

高等职业教育无人机系列教材

无人机 组装与调试

WURENJI ZUZHUANG YU TIAOSHI

主编◎高月辉



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



策划编辑 刘子嘉
责任编辑 胡思佳 柳卫清
封面设计 刘文东

无人机组装与调试

WURENJI ZUZHUANG YU TIAOSHI



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-29416-6



9 787313 294166 >

定价:58.00元

高等职业教育无人机系列教材

无人机 组装与调试

WURENJI ZUZHUANG YU TIAOSHI

主编◎高月辉



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书共包括6个项目:多旋翼无人机的结构与选型、无人机动力系统的装调、无人机通信与导航控制系统的装调、无人机飞行控制系统的装调、无人机载荷系统的认知、无人机发射回收系统的认知。

本书可作为高等职业院校无人机组装与调试等课程的教材,也可供无人机爱好者参考。

图书在版编目(CIP)数据

无人机组装与调试 / 高月辉主编. — 上海 : 上海交通大学出版社, 2023. 9

ISBN 978-7-313-29416-6

I. ①无… II. ①高… III. ①无人驾驶飞机—组装—教材 ②无人驾驶飞机—调试方法—教材 IV. ①V279

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 169131 号

无人机组装与调试

WURENJI ZUZHUANG YU TIAOSHI

主 编:高月辉

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 制:三河市骏杰印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

字 数:284 千字

版 次:2023 年 9 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-29416-6

定 价:58.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:15

印 次:2023 年 9 月第 1 次印刷

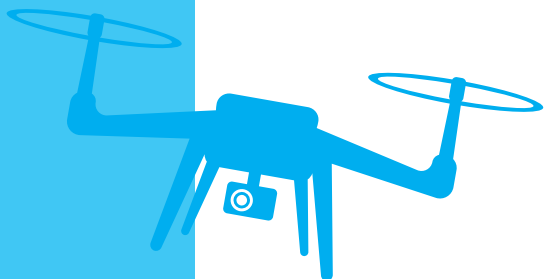
版权所有 侵权必究

告读者:如您发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0316-3662258

PREFACE

前言



无人机最早出现于20世纪20年代，初期主要用于军事领域。经过一个多世纪的发展，无人机技术有了质的飞跃，除了在军事方面的应用，无人机越来越多地出现于民用领域，如植保、测绘、航拍、电力、气象、应急救援等。在我国，无人机不仅是一个新兴的技术领域，更是经济发展、军事探测、环境保护、航空摄影等多领域与智慧城市、数字中国等多主题相配合的物质载体。

当今，无人机产业的发展水平是衡量国家军事实力、科技创新能力和制造水平的重要指标，同时是推动经济高质量发展和满足人民日益增长的美好生活需要的关键支撑。作为战略性新兴产业之一，无人机的研发、制造和应用已经受到广泛关注。伴随着国内无人机市场的井喷式发展，无人机行业应用需求逐步形成，在取得良好发展和明显的积极成果的同时，我国无人机产业发展也遇到了一定阻力。其中，无人机人才短缺严重阻碍了我国无人机产业的发展，而国内无人机教育还处在探索和起步阶段，无人机相关专业教材很少。2019年，国务院印发的《国家职业教育改革实施方案》提出，“牢固树立新发展理念，服务建设现代化经济体系和实现更高质量更充分就业需要，对接科技发展趋势和市场需求”。因此，编者结合所在学校“双高”无人机应用技术专业群的建设 and 教学实际编写了本书，希望能为推动我国无人机职业教育的发展贡献一份绵薄之力。

本书围绕无人机组装与调试的核心内容，阐述了多旋翼无人机的结构与选型、无人机动力系统的装调、无人机通信与导航控制系统的装调、无人机飞行控制系



前言 课程介绍



统的装调、无人机载荷系统的认知、无人机发射回收系统的认知等内容。

本书内容通俗易懂，可操作性强，力求丰富实用，既有系统的理论介绍，也有能直接指导实操的技巧和方法。希望本书能够让读者对无人机的组装与调试有一个基本而全面的认识。

本书由天津现代职业技术学院高月辉任主编，天津现代职业技术学院孔祥蕊、宫道、张学欢、陈志刚参与编写。具体编写分工如下：项目一由高月辉、陈志刚编写，项目二由张学欢编写，项目三由高月辉、张学欢编写，项目四由孔祥蕊编写，项目五由宫道编写，项目六由陈志刚编写。全书由高月辉统稿和定稿。

本书在编写过程中得到了各方的大力支持。感谢天津中航腾云航空科技有限公司为本书编写提供的基础资料和有益建议，感谢民航局无人机驾驶航空系统专家组李鹏辉提出的宝贵建议；同时，编者也参考了不少相关专著和互联网上的文章与资料，在此一并向原作者表示衷心的感谢。

由于活页式教材的开发还处在探索阶段，本书仅为编者团队对活页式教材的理解与实践，存在的疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

CONTENTS

目录



项目一

多旋翼无人机的结构与选型 /1

- 任务 1 无人机系统的认知 /2
- 任务 2 无人机机体材料的认知 /11
- 任务 3 无人机装配的认知 /14
 - 实训任务 无人机机身的装配 /27

项目二

无人机动力系统的装调 /35

- 任务 1 无人机动力系统的认知 /36
- 任务 2 多旋翼无人机动力系统的装配 /48
- 任务 3 多旋翼无人机动力系统的调试 /54
- 任务 4 无人机动力系统的检修 /58

