

# 二次电子电导摄像管的应用

## 1. 引言

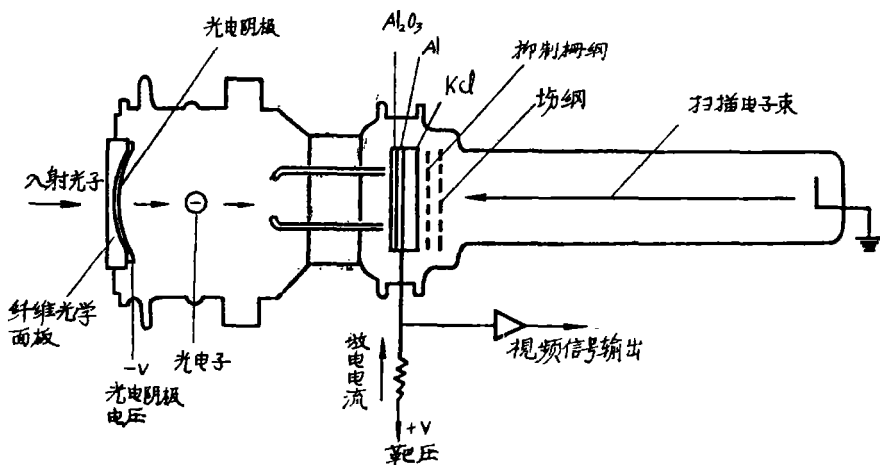
SEC 摄像管1962—1964年间首先由美国西屋公司研制成功。由于管子灵敏度高，惰性小，有很好的储存和积累性能，加之体积小，重量轻，耗电量小，操作方便等优点很快受到人们的重视。继西屋公司之后英、法、西德、日本的一些有关电子公司也先后进行这种管子的研制和生产。近十年来，发展了各种类型的 SEC 摄像管，由于它们都具有上述优点，因此，不论在军事、空间飞行、科学研究、还是工业过程的监控、彩色电视广播等方面都获得了应用。特别是由于 SEC 管具有很好的信号储存和积累性能，因此在空间天文学领域中更是可贵的电视传感器之一。继阿波罗空间计划中的著名应用之后，SEC 摄像管又多次被空间及地面天文观测所选用，同时发挥了很好的效能。此外，也出现了可以认为是 SEC 摄像管派生产物的，拥有 SEC 电荷储存靶的其它光电成

象器件，它们将成为高能粒子物理学和医学方面的有用工具。本文着重介绍国外近年来 SEC 摄像管的应用情况及其有关的问题。

## 2. SEC 摄像管的一般结构及简单工作原理

如图所示，SEC 摄像管由三个主要部分组成：移像部分、SEC 靶和电子枪。

移像部分一般为一个带有纤维光学面板端面的静电聚焦二极变像管。为了获得好的图象质量，纤维面板的外表面作成平面、而内表面多是带有一定曲率的球形凹面，光电阴极就做到这个凹的内表面上。移像部分的主要功能就是一方面通过光电阴极的作用将镜头所成的景物的光学图象转变为电子图象，另一方面又通过二极变像管电子光学系统的聚焦作用，将光电阴极处的电子象再成像到 SEC 电荷储存靶上，在此过程中，光电子被光电阴极和 SEC 靶间的高压加速到很高的



SEC 摄像管示意图

能量 ( $\sim 8 \text{ keV}$ )。SEC 电荷储存靶由三层物质组成,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  层、厚约  $700 \text{ \AA}$ , 起支撑作用; 真空蒸涂到  $\text{Al}_2\text{O}_3$  层上的 Al 层、厚度约  $700 \text{ \AA}$ , 作为导电信号板; 在低压 Ar 气中蒸涂到 Al 层上的 KCl 层, 厚度为  $10\text{--}20 \mu\text{m}$ 。电子增益和电荷储存都是在这一层发生的。这一层材料的密度很低, 只有大块 KCl 密度的 2% 左右, 实际上好像由很细的纤维构成的骨架, 大部分空间都是真空间隙, 当高能电子打到 SEC 靶上时, 它们很容易穿过  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 Al 层而进入 KCl 层。在这里由于高能初电子轰击 KCl 的纤维骨架, 产生了二次电子发射。大量的二次电子进入骨架中的真空间隙后, 由于电场的作用, 立即为导电信号板及抑制栅网或场网所收集, 由于二次电子发射过程以及随后的二次电子在真空间隙中的迁移过程几乎都是瞬时完成的, 所以 SEC 靶中并不存在一般视象管靶的那种光电导惰性。SEC 管的惰性只是由 SEC 靶的电容和扫描电子束阻抗所决定, 因此这种管子总的惰性比起许多电视摄象管都小。二次电子发射的结果, 在 KCl 层纤维骨架上留下了正电荷图形。因为 KCl 膜的电阻率很高, 正离子的迁移速度很小, 所以图形能够维持很长时间、直至阅读电子束将其放电为止。这便是 SEC 管有好的信号储存和积累性能的原因。电子枪与一般视象管电子枪相同, 唯一的差别就是在 SEC 靶和场网之间还有一个用于防止 SEC 靶超载损坏的抑制栅网。枪的作用主要是提供一个有一定电流密度, 同时聚焦得很细的电子束, 当他们在外加磁场的作用下扫描靶表面时, 电子束电流就使 KCl 膜放电回到电子枪阴极电位。这种放电作用产生了视频信号电流。

