

# 1975火星 Viking 登陆摄影机装备

## 绪 言

1975 火星 Viking 计划表明这个国家直接探查另一个行星表面的第一次努力。在 Viking 登陆机的90天使用期间内, 多种多样的科学实验将指导考查行星并寻找生物的痕迹<sup>[1]</sup>。将用一对 Itek Corporaion for Martin Marietta 设计和制造的传真摄影机探查火星表面种种形态和大气特征。这些摄影机重量是轻的而紧凑, 并且是设计为给出彩色和黑白两种火星表面的主体图的。它们将看得清登陆地点的特征并支持生物学、地质学和气象学的实验。登陆摄影系统是由一根带有旋转传感器头的固定杆组成的。固定杆包含有全部需要维持摄影机工作的电子部件。旋转头包含有扫描镜、聚焦光学系统和把图象变换成电子信号的光传感器。在图 1 示出装到登陆机上的两台摄影机。

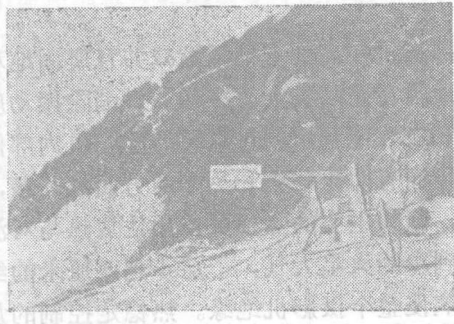


图 1 Viking 发射的侧面图

摄影机必须在各种恶劣环境中保存并工作, 其中有从  $-125 \sim +50^{\circ}\text{C}$ \* (见图 2) 的火星表面温度范围。从 3~15 托耳的表面压力和具有 50~100 米/秒风速的表面沙风暴。此外, 整个登陆机必须设计能经受住在  $145^{\circ}\text{C}$  284 小时干热消毒。

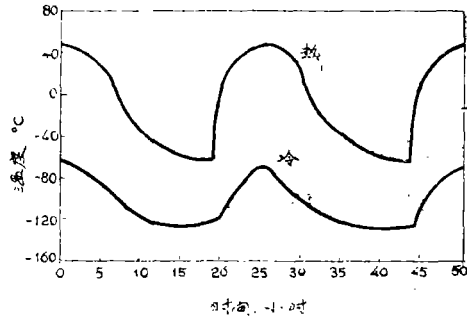


图 2 火星表面的两个极限

## 基本操作

摄影机作为一种简单的点探测扫描器来工作 (如图 3 所示)。从每个分辨单元 (称为一个图元(Pixel)) 发出来的景物辐射进入摄影机窗。入射辐射从扫描镜经过聚焦物镜反射到阵列硅光电探测器上。在物空间图元的大小实际上是由单一的探测器表面的焦平面光阑确定的。合成图象是通过相继地在方位上和高低上令物镜的反射主轴扫描来形成的。图象经过处理并或者传送到 Viking 轨道飞行器或者直接到大地。所接收到的图象以类似于摄影机所采用扫描机构 (地面还原设备), 从磁带再现在大地上 (虽然 Itek 也负责地面还原的设备, 但本文只谈该系统的空载部分)。

登陆摄影机系统的一般科学目标和摄影机的某些参数特性已在别处发表<sup>[2,3,4]</sup>, 在这里将不作细述。本文将仅谈若干摄影机特有的实际装备问题。在这里引用的数字或是分析 (典型试验) 或是子系统试验的结果。实际飞行用的摄影机系统试验将在几个月后开

\* 包含  $-25^{\circ}\text{C}$  设计界限。

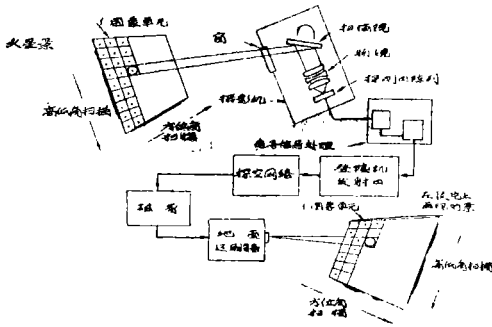


图3 摄影机的基本操作

始。在表1给出作用要求的一览表。

表1——摄影机性能一览表

角度范围	高低角 $100^{\circ}$ ×方位角 $360^{\circ}$
聚焦范围	1.7米~无限
光学系统	f/5.6, 54毫米焦距
“图元”尺寸	
宽带彩色	0.7毫弧度
摄影测量精度	2.1毫弧度
光谱灵敏度	硅 (400~1.100毫微米)
光谱分辨率	50~100毫微米
增量噪声等效功率	$\sim 3 \times 10^{-14}$ 瓦/赫芝 $^{\frac{1}{2}}$
绝对的辐射度量精度	10% ( $3\sigma$ )
动态范围 (最大信号与均方根, 噪声比)	
慢扫描	1,000:1
快扫描	125:1
传送带宽	
慢扫描	250位/秒
快扫描	164位/秒
视频形式	6位编码, 10位分辨率

