

# 摄影测量过程自动化

—美国《摄影测量手册》节选之五

[美] S·杰克·弗里德曼 等



测绘出版社

56.156  
110

# 摄影测量过程自动化

——美国《摄影测量手册》节选之五

主编：[美] S·杰克·弗里德曼等

编者： J·B·凯思

U·V·海拉瓦

G·科内克尼

H·M·艾拉姆

翻译： 张祖勋

测绘出版社

8510569

DS7/105  
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,若全面进行介绍,工作量大,出版周期长。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。

本书是原手册的第十三章,它首先介绍了摄影测量操作(量测、纠正与正射纠正、高程测定、平面位置描绘以及集成系统)的自动化;然后,对近年来最新摄影测量仪器——解析测图仪,从其发展至基本原理进行了详细讨论,对一些国际上较有特色的解析测图仪还做了详细介绍;最后叙述了影象相关、正射像片生产的自动化以及在立体测图仪器上直接数字化等问题。本书对从事摄影测量有关的专业人员均有参考价值。

**摄影测量过程自动化**

[美] S·杰克·弗里德曼等编

张祖勋 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 2·字数 45 千字

1984年12月第一版·1984年12月第一次印刷

印数 1—3,200 册·定价 0.50 元

统一书号: 15039·新 358

# 目 录

<b>第一节</b>	<b>绪言</b> .....	( 1 )
<b>第二节</b>	<b>摄影测量操作的自动化</b> .....	( 3 )
[一]	量测.....	( 3 )
[二]	纠正与正射纠正.....	( 4 )
[三]	高程测定.....	( 6 )
[四]	平面位置的描绘.....	( 7 )
[五]	集成系统.....	( 9 )
<b>第三节</b>	<b>解析测图仪</b> .....	( 13 )
[一]	历史的展望.....	( 13 )
[二]	基本原理.....	( 17 )
1.	内部定向.....	( 22 )
2.	相对定向.....	( 22 )
3.	绝对定向.....	( 23 )
4.	改正与调整.....	( 23 )
5.	模型的保存和恢复.....	( 23 )
6.	查点.....	( 24 )
7.	数字地面模型 (DTM).....	( 24 )
8.	计算面积、体积和矢量.....	( 24 )
9.	空中三角测量.....	( 24 )
[三]	当代的解析测图仪.....	( 28 )
1.	解析摄影测量处理系统 (APPS-IV).....	( 28 )
2.	US-2型解析立体测图仪.....	( 24 )
3.	DSC-3/80解析立体测图仪.....	( 31 )

4.	TRASTER 解析立体测图仪 .....	( 32 )
5.	GALILEO D.S 数字立体制图仪 .....	( 33 )
6.	AP/C4 型解析立体测图仪 .....	( 35 )
7.	AUTOPLOT 型解析测图仪 .....	( 36 )
8.	C 100 PLANICOMP 解析测图仪 .....	( 38 )
9.	其他类型的解析测图仪 .....	( 39 )
[四]	综合的考虑 .....	( 41 )
<b>第四节</b>	<b>影象相关</b> .....	( 45 )
[一]	应用阴极射线管 (CRT) 的电子扫描 .....	( 45 )
[二]	信号的相关 .....	( 46 )
[三]	固态器件扫描器 .....	( 47 )
[四]	电子-光学扫描器 .....	( 48 )
[五]	数字离线相关 .....	( 49 )
[六]	相干光学相关器 .....	( 49 )
<b>第五节</b>	<b>正射像片生产的自动化</b> .....	( 51 )
[一]	正射像片的电子晒印 .....	( 51 )
[二]	用数值法制作正射像片 .....	( 51 )
[三]	正射像片的数控晒印 .....	( 52 )
[四]	立体正射投影的产生 .....	( 52 )
<b>第六节</b>	<b>在立体测图的仪器上直接数字化</b> .....	( 53 )
	主要参考文献 .....	( 54 )

## 第一节 绪 言

从这一分册标题字面上来看，其内容应该与这本手册中其他很多章节的内容有些重复。自从1966年这本手册的第三版出版以来，摄影测量领域中的进程已经使得仪器和技术的所有方面都有了进步和“自动化”，因而只有那些致力于讨论基本的数学理论和发展历史的章节才不受到它的影响。为此，作者对于所涉及到的主题强加了某些限制，对那些在其他章节中所讨论过的项目以及在这本手册的其他地方所没有涉及的内容给予适当的考虑。进一步的限制为的是把讨论仅仅局限在摄影测量过程的自动化上，而将制图过程排除在外。近年来，在地图制图的工艺方面有了很大进展，尽管关于这方面的情况很需要介绍，但它不属于本章阐述的范围。

