关注物质的定义及说明

ESPR 第 2（27）条中关注物质的定义	说明
1.符合《欧盟化学品注册、评估、许可和限制条例》(EC)第 1907/2006 号第 57 条规定的标准，并依据该条例第 59（1）条进行识别	1.这是指根据 REACH 条例被列为高度关注物质（SVHC），并被列入“候选清单”的物质。该清单不断更新，详见： https://echa.europa.eu/candidate-list-table 2.根据 REACH 条例第 33 条的规定，若产品中 SVHC 含量大于 0.1%，必须在供应链各环节进行信息沟通，并应按照最终用户的要求向其提供信息。此外，SVHC 含量超过该阈值的产品，还必须在《废弃物框架指令》（WFD）下建立的 SCIP 数据库（ https://echa.europa.eu/de/scip ）中进行通报
2.在《欧盟分类、标签和包装条例》（CLP）第 1272/2008 号附录 VI 第 3 部分中，属于以下任一危害类别或类型的物质 （1）致癌性第 1 类和第 2 类 （2）生殖细胞致突变性第 1 类和第 2 类 （3）生殖毒性第 1 类和第 2 类 （4）对人类健康具有内分泌干扰作用的第 1 类和第 2 类 （5）对环境具有内分泌干扰作用的第 1 类和第 2 类 （6）具有持久性、可迁移性和毒性（PMT）或高持久性、高流动性（vPvM）的物质 （7）具有持久性、生物累积性和毒性（PBT）或高持久性、高生物累积性（vPvB）的物质 （8）呼吸道致敏物质第 1 类 （9）皮肤致敏物质第 1 类 （10）对水生环境有危害——慢性毒性第 1 至第 4 类	1.CMR 危害类别已知。此外，附录 IV 还列出了所谓的新危害物质类别，如对人类健康或环境有影响的内分泌干扰物，或具有持久性、流动性和毒性或高持久性、高流动性的物质，或者是致敏物质。根据联合国欧洲经济委员会（UNECE）提供的 GHS 实施信息，中国目前未列出这些危害物质类别 ⁷⁵ 2.该部分受关注的物质的定义是指在 CLP 条例下具有统一分类的物质，列入附录 VI。附录 VI 定期更新，详见： https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/annex-vi-to-clp 3.某些含有 CMR 的物质

⁷⁵ 参见：https://unece.org/sites/default/files/2023-11/GHS%20implementation%20by%20country_2023-11.pdf。

(11) 对臭氧层有害的物质 (12) 特异性靶器官毒性——重复接触第 1 类和第 2 类 (13) 特异性靶器官毒性——单次接触第 1 类和第 2 类	
3.根据《欧盟条例 2019/1021 号》进行监管	指持久性有机污染物 (POPs)，它们基本上已被纳入 REACH 条例候选清单。由于 POPs 几乎在全球范围内得到认可，且通常受到合同义务的限制（详见下文的限制物质清单）
4.对产品中材料的回收和再利用产生负面影响	ESPR 第 5 (14) 条提供了以下补充信息：对于受生态设计要求影响的每个产品组，委员会应确定在哪些情况下，相关物质符合第 2 (27) 条第 4 点的定义，至少要考虑以下因素 (1) 基于标准技术，这些物质是否使得再利用或回收过程变得更加复杂、成本更高、环境影响更大，能源或资源需求更大 (2) 这些物质损害了来自产品，或由该回收材料制成的产品的回收材料的技术性能、功能性、实用性或价值 (3) 这些物质会对回收材料的美学或嗅觉特性产生负面影响

来源： https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401781。

附录 L 全氟和多氟烷基物质（PFAS）的应用领域、使用量及排放情况

表 5：不同领域的 PFAS 使用量（吨位范围）、生产和使用阶段排放量及其在 PFAS 总排放中的占比

应用领域	使用量范围（吨）	生产与使用阶段的排放占比（%）	对总排放的贡献率（%）
氟化气体	>10000	5 ~ 25	>50
纺织品、家具面料、皮革、服装与地毯	>10000	5 ~ 25	10 ~ 50
医疗器械	>10000	5 ~ 25	5 ~ 10
制造业	>10000	0 ~ 5	1 ~ 5
食品接触材料与包装	>10000	0 ~ 5	0 ~ 1
交通运输	>10000	0 ~ 5	0 ~ 1
建筑产品	1000 ~ 10000	25 ~ 75	1 ~ 5
电子产品与半导体	1000 ~ 10000	5 ~ 25	0 ~ 1
润滑剂	1000 ~ 10000	5 ~ 25	0 ~ 1
石油与矿业	1000 ~ 10000	0 ~ 5	0 ~ 1
能源行业	1000 ~ 10000	0 ~ 5	0 ~ 1
金属电镀与金属制品制造	100 ~ 1000	0 ~ 5	0 ~ 1
化妆品	10 ~ 100	>95	0 ~ 1
消费品混合物	10 ~ 100	75 ~ 95	0 ~ 1
滑雪蜡	0 ~ 10	25 ~ 75	0 ~ 1

来源：REACH 限制提案，提交于 2023 年 1 月。

附录 M VAUDE 案例研究：户外行业逐步淘汰 PFAS 的实践

摘要：为了逐步淘汰有害物质，VAUDE 与化学供应商合作开发更安全的替代品，并制定了严格的受限物质清单。自 2021 年起，VAUDE 使用的所有服装面料均不含 PFC（全氟化合物）。

关键词：纺织品；化学品；受限物质；性能测试；供应商协作

项目组特别感谢 VAUDE 可持续商务学院材料与制造顾问、高级创新经理 René Bethman 所提供的重要意见与反馈。

附录 M1 背景

VAUDE 是德国领先的户外品牌，早在十多年前便开启了淘汰供应链中有害化学物质的旅程。这一行动的契机源于 2011 年绿色和平组织的“Detox”运动，该运动揭示了包括 PFAS 在内的有害化学品对环境和健康的风险。VAUDE 随即承诺将从其产品中逐步淘汰 PFAS，这一目标逐渐演变为公司可持续发展战略的核心组成部分。

PFAS 因其防水防污特性而在户外装备中得到了广泛使用。然而，它们具有持久性好、流动性强和毒性大的特征，对人类、动物和生态系统都构成了健康风险。因此，从产品中彻底去除 PFAS 被 VAUDE 视为关键目标。

虽然早期在膜材料中去除 PFAS 相对可行，但真正的挑战来自替代基于 PFAS 的持久性防水(DWR)涂层。当时，VAUDE 面临的主要难题包括性能达标困难、供应链复杂、监管压力大等。

VAUDE 采取了渐进式淘汰 PFC（多氟化合物和全氟化合物，属于 PFAS 家族）的方法：

- 自 2010 年起，淘汰防水膜中的 PFC。
- 2015 年开始在防水防污服装中淘汰 PFC，2016 年扩大至睡袋，2018 年进一步涵盖防水服装，2020 年延伸至鞋类和背包。
- 自 2021 年起，VAUDE 使用的所有服装面料全面不含 PFC。

VAUDE 将“无有害化学物质”的承诺视为自身独特卖点，凭借这一点，该品牌在环保型消费者群体中形成了显著的**竞争优势**。在面向公众的沟通宣传中，VAUDE 尤其强调对儿童的保护，同时，保持信息透明度和持续发布相关信息也是其核心策略之一。

目前，VAUDE 仍持续跟踪并公开披露其进展（[链接](#)），且正在努力将 PFAS-free 的解决方案推广至帐篷产品。但是，帐篷产品对性能要求较高，是淘汰 PFAS 过程中最后一块极具挑战性的“硬骨头”。

附录 M2 主要实践

建立支持性流程

- **限制有害物质：**2011 年启动的绿色和平“Detox”行动中，共有 80 家时尚企业承诺在 2020 年前逐步淘汰生产线中的有害化学物质。作为该行动的一部分，VAUDE 提交了“Detox 承诺”及一份详细行动计划，其中包括在 2016 年制定严格的《制造受限物质清单》（MRSL）。该清单对整个生产过程及最终产品中的关键物质实施严格限量或禁用，参考了 Bluesign 和 ZDHC 的工作成果。

- **寻找替代方案：**在探索防水整理剂时，VAUDE 审查了所有现有及新兴替代方案，评估其是否适用于自家供应链。最终发现，无法为所有纺织品及供应商统一使用某一单一方案，因为不同化学配方在不同供应商中的性能表现差异显著。因此，VAUDE 定义了明确的性能要求，所有供应商必须满足这些标准。所采用的方案覆盖多种来源，包括 Rudolf、3M、Daikin 及其他品牌。
- **投资创新：**VAUDE 直接与供应商合作，许多供应商原本从未与品牌方如此深入合作。他们组织圆桌会议，在非竞争性环境下共同探讨超越个别企业界限的解决方案，共同开发并推广 PFAS-free 替代品。
- **性能测试：**现实使用场景测试显示，常规生产中的喷水测试并不能反映真实环境。为确保功能性能，VAUDE 自行制定了更贴近实际使用情境的测试参数。同时，测试结果也高度依赖产品的使用阶段和消费者行为。
- **跨职能参与：**这一工作最初由三人小组推动，后来发展为涉及约 30 人的跨部门合作，包括质量管理、产品开发、材料采购和市场营销等职能。

