
多旋翼模型入门—理论知识篇

SageST - 2015年3月17日



多旋翼模型入门—理论知识篇	1
SageST - 2015年3月17日	1
1.概述	4
1.1 多旋翼制作需要准备什么零件（四轴为例）	4
2.原理与理论解释	4
2.1 动力总成	4
无刷电机（百科链接）	4
结构:	4
运行原理:	4
电机的型号（重要）:	5
KV值定义（重要）:	5
KV值的意义（了解）:	5
电子调速器	6
简介（重要）:	6
可设置的参数（比较全面，多轴使用的专用电调一般没有这么多设置项，作为了解）	6
螺旋桨	7
桨的型号（基础）:	7
螺距:	7
识别正反面以及转向:	8
关于反扭力，正反桨:	8
2.2 控制系统	9
遥控器	9
关于FM, 2.4G, PPM, PCM:	9
通道:	9
日本手、美国手:	10
接收机输出（SBUS, PPM, PWM）:	10
RSSI:	11
飞行控制器	12
飞控的用途:	12
飞行模式（浅谈，不同飞控自行看说明书类比，以下以APM为例）:	12
关于校准:	14
关于PID（感度？应该也算）:	14
2.3 动力储备	18
电池	18
电池结构:	18
电池S数的意义:	18
电池放电C数的意义:	18
电池充电C数的意义:	18

电池容量:	18
保存方法:	19
过充过放:	19
锂电池的安全性问题:	19
充电器	20
结构件	21
机架	21

1.概述

1.1 多旋翼制作需要准备什么零件（四轴为例）

动力总成	无刷电机（4个）
	电子调速器（俗称电调，4个）
	螺旋桨（4个，需要2个正浆，2个反浆）
控制系统	飞行控制器（俗称飞控）
	遥控器（四通道以上遥控器）
动力储备	电池
	充电器
结构件	机架

2.原理与理论解释

2.1 动力总成

无刷电机（[百科链接](#)）

结构：

无刷电机的转子是永磁磁钢，连同外壳一起和输出轴相连，定子是绕组线圈，去掉了有刷电机用来交替变换电磁场的换向电刷，故称之为无刷电机（Brushless motor）。

运行原理：

简单而言，依靠改变输入到无刷电机定子线圈上的电流波交变频率和波形，在绕组线圈周围形成一个绕电机几何轴心旋转的磁场，这个磁场驱动转子上的永磁磁钢转动，电机就转起来了，电机的性能和磁钢数量、磁钢磁通强度、电机输入电压大小等因素有关，更与无刷电机的控制性能有很大关系，因为输入的是直流电，电流需要电子调速器将其变成

三相交流电，还需要从遥控器接收机那里接收控制信号，控制电机的转速，以满足模型使用需要。总的来说，无刷电机的结构是比较简单的，真正决定其使用性能的还是无刷电子调速器，好的电子调速器需要有单片机控制程序设计、电路设计、复杂加工工艺等过程的总体控制，所以价格要比有刷电机高出很多。

电机的型号（重要）：

经常看人说什么2212电机，2018电机等等，到底是什么意思呢？这其实电机的尺寸。

不管什么牌子的电机，具体都要对应4位这类数字，其中前面2位是电机定子的直径，后面2位是电机定子的高度。

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。

KV值定义（重要）：

无刷电机KV值定义为 转速/V，意思为输入电压增加1伏特，无刷电机空转转速增加的转速值。从这个定义来看，我们能知道，无刷电机电压的输入与电机空转转速是遵循严格的线性比例关系的。

KV值的意义（了解）：

无刷电机的意义不只是说明电机转速与电压成严格的线性比例关系，还对于电机的性能有一个开阔性的表示。

用过无刷电机的朋友大都有这种感觉，同级别（外径）的无刷电机，外转子的和内转子的通电比较一下，会发觉外转子电机扭力大一些，要“硬”一些，内转子电机扭力稍微小一些，要“软”一些，一看电机参数，外转子电机KV值800多，内转子电机1000多到2000多。再看一下转速，内转子电机的转速明显高于外转子电机。其实这些特性都与KV值有关，按照KV值的定义来解释，无刷电机的空转极速，是KV值乘以输入的电压，这也就解释了内转子电机的转速为什么高于外转子无刷电机。

就扭力特性来看，KV值一定意义上体现了电机扭力性能，拿外转子电机来说，电机的空载极速一般般，但是加上负载（例如螺旋桨）后，其极速降落到空载极速的60%-70%，但是拿同级别的内转子电机来测试的话，其带负载的转速只能到其空载极速的30%-40%，这明显体现出这两种电机的扭力特性差别，内转子电机的带负载的能力相对较低，为了满足扭力做功，内转子电机必需自行降速，增加通过电流，在电压不变的情况下，这样电机的输出功率就增加了，内转子电机的这种扭力特性也体现在具体的应用上，以前不少轻型泡沫固定翼飞机，最初都用的是内转子无刷电机，但是因为扭力特性的缘故，飞机螺旋桨

并不是直接连接在电机上（非直驱），而是增加了一个减速齿轮组，为的就是改善内转子电机的扭力性能。

同系列同外形尺寸的无刷电机，KV值也能区别电机的特性，比如 B3674 内转子电机，一个KV值是1860，一个KV值是2075，那第一个电机的扭力就要大一些，峰值做工电流就相对小一些；第二个电机的技术高一些，但是扭力特性就比第一个电机要差，峰值电流就会更大一些。

电子调速器

简介（重要）：

英文 Electronic Speed Control,简称ESC。针对电机不同，可分为有刷电调和无刷电调。它根据控制信号调节电动机的转速。

对于它们的连接，一般情况下是这样的：

- 1、电调的输入线与电池连接；
- 2、电调的输出线三根与电机连接（**对调任意两根实现电机反转**）；
- 3、电调的信号线与接收机连接。

另外，电调**一般**有电源输出功能，即在信号线的正负极之间，有5V左右的电压输出，通过信号线为接收机供电，接收机再为舵机等控制设备供电。

电调的输出为三~四个舵机供电是没问题的。因此，电动的飞机，一般都不需要单独为接收机供电，除非舵机很多或对接收机电源有很高的要求。

可设置的参数（比较全面，多轴使用的专用电调一般没有这么多设置项，作为了解）

1.低压切断电压：可以设置为范围内的任意值作为低压保护电压。

注意：**一般来说**，系统在上电时会自动识别当前使用的锂电节数，并计算出低压保护值，2.75V为每节锂电的保护电压，比如，3节锂电，则低压保护值为： $2.75V \times 3 = 8.25V$ 。