## 环境考虑

登陆摄影机的早期概念之一是由细长杆组成的, 当不使用时把此杆摺下来放在靠近登陆机的一边。从科学和登陆机的装运的两种观点出发这种方法有许多可取的地方。当摄影机需用来作不受阻碍的观察时, 它们是要在高处, 但在发射和星际旅行时, 则以装得紧凑为宜。然而, 这样又引起摄影机本身之内的总的结构和热学的困难问题, 因此不久发展到如图4所示的形式。

在上部结构的旋转元件是用一个铍的薄壳与纤维玻璃绝缘材料隔开, 而铍也构成下

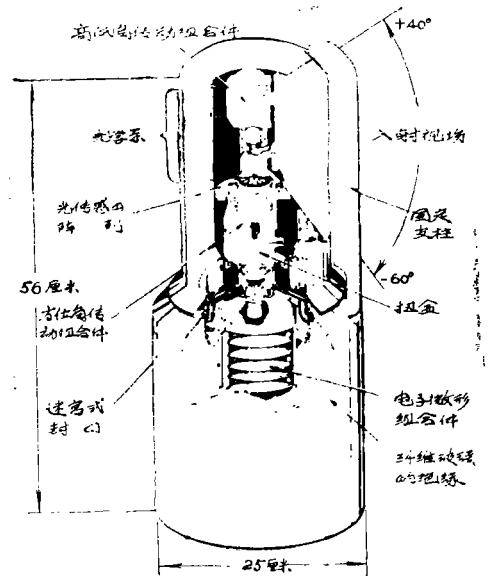


图4 摄影机的剖视图

面组合件的主要支架结构。所有的电信号经过“扭盒”在上面和上面的组合件之间连接, 此盒在很低的力矩驱动时可使易弯的导线扭转一圈。上面组合件是用一个20吋一盎司的力矩马达驱动, 并用两组装在扭盒附近的轴承支持住。保持摄影机工作的全部电子部分位于固定摄影机基底内的圆微型组件。

## 热学问题

摄影机在高度上稍微缩减并且坚固地和永久地附在登陆机上。这样通过消除振动应力点和有效地利用相对温暖的登陆机内部作为热源而有助于结构和热学两方面的问题, 此外, 因为主要的热损失作用是放热与对流传送到冷的火星大气, 一层4到5厘米的纤维玻璃使整个摄影机绝缘。热稳定控制的加热器装在关键组合件的附近, 以限制其温度不低於 $-40^{\circ}\text{C}$ 。希望这些加热器在火星清晨时散逸最大功率低於4瓦。图5示出在光传感器阵列附近的热控制程度 (与图2作比较)。一般说, 许多的环境问题只通过尽可能地把摄影机和登陆机组成一体和通过把它们最大限度地与火星大气隔离来解决。

## 风沙和灰尘

较艰难的环境问题之一包含使摄影机免受可怕的火星风沙和灰尘的损害，而保持作为一种精密仪器整体。在这里基本上有两方面的考虑：第一是由于小窗损坏和灰尘粘着引起光学变质，与第二是上面活动的和下面固定组合件之间的轴承的结合。

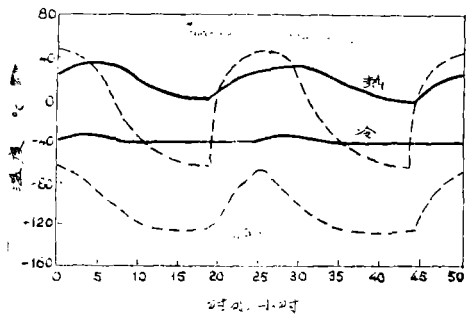


图5 光传感器阵列的热环境

用三种方法保护光学窗免受沙和灰尘的损害。第1，把熔融硅面窗涂上一层  $\text{SiO}_2$ ，已经确定这一涂层可以阻止灰尘粘着和小窗的侵蚀。第2，在地面上作登陆机消毒之前把可受污染的盖子放在小窗上并且仅在登陆机安放在火星表面之后才去掉。盖子既保护小窗在消毒过程中免受气体冷凝也保持由于初始登陆碰撞引起的灰尘的损害。最后，有一个附加在固定的下面组合件上的固定柱，这个柱子在摄影机不使用的時候给出一个防护装载的位置。这个柱子在火星表面上整个使用期间内保护小窗免受风沙和灰尘的损坏。