其次前面所说 KCl 层留下的正电荷图形应该与光电阴极处的电子象完全对应, 这便是电子光学系统的作用。但靶上每一点的电荷密度却都比光电阴极处相应点的电子密度增大许多倍。这个倍数便是 KCl 膜的增益。KCl 膜的增益很高是由 KCl 的较大的

二次电子发射系数以及真空间隙中二次电子的较好的收集率所决定的。一般 SEC 靶的增益超过 100。如光电阴极的积分灵敏度为  $100 \mu\text{A}/\text{lm}$ , 则总的 SEC 管的积分灵敏度超过  $10,000 \mu\text{A}/\text{lm}$ 。

### 3. 根据实际应用而发展的各种 SEC 摄象管

前节的叙述只是一般 SEC 管的结构。实际应用中往往根据任务的特殊要求对 SEC 管的结构和元件进行适当更改。但不管新的管型结构和性能如何, 电荷储存靶的二次电子电导 (SEC) 特点总是不变的。

#### (1) 象增强器—SEC 摄象管

SEC 摄象管虽然是较灵敏的管子, 但在正常的帧速率下, 观察某些更加微弱的物体时, 仍嫌其灵敏度不足。例如: 当用西屋公司 WL-30691 SEC 摄象管, 在正常帧速率下观察望远镜中的星象时, 发现灵敏度大约比暗适应的人眼灵敏度低  $4^m\text{--}5^m$  倍<sup>[1]</sup>。为了使电视摄象管的性能达到与暗适应的人眼相比拟的程度, 必须使 SEC 管的增益再增加  $40\text{--}100$  倍。若要做到这一点, 光靠 WL-30691 管本身性能的改进是有困难的。通常的解决办法就是将一个单级静电聚焦象增强器的输出纤维光学面板直接与 SEC 管的输入纤维光学面板耦合起来。例如: 将增益为 100 的 WL-30677 静电聚焦象增强器同 WL-30691 SEC 管组合起来, 通过望远镜观察更微弱的星象时, 在监视器上清晰可见, 而此时很好暗适应的观察者也只能很困难的看到。在其它许多需要进行实时观察的低照度电视系统中, 也大多是将这种象增强器—SEC 管的组合作为传感器。

#### (2) 带有电子变焦距的象增强器/SEC 管<sup>[2]</sup>

对于许多实际应用, 在相当宽的视场下

进行大范围搜索后,要求对所探测到的目标进行详细的研究。为此,可以采用变焦距光学系统,然而,低照度电视系统要求透镜迅速变化,同时在相当宽的光谱范围进行彩色修正等,目前并未解决。现在已经设计了带有电子变焦距的象增强器/SEC管低照度电视传感器。它不仅克服了光学系统的速度限制,而且克服了光学系统的机械复杂性和过于笨重的缺点。上述电子变焦距传感器是由WX-30958 80mm/40mm变焦距象增强器同WX-31381 40mm变焦距SEC摄像管耦合而成。为了达到电子变焦距的目的,象增强器和SEC管移象部分的二极管结构均为多电极系统所代替。目前,前者已达到3.6:1的变焦距范围。这在实际使用中大大增加了低照度电视系统的灵活性。

### (3) 磁聚焦型的SEC摄像管

均匀磁场聚焦的SEC管比起静电聚焦管在性能上的主要优点是:第一、整个视场范围的分辨率均匀性大大改善。第二、减小了图象的几何失真(畸变)。第三、提高了管子的调制传递函数。从管子结构上说,均匀磁场聚焦允许采用平面光电阴极,这一点对于紫外波段的应用是很重要的,因为纤维光学面板不能透过紫外线。美国普林斯顿大学天文台发展了一种用于大型空间望远镜的磁聚焦SEC摄像管<sup>[3]</sup>。管子采用MgF窗口,Na<sub>2</sub>K<sub>2</sub>Sb双碱光电阴极,光谱灵敏范围可以从可见光一直扩展到1200Å的紫外波长。为了降低管子内部背景,以适应长时间曝光,采用了永久磁铁来产生均匀聚焦磁场。另外均匀磁场聚焦的SEC管,移象部分的尺寸一般比较长,这在实际使用中也是一个缺点,为了解决这一问题,也采取了相应的措施<sup>[4]</sup>。

### (4) 近贴聚焦紫外灵敏的SEC摄像管

所谓近贴聚焦是指SEC管的移象部分的平面光电阴极和SEC靶贴得很近(如1.5mm),阴极和靶之间加上几千伏电压(如

4KV),则在此狭窄的空间产生很强的均匀电场。此时光电子并不是普遍意义上的聚焦,而是其横向运动受到了强的均匀电场的限制,实质上均匀电场是使电子束在光电阴极的后面形成了一个虚象<sup>[5]</sup>。

