

大面阵数字航空摄影

原理与技术

Principle and Technology of
Omo-array Digital
Aerophotogrammetry

刘先林 邹友峰 郭增长 著





大面阵数字航空摄影 原理与技术

Principle and Technology of
Omo-array Digital
Aerophotogrammetry

刘先林 邹友峰 郭增长 著

河南科学技术出版社

· 郑州 ·

内容提要

本书是国内首部介绍大面阵数字航空摄影原理与技术的专著,重点阐述了大视场高精度几何标定理论和多中心投影影像单中心化理论,首创了大视场高精度几何标定技术,多中心投影影像 1/5 像元级的影像拼接技术,高精度数字航空影像获取飞行控制技术,新型云台稳定、内置检影、电动旋像技术,设计了大面阵数字航空摄影装备的整体研制方案。

本书可为从事大面阵数字航空摄影的研究人员和工程技术人员提供参考,也可供摄影测量专业的研究生、本科生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

大面阵数字航空摄影原理与技术/刘先林,邹友峰,郭增长著. —郑州:河南科学技术出版社,2013.7

ISBN 978-7-5349-6354-4

I. ①大… II. ①刘… ②邹… ③郭… III. ①数字照相机-航空摄影-摄影技术
IV. ①TB869

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 115543 号

出版发行:河南科学技术出版社

地址:郑州市经五路 66 号 邮编:450002

电话:(0371) 65788624 65788613

网址:www.hnstp.cn

策划编辑:王向阳

责任编辑:王向阳

责任校对:张景琴

封面设计:张 伟

责任印制:朱 飞

印 刷:河南省瑞光印务股份有限公司

经 销:全国新华书店

幅面尺寸:210 mm × 285 mm 印张:12.5 字数:300 千字

版 次:2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价:168.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系并调换。

前 言

地理信息产业是当前国内外的重大发展领域。大面阵数字航空影像是国家 1:500 ~ 1:10 000 地形图测绘、基础地理信息快速更新的主要数据源,其获取技术是实现信息化测绘的关键技术。长期以来,我国大面阵数字航空影像的获取完全依赖国外的仪器设备(如 DMC、UCD、UCX 等),这些进口设备价格昂贵、检测维修困难,存在测绘信息安全隐患;用于中小比例尺地形图测绘时,航高大,效率低,适合飞行的天数少;用于大比例尺地形图测绘时,高程精度低,不满足规范要求。这些情况严重制约着我国测绘地理信息产业的发展。

河南理工大学、中国测绘科学研究院、北京四维远见信息技术有限公司等单位产学研紧密合作,开展了 10 余年的攻关,研究了大视场高精度几何标定理论,多中心投影影像单中心化理论;攻克了大视场高精度几何标定技术,多中心投影影像 1/5 像元级的影像拼接技术,高精度数字航空影像获取飞行控制技术,新型云台稳定、内置检影、电动旋像技术;创新研制出国内首台大面阵数字航空摄影仪——SWDC (Si Wei Digital Camera)。研究成果从根本上改变了我国中小比例尺地形图测绘主要依靠胶片摄影、大比例尺地形图主要依靠野外测绘的作业方式;解决了无人区、极其困难地区的地形图测绘难题;打破了数字航空影像获取完全依赖国外仪器设备的局面,填补了国内空白;性能指标优于国外同类产品水平,

提升了我国航空摄影测量的技术水平。

本书所涉及的研究工作先后得到了科技部 863 重点项目 (2008AA121303), 科技部中小型科技企业创新基金项目 (02C26231100512), 国家测绘局基础测绘研究项目 (14601402024 - 01 - 02、14699906242 - 01 - 04), 河南省科技攻关项目 (0524220043), 河南省基础与前沿技术研究计划项目 (132300410118) 和 2013 年度国家出版基金资助项目 (天文学、地理科学类第 2 号项目) 等的资助。撰写本书时, 中国测绘科学研究院刘先林院士、河南理工大学刘昌华教授执笔第 1 章, 河南理工大学李天子讲师执笔第 2 章, 河南理工大学邹友峰教授、河南理工大学李天子讲师执笔第 3 章, 安徽理工大学郭辉讲师执笔第 4 章, 河南理工大学王宏涛讲师执笔第 5 章, 河南理工大学郭增长教授执笔第 6 章。全书由刘先林、邹友峰、郭增长、刘昌华等统稿。中国测绘科学研究院王留召副教授、中国测绘科学研究院李健博士、河南理工大学王双亭教授等对本书的撰写给予了大力支持和帮助; 中国测绘科学研究院、北京四维远见信息技术有限公司和北京天元四维有限公司的相关领导和研究人员, 特别是北京四维远见信息技术有限公司的吴晓明、李峰、王成龙工程师和北京天元四维有限公司的吴文静工程师对数据的收集、处理做了大量工作; 河南理工大学成晓倩、韩瑞梅在资料收集和文字整理中做了大量工作。在此向他们一并表示衷心的感谢! 书中引用了一些单位和国内外许多科研人员、有关学者发表的文献, 在此对所引用文献的作者表示感谢!

