

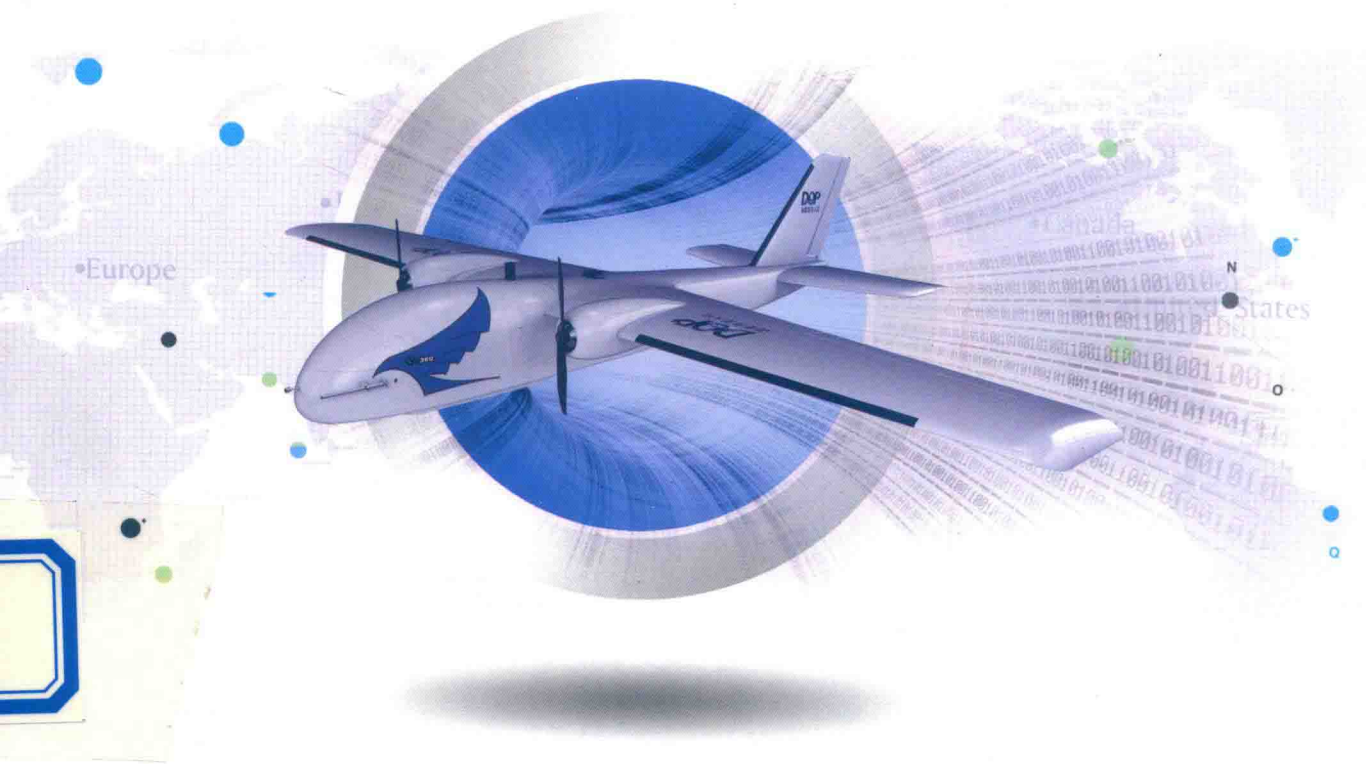


高等教育“十三五”规划教材  
一流高职院校建设项目系列教材

# 无人机测绘技术基础

WURENJI CEHUI JISHU JICHU

◎ 主编 吴献文   ◎ 主审 速云中



北京交通大学出版社  
<http://www.bjup.com.cn>

高等教育“十三五”规划教材

一流高职院校建设项目系列教材

# 无人机测绘技术基础

主 编 吴献文

副主编 祖为国 刘 丽 马宏兵 卢石坤

参 编 冯耀明 倪 尧 李益强 高照忠

主 审 速云中

北京交通大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本教材比较系统、全面地介绍了无人机的飞行原理、结构、导航飞控、飞行操作与维护、无人机航空摄影的特点、无人机摄影测量原理、无人机影像数据处理、产品获取方法与流程、无人机倾斜摄影数据处理技术、实景三维建模、实景三维测图技术、无人机测绘技术应用领域等知识。

