

宇宙航行中的照相机系统及摄影测量学

阿波罗飞行前的月球制图学

第一批 300 米等距等高线的月球图是用天文望远镜拍摄的照片绘制而成的。

美国航宇局的徘徊者计划(Ranger)安排用空间探测器(它在月球硬着陆,所以在那里撞碎)获得月球表面细微部分的详细照片,每个测距探测器有六个电影摄影机,它们的图象是由电子传递并借助于一个框标网进行纠正,但是,徘徊者探测器的降落轨迹非常不利于制图的摄影测量,因此,大多数制图结果是镶嵌图。它根据不同比例图象的分辨率制成。尽管如此,这项计划还是得到了很有价值的关于月球表面的信息,而摄影测量员面临着摄影学电视传递的重要问题和可能性。

“测量者”(Surveyor)计划是由一系列为了进一步研究月球表面的软着陆飞行所组成。“测量者”飞行器的电视摄影机能够拍摄着陆地点直接的周围环境乃至地平的全景图象。

“测量者”VI号在第一次着陆之后经过一段小的跃迁,并因此而为摄影学创造了体视基础。美国地质测量部制造一种专用补色体视仪,用它以 1:50 的比例,10厘米等高线绘制了登月区域的地形测量图。

美国航宇局的“月球轨道器”(Lunar-Orbiter)计划在阿波罗飞行以前的时间里,在获得信息方面取得了显著的成绩。共发生五个飞行器,它们都传递了优质图象,每个飞行器上均带有两台照相机。中等分辨率的相机,物镜焦距为80毫米,象幅为55×65毫米,从选定46公里飞行高度获得月球表面

为 8 米的分辨率;高分辨率相机的焦距为 610 毫米,象幅为 55×219 毫米,获得在月球表面 1 米大小的细节图。

图象传递过程中的每幅图象以宽 2.5 毫米,长 55 毫米狭带被分隔,即所谓的“分帧”,它作为编图资料有助于制图和判读人员。

Hasselblad 摄影术

在以上丰富经验的基础上,有人期望在阿波罗宇宙飞船中肯定会有一个真正改进的摄影测量相机系统,然而这种想法大大错了!在阿波罗工程中直到12号上所配备的唯一照相机,是具有可更换的 60、80、250、500 毫米焦距物镜的电动式 Hasselblad 照相机。60 毫米焦距的物镜用来拍摄近似垂直图象的体视航带,相机装在舱口窗孔后的固定架上。用 250 毫米焦距的物镜,手动拍摄特别具有科学价值物体的倾斜图象。在阿波罗 12 号上曾做过试验,用 500 毫米焦距的物镜拍摄将有可能的登月地点。

这种不成熟的月球摄影试验未能继续。所以在1969年10月成立了“阿波罗轨道科学摄影小组。”小组的任务是提出摄影设备以及方法,用以对现有的工作获得最大限度科学上的收益。诚然,这个小组选择应用的照相机系统时还不那么随便,有必要对已有的和进一步研制的照相机进行选择,使这些照相机的使用和阿波罗飞行的严格时间安排互相一致,预定此时大约每四个月飞行一次。此外,还应当考虑到宇宙空间中使用的特殊条件,因此,所选出的照相机是在已有的仪器基础上汇集协调而成。

地形测量的月球照相机

第一个新的摄影系统是一个改进的 Hycon K74 型侦察照相机,焦距 460 毫米,在照相机每个储片器中有 430 帧 130 毫米的胶卷,照相机设在座舱窗口后的专用框架上(图 1),整个相机悬挂着,曝光时旋转,以补偿宇宙飞船的向前运动。为有合适的体视基线,考虑到使其第一次环行时拍摄垂直象,而后斜 20° 倾斜象需要在下一次环行时拍摄。

这种相机装在阿波罗 13 号飞船内,在氧气瓶炸裂之后,飞船接近月球,相机开始对月球拍照。以后情况已为人熟知。这种照相机在 1971 年一月后发射的阿波罗 14 号的飞行中也得到应用。

全景月球照相机

按计划在 1971 年 7 月分发射的阿波罗 15 号中,月球摄影方面有了新的内容,第一次采用 SIM (科学测试设备舱)。在这部分供应设备中携带一系列用作飞行科学试验的仪器。

