

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—XXXX

人形机器人仿真皮肤用热塑性弹性体(TPE) 材料

Thermoplastic elastomer (TPE) materials for humanoid robot simulation skin

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

目次

前言 III

1 范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 产品分类 5

 4.1 按硬度等级分类 5

 4.2 按功能特性分类 6

5 技术要求 6

 5.1 外观质量 6

 5.2 物理力学性能 6

 5.3 耐化学介质性能 7

 5.4 耐脏污性能 7

 5.5 表面性能 7

 5.6 环境适应性 7

 5.7 生物相容性——对应到试验方法也要描述 8

 5.8 环保要求——补充试验方法 8

6 试验方法 8

 6.1 试样制备 8

 6.2 力学性能试验 8

 6.3 耐化学介质性能试验 9

 6.4 耐脏污性能 10

 6.5 表面性能测试 11

 6.6 环境适应性试验 11

 6.7 表面电阻率测定 13

 6.8 生物相容性试验 13

 6.9 环保要求试验 13

7 检验规则 14

 7.1 检验分类 14

7.2	出厂检验	14
7.3	型式检验	14
7.4	判定规则	14
8	标志、包装、运输与贮存	14
8.1	标志	14
8.2	包装	14
8.3	运输	15
8.4	贮存	15

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国西部开发促进会标准与认证工作委员会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

人形机器人仿真皮肤用热塑性弹性体（TPE）材料

1 范围

本文件规定了人形机器人仿真皮肤用热塑性弹性体（TPE）材料的产品分类、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输及贮存。

本文件适用于以苯乙烯类热塑性弹性体（SEBS、SBS）为基础，通过共混改性制备的、用于人形机器人仿真皮肤的热塑性弹性体材料的生产、检验和验收。其他类型TPE材料（如TPU、PEBA等）可参照执行。本文件不适用于医疗植入用、军用防护用及其他特殊用途的机器人皮肤材料。

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 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定
- GB/T 529 硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定（裤形、直角形和新月形试样）
- GB/T 531.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分：邵氏硬度计法（邵尔硬度）
- GB/T 1040.1 塑料 拉伸性能的测定 第1部分：总则
- GB/T 1040.2 塑料 拉伸性能的测定 第2部分：模塑和挤塑塑料的试验条件
- GB/T 1681 硫化橡胶回弹性的测定
- GB/T 1682 硫化橡胶 低温脆性的测定 单试样法
- GB/T 1690 硫化橡胶或热塑性橡胶耐液体试验方法
- GB/T 2408 塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法
- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 2918 塑料 试样状态调节和试验的标准环境
- GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验
- GB/T 3923.1 纺织品织物拉伸性能 第1部分：断裂强力和断裂伸长率的测定条样法
- GB 4806.1 食品安全国家标准 食品接触材料及制品通用安全要求
- GB/T 7141 塑料热老化试验方法
- GB/T 7759.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定 第1部分：在常温及高温条件下
- GB/T 7762 硫化橡胶或热塑性橡胶耐臭氧龟裂静态拉伸试验
- GB/T 8807 塑料镜面光泽试验方法
- GB/T 11547 塑料 耐液体化学试剂性能的测定
- GB/T 16422.2 塑料 实验室光源暴露试验方法 第2部分：氙弧灯
- ASTM-D2240 橡胶性能的标准试验方法 硬度计硬度（Standard test method for rubber property—Durometer hardness）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热塑性弹性体 thermoplastic elastomer；TPE