近贴聚焦的优点是:分辨均匀性好,图象畸变小,调制传递函数可以作到接近一般静电聚焦的水平。另外,结构短小,平面光电阴极很适合在空间天文学研究中作为紫外灵敏的电视传感器。西屋公司发展的一种紫外SEC管就采用了近贴聚焦方式,管子窗口为MgF,光电阴极为CsI或CsTe<sup>[6]</sup>。此外,在这种管子中以铜网支撑的KCl膜代替了普通的Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Al-KCl结构。铜网即有支撑作用,也起导电信号板的作用。(一般在铜网的面向光电阴极一边,还作上一薄层MgO(50Å—100Å)。也起支撑KCl的作用)。网支撑的好处在这里主要是可以降低初电子能量,使光电阴极和靶的距离靠得更近,从而提高管子的调制传递函数。一般地说,铜网支撑结构还有防止SEC靶为强光热烧毁的作用<sup>[7]</sup>。

### (5) 具有SEC靶的其它光电成象器件

美国西屋公司和西德西门子公司合作发展了一种带有SEC靶的X射线电视摄像管<sup>[8]</sup>。这种管子利用普通的SEC靶和阅读电子枪,同时将现成的X射线图象增强器作为管子的移象部分。在适当的工作电压下,管子的主要性能已超过或者赶上目前国外普遍采用的光学耦合X射线象增强器—摄像管系统。

美国通用电子公司发展了一种网支撑的SEC靶,称为MST靶<sup>[9]</sup>。他们已将这种MST靶放进超正摄像管,作为电荷储存靶,制成了一种MST超正摄像管。初步测试表明MST超正管动态分辨率已达到目前国外市场上最灵敏的MgO靶超正摄像管Z7967的水平,而静态分辨则已大大超过Z7967的水平。由于SEC靶比MgO靶增益高15倍之多,所以预计MST超正摄像管的性能还会进一步提

高。

## 4. SEC 摄象管的各种工作方式

这里所说的工作方式是指SEC储存靶图象信号的书写,或者说管子的曝光与信号读出之间的时间关系。根据实用的要求,SEC管既可以工作在曝光和读出同时进行的方式,也可以工作于曝光和读出逐次进行的方式,在曝光,读出同时进行的方式中,又可分标准工作方式和慢扫描或快扫描方式。在曝光读出逐次进行方式中,又可分为连续扫描读出和数字扫描读出两种方法。下面结合实际使用,对管子的几种可能工作方式作简要说明。

### (1) 标准工作方式

同所有其它电视摄象管一样,SEC摄象管可以工作在25帧/秒或30帧/秒的标准帧速率。这是进行实时图象观察时所普遍采用的方式。工作时储存靶一面不断地曝光积累信号,另一方面扫描电子束不断读出信号。

### (2) 慢扫描或快扫描

这两种方式都属于曝光和读出同时进行的类型,不同的只是扫描的帧速度放慢了或加快了。SEC靶由于有较好的信号储存性能,所以允许工作在慢扫描方式,这种扫描方式的优点主要是可以得到较高分辨率的图象,同时由于频带压缩了,整个系统都可以大为简化。例如阿波罗月球电视摄象机中,为了科学的目的,采用了5/8帧/秒的扫描速率,达到1280行的分辨率<sup>[10]</sup>。存在的问题是当SEC摄象管工作于慢扫描速率时,话筒效应引起了严重的问题<sup>[11]</sup>。这主要是由于抑制栅网和靶的距离很近造成的。因为慢扫描时,视频信号的幅度降低,话筒噪声相对于视频信号的幅度自然增大。在空间飞行中,为了限制信息带宽,慢扫描是必要的,普遍

的方案是去掉管内的抑制栅网。

SEC摄象管由于有惰性小的优点,所以它还可以工作在比标准帧速率快的情况下,有时为了防止由于“信号混合”效应所造成的运动物体图象模糊的现象,需要对景物进行附加照明,同时加快扫描帧速率。又如用SEC管进行场顺序彩色摄象时,要求180场/秒的扫描速度,这也是一种快扫描方式。

### (3) 顺次曝光、读出、连续扫描方式

SEC摄象管由于有好的信号储存和积累性能,所以当观察十分微弱的静止物体时,管子可以工作在曝光,读出顺次进行的方式。即曝光时将扫描电子束关掉,一般为了防止内部杂散光的干扰,还要将管子的灯丝电压也关掉,或降低。曝光时间可根据实际任务的需要而决定,一般可以从几秒至若干小时。曝光之后将移象部分的高压去掉,用电子束扫描靶面,进行信号读出。当以正常帧速读出时,观察者只能在监视器上看到一个一闪而过的瞬时图象。为了能使在监视器上看到一个稳定的图象。还需要有两个储存管来帮忙<sup>[12]</sup>。比如,在每个积累过程的末尾,将视频图象读出到第二个储存靶上,在每次积累期间,以标准速率,将上次积累的图象从第一个储存管读出到监视器,在下次积累时间,不用的储存靶擦除。因为擦除过程持续半秒到一秒时间为好,所以有两个储存管是必要的,这样观察者在显示期间内总能够看到一个图象,而没有长的消隐间隔。

