

DOI:10.13475/j.fzxb.20211111408

废旧纺织品循环经济的监督检验体系研究进展

韩 非¹, 郎晨宏², 邱夷平³

(1. 上海市质量监督检验技术研究院, 上海 200040; 2. 泉州师范学院 纺织与服装学院, 福建 泉州 362046; 3. 东华大学 纺织学院, 上海 201620)

摘 要 废旧纺织品循环经济的监督检验体系的建立,有助于稳定废旧纺织品的再制造产品品质,规范市场秩序,提高大众可信度,具有重要意义。为此,在深入分析废旧纺织品法制体系现状的基础上,借鉴国外经验提出进一步完善体系的策略,对标准化体系进行补充;阐述了废旧纺织品的检验检测技术的最新研究成果,主要包括红外光谱技术在分拣过程的应用以及再生纤维的定性鉴别分析;介绍了基于校服、军服以及工服 3 类服装品类的行业自治。研究认为法制体系、标准化体系以及社会监督三者是有机整体,指出加速全民环保意识的提高是促进废旧纺织品循环经济发展,并实现远程云自动化生产的关键。

关键词 废旧纺织品; 标准体系; 红外光谱检测; 再生纤维鉴别; 循环经济; 监督检验体系

中图分类号: TS 199

文献标志码: A

《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》提出了推动绿色发展、促进人与自然和谐共生的远景目标。我国于 2021 年 1 月 1 日起全面禁止含废旧纺织品在内的固体废弃物入境,要求全国各地垃圾分类工作中提质。立足国内大循环,废旧纺织品的循环利用打破了传统的开环格局,将“纺织原料—纺织制品—废弃纺织品”的直线型结构导向“纺织原料—纺织制品—可利用的纺织资源”的多维循环架构,促使纺织产业从消耗型向生态型转换。由于国内监督机制、检验方法不健全,废旧纺织品的回收质量缺乏评估标准规范,废旧纺织品循环经济的发展受阻,例如:再加工纤维品质低,以次充好替代原生纤维,“黑心棉”扰乱市场秩序;二手服装交易时,卫生安全缺乏交付依据;可继续使用的二手服装的市场接受度不高。

废旧纺织品监督检验体系的建立可推进废旧纺织品循环经济的快速发展。本文围绕废旧纺织品再生/再加工标准核心问题,探讨以国家法制要求、行业标准规范、检验检测技术和社会监督自治组成的废旧纺织品监督检验体系建设问题,为顺利推进纺织产业的循环发展,提高再生/再加工制品品质的可靠性、稳定性提供参考。

1 关于废旧纺织品的法律法规

向高效循环型社会转型,发达国家具备更完善的回收机制和废物管理基础设施,由于各国现行回收体制的不同,监管立法促进社会综合回收系统扩展的效果也大相径庭。

1.1 国外法规建设

奥地利实行焚烧税,认为填埋禁令、生物废物处理政策和生产者延伸责任制度是最有效的政策工具。根据瑞典《国家废物计划》2012—2017 年数据显示,填埋税对回收利用没有任何积极影响,由于焚烧产能过剩,于 2010 年取消焚烧税^[1]。德国循环经济的发展以 1904 年生活垃圾分类为开端,对循环经济的法律支持具体体现在 1972—1996 年间 4 部法规条例的制定,在 1999 年《政府采购法》中强调对循环产品的扶持,并在 2015 年推行分类收集有机生活垃圾,最终在欧盟循环经济一揽子计划中首次提出废旧纺织品的单独收集方案^[2]。美国联邦商业委员会将废旧纺织品纳入《固体垃圾处理法》,以“零填埋”作为废旧纺织品的战略目标,计划于 2037 年完成。日本在《循环型社会形成推进基本法》颁布后,优衣库、无印

收稿日期:2021-12-01 修回日期:2022-04-12

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(51803108);福建省自然科学基金青年创新基金项目(2019J05106);泉州市科技局重点产业科技创新项目(2018G011)

第一作者:韩非(1989—),男,工程师,硕士。主要研究方向为纺织检测。E-mail: ham-fiven@hotmail.com。

良品、高岛屋等通过品牌效应施行内部回收策略,搭建一条完整的关于废旧衣物的循环链,成为废旧纺织品循环经济的典型案例。

1.2 国内法制体系

国内关于废旧纺织品的法制体系建设起步晚,从 1989 年颁布的《中华人民共和国环境保护法》开始,经过三十多年的发展,已初步形成以环保为中心,以循环利用为手段,以防治为依据,保护、改善、治理三位一体的法律监督体系。表 1 示出我国适用于废旧纺织品的现行法律法规。