指在常温下具有橡胶弹性，在高温下可塑化成型的一类高分子材料。本文件特指苯乙烯类热塑性弹性体（TPS，含SEBS、SBS）为基础制备的仿真皮肤用材料。

3.2

仿真皮肤材料 artificial skin material for humanoid robot

指用于覆盖人形机器人表面，模拟人类皮肤触感、外观和部分功能特性的柔性高分子材料。

3.3

邵氏硬度 shore hardness

指采用邵氏硬度计（邵尔硬度计）测定的材料抵抗压针压入的能力，单位为度（°）。本文件中，A型适用于软质材料，00型适用于超软材料。

注：邵氏硬度A0是热塑性弹性体可达到的超低硬度等级，触感接近人体皮肤。

3.4

拉伸强度 tensile strength

σ_m

在拉伸试验过程中，观测到的最大初始应力。

注1：以兆帕（MPa）为单位。

注2：该值也可能是试样在屈服或断裂时的应力。

[来源：GB/T 1040.1，定义3.6.2]

3.5

断裂伸长率 elongation at maximum force

在最大力的作用下产生的试样伸长率。

[来源：GB/T 3923.1，定义3.8]

3.6

压缩永久变形 compression set

指材料在规定的压缩条件下，经一定时间后去除压缩载荷，其残余变形量与原始高度的百分比，单位为百分数（%）。

3.7

表面电阻率 surface resistivity

指材料表面单位长度上的电阻值，单位为欧姆（ Ω ）或欧姆·米（ $\Omega \cdot m$ ）。用于评价材料的抗静电或导电性能。

3.8

肤感手感 skin-like tactile sensation

指材料表面触感接近人类皮肤的程度，包括柔软度、滑腻感、温润感等主观感知特性。

4 产品分类

4.1 按硬度等级分类

根据仿真皮肤用TPE材料的邵氏硬度，分为以下三个等级：

表 1 仿真皮肤硬度分类

类别	硬度范围	对应硬度计类型	典型应用部位	触感特征
超软型 I 级	0E~5E	邵氏 00 型/ASTM Type E	面部表情区域、手指尖端	极柔软、细腻，模拟婴幼儿肌肤
超软型 II 级	5E~15E	邵氏 00 型/ASTM Type E	手掌、脸颊	柔软有弹性，模拟成人面部肌肤
超软型 III 级	15E~25E	邵氏 00 型/ASTM Type E	手臂、躯干、关节护套	适中柔软，兼顾回弹性
软质型 I 级	25E~10A	邵氏 A 型	灵巧手、手指关节	偏软弹，兼顾耐磨性
软质型 II 级	10A~30A	邵氏 A 型	足底、关节护套	偏硬弹，兼顾耐磨性

4.2 按功能特性分类

根据仿真皮肤用TPE材料的功能特性，分为以下类型：

表 2 仿真皮肤硬度分类

类型	特性	典型应用
基础触感型	柔软、弹性好、肤感佳	通用型仿真皮肤
导电传感型	电阻率低，可集成触觉传感	智能交互皮肤、压力传感区域
温感变色型	温度响应变色，模拟面部表情	表情模拟、情感交互
抗菌型	添加抗菌剂 ^a ，抑制细菌滋生	高频接触部位
耐候型	抗紫外线、耐老化，适应户外环境	户外应用机器人

注：抗菌剂应为GB/T 3140中允许使用的抗菌成分，用于人体接触部位的抗菌型材料，其抗菌剂应通过GB/T 16886.10的皮肤刺激与致敏性评价，抗菌剂溶出率应≤0.5 mg/kg，确保长期使用安全性。

5 技术要求

5.1 外观质量

- 5.1.1 材料颗粒应色泽均匀，无杂质、无结块、无焦烧颗粒。
- 5.1.2 模塑成型后的仿真皮肤制品表面应光滑平整，无明显气泡、裂纹、流痕、银纹、麻点等缺陷。
- 5.1.3 制品应无刺激性异味，表面干爽无滑腻感。

