

无人机幕墙清洗方案及报价文件

项目名称:

[深圳市*****办公大楼外墙] 无人机清洗服务

委托单位:

[深圳市*****有限公司]

承接单位:

[*****科技有限公司]

编制日期: 2025 年 12 月 日

目录

一 项目专项方案

二 通用技术方案

三 报价方案

四 公司简介

一、项目专项方案

第一部分：项目分析及总体方案

该项目分裙楼及塔楼两部分，总高约 120 米，裙楼方正塔楼为椭圆形建筑。

项目楼龄约 20 年，幕墙结构及胶条存在老化风险，吊绳清洗蜘蛛人的脚步蹬踏及操作过程中的手部力度控制不均会对外墙装饰材料存在二次破坏



塔楼存在大量铁架，常规吊绳极难作业，只能踩踏铁架来操作，人员安全及结构破坏风险很大



凹窗处，人手不能完全触及，存在清洁盲区



裙楼有很多造型飘檐，外凸约一米，吊绳施工作业人员很难贴墙清洗



无人机清洗可控制水压避免结构破坏，航线规划灵活可达性强
该项目采用无人机清洗方案，对比人工清洗安全高效。

幕墙材料多样，存在玻璃、石材、铝板、铁架等多种材料，现场至少使用 3 种清洁剂，无人机需按不同场景切换材料，时效影响较大

施工需分区域实施，但塔楼为椭圆形态，边界相对不清晰，航线设置有一定难度

凹窗位置的四边无法用航线规划方式操控，需人工操控无人机二次清洗

裙楼屋面为玻璃屋面，起降点需增加缓震设施，且水箱需安放在结构受力处，安放位置受限对无人机的清洗分区及效率有较大影响

裙楼屋面需作为塔楼无人机设备起降作业面，但无正常通道抵达，需用吊车吊运设备及水箱

部分区域绿化影响，无人机无法企达，局部位置仍需人工清洗



本项目的无人机清洗方案，需综合协调飞行设备、升降吊运设备、飞手、蜘蛛人及各种清洗材料，无人机清洗（大面）与人工清洗（裙楼）相结合，规划航线与人工控制飞行两种操控方式并存，协调难度、人工设备材料及时间投入均比常规项目要大。

第二部分：具体实施计划

主要作业时间：

无人机作业时存在一定的噪音，办公区的幕墙隔音能力较强（关窗后，室内噪音可接受），但周边生活区建筑的隔音能力稍差，建议大面工程在工作日的白天飞行清洗，周末及晚上可局部或人工清洗工作，降低无人机噪音扰民影响。



暂定分区安排：

在不影响园区正常工作的原则下，结合场地停车及人行需求，周边噪音控制及作业安全管理，按多分区少机器原则，暂定分4个区域使用1台无人机实施

塔楼区域1（裙楼平台对应的塔楼区域）、剩余塔楼区域2&3、裙楼区域4





甲方免费提供现场用水用电，按分区提供就近水电接驳点

另外，因为项目楼龄已经超 20 年，外立面工程估计存在老化渗漏等风险，建议清洗前增加无人机外立面巡检作业。

1 标准检查

标准检查（铝合金玻璃幕墙）

广角拍摄，单张照片覆盖面积大，作业效率高。
作业效率：6万平米/天

价值：
标准检查主要以玻璃面板、铝合金装饰面板、边框框架、灯具等较大部件进行检查，以安全检查为主，及时发现安全隐患，防止问题严重化发展。

建议：

- (1) 一年2次检查
- (2) 其中6月-10月为台风季，建议安排1次，台风后各安排1次做好预防和修缮。

玻璃面板破损	玻璃面板破损	铝合金面板形变
中空玻璃结露	玻璃面板污染	胶条脱落
铝合金面板污染	铝合金边框翘起	百叶破损

施工前进行作业公示，要求非工作人员不得进入作业范围，告知作业风险及噪音影响。

按分区计划的实际作业空间依次划定安全作业范围，在作业区域周边设置路障，明确分隔作业区域与非作业区域，防止无关人员和车辆进入，确保无人机起降过程中能够安全操作。

无人机配备多重安全保障，如避障系统、紧急开伞和失效保护功能。在无人机上可设置离墙安全距离 2-3 米（强制要求），同步人工监控飞行轨迹，必要时候可通过人工牵拉系留水电管线来辅助控制无人机的安全作业。

