

ICS 49.020
V 04

团 体 标 准

T/SZUAVIA 005—2025

无人机清洗与喷涂技术操作规程

Unmanned aerial vehicle cleaning operation process and acceptance standards

2025-9-26 发布

2025-10-08 实施

深圳市无人机行业协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 系统构成	3
5 技术要求	3
6 作业方法	4
7 安全管理	4
8 检验与验收	5

国家标准

前 言

本标准按照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。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由深圳市无人机行业协会提出并归口。

本标准起草单位：深圳市无人机行业协会、万勋科技（深圳）有限公司、北京首程机器人科技产业有限公司、北京机器人融资租赁股份有限公司、深圳市极牛航空服务有限公司、新希望物业服务集团有限公司成都分公司、中国移动通信集团广东有限公司、深圳市国贸科技园服务有限公司、泰和泰（深圳）律师事务所、深圳长城装饰集团有限公司、交控航空科技（深圳）有限公司、甘肃启远智能科技有限责任公司、武汉拓普新科无人机科技有限公司、河南数智元信息技术有限公司、新源劲吾（北京）科技有限公司、北京融乐时代智慧科技有限公司、苏州嗨森无人机科技有限公司、沈阳瀚霖物联网科技有限公司、北京神州数码有限公司、长沙天空之翼科技有限公司、林仕智控（南京）数字科技有限公司

本标准主要起草人：杨金才、庞伟、王达、钱钟锋、李明昭、黄宏飞、刘鹏、杨春、常识、李献策、刘凯、吴迪韬、袁旭明、牛国君、黄靓、黄纲、刘剑华、周哲、张彦龙、李云、周铁鑫、王杰、郑旭、鹿守志、刘宗石、林森、许强

无人机清洗与喷涂技术操作规程

1. 范围

本文件规定了无人机清洗和喷涂作业的术语和定义、系统构成、技术要求、作业方法、安全管理、检验与验收。

本文件适用于建筑外墙、光伏板、风力发电机塔筒及叶片、输电塔绝缘子串、配电塔绝缘子串（输配变绝缘子串）、路牌、广告牌等设施的低空无人机清洗作业相关服务；适用于异形建筑物外墙、桥梁、风力发电机塔筒及叶片、烟筒、广告牌、路牌、船舶等设施的低空无人机喷涂作业相关服务。

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（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 26572 电子电气产品中限用物质的限量要求

GB/T 38058 - 2019 民用多旋翼无人机系统试验方法

GB/T 44264 - 2024 光伏组件清洁机器人通用技术条件

GB 8978 - 1996 污水综合排放标准

JGJ 168 - 2009 建筑外墙清洗维护技术规程

JGJ/T 250 - 2011 建筑清洁工程施工及验收规范

ISO 2409:2020 《Paints and varnishes — Cross-cut test》

ISO 8502-3:2017 《Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Tests for the assessment of surface cleanliness — Part 3: Assessment of dust on steel surfaces prepared for painting (pressure-sensitive tape method)》

