

南宁师范大学教材建设基金资助出版



无人机测绘技术

主 编	徐 军	何燕君		
副主编	黄升华	王会珠	巫显涟	邓世兴
参 编	杨小雄	段 炼	吴 彬	董 凯
	张利国	马 骥	黄 乐	张文主
	赖双双	龙嘉露	王永卿	王华峰
	陈一舞	覃应亮	陀锦霞	李 航

西南交通大学出版社
· 成 都 ·



无人机测绘技术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 技术和 RS 技术，实现自动化、智能化、专业化地应用于应急测绘保障、数字城市建设、国土资源、矿山监测、电力工程、环境保护、农林业领域及水利等相关领域，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，是卫星遥感与载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。

本书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，在系统归纳无人机测绘基本理论和方法的基础上，对于无人机测绘系统结构、无人机飞行基本原理、无人机航空摄影安全作业与操控、无人机航空摄影测量、无人机倾斜摄影测量、无人机贴近摄影测量、无人机激光雷达测量及无人机测绘技术的应用等知识进行了深入的探讨与实践总结。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结构和组成；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 章重点介绍无人机航空摄影测量的基础知识、无人机像片控制测量、无人机解析空中三角测量和新型基础测绘产品生产；第 6 章重点介绍无人机倾斜摄影测量概述、倾斜摄影数据处理内容与要求、基于倾斜摄影的数字化产品生产和无人机倾斜摄影测量典型案例；第 7 章重点介绍无人机贴近摄影测量概述、贴近摄影测量的方法与技术、应用领域和无人机贴近摄影测量典型案例；第 8 章重点介绍激光雷达概述、机载激光雷达测量系统、机载激光雷达点云数据处理和无人机机载激光雷达测量典型案例；第 9 章介绍无人机测绘技术在应急测绘保障、数字城市建设、国土资源、矿山监测、电力工程、环境保护、农林业、水利相关等领域的应用。

本书的主要特色体现在：

(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）及无人机测绘技术（垂直摄影、倾斜摄影、贴近摄影、机载 LiDAR）的发展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) 以大量的插图和实际案例说明各项技术工作的内容、特点、程序步骤和技术要求。

(4) 在兼顾教材知识系统性、逻辑性的同时,力求结构严谨、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,注重对航空摄影测绘技术能力的培养,符合教育规律和高素质工科技能人才培养规律,适应教学改革的要求。

本书编写组由长期从事测绘工程教学研究的学者、教学第一线的青年骨干教师和国内测绘行业高新技术企业的技术工程师组成。南宁师范大学徐军和何燕君担任主编,广州南方测绘科技股份有限公司黄升华、北京山维科技股份有限公司王会珠、万航星空科技发展有限公司巫显涟、广州中海达卫星导航技术股份有限公司邓世兴担任副主编,负责制定编写大纲和统稿。第1章由南宁师范大学徐军、何燕君、杨小雄和北京山维科技股份有限公司王会珠编写;第2章由南宁师范大学徐军、何燕君和王永卿编写;第3章由南宁师范大学徐军、段炼、吴彬、张利国编写;第4章由南宁师范大学徐军、万航星空科技发展有限公司巫显涟和北京山维科技股份有限公司王会珠编写;第5章由南宁师范大学龙嘉露和广州南方测绘科技股份有限公司黄升华、陈一舞编写;第6章由南宁师范大学张文主、赖双双和北京山维科技股份有限公司王华峰编写;第7章由南宁师范大学徐军、何燕君和万航星空科技发展有限公司巫显涟编写;第8章由广州中海达卫星导航技术股份有限公司李航和广州南方测绘科技股份有限公司覃应亮、陀锦霞编写;第9章由广州中海达卫星导航技术股份有限公司邓世兴和南宁师范大学董凯、黄乐、马骥编写。

本教材受国家自然科学基金项目“基于轨迹时空模式挖掘的团伙犯罪风险时空感知与预测研究”(编号:41961062)、广西高校中青年教师科研基础能力提升项目“高分辨率遥感影像甘蔗地信息智能化提取方法研究——以广西博白为例”(编号:2019KY0426)、“自然资源融合模式促进乡村振兴发展研究”(项目编号:2021KY0402)、教育部产学合作协同育人项目“产教融合下的‘时空数据挖掘’课程改革与实践”(编号:220903776014258)、广西新工科研究与实践项目“新工科背景下自然资源大数据挖掘人才培育模式研究与实践”(编号:XGK2022016)、中国—东盟(华为)人工智能创新中心2022年补贴项目“面向AI的自然资源监测与分析特色课程群建设”、广西一流本科专业建设点“测绘工程”校级本科教学改革项目“无人机测绘技术”课程混合式虚拟仿真实验教学模式探索与实践(项目编号:2023JGX047)、校级课程思政示范课程“无人机测绘技术”的支持与资助。

由于作者水平有限,书中定有一些疏漏和不足之处,恳请同行和广大读者批评、指正。

编者

2023年7月



第 1 章 绪 论	001
1.1 无人机	001
1.2 无人机测绘	007
1.3 无人机相关法律法规	013
【习题与思考】	018
第 2 章 无人机测绘系统	019
2.1 无人驾驶飞行平台	019
2.2 任务载荷	024
2.3 飞行控制系统	029
2.4 地面控制系统	035
2.5 无人机数据链路	037
2.6 定位定向系统	040
2.7 动力系统	041
2.8 发射与回收系统	045
【习题与思考】	047
第 3 章 无人机飞行基本原理	048
3.1 无人机飞行环境	048
3.2 空气动力学基本原理	050
3.3 翼 型	054
3.4 飞行的升力	059
3.5 飞行的阻力与失速	061
3.6 无人机的稳定性	071
【习题与思考】	076

第4章 无人机航空摄影安全作业与操控	077
4.1 无人机航空摄影安全作业及基本要求	077
4.2 无人机模拟器及训练方案	079
4.3 遥控器操作	092
4.4 固定翼无人机操控	096
4.5 多旋翼无人机操控	103
【习题与思考】	110
第5章 无人机航空摄影测量	111
5.1 无人机航空摄影	111
5.2 无人机航测像片控制测量	118
5.3 无人机解析空中三角测量	126
5.4 无人机影像新型基础测绘产品生产	133
【习题与思考】	137
第6章 无人机倾斜摄影测量	138
6.1 倾斜摄影测量概述	138
6.2 无人机倾斜摄影数据处理的内容与要求	144
6.3 基于倾斜摄影的数字化产品生产	146
6.4 倾斜摄影测量案例一——数字线划图生产	157
6.5 倾斜摄影测量案例二——三维农房不动产登记	161
【习题与思考】	165
第7章 无人机贴近摄影测量	166
7.1 贴近摄影测量概述	166
7.2 无人机贴近摄影测量的方法与技术	170
7.3 无人机贴近摄影测量应用领域	176
7.4 贴近摄影测量案例——岩画数字化	181
【习题与思考】	185

