

# 无人机智能墙体涂绘工程设计

王 瑞, 张博闻, 吴佳骏, 赵德杨

(佳木斯大学, 黑龙江 佳木斯 154007)

**摘要:** 基于传统墙体涂绘作业中的人工成本较高、作业效率低、危险系数极大以及图案精度难控等问题, 本课题开展无人机智能墙体涂绘工程设计的研究。首先, 构建由无人机飞行控制模块、视觉定位模块、喷涂系统控制模块及地面控制系统组成的一体化作业系统, 明确各系统模块硬件构成; 其次, 提出基于视觉 SLAM 的墙体三维建模与路径规划优化算法, 实现无人机对复杂墙体表面的精准定位与路径自主生成, 并通过控制算法保障涂绘过程中无人机的姿态稳定性, 从而达到更高效、更精准的涂装。

**关键词:** 无人机; 墙体涂绘; 一体化作业; 精准定位; 路径自主生成; 姿态稳定性

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2026)03-0048-04

## UAV Intelligent Wall Drawing Engineering Design

WANG Rui, ZHANG Bo-wen, WU Jia-jun, ZHAO De-yang

(Jiamusi University, Jiamusi 154007, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Based on the problems of high labor cost, low work efficiency, high risk coefficient and difficult control of pattern precision in traditional wall drawing, this paper carries out the research of unmanned aerial vehicle (UAV) intelligent wall drawing engineering design. Firstly, an integrated operation system composed of UAV flight control module, visual positioning module, spraying system control module and ground control system is constructed, and the hardware composition of each system module is clarified. Secondly, a 3D wall modeling and path planning optimization algorithm based on visual SLAM is proposed to realize accurate positioning and path generation of UAV on complex wall surfaces, and to ensure the attitude stability of UAV in the process of drawing through control algorithms, so as to achieve more efficient and accurate results.

**Key words:** unmanned aerial vehicle; wall drawing; integrated operation; precise positioning; path autonomous generation; attitude stability

## 0 引言

随着时代的进步和社会的发展, 无人机相关技术、市场需求和政策支持都得到了显著的提升。无人机的应用领域也在不断扩展, 其技术主要用于军事领域(侦察和监视)、农业(植保和播种)和运输等, 这极大地提高了农业、工业和军事领域的效率。

墙体艺术是一个建筑以及城市的“流动名片”, 更是承载文化和实现传承的重要载体。在传统人工喷刷情况下, 效率低、工期耗时久, 涂层厚度不均, 存在漏喷且浪费材料、高空作业危险系数极大等问题。

为解决以上问题, 研究设计了智能墙体涂绘无人机, 通过无人机技术与喷涂技术相结合, 实现高精度喷涂。利用无人机喷绘粉刷建筑物墙壁, 将无人机和计算机结合起来, 可实现半自动涂绘。利用手机扫描外墙, 获得最终的优化路径, 控制喷涂涂料进行准确涂绘, 以及控制涂料的乱溅和浪费, 更加节约材料。与传统方式相比, 自动喷涂具有操作方便、效率较高、涂料使用率高等特点。故对多自由度墙体喷涂无人机机

收稿日期: 2025-11-28

基金项目: 黑龙江省大学生创新创业训练项目 S202510222158, 佳木斯大学大学生创新创业计划训练项目资助。

作者简介: 王瑞(2005—), 男, 本科在读, 主要从事智能无人机设备的研究工作。Email: 3385662520@qq.com。

构进行设计,以减轻施工者的劳动强度<sup>[1]</sup>,防止涂料对工作人员产生伤害,减少对环境的污染,更贴合绿色低碳发展要求。

## 1 发展历程

无人机行业在近十年间经历了飞跃式的发展,从早期的军事专用逐步扩展到民用商业化的重要领域,形成了一个多元化、高度创新的全球性产业。初期,无人机技术主要集中于军事应用,但其高性能飞行控制、轻型复合材料和精准导航技术已开始向民用领域渗透。