2.刹车类型：三个选项：不刹车，软刹车、硬刹车。默认为不刹车。软刹车即不连续的刹车，硬刹车则是持续地刹车，直至停转。

3.电子进角：三个选项：低进角、中进角、高进角。默认为中进角。低进角适合电感量较大，转速较低的电机；高进角适合电感量较小，转速很高的电机（如外转子高KV值的电机）。

4.起动模式：三个选项：快速起动、柔和起动、超柔和起动。默认为超柔和起动。快速起动适合电感量较小、起动负载较小的电机；超柔和起动适合电感量较大、起动负载较大的电机；柔和起动介于两者之间。

5.切断类型：二个选项：降低功率（软切断）、立即关机（硬切断）。默认为降低功率。指当发生电压过低时的保护处理。

选择立即关机，当发生低压时，立即关闭电机。

选择降低功耗，如果是电压过低，则将输出功率将逐步降到50%（即若当前输出功率大于50%，则降为50%，否则不变）及以下运行。

6.PWM工作频率设置：二个选项：13KHz、8KHz，默认为8KHz，可满足绝大多数电机的驱动。更高的频率主要是考虑很小电感量电机的驱动。

7.中位点范围设置：设置范围：0-29%，默认为5%。用于设置车模中位点不刹车的范围。单向电调改选择无效。

8.油门类型：用于直升机的恒速设定。三个选项：Dis, Gov-L, Gov-H。

恒速功能是指飞机的转速由油门杆的位置来决定，即当油门杆的位置恒定时，飞机的转速就恒定。该功能主要用于变螺距的直升机，该功能使飞机的操纵更加灵敏，轻巧。

Dis选项为禁止恒速功能，主要用于固定翼货固定螺距直升机；Gov-L为较低转速的恒速功能，即飞机在较低的速度时保持较好的速度控制；Gov-H为较高转速的恒速功能，即飞机在较高的速度时保持较好的速度控制。

9.起动动力百分比设置：用于设置起动时的动力大小。设置范围：00%-49%，默认为+00%。在默认为+00%的情况下，起动动力由系统根据油门位置自动确定。在不是默认值时，则按设置值处理。

10.模型选择：用于选择飞机模型或车模型。单向电调固定为飞机模型。

11.前进后退行程比设置：用于车模型的前进和后退的油门行程比例。胆小电调该选项无效。

12.车模三种工作方式设置：单向、双向及条件双向。单向电调该选项无效。

螺旋桨

桨的型号（基础）：

同电机类似，桨也有啥1045,1555这些4位数字，前面2位代表桨的直径（单位：英寸 1英寸=25.4毫米）后面2位是桨的螺距。

螺距：

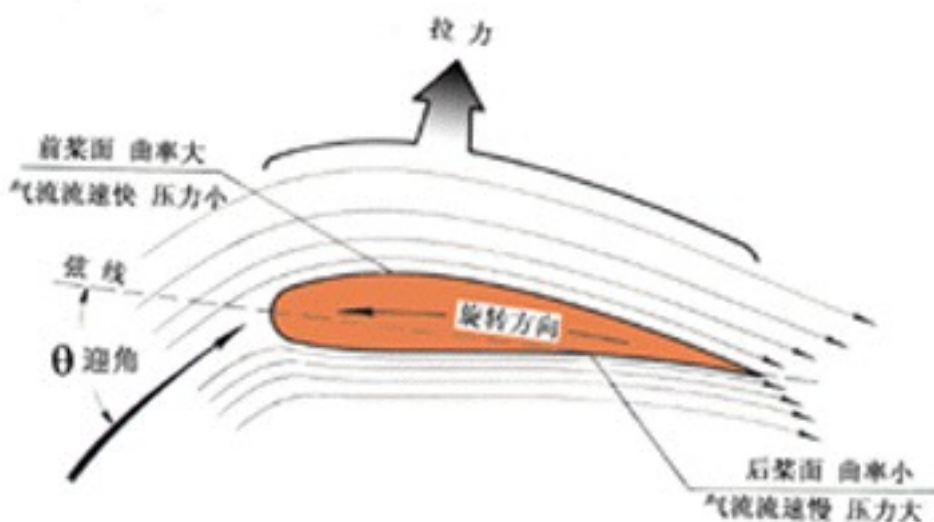
假设螺旋桨在一种不能流动的介质中旋转，那么螺旋桨每转一圈，就会向前进一个距离，连续旋转就形成一段螺旋。同一片桨叶旋转一圈所形成的螺旋的距离，就称为桨距。这个是准确的定义。因为实际上要测量桨距的大小比较困难，所以一般固定桨距的螺旋桨

(简单的螺旋桨飞机和船上用的螺旋桨) 上都会标明桨距的大小(单位以英寸居多), 以便提供给发动机配套使用。

显然桨叶的迎角大, 桨距就大。因此高级一些的螺旋桨飞机或直升机说变桨距其实改变的就是桨叶迎角。因此有人把桨叶迎角与桨距等同起来。其实它们之间是成正比的关系。

识别正反面以及转向:

凸面为迎风面, 对于四轴来说, 就是凸面朝上。



关于反扭力, 正反桨:

反扭力是因为螺旋桨旋转时受到空气阻力的一个分量, 根据力的作用是相互的原则, 反扭力会推动飞机以螺旋桨转动的反方向转动, 四轴飞行了为了抵消螺旋桨的反扭力, 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。适合顺时针旋转的叫正桨、适合逆时针旋转的是反桨。正常四轴飞行时, 四只螺旋桨反扭力正好相互抵消。多旋翼转向运用就是反扭力的原理。

2.2 控制系统

遥控器

关于FM, 2.4G, PPM, PCM:

