ICS 75.200
CCS E 98

中 国 腐 蚀 与 防 护 学 会 团 体 标 准

T/CSCP 0071.2-2026

高分子材料和涂层野外老化 试验技术方法

Test methods for field ageing of polymer materials and coatings

2026-06-12 发布 2026-07-12 实施

中国腐蚀与防护学会 发布

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。

本文件是 T/CSCP 0071《高分子材料和涂层野外老化》的第 2 部分。T/CSCP 0071 已经发布了以下部分：

----总则；

----试验技术方法；

----图像识别观测技术规范；

----联网观测和区域性老化等级地图绘制；

----质量控制与数据汇交规范。

本文件由中国腐蚀与防护学会提出并归口。

本文件起草单位：国网电力工程研究院有限公司、北京科技大学、新疆吐鲁番自然环境试验研究中心、国网四川省电力公司电力科学研究院、中国工程物理研究院、广州天韵达新材料技术有限公司。

本文件主要起草人：黄路遥、顾建、陈新、郝文魁、王锦山、孙绍恒、黄耀、杜翠薇、李晓刚、程学群、王昕煜、张帆、李众、杨小佳、王伦滔、杨吉可、杨国威、李清、郭春云、张天锋、尤里武、王志高、陈俊杰、兰新生、丛森、文晓琨、周琪杰、孙雷、杨体绍。

本文件为首次发布。

高分子材料和涂层野外老化 试验技术方法

1 范围

本文件规定了高分子材料和涂层野外老化观测试验的试验方案、设备配置、试样制备、试片规格、暴露布设、环境参数监测、连续观测、定期取样、性能测试、缺陷评级、结果处理和试验报告要求。

本文件适用于塑料、橡胶、复合材料、胶粘剂、密封材料、有机涂层、功能涂层、防腐涂层以及涂层/基材复合体系的野外长期老化观测、定期取样试验、在线连续监测和专项机理对照试验。

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。凡是注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；凡是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 1766 色漆和清漆 涂层老化的评级方法

GB/T 5210 色漆和清漆 拉开法附着力试验

GB/T 9276 涂层自然气候曝露试验方法

GB/T 9286 色漆和清漆 划格试验

GB/T 9754 色漆和清漆 20°、60°和85°光泽的测定

GB/T 9761 色漆和清漆 色漆的目视比色

GB/T 11186-2025 涂膜颜色测量方法

GB/T 30789.1 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第1部分：总则和标识体系

GB/T 30789.2 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第2部分：起泡等级的评定

GB/T 30789.3 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第3部分：生锈等级的评定

GB/T 30789.4 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第4部分：开裂等级的评定

GB/T 30789.5 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第5部分：剥落等级的评定

GB/T 30789.6 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第6部分：胶带法评定粉化等级

GB/T 30789.7 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标

识 第7部分：天鹅绒布法评定粉化等级

GB/T 30789.8 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第8部分：划线或其他人造缺陷周边剥离和腐蚀等级的评定

GB/T 30789.9 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第9部分：丝状腐蚀等级的评定

3 术语和定义

GB/T 1766、GB/T 9276 以及《高分子材料和涂层野外老化观测 总则》界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 平行样 parallel specimen

同一材料、同一批次、同一制备工艺、同一暴露方式和同一观测周期下，用于重复测试和离散性评价的试样。

3.2 室内对照留样 indoor reference specimen

与野外暴露试样同批制备并在规定室内条件下避光保存，用于初始性能复核、衰减率计算和异常溯源的试样。

3.3 有效曝露面积 effective exposure area

扣除夹具遮挡、封边、标签、缺陷预制区外非评价区后，实际接受自然环境作用并用于观测评价的试样表面面积。

3.4 性能保持率 property retention

试样暴露后性能值与初始性能值或室内对照样性能值之比，用百分数表示。

4 试验方案和设备配置

试验开始前应编制试验方案，明确试验目的、材料类别、样品来源、试样数量、暴露站点、暴露方式、取样周期、测试指标、质量控制规则、数据汇交要求和安全措施。方案变更应经技术负责人确认并形成记录。

观测设备应包括曝晒架、样品固定夹具、气象与辐射监测设备、污染物或盐分沉降监测设备、样品表面状态辅助监测设备、图像采集设备以及实验室测试设备。计量类设备应经校准合格，并在有效期内使用。