项目三

无人机通信与导航控制系统的装调 /69

- 任务 1 无人机通信系统的认知 /70
- 任务 2 遥控器的认知 /73
 - 实训任务 1 模型选择 /78



实训任务 2 模型类型的选择 /85

实训任务 3 系统设置 /91

实训任务 4 通道相关设置 /96

实训任务 5 计时功能的使用 /103

任务 3 无人机数据通信链路的认知 /108

任务 4 无人机地面站软件的认知 /112

任务 5 惯性导航系统的认知 /121

任务 6 全球定位系统 (GPS) 的认知 /125

任务 7 其他导航系统的认知 /133

任务 8 无人机导航系统的认知 /137

项目四

无人机飞行控制系统的装调 /141

任务 1 无人机飞控系统的认知 /142

任务 2 开源飞控的认知 /147

实训任务 1 多旋翼无人机开源飞控的装配 /150

实训任务 2 多旋翼无人机开源飞控的调试 /156

项目五

无人机载荷系统的认知 /171

任务 1 无人机行业应用载荷系统的认知 /172

任务 2 无人机应用实例 /188

项目六

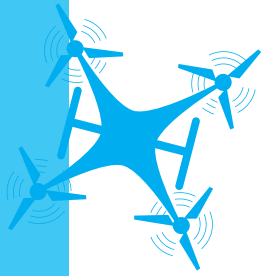
无人机发射回收系统的认知 /221

任务 1 无人机发射系统的认知 /222

任务 2 无人机回收系统的认知 /226

实训任务 四旋翼无人机的发射回收实训 /229

参考文献 /234



项目一

多旋翼无人机的结构与选型

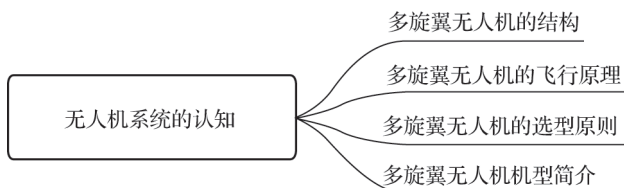
无人驾驶飞行器简称无人机 (unmanned aerial vehicle, UAV), 是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞行器。无人机按结构可以分为固定翼无人机、垂直起降无人机、无人飞艇、无人直升机、多旋翼无人机、无人伞翼机等。其中, 多旋翼无人机由三个或三个以上的独立动力系统进行各种控制动作, 与无人直升机相比, 多旋翼无人机的机械结构简单, 只需要协调电机之间的转速即可实现控制。



任务 1 无人机系统的认知



思维导图



知识目标

- (1) 学习多旋翼无人机的结构。
- (2) 掌握多旋翼无人机的飞行原理。
- (3) 掌握多旋翼无人机的选型原则。
- (4) 了解多旋翼无人机的典型机型。



任务描述

多旋翼无人机的选型是组装无人机完成某项工作任务的第一步。那么，应该如何进行选型？有哪些原则需要遵守？本任务将介绍多旋翼无人机的结构、飞行原理、选型原则，以及几种常见的多旋翼无人机机型。



任务学习



相关知识点 1：多旋翼无人机的结构

多旋翼无人机主要由机架、动力装置和飞控等组成。

(1) 机架主要由机臂、中心板和脚架等组成，也有采用一体化设计的机架。机架的主要功能是承载其他构件的安装。

(2) 多旋翼无人机的动力装置通常采用电动系统，主要由电池、电调（电子调速器）、电机和螺旋桨 4 个部分组成。

(3) 飞控即飞行控制器，主要由陀螺仪、加速度计、角速度计、气压计、GPS、指



拓展 多旋翼无人机的结构

指南针和控制电路等组成，其主要功能是计算并调整无人机的飞行姿态，控制无人机自主或半自主飞行。

 **相关知识点 2: 多旋翼无人机的飞行原理**

以四旋翼无人机为例，其飞行原理如图 1-1 所示，电机 M1 和电机 M3 逆时针旋转的同时，电机 M2 和电机 M4 顺时针旋转，因此无人机平衡飞行时，陀螺效应和空气动力扭矩效应全被抵消。与传统的直升机相比，四旋翼无人机的优势是：各个螺旋桨对机身所产生的反扭矩与螺旋桨的旋转方向相反，因此当电机 M1 和电机 M3 逆时针旋转时，电机 M2 和电机 M4 顺时针旋转，可以平衡旋翼对机身的反扭矩。

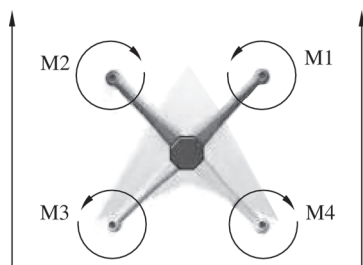


图 1-1 四旋翼无人机的飞行原理



没有外力并且重量分布平均时，四个螺旋桨以相同的转速转动；当螺旋桨向上的拉力大于整机的重力时，四轴就会向上升；当拉力与重力相等时，四轴可以在空中悬停。在四轴的前方受到向下的外力时，前方电机转速加快，以抵消外力的影响而保持水平；同样，其他几个方向受到外力时四轴也可以通过这种动作保持水平。当需要控制四轴向前飞时，前方的电机减速，而后方的电机加速，这样，四轴就会向前倾斜，也相应向前飞行。需要向后、向左、向右飞行时也是通过这样的控制实现。当要控制四轴的机头方向按顺时针转动时，四轴同时加快左右电机的转速，并降低前后电机的转速。因为左右电机是逆时针转动的，而左右电机的转速相同，所以左右保持平衡；而前后电机是顺时针转动的，前后电机的转速也相同，所以前后左右都可以保持平衡，飞行高度也是可以保持的。但是逆时针转动的力比顺时针大，所以机身会向反方向转动，从而达到控制机头方向的目的。这也是要使用两个反桨、两个正桨的原因。



