

项目一

多旋翼无人机组装调试

项目概览

本项目根据真实的多旋翼无人机组装调试案例进行知识教学内容设计与任务实施内容设计，学生通过对本项目的学习与训练，掌握多旋翼无人机飞行平台、动力系统、通信链路系统、飞控系统、任务载荷等的组装调试，飞行测试和维护保养等知识与技能，为后续学习与就业打下坚实的基础。

项目导入

随着近几年无人机市场的发展，多旋翼无人机因其优良的操控性能和可垂直起降等优点迅速获得了广大消费群体的关注，成为迄今为止无人机市场最热销的产品类型。多旋翼无人机相较于其他无人机具有得天独厚的优势。与固定翼无人机相比，它具有可以垂直起降、定点盘旋的优点；与单旋翼直升机相比，它没有尾桨装置，因此具有机械结构简单、安全性高、使用成本低等优点。熟练掌握多旋翼无人机组装调试的相关知识与实践操作技能尤为重要，那么一架多旋翼无人机从散件到成品需要经过哪些环节与步骤呢？

项目分析

多旋翼无人机组装调试项目包括多旋翼无人机飞行平台组装调试、多旋翼无人机动力系统组装调试、多旋翼无人机通信链路系统组装调试、多旋翼无人机飞控系统组装调试、多旋翼无人机子系统联合调试、多旋翼无人机任务载荷组装调试等多个任务。多旋翼无人机组装调试由于包含的知识技能点丰富且跨度大，很多人在进行多旋翼无人机组装调试时会忽略任务操作步骤的先后关系，导致组装调试过程中出现返工与最终飞行失败的问题。在进行多旋翼无人机组装调试时，需要先掌握每个任务中的知识、技能、方法，然后严格按照任务内的任务准备及任务操作完成任务实施，从而确保装配效率与质量。

任务1 多旋翼无人机飞行平台组装调试

任务导入

飞行平台是多旋翼无人机的主体结构。多旋翼无人机的大部分配件，如电动机、电子调速器（简称电调）、飞控系统等都要安装在飞行平台上面，在进行多旋翼无人机组装调试时，应该先完成飞行平台的组装调试。

一家无人机公司因为其多旋翼无人机产品定位清晰、性能优越，所以订单量突增。生产线



无法完成现有订单,委托校企合作的无人机公司完成该机型多旋翼无人机飞行平台的组装调试工作。因为飞行平台的组装调试是后续系统组装调试的基础,所以要求团队分工协作,严格按照组装调试标准工艺流程进行,装配数量为100套,装配周期为7天,最终完成符合委托方质量检验要求的产品。

任务目标

知识目标

1. 了解多旋翼无人机飞行平台的组成与分类。
2. 掌握多旋翼无人机飞行平台各部件的主要功能。
3. 掌握多旋翼无人机飞行平台组装工具的使用方法。

技能目标

1. 能够准确区分并找出多旋翼无人机飞行平台的各部件。
2. 能够按任务操作步骤完成多旋翼无人机飞行平台的组装。
3. 能够使用螺丝刀、气泡水平仪等常用的无人机组装工具。

素养目标

1. 通过任务驱动小组配合,培养团队合作精神。
2. 通过任务中的螺钉装配、紧固及检查,培养一丝不苟的职业素养。
3. 通过强化提升训练,养成自主学习的探究精神。

建议课时

4 课时。

任务分析

多旋翼无人机飞行平台的组装调试需要对各部件进行装配调试,那么飞行平台各部件怎么区分呢?如何保证装配质量?需要用到哪些工具?为了完成组装调试并保证装配质量,需要先进行多旋翼无人机飞行平台基础知识的学习,并学会使用组装调试的相关工具、仪器,然后按照任务操作步骤与要求进行多旋翼无人机飞行平台的组装调试,保质保量地完成本任务。

知识教学

1. 多旋翼无人机飞行平台介绍

1) 飞行平台的功能

飞行平台的主要功能如下。

- ① 作为多旋翼无人机各部件的安装载体。
- ② 保证多旋翼无人机飞行过程的稳定。
- ③ 为多旋翼无人机各部件提供保护。



多旋翼无人机飞行平台组装调试

2) 飞行平台的分类

(1) 按旋翼轴数分类。

定义：多旋翼无人机的旋翼数指多旋翼无人机螺旋桨的数量，旋翼轴数指多旋翼无人机电动机的数量，通常情况下旋翼数等于旋翼轴数。

分类：按照旋翼轴数不同，多旋翼无人机可分为四轴四旋翼、六轴六旋翼、八轴八旋翼等类型。特殊情况下，也会有四轴八旋翼、八轴十六旋翼等共轴式旋翼类型的无人机，如图 1-1-1 所示。

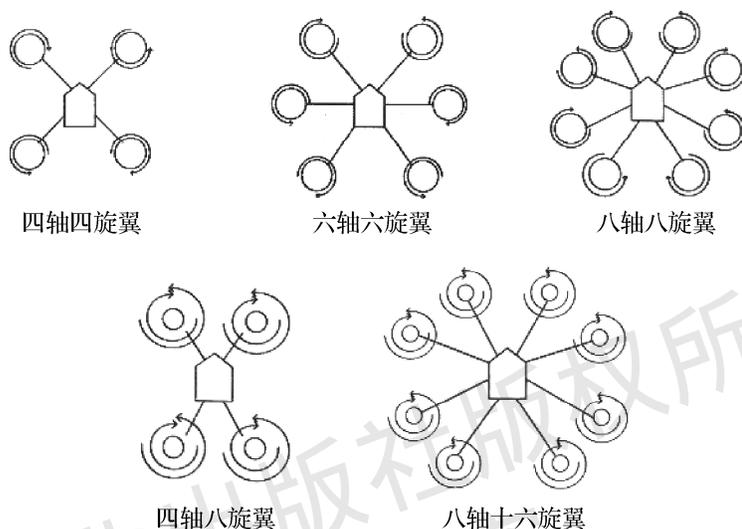


图 1-1-1 多旋翼无人机分类

(2) 按机架轴距分类。

定义：机架轴距指机架对角线上两个电动机或螺旋桨中心点之间的直线距离，是用来衡量多旋翼无人机尺寸的重要参数，单位为 mm。

分类：常见机架可分为 250mm 轴距级、380mm 轴距级、450mm 轴距级、550mm 轴距级、800mm 轴距级、900mm 轴距级、1000mm 轴距级等类型。



动画-多旋翼无人机轴距定义

(3) 按机架布局分类。

定义：机架布局指多旋翼无人机结构的排布方式。

分类：机架布局一般分为 X 形、I 形、V 形、Y 形、H 形等类型。

2. 飞行平台各部件组成及功能

多旋翼无人机的飞行平台主要包括机臂、电动机安装座、脚架、电池仓、中心板等部件，下面对飞行平台各部件逐一进行介绍。

(1) 机臂。

组成：一般由机臂管和机臂固定座组成，如图 1-1-2 所示，机臂固定座由机臂固定件与机臂压紧件组成，一般先将机臂管放入机臂固定件内，再由机臂压紧件进行定位压紧。装配时为了便于拆装，机臂压紧件通常与上中心板连接。

功能：用于连接中心板和电动机安装座，起支撑电动机，保护线路，电动机定位，走线，固定上、下中心板的作用，具有结构简单且易于拆装的特点。



常见材质：碳纤维、玻璃纤维、塑料、尼龙等。

(2) 电动机安装座。

功能：用于安装电动机，与机臂管连接，起固定电动机的作用，如图 1-1-3 所示。

常见材质：碳纤维、铝合金、塑料、尼龙等。



图 1-1-2 机臂



图 1-1-3 电动机安装座

(3) 脚架。

组成：一般由脚架固定件（连接多旋翼无人机机身）、脚架竖管、脚架三通连接件、脚架横杆、橡胶减震套等组成，如图 1-1-4 所示。

功能：在多旋翼无人机受到地面的作用力时，起保护多旋翼无人机机身和任务载荷的作用。

常见材质：碳纤维、铝合金、塑料、尼龙等。

(4) 电池仓。

组成：通常由电池挂载固定板和结构连接件组成，结构连接件一般有四个，两个为长条形连接件，两个为带开口连接件，如图 1-1-5 所示。带开口连接件一般安装在电池放入的位置，使用电池魔术扎带固定电池。

功能：用于存放多旋翼无人机电池，其能够保证多旋翼无人机电池的安全存放，防止飞行过程中多旋翼无人机电池从高空掉落，早期部分多旋翼无人机的电池只使用电池魔术扎带进行固定，无法保证飞行安全。

常见材质：碳纤维、铝合金、塑料等。



图 1-1-4 脚架



图 1-1-5 电池仓

(5) 中心板。

组成：一般由上中心板、下中心板构成，如图 1-1-6 所示。

功能：为电子设备提供安装位置，并使机臂固定牢靠。



常见材质：碳纤维、塑料、玻璃纤维等。



图 1-1-6 中心板

3. 多旋翼无人机常用材质

多旋翼无人机常用的材质有碳纤维、塑料、铝合金、玻璃纤维、复合材料等，下面对这些材质逐一进行介绍。

(1) 碳纤维。

定义：含碳量在 90%以上的高强度高模量纤维。

用途：经常用于制造多旋翼无人机、航空航天设备等的组成部件。

优点：质量轻、刚度高、耐高温、抗摩擦、导热性强、耐腐蚀等。

缺点：易导电、成本较高、破损后不可修复、制作工艺复杂。

(2) 塑料。

定义：由有机合成树脂和配合材料构成的人造高分子材料。

用途：可用于制作多旋翼无人机的机身外壳和螺旋桨等部件。

分类：按受热程度可分为热固性塑料和热塑性塑料，多旋翼无人机一般采用热固性塑料。

优点：大多数塑料具有质量轻、性能稳定、耐腐蚀、导热性弱、易加工、加工成本低等优点。

缺点：耐热性差，易燃烧、变形、老化。

(3) 铝合金。

定义：以铝为基础，添加一定量其他化学元素形成的合金。

用途：可用于制作要求质量轻又有一定强度的多旋翼无人机部件。

优点：密度低、力学性能好、加工性能好、无毒、易回收、导电性强、导热性强及抗腐蚀性等。

缺点：表面易划伤、易变形。

(4) 玻璃纤维。

定义：一种性能优异的多旋翼无人机非金属材料，其种类繁多。

用途：通常用作复合材料中的增强材料、电绝缘材料和绝热保温材料。

优点：绝缘性好、耐热性好、抗腐蚀性强、机械强度高。

缺点：易折断、耐磨性较差、易受机械损伤等。



(5) 尼龙。

定义：聚酰胺纤维俗称尼龙，是世界上出现的第一种合成纤维。

用途：可用于代替金属制作多旋翼无人机的部分零件。

优点：机械强度高、耐疲劳、软化点高、耐磨性好、耐腐蚀、无毒无臭、质量轻、易加工等。

缺点：耐光性较差，注塑技术要求较高，不耐强酸及氧化剂等。

4. 多旋翼无人机装调耗材和工具

(1) 螺钉。

用途：主要用于将两个或多个工件进行连接，在工业生产制造中应用广泛。

分类：按照头部形状可分为圆柱头螺钉、半沉头螺钉、沉头螺钉、盘头螺钉、半圆头螺钉、六角头螺钉等，如图 1-1-7 所示。

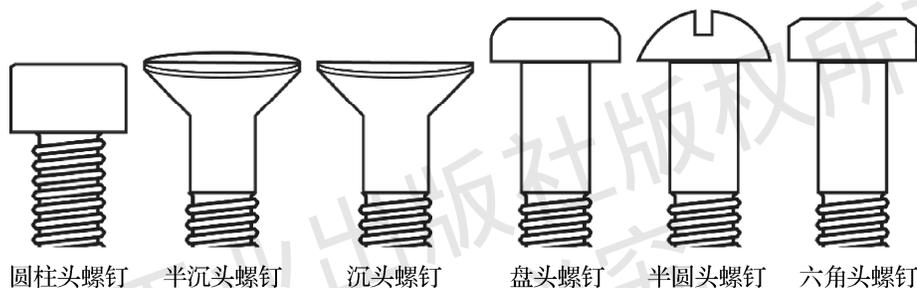


图 1-1-7 螺钉按照头部形状分类

螺钉选用原则如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 螺钉选用原则

螺钉类型	特点	适用环境
圆柱头螺钉	强度高，拧紧力矩大	主要用于结构件之间连接强度高的紧固环境
沉头、半沉头螺钉	1. 带有一字槽或十字槽。 2. 直径规格较小。 3. 强度比圆柱头螺钉低，拧紧力矩比圆柱头螺钉小	主要用于要求安装表面平滑、外形美观或内部结构不允许螺钉头部凸出的紧固环境
盘头螺钉	盘头螺钉头部带有一字槽，便于工具施拧	多用于强度低、拧紧力矩小的场合，一般常见于家用电器
半圆头螺钉	1. 螺钉连接所需的安装空间小。 2. 拧紧力矩极小，易滑丝	多用于空间较小且受力不大的场合，如板状薄壁零件的连接与固定
六角头螺钉	1. 便于使用扳手拧紧，可施加较大的拧紧力。 2. 可利用垫圈增大承压面。 3. 有较好的防松性能	广泛用于钢结构件等连接强度高的零件的连接

螺钉参数：以 M2.5×8 螺钉为例对螺钉参数进行说明，其中 2.5 表示螺纹直径 $d=2.5\text{mm}$ ，8 表示螺纹长度 $L=8\text{mm}$ ，其参数标注如图 1-1-8 所示。

(2) 螺丝刀。

定义：用于拧转螺钉的常用工具，通过嵌入螺钉头部的槽缝或凹口内发挥作用。



分类：常见的螺丝刀有一字、十字、六角等类型，其中六角螺丝刀包括内六角和外六角两种。

使用方法：使用时，用手握住螺丝刀手柄，手心抵住手柄端，将螺丝刀端头对准螺钉头部的凹口，压紧后手腕用力旋转，如图 1-1-9 所示。有些螺丝刀的手柄端带有挂钩加力孔，可用于临时悬挂，也可用于在紧固拆卸过程中增加力臂。