克服障碍

- **供应链抗拒：**该过程要求与供应商和行业领先者密切合作，开展培训、能力建设和审核。由于 VAUDE 在多数供应商的客户群体中所占比例较小，许多供应商最初对变革缺乏认知，也没有足够的信心。
- **技术难题：**不含 PFAS 的处理方式给面料染色、接缝强度和整体耐用性带来挑战。这促使 VAUDE 必须加强与供应商的关系，同时开展额外研究工作，深入了解这种处理方式在纺织厂层面产生的影响，包括因产出减少和生产节奏放缓而引发的财务影响。
- **市场怀疑：**由于消费者对高性能装备的期望较高，早期推广无 PFAS 产品时面临较大风险，如退货和投诉等。对此，VAUDE 强调要向消费者清晰、准确地传达这一转型过程，包括对转型成果和推进进展进行公开报告。
- **缺乏监管支持：**由于缺少强制性法律框架，许多供应商将 VAUDE 的要求视为“可选”而非“必要”。因此，政府的作用至关重要，只有通过立法等手段，才能向市场发出明确信号，并推动研发，加速替代品的落地。

附录 M3 经验启示

- **监管行动至关重要：**如果更早出台更强有力的法律，基于科学证据的行业整体转型将会更快、更广泛地实现。强制性政策（如针对特定产品类别的禁令）对推动市场采纳安全替代品具有决定性作用。
- **供应商合作应实现全球化：**最初将淘汰 PFAS 视为“欧洲小众议题”的观念显著减缓了全球转型进度。要实现全球工厂和生产基地的清洁一致输出，全球一致性的供应链合作至关重要。
- **重构性能标准认知：**必须推动思维方式转变——在可接受的性能下降范围内换取环境和健康状况的显著改善，这样的做法是值得的。

附录 N 纺织行业的数字化

附录 N1 引言与现状

欧盟《可持续与循环纺织战略》指出，数字技术是推动欧洲纺织行业向循环和可持续经济转型的重要驱动力之一，可提升效率、生产力、韧性、应对市场变化的能力和竞争力（European Commission, 2022）。工业 4.0 指的是将先进数字技术（如人工智能、物联网、自动化工具等）融入传统制造流程和业务运营中（Manshoven 等, 2025; EEA, 2025）。目前，纺织行业正涌现出多种数字技术，这些技术有助于进行数据收集与大数据分析、提升互联互通水平，或实现流程自动化、信息可及性与数据安全。这些技术包括但不限于 3D 打印、机器人、物联网、云计算、人工智能、增强现实与虚拟现实（AR/VR）、在线平台、传感器与标签（如 RFID）、数字孪生、数字产品护照（DPPs/DPIs），以及计算机辅助设计（Manshoven 等, 2025）。

近年来，纺织行业已经在数字化方面取得了显著进展。一些企业已开始在制造与物流流程中集成人工智能（AI）、区块链、物联网或自动化解决方案，以优化流程；另一些企业则在设计和生产中使用数字化设计、虚拟样品开发或 3D 打印，以提高效率并减少资源消耗和废弃物产生（Manshoven 等, 2025）。部分纺织企业甚至围绕数字技术构建新的商业模式，提供创新服务，开拓新的收入来源。自 21 世纪初起，电子商务与在线平台的使用呈现持续增长态势，为消费者提供了更丰富的产品选择、更低的价格与更高的便利性（Manshoven 等, 2025）。2009—2022 年间，欧盟服装和纺织品线上销售收入占比翻了一倍，从 5% 增至 11%（Euratex, 2022）。2023 年，欧盟有 40% 的在线购物者购买了服装或鞋类（Euratex, 2024）。这一趋势因 COVID-19 疫情而加速，推动纺织行业的数字化转型，也促使更多消费者转向线上或移动购物（Manshoven 等, 2025）。然而，许多在线平台主打快时尚模式或超快时尚模式，加剧了由于生产和消费增加以及全球运输所带来的环境、气候和废弃物问题（Manshoven 等, 2025）。此外，宽松的退货政策和尺码不确定性导致服装退货率居高不下（欧洲平均达 20%），其中有 22%~43% 的退货最终被销毁（EEA, 2024a）。

尽管如此，将先进数字技术融入纺织行业仍具有诸多潜在益处。这些技术不仅能够提升资源利用效率、增强行业透明度、辅助决策制定，还能借助传达可持续信息的方式，改善与消费者的沟通效果（例如，通过数字产品护照引导消费者作出更负责任的购买决策）。数字工具还能促进循环产品设计，使生产更智能化，从而更好地匹配供需、实时优化供应链并改善产品生命周期管理。此外，数字化也能支持新的循环商业模式，如维修服务等（Manshoven 等, 2025）。从循环经济的角度来看，数字技术可以通过延长产品寿命（减缓循环）、提高资源效率、减少浪费（缩小循环）以及加强回收和逆向物流（闭环）等方式，促进环境可持续性（Bocken 等, 2016; Manshoven 等, 2025）。从经济角度看，数字化可借助资源共享、再利用或回收等循环商业模式（CBM），实现成本节约与收入增长。从社会角度看，数字化有助于增强利益相关方的参与度，进而推动形成包容且可持续的商业实践（Broccardo 等, 2023）。

然而，数字技术的频繁使用也带来了潜在权衡与重大风险，这将在本附录后续部分讨论。

附录 N2 数字技术在纺织行业价值链各阶段的潜在应用

以下将讨论欧洲环境署 ETC CE 报告 2025/6《纺织品与环境——数字技术在欧洲循环经济中的作用》（Textiles and the environment – The role of digital technologies in Europe's circular economy）（Manshoven 等, 2025）中列举的数字技术在不同生命周期阶段有助于构建循环纺织经济的典型应用案例。

附录 N3 产品设计

产品设计和工程过程具有高度迭代性，传统模式下，这一过程需要大量的手工操作和实物样品。这不仅成本高、耗时长，而且会产生大量废弃物。究其原因，该过程涉及设计测试与评估，以及全球范

围内的样品运输，从而造成了沉重的物流负担（Manshoven 等，2025）。

向数字化设计工具和数字样品、原型的转型（使用计算机辅助设计、三维建模和 3D 打印等技术）可以减少资源消耗和废弃物的产生，因为可以避免制作和运输实物样品。此外，迭代设计与打样过程将更为高效。然而，目前仍难以完全真实地模拟织物的物理属性与行为（Manshoven 等，2025；Casciani 等，2022）。AI 算法可以帮助设计人员选择可持续、循环型材料，并在设计过程中作为创造性和技术性的辅助工具，还可以通过“零废设计”和“零废裁剪”原则优化面料利用率，减少裁剪损耗。另一个新兴趋势是智能纺织品，即集成传感器和物联网（IoT）系统的织物，具备温度调节、医疗数据收集等附加功能。尽管具有创新性，但人们对其可回收性与生命周期结束时的处理方式存在一定担忧（Manshoven 等，2025）。

附录 N4 纺织制造

制造过程中的低效问题（如生产过剩、流程与质量控制薄弱）导致大量前端废弃物的产生。数字技术可以优化生产流程（EEA，2024a；Huygens 等，2023）。

AI、云计算、物联网和传感器等数字工具能实现生产过程的实时监控，从而提升计划管理能力，并减少资源与能源使用。它们有助于优化流程与供应链，降低成本，并增强生产各步骤的可追溯性。自动化面料扫描和 AI 驱动的缺陷识别系统可提升质量控制效率。像 3D 打印、3D 针织等技术则可通过本地化、快速、个性化和更少浪费的生产方式减少长途运输、库存和过剩产能。自动化与机器人技术可以通过精确的自动裁剪提升生产率、质量与材料利用率，实现更短的交付周期和按需生产，虽然这也可能加速时尚趋势、刺激消费者需求和冲动购物（Casciani 等，2022；Rantala 等，2023；Ahmad 等，2020；Manshoven 等，2025）。

附录 N5 零售与消费者互动

由于缺乏对消费者行为和偏好的深入了解，且供应链周期较长，导致订单量预测难度较大。在欧洲，约有 4%~9% 的纺织品未销售即被销毁（EEA，2024a）。

虚拟试衣间（使用 3D 人体扫描、增强现实和虚拟现实技术）可以帮助消费者在线试穿，降低退货率。AI 和大数据分析可提升需求预测能力，从而更精准地匹配生产与实际市场需求，减少库存积压和报废（Manshoven 等，2025）。二维码和条形码、NFC 芯片或支持物联网的 RFID 标签等数字产品标识符，能够实现与客户透明地共享信息（如关注物质、整个价值链情况、环境绩效等），同时有助于开展更高效的内部库存管理、进行产品真实性验证以及跟踪产品和消费者行为。此外，这些代码与标签将成为未来强制性数字产品护照（Digital Product Passport, DPP）建设的重要基础（Manshoven 等，2025）。