本教材适合非无人机专业的测绘专业学生学习无人机测绘技能,可以作为测绘相关专业新技能扩展和提升的专业教材,也适合高职高专摄影测量与遥感专业的师生阅读,还可作为从事和准备从事无人机测绘技术工作人员的参考书。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

无人机测绘技术基础 / 吴献文主编. —北京: 北京交通大学出版社, 2019.6 (2020.1 重印)  
(高等教育“十三五”规划教材)

ISBN 978-7-5121-3933-6

I. ① 无… II. ① 吴… III. ① 无人驾驶飞机—航空摄影测量—高等学校—教材  
IV. ① P231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 100068 号

### 无人机测绘技术基础

WURENJI CEHUI JISHU JICHU

策划编辑: 李运文

责任编辑: 陈跃琴

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010-51686414

<http://www.bjtu.com.cn>

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编: 100044

印 刷 者: 北京时代华都印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 15.5 字数: 387 千字

版 次: 2019 年 6 月第 1 版 2020 年 1 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-3933-6/P·11

印 数: 2 501~5 500 册 定价: 49.80 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: [press@bjtu.edu.cn](mailto:press@bjtu.edu.cn)。

# 前言

无人机测绘技术 (unmanned aerial vehicle surveying and mapping technology), 是以航空遥感为基础, 利用先进的无人驾驶飞行器技术、遥感传感器技术、遥测遥控技术、通信技术、GNSS 差分定位技术和遥感应用技术, 实现自动化、智能化、专业化在灾害应急处理、基础测绘、土地利用调查、矿山开发监测和城市规划等方面应用的技术, 具有应用范围广、作业成本低、续航时间长、影像实时传输、高危地区探测、图像精细、机动灵活等优点, 是卫星遥感与有人机航空遥感的有力补充, 已经成为世界各国争相研究和发展的方向。

本教材集中了作者及其研究团队近年来在无人机测绘领域的研究及应用成果, 也是建设一流高职院校项目之一, 在系统归纳无人机测绘基本理论和方法的基础上, 重点对无人机测绘系统、无人机飞行原理、无人机操控、倾斜摄影测量技术、三维测绘成图技术及无人机测绘像片控制测量等相关技术及其应用进行了深入的探讨。第 1 章重点介绍无人机及无人机测绘的基础知识和基本理论; 第 2 章重点介绍无人机测绘系统的组成; 第 3 章重点介绍无人机飞行环境、空气动力学基本原理与无人机飞行基本原理; 第 4 章重点介绍固定翼、多旋翼无人机的手动操控及自动航线飞行, 以及无人机航摄工作流程、注意事项; 第 5 章介绍无人机摄影测量的基础知识; 第 6 章着重介绍无人机倾斜摄影测量技术及基于无人机影像的数字地面模型三维重建技术, 系统研究了三维模型的生产技术, 以及基于实景三维模型的测图技术; 第 7 章系统介绍国内外常用的无人机影像数据处理主流软件, 着重介绍 Pix4DMapper、UASMaster、ContextCapture 三款应用软件; 第 8 章介绍无人机测绘过程中的像片控制测量与调绘; 第 9 章介绍无人机技术在国土资源、矿山监测、环境保护、农林业、水利、突发性公共事件和城市规划等领域的应用。

本教材的主要特色体现在:

- ① 详细阐明了无人机的飞行原理、结构、导航飞控、飞行操作与维护, 以及无人机摄影测量技术的原理、方法、作业流程和技术应用情况;
- ② 对地理信息数据获取技术 (高空遥感、中空飞机摄影、地面测量) 的发展及无人机测绘技术起到了很好的补充作用, 学生通过该课程的学习将更加全面地掌握测绘地理信息技术;
- ③ 以大量的插图和表格形式说明各项技术工作的内容、特点、程序步骤和技术要求;
- ④ 在兼顾教材知识的系统性、逻辑性的同时, 力求结构严谨、宽而不深、多而不杂、语言简练、文字流畅、内容精练、通俗易懂。注重对基本知识、基本技能、基本方法的介绍, 注重对航测技术能力的培养, 符合职业教育规律和高素质技能人才培养规律, 适应教学改革的要求。



