

航空摄影机

——美国《摄影测量手册》节选之一

主编：[美]罗伯特·G·利文斯顿

编者：克莱德·E·伯恩德森

明·奥德雷杰卡

罗伯特·M·斯普列克斯

利昂·J·柯索夫斯基

迪克·范·斯蒂伯夫

克拉丽思·诺顿

杜恩·布朗

翻译：沈鸣岐 盛德行

校订：蔡俊良

测绘出版社

出版说明

由C·C·斯拉麦主编的美国《摄影测量手册》(1980年第四版)是摄影测量学科的重要著作,在国际上有很大影响。它的翻译出版对我国摄影测量与遥感事业的发展,必将会有所促进。原书篇幅较长,若全面介绍,工作量大,出版周期将拖得很久。现根据我国目前摄影测量书籍的出版和需求情况,按轻重缓急采取节译办法,以一章为一单行本的形式,陆续介绍给广大读者。

本册是航空摄影机专著,几乎包括了目前欧美各国常用的各类航空摄影机:帧幅摄影机、全景摄影机、条幅摄影机、多谱段摄影机等,并列有详细参数表。除此之外还介绍了专用航天摄影机:胶片回收式摄影机、卫星全能式摄影机、航天器的电视摄像机、飞点摄像机等。另外对摄影机设计制造中的特殊考虑(如彩色、夜间、稳定性、摄影窗口、环境条件)、附属设备(机座、平台、控制器等)、安装方法、检定(包括近景摄影机及水下摄影机等)的设备和方法等问题也做了专门介绍。最后还特别介绍了摄影机检定的解析法。对航空摄影机叙述如此详尽的著作,是从事遥感、航空摄影、航天摄影、非地形摄影工作的专业人员的理想参考书。

航空摄影机

[美]罗伯特·G·利文斯顿等

沈鸣岐 盛德行译

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张 7.5·字数 160千字

1985年10月第一版·1985年10月第一次印刷

印数 1—1100册·定价:2.00元

统一书号:15039·新396

目 录

I	引言	(1)
II	航空摄影机的种类	(8)
2.1	帧幅摄影机	(8)
2.1.1	帧幅摄影机的部件	(8)
	机体	(8)
	镜筒装置	(10)
	快门装置	(15)
	暗盒	(19)
2.2	全景摄影机	(26)
2.2.1	概 述	(26)
2.2.2	全景摄影机的设计	(29)
	基本设计	(29)
	安装和稳定	(35)
2.2.3	全景摄影的固有几何关系	(36)
	全景畸变	(37)
	扫描位置畸变	(38)
	影像位移补偿畸变	(39)
	垂直全景摄影的合成影像	(40)
	倾斜全景畸变	(41)
2.2.4	确定内部几何关系的有关问题	(44)
	可能的畸变源	(44)
	检测任务	(46)
2.2.5	使用全景像片的要求	(48)

光学全景变换晒印机	(49)
2.3 条幅摄影机	(53)
2.3.1 概述	(53)
2.3.2 工作方式	(54)
2.4 多谱段摄影机	(58)
2.4.1 概述	(58)
2.4.2 工作方式	(59)
多摄影机装置	(59)
多镜头摄影机	(59)
分光摄影机	(60)
II 专用航天摄影机	(62)
3.1 胶片回收型摄影机	(63)
3.1.1 Hasselblad Data摄影机	(63)
3.1.2 阿波罗月面近景摄影机	(63)
3.1.3 阿波罗测图摄影机系统	(64)
3.1.4 阿波罗全景摄影机	(65)
3.2 卫星全能(冲洗、扫描和传输)式摄影机	(66)
3.2.1 探测-3号使用的摄影系统	(66)
3.2.2 月球轨道摄影系统	(67)
3.3 航天器的电视摄像机	(70)
3.3.1 硬着陆飞行中的电视摄像机	(70)
3.3.2 软着陆飞行中的电视摄像机	(71)
3.3.3 擦星飞行中的电视摄像机	(71)
水手4号	(72)
水手6号和7号	(72)
水手10号的电视系统	(73)
水手号向木星和土星的飞行	(74)
3.3.4 轨道飞行中的电视系统	(74)

