

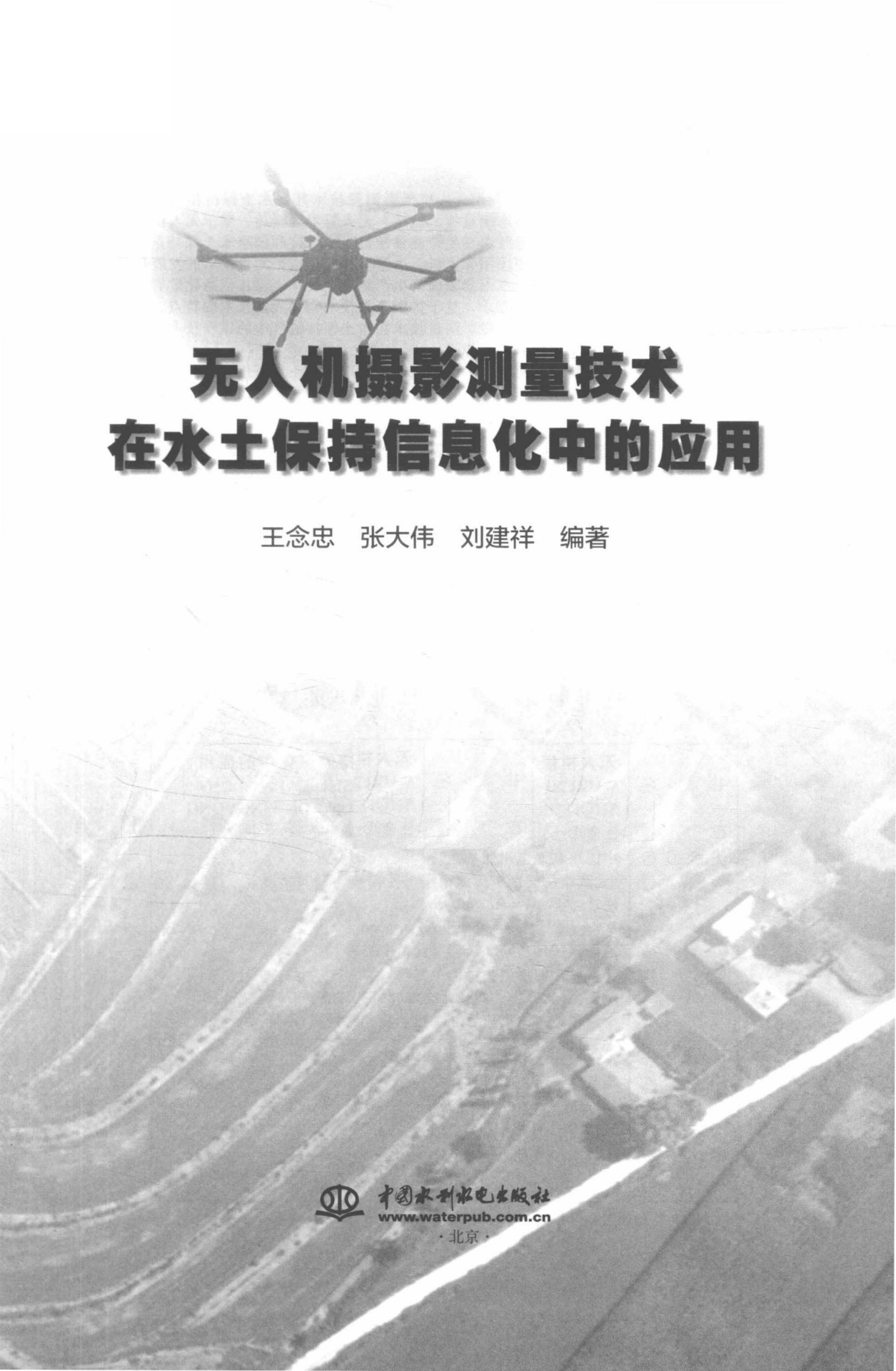


WURENJI SHEYING CELIANG JISHU  
ZAI SHUITUBAOCHI XINXIHUA ZHONG DE YINGYONG

# 无人机摄影测量技术 在水土保持信息化中的应用

王念忠 张大伟 刘建祥 编著

 中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)



