中 国 腐 蚀 与 防 护 学 会 标 准

T/CSCP 0024-2024

铁路站台雨棚钢结构环境腐蚀的无人机调查方法

Drone-based investigation methods for environmental corrosion of steel structures in railway platform canopies

2024 年 11 月 21 日发布　　2024 年 12 月 21 日实施

中国腐蚀与防护学会　发 布

前　言

本文件按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本文件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。

本文件由中国腐蚀与防护学会提出并归口。

本文件主要起草单位：中国铁道科学研究院集团有限公司金属及化学研究所。

本文件参加起草的单位：中国铁路昆明局集团有限公司、北京科技大学、中国铁路北京局集团有限公司、中国铁路广州局集团有限公司、中国铁路上海局集团有限公司，中国铁路武汉局集团有限公司，中国铁路南宁局集团有限公司，中国铁路成都局集团有限公司，中国铁路南昌局集团有限公司，中国铁路沈阳局集团有限公司，中国铁路郑州局集团有限公司，中国铁路呼和浩特局集团有限公司，中国铁路太原局集团有限公司，中国铁路兰州局集团有限公司。

本文件主要起草人：姚扬、王涛、袁磊、伊钟毓、朱丽、杜翠薇、程学群、李晓刚、李众、王伦滔、杨小佳、蔡恒、吴韶亮、彭山青、石振平、杜玮、贾恒琼、史懿、魏婴、杨丽，解益，朱丽，何俊旭，杜欣双，林伟煌，朱建军、赵小虎，毕耘晨，贺海建，马朝泰，耿天军，裴明祥、袁梦楠、周亦呈、张琪、南阳、张喆、相若函、刘一铄、李清、王炳钦。

铁路站台雨棚钢结构环境腐蚀的无人机调查方法

1 范围

本文件规定了使用无人机对铁路站台雨棚钢结构进行环境腐蚀调查的方法，包括无人机操作技术要求、数据采集与处理、使用无人机的安全性和合规性。

本文件适用于使用小型、中型、大型等民用无人机对所有铁路站台雨棚钢结构开展腐蚀情况调查。

2 规范性引用文件

本标准引用以下文件，对于本标准的应用是必不可少的。引用文件的最新版本适用于本标准。

GB/T 10123 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义

GB 42590 民用无人驾驶航空器系统安全要求

CH/Z 3005 低空数字航空摄影规范

3 术语和定义

GB/T 10123 和 GB 42590 界定的下列术语和定义适用于本文件。

4 飞行规划

4.1 飞行方案制定

根据站台雨棚钢结构腐蚀调查方案，明确使用无人机调查的区域和目标，重点关注地面作业人员无法到达的站台雨棚区域。通过规划无人机的飞行路径，确保调查区域覆盖率 100％。

4.2 飞行高度和速度

设置合适的飞行高度和速度，保证图像质量和飞行安全。

4.3 飞行作业时间

严格按照铁路安全规定要求，确保无人机飞行作业期间地面区域安全，避免干扰车站正常运营。

5 无人机设备要求

根据无人机飞行调查任务的需求，进行飞行平台与载荷设备选型。无人机载荷要求及搭载设备要求规定如下：

5.1 无人机平台

（a）无人机满电满载续航时间应不小于 20 分钟；
（b）抗风能力大于四级；
（c）工作温度范围在-15℃至 45℃之间；
（d）无人机应具备足够的载荷能力，可满足携带的设备重量；
（e）无人机平台应具备防撞功能。

5.2 检测设备的配置

无人机可选配备高分辨率相机、低光摄像头、红外相机和腐蚀大数据传感器等设备满足腐蚀调查所需。

（a）高分辨率相机

高分辨率相机的有效像素应不低于 2000 万，摄像头具备长焦远摄功能（镜头焦段不短于 200mm（以全画幅传感器尺寸大小为标准））。

（b）低光摄像头

保证在极低光照条件下，能够捕捉到高质量的彩色图像。低光摄像头需配备大尺寸的图像传感器和高效的光学系统，以最大化光线的利用。

（c）红外相机

实现无人机夜视功能。在不依赖可见光的条件下，通过检测物体发出的红外辐射来捕捉图像。满足无人机在完全黑暗的环境中进行有效的探查功能。

（d）腐蚀大数据传感器

获得难以到达区域的站台材料腐蚀数据流。

6 无人机飞行前的准备

为保证飞行任务正常开展，对于天气状况、空域状态与设备状态需逐一确认，以保证飞行任务可正常开展。

6.1 飞行条件评估

在执行飞行任务前至少 4 天，查询站台所在区域气象信息，评估飞行任务当天的天气条件、风速条件、污染情况等。如遇雨雪、雾霾、大风（风速大于 6 m/s 时）等情况时不可执行飞行调查任务。

