引文格式：何敬, 刘刚, 刘汉湖, 等. 基于无人机平台的摄影测量学教学改革与实践[J]. 地理空间信息, 2023, 21(8): 133-136. DOI:10. 3969/J. ISSN. 1672-4623.2023.08.034

基于无人机平台的摄影测量学教学改革与实践

何　敬[1]，刘　刚[1]，刘汉湖[1]，杨　鑫[1]
（1. 成都理工大学 地球科学学院，四川 成都 610059）

摘　要：近年来无人机在摄影测量及相关领域中应用越来越广泛，社会对摄影测量专业的人才需求日趋扩大。但是，目前摄影测量学的教学内容和教学方法并没有针对无人机摄影测量应用做出相应的调整和改革，培养出的学生难以满足用人单位的需求。针对这一问题，在分析原有课程理论体系的基础上，结合无人机在各个领域的应用需求，将课堂理论与课外实践结合起来，建立了以无人机平台为基础的摄影测量实践体系。该实践体系内容涵盖了主要的无人机摄影测量产品的制作，突出了对学生动手能力的培养，提升了学生对摄影测量的兴趣，取得了较好的教学效果。

关键词：无人机；摄影测量学；教学改革；教学实践
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）08-0133-04

Teaching Reform and Practice of Photogrammetry Based on UAV

HE Jing[1], LIU Gang[1], LIU Hanhu[1], YANG Xin[1]
(1. School of Geoscience, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: In recent years, UVA hasbecome more and more widely used in photogrammetry and related fields, leading to expanded demand for photogrammetry professionals from society. However, the current teaching contents and methods of photogrammetry have not been adjusted and reformed according to the application of UAV photogrammetry, the trained studentsare difficult to meet the needs of employers. In response to this problem,combiningin-class theory withafter-class practice, we established a photogrammetry practice system based on the UAV platform by analyzing original theoretical system of courses andconsidering applied requirements of UAV in various fields. The practice system covers the production of main UAV photogrammetry products, highlights the cultivation of students' hands-on ability, enhances students' interest in photogrammetry, and achieves teachingefficiency.

Key words: UAV, photogrammetry, teaching reform, teaching practice

近年来，无人机技术的快速普及，助推了摄影测量的发展，同时也扩大了社会对摄影测量方面的人才需求[1-2]。但是，从近几年毕业生的回访情况看，学生普遍反映课堂上学的摄影测量知识不能解决生产中遇到的问题，所学知识过于陈旧。单位反馈的信息则是学生的动手能力弱，理论与实践脱节，解决问题能力不强。针对这些问题，各高校结合自身的特点和实际办学条件，对“摄影测量学”这门课程做了很多有益的改革探索[3-6]。本文从“摄影测量学”的基本原理与方法出发，结合用人单位的实际需求，对“摄影测量学”的教学内容和教学方法进行探索性改革，使学生在掌握基本原理的基础上，能够独立完成摄影测量产品的生产制作，真正做到学以致用。

1　“摄影测量学”特点及理论体系

1.1　“摄影测量学”特点

摄影测量学是一门交叉学科，涉及到计算机视觉、高等数学、误差理论等多个领域的知识，因此其知识点非常多，概括起来具有以下特点：

1）概念多。整个课程涉及的专业概念非常多，如内外方位元素、空间前（后）方交会、相对（绝对）定向、空中三角测量等。这些概念可以分为两类，第一类与其他学科概念相似，如空间前（后）方交会，其基本定义与测量学中的定义相似，但是又有区别。第二类完全属于摄影测量领域的概念，如空中三角测量、立体像对等。

2）公式多。摄影测量的理论性很强，基本上每

收稿日期：2022-04-24；修回日期：2022-07-15。
项目来源：2021-2023 年成都理工大学高等教育人才培养质量和教学改革项目（JG2130130）；2022 年成都理工大学研究生质量工程项目（2022YJG022）。
第一作者简介：何敬（1983—），博士，副教授，主要研究方向为无人机低空遥感、地质灾害信息自动提取，E-mail：xiao00yao@163.com。

一章节都有公式，更为重要的是很多公式需要学生掌握，甚至要求学生能够进行推导，这也是很多学生对摄影测量望而却步的一个重要原因。比如共线方程、共面方程、相对（绝对）定向解算，推导过程中要综合运用高等数学、线性代数、误差理论与测量平差方面的知识，尤其在处理非线性化方程时，要用到微积分、泰勒级数展开式、矩阵运算方面的知识。

3）坐标系多。为了完成从平面影像坐标到空间地理坐标的转换，先后引入多套坐标系统，这些坐标系统有采用左手准则建立的，也有通过右手准则建立的，既包括平面坐标系，也有空间坐标系。在整个坐标转换过程中，对学生的空间思维能力要求较高。