### (4) 数字扫描

这种扫描方式一般也是在曝光和读出顺次进行时采用。具体的讲当SEC摄象管在卫星中作为光度计使用时多采用数字电视系统<sup>[13]</sup>。工作时管子曝光之后阅读电子束数字式的步进接通报上的每个象元,为了克服其它象元的破坏,在读出一个象元时,电子束只打开2微秒,其余时间,栅极处于电子束截止电位。当靶上的电子象通过数字扫描

读出时, 输出信号变成一种振幅调制的脉冲列, 这些脉冲的高度由卫星仓内的数据处理系统数字化, 并以译码的形式实时发射到地面站, 也可以将译码储存在仓内的磁带记录器内, 再将磁带扔到地面。在地面站将所收到的数字信号送入计算机进行数据处理, 也可以利用简单的数字触发示波器完成粗糙图象的再现。

数字扫描的优点, 主要是数据发射比较精确, 另外, 易于直接同数字计算机匹配。

## 5. SEC摄象管的实际应用

### (1) 重要的低照度电视摄象管之一

过去若干年来, 虽然发展了许多种电视摄象管, 但只有少数在低照度成像方面得到了重要应用。属于这一类器件的主要是超正摄象管、分流管、二次电子电导(SEC)摄象管, 和硅增强摄象管(EBS)。超正摄象管是1944年由美国无线电公司制成的, 它是历史上最早的低照度电视摄象管, 后来几经改进, 目前仍是重要的低照度摄象管。分流管是在超正析象管的基础上发展起来的, 它主要是对超正管的阅读部分作了重大改进, 因而获得了更好的低照度信噪比和调制度。这两种管子都属于返回束读出类型, 结构复杂, 调整困难。硅增强管是60年代末出现的最新型的低照度摄象管。它同SEC摄象管的结构相同, 同时又都属于直读式输出, 即视频信号从靶的信号板取出。SEC摄象管的灵敏度与一般的超正摄象管相比拟, 但有较好的低对比性能, 较宽的动度范围, 操作和调正方便等优点。与硅增强管相比, SEC管的灵敏度约低一个数量级、但由于它有好的储存和积累性能, 所以当观察静止图象时其灵敏度又可以比硅增强管高五个数量级或更多。总之, SEC摄象管或增强器/SEC管是目前最有效的低照度电视摄象管之一。可以作为夜间侦察和监示的有力工具。美国贝尔兄弟研究公司曾用西屋的80—40 mm象增强器/40 mm

SEC管系统, 在晴朗无月的夜空条件下, 拍摄科罗拉多州的一个峡谷, 景物距摄象机1200米远, 都是由对比度相当低的森林, 土路和尘土遮盖的汽车组成, 肉眼是根本看不见的, 但所得监示器图象照片却好象白天拍摄的一样清晰<sup>[14]</sup>。

### (2) SEC摄象管在空间及靶场跟踪方面的应用

SEC摄象管在阿波罗空间计划中的成功应用, 是人们对这种管子产生很大兴趣的一个原因。美国自阿波罗9号开始就用这种管子从月球发回照片、以后的阿波罗登月计划(至阿波罗17号)也都使用了配备这种管子的电视摄象机。阿波罗9—11载有带SEC摄象管的黑白电视摄象机。特别是阿波罗11的月球电视摄象机, 拍摄了宇航员第一次登上月球的情景。由于SEC摄象管的灵敏度较高, 因此摄象机可以在像0.007呎、朗伯那样低的景物亮度下工作。阿波罗10, 11, 12各载有一个SEC彩色电视摄象机, 阿波罗13载有两个SEC彩色电视摄象机。这些彩色摄象机的作用是一方面同飞船仓内的小型监示器一起使用, 协助宇航员进行瞄准和聚焦, 同时又能向地面实时提供地球、月球, 宇航员活动及仓内情况的彩色信息。阿波罗12号彩色摄象机中的SEC靶中途为强光超载所烧毁。而在靶破坏之前第一次提供了月球活动的彩色景物。在阿波罗13起飞时, 还有一个装在发射台上的摄象机, 其中用了一只带有抗烧毁SEC靶的SEC摄象管, 它完成了阿波罗13起飞的实况广播。阿波罗彩色摄象机中只有一只SEC摄象管, 为了进行彩色摄象, 管子前面有一个特制的, 由两组红、绿、兰滤光片构成的色轮, 工作时色轮以600转/分旋转, 使摄象机完成180场/秒场顺序彩色摄象。由于帧速率较高, 因此一方面由于积累时间变短而要求有较高灵敏度的管子, 另一方面为了防止彩色干扰, 而要求惰性很小的管子, SEC摄象管恰好兼有这两种优点。此