5.2 物理力学性能

仿真皮肤用TPE材料的物理力学性能应符合表3的规定。

表 3 物理力学性能要求

序号	项目	超软型 I 级	超软型 II 级	超软型 III 级	软质型 I 级	软质型 II 级	试验方法
1	邵氏硬度，°	0E~5E	5E~15E	15E~25E	25E~10A	10A~30A	本文件6.2
2	拉伸强度，MPa≥	—	—	—	—	4.0	本文件6.2
3	断裂伸长率，%≥	≥800	≥800	≥800	≥800	350	本文件6.2
4	100%定伸应力，MPa	0.04~0.08	0.05~0.12	0.08~0.20	0.15~0.35	0.25~0.70	本文件6.2
5	撕裂强度，kN/m ≥	8	10	15	20	25	本文件6.2
6	压缩永久变形 (23℃, 72 h)，% ≤	25	25	30	30	35	本文件6.2
7	密度，g/cm³	0.82~0.92	0.82~0.92	0.82~0.92	0.89~1.02		本文件6.2

注：对于硬度低于5E的超软材料，拉伸强度指标可由供需双方协商确定。

5.3 耐化学介质性能

仿真皮肤用TPE材料的耐化学介质性能应符合表4的规定。

表 4 耐化学介质性能要求

序号	介质	试验条件	拉伸强度保持率,% ≥	断裂伸长率保持率,% ≥	试验方法
1	人工汗液	40℃×168h	80	75	本文件 6.3
2	护肤油（植物油类）	23℃×168 h（浸泡）	75	70	本文件 6.3
3	中性洗涤剂（1%）	23℃×168h（浸泡）	85	80	本文件 6.3
4	75%乙醇	23℃×72h（浸泡）	80	75	本文件 6.3
5	酸溶液（pH=3，盐酸）	23℃×72h（浸泡）	80	75	本文件 6.3
6	碱溶液（pH=11，NaOH）	23℃×72h（浸泡）	80	75	本文件 6.3

5.4 耐脏污性能

仿真皮肤用TPE材料应具备耐常见生活污渍能力。按GB/T 11547及GB 4806系列食品接触材料安全标准中相关原则，对以下污染物进行抗污性测试后，应符合表5的要求。

表 5 耐脏污性能要求

序号	污染物类别	污染物示例	试验方法	判定标准
1	化妆品类	口红、粉底液	本文件 6.4	清洁后无肉眼可见残留痕迹，色差 $\Delta E \leq 3.0$
2	食品类	咖啡、酱油、果酱、番茄酱	本文件 6.4	清洁后无肉眼可见残留痕迹，色差 $\Delta E \leq 3.0$
3	办公类	圆珠笔墨水、记号笔墨水	本文件 6.4	清洁后无肉眼可见残留痕迹，色差 $\Delta E \leq 3.0$

注：色差 ΔE 按GB/T 8807或色差仪法测定，计算试验前后试样表面的颜色变化。

5.5 表面性能

仿真皮肤用TPE材料的表面性能应符合表5的规定。

表 6 表面性能要求

序号	项目	指标	试验方法
1	表面光泽度（60°），GU	10~30（亚光）/ 30~60（半光）	GB/T 8807
2	水接触角，°	70~110	GB/T 30693
3	动摩擦系数	0.3~0.6	GB/T 10006
4	表面电阻率（非导电型）， $\Omega \geq$	1.0×10^{12}	GB/T 1410
5	表面电阻率（导电型）， $\Omega \cdot m \leq$	$10^2 \sim 10^5$ （根据需求）	GB/T 1410

5.6 环境适应性

仿真皮肤用TPE材料的环境适应性应符合表6的规定。

表 7 环境适应性要求

序号	项目	要求	试验方法
1	耐臭氧老化（50 pphm×40℃×72 h）	无龟裂	GB/T 7762
2	耐候性（氙灯老化500 h）	色差 $\Delta E \leq 3$ ，拉伸强度保持率 $\geq$	GB/T 16422.2

		80%	
3	耐水解性 (70℃×96 h)	拉伸强度保持率≥80%	GB/T 1690
4	耐霉菌性	0级或1级	GB/T 24128
5	耐高温 (80℃×168 h)	拉伸强度保持率≥85%	GB/T 3512
6	耐低温 (-20℃×24 h)	无龟裂, 拉伸强度保持率≥80%	GB/T 1682