囿于写作水平, 加之时间紧迫, 书中难免存在一些差错或不妥之处, 敬请广大同行和读者朋友批评指正。

作 者

2013 年 2 月

目 录

1	概述	(1)
1.1	研究目的和意义	(1)
1.2	国内外研究现状	(2)
1.2.1	国内研究现状	(3)
1.2.2	国外研究现状	(4)
1.3	研究内容	(7)
2	非量测数码摄影机的检校	(9)
2.1	数码摄影机的特性	(9)
2.1.1	数码摄影机的成像原理	(9)
2.1.2	数码摄影机的性能指标	(13)
2.2	摄影机检校的内容与方法	(20)
2.2.1	摄影机检校的内容	(20)
2.2.2	摄影机检校的方法	(21)
2.3	单机检校场的建立	(25)
2.3.1	检校场的选择	(25)
2.3.2	控制点的布设与观测	(25)

2.3.3	控制点测量精度评定	(28)
2.4	摄影机检校	(28)
2.4.1	检校原理	(28)
2.4.2	检校精度要求	(36)
2.4.3	影像的获取	(37)
2.4.4	标志点坐标的自动获取	(39)
2.4.5	Australis 软件检校	(41)
2.4.6	机械固定对摄影机参数的影响	(43)
2.5	摄影机检校可靠性验证	(44)
2.5.1	三组检校结果互差验证	(45)
2.5.2	前方交会验证	(45)
2.6	数码摄影机影像畸变参数的理论分析及影像重采样	(46)
2.6.1	CCD 安装引起的误差	(46)
2.6.2	光学畸变差	(47)
2.6.3	面阵内畸变	(48)
2.6.4	影像重采样	(48)
2.7	精度分析	(51)
2.7.1	重采样前后参数比较	(51)
2.7.2	定向精度分析	(52)
2.7.3	摄影测量精度分析	(54)
2.8	小结	(56)
3	多面阵数码摄影机拼接和虚拟中心投影影像生成	(57)
3.1	多面阵数码摄影机设计	(57)
3.1.1	单摄影机 CCD 面阵倾角计算的数学模型	(58)
3.1.2	多面阵数码摄影机的设计方案	(59)
3.2	多面阵数码摄影机检校	(60)
3.2.1	多面阵数码摄影机的检校步骤	(60)
3.2.2	检校结果可靠性试验	(66)

3.3	多面阵数码摄影机影像纠正与拼接原理及拼接误差分析	(66)
3.3.1	影像纠正的数学模型	(66)
3.3.2	影像匹配	(68)
3.3.3	拼接误差分析	(69)
3.3.4	内部相对定向	(71)
3.4	影像的纠正与拼接	(73)
3.5	拼接引起的测图误差分析	(75)
3.6	小结	(79)
4	SWDC 数字航摄仪的总体设计	(80)
4.1	SWDC 数字航摄仪的控制设备	(80)
4.1.1	重力稳定平台	(80)
4.1.2	内置检影器与电动旋像装置	(81)
4.1.3	飞行控制器	(82)
4.2	可更换镜头技术	(83)
4.3	配套的航空影像数据处理软件	(85)
4.3.1	航空飞行设计软件	(85)
4.3.2	飞行管理软件	(91)
4.3.3	影像传输软件 FlexColor	(92)
4.3.4	索引图拼接及摄影质量分析软件	(93)
4.3.5	影像拼接软件 JXDCRectify	(104)
4.3.6	高精度的精密单点定位数据处理软件 TriP	(106)
4.3.7	影像匀光匀色软件 DUX	(114)
4.4	小结	(127)
5	SWDC 数字航摄仪的数据获取与处理	(128)
5.1	航摄飞行规划与设计	(129)
5.1.1	航线设计的基本依据	(129)
5.1.2	航线设计所需参数的计算	(131)
5.1.3	基于 DesignCourse 的航线设计程序操作	(133)