我们建议先一般地回顾一下最近的发展，以此作为一个绪论，然后再对某些方面作更加详细的叙述，这些问题对于摄影测量专业工作者来说可能具有很大的兴趣和进一步发展的潜力。

在最近几年，为国际摄影测量学会四年一次的会议提交文章，已成为惯例。Esten(1964)，Nowicki(1968)，Lorenz(1968)，Bucci(1972)Makarovic(1972)，Lorenz(1972)，Thompson和Mikhail(1976)，以及Case(1980)都特邀为摄影测量过程自动化方面撰写过文章。Case的文章是最新的，并对迄今为止的进程作了一个简洁的而又广泛的介绍。我们可以随意地引用他的文章。

本书将首先考虑各种各样的摄影测量操作，以及讨论自动化对它们所起到的影响。这些操作是：量测、纠正以及正射纠正，高程测定，平面位置测定以及集成系统。然后，本书还将对解析立体测图仪作一回顾和详细的讨论，按我们的观点，解析测图仪是近年来最新的和最有意义的仪器的发展。最后还要叙述些其他问题，并以对这一问题的展望和预测结束本书。

## 第二节 摄影测量操作的自动化

### [一] 量 测

通常，人们把“量测”作为空中三角测量的第一步工作。原来，在一台立体观测的测图仪器(立体测图仪)上，将量测和空中三角测量合并成一个单一的操作，光学仪器和光学-机械仪器本身的结构就为空中三角测量提供了解算装置。由于解析空中三角测量的发展，将量测步骤分开来做更为有效。但是近年来，随着解析测图仪和具有数字化器的立体测图仪器的发展，以及随着独立模型法空中三角测量精度的改善，很多单位又返过来在立体测图仪上进行量测。

通常量测是由几个步骤组成：(1)在像片上辨认控制点以及(或者)选择加密点；(2)将这些点立体转刺到出现这些点的重叠的像片上；(3)实际地量测控制点和(或者)加密点的摄影测量坐标。在离线量测中，有两种不同的途径，每个途径都具有某种程度的自动化。在第一种方式中，选点和转点与量测分别进行，前者是在一台立体观察的转点仪器(例如 Wild 厂的 PUG 转点仪)上完成的，而后者是在单像坐标仪上进行。在第二种方式中，选点、转点和量测是集中在一台单独的仪器(立体坐标量测仪)上进行。在选点过程的自动化方面做得很少，虽然为转点仪器装备粗坐标读出器，已经做了一些工作，这个装置能被用作单像坐标仪上的预定位置。自动格网量测设备(*the Automatic Reseau Measuring*



*Equipment*)或简称为 ARME(Roos, 1975), 达到了单像坐标仪操作自动化的顶点。当给定像片上格网交点 (*reseaux*) 的检定坐标或近似坐标值以后, 自动格网量测设备 (ARME) 在计算机的控制下就会驱动到点的附近, 然后自动地对中并量测该点之坐标。同样, 给定了一个星表, 并随之辨认和量测至少两颗星以后, ARME 将会驱动到像片上其余恒星影象的附近, 并对中和量测它们。在 1960 年后期, 为立体坐标量测仪过程的自动化也作了一些尝试, 例如自动转点仪 (*Automatic Point Transfer Instrument*) 或简称为 APTI 以及 OMI/Bendix 公司的 TA3/PA。然而这些备有相关器的仪器从未达到足够的精度。比较近期的努力是集中在 OMI/Bendix 公司的 TA3/P1 和 TA3/P11 上, 帮助作业员完成相对定向和绝对定向、预定位、量测一个没有  $y$  视差的模型, 同时还可以进行数据编辑 (Seymere 和 Whitside, 1974; Helmering 1977)。最后, 许多这些同样的操作已经被并入解析测图仪的量测中。特别是随着稳定片基的软片以及备有格网的摄影机的出现, 还由于有了高精度的立体坐标仪和解析测图仪, 因而已经没有必要为转刺和量测的点作标记。仪器已经能够单独地根据原来已量测的某个点坐标, 找到原选定的点。

## [二] 纠正与正射纠正

纠正是为了消除由于倾斜所产生的移位, 即将摄影的影象从它的平面上投影到一个水平面上的过程。在近年来, 纠正的定义已有了某些扩大, 与此同时, 纠正已成为自动化程度最高的摄影测量操作。当然, 主要的突破是微分纠正或正射纠正的发展, 在正射纠正中, 对被纠正的像片又作了进一步的改正, 消除了由于地形起伏所产生的移位。这个过程已

