



无人机操控技术与任务设备

● 主编 于坤林



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

无人机操控技术与任务设备

主 编 于坤林

副主编 孙翠华 刘桂钧

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共分为7个项目21个工作任务，项目一介绍无人机基本组成，项目二介绍无人机飞行原理，项目三介绍航空气象与飞行安全监管，项目四介绍模拟飞行软件安装与设置，项目五介绍无人机模拟飞行，项目六介绍无人机飞行训练，项目七介绍无人机任务设备及应用操控。

本书是校企合作共同开发的新形态一体化教材，匹配职业教育专业教学资源库，包括电子教案、教学课件、微课视频、考试题库等丰富的数字化教学资源，方便学习者使用。本书可作为无人机应用技术专业无人机操控技术与任务设备课程的教材，也可作为无人机驾驶员的培训用书，还可作为无人机爱好者的自学用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

无人机操控技术与任务设备 / 于坤林主编. -- 北京：
北京理工大学出版社, 2022.1
ISBN 978-7-5763-0876-1

I. ①无… II. ①于… III. ①无人驾驶飞机 IV.
①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第016960号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
(010) 82562903 (教材售后服务热线)
(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北鑫彩博图印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 12.5

字 数 / 280千字

版 次 / 2022年1月第1版 2022年1月第1次印刷

定 价 / 59.00元

责任编辑 / 阎少华

文案编辑 / 阎少华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前言

本书遵循无人机应用技术专业国家教学标准的相关要求及人社部新职业“无人机驾驶员”、教育部 1+X“无人机驾驶”职业技能等级证书的技能要求编写。本书聚焦《国家职业教育改革实施方案》提出的新任务、新要求，探索岗课赛证相互融通，结合无人机操控岗位工作实际，将无人机操控岗位能力需求、无人机驾驶员职业资格证书、无人机驾驶 1+X 职业技能等级证书及全国行业职业技能竞赛中飞行器人工智能技术应用赛项的技能需求融于教材，动态调整教材内容，旨在培养适应行业企业需求的复合型、创新型高素质技术技能人才。本书内容丰富全面、通俗易懂，依照无人机专业技术技能人才成长规律和学生认知规律，符合知识与技能教学规律，由浅入深，由易到难，将全书内容设计成 7 个项目共 21 个工作任务。在编写工作任务时又按照任务描述→相关知识→任务实施→知识拓展→巩固练习等环节进行编写。

本书介绍了无人机基本组成、无人机飞行原理、航空气象与飞行安全监管、无人机模拟飞行、无人机飞行训练、无人机任务设备及应用操控，突出了劳动教育、爱国主义教育、安全责任意识、规范操作意识、创新精神、工匠精神等课程思政教育；本书以无人机应用技术相关企业的真实工作任务和案例作为载体，融入了国内无人机应用相关行业和企业的新知识、新技术、新工艺和新规范。详细地介绍了固定翼无人机、多旋翼无人机、无人直升机的飞行训练方法和要求；突出无人机模拟飞行和实际飞行等知识的运用和技能训练，在编写过程中力求体现“教、学、做一体化”特色，在技能训练中讲述理论知识，将理论知识直接应用到技能训练当中。

本书是校企合作共同开发的新形态一体化教材，在职业教育专业教学资源库中有匹配的资源，包括电子教案、教学课件、微课视频、考试题库、任务工单、任务考核评价表等丰富的数字化教学资源，并在正文相应位置以二维码的形式增加了相关微课视频内容，学习者可以在资源库中自行下载、打印任务工单和任务考核评价表，方便学习者使用。

本书由长沙航空职业技术学院于坤林担任主编，苏州农业职业技术学院孙翠华、湖南中电金骏科技集团有限公司刘桂钧担任副主编。具体编写分工为：项目一至项目六由于坤林编写；项目七由孙翠华、刘桂钧共同编写。全书由于坤林负责统稿。

