

无人机倾斜摄影三维建模

李京伟 周金国 主 编◎

电子工业出版社版权所有
盗版必究

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

无人机倾斜摄影三维建模技术已逐渐成为建立地表精细实景三维模型的主要手段，倾斜摄影三维模型及其衍生成果已成为自然资源、规划、测绘、国防、智慧城市等行业和应用的重要基础地理信息。本书系统介绍了使用无人机和倾斜摄影方法建立精细地表三维模型方面的技术路线，以及利用无人机倾斜摄影三维模型生产标准测绘产品和开展行业应用的思路。

本书可供无人机应用相关专业的管理人员和技术人员参考，也可作为专业院校的教材使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

无人机倾斜摄影三维建模 / 李京伟，周金国主编. —北京：电子工业出版社，2022.6

ISBN 978-7-121-36182-1

· 无... · 李... 周... · 无人驾驶飞机—航空摄影测量 · P231

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 054625 号

责任编辑：关雅莉 文字编辑：张志鹏

印 刷：

装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：13 字数：332.8 千字

版 次：2022 年 6 月第 1 版

印 次：2022 年 6 月第 1 次印刷

定 价：68.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：（010）88254617，zhangzhp@phei.com.cn。

前

言

——无人机倾斜摄影三维建模全景图

自 2000 年以来,由于无人机技术的不断成熟,利用小型民用无人机作为飞行平台和利用消费级数码相机进行高分辨率航空摄影,已为地形测绘、资源调查、规划设计、环境监测、智慧城市等提供了重要的支撑。近几年来,随着倾斜摄影三维建模技术的发展,更是推动了无人机在航空摄影领域的广泛应用。

随着智慧城市的建设,对城市建筑区和周边地区的精细三维模型数据的需求不断增加,而以传统方法生产城市三维模型存在生产周期长、精细程度差、模型类型单一、真实感较差、成本费用高昂等问题,限制了三维信息在行政管理和服务中的应用。无人机倾斜摄影三维建模技术的快速发展,使得快速获取高分辨率的航空影像、高效建立精细的地表三维模型成为可能。

图 0-1 是根据当前相关技术发展的现状和行业应用需求,结合软硬件产品研发的成果和工程项目应用的实践经验,按照“构建产品体系,持续创新研发,开放系统架构,聚焦重点应用”的原则,以全景图的方式展现无人机倾斜摄影的三维建模软硬件产品和应用服务体系所涉及的 6 个方面。图 0-1 中,倾斜摄影系统、三维建模系统、智能测图系统、三维信息平台这 4 个方面是数据生产和平台服务环节,而三维地理信息系统和三维专业应用服务平台则是在此基础上的扩展应用,所有系统和应用都是围绕着标准格式的三维模型展开的,具体如下。