科学测试设备舱的主要组成部分是一个全景照相机,它要求分辨率高,拍摄面积大。相机焦距为 610 毫米,孔径为 1:3.5,在视场角为 103° 宽的情况下,能够用 130 毫米胶卷拍得 115×1270 毫米大小的象面。薄片基胶卷总长 1900 米,可拍得 1650 张照片。通过相机在连续拍片之间向前或向后偏转 12.5°,就能达到体视的重叠,这一偏转也补偿了宇宙飞船的向前运动。

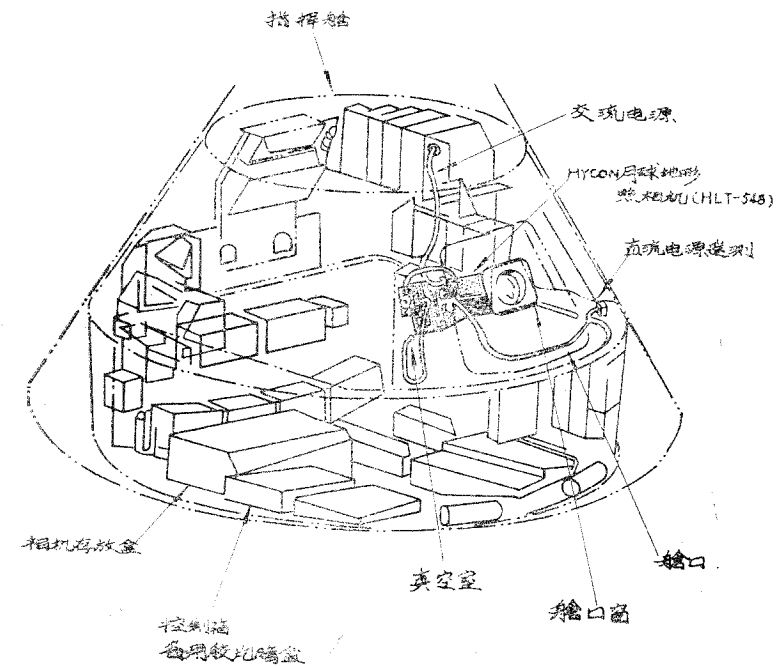


图 1 焦距为 460 毫米的 Hycon 照相机, 装设在阿波罗壳体舱口窗之内。

意天克(Itek)公司现在制造的相机,是在一种带有光学旋转摄影轴相机的基础上改进的,它的最重要部分是(见图 2):主框架,它与飞船紧密连接并装设胶片盒;体视

系统,为得到体视的交会以及对向前运动的补偿,围绕一个横向轴转动而安排;旋转框架系统,装有旋转透镜和胶片传输转动系统。

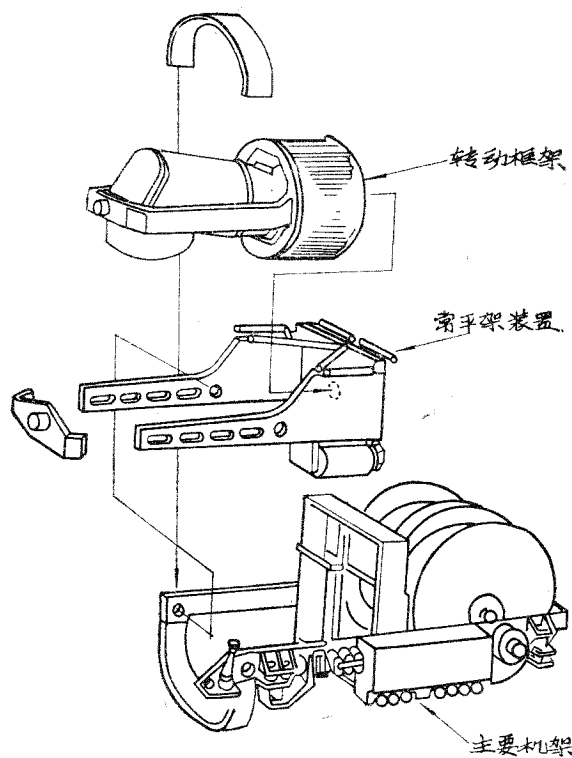


图2 全景照相机中，常平架围绕横向轴旋转，以便进行交会体视摄影分节光学系统安装在纵向轴的周围，以便达到108°的扫描角。

在照相机内部围绕长轴装设折射光学系统，对月球表面进行扫描，同时胶片在曝光孔后反向运动。这种装置要求胶片鼓直径只有130毫米，代替了直径为610毫米的胶片鼓的一般结构全景相机。结果，在所提供的有限机舱内可以安装一种效率高的相机。