# 目 录

第1章 绪论	1
1.1 无人机基础	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 无人机的特点	2
1.1.3 无人机的分类	3
1.2 无人机测绘基础	4
1.2.1 无人机航拍测绘的特点	4
1.2.2 无人机测绘的特点	5
1.3 无人机测绘技术发展现状	6
1.3.1 国外无人机测绘技术进展	6
1.3.2 国内无人机测绘技术进展	7
1.4 无人机测绘技术应用	8
1.4.1 基础测绘	8
1.4.2 应急测绘保障	9
1.4.3 工程变化监测	9
1.4.4 文化遗产保护	9
1.4.5 数字城市建设	10
第2章 无人机测绘系统	11
2.1 无人驾驶飞行平台	11
2.1.1 固定翼无人机	12
2.1.2 无人直升机	13
2.1.3 多旋翼无人机	13
2.1.4 无人飞艇	14
2.1.5 无人驾驶飞行平台的技术性能比较及技术指标	16
2.2 任务载荷	17
2.2.1 光学传感器	18
2.2.2 红外传感器	19
2.2.3 倾斜摄影相机	20
2.2.4 机载激光雷达	20

2.2.5	视频摄像机	22
2.2.6	机载稳定平台	22
2.3	飞行控制系统	23
2.3.1	飞行控制原理	23
2.3.2	飞行控制系统的组成	24
2.4	地面控制系统	25
2.5	无人机数据链	28
2.5.1	无人机数据链基本组成与链上设备	28
2.5.2	无人机数据链关键技术	30
2.6	定向定位系统	32
2.7	动力系统	33
2.7.1	活塞式发动机(二冲程与四冲程)	33
2.7.2	转子发动机	34
2.7.3	无刷直流电动机	34
2.8	弹射与回收系统	35
2.8.1	弹射架	35
2.8.2	回收系统	36
<b>第3章</b>	<b>无人机飞行基本原理</b>	<b>38</b>
3.1	无人机飞行环境	38
3.1.1	大气层	38
3.1.2	标准大气	39
3.2	空气动力学基本原理	39
3.2.1	相对性原理	39
3.2.2	连续性原理	39
3.2.3	伯努利定理	40
3.3	翼型	41
3.3.1	翼型概述	41
3.3.2	翼型的组成	42
3.3.3	翼型的表示与分类	43
3.4	飞行的升力	44
3.4.1	升力的产生	44
3.4.2	升力的计算	46
3.5	飞行的阻力与失速	47
3.5.1	无人机飞行环境	47
3.5.2	阻力的产生	50
3.5.3	升阻比	54
3.5.4	失速	55
3.6	无人机的平衡与稳定性	60

3.6.1	无人机的受力平衡	60
3.6.2	压力中心与重心	61
3.6.3	无人机的稳定性	67
3.7	多旋翼无人机结构与飞行原理	71
3.7.1	多旋翼无人机概述	71
3.7.2	多旋翼无人机系统的组成	72
3.7.3	多旋翼无人机飞行原理	75
<b>第4章 无人机航空摄影安全操控</b>		<b>77</b>
4.1	无人机航空摄影安全作业及基本要求	77
4.1.1	飞行安全的定义	77
4.1.2	安全作业的重要性	77
4.1.3	技术准备	77
4.1.4	设备器材选用	78
4.1.5	场地选取	78
4.1.6	飞行流程	78
4.2	固定翼无人机操控	79
4.2.1	飞行前准备	79
4.2.2	飞行操控	82
4.3	多旋翼无人机操控	92
4.3.1	安装飞行器	92
4.3.2	飞行前准备	95
4.3.3	飞行器操控	97
4.4	无人机航摄工作及操纵技巧	101
4.4.1	无人机航摄工作流程	101
4.4.2	数码相机在低空摄影中的参数设定	102
4.4.3	无人机操控技巧	106
4.5	多旋翼无人机智能航测飞行控制	107
4.5.1	矩形航测	108
4.5.2	多边形航测	112
4.5.3	航测任务管理与续飞	114
<b>第5章 无人机摄影测量原理</b>		<b>116</b>
5.1	航摄像片的几何特性	116
5.1.1	中心投影成像	117
5.1.2	像点位移	117
5.1.3	像片重叠度	118
5.2	航摄像片的内、外方位元素	118
5.2.1	内方位元素	118
5.2.2	外方位元素	119