5.7 生物相容性

仿真皮肤用TPE材料应满足以下生物相容性要求:

- a) 细胞毒性: MTT 法细胞存活率≥70%, 细胞毒性≤1 级;
- b) 皮肤刺激: 原发性刺激指数≤1.0;
- c) 致敏性: 无致敏反应;
- d) 皮肤接触安全性: 符合 GB/T 16886.10 的相关规定。

注: 生物相容性指标参考了软体机器人皮肤检测要求, 以及医用级TPE材料的应用需求。

5.8 环保要求

仿真皮肤用TPE材料应符合以下环保要求:

- a) 有害物质限量: 符合 RoHS 指令要求 (铅≤1000 mg/kg, 汞≤1000 mg/kg, 镉≤100 mg/kg, 六价铬≤1000 mg/kg);
- b) 多环芳烃 (PAHs): 苯并[α]芘≤1mg/kg, 18 项 PAHs 总量≤10 mg/kg;
- c) 邻苯二甲酸酯: DBP、BBP、DEHP、DIBP 等总含量≤0.1%;
- d) 挥发性有机物 (VOC): 总挥发性有机物含量 (TVOC) ≤0.5%;
- e) 可回收性: 材料应可回收再利用, 符合环保要求。

6 试验方法

6.1 试样制备

试样应按GB/T 2918规定在标准环境 (23℃±2℃, 相对湿度50%±10%) 中进行状态调节, 调节时间不少于16 h。试样应采用注塑成型或模压成型制备, 成型条件应符合材料供应商推荐的工艺参数。试验前应检查试样外观, 确保无明显缺陷。

6.2 力学性能试验

6.2.1 硬度测定

按GB/T 531.1或ASTM D2240的规定执行。对于邵氏A硬度低于10° 的超软材料, 应采用邵氏00型硬度计或ASTM Type E硬度计进行测定。邵氏00型硬度计的量程为0~100, 压头为半球形端面 (半径约3 mm), 适用于极软材料的硬度测定。当压足与试样完全接触后, 压针的初始行程停止时, 应立即记录硬度计的最大指示读数。读数时间应为压针初始行程停止后1 s的标准时间间隔。在压足与试样接触后1 s内读取硬度值。对于超软型材料, 由于材料蠕变特性明显, 读数时间可适当延长至3 s~5 s, 并在报告中注明读数时间。每组试样不少于5个测点, 取中位值作为测定结果。测试点距试样边缘应不小于12 mm, 相邻两测试点间距不小于6 mm。

注: 仿真皮肤用TPE材料的硬度一般不超过邵氏10A, 超软型材料推荐使用邵氏00型硬度计或ASTM Type E硬度计进行测试。

6.2.2 拉伸性能测定

按GB/T 528的规定执行, 采用哑铃I型或II型试样, 拉伸速度应根据材料硬度选择:

- a) 超软型材料: 100 mm/min±20 mm/min;
- b) 软质型材料: 500 mm/min±50 mm/min。

每组试样不少于5个, 取算术平均值作为测定结果。

6.2.3 撕裂强度测定

按GB/T 529的规定执行，采用直角形或裤形试样，拉伸速度为500 mm/min±50 mm/min。每组试样不少于5个，取中位值作为测定结果。

6.2.4 压缩永久变形测定

按GB/T 7759.1的规定执行，压缩率为25%，试验温度23℃±2℃，试验时间72 h±2 h。每组试样不少于3个，取算术平均值作为测定结果。

6.2.5 密度测定

按GB/T 1033.1的规定执行，采用浸渍法或几何法测定。每组试样不少于3个，取算术平均值作为测定结果。

6.3 耐化学介质性能试验

6.3.1 总则

耐化学介质性能试验按GB/T 1690的规定执行。

6.3.2 试验试剂

6.3.2.1 人工汗液：按GB/T 1690中相关规定配制，或按以下配方配制（每升）：氯化钠（NaCl）5 g、乳酸（C₃H₆O₃）1 g、尿素（CH₄N₂O）1 g、乙酸（CH₃COOH）0.5 g，用蒸馏水定容至1 L，pH值调至4.7±0.2。