附录 N6 产品使用

此类数字产品标识符和传感器亦可集成物联网和 AI 助手，用于提升纺织品的维护管理水平。例如可通过智能洗标与物联网洗衣机协同，实现最佳护理，或通过数字化洗护指南优化纺织品处理。线上平台、移动应用与 AI 算法还可让纺织品租赁与维修服务更便捷、更可信、更经济，涵盖日程安排、进度追踪、支付与远程损坏诊断（带准确报价），这对于促进人们维修纺织品尤为关键（Manshoven 等，2025）。

附录 N7 收集、分拣与废弃物处理

当前，纺织废弃物管理主要依赖低技术方式，人工分拣费时且复杂，且收集者、分拣者与设计者或制造商之间联系薄弱。

数字技术在纺织废弃物自动化分类过程中可提高分拣效率、成本效益与准确度。考虑到欧盟自 2025 年起将强制单独收集使用终止的纺织品，预计收集量将上升但质量下降，数字识别技术（如 RFID 标签、二维码）在产品生命周期终端（EoL）管理中将变得至关重要。借助这些技术，分拣者可透明、快

速、自动地识别纺织品的组成，减少处理时间与成本，并提升分拣能力。同时，它们还可实现产品生命周期的精准追踪，进而优化循环商业模式（CBMs）。此背景下，数字产品护照对于向分拣者与回收者提供详细信息也十分关键。近红外光谱（NIR）与高光谱成像等机器视觉技术也是推动自动化分拣的关键手段。当前，NIR 是按纤维类型和颜色快速、准确识别和分拣纺织品的最先进技术，是引导服装进入适当回收/再制造路径并输出高质量回收材料的前提。但自动分拣技术目前仍处于开发阶段，尚未规模化。此外，数字工具还可支持优质再生纤维供应商与希望整合可持续材料的制造商之间的连接，建立成熟的二次资源市场（Manshoven 等，2025；Rantala 等，2023）。

附录 N8 价值链管理与透明度

数字技术突破了单一生命周期阶段的局限，在实现全面价值链管理与透明化方面亦发挥关键作用。

区块链、物联网、云计算与 AI 等技术正日益应用于纺织价值链，以支持数据管理、确保数据真实性、验证产品身份并追踪可持续性。它们可帮助企业提高价值链透明度，应对即将出台的监管要求，推动自动化的信息采集、管理与共享。这些技术还能实现对排放、资源使用及社会/环境影响的追踪与监测，支持更明智的决策、增强消费者接受度与强化价值链合作。例如，物联网传感器可全生命周期监控服装产品，并将每一次交易记录在不可篡改的区块链上，确保供应链的真实性与透明性。

智能数字标签如通用产品代码、RFID 标签与条形码在整个价值链中起着重要作用。它们可提升供应链效率、验证产品真实性、支持消费者参与、实现可追溯性，并为产品回收再利用提供支持。预测显示，五年内超过一半的时尚产品将配备 RFID 标签，这也得益于其日益提升的成本效益。不过，这一趋势也面临一些挑战，例如 RFID 标签在洗涤过程及产品整个生命周期中的耐久性问题的，以及数字标签本身的环境影响问题。

欧盟《可持续产品生态设计法规》（ESPR）引入了“数字产品护照”（DPP）的强制要求。DPP 是一个数字记录，通过唯一标识符（如二维码、NFC 芯片、RFID 标签）提供全面、易获取的产品信息。这将成为提升透明度与推动纺织领域循环实践的核心工具，使各方可方便地了解产品的组成、使用年限、原产地或环境影响等详细信息。其目标是支持更可持续的生产与消费选择，改善维修与回收过程，增强供应链协作，提升消费者信任，并通过更优的生命周期管理减少过度生产。在废弃物管理方面，数字产品护照可通过提供关于产品组成与再生含量的全面信息，提升分拣与回收的准确性，进而促进二次原材料市场的发展。然而，挑战依旧存在，如纺织供应链复杂、产品使用和回收后材料追踪困难，以及实施过程高度依赖行政资源等。此外，还应确保数据载体在整个生命周期中具备足够耐久性，确保长期追踪与信息可访问性（The European Parliament and the Council of the European Union, 2024；Manshoven 等，2025）。

circularity.ID⁷⁶是由 circular.fashion⁷⁶开发的数字产品护照示例。其包含不可变的数据（如材料与化学成分）及可变的产品信息（如护理指南、服务与可持续信息），用户可通过二维码或 NFC 标签访问。该开放数据标准确保了不同软件系统与生命周期各方之间的兼容性与互操作性。消费者可通过扫描嵌入的标签访问产品信息。目前，已将 circularity.ID⁷⁶ DPP 集成至其产品中的品牌包括 ARMEDANGELS、Besonnen、OTTO、The Slow label 与 Vretna（circular.fashion，2025）。

BMBF 资助的纺织业数字化项目实例见附录 O。

附录 N9 数字技术的权衡与风险

尽管数字技术在推动纺织行业实现循环发展方面展现出潜力，但同时也伴随着一系列权衡、风险与实施障碍，需要予以审慎考虑。数字技术在其整个生命周期内，会对环境和气候产生显著影响，包

⁷⁶ <https://circular.fashion/>

括支撑数据中心和人工智能系统运行所需的大量能源和水资源，以及由此引发的温室气体排放和原材料开采活动。随着先进数字技术的广泛应用，这些影响预计将进一步加剧。IEA 预计，到 2026 年，全球数据中心的电力消耗量可能会增加一倍以上，尤其是在人工智能使用扩大的背景下。需要注意的是，数字化还存在产生意外反弹效应（rebound effects）的风险。效率提升反而可能加速快时尚趋势，导致更高水平的生产与消费（即杰文斯悖论），从而削弱延长产品寿命和减少废弃物的努力。此外，大多数数字技术的引入，主要目的并非为了增强可持续性，而是为了提高效率、盈利能力和个性化营销能力。因此，除了依靠技术进步，行为方式的转变和监管框架的完善，对实现具有实质意义的环境效益同样至关重要（Manshoven 等，2025）。

附录 O BMBF 资助的与纺织业数字化相关的项目

作为其资助计划“**循环可持续纺织品**”的一部分，德国联邦教育与研究部（**BMBF**）支持科学界、工业界和实践领域之间开展最长为期三年的合作研发项目，以开发和测试用于改善纺织品循环性的整体性、可立即实施的解决方案。许多受资助项目整合了数字技术，旨在将创新转化为市场成熟的产品，并促进可持续的循环商业模式。以下介绍选定的示例项目，特别聚焦于数字化领域（FONA，2025）。

表 6：ReseT——合成混纺面料的回收解决方案

项目描述	1.通过整合多种回收程序，打造针对 聚酯、尼龙和氨纶等合成混纺面料 的整体型、创新型回收解决方案 2.实现材料的高质量回收，并在不降低品质的前提下重新投入循环使用
数字化	1. 项目合作方 Xiphoo 正在开发 数字产品护照（DPP） ，用于本项目生产的回收纺织品 2.向消费者提供关于 材料成分、可持续性 以及产品 寿命终结阶段管理方案 的详细信息 3.向消费者提供关于正确处理方式的信息，使其能够被有效回收
项目合作方	1.Xiphoo GmbH（数字产品护照） 2.Maier Sports GmbH（产品设计及 DPP 集成） 3.Matter GmbH（revolPET®工艺的进一步开发，用于处理混纺面料） 4.布伦瑞克工业大学（Technische Universität Braunschweig）（支持回收工艺、材料分析与质量控制） 5.Indorama Ventures Fibers Germany GmbH（支持回收单体制成 PET 的生产）

来源：（BMBF，2025）

表 7：HoliTexCycle——循环纺织品的整体标准和软件解决方案

项目描述	1.制定面向循环产品的 整体性标准 ，包括相关标准要求与评价准则，同时开发一款 创新软件解决方案 2.创建模块化和一体化平台， 连接整个产品及生命周期内的系统和利益相关方 ，优化产品开发、循环利用与回收流程 3. 帮助制造商 在其业务系统和商业模式中整合并规模化发展循环产品与回收利用
数字化	1.开发具有自动决策支持功能的软件工具，用于循环产品开发（例如，选择合适的回收体系和商业模式）与验证 2.与数字产品护照 circularity.ID 连接，为消费者提供服务 3.通过标准化数据管理，实现所有项目合作方之间的数字化互联

项目合作方	1.circular.fashion（负责整体标准制定、系统组合及软件集成） 2.柏林技术与经济大学（Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin）与 Hohenstein Innovations gGmbH（开发耐久性指数并开展相关研究） 3.Marc O'Polo SE（关联产业合作方，参与实际试点） 4.Dachverband FairWertung e.V.、matterr GmbH、责任纺织服务质量协会（Gütegemeinschaft Verantwortungsvoller Textilservice e.V.）（提供支持）
-------	---