5.1.4	航线设计的正确性检查	(135)
5.2	航摄飞行元数据的建立及空中操作	(137)
5.2.1	航摄飞行元数据的建立	(137)
5.2.2	航摄飞行前的准备	(138)
5.2.3	空中操作步骤	(138)
5.3	数据下载与影像预处理	(140)
5.3.1	控制机数据下载与处理	(140)
5.3.2	GPS 数据下载与处理	(140)
5.3.3	摄站点坐标解算	(142)
5.3.4	影像数据下载及预处理	(143)
5.4	外业像控测量的实施	(149)
5.4.1	野外像控测量的主要实施方案	(149)
5.4.2	基于 GPS 定位技术的像控测量施测方法	(151)
5.4.3	GPS 像控测量中的高程转化问题研究	(153)
5.4.4	基于 GPS 定位技术的地面像控测量实施方案	(155)
5.5	GPS 辅助空中三角测量	(156)
5.5.1	PBBA 空中三角测量数据处理	(156)
5.5.2	空中三角测量的质量检查及成果提交	(160)
5.6	基于数字摄影测量工作站的数字产品制作	(162)
5.6.1	数字摄影测量工作站	(163)
5.6.2	基于数字摄影测量工作站的数字产品制作流程	(163)
5.6.3	数字产品的质量检查及成果提交	(167)
5.7	小结	(169)
6	主要结论与展望	(170)
6.1	主要结论	(170)
6.2	展望	(174)
	参考文献	(175)

1 概述

1.1 研究目的和意义

1. 地理空间数据建设的需要

“数字中国”“数字城市”“数字国土”作为 21 世纪我国社会经济、资源环境可持续发展的一个重要战略思考，而地理空间数据是其规划、建设、管理、服务以及信息化的基础。当前最突出的问题是没有数据或没有准确的数据，并且由于认识、投入不足以及技术装备落后等原因，使空间基础数据的现势性非常差，基本地形图的更新周期超过 10 年，造成经济建设和社会发展对数据信息的需求与现势性差的矛盾愈加突出。只有保持数据的现势性，才能够使各种信息系统成为实际可以使用的系统。因此，要改变这种状况，就需要在自主的数据信息获取技术支持下建立更加快速有效的数据信息更新机制。

2. 国外市场的冲击

数字航摄仪是数字航空摄影测量的关键设备，国外数字航摄仪的发展已经相当成熟，其独特的优势已经得到广泛重视并迅速拓展应用，形成了巨大的市场冲击力。我们如果进口一套这样的设备，目前至少需要 1 000 万元。只有研发拥有自主知识产权的新型数字航空摄影测量系统才能开拓我国的数码航空遥感领域。

3. 国家航空遥感技术体系建设的需要

航空与航天遥感不可相互替代。发展数码航空遥感系统可以实现低成本、快速获取高分辨率数字航空遥感数据，弥补传统航空遥感技术系统的不足，促进航空摄影技术由

专业型向普及型转化,对建设我国航空遥感技术体系来说是完全必要和现实的。

4. 摄影技术和航空摄影技术发展的必然

数码摄影机具有体积小、重量轻、高分辨率、高几何精度等优点,并且对天气条件要求不再苛刻,能够在阴天乌云下摄影。数码摄影机独特的优势使其经济效益远优于传统航空遥感器。

5. 巨大市场需求的驱动

新型数码航空摄影测量可应用于地形测绘,资源、生态环境调查、监测与评估,城乡规划与建设,重大工程建设等领域。我国幅员辽阔,从总量上看,无论现有的需求和潜在的应用,都具备相当大的规模,如此巨大的市场驱动着新型数码航空摄影测量的研究与应用。

1.2 国内外研究现状

众所周知,我国获取航空影像长期使用的是传统模拟航空航摄仪。该航摄仪存在以下缺点:

(1) 胶片的动态范围小,航摄质量低,并且要用大型扫描仪进行影像扫描数字化,从而导致影像的几何精度低,影像数据获取周期长等问题。

(2) 对天气等自然条件的依赖性强,这样很难从根本上保证测绘数据生产的时间需求。

(3) 传统的航测作业单位按工种分为大地测量队、航空摄影队、航测外业队、航测内业队以及制图队[GIS(Geographic Information System,地理信息系统)中心]等,从而导致了航测作业的条块分割和集约化程度低、生产效率低下、产品数据的生产周期长等问题。

