

ICS 00.000

CCS 0 00



# 团体标准

T/CEATEC XXX—2025

## 材料改性用电子束辐照性能评价通则

General principles for performance evaluation of electron beam irradiation  
in material modification

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

1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 评价原则 .....	2
4.1 科学性原则 .....	2
4.2 系统性原则 .....	2
4.3 安全性原则 .....	2
4.4 可重复性原则 .....	2
4.5 实用性原则 .....	2
5 性能评价指标 .....	2
5.1 表面物理性能 .....	2
5.2 表面化学性能 .....	3
5.3 力学性能 .....	3
5.4 功能性能 .....	3
6 评价方法 .....	4
6.1 试样制备 .....	4
6.2 辐照实施 .....	4
6.3 性能测试 .....	4
6.4 对照组设置 .....	4
6.5 测试报告 .....	4
7 评价程序 .....	4
7.1 采样与制样 .....	5
7.2 测试环境 .....	5
7.3 结果评定 .....	5
7.4 评价报告 .....	6
8 安全、健康与环保（HSE）要求 .....	6
8.1 辐射安全 .....	6
8.2 有害气体防护 .....	6
8.3 废弃物处理 .....	6
9 标志、包装、运输和贮存 .....	6
9.1 标志 .....	6
9.2 包装 .....	7
9.3 运输 .....	7
9.4 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。

# 材料改性用电子束辐照性能评价通则

## 1 范围

本文件规定了材料改性用电子束辐照性能评价的评价原则、评价指标、评价方法、评价程序、安全要求、标志、包装、运输和贮存要求。

本文件适用于金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料经电子束辐照表面改性后的性能评价与质量控制。

## 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。

GBZ 2.1 工作场所所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 1034 塑料 吸水性的测定

GB/T 2410 透明塑料透光率和雾度的测定

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 3095 环境空气质量标准

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB 5172 粒子加速器辐射安全与防护规定

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 27025 检测和校准实验室能力的通用要求

GB/T 31402 塑料 塑料表面抗菌性能试验方法

HJ 979 电子加速器辐照装置辐射安全和防护

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**电子束辐照** electron beam irradiation

利用电子加速器产生的高能电子束流对材料表面进行辐照处理的技术过程。

### 3.2

**吸收剂量** absorbed dose

单位质量物质吸收的电离辐射能量，单位为戈瑞（Gy）， $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ 。

### 3.3

#### 改性层 modification layer

材料表面经电子束辐照处理后性能发生变化的材料层。

### 3.4

#### 表面改性 surface modification

单位时间内材料表面因电子束辐照而引起的材料去除量，通常以体积损失或质量损失表示。

## 4 评价原则

### 4.1 科学性原则

评价应基于材料科学、辐射物理与化学的基本原理，确保试验设计合理、参数可控、数据可靠。

### 4.2 系统性原则

评价应覆盖材料改性前后的关键性能变化，包括力学、热学、电学、化学稳定性及微观结构等多维度指标，避免单一指标片面判断。

### 4.3 安全性原则

评价工作应遵循GB 18871的规定，确保辐射防护与安全。电子加速器辐照装置的设计和运行应符合HJ 979的要求，包括辐射屏蔽、安全联锁、通风系统等。

### 4.4 可重复性原则

评价过程应具备良好的重复性与再现性，符合GB/T 27025对检测实验室能力的要求。

### 4.5 实用性原则

评价指标和方法应便于实际操作，评价结果应对材料设计、工艺优化和应用推广具有指导意义。

## 5 性能评价指标

### 5.1 表面物理性能

#### 5.1.1 硬度

改性层硬度是评价改性效果的核心指标之一，应根据材料类型选择合适的硬度测试方法：

- a) 金属材料：宜采用维氏硬度计（GB/T 4340.1）或显微硬度计测试，载荷范围10~500 gf。
- b) 高分子材料：宜采用邵氏硬度计或纳米压痕仪测试。
- c) 陶瓷材料：宜采用显微硬度计测试。

