

航空模型 DIY 新手指南 V1.1

作者：LSF

目前 DIY 的航空飞行器有航模和真实的飞机两种，后者资金和时间消耗过多，不适合一般学生，前者相对成本较低，容易制作成功，本文只简单介绍航模。

1、我国的通用航空政策

在美国、日本、台湾等经济、军事发达国家和地区，航模活动很普遍，并不是什么新鲜事物。国内人们思想保守，有的人往往对新生事物持质疑和抵制态度，另外，航模本身易损坏，加工和返修耗时费力，零配件成本也不低，导致普及缓慢。2010 年以来，国家陆续出台了许多政策支持开拓和发展通用航空产业，私人飞机飞行和航模飞行活动并不违法，无论航模还是真飞机的资料在互联网上可以方便自由获取和交流。在国家政策刺激和商家的广告、行业协会的宣传下，国内近几年也得到很大的普及和发展。需要提醒的是，尽管航模飞行合法，但对玩家的要求较高，切记谨慎操作，注意安全，否则，极易发生事故。

2、航模的类型

航模可以分为固定翼机、旋翼机、直升机、仿生机几类。固定翼分为滑翔机、教练机、像真机、特技机等；根据气动布局的不同分为上单翼、下单翼、前掠翼、后掠翼、鸭翼、V 尾、三角翼、双翼机等；根据材质不同可分为木机和泡沫塑料机；根据动力装置的不同分为螺旋桨飞机和涵道飞机。旋翼机有传统的前拉式单旋翼机、背推式单旋翼机和近几年出现的多旋翼机，其中新出现的四旋翼、六旋翼、八旋翼的机械结构简单，控制灵活，容易制作，目前很流行，但从研究的角度看，多旋翼飞机的电子控制系统复杂，成本也高。直升机有共轴双桨结构、带希拉副翼的单桨结构和无副翼单桨结构，通常直升机的机械结构复杂，除共轴双桨结构（商店里几百元的儿童玩具多采用这种结构）外，一般的单桨直升机机动性太灵活，不好控制，极易损坏或发生事故，不推荐新手尝试。仿生飞机（扑翼机、振翅机）一直是个研究的课题，TED 视频曾经公布过国外的研究最新成果，市场上也有 100 元左右的儿童玩具“电动飞鸟”，仿生飞机的机械结构稍微复杂一点，但是飞行比较省电，飞行起来也比较安全，感兴趣的同学也可以研究一下。适合新手入门 DIY 的航模推荐泡沫板材的固定翼和四旋翼，在互联网上有很多公开的 DIY 资料可供自学或者参考，市面上也有许多配件出售。



后置双桨的三角翼



鸭翼和前掠翼、涵道



V 尾和后掠翼、涵道



共轴双桨直升机



有副翼的单桨直升机



无副翼的单桨直升机



滑翔机、桨前置

四轴八翼航拍机

鱼鹰机，倾转旋翼

图 1 不同结构的航模

3、固定翼航模

对于航模初学者来说，固定翼的原理是入门基础，不管什么航模，固定翼的一些基础常识是普遍适用的，所以先从固定翼开始介绍。

“微风 2005”上单翼教练机是最常见的一种固定翼结构，由飞机本体、动力系统、能源系统、控制系统组成。



图 2 网友 DIY 的微风 2005 航模（无起落架）

飞机本体包括机身、机翼、起落架，机翼包括主翼、副翼、垂直尾翼、水平尾翼，尾翼又由安定面和舵面组成。机翼的辅料有舵角、拉杆、活页、摇臂、拉线等。机身用来固定机翼和电子设备，由机舱盖等板材零件组成，木质机采用轻木（巴尔莎木）和桐木片，泡沫飞机采用 EPP、EPO、KT 板等材质。起落架用于起降时的滑跑，静止时起支撑作用，固定翼的起落架常采用轻质的海绵轮和铝件。飞机外观设计、气动布局的设计、各组成零件的形状可以自己电脑辅助设计，也可以采用现成的航模图纸加工，网络上有数百种飞机图纸可供下载，可以手工逐个零件制作，大约耗时一个礼拜到一个月左右，也可以由激光雕刻机裁切，节省时间，还可以淘宝购买航模成品空机，购买的成品有美工贴纸、组装说明等辅料，容易上手。