求 V/H 比例的传感器获得前进补偿控制信号。光电管通过缝隙宽度变化控制曝光时间。从111公里的标准高度相机在宇宙飞船底点内的表面分辨率为1.5公里。每张照片所包括范围纵向20公里，横向300公里。每张垂直图象天底重叠面约为前一张的10%。

体视摄影时，相机在每一对连续图象间偏转25°的交会角，1站摄前方，6站摄后处覆盖面积达100%，这样，形成一个体视模型。相继的体视模型之间的重叠为10%。

测量照相机系统

在科学测试设备舱的前面部分中，阿波罗15—17中配备着一种测量照相机系统，该系统由一台地形照相机、一台星体照相机，一部激光测高仪和一台精密测时仪构成。（见图3）。

地形照相机的物镜焦距为75毫米，相对孔径为1:4.5；象幅115×115毫米；用130毫米胶卷。显示象面的玻璃板上刻有网格，网宽为10毫米。有两套人工照明框标，一套自然照明框标。地形照相机每幅照片的边缘，记录有拍摄的时间中点以及同时用激光测高仪所测的飞行高度，其精度为±1毫秒。求 V/H 比的传感器，以3%的精度，在曝光时移动象面，调制前进补偿。自动曝

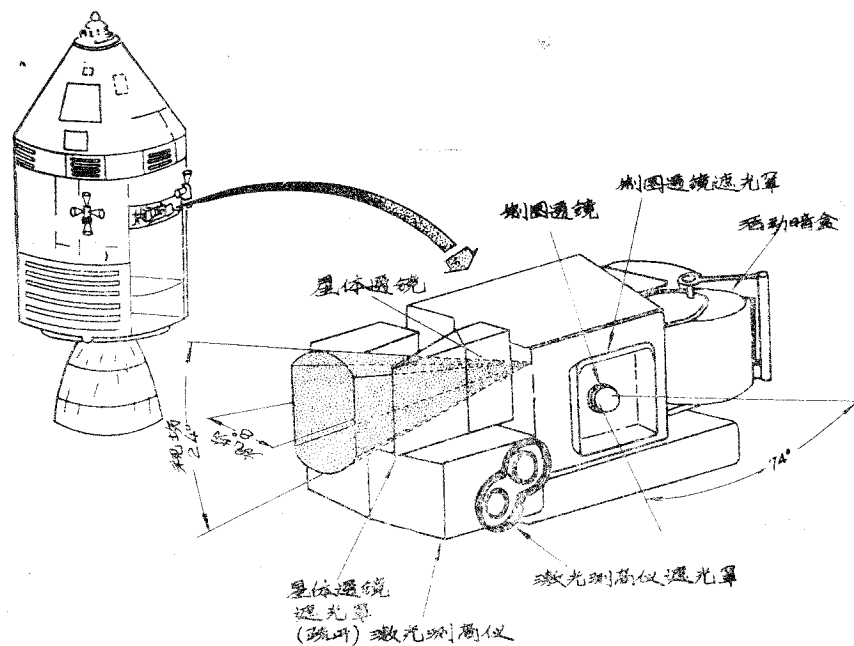


图3 测量相机系统，包括一台地形摄影机、一台确定位置的星体照相机，还有一台激光测高仪。

光控制器为中间透镜快门选择一种合适的曝光时间，在1/15秒至1/240秒之间取五种时间。

表面的分辨率受太阳的位置以及前进补偿精度的影响。在标准高度为111公里使用Kodak 3400胶片，可望分辨率为30米，然而在衬度低，太阳位置高的情况下，就降低为60米。

连续图象的纵向重叠可在飞行前控制，在当时所计划的飞行中，总的拍摄地区可通过78%纵向重叠的3600张照片而获得。这就是说，每个地点包括在四张连续拍摄的照片里，最大的基线比为1.0。除了三角测量在几何上得到增强外（它是用四张不同照片再现而得）它们还可用作月球特殊光度特性研究。

星体照相机偏离轨道平面，所对方向超出水平线4度，这样，使相机视场得不到月球表面部分。星体照相机的焦距为75毫米，相对孔径1:2.8；象幅25×32毫米，用35毫米的胶卷。根据星空视场的位置，在15秒固

定的曝光时间内，于每张照片上应当看到25—75个星体。

激光测高仪的发射和接收方向与地形照相机的光轴平行，其精度约为±2米。

胶片的保管

无论全景照相机还是测量照相机系统的胶片，均被集中在特制的、可以迅速取下的暗盒里，并由一名宇航员保存，他是在指挥舱外工作的。通过一个手柄能将胶片切断，封闭未透光部分，取下暗盒，然后将暗盒放在飞回地球的指挥舱里保存。