3. 术语和定义

3.1

无人机清洗系统 UAV cleaning system

由无人机搭载清洗设备构成，适用于各类高层设施外表面清洁作业的机器人系统。

3.2

无人机喷涂系统 drone-based spraying system

由无人机搭载喷涂设备构成，适用于各类高层设施外表面喷涂作业的机器人系统。

3.3

机载喷洒设备 on-board spraying equipment

搭载在无人机上面的喷洒装置或清洗装置，主要用于喷射高压水、清洗液，喷洒涂料、油漆等介质。

3.4

水处理系统 water treatment system

用于去除清洗用水中杂质和金属离子的水处理系统。

3.5

水系留系统 hydraulic tethering system

由高压水管、高压水泵、机载喷洒设备和蓄水装置组成，为清洗机器人提供连续的清洗用水源。

3.6

电系留系统 electrical tethering system

清洗作业期间为无人机和清洗设备提供持续电源供应的系统，可使无人机和清洗设备实现不间断作业。

3.7

水渍 water streak

清洗作业结束后，建筑物外墙表面残留液体蒸发留下的痕迹。

3.8

清洗介质 cleaning agent

清洗作业所用到的针对不同幕墙的清洁溶液。

3.9

桨叶保护罩 propeller guard

安装于无人机桨叶外侧，避免桨叶与作业对象或障碍物发生直接碰撞，减少对无人机或作业对象可能造成的损坏。

3.10

清洗覆盖率 cleaning coverage rate

清洗有效清洁面积与计划作业面积的百分比。

3.11

作业距离 operation range

清洗系统喷嘴到清洗对象的直线距离。

4 系统构成

4.1 无人机清洗系统

其设备主要包含：小、中型无人机，机载喷洒设备，高压水泵，高压水管，水处理系统以及图像系统组成，且无人机遥控配置的图像数据传输系统。

4.2 无人机喷涂系统

其设备主要包含：无人机、机载喷洒设备（含液体储存装置、高压泵、电池、缓冲机构、流体雾化设备、喷嘴等）、地面设备（漆液调配设备等）等。

5 技术要求

5.1 设备性能要求

5.1.1 无人机遥控配置的图像数据传输系统应满足不小于1080P的图像标准，数据传输距离不小于500m，且图像延迟不大于300ms，数据传输延迟不大于100ms。

5.1.2 作业无人机具备RTK高精度定位功能，具备基于BDS或GPS等的GNSS方案；作业高度 $\geq 2\text{m}$ ，且 $\leq 500\text{m}$ ；无人机抗风等级 ≥ 4 级；无人机自动避障距离应满足前后左右偏差 $\geq 0.7\text{m}$ ，上下偏差 $\leq 0.6\text{m}$ ；图像数据传输需要满足 $\geq 1080\text{P}$ 的图像标准， $\geq 500\text{m}$ 的数据传输距离，数据传输延迟 $\leq 100\text{ms}$ 。

5.1.3 以小型无人机作为飞行平台的，其轴距应 $\leq 2\text{m}$ ；由机载电池供电时，单架次续航时间应 $\geq 10\text{min}$ ；使用电系留系统供电时，单架次续航时间应 $\geq 50\text{min}$ ；无人机负重能力 $\geq 2\text{kg}$ ；无人机悬停精度须满足垂直偏差 $\pm 0.1\text{m}$ ，水平偏差 $\pm 0.1\text{m}$ ；矢量喷嘴出水压强 $\geq 1\text{Mpa}$ ；喷洒流量 $\geq 3\text{L/min}$ ；清洗系统配备的高压水泵 $\geq 15\text{L/min}$ ，最大压强 $\geq 25\text{Mpa}$ ，可调节。

5.1.4 以中型无人机作为飞行平台的，无人机负重能力应 $\geq 10\text{kg}$ ；悬停精度在启用RTK定位（当有差分站的情况下）时水平偏差 $\pm 0.1\text{m}$ ，垂直偏差 $\pm 0.1\text{m}$ ；因特殊使用条件限制，不能启用RTK定位时，水平偏差 $\pm 0.6\text{m}$ ，垂直偏差 $\pm 0.3\text{m}$ ；最近作业距离应 $\leq 0.5\text{m}$ ；设备应具备作业面距离监控功能，实时反馈设备末端离作业面的距离，有效测距范围在0-3m；喷嘴出口压强应 $\geq 0.2\text{Mpa}$ ；喷洒流量应 $\geq 1.2\text{L/min}$ ；无人机应具有发生意外如坠机等情况时，具有自主或手动开伞功能。

5.2 机载喷洒设备性能要求

5.2.1 无人机清洗系统的喷嘴应可以固定角度或上下调节方式实现清洗喷射，调节幅度不小于 90° ；清洗剂 pH 值应在6~8范围内，需符合 GB 8978 - 1996《污水综合排放标准》

的相关要求；如必须采用特殊清洁液，需获得政府环保部门的书面许可，并明确告知业主或主管责任方，并签订相关协议后方可使用，并且提前做好实验以及应急防护准备工作。针对中型及以上规格无人机，清洗设备应对无人机电机进行保护，避免清洗用液体进入电机内部，并对电机温度进行实时监控；机载设备应有缓冲设计，提供被动缓冲功能。

5.2.2 无人机喷涂系统设备喷嘴出口压力应能调节，最大压强 ≥ 0.2 Mpa；喷洒液体流量应可调，最大流量 ≥ 1.2 L/min，喷嘴可更换；喷洒方向应可固定角度或可多角度调节，左右调节幅度 $\geq 90^\circ$ ，俯仰调节幅度 $\geq 60^\circ$ ，可实现自动扫喷；设备应具有液量监控功能；设备应有整机过载保护以及压力监测功能；设备应达到耐腐蚀性要求，满足稀释剂等具有腐蚀性液体的使用条件；搭载于中型无人机平台上，应对无人机电机进行保护，避免喷涂的液体进入电机内部，并对电机温度进行实时监控；设备应该具有缓冲结构，提供被动缓冲功能。