6.2 飞行空域申请

至少提前 3 天向空域管理部门申请调查区域的飞行空域许可证，经批准后开展飞行任务。

6.3 无人机设备检查

至少提前 1 天对使用设备进行全面检查，并对执行飞行任务区域进行室内飞行任务模拟，以保证飞行任务开展当天硬件设备状态与飞行作业流程正常。

7 无人机图像及视频数据采集及记录

使用无人机搭载高分辨率相机和低光摄像头等设备采集雨棚钢结构图像及视频信息时，需严格遵循规范，以确保数据的完整性和一致性，为后期分析提供可靠依据。需满足以下要求：

7.1 图像及视频数据采集

7.1.1 设备配置

使用无人机搭载高分辨率相机和低光摄像头，对雨棚钢结构进行多角度图像和视频数据采集。

需确保设备设置符合采集环境需求，白天主要使用高分辨率相机，夜间在光线较弱的情况下使用低光摄像头。

7.1.2 多角度和多位置采集

垂直角度：每个调查点位的正上方垂直拍摄，获取整体视图，便于了解结构的整体状态。

侧拍角度（如 45°）：从多个侧角度拍摄，以捕捉结构的细节和表面变化，特别是从不同角度观察腐蚀位置、焊接点和接缝等关键区域。

为避免角度单一导致的细节丢失，每个角度应至少采集 2-3 张图像，以确保图像的冗余性和可靠性。

7.1.3 数据量与连续拍摄需求

（a）单次采集数据量：每个调查点至少拍摄 10 张不同角度的照片，以保证从多方位观察结构。同时，保证对同一地点进行连续拍摄，至少采集 3-5 组连续影像，方便后续细节变化分析。

（b）视频采集：除静态图像外，还需对重点区域录制高清视频（建议 30 秒至 1 分钟），确保动态监测和细节捕捉。

（c）数据存储规划：由于高分辨率图像和高清视频占用大量存储空间，预计单次任务至少产生数十 GB 数据量，需准备足够的存储空间，并在无人机降落后立即备份，确保数据安全。

7.2 图像规格

图像数据采集时建议采用以下图像规格：

（a）分辨率：

最低推荐分辨率为 20 MP（2000 万像素），例如 5472 x 3648 像素。

（b）图像格式：

建议使用 JPEG 格式存储日常采集数据。

在关键区域或需要后期进行更细致分析时，建议使用 RAW 格式。

（c）焦距和视角：

广角至标准焦距：建议 24-35mm（全画幅等效），用于较宽视角的整体钢结构腐蚀情况拍摄。

长焦焦距：建议使用 70-200mm 范围的长焦镜头，详细观察如腐蚀、裂纹、焊点等微小特征。

（d）光圈和感光度（ISO）：

建议光圈 f/5.6-f/8，确保足够的景深，以获得清晰的结构图像。

ISO 设置建议白天使用低 ISO（如 ISO 100-400），在低光环境中可以适当提高 ISO（如 ISO 800-1600），避免图像噪点影响图像清晰度。

（e）图像稳定性：

如果设备支持防抖功能（如光学防抖），应开启此功能。

7.3 视频规格

视频数据采集时建议采用以下视频规格：

（a）分辨率：至少 1080p（1920 x 1080），推荐 4K 分辨率（3840 x 2160）以获得更高的细节，特别是在分析小型缺陷或表面损伤时。

（b）帧率：建议 30 帧每秒（fps），在高速运动或需要更高平滑度的情况下可以选择 60 fps。30 fps 可以平衡数据量与清晰度，适合大多数结构监测场景。

