

中国腐蚀与防护学会标准

T/CSCP 0081-2024

金属文物腐蚀调查方法通用导则

General guidelines on corrosion investigation methods for
metal Artifacts

2024 年 6 月 20 日发布

2024 年 7 月 1 日实施

中国腐蚀与防护学会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准是对中国腐蚀与防护学会 2017 年发布的《材料环境腐蚀试验技术—野外曝露试验标准》按团体标准的编写要求和格式进行修订。

本标准由中国腐蚀与防护学会提出并归口。

本标准主要起草单位：北京科技大学国家材料腐蚀与防护科学数据中心标准部。

本标准参加起草的单位：中国国家博物馆、故宫博物院、湖北省文物考古研究院、河北省文物与古建筑保护研究院、山东省文物保护修护与鉴定中心。

本标准主要起草人：程学群、王昕煜、李众、李晓刚、王伦滔、张帆、杨小佳、李清、杜翠薇、孙永兴、杨国威、王炳钦、徐迪、孙雷、杨体绍、陈坤龙、成小林、刘薇、刘建宇、刘瀚文、李玲、刘佳旭、蔡友振。

金属文物腐蚀调查方法通用导则

1 范围

本标准文件制定了针对馆藏金属文物、自然环境中的金属文物和埋地金属文物的腐蚀调查对象、调查程序、调查方法、调查人员资质、调查设备要求、调查评率及调查报告的要求。

本标准适用于博物馆和文物保护单位所藏金属文物、考古发掘出土的金属文物、露天展示的金属文物以及历史遗址中金属构件的定期腐蚀状况调查及联网观测。可以作为非金属文物相同工作的参考。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期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（包括所有的修改版）适用于本文件。

GB/T 10123 金属和合金的腐蚀基本术语和定义(GB/T 10123-2001, ISO 8044:1999, IDT)

GB/T 19292.3 金属和合金的腐蚀大气腐蚀性 第3部分:污染物的测量(GB/T 19292.3-2003, ISO 9225:1992, IDT)

GB/T 19292.4 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第4部分:用于评估腐蚀性的标准式样的腐蚀速率的测定(GB/T 19292.4-2003, ISO 9226:1992, IDT)

GB/T 30686-2014 馆藏青铜质和铁质文物病害与图示

GB/T 44208-2024 馆藏文物病害描述及图示基础要素

GB/T 44206-2024 馆藏文物病害数据库建设规范

T/CSCP 0009-2017 金属材料大气环境暴露腐蚀试验

T/CSCP 00046.17-2018 低合金结构钢腐蚀试验 第17部分:腐蚀产物分析方法导则

T/CSCP 00046.19-2018 低合金结构钢腐蚀试验 第19部分:腐蚀微观形貌观察分析方法

WW/T 0104—2020 馆藏文物保存环境监测监测终端温湿度

WW/T 0099—2020 馆藏文物预防性保护装备环境适应性试验方法

WW/T 0058—2014 可移动文物病害评估技术规程金属类文物

3 术语和定义

3.1 金属文物

指用金属材料制作的文物，包括纯金属和合金。常见的金属文物有青铜器、铁器、金器、银器和锡器。

3.2 腐蚀

金属由于与其环境中的物质发生化学或电化学反应而受到损坏的现象。腐蚀会导致金属的结构和功能发生变化，影响其使用寿命和外观。

3.3 腐蚀速率

单位时间内金属材料发生腐蚀所失去的厚度或质量。腐蚀速率通常以毫米每年（mm/a）或克每平方米每年（ $\text{g/m}^2\cdot\text{a}$ ）表示。

3.4 环境腐蚀性

环境中存在的各种腐蚀性因素对金属文物的腐蚀影响程度。包括空气中的湿度、温度、污染物（如 SO_2 、Cl 等）等因素。

3.5 非破坏性检测

在不损坏或破坏文物的前提下，对其内部结构和表面状态进行检测的方法。常用的非破坏性检测技术包括 X 射线衍射仪（XRD）、超声波检测、工业 CT 等。

3.6 电化学测量

利用电化学原理对金属腐蚀行为进行分析和评估的方法。包括电化学阻抗谱（EIS）和线性极化电阻（LPR）测量技术。

3.7 腐蚀产物

金属与环境中腐蚀性介质发生反应后形成的物质。常见的腐蚀产物有硫化银、氧化银、氯化银、氧化亚铜、氧化铜、碱式碳酸铜、硫化铜、氧化铁、四氧化三铁、二氧化锡、一氧化锡、氯化亚锡等。