随着多旋翼无人机在市场上的推出,无人机开始进入大众视野,并迅速在航拍、娱乐和个人摄影领域普及。近期,随着传感器技术、人工智能和电池续航能力的显著提升,无人机在各行业应用方面取得了突破性进展。农业植保、测绘勘察、电力巡检、环境监测等成为无人机的重要应用场景,大幅提升了作业效率与安全性。同时,物流与快递企业开始测试无人机配送系统。近年来,无人机与5G通信、物联网、自动驾驶等技术深度融合,逐步向智能化、网络化、集群化方向发展。工业无人机在应急救援、智慧城市、基础设施建设等领域扮演重要的角色。此外,各国逐步建立相应的空域管理和法规体系,推动行业规范化发展。中国在全球无人机产业中处于领先地位,不仅在消费级市场占有率有重要份额,在工业级无人机研发与制造方面也展现出强大的竞争力。无人机已从单一飞行工具演变为集成数据采集、实时传输与智能分析的综合平台,成为推动相关行业数字化转型的重要力量。

未来,随着低空经济政策的推进与技术持续迭代,无人机将在城市空中交通、精准农业、立体物流等方面拓展更广阔的应用前景,继续引领相关产业创新发展。

随着无人机技术的不断成熟,其在各个领域的应用愈发广泛。无人机能够灵活地抵达各种复杂环境和高空区域,具备精准的飞行控制能力。将物联网与无人机技术相结合,为墙体涂装带来了新的解决方案。无人机技术特别是在多无人机系统、自主飞行控制技术、图像处理及传感器技术等方面,为行业的快速发展提供了强有力的支撑。多无人机系统可以同时进行作业,大幅提升了工作效率,而自主飞行控制技术确保了无人机在复杂环境中的稳定性和安全性。图像处理技术的进步使得无人机能够更准确地识别墙面的细节,而传感器技术的发展则增强了无人机对环境变化的适应能力,通过无人机实时传输数据、接收远程指令,实现智能化、自动化的操作。借助先进的定位技术和图像识别算法,无人机能够根据预设的图案和轨迹,精准地在墙体上进行喷涂作业,大大提高了绘制效率和精度。这不

仅解决了传统绘制方式的难题,还为艺术家和设计师提供了更广阔的创作空间,使他们能够将更多的创意变为现实,推动了艺术与科技的融合。

## 2 智能墙体彩绘无人机总体设计

### 2.1 装置的系统组成

智能墙体彩绘无人机作为一种自动化的喷涂设备,主要由无人机、喷涂装置(如图1所示)、传感系统、控制系统等部分组成,它基于无人机技术和自动化控制理论,通过精确的控制系统,代替传统人工完成喷涂作业。

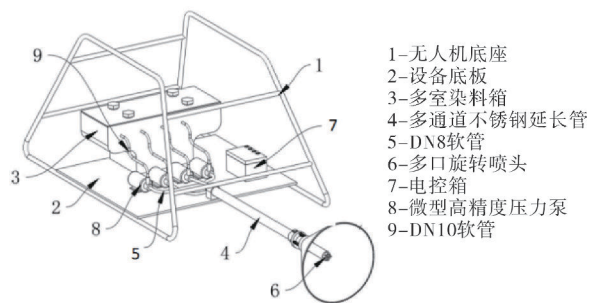


图1 喷涂系统总装

无人机和电脑相互结合,内置多种传感技术,包括雷达传感器、压力传感器、GPS传感器、摄像传感器、激光传感器、自动避障传感器,可实现墙面平整度、位置的判断以及喷出角度、喷量、涂料均匀度、有无漏喷的控制。且通过与静电喷涂技术的结合,当工件与喷嘴的距离为250~350mm时,涂层相对均匀、平滑<sup>[2]</sup>。

