

**《土壤中聚对苯二甲酸-己二酸丁二酯(PBAT)纳塑料(<100
nm)丰度定量检测技术规范 纳米红外光谱法》**

(征求意见稿)

编制说明

浙江工业大学

2026年4月20日

目 次

- 一、工作简况：包括任务来源、协作单位、主要工作过程、起草组成员及其所做的主要工作等；
- 二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据；标准修订项目还应当列出新、旧标准水平的对比；
- 三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；
- 四、标准涉及的相关知识产权说明；
- 五、采用国际标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系；
- 六、重大意见分歧的处理经过和依据；
- 七、其他应予说明的事项。

一、工作简况

（一）任务来源

本标准编制任务来源于浙江省尖兵领雁项目“高性能生物可降解包装袋膜及其微塑料污染治理关键技术与示范”（2023C03128）。

（二）协作单位

1.牵头单位

浙江工业大学，组织实施标准起草工作及各起草单位之间的协调工作。

2.参加单位

浙江茵创新材料科技有限公司、浙江冠都新材料科技有限公司（原名：温州冠都包装有限公司）、新疆蓝山屯河降解材料有限公司、中国科学院南京土壤研究所参与标准起草工作。

（三）主要工作过程

1.调研、资料收集

2023年1至7月，浙江工业大学联合浙江茵创新材料科技有限公司、浙江冠都新材料科技有限公司（原名：温州冠都包装有限公司）、新疆蓝山屯河降解材料有限公司、中国科学院南京土壤研究所等单位，针对PBAT基袋膜在环境生成微纳塑料的环境问题，先后采集堆肥土壤环境、农田土壤环境，系统分析预测了PBAT基袋膜残片老化、破裂化的潜势。

2.开展系列研究工作

2023年9-12月浙江工业大学联合浙江茵创新材料科技有限公司

等单位分析了堆肥土壤中 PBAT 基塑料的老化性能动态变化、PBAT 基塑料表面粗糙度及崩解度，明确了 PBAT 基塑料的老化与破碎化过程。

2024 年 1-12 月开发了纳塑料检测技术与参数优化，识别和定量不同环境中，不同降解时期，产生的 PBAT 微纳塑料的粒径大小、形态和数量，回收率良好，形成并明确了环境中 PBAT 纳塑料定量识别技术方案。

2025 年 1-6 月基于前期建立的方法，根据中间降解产物的量化和粒径分析去评估降解性能，通过菌体筛选—颗粒研磨—高温培育—中间产物量化—降解率测定，构建一套基于微体培养的 PBAT 基塑料降解性能快速评估方法，申报了国家发明专利。

2025 年 6-9 月根据可生物降解塑料潜在汇区，选取农田土壤、生活污水和餐余废水三种典型的环境样本，考虑到常规天气和极端高温天气，通过对比不同环境样本和不同温度（25° C 和 60° C）下的降解情况，研究 PBAT 基塑料的降解过程及微纳塑料等中间产物释放动态，比较 PBAT 基塑料在不同实际环境介质中的降解差异。

3.标准起草与立项

2025 年 12 月—2026 年 1 月，根据试验结果，结合相关文献资料及国内外相关标准调研结果，编制组经多次讨论和修改，完成了标准草案。

2026 年 1 月提交草案至中国土壤学会开展标准立项函评。经函评专家评审论证，同意立项，中国土壤学会于 2026 年 3 月 13 号发布立项公告。

4.征求意见阶段

标准立项公示结束后，编制组根据立项函评专家意见进一步修改完善标准草案，完成征求意见初稿撰写工作。2026年3月，编制组向13家单位15位专家进行意见征集，共收集专家反馈意见60条；其中，采纳56条，部分采纳4条，未采纳0条。2026年4月，编制组根据征集意见对标准文本进行了修订。征求意见稿及编制说明撰写工作完成后，于2026年4月21日提交中国土壤学会。

（四）起草组成员及分工

潘响亮：浙江工业大学，负责标准整体结构的设计和技术内容的确定，指导标准起草工作。

周倩，张明，冯杰：浙江工业大学，参与标准起草工作，负责标准技术内容与关键技术参数的确定，组织工作组及专家团队开展标准起草工作，并协调标准编制过程中各起草单位之间的工作。

