

# 废旧涤纶纺织品的回收循环再利用技术

杨瑞华, 邵秋, 张欣, 陈鹤文

(江南大学生态纺织教育部重点实验室, 江苏无锡 214122)

**摘要:**针对涤纶纺织品产量较大但回收量较低的问题,立足于可持续发展,对废旧涤纶纺织品的回收再利用方法进行总结归纳。论述国内外废旧纺织品回收再利用状况,归纳中国和部分发达国家为保护环境、减少资源浪费而制定的一系列环保政策。针对目前中国废旧纺织品回收利用体系存在的一些问题,给出合理化建议,为废旧纺织品循环再生模式的规范建设提供参考。

**关键词:** 废旧涤纶; 纺织品; 回收; 再利用; 政策

**中图分类号:** TQ 342.29 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2022)04-0283-08

## Recycling and Reuse Technology of Waste Polyester and Cotton Textiles

YANG Ruihua, SHAO Qiu, ZHANG Xin, CHEN Hewen

(Key Laboratory of Eco-Textile, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** In the face of the huge yield and low recycling rate of polyester and cotton textiles, based on sustainable development, the recycling and reuse methods of waste polyester and cotton textiles were summarized. This paper discussed the recycling and reuse status of waste textiles, and summarized a series of environmental protection policies formulated by China and some advanced countries to protect the environment and reduce resource waste. In view of the existing problems in the current recycling and reuse system of waste textiles in China, some reasonable suggestions were given in order to provide some inspiration for the standardized construction of recycling mode of waste textiles in China.

**Key words:** waste polyester and cotton, textiles, recycling, reuse, policy

伴随消费升级与市场扩张,纺织品需求量和产量快速增长。在快速迭代过程中,废弃量持续攀升,废旧纺织品成为增长最快的固体垃圾之一。根据相关资料<sup>[1-2]</sup>,2019年中国总计产生废旧纺织品超过2 000万t,其中废旧涤纶占53%,废旧棉占30%;仅有400万t被回收,回收率20%,其余的80%被作为垃圾填埋或焚化。填埋会对土壤和水资源造成严重危害,焚烧则会产生大量有毒有害物质,污染大气。国际回收再生组织(BIR)研究表明,每再利用1 kg废旧衣物,就可以减少3.6 kg的CO<sub>2</sub>,节约6 000 L水<sup>[3]</sup>。废旧纺织品的再利用可有效减少CO<sub>2</sub>排放,从而推动中国碳达峰、碳中和目标的实现。

涤纶是全球产量最大、应用最广的合成纤维。

中华人民共和国工业和信息化部数据显示<sup>[5]</sup>,2020年,中国化纤产量6 025万t,其中涤纶产量4 923万t,占总量的81.7%。涤纶产品又分为纯涤、涤棉混纺或涤纶与其他混纺,其中涤棉混纺占比70%左右<sup>[6]</sup>,每循环再利用1 t聚酯产品,可减少3.2 t CO<sub>2</sub>排放。涤纶再利用不仅可以有效减少CO<sub>2</sub>排放,对缓解生产聚酯纤维重要反应物——二甲苯(PX)的进口依赖也具有积极作用<sup>[7-8]</sup>。

纯棉及含棉混纺纺织品在各类纺织品中占据较大份额,巨大的人口粮食压力使大量种植棉花的土地转为种植粮食。根据国家统计局2021年棉花产量公告<sup>[9]</sup>,2021年全国棉花播种面积302.81亿m<sup>2</sup>,较2020年减少14.08亿m<sup>2</sup>,下降4.4%;2021年全国棉花总产量573.1万t,比2020年减少18万t,同

收稿日期:2022-01-09; 修订日期:2022-06-30。

基金项目:江苏省自然科学基金面上项目(BK20181350)。

作者简介:杨瑞华(1981—),女,教授,博士生导师。主要研究方向为智能自动化纺纱技术和成纱理论、再生纺织品回收利用。

Email: yangrh@jiangnan.edu.cn

比下降 3%。随着人们生活水平的提高,对天然纤维的需求量也越来越大,棉纤维的回收利用对保持棉花供求关系、保证市场稳定运转起着非常重要的作用。

文中从涤、棉两种纤维再生利用的特征出发,结合国内外相关政策,积极探索符合中国国情的废旧纺织品回收利用道路。

## 1 废旧涤棉纺织品回收利用方法

依据 GB/T 38923—2020《废旧纺织品分类与代码》<sup>[10]</sup>,将废旧纺织品分为废纺织品和旧纺织品两类。废纺织品指纺织材料及其制品在生产加工过程中(如纺丝、纺纱、织造、印染、裁剪等)产生的废料;旧纺织品指淘汰的纺织制品(包括服装、家用纺织品、产业用纺织品及其他纺织制品)。