3.8 腐蚀大数据

通过传感器网络和数据采集系统，实时监测和记录金属文物所处环境中的腐蚀性因素及其变化趋势。利用大数据分析技术，评估腐蚀风险和预测腐蚀进程。

3.9 挂片试验

在一定时间内将标准金属试片暴露于特定环境中，通过测量其质量损失或厚度变化来评估环境的腐蚀性。

3.10 腐蚀性测试布点

在现场调查过程中，依据环境特点和文物分布情况，设计和布置腐蚀性测试点，以全面评估环境腐蚀性。

4 调查对象

文物中所有可能受腐蚀影响的金属结构组件。

4.1 金器

金器：纯金或高纯度金制作，如金首饰、带钩、香囊、金币等。

4.2 银器

银器：纯银或高纯度银制作，银盘、银饰等。

4.3 铜器

青铜器：用铜、锡或铜、锡、铅为主要成分的合金制成的器物，如鼎、壶、尊等。

黄铜器：用铜和锌为主要成分的合金制成的器物，如乐器、装饰品、机械零件等。

白铜器：用铜和镍为主要成分的合金制成的器物，如货币、首饰等。

4.4 铁器

铁器：武器、工具、农具和日常用品，如剑、刀、斧子、锅等。

4.5 锡器

锡器：餐具、饮料容器、装饰品和工艺品，如盘子、酒壶、烛台和雕像。

5 调查程序

5.1 调查准备

调查前，应全面收集目标文物的基本信息，包括名称、年代、来源及历次修复记录。调查的主要目的是评估金属文物的腐蚀状况，以及腐蚀对文物的潜在影响。组建由腐蚀科学、金属材料科学、文物保护等领域的专家组成的跨学科团队。准备必需的腐蚀检测与分析设备，如腐蚀率测定仪、电化学测试设备等。详细规划调查的时间、地点、方法、安全措施及应急响应策略。

5.2 调查对象的腐蚀程度评估

通过肉眼观察和放大镜检查，记录文物表面的腐蚀类型、颜色、分布及形态特征，并拍摄高清照片进行详细记录。

采用超声波检测、工业 CT 等无损检测技术，测量文物的腐蚀深度和扩展范围，确保在不破坏文物的前提下获取准确数据。

在确保文物完整性的前提下，进行微量取样，样品将用于实验室的进一步分析，以便获取更详细的腐蚀信息。

5.3 金属文物所处环境腐蚀性测定

在现场调查的基础上，对金属文物所处区域环境进行环境腐蚀性测试布点设计，选择环境参数测试和腐蚀大数据高通量测试方法，确定金属文物所处区域环境腐蚀性强度等级及分布状况。

5.4 实验室测试和分析

对现场采集的样品进行分析，测量样品腐蚀深度，识别金属腐蚀产物组成，判定样品腐蚀程度。

对腐蚀大数据传感器采集的高通量数据进行分析，确定样品腐蚀速率。

5.5 腐蚀数据汇总与分析

将现场腐蚀勘察结果、环境腐蚀性数据和实验室检测数据汇总，形成对金属文物腐蚀情况的全面了解，确定腐蚀的主要原因，评估金属文物的剩余寿命。

5.6 形成腐蚀调查报告

根据金属文物腐蚀数据汇总和分析结果，形成金属文物腐蚀调查报告。判定金属文物腐蚀危重区域。提出腐蚀防护与补强建议，包括加强日常维护、环境控制、涂装维护和电化学保护。