利用多个传感器和高精GPS定位相结合,通过系统视觉实现高精、稳定、可靠的定位。精度可达厘米级甚至毫米级,多传感器融合系统能在飞行信号较弱的复杂情况下,为系统提供稳定定位。

同时设备中融合了防抖技术,确保喷涂的有效稳定,防抖设计通过吸收和分散运行过程中电机的振动,降低了其对喷涂的影响。

喷涂装置主要由喷头、传输系统、储存系统、高精度压力泵四大部分组成<sup>[3]</sup>。

1)喷头采用多口旋转喷头。遇到较小的图画时,可让无人机停机打细喷(无人机悬停,利用可旋转喷头进行细节喷绘);旋转喷头既可打细喷,也可打大面积喷。多口可采用多个喷头喷不同的涂料,避免不同涂料色差过大。几个口同时喷,一次完成画面。

2)传输系统采用多通道模式设计。同一个传输系统中可设置多种传输通道,各通道可单独工作,也可在同一时间与其他通道进行传输。多通道传输方式主要是指多个颜色的传输。采用多通道传输模式,能够更好

地控制多个颜色及色差,保证传输信息的连续性和准确性。

3) 储存系统设计更加轻便,在美观方面更加简洁,在功能的使用方面更加便利。保证了一定的刚性度,在不同的使用条件以及使用环境下都具有较好的操作性能以及耐久性。同时罐内具备独特的装置,可以储存一定的涂料,在一定的应用条件下具备较为稳定的操作性能。

4) 高精度压力泵是高精度压力输出装置,能够满足稳定以及维持高精度压力要求,实现高压输出和高精度的稳定压力,在任何条件下都具有有一致性。

5) 为了进一步提高喷涂的精度,设备之间采用多个橡胶圈,确保喷涂的有效性和稳定性。防抖设计通过吸收和分散运行过程中电机的振动,降低了其对喷涂的影响。还运用了 RTK(实时动态)高精度定位系统,定位分辨率可达厘米级甚至毫米级。利用激光雷达扫描和高视觉清晰度识别,检测墙面凹凸不平、裂缝等情况,通过智能识别算法和图像分析处理技术,自动规划出墙面最优路线,实时调整喷绘方式及用量,使各种墙体(几何型、多曲面、异型等)都能达到清晰、准确的效果。图案线条、比例、颜色的变化自然,比人工作业减少 90% 的工时。同时,即便面对高耸入云的楼面以及复杂多变的环境,喷涂系统依然能够保持其精准和高效的工作状态。这种技术的应用,不仅大大提高了作业效率,而且在确保安全的前提下显著提升了作业质量。无人机搭载的喷涂系统经过精心设计,能够适应各种极端天气和复杂的地理环境,从而确保在进行墙面绘制时,每一笔都能精准无误地落在预定的位置上。

6) 智能墙体涂绘采用绿色无公害漆,以水为载体,不会产生有毒物质,喷涂过程不存在刺激性气味物质,减少对周围居民和施工人员的影响。绿色无公害漆喷涂相比溶剂型喷漆减少 80% 以上的气体排放物,再通过无人机技术控制喷漆的喷射精度,可保证涂料利用率高达 90% 以上,相比人工喷漆减少 30% 的涂料浪费,从源头降低能耗。以无人机高效锂电池为动力,减少化石燃料和 CO<sub>2</sub> 的排放,相比燃油动力更加符合建筑装饰节能减排目标要求,绿色可持续。

## 2.2 工作原理

智能墙体涂绘流程如图 2 所示。

智能墙体涂绘无人机在工作时,首先进行设备组装,然后进行墙面检测与预处理工作,它主要通过使用手机拍摄系统来完成。这项工作需要对墙面的状况进行非常细致地观察和深入地分析,目的是确保后续墙面处理工作的顺利进行。在进行墙面检测时,工作