废纺织品多为生产加工过程中各道工序的下脚料,相对洁净,原料成分清晰明确,染料、颜料、油剂、助剂等添加剂的使用较少,无金属、塑料等装饰异物,且成分相对简单,原料损伤小。该类产品召回利用技术较为成熟,工艺简单,再利用方式多为二次加工成低值产品。旧纺织品的成分复杂,损伤程度不一,回收利用困难。目前,处理回收的旧纺织品的主要途径有:①旧衣物的再利用,向非洲、中东地区进行二次销售;②直接进行填埋或焚烧,但污染环境,浪费资源;③生物降解,但仅适用于纤维素、甲壳素等一些亲水性木质素纤维制成的旧纺织品<sup>[11]</sup>,局限性大;④回收后进行分解,将分解后的原料二次加工,虽然难度大、成本高,但对保护环境、减少碳排放具有积极意义,是未来旧纺织品再利用的发展趋势。

### 1.1 废旧纤维的回收再利用

根据《中国工业统计年鉴 2021》数据<sup>[12]</sup>,2020 年,中国生产布 459.19 亿 m,其中棉布 186.24 亿 m,占 40.5%;纯棉纺织品占据较大市场份额。因此,文中以废旧棉纤维为主要研究对象,对其合理再利用的方法进行阐述。

**1.1.1 废棉纤维的再利用** 废纤维主要来自纺纱工序中开清、梳棉、精梳等环节的落棉以及织造和成品生产加工环节的废纱线、边角料、瑕疵成衣(未服用)等废纺织制品。纺纱工序的落棉可直接使用,废线、边角料、成衣等需进行开松处理,后与其他品质的棉花按照一定比例混合,采用非织造、转杯纺工艺,将其重新加工成非织造织物或 58.3 ~ 116.6 tex 的转杯纺纱。在现有技术基础上,科研工作者不断技术创新,在原料配比、工艺参数、成品质

量等方面进行深入探索。例如,PUPPIM R 等<sup>[13]</sup>结合非织造针刺技术和毡缩技术,开发创新纺织产品;YILMAZ D 等<sup>[14]</sup>将落棉与原棉以 5 种不同比例进行混纺,对纱线的拉伸性能以及毛羽性能进行比较;GUN A D 等<sup>[15]</sup>利用服装下脚料与聚酯纤维混纺,探究混纺比、纱线支数对纱线的影响;AWGICHEW D 等<sup>[16]</sup>将针织废料制备的再生纤维与原棉混纺,探究不同比例混纺纱的结构和机械性能。随着科技的进步,围绕工艺优化、产品开发等方面的研究不断深入,由新型多功能材料(保暖酷爽材料、绝缘材料等)制成的再生产品将逐步走向市场。

**1.1.2 旧棉纤维的再利用** 旧棉纤维在回收过程中的品质差异很大,需要对纤维进行评价,以确定其是否符合后续生产工艺的需要。根据旧棉纤维的品质高低,对其采用不同方法进行再利用。

1)物理机械法对纤维损伤较大,多用于力学性能较好的旧棉织物。具体方法为:①对旧棉织物进行切割、撕裂、开松,重新获得棉纤维;②利用涂鸦、手工拼接等技术对其进行改造,可以把旧衣服变成拖布、抹布等一些劳动产品,实现旧纺织品的新发展。

2)对于力学性能无法满足物理法处理过程中所需的强力要求,但仍有利用价值的旧棉织物,可采用化学法,利用化学试剂溶解旧棉织物,获得纤维素。旧棉纤维中含有丰富的纤维素,是代替木浆、生产黏胶和 Lyocell 纤维的绝佳选择。采用黏胶工艺制取可再生的黏胶是目前比较成熟的旧棉纤维再生方法。以赛得利 FINEX 纤生代等系列为代表的再生黏胶产品已初步获得市场认可。同时,对旧纤维再利用的探索也在不断推进,MA Y B 等<sup>[17]</sup>提出,采用二甲基亚砷与 1-丁基-3-甲基咪唑乙酸盐溶解有色旧棉纤维后制备的 Lyocell 纤维可保留原色,避免二次染色;薛菁雯等<sup>[18]</sup>以旧纯棉 T 恤为原料,以 1-烯丙基-3-甲基咪唑氯盐离子溶液为溶剂,制成再生纤维素透明薄膜,其具有良好的拉伸强度。还可利用化学改性法,使旧棉织物分子结构改变,从而获得可用于食品、美容等领域的水溶性羧甲基纤维素产品。

对于无法满足上述利用方式的旧棉纤维,可进行生物堆肥,利用微生物降解旧棉纤维,生成有机物,改善土壤环境。

无论是物理法还是化学法,仅单纯依靠某一种方法难以实现废旧棉纤维大规模的二次利用,需要在现有工艺处理技术基础上,依据纤维品质差异,

多种方式协调运用,最大限度开发废旧纤维的再利用潜能。

### 1.2 废旧混纺纤维的回收再利用

虽然纯棉产品占据一部分市场份额,但如今各种成分不同、性能不同的纱线混纺产品占据了主流市场,其回收二次利用对现有工艺提出了更高要求。对混纺纤维而言,实现不同组分的分离是重中之重。以占比最高的涤棉混纺纤维为例,由于涤棉混纺织物难以实现物理分离,因此现阶段主要采用化学分离法进行回收,新型环保方法的研究也在不断深入。

