

ICS 83.080.20

CCS G 32



团体标准

T/CEATEC XXX—2025

人形机器人用 TPU 仿肤材料

TPU skin-like material for humanoid robots

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 材料要求 2

 4.1 基本组成 2

 4.2 物理性能要求 2

 4.3 化学性能要求 2

 4.4 机械性能要求 3

 4.5 表面性能要求 3

 4.6 生物相容性要求 3

 4.7 耐老化性要求 3

 4.8 外观质量要求 4

 4.9 环境适应性要求 4

5 试验方法 4

 5.1 物理性能试验 4

 5.2 化学性能试验 4

 5.3 机械性能试验 5

 5.4 表面性能试验 5

 5.5 生物相容性试验 5

 5.6 耐老化性试验 5

 5.7 外观质量试验 6

 5.8 环境适应性试验 6

6 检验规则 6

 6.1 检验分类 6

 6.2 出厂检验 6

 6.3 型式检验 6

 6.4 检验报告 6

7 标志、包装、运输和贮存 7

 7.1 标志 7

 7.2 包装 7

 7.3 运输 7

 7.4 贮存 7

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

人形机器人用 TPU 仿肤材料

1 范围

本文件规定了人形机器人用热塑性聚氨酯（TPU）仿肤材料的材料要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于以TPU为基体、经改性和添加剂复配而成的仿人皮肤材料，主要用于人形机器人外表覆盖层、关节护套及触觉交互表面。

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 191 包装储运图示标志
- GB/T 1033.1 塑料 非泡沫塑料密度的测定 第1部分：浸渍法、液体比重瓶法和滴定法
- GB/T 1037 塑料薄膜与薄片水蒸气透过性能测定 杯式增重与减重法
- GB/T 1040.3 塑料 拉伸性能的测定 第3部分：薄膜和薄片的试验条件
- GB/T 1681 硫化橡胶回弹性的测定
- GB/T 1687.4 硫化橡胶 在屈挠试验中温升和耐疲劳性能的测定 第4部分：恒应力屈挠试验
- GB/T 2411 塑料和硬橡胶 使用硬度计测定压痕硬度（邵氏硬度）
- GB/T 3681 塑料 自然日光气候老化、玻璃过滤后日光气候老化和菲涅耳镜加速日光气候老化的暴露试验方法
- GB/T 5470 塑料 冲击法脆化温度的测定
- GB/T 6378.1 计量抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的对单一质量特性和单个AQL的逐批检验的一次抽样方案
- 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 8802 热塑性塑料管材、管件 维卡软化温度的测定
- GB/T 9341 塑料 弯曲性能的测定
- GB 9685 食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准
- GB/T 9979 纤维增强塑料高低温力学性能 试验准则
- GB/T 10006 塑料 薄膜和薄片 摩擦系数的测定
- GB/T 10655 高聚物多孔弹性材料 空气透气率的测定
- GB/T 12721 橡胶软管 外覆层耐磨耗性能的测定
- GB/T 12833 橡胶和塑料 撕裂强度和粘合强度测定中的多峰曲线分析
- GB/T 14234 塑料件表面粗糙度
- GB/T 15905 硫化橡胶湿热老化试验方法
- GB/T 16886.5 医疗器械生物学评价 第5部分：体外细胞毒性试验
- GB/T 16886.10 医疗器械生物学评价 第10部分：皮肤致敏试验
- GB/T 19466.2 塑料 差示扫描量热法（DSC） 第2部分：玻璃化转变温度的测定
- GB/T 40493 人造板饰面材料中铅、镉、铬、汞重金属元素含量测定
- QB/T 5354 人造革合成革试验方法 挥发性有机化合物的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