野外连续观测设备应具备长期耐候、防尘、防水、防雷和防腐能力，防护等级不宜低于 IP65。关键传感器安装位置、测量高度和朝向应与样品暴露区保持环境代表性。

5 试样制备与规格

5.1 通用制备要求

试样制备应保证材料批次、成型工艺、表面状态和尺寸规格一致。试样表面应平整、清洁，无肉眼可见划伤、气泡、针孔、杂质污染、边缘缺口、热加工变形和残余应力损伤。

涂层试样应统一基材、表面处理、涂装工艺、涂层体系、固化温湿度和固化时间。应记录基材材质、表面粗糙度、表面清洁度、底漆/中间漆/面漆干膜厚度、总膜厚、封边方式和背面处理。

高分子本体材料应记录挤出、注塑、模压、裁切、硫化、固化或复合成型等工艺参数。柔性材料和薄膜试样应明确张紧状态、支撑方式和正反面。

5.2 规格和数量

表 1 试片规格、对照样和记录要求

用途或材料类型	规格方法	数量和对照样	记录内容	主要依据
涂层自然气候曝露样板	面积不小于 0.03 m^2，边长不小于 100 mm；一般可采用 250 mm × 150 mm	同品种同施工方法设置曝露样板和室内对照样；长期观测宜增加平行样	底材、表面处理、涂层体系、干膜厚度、背面涂覆、封边宽度、投试日期	GB/T 9276
涂层目视比色试板	宜采用 150 mm × 100 mm 平整试板；较大试板可用灰色遮板限定观察区域	试板与参照标准板尺寸、光泽和表面结构宜一致	照明条件、观察距离、参照标准板、色调/彩度/明度差、观察者	GB/T 9761
涂层光泽测试试板	平整、不透明、无纹理或纹理影响可说明的试板	同批次前后测量应保持测量方向和几何条件一致	20°/60°/85° 几何条件、测点位置、测点数量、校准状态、光泽值 GU	GB/T 9754
板状塑料和复合材料试片	按产品标准或测试方法确定；无规定时采用规则板状试片并保证可比的有效曝露面积	每周期宜不少于 3 个平行样并保留留样	长度、宽度、厚度、加工方向、暴露面、边缘处理、有效曝露面积	本文件
橡胶、薄膜和柔性片材	按材料形态、夹持方式和后续测试项目确定	外观、透光率、力学测试宜分别预留试片	厚度、宽度、裁切方向、张紧状态、支撑方式、正反面	本文件
胶粘剂和密封材料	按施工形态制备板状、条状、搭接或接缝试样	按外观观测、粘接性能和破坏性测试分别布样	胶层厚度、搭接长度、截面尺寸、基材、固化条件、暴露面	本文件
图像识别和复测样	宜采用规则板状样品并设置定位基准	长期对比样应保持位置稳定，必要时设置复测样	拍摄区域、色卡/灰卡、标尺、滤镜通道、定位槽、图像编号	GB/T 30789 系列及本文件

同一观测站点、同一暴露工况、同一观测周期和同一材料体系宜设置不少于 3 件平行样；涉及破坏性测试的指标，应按取样周期分别预留试样。室内对照留样数量不宜少于 3 件，保存周期不应短于野外观测周期。

5.3 初始测试

试样投试前应完成初始外观、颜色、光泽、质量、尺寸、力学性能、附着力、膜厚和必要的结构化学测试，采集高清基准图像。初始数据应作为性能保持率、变化率和异常判定的基准。

6 暴露布设

试样暴露方式应根据材料服役场景、评价目标和站点条件确定。跨站点对比和长期基础观测宜优先采用 45°朝南暴露；专项试验可采用水平、垂直、背板或复合体系暴露。

表 2 高分子材料和涂层试样暴露方式及控制要求

暴露方式	适用场景	控制项目
45 度朝南暴露	一般耐候性比较和涂层常规老化评价	倾角、朝向、无遮挡、试样间距一致
水平暴露	积水、沉降、污染物和生物附着影响评价	排水状态、沉积物记录、表面温度监测
垂直暴露	建筑立面、设备外壳和交通设施服役模拟	朝向、风雨冲刷、局部遮挡记录
背板或复合体系暴露	涂层/基材界面和工程构件模拟	基材批次、边缘封闭、缺陷预制条件

