

无人机光伏组件清洗施工方案

项目名称：光伏板无人机智能清洗

适用场景：集中式光伏电站、分布式屋顶光伏、山地光伏、渔光互补光伏、农光互补光伏

项目背景与目标

- 背景：**1. 光伏板表面灰尘、鸟粪、积雪等污染物会显著降低发电效率（最高可达30%）。
2. 传统人工清洗存在效率低、高空作业风险、水资源浪费等问题。
3. 无人机清洗技术可提高清洗效率、降低人工成本，并适应复杂地形。

- 目标：**1. 实现光伏板表面90%以上清洁覆盖率。
2. 单日清洗面积 $\geq 2\text{MW}$ （约4000块标准光伏板）。
3. 确保清洗过程零损伤光伏板，废水环保处理。

前期准备

现场勘察与数据采集

- 勘察内容：**1. 光伏板布局（倾角、高度、阵列间距）。
2. 污染类型（灰尘、油污、积雪等）及污染等级。
3. 环境条件（风速、光照强度、障碍物分布）。

工具：激光测距仪、无人机航拍建模

工作原理与系统组成

一、工作原理

无人机光伏清洗技术是以无人机为载体，挂载专业的机载清洗设备，结合智能化的控制系统完成作业的新光伏组件清洗技术。首先，无人机会对项目地点进行飞行建模，根据建模数据对光伏电站进行空中巡检，在巡检过程中会利用载荷摄像头对光伏板进行拍照，得到反射亮度、亮度、色度分布等数据。控制系统的自主控制算法采用图像处理技术对巡检数据进行识别，并对污垢区域进行标记，确定清洗区域，然后将清洗指令发送至清洗无人机。当清洗无人机临空后开展清洗工作，从而达到既定的光伏板清洗效果。

二、系统组成

1.无人机

我公司自研的**SkyClean-450-1**机身采用高强度且轻量化的材料制造，同时采用先进的飞行控制系统，能够在强风和恶劣环境中保持稳定的飞行。机身具有双目视觉系统，可实现多向、全天候、全时段智能避障，最大飞行海拔高度5000米，可适应-20°C至60°C的工作环境温度，抗风能力可达12米/秒，确保无人机能在极端恶劣环境下的安全。具有自动避障功能。利用无人机上的传感器、雷达或视觉系统探测周围环境，通过数据分析来判断障碍物的距离、速度等信息，然后控制无人机的航向、高度等参数，以避开障碍物。机身标配内置降落伞，可实现低空开伞及稳定降落，满载情况下可在一定高度处成功开伞，降低极端情况下的人员及财产安全损失的风险。



SkyClean-450-1

产品参数

旋翼数量:4轴4桨

动力:X13

桨叶:56INCH

对角轴距:2310mm

折叠尺寸:1200*900*1120mm

展开尺寸:1890*1760*980mm

产品重量:32.3kg不含电池

最大载重:50kg

满载起飞重量:95kg

有效控制距离:5km

满载悬停:8min17s

空载悬停:24min50s

工作电压:18S(71.1v)

电池:18S 30000mah

2. 机载清洗设备

机载清洗机由机载水箱、水泵、高压水枪组成，其中高压水枪为我公司特殊订制产品，出水压力既满足清洗需要又低于光伏面板所能承受最大压力，用水量控制在（2吨/MW）。

3. 无人机光伏组件清洗控制系统

无人机光伏组件清洗控制系统是一套智能化的平台系统，其与无人机光伏巡检系统相结合，可以实现智能化、精细化、精准化的无人机光伏组件清洗工作。无人机光伏组件清洗控制系统根据巡检系统在巡检过程中所得的光伏板的反射亮度、色度分布等数据，进行建模处理。清洗系统通过图像处理算法对光伏板表面进行识别，并对污垢区域进行标记，生成待清洗区域。在确定清洗区域并制定好飞行计划后，将作业任务发送给无人机展开清洗工作。清洗完成后，无人机将清洗结果回传至清洗系统。无人机光伏组件清洗控制系统则通过巡检系统对清洗结果进行二次确认，最终完成清洗工作。

4. 清洗液：

中性环保清洗剂 (pH 6-8) , 根据污染类型调整配方 (如去油污需添加表面活性剂) 。

配比：清洗剂:水 = 1:50 (重度污染可提高至1:30) 。

三、应用场景

随着光伏电站的运行和维护压力逐渐增大，运维方及国内外相关企业也开拓了多种光伏清洁模式，但各有利弊。而无人机清洗技术，如果综合考虑清洗运维带来的收益与付出的成本，适用于以下场景：

