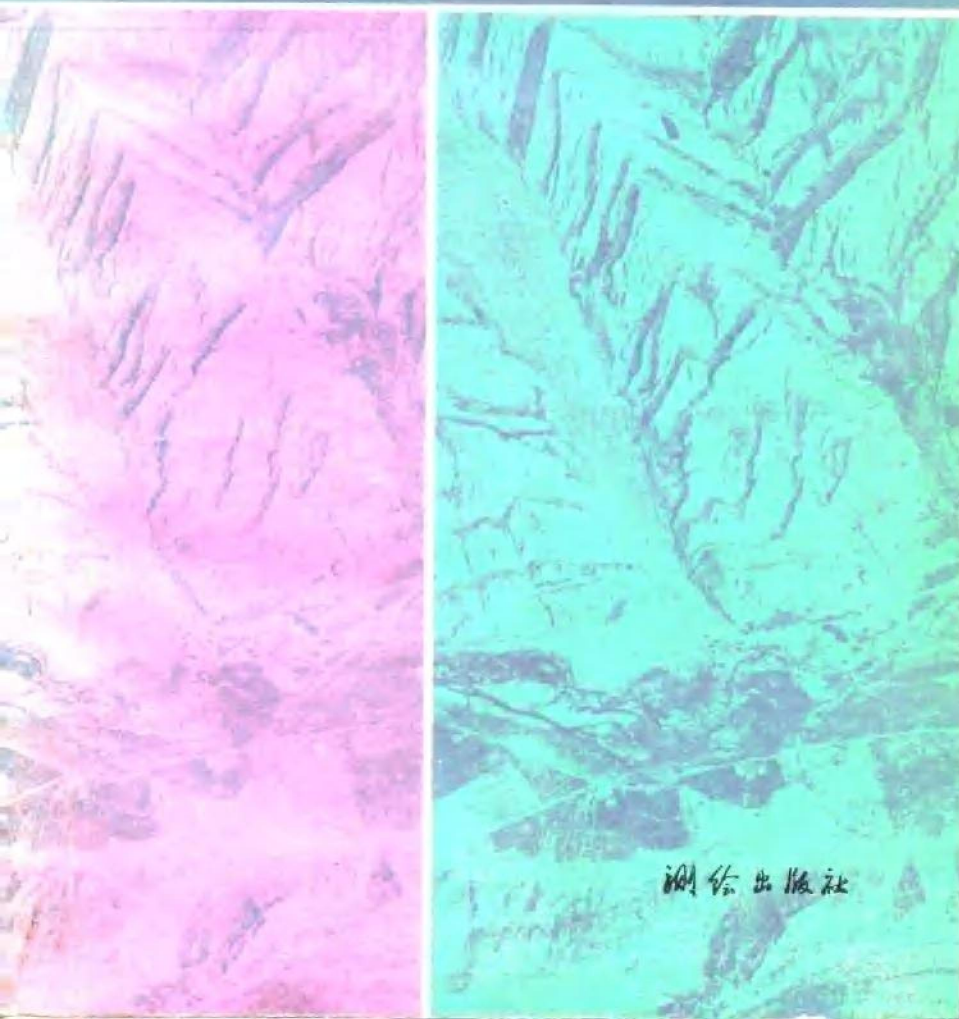


卫星摄影测量

—美国《摄影测量手册》节选之七

[美]唐纳德·L·莱特 主编



测绘出版社

卫星摄影测量

——美国《摄影测量手册》节选之七

主编：[美]唐纳德·L·莱特

编者：杜恩·布朗 A·P·科尔沃考雷塞思

弗雷德里克·J·多伊尔

默顿·戴维思 阿特夫·埃拉萨尔

约翰·L·琼金斯 J·R·曼南特

奥斯汀·麦克肯尼 罗纳德·安德雷卡

乔治·伍德

译者：林美德

校者：钱曾波

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。

本书是原手册的第十七章。它较系统、扼要地介绍了卫星摄影测量的原理和方法。内容包括卫星摄影测量的发展;有关轨道确定的基本理论;摄影机姿态角的确定;带轨道限制的卫星摄影测量网的平差;航天摄影计划以及未来卫星遥感系统的发展等。本书对从事摄影测量及遥感的有关人员均有参考价值。

