项目编号：　　所属技术委员会：

中国塑料加工工业协会团体标准
T/CPPIA XXXX—20XX

全息高分子材料的评价方法

编制说明

（征求意见稿）

《全息高分子材料的评价方法》编制组

二〇二六年七月

项目编号：　　所属技术委员会：

《全息高分子材料的评价方法》
编制说明

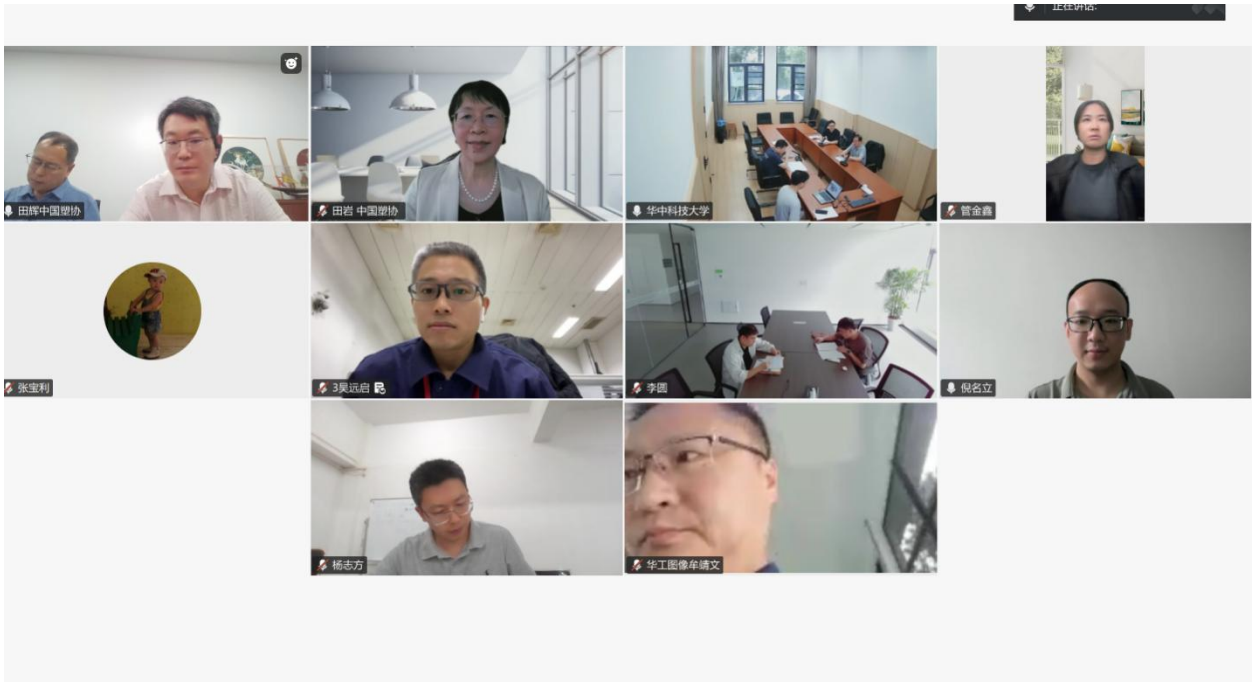
一、工作简况

1、任务来源

《全息高分子材料的评价方法》团体标准制定任务根据中国塑料加工工业协会“中国塑协[20XX]XXX 号文《XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX》”下达的《全息高分子材料的评价方法》团体标准制定通知确定，计划编号为 CPPIA-XX-XX-X-XXX。标准牵头单位：华中科技大学；项目归口管理为中国塑料加工工业协会团体标准化技术委员会 XXXXXXXX 分技术委员会。

2、主要工作过程

起草阶段：



《全息高分子材料的评价方法》团体标准立项启动会 2026.6.22

标准起草单位及其分工

本标准由华中科技大学牵头，联合中国印钞造币集团有限公司、中钞特种防伪科技有限公司、武汉华工图像技术开发有限公司、南昌虚拟现实研究院股份有限公司共同起草。各单位分工如下：

（1）华中科技大学：作为标准牵头单位，负责标准整体框架设计、核心技术内容的编写与统稿，承担全息高分子材料基础理论支撑工作，包括 Kogelnik 耦合波理论、布拉格-斯涅尔定律等理论推导（附录 B、C、D），以及衍射效率、折射率调制度、角度选择性、波长选择性、曝光特性曲线、感光灵敏度、光谱亮度、Q 值等核心光学性能参数测试方法的制定。同时承担标准验证试验的总体方案设计和数据分析工作。