4）知识面广。摄影测量学由多个学科交叉融合而成，是影像信息科学的重要组成部分，主要任务是从航空或航天影像上快速准确的解译出目标物的空间信息，涉及数字图像处理、计算机图形学、模式识别、人工智能、数据库技术等领域。尤其是摄影测量进入全数字化时代后，其对计算机领域的最新科研成果依赖度更高，因此需要加强与其他学科之间的联系。

1.2 “摄影测量学”理论体系

虽然摄影测量学涉及多个不同学科的知识，但都围绕着一个基本任务展开——“地形图测绘”。根据这个基本任务可以将摄影测量学课程的基本内容分为两大部分：摄影和测量。摄影主要是获取满足规范要求的航空影像，是测量的基础；测量主要是由像点坐标计算出对应的地面点大地坐标，是摄影的目的。图1整理了课程的知识理论框架，通过这个框架，学生可以将书本中的各个知识点进行串联，理解每个知识点

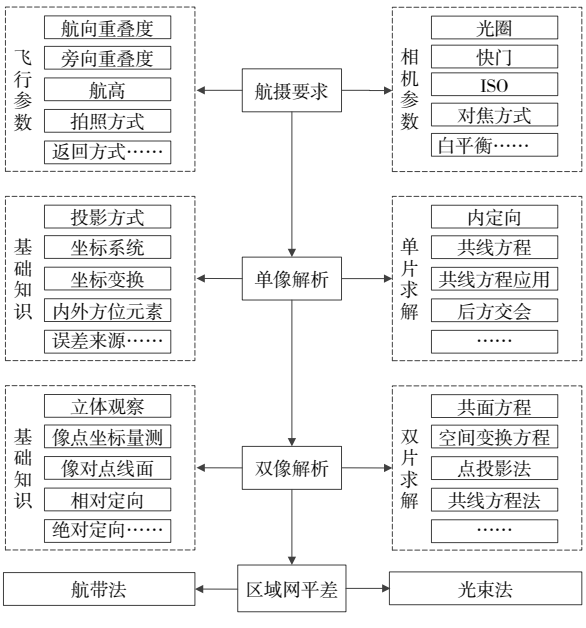


图1 课程体系框架

解决的是什么问题，在整个摄影测量体系中的作用与地位，达到提纲挈领的作用，明确学习思路。

2 课堂教学改革探索与实践

教学改革的目的是为了提高教学质量，培养学生的学习兴趣，使学生的动手能力不断得到提升，激发学生的创新能力，最终培养出合格的满足社会需求的专业人才。为此，结合课程体系框架进行以下几个方面的教学改革探索。

2.1 课堂思政

教育部于2020年5月28日印发实施了《高等学校课程思政建设指导纲要》，标志着课堂思政正式纳入到高校的课堂教学中。结合摄影测量学的作用，我们可以将珠峰测量、中国空间站、青藏铁路等国家重大工程中应用到的摄影测量技术以一些具体案例分享给学生。在分享案例的过程中，突出我们掌握核心技术的重要性。比如我们的自主无人机品牌“大疆”，在掌握了核心技术后，面对美国的经济制裁和技术封锁，就可以采取相应的应对方案。如果没有核心技术支撑，回望过去种种企业的被制裁、巨额罚款、技术封锁等，很多品牌就此陨落。在这些真实的案例引导下，不仅可以调节课堂气氛，更能激发同学们的学习斗志，潜移默化中培养学生的爱国情怀，提升其民族自豪感。

摄影测量学课堂思政的另外一个任务就是普法。由于实践课需要操作无人机对校园进行拍照获取数据，这里就涉及到空域申请使用和对地拍摄两方面的法律许可。一般情况下，在未得到授权的情况下，个人从事无人机飞行获取数据都属于违法，尤其是在禁飞区。要让学生在第一次接触到无人机的时候就产生法律意识，做一个知法守法的无人机操作员。

学校采购的教学无人机，按照民航局对无人机的划分标准属于轻型无人机。在实习前我们向相关部门提交了无人机实践教学的计划安排，进行空域申请。实习区，根据航空管制处批复文件，实习作业高度限制在真高50 m以下。在选择实习区时，应尽量选择建筑物较少，视野开阔的区域，这样便于学生观察跟踪无人机，确保飞行安全。

2.2 课堂互动

课堂互动是教学中一个非常重要的环节，活跃的课堂气氛不仅能提升学生的理解力，同时也能激发教师的讲课热情。如果课堂上只是教师单方面的知识讲解，师生互动少、学生参与度低，那么学生走神的概