月球表面的摄影

飞行摄影测量的数值在很大程度上依赖于能够拍摄得月球表面的范围。阿波罗计划首先是着重于月面的科学研究；摄影测量的主要兴趣在于以尽可能高的月球纬度来安排登月位置。这样，可以在较好的照度对比拍

摄较大的范围。

阿波罗13号失败以前，南纬40度的火山口 *Tycho* 是当时选定的登月地点，然而现在却不受重视了。北纬24度东经4度的 *Hadley Rille* 为阿波罗15号的登月点；阿波罗16号选中南纬10度、东经16度的火山口 *Descartes*；阿波罗17号选定在北纬16度西经56度的 *Marius Hills* 处登月。在这些飞行中能够摄影的总面积虽然是月球的广大区域，然而，较之照相测量人员所希望看到的地方，还是小得多。

全景图象的纠正

照相机系统结构的特点，要求系统地考虑到数据处理问题。最重要的问题之一，就

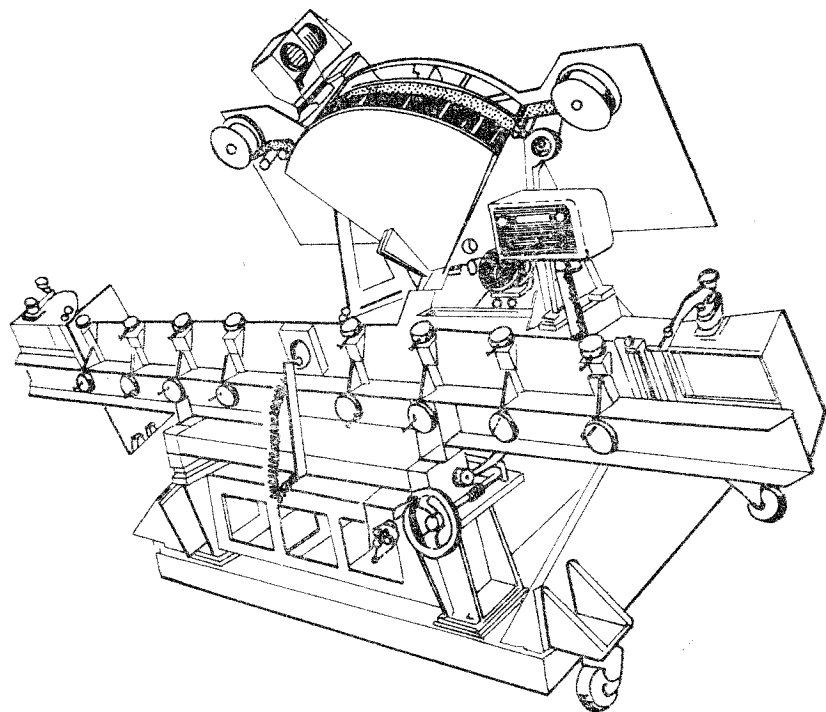


图4 全景图象纠正仪是摄影机的一种光学机械的仿制

测量相机系统数据评价时的目标

将月面照相、星体照相，激光测高以及宇宙飞船的时间确定和轨道跟踪等综合起

是全景图象的纠正。重要的是要按照同一的比例尺度进行摄影；要获得地貌真实的特征；并能将照片直接用于镶嵌图和制图。

纠正仪器（见图4）工作情况与摄影机系统相似，将胶片装进一个柱形的框子里，其中径等于相机的等效焦距610毫米。宇宙飞船的倾斜运动，由于胶片相对于弧的中点的纵向位移而得到补偿。为了有效曝光，有一个可动的光源纵向照射胶片。投影物镜旋转，其速度由控制器控制，以便保持 *Scheimpflug* 条件（即倾斜物体成像条件）。然后投影图象反射到屏幕上，屏幕的倾斜度可调，致使12.5度的体视交会和宇宙飞行的角位均得到补偿。通过屏幕的纵向弯曲可以模拟不同轨道高度的月球表面的曲率。