表 1 有关废旧纺织品循环经济的法律法规条款

Tab.1 Laws and regulations on recycling economy of waste textiles			
名称	实施时间	修订时间	条款内容
《中华人民共和国清洁生产促进法》	2012 年 7 月 1 日	2012 年	控制污染物排放量,鼓励购买、使用节能、节水、废物再生利用的产品
《中华人民共和国环境保护法》	2015 年 1 月 1 日	2014 年	企业应采用废弃物综合利用技术和污染物无害化处理技术,减少污染物的产生
《中华人民共和国循环经济促进法》	2018 年 10 月 26 日	2018 年	明示减量化、再利用、资源化具体内容
《再生资源回收管理办法》	2019 年 11 月 30 日	2019 年	强调废棉等再生资源的回收
《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》	2020 年 9 月 1 日	2020 年	坚持减量化、资源化和无害化的原则

属于固体废弃物的废旧纺织品在现有法律法规中,仅体现宏观、原则性的指导,缺乏微观、细节上的强调。废旧纺织制品这个概念在 2012 年 1 月 19 日《纺织工业“十二五”发展规划》中首次提及,并在《“十二五”循环经济发展规划》中明确到 2015 年主要商品再生资源回收率达到 70% 的目标。据各年度报告统计,2013 年废旧纺织品已达到约 300 万 t 的综合利用量^[3];2015 年纤维再利用率约 11.3%^[4];2019 年回收量达 400 万 t^[5];近 5 年(2015—2019 年)平均增长率达 11.4%^[5-6]。

随着循环经济发展的推进,全国各地生活垃圾管理条例相应颁布、调整,由点到面基本实现了区域性的法制化。在各地条例中也明确了废旧纺织品分类归属于可回收垃圾,但实际废旧纺织品中存在再利用价值不高的废弃物,最终与干垃圾一起以能量回收的方式进行处理。通过分析深圳市生活源的废旧纺织品发现,与生活垃圾混合焚烧处理所产生的环境碳排放比单独收集高出 121.66 kg^[7]。由此可知,废旧纺织品在源头进行分离、单独收集更有利于减污降碳。

2 废旧纺织品的标准规范

我国现处于“十四五”时期,为全面推行循环经济理念,规范废旧纺织品回收体系,推进再生制品标准化,相继发布 GB/T 39781—2021《废旧纺织品再生利用技术规范》、GB/T 38923—2020《废旧纺织品分类与代码》、GB/T 38926—2020《废旧纺织品回收技术规范》,与现有的产品标准、方法标准以及团体标准等,共同组成废旧纺织品的标准体系架构,如图 1 所示。

GB/T 38923—2020 与 GB/T 38926—2020 规定了废旧纺织品回收的总体要求;GB/T 38418—2019 拓展了循环利用产品的监管范围;GB/T 39781—2021 与 GB/T 32479—2016 为废旧纺织品资源化循环利用提供了技术参考。以现有的标准为参照,本文围绕再生/再加工纤维素纤维与聚酯纤维进行质量分析。

2.1 再生/再加工纤维素纤维的质量要求

再生纤维素纤维的典型品种为粘胶纤维、莱赛尔(Lyocell)以及莫代尔(Modal)等,可由废旧棉制备棉浆粕经湿法纺丝而制成,是一种由物理溶解方法制得的再生纤维。该类纤维需符合 GB/T 39781—2021 中的规定,综合利用率不低于 70%,再生制品还需满足相关产品标准要求。

基于纤维下脚料、边角料等重新开松、纺纱的再加工棉纤维其综合利用率不低于 75%。若再加工棉纤维重新用于日用纺织消费品,则需要满足 GB/T 32479—2016 中 I 类再加工纤维的要求,不得检出微生物与异味,pH 值为 4.0~9.0,游离余氯含量不得超出 10 mg/kg,其它用途时游离余氯含量控制在 20 mg/kg 以内,微生物未检出即可。主体长度在 10 mm 以上的再加工短纤维应满足 FZ/T 07002—2018 的要求:干断裂强度不小于 1.1 cN/dtex,长度偏差率低于±18.0%,疵点含量上限 500 mg/(100 g),含杂质率不超过 3.0%,甲醛含量不超过 300 mg/kg,不得检出可分解致癌芳香胺染料。

2.2 再生/再加工聚酯纤维的质量要求

再生聚酯是从废旧聚酯纺织品中获取原料,重新制备的纤维产品,该类纤维需符合 GB/T 39781—2021 中规定,通过固相缩聚、熔融缩聚方法获得的再生聚酯综合利用率不低于 95%。根据用途区分,纱线用、非织造用再生聚酯短纤维断裂强度应高于 2.6 cN/dtex,疵点含量上限 300 mg/(100 g),填充用再生聚酯纤维蓬松度下限 20 cm³/g,压缩弹性回