合格的改性效果通常要求硬度提升率不小于15%，且改性层与基体之间应呈现平缓的硬度梯度过渡，避免突变。

### 5.1.2 耐磨性

采用摩擦磨损试验机评价。关键参数包括体积磨损率、质量磨损率、摩擦系数及其稳定性、磨损形貌（如划痕宽度、深度）。优良的耐磨改性效果应使磨损率降低20%以上，摩擦系数稳定在合理区间（如低于0.3）。

### 5.1.3 表面粗糙度

采用接触式（轮廓仪）或非接触式（白光干涉仪、激光共聚焦显微镜）表面形貌仪测量。评价参数包括算术平均偏差（Ra）、微观不平度十点高度（Rz）等。辐照处理后表面粗糙度变化应控制在±15%以内，以满足后续使用或涂覆要求。

## 5.2 表面化学性能

### 5.2.1 化学成分与价态

利用能谱分析（EDS）进行元素半定量分析，利用X射线光电子能谱（XPS）精确分析表面元素组成、化学态及官能团变化。重点关注辐照引起的氧化、降解或新官能团生成。

### 5.2.2 表面能

通过接触角测量仪测量水、二碘甲烷等标准液体在材料表面的接触角，计算表面能及其分量（色散分量、极性分量），评价材料润湿性变化。接触角测量每个样品应不少于5个点取平均值。

## 5.3 力学性能

### 5.3.1 结合强度

评价改性层与基体的结合强度，可采用划痕法、压痕法或拉伸法（如胶粘剂拉伸法）。划痕试验中，临界载荷（Lc）应不低于20 N，且划痕轨迹无明显的剥落或龟裂。

### 5.3.2 疲劳性能

对于承受循环载荷的部件，应评价电子束辐照对材料疲劳寿命的影响。疲劳试验条件应尽可能模拟实际工况，疲劳寿命提升率可作为重要评价指标。

## 5.4 功能性能

### 5.4.1 抗菌性能

对于有抗菌要求的材料（如医疗器材、卫生用品），应按GB/T 31402等标准评价抗菌性能。通常要求对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等常见菌种的抗菌率不低于90%，甚至99%。

### 5.4.2 光学性能

对于光学材料（如透明塑料、涂层），需评价透光率、雾度等参数变化。透光率变化应控制在原始值的±5%以内，雾度变化不超过±3%。测试方法参照GB/T 2410。

表1 材料改性用电子束辐照性能评价指标体系

性能类别	评价指标	单位	技术要求（参考）	主要测试方法
表面物理性能	表面硬度	HV, HSA, 等	≥1.15× 基体硬度	GB/T 4340.1
	磨损率	mm <sup>3</sup> /(N·m) 或 mg/cycle	≤0.8×基体磨损率	摩擦磨损试验
	表面粗糙度(Ra)	μm	规定值 ±15%	接触式/非接触式轮廓仪
表面化学性能	特征元素含量（如O）	at%	根据改性目标规定	XPS, EDS

	水接触角	°	规定值 ±5	接触角测量仪
	表面能	mN/m	根据改性目标规定	由接触角计算
力学性能	涂层结合强度 (临界载荷)	N	≥20 (或根据应用 设定)	划痕试验
	抗拉强度	MPa	≥1.05×基体	GB/T 228.1、 GB/T 1040.1
	冲击强度	kJ/m <sup>2</sup>	≥0.80×基体	GB/T 1043.1
功能性能	抗菌率(如适用)	%	≥90 (或≥99)	GB/T 31402
	透光率(如适用)	%	规定值 ±5	GB/T 2410
	雾度(如适用)	%	规定值 ±3	GB/T 2410