来，就有可能获得对于月球形状和重力场的研究参数，提高对它的认识。这方面的工作有下列几方面：

月历表，它说明月球重心相对于地球的位置；

物理天平动，它表明月球围绕其重心作短时间旋转的周期和振幅；

月球重力场按球谐函数展开的系数；

月球的数学参考面及坐标系统，其原点位于重心，其轴与主惯性轴一致。

在月球表面上有一由照相识别的点网，以10—5米的精度，确定在指明的坐标系统内，并有利于以后的制图设计，和月球表面和公转轨道的导航。

数据评价问题说明

列出公式首先要以共线性方程为基础，当航空测量学任务在这一方程基础上得到解决时，就产生了著名流传的标准方程系数的对角线矩阵 $[13]$ ，沿着上左对角线有 6×6 单元，它包括摄影地点当时的三个坐标以及一张图象的三个定位角。下左对角线由 3×3 单元组成，它包括某一地点当时的空间坐标 X 、 Y 、 Z 。如果在图象上出现一个地点，那么在对角线以外相应的单元不等于零。摄影测量学空间系统提供了一批关于参数的补充信息，它们在解算中是必须给予重视的。对此，有三种可用的方法：

- 参数的加权；
- 补充条件方程的增补；
- 引出参数的强制条件。

首先观察由星体相机拍摄而得的角方位元素。证实胶片上的星体之后，就来确定摄影时刻星体的赤经与赤纬，并算出天空坐标系统的方向余弦。然后在坐标量测仪比长器上测定出所证认的星体的图象坐标，并且，在星体相机坐标系统算出图象射线的方向余弦。将两个坐标系统之间的关系通过 3×3 单元的简单正交旋转矩阵得出：

$$(X)_{3,1} = S_{3,1} \cdot (a)_{3,1} \dots \dots (1)$$

(a) = 天体坐标系统中星体的方向余弦，

(X_s) = 星体照相机坐标系统中星体的方向余弦；

S = 天体坐标系统中星体相机的定位矩阵。

利用多余的星体得出定位角的精度可达几弧秒。

然后进行简单的矩阵相乘，即可得出月面相机在天体坐标系统的定位：

$$T_{3,3} = R_{3,3} \cdot S_{3,3}$$

R = 星体相机与月面相机之间固定的相对定位矩阵，

T = 天体坐标系统中月面相机的定位矩阵。

目的首先是来确定月面相机在月球中心坐标系统中的位置，这通过进一步简单的矩阵转换而得：

$$C_{3,3} = M_{3,3} \cdot T_{3,3}$$

M = 月球中心坐标系统之间的相对定位矩阵；

C = 月面相机在月球中心坐标系统的定位矩阵。

月球的定位 M 可用三个角来表示：

$$M_{3,3} = f(y \cdot i \cdot \Omega')$$

但是，恰好这些角度与最重要的参数有关，诸如月球在天球中的定位；月球的旋转速度；月球的物理天平动。

在总解算中，星体定位 S 可作为强制条件引入，或者最少要加一高权。它适用于在月球定位 M 中，长时间的旋转，当然， M 是确知的。由此，从解算中不太确知的短时间的物理天平动，却比从其他的个别图象的一般定位要准确些。

现在来考虑一下所测高度的运用问题。因为测高仪和测量照相机并列装置，又是同时打开工作，所以，所测量高度之点的象坐标是已知的。这一地点包括在摄影测量学评价的范畴，同时，所测高度在该点与所属拍摄地方之间连接一个条件方程：

$$H_i = [(X_e - X_p)^2 + (Y_e - Y_p)^2 + (Z_e - Z_p)^2]^{1/2} \dots \dots (5)$$

H_t = 在 t 时间所测的高度;

$(X, Y, Z)_e$ = 宇宙飞船在 t 时间的坐标;

$(X, Y, Z)_p$ = 测量地点的坐标。

通过测量宇宙飞船的距离、距离变化以及方向, 来对飞船跟踪。每次测量均在飞船坐标与跟踪站坐标之间有一个条件,

对于距离:

$$R_t = [(X_e - X_T)^2 + (Y_e - Y_T)^2 + (Z_e - Z_T)^2]^{1/2} \quad \dots\dots(6)$$

对于距离变化:

$$R_t = \left[\frac{X_e - X_T}{R} \dot{X} + \frac{Y_e - Y_T}{R} \dot{Y} + \frac{Z_e - Z_T}{R} \dot{Z} \right] t \quad \dots\dots(7)$$

对于方向

$$\alpha_t = \arctan \frac{X_e - X_T}{Y_e - Y_T} \quad \dots\dots(8)$$

$$\delta_t = \arctan \frac{(Z_e - Z_T)}{[(X_e - X_T)^2 + (Y_e - Y_T)^2]^{1/2}} \quad \dots\dots(9)$$

R_t = 在 t 时刻所测距离;