被进一步的改进，从而能够将像片变换到非水平面的其他平面上，产生了所谓的三维或透视图。

纠正是由直接光学投影开始的，这种光学投影带有保持交线条件的机械控制器。在这种类型的仪器上已经实现了某种程度的自动化，即由一台计算机控制纠正仪的各种安置元素。正射纠正的最初的发展也是采用光学投影，然而，这种投影仅限制在一个很窄的缝隙内，由一个作业员人工机械地升降缝隙，使得断面穿越立体模型的地形表面。向全自动化方向发展的下一步是装备了自动相关，用于完成断面扫描。同时，采用电子方式对像片扫描和投影，以代替原来的光学投影。假如按年代顺序排列，这些系统有：威特 (Wild) 厂的 B-8 Stereomat；UNAMACE (全能自动编图装置——*Universal Automatic Map Compilation Equipment*)；加拿大 Gestalt 公司的自动测图仪 GPM-2，以及民主德国耶那蔡司 (Jena Zeiss) 厂的 Topomat。当然，这些都是在线系统，然而，近年来已出现了朝离线系统发展的趋势。再一点就是这些系统中的大部份还是使用光学投影，大多数由计算机控制，同时很多系统多能够利用一些断面数据，而这些断面数据不一定是由正在制作正射像片的同一张像片所获得的。因为它们是由计算机控制的。大多数的仪器也能够制作“立体匹配片” (*stereomates*)，它是一张引进了  $x$ -视差的正射像片，因而，对正射像片以及它的“立体匹配片”进行立体观察时，就会呈现出真实的地形起伏。这些离线系统仪器包括有，摄影影象复原装置 (*the Replacement-of-Photographic Imagery Equipment*) 或简称 RPIE；威特 (Wild) 厂的 Avioplan OR-1 以及民主德国耶那蔡司 (Jena Zeiss) 厂的 Orthophot-C。Scarano 和 Jeric (1975) 和 Kraus 等人 (1979) 已

经对于这些离线系统的操作进行叙述。

在纠正中正在考虑的当前发展方向(这也是摄影测量所有作业自动化的方向)——是数字影象处理。这需要使用已经数字化的影象,例如由陆地卫星多光谱扫描仪(MSS)所产生的数字化影象,或者对影象(即摄影的影象)扫描和数字化所产生的数字化影象。然后就能以数字的方式,采用计算机所能模拟的任何投影或透视关系,将这个影象进行变换。数字纠正的概念是由 Konecny(1979)以及 Keating 和 Boston(1979)提出来的,而 Murai(1978)以及 Tanaka 和 Suga(1979)的报告则对实际的数字纠正作了进一步的描述。后面的那篇参考文献特别有趣,他介绍一张富士山(Mt.Fuji)的陆地卫星 MSS 影象,由竖直透视关系变换成一个水平的透视图的情形,就像站在地面上某一点进行观察的那样。

最后,由 Makarovic(1974)提出的并由 Masry 和 McLaren(1979)以及 Besenicar(1978)进一步提高的另外一个纠正的概念,是所谓“数字单像测图”,现在已由美国国防部制图局的“提取的特征纠正和处理系统”(Extracted-Feature-Rectification-and-Processing-System,简称 EFRAPS)实现了。在这个概念中,平面信息是从单张像片中提取的,然后数字化,用反复迭代将数字信息变换成地面坐标。这个概念的优点是,假定已有了计算机那么它可以利用较便宜的设备,同时还容许作业平行处理,即在空中三角测量完成之前就可以提取平面信息。

### [三] 高程测定

按传统的方式,高程是由一个作业员利用一台模拟立体测图仪来测定的,人工地保持一个浮动测标在模型表面上,

并沿着高程相等的线(即等高线)移动模型。机助测图仪器和解析测图仪的出现并没有从实质上改善这个过程(作业员仍然必须人工用浮动测标跟踪地形),但是这些设备比常规的模拟仪器还是具有若干优点:它们可以很快的安置,完成高程(DTM)的输出,特别是解析测图仪还能使用惯于使用的摄影和坐标系统。Dowman (1977a)对这样的系统作了全面的论述。有一期“摄影测量工程与遥感”的整版(November 1978)专门讨论了解析测图仪;有一期加拿大测量员(June 1979)专论了一台解析测图仪 Anaplot;还有几次专门的解析测图仪的讨论会。所有这些都说明了解析测图仪的重要性。