FM和2.4G。其中FM细分为PPM和PCM。PPM接收机所有厂商的都通用（因为是模拟信号），PCM接收机只有同厂的才能用。**FM已经因为功率大易干扰而淡出市场**。2.4g接收机也是按制式分，但是现在每家厂家都用不同的制式，不同厂的发射/接收基本不能通用。2.4G接收机制式大体有以下几种：天地飞：支持天地飞自家的全部发射机华科尔旧制式：支持华科尔老一代的全部发射机，如2801、2603。华科尔devo：支持华科尔devo系列发射机。飞梦：支持飞梦自家的高频头，不论什么牌子的接收机，只要换上飞梦的高频头就可以用（话说可以换高频头的遥控器是越来越少了）。以上几种价格优势大，性能没什么特色。DSM：最早的2.4G制式，现在几乎没有了。DSM2：Spektrum全系列遥控器和部分JR的遥控器（如DSX7DSM2）可以使。DSMJ：JR很少量的遥控器专用（如DSX7DSMJ），这个制式本来只在日本使用，中国用户非常少，现已停产。DSMX：Spektrum开发的新制式，有双向数据传输功能，目前只有Spektrum DX18、DX8、DX7S三款遥控器可以用，但是这三款遥控器也可以用DSM2接收机。DMSS：JR开发的新制式，同样有双向传输功能，目前只能用JR XG7、XG8、XG11（还没上市）三款遥控器，而且不能用DSM2接收机。FHSS-1/FHSS-3：SANWA（三和电子，美国商标是Airtronics）专用的制式，抗干扰性强，速度快。FHSS-1接收机能用于SANWA全系列发射机（包括枪控）；FHSS-3接收机速度无与伦比，只能用于著名的SD-10G遥控器。FHSS/S-FHSS：Futaba（双叶电子，富得巴，扶她爸）专用的低端制式，抗干扰性强，适用于Futaba的T8J、6J、4YF三款飞机控和大部分Futaba枪控。FASST：Futaba专用的高端制式，抗干扰性强，速度快。适用于著名的T8FG、8FGS、10C、10CG、12FG、12Z、14MZ、18MZ，以及4PKS、3PK等枪控。FAASTest：Futaba 18MZ专用，有双向传输功能，18MZ也能用FASST接收机。其它品牌比如富斯（Frsky）、海太克（Hi-tec）各自用自己的制式，不与其他厂家通用。目前保有量最大的2.4G制式是DSM2和FASST，而性能最好的是FHSS-3。

通道:

通道就是可以遥控器控制的动作路数，比如遥控器只能控制多旋翼上下飞（油门），那么就是1个通道。但多旋翼在控制过程中需要控制的动作路数有：上下（油门 [throttle] ）、左右（倾侧 [roll] ）、前后（俯仰 [pitch] ）、旋转（航向 [yaw] ），

所以最低得4通道遥控器。对于当前飞控来说，模式切换也必不可少，加上这个，所以说想要玩多旋翼，至少5通道以上遥控，如果想以后玩航拍这些就需要更多通道的遥控器了。

日本手、美国手：

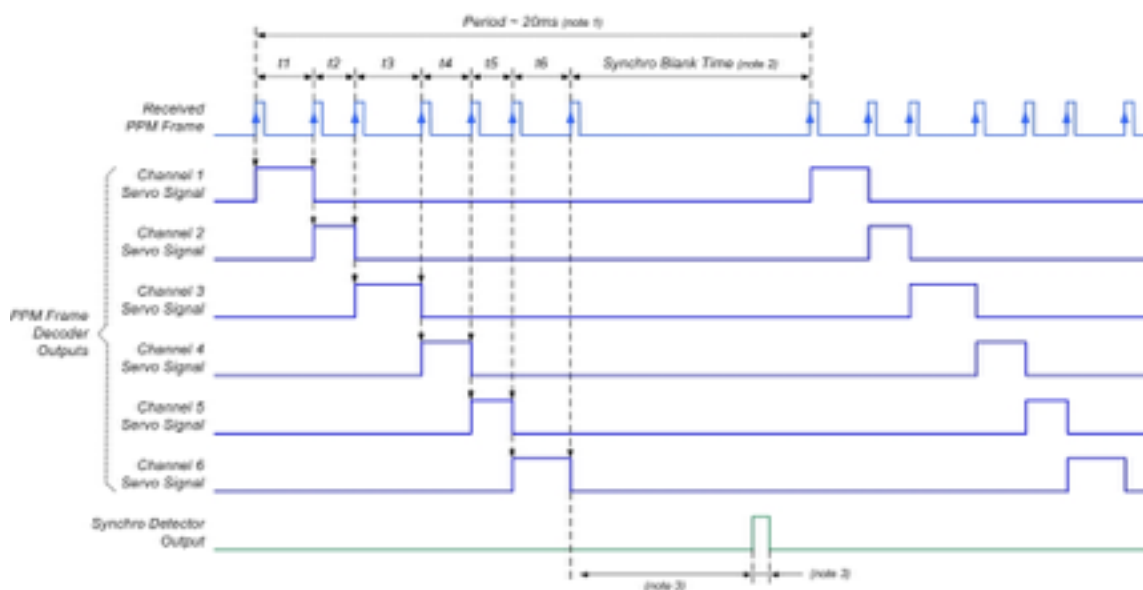
日本手，美国手分别也可以叫做右手油门，左手油门，遥控器上油门的位置在右边是日本手、在左边是美国手，所谓遥控器油门，在四轴飞行器当中控制电机的动力输出，输出功率大，电机转得快。反之同理。判断遥控器的油门很简单，遥控器2个摇杆当中，上下板动后不自动回到中间的那个就是油门摇杆。一般来说，一个人适应美国手或者日本手与生俱来，根据自己习惯来购买对应的遥控器即可。听说中国人日本手居多，但是我是美国手。。

接收机输出（SBUS，PPM，PWM）：

SBUS，PPM可以传递多个通道，PWM单通道，例如某8通道接收机上有10个输出口，分别为8个PWM输出对应每一通道，一路PPM输出（供可以识别PPM信号的飞控），一路RSSI。

