

废塑料化学回收产业发展报告二：市场篇

原创作者：科茂化学回收研究院

近年来，由于世界多国政策及国际主流石化、品牌和包装巨头企业大力投资等因素推动，废塑料化学回收成为全球关注的话题。科茂化学回收研究院整理分析多年来科研和商业发展成果，撰写“废塑料化学回收产业发展报告”。本系列报告分为“技术篇”、“市场篇”、“政策篇”、“企业篇”，本篇为第2篇——市场篇。

本篇要点：

1. 废塑料化学回收技术发展动力由最初的能源替代驱动到环境保护驱动，再到国际政治共识驱动各国政策支持，为技术研发和投资产能提供动力，使PCR塑料由过去因不经济而没有市场到现在成为跨国化工、包装和品牌企业的重要战略和KPI。真实且庞大的市场需求已经形成，但短期内技术和产能仍会稀缺。
2. 在税收、碳补贴等政策因素和其他供需因素加持下，含PCR组分的塑料要与原生塑料价格保持相对均衡，这赋予了PCR塑料数倍的短期溢价，以及较高的长期溢价。
3. 废塑料化学回收的市场空间巨大，每年新增市场潜力在千亿级别，存量市场在万亿级别。
4. 废塑料化学回收因其卓越的塑料垃圾处理、碳减排和原油替代能力，将成为碳中和时代石化和环卫固废行业的“第二增长曲线”。
5. 废塑料化学回收全球最大市场在中国。

一、化学回收的市场发展历程

从上世纪 60 年代能源恐慌使发达国家寻找替代能源，到上世纪末白色污染日益严重驱使废塑料化学回收研究提速，到近年来世界首脑在塑料污染的危害性方面达成共识，多国政府制定相应战略和政策，国际机构和 NGO 推动、品牌和包装企业作出承诺，进而驱动化工企业大力投资、全球布局，化学回收市场的发展经历了从能源替代驱动到环境保护驱动，再到国际政治共识驱动市场打开的发展过程，如表 1 所示。

表 1：化学回收技术发展史

阶段	时间	国家	研发原因	发展情况	驱动力	油价
初始	20世纪60至90年代	美国 德国 日本	1.国际能源恐慌 2.三次石油危机	废塑料热解制燃油技术开始产生，产品主要为重油和蜡状固体。由于产品用途有限，且技术不成熟，停留在实验室阶段，未实现商业化。随着时间发展，废塑料热裂解制燃油工艺进一步发展，出现Thermofuel工艺、Smuda工艺、Hamburg工艺、日本富士回收法等，建立起一些工业示范装置和小规模工业化装置。后来开始出现废塑料催化裂解的研究成果。	能源替代	1-37美元
	20世纪90年代	中国	中国能源需求上涨	20世纪80年代末，废塑料热裂解技术在中国兴起；20世纪90年代，中国废塑料化学回收进入初级发展阶段。中国多地建起了小规模废塑料炼油工厂（土法炼油），产品质量差、污染严重等。		最高42美元
发展	上世纪末至2015年	美欧 日中	1.油价持续上涨 2.环境问题严重	美国、欧洲和日本等发达国家面临“白色污染”、“垃圾围城”等环境问题，重点发展垃圾焚烧技术，废塑料化学回收技术因经济性不足，商业化未有实质突破。中国国内废塑料化学回收技术（土法炼油）由于环保不达标，被政策限制发展，研究和工业化陷入低谷。	能源替代 环境保护	最高147美元
提速	2015年至今	全球	1.塑料污染的危害性成为全球政治共识 2.世界多国和巨头企业可持续战略	2015年联合国可持续发展首脑会议通过《2030可持续发展议程》，提出17个可持续发展目标，塑料污染的危害性首次得到国际政治领袖共识。各国纷纷出台政策鼓励技术发展，欧盟引领世界可持续战略和行动，国际机构和NGO强力推动，废塑料化学回收技术成为研究热点。欧、美、中出现工业化生产项目。	国际政治 共识驱动 市场打开	16-120美元

资料来源：科茂化学回收研究院整理

（一）初始阶段：能源恐慌、石油危机、燃油缺乏导致世界多国寻找替代能源，但由于技术落后经济性差并未推广

1. 欧佩克成立和三次石油危机引起能源恐慌，发达国家着手研究废塑料制燃油作为替代能源

20世纪60年代，亚、非、拉石油生产国建立石油输出国组织“欧佩克”（OPEC），使发达国家意识到石油安全性问题，于是开始寻找替代能源。70年代到90年代，三次石油危机使油价暴涨，引发世界能源市场长远的结构性变化，迫使主要石油进口国积极寻找替代能源。美国、日本等国家的公司对废塑料制燃油技术进行大量研究，建立不少小规模装置，但得到的油品质量差，用途极为有限，而且装置常出现结焦等问题，不能长期连续运转，这些技术没有进入工业化阶段。

2. 由于燃油供给缺乏，中国开始化学回收技术的研究和实践

1992年后，随着改革开放和市场经济发展，中国石油消费需求急剧增长，从石油净出口国转变为净进口国，燃油价格高涨。在市场驱动下，中国的废塑料制燃油技术开发掀起一波热潮，国内多地建有小规模的废塑料炼油工厂（土法炼油），但由于技术落后，产品质量差、成产规模小、环境污染重、安全隐患高，废塑料化学回收没有得到合法的大规模推广和工业级应用。

初始阶段，废塑料化学回收技术从无到有发展，是石油及燃油价格上涨带来的能源代替驱动。

（二）发展阶段：全球环境污染严重及对资源枯竭的担忧，垃圾

资源化研究逐渐兴起，进一步推动技术发展，但经济性不足未推广

1. 循环经济作为应对环境污染的重要战略得到重视，推动了塑料垃圾资源化的研究

20世纪90年代以来，面对全球日益严重的环境污染和对资源枯竭的担忧，可持续发展和循环经济思想得到全球普遍认同。线性经济“资源-产品-废弃”的发展模式逐渐会被淘汰。循环经济“资源-产品-再生资源”的发展模式是对“大量生产、大量消费、大量废弃”的传统增长模式的根本变革，具有“低能耗、低排放、高效率”的特征，是应对环境污染、促进资源循环的重要战略。世界主要经济体普遍把发展循环经济作为破解资源环境约束、应对气候变化、培育经济新增长点的基本路径。

“3R原则”是循环经济的核心组成部分，包括废塑料在内的废弃物回收利用成为发展循环经济不可或缺的环节。以德国为代表的部分发达国家把垃圾定义为资源，并用法律形式确定循环经济的优先顺序。在此情况下，出现了以资源利用最大化和污染排放最小化为主线的循环经济模式。

废塑料化学回收技术发展的根本推动力开始由纯粹的能源替代开始向环境保护转变。

2. 化学回收技术得到发展却遇到瓶颈

废塑料化学回收技术经过数十年间的发展，已有不少企业取得技术突破，但发展进入瓶颈期，主要原因有：①欧美日等发达国家大力发展战略焚烧技术解决“白色污染”和“垃圾围城”问题，塑料回收