**1.2.1 传统化学法** 化学法是废旧涤棉纤维分离的主要方法,它通过不同化学试剂有选择地将混纺织物中的一种纤维分解成低分子或单体,而另一种纤维不发生反应。传统化学方法有酸解法、醇解法和水解法。酸解法主要针对棉纤维,在一定条件下通过稀酸溶液中的氢离子和棉纤维分子链上的氧原子结合,使棉纤维降解为还原性糖和棉渣粉末,涤纶保持不变<sup>[19]</sup>。醇解法和水解法主要通过化学试剂与涤纶发生反应,醇解法是将涤纶与乙二醇在一定的条件下混合发生反应,生成对苯二甲酸乙二醇酯(见图 1<sup>[20]</sup>);水解法则是利用 NaOH 等碱性物质,在水中将涤纶分解为对苯二甲酸钠。

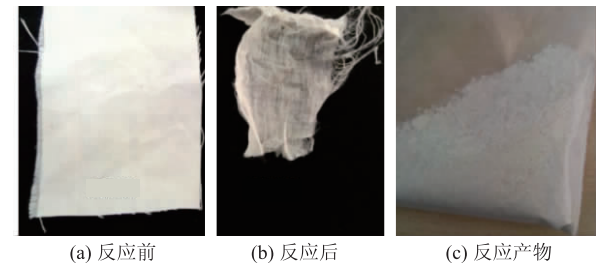


图 1 涤棉织物与乙二醇反应产物

Fig. 1 Reaction products of polyester and cotton fabric with ethylene glycol

虽然醇解法已投入工业化生产,但传统方法中使用的酸碱物质以及采取的高温反应等,都难免会对纤维和环境造成不同程度的危害,且存在反应产物难以分离、回收率不高等问题,因此仍需研究者努力攻克技术难题。

**1.2.2 新型分离方法** 新型分离方法是在传统方法上进行创新,其包括生物酶水解法、超临界水热法等。①生物酶水解法。该方法利用稀酸碱预处理废旧涤棉纤维,通过纤维素酶将棉纤维水解为葡萄糖,再发酵为乙醇,极大地减少了酸碱的使用,降低了对环境的危害。②超临界水热法。与传统方法中只与其中一种纤维反应不同,该方法与两类纤维同时反应,在超临界水热条件下,棉纤维碳化为

碳微球,涤纶纤维水解为对苯二甲酸(TPA)和乙二醇(EG)<sup>[21]</sup>。

新型分离方法虽然可以降低对环境的危害,实现废旧涤棉的最大化利用,但该类技术尚未发展成熟,目前只适用于实验室,距离大规模工业化生产还有很长的路要走。

**1.2.3 能量法** 对于不能利用化学法分离且无法生物降解的废旧混纺纺织品,多利用能量法实现最大化利用。能量法是指将回收的纺织品作为燃料,通过焚烧将纺织品的价值以热能形式加以利用的方法,可用于金属熔化、化学加热等方面。但通常不建议使用此法,因为纺织品在焚烧过程中也会产生大量的一氧化碳、二噁英、氮氧化物等有毒有害气体,严重危害环境。

随着技术的进步,适合大规模、多品种、高速高效生产的废旧混纺纤维分离工序和设备不断创新,混纺纤维分离方法逐渐升级,相信在不久的将来,可以实现混纺纤维最大化利用,达到保护环境和减少污染的效果。

## 2 废旧涤棉纺织品回收利用现状

### 2.1 国内现状

在中国,废旧纺织品的回收再利用可根据其损伤污染程度、材质等因素的不同,通过二手服装外销、物理法、化学法、能量法等实现其在不同领域的二次利用。其中,出口外销约占该产业链的 30%,物理法约占 50%,化学法约占 10%,能量及其他方法约占 10%<sup>[22]</sup>。虽然方法众多,但都未形成规范的产业链。

浙江是实现中国废旧纺织品高值化利用的典型地区。浙江苍南县有 8 000 余家从事废棉再生的企业,共有相关设备 10 000 余套,这些企业生产的再生无纺布、路基布、气流纱等产品已出口到世界各地;浦江县 2018 年时就实现了棉再生工业总产值 38.25 亿元。企业方面,以浙江佳人、杭州鼎缘、宁波大发等为废旧纺织品循环利用的代表,其中浙江佳人是目前全球领先的涤纶丝化学法循环利用生产企业<sup>[23-24]</sup>。

中国在政策上尚未开放二手服装贸易市场,出口成为再利用主流。下游商人以 0.8~3 元/kg 价格收购旧服装,出口商再以 1.7~10 元/kg 不等的价格打包出口到非洲等地。伴随着跨境电商的兴起和线上销售平台的建设,二手服装贸易越发繁荣。根据海关统计数据<sup>[25]</sup>,总结得出 2017—2021