卫星摄影测量

[美]唐纳德·L·莱特 主编

林美德 译

钱曾波 校

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 8¹/₈·字数 182 千字

1985 年 4 月第一版·1985 年 4 月第一次印刷

印数 1—2,500 册·定价 1.90 元

统一书号: 15039·新 359

目 录

第一章 绪 论	(1)
§1-1 发展史.....	(2)
§1-2 行星测图.....	(10)
§1-3 空间计划.....	(15)
[一] 阿波罗计划.....	(15)
[二] 探测器计划.....	(23)
[三] 天空实验室计划.....	(23)
[四] 陆地卫星.....	(25)
§1-4 卫星摄影测量合理性的论述.....	(29)
§1-5 卫星摄影测量分类.....	(30)
[一] 二维卫星摄影测量.....	(32)
(一) 陆地卫星.....	(32)
(二) 气象卫星.....	(39)
[二] 三维卫星摄影测量.....	(40)
§1-6 卫星摄影测量的基本要素.....	(48)
第二章 轨道的确定	(51)
§2-1 坐标系.....	(52)
§2-2 量测方向、距离和(或)径向速度的 设备.....	(54)
§2-3 观测值的几何特性.....	(57)
[一] 距离和距离速率.....	(57)
[二] 跟踪天线座架和有关的坐标系.....	(59)
§2-4 行星运动的开普勒定律和牛顿定律.....	(64)

§2-5	椭圆的几何特性	(66)
§2-6	轨道平面的定向	(68)
§2-7	二体问题	(70)
[一]	运动方程式	(71)
[二]	能量(活力)积分	(72)
[三]	开普勒方程式	(73)
[四]	位置和速度坐标与欧拉元素之间的 变换	(75)
[五]	二体问题的经典解法	(76)
[六]	椭圆二体问题的非奇异解	(77)
§2-8	摄动的积分	(78)
[一]	非二体的加速度	(79)
[二]	直接法和间接法	(79)
[三]	参数的变化	(84)
[四]	微分方程的数值解	(85)
§2-9	估算轨道的改正	(86)
第三章	卫星摄影测量理论的建立	(89)
§3-1	航空和航天解析空中三角测量之间的 区别	(89)
§3-2	月球轨道解析三角测量及阿波罗系统	(91)
§3-3	定向角的确定	(95)
[一]	恒星摄影机	(95)
[二]	恒星摄影机的几何特性	(96)
[三]	恒星赤经和赤纬的计算	(98)
[四]	摄影机姿态与恒星方向之间的关系	(100)
第四章	带轨道限制的平差	(103)
§4-1	第 k 条航线形成的观测方程	(105)

§4-2	由外部观测值组成的观测方程组·····	(109)
§4-3	第 k 条航线的通用法方程组·····	(114)
§4-4	轨道区域的通用法方程组·····	(118)
§4-5	轨道区域的简化法方程组·····	(123)
§4-6	误差传播·····	(128)
§4-7	结论·····	(130)
第五章	几何参考系统·····	(133)
第六章	根据阿波罗测量摄影机的像片推算	
	坐标·····	(137)
§6-1	国防制图局(DMA)归算的结果·····	(139)
§6-2	NOS/GS 归算的结果·····	(140)
第七章	水手号火星飞行·····	(142)
§7-1	飞行的描述及目标·····	(142)
§7-2	电视摄像机·····	(144)
§7-3	火星的控制网·····	(146)
第八章	航天摄影飞行计划·····	(153)
§8-1	引言·····	(153)
§8-2	测图摄影·····	(155)
	[一] 飞行任务的考虑·····	(155)
	[二] 摄影覆盖面积的估算·····	(156)
	[三] 估算曝光量的要求·····	(158)
	(一) 表面亮度·····	(160)
	(二) 照度·····	(160)
	(三) 光谱的反射系数·····	(163)
	(四) 反射特性·····	(164)
	(五) 大气的影响·····	(165)
	(六) 大气的透射·····	(165)