外，由于单管彩色摄象机在结构上也比三管彩色摄象机简单，因此在空间飞行中使用是很合适的。

SEC摄象管在经纬仪中也获得了应用，经纬仪是一种靶场跟踪仪器。随着使用要求的不断提高，跟踪仪器本身也在不断发展。普通电影经纬仪都是由人来直接操纵。然而当导弹或其它飞行体在视场内的角速度特大或目标较小时，人的操作便产生困难。这就需要有一种能够进行自动跟踪的装置。带有电视系统的经纬仪便能较好地解决这个问题。这时，电视传感器视场内的目标位置可以通过对标定的视频信号及水平和垂直同步信号进行时间分析来得到。连续各帧图象中目标位置的变化产生一个与跟踪器光轴和目标间的偏移成比例的误差信号，此误差信号再通过伺服系统来控制跟踪架的位置，使所跟踪目标总是保持在光轴上，这样便达到了自动跟踪的目的。根据实际应用的不同，电视跟踪系统可以采用不同类型的摄象管，瑞士生产的K400大型光学跟踪仪配备两种SEC摄象管作为电视传感器，其中之一为西德西门子公司的E1004 SEC摄象管，另一个是美国西屋公司生产的带象增强器的WL-30691 SEC摄象管。在这里，也是利用SEC管的较高的灵敏度及其具有发现低对比目标的特点。

### (3) SEC 摄象管在天文学中的应用

SEC摄象管由于有高灵敏度，好的信号储存和积累性能，因此不论在地面天文观测，还是在空间天文观测应用中都是可贵的电视传感器之一。在具体应用中，SEC管的作用可以大致分为三个方面，一是与望远镜配合，直接观察星体图象，二是作为天文观测的辅助装置，主要是用来捕获目标和导引望远镜，三是作为天文光度探测器。下面分别叙述。

#### 一、直接观察星体图象

这种应用一般多在地面站进行，工作时

将SEC管或象增强器/SEC管组合与望远镜配合使用，观察者直接观察显示器图象或用照像机拍片。管子既可以工作于标准方式，也可工作于积累方式，视具体情况而定。例如：M.Green和R.Hansen在Mc Donald天文台利用36吋f/13.8望远镜，并将WL-30691 SEC摄象管放在望远镜的卡塞格林焦点所作的观测表明，通过5秒钟的积累记录了M42中心区的充分曝光的像。在30帧/秒的速率下，包括 $\theta$ 猎户座在内的六颗星清晰可见，同时， $\theta$ 猎户座内靠得很近的不等双星很容易分辨。当把WL-30691 SEC管换成WL-32000象增强器/SEC管时，即使在30帧/秒的速率和10吋望远镜中也能使很好暗适应的人眼都很难看到的星场变得清晰可见<sup>[15]</sup>。又如：Lick天文台将象增强器/SEC管装到120吋望远镜上，记录了巨蟹座星云中NP<sub>0532</sub>脉冲星发光变化的图象<sup>[16]</sup>。

二、SEC摄象管在天文目标捕获和导引方面的应用。

近年来，发展了像变象管摄谱仪和光电光谱光度计这样新型的天文仪器，它们可以用来测量非常微弱，以致在望远镜的目镜中肉眼看不到的物体。可是这又提出了新的问题，即天文工作者如果不用辅助的所谓“去盲装置”，他就不可能将望远镜对准星体，因而大大降低了这些仪器的效能。过去的办法是利用照像底片进行多次曝光，每次过后，都用一种严格的工具来测量微弱星体相对附近亮星的位置，然后再以亮星为标准，将望远镜对准不可见的星体，这样显然要耗费大量的时间。一个能够捕获和导引物体的电视系统，在大型望远镜的工作中显然是很有用的。因为摄象机头可以放在一个人无法直接介入的位置（如第一焦点），同时能够在控制台上显示。又能对比人的视觉极限更弱的物体进行导引的而无须操作者暗适应。SEC摄象管便是这种电视系统的最好的传感器。Hale天文台利用ITT8605象增强器同西屋WX-30893 SEC管组合起来，作为望远镜电

视系统的传感器，并用两只储存管帮助进行连续显示。1971年7月他们第一次作到了对肉眼看不到的星体进行定位和导引，同时还可以远距离控制望远镜<sup>[17]</sup>。

### 三、SEC摄像管在空间天文学中的应用

这里所说的空间天文学是指通过人造卫星或宇宙飞船来进行天文考查。其中对紫外光谱或光度的天文观测更是这种考查的重要课题之一，在地面太阳或其它星体的紫外辐射都是很微弱的，显然这对于详细地考查天体是很不利的。但这一点通过将观测仪器放在卫星或飞船上便能解决，因为它们飞行轨道远在大气层之上。紫外光谱和光度学的研究在天文学中的意义是很大的。比如，通过光谱分析可以知道所观察的星体都含有哪些元素，而通过光度测量又可以知道每种元素的含量多少。当然这仅仅是一个例子。又如，对日冕的观测也是天文学的重要课题之一。因为日冕的结构和亮度的变化同太阳表面的活动及星际空间的磁场都有关系。日冕的亮度只有月亮亮度的一半，因此，平时是看不到日冕的。最早人们只能在很短的日全食期间看到日冕。利用后来发明的日冕仪平时就能看到日冕，但由于地球大气对日光的散射所造成的杂散光的影响，还是看不到外层日冕的情况，后来将日冕仪放在探空火箭上发射出去，这大大扩大了所观察到的日冕范围，但探空火箭的考查毕竟是仓促的，因此有必要将日冕仪装在卫星上，以便连续地观察外层日冕的情况。观测日冕的实质还是观测日冕的亮度分布及其变化情况，因此也是一个光度测量的问题。为了将上述卫星观测的结果很好地送回地面，采用数字电视系统是很方便的，而SEC摄像管恰是完成这些观测任务的最合适的电视传感器。