（c）视频格式：建议使用 MP4 格式，编码方式为 H.264 或 H.265（HEVC）。

（d）比特率：

对于 1080p 分辨率，建议比特率至少 5 Mbps。

对于 4K 分辨率，建议比特率至少 15 Mbps，以保证清晰度。

（e）音频设置：对于结构监测一般无需音频，可关闭音频以减少文件体积。

（f）稳定性增强：如无人机自带视频防抖功能（如电子防抖或机械云台），应开启以确保视频的平稳流畅，避免抖动影响观测效果。

7.4 图像及视频信息记录

7.4.1 图像及视频数据命名规则

采用规范化命名格式：地点_时间_角度_设备类型_高度_序号/视频

（a）地点：使用调查点编号（如“地点 A1”）。

（b）时间：采集时间，格式为 YYYYMMDD_HHMM。

（c）角度：如“垂直”或“45 度”。

（d）设备类型：标明使用的相机类型，如“高分辨率相机”或“低光摄像头”。

（e）高度：无人机拍摄时的相对高度。

（f）序号：若连续拍摄多张图像，添加序号标识（如“001”、“002”），以区分不同图像。

（g）视频：若为视频文件，用“视频”标识。

（h）示例：

静态照片：地点 A1_20241112_0930_垂直_高分辨率相机_30m_001

视频文件：地点 A1_20241112_0930_垂直_高分辨率相机_30m_视频

7.4.2 记录关键参数

图像信息中应包含相机的焦距、像素尺寸、像素分辨率以及影像获取时的地理位置、相对高度等关键信息。

7.5 图像及视频质量控制

依照 CH/Z 3005-2010 规定，对图像质量检查相关要求进行检查：

— 影像质量良好，影像无拖影、无畸变；

— 影像中不可有大面积的阴影、烟雾、过曝等缺陷；

— 数据信息准确，并通过图像数据读取检验。

8 无人机腐蚀数据采集

使用无人机搭载腐蚀大数据传感器等设备进行站台环境腐蚀性数据采集时，无人机应保持不少于 5 分钟的空中悬停时间，并满足以下要求：

8.1 传感器配置

8.1.1 气体传感器

可测量二氧化氮、氯化氢、硫化氢、臭氧、二氧化硫等参数，具体测量参数需满足以下要求：

（a）二氧化氮：量程 0-20ppm，灵敏度 0.6±0.25uA/ppm，分辨率 0.1ppm。

（b）氯化氢：量程 0-50ppm，灵敏度 0.3±0.1uA/ppm，分辨率 1ppm。

（c）硫化氢：量程 0-100ppm，灵敏度 0.8±0.2uA/ppm，分辨率 0.1ppm。

（d）臭氧：量程 0-10ppm，灵敏度 0.6±0.15uA/ppm，分辨率 0.01ppm。

（e）二氧化硫：量程 0-20ppm，灵敏度 0.4±0.1uA/ppm，分辨率 0.1ppm。

8.1.2 颗粒物传感器

检测空气中颗粒物浓度（如 PM2.5、PM10），具体测量参数需满足以下要求：

（a）PM2.5 颗粒物：测量范围为 0-500 μg/m³，精度为±10%，分辨率达到 0.3 μg/m³。

（b）PM10 颗粒物：测量范围为 0-1000 μg/m³，精度为±15%，分辨率达到 0.3 μg/m³。

8.1.3 温湿度传感器

记录空气温度和相对湿度的变化，具体测量参数需满足以下要求：

（a）温度：量程-40℃至 85℃；精度±0.5℃（在-10℃至 60℃范围内）；分辨率 0.1℃。

（b）湿度：量程 0%至 100%RH；精度±3%RH（在 20%至 80%RH 范围内）；分辨率 0.1%RH。

8.1.4 材料腐蚀传感器

腐蚀传感器的量程范围划分为两个区间，以适应不同腐蚀速率条件下的测量需求：

（a）低速腐蚀环境的精确测量

量程范围：7.68 μm/a 至 35 μm/a，测量精度为 ±0.15 μm，灵敏度 ≤0.01 μm。

（b）中速至高速腐蚀环境

量程范围：35 μm/a 至 180,000 μm/a，测量精度为读数的 ±0.3%，灵敏度 ≤1 μm。

8.2 传感器数据记录

为确保各类传感器采集数据的完整性和可追溯性，需要对传感器信息进行规范化记录，包括传感器类型、数据采集参数、环境信息以及采集位置等关键内容。记录格式和内容需满足以下要求：