利用尚未成为主流；②缺乏产业政策支持，废塑料到新塑料路线没有打通，以制燃油为主要方向的废塑料化学回收未突破产品质量和经济性的束缚；③中国的废塑料炼油技术由于环保安全不达标被定义为“土法炼油”，政策明确限制其发展。

（三）提速阶段：世界政治首脑达成共识，推动各国制定相应发展战略和政策法律，促进技术研究和投资，市场迅速打开

1. 世界政治首脑在塑料污染的重大危害性方面达成共识，多国针对塑料污染治理达成诸多国际公约

2015 年 9 月，超过 150 位世界领导人出席联合国可持续发展首脑会议，193 个成员国通过《2030 年可持续发展议程》，提出 17 个可持续发展目标，其中 3 个目标涉及塑料污染。塑料污染已成为与气候变化、臭氧层破坏、生物多样性锐减等同样重大的全球环境问题。这是世界政治首脑第一次在塑料污染方面达成共识。此后，塑料污染问题不断得到国际重视，在达沃斯世界经济论坛、联合国大会、G7 峰会、G20 部长会议、《巴塞尔公约》缔约方大会等国际重要组织和会议中，“塑料循环经济”、《海洋塑料宪章》、《巴塞尔公约塑料垃圾修正案》等理念和公约被提出，塑料污染治理已成全球共识，如表 2 所示。

表 2：各国首脑在塑料污染问题上达成的共识

时间	会议	达成共识
2015年9月	联合国可持续发展首脑会议	超过150位世界领导人出席，193个成员国通过《2030年可持续发展议程》，提出17个可持续发展目标。 目标3：良好的健康与福祉——到2030年，大幅减少危险化学品及空气、水和土壤污染导致的死亡和患病人数； 目标12：负责任的消费和生产——到2020年，根据国际框架，实现化学品和所有废物在整个存在周期无害环境管理，并大幅减少它们排入大气及渗漏到水和土壤的机率，尽可能降低它们对人类健康和环境造成负面影响； 目标14：水下生物——到2025年，预防和大幅减少各类海洋污染，特别是陆上活动造成的污染，包括海洋废弃物污染和营养盐污染。
2016年1月	达沃斯世界经济论坛	第一次提出建立“塑料循环经济”的愿景，运用循环经济的原理，让塑料永远不会变为废料。
2018年6月	G7峰会	七国集团中五个国家连同欧盟签署《海洋塑料宪章》，共同承诺采取具体行动处理海洋塑料垃圾问题。拟议的宪章框架希望在塑料产品生命周期每个阶段遏制塑料污染：号召塑料可持续设计、改进塑料回收基础设施、进行公共教育和采取从废水中去除塑料的新技术
2018年9月	G7部长会议	就塑料重复利用、循环利用和减少污染达成共识。将推进开发低成本的塑料回收再利用等技术，呼吁世界各国共同行动，减少海洋塑料污染。
2018年12月	第73届联合国大会	启动全球反塑料污染行动，其目标包括两个方面：一是在联合国系统内减少塑料垃圾；二是与联合国会员国和联合国机构开展合作，在全球范围内提高公众意识。
2019年5月	《巴塞尔公约》第十四次缔约方会议	建立全球防治塑料废弃物污染框架，使全球塑料垃圾贸易更加透明，并使之得到更好的监管。该框架还将推动建立新的伙伴关系，旨在以防治塑料废弃物污染动员员工为核心，协调政府、学术研究机构、公民和其他社会资源，发动各利益攸关方积极参与相关工作，借助专业知识推动实施防治塑料废弃物污染新措施。
2019年6月	G20部长会议	提出“到2050年使塑料垃圾向海洋的排放量为零”的目标。决定建立减少海洋塑料废物的国际框架，各定期报告行动计划的进展情况，并在相互的监督下，努力减少废塑料。

资料来源：科茂化学回收研究院整理

2. 多国和地区制定应对塑料污染的发展战略和政策法律，鼓励塑料回收和使用 PCR（消费后回收）塑料，推动技术进步和市场扩大
基于世界政治首脑的共识，多国和地区制定一系列治理塑料污染、促进塑料回收的战略和政策。

欧盟在这方面处于世界前沿，于 2018 年 1 月出台《循环经济中的欧洲塑料战略》，旨在促进塑料回收、减少塑料垃圾、鼓励投资创新，还提出塑料循环经济的目标：①到 2030 年，欧盟市场上的所有

塑料包装都能够以具有成本效益的方式重复使用或回收；②呼吁各利益攸关方作出自愿承诺，确保到 2025 年欧盟市场的新产品中含有 1000 万吨再生塑料；同年 5 月，出台《包装和包装废弃物指令》，到 2025 年 12 月 31 日，至少 50% 的塑料包装要被回收，到 2030 年 12 月 31 日，至少 55% 塑料包装的要被回收，并且规定回收不包括焚烧和填埋。

除此之外，欧洲各国还出台有利于推动 PCR 塑料的税法，例如：①英国塑料包装税将于 2022 年 4 月 1 日实施，对少于 30% 再生塑料的包装征收每吨 200 英镑税款；②意大利包装税将于 2022 年 1 月实施，对非再生塑料及不可降解、不可堆肥塑料征收每吨 450 欧元税款。应用 PCR 塑料可以少交税，使得 PCR 塑料产生环保溢价，很大程度上给予成本较高的 PCR 塑料更大的生存空间。

3. 国际机构、NGO 进行大量研究、宣传和扶持，进一步推动技术进步和市场扩大

国际机构和 NGO 在塑料污染现状、发展规律和应对策略方面进行大量技术研究、理念宣传和资金扶持。例如：世界自然基金会发布《通过问责制解决塑料污染问题》，艾伦·麦克阿瑟基金会发起的“新塑料经济全球承诺”，世界银行给予政府和解决塑料垃圾的企业绿色信贷和资金扶持，都从不同层面推动了技术进步和市场呈现。

作为重要的节点，2018 年，艾伦·麦克阿瑟基金会与联合国环境规划署合作启动“新塑料经济全球承诺”，签署人包括占全球塑料应用总量 20% 的国际品牌巨头企业的 CEO、高管，以及政府、NGO、大

学、行业协会、投资者等组织。全球承诺的签署使塑料循环经济从可做可不做的理念变成了企业可持续部门和产品部门的绩效指标，推动PCR塑料的市场需求急剧增加，如表3所示。

表3：快消品世界排名前20企业的承诺

序号	品牌商	可重复使用、可回收、可堆肥的包装设计占比		塑料包装中PCR组分含量		可重复使用的塑料包装	塑料包装总量(吨)
		2019	2025目标	2019	2025目标		
1	雀巢	66	100	2	30	1	1,524,000
2	宝洁	非全球承诺签署企业					
3	百事	79	100	4	25	0	2,300,000
4	百威	非全球承诺签署企业					
5	联合利华	50	100	5	25	未报告	700,000
6	JBS	非全球承诺签署企业					
7	泰森食品	非全球承诺签署企业					
8	可口可乐	99	100	9.7	25	3	2,981,421
9	玛氏	26	100	0	30	0	191,217
10	欧莱雅	30	100	6.9	50	1	137,280
11	达能	67	100	10.6	50	4.3	800,000
12	亿滋	2	100	0.3	5	0	187,000
13	汉高	75	100	8.5	30	1.6	361,000
14	高露洁	63	100	7	25	0	275,440
15	帝亚吉欧	85	100	2.5	40	0	31,900
16	利洁时	54	100	3	25	5	—
17	庄臣	62	100	14	15	17	100,700
18	家乐氏	16	100	0.5	10	0	62,927
19	爱适瑞	56	100	0	25	0	62,300
20	菲仕兰康柏尼	33	100	2.1	10	0.4	—