第 8 章 无人机机载激光雷达测量	186
8.1 激光雷达概述	186
8.2 机载激光雷达测量系统	192
8.3 机载激光雷达点云数据处理	197
8.4 无人机机载激光雷达测量案例一——高精度地形测量	205
8.5 无人机机载激光雷达测量案例二——矿山测量	208
【习题与思考】	211
第 9 章 无人机测绘技术的应用	212
9.1 在应急测绘保障中的应用	212
9.2 在数字城市建设中的应用	213
9.3 在国土资源领域中的应用	214
9.4 在矿山监测中的应用	216
9.5 在电力工程中的应用	217
9.6 在环境保护领域中的应用	218
9.7 在农林业领域中的应用	220
9.8 在水利相关领域中的应用	222
【习题与思考】	224
参考文献	225

第 1 章 绪 论

知识目标

理解无人机的概念、分类、特点、功能和作用；理解和把握无人机的发展趋势；了解无人机测绘的定义、作业流程和在测绘领域的应用现状；了解无人机相关法律法规。

技能目标

初步认识无人机测绘，认识无人机测绘作业流程。

21 世纪以来，无人机的动力、控制、通信和导航等关键技术逐渐成熟，在空间探测感知领域的应用也进一步深入，其用途不断扩大，已经成为一种新型的空中平台，在国民经济建设和现代战争中发挥着越来越重要的作用。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，基于无人机平台的测绘技术即无人机摄影测量应运而生，已经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。无人机摄影测量具有机动、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，在无人机影像处理软件的辅助下，能够快速获取目标区域或对象的高分辨率遥感影像和精细的三维模型，成为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。随着无人机测绘成果应用的不断深入和技术的不断进步，在传统无人机摄影测量基础上也逐渐发展衍生出了无人机倾斜摄影测量与无人机贴近摄影测量，能满足更多场景下的测绘成果应用需求，进一步拓展了无人机测绘技术的应用领域。

1.1 无人机

1.1.1 基本概念

无人机（Unmanned Aircraft Vehicle, UAV）是一种由动力驱动，能携带任务载荷，可重

复使用，可自主飞行或遥控飞行的不载人航空器。

无人机系统（Unmanned Aircraft System, UAS）也称无人驾驶航空系统，通常由飞行器、飞行控制系统、数据链路、发射与回收等部分组成，能执行复杂任务。其中，飞行器系统是执行任务的载体，它携带遥控遥测设备和任务设备，达到目标区域完成要求的任务，包含飞行平台、动力装置（包括能源装置）、电力系统和任务设备等。飞行控制系统是无人机系统的“心脏”部分，基本任务是当无人机在空中受到干扰时保持飞机姿态与航迹的稳定，以及按地面无线传输指令改变飞机姿态与航迹，并完成导航计算、遥测数据传送、任务控制与管理等。数据链路是维持地面与空中双向持续通信的“通信员”，负责无人机系统的指令、数据、情报的上传下达，保证遥控指令的准确传输，以及无人机接收、发送信息的实时性和可靠性。发射与回收装置是指与发射（起飞）和回收（着陆）有关的设备或装置，可确保无人机顺利升空以达到安全高度和飞行速度，在执行任务后从天空安全回落到地面。

1.1.2 无人机的分类

随着无人机的飞速发展和新概念的不断涌现，创新的广度和深度不断加大，无人机种类繁多、形态各异，目前尚无统一、明确的分类标准。传统的分类方法中，有按功能分类，也有按尺度分类，或是按飞行方式、活动半径、飞行速度、实用升限、续航时间等分类。

1. 按功能分类

按功能，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；民用无人机包括遥感测绘、检测巡视、保护救援、影视制作、生活服务、通信中继等几大类。

其中，遥感测绘类无人机主要用于地质遥感监测、矿藏勘测、地形测绘等工作中，检测巡视类无人机主要用于灾害监测（水灾、火灾、地震等）、环境监测（交通、水利、地形地貌）、气象监测、电力线路或石油管路巡视等工作中，保护救援类无人机主要用于野生动物保护、珍稀保护动员救援工作，影视制作类无人机主要用于影视拍摄、新闻制作、大型活动宣传、旅游景点宣传等工作中，生活服务类无人机主要用于物流、快递、外卖等日常生活中，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，如图 1.1 所示。

（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。

(5) 大型无人机，是指最大起飞质量超过 150 kg 的无人机。



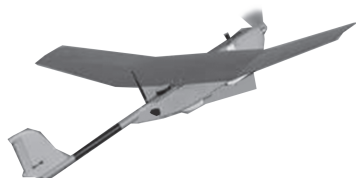
(a) 微型无人机



(b) 轻型无人机



(c) 小型无人机



(d) 中型无人机



(e) 大型无人机

图 1.1 按尺度分类的无人机

3. 按飞行方式分类

按照无人机的飞行方式或飞行原理，可将无人机分为固定机翼无人机、旋翼无人机、扑翼无人机、动力飞艇、临近空间无人机、空天无人机等，如图 1.2 所示。其中，扑翼无人机是像昆虫和鸟一样通过拍打、扑动机翼来产生升力以进行飞行的一种飞行器，更适用于微小型飞行器。临近空间无人机是指在临近空间飞行和完成任务的无人机，由于临近空间空气稀薄，无人机在其中巡航飞行必须采用新的飞行机理。空天无人机则是可在航空空间与航天空间跨越飞行的无人机，其飞行机理体现了航空航天融合创新。



(a) 固定翼无人机



(b) 旋翼无人机

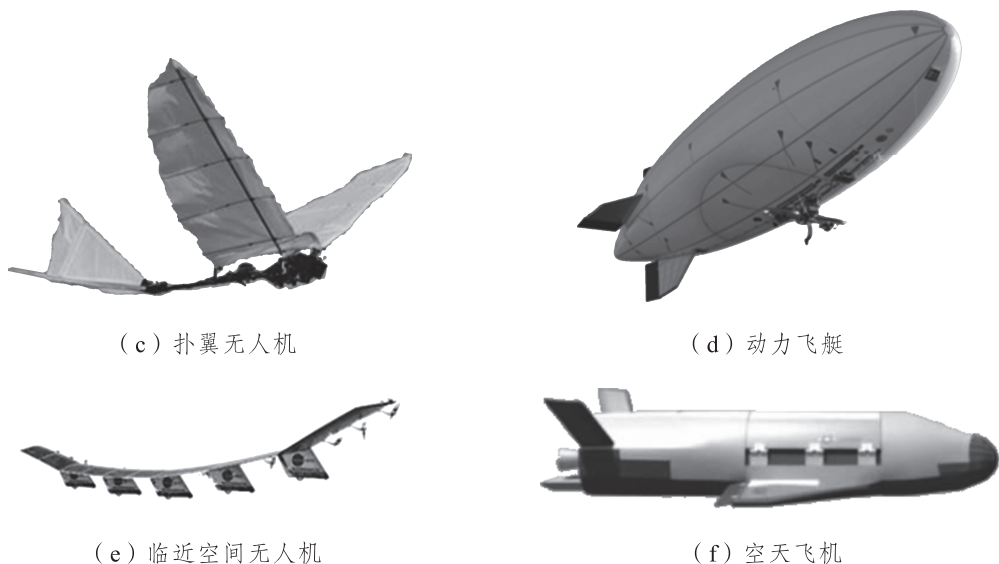


图 1.2 按飞行方式分类的无人机

4. 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 ~ 50 km。
- (3) 短程无人机，活动半径为 50 ~ 200 km。
- (4) 中程无人机，活动半径为 200 ~ 800 km。
- (5) 远程无人机，活动半径一般不小于 800 km。