多旋翼无人机通过调节多个电机转速来改变螺旋桨的转速，实现升力的变化，进而达到飞行姿态控制的目的。

(1) 垂直运动。同时增加四个电机的输出功率，螺旋桨转速增加使得总拉力增大，当总拉力足以克服整机的重力时，四旋翼无人机便离地垂直上升，如图 1-2 所示；反之，同时减小四个电机的输出功率，四旋翼无人机则垂直下降，直至平衡落地，实现



了沿 Z 轴的垂直运动。当外界扰动量为零时，在旋翼产生的升力等于无人机的重力时，无人机保持悬停状态。

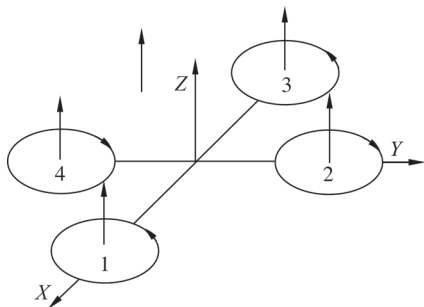


图 1-2 四旋翼无人机垂直运动原理图

(2) 俯仰运动。如图 1-3 所示，电机 1 的转速上升，电机 3 的转速下降（改变量大小应相等），电机 2、电机 4 的转速保持不变。由于螺旋桨 1 的升力上升，螺旋桨 3 的升力下降，产生的不平衡力矩使机身绕 Y 轴旋转。同理，当电机 1 的转速下降，电机 3 的转速上升时，机身绕 Y 轴向另一个方向旋转，实现无人机的俯仰运动。

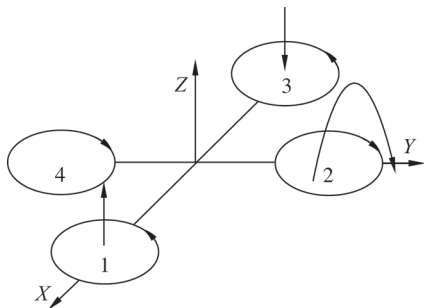


图 1-3 四旋翼无人机俯仰运动原理图

(3) 滚转运动。如图 1-4 所示，改变电机 2 和电机 4 的转速，保持电机 1 和电机 3 的转速不变，则可使机身绕 X 轴旋转（正向和反向），实现无人机的滚转运动。

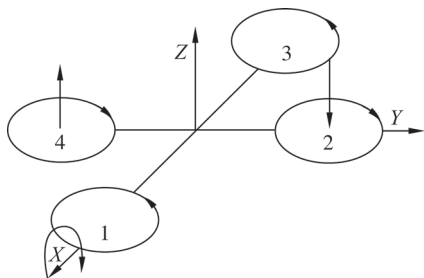


图 1-4 四旋翼无人机滚转运动原理图

(4) 偏航运动。螺旋桨转动过程中由于空气阻力作用会形成与转动方向相反的反扭矩，为了克服反扭矩的影响，可使四个螺旋桨中的两个正转，两个反转，且对角线

上的各个螺旋桨转动方向相同。反扭矩的大小与螺旋桨的转速有关，当四个电机转速相等时，四个螺旋桨产生的反扭矩相互平衡，四旋翼无人机不发生转动；当四个电机转速不完全相等时，不平衡的反扭矩会使四旋翼无人机转动。如图 1-5 所示，当电机 1 和电机 3 的转速上升，电机 2 和电机 4 的转速下降时，螺旋桨 1 和螺旋桨 3 对机身的反扭矩大于螺旋桨 2 和螺旋桨 4 对机身的反扭矩，机身便在富余反扭矩的作用下绕 Z 轴转动，实现无人机的偏航运动，转向与电机 1、电机 3 的转向相反。

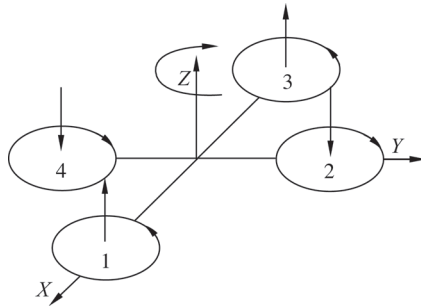


图 1-5 四旋翼无人机偏航运动原理图

(5) 前后运动。要想实现无人机在水平面内前后运动，必须在水平面内对无人机施加一定的力。如图 1-6 所示，增加电机 3 的转速，使拉力增大，相应减小电机 1 的转速，使拉力减小，同时保持其他两个电机转速不变，反扭矩仍然要保持平衡。无人机首先发生一定程度的倾斜，从而使螺旋桨拉力产生水平分量，实现无人机的前飞运动。向后飞行与向前飞行正好相反（无人机在产生俯仰、翻滚运动的同时会产生沿 X 轴、 Y 轴的水平运动）。

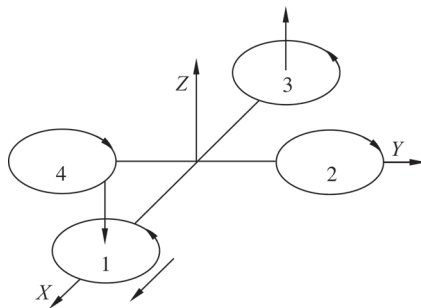


图 1-6 四旋翼无人机前后运动原理图

(6) 侧向运动。如图 1-7 所示，由于结构对称，侧向运动的工作原理与前后运动完全一样。

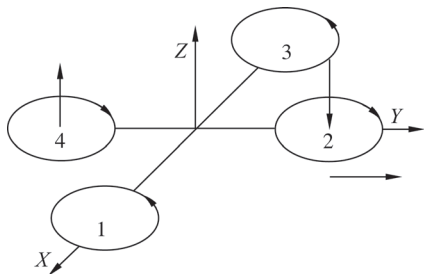


图 1-7 四旋翼无人机侧向运动原理图



相关知识点 3: 多旋翼无人机的选型原则

多旋翼无人机的选型原则主要有以下几点:

(1) 类型和目的。无人机的类型决定着无人机的任务目的。无人机包括航拍无人机、竞赛无人机、普通入门机等类型,要结合实际情况进行选择。

(2) 成本。无人机的品种越来越多,价格参差不齐。在选择、装配无人机的过程中,也需要考虑成本的因素。

(3) 强度和重量。无人机的制造材料决定了无人机的强度和重量。强度决定无人机的寿命,应选择强度较高的机架结构。另外,如果机架过重或过大,将直接影响无人机的飞行时间,以及后续动力系统的选型,间接会影响到机架成本。所以,在选择多旋翼无人机机身时,需考虑采用强度高、重量轻的材料。

(4) 安装。在选择机身结构的同时,要提前考虑后续的装配难易程度。如果选择结构复杂的机架,不太适合入门级装配练习;如果选择结构非常简单的机架,又达不到练习的要求。通常应选择机身结构难易程度适中,空间合理、布线方便的机身结构。

(5) 安全。无人机安全与否也是需要考虑的重点因素之一。螺旋桨是无人机动力的支撑,而螺旋桨的高速旋转很容易伤人。增加保护罩,不仅能保护螺旋桨不受外力打击、摩擦而造成损坏,还能保障飞行的平稳,延长无人机的使用寿命。

(6) 除了以上几点外,通常还会从载荷量、航时、稳定性、机动性等因素来考虑机型的选择。相对来说,多旋翼无人机中,四旋翼无人机的载荷量最轻,稳定性稍差,但是机动性最好;八旋翼无人机的载荷量最重,稳定性最好,但是机动性差些;六旋翼无人机则居于两者之间。选择何种机型,还要根据实际的任务来定。



微课 机型选择



相关知识点 4: 多旋翼无人机机型简介

1.250 四旋翼无人机

250 四旋翼无人机主要用于穿越机使用,如图 1-8 所示,其详细参数见表 1-1,受

到很多初学者的青睐，许多初学者将 250 四旋翼无人机作为组装穿越机的第一架无人机。



图 1-8 250 四旋翼无人机

表 1-1 250 四旋翼无人机的详细参数

机架材质	全碳纤维（含金属铜柱、金属螺钉）
飞机质量	320 g（不含电池，含桨叶、电池扎带）
飞机尺寸	180 mm × 235 mm × 50 mm（长 × 宽 × 高），手工测量存在误差
轴距	250 mm（电机对角距离）
飞行时间	5~7 min，海平面无风（受环境影响）
电池	3S（11.1 V，2 200 mAh 容量）
最大抗风	5 级风
飞行距离	800 ~ 1 000 m（飞行区域无干扰、无障碍、无遮挡）

2. F450 四旋翼无人机

如图 1-9 所示，F450 四旋翼无人机是为了满足大多数无人机爱好者而开发的一款机型，同时是四旋翼无人机的入门机型。F450 四旋翼无人机主要由机架、动力系统、飞行控制系统、任务载荷系统、通信导航系统等部分组成，其详细参数见表 1-2。



图 1-9 F450 四旋翼无人机



表 1-2 F450 四旋翼无人机的详细参数

轴 距	450 mm (电机对角尺寸)
最大载重	800 g (额外载重)
飞行时间	20 min, 无风 (受环境影响)
电 池	3S (11.1 V, 5 200 mAh 容量)
最大抗风	4 级风
飞行距离	2 000 m (飞行区域无干扰、无障碍、无遮挡)
飞行高度	1 000 m
搭载电机	YH 2212/2216 (好盈乐天 20 A 电调)

3. 大轴距多旋翼无人机

随着对无人机稳定性要求的提高及不同的任务要求, 8 轴多旋翼无人机的应用越来越普遍, 如飞越 X8 航拍无人机, 如图 1-10 所示, 其详细参数见表 1-3。



图 1-10 飞越 X8 航拍无人机

表 1-3 飞越 X8 航拍无人机的详细参数

轴 距	1 050 mm (电机对角尺寸)
飞机质量	标配 6 500 g/ 航拍 6 650 g
最大载重	8 kg (额外载重)
飞行时间	30 ~ 35 min, 无风 (受环境影响)
电 池	6S (22.2 V, 16 000 mAh 容量)
最大抗风	6 级风
飞行距离	4 000 m (飞行区域无干扰、无障碍、无遮挡)
飞行高度	3 000 m
搭载电机	4120 电机 (40 A 电调)

(续表)

数传距离	4 000 m
图传距离	2 000 ~ 4 000 m
飞行模式	自稳、定点、悬停、一键返航、失控返航、航线规划自动飞行等
飞行环境	室内 / 室外 (最低温度 -40 ℃)

4. 功能型多旋翼无人机

1) 航拍机 (以大疆“悟2”为例)

如图 1-11 所示, 大疆“悟2”(Inspire 2) 采用大疆的影像处理系统 CineCore 2.1, 其内置于机身头部, 可通过快拆接口支持多款相机接入。其最大飞行速度为 94 km/h (Sport 模式下)。



图 1-11 大疆 Inspire 2 航拍机

全新的聚焦功能智能拍摄是 Inspire 2 一个非常出彩的辅助拍摄功能, 可通过视觉跟踪技术识别被拍摄物体, 并按照构图要求自动控制云台转动。得益于 360° 云台系统, 无人机在跟拍过程中的飞行控制不受限制。

聚焦功能拥有两种拍摄模式: 快速模式和构图模式。在屏幕中框选拍摄目标后, 快速模式立即生效。构图模式则是在画面中预先设定好构图位置及物体大小, 当既定拍摄目标进入构图框后, 按下专用快捷键, 随即开始跟拍。在跟拍过程中, 还可以控制云台转动, 改变当前构图。

