



职业教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

# 无人机操控技术

张月义 韦志军 郭文亮◎主编



西北工业大学出版社

职业教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

# 无人机操控技术

主 编	张月义	韦志军	郭文亮
编 者	张月义	韦志军	郭文亮
	张翰博	张鹤东	

西北工业大学出版社

西安

**【内容简介】** 无人机操控技术是无人机专业必修课的教材。具体内容是多轴旋翼无人机基础操作、固定翼飞机操控原理、改善固定翼飞机的飞行性能、固定翼飞机飞行训练、固定翼教练机制作、固定翼飞机首飞航线控制、固定翼飞机起飞控制、固定翼飞机着陆控制、直升机、无人机飞行操控及无人机日常维护。本书具有技术前瞻性、业务通用性、案例趣味性等特点。

本书可以作为中、高职院校无人机应用技术专业课程的教材,也可供无人机培训学校学生和无人机爱好者学习、参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

无人机操控技术/张月义,韦志军,郭文亮主编.

—西安:西北工业大学出版社,2019.12

ISBN 978-7-5612-6644-1

I. ①无… II. ①张… ②韦… ③郭… III. ①无人驾驶飞机-教材 IV. ①V279

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 277293 号

WURENJI CAOKONG JISHU

无人 机 操 控 技 术

责任编辑:张友

策划编辑:杨军

责任校对:胡莉巾

装帧设计:李飞

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号

邮编:710072

电 话:(029)88491757, 88493844

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西天意印务有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:10.75

字 数:285千字

版 次:2019年12月第1版

2019年12月第1次印刷

定 价:39.00元

如有印装问题请与出版社联系调换

# 前 言

围绕实现制造强国的战略目标,国务院印发了《中国制造 2025》,明确了 9 项战略任务和重点。《中国制造 2025》选择了包括航空航天装备在内的 10 大优势和战略产业作为突破点,力争到 2025 年达到国际领先地位或国际先进水平。《中国制造 2025》重点领域技术路线图中指出,航空航天装备到 2025 年需求总价值约 2 万亿美元,随着空域开放不断推进,国内通用飞机、直升机和无人机市场巨大。争取到 2025 年,无人机在边境巡逻、治安反恐、农林牧渔、地图测绘、管线监测与维修、应急救援、摄影娱乐等领域得到大量应用,市场规模超千亿元。

行业发展,人才先行。随着国内智能制造的加速推进,当下无人机应用及开发人才的培养模式、课程体系、教育方式等诸多因素引发的人才培养与企业需求严重脱节,从而造成当前企业和人才之间存在着非常突出的矛盾。一方面企业招不到合适人才,另一方面大批“人才”找不到工作。为适应智能制造新时代企业对人才的需求,笔者所在的团队对国内外多家知名无人机企业、高等院校、无人机科研机构进行了为期一年半的深度调研,根据市场需求变化、行业发展趋势,针对性研发出适合当下无人机应用与开发人才所需的 SUAV2018 课程体系。我们的目标旨在通过 SUAV2018 课程体系学习和实践,循序渐进地帮助您掌握无人机应用与开发的专业知识和技能,促进您快速积累项目工作经验,提升高端智能制造人才的综合素质,从而成为当代智能制造企业的复合型无人机应用与开发人才。

本书有以下四个特点:

## 一、技术前瞻性

本书是由 70 多位职业教育专家和无人机行业技术总监,根据企业需求和无人机行业技术的发展前景,共同编写而成的。在保证技术稳定性、实用性的基础上,有预见性地增加了行业前沿技术的内容,使学生全面掌握专业技能,为学生职业生涯的专向发展奠定基础。

## 二、业务通用性

针对国内外前 10 家无人机应用与研发企业展开行业人才需求的调查,以及企业对学生所具备的行业知识进行了深入的剖析,同时希望学生能够快速地了解企业的业务需求,为此,本书结合无人机行业技术实际,将企业中许多通用业务作为教材案例、授课案例、阶段项目或者实战项目等贯穿于整个体系之中,大大增加了学生对常规业务的理解和实现,进一步缩小了学校和企业的距离,为学生顺利就业、上岗奠定了坚实的基础。