来源：（BMBF，2025）

表 8：ZirTex——防护服行业的模块化概念和循环流程

项目描述	1.建立一个专为 纺织类防护服 市场开发的平台，支持 模块化设计、个性化定制和可持续性评估 2.项目目标：开发贴身舒适、使用寿命长，并具有更强循环性能的防护服
数字化	1.利用 数字纺织品管理系统 （ZirTexCRM）对每件防护服进行全生命周期记录，以优化维修、回收或再利用等循环流程管理 2.使用 用户特定的身体扫描数据 ，实现基于预制模块的防护服自动化生产 3.通过 ZirTexCRM 系统实现防护服在整个生命周期中的 数字化追踪与管理
项目合作方	1.ALSCO GmbH（数字化损坏管理） 2.Circular MTC e.V.（环境评估与材料流分析） 3.Fraunhofer IWU（创新分离与回收技术） 4.Held GmbH（模块化服装新型商业模式） 5.Lions Spirit（个性化身体扫描） 6.德累斯顿工业大学（TU Dresden）、Müller Brandschutztechnik（为消防员服装开发柔性身体扫描演示系统） 7.DIN e.V.（项目协调、标准化支持） 8.Texulting GmbH（10R 战略实施中的新商业模式设计）

来源：（BMBF，2025）

表 9：KISSTex——基于人工智能的旧纺织品分拣与可穿性评估

项目描述	1.开发一套 创新解决方案 ，利用人工智能技术、多传感数据和高精度机器人系统 对旧纺织品进行分拣 2.分拣过程旨在取代现有低效的人工分拣方法，并根据 耐磨性和可回收性 对纺织品进行 高效、透明的分类
数字化	1.集成 多传感器数据 （光学和近红外传感器）、 人工智能模型 （包括深度学习、可解释 AI 和联邦学习）与 机器人系统 ，实现对纺织品的 自动评估与分拣 2.深度学习和可解释人工智能确保 透明的人工智能决策 ，而联邦学习则增强 数据保护

项目合作方	1.多家研究机构，包括德国亚琛工业大学纺织技术研究所（Institut für Textiltechnik）（传感器技术与纺织评估） 2.企业合作方如 Arnold IT（机器人与气动技术） 3.CarboScreen（项目整体协调） 4.Hahn-Schickard-Gesellschaft（算法开发与联邦学习） 5.Carbon Minds（生态影响评估）
-------	---

来源：（BMBF，2025）

表 10：ZirKuS——具有集成管理功能的数字化人造草坪系统

项目描述	1.ZirKuS 项目致力于开发一个 循环型、数字化的人造草坪系统 ，具备 集成化管理能力 2.项目目标是 延长草坪生命周期、高效利用资源 ，并在使用结束时实现可回收处理 3.通过 全面的监测流程 ，实现对人造草坪系统的高效管理，并确定其 最佳回收时机
数字化	1.实现对人造草坪 整个生命周期的数字化管理 2.在草坪的整个使用寿命期间对草坪状况进行 全面的数字跟踪和优化
项目合作方	1.THINK TANK TECHNOLOGIES engineering & innovations 2.TFI Aachen e.V., Institut für Textiltechnik （ITA） der RWTH Aachen University 3.Hoffmann & Voss GmbH 4.Lömi GmbH 5.Labor Lehmacher Schneider GmbH & Co. KG （LLS） 6.IANUS Simulation GmbH 7.LECO-Werke Lechtreck GmbH & Co. KG

来源：（BMBF，2025）

表 11：zPP——面向交通运输行业的聚丙烯循环可持续技术纺织品

项目描述	1.开发 可持续的聚丙烯（PP）基纺织品 ，用于运输部门（例如汽车罩） 2.构建“可回收设计”（Design-for-Recycling）路径，包括 使用统一材料 以简化回收过程 3.通过 数字化流程 提升整个产品生命周期的追踪能力，促进回收利用
数字化	1.聚焦于 技术创新与数字化转型 2.开发聚丙烯的机械回收与热回收新技术，确保回收纤维的材料质量不下降 3.构建一个 数字化流程模型 ，实现对纺织品全价值链生命周期的可视化管理
项目合作方	由来自工业和研究领域的八个合作方组成跨学科联盟，这些合作方具有纤维和纺织技术、回收和工艺优化方面的专业知识和技能

来源：（BMBF，2025）

表 12：UEBER-AUS——通过区域循环系统利用纺织盈余与边角料

项目描述	1.探索多种减少与增值纺织废弃物流的策略，聚焦工业后端与消费前废弃物 2.策略包括商业模式与生产流程优化、级联利用、追踪与回收机制改进，以及为再生材料寻找新市场渠道等 3.构建区域价值链，将科研、生产、物流与回收各关键利益相关方联结起来，从而推动兼具经济与生态可行性的物流解决方案（如联合回收）
数字化	1.计划采用追踪技术以提升纺织废弃物流的监控能力 2.引入最先进的技术，优化材料流的可分类性与可回收性，并设计高效的物流方案
项目合作方	1.罗伊特林根应用技术大学（Hochschule Reutlingen），Hohenstein Innovations（纺织废弃物流领域专家） 2.德国生态研究所（ifeu）（生命周期评估） 3.德国生态经济研究所（IÖW）（商业模式与市场分析） 4.Südwest-deutsche Unternehmen der textilen Wertschöpfungskette: TEXOVERSUM Fakultät Textil（HSRT）、Braun. Ku-Tex e.K.、Karl Conzelmann GmbH+ Co. KG、Polysecure GmbH、RÖKONA Textilwerk GmbH Co. KG（项目实证落地）

来源：（BMBF，2025）

附录 P 联合国环境署摘要报告《纺织价值链的可持续性与循环性：全球路线图》

路线图：

1.路线图由联合国环境规划署（UNEP）提出，旨在通过系统性价值链方法引导各利益相关方共同推动全球纺织行业向可持续与循环模式转型。UNEP 与 140 多位纺织价值链相关人员协作，制定了一套共识议程，推动行业的系统性变革。

2.路线图基于 UNEP 2020 年发布的《全球盘点报告》，识别并应对纺织行业的环境与社会经济“热点问题”，在支持“人类、繁荣与公平”的同时推动行业转型。

3.实现此目标需要所有利益相关方协同努力、共享资源，推动形成共同的变革目标。

优先领域：为实现整个纺织价值链的系统性变革，路线图定义了三大相互关联的优先领域，需价值链中各方协调合作。

1.**转变消费模式：**优化产品设计、商业模式和消费者行为，通过降低原材料需求与延长使用周期等方式，减轻生产系统压力。

2.**优化生产实践：**改进现有生产场地、企业和流程中的行为与操作，提升资源效率并减少环境影响。

3.**基础设施投资：**投资建设共用的物理技术与系统基础设施，支持整个价值链的循环利用与可持续发展。

构建模块：路线图将三大优先领域进一步细化为九个可执行的“构建模块”，旨在解决纺织价值链中的环境与社会经济热点问题，并与行业目标保持一致。它进一步概述了每个利益相关者的优先行动，以共同推动循环和可持续转型。

1.全球推广可持续与循环的纺织商业模式。

2.应对纺织品的过度消费与过度生产问题。

3.所有纺织产品都应以最小环境影响和支持循环利用为设计目标。

4.更好的产品维护可降低环境影响并延长使用寿命。

5.纺织价值链能够推动资源高效利用，并消除生产污染、废弃物、化石能源使用与有害化学品。

6.推进公正转型，保障从业人员的技能、安全和权益，解决纺织行业的社会问题。

7.转向可持续或再生纺织原材料。

8.全球范围内建设与升级支持可持续和循环发展的共用基础设施。

9.大部分纺织废弃物应被有效回收，避免进入填埋或焚烧体系。

利益相关方专属附录：该路线图包含针对七类关键利益相关方的附录。每类附录均围绕“九大构建模块”提出优先行动建议，旨在明确各方在推动纺织行业实现可持续与循环转型过程中所承担的具体角色与责任，如：

1.**品牌与零售商：**新的商业模式、可持续的创收、循环性设计。

2.**政策制定者：**循环政策工具、投资和筹资、政策设计咨询和利益相关方协调。

3.**原材料生产商和制造商：**现场改进、减少影响的创新、保护和赋予工人权利、推动系统性变革。

4.**创新者和回收商：**提供循环产品和技术、可访问且可扩展的解决方案，并针对当前市场进行规划。

5.**非政府组织、代表组织和技术组织：**倡导行业和政策制定者迅速采取行动，明确优先事项，并推动利益相关者开展合作。

6.**宣传以及和消费者参与：**促进消费行为改变，凸显消费者之间的差异化特征，推动“可持续消费”

成为社会主流消费模式。

(来源: *UNEP, 2025c*)