水手 9 号的火星轨道飞行	(75)
海盗号轨道器的电视系统	(75)
地球轨道上的电视系统——陆地卫星的反束视 像管摄像机	(76)
3.4 飞点摄像机	(78)
3.4.1 固定式飞点摄像机	(78)
月球 9 号摄像机	(79)
海盗号登陆器的成像系统	(79)
3.4.2 旋转扫描摄像机——先驱者 10 号和 11 号 的成像光电偏振器	(81)
3.4.3 行扫描摄像机——陆地卫星的多光谱扫 描器	(83)
IV 摄影机设计制造中的特殊考虑	(85)
4.1 彩色摄影机	(85)
4.2 夜间摄影机	(86)
4.3 摄影机的稳定	(86)
4.4 摄影窗口	(88)
4.5 环境条件	(88)
V 附属设备	(90)
5.1 摄影机座架和平台	(90)
5.1.1 固定座架	(90)
5.1.2 可调座架	(90)
5.1.3 隔振器	(92)
专用防振座架	(92)
直升飞机隔振器	(92)
主动式隔振器	(93)
5.1.4 稳定平台	(94)
AEROFLEX T28A 型摄影机座架	(95)

5.2	摄影机控制器	(96)
5.2.1	速高比 (V/H) 计算器	(96)
	时间间隔计	(98)
5.2.2	检影器	(98)
5.2.3	导航瞄准镜	(98)
	耶那 (Jena) 导航瞄准镜	(99)
	威特 (Wild) NF2 型导航瞄准镜	(99)
	蔡司 (Zeiss) NT1 型导航望远镜	(102)
	蔡司 (Zeiss) NT2 型导航望远镜	(102)
5.2.4	曝光计和曝光控制器	(102)
	手动曝光计	(103)
	自动曝光控制器	(103)
5.3	辅助数据系统	(105)
5.3.1	高差仪	(106)
	蔡司 (Zeiss) S-2-C 型高差仪	(106)
	耶那 (Jena) 记录高差仪	(107)
	威特 (Wild) RST2 型记录高差仪	(108)
5.3.2	注记系统	(108)
V	摄影机安装和系统布局	(110)
6.1	摄影机安装	(110)
6.1.1	摄影机垂直安装	(110)
6.1.2	摄影机倾斜安装	(112)
6.1.3	摄影机交向安装	(112)
6.1.4	摄影机双并列安装	(113)
6.1.5	摄影机扇形安装	(113)
6.2	摄影系统	(114)
6.2.1	非系统的航空摄影机	(114)
6.2.2	整体系统中的摄影机	(116)

VI	目前常用的航空摄影机	(119)
VII	摄影机的检定	(136)
8.1	概述	(138)
8.1.1	定义	(140)
8.1.2	坐标量测仪检校	(146)
8.2	历史	(148)
8.3	测图摄影机的一般几何性能	(154)
8.3.1	无穷远聚焦的摄影机	(154)
	镜头、镜筒、摄影机机体	(154)
	暗盒、压板和格网	(155)
8.4	几何性与作为影象质量函数的量 测值	(157)
8.5	摄影机检定的方法和设备	(158)
8.5.1	多视准管检定法和设备	(159)
	Hill 空军基地的摄影机检定设备	(160)
	加拿大国家研究委员会 (NRC) 的检定仪	(167)
8.5.2	测角仪检定法和设备	(169)
8.5.3	恒星检定法	(171)
8.5.4	系统检定的概念	(172)
	瑞典的高塔和冰场方法	(173)
	航空摄影检定法	(173)
	美国地质调查局的模型平整度测试法	(175)
8.5.5	近景摄影机的检定	(177)
8.5.6	水下摄影机的检定	(179)
8.5.7	全景摄影机的检定	(180)
※		
8.7	对今后检定方法的设想	(181)
8.8	摄影机检定的解析法	(183)

