

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—2026

辐射制冷涂层性能要求及试验方法

Radiation cooling coating performance requirements and test methods

（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 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 分类与标记 2

 4.1 分类 2

 4.2 标记 2

5 性能要求 2

 5.1 外观 3

 5.2 光热辐射制冷性能 3

 5.3 不同基材性能要求 3

 5.4 B类（金属基材用）涂层 3

 5.5 C类（纺织品基材用）涂层 3

 5.6 D类（复合材料基材用）涂层 4

 5.7 分散介质专项性能 4

 5.8 环境耐久性能 4

6 试验方法 4

 6.1 试验环境 4

 6.2 取样与制板 4

 6.3 基材选用 5

 6.4 试样涂覆制备 5

 6.5 试样预处理 5

7 光热辐射制冷性能试验 5

 7.1 太阳光谱反射比 5

 7.2 大气窗口平均发射率 5

 7.3 辐射制冷净制冷功率 6

8 外观及理化性能试验 6

 8.1 外观 6

 8.2 干膜厚度 7

 8.3 附着力 7

 8.4 剥离强度金属、复合材料基材） 7

 8.5 耐摩擦色牢度（纺织品基材） 7

 8.6 断裂延伸率 7

 8.7 耐冲击性 7

 8.8 耐磨性 7

8.9 耐沾污性 7

8.10 VOC 含量 7

8.11 重金属含量 7

8.12 耐化学浸泡试验 7

9 环境耐久性能试验 7

 9.2 高低温循环试验 8

 9.3 耐湿热试验 8

 9.4 中性盐雾试验 8

10 数据处理 8

 10.1 数据取舍 8

 10.2 结果判定 8

11 试验报告 8

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。

本文件由武进南大未来技术创新研究院提出。

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：。

辐射制冷涂层性能要求及试验方法

1 范围

本文件规定了辐射制冷涂层产品的分类与标记、性能要求、试验方法、光热辐射制冷性能试验、外观理化性能试验、环境耐久性试验、数据处理、试验报告等内容。

本文件适用于建筑物屋面、外墙等围护结构表面以及工业设备外表面用辐射制冷涂层的生产、检验与验收。

本文件不适用于依靠主动制冷方式实现降温的涂层产品。

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 1040.1 塑料 拉伸性能的测定 第1部分：总则
- 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 1732 漆膜耐冲击测定法
- GB/T 1740 漆膜耐湿热测定法
- GB/T 1865 色漆和清漆 人工气候老化和人工辐射曝露 滤过的氙弧辐射
- GB/T 2792 胶粘带剥离强度的试验方法
- GB/T 3186 色漆、清漆和色漆与清漆用原材料 取样
- GB/T 3920 纺织品 色牢度试验 耐摩擦色牢度
- GB/T 4883 数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理
- GB/T 5210 色漆和清漆 拉开法附着力试验
- GB/T 9286 色漆和清漆 划格试验
- GB/T 9780 建筑涂料涂层耐沾污性试验方法
- GB/T 11942 彩色建筑材料色度测量方法
- GB/T 13452.2 色漆和清漆 漆膜厚度的测定
- GB/T 23985 色漆和清漆 挥发性有机化合物（VOC）含量的测定 差值法
- GB/T 23988 涂料耐磨性测定 落砂法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

辐射制冷 radiative cooling

向外辐射能量进行辐射热交换而获得被动制冷的过程。

3.2

辐射制冷涂层材料 radiative cooling coating materials

具备高太阳光谱反射率和高 $8\mu\text{m}\sim 13\mu\text{m}$ 大气窗口红外发射率，通过被动辐射方式向宇宙空间散发热量实现降温的涂层材料。

3.3

太阳光谱反射比 solar reflectance

涂层在300 nm~2500 nm太阳全光谱波段内的反射光通量与入射光通量的比值。

3.4

大气窗口平均发射率 atmospheric window emissivity

涂层在8 μm~13 μm大气透明窗口波段内的半球发射率的算术平均值。

3.5

辐射制冷功率 radiative cooling power

规定试验条件下,单位面积涂层通过被动辐射换热获得的净制冷功率,单位为瓦每平方米(W/m²)。

3.6

净制冷功率 net cooling power

涂层通过红外大气窗口向外太空辐射散热的功率,减去涂层吸收的太阳辐射、大气向下长波辐射,再减去对流与热传导等非辐射换热得热功率后的净差值,单位为瓦每平方米(W/m²)。