光伏组件比较分散，例如

屋顶分布式光伏

因该种场景不适合使用导轨式、挂板式等昂贵的清洁机器人，人工清洁效率低、人员安全性保障要求高，车载清洁受限无法进场。



屋顶分布式光伏

类似场景车载设备无法到达，清洁机器人可能因为板块之间的间隙出现卡死现状，高度较高导致人工无法作业清洗。

农光渔光光伏板块

光伏板块之间间隙较多、安装高度较高区域，例如水面、农光互补、渔光互补场景。

类似场景车载设备无法到达，清洁机器人可能因为板块之间的间隙出现卡死现状，高度较高导致人工无法作业清洗。



农光光伏板块



渔光光伏板块

丘陵山地光伏板块

高海拔、丘陵、山地交通不便区域

地形以山地丘陵为主，道路交通不便，光伏板布设不规则、不平整，人工清洁效率低、且无安全保障，车载清洁受限，大型清洁机器人也无法使用，无人机搭载喷水枪或者小型机器人技术则具有很大清洗优势。



丘陵光伏板块



山地光伏板块

四、清洗优势

1. 清洗剂清洗



- (1) . 高效清洁能力：快速去除光伏板表面的灰尘、PM2.5粉尘、鸟粪、昆虫遗骸、油污和其他顽固污渍。
 - (2) . 环保配方：大多采用无磷、无氟、无氯、无重金属等环保成分，减少对环境的影响。pH值为中性或温，以避免对光伏组件造成化学损伤。
 - (3) . 缓蚀性能：对光伏板的金属框架和接线盒等金属部件不会产生腐蚀作用。防止清洁过程中对光伏玻璃造成损害。
 - (4) . 易冲洗无残留：清洗后容易用水冲洗干净，不会留下任何残留物，保证光伏板表面清洁如新。
 - (5) . 提升发电效率：清洁后的光伏板能够恢复原有的透光性和发电效率。
 - (6) . 安全性：配方通常对人体皮肤无刺激性，符合相关安全标准，如欧盟RoHS规范。
 - (7) . 生物可降解性：一些高端产品采用可降解材料，进一步减少对生态系统的潜在影响。
- 确保了光伏板清洗剂既能有效清洁，又能保护光伏板及其周边环境，同时考虑到了成本效益和用户安全。

2. 安全性更高

无人机清洗光伏板时可以在高空进行操作，避免了人工清洗时需要爬上高的支架所带来的安全风险。

无人机清洗光伏板时可以利用其灵活的飞行能力，对光伏板的各个部位进行清洗，同时也可以避免对光伏板表面造成损伤。

3. 效率更高

无人机可以快速地覆盖大面积的光伏板，并且可以避免人工清洗时需要携带的设备和工具，从而提高了清洗效率。1万平方米的光伏板，人工清洁需要4个人2天才能完成，而无人机，20分钟能清洁1000平方米，3个多小时就能完成1万平方米的光伏板清洁。



4. 更便捷，可适用更多场景

在特殊环境中，比如屋顶分布式光伏、农光互补、渔光互补、高海拔丘陵山区交通不便区域，无人机清洁光伏更加便捷，对光伏板的布设没有太高要求。



五、设计原则

无人机光伏组件清洗实施解决方案，综合考虑了光伏组件清洗所带来的收益以及需要付出的成本，针对不同的应用场景，以最小化系统总经济损失为目标，以积灰程度监测、清洗作业日程规划、清洗作业路径规划、清洗时空协同优化为脉络，实现了无人机光伏组件的清洗工作。

所依据的相关标准：

GB/T 36567-2018 光伏组件检修规程

GB/T 36568-2018 光伏方阵检修规程
NB/T 32008-2013 光伏发电站逆变器电能质量检测技术规程
DB31/T 1238-2020 分布式光伏发电系统运行维护管理规范
NB/T32034-2016 光伏发电站现场组件检测规程
GB/T35694-2017 光伏发电站安全规程
CH/Z 3001-2010 无人机航摄安全作业基本要求

六、自动化清洗方案

方案以智能化清洗方案为基础，可以选择不使用无人机光伏组件巡检系统的条件下，在清洗区域规划阶段由人工参与进行规划，并且不需要配套任何基础设施，由人工对要执飞无人机进行换水、换电操作。该方案适用于规模较大，但已有无人机光伏巡检系统且无法与我公司无人机光伏组件清洗系统接入的项目，或无法提供基础设施配套的项目。相对于智能化清洗方案，该方案在增加少数人工的基础上，即保证了清洗效率和安全性又可以节省一定的费用，做到性价比更优。