年中国旧衣物出口量与出口额,具体如图 2 所示。由图 2 可知,2021 中国旧衣物出口量较 2017 年增长 21.46 万 t,出口额增长 5.5 亿美元。

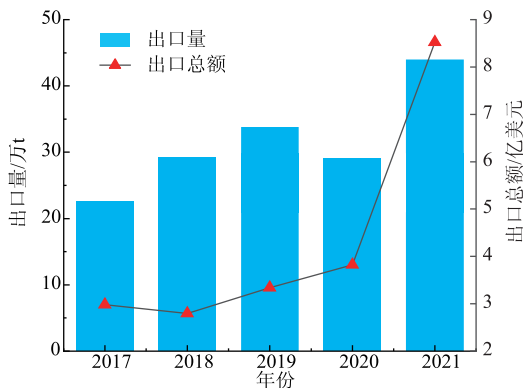


图 2 2017—2021 年中国旧衣物出口量与出口额

Fig. 2 Export volume and export value of used clothes in China from 2017 to 2021

随着资金和人才的大量涌入,中国废旧纺织品行业发展速度日益加快,并逐步实现规范化、机械化,建成符合中国国情的纺织品生产、利用、回收再利用的循环模式指日可待。

## 2.2 国外现状

相较于国内,国外多家企业、研究机构早在 20 世纪开始便投入大量资金研究废旧纺织品的回收再利用。

国外废纺织品已实现高值化利用。例如,美国莱卡公司推出完全由纺织废料制成、具有优异保温性能的填充棉;日本 Jeplan 公司与大阪高校合作开发了废旧棉转换酒精技术;澳大利亚新南威尔士大学以废旧棉纤维、聚酰胺纤维等纤维混合物为原料,开发了防水、防火实心板<sup>[26]</sup>。企业方面,美国 Jimtex Yarns、沃尔玛、日本帝人、英国马莎百货等均作为再生纺织品的开发、生产和销售作出了贡献。

在国外,旧纺织品回收产业依托民间慈善机构、二手店和线上交易平台,将旧纺织品回收、二手服装买卖、慈善事业结合在一起,极大地提高了消费者捐赠、购买的积极性。美国在线二手零售商 ThredUP 发布的 2022 年转售报告<sup>[27]</sup>显示,预计到 2026 年,美国二手服装市场交易金额将达到 820 亿美元(见图 3),全球二手服装交易的市场规模将会突破 2 000 亿美元(见图 4)。

发达国家废旧纺织品回收利用历史悠久,相关法律法规、宣传政策相对完善,无论是个人、企业,还是社会团体、政府机构,都十分重视废旧纺织品的回收和再利用,对中国废旧纺织品回收利用模式的构建具有一定参考价值。

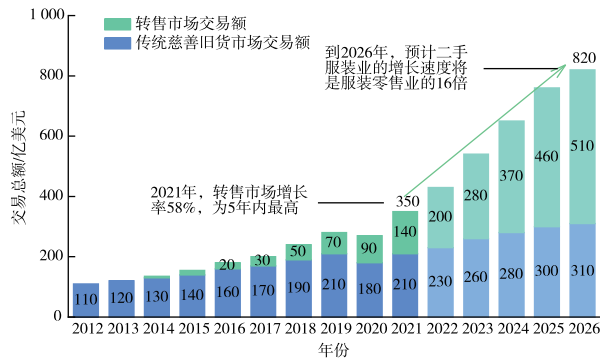


图 3 美国二手服装市场规模(2012—2021 年)与增长预测(2022—2026 年)

Fig. 3 Size from 2012 to 2021 and growth forecast from 2022 to 2026 of US second-hand clothing market

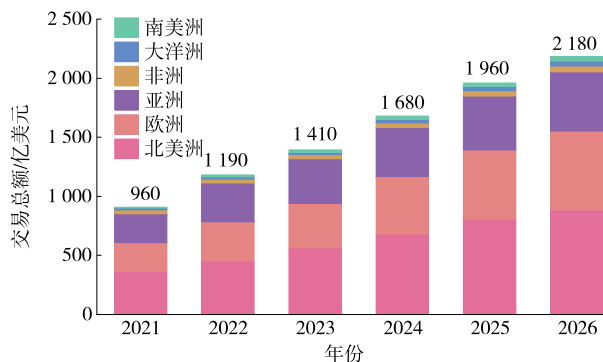


图 4 全球二手服装市场规模(2021 年)与增长预测(2022—2026 年)

Fig. 4 Size in 2021 and growth forecast from 2022 to 2026 of global second-hand clothing market

## 3 废旧纺织品回收再利用政策

目前国内尚未颁布关于废旧涤棉纺织品回收再利用的政策,文中主要介绍废旧纺织品整个行业的相关政策。纺织品从原料、加工、流通、使用到废弃,各环节皆具有巨大的降碳潜力<sup>[28-29]</sup>。近年来,为节约资源,降低纺织品对环境造成的危害,国家出台了一系列环保政策。然而,相较于其他可循环利用的废弃物(如纸、玻璃、金属),中国的纺织品循环利用政策起步较晚,相关研究也不多,有关文献仅占回收政策的 1%<sup>[30]</sup>。

### 3.1 国内相关政策

针对废旧纺织品个体差异化和数量庞大的问题,中国正以生活垃圾分类和“两网融合”<sup>[31]</sup>为主,发展规划和相关政策为辅,大力发展中国纺织品再利用产业。

