

可持续发展理念下废旧纺织品回收再利用方法比较分析

王 静,杜剑侠*

(北京服装学院,北京 100029)

摘要:通过将可持续理念运用在纺织品行业,对废旧纺织品回收再利用的方法进行介绍、分析和对比,介绍了国内回收方式和分拣方式的发展现状,依据分拣后废旧纺织物的状态从传统物理回收利用法到新型化学及生物回收利用法的工艺过程、适用范围、优缺点等方面详细地研究分析,为纺织品可持续发展提供技术理论支持。

关键词:可持续;废旧纺织品;物理回收法;化学回收法;生物回收法

中图分类号:TS102.9;X791

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2021)07-0011-04

可持续发展指的是自然、经济、社会的协调统一发展,既能满足当代人的需求,又不损害后代人的长远利益。在可持续发展理念的影响下,政府和企业开始关注废弃物回收,常见的回收主要是书本、玻璃瓶、塑料瓶等纯度较高的产品。纺织品作为重要的民生产业和环境污染的重灾区,也在不断开展废旧纺织品的回收利用^[1]。在全球范围内,进入服装的材料中有73%最终被填埋或焚化,仅12%被回收,中国的回收率则更低^[2-3],这就导致了大量的地球资源被浪费。

在垃圾分类全面实施的今天,废旧纺织品回收再利用便成为了减少碳排放量,实现循环经济最直接且有效的方式之一。中国关于废旧纺织品回收利用的政策标准也在逐步完善中,GB/T 38923-2020《废旧纺织品分类与代码》中将废旧分为废纺织品和旧纺织品两个中类,再依据材质划分为不同小类,包括棉类、毛类、涤纶类、锦纶类、腈纶类、其他类和混料类废旧纺织品。本文基于可持续发展的理念,对废弃纺织品从收到分拣到再解聚以及最后的成品,分别从物理、化学和新技术方面分类比较分析,为废旧纺织品“闭环回收”提供科学依据。

1 国内废旧纺织品回收分拣现状

1.1 废旧纺织品回收现状

中国循环经济协会数据表明,我国每年纤维加工总量约5 000万t,约产生2 000万t废旧纺织品,废旧纺织品综合利用量约为300万t,综合利用率仅为15%左右。这是因为服装不同于其他产品,一件服装的面

料不仅成分复杂,而且还包括主体面料、里料、辅料(如纽扣、拉链、填充物等),所以对其进行纤维回收的难度比较大。随着《纺织工业“十三五”发展规划》的实施,废旧纺织品的回收再利用体系开始慢慢发展^[4]。解决废旧纺织品环境污染、减少碳排放的方式主要有两种:(1)延长纺织品使用寿命,即捐赠给国内贫困山区或者出口到东非等贫困战乱国;(2)降解再生,现有的技术主要针对天然纤维和单一纤维材质的纺织品回收利用比较成熟,混纺织物大规模的回收利用仍是难点。

对废旧纺织品回收再利用的首要环节就是回收,能够形成有规模的回收方式主要为以废旧纺织品回收利用为公司运作模式的企业、以环保公益为主要目的的政府和公益组织。废旧纺织品的来源也分为两类:一是由纤维加工厂、纺织厂、服装厂产生的废丝、废布等废旧边角料,即废纺织品,废纺织品污染少,处理工序少成本低;二是人们日常生活中使用后淘汰的旧衣服、毛巾、床上用品等民用纺织品,即旧纺织品,旧纺织品数量多、来源广、处理难度大。小区中常见的旧衣回收箱便是箱体回收的主要工具,然而普通的箱体回收无法追踪纺织品来源,无法实时掌握回收现状,现在逐渐发展起来的智能回收箱则可以实现高效科学收集,解决了箱体回收方式的波动性。互联网高速发展的今天,单一的线下回收模式已不能满足大众的需求,环保企业则通过线上线下结合回收的方式全面掌握回收动态^[5],建立互联网回收平台,健全回收体质,扩大回收渠道,如飞蚂蚁旧衣服回收,可提供快递上门收衣服;深圳衣旧情深环保科技有限公司,上海缘源实业有限公司等^[6]。