$(X, Y, Z)_e$ = 在 t 时刻宇宙飞船的坐标;

$(X, Y, Z)_T$ = 跟踪站的坐标;

$\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$ = 所测距离的变化;

$dt, \delta t$ = 在 t 时刻所测方向角。

显然, 跟踪站以及宇宙飞船必须经过相应的变换, 使其置于同一坐标系。

此外, 宇宙飞船在其轨道上的位置可以利用 *Kepler* 轨道元素和时间的函数来表示:

$$\begin{aligned} X_e &= F_1(a, e, i, \Omega, w, to, t) \\ Y_e &= F_2(a, e, i, \Omega, w, to, t) \\ Z_e &= F_3(a, e, i, \Omega, w, to, t) \dots\dots(10) \end{aligned}$$

摄影地点坐标的一般校准简单通过这些函数对轨道元素的微分即可获得。

轨道元素本身处于长期的、周期的以及受重力影响的变化。

$$E_i(t) = E_0 + \dot{E}_i + \ddot{E}_i^2$$

$$\begin{aligned} &+ Es_1 \sin(E_A t) + Ee_1 \cos(E_A t) \\ &+ Es_2 \sin(2E_A t) + Ee_2 \cos(2E_A t) + \dots \\ &+ \Delta E_G(t). \quad \dots\dots(11) \end{aligned}$$

$E_i(t)$ = 在 t 时刻的轨道元素值,

E_0 = 元素起始值,

\dot{E}, \ddot{E} = 元素长期变化,

E_{s1}, E_{e1}
 E_{s2}, E_{e2} } 元素的周期变化

ΔE_G = 受重力影响短期变化

受重力影响的变化可进一步按照球谐函数将重力场展开的系数来表示:

$$\Delta E_G = Alm \cos(R_{1m} t - P_{1m})$$

A_{1m} = l 度 m 级项的幅度,

R_{1m} = 元素间距组合,

P_{1m} = 元素相位组合,

当所有必要的代入与微分进行完毕时,

除了摄影地点的坐标之外, 轨道元素、变化以及重力场的系数均得到解。

虽然上述方法比较简单(尽管显得计算甚多而且拙笨)但是实际应用中并不简单。许多所要确定的量, 彼此之间是紧密相关的, 有一些是短时间的; 有一些是长时间的。有一些从近极轨道得出较好。另一些从倾斜的或者赤道的轨道得出较好。所有值均要求对月球在不同时间里进行全面而完善的拍摄。除了综合分析和排列程序之外, 许多试验工作是必要的, 为的是在不使其无结果之前发现解算工作可进行多久。虽然科学测试设备舱能够提供很好的原始材料, 然而由于摄影区域受到限制, 其测量结果所达到之范围也受局限。

围绕地球轨道的摄影

按理说, 人们指望拍摄地球所用的照相机系统定会比拍摄月球的好些, 然而这是错误的! 在所有的载人宇宙飞船中, 完全是用 *Hasselblad* 照相机。在“水星”和“双子座”计划中, 曾拍摄了许多不寻常的图象, 然而, 其中没有一张达到要求的摄影测

量的质量[14]。

把这些照片尽可能应用在地图绘制方面的试验是对的。《双子座》7号拍摄的肯尼迪角的一张图片, 与现有的1:250000的地图进行了比较, 确定了新出现的耕地。从《双子座》照片的纠正过的印片中, 制出了秘鲁和西南美国的镶嵌图。为了证实从宇宙空间所得概要的照片对于小比例的专题绘图学的适用性, 人们制出了地质学地图和土壤利用的地图。

“地球资源勘察系统”计划

1966年9月美国内务部公布了“地球资源勘察系统”计划, 其目的是利用飞机及宇航所得数据, 以发现、获取与管理对人类有利的资源。在与各种不同主管专业的科学家、政府有关部门、国家科学院详细协商之后, 公布了“地球资源勘察系统”的空间计划。这项计划对于解决和符合使用者在分辨率与复盖地面的要求方面, 对于探测器技术, 卫星技术、数据传递技术以及判读技术发展水平方面, 作了最好的协调。

“地球资源技术卫星”计划

美国国家航宇局受命研制“地球资源技术卫星”[15]计划在1972年发射第一个样机, 它装有三个回束式光电导摄像管的摄像机, 该象机在绿、红和近红外波段工作。地面分辨率依赖于摄物对衬度而为90至180米。每幅照片覆盖范围为185×185公里。

