专业课　第 3 讲 · 2 课时

无人机的结构与飞行原理

一架四旋翼为什么能稳稳停在半空？

今天把“能飞”拆成四个系统、一个力和四个动作。

授课教师：_ _ _ _ _ _　班级：_ _ _ _ _ _ 班

2026 年 11 月

本讲三个目标

知识

说得清

- 说出四大子系统及各自作用
- 解释升力怎么产生、悬停的条件
- 说清四种基本运动如何靠转速差实现

能力

查得到

- 能按结构图指认主要部件
- 能对常见飞行异常给出排查方向
- 会用“先外后内”的顺序排故

素养

飞得稳

- 建立“安全第一”的操作习惯
- 知道适飞空域与实名登记的基本要求
- 不做超出能力边界的飞行

> 下课前用这三条自检：讲得清、做得对、说得明白。

导入　先别翻书，先想三分钟

四个电机，为什么能停住不动？

> **把一架四旋翼放在桌上，四个桨同时转起来，它就离地了。**
> **可它为什么不会翻、不会偏、不会自己飘走？**

Q1　升力从哪来？

桨叶把空气往下推，空气就把机身往上托——这是牛顿第三定律，不是“空气吸力”。

Q2　为什么不翻？

四个电机的转速由飞控每秒修正数百次，谁低一点就补谁。

Q3　为什么一打杆就动？

不是舵面在动，是四个转速差在动。

> 今天这三个问题答得出来，你就算入了门。

知识点　结构图先记这一张

四大子系统：一架飞机的分工

机体结构	**机架、机臂、起落架、减振件** 决定刚度、重量、轴距；轴距越大越稳，也越重。
动力系统	**电池 → 电调 → 电机 → 桨叶** 决定载重与续航；四者任何一环弱，整机性能就卡在短板。
飞控系统	**飞控板、IMU、指南针、GPS、遥控链路** 决定“稳不稳”；它只做一件事：算出差多少，然后补回去。
任务载荷	**相机、云台、喷洒、喊话、图传** 决定“干什么”；载荷越重，续航越短，这是硬约束。

> 一句话记：结构承力、动力给力、飞控稳姿态、载荷干活。

知识点　这一页是全场核心

升力：把空气推下去

产生原理	**桨叶旋转 → 把空气向下加速 → 空气给桨叶向上的反作用力** 不是“上面吸、下面推”那么简单，本质是动量变化。
近似关系	**升力 $L \propto n^2$（n 为转速）** 转速翻倍，升力约变四倍——所以油门一点点的变化，高度变化很明显。
悬停条件	**四个旋翼总升力 = 整机重力，且合力矩为 0** 少一个条件都不叫悬停：力平衡管高度，力矩平衡管姿态。
前飞怎么来	**整机前倾 → 总拉力倾斜 → 出现水平分力** 多旋翼没有机翼，靠“倾斜”换取前进，代价是掉高。

> 记住“平方关系”，你就明白为什么高空悬停比低空更费电、更难稳。

没有舵面，只有转速

四个动作，全靠转速差

01 升降（Throttle）

四桨同时加速或减速，总升力变化，机身垂直上下。

02 俯仰（Pitch）

前两桨与后两桨转速不等，前后拉力差使机身前后倾，产生前后分力。

03 横滚（Roll）

左右两侧转速差，机身左右倾，产生侧向分力。

04 偏航（Yaw）

对角两组（顺时针/逆时针）反扭矩不平衡，机身绕竖轴转动。

> 四种动作的本质都是“让某一方向的力大一点”，飞控做的就是这件事。

例题精讲　排故要讲顺序

案例：起飞后左偏航并缓慢掉高

题目

四旋翼起飞后机体持续向左偏航，操作手未打偏航杆；同时高度缓慢下降，油门已加到 70%。请给出排查顺序与依据。

1. 先外后内：查桨叶是否装反或破损、电机是否异响、机臂是否变形、电池位置是否配平。
2. 再看动力：读单节电芯电压与压差，压差大 → 输出不足 → 掉高。
3. 注意耦合：掉高会让飞控自动加大油门，进一步加剧偏航，现象会互相放大。
4. 再看传感：指南针 / IMU 是否校准，现场有无磁干扰（钢筋平台、金属围栏、高压线）。
5. 最后看环境：侧风、阵风、地面效应；必要时换场地复飞验证。

结论　先机械后电子、先外部后内部——顺序对了，才不用把好件一个个拆下来。

> 考场答题也按这个顺序写，写清“先查什么、为什么先查它”。

选型先看任务

多旋翼 vs 固定翼

对比项	多旋翼	固定翼
升力来源	旋翼旋转产生，靠转速差控姿态	机翼在前飞气流中产生升力
起降条件	垂直起降，几平方米场地即可	需要跑道或弹射/伞降回收
续航效率	较低，20–40 分钟常见	较高，可达数小时
典型任务	航拍、巡检、植保、喊话、应急救援	测绘、电力巡线、大面积巡查

课堂练习　先自己想，再点名

课堂练习：三题口答

1　四旋翼如何实现偏航？为什么不是靠舵？

提示：看对角两组桨的旋转方向与反扭矩。

2　起飞后持续掉高，电池显示 3.7 V/节，最可能的原因是什么？给出两个排查动作。

提示：压差、内阻、桨叶安装、整机重量。

3　从升力来源角度解释：为什么多旋翼续航普遍短于固定翼？

提示：靠转速硬扛重力，没有机翼帮忙。

> 第 1 题要点：对角两组反扭矩不平衡；多旋翼没有舵面，姿态全靠转速差。

4 人一组，一张图，6 分钟

小组任务：把结构图讲明白

01 **每组领一张四旋翼结构图**

图上只标了外形，没有标注部件名称。

02 **标出 6 个部件并写作用**

机体、电机、电调、桨叶、飞控、电池，各写一句功能。

03 **互相提问**

同组轮流指一个部件，其他人说出“它坏了会怎样”。

> 能说出“坏了会怎样”，才算真懂这个部件的作用。

三句话带走

本讲小结

01 四个系统

结构承力、动力给力、飞控稳姿态、载荷干活。

02 一个关系

升力与转速的平方近似成正比；悬停要同时满足力平衡与力矩平衡。

03 一条铁律

排故先外后内、先机械后电子；起飞前检查永远比空中救机便宜。

> 下一讲讲飞控与导航：为什么它要分“内环”和“外环”。

作业与预习

必做	· 画四大子系统框图，每系统写 2 个部件 + 1 句作用 · 用一句话写出悬停条件，用一句话写出偏航原理
选做	· 查《民用无人驾驶航空器运行安全管理规定》，写明你常飞的机型属于哪一类、适飞空域有什么要求
预习	· 第 4 讲 飞控与导航：先想一想，飞机怎么知道自己在哪、要往哪去

> 作业下次课前收，预习内容下节课随机提问，做好准备。

下一讲

下一讲：飞控怎么知道自己在哪、要去哪

- 第 4 讲 飞控与导航：重点讲内环（姿态）与外环（位置）的分工。
- 带问题来：GPS 丢了，飞机还能稳住吗？靠什么稳住？
- 下次实操课前，把起飞前检查单默写一遍，我会随机抽人。