1.2 废旧纺织品分拣现状

纺织品种类繁多,包含很多基本属性,为了能够实

收稿日期:2021-03-26;修回日期:2021-04-10

作者简介:王 静(1997-),女,硕士研究生在读,研究方向为服装数字化。

*通信作者:杜剑侠,E-mail:jsjdjx@bift.edu.cn。

现纺织品高值化利用,需要对其进行严格的分类。影响废旧服装处理方法的属性有以下几个方面^[7]。

(1)破损度:指因穿着时间、清洗次数、摩擦等造成的织物不同程度的损坏。(2)污染程度:污染程度即废旧纺织品不合格物含量,不合格物含量越高,处理方式和工艺难度就越大。(3)厚度:对于可捐赠的二手服装,按照服装厚度进行分类。(4)颜色:颜色是影响纤维降解再生的一个重要指标,服装颜色越浅说明其在学习制作过程中处理工序越少,方便降解再生过程中脱色和剥色,得到质量更好的纤维;深色衣服则不易进行纤维的再生,只能染成更深的颜色以生产低附加值产品。(5)材质:单一材质的纺织品更容易进行降解,混纺材质的纺织品就需要先将面料打散进行纤维分类,处理过程比较复杂,成本较高。

回收后废旧纺织品需要按照以上属性要求进行分拣^[8],再根据分类结果进行等级划分,判断废旧纺织品的再利用方式。分拣方式又分为:人工分拣、流水线分拣和近红外技术分拣^[9-10]。近红外技术分拣主要通过辨别纤维的成分、结构和颜色进行分类,具有分析成本低、分析效率高、可在线分析、可重复性等优点,Fiber-sort 机器就是依托近红外扫描技术,实现纺织品快速分拣。

2 废旧纺织品回收再利用方法

2.1 物理回收利用

(1)物理机械法^[11]是指在不改变纺织品原本材质的前提下,将废旧纺织品直接加工成具有可纺性的再

生纤维或生产低质量的擦拭布等产品。主要运用在两类废纺织品上:(1)纺织品生产车间的废丝。(2)服装厂的边角料。纯棉纤维经梳理后进行缠结和对齐,可形成再生棉纤维;具有高吸水能力的纺织品可回收进行擦拭布的生产^[12]。印度就选择将纯棉布和某些植物纤维材料重新加工成手工纸^[13]。物理机械法用简单的机械切碎、拉伸等方式处理废旧纺织品,工艺成熟,化学污染小,可用于涤棉类纺织品回收。

(2)物理熔融法^[14]首先通过机械手段将纺织品进行开松、打碎,然后利用X射线探测分离器、静电分离器或悬液分离技术及近红外识别技术等分离杂物,再经清洗、除杂、干燥、熔融造粒或直接制作原料。聚酯(PET)纤维的回收就是通过熔融法,但回收来源主要是塑料水瓶,因为其来源广、化学添加剂少,而纺织品多为混纺且含有纽扣、拉链等一系列装饰品,回收难度大、技术要求高,故将该方法用于服装中聚酯回收会导致成本过高。

(3)物理溶解法^[15]是在机械打碎纺织品基础上利用织物不同的溶解特性,选用特制的溶剂将织物溶解之后,再溶剂分离,最后造粒或直接纺丝。溶解技术对织物的力学性能没有特别要求,但当前的溶解方法无法快速实现纤维的完全溶解,也很难充分过滤,而且溶液损耗过高。

对这三种方法分析可知,物理法回收得到的产品普遍附加值低,不具有循环性,对于经过物理方法回收的纤维通常以混纺的方式重新用于产业纺织品生产,或者用于非织造布生产(表1)。

表1 物理回收利用方法对比分析

方法	优点	缺点	产物适用范围
机械法	简单易行,工艺成熟	无法再次循环利用	装饰用和产业用
熔融法	可实现聚酯回收重新纺丝	较难达到纺织用标准	填充料或产业用
溶解法	对织物力学性能没有特别要求	溶剂无法重复利用	低值化产品

2.2 化学回收处理

化学回收方法是通过一系列化学过程将废旧纺织品解聚成低分子化合物,然后重新制作为聚酯原料或者其他化工原料的技术^[16]。化学法回收得到的单体方便去除杂质,且单体质量与原始单体完全相同,可取得性能更优良的纤维。传统的化学回收利用方法有水解法、醇解法、氨解法等,见表2。

(1)水解法分为酸性、碱性和中性水解,酸解和碱解对设备的耐腐蚀性要求较高,容易对环境造成污染。

中性水解环境污染小,但反应条件高,所以并没有被广泛应用。

(2)醇解法主要利用解聚剂,甲醇、乙醇和乙二醇是最常见的醇解剂,醇解法条件温和,不需要酸碱催化,对设备和环境的压力较小,是目前应用最广泛的方法。王伟^[17]在对不同涤棉比纺织品醇解中使用乙二醇醇解,结果表明乙二醇与涤棉织物中的棉不发生化学反应,且棉纤维在反应后可被回收再利用,对于涤棉织物回收具有充分的可行性。鼎缘(杭州)纺织品科技

