

基础化工行业研究

买入（维持评级）

行业深度研究

证券研究报告

绿色系列：PET 回收（供给篇）——“低值料、高值用”重点关注

本篇报告是绿色系列报告的第二篇，着重针对 PET 回收技术、布局企业进行分析。PET 回收现阶段主要以物理法为主，产业链及工艺也相对成熟，但后期伴随需求的进一步提升，化学法将成为未来发展的重要方向，目前我国布局化学的企业相对较少，能够先期形成经济性的规模化的企业有望获得行业的先发优势。

核心结论

物理法行业基础相对较好，企业的加工技术和改性会形成终端差异。国内对 PET 回收布局时间相对较长，但基本长时间集中于物理回收赛道。在终端产品的改性和优化过程中，对企业的技术水平有一定的要求，较多的小规模技术储备不足的企业仅能针对产品进行降级应用，比如生产填料、地毯丝等；同时由于物理回收对于原材料具有一定的要求，多数以 PET 瓶为主，回收水平相对较高，后续进一步拓展存在限制，而我国禁止废旧塑料进口，解决来料问题将是不分企业拓展业务的思考方向，带动部分企业规划出海布局基地；

化学法仍处于不断突破过程，未来发展空间较广。化学法能够较大程度扩展 PET 回收的原料范围，从瓶片扩展至纤维、膜材，废旧纤维的回收率低，价格便宜，对于原料的成本相对可控，有利于进一步扩大发展规模。但目前化学法的路径并不完全成熟，多数大型企业采用热解工艺进行油品等回收，PET 专项回收循环技术量产企业相对较少，成本还需进一步优化，但已经有企业先期形成了初步的技术突破，若有企业形成规模效应，有效控制成本，有望获得先发优势；

生物法目前仍然处于探索阶段。从生物法的反应路径看，其对 PET 的回收可以做到来料范围的拓展，且能够形成高值利用，在产品布局方向上有更多领域的延伸空间，但工程化应用尚未成熟，成本仍然相对较高。

化学法和生物法具有进一步加速发展空间。化学法 rPET 和原生 PET 的性能接近度高，已经具备多领域应用基础。目前国内已有物理法路径参混部分泡料进行降级应用，也有少部分化学法工艺进行纤维生产，伴随化学法工艺进一步成熟，装置规模放大，预估化学法的 rPET 的经济性将获得进一步优化，先期满足下游“绿色”品牌的市场需求；人工智能的发展对合成生物有明显的推动作用，酶降解工艺有望获得明显加速。现阶段生物法仍然面临酶活性低，生产成本高的问题，而 AI 人工智能的发展有望大幅缩短基因和蛋白改造的时间，通过机器计算和模拟降低改造的成本，有望加速提升生物法 PET 降解的效果。

全球布局化学法 PET 回收的企业主要以大型化工巨头企业和单一领域的初创型企业为主。大型石化企业先期具有产业链基础，多数选择热解工艺形成有效协同布局，但同时也外研合作开辟新的回收路径，以满足行业新的发展趋势；初创型企业多数采用新路径或者新的工艺，在专项技术的研发力度和突破上相对领先，但多数初创企业资金和工程化能力及经验上相对欠缺，导致部分项目兑现时间相对较长。

投资建议

PET 再生材料应用要求不断提升，将大幅带动行业需求，行业潜在发展空间巨大，而其中几类企业将相对收益：

- 实现 PET 回收的高值化应用的企业：能够满足下游领先企业高端服装的产品需求，能够从产品定价获得盈利空间；
- 能够扩展应用原料，能够实现低成本管控的企业：破除传统 PET 回收的限制，使用成本更低的原材料进行产品生产，降低外部约束带来的不可控风险，形成成长空间；
- 能够突破技术、工艺路径障碍，采用生物法或化学法经济性生产 rPET 的企业，有望获得成本和市场双重突破。

