

无人机测量系统及其数据处理技术研究

◎ 吴铁峰 著

吉林大学出版社



无人机测量系统及其数据处理技术研究

◎ 吴铁峰 著

吉林大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

无人机测量系统及其数据处理技术研究 / 吴铁峰著
. -- 长春：吉林大学出版社，2018.8
ISBN 978-7-5692-3606-4

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①吴… Ⅲ. ①无人驾驶飞机－航空摄影测量－研究 Ⅳ. ①P231

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 243203 号

书　　名　无人机测量系统及其数据处理技术研究

作　　者　吴铁峰 著
策划编辑　魏丹丹
责任编辑　徐佳
责任校对　陈啸宇
装帧设计　凯祥文化
出版发行　吉林大学出版社
社　　址　长春市人民大街 4059 号
邮政编码　130021
发行电话　0431-89580028/29/21
网　　址　http://www.jlup.com.cn
电子邮箱　jdcbs@jlu.edu.cn
印　　刷　河北纪元数字印刷有限公司
开　　本　787mm×1092mm　1/16
印　　张　13.25
字　　数　242 千字
版　　次　2018 年 8 月　第 1 版
印　　次　2018 年 8 月　第 1 次
书　　号　ISBN 978-7-5692-3606-4
定　　价　59.00 元

版权所有　翻印必究

前言

QIANYAN

随着21世纪的到来，高科技、高智能产品已经逐渐走入个人生活中。无人机被广泛应用于测绘、摄影、军事等领域，已然成为继有人飞机、热气球等飞行器之后的一个新兴的空中应用平台，无论在民用经济还是军事战争中都起着不可替代的作用。

与美国、以色列及欧洲等国相比，我国的无人机技术起步较晚，但现阶段已得到了国家的高度重视。在机械智能化时代，无人机已经在很多领域代替“有人飞行器”作为“空中机器人”进行工作应用。无人机具有高效、简单、成本低廉、安全等特点。

本书共为七章，各章内容具体安排如下：第一章对无人机的概念、特点、飞行原理、机械装备基础理论、相关法律法规等几个方面进行论述；第二章对无人机的系统实例、系统分类、任务和功能进行阐述；第三章对无人机测量及其特点进行分析，并探讨了无人机移动测量技术及应用进展；第四章对无人机移动测量系统及工作流程、无人机移动测量飞行平台及飞行控制方式、无人机移动测量任务载荷三个方面进行论述；第五章对测量数据的特征和分类，数据的获取、传输与接收，数据压缩编码三个方面进行论述；第六章分别对数据处理总体技术流程、数据预处理、空中三角测量、影像匹配和融合、影像分类与信息提取、无人机影像处理软件、高效能数据处理技术进行论述；第七章是无人机的未来构想，阐述了无人机未来的发展与挑战、无人机系统的持续发展等方面的内容。

本书的重点在于论述无人机的任务规划、测绘方法以及无人机影像，适合遥感、测绘环境检测等相关领域的授课教师、科研人员、研究生作为技术参考书籍，也可作为无人机爱好者的自学书籍。本书在写作过程中，侧重于无人机的理论性、实用性探讨，由于无人机专业限制，可能存在某些学术缺陷，对此，希望各位专业学者不吝指正，笔者一定加以修改和完善。