3.7

干膜厚度 dry-film thickness

涂料硬化后存留在表面上的涂层的厚度。

4 分类与标记

4.1 分类

4.1.1 按应用基材分类

4.1.1.1 A类:建筑基材用(混凝土、砂浆、瓷砖、玻璃、抹灰层等建筑围护结构基材)。

4.1.1.2 B类:金属基材用(钢、铝、铜及合金等金属基材)。

4.1.1.3 C类:纺织品基材用(涤纶、棉、锦纶、复合纤维等纺织品基材)。

4.1.1.4 D类:复合材料基材用(聚酯、聚烯烃、环氧复合等非金属复合材料基材)。

4.1.2 按使用环境分类

4.1.2.1 W类:室外用(暴露于自然环境,承受日晒、雨淋、温湿度交替等气候作用)。

4.1.2.2 N类:室内用(用于室内环境,无直接日晒雨淋,温湿度相对稳定)。

4.1.3 按颜色分类

4.1.3.1 Wc类:白色(明度值L*≥90)。

4.1.3.2 Cc类:彩色(除白色外的其他颜色,明度值L*<90)。

4.1.4 按分散介质分类

4.1.4.1 Y类:油性。

4.1.4.2 S类:水性。

4.2 标记

产品标记由产品名称缩写、基材类型、使用环境、颜色类型、分散介质类型组成,格式如下:

FZL-【基材类型代码】-【使用环境代码】-【颜色类型代码】-【分散介质代码】

示例1:FZL-A-W-Wc-S表示建筑基材用、室外、白色、水性辐射制冷涂层材料。

示例2:FZL-B-N-Cc-Y表示金属基材用、室内、彩色、油性辐射制冷涂层材料。

5 性能要求

5.1 外观

所有类型涂层表面应平整、均匀，无明显气泡、裂纹、针孔、脱落、流挂等缺陷。白色涂层色泽均匀无泛黄，彩色涂层无明显色差、色花。外观缺陷允许范围：直径<0.8 mm，麻点在100 mm×100 mm面积内≤20个；直径≥0.8 mm，不应存在麻点。

5.2 光热辐射制冷性能

光学性能应符合表1的规定。

表 1 光学性能

项目	白色涂层（Wc类）	彩色涂层（Cc类）	允许偏差
太阳光谱反射比	≥0.90	≥0.85	±0.02
气窗口平均发射率	≥0.90	≥0.88	±0.02
辐射制冷功率（W/m ² ）	≥140	≥120	±10

注1：允许偏差为出厂检验时单次测定值与标称值的允许偏差范围。
注2：彩色涂层按明度分为浅彩（60≤L*＜90）和深彩（L*＜60），深彩涂层的太阳光谱反射比≥0.70。

5.3 不同基材性能要求

5.3.1 A类（建筑基材用）涂层

A类（建筑基材用）涂层专项性能应符合表2的规定。

表 2 A类（建筑基材用）涂层专项性能

项目	室外（W类）	室内（N类）
附着力（划格法）/级	≤2	≤3
干膜厚度/μm	≤500，偏差±5%	≤500，偏差±5%
耐沾污性/%	≤10	≤8
耐冲击性/（kg·cm）	≥50	≥40

5.4 B类（金属基材用）涂层

B类（金属基材用）涂层专项性能应符合表3的规定。

表 3 B类（金属基材用）涂层专项性能

项目	室外（W类）	室内（N类）
180° 剥离强度/MPa	≥1.5	≥1.0
干膜厚度/μm	≤500，偏差±5%	≤500，偏差±5%
中性盐雾/h	≥1000，无锈蚀、剥离	≥500，无锈蚀、剥离
耐磨性/（L/μm）	≥0.45	≥0.40