电调



舵机



接收机



直升机锁尾陀螺仪



图3 航模的电子设备

动力系统有螺旋桨或者涵道、电动机、变速箱、电子调速器（简称电调）组成，曾经有过甲醇发动机、航空汽油发动机，由于体积大，重量大，已经淘汰，点火器也就不用了。电动机分有刷电机和无刷电机两种，由于航模螺旋桨转速高，有刷电机的电刷部分极易损耗，电能转换效率也不高，逐渐被淘汰，只出现在廉价儿童航模玩具中。目前航模的主流动力输出设备就是无刷电机，相对于有刷电机，无刷电机体积小、重量轻、能效高、耐磨损，非常适用于航模，缺点就是价格稍贵一些。通常变速箱是和有刷电机配对出现的，几百元的儿童玩具直升机航模常见这种动力配置。无刷电机的扭矩通常够大，较少采用变速箱。电子调速器用于控制电机的转速，航模飞机在飞行的过程中经常需要改变自身的速度，就靠调速器来实现。同时，调速器也用来对电池的电压做变换，负责供给舵机、接收机的工作电压。螺旋桨飞机效率较高，但是旋转的螺旋桨容易伤人，不太安全，涵道飞机的风扇隐藏在内部，不会伤人，但是能效低，各有利弊。

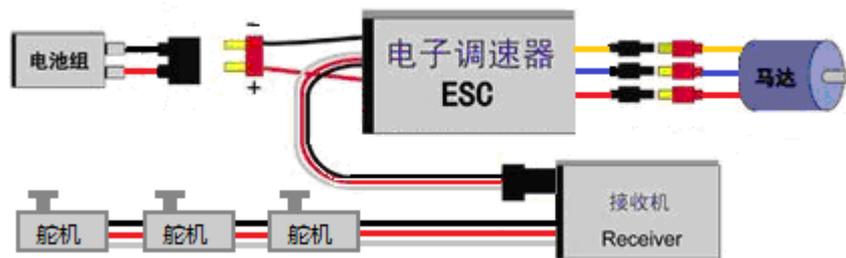


图4 固定翼航模电子设备连接图

能源系统过去是航空汽油、甲醇，后来出现镍氢电池，现在的主流是动力锂电池，这种电池容量大、放电倍率高，体积、重量相对较小，非常适合航模，但是需要专门的锂电平衡充电器。锂电池又有锂离子电池、锂铁电池、聚合物锂电池，性能略有区别。需要指出的是生活中常见的手机和笔记本电脑用的锂电池容量小，放电倍率更小，不能用于航模。

控制系统由无线电遥控器、接收机、舵机等组成。遥控器就是发射机，必须和接收机的编码方式、工作频点一致，保证同时飞行的多个航模不会发生冲突引起失控，常见的遥控器的工作频率有27MHz、48MHz、72MHz和2.4GHz，功率在250mw左右，辐射范围在800米之内，尽管增大功率可以增加辐射范围，但是功率大了对操纵者自己身体的辐射也大，另外对环境的电磁污染也大，所以遥控器的功率是有限制的。专业级的航模遥控器至少包括4个通道的信号，分别是油门、副翼（倾转）、升降舵（俯仰）和方向舵（偏航）。舵机就是微型伺服电机，和机器人的舵机不同，航模舵机只能在一定的角度范围内来回转动，不能360度连续转动。舵机的作用是控制机翼活动面（舵面）的转动。对于小型航模，通常3个舵机足够，一个控制副翼，另两个分别控制升降舵和方向舵。无线电接收

机装在航模上分别连接调速器和 3 个舵机，它将接收到的遥控器发出的无线电信号还原成各个通道的控制指令，用这些指令改变电机速度和机翼舵面的转动角度，实现飞机空中姿态的控制。