(1) 倾斜摄影系统:多旋翼无人机、固定翼无人机、作业技术规程、倾斜摄影相机。

(2) 三维建模系统:高性能计算集群、模型编辑软件、高性能存储集群、三维建模软件。

(3) 智能测图系统:场景编辑软件、变化检测软件、对象化软件、智能测图软件。

(4) 三维信息平台:专题数据整合系统、三维信息服务系统、互联网服务平台、三维工程设计系统。

(5) 三维地理信息系统:三维空间分析软件、三维矢量编辑软件、三维地形分析软件、对象属性编辑软件。

(6) 三维专业应用服务平台:智慧管理应用平台、智慧城市应用平台、智慧行业应用平台、智慧服务应用平台。

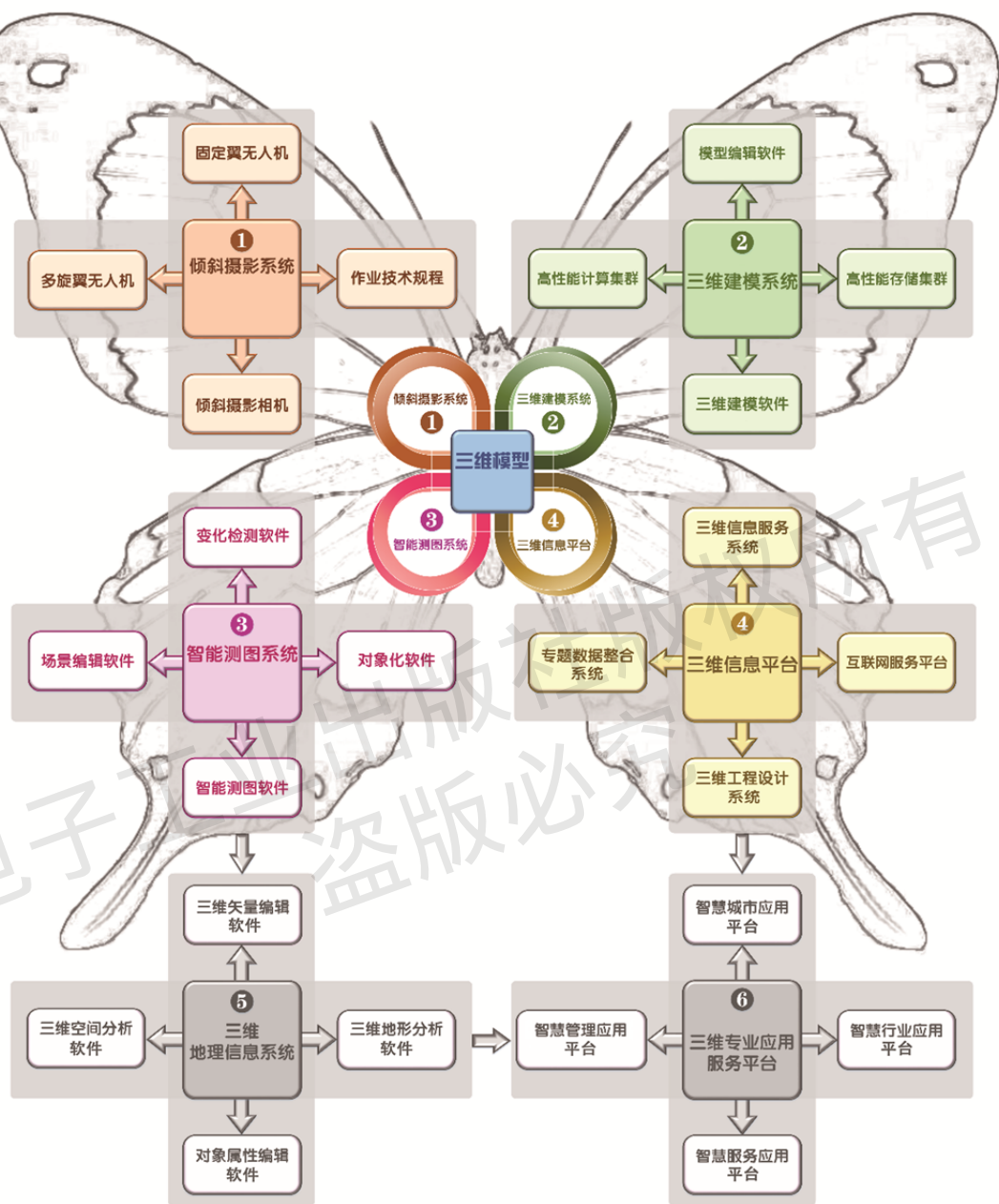


图 0-1 无人机倾斜摄影三维建模的软硬件产品和应用服务体系全景图

美国麻省理工学院气象学家洛伦兹（Lorenz）在华盛顿举办的美国科学促进会上做的一次讲演中提出：一只蝴蝶在巴西扇动翅膀，有可能会在美国的得克萨斯引起一场飓风。他的演讲和结论给人们留下了极其深刻的印象。从此以后，所谓“蝴蝶效应”（The Butterfly Effect）之说就声名远扬了。

无人机倾斜摄影三维建的模软硬件产品和应用服务体系就像是一只蝴蝶，而其对测绘领域和相关行业应用所产生的影响就好比“蝴蝶效应”。

本书主要论述使用无人机倾斜摄影方法，来建立精细地表三维模型的技术路线，以及



利用无人机倾斜摄影三维模型生产标准测绘产品和开展行业应用的思路。

本书可供无人机应用相关专业的管理人员和技术人员参考，也可作为专业院校的教材使用。

由于无人机技术和倾斜摄影技术发展较快，新技术、新产品、新方法不断涌现，书中个别内容和指标可能落后或已发生改变，请读者注意。

名词解释：

- 无人机：无人驾驶航空飞行器的一种，包括固定翼无人机、多旋翼无人机、复合固定翼无人机等类型。
- 航空摄影：利用飞机（包括直升机）、飞艇、气球等有人驾驶或无人驾驶航空飞行器，从空中对地球表面进行摄影。
- 垂直摄影：摄影机的主光轴处于铅垂线方向的航空摄影。
- 倾斜摄影：航空摄影的一种方法，也称为倾斜航空摄影。本书中提到的倾斜摄影，主要指使用无人机在一定高度，以低倾斜角度（摄影机主光轴偏离铅垂方向 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ）对地面进行的摄影。
- 倾斜摄影系统：用于倾斜摄影的相机或其组合。
- 像幅：胶片或数码相机承影面的尺寸。
- 画幅：数码相机感光传感器的尺寸。
- 像素数：数码相机传感器感光单元的数量。
- 倾斜影像：以倾斜摄影方法获取的对地观测影像。由于现在都是使用数码相机进行倾斜摄影，因此所获取的影像也称为数字倾斜影像。
- 倾斜影像三维建模：使用倾斜摄影方法获取倾斜影像，在此基础上进行精细地表三维建模的方法、过程或技术。
- 倾斜摄影三维模型：使用倾斜摄影方法获取的倾斜影像和自动建模软件建立的地表三维模型。
- 6D 产品：6 种标准数字测绘产品的简称，包括三维模型、数字表面模型、数字高程模型、真正数字正射影像图、数字线划地图、数字对象化模型。
- 航向重叠：又称“纵向重叠”，是指在航空摄影中，沿同一航线内相邻相片上具有同一地面影像部分。
- 航向重叠度：是指飞机沿航线摄影时，相邻相片之间所保持的影像重叠程度、以沿航线方向相片重叠部分的长度与航线方向上相幅长度比率，称为航向重叠度，以百分数表示。
- 旁向重叠：又称“横向重叠”，是指在航空摄影中，相邻航线之间的相邻相片上同一地区影像的重叠。
- 旁向重叠度：垂直于航线方向上的长度与垂直于航线方向上相幅的比率，称为旁向重叠度，以百分数表示。
- 空中三角测量（空三）：利用航摄相片与所摄目标之间的空间几何关系，根据少量相片的控制点，计算出相片外方位元素和其他待求点的平面位置、高程的测量方法。



- 影像地面分辨率（地面分辨率、影像分辨率）：指一个像元所代表的地面面积，通常以其边长表示。
- 绝对定向：确定相片或立体模型在物方坐标系中所处方位的过程。
- 倾斜摄影三维模型：利用倾斜摄影方法建立的三维模型。
- 计算机集群：将一组松散集成的计算机硬件连接起来，高度紧密地协作，完成计算工作。在某种意义上，计算机集群被看作一台计算机，集群系统中的单个计算机称为节点。

电子工业出版社版权所有
盗版必究

目

录

第 1 章 摄影的前世今生	001
1.1 现代摄影术的诞生	001
1.2 摄影胶片的出现	004
1.3 135 相机的兴起	005
1.4 数码相机的发明	006
1.5 航空摄影的发展	008
1.6 关于倾斜摄影	010
第 2 章 适用于倾斜摄影的飞行器	013
2.1 有人驾驶飞机	013
2.1.1 运-5 系列飞机	013
2.1.2 运-12 系列飞机	014
2.1.3 “奖状”系列飞机	015
2.1.4 “空中国王”B200 型飞机	015
2.1.5 赛斯纳 208 型飞机	016
2.1.6 皮拉图斯 PC-6 型飞机	017
2.1.7 其他类型的有人驾驶飞行器	017
2.2 有人驾驶飞机的局限性	017
2.3 多旋翼无人机的兴起	018
2.3.1 三轴三旋翼无人机	019
2.3.2 三轴六旋翼无人机	019
2.3.3 四轴四旋翼无人机	020
2.3.4 四轴八旋翼无人机	021
2.3.5 六轴六旋翼无人机	021
2.3.6 八轴八旋翼无人机	022
2.3.7 多旋翼无人机构成	022
2.4 多旋翼无人机的设计和选型要求	023
2.5 固定翼无人机在倾斜摄影中的应用	025
2.5.1 固定翼无人机倾斜摄影方法	025