SBUS：总线信号，据说是一个串口，TTL电平的，但给反相了一下，波特率也比较特殊，为100000。另外还要奇偶校验和俩停止位。

PPM：(Pulse Position Modulation, 简称**PPM**)，是一种脉冲位置根据被调信号的变化而变化的调制方法。即用不同时间位置的脉波来表达0与1。此地PPM与遥控制式的PPM略有差别。下图为6通道PPM波形图，根据脉冲位置调制。

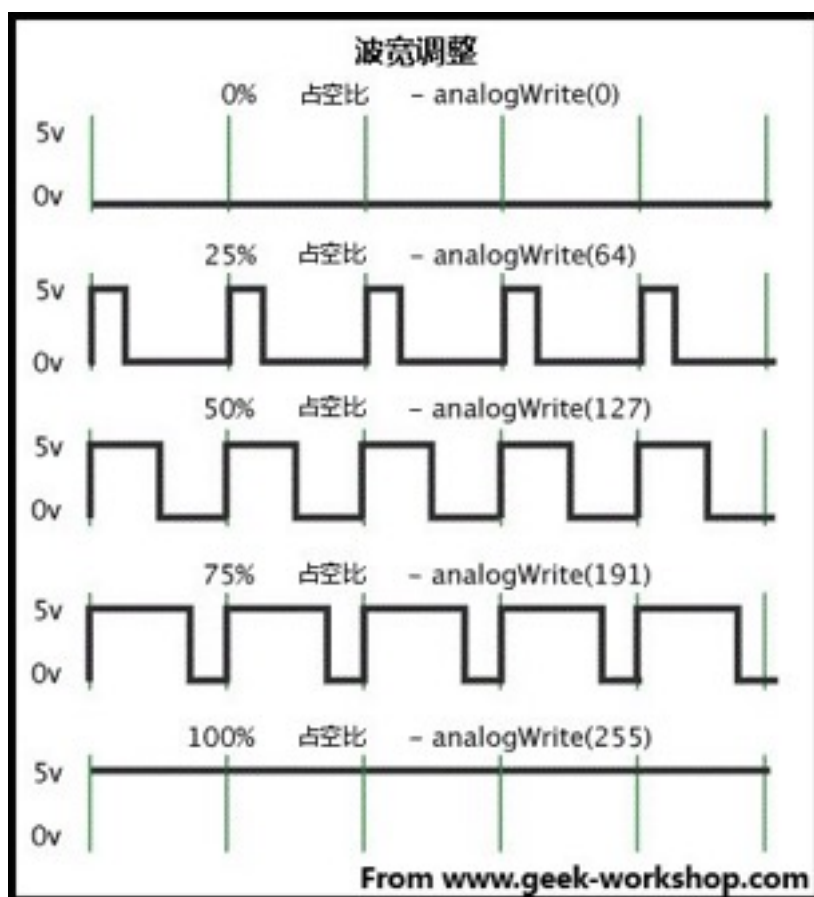


PWM: PWM的英文写法是“Pulse-width modulation”，也有些人士把它翻译成“脉冲宽度调制”。

PWM是用占空比不同的方波，来模拟“模拟输出”的一种方式。简而言之就是电脑只会输出0和1，那么想输出0.5怎么办呢？于是输出01010101....，平均之后的效果就是0.5了。另外还有频率和占空比两个概念。**PWM的频率**是指每秒钟信号从高电平到低电平再回到高电平的次数，**占空比**是高电平持续时间和低电平持续时间之间的比例

PWM的频率越高，其对输出的响应就会越快，频率越低输出响应越慢。以目前看来，所有的航模少不了PWM信号，例如飞控输出给舵机是PWM信号，飞控输出给电调信号也是PWM。输出给电调的PWM频率会比较高，因为多旋翼需要更高的频率修正平衡。

下图为Arduino analogWrite函数输出 PWM 波形式例。实际航模中PWM与下图波形略有差别。



RSSI:

RSSI (Received Signal Strength Indicator) 是接收信号的强度指示，部分接收机支持将信号强度输出，一些飞控可以识别RSSI信号，并可以在即将失控前提醒玩家。例如APM飞控可以读取RSSI，并且叠加在OSD 或者通过数传反馈给玩家。

飞行控制器

飞控的用途:

首先, 飞控充当了一个特殊的适用于多旋翼的混控器, 将遥控输入的横滚, 升降转换为对应电机动力输出的大小, 例如APM (PIX) 飞控ACRO模式 或者是DJI 的手动模式, 此时飞控的姿态稳定算法不介入, 操作类似于直升机, 操作最直接, 可以做特技翻滚。

另外, 现在的飞控都带有电子陀螺仪, 磁罗盘, 加速度计, 气压计等传感器, 在带有姿态稳定的模式下, 通过软件算法, 解析飞行器姿态, 修正由于飞行器安装、外界干扰、零件之间的不一致等原因形成的姿态异常, 帮助保持稳定状态。一些安装有GPS 的飞控可以在遥控失控等特殊情况下自动返回起飞点。

在一些高端飞控中, 更有全自动模式, 只需事先设置好计划任务, 可以由飞控自动驾驶多旋翼完成计划飞行。

飞行模式 (浅谈, 不同飞控自行看说明书类比, 以下以**APM**为例) :

本文只讲多旋翼, 故不包含APM在固定翼, 车 上的模式。

1、稳定模式Stabilize

稳定模式是使用得最多的飞行模式, 也是最基本的飞行模式, 起飞和降落都应该使用此模式。

此模式下, 飞控会让飞行器保持稳定。(陀螺仪, 加速度计介入解算姿态, 气压计, GPS不介入解算姿态) 是初学者进行一般飞行的首选。

一定要确保遥控器上的开关能很方便无误地拨到该模式, 这对抢救紧急情况十分重要。

2、定高模式ALT_HOLD

初次试飞之后就可以尝试定高模式, 此模式不需要GPS支持, APM会根据气压传感器的数据保持当前高度。(陀螺仪, 加速度计, 气压计介入解算姿态)