6.3.2.2 护肤油：选用市售常见植物油类（如橄榄油、霍霍巴油）或供需双方商定的标准油。

6.3.2.3 中性洗涤剂（1%）：将10 g中性洗涤剂（不含荧光增白剂）溶于990 mL蒸馏水，搅拌均匀。

6.3.2.4 75%乙醇：将750 mL无水乙醇（纯度≥99.7%）与250 mL蒸馏水混合均匀。

6.3.2.5 酸溶液（pH=3）：用盐酸（HCl）和蒸馏水配制，pH值3.0±0.2。

6.3.2.6 碱溶液（pH=11）：用氢氧化钠（NaOH）和蒸馏水配制，pH值11.0±0.2。

6.3.3 试验设备

6.3.3.1 恒温浸泡装置：可采用恒温水浴槽或恒温油浴槽（控温精度±0.5℃）、密封浸泡容器（耐腐蚀材质）。

6.3.3.2 温度控制要求：温度偏差为±1.0℃，温度均匀度不大于1.0℃，温度波动度不大于±0.5℃。

6.3.3.3 试样容器：开口的玻璃或金属容器，对于挥发性液体宜使用带冷凝回流装置或密封的容器。

6.3.4 试样制备

6.3.4.1 试样尺寸：按GB/T 528规定制备哑铃型试样（用于拉伸性能测试）和按GB/T 531.1规定制备硬度测试试样。

6.3.4.2 试样数量：每组试验至少3个平行试样。

6.3.4.3 预处理：将试样在标准实验室环境（23℃±2℃，相对湿度50%±10%）中放置至少24 h，使试样状态稳定。

6.3.4.4 初始测量：浸泡前，测量并记录每个试样的初始质量、尺寸、拉伸强度、断裂伸长率、硬度等性能参数。

6.3.5 试验步骤

6.3.5.1 浸泡前准备：将试验液体装入清洁、干燥的容器中，容量应足够完全浸没试样。试样应距离容器内壁不少于5 mm，距容器底部和液体表面不少于10 mm。

6.3.5.2 全浸试验：将试样完全浸没在试验液体中。如果材料密度小于液体密度，应加坠子将试样完全浸没。试样间应互不接触，也不接触容器壁。

6.3.5.3 避光与防挥发：对于光敏感或挥发性液体，容器需加盖或采取遮光措施。同时应避免空气进入。

6.3.5.4 升温与保温：将装有试样和试验液体的容器放入已恒温至规定温度的恒温箱或液体加热恒温装置中，开始计时。

6.3.5.5 中间检查：对于长时间试验（如168 h），可适当检查，但应注意避免影响试验条件。

6.3.5.6 时间管理与恢复：

- a) 试验结束后，从装置中取出试验容器；
- b) 将试样从液体中取出，立即用滤纸或不掉绒的织物吸去表面残留液体；
- c) 将试样在标准实验室温度（23℃±2℃）下放置恢复 30min±2min 后进行性能测试；
- d) 对于挥发性试验液体，取出后的操作应尽快完成，从取出到性能测试完毕应在规定时间内完成。

6.3.6 性能测试

6.3.6.1 拉伸性能测试：按 6.3 的规定进行，分别测定浸泡前后试样的拉伸强度和断裂伸长率。

6.3.6.2 硬度测试：按 6.2 的规定进行，测定浸泡前后试样的硬度变化。

6.3.6.3 外观检查：检查试样表面是否有变色、起泡、开裂、软化、发黏等变化。

6.3.7 结果计算与评价

6.3.7.1 拉伸强度保持率按式（1）计算：

$$R_T = \frac{T_2}{T_1} \times 100\% \cdots \cdots \cdots (1)$$

式中：
 R_T ——拉伸强度保持率，%；
 T_1 ——浸泡前拉伸强度，MPa；
 T_2 ——浸泡后拉伸强度，MPa。

6.3.7.2 断裂伸长率保持率按式（2）计算：

$$R_E = \frac{E_2}{E_1} \times 100\% \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：
 R_E ——断裂伸长率保持率，%；
 E_1 ——浸泡前断裂伸长率，%；
 E_2 ——浸泡后断裂伸长率，%。