2.5.2 适合倾斜摄影的固定翼无人机	027
2.6 倾斜摄影用无人机选型建议	030
2.7 无人机倾斜摄影作业效率分析	031
2.8 无人机分类	036
2.9 国内民用无人机行业现状简述	037
第3章 倾斜摄影系统	040
3.1 倾斜摄影相机的名称	040
3.2 早期的倾斜摄影相机	041
3.3 倾斜摄影重现生机	043
3.4 国外大型数码倾斜摄影系统的发展	044
3.4.1 Pictometry 倾斜摄影系统	044
3.4.2 MIDAS 倾斜摄影系统	045
3.4.3 RCD 30 倾斜摄影系统	050
3.4.4 UltraCam Osprey 倾斜数码航摄仪	053
3.4.5 Trimble AOS 倾斜摄影系统	056
3.5 国内大型数码倾斜摄影系统的发展	058
3.5.1 SWDC-5 系列数字航空倾斜摄影仪	059
3.5.2 AMC 系列倾斜数码航摄仪	063
3.5.3 TOPDC-5 倾斜数码航摄仪	063
3.6 国内轻型倾斜摄影系统的发展	064
3.7 倾斜摄影系统的传感器数量和倾斜角度	067
3.8 倾斜摄影飞行方法	069
3.8.1 标准航线敷设飞行	070
3.8.2 加密航线敷设飞行	071
3.8.3 双加密航线敷设飞行	072
3.8.4 十字交叉航线敷设飞行	072
第4章 倾斜摄影航线设计	073
4.1 倾斜摄影范围划定	073
4.2 飞行平台的选择	074
4.3 倾斜摄影系统的选择	075
4.3.1 相机数量和类型	075
4.3.2 相机倾斜角度	076
4.3.3 镜头焦距	076
4.3.4 快门速度	077
4.3.5 连续曝光周期	078
4.4 倾斜摄影航线敷设和飞行方法	079
4.4.1 标准航线飞行	079



4.4.2	加密航线飞行	081
4.4.3	双加密航线飞行	082
4.4.4	点状区域的航线设计	083
4.4.5	带状区域的航线设计	084
4.4.6	面状区域的航线设计	085
4.5	飞行参数计算示例	086
4.6	倾斜摄影分区划分原则	089
4.6.1	无人机类型及续航里程	089
4.6.2	影像地面分辨率与三维建模处理系统的性能	089
4.6.3	航摄分区划分示例	090
第 5 章	倾斜影像三维建模计算	097
5.1	倾斜影像三维建模的理论基础	097
5.2	倾斜影像三维建模的基本流程	098
5.3	倾斜影像三维建模软件简介	099
5.3.1	ContextCapture	099
5.3.2	PhotoMesh	100
5.3.3	PhotoScan	102
5.3.4	Pix4D	104
5.3.5	Altizure	105
5.3.6	Virtuoso3D	106
5.3.7	Mirage3D	107
5.3.8	Pixel Factory Neo	107
5.3.9	其他相关产品	110
5.4	倾斜影像三维建模成果格式	110
5.4.1	OSGB	110
5.4.2	OBJ	111
5.4.3	S3C	111
5.4.4	3DML	111
5.5	实景三维建模软件的选择	111
第 6 章	三维模型缺陷分析与对策	113
6.1	倾斜摄影三维模型存在的缺陷	113
6.2	水面空洞缺陷及修复	114
6.3	镜面反射缺陷及修复	116
6.4	透明玻璃缺陷及修复	118
6.5	均匀材质缺陷及修复	119
6.6	镂空物体缺陷及修复	122
6.7	建筑物密集缺陷及修复	125



6.8	建筑物凸凹缺陷及修复	127
6.9	细小结构体缺陷及修复	131
6.10	树叶的相似性导致的树木模型纹理模糊	133
6.11	影像地面分辨率低导致的模型缺陷与对策	136
6.12	影像覆盖率低导致的模型缺陷与对策	138
6.13	扁平竖立物体导致的模型缺陷与修复	139
6.14	物体移动导致的模型缺陷与修复	141
6.15	严密遮盖导致的模型缺陷与对策	142
6.16	气象因素导致的模型缺陷与对策	143
6.17	时间因素导致的模型缺陷与对策	144
6.18	季节因素导致的模型缺陷与对策	145
6.19	分块建模导致的模型缺陷与对策	147
6.20	模型缺陷产生的主要原因	149
第7章	常用坐标系统和三维模型绝对定向	150
7.1	大地坐标系	150
7.1.1	地球椭球的定义	150
7.1.2	常用坐标系统简述	151
7.1.3	1954 北京坐标系	152
7.1.4	1980 西安坐标系	153
7.1.5	新 1954 北京坐标系	154
7.1.6	2000 国家大地坐标系	154
7.1.7	WGS-84 坐标系	155
7.1.8	独立坐标系	155
7.2	高程系统	156
7.2.1	正高系统	156
7.2.2	正常高系统	156
7.2.3	大地高程系统	156
7.2.4	力高系统	157
7.2.5	地球位数	157
7.2.6	1985 国家高程基准	157
7.3	地图投影	158
7.3.1	高斯-克吕格投影	160
7.3.2	通用横轴墨卡托投影	163
7.3.3	高斯-克吕格投影与 UTM 投影的坐标换算	165
7.4	经常使用的坐标系统	165
7.5	地球曲率对三维模型的影响	166
7.6	倾斜摄影三维模型的绝对定向	168
7.6.1	绝对定向之前定向	169



7.6.2 绝对定向之后定向	169
第 8 章 基于三维模型的测绘产品生产	170
8.1 新 6D 产品的定义	170
8.2 新 6D 产品的生产流程	171
8.3 生产技术设计	172
8.4 倾斜摄影飞行	173
8.5 倾斜摄影三维建模	173
8.6 外业控制点测量	174
8.7 三维模型产品及生产流程	175
8.8 数字表面模型产品介绍及生产流程	177
8.9 数字高程模型产品介绍及生产流程	178
8.10 真正数字正射影像图产品介绍及生产流程	181
8.11 数字线划地图产品介绍及生产流程	182
8.12 数字对象化模型产品介绍及生产流程	185
第 9 章 无人机倾斜摄影项目实施	187
9.1 项目实施的主要流程	187
9.2 案例项目基本情况	188
9.3 案例项目实施主要流程	189
9.3.1 确认项目要求	189
9.3.2 收集整理分析资料	190
9.3.3 编写项目实施计划书	190
9.3.4 编写技术设计书	191
9.3.5 倾斜摄影飞行	192
9.3.6 外业控制点测量	192
9.3.7 倾斜影像三维建模	192
9.3.8 测绘产品生产	192
9.3.9 编写总结报告	193
9.3.10 成果交付	193

第 1 章 摄影的前世今生

摄影一词源于希腊语 φῶς(phos ,光线) γράφει(graphis ,绘画、绘图)或 γράφη(graphê), 两个单词含在一起的意思是“以光线绘图”。