每次作业前对无人机、清洗系统、供电供水设备、通信系统进行全面检查和调试，确保一切正常。

安排安全观察员岗位，全程监控无人机状态和周边环境，随时准备应对突发情况，并与业主物管同事保持联系及时通报情况共同协调管理。

作业人员需佩戴安全帽、护目镜、防护手套等防护用品，并远离作业下方区域。

进场前购买足额第三者责任险，用于赔偿因无人机作业对第三方（即业主、公众、其他财产）造成的财产损失或人身伤害。

失控处理：如果无人机发生意外无法恢复控制，飞手会根据情况选择最安全的迫降点，并进行手动控制其姿态，避开人群和重要设施。

极端情况：若判断坠落不可避免，立即触发紧急降落伞系统。同时，安全员通过对讲机大声预警，疏散地面人员。安全员第一时间赶往坠落点，检查有无人员受伤和财产损失。如有人员受伤，立即启动医疗救助流程，拨打急救电话。保护事故现场，拍照取证，并立即向公司管理层和相关监管部门（如民航、公安）报告。同步联系保险公司，启动理赔程序。

第四部分：绿化防护及环保措施

对作业区域下方车辆及周边名贵花草采用防水布等进行防护。

高空作业完全收集废水有一定难度，在地面作业区域下方铺设防水布或设置可移动的接水盘，对清洗产生的废水能有效收集。

作业结束后，会及时清除覆盖物。如果因意外发生少量污染，可采取大量清水冲洗受影响的植被和土壤的方式进行稀释和恢复。

处理后的废水排放必须符合 GB 8978-1996《污水综合排放标准》的要求。

由于使用了环保型、可生物降解的清洗剂，并经过简单的物理过滤（去除悬浮颗粒物）和 PH 值调节后，废水一般可以达到排放标准。

对于含有特殊污染物的废水，则必须送往专业的污水处理厂进行深度处理，严禁直接排入市政雨水或污水管道。

第五部分：人员安排

无人机团队：暂定 3 人，一名持证主飞手、一名安全观察员、一名负责水电接驳及清洗液调配，并明确分工及岗位职责

蜘蛛人团队：待结合现场情况深化

第六部分：设备安排

暂定：一台清洗无人机，一台吊运设备（需两次进退场）

无人机（大疆无人机）

大疆无人机是一款集**大载重、长航程、强信号和高智能**于一体的民用大载荷无人机。

可为各种应用场景提供稳定可靠的解决方案。机身搭载前后配置有**源相控阵雷达和双目视觉系统**，可实现飞行过程中的多向、全天候、全时段智能避障。无人机标配**内置降落伞**，

确保飞行安全。配备了**紧凑的折叠收纳设计**，满足普通车辆转运需求。



专用水系留系统

电源	伏特 / 赫兹	220-240 / 50
输入功率	千瓦	3.4
水流量	升/小时	600
工作压力	巴	70-150
最大进水温度	摄氏度	60
重量	千克	52
尺寸	毫米	700×455×1010
电源线规格	米/插头类型	5/16A
延长线缆	≤30m	2.5mm ²



第七部分：清洁剂选用

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。

玻璃幕墙：可使用相对较高的水压和旋转毛刷进行高效清洗。需选用中性、无腐蚀性的专用玻璃清洗剂，避免损伤玻璃镀膜和密封胶。

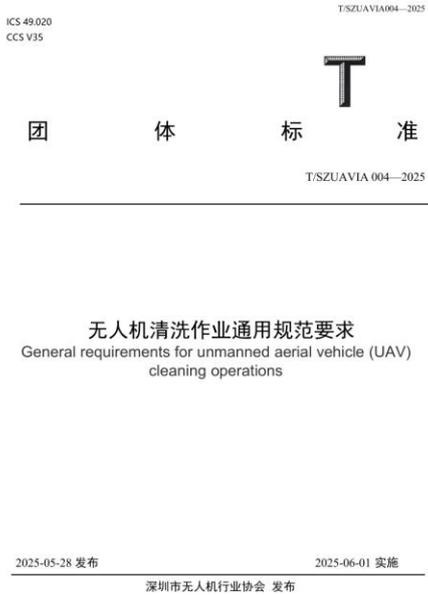
金属幕墙：清洗时需注意水压控制，避免过高压力导致面板变形。应选用中性或弱碱性清洗剂，避免使用强酸或强碱清洗剂腐蚀金属表面涂层。

