

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



策划编辑 刘子嘉
责任编辑 胡思佳
封面设计 刘文东

高等职业教育无人机系列教材

无人机测绘

主编◎尚云东 王 永



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

高等职业教育无人机系列教材

无人机测绘

主编◎尚云东 王 永

主审◎郑红晓

无人机测绘



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-32218-0



定价: 59.00元



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

高等职业教育无人机系列教材

无人机测绘

主 编◎尚云东 王 永

副主编◎冯志强

主 审◎郑红晓



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书既是对编者团队近年来在无人机测绘领域的教学与应用技术成果的总结,也是建设一流高职院校“金课”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,重点对无人机飞行原理、无人机测绘系统、无人机安全操控、航空摄影测量原理、倾斜摄影测量数据处理、无人机测绘像片控制测量与调绘、无人机测绘技术的应用进行了探讨。

本书既可作为高职院校测绘地理信息类、土建施工类、无人机应用技术等专业的教学用书,也可作为从事公共管理、道路与桥梁工程检测等工作的技术人员的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

无人机测绘 / 尚云东,王永主编. -- 上海:上海
交通大学出版社,2025. 6. -- ISBN 978-7-313-32218-0
I. P231
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025LD3238 号

无人机测绘

WURENJI CEHUI

主 编:尚云东 王 永

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 制:大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

字 数:382 千字

版 次:2025 年 6 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-32218-0

定 价:59.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:19 插页 1

印 次:2025 年 6 月第 1 次印刷

电子书号:ISBN 978-7-89564-337-6

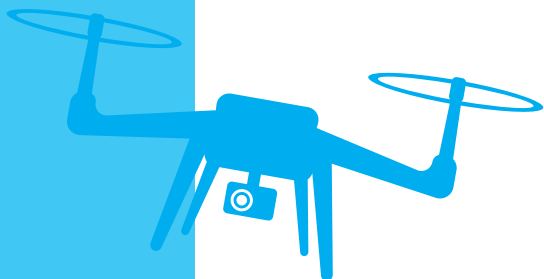
版权所有 侵权必究

告读者:如您发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0316-8836866

PREFACE

前言



测绘技术在人类认识地球、城市建设、资源开发和灾害防治等诸多方面发挥着不可替代的作用。随着时代的发展，传统测绘技术面临着诸多挑战，其局限性越发明显。由于科技的不断进步，我们迎来了一个新的测绘时代——无人机测绘时代。无人机测绘的出现是对传统测绘方式的重大革新，为测绘领域带来了全新的活力与无限的可能。

无人机测绘技术集成了无人机技术、传感器技术、通信技术、导航定位技术和数据处理技术等。通过搭载的传感器设备，如高分辨率相机、激光雷达、多光谱传感器等，无人机可以获取地面的影像、点云、光谱等数据。利用通信技术，无人机可以将获取的数据实时传输回地面站，或者存储在机载存储设备中，供后续处理和分析。通过导航定位技术，无人机可以实现厘米级甚至毫米级的定位精度，保证获取数据的地理坐标的准确性。无人机测绘具有高效、灵活、精准的特点，技术创新及成本效益性强，应用前景广阔，环境适应性出色，在突发性事件和自然灾害应急响应、国土资源、城市管理、水利监测、农林业与环境保护、矿产能源、交通建设管理等领域大大提升了新质生产力。

本书涵盖了无人机测绘系统结构、飞行原理、安全操控与航空摄影测量、倾斜摄影测量及其数据处理等多方面知识，有助于学生系统地学习、掌握无人机测绘技术，能够很好地满足有关专业教育人才培养的需求，对学生适应现代化工作



方式具有重要的促进作用。

本书的主要特色体现在以下方面。

(1) 知识讲述循序渐进,从无人机基础知识、无人机飞行原理、测绘系统组成,到无人机安全操控、航空摄影测量技术,再到无人机测绘像片控制测量与调绘,最后到无人机测绘技术的应用,结构严谨、言简意赅。

(2) 每个项目设有“案例导入”“问题引领”等栏目,有助于学生提升学习动力和兴趣。

(3) 理实一体化,先知识后实践,实践任务工单目标明确。

(4) 按照数字化教材标准编写,媒体资源丰富。

(5) “岗课赛证”融通,结合技能竞赛知识点给出了职业技能等级考核试题。

(6) 结合课程思政要求,对应融入了课程思政资源。

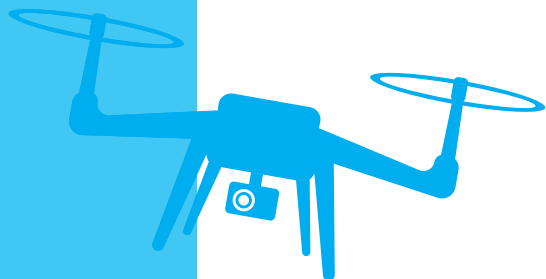
本书由具有二十多年教学和实践经验的河南交通职业技术学院尚云东、王永任主编,河南交通职业技术学院冯志强任副主编,河南交通职业技术学院申莹莹、陈亮、石俊鹏、侯瑞、李星星、支刚参与编写。全书由尚云东、王永统稿,河南省中纬测绘规划信息工程有限公司郑红晓主审。特别感谢河南省中纬测绘规划信息工程有限公司、河南新凯越电子产品有限公司、深圳市大疆创新科技有限公司、成都纵横大鹏无人机科技有限公司等为本书的编写提供了大量的无人机测绘系统相关视频和实际生产案例。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

CONTENTS

目录



项目一

无人机测绘认知 /1

- 任务一 无人机的概念和类型 /2
- 任务二 无人机应用场景 /4
- 任务三 无人机测绘的概念、特点与发展状况 /8
- 项目实战 无人机认知与操控训练 /12

项目二

无人机飞行知识 /17

- 任务一 无人机飞行环境 /18
- 任务二 空气动力学原理 /24
- 任务三 飞机翼型 /28
- 任务四 飞行升力与阻力 /30
- 任务五 飞行失速 /37
- 任务六 无人机的平衡与稳定性 /42
- 项目实战 无人机翼型认知与结构认知 /47

项目三

无人机测绘系统 /52

- 任务一 测绘无人机的类型 /54
- 任务二 无人机动力系统 /67



- 任务三 无人机飞行控制系统 /72
- 任务四 地面站系统 /75
- 任务五 固定翼无人机发射与回收系统 /80
- 任务六 无人机测绘任务荷载 /82
- 任务七 无人机数据链 /91
- 任务八 定位导航系统 /94
- 项目实战 无人机测绘系统与装调训练 /95