动画-螺丝刀的使用方法

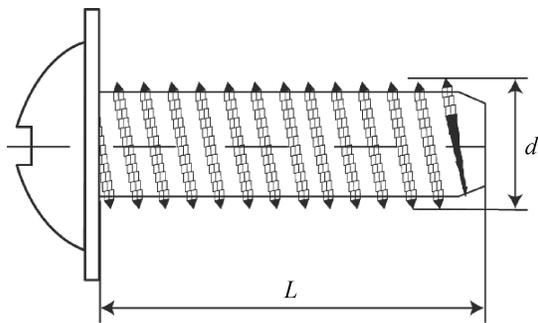


图 1-1-8 螺钉参数标注



图 1-1-9 螺丝刀的使用方法

(3) 水平仪。

定义：一种测量角度的常用量具。

用途：水平仪主要应用于检验平面水平度和设备安装的水平位置及垂直位置。

分类：按水平仪的固定方式不同可分为可调式水平仪和不可调式水平仪。

使用方法：以气泡水平仪为例进行说明，使用时，将气泡水平仪轻放在被测表面，观察气泡位置是否居中。

(4) 直尺。

定义：也称为间尺，具有精确的直线棱边。

用途：用于测量长度和作图，广泛应用于数学、测量、工程等学科。

(5) 螺纹胶。

定义：也称为厌氧胶，是利用氧对自由基的阻聚特性制成的单组分密封黏合剂，既可用于黏结又可用于密封。

用途：螺纹胶具有独特的缺氧胶固化特性，它与氧气或空气接触时不会固化，一旦隔绝空气后就迅速聚合变成胶黏状的固体聚合物。螺纹胶在航空航天、军工、汽车、机械、电子、电气等行业中应用广泛，已成为不可缺少的液体工具。

使用方法：使用时，先将螺纹零件清洗干净，保证零件表面无污渍，然后向螺纹上注射数滴胶液，随后将螺纹零件拧紧，等待 20s 即可紧固密封。

5. 多旋翼无人机装配连接技术

常见的多旋翼无人机装配连接技术主要包括机械连接技术、焊接技术和胶接技术。在多旋翼无人机飞行平台的组装过程中主要使用了机械连接技术。



1) 机械连接技术

定义：通过连接件的机械咬合作用对零部件进行连接的技术。

特点：连接质量好、使用寿命长、可靠性强等。

常见连接方式：螺纹连接和铆接。

(1) 螺纹连接。

定义：将螺栓或螺钉直接拧入被连接件，使多个零件相连接的方式。

特点：结构简单、连接可靠、易于拆卸等。

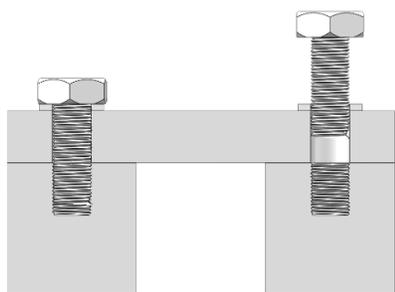


图 1-1-10 螺纹连接

螺纹连接通常先将需要连接的零部件安放在正确位置，然后使用螺钉或螺栓进行连接，如图 1-1-10 所示。

螺栓连接是先对两个被连接件进行通孔处理，然后将螺栓杆垫上垫圈穿过通孔，最后用螺母拧紧的连接方式。螺栓连接结构简单、拆卸方便，适用于需要经常拆卸的连接件。

螺钉连接是将螺钉旋入固定零件，使螺帽顶住零件表面的连接方式。螺钉连接经常用于受力较小、零件不常拆卸的场合。

(2) 铆接。

定义：采用铆钉穿过被连接件，使多个零件铆合连接的方式。

特点：操作简单、便于检查、适用性强等。

铆接通常先在需要铆合的零部件上打孔，然后放入铆钉，用铆钉枪将铆钉铆死。

2) 焊接技术

定义：利用加热、高温或高压的方式进行材料接合的技术。

特点：生产率高且成本低廉。

分类：根据工艺过程的特点可分为熔焊、压焊和钎焊三种。

关于焊接技术的具体内容，将在本项目任务 2 中进行详细介绍。

3) 胶接技术

定义：使用胶黏剂将两个或多个物体进行黏结的技术。

工艺步骤：胶黏剂选择—清洁接触面—涂胶—固化—清理余胶。

特点：工艺简单、外表美观、生产周期短等。

关于胶接技术的具体内容，将在项目二任务 1 中进行详细介绍。



任务实施

一、任务准备

(1) 检查多旋翼无人机飞行平台组装调试的物料（见图 1-1-11）是否齐备，详见配套工作页中的附表 1-1-1。



图 1-1-11 多旋翼无人机飞行平台组装调试的物料

- (2) 检查各部件外观是否有损坏。
- (3) 观看操作视频，学习多旋翼无人机飞行平台组装调试的操作。



操作视频

二、任务操作

1. 任务操作步骤表

本任务的任务操作步骤表如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 任务 1 的任务操作步骤表

序号	操作步骤名称
1	机臂安装
2	电动机安装座安装
3	电池仓侧板与连接件组装
4	电池仓底板安装
5	电池仓后侧板安装
6	电池仓安装
7	脚架固定件安装
8	上中心板安装
9	脚架组装
10	橡胶减震套安装
11	脚架安装固定
12	脚架水平检查调试
13	电动机安装座水平检查调试
14	电池仓安装检查调试
15	检查调试

2. 任务详细操作步骤

步骤 1 机臂安装。

取机臂 4 个、下中心板 1 块、M2.5×6 圆柱头螺钉 16 颗、242 紧固螺纹胶 1 瓶、2.0mm 内六角螺丝刀 1 把。

(1) 将机臂管朝外，机臂压紧件朝上。

(2) 把 4 个机臂分别安装在下中心板上，使用 2.0mm 内六角螺丝刀将螺钉紧固，如图 1-1-12 (a) 所示。

温馨提示：

- ① 拧紧螺钉时，需要给每颗螺钉涂抹 2~3 圈螺纹的紧固螺纹胶。
- ② 螺钉紧固时注意应先预紧，再对角紧固。

步骤 2 电动机安装座安装。

取 M3×20 盘头螺钉 4 颗、M3×10 圆柱头螺钉 4 颗、电动机安装座 4 个、2.0mm 内六角螺丝刀 1 把、2.5mm 内六角螺丝刀 1 把。

(1) 将电动机安装座穿进机臂，并保证电动机安装座的电动机安装面朝上，用 M3×20 盘头螺钉贯穿电动机安装座和机臂通孔并进行紧固。

(2) 用 M3×10 圆柱头螺钉将电动机安装座和机臂夹紧，如图 1-1-12 (b) 所示。

(3) 使用气泡水平仪检查电动机安装座是否水平，若有偏差，则对其进行调整。



(a) 固定机臂

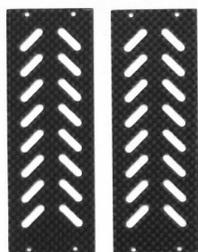


(b) 安装电动机安装座

图 1-1-12 固定机臂并安装电动机安装座

步骤 3 电池仓侧板与连接件组装。

取 M2.5×6 圆柱头螺钉 8 颗、电池仓侧板 2 块、电池仓连接件 4 个，如图 1-1-13 所示。



(a) 电池仓侧板



(b) 电池仓连接件

图 1-1-13 电池仓侧板与电池仓连接件



- (1) 在每块电池仓侧板的一端安装长条形连接件。
- (2) 在另一端安装长条形带开口连接件，如图 1-1-14 (a) 左一所示。

温馨提示：

安装电池仓侧板时，应将电池仓连接件带槽一面紧贴电池仓侧板，避免装反。

步骤 4 电池仓底板安装。

取电池仓底板 1 块、M2.5×6 圆柱头螺钉 4 颗。

将电池仓底板用 4 颗 M2.5×6 圆柱头螺钉安装在电池仓侧板的长条形连接件上，如图 1-1-14 (b) 所示。

温馨提示：

电池仓底板应在电池仓侧板长条形连接件和电池仓侧板平齐的一侧安装。

步骤 5 电池仓后侧板安装。

取电池仓后侧板 1 块、M2.5×6 圆柱头螺钉 2 颗。

将电池仓后侧板与前面组装好的电池仓部件用 M2.5×6 圆柱头螺钉进行连接，如图 1-1-14 (c) 所示。



(a) 电池仓侧板与电池仓连接件组装

(b) 电池仓底板安装

(c) 电池仓后侧板安装

图 1-1-14 电池仓组装

步骤 6 电池仓安装。

取 M2.5×8 圆柱头螺钉 4 颗。

将电池仓开口朝向机尾方向，并固定到下中心板下方，如图 1-1-15 所示。

步骤 7 脚架固定件安装。

取脚架固定件 2 个、M3×6 圆柱头螺钉 6 颗。

将脚架固定件用 M3×6 圆柱头螺钉安装在下中心板上，如图 1-1-16 所示。



图 1-1-15 将电池仓固定到下中心板下方

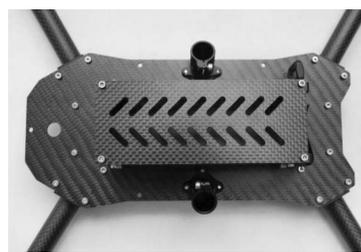


图 1-1-16 脚架固定件安装



步骤 8 上中心板安装。

取上中心板 1 块、M2.5×6 圆柱头螺钉 16 颗。

(1) 将上中心板和下中心板的方向对应。

(2) 将上中心板用 M2.5×6 圆柱头螺钉进行紧固，如图 1-1-17 所示。

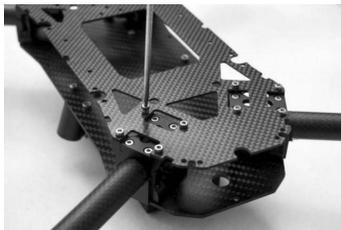


图 1-1-17 上中心板安装

温馨提示：

安装上中心板时，螺钉使用较多，一定要先进行预紧，再使用对角紧固法依次对其进行紧固，避免螺钉紧固不到位。

步骤 9 脚架组装。

取脚架横杆 2 根、脚架竖管 2 根、脚架三通连接件 2 个、M3×10 圆柱头螺钉 4 颗。

(1) 将 2 根脚架横杆与脚架三通连接件进行连接。

(2) 将脚架三通连接件与脚架竖管进行连接，使脚架三通连接件位于脚架横杆的中间位置。

(3) 使用 M3×10 圆柱头螺钉进行紧固，如图 1-1-18 (a) 所示。

温馨提示：

① 较短的碳纤维管是脚架竖管，较长的碳纤维管是脚架横杆。

② 安装脚架三通连接件时，螺钉应从平面向凸起一面安装。

步骤 10 橡胶减震套安装。

取橡胶减震套 4 个。

将橡胶减震套分别安装在脚架横杆两端，如图 1-1-18 (b) 所示。

步骤 11 脚架安装固定。

取 M3×6 圆柱头螺钉 2 颗。

(1) 将固定好的 2 根脚架竖管依次安装到脚架固定件上。

(2) 使用 M3×6 圆柱头螺钉进行紧固，脚架安装完成后的效果如图 1-1-18 (c) 所示。



图 1-1-18 脚架安装过程及效果展示



步骤 12 脚架水平检查调试。

- (1) 使用气泡水平仪校准桌面。
- (2) 将脚架放置在水平桌面上，平视目测检查左、右脚架是否在同一水平面，若不在同一水平面，则应检查脚架安装得是否正确。

步骤 13 电动机安装座水平检查调试。

- (1) 使用气泡水平仪校准桌面。
- (2) 将多旋翼无人机放置在水平桌面上，使用气泡水平仪检查电动机安装座是否水平，若有偏差，则松开电动机安装座螺钉对其进行微调后，再重新紧固。

步骤 14 电池仓安装检查调试。

检查电池仓的开口方向是否正确，若有错误，则对其进行纠正。

步骤 15 检查调试。

检查飞行平台各部件安装得是否牢固，连接用的螺钉是否紧固、是否有缺失。如果发现松动的螺钉，应再次紧固，若有必要，也可以使用螺纹胶进行紧固密封。

通过以上步骤，就完成了多旋翼无人机飞行平台的组装调试。



快速测试

1. 完成本任务需要几个步骤？
2. 安装上中心板共需几颗 M2.5×6 圆柱头螺钉？
3. 电池仓开口朝向哪里？
4. 如何区分脚架竖管与脚架横杆？
5. 哪些步骤需要用到气泡水平仪？



任务总结

通过本任务学习了多旋翼无人机飞行平台的功能及分类、各部件组成及功能、常见材质、装调耗材和工具，以及多旋翼无人机飞行平台组装调试的具体操作步骤及注意事项，掌握了多旋翼无人机飞行平台组装调试方法，为多旋翼无人机组装调试项目的后续任务积累了丰富的知识与实践操作技能。



强化提升

1. 通过网络调研国内外常见的四轴多旋翼无人机，并从中选取三个不同品牌，分别从结构、材质、工艺等方面对其进行分析，撰写调研报告。
2. 通过研究报告的形式梳理日本纺织产业向碳纤维原材料产业转移升级的历史资料，探究我国近年来实现碳纤维产业快速突破的原因。

任务2 多旋翼无人机动力系统组装调试

任务导入

多旋翼无人机动力系统是多旋翼无人机的关键组成部分,其组装调试质量将直接影响多旋翼无人机整机操控性和稳定性,是多旋翼无人机任务执行状态与飞行状态好坏的决定性因素。

任务目标

知识目标

1. 了解多旋翼无人机动力系统中各部件的分类、组成、原理与功能。
2. 掌握多旋翼无人机电动机、电调、电池和螺旋桨常用参数的含义。
3. 掌握多旋翼无人机动力系统的组装调试工艺。