本书编写过程中得到了无人机制造和应用相关企业的大力支持，江苏蓝鲸智慧空间研究院有限公司、湖南斯凯航空科技股份有限公司、湖南精飞智能科技有限公司为教材的编

写提供了基础资料和有益帮助，胡爱华高级工程师和刘鑫高级工程师对本书的编写提出了宝贵的意见，在此表示衷心感谢！山东理工职业学院冯建雨审阅了全书，并且提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心感谢！

本书编写过程中参考了国内外有关文献资料，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录 Contents

01

项目一 认识无人机 // 1

- 任务 1.1 认识多旋翼无人机 // 1
- 任务 1.2 认识固定翼无人机 // 12
- 任务 1.3 认识无人直升机 // 20

02

项目二 无人机飞行原理认知 // 27

- 任务 2.1 认知多旋翼无人机飞行原理 // 27
- 任务 2.2 认知固定翼无人机飞行原理 // 35
- 任务 2.3 认知无人直升机飞行原理 // 47

03

项目三 航空气象与飞行安全监管 // 55

- 任务 3.1 航空气象对飞行的影响 // 55
- 任务 3.2 无人机飞行安全监管 // 67
- 任务 3.3 无人机飞行空域和飞行计划的申报 // 80

04

项目四 模拟飞行软件安装与设置 // 86

- 任务 4.1 安装无人机模拟飞行软件 // 86
- 任务 4.2 设置无人机模拟飞行软件 // 96

05

项目五 无人机模拟飞行 // 106

- 任务 5.1 多旋翼无人机模拟飞行 // 106
- 任务 5.2 固定翼无人机模拟飞行 // 117
- 任务 5.3 无人直升机模拟飞行 // 126

06

项目六 无人机飞行训练 // 134

- 任务 6.1 多旋翼无人机飞行训练 // 134
- 任务 6.2 固定翼无人机飞行训练 // 140
- 任务 6.3 无人直升机飞行训练 // 145

07

项目七 无人机任务设备及应用操控 // 150

- 任务 7.1 认识无人机任务设备 // 150
- 任务 7.2 无人机任务规划及航线规划 // 161
- 任务 7.3 无人机航拍飞行操控 // 172
- 任务 7.4 无人机植保飞行操控 // 181

参考文献 // 194

认识无人机

【项目简介】

在操控无人机前必须要能够识别无人机各组成部件。本项目主要介绍了多旋翼无人机、固定翼无人机及无人直升机的结构组成及各组成部件的功用、性能参数等知识，同时还介绍了多旋翼无人机、固定翼无人机及无人直升机的布局形式。本项目包含了3个任务：任务1.1认识多旋翼无人机；任务1.2认识固定翼无人机；任务1.3认识无人直升机。在每个任务后给出了具体的技能训练任务工单和任务评价表，以方便对学习者进行技能训练和考核。

任务 1.1 认识多旋翼无人机

【学习目标】

1. 知识目标

- (1) 掌握多旋翼无人机的结构组成；
- (2) 掌握多旋翼无人机各组成部件的功用。

2. 能力目标

- (1) 能够识别多旋翼无人机各组成部件；
- (2) 能够说出多旋翼无人机各组成部件的功用。

3. 素养目标

- (1) 在习近平新时代中国特色社会主义思想指引下，践行社会主义核心价值观，具有深厚的爱国情感和中华民族自豪感；
- (2) 具有信息素养、创新思维。

【任务描述】

- (1) 能够指出多旋翼无人机各组成部件的安装位置；
- (2) 能够说出多旋翼无人机各组成部件的功用。

【相关知识】

1.1.1 多旋翼无人机组成

多旋翼无人机出现在 21 世纪初，依靠对若干旋翼的速度调整实现无人机的悬停、前进动作。引擎和直接安装的螺旋桨是该无人机上唯一可以活动的部件。使用这种无人机需要对旋翼旋转进行精准的同步调制，只有电动机才能完成这一任务。目前，多旋翼无人机主要有四旋翼无人机、六旋翼无人机、八旋翼无人机等。