SEC摄像管之所以被空间天文观测选作为电视传感器主要是因为：第一它有较高的增益和好的积累性能，因此可以通过增加曝光时间来观测微弱的物体。第二、也是由于上述的两个原因，并利用较好的预放器，

SEC管在其大部分动态范围内可以达到光电子噪声限制下的信号噪声比，从而保证一定的光度测量精度。当然，对于较高测量精度比如1%的要求，SEC管的容量还显得不够，但这一点可以通过将靶作得更大和更薄来改进，另一方面也可以利用现有的SEC管进行多帧曝光读出。然后利用计算机迭加来补救。而这一点正是由于SEC管有好的积累和储存性能才能作到。第三、所积累的总视频信号同曝光时间有很好的线性关系，而这正是将传感器作为光度计所希望的特性。第四、SEC管允许以较慢的帧速率，数学式地读出，即可以做到与较慢的飞船记录速率相适应，还可带来一些其它便利。

下面举几个SEC摄像管在具体空间考查中应用的实例。

1968年12月7日，美国国家航空和宇宙局(NASA)发射轨道天文台二号飞船(OAO<sub>2</sub>)<sup>[18]</sup>。其中的主要仪器叫做天空巡视仪(Celercoepe)，它是由美国国立博物馆天文物理观测站研制的，实质就是一种紫外电视光度计，仪器的主要任务是测量恒星和星云状物质的位置及其在四个紫外光谱区的亮度。天空巡视仪由四个带有西屋公司生产的紫外灵敏SEC摄像管的望远镜构成，其中还配有数字扫描电视系统。SEC管工作在积累方式，曝光之后，数字扫描读出，速率很慢，每帧的读出时间为10.5秒。在OAO<sub>2</sub>的有效飞行期间，取得了八千多张紫外电视图片，其中83%含有高质量的科学数据。

1971年9月29日，NASA发射轨道太阳观测站卫星—OSO—H<sup>[19]</sup>。其中载有一个外掩日冕仪，它是由美国海军实验室(NRL)发展的。日冕仪的光学系统能够将日冕成像到SEC管的纤维光学面板上，同时能有效地防止太阳直射入仪器以及由于散射、衍射引起的杂散光的不良影响。飞船内除一个白光日冕仪外，还有一个能在150—650Å波段扫描日冕的XUV日冕仪。卫星日冕仪采用数字电视系统。SEC管工作在积累方式，根据地

面的指令，曝光时间可以从0.64—8.96秒，进行几次。曝光后采用数字扫描读出，一帧的读出时间约45分钟，同卫星轨道周期相适应。每个轨道周期可得一幅图象。为了提高时间分辨率，以观察日冕的快变化，可以在管子读出线路中加进数据压缩步骤，这样在每个轨道周期内便可得到几幅图象。数字扫描的输出信号储存到飞船内的磁带记录仪内，之后仍到地面，进行处理。上述将SEC管作为探测器的卫星日冕仪可以观测到3—10倍太阳半径的日冕，初步结果指明了日冕的亮度分布，极化及其迅速变化的情形。

此外，美国和英国的一些公司目前正在联合发展一种小型天文卫星，计划作为一种国际紫外考查设备<sup>[20]</sup>。卫星预计1976年发射、工作寿命3—5年，为了使飞船及地面系统简化、卫星选择了地球同步轨道。卫星内的科学仪器主要由三部分组成：望远镜、摄谱仪及光学瞄准系统。其中利用一个紫外灵敏SEC管作为摄谱仪的多元光度探测器。还需要另外两个可见光灵敏SEC摄象管放在光学瞄准系统上，起目标捕获和望远镜导引的作用。SEC摄象管采用积累工作方式和数字扫描系统。

SEC摄象管在地面天文台所作的天文光谱和光度测量中也起了很大作用。例如，普林斯顿大学的天文小组将SEC摄象管作为探测器，利用带有200吋Hale望远镜的折轴摄谱仪，获得了射电宁静类型射电源PHL-957的高色散光谱，光谱范围从4270—4495 Å，分辨率为0.75 Å，上述结果是通过SEC管进行长达6小时曝光积累而得到的。积累之后将靶上储存的信息一帧读出（时间近似10秒钟），并在计算机内将模拟的信息数字化、导出所分析的结果<sup>[21]</sup>。