项目四

无人机航空摄影安全操控技术 /103

- 任务一 无人机航空摄影安全作业及基本要求 /105
- 任务二 固定翼无人机操纵 /107
- 任务三 多旋翼无人机操纵 /131
- 任务四 垂直起降无人机操纵 /145
- 项目实战 无人机的航空摄影 /155

项目五

航空摄影测量原理 /159

- 任务一 航测基础知识 /161
- 任务二 航摄像片的内、外方位元素 /166
- 任务三 中心投影构像方程 /168
- 任务四 立体摄影测量基础 /170
- 任务五 解析空中三角测量 /176
- 任务六 制作数字高程模型 /178
- 任务七 制作数字正射影像 /180
- 项目实战 数字高程模型与数字正射影像的制作 /181

项目六

无人机倾斜摄影测量数据处理 /187

- 任务一 倾斜摄影概述 /188
- 任务二 倾斜摄影作业流程 /193
- 任务三 无人机摄影测量软件 /198
- 任务四 基于倾斜摄影的数字线划图生产 /231
- 项目实战 无人机外业数据采集与内业数据解算 /233



项目七

像片控制测量与调绘 /238

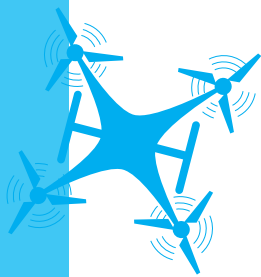
- 任务一 像片控制测量 /240
- 任务二 像片判读特征与判读方法 /248
- 任务三 像片调绘 /254
- 项目实战 无人机摄影测量外业工作 /264

项目八

无人机测绘技术的应用 /268

- 任务一 在重大突发事件和自然灾害应急响应方面的应用 /269
- 任务二 在国土资源领域的应用 /276
- 任务三 在城市管理中的应用 /282
- 任务四 在水利监测和海洋监测中的应用 /284
- 任务五 在农林业、环保领域的应用 /287
- 任务六 在矿业、交通和能源领域的应用 /290

参考文献 /297



项目一

无人机测绘认知

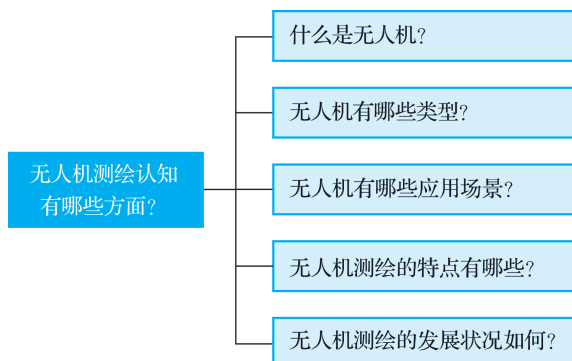


案例导入

某县某村采用无人机测绘技术开展农村不动产测量工作，确定了测绘分辨率、覆盖范围、重叠度、遮挡等因素的飞行参数，设定无人机航测的航高、相机倾角、相机焦距、光圈、重叠度等，操控无人机测绘出了该村的地籍图和房产图、房产面积，标定了界址点等有关资料。农村不动产测量工作的质量将直接影响农村社会稳定性，切实关系到农民的自身利益。



问题引领



学习目标

【知识目标】

1. 掌握无人机的概念和类型。
2. 了解无人机的应用场景。
3. 了解无人机测绘的特点和发展状况。

【能力目标】

1. 能通过实地调查和网络调研了解无人机的类型及应用场景。
2. 能操控无人机进行简单的飞行训练。

【素养目标】

1. 树立正确的学习观，坚定技能报国的信念。
2. 培养职业认同感、责任感，自觉践行行业道德规范。

任务一 无人机的概念和类型

一、无人机的概念

无人机是利用无线电遥控设备或自备程序控制装置操纵的不载人飞行器。目前，在地表临近空间（距地面 20 ~ 100 km 的空域）飞行的飞行器，如平流层飞艇、高空气球和太阳能无人机等都被列入无人机的范畴。与有人驾驶的飞机相比，无人机往往更适合执行“愚钝、肮脏或危险”的任务。无人机可在无人驾驶的条件下完成复杂空中飞行任务和各种负载任务，也被看作“空中机器人”。

二、无人机的类型

国内外无人机的相关技术飞速发展，无人机的种类繁多、用途广泛、特点鲜明，致使其在尺寸、重量、航程、航时、飞行高度、飞行速度、任务等多方面都有较大差异。由于无人机的多样性，其分类也有多种方法。

(1) 从技术角度定义，无人机飞行平台构型多样，可分为无人直升机、固定翼无人机、多旋翼飞行器、复合翼无人机、无人飞艇、伞翼无人机、扑翼无人机等几大类。

(2) 按用途分类，无人机可以分为军用无人机和民用无人机两大类。军用无人机可分为侦察无人机、诱饵无人机、电子对抗无人机、通信中继无人机、无人战斗机以及靶机等；民用无人机分为检测巡视类无人机、遥感测绘类无人机、通信中继类无人机等几大类。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；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；通信中继类无人机包括近地通信中继类无人机和高空通信组网类无人机。

(3) 2024 年 1 月 1 日起施行的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》将无人驾驶航空器按照性能指标分为微型、轻型、小型、中型和大型五个等级。微型无人驾驶航空器，是指空机重量小于 0.25 kg，最大飞行真高不超过 50 m，最大平飞速度不超过 40 km/h，无线电发射设备符合微功率短距离技术要求，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器。轻型无人驾驶航空器，是指空机重量不超过 4 kg 且最大起飞重量不超过 7 kg，最大平飞速度不超过 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，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器，但不包括微型无人驾驶航空器。小型无人驾驶航空器，是指空机重量不超过 15 kg 且最大起飞重量不超过 25 kg，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，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器，但不包括微型、轻型无人驾驶航空器。中型无人驾驶航空器，是指最大起飞重量不超过 150 kg 的无人驾驶航空器，但不包括微型、轻型、小型无人驾驶航空器。大型无人驾驶航空器，是指最大起飞重量超过 150 kg 的无人驾驶航空器。

(4) 按活动半径分类，无人机可分为超近程无人机、近程无人机、短程无人机、中程无人机和远程无人机。超近程无人机活动半径在 15 km 以内，近程无人机活动半径为 15 ~ 50 km，短程无人机活动半径为 50 ~ 200 km，中程无人机活动半径为 200 ~ 800 km，远程无人机活动半径大于 800 km。

