

# 多任务适配型模块化无人机快速组装结构的标准化设计研究

方晓斌

杭州智翔航空技术有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i2.8748

**[摘要]** 多任务适配与快速组装是无人机技术向场景化、实用化延伸的核心诉求，模块化设计为这一需求提供了有效解决方案。本文聚焦模块化无人机快速组装结构的标准化构建，从结构模块化拆分、接口标准化设计、组装流程优化三个维度展开研究。通过明确核心模块功能边界，制定统一的机械接口与电气接口规范，设计便捷高效的组装定位机制，可实现无人机在不同任务场景下的快速重构与稳定运行。

**[关键词]** 模块化无人机；快速组装；标准化设计；任务适配；接口规范

## Standardized Design of Rapid Assembly Structures for Multi-Task Adaptation Modular Drones

Fang Xiaobin

Hangzhou Zhixiang Aviation Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** Multi-task adaptation and rapid assembly are pivotal requirements for advancing drone technology toward scenario-specific and practical applications. Modular design provides an effective solution to these demands. This study focuses on the standardized construction of modular rapid assembly structures for drones, examining three key dimensions: modular structure decomposition, standardized interface design, and optimized assembly processes. By defining functional boundaries of core modules, establishing unified mechanical and electrical interface specifications, and designing efficient assembly positioning mechanisms, the research enables rapid reconfiguration and stable operation of drones across diverse mission scenarios.

**[Key words]** modular drone; rapid assembly; standardized design; mission adaptation; interface specification

### 一、引言

无人机技术的迅猛发展使其在测绘勘探、应急救援、物流运输等多个领域的应用日益广泛，不同场景对无人机的功能配置、载荷类型、运行参数提出了差异化要求。传统一体化无人机存在功能固定、适配性差、组装繁琐等局限，难以满足多任务切换的实际需求。模块化设计通过将无人机拆解为可独立更换的功能模块，为实现多任务适配提供了可能，但当前模块化无人机普遍面临模块接口不统一、组装流程不规范、结构稳定性不足等问题，制约了其快速部署能力。因此，开展多任务适配型模块化无人机快速组装结构的标准化设计研究，建立科学

合理的模块划分规则与接口标准，优化组装工艺，对推动无人机技术的实用化升级具有重要现实意义。

### 二、模块化无人机快速组装结构的设计原则

#### (一) 功能导向的模块划分原则

模块化设计的核心前提是科学的模块拆分，其划分逻辑需以功能实现为核心，兼顾结构独立性与任务适配性。模块拆分应确保每个单元具备完整的功能属性，如动力模块、飞控模块、载荷模块、供电模块等，各模块既能够独立研发、测试与维护，又可通过标准化接口实现灵活组合。同时，模块划分需考虑任务场景的多样性，针对不同作业需求预留扩展接口，使无人机

可通过增减或更换特定模块，快速切换至测绘、侦查、通信等不同工作模式。此外，各功能模块的尺寸与重量配比需纳入整体设计考量体系，通过科学化的均衡设计，规避单一模块体积过大、重量分布失衡等问题，防止因局部载荷异常破坏无人机的气动布局与重心稳定性，进而保障整机飞行过程中的姿态可控性与运行稳定性。同时，模块的尺寸与重量设计需与组装操作的便捷性相适配，兼顾便携运输与快速装配的双重需求，与整体快速部署设计逻辑形成协同。

#### (二) 高效适配的标准化原则

标准化是实现快速组装的关键支撑，需贯穿模块设计、接口配置、组装流程全过程。在模块设计层面，应制定统一的尺寸规格与安装基准，确保不同批次、不同类型的模块具备互换性；接口设计需明确机械连接与电气传输的标准参数，包括接口形式、插拔方式、信号定义等，消除模块间的适配障碍。标准化设计不仅要满足当前的技术需求，还应具备一定的前瞻性，预留技术升级空间，使新研发的功能模块能够兼容现有系统，延长无人机的整体使用寿命。

#### (三) 稳定可靠的结构安全原则

无人机飞行过程中需承受气流扰动、载荷冲击等多种外力作用，模块化结构的设计必须以安全稳定为首要前提。快速组装不等于牺牲结构强度，需通过优化模块连接方式、选用高强度轻量化材料、强化关键部位结构设计等手段，确保组装后的无人机具备足够的结构刚度与抗疲劳性能。同时，连接结构应具备良好的密封性与抗振动能力，防止飞行过程中出现模块松动、信号中断等问题，保障无人机在复杂环境下的稳定运行。各功能模块的衔接部位还需进行力学仿真与实飞测试验证，依据测试数据迭代优化结构参数，使模块化设计在兼顾拆装便捷性的同时，满足无人机全飞行周期的结构可靠性要求，适配多场景的复杂受力工况，从设计层面规避结构失效风险。