第二代智能跟随功能不仅可以识别并自主追踪拍摄对象, 且在跟随过程中, 机头朝向飞行方向, 能够实现实时避障。基于主相机画面的图像识别技术提高了目标物体的识别精度, 增强跟拍飞行时构图的可信性。物体识别支持人、自行车、汽车、船只等不同尺寸和运动速度的物体, 能根据物体类型调节追踪参数, 使得追踪精度大幅度提升。Inspire 2 还能在拍摄对象的侧边保持同步移动, 进行平行跟拍。



图 1-12 大疆 T30 植保机

2) 植保机 (以大疆 T30 为例)

如图 1-12 所示, 大疆 T30 将植保无人机的最大载重提升至 40 kg, 大田植保效率达到新高度; 革命性的“变形”机身, 果树植保喷洒效果显著; 配合数字农业解决方案, 科学指导减肥增产。

革命性的枝向对靶技术, 可调节机臂角度, 斜角喷洒穿透厚冠层, 确保药液上下均匀附着, 雾滴数量提升 100%。借助智慧农业云平台, 云端建图, 手机上即可管理三维数字果园, 轻松入门数字农业。



全新 16 喷头布局，雾滴沉降更进一步；配备 8 组电磁阀进行独立变频控制，转弯也可以喷洒均匀。采用水平对置六缸双柱塞泵设计，为喷洒提供强劲动力，最高可提供 8 L/min 的大流量。T30 配备 30 kg 超大药箱，最优喷幅提升至 9 m，大田喷洒效率达 240 亩 / 时，效率提升 33.3%。

3) 巡线、测绘机（以大疆 M300 RTK 为例）

如图 1-13 所示，大疆 M300 通过在线任务录制，可实时录制无人机运动、云台俯仰、照片拍摄、变焦等多种动作，并可将其存储为航线文件，在未来的自动巡检任务中随时调用。



图 1-13 大疆 M300 RTK

AI 加持的精准复拍功能，大幅提升了自动化任务的准确性。完成在线任务录制后，从样片中框选出目标区域，在随后的自动化任务中，AI 算法会自主比对目标区域和当前的实时画面，据此纠正相机的拍摄角度，从而每次作业都能拍到同一目标区域。

通过航点飞行 2.0 智能航线规划模式，可设定多达 65 535 个航点，并支持单个负载或多个负载（包括第三方负载）在每个航点执行多个动作。此外，航点飞行 2.0 的飞行路径设定方式更加灵活，大幅提升自动化任务效率。搭载不同的负载可以实现不同功能。



任务核验

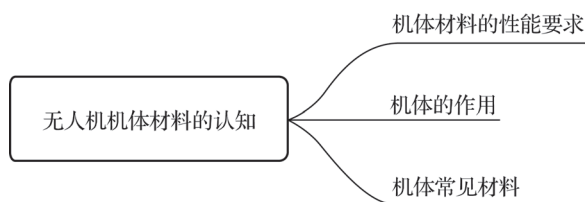
思考题

1. 多旋翼无人机由哪几部分组成？
2. 简述多旋翼无人机的选型原则。
3. 简述四旋翼无人机与八旋翼无人机的区别。

任务 2 无人机机体材料的认知



思维导图



知识目标

- (1) 了解无人机机体材料的基本性能要求。
- (2) 掌握机体的作用。
- (3) 掌握常见的机体材料的特点。



任务描述

机体是组装的第一步，需要搞清楚什么是无人机机体，机体有什么作用，常见的机体材料有哪些，各有什么特点和区别。



任务学习



相关知识点 1：机体材料的性能要求

消费级无人机市场迅速发展，并且向轻量化、娱乐化发展，越来越多的普通人走进无人机的世界。为了适应不同需求，机体材料要满足以下几点基本性能要求：

- (1) 重量轻，以提升续航能力。
- (2) 耐冲击，不容易损坏。
- (3) 容易加工，成本可控。
- (4) 耐磨性能好，耐刮擦。



相关知识点 2: 机体的作用

机体是多旋翼无人机的主体,也称为机架、机身。机体需要承载无人机的全部设备,包括飞控、电调、电机、螺旋桨、遥控器接收机、电池、电源和云台等。因此,机体性能会直接影响到整个无人机的性能与安全。

机体的具体作用如下:

- (1) 提供安装和固定电机、电调、飞控板的接口。
- (2) 提供无人机飞行及传感器所需的稳定坚固平台。
- (3) 安装起落架等缓冲设备,提供安全的起飞和降落条件,避免损坏其他零件。
- (4) 安装相应的保护装置,用于保护无人机本身和可能接触到的操作人员。



相关知识点 3: 机体常见材料

在组装无人机时通常要选取合适的材料,如碳纤维、塑料、玻璃纤维、复合材料、铝合金、轻木等。铝合金一般用于一些连接件,如管夹、脚架等,轻木一般用于固定翼无人机,多旋翼无人机主要采用碳纤维、塑料、复合材料等。

1. 碳纤维

碳纤维的密度低,强度和刚度高,在无人机飞行过程中会有减振效果,使飞行更加稳定。但碳纤维的加工比较困难,需要对整个碳纤维板做切割、打孔,并与起落架等其他部件连接固定。碳纤维机体如图 1-14 所示。

2. 塑料

塑料机体如图 1-15 所示。塑料的密度较小,制作比较容易,但强度和刚度不大。通常多个机体部件在组装时采用螺钉固定,但在螺旋桨高速转动时产生的振动可能会使螺钉松动,从而导致机体的轴臂有脱落的危险。而随着 3D 打印技术的成熟,使用 3D 打印机一次性将机体打印出来,既可以省去螺钉,又避免了轴臂松动的危险,故塑料机体的发展愈加成熟。



