

[苏]Л.М.布加耶夫斯基
A.M. 波尔特诺夫

单张航天象片理论

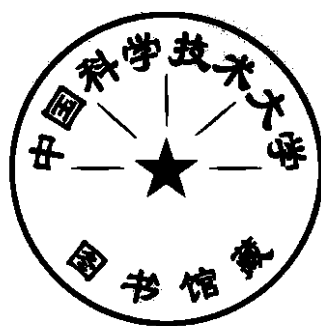


测绘出版社

单张航天象片理论

[苏] Л.М. 布加耶夫斯基 著
A.M. 波尔特诺夫

林开愚 周广森 译



测绘出版社

(京) 新登字 065 号

本书讨论了对地球和天体表面的各种成象方式, 单张航天象片的基本特性, 构成和分析摄影图象和非摄影图象所利用的坐标系统。讲述了椭球面到球面透视映射的方法。论述了确定各种图象内外方位元素的问题, 将摄影象片和非摄影象片变换为给定的地图投影的问题, 象片量测的数学处理问题。阐明了从单张象片上向地图上传递地物信息的问题。

本书可供研究获取和使用各种单张航天象片问题的摄影测量、制图、大地测量工作者, 地质、气象以及其它专业人员参考, 以解决科研和生产任务。

Л. М. БУГАЕВСКИЙ А. М. ПОРТНОВ
ТЕОРИЯ ОДИНОЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ
МОСКВА "НЕДРА" 1984

单张航天象片理论

[苏] Л. М. 布加耶夫斯基 А. М. 波尔特诺夫 著
林开愚 周广森 译

*

测绘出版社出版·发行
大兴星海印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所经销

*

开本 787×1092 1/32·印张 11.625·字数 260 千字

1992 年 6 月第一版·1992 年 6 月第一次印刷

印数 1—800 册·定价 9.80 元

ISBN 7-5030-0182-8/P·81

前 言

单张框幅式航摄像片的理论在许多摄影测量教程中都有了研究。目前，还有一系列的著作讨论关于获取和使用非摄影象片的个别问题，但是，由各类已有的成象系统获取的摄影和非摄影单张象片的一般理论至今还没有导出。本专著在一定程度上弥补了此一不足。

在编写本专著时使用了作者的研究成果和国内、国外学者发表的资料。

书中所有章节均由 Л.М. 布加耶夫斯基 教授 和 А.М. 波尔特诺夫 副教授 共同编写。

俄罗斯加盟共和国功勋科技活动家 В.Д. 波利沙科夫教授，В.И. 阿科维茨基教授，Л.А. 瓦赫拉梅耶娃教授，И.Г. 茹尔金教授，Ю.М. 涅依曼教授，以及 И.И 克拉斯诺雷洛夫 副教授 给予了宝贵的建议，从而提高了本书的质量，作者对此表示感谢。

目 录

绪 论	(1)
第一章 航天成象方式	(4)
§ 1. 概述	(4)
§ 2. 航天成象方式简述	(6)
§ 3. 航天象片的误差	(18)
第二章 坐标系统	(24)
§ 4. 与宇宙空间的控制目标体、控制点和 控制平面相关联的坐标系统	(24)
§ 5. 地面坐标系	(28)
§ 6. 月球、行星及其卫星的坐标系统	(34)
§ 7. 各种象片坐标系统的几何基础和方位 元素	(36)
§ 8. 微分改正公式	(50)
第三章 逼近函数在求解有关单张航天象片 问题时的应用	(54)
§ 9. 一般原理	(54)
§ 10. 给定区域整个面积范围的逼近函数	(56)
§ 11. 在被选区域 (线段) 及其边界范围内 逼近的分段函数	(69)
第四章 单张航天象片表面的正则化	(73)
§ 12. A.H. 吉洪诺夫非正则极值问题解法 基础	(74)