资料来源：艾伦·麦克阿瑟基金会《新塑料经济全球承诺2020进展报告》

在中国，诸多组织也开始推动化学回收，如：中国石油和化学工业联合会（CPCIF）、中国循环经济协会（CACE）、中国合成树脂协会塑料循环利用分会（CPRA）、中国物资再生协会再生塑料分会（CPRA）、中国塑料加工工业协会（CPPIA）、中国石化塑料循环绿色行动联盟、德国国际合作机构（GIZ）、Plug and play China、Impact Hub Shanghai等（排名不分先后）。

中国石油和化学工业联合会从创新技术、试点示范项目、政策法规和标准等方面加速提升塑料循环利用工作，构建应对塑料废弃物“三纵三横”体系，其中包含中国首个关注化学循环的专业工作组“化学循环课题组”，该课题组即将发布中国首部《化学循环白皮书》；中国物资再生协会与石化联合会共同成立“中国绿色再生塑料供应链联合工作组”，专家组组长李景虹院士在 2021 年两会上建议政府推动废塑料化学循环产业健康发展；中国合成树脂协会塑料循环利用分会建立了“废塑料化学循环工作组”，推动编制《塑料可回收性设计指南》等动作。

4. 在政策加持和国际机构扶持下，以化工巨头为主的跨国企业大力投资化学回收

国际化工巨头成为 PCR 塑料最积极的推动者，主要原因有：①品牌巨头为兑现塑料包装中含有一定比例 PCR 组分的承诺，其可持续发展部门和采购部门需在全球范围寻找 PCR 塑料来源，将压力传递给上游包装企业，包装企业又将压力传递给上游化工企业，若化工企业没有 PCR 塑料产能，则难以满足客户需求；②以利安德巴塞尔、SABIC、BASF、壳牌、陶氏、埃克森美孚等化工巨头为主要成员的 40 多家跨国企业建立“终结塑料废弃物联盟（AEPW）”，承诺投入 15 亿美元，帮助终结环境中的塑料垃圾，同时承诺为客户提供 PCR 塑料。建立和扩充 PCR 塑料产能和产业链，成为近几年化工巨头的重要战略。

然而化工企业较少有化学回收技术和项目的储备，为在可持续转型时期稳定服务已有客户，开拓可持续树脂新市场，化工企业正在积

极投资或整合 PCR 塑料的技术和项目。此外，品牌和包装企业为完成其全球承诺，同时以合理价格获得 PCR 塑料产能，也在积极投资或与化学回收企业合作，如表 4、表 5 所示。

表 4：部分化工和包装巨头承诺

企业	承诺
化工企业	 推出认证循环聚合物，将混合废塑料通过化学回收转化为聚合物，供给联合利华、特百惠、Walki等企业用于开发高质量消费品、食品饮料和个护包装
	 到2030年每年生产和销售200万吨循环和可再生基聚合物，到2030年（与2015年相比）使每吨产品的二氧化碳排放量减少15%
	 从2025年起，每年加工25万吨再生、废弃物回收原料，以取代化石原料
	 到2025年，将塑料回收能力扩大到90万吨，到2027年扩大到250万吨，最终目标是100%回收公司生产的塑料
	 到2025年，每年使用100万吨塑料垃圾作为原料；到2030年，包装中的再生塑料用量增加到30%
	 到2025年，提供的聚烯烃包装包含至少50%回收材料；PS包装使用30%回收材料；产品中加入至少32.5万吨回收材料；确保聚合物产品100%可回收
	 到2030年，每年通过分子回收超过5亿磅（约22.7万吨）塑料废料，到2025年，每年回收超过2.5亿磅（约11.3万吨）塑料废料
	 到2025年，向欧洲客户供应含有10万吨再生塑料的产品
	 回收90%的二手聚氨酯，将热固性材料的耐久性与热塑性塑料的可回收性相结合，创建一种新型聚合物
包装企业	 到2025年，再生塑料量增加4倍以上
	 到2025年，实现塑料包装可重复使用、可回收、可堆肥包装设计占比100%，塑料包装中的PCR组分占比10%
	 到2025年，实现塑料包装可重复使用、可回收、可堆肥包装设计占比100%，塑料包装中的PCR组分占比30%
	 到2025年，实现塑料包装可重复使用、可回收、可堆肥包装设计占比100%，塑料包装中的PCR组分占比25%

资料来源：科茂化学回收研究院根据公开资料整理

表 5：以化工巨头为主的国际企业投资化学回收企业情况

技术工艺	企业名称	国家	合作伙伴	商业化程度
催化裂解	COMY科茂	中国	若干化工巨头（保密）	有工厂
热裂解	Plastic Energy	英国	SABIC、道达尔、英力士、西班牙石油公司、希悦尔	有产能
	Quantafuel	挪威	BASF	有工厂
	Agilyx	美国	埃克森美孚、英力士、英力士苯领等	有工厂
	BlueAlp	荷兰	壳牌	有工厂
	MURA	英国	陶氏、KBR、三菱	建设中
	航天热解	中国	中石化	中试
	Brightmark Energy	美国	BP、SK	建设中
	Fuenix Ecogy	荷兰	陶氏	建设中
	Recycling Technologies	美国	玛氏、雀巢、道达尔	建设中
萃取法 (PP)	Pure Cycle	美国	美利肯、宝洁、雀巢；道达尔、SK	建设中
萃取法 (PS)	Polystyvert	加拿大	英力士苯领	建设中
萃取法 (PET)	树业环保	中国	SK	有产能
	浙江佳人	中国	— —	有产能
	Loop Industry	加拿大	陶氏、SK	有工厂
	Carbios	法国	欧莱雅	建设中

资料来源：科茂化学回收研究院整理

5. 市场逐渐打开，近年来产能稀缺价格高昂，随着产能扩大，成本和价格会合理回归

(1) 市场逐渐打开：化学回收 PCR 塑料与石油基塑料品质相同的特征，使化学回收技术成为食品和药品包装等高品质塑料需求者在可持续塑料时代难以绕过的技术。在需求急剧增加、刚性政策溢价加持下，化学回收 PCR 塑料供不应求，短期内 PCR 塑料价格是石油基塑料价格数倍。随着技术进步、规模效应上升、产能不断扩大，化学回收 PCR 塑料价格仍然存在环保溢价，但可能下降到更合理的位置。这是一个变革的时代，机遇与挑战并存。