摄影是指使用某种专门设备进行影像记录的过程,现在一般使用胶片照相机或数码照相机进行摄影。摄影也被称为照相,是指通过物体所反射的光线使感光介质曝光的过程。

摄影之所以诞生,就是为了记录。它诞生之后所显示出来的强大的生命力,也恰恰在于它的记录功能,这是其他技术或艺术所无法比拟或取代的。因此,从广义上说,摄影就是记录。摄影也是自然科学与社会科学交汇的结晶,是了解、认识、反映社会现实的形象化手段。

1.1 现代摄影术的诞生

现代意义上的摄影技术始于 1826 年。1826 年,法国人约瑟夫·尼埃普斯在房子顶楼的工作室里,成功地拍摄了世界上第一张永久保存的照片《窗外景色》,如图 1-1 所示。该照片现收藏于美国得克萨斯大学奥斯汀分校哈利兰森中心。当时尼埃普斯使用的制作工艺是在白蜡板上敷上一层薄沥青,然后利用阳光和原始镜头,拍摄窗外的景色,曝光时间长达 8 小时,再经过薰衣草油的冲洗,才获得了这张照片。尼埃普斯把他这种用日光将影像永久地记录在玻璃和金属板上的摄影方法称作“日光蚀刻法”,又称“阳光摄影法”。尼埃普斯的摄影方法,比达盖尔早了十几年,实际上是摄影术的发明者,只是由于保密的原因而一直拒绝公开,也就未获得公认。

科学家杜森·斯图里克说:“如果你想一想照片的整个历史,还有胶片和电视的发展,就会发现,它们都是从这第一张照片开始的。这张照片是所有这些技术的老祖宗,是源头。也正因如此,它才那么令人激动。”

1839 年 1 月 7 日,路易斯·达盖尔发明的“银版摄影法”在法国科学院和法国美术学会的联合会议上被首次公布,达盖尔(左)和他于 1837 年拍摄的照片《工作室一角》(右)如图 1-2 所示。1839 年 8 月 19 日,法国政府在获得了“银版摄影法”的专利后,向全世界公开了这项发明,并出版了完整的工作指南,引起了巨大的轰动,并迅即得以广泛使用。所以,1839 年 8 月 19 日被世界公认为世界摄影日。



“银版摄影法”的发明，使人类第一次掌握即时捕捉、永久固定和长期保存外界影像的能力，使摄影成为人类在绘画之外保存视觉图像的新方式，并逐步发展成为世界上一种艺术与传递信息的重要媒介。由此开辟了人类视觉信息传递的新纪元，也使路易斯·达盖尔成为举世公认的“摄影之父”。

1839 年，英国天文学家约翰·赫雪尔博士首次提出了“Photography”（摄影）这个词，包括 Negative（底片）、Positive（正片）、Snapshot（快照）等名字也是由他首先提出的。

1841 年，英国皇家学会会员亨利·塔尔博特发表了“卡罗摄影法”，塔尔博特（左）和他于 1835 年拍摄的现存最古老的纸基负片（右）如图 1-3 所示。塔尔博特在 1834 年就发现了卤化银的感光性能和碘化钾、浓盐水对影像的定影作用，并用自己的方法得到了一些可以保存的树叶和羽毛之类的纸质片基照片。1835 年，他在拍摄过程中第一次获得了负像画面，并且可以把所得到的黑底白图像的负相片与另一张未感光的感光材料的药面相贴，然后通过曝光、显影、定影，得到了多张与原物影像一致的正相片。这种摄影法对后来的摄影技术有着深远的影响，并沿用至今。

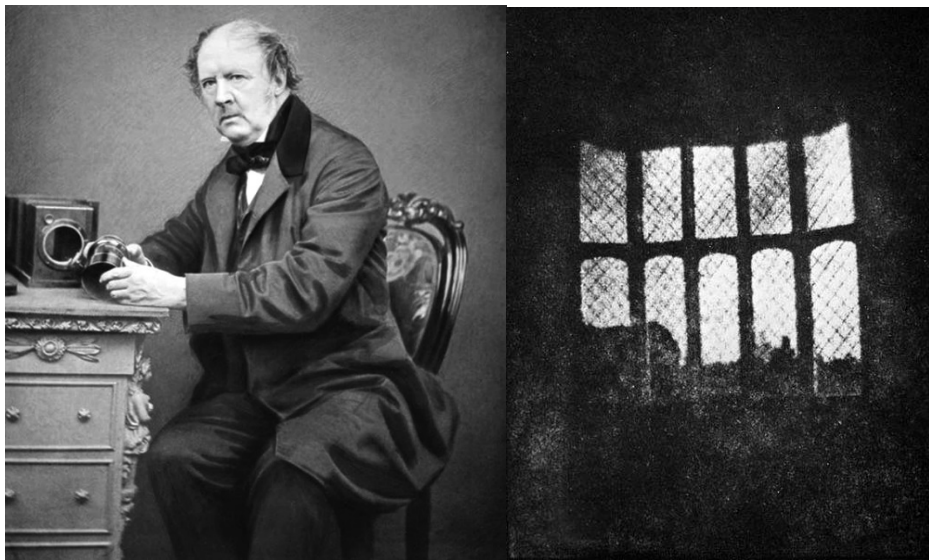


图 1-3 塔尔博特（左）和他于 1835 年拍摄的现存最古老的纸基负片（右）

1847 年，法国人尼埃普斯·维克多利用玻璃感光板代替塔尔博特所用的感光纸，为整个近代的负像转正像摄影法奠定了基础。

但达盖尔和塔尔博特所采用的感光材料都存在一个共同的缺点就是感光度很低，感光时间往往要几十分钟，因此，对拍摄对象的选择受到了很大的限制。1851 年，英国伦敦的雕塑家阿切尔发现了一种新的摄影方法——将硝化棉溶于乙醚和酒精，制成火棉胶，再把碘化钾溶于火棉胶后马上涂在干净的玻璃上，装入相机进行曝光，经显影、定影后得到一张玻璃底片，这种摄影方法被称为“火棉胶摄影法”。“火棉胶摄影法”的操作虽然麻烦，但成本低，不到“银版摄影法”的 $1/10$ ，曝光速度比“银版摄影法”的快，影像清晰度也高，玻璃底片又可以用来大量印制照片。“火棉胶摄影法”使感光材料发生了质的飞跃，取代了达盖尔和塔尔博特所采用的感光材料，自 1851 年问世以后，此摄影方法流行了 20 多年，成为摄影史上一个比较重要的历史时期。“火棉胶摄影法”的唯一缺点是拍摄和冲洗必须在火棉胶未干燥前约 20 分钟之内进行。因为火棉胶干燥后不透水，药液无法发挥作用，所以又被称为“湿版摄影法”。它的这个缺点给摄影者带来极大的麻烦，特别是外出拍摄，除了携带摄影机和三脚架，还必须携带化学药品、暗室帐篷及其他冲洗用具，使许多摄影爱好者不敢采用。直到 1871 年，英国一名医生兼业余摄影爱好者理查德·马多克斯发明感光“干版”之后，“湿版摄影法”很快就销声匿迹了。