# 无人机摄影测量技术 在水土保持信息化中的应用

王念忠 张大伟 刘建祥 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书是对2013年以来松辽流域利用无人机摄影测量技术开展水土保持相关工作的初步总结。主要内容包括：航空摄影测量技术概述，无人机发展概述，基于无人机平台的摄影测量技术，无人机摄影测量技术在生产建设项目水土保持和国家水土保持重点工程信息化监管中的应用，以及展望民用无人机、遥感传感器、摄影测量技术的发展趋势和无人机在民用领域的应用趋势。本书紧紧围绕生产建设项目水土保持信息化监管和国家水土保持重点工程信息化监管的要求，基于摄影测量技术和无人机技术的特点、发展趋势，结合实际案例，重点对无人机摄影测量技术在水土保持监管中的操作技术流程进行了详细介绍，更加注重实用性和可操作性。

本书可作为利用无人机摄影测量技术开展生产建设项目水土保持信息化监管和国家水土保持重点工程信息化监管工作的操作技术指南，也可为水利、生态环境保护等行业人员提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

无人机摄影测量技术在水土保持信息化中的应用 /  
王念忠, 张大伟, 刘建祥编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2019.5

ISBN 978-7-5170-7658-2

I. ①无… II. ①王… ②张… ③刘… III. ①无人驾驶飞机—应用—水土保持—信息化—研究 IV. ①V279  
②S157

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第087714号

书 名	无人机摄影测量技术在水土保持信息化中的应用 WURENJI SHEYING CELIANG JISHU ZAI
作 者	SHUITUBAOCHI XINXIHUA ZHONG DE YINGYONG 王念忠 张大伟 刘建祥 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 印	清淞永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18印张 427千字
版 次	2019年5月第1版 2019年5月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	86.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

## 本书编委会

主任 王念忠  
副主任 张大伟 朱景亮  
委员 罗志东 王岩松 高远 范建荣 陈浩生  
任明 刘建祥 钟云飞 蔡昕 姜艳艳  
高燕

## 本书编写人员

主编 王念忠 张大伟 刘建祥  
编写人员 刘建祥 钟云飞 常诚 孔庆凡 张笑宇  
刘永生 陈雷 孙小旭 张延玲 胡煜  
尹斌 吴戈 邱颖 刘心刚 尚建勋  
郭晞尧 姜长龙 郭映 田琪 陈发先  
王文成 霍世坚 王鑫全



中国特色社会主义进入新时代，水利事业发展也进入了新时代。以习近平同志为核心的党中央高度重视水利工作，把治水兴水作为实现“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴中国梦的长远大计来抓，习近平总书记多次就水安全问题发表重要论述、作出重要指示，深刻分析了我国水安全新老问题交织的严峻形势，明确提出了“节水优先、空间均衡，系统治理、两手发力”的治水方针，突出强调水利工作要从改变自然、征服自然向调整人的行为、纠正人的错误行为转变。鄂竟平部长在2019年全国水利工作会议上指出，贯彻落实新时期治水方针，推进新时代水利改革发展，必须准确把握当前水利改革发展所处的历史方位，准确把握治水主要矛盾的深刻转变，准确把握“水利工程补短板，水利行业强监管”这一当前和今后一个时期水利改革发展的总基调，处理好补与强、上与下、总与分、标与本的关系，建立起促进人水和谐的长效机制，实现水问题的标本兼治。

水利部明确提出了当前和今后一个时期将工作重心转到“水利工程补短板，水利行业强监管”上来，要全面监管水土流失状况，全面监管生产建设活动造成的人为水土流失情况，要建立完备的水土保持监管制度体系，完善相关的技术标准。

信息化是加强水土保持监管的一项十分重要的基础工作，是强化行业监管的重要抓手，是推动水土保持改革发展的迫切需要。今后重点抓好水土保持监测和信息化应用等基础工作，充分运用高新技术手段开展监测，实现年度水土流失动态监测和人为水土流失监管两个全覆盖，及时掌握并发布全国及重点区域水土流失状况和治理成效，及时发现并查处水土保持违法违规行，有效遏制人为水土流失，为监管强手段、治理补短板提供有力支撑。

无人机摄影测量技术是新型测绘技术与航空平台技术、信息技术的高度集成，无人机技术应用于测绘领域，可有效补齐卫星遥感和原先现场调查监测的短板，提升信息化水平，让水利、生态环境保护等领域的行业监管的“腿变长了、眼睛更亮了”，使监管真正强起来。