6.3.7.3 硬度变化按式（3）计算：

$$\Delta H = H_1 - H_2 \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中：
 ΔH ——硬度变化；
 H_1 ——浸泡前硬度，°；
 H_2 ——浸泡后硬度，°。

6.3.8 判定规则

- 各项性能指标应符合表4的规定：
- a) 拉伸强度保持率不低于规定值；
 - b) 断裂伸长率保持率不低于规定值；
 - c) 外观无明显变色、起泡、开裂、软化等异常变化。

6.4 耐脏污性能

6.4.1 原理

将标准污染物涂覆在试样表面，在规定条件下放置一定时间后，使用指定的清洁剂进行清洁，评价试样的抗污和耐清洁能力。

6.4.2 污染物与清洁剂

污染物与清洁剂应符合表8的规定。

表 8 污染物与清洁剂

污染物类型	具体污染物	推荐清洁剂
化妆品类	口红、粉底液	75%乙醇或中性洗涤剂

食品类	咖啡、酱油、果酱、番茄酱	中性洗涤剂（1%）或清水
办公类	圆珠笔墨水、记号笔墨水	75%乙醇或专用清洁剂

6.4.3 试验步骤

- 应按照：
- a) 试样准备：将 TPE 材料裁切成 10 cm×10 cm 的试样，在标准环境下状态调节 24 h；
 - b) 污染物涂覆：用滴管在试样上方约 2 cm 处将污染物分别涂抹于试样两个不同位置，两个污染点之间的距离至少为 65 mm。使用抹刀将污染物均匀涂抹在表面，形成约 20 mm×20 mm 的污染区域；
 - c) 放置与检查：在环境温度下放置 24h 后，检查被污染样品。用白色擦拭布尝试清除其中一个污染点；
 - d) 清洁试验：根据污染物类型选择相应的清洁剂，用浸润清洁剂的白布擦拭污染区域，擦拭次数为 10 次，施加压力约 5 N，直至白布上不显色；
 - e) 干燥与评估：清洁完成后，将试样在标准环境下干燥 24 h。目视检查污染点是否有残留痕迹，并测量清洁区域与未污染区域的色差 ΔE ；
 - f) 重复：若仍有可见污染，重复步骤 d) 和 e)，最多重复 3 次。

6.4.4 结果判定

- 应符合：
- a) 干燥后污染点无肉眼可见残留痕迹，判定为合格；
 - b) 色差 $\Delta E \leq 3.0$ ，判定为合格；
 - c) 两项均满足方为合格。

6.4.5 色差测定

色差 ΔE 按 GB/T 8807 或色差仪法测定。在清洁区域和未污染的原始表面区域各取不少于 3 个测点，读取颜色参数 L^* 、 a^* 、 b^* ，按式（4）计算色差：

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} H_2 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- ΔE ——总色差；
- ΔL^* ——亮度差；
- Δa^* ——红绿色品差；
- Δb^* ——黄蓝色品差。

6.5 表面性能测试

表面性能指标的试验方法应按照表9进行。

表 9 表面性能测试

序号	项目	试验方法	主要仪器	试样数量
1	表面光泽度	GB/T 8807	光泽度计（60° 角）	≥3
2	水接触角	GB/T 30693	光学接触角测量仪	≥5
3	动摩擦系数	GB/T 10006	摩擦系数测定仪	≥5 对
4	表面电阻率（非导电型）	GB/T 1410	高阻计+三电极系统	≥5
5	表面电阻率（导电型）	GB/T 1410	高阻计或四探针测试仪	≥5