吴铁峰

2018年5月

目录

MU LU

第一章　无人机概述 …… 1

第一节　无人机及其基本构造 …… 1

第二节　无人机飞行原理 …… 4

第三节　无人机机械装备基础理论 …… 6

第四节　无人机相关法律法规知识详解 …… 8

第二章　无人机种类及功能分析概述 …… 14

第一节　无人机系统实例分析 …… 14

第二节　无人机系统分类 …… 22

第三节　无人机的任务和功能 …… 25

第三章　无人机移动测量理论与应用研究 …… 30

第一节　无人机测量及特点分析 …… 30

第二节　无人机移动测量技术及应用发展研究 …… 32

第四章　无人机移动测量系统研究 …… 40

第一节　无人机移动测量系统及工作流程 …… 40

第二节　无人机移动测量飞行平台及飞行控制 …… 40

第三节　无人机移动测量任务载荷 …… 61

第五章　无人机测量数据管理与研究 …… 79

第一节　测量数据的特征与分类 …… 79

第二节　数据获取、传输与接收 …… 81

第三节　数据压缩编码 …… 125

第四节　数据存储和管理…… 134

第六章　无人机移动测量数据处理…… 143
第一节　数据处理总体技术流程…… 143
第二节　数据预处理…… 147
第三节　空中三角测量…… 152
第四节　影像匹配与融合…… 155
第五节　影像分类与信息提取…… 166
第六节　无人机影像处理软件…… 177
第七节　高效能数据处理技术…… 187

第七章　无人机未来构想…… 193
第一节　无人机未来发展与挑战…… 193
第二节　无人机系统的持续发展…… 196

参考文献…… 202



无人机概述

要了解无人机必须先了解无人机的概念，无人机不只是没有驾驶员那么简单，其定义分为广义和狭义两种，本章主要对无人机的概念、特点、基本构造、基础理论、法律法规进行详细解读。

第一节　无人机及其基本构造

一、无人机的概念及特点

广义上的无人机是一个比较宽泛的概念，一般指具有自主飞行能力、机上不搭载驾驶员的飞行系统。绝大多数无人机可以根据起降方式及飞行原理归为两种：旋翼无人机和固定翼无人机。而大多数的时候，我们又按照习惯将它们归为三种：多旋翼无人机、固定翼无人机、无人直升机。其他诸如仿生扑翼机和无人飞艇等飞行器属于冷门，在此不做概述。由于本书面向的对象以初学者为主，因此主要讲解民用领域中出镜率最高的多旋翼无人机和固定翼无人机。

多旋翼无人机，指带有两个以上旋翼、依靠螺旋桨旋转产生向上升力而起飞的无人机，俗称“多轴”。多旋翼有几个轴，就可以叫作“几轴”，如四旋翼，我们可以称其为“四轴”。

固定翼无人机，指带有机翼并且机翼位置固定不变的无人机，它的外观很像我们平时乘坐的客机。这种无人机依靠螺旋桨产生向前的推力或拉力，从而利用机翼上下表面产生的压力差飞行。

1915 年 10 月，德国西门子公司成功研制了采用伺服控制装置和指令制导的滑翔炸弹，1917—1918 年，英国与德国先后研制成功无人驾驶遥控飞机，这些工作被公认为是有控无人机的先驱。无人机至今已经有百年的历史。

《无人机系统导论》（2003 年）将无人机定义为：无人驾驶航空飞行器，即一种由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的航空器。2002 年 1 月美国联合出版社出版的《国防部词典》中对无人机的解释为：无人机指不搭载操作人员的一种动力空中飞行器，采用空气动力为飞行器提供所需的升力，能够自动飞行或进行远程引导；既能一次性使用也能进行回收；能够携带致命性或非致命性有效载荷。弹道或半弹道飞行器、巡航导弹和炮弹不能看作是无人飞行器。

无人机要完成任务，除需要飞行平台及其携带的任务设备外，还需要地面控制设备、数据通信设备、维护设备以及必要的操作、维护人员等，较大型的无人机还需要专门的发射/回收装置。因此，完整意义上的无人机应称为无人机系统。在美国国防部 2005 年发布的《无人机系统路线图（2005—2030）》中，最明显的变化就是将以往的“无人机”改为“无人机系统”，并扩大了飞行器的类型（如飞艇）。

鉴于以上描述，本书以无人机系统（包括无人飞艇）为研究对象展开论述。无人机最大的特点是机上没有驾驶员或操控人员，比有人机更加适合执行“枯燥”（Dull）、“脏”（Dirty）和“危险”（Dangerous）的“3D”任务，无人员伤亡的顾虑。

《中国大百科全书·航空航天卷》（2004 年）将无人驾驶飞机定义为：无驾驶员或“驾驶”（控制）员不在机内的飞机，简称无人机；把飞机定义为由动力装置产生前进推力，由固定机翼产生升力，在大气层中飞行的重于空气的航空器。这种定义将无人直升机等排除在外，局限为固定翼无人机。