（2）中国印钞造币集团有限公司：作为全息防伪技术的重要应用单位，从用户需求角度提出全息高分子材料在防伪领域的性能要求和可靠性评价指标，重点参与环境可靠性试验方法的制定，包括气候环

境试验、光老化试验、力学环境试验和耐化学腐蚀试验的试验条件和评价标准，提供典型应用场景下的技术需求输入，并承担相关验证试验工作。

（3）中钞特种防伪科技有限公司：作为全息防伪材料专业生产企业，重点参与全息光栅记录工艺参数的标准化工作，包括激光束特征、物光与参考光夹角、曝光剂量等参数的规范，参与透射式和反射式全息光栅衍射效率测试方法的制定和验证，以及全息光栅间距理论值与实测值对比验证工作。

（4）武汉华工图像技术开发有限公司：作为全息图像技术开发和应用企业，重点参与全息高分子材料外观质量评价方法的制定，包括雾度、清晰度、黄色指数等参数的测试方法，参与光老化试验（紫外老化、日光老化）条件的确定和验证，提供工业化生产条件下全息光栅性能评价的实际经验数据。

（5）南昌虚拟现实研究院股份有限公司：作为增强现实及全息光学元件应用企业，重点参与角度选择性、波长选择性、光谱亮度等与图像再现质量相关的性能参数测试方法的制定和验证，提供全息光学元件在虚拟现实和增强现实领域的应用需求和使用环境条件输入。

二、标准编制原则、确定标准主要内容的依据

1、标准编制原则

（1）本标准依据 GB/T 1.1-2016 及 GB/T 20000 系列要求进行编制。

2、标准编制主要内容及其依据

本标准的主要技术内容包括以下方面：

（1）术语和定义

依据全息高分子材料领域的科学技术发展现状和产业应用实际需求，规定了全息光栅、全息高分子材料、曝光剂量、曝光特性曲线、感光灵敏度、入射光、衍射光、透射光、透射式全息光栅、反射式全息光栅、Q 值、体全息光栅、表面全息光栅、光栅间距、空间频率、衍射效率、折射率调制度、角度选择性、波长选择性、光谱亮度、环境可靠性、光学性能保持率等 22 个核心术语和定义。编制依据主要来自 ISO 17901 系列国际标准、Kogelnik 耦合波理论以及国内全息高分子材料行业多年形成的技术共识和工程实践经验。

（2）测量环境和测量装置

规定了全息高分子材料性能测试的标准大气条件（温度 23±2 ℃，相对湿度 50%±10%）、样品预处理和状态调节要求，以及测试用光源、样品夹、检测器、角度控制器、紫外可见光谱仪/反射率仪等装置的性能指标要求。编制依据参考了 GB/T 2918《塑料 试样状态调节和试验的标准环境》及相关光学测试设备通用技术规范，确保测试条件的一致性和测试结果的可靠性。

（3）衍射效率测试方法

分别规定了透射式全息光栅的搭建光路法，以及反射式全息光栅的搭建光路法、透光率法和反射率法三种衍射效率测试方法。搭建光路法直接测量衍射光和透射光强度，是基本方法；透光率法利用透射光谱中衍射峰的透光率变化计算衍射效率，适用于快速检测；反射率法利用反射率光谱计算衍射效率，适用于反射式全息光栅。编制依据主要来自 ISO 17901-1 标准中的衍射效率测量方法。

（4）角度选择性和波长选择性测试方法

规定了通过改变入射光角度或波长并测量对应衍射效率来获得角度选择性曲线和波长选择性曲线

的方法，以及布拉格角和半峰宽的确定方法。编制依据来自 ISO 17901-1 标准以及 Kogelnik 耦合波理论基础。

（5）光栅间距和空间频率测试方法

规定了透射式和反射式全息光栅的光栅间距理论值计算方法（基于布拉格-斯涅尔定律），以及采用原子力显微镜、扫描电子显微镜或透射电子显微镜测量实际光栅间距的方法。空间频率通过光栅间距的倒数计算。编制依据来自 ISO 17901-2 标准及布拉格-斯涅尔定律的理论推导（附录 B）。

（6）曝光特性曲线和感光灵敏度测试方法

规定了通过改变曝光光强或曝光时间来绘制曝光剂量-衍射效率曲线的方法，以及以衍射效率达到最大值时所需最小曝光剂量计算感光灵敏度的方法。编制依据来自 ISO 17901-2 标准中全息图记录特性的测量方法，并结合了国内全息高分子材料研发和生产实践的技术积累。