人员需要利用手机的拍摄功能,对墙面的每一个角落进行详尽的拍摄,以捕捉到墙面可能出现的任何细微的裂缝、剥落、污渍或其他问题。通过这些高清晰度的图片,可以对墙面的状况有一个全面的了解。随后,通过专业的分析软件对拍摄到的图片进行处理和分析,可以识别出墙面的潜在问题,并对这些问题进行分类和优先级排序。工作人员将想要喷涂的图像进行设定,通过计算机分析就可以制定出一套合理的墙面预处理方案。通过计算,无人机利用自主导航系统完成半自动喷涂,当工作人员将信息传递给系统后,无人机接收到指令,无需人工操作便可喷涂,通过多个传感技术,如雷达传感器、压力传感器、GPS 传感器、摄像传感器、激光传感器、自动避障传感器等控制飞行。经无人机自主喷涂,喷完自动回到初始点,节约人力,保障安全。

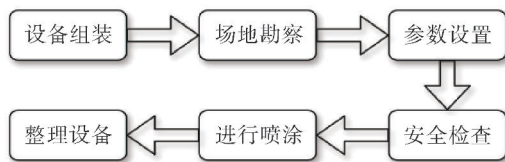


图 2 智能墙体涂绘流程

## 3 原料建议

### 3.1 硬件原料

轻量化设计。采用质量轻、耐受力强的轻量化先进的碳纤维材料以及其他轻质且高强度的复合材料能够使整体的无人机质量下降,增加无人机的飞行速度和飞行时间,对于减轻无人机质量,提升无人机性能具有重大价值<sup>[4]</sup>。模块化对于之后的检修维护零件而言,带来了很大的方便和更大的灵活性,可以应用场景更多、体验更好。

智能电池系统可以采用轻量化降低总质量、延长飞行总时间,还要把电池也做成一个智慧系统,高密度、轻量化、小体积的电池能使无人机飞得更远、速度更快。

### 3.2 涂料原料

1) 消费者应在商场、大型批发市场的专卖店购买大中型厂家的产品,尽量避免购买小作坊式企业的产品。

2) 国内大中型企业的产品质量非常稳定,比同等质量的合资或进口产品价格稍低。

3) 消费者无需过分关注市场上的“抗甲醛”“竹炭净醛”产品,只要购买渠道正规,有害物质含量一般都符合标准要求<sup>[5]</sup>。

#### 4 结语

针对传统墙体涂绘工作的危险性和效率低等一系列问题以及无人机行业的发展现状。我们设计出一款智能墙体涂绘无人机。利用无人机的灵活性、稳定性以及安全性和喷涂装置结合。

无人机喷涂技术作为传统喷涂领域的革新方向,既通过灵活作业能力突破了复杂工况以及恶劣天气的限制,又凭借精准控量与自动化操作实现了涂料节约、效率提升与环保减排的协同,有效弥补了人工喷涂在安全性、稳定性与规模化应用上的短板。

从实践价值看,该技术已在建筑外墙、桥梁防腐、农业植保等场景验证了可行性,但其发展仍面临核心技术问题,例如:复杂曲面路径规划、高黏度涂料适配、标准认证与成本控制的多重挑战。未来若能进一步优化飞控算法精度、拓展专用喷涂设备适配性,并推动跨

领域技术融合,无人机喷涂有望从“次要”升级为“主流解决方案”,为制造业、建筑业、农业等领域的绿色化、智能化转型提供更具实践意义的技术支撑。

#### 参考文献:

- [1] 张新予,匡以顺.多自由度墙体喷涂机器人机构设计[J].兵工自动化,2009(6):38-39.
- [2] 董猛,邱佳红,汪元奎,等.不同参数选择对静电喷涂效果的影响[J].现代涂料与涂装,2019(12):16-18.
- [3] 邵瑞喆,张锦贤,管超,等.建筑喷漆机器人喷涂效率与质量控制研究[J].今日制造与升级,2025(9):64-66.
- [4] 李嘉翔,李昆源,柯跃前,等.四旋翼无人机机身部件轻量化设计[J].机电技术,2025(4):72-78.
- [5] 崔春妮,郝媛.建筑涂料质量情况剖析[J].现代涂料与涂装,2018(9):24-26. ◆