致 谢

非常感谢中国环境与发展国际合作委员会（国合会）设立并支持“以循环经济促进高质量发展”专题政策研究项目，为中外专家提供了一个充分讨论和交流的平台。特别感谢国合会副主席解振华先生，国合会中方首席顾问刘世锦先生，国合会外方首席顾问魏仲加先生，国合会副秘书长、生态环境部国际合作司司长周国梅女士，国合会副秘书长、生态环境部对外合作与交流中心党委书记、主任李永红先生，国合会委员梅森纳先生，国合会特邀顾问、能源基金会首席执行官兼中国区总裁邹骥先生在项目实施过程中提供的指导和咨询建议。感谢国合会特邀顾问 Christoffer Grønstad 先生以及其他几位匿名评审专家为项目组研究报告提出中肯的建议。感谢国合会秘书处处长刘侃女士、高级项目主管唐华清女士、Sam Zhang 女士，以及国合会秘书处和国合会国际支持办公室（SISO）其他同事为本项目的实施提供咨询、组织和协调等方面的支持。同时，感谢以下专家和同事为本研究所作出的重要贡献：

德国联邦环境、气候行动、自然保护和核安全部：Susann SCHWARZE

生态环境部固体废物与化学品管理技术中心：侯琼

能源基金会：张慧勇、辛嘉楠、温新元、陈晗

福华通达化学股份公司：张浔萦、李元燊、张弦、杨吉、冯洲、徐文榴、张瑶

华峰华锦有限公司：方冬梅、陈春妹、林双双

北京环丁环保大数据研究院：王坤、苏稼禾、高超凡

南方科技大学：许盛彬

参考文献

- Acatech / Systemiq (2021): Kunststoffverpackungen im geschlossenen Kreislauf – Potenziale, Bedingungen, Herausforderungen. 来源: <https://www.acatech.de/publikation/kunststoffverpackungen-im-geschlossenen-kreislauf-potenziale-bedingungen-herausforderungen/>, 最近访问时间 2025 年 9 月 11 日
- African Circular Economy Alliance (n.d.): The African Circular Economy Alliance. 来源: <https://www.aceafrica.org/about-acea>, 最近更新时间 2025 年 6 月 23 日, 最近访问时间 2025 年 6 月 23 日
- Ahmad, S.; Miskon, S.; Alabdan, R.; Tlili, I. (2020): Towards Sustainable Textile and Apparel Industry: Exploring the Role of Business Intelligence Systems in the Era of Industry 4.0. In: Sustainability 12 (7). DOI: 10.3390/su12072632.
- ASEAN Circular Economy Stakeholder Platform (n.d.): ASEAN Frameworks, Framework for Circular Economy for the ASEAN Economic Community (AEC). ASEAN Circular Economy Stakeholder Platform (ed.). 来源: <https://ce.acsdsd.org/circular-economy/asean-frameworks/>, 最近访问时间 2025 年 6 月 23 日
- Barrie, J.; Salminen, I.; Schroeder, P.; Stucki, J. (2024): National Circular Economy Roadmaps: A global stocktake for 2024. Report. United Nations Industrial Development Organization and Chatham House (ed.). Vienna. 来源: https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2024-05/UNIDO_National%20circular%20economy%20roadmaps_v07.pdf, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日
- BMBF - Bundesministerium für Bildung und Forschung (2025): Projektblätter der BMBF-Fördermaßnahme "Zirkuläre Textilien", Bundesministerium für Bildung und Forschung; Forschung für Nachhaltigkeit, 最近访问时间 2025 年 4 月 17 日
- BMUV - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (ed.) (2024): Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS). Berlin. 来源: <https://www.bmuv.de/themen/kreislaufwirtschaft/kreislaufwirtschaftsstrategie>, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日
- BMUV - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (n.d.): Kreislaufwirtschaftsstrategie Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日
- Bocken, N. M. P.; Pauw, I. de; Bakker, C.; van der Grinten, B. (2016): Product design and business model strategies for a circular economy. In: Journal of Industrial and Production Engineering (5), pp. 308–320. DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124.
- Broccardo, L.; Zicari, A.; Jabeen, F.; Bhatti, Z. A. (2023): How digitalization supports a sustainable business model: A literature review. In: Technological Forecasting and Social Change 187, p. 122146. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.122146.
- bvse - Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (ed.) (2020): Bedarf, Konsum, Wiederverwendung und Verwertung von Bekleidung und Textilien in Deutschland. 来源: https://www.bvse.de/dateien2020/1-Bilder/03-Themen_Ereignisse/06-Textil/2020/studie2020/bvse%20Alttextilstudie%202020.pdf, 最近访问时间 2024 年 9 月 17 日
- Carboliq (2024): Plastic waste to liquid resource. 来源: https://carboliq.com/pdf/6_CARBOLIQ_flyer_K_2019.pdf
- Casciani, D.; Chkanikova, O.; Pal, R. (2022): Exploring the nature of digital transformation in the fashion industry: opportunities for supply chains, business models, and sustainability-oriented innovations. In: Sustainability: Science, Practice

and Policy (18(1)), pp. 773–795. 来源: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/15487733.2022.2125640>, 最近访问时间 2025 年 4 月 28 日

China Daily (2022): China to up its textile recycling capability, 2022 年 4 月 20 日. 来源: https://english.www.gov.cn/statecouncil/ministries/202204/20/content_WS625f649fc6d02e5335329a8f.html, 最近访问时间 2025 年 7 月 7 日

Circle Economy (2023): "The Circularity Gap Report 2023: Global Circular Economy Status and Challenges." Circle Economy (ed.). 来源: <https://www.circularity-gap.world/2023>, 最近访问时间 2025 年 9 月 11 日

Circle Economy (2024): The Circularity Gap Report 2024. Circle Economy (ed.). 来源: <https://admin.circl.nl/wp-content/uploads/2024/02/CGR-Global-2024-Report.pdf>, 最近访问时间 2025 年 9 月 11 日

Circle Economy (2025): The circularity gap report 2025. Circle Economy (ed.). 来源: <https://www.circularity-gap.world/2025>, last updated on 29 May 2025, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日

Circular.fashion (2025): circularity.ID®. 来源: <https://circular.fashion/en/software/circularity-id.html>, last updated on 10 Mar 2025, 最近访问时间 2025 年 4 月 30 日

Deckers, J.; Duhoux, T.; Due, S. (2024): Textile waste management in Europe's circular economy. European Environment Agency (ed.). 来源: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-report-2024-5-textile-waste-management-in-europes-circular-economy>, 最近访问时间 2025 年 4 月 11 日

Duhoux, T.; Maes, E.; Hirschnitz-Garbers, M.; Peeters, K.; Asscherickx, L.; Christis, M.; Stubbe, B.; Colignon, P.; Hinzmann, M.; Sachdeva, A. (2021): Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fibres recycling, Final Report. European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Publications Office of the European Union (ed.). Luxembourg. 来源: <https://data.europa.eu/doi/10.2873/828412>, 最近访问时间 2024 年 9 月 17 日

Duhoux, T.; Smeets, A.; Kress, L.; Mortensen, L. F. (2025): Measuring Europe's textiles circularity – through the lenses of the EEA Circularity Metrics Lab, ETC CE Report 2025/7. Eionet (ed.). 来源: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-report-2025-7-measuring-europe2019s-textiles-circularity-2013-through-the-lenses-of-the-eea-circularity-metrics-lab>, 最近访问时间 2025 年 3 月 27 日

EEA - European Environment Agency (2022): Microplastics from textiles: towards a circular economy for textiles in Europe. European Environment Agency (ed.). 来源: <https://www.eea.europa.eu/publications/microplastics-from-textiles-towards-a/microplastics-from-textiles-towards-a>, 最近访问时间 2025 年 6 月 5 日

EEA - European Environment Agency (2023): EU exports of used textiles in Europe's circular economy. 来源: <https://www.eea.europa.eu/publications/eu-exports-of-used-textiles/eu-exports-of-used-textiles>, 最近访问时间 2024 年 6 月 18 日

EEA - European Environment Agency (2024a): The destruction of returned and unsold textiles in Europe's circular economy, European Environment Agency. 来源: <https://www.eea.europa.eu/publications/the-destruction-of-returned-and/>, last updated on 22 May 2024, 最近访问时间 2025 年 4 月 28 日

EEA - European Environment Agency (2024b): Management of used and waste textiles in Europe's circular economy (03/2024). 来源: <https://www.eea.europa.eu/publications/management-of-used-and-waste-textiles/management-of-used-and-waste/download.pdf.static>, 最近访问时间 2024 年 6 月 13 日

EEA - European Environment Agency (2025): Circularity of the EU textiles value chain in numbers. European Environment Agency (ed.). 来源: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/circularity-of-the-eu-textiles-value-chain-in-numbers?activeTab=6397c084-2e5f-4545-a873-f99323d40846>, last updated on 25 Apr 2025, 最近访问时间 2025 年 4 月 25 日

Ellen MacArthur Foundation (2017): A New Textiles Economy, Redesigning fashion's future. Ellen MacArthur Foundation (ed.). 来源: <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>, 最近访问时间 2025 年 4 月 11 日

Euratex (2022): Facts & Key Figures 2022 of the European Textile and Clothing Industry. Euratex, 最近访问时间 2025 年 4 月 28 日