(2) 技术和产能稀缺：PCR 塑料的需求日趋强劲，化工企业在

化学回收技术及其工业应用方面却没有做好充分准备，主要原因有：

①废塑料化学回收与传统石油化工、煤化工产业，在原料预处理、进料、加热、反应、设备和催化剂方面差异很大，有许多坑需要踩；②数十年中虽有技术探索，但对废塑料回收和应用不是化工企业的战略重点，缺乏在时间和资源上长期且聚焦的投入，难以在经济性上实现技术突破。目前技术领先的化学回收企业，大多聚焦技术积累 10 年甚至 20 年，风口到来才得以崭露头角。在政策和市场驱动力提升后，虽然化学回收工厂建设已在如火如荼地开展，但大规模投产尚需时日。因此技术和产能在未来 3-5 年内可能仍会呈现稀缺状态。

回顾废塑料化学回收技术的发展历程，可以得到几点结论：①技术发展动力由最初的能源替代驱动到环境保护驱动，再到国际政治共识驱动各国政策支持，为技术研发和投资产能提供动力；②参与者从最初的科研人员、少数化工企业和化学回收创业者，发展到现在的主流跨国化工、包装和品牌企业以及 NGO 积极参与，开拓化学回收树脂产品已成为许多企业的重要战略，真实且庞大的市场需求已经形成；③技术水平逐渐从实验室和小规模中试，到现在部分化学回收企业突破技术瓶颈，实现了一定的工业化和经济性；④跨国化工企业通过与化学回收企业合作，产能已在快速布局，但大规模产能展开尚需时日，短期内技术和产能仍会稀缺。

对化学回收企业来说，不是因为看到风口才选择坚持，而是因为坚持才等到风口。

二、化学回收 PCR 塑料的市场分析

由于技术发展不充分、需求非刚性、成本高昂，以往废塑料化学回收 PCR 塑料市场非常狭窄。近年来由于政策、供求等多因素影响，化学回收 PCR 塑料市场开始真实呈现，且有石油基塑料数倍的溢价，如表 6 所示。

表 6：化学回收 PCR 塑料市场供求分析

市场组成要素		影响因素	结果	
需求	刚需性	化学回收PCR塑料与石油基塑料品质相同，是高品质塑料需求者必用的技术	刚需性呈现	化学回收的 PCR 塑料需求增加
	替代品价格	1.英国塑料包装税对少于30%再生塑料的包装征收税款 2.意大利塑料包装税对非再生塑料及不可降解、不可堆肥塑料征收税款	替代品价格提升	
	消费者偏好	1.企业消费者：《新塑料经济全球承诺》的签署使塑料循环从可做可不做的“理念”变成企业可持续部门、产品部门、技术部门、投资部门等的绩效指标，PCR塑料的参与者从最初少数化工企业发展到现在主流化工、包装和品牌企业 2.个人消费者：NGO的宣传使人们的环保意识和可持续发展理念增强，逐渐开始减少使用原生塑料、增加使用PCR塑料、推动塑料循环回收利用	消费者偏好增强	
供给	生产成本	1.垃圾分类、无废城市、塑料污染管理和资源化管理等目标确立，大型自动化垃圾分选厂的建设，使低成本废塑料原料的可得性越来越强 2.技术进步导致投资和运营成本降低	生产成本降低	化学回收的 PCR 塑料供给增加 价格下降
	技术水平	1.“终结塑料废弃物联盟”建立，投资数亿美元发展化学回收技术 2.部分化学回收企业突破技术瓶颈，实现了一定的工业化和经济性	技术水平提升	
	供给政策	1.我国政策曾规定禁止塑料炼油，今年新规拟支持化学回收技术 2.数十个国家发布碳中和时间表，我国承诺2030年碳达峰，2060年碳中和 3.欧盟确定碳关税执行，要求进出口高碳产品缴纳或退还相应的税或碳配额	相关政策鼓励	
	生产者对未来的预期	1.PCR塑料成为许多企业的重要战略，目前技术和产能稀缺，化工、包装和品牌企业积极投资或整合化学回收技术 2.用化学回收处理废塑料并用产物生产新塑料，比焚烧处理废塑料并用化石能源生产新塑料减少50%以上碳排放	未来预期看好	

资料来源：科茂化学回收研究院整理编制

(一) 需求方面：刚需性呈现、替代品价格提升、个人和企业消费者偏好增强等因素，使 PCR 塑料需求增加

1. 刚需性：作为塑料废弃物回收再生的两条主要路径，物理回收的产物较难达到食品和药品等高价值应用领域的要求，化学回收 PCR 塑料与石油基塑料质量相同，可应用于食品和医药等高价值领域，是高品质塑料需求者难以绕过的技术，刚性需求呈现，推动 PCR 塑料需求增加。

2. 替代品价格：世界多国开始对 PCR 塑料的替代品（即纯原生塑料）征税，例如，①英国对少于 30% 再生塑料的包装征收每吨 200 英镑的税款；②意大利对非再生塑料及不可降解、不可堆肥塑料征收每吨 450 欧元税款。诸如此类的税收政策提升了替代品（纯原生塑料）价格，推动 PCR 塑料需求增加。

3. 消费者偏好：消费者包括企业消费者和个人消费者，主要有，①前沿的 500 强企业签署艾伦·麦克阿瑟基金会《新塑料经济全球承诺》，终结塑料废弃物联盟（AEPW）成员投资化学回收技术，并且承诺为客户提供 PCR 塑料等动作，意味着塑料循环经济成为品牌企业可持续、产品、技术及投资等部门的绩效指标；②随着环境污染、气候问题日益严重，循环经济和可持续发展得到越来越多人消费者的认同，人们有意识减少使用原生塑料、增加使用 PCR 塑料、推动塑料循环回收利用，甚至愿意为此付出溢价。企业和个人消费者偏好增强，推动 PCR 塑料需求增加。

(二) 供给方面：生产成本降低、技术水平提升、相关政策鼓励、未来预期看好，使 PCR 塑料供给数量增加

1. 技术水平：部分先进的化学回收企业突破技术瓶颈，实现了一

定的工业化和经济性；“终结塑料废弃物联盟”等组织的建立，500强化工、包装和品牌企业投资数以亿计美元发展化学回收技术，也会加速技术突破，降低生产成本、提高生产效率。目前技术水平已取得一定突破，未来有更大的进步空间，推动 PCR 塑料供给增加。

2. 生产成本：包括原料成本和投资运营成本，主要因素有，①垃圾分类、无废城市、塑料污染治理和垃圾资源化等目标和法案的确立及出台，大型自动化垃圾分选厂的建设，使低值塑料垃圾可获得性增强，化学回收可用原料成本降低；②技术优化和规模效应使投资和运营成本降低。由于技术发展不充分且原料可得性差，过去化学回收 PCR 塑料生产成本高昂到不可接受的水平，供给主体稀少，现在生产成本降低，推动 PCR 塑料供给增加。

