



团 体 标 准

T/SZUAVIA 004—2025

无人机清洗作业通用规范要求

General requirements for unmanned aerial vehicle (UAV)
cleaning operations

2025-05-28 发布

2025-06-01 实施

深圳市无人机行业协会 发布

目 次

前 言 1

引 言 1

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 技术要求 4

 4.1 无人机系统要求 4

 4.2 清洗设备要求 4

 4.3 通信与控制系统要求 4

5 作业准备 5

 5.1 作业环境评估 5

 5.2 设备检查 5

 5.3 应急预案 5

 5.4 人员培训 5

 5.5 空域申请 5

 5.6 作业保险 5

6 作业要求 5

 6.1 楼宇外墙清洗 5

 6.2 光伏板设备清洗 5

 6.3 风电设备清洗 5

7 安全要求 6

 7.1 作业安全 6

 7.2 设备安全 6

 7.3 环境安全 6

8 检验与验收 6

 8.1 清洗效果检验 6

 8.2 设备状态检验 6

附 录 A（资料性附录） 无人机清洗作业记录表 7

附 录 B（规范性附录） 清洗介质性能指标 8

附 录 C（规范性附录） 玻璃表面灰尘清洁度测试 9

前 言

本规范按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第一部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由深圳市无人机行业协会提出并归口。

本文件主要起草单位：深圳市无人机行业协会、北京蓝星清洗有限公司。

本文件参与起草单位：九思智能航空科技（深圳）有限公司、魂斗罗智能科技（南京）有限公司、安必视（北京）智能科技有限公司、深圳市欣大辉科技工程有限公司、陕西恒明空天科技有限公司、深圳宜安特检测技术有限公司、中翔净飞（广州）科技有限公司、深圳头名科技有限公司、中国人民财产保险股份有限公司广州市分公司、深圳市安全防范行业协会、深圳市智能交通行业协会、深圳市智慧城市产业协会、武汉市安全技术防范行业协会、济南市安全防范行业协会。

本文件起草人：杨金才、章平、王达、杨建、张霞、孙洪强、徐晶、李保华、林驯、邓连军、胡毅、陈旭、陈晓容、柳培华、吕吉祥、兰宁、李成名、赵伦楷、李军、单素灵、杨澍、周历宁、刘耀耀、张丹、杨佳奇、田湘裙、杜怀进、徐晓东、陈虎、杨中海。

引 言

随着城市建筑高度化、新能源设施规模化，传统人工清洗方式在高层楼宇外墙、光伏电站、风力发电机叶片等场景下面临效率低、成本高、安全风险突出等挑战。与此同时，以低空经济为背景的无人机技术的突破为上述这些清洗领域提供了革新性解决方案，其通过用无人机精准定位、智能避障和高效清洗作业，显著提升了清洁效率并规避了人员安全风险。这一技术革新不仅解决了传统行业的痛点，更呼应了低空经济“服务化、智能化、绿色化”的发展方向。

然而，当前无人机清洗作业领域尚缺乏统一的技术规范，制约了技术推广与规模化应用。为规范无人机清洗作业的技术要求、操作流程及安全标准，保障作业安全性与服务质量，特制定本团体标准。

本文件结合行业实践经验，围绕无人机清洗作业的作业准备、设备配置、操作规范、安全防护、质量评估等关键环节提出系统性要求。旨在为行业从业者提供技术指引，为监管部门提供参考依据，推动无人机清洗作业向标准化、专业化方向发展。

无人机清洗作业通用规范要求

1 范围

本文件规定了使用无人机进行清洗作业的技术要求、操作规程、安全措施及检验方法，适用于楼宇外墙、光伏板设备和风电设备等设施的清洗作业。其他无人机清洗作业可参考本文件。

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 38508 清洗剂挥发性有机化合物含量限值

GB/T 2680 建筑玻璃 可见光透射比、太阳光直接透射比、太阳能总透射比、紫外线透射比及有关窗玻璃参数的测定

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 18451.2 风力发电机组 功率特性测试

GB/T 18570.3 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第3部分：涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定（压敏粘带法）