石材幕墙：石材（特别是多孔性石材如大理石）对化学品较为敏感，必须选用石材专用的、PH 值中性的清洗剂，严禁使用酸性清洗剂，以防“烧伤”石材表面造成永久性损伤。水压也应适当调低，以物理方式（如软刷）配合清洗为主。

清洗前测试：对于任何一种材质，在开始大面积作业前，应在不显眼的小块区域进行清洗测试，以检验清洗剂和清洗参数的兼容性和效果。

二、通用技术方案

我司技术方案参考无人机清洗作业通用规范要求（T/SZUAVIA 004—2025，深圳市无人机行业协会 发布）拟定，不低于规范要求且按我司标准进行了补充完善。



本文档旨在系统性地解答物业方对于采用无人机进行幕墙清洗技术所关注的核心问题，涵盖作业流程、技术设备、安全环保、法规资质等多个维度，以帮助物业方对具体业务有全面的了解。

第一部分：总体认知

Q1: 什么是无人机幕墙清洗？它与传统“蜘蛛人”等方式有何根本不同？

A1: 无人机幕墙清洗是一种利用工业级无人机搭载专业清洗设备（如高压水枪、旋转刷头和清洁剂喷洒系统），通过远程操控或自动化路径规划，对高层建筑外墙进行清洁作业的新型技术方案。

