

ICS 59.060.20
CCS W 52

团 体 标 准

T/CCFA 00014-2025

循环再利用聚酯（PET）纤维鉴别试验方 法 紫外可见分光光度法

Test method for the identification of recycled polyethylene
terephthalate fiber: UV-visible spectrophotometry

2025-12-15 发布

2026-01-01 实施

中国化学纤维工业协会

发布

目 次

目次	I
前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 原理	2
5 仪器和设备	2
6 试剂和材料	2
7 模型构建与评估	2
8 待测样品鉴别	4
9 试验报告	5

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国化学纤维工业协会提出。

本文件由中国化学纤维工业协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：江苏芮邦科技有限公司、福建赛隆科技有限公司、江苏佩浦高分子科技有限公司、广东秋盛资源股份有限公司、知里科技（广东）有限公司、广州海关技术中心、浙江逸含化纤有限公司、广州检验检测认证集团有限公司、滁州兴邦聚合彩纤有限公司、江苏无染彩业科技有限公司、河北骏业纤维有限公司、暨南大学包装工程学院、中国化学纤维工业协会、上海纺科院江版纺织技术服务有限公司。

本文件主要起草人：钱敏、朱恩斌、王志鹏、马俊滨、杨青华、苏启枝、徐允武、陈叱云、王佳佳、陈乙超、张春雷、林勤保、李德利、姚阿大、房宜敏、刘能模、李红杰、冯婕莉、刘霞。

循环再利用聚酯（PET）纤维鉴别试验方法 紫外可见分光光度法

警示：使用本文件的人员应有正规实验室工作的实践经验。本文件并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法规规定的条件。

1 范围

本文件描述了采用紫外可见分光光度法测定聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）纤维的光谱特征，使用支持向量机算法构建预测模型，用于鉴别循环再利用聚酯（PET）纤维（以下简称再生涤纶）的方法。

本文件适用于以聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）瓶经物理回收或物理化学回收工艺过程得到的本色和白色再生涤纶的鉴别。其它功能性再生涤纶可参照使用。

本文件不适用于有色涤纶的鉴别，也不适用于化学回收法生产得到的涤纶的鉴别。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2035 塑料 术语

GB/T 30102 废弃物的回收和再循环指南

GB/T 39026 循环再利用聚酯（PET）纤维鉴别方法

GB/T 40006.1 塑料 再生塑料 第1部分：通则

GB/T 40006.9 塑料 再生塑料 第9部分：聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）材料

GB/T 4146（所有部分） 纺织品 化学纤维

GB/T 46019.2 塑料 再生塑料成分鉴别 第1部分：聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）材料

3 术语和定义

GB/T 4146（所有部分）、GB/T 46019（所有部分）、GB/T 2035、GB/T 40006.1、GB/T 40006.9、GB/T 30102和GB/T 39026界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

物理回收 physical recycling

经过系列净化步骤，将一种或多种目标聚合物与其他聚合物、添加剂和加入的其他材料（如纤维、填料、着色剂和污染物）分离，得到回收的聚合物的过程，该聚合物很大程度上不受过程的影响，能够重新用于塑料配方。

注1：此过程还可能使塑料的其他有价值的部件能够回收。

注2：目前，大多数物理再利用方法是基于溶剂的方法。

[GB/T 30102-2024，定义3.10。原定义翻译为“物理再利用”，本文件译为“物理回收”]