## 6 评价方法

### 6.1 试样制备

a) 取样：试样应从同一批次、同一工艺条件下处理的材料中随机抽取，数量不少于5个，以保证统计显著性。

b) 尺寸与状态：试样尺寸和形状应符合相关测试标准要求。测试面应保持原始状态，经标准清洁程序（如超声清洗）去除油污、灰尘等污染物。

c) 状态调节：试样应在标准实验室环境（温度23±2°C，相对湿度50±5%）下调节不少于24 h后进行测试。

### 6.2 辐照实施

- a) 辐照前应对电子束装置进行预热与稳定性测试；
- b) 使用标准剂量计对辐照场进行标定，确保剂量准确；
- c) 试样应平铺或固定于传送带上，避免堆叠导致剂量屏蔽；
- d) 记录辐照时环境温湿度、气氛组成及设备运行参数。

### 6.3 性能测试

- a) 辐照后试样应在规定时间内完成测试（通常为24 h内，除非研究时效效应）；
- b) 所有性能测试应严格遵循对应的测试方法；
- c) 对于新开发材料或无对应国标的方法，应说明测试原理、设备型号、参数设置及不确定度评估。

### 6.4 对照组设置

应设置未辐照的空白对照组，并在相同条件下进行状态调节与性能测试，用于计算性能保留率或变化率。

### 6.5 测试报告

测试报告应至少包含：试样信息（材料、改性工艺）、测试标准、测试条件（温度、湿度、仪器型号）、测试结果（单个值、平均值、标准偏差）、不确定度评估（必要时）及测试日期、人员。结果表述应清晰、准确、完整。

## 7 评价程序

## 7.1 采样与制样

a) 采样方案：根据批量大小，按照GB/T 2828.1或双方商定的抽样方案随机抽取代表性样品。样品应有清晰、唯一的标识，确保可追溯至原始生产批次和工艺参数。

b) 制样保护：制样过程（如切割、镶嵌、抛光）必须避免对待测表面造成热影响、机械损伤或污染。

## 7.2 测试环境

所有测试应在受控的标准实验室环境下进行：温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $50\pm 5\%$ 。对环境振动、电磁干扰有特殊要求的测试，应在相应条件下进行。测试设备需定期由有资质的计量机构校准，并在有效期内使用。

## 7.3 结果评定

### 7.3.1 原始数据记录

测试过程中应详细、准确地记录所有原始数据，包括但不限于：试样信息、测试日期、环境条件、设备型号及编号、测试参数、观测现象及原始测试值。原始记录不得随意涂改，如需更改，应采用划改方式并由修改人签名。

### 7.3.2 数据处理

每个性能指标通常应至少对5个有效试样进行测试，计算其算术平均值和标准偏差。根据需要，可计算变异系数或给出95%置信区间。数据修约应符合GB/T 8170的规定。

### 7.3.3 综合评价方法

采用加权评分法进行综合评价。各项性能指标根据其在实际应用中的重要性赋予权重，见表2。综合得分计算公式：总分 =  $\Sigma$ (单项得分 × 权重系数)。

表2 性能评价权重与评分表示例

性能指标	权重系数	优秀 (100~90分)	良好 (89~80分)	合格 (79~70分)	不合格 (<70分)
表面硬度	0.20	提升 $\geq 25\%$	提升15~24%	提升5~14%	提升 < 5%或下降
耐磨性	0.25	磨损率降低 $\geq 30\%$	降低20~29%	降低10~19%	降低 < 10%或增加
结合强度	0.15	无剥落, $L_c \geq 30\text{N}$ , 抗拉强度提升 $\geq 25\%$ , 冲击强度提升 $\geq 20\%$	轻微剥落, $L_c \geq 20\text{N}$ , 抗拉强度提升 $\geq 15\sim 24\%$ , 冲击强度提升 $10\sim 19\%$	明显剥落, $L_c \geq 15\text{N}$ , 抗拉强度提升 $\geq 5\sim 14\%$ , 冲击强度提升 $5\sim 9\%$	严重剥落, $L_c < 15\text{N}$ , 抗拉强度、冲击强度提升 < 5%或下降
抗菌率(如适用)	0.20	$\geq 99\%$	95%~98.9%	90%~94.9%	< 90%
光学性能(如适用)	0.10	透光率变化 $\leq 2\%$ , 雾度变化 $\leq 1\%$	透光率变化 $\leq 4\%$ , 雾度变化 $\leq 2\%$	透光率变化 $\leq 5\%$ , 雾度变化 $\leq 3\%$	透光率变化 > 5%, 雾度变化 > 3%
表面形貌	0.10	Ra变化 $\leq 5\%$ , 无缺陷	Ra变化 $\leq 10\%$ , 轻微缺陷	Ra变化 $\leq 15\%$ , 明显缺陷	Ra变化 > 15%, 严重缺陷