## 三、案例趣味性

如果不能让学生产生学习的兴趣,那么学习就是枯燥的,他们将很难坚持学习并取得好的效果。本书从实际生活出发,列举了很多有趣的、浅显易懂的生活实例,从提出问题到分析问题,在寓教于乐中将枯燥的专业知识转换为学生应该具备的无人机应用与开发能力。

#### 四、体系系统性

本书是根据学生认知规律形成的课程体系。本课程体系由浅入深,循序渐进,理论与趣味教学融为一体,将技能培养与素质教育完美结合,真正把学生打造成为企业最需要的无人机应用与开发人才。

本书由张月义、韦志军、郭文亮主编,由张月义、韦志军、郭文亮、张翰博、张鹤东共同编写完成,其具体分工如下:第2~8章由张月义、郭文亮编写,第1、11章由韦志军、张翰博编写,第9、10章由张鹤东编写。

在编写本书的过程中参阅了相关文献资料,在此,对其作者表示衷心的感谢!

由于水平有限,书中难免有不妥之处,敬请各位同行、专家和读者批评指正,以便后续修订、更正。

作者

2019年7月

# 目 录

第 1 章 多轴旋翼无人机基础操作	1
1.1 课前预习	1
1.2 概述	1
1.3 起飞与降落练习	2
1.4 升降练习	3
1.5 俯仰练习	3
1.6 偏航练习	4
1.7 悬停	5
1.8 直线飞行	6
1.9 曲线飞行	6
1.10 爬升练习	7
1.11 下降练习	7
1.12 航线练习	7
1.13 飞行前的检查	9
1.14 上电后的检查	10
1.15 飞行过程中的注意事项	10
1.16 维护注意事项	10
1.17 特别注意事项	10
1.18 总结	11
1.19 项目实训	11
1.20 课后习题	11
第 2 章 固定翼飞机操控原理	12
2.1 课前预习	12
2.2 概述	12
2.3 固定翼飞机飞行原理	13
2.4 固定翼飞机飞行方法	13
2.5 飞行前注意事项	14
2.6 固定翼飞机动力布局探究	14


2.7	起飞与升高 .....	16
2.8	转弯基本方法 .....	17
2.9	直线飞行与航线调整 .....	21
2.10	高度控制与油门 .....	24
2.11	低空飞行 .....	26
2.12	降落 .....	26
2.13	总结 .....	27
2.14	项目实训 .....	27
2.15	课后习题 .....	27
<b>第 3 章</b>	<b>改善固定翼飞机的飞行性能 .....</b>	<b>28</b>
3.1	课前预习 .....	28
3.2	概述 .....	28
3.3	反向偏航 .....	28
3.4	副翼、方向舵联动消除反向偏航 .....	29
3.5	副翼、方向舵“联动”的连接方法 .....	30
3.6	副翼、方向舵“混控”的设置方法 .....	30
3.7	副翼、方向舵联动特性分析 .....	32
3.8	增厚操纵面消除湍流 .....	33
3.9	总结 .....	34
3.10	项目实训 .....	35
3.11	课后习题 .....	35
<b>第 4 章</b>	<b>固定翼飞机飞行训练 .....</b>	<b>36</b>
4.1	课前预习 .....	36
4.2	概述 .....	36
4.3	实训教学阶段 .....	37
4.4	精确适度的操纵动作 .....	38
4.5	操纵动作 .....	39
4.6	程序转弯 .....	40
4.7	首飞的默想练习 .....	45
4.8	首飞的默想练习实例 .....	46
4.9	“实际飞行”中的操纵训练重点 .....	47
4.10	总结 .....	47
4.11	项目实训 .....	47
4.12	课后习题 .....	48
<b>第 5 章</b>	<b>固定翼教练机制作 .....</b>	<b>49</b>
5.1	课前预习 .....	49