多旋翼无人机组成一般包括机架、起落架、电机和电调、电池、螺旋桨、飞控系统、遥控装置、GPS 模块、任务设备和数据链路。其组成如图 1-1 所示。

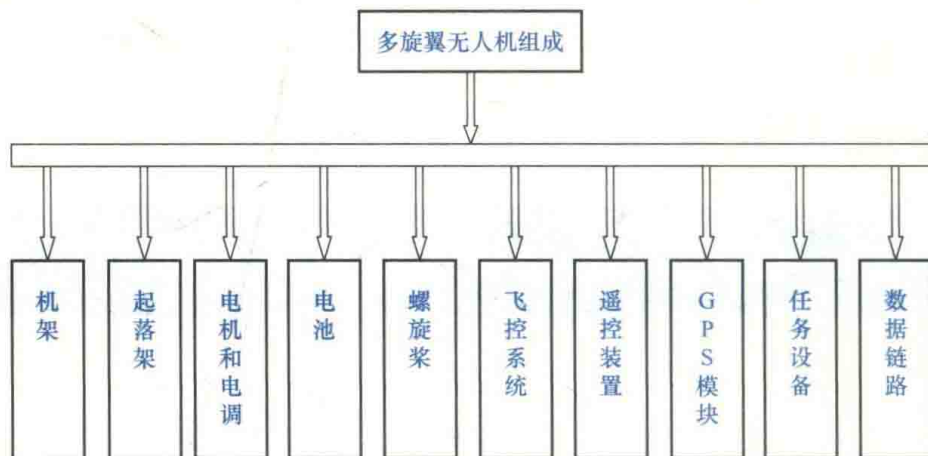


图 1-1 多旋翼无人机结构组成

1. 机架

机架（机身）是大多数设备的安装位置，也是多旋翼无人机的主体。电机、电调和飞控板（飞行控制器）等设备都要安装在机架上。根据机臂个数不同分为三旋翼、四旋翼、六旋翼、八旋翼、十六旋翼、十八旋翼，也有四轴八旋翼等，结构不同名称也不同。常见轴距有 250 mm、450 mm、600 mm、1 000 mm 等。

机架按材质一般可分为以下几种类型：

(1) 塑胶机架。塑胶机架的主要特点是，具有一定的刚度、强度和可弯曲度，价格比较低廉。

(2) 玻璃纤维机架。玻璃纤维机架的主要特点是强度比较高，而且需要的材料很少，可以减轻整体机架的质量。

(3) 碳纤维机架。碳纤维机架的特点是价格要贵一些，但质量要轻一些。出于结构强度和重量考虑，一般采用碳纤维材质。碳纤维机架如图 1-2 所示。

机架的主要作用如下：

(1) 提供安装接口。这些接口包括安装和固定电机、电调、飞控板的螺丝孔。

(2) 提供整体的稳定和坚固的平台。飞行器在飞行过程中需要一个稳定、坚固的平台，这样可以使电机在转动过程中不会毁坏其他设备，并为传感器提供一个稳定的平台。

(3) 作为起落架等的缓冲设备。它可以为飞行器提供安全的起飞和降落条件，避免损坏其他仪器。

(4) 保证足够低的质量。这样就可以给其他设备提供更多的余量。

(5) 提供相应的保护装置。保护装置用于保护飞行器本身和可能接触到的操作人员。

2. 起落架

起落架是多旋翼无人机唯一和地面接触的部位。作为整个机身在起飞和降落时的缓冲，也是为了保护机载设备，要求强度高，结构牢固，和机身保持相当可靠的连接，能够承受一定的冲击力。一般在起落架前后安装或涂装上不同的颜色，用来在远距离多旋翼无人机飞行时能够区分多旋翼无人机的前后。微型无人机的起落架大多与机身集成在一起，不能收放。轻小型或以上级别的无人机的起落架往往可以收起。多旋翼无人机起落架如图 1-3 所示。