8.8.1	引言	(183)
8.8.2	径向畸变和偏心畸变的模型	(183)
8.8.3	单帧像片解析法检定	(185)
	采用的投影方程式	(185)
	线性观测方程	(186)
	平面坐标的协方差矩阵	(189)
	投影参数中先验条件的采用	(189)
	最小二乘法平差的法方程式	(190)
	残差分析	(191)
	先验条件的实际应用	(192)
	误差传播	(193)
	畸变函数的投影变换	(195)
8.8.4	摄影机检定的多帧像片法	(197)
	初步考虑	(197)
	多帧像片同时解析检定法 (SMAC)	(198)
	用可平差的控制点进行检定	(207)
	用于近景摄影测量的特殊结果	(209)
	解析垂线法检定	(212)
	结论	(213)
	参考文献	(214)

※ 原文缺少 8.6 节

I 引 言

从前，航空摄影机的定义仅是指专门设计供飞机上使用的摄影机。由于我们现在已经进入空间时代，所以上述定义必须加以扩展，要包括从外层空间对地球、月球和太阳系其他行星进行摄影的各种摄影机。除飞机和气球以外，高空火箭以及地球、月球和其他行星的人造卫星都可携带摄影机。在某些情况下，利用电视把拍摄的图象从太空传回地球，而在另一些情况下则把摄影胶卷回收到地球。对这些专用摄影机，本书将扼要叙述，而其摄影资料的应用则放在《摄影测量手册》的其他有关章节中叙述。

本书的主要目的，是充实《摄影测量手册》前三版中关于航空摄影机的资料，同时力求作出足够完整的叙述，使读者不必再到图书馆去查找另外有关资料。

由于帧幅摄影机应用数量大，而且对于摄影测量和像片判读来说都很重要，所以本书广为收集了这类摄影机的资料。本书对全景摄影机也有详细叙述，因为它分辨率高，对于侦察工作特别理想。对于条幅摄影机(Strip camera)、多谱段摄影机和其他专用摄影机，书中也分别作了介绍。此外，本书对摄影机的设计和制造中的特殊要求也进行了讨论，另外还简单介绍了摄影机座架和控制部件等附属设备，并对摄影机的安装和系统布置问题做了说明。书中有一张表，列出美国的各种军用航空摄影机，美国和外国的商业航空摄影机及其规

格和性能。在摄影机检定一章中，综述了这项极其重要的、有关确定摄影机内部几何关系的工作的最新发展和最新技术。

航空摄影机可以按照多种方式进行分类。按类型来区分有：帧幅摄影机、全景摄影机、条幅摄影机和多谱段摄影机；按视场角来区分有：常角摄影机（视场角小于 75° ）、宽角摄影机（视场角 $75^\circ \sim 100^\circ$ ）和特宽角摄影机（视场角大于 100° ）；按焦距来区分有：短焦距摄影机（焦距小于 6 英寸*）、常焦距摄影机（焦距 6~12 英寸）和长焦距摄影机（焦距大于 12 英寸）；按用途来区分有：测图摄影机、侦察摄影机和专用摄影机。对于摄影机不管用任何一种方式分类，都可以把发展情况描述出来，而本书只讨论几种主要的侦察摄影机、测图摄影机和专用摄影机，特别是要联系各种摄影机型号及其不同特点为何得到发展的原委，加以叙述。

在美国，侦察摄影机的发展曾经从第二次世界大战中汲取巨大原动力。在此之前，对侦察摄影机的兴趣，或者说对任何一种航空摄影机的兴趣，都是有限的。在战争过程中，为了满足不断变化的要求，摄影机得到了发展，随着防空火器迫使侦察机越飞越高，航空摄影机的焦距就越做越长。许多摄影机还装上了可替换的镜头，以适应更加广泛的用途。例如美国空军的 K-22A 型昼间侦察帧幅摄影机，就装备有 6、12、24 和 40 英寸焦距的镜头，其中 40 英寸焦距的镜头还有三个不同型号。