5. 按飞行速度分类

- (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 ~ 0.7。
- (3) 跨音速无人机，马赫数为 0.7 ~ 1.2。
- (4) 超音速无人机，马赫数为 1.2 ~ 5.0。
- (5) 高超音速无人机，马赫数一般不小于 5.0。

6. 按实用升限分类

- (1) 超低空无人机，实用升限一般为 100 m 以下。
- (2) 低空无人机，实用升限为 100 ~ 1 000 m。
- (3) 中空无人机，实用升限为 1 000 ~ 7 000 m。
- (4) 高空无人机，实用升限为 7 000 ~ 18 000 m。
- (5) 超高空无人机，实用升限一般不小于 18 000 m。

7. 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 h，长航时无人机的续航时间一般等于或大于 24 h。

1.1.3 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. 造价低廉，效费比好

由于无人机不需要飞行驾驶人员，可最大限度地保障人的生命安全，且在无人机设计时不需考虑人员的生存保障系统和应急救生系统，可大幅减轻飞机质量和系统复杂程度，故无人机往往相对尺寸较小，质量较轻，生产成本低，训练、检测维修费用较低。目前，大部分无人机的制造成本只是同类型有人机的几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. 隐蔽性好，生命力强

比起有人驾驶飞机，现代无人机无论是体积、质量，还是反射面积都比前者小得多，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，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，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。无人机还有一个突出的特点，即不受人因素，如过载因素的制约，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，从而具有很强的生存力。

3. 机动性强，操作便捷

小型无人机体积小、质量轻，起飞方式灵活，对专门的起降场要求不高。无人机对起降场地的条件要求不高，通过无线电遥控或机载计算机远程遥控技术还可以实现定点起降，操作便捷，容易上手。

但是无人机也具有其相应的缺点，主要表现为：无人机体积小、动力小，客观上造成了其飞行速度慢、抗风抗气流能力差，在大风天气和乱流环境中飞行，无人机往往难以保持平稳的飞行姿态；而且无人机的飞行高度也受温度的限制，导致无人机普遍的飞行高度在 3 km 以下，超高连续飞行 10~15 min 将会使无人机受损；由于无人机需通过无线电链路完成操作指令的收发，其应变能力有限，甚至当有强信号干扰时，易造成无人机失联。

1.1.4 无人机的发展现状与趋势

1. 国外无人机发展现状

当前，在无人机研制与生产领域占据领先地位的依然是美国，其应用主要集中在军事方面。美军目前拥有用于各指挥层次（从高级司令部到基础作战单位）的全系列无人机。许多无人机可以携带制导武器（炸弹、导弹）目标指示和火力校射装置。最著名的是“火蜂”（Fire Bee）系列、“捕食者”（Predator）可复用无人机以及全球最大的无人机——“全球鹰”（Global Hawk）。另外，“影子 200”（RQ-7）低空无人机、“扫描鹰”（Sean Eagle）小型无人机、“火力侦察兵”（Fire Scout）无人直升机等的应用也较为广泛。

2. 我国无人机发展现状

2010年起,无人机消费级市场逐渐打开,以成立于2006年的深圳市大疆创新科技有限公司为代表的相关企业,凭借无人飞行器控制系统及无人机解决方案的研发优势,通过不断革新技术和产品,开启了全球“天地一体”影像新时代,在多个领域重塑了人们的生产和生活方式,产品迅速占领全球市场。在多旋翼无人机领域,大疆创新、科比特、飞马机器人、极飞科技、中海达、易瓦特等公司均取得了不错的成绩,大疆创新凭借其技术、人才、规模优势占据了全球超过70%的市场份额。

3. 无人机发展趋势

1) 提升无人机安全性能

无人机技术已经在我国国防安全和国民经济建设领域发挥着十分重要的作用。而随着无人机执行任务的复杂程度不断提升,反无人机技术、干扰对抗技术不断发展,提高无人机安全性能,能够应对各类干扰、对抗和故障,适应复杂任务环境,显得尤为重要。目前,多源干扰和各类故障是导致无人机安全事故的主要因素,无人机元器件较多、工况复杂多变、系统动态跨域较大,在复杂高对抗环境中极易出现无人机结构受损、航电设备受扰和失灵等状况,造成无人机控制性能退化甚至失稳,极大地限制了无人机的应用环境、应用对象和应用领域。这也是近年来无人机事故日益增多安全问题日益凸显的主要原因。

2) 增强无人机互适应性能

随着无人机和各相关技术的发展,需要共享信息、数据、传感器的无人系统平台越来越多,可以预见的是各类无人机系统的多样性将在未来呈指数增长。传统无人机系统往往采用加密信道和专有接口,是典型的封闭系统,不利于各类系统间的相互连接和形成合力。

3) 提升无人机自主性能

当前,无人机系统与人工智能技术的发展突飞猛进,运用广泛,这为无人机自主性能的提升创造了条件。如人工智能技术可以为无人机在高动态环境中实时处理大量数据,使无人机能够在复杂多变的环境中具有足够的感知能力和判断能力,在遵循预先规则和策略的基础上,通过自主选择实现人为导向目标,越来越趋向于内部控制,进而可以充分发挥无人机在各行各业的应用潜力。

4) 优化无人机动力性能

当前,中小型无人机动力以常规内燃机动力、电池和混合动力为主要方式,但随着蜂群理论的提出,无人机开始向着微型化发展,对无人机动力装置提出了更高要求。美军空军科学研究办公室和密歇根大学均正在开展以太阳能等可再生能源作为动力的无人机项目,尝试通过新型材料、能量传输和能量存储等技术上的融合与突破,为无人机延长巡航时间。

5) 实现无人机集群能力

所谓“集群”(Swarm),是受到自然现象启发,指蜜蜂、蚂蚁、鸟群、狼群、鱼群、菌群等大量的低/非智能个体,依据个体规则,在组成群体后涌现出异常复杂的集群智能行为,如图1.3所示。集群并不是单纯的数量叠加,“一群”并不等于“集群”,集群强调的是“有机”整体,本质区别在于个体之间是否存在沟通和协作。因此,实现无人机由一定数量的独立个