污水处理厂项目预计清洗时间（例）

项目体量(MW)	无人机数量(台)	清洗周期 (天)	清洗人员	备注
100	2	16	6	

七、人员配置方案

1. 项目管理人员

项目经理：负责整个项目的规划、组织、协调和控制，日常工作，如文档整理、进度跟踪等，确保项目按时、按质、按量完成。

2. 技术支持人员

无人机操作员：具备无人机操作资质和经验，负责无人机的起飞、飞行控制和降落等工作。这些人需要接受专业培训，了解无人机的性能、操作规程和安全注意事项。

无人机维修与保养人员：负责无人机的日常维护、故障排查和修理工作，确保无人机处于良好状态，随时可投入使用。

技术人员：负责技术支持和问题解决，包括无人机系统的调试、优化和升级等工作。

3. 安全监督人员

现场监督员：在无人机清洗作业现场进行实时监督，确保操作人员遵守安全规程，及时发现并处理潜在的安全隐患。

4. 后勤与保障人员

物资管理员：负责无人机及其配件、清洁剂、水等物资的采购、储存和分发工作。

5. 其他人员

视频制作分析员：根据光伏清洗无人机拍摄的视频进行制作处理，为后期项目对接以及对外宣传收集素材。

接待人员：负责项目在施工过程中有本项目或其它项目的领导进行视察和考察，进行对接和市场推广客户拓展，为公司争取更多的业务机会。

项目人员名单和车辆信息

序号	姓名	身份证号	性别	电话	车辆信息
1	夏鹏	612*****043x	男	18xxxxx380	苏U59144
2	党广涛	610*****1678	男	13xxxxx587	
3	吴海涛	610*****1136	男	15xxxxx074	

八、方案实施规划

(1) 任务规划

根据客户需求确认项目实施地点，将项目实施地的地理数据导入到无人机清洗控制系统中，由系统确认规划巡飞建模航迹。

(2) 巡飞建模



根据无人机清洗控制系统所确认的建模航迹执行巡飞，获取可见光成像以及红外热成像信息，完成建模。



(3) 确认清洗区域

由客户根据需求，在无人机清洗控制系统中提交需要进行清洗的区域数据。

(4) 制定清洗飞行计划

明确清洗区域后，由无人机清洗控制系统根据客户设置的清洗规则（例如清洗时间、优先清洗区域等）制定清洗飞行计划，并上报客户确认。



(1) 试飞测试:

选择1-2排光伏板进行试清洗，检查清洁效果及设备稳定性。

**(2) 全自动作业:**

无人机按预设航线飞行，实时回传画面至地面站监控。

每飞行8分钟返航更换电池/补充清洗液（单次续航时间约18分钟）。

(3) 重点区域复洗:

对边框、接线盒周围等易积灰区域进行二次定点清洗。

(5) 执行清洗任务

在客户确认清洗飞行计划后，根据飞行计划确认相应数量的清洗无人机，由人工对清洗无人机进行换水、换电、换清洗剂操作后，无人机清洗控制系统自动控制清洗无人机执行清洗作业。通常在没有特殊环境要求下，无人机执行清洗任务分为 3 个步骤。第一步，无人机挂载机载清洗机载荷，机载水箱加入清水，并使用载荷的高压水枪对光伏板表面进行冲洗，充分湿润光伏板表面；第二步，机载水箱加入环保泡沫清洗剂的无人机临空，向光伏板表面喷洒泡沫；第三步，机载水箱里为清水的无人机再次临空冲洗泡沫，清洗过程完毕。在一些有特殊环境要求的场景下，无人机需挂载机载机器人对光伏板进行清洗，例如沙戈荒等缺水地区或农光互补、渔光互补等不允许使用清洗剂的项目。



(6) 确认清洗结果

清洗完成后，无人机对清洗结果进行自动拍照回传至无人机清洗控制系统，并上报至客户进行确认，若清洗未达到既定效果，则再次确认清洗区域重新制定清洗飞行计划执行清洗任务。

清洗验收单											
日期											
内容	清洁度检查										
清洗区域											
光伏板表面是否干净 污垢、灰尘 刮痕											
清洗后光伏板表面是否均匀、无刮痕或损伤											
安全检查											
清洗过程中是否严格遵守安全操作规程											
无人机飞行是否平稳，未发生碰撞或坠落事故											
清洗后现场是否有残留物，无遗留物品											
验收结论											
合格：满足合同约定的清洗标准和服务质量要求											
不合格（存在以下问题）											
操作人员											
验收人签字											
备注	无人机型号：KT450，如验收不合格，乙方需在____天内完成整改并重新提交验收。 双方确认无误后，请在上方签字确认。										