现在列一组数据，以对航模有个初步认识。对于一架 400 克左右的小型航模，翼展 1.1 米，机身长度 950mm，螺旋桨尺寸 9050（直径 9 英寸，桨距 5 英寸），电机采用 XXD2212（定子直径 22mm，转子高度 12mm）、KV 值 930，采用标称电流 30A 的国产新西达电调，电力采用一个 3S1P 连接的锂电池组（单芯电池容量 1500mAh、放电倍率 20C，电压 11.1V-12.6V），最大油门高速飞行时转速在 8000rpm 左右，电流在 20A 左右，电机功率就是 240W，可以产生大约 700 克的拉力，实际飞行时并不是一直在最大油门，电流也就小于 20A，总的飞行时间可以延长在 15 分钟左右。

4、直升机航模

直升机的优点是可实现固定翼无法做到的定点悬停和垂直起降，适合于航拍等应用（真实的固定翼飞机不可能悬停，但是固定翼航模可以悬停，也叫“吊机”，特殊结构的固定翼飞机也可以垂直起降，比如鱼鹰飞机）。现代直升机的起源可以追溯到公元 1483-1486 年间达芬奇绘制的人力旋翼螺旋桨直升飞机模型草图。常见的航模直升机可分为共轴双桨和单桨两种结构。商店里常见的那种几百元的儿童玩具直升机属于共轴双桨结构，机械机构相对简单，稳定性很好，不宜摔坏，但是机动性能不好，抗风能力差，不能做 3D 动作。过去的油动直升机航模多采用有副翼结构，属于直升机原理中的希拉结构或者贝尔-希拉结构。2010 年以来，随着 MEMS 技术的普及，MEMS 结构的电子陀螺仪在航模直升机中被广泛采用，电子增稳系统取代了希拉副翼，出现了无副翼的电动直升机航模。

共轴双桨直升机航模属于儿童玩具，不能算专业的航模。通常说的直升机航模就是特指单桨结构，由主螺旋桨（尺寸较大，俗称大桨）、旋翼头（由十字盘、铰链等组成，机械结构复杂）、尾螺旋桨（小桨）、机身、尾管、起落架、锁尾陀螺仪、主电机、电调、电池、接收机、十字盘舵机（3 个）和锁尾舵机、副翼、平衡锤、机头罩组成，辅料有皮带、齿轮、轴承、桨夹、球头、铰链、十字盘拉杆、尾舵机拉杆、摇臂等等，主螺旋桨采用木质、碳纤、玻纤几种，机身采用铝合金、碳纤维板件等。



图 5 空中倒飞悬停的 3D 电动直升机

直升机航模机械结构复杂，组装、调试、维修、维护都很繁琐，尽管飞行起来灵活多样，但练习过程却很艰辛，需要钱和时间的代价，而且必须谨慎操作，否则容易发生事故，轻则摔坏飞机，重则伤害自己和观众！

六通道的 3D 直升机除了常规的升降、悬停、前进、后退、转向、侧飞外，还可以在天空做出各种花样特技动作，比如倒飞、任意翻滚等，想高就高、想低就低，静如处子、动如脱兔。尤其是老式的油动直升机航模，动力强劲，汽油发动机发出摩托车般的轰鸣声，拖着白烟在玉米地里贴着玉米的上稍倒飞着疾驰而

过，所经过出，玉米的花穗和叶子像被切草机般的切落下来，非常惊险刺激。3D直升机的花样特技飞行是所有航模中对操纵者要求最高的，是最难飞的一种航模，非常容易摔坏。

尽管直升机具有垂直起降（对机场要求低）和定点悬停的优点，但是也有缺点。首先机械结构复杂，容易出故障，一旦在空中出现故障必然坠落，而固定翼飞机即使失去动力（发动机损坏或者没油了）依然能滑翔降落。其次，由于直升机前进的力量只是螺旋桨产生的升力的水平分量，因而前进的动力不大，速度不高，一个例证就是超音速飞机全部是固定翼，没有直升机。第三个缺点就是直升机无法像固定翼飞机那样关闭动力滑翔前进，它的发动机一直不停的在运转，非常费油，续航时间短，飞不远。

