

ICS 97.195 ; 71.040.30
CCS H 20 ; Y 88

WW

中华人民共和国文物保护行业标准

WW/T 0129—2025

室外金属文物封护材料要求与评价方法

Requirements and evaluation methods for coating materials
used for out-door metal cultural relics

2025-01-20 发布

2025-06-01 实施

国家文物局 发布

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 通用要求	1
5 适用性要求与评价方法	2
6 有效性要求与评价方法	3
7 检测报告	4
附录 A (资料性) 模拟金属文物样品制备方法	5
附录 B (规范性) 模拟金属文物样品表面封护材料耐腐蚀性测试方法	7
附录 C (规范性) 金属文物表面封护材料耐腐蚀性原位无损测试方法	9
附录 D (资料性) 室外金属文物封护材料检测报告样式	11
参考文献	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。

本文件由国家文物局提出。

本文件由全国文物保护标准化技术委员会（SAC/TC 289）归口。

本文件起草单位：北京化工大学、北京市考古研究院（北京市文化遗产研究院）、中国国家博物馆。

本文件主要起草人：王菊琳、吴玉清、张涛、马立治、李沫、王智慧、吴进贤。

引 言

室外金属文物在环境介质等作用下，金属本体以一定的腐蚀速率腐蚀而使文物的价值等受到影响。封护材料的使用可有效延缓金属文物腐蚀劣化，但也不可避免地会向器物本体引入外来物质，对器物中蕴含的考古信息造成干扰。因此，寻找最小干预原则和最佳保护效果之间的平衡是室外金属文物封护材料研发及筛选需关注的重点问题。

为形成金属文物封护材料的标准化评价方法和科学化评估指标体系，特制定本文件，以确保室外金属文物得到切实有效的保护，促进国内外封护材料研发最新成果在文物保护实践中的落地转化，推动室外金属文物保护修复工作的科学化和规范化进程。

室外金属文物封护材料要求与评价方法

1 范围

本文件规定了室外金属文物封护材料的适用性和有效性要求，描述了适用性和有效性的评价方法，给出了封护材料检测报告的内容与样式。

本文件适用于室外金属文物封护材料研发、生产及应用阶段的检测与评价。

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 6739 色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度

GB/T 8264 涂装技术术语

GB/T 9286 色漆和清漆 划格试验

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

WW/T 0041 室外铁质文物封护工艺规范

3 术语和定义

GB/T 8264 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

封护材料 coating materials

涂敷在文物表面以隔绝环境介质中侵蚀性物质的材料。

3.2

粘附性 adhesivity

抵抗封护材料（3.1）与文物之间发生脱落、剥离等界面分离现象的能力。

4 通用要求

4.1 封护材料不宜含有甲醛、苯、甲苯、二甲苯、氯代烃、多环芳烃、铬、铅、镉、汞等对人体和环境有害的物质。

4.2 封护材料不应金属文物本体造成损伤，应具有可再处理性，不影响二次保护处理。

4.3 封护材料应先进行适用性评价，后进行有效性评价。两项评价结果均分为通过和不通过，其中一项评价不通过，则封护材料评价结论为不通过。

4.4 封护材料的适用性和有效性评价，应先在模拟金属文物样品上进行，评价通过后再进行待保护金属文物局部性能评价。待保护金属文物局部只进行平整度、色度、光泽度和耐腐蚀性评价。

4.5 模拟金属文物样品的材质和表面粗糙度应与待保护金属文物相同，模拟金属文物样品制备方法见附录 A。

4.6 待保护金属文物局部性能评价试验应选择在表面起伏较小且隐蔽位置进行。

5 适用性要求与评价方法

5.1 适用性要求

室外金属文物封护材料的适用性评价项目应包含 pH 值、平整度、色度、光泽度、硬度、粘附性，其相应的要求应符合表 1。

表 1 室外金属文物封护材料适用性要求

评价项目	要求
pH 值	水溶性封护材料大于等于 6，非水溶性封护材料不做限定
平整度	无刷痕、起泡、橘皮、起皱、针孔、起皮、流挂等现象
色度	色差小于等于 5
光泽度	对于光泽度低于 70 的金属文物，光泽度变化值在 -12~8 之间；对于光泽度大于等于 70 的金属文物，光泽度变化值在 -18~12 之间
硬度	铅笔硬度大于等于 HB
粘附性	1 级及以上