5.2	概述 .....	49
5.3	前期处理 .....	50
5.4	机身的制作 .....	51
5.5	机翼的制作 .....	52
5.6	尾翼的制作 .....	57
5.7	设备仓及起落架的构造和强化 .....	59
5.8	课后习题 .....	66
<b>第 6 章</b>	<b>固定翼飞机首飞航线控制 .....</b>	<b>67</b>
6.1	课前预习 .....	67
6.2	概述 .....	67
6.3	将航线控制在易视区的基本方法 .....	67
6.4	直线飞行与侧风情况 .....	68
6.5	将飞机看作一个整体进行航线控制 .....	69
6.6	利用“身体扭转”来减轻左右混淆的问题 .....	69
6.7	关于热身飞行的建议 .....	70
6.8	总结 .....	71
6.9	项目实训 .....	71
6.10	课后习题 .....	71
<b>第 7 章</b>	<b>固定翼飞机起飞控制 .....</b>	<b>72</b>
7.1	课前预习 .....	72
7.2	概述 .....	72
7.3	固定翼飞机的起飞方式盘点 .....	72
7.4	标准起飞 .....	73
7.5	进入预定航线 .....	75
7.6	保持平飞航线 .....	76
7.7	短跑道起飞 .....	77
7.8	起飞前的练习 .....	78
7.9	飞行中飞机调校 .....	78
7.10	总结 .....	80
7.11	项目实训 .....	80
7.12	课后习题 .....	80
<b>第 8 章</b>	<b>固定翼飞机着陆控制 .....</b>	<b>81</b>
8.1	课前预习 .....	81
8.2	概述 .....	81
8.3	着陆航线 .....	81
8.4	降低着陆航线的飞行高度 .....	85

8.5	着陆组织 .....	88
8.6	接地过远与接地过近 .....	92
8.7	飞机进场着陆技巧 .....	97
8.8	单飞的准备工作与几点要注意的问题 .....	100
8.9	总结 .....	101
8.10	项目实训 .....	101
8.11	课后习题 .....	101
<b>第 9 章</b>	<b>无人直升机</b> .....	<b>102</b>
9.1	课前预习 .....	102
9.2	概述 .....	102
9.3	无人直升机调试 .....	102
9.4	无人直升机飞行操作 .....	120
9.5	总结 .....	126
9.6	项目实训 .....	126
9.7	课后习题 .....	126
<b>第 10 章</b>	<b>无人机飞行操控</b> .....	<b>127</b>
10.1	课前预习 .....	127
10.2	概述 .....	127
10.3	固定翼飞行操作 .....	127
10.4	无人直升机飞行操作 .....	138
10.5	多旋翼无人机飞行操作 .....	141
10.6	总结 .....	143
10.7	课后习题 .....	143
<b>第 11 章</b>	<b>无人机日常维护</b> .....	<b>145</b>
11.1	课前预习 .....	145
11.2	概述 .....	145
11.3	无人机保养的目的 .....	145
11.4	无人机的维修 .....	147
11.5	无人机的存放 .....	157
11.6	电池的日常保养与维护 .....	159
11.7	总结 .....	162
11.8	课后习题 .....	162
<b>参考文献</b>	.....	<b>164</b>

# 第 1 章 多轴旋翼无人机基础操作

## 1.1 课 前 预 习

 在书上找到答案

- (1)多轴旋翼无人机到指定高度后维持高度的办法。
- (2)无人机降落时的操作顺序。
- (3)多轴旋翼无人机偏航操作注意事项。
- (4)多轴旋翼无人机操作转弯的基本要点与方法。
- (5)多轴旋翼无人机 4 位悬停操控控制方法。

## 1.2 概 述

一台飞行中的多轴旋翼飞行器速度可达到 40 km/h,如果发生失控、坠落等情况,后果不堪设想。因此,一位合格的飞手(操控者)不仅要做到缜密的飞行前准备(有关上电前、上电后、预飞行的内容可查看操作必知项目表),还要密切留意无人机在飞行中的各种状态,同时要保证无人机的日常维护。多轴旋翼无人机组件如图 1-1 所示。



图 1-1 多轴旋翼无人机组件

本章所讲内容:

- (1)多轴旋翼无人机起飞与降落。

- (2) 多轴旋翼无人机升降。
- (3) 多轴旋翼无人机偏航与俯仰。
- (4) 多轴旋翼无人机悬停。
- (5) 多轴旋翼无人机直线与曲线飞行。
- (6) 多轴旋翼无人机检查与维护。