5、单旋翼机航模

直升机的升力靠高速旋转的主螺旋桨提供，这个主螺旋桨直接和发动机的输出装置接驳，一旦发动机故障，主螺旋桨就被卡住了无法继续旋转，于是直升机就坠落了，这是非常致命的缺陷！传统的单旋翼机就是为了克服直升机的这个先天缺陷出现的，它也在垂直轴向上具有一个提供升力的大螺旋桨，和直升机不同的是它还在水平轴向上安置有另一个小螺旋桨，并且这个小螺旋桨和发动机的输出力量接驳，而大螺旋桨却没有，大螺旋桨可以自由转动，实际工作时是被动旋转的，这一点从图 6a 中可以直观的看出来。图 6a 是前拉式旋翼机，它除了有类似于直升机的主旋翼外，还有类似于固定翼飞机的前拉式的小螺旋桨和尾翼结构。在助跑阶段，前拉式小螺旋桨高速旋转产生的拉力带动整个飞机向前猛冲，主旋翼和空气有了相对运动，由于主旋翼平面和水平面间存在一个夹角，并且主旋翼翼型的存在，于是被动地开始旋转起来，当旋转产生的升力足够大时飞机开始脱离地面，此后一直在前拉小螺旋桨的带动下维持这样的升力。当电池没电了，小螺旋桨不能旋转时，大螺旋桨靠惯性慢慢减速，飞机升力不足开始下降，当下降速度加快时，大螺旋桨受到由下向上气流的作用开始加速旋转，这个旋转又产生了升力阻碍了急速下降，于是传统结构的单旋翼机就这样慢慢降落了，避免了急速坠落。现在新式的直升机也借鉴了旋翼机的这种结构优点，改进了主螺旋桨齿轮结构，当发动机故障时能够及时的断开主螺旋桨和动力齿轮的连接。



a 前拉式旋翼机（航模）

b 背推式旋翼机（真飞机）

图 6 传统结构的旋翼机

最近，日本人又发明了一种新的单旋翼机，也叫单轴球形飞行器，虽然也是一个旋翼，但和上述的直升机、旋翼机又有不同，如图 7 所示。



图7 日本人发明的单轴球形飞行器

6、多旋翼机航模

有部印度电影叫做“三傻大闹宝莱坞”，里面的主角之一自己DIY了一个四旋翼航拍机，时间设定的比较早。其实这种航模国际上最初出现在2006年，以前也有人设想过、研究过，但都没有成功，原因是以前的航模或者飞机都是采用油动发动机，只能通过机械的方式调速，无法实现对多个油动发动机速度的精准协调控制，另一个限制因素是当时的检测飞行器姿态的陀螺仪等传感器体积大、笨重，灵敏度、精度不够，价格昂贵，也不满足要求。直到2000年后，小型化无刷电机、大容量小体积的动力锂电池、MEMS或者压电式的小型陀螺仪、角度传感器芯片的逐步出现，才使得多旋翼飞行器具备技术上的条件。2006年10月，德国人Holger Buss和Ingo Busker在开源社区发起并公开了一个叫做Mikrokopter（简称MK）的多旋翼飞行器项目。之后，世界各地的航模和电子爱好者加入四旋翼的DIY和研发队伍，国内外许多公司和个人也搞出了一些类似的多旋翼项目，控制器的源代码大多互相抄袭修改，名字五花八门。比如韩国人搞得kkmulticopter（简称KK）飞控项目、香港科比特公司的MMC飞控、国内山寨的“玉兔”、“哪吒”、深圳微软等几家公司的员工自己成立的“Xaircraft”等等，深圳的“大疆”公司就是在这种背景下壮大起来的。2009年以来，在这股浪潮的影响下，多旋翼机不仅引起传统的航模爱好者、航拍公司、玩具公司的注意，很快在物流运输、农业、林业、电力线巡检、地理测绘、城市规划、影视制作、公安、武警和军队无人机等应用领域也发现了用武之地，逐渐形成一股四旋翼航拍的热潮，就连苹果和谷歌公司也开发了针对智能手机的飞行控制软件和相应的航拍飞行器套件。需要提醒的是，不同公司的多旋翼机性能和价格差距较大，尤其是个人采用低端飞控（比如KK飞控）DIY的成品，参数调试不合适的时候，未必飞行稳定可靠，发生事故的隐患是存在的，尽管不像3D直升机那样危险，但依然必须小心谨慎！