5.2 适用性评价方法

5.2.1 评价顺序和判定

适用性评价应按照 pH 值、平整度、色度、光泽度、硬度、粘附性的顺序进行，如果某一项目不符合要求，则后续性能无需再做测试，适用性评价结果为不通过。

5.2.2 pH 值

采用酸度计或精密 pH 试纸测定水溶性封护材料（实施浓度）的 pH 值，非水溶性封护材料无需测定。

5.2.3 平整度

采用目视法观察模拟金属文物样品和待保护金属文物表面封护材料干燥成膜后的平整度。

5.2.4 色度

采用色度仪测定封护材料施用前后模拟金属文物样品和待保护金属文物表面同一位置的 CIELAB 色度，并按公式（1）计算色差：

$$\Delta E_{ab}^* = [(L_1^* - L_0^*)^2 + (a_1^* - a_0^*)^2 + (b_1^* - b_0^*)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ΔE_{ab}^* ——封护材料施用前后的色差；

L_1^* ——封护材料干燥成膜后的明度分量；

L_0^* ——封护材料施用前的明度分量；

a_1^* ——封护材料干燥成膜后的红/绿分量（+a 代表红色，-a 代表绿色）；

- a_0^* ——封护材料施用前的红/绿分量（+a 代表红色，-a 代表绿色）；
 b_1^* ——封护材料干燥成膜后的蓝/黄分量（+b 代表黄色，-b 代表蓝色）；
 b_0^* ——封护材料施用前的蓝/黄分量（+b 代表黄色，-b 代表蓝色）。

5.2.5 光泽度

采用光泽度计在 60°几何条件下测量封护材料施用前后模拟金属文物样品和待保护金属文物表面同一位置的光泽度，并按公式（2）计算光泽度变化值：

$$\Delta G = G_1 - G_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- ΔG ——封护材料施用前后的光泽度变化值；
 G_1 ——封护材料干燥成膜后的光泽度；
 G_0 ——封护材料施用前的光泽度。

5.2.6 硬度

按照 GB/T 6739 规定的铅笔法，测定封护材料在模拟金属文物样品表面干燥成膜后的硬度。

5.2.7 粘附性

按照 GB/T 9286 规定的划格试验法，测定封护材料在模拟金属文物样品表面干燥成膜后的粘附性。

6 有效性要求与评价方法

6.1 有效性要求

室外金属文物封护材料的有效性评价项目应包含耐腐蚀性和耐候性，其相应的要求应符合表 2。

表 2 室外金属文物封护材料有效性要求

评价项目	要求
耐腐蚀性	低频阻抗模值 $ Z _{001\text{ Hz}}$ 大于等于 $10^6 \Omega \cdot \text{cm}^2$
耐候性	耐紫外暴露辐射能大于等于 2200 J/m^2 ，耐湿热老化时间大于等于 6 h，耐盐雾老化时间大于等于 16 h，耐冻融老化循环次数大于等于 5 次

6.2 有效性评价方法

6.2.1 评价顺序和判定

有效性评价应按照耐腐蚀性、耐候性的顺序进行，如果某一项目不符合要求，则后续性能无需再做测试，有效性评价结果为不通过。

6.2.2 耐腐蚀性

采用电化学阻抗谱测定的低频阻抗模值 $|Z|_{001\text{ Hz}}$ 评价封护材料的耐腐蚀性。按照附录 B 的方法测定以模拟金属文物样品为对象的封护材料耐腐蚀性；按照附录 C 的方法测定以待保护金属文物为对象的封护材料耐腐蚀性。

6.2.3 耐候性

6.2.3.1 概述

耐候性评价应在模拟金属文物样品表面的封护材料干燥成膜后，按照耐紫外暴露辐射能、耐湿热老化时间、耐盐雾老化时间和耐冻融老化循环次数的顺序进行，如果某一项目不符合要求，则后续性能无需再做测试，耐候性评价结果为不通过。