如图4所示，第二个问题的基本解决（结合轴承）是：要使岔开灰尘粒的分界面变成尖塔形并给于迷宫式密封，那对粒子来说到达关键区是特别困难。实验工作表明，迷宫式密封是特别有效。

## 功能的考虑

### 光学

上面组合件的一些详细的特性在图6表

示出。小窗是由外面涂上  $\text{SiO}_2$  和里面涂上  $\text{MgF}_2$  的2.5毫米厚的熔融硅石组成的。扫描镜是在镀铝面上涂  $\text{SiO}_2$ ，装在铰轴上。镜子是由一个采用二速度分解器和阻尼转速计的位置读出伺服系统来传动的。镜子在一传动周期的75%内保持常速，位置视频的同步脉冲通过分解器产生，精度为10弧秒。

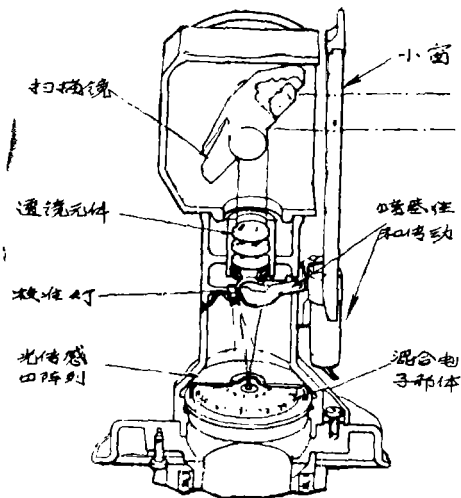


图6 上面组合件的剖视图

聚焦元件是一个口径为9.5毫米和焦距为54毫米的非胶合三合镜，此三合镜放在镜轴之下约38毫米。口径直径在大的信噪比和视场的适当景深或者在离焦调制传递之间取得协调的。焦距作成尽可能小，与降低轴外象散性一致，最大视场内（~50毫弧度）是通过光传感器的阵列形式确定的。成象状态时每12秒周期性地出现暗基准，这是在物镜之下增加用蜗旋管驱动的叶片获得的。它至少有20毫秒完全把光束遮蔽掉。

有一小钨丝灯放在下面，在暗基准叶片的一侧。它既提供一种内辐射校准的标准，又提供出一种识别在整个登陆机的试验期间光传感器和视频电子部件的故障的方法。灯是用适当调节的电流激励并且希望保持长期输出稳定性为2%或者更好点。灯的使用应保持至最少，但是大概总的在发射的全持续时间之内将不超过10小时。

## 光传感器的阵列

光传感器部件正好放在校准灯之下，物镜的焦平面上。阵列是摄影机关键部件之下，其特性强烈地影响最终成象的质量。光传感器部件是由一个  $2 \times 6$  的硅光二极管的精密定位阵列组成的（见图 7），还包含着组合电子部件。每个光二极管具有一个精密确定的镀金口径，它与透镜焦距一起有效地确定系统的角分辨。

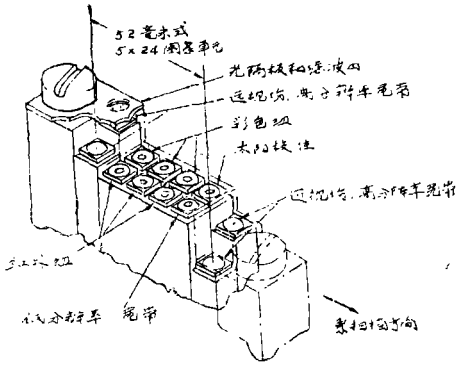


图 7 光传感器的阵列

二极管对应于从 1.7 米到无限远的各个焦平面垂直地交错着。二极管的装置反映着以各种方式工作的摄影机：装在各个焦平面上的四个高分辨率（小口径）无滤波的为一组的二极管，放在 1.7 和无穷远名义上正中间的焦平面上有八个为一组的二极管。八个一组中包含 6 个窄带（50~100 毫微米）滤波二极管（见图 8）和 2 个无滤波二极管。