06	5.3	共线条件方程	119
16	5.3.1	摄影测量常用坐标系	119
76	5.3.2	空间直角坐标系之间的旋转变换	121
17	5.3.3	共线条件方程推导	123
15	5.4	立体像对定向和立体量测	125
57	5.4.1	立体观测和像点量测	126
87	5.4.2	立体模型相对定向	129
77	5.4.3	立体模型绝对定向	130
77	5.5	解析空中三角测量	131
77	5.5.1	概述	131
77	5.5.2	相机检校与镜头畸变差	132
77	5.5.3	数字影像匹配技术	133
87	5.5.4	光束法区域空中三角测量	134
87	5.6	数字地面模型的制作	137
87	5.6.1	数字地面模型的概念及形式	137
97	5.6.2	数字地面模型的生成和编辑	139
97	5.7	正射影像的制作	139
97	5.7.1	正射影像的概念	139
97	5.7.2	正射影像纠正	139
3	第 6 章	无人机倾斜摄影测量与三维测图技术	141
29	6.1	倾斜摄影概述	141
79	6.1.1	倾斜影像定义	141
101	6.1.2	倾斜摄影特点	142
101	6.1.3	倾斜摄影技术的国内外现状	143
101	6.1.4	倾斜摄影技术的发展方向	144
101	6.2	倾斜摄影测量原理	145
701	6.3	倾斜摄影作业流程	147
801	6.3.1	倾斜影像采集	147
501	6.3.2	倾斜影像数据加工与测量	148
811	6.3.3	倾斜模型生产	148
811	6.4	倾斜摄影数据处理	151
811	6.4.1	航飞的质量要求	151
711	6.4.2	控制点布设要求	152
711	6.4.3	倾斜摄影数据处理技术要求	152
811	6.4.4	倾斜摄影数据处理关键技术	152
811	6.5	基于倾斜摄影的数字线划图生产	155
811	6.5.1	基于真正射影像图与 DSM 结合的数字线划图生产	155
911	6.5.2	基于倾斜摄影三维模型的数字线划图生产	159

6.6	SV360 实景三维模型测图软件	162
6.6.1	实景三维测图概述	162
6.6.2	SV360 技术架构	163
6.6.3	SV360 主要功能模块	166
<b>第 7 章</b>	<b>无人机影像数据处理</b>	<b>179</b>
7.1	无人机影像数据处理基本流程	179
7.2	常用无人机影像数据处理软件	180
7.3	无人机摄影测量软件 Pix4DMapper	182
7.3.1	作业流程	182
7.3.2	准备原始资料	182
7.3.3	建立工程并导入数据	183
7.3.4	加入控制点	184
7.3.5	全自动处理	188
7.3.6	质量报告分析	191
7.3.7	点云及正射影像的编辑输出	192
7.4	无人机摄影测量软件 UASMaster	193
7.4.1	准备工作	193
7.4.2	新建工程	193
7.4.3	影像位置检查	196
7.4.4	同名点提取	196
7.4.5	控制点量测	197
7.4.6	平差	198
7.4.7	地面模型生成	199
7.4.8	DTM 编辑	200
7.4.9	正射纠正和镶嵌	201
7.4.10	快速成图	202
7.5	无人机倾斜摄影建模软件 ContextCapture	203
7.5.1	ContextCapture 软件的特点	203
7.5.2	数据检查与预处理	203
7.5.3	三维模型生产过程	204
<b>第 8 章</b>	<b>像片控制测量与调绘</b>	<b>207</b>
8.1	基本概念	207
8.1.1	像片控制测量	207
8.1.2	像片解译	207
8.1.3	像片调绘	208
8.2	像片控制测量	208
8.2.1	像片控制点的布设	208
8.2.2	像片控制测量的布点方案	210

8.2.3	像片控制测量的流程	213
8.3	像片解译	216
8.3.1	目视解译特征	216
8.3.2	目视解译方法	216
8.4	像片调绘	217
8.4.1	像片调绘的基本准备工作	217
8.4.2	像片调绘的常用方法	218
8.4.3	新增地物的补测	219
<b>第9章 无人机技术行业应用</b>		221
9.1	在国土资源领域中的应用	221
9.2	在矿山监测中的应用	224
9.3	在环境保护领域中的应用	227
9.4	在农林业领域中的应用	229
9.5	在水利相关领域中的应用	230
9.6	在突发性公共事件中的应用	232
9.7	在城市规划行业中的应用	234
<b>参考文献</b>		236