体通过相互关联、互相协作形成有机整体，在宏观层面涌现出集群智能，从而具备更高级、多样化的功能，能够完成更加综合、复杂的任务。



图 1.3 无人机集群示意图

1.2 无人机测绘

1.2.1 无人机测绘的定义

无人机测绘是综合集成无人飞行器、遥感传感器、遥测遥控、通信、导航定位和图像处理等多学科技术，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，实时获取目标区域的地理空间信息，快速完成遥感数据处理、测量成图、环境建模及分析的理论和技术的全过程。

无人机测绘过程中，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。近几年发展起来的无人机倾斜摄影系统和无人机贴近摄影测量系统成为当下的热点。其中，无人机倾斜摄影测量技术以大范围、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；无人机贴近摄影测量是张祖勋院士团队针对精细化测量需求提出的全新摄影测量技术，利用拍摄设备贴近物体表面摄影，获取亚厘米级高清影像，并进行摄影测量处理，从而恢复被摄对象的精确坐标和精细形状结构来重建精细三维模型，弥补了其他摄影测量无法达到的精度要求。

1.2.2 无人机测绘的特点

以无人机遥感为基础的无人机测绘系统支持低空近地、多角度观测、高分辨率观测、通过视频或图像的连续观测，形成时间和空间重叠度高的序列图像，信息量丰富，特别适合对特定区域、重点目标的观测。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洁、最可靠、最直观的应用数据。

随着无人机传感器技术和高精度定位技术的发展，无人机测绘作为卫星遥感与普通航空测绘不可缺少的补充，已显示出独特的优势。

1. 灵活机动，安全系数高

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，即使是设备出现故障，发生坠机也不会出现人员伤亡，具有较高的安全系数。

2. 操作简单，作业成本低

无人机操作简单，对操作员的培养周期相对较短，系统的保养和维修简单，可以无须机场起降，其作业成本与卫星和有人机测绘相比具有巨大的优势。

3. 快速航测，成图周期短

无人机对起降场地的要求限制较小，对获取数据时的地理空域以及气象条件要求较低，升空准备时间短、操作简单、运输便利，车载系统可以迅速到达作业区域附近设站，能快速完成测绘任务，及时提供用户所需成果。相比人工测绘，根据任务要求每天可获取至少数十平方千米范围的测绘成果。

4. 低空作业，成果精度高

无人机可以在云下超低空飞行，也可以贴近物体表面近距离飞行，弥补了卫星光学遥感和普通航空摄影经常受云层或大雾遮挡获取不到清晰影像的缺陷，可获取比卫星遥感和普通航空摄影高得多的超高分辨率遥感影像。同时，低空多角度摄影获取建筑物多面高分辨率纹理影像，弥补了卫星遥感和普通航空摄影获取地面物体遇到的较高建筑物或树木的遮挡问题，能获得较高的正射影像图和三维模型成果精度。

无人机测绘除了具备以上优点以外，还具有以下缺点：受无人机本身性能限制和飞行环境的复杂性影响，无人机测绘具有数据幅宽小、数据量巨大、重叠度不规则、相机畸变大等问题。无人机实际飞行时，受风力影响，其飞行轨迹一般会一定程度地偏离原来规划的航线，同时飞行过程中难以保持姿态稳定，倾斜角较大，对后期处理数据提出了更高的要求。无人机测绘的这些特点，给传统测绘技术带来了新机遇和新挑战，因此必须针对无人机测绘的特点在技术上和方法上有所突破和创新，形成新的产品体系。

1.2.3 无人机测绘的作业流程

无人机测绘一般采用“先内后外”的作业方法，在测区概况和已有资料收集完成之后，依照工程项目的技术要求，进行航线规划并设计出航飞参数，在良好的外部条件下完成飞行，利用专业的数据处理软件完成数字测绘产品的制作。无人机测绘的作业流程一般包括以下步骤。

1. 区域确定与资料准备

根据任务要求确定无人机测绘的作业区域，充分收集作业区域相关的地形图、影像等资料或数据，了解作业区域地形地貌、气象条件以及起降场、重要设施等情况，并进行分析研究，确定作业区域的空域条件、设备对任务的适应性，制订详细的测绘作业实施方案。

2. 实地勘察与空域申请

通过现场勘察，了解测绘作业环境及地形情况，拟定起降场地。飞行起降场地的选取应根据无人机的起降方式，考虑飞行场地宽度、起降场地风向、净空范围、通视情况等场地条件因素和起降场地能见度、云高、风速、监测区能见度、监测区云高等气候条件因素以及电磁兼容环境。同时，需要结合勘察情况选择无人机及相机，选择无人机时应当充分考虑无人机的续航和有效荷载情况，相机的选择主要考虑焦距、像元尺寸、像幅大小、芯片处理速度和镜头质量等因素。最后综合以上情况，提前完成空域申请。

3. 航线规划与设计

航线规划是针对任务性质和任务区域，综合考虑天气和地形等因素，考虑飞行方向、航高、飞行架次与重叠度等参数。其中，航高设计应当充分考虑地形起伏、飞行安全和影像的有效分辨率等因素，重叠度则包括航向重叠度和旁向重叠度，规划如何实现任务要求的技术指标，实现基于安全飞行条件下的任务范围的最大覆盖及重点目标的密集覆盖，航线规划宜依据 1:5 万或更大比例尺地形图、影像图进行。

4. 控制点布设和测量

无人机测绘作业前应当进行外业像控测量，包括基础控制测量和像片控制点联测，以保证后续补测和检查测量具有统一的数学基础，提高测绘工作的数学精度。控制点的布设应满足技术指标要求，一般要均匀布设，在地形较为复杂或成图精度高的摄影区域，应尽量选择全野外布点方式，便于提高成图精度。

5. 飞行检查与作业实施

起飞之前，须仔细检查无人机系统设备的工作状态是否正常。作业实施过程主要包括起飞阶段操控、飞行模式切换、视距内飞行监控、视距外飞行监控、任务设备指令控制和降落阶段操控。

6. 数据获取与质量检查

无人机数据获取分实时回传和回收后获取两种方式。如果无人机获取的图像数据是传回地面接收站的，那么通过无人机的机载数据无线传输设备发送的数据包有的是压缩格式，地面接收站在接收到该数据包后，需要对其中的图像数据进行解压缩处理。为了后续无人机影像数据处理的顺利完成，需要对获取的影像进行质量检验、剔除不符合作业规范的影像，如发现航摄漏洞，还需要现场补飞。