马双翼，王亮：浙江茵创新材料科技有限公司，调度起草组成员推荐标准制定程序和进度，组织协调标准制定所需资源。

陈以岳，金海英：浙江冠都新材料科技有限公司（原名：温州冠都包装有限公司），负责标准数据资料收集、技术方案论证工作，协助组织专家评审及意见修改工作。

妥贵芹，彭江洪：新疆蓝山屯河降解材料有限公司，负责资料收集、标准起草与文本撰写工作。

涂晨：中国科学院南京土壤研究所，负责资料收集，数据归纳整理，组织协调标准制定所需资源。

二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据

（一）标准编制原则

1.科学性原则

本标准的核心技术路线—双密度分离结合原子力显微镜-纳米红外光谱（AFM-IR）成像—是基于目标纳塑料（PBAT）与土壤基质（有机质、矿物）的物理（密度）和化学（特征官能团红外吸收）差异而建立的，原理清晰，方法学基础坚实。

2.先进性原则

标准针对的是粒径小于 100 纳米的“纳塑料”，填补了当前土壤微塑料检测标准在纳米尺度上的空白。AFM-IR 技术将纳米级空间分辨率与化学指纹识别能力相结合，是当前表征纳米塑料最有效的技术之一，确保了方法的技术先进性。

3.可操作性原则

标准文件严格遵循 GB/T 1.1 的编写规范，对从样品前处理（土样预分选、提取、纯化、分散）到仪器分析（工作条件、测定步骤），再到结果计算与质量控制的每一步都进行了详细、逐步的规定，并提供了明确的参数（如密度、浓度、转速、时间等），确保不同实验室可按步骤重现。

4.规范性原则

在术语定义、方法原理描述、公式符号等方面力求准确、统一，并引用了相关的行业及团体标准作为参考，保证了本文件在专业体系

内的协调性。

（二）确定标准主要内容的论据

1.范围与术语定义

明确本标准适用于土壤中 1-100 nm 的 PBAT 纳塑料定量检测。将“纳塑料丰度”定义为“个/kg（干土）”，与国际上对纳塑料的定量趋势接轨，并定义了“形貌”参数（圆度、长径比），为环境行为研究提供更多维度信息。

2.方法原理

采用“双密度浮选法”进行前处理。其论据在于，PBAT 密度约 1.25 g/cm³，但降解后密度可能降低。因此，设定低密度（1.1 g/mL）和高密度（1.6 g/mL）浮选液，可有效去除密度更低（<1.1，如大部分有机质）和更高（>1.6，如矿物颗粒）的干扰组分，从而富集目标密度区间的颗粒。后续采用 AFM-IR 进行检测，其论据是该技术能突破光学衍射极限，实现纳米级空间的化学成像，通过 PBAT 在 1602 cm⁻¹（苯环）和 1720 cm⁻¹（羰基）等特征峰的共定位，可实现对复杂基质中 PBAT 纳塑料的特异性识别，避免误判。

3.仪器与试剂参数

规定了 AFM-IR 需使用 NIR2 探针、接触模式、特定激光强度和分辨率等，这些参数是基于 PBAT 材料的红外吸收特性及获得稳定、高质量纳米红外图像所需的最佳条件而确定的。浮选液选用 NaCl 和 ZnCl₂，是综合考虑了分离效果、成本及环境友好性后的选择。分散剂选择 SDS，是为了在防止纳米颗粒团聚的同时，不会引入纳塑料鉴

定过程中的红外官能团干扰。

4.分析步骤与质量控制

(1) 提取与纯化流程：详细步骤（如静置时间>24h、超滤离心、乙醇洗脱等）旨在最大化回收率并最小化基质干扰。规定浮选步骤需设对照组并评估去除率（>95%），确保了前处理的有效性。

(2) 结果计算（公式 1）： $N = (S/S1) * n * (L/L1) * D / Ms$ 。该公式基于统计学原理，通过测量局部的颗粒数量（ $n/S1$ ），结合样品处理的总体积、检测体积、稀释倍数和土壤质量，科学地外推得到单位土壤质量中的纳塑料总丰度，逻辑严谨。

(3) 质量控制与性能指标：设置了全程序空白、基质空白、平行样（相对偏差 $\leq 20\%$ ）等通用质控措施。特别规定了加标回收率应在 85.0%-120% 之间，作为衡量方法准确度与精密度的性能指标。此范围的设定参考了分析化学，特别是复杂基质痕量分析领域的常规要求，兼顾了方法的可靠性与实际达成的可行性。