(上接第 15 页)

乳化沥青在水性工业防腐涂料中作为一种重要的功能性基料或添加剂,其应用价值日益凸显,主要优势在于卓越的屏蔽防护性能。沥青在成膜后能形成一层致密、连续且不透水的保护膜,有效阻隔水分、氧气和腐蚀性介质的渗透,为金属基材提供长效防护。相较于传统溶剂型沥青涂料,以水为介质的乳化沥青体系极大降低了 VOC 含量,符合环保法规要求,施工更安全,且易于清洗。它常作为底漆或中间漆使用,特别适用于埋地管道、船舶压载舱、钢结构户外设施等苛刻环境的防潮和防腐蚀,与其他树脂(如环氧乳液)复配可显著增强涂层的附着力、耐水性和整体防腐效果。

#### 参考文献:

- [1] 徐岩,易宇翔,赵国庆,等.膨润土乳化沥青水泥土抗渗透性能试验研究[J].北方交通,2025(7):59-63.
- [2] 吴平,黄振雄,王斌,等.环氧乳化沥青改性灌浆复合路面的性能研究与应用[J].工程建设与设计,2025(13):81-84.
- [3] 张娜.水泥乳化沥青混凝土的性能试验[J].交通世界,2025(19):58-61.
- [4] 李欠,刘秘强,黄业财.乳化沥青对水泥稳定砂岩碎石混合料路用性能的影响研究[J].西部交通科技,2025(6):50-53.
- [5] 一种改性乳化沥青及其制备方法[J].石油沥青,2025(3):39.
- [6] 一种高性能聚合物改性沥青防水涂料及其制备方法[J].石油沥青,2025(3):70.
- [7] 弓春燕,樊晏含,韩秀,等.水性环氧乳化沥青冷再生混合

料的强度形成机理探究[J].中国公路,2025(12):111-113.

- [8] 肖煌,张安,林鑫,等.阳离子乳化沥青道路工程应用发展综述[J].广东建材,2025(6):173-177.
- [9] 孙鑫.乳化沥青贮存稳定性影响因素分析及快速评价方法建立[D].济南:山东交通学院,2025.
- [10] 王志成,杨胜文,曾明,等.水性环氧树脂与纳米 SiO<sub>2</sub> 复合改性乳化沥青防水涂料性能研究[J].新型建筑材料,2022(4):145-147.
- [11] 张耀宗.水性沥青防水与防腐涂料的制备及性能研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [12] 廖前兵.水性沥青涂料的制备与性能研究[D].广州:华南理工大学,2018.
- [13] 王长安,吴育良,许凯,等.水性聚氨酯改性乳化沥青防水涂料[J].化学建材,2004(6):36-38.
- [14] 吕平,刘淑梅.水性建筑防水涂料的性能、应用及发展[J].低温建筑技术,1999(2):3-4.
- [15] 周达朗,彭亮.水性双组分环氧沥青防腐涂料的制备[J].电镀与涂饰,2020(4):206-209.
- [16] 蔡艾宏,燕曦,康云,等.水性环氧乳化沥青胶结料蒸发残留物性能研究[J].重庆建筑,2025(4):54-56.
- [17] 冯雷,丛彦国,孙超,等.乳化沥青再生混合料路用性能影响因素及敏感性分析[J].交通科技,2025(2):38-43.
- [18] 崔文龙,祝晴晴,李正萍,等.用油砂沥青制备水性沥青涂料的研究[J].涂料工业,2020(10):15-20.
- [19] 周斌,王小军.水性工业涂料施工应用过程中的若干问题介绍[J].现代涂料与涂装,2020(8):12-15. ◆