7. 数据处理与产品制作

无人机图像数据通过质量检查后，将获取的合格影像、相机参数和 POS 资料导入处理软件中，对获取的影像进行包括畸变差改正、滤波变换的预处理，并利用地面像控点成果进行空中三角测量。完成空中三角测量精度满足要求后，通过相应测绘软件的处理，生成测绘 4D 产品。

1.2.4 无人机测绘技术的发展现状

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，续航时间和载荷质量也有显著提升，为搭载多种传感器、执行多种任务创造了条件。

1. 国外无人机测绘技术进展

气球是最早的航空摄影平台。1858 年，Tournachon 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应用中迅速发展。

20 世纪末，集成电路系统和雷达控制系统的发展是现代无人机航摄系统得以发展的关键。1979 年，Praybilla 和 Wester-Ebbinghaus 用雷达控制的旋转翼无人机，搭载光学相机做了第一次试验，并于 1980 年用直升机模型搭载中型 Rollei fiex 相机做了第二次试验，这是世界上首次将旋转翼无人机平台用于航摄。该试验为以后无人机在航空摄影中的应用开辟了先河，从那时候开始，旋转或固定翼、单旋或多旋、遥控或自动控制平台开始在航摄系统中大量使用。20 世纪 80 年代，飞行控制技术取得重大突破，可实现自主飞行和预编程控制飞行，无人机续航时间、载荷质量、作业半径都有显著提升。目前，各种性能、不同用途无人机的数量已经达到上百种，为搭载多种传感器、执行多种任务创造了条件。

传感器方面，大量中小型传感器开始进入市场。中等大小传感器的像素可达 8 000 万，能胜任中等规模的项目，而同等规模项目在 2006 年前后只能用大型传感器完成。高质量镜头和集成技术的发展为航摄任务的完成奠定了坚实基础，也拓宽了摄影传感器的应用范围。一些公司（如 Phase One、Hasselblad）和一些生产厂商、集成商（如 Trimble Optec），还有行业用户已经开始将中小型相机用于专业影像生产。中小型相机与一些小型的稳定器结合起来，质量轻，易于携带，可以很好地用于应急预案。不同种类的传感器组合起来可以进行多波段、高光谱的摄影，广泛用于农业估产、环境监测等领域。大量的中小型倾斜摄影相机在市场上也开始出现，可以按照固定、旋转、可移动等方式安装，满足不同任务需求。

除了安装和集成技术提升外，用于控制硬件和导航的控制系统与常规的飞行管理系统（Fight Management System, FMS）相比，性能也有了很大提升。小型和价格相对低廉的激光扫描设备开始与 MS 相机集成，并通过软件解决了任务计划及导航等问题。成像传感器与激光扫描仪、视频成像传感器等设备能根据任务进行适应性集成，并可以将获取的数据存储在数据库中，在导航点接入时实现导航点与信息的对接。

新技术方面，倾斜摄影技术取得重大突破，为人类观察世界提供了新的视角。虽然早在第一次世界大战时期，军事上已经通过双翼机搭载老式 Graflex 相机从空中获取倾斜影像进行军事侦察，但由于倾斜影像的倾角大，难以进行大范围拼接，用户转向使用容易拼接的以正射投影方式获取的影像。正射影像以垂直角度呈现地物信息，与人们日常观察的世界存在较

大差异，使用户深受困扰。随着复杂算法和数字影像处理技术的发展，逐步改变了这种状况，倾斜摄影又重新回到人们的视野。倾斜摄影技术颠覆了以往正射影像只能从垂直角度拍摄的局限，通过在同一飞行平台上搭载多台传感器，同时从垂直、倾斜等不同角度采集影像，将用户引入符合人眼视觉的真实直观世界。倾斜影像不仅能够真实地反映地物情况，而且还通过采用先进的定位技术，嵌入精确的地理信息、丰富的影像信息、更高级的用户体验，极大地扩展了影像的应用领域。

最先实现对采集的数据进行影像处理的软件是由美国 Pictometry 公司所研制的软件，它可以对影像信息进行纹理的提取和贴附。随后在摄影的相机方面有了新的发展，徕卡公司所推出的 ADS40/80 相机，可以从三个角度对物体进行拍摄，分别是俯视、前视、后视三个方向。在后来发展为五角度相机，由微软公司、TrackAir 公司等公司研发出可对一个垂直方向四个倾斜方向的五角度对物体进行拍摄。随着倾斜摄影的出现，影像处理软件也开始针对倾斜影像进行数据处理。法国的 Street Factory 和 Smart 3D Capture 系统都可对倾斜影像进行实景三维构建，构建的模型精度高，效果逼真并且具有不同数据源的兼容性。

近年来，无人机获得了空前快速的发展，无人机摄影测量变得空前火热，从固定翼到旋翼，从垂直摄影到倾斜摄影，进而到多视摄影，获取的影像越来越丰富和多样，通过众多影像信息可以恢复各种目标的三维信息，并且已经取得了瞩目的成绩，可以推测，无人机摄影测量的下一步发展必将将是影像信息数据的精细化。贴近摄影测量（nap-of-the-object photogrammetry）是 2019 年张祖勋院士团队针对精细化测量需求提出的全新摄影测量技术，它是精细化对地观测需求与旋翼无人机发展结合的必然产物。贴近摄影测量是面向对象的摄影测量（object-oriented photogrammetry），它以物体的“面”为摄影对象，通过贴近摄影获取超高分辨率影像，进行精细化地理信息提取。贴近摄影测量渊源于滑坡、高位危岩的地质调查与监测预警，并进行了初步应用试验，具有可高度还原地表和物体精细结构的特点，也可应用于城市精细重建、古建筑重建、水利工程监测等方面。

2. 国内无人机测绘技术进展

我国无人机发展较晚，起步于 20 世纪 80 年代末。20 世纪 90 年代以来，国内大学和科研院所相继成立了无人机专门研究机构。21 世纪初，中国航空工业集团一些下属院所、民营企业也开始研制无人机，加快了我国无人机的发展步伐。

2005 年 8 月，北京大学、中国科学院与中国贵州航空工业集团共同研制的多用途无人机遥感观测系统在黄果树机场首飞试验成功，标志着我国民用无人机对地观测技术跨入实用阶段。中国测绘科学研究院使用多台哈苏相机组合成像，有效地提高了无人机航摄效率。刘先林院士等主持研发的 SWDC 系列数字航空摄影仪是一种能够满足航空摄影规范要求的大面阵数字航空摄影仪，具有高分辨率、高几何精度、体积小、质量轻等特点，对天气条件要求不高，能够在阴天云下摄影，且飞行高度低、镜头视场角大、基高比大、高程测量精度高、真彩色、镜头可更换等特点。SWDC 系列数字航空摄影仪作为空间信息获取与更新的重要技术手段，产品性价比高，高程精度指标达到同类产品的国际领先水平，整体技术指标达到国际先进水平，是国内首台可用于中小比例尺地形图测绘的“航空相机”，为国产化集数字航空摄影与航空摄影测量于一体的解决方案奠定了基础。