Euratex (2024): Facts & Key Figures 2024 of the European Textile and Clothing Industry. Euratex. 来源: <https://euratex.eu/wp-content/uploads/EURATEX-Facts-Key-Figures-2024.pdf>, 最近访问时间 2025 年 4 月 28 日

European Commission (11 Mar 2020): Press release: Questions and Answers: A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe. Brüssel. 来源: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_419, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日

European Commission (2 Jul 2025): Press release: Key actions launched to advance the circular economy. Brüssel. 来源: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_1710, 最近访问时间 2025 年 7 月 7 日

European Commission (2019): Communication from the Commission, The European Green Deal. European Commission (ed.). 来源: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日

European Commission (2022): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles. European Commission (ed.). 来源: https://environment.ec.europa.eu/document/download/74126c90-5cbf-46d0-ab6b-60878644b395_en?filename=COM_2022_141_1_EN_ACT_part1_v8.pdf, 最近访问时间 2024 年 6 月 24 日

European Commission (2025): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, The Clean Industrial Deal: A joint roadmap for competitiveness and decarbonisation. European Commission (ed.). 来源: https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_en, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日

European Commission (n.d.a): Circular economy action plan. European Commission (ed.). 来源: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日

European Commission (n.d.b): Circular economy, European Commission. 来源: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy_en, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日

European Commission (n.d.c): The European Green Deal, A growth strategy that protects the climate. European Commission

(ed.). 来源: <https://ec.europa.eu/stories/european-green-deal/>, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日

European Parliament and the Council (2025): REGULATION (EC) No 1907/2006 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC, Version of Document 02006R1907-20250422. 来源: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1907-20250422>, 最近访问时间 2025 年 7 月 16 日

European Parliament and the Council (2025): REGULATION (EC) No 1907/2006 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC, Version of Document 02006R1907-20250422. 来源: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1907-20250422>, 最近访问时间 2025 年 7 月 16 日

Eurostat (n.d.): Circular Economy Monitoring Framework. eurostat (ed.). 来源: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework>, 最近访问时间 2025 年 6 月 2 日

FONA - Forschung für Nachhaltigkeit (2025): Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft - Zirkuläre nachhaltige Textilien. Bundesministerium für Bildung und Forschung (ed.). 来源: https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/zirkulaere_textilien.php, 最近访问时间 2025 年 4 月 17 日

Fraunhofer UMSICHT (2025): Background and technologies: Chemical recycling. 来源: https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/en/Our_Solution/chemical-recycling.html, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

G20 (ed.) (2017): G20 Resource Efficiency Dialogue, Annex to G20 Leaders Declaration. Hamburg. 来源: https://www.g20germany.de/Content/DE/_Anlagen/G7_G20/2017-g20-resource-efficiency-dialogue-en_nn=2190012.html, 最近访问时间 2025 年 6 月 23 日

GACERE - Global Alliance on Circular Economy and Resource Efficiency (ed.) (2021): GACERE Working Document on Circular Economy and Climate Change. 来源: https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2024-04/GACERE_WPCECC.pdf, 最近访问时间 2025 年 7 月 22 日

Greenpeace Africa (2024): "Fast Fashion, Slow Poison: New Report Exposes Toxic Impact of Global Textile Waste in Ghana." Greenpeace Africa (ed.). 来源: <https://www.greenpeace.org/africa/en/press/56381/fast-fashion-slow-poison-new-report-exposes-toxic-impact-of-global-textile-waste-in-ghana/>, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

Hermanns R, Kraft A, Hartmann P, Meys R (2023): Comparative life cycle assessment of pyrolysis – recycling Germany's sorted mixed plastic waste. Chem Ing Tech, 95: 1259-1267. doi:10.1002/cite.202300041

Huygens, D.; Foschi, J.; Caro, D.; Patinha, C. C.; Faraca, G.; Foster, G.; Solis, M.; Marschinski, R.; Napolano, L.; Fruergaard, A. T.; Tonini, D. (2023): Techno-scientific assessment of the management options for used and waste textiles in the European

Union. Joint Research Centre (ed.).来源: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC134586>, 最近访问时间 2025 年 4 月 11 日

ICCM5 (2023a): Fifth session of the International Conference on Chemicals Management | GFC. United Nations Environment Programme (ed.).来源: <https://www.chemicalsframework.org/events/iccm5>, 最近访问时间 2025 年 6 月 5 日

ICCM5 (2023b): Global Framework on Chemicals - For a Planet Free of Harm from Chemicals and Waste. United Nations Environment Programme (ed.).

IN4climate.NRW (Hrsg.) (2020): Chemisches Kunststoffrecycling – Potenziale und Entwicklungsperspektiven. Ein Beitrag zur Defossilisierung der chemischen und kunststoffverarbeitenden Industrie in NRW. Ein Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Circular Economy. Gelsenkirchen

International Council of Chemical Associations (2019): "Chemical Industry Contributes \$5.7 Trillion to Global GDP and Supports 120 Million Jobs, New Report Shows." 来源: <https://icca-chem.org/news/chemical-industry-contributes-5-7-trillion-to-global-gdp-and-supports-120-million-jobs-new-report-shows/>, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

International Energy Agency (IEA) (2024): "Chemicals." 来源: <https://www.iea.org/energy-system/industry/chemicals>, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

IOMC (ed.) (2024): Development of Global Framework on Chemicals (GFC) implementation programmes to advance integrated chemicals and waste management: National systems, industry engagement, and sustainable development linkages. A discussion note prepared by the IOMC to inform stakeholder consultations: Working Draft (12 August 2024).来源: https://iomcwebinars.org/wp-content/uploads/2024/10/webinar_24_2_doc_1.pdf, 最近访问时间 2025 年 6 月 5 日

IOMC (n.d.): Support for GFC Implementation Programmes. IOMC (ed.).来源: <https://partnership.who.int/iomc/support-for-gfc-implementation-programmes>, 最近访问时间 2025 年 6 月 5 日

Klinge, J.; Otto, S.; Löw, C.; Prakash, S.; Manhart, A.; Hinchliffe, D.; Bartnik, S.; Ewers, B. (ongoing): Design and implementation options for a recycling label: scope of application, criteria, target groups and certification process as well as legal framework conditions. Oeko-Institut; ifeu GmbH; cyclos GmbH. Umweltbundesamt (ed.). Dessau

Köhler, A.; Watson, David, Trzepacz, Steffen; Löw, C.; Liu, R.; Danneck, J.; Konstantas, A.; Donatello, S.; Faraca, G. (2021): Circular economy perspectives in the EU Textile sector (EUR 30734 EN) (JRC Technical Report, JRC125110.). Joint Research Centre (ed.). Luxembourg 来源: <https://dx.doi.org/10.2760/858144>, 最近访问时间 2023 年 9 月 27 日

Leal Filho, W., Perry, P., Heim, H., Dinis, M. A. P., Moda, H., Ebhuoma, E., & Paço, A. (2022). An overview of the contribution of the textiles sector to climate change. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.973102>

Löw, C.; Lorösch, H.; Moch, K. (2024): Textilrecycling – Status Quo und aktuelle Entwicklungen, Kurzstudie im Auftrag des NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V.来源: <https://www.oeko.de/publikation/textilrecycling-status-quo-und-aktuelle-entwicklungen/>, 最近访问时间 2025 年 4 月 11 日

Lutter, S.; Kreimel, J.; Giljum, S.; Dittrich, M.; Limberger, S.; Ewers, B.; Schoer, K.; Manstein, C. (2022): Die Nutzung natürlicher Ressourcen: Ressourcenbericht für Deutschland 2022. Umweltbundesamt (ed.).来源:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb_die_nutzung_natuerlicher_ressourcen_2022_0.pdf, 最近访问时间 2025 年 5 月 23 日

Manhart, A. (2024): Zirkuläre Kunststoffwirtschaft – Herausforderungen, Ansätze und Weichenstellungen. Presentation 来源: <https://www.oeko.de/fileadmin/aktuelles/WF2024/Folien/Kunststoffe-Manhart.pdf>, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

Manshoven, S.; Smeets, A.; Christis, M.; Duhoux, T.; Lingås, D.; Grossi, F.; Mortensen, L.; Clarke, J. (2025): Textiles and the environment – The role of digital technologies in Europe’s circular economy, ETC CE Report 2025/6. Eionet (ed.). 来源: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-report-2025-6-textiles-and-the-environment-2013-the-role-of-digital-technologies-in-europe2019s-circular-economy>, 最近访问时间 2025 年 3 月 27 日

Meys, R.; Hermanns, R.; Kraft, A.; Proff, S.; Steger, S. (2022): NRW.zirkulär - Umsetzungsstudie zu zirkulären Kunststoffen durch Pyrolyseverfahren in NRW. 来源: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/8546/file/8546_NRW_Zirkulaer.pdf, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

Plastics Europe (2024): Chemical Recycling and Mass Balance explained. 来源: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/chemical-recycling-mass-balance-explained/>, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