6.2.3.2 耐紫外暴露辐射能

将样品放置于装有荧光紫外灯的老化试验箱内，老化试验箱内温度保持在 $(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度保持在 $(50\pm 5)\%$ ，选用波长范围为 $300\text{ nm}\sim 400\text{ nm}$ 的紫外线辐照计测试样品表面辐照度，当样品表面出现起泡、变色、开裂、粉化等任意一种现象时，记录时间并按照公式(3)计算紫外暴露辐射能：

$$H=Et \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- H ——紫外暴露辐射能，单位为焦耳每平方米 (J/m^2) ；
- E ——模拟金属文物样品表面辐照度，单位为瓦每平方米 (W/m^2) ；
- t ——模拟金属文物样品紫外暴露时间，单位为秒 (s) 。

6.2.3.3 耐湿热老化时间

将样品垂直悬挂于温度为 $(47\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $(93\pm 5)\%$ 的恒温恒湿箱中，当样品表面出现生锈、起泡、变色、开裂、粉化等任意一种现象时，记录时间。

6.2.3.4 耐盐雾老化时间

按照 GB/T 10125 规定的中性盐雾试验法进行耐盐雾老化试验，当样品表面出现生锈、起泡、变色、开裂、粉化等任意一种现象时，记录时间。

6.2.3.5 耐冻融老化循环次数

将样品置于水温为 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中，浸泡 18 h；取出样品，放入 $(-20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的低温箱中，冷冻 3 h；取出样品，立即放入 $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱中，热烘 3 h，取出样品，如此为一次冻融老化循环试验。记录样品表面出现生锈、起泡、变色、开裂、粉化等任意一种现象时的冻融循环次数。

7 检测报告

7.1 封护材料检测报告应包括但不限于以下内容：

- a) 报告封面：包括报告标题、报告编号、材料名称、检测单位、检测时间等；
- b) 首页：记录材料名称、规格等信息，描述待保护的金属文物的材质和表面状态，列出各检测项目采用的仪器、检测依据等，给出检测结论；
- c) 正文：针对模拟金属文物样品和待保护金属文物，分别列出各检测项目对应的检测依据、指标要求、检测结果、分项结论等；
- d) 照片页：包含各项指标试验前后对比的照片。

7.2 封护材料检测报告样式见附录 D。

附录 A
(资料性)
模拟金属文物样品制备方法

A.1 待保护金属文物信息获取

A.1.1 材质

采用查阅文物档案资料、成分分析和金相显微分析等方法确定待保护金属文物材质信息。应优先考虑无损或微损的检测方法，如需取样分析，应在不影响文物外观的隐蔽处取样。

A.1.2 表面粗糙度

采用粗糙度仪测定待保护金属文物样品表面平均粗糙度。

A.2 模拟金属文物样品制备

模拟金属文物样品制备步骤如下：

- a) 选材：根据待保护金属文物材质信息，结合表 A.1、表 A.2、表 A.3 选择与待保护金属文物金相组织相同、化学成分相近的材料作为模拟金属文物样品。

表 A.1 模拟铁质文物样品材质要求

类别		金相组织	化学成分 (质量分数)	
			C	Fe
铸铁	灰口铸铁	碳主要以片状石墨形式析出，断口呈灰色	2.0%~4.5%	余量
	白口铸铁	碳主要以游离碳化物析出，无石墨形式析出，断口呈白色，由渗碳体及珠光体（或莱氏体等）组成	2.0%~4.5%	余量
	麻口铸铁	碳大部分以游离共晶或过共晶碳化物形式析出，其余以石墨形式析出，断口呈灰白色相间	2.0%~4.5%	余量
碳钢	高碳钢	由珠光体及渗碳体组成	0.6%~2.0%	余量
	中碳钢	由珠光体及铁素体组成	0.25%~0.6%	余量
	低碳钢	铁素体为主，同时含少量珠光体	0.1%~0.25%	余量
熟铁		铁素体	<0.1%	余量

表 A.2 模拟青铜文物样品材质要求

类别	热处理状态	晶型	金相组织	化学成分 (质量分数)		
				Sn	Pb	Cu
铜锡二元青铜	铸态	树枝晶	α 相	$\omega_{Sn} \pm 1\%$	<2%	余量
			α 相、($\alpha+\delta$) 共析相	$\omega_{Sn} \pm 1\%$	<2%	余量
	退火态	等轴晶、孪晶	α 相	$\omega_{Sn} \pm 1\%$	<2%	余量
			α 相、($\alpha+\delta$) 共析相	$\omega_{Sn} \pm 1\%$	<2%	余量