此外，无人机和有人机相比还有许多应用上的特点。

（1）成本低。目前，大部分无人机的制造成本只是同类型有人机的几十分之一乃至几百分之一，而且无人机的使用和维护费用低，即使被击落，损失也很小。

（2）生存力强。现代无人机的制作广泛采用玻璃纤维等合成材料及其他透波材料和模块式结构，大大减小了雷达有效反射面，降低了被雷达发现的概率和被防空武器攻击的毁伤率，即使损坏也比较容易快速修复。

（3）机动性好。小型无人机体积小、重量轻，对专门的起降场要求不高，便于跟随野战部队行动。

无人机的缺点是：首先，由于智能化程度不高，对意外情况处理的灵活性较差，不宜执行复杂的飞行任务；其次，无人机的遥控与信息传输线路很容易

受到敌方的电磁干扰，产生飞行事故；最后，无人机在全天候性能、载荷能力等方面与有人机相比存在较大差距，因此能完成任务的类型也有限。

二、无人机的基础构造

一个典型的无人机系统应包括飞行器、地面控制设备（任务规划与控制站）、任务载荷、数据链路、发射与回收装置、地面支援及维护设备六个部分。

（一）飞行器

飞行器是无人机系统中的主体部分，包括机体、动力装置、飞行控制系统、导航装置以及供电飞行器系统等。飞行器可以是固定翼式、旋转翼式、扑翼式或艇囊式（无人飞艇）。需要说明的是，飞行数据终端被安装在飞行器上，属于通信数据链路的机载部分，任务载荷虽然也是机载的，但一般视为独立的子系统，有些型号的任务载荷可以支持在不同类型飞行器之间通用。

（二）地面控制设备

地面控制设备也称为地面控制站，是无人机系统的指挥、控制中心，传至无人机的遥控数据及无人机向下传输的图像和遥测数据都在此进行处理和显示。地面控制系统一般由任务规划设备、控制及显示平台、图像处理设备、计算机及信号处理器、通信设备等组成。

（三）任务载荷

携带有效任务载荷、执行各种任务是无人机的主要应用目的。任务载荷通常是无人机系统中最昂贵的子系统之一，包括应用于侦察任务的照相机、日间摄像机及夜视摄像机、雷达，应用于指示目标的激光定位设备，应用于电子战的通信中继及干扰设备，应用于气象及化学探测的传感器等。无人机携带的具有杀伤能力的导弹等武器装备一般不归为任务载荷。

（四）数据链路

数据链路能够根据要求提供持续的天地之间双向通信，负责无人机系统的指令、数据、情报的上传下达。

从硬件组成的角度看，数据链路系统一般由地面数据终端和空中数据终端

两大部分组成。地面数据终端通常是一个微波电子系统及天线，在地面及飞行器之间提供视距通信，也可由卫星提供中继；空中数据终端是数据链路的机载部分，其中视频发射机及天线用于传递图像及飞行姿态数据，接收器用于接收地面指令。

从数据传输的角度看，数据链路由上行链路和下行链路组成。上行链路负责对无人机飞行系统的控制及对其有效任务载荷下达指令；下行链路则用于接收任务载荷获取的数据及无人机的飞行状态信息。在使用数据链路时还要使其具备相应的抗电磁干扰能力。

（五）发射与回收装置

无人机的发射与回收方式种类很多，发射方式包括母机投放、火箭助推、车载发射、滑跑起飞、垂直起飞、容器发射和手抛起飞等。回收方式包括舱式回收、网式回收、伞降回收、滑跑着陆和气垫着陆等。一个无人机系统的发射与回收装置包括能完成上述一种或几种发射与回收方式所需要的各种设备。

（六）地面支援及维护设备

地面支援及维护设备一般包括后勤支援设备、维护保养设备以及用于保障无人机完成任务的必要辅助设备等。①

第二节　无人机飞行原理

本节介绍无人机飞行的相关基础物理原理。

一、速度与加速度

速度即物体移动的快慢及方向，我们常用的单位是 m/s 和 km/h。加速度即速度的改变率，我们常用的单位是 m/s^2，如果加速度是负数则代表减速。

---

① 张吾武. 无人机编队飞行技术研究 [J]. 舰船电子工程，2015 (8)：1-12.