多旋翼航模具有直升机的所有优点，并且飞行起来更加灵活，悬停的时候更加稳定，机械结构简单，容易制作。但是作为研究对象来看待的话，这种飞行器的控制系统的工作原理是比较复杂的。

多旋翼飞行器有双旋翼、三旋翼、四旋翼、六旋翼、八旋翼等结构。双旋翼飞机的概念和过去的“鱼鹰”式倾转旋翼飞机相似，这种结构在“阿凡达”、“变形金刚”等科幻大片中也经常出现，兼有固定翼和直升机的优点。三旋翼机比较独特，有Y形、等边三角形等结构，不常见。四旋翼、六旋翼、八旋翼等基本原理类似，只是增加了冗余动力避免因个别电机故障引起整机的失控，同时增加

了载重能力。



图 8 常见的多旋翼机

目前被 DIY 最多的是四旋翼航模，由机架（机身和起落架）、机头罩或防撞圈、四个电机、四个电调、电池、接收机、飞行控制器（简称飞控）、遥控器组成。如果作为 FPV 的话，还需要增加导航模块、GPS 接收器、电子罗盘、无线电发射器（分为无线图传和数传）、摄像头、云台等。图 9 所示的是 KK 飞控和导航模块实物图，图中左侧是 GPS 模块，右侧的两层结构中上层是飞控，下层是导航模块。目前这些模块市面上都可买到，网络上也有 DIY 需要的电路图、源代码等资料。



图 9 KK 飞控与 GPS 导航板

四旋翼航模采用和固定翼航模相同的遥控器和接收机，和固定翼一样的遥控器摇杆动作位置控制俯仰、偏航、倾转和升降。但是航模遥控器最初是按照固定翼和直升机设计的，那个时候还没有四旋翼飞机，因而四旋翼航模增加了一个的飞控来实现将遥控器的控制指令“翻译”成自己独特的控制方式，就是对四个电机转速的协调控制，和固定翼相比，四旋翼机增加了飞控的重量。螺旋桨、电机、电调也变成了四倍。电池也是一拖四，因而对电池的容量和放电倍率要求也高，电池的重量也比较大，整机总的重量是有增加的，只是整机重量均摊在四个电机上，每个电机的工作电流可以小一些，没有固定翼飞机那么大。本人曾经测过，同样型号的电机对于 400 克固定翼，最大油门时电流约 20A，四旋翼测得电流约 10A。另外，四旋翼机对四个电机的技术参数一致性要求较高，对电调的控制速度要求也高，传统固定翼航模用的电调是 50Hz 的信号，高档飞控匹配的四旋翼电调是 500Hz 甚至更高，只有部分低档飞控（如 KK）兼容传统固定翼电调。



图 10 学生 DIY 的四旋翼

多旋翼机的飞控是电子和控制技术精华所在，除了转换遥控器的指令外，通常至少具备一套 3 个轴的倾转传感器，也就是陀螺仪或者角加速度传感器，有的还具备冗余传感器配置，消除传感器本身的误差，辅助实现惯性导航。图 11 是网友整理的 MK 飞控基本原理图。