表 A.2 (续)

类别	热处理状态	晶型	金相组织	化学成分 (质量分数)		
				Sn	Pb	Cu
铜锡铅三元青铜	铸态	树枝晶	α 相、游离铅	$\omega_{Sn} \pm 1\%$	$\omega_{Pb} \pm 1\%$	余量
			α 相、 $(\alpha+\delta)$ 共析相、游离铅	$\omega_{Sn} \pm 1\%$	$\omega_{Pb} \pm 1\%$	余量
	退火态	等轴晶、孪晶	α 相、游离铅	$\omega_{Sn} \pm 1\%$	$\omega_{Pb} \pm 1\%$	余量
			α 相、 $(\alpha+\delta)$ 共析相、游离铅	$\omega_{Sn} \pm 1\%$	$\omega_{Pb} \pm 1\%$	余量
铜铅二元青铜	铸态	树枝晶	α 相、游离铅	$<2\%$	$\omega_{Pb} \pm 1\%$	余量
	退火态	等轴晶、孪晶	α 相、游离铅	$<2\%$	$\omega_{Pb} \pm 1\%$	余量

注： ω_{Sn} 、 ω_{Pb} 分别为待保护青铜文物中 Sn、Pb 的质量分数。

表 A.3 模拟黄铜文物样品材质要求

类别	金相组织	化学成分 (质量分数)	
		Zn	Cu
α 黄铜	α 相	$\omega_{Zn} \pm 1\%$	余量
$\alpha+\beta$ 黄铜	$(\alpha+\beta)$ 相	$\omega_{Zn} \pm 1\%$	余量
β 黄铜	β 相	$\omega_{Zn} \pm 1\%$	余量

注： ω_{Zn} 为待保护黄铜文物中 Zn 的质量分数。

- b) 表面处理：每个评价项目应设置不少于 3 组平行样，通过喷砂、砂纸打磨等方法处理样品表面，采用粗糙度仪测定表面平均粗糙度。模拟金属文物样品与待保护金属文物表面平均粗糙度差值应小于 $20 \mu\text{m}$ 。

附录 B

(规范性)

模拟金属文物样品表面封护材料耐腐蚀性测试方法

B.1 试剂

- B.1.1 丙酮：分析纯。
- B.1.2 无水乙醇：分析纯。
- B.1.3 氯化钠：分析纯。
- B.1.4 硫酸钠：分析纯。
- B.1.5 碳酸氢钠：分析纯。

B.2 材料

- B.2.1 塑料圆管：材质宜为聚氯乙烯、有机玻璃、聚丙烯等硬质材料，直径宜小于模拟金属文物样品宽度 20 mm 以上，推荐直径为 30 mm~50 mm。
- B.2.2 密封材料：宜对水蒸气、水的通过有高的阻断作用，对任何带涂层的试样和塑料圆管粘附性好，绝缘且易于操作。

B.3 设备

- B.3.1 电化学工作站：电位控制精度不大于 1 mV。
- B.3.2 耐腐蚀性测试装置：由工作电极、参比电极、辅助电极、密封材料、塑料圆管和腐蚀介质组成，装置按照图 B.1 组装，其中工作电极为封护材料施用后的模拟金属文物样品，参比电极宜选用带有鲁金毛细管盐桥的饱和甘汞电极或氯化银电极，辅助电极宜选用铂电极或其他惰性材料。