(5) 按任务高度分类，无人机可以分为超低空无人机、低空无人机、中空无人机、高空无人机和超高空无人机五类。超低空无人机任务高度一般为 0 ~ 100 m，低空无人机任务高度一般为 100 ~ 1 000 m，中空无人机任务高度一般为 1 000 ~ 7 000 m，高空无人机任务高度一般为 7 000 ~ 18 000 m，超高空无人机任务高度一般大于 18 000 m。

(6) 按飞行速度分类，无人机可以分为低速无人机、亚音速无人机、跨音速无人



机、超音速无人机和高超音速无人机五类。低速无人机的飞行速度一般小于 0.3 马赫^①，亚音速无人机的飞行速度为 0.3 ~ 0.7 马赫，跨音速无人机的飞行速度为 0.7 ~ 1.2 马赫，超音速无人机的飞行速度为 1.2 ~ 5.0 马赫，高超音速无人机的飞行速度一般大于 5.0 马赫。

(7) 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大于或等于 24 h。

任务

二

无人机应用场景

无人机的应用场景包括测绘地理信息、安防监控、应急保障、物流快递、农林植保、能源环境巡检、交通车辆巡查等专业领域。随着无人机在商业应用及个人消费领域的不断渗透，无人机的使用规范问题日益凸显。政府及相关部门不断完善无人机的飞行及使用规范，在保障公众安全的前提下助力无人机行业的可持续性发展。



拓展
无人机展示

一、测绘地理信息场景

近年来，测绘地理信息产业快速发展，2023 年我国地理信息行业总产值达到 10 650 亿元，同比增长 28.1%。测绘在土地规划、城市建设、工程施工、导航应用等领域中起着无可替代的作用；合理规划土地资源可促进城市的发展，减少资源浪费；工程施工前需由测绘师对地貌、地下结构、建筑空间等进行精准测量，确保工程的质量。此外，过去测绘的主要服务对象为政府部门，现已逐步向企业客户延伸，由此可见，各行各业对测绘服务的需求日益强劲。遥感测绘是测绘的一个分类，其主要通过传感器对远距离的地表物体所反射的电磁波和其发射的电磁波进行探测，从而提取这些物体的信息，完成远距离识别物体。遥感测绘的面积范围大，不受地面条件的限制。遥感测绘主要包括地面遥感、航空遥感及航天遥感三类，卫星遥感是遥感测绘的主要方式之一。卫星遥感具有视角广、视点高的特点，可连续对大片区域进行观察。但卫星容易受天气的影响，例如在多云、大雾天气下，地表信息容易被覆盖，导致图像结果不准确。

随着无人机航摄技术的成熟，无人机在测绘地理信息行业中的应用得以推广。无人机在测绘地理信息行业中的主要应用场景如下。

^① 马赫是飞行的速度与飞行时的声速之比值，1 马赫即 1 倍声速。

(1) 工程建设：进行建筑领域的测绘工作，如堆体测量、隧管道检查、高速公路检查、桥梁检测。无人机搭载高清相机和激光雷达等检测设备，采集数据并生成三维模型，为作业提供参考。

(2) 土地确权：进行农村土地数据采集。通过无人机航空摄影获取高精度的地表三维数据，并通过协同作业的侧视图像进行快速建模，绘制地形图，协助农村集体土地登记确权发证工作。

(3) 不动产登记：进行不动产登记实地勘察。结合已有用地普查数据，并利用无人机高精度影像测绘得到的建筑物范围、高度数据，建立三维用地管理系统，实现不动产登记和管理的数字化、精确化、实时化。

二、安防监控场景

安防监控无人机市场需求加速释放，行业进入高速发展期。无人机具有飞行灵活性，其拥有实时追踪目标、快速到达现场、高空监测地面的能力，因此非常适用于刑事侦查、交通管理、日常巡检等领域。

安防监控无人机的主要应用场景如下。

(1) 刑事侦查：无人机对目标地区进行拍摄，收集地形信息，利用热成像仪、红外设备追踪锁定不法人员的行踪，提高公安机关的逮捕成功率。

(2) 交通管理：无人机可避开拥堵路段，快速到达事故现场，拍摄现场情况，以便交通部门评估事故严重程度。无人机可搭载扩音器喊话，进行空中指挥。

(3) 日常巡检：无人机可随时在空中监控市区、边防、景区等地，进行日常巡逻。相较于人工巡逻，无人机巡逻视野更广阔，巡逻速度快；可及时反馈前方信息，为警力的安排分配提供指引，更好地协助公安民警执法，维护社会稳定。

三、应急保障场景

《中国气候变化蓝皮书（2023）》显示，中国极端天气气候事件趋多、趋强，冰冻圈消融加速，气候风险水平呈上升趋势。应急管理部发布的2023年全国自然灾害基本情况显示，全年各种自然灾害共造成9 544.4万人次不同程度受灾，因灾死亡失踪691人，紧急转移安置334.4万人次；倒塌房屋20.9万间，严重损坏房屋62.3万间，一般损坏房屋144.1万间；农作物受灾面积10 539.3千公顷；直接经济损失3 454.5亿元。面对极端气候情况，国家的生态、经济、社会安全都面临着较大威胁，防灾救灾工作的需求增加。无人机可迅速应对应急保障场景下的救灾需求，快速到达受灾现场，利用空中飞行的优势可以有效规避地面的灾情，降低抢险救灾人员的伤亡率。

无人机在灾害应急保障中的主要应用场景如下。

(1) 灾情勘察：搭载拍摄装置对受灾地区进行拍摄，便于各级指挥部及时掌握灾害情况，协助应急部门迅速做出决策。

(2) 消防灭火：搭载红外探测仪在空中确定热源，及时将火灾点反馈给消防部门，



也能搭载洒水装置参与救火，可极大改善消防队员面临的安全问题。

(3) 紧急救援：可携带关键的装备及物资，快速到达救援人员及车辆无法到达的受灾人员位置。

(4) 辅助通信：利用无人机充当临时转信台，在通信阻断的区域快速搭建无线通信的链路。

(5) 灾后重振：无人机可在自然环境灾害发生后的救援任务和损失评估中起到极大的作用。

四、物流快递场景

物流是物品从供应地向接收地的实体流动过程中，根据实际需要，将运输、储存、装卸、搬运、包装、流通加工、配送、信息处理等功能有机结合起来满足用户要求的过程。物流的主要服务对象为工厂、商贸企业等，通常运送大件货物。快递是指物流企业（含货运代理）通过自身的独立网络或以联营合作（即联网）的方式，将用户委托的文件或包裹，快捷而安全地从发件人送达收件人的门到门的运输方式。快递主要配送小型物件，配送时效快，是物流的重要组成部分。