除光电导摄像管的摄像机外卫星还附带一种点扫描的多光谱仪器, 其光谱范围与光电导摄像管相同, 此外还增加一个红外波段工作。扫描器的覆盖范围与光电导摄像管一样, 地面分辨率也与之相近, 但是图象是记录下来的, 图象几何学具有每个扫描系统的复杂内容。

利用光谱范围选择可以达到: 水的最大渗透; 植物类的最大区别; 水与土之间最大

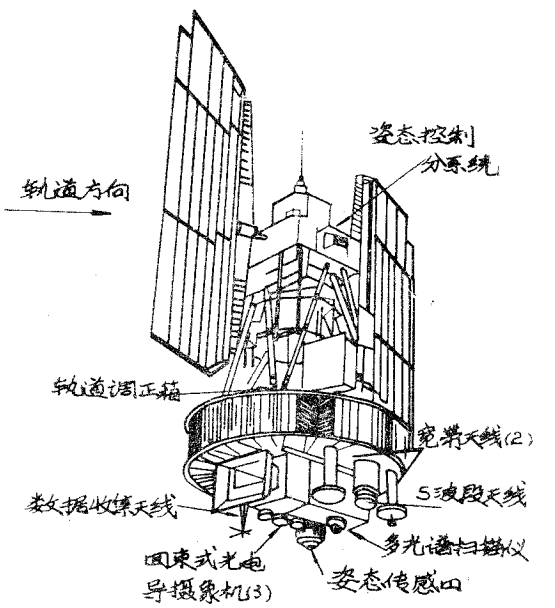


图5 地球资源技术卫星, 装配有三个回束式光电导摄像管相机, 一个多光谱扫描仪, 和一个数据接收系统。

分别。

为了有助于判读卫星照片, 用一询问器将一系列不同的地面测量仪器的信息记录下来, 这些数据, 诸如地面温度, 地面湿度、降水量潮流及潮讯数值均可提出。

卫星的轨道在940公里的高度, 倾斜97°与太阳同步, 这样使所拍摄区段经常得到光照。

地球资源技术卫星草案实现的可能性, 曾在阿波罗9号飞行中, 在围绕地球的运行轨道上用 *Hasselblad* 照相机作过实验, 结果证明是正确的, 大有希望的。[16]

保存原始胶片的卫星—摄影测量系统

1967年美国国家科学院的一次座谈会上, 大地测量与制图学工作组提出一项世界范围的地形地图测量计划[17], 这项计划建立在大地控制网基础之上, 它在目前是借助于卫星在统一地心的坐标系建立的。按预定的一级网加密(约有40个点), 控制点在平均距离为800公里之内, 能以3米位置的精度提供使用。这些点和现有的布网地区结

合,可以为比例尺达 1:24000 摄影测量制图的基础资料。至于具体制图,工作组建议一种摄影测量系统,包括下列部分:

垂直拍摄的摄影机,焦距305毫米,帧面230×365毫米,重叠70%,

星体摄影机,焦距 150 毫米,帧面70毫米,它与月面照相机同步操作;

激光测高仪,在每次拍照时测出照相机对月面的高度。

这种在大陆网点之间边长 300 公里的照片三角测量可以制成比例尺达 1:24000 的地

图,等高线可以绘出相隔达20米的线群,在这种三角测量中可以引进恒星的方位,由轨道推求出来的拍照地点的位置条件,和测高仪的比例尺条件。测量照片中的细节足以制出比例尺为 1:250000, 甚至可供大比例尺 1:100000, 的地图之用。

为了取得地面上的分辨率足以制出更大比例尺的地图(1:24000),工作组建议制造一种交向照相机系统,焦距610毫米,高分辨率,小视场。阿波罗月球计划中的全景交向照相机确实能满足对地球大比例尺制图的要求。