按照水利部对生产建设项目水土保持和国家水土保持重点工程信息化监管的要求，基于近几年实践经验，本书结合实际案例详细介绍了相关工作流程和技术路线，并对无人机摄影测量技术的发展趋势以及在水利、生态环境保护等相关行业的应用进行了探讨。相信本书的出版，对水利工程建设、防汛、水政执法、水土保持、水生态环境监测等工作有很好的借鉴作用，将有效提升行业监管的效能和水平。

水利部水土保持监测中心主任



2019年3月

# 前 言

近年来，中央陆续印发了推进生态文明建设的意见和生态文明体制改革总体方案，制定出台了一系列有关生态文明建设的制度性文件，明确要求建立健全生态环境监测网络，提升信息化水平，利用卫星遥感等技术手段开展全天候监测，为政府决策、监督管理等工作提供科学依据。同时，国务院要求的“放管服”改革对行政审批下放、取消后切实加强事中、事后监管提出了更高的要求，强调监管是政府的法定职责，严格落实“谁审批谁监管、谁主管谁监管”的要求，通过智能监管和大数据监管，实现监管全过程“留痕”。国务院印发的《全国水土保持规划（2015—2030年）》，从监督能力建设、监测能力建设、科技支撑能力建设、社会服务能力建设、宣传教育能力建设和信息化建设等六个方面提出了今后水土保持监管能力建设的主要任务。

水利部明确要求，下阶段水利工作的重心将转到“水利工程补短板，水利行业强监管”上来，这是当前和今后一个时期水利改革发展的总基调，对于加强水土保持的监管，强调要充分运用高新技术手段开展监测，实现年度水土流失动态监测全覆盖和人为水土流失监管全覆盖，及时掌握并发布全国及重点区域水土流失状况和治理成效，及时发现并查处水土保持违法违规行为，有效遏制人为造成的水土流失。

目前，传统的人工现场调查和卫星遥感难以快速、及时和全方位地获取水土保持监管的相关信息，基于无人机平台的摄影测量技术正是这一缺陷的有效补充手段，可提升水土保持信息化水平，补齐传统调查监测的短板，让监管强起来。本书按照《生产建设项目水土保持信息化监管技术规定（试行）》和《国家水土保持重点工程信息化监管技术规定（试行）》的要求，结合近几年松辽流域无人机摄影测量技术在水土保持工作的应用实践，重点对生产建设项目水土保持区域监管、项目监管以及国家水土保持重点工程竣工项目抽查、实施效果评估进行了案例演示，详细介绍了工作流程和操作技术路线。同时，总结了摄影测量技术、无人机技术的特点，以及发展现状与未来趋势，并对该技术在民用领域，尤其是水土保持监测点信息化、水土流

突发事件监测、防汛抗旱、水政执法等水利相关行业中的前瞻性探索应用进行了探讨，以期水土保持监管信息化、水利、生态环境保护等相关领域的研究、实践和管理提供参考。

本书在编写过程中，得到了水利部水土保持监测中心、水利部松辽水利委员会、松辽流域水土保持监测中心站等单位和相关人员的大力帮助与支持，在此深表感谢。

由于水土保持信息化工作量大、面广，无人机摄影测量技术在水土保持信息化中应用的创新性工作仍需进一步加强，加之编者的水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2019年1月

# 目 录

序  
前言

<b>第 1 章 航空摄影测量技术概述</b> .....	1
1.1  垂直航空摄影测量技术 .....	1
1.1.1  垂直航空摄影理论基础 .....	1
1.1.2  垂直航空摄影测量关键技术 .....	4
1.2  倾斜航空摄影测量技术 .....	5
1.2.1  主要原理与技术 .....	5
1.2.2  倾斜摄影测量的优势 .....	7
1.3  航空摄影测量技术软硬件发展现状 .....	7
1.3.1  航空摄影测量硬件发展现状 .....	8
1.3.2  航空摄影测量软件发展现状 .....	12
<b>第 2 章 无人机发展概述</b> .....	18
2.1  无人机定义与分类 .....	18
2.2  民用无人机发展历程 .....	20
2.2.1  行业相关条例规范 .....	20
2.2.2  无人机技术发展历程 .....	20
2.3  无人机在民用领域的应用 .....	25
2.3.1  无人机在水利行业的应用 .....	25
2.3.2  无人机在交通执法部门的应用 .....	26
2.3.3  无人机在农业、林业的应用 .....	26
2.3.4  无人机在国土资源管理的应用 .....	27
2.3.5  无人机在电力行业的应用 .....	28
2.3.6  无人机在公安系统的应用 .....	28
2.3.7  无人机在环境保护中的应用 .....	29
2.3.8  无人机在工程施工中的应用 .....	29
2.3.9  无人机在服务业的应用 .....	29
2.3.10  无人机应用于航拍摄影 .....	30
<b>第 3 章 基于无人机平台的摄影测量技术</b> .....	31
3.1  无人机、传感器设备选型 .....	31

