

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 0130—2025

铁质文物缓蚀材料要求与评价方法

Requirements and evaluation methods for iron cultural relics inhibitors

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 适用性要求和评价方法	2
6 有效性要求和评价方法	3
7 检测报告	3
附录 A (资料性) 模拟铁质文物样品制备方法	4
附录 B (规范性) 失重法测定模拟铁质文物样品缓蚀效率	5
附录 C (规范性) 原位无损电化学法测定铁质文物缓蚀效率	7
附录 D (资料性) 铁质文物缓蚀材料检测报告样式	9
参考文献	13

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、中国国家博物馆、北京市考古研究院（北京市文化遗产研究院）。

本文件主要起草人：王菊琳、吴玉清、李沫、马立治、张涛、王智慧、吴进贤。

引 言

我国铁质文物以铸铁为主，为研究古代冶金技术和当时的社会、经济、文化等提供了丰富资料。目前，我国有文献记载的铁质文物约 87% 存在不同程度腐蚀，亟需采取具有针对性的保护措施。缓蚀材料的使用是铁质文物保护处理的重要环节之一，通过向腐蚀体系中引入少量或微量化学物质，可显著抑制铁质文物的进一步腐蚀。尽管如此，国内外文物保护领域广泛采用的铁质文物缓蚀材料多由工业领域引入，其性能评价大多也直接沿用工业领域采用的评价方法及指标，相关评价结果往往难以反映铁质文物在实际保存环境中的腐蚀特征。此外，铁质文物缓蚀材料研发工作长期聚焦于提升缓蚀材料的长期防护性能，却往往忽略了文物修复保护需满足的最小干预性、兼容性、可再处理性等原则，这也导致很多具有优异性能的缓蚀保护新材料在文物保护具体实践中难以落地使用。

为形成金属文物缓蚀材料的标准化检测方法和科学系统评估体系，特制定本文件，以促进国内外缓蚀保护材料研发最新成果在文物保护实践中的落地转化，推动铁质文物保护修复工作的科学化和规范化进程。

铁质文物缓蚀材料要求与评价方法

1 范围

本文件规定了铁质文物缓蚀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，给出了缓蚀材料检测报告的内容与样式。

本文件适用于铁质文物缓蚀材料研发、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。

WW/T 0074 室外铁质文物缓蚀工艺规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

腐蚀体系 corrosion system

由一种或多种金属和影响腐蚀的环境要素所组成的体系。

注：环境的某些要素可包括：涂层、表面层。

3.2

缓蚀材料 inhibitors

以适当浓度和形式存在于腐蚀体系（3.1）时，可以防止或减缓金属文物腐蚀的物质。

4 通用要求

4.1 缓蚀材料不宜含有甲醛、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 缓蚀材料不应应对铁质文物本体造成损伤，应具有可再处理性，不影响二次保护处理。

4.3 缓蚀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，则缓蚀材料评价结论为不通过。

4.4 缓蚀材料的适用性和有效性评价，应先在模拟铁质文物样品上进行，评价通过后再进行待保护铁质文物局部性能评价。待保护铁质文物局部只进行均匀性、色度、光泽度和缓蚀效率评价。

4.5 模拟铁质文物样品的材质和表面粗糙度应与待保护铁质文物相同，模拟铁质文物样品制备方法见附录 A。

4.6 待保护铁质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 适用性要求和评价方法

5.1 适用性要求

铁质文物缓蚀材料的适用性评价项目应包含 pH 值、均匀性、色度、光泽度，其相应的要求应符合表 1。

表 1 铁质文物缓蚀材料适用性要求

评价项目	要求
pH 值	水溶性缓蚀材料大于等于 6，非水溶性缓蚀材料不做限定
均匀性	无颗粒物、刷痕、发白等现象
色度	色差小于等于 5
光泽度	光泽度变化值在 -12~8 之间

5.2 适用性评价方法

5.2.1 评价顺序和判定

适用性评价按照 pH 值、均匀性、色度、光泽度的顺序进行，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 试纸测定水溶性缓蚀材料（实施浓度）的 pH 值，非水溶性缓蚀材料无需测定。

5.2.3 均匀性

采用目视法观察模拟铁质文物样品和待保护铁质文物表面缓蚀材料干燥成膜后的均匀性。

5.2.4 色度

采用色度仪测定缓蚀材料施用前后模拟铁质文物样品和待保护铁质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}^* —— 缓蚀材料施用前后的色差；
- L_1^* —— 缓蚀材料干燥成膜后的明度分量；
- L_0^* —— 缓蚀材料施用前的明度分量；
- a_1^* —— 缓蚀材料干燥成膜后的红/绿分量（+a 代表红色，-a 代表绿色）；
- a_0^* —— 缓蚀材料施用前的红/绿分量（+a 代表红色，-a 代表绿色）；
- b_1^* —— 缓蚀材料干燥成膜后的蓝/黄分量（+b 代表黄色，-b 代表蓝色）；
- b_0^* —— 缓蚀材料施用前的蓝/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°几何条件下测定缓蚀材料施用前后模拟铁质文物样品和待保护铁质文物表面