图 1 废旧纺织品的标准体系架构

Fig. 1 Standard system framework for waste textiles

复率下限 58%,10 种可萃取重金属含量不得超出限定值,其它指标根据纤维名义线密度、制造方法、后整理工艺进行逐一限定。

再加工聚酯纤维的综合利用率不低于 75%,卫生指标 (微生物、异味、pH 值、游离余氯) 应满足 GB/T 32479—2016 与 GB/T 39781—2021 的要求,主体长度在 10 mm 以上的再生短纤维干断裂强度不小于 1.2 cN/dtex,长度偏差率低于±20.0%。

2.3 现有架构的发展方向

已知废旧纺织品的处理方式分为延长废旧纺织品的使用寿命 (捐赠、二手交易、出口以及再生设计等形式) 和再生利用 (经物理、化学方法进行再加工处理获得新纺织制品) 2 种途径,现有体系缺乏对再生设计的定义;在再生利用层面,由于该方法包含多种再生工艺,界面缩聚的合成聚酰胺纤维、化学法再生超强蚕丝纤维缺少对应的产品标准。当设计婴幼儿用品、直接接触皮肤用品、非直接接触皮肤用品、装饰材料时,再生制品的安全性能要求、卫生质量要求以及理化性能考核并未做出统一明示;在选择絮用纤维时,废旧纤维制品或其再加工纤维不得作为生活用絮用纤维制品的原料;消毒工艺也因材料而异,压力蒸汽消毒不适用于含氨纶的织物,捐赠用纺织品可选用化学消毒、物理消毒或者紫外线和臭氧组合消毒工艺,臭氧气体消毒、环氧乙烷气体消毒适用范围广,当应用于直接接触皮肤的产品时缺少对

环氧乙烷残留量的考核。

现有体系的引导并未达到对纺织循环体系各阶段的全范围覆盖,对照国家强制性标准 GB 18401—2010《国家纺织产品基本安全技术规范》、GB 31701—2015《婴幼儿及儿童纺织产品安全技术规范》、GB 18383—2007《絮用纤维制品通用技术要求》,标准化综合体系仍需完善。

3 废旧纺织品的检测检验

废旧纺织品回收体系中,检测检验是控制回收质量的重要手段,主要应用在废旧纺织品的分拣过程与再生纤维的鉴定中,为后续自动化检测检验提供技术支持。

3.1 红外光谱检测技术在分拣中的应用

质量评估是分拣的核心,包含基于对产品类型、制造方法、纤维成分的分析以及 17 项标准的产品状况评估,由于分选方法的不同,分选结果存在显著差异^[8]。传统的分拣依靠人眼识别,以处理样品的成分、颜色、新旧程度等为归类指标。在生命周期评估划分废旧纺织品的等级中,近红外光谱检测技术 (NIR) 的应用可完成待处理纺织品的成分预测,实现精细分拣,确保高利用率。

3.1.1 对棉纤维的自动分选

对棉纤维使用主成分分析法,建立棉纤维的近

红外定性分析模型,以区分废旧纺织品是否含有棉纤维,测试准确率达到 100%。以此为基础进一步采用多模型方法建立棉的定量分析模型,拟合程度可达 0.919 4,与实际值之间呈现较高的相关性^[9]。

3.1.2 对聚酯纤维的自动分选

对聚酯纤维建立快速鉴别分析模型,主成分分析法的准确率达 97.4%,预测时间小于 8 s,但不适用于聚酯含量较高的混纺织物。偏最小二乘法定量分析模型对纯聚酯预测的准确率达 96%,但对聚酯与羊毛、棉、聚酰胺等混纺织物的预测准确率均小于 90%^[10-11]。为提高混纺织物的鉴别精度,基于主成分模型,使用图像回归预测聚酯含量,平均预测误差控制在 2.2%~4.5%,且纺织品中聚酯含量的变化可被直接观察到^[12]。

3.1.3 对羊毛和羊绒的自动分选

羊毛和山羊绒极其相似,基于图像中鳞片高度、纤维直径及其比值组成三维特征向量阵列,构建贝叶斯分类模型,可识别羊毛和山羊绒,准确率达 94.2%^[13]。若使用卷积神经网络模型,18 个权重层的残差网络模型的准确率在 97.1%以上,20 s 的时间内可处理 6 000 个样本图像^[14]。为降低纤维中水分对 NIR 的干扰,结合基于自适应表征学习的分类算法,湿态山羊绒纺织品的准确率可达 93.33%,当预测羊绒/羊毛混纺制品的待测样时准确率达到 96.60%^[15],这种算法为便携式纺织品分析仪的研发提供了理论依据。