GB/T 25030 建筑物清洗维护质量要求

GB/T 38924 民用轻小型无人机系统环境试验方法

GB/T 39293 工业清洗术语和分类

JB 8526 高压水射流清洗作业安全规范

SB/T 10737 高空外墙清洗服务规范

DB34/T 3083 建筑外墙清洗服务规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人机清洗系统 UAV cleaning system

具备通信与控制功能的无人机与配套清洗设备组成的用于清洗作业的系统。

3.2

无人机系留系统 UAV tethered system

通过物理线缆（系留缆绳）将无人机与地面供电设备连接的无人飞行器系统。该系统通过线缆实现持续电力输送，支持无人机在限定空域内完成超长航时（通常数小时至数十小时）作业。

3.3

无人机清洗作业 UAV cleaning operations

使用无人机清洗系统对楼宇外墙、光伏板或风电设备等设施进行清洗作业。

3.4

清洗介质 cleaning mediator

与被清洗对象和污垢直接接触，可传递或增强清除污垢作用力的物质统称。

3.5

清洗效率 cleaning efficiency

单位时间内清洗作业对象的面积或体积，通常以 m^2/h 或 m^3/h 表示。

3.6

可见光透射比 visible light transmittance

在可见光光谱（380 nm~780 nm）范围内，CIE D65标准照明体条件下，CIE标准视见函数为接收条件的透过光通量与入射光通量之比，按GB/T 2680-2021规定方法进行计算。

3.7

光伏板发电能力 photovoltaic generation efficiency

光伏板单位面积上太阳光辐照发电效率， η 采用下式计算。

$$\eta = \frac{P}{A \cdot I}$$

式中： η ——光伏板发电能力

$P(\text{W})$ ——光伏板发电功率

$A(\text{m}^2)$ ——光伏板表面积

$I(\text{W}/\text{m}^2)$ ——照射在光伏板上的太阳光辐照度

3.8

压敏粘带 pressure-sensitive tape

压敏粘带宽25 mm，无色、透明，按IEC 454-2规定的180°剥离试验方法进行试验，所测得的剥离强度应 $\geq 190 \text{ N/m}$ 。

4. 技术要求

4.1 无人机系统要求

- a) 无人机应具有产品合格证；
- b) 无人机应具备稳定的飞行性能，飞行高度可达100~500 m；
- c) 无人机应具备 $\geq 30 \text{ min}$ 的续航能力、负载能力 $\geq 10 \text{ kg}$ ；或具备续航能力 $\geq 15 \text{ min}$ 、负载能力 $\geq 35 \text{ kg}$ ，以满足不同清洗场景需求；如配备系留系统，系留系统应具备自动收放线缆功能；
- d) 无人机应配备可见光摄像机、避障系统，摄像机分辨率 $\geq 1080\text{P}$ ，照度 $\geq 0.1 \text{ lux}$ ；
- e) 无人机防护等级 $\geq \text{IP55}$ ；
- f) 无人机应配备BDS、GPS两种定位系统，具备自动返航功能；
- g) 无人机改装后应当遵守改装后所属类别的管理规定，不得违背《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》的要求。

4.2 清洗设备要求

4.2.1 清洗设备要求

- a) 水泵出水口的水压范围应可调节，最小应满足清洗作业需要，最大不超过作业面最大承受压力；
- b) 出水口宜配用旋转装置以适应不同的清洗工况；
- c) 清洗设备应具备防漏电功能。

4.2.2 清洗介质要求

- a) 清洗介质pH值范围为4~10，不得含有毒、有害化学物质，挥发性有机化合物含量应符合GB 38508-2020的规定；清水、中性、弱碱性以及弱酸性的清洗介质主要性能指标要求详见附录B；
- b) 楼宇外墙清洗宜使用TDS值 $\leq 30 \text{ mg/L}$ 的软化水，如使用其它水源TDS值应 $\leq 300 \text{ mg/L}$ 。

4.3 通信与控制系统要求

- a) 无人机应具备远程控制和实时监控功能, 通信距离 $\geq 1\text{km}$;
- b) 通信系统应具备抗干扰能力, 符合工信部无(2023)252号)号文件要求;
- c) 控制系统应具备紧急悬停和降落功能。

5. 作业准备

5.1 作业环境评估

- 5.1.1 作业前应对气象条件进行评估, 风速 ≥ 6 级、降雨、降雪或温度 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 时应暂停作业。
- 5.1.2 作业前对作业区域进行障碍物排查, 保证无人机飞行路径畅通。