二、牛顿三大运动定律

(1) 牛顿第一定律：除非受到外来的作用力，否则物体的速度会保持不变。没有受力即所有外力合力为零，当飞机在天上保持等速直线飞行时，这时飞机所受的合力为零。与一般人想象不同的是，当飞机降落保持相同下沉率下降时，升力与重力的合力仍是零，升力并未减少，否则飞机会越掉越快。

(2) 牛顿第二定律：物体加速度的大小跟作用力成正比，跟物体的质量成反比，且与物体质量的倒数成正比；加速度的方向跟作用力的方向相同。当物体受一个外力后，即在外力的方向产生一个加速度，飞机起飞滑行时引擎推力大于阻力，于是产生向前的加速度，速度越来越快阻力也越来越大，引擎推力迟早会等于阻力，于是加速度为零，速度不再增加，当然飞机此时早已飞上天空了。

(3) 牛顿第三定律：作用力与反作用力数值相等且方向相反。你踢门一脚，你的脚也会痛，因为门也对你施了一个相同大小的力。

三、力的平衡

作用于飞机的力要刚好平衡，如果不平衡就是合力不为零，依牛顿第二定律就会产生加速度。为了分析方便我们把力分为 x、y、z 三个轴，如果力不平衡则会在合力的方向产生加速度，飞行中的飞机受的力可分为升力、重力、阻力、推力，升力由机翼提供，推力由引擎提供，重力由地心引力产生，阻力由空气产生。我们可以把力分解为两个方向的力，称为 x 及 y 方向（当然还有一个 z 方向，但对飞机不是很重要，除非是在转弯中），飞机等速直线飞行时，x 方向阻力与推力大小相同、方向相反，故 x 方向合力为零，飞机速度不变；y 方向升力与重力大小相同、方向相反，故 y 方向合力亦为零，飞机不升降，所以会保持等速直线飞行。弯矩不平衡则会产生旋转加速度，对于飞机来说，x 轴弯矩不平衡飞机会滚转，y 轴弯矩不平衡飞机会偏航、z 轴弯矩不平衡飞机会俯仰。

四、伯努利定律

伯努利定律是空气动力最重要的定律，简单地说，流体的速度越大，静压力越小，速度越小则静压力越大。这里说的流体一般是指空气或水。机翼上部

空气流速较快，静压力则较小，机翼下部空气流速较慢，静压力较大，两边互相较力，于是机翼就被往上推去，然后飞机就能够起飞了。以前的理论认为，两个相邻的空气质点同时由机翼的前端往后走，一个流经机翼的上缘，另一个流经机翼的下缘，两个质点应在机翼的后端相会合。但研究者经过仔细计算后发现，如果按照上述理论，上缘的流速不够大，机翼应该无法产生那么大的升力，现在经风洞实验已证实，两个相邻空气的质点，流经机翼上缘的质点会比流经机翼的下缘质点先到达后缘。笔者曾在某杂志上看到过这样的观点：飞机产生升力是因为机翼有攻角，当气流通过时机翼的上缘产生“真空”，于是机翼被真空吸上去。这个理论明显是错误的。另外还有一个常见的错误理论叫作子弹理论，该理论认为空气的质点如同子弹一般打在机翼下缘，将动量传给机翼，该动量分两个方向，一个往上的分量产生升力，另一个往后的分量产生阻力。然而克拉克Y型机翼和内凹翼在攻角零度时也有升力，按照子弹理论，这两种翼型没有攻角时只有上方“挨子弹”，产生的应该是向下的力，并且机翼上缘并没有所谓真空。

第三节　无人机机械装备基础理论

本节主要介绍无人机的机械装备的基本组成，包括机身、机翼、尾翼及其基础构成比例、形状等。

无人飞行器的结构是无人飞行器各受力部件和支撑构件的总称，就像人的躯体一样。本节不介绍动力装置和机载设备，只对无人飞行器机体结构，机翼上的空气动力的构成、特性等给予描述。无人飞行器中的无人机与飞艇平台的构造差别较大，所以分别介绍。