# 第1章 绪论



## 教学目标

学习本章，应掌握无人机系统的概念与特点；理解无人机测绘的特点与发展历程；了解无人机测绘技术的应用进展。

随着无人机动力、控制、通信和导航等关键技术的逐渐成熟和无人机在空间探测感知领域的进一步应用，改变了无人机长期以来作为靶机使用和进行有限侦察的现状。在高新技术条件下，与现代遥感技术、摄影测量技术等相结合，无人机低空摄影测量手段应运而生，已逐渐成为与航天摄影测量、大飞机航空摄影测量并驾齐驱的摄影测量方式。与其他两种方式相比，无人机低空摄影测量系统具有机动、灵活、快速、经济等特点，在重点区域或小范围区域航测上更有得天独厚的优势，能够快速获取高质量、高分辨率的遥感影像，已经成为未来航空摄影测量的重要手段和国家航空遥感监测体系的重要补充，逐步从研究开发阶段发展到了实际应用阶段。

随着我国资源三号卫星投入使用，可获取全色 2.1 m 分辨率、多光谱 5.8 m 分辨率的卫星遥感影像数据，具备了自主开展 1:50 000 数字测绘产品生产和 1:25 000 数字测绘产品修测的能力。同时，各航测单位装备的 ADS40/80/100、DMC 和 UCD/UCX/UCXp 等大型专业数字航摄系统，为大面积开展 1:5 000~1:25 000 数字化测绘产品生产提供了保障。但是从国家经济建设对数字测绘产品的需求上看，生产 1:500~1:2 000 比例尺体系的数字化测绘产品的数据源依旧是一个空白。近年来，随着数字城市和智慧城市建设的逐步开展和稳健推进，急需支持城市信息化建设的大比例尺基础地理空间数据，城市在建项目的论证、规划和设计，城市设施大规模三维建模，城市的精细化管理等应用领域，对比例尺 1:2 000 以上的数字化测绘产品需求正在与日俱增，无人机低空摄影测量的出现有效地解决了这个问题。

## 1.1 无人机基础

### 1.1.1 基本概念

无人机 (unmanned aircraft vehicle, UAV) 是由控制站管理 (包括远程操纵或自主飞行) 的航空器，也称远程驾驶航空器 (remotely piloted aircraft, RPA)。

无人机系统 (unmanned aircraft system, UAS) 也称远程驾驶航空器系统 (remotely piloted

aircraft systems, RPAS), 是指由无人机、相关控制站、所需的指令与控制数据链路, 以及批准的型号设计规定的任何其他部件组成的系统。

由于无人机在完成相应任务时需要与任务载荷、测控与信息传输系统、起飞(发射)与回收系统、地面保障系统等配合工作, 因此, 无人机与以上各类装置和设备组成的完整系统称为无人机系统。无人机系统可由单个无人机构成, 也可由多个同型的无人机或多型多个无人机共同构成。

目前, 在临近空间(20~100 km 空域)飞行的飞行器, 例如, 平流层飞艇、高空气球和太阳能无人机等也被列为无人机的范围。从广义的角度来看, 无人机可以在无人驾驶的条件下完成各种复杂的空中飞行任务和各种负载任务, 因此, 无人机也可以被看作是“空中机器人”。

### 1.1.2 无人机的特点

无人机没有机上驾驶员, 因此不用考虑人的生理承受能力(大机动)和体力限制, 可执行枯燥、危险、污染性的工作, 使用灵活, 用途广泛; 成本低廉, 生存力强。

#### 1. 隐蔽性好, 生命力强

比起有人驾驶飞机, 无人机无论是体积、质量, 还是反射面积都比后者小得多, 加之其独特精巧的设计、机体表面涂敷的隐身涂料, 使得它的暴露率呈几何级数减小。无人机还有一个突出的特点, 即不受人造因素, 如过载因素的制约(这正是有人驾驶机的一大不足), 因而可以最大限度地发挥速度、高度、航程等性能, 也可以通过超加速升降、倒飞、急转弯飞行等方式来增加隐蔽性、机动性, 从而提高生存能力。