5.7 腐蚀联网观测

依据以上调查结果，建立并制定金属文物环境腐蚀联网观测方案。

联网观测的因素包括：腐蚀、温度、湿度、SO₂、Cl⁻、风力风向、振动等因素。

6 调查方法

6.1 调查准备方法

6.1.1 金属文物历史资料搜集

文献资料收集，系统地收集和分析与文物相关的历史资料、前期研究报告及腐蚀状况记录，以构建文物的历史与腐蚀背景框架。

6.1.2 确定重点调查部位

重点调查部位由调查人员和现场管理人员共同确定。

6.1.3 调查仪器准备

对调查需使用的仪器进行检查和校准。

6.1.4 调查方案制定

调查方案由调查方提出，现场管理方确认。

6.2 现场腐蚀调查与评估方法

6.2.1 现场腐蚀检查方法

6.2.1.1 目测检查

在目视检查阶段，调查人员使用放大镜、手持显微镜等工具对金属文物的表面进行仔细观察。通过肉眼和辅助设备，可以识别出如点蚀、缝隙腐蚀、均匀腐蚀等多种腐蚀现象。

对于腐蚀的位置、类型、分布和程度进行详细记录，并拍摄高分辨率照片或视频，以便在报告中提供清晰的视觉证据和后续分析。

6.2.1.2 无损检测技术

现场腐蚀调查中采用如 X 射线衍射仪、超声波检测、工业 CT 等无损检测手段，允许调查人员不破坏文物的情况下深入了解其表面锈蚀种类、内部结构和隐藏的腐蚀状态。

需要专业技术人员操作这些设备，确保安全且准确地收集数据，分析文物的内部腐蚀情况，并形成具有高度信息量的可视化报告。

6.2.1.3 定量腐蚀评估

通过电化学阻抗谱（EIS）和极化电阻测量（LPR）电化学测量技术，专业人员能够定量地分析和评估金属文物的腐蚀速率和机制。

6.2.1.4 腐蚀大数据传感器评估方法

采用腐蚀大数据传感器网络，系统地监测文物腐蚀环境的微小变化和长期趋势。传感器能够实时收集有关温度、湿度、化学腐蚀剂浓度等数据，并通过高级数据分析技术，如机器学习算法，分析腐蚀进程的动态变化。快速评价钢结构在环境中的腐蚀速率和环境腐蚀等级。

6.3 环境腐蚀性检测方法

6.3.1 腐蚀挂片法

按 GB/T 19292.4 规定，选择碳钢、锌或铜等金属文物相同材料挂片进行现场一年暴晒试验确定。

6.3.2 大气环境因素测定法

按 GB/T 19292.3 规定，由年润湿时间、二氧化硫和 Cl⁻含量三个环境因素确定。

6.4 样品实验室检测方法

6.4.1 现场采样样品分析检测

对现场采样样品的分析检测执行标准 T/CSCP 00046.17-2018 和 T/CSCP 00046.19-2018。

6.4.2 腐蚀挂片样品分析检测

对腐蚀挂片样品的分析检测执行标准 T/CSCP 0009-2017。

6.5 腐蚀联网观测

对腐蚀等级超过 C2（GB/T 19292.1）环境下的金属文物，应进行腐蚀速度及温度、湿度、SO₂、Cl⁻、振动等主要环境影响因素连续观测。

7 腐蚀调查人员资质

- a) 调查负责人应具有腐蚀防护专业高级技术职称
- b) 报告编辑人具有腐蚀防护专业高级技术职称
- c) 一般调查人员具有中级及以上技术职称
- d) 操作人员应熟练掌握使用各种腐蚀检测和评估工具，如超声波测厚仪、内窥镜设备等。

8 腐蚀调查设备要求

8.1 数码相机

分辨率要求：数码相机应具备至少 2000 万以上像素的全画幅传感器。

长焦摄影要求：具备良好的远摄能力，以全画幅传感器尺寸大小为标准，相机所配备的长焦镜头的焦段不短于 200 mm。

8.2 超声波探伤仪

分辨率要求：设备的分辨率应能够检测到 0.1 毫米或更小的缺陷；

频率选择：常用的频率范围从 0.5 MHz 到 10 MHz，应根据被检测材料的厚度和声波衰减特性来选择适当的频率。

8.3 内窥镜

内窥镜应配备至少 400 万像素分辨率以上的摄像头，确保金属文物内部腐蚀细节清楚展示。

8.4 超声波测厚仪

分辨率至少达到 0.1 毫米或更高。

8.5 腐蚀大数据传感器

不同地区大气腐蚀性强弱差异性较大（如沿海，湿热内陆，工业地区等环境），通过增加不同材料种类的腐蚀传感器，优先选取在环境腐蚀性发生变化时能及时产生响应的金属（包括碳钢、铜、锌等），进而适用于不同大气腐蚀等级的大气环境进行实时监测。

9 腐蚀调查频率

本标准建议的调查频率应根据《金属文物腐蚀程度评价方法》确定：

环境腐蚀性等级 0 级（如干燥地区）：每三年进行一次全面调查。

环境腐蚀性等级 1 级（如内陆地区博物馆或存储设施中）：每两年进行一次全面调查。

环境腐蚀性等级 2 级（如城市或工业区附近文物遗址）：每一年进行一次全面调查或联网观测。

环境腐蚀性等级 3 级以上（如沿海遗址或近海城市室外展览）：每六个月进行一次全面调查或联网观测。

10 调查报告

调查报告应包括以下内容：

- a) 封面：报告标题、调查地点、日期和团队成员名单。
- b) 摘要：调查目的、调查对象、主要调查结果和腐蚀防护建议。
- c) 调查背景：包括调查的必要性和目标。
- d) 调查方法：详细描述使用的调查技术和方法。
- e) 调查结果：包括观察结果、测试数据和样本分析结果。
- f) 结论和建议：基于调查结果得出的结论和维护/修复建议。
- g) 附录：调查中使用的工具、设备清单、校准证书和人员资质证书。
- h) 参考标准：列出所有参考标准。