一、无人机平台结构的基本组成

由于无人驾驶，无人机上省去了驾驶员座位、生命保障系统等大量的设备，在机体结构上与有人机相比有重大变化和调整，无人机平台的结构形式虽然在不断变化，但大多数无人机平台结构通常仍由机身、机翼和尾翼组成。

1. 机身

机身是无人机主体结构，包括任务舱、油舱（电池舱）、控制舱、发动机

舱等，机身主要用来装载任务设备、燃油、电源、控制和操纵系统（包括导航设备）、发动机、数据链路设备和武器系统等。机翼、尾翼、起落架等部件通过机身连成一个整体。飞行中，机身的阻力占整个飞行器阻力的绝大部分，因此要求机身具有良好的流线型，即光滑的表面、合理的截面形状以及尽可能小的横截面积。在飞行和着陆过程中，机身不仅要承受不作用于其表面的局部空气动力，还要承受起落架和机身上其他部件传来的作用力，所以机身结构必须具有足够的强度和刚度。

2. 机翼

机翼是无人机飞行时产生升力的主要部件，固定翼无人机的机翼一般分为左右两个翼面，无人直升机使用旋翼，扑翼无人机使用像鸟或昆虫翅膀一样的扑翼。机翼是无人机的主要气动面，是主要的承受气动载荷的部件，起着重要的稳定和操纵作用，后文将详细介绍机翼的相关知识。

3. 尾翼

尾翼分垂直尾翼和水平尾翼两部分。垂直尾翼垂直安装在机身尾部，主要功能是保持机体的方向平衡和方向操纵，通常垂直尾翼后缘设有用于操纵方向的方向舵，主要用于转弯；水平尾翼水平安装在机身尾部，主要功能是保持俯仰平衡和俯仰操纵，用于上升和下降。一些特殊结构的无人机没有垂直尾翼或水平尾翼。

二、无人机的机翼和尾翼

当无人机在空中飞行时，作用在无人机上的升力主要由机翼产生，同时机翼上也会产生阻体结构力，机翼上的空气动力的大小和方向在很大程度上取决于机翼的外形，即机翼翼型（或翼剖面）几何形状、机翼平面几何形状等。

机翼的平面几何形状指机翼在水平面内投影的形状，常见的机翼形状有矩形、梯形、后掠、三角形等。

表示机翼平面形状的主要几何参数有以下几种。

（1）机翼面积 S。机翼平面形状面积是影响无人机性能的最重要的参数，大的机翼面积能够产生大的升力。

（2）展长（或称翼展）l。机翼在 z 方向上的最大长度。

（3）弦长 $b\ (x)$。机翼展向剖面弦长，是展向位置 z 的函数。

（4）展弦比（λ）。展弦比即机翼翼展和平均几何弦之比，常用以下公式

表示。

$$\lambda = \frac{l}{b} = \frac{l^2}{S}$$

这里 l 为机翼展长，b 为几何弦长，S 为机翼面积。因此它也可以表述成：翼展（机翼的长度）的平方除以机翼面积，如圆形机翼就是直径的平方除以圆面积，用以表现机翼相对的展弦程度。

展弦比的大小对飞机飞行性能有明显的影响。展弦比增大时，机翼的诱导阻力会降低，从而可以提高飞机的机动性和增加亚音速航程，但波阻就会增加，以致会影响飞机的超音速飞行性能，所以亚音速飞机一般选用大展弦比机翼；而超音速战斗机展弦比一般选择 2.0～4.0。展弦比还影响机翼产生的升力，如果机翼面积相同，那么只要飞机没有接近失速状态，在相同条件下展弦比大的机翼产生的升力也大，因而能减小飞机的起飞和降落滑跑距离和提高机动性。

（5）根值比。机翼的根值比影响其沿展向的升力分布，当升力呈椭圆形分布时，升致阻力或诱导阻力最小。

第四节　无人机相关法律法规知识详解

一、国际无人机法律法规知识

国际民航组织已经为无人机在正常空域安全飞行的全球框架设立了时间表：2018 年无人机将在一定条件下进入民航空域；2023 年完成部分整合，允许一些类型无人机在热门区域飞行；2028 年所有限制都将被取消，无人机将与有人驾驶飞机并肩飞翔在蓝天下。