#### 2. 造价低廉, 不惧伤亡

海军舰艇尤其是潜艇所载的无人机不仅体积小、结构紧凑, 而且机上大量使用高技术模块化的电子设备和微型高效的武器系统, 结构简单, 使用方便, 造价相对便宜得多。通常, 无人机的造价只有有人驾驶飞机的十分之一, 甚至百分之几。例如美国海军正在研制的最新无人驾驶飞机容易操纵, 安全性较高, 造价也十分低廉, 其造价为每架 200 万~2 000 万美元不等, 使用成本仅为有人驾驶战斗机的 10%。

实际上, 无人机的最大好处, 就是不存在人员伤亡或被俘的危险, 这也是极力推崇“零伤亡”的美英等国对其格外关注的原因。为了减少飞行员和机组人员的伤亡, 美军及其盟国尽量避免派遣有人驾驶飞机去对手防空力量强大的高风险区域或战场上空执行任务, 他们把飞行员的生命看得比一架飞机还重要。

#### 3. 起降简单, 操作灵活

无人机的起飞方式多种多样, 但归纳起来不外乎以下两种: 短距起飞、垂直起飞。

① 短距起飞包括短距滑跑起飞、滑轨式推动起飞、助飞火箭推动起飞等多种方式。无人机体积小、质量轻, 其滑跑距离要比有人机短得多, 要求也不像航母起降甲板那样严格。滑轨式滑动起飞是在舰上安装一定长度的滑轨, 设置于其上的无人机在自带助飞动力装置的作用下, 快速滑动; 当加速到一定速度后, 就飞离滑轨并自动扔掉助飞动力装置, 然后在无人机上的主发动机作用下, 完成飞行任务。

② 垂直起飞则包括固定翼式垂直起飞、旋翼式垂直起飞等。固定翼式垂直起飞多是利

用尾支座或尾座式起落架支撑无人机,使之垂直竖立在舰甲板上;当它接到指令后先由机载动力装置推进无人机垂直升空,然后再由垂直起飞姿态逐渐改为水平飞行姿态。美国海军在研的三种无人驾驶攻击机中的一种,就是采用垂直姿态起降的,即利用喷气式发动机和火箭发动机作为组合动力装置来达成垂直起降的目的。旋翼式垂直起飞方式也可以细分为主旋翼/尾旋翼(尾桨)式垂直起飞、共轴式垂直起飞、倾转翼式垂直起飞等。倾转翼式垂直无人机是美国海军颇为看好的一型无人机。美国海军近年来大力开发的“鹰眼”舰载无人机,能以直升机方式爬升、下降、悬停和横向机动,再以固定翼飞机方式转入巡航状态。

当然,使用其他飞行器携挂无人机在空中抛射也是一种常见的办法。

### 1.1.3 无人机的分类

无人机实际上是无人驾驶飞行器的统称,从技术角度定义,无人机分为无人直升机、无人固定翼机、无人多旋翼飞行器、无人飞艇、无人伞翼机等几大类。目前,无人机的分类方式有很多种,除上述分类外,还可以按功能、尺度、活动半径、速度、实用升限、续航时间等方法进行分类。

#### 1. 按功能分类

按功能分类,无人机可以分为军用无人机和民用无人机两大类。军用无人机包括信息支援、信息对抗、火力打击等几大类;民用无人机又分为检测巡视类、遥感测绘类、通信中继类等几大类。其中,检测巡视类无人机主要用于灾害监测(火灾、水灾、地震等)、环境监测(交通、水利、地形地貌)、气象监测、电力线路和石油管路巡视等工作中;遥感测绘类无人机主要用于地质遥感遥测、矿藏勘测、地形测绘等工作中;通信中继类无人机包括通信中继类和通信组网类无人机。

#### 2. 按尺度分类

依据2018年发布的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》(征求意见稿)将民用无人机分为微型、轻型、小型、中型、大型。

① 微型无人机,是指空机质量小于0.25 kg,设计性能同时满足飞行真高不超过50 m、最大飞行速度不超过40 km/h、无线电发射设备符合微功率短距离无线电发射设备技术要求的遥控驾驶航空器。

② 轻型无人机,是指同时满足空机质量不超过4 kg,最大起飞质量不超过7 kg,最大飞行速度不超过100 km/h,具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力的遥控驾驶航空器,但不包括微型无人机。