1880 年，在美国纽约州罗彻斯特市有一位用“湿版摄影法”的年轻人乔治·伊斯曼对当时不够完善的、由马多克斯发明的卤化银明胶乳剂技术进行了两年多的研究后，取得了很大进展，注册了美国伊斯曼干版和胶片公司（Eastman Dry Plate & Film Co.）。1884 年，伊斯曼干版和胶片公司生产了用于大型座机的伊斯曼—沃克（Eastman-Walker）胶片盒，内装一卷纸基明胶乳剂胶卷，经拍摄、冲洗之后，用油涂在纸基上，当纸基变得透明后，就可用于印制照片。1885 年，伊斯曼干版和胶片公司研制了纸基剥膜胶卷，在胶卷冲洗过程中，明胶乳剂从纸基上移到玻璃等透明材料上，用来印制照片。1888 年的柯达相机广告（左）和乔治·伊斯曼（右）如图 1-4



所示。

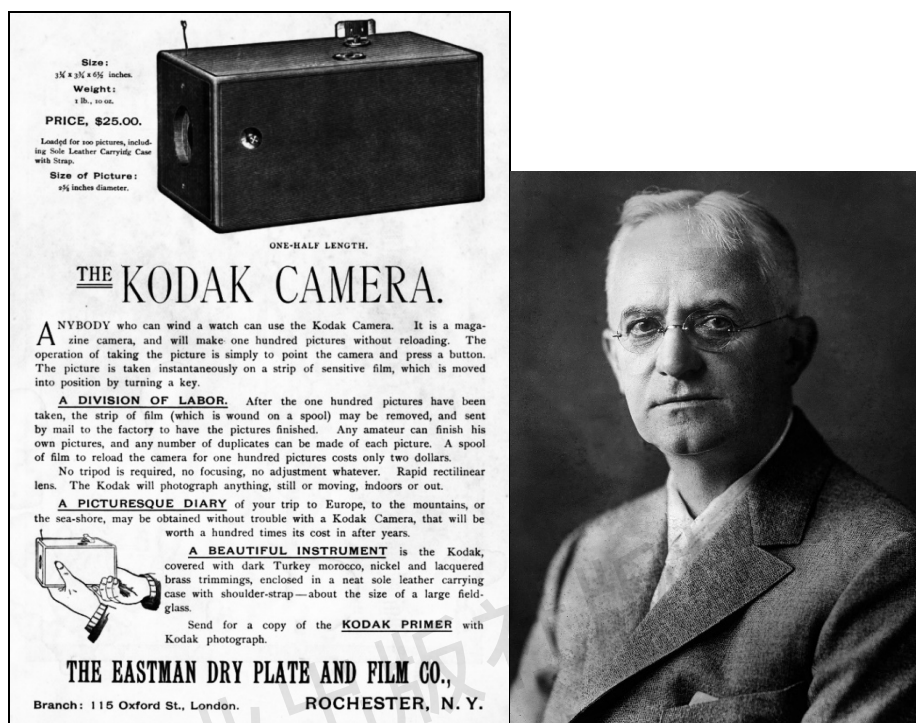


图 1-4 1888 年的柯达相机广告（左）和乔治·伊斯曼（右）

1.2 摄影胶片的出现

早期的伊斯曼胶卷冲印起来虽然比“湿版摄影法”容易了很多，但与后来的胶卷冲印相比仍颇为费事。能将感光明胶乳剂涂覆在极薄的可卷曲的透明材料上并通过很简单的工艺就能得到高品质的照片这一设想最早是由美国一位牧师出身的科学家汉尼巴尔·古德温提出来的。

1869 年，美国化学家约翰·海厄特发现在硝化纤维中加入樟脑时，硝化纤维竟变成了一种柔韧性相当好的、硬而不脆的材料，在热压下可制成为各种形状的产品，他将这种材料命名为“赛璐珞”（Celluloid 的音译）。1888 年，海厄特生产出了只有 0.254mm 厚的透明硝化纤维（赛璐珞）片材。同年，伊斯曼干版和胶片公司开始采用赛璐珞作为片基，试制出了新型赛璐珞透明片基胶卷，使该公司成为世界上首家商业化生产赛璐珞胶卷的公司。但由于硝化纤维极易燃烧、稳定性差、易开裂等问题，这种片基材料到了 20 世纪 50 年代后被新的醋酸纤维、涤纶等透明片基材料所取代。

伊斯曼干版和胶片公司为了尽快推广和普及新型胶片，于 1888 年研制并生产了首台只使用胶卷的方形箱式相机。这种相机使摄影只需 3 个步骤，即摄影者拉动快门、卷动胶卷、按下按钮。乔治·伊斯曼也费尽心思地创造了简短的英文“The Kodak”（柯达）作为该相机的名称。柯达相机取得了成功，也成为了相机的代名词。1892 年，伊斯曼意识到了柯达



这个名字已经深入人心，于是将他的公司改名为伊斯曼·柯达公司。从此以后，摄影进入了胶片时代。

早期使用“干版摄影法”或“湿版摄影法”的相机种类较多，承影面的尺寸各不相同，为了满足各种类型相机的需要，柯达公司生产了多种尺寸的胶片。其中最著名的就是1934年开始生产的编号为135的卷状胶片，即135胶卷。

1.3 135相机的兴起

19世纪末，电影业已在欧美兴起，在各式各样的电影胶片中，以宽度为35mm、两边带有齿孔规格的胶片最为流行，其画面尺寸为18mm×24mm，35mm电影胶片规格如图1-5所示。

1891年，在美国爱迪生实验室工作的威廉·迪克森设计出最早的电影摄影机，并将伊斯曼干版和胶片公司生产的70mm宽的胶片裁切成35mm宽的胶片用于摄影，对所得的35mm胶片进行打孔，由此奠定了35mm电影胶片的重要地位。

1913年，出于减轻相机重量和便于携带的目的，德国徕兹（Leitz）显微镜工厂的设计师奥斯卡·巴尔纳克试制出了首架使用35mm电影胶片且画面尺寸为电影画面尺寸双倍规格（24mm×36mm）的小型相机原型，命名为Ur-Leica（徕卡原型），Leica是Leitz Camera的缩写。Ur-Leica相机（左）和35mm胶片的画面尺寸（右）如图1-6所示，这款相机大大减小了体积和重量，使摄影主流逐步转向纪实摄影，并迅速被大众接受，开辟了相机发展的新时代。但由于受第一次世界大战的影响，徕卡I型相机直到1925年才正式生产。