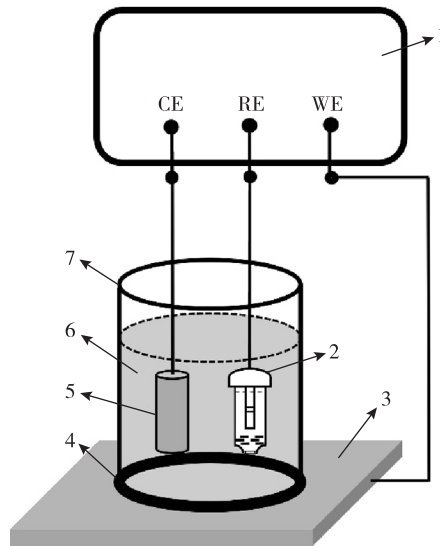
B.4 测试步骤

耐腐蚀性测试应按下列步骤进行：

- a) 试样清洗：将模拟金属文物样品使用蒸馏水或去离子水冲洗后立即用滤纸擦净，用丙酮除油后放入无水乙醇中浸泡 5 min~6 min，取出后存放于干燥器内；
- b) 封护材料施用：根据封护材料特性，按 WW/T 0041 的操作要求选择刷涂、搓涂、喷涂等方法在模拟金属文物样品表面施用封护材料；
- c) 腐蚀介质配制：配制成分为 0.028 mol/L 氯化钠、0.01 mol/L 硫酸钠与 0.016 mol/L 碳酸氢钠的混合水溶液；
- d) 装配耐腐蚀性测试装置：如图 B.1 所示，待所施用封护材料在模拟金属文物样品表面干燥成膜后，将施用封护材料的模拟金属文物样品表面与塑料圆管一端用密封材料连接并密封。密封材料干燥固化后，向塑料圆管中倒入腐蚀介质（以液面高于工作电极 5cm 为宜），插入并固定参比电极和辅助电极，使参比电极的鲁金毛细管前端与工作电极的距离约为毛细管前端直径的两倍；
- e) 电化学阻抗谱测量：打开电化学工作站，预热 30 min，待开路电位稳定后（开路电位波动值小于 3 mV/min），进行交流阻抗谱测试，测量的频率范围为 10^5 Hz~ 10^{-2} Hz，测量信号为幅值 20 mV 的正弦波。

B.5 测试结果分析

取频率为 0.01 Hz 对应的阻抗模值 $|Z|_{0.01 \text{ Hz}}$ 用于评价封护材料的耐腐蚀性。



标引序号说明：

- 1——电化学工作站；
- 2——参比电极；
- 3——工作电极；
- 4——密封材料；
- 5——辅助电极；
- 6——腐蚀介质；
- 7——塑料圆管。

图 B.1 模拟金属文物样品表面封护材料耐腐蚀性测试装置图

附录 C

(规范性)

金属文物表面封护材料耐腐蚀性原位无损测试方法

C.1 试剂

测试使用的试剂种类与要求除应符合附录 B 中 B.1 的规定，还应包括达到分析纯级别的琼脂粉。

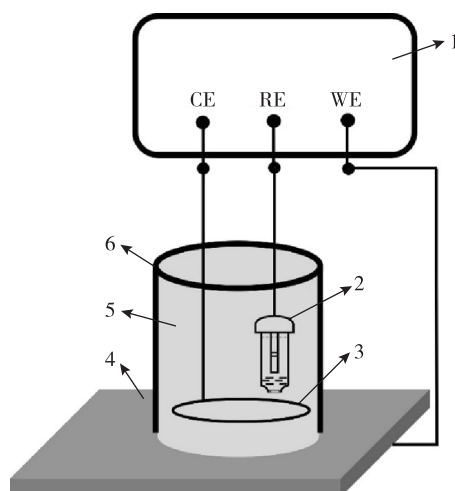
C.2 材料

塑料模具：材质宜为聚氯乙烯、有机玻璃、聚丙烯等硬质材料，推荐采用直径为 30 mm～50 mm 的圆管。

C.3 设备

C.3.1 电化学工作站：电位控制精度不大于 1 mV。

C.3.2 便携式原位无损电化学测试装置：由工作电极、参比电极、辅助电极、凝胶电解质、塑料模具组成，装置按照图 C.1 组装，其中工作电极为封护材料施用后的金属文物，参比电极宜选用饱和甘汞电极或氯化银电极，辅助电极宜选用铂电极或其他惰性材料，凝胶电解质为琼脂和腐蚀介质的混合物。