3.1.1	正射影像	31
3.1.2	倾斜摄影	33
3.2	影像数据采集	33
3.2.1	前期规划	34
3.2.2	现场数据采集	35
3.3	数据处理与生产	38
3.3.1	内业处理质量要求	38
3.3.2	Pix4D 软件数据处理	39
3.3.3	ContextCapture4.4 软件数据处理	52
3.3.4	UASMaster7.1 软件数据处理	59
3.4	数据误差与精度分析	82
3.5	指标提取	83
<b>第4章 无人机摄影测量技术在生产建设项目水土保持信息化监管中的应用</b>		
4.1	生产建设项目水土保持信息化监管技术要求	89
4.1.1	区域监管对象、内容与指标、技术路线	89
4.1.2	项目监管对象、内容与指标、技术路线	91
4.2	区域监管	92
4.2.1	工作流程与技术路线	93
4.2.2	遥感调查与复核方法	94
4.2.3	利用无人机获取正射影像方法	148
4.2.4	主要成果	162
4.3	项目监管	167
4.3.1	合规性标准	167
4.3.2	现场调查复核	168
4.3.3	项目监管案例	175
<b>第5章 无人机摄影测量技术在国家水土保持重点工程信息化监管中的应用</b>		
5.1	国家水土保持重点工程信息化监管技术要求	189
5.1.1	监管对象与内容	189
5.1.2	监管技术路线	189
5.2	竣工项目抽查实例	192
5.2.1	工作流程	192
5.2.2	主要成果	201
5.3	实施效果评估实例	209
5.3.1	工作流程	209
5.3.2	主要成果	212

<b>第 6 章 展望</b> .....	260
6.1 民用无人机的发展趋势 .....	260
6.2 遥感传感器的发展趋势 .....	262
6.3 摄影测量技术的发展趋势 .....	264
6.4 无人机在民用领域的应用趋势 .....	264
<b>参考文献</b> .....	275



## 第 1 章

# 航空摄影测量技术概述

航空摄影测量技术指通过航空摄影获取地面连续的地面像片，结合地面控制测量、调绘和立体测绘等绘制出地形图的技术。

航空摄影就是将航摄仪安装在飞机上并按照一定的技术要求对地面进行摄影的过程。航空摄影是为了取得某一指定的区域的航摄资料，即航摄像片，并利用航摄资料即可测绘地形图、正射影像图以及提取数字高程模型等，也可用来识别地面目标和水利设施，了解水利资源和水利工程设施的分布。

航摄飞机在飞行过程中，由于受到空气中气流的影响，飞机很难保持平稳的飞行状态，将围绕三个轴做转动产生倾角，即围绕机身纵轴旋转的航偏角，机翼间连线转动的俯仰角，围绕飞行航向为轴转动的横滚角。根据航空摄影的特点和用户对航摄资料的使用要求，以及像片的倾角大小，航空摄影可以分为竖直航空摄影和倾斜航空摄影两种。

## 1.1 竖直航空摄影测量技术

竖直航空摄影一般指像片倾角小于  $3^\circ$  的航空摄影，是航空摄影测量中常用的一种航空摄影方式，其影像质量无论从判读或是量测方面来看，都比倾斜摄影要好。我国目前进行的航空摄影总体上还是以竖直航空摄影为主。

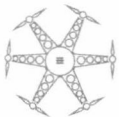
### 1.1.1 竖直航空摄影理论基础

#### 1.1.1.1 地面中心投影

航摄像片是通过航空摄影所获得的地面三维空间的二维影像信息。航空摄影测量的目的是通过地面被摄物体的影像信息来研究其空间位置和几何形状，测绘出地形图等相关产品。因此了解航摄像片与相应地面之间的关系，研究航摄像片的投影方式及其规律，是学习航空摄影测量的重要基础。