Prakash, S.; Löw, C.; Antony, F.; Dehoust, G.; Stuber-Rousselle, K.; Liu, R.; Castellero, L. G.; Hernandez, V. L.; Hurst, K.; Köhler, A.; Schön-Blume, N.; Loibl, A.; Sievers, L. et al. (2023a): Modell Deutschland Circular Economy, Modellierung und Folgenabschätzung einer Circular Economy in 9 Sektoren in Deutschland. Oeko-Institut e.V.; Fraunhofer ISI, Freie Universität Berlin. Oeko-Institut e.V. (ed.). 来源: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/MDCE_Modellierung.pdf, 最近访问时间 2025 年 4 月 11 日

Prakash, S.; Löw, C.; Jacob, K.; Fiala, V.; Dehoust, G.; Gascón Castellero, L.; Hurst, K.; Helleckes, H.; Manhart, A. (2023b): Modell Deutschland Circular Economy, Politik Blueprint. Comissioned by the WWF Deutschland. Oeko-Institute e.V. (ed.). 来源: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/MDCE_Blueprint.pdf, 最近访问时间 2025 年 5 月 30 日

Prognos (2024): Status report on the German circular economy 2024. Prognos; Auftraggeber: ASA, BDE, BDSAV, BDSV, BRB, bvse, DGAW, IFAT Munich, IGAM, InwesD, ITAD, VDMA, VHI, VDM, VKU. 来源: <https://www.prognos.com/de/projekt/statusbericht-der-deutschen-kreislaufwirtschaft-2024>, 最近访问时间 2025 年 9 月 11 日

Quicker, P.; Seitz, M. (2024): Abschätzung der Potenziale und Bewertung der Techniken des thermochemischen Kunststoffrecyclings. UBA Texte 154/2024, Dessau.

Rantala, T.; Saari, L.; Jurmu, M.; Behm, K.; Heikkilä, J.; Jokinen, A. (2023): Digital technologies for circular manufacturing. In: VTT White Paper (Vol. 2023). 来源: https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/76497949/Digital_technologies_for_circular_manufacturing_white_paper.pdf, 最近访问时间 2025 年 4 月 28 日

Sandin, G.; Roos, S.; Spak, B.; Zamani, B.; Peters, G. (2019): Environmental assessment of Swedish clothing consumption – six garments, sustainable futures.

Sievering, C. (2024): Impuls Chemie. Wissenschaft trifft Wirtschaft: Transformation gemeinsam voranbringen. 来源:

https://sci4climate.nrw/wp-content/uploads/2024/09/Impuls_Chemie-_Sievering-_2024_09_05.pdf, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

Statistisches Bundesamt (2025): Konjunkturdaten: Textil- und Bekleidungsindustrie. Statistisches Bundesamt (ed.).来源: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Tabellen/_tabellen-innen-konjunkturdaten-textil-bekleidungsindustrie.html, 最近访问时间 2025 年 4 月 29 日

Systemiq (ed.) (2025): The Textile Recycling Breakthrough: Why policy must lead the scale-up of polyester recycling in Europe.最近访问时间 2025 年 6 月 5 日

Textile Exchange (2024): 2024 Materials Market Report.来源: <https://textileexchange.org/app/uploads/2024/09/Materials-Market-Report-2024.pdf>, 最近访问时间 2025 年 1 月 22 日

The European Parliament and the Council of the European Union (2024): Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC (Text with EEA relevance).来源: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401781, 最近访问时间 2025 年 4 月 28 日

Umweltbundesamt (ed.) (ongoing): Ecodesign for Sustainable Products Regulation: requirements for the ecodesign of textiles and the potential transition to an ecodesign label. In collaboration with Oeko-Institut e.V.; Hochschule Niederrhein and Hochschule Hof.来源: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

UNEP - United Nations Environment Programme (2019): Global Chemicals Outlook II: From Legacies to Innovative Solutions, Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development.来源: <https://www.unep.org/resources/report/global-chemicals-outlook-ii-legacies-innovative-solutions>, 最近访问时间 2025 年 7 月 7 日

UNEP - United Nations Environment Programme (2020): Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain: Global Stocktaking.来源: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/34184>, 最近访问时间 2025 年 9 月 12 日

UNEP - United Nations Environment Programme (2023): The Bonn Declaration for a Planet Free of Harm from Chemicals and Waste, United Nations Environment Programme.来源: <https://www.unep.org/global-framework-chemicals/bonn-declaration-planet-free-harm-chemicals-and-waste>, 最近访问时间 2025 年 6 月 5 日

UNEP - United Nations Environment Programme (2024a): Resolution V/8: Implementation arrangements.来源: <https://www.chemicalsframework.org/page/resolution-v8-implementation-arrangements>, 最近访问时间 2025 年 6 月 5 日

UNEP - United Nations Environment Programme (2024b): Global Resource Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes (Global resources outlook). International Resource Panel IRP. Nairobi, Kenya.来源: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44902/GRO24_Summary_for_Policymakers.pdf?sequence=3, 最近访问时间 2025 年 6 月 4 日

UNEP – United Nations Environment Programme (2025a): Intergovernmental Negotiating Committee on Plastic Pollution. UN Environment Programme (ed.).来源: <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution>, 最近访问时间 2025 年 6 月 23 日

UNEP - United Nations Environment Programme (2025b): Implementation Programmes. United Nations Environment Programme (ed.).来源: <https://www.unep.org/global-framework-chemicals/implementation/implementation-programmes>, 最近访问时间 2025 年 6 月 5 日

UNEP - United Nations Environment Programme (2025c): Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain - A Global Roadmap.来源: <https://www.unep.org/resources/publication/sustainability-and-circularity-textile-value-chain-global-roadmap>, 最近访问时间 2025 年 7 月 22 日

UNEP - United Nations Environment Programme (n.d.): The UNEP Textile Initiative, Accelerating to a just transition towards a sustainable and circular textile value chain. United Nations Environment Programme (ed.).来源: <https://www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/circularity-sectors/sustainable-and-circular-textiles>, 最近访问时间 2025 年 7 月 22 日

UNEP, UNDP and UNFCCC secretariat (2023): Building Circularity into Nationally Determined Contributions (NDCs) - A Practical Toolbox User Guide.来源: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43594>, 最近访问时间 2025 年 7 月 22 日

UNEP/EA.5/Res.11 (2022): United Nations Environment Assembly of the United Nations Environment Programme. Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022. Enhancing circular economy as a contribution to achieving sustainable consumption and production, UNEP/EA.5/Res.11.来源: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39920/ENHANCING%20CIRCULAR%20ECONOMY%20AS%20A%20CONTRIBUTION%20TO%20ACHIEVING%20SUSTAINABLE%20CONSUMPTION%20AND%20PRODUCTION.%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 最近访问时间 2025 年 6 月 23 日

United Nations General Assembly (2015): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1).来源: <https://sdgs.un.org/2030agenda>, 最近访问时间 2025 年 6 月 5 日

van Duijn, H.; Papú Carrone, N.; Bakowska, O.; Huang, Q.; Akerboom, M.; Rademan, K.; Vellanki, D. (2022): SORTING FOR CIRCULARITY EUROPE, AN EVALUATION AND COMMERCIAL ASSESSMENT OF TEXTILE WASTE ACROSS EUROPE. Fashion for Good (ed.).来源: https://refashion.fr/eco-design/sites/default/files/fichiers/Sorting-for-Circularity-Europe_Fashion-for-Good.pdf, 最近访问时间 2025 年 4 月 11 日

Wagner, J.; Steinmetzer, S.; Theophil, L.; Strues, A.-S.; Kösegi, N.; Hoyer, S. (2022): Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft, Abschlussbericht (31/2022). INTECUS GmbH Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management. Umweltbundesamt (ed.).来源: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_31-2022_evaluation_der_erfassung_und_verwertung_ausgewaehlter_abfallstroeme_zur_fortentwicklung_der_kreislaufwirtschaft.pdf, 最近访问时间 2025 年 4 月 11 日

Wang, Z.; Buser, A. M.; Cousins, I. T.; Demattio, S.; Drost, W.; Johansson, O.; Ohno, K.; Patlewicz, G.; Richard, A. M.; Walker, G. W.; White, G. S.; Leinala, E. (2021): A New OECD Definition for Per- and Polyfluoroalkyl Substances. In: Environmental Science & Technology 55 (23), pp. 15575–15578. DOI: 10.1021/acs.est.1c06896

工业和信息化部 (2022): 《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》. 来源: https://www.gov.cn/zhengce/2022-04/10/content_5684320.htm, 最近访问时间 2025 年 8 月 11 日

工业和信息化部 (2023): 《纺织工业提质升级实施方案(2023—2025)》. 来源:
<https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202312/P020231206411053387922.pdf>, 最近访问时间 2025 年 8 月 11 日

工业和信息化部 (2023): 《石化化工行业稳增长工作方案》. 来源:
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202308/content_6900274.htm, 最近访问时间 2025 年 8 月 11 日