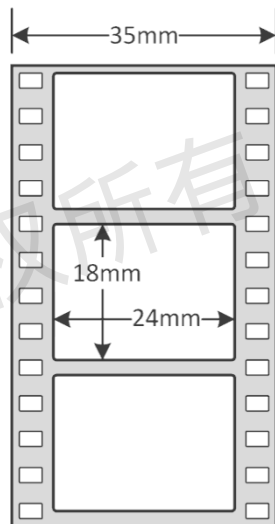


图1-5 35mm电影胶片规格

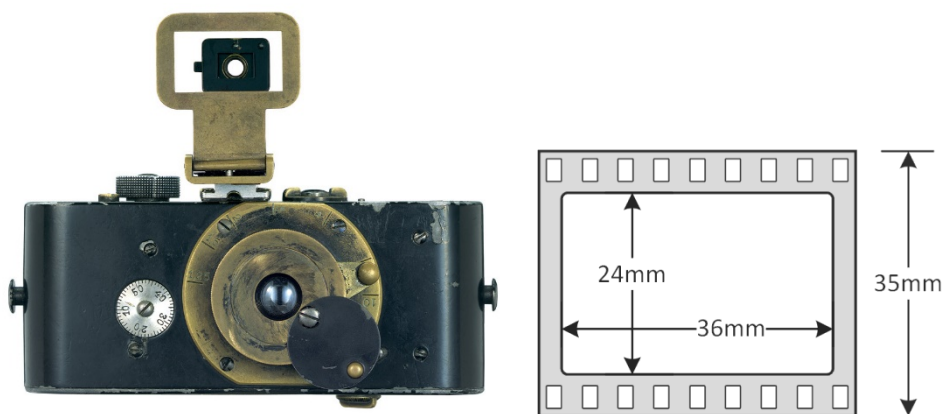


图1-6 Ur-Leica相机（左）和35mm胶片的画面尺寸（右）

徕卡相机诞生的初期并未受到人们的重视，因为当时的胶片颗粒较大，画面尺寸较小，放大效果不是很好。另外，那时35mm胶卷的胶片盒与胶片是分开销售的，胶片盒的规格



由相机厂家自行定义。用户需要购买胶片盒后，在暗房中将电影胶片的片头剪去，再自行装配、卷片。当时的胶片盒被设计为可重复利用，虽然降低了使用成本，但使用起来较为烦琐，在技术上形成了一道障碍，制约着普通消费群体的使用。尽管如此，徕卡相机因其小巧、方便等一系列优点，仍然显示出了强大的生命力。

1931 年，美国柯达公司在德国开始制造瑞丁纳相机，并配套生产了宽度为 35mm、长度为 160cm、两边打孔的卷状感光胶片胶卷。这种胶卷虽是通用的电影胶片，但其内部装有芯轴，外层包有一段护纸，可在白天装入徕卡式专用暗盒，使用比以前方便。1936 年之后，随着黑白胶片质量的提高，特别是彩色 135 胶卷在市场上出现，原来那种装片方式显然很不适应。因此，从 1938 年起，通用暗盒的 135 胶卷便应运而生了。这种胶卷采用 35mm 的电影胶片（宽度为 35mm），因此，又通称 35mm 胶卷。又因为这种胶卷从徕卡相机开始应用，故又称作徕卡型胶卷。

柯达公司从 1895 年开始研制胶片，第一种胶片编号为 101，至 1916 年依次编至 130。1934 年生产的 24mm×36mm 胶片的编号为 135 号，135 即为此种胶片产品的序列编号。后来大家就公认把 35mm 胶卷称为 135 胶卷，把使用 135 胶卷的相机称为 135 相机。

而现在针对数码相机所说的“全画幅”就是指数码相机传感器的幅面尺寸为 24mm×36mm。

1.4 数码相机的发明

世界上第一台数码相机诞生在美国纽约州罗彻斯特市的柯达应用电子研究中心，时间是 1975 年，由柯达公司的史蒂文·赛尚发明，赛尚也因此被称为“数码相机之父”。

1973 年的一天，柯达公司的一位主管和赛尚进行了一次简短的交谈，提到有一种硅材

料能够感光，这对赛尚触动很大。赛尚是一个相机爱好者，一直以来都希望设计和制造一台全电子相机。当时，他正在开发一个“手持电子相机”的项目，这个项目是在传统相机的基础上开发出一种不依靠胶卷，直接通过感光元件记录影像的相机。但他遇到了瓶颈——如何才能把光学影像转化为数字信号。硅材料的提示让赛尚想到了 CCD（电荷耦合器件）。CCD 诞生于 1969 年的贝尔实验室，是一种能够实现把光学影像转化为数字信号的元件，它的发明为数码相机的诞生奠定了基础。



图 1-7 史蒂文·赛尚和第一台数码相机

1975 年，赛尚使用美国飞兆半导体公司的 CCD 图像传感器研制了第一台数码相机，如图 1-7 所示，并通过这台相机拍摄到了 10 000 像素的黑白反转影像“一个孩子和一条狗”。

该相机的主要技术参数如下。

- 尺寸：8.25 英寸长，6 英寸宽，8.9 英寸高（20.9cm×15.2cm×22.5cm）。
- 重量：8.51 磅（约 3.9 千克）。



- 电源：16 节 AA 电池。
- 影像分辨率：100 像素×100 像素，4 位灰度。
- 影像传感器：Fairchild 201100 型 CCD 阵列。
- 磁带记录机：Melodyne 低功耗数码磁带记录机。
- 存储设备：标准 300 英尺飞利浦数码磁带。
- 曝光时间：50ms。
- 记录一张影像的时间：23s。
- 记录密度：423 位/英寸。
- 影像容量：每盒磁带存储 30 张照片。

赛尚使用的图像显示装置如图 1-8 所示，左边是盒式磁带机，中间是微型计算机，右边是电视机。电视显示的图像是“一个孩子和一条狗”。

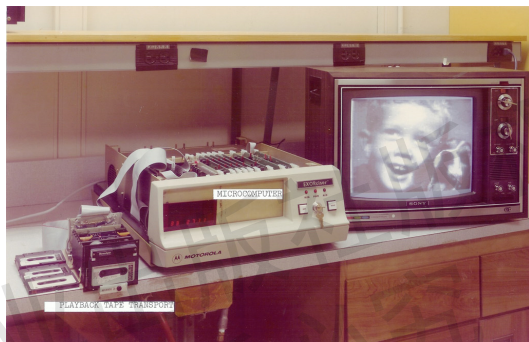


图 1-8 赛尚使用的图像显示装置

当时，柯达公司在“手持电子相机”项目的最后总结中写道：“创造出了一部无胶卷手持照相机，通过电子方式拍摄黑白影像，并将它们记录到不太昂贵的音频级盒式磁带上。磁带能从相机取下，并插入播放设备，以便在电视上观看。”