2012 年,中国发布《纺织工业“十二五”发展规划》,提出“支持废旧纺织品回收利用”的相关倡

导<sup>[32-33]</sup>。“十二五”期间,中国开始建设废旧纺织品回收、分拣和利用产业链,开创“旧衣零抛弃”活动。2015 年,中国建立纺织纤维回收系统,再利用纺织纤维总量达到 800 万 t。2016 年,发布《纺织行业“十三五”发展规划》,定下绿色发展目标,要求突破一批回收利用关键技术,循环利用纤维量在纤维加工总量的占比继续增加<sup>[34-35]</sup>。2017 年,山东青岛成立废旧纺织品综合利用战略联盟。2018 年,深圳市实施《废旧织物回收及综合利用规范》,各地立足当地基本情况,探讨适合自身的循环体系<sup>[36-38]</sup>。2019 年,中国循环经济协会批准发布《二手服装消毒工艺规范》《废旧纺织品回收利用规范》《再生涤棉混纺纱线(气流纺)》《再生棉纱线(气流纺)》《再生棉纱线(环锭纺)》等 5 项团体标准<sup>[39]</sup>,标志着中国废旧纺织品回收利用体系逐步规范化。2021 年,发布《纺织工业“十四五”发展纲要》,指明绿色纺织发展方向:要求到 2035 年,纺织行业责任导向的绿色低碳循环体系基本建成,纺织行业碳排放达峰后稳中有降<sup>[40-42]</sup>。同年,中华人民共和国工业和信息化部颁布《循环再利用化学纤维(涤纶)行业规范条件》和《循环再利用化学纤维(涤纶)企业规范公告管理暂行办法》。2022 年,出台《关于加快废旧物资循环利用体系建设的指导意见》,明确到 2025 年废旧纺织品循环利用率达到 25%<sup>[43]</sup>;到 2030 年建成较为完善的废旧纺织品循环利用体系,废旧纺织品循环利用率达到 30%,废旧纺织品再生纤维产量达到 300 万 t。

### 3.2 国外相关政策

发达国家废旧纺织品回收再利用起步早,相关的法律法规较为完备。早在 20 世纪,欧美各国就已先后制定法案,如美国颁布《固体废物处置法案》(1965)、《资源回收法案》(1970)、《资源保护和回收法案》(1976);欧洲有《欧盟环境保护法》(1990)、《欧盟包装和包装废弃物指令(94/62/EC)》(1994)、德国《循环经济和废弃物管理法》(1996);日本颁布《促进再生资源利用法》(1993)。

到 21 世纪,相关法案继续制定、完善。2000 年,日本颁布《循环型社会形成推进基本法案》;2007 年,法国颁布《纺织品、服装、鞋类和家用亚麻制品的回收和处置草案》;2010 年,欧盟《垃圾框架指令(2008/98/EC)》生效;2018 年,欧盟发布第 94/62/EC 号《包装和包装废弃物指令(修订版)》<sup>[44-45]</sup>;同年,欧盟发布《废弃物框架指令(EU) 2018/851》,要求建立废旧纺织品分类回收体系;2020 年,欧盟发布《生活垃圾单独(分类)回收指

南》,明确列出废旧纺织品范围、回收渠道<sup>[46]</sup>;同年,欧盟颁布《新循环经济行动计划》,明确要将循环经营理念贯穿产品全生命周期,构建覆盖纺织品设计、消费、制造等环节的可持续政策框架;2021 年,日本时尚与环境工作小组的报告中提出,建立旧衣物收集、分类制度,共享回收设施。

## 4 中国废旧纺织品制度存在的问题与建议

### 4.1 中国废旧纺织品制度的主要问题

中国回收再利用体系尚未建成,很多问题尚待解决。对于废纺织品而言:①相关检验、监管不到位,质量监督管理未完全落实<sup>[47]</sup>，“黑心棉”产品层出不穷;②不能严格按照 GB/T 32479—2016《加工纤维基本安全技术要求》<sup>[48]</sup>进行生产,不能确保产品的安全和质量;③再生产品标注不符合 GB/T 27611—2011《再生利用品和再制造品通用要求及标识》<sup>[49]</sup>要求,标识缺乏,部分产品信息虚假;④消费者对再生产品接受度低,购买欲不强,再生产品市场竞争力弱。

对于旧纺织品而言,存在以下问题:①没有完善的综合回收系统,回收网点多集中在大城市和沿海发达地区,乡镇和西部地区有待进一步发展;②分类困难,虽已制定纺织品成分鉴定国家标准,但目前还没有一个明确的技术和标准可以用于大规模分拣,仍采用人工分拣;③一些企业为了谋取利润而缺少严格消毒灭菌过程,未达到卫生检疫要求;④再利用技术相对滞后,再利用产品种类有限,多为手套、防尘帽、空调隔音材料、温室保温材料等低值化商品,仍需努力开发高价值、多用途的商品。

### 4.2 中国废旧纺织品制度建设建议

废旧纺织品再利用拥有千亿级市场规模的潜力<sup>[50]</sup>,伴随环保意识的提高和国家政策的倾斜,该市场正蓬勃发展。针对废纺织品提出以下建议:①加强相关法律法规建设,强化市场监管及执法力度,确保一切经营活动的合法进行,规范交易市场和平台,严厉打击假冒、以次充好等欺诈行为;②对产品生产的流程和工艺进行严格控制和管理,生产活动需符合国家标准;③加快产品质量标准及认证、标识溯源等体系建设,再生产品满足质量指标的同时力求生产信息公开透明;④增强消费者接受度,有关部门需加强社会推广宣传,做大做强再生产品市场。