③ 小型无人机,是指空机质量不超过15 kg或者最大起飞质量不超过25 kg的无人机,但不包括微型、轻型无人机。

④ 中型无人机,是指最大起飞质量超过25 kg不超过150 kg,且空机质量超过15 kg的无人机。

⑤ 大型无人机,是指最大起飞质量超过150 kg的无人机。

#### 3. 按活动半径分类

① 超近程无人机,活动半径为5~<15 km。

② 近程无人机, 活动半径为  $15 \sim < 50 \text{ km}$ 。

③ 短程无人机, 活动半径为  $50 \sim < 200 \text{ km}$ 。

④ 中程无人机, 活动半径为  $200 \sim < 800 \text{ km}$ 。

⑤ 远程无人机, 活动半径一般不小于  $800 \text{ km}$ 。

#### 4. 按速度分类

① 低速无人机, 马赫数一般小于  $0.3$ 。

② 亚音速无人机, 马赫数为  $0.3 \sim < 0.7$ 。

③ 跨音速无人机, 马赫数为  $0.7 \sim < 1.2$ 。

④ 超音速无人机, 马赫数为  $1.2 \sim < 5.0$ 。

⑤ 高超音速无人机, 马赫数一般不小于  $5.0$ 。

#### 5. 按实用升限分类

① 超低空无人机, 实用升限一般为  $100 \text{ m}$  以下。

② 低空无人机, 实用升限为  $100 \sim < 1\,000 \text{ m}$ 。

③ 中空无人机, 实用升限为  $1\,000 \sim < 7\,000 \text{ m}$ 。

④ 高空无人机, 实用升限为  $7\,000 \sim < 18\,000 \text{ m}$ 。

⑤ 超高空无人机, 实用升限一般不小于  $18\,000 \text{ m}$ 。

#### 6. 按续航时间分类

按续航时间分类, 无人机可以分为正常航时无人机和长航时无人机。正常航时无人机的续航时间一般小于  $24 \text{ h}$ , 长航时无人机的续航时间一般等于或大于  $24 \text{ h}$ 。

注意: 不同团体机构, 针对特定情况, 对无人机划分的标准可能会有所不同, 这里只提到其中一种划分标准。

## 1.2 无人机测绘基础

无人机测绘主要指的是依托无人机系统为主要的信息接收平台, 通过无人机机载遥感信息采集和处理设备, 将最终所获取的遥感信息传输到测绘中心, 经过数据技术处理, 形成立体化的数字模型, 以满足行业的发展需要。无人机遥感在运行的过程中, 要想获取清晰准确的图像, 不仅需要无人机具有稳定的性能, 遥感设备的专业化程度同等重要, 近两年发展起来的无人机倾斜摄影系统是主要的热点。这种技术是以大范围、高精度、高清晰的方式对目标环境进行全面感知, 可以直观地反映复杂地理环境的外观、位置、高度等因素, 为真实有效的地理测绘提供科学的数据依据。

### 1.2.1 无人机航拍测绘的特点

无人机航拍测绘具有以下特点:

① 无人机航拍测绘具有高清晰、大比例尺、小面积、高现势性的优点, 特别适合获取带状地区航拍影像 (公路、铁路、河流、水库、海岸线等);

② 无人机为航拍摄影提供了操作方便、易于转场的遥感平台,因为起飞降、落受场地限制较小,在操场、公路或其他较开阔的地面均可起降,其稳定性、安全性好,转场等非常容易;

③ 小型轻便、低噪节能、高效机动、影像清晰、轻型化、小型化、智能化更是无人机航拍的突出特点。

## 1.2.2 无人机测绘的特点

无人机测绘技术以获取高分辨率数字影像为应用目标,以无人机为飞行平台,以高分辨率数码相机为传感器,通过3S技术在系统中集成应用,最终获取小面积、真彩色、大比例尺、现势性强的航测遥感数据。

无人机测绘技术主要用于基础地理数据的快速获取和处理,为制作正射影像、地面模型或基于影像的区域测绘提供最简捷、最可靠、最直观的应用数据。作为卫星遥感与普通航空摄影不可缺少的补充,无人机测绘主要有以下优点。