#### 1. 投影、正射投影和中心投影

假设有一组空间直线，将物体的形状沿直线方向投影到某一几何平面上，该过程称为投影，见图 1-1，假设空间直线称为投影线，投影到的几何平面称为像面，投影的结果称为像，它是投影线与像面的交点（像点）的集合。



在投影中，若投影线相互平行，这种投影称为平行投影，如果所有的投影射线相互平行且与承影面垂直，称为正射投影，见图 1-2。在投影中，若投影线汇聚于一点，这种投影称为中心投影，见图 1-3。投影线所汇聚的那个点称为投影中心。在中心投影中，任一物点与所对应的像点及投影中心均位于同一直线上，称为中心投影三点共线。

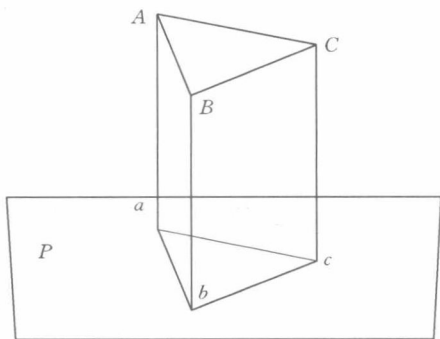


图 1-1 投影示意图

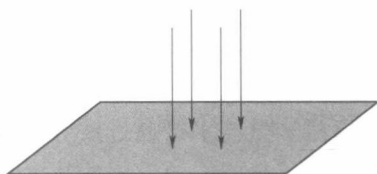


图 1-2 正射投影示意图

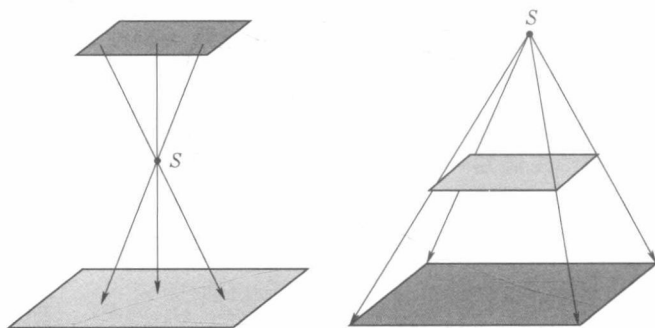


图 1-3 中心投影示意图

## 2. 航摄像片是地面的中心投影

航摄像片是地面物体通过摄影物镜，在底片平面所构成的该物体的影像，见图 1-4。所以，航摄像片从投影角度来看，是被摄物体的中心投影。在同一几何关系的中心投影条件下，中心投影有阴位和阳位之分。当投影中心  $S$  位于物、像之间时，成像片  $p$  点处于阴位，把处于阴位的像片主光轴（过  $S$  点垂直于像面  $p$  的直线）旋转  $180^\circ$ ，且沿着主光轴将像片平移至投影中心与物之间，并使其与  $S$  之距和阴位时相同，则称此时像点  $p'$  处于阳位。

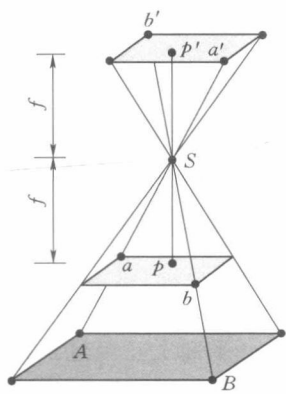


图 1-4 中心投影

## 3. 中心投影的基本点、线、面

如前所述，航摄像片是地面的中心投影，像片平面与地面平面存在着透视对应关系。在研究地面与像片之间的中心投影关系中，某些点和直线具有一定的特性，它们对于分析、确定航摄像片与被摄地面之间的数学关系和空间位置等都具有极为重要的意义，因此我们将这些点、线和有关平面称之为投影的

基本点、线和面。

### 1.1.1.2 航摄像片解析

航摄像片解析主要理论为共线方程，其主要是表达物点、像点和投影中心（对无人机航飞像片而言，投影中心通常是镜头中心）三点位于一条直线的数学关系式，是摄影测量学中最基本的公式之一。通过已知若干像点和物点，用来解算拍摄时像片的方位；通过已知立体像对两张像片的方位元素时用来解算物点坐标；通过已知像片方位和物点坐标用来计算像点坐标。