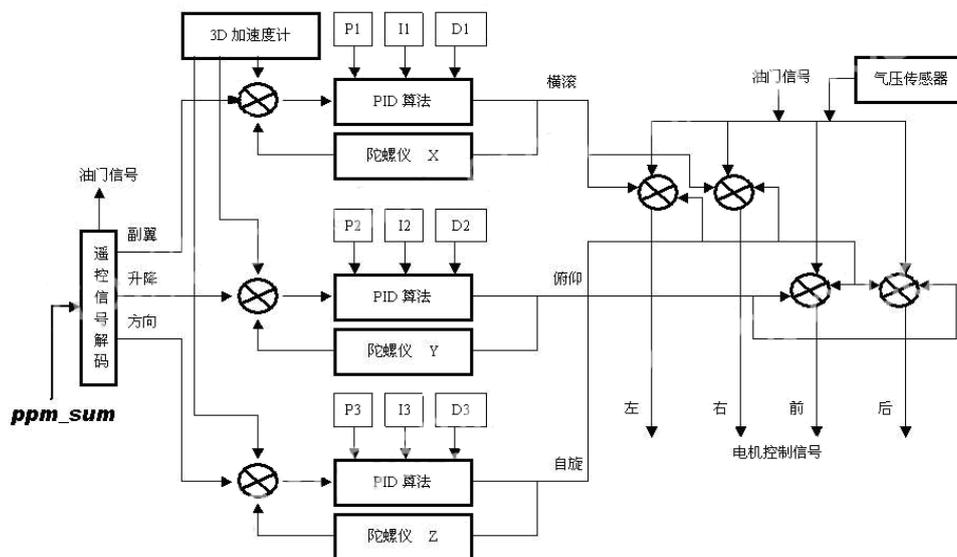


图 11 MK V2.0 多旋翼机飞控基本原理

7、FPV 与 UAV

目前，航模领域出现 FPV (First person view) 飞行的概念，这是相对于常规的航模控制方式来说的。以往航模都是人在地面上利用手中的无线电遥控器一边看着空中的航模一边控制姿态和轨迹，必须高度集中注意力，视力也要好才行，因而对人的要求比较高一些，新手们经常由于不习惯遥控器的操纵摔坏航模，甚至闹出人身伤害事故，所以必须有经验丰富的师傅带着手把手指导和救急。FPV 的意思就是尽管人还在地面上操纵遥控器，但是航模上增加了视觉（摄像头）、高度（气压计）、速度、剩余电量、电机转速、航模自身的姿态、GPS 坐标等传感器可以向遥控器回传数据，此时的遥控器也可以看做地面站了，操纵者不需要

一直盯着天空中的航模，甚至飞远了看不见航模也没事，只要看着地面站上面的 LCD 显示屏显示的信息就可以给出相应的控制动作，当然，FPV 飞行在常规航模的基础上增加了许多电子设备，就连遥控器也需要升级改造。部分地面站的功能也可以电脑软件实现，笔记本电脑作为地面站，适合带在野外完成操作。最新的成果是，可以在笔记本电脑的地图软件界面里设置好飞行路径后下载给航模，之后，航模借助 GPS 导航或者惯性导航等辅助设备可以自主飞行，在飞行途中可以稳定悬停捕获感兴趣的画面，结束飞行任务后返回出发点，也可以在指定的两地间运送少量货物，基本接近于一个飞行机器人了。

FPV 是在常规航模的基础上改装升级来的，这些升级模块可以购买现成的商品，也可以自制，它们都是电子系统，很适合自动化、控制、电子、通信等专业的本科及以上学历的人士研究或者开发，尤其是能够自主避障循迹飞行的飞行机器人也可以作为科研课题。

除了性能上不足之外，现在一些 FPV 航模和非军用的无人机(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)已经很接近了。



系統介紹
System Introduction

微型UAV飛行系統

具備垂直起降、自主控制GPS定點停懸、自動抗風高度位置保持、輕鬆拍攝水平360度及垂直90度旋轉環場影像。

具備飛行紀錄器，詳細記錄載具之飛行姿態、軌跡、高度、通訊品質及電力狀況。

1000萬畫素以上、具攝影功能之數位相機，搭配專用攝影雲台穩定器，控制拍攝角度、調整焦距、舉動快門拍攝，影像信號輸出配合無線影像傳輸設備即時將鏡頭畫面傳回飛行載具控制器，所視影像範圍即為相機拍攝影像範圍。