### 7.3.4 合格判定

综合评价得分（S）是判定该批次材料电子束辐照改性效果的主要依据：

合格：综合得分 $S \geq 80$ 分，且关键项（如核心力学性能、核心功能性能）单项评定不得为“不合格”。

不合格：综合得分 $S < 80$ 分，或有关键项（如安全相关指标、核心力学性能、核心功能性能）评定为“不合格”。

具体的合格判据可根据产品规格书或供需双方协议进行调整。对于不合格批次，应分析原因，并允许进行一次复检。复检样品应加倍抽取，若复检结果合格，则判定该批次合格；若仍不合格，则最终判定为不合格。

## 7.4 评价报告

评价报告是质量判定和追溯的重要文件，应至少包括：

- a) 任务来源与基本信息（委托单位、样品描述、评价依据）。
- b) 测试条件概述（环境、设备）。
- c) 详细的测试结果与数据（最好以表格、图表形式呈现）。
- d) 根据7.3条进行质量评定后的明确结论（合格/不合格，或等级）。
- e) 报告应由检测人、审核人、批准人三级签字，并加盖检测专用章。

## 8 安全、健康与环保（HSE）要求

### 8.1 辐射安全

电子束辐照装置及操作必须严格遵守GB 18871、GB 5172和HJ 979的规定。

a) 防护原则：贯彻“纵深防御”理念，采取多层次防护与安全措施。装置设计需考虑冗余性（如人员出入口设3道及以上连锁）和多元性（采用不同原理的连锁）。

b) 区域划分：工作场所应明确划分为控制区（如主机室、辐照室）和监督区（如控制室），并设置醒目的警告标志。

c) 个人防护与监测：工作人员必须配备个人剂量计和报警仪，定期接受辐射安全培训。年有效剂量不得超过标准限值（通常职业照射约束值为5mSv/年，公众为0.1mSv/年）。

d) 应急准备：制定详细的辐射事故应急预案，并定期组织演练。

### 8.2 有害气体防护

电子束辐照空气会产生臭氧（O<sub>3</sub>）等有害气体。

a) 通风要求：主机室和辐照室必须设置强制通风系统，并在加速器停机后连锁运行一定时间，确保室内臭氧浓度低于GBZ 2.1规定的职业接触限值。

b) 排放控制：有害气体排放浓度需符合GB 3095环境空气质量标准的要求。

### 8.3 废弃物处理

辐照过程本身一般不直接产生放射性废物。但清洗设备、更换部件等常规操作可能产生沾有污染物的废弃物，应按一般工业废物或危险废物的相关规定进行分类处理。若涉及特殊材料可能产生特定有害物质，需专门处理。

## 9 标志、包装、运输和贮存

### 9.1 标志

经电子束辐照改性的材料或制品，应在其本身或最小销售包装的显著位置提供清晰、持久的标识。标识内容至少包括：改性工艺名称（如“电子束辐照表面硬化”）、辐照日期、吸收剂量范围、执行标准编号（本标准编号）。标识应符合GB/T 191的规定。

## 9.2 包装

包装材料和方法应能有效保护改性后的表面免受机械损伤、污染、潮湿和静电（对敏感材料）的影响。对于特殊性能要求的材料（如抗菌材料），包装应能保持其功能性。

## 9.3 运输

运输过程中应避免与腐蚀性、污染性物质混装或共存。

## 9.4 贮存

贮存环境应保持清洁、干燥、通风良好，建议环境温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不超过80%，并远离热源和强光直射。

---