5.3 安全要求

5.3.1 无人机清洗和喷涂系统应具备分辨率不低于1080P的摄像头，可通过摄像头实时观察作业情况。

5.3.2 无人机清洗和喷涂系统应该具备柔性缓冲系统，外接触作业面时，可通过柔性缓冲系统吸收冲击力，避免对设备造成损坏。

5.3.3 无人机清洗和喷涂系统应具备避障功能（包含但不限于视频、红外、毫米波雷达等），当小于安全距离时能即时停止前进，自动悬停，或主动避障绕开障碍物，实现全程防撞。

5.3.4 采用水系留系统的无人机清洗系统应具备机载喷洒设备与水管之间可控脱离的功能。

5.3.5 基于小型无人机平台的清洗和喷涂系统，应配备桨叶保护罩，发生意外碰撞时，有效降低桨叶和作业对象间可能的相互伤害，避免坠机或对建筑物造成损伤。

5.4 作业适应性要求

5.4.1 无人机清洗系统，应具备供水处理功能，经水处理系统处理过的清洗用水，完毕后，残留在建筑物外表面的水珠蒸发，水痕残留面积占总面积比例 $\leq 10\%$ ，且水处理系统应能适应不同地域的供水水源，达到相近的清洗效果。

5.4.2 无人机清洗和喷涂系统的流体管路部分，应具备耐腐蚀能力，作业后可用清洗剂对设备管路进行清洁。

6 作业方法

6.1 作业准备

6.1.1 在进行无人机清洗和喷涂作业前，应进行空域申请；并评估包含风力、障碍物、电磁干扰等因素在内的作业环境，确定好清洗喷涂区域及安全警戒范围。

6.1.2 作业前，应对无人机状态进行安全检查，保证无人机各项工作指标正常；喷洒设备安装至无人机后，应确定高压水泵和高压水管连接无误，可正常使用，并进行喷洒测试；清洗和喷涂需要使用的清洗液、喷涂漆料等，按方案提前调配，测试并确认符合需求，待用。

6.2 作业过程

6.2.1 清洗作业

应实时监控无人机飞行稳定性，按预定航线和流程，逐次进行清洁剂、清洁水的喷淋，或对重点污渍区域进行刷洗；可使用高清摄像头对清洗过程进行实时监控，确保无遗漏区域，并实时评估清洗效果，适时调整喷淋角度和压力。

6.2.2 喷涂作业

应实时监控无人机飞行稳定性，按预定工艺流程和设计航线，逐次进行表面清理、漆液喷涂，重点区域多次喷涂等；可使用无人机高清摄像头配合地面望远镜对喷涂过程进行实时监控，确保无遗漏区域，并实时评估喷涂效果，关注天气变化、漆液凝固、余量情况、喷涂系统液路工况，适时调整喷涂角度、压力和实际喷涂次数等。

6.3 作业后处理

作业后，应优先回收残留清洗液、喷涂用液等，避免环境污染；清洗设备喷嘴、管路，避免堵塞和腐蚀，检查无人机和设备状态，存储作业数据，收纳设备和工具；清理现场，恢复原貌。

7 安全管理

7.1 飞手资格认证

执行作业任务的无人机操作员必需持有适配作业时使用的无人机类型如小型或中型无人机的民用无人驾驶航空器操控员执照（超视距等级）。无人机操作员在承担作业任务之前，必须参加清洗或喷涂设备供应商企业提供的针对无人机清洗或喷涂作业的设备操作规范、标准作业流程、作业工艺、全流程安全管理及应急措施等方面的专业培训，通过考核并获得企业认证后，方可实际承担作业任务。

7.2 无人机清洗与喷涂作业人员应熟悉作业全流程、作业标准、应急安全方案的操作规程等；作业现场人员应统一佩戴安全帽，穿着反光衣。

7.3 进行无人机清洗和喷涂作业前，应对作业现场环境进行安全评估，作业区域内风速应 ≤ 4 级，无强降雨、雷电等灾害风险，能见度 $> 500\text{m}$ ；100m以内没有电磁干扰源。在作业过程中，如遇强风（ ≥ 6 级）、设备故障或信号丢失，立即启动应急返航或悬停。

7.4 无人机清洗和喷涂作业前，应根据作业高度，按一定比例在地面距离作业对象外立面 $\geq 20\text{m}$ 范围设置警戒区，拉设安全条，作业团队应设立安全员，并根据作业高度增设多名安全员；对于作业警戒区内，清洁剂、漆液、清洗水飘洒范围内的物体，应提前进行保护或告知。