动画-无人机动力系统组成

技能目标

1. 能够完成多旋翼无人机动力系统中各部件的焊接。
2. 能够按照要求完成多旋翼无人机动力系统的整体装配。
3. 能够按照要求完成多旋翼无人机动力系统的联调。

素养目标

1. 通过小组分工合作,培养团队合作精神。
2. 通过焊接时对安全规范的严格把控,树立学生的安全操作意识。
3. 通过对组装调试过程细节的把控,培养学生精益求精的职业素养。

建议课时

8 课时。

任务分析

动力系统的运转状态直接决定着完成装调后多旋翼无人机的飞行品质。想要动力系统拥有最佳工作状态,需要使动力系统螺旋桨、电动机、电调与电池高度匹配,操作人员应在装配与调试过程中一丝不苟。为实现这样的目标,本任务进行了多旋翼无人机动力系统基础知识的介绍,使学生了解多旋翼无人机动力系统常用参数的含义,多旋翼无人机动力系统的工作原理及组装调试工艺,完成组装调试过程中的部件焊接,按照任务操作步骤与要求进行多旋翼无人机动力装置的组装调试,最终高质量地完成多旋翼无人机动力系统的组装与调试。

知识教学

一、多旋翼无人机动力系统基础知识

1. 电动机基础知识

1) 电动机的定义

定义:电动机俗称马达,是依据电磁感应定律实现将电能转换为机械能的一种电磁装置。



多旋翼无人机动力系统基础知识

作用：将电能转换为机械能。电动机在工作过程中通过旋转带动桨叶，使多旋翼无人机产生升力或推力。通过对电动机转速的控制，使多旋翼无人机完成飞行姿态的变化。

2) 电动机的分类

电动机可分为有刷电动机和无刷电动机，如图 1-2-1 所示。有刷电动机在多旋翼无人机领域已较少使用，目前大多数多旋翼无人机采用无刷电动机。



(a) 有刷电动机



(b) 无刷电动机



动画-无人机电动机的分类

图 1-2-1 电动机

(1) 有刷电动机。

目前，有刷电动机技术已非常成熟，其内部含有碳刷。有刷电动机在工作时，通过线圈、换向器转动，以及磁钢、碳刷固定不动产生电流换向，进而持续转动。

优点：启动快、制动快、控制电路相对简单等。

缺点：有刷电动机中的碳刷在电动机转动时会产生电火花，碳刷因产生摩擦力而导致有刷电动机噪声大、效率低、寿命短。



动画-有刷电动机的特点

(2) 无刷电动机。

无刷电动机是去除了碳刷及换向器，使用交流电进行驱动旋转的电动机。

优点：无刷电动机在工作时不会产生电火花，具有可靠性强、运行声音小、寿命长、效率高等优点。

缺点：无刷电动机在高磁场环境下容易失效，相比于有刷电动机，其价格较昂贵。



动画-无刷电动机的特点

有刷电动机与无刷电动机优缺点对比如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 有刷电动机与无刷电动机优缺点对比

类型	优点	缺点
有刷电动机	启动快、制动快、控制电路相对简单	噪声大、寿命短、效率低
无刷电动机	运行声音小、可靠性强、寿命长、效率高	在高磁场环境下容易失效、价格相对昂贵

3) 电动机的转动原理

给电动机通电，线圈产生的磁场与外圈磁铁的磁场同性相斥，通过异性相吸的作用力带动电动机转动。如 N 极的磁体会永远追随 S 极，通过不断改变内部磁场，使转子追随磁极变化产生动能，进而持续转动。

2. 电调基础知识

1) 电调的定义

电调是电动机的调速系统。多旋翼无人机电调的主要作用是将直流电转换为交流电，并根据飞控系统的信号控制电动机的转速。

2) 电调的分类

根据电动机类型的不同，电调可分为有刷电调和无刷电调。有刷电调输出的是直流电，搭配有刷电动机使用；而无刷电调输出的是三相交流电，搭配无刷电动机使用。多旋翼无人机常采用无刷电调驱动电动机。根据外观结构的不同，无刷电调可分为单体无刷电调和多合一无刷电调，如图 1-2-2 所示。



图 1-2-2 无刷电调

3) 无刷电调的工作原理

当稳压电源或锂电池为电调输入直流电时，电调内部电路根据接收机的信号，控制电调单位时间内交流电的转换频率与通电时间，进而对电流做出适当的调控后，将其转换为三相交流电输出到电动机，以实现电动机的启停和转速调整控制。

3. 电池基础知识

1) 电池的定义

电池是能够进行电能储存和输出的装置，具有正极、负极之分。

2) 电池能量转化原理

简单来说，电池就是把化学能直接转化为电能的装置。电池在工作时，电流由正极经过外电路流到负极，而在电池内，正、负离子则分别向两极迁移，电流从负极流到正极，进而释放电能。

3) 电池的分类

(1) 按电池使用次数分类。

按照电池的使用次数不同，电池可分为一次性电池和可充电电池。使用过后其寿命终止，无法再次使用的电池为一次性电池；可重复充电使用的电池为可充电电池，也称为二次电池，如镍氢电池、锂离子电池等。

(2) 按电池形状分类。

按电池的形状不同，电池可分为纽扣电池、圆柱电池、方形电池。

(3) 按电池材料分类。

按电池的材料不同，电池可分为镍镉电池、镍氢电池、锂离子电池及锂聚合物电池等。

4. 螺旋桨基础知识

1) 螺旋桨的定义

螺旋桨是依靠桨叶在空气或水中旋转，将电动机转动功率转化为推进力的装置。

2) 螺旋桨的组成

螺旋桨由桨叶和桨毂两部分组成，如图 1-2-3 所示。

桨叶：桨叶是螺旋桨产生推进力的构件，常用的有两叶、三叶和四叶等。

桨毂：桨毂是桨叶与桨轴的连接构件。有些螺旋桨还安装有导流罩（流线型桨帽），以降低螺旋桨的工作阻力。

3) 螺旋桨的工作原理

螺旋桨转动时会和空气产生能量交换，将空气下压产生向上的反作用力，即升力，当升力大于多旋翼无人机的自身重力时，多旋翼无人机就起飞了。

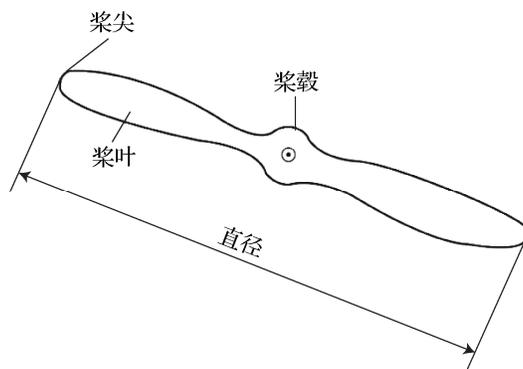


图 1-2-3 螺旋桨的组成

二、多旋翼无人机常用动力系统

1. 多旋翼无人机常用电动机

1) 无刷电动机的结构及特点

结构：无刷电动机主要由永磁体转子、多极绕组定子组成，电动机的转子在外层，其内侧有两个永久性磁铁（一个是 N 极，一个是 S 极）。定子内部是固定的，其由多个线圈（电磁铁）组成，如图 1-2-4 所示。无刷电动机内部还有位置传感器、转轴、轴承、硅钢片等部件。



多旋翼无人机
常用动力系统

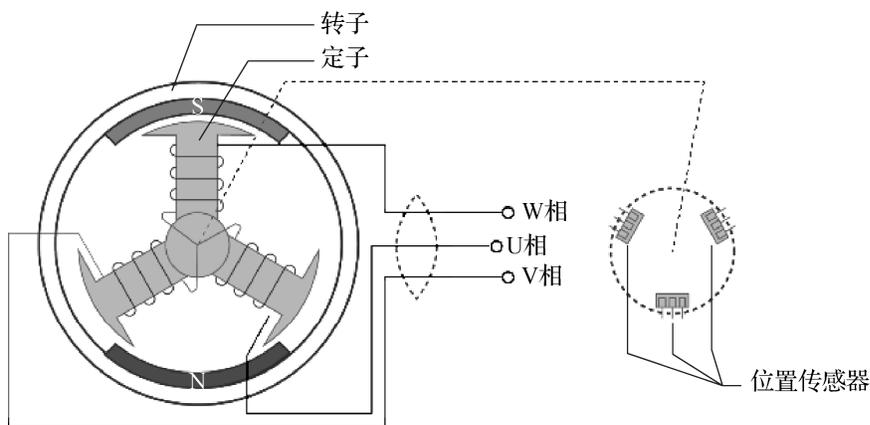


图 1-2-4 无刷电动机内部图

无刷电动机的内部结构及特点如下。



- ① 转子：转子的内侧安装有永久性磁铁，是无刷电动机的重要组成部分。
- ② 定子：定子由多个线圈构成，主要作用是利用交变电流改变内部磁场。
- ③ 转轴：转轴是转子的直接受力部位，转轴的硬度必须满足转子高速旋转的要求。
- ④ 轴承：轴承是无刷电动机平稳运行的保障，可分为滑动轴承和滚动轴承。
- ⑤ 位置传感器：位置传感器又称为霍尔传感器，其主要功能为确定转子的位置。
- ⑥ 硅钢片：它在整个系统中的作用主要是降低磁阻，参与磁路运转。

2) 无刷电动机的工作原理

通过给定子线圈输入交流电，使内部线圈产生磁极，线圈的磁极随着交流电的电平变化而不断发生变化，这时无刷电动机由于磁场异性相吸就开始不断转动，如图 1-2-5 所示。无刷电动机定子线圈的通电时间和相邻绕组电平的转换速度（频率）决定了无刷电动机的转动速度。

2. 多旋翼无人机常用电调

1) 无刷电调简介

无刷电调输入端通常有四根线，两根分别与电源正、负极连接，另外两根为电调信号线和地线，与飞控系统连接。有的无刷电调输入端有三根线，具有 BEC 供电功能。无刷电调输出端有三根线，它们与电动机的输入线相连。多旋翼无人机多采用无刷电调，如图 1-2-6 所示。



图 1-2-5 无刷电动机工作原理图



图 1-2-6 无刷电调

2) 无刷电调的功能

无刷电调主要具有调节电动机转速、直流变交流、BEC 供电、刹车保护、启动保护、超温保护、油门信号丢失保护、过载保护、编程等功能。

(1) 调节电动机转速。

无刷电调可以根据控制信号调节电动机的转速。

(2) 直流变交流。

无刷电调具有把输入的直流电转换为三相交流电输出的功能。

(3) BEC 供电。

BEC 是电调里可以对电池电压进行转换的模块，其能够在信号线的正、负极之间形成 5V 左右的电压，通过信号线传输给接收机等设备使用。



动画-无刷电调
的功能



(4) 刹车保护。

若油门摇杆拉到最低位置，此时油门为零，电调将会立刻启动刹车功能，电动机将迅速停止转动。

(5) 启动保护。

当油门启动后，如果 2s 内未能正常启动电动机，那么电调将会停止工作。

(6) 超温保护。

当电调的工作温度超过 110℃ 时，电调会降低输出功率，但不会关闭全部输出功率，最大限度只降到全功率的 40%，以保证电动机仍有动力。当电调的工作温度下降后，电调会逐渐恢复最大动力。

(7) 油门信号丢失保护。

当检测到油门信号丢失 1s 后，电调开始降低输出功率，直到信号恢复或输出功率降为零。

(8) 过载保护。

当螺旋桨或电动机出现堵转等情况，导致负载突然变得很大时，电调会启动过载保护。

(9) 编程。

无刷电调能够进行编程设定，完成预定功能和参数设置。

3) 多合一无刷电调

定义：多合一无刷电调将多块单体无刷电调合成一块，将电动机线和电源线焊接完成后，即可使用。

特点：多合一无刷电调具有集成度高、质量轻、装机布线简单等特点。在电调选型过程中，若需避免复杂的线路排布或降低整机质量，可考虑采用多合一无刷电调。

多合一无刷电调与单体无刷电调的区别如表 1-2-2 所示。

表 1-2-2 多合一无刷电调与单体无刷电调的区别

类型	多合一无刷电调	单体无刷电调
维护成本	维护成本较高，一旦电调某一支损坏就需要更换整个电调	维护成本较低，一旦出现损坏，只需要换掉损坏的电调即可
安装难易程度	安装相对简单，把电动机直接焊接到电调上即可使用	安装相对复杂，需要对多组电源线和信号线进行连接
安装空间选择	安装时要考虑是否有足够的安装空间	对机臂有尺寸要求，较难安装到窄机臂的机架上

3. 多旋翼无人机常用电池

1) 多旋翼无人机常用电池及其特点

(1) 锂聚合物电池。

锂聚合物电池与常规电池相比，具有能量密度大、体积小、质量轻等特点。考虑到电池的质量和效率，多旋翼无人机使用的电池多为锂聚合物电池。

(2) 锂离子电池。

锂离子电池常用在手机和笔记本电脑中。与镍镉电池、镍氢电池相比，锂离子电池具有

储电量更大、质量更轻、使用寿命更长，以及充电时间短且几乎没有记忆效应等优点，但其价格更加昂贵，安全性能低。

2) 不同类型电池的优缺点

不同类型电池的优缺点对比如表 1-2-3 所示。

表 1-2-3 不同类型电池的优缺点对比

序号	电池类型	优点	缺点
1	锂电池	能量高、小型化、轻量化、放电电流大、单片电池电压大	导电性能差、低温性能差、锂电池组寿命短
2	铅酸电池	电压稳定、价格便宜、维护简单、质量稳定、可靠性高	体积大、寿命短、成本高、充电时间长、存在污染、日常维护频繁
3	镍镉电池	技术成熟、价格低廉	对环境有污染、电池容量较小、寿命短、具有记忆效应、充放电操作烦琐
4	镍氢电池	储能高、质量轻、使用寿命长、对环境无污染、无记忆效应	充电效率低、标称电压低、自放电大、材料成本高
5	石墨烯电池	储电量高、充电时间短、使用寿命长、质量轻	工艺特性不兼容、石墨烯成本高、工艺不成熟