3. 环保政策：世界多国和国际间组织陆续出台相关政策，例如，①我国政策曾规定禁止塑料炼油，2021 年生态环境部发布《废塑料污染控制技术规范（征求意见稿）》，将包括废塑料制油在内的化学回收技术纳入废塑料再生利用技术；②《巴黎协定》实施后，数十个国家发布碳中和时间表，中国承诺 2030 年碳达峰，2060 年碳中和，将极大推动包括塑料回收在内的减碳技术发展和应用；③欧盟确定碳关税执行，要求进出口高碳产品缴纳或退还相应的税或碳配额，意味着包括 PCR 塑料在内的低碳或减碳产品可以获得碳补贴。相关政策直接或间接鼓励，推动 PCR 塑料供给增加。

4. 未来预期：PCR 塑料已成为许多跨国企业的重要战略，目前技术和产能极度稀缺，前沿的化工、包装和品牌企业正在积极投资或整

合化学回收技术，未来较长时间内，化学回收将会快速发展；另外，用化学回收处理废塑料比焚烧处理可减少 50%以上碳排放，在绿色低碳发展新时代拥有极大发展潜力。未来预期看好，推动 PCR 塑料供给增加。

（三）含 PCR 组分塑料的市场在供需作用下逐渐呈现，与原生塑料市场价格形成“短期波动、长期持平”态势

1. 原生塑料市场：如图 1 所示，过去原生塑料市场处于供求均衡状态 E_1 时的价格为 P_1 ，现由于征收塑料包装税及其他因素影响，供应价格上涨到 P_2 ，意味着原生塑料市场均衡价格提高。

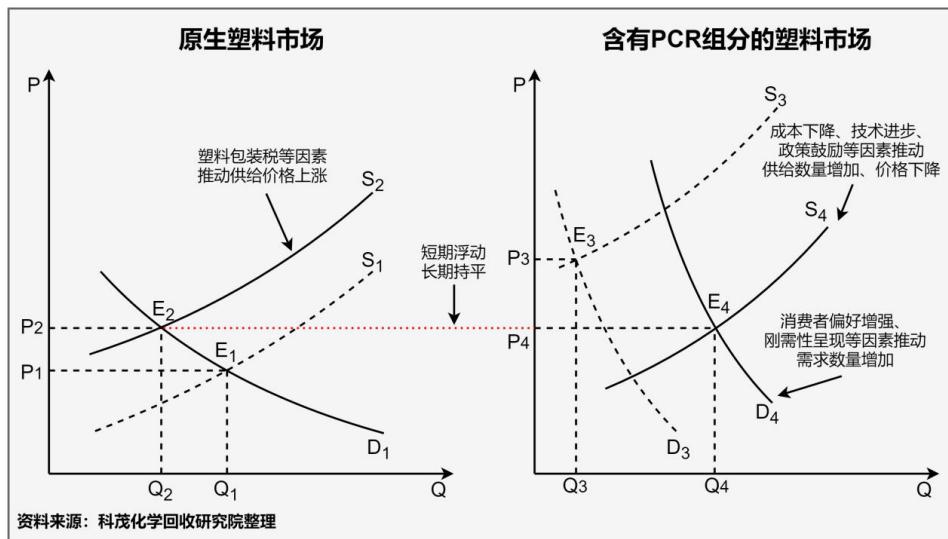


图 1：原生塑料和含 PCR 组分塑料产量与均衡价格经济学模型

2. 含 PCR 组分塑料市场：过去由于化学回收技术水平低、生产成本高、政策支持少、市场预期低等因素，导致 PCR 塑料供应数量少、价格高；同时由于刚性需求尚未呈现、消费者偏好不足、替代品（纯原生塑料）价格低等因素，导致 PCR 塑料需求数量少，因此含化学回收 PCR 组分塑料市场的理论均衡点 E_3 在现实中几乎不存在。近年来供需要素变化，使含 PCR 组分塑料的理论均衡价格从过去不可接受的程度

度，下降至现在虽然较高但可以接受的水平。

3. 两个市场理论价格均衡：过去含 PCR 组分塑料的理论均衡价格 P_3 远大于原生塑料价格 P_1 ，客户在经济上理性选择倾向于购买和使用原生塑料。现在随着各项供需因素的影响，客户“使用 100% 原生塑料”的代价 P_2 和“使用 PCR 组分塑料”的代价 P_4 开始接近。未来某些供需因素改变可能会在短期内打破均衡，但中长期来看，两者价格会相对持平。

(四) 短期内化学回收 PCR 塑料价格是原生塑料数倍，中期仍有较高溢价

1. 可量化因素影响：

(1) 塑料包装税：以英国 PP 产品为例，近两年来原生 PP 产品均价为每吨 1,060 英镑左右，塑料包装税对少于 30% 再生塑料的包装征收每吨 200 英镑税款，即每吨原生 PP 产品使用成本上升到 1,260 英镑左右。

(2) 碳指标：根据 SABIC 于 2021 年发布的 LCA 报告，用化学回收处理废塑料并用产物生产 1 吨新塑料，比焚烧处理废塑料并用化石能源生产新塑料减少 2 吨碳排放。按照当前英国 50 英镑左右的碳价计算，每吨化学回收 PCR 塑料可带来 100 英镑左右碳补贴，相当于每吨 PCR 塑料溢价增加 100 英镑。

(3) PCR 塑料价格及溢价：塑料需求者要么选择使用纯原生塑料，缴纳包装税；要么选择使用含 30%PCR 组分的塑料，不交包装税，同时还可以获得碳交易补贴。理想状态下，PCR 塑料价格是在含

30%PCR 组分的塑料和 100%原生塑料成本相等时得出的。以上述数据为依据得出 PCR 塑料价格为 1,826.7 英镑，是原生塑料价格的 172%。照此方式计算，常用塑料（PP、LDPE、HDPE、PS）的理论溢价为 170%-180%，此溢价仅考虑包装税和碳补贴两个影响因素，如表 7 所示。

表 7：考虑英国包装税和碳税情况下的 PCR 塑料理论溢价估算

材料	100%原生料价格（英镑）		70%原生料+30%PCR料价格（英镑）		PCR塑料溢价 (仅考虑包装税和碳税)
	初始	包装税后	价格组成（碳价为每吨50英镑左右， 化学回收PCR塑料每吨节碳2吨左右）	PCR料价格	
PP	约1060	约1260	$1060 \times 70\% + (\text{PCR料价格}-100) \times 30\%$	约1,826.7	约172%
LDPE	约970	约1170	$970 \times 70\% + (\text{PCR料价格}-100) \times 30\%$	约1,736.7	约179%
HDPE	约980	约1180	$980 \times 70\% + (\text{PCR料价格}-100) \times 30\%$	约1,746.7	约178%
PS	约1100	约1300	$1100 \times 70\% + (\text{PCR料价格}-100) \times 30\%$	约1,866.7	约170%

数据来源：1.欧洲塑料价格来自树脂报价网 “plasticker” （表中为2019年7月至2021年6月两年来均价）
2.碳交易价格来自 “Intercontinental Exchange” (ICE, 洲际交易所, 2021年8月20日数据)