8 检验与验收

8.1 清洗作业前期准备与踏勘

8.1.1 在清洗作业前，应携带满足ISO-2409 & ISO8502-3 标准，剥离强度为3~10 N/m的现尘胶带、样本记录专用亚克力板等采样用具到现场，进行采样备案；如作业对象为夹层、双层或其他特殊材质、结构的玻璃，在踏勘时需重点确认玻璃内层或不可进行清洁的位置是否存在明显污渍，因该类污渍无法清除，需与主管责任方明确该类污渍的免责，避免影响作业验收；光伏清洗前，确认需求方清洗标准，如有明确发电效率要求，应使用相关仪器如IV曲线测试仪对清洗前的光伏大小效率进行测量，并拍照留证，同时需从客户处调取初始安装时光伏发电效率，以及老化曲线数据和运营时间数据，用于采样和验收计算当前光伏板正常运行的发电效率。

8.1.2 踏勘拍摄留样

a.建筑整体留影像资料；

b.记录各脏污等级区域占总面积的百分比，确定实际脏污分级，划分规则如下表：

表1 脏污程度分级标准

脏污等级	描述
SS级	玻璃上存在用物理刚蹭无法直接去除的污渍
S级	非常顽固，要用极其特殊手段去除
A级	存在重油污、重雨渍、酸雨痕、水垢
B级	无油污/雨垢，但存在严重灰尘累积或轻雨渍
C级	无油污/雨渍/雨垢，但表面存在重度灰尘累积
D级	只有普通浮尘，无油污/雨渍/雨垢
T级	存在条形雨垢（需定点去除）

c.选择不同脏污等级的几个区域作为采样点，使用长度5cm的胶带对玻璃表面进行黏贴后取下，并将取下的胶带黏在专用亚克力板的样板框内。每个区域至少取2点，总数不少于4个点。用胶带取样后，标记记录区域并编号，记录现场照片，应包含时间地点信息的照片。

8.2 喷涂作业前期准备与踏勘

8.2.1 喷涂作业前应进行现场勘察及对作业任务进行可行性评估

a.喷涂作业前，需与需求方充分沟通作业目的、预期效果，并明确将使用的喷涂材料、工艺等信息；

b.喷涂作业前，需对现场进行勘察，仔细核查作业时的现场环境、空域管制等信息以及作业对象的各项状态，包括材质、表面状况、结构形态等情况，拍照留样；

c.基于现场勘查结果，与甲方二次沟通，对作业的工艺流程、喷涂材料选择和调配、作业时间和环境安排、安全防护等等进行二次调整，如是否需要进行表面预处理、漆料调配方式、喷涂覆盖效果、环境保护方案等；

d.根据重新调整作业方案，小范围验证测试，由客户确认效果，拍摄照片作为验收标准留样。

8.3 采样验收

8.3.1 玻璃幕墙清洗作业完毕后，目视或采用具备1080P或以上分辨率摄像头的航拍无人机进行检查，幕墙表面无明显残留污渍面积应 $\geq 95\%$ 、残留水渍的面积占当次清洗总面积比例 $\leq 10\%$ ；对清洗前实际踏勘取样的点，按8.1.2.c重新采样一次并拍摄留影像资料，采样后与清洗作业前记录的亚克力板进行效果对比，目测应无明显灰尘。

8.3.2 光伏板清洗作业后，采用具备1080P或以上分辨率摄像头的航拍无人机对作业面飞行距离 $\leq 3m$ 的进行检查，光伏板表面应干净整洁，无明显油污、斑点或其他附着物；如有发电效率验收要求，可采用相关仪器如 IV 曲线测试仪，测量光伏板清洗后的发电效率，对比清洗前的采样记录，清洗后光伏发电效率的恢复率应 $\geq 90\%$ ，其中，恢复率=清洗后测量的发电效率/采样计算的当前发电效率，或相比清洗前测量的发电效率有明显提高，提高幅度 $\geq 10\%$ ；

8.3.3 喷涂作业后，采用具备1080P或以上分辨率摄像头的航拍无人机对作业面进行飞行距离 $\leq 3m$ 的检测，表面应无明显流挂、缩孔等缺陷；漆面覆盖厚度合适，无明显底层露出、透色等缺陷；作业区域没有缺涂、多涂、误涂；油漆的颜色应该与设计图纸或样板一致，漆面应均匀，无明显色差。