它与传统方式的根本不同在于：

作业模式：传统方式（如吊篮、吊板，俗称“蜘蛛人”）依赖于“人工作业”，人员需在高

空悬挂，风险极高。无人机清洗则是“人机分离”，操作员在地面安全区域远程控制，从根本上消除了高空坠落的人身安全风险。

效率：无人机可通过预设航线进行自动化、标准化的连续作业，不受人力体能限制，可 24 小时不间断工作，清洗效率通常是人工的数倍，能大幅缩短施工周期。

可达性：对于结构复杂、传统吊篮难以到达的异形幕墙或特殊立面，无人机凭借其灵活性可以轻松覆盖，实现无死角清洁。

智能化：无人机清洗系统通常集成了高清摄像头和传感器，可以实时监控清洗过程和效果，并通过数据记录进行质量追溯和分析，这是传统人工难以实现的。

Q2: 相比传统方式，采用无人机清洗幕墙有哪些核心优势？

A2: 无人机清洗的核心优势可以总结为“更安全、更高效、更环保”。

安全性革命：作业人员无需高空作业，从源头上杜绝了高空坠落事故的发生，这是其最核心的优势。同时，专业的无人机配备多重安全保障，如避障系统、紧急开伞和失效保护功能。

效率显著提升：无人机作业效率可达人工的 3-5 倍，能够大幅缩短工期，减少对楼宇日常运营的干扰。

环保与资源节约：通过精准喷洒和优化的清洗策略，无人机清洗可以显著减少水和清洁剂的用量。

保护建筑本身：智能控制的压力和温和的清洗剂可以避免因人工操作不当对幕墙镀膜、密封胶等造成的损害，有助于延长幕墙的使用寿命。

Q3: 无人机清洗的效率有多高？能缩短多少工期？

A3: 无人机清洗的效率远高于传统人工作业。其效率提升主要来源于自动化飞行、标准流程和持续作业能力。

清洗速度：根据设备型号和作业条件，单台无人机的清洗效率可达数百甚至上千平方米每小时。

持续作业：部分采用系留供电技术的无人机可以实现长时间不间断作业，不受电池续航限制，进一步提高了单日作业效率。

第二部分：作业流程详解

Q1: 无人机幕墙清洗的完整标准作业流程是怎样的？

A1: 一个专业、完整的无人机幕墙清洗项目遵循一套严谨的标准化作业流程（SOP），通常包括作业前准备、现场执行和作业后收尾三大阶段。

第一阶段：作业前准备与规划

需求评估与现场勘查：了解建筑结构、高度、幕墙材质、污染程度，勘查周边环境、障碍物、人流车流情况，评估风险。

方案制定与航线规划：根据勘查结果，选择合适的无人机、清洗设备和清洗液，并制定详细的作业方案，包括清洗区域划分、飞行航线规划、应急预案等。

空域申请与审批：向当地空管部门提交飞行计划，申请作业空域，并获得批准。

团队组建与分工：组建作业团队，至少包括一名持证主飞手和一名安全观察员，并明确各自职责。

设备检查与调试：作业前对无人机、清洗系统、供电供水设备、通信系统进行全面检查和调试，确保一切正常。

第二阶段：现场作业执行

现场布置与安全隔离：在地面划定安全作业区，设置警戒线和警示标识，疏散无关人员和车辆。

设备安装与连接：安装清洗模块，连接系留供电电缆和供水管道。

起飞与定位：无人机起飞，根据预设航线飞行至清洗作业的起始点，通常从上至下进行。

执行清洗操作：按照“先喷洒清洗液、后高压清水冲洗”的顺序进行作业。飞手实时监控清洗画面，根据实际情况微调飞行姿态、速度和喷洒参数。

实时监控与安全保障：安全员全程监控无人机状态和周边环境，随时准备应对突发情况。

第三阶段：作业后收尾

效果检查与补洗：清洗完成后，通过无人机悬停观察或地面检查，评估清洗效果。对未达标区域进行局部补洗。

设备回收与维护：无人机安全降落，回收所有设备，并进行清洁和维护保养。

废水处理与现场清理：收集并妥善处理作业废水，清理作业现场，撤除安全隔离设

施。

数据记录与归档：记录飞行时间、清洗面积、设备状态等作业数据，形成报告并归档。

Q2: 作业前的现场勘查具体需要关注哪些内容？风险评估会考虑哪些方面？

A2: 现场勘查和风险评估是保障作业安全和顺利进行的关键前提。

现场勘查关注点：

建筑特征：楼宇高度、结构、幕墙材质（玻璃、金属、石材等）、表面形状（平面、曲面）、污染程度和类型。

周边环境：周围建筑物、高压线、树木等障碍物的位置；地面的人流、车流密度和规律；是否有敏感区域（如学校、医院）。

空域条件：是否位于机场净空区、军事管理区或其他禁飞区附近；是否存在 GPS 信号干扰源。

后勤保障：可用的接水点、接电点位置及容量；设备、车辆的停放和进出通道。

风险评估考虑方面：

技术风险：无人机设备故障（如失控、动力丢失、通信中断）、清洗设备故障。

环境风险：突发恶劣天气（大风、雷雨）、电磁干扰、鸟类撞击。

操作风险：人为操作失误、航线规划不当导致碰撞。

第三方风险：对地面人员、车辆、周边建筑造成损害的风险；清洗液飘散对环境或人员的影响。

基于评估结果，会制定相应的风险规避措施和应急预案。

第三部分：设备、技术与参数

Q1: 清洗幕墙通常使用什么型号或规格的无人机？有哪些关键性能要求？**

A1: 幕墙清洗使用的是工业级多旋翼无人机，而非消费级航拍无人机。它们在负载、

动力、稳定性和可靠性方面有更高要求。

机型类型：通常选用 6 轴及以上的多旋翼无人机，因为更多的旋翼能提供更强的动力冗余和飞行稳定性。机身结构坚固，并具备较高的防水等级（如 IP 等级认证），以适应喷水作业环境。