为了满足像片判读的需要，应当有各种各样的摄影机。需要有低空高速摄影机，这种摄影机必须具有短焦距宽角镜

* 1 英寸=25.4mm，下同。——校注

头、高速快门、影象位移补偿装置和短循环时间。在低空，即使采用宽角镜头，也只能覆盖地面的一条窄带。但是，由垂直摄影机和倾斜摄影机组成的多机装置就可以用来展宽摄影地带。低空高速摄影还可以采用垂直式和倾斜式的条幅摄影机。条幅摄影机在一条移动的胶片带上不间断地曝光，胶片带在摄影机焦面的一个固定缝隙前面通过，其移动速度与地面影象通过焦平面的速度同步。

在高空，采用长焦距帧幅摄影机能保证获得合适的比例尺和良好的地面分辨率。然而，焦距长了，视场角和由它决定的地面覆盖范围就变得很小。克服这个缺点有三种方法。第一是把摄影机的像幅由标准的 9×9 英寸扩大到 9×18 英寸，并且使 18 英寸的宽边垂直于航线方向。第二是采用两台或三台摄影机，在垂直于航线的方向上作扇形布置。第三是研制和使用全景航空摄影机，用它对摄影地区作左右扫描，扫描方向垂直于飞行方向，因而能够以极高的地面分辨率取得宽大的横向覆盖。在保证横向覆盖和比例尺都相同的条件下，全景摄影机的尺寸和重量均大大小于按扇形配置的长焦距帧幅摄影机。

为提高地面分辨率而持续不断努力的结果，是开发了更加完善的镜头、快门、影像位移补偿装置、自动曝光控制机构、陀螺控制摄影座架和摄影胶片。同时发展起来的新型数据获取传感器，如红外摄影机、侧视雷达、电视和激光成像器等，增强了执行军用和民用航空侦察的能力。这些新型传感器在《遥感手册》中都有介绍。

测图摄影机的首要必备条件是：镜头、焦平面和框标之间应该具有一定的和不不变的空间关系，因此摄影机一旦检定之后，其检定数据对于在规定时间内正常使用的摄影机来

说始终是适用的。这种资料要在数据处理过程中加以利用。除了高的几何保真度这个要求以外，它所摄取的测图像片还必须提供合适的基线航高比，以便更加精确地测绘地貌。以上两点已经成为研制测图摄影机的主要因素。“镜头-镜箱-胶片”组合体的摄影分辨能力，也已经有所提高。测图摄影机安装的宽角镜头虽然提供了宽大的航摄覆盖，并且促成了合乎需要的基线航高比，但它的面积加权平均分辨率（AWAR）却低于窄角的帧幅式侦察摄影机。

美国早期的测图摄影机都是多镜头式的（参见 Talley, 1938; Bagley, 1941）。从二十年代到三十年代后期，曾经研制了几种多镜头摄影机，但是都没有大批量生产过。单镜头测图摄影机系列中的第一种是 T-5 型摄影机，它研制于 1938 年。这架摄影机的特色是采用 6 英寸焦距 Metrogon 镜头，视场角为 93° ，具有良好分辨率，其畸变可以在透明正片缩小仪上改正。T-5 型摄影机以及大多数后续型摄影机的像幅都是 9×9 英寸。T-5 摄影机的内镜筒用低膨胀系数的特种铝合金制成，镜头、焦平面和框标都牢固附着于这个内镜筒上。第二种投产的军用摄影机是 T-11 型，于 1951 年问世。它装有精选出来的 6 英寸焦距 Metrogon 镜头和 Rapidynce 快门，其运转可靠性大大高于 T-5 摄影机。用 6 英寸焦距 Planigon 镜头代替 Metrogon 镜头，安装在 KC-1 型摄影机上，于 1954 年交付美国空军使用。这种摄影机把径向畸变减小十分之九，并且大大提高了摄影分辨率（参见 Sewell, 1954）。安装有 James Baker 博士研制的 6 英寸焦距 Geocon I 型镜头的 KC-4 型摄影机，于 1963 年提供给美国空军。这种摄影机可以获得比 Planigon 镜头摄影机高出 25% 左右的分辨率，而且除正常的全色摄影之外，还适用于红外胶片