3.2

物理化学回收 physico-chemical recycling

将塑料废弃物转化为二次原材料或产品，通过微解聚、扩链或增黏等手段调节与提升材料分子量和性能的加工过程。

注：在本文件中，物理化学回收等同于物理化学法循环再利用。

3.3

标准正态变换 standard normal variate

一种光谱数据预处理方法，即对单条光谱的每个波长点的数据减去该光谱的均值，并除以该光谱的标准差，使每条光谱的均值为0、标准差为1，从而提高光谱可比性。

3.4

主成分分析 principle component analysis

一种线性数据降维方法，通过线性正交变换将原始数据转换为互相无关的主成分，各主成分按对原始数据方差的解释量递减排序。

3.5

支持向量机 support vector machine

一种通过在特征空间中寻找最优超平面以最大化类别间的间隔进行分类或回归的机器学习算法。

3.6

核函数 kernel function

一种用于将数据映射到高维特征空间，以处理非线性可分问题的函数。

4 原理

以消费后PET瓶经机械回收得到的片状和颗粒状材料为原料，熔融纺丝制得的再生涤纶可能引入或失去多种有机小分子化合物，导致其化学组分与原生涤纶有所不同。将试样按规定的样品前处理和紫外可见分光光度法条件进行测定，并基于紫外可见光透过率数据构建支持向量机二分类模型，给出待测样品为再生涤纶的概率，预测样品是否含有经物理回收或物理化学回收得到的再生涤纶。

5 仪器和设备

- 5.1 紫外可见光光度计：配备 1 cm 石英比色皿。
- 5.2 分析天平：精度 0.1 mg。
- 5.3 超声清洗器：超声功率 240 W。
- 5.4 玻璃瓶：配备密封盖垫。瓶体积应满足试样的浸泡要求。

6 试剂和材料

- 6.1 二氯甲烷：分析纯。
- 6.2 一次性注射器：5 mL 医用无菌注射器。
- 6.3 针头过滤器：孔径为 0.45 μm 有机相微孔滤膜。

7 模型构建与评估

7.1 样品收集

为确保模型具有较好的适用性和稳健性，应收集足够数量且具有代表性的原生涤纶和再生涤纶样品，用于构建模型。不同来源、工艺或批次的原生涤纶和再生涤纶数量应各不少于50个。

7.2 试样制备

取适量纤维样品，裁剪成长度为5 cm ~ 10 cm的纤维段。准确称量1.0 g 试样（精确至1 mg）于玻璃瓶中，加入6 mL二氯甲烷，确保试样完全浸没，并密封。将玻璃瓶置于30 °C下超声提取1小时。超声结束后，将玻璃瓶取出并冷却至室温。将提取液转移至洁净玻璃瓶中备用。如提取液不澄清，则将全部提取液转移至注射器（6.2），经过针头过滤器（6.3）过滤至另一洁净玻璃瓶中备用。若过滤后的提取液不能立即分析，可在4 °C下避光、密封保存不超过1天。每个纤维样品应至少平行处理2份。

7.3 紫外可见光光度计分析

仪器开机预热后，按以下参数进行设置：

- a) 波长扫描范围：260 nm ~ 800 nm；
- b) 采样间隔：1.0 nm；
- c) 数据采集模式：透过率；

7.4 样品测定

7.4.1 在洁净的比色皿中加入二氯甲烷，按照上述仪器参考条件（7.3）进行基线校正。

7.4.2 在洁净的比色皿中加入二氯甲烷，按照上述仪器参考条件（7.3）测定空白光谱，确认在测量范围内透过率接近 100 %且基线稳定。

7.4.3 倒出空白溶剂，将试样提取液（7.2）加入比色皿，按相同条件测定试样的透过率光谱。

注：加入试样提取液前，至少用溶剂润洗比色皿一次。

7.5 光谱数据处理

7.5.1 光谱数据汇总

将不同样品的透过率光谱数据（7.4）按样品编号、样品类型（再生/原生）和波长进行汇总，构建样品-波长的透过率数据矩阵。

7.5.2 光谱数据处理

7.5.2.1 对采集的原始光谱数据进行平滑处理。平滑方法可采用滑动平均或其他常用平滑算法。建议平滑时使用的窗口宽度约为 5 nm。

7.5.2.2 对平滑后的光谱数据进行标准正态变换处理。

7.6 鉴别模型的构建

7.6.1 建模软件要求

所使用的软件应能支持分层随机抽样、交叉验证、支持向量机算法和超参数调优功能的实现，能够计算模型评估指标，包括准确率、受试者工作特征曲线下面积（AUC-ROC），并且支持结果可视化功能，包括绘制受试者工作特征曲线（ROC）曲线。