### 1. 机动性、灵活性和安全性

无人机具有灵活、机动的特点,受空中管制和气候的影响较小,能够在恶劣环境下直接获取影像,即便是设备出现故障,也不会出现人员伤亡,具有较高的安全性。

### 2. 低空作业,获取高分辨率影像

无人机可以在云下超低空飞行,弥补了卫星光学遥感和普通航空摄影经常受云层遮挡获取不到影像的缺陷,可获取比卫星遥感和普通航摄更高分辨率的影像。同时,低空多角度摄影获取建筑物多面高分辨率纹理像,弥补了卫星遥感和普通航空摄影获取城市建筑物遇到的高层建筑遮挡问题。

### 3. 精度高,测图精度可达1:1 000

无人机为低空飞行,飞行高度在50~1 000 m,属于近景航空摄影测量,摄影测量精度达到了亚米级,精度范围通常在0.1~0.5 m,符合1:1 000的测图要求,能够满足城市建设精细测绘的需要。

### 4. 成本相对较低,操作简单

无人机低空航摄系统使用成本低,耗费低,对操作员的培养周期相对较短,系统的保养和维修简便,可以无须机场起降,是当前唯一将摄影与测量集为一体的航摄方式,可实现测绘单位按需开展航摄飞行作业这一理想生产模式。

### 5. 具有周期短、效率高等特点

对于面积较小的大比例尺地形测量任务(10~100 km<sup>2</sup>),受天气和空域管理的限制较多,大飞机航空摄影测量成本高;而采用全野外数据采集方法成图,作业量大,成本也比较高。而将无人机遥感系统进行工程化、实用化开发,则可以利用它的机动、快速、经济等优势,在阴天、轻雾天也能获取合格的影像,从而将大量的野外工作转入内业,既能减轻劳动强度,又能提高作业的效率 and 精度。无人机测绘技术相对传统地形测绘技术有明显优势,其比较如表1-1所示。

表 1-1 无人机测绘技术与传统地形测绘技术对比

对比内容	测绘方式	
	无人机测绘	传统地形测绘
成图精度	高	高
测绘工期	速度快	时间长
人工外业工作量	仅需要采集少量外业相控点, 人工外业工作量很小	人工外业工作量很大
勘测成本	低	高
成图速度	快	慢
对面积要求	适用中小面积	适用中小面积
成品类型	产品丰富, 一次航测, 可制作地形图 DLG、正射影像图 DOM、数字高程模型 DEM、三维数字地形系统	产品单一, 只能通过其他方式来附属产品
适用比例范围	包括 1:1 000、1:2 000 地形图以上的产品	可以制作各种比例尺的地形图
前期的准备工作	工程响应快速, 不需要空域申请, 能快速地进行航测	前期准备工作时间较多
内业测图软件	航摄影像纠正、配准软件、空三加密软件, 立体测图软件	数字测图软件
内业测图人工干预量	较少	较多
安全性	高	低
环境限制	少	多

## 1.3 无人机测绘技术发展现状

无人机测绘技术主要包括飞行器技术、传感器技术、姿态控制技术、通信技术、影像处理技术等。早期的无人机主要用于军事。20 世纪 80 年代以来, 随着计算机技术、控制技术、通信技术的发展, 以及各种质量轻、体积小、探测精度高的新型传感器的出现, 无人机性能不断提高, 应用领域也不断扩大。目前, 世界上各种用途、各种性能指标的无人机已达数百种, 续航时间和载荷重量也有显著提升, 为搭载多种传感器、执行多种任务创造了条件。除了用于军事领域外, 无人机测绘技术也逐步用于基础地理信息测绘、应急测绘保障、工程变化监测、文化遗产保护、自然灾害监测与评估、数字城市建设、城市规划管理等领域。

### 1.3.1 国外无人机测绘技术进展

气球是最早的航空摄影平台, 早在 1858 年, Tournachon 已经以热气球作为摄影平台, 获取了巴黎的空中影像。随后, 得益于摄影技术的简化, 其他手段如风筝 (1882 年英国气象学家 E. D. Archibald 曾使用)、火箭 (1897 年瑞士发明家 Alfred Nobel 曾使用) 等, 也开始用于航空摄影。1909 年 W. Wright 用自制的飞机获取了一张运动图像, 意味着载人航空摄影的开端, 随后航空摄影技术在军事中确立并迅速发展。