利用SEC摄象管进行天文观测所得的科学结果还可以举出一些，此处不再赘述。

#### （4）在其它科学研究中的应用

电子显微镜是研究微小客体的有效工具

之一，但是，当用很高放大倍数的电子显微镜来观察键合力较小的材料时，如象塑料，催化剂等等，就出现了荧光屏输出亮度太低的问题。因为这些材料的键合力小，所以能够承受的电流密度就不能太大，一般在 $10^{-8}$ — $10^{-4}$  A/CM<sup>2</sup>的范围<sup>[22]</sup>，如果显微镜的放大倍率为 $10^5$ 倍则输出电流密度只有 $10^{-13}$ — $10^{-14}$  A/CM<sup>2</sup>。一般暗适应的人眼睛，可以在 $10^{-9}$  A/CM<sup>2</sup>甚致 $10^{-10}$  A/CM<sup>2</sup>的输出电流密度下，在电子显微镜荧光屏下工作。电流密度再小，则屏的输出亮度就太低了。因此在上述 $10^{-13}$ — $10^{-14}$  A/CM<sup>2</sup>的电流密度下，根本不能行进操作。这时电子显微镜的调整和聚焦变得非常麻烦，需要进行一系列胶卷曝光，耗消了许多时间。这个问题利用SEC摄象管就可以很好地解决。比如用象增强器/SEC管通过光学系统或纤维面板同电子显微镜耦合起来，就可以使人的视觉极限得到扩展，而且电视系统还无须人眼进行时间长达30分钟的暗适应，因为显象管的荧光屏亮度可以调到合适的亮度。这样便可以使所耗费的时间大大缩短。

又如，在天空实验室X射线望远镜发射之前的试验研究阶段，SEC摄象管起了很大的作用<sup>[23]</sup>。X射线望远镜是用来在空间观测太阳X射线辐射分布图象的。其原理是通过胶卷对X-射线激发的晶体荧光进行曝光，在外层空间由于太阳的X-射线很强，所以仪器的工作是没有问题的，但在发射前的地面试验期间，由于地球大气对X-射线的强烈吸收，因此到达地面的X-射线强度已大为减弱，以致采用胶卷实验变得非常困难。此时，还是利用SEC摄象管的积累性能，及其灵敏度比照像底片高得多的优点解决了问题。

除了电磁辐射成象外，利用象增强器/SEC管进行粒子辐射，如β射线成象也是可能的<sup>[24]</sup>。这种成象也是先将高能粒子变为可见光，然后又用标准技术成象。例如，为了获得一个冶金试验样品内部缺陷的图象，令

Kr-85 发射的  $\beta$  粒子通过样品，未被吸收的  $\beta$  粒子激发照象底片，为了得到一张图象需要近 8 小时曝光时间，而利用象增强器/SEC管，则只需积累 20 秒钟便可获得同一样品的电视图象。可见其好处之大。

### (5) SEC管在医学上的应用

SEC管有较高的灵敏度，在医学上的 X 射线诊断中可以适当地利用这一特点。对一般的 SEC管，配以 1:1 的光学镜头，灵敏度接近于暗适应人眼的灵敏度，故可以代替人眼，直接对 X 射线荧光屏摄象。经初步实验，对人体的薄部位，如四肢骨骼，以及钴源的肿瘤定位等，接近于实际使用的要求。但是，单个 SEC管的灵敏度尚远嫌不够，不能使 X 射线剂量大幅度降低，因而在 X 射线

电视诊断上只能解决部分的问题。

西德西门子公司(Siemens) 和美国西屋公司合作于 72 年报导了一种用 SEC靶的 X 射线摄象管。与一般的 X 射线图象增强器和光导管用光学耦合的方式不同，此摄象管的前部是一图象缩小为 8:1 的 X 射线图象增强器，被加速和“压缩”了的高能电子直接打到 SEC靶上，在 SEC靶上再放大近 100 倍，然后直接输出电视图象。由于减少了图象转换次数，电视系统的分辨率及其它一些性能有所提高，而且重量和体积都有所减少。一般的 X 射线象增强器加镜头光导管的电视系统长为 690mm，重 20kg，而此系统可减少至 530mm 和 14kg。这二种 X 射线电视摄象系统的性能比较如下表所示：

从上述比较中可以看出，采用 SEC靶与

	X 射线 SEC管	X 象增强器和光导管用光学系统耦合
分辨率	1.4 线对/mm 整个视场	1.0中心 0.8边缘
色 荫(Shading)	0.5~0.7 $\frac{\text{边缘亮度}}{\text{中心亮度}}$	0.3~0.4
对 比 度	5~8 $\frac{\text{无障碍物的亮度}}{\text{有20mm圆盘的亮度}}$	3~4
时 滞	0% 400ms后残余信号	15%~13%一般视觉管 0% 氧化铝
贮存能力	几小时	无
灵 敏 度	300 $\mu$ A 入射剂量80 $\mu$ R/秒 时的信号电流	300 $\mu$ A

X 射线象增强器直接装配于同一管内，使 X 射线电视图象质量大为改善，而且重量及体积均减小。这种 SEC靶的 X 射线摄象管按理也能用于工业 X 射线探伤上。SEC摄象管的较高灵敏度和小的时滞，使得它适合于用作场顺序制的低照度彩色摄象管。在医学上诊断与确定解剖结构需用彩色摄象，而且由于医学上不大可能用相对孔径大的物镜，故光学上损失很大，进入摄象机的光通量有限，需要摄象管的灵敏度很高，这正是 SEC管的特性所在。过去几年已发展了一种利用 SEC(WL 30893) 管作为场顺序制低照度彩色电视摄象管的电视系统<sup>[25]</sup>。在医学上用于 a)