3.1.4 对混纺织物的自动分选

NIR 自动分选混纺织物时主要依靠 S-G 平滑/最大最小归一化/S-G 导数对光谱进行预处理,例如废旧聚酯/棉混纺织物,基于偏最小二乘法的定量分析模型预测准确率为 93.3%,而且每个样品处理时间控制在 2 s 内^[16]。基于主成分分析的支持向量机(PCA-SVM)与多模型方法结合形成新方法,可应用于棉/聚酰胺混纺织物、棉/聚酯混纺织物定性分析,准确率、稳定性明显高于 PCA-SVM,新方法拓展了混纺织物的分类^[17]。

3.2 对再生纤维定性的检验

为保证市场的正常有序,标签内容更加规范,反映纤维实际成分更加客观,对再利用纤维的定性检验必不可少。对于再生纤维,在 GB/T 29862—2013《纺织品纤维含量的标识》与 GB/T 4146.1—2020《纺织品 化学纤维 第 1 部分:属名》中,再生纤维素纤维、再生蛋白质纤维均可做为化学纤维的属名进行标识,但再生聚酯纤维除外。再加工纤维生产过程中存在机械外力或者化学药剂的作用,通常依靠纤维存留的局部特征进行鉴别,由于未发生纤维大

分子的重组排列,再加工纤维的命名与原生纤维基本保持一致。

3.2.1 再生纤维素纤维

再生纤维素纤维之间的纵横截面存在的差异可做为鉴定依据。着色法中,碘-碘化钾溶液^[18]区分干态反应下的 Lyocell(Tencel®)、Modal:Lyocell 呈绿灰色,Modal 呈棕绿色。孔雀石绿/碘液媒染联合着色^[19]:Modal 呈现褐色,Lyocell 呈现绿色。铜氨纤维(Cupro)则通过革兰染色鉴别。高友军等^[20]通过溶解法对 Lyocell 族纤维进行定性鉴别,以质量比 80:10 的甲酸与氯化锌溶液为溶剂,在 70℃ 的恒温水浴中溶解 40 min,依据溶解性能不同区分 Lyocell(交联型)纤维、Lyocell LF(低原纤化)纤维、Lyocell(普通型)纤维。还可以利用再生纤维素在不同碱剂梯度下的溶胀规律进行区分,即 70 g/L 碱液中 Lyocell 溶胀率最小,100 g/L 碱液中 Cupro 溶胀率最大,从而依次将 Lyocell、Modal、Cupro 进行区分^[21]。

再生纤维素纤维的植物浆粕来源广泛,包括废弃的天然植物资源,或者制造过程中产生的棉麻落纤,亦或废纸以及废旧纤维素纤维类纺织品,由于浆粕成分相同,再生纤维素纤维是无法溯源的。

3.2.2 再生聚酯纤维

再生聚酯纤维的熔点、玻璃化转变温度不及原生纤维,但耐碱性较优。为了鉴定再生聚酯纤维,通过提取 2~4 个主成分作为原生和物理回收法再生聚酯纤维的特征变量,建立 3 层的 BP 神经网络进行仿真,匹配待测样品的预测值,从而判定其是否为物理回收法再生聚酯纤维。该方法准确率高,但不适用于化学法再生聚酯纤维^[22]。

化学法再生聚酯纤维采用“醇解-过滤”的方法,对离心分离的上层液体进行色谱分析,以峰高之和 170 或者积分之和 3 000 为临界值,从而确定待测纤维为苯二甲酸双羟乙酯及其低聚物制成的再生聚酯纤维^[23]。

3.2.3 再生蛋白质纤维

再生蛋白质纤维主要是指以天然蛋白质为原料,通过化学助剂将其再生和固化制得的纤维。其本质属于化学纤维,在生产过程中已经完全损失天然蛋白质纤维的特征,可通过目测观察是否存在羊毛的鳞片、蚕丝的包芯结构、兔毛的髓腔等,初步确认蛋白质纤维的再生属性。溯源其蛋白质的来源,可通过 DNA 检测荧光聚合酶链式反应(PCR)法或者氨基酸法进行确定。

氨基酸法主要是通过水解再生蛋白质纤维所产生的具有特征性的氨基酸含量进行区分,表 2 示出

再生蛋白质纤维的含量最高的特征氨基酸种类。可看出,桑蚕丝的 4 种氨基酸含量占总体的 86.86%,具有较强的特征性。氨基酸法鉴别所需要的水解工艺条件为:HCl 浓度为 6.0 mol/L,水解浴比为 1 : 150,水解时间为 22 h,水解温度为 110 ℃^[24]。