特殊自動駕駛

- *異常發生時自動回航能力。
- *自動起飛與自動降落能力。
- *自動穩定抗風停懸能力。
- *自動負載追蹤及計算能力。

地面監控系統

地面監控系統目的為操控微型UAV、記錄載具之飛航參數、狀態參數與觀察影像。
裝備包括：載具飛行控制器、無線電接收器及飛行紀錄器。

1. 載具飛行控制器

具有多頻道通訊能力，編解碼為極抗干擾之調變系統，並可以使用教練模式與其他控制器連線，帶領新手使用者入門。

可即時接收微型UAV之GPS座標、高度、溫度、速度、飛行姿態、推力、飛行時間與電力狀態等參數，並監控各參數之變化。

2. 無線電接收器

接收範圍：< 750m
可即時接收微型UAV上數位相機所視之即時影像，並展示於載具飛行控制器。

图 12 一家公司的微型 UAV 产品介绍彩页

8、航拍机

早期，电视台、电影制作等需要航拍的时候，都是使用直升机直接把摄影师起在空中拍摄，成本很高。后来也有用慢速的固定翼航模做航拍，缺点是一掠而过无法悬停。直升机航模出现后，很快成为航拍的一个选择，对于婚庆公司拍摄婚礼现场这种小型应用，室内航拍使用普通的 3.5 通道的共轴双桨直升机（就是质量好一点的那种儿童玩具飞机）足够了，室外航拍要求一定的抗风性能，4 通道的单桨直升机足够了。至于六通道的 3D 直升机纯粹是航模爱好者的玩具，用来特技表演可以，做航拍的话，既危险又不能充分发挥性能，大材小用，极不推荐。



a 航拍直升机（挂载数码相机）



b 航拍摄像头（含云台和无线图传）

图 13 航拍设备

现在，最佳航拍机不是直升机也不是固定翼，而是多旋翼航模，除了要求飞控、电机等设备性能良好外，多旋翼航拍机通常还增加了一个舵机负责对云台的增稳控制，以求尽量拍摄出稳定清晰的地画面。

9、仿生飞行器

这种飞机没有螺旋桨或者涵道，完全模仿可以飞行的鸟类或者昆虫的扑翼或者振翅的原理设计。仿生飞机的机械结构稍微复杂一点，但是具有滑翔机的优点，飞行比较省电，没有暴露在外面的螺旋桨，飞行起来也比较安全，另外具有一定的逼真度和迷惑性，除了作为玩具外，还适用于一些特殊应用领域。淘宝上有几块钱的橡皮筋动力的“飞鸟”儿童玩具，也有百十块钱的电动飞鸟儿童玩具，都属于简陋的仿生飞行器。至于专业的仿生飞机，国内外都有研究机构一直致力研发。



电动飞鸟玩具



橡皮筋扑翼机玩具



德国的 Festo 仿生鸟

图 14 仿生飞行器

10、DIY 航模的条件

中学以上文化程度即可胜任组装、调试常见固定翼、直升机、旋翼机，如果连航模的电子设备（电调、飞控、导航模块、地面站的软硬件、遥控器）也自制或者研究的话，最好是电子、电气、通信、控制、计算机专业本科以上学历者。

DIY 航模需要专门的一间工作室。照明要好，能满足夜间加工的需要；面积要大，保证墙壁上有足够空间吊挂或者摆放航模；至少一张大工作台（乒乓球台面大小）用来绘图、裁切板材制作零件、组装航模、调试航模；一台计算机用来下载模型图纸、和模友交流沟通、网购器材、模拟飞行练习、航模的设计与仿真等；一台激光雕刻机用于切割零件；一台打印机用于打印 1:1 大小的零件小样。



图 15 航模的一种存放方法



图 16 RTF 整机

如经费不够手工制作零件的话，需要用到的工具有：美工刀、笔刀、锉刀、螺丝刀、剪刀、手钻、手锯、砂纸、绘图尺、圆规、量角器、铅笔等。用到的耗材有轻木片、桐木片、KT板、碳纤棒、碳纤片、碳纤管、纤维胶带、魔术贴、扎带、双面胶、透明胶带、泡沫胶、热缩蒙皮纸、钢丝、金属螺丝螺母、尼纶支柱、尼纶螺母、海绵轮、轮挡、Y形线、延长线、活页、舵角、动力锂电池、遥控器锂电池、锂电池平衡充电器、电调、无刷电机、螺旋桨、桨保护器、电机座、舵机、6通道遥控器、航模接收机、万用表、弹簧称、飞行模拟器、飞行模拟软件、飞控、飞控程序下载器、GPS接收模块和天线、电子罗盘、导航模块、无线图传、无线数传等。