3) 多旋翼无人机锂电池简介

(1) 电芯。

电芯是电池的核心，如图 1-2-7 所示。电芯的性能直接体现了电池的关键指标。

(2) 电源线。

多旋翼无人机锂电池的电源线有两根，一正一负，主要用于电池的充放电。

(3) 平衡线。

平衡线用于检测各电芯电压，也在充电过程中用于平衡电压。

4) 多旋翼无人机智能电池

(1) 定义。

智能电池是包含电池管理系统(BMS)的电池。它通常用于需要实时跟踪电池状态的设备，如移动设备和多旋翼无人机。

(2) 功能及特点。

功能：多旋翼无人机智能电池一般具有低温自热、健康自查、智能保护、自放电、异常记录、防火、防水、防尘、充电保护等功能。

特点：①多旋翼无人机智能电池可以根据需要启动智能存储功能，放电至存储电压，确保电池存储安全；②多旋翼无人机智能电池可以根据环境条件的变化修改其充电算法，从而延长其使用寿命；③多旋翼无人机智能电池可以记录电池历史，包括循环次数、使用模式和维护要求。



图 1-2-7 电芯

(3) 多旋翼无人机智能电池与普通电池的区别。

多旋翼无人机智能电池与普通电池在电池信息查看、电池保护功能、自放电和自检功能等方面存在一定的区别。

5) 常用的电池插头及适用场景

常用的电池插头包括 T 形插头、XT60/XT90 插头、AS150 插头和 JST 插头，如图 1-2-8 所示。



图 1-2-8 常用电池插头

(1) T 形插头。

T 形插头由两个导电的金属部分组成，呈 T 形。其主要适用于车辆模型、多旋翼无人机、医疗线材、音响及配件、高端锂电池等高端产品。

(2) XT60/XT90 插头。

XT60 插头里面是 3.5mm 的香蕉头，XT90 插头的外观与 XT60 插头一样，只是尺寸大一号，里面是 4.5mm 的香蕉头。

(3) AS150 插头。

AS150 插头采用 7mm 超大规格低阻抗镀金香蕉头，并且在公插头内嵌入了电阻，防止产生火花。

(4) JST 插头。

JST 插头是一种小电流插头。

4. 多旋翼无人机常用螺旋桨

多旋翼无人机常用的螺旋桨包括碳纤维螺旋桨、塑料螺旋桨等，如图 1-2-9 所示。

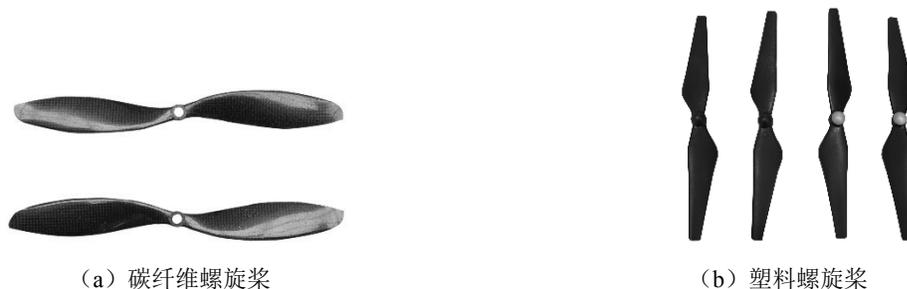


图 1-2-9 多旋翼无人机常用的螺旋桨

(1) 碳纤维螺旋桨。

优点：质量轻、抗张强度高、耐摩擦等。

缺点：材料无法修复、加工困难、制作成本高等。

(2) 塑料螺旋桨。

优点：易于加工、成本低、模具加工精度高、质量轻等。

缺点：强度低，易断桨等。

(3) 不同材质的螺旋桨对比。

不同材质的螺旋桨对比如表 1-2-4 所示。



动画-常见材质的无人机螺旋桨

表 1-2-4 不同材质的螺旋桨对比

材质	优点	缺点	适用场景
碳纤维	质量轻、抗张强度高、耐摩擦	材料无法修复、加工困难、制作成本高	要求抗张强度较高且质量较轻的场景
塑料	易于加工、成本低、模具加工精度高、质量轻	强度低、易断桨	加工要求简单且要求成本较低的场景
木质	稳定、振动小、噪声低、厚度大、升力大	制作工艺烦琐、成品精度低、后期维护麻烦、易受天气影响	要求稳定性较高且噪声较低的场景
尼龙	易于加工、成本低、模具加工精度高、质量轻、韧性好	不够坚硬、强度低、易断桨、不适用于重载螺旋桨	加工要求简单且要求成本较低、质量较轻的场景

(4) 快拆桨、自紧桨和普通桨。

螺旋桨按安装方式不同，可分为快拆桨、自紧桨和普通桨。

快拆桨：电动机上装有桨座，用卡扣将螺旋桨夹紧。快拆桨的优点是安装方便；缺点是结构复杂、寿命短、价格高。

自紧桨：螺母与螺旋桨结合，螺旋桨转动时的风阻使其紧固。自紧桨的优点是安装方便，成本相对较低；缺点是在高速制动时，反向扭矩可能导致射桨（螺旋桨自行飞出电动机轴）。

普通桨：螺旋桨穿过电动机轴，用固定螺母紧固。普通桨比较常见，其优点是成本低，种类多；缺点是安装复杂。



多旋翼无人机动力系统常用参数

三、多旋翼无人机动力系统常用参数

1. 多旋翼无人机电动机常用参数

电动机的常用参数有型号、KV 值、最大电流/功率、极对数和定子槽数等。

(1) 型号。

电动机型号一般用 4 位数字表示，以 2212 无刷电动机为例，前两位数字 22 代表无刷电动机定子的直径，后两位数字 12 表示无刷电动机定子的高度，单位均为 mm。

(2) KV 值。

KV 值即转速/电压，指的是电动机输入电压增加 1V，电动机每分钟空转转速的增加值。高 KV 值的电动机适用于低电压、高转速的工作环境，且应选择直径较小的螺旋桨；低 KV 值的电动机适用于高电压、低转速的工作环境，且应选择直径较大的螺旋桨。



(3) 最大电流/功率。

电动机工作的最大电流/功率，即电动机工作所能够承受的安全电流/功率是有限的，电流以安培(A)为单位，功率以瓦特(W)为单位。当工作电流/功率超过了电动机的安全电流/功率时，电动机很容易烧毁。

(4) 极对数和定子槽数。

选择无刷电动机时，首先选择极对数 P ，然后选择定子槽数 Z 。无刷电动机的最高转速和电子驱动器可承受的最高工作频率决定了极对数 P 的选择范围。若选择的极对数 P 较大，则得到较低的齿槽转矩、较高的绕组系数；若选择的定子槽数 Z 较大，则集中绕组线圈端部尺寸较小，绕组电阻有可能降低。

2. 多旋翼无人机电调常用参数

(1) 尺寸和质量。

电调的尺寸主要包括电调的长、宽、高及导线的长度，电调的质量是指电调及电调连接线的质量。

(2) 输入电压。

电调的输入电压表示电调所支持的最高电压，其决定了适用电池的电压值。例如，电调上标有2S-6S LiPo字样说明此电调适用于2S~6S锂电池。

(3) 持续工作电流。

持续工作电流是指电调可以持续工作的电流，超过该电流可能导致电调因过热而烧毁。

(4) 最大瞬间电流。

最大瞬间电流表示允许流经电调本身的最大电流值，是确保电动机堵转时电调不被烧毁的重要参数。

(5) BEC 输出。

电调上通常会带有BEC字样，它表示电调能从电调信号线向外输出供电，并且这个输出电压不会因动力电池电压的下降而发生改变。

电调参数标注方式示例如图1-2-10所示。

3. 多旋翼无人机电池常用参数

(1) 电压。

电压分为额定电压、开路电压、工作电压和充电电压等，单位为伏特(V)。额定电压指电池工作时的标准电压；开路电压指无负载情况下的电池电压；工作电压指电池在负载工作情况下的放电电压。

(2) 电池容量。

电池容量指电池能够储存的电量，单位为毫安时(mAh)。

(3) 电池充放电倍率。

电池充放电倍率代表电池的充放电能力，电池充放电倍率=充放电电流/额定容量，单位为C，例如，额定容量为10Ah的电池用10A放电时，其放电倍率为1C。



(4) 电芯组合方式。

电池通常由多个电芯串、并联而成，如图 1-2-11 所示。电芯的数量单位为 S，电芯的组数单位为 P。



图 1-2-10 电调参数标注方式示例



图 1-2-11 多旋翼无人机电池



动画-无人机电池
参数“S”与“P”



动画-无人机螺旋
桨参数

4. 多旋翼无人机螺旋桨常用参数

(1) 直径。

定义：直径指的是在螺旋桨全部展开的状态下，两个桨尖之间的直线距离。

选用原则：一般情况下，直径增大，螺旋桨拉力也增大，效率随之提高。所以在结构允许的情况下，应尽量选用直径较大的螺旋桨。

(2) 旋转方向。

分类：俯视顺时针旋转的螺旋桨叫作反桨，也叫作顺桨，可用 MRP、CW、R 表示；俯视逆时针旋转的螺旋桨叫作正桨，也叫作逆桨，可用 MR、CCW、L 表示。

参数：可用在桨叶上刻字的方式区分正反桨，桨叶上刻有螺旋桨型号、规格字样，如 10×5.5MR。若一个桨叶上的刻字是 10×5.5MRP，则该螺旋桨是反桨。螺旋桨生产厂家不同，区分正桨、反桨的字母也不同，有些生产厂家以 CCW 和 CW 来区分，有些生产厂家以 L 和 R 来区分。

(3) 螺距。

① 几何螺距。

定义：当桨叶剖面迎角为零时，桨叶旋转一周多旋翼无人机所前进的距离。

意义：它反映了桨叶角的大小。桨叶各剖面的几何螺距可能是不相等的，习惯上将 70%直径处的几何螺距作为名称值。

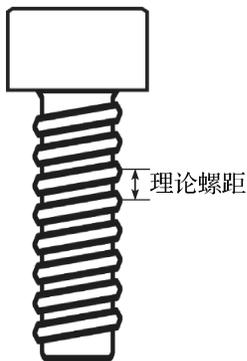


图 1-2-12 螺旋桨的理论螺距

② 实际螺距。

定义：桨叶旋转一周多旋翼无人机所前进的距离。

③ 理论螺距。

意义：设计螺旋桨时必须考虑理论螺距，理论螺距大于实际螺距，空气流过螺旋桨时速度增加，流过螺旋桨旋转平面的气流速度大于飞行速度。

定义：螺旋桨相对空气而言所前进的距离，如图 1-2-12 所示。

螺旋桨参数一般由字母+英制单位的四位数表示，字母一般表示厂家，字母后的前两位数字表示螺旋桨的直径，后两位数字表示螺旋桨的螺距。螺旋桨螺距的单位是英寸，1英寸约等于2.54cm。

温馨提示：

若螺旋桨参数四位数字中的前两位大于40，则要除以10，后两位数字在任何情况下都除以10。以1060螺旋桨为例，10表示该螺旋桨的直径是10英寸，60表示螺旋桨螺距，由于多旋翼无人机的螺旋桨螺距很少有超过30英寸的，所以该螺旋桨的螺距是6.0英寸。

(4) 桨叶数目。

定义：桨叶数目指螺旋桨桨叶的数量。

(5) 桨叶角。

定义：桨叶角随螺旋桨半径的变化而变化，其变化规律是影响螺旋桨工作性能最主要的因素之一，螺距是桨叶角的另一种表示方法。



动画-无人机螺旋桨桨叶数目

四、多旋翼无人机动力系统选用原则

1. 多旋翼无人机电动机选用原则

根据电动机的功率选用：多旋翼无人机在进行电动机的选用时，首先要考虑多旋翼无人机的整体重量（包括电池）。除此之外，还要考虑电动机的功率及拉力。选用电动机时，拉力的合力一般要大于多旋翼无人机整机重量的2.5倍，合力过小或者多旋翼无人机重量过大会导致电动机烧坏。

根据电动机的KV值选用：KV值高的电动机反应更加灵敏，需要安装小桨叶，适合穿越机等小轴距多旋翼无人机；KV值低的电动机扭矩大，可以驱动更大的桨叶，同时电动机低速工作时的振动小，适合专业航拍无人机、农业植保机等大型机。常用电动机KV值与机架尺寸的配置如表1-2-5所示。



多旋翼无人机电动机系统选用原则

表 1-2-5 常用电动机 KV 值与机架尺寸的配置

常用电动机 KV 值	机架尺寸/mm
1000 左右	350~450
2000 左右	250
3000 左右	180

2. 多旋翼无人机电调选用原则

选用电调时，应遵循以下原则。

- (1) 电调的最高电压要比电动机能够承受的最大电压小。
- (2) 电调能承受的最大电压要高于电池电压。
- (3) 电调的输出电流要高于电动机电流。
- (4) 电调的最大持续输出电流要低于电池持续输出电流。
- (5) 选用电调时，要考虑其尺寸，确认其是否能放到机臂中。



3. 多旋翼无人机电池选用原则

(1) 电池类型选用。

多旋翼无人机使用的电池通常为锂聚合物电池。

(2) 电池插头选用。

多旋翼无人机电池插头通常根据需要承受的电流进行选用，常使用 XT60 插头、XT90 插头等。其中“60”表示安全电流为 60A，“90”表示安全电流为 90A。