和彩色胶片的摄影。

焦距 6 英寸- $f/5.0$ Geocon IV 是彩色校正和畸变校正程度更高的稍后一个型号镜头,它安装在 KC-6A 型摄影机里,于 1966 年交给美国空军使用。该摄影机配有前移补偿装置、自动曝光控制、格网板和数据记录阴极射线管(CRT)。当它与美国空军的 AN/USQ-28 型测图系统中的惯性装置和座架结合时,可以被稳定在 4 弧分范围之内,并且以 ± 30 弧秒精度记录倾斜角。

伸缩性小的新型胶片片基(聚酯片基)已研制出来,供精密测图摄影时使用。现在,测图摄影机可以随便使用全色、彩色、红外、黑白或假彩色胶片,不必改变镜头焦点位置也不致引起畸变的明显变化。解析摄影测量的出现,再加上计算机技术的进步,要求进一步控制胶片尺度的稳定性,这就导致在某些更新颖的测图摄影机中使用格网。在曝光瞬间,格网也在胶片上成像。成像的方法是把刻有格网标志的玻璃板紧贴于乳剂面上,或是利用压板上的小孔把格网投影在乳剂面上。

测图摄影机在欧洲的发展与美国并驾齐驱,有时候甚至超过美国。欧洲测图摄影机的性能在本书列表载出。装有 6 英寸焦距 Aviogon 镜头的威特(Wild) RC-10 型摄影机,和装有 6 英寸焦距 Pleogon 镜头的蔡司(Zeiss) RMK 15/23 型摄影机,是高质量摄影机的两个例子,它们的结构和性能大体上相当于美国的 Geocon 镜头摄影机。此外,欧洲人已经研制和生产了两种特宽角摄影机,焦距约为 3.5 英寸,能够以 120° 视场角在 9×9 英寸像幅上拍下高质量像片。它们是装有焦距 85 毫米- $f/4.0$ S-Pleogon A 型镜头的 Zeiss RMK 8.5/23 摄影机,和装有焦距 88 毫米- $f/5.6$ Su-

per-Aviogon 型镜头的 Wild RC-9 摄影机。

在美国航空航天局 (NASA) 的空间计划中, 有一架真正的制图摄影机, 这就是 Fairchild (仙童) 公司的月球制图摄影机, 它曾在 Apollo (阿波罗) 15、16、17 的飞行任务中使用。该摄影机有一个焦距 3 英寸- $f/4.5$ 镜头, 像幅为 4.5×4.5 英寸。它在飞行中与另外一架帧幅摄影机配合在一起。那架摄影机用来提供与时间相关的恒星像片。

测图摄影机要求结构非常精密, 以便使摄影机的参数保持固定, 而如果此种摄影机拍摄的像片还要用于地形测图的话, 那么还必须精确知道这些参数, 这些参数可以通过检校确定。

过去几年里, 为了把侦察型全景摄影机的高分辨率和宽覆盖度等优良性能应用于制图工作, 已经作了很多努力。对若干种技术手段做过尝试, 其中包括摄影机的检定, 格网的使用, 把全景影像细部叠加到制图摄影所提供的控制片上等等。所有这些手段都要与纠正全景摄影机固有的非几何影像 (动态影像) 结合起来使用。这些措施, 再加上解析摄影测量方法的进步和计算机技术威力的提高, 已经在数据处理领域内使最终产品达到相当的制图质量方面, 取得一定程度的成功, 这是一个重大的进步。