（7）折射率调制度测试方法

规定了基于 Kogelnik 耦合波理论，由衍射效率、入射光波长和角度、光栅厚度等参数计算透射式和反射式全息光栅折射率调制度的方法。编制依据来自 Kogelnik 耦合波理论（附录 C）以及相位调制与折射率调制度关系推导（附录 D）。

（8）光谱亮度、雾度与清晰度、黄色指数测试方法

规定了光谱亮度（衍射峰面积积分）、雾度与清晰度（按 GB/T 2410）、黄色指数（按 GB/T 39822）的测试方法。编制依据分别来自积分法测量原理、GB/T 2410 和 GB/T 39822 标准。

（9）厚度和折射率测试方法

规定了机械测量法（按 GB/T 33826）和扫描电子显微镜法（按 GB/T 38518）测量材料厚度的方法，以及阿贝折射仪法（按 GB/T 614）和棱镜耦合仪法（按 GB/T 7962.1）测量折射率的方法。编制依据来自上述引用标准。

（10）Q 值计算方法

规定了通过 Q 值计算公式区分体全息光栅和表面全息光栅的定量判断方法。编制依据来自全息光学领域公认的 Klein 参数判据。

（11）环境可靠性评价方法

这是本标准的重要创新内容之一。规定了气候环境试验（低温存储、高温存储、高低温循环、热冲击、高温高湿存储、湿热交变存储，引用 GB/T 2423 系列标准）、光老化试验（紫外老化、日光老化，引用 GB/T 16422 系列标准）、力学环境试验（振动、机械冲击、碰撞、跌落，引用 GB/T 2423 系列标准）和耐化学腐蚀试验（盐雾、耐酸性、耐碱性、耐溶剂，引用 GB/T 10125）等四大类共十六项可靠性试验方法，以及光学性能保持率（OR）计算公式和五个可靠性等级划分标准（表 5）。编制依据综合参考了电工电子产品环境试验方法（GB/T 2423 系列）、塑料光老化试验方法（GB/T 16422 系列）、盐雾试验方法（GB/T 10125）等现行标准，结合全息高分子材料自身特点和使用环境需求进行针对性补充和集成创新。

（12）试验报告要求

规定了全息高分子材料性能评价试验报告应包含的十五项内容，确保检测结果的完整性和可追溯

性。

（13）附录

附录 A（资料性附录）介绍了全息光栅的记录过程、光学系统组成和环境可靠性失效机制分析。附录 B、C、D（资料性附录）分别给出了布拉格-斯涅尔定律、体全息光栅耦合波理论方程、相位调制与折射率调制度关系的理论推导过程。附录 E（资料性附录）提供了试验报告模板。附录 F（资料性附录）列出了参考文献。

三、本标准与国内现行行业标准 XX/T XXXX-XXXX 比较主要技术内容变化如下：

经检索和调研，目前国内尚无已发布的专门针对全息高分子材料性能评价方法的行业标准。与本标准相关的现行国家标准和行业标准主要包括：

——GB/T 2410《透明塑料透光率和雾度的测定》

——GB/T 39822《塑料黄色指数及其变化值测定》

——GB/T 33826《玻璃衬底上纳米薄膜厚度测量 触针式轮廓仪法》

——GB/T 38518《柔性薄膜基体上涂层厚度的测量方法》

——GB/T 614《化学试剂 折光率测定通用方法》

——GB/T 7962.1《无色光学玻璃测试方法 第 1 部分 折射率和色散系数》

——GB/T 10125《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》

——GB/T 16422 系列《塑料 实验室光源暴露试验方法》

——GB/T 2423 系列《环境试验》

上述标准仅涉及本标准中的部分通用性能测试方法或可靠性试验方法的引用，均非专门针对全息高分子材料及全息光栅的评价方法标准。

本标准首次系统性地建立了全息高分子材料及全息光栅的专用性能评价方法体系，与上述现行标准相比，主要技术创新和内容变化如下：

（1）首次规定了全息光栅、全息高分子材料、曝光特性曲线、感光灵敏度、Q 值、体全息光栅、表面全息光栅、衍射效率、折射率调制度、角度选择性、波长选择性、光谱亮度、光学性能保持率等 22 个专业术语的标准化定义；

（2）首次建立了衍射效率（搭建光路法、透光率法、反射率法）、折射率调制度、角度选择性、波长选择性、光栅间距与空间频率、曝光特性曲线、感光灵敏度、光谱亮度、Q 值等全息光栅核心光学性能参数的专用测试方法；