定高时如果不会定点, 因此飞行器依然会漂移。可以遥控来移动或保持位置。

定高时就是APM控制油门来保持高度。但仍然可以用遥控油门来调整高度。

稳定模式和定高模式之间切换时, 要让遥控发射机的油门在同一位置, 避免因模式切换、油门控制方式发生变化造成飞行器突然上升或者下降。

3、悬停模式Loiter

悬停模式就是GPS定点模式。应该在起飞前先让GPS定点，避免在空中突然定位发生问题。（陀螺仪，加速度计，气压计，GPS介入解算姿态）理论上飞行器不会漂移。可以遥控来移动位置，手感很涩，难以操控，Pos_HOLD模式可弥补。

4、Pos_HOLD （最近加入模式，2014年中下旬）

可以叫做混合模式，带有定点，可以比作 定高模式ALT_HOLD 和 悬停模式Loiter 的混合，手感接近定高模式，松杆可自动刹车并定点悬停。

5、简单模式Simple Mode

简单模式相当于一个无头模式，每个飞行模式的旁边都有一个SimpleMode复选框可以勾选。勾选简单模式后，飞机将解锁起飞前的机头指向恒定作为遥控器前行摇杆的指向，这种模式下无需担心飞行器的姿态，新手非常有用。（此模式下磁罗盘正确校准以及设置很重要）

6、自动模式 AUTO

自动模式下，飞行器将按照预先设置的任务规划控制它的飞行，由于任务规划依赖GPS的定位信息，所以在解锁起飞前，必须确保GPS已经完成定位。

切换到自动模式有两种情况：

如果使用自动模式从地面起飞，飞行器有一个安全机制防止你误拨到自动模式时误启动发生危险，所以需要先手动解锁并手动推油门起飞。起飞后飞行器会参考你最近一次ALT Hold定高的油门值作为油门基准，当爬升到任务规划的第一个目标高度后，开始执行任务规划飞向目标。

如果是空中切换到自动模式，飞行器首先会爬升到第一目标的高度然后开始执行任务。

7、返航模式RTL

返航模式需要GPS定位。GPS在每次解锁前的定位点，就是当前的“家”的位置；GPS如果在起飞前没有定位，在空中首次定位的那个点，就会成为“家”。

进入返航模式后，飞行器会升高到15米，或者如果已经高于15米，就保持当前高度，然后飞回“家”。

还可以设置高级参数选择到“家”后是否自主降落，和悬停多少秒之后自动降落。

8、绕圈模式Circle

当切入绕圈模式时，飞行器会以当前位置为圆心绕圈飞行。而且此时机头会不受遥控器方向舵的控制，始终指向圆心。

如果遥控器给出横滚和俯仰方向上的指令，将会移动圆心。

与定高模式相同，可以通过油门来调整飞行器高度，但是不能降落。

圆的半径可以通过高级参数设置调整。

9、指导模式Guided

此模式需要地面站软件和飞行器之间通信。连接后，在任务规划器MissionPlanner软件地图界面上，在地图上任意位置点鼠标右键，选弹出菜单中的“Flytohere”（飞到这里），软件会让你输入一个高度，然后飞行器会飞到指定位置和高度并保持悬停。

10、跟随模式FollowMe

跟随模式基本原理是：操作者手中的笔记本电脑带有GPS，此GPS会将位置信息通过地面站和数传电台随时发给飞行器，飞行器实际执行的是“飞到这里”的指令。其结果就是飞行器跟随操作者移动。

11、比率控制模式Acro

这个是非稳定模式,这时apm将完全依托遥控器遥控的控制，所有传感器不介入解算姿态，一般用于特技飞行，新手慎用。

关于校准：

一般来说，市面上所有飞控上手后首先进行的就是各项校准，需要校准的项目大致有三：遥控输入校准，加速度校准，罗盘校准。校准的方式具体详见各飞控说明书。

关于PID（感度？应该也算）：

前面在飞控的用途中讲了，飞控用途之一，或者说最重要的用途就是通过软件算法，解析飞行器姿态，修正由于飞行器安装、外界干扰、零件之间的不一致等原因形成的姿态异常，那么飞控在感知到一个与期望姿态的误差量时，如何知道正确修正量呢，此时就需要调整PID或者感度使之干脆利落的修正。

先摘抄一段PID的通俗解释：

以小车纵向控制举例说明PID的一些理解。

由于外界原因，小车的实际速度有时不稳定，这是其一，

要让小车以最快的时间达到既定的目标速度，这是其二。

速度控制系统是闭环，才能满足整个系统的稳定要求，毕竟速度是系统参数之一，这是其三。

小车调速肯定不是线性的，外界因素那么多，没人能证明是线性的。如果是线性的，直接用P就可以了。

比如在PWM=60%时, 速度是2M/S, 那么你要它3M/S, 就把PWM提高到90%。因为 $90/60=3/2$, 这样一来太完美了。

完美是不可能的。

那么不是线性的, 要怎么怎么控制PWM使速度达到即定的速度呢? 即要快, 又要准, 又要狠。(即快准狠)

) 系统这个速度的调整过程就必须通过某个算法调整, 一般PID就是这个所用的算法。

可能会想到, 如果通过编码器测得现在的速度是2.0m/s, 要达到2.3m/s的速度, 那么我把pwm增大一点不

就行了吗? 是的, 增大pwm多少呢? 必须要通过算法, 因为PWM和速度是个什么关系, 对于整个系统来说, 谁也

不知道。要一点一点的试, 加个1%, 不够, 再加1%还是不够, 那么第三次你还会加1%吗? 很有可能就加2%了。

通过PID三个参数得到一个表达式: $\Delta PWM = a * \Delta V1 + b * \Delta V2 + c * \Delta V3$, a b c是通过PID的那个长长的公式展开

, 然后约简后的数字, $\Delta V1$, $\Delta V2$, $\Delta V3$ 此前第一次调整后的速度差, 第二次调整后的速度差, 第三次。。