工业和信息化部 (2024): 《磷石膏综合利用行动方案》. 来源:
<https://www.ccgov.com.cn/articles/zhengcecaiji/2024/20240417/71/587880.html>, 最近访问时间 2025 年 8 月 11 日

工业和信息化部 (2024): 《推动磷资源高效高值利用实施方案》. 来源:
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202401/content_6923991.htm, 最近访问时间 2025 年 8 月 11 日

国家发展改革委和住房城乡建设部 (2021): 《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》. 来源:
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-05/14/content_5606349.htm, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

国家发展改革委 (2021): 《“十四五”循环经济发展规划(2021—2025)》. 来源:
<https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-07/07/5623077/files/34f0a690e98643119774252f4f671720.pdf>, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

国家发展改革委 (2022): 《关于加快推进废旧纺织品循环利用的实施意见》. 来源:
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-04/12/content_5684664.htm, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

国家发展改革委 (2024): 《产业结构调整指导目录》. 来源: https://www.gov.cn/zhengce/202401/content_6924187.htm, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

国家发展改革委 (2024): 《关于加快推进废旧物资循环利用体系建设的意见》. 来源:
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202402/content_6931080.htm, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

国家发展改革委 (2024): 《绿色低碳转型产业指导目录(2024 年版)》. 来源:
<https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202403/P020240301523841413645.pdf>, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

国家统计局 (2025): 《汤魏巍: 工业生产平稳较快增长 高质量发展扎实推进》. 来源:
https://www.stats.gov.cn/xxgk/jd/sjjd2020/202501/t20250117_1958343.html, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

经济观察报 (2025): 孙瑞哲: 2005 年——2022 年纺织工业行业碳排放强度下降超 60%, 近两年继续下降 14%. 来源:
https://news.qq.com/rain/a/20250625A08HLC00?suid=&media_id=, 最近访问时间 2025 年 6 月 12 日

经济日报 (2023): 旧衣回收业如何更健康规范, 2023 年 8 月 22 日. 来源:
http://paper.ce.cn/pad/content/202308/22/content_279701.html, 最近访问时间: 2025 年 6 月 12 日。

绿色发展创新研究院(2024):绿色新质生产力-循环再生技术助力纺织和塑料行业减排, 来源:
<https://www.igdp.cn/%E7%BB%BF%E8%89%B2%E6%96%B0%E8%B4%A8%E7%94%9F%E4%BA%A7%E5%8A%9B%E5%BD%9C%E5%BE%AA%E7%8E%AF%E5%86%8D%E7%94%9F%E6%8A%80%E6%9C%AF%E5%8A%A9%E5%8A%9B%E7%BA%BA%E7%BB%87%E5%92%8C%E5%A1%91%E6%96%99%E8%A1%8C/>, 最近访问时间 2025 年 8 月 1 日

全国人大常委会 (2008): 《中华人民共和国循环经济促进法》. 来源:

http://www.npc.gov.cn/c2/c238/201905/t20190522_156312.html, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

全国人大常委会 (2017): 《中华人民共和国环境保护税法》. 来源:

<https://fgk.chinatax.gov.cn/zcfgk/c100010/c5194443/content.html>, 最近访问时间 2025 年 8 月 11 日

全国人大常委会 (2020): 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》. 来源: https://www.gov.cn/xinwen/2020-04/30/content_5507561.htm, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

全国人大常委会 (ongoing): 《中华人民共和国生态环境法典(草案)》. 来源:

<http://www.npc.gov.cn/flcaw/flca/ff808181927f0e7b019685b4d2bd010d/attachment.pdf>, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

人民日报(2024): 落实“双碳”行动, 建设美丽中国, 2024 年 4 月 28 日, 来源:

https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202404/content_6948005.htm, 最近访问时间 2025 年 9 月 11 日

山西日报(2024): “三晋绿色生活”平台探索低碳发展新模式, 来源: <http://news.sxrb.com/GB/314081/10179691.html>, 最近访问时间 2025 年 8 月 10 日

生态环境部 (2025): 《2024 中国生态环境状况公报》. 来源:

https://www.mee.gov.cn/ywgz/sthjcgj/hjzljcypj/202506/t20250605_1120773.shtml, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

生态环境部等 (2021): 《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》. 来源:

https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk03/202112/t20211215_964275.html, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

生态环境部固体废物与化学品管理技术中心(2024): 《“无废城市”建设进展研究报告(2023 年)》, 中国环境出版集团

生态环境部固体废物与化学品管理技术中心(2025): 《全国固体废物污染环境防治信息发布情况研究报告(2024 年)》

四川在线 (2024): 《“碳惠天府”亮相 COP29, 向世界共享碳普惠成都经验》, 2024 年 11 月 21 日, 来源:

<https://sichuan.scol.com.cn/ggxw/202411/82843098.html>, 最近访问时间 2025 年 6 月 8 日

新华社(2024): 新央企中国资源循环集团有限公司成立, 2024 年 10 月 18 日. 来源:

https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202410/content_6981361.htm, 最近访问时间 2025 年 8 月 11 日

新华社(2025): 《政府工作报告》, 2025 年 3 月 5 日. 来源:

https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202503/content_7013163.htm?s_channel=5&s_trans=7824452999_, 最近访问时间 2025 年 8 月 11 日

中共中央国务院 (2021): 《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》. 来源:

https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-02/22/content_5588274.htm, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

中共中央国务院 (2024): 《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》. 来源:

https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11546/202408/content_6970974.html, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

中国纺织工业联合会 (2023), 《建设现代化纺织产业体系行动纲要(2022—2035 年)》, 来源:

http://www.cnita.org.cn/hyyw/zcfg/202309/t20230925_4327278.html, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

中国纺织工业联合会研究室 (2025), 《2024 年我国纺织工业整体经济运行平稳》, 2025 年 2 月 10 日. 来源:

https://www.cntac.org.cn/zixun/shuju/202502/t20250210_4374857.html, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

中国服装协会 (2025): 2024 年我国纺织服装出口达 3011 亿美元, 同比增长 2.8%. 2025 年 1 月 15 日. 来源:

<https://www.cnga.org.cn/cngahtml/xwzx/wmck/20250115/742.html>, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

中国工信新闻网 (2025): 《工信部: 我国累计培育国家绿色工厂 6430 家、绿色工业园区 491 个》, 2025 年 9 月 9 日.

来源: https://www.cnii.com.cn/yw/202509/t20250909_683782.html, 最近访问时间 2025 年 9 月 11 日

中国共产党新闻网 (2024): 全国地级及以上城市居民小区垃圾分类覆盖率达 92.6%. 2024 年 5 月 25 日. 来源:

<http://cpc.people.com.cn/n1/2024/0525/c64387-40243184.html>, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

中国共产党新闻网(2024):“扎实做好 2024 年经济工作, 中央经济工作会议部署九项重点任务”, 2023 年 12 月 14 日来源:

<http://cpc.people.com.cn/n1/2023/1214/c164113-40138978.html>, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

中国建筑材料联合会石膏建材分会(2024): 磷石膏污染地图: 长江流域三省成“热点”, 管理策略何在? 2024 年 12 月 23

日. 来源: <https://tecigmee.net/newsinfo/7882094.html>, 最近访问时间 2025 年 8 月 11 日

中国青年报(2024): 我国资源循环利用迈进可持续发展快车道,2024 年 11 月 8 日. 来源:

<https://news.qq.com/rain/a/20241108A06BN900>, 最近访问时间 2025 年 6 月 8 日

中国砂石协会 (2024): 《2023 年我国砂石行业运行报告》, 来源: <https://www.zgss.org.cn/zixun/zhuti/16446.html>, 最

近访问时间 2025 年 6 月 8 日

中国石油与化学工业规划院 (2022): 《石化化工行业低碳发展报告》. 来源:

<http://www.npcpi.com/UploadFile/files/2022/9/28/01%E6%9D%8E%E5%BF%97%E5%9D%9A-%E7%9F%B3%E5%8C%96%E5%8C%96%E5%B7%A5%E8%A1%8C%E4%B8%9A%E4%BD%8E%E7%A2%B3%E5%8F%91%E5%B1%95%E6%8A%A5%E5%91%8A.pdf>, 最近访问时间 2025 年 6 月 11 日

中国物资再生协会 (2025): 《2025 年我国再生资源回收行业发展报告》. 来源: [http://www.sh-](http://www.sh-recycle.org/articleDetail.asp?id=5662)

[recycle.org/articleDetail.asp?id=5662](http://www.sh-recycle.org/articleDetail.asp?id=5662), 最近访问时间 2025 年 8 月 12 日

中国循环经济协会 (2022): 《循环经济的过去十年》. 来源: <https://www.chinacace.org/news/fieldsview?id=14084>, 最

近访问时间 2025 年 6 月 12 日

中国循环经济协会 (2024): 《中国废旧纺织品综合利用发展报告 (2020-2022 年度)》. 来源:

https://www.chinacace.org/patents/industry_develop_report/detail?id=2, 最近访问时间 2025 年 6 月 12 日