受限于无人机的续航能力及载荷质量，无人机将首先在快递市场中爆发。无人机快递配送具有以下优势。

(1) 飞行时速快，无人机的飞行时速可高达几十至上百千米。以 DHL 在广东的服务案例为例，单程派送路程为 8 km 的路线，通过汽车派送需要 40 min，无人机飞行仅需 8 min，大大提高了配送效率。

(2) 运营成本低，无人机对操作员依赖程度低，可灵活自主地飞行，节省人力及时间成本。根据京东内部测算的数据，目前无人机配送成本与普通快递员持平或略高，未来实现定型和规模化之后，配送成本将下降 40% ~ 50%。

(3) 受路况影响小，无人机可在空中直线运输，避开拥堵、发生交通事故的路段。

(4) 适用于偏远地区配送，无人机可充分满足偏远地区的配送需求，在道路基础设施不完善的地方仍可飞行无阻，使快递企业业务进一步下沉。

五、农林植保场景

农村劳动力向城市转移，农林作业面临着改革。近年来，全国耕地面积基本保持不变，约为 20.2 亿亩（1 亩 ≈ 666.7 平方米）。国家统计局数据显示，中国城镇化率从 2015 年的 56.1% 提升至 2023 年的 66.2%。农村人口持续向城市转移，导致农村劳动力短缺，农村用人成本提高。传统的依靠大量人力耕作的模式已经无法满足农业需求，中国对低成本、高效率的耕作模式需求迫切。政策鼓励机械化农业发展，无人机应用比例增大。《农机装备发展行动方案（2016—2025）》《2018 年推进农业机械化全程全面发展重点技术推广行动方案》等政策相继出台，明确表示大力推动高效农业机械化技术发展，提升我国现代农业生产水平。《2024—2026 年农机购置与应用补贴实施意见》

（农办机〔2024〕3号）规定，全面开展农用无人驾驶航空器购置补贴工作。在政策的刺激下，中国农业向机械化作业的方向改革，补贴政策鼓励无人机的推广应用。

无人机在农林植保中的主要应用场景如下。

（1）农药喷洒：作业人员根据耕地地形和喷洒需求设计航线，让无人机按照作业航线飞行并在飞行过程中喷洒农药。

（2）作物监测：无人机搭载高清数码相机、光谱分析仪、热红外传感器等设备在农田上空飞行，拍摄高清图片，监测作物生长情况。

六、能源环境巡检场景

能源是指人类能够获取利用的能量资源，是人类社会赖以生存和发展的物质基础，在国民经济中具有特别重要的战略地位。能源相当于城市的血液，是维系照明、交通、餐饮、供暖、降温和自动化管理系统等重要功能的中枢，驱动城市的运转，现代化程度越高的城市对能源的依赖性越强。能源安全是国家安全的重要支撑，是关系国家经济发展的全局性、战略性问题，是其他领域安全的依托，对国家繁荣发展、人民生活改善、社会长治久安至关重要。

无人机在能源领域应用的场景如下。

（1）在石油和天然气勘探中，通过遥感技术、地理信息系统（geographic information system, GIS）技术、无人机航摄，进行地形测绘、地质调查、能源勘探等，工作高效、安全、灵活，能有效降低成本，提高效率，减少人员伤亡。

（2）在太阳能和风能发电中，无人机可进行场地勘探与规划、太阳能电池板和风力发电设备的检查及维护，提高设备的可靠性和安全性，同时降低维护成本和提高能源利用效率。例如，太阳能电池板占地广阔，长时间使用容易出现损坏、老化等问题，同时也会受到恶劣天气的影响。对于这种大面积的太阳能电池板，使用手动巡检方法很难有效发现问题。但是利用无人机巡检技术可快速检查太阳能电池板状况，及时发现并修复问题，提高能源利用率和安全性。

（3）在电力传输和分配中，用于巡查配电网输电线路通道走廊；勘探杆塔周边环境，如周边建筑、地形的变异；检查漏电、过热、腐蚀、老化等异常情况；排查塔基、塔架上的异物覆盖情况；执行牵引架线任务；等等。相较于人工巡检，无人机巡检在各种复杂地形、恶劣环境下都可工作，突破了地理的限制。无人机可近距离巡视输电线路、油气管道、高塔等，实现360°无盲区巡检，不仅巡检质量高，还降低了人工作业的危险。南方电网数据显示，无人机电力巡检由传统人工巡检的平均4 km/d提升至平均14.5 km/d。无人机电力巡检可提高电力传输的效率和安全性。

（4）在油气管道输送中，油气管道跨度大、范围广，处于地貌复杂、自然环境恶劣的区域，无人机可对油气管道沿线地貌进行勘察，可快速、准确地巡查到油气泄漏情况，识别易燃易爆物质；排查设备损坏或腐蚀情况，巡查打孔盗油等危害国家经济稳定及油气输送安全的情况。相较于人工巡检，无人机巡检提升了巡检效率及质量，



减小了安全风险。无人机在能源环境领域的应用场景还有河流、河道巡检，水质监测，野外巡检（如冰川、草原、戈壁巡检）。

随着无人机技术的不断发展和完善，其在能源领域的应用前景将更加广阔，必定会为能源行业的发展带来更多的创新和变革。

七、交通车辆巡查场景

目前，高速公路应急巡逻、路面巡查主要采用工作人员驾驶车辆到达现场的模式，响应速度不高，难以在第一时间到达现场。日常高频巡查需投入大量的人力、物力，执法成本高，车辆在高速公路上巡查时下车勘查、拍照取证存在安全隐患；且现有道路视频监控设备覆盖范围有限，无法实时掌控高速公路动态，突发情况下，应急反应慢，交警难以第一时间到达现场，影响救援和事故处理效率。

根据我国《数字交通“十四五”发展规划》，到2025年，“交通设施数字感知，信息网络广泛覆盖，运输服务便捷智能，行业治理在线协同，技术应用创新活跃，网络安全保障有力”的数字交通体系深入推进，“一脑、五网、两体系”的发展格局基本建成，交通新基建取得重要进展，行业数字化、网络化、智能化水平显著提升，有力支撑交通运输行业高质量发展和交通强国建设。