2. 难量化因素影响：产能稀缺、刚性需求、个人和企业消费者偏好增强等不易量化的因素同样也增加了 PCR 塑料溢价。

在市场供需和政策作用下，短期内化学回收 PCR 塑料价格可能会维持在原生塑料数倍水平。根据当前欧洲政策情况推断，含一定比例 PCR 组分的塑料与原生塑料的市场价格长期会相对持平，包装税和碳指标等相关政策和行动一旦启动，几乎不会开倒车，因此 PCR 塑料在中期可能存在较高环保溢价，长期来看仍有待探讨。

通过化学回收 PCR 塑料供求分析，可以得到几点结论：①以往化学回收 PCR 塑料刚性需求未被激活，且技术和产能供给稀少，导致成

本高昂，废塑料化学回收市场基本不存在；②近年在政策加持下，刚性需求呈现、100%原生塑料税收增加、消费者环保偏好增强，使化学回收 PCR 塑料需求大幅增加；技术水平提升、相关政策鼓励、未来预期看好，化学回收 PCR 塑料潜在供给能力增加，使化学回收 PCR 塑料市场出现并迅速升温；③短期来看，PCR 塑料价格为原生塑料的数倍，中期来看，含一定比例 PCR 组分的塑料与原生塑料市场价格相对持平，PCR 塑料可能存在较高环保溢价。

三、化学回收的市场前景

（一）废塑料体量庞大，化学回收潜在产值高

1. 中国废塑料体量：图 2 为中国生活垃圾各组分比例。增量而言，住建部、塑料协会、中国工程院等相关机构数据显示，我国人均生活垃圾每日清运量平均水平为 1.1 千克左右，其中塑料垃圾质量占比为 12.1%，由此可得，我国 2021 年新增塑料垃圾总量为 7000 万吨左右，其中约 50% 左右可以通过化学回收处理。

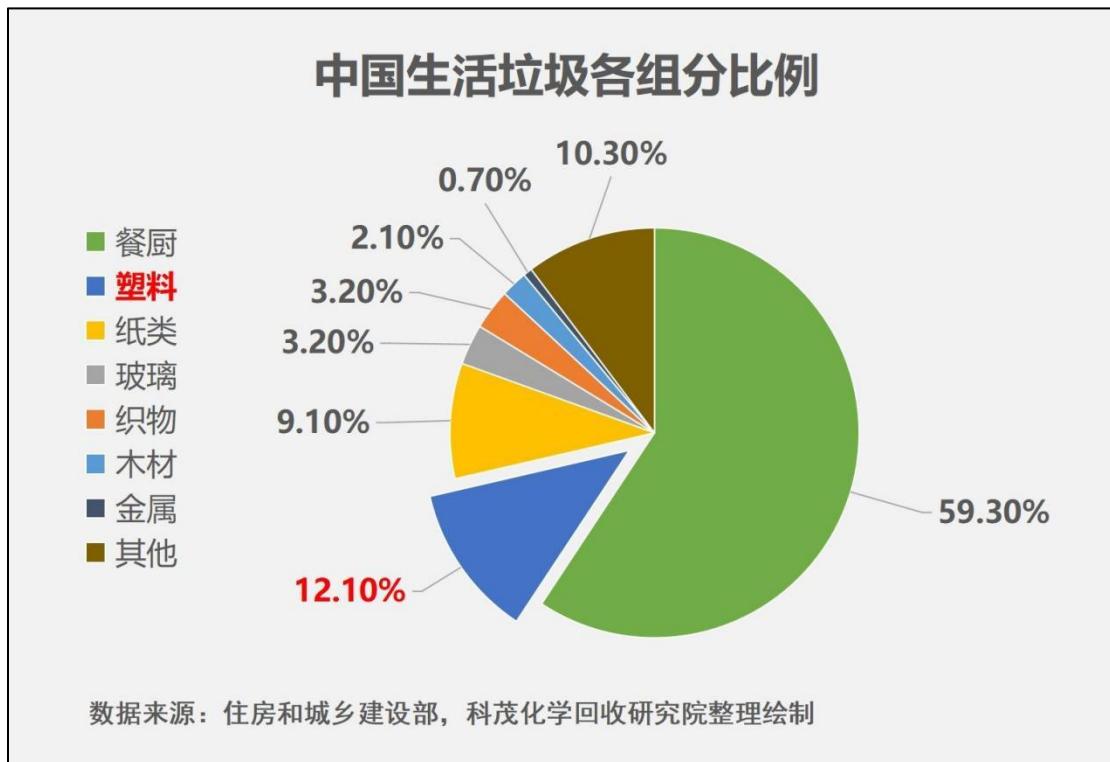


图 2：中国生活垃圾各组分比例

存量而言，从新中国成立年产塑料 400 多吨到 2019 年 8000 万吨，我国塑料制品产量累计超过 12 亿吨，其中 90%以上可能最终变成垃圾。我国仅生活垃圾源的填埋场塑料垃圾体量可能在 4 亿吨以上。由于质量太差，无法物理回收，焚烧处理既污染环境又浪费资源。再加上工业、农业、医疗、危废垃圾源的废塑料，我国垃圾填埋场陈腐垃圾中的废塑料可能超过 4.5 亿吨，化学回收可能是未来关键的处理技术。

2. 全球废塑料体量：中国的发展在全球处于中等水平，人均垃圾产生量基本处于全球平均水平。按照人口数量计算，全球废塑料体量大约为中国的 5 倍，即全球每年新增塑料垃圾 4 亿吨左右，其中约 2 亿吨可通过化学回收处理。垃圾填埋场陈腐垃圾中的废塑料约有 23 亿吨，或许只能通过化学回收处理。

3. 化学回收潜在产值：根据实际生产经验，假设新鲜塑料垃圾的平均出油率为 75% 左右，产物导入成品油方向制燃料，每吨售价 3200 元，即每吨废塑料产值为 2400 元左右；产物导入单体方向制新塑料，每吨售价 6000 元以上，即每吨废塑料产值为 4500 元左右，暂不考虑环保溢价。

填埋场陈腐垃圾中的废塑料出油率为 60%，产物导入成品油方向制燃料，每吨废塑料产值为 1920 元左右；产物导入单体方向制新塑料，每吨废塑料产值为 3600 元左右，暂不考虑环保溢价。

按照上述数据计算，中国和全球化学回收市场潜在产值保守估算如表 8 所示：

表 8：化学回收潜在产值估算（未考虑环保溢价）

市场		垃圾体量	液化工艺方向	单体工艺方向
中国市场	增量	3500万吨/年	840亿元/年	1575亿
	存量	4.5亿吨	8640亿元	1.62万亿元
全球市场	增量	2亿吨/年	4800亿元/年	9000亿元
	存量	23亿吨	4.42万亿元	8.28万亿元

资料来源：科茂化学回收研究院整理

(二) 废塑料再生利用率提升空间巨大，其中化学回收法存在巨大增长空间

1. 2016 年全球废塑料处置中化学回收占比不足 1%。图 3 为 2016 年全球塑料废弃物流向。根据麦肯锡公司研究报告，2016 年全球产生的塑料垃圾，40% 被填埋，25% 被焚烧，19% 被遗弃到环境中，仅有 16% 被回收。在这 16% 被回收的塑料垃圾中，物理回收占比 12%，化学