关键性能要求：

强大负载能力：这是核心指标。无人机需要挂载清洗模块、水管和电缆。负载能力通常要求不低于 15kg，常见的负载范围在 20-50kg。

高精度定位：普遍采用 RTK（实时动态差分）厘米级定位技术，确保无人机能与幕墙保持精确、稳定的距离，避免碰撞。

长续航能力：为提高作业效率，可采用“系留供电”方案，即通过地面的电缆为无人机提供源源不断的电力，摆脱电池续航限制。

智能避障系统：配备多向毫米波雷达或视觉传感器，能够实时感知并规避障碍物，是保障飞行安全的重要功能。

Q2: 无人机的喷洒系统是怎样的？有哪些关键技术参数？

A2: 无人机的喷洒（清洗）系统是其核心作业模块，经过专门设计以适应高空清洗的需求。

系统构成：通常包括地面高压泵站、轻质高压水管、无人机挂载的喷头或刷头模块。

地面泵站：提供稳定、高压的水流，压力和流量可根据清洗需求进行调节。

供水管路：连接地面泵站和无人机，需要轻质、耐高压、抗拉扯。

机载模块：可搭载多种工具头，如高压喷嘴、旋转滚刷、软毛刷等，以应对不同污渍和幕墙材质。

关键技术参数：

水压（MPa）：清洗的关键参数。压力需要足够大以剥离污渍，但又不能过高以免损伤幕墙表面。具体数值会根据幕墙材质和污垢情况进行调节。（一般水泵压力 20-25MPa，末端压力 2MPa 左右）

流量（L/min）：决定了单位时间的出水量，影响清洗效率和水耗。

喷嘴类型与角度：可选用扇形喷嘴、锥形喷嘴等，喷嘴的角度和覆盖范围可以调节，以实现最佳清洗效果和节水目的。

清洗效率 (m²/h): 衡量系统整体作业能力的综合指标。

Q3: 无人机清洗适用于哪些不同类型的幕墙材料? 针对不同材料, 参数如何调整?

A3: 无人机清洗技术具有良好的适应性, 可适用于目前市面上绝大多数幕墙材料。

适用材料:

玻璃幕墙: 这是最常见的应用场景。

金属幕墙: 如铝单板、铝塑板等。

石材幕墙: 如花岗岩、大理石等。

其他材料: 如陶土板、瓷砖饰面等。

参数调整与注意事项:

玻璃幕墙: 可使用相对较高的水压和旋转毛刷进行高效清洗。需选用中性、无腐蚀性的专用玻璃清洗剂, 避免损伤玻璃镀膜和密封胶。

金属幕墙: 清洗时需注意水压控制, 避免过高压力导致面板变形。应选用中性或弱碱性清洗剂, 避免使用强酸或强碱清洗剂腐蚀金属表面涂层。

石材幕墙: 石材(特别是多孔性石材如大理石)对化学品较为敏感, 必须选用石材专用的、PH值中性的清洗剂, 严禁使用酸性清洗剂, 以防“烧伤”石材表面造成永久性损伤。水压也应适当调低, 以物理方式(如软刷)配合清洗为主。

清洗前测试: 对于任何一种材质, 在开始大面积作业前, 都应在不显眼的小块区域进行清洗测试, 以检验清洗剂和清洗参数的兼容性和效果。

第四部分: 清洗液与环保合规

Q1: 无人机清洗通常使用什么样的清洗液? 其配方和环保性如何?

A1: 清洗液的选择是保证清洗效果和环保合规性的重要一环。

类型与配方:

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下表；

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

b) 楼宇外墙清洗宜使用 TDS 值 ≤ 30 mg/L 的软化水，如使用其它水源 TDS 值应 ≤ 300 mg/L。

通常使用专业配方的环保型清洗剂，主要成分包括表面活性剂（如 APG）、螯合剂、助剂和水等。

优先选用 PH 值为中性（6.0-8.0）的清洗剂，以最大程度地兼容各种幕墙材料并减少对环境的影响。

清洗液应为可生物降解配方，避免含有毒、有害化学物质。

环保合规性：

VOCs 含量：清洗剂的挥发性有机化合物（VOCs）含量必须符合中国国家强制性标准 GB 38508-2020《清洗剂挥发性有机化合物含量限值》的规定。这是衡量清洗剂环保性的关键法规指标。