试样夹具应采用耐腐蚀、无污染物析出的材料，夹持位置应避开核心测试区域。安装后应核对样品编号、曝晒架编号、架位编号、暴露角度、方位和投试日期，并拍摄现场布设照片。

暴露期间应定期巡检样品状态和夹具稳定性，发现脱落、遮挡、积水异常、鸟粪或外来污染、标签损坏、试样移位等情况，应立即记录并采取处置措施。

7 环境参数连续监测

连续监测应覆盖空气温度、相对湿度、降雨、风速风向、太阳总辐射、UVA、UVB、样品表面润湿状态、污染物浓度和盐分沉降等参数。监测频度应满足老化过程分析需要，长期观测数据宜按小时或更高时间分辨率汇总。

表 3 在线连续监测技术参数

技术类别	技术参数	单位	适用对象	观测频度
气象环境	空气温度	℃	暴露环境	1 小时/条
	空气相对湿度	%RH	暴露环境	1 小时/条
	降雨量	mm	暴露环境	1 小时/条
	风速	$m \cdot s^{-1}$	暴露环境	1 小时/条
	风向	°或方位	暴露环境	1 小时/条
辐射环境	太阳总辐射辐照度	$W \cdot m^{-2}$	暴露环境	1 小时/条
	太阳总辐射累计量	$MJ \cdot m^{-2}$	暴露环境	1 小时/条
	UVA 辐照度	$W \cdot m^{-2}$	暴露环境	1 小时/条
	UVA 累计量	$MJ \cdot m^{-2}$	暴露环境	1 小时/条
	UVB 辐照度	$W \cdot m^{-2}$	暴露环境	1 小时/条

	UVB 累计量	$MJ·m^{-2}$	暴露环境	1 小时/条
润湿状态	湿润时间	h	试片附近环境	1 小时/条
表面状态	试片表面温度	℃	试片或代表面	1 小时/条
污染沉降	氯离子沉降量	mg/(100 ㎝² • d)	海洋大气环境	1 小时/条
	二氧化硫浓度	$mg·m^{-3}$	工业大气环境	1 小时/条
	臭氧浓度	$mg·m^{-3}$	暴露环境	1 小时/条
图像状态	图像采集状态	类别、%、像素	图像采集设备	连续或 1 小时/张

采集数据应包含站点编号、监测位置、设备编号、采样时间、统计类型、数值、单位、设备状态和质量标记。设备断电、通信中断、传感器漂移、维护校准和极端天气影响时段应单独标记。

设备应建立日常巡检、月度核查、季度比对和年度校准制度。每次维护、参数调整或部件更换后，应记录维护内容并开展必要的对照测试。

8 定期取样与性能测试

8.1 取样周期

常规长期观测取样周期宜为投试后 3 个月、6 个月、9 个月和 12 个月，满 1 年后每年不少于 1 次。海洋、强紫外、工业重污染等高老化速率环境可按月度或季度加密取样。暴雨、台风、寒潮、强沙尘、极端高温等事件后宜在 24 h～72 h 内开展应急补充观测。

8.2 取样操作

取样前应核对站点、曝晒架、架位、样品编号、暴露方式和暴露周期。取样工具应清洁，取样过程应避免划伤、磕碰、二次污染和机械应力损伤。取样后应立即封装、贴附标签并登记台账。

8.3 测试项目

表 4 定期取样测试技术参数与数据处理要求

技术类别	技术参数	结果形式	单位或等级	周期和依据
外观评级	老化程度等级	单项等级	0～5 级	每次外观观测；GB/T 1766
	变色等级	单项等级	0～5 级	每次外观观测；GB/T 1766
	失光等级	单项等级	0～5 级	每次外观观测；GB/T 1766
	粉化等级	单项等级	0～5 级	每次外观观测；GB/T 1766、GB/T 30789.6、GB/T 30789.7
缺陷评级	起泡密度等级	密度等级	0～5 级	出现起泡时；GB/T 30789.2
	起泡大小等级	大小等级	S0～S5	出现起泡时；GB/T 30789.2

	开裂数量等级	数量等级	0～5 级	出现开裂时；GB/T 30789.4
	开裂大小等级	大小等级	S0～S5	出现开裂时；GB/T 30789.4
	剥落面积等级	面积等级	0～5 级	出现剥落时；GB/T 30789.5
	生锈等级	Ri 等级	Ri 0～Ri 5	出现生锈时；GB/T 30789.3
颜色测试	ΔE	色差值	-	投试前及取样时；GB/T 11186-2025
	黄色指数 YI	指数值	-	投试前及取样时
光泽测试	光泽值	仪器读数	GU	投试前及取样时；GB/T 9754
	光泽保持率	计算值	%	取样时
力学性能	拉伸强度	平均值	MPa	取样时；对应材料测试方法
	断裂伸长率	平均值	%	取样时；对应材料测试方法
涂层性能	拉开法附着强度	平均值	MPa	取样时；GB/T 5210
	划格等级	等级	级	取样时；GB/T 9286
结构化学	羰基指数	计算值	-	专项或取样时；FTIR
热性能	玻璃化转变温度 Tg	曲线处理结果	℃	专项或取样时；DSC
热稳定性	5%失重温度	曲线处理结果	℃	专项或取样时；TGA
表面形貌	表面粗糙度 Ra	测量值	μm	专项或取样时
图像识别	缺陷边界标注	区域、线或点	-	每次图像采集后；《图像识别观测技术规范》