（3）首次建立了涵盖气候环境试验、光老化试验、力学环境试验和耐化学腐蚀试验四大类共十六项可靠性试验方法的全息高分子材料环境可靠性综合评价体系；

（4）首次提出了光学性能保持率（OR）计算公式和五个可靠性等级划分标准，实现了全息高分子材料环境可靠性的量化评价。

本标准在通用性能测试方法（如雾度、黄色指数、厚度、折射率等）方面与现行标准保持一致，通过规范性引用的方式确保与本标准体系的协调统一。

四、主要试验（或验证）情况分析

项目编号：　　所属技术委员会：

1、**目的**

本标准规定的试验方法旨在为全息高分子材料及全息光栅的性能评价提供统一、规范的测试手段。验证试验的主要目的包括：

（1）验证本标准所规定的衍射效率、折射率调制度、角度选择性、波长选择性、光栅间距、空间频率、曝光特性曲线、感光灵敏度、光谱亮度、雾度、黄色指数、厚度、折射率、Q 值等性能参数测试方法的可行性、准确性和可重复性；

（2）验证本标准所规定的气候环境试验（低温存储、高温存储、高低温循环、热冲击、高温高湿存储、湿热交变存储）、光老化试验（紫外老化、日光老化）、力学环境试验（振动、机械冲击、碰撞、跌落）及耐化学腐蚀试验（盐雾、耐酸性、耐碱性、耐溶剂）等可靠性评价方法的适用性和科学性；

（3）验证光学性能保持率（OR）计算公式及可靠性等级划分标准的合理性，为全息高分子材料在防伪标签、增强现实、全息光学元件及装饰等领域的应用提供可靠的质量评价依据。

2、验证试验情况

本标准由华中科技大学牵头，联合中国印钞造币集团有限公司、中钞特种防伪科技有限公司、武汉华工图像技术开发有限公司、南昌虚拟现实研究院股份有限公司共同开展验证试验工作。

各参与单位依据本标准规定的测试方法，分别对不同类型的全息高分子材料样品（包括透射式全息光栅和反射式全息光栅）进行了系统的性能测试和可靠性试验。验证试验覆盖了标准第 4 章规定的全部技术要求和试验方法，包括：

（1）基本光学性能测试：对不同空间频率和不同厚度的全息光栅样品，分别采用搭建光路法、透光率法和反射率法测量衍射效率，采用 Kogelnik 耦合波理论计算折射率调制度，测定角度选择性和波长选择性曲线，测量光栅间距和空间频率，绘制曝光特性曲线，计算感光灵敏度、光谱亮度、雾度、黄色指数及 Q 值等参数。

（2）环境可靠性试验：选取典型样品，按照标准规定的试验条件，分别开展低温存储（-40±3 ℃）、高温存储（85±2 ℃）、高低温循环（-40 至+85 ℃）、热冲击（-55 至+125 ℃）、高温高湿存储（60 ℃/90% RH、85 ℃/85% RH，持续 1000 小时）、湿热交变存储、紫外老化（UVA 波段 315-400 nm，辐照强度 0.5~1.0 W/m²）、日光老化（氙灯模拟全太阳光谱，黑板温度 60±3 ℃）、振动（1-2000 Hz 正弦振动和随机振动）、机械冲击（半正弦波，峰值加速度 3~1000 m/s²）、碰撞、跌落、盐雾（中性盐雾、乙酸盐雾，持续 24~96 小时）、耐酸性（5% w/w 硫酸或盐酸溶液）、耐碱性（5% w/w 氢氧化钠溶液）、耐溶剂（乙醇、异丙醇、丙酮等有机溶剂）等可靠性试验，并在试验前后分别测量关键光学性能参数，计算光学性能保持率（OR），评定可靠性等级。

3、**试验数据、分析**

各参与单位对标准规定的各项试验方法均进行了充分的试验验证，主要试验结果和分析如下：

（1）衍射效率：采用搭建光路法、透光率法和反射率法三种方法对同一样品进行测量，结果一致性良好，相对偏差在±3%以内。透光率法和反射率法操作简便，适合工业现场快速检测；搭建光路法精度较高，适合实验室精确测量。