无腐蚀性：清洗液不得对幕墙面板、金属构件及密封胶等产生腐蚀、溶胀或变色等损害。

专业服务商会提供所用清洗剂的产品安全数据表（MSDS）和符合国家标准的检测报告。

Q2: 作业产生的废水如何收集、处理？是否符合国家排放标准？

A2: 专业的无人机清洗服务高度重视废水的处理，以避免对环境造成二次污染。

废水收集：虽然高空作业完全收集废水有一定难度，但行业最佳实践是在地面作业区域下方铺设防水布或设置可移动的接水盘，对清洗产生的废水进行有效收集。

处理与排放标准：

处理后的废水排放必须符合 GB 8978-1996《污水综合排放标准》的要求。

通常，由于使用了环保型、可生物降解的清洗剂，并经过简单的物理过滤（去除悬浮颗粒物）和 PH 值调节后，废水一般可以达到排放标准。

对于含有特殊污染物的废水，则必须送往专业的污水处理厂进行深度处理，严禁直接排入市政雨水或污水管道。

第五部分：现场管理与保障

Q1: 作业现场如何接入水源和电源？对物业有什么要求？

A1: 无人机清洗系统需要稳定可靠的水源和电源供应。

电源接入：

对于采用系留供电的无人机系统，需要在地面部署一个地面电源站，该电源站需要接入市电。

物业需提供：通常需要提供 **380V 的工业用电** 接口，并确保供电容量能满足地面泵站和系留电源系统的总功率需求。具体功率要求服务商会在现场勘查时明确。

水源接入：

地面高压泵站需要连接到水源。

物业需提供：需要提供标准的市政自来水接口（如消防栓或普通水龙头），并保证供水压力和流量稳定。服务商会自带加压设备，但基础水源的稳定是必要的。

关键点：接水点和接电点的位置应尽可能靠近作业区域，以减少管线长度和能量损耗。服务商会勘查时与物业工程部门确认最佳接入点。

Q2: 如何在清洗过程中保护建筑周围的绿植不受影响？

A2: 保护周边绿植是专业清洗服务必须履行的责任，主要通过物理防护和技术控制相

结合的方式实现。

物理遮挡：在作业前，会对作业区域下方的花坛、草坪等敏感植被，使用专用的防水塑料薄膜或防溅罩进行全面覆盖和保护，这是最直接有效的措施。

技术控制：

精准喷洒：通过精确的航线规划和可调节的喷嘴，将清洗液和水流的喷洒范围严格控制在幕墙表面，最大限度地减少飞溅和飘散。

环保清洗剂：选用对植物无害或低影响的环保型、中性、可生物降解清洗剂，即使有少量滴落，也能将对土壤和植物的危害降到最低。

废水收集：地面的废水收集系统也能有效防止含有清洗剂的废水流入绿化区域，污染土壤。

作业后恢复：作业结束后，会及时清除覆盖物。如果因意外发生少量污染，可采取大量清水冲洗受影响的植被和土壤的方式进行稀释和恢复。对于任何可见的损伤，专业的服务公司应有相应的修复或赔偿预案。

Q3: 作业期间会产生多大的噪音？是否符合城市噪音管理规定？

A14: 无人机在飞行时确实会产生噪音，主要来自螺旋桨高速旋转。

噪音水平：工业级无人机的噪音水平通常在 75-95 分贝 (dB) 之间，具体取决于无人机的大小、负载和飞行状态。这个音量类似于繁忙的城市交通声。

合规性与管理：

中国的城市噪声管理规定对不同功能区（如居民区、商业区）在不同时段（白天/夜间）的噪音限值有明确要求。

为确保合规，无人机清洗作业通常会：

1. 选择合适时段：尽量安排在白天工作时段进行，避免在清晨、午休及夜间等敏感时段作业，以减少对周边居民和办公人员的干扰。
2. 提前告知：作业前会与物业沟通，提前发布作业通知，告知周边用户可能的噪音影响。
3. 技术降噪：部分先进的无人机采用了低噪音螺旋桨等设计来降低声源噪音。