无人机在交通领域可进行公路巡逻、交通巡检、交通执法等。应用无人机交通执法，实时监控和抓拍交通违法行为，远程劝阻纠正，降低巡逻警员的劳动强度和缩短工作时间，提高警情应对速度。应用中可利用无人机预约飞行任务，24小时无人值守自动巡查，弥补视频监控存在盲区的不足。运用多功能巡查手段采集可见光、红外线等多种影像信息，搭载喊话器实时干预违法行为，提高巡查效果。智能识别行人违规上高速、道路异常停车、车辆拥堵等异常事件，提高警力处置效率。接入二维地图、三维实景地图、二维正射影像等多种地图源，直观呈现巡查路径和节点，实现可视化数据展示，提高指挥调度效能。

任务



无人机测绘的概念、特点与发展状况

一、无人机测绘的概念

无人机测绘是以无人机系统为信息平台，通过机载遥感信息采集和处理设备，将获取的遥感信息数据传输到测绘中心，经过数据技术处理生成等高线，制作出测区精准的等高线地形图，形成立体化的数字模型等成果的测绘方式。

无人机测绘是对传统航空摄影测量手段的有力补充，具有机动灵活、高效快速、

精细准确、作业成本低、适用范围广、生产周期短等特点，在小区域和飞行困难地区高分辨率影像快速获取方面具有明显优势。随着无人机与数码相机技术的发展，基于无人机平台的航摄技术显示出其独特的优势，无人机与航空摄影测量相结合使得“无人机数字低空遥感”成为航空遥感领域的一个崭新发展方向。无人机航拍可广泛应用于国家重大工程建设、灾害应急与处理、国土监察、资源开发、新农村和小城镇建设等方面，尤其在基础测绘、土地资源调查监测、土地利用动态监测、数字城市建设和应急救援测绘数据获取等方面具有广阔应用前景。近些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、高清晰度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。

二、无人机测绘的特点

无人机测绘以获取高分辨率数字影像为主要应用目标，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 技术和数据处理技术在系统中集成应用，获取小面积、真彩色、大比例尺、高精度、现实性强的航测遥感数据，是对传统卫星遥感与航空摄影的补充。无人机测绘主要具有以下特点。

1. 高效性

无人机测绘能够快速获取测绘区域的影像和数据，大大提高测绘效率，相比于传统人工测绘，能节省大量时间和人力成本。

2. 高精度

无人机测绘采用先进的遥感技术和图像处理技术，能够获取高精度的测绘数据，真实反映地形地貌、建筑物等的详细信息。

3. 安全性

无人机测绘无须人工实地测量，避免了在复杂地形或恶劣环境下的安全风险。

4. 灵活性

无人机测绘不受地形和天气条件的限制，能在各种复杂环境下进行测绘，可根据实际需求进行定制化的飞行路线和高度设置。

5. 低成本

相比于传统测绘方式，无人机测绘所需的设备和人力成本较低，效率高，从而能缩短项目周期，进一步降低项目成本。

6. 适用范围广

无人机测绘适用于国家重大工程建设、灾害应急与处理、国土监察、资源开发、城镇建设等多个领域。

7. 机动性强

无人机具有较小的体积，操作简单，对操作场地和周边气候环境要求不高，能在



大比例尺的地形测绘中较好地完成质量控制。

8. 自动化程度高

无人机测绘过程可以高度自动化,减少人为因素对测绘结果的影响。

9. 数据获取便捷

无人机测绘能够快速清晰地获取并存储区域的影像数据,提供高精度的原始资料。

10. 多功能性

无人机测绘可以生成数字高程模型(digital elevation model, DEM)、三维正射影像和倾斜摄影、三维景观模型、三维地表模型等二维或三维可视化数据,便于进行各类环境下应用系统的开发和应用。

三、无人机测绘的发展状况

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、通信技术和影像处理技术。早期的无人机主要应用于军事领域,第一次世界大战开始时的1914年,英国军方首先提出研制一种无须人为驾驶的小型飞机,可以飞往目标区域实行轰炸,可是由于当时科技不成熟,计划搁浅。直到1916年9月,世界上第一架无线电操控的无人驾驶飞机在美国试飞成功。随着集成电路技术和雷达控制技术的发展,无人机航测技术迈出了重要的一步。1979年Praybilla和Wester-Ebbinghaus利用雷达控制的旋翼无人机搭载光学相机做了实验,并在第二年利用直升机模型搭载Rolleiflex相机做了第二次实验,这是世界上首先使用旋翼无人机做航测。这两次实验的结果,对于后来无人机在航空摄影测量中的应用研究有着巨大的参考价值。随着计算机技术和控制技术的不断发展,无人机飞行控制技术也取得重大突破,可实现自主飞行和预编程控制飞行,无人机的性能在续航时间、飞行姿态、作业区域等方面都有了显著的提高。目前在国外,各种用途、各种性能的无人机有上百种,具有代表性的固定翼无人机有美国天宝公司的UX5、瑞士senseFly公司的eBee以及美国TOPCon公司的天狼星Sirius Pro,旋翼无人机主要有瑞士洛桑联邦理工学院(EPFL)研发的OS4和美国斯坦福大学研发的Mesicopter,而复合式无人机则以美国Phoenix LiDAR系统公司和JOUAV公司联合研发的Terra Hawk CW-30无人机为主要代表。在传感器技术方面,大量中等大小传感器逐渐取代大型传感器作业。中等大小传感器的像素已经可以达到8000万,高质量的镜头和集成技术的应用为航测任务的发展奠定了基础,也拓展了摄影传感器的应用领域。中小型相机与小型稳定器结合起来,质量轻且易于携带,能够很好地应用于应急测绘。不同种类的传感器组合起来可以进行多波段、高光谱的摄影测量。小型的价格低廉的激光扫描设备与MS相机集成,通过软件就可以解决任务规划和导航等问题。在无人机影像处理软件方面,由于无人机影像与传统遥感影像相比,具有分辨率高、数量多、重叠度大、相幅小的特点,传统的遥感影像处理软件已经无法满足无人机影像的处理需求,所以我们的内业人员若要在短时间内保证精度的前提下处理