§ 13.	根据在控制点上确定的值估计单张航 天象片点偶然变形值的若干方法·····	(76)
§ 14.	处理单张航天象片观测值时平滑方法 的应用·····	(79)
§ 15.	两个场 (曲面) 坐标系统相互-单值对 应的建立·····	(84)
第五章	椭球正图象外透视方位投影·····	(91)
§ 16.	水平象面上的外透视方位投影·····	(91)
§ 17.	倾斜面上的正图象外透视方位投影·····	(104)
第六章	椭球负图象透视方位地图投影·····	(129)
§ 18.	负图象透视方位投影的一般原理·····	(129)
§ 19.	椭球中心透视方位投影·····	(134)
§ 20.	椭球等角方位投影·····	(139)
§ 21.	椭球正射投影·····	(143)
第七章	椭球面到球面的透视映射·····	(146)
§ 22.	椭球面到球面的负图象透视映射·····	(146)
§ 23.	从某一给定观察点投影时, 椭球面到 球面的正图象透视映射·····	(158)
§ 24.	由给定观察点组投影时, 椭球面到球 面的正图象透视映射·····	(163)
第八章	椭球双重透视方位投影·····	(171)
§ 25.	获取双重投影的基本原理·····	(171)
§ 26.	椭球负图象双重透视方位投影·····	(173)
§ 27.	椭球正图象双重外透视方位投影·····	(180)
第九章	摄影图象方位元素的确定·····	(192)
§ 28.	概述·····	(192)
§ 29.	利用逼近函数确定方位元素·····	(193)

§ 30. 确定方位元素的混合法·····	(202)
§ 31. 利用大地坐标系直接解算摄影测量后方 交会确定方位元素·····	(216)
§ 32. 利用控制点大地坐标和表面平滑法(坐 标值法) 计算摄影象片方位元素·····	(224)
§ 33. 负图象椭球透视方位投影摄影象片方 位元素的确定·····	(226)
第十章 侧视雷达象片(图象) ·····	(236)
§ 34. 概述·····	(236)
§ 35. 理想成象条件下侧视雷达象片上点的 坐标的确定·····	(238)
§ 36. 顾及方位元素确定侧视雷达象片上点 的坐标·····	(244)
§ 37. 利用逼近关系式变换坐标系·····	(259)
§ 38. 地形起伏改正值的确定·····	(261)
§ 39. 当已知方位元素(指每行)和成象参 数时构成侧视雷达象片的方法·····	(265)
第十一章 用扫描系统获得的航天象片·····	(270)
§ 40. 确定线性单行扫描系统在理想成象情况下 获得的象片点的坐标·····	(270)
§ 41. 确定线性单行扫描系统在有波动 情况下(顾及到方位元素)获得的象片点 的坐标·····	(275)
§ 42. 线性单行扫描象片的构成方法·····	(284)
§ 43. 确定垂直圆锥形行扫描象片上点的坐标··	(285)
§ 44. 给定方位元素的垂直圆锥形行扫描象 片的构成方法·····	(298)

第十二章 对非摄影系统所获的单张航天象片

方位元素的确定…………… (300)

§ 45. 侧视雷达象片方位元素的计算…………… (300)

§ 46. 线性单行扫描象片方位元素的确定…………… (313)

§ 47. 垂直圆锥形扫描象片方位元素的确定…………… (315)

第十三章 摄影图象和非摄影图象的解析变换

方法…………… (316)

§ 48. 图象 (地图投影) 变换解析法的概述…………… (316)

§ 49. 根据投影点的大地坐标确定其直角坐标… (318)

§ 50. 根据地图投影的直角坐标计算椭球面

上点的大地坐标…………… (333)

§ 51. 水平摄影图象和透视摄影图象 (属于
正图象和负图象方位投影) 的变换…………… (345)

§ 52. 理想摄影象片图象 (透视方位投影)

向给定的地图投影的变换及其逆变换…………… (348)

§ 53. 借助于逼近函数变换航天象片图象…………… (349)

§ 54. 以电子计算机为基础的解析纠正系统…………… (351)

第十四章 航天象片的仪器变换问题及向地图

底图上转绘象片图象要素的方法…………… (355)

§ 55. 摄影机械纠正法…………… (356)

§ 56. 光电纠正法…………… (358)

§ 57. 向地图上转绘航天象片图象要素的问题… (361)

参考文献…………… (362)

绪 论

航天技术、地球及其周围空间科学的发展，国民经济各部门对航天成象资料数量和质量日益增长的要求，近十年来导致了创造和在实践中积极采用原则上新的航天成象系统。这些系统和经典的摄影机以及电视摄象机的综合利用，使我们在相当宽的电磁辐射波谱段内获取视频信息，同时成象可以有不同的地面分辨率和在很窄的波谱带内获取图象，这就显著地改善了航天成象资料的判读特性。现代成象设备能够从轨道上有控制地获取和向地面传递图象，以此来昼夜地跟踪被摄目标，并实际上不受气象条件的影响。

由于上述原因，雷达的、扫描的、激光的航天象片和摄影的^①、电视的象片一样，在解决众多的科学和实际问题中具有越来越大的意义。最近几年来从不同的成象系统获取了大量地球和其它天体表面的图象，进行着组建接收中心和空间图象信息处理中心的工作，以便进行地图制图和用遥感方法勘察自然资源。