在手术室内直接观察外科手术； b) 产生和显示用内窥镜获得的图象； c) 产生和显示用各种显微镜得到的图象； d) 传递护士在巡回病房时得到的图象。由于用单管，机头总重仅为 10 磅，较小和较轻，可用手举，在手术中可以放在任意感兴趣的地方，且可用于巡诊，只需一般的房间照明。灵敏度高使得可用小孔径镜头，可以有较大的景深。

医学上应用的二种最重要的要求是摄象内窥镜（如胃镜、膀胱镜等）和显微镜获得的图象。内窥镜常用 140 F 数的光学镜头摄象，显微镜象也有高的光损失，这二种应用上，据称，用 SEC管在 441 线/180 场/秒的运

用方式上都能得到优良的彩色图象。

### (6) 在水下电视中的应用

水下电视引进的一些特殊问题是<sup>[26]</sup>1) 水对不同波长光的滤光效应; 2) 在水中光的衰减, 据测定在大西洋海域, 对 $0.53\mu$ 的光, 海水的衰减系数达 $\alpha = 0.19\text{米}^{-1}$ ; 3) 由于水的散射减小景物对比度以及4) 在水中传递图象调制传递函数减小, 因而使分辨率下降。这些因素实际上都是要求用于水下电视的摄象管须采用高灵敏度的低照度电视摄象管。

目前采用WL-30691 SEC管与-25mm的象增强管耦合用250W的碘化铯灯, 在大西洋海域( $\alpha = 0.19\text{米}^{-1}$ ), 当景物反射率为20%, 运动速度为20秒/图象高度, 所用光学系统为F/1.8, 透射率为80% (对 $0.53\mu$ 的光) 时, 在观测距离为30—40呎的范围内, 已可得到分辨率为400—500电视行/图象高度的图象, 可以认为已有适当性能, 能达到实用的目的。

对于静止目标, 如能应用积累性能, 则估计性能应当更有所改善。

上述是近年来SEC管应用的一些实例。由于SEC管具有本文一开始所述的那些特点, 虽然它比之其它一些新近发展的摄象管在某些性能上有些差距, 如作为微光电视应用, 其灵敏度不如硅增强摄象管。动态范围、低照度下的信噪比不如分流管等等, 但从全面性能来看, 它还具有一些别种摄象管所不能代替的优点, 特别是其优良的积累和储存性能, 使得它在天文、空间飞行及一些特殊科学研究领域内, 还是几乎唯一适用的电视摄象管。

### 参 考 文 献

- [1] M.Green and I.R.Hansen, Adv E. E.P.vol 28B.P810.
- [2] R.R.Beyer and M.Green Electro-Optical System Design Conference (1969)P12.
- [3] J.L.Lowrance and P.M.Zucchino. "Space Applications of Camera Tubes" P43.
- [4] K.Sato and M.Takahashi Adv, E. E.P.vol 33A P241.
- [5] J.Goodson and et al. Adv E.E.P. vol 33A.P83.
- [6] P.R.Collings and et al. Adv.E.E. P.vol 33A.P253.
- [7] Information Display vol 10.№ 9 P23.
- [8] E.Fenner and et al, Adv, E.E.P. vol 33B.P1061.
- [9] B.E.Day and I.T.Saldj. IEEE Conference record of 1968 ninth Conference on tube techniques P255.
- [10] E.L.Svensson. Space Flight vol 11. №9(1969)P304.
- [11] J.L.Lowrance and P.M. Zucchino Adv, E.E.P.vol 28B.P866.
- [12] E.W.Dennison, Adv.E.E.P.vol 33B P795.
- [13] Y.Nozawa Adv, E.E.P vol 28B.P 891.
- [14] A.B.Laponsky and et al.Optik 40. 4(1974)P381.
- [15] M.Green and J.R.Hansen, Adv.E. E.P.vol 33B.P795.
- [16] A.B.Laponsky and et al.Optik.40. 4(1974)P381.
- [17] E.W.Dennison, Adv, E.E.P.vol 33B P795.
- [18] Robert.J.Davis. "Space Applications of Camera Tubes" P71.
- [19] G.E.Brueckner". Space Applications of Camera Tubes" P105.
- [20] A.Boksenberg. "Space Applications of Camera Tubes". P21.
- [21] A.B.Laponsky, and et al.Optik.40. 4(1974)P381.

- [22]U.Valdre "Electron Microscopy in Material Science".
- [23]Space Flight vol 13 №4(1971)P124.
- [24]A.B.Laponsky and et al,Optik,40.4(1974)P381.
- [25]Kaiser. A. et al. Electro-Optical System Design Conference (1972) P 183.
- [26]Parrish.W.F.et al, J.SMPTE. 82 (1973)№2.84.
- [27]1970 IEEE International Conference on Engineering in Ocean Environment P707. 译文见 舰船光学 (1973)№2.26

余永正、贾欣志