率就比较高，学习理解的效果将明显下降，老师讲课的热情也大打折扣。

针对摄影测量课程的特点，设计一些简单的、开放式的课堂互动内容，可以起到良好的互动效果。比如每次上课前，采取自由总结的形式，让学生对上节课的内容进行总结。这种方式相对教师帮助回顾，更能使学生开动脑筋思考。学生在回顾的时候，不仅能够对知识点进行一次自我梳理，教师还能从其回顾的效果中看出其是否抓住了重点，对整个知识体系构建得是否清晰。对于学习有困难或者学习不好的学生，教师在课余时间可以与之多加沟通，了解具体原因，制定合适的解决办法。在同学之间建立学习小组，定期布置开放讨论课题，不仅能够拓宽学生的知识面，更能提升学生的团队意识。

课堂互动的形式多种多样，但其主旨都是以学生为中心，让学生积极参与到教师的教学活动中，这样才能使所讲授的内容为学生所接受和理解，最终提高教学质量。

3　课外无人机教学实践

3.1　无人机飞行及数据采集

早期摄影测量学实践所采用的数据多是依托生产单位进行采集，学生对外业数据采集这部分内容很少有机会接触。随着无人机技术近几年的快速发展，现已基本普及。为了提升学生实践能力，培养满足社会需求的合格人才，我们结合学校现有教学条件，采购了10台多旋翼无人机供学生实习、实践使用。

整个实践内容如图2所示，分基础模块和拓展模块2个部分，基本部分要求学生能够独立的完成无人机飞行操作、航线规划、像控点数据采集及正射影像制作等环节，这也是目前生产单位对无人机航测最基本的需求。随着“实景中国”的快速推进，生产单位

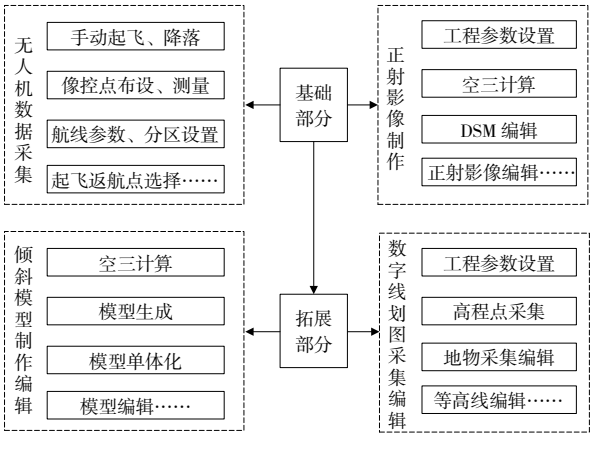


图2　课外实践内容体系

对实景建模这一块的需求逐渐增大，因此我们将这一部分内容列为拓展模块，该模块的主要内容实景三维建模、模型编辑、模型单体化以及数字线划图采集编辑等。

为了使学生能够安全、熟练地掌握无人机的基本操作和数据采集流程，制定了详细的教学流程。首先，结合国家虚拟仿真实验教学课程共享平台（http://www.ilab-x.com/）的教学资源，让学生了解整个无人机采集数据的整个过程。然后，结合大疆无人机的使用手册和视频资源，让学生掌握无人机的基本操作，如桨翼的拆卸、起飞、降落、前进、后退、转向等。在与无人机的实际接触中，很多学生的学习兴趣被激发。

在掌握了无人机的基本操作及相应的摄影测量参数设置之后，学生对校园的部分区域进行航拍，获取自己小组的无人机航测数据，作为后续内业实习数据。相对于教学示例数据，学生自己采集的校园数据，他们知道每一个数据的来龙去脉，这给他们后续处理带来了更多的便利，尤其是在空三处理环节。同时，学生在处理自己所居住生活的校园数据时，有着更亲切的感受，处理的时候也少了一丝枯燥。

3.2　内业数据处理

内业数据处理是整个无人机摄影测量实践的核心内容。通过内业数据处理，学生可以掌握空中三角测量、DSM编辑、镶嵌线编辑、模型单体化等各部分内容的核心环节。

空中三角测量是整个内业数据处理的基础。这部分实习内容实际上融合了理论课的影像匹配、相对定向、绝对定向等内容。目前，大多数商业摄影测量软件已经将该部分内容打包形成了一个封闭的模块。在实习过程中，着重讲解如何分析空三的精度报告，挑出误匹配点，改善影像匹配精度，从而达到满足精度要求的空三结果。

DSM编辑、镶嵌线编辑这部分内容主要影响的正射影像的生成质量，大多数是手动操作。但是，在学生实际操作过程中，可以让学生对比不同的编辑质量是如何影响最终的正射影像，并鼓励引导学生探索新方法，减少手动编辑的工作量。

模型单体化和数字线划图采集属于拓展部分内容，主要是针对基础部分实习内容已经完成的比较好且对摄影测量又十分感兴趣的同学。首先，要让学生明白什么是模型单体化？模型单体化的目的是什么？然后，结合相关的视频、文档资料逐步掌握单体化方法。数字线划图采集实验同样也是基于建立的三维模