大量的文章和专著论述了有关航天成象系统的设计，航天象片的处理、解释和使用等问题。出现了关于遥感、航天象片判读、空间制图学的第一批教学参考书。然而在航天摄影的很多方面感到缺乏总结性的著作，在这样的著作中应考

^①本书中“摄影”一词专指由经典的光学镜头构象在感光乳剂上，以获取所摄物体的图象的过程。——校者注

考虑到边缘科学技术领域的现代成就和发展前景，尽可能全面而深入地反映航天象片的有关实质性问题。

在本专著中将研究单张航天象片的几何方面的问题，包括：象片投影、各类坐标系统的关系、定向元素、象片比例尺、地面与象面角度的关系、几何变形等等。

单张航天象片的理论与单张航空摄影象片的理论相比较，有一系列的特点。

如果说在不久以前仅仅研究了框幅式象片，而在今天就产生了研究各类摄影和非摄影象片*的课题，包括成象类型，所获图象的特性，它们的几何特性和构象特性，优缺点，单独和综合应用的方法和特性等。

由于在航天象片上可摄取各种不同天体表面的影象，为研究这些影象要用不同的坐标系统，因而有必要讨论这些坐标系统，它们的变换方法和确定其微分量测的规律。

在单张航空摄影象片上仅摄取了地球表面不太大的地段，所以地球曲率实际上在成象中没有影响。航天摄影象片的特点，一般是比例尺小和包含更大的地域。这就要求在解决提出问题的同时，要专门研制椭球和球体表面映射到平面上的数学地图制图工具。

与此同时，必须注意到，航天象片所构象的是现实的物理表面，而不是椭球或球体表面。这就有必要研究确定和计算相应偏差值的方法。

在所有成象方式中，显然摄影象片具有最佳的几何特性且变形最小。然而在许多时候，甚至这些比较小的变形也变

* 记录连续影象的象片(摄影的或非摄影的)将理解为一定大小的一幅图象。

得不能允许，而要求研究由这些象片完成的量测能显著地消除或削弱系统误差和偶然误差的处理方法。

上述课题求解的精度评定问题具有很大的意义。

对研究问题本质的分析工作将以系统原则为出发点。

涉及不同象片的获取条件和方法，象片特性，象片量测性质的改善方法和可能性等一系列问题的单张航天象片理论研究的必要性，在今天是非常明显的。

第一章 航天成象方式

§ 1. 概 述

进行航天成象的整套装置可以被分为主动和被动两种系统。利用自身电磁辐射源照射被摄表面的成象系统属于主动系统。在主动系统中图象是通过接收走过到目标的往返距离的信号而建立的。被动系统则记录由目标表面反射的太阳辐射或表面单元的自身辐射。

主动成象系统中侧视雷达系统得到了最广泛的推广。以光学激光发生器（莱塞）为辐射源的扫描系统具有潜在的优势。

被动成象系统可以分成四种主要类型：摄影系统，电视系统，扫描系统和带半导体接收器的线性阵列系统。

摄影装置有框幅、全景和缝隙三种。全景和缝隙摄影机现在实际上已不用于轨道摄影，所以在本书中将不予讨论。它们的工作原理和由全景和缝隙航空摄影机获取的象片的处理方法可参阅参考文献[20, 41, 48]。

按获取视频信息的记录和到地面的传送方法，电视装置分为电子的、电磁的和摄影电视的三种。在文献[11, 48]中列出了关于电视航天装置的最全面的报道。应当指出，摄影电视系统可归属于摄影装置。

本书在讨论扫描装置时，重点集中在用得最广的较新的线性阵列扫描仪上，这种扫描仪使用所谓“量测检波器”（即半导体微型传感器一维或二维组件——栅格）作为接收器

件。此外还将讨论以垂直和水平方向为轴的四维扫描方式的扫描器。

具体成象装置所具有的性质和特点允许我们建立理想的航天象片模型。使用这些模型可以解决许多理论和实际问题。例如研究畸变因素对具体理想象片影响的性质，确定初始投影面的公式和研究图象显示的方法（对电子摄像而言），判定从初始表面到平面的图象变换方法等等。