5.2 设备检查

- 5.2.1 检查无人机电池电量、电机状态及传感器功能。开始作业前电池电量应 $\geq 80\%$ 。
- 5.2.2 检查清洗设备的水压、流量及清洗介质储备。水压、流量、和清洗介质储备应符合作业要求。

5.3 应急预案

- 5.3.1 作业前应根据作业环境、设备状态及潜在风险制定专项应急预案, 明确应急响应程序、人员职责及处置措施。

5.4 人员培训

- 5.4.1 无人机驾驶员应持有符合所操作机型的民航局或政府相关部门认证的民用无人机驾驶员执照, 并通过高空清洗作业专项培训。
- 5.4.2 无人机清洗系统操作人员应熟悉应急预案, 掌握紧急情况下的处置方法, 定期进行应急演练。

5.5 空域申请

- 5.5.1 作业前应查询作业期间的空域管控情况, 并向当地相关管理部门申报飞行作业计划, 获得许可后方可作业。
- 5.5.2 作业空域范围及高度限制应符合相关法规要求。

5.6 作业保险

- 5.6.1 开展无人机从事清洗作业前, 应当依法投保责任保险。

6. 作业要求

6.1 楼宇外墙清洗

- 6.1.1 应合理规划清洗路线和无人机机载设备作业高度, 无人机清洗系统喷口与建筑物表面距离应保持在 $0.5\sim 2.0\text{ m}$ 。
- 6.1.2 应结合清洗对象实际情况, 选择合适水压范围, 水泵出口压力 $\leq 25\text{ Mpa}$ 。
- 6.1.3 清洗完成后应检查清洗效果, 确保无残留污渍; 如有未清洗干净的区域, 应进行二次清洗。

6.2 光伏板设备清洗

- 6.2.1 若无人机搭载高压水枪进行清洗作业, 应将清洗压力控制在光伏板设备承受范围内, 防止损坏光伏设备组件, 水泵出口压力 $\leq 9\text{ Mpa}$ 。
- 6.2.2
- 6.2.3 清洗完成后应检查设备状况, 确保设备表面完好、组件无损坏; 如有清洗效果不佳的区域, 应进行二次清洗。

6.3 风电设备清洗

- 6.3.1 针对发电风机叶片表面进行清洗或维护作业，喷口压力应控制在叶片承受压力范围内，水泵出口压力 ≤ 25 Mpa。
- 6.3.2 作业完成后检查叶片表面是否清洁、完好。
- 6.3.3 作业过程中应避免清洗介质进入设备内部，对风机轴承和电气部件造成影响。

7. 安全要求

7.1 作业安全

- 7.1.1 作业环境应满足所使用无人机设备厂家出具的操作手册中规定的飞行环境要求。
- 7.1.2 应在作业区域周边设置安全警戒线或隔离设施，禁止无关人员进入：作业高度 ≤ 10 m时，警戒区域半径不应小于15m； $10\text{m} < \text{作业高度} \leq 30\text{m}$ 时，警戒区域半径不应小于30m；作业高度 $> 30\text{m}$ 时，警戒区域半径不应小于50m；
- 7.1.3 无人机起飞、降落及设备放置场地面积不应小于 $5\text{m} \times 5\text{m}$ ，场地边界应设置明显的警示标志。
- 7.1.3 操作人员应佩戴安全帽、防护眼镜、防滑鞋，还应配备急救箱。
- 7.1.4 操作人员每次持续作业不得超过2小时。
- 7.1.5 禁止单机单控操作，需配备无人机驾驶员和安全观察员。

7.2 设备安全

- 7.2.1 无人机应具备紧急停机功能，紧急停机按钮应设置在操作人员易于触及的位置。
- 7.2.2 清洗设备应具备防漏电，并定期进行安全检查。

7.3 环境安全

- 7.3.1 清洗后的废水如直接排放，应满足GB 8978-1996《污水综合排放标准》的指标要求。
- 7.3.2 若因被清洗设备污染程度严重，采用的清洗介质pH值超出规定范围，应保证清洗介质对作业区域内设施无损害，并对清洗废水作截留处理。
- 7.3.3 作业完成后应清理现场，避免遗留杂物。清理内容包括清洗介质残留、设备包装物等。