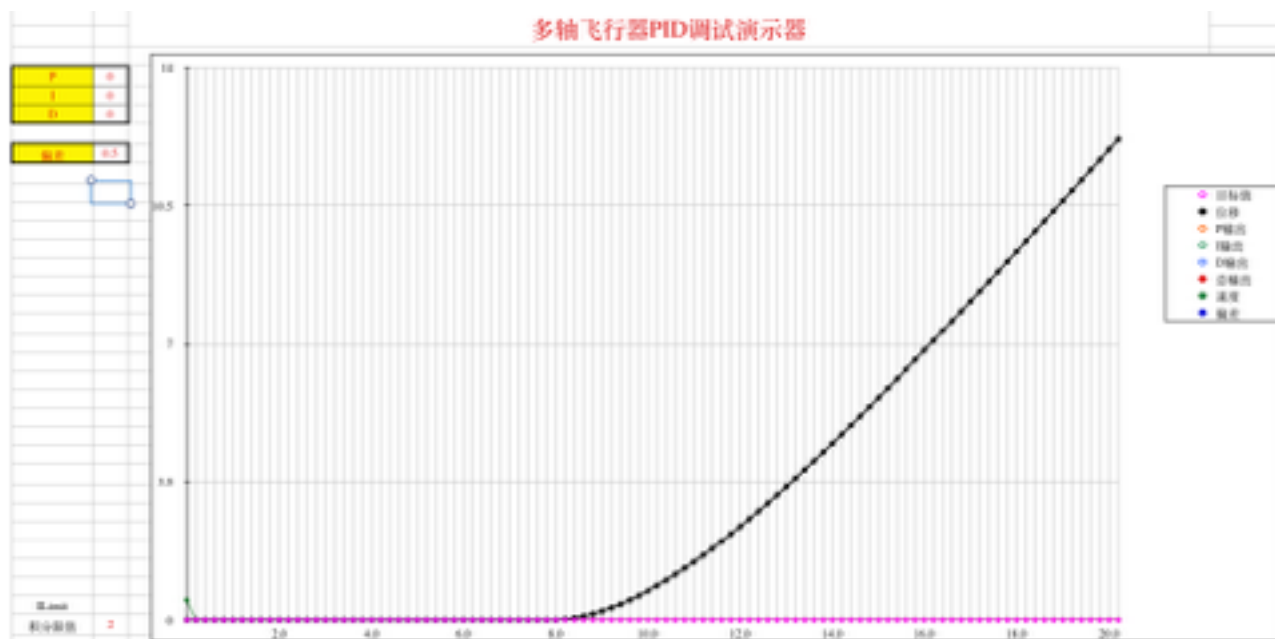
。。。一句话, PID要使当前速度达到目标速度最快, 需要建立如何调整pwm和速度之间的关系。

上文可以把小车速度与多旋翼受外力导致倾斜角度类比, 一般只需要知道PID是一种算法, 而调PID则是调节P, I, D三个参数的值, 使之快速精准的修正。以下通过一个xls图表给大家加深理解, xls作者SZHCS。xls下载 <http://yunpan.cn/cZlvXcRX3YRNW> (提取码: 060e)。

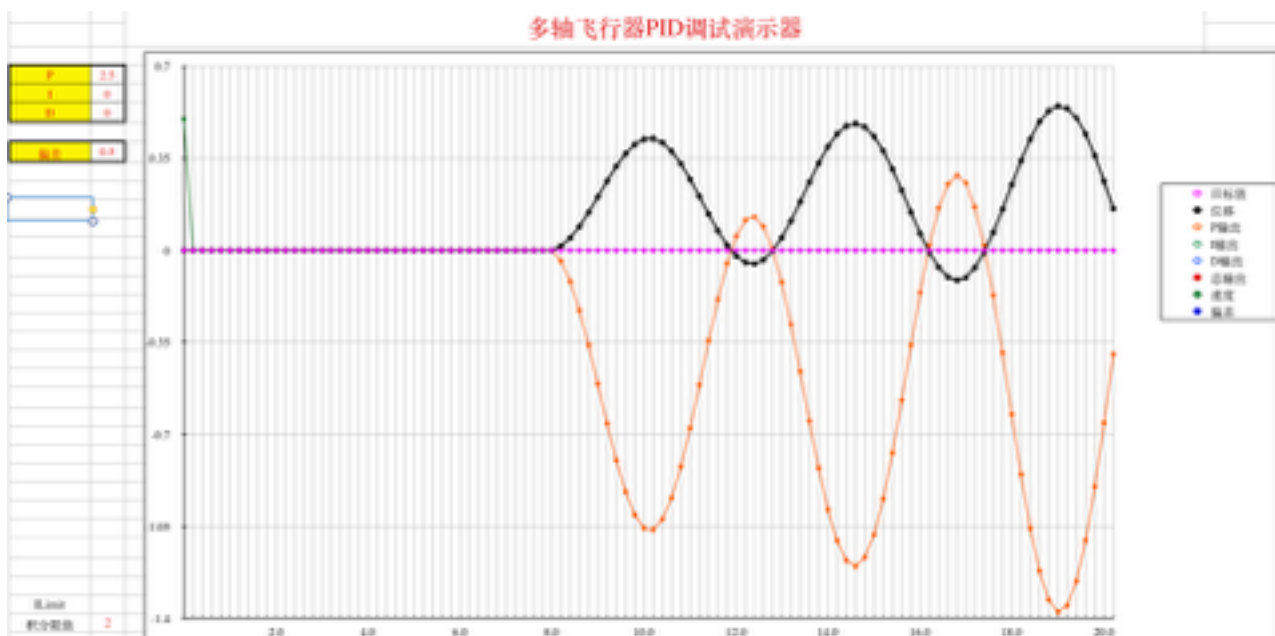
看下文前首先解释PID三个参数的作用。

- 1、P产生响应速度, 过小响应慢, 过大会产生振荡, 是I和D的基础
- 2、I消除偏差、提高精度(在有系统误差和外力作用时), 同时增加了响应速度
- 3、D抑制过冲和振荡, 同时减慢了响应速度