表 2 再生蛋白质纤维的特征氨基酸

Tab.2 Characteristic amino acids of regenerated protein fiber		
纤维种类	特征氨基酸及其含量	占总氨基酸含量比例/%
羊毛纤维	谷氨酸 15.06%,精氨酸 10.42%,半胱氨酸 9.90%,丝氨酸 8.26%,亮氨酸 7.36%	51.00
桑蚕丝(丝素蛋白)	甘氨酸 37.18%,丙氨酸 25.84%,丝氨酸 13.03%,酪氨酸 10.81%	86.86
牛奶纤维	谷氨酸 24.47%,酪氨酸 10.30%,亮氨酸 10.21%,脯氨酸 8.39%	53.37
大豆蛋白纤维	谷氨酸 20.62%,天冬氨酸 11.93%,亮氨酸 9.21%,甘氨酸 8.6%,丙氨酸 7.63%	57.99

另外,维纶基大豆蛋白质复合纤维、腈纶基牛奶蛋白质复合纤维,这类再生蛋白质复合纤维则需要通过显微镜法观察、燃烧法区分、化学溶解鉴别、含氮含氯呈色反应等进行初筛,确定待测样品是否含有蛋白质复合纤维,进而联合着色剂法、差示扫描量热仪熔点法、红外光谱法、拉曼光谱法对其综合鉴定^[25],并在产品标识中明示为蛋白改性聚乙烯醇纤维、蛋白改性聚丙烯腈纤维。

4 废旧纺织品循环经济的社会监督

废旧纺织品循环经济的发展离不开法律、标准的监督,更需要社会监督。社会监督的实现受到消费者、生产者的法律意识、道德水平以及社会舆论的多重影响。例如德国销售包装物二元回收系统在减少包装废弃物的产生的同时回收利用包装废弃物,实现生产者责任的延伸,这是一种行业自治的体现。现阶段,德国废旧纺织品循环利用率可达 90%^[26]。借鉴国外经验,本文围绕国内 3 类服装品类进行阐述。

4.1 废旧校服的管理

推行校服主要为了统一学生着装,便于管理,包含军训服装。现阶段校服行业以 GB/T 31888—2015《中小学生校服》为核心进入规范生产。由于学生的升学、合身、服用损坏等问题,校服的更换周期一般在 2~3 a^[27],致使各学校拥有庞大而稳定的废旧校服数量。英国已经建立较为成熟的校服回收利用体系,下设专门回收校服的邮局和专门的校服回收网站。除此之外,还可通过专业公司、慈善机

构、二手服装店等渠道进行回收,亦或当成固体垃圾回收,从回收的校服中提取棉、聚酯纤维,制成不同等级质量的纸、地毯、墩布或者隔热隔音材料等。

对在校学生进行问卷调查分析,54.7%的学生会选择学校定期回收,23.8%的学生会选择慈善公益机构定点回收^[28]。我国校服大部分直接废弃处理,少部分能经过简单的清洁处理再捐赠给偏远山区,这主要取决于个人意愿。完整的废旧校服回收体系应强调生产者的作用,从生产源头着手,采用易降解、可再生面料,选择易于拆分与分类、易于反向处理的款式设计,降低回收的复杂程度;其次,学校、生产企业共建废旧校服的回收平台,对再利用价值较高的进行有偿回购;政府检测机构加强对二手校服的卫生、安全、质量的监控;加强环保教育,提升废旧纺织品循环利用的认知,除此之外,积极倡导勤俭节约观念,适度消费,实现“校服零废弃”。

4.2 废旧军装的管理

军装由于其特殊性,军服专用材料生产技术、生产数量、接收单位等均属于国家机密,受到《军服管理条例》的约束,部队、武警、公安系统退役制服必须统一回收,部分军装进行修补和改装,再次进入服用阶段。为实现军服高附加值利用,浙江富源再生资源有限公司采用资源化循环利用方式处理废旧军服,通过化学回收从聚酯/棉混纺的军服面料中提取制备再生聚酯纤维,虽然力学性能不及原生纤维,但回潮率比普通聚酯高^[29],可用于制造箱包、服装和毛毯等产品。废旧军服回收聚酯切片年产量可达 3 000 t^[30],具有良好的经济效益和社会效益。

军装的回收攻克了真空开棉技术、脱气熔融技术、聚酯/棉分离技术等,为其它废旧纺织品市场化运作的实现提供了技术支持,从而促进其它废旧纺织品的回收利用。

4.3 废旧职业服装的管理

职业服装来源广泛,销售、银行系统、公共交通服务等企事业单位均会发放棉服、西服、衬衫、领带、肩章等作为工装。由于员工的流动、企业制服的更换以及制服的损耗,产生大量的废旧职业服装。玛莎百货作为英国最大的跨国商业零售集团,对外鼓励购物者在商店购买东西时定期捐赠衣物,对内呼吁员工回收旧工服。在召回计划实施的初期,回收的工服数量增长 850%^[31],成为行业典型。