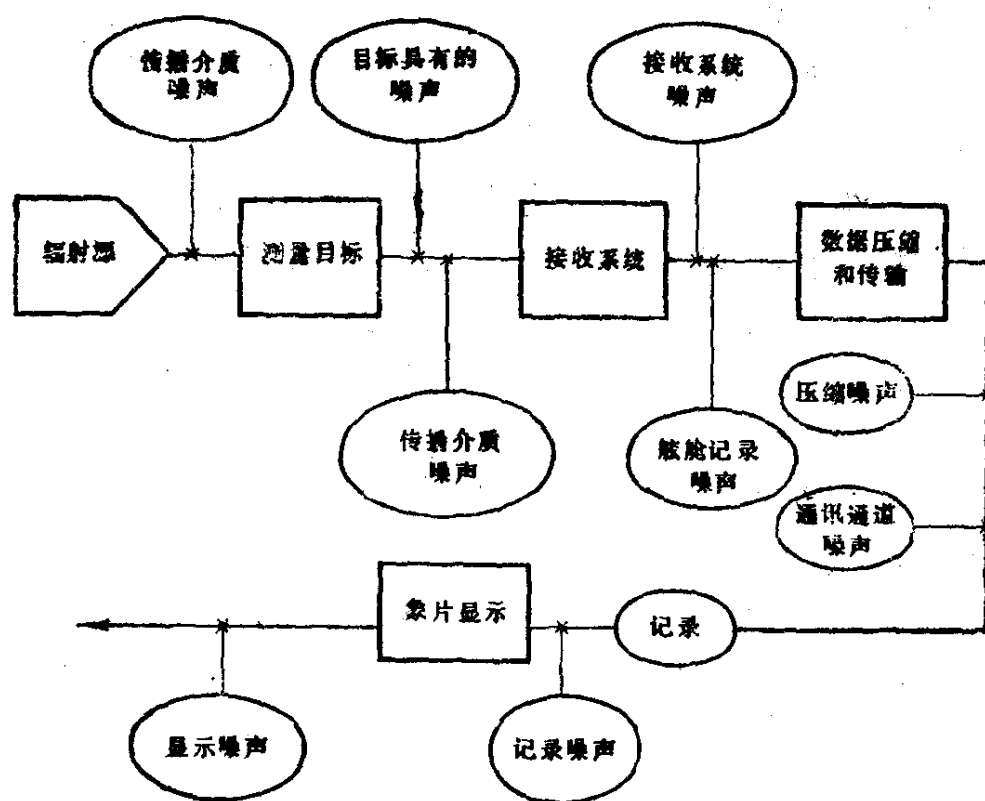


图 1 实际航天象片的系统框图

在讨论建立实际航天象片的特性时，构建子系统（著作〔44〕的作者称它为系统框图）是有益处的。实际航天象片最通用的子系统如图 1 所示。由这样或那样方式的装置获得的具体象片的子系统，可以通过舍弃对该方式成象无用的个别

部分或细化实际航天象片的通用子系统的另一部分而得到。

在描述成象方式的时候将集中注意力于暂时还未在文献中充分反映的那些系统上，如从太空的摄影和电视成象系统。同时有意地避开许多纯技术性质的问题以及与单张航天象片理论的几何方面无关的问题。

§ 2. 航天成象方式简述

成象装置的重要特性是其波谱范围和地面分辨率。

摄影和电视成象系统按波谱范围包括紫外波段的长波部分 ($0.3\sim 0.4\mu\text{m}$)，可见和近红外部分 ($0.4\sim 0.9\mu\text{m}$)。扫描被动系统按波谱范围可分为可见光扫描器 ($0.4\sim 0.7\mu\text{m}$)，红外扫描辐射仪 ($\lambda = 0.9\sim 1.3; 1.5\sim 1.8; 2\sim 2.5; 3\sim 4; 8\sim 12\mu\text{m}$)，微波扫描辐射仪 ($\lambda = 1.55\text{cm}$)。

应当指出，现代扫描系统通常是多谱段的，即装备有对光谱的不同波段辐射敏感的传感器。

雷达系统使用的波长为 3 到 30 mm，激光系统为 0.4 到 $0.6\mu\text{m}$ 。

对不同成象系统地面分辨率的比较分析是困难的，这是因为这一特性依赖于许多因素，其中有些因素与系统本身的质量没有关系（例如，仪器载体的飞行高度，它的空间方位，大气状况等等）。对于每种类型的最好系统在同样的成象条件下 ($H\approx 1000\text{km}$) 可以列出以下数据：摄影系统为 $20\sim 30\text{m}$ ，电视系统为 $80\sim 100\text{m}$ ，扫描系统为 $30\sim 50\text{m}$ ，雷达系统为 $30\sim 60\text{m}$ ，激光系统为 $20\sim 30\text{m}$ 。

1. 摄影系统

在征服空间的最初年代，框幅式摄影机是唯一的从轨道

上成象的工具。当时使用了手扶式象机和常规航空摄影机(АФА),后来着手设计了航天摄影的专用机型(АФА-МИИГАиК, КАТЭ-140, МКФ-6)。

摄影成象方法的优点是:

(1) 在当前,其复原的几何精度和信息记录密度最高;

(2) 对人来说表达视频信息的方式自然,使不同部门和不同培训水平的测量专家容易接受和应用。在使用航天摄影象片时常常可以不必使用技术复杂的图象处理、判读和显示设备;

(3) 可以使用感光度被调整到给定窄光谱段的胶片进行多光谱摄影,以提高象片判读的质量和可靠性;

(4) 相对简单的和成熟的摄影材料处理过程。

摄影系统的缺点是:

(1) 不能在夜间或不好天气条件下摄影;

(2) 摄影材料对贯穿性辐射敏感;

(3) 摄影材料需要送回地球(摄影电视系统除外);

(4) 不能建立可控摄影系统。

由于在文献[20, 48]中对航天成象的摄影机及其参数,摄影胶片的特性已有足够详细的论述,这里就不多说了。

从几何观点看,由框幅式摄影系统得到的理想航天象片,是被摄表面部分的外透视方位投影(正象)[13, 14]。

2. 电视(TV)系统

TV系统中使用不同类型的电视管——正析摄像管(Ортрикон),光电导摄像管(Видикон),光电显象管(Иконоскоп)和它们的改进型作为视频信号发送器。尽

管发送管的型式不同，但建立图象的一般原理是一样的。初始图象由光学系统在称为收集器（一般为薄膜状或隔膜状）上生成（收集器具有光电半导体特性），或是利用放在接收系统和收集器之间的光电阴极生成图象。由此建立起带电的潜在图象，其中电荷的分布与光学信号中的光能量相对应。

通常，潜在图象的计数是通过偏转电磁装置控制的扫描电子束进行的。收集器上各点电荷的差值对反射（或二次）电子束产生调制作用。由此形成的视频信号，后来被放大记录到胶片上，或者通过通讯线路传到地面并在电子射线管上恢复出来。

按使用方法，TV 系统可以分为三种类型[11, 48]：

1) 电子 TV 系统，该系统通过无线电电视通讯通道实时地传送图象；

2) 电子-磁体 TV 系统，在此系统中视频信号记录于随航的视频磁带录象机，或以数字代码形式记录于计算机兼容磁带。该系统可以把无线电可视范围内获得的视频信息发送到接收站，或在非常有限的通过能力的通讯通道上发送信息；

3) 摄影电视系统，利用 TV 发送管向地面传送在机上显示的象片。

从几何观点看 TV 系统属于中心投影，因为初始图象是构建在接收光学系统的焦平面上，因此 TV 象片的理想模型为正图象的外透视方位投影。

此外也有以线性-单行扫描方式成象的电视系统；这种象片的几何学与扫描象片的几何学相似。

由 TV 系统所引起的实际 TV 象片的几何变形可以归结为一种，即通常所称的电子畸变差。畸变的原因是偏转和聚

焦装置工作的不完善性，电子束速度的波动，记录和接收装置的工作误差。根据一些作者的评定[20, 32]，不经过预先的几何校正，TV 象片的误差是摄影象片误差的几倍。然而误差的主要部分在时间上为常数，可根据飞行前的 TV 系统验校结果模型化，并在 TV 象片处理时加以消除。残余的动态（随机的和部分偶然的）误差将在数理统计处理中部分地考虑或滤除。

为了在低轨道 TV 成象中得到大范围地面覆盖，还使用两种类型的透视 TV 成象以代替全景 TV 象机。第一种在机上安装 TV 象机组，各象机主光轴间的相对位置是已知的；第二种在 TV 系统的接收光学部件的前面使用固定角度的偏转反光镜。

电视系统较之摄影系统有较好的可操纵性和作业的自动化，这就使我们能够把它用于对不同现象作长期的观测。

TV 系统的缺点是分辨率比摄影系统差，有较大的几何和辐射畸变，以及由于气象条件和地物照度状况而使观测的时间范围受到限制。

3. 扫描系统（扫描器）

扫描系统的主要部件（图 2）有：扫描装置，滤光片，光圈，调焦光学系统，辐射接收器，放大器，记录组件，图象记录装置和与地面通讯的部件。

各种旋转光学元件均可用于扫描装置，如平面反射镜，反射棱镜，锥棱镜等等。滤光片用于提取接收器计划接收的光谱段。在多光谱系统中，信号被分成若干很窄的光谱通道（到纳米级），对于每一个通道，探测器以适应于该通道的最高灵敏度加以接收。各种光电子器件（ $\Phi\Theta Y$ ）和热辐射