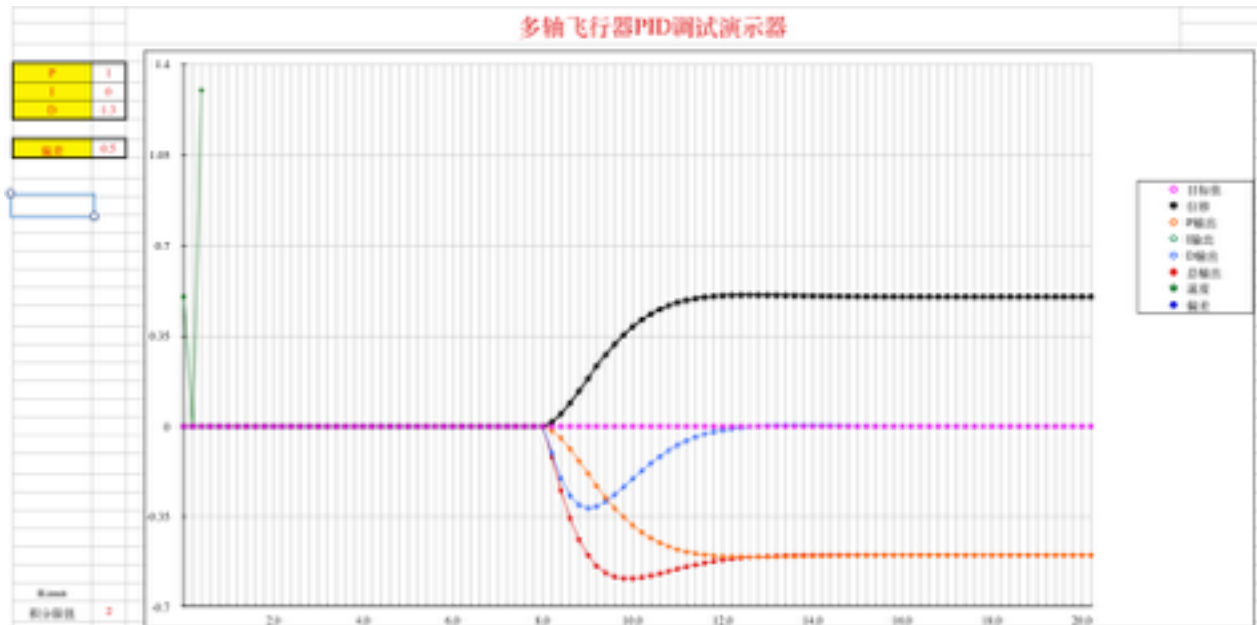
下图P, I, D均为0, 某时刻碰到偏差(上升气流), 实际位移, 可以类比为高度(黑线)与目标(紫色线)情况。



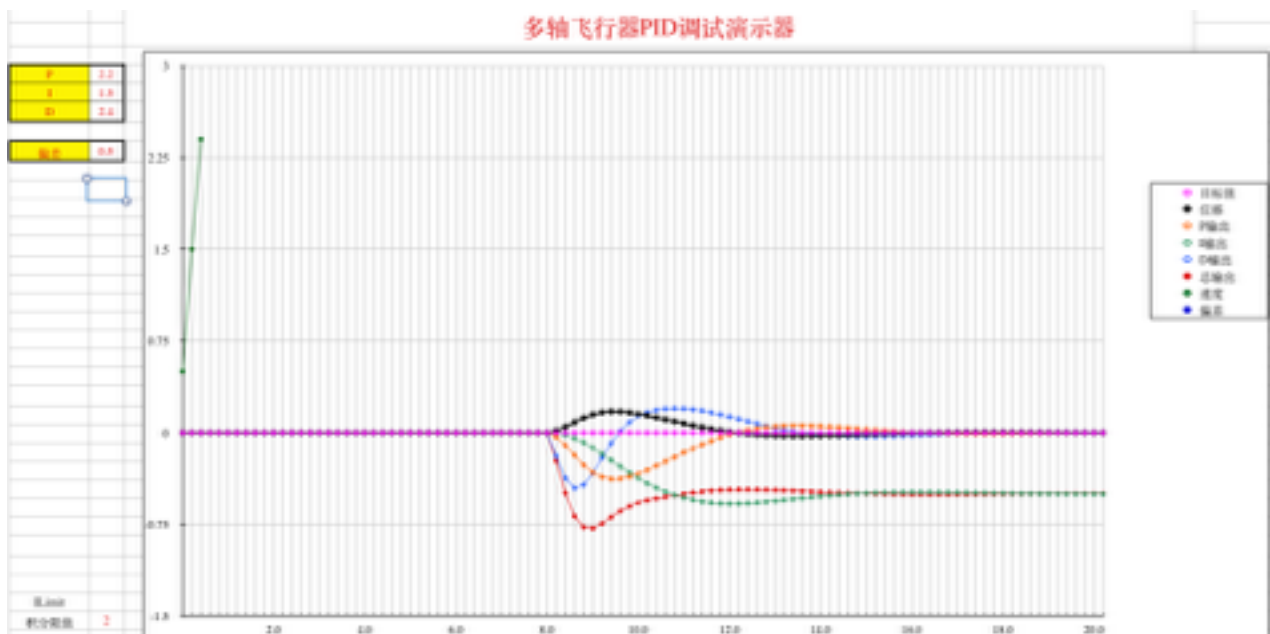
下图P为2.5, I, D均为0, 某时刻碰到偏差(上升气流), 实际位移, 可以类比为高度(黑线)与目标(紫色线)情况。有修正, 但自激, 见位移震荡加剧。



下图P为1, I为0, D为1.3, 某时刻碰到偏差(上升气流), 实际位移, 可以类比为高度(黑线)与目标(紫色线)情况。有修正, 但没回到原值。



下图P为2.2, I为1.5, D为2.4, 某时刻碰到偏差 (上升气流), 实际位移, 可以类比为高度 (黑线) 与目标 (紫色线) 情况。有修正, 回到原值, 较为理想的修正。