2012 年 10 月，由中国测绘科学研究院牵头研制的新一代航空遥感系统“高精度轻小型航

空遥感系统”在中国测绘创新基地通过验收。该项目突破核心部件及系统集成的关键技术，成功研发了高精度轻小型组合宽角数字相机、轻小型机载激光雷达（LiDAR）、高精度与小型化位置和姿态系统（Position and Orientation System, POS）及稳定平台 4 类核心产品和高效快速数据处理系统，形成了完整的满足不同社会需求的高精度、轻小型航空遥感业务运行系统。与国外同类产品相比，具有体积小，质量轻、功能全、成本低、操作方便等优点，并且具有完全自主知识产权，可用于高分辨率对地观测、大比例尺测绘、重大自然灾害应急响应、数字城市建设等方面，为国家重大工程提供了技术支撑，填补了国内空白，打破了国外同类产品的技术垄断和技术壁垒，提升了我国在航空影像获取领域的技术能力和市场的国际竞争力。

在国内倾斜摄影测量技术起步较晚，直到 2010 年国内才开始研究倾斜摄影测量技术，主要是源于天下图公司对倾斜摄影测量技术的引进，国内测绘领域学者纷纷进行研究探讨。国内自主研发的第一台倾斜摄影相机是由刘先林团队研制出来 SWDC-5 相机，并在实际工作中进行应用探讨，是倾斜相机在国内销售的开端。随后，国内公司陆续研制出多角度的相机系统如中测新图的 TOPDC-5、上海航遥的 AMC580 等。

在对倾斜影像处理方面上，法国 ASRIUM 公司的“街景工厂”是最早在国内进行应用的建模软件，国内应用较多的建模软件还有 Context Capture、Photoscan/Metashape、Pix4D Mapper 及 Skyline 的 Phomesh。针对实际工程中采集数据量大导致不能正常使用软件并且不能分割地物使目标地物独立出来等一系列问题，国内开始自己研制三维建模软件。2014 年，北京超图公司研制推出了 SuperMap GIS 7C 软件，解决了上述摄影软件存在的问题，使三维模型应用更加广泛。

贴近摄影测量是一个新的摄影测量方式，是由张祖勋院士在 2019 年提出的。对于摄影测量技术的摄影方式来讲有垂直和倾斜两种方式，贴近摄影测量的提出标志着第三种摄影方式的诞生。贴近摄影测量的灵感来源于地质勘探、灾害预警及监测上，由于人工测量滑坡和陡峭的悬崖十分危险，应用无人机搭载设备贴近被摄物体立面进行数据的采集能够高效安全地获取数据并且获取的影响能够达到亚厘米级，通过对高分辨率的影像进行实景三维建模能够得到高精度的三维模型及模型上点的精确坐标，为地质、数字城市建设等领域提供有效数据。

贴近摄影测量一经提出就得到了国内学者的热议，并在地质、城市测绘、水利、文物重建等领域进行了实验应用。张祖勋院士首先对贴近摄影测量在实际工作中进行应用，主要是对滑坡、岩体及古建筑进行贴近摄影测量。通过贴近摄影测量得到了巫峡箭穿洞、金沙江白格滑坡的剖面图，能够更加真实地反映实际情况并能够在局部细节上更加清晰直观地识别岩体及裂缝，对滑坡领域的监测和预警提供了前期规划信息。通过贴近摄影测量得到了山西悬空寺、应县木塔的精细化三维模型，建筑物细节和纹理良好。杨景梅等人在土方验方上应用贴近摄影测量获取高分辨率影像对目标建筑物进行实景三维模型构建，再通过 EPS 等软件对土方进行计算，并探究贴近式无人机测量技术在土方验方中的优势。梁景涛等人将贴近摄影测量高分辨率和“多角度”探测技术优势应用于高位崩塌早期识别，应用无人机贴近摄影测量对康定县郭达山进行贴近高位崩塌立面进行影像数据获取，对贴近摄影测量技术在实际工作中的工作步骤进行总结，得到的三维模型能够识别岩体亚厘米级裂缝，使该技术能够在地质灾害的崩塌识别和监测上得到很好的发展。张军等人为了保障飞行安全及得到可靠分辨率的影像数据，研究基于高精度三维 DSM 进行航线规划的方案，有助于推动贴近摄影测量技术的发展。

目前，贴近摄影测量还有很多地方不成熟，该技术针对面拍摄得到目标地物的立面图已

经可以应用到实际工作中，但是想要将贴近摄影测量得到的高分辨率影像与倾斜摄影测量等方式得到的低分辨率影像进行融合建模还没有一个规范化的流程。贴近摄影测量还需要更多的实践来推动其发展，使其能够在更多的领域有更多的发展应用。

1.3 无人机相关法律法规

无人机操控人员需要了解相关法律法规，这些法律法规有《中华人民共和国劳动法》《中华人民共和国保密法》《民用无人驾驶航空器系统空中交通管理办法》《关于民用无人机管理有关问题的暂行规定》《中华人民共和国飞行基本规则》《中华人民共和国民用航空法》《中华人民共和国民用航空安全保卫条例》《无人机航摄安全作业基本要求》《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》等。

本节对 2016 年 6 月民航局颁布的《民用无人驾驶航空器系统空中交通管理办法》、2017 年 5 月民航局颁布的《民用无人驾驶航空器实名制登记管理规定》、2013 年 1 月民航局颁布的《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》等作内容重点介绍。

1.3.1 空中交通管理

1. 管理办法的适用范围

《民用无人驾驶航空器系统空中交通管理办法》适用范围：

(1) 适用于依法在航路航线、进近（终端）和机场管制地带等民用航空使用空域范围内或者对以上空域内运行存在影响的民用无人驾驶航空器系统活动的空中交通管理工作。

(2) 民航局指导监督全国民用无人驾驶航空器系统空中交通管理工作，地区管理局负责本辖区内民用无人驾驶航空器系统空中交通服务的监督和管理，空管单位向其管制空域内的民用无人驾驶航空器系统提供空中交通服务。

(3) 民用无人驾驶航空器在隔离空域内飞行，由组织单位和个人负责实施，并对其安全负责。多个主体同时在同空域范围内开展民用无人驾驶航空器飞行活动的，应当明确一个活动组织者，并对隔离空域内民用无人驾驶航空器飞行活动安全负责。