九、安全保证措施



9.1.1 项目安全保障体系

为了贯彻执行“安全第一，预防为主”的生产方针，项目经理将对安全文明作业采取全面管理的方式，在作业前举行项目分析会，根据作业业务所在地的环境、气候综合评估、分析在作业时可能遇到的相关问题，如气候条件较差、地形复杂多变等，特别是凉山等高海拔地区，地理地形复杂，气象气候恶劣，根据不同问题，制定详细周全的作业方案及计划并指派高素质的作业人员；在作业中，严格执行计划，有任何突发情况都应及时反馈，在保证作业人员的人身安全、相关设备设施安全、保护作业环境等前提下圆满、高效率地处理；作业任务完成后及时检查、总结此次作业任务，不断提升业务水平。

9.1.2 安全目标

- 在本次作业中作业人员、其它居民等无任何人身伤害；
- 在本次作业中无线路、杆塔等周边设施建筑的损害；
- 在本次作业中无相关设施设备掉落或其他难以修复、无法修复的严重损害；
- 在本次作业中对周边农田、庄稼等无损害。
- 安全监督
- 所有人员均有义务随时监督并提醒驾驶人员注意行车安全；
- 各级管理人员到位后，严格履责，发现问题立即提出相应的整改措施或方案；
- 安全员应携带相应的“安全监督标准卡”并按标准开展监督工作，将监督情况如实、详细填写在监督卡上并交由作业人员在当日的作业任务完成后在监督卡备注栏签名，流程结束后反馈给项目经理。
- 安全监督标准卡应使用公司统一印制的带复印的标准卡，白色联检查人员保存，黄色联被检查人员保存。无统一印制的标准卡使用完毕的部门，请作业人员自行打印两份使用。

9.1.3 专业无人机作业安全措施

- 对本次飞行路线，本作业单位已申请该线路上方及周边500M范围空域；
- 作业应时刻保持无人机与光伏板、树木、房屋等障碍物间的安全距离；
- 作业任务严格按照计划安排执行，不得在未经允许的区域进行飞行；

- 飞行前应做好无人机、地面站、遥控的安全检查，确保无人机可正常飞行；
- 作业过程中应时刻注意电池用量，在电量小于30%的情况下，应及时返航；如遇到大风、大雨、高温等恶劣天气情况应及时将无人机降落至安全位置。

9.1.4 特殊季节无人机作业安全措施

雨季，作业人员应当注意飞机飞行不得超出起飞点2KM作业范围，并确保该范围内在飞行过程中无下雨可能，出现任何影响飞机飞行安全的问题，都应立即控制飞机返航或着陆；

夏季，作业人员应注意飞机、电池及设备温度，及时给飞机降温，保证在作业现场无明火，无抽烟等危险情况。

9.1.5 安全教育培训

本次作业飞手均通过AOPA培训，获得AOPA证；

本次作业项目管理人员、作业班组安全员、作业人员在进入现场以前经过针对无人机作业安全管理规范以及相关专业安全知识和安全责任制的培训。



9.1.6 安全事故应急处理

1) 事故报告和现场保护

事故发生后，现场第一人（包括各单位测区项目负责、作业员、资料室、计算机作业室负责人员、车辆司机及各部门工作人员等）应迅速采取有效措施组织抢救，防止事故扩大；

严格保护事故现场；

迅速将发生事故的情况报告院安全事故领导小组、各单位现场指挥部（长）或直接拨打110、119、120；

报告事故的经过、伤亡人数、经济损失的初步估计；

报告抢救处理情况和采取的措施；

报告事故原因、性质、报告人和报告时间。

2) 应急处理

及时落实应急工作指示，组织指挥各方面力量处置较大事故，统一指挥对事故现场的应急救援工作，控制事故损失的扩大；

组织召开事故现场会议；

授权成立安全事故应急处理现场指挥部；

督促相关部门做好抢险、救灾、事故调查、善后处理以及恢复生产、生活秩序等工作。

3) 事后总结处理

应急处理工作结束后，组织各有关部门及时对事件进行分析、奖惩。对突发事故中玩忽职守、不听从指挥、不认真负责或临阵逃脱人员，按照有关规定给予行政处分，构成犯罪的，依法追究刑事责任；对在事故抢险救灾中，有立功表现的人员给予奖励。

总结事件教训，提出预防措施，及时进行整改。

十、其他

项目经理负责完工项目的“终检”，并提交项目实施记录、原始资料、验收申请报告、质量检查记录、单元验收合格证等，申请项目验收。

十一、后期维护建议

建立光伏板污染数据库，优化清洗周期（建议干旱地区每月1次，潮湿地区每季度1次）。