2.3 动力储备

电池

按目前来说，动力电池主要以Li-Po(锂聚合物电池)为主，据说国外已经成功测试了燃料电池，期待！！所以此 电池 章节中，没有特殊指出，电池 均指Li-Po电池。

电池结构：

锂电池通常有两种外型：圆柱型和方型。电池内部采用螺旋绕制结构，用一种非常精细而渗透性很强的聚乙烯薄膜隔离材料在正、负极间间隔而成。正极包括由钴酸锂（或镍钴锰酸锂、锰酸锂、磷酸亚铁锂等）及铝箔组成的电流收集极。负极由石墨化碳材料和铜箔组成的电流收集极组成。电池内充有有机电解质溶液。另外还装有安全阀和PTC元件（部分圆柱式使用），以便电池在不正常状态及输出短路时保护电池不受损坏。

单节锂电池的电压为3.7V（磷酸亚铁锂正极的为3.2V），**充满电单节4.2V**（磷酸亚铁锂为3.4V-3.6V）通常以3.0V为下限保护电压，放电至低于2.75V会造成锂电池损坏。

电池S数的意义：

代表锂电池的节数，锂电池1节标准电压为3.7v，那么2s电池，就是代表有2个3.7v电池串联在里面，电压为7.4v。

电池放电C数的意义：

C数代表电池放电能力，这是普通锂电池和动力锂电池最重要区别，动力锂电池需要很大电流放电，这个放电能力就是C来表示的。如1000mah电池 标准为5C，那么用5x1000mah，得出电池可以以5000mh的电流强度放电。（电池厂家虚标严重，实际使用记得打个折扣）

这很重要，如果用低C的电池，大电流放电，电池会迅速损坏，甚至自燃。

电池充电C数的意义：

基本意思同上，为最大充电电流，为了电池健康，1C或以下充电较好。

电池容量：

锂电池容量是指 给一个电池进行恒流恒压充电，然后以恒流放电，放出多少电量就是这个电池的容量。因为锂电池有最低放电电压，即放电电压不能低于2.75V，通常以3.0V为下限保护电压。例如锂电池容量是1000mAh,则充放电电流就1000mA（1C放电，也有说法是0.5C放电），在电池最高电压4.2V内放到3.0V，放出来的容量才是电池最真实的容量。

容量表示方法一般有 mAH 和 WH，* * mAH 表示以 * * mA电流放电，可以连续放电一小时，* * WH 表示以 * * 瓦（W）的功率放电，可以连续放电一小时。

保存方法：

在20°C下可储存半年以上，这是由于它的自放电率很低，而且大部分容量可以恢复。

锂电池存在的自放电现象，如果电池电压在3.6V以下长时间保存，会导致电池过放电而破坏电池内部结构，减少电池寿命。因此长期保存的锂电池应当每3~6个月补电一次，即充电到电压为3.8~3.9V（锂电池最佳储存电压为3.85V左右）、保持在40%-60%放电深度为宜，不宜充满。电池应保存在4°C~35°C的干燥环境中或者防潮包装。要远离热源，也不要置于阳光直射的地方。

过充过放：

锂离子电池的额定电压，因为材料的变化，一般为3.7V，磷酸铁锂（以下称磷铁）正极的则为3.2V。充满电时的终止充电电压国际标准是4.2V，磷铁3.6V。锂离子电池的终止放电电压为2.75V~3.0V(国内电池厂给出工作电压范围或给出终止放电电压，各参数略有不同，一般为3.0~2.75V，磷铁为2.5V。)。低于2.5V（磷铁2.0V）继续放电称为过放（国际标准为最低3.2v，磷铁2.8v），低电压的过放或自放电反应会导致锂离子活性物质分解破坏，并不一定可以还原。而锂离子电池任何形式的过充都会导致电池性能受到严重破坏，甚至爆炸。锂离子电池在充电过程必需避免对电池产生过充。

锂电池的安全性问题：

1、内部短路是如何形成的：锂离子电池的最大的隐患是应用钴酸锂的锂离子电池在过充的情况下（甚至正常充放电时），锂离子在负极堆积形成枝晶，刺穿隔膜，形成内部短路。

2、产生大电流：外部短路，内部短路将产生几百安培的过大电流。

I. 外部短路时，由于外部负载过低，电池瞬间大电流放电。在内阻上消耗大量能量，产生巨大热量。

II. 内部短路，主要原因是隔膜被穿透，内部形成大电流，温度上升导致隔膜熔化，短路面积扩大，进而形成恶性循环。（**特别强调，航模用锂电池一般没有保护壳，运输以及存放需要异常小心**）

3、气体是哪里来的：锂离子电池为达到单只电芯 3 - 4.2V 的高工作电压（镍氢和镍镉电池工作电压为 1.2V，铅酸电池工作电压为 2V），必须采取分解电压大于 2V 的有机电解液，而采用有机电解液在大电流，高温的条件下会被电解，电解产生气体，导致内部压力升高，严重会冲破壳体。

4、燃烧是如何发生的：热量来源于大电流，同时在高电压（超过 5V）情况下，正极锂的氧化物也会发生氧化反应，析出金属锂，在气体导致壳体破裂的情况下，与空气直接接触，导致燃烧，同时引燃电解液，发生强烈火焰，气体急速膨胀，发生爆炸。

5、聚合物电池是否会有安全性问题：聚合物电池与锂离子电池的区别在于电解液为胶状、半固态，锂离子电池电解液为液态。所以，聚合物电池可以使用软包装，在内部产生气体时，可以更早的突破壳体，避免气体聚集过多，产生激烈涨裂。但聚合物电池并没有从根本上解决安全性问题，同样使用钴酸锂和有机电解液，而且电解液为胶状，不易泄漏，将会发生更猛烈的燃烧，燃烧是聚合物电池安全性最大的问题。

充电器

在多旋翼航模中，一般动力电池都在3S以上的锂电池组，而电池组中的锂电池并不能做到内阻，容量，电压等属性完全一致，所以充电需要使用平衡充电器，将电池组中每个电芯平衡到一个同样的水平，以保护电池，延长电池寿命。一个好的平衡充电器可以更加安全的充电（**充电必须需要有人看护，以防意外**），对电池更好的保护，对于决心长期玩模型玩家是一个绝对有价值的投资。

结构件

机架

机架的轴距理论上讲，只要4个螺旋桨不打架就可以了，但要考虑到，螺旋桨之间因为旋转产生的乱流互相影响，建议还是不要太近，否则影响效率。