风险提示

政策落地不及预期风险；产业链配套发展不均衡风险；海外贸易政策变动风险；需求波动风险；石化产业链价格剧烈波动风险。

内容目录

一、PET 回收工艺现状：瓶片相对成熟，纤维任重道远..... 4

1.1、物理法 PET 回收成熟，产品梯级利用，但原料来源相对受限..... 5

1.2、化学法仍处于持续突破中，未来应用空间较大..... 7

1.3、酶解新工艺，暂未形成大面积工程化，但有加速可能..... 11

二、碳排环保助 PET 回收获绿色附加值，新赛道有望获得突破..... 14

2.1、PET 回收可以有效降低碳排，形成有效的碳排经济赋能..... 14

2.2、再生 PET 已经能够形成应用基础，行业的发展有望获得加速..... 15

三、PET 回收领域，低值原料、高值利用的路径值得重点关注..... 16

3.1、全球企业开启 PET 回收布局，不同阵营的发展方向呈现明显区别..... 16

3.2、国内多数以热解和物理法布局 PET 回收，差异化定位和化学法有望成为新的焦点..... 21

四、投资建议..... 24

五、风险提示..... 24

图表目录

图表 1： 塑料回收的主要化学法路径..... 4

图表 2： 物理法和化学法回收的差异比较..... 5

图表 3： PET 常见的物理回收的过程..... 5

图表 4： PET 饮料包装瓶的回收已经达到较高水平..... 6

图表 5： PET 聚酯切片和再生 PET 切片的价格变化趋势..... 6

图表 6： PET 塑料和 PET 纤维的特性不同..... 7

图表 7： 废 PET 化学法工艺的产物分布..... 8

图表 8： 废弃 PET 制备电容储能性能优异的多级孔碳材料..... 10

图表 9： 化学法回收 PET 工艺特点汇总..... 10

图表 10： PET 生物降解的发展历程..... 12

图表 11： PET 生物降解重要的酶 IsPETase 结构..... 12

图表 12： 生物转化 PET 的路径或策略..... 13

图表 13： 废 PET 再造长丝生产线具有深度降碳潜力 (kgCO2eq)..... 14

图表 14： 再生材料能够明显降低碳排，具有领先的环保效应..... 15

图表 15： 使用 r-BHET 后的 PET 性能对比..... 15

图表 16： 各种再生纤维路径的应用情况及场景..... 16

图表 17： 巴斯夫物理塑料回收..... 17

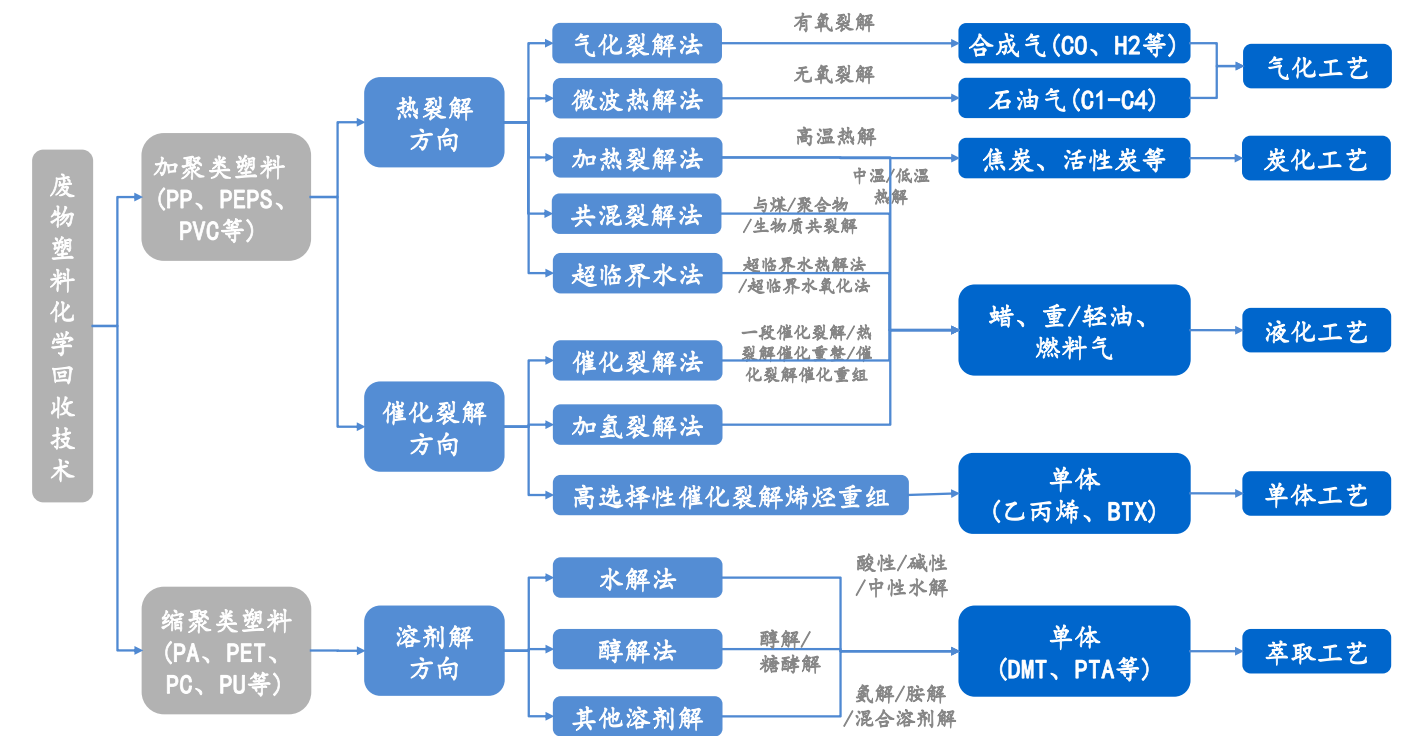
图表 18： 巴斯夫和合作伙伴合作将热解材料投入自身一体化体系中形成产品生产..... 18