图 1-2 碳纤维机架



图 1-3 多旋翼无人机起落架

3. 电机

电机是多旋翼无人机的动力机构，提供升力、推力等。电机的转速快慢决定了飞行器可以承载的质量，同时，其转速改变的快慢可以影响飞行姿态的变换。无刷电机去除了电刷，最直接的变化就是没有了有刷电机运转时产生的电火花，这样就极大减少了电火花对遥控无线电设备的干扰。无刷电机没有了电刷，运转时摩擦力大大减小，运行顺畅，噪声会低许多，这个优点对于模型运行稳定性是一个巨大的支持。无刷电机如图 1-4 所示。

电机 4 个数字的含义，如 2212 电机、2018 电机等表示电机的尺寸。无论什么牌子的电机，都要对应 4 位这类数字，其中前面 2 位是电机转子的直径，后面 2 位是电机转子的高度。注意，不是外壳。简单来说，前面 2 位越大，电机越肥，后面 2 位越大，电机越高。又高又大的电机，功率就更大，适合做大四轴。通常 2212 电机是最常见的配置。

无刷电机 kV 值定义：转速 / V，意思为输入电压增加 1 V，无刷电机空转转速增加的

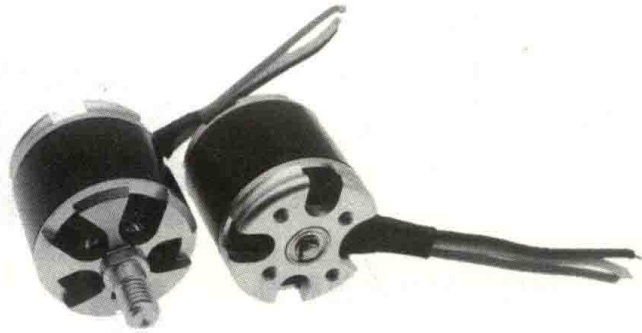


图 1-4 无刷电机

转速值。例如，1 000 kV 电机，外加 1 V 电压，电机空转时每分钟转 1 000 转，外加 2 V 电压，电机空转就 2 000 转了。单从 kV 值，不可以评价电机的好坏，因为不同 kV 值适用不同尺寸的桨；绕线匝数多的，kV 值低，最高输出电流小，但扭力大，上大尺寸的桨；绕线匝数少的，kV 值高，最高输出电流大，但扭力小，上小尺寸的桨。

4. 电子调速器

电子调速器将飞控的控制信号转变为电流信号，用于控制电机转速。电机的电流很大，通常每个电机正常工作时，平均有 3 A 左右的电流，如果没有电子调速器的存在，飞控根本无法承受这样大的电流，而且飞控也没有驱动无刷电机的功能。同时，电子调速器在多旋翼无人机中也充当了电压变化器的作用，将 11.1 V 电压变为 5 V 电压给飞控供电。电子调速器如图 1-5 所示。

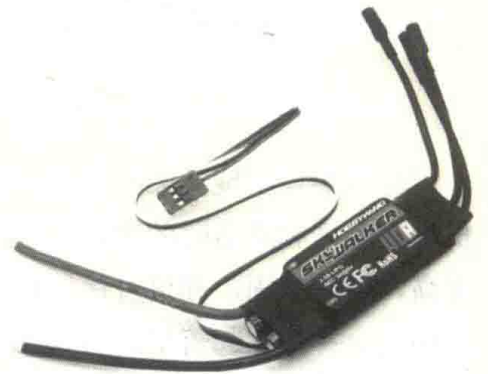


图 1-5 电子调速器

人们平时使用的商品电子调速器是通过接收机上的油门通道进行控制的，这个接收机出来的控制信号一般都是 20 ms 间隔的 PPM 脉宽控制信号，而四轴为了提高响应的速度，需要控制命令的间隔更短，如 5 ms，所以，就需要特殊的电子调速器而不能用普通的商品电子调速器，但是为什么要使用 12C 总线跟电调连接呢。这个跟电路设计以及软件编写等有关。12C 总线在硬件连接上可以多个设备直接并连在总线上，它有相应的传输机制保证主机与各个从机之间顺畅沟通，这样连接就比较方便。所以，4 个电子调速器的控制线是并接在一起连到主控板上的，这也与选用的芯片相关，很多单片机都有集成 12C 总线，因而软件设计起来也得心应手。