(3) 电池充放电倍率选择。

电池的充放电能力，即最大的持续输出电流=额定电池容量×充放电倍率。如 3S/2200mAh/20C 电池的最大持续输出电流为 $20 \times 2200 = 44000\text{mA} = 44\text{A}$ ，如果该电池长时间在超过 44A 的电流下工作，电池的寿命会变短。

4. 多旋翼无人机螺旋桨选用原则

空中高速飞行的多旋翼无人机所使用的螺旋桨主要以大直径、小桨距为主。但需要注意的是，相同电动机的 KV 值不同，用的螺旋桨也不一样。相对来说，螺旋桨配置得过小，不能发挥最大推力；螺旋桨配置得过大，电动机会过热、退磁，造成电动机性能的永久下降。螺旋桨选用原则概览如表 1-2-6 所示。

表 1-2-6 螺旋桨选用原则概览

电动机型号	适用锂电池节数	KV 值	螺旋桨	转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	最大电流/A
2203	2S	1560	8043	6500	6.8
2205	2S	1660	8043	15140	8
2210	2S	1780	8040	11200	13
2212	3S	905	1047	7450	12
2218	3S	930	1147	7000	17
2812	3S	970	1155	7940	21
2815	3S	1100	1155	9400	36
2820	4S	850	1260	8700	41
2826	4S	710	1470	7600	51
3520	4S	925	1260	9800	65
3526	5S	710	1370	9580	57
4020	6S	470	1610	6820	65
4030	6S	420	1680	8100	60
5325	8S	260	2010	6300	80
5345	10S	170	2412	6380	75
5345	12S	170	2410	6500	80

五、多旋翼无人机常用动力系统的使用

1. 常用电动机的固定方法

(1) 电动机的固定方法。

为了使无刷电动机能够稳定地固定在机臂上，通常利用电动机安装座将电动机固定，用螺



多旋翼无人机常用
动力系统的使用

钉进行紧固。

(2) 常用螺旋桨的固定方法。

常用螺旋桨的固定方法可分为快拆式桨叶固定、自紧式桨叶固定、普通式桨叶固定、螺钉紧固式桨叶固定等，涉及的相关部件如图 1-2-13 所示。



图 1-2-13 常用螺旋桨固定方法涉及的相关部件

快拆式桨叶固定：需要在电动机上安装一个快拆桨夹，使用卡扣将螺旋桨卡紧。其优点是安装便利，缺点是寿命短，长时间使用时会导致电动机桨座里的弹簧性能减弱，进而导致螺旋桨卡不紧。

自紧式桨叶固定：自紧式电动机上自带螺杆，螺旋桨上带有螺纹，可以将螺旋桨直接安装到自紧式电动机上，其安装便利，成本相对较低。

普通式桨叶固定：需将螺旋桨穿过普通式电动机轴安装杆，用固定螺钉将螺旋桨卡紧。

螺钉紧固式桨叶固定：安装时需要在螺钉紧固式电动机上方安装垫片，安装螺旋桨后使用螺钉进行紧固。

2. 常用电调的连接与固定方法

一般单体电调的连接与固定由电调焊接、电调布线、电调与电动机连接、电调固定等步骤组成。

① 电调焊接：逐一对电调进行焊接，焊接时应尽可能地将电调分布在分电板两侧。

【注意】电调红线（正极）和黑线（负极）在分电板上的焊接位置要准确，并涂上绝缘胶。

② 电调布线：电调布线时应尽量确保电调与各机臂的距离相等，保证分电板处于下中心板的中心位置。

③ 电调与电动机连接：将电调与电动机进行连接，电动机和电调连接时通常采用香蕉头，特殊情况也会采用航空插头。

④ 电调固定：对电调进行固定，尽可能选择散热较好的位置。

3. 常用电池的使用基础知识

(1) 电池充放电。

① 充电。

充电电流：充电电流不得超过规定的最大充电电流。

充电温度：电池必须在规定的工作温度范围内进行充电，当电池表面温度异常（电池表面温度超过 50℃）时，应立即停止充电。



② 放电。

放电电流：放电电流不得超过规定的最大放电电流。

放电温度：电池必须在规定的工作温度范围内放电，当电池表面温度超过 70℃ 时，要暂时停止使用。

过放电：过放电会导致电池损坏，放电时不得使单片电芯的电压低于 3.6V。

(2) 电量检测。

多旋翼无人机电量检测的主要工具是测电器，其主要功能是电压显示和低电压报警，可自动检测电池每个电芯的电压和总电压，当电池电压低于设定值时，报警器就会响起，且 LED 灯闪烁。

(3) 电池位置调整。

一般来说，多旋翼无人机的电池需要在多旋翼无人机重心点居中放置。

(4) 电池通电。

通电前：检查多旋翼无人机电池安装得是否正确，电池电量是否充足，电池有无破损、鼓包、胀气、漏液等现象。

飞行中：检查电池剩余电量等重要信息，及时做出预判。

降落后：及时切断多旋翼无人机电源，检查电池电量。

(5) 电池储存。

多旋翼无人机的电池应在阴凉的环境中储存，长期存放电池时（超过 3 个月），建议置于温度为 10℃~25℃ 且无腐蚀性气体的环境中。电池在长期储存过程中应每 3 个月充放电一次以保持电池活性，并保证每个电芯的电压在 3.75~3.85V 范围内。

(6) 电池日常使用注意事项。

① 电池请勿过放电。电池刚开始放电时，电压下降速度较快，放电到 3.7~3.9V 时，电压下降速度放缓。但一旦降至 3.7V 以后，电压下降速度就会加快，可能会导致电池过放电，轻则损伤电池，重则因电压太低而“炸机”。

② 气温过高或过低时切勿强制飞行。多旋翼无人机在起飞之前，若气温过低，则电池要保存在温暖的环境中，如房屋内、车内、保温箱内。

(7) 报废电池处理。

国际上通用的报废电池处理方式大致有三种，分别是固化深埋、存放于废矿井、回收利用。

4. 常用螺旋桨的使用

(1) 螺旋桨使用前检查。

① 外观检查。

检查螺旋桨的桨叶曲度是否正常，螺旋桨是否有裂纹和凹陷，螺旋桨表面是否光滑等。

② 静平衡检查。

当螺旋桨每一桨叶的质量或相邻两桨叶间的夹角不等时，就会出现整个螺旋桨重心不在旋



动画-螺旋桨使用前检查



转轴线上的不平衡现象。若不加以平衡就会影响螺旋桨的工作性能，产生振动。

检查方法：在螺旋桨锥孔中心装一根轴，把轴的两端放在水平的滚珠轴承支架上，使螺旋桨能自由转动并自行停止，这时较重的桨叶总是向下。若在较轻的桨叶上加上某一重物（如将黏泥贴在较轻的桨叶上）使螺旋桨处于平衡状态，则加上的质量就是较重桨叶的多余质量。因此，必须在较重桨叶上剔除此质量才能使螺旋桨平衡。多余质量需从叶背上剔除，且面积要宽广些，务必使剔除后的表面匀顺光滑。

③ 动平衡检查。

若各桨叶重心的轴向位置不一致，则螺旋桨转动时各桨叶产生的离心力不在垂直于桨轴轴线的同一平面内，从而导致螺旋桨和轴系的振动。

检查方法：将螺旋桨安装到弹性支架上，当螺旋桨做高速转动时，不平衡的离心力使支架振动，根据支架的振幅大小确定不平衡程度，实际上不可能完全做到动平衡。

(2) 螺旋桨的使用。

① 一体式螺旋桨的使用。

常见的螺旋桨大多数为一体式螺旋桨，桨叶有字的一面是向上的。多旋翼无人机一般都配有两组螺旋桨，分别为两个 CW（反桨，顺时针旋转）和两个 CCW（正桨，逆时针旋转）。确定了螺旋桨的正反面和旋转方向后，就可以将其安装在多旋翼无人机的机架上面了。

② 折叠式桨叶的使用。

折叠式桨叶也称为折叠式旋翼，使用折叠式桨叶时，务必要在其全部展开之后，再检查螺旋桨安装得是否紧固，螺旋桨有无破损、弯曲等，确认无误后方可使用。

六、多旋翼无人机动力系统焊接技术

1. 焊接的基础知识

(1) 焊接的定义。

焊接也称为熔接，是一种以加热、高温或高压的方式接合金属或其他热塑性材料的制造工艺及技术。

在多旋翼无人机的组装中，最常使用的是锡焊。锡焊是钎焊的一种，是通过将低熔点金属焊料加热到适当温度，使其融化成液体，渗入并填充至金属件连接处间隙的焊接方法。

(2) 焊接的分类。

焊接分为熔焊、压焊、钎焊三种。

① 熔焊：加热需要焊接的工件，使其局部熔化发生混合现象，待温度降低后凝固使焊件焊在一起的方法，它适用于各种金属和合金的焊接加工。

② 压焊：在加热或不加热的状态下，向焊件实施一定的压力，使其产生塑性变化或熔化，并通过再结晶和扩散等作用，使两个分离表面的原子形成金属键而连接的方法。它适用于各种金属材料的加工。



多旋翼无人机动力系统焊接技术

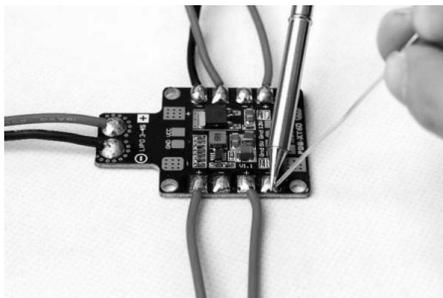


图 1-2-14 印制电路板钎焊

③ 钎焊：采用比母材熔点低的金属材料作钎料，利用液态钎料润湿母材，填充连接处间隙，并与母材互相扩散实现焊件连接的方法。它适用于各种材料的焊接加工，如图 1-2-14 所示。

2. 多旋翼无人机焊接所使用的工具——电烙铁

(1) 电烙铁的简介。

电烙铁是实现多旋翼无人机组装、焊接的主要工具，常用的是直热式电烙铁。其由发热元件、烙铁头、手柄、接线柱等部分组成，如图 1-2-15 所示。

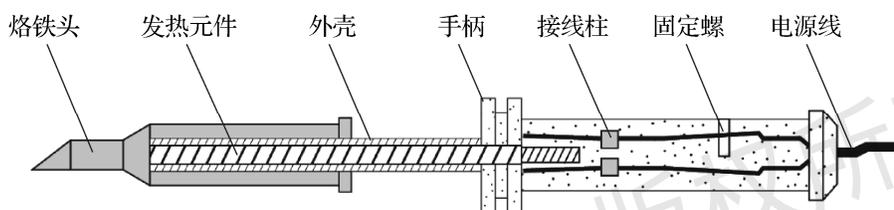


图 1-2-15 电烙铁

(2) 电烙铁的分类。

电烙铁按机械结构可分为内热式电烙铁和外热式电烙铁，按功能可分为吸锡式电烙铁和无吸锡式电烙铁。

① 按机械结构分类。

内热式电烙铁：内热式电烙铁发热快、热利用率高、省电、体积小，因而得到了更加普遍的应用。

外热式电烙铁：其烙铁头安装在烙铁芯里面。烙铁头的作用是储存和传导热，使用时烙铁头的温度必须高于焊件的熔点。



图 1-2-16 无吸锡式电烙铁的外观

② 按功能分类。

吸锡式电烙铁：吸锡式电烙铁是一种将活塞式吸锡器与电烙铁融为一体的拆焊工具，其具有使用方便、灵活，适用范围广等优点。

无吸锡式电烙铁：与吸锡式电烙铁相反，无吸锡式电烙铁是常规电烙铁的一种，其外观如图 1-2-16 所示。

(3) 电烙铁的规格。

电烙铁的种类及规格有很多种，而且焊件的大小有所不同，因而合理地选用电烙铁的种类及规格，对提高焊接质量和效率有很大帮助。电烙铁的选用如表 1-2-7 所示。

表 1-2-7 电烙铁的选用

焊件及工作性质	烙铁头温度 (室温, 220V 电压)	选用电烙铁
一般印制电路板, 安装导线	260~300℃	20W 内热式电烙铁、30W 外热式电烙铁、恒温式电烙铁
集成电路	250~400℃	20W 内热式电烙铁、恒温式电烙铁、储能式电烙铁
焊片、电位器、2~8W 电阻、大电解功率管	350~450℃	35~50W 内热式电烙铁、调温式电烙铁、50~75W 外热式电烙铁
8W 以上大电阻, ϕ 2mm 以上导线等较大元器件	400~550℃	100W 内热式电烙铁、150~200W 外热式电烙铁
汇流排、金属板等	500~630℃	300W 以上外热式电烙铁
维修、调试一般电子产品	350~450℃	20W 内热式电烙铁、恒温式电烙铁、感应式电烙铁、储能式电烙铁、两用式电烙铁

(4) 电烙铁的温度判断。

电烙铁的温度判断如表 1-2-8 所示。

表 1-2-8 电烙铁的温度判断

现象				
	烟细长, 持续时间大于 20s	烟稍大, 持续时间为 10~15s	烟大, 持续时间为 7~8s	烟很大, 持续时间为 3~5s
估计温度	<200℃	230~250℃	300~350℃	>350℃
焊接场景	达不到焊接温度	印刷电路板焊接及小焊点	导线焊接、预热较大焊点	粗导线、焊材焊接及大焊点

3. 多旋翼无人机焊接所使用的耗材

焊料是添加到焊缝、堆焊层和钎缝中的金属合金材料的总称, 图 1-2-17 所示为焊锡材料。焊料一般可分为锡铅焊料、银焊料、钢焊料, 在电子产品装配中主要使用锡铅焊料。焊料的主要作用是使焊件连接起来。常用焊料应具备熔点低于焊件, 易于与焊件连成一体, 具有一定的抗压能力, 有较好的导电性能, 有较快的凝固速度等特点。