6.6 环境适应性试验

6.6.1 耐臭氧老化试验

按GB/T 7762的规定执行，具体要求如下：

- a) 臭氧浓度：50 pphm $\pm$ 5 pphm；
- b) 试验温度：40℃ $\pm$ 2℃；
- c) 相对湿度： $\leq$ 65%；
- d) 拉伸应变：20%；
- e) 试验时间：72h；
- f) 试样数量：每组不少于3个；
- g) 判定：试验后试样表面无肉眼可见裂纹。

6.6.2 耐候性试验（氙灯老化）

按GB/T 16422.2的规定执行，具体要求如下：

- a) 光源：氙弧灯，配备日光滤光器（Daylight-Q）；
- b) 暴露周期：102 min 干燥，18 min 喷淋；
- c) 辐照度：波长340 nm下0.51 W/（m²·nm）；
- d) 黑标温度：65℃ $\pm$ 3℃；
- e) 试验箱温度：38℃ $\pm$ 3℃；
- f) 相对湿度：50% $\pm$ 10%；
- g) 试验时间：500 h；
- h) 试样数量：每种材料不少于3个；
- i) 判定：试验后色差 $\Delta E \leq 3.0$ ，拉伸强度保持率 $\geq 80\%$ 。

6.6.3 耐水解性试验

按GB/T 1690的规定执行，具体要求如下：

- a) 试验介质：蒸馏水；
- b) 试验温度：70℃ $\pm$ 2℃；
- c) 试验时间：96 h；
- d) 试样数量：每组不少于5个；
- e) 判定：试验后拉伸强度保持率 $\geq 80\%$ 。

6.6.4 耐霉菌性试验

按GB/T 24128的规定执行，具体要求如下：

- a) 试验菌种：黑曲霉、球毛壳霉、绿粘帚霉、拟青霉、短柄帚霉（混合孢子悬浮液）；
- b) 接种：将混合孢子悬浮液均匀喷洒于试样表面；
- c) 培养条件：温度28℃ $\pm$ 2℃，相对湿度90% $\pm$ 5%；
- d) 培养时间：28天；
- e) 试样数量：每组不少于3个；
- f) 判定：防霉等级0级或1级（显微镜下观察无明显霉菌生长）。

6.6.5 耐高温试验

按GB/T 3512的规定执行，具体要求如下：

- a) 试验温度：80℃ $\pm$ 2℃；
- b) 试验时间：168h；
- c) 试样数量：每组不少于5个；
- d) 判定：试验后拉伸强度保持率 $\geq 85\%$ ，断裂伸长率保持率 $\geq 70\%$ 。

6.6.6 耐低温试验（低温脆性）

按GB/T 1682的规定执行，具体要求如下：

- a) 试验温度：-20℃ $\pm$ 2℃；
- b) 试样数量：不少于5个；
- c) 冲击速度：2 m/s $\pm$ 0.2 m/s；

d) 判定：试验后试样无龟裂、无断裂。

6.7 表面电阻率测定

按GB/T 1410的规定执行，测试电压100V，测试时间60s。每组试样不少于5个测点，取中位值作为测定结果。

6.8 生物相容性试验

6.8.1 细胞毒性试验

按GB/T 16886.5的规定执行：

- a) 试验方法：MTT 比色法或琼脂扩散法；
- b) 浸提条件：37℃±1℃，72 h±2 h；
- c) 阳性对照：0.1%苯酚溶液或含0.2%二乙基二硫代氨基甲酸锌的聚氯乙烯膜；
- d) 阴性对照：高密度聚乙烯或细胞培养级聚苯乙烯；
- e) 试样数量：每组不少于3个；
- f) 判定：细胞存活率≥70%，细胞毒性≤1级。