### 1.3 起飞与降落练习

起飞与降落是飞行过程中首要的操作,虽然简单但也不能忽视其重要性。首先来看看起飞过程(这里就省略接通电源操作)。远离无人机,解锁飞控,缓慢推动油门等待无人机起飞,这就是起飞的操作步骤,其中推动油门一定要缓慢,即使已经推动一点距离,电机还没启动也要慢慢来。这样可以防止由于油门过大而无法控制飞行器。在无人机刚起飞后,不能保持油门不变,而是无人机到达一定高度,一般离地面约 1 m 后开始降低油门,并不停地调整油门大小,使无人机在一定高度内徘徊。这是因为有时油门稍大无人机上升,有时稍小无人机下降,必须控制油门才可以让无人机保证飞行的高度,如图 1-2 所示。

降落时,同样需要注意操作顺序:降低油门,使飞行器缓慢地接近地面;离地面约 5~10 cm 处稍稍推动油门,降低下降速度;然后再次降低油门直至无人机触地(触地后不得推动油门);油门降到最低,锁定飞控。相对于起飞来说,降落是一个更为复杂的过程,需要反复练习。在起飞和降落的操作中还需要注意保证无人机的稳定,飞行器的摆动幅度不可过大,否则降落和起飞时,有打坏螺旋桨的可能。



图 1-2 无人机起飞与降落练习

## 1.4 升降练习

简单的升降练习不仅可以锻炼对油门的控制,还可以让初学者学会稳定飞行器的飞行。在练习时注意场地要有足够的高度,最好在户外进行操作。

### 1.4.1 上升练习

无人机上升时,螺旋桨转速增加,主要的操作杆是油门操作杆(美国手左侧摇杆的前后操作为油门操作,日本手右侧摇杆的前后操作为油门操作)。练习上升操作时,假定无人机已经起飞,缓缓推动油门,此时无人机会慢慢上升,油门推动越多(不要把油门推动到最高或接近最高),上升速度越快。

在达到一定高度时或者上升速度达到自己可操控限度时停止推动油门,这时,会发现无人机依然在上升。若想停止上升,必须降低油门(注意不要降得太猛,保持匀速即可)直至无人机停止上升。然而这时会发现无人机开始下降,此时又需要推动油门让无人机保持高度,反复操作后飞行器即可稳定。

### 1.4.2 下降练习

下降过程同上升过程正好相反。下降时,螺旋桨的转速会降低,无人机会因为缺乏升力开始降低高度。在开始练习下降操作前,确保无人机已经达到了足够的高度,在无人机已经稳定旋停时,开始缓慢地下拉油门。注意,不能将油门拉得太低。在无人机有较为明显的下降时,停止下拉油门摇杆。这时无机会还会继续下降。同时,注意不要让无人机过于接近地面,在到达一定高度时开始推动油门迫使无人机下降速度减慢,直至无人机停止下降。这时会出现与上升操作类似的情况,无人机开始上升,这时又要降低油门,保持现有高度,经过反复几次操作后无人机保持稳定。

在这个过程中如果下降的高度太多,或者快要接近地面,但是无人机无法停止下降,需要加快推动油门速度(操控者要自行考量应该要多快)。但是注意查看无人机姿态,若过于偏斜,则不可加速推动油门,否则有危险。

在这里可以看出无人机的下降过程不同于上升过程。因为上升时需要螺旋桨的转速提供升力,而且在户外,一般没有上升的限制,而下降则不同,螺旋桨提供的升力成了辅助用力,下降主要靠重力作用。所以对于下降来说更难操作,需要多加练习才能很好地掌握。

## 1.5 俯仰练习

俯仰操作也是无人机飞行的基本操作。俯仰操作用于无人机的前行和后退,保证飞行器正确飞行。

### 1.5.1 俯冲练习

俯冲操作时,无人机的机头会略微下降,机尾会抬起,机头两个螺旋桨转速下降,机尾螺旋桨转速提高,螺旋桨提供的合力的方向就会与水平面有一定的夹角。这样一来,不仅可以给无