完大量的无人机影像数据,就需要适合无人机影像处理的专门软件。目前国外主流的无人机影像处理软件平台有徕卡公司研发的 LPS 数字摄影测量及遥感处理软件、瑞士 Pix4D 公司研发的全自动快速无人机数据处理软件 Pix4Dmapper、法国地球信息 (Info Terra) 公司研发的像素工厂 (Pixel Factory, PF)、德国 INPHO 公司研发的 Inpho 摄影测量系统、PCI 公司研发的 PCI Geomatica, 还有近几年使用较多的俄罗斯 Agisoft 公司研发的 PhotoScan 全自动摄影测量与三维建模软件、美国 Bentley 公司研发的三维实景建模软件 ContextCapture Center。在新技术方面,倾斜摄影测量是近几年蓬勃发展的一项技术。众所周知,正射影像以垂直角度呈现地物信息,与我们日常中所观察到的这个世界存在较大的差异。随着复杂算法和数字影像技术的发展,这种情况开始逐渐被改善,相对于正射影像的垂直航空摄影在地物立面信息获取方面的缺陷,倾斜摄影技术通过在飞行器上搭载多台光学传感器,同时对地物从垂直和倾斜多个角度采集影像信息,进而获取地物的三维信息,实现快速大场景建模与地物测量。

我国无人机相较于国外发展较晚,虽然在 20 世纪 50 年代末便已经引入无人机概念,但直至 20 世纪末,国内一些大学和科研单位才开始成立无人机的专门研究机构。

21 世纪初,在中国测绘科学研究院的带领下,无人机开始从军事应用向民用测绘领域发展,2003 年,中国测绘科学研究院研发出 UAVRS- II 型低空无人机遥感检测系统,利用该系统获取到的无人机遥感影像制作出的数字正射影像 (digital orthophoto map, DOM) 和数字线划图 (digital line graph, DLG),完美地应用于数字化城市建设和测绘的研究领域。在国家政策支持和测绘行业发展的大趋势下,国内对无人机的研究也越来越多,其中具有代表性的有“大疆”的旋翼机、中海达的固定翼无人机以及成都纵横的 CW-30 型垂直起降复合型无人机。在无人机影像数据处理方面,国内常用的软件主要有 Pixel Grid、MAP-AT、Geolord-AT、JX-4、VirtuoZo 等,其中北京四维远见信息技术有限公司研发的数字摄影测量工作站 JX-4 及适普软件 (北京) 有限公司和武汉大学遥感信息工程学院共同研发的 VirtuoZo 应用得较为广泛。

我国的无人机技术历经 20 多年的不断发展,目前的无人机测绘技术不管在硬件、软件还是理论研究方面都有着巨大的跨越。2007 年张祖勋院士就提出以摄影测量网格系统替代原来的摄影测量工作站,使得摄影测量进入信息化时代,原来的空三加密、DEM、数字表面模型 (digital surface model, DSM) 和数字正射影像以及三维模型和点云信息都将智能化生产。2009 年西南交通大学的何敬等人探讨了利用无人机影像制作大比例尺地形图的方法,其中在影像数据的几何纠正环节运用 ERDAS IMAGINE 系统的几何校正模块,通过从图上量取的两像控点距离与实际的比值,将影像图在 CASS 软件中进行缩放,最终使得图像坐标系统与实际坐标系统一致,接下来开始屏幕测图,最终分析其精度满足 1 : 2 000 地形图的规范要求。2013 年太原理工大学薛永安等人,使用快眼 III 无人机对某矿区进行大比例尺地形图测绘,利用武汉航天远景科技股份有限公司研发的 MapMatrix 无人机影像处理软件得到了项目区 1 : 2 000 地形图和 DEM。



高志国等人提出在利用无人机低空航摄系统进行大比例尺地形图生产的过程中,构建影像同步变化的投影数字差模型,并应用线状地物自动识别追踪技术,之后基于北京山维科技股份有限公司的 EPS 二次开发做到 1 : 2 000 数字线划图的生产,改变了传统摄影测量立体测图的工作模式。2017 年刘森波等人以青岛市一海岸带区域为例,采用天狼星 PRO 航空测图系统无像控点模式实现大比例尺测图,生产出符合 1 : 1 000 比例尺精度要求的 DOM 和 DSM。李大军等人在《测绘通报》2018 年第 7 期上提出一种基于倾斜影像的多片测图技术,提高了传统立体测图的精度,在只考虑平面坐标而不考虑高程的情况下,实验结果可以满足 1 : 500 的成图精度要求。

随着科技的不断进步,无人机测绘技术逐渐走进人们的视野,并得到广泛的应用。它的发展对地理信息的获取和应用产生了革命性的影响,被广泛运用于海洋测绘、土地规划、城市管理等领域,为各行各业带来了巨大的便利和机遇。

项目实战 无人机认知与操控训练

一、无人机基本认知

在教练员指导下,参观学校无人机实训室或无人机公共实训基地。以小组为单位,调研无人机的类型、数量、结构及应用场景,完成工作任务单(见表 1-1)。

表 1-1 无人机基本认知工作任务单

班级		组别		姓名		学号	
实训项目	类型	数量	结构简介		应用场景		
实训室无人机现状							
网络无人机状况							
无人机实训室建设建议							
小组评价：							

(续表)

综合评价：

教练员签名：

二、无人机测绘认知

在教练员指导下，参观学校无人机实训室或无人机公共实训基地。以小组为单位，讨论无人机测绘的意义和特点，总结无人机测绘的应用场景，完成工作任务单（见表 1-2）。

表 1-2 无人机测绘认知工作任务单

班级		组别		姓名		学号	
无人机测绘的意义描述							
无人机测绘的应用场景描述							
无人机测绘的特点描述							
小组评价：							
综合评价：							
教练员签名：							



三、无人机操控

在教练员的指导下，操控多旋翼或固定翼无人机进行简单的飞行训练，完成工作任务单（见表 1-3）。

表 1-3 无人机操控工作任务单

班级		组别		姓名		学号	
实训角色	主操作员		辅操作员				
实训项目	实训检查					评价等级	
	符合度	平稳性	完成状况	完成时间			
飞行软件使用 与参数设定							
起飞与降落							
360° 悬停							
直线飞行							
以自我为中心画圆飞行							
矩形航线飞行							
自我设定文字飞行							
小组评价：							
综合评价：							
教练员签名：							