注：剥离强度按GB/T 2792中90° 剥离方法测定，试样宽度25 mm

5.5 C类（纺织品基材用）涂层

C类（纺织品基材用）涂层专项性能应符合表4的规定。

表 4 C类（纺织品基材用）涂层专项性能

项目	室外（W类）	室内（N类）
----	--------	--------

耐摩擦色牢度	干摩≥4级，湿摩≥3级	干摩≥3级，湿摩≥2~3级
干膜厚度/ μm	≤500，偏差±8%	≤500，偏差±8%
断裂延伸率/%	≥50	≥40
耐水性/h	≥24，无脱落变色	≥12，无脱落变色

5.6 D类（复合材料基材用）涂层

D类（复合材料基材用）涂层专项性能应符合表5的规定。

表5 D类（复合材料基材用）涂层专项性能

项目	室外（W类）	室内（N类）
180° 剥离强度/MPa	≥4.0	≥3.0
干膜厚度/ μm	≤500，偏差±5%	≤500，偏差±5%
拉伸强度/MPa	≥22	≥20
耐湿热性/h	1000，无鼓泡脱落	500，无鼓泡脱落

5.7 分散介质专项性能

分散介质专项性能应符合表6的规定。

表6 介质专项性能

项目	室外（W类）	室内（N类）
VOC含量/(g/L)	≤200	≤50
表干时间/h	≤2	≤4
实干时间/h	≤24	≤42
耐化学性（5%盐酸、5%NaOH浸泡72 h）	无鼓泡、脱落	无鼓泡、脱落

5.8 环境耐久性能

耐候性能应符合表7的规定。

表7 耐环境耐久性能

项目	室外（W类）	室内（N类）
紫外老化（氙弧灯）	2000 h，无开裂、变色，光热性能保留率≥85%	500 h，无明显变色，光热性能保留率≥90%
高低温循环	-40℃~80℃，50次循环，无开裂	-20℃~60℃，30次循环，无开裂
耐湿热性	1000 h（40℃/90%RH），无鼓泡、脱落	500 h（40℃/90%RH），无鼓泡、脱落

6 试验方法

6.1 试验环境

试验应在温度（23±2）℃、相对湿度（50±5）%的环境条件下进行。

6.2 取样与制板

6.2.1 产品取样应按照 GB/T 3186 中的相关规定执行。

6.2.2 试验样板按产品明示的施工工艺制备，干膜厚度控制为（25±5） μm ，漆膜厚度应按 GB/T 13452.2

中的相关方法测定。

6.3 基材选用

应根据产品实际应用场景选择对应基材，基材规格：

- a) 建筑基材（A类）：150 mm×150 mm×20 mm 混凝土试块；
- b) 金属基材（B类）：1 mm 厚度铝板，尺寸 150 mm×150 mm，表面处理至 Sa2.5 除锈除油等级；
- c) 纺织品基材（C类）：200 mm×200 mm 对应织物基材，预先烘干去除表面杂质；
- d) 复合材料基材（D类）：150 mm×150 mm×5 mm 聚酯复合板。