（2）折射率调制度：基于 Kogelnik 耦合波理论，利用测得的衍射效率、入射光波长和角度、光栅

厚度等参数计算折射率调制度，结果与材料配方设计值吻合较好，证明该方法科学可靠。

（3）角度选择性和波长选择性：通过小幅度改变入射光角度或波长并测量对应的衍射效率，可准确获得布拉格角和半峰宽参数，方法具有良好的可重复性。

（4）光栅间距与空间频率：采用原子力显微镜、扫描电子显微镜或透射电子显微镜测量的光栅间距实际值与理论计算值（基于布拉格-斯涅尔定律）偏差在±5%以内，验证了理论公式的正确性。

（5）曝光特性曲线与感光灵敏度：通过逐渐改变曝光光强或曝光时间，绘制曝光剂量-衍射效率曲线，可准确判断峰值型或渐进饱和值型特征，感光灵敏度测试结果对指导全息加工工艺参数优化具有重要参考价值。

（6）可靠性试验：经过各类环境试验后，不同配方和工艺的全息高分子材料表现出差异化的光学性能保持率。以衍射效率为例，部分高性能样品在高温高湿（85 ℃/85% RH、1000 小时）试验后，光学性能保持率可达98%以上，达到Ⅴ级（最高等级）；部分普通样品在同等条件下光学性能保持率为92%~96%，达到Ⅱ~Ⅳ级。紫外老化试验中，部分材料因紫外辐照导致化学键变化，出现透光率降低、黄色指数升高现象。盐雾试验和耐化学腐蚀试验中，不同材料对盐雾、酸、碱及有机溶剂的耐受性存在显著差异，验证了标准规定的多维度可靠性评价体系的必要性和实用性。

（7）Q 值计算：通过 Q 值计算公式，可明确区分体全息光栅（Q 值>>1）和表面全息光栅（Q 值<1），为全息光栅类型判定提供了定量依据。

4、**结论**

经各参与单位系统的试验验证，结论如下：

（1）本标准规定的全息高分子材料性能评价方法科学合理、操作可行，各项测试方法具有良好的准确性、可重复性和可比性；

（2）本标准规定的可靠性试验项目覆盖了全息高分子材料在运输、储存和服役期间预期遭遇的主要环境应力类型，试验条件和评价指标设置合理，能够有效评估材料的性能稳定性和耐久性；

（3）本标准规定的光学性能保持率（OR）计算公式和五级可靠性等级划分标准，可量化评价材料在不同环境条件下的性能衰减程度，为产品质量分级和应用选型提供客观依据；

（4）本标准适用于各类全息高分子材料及全息光栅的性能评价，具有较强的通用性和可操作性，可作为相关行业产品质量控制和评价的技术依据。

五、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

六、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

本标准的制定和实施预期将产生以下社会效益和产业推动作用：

（1）规范行业质量评价体系：本标准建立了全息高分子材料统一的术语定义、性能参数、测试方法和可靠性评价体系，填补了国内在相关领域团体标准的空白，有助于规范产品质量评价标准，提升行业整体质量水平。

（2）促进技术创新和产品升级：标准中规定的衍射效率、折射率调制度、感光灵敏度、曝光特性曲线、角度选择性和波长选择性等核心性能参数的测试方法，为材料配方设计、工艺优化和产品研发提供了科学的评价工具，有助于推动全息高分子材料的技术创新和产品升级迭代。

（3）提升产品市场竞争力和国际竞争力：通过建立与国际标准 ISO 17901 相衔接的产品性能评价体系，有助于国内企业生产的产品质量获得国内外市场认可，增强产品的国际竞争力，促进国际贸易和技术交流。

（4）保障产业链供应链安全：全息高分子材料在防伪标签（如钞票、证件、名优产品防伪）、增强现实、全息光学元件等涉及公共安全和国家安全的重要领域具有广泛应用。本标准的制定有助于保障相关产品的质量可靠性和安全性，维护产业链供应链安全。

（5）推动绿色可持续发展：标准规定的环境可靠性试验方法和评价体系，可引导企业优化材料配方和工艺，提高产品的耐久性和使用寿命，减少资源浪费和废弃物排放，契合绿色可持续发展理念。

（6）支撑标准体系建设：本标准作为全息高分子材料领域的基础评价方法标准，可为后续相关产品标准、应用标准的制定提供技术支撑和方法论参考，完善塑料加工行业标准化体系。

七、与国际、国外对比情况

目前，国际上与全息高分子材料性能评价直接相关的标准主要包括：

（1）ISO 17901-1《Optics and photonics — Holography — Part 1: Methods of measuring diffraction efficiency and associated optical characteristics of holograms》：规定了全息图的衍射效率及相关光学特性的测量方法。