TPU仿肤材料 TPU skin-like material

以热塑性聚氨酯弹性体为基体，经软化、表面改性及添加仿生触感助剂后制备的具有类人皮肤外观、触感和性能的材料。

3.2

表面性能 surface properties

材料在使用状态下表现出的表面摩擦系数、表面粗糙度、手感柔软度等特性。

3.3

生物相容性 biocompatibility

材料与人体或皮肤接触时的安全性，包括无细胞毒性、无皮肤刺激性和无致敏性。

3.4

透湿率 water vapor transmission rate

单位时间内通过单位面积仿肤材料的水蒸气量，表征材料的透气透湿性能，单位为克每平方米每24小时（g/(m²·24h)）。

4 材料要求

4.1 基本组成

TPU仿肤材料的组成应包括：

- a) TPU基体树脂，质量分数应≥70%；
- b) 触感调节剂，如硅油类或聚醚改性剂，质量分数为2%~8%；
- c) 紫外吸收剂、抗氧剂等耐候助剂，总含量为0.5%~2%；
- d) 抗菌剂或防霉剂，可选添加，质量分数≤1%；
- e) 着色剂或肤色调整剂，符合GB 9685食品接触材料安全要求；
- f) 其他必要的加工助剂。

4.2 物理性能要求

物理性能应符合表1的要求。

表1 物理性能要求

项目	指标要求
密度（g/cm ³ ）	1.15±0.15
邵尔A硬度	60±15
压缩永久变形（70℃×24h，%）	≤20
透湿率（g/(m ² ·24h)）	400±200
透气率（cm ³ /m ² ·24h·0.1MPa）	200~800
玻璃化转变温度（℃）	-35±15
维卡软化温度（℃）	≥65

4.3 化学性能要求

化学性能应符合表2的要求。

表2 化学性能要求

项目	指标要求
VOC含量（g/L）	≤30

可溶性重金属含量 (mg/kg)	≤5
耐汗液性 (拉伸强度保留率, %)	≥85
耐清洁剂性 (外观变化)	无明显开裂、起泡、褪色或变形
耐化妆品性 (硬度变化, HA)	≤±6
pH稳定性	6.0~7.5
耐腐蚀性	在5% NaCl、0.1 mol/L HCl和0.1 mol/L NaOH中浸泡168h后, 拉伸强度保持率≥85%, 断裂伸长率保持率≥80%, 表面无明显缺陷

4.4 机械性能要求

机械性能应符合表3的要求。

表3 机械性能要求

项目	指标要求
拉伸强度 (MPa)	≥12
断裂伸长率 (%)	≥350
撕裂强度 (kN/m)	≥30
弯曲强度 (MPa)	≥8
回弹性 (%)	≥50
冲击强度 (kJ/m ²)	≥15
耐疲劳性能 (10万次循环后性能保持率, %)	拉伸强度≥80; 断裂伸长率≥80

4.5 表面性能要求

表面性能应符合表4的要求。

表4 表面性能要求

项目	指标要求
表面粗糙度Ra (μm)	≤2.0
静摩擦系数	0.6~1.0
耐磨耗性 (1000次循环, 失重, mg)	≤50
耐划伤性 (2N针划, 划痕深度, μm)	≤20

4.6 生物相容性要求

生物相容性应符合表5的要求。

表5 生物相容性要求

项目	指标要求
细胞毒性 (级)	≤3
皮肤刺激性 (级)	≤2
皮肤致敏性	无致敏反应
溶出物安全性	有害物质未检出

4.7 耐老化性要求

耐老化性能应符合表6的要求。

表6 耐老化性能要求

项目	指标要求
耐热空气老化 (70℃×168h)	拉伸强度保持率≥80%; 断裂伸长率保持率≥80%
耐热空气老化 (100℃×72h)	拉伸强度保持率≥75%; 断裂伸长率保持率≥75%
耐光老化	拉伸强度保持率≥80%; 断裂伸长率保持率≥80%; 色差 ΔE≤2.0
耐湿热老化	拉伸强度保持率≥85%; 断裂伸长率保持率≥85%;

	表面无裂纹、发粘或变色
--	-------------

4.8 外观质量要求

外观质量应符合表7的要求。

表7 外观质量要求

项目	指标要求
颜色均匀性	目测无明显色差（ $\Delta E \leq 1.0$ ）
表面缺陷	无气泡、裂纹、杂质、污点及明显划痕
透明度或遮盖性	符合设计要求，表面无可见透底或透光不均
表面平整度	无明显凹陷、波纹或变形
仿生肤感	触感柔软细腻，无粘腻感
批次间一致性	同一型号产品之间 $\Delta E \leq 1.0$
光泽度（60°，GU）	8~20（接近人体皮肤自然光泽）