然而, 对于地图测制者和其他的情报搜集者而言, 有一个问题应当是不言自明的, 即数据获取传感器在信息产生过程中是极端重要的因素, 不管它是用于详细的像片判读, 还是用于严格几何性质的地图测制。要想通过数据处理过程来改善侦察影像的基础分辨率, 或者提高测图像片的几何精度, 都是不可能做到的。因此, 重要的是为每一项具体任务选择最佳传感器, 以确保测图的精度和节约成本。例如, 高

质量的测图像片一般地说能够在现行的数据处理设备中进行处理，因而不必求助于高代价的改装，或去研制新仪器。如果原始资料的质量低劣，那么为了使产品可用，在处理过程中就可能需要作各种高代价的附加操作。

航空摄影机拍摄的影像分辨率，高于其他任何一种遥感装置拍摄的分辨率。这就是航空摄影机至今仍然作为搜集情报资料的主要工具的原因。

Ⅱ 航空摄影机的种类

2.1 帧幅摄影机

世界上目前正在使用的航空摄影机大多数可以归属于帧幅摄影机。在比较常用的各类摄影机中,唯有全景摄影机和条幅摄影机才不被认为是帧幅摄影机。帧幅摄影机指的是:具有对于焦平面来说位置为固定的镜头,并通过这个镜头使整个画面(或称像幅)同时曝光的那种摄影机。控制曝光的手段可以采用镜间快门、焦面快门和百叶窗快门,或者对摄影目标实施短促照明(用于夜间摄影)。在曝光过程中,胶片应保持不动,或者为了补偿影像位移而作相应移动。

帧幅式航空摄影机(图1)既可用于侦察目的,也可用于测图目的。即使是专为这两种不同用途而分别设计的摄影机,它们的基本部件也几乎是相同的。因此,下面将把两者合在一起讨论,但凡是某一类摄影机所独有的部件,将另加说明。

2.1.1 帧幅摄影机的部件

帧幅式航空摄影机的主要部件有:机体(包括驱动机构)、镜筒(包括滤光片)、快门装置(包括光圈)和暗盒。测图摄影机通常还备有在每幅像片上记录辅助数据的装置。

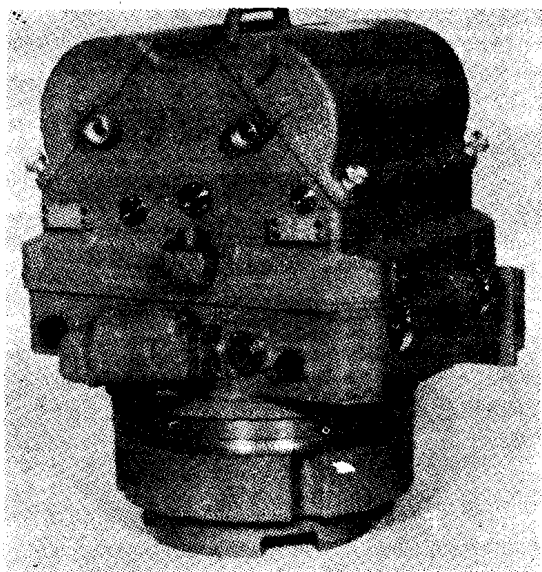


图 1 美国空军的 KC-6A 型测图摄影机
(照片承Fairchild 公司 提供)

2.1.1.1 机体

摄影机机体上通常装着驱动机构、驱动马达、操作柄和操作杆、电气插座和开关,以及其他特殊用途的零件。侦察摄影机一般没有内镜筒,它的机体和镜筒及调焦柱一起,共同完成将镜头和焦平面的相对位置固定起来的作用。驱动机构保证完成上紧和触发快门所需的动作,使真空系统和(或)展平系统工作,以便将胶片展平在焦平面上,并且在曝光间隔内卷动胶片或更换硬片。驱动可以采用手工方式,即利用手动曲柄和触发杆实现;也可以利用小型电动机实现。其电源从飞机电网中取得,通过各种联杆和联轴节,将电源输送给快门和暗盒。驱动机构装在摄影机机体上。从驱动机构向下通到快门的联杆,叫做快门上紧杆和触发杆。一个或两个阳