通过合理的作业时间安排和管理，通常可以确保噪音影响符合城市管理规定。

第六部分：安全保障与应急预案

Q1: 无人机清洗作业的整体安全保障体系是怎样的？

A1: 安全是无人机清洗的生命线。专业的服务商会建立一个从设备、人员到流程的全方位安全保障体系。

设备安全：无人机自身配备多重安全功能，包括：

多传感器冗余：关键传感器（如 GPS、IMU）有多套备份，一套失灵可无缝切换。

智能避障：多向雷达和视觉传感器可防止无人机与建筑物碰撞。

失效保护 (Fail-Safe)：在信号丢失或电量过低时，无人机可自动执行返航、悬停或就近降落等预设程序。

紧急降落伞：在极端情况下（如动力系统完全失效），可手动或自动触发降落伞，减缓无人机下坠速度，最大程度降低地面撞击损害。

人员安全：

资质认证：所有飞手必须持有中国民航局（CAAC）颁发的无人机驾驶员执照，并经过严格的岗前培训和考核。

团队协作：现场至少配备一名主飞手和一名安全观察员，职责明确，互相监督。

现场管理安全：

安全隔离区：应在作业区域周边设置安全警戒线或隔离设施，禁止无关人员和车辆进入。

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。

无人机起飞、降落及设备放置场地面积不应小于 5m×5m，场地边界应设置明显的警示标志。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。

操作人员应佩戴安全帽、防护眼镜、防滑鞋，还应配备急救箱。

操作人员每次持续作业不得超过 2 小时。

禁止单机单控操作，需配备无人机驾驶员和安全观察员。

天气监控：实时监控天气状况，在超出现定风速、降雨、雷电等恶劣天气下立即停止作业。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。

应急预案：针对可能发生的各种紧急情况（如设备故障、天气突变、人员受伤等）制定详细的应急响应预案，并定期进行演练。

Q2: 如果无人机在作业中发生故障或意外（如失控、坠落），应急响应流程是怎样的？

A2: 针对无人机故障或意外，有标准化的应急响应程序（ERP）以将风险和损失降至最低。

1.故障发生时（空中）：

飞手操作：飞手会立即尝试重新控制无人机，或触发“一键返航”功能。

失控处理：如果无法恢复控制，飞手会根据情况选择最安全的迫降点，并尝试手动控制其姿态，避开人群和重要设施。

极端情况：若判断坠落不可避免，立即触发紧急降落伞系统。同时，安全员通过对讲机大声预警，疏散地面人员。

2.事故发生后（地面）：

立即行动：安全员第一时间赶往坠落点，检查有无人员受伤和财产损失。

人员优先：如有人员受伤，立即启动医疗救助流程，拨打急救电话。

现场保护与报告：保护事故现场，拍照取证，并立即向公司管理层和相关监管部门（如民航、公安）报告。

启动保险：联系保险公司，启动理赔程序。

事后分析：事故处理完毕后，必须撰写详细的事故报告，分析原因，并对操作流程、设备或应急预案进行改进，防止类似事件再次发生。

第七部分：法规、资质与保险

Q1: 在中国城市进行无人机幕墙清洗，需要申请空域吗？流程是怎样的？

A1: 是的，必须申请空域。在中国，所有无人机飞行活动都受到严格的空域管理，尤其是在人口密集的城市高空作业，必须提前申报飞行计划并获得批准。

申请流程：

1.查询空域:首先需要通过官方渠道查询作业地点上空是否属于管制空域或禁飞区。

2.在线申报:通过民航局的“民用无人驾驶航空器综合管理平台 (UOM) ”在线提交飞行计划申请。

3.提交材料:按照平台要求,填写作业时间、地点、高度、无人机信息、人员资质等,并上传所需证明文件。

4.部门审批:申请会流转至所在地的飞行管制部门 (通常是战区空军或民航空管部门) 进行审批。

5.获取批件:审批通过后,会获得飞行计划的批准文件,方可按计划开展作业。

审批机构:主要审批机构是飞行管制部门 (空军或民航),具体由作业区域决定。

所需材料:通常包括但不限于:单位营业执照、无人机实名登记信息、飞手驾驶执照、作业任务说明、详细飞行计划 (含作业区域四至坐标、飞行高度等)、风险评估报告和应急预案。

审批周期:常规申请的审批周期可能需要 **15 个工作日**。近年来审批流程有所简化,部分地区试点项目可实现快速审批,但仍需提前规划。

Q2: 操作无人机的飞手需要哪些资质证书? 对作业团队有什么要求?