6.4 试样涂覆制备

6.4.1 按照产品说明书规定施工工艺进行涂覆，可采用喷涂、刷涂、滚涂；分 2 道~3 道施工，每道间隔时间按产品技术文件执行。

6.4.2 干膜厚度应按照本文件 5.3 对应的类别指标控制；漆膜厚度测定按照 GB/T 13452.2 中的相关规定。

6.4.3 试样完成涂覆后，置于本文件 6.1 规定标准环境进行状态调节养护；养护时间不少于 7 d，涂层应完全成膜固化。

6.4.4 每一个测试项目，平行试样不少于 3 件；纺织品基材测试试样不少于 5 件。试样表面不得有磕碰、划伤、油污、指纹。

6.5 试样预处理

试验前，试样在本文件 6.1 标准环境放置不少于 24 h；测试前清除试样表面浮尘，禁止使用有机溶剂擦拭涂层测试面。

7 光热辐射制冷性能试验

7.1 太阳光谱反射比

7.1.1 试验原理

采用紫外-可见-近红外分光光度计配备积分球附件，采集 300 nm~2500 nm 波段光谱反射曲线，通过太阳光谱权重函数加权计算得到太阳光谱反射比。

7.1.2 仪器设备

7.1.2.1 紫外-可见-近红外分光光度计，测试波段覆盖 300 nm~2500 nm。

7.1.2.2 积分球（聚四氟乙烯内衬）。

7.1.2.3 聚四氟乙烯标准白板（经过计量校准）。

7.1.3 试验步骤

7.1.3.1 仪器开机预热，完成基线校准，使用标准白板做参比校准。

7.1.3.2 将试样涂层测试面紧贴积分球样品窗口；避开试样边缘，选取试样中部 3 处不同位置分别测试。

7.1.3.3 采集 300 nm~2500 nm 波段光谱反射数据，波长间隔≤10 nm。

7.1.3.4 每块试样 3 个点位完成测试；更换平行试样重复操作。

7.1.4 数据处理

每一块试样取 3 个点位的算术平均值；再取全部平行试样的算术平均值作为测试结果，结果保留小数点后 2 位。

7.2 大气窗口平均发射率

7.2.1 试验原理

傅里叶变换红外光谱仪配红外积分球，采集 $8\text{ }\mu\text{m}\sim 13\text{ }\mu\text{m}$ 半球反射光谱；不透明涂层依据基尔霍夫定律，计算该波段半球发射率算术平均值。

7.2.2 仪器设备

7.2.2.1 傅里叶变换红外光谱仪，配备红外积分球附件。

7.2.2.2 光谱分辨率优于 4 cm^{-1} 。

7.2.2.3 高低发射率红外标准板（计量校准）。

7.2.3 试验步骤

7.2.3.1 仪器开机充分预热，使用高低发射率标准板完成仪器校准。

7.2.3.2 将试样涂层面贴紧样品窗口，选取试样中部3个不同位置测试。

7.2.3.3 采集 $8\text{ }\mu\text{m}\sim 13\text{ }\mu\text{m}$ 波段的半球反射光谱，分辨率 4 cm^{-1} 。

7.2.3.4 完成单块试样测试，更换平行试样重复测试。

7.2.4 数据处理

单块试样取3个测试点位算术平均值；全部平行试样取算术平均值作为最终测试结果，结果保留小数点后2位。

7.3 辐射制冷净制冷功率

7.3.1 试验原理

试样置于高绝热底座，配置高透聚乙烯风屏抑制对流换热；采用热补偿法，模拟太阳辐照条件，通过热流传感器采集热流信号，计算单位面积净制冷功率。

7.3.2 仪器设备

7.3.2.1 辐射制冷性能测试装置。

7.3.2.2 太阳模拟器。

7.3.2.3 热流密度传感器，精度 $\pm 2\text{ W/m}^2$ 。

7.3.2.4 T型热电偶，温度采集模块。

7.3.2.5 气象传感器（环境温度、风速）。

7.3.3 试验步骤

7.3.3.1 测试装置、仪器开机预热，完成系统校准。

7.3.3.2 将试样安装于绝热底座，涂层测试面朝上；安装聚乙烯风屏。

7.3.3.3 设置太阳模拟器辐照度 1000 W/m^2 ；控制装置腔体内风速 $\leq 0.5\text{ m/s}$ 。

7.3.3.4 系统运行至热流、温度信号完全稳定，稳定时间不少于 15 min ；连续采集不少于10组数据，采样间隔不少于 30 s 。

7.3.3.5 依次完成全部平行试样测试；每更换一块试样，系统应重新达到热稳定。

7.3.4 数据处理

剔除异常离群数据；计算每组稳定采集数据的算术平均值；再计算全部平行试样算术平均值，结果单位 W/m^2 ，结果取整数。

8 外观及理化性能试验

8.1 外观

8.1.1 试验条件：散射自然光，照度 $300\text{ lx}\sim 500\text{ lx}$ ；观测距离 500 mm 。

8.1.2 试验步骤：

a) 目视观察试样涂层全部表面；

b) 统计麻点尺寸与单位面积数量，记录气泡、裂纹、流挂、脱落、色差等缺陷。

8.1.3 结果记录：文字描述缺陷类型、尺寸、数量。

8.2 干膜厚度

应按照GB/T 13452.2中的相关规定进行测定。

8.3 附着力

应按照GB/T 9286或GB/T 5210中的相关规定进行测定。

8.4 剥离强度金属、复合材料基材)