### 1.1.1.3 倾斜误差和投影误差

航摄像片是地面物体的中心投影，实际中，航摄像片一般不可能处于绝对水平的位置，而地面也总是存在着不同程度的起伏。正由于这种像片倾斜和地面起伏因素的存在，必然使得地面物体在航摄像片上的构像产生像点的移位和偏差。此类偏差称之为倾斜误差。由于地面起伏，使得高于或低于某个基准面上的地面点在像片上的构像点与该地面基准面上的垂直投影点的构像之间所产生的像点位移，称之为投影误差。

### 1.1.1.4 外方位元素

在立体摄影测量中，欲建立起一个与实地完全相似的立体几何模型，必须依靠航摄像对。很显然，要恢复、确定一个相对的两张像片在摄影瞬间的空间位置，就必须知道该像对的外方位元素。一个航摄像对的 12 个外方位元素按照其作用不同可划分为相对定向元素和绝对定向元素。

#### 1. 相对定向元素

确定一个像对的两张像片相对位置关系所需要的元素叫作相对定向元素。一个像对的相对定向元素有 5 个，这 5 个相对定向元素随着所选取的相对空间辅助坐标系的不同通常有两种表达形式。

(1) 连续像对的相对定向元素。欲恢复一个像对两张像片之间的相对位置，可以以像对的左片为基准，以左片像空间坐标系作为像空间辅助坐标系，只通过确定右片相对于左片 5 个元素来实现。由于这种相对定向元素能连续地恢复相邻或一条航线上所有投影光束之间的相对方位，故这种相对定向元素被称为连续像对的相对定向元素。

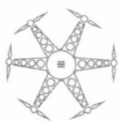
(2) 单独像对的相对定向元素。同样，欲恢复一个像对两张像片的相对位置，还可以选择摄影基线为像空间辅助坐标系的  $x$  轴，通过确定左右片的 5 个元素来实现。由于采用这种相对定向元素来确定像对两张像片的相对位置，左右光束需要分别变动才能实现。这种相对定向元素只考虑建立一个像对的立体几何模型，而不顾及相邻模型的连续性，故这种相对定向元素被称为单独像对的相对定向元素。

#### 2. 绝对定向元素

绝对定向元素是指如何获取被摄瞬间的外方位元素，是影像进行正射纠正的必经过程，通常是通过外方位元素以空中三角测量和大地测量地面控制点进行区域网平差计算求出。

(1) 空中三角测量。空中三角测量是立体摄影测量中，根据少量的野外控制点，在室内进行控制点加密，求得加密点的高程和平面位置的测量方法。其中主要方法有模拟法、解析法、航带法、独立模型法、光束法等。

(2) 大地测量地面控制点。大地测量地面控制点也称为解析法绝对定向，是通过将经



过相对定向所建立的立体模型置于地面坐标系中的过程。通过借助地面控制点（像控点）将经过相对定向的模型进行旋转、缩放和平移后，使其相对定向模型达到绝对位置。

## 1.1.2 竖直航空摄影测量关键技术

### 1.1.2.1 相机检校技术

相机检校是航空摄影测量工作中的基本组成部分，相机检校的目的是为了检校出像主点的偏移量、畸变参数等重要信息，是摄影测量应用的基础工作，相机检校的精度会直接影响后期摄影测量成果的精度。在使用普通数码相机进行航空摄影测量工作时相机检校工作更为重要，如果相机检校精度不能达到规定的要求，会直接影响整个数据后处理结果的精度。其主要检校方法有：实验室三维检校场检校、棋盘格相机自检校方法等。

### 1.1.2.2 GPS 辅助空中三角测量

随着 GPS 技术在无人机航飞方面应用的飞速发展，促进了 GPS 辅助空中三角测量技术在无人机航摄领域的发展。目前，该技术在国际和国内已用于大规模的无人机航空摄影测量的生产。在 GPS 辅助空中三角测量中，GPS 主要用于测定空中三角测量所需的地面控制点和空中航摄仪曝光时刻摄站的空中位置。GPS 辅助空中三角测量技术的基本原理是，使用机载 GPS 设备和地面 GPS 接收站同步接收 GPS 卫星信号，同时获取航空摄影瞬间航摄快门开启脉冲，通过 GPS 载波相位等相关差分定位技术，经过处理后获取物方点位和像片方位元素，从而达到以空中控制取代地面控制进行区域网平差，以达到减少或取消地面控制点的目的。