为避免废旧职业服装与生活垃圾混合扔进垃圾箱最终被填埋或焚化,废旧职业服装可通过捐赠、资源化循环利用实现其高值利用。工服通常情况下有企业标识,为后续的回收工作造成一定的困扰,因此,在设计初期应考虑充分其寿终的管理,例如采用

可拆卸的徽章等方式来呈现企业标识,降低回收难度;使用单成分面料,迪卡侬、宜家等则在其产品中增加再利用纤维的比重,提高回收再利用比率。作为企业的管理者,应实时掌握制服的供求关系,控制淘汰率,明确企业的置换模式、回收再利用方法等,以此作为企业标准,规范自治。

5 结束语

本文对废旧纺织品循环经济的监督检验体系进行研究,归纳出现行的废旧纺织品法律法规体系,分析了废旧纺织品标准体系架构图,总结了现阶段废旧纺织品检验技术与检测方法,对进一步完善标准体系给出了方向性建议。同时借鉴国外案例,提出废旧纺织品的社会监督,对废旧服装行业建立行业回收体系具有很好的参考作用。法律是规范市场化操作的前提,标准是衡量回收效果的技术依据,行业自治是循环经济发展的高级形态,三者相辅相成。通过教育、宣传,正确引导政府的善治理念、生产者的生产自律、社会组织的积极参与以及消费者的消费习惯,全面提高回收系统中各阶段的环保意识,才能实现良性发展,并为实现废旧纺织品的远程云自动化回收提供强有力的保障。

FZXB

参考文献:

- [1] SALMENPERÄ H. Different pathways to a recycling society-comparison of the transitions in Austria, Sweden and Finland[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro. 2021.125986.
- [2] 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.
- [3] 国家发展改革委员会. 中国资源综合利用年度报告: 2014[R]. 北京: 国家发展改革委员会, 2014. National Development and Reform Commission. Annual report on comprehensive utilization of resources in China: 2014[R]. Beijing: National Development and Reform Commission, 2014.
- [4] 工业和信息化部. 纺织工业发展规划: 2016—2020[R]. 北京: 工业和信息化部, 2016. Ministry of Industry and Information Technology. Textile industry development plan: 2016—2020[R]. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology, 2016.
- [5] 商务部流通业发展司. 中国再生资源回收行业发展报告: 2017[R]. 北京: 商务部流通业发展司, 2017. Department of Circulation Industry Development, Ministry of Commerce. Report of China renewable resource recycling industry development: 2017[R]. Beijing: Department of Circulation Industry Development, Ministry of Commerce, 2017.
- [6] 商务部流通业发展司. 中国再生资源回收行业发展报告: 2020[R]. 北京: 商务部流通业发展司, 2020. Department of Circulation Industry Development, Ministry of Commerce. Report of China renewable resource recycling industry development: 2020[R].

- Beijing: Department of Circulation Industry Development, Ministry of Commerce, 2020.
- [7] 施乐荣,刘荣杰,观梦韵,等. 基于垃圾分类的废旧纺织品的单独回收对深圳市生活垃圾处理的碳足迹影响分析[J]. *环境生物工程*, 2018, 26(2): 4-8. SHI Lerong, LIU Rongjie, GUAN Mengyun, et al. Effects of separate recycling of household waste textile on carbon footprint of domestic waste treatment in Shenzhen based on garbage classification[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2018, 26(2): 4-8.
- [8] NØRUP N, PIHL K, DAMGAARD A, et al. Development and testing of a sorting and quality assessment method for textile waste[J]. *Waste Management*, 2018, 79: 8-21.
- [9] 李海洋,刘胜. 废旧纺织品棉含量近红外光谱分析方法[J]. *光散射学报*, 2018, 30(3): 277-283. LI Haiyang, LIU Sheng. The method of near infrared spectra analysis for the cotton content of waste textiles[J]. *The Journal of Light Scattering*, 2018, 30(3): 277-283.
- [10] 韦树琛,李文霞,刘正东,等. 废旧纺织品中聚酯织物的快速鉴别方法研究[J]. *北京服装学院学报(自然科学版)*, 2018, 38(3): 14-21. WEI Shuchen, LI Wenxia, LIU Zhengdong, et al. Study on rapid identification of polyester fabrics from waste textiles[J]. *Journal of Beijing Institute of Fashion Technology(Natural Science Edition)*, 2018, 38(3): 14-21.
- [11] 韦树琛,丁欣,李文霞,等. 废旧聚酯纤维制品近红外定量分析模型的建立及验证[J]. *纺织学报*, 2018, 39(7): 63-68. WEI Shuchen, DING Xin, LI Wenxia, et al. Model establishment and validation of waste polyester fiber products based on near infrared quantitative analysis[J]. *Journal of Textile Research*, 2018, 39(7): 63-68.
- [12] MÄKELÄ M, RISSANEN M, SIXTA H. Machine vision estimates the polyester content in recyclable waste textiles[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec. 2020.105007.
- [13] XING W Y, LIU Y W, DENG N, et al. Automatic identification of cashmere and wool fibers based on the morphological features analysis[J]. *Micron*, 2020. DOI: 10.1016/j.micron. 2019.102768.
- [14] LUO J L, LU K, CHEN Y G, et al. Automatic identification of cashmere and wool fibers based on microscopic visual features and residual network model[J]. *Micron*, 2021. DOI: 10.1016/j.micron. 2021.103023.
- [15] SUN X T, YUAN H F, SONG C F, et al. A novel drying-free identification method of cashmere textiles by NIR spectroscopy combined with an adaptive representation learning classification method[J]. *Microchemical Journal*, 2019. DOI: 10.1016/j.microm. 2019.10418.
- [16] 郑佳辉,杜宇君,李文霞,等. 废旧聚酯/棉混纺织物的在线近红外定量分析与自动分选[J]. *分析测试学报*, 2020, 39(11): 1365-1370. ZHENG Jiahui, DU Yujun, LI Wenxia, et al. Online near-infrared quantitative analysis and automatic sorting of waste polyester/cotton blend fabrics[J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2020, 39(11): 1365-1370.
- [17] 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. LI Haiyang, LIU Sheng. A new method for qualitative analysis of near infrared spectra of textiles[J].

- Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019, 39(7): 2142-2146.
- [18] 王华. 着色法鉴别新型纺织纤维的探讨[J]. 纺织报告, 2020, 39(7): 5-8.
WANG Hua. Study on identification of new textile fiber by shader method[J]. Textile Reports, 2020, 39(7): 5-8.
- [19] 石余卿, 李莹, 刘鹏. 着色法定性鉴别几种再生纤维素纤维[J]. 纺织检测与标准, 2020, 6(6): 14-20.
SHI Yuqing, LI Ying, LIU Peng. Qualitative analysis for regenerated cellulose fibers with staining method[J]. Textile Testing and Standard, 2020, 6(6): 14-20.
- [20] 高友军, 张向丽, 刘锦瑞, 等. 再生纤维素纤维中莱赛尔族纤维定性鉴别研究[J]. 纺织导报, 2017(2): 87-89.
GAO Youjun, ZHANG Xiangli, LIU Jinrui, et al. Qualitative identification of Lyocell fibers from other regenerated cellulose fibers[J]. China Textile Leader, 2017(2): 87-89.
- [21] 阮凌峰, 吴乾, 李莹, 等. 再生纤维素纤维的鉴别方法研究[J]. 纺织科技进展, 2020(9): 32-36.
RUAN Lingfeng, WU Qian, LI Ying, et al. Study on identification method of regenerated cellulose fiber[J]. Progress in Textile Science & Technology, 2020(9): 32-36.
- [22] 付昌飞, 李红杰, 申世红, 等. 一种物理回收法再生涤纶的鉴别方法: 201510565693.3[P]. 2016-05-25.
FU Changfei, LI Hongjie, SHEN Shihong, et al. An identification method for physical recovery of recycled polyester: 201510565693.3[P]. 2016-05-25.
- [23] 付昌飞, 李红杰, 邢亚均, 等. 一种化学回收法再生涤纶鉴别方法: 201810721600.5[P]. 2021-03-09.
FU Changfei, LI Hongjie, XING Yajun, et al. Method for identifying recycled polyester fiber by chemical recovery method: 201810721600.5[P]. 2021-03-09.
- [24] 湛权, 张卫卫, 杨欣卉, 等. 再生蛋白质纤维的氨基酸分析鉴别法[J]. 印染, 2014, 40(5): 42-44.
ZHAN Quan, ZHANG Weiwei, YANG Xinhui, et al. Identification of regenerated protein fibers with an amino acid analysis[J]. China Dyeing & Finishing, 2014, 40(5): 42-44.
- [25] 陈启群, 吴俭俭, 朱玲琴, 等. 再生蛋白复合纤维的鉴别[J]. 丝绸, 2016, 53(11): 16-21.
CHEN Qiqun, WU Jianjian, ZHU Lingqin, et al. Identification of regenerated protein composite fibers[J]. Journal of Silk, 2016, 53(11): 16-21.
- [26] 徐勤, 顾福江, 邵海卿. 废旧纺织品再利用和安全监管[J]. 中国纤检, 2017(6): 32-36.
XU Qin, GU Fujiang, SHAO Haiqing. Reuse and safety supervision of waste textiles [J]. China Fiber Inspection, 2017(6): 32-36.
- [27] 桩子. 回收: 让废旧校服找到“归宿”[J]. 中国纤检, 2017(11): 46-49.
ZHUANG Zi. Recycling: make the old school uniforms find "home" [J]. China Fiber Inspection, 2017(11): 46-49.
- [28] 陈丽华, 周静, 李梦颖, 等. 学生校服与军训服处置现状与回收方式调查分析[J]. 再生资源与循环经济, 2013, 6(10): 26-28.
CHEN Lihua, ZHOU Jing, LI Mengying, et al. Investigation on disposal actuality and recovery modes of school uniform and military training clothes [J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2013, 6(10): 26-28.
- [29] 曹成辉, 朱进忠, 王藩. 废旧军服纤维性能与再利用纺纱研究[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2016, 28(1): 13-16.
CAO Chenghui, ZHU Jinzhong, WANG Fan. Study on the properties and recycled yarn from waste uniforms[J]. Journal of Henan University of Engineering(Natural Science Edition), 2016, 28(1): 13-16.
- [30] 张翰昱, 刘一凯, 潘志娟. 废旧纺织服装循环再利用的现状与分析[J]. 现代丝绸科学与技术, 2020, 35(3): 28-31, 40.
ZHANG Hanyu, LIU Yikai, PAN Zhijuan. Status quo and analysis of the recycling of waste textiles and garments [J]. Modern Silk Science & Technology, 2020, 35(3): 28-31, 40.
- [31] 杨楠楠. 英国制服回收再利用体系研究[J]. 再生资源与循环经济, 2015, 8(5): 41-44.
YANG Nannan. Study on the system of UK enterprise uniform recovery [J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2015, 8(5): 41-44.