美国的无人机技术和规制都走在世界前列。美国联邦航空局将远程驾驶飞行器（Guavas）分为巡航导弹、模型飞机和宇宙飞船等。1936 年成立的航模协会（Academy of Model Aeronautics）在制定模型飞机运行的非强制性标准中发挥了重要作用。

根据美国法典中主权和领空的使用的规定，联邦政府对主权和领空的使用具有独有权。美国联邦航空局肩负完善美国空域计划和政策的任务。可见，美国联邦航空局享有无人机的立法权，它在航空安全办公室（Aviation Safety Office）设立了无人驾驶飞行器项目办公室（The Unmanned Aircraft Program

Office，UAPO)，在空中交通组织（Air Traffic Organization，ATO）设立了无人驾驶飞行器系统工作组（The Unmanned Aircraft Systems Group)，共同负责无人机的管控。

美国无人机的规制主要是美国联邦航空局制定的联邦航空规则（Federal Aviation Regulation，FAR)。咨询通报和政策声明是联邦航空规则的两种形式，前者无约束力，后者有约束力。前者为模拟控制器91—57，后者为AFS-400UAS。

2007年，美国联邦航空局宣布，未经过特许，远程驾驶飞行器不得进入国家空管系统（National Airspace System)。根据2012年美国联邦航空局改革和修正法案，国会要求美国联邦航空局到2015年9月前将远程驾驶飞行器纳入国家空管系统。但截至目前，该目标尚未实现。近期，美国出台了一系列针对无人机的法规和政策，而且在不断调整之中。如2015年12月15日，美国无人机注册条例颁布，要求重量0.55磅（250克）到55磅（25千克）的小型无人驾驶航空器无人机必须进行登记注册。

欧盟的航空安全机构——欧洲航空安全局负责包括无人机在内的民用航空安全和环境方面的立法和执法工作。除此之外，还有一些工作小组和其他组织也致力于欧盟统一天空政策的实现。

2009年，欧洲航空安全局颁布《关于无人机系统的适航性认证的政策声明》，作为其成员认证无人机系统的基本原则。2015年3月12日，欧洲航空安全局在出台的《无人机运行概念》中提到，无人机融入现有航空体系必须以安全为前提，无人机法规框架必须满足一定的安全要求并且在公众接受范围内保护环境，为新兴产业的生长和成熟提供足够的弹性空间。因此，不能直接转换有人机的航空体系，而需要创造合适的、积极的、能对风险进行评估的体系，法规条款也必须包含由无人机行业标准制定的目标。2015年，结合里加会议精神，欧洲无人机法规框架草案问世。2015年6月，基于法规框架的开放类无人机法规具体提案拟定，以供相关方磋商。2015年年底，法规框架初稿提交欧盟。2015年12月，开放类无人机法规具体提案初稿提交欧盟。英国民用航空局负责包括无人机在内的飞行器的运行和管控。无人机管控的规章制度主要有空中航空法令（The Air Navigation Orders，ANO）和空中规则；2002年制定的CAP722——《英国空域无人机运行指导》，规定了无人机的运行标准和适航标准，最终目的是使无人机能够纳入英国所有空域。

二、中国无人机法律法规发展过程

目前，中国无人机规制基本上是由国务院政策意见、中国民航局规范性文件、国家空管委文件构成。我国的无人机立法主要有以下几部。

2003 年 5 月 1 日开始施行的《通用航空飞行管制条例》。该条例明确规定无人机用于民用业务飞行时，须当作通用航空飞机对待。从 2005 年开始，按民航部门的要求，无人机都必须加装空管应答机，并具备防撞功能。

2009 年 6 月 4 日，中国民用航空局航空器适航审定司发布《关于民用无人机管理有关问题的暂行规定》（ALD2009022），并于 2009 年 7 月 9 日发布《民用无人机适航管理工作会议纪要》，主要解决无人机的适航管理问题。2009 年 6 月 26 日，中国民用航空局空中交通管理局和中国民用航空局空管行业管理办公室发布《民用无人机空中交通管理办法》（MD－TM－2009－002），主要解决无人机的空域管理问题。①