(七)	大气的亮度	(166)
(八)	景物的视亮度	(166)
(九)	摄影机的性能	(167)
(十)	相对孔径	(168)
(十一)	透射率	(168)
(十二)	滤光系数	(168)
(十三)	摄影乳剂的感光度	(169)
(十四)	曝光量的确定	(175)
[四]	地面分辨距离的估算	(181)
[五]	基高比与重叠的关系	(183)
[六]	精度估算	(187)
第九章	确定姿态角的摄影	(193)
第十章	未来的卫星遥感系统	(196)
§10-1	美国的发展情况	(196)
[一]	航天飞机	(196)
[二]	可重复使用的积木式标准件 组合式航天器	(198)
[三]	跟踪与数据中继卫星系统 (TDRSS)	(198)
[四]	专题成像仪	(200)
[五]	全球定位系统	(202)
§10-2	重大的决策	(202)
§10-3	陆地卫星-D	(203)
§10-4	实验性的电光传感器	(205)
[一]	OSTA-1号飞行	(206)
[二]	航天飞机成像雷达(SIR-B)	(207)
[三]	线性阵列	(207)

§10-5	国家海洋大气管理局(NOAA)经营的 地球观测系统·····	(209)
§10-6	美国计划的其他系统·····	(210)
	[一] 立体卫星·····	(210)
	[二] 测图卫星·····	(212)
	[三] 国家海洋卫星系统(NOSS)·····	(215)
	[四] 冰和气象试验(ICEX)·····	(217)
	[五] 大像幅摄影机(LFC)·····	(218)
§10-7	欧洲计划方案·····	(222)
	[一] 阿里安运载火箭·····	(222)
	[二] 空间实验室1号·····	(223)
	(一) 测量摄影机的试验·····	(223)
	(二) 微波遥感试验·····	(224)
	[三] 空间实验室13号·····	(224)
	[四] 欧洲遥感卫星·····	(227)
	(一) 近海监测卫星系统(COMSS)·····	(227)
	(二) 陆地应用卫星系统(LASS)·····	(229)
	[五] 地球观测试验系统(SPOT)·····	(230)
	[六] 苏联的计划·····	(234)
	[七] 荷兰的计划·····	(236)
§10-8	其他国家的空间计划·····	(237)
	[一] 巴西·····	(237)
	[二] 加拿大·····	(237)
	[三] 印度·····	(238)
	[四] 日本·····	(239)
§10-9	国际合作·····	(243)
	参考资料·····	(244)

第一章 绪 论

航天时代在五十年代末期的国际竞争潮流中形成并日趋成熟，这大大地有助于人类对地球、月球、行星和太阳系的认识。从航天时代一开始，摄影测量者就对从轨道上摄取的图象竟会有这么大的信息量而感到惊奇。本书之目的就是研究卫星摄影测量的可能性，更确切地说，也就是研究采用解析摄影测量方法进行卫星摄影测量的可能性。卫星摄影测量与常规的摄影测量不同，卫星摄影测量的理论和技术是把传感器装在宇宙飞船上，利用传感器的输出信息（通常以影象的形式输出），来确定正在探索中的月球或行星上的坐标。

至今，最重大的卫星摄影测量是70年代初期，用美国宇航局的阿波罗飞船15号、16号和17号的摄影资料进行的（用多普勒跟踪制作星历表，用恒星摄影机提供姿态角，并用测高仪量测从飞船到月球表面的距离）。所得数据连同测图摄影机的摄影资料，就是进行卫星摄影测量所必需提供的全部信息，但这时并不需要地面控制点。因此，用装有类似设备的人造卫星来测绘月球图或行星图是非常适宜的。本书列出的数学公式都是很概括的，以便可供今后研究卫星摄影测量问题时使用。对于一般的数学分析，读者可参阅“美国摄影测量手册”（第四版）第二章。

本书的重点是确定三维坐标的数学关系，而不是只限于

* 本书中，“地面”和“地形”等词，不仅用于地球，也用于其他所测的星球，具体含义要视上下文而定。——译校者

确定平面坐标(例如,陆地资源卫星拍摄的像片,主要就用来二维测图,即平面测图)。

§ 1-1 发展史

在许多测量员和制图员的记忆中,测绘地图就是测量员背着经纬仪、平板仪和照准仪跋山涉水艰难地进行工作,同样,为了绘制月球及行星图,在整个历史过程中,天文学家们花费了数不清的时间,在望远镜上进行观测,并记录他们能见到的星球表面特征。第二次世界大战后,外业测量员大量的繁重劳动被测图摄影机和摄影测量的测图仪器所代替。飞机,航摄仪和测图仪器三者的结合,大大地提高了地图的生产率和精度,并丰富了地图的内容。