5. 电池

电池是电动多旋翼无人机的供电装置，给电机和机载电子设备供电。最小的是 1 S 电池，常用的是 3 S、4 S、6 S，1 S 代表 3.7 V 电压。目前无人机最常用的动力电池是锂聚合物电池（又称锂电池），图 1-6 是锂电池。锂电池主要优点是质量轻、能量密度大、放电能力强。



图 1-6 锂电池

6. 螺旋桨

螺旋桨如图 1-7 所示，安装在电机上，多旋翼无人机安装的都是不可变总距的螺旋桨，主要指标有螺距和尺寸。

桨的指标是 4 位数字，前面 2 位代表桨的直径（单位：in，1 in=254 mm），后面 2 位是桨的螺距。

正反桨：四轴飞行为了抵消螺旋桨的自旋，相邻的桨旋转方向是不一样的，所以需要正反桨。正反桨的风都向下吹。适合顺时针旋转的称正桨，适合逆时针旋转的称反桨。安装时，无论正反桨，有字的一面是向上的（桨叶圆润的一面要和电机旋转方向一致）。

电机与螺旋桨的搭配：这是非常复杂的问题，建议采用常见的配置。原理为螺旋桨越大，升力就越大，但对应需要更大的力量来驱动；螺旋桨转速越高，升力越大；电机的 kV 越小，转动力量就越大。

综上所述，大螺旋桨就需要用低 kV 电机，小螺旋桨就需要高 kV 电机（因为需要用转速来弥补升力不足）。如果高 kV 带大桨，力量不够，那么就很难，实际还是低速运转，电机和电调很容易烧掉。如果低 kV 带小桨，完全没有问题，但升力不够，可能造成无法起飞。例如，常用 1 000 kV 电机配 10 寸左右的桨。



图 1-7 螺旋桨

7. 飞控系统

飞控系统是多旋翼无人机的核心设备，飞控系统的好坏从本质上决定了无人机的飞行性能。它包括陀螺仪、加速度计、电路控制板、各外设接口。NAZA 飞控系统如图 1-8 所示。

(1) 陀螺仪。理论上陀螺只测试旋转角速度，但实际上所有的陀螺都对加速度敏感，而重力加速度在地球上又是无处不在的，并且在实际应用中，很难保证陀螺不受冲击和振动产生的加速度的影响，所以在实际应用中陀螺对加速度的敏感程度就非常的重要，因为振动敏感度是最大的误差源。两轴陀螺仪能起到增稳作用，三轴陀螺仪能够自稳。

(2) 加速度计。加速度计一般为三轴加速度计，测量三轴加速度和重力。

多旋翼无人机飞控系统完成的主要功能如下：

(1) 处理来自遥控器或自动控制的信号，这时飞控需要识别遥控器或自动控制的信号，完成要求的飞行姿态或其他指令。

(2) 控制电调，此时飞控系统要做的就是给电子调速器发送信号调节电机的转速，实



图 1-8 NAZA 飞控系统

现控制改变飞行姿态的功能。

(3) 可以通过一些板载的测量元件，在没有任何控制的情况下，通过控制电子调速器的输出信号保持多旋翼无人机的稳定。

8. 遥控装置

遥控装置包括遥控器和接收机，接收机装在无人机上，一端与飞控相连接，另一端通过通信链路和发射机连接。无人机操作员通过遥控器发出操作指令。一般按照通道数将遥控器分成六通道、八通道、十四通道等。遥控器如图 1-9 所示。



图 1-9 遥控器

9. GPS 模块

GPS 模块用来测量多旋翼无人机当前的经纬度、高度、航迹方向、地速等信息。一般在 GPS 模块中还会包含地磁罗盘（三轴磁力计），其能够测量多旋翼无人机当前的航向。