颜色性能应按 GB/T 11186-2025 测试 L*、a*、b*、ΔL*、ΔC*、ΔH*、ΔE 和黄色指数等指标。光泽性能应按 GB/T 9754 选择 20°、60°或 85°几何条件，保持测试方向、测点位置和校准状态一致。

涂层老化缺陷应按 GB/T 1766 和 GB/T 30789 系列标准评定变色、失光、粉化、起泡、开裂、剥落、生锈、丝状腐蚀及划线周边剥离或腐蚀。力学、附着力、膜厚、结构化学和微观形貌测试应按相应方法标准执行。

9 结果处理与评级

测试结果应保留原始值、平均值、标准差、有效样本数和异常说明。性能保持率按公式 $R=X_t/X_0\times100\%$计算，其中 X_t 为暴露后性能值，X_0 为初始性能值或室内对照样性能值。变化率按

公式 $D=(X_t-X_0)/X_0\times100\%$计算。

平行样离散性超出方法标准或试验方案规定限值时，应复核样品状态、测试设备、原始记录和操作过程。确认为无效的数据应保留原始记录，并在结果表中标记无效原因，不得直接删除。

缺陷评级应明确评价区域、等级表达方式、引用标准、评级人员和复核人员。图像识别结果可作为辅助评价依据，但涉及等级判定时应与标准测试或人工复核结果保持一致。

10 记录和报告

试验记录应覆盖样品信息、试片规格、涂层制备、初始性能、取样与外观缺陷、颜色光泽、物理力学、结构化学、连续监测、仪器校准、异常事件和数据审核。

表 5 观测试验数据记录表及审核要求

记录表	主要字段	记录内容	单位或格式	记录节点	审核方法
样品信息表	样品编号、试片编号、材料名称、材料类别、生产批号、生产单位、制备单位	建立样品和实物试片对应关系。	-	建档时	同一数据库内不得与既有样品编号重复。
试片规格表	长度、宽度、厚度、有效曝露面积、暴露面、背面状态、封边宽度、平行样数量、留样位置	记录试片尺寸、暴露面和留样状态。	mm、cm^2、件	建档时；投试前	尺寸、数量和留样位置与样品台账对应。
涂层体系表	基材、表面处理、各道干膜厚度、总干膜厚度、固化条件	记录涂层结构和制备条件。	μm、℃、h	制样时；取样复核时	与制样记录和膜厚原始测点对应。
初始性能表	初始颜色、初始光泽、初始质量、初始力学性能、初始附着力	作为保持率和变化量计算基准。	按指标	投试前	初始值来源、测试日期和设备编号同时记录。
取样记录表	取样日期、暴露周期、暴露位置、样品状态、包装方式、取样人员	记录取样链条和样品状态。	日期、d 或月	取样时	取样日期与投试日期可计算暴露周期。
测试记录表	测试方法编号、设备编号、原始记录编号、原始值、平均值、标准差、保持率	记录测试全过程和数据处理结果。	按指标	测试时及测试后	原始记录、计算结果和异常处理记录对应。

环境记录表	时间戳、指标代码、数值、统计类型、设备状态、质量标记	记录连续监测数据。	按指标	采集时及审核时	时间戳、采样间隔和质量标记采用代码表。
专项评级表	颜色方法参数、粉化评级、划线周边评级、丝状腐蚀评级	记录新增标准中的方法参数和计算结果。	按指标	专项评级时	按《质量控制与数据汇交规范》附录B相关专项表填写方法方法和结果表示。
附件索引表	照片文件编号、谱图文件编号、曲线文件编号、图像标定信息	建立附件与试片、指标和日期的关联。	-	附件提交时	附件编号与试片编号和观测记录编号对应。
异常记录表	异常编号、异常类型、发现时间、影响样品或数据范围、处理措施、审核结论	记录样品异常、设备异常、环境事件和方法偏离。	-	异常发生时及关闭时	影响范围不得只写“部分样品”或“相关数据”。