人们都期望把空间卫星用作传感器的运载工具,以提高测图能力,这相当于当年航摄飞机取代外业测量员的情况。随着1957年10月4日苏联人造地球卫星SPUTNIK 1号的发射,开始了这门新技术研究的新时期。自那时以来,事实已证明,空间传感器几乎是唯一能用于测绘那些外业测量员不便作业地区的理想设备,用它来测绘月球和行星也是理想的。因此,自1958年空间计划开始以来,人们在探索太阳系的奥秘方面取得了很大的进展。

世界各地的科学家们都在研究下述具有历史意义的像片——五十年代,在白沙(White Sands)试验场和其他地方发射的火箭以及美国早期发射的载人宇宙飞船(1961年5月到1963年5月的水星宇宙飞船;1965年3月到1966年11月的双子座宇宙飞船)拍摄的像片。

1959年10月,苏联宇宙飞船月球3号(LUNA3)从空

间拍摄了第一批月球像片，该飞船是在 SPUTNIK 1 号发射两周年时(即 1959 年 10 月 4 日)发射的，它拍摄了月球背面的像片，并自动地进行了显影，然后通过无线电把图象传送回地球。经鉴定，像片的质量比优质望远镜像片要差很多。但苏联科学家却从中取得了有用的信息，并制作了第一幅在此以前还是未知的月球背面图(Barabashov, 1961)^[1]。

1961 年美国开始制定徘徊者计划(*Ranger Program*)，其设计目的是要在宇宙飞船上拍摄月球表面，以取得其细部像片，随后宇宙飞船就坠落在月球上。该飞船携带两个宽角和四个窄角的电视摄像机。然而，直到 1964 年 7 月 28 日，徘徊者 7 号才成功地发回了 4316 张高分辨率的像片。坠落前拍摄的几张像片清楚地显示了月球地貌。其分辨率小于 1 米，而用地面摄像望远镜拍摄的像片只能分辨大于 800 米宽的细部。徘徊者 7 号还从离月球距离为月地距离 1/800 处拍摄了宇宙飞船坠落的月球云海处的像片。1965 年 2 月 17 日发射了徘徊者 8 号，在它坠落静海之前，发回了 7137 张像片。1965 年 3 月 21 日发射了徘徊者 9 号，它坠落在 *Alphonsus* 环形山之前，发回了 5814 张像片。尽管徘徊者宇宙飞船的轨道使摄影测量成图很困难，但还是用解析法，对月球的局部地区编绘了几幅像片镶嵌图和地图(Light, 1966)。

1965 年 7 月 19 日苏联宇宙飞船探测者 3 号(*Zond 3*)在距月球表面 9220 公里的上空掠过，并拍摄了 25 张月球背面的像片。这些像片的质量要比 1959 年月球 3 号拍摄的要高。接着，1966 年 10 月发射了月球 12 号，月球 12 号是在位于赤道轨道对月球摄影。根据这次飞行所获得的资料，苏联制作了一幅新的、比例尺为 1:5,000,000 的月球表面图。

1966 年 2 月，苏联宇宙飞船月球 9 号在月球的暴风海登

陆。四个月之后，美国探测器 1 号在 Flamsteed 环形山附近登月。以后登月接二连三地出现——1966 年 12 月的月球 13 号；1967 年 4 月 17 日到 1968 年 1 月 7 日发射了探测器 3 号、5 号、6 号和 7 号。尽管这些登月飞船拍摄了 7 万张月球表面的像片，提供了有关月面承受强度和载人飞船登月是否可行的资料，但在制图方面的贡献却很有限。探测器宇宙飞船的飞行，提供了第一批黑白的近距离摄影的月球表面像片。用这些像片制作了登月场的像片镶嵌图和地形图（比例尺为 1:50，等高距为 10 厘米）。据报道，苏联宇宙飞船月球 16 号、20 号和 24 号把月球的土壤标本带回了地球。月球 17 号和 21 号则把无人驾驶的勘探车留在月球表面。