随着自动相关的发展(在前面纠正一节中所论述的),高程量测过程的自动化有了一个大的跃进。虽然,最初发展自动相关技术主要用于制作正射像片,而目前,它正在成为具有自身特点的、较好经济效益的生产数字地面模型(DTM)数据的手段。例如全能自动编图装置(UNAMACE)(Madison 1975);Gestalt 公司的 GPM-2(Allam 1978)以及 OMI-Bendix AS-11B-x(Scarano 和 Brumm 1976),就是例证。UNAMACE 和 GPM-2 利用模拟(电子)相关技术,然而 AS-11B-x 采用的则是沿核线进行在线扫描,并对这些核线进行数字相关。另一个数字在线相关的概念(称为 RASTER),是由 Hobrough(1978)建议的。然而象纠正一样,高程测定的未来将归结于由 Panton (1978)所描述的离线数字影象处理。

#### [四] 平面位置的描绘

在摄影测量的操作范围,描绘平面位置不易实现自动

化。与高程的测定一样，平面位置也是在一台立体测图仪上手工描绘。同样，机助模拟测图仪以及解析测图仪的出现，对于这一过程没有根本帮助。但是在正射像片中至少有两种完全不同的方式。特别是在其中的一种情况下，正射像片就是一种最终的产品，这样，即使不是全部，也能避免大部份要在一台立体测图仪上进行描绘的工作量。这方面的有关例子就是美国地质测量局生产的许多正射影象地图(Southard, 1978)。在另一种场合下，正射影象被用作为描绘平面位置的底图。在这一过程中，作业员必须在正射像片的覆盖透明片上描绘一切可见的平面细部。作业员可以使用一个常用的立体反光镜或者变焦距的立体显微镜帮助判读，观察与正射像片覆盖着相同范围的一个立体像片对，然后就可以将被判读的细部转到覆盖的透明片上。最后，纠正那一节中所述的“数字单像测图”的概念为平面位置的描绘提供了另一种有生命力的技术。特别是，作业员能够在—个立体反光镜下观察—个立体像片对，同时还能够在立体像对中的一张像片的覆盖透明片上描绘平面细部特征。然后，在覆盖的透明片上的平面位置被数字化并转到地图上。

常规的地形图已不再是此过程的唯一产品。随着数字数据库的出现，这个过程已经扩展到包括：收集土地利用数据，调查湿地，收集能够用来模拟诸如雷达等其他传感器的图象的那些特征数据，进行地形分析以确定干线以外的其他越野线路等等。这些都要求作业员具有判读的技能，在过去，这已超出了所要求的范围，正如 A.G. Williams 曾所说的那样：“……大部份的兴趣将来自于参加国际摄影测量协会 (ISP) 有关判读的第 VII 委员会，而在一个时期内曾把判读看作为我们职业的边缘的东西” (Dowman, 1977b)。

正如其他摄影测量操作一样，平面位置的描绘的未来似乎就寄于数字影象处理上(Bernstein 和 Ferneyhough, 1975; Andrews, 1977)，在这个领域内正在作出大量的努力，特别是利用 MSS 影象方面，正在出版的很多论文就证实了这一点。在自动描绘平面位置中的现实问题，正如 Proctor 所指出的那样：“相关器的软件问题不仅要匹配影象对，而且还要能识别道路和铁路以及建筑物……”(Dowman, 1977b)。这个问题正在通过一个新的学科——所谓“影象认识”——着手解决，这是属于图象识别或人工智能的一部份。十分有趣的是，在这方面进行研究的大多数是电子工程师和计算机科学家，而不是摄影测量工作者。

## [五] 集成系统

自动化的经济效益被戏剧性地体现在这样一些集成系统中，它们将上述的一种或多种摄影测量操作、编辑和数据库的管理结合起来。典型的这样的系统是由若干台机助立体测图仪或解析测图仪、大量的用于输入信息和编辑的交互式显示器以及一台中心计算机所组成，所有的测图仪以及交互式终端都被联接到中心计算机上，并由它对于数据进行管理。Dowman(1977a)对于这样的系统作了综合性讨论，下面给出几个具体的例子。