8. 检验与验收

8.1 清洗效果检验

- 8.1.1 清洗之后的楼宇外墙玻璃表面应清洁明亮，无明显污垢、水迹、水渍；外墙装饰表面应无明显污垢，色泽光亮。
- 8.1.2 清洗之后的光伏板表面反射均匀，无划痕、涂层脱落或边框腐蚀，接线盒、电缆等密封性完好，表面污垢应基本去除。
- 8.1.3 清洗之后的风电设备应保持气动外形完整无损，表面无侵蚀或涂层剥落，螺栓连接处无松动，发电风机叶片表面覆冰及污垢应基本去除。
- 8.1.4 检验方法

- a) 楼宇幕墙：直观外墙面表面无明显污垢；玻璃可见光透射比以及玻璃表面灰尘清洁度测试（按附录C规定测试）结果可供鉴别清洗效果。
- b) 光伏板：使用白手套或者白纱布，分别在组件四角和中间位置擦拭玻璃表面，手套或纱布上无明显灰尘；光伏板发电能力以及表面灰尘清洁度测试（按附录C规定测试）结果可供鉴别清洗效果。
- c) 风电设备：风力发电机的输出功率（单位：W或kW）测试结果可供鉴别清洗效果，测试方法可参考GB/T 18451.2-2021《风力发电机组 功率特性测试》国家标准相关规定。

- 8.1.5 清洗效果检验应记录在案，作为验收依据。检验记录包括清洗前后的对比照片、检测数据等。

8.2 设备状态检验

- 8.2.1 检查无人机及清洗设备的运行状态，设备状态检验应定期进行。
- 8.2.2 记录设备使用情况，定期进行维护保养。维护保养内容包括设备清洁、零部件更换等。

附录 A
(资料性附录)
无人机清洗作业记录表

无人机清洗作业记录表见表A. 1。

表A.1 无人机清洗作业记录表

作业日期	作业地点	作业内容	操作人员	设备状态	备注

附录 B
(规范性附录)
清洗介质性能指标

无人机清洗作业选用清洗介质的主要性能指标详见表B. 1。

表B.1 清洗介质性能指标

清洗介质	外观	pH值
清水	无色透明液体	7.0
中性清洗介质	澄清液体	6.0-8.0
碱性清洗介质	澄清液体	8.0-10.0
酸性清洗介质	澄清液体	4.0-6.0

附录 C
(规范性附录)

玻璃表面灰尘清洁度测试

C.1 方法概要

把压敏粘带压贴在玻璃表面上，取下粘有灰尘的压敏粘带，放到一块与灰尘颜色有反差的单色显示板上，用放大镜检查，评定粘在压敏粘带上的灰尘数量。

C.2 仪器和材料

- 测试所用仪器和材料如下：
- 压敏粘带（压敏粘带所需的最低剥离强度需要进行试验检测，目前暂无数据）。
- 显示板（指与灰尘颜色有反差的显示板作为背景）。
- 放大镜（放大镜的放大倍数为10倍）。

C.3 步骤

- C.3.1 每次系列试验开始前，将拉出的前3圈压敏粘带废弃，再拉出约200mm长备用。
- C.3.2 仅在两端接触粘贴面，将新拉出的压敏粘带中约150mm长压实在试验表面上。拇指横放在压敏粘带的一端，移动拇指并保持压实力，以一个恒定的速率沿压敏粘带来回压实。每一个方向压实3遍，每一遍时间为5s~6s。再从试验表面取下压敏粘带，放在适当的显示板上，然后用拇指按下使之粘到板上。
- C.3.3 将压敏粘带的一个区域与图C.1规定的等尺寸区域进行目视比较，评定压敏粘带上的灰尘数量，记录与之最为相似的参考图上的等级。
- C.3.4 对每块测试的玻璃表面，应进行不少于3次的独立试验。若试验结果不是分布在一个或一个以下的数量等级上，应至少再进行2次试验，取平均值。
- C.3.5 试验完成后，应去除所有压敏粘带或残留在试验表面上的粘附物。

等级	图 示
1	
2	
3	
4	
5	

图 C.1 与灰尘数量等级1,2,3,4和5对应的参考图