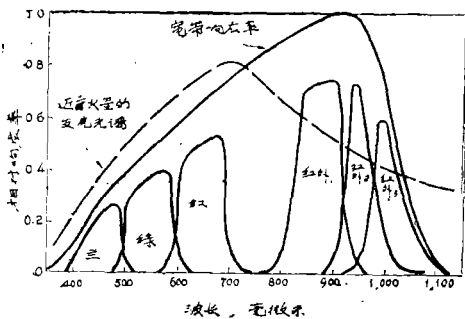


图 8 光传感器阵列的响应率

组合的窄带成象是以行同步速率相继通过彩色或红外组构成的；并在每隔第三条高

低角线步进方位角。这种行一顺序的光谱信息将对之作轴外二极管的位置校正，这是在镜驱动电路上引入适当的补偿来达到的。两个多光谱装置必须相对在水平精度为 2.5 微米内定位，以保证精密的彩色配准。这些精度是可能的，因为这些装置是单块的。在阵列之内的全部其它机械公差严格程度至少宽十倍。

## 基本的噪声极限

各种光二极管输出电流的前置放大是由在每个光二极管输出上的各自的互阻抗放大器来实现。混合放大器是与电路选择逻辑、多路传输和信号高级电平的后放大器一道放在光传感器装置内。光谱噪声的等效功率原则上是由硅光二极管的光谱量子效率、互导放大器中反馈阻抗的约翰生噪声和（在高信号电平）信号电流本身的散粒效噪声确定的。图 9 示出作为入射辐照函数的 Viking 光传感器（包含前置放大器）光谱合成的噪声等效功率。图形是归一于火星光谱发光模型的，其峰值为 800 毫微米。对所给定的范围来说（希望在最大发光之下的三个数量级），给出三种各不相同的光传感器的性能以供参考。各光传感器的一些补充讨论在文献〔4〕介绍。为 Viking 光传感器选择无内部雪崩增益的硅二极管。对选择它的主要技术理由是（1）比较确定的工艺和（2）在高信号电平上无过多的雪崩噪声。光电倍增器从来没有予以地考虑，因其尺寸及其相对低的量子效率的两种原因。光传感器的有效动态范围的较低端是由在表 1 给出视频带宽的两种数据之一来确定的。对于视频带宽高和低的数据为 1.600 赫兹和 25 赫兹来说，光探测器输出端上的有效动态范围将分别为 125 和 1,000。

## 电子控制和视频处理

整个摄影机的方框图在图 10 上示出。控

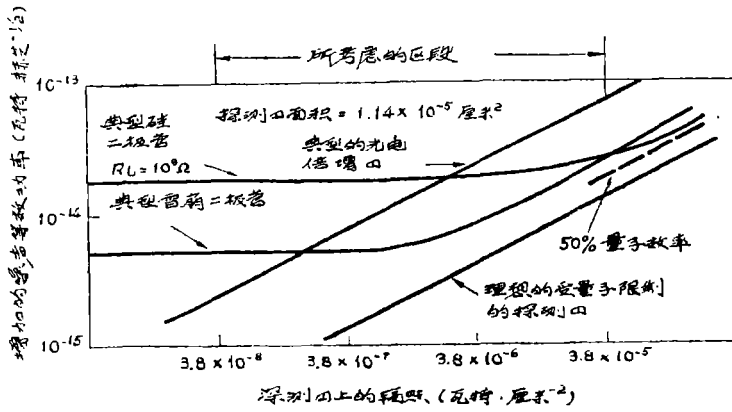


图9 光传感器性能

制电子部分作为登陆机和摄影机其余部分之间交界面，这将接收来自登陆机的各种形式的指令和数据计时信号，并对登陆机提供同步6位视频数据流。控制电子部分对摄影机的各个部分提供定时和方式选择的信息并为伺服系统产生10位的精密传动信号，使它可以达到快速扫描效率75%。

来自选择探测器的高电平模拟视频输出首先以交替取样和暗的基准电压为零相参照的，这种电压随后不断地从相继的视频信号减去。在低数据率的方式下，这种视频信号中包含动态范围 $10^8$ 或10位( $2^{10}$ )分辨率。通过采用一连串固定指令增益和偏移这种10位分辨率保持在6位输出中。例如，通过采用视频