### 1.1.2.3 数字高程模型获取技术

数字高程模型（digital elevation model, DEM）是地形起伏的数字化表达，它表示地形起伏的三维有限数字序列及用三维向量来描述高程的空间分布。当数据点呈规则分布时，数据的平面位置可以由起始点的坐标和方格网的边长等少数几个数据确定下来，只需要提供行列号既可以。所以，DEM 只反映地面的高程，其数字表达方式包括矩形格网和不规则三角网等。

DEM 的获取方法主要有以下几种：

- （1）野外采集。利用自动记录的电子速测经纬仪或全站经纬仪在野外实测，以获取数据点坐标值。
- （2）在现有地图上采集。利用跟踪数字化仪对已有成果的数字化。
- （3）空间传感器。利用 GPS、SAR 和激光雷达等进行数字采集。
- （4）数字航空摄影测量法（简称摄影测量法）。摄影测量法是实际生产使用中最为普遍获取 DEM 的一种方法，其具有自动化程度高，劳动强度低等优点。

### 1.1.2.4 像片的正射校正

正射校正一般是通过在像片上选取的地面控制点，并利用已经获取的该像片范围内的 DEM 数据，对影像同时进行倾斜改正和投影差改正，将影像重采样成正射影像，并将多个正射影像拼接镶嵌在一起，进行色彩匀色处理后，按照一定范围内裁切出来的影像就是正射影像图。

## 1.2 倾斜航空摄影测量技术

### 1.2.1 主要原理与技术

倾斜摄影技术是测绘领域近些年快速发展起来的一项技术，它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，同时从一个垂直、四个倾斜等 5 个不同的角度采集影像，将用户引入了符合人眼视觉的真实直观世界。倾斜摄影按照倾角的大小可以分为低倾斜航空摄影（不包含地平线影像）和高倾斜航空摄影（像片上有地平线影像）。由于倾斜摄影具有较强的透视感，对地物的判读较为有利，但是其也有一定的局限性。首先，像片上各个部分的摄影比例尺不一致，越是接近地平线，其比例尺越小；其次，由于倾斜摄影的透视关系，其在地形起伏区域，面向航摄方向有增长现象，背向航摄方向有缩短现象，有时甚至无法显示。倾斜摄影示例见图 1-5。

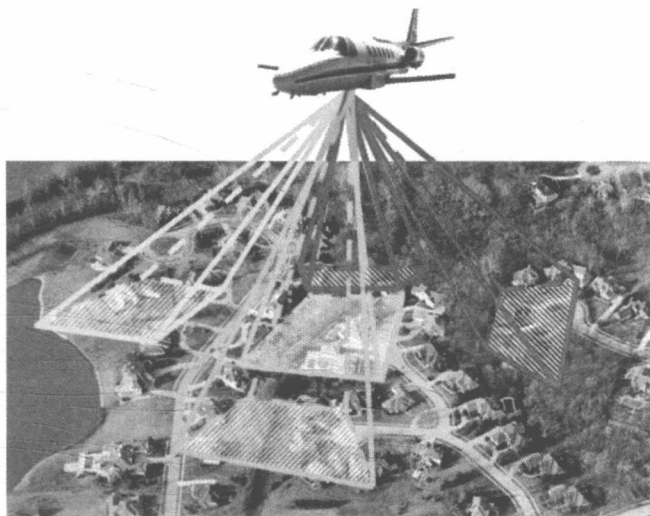


图 1-5 倾斜摄影

#### 1. 单张倾斜影像姿态恢复

(1) 地面铅垂线在影像上对应的直线均相交于像底点，其中像底点为过影像透视中心的铅垂线与影像面的交点，见图 1-6。

(2) 若成像面水平，则像底点与像主点重合。

#### 2. 基于场景约束的影像姿态恢复

(1) 根据场景约束条件，计算  $\Pi$  的方程。见图 1-7，由  $o'$  点的坐标和平面法向量表示，其中  $o'$  点的坐标为  $(0, 0, -z)$  可自定。