针对旧纺织品提出以下建议:①以大城市为核心,线上、线下二手交易平台为载体,以物流为依



托,大力发展中小城市及乡镇循环利用体系,建立覆盖全国的旧纺织品回收系统;②开发精准图像识别技术、近红外光谱技术,结合《废旧纺织品分类与代码》<sup>[10]</sup>,开发精准、高速、机械化、规模化的分拣设备和技术;③开发并升级消毒、检测设备,进行高效、高速的消毒和检测,确保每一件旧纺织品的安全卫生;④政府、研究院所、高校、企业需加强对再生产品的开发,进行产学研深度合作,解决技术难点,提高高值化利用水平,推进产业化进程。

## 5 结 语

废旧纺织品高质高效再利用技术是实现全球纺织行业可持续性发展的有效途径,也是中国发展循环经济的必然要求。目前,废旧纺织品再利用产业在技术、市场、政策等各方面都进行了探索,主要包括:①应用技术方面,综合考虑废旧纺织品的状态、组成、结构和性质,选择合适的回收利用方法,并进行多种方法的相互协调、综合应用;②产品市场方面,再利用市场仍以二手服装交易为主,并随着电商物流的发展而越发繁荣,同时新兴的废旧再生产品市场随着新技术的开发正逐步扩大;③政策方面,针对废旧纺织品的政策条款日益精细化,涉及回收、消毒、再利用和再生等各个环节,积极推动了废旧纺织品行业的规范化发展。

面对未来更加复杂和庞大的废旧纺织品产业,政府、企业、院校应相互合作,以国家政策为指导方向,以国外先进经验为基础,细化废旧纺织品分拣,研发废旧纺织品处理专用设备,攻克再利用技术难题,提高技术水平和产品质量,推进废旧纺织品产业化。相信在国家、企业、个人多方不断努力下,废旧纺织品相关产业将迎来新的发展机遇。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国商务部. 商务部:《中国再生资源回收行业发展报告(2020)》全文[EB/OL]. (2018-08-16)[2022-01-03]. <https://huanbao.bjx.com.cn/news/20210816/1170030.shtml>.
- [2] 陈龙,周哲,张军,等. 废旧棉与涤纶纺织品化学法循环再生利用的研究进展[J]. 纺织学报, 2022, 43(5): 43-48.  
CHEN Long, ZHOU Zhe, ZHANG Jun, et al. Research progress in chemical recycling of waste cotton and polyester textiles [J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(5): 43-48. (in Chinese)
- [3] 张博楠. 亚临界水中有色涤/棉织物的水解碳化研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2018.
- [4] 龚龔. 2021 碳中和政策推动粘接新技术在纺织服装产业应用新机遇[C]//第十三届北京粘接界青年(学生)论坛报告集. 北京:北京粘接学会, 2021: 44-70.
- [5] 消费品工业司. 2020 年化纤行业运行情况[EB/OL]. (2021-03-03)[2022-01-03]. [http://www.miit.gov.cn/jgsj/xfpgys/fz/art/2021/art\\_aeace985e4804837b846b8fce09f5359.html](http://www.miit.gov.cn/jgsj/xfpgys/fz/art/2021/art_aeace985e4804837b846b8fce09f5359.html).
- [6] 沈清. 一种废旧涤棉混纺织物成分分离装置: 214319401U[P]. 2021-10-01.
- [7] 高诗琦. 对二甲苯生产方案经济效益及成本分析[J]. 化工管理, 2020(20): 9-11.  
GAO Shiqi. Economic benefits measure and cost analysis of p-xylene producing projects [J]. Chemical Enterprise Management, 2020(20): 9-11. (in Chinese)
- [8] 梅相银. 近年国内外对二甲苯供需分析及发展建议[J]. 当代石油石化, 2012, 20(7): 31-36.  
MEI Xiangyin. The recent supply-demand analysis of PX both at home and abroad and some development suggestions [J]. Petroleum and Petrochemical Today, 2012, 20(7): 31-36. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国统计局. 国家统计局关于 2021 年棉花产量的公告[EB/OL]. (2021-12-14)[2022-01-03]. [http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202112/t20211214\\_1825231.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202112/t20211214_1825231.html).
- [10] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 废旧纺织品分类与代码: GB/T 38923—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [11] ANTONOV M, GOLIANDIN D, HUSSAIN A, et al. Circular economy approach to recycling technologies of post-consumer textile waste in Estonia: a review [J]. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 2021, 70(1): 80.
- [12] 中华人民共和国统计局. 中国工业统计年鉴 2021 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [13] PUPPIM R, BROEGA A C. An innovative textile product proposal based on sustainability: recycling wastes from the wool industry [M]//Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham: Springer International Publishing, 2021: 256-262.
- [14] YILMAZ D, YELKOVAN S, TIRAK Y. Comparison of the effects of different cotton fibre wastes on different yarn types [J]. Fibres and Textiles in Eastern Europe, 2017 (25): 19-30.
- [15] GUN A D, ONER E. Investigation of the quality properties of open-end spun recycled yarns made from blends of recycled fabric scrap wastes and virgin polyester fibre [J]. The Journal of the Textile Institute, 2019, 110(11): 1569-1579.
- [16] AWGICHEW D, SAKTHIVEL S, SOLOMON E, et al. Experimental study and effect on recycled fibers blended