有限公司就采用醇解法分解涤棉混纺织物提取纤维素进行喷丝,得到棉纺面料。

(3)氨解法指的是废旧 PET 通过无水氨乙二醇溶液氨解生成对苯二甲酸酰胺,对苯二甲酸酰胺可以先转化为对苯二甲酸腈,然后再转化为对苯二甲基二胺,或者转化为 1,4-二胺以及环乙烷,处理得到的产物纯度高于 99%,但并没有形成大规模应用。

表 2 化学回收利用方法分析对比

方法	优点	缺点
水解法	可水解 PET 得到苯二甲酸和乙二醇	对设备要求太高
醇解法	条件温和,应用广泛	对原料纯度要求高
氨解法	产物纯度高	难以实现大规模应用

3 废旧纺织品再利用新方法

3.1 超临界法

工程上将某流体所处的压力和温度均超过临界压力和临界温度时的状态,称为超临界。利用超临界状态下,物质性质的极大变化,发挥超临界水的溶解能力、可压缩性和传质特性,提高反应速度。田朋^[18]研究了 PET 在超亚临界甲醇及其共溶剂体系中的解聚,发现在反应温度 280 °C、反应时间 30 min、投料比 8.0、共溶剂浓度 25%条件下,PET 颗粒解聚产物主要为 DMT、EG、对苯二甲酸甲基羟基乙基酯、间苯二甲酸二甲酯等。这种方法可以得到目标产物,但为了能在超临界流体中得到更高的目标产物回收率,还必须找到一个塑料解聚和单体稳定的平衡点。利用超临界甲醇解聚废旧 PET 的反应温度及压力都比较低,操作相对容易,反应时间短,转化率高,在掌握了超临界的平衡点后有可能实现工业化。

3.2 离子溶液法

离子溶液^[19]是由阴阳离子组成的液体,常温下为液态或者熔融状态,属于一种强极性溶剂,不挥发、不氧化,对水和空气具有超强的稳定性。棉纤维主要成分为纤维素,分子中含有大量氢键,具有较高的结晶结构,难溶于一般溶剂,采用离子溶液法分离涤棉纤维的原理是:离子溶液中的阳离子与纤维素中羟基上的氧结合,破坏纤维素分子间或分子内的氢键,使得纤维素溶解于离子溶液中。

蔡真^[20]发现离子液体[BMIM]Cl 可以有效地分离废弃涤棉混纺织物中的涤纶和棉纤维,且分离出的涤纶性能没有显著变化,溶解的棉纤维也可转变成固态纯纤维。吕芳兵^[21]基于离子液体对棉纤维溶解性

能的研究中,选用[AMIM]Cl 和[BMIM]Cl 两种咪唑型离子液体溶解分离废旧聚酰胺/棉织物,溶解其中的棉纤维组分,同时不改变聚酰胺组分的形态结构和化学性能,有效分离棉纤维和聚酰胺纤维。运用离子溶液法进行回收再利用,可以使回收过程更加环保、绿色,而且离子液体可以重复利用对提高 PET 的回收率有较明显的成效。

3.3 水热法

水热法采用水溶液作为反应体系,在高温高压的环境中让通常难溶或不溶于水的物质溶解并重结晶。水热法回收废弃涤棉混纺织物时,主要通过在不同的酸碱介质中将 PET 水解为单体,实现棉纤维与聚酯纤维的分离。陈旭红^[22]对水热法回收聚酯/棉混纺织物研究发现,在水热反应体系中,纤维素纤维发生碳化,聚酯纤维发生水解降解,回收再利用所得样品主要为以无定形碳的形式存在的碳产物和对苯二甲酸。这种方法对织物纯度要求低,带有 40%杂质的 PET 也可适用,但是为了得到纯度可直接用于生产 PET 的对苯二甲酸,需要进行多次提纯。

经分析发现,超临界法、离子溶液法和水热法都是将废弃聚酯类纺织品降解成低聚物或者单体,可以有效减少杂质,得到较高质量的聚酯纤维,重新进入服用纺织品产业链,实现循环利用。还有一些新方法,如针对涤纶类服装的脱气熔融及再聚合技术,针对涤棉类服装的醇解、分离及再聚合技术,针对多组分混纺服装的溶剂法回收及分离技术,但这些方法都未成熟。