同一位置的光泽度，并按公式（2）计算光泽度变化值：

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

式中：

ΔG ——缓蚀材料施用前后的光泽度变化值；

G_1 ——缓蚀材料干燥成膜后的光泽度；

G_0 ——缓蚀材料施用前的光泽度。

6 有效性要求和评价方法

铁质文物缓蚀材料的有效性应通过缓蚀效率进行评价，缓蚀效率应高于 80%。以模拟铁质文物样品为对象的缓蚀效率按照附录 B 的方法测定；以待保护铁质文物为对象的缓蚀效率按照附录 C 的方法测定。

7 检测报告

7.1 缓蚀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，描述待保护铁质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：针对模拟铁质文物样品和待保护铁质文物，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 缓蚀材料检测报告样式见附录 D。

附 录 A
(资料性)
模拟铁质文物样品制备方法

A.1 待保护铁质文物信息获取

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铁质文物材质信息。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铁质文物样品表面平均粗糙度。

A.2 模拟铁质文物样品制备

模拟铁质文物样品制备步骤如下：

- a) 选材：根据待保护铁质文物材质信息，结合表 A.1 选择与待保护铁质文物金相组织相同、化学成分相近的材料作为模拟铁质文物样品；

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

- 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。模拟铁质文物样品与待保护铁质文物表面平均粗糙度差值应小于 20 μm 。

附录 B

(规范性)

失重法测定模拟铁质文物样品缓蚀效率

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 丙三醇：分析纯。
- B.1.4 盐酸： $\rho=1.19$ g/mL。
- B.1.5 六次甲基四胺：分析纯。

B.2 设备

- B.2.1 恒温箱：控制精度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。
- B.2.2 分析天平：感量为 0.0001 g。
- B.2.3 游标卡尺：精度为 0.02 mm。

B.3 测试步骤

失重法测试应按照下列步骤：

- a) 试样清洗：将模拟铁质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) 试样测量：分别使用游标卡尺和分析天平对模拟铁质文物样品进行尺寸和质量测量，记录测量值；
- c) 缓蚀材料施用：根据缓蚀材料特性，按 WW/T 0074 的操作要求选择刷涂、喷涂、涂覆等方法在模拟铁质文物样品表面施用缓蚀材料；
- d) 失重挂片：待所施用缓蚀材料在模拟铁质文物样品表面干燥成膜后，分别将施用和未施用缓蚀材料的模拟铁质文物样品悬挂于 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 的密闭容器中。密闭容器底部注入质量分数为 35% 的丙三醇水溶液，使容器内形成 90% 的相对湿度。各样品间距不少于 10 mm，样品不与容器壁、底部溶液接触；
- e) 除锈：当未施用缓蚀材料的模拟铁质文物样品 80% 以上表面积出现锈蚀现象时，取出所有样品。先在流水中用软毛刷清洗样品表面疏松的腐蚀产物，接着浸泡在温度为 $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ 、成分为 6 mol/L 盐酸与 0.025 mol/L 六次甲基四胺的混合水溶液中 10 min 以清洗附着性强的腐蚀产物。清洗后样品应先用自来水充分冲洗，在冲洗过程中用软毛刷轻刷样品以去除清洗过程中残留的任何表面产物，再用蒸馏水或去离子水冲洗，之后放入无水乙醇中浸泡 5min~6min，取出干燥后称重。

B.4 数据处理

根据失重测试结果，分别计算施用和未施用缓蚀材料条件下模拟铁质文物样品的腐蚀速率，然后基于腐蚀速率计算缓蚀材料的缓蚀效率，计算结果保留两位有效数字。

腐蚀速率按照公式 (B.1) 计算：

$$V = \frac{b \times (M_0 - M_1)}{S \times T \times D} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

V ——模拟铁质文物样品的腐蚀速率，单位为毫米每年（mm/a）；

b ——等于 8760，转化因子（ $1a=8760\text{ h}$ ）；

M_0 ——模拟铁质文物样品试验前的质量，单位为克（g）；

M_1 ——模拟铁质文物样品试验后的质量，单位为克（g）；

S ——模拟铁质文物样品的表面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）；

T ——失重试验时间，单位为小时（h）；

D ——模拟铁质文物样品的密度，单位为克每立方毫米（ g/mm^3 ）。

缓蚀效率按照公式（B.2）计算：

$$\eta = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

式中：

η ——缓蚀效率；

V_0 ——未施用缓蚀材料模拟铁质文物样品的腐蚀速率，单位为毫米每年（mm/a）；

V_1 ——施用缓蚀材料模拟铁质文物样品的腐蚀速率，单位为毫米每年（mm/a）。

附录 C

(规范性)