人机提供抵消重力的升力,还可以提供前行的力。这时升力也会减小,所以无人机会降低,可以适当推动油门。

操作俯冲的摇杆(美国手发射机为右侧摇杆,日本手发射机为左侧摇杆),只要往前推摇杆,无人机就会俯冲向前。同样在俯冲前行时要注意,开始俯冲时要让飞行达到一定高度,对于新手,飞行最好离地一人以上的高度,并且确认无人机前行的“航线”上没有任何障碍物(并确保飞行时不会有障碍物移动到飞行器前方或附近)。

飞行时轻推摇杆,飞行器即开始向前飞行。推动摇杆的幅度越大,飞行器前倾的角度也越大,前行速度越快。当推动摇杆的幅度过大时,机头前的螺旋桨可能会过低,导致飞行器前翻,或者直接坠机(有自稳器一般不会出现这个状况,但也不要轻易尝试)。所以在推动摇杆俯冲时,推动幅度不能太大,一般只要无人机开始前行即可停止推动,保持摇杆当前的位置,让无人机继续向前飞行。同样,在飞行时需要使用其他摇杆,来保持飞行方向。

### 1.5.2 上仰练习

上仰操作与俯冲操作类似,只不过需要将摇杆从中间位置向后拉动。在拉动过程中,无人机尾部两个螺旋桨会减缓转速,机头两个螺旋桨会加快转速。然后会出现与俯冲操作相类似的现象,只不过无人机会向后退行。所以在练习操作时需要确保无人机后退的线路上没有任何障碍物,包括操作者自己也不要站在无人机后面,以免发生意外。确保一切安全后就可以开始操作练习。缓慢拉下摇杆,飞行器开始退行时停止拉动摇杆。这时飞行器会继续退行。退行一段距离后,缓慢推动摇杆直到摇杆恢复到中间位置时停止推动,这时飞行器就会停止退行,上仰练习完成。

## 1.6 偏航练习

偏航练习,用于学习无人机改变航线的练习。在飞行过程中改变航向也是一个常用的基本操作。

### 1.6.1 左偏航练习

左偏航练习是在无人机前行时,使无人机向左偏转的操作(类似于汽车转弯)。在进行偏航操作时,使用到的摇杆是油门摇杆。在左偏航时,摇杆轻轻向左拨动。摆动以后,无人机的机头会开始偏向,其实飞行器没有进行俯仰操作时,直接摇动偏航,无人机会原地旋转(类似于陀螺),转动速度与摇杆拨动的幅度有关系,摇杆偏离中心位置越大,转动的速度越快(当然为了不出意外,还是不要尝试偏离太多)。同样在练习时需要练习两种模式:

第一种:左转弯。这项操作需要使用俯仰操作来配合。首先需要使用俯仰操作让无人机前行,缓慢将油门杆向左拨一点,然后停止操作(保持现在的摇杆位置)。这时候无人机已经开始向左转弯。保持摇杆位置大约 2~4 s 即可将油门杆的左右方向回中,右侧方向摇杆全部回中,这就是“左转弯”操作。

第二种:(逆时针)旋转。这一步操作看起来很简单,只需要将油门杆拨动到一侧即可,但是在旋转过程中可能无法保持正确位置(无人机会到处跑),所以在做旋转操作时需要慢慢来。首先,需要将油门杆轻轻拨动下,看到无人机开始有轻微的转动时停止拨动,保持现有位置。

这时无人机会慢慢开始转动,同时应该注意无人机飞行方式,如果有些控制不住,立刻松开油门杆,让油门自动回中。同时,准备控制方向杆控制无人机位置。如果发现无人机在旋转时则需要拨动油门杆。操作无人机旋转一圈后即可算是完成了旋转练习。

### 1.6.2 右偏航练习

右偏航练习同左偏航练习类似,只需要将摇杆向右拨,也同样需要两种练习,即右转弯和旋转。在此提醒读者,右偏航和左偏航练习,来回交替练习更好。

## 1.7 悬 停

悬停是一项比较基本、复杂的操作。在这里需要强调一下,悬停操作需要达到的要求有:保持无人机高度不变,保持飞行不会出现前移、后退,保持无人机不会左右摇摆。可以说悬停操作是几个日常操作练习中最为复杂的一项。学会悬停,可以很好地进行无人机和发射机的微调。所以在练习时要认真体验这种操作,为以后的无人机调试打下基础。