(1) 焊锡丝。

焊锡丝又称为焊锡线、锡丝, 它由锡合金和助焊剂 (松香) 两部分构成, 如图 1-2-18 所示。在电子元器件的焊接中, 焊锡丝需要与电烙铁配合使用, 电烙铁提供稳定、持续的熔化热量, 焊锡丝作为填充物金属添加到电子元器件的表面和缝隙中。



图 1-2-17 焊锡材料

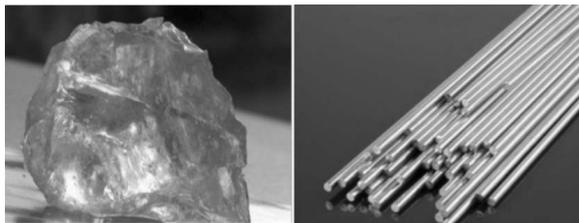


图 1-2-18 锡合金和松香



(2) 助焊剂。

在多旋翼无人机焊接中使用得最多的助焊剂为树脂类助焊剂，树脂类助焊剂通常以松香为主要成分，如图 1-2-19 所示。助焊剂主要有辅助热传导、去除氧化物、降低被焊接材料表面张力、去除被焊接材料表面油污、增大焊接面积、防止再氧化等几方面的作用，是保证焊接过程顺利进行的辅助材料。

(3) 热缩管。

热缩管（见图 1-2-20）及热缩材料又称为高分子记忆材料。将导线套入热缩管，然后加热使其收缩，热缩管起保护导线的作用，并且具备绝缘、防潮等特性。



图 1-2-19 助焊剂



图 1-2-20 热缩管

4. 焊接操作方法

(1) 电烙铁握法。

使用电烙铁时，电烙铁离开鼻子的距离通常以 40cm 为宜，握法通常包括反握法、正握法和握笔法，如图 1-2-21 所示，多旋翼无人机焊接常使用握笔法。



图 1-2-21 电烙铁的握法

(2) 焊锡丝拿法。

进行焊接时，焊锡丝有连续焊接、断续焊接两种拿法，如图 1-2-22 所示。

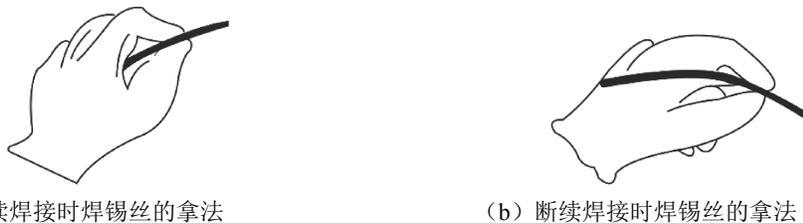


图 1-2-22 焊锡丝拿法

(3) 锡焊操作五步法。

锡焊操作五步法包括准备施焊、加热焊件、熔化焊锡丝、移开焊锡丝、移开电烙铁，如

图 1-2-23 所示。

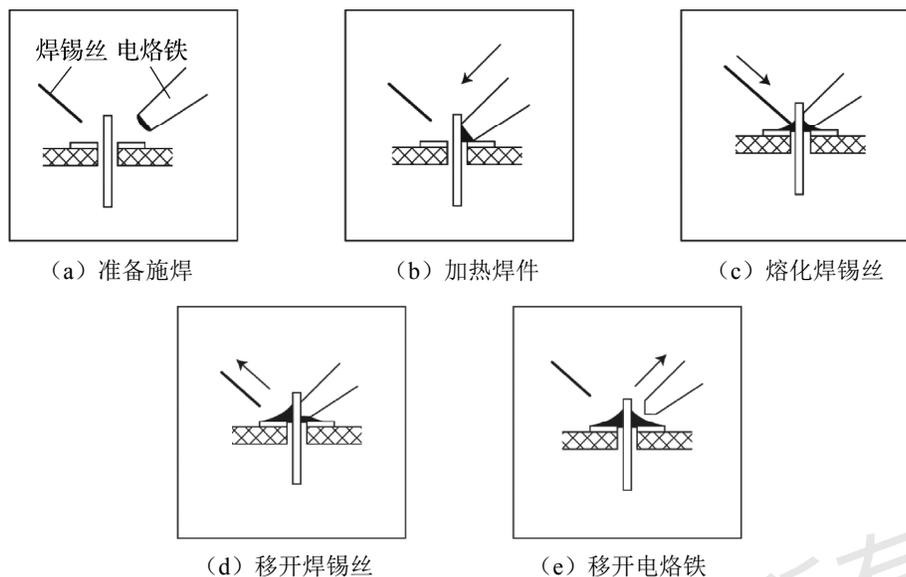


图 1-2-23 锡焊操作五步法



① 准备施焊。

左手拿焊锡丝，右手握电烙铁，进入备焊状态。此时需要注意的是电烙铁头部要保持干净，无焊渣等氧化物，并在烙铁头上镀一层锡。

② 加热焊件。

将烙铁头刃面紧贴在焊点处，加热整个焊接部位，时间为 1~2s。注意要使烙铁头同时接触两个焊件，并使其达到能够熔化焊锡丝的温度。

③ 熔化焊锡丝。

当焊件被加热到能熔化焊锡丝的温度时，将焊锡丝置于焊点处，焊锡丝开始熔化并润湿焊点。送入焊锡丝时，烙铁头与水平面大约成 60°，以防熔化的锡被烙铁头带下。将烙铁头在焊点处停留的时间控制为 2~3s。

④ 移开焊锡丝。

当焊锡丝熔化一定量后，立即向左上 45°方向移开焊锡丝。一定要注意焊锡丝的用量，少则不牢固，多则可能造成短路。

⑤ 移开电烙铁。

当焊锡浸润焊件的施焊部位以后，移开电烙铁的方向应该是右上大约 45°的方向。

5. 焊接注意事项

① 在电烙铁接通电源之前，应仔细检查其导线是否完好无损，是否有导线裸露的情况，以及电烙铁的烙铁头是否牢固。

② 在电烙铁接通电源后，不可将其放在易燃物旁，也不可用手直接接触电烙铁的烙铁头。

③ 在电烙铁通电的情况下，不可手持电烙铁打闹。

④ 焊接中途将电烙铁放回底座时，注意烙铁头不可触碰导线及易燃物。



- ⑤ 焊接时的松香烟雾有少量毒性，切记不要过多吸入。
- ⑥ 每次焊接作业完成后，应先将电烙铁断电，然后待电烙铁冷却后，放回原处。

6. 常见的焊接类型

常见的焊接类型主要有导线和插头的焊接、导线和导线的焊接、导线和印制电路板的焊接等。



任务实施

一、任务准备

- (1) 检查物料是否齐备，详见配套工作页中的附表 1-2-1。
- (2) 检查多旋翼无人机动力系统各部件的外观是否有损坏。
- (3) 观看操作视频，学习多旋翼无人机动力系统组装调试的操作。



操作视频

二、任务操作

1. 任务操作步骤表

本任务的任务操作步骤表如表 1-2-9 所示。

表 1-2-9 任务 2 的任务操作步骤表

操作阶段	序号	操作步骤名称
组装前材料准备及检查	1	组装前材料准备
	2	组装前材料检查
装调部件焊接	3	给电动机导线焊接香蕉头
	4	焊接多旋翼无人机电源插头
动力系统安装与接线	5	电动机与电调连接
	6	焊接电调输入线
	7	安装电池及位置调整
	8	安装螺旋桨
动力系统检查	9	动力系统检查

2. 任务详细操作步骤

本任务以 450mm 轴距的多旋翼无人机为例，介绍多旋翼无人机动力系统组装调试的具体操作步骤和注意事项。

1) 组装前材料准备及检查

步骤 1 组装前材料准备。

- (1) 准备 4 个无刷电动机：2 个 CW 电动机、2 个 CCW 电动机。



- (2) 准备香蕉头 12 个（需要将其焊接到电动机上）。
 - (3) 准备焊接工具 1 套，包括 1 套电烙铁、1 卷焊锡丝。
 - (4) 准备组装工具，包括 2.0mm 内六角螺丝刀 1 把、2.5mm 内六角螺丝刀 1 把、M3×8 圆柱头螺钉 16 颗。
 - (5) 准备 2cm 热缩管 12 个。
 - (6) 准备 4 个电调及对应接线。
 - (7) 准备锂聚合物电池 1 块、尼龙扎带 1 个、XT60 插头（公头、母头）1 对、分电板 1 块、3M 双面胶 1 片。
 - (8) 准备碳纤维螺旋桨 4 个（2 个正桨，2 个反桨）。
 - (9) 准备测电器 1 个。
 - (10) 准备多旋翼无人机飞行平台 1 架。
 - (11) 准备插头焊台 1 个。
- 组装前准备的材料如图 1-2-24 所示。



图 1-2-24 组装前准备的材料

步骤 2 组装前材料检查。

- (1) 检查型号。检查电动机、电调、电池、螺旋桨的型号是否符合要求。
- (2) 检查转向。检查电动机和螺旋桨的转向是否为两正两反。
- (3) 检查外观。
 - ① 检查电动机、电调的外观有无破损，线头有无脱落。
 - ② 检查电池有无破损、鼓包、胀气、漏液等现象。
 - ③ 检查电池是否处于满电状态，是否符合飞行要求。
 - ④ 检查螺旋桨的外观是否有裂纹、凹陷等明显损坏。
 - ⑤ 检查螺旋桨的表面是否光滑，是否有明显污渍。



2) 装调部件焊接

步骤 3 给电动机导线焊接香蕉头。

取电烙铁 1 套、电动机 4 个、香蕉头 12 个、热缩管 12 个、焊锡丝 1 卷。

(1) 将电烙铁通电预热。

(2) 给电动机导线上锡，并套上热缩管。

(3) 将香蕉头固定在有隔热措施的夹具上，把电烙铁从香蕉头侧面的圆孔中伸入进行加热，同时从上方添加焊锡丝，如图 1-2-25 所示。

(4) 待熔化的焊锡量足够后，从上方放入电动机导线，保持一段时间，等待焊锡充分填充到导线中。

(5) 从侧面取出电烙铁，等待焊锡冷却。

(6) 按照相同步骤将其余香蕉头焊接在电动机导线上。

(7) 将热缩管调整到香蕉头的合适位置加热缩紧。

温馨提示：

焊接过程中尽量做好香蕉头隔热，避免焊接位置温度过低。

步骤 4 焊接多旋翼无人机电源插头。

取分电板 1 块，XT60 插头 1 对。

(1) 将 XT60 公头和 XT60 母头对插。

(2) 将 XT60 母头朝下固定在插头焊台上。

(3) 将 XT60 公头上的正、负极标识和分电板正、负极标识对应，完成插接，使用电烙铁将电源插头焊接在分电板上，如图 1-2-26 所示。

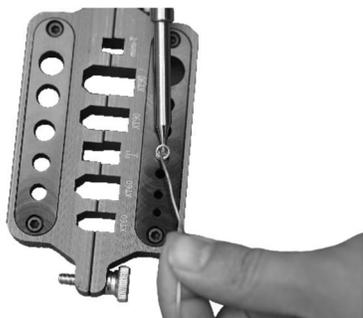


图 1-2-25 焊接香蕉头

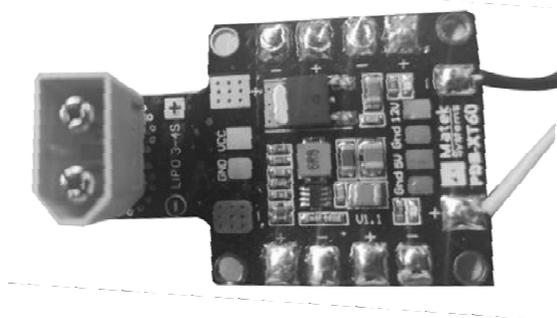


图 1-2-26 焊接多旋翼无人机电源插头

3) 动力系统安装与接线

步骤 5 电动机与电调连接。

取多旋翼无人机飞行平台 1 架、电调 4 个、M3×8 圆柱头螺钉 16 颗、2.0mm 内六角螺丝刀 1 把、2.5mm 内六角螺丝刀 1 把。

(1) 拆下上中心板和电动机安装座。

(2) 将电动机的三根输入线从电动机安装座的孔中穿过。



- (3) 取 M3×8 圆柱头螺钉 4 颗，将电动机固定在电动机安装座上。
- (4) 将电调输出线从机臂靠近上中心板的一侧穿过机臂。
- (5) 将电调输出线和电动机的三根输入线连接，如图 1-2-27 所示。
- (6) 利用螺钉将电动机安装座固定在机臂上。

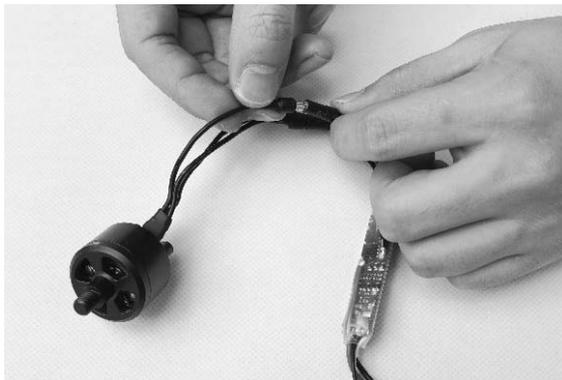


图 1-2-27 电动机与电调连接

温馨提示：

- ① 右前、左前、左后、右后电动机转向分别为逆时针、顺时针、逆时针、顺时针。不同的飞控系统对电动机转向定义可能存在差异，此处以 Pixhawk 飞控定义的电动机转向为准。
- ② 在对电动机安装座进行定位的过程中，要注意螺钉不要挤压电动机的导线。