月球轨道飞行器 (*Lunar Orbiter*)。在阿波罗月球卫星之前，最成功的是美国宇航局的月球轨道飞行器。这种飞行器共发射了五个，其中第一个是 1966 年 8 月 10 日发射的，而且它们几乎都百分之百地达到了预期的目的。它们的主要任务是拍回阿波罗宇宙飞船计划登月位置的高分辨率的小面积摄影资料，以及中等分辨率的大面积摄影资料。阿波罗登月区的位置在纬差 $\pm 5^\circ$ ，横跨月球正面的区域内 (图 1)。第二个主要任务是拍摄具有重大科学价值地区的像片，包括象哥白尼 (Copernicus) 环形火山这样较大的火山口以及特殊构造地区。图 2 表示每个月球轨道飞行器的摄影范围。这些飞行都非常成功地达到了上述两个目的。从这个独特的摄影系统所记录的影象质量来看，高分辨率 (HR) 的摄影机在 46 公里的高度摄影时，地面分辨率为 1 米，而中等分辨率 (MR) 的摄影机地面分辨率为 8 米。如果我们把它与分辨率低于 800 米的地面望远镜来比较，即使 8 米的分辨率也是很不错的。然而，对摄影测量应用来说，像片的几何质量比期望的要差得

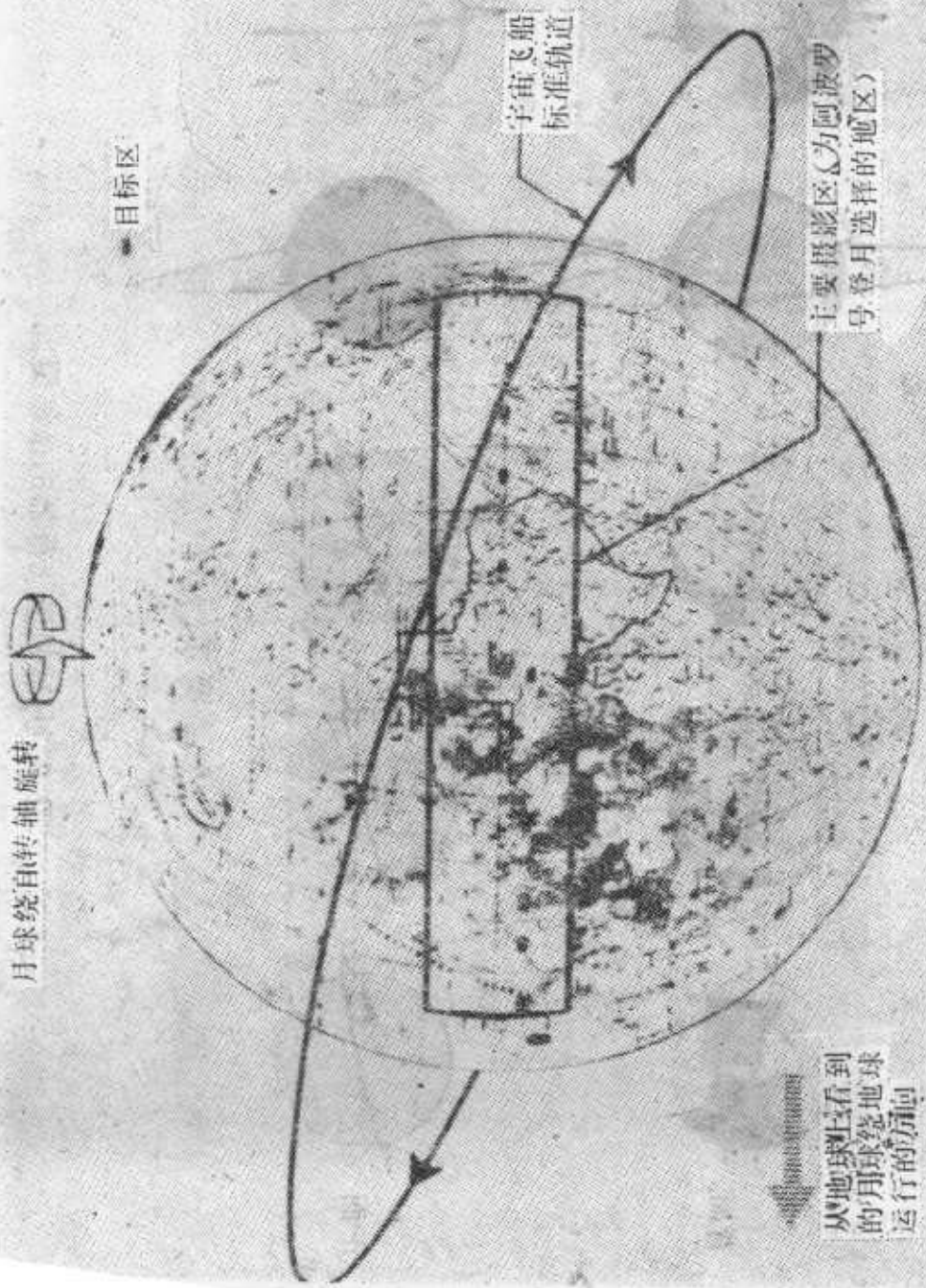


图 1 阿波罗号登月区

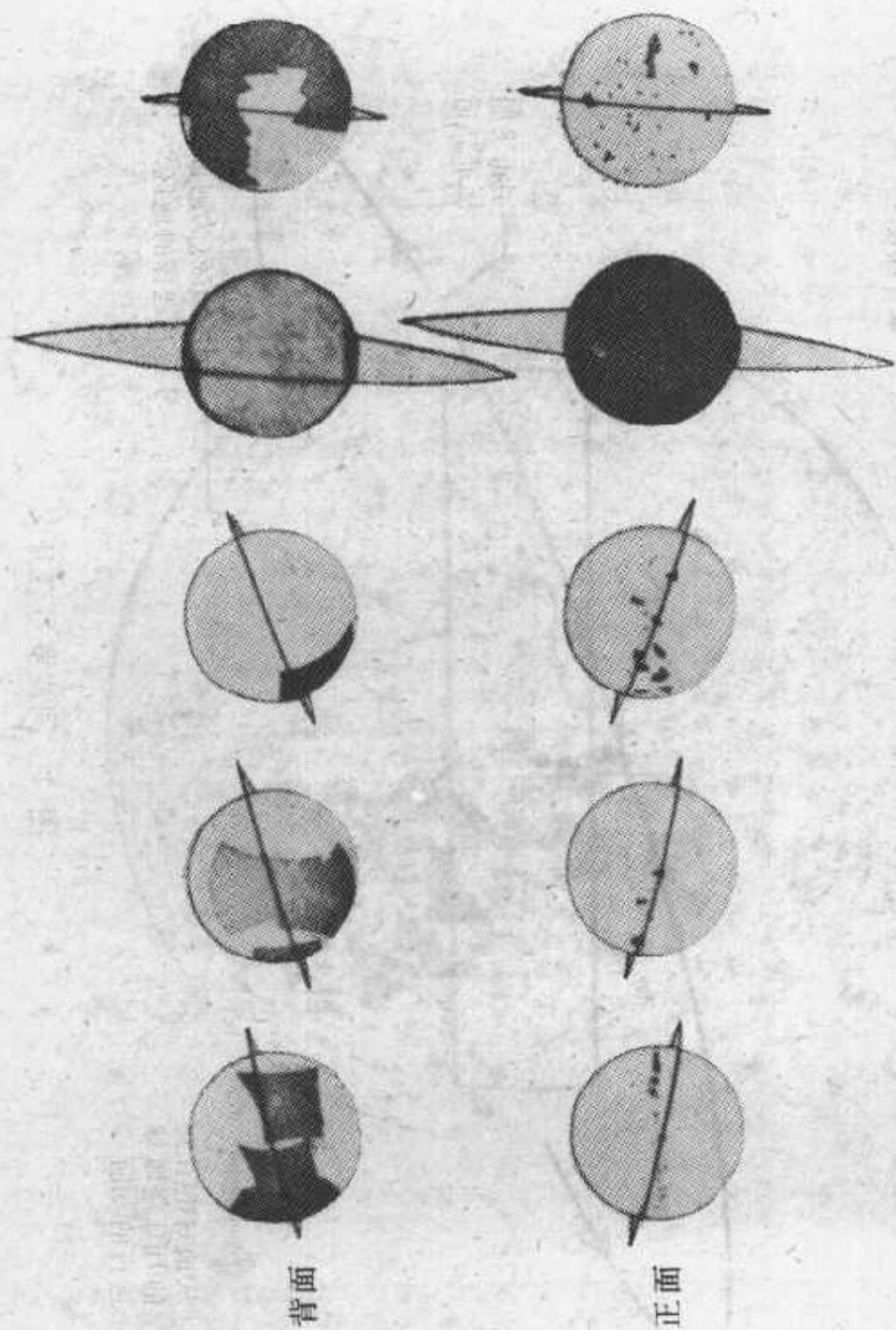


图 2 月球轨道飞行器的摄影覆盖

多。至今我们还不能拍摄测绘月球碎部所需的几何精度很高的像片。