悬停操作,看上去很简单,但是由于飞控的程序自行调整有时有些不准确(原因可能是传感不灵敏,或内嵌程序算法有些不太好,也有可能是发射机的中点没有校准好),因而在油门固定,其他摇杆都不动的情况下,无人机有可能会不停地乱飞,当然速度较慢(如果在发射机没有校准好的情况下,这样飞行比较危险)。说到底,悬停操作需要凭感觉,当然就是需要多练习。悬停操作的步骤也很简单,当无人机达到一定高度时保持无人机高度,并保持不会偏移(其实多少都有变化,只要控制到一定程度即可)。具体如何操作,笔者不便于说,因为对于不同无人机不同的发射机会有微妙的变化,只有读者自己慢慢体会才行。

### 1.7.1 对尾悬停

无人机尾部朝向飞手,升空完成悬停,尽量保持在定点不跑。

使无人机尾部朝向自己,能够以最直观的方式操控无人机,降低由于视觉方位给操控带来的难度。对尾悬停可在初期锻炼飞手在操控上的基本反射,熟悉无人机在俯仰、滚转、方向和油门上的操控。

完成对尾悬停练习,意味着飞手从“不会飞”正式进入“开始飞”的阶段。

要领:请尽量保持定点悬停,控制无人机基本不动或尽量保持在很小的范围内漂移。

培养在无人机有偏移的趋势时就能给予纠正的能力,这对后面的飞行至关重要。

切忌自我满足,认为能控制住无人机不炸机就是成功了,无人机飘来飘去也不及时纠正。这样会对以后的飞行造成较大困难。虽然枯燥,但飞好对尾悬停非常重要,如果你觉得自己过关了,那么在模拟器中加入5级风下再试试。

### 1.7.2 侧位悬停

侧位悬停是指无人机升空后,机头向左(左侧位)或向右(右侧位),完成定点悬停。这是对尾悬停过关后,飞手接下来要突破的一个科目。侧位悬停能够极大地增强飞手对无人机姿态的判断感觉,尤其是远近的距离感。对于一个新手来说,直接练习侧位悬停的风险很大,因为无人机横侧方向的倾斜不好判断。可以从45°斜侧位对尾悬停开始练习,这样可以在方位感

觉上借助对尾悬停继承下来的条件反射。在斜侧位对尾悬停完成后,逐渐将无人机转入正侧位悬停,会比较容易。需要指出的是,一般人都有一个侧位是自己习惯的方位(左侧位或右侧位),这是正常的。但不要只飞自己习惯的侧位,一定要左右侧位都练习,直到将两个侧位在感觉上都熟悉为止。侧位悬停的难度要比对尾悬停高,可认为4级风下,在3 m直径的球空间内完成7 s以上的侧位悬停,就是过关。飞好侧位悬停后,意味着小航线飞行成为可能,飞手终于可以突破悬停飞行的枯燥转而进入航线飞行。

### 1.7.3 对头悬停

对头悬停是指无人机升空后,机头朝向飞手,完成定点悬停。虽然完成侧位悬停后,理论上可以进行小航线飞行,但仍建议先将对头悬停练习好。对于新手而言,对头悬停是异常困难的,因为除了油门以外,其他方向的控制对于飞手的方位感觉来说,跟对尾悬停相比似乎都是相反的。尤其是前后方向的控制,推杆变成了朝向自己飞行,而拉杆才是远离。新手如果不适应犯错的话,是非常危险的。可以先尝试45°斜对头悬停,再逐渐转入正对头悬停,这样可以慢慢适应操控方位上的感觉,能有效减少炸机的概率。

对头悬停对于航线飞行来说非常重要,好好练习,一定要把操控反射的感觉培养到位,对于今后进入自旋练习也相当有好处。把机头朝向自己有种美妙的感觉,就像是飞机在与飞手进行面对面的交流。对头悬停的过关标准在5级风下把飞机控制在2 m直径的球空间内超过10 s。