步骤 6 焊接电调输入线。

取分电板 1 块、3M 双面胶 1 片、M2.5×6 圆柱头螺钉 16 颗、上中心板 1 块。

- (1) 给分电板上锡。
- (2) 给电调电源线上锡。
- (3) 将电调电源线正、负极与分电板正、负极对应并进行焊接。

【注意】焊接时焊点的加热时间不宜过长，焊点应圆润光滑，避免虚焊、短接现象。

- (4) 将 3M 双面胶粘贴到分电板上。
- (5) 取下 1 颗脚架固定件螺钉。
- (6) 使分电板的螺钉孔与脚架固定件螺钉孔对应，将分电板固定到下中心板上，并将脚架固定件螺钉重新拧紧。
- (7) 将上中心板和下中心板的方向对应。
- (8) 将上中心板用 M2.5×6 圆柱头螺钉进行装配紧固。

温馨提示：

- ① 禁止在通电状态下用手触碰分电板焊点。
- ② 分电板焊点可使用绝缘胶带或绝缘胶做绝缘处理。

步骤 7 安装电池及位置调整。

取电池 1 块。

- (1) 将电池放入多旋翼无人机的电池仓内，使其处于多旋翼无人机的重心位置。
- (2) 用尼龙扎带对电池进行固定。

步骤 8 安装螺旋桨。

将螺旋桨放置在对应电动机的孔位，安装并旋紧螺旋桨。

温馨提示：

本任务使用的 450mm 轴距多旋翼无人机飞控是 Pixhawk。如图 1-2-28 所示，右上角为 1 号电动机，对应安装的螺旋桨的旋转方向为逆时针；左下角为 2 号电动机，对应安装的螺旋桨的旋转方向为逆时针；左上角为 3 号电动机，对应安装的螺旋桨的旋转方向为顺时针；右下角为 4 号电动机，对应安装的螺旋桨的旋转方向为顺时针。其他多旋翼无人机的设置详见厂家相关说明书，视具体情况而定。

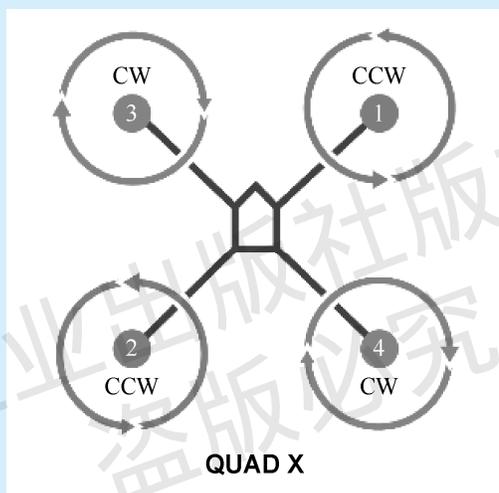


图 1-2-28 螺旋桨旋转示意图

4) 动力系统检查

步骤 9 动力系统检查。

- (1) 检查电调正、负极与分电板正、负极焊接是否对应。
- (2) 检查所有焊接位置是否有虚焊、漏焊的情况。
- (3) 检查螺旋桨的旋转方向与紧固程度。
- (4) 检查电动机是否紧固。
- (5) 检查电池是否紧固。
- (6) 检查多旋翼无人机的重心是否处于多旋翼无人机的中心。



快速测试

1. 电池按材料不同，可大致分为几类？
2. 锂聚合物电池表面的“4S1P”代表什么意思？
3. 锡焊操作五步法指的是什么？



任务总结

通过本任务学习了多旋翼无人机动力系统的基础知识，动力系统各部件的选用原则，以及多旋翼无人机常用动力系统的使用。在掌握装调方法的基础上，学习了多旋翼无人机动力系统的装调流程，通过任务实施掌握了多旋翼无人机动力系统的装调方法与注意事项，丰富知识的同时提高了自身的实践操作能力。

强化提升

1. 通过多种方法进行调研，梳理出不少于 5 种国产多旋翼无人机的电动机、电调、电池、螺旋桨的产品分类与适用场景，形成调研报告。
2. 结合多旋翼无人机动力系统的组装调试过程，结合自己遇到的问题及处理办法，形成一篇分析报告，主要阐述问题产生的原因，应如何避免等。

任务 3 多旋翼无人机通信链路系统组装调试

任务导入

通信链路系统在多旋翼无人机子系统中有着重要的作用，它可以实现对多旋翼无人机超越目视范围的控制。常见的多旋翼无人机通信链路系统主要由接收机和遥控器组成。随着遥控通信控制技术的不断发展，国产遥控器因功能强、支持机型多、可远程更改指令参数等特点，得到了越来越多国内外用户的青睐。

在完成飞行平台与动力系统的组装调试后，为了实现远程操控多旋翼无人机，为飞控系统的装调与整机联合调试做准备，需要完成多旋翼无人机通信链路系统的组装调试。本任务需要以小组为单位分工协作，运用所学知识共同完成多旋翼无人机通信链路系统的组装调试。

任务目标

知识目标

1. 掌握多旋翼无人机接收机各编码模式的特点与使用方法。
2. 掌握多旋翼无人机遥控器不同摇杆模式下操控方式的区别。
3. 了解多旋翼无人机通信链路系统的组成与工作原理。

技能目标

1. 能够独立完成遥控器基础参数设置。
2. 能够完成接收机编码模式切换。
3. 能够根据任务操作步骤完成接收机与遥控器对频。

素养目标

1. 通过研究学习国产多旋翼无人机遥控器，激发爱国情怀。
2. 通过团队完成的形式，培养团队协作精神。
3. 通过小组探究学习，培养探索创新的职业精神。



建议课时

4 课时。



任务分析

多旋翼无人机通信链路系统组装调试在多旋翼无人机组装调试中占据着非常重要的地位，那么通信链路系统中遥控链路的工作原理是什么？如何对遥控器进行设置？接收机的编码模式如何选择与切换？遥控器和接收机如何进行对频操作？

为了完成多旋翼无人机通信链路系统的组装调试，首先需要进行理论知识的学习，在掌握多旋翼无人机遥控链路的工作原理、遥控器功能设置、接收机对频模式选择的方法后，按照任务操作步骤进行多旋翼无人机通信链路系统的组装调试，确保完成本任务。



知识教学

一、多旋翼无人机通信链路系统基础知识

1. 多旋翼无人机通信链路系统的概念

多旋翼无人机通信链路系统指多旋翼无人机和控制端之间用来传输信息的无线电链路。一般包括遥控链路、数传链路和图传链路等。

(1) 遥控链路。

多旋翼无人机的遥控链路一般由接收机（天空接收端）和遥控器（地面发射端）两部分组成。遥控器的主要作用是发送控制指令至接收机，经接收机解码后，将指令反馈给多旋翼无人机飞控系统，从而实现对多旋翼无人机飞行姿态的控制，如图 1-3-1 所示。目前，多旋翼无人机遥控器使用的频段一般为 2.4GHz 等常规民用频段。



多旋翼无人机通信
链路系统组装调试



图 1-3-1 遥控链路

(2) 数传链路。

多旋翼无人机的数传链路由上行链路和下行链路组成。上行链路主要进行多旋翼无人机控制指令的发送，下行链路主要进行多旋翼无人机控制指令的回传和接收。其常用于多旋翼无人机超视距通信操控。



(3) 图传链路。

多旋翼无人机的图传链路主要由图像采集端、发射端、接收端和显示端组成，主要作用是将图像采集端所摄图像稳定地发送给接收端，如图 1-3-2 所示。



图 1-3-2 图传链路

2. 多旋翼无人机通信链路系统频段

多旋翼无人机通信链路系统主要使用的频段一般为微波（300MHz~300GHz）频段，通常由当地政府进行划分。目前，世界上多旋翼无人机所使用的频段主要集中在 UHF、L 和 C 频段，其他频段也有零散分布。我国工业和信息化部无线电管理局规定，无人驾驶航空器系统能够使用的频段为 840.5~845MHz、1430~1444MHz 和 2408~2440MHz。

二、遥控链路基础知识

1. 遥控链路的组成

多旋翼无人机的遥控链路一般由遥控器和接收机组成，如图 1-3-3 所示。



(a) 遥控器

(b) 接收机

图 1-3-3 遥控链路的组成

(1) 遥控器。

遥控器是多旋翼无人机遥控链路中的地面发射端，如图 1-3-3 (a) 所示。

(2) 接收机。

接收机是多旋翼无人机遥控链路中的天空接收端，如图 1-3-3 (b) 所示。

2. 遥控器基础知识

(1) 遥控器外部功能模块。

遥控器是实现多旋翼无人机操控的基础设备，早期遥控器一般只需要 4 个通道（油门、俯仰、副翼、方向）就可以满足操控需求。随着用户对遥控功能需求的逐步提升，渐渐产生了 6 通道、8 通道、10 通道乃至 14 通道遥控器。常见的遥控器主要由开关键、天线、操作杆、功能拨杆、中立微调开关、功能旋钮等部分组成。AT9S Pro 遥控器如图 1-3-4 所示。表 1-3-1 所示为本任务所使用遥控器的功能模块及其作用。



图 1-3-4 AT9S Pro 遥控器

表 1-3-1 本任务所使用遥控器的功能模块及其作用

功能模块		作用
开关键		用于开启与关闭遥控器
天线		用于遥控器指令传输
操作杆	方向舵/油门摇杆	操控多旋翼无人机实现姿态变化
	副翼/升降舵摇杆	
功能拨杆	SwA 二段开关	用于打开、关闭或切换功能（如模式切换）
	SwB 二段开关	
	SwC 三段开关	
	SwD 二段开关	
	SwE 三段开关	
	SwF 二段开关	
	SwG 三段开关	
	SwH 教练开关	

续表

功能模块		作用
中立微调开关	油门微调开关	用于调整摇杆通道中立位置
	方向微调开关	
	升降微调开关	
	副翼微调开关	
功能旋钮	VrA 旋钮开关	用于控制需要连续性触发的功能（如云台控制、参数调整）
	VrB 旋钮开关	
滚轮		转动滚轮可实现屏幕内不同功能菜单的选择
Push 键		“确定”功能键
Mode 键		“菜单”功能键（在遥控器主界面长按 Mode 键，可进入“基础菜单”界面，在“基础菜单”界面短按 Mode 键可进入“高级菜单”界面）
End 键		“返回”功能键，“舵量显示”界面与“回传信息”界面切换功能键（在遥控器主界面短按 End 键，可进入“舵量显示”和“回传信息”界面，在“菜单设置”界面及“功能设置”界面内短按 End 键可实现返回操作）

（2）遥控器“基础菜单”界面。

- ① 系统设置：可以进行遥控器的语言、摇杆模式和用户名等设置。
- ② 模型设置：包括多旋翼无人机模型选择、机型选择等设置。
- ③ 基础设置：包括辅助通道、失控保护、中立微调和舵机相位等设置。

辅助通道指除 4 个主控制通道外的其他开关、旋钮等通道。设置辅助通道即对开关进行定义，常用于设置一些辅助功能，如模式切换等。

舵机相位又称为通道正反相，设置舵机相位可改变舵机的响应方向。

遥控器“基础菜单”界面如图 1-3-5 所示。



图 1-3-5 遥控器“基础菜单”界面

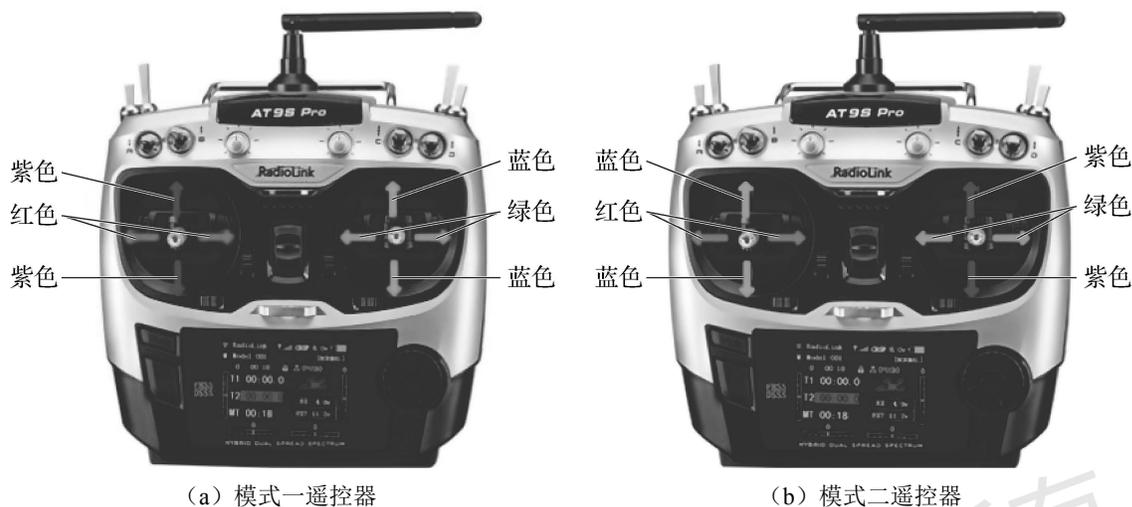
3. 遥控链路工作原理

遥控链路中的遥控器将控制指令转换为无线电波发送给接收机，接收机将收到的无线电波转换为数字信号传输到飞控系统中，实现对多旋翼无人机的控制。

4. 遥控器摇杆模式

多旋翼无人机遥控器的摇杆模式按照操控手法可分为模式一、模式二、模式三和模式四 4

种。目前，使用模式一和模式二的飞行者居多，模式一遥控器的油门在右边，模式二遥控器的油门在左边，如图 1-3-6 所示。



(a) 模式一遥控器

(b) 模式二遥控器

- 注：① 绿色箭头为副翼舵：控制多旋翼无人机左右移动；
 ② 紫色箭头为俯仰舵：控制多旋翼无人机前后飞行；
 ③ 蓝色箭头为油门舵：控制多旋翼无人机上升或下降；
 ④ 红色箭头为方向舵：控制多旋翼无人机转向。