月球轨道飞行器所用的这个独特的摄影系统是经过精心设计的，因为对阿波罗飞船计划登月位置进行大量的三角测量和测图，都是要利用月球轨道飞行器所取得的资料完成的。卫星拍摄的中等分辨率的每张像片要分为26条（小条带），以便进行扫描后，通过无线电传送回地球。飞行器使用了一个带有两套光学装置的专用的胶片摄影机系统[Kosofsky 1966; Kosofsky and El-Baz 1970]。高分辨率的摄影机采用焦距610毫米，孔径 $f/5.6$ 的镜头，而中等分辨率的摄影机采用焦距80毫米，孔径 $f/5.6$ 的镜头。胶片宽度为70毫米，并用预先印有格网的伊思曼-阿达SO-243航摄胶片（第一个轨道飞行器例外，胶片上没有网格）。这些网格用来计算像坐标 x ， y 的改正数。像幅是 55×65 毫米，在46公里高度的拍摄面积为 31.6×37.4 公里。高分辨率系统同时曝光，像幅为 55×219.18 毫米，拍摄面积为 4.15×16.6 公里，位于中等分辨率摄影机所拍摄地区的中央。胶片是在飞船中用伊思曼-柯达公司的Bimat系统显影的。一次只扫描胶片的一小条带（ 2.54×57 毫米），然后移动胶片2.54毫米，再扫描下一小条带。用光电倍增管来产生信号，每个信号与每个像元素的光强成正比，并把视频信号发回地球。各小条带在地面上要重新镶嵌在35毫米的胶片带上。晒像机把各小条带放大7.5倍左右，把它们相互平行地放置，就拼成了一张一次曝光的像片。一张高分辨率的像片有86条*，而一张中等分辨率的像片有26条。