应按照GB/T 2792中的相关规定进行测定。

8.5 耐摩擦色牢度（纺织品基材）

应按照GB/T 3920中的相关规定进行测定。

8.6 断裂延伸率

8.6.1 纺织品基材应按照 GB/T 1040.3 中的相关规定进行测定。

8.6.2 复合材料基材应按照 GB/T 1040.1 中的相关规定进行测定。

8.7 耐冲击性

应按照GB/T 1732中的相关规定进行测定。

8.8 耐磨性

应按照GB/T 23988中的相关规定进行测定。

8.9 耐沾污性

应按照GB/T 9780中的相关规定进行测定。

8.10 VOC 含量

应按照GB/T 23985中的相关规定进行测定。

8.11 重金属含量

8.11.1 应采用 ICP-MS 电感耦合等离子体质谱法。

8.11.2 试样消解，测定铅、镉、汞、六价铬总含量，单位 mg/kg。

8.12 耐化学浸泡试验

8.12.1 配置 5%（体积分数）盐酸溶液、5%（质量分数）氢氧化钠溶液。

8.12.2 试样完全浸泡于溶液中，试样之间、试样与容器壁间隙 ≥ 10 mm；常温（ 23 ± 2 ）℃浸泡 72 h。

8.12.3 取出试样清水冲洗干净，自然晾干；记录涂层鼓泡、脱落、变色、开裂现象。

9 环境耐久性能试验

9.1.1 耐氙灯人工加速老化试验

9.1.2 仪器：氙弧灯老化试验箱，按照 GB/T 16422.2；辐照度 $1.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ ，黑板温度（ 65 ± 3 ）℃，相对湿度 $50\% \pm 5\%$ 。

9.1.3 试验步骤：

- 测试老化前试样的太阳光谱反射比、大气窗口平均发射率，记录外观；
- 放入老化箱，试样放置于辐照均匀区域；按照本文件 5.8 规定的总曝露时间开展试验；试验过程中定期轮换试样位置；
- 达到规定曝露时长，取出试样，置于本文件 6.1 环境状态调节 24 h；
- 观察并记录涂层外观变化；按照本文件 7.1 和 7.2 复测光热性能。

9.1.4 数据处理：光热性能保留率按式（1）计算，计算平行试样算术平均值，结果保留小数点后 1 位。

$$R = \frac{\rho_1}{\rho_0} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：
R——光热性能保留率，%；
 ρ_0 ——老化前太阳光谱反射比；
 ρ_1 ——老化后太阳光谱反射比。

9.2 高低温循环试验

- 9.2.1 仪器：高低温试验箱，控温精度±1℃。
- 9.2.2 试验步骤：
- a) 将试样固定于箱内支架，试样之间互不接触；
 - b) 按照本文件 5.5 循环程序运行；
 - c) 室外 W 类：-40℃恒温 2 h；升温至 80℃恒温 2 h，计 1 次循环；
 - d) 室内 N 类：-20℃恒温 2 h；升温至 60℃恒温 2 h，计 1 次循环；
 - e) 完成规定循环次数，取出试样，在标准环境放置 2 h；目视检查涂层有无开裂、脱落。

9.3 耐湿热试验

应按照 GB/T 1740 中的相关规定进行测定。

9.4 中性盐雾试验

应按照GB/T 10125中的相关规定进行试验。

10 数据处理

10.1 数据取舍

平行试样测试结果，若个别数据明显离群，应按照GB/T 4883中格拉布斯准则进行异常值判别；判别为异常值方可剔除，并在报告中注明剔除原因。不得随意舍弃测试数据。

10.2 结果判定

将试样测得的各项性能结果应符合本文件第5章性能要求，全部项目满足指标，则判定该试样符合本文件要求；任意一项不满足，则判定不符合本文件要求。

11 试验报告

试验报告应至少包含如下信息：

- a) 本文件编号；
 - b) 样品信息：样品名称、样品分类标记、生产批次、生产日期；
 - c) 试样信息：基材类型、基材牌号、表面处理工艺、涂覆工艺、干膜厚度、养护条件；
 - d) 试验环境：环境温度、相对湿度、大气压力；
 - e) 每个试验项目：仪器型号、校准状态；原始数据、平行样数量、测试结果以及是否符合本文件第 5 章性能要求的判定；
 - f) 试验中偏离本文件规定的任何操作说明；
 - g) 试验日期、试验人员。
-