6.8.2 皮肤刺激试验

按GB/T 16886.10的规定执行：

- a) 试验动物：健康成年家兔，不少于3只；
- b) 受试物接触：将0.5 mL样品涂敷于家兔背部去毛皮肤；
- c) 对照：同侧空白区或溶剂对照区；
- d) 观察时间：移去受试物后1 h、24 h、48 h、72 h；
- e) 评分：按红斑和水肿程度进行评分；
- f) 判定：原发性刺激指数（PII）≤1.0。

6.8.3 皮肤致敏试验

按GB/T 16886.10的规定执行：

- a) 试验动物：豚鼠，不少于20只；
- b) 诱导接触：皮内注射加外用敷贴封闭诱导；
- c) 激发接触：诱导后14 d~28 d，外用敷贴激发；
- d) 观察：激发后24 h和48 h观察皮肤反应；
- e) 评分：按红斑和水肿程度进行评分；
- f) 判定：无致敏反应。

6.9 环保要求试验

6.9.1 有害物质限量试验

铅、汞、镉、六价铬应按GB/T 26125或SN/T 2484的规定执行：

- a) 检测方法：电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）或电感耦合等离子体发射光谱仪（ICP-OES）；
- b) 检出限：铅≤10 mg/kg，汞≤5 mg/kg，镉≤2 mg/kg，六价铬≤5 mg/kg。

6.9.2 多环芳烃（PAHs）试验

应按照：

- a) 检测方法：气相色谱-质谱联用法（GC-MS）；
- b) 检出限：苯并[α]芘≤0.1 mg/kg；
- c) 判定：苯并[α]芘≤1 mg/kg，18项PAHs总量≤10 mg/kg。

6.9.3 邻苯二甲酸酯试验

应按照：

- a) 检测方法：气相色谱-质谱联用法（GC-MS）；

- b) 检出限：各组分 $\leq 0.005\%$ ；
- c) 判定：DBP、BBP、DEHP、DIBP 等总含量 $\leq 0.1\%$ 。

6.9.4 挥发性有机物（VOC）试验

应按照：

- a) 检测方法：顶空气相色谱法（HS-GC-MS）；
- b) 试验条件：温度 80°C ，时间 2 h；
- c) 判定：总挥发性有机物含量（TVOC） $\leq 0.5\%$ 。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 出厂检验项目包括：外观质量、邵氏硬度、拉伸强度、断裂伸长率、密度。

7.2.2 出厂检验按 GB/T 2828.1 的规定进行抽样，采用正常检验一次抽样方案。

7.2.3 每批产品经检验合格后，附产品合格证方可出厂。

7.3 型式检验

7.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品定型鉴定时；
- b) 正式生产后，如材料、工艺有重大改变，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产时，每两年至少进行一次；
- d) 停产一年以上，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构提出要求时。

7.3.2 型式检验项目应包括本文件第 5 章规定的所有项目。

7.3.3 型式检验的样品应从出厂检验合格的批次中随机抽取，样品数量应满足所有试验要求。

7.4 判定规则

7.4.1 所有检验项目均符合本文件要求，判定该批产品合格。

7.4.2 若有检验项目不符合要求，允许加倍抽样对不合格项目进行复检。若复检仍不合格，则判定该批产品不合格。

8 标志、包装、运输与贮存

8.1 标志

产品包装上应标明以下内容：

- a) 产品名称及分类；
- b) 型号规格；
- c) 生产批号或生产日期；
- d) 净含量；
- e) 执行标准编号；
- f) 生产企业名称及地址；
- g) 贮存条件和有效期。

8.2 包装

应符合：

- a) 产品应采用防潮、防尘的包装材料进行密封包装；
- b) 包装内应附产品合格证和使用说明书。

8.3 运输

应符合：

- a) 运输过程中应避免日晒、雨淋和机械损伤；
- b) 不得与有毒有害、易燃易爆物品混装运输。

8.4 贮存

应符合：

- a) 产品应贮存在干燥、通风、阴凉的仓库内，远离热源和火源；
 - b) 贮存温度应不高于 35℃，避免阳光直射；
 - c) 自生产之日起，在符合上述贮存条件下，产品保质期不少于 12 个月。
-