增益16与某种适宜的偏移(在一定的间隔内)，任何所要求的总的动态范围十六分之一可以在有效10位分辨率(以输入为参照)上分层。

用双斜面积分(Dual-slope integration)技术同时实现滤波和分层。用一定时间(0.5图元)把可动的视频信号积分，在这之后用不定时期把一定的标准电压积分。当两种积分是相等(那是用零位一交叉探测器确定的)的时候，这不定时间是与视频信号的时间积分成正比。用高频时钟计算出这个不定的时间，结果得到与所要求的积分成正比的数字。这种数字的前6个有效数字构成数据输出代码。缓冲记忆装置把70%扫描效率的视频数据变换成90%数据传输效率形式，因

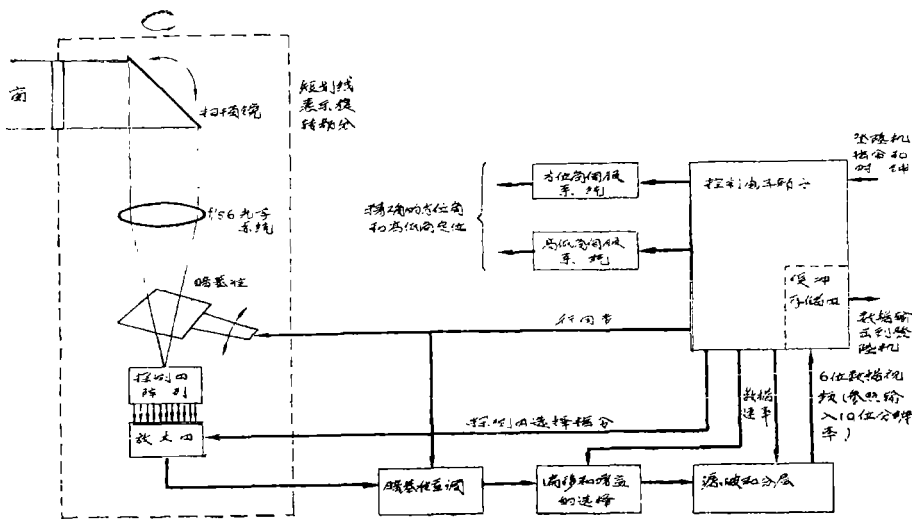


图10 摄影机方框图

而使传输带宽的要求降到最小限度。

## 校准原理

为了作出精确的辐射度量，必须用大地上已知基准来细心地校准摄影机，并且随后必须在遥远旅程中保持校准。虽然摄影机使用保持校准有多种方法，但是基本方法包含着刚好定位在探测器阵列之上的“点光源 Pin-lite”。校准源是由适当滤光而接近于平均火星光波的过滤钨丝灯组成的。滤光能使每条光探测器信道大概相等地响应校准源，因此使读出分辨率达到最大。

最初的绝对校准是通过摄影机电子部分将外部标准转换进来完成的，然后回到内部校准灯。在摄影机发射之前的工作中各个光二极管的相继校准大概将主要倚靠内校准，并偶然回到参考外标准。由外部序列指令在每象帧之前对全部二极管信道在各种环境上校准数据的广泛记录逐渐累积。发射前存储的数据统计地使用指望对发射后产生最可靠的辐射度量。其它预期采用的校准方法包含登陆机上外靶的使用和用一个光二极管直接使太阳成象。这些方法中之每一个将用以探测火星登陆后的摄影机的长期变化（例如小

窗的退化）。

硅光二极管的光谱响应度是温度的一种弱函数，主要效应是长波1/2功率作约0.4毫微米/℃的变化。这种效应在长波红外波道是主要的，但它可以在从-50到+50℃中对宽波带产生高达5%的信号积分变化。光传感器的温度在一帧期间内将持续地被监空在5℃以内，并且多路传输到视频数据流上。目前的热控制表明，光传感器在典型（20分钟）的成象序列期间低于5℃的温度变化。

## 结 论

登陆摄影机要设计成一种精密的科学用具，同时在各种各样的恶劣环境上保持高可靠性和简便的操作。摄影机具有独特的特点，特别能满足远距离的行星探查。这些特点最主要的是：（1）固态焦点转换，（2）很小的几何失真，（3）精密辐射度量，（4）多光谱能力，（5）简单和固有可靠的设计和（6）耐太阳成象的性能。应该注意，摄影机至今还处在设计阶段，并且希望某些部件有发展。

译自“Proceedings of the SPIE”

vol.28, 1972, 3, p.181