#### (四) 便捷高效的组装操作原则

快速组装的核心设计诉求，在于通过流程简化实现部署周期的大幅压缩，其结构设计体系需深度融入人机工程学核心原理。装配环节应最大限度降低专用工具的使用依赖，优先采用卡扣式、插拔式等便捷化连接结构，使操作人员无需具备专业装配技能，即可完成各功能模块的快速组合。同时，通过导向结构、限位装置等辅助构件的系统化设计，实现模块定位与对接的直观化，有效降低装配操作难度，提升整体装配效率。组装流程需遵循清晰的逻辑层级，可按标准化步骤高效完成，规

避复杂的现场调试环节，实现无人机系统的即装即用。各功能模块需配置标准化对接接口与规范化标识体系，构建全流程防呆设计机制，同时兼顾拆装操作的可逆性与模块重复使用性，使组装操作兼具高效性与容错性，精准适配应急响应等快速部署场景的实际应用需求，进一步提升无人机系统的现场快速适配能力与实战应用价值。

### 三、多任务适配型模块化无人机核心结构标准化设计

#### (一) 模块体系的标准化拆分与定义

基于多任务适配需求，将无人机整体拆分为五大核心模块体系，各模块的功能边界与设计标准明确如下：动力模块负责提供飞行所需的推力，包含电机、螺旋桨及驱动电路，模块尺寸按功率等级划分为小型、中型、大型三类标准规格，安装面采用统一的4孔固定模式，孔位间距与孔径标准化，确保不同功率的动力模块可按需替换；飞控模块作为无人机的控制核心，集成姿态传感器、导航系统与控制芯片，模块采用标准化接口与供电模块、动力模块通信，数据传输协议统一为CAN总线标准，保障控制信号的稳定传输；载荷模块根据任务需求配置不同设备，如摄像头、传感器、通信设备等，模块接口采用标准化快拆结构，可快速完成载荷更换，同时预留扩展接口，支持多载荷协同工作。供电模块采用锂电池组，接口设计包含供电正负极、充电接口与通信接口，电压等级按无人机吨位划分为标准系列，确保与不同模块的电气适配。机身框架模块作为模块装配的基础载体，采用碳纤维复合材料一体成型，框架上设置标准化的模块安装位与定位槽，安装位间距与模块尺寸严格匹配，为各模块提供稳定的装配基准。

#### (二) 接口结构的标准化设计

接口是模块间连接的关键部件，其标准化设计直接影响组装效率与连接稳定性，分为机械接口与电气接口两部分。机械接口采用“卡扣+定位销”的组合式设计，卡扣结构选用自锁式快速接头，按压即可完成锁定，解锁时通过按压释放按钮实现快速分离，无需额外工具；定位销与模块安装面的定位孔采用间隙配合，定位精度控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内，确保模块装配的准确性。电气接口采用防水型插拔式连接器，引脚定义标准化，分为电源引脚、信号引脚与接地引脚，引脚数量按功能需求分为12针、24针两种标准规格，接口处设置密封垫圈，防护等级达到IP67，适应恶劣环境下的使用需求。为避免误插，接口采用防呆设计，通过不同的键位布局区分不同类型的接口，确保模块连接的正确性。依据动力、飞控、载荷等模块

的功能属性，为各类型接口设计专属键位构型，不同模块接口的键位凹槽与凸起呈唯一匹配关系，非对应接口无法实现物理插接。该设计从结构层面规避错接风险，同时键位部位做强化处理，耐受多次插拔磨损，长期保持防呆效果的稳定性。

### （三）组装定位与锁紧结构设计

为实现快速精准组装，设计标准化的定位与锁紧机制。在机身框架的每个模块安装位设置 3 个定位销，对应模块底部的定位孔，形成三点定位结构，确保模块装配的同轴度与平行度；定位销顶部采用锥形导向设计，便于模块快速对齐。锁紧结构采用快拆式卡扣与螺纹锁紧相结合的双重保障方式，卡扣结构实现模块的快速预固定，螺纹锁紧用于强化连接稳定性，适用于对精度要求较高的飞控模块、载荷模块。该结构的螺纹锁紧机构采用旋钮式一体化设计，摒弃传统工具辅助拧紧的操作方式，可直接手动完成锁紧作业。旋钮表面加工有防滑纹路，同时标定清晰的拧紧标识，能够帮助操作人员快速、准确判定螺纹锁紧的实际状态，保障操作便捷性与锁紧判定的精准性。