在这样的系统中，“集成摄影测量仪器网络”(Integrated Photogrammetric Instrumentation Network 简称 IPIN)可以说是一个最有前途的系统。它是由位于圣·路易斯港的美国国防部制图局宇航图制图中心(DMAAC)发展的，用于从像片上采集数字地面模型(DTM)数据。它的特点已由 Elphinstone(1978a, 1978b)以及其他的人员(Fornaro 和 Dei-

mel, 1978; Kirwin, 1978; Bybee 和 Bedross, 1978, El-phingstone 和 Woodford, 1978) 的许多文献作了论证, 它是由“集中控制的解析测图仪系统”(Pooled Analytical Stereoplotter System, 简称PASS)、“自动编图设备”(Automatic Compilation Equipment, 简称ACE, 它是一台生产型的AS-11B-x核线立体测图仪)、整体摄影测量仪器网络(IPIN)的“处理系统”以及IPIN的“编辑系统”所组成。PASS是由两台解析测图仪AS-11A和AS-11B-1组成, 它们都被联接到Modcomp 11/45型中心小型计算机上。这些小型计算机起到数据库管理员的作用, 同时也是解析测图仪的输入/输出设备。自动编图设备(ACE)是用来作为DTM的高速发生器, 而AS-11B-1和AS-11A用于采集ACE相关器死法正常工作范围内的DTM数据。另外这两台解析测图仪还用来采集内插时需要地貌特征数据(山脊和水系等)。“处理器系统”管理着IPIN的文件系统, 并且处理IPIN系统中所有设备之间的数据流程。它将自动编图设备(ACE)的核线数据转换至大地坐标系, 将数据内插成为规则的阵列形式。“编辑系统”包括一台X-Y绘图机和大量的交互式编辑终端。

大约15年前, 自从引进全能自动编图装置(UNAMACE)系统以来, 美国国防部制图局海图/地形图制图中心(DMAHTC)研制了一台相类似的系统。开始时, UNAMACE系统用于在线生产以粗细线表示的等高线和正射像片, 然后大约在5年前(Madison, 1975) UNAMACE系统就只用于生产数字地面模型(DTM), 而等高线是由计算机根据DTM离线生产, 正射像片是由摄影影像复原装置(RPIE)离线生产(一台RPIE可以为几台UNAMACE提供

数据)。现在,已经用现代的小型计算机与电子线路成功地改正的 UNAMACE 系统。DMAHTC 已经设置了与宇航图制图中心 (DMAAC) 一样的集中控制的解析测图仪系统 (PASS), 然而, 他们的各种各样采集系统、处理系统和编辑系统还不是象 IPIN 系统那样直接联接起来的。最后必须指出, DMAAC 和 DMAHTC 这两个制图中心都是利用带有覆盖透明片的正射像片 (或正射像片图) 来描绘平面位置, 利用 *Bausch & Lomb* 的变焦 240 型立体反光镜进行判读和数据分析。

美国地质调查局 (USGS) 和加拿大测绘局在 Gestalt GPM 2 的基础上建立了“集成系统” (Brunson 和 Olson, 1978; Allam, 1978; Zarzycki, 1978)。如全能自动编图装置 UNAMACE 一样, 过去加拿大测绘局主要用 GPM 2 制作正射像片, 而现在 GPM 2 的主要产品是数字地面模型 DTM, 正射像片是次要的。平面位置的数据是用机助模拟立体测图仪 (装有一台 M&S 的交互式编辑系统的威特厂的 B8S) 采集的。水系数据也是用这些同样的测图仪采集, 以助于从 DTM 内插等高线。这个系统被连接到一台计算机上, 以产生数字地形数据库。在美国地质测量局, DTM 数据的收集是由 GPM 2 完成, 而平面位置的数据以及 DTM 的补充数据是由大量的机助模拟立体测图仪 (克恩厂的 PG 2 以及威特厂的 B8S) 以及解析测图仪 (AS-11A 和 AS-11A-1) 采集。

另一个集成系统是由美国渔业和野生动物局研制的湿地分析绘图系统 (*Wetlands Analytical Mapping System*, 简称 WAMS) (Autometric 1979)。它不包括平面数据的采集, 但它也能完成量测和解析法空中三角测量的处理。WAMS



系统是由自动的 APPS -Ⅳ型解析测图仪、显示终端、绘图机以及数字化器组成，所有这些设备都联一台中心计算机上，计算机用于管理 WAMS 的地理数据库。

最后，由亨廷 (Hunting) 测量有限公司研制了一种集成系统 (Leatherdale 和 Kier, 1979)，这是一种典型的用于大的商业性机构中的集成系统。这种 Hunting 数字测图系统是由 Wild 厂的 A8 立体测图仪所组成，这些测图仪多在线地与一台中心计算机相联接。等高线和平面位置都用这个系统进行数字化。但是，编图工作是在由计算机所绘的图上离线地完成。