7.6.2 数据划分

按样品类别（原生/再生涤纶）对处理和筛选后的光谱数据矩阵进行分层随机抽样，选取80%的数据作为训练集，其余20%作为测试集。在划分过程中，应确保每个样品类别在训练集和测试集中

的比例一致，并且同一样品的平行数据不应同时出现在训练集和测试集中。

按样品类别（原生/再生涤纶）对训练集数据进行分层随机抽样，划分出10个互斥子集。在划分过程中，应确保每个样品类别在训练集和测试集中的比例一致，并且同一样品的平行数据不应同时出现在训练集和测试集中。

7.6.3 数据预处理

对训练集的光谱数据采用主成分分析进行降维处理，以减少数据冗余并提高模型训练效率。

7.6.4 超参数调优

通过网格搜索设置支持向量机模型的超参数组合及其取值范围，包括惩罚参数、径向基核函数的宽度参数。

对于每一组超参数，使用训练集（7.6.2）进行10倍交叉验证：将训练集划分为10个互斥子集，每次选取1个子集作为验证集，其余9个子集作为训练集进行支持向量机模型进行拟合，并对验证集进行预测。

重复该过程10次，确保每个子集均作为验证集使用一次。最终计算每组超参数组合在10次验证结果的ROC-AUC值，并计算其平均值。

7.6.5 最终模型训练与评估

选择AUC-ROC值最高的超参数组合作为最优模型参数，使用最优超参数组合和训练集数据（7.6.2）对支持向量机模型进行重新拟合，得到最终鉴别模型。

对测试集（7.6.2）使用训练集得到的主成分和变换矩阵进行降维转换（7.6.3），然后输入最终鉴别模型中进行鉴别，并计算分类准确率、AUC-ROC、精确率和召回率（以再生涤纶为正类）。模型应满足以下要求：

- a) 准确率不低于95%；
- b) AUC-ROC不应低于0.95；
- c) 再生涤纶（正类）的精确率和召回率均不低于0.90；
- d) 测试集准确率与训练集准确率的差异小于3%。

注：若使用第三方提供的鉴别模型，在使用前对其性能进行验证是必要的。验证时，分析不少于10个原生涤纶和10个再生涤纶样品是必要的，并对其波长数据进行汇总后输入模型进行预测。模型在验证样品中的鉴别准确率不低于95%是能接受的。

8 待测样品鉴别

8.1 按照 7.2 方法制备待测涤纶样品的提取液。待测样品应进行 3 次独立测试。

8.2 按照 7.3 仪器条件和 7.4 方法，对待测样品提取液进行测定分析。

8.3 按照 7.5 方法对待测样品的透过率数据进行数据处理。

8.4 对待测样品数据使用训练集得到的主成分和变换矩阵进行降维转换（7.6.3）。

8.5 将转换后的数据输入到已建立和优化后的支持向量机模型（7.6.5）中进行预测，并按照以下方式进行判定：

- a) 若模型预测结果为再生的概率 ≥ 0.5 ，则待测样品含有经物理回收或物理化学回收得到的再生涤纶；
- b) 若模型预测结果为再生的概率 < 0.5 ，则待测样品不含有经物理回收或物理化学回收得到的再生涤纶；
- c) 若 3 次独立测试的结果不一致，应重新取样，进行 3 次独立测试，予以确认；若仍不一致，

依据所有独立测试结果中预测类型占多数的结果为待测样品的最终鉴别结果。

9 试验报告

试验报告应包括下列内容：

- a) 本文件编号；
 - b) 样品描述；
 - c) 再生概率；
 - d) 鉴别结论；
 - e) 试验日期。
-

全国团体标准信息平台