通过无人机搭载腐蚀大数据传感器检测材料腐蚀大数据，腐蚀性数据的采集需在铁路客运站运行天窗期进行。

8.2.1 传感器数据命名规则

采用标准化的数据命名格式：传感器类型_地点_时间_参数_单位_高度

（a）传感器类型：标明使用的传感器类型，如“气体传感器”、“颗粒物传感器”、“温湿度传感器”或“材料腐蚀传感器”。

（b）地点：记录采集点的编号（如“站台 A1”），确保不同采集点的数据可区分。

（c）时间：记录采集时间，格式为 YYYYMMDD_HHMM，便于数据的时序分析。

（d）参数：记录具体测量参数，例如气体传感器采集的“NO_2”或“SO_2”浓度，颗粒物传感器采集的“PM2.5”等。

（e）单位：根据参数不同，记录单位，例如 ppm（气体浓度）、μg/m³（颗粒物浓度）、℃（温度）、%RH（湿度）等。

（f）高度：记录无人机悬停时的相对高度，以便后续分析不同高度层的环境数据差异。

（g）示例：

气体传感器_NO_2_站台 A1_20241112_0930_10ppm_30m

颗粒物传感器_PM2.5_站台 A1_20241112_0930_200μg/m³_30m

8.2.2 记录关键参数

每类传感器在采集数据时需记录以下关键参数，以确保数据的准确性和可追溯性：

（a）气体传感器数据记录：

记录采集的气体浓度值（如 NO_2、HCl、H_2S、O_3、SO_2 等），单位为 ppm。记录传感器的灵敏度和测量精度，确保在后期分析中对数据的误差范围进行校正。注明环境条件，如温度和湿度，以便于分析气体浓度与腐蚀关系。

（b）颗粒物传感器数据记录：

记录 PM2.5 和 PM10 的颗粒物浓度，单位为$\mu g/m^3$。注明采集时的空气质量状态（如晴天、阴天、雾霾等），便于后续分析颗粒物对腐蚀的影响。

（c）温湿度传感器数据记录：

记录采集的空气温度（单位：℃）和相对湿度（单位：%RH）。确保温度和湿度的测量精度，以便于精确分析环境条件对腐蚀速率的影响。

（d）材料腐蚀传感器数据记录：

记录材料腐蚀速率（单位：μm/a），标注具体量程范围（如“7.68 μm/a 至 35 μm/a”或“35 μm/a 至 180,000 μm/a”）。

记录测量精度和灵敏度，确保在不同腐蚀速率区间的准确性。

注明采集时间、位置和环境条件（如温湿度），便于在不同时间和环境条件下的腐蚀速率对比分析。

9 数据处理与存储

9.1 数据处理

（a）图像数据处理

为保证单景影像中研究目标细节信息准确度，需对影像进行畸变校正，用于修正因镜头畸变引起的影像内目标形变。

（b）材料腐蚀性数据处理

检查腐蚀性数据中的异常波动，如检测到的值超出合理范围，应进行异常检测，并排查设备故障或操作失误。使用统计方法（如均值和标准差）识别异常值，对于明显偏离的点可剔除或替换，以确保数据的一致性。

（c）处理后数据命名规则：

经处理后的数据信息需保留与原始数据对应的命名方式，在原数据编号基础上加上处理标识。例如，原始数据文件命名为地点 A1_20241112_0930_垂直_高分辨率相机_30m_001，经过处理后可命名为地点 A1_20241112_0930_垂直_高分辨率相机_30m_001_v1，标识出该数据经过一次处理。若存在多次处理，则相应编号更新为_v2、_v3 等。

9.2 数据存储

数据处理完成后，以文件夹的方式管理，并列出数据清单。数据至少包含以下内容：

（a）原始数据：无人机获取的原始数据；

（b）处理结果：经过处理后的数据信息；

（c）飞行设置：飞行中的重要参数设置，如航线，飞行高度，重叠度设置等，建议以录屏或截图等方式进行记录；

（d）作业照片：外场作业时现场拍摄的照片，其中包括人员、设备、场景等要素。

10 无人机操作的合规要求

10.1 无人机操作人员资质

操控小型、中型、大型民用无人机人员需必须经过专业培训。

10.2 法律法规要求

无人机的使用应符合国家空域管理和民用航空规定。