5.检验规则

明确了空白实验、平行样测定频率（ $\geq 10\%$ ）和仪器校准（使用聚苯乙烯标准膜）的要求，构成了完整的方法验证与质量保证体系。

6.关于标准适用范围

本标准专门适用于检测和定量分析土壤这一复杂基质中 PBAT 材质的纳塑料颗粒，土壤包括堆肥土壤和自然农田土壤等。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

1.主要试验验证分析

标准文本第 12 条指出，方法的精密度和准确度通过实验室空白加标法测定。具体是向无污染土壤中添加已知量的 PBAT 纳塑料 (<100 nm)，制备 7 个平行样进行全流程分析。通过评估密度分离、过滤、AFM-IR 成像等关键步骤的回收率，系统分析了前处理及检测流程中的潜在损失。验证结果表明，该方法在上述严格的质量控制下，能够实现土壤中 PBAT 纳塑料的可靠定量，各步骤回收率可控 (85.0%~120%)，从而保证了最终结果的可追溯性和可靠性。

2.技术经济论证

技术优势：本方法解决了土壤中超细纳塑料(<100 nm)难以分离、识别和定量的技术难题。相较于传统微塑料检测方法（如显微红外、拉曼），本方法在检测下限（至 1 nm）和特异性（化学成像）上具有显著优势。

经济性考量：方法所需常规试剂与设备（离心机、超声仪等）在环境分析实验室常见。核心设备 AFM-IR 属于大型精密仪器，初始投资较高。但本标准提供了标准化流程，能使该高端设备的分析能力高效、规范地应用于特定环境问题，提升设备利用价值和数据可比性。前处理过程未使用昂贵或剧毒试剂，运行成本可控。

3.预期的经济效果

规范市场与研发：为生物降解塑料（如 PBAT）在农业领域的应用环境安全性评价提供统一、权威的检测依据，助力相关产品标准的完善和行业健康发展。

提升监管与评估能力：为生态环境部门监测土壤纳塑料污染提供标准方法，提升环境风险监测评估的精细化水平，为相关决策提供技术支持。

降低社会成本：通过早期、精准地监测土壤中纳塑料的积累情况，可为预防潜在的生态与健康风险提供预警，避免未来可能产生的更大治理成本。

四、标准涉及的相关知识产权说明

在编制《土壤中聚对苯二甲酸-己二酸丁二酯(PBAT)纳塑料(<100 nm) 丰度定量检测技术规范 纳米红外光谱法》团体标准时，涉及的知识产权问题需要特别关注，以确保标准的合法性、合规性和公平性。截止目前，与本标准内容有关的申报发明专利 1 项。具体清单如下：

周倩，潘晨楠，单越，刘丙申，张明，张道勇，潘响亮. 一种基于微体培养的可生物降解塑料的降解性能快速评估方法，发明专利. CN119985240A.

五、采用国际标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系

1.采用国际标准情况

目前，国际标准化组织（ISO）及主要国家标准机构尚未发布针对“土壤中纳塑料（<100 nm）”的定量检测标准。本标准在纳塑料的定义（1-100 nm）上与国际学术界常用范围保持一致，在方法上采用了国际前沿的纳米红外光谱技术。因此，本标准属于自主制定，其技术内容具有创新性，预期能达到国际先进水平。

2.与现行标准的关系

本标准在起草过程中，参考并引用了多项国内已发布的微塑料检测相关标准（如 DB37/T 4684-2023, T/CSTM 00885-2024, GH/T 1328-2022, SC/T 9452-2025）。这些标准主要针对“微塑料”（通常 $>1\ \mu\text{m}$ ）。本标准在样品前处理（如密度分离）部分借鉴了相关思路，但核心检测对象（ $<100\ \text{nm}$ ）、定量指标（颗粒数量丰度）和最终检测技术（纳米红外光谱成像）与现行微塑料标准有显著区别和延伸，形成了互补关系，共同完善了土壤塑料污染检测的标准体系。

3.与法律法规的关系

本标准的制定与实施，符合国家《环境保护法》《土壤污染防治法》等法律法规中关于加强环境监测、防治污染的精神，为评估塑料污染物，特别是新兴的生物降解塑料制品在土壤环境中的纳米级残留行为提供了技术支撑，有助于相关环保政策的科学实施。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

无。

七、其他应予说明的事项

无。