2013 年 11 月 18 日，中国民用航空局飞行标准司发布《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》（AC－61－FS－2013－20），主要解决无人机的驾驶员资质管理。该规定明确要求重量小于/等于 7 公斤的微型无人机，飞行范围在目视视距内半径 500 米、相对高度低于 120 米范围内，无须证照管理，但应尽可能避免遥控飞机进入过高空域；重量等指标高于上述标准的无人机以及飞入复杂空域内的，驾驶员需纳入行业协会甚至民航局的监管。

2014 年 4 月 29 日，中国民用航空局颁发《关于民用无人驾驶航空器系统驾驶员资质管理有关问题的通知》（民航发〔2014〕27 号），有效期至 2015 年 4 月 30 日。该通知规定，无人机驾驶员资质及训练质量管理由中国航空器拥有者及驾驶员协会（中国 AOPA）负责，这也是我国首次对无人机驾驶员的资质培训提出要求。2012 年以来，工信部已经就无人机企业的准入问题，启动了《民用无人机研制单位基本条件及评价方法》的研究。此研究由中国航空综合技术研究所牵头，旨在通过对民用无人机研制单位基本条件进行评价，规范民用无人机制造业市场竞争秩序，侧面引导行业基本资源与能力需求，引导资源配置、技术研究与管理水平的发展方向，促进国内民用无人机产业的健康快速发展。

---

① 栾爽. 无人机法律规制问题论纲［J］. 南京航空航天大学学报（社会科学版），2017，19（1）：32－37.

2014年7月颁发的《低空空域使用管理规定（试行）》（征求意见稿）主要针对民用无人机，包括无人机飞行计划申报、申报应具备条件以及可飞空域。这意味着民用无人机飞行合法化向前迈进一步。

2015年11月，中国民用航空局飞行标准司公布了《轻小型民用无人机系统运行暂行规定》（征求意见稿），主要规范轻小型民用无人机的运行。

三、目前存在的问题

（1）监管主体不明确。以前无人机领域没有部门愿意涉足，但现在多个部门争先监管。目前的情况是，无人机不仅归民航局管，空域安全涉及军方，产业政策涉及工业与信息化产业部，公共安全涉及公安部，具体行业还涉及其他部委。

（2）相关规定滞后杂乱。中国民用航空法制定已有20年，航空业发展迅速，变化日新月异，但一直未修订，法律规定滞后。航空法领域下的相关行业规定也相当落后，虽然规定繁多，但这些多为临时性、指导性规定，有关审批程序、管理规定、适航标准相对滞后，行业指导和行业监管松散杂乱，尚未形成完整系统的民用无人机规章及管理体系。

（3）立法效力等级较低。国家立法层面关于航空领域基本未涉及无人机问题。直接和无人机相关的法规基本上都是由中国民航局制定的，中国民航局为部委管理的国家局，隶属交通运输部，已不具有制定行政规章的立法资格，其颁布的文件只能作为规范性文件，不具有普遍约束力。与此同时，政策性文件也大量出现，包括新兴产业支持、低空管理等，但政策性文件不具有法律属性，不能为无人机行业的发展提供明确的法律支持。虽然无人机可以作为航空器管理，但是基于无人机适用于不同的领域，其本身规格标准又不完全一致，原航空器管理法规很难驾驭无人机的发展要求。

（4）大量领域处于法律规定真空状态。如空域问题。根据《中华人民共和国飞行基本规则》的规定，空域通常划分为机场飞行空域、航路、航线、空中禁区、空中限制区和空中危险区等。《通用航空飞行任务审批与管理规定》明确规定，“无人驾驶的航空器，不允许在国家重要目标和国家重大活动场所上空从事通用航空飞行”。另外，除了平面空域限制外，在垂直空域内，无人机的飞行高度也存在一定限制，重量小于或等于7公斤的微型无人机，飞行范围在目视视距内半径500米、相对高度低于120米范围内无须证照管理，但应尽