- with rotor/OE yarns for the production of handloom fabrics and their properties [J]. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021(1): 1-9.
- [17] MA Y B, ZENG B N, WANG X G. Circular textiles; closed loop fiber to fiber wet spun process for recycling cotton from denim [J]. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2019, 7(14): 11937-11943.
- [18] 薛菁雯,周绮雯,徐振,等. 废旧棉纤维素膜的制备及其结构与性能表征[J]. *纺织导报*, 2021(7): 60-64.
- XUE Jingwen, ZHOU Qiwen, XU Zhen, et al. Preparation of regenerated cotton cellulose membrane and its structure and characterization [J]. *China Textile Leader*, 2021(7): 60-64. (in Chinese)
- [19] 李丽,杨中开,唐世君,等. 废旧涤棉混纺织物稀酸法分离工艺研究[J]. *合成纤维工业*, 2014(6): 6-10.
- LI Li, YANG Zhongkai, TANG Shijun, et al. Separation process of polyester cotton blended fabric wastes using dilute acid [J]. *China Synthetic Fiber Industry*, 2014(6): 6-10. (in Chinese)
- [20] 王伟. 涤棉纺织品的醇解聚合及共聚改性[D]. 上海: 东华大学, 2017.
- [21] 郜娟,史晟,龚艳勃,等. 废旧涤棉类织物再利用技术的发展[J]. *纺织导报*, 2016(4): 45-46, 48.
- GAO Juan, SHI Sheng, GONG Yanbo, et al. The research on recycling technology for waste polyester/cotton textiles [J]. *China Textile Leader*, 2016(4): 45-46, 48. (in Chinese)
- [22] 赵国樑. 我国废旧纺织品综合再利用技术现状及展望[J]. *北京服装学院学报(自然科学版)*, 2019, 39(1): 94-100.
- ZHAO Guoliang. Present situation and prospect of comprehensive recycling technologies of waste textiles in China [J]. *Journal of Beijing Institute of Clothing Technology (Natural Science Edition)*, 2019, 39(1): 94-100. (in Chinese)
- [23] 朱怀球,叶翔宇,楼才英,等. 浙江省废旧纺织品循环再利用的思考和建议[J]. *中国纤检*, 2021(5): 44-45.
- ZHU Huaiqiu, YE Xiangyu, LOU Caiying, et al. Some considerations and suggestions on recycling of waste textiles in Zhejiang Province [J]. *China Fiber Inspection*, 2021(5): 44-45. (in Chinese)
- [24] 牛方. 纺织品“生生不息”的秘密——走进浙江佳人新材料有限公司揭开废旧衣物循环再利用的神秘面纱[J]. *中国纺织*, 2017(12): 74-75.
- NIU Fang. The secret of textiles' "endless life"—walking into Zhejiang Jiaren New Material Co., Ltd. to uncover the mystery of recycling and reuse of waste clothing [J]. *China Textile*, 2017(12): 74-75. (in Chinese)
- [25] 中华人民共和国海关总署. 海关统计数据在线查询平台[EB/OL]. (2021-12-31)[2022-01-03]. <http://43.248.49.97>.
- [26] ECHEVERRIA C A, HANDOKO W, PAHLEVANI F, et al. Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019(1): 1524-1536.
- [27] ThredUP. 2022 resale report [EB/OL]. (2022-05-01)[2022-06-30]. <https://www.thredup.com/resale>.
- [28] STONE C, WINDSOR F M, MUNDAY M, et al. Natural or synthetic—how global trends in textile usage threaten freshwater environments [J]. *Science of the Total Environment*, 2020(5): 134689.
- [29] 唐政坤,刘艳缤,徐晨烨,等. 面向减污降碳目标的纺织工业环境治理发展趋势[J]. *纺织学报*, 2022, 43(1): 131-140.
- TANG Zhengkun, LIU Yanbin, XU Chenye, et al. Trend of environmental governance in textile industry aiming at carbon neutrality and emission reduction [J]. *Journal of Textile Research*, 2022, 43(1): 131-140. (in Chinese)
- [30] HOLE G, HOLE A S. Improving recycling of textiles based on lessons from policies for other recyclable materials; a minireview [J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2020(23): 42-51.
- [31] 吴振华. 浅析“两网融合”体系建设对垃圾分类的作用[J]. *节能与环保*, 2020(7): 49-50.
- WU Zhenhua. Speed up the construction of "two networks integration" system and promote waste classification [J]. *Energy Conservation and Environmental Protection*, 2020(7): 49-50. (in Chinese)
- [32] 中华人民共和国工业和信息化部. 纺织工业“十二五”发展规划[J]. *江苏纺织*, 2012(2): 1-13, 66.
- Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. The "12th Five-Year" Plan of China's Textile Industry [J]. *Textile Reports*, 2012(2): 1-13, 66. (in Chinese)
- [33] 董奎勇. 《纺织工业“十二五”发展规划》解读[J]. *纺织导报*, 2012(3): 17-18, 20-22.
- DONG Kuiyong. Interpretation of The "12th Five-Year" Plan of China's Textile Industry [J]. *China Textile Leader*, 2012(3): 17-18, 20-22. (in Chinese)
- [34] 中华人民共和国工业和信息化部. 纺织工业“十三五”发展规划[J]. *纺织科技进展*, 2016(12): 2-4.
- Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. The "13th Five-Year" Plan of China's Textile Industry [J]. *Progress in Textile Science and Technology*, 2016(12): 2-4. (in Chinese)
- [35] 佚名. 工信部发布《纺织工业发展规划(2016—2020年)》[J]. *人造纤维*, 2016, 46(6): 35.
- Anon. The Ministry of Industry and Information Techno-