3.4 酶降解

生物酶降解可以用来回收天然纤维与聚酯的混纺织物,原理是天然纤维与酶发生反应从而溶解天然纤维而保留聚酯纤维^[23]。例如涤棉混纺织物,棉纤维在酶的作用下降解得到纤维素和葡萄糖等,防止自然降解得到 CO₂ 和 H₂O。孔伟等^[24]利用纤维素酶对废弃涤棉混纺纤维水解分离并对分离工艺进行优化,分离后的涤纶成纤维状,棉纤维部分被水解为葡萄糖和细小碎片,分离完成后的两者可以分别回收利用。近年来,纤维素酶快速普及,已成为世界上第二大产业酶,其在 50 °C 的弱酸性环境中具有良好的催化活性^[25],胡等^[26]发现废旧棉纺织物可作为生产纤维素酶和曲霉真菌的原料,从这种真菌中萃取所生产的酶再用于水解棉,可达到 70%的转化率。澳大利亚昆士兰科技大学研究团队^[27]开发了一种商业化的酶,可以溶解羊

毛/聚酯混纺织物中的羊毛纤维且不损伤聚酯纱线,为混纺织物的分离提供新的方向。

聚酯纤维也可采用酶降解,Yoshida等^[28]研究发现一种新细菌产生的两种酶可以在大约50天内将50%的聚酯底物水解。但由于大蛋白分子无法进入聚酯材料内部,只在表面反应,大多会持续数月时间,很难实现经济开发。法国Carbios公司也开发了一种酶法工艺,可将无定形100%PET解聚成其原始的单体精对苯二甲酸和乙二醇,同时保持相同的质量和物理化学性质,用于纯净PET的合成,但该方法对PET纯度要求太高,在纺织服装领域很难实现。生物酶降解的方法几乎不产生废物污染,难点在于对酶的选择,解决酶的制备问题,就可实现大规模利用。

4 结语

垃圾分类的今天,可持续发展成为当前社会讨论的主流话题,传统纺织行业作为第二大污染源,也开始受到越来越多重视^[29],对纺织品回收利用方法的研究也在不断推进,各种新方法层出不穷,但纵观实际发展会发现这些方法各有利弊。

(1)物理法操作容易,设备简单,技术成熟,可以实现大规模工业化,但再生的纤维质量低劣,只能用于汽车内饰、绝缘纺织品等工业用,不能实现循环经济。

(2)化学法在进行大规模化过程中对工厂的要求较高,反应条件有特定要求,可能会造成化学溶剂污染,但经过化学解聚可得到与原材料同样的纤维,实现废旧纺织品的“闭环回收”。

(3)超临界法、酶解法等新方法相较于物理和化学法更加环保,具有高回收率、低污染的优点,且能够有效分离废旧混纺织物,但是大多处于实验室阶段。

为了降低碳排放、实现循环经济,不仅要在技术上不断改进,还需要从源头上减少使用混纺织物,多采用再生棉等可降解再生的原料。政府也需要为环保企业提供一定的支持,提高企业经济效益,推进可持续不断发展,提升公众的可持续发展意识。在政策导向、经济支持、科研进步的共同作用下,效益高、可大规模操作的废旧纺织品回收再利用方法也会不断有新的进展。

参考文献:

[1] 王笑. 基于可持续理念下的纺织品设计研究[J]. 设计, 2018,(21): 90-92.

- [2] 部娟,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.
- [3] LIN B, MOUBARAK M. Mitigation potential of carbon dioxide emissions in the Chinese textile industry[J]. Applied Energy, 2014,113: 781-787.
- [4] 陶亚奇,王小雷. 废旧服装升级利用现状的研究[J]. 服饰导刊, 2019,8(1): 50-56.
- [5] 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.
- [6] 郝淑丽. 我国旧衣回收企业废旧衣物回收再利用体系研究[J]. 毛纺科技, 2017,45(2): 73-76.
- [7] 于晓坤,罗洋,朱达辉. 废旧纺织品服装回收分类综合评价模型分析[J]. 毛纺科技, 2017,45(7): 77-81.
- [8] 顾珂里. 生态文明视角下对废弃物资源化的思考与对策——废旧纺织品及高技术纤维的回收利用[J]. 现代商贸工业, 2018,39(7): 5-7.
- [9] 张瑜,韦玉辉. 近红外技术在废旧纺织品分拣上的应用与思考[J]. 纺织导报, 2014,(7): 131-134.
- [10] 李海洋,刘胜. 纺织品近红外光谱定性分析的一种新方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2019,39(7): 2142-2146.
- [11] 陈遊芳. 物理法再利用废旧纺织品典型企业研究——以广德天运新技术股份有限公司为例[J]. 再生资源与循环经济, 2016,9(4): 36-38.
- [12] 薛莲丽,王瑞环,李玉欣,等. 废弃纺织品的二次开发设计与应用[J]. 轻工科技, 2019,35(9): 107-108.
- [13] YEBOAH R, OPOKV-ASARE N A. Hand papermaking with waste fabrics and paper mulberry fibre[J]. Online International Journal of Arts and Humanities, 2013,3(2): 71-82.
- [14] 程浩南. 废旧纺织品回收再利用现状及对策分析[J]. 上海工程技术大学学报, 2017,31(4): 357-360.
- [15] 刘伟昆. 废旧涤纶、涤棉纺织品化学回收工艺技术研究[D]. 北京:北京服装学院, 2012.
- [16] 王浩,杜兆芳. 我国废旧纺织服装资源综合利用技术应用分析[J]. 纺织科技进展, 2017,(4): 42-44.
- [17] 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.
- [18] 田朋. 超亚临界甲醇及其共溶剂体系中PET(催化)解聚研究[D]. 杭州:浙江工业大学, 2008.
- [19] 张丽萍,闻璐阳,徐子桐,等. 废弃纺织品的生命循环模型[J]. 轻纺工业与技术, 2019,48(9): 82-84.