* 原文中为96条。

——译校者注

条带镶嵌法(*framelet method of assembly*)是把从一个像对中取得的立体影象变为一个具有所谓条状波纹效应的影象(图3)。幸运的是每一小条带有高达23个网格点,通常还具有2到4个框标标志。把量测的坐标变换到网格坐标系,然后再把该坐标系变为框标坐标系,摄影测量工作者就能改正图象,精度在20~30微米以内。图4表示月球轨道飞行器的成像、传输和处理系统。

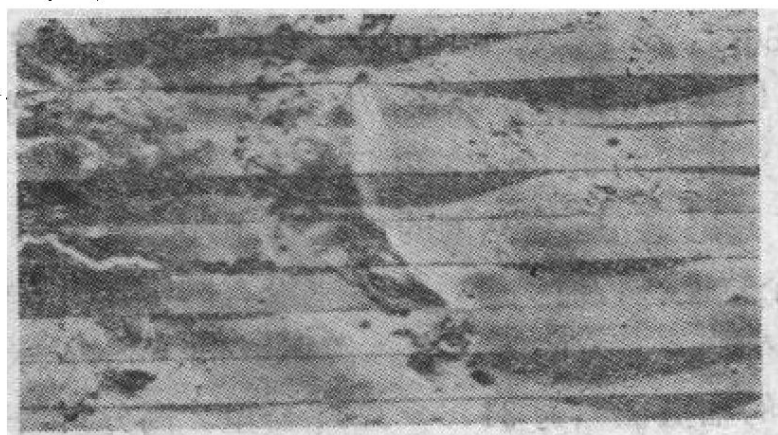


图3 由月球轨道飞行器摄取的显示出“条状波形效应”的像片。

月球轨道飞行器 I、II、III号,提供了计划登月位置的像片带,它们多半是从额定高度46公里处对赤道倾斜 12° 的轨道上拍摄的。在一项对两次以上的飞行分别摄得的四个登月位置的研究中,登月坐标是按照每次飞行资料分别确定的。其目的是为了对各次飞行所得到的同名点坐标进行比较。各个同名点与其平均值的中误差高达1500米。这些误差是由于每次飞行所用的星历表不一致,以及所涉及的几何条件不好而造成的。用这些飞行器所得到的资料,对探测者3号的计划登月地点,进行了1:2000和1:5000比例尺的测图(Schull and Schenk, 1968),探测者3号是一系列计划在月