(4) 航测生产装备硬件落后,软件的智能化、自动化程度不高,基本上是手工作业模式。

大面阵数字航摄仪的开发是个复杂的系统工程,依赖于性能良好的大面阵数码摄影机的发展,高精度几何标定技术的成熟,多中心投影单中心化理论的研究和技术实现以

及航摄仪辅助设备的完善。鉴于国内外对航空摄影的大量需求,数字航空摄影原理和技术在国内外展开了广泛的研究,并取得了一定的成果。

1.2.1 国内研究现状

我国航空摄影技术装备总体水平落后,特别是在数字航摄仪方面,研究更少。中国测绘科学研究院等单位,在小数码低空摄影测量、无人机技术、飞艇应用于低空遥感等方面开展了研究工作,并取得了一定的成果。

图 1-1 所示为中国测绘科学研究院研制的数字航摄仪 LAC。LAC 航摄仪由四个带 24 mm 镜头的 Canon EOS 5D 数码单反摄影机在设计严密的轻质机械架构上组合而成,最大像素可达 6 400 万,而最大视场角可为 $124^{\circ} \times 100^{\circ}$ 。LAC 航摄仪组合原理是:将 4 台摄影机绕一个假定主轴按一定的方位对称布置,并且四台星级主光轴均通过主轴上某一点 S,当摄影机同步曝光成像后,将 4 台摄影

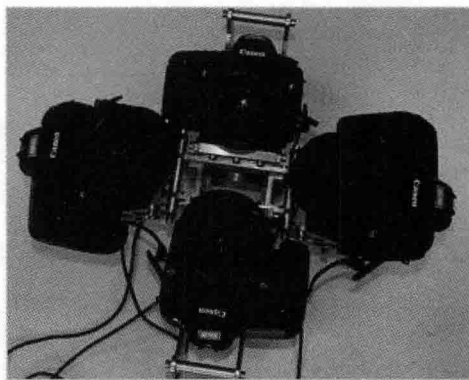


图 1-1 航摄仪 LAC

机所得像片按相对方位根据共线方程反投影到以点 S 为投影中心的虚拟成像面上进行拼接,从而得到最终的大幅面像片。它与单台 Canon 5D 摄影机的参数比较如表 1-1 所示。

表 1-1 Canon 5D 摄影机与 LAC 航摄仪参数比较

指标参数	Canon 5D 摄影机	LAC 航摄仪
最大像幅 (像素)	4 368 × 2 912	11 750 × 5 504
像元总数 (万像素)	1 280	6 400
最大视场角 (°)	72 × 52	124 × 100
焦距 (mm)	24	24

LAC 航摄仪虽然相比单台摄影机面阵增大了近 4 倍,但相对于国外大面阵航摄仪,只有其面阵的 3/5 左右,航测效率相比则大大降低,难以满足我国大面积航空摄影的需要。国内其余单位采用的数字航摄仪,仅对单个摄影机检校固定,具体参数可参考摄影机本身参数,这里不再赘述。

另外,我国小面阵航空摄影测量采用无人机等平台进行航空摄影,存在作业效率

低、飞机动态范围大、数据处理困难、空中三角测量精度低、不能在城市上空作业等问题,限制了小面阵航空摄影测量的发展,可惜目前国内还没有大面阵航空摄影仪的研究报道。

1.2.2 国外研究现状

更大面阵的 CCD (Charge - Coupled Device, 电荷耦合器件) 技术在国外已经成熟,并成功应用于专业数字航摄仪。下面介绍目前国外的三种数字航摄仪。

1. ADS (Airborne Digital Sensor) 系列数字航摄仪 (数字航空摄影仪系统)

ADS80 型传感器由瑞士 Leica (徕卡) 公司与德国宇航中心 (DLR) 联合研制,2000 年 7 月在阿姆斯特丹的第 19 届国际摄影测量与遥感大会上首次推出,如图 1-2 所示。

ADS80 型传感器采用线阵列推扫成像原理,能同时提供 3 个全色与 4 个多光谱波段的数字影像,其全色波段的前视、下视和后视影像能构成 3 对立体,以供观测;摄影机上集成了 GPS (Global Positioning System, 全球定位系统) 和惯性测量装置 IMU (Inertial Measurement Unit),可以为每条扫描线提供较准确的外方位初始值,可以在四角控制或无地面控制的情况下完成对地面目标的三维定位。



图 1-2 ADS80 型传感器

它的主要技术参数如下:

- (1) CCD 像元。全色波段 $2 \times 12\,000$ 像元,交错 $3.25\ \mu\text{m}$ 排列,蓝、绿、红和红外波段为 12 000 像元,像元大小为 $6.5\ \mu\text{m}$ 。
- (2) 摄影机焦距为 62.77 mm;光圈号数为 4;视场角为 64° ;立体成像角为 16° 、 24° 和 42° ;在 3 000 m 航高时,地面采样间隔 (Ground Sample Distance, GSD) 达到 16 cm,扫描条带宽 3.75 km。
- (3) 辐射分辨率为 8 bit,数据记录为 12 bit 灰度等级。
- (4) 光谱范围为 420 ~ 900 nm。
- (5) 1.5 ~ 25 倍数据压缩率。
- (6) 可以移动的、抗震的硬盘存储器容量为 900 GB。

2. DMC 数字航摄影

DMC 数字航摄影是由德国 ZEISS 公司和美国 Intergraph 公司共同研制的, 如图 1-3 所示。

DMC (Digital Mapping Camera, 数字成图摄影机) 是由 8 个独立的 CCD 摄影机整合为一体的, 解决了单个 CCD 成像尺寸不足的问题。这 8 个单独的摄影机模块都具有单独进行任务处理的能力, 各自拍摄中心投影影像。其全色信道包括了 4 个 $7k \times 7k$ 的 CCD 芯片和焦距 120 mm、光圈号数 4 的高分辨率光学物镜, 影像分辨率为飞行方向 7 680 像素、垂直于飞行方向 13 824



图 1-3 DMC 航摄影

像素。为了同时获取真彩色和假彩色影像, 摄影机的电子单元合成了 4 个多光谱通道, 每个彩色影像使用一个单独的、最小光圈号数为 4、焦距为 25 mm 的广角物镜, 和一个 $3k \times 2k$ 的 CCD 芯片, 还有一个基于无机材料的高品质滤镜。CCD 均采用全尺寸传感器, 单个像素的尺寸是 $12 \mu m \times 12 \mu m$, 提供高线性动态范围。由于这 8 个摄影机模块使用各自的物镜, 所以比起只配一个大口径的物镜而言, DMC 形成的最终整幅图像具有更高的影像质量。



图 1-4 UCX 数字航摄影

3. UltraCam - X (UCX) 数字航摄影

UCX [UltraCam - D (UCD) 的升级型号] 数字航空摄影仪由奥地利 VEXCEL Image 公司研制, 如图 1-4 所示。

UltraCam 系统采用面阵 CCD 传感器件, 由 4 个全色波段物镜、4 个多光谱波段物镜组成, 其主要产品的技术参数如表 1-2 所示。

表 1-2 UCX 和 UCD 数字航摄影主要技术参数的比较

技术参数	UCX	UCD
全色像元尺寸 (mm)	7.2	9
全色影像像素总数	11 430 × 9 420	11 500 × 7 500
面阵尺寸 (mm)	104 × 68.4	103.5 × 67.5
全色物镜焦距 (mm)	100	100

续表

技术参数	UCX	UCD
最小光圈号数	5.6	5.6
旁向视场角（航向）（°）	55（37）	55（37）
彩色（多光谱性能）	四通道 R、G、B 和 NIR	四通道 R、G、B 和 NIR
彩色像元尺寸（ μm ）	7.2	9
彩色影像像素总数	4 992 × 3 328	4 008 × 2 672
彩色物镜焦距（mm）	33	28
彩色物镜最小光圈号数	4	4
彩色影像的旁向视场角（航向）（°）	55（37）	65
可选快门速度（s）	1/500 ~ 1/32	1/500 ~ 1/60
像移补偿（FMC）	时间延迟整合（TDI）控制	时间延迟整合（TDI）控制
最大像移补偿性能（像素/s）	50	50
航高 300 m 时像元地面采样间隔（cm）	2.2	3
辐射精度	14 bit 灰度等级	> 12 bit 灰度等级

长期以来，我国大面阵数字航空影像获取完全依赖这些国外的航摄仪，但它们存在如下缺点：

（1）设备价格昂贵，检测维修困难，存在测绘信息安全隐患。进口设备价格高达 1 000 万 ~ 1 500 万元，使航空对地观测属于“贵族”式的高技术，一般只能为省市级以上的单位掌握与应用。

（2）用于中小比例尺地形图测绘时，航高高，适合飞行的天数少；国外航摄仪的焦距均为 100 mm，获取超过 30 cm GSD 的影像，航高需在 2 500 m 以上，航摄天气寻找困难。