10. 任务设备

目前，在多旋翼无人机上运用最多的任务设备就是云台，常用的云台有两轴云台和三轴云台，三轴云台如图 1-10 所示。云台作为相机或摄像机的增稳设备，提供两个方向或三个方向的稳定控制。云台可以和控制电机集成在一个遥控器中，也可以单独的遥控器控制。



图 1-10 三轴云台

11. 数据链路

数据链路包括数传和图传。数传就是数字传输，数传终端和地面控制站（笔记本或手机等数据终端），接受来自飞控系统的数据信息。图传就是图像传输，接受机载相机或摄像机拍摄的图像，一般延迟在几十毫秒，目前也有高清数字图传，传输速率和清晰度都有很大提高。

1.1.2 多旋翼无人机布局

多旋翼按形状分为十字形、X形、H形、Y形、上下布局等。

1. 十字形布局

特点：十字形多旋翼是最早出现的一种气动布局，如图 1-11 所示。其前后左右飞行的控制比较直观，只需改变少量电机转速就可实现，便于飞控算法的开发，但在航拍时多旋翼无人机正前方螺旋桨会进入画面。

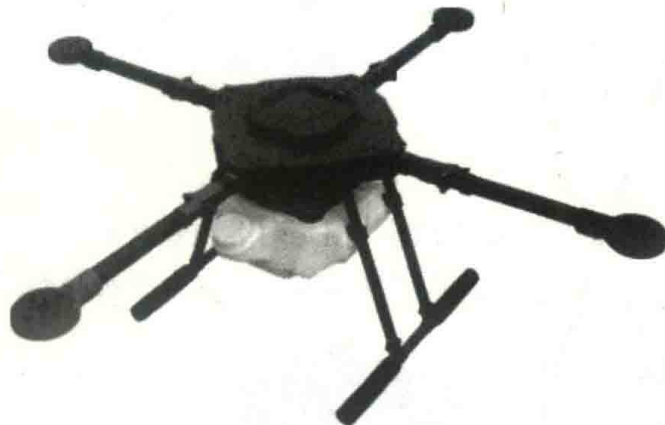


图 1-11 十字形布局

2. X形布局

特点：X形多旋翼是目前最常见的，尤其是小尺寸四旋翼，如图 1-12 所示，由于结构简单受到很多飞行器爱好者的喜爱。相比于十字形多旋翼，前后左右动作时加减速的电机较多，控制比较迅速和有力。