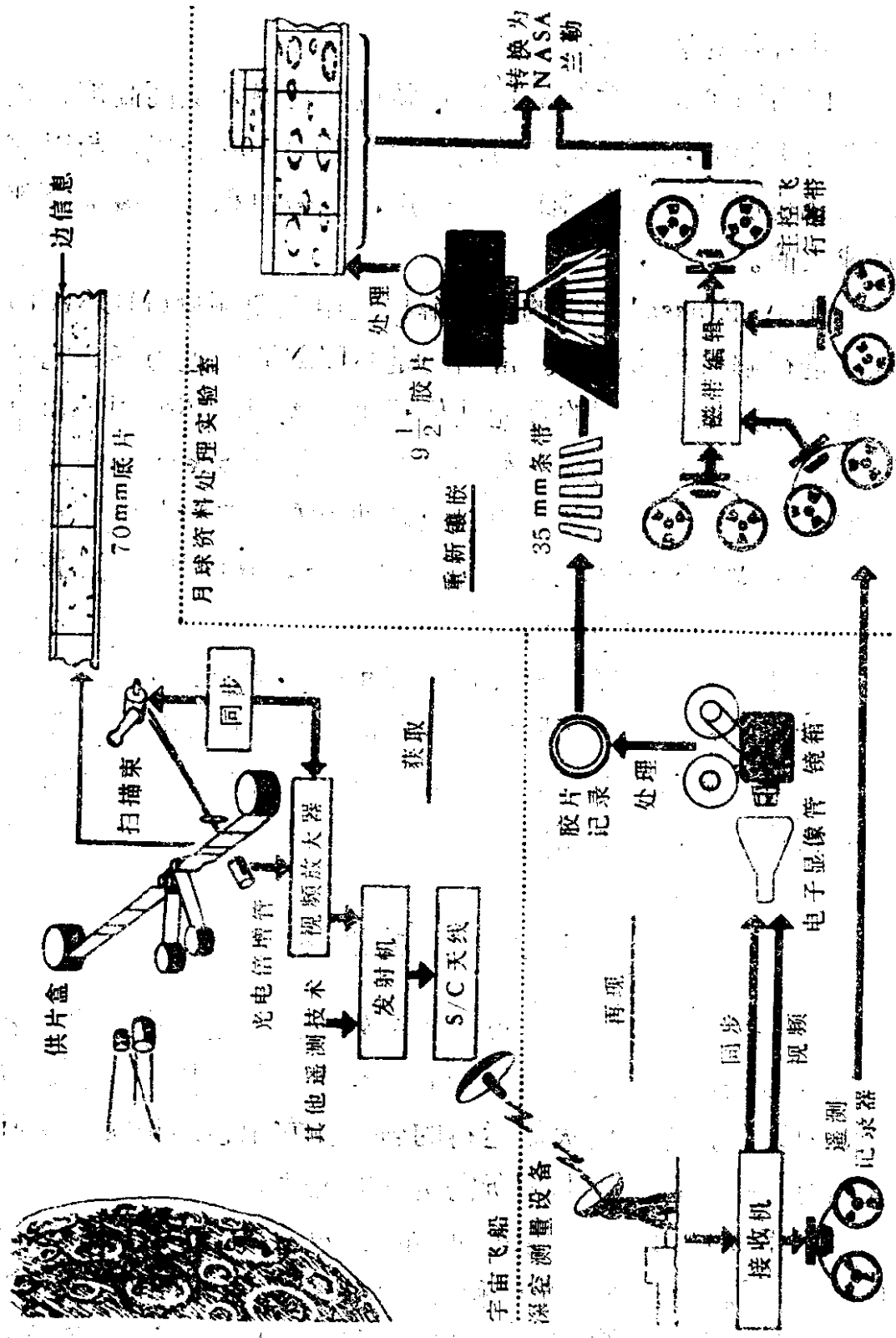


图 4 月球轨道飞行器的摄影、传输、再现及重新镶嵌流程图