原位无损电化学法测定铁质文物缓蚀效率

C.1 试剂

C.1.1 琼脂粉：分析纯。

C.1.2 硫酸钠：分析纯。

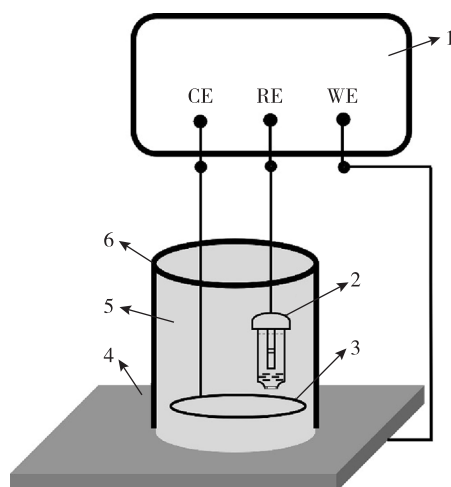
C.2 材料

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、凝胶电解质和塑料模具组成，装置按照图 C.1 组装，其中工作电极为铁质文物，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、硫酸钠和去离子水的混合物。



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缓蚀材料施用前后腐蚀电化学信号采集。

C.5 测试步骤

应按下列步骤采集铁质文物表面局部区域电化学信号：

- a) 测试装置装配：如图 C.1 所示，将琼脂粉、硫酸钠、去离子水按质量比 5 : 1 : 100 混合，加热并搅拌均匀后形成的凝胶电解质装入塑料模具，插入并固定参比电极和辅助电极。将凝胶电解质与 C.4 选择确定的铁质文物表面局部区域接触；
- b) 局部区域缓蚀前电化学信号采集：打开电化学工作站，预热 30 min，设定动电位扫描范围 $E_{\text{corr}} \pm 20 \text{ mV}$ ，扫描速度为 20 mV/min，采集缓蚀材料施用前铁质文物表面局部区域的线性极化曲线；
- c) 测试装置拆卸：将测试装置从铁质文物表面拆除，去除残余凝胶电解质及水渍；
- d) 缓蚀材料施用：根据缓蚀材料特性，按 WW/T0074 的操作要求选择刷涂、喷涂、涂覆等方法在 C.5a) 中同一局部区域施用缓蚀材料；
- e) 局部区域缓蚀后电化学信号采集：待所施用缓蚀材料在铁质文物表面干燥成膜后，将测试装置与施用缓蚀材料后的铁质文物表面局部区域接触，采集缓蚀材料施用后铁质文物表面局部区域的线性极化曲线，具体步骤同 C.5b)；
- f) 文物表面清理：拆除测试装置，去除铁质文物表面残余凝胶电解质及水渍。

C.6 数据处理

根据线性极化曲线测试结果，绘制电位~电流关系曲线图，电位~电流关系曲线斜率即极化电阻，基于缓蚀材料施用前后铁质文物表面局部区域的极化电阻计算缓蚀材料的缓蚀效率，计算结果保留两位有效数字。缓蚀效率按照公式 (C.1) 计算：

$$\eta = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_1} \times 100\% \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- η ——缓蚀效率；
- ρ_1 ——缓蚀材料干燥成膜后铁质文物局部区域的极化电阻，单位为欧姆·平方厘米 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)；
- ρ_0 ——缓蚀材料施用前铁质文物局部区域的极化电阻，单位为欧姆·平方厘米 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)。

附录 D
(资料性)
铁质文物缓蚀材料检测报告样式

图 D.1~图 D.4 分别给出了铁质文物缓蚀材料检测报告封面、首页、正文、照片页样式。

铁质文物缓蚀材料检测报告

报告编号：××××

材料名称：_____

检测单位：_____

检测时间：_____

图 D.1 铁质文物缓蚀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 铁质文物 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 铁质文物缓蚀材料检测报告首页样式

检测报告正文							
报告编号：_____			共____页，第____页				
模拟铁质文物样品							
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						
	均匀性						
	色度						
	光泽度						
有效性	缓蚀效率						
待保护铁质文物							
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	均匀性						
	色度						
	光泽度						
有效性	缓蚀效率						
批准：_____		审核：_____		检验：_____			

图 D.3 铁质文物缓蚀材料检测报告正文样式

<h2 style="margin: 0;">检测报告照片页</h2>		
报告编号： _____	共____页，第____页	
照片和说明		
批准： _____	审核： _____	检验： _____

图 D.4 铁质文物缓蚀材料检测报告照片页样式

参 考 文 献

- [1] 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
 - [2] 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
 - [3] GB/T 16545 金属和合金的腐蚀腐蚀试样上腐蚀产物的清除
 - [4] GB/T 18582 建筑用墙面涂料中有害物质限量
 - [5] ASTM D3134—15 Standard Practice for Establishing Color and Gloss Tolerances
 - [6] ASTM G102—89 Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements
 - [7] ASTM G59—97 Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements
 - [8] ASTM STP866—1985 Laboratory Corrosion Tests And Standards
 - [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 年
 - [10] 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
铁质文物缓蚀材料要求与评价方法

Requirements and evaluation methods for iron cultural relics inhibitors

WW/T 0130—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：1.5

2025年1月第1版 2025年1月第1次印刷

统一书号：115010·2042 定价：27.50元