大国制造：国内无人机头部企业

1. 大疆无人机

深圳市大疆创新科技有限公司（以下简称“大疆”）成立于 2006 年。自成立以来，大疆从无人机系统拓展至多元化产品体系，在无人机、手持影像系统等领域成为全球知名品牌，以优质的技术和产品定义“中国智造”的内涵。大疆总部位于深圳，在全球多地设有办公室，业务遍及 100 多个国家与地区。

2. 彩虹无人机

中国航天空气动力技术研究院旗下航天彩虹无人机股份有限公司依托空气动力学和飞行力学方面的技术优势，在 2000 年进军无人机这一新型飞行器领域，并研制了以“彩虹”为名的多种类型无人机。这些无人机尺寸从小到大，起飞重量从轻到重，在应用方面从各种形式的侦察监视到攻击等，形成了较为完备的体系。气动力是推动飞行器创新的主要动力之一，空气动力和推进动力的创新是引领飞行器概念创新乃至革命的两个最基本要素。中国航天空气动力技术研究院在无人机领域取得快速的发展，得益于空气动力的优势和储备，得益于将空气动力理论和机理问题首先系统解决的研制模式。未来，中国航天空气动力技术研究院依托这些优势必将使我国的无人机飞得更高、更快、更远。

3. 大鹏无人机

成都纵横自动化技术股份有限公司（以下简称“成都纵横”）成立于 2010 年，是国家高新技术企业。成都纵横是一家掌握固定翼无人机、多旋翼无人机飞行控制与导航核心技术的企业。2015 年，成都纵横研制工业垂直起降固定翼无人机大鹏 CW 系列的 CW-20，并于同年首次产品化，引领复合翼布局浪潮。大鹏系列无人机可全程自主飞行，无须操作人员干预即可完成巡航、飞行状态转换、垂直起降等操作，拥有高稳定性、高可靠性、高精度的优势。

4. 飞马科技

深圳飞马机器人股份有限公司成立于 2015 年 2 月，由 IT、无人机领域高管及资深专家联合创办。公司在北京、深圳均设有研发中心，拥有近 200 人的研发团队，近 10 年的无人机行业技术积累及市场经验，结合 IT 领域产品设计、工业化制造经验，公司致力于为客户提供软硬件一体化、便捷易用的超小型无人机系统。自 2015 年成立以来，公司业务一直保持着高速发展的态势。在原北京安翔动力科技有限公司 10 多年无人机技术积累的基础上，公司秉承创新、价值、诚信的核心价值观，力求让每一款无人机都保持优秀的品质。



一、名词解释

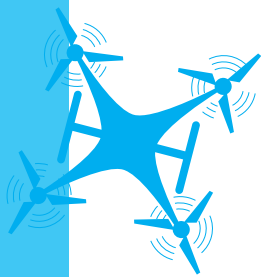
无人机测绘

二、填空题

1. 无人机按飞行平台构型分类, 可分为 _____、_____、_____、
_____、_____、_____ 和 _____ 等几大类。
2. 民用无人机按用途分类, 可分为 _____ 和 _____ 两大类。
3. 《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》将无人驾驶航空器按照性能指标分为 _____、_____、_____、_____ 和 _____ 五个等级。
4. 超音速无人机的飞行速度为 _____ 马赫。高超音速无人机的飞行速度一般大于 _____ 马赫。

三、简答题

无人机测绘的特点主要有哪些?



项目二

无人机飞行知识



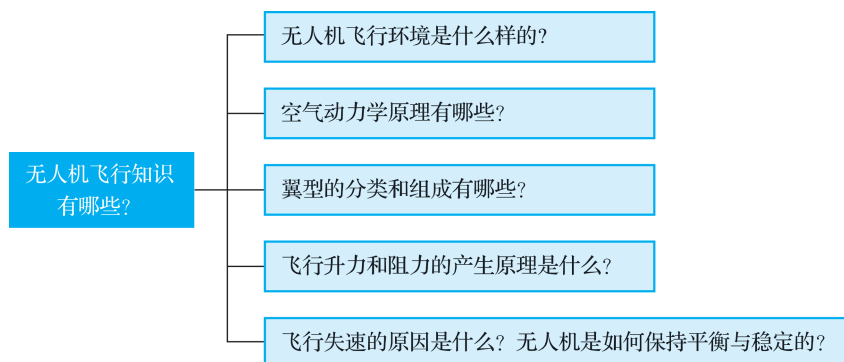
案例导入

2021年5月，海南省琼中黎族苗族自治县（以下简称琼中县）长征镇长征农场6队附近，一名农户利用一架六旋翼无人机对槟榔园进行高空农药喷洒。由于农户操作失误，无人机撞上了周边的10 kV 长征线牙绿分线21 ~ 22号杆AB两相导线，引发供电线路故障跳闸，造成236户居民停电，通信信号发射铁塔也受波及。据了解，此前琼中县已发生过两起无人机驾驶员操控不当致使无人机撞击高压线路并悬挂在导线间的故事。

近些年，随着无人机产业的高速发展，全国各地已经发生多起无人机事故，如2023年郑州无人机表演集体“炸机”事件等，这些事故中相当一部分是由于无人机驾驶员缺乏相关知识、操作不当引起的，如无人机在下降过程中突然开始剧烈晃动并加速下降，无论怎么操作遥控器都无法使无人机稳定下来，最终导致侧翻“炸机”或者撞人。造成无人机在下降过程中晃动的原因有两个。第一个是气流原因。在复杂地面环境附近易出现乱流，无人机降落时易受到地面的乱流影响而发生侧翻。第二个是手动下降速度过快。遥控器收油过快，螺旋桨转速降低，升力减小，令无人机出现晃动。无人机驾驶员如果能够深入学习无人机飞行知识并熟练掌握，就能在很大程度上避免这些事故的发生。



问题引领



学习目标

【知识目标】

1. 了解空气动力学原理。
2. 了解飞行升力与阻力、无人机的平衡与稳定性。
3. 了解无人机的飞行环境。
4. 熟悉无人机的各种翼型及其结构。

【能力目标】

能够了解各翼型无人机的结构和飞行原理，并描述其与飞行环境之间的关系。

【素养目标】

1. 了解无人机飞行环境和原理，确保无人机安全飞行。
2. 了解常见无人机结构组成，确保无人机安全飞行。

任务一 无人机飞行环境

无人机主要是在低空的大气层飞行的，气象条件对飞行的影响十分明显。现在科技水平已经发展到可以让飞机在一定程度上只依靠各种仪器仪表在空中航行，但即便如此，在有些气象条件下，飞机需要按规飞行甚至不能飞行。所以，无人机驾驶员需要掌握无人机飞行环境的相关知识。无人机，尤其是民用无人机，绝大多数既没有地面站的指引，也几乎没有相关的仪表仪器来辅助飞行。在这种情况下，就更加需要无