4.9 环境适应性要求

环境适应性应符合表8的要求。

表8 环境适应性要求

项目	指标要求
高低温循环	拉伸强度保持率 $\geq 85\%$
恒定高温暴露	拉伸强度保持率 $\geq 85\%$ ；断裂伸长率保持率 $\geq 85\%$
恒定低温暴露	无脆裂，拉伸强度保持率 $\geq 80\%$

5 试验方法

5.1 物理性能试验

- 5.1.1 密度
应 按照GB/T 1033.1的规定进行。
- 5.1.2 邵尔A硬度
应 按照GB/T 2411的规定进行。
- 5.1.3 压缩永久变形
应 按照GB/T 7759.1的规定进行。
- 5.1.4 透湿率
应 按照GB/T 1037的规定进行。
- 5.1.5 透气率
应 按照GB/T 10655的规定进行。
- 5.1.6 玻璃化转变温度
应 按照GB/T 19466.2的规定进行。
- 5.1.7 维卡软化温度
应 按照GB/T 8802的规定进行。

5.2 化学性能试验

- 5.2.1 VOC含量
应 按照QB/T 5354的规定进行。
- 5.2.2 可溶性重金属含量
应 按照GB/T 40493的规定进行。
- 5.2.3 耐汗液性
配置人工汗液（氯化钠20g/L、乳酸10g/L、尿素5g/L，pH4.5~5.5），试样尺寸50mm×150mm×2mm，浸泡于37±2℃汗液中72h，取出擦干后状态调节24h，测试拉伸强度，计算保留率（保留率=浸泡后强度/浸泡前强度×100%），每个样品测试3个试样，取平均值，精确至1%。

5.2.4 耐清洁剂性

选取中性清洁剂（pH 6~8），蘸取清洁剂的脱脂棉（5g）覆盖于50mm×50mm×2mm试样表面，23±2℃放置24h，去除脱脂棉后冲洗擦干，由3名专业人员目视评定外观，取多数结果。

5.2.5 耐化妆品性

选取含甘油、硅油的润肤乳，均匀涂抹于50mm×50mm×2mm试样表面，37±2℃放置48h，无水乙醇擦拭后测试邵氏硬度，计算硬度变化值，每个样品测试3个点，取平均值，精确至1HA。