型进行，有别于传统的立体采集方法的是，通过直接在模型上量取坐标数据，进行后期的编辑，便可成图。它无需手轮脚盘等额外设备，学生实践方便、易操作。由于目前数字线划图使用范围逐渐减少，因此该部分内容主要以学生体验了解为主。

从无人机飞行到拓展部分的实践内容，每一部分内容都有同学做得非常好。在飞行阶段，一部分同学除了完成最基本的操作外，还尝试了环形绕飞、跟踪飞行等模式，探索出了无人机的应用新方式。而内业处理阶段，尤其是手工编辑的内容，如DSM、拼接线的处理，部分同学处理过于粗糙，DSM不平滑、房屋扭曲错位是这部分同学报告中的普遍现象。

4 考核方式及改革效果

4.1 考核方式

作为一门专业核心课程，考试是必不可少的环节，也是评估学生掌握知识的一个依据。以往考试前，主讲教师通常带领学生从前到后进行复习，并有针对性的指出重点内容。学生根据重点，逐一进行复习。一般情况下，学生在考前可能用2~3 d就复习完一门课程，而且考试分数还不低。这种方式减轻了学生的学习压力，但同时也助长了学生的惰性，使他们有一种错觉，即使平时不学，考试依然能够通过。在这种考试模式下，学生掌握的知识只是浮于表面，基本上未能消化吸收，甚至造就了“高分低能”。

针对这一现象，我们对考核方式进行了优化调整，采用多元化的计分方法。首先明确课程成绩的组成，而最终成绩由课堂考勤、课堂问答、实践操作、实践报告和期末考试等部分的成绩共同构成，避免过去“一考定成绩”的简单做法。实践操作环节作为本门课程教学改革的一个重点和特色，其考核方式为单人单任务模式，即每个同学现场操作一个任务，任务内容包括外业操作和内业处理。外业操作主要集中在无人机的手动操作和航线任务设计，如手动对某个区域进行指定角度补拍，划定一个指定区域的航线等。内业处理的考核内容主要包括工程建立、空中三角测量、误匹配点查找等内容，考核学生对数据处理各个环节的掌握程度。其次，明确告诉学生，课程结束后，即组织考试，没有重点，没有辅导分析，这样可以使学生更加注重平时学习，一定程度上避免“期末突击”、“高分低能”现象的发生。最后，为了鼓励学生自我学习、自我探索，组织学生以小组讨论的形式，提出新问题、新想法，对有创意的想法，鼓励引导其参加各个级别的竞赛。

4.2 改革效果

通过教学内容的梳理，学生更加清晰的理解了课程的主线，了解课程中各个知识点间的逻辑关系，使他们在学习的过程中有章可循、有法可依。外业实践环节激发了同学们的学习热情，使学生们的动手能力得到了显著提升。因此，课堂上所学的理论知识也在他们亲自的操作中得到了实现。学生自我肯定、自我价值的实现使他们对这门课程产生了更浓厚的兴趣。比如，有一个同学在实践课上对无人机的操作表现出了很浓厚的兴趣，通过交流，得知其是学校航模协会的成员，平时自己也组装无人机。通过对这名学生的引导，最后其毕业创立了自己的无人机航测公司。小组讨论往往能够产生意想不到的创意结果，他们通过查阅资料将无人机摄影测量应用到了农业、考古、电力、监测等众多行业中。

5 结 语

随着摄影测量行业向着更广、更深的方向发展，社会对摄影测量方面的人才需求越来越多，对其要求也越来越高。过去那种“重理论、轻实践”的培养方式已经不能满足用人单位对学生的要求。因此，作为高校摄影测量学的专业课教师，在向学生讲解清楚基本原理的基础上，更应该培养学生的主动思维能力、动手能力和创新能力，这样培养出的学生才能为用人单位所接受，很快融入到实践生产中。

参考文献

[1] 李德仁,李明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前景[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2014,39(5):505-513

[2] 叶欣,吕利娜,赵威成. “摄影测量原理”课程教学改革探讨[J]. 地理空间信息,2018,16(10):119-122

[3] 齐修东. 基于OBE理念的摄影测量学实践教学改革[J]. 实验室科学,2018,21(4):113-115

[4] 胡腾,康志忠,杨红磊. 微型无人机在“现代摄影测量实习”课程教学改革中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2020,43(1):8-9

[5] 张丽,孙小荣,郭冰. 摄影测量学流程化实践教学体系的构建与实践[J]. 教育教学论坛,2021(51):125-128

[6] 周国清,郭宝宇,王浩宇,等. 无人机摄影测量虚拟仿真实验教学系统的构建与应用[J]. 测绘通报,2021(12):163-167