回收占比不足 1%，接近于 0。

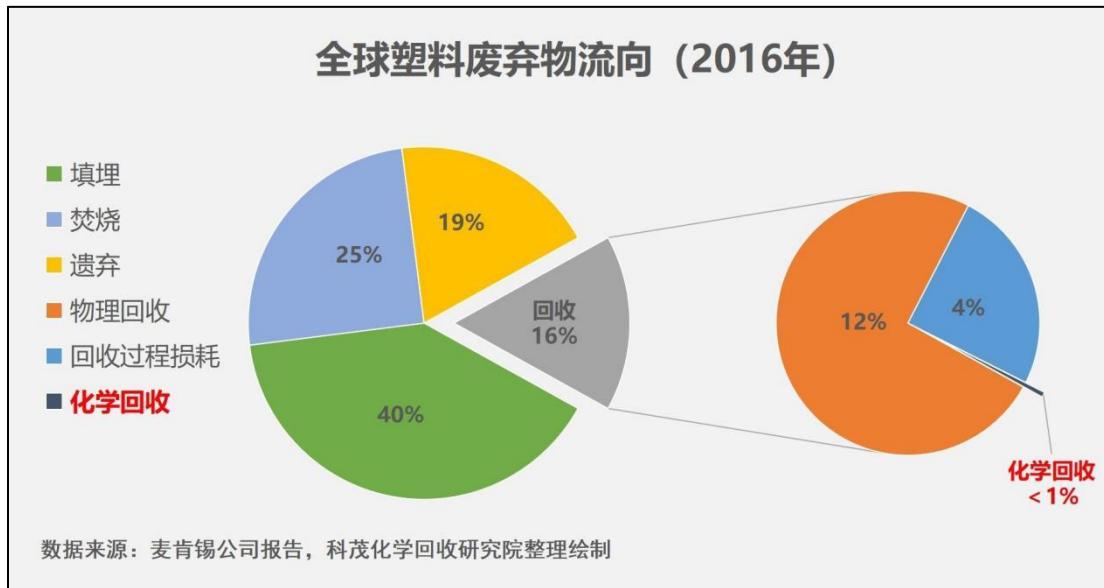


图 3：2016 年全球废塑料流向分析

2. 预计 2030 年全球废塑料处置中化学回收占比将达到 17%。图 4 为 2030 年全球塑料废弃物流向预测。随着全球废塑料回收再生技术提升和产能增加，预计到 2030 年，废塑料回收率有希望达到 50%，其中物理回收占比 22%，近乎翻倍，化学回收占比 17%，增长空间巨大。化学回收占比大幅增长的原因已在上文详细阐述，主要包括：①刚性需求呈现、100%原生塑料税收增加、消费者环保偏好增强，使化学回收 PCR 塑料需求增加；②技术水平提升、相关政策鼓励、未来预期看好，使化学回收 PCR 塑料潜在供给能力增加。

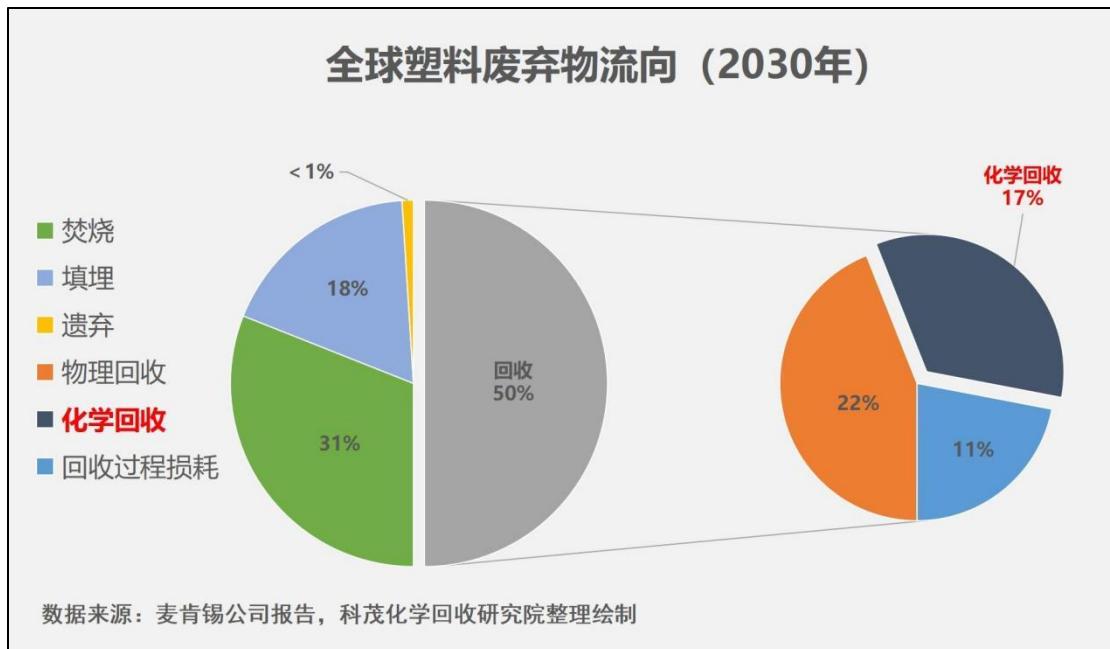


图 4：2030 年全球废塑料流向预测

3. 物理回收和化学回收的关系：物理回收经过数十年发展，技术和市场较为成熟。①从原料特征看：物理回收在处理 PET、HDPE 等高价值废塑料方面拥有较高性价比和广泛应用。化学回收主要处理物理回收无法回收、回收效益较低或经物理回收后降级至无法再回收的废塑料，也称为“低值废塑料”；②从产品特征看：大部分物理回收是降级回收，产物能够应用于食品药品等对塑料要求高的领域的比例较小。化学回收将废塑料回收到单体后再聚合，产物质量与原生塑料相同，可应用于对塑料要求高的领域。

因此物理回收和化学回收整体上是互补关系。随着化学回收技术从废塑料中提取出的价值越来越高（如单体工艺），未来会有更多原本适宜物理回收的废塑料转向化学回收，也会有一部分原本用于高价值领域的物理回收塑料产品被化学回收取代。

（三）化学回收将成为碳中和时代全球石化和环卫固废行业的

“第二增长曲线”

1. 化学回收凭借卓越的减碳效应将成为碳中和时代的重要技术。随着《巴黎协定》设定了本世纪后半叶实现净零排放的目标，越来越多国家政府将“碳中和”转化为国家战略，碳中和时代已全面开启。用化学回收处理全世界每年 2 亿吨左右新增低值塑料垃圾，可减碳约 4 亿吨；若在未来 20 年内，用化学回收处理全世界填埋场陈腐垃圾中的废塑料，每年可减碳约 2.3 亿吨，化学回收的减碳效应在每年 6 亿吨以上，超过全球 180 多个国家的年碳排放量。关于化学回收技术减碳效应的具体说明，请见该系列报告之《技术篇》。