图 1-14 碳纤维机体

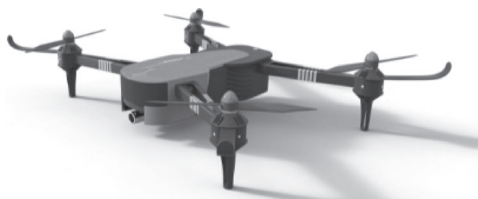


图 1-15 塑料机体

总体来讲,价格低廉的塑料适合普通无人机,强度高、重量轻、价格贵的碳纤维材料适合商业级或工业级无人机。

3. 复合材料

减重是飞机结构设计永恒的主题。对于无人机来说，只有将结构数量系数控制在30%以下才能腾出重量空间给燃油、有效载荷、补偿隐身等带来的增重，满足轻结构、长航时等要求。为了减重，在无人机上将大量使用复合材料，特别是先进复合材料。

据统计，目前世界上各种先进的无人机复合材料的用量一般占机体总重的60%~80%。例如，“捕食者”无人机除机身大梁外全机由复合材料制成；“暗星”无人机全机采用复合材料外加吸波涂层，满足其高隐身性能的要求；X-47B无人作战飞机的90%机体表面由碳纤维复合材料覆盖；X-37B无人机机体结构采用双马来酰亚胺预浸料制造。

复合材料由基体材料和增强材料组成。复合材料的基体材料分为金属和非金属两大类。金属基体常用的有铝、镁、铜、钛及其合金。非金属基体主要有合成树脂、橡胶、陶瓷、石墨、碳等。增强材料主要有玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、芳纶纤维、碳化硅纤维、石棉纤维、晶须、金属。

复合材料的优点如下：

(1) 和传统金属材料相比，复合材料具有比强度和比刚度高、热膨胀系数小、抗疲劳能力和抗振能力强的特点，将它应用于无人机结构中可以减少25%~30%。

(2) 复合材料本身具有可设计性，在不改变结构重量的情况下，可根据飞机的强度刚度要求进行优化设计；在设计制造技术上可满足大多数无人机在高度翼身融合结构上所需的大面积整体成形的要求。

(3) 无人机复合材料结构设计中常用到的是复合材料的轻质、高强度等特性。主要通过增强材料（碳纤维、玻璃纤维等，图1-16和图1-17）的力学性能和基体材料（树脂）的黏结作用来实现复合材料的特性。

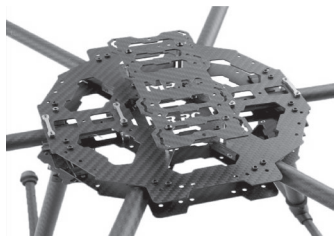


图 1-16 碳纤维材料

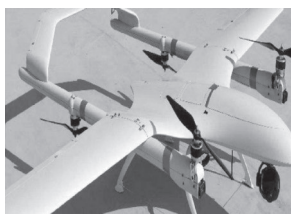


图 1-17 玻璃纤维材料



任务核验

思考题

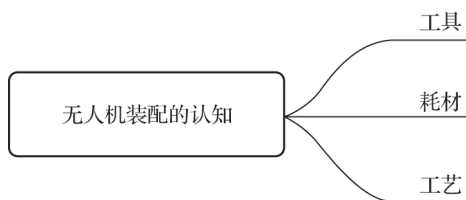
1. 多旋翼无人机机体的作用有哪些？
2. 常见的多旋翼无人机机体材料有哪些？
3. 机体材料塑料与碳纤维有哪些区别？（列举至少3点）



任务 3 无人机装配的认知



思维导图



知识目标

- (1) 了解无人机组装与调试的常见工具。
- (2) 知晓无人机组装与调试的常见耗材。
- (3) 掌握多旋翼无人机的组装工艺。



任务描述

无人机组装与调试需要使用各类工具和材料。本任务讲解多旋翼无人机在组装和调试过程中用到的工具和耗材，如何更好地组装多旋翼无人机，以及组装工艺应注意哪些内容。



任务学习



相关知识点 1: 工具

无人机的装调包括机械组装、电气组装和相关调试工作。组装与调试过程中会用到各种工具，常用的工具有螺钉旋具、钳类工具（水口钳、斜口钳、尖嘴钳）、内六角扳手、万用表、电烙铁、风枪焊台和热熔胶枪等。

1. 螺钉旋具

螺钉旋具俗称螺丝刀、起子，用来旋拧螺钉，其按不同的头形可以分为一字形、十字形、米字形、星形、方形、内六角形和 Y 形等，其中一字形螺钉旋具、十字形螺



拓展 无人机常用装调工具

钉旋具、内六角螺钉旋具是最常用的。

一字形螺钉旋具如图 1-18 所示，其型号表示为“刀头宽度 × 刀杆长度”，如 2 mm × 75 mm，表示刀头宽度为 2 mm，刀杆长度为 75 mm（非全长）。

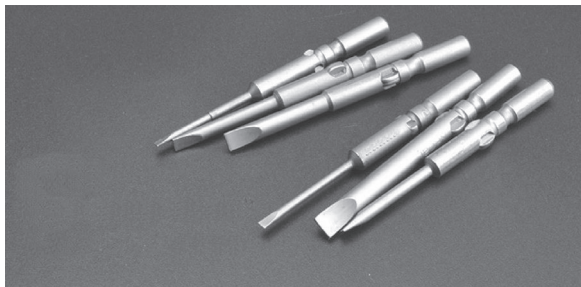


图 1-18 一字形螺钉旋具

十字形螺钉旋具如图 1-19 所示，其型号表示为“刀头大小 × 刀杆长度”。例如，2 号 × 75 mm 表示刀头为 2 号，刀杆长度为 75 mm（非全长）。有些厂家以 PH2 来表示 2 号，实际上意思是一样的。可以以刀杆的粗细来大致估计刀头的大小。工业上以刀头大小来区分，型号为 0 号、1 号、2 号、3 号、4 号，对应的刀杆粗细大致为 3.0 mm、4.0 mm、6.0 mm、8.0 mm、9.0 mm。