2. 飞行活动需满足的条件

(1) 机场净空保护区。

(2) 民用无人驾驶航空器最大起飞质量小于或等于 7 千克。

(3) 在视距内飞行，且天气条件不影响持续可见无人驾驶航空器。

(4) 在昼间飞行。

(5) 飞行速度不大于 120 千米/小时。

(6) 民用无人驾驶航空器符合适航管理相关要求。

(7) 驾驶员符合相关资质要求。

(8) 在进行飞行前驾驶员完成对民用无人驾驶航空器系统的检查。

(9) 不得对飞行活动以外的其他方面造成影响，包括地面人员、设施、环境安全和社会治安等。

(10) 运营人应确保其飞行活动持续符合以上条件。

3. 评估管理

民用无人驾驶航空器系统飞行活动需要评审时，由运营人员向空管单位提出使用空域，对空域内的运行安全进行评估并形成评估报告。地区管理局对评估报告进行审查或评审，出具结论意见。对于需评估的内容，可参照《民用无人驾驶航空器系统空中交通管理办法》。

4. 无线电管理

(1) 民用无人驾驶航空器系统活动中使用无线电频率、无线电设备应当遵守国家无线电管理法规和规定，且不得对航空无线电频率造成有害干扰。

(2) 未经批准，不得在民用无人驾驶航空器上发射语音广播通信信号。

5. 空域申请流程

我国对于无人机的监管制度还在逐步完善中，有的省区市对于无人机申报管理有相当完善的政策与登记系统，有的省区市则暂时没有具体的政策出台和明确的各相关部门分工，不同的省区市无人机飞行空域申请流程不尽相同。本书以北京为例，简述无人机飞行空域申请流程。

根据原北京军区空军司令部航空管制处在 2015 年 11 月发布的《关于重申无人驾驶航空器飞行计划申请的函》，空域申请所需的资料和流程如下：

1) 所需材料

(1) 飞行计划。内容包括单位、无人驾驶航空器型号、架数、使用的机场或临时起降点、任务性质、飞行区域、飞行高度、飞行日期、预计开始和结束时刻、现场保障人员联系方式。

(2) 飞行资质证明。

(3) 飞手资格证书。

(4) 任务委托合同。

(5) 任务单位其他相关材料（如被拍摄物体产权单位的拍摄许可）。

(6) 空域申请书。内容包括申请原因、申请事项、委托方、航空器信息、飞行时间、飞行地点、任务性质。

(7) 公司相关资质证明。

2) 申报流程

(1) 飞行申请。

使用无人驾驶航空器进行航空摄影或遥感物探飞行时，应在中部战区空军办理对地成像审批手续，再进行飞行计划申请相关事宜。

在机场附近飞行，携带所需材料①②③向民航华北地区管理局提出申请，审批成功后到当地派出所备案。

在机场以外区域飞行，携带所需材料①②③向中部战区空军提出申请，由其出具《飞行任务申请审批》红头文件并自动抄送北京市公安局；北京市公安局将根据空军批文，向任务单位索要所需材料④⑤；甲乙双方到属地派出所与民警面谈、做笔录，多方在笔录上按红手印，整个飞行过程都由属地派出所派警官跟随。

(2) 空域申请。

携带所需材料⑥⑦到北空航管中心申请空域。

6. 禁飞区与限飞区

参照《无人驾驶航空器飞行管理条例（征求意见稿）》，禁飞区相关条款如下：

第二十七条 未经批准，微型无人机禁止在以下空域飞行：

- （一）真高 50 米以上空域；
- （二）空中禁区以及周边 2 000 米范围；
- （三）空中危险区以及周边 1 000 米范围；
- （四）机场、临时起降点围界内以及周边 2 000 米范围的上方；
- （五）国界线、边境线到我方一侧 2 000 米范围的上方；
- （六）军事禁区以及周边 500 米范围的上方，军事管理区、设区的市级（含）以上党政机关、监管场所以及周边 100 米范围的上方；
- （七）射电天文台以及周边 3 000 米范围的上方，卫星地面站（含测控、测距、接收、导航站）等需要电磁环境特殊保护的设施以及周边 1 000 米范围的上方，气象雷达站以及周边 500 米范围的上方；
- （八）生产、储存易燃易爆危险品的大型企业和储备可燃重要物资的大型仓库、基地以及周边 100 米范围的上方，发电厂、变电站、加油站和大型车站、码头、港口、大型活动现场以及周边 50 米范围的上方，高速铁路以及两侧 100 米范围的上方，普通铁路和省级以上公路以及两侧 50 米范围的上方；

（九）军航超低空飞行空域。

第二十八条 划设以下空域为轻型无人机管控空域：

- （一）真高 120 米以上空域；
- （二）空中禁区以及周边 5 000 米范围；
- （三）空中危险区以及周边 2 000 米范围；
- （四）军用机场净空保护区，民用机场障碍物限制面水平投影范围的上方；
- （五）有人驾驶航空器临时起降点以及周边 2 000 米范围的上方；
- （六）国界线到我方一侧 5 000 米范围的上方，边境线到我方一侧 2000 米范围的上方；
- （七）军事禁区以及周边 1 000 米范围的上方，军事管理区、设区的市级（含）以上党政机关、核电站、监管场所以及周边 200 米范围的上方；
- （八）射电天文台以及周边 5 000 米范围的上方，卫星地面站（含测控、测距、接收、导航站）等需要电磁环境特殊保护的设施以及周边 2 000 米范围的上方，气象雷达站以及周边 1 000 米范围的上方；
- （九）生产、储存易燃易爆危险品的大型企业和储备可燃重要物资的大型仓库、基地以及周边 150 米范围的上方，发电厂、变电站、加油站和中大型车站、码头、港口、大型活动现场以及周边 100 米范围的上方，高速铁路以及两侧 200 米范围的上方，普通铁路和国道以及两侧 100 米范围的上方；
- （十）军航低空、超低空飞行空域；
- （十一）省级人民政府会同战区确定的管控空域。

未经批准，轻型无人机禁止在上述管控空域飞行。管控空域外，无特殊情况均划设为轻型无人机适飞空域。

新疆在新的版本中确定的我国机场限制飞行区域示意图如图 1.4 所示。禁飞区为禁止飞行的区域，限飞区为限制飞行器飞行高度的区域。例如，新机场限制飞行区域将民用航空局定义的机场保护范围坐标向外拓展 500 m，连接其中 8 个坐标，形成八边形禁飞区。跑道两端终点向外延伸 20 km，跑道两侧各延伸 10 km，形成宽约 20 km、长约 40 km 的长方形限飞区，飞行高度限制在 120 m 以下。

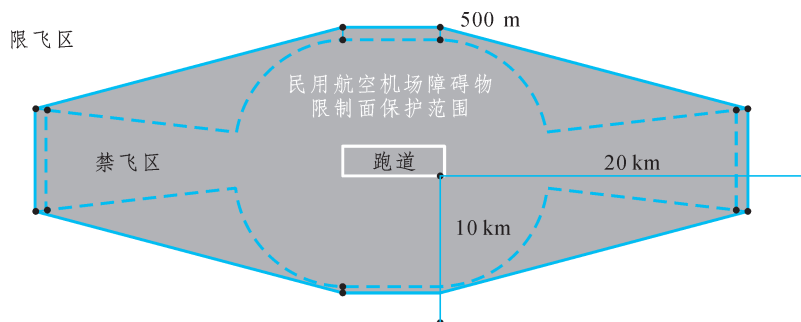


图 1.4 机场限飞区与禁飞区示意图

以上为机场限飞区划定原则，具体区域根据各机场不同环境有所区别。

需要查询限飞区时，可以在大疆官网的“安全飞行指引|限飞区查询”中进行查询，网址为：<https://www.dji.com/cn/flysafe/geo-map>，选择具体地区和飞行器型号即可进行限飞区查询。