Research progress of supervision and inspection system for recycling waste textiles

HAN Fei¹, LANG Chenhong², QIU Yiping³

(1. Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200040, China;

2. College of Textiles and Apparel, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362046, China;

3. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract

Significance The direct disposal of textiles for daily use leads to double pressures of environmental pollution and resource waste. Under the macro environment of national promotion for energy conservation and emission reduction and public participation in waste sorting, the recycling of waste textiles becomes a necessary condition for the sustainable development of the textile industry. Relevant policies were issued nationally, but the management of waste textiles was different from place to place. Coupled with the occurrence of market chaos, many consumers have insufficient understanding on recycling waste textiles, and low support for the products made from recycled textiles. The quality of the recovered waste textiles and the quality of products from recycled textiles seem to be the key to the sound development of circular economy in the textile industry. With the aim to stabilize the quality of remanufactured products from waste textiles, standardize market order, and improve the credibility of the public, it

was of great significance for a supervision and inspection system for recycling waste textiles to be established.

Progress According to an in-depth analysis of the present situation about the waste textiles legal system, waste textiles were classified as solid wastes, which are regulated by laws of environmental protection. Based on international experience and the present domestic situation of recycling, a strategy to further improve the system was put forward. It is more appropriate for waste textiles to be separated at the household level and collected separately. The existing standard system cannot fully cover the categories of remanufactured products. Some national mandatory standards explicitly prohibit the use of waste textiles, which hinders the re-use of waste textiles. The latest research achievements of the inspection and testing technology of waste textiles were described, including the application of infrared spectroscopy in sorting process and qualitative analysis of regenerated fibers. In some studies, it was found that infrared spectroscopy has good applicability in the rapid detection of cotton, polyester and wool/cashmere fibers in waste textiles, which is able to effectively improve the detection efficiency and reduce the labor cost. Furthermore, industry autonomy based on school uniforms, military uniforms and work uniforms was introduced. It is necessary to realize industry autonomy through the extension of producer responsibility.

Conclusions and Prospect The management of waste textiles in China is still at the primary stage of the legal system, and the quality control of waste textiles in standard specifications has not formed a close-loop management. Therefore, the laws and regulations of waste textiles need to be specialized and the standard specifications need to be systematized. The regulations on recycling of waste textiles should be formulated, the application of waste textiles should be widened, and the inspection and testing methods of waste textiles should be strengthened. For the future development trend of recycling waste textiles, the detection technology should be innovated with accuracy, timeliness and online as the main factors. The social supervision comes from the consciousness of the industry and even the whole people. Finally, the review pointed out that the legal system, standardization system and social supervision are whole, and accelerating the improvement of national environmental protection awareness is the key to promote the development of waste textiles recycling economy and realizing remote cloud automated production.

Keywords waste textile; standard system; infrared spectroscopy detection; regenerated fiber identification; recycling economy; supervision and inspection system