人机驾驶员在熟悉各种相关理论知识的基础上,根据手中资料和掌握的各种数据,判断识别无人机的各种飞行环境,保证飞行活动安全完成。

一、自然气层

古语有云:“天日高一丈,地日厚一丈,盘古日长一丈,如此万八千岁。天数极高,地数极深,盘古极长。”这句话的意思是:天每日增高一丈,地每日增厚一丈,盘古每天也长高一丈。这样又过了一万八千年,天变得极高,地变得极厚,盘古变得非常高大。所以后来又有话讲:不知天高地厚。其实就算是今时今日,我们也未能十分明确“天”到底有多高,根据目前的科学研究知道的情况是这样的:地球大气层外界并没有一个明确的边界,我们并不会在到达某个高度之后突然进入太空,大气的密度随着高度的增加而不断减小,最后变得非常小,但不会为零。例如,在 100 km 的高空,大气的密度约为地面大气的二百万分之一;在 200 km 的高空,大气的密度就只有地面的百亿分之一了;超过 300 km 之后,大气的密度会低于地面的千亿分之一。在超过 300 km 的高空当然也能检测到大气,只是密度非常低,甚至在 10 000 km 的高空也能够检测到大气分子,只是在那个高度,大气分子和太阳风吹出的粒子已经融为一体。目前,国际航空联合会给出的太空和内层大气空间的高度分界线约位于海拔 100 km 处,也就是著名的卡门线。任何超过卡门线的飞行器都可以被认为是进入了太空,可以被称为航天器。在低于卡门线的高空进行活动的飞行器,称为航空器。科学界把大气层一共分为五层,包括散逸层(离地球表面 800 ~ 1 000 km 或以上)、热层(又称为暖层,离地球表面 85 ~ 800 km)、中间层(离地球表面 48 ~ 85 km)、平流层(离地球表面 12 ~ 48 km)、对流层(离地球表面 0 ~ 12 km)(见图 2-1)。

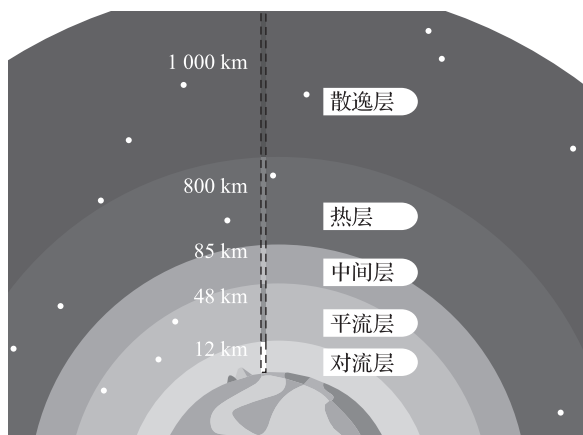


图 2-1 自然气层

1. 散逸层

散逸层又称外大气层,是地球最外面的层次。这里的温度很高,可达数千摄氏度,但近于等温,大气已极其稀薄。散逸层也叫磁力层,是大气层向星际空间过渡的区域,



外面没有什么明显的边界。在通常情况下，上部界限在地磁极附近较低，近磁赤道上空在向太阳一侧有 9 ~ 10 个地球半径高，换句话说，大约有 65 000 km 高，在这里，地球引力极低，空气极其稀薄，大气的密度为海平面处的一亿亿分之一，气体分子互相碰撞的机会很小，因此空气分子就像一颗颗微小的导弹一样飞来飞去，一旦向上飞去，就会进入碰撞机会极小的区域，最后它将告别地球进入星际空间，所以外大气层被称为散逸层，这里的空气处于高度电离状态，人类大部分的航天活动都是在散逸层进行的。

2. 热层

离地球表面 85 ~ 800 km 高度的大气层叫作“热层”。热层空气极稀薄，空气密度小到声波都难以传导，且离子特别多，该层温度随高度升高而升高。之所以叫热层，是因为这层中的空气分子和离子直接吸收太阳紫外辐射能量，因而运动速度很快，与高温气体一样。这里空气极其稀薄，尽管热层顶的气温可达 1 000 °C（太阳活动比较平静时）~ 2 000 °C（太阳活动剧烈时），但实际上根本不会感到热。在热层内，经常会出现许多有趣的天文现象，如极光、流星等。热层的大气因受太阳辐射，温度较高，气体分子或原子大量电离，复合概率又小，形成电离层，能导电，并能反射无线电短波。人类借助热层实现短波无线电通信，使远隔重洋的人们能相互通信。

电离层是地球大气的一个电离区域。60 km 以上的整个地球大气层都处于部分电离或完全电离的状态，电离层是部分电离的大气区域，完全电离的大气区域称“磁层”。也有人把整个电离的大气称为电离层，这样就把磁层看作电离层的一部分。最突出的特征是当太阳光照射时，太阳光中的紫外线被该层中的氧原子大量吸收，因此温度升高，故又称“暖层”。

3. 中间层

中间层又称“中层”，是离地球表面 48 ~ 85 km 的大气层。此层主要成分有臭氧、氧、二氧化碳、氮氧化物，这些物质是光化学作用的产物，故中间层又叫光化层。

该层内因臭氧含量低，同时能被氮、氧等直接吸收的太阳短波辐射（可理解为太阳光的热量）已经大部分被上层大气吸收，所以温度垂直递减率随高度上升而下降，在离地球表面 85 km 左右温度达到最低点，约为 -90 °C。该层对流运动强盛，空气分子吸收太阳紫外线辐射后可发生电离，在该层的 60 ~ 85 km 高度上，有一个只有在白天出现的电离层，习惯上称其为电离层的 D 层，有时在高纬度地区夏季黄昏时以夜光云（noctilucent cloud）的形式出现。

夜光云又被称为极地中气层云，是指深曙暮期间出现于地球高纬度地区高空的一种发光而透明的波状云。它的形成一般需要满足三个条件：低温、水蒸气和尘埃，这样水蒸气才能凝结成极小的冰晶。

人们一般把飞行高度达到 80 ~ 100 km 的飞行器，看作不依靠大气飞行的航天器。按照美国国家航空航天局规定，飞行高度超过 80 km 的飞行员即可称为宇航员。