(2) 定义物方坐标系  $o'-x'y'z'$ 。

(3) 计算倾斜影像在所定义的物方坐标系中的外方位元素。

#### 3. 单张倾斜影像三维量测

单张倾斜影像三维量测见图 1-8，假设  $B$  点的高程已知。

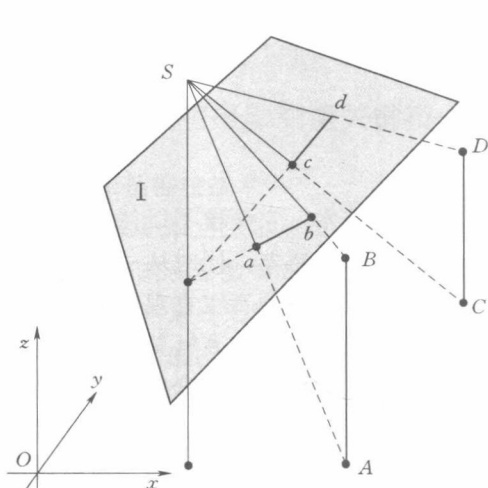
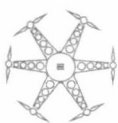


图 1-6 倾斜摄影原理

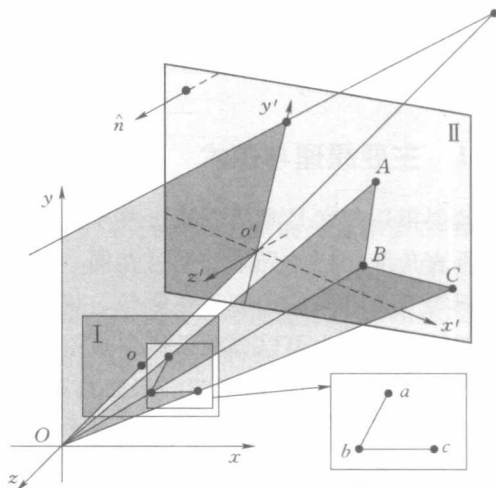


图 1-7 外方位元素

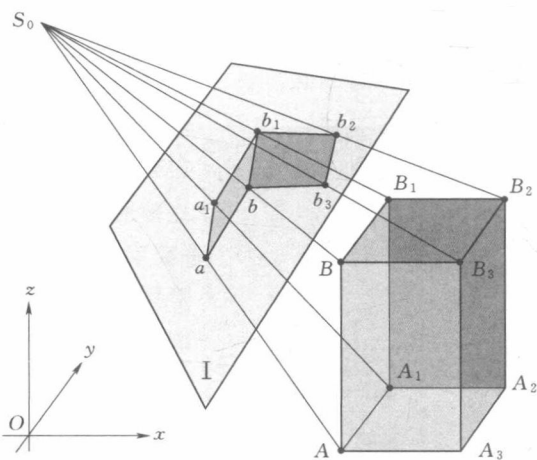


图 1-8 单张倾斜影像三维量测

(1) 可依次由共线方程计算出屋顶各角点的坐标。

(2) 点 A 与点 B 的平面坐标相同，在求出点 B 的坐标后，即可已知点 A 的平面坐标，进而由共线方程计算出点 A 的高程坐标。

(3) 由此可得出该建筑物比例不固定的模型，若任意测量一条边长，可获得建筑物真实比例模型。

#### 4. 倾斜模型生产

通过倾斜摄影方式获取倾斜影像，在经过专业软件加工处理后可以生成三维倾斜摄影模型。建模技术主要分为以下三类。

(1) 倾斜摄影结合机载雷达技术建模。由倾斜摄影提供模型纹理、由机载雷达构建模型骨架，再通过适度的人工干预生产出倾斜摄影模型，常见输出的格式有 .obj、.max 等，目前具备这种建模工艺的数据厂商有：武汉华正、东方道迩及中科遥感等。

(2) 倾斜摄影加人工干预建模。对倾斜摄影数据进行自动化建模，再通过修饰软件进行人工修饰。修饰的细节包括：模型的骨架变形、建筑物底部纹理的遮挡等。修饰后的模型成果不破坏自动化模型成果的结构。目前具有这种工艺的软件有天际航的 DP-Modeler 等。

(3) 倾斜摄影自动化建模。只通过倾斜摄影获取的多视角影像来生产模型，即 Mesh（三角网）模型。目前市场上的自动化建模软件包括街景工厂、Smart3DCapture、Altizure、PhotoScan、Pix4D、无限界等。这种模型输出的常见格式有 osgb、dae、obj、