从 20 世纪 70 年代末至 80 年代初，柯达公司获得了 1 000 多项与数码相机有关的专利，奠定了数码相机的架构和发展基础，让数码相机一步步走向实用。1995 年，柯达公司发布了首款民用消费型数码相机柯达 DC40 如图 1-9 所示，标志着数码相机民用市场的启动。



图 1-9 首款民用消费型数码相机柯达 DC40

从 20 世纪 50 年代开始，日本的公司把电子技术逐步带入摄影领域。它们运用计算机设计出了优秀的镜头和光学系统，改进了使用 35mm 胶片的高品质相机。同时，他们还利用由美国的计算机行业和航天工业所发展起来的微电子学和计算机芯片，设计出了高灵敏测光系统、自动曝光和自动聚焦系统，推动了数码相机技术的发展。

在这之后，柯达、索尼、尼康、佳能、徕卡、哈苏、富士等公司相继推出了多种型号的数码相机，并逐步取代了胶片相机。数码相机的传感器尺寸和像素数也随着技术的不断进步有了质的飞跃。



目前，用于无人机航空摄影或倾斜摄影的数码相机传感器的画幅主要有中画幅、全画幅、APS 画幅等几种，几种常见的数码相机传感器的尺寸如图 1-10 所示（图中的百分数为各数码相机传感器面积与 35mm 全画幅数码相机传感器面积之比）。一般来说，数码相机传感器的画幅越大具备的像素数量越多，而在相同像素数量下，更大画幅的数码相机传感器也会带来更好的成像质量。数码相机传感器的画幅越大，相机的重量也就越大，价格也就越高。中画幅数码相机传感器的像素数量可以达到 5 000 万~1 亿，35mm 全画幅数码相机传感器的像素数量一般在 2 400 万~5 000 万，APS 画幅数码相机传感器的像素数量一般在 1 600 万~2 400 万。

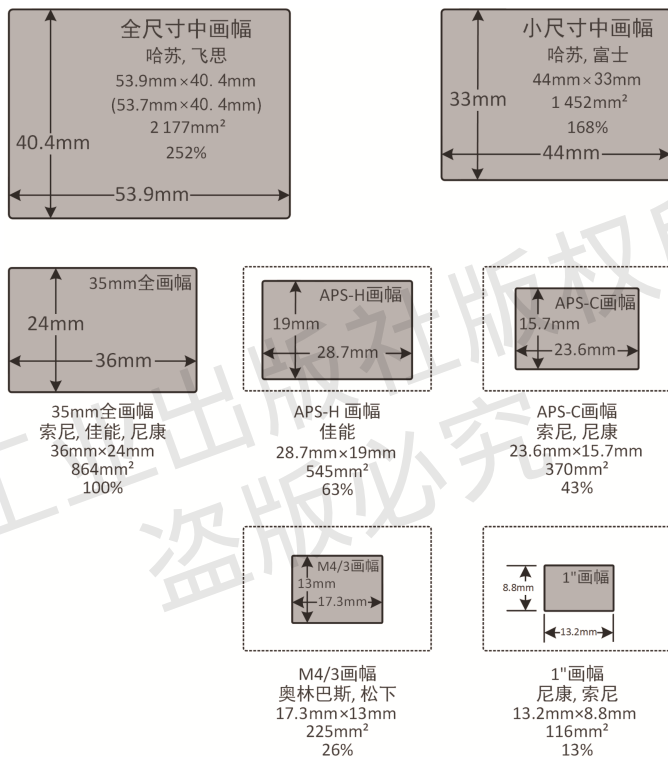


图 1-10 几种常见数码相机传感器的尺寸

对航空摄影和倾斜摄影来说,为了保证影像质量,数码相机传感器的画幅不应小于 APS 画幅，像素数量不应低于 2 400 万。

1.5 航空摄影的发展

最早尝试在空中对地面进行摄影的是法国摄影师纳达尔，1858 年纳达尔成功地从热气球上拍摄了第一张航空摄影照片，但并未留存下来。

继纳达尔之后，人们不断地探索利用各种类型的飞行器和相机从空中对地面进行摄影，以满足不同的需求。早期的航空摄影几乎都是由飞行员或专业的摄影师手持笨重的照相机进行拍摄的，并没有专门用于空中摄影的装置，因此航空摄影的照片多数是倾斜



摄影照片。除了少量的空中摄影属于娱乐和商业用途，更多的则是为了军事目的进行的空中侦察。而由于倾斜摄影可以在远离敌方阵地的空中进行摄影，且倾斜摄影照片比垂直摄影照片具有更好的判读效果，所以更加适合对敌方阵地进行侦察。倾斜摄影照片一直作为观赏、全景俯瞰、侦察、制图、调查等应用模式存在。纳达尔及其航空摄影宣传画如图 1-11 所示。

而现存最早的航空摄影照片，可能是由摄影师詹姆斯·华莱士·布莱克与热气球先驱塞缪尔·阿切尔·金于 1860 年 10 月在热气球上拍摄的，这张照片名为“Boston, as the Eagle and the Wild Goose See It”(波士顿，如鹰和大雁所见)。这张波士顿航空摄影照片就是一张典型的倾斜摄影照片，如图 1-12 所示。拍摄时热气球的飞行高度是 630m。



图 1-11 纳达尔及其航空摄影宣传画



图 1-12 波士顿航空摄影照片

第一次世界大战(1914—1918 年)期间，航空摄影成为军事侦察的重要手段之一。参战国配备了多种类型的热气球、飞机并搭载了航空相机，用于对敌方阵地进行航空摄影，以了解和掌握对方阵地的形态和部队的部署。第一次世界大战期间美国的一支热气球航空摄影队和所使用的航空摄影机如图 1-13 所示，第一次世界大战期间使用飞机进行航空摄影的情景如图 1-14 所示。