图表 19: SK 执行“3R”战略, 推进废旧塑料回收再利用	19
图表 20: LoopIndustries 通过化学解聚生产 DMT, 进一步合成 PET 材料	20
图表 21: CARBIO 在酶解聚 PET 基础上提升酶的回收和开发可降解材料	20
图表 22: 英科再生回收 PET 产品营收及盈利变化	21
图表 23: 英科再生回收 PET 产品售价及成本变化	21
图表 24: 优彩资源再生涤纶短纤营收及盈利 (百万元)	22
图表 25: 优彩资源再生涤纶短纤售价及成本 (元/吨)	22
图表 26: 天富龙再生有色涤纶短纤营收及盈利变化	22
图表 27: 天富龙再生有色涤纶短纤价格及单吨盈利变化	22
图表 28: 百川科技产品营收变化情况 (百万元)	23
图表 29: 百川科技产品毛利率变化情况	23

一、PET 回收工艺现状：瓶片相对成熟，纤维任重道远

在塑料回收领域，一般根据回收工艺的差异会分为四级，其中一、二级回收都属于物理回收，三级、四级属于化学回收。一级回收针对干净的单一类型塑料，主要为工厂回收，二级回收则通过破碎、清洗、挤压、造粒等步骤处理更复杂的塑料制品。三级回收是通过化学技术来处理废弃塑料获得相应单体或化工原料。四级回收是能量回收，将最终无法进一步化学回收的废塑料进行燃烧，获取热能。物理回收具有方法简便、成本较低等优势，但针对的产品种类相对受限，获得的产品品质也会有一定的影响，而化学法回收的种类相对较多，可以处理更多领域的原料来源，但工艺难度明显提升。

图表1：塑料回收的主要化学法路径



来源：科贸化学回收研究院等，国金证券研究所

物理回收材料应用受限，部分产品只能降级应用。工业上将回收分为升级回收和降级回收两种类型，升级回收指材料回收后可再用于高端应用，降级回收则是材料回收后再用于制备比原来产品价值低的产品，如聚酯纤维或长丝回收后制成聚酯短纤维，用于制作毛绒玩具、填充材料或室内装饰品等。在中国 PET 回收体系中，主要以物理回收为主，主要针对 PET 瓶的回收和再利用，经济闭环产业链已成型。我国 PET 回收料的 40%-60%用于纤维的生产，且有部分是降级回收，仅能用于箱包、地毯等领域；相比之下化学法的技术仍有难点，目前能够工程化的装置相对较少，且规模较小。