（3）用于大比例尺地形图测绘时，高程精度低。其高程精度一般为 GSD 的 2 ~ 3 倍，不满足相应规范的要求。

因此，我国有必要研制适应国内需求、拥有自主知识产权的航摄仪。

1.3 研究内容

为解决大面阵数字航空影像获取的关键技术,满足国家测绘地理信息产业发展要求,保障测绘地理信息安全,本课题组通过产学研紧密合作,通过10余年的研究攻关,攻克以下关键理论和技术:

1. 研究大视场、高精度几何标定理论和技术

由于我国大面阵数码摄影机的制造技术尚处于空白,也不具备生产大面阵量测型数码航摄仪的能力,本项目采用非量测摄影机代替量测摄影机,但非量测摄影机存在着机械稳定性差、内方位元素不确定、影像几何畸变大等问题。研究几何标定理论,通过严密的数学模型对影像实施畸变改正,可使非量测摄影机的几何精度达到了昂贵的专业量测型摄影机的水平。首创了大视场、高精度几何标定技术,对摄影机进行精密检校,使检校畸变残差仅为微米量级,经过改正和拼接后的影像除主距以外的内方位元素全部为零。

2. 研究多中心投影影像单中心化理论和技术

受制造技术工艺的限制,单个面阵CCD摄影机的像元数少,像幅覆盖地面面积小,用单个面阵CCD摄影机完成数字航空影像获取任务时,像片数量多,高程精度低,测绘成本大。本项目采用多拼接摄影机获取大面阵影像,发明大面阵数字影像的多摄影机组合结构,研究多中心投影影像单中心化理论,创立1/5像元级影像拼接技术,使一次曝光获取影像的像幅约为单一像幅的4倍,实现由多个小面阵影像生成单一大面阵影像的技术突破。

3. 首次研制出高精度数字航空影像获取飞行控制器

在影像获取过程中,摄影机是否在预定点曝光是关系到影像是否符合航向重叠度和旁向重叠度要求的技术关键;受气流影响,飞机不能严格按照设计航线飞行,如不及时修正,获取的影像就不能满足测绘需要。本项目创新研制出数字航空影像获取飞行控制器,控制曝光点平面位置最大误差小于2m,实现定点获取数字航空影像的技术突破。

4. 研制内置检影、云台稳定、电动旋像等装置,实现摄影机水平姿态与旋偏角的

自动控制

航摄仪受起飞前校准、飞行气流、飞行技术等因素的影响,使像片航向、机头指向和实际飞行方向不一致,且有横滚和俯仰角,如果不进行纠正,将会严重影响影像质量。云台稳定装置采用悬挂式重力云台结构,减弱了航摄仪的俯仰和侧滚影响,实现对航摄仪水平姿态的自动控制。内置检影装置,采用视频检影单元与成像单元的一体化设计,确保检影与摄影范围的一致性;对飞机飞行方向和摄影机航向的一致性进行实时判断,并向电动旋像装置提供航摄摄影机实际旋偏数据。电动旋像装置配合使用内置的视频检影装置,可以方便地修正摄影机的旋偏角,确保航摄飞行质量。

5. 创新研制出国内首台大面阵数字航空影像获取航摄仪,填补国内空白,实现数字航空影像获取装备的国产化

我国中小比例尺航摄主要依靠胶片航摄仪,存在着受天气影响大等较多缺点;大比例尺航摄主要依靠进口的航摄仪,不适应我国的基本情况。本研究项目通过对数字航空影像获取关键技术的研究及一系列技术难题的突破,研制出大面阵数字航空影像获取航摄仪,开发出配套的航空影像数据处理软件。本成果装备所获取影像的像素数、视场角等整体性能指标达到国际先进水平,高程精度、可更换不同焦距镜头技术处于国际领先水平。

本研究项目完成后,在对获取数据的后处理方面,与国内外传统的航空摄影测量数据处理技术具有相当的成熟完善程度,在光学处理、数字化以及专题制图等方面具备先进的软硬件条件。虽然发达国家在航空摄影测量仪器设备和处理软件上更为先进和高度集成,但经过此前多年的积累,国内航空摄影测量的基础条件比较好,人员和设备具有一定规模,并制定了成体系的生产技术规程和产品标准,国产有关软件也成系列,满足了国内需求。因此,与发达国家相比较,我国航空摄影测量数据处理技术的差距不是很大,通过引进关键部件,经过研究,可以完全自主实现基于国内现有技术的数码航空影像的后处理和应用。因此,本研究成果对形成我国拥有自主知识产权的完整技术链起到至关重要的作用。