图 1-13 第一次世界大战期间美国的一支热气球航空摄影队和所使用的航空摄影机

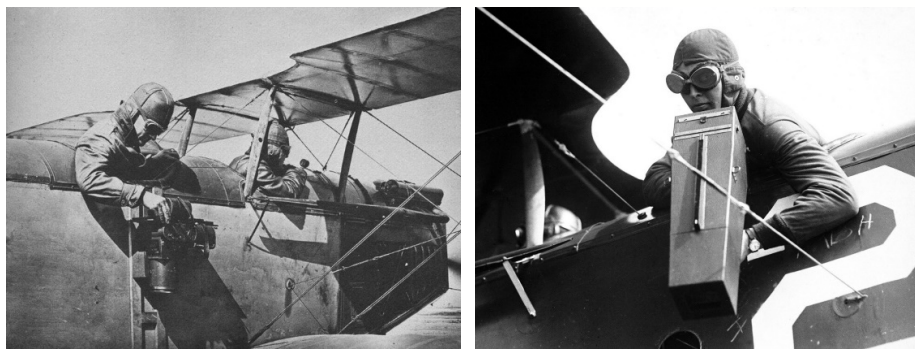


图 1-14 第一次世界大战期间使用飞机进行航空摄影的情景

航空摄影主要目的是绘制地形图。为了提高绘图的精度，降低了绘图装置的复杂度，逐步形成了一系列以垂直摄影照片为基础的地形图测绘方法和技术标准，即航空摄影测量学。而航空摄影也逐步成了现代测绘技术的一个重要组成部分。

2000 年以前的测绘航空摄影，主要使用的是大画幅的胶片航空相机，包括早期的 18cm×18cm 画幅和后期的 23cm×23cm 画幅。2000 年以后，随着多种数码航空相机的推出和数字影像处理技术的不断进步，无论是线阵 CCD 推扫式、多面阵 CCD 拼接式的数码航空相机，还是单一面阵 CCD 的专业数码航空相机，其作业效率和影像质量已经明显超越了传统的胶片航空摄影机。2014 年以后，我国基础的测绘工作已经全面采用数码航空相机来获取地形图生产所需的航空影像。

与此同时，更多的测绘单位和用户，对民用数码相机在测绘领域的应用进行着持续的探索和研究，特别是伴随着无人机应用的推广，使得从高分辨率航空影像的获取逐步过渡到了以无人机（无人驾驶飞行器）为主要飞行平台的全新时代。

虽然民用数码相机传感器的尺寸较小，无人机平台的稳定性不高，但是凭借使用的便利性和较高的性价比，以及随着相关影像处理软件和数字摄影测量软件的持续改进，利用无人机和民用数码相机进行高分辨率航空摄影和大比例尺（1:500 ~ 1:2 000）的地形图测绘已成为当前的主要测绘方法。而以建立精细地表三维模型为目的的倾斜摄影三维建模技术的出现，又进一步提高了无人机和民用数码相机在测绘领域中的地位。

1.6 关于倾斜摄影

倾斜摄影是航空摄影的一种方法，也称为倾斜航空摄影。进行倾斜摄影时，相机（或航摄仪）的主光轴与铅垂线保持特定的倾斜角度和方向，对地面进行摄影，以获取具有一定倾斜角度（相机的主光轴与投影中心垂线方向的夹角）的地面的倾斜影像（照片）。至于倾斜多少度就算是倾斜摄影，并无具体的规定，垂直摄影（中）和倾斜摄影（左和右）如图 1-15 所示。

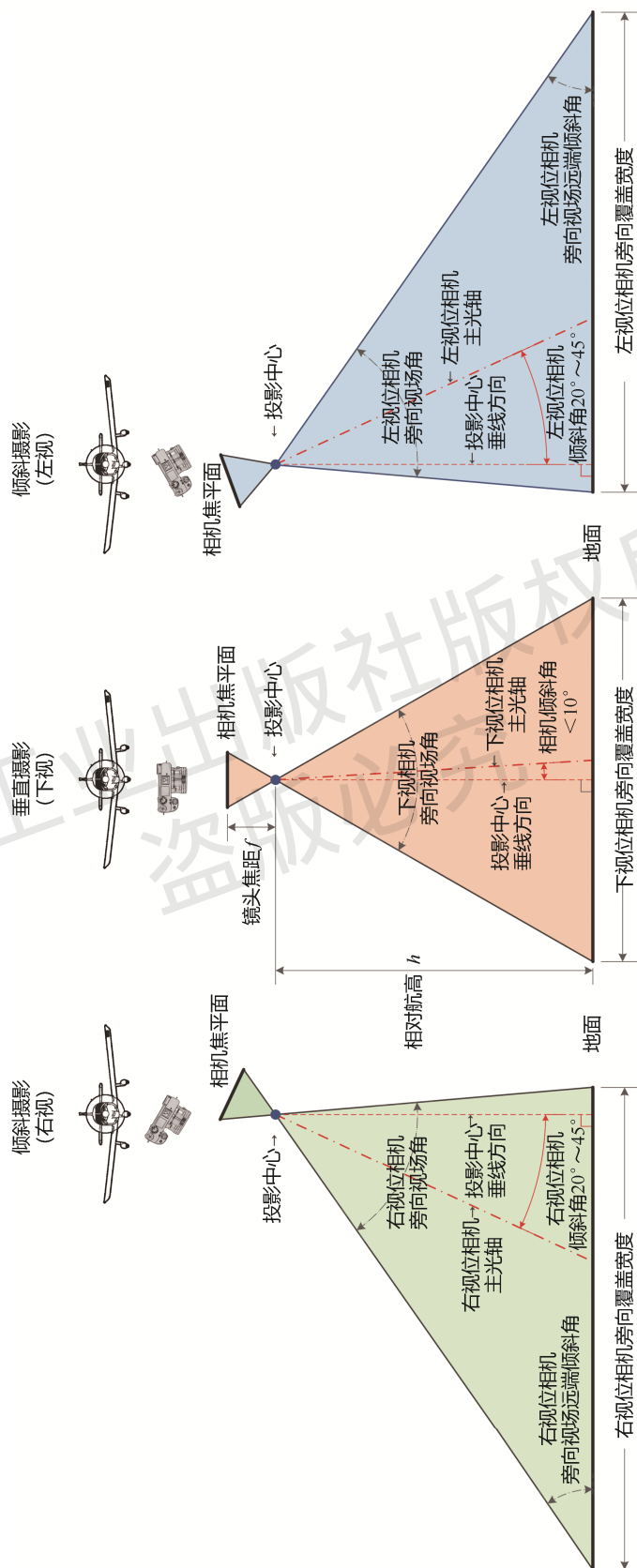


图 1-15 垂直摄影 (中) 和倾斜摄影 (左和右)



倾斜摄影分为高倾斜角摄影和低倾斜角摄影两类。高倾斜角摄影的倾斜角一般在 45° 以上，影像中会出现明显的地平线；低倾斜角摄影的倾斜角一般在 45° 以下，影像中不会出现地平线。用于建立地表三维模型的倾斜摄影一般采用低倾斜角，倾斜角度约为 $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。

电子工业出版社版权所有
盗版必究