内六角螺钉旋具如图 1-20 所示，型号表示为六角对边的距离，常见的有 1.5 mm、2.0 mm、2.5 mm、3.0 mm、4.0 mm、5.0 mm 等。



图 1-19 十字形螺钉旋具



图 1-20 内六角螺钉旋具

螺钉旋具使用注意事项如下：

(1) 使用时，右手握住螺钉旋具，手心抵住柄端，旋具和螺钉同轴心，压紧后用手腕扭转。松动后用手心轻压旋具，用拇指、中指、食指快速扭转。

(2) 使用长杆旋具，可用左手协助压紧和拧动手柄。

(3) 刀头应与螺钉槽口大小、宽窄、长短相适应，刀口不得残缺，以免损坏槽口和刀口。

(4) 不可用锤子敲击旋具柄或把旋具当錾子、杠杆使用，刃口不可磨削，以免破坏硬化表面。

(5) 不可把旋具口端用扳手或者其他工具增加阻力，以免破坏旋杆；螺钉旋具不可放在衣服或裤子口袋，以免碰撞或跌倒时造成人身伤害。



2. 钳类工具

水口钳、斜口钳、尖嘴钳为常见钳类工具，如图 1-21 所示。其中水口钳和斜口钳的区别是：水口钳用来剪掉多余的线头、电子元器件引脚或扎带，水口钳刃口比较薄且锋利，适用于剪细铜线和塑料橡胶等材料，剪断铜线后的切口是平的，剪断塑料后的切口是齐整的；斜口钳刃口比较厚，可以剪粗一点的铜线和铁线，剪断铜线后的切口是斜的。斜口钳剪断后的铁丝切口形状是“><”形，水口钳则是“|”形。尖嘴钳主要用来剪切线径较细的单股与多股线，以及给单股导线接头弯圈、剥塑料绝缘层等。

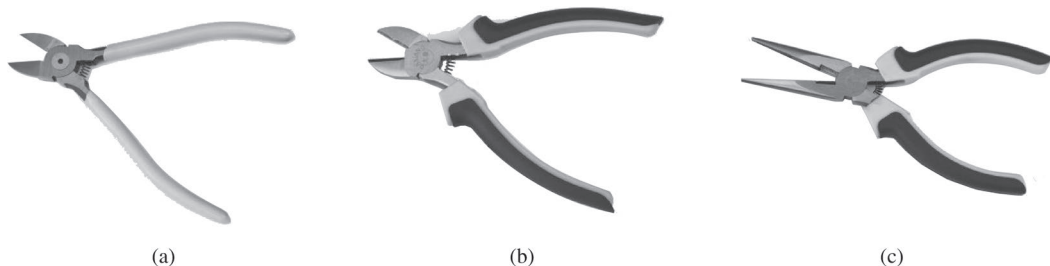


图 1-21 常见钳类工具
(a) 水口钳；(b) 斜口钳；(c) 尖嘴钳

水口钳和斜口钳的使用注意事项如下：

- (1) 禁止剪钢丝、粗铁丝及较硬的物体。
- (2) 禁止敲打、用作撬棒。
- (3) 使用时，尽量避免对准身体，防止打滑伤人。
- (4) 使用完毕后清理脏污，并涂油保养，防止刃口老化氧化。

3. 剥线钳

剥线钳如图 1-22 所示，是电工、修理工、仪器仪表电工常用的工具之一，用来剥除电线头部表面的绝缘层，使电线被切断的绝缘皮与电线分开。剥线钳的塑料手柄可以防止触电。



图 1-22 剥线钳

剥线钳使用注意事项如下：

- (1) 根据电缆线的粗细型号，选择相应的剥线刀口。
- (2) 将准备好的电缆放在剥线钳的刀刃中间，选择好要剥线的长度。
- (3) 握住剥线钳的手柄，将电缆夹住，缓缓用力使电缆外表皮慢慢剥落。

(4) 松开手柄，取出电缆线，这时电缆金属整齐露出，其余绝缘塑料完好无损。

4. 内六角扳手

内六角扳手如图 1-23 所示，它通过扭矩施加对螺钉的作用力，大大降低了使用者的用力强度。内六角螺钉与一字形、十字形螺钉在使用时的受力不同。一字形和十字形螺钉需要用轴向力压住螺钉再拧，容易拧花螺钉头；内六角螺钉则是将内六角扳手插入螺钉头后施加一个旋转力，不容易打滑，可以拧得更紧。一般受力比较大的地方采用内六角螺钉来连接。



图 1-23 内六角扳手

内六角扳手使用注意事项如下：

- (1) 用于拧紧或拧松标准规格的内六角螺栓。
- (2) 拧紧或拧松的力矩较小。
- (3) 内六角扳手应与螺栓或螺母的内六方孔相适应，不允许使用套筒等加长装置，以免损坏螺栓或扳手。
- (4) 使用前要正确区分螺栓的规格（公制或英制），以便选择正确规格的内六角扳手。

5. 万用表

万用表的基本功能是测量交直流电压、电阻和直流电流，功能多的万用表还可以测量交流电流、电容、晶体管放大倍数和频率等。万用表一般分为数字式万用表（见图 1-24）和机械式万用表（见图 1-25）。在无人机组装与调试、维修过程中经常需要测量锂电池电压、飞控电源输入电压、摄像头电压、图传电压、线路通断和分电板分电情况等。