1.3.2 实名登记管理

1. 适用范围

《民用无人驾驶航空器实名制登记管理规定》适用于在中华人民共和国境内最大起飞重量为 250 克以上（含 250 克）的民用无人机。

2. 登记要求

自 2017 年 6 月 1 日起，民用无人机的所有者必须按照本管理规定的要求进行实名登记。2017 年 8 月 31 日后，民用无人机所有者，如果未按照本管理规定实施实名登记和粘贴登记标志的，其行为将被视为违反法规的违法行为，其无人机的使用将受影响，监管及主管部门将按照相关规定进行处罚。

3. 相关定义

(1) 民用无人机是指没有机载驾驶员操纵、自备飞行控制系统，并从事非军事、警察和海关飞行任务的航空器，不包括航空模型、无人驾驶自由气球和系留气球。

(2) 民用无人机所有者指民用无人机的所有权人，包括个人、依据中华人民共和国法律设立的企业法人事业法人机关法人和其他组织。

(3) 民用无人机最大起飞重量是指根据无人机的设计或运行限制，无人机能够起飞时所容许的最大重量。

(4) 民用无人机空机重量是无人机制造厂给出的无人机基本重量。除商载外，该无人机做好执行飞行任务时的全部重量，包含标配电池重量和最大燃油重量。

4. 民用无人机实名登记要求

这部分内容可以登录 <https://uas.caac.gov.cn> 网站进行深入了解。

1.3.3 驾驶人员的资质管理

1. 适用范围

以下规范适用于民用无人机系统驾驶人员的资质管理，包括无机载驾驶人员的航空器，有机载驾驶人员的航空器，但该航空器可由地面人员或母机人员实施完全飞行控制，以及其他特定情况控制。

2. 相关术语

(1) 无人机系统驾驶员：指对无人机的运行负有必不可少的职责并在飞行期间适时操纵飞行控制的人。

(2) 无人机系统机长：指在系统运行时间内负责整个无人机系统运行和安全的驾驶员。

(3) 无人机观测员：指通过目视观测无人机，协助无人机驾驶员安全实施飞行的工作人员。

(4) 遥控器（也称控制站）：遥控器是无人机系统的组成部分之一，包括用于操作无人机的设备。

(5) 指令与控制数据链路（Command and Control Data Link, 2C）：指无人机和遥控站之间实现飞行管理的数据链接。

(6) 无人机感知与避让系统：指无人机机载的一种设备，用以确保无人机与其他航空器保持一定的安全飞行间隔，相当于载人航空器的防撞系统。在融合空域内飞行，必须采用该系统。

(7) 视距内运行（Visual Line of Sight, VLOS）：指无人机在目视视距以内的操作，航空器处于驾驶员或观测员目视视距内半径 500 m、相对高度低于 120 m 的区域内。

(8) 超视距运行（Extend VLOS, EVLOS）：指无人机在目视视距以外的运行。

(9) 融合空域：指有其他有人驾驶航空器同时运行的空域。

(10) 隔离空域：指专门分配给无人机系统运行的空域，通过限制其他航空器的进入以避免碰撞风险。

(11) 人口稠密区：指城镇、乡村、繁忙道路或大型露天集会场所。

(12) 微型无人机：指空机质量小于等于 7 kg 的无人机。

(13) 轻型无人机：指空机质量大于 7 kg 但小于等于 16 kg 的无人机，且全马力平飞中，校正空速小于 100 km/h，升限小于 3 000 m。

(14) 小型无人机：指空机质量小于等于 5 700 kg 的无人机，微型和轻型无人机除外。

(15) 大型无人机：指空机质量大于 5 700 kg 的无人机。

3. 管理机构

下列情况下，无人机系统驾驶员自行负责无人机的运行，无须证照管理。

(1) 在室内运行的无人机。

(2) 在视距内运行的微型无人机。

(3) 在人烟稀少、空旷的非人口稠密区进行试验的无人机。

下列情况下，无人机系统驾驶员由行业协会实施管理：

- (1) 在视距内运行的除微型机以外的无人机。
- (2) 在隔离空域内超视距运行的无人机。
- (3) 在融合空域内运行的微型无人机。
- (4) 在融合空域运行的轻型无人机。
- (5) 充气体积在 $4\ 600\ \text{m}^3$ 以下的遥控飞艇。

下列情况下，无人机系统驾驶员由民航局实施管理：

- (1) 在融合空域运行的小型无人机。
- (2) 在融合空域运行的大型无人机。
- (3) 充气体积在 $4\ 600\ \text{m}^3$ 以上的遥控飞艇。

4. 运行要求

常规要求（下面的操作限制适用于所有的无人机系统驾驶员）：

- (1) 每次运行必须事先指定机长和其他机组成员。
- (2) 驾驶员是无人机系统运行的直接负责人，并对该系统操作有最终决定权。
- (3) 驾驶员在无人机飞行期间，不能同时承担其他操作人员的职责。
- (4) 未经批准，驾驶员不得操纵除微型机以外的无人机在人口稠密区作业。
- (5) 禁止驾驶员在人口稠密区操纵带有试飞或试验性质的无人机。

运行中对机长的要求：

- (1) 在飞行作业前必须已经被无人机系统使用单位指定。
- (2) 对无人机系统在规定的技术条件下的作业负责。
- (3) 对无人机系统是否作业在安全的飞行条件下负责。
- (4) 当出现可能导致危险的情况时，必须尽快确保无人机系统安全回收。
- (5) 在飞行作业的任何阶段有能力承担驾驶员的角色。
- (6) 在满足操作要求的前提下可根据需要转换职责角色。
- (7) 对具体无人机系统型号，飞行人员必须经过培训达到资格方可进行飞行。

运行中对其他驾驶员的要求：

- (1) 在飞行作业前必须已经被使用单位指定。
- (2) 在机长的指挥下对无人机系统进行监控或操纵。
- (3) 协助机长；避免碰撞风险；确保运行符合规则；获取飞行信息；进行应急操作。

【习题与思考】

1. 无人机、无人机系统的概念是什么？
2. 简述无人机的分类方式。
3. 简述无人机测绘的特点和作业流程。
4. 简述无人机测绘技术的发展现状。
5. 简述无人机飞行申请空域流程。