如果是购买成品航模的话，常见的术语有KIT、RTF、PNP、ARF。KIT指空机一个，没有任何电子设备，通常难组装部分的，如机身已经组装起来了，而副翼、尾翼、起落架还需要自己安装，电池、电机、电调、舵机等还需要购买。PNP指的是包括机身内部电子设备的整机，没有遥控器、电池、充电器。RTF指的是全部设备都有的整机，到手后把机翼、电池组装一下，就可以飞了。ARF即Almost Ready to Fly，东西齐全，还需要自己组装和调试才能飞行。

11、航模的飞行

户外飞行之前必须熟悉航模的飞行原理，明白遥控器的操纵动作对应的航模的姿态变化，头脑中有飞行路线和控制方法。在没有师傅的情况下，运用电脑模拟软件练习飞行是一个节省成本的好方法，在电脑上可以联系起飞、姿态控制、直线飞行、航线飞行、降落要领，通常初学者开始的时候都是人被航模控制而不是人在控制航模，必须熟练到人在控制航模，遥控器摇杆位置和电脑屏幕上的航模建立很强的一一映射关系，至少不会摔机之后方可进入实战阶段。顺便推荐关于航模飞行的经典著作“无线电遥控模型飞机戴氏教学法”系列的两本书。

通常航模遥控器都配有模拟接口，购买一个模拟适配器即可连接电脑练习飞行了。常见的飞行模拟软件有RealFlight、Reflex XTR、AeroFly、FMS，这些都可以下载到破解版，FMS（Flying Model Simulation）本来就是免费共享软件。

飞行之前的准备工作：

- (1) 个人心情要好，精神状态饱满，最好有助手或者师傅陪同。
- (2) 天气要好，天空晴朗、能见度高，地面风力不要超过3级。
- (3) 选择合适的飞行场地。国外发达国家有专门的航模机场，国内的话通常都是模友自己搜寻理想的场地了，初学者练手的话最好是无人的空旷的草地并有硬的地面适合助跑，看热闹的观众最好回避或者做好安全防范意识和准备意外工作。

(4) 选择没有故障的航模，并且已经调试完毕。先断开电池检查各舵面是否在正确的位置、螺丝是否紧固、螺旋桨是否紧固、电池是否充满电等，排除问题后，先打开遥控器电源，将油门放在最低档，然后接通航模的电池，小幅度拨动摇杆检查遥控器通道映射是否正确，是否可以控制各舵面正确摆动，螺旋桨速度是否可控、旋转方向是否正确等等，确认无问题后开始练习起飞、拐弯、降落……

直升机航模飞行前的调试和校对工作与固定翼略有不同，具体请论坛自学。

四旋翼航模飞行前的调试和校对工作与固定翼和直升机都不同，通常有校对传感器的步骤，具体与飞控的软件设计有关，飞行前请仔细阅读说明书操作。



图 17 破解版的四合一飞行模拟器

12、其他资料

对航模感兴趣的同学想自学的话，推荐国内人气高的航模类论坛有：

www.mx3g.com、www.5imx.com。

德国MK公司网址：<http://www.mikrokoetter.de/en/home>。

下面是几个飞行录像，可以看看放松一下。

http://v.youku.com/v_show/id_XMzc5ODUwODE2.html，固定翼特技飞行

http://v.youku.com/v_show/id_XNDMxMTU2NzY0.html?from=y1.2-1-98.3.1-1.1-1-1-0，3D直升机暴力飞行

http://v.youku.com/v_show/id_XMzcmMTA0NDEy.html，四旋翼 1

http://v.youku.com/v_show/id_XNTc0MTk0MzI4.html，四旋翼 2

http://v.youku.com/v_show/id_XNTEsNzc3MDM2.html，微型四旋翼

http://v.youku.com/v_show/id_XNzI4MDk1OTUy.html，仿生飞鸟 1

http://v.youku.com/v_show/id_XMzQ1MTAyMDQw.html，仿生飞鸟 2

http://v.youku.com/v_show/id_XNTQyNDEzNDQ4.html，仿生蜻蜓

http://v.youku.com/v_show/id_XODk0MjUyOTI=.html，共轴双桨单人直升机