### （四）多任务适配的扩展结构设计

为满足不同任务场景的适配需求，在核心模块体系基础上设计标准化扩展接口与结构。机身框架预留 4 个扩展安装位，采用与核心模块一致的定位与连接标准，可根据任务需求加装额外的载荷模块、续航模块或通信模块；扩展接口支持热插拔功能，无需关闭无人机即可完成扩展模块的更换，提高任务切换效率。针对特种作业场景的功能需求，研发定制化适配功能模块，如应急救援场景的物资抛投模块、测绘勘察场景的激光雷达感知模块等。各类专用模块的接口协议与机械安装结构均严格遵循核心技术标准，保障其与现有模块化体系的无缝兼容，从而实现无人机作业功能的灵活化拓展与场景化适配。

## 四、组装流程标准化与优化

### （一）标准化组装流程制定

基于模块化架构设计理念，构建四阶段标准化组装工艺流程：第一阶段基础单元装配，将机身框架固定于水平作业面，依次装配供电模块与飞控模块，借助定位销实现精确定位，通过卡扣与锁紧旋钮完成紧固，搭建核心控制单元；第二阶段动力模块装配，依据任务需求选配对应功率动力模块，安装于机身预设动力接口，保证电机接线与飞控电气接口精准对接，完成卡扣锁止；第三阶段任务载荷装配，将载荷模块通过快拆结构装至指定工位，连接数据传输与供电线路，实现载荷与飞控模块的通信匹配；第四阶段整机检测调试，组装完毕后通过无

人机地面站系统，检测各模块连接状态与运行参数，确认无故障后即可执行飞行作业，整套流程作业时长可控制在 5-10 分钟，大幅提升模块化无人机的快速部署能力。

### （二）组装效率与稳定性优化

为进一步提升组装效率，对关键环节进行优化：在模块表面标注清晰的安装标识与接口方向指示，便于操作人员快速识别；将供电模块与飞控模块的连接线预集成在机身框架内，减少组装时的接线步骤；优化卡扣结构的弹性设计，使插拔力度更加适中，同时提高卡扣的耐用性。在稳定性优化方面，通过多次疲劳测试调整螺纹锁紧的预紧力参数，确保在长期使用过程中不会出现松动。在模块连接部位增加缓冲垫，吸收飞行过程中的振动能量，减少振动对模块连接与信号传输的影响。同时，企业需建立标准化组装流程的动态验证与迭代更新机制，依托无人机全场景实际应用过程中的反馈数据，对组装操作流程进行系统性梳理与优化改进。通过持续完善作业规范与操作细则，以此提升产品组装质量的稳定性与一致性，保障模块化适配体系的高效落地与可靠运行。

## 五、结论

多任务适配型模块化无人机快速组装结构的标准化设计，是解决传统无人机适配性差、组装繁琐等问题的有效途径。本文通过明确功能导向、标准化、结构安全与便捷操作等设计原则，构建标准化的模块拆分体系，优化了接口结构与组装定位机制，制定了高效的组装流程。未来，随着标准化体系的不断完善与技术的持续升级，模块化无人机将在更多领域发挥重要作用，为行业应用提供更灵活、高效、可靠的解决方案。

## 【参考文献】

- [1] 苏欣, 贾军, 王路瑶, 等. 基于小微型无人机组装数传电台选配的方法 [J]. 科技与创新, 2024, (24): 92-94+101.
- [2] 缙梦珂, 唐娇, 卢尧. 基于虚拟仿真与翻转课堂的中职无人机组装与调试教学探索 [J]. 中国教育技术装备, 2023, (09): 47-50.
- [3] 冯浩, 武靖韬, 史睿哲, 等. 植保无人机组装应用实践研究 [J]. 农机使用与维修, 2022, (07): 124-127.
- [4] 刘永学. 无人机组装调试课程资源的建设与教学实践 [J]. 科技视界, 2021, (05): 57-58.

作者简介：方晓斌，出生年月：1993.6，男，汉族，籍贯：浙江省武义县，学历：本科，研究方向：机电。