5.2.6 pH稳定性

按水提取法或规定的萃取比例，用去离子水或缓冲溶液萃取24h，测定提取液pH。

5.2.7 耐腐蚀性

将试样分别置于三种溶液中（23±2℃），浸泡168h；取出后清洗、晾干并目测记录表面缺陷。随后进行拉伸/伸长等力学测试。

5.3 机械性能试验

5.3.1 拉伸强度与断裂伸长率

应按照GB/T 1040.3的规定进行。

5.3.2 撕裂强度

应按照GB/T 12833的规定进行。

5.3.3 弯曲强度

应按照GB/T 9341的规定进行。

5.3.4 回弹性

应按照GB/T 1681的规定进行。

5.3.5 冲击强度

应按照GB/T 5470的规定进行。

5.3.6 耐疲劳性能

应按照GB/T 1687.4的规定进行。

5.4 表面性能试验

5.4.1 表面粗糙度

应按照GB/T 14234的规定进行。

5.4.2 静摩擦系数

应按照GB/T 10006的规定进行。

5.4.3 耐磨耗性

应按照GB/T 12721的规定进行。

5.4.4 耐划伤性

用针划试验设备施加2N负荷沿试样表面划痕，采用显微测厚或轮廓仪测划痕深度。

5.5 生物相容性试验

5.5.1 细胞毒性

应按照GB/T 16886.5的规定进行。

5.5.2 皮肤刺激性

应按照GB/T 16886.10的规定进行。

5.5.3 皮肤致敏性

应按照GB/T 16886.10的规定进行。

5.5.4 溶出物安全性

按照规定的萃取条件（模拟汗液、人工唾液）制备提取液，分析有害有机物、重金属迁移及VOC残留。

5.6 耐老化性试验

5.6.1 热空气老化

将试样放入热空气老化箱，在规定温度下保持相应时间，在老化前后分别做拉伸试验与伸长率测定。

5.6.2 耐光老化

应按照GB/T 3681的规定进行。

5.6.3 耐湿热老化

应按照GB/T 15905的规定进行。

5.7 外观质量试验

5.7.1 颜色均匀性

颜色均匀度采用色差仪（精度 $\Delta E \leq 0.01$ ），在试样表面随机取5个点（中心及四角），以中心为基准测 ΔE ，取最大值，精确至0.1。

5.7.2 表面缺陷与平整度

采用目视法检查材料表面缺陷与平整度。

5.7.3 仿生肤感

由不少于10名受试者在标准条件下对触感进行评判（柔软度、滑爽度、温感），并测量表面粗糙度、硬度、恢复时间等指标综合判定。

5.8 环境适应性试验

5.8.1 高低温循环

将试样置入温度循环箱，按 $-20^{\circ}\text{C} \rightarrow 23^{\circ}\text{C} \rightarrow +60^{\circ}\text{C}$ 的循环程序循环10次，每段保持1h，循环后目测并做拉伸测试。

5.8.2 恒定高温/低温暴露

应按照GB/T 9979的规定进行。

6 检验规则

6.1 检验分类

本文件要求的检验分为出厂检验和型式检验两类。

6.2 出厂检验

出厂检验的项目应包括外观检查等关键指标。各项指标均满足本文件的要求时，方可被判定为合格产品。对于不合格的产品，应进行报废处理。

6.3 型式检验

6.3.1 检验时机

有下列情形之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品试制定型鉴定；
- b) 设计、工艺有较大改变，可能影响材料性能时；
- c) 正常生产满一年时；
- d) 间隔一年以上再生产时；
- e) 出厂检验结果与同产品型号或批次的型式检验有较大差异时。

6.3.2 检验项目及要求

型式检验应在国家认证监督管理委员会认可的检测机构，或者具备相关认证资质的实验室完成，检验的项目应包括所有指标。

6.3.3 抽样规则

抽样规则应符合GB/T 6378.1的要求。

6.3.4 判定规则及处理措施

所有检验项目均满足本文件的技术要求时，判定为合格。任一项不符合规定时，判定为不合格。对于不合格的产品，应进行返工或报废处理，返工产品应重新进行检验。

6.4 检验报告

所有检验记录和报告应妥善存档，每次检验结束后应出具完整的检验报告，并包括下列内容：

- a) 基本信息：产品名称、批次编号、检验日期、检验机构和参与人员等；
- b) 检验目的与检验依据；
- c) 检验环境与检验设备清单等；
- d) 检验方法与检验过程；
- e) 检验数据：详细列出各项目的检测数据；
- f) 检验结论：评估该批次产品是否合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

标志应满足下列要求：

- a) 应有清晰、牢固、耐久的标志，内容包括：产品名称、生产单位、出厂编号、生产日期等；
- b) 所有标志应清晰、耐磨，符合GB/T 191的相关规定。

7.2 包装

包装应满足下列要求：

- a) 包装应采用防潮、防震、防尘材料；
- b) 包装内部应有缓冲材料；
- c) 包装箱外应标明产品名称、型号、毛重、净重及运输标志；
- d) 随包装附带说明书、合格证及出厂检验报告。

7.3 运输

运输应满足下列要求：

- a) 运输过程中应避免剧烈振动、跌落及强烈温度变化；
- b) 在运输过程中不得与有毒、有腐蚀性或易燃物品混装；
- c) 运输过程中应避免暴露在高湿或雨淋环境下。

7.4 贮存

贮存应满足下列要求：

- a) 应存放于0℃~50℃的环境温度内，相对湿度≤85%的干燥环境中；
 - b) 贮存环境应通风良好，避免阳光直射及高湿度环境；
 - c) 长期贮存时，应每6个月进行一次质量检查。
-