A2: 对操作人员和团队的专业资质有严格要求,这是保障安全和作业质量的基础。

飞手资质:

CAAC 驾驶员执照:操作用于商业活动的无人机,飞手必须持有由中国民用航空局 (CAAC) 颁发的《民用无人机驾驶员执照》。这是最基本也是最重要的准入门槛。

专项培训:除了通用执照,飞手还必须接受针对幕墙清洗这一特定应用场景的专项操作培训,内容包括清洗设备的操作、高空作业特点、特殊应急处理等,并通过考核后才能上岗。

团队要求:

人员配置:现场作业团队不得少于 2 人,必须包括至少一名经验丰富的持证主飞手和一名专职安全员/观察员。

经验要求:作业人员应具备相关的幕墙安全检查或清洗工作经验,熟悉建筑结构和作业风险。

定期复训:所有操作人员应定期 (如每两年) 参加复训,以更新法规知识和操作技能。

Q3: 无人机清洗服务公司需要购买哪些商业保险？责任限额通常是多少？

A3: 为应对潜在风险，专业的无人机服务公司必须投保全面的商业保险。

主要险种：

无人机机身损失险 (Hull Insurance)：保障无人机本身因意外事故造成的损失。

第三方责任险 (Liability Insurance)：这是最重要的险种，用于赔偿因无人机作业对第三方（即业主、公众、其他财产）造成的财产损失或人身伤害。

责任限额 (Liability Limits)：

责任限额是业主方需要重点关注的。对于商业地产高空作业这类高风险场景，第三方责任险的赔付限额通常要求不低于 100 万至 500 万人民币。

对于地标性建筑或风险极高的项目，业主方可能会要求服务商将保额提高至 1000 万人民币或更高。

合作前核验：在签订服务合同前，物业方务必索要并核验服务商的保险单，确认险种、保额及保险有效期，确保保障充足。

第八部分：质量评估与维护

Q1: 如何客观评估无人机清洗的效果？有哪些质量检测指标？

A1: 无人机清洗的效果评估结合了定性观察和定量检测，以确保达到合同约定的清洁标准。

定性评估（直观检查）：

这是最基本的方法。清洗完成后，从不同角度和距离直观检查幕墙表面。标准 requirements 是“清洁明亮，无明显污垢、水迹、水渍”。

定量评估指标与方法：（一般不执行）

表面清洁度：可以使用专业仪器如“表面灰尘检测仪”进行抽样检测，或者采用“压敏胶带测试法”，通过粘附的灰尘量来量化清洁程度。

污渍去除率：通过清洗前后的高清图像对比分析，计算污渍面积的减少比例，从而得

出污渍去除率。

透光率（针对玻璃幕墙）：可以使用便携式“光学透过率仪”对清洗前后的玻璃进行抽样测量，透光率的提升是衡量玻璃清洁效果的直接客观指标。

验收流程：通常由服务商自检合格后，邀请物业方代表共同进行现场验收。验收标准和方法应在服务合同中提前约定。

Q2: 使用无人机技术后，推荐的幕墙清洗频率和维护周期是怎样的？

A2: 无人机技术本身不改变幕墙清洁的物理需求，但其高效和低成本的特点，使得更灵活、更频繁的维护成为可能。

推荐频率：

常规建议：一般来说，建议建筑幕墙每年至少进行一次全面清洗，以保持建筑的良好外观和防止污染物长期侵蚀。

重点区域或污染严重地区：对于临近主干道、工业区或空气污染较严重的城市，以及建筑的迎风面、低层等易污染区域，建议将清洗频率提高到每半年一次。

无人机带来的新模式：

由于无人机清洗的组织成本低、启动快，业主可以根据实际需要（如重要活动前、雨季后）进行“按需清洗”或“局部重点清洗”，而不是像过去一样，因为成本和复杂性高而必须等待一整年。这种灵活性有助于楼宇始终保持最佳状态。