动画-无人机遥控器的摇杆模式

图 1-3-6 模式一遥控器与模式二遥控器

5. 接收机基础知识

接收机是接收遥控器所发出的无线电波信号的通信设备，如图 1-3-7 所示。接收机在工作时，首先会抑制和过滤掉不需要的信号和噪声干扰，接着在众多的无线电波信号中选择已经匹配的频段信号，经过解码后再放大信号，将有效信息反馈给飞控系统，从而实现多旋翼无人机的无线通信控制。

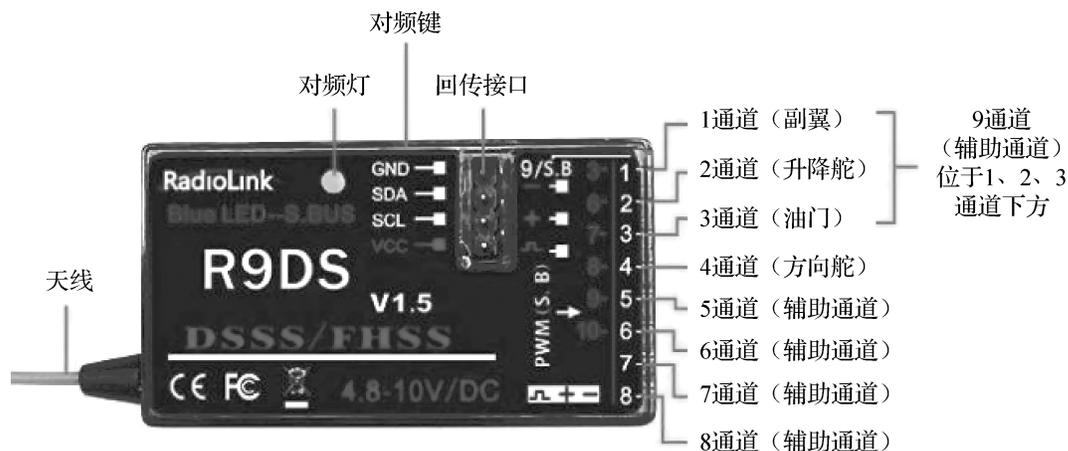


图 1-3-7 接收机

(1) 接收机各部件的功能。

对频键：完成接收机编码模式的切换与对频。

对频灯：显示目前接收机的工作状态。



动画-无人机遥控器接收机基础知识



天线：用于接收遥控器发出的无线电波信号。

通道：为遥控器控制提供通道接口。

(2) 接收机的编码模式。

目前，常见的接收机编码模式可分为 PWM (Pulse Width Modulation, 脉冲宽度调制)、PPM (Pulse Position Modulation, 脉冲位置调制) 和 S-Bus 三种。部分接收机可同时兼容多种编码模式，多数遥控器可配备多种不同编码模式的接收机。

① PWM：PWM 编码模式主要用于控制单个电调或电动机的脉冲宽度调制。

② PPM：PPM 编码模式相对简单，其将多个脉冲作为一组，并以点位周期性发送，通过组内各个脉冲之间的宽度来传输相应通道的控制指令。其使用方便，目前被广泛应用于无线遥控器的接收机中。

③ S-Bus：S-Bus (Serial Bus) 是一种串行通信协议，也称为全数字化接口总线（数字化指该协议使用现有数字通信接口作为通信硬件协议和专用的软件协议），非常适合与飞控系统连接使用。S-Bus 编码模式可以通过一个数字通信接口完成对多个设备的控制，这些设备通过与总线连接，获得各自通道的控制指令。

三、多旋翼无人机通信链路系统的选用原则

1. 遥控器选择

在多旋翼无人机遥控链路中，每一个控制开关都需要一个独立的信号发送和接收通道。在选择遥控器时，需要全面考虑多旋翼无人机遥控链路所需的通道数量与遥控器价格，选择最适合的遥控器。

2. 接收机选择

在选择接收机时，需要综合考虑接收机的通信协议与所适用的技术。为了降低线路连接的复杂性，多旋翼无人机通常选用具备 PPM 或 S-Bus 编码模式的接收机，两者相比较来看，S-Bus 编码模式较优于 PPM 编码模式。



任务实施

一、任务准备

- (1) 检查物料是否齐备，电池电量是否充足，详见配套工作页中的附表 1-3-1。
- (2) 检查各部件的外观是否有损坏。
- (3) 观看操作视频，学习多旋翼无人机通信链路系统组装调试的操作。



操作视频



二、任务操作

1. 任务操作步骤表

本任务以多旋翼无人机、AT9S Pro 遥控器和 R9DS 接收机为例进行多旋翼无人机通信链路系统的组装与调试，任务操作步骤表如表 1-3-2 所示。

表 1-3-2 任务 3 的任务操作步骤表

序号	操作步骤名称
1	遥控器通电并开机
2	遥控器系统设置
3	模型与机型选择
4	遥控器中立微调归零
5	遥控器摇杆模式设置
6	舵机相位设置
7	辅助通道设置
8	遥控器 S-Bus 编码模式设置
9	接收机与遥控器对频

2. 任务详细操作步骤

步骤 1 遥控器通电并开机。

- (1) 将遥控器、遥控器电池和测电器取出。
- (2) 使用测电器测量电池电压，若电池电压为 7.2~8.4V，则为正常电压。
- (3) 打开遥控器电池仓，安装遥控器电池（注意不要装反），关闭电池仓。
- (4) 打开遥控器电源开关，检查显示亮度是否正常，显示信息是否正确。

温馨提示：

安装遥控器电池时要注意，电池红线接正极，黑线接负极。

步骤 2 遥控器系统设置。

- (1) 长按 Mode 键进入“基础菜单”界面，转动滚轮选中“系统设置”选项，按 Push 键进入。
- (2) 转动滚轮选中“发射模式”选项，将其设置为“打开”。
- (3) 观察遥控器发射指示灯是否点亮，点亮表示发射模式已打开，返回“基础菜单”界面，如图 1-3-8 所示。



图 1-3-8 遥控器发射指示灯点亮



步骤3 模型与机型选择。

(1) 转动滚轮选中“模型选择”选项，按 Push 键进入，转动滚轮选择一个模型，选择完成后按 End 键返回“基础菜单”界面，如图 1-3-9 所示。

(2) 转动滚轮选中“机型选择”选项，按 Push 键进入，将机型设置为“多旋翼模型”，设置完成后按 End 键返回“基础菜单”界面，如图 1-3-10 所示。



图 1-3-9 遥控器模型选择



图 1-3-10 遥控器机型选择

步骤4 遥控器中立微调归零。

- (1) 转动滚轮选中“中立微调”选项，按 Push 键进入。
- (2) 将遥控器摇杆打到中立位。
- (3) 返回“基础菜单”界面。
- (4) 将微调开关全部归零。

步骤5 遥控器摇杆模式设置。

- (1) 转动滚轮选中“系统设置”选项，按 Push 键进入。
- (2) 转动滚轮选中“摇杆模式”选项，将其设置为“模式一”。
- (3) 返回“基础菜单”界面。

温馨提示：

在实际应用中，需根据自己的操控手法去设置摇杆模式。

步骤6 舵机相位设置。

- (1) 转动滚轮选中“舵机相位”选项，按 Push 键进入。
- (2) 更改三通道油门为“反相”。
- (3) 按 End 键返回“基础菜单”界面。

步骤7 辅助通道设置。

- (1) 转动滚轮选中“辅助通道”选项，按 Push 键进入。
- (2) 将“姿态选择”设置在五通道，三段开关设置为“SwE”。
- (3) 转动滚轮将“辅助通道”的六通道、九通道、十通道关闭。



(4) 转动滚轮将“辅助通道”的七通道设置为“SwA”、八通道设置为“SwB”，如图 1-3-11 所示。

(5) 设置成功后按 End 键返回“基础菜单”界面。

温馨提示：

如果采用的是模式二遥控器，那么七通道可设置为“SwD”，八通道可设置为“SwC”。



图 1-3-11 遥控器辅助通道设置

步骤 8 遥控器 S-Bus 编码模式设置。

- (1) 转动滚轮选中“功能设置”选项，按 Push 键进入。
- (2) 将 OUT 设置为“S-Bus”，设置成功后按 End 键返回。

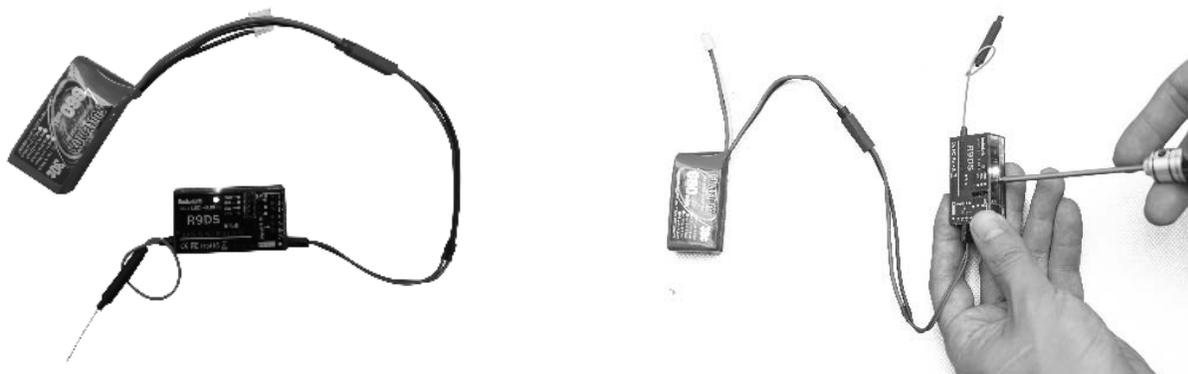
步骤 9 接收机与遥控器对频。

取 2S 锂电池 1 块、接收机 1 个、JST 转杜邦头转接线 1 根。

(1) 给接收机供电，取 1 块 2S 锂电池，将电池电源输出端通过 JST 转杜邦头转接线转换为杜邦头，插在接收机任意通道的接口处，如图 1-3-12 (a) 所示。

(2) 保持遥控器与接收机之间的距离在 50cm 以内，短按两次接收机侧面的对频键，指示灯显示为蓝紫色。

(3) 长按接收机侧面的对频键，直到接收机指示灯进入闪烁状态时松开，等待对频。对频成功后接收机指示灯由闪烁变为长亮，并且遥控器屏幕信号显示为满格，如图 1-3-12 (b) 所示。



(a) 给接收机供电

(b) 对频

图 1-3-12 接收机与遥控器对频



温馨提示:

- ① 接收机供电区间为 3~10V。
- ② 当 R9DS 接收机指示灯显示为红色时,代表编码模式为 PWM 模式,蓝紫色代表编码模式为 S-Bus 模式。
- ③ 接收机指示灯闪烁表示未对频,长亮表示对频成功。如果对频失败,请重新通电后再次进行对频操作。
- ④ 在进行对频操作时,应尽可能确保周围只有一组遥控器和接收机处于通电开机状态。
- ⑤ 安装接收机天线时,需远离金属物品,防止出现信号干扰。
- ⑥ 天线应尽量保持垂直,弯曲可能会造成控制范围缩减。



快速测试

1. 接收机的编码模式是如何进行切换的?
2. 遥控器操控手法中模式一和模式二的区别是什么?
3. 遥控器和接收机是如何进行对频操作的?



任务总结

通过本任务学习了多旋翼无人机通信链路系统的组成、遥控链路的工作原理、多旋翼无人机遥控器操控手法的区别、接收机编码模式及多旋翼无人机遥控链路组装调试操作步骤与注意事项,掌握了多旋翼无人机通信链路系统组装调试的方法,为多旋翼无人机组装调试项目的后续任务积累了一定的知识与实践操作技能。



强化提升

1. 调研对比不同品牌国产遥控器的功能和特点,形成调研报告。
2. 通过探究学习,了解飞行器从有人驾驶到无人驾驶的发展历程。

任务 4 多旋翼无人机飞控系统组装调试



任务导入

飞控系统是多旋翼无人机完成起飞、空中飞行、任务执行和返场回收等过程的核心系统,飞控系统对于多旋翼无人机的作用相当于驾驶员对于有人机的作用。

在此之前,我们已经组装调试了多旋翼无人机飞行平台、动力系统、通信链路系统,现在需要对较为重要的飞控系统进行组装调试,本任务以小组为单位,团队分工协作,严格按照组装调试标准与工艺流程进行操作。



任务目标

知识目标

1. 掌握无人机飞控的基础知识（定义、功能与组成、分类、工作原理）。
2. 了解多旋翼无人机飞控的选用原则（飞行模式、接口、灯语、固件版本）。
3. 了解多旋翼无人机常用飞控的使用方法。

技能目标

1. 能够完成多旋翼无人机飞控的安装与接线。
2. 能够按照装配步骤与调试要求完成飞控参数校准。
3. 能够完成多旋翼无人机飞控系统的装调质量检查。

素养目标

1. 通过任务驱动小组配合，培养团队合作精神。
2. 通过对飞控系统组装调试过程中安全操作规范的学习，培养安全生产的职业操守。
3. 通过强化提升训练，养成自主学习的探究精神。



建议课时

6 课时。



任务分析

多旋翼无人机飞控系统的组装调试需要先将各部件进行装配，再进行调试。在装调过程中，飞控各部件该如何区分？它们之间又是如何连接的？如何才能保证装配质量？为了能够解答这些问题，需要先对无人机的飞控基础知识进行学习，掌握多旋翼无人机飞控的接线与调试流程，然后按照任务操作步骤与要求，完成多旋翼无人机飞控系统的组装调试，最终实现高质量的装调。



知识教学

一、无人机飞控基础知识

1. 飞控的定义

飞控又称为飞行控制器，是在各任务阶段对无人机进行辅助或全自主控制，并对无人机机载系统及功能部件起协同控制作用的部件。

2. 飞控的功能与组成

(1) 功能。

飞控的功能主要有无人机姿态稳定和控制、无人机自主飞行、无人机任务设备管理和应急控制等。其最主要的功能是保持无人机自主飞行状态且飞行姿态正常。



无人机飞控
基础知识