图表2：物理法和化学法回收的差异比较

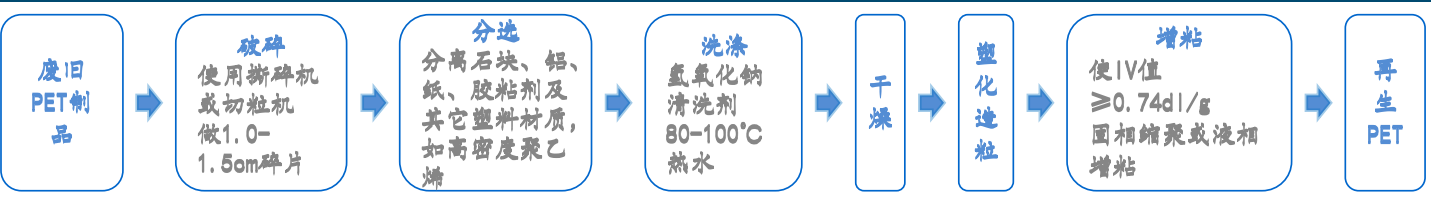
回收工艺	优势	劣势
化学回收	可将 PET 废料分解成单体和/或其寡聚体和其他化学物质	对 PET 进行化学解聚的生产成本要高于直接生产 PET，因此在没有经济激励的情况下，化学法再生 PET 需要更高的生产成本
	与其他回收利用方法相比，完全遵守了“可持续性”原则	
	保存了回收 PET 废料的分子量（特性粘度）	
	可以将被污染的和非常复杂的废物流回收成所需规格的产品	
	在 PET 化学回收过程中，最终产品的可加工性，如印刷性和染色性可以达到预期的级别	
	PET 产品在化学回收过程中不会出现暗黄现象	
物理回收	加工技术简单；投资成本低	被污染物质的复杂性阻碍了 PET 的物理回收
	对环境的负面影响很小	PET 废料在每次回收时的杂色和产品性能的恶化是 PET 物理回收的主要问题
		由于 PET 物理回收过程中产生的环状和线性低聚物，最终产品的印刷性和染色性可能被降低
		物理回收的 PET 由于分子内交联和氧化反应而变黄

来源：《食品工业科技》，国金证券研究所

1.1、物理法 PET 回收成熟，产品梯级利用，但原料来源相对受限

PET 物理回收，是将废 PET 进行机械加工后造粒，再加工成塑料制品或者纺丝制成 PET 纤维，是一种简单且成本低廉的物理循环方法，也是目前最为常用的 PET 回收路径。PET 物理回收工艺由分类、分拣、清洗和干燥、尺寸减小、熔体过滤、重整和压实步骤组成。

图表3：PET 常见的物理回收的过程



来源：《食品工业科技》，国金证券研究所

物理工艺相对成熟，但对原材料有较高要求。物理回收一般包括一级回收和二级回收，其中一级回收主要是用于处理第一类无污染的废料，原料比较单一，一般生产厂家就可以进行回收处理；二级回收主要是用于处理使用后废弃的 PET 聚酯。物理法具有操作简单，回收过程投资相对较少等优点，因而发展速度相对较快，产业链布局也相对成熟。由于物理回收不改变分子结构，对于原材料的利用范围相对有限，主要以处理瓶片为主，现在采用物理方法回收的 PET 比例约占总量的 80% 以上。

原材料的回收程度相对较高，后续进一步放大规模或将受到限制。由于物理法主要针对 PET 瓶片，主要的回收来源是饮料包装瓶，因而物理法的发展将很大程度受到原料回收利用的程度影响。目前来看，饮料包装瓶的回收利用是最为成熟的，在主流国家的回收利用率基本已经提升至较高水平，中国目前的 PET 饮料包装瓶的回收率已经提升至 94% 以上，回收路径较为成熟，利用率较高，且自 2017 年开始，国务院办公厅印发的《禁止洋垃圾入境推进固体废物进口管理制度改革实施方案》，禁止进口来自生活源的废塑料，2020 年 11 月 24 日，生态环境部、商务部、国家发展和改革委员会、海关总署联合发布公告，明确自 2021 年 1 月 1 日起，禁止以任何方式进口固体废物，物理法回收的 PET 瓶片来源是影响行业扩展的重要因素，后续进一步大幅增长的空间或将相对有限。