标引序号说明：

1——电化学工作站；

2——参比电极；

3——辅助电极；

4——工作电极；

5——凝胶电解质；

6——塑料模具。

图 C.1 便携式原位无损电化学测试装置图

C.4 测试对象

宜选择至少 3 处表面起伏较小、隐蔽且面积大于塑料模具横截面的局部区域进行封护材料施用后电化学阻抗谱采集。

C.5 测试步骤

应按下列步骤原位采集金属文物表面局部区域电化学阻抗谱：

- a) 封护材料施用：根据封护材料特性，按 WW/T 0041 的操作要求选择刷涂、搓涂、喷涂等方法在 C.4 选择确定的金属文物局部区域施用封护材料；
- b) 腐蚀介质配制：同 B.4c)；
- c) 测试装置装配：如图 C.1 所示，待所施用封护材料在金属文物表面干燥成膜后，将琼脂粉与腐蚀介质按质量比 1 : 20 混合，加热并搅拌均匀后装入塑料模具，插入并固定参比电极和辅助电极，将凝胶电解质与施用封护材料后的金属文物局部区域接触；
- d) 电化学阻抗谱测量：同 B.4e)；
- e) 文物表面清理：拆除测试装置，去除金属文物表面残余凝胶电解质及水渍。

C.6 测试结果分析

取频率为 0.01 Hz 对应的阻抗模值 $|Z|_{0.01 \text{ Hz}}$ 用于评价封护材料的耐腐蚀性。

附录 D
(资料性)
室外金属文物封护材料检测报告样式

图 D.1~图 D.4 分别给出了室外金属文物封护材料检测报告封面、首页、正文、照片页样式。

室外金属文物封护材料检测报告

报告编号：××××

材料名称：_____

检测单位：_____

检测时间：_____

图 D.1 室外金属文物封护材料检测报告封面样式

检测报告首页				
报告编号： _____		共____页，第____页		
材料名称		规格型号		
待保护 金属文物 信息				
检测	项目		地点	
	仪器		日期	
检测依据				
检测结论				
批准： _____		审核： _____		检验： _____

图 D.2 室外金属文物封护材料检测报告首页样式

检测报告正文

报告编号：_____

共____页，第____页

模拟金属文物样品						
检测项目	检测依据	指标要求	检测结果	单项结论	图示	分项结论
适用性	pH 值					
	平整度					
	色度					
	光泽度					
	硬度					
	粘附性					
有效性	耐腐蚀性					
	耐候性					
待保护金属文物						
检测项目	检测依据	指标要求	检测结果	单项结论	图示	分项结论
适用性	平整度					
	色度					
	光泽度					
有效性	耐腐蚀性					
批准：_____	审核：_____	检验：_____				

图 D.3 室外金属文物封护材料检测报告正文样式

检测报告照片页		
报告编号： _____	共____页，第____页	
照片和说明		
批准： _____	审核： _____	检验： _____

图 D.4 室外金属文物封护材料检测报告照片页样式

参 考 文 献

- [1] GB/T 1740 漆膜耐湿热测定法
- [3] GB/T 2523 冷轧金属薄板和薄带表面粗糙度、峰值数和波纹度测量方法
- [4] GB/T 9754 色漆和清漆不含金属颜料的色漆漆膜的 20°、60°和 85°镜面光泽的测定
- [2] GB/T 14522 机械工业产品用塑料、涂料、橡胶材料人工气候老化试验方法荧光紫外灯
- [5] JG/T 25 建筑涂料涂层耐温变性试验方法
- [6] ASTM D3134—15 Standard Practice for Establishing Color and Gloss Tolerances
- [7] ASTM STP866—1985 Laboratory Corrosion Tests And Standards
- [8] Cano E, Crespo A, Lafuente D, et al. A novel gel polymer electrolyte cell for in-situ application of corrosion electrochemical techniques [J]. *Electrochemistry Communications*, 2014, 41 (2): 16—19
- [9] 马清林, 沈大娟, 永昕群. 铁质文物保护技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2011
- [10] 曹楚南, 张鉴清. 电化学阻抗谱导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [11] 贾明浩, 胡沛, 胡钢. 凝胶体系下电化学阻抗谱评估单宁酸对模拟铸铁文物的缓蚀效果 [J]. *腐蚀与防护*, 2022, 43 (07): 33—38+56
-

中华人民共和国文物保护行业标准
室外金属文物封护材料要求与评价方法

Requirements and evaluation methods for coating materials used for out-door metal cultural relics

WW/T 0129—2025

*

文物出版社出版发行

北京市东城区东直门内北小街2号楼

<http://www.wenwu.com>

宝蕾元仁浩（天津）印刷有限公司

新华书店经销

*

开本：880毫米×1230毫米 1/16

印张：1.625

2025年1月第1版 2025年1月第1次印刷

统一书号：115010·2041 定价：30.00元