## 1.8 直线飞行

直线飞行是一个相对简单的操作,理论上来说,只需要推动俯仰摇杆即可,但是实际情况不会这么简单。同样由于飞控传感器和算法的问题,有时候是因为有风的缘故,无人机不会完全按照发射机的操作来完成动作。所以这时需要调整发射机的操作,保证无人机沿直线飞行。不过需要注意,在俯仰摇杆推动或下拉的幅度过大时,无人机就有下降的趋势,甚至有时候在幅度过大时直接冲向地面。所以在进行操作时候要注意安全。

## 1.9 曲线飞行

曲线飞行就是让无人机沿着一条曲线飞行。例如沿Z字形或S字形的路线飞行,这样的飞行方式不是为了好玩,而是为了锻炼飞手自由操控无人机的方式,类似于“违反常识”的感觉。所以需要反复练习操作方式并感受无人机的飞行规律。

曲线飞行操作,肯定有别于直线飞行,当然也比直线飞行要复杂得多。首先,明确飞行路线,确保飞行路线上没有任何障碍物或人。然后在无人机起飞后,就开始沿着曲线路径飞行。飞行时,需要使用油门摇杆控制无人机的朝向,使用方向摇杆让无人机前进飞行。

不过,这只是一种曲线飞行的方式,因为四轴的特殊结构,在曲线飞行中还需要另外一种方式。之前的曲线飞行是在不停地改变机头的朝向,而这种方式是利用侧向飞行来实现机头不变的曲线飞行。所以在说曲线飞行时我们还有第二种练习方式:使用油门摇杆控制飞行器的高度,并保持机头方向不变,使用方向摇杆控制无人机前行和侧向飞行。逐步控制即可完成机头方向不变的曲线飞行。前进时曲线飞行练好后,可以试着练习后退时曲线飞行。不过需

要注意,当还不太熟悉无人机的方向控制时最好先不要练习,否则会有一些的危险。

## 1.10 爬升练习

爬升练习类似于爬坡,主要在无人机前行的基础上提高无人机的高度,相对来说这个操作较为简单。在操作时,需要在推动俯仰方向摇杆使无人机前进的同时加大油门(油门大小视情况而定),这样在飞行时无人机就会按照一个斜坡方式开始爬升。待爬升到一定高度的时候,停止爬升,接下来就可以做下降练习。

在爬升时需要注意,当开始推动俯仰方向杆时,无人机前段下沉,同时有可能因为失去必要的升力,这时无人机开始下降(并开始前行,在直线飞行时,大家可能深有体会),所以这时需要加大油门。而到达了最高点,如果仅仅是将俯仰方向杆恢复到中心位置,无人机还会继续上升,这时候需要适当降低油门。

## 1.11 下降练习

下降练习与爬升练习相似,只不过这时需要降低高度,也就是降低油门。操作方式与上升相似,向前推俯仰方向杆,适当拉下油门摇杆(有一点幅度即可,新手不宜过多),这时看到无人机开始降低高度。如图1-3所示。

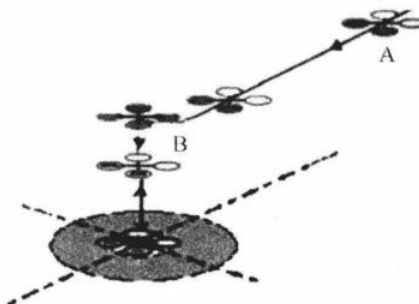


图1-3 下降练习

在飞行时需要注意,下降的最低限度是距离地面一人高以上,因为在最后停止下降时会有新手无法控制的一个阶段,要给自己留一点控制余地,不要一降到底,否则很有可能毁坏无人机。

## 1.12 航线练习

### 1.12.1 小航线飞行

无人机升空后,使用方向舵进行转弯,不用或尽量少用副翼转弯,顺时针/逆时针完成一个闭合运动场型航线。

小航线飞行是4位悬停(对尾、两个侧位、对头)过关后应首先进行的科目,这是所有航线飞行的基础。

对于一个4位悬停已经熟练的飞手来说,会发现小航线飞行是如此简单。相反地,如果4位悬停并没有真正过关,那么即便是小航线飞行也是一种挑战。刚开始进行小航线飞行的窍