图 1-24 数字式万用表



图 1-25 机械式万用表

万用表使用注意事项如下：

- (1) 要注意避免外界磁场对万用表的影响。
- (2) 在使用万用表过程中，不能用手接触表笔的金属部分。这样可以保证测量的准确，也可以保证人身安全。
- (3) 不能在测量的同时换挡，尤其是在测量高电压或大电流时更应注意，否则会使万用表毁坏。如需换挡，应先断开表笔，换挡后再去测量。
- (4) 万用表使用完毕，应将转换开关置于交流电压最大挡。如果长期不使用，还应将万用表内部的电池取出，以免电池腐蚀表内其他元器件。

6. 电烙铁

如图 1-26 所示，电烙铁用来焊接电子元器件和导线，在电子制作及维修过程中是必不可少的工具。电烙铁按机械结构不同，分为外热式和内热式；按功能不同，分为无吸锡电烙铁和吸锡式电烙铁；按功率不同，分为大功率电烙铁和小功率电烙铁。电烙铁主要根据功率大小和烙铁头形状来选择。



图 1-26 电烙铁

电烙铁使用注意事项如下：

- (1) 电烙铁使用前应检查使用电压是否与电烙铁标称电压相符。
- (2) 电烙铁应该接地。
- (3) 电烙铁通电后不能任意敲击、拆卸及安装其电热部分零件。
- (4) 电烙铁应保持干燥，不宜在过分潮湿或淋雨环境中使用。
- (5) 拆卸烙铁头时，要关掉电源。
- (6) 关掉电源后，利用余热在烙铁头上上一层锡，以保护烙铁头。
- (7) 当烙铁头上有黑色氧化层时，可用砂布擦去，然后通电，并立即上锡。
- (8) 海绵用来收集锡渣和锡球，用手捏刚好不出水为宜。
- (9) 电烙铁用完要及时保养。

7. 风枪焊台

如图 1-27 所示，风枪焊台又称热风台或热风拆焊台，主要是利用发热电阻丝的枪芯吹出的热风来焊接元器件与摘取元器件。从本质上说它也是电烙铁的一种，是在电子焊接发展过程中因为焊接技术的发展要求而出现的新型焊接工具。与普通电烙铁相比，风枪焊台外观上最明显的区别是多了一个调温台，性能上的区别主要是温度控制精准、升温快。风枪和焊台组合在一起称为风枪焊台一体机。

风枪焊台使用注意事项如下：

- (1) 禁止将风枪焊台用于取暖，操作结束或者离开时确定已经切断工具电源。
- (2) 操作时严禁出风口朝向人员或易燃易爆的物品。
- (3) 操作时发现严重打火、怪声、异味、冒烟等应停止使用。
- (4) 操作时严禁人员触摸出风口位置。
- (5) 暂停使用、放置一旁时必须将加热口朝上垂直放置。

8. 热熔胶枪

热熔胶枪如图 1-28 所示，是非常方便快捷的粘胶工具，比液体胶水最大的优势就是粘固的速度快，效率高；缺点是胶体比较重，对一些起飞重量有严格要求的无人机不太适合。



图 1-27 风枪焊台



图 1-28 热熔胶枪



热熔胶枪使用注意事项如下：

- (1) 使用前检查接地线、电源线，确定正常方可使用。
- (2) 操作结束或者临时离开时确定已经切断工具电源。
- (3) 操作时严禁加热，以免碰伤人员或物品。
- (4) 必须放置在托架上，加热头朝下，严禁倒置。
- (5) 涂胶时戴手套，避免烫伤。



相关知识点 2：耗材

无人机组装中常用的耗材有 T 形插头、香蕉形插头、XT60 插头、XT90 插头、EC 系列插头、JST 插头、杜邦线、硅胶线平衡充电插头、美国线规（American wire gauge, AWG）硅胶线、热熔胶、纤维胶带、液体泡沫胶、双面泡沫胶、尼龙扎带、魔术扎带、魔术贴、焊锡、热缩管、螺栓、螺母、螺钉、尼龙柱 / 隔离柱、铝柱、铜柱、低电量报警器、减振器等。

1. T 形插头

T 形插头如图 1-29 所示。由于两个金属导电部分一个横一个竖呈 T 形，所以称为 T 形插头。T 形插头可以防止正负极接反，成对使用，一头凸出的为公头，凹进去的为母头。通常作为电源接头。

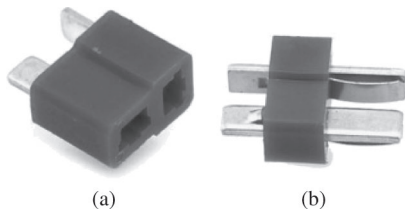


图 1-29 T 形插头

(a) 母头；(b) 公头

2. 香蕉形插头

如图 1-30 所示，香蕉形插头简称香蕉头，成对使用，一头凸出的为公头，凹进去的为母头，是一种快速插拔的电源接头。其主要参数是直径和允许电流，根据直径的大小有多种型号（2.0 mm、3.0 mm、3.5 mm、4.0 mm、5.0 mm、8.0 mm）。

3. XT60、XT90 插头

XT60 插头如图 1-31 所示。插头里面是 3.5 mm 的香蕉头。由于外壳端部一边为直边一边为斜边，也可以防止正负极接反，通常用作电源接头。成对使用，一头凸出的为公头，凹进去的为母头。各种插头可以自由焊接起来作为其他插头的转接装置。XT90 插头和 XT60 插头外形相似，只是尺寸大了一号，里面的香蕉头为 4.5 mm。