图 1-12 X形布局

3. H形布局

特点：比较易于设计成水平折叠结构，看起来比 X形厚重，又拥有与 X形相当的特点，结构简单，方便控制。H形布局如图 1-13 所示。



图 1-13 H 形布局

4. 上下布局

特点：上下分布多用于体积受到限制，但是对载质量又有较大需求的场合。使用三旋翼或四旋翼的尺寸可以做到六旋翼或八旋翼的载质量。上下布局如图 1-14 所示。

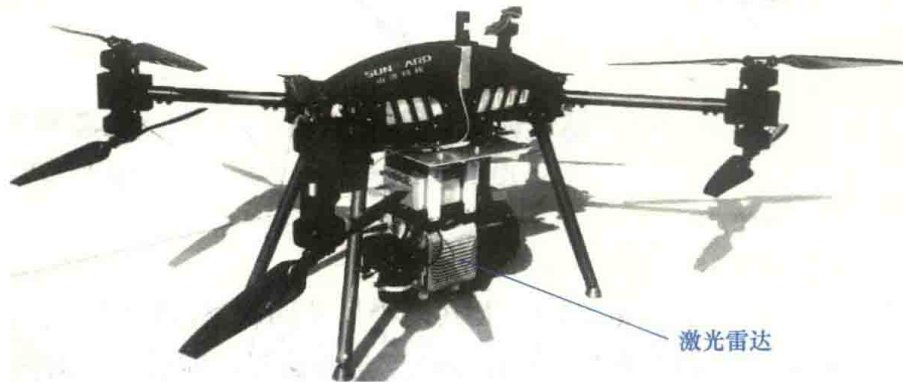


图 1-14 上下布局

5. 其他布局

如八轴十六旋翼、六轴十八旋翼、四轴十六旋翼等。图 1-15 所示的无人机为六轴十八旋翼。

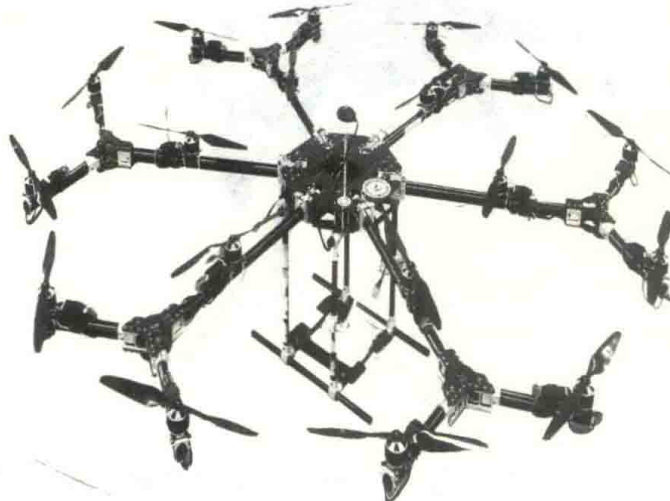


图 1-15 六轴十八旋翼



【任务实施】

技能训练任务：认识多旋翼无人机

1. 训练目的

掌握多旋翼无人机的内部组成结构，能够识别多旋翼无人机各组成部件，能够说出各组成部件的功用。

2. 训练内容

工作任务单

任务名称		识别多旋翼无人机各组成部件	
工具 / 设备 / 材料			
类别	名称	单位	数量
设备	多旋翼无人机	架	1
1. 工作任务			
识别多旋翼无人机各组成部件			
2. 工作准备			
准备好多旋翼无人机			
3. 工作步骤			
(1) 在多旋翼无人机上指出机架的安装位置并说出其材质和功用； (2) 在多旋翼无人机上指出起落架的安装位置并说出功用； (3) 在多旋翼无人机上指出各个电机的安装位置并说出功用； (4) 在多旋翼无人机上指出各个电子调速器的安装位置并说出功用； (5) 在多旋翼无人机上指出电池的安装位置并说出其常用参数值； (6) 在多旋翼无人机上指出螺旋桨的安装位置并说出其常用参数值； (7) 在多旋翼无人机上指出飞控系统的安装位置并说出功用； (8) 在多旋翼无人机上指出接收机的安装位置并说出功用； (9) 在多旋翼无人机上指出 GPS 模块的安装位置并说出功用； (10) 在多旋翼无人机上指出通信模块的安装位置并说出功用； (11) 在多旋翼无人机上指出任务设备的安装位置并说出功用； (12) 说出该多旋翼无人机的布局形式。			
4. 结束工作			
(1) 清点工具和设备； (2) 清扫现场。			

3. 考核评价

序号	考核内容		配分	得分
1	职业素养 与规范	设备及材料清点	10	
2		6S 规范	10	
3	操作	在多旋翼无人机上指出机架的安装位置并说出其材质和功用	8	
4		在多旋翼无人机上指出起落架的安装位置并说出其材质功用	8	
5		在多旋翼无人机上指出各个电机的安装位置并说出功用	7	
6		在多旋翼无人机上指出各个电子调速器的安装位置并说出功用	7	
7		在多旋翼无人机上指出电池的安装位置并说出其常用参数值	8	
8		在多旋翼无人机上指出螺旋桨的安装位置并说出其常用参数值	7	
9		在多旋翼无人机上指出飞控系统的安装位置和名称并说出功用	6	
10		在多旋翼无人机上指出接收机的安装位置并说出功用	6	
11		在多旋翼无人机上指出 GPS 模块的安装位置并说出功用	6	
12		在多旋翼无人机上指出通信模块的安装位置并说出功用	6	
13		在多旋翼无人机上指出任务设备的安装位置和名称并说出功用	6	
14		说出该多旋翼无人机的布局形式	5	
考生姓名:			考生分数:	