2. 化学回收可能是石化行业未来最大的利润增长点之一。在过去 20 年里，石化行业盈利能力增长主要来自于技术进步和有优势的原料。低值塑料垃圾可能会成为聚合物生产的下一个优势原料来源。预计未来 10 年，塑料回收作为聚合物原料有可能为石化行业贡献三分之二利润增长，化学回收独占四成。预计到 2050 年，近 60% 的塑料使用回收塑料作为原材料，化学回收对石化行业的贡献可能超过 50%，成为下一时代石化行业的“第二增长曲线”。图 5 为未来十年石化行业利润增长预测。

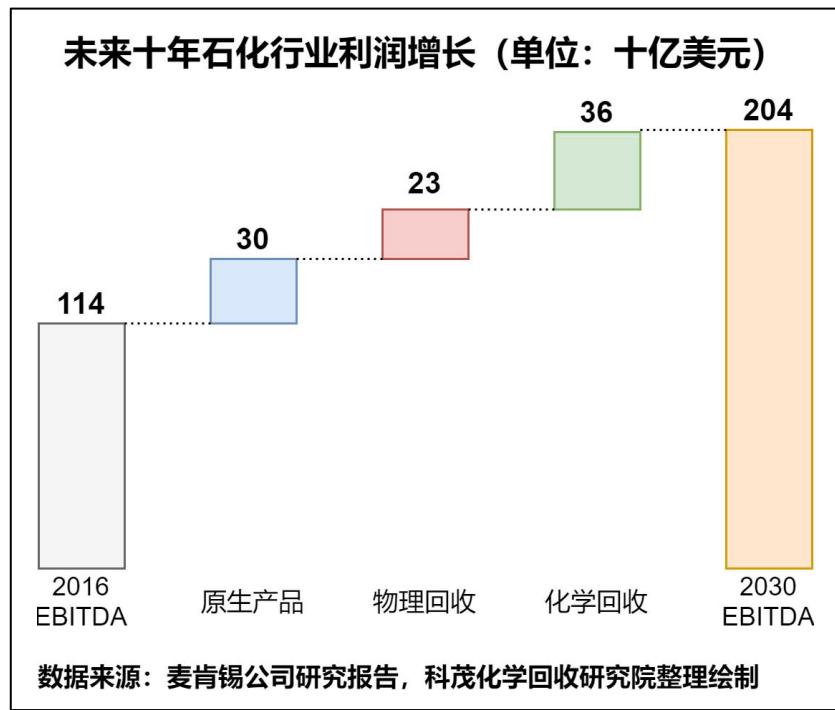


图 5：未来十年石化行业利润增长预测

3. 废塑料化学回收将成为生活垃圾末端处置的一个核心战场。可能的原因是：①“十四五”开始，国家原则上不再规划和新建原生垃圾填埋设施，焚烧设施建设未来数年内会趋于饱和，固废企业亟需寻找新的增长点；②随着政策开始支持垃圾分类、资源化以及塑料污染治理的推进，化学回收的重要原料（混合低值废塑料）可得性越来越强，且增量和存量巨大；③化工、包装和品牌的可持续战略转型，使化学回收的产物需求刚性强、需求量庞大且销路通畅；④大部分垃圾原本价值不高，回收利用能挖掘出的价值有限，塑料本身价值高（例如聚丙烯价格在 8000 元以上），但囿于以往技术落后，一旦混合或被污染就难以回收。在技术瓶颈突破的情况下，废塑料化学回收是垃圾处置领域为数不多的自带利润的赛道，市场化潜力巨大。废塑料化学回收可能是环卫固废领域未来 5 到 10 年为数不多的大蓝海。

（四）废塑料化学回收全球最大市场在中国

图 6 为 2016-2030 世界各地区塑料回收利润增长预测，中国有可能成为全球最大的市场。有以下几方面原因：①中国 14 亿人口，大城市多，人口密集度高，拥有全球最大的塑料垃圾体量和集中度；②随着中国垃圾分类、无废城市、循环经济、越来越明确的垃圾资源化目标等政策施行，过去不被分离出来的塑料垃圾逐渐可以低成本、更高效率地从垃圾中分离出来；③如果塑料垃圾被大量分离出来，因其混合性和受污染，化学回收将成为塑料垃圾减量化、无害化、资源化的绕不开的解决方案；④中国的化学回收企业已经过 10 余年技术积累，拥有世界前沿的技术，虽然短期内仍受政策不完善的限制，但具备大规模快速发展的基础。

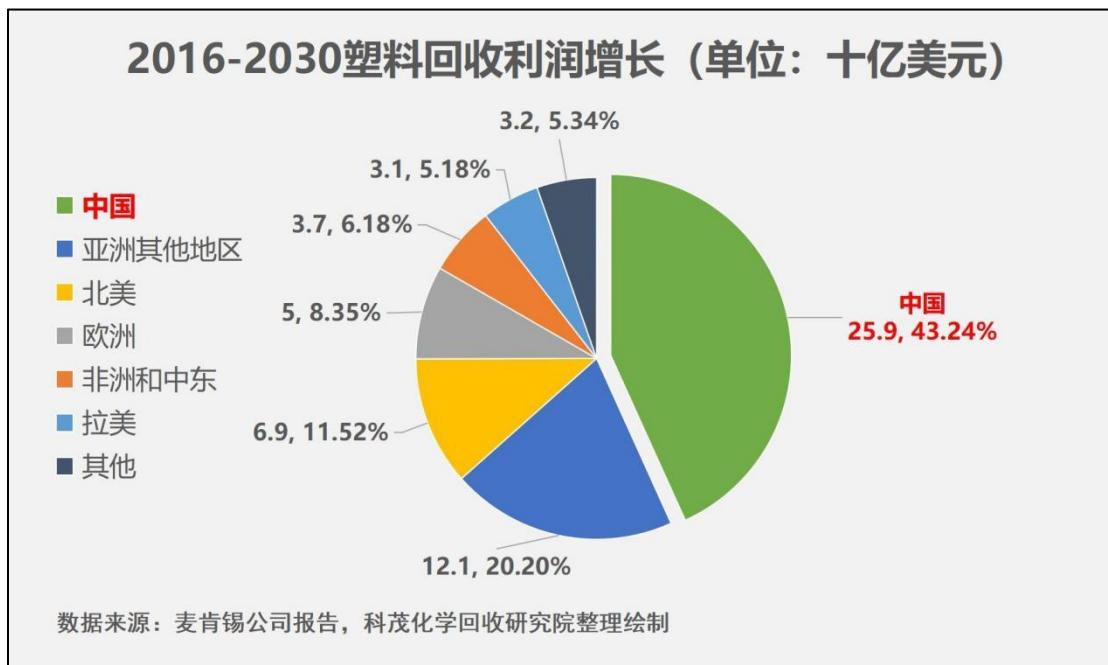


图 6：2016-2030 世界各地区塑料回收利润增长

感谢世界银行集团国际金融公司基础设施和自然资源部高级投资官员孙浩和顾问庄平博士，陶朗集团循环经济副总裁常新杰，德国国际

合作机构（GIZ）废弃物与循环经济部门主任钱名字，广东省环境科学研究院环境风险与损害鉴定评估研究所高黎博士对本报告提出了重要的建议。