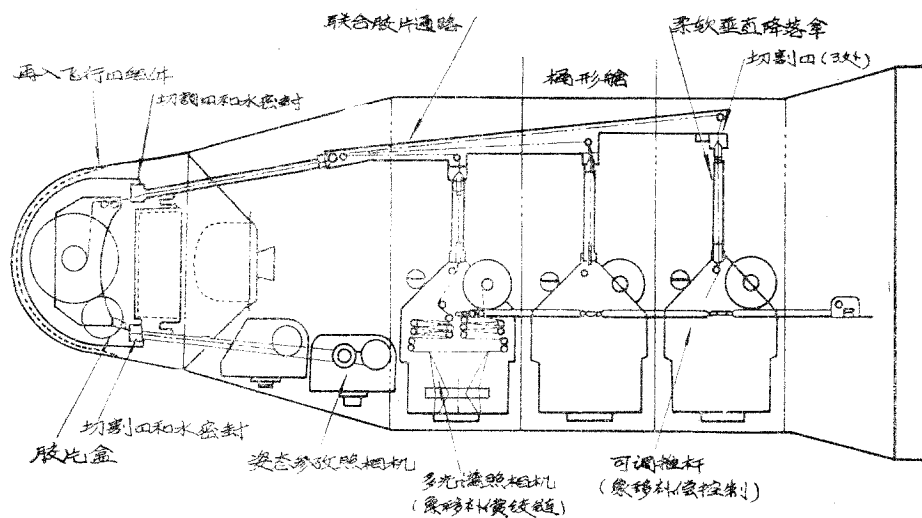


图6 保存胶片卫星的设计,回收舱中保存着已曝光照片

为了保存测量照片的本来面目,工作组建议将照片保存而不用电视系统发送。照相机装在宇宙飞船内,但是曝过光的胶片存放在回收舱里(图6),摄影工作完毕后回收舱与宇宙飞船分离再进入大气层。降落伞自动张开并有飞机来回收它。

卫星的价格为一千五百万至二千万美元,可是摄影效率达到四千万平方公里。这项费用可与最便宜的航空摄影相竞争。

突出的优点还在于评价。用已提出尺寸的测量图片从 200 公里的高度覆盖美国的主要地区,要求的体视模型会少于1000个,相比之下使用航空图片则要多于100000张。这一优点,可大部分废除地图绘制过程中,不

得不用的那些通常的绘图方法。然而每张测量图片的中部,由于高度大的关系,在对地图的误差范围之内是正射的。结果被说明的正射图就会成为绘制地图合理的途径,这样所需地图包括范围广,绘制起来节约时间。

阿波罗9号上的照片可以看出这种地图,习惯的 1:250000, 晕滂线图中,白色无信息。虽然阿波罗的照片比所推荐的 305 毫米测量图片的质量远远不及,然而,他提供了巨多的关于地形、农业等方面的辅助补充信息,此外,它的优点明显具有现实意义。

上述系统作为地球资源技术卫星C和D,

纳入美国航宇局的长期计划,尽管他对摄影测量以及制图学有着重要的意义,然而在财务开支方面还未得到保证。

空间实验室

阿波罗登月计划提供使用的运载火箭,也被用作空间实验室的起飞工具,空间实验室是围绕地球飞行工作的。将一支S-IVB型空心火箭改装成一个实验室,可以容纳三名乘员,一个周期为56天。阿波罗的指挥舱和供应设备作为过度利用。每三个月轮换一次空间实验室的乘员。空间实验室A号起飞定在1972年秋。

空间实验室携带地球资源实验仪器有:多光谱照相系统;一台红外光谱仪;一台多光谱扫描器;一台微波辐射计和一台微波测高仪。

多光谱照相设备

装备在空间实验室上的照相测量仪主要是用多谱照相术进行实验。不久前向意大利公司订了研制一套六台相机的合同。相机焦距150毫米,孔径为 1:2.8, 使用70毫米胶片。所有相机光轴平行度达到一弧分;其焦距与畸变这样来定,即能将全部照片准确地进行比较,在0.5与0.9微米之间有四个带宽

是 0.1 微米的黑白光谱范围,另外一对相机具有彩色和红外彩色胶片。从 435 公里的标准高度,每张照片覆盖面积范围为170×170公里。

以前,水星、双子星及阿波罗载人宇宙飞行计划中,轨道倾斜度限制在32度,空间实验室则倾斜50度,这样,更易于对地球的广大地区进行空间摄影。

结束语

宇宙飞行到目前采用了一些惊人的摄影术,其中很多处是从历史的、绘画的或是判读的观点出发而使人很感兴趣。然而,涉及到照相测量方面,图象所存在的问题远远多于已解决的问题。诚然,对以下方面很多问题我是无法回答的,为什么做这些已定的事情,又为什么按照我所说的方式去处理,其原因大多数不在于科学,而在于财政和政治。有一点是可以肯定的,那就是在宇宙中人与机器所遇到的困难克服之后,宇宙飞行对于熟练地制作专用地图以及地形测量地图均有优越之处,而且必然以此造福于整个人类。

参考文献17种

译自: "Bildmessung und Luftbildwesen" 1971.1.s. 6-18

[大舟译、卢寿耕校]