试验报告应包括试验目的、样品信息、站点与暴露条件、环境时序数据、各周期测试结果、缺陷评级结果、性能衰减曲线、异常样品分析、数据质量说明和结论。年度报告还应包括设备运维、缺测情况、极端事件影响和下一年度工作建议。

附录 A（资料性） 试验记录表模板

表 A.1 站点与样品来源记录表

信息类别	字段	单位或格式	填写记录
站点信息	站点编号	-	
	站点名称	-	
	海拔	m	
	气候区	-	
样品来源	样品编号	-	
	试片编号	-	
	材料名称	-	
	材料类别	-	
	牌号或型号	-	
	生产批号	-	
	生产单位	-	
	制备单位	-	
	制备日期	YYYY-MM-DD	
	接收日期	YYYY-MM-DD	
	规格型号	-	
	配方摘要编号	-	

表 A.2 试片规格与留样记录表

信息类别	字段	单位或格式	填写记录
试片尺寸	试片长度	mm	
	试片宽度	mm	
	试片厚度	mm	
	试片直径	mm	
	有效曝露面积	cm^2 或 mm^2	
试片形态	试片形状	-	
	暴露面	-	
	背面状态	-	
	边缘处理方式	-	
	封边宽度	mm	
试片数量	平行样数量	件	

表 A.3 涂层体系与制备记录表

信息类别	字段	单位或格式	填写记录
底漆	底漆名称或编号	-	
	底漆干膜厚度	μm	
中间漆	中间漆名称或编号	-	
	中间漆干膜厚度	μm	

面漆	面漆名称或编号	-	
	面漆干膜厚度	μm	
涂层体系	总干膜厚度	μm	

表 A.4 初始性能记录表

性能类别	字段	单位或格式	填写记录
颜色初始值	初始 L*值	-	
	初始 a*值	-	
	初始 b*值	-	
光泽初始值	初始光泽值	GU	
质量初始值	初始质量	g	
力学初始值	初始拉伸强度	MPa	
力学初始值	初始断裂伸长率	%	
涂层初始值	初始附着强度	MPa	
	初始划格等级	级	

表 A.5 取样与外观缺陷记录表

记录类别	字段	单位或格式	填写记录
取样信息	记录编号	-	
	试片编号	-	
	观测日期	YYYY-MM-DD	
	暴露周期	d 或月	
图像附件	照片文件编号	-	
	比例尺实测长度	mm	
外观评级	变色等级	0～5 级	
	失光等级	0～5 级	
	粉化等级	0～5 级	
缺陷评级	起泡密度等级	0～5 级	
	起泡大小等级	S0～S5	
	开裂数量等级	0～5 级	
	开裂大小等级	S0～S5	
	开裂深度类型	a、b 或 c	
	剥落面积等级	0～5 级	
	剥落大小等级	S0～S5	
	生锈等级 Ri	Ri 0～Ri 5	

表 A.6 颜色、光泽与光学性能记录表

记录类别	字段	单位或格式	填写记录
仪器测色	L*值	-	
	a*值	-	

	b*值	-	
	ΔE	-	
	黄色指数 YI	-	
光泽测试	光泽值	GU	
	光泽测量几何角	°	
	光泽保持率	%	

表 A.7 物理力学与涂层性能记录表

记录类别	字段	单位或格式	填写记录
力学性能	拉伸强度	MPa	
	断裂伸长率	%	
涂层性能	拉开法附着强度	MPa	

表 A.8 结构化学与表面形貌记录表

记录类别	字段	单位或格式	填写记录
FTIR	FTIR 原始谱图编号	-	
	FTIR 波数范围	cm^{-1}	
	FTIR 分辨率	cm^{-1}	
	FTIR 扫描次数	次	
	FTIR 羰基指数	-	
DSC	DSC 原始曲线编号	-	
	DSC 玻璃化转变温度 Tg	℃	
	DSC 熔融峰温度 Tm	℃	
TGA	TGA 原始曲线编号	-	
	TGA 5%失重温度	℃	
SEM	SEM 图像编号	-	
	SEM 放大倍数	倍	
	SEM 裂纹宽度	μm	
分子结构	数均分子量 Mn	$g \cdot mol^{-1}$	
	重均分子量 Mw	$g \cdot mol^{-1}$	
交联结构	凝胶含量	%	
表面轮廓	表面粗糙度 Ra	μm	
质量控制	异常编号	-	
	质量标记	-	