Comparison of Different Standard for Dye Migration Test Methods

LI Yong-jin, FANG Fang*

(United Testing Services (Dongguan) Co., Ltd., Dongguan 523900, China)

Abstract: At present, there were different standards to test dye migration performance in China, and there were some differences in different standard test methods. Through the comparative analysis of the application scope, test materials and equipment, test process and result evaluation of the four standards, it was found that GB/T 32008—2015 “Textiles-Tests for color fastness-Color fastness to dye transfer in storage” had the widest application scope, FZ/T 73052—2015 “Washed knitted garments” was only applicable to the products with dark and light colors, while GB/T 32008—2015 relied on constant temperature and humidity device to control humidity to reach the target range. FZ/T 73052—2015 sample pre-wetting mode, sample combination mode and staining rating object were different from other standards. Because there were some differences among different standards and methods, the test results of different standards were not directly comparable, so enterprises need to select appropriate test methods and standards according to their own product categories for quality control.

Key words: dye migration; product standard; method standard; test method; contrast

(上接第 14 页)

- [20] 荣真, 陈 昀, 唐世君. 离子液体溶解法分离废弃涤纶混纺织物[J]. 纺织学报, 2012, 33(8): 24—29.
- [21] 吕芳兵. 离子液体溶解分离废旧聚酰胺/棉织物及其再利用复合材料性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016.
- [22] 陈旭红. 水热法回收聚酯/棉混纺织物的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2014.
- [23] BUSCHLE-DILLER G, YANG X D, YAMAMOTO R. Enzymatic bleaching of cotton fabric with glucose oxidase [J]. Textile Research Journal, 2016, 71(5): 388—394.
- [24] 孔 伟, 于永玲, 吕丽华. 生物酶法分离回收废弃涤纶 [J]. 上海纺织科技, 2011, 39(12): 23—25.
- [25] PIRIBAUER B, BARTL A. Textile recycling processes, state of the art and current developments: A mini review [J]. Waste Management & Research, 2019, 37(2): 112—

119.

- [26] HU Y, DU C, LEU S, *et al.* Valorisation of textile waste by fungal solid state fermentation: An example of circular waste-based biorefinery[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2018, 129: 27—35.
- [27] DRISCOLL P, 喻长远, 行 兰. 纤维原料[J]. 国际纺织导报, 2009, 37(8): 4.
- [28] YOSHIDA S, HIRAGA K, TAKEHANA T, *et al.* A bacterium that degrades and assimilates polyethylene terephthalate[J]. Science (American Association for the Advancement of Science), 2016, 351(6 278): 1 196—1 199.
- [29] 王文雅, 赵 茹, 付大俊, 等. 国内外废旧纺织品回收再利用方法比较[J]. 再生资源与循环经济, 2014, 7(9): 42—44.

Comparative Analysis of Recycling Methods of Waste Textiles under the Concept of Sustainable Development

WANG Jing, DU Jian-xia*

(Beijing Institute of Fashion Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Through the application of sustainable concept in textile industry, the methods of recycling and reuse of waste textiles were introduced, analyzed and compared. The development status of domestic recycling and sorting methods was introduced. The process, application scope, advantages and disadvantages of traditional recycling methods to new chemical and biological recycling methods were studied, to provide technical theoretical support for the sustainable development of textiles.

Key words: sustainable; waste textile; physical recycling method; chemical recycling method; biological recycling method