（2）ISO 17901-2《Optics and photonics — Holography — Part 2: Methods for measurement of hologram recording characteristics》：规定了全息图记录特性的测量方法。

本标准在编制过程中充分参考了上述国际标准的核心技术内容。在衍射效率测试方法（搭建光路法、透光率法、反射率法）、角度选择性测试方法、波长选择性测试方法、曝光特性曲线测定方法、折射率调制度计算方法（Kogelnik 耦合波理论）、光栅间距理论值计算方法（布拉格-斯涅尔定律）等方面与 ISO 17901 系列标准保持一致，确保了与国际标准的衔接和互认。

同时，本标准结合国内产业实际需求，在以下方面进行了补充和完善：

（1）术语和定义：增加了全息高分子材料、曝光剂量、感光灵敏度、Q 值、体全息光栅、表面全息光栅、光谱亮度、环境可靠性、光学性能保持率等术语，扩展了标准的技术覆盖面。

（2）性能参数：增加了雾度、黄色指数、厚度、折射率、Q 值、光谱亮度等参数的测试方法，满足了更全面的性能评价需求。

（3）环境可靠性评价：创新性地建立了系统的环境可靠性评价体系，包括气候环境试验（低温存储、高温存储、高低温循环、热冲击、高温高湿存储、湿热交变存储）、光老化试验（紫外老化、日光老化）、力学环境试验（振动、机械冲击、碰撞、跌落）和耐化学腐蚀试验（盐雾、耐酸性、耐碱性、耐溶剂），并提出了光学性能保持率（OR）计算公式和五级可靠性等级划分标准，填补了国际标准在全息高分子材料环境可靠性评价方面的空白。

（4）试验报告模板：提供了标准化的试验报告格式，便于检测结果的规范化记录和比对。

综上，本标准在充分采纳国际先进标准的基础上，结合国内全息高分子材料产业发展和技术特点，形成了具有中国特色、满足行业需求的团体标准，整体技术水平达到国际先进水平，在环境可靠性评价方面具有国际领先性。

八、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准， 特别是强制性标准的协调性

（1）在标准体系中的位置：本标准属于塑料加工行业标准体系中塑料制品质量评价方法标准系列，定位于全息高分子材料领域的基础通用评价方法标准。本标准的制定填补了国内在全息高分子材料性能评价方法方面的标准空白，为后续制定相关产品标准、应用标准和管理标准提供了技术依据和方法论基础。

（2）与现行法律法规的关系：本标准的内容符合《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国产品质量法》等法律法规的规定，未与现行法律、法规和规章相抵触。

（3）与相关推荐性标准的协调性：本标准引用了多项现行的推荐性国家标准，具体包括：

——环境试验方法方面：引用了 GB/T 2423 系列标准（低温试验、高温试验、恒定湿热试验、交变湿热试验、温度变化试验、振动试验、冲击试验），与本标准规定的可靠性试验方法协调一致；

——塑料光学性能测试方面：引用了 GB/T 2410《透明塑料透光率和雾度的测定》、GB/T 39822《塑料黄色指数及其变化值测定》，与本标准规定的雾度、黄色指数测试方法协调一致；

——塑料光老化试验方面：引用了 GB/T 16422.2 和 GB/T 16422.3，与本标准规定的紫外老化和日光老化试验方法协调一致；

——腐蚀试验方面：引用了 GB/T 10125《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》，与本标准规定的盐雾试验和耐酸碱性试验方法协调一致；

——厚度测量方面：引用了 GB/T 33826 和 GB/T 38518，与本标准规定的机械测量法和扫描电子显微镜测量法协调一致；

——折射率测试方面：引用了 GB/T 614 和 GB/T 7962.1，与本标准规定的折射率测试方法协调一致。

（4）与强制性标准的协调性：经全面梳理，本标准内容未与现行强制性国家标准和强制性行业标准产生冲突或矛盾，所有技术要求均不低于相关强制性标准的规定。本标准涉及的领域目前无强制性国家标准，不会对本标准的实施产生阻碍。本标准的实施可为未来可能制定的相关技术法规提供技术支撑和参考。

九、 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

十、标准性质的建议说明

建议本标准的性质为团体标准。

十一、贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准批准发布 X 个月后实施。

建议本标准由标委会或协会组织宣贯实施，企业可按照团体标准的规定和要求对企业内部标准进行修订，或根据团体标准实施时间要求拟订企标整改过渡措施。

十二、废止现行相关标准的建议

本标准为团体标准，不影响现有行业标准实施。

十三、其他应予说明的事项