- logy issued *The Textile Industry Development Plan(2016—2020)* [J]. *Artificial Fibre*, 2016, 46(6): 35. (in Chinese)
- [36] 郭燕. 青岛旧衣物回收利用企业“从竞争走向合作”战略联盟协同效应分析——山东省废旧纺织品综合利用战略联盟经验分享[J]. *再生资源与循环经济*, 2019, 12(1): 23-26.
- GUO Yan. Analysis on synergistic effect under the strategic alliance of Qingdao's clothing recycling enterprises—a case study and experience sharing of Textiles Waste Comprehensive Utilization Strategic Alliance in Shandong Province [J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2019, 12(1): 23-26. (in Chinese)
- [37] 郭燕. 广州市和深圳市旧衣物回收行业现状分析[J]. *再生资源与循环经济*, 2017, 10(8): 17-19.
- GUO Yan. Status analysis of textile waste recycling industry in Guangzhou and Shenzhen [J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2017, 10(8): 17-19. (in Chinese)
- [38] 姜晓凌. 区域协同,构建长三角废旧纺织品循环利用体系[N]. *上海科技报*, 2021-07-30(4).
- [39] 佚名.《废旧纺织品回收利用规范》等五项团体标准审查会在京召开[J]. *再生资源与循环经济*, 2019, 12(11): 46.
- Anon. Five group standards review meeting including *Regulations for Recycling and Utilization of Waste Textiles* was held in Beijing [J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2019, 12(11): 46. (in Chinese)
- [40] 中国纺织工业联合会.我国纺织行业“十四五”科技发展指导意见(二)[J]. *合成纤维*, 2021, 50(8): 53-57.
- China National Textile and Apparel Council. The "14th Five-Year" Plan of Science and Technology Development Guidance Opinions of the Textile Industry in China(II) [J]. *Synthetic Fiber in China*, 2021, 50(8): 53-57. (in Chinese)
- [41] 中国纺织工业联合会.我国纺织行业“十四五”科技发展指导意见(一)[J]. *合成纤维*, 2021, 50(7): 58-59.
- China National Textile and Apparel Council. The "14th Five-Year" Plan of Science and Technology Development Guidance Opinions of the Textile Industry in China(I) [J]. *Synthetic Fiber in China*, 2021, 50(7): 58-59. (in Chinese)
- [42] 中国纺织工业联合会.《纺织行业“十四五”科技、时尚、绿色发展指导意见》全文发布[J]. *纺织科学研究*, 2021, 32(8): 28-44.
- China National Textile and Apparel Council. The full text of *The "14th Five-Year" Plan of Science and Technology, Fashion, and Green Development Guidance Opinions of the Textile Industry* was released [J]. *Textile Science Research*, 2021, 32(8): 28-44. (in Chinese)
- [43] 佚名.国家发展改革委等十部门:印发《关于加快废旧物资循环利用体系建设的指导意见》[J]. *节能与环保*, 2022(2): 6.
- Anon. National Development and Reform Commission and other ten departments: issuance of *The Guidance on Accelerating the Construction of the Recycling System for Waste Material Recycling System* [J]. *Energy Conservation and Environmental*, 2022(2): 6. (in Chinese)
- [44] European Parliament and Council. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives [EB/OL]. (2008-11-22) [2022-01-02]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098&qid=1659598346698>.
- [45] European Parliament and Council. Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste [EB/OL]. (2018-04-07) [2020-01-02]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31994L0062&qid=1659598501941>.
- [46] Association of Cities and Regions for Sustainable Resource Management. Guidance for separate collection of municipal waste [EB/OL]. (2020-05-25) [2022-01-02]. <https://www.acrplus.org/en/news/acr-news/2460-guidance-for-separate-collection-of-municipal-waste>.
- [47] 佚名.纤维制品质量监督管理办法[J]. *中国纤检*, 2016(3): 29-31.
- Anon. Fibre product quality supervision management measures [J]. *China Fiber Inspection*, 2016(3): 29-31. (in Chinese)
- [48] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.再加工纤维基本安全技术要求:GB/T 32479—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [49] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.再生利用品和再制造品通用要求及标识:GB/T 27611—2011[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [50] 郭春花.定向回收+化学法循环再生:让旧衣更美丽[J]. *纺织服装周刊*, 2018(1): 34.
- GUO Chunhua. Directional recycling and chemical recycling makes old clothes more beautiful [J]. *Textile Apparel Weekly*, 2018(1): 34. (in Chinese)

(责任编辑:沈天琦)