

红
外
仪
器
与
技
术

红外仪器与技术

上
海
科

53.783/11
71

上海科学技术情报研究所

毛主席语录

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

在最近二十多年中,国外在红外物理与技术方面有了很大的发展。他们首先是为了军事的需要,在保密的条件下进行了大量的研究工作。在此期间,由于半导体物理学、固体物理学、光学和低温技术的发展,使高灵敏的红外探测器件、性能优良的红外光学材料以及相干红外辐射源得以实现,促进了红外物理学(包括红外辐射与物质的相互作用研究、物体的红外辐射特性研究、红外辐射在大气中的传输特性研究等)的发展。目前,红外技术已成功地应用于军事、工农业生产、医学和科学研究等各个领域。近年来兴起的远红外光谱的研究及天体的红外观测,必将扩大和深化人们对物质世界的认识。

为加速我国红外物理与技术赶超世界先进水平的步伐,我们遵照伟大导师毛主席“洋为中用”的教导,对近年来的国外发展进行了调查研究,并选择了一些有代表性的文献,分门别类地分成数册,作为“红外物理与技术译丛”出版。已经拟定的分册有:

1. 红外技术在气象卫星中的应用
2. 红外探测器
3. 红外技术应用
4. 红外仪器与技术
5. 新型红外探测器
6. 红外光学材料
7. 红外大气传输的研究

限于我们水平,工作也不很细致,缺点和错误一定不少,恳请批评指正。

上海市红外物理与技术译丛编辑组

1974.10.

目 录

国外红外辐射计、分光计和照相机发展近况(综述)	1
阿波罗十七号所用的绘制月球表面温度图的红外扫描辐射计	18
“雨云”边缘辐射计,“阿波罗”精密太阳传感器 和“天空实验室”多波段扫描器	24
多波段扫描辐射计	32
两种高精度黑体辐射计	35
1971年火星水手号飞船用红外干涉分光计的发展和试验	47
8~14微米的高空间分辨率和热分辨率的红外相机	61
RS-14 多光谱扫描系统的独特设计	72
被动红外扫描器的热成象性能	83
非线性象变换和红外全息照相	94
液晶红外全息照相术	96
红外辐射温度计及其应用	101
红外光谱学用的设备	104
红外光谱范围内光电元件的校准方法	111
“上转换”——系统评述	123

国外红外辐射计、分光计和照相机发展近况

综 述

一、红 外 辐 射 计

1. 概述

红外辐射计是测量一定视场内的目标所发射的某一波段内的红外辐射的仪器。在仪器内部往往装有作为标准的参考黑体,因此实际所测量的常常是被测辐射和参考辐射之差。

红外辐射计是本文所述的三个仪器的基础。分光计仅指在某个波段范围内,测量很多个窄光谱区域内的辐射,而照相机是测量一个小的空间范围内的热辐射,然后在 x,y 二维展开形成热图象。

红外辐射计的最基本结构如图1的示意图所示^[1]。

图中: L 表示光学收集系统;

D 表示探测元件;

f 表示焦距;

θ_0 表示探测器能探测到半角为 θ_0 的圆锥内的辐射。

由图可知一个辐射计至少包括以下三部分:

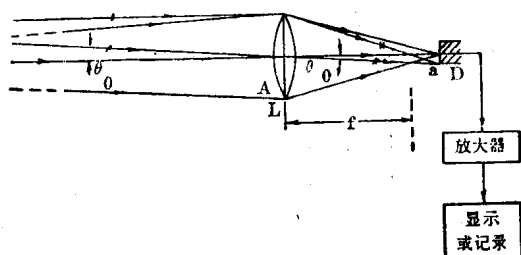


图1 辐射计示意图

(1) 探测元件——把入射的电磁辐射转换成电信号。

(2) 光学系统——它确定了接收孔径和视场角的组合,辐射通过它聚焦。因而它限定了辐射计响应的辐射量。光学系统包括探测器的敏感面。

(3) 放大器和输出指示器——通常是用电子学的方法把探测元件的输出转换成所需要的形式。

理想的仪器要满足下列条件^[2]:

(1) 光学系统没有渐晕和象差。

(2) 被测波段 $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$ 内所有波长的响应一致。

(3) 对所有偏振光,仪器的响应一致。

(4) 测量的全部动态范围内,仪器完全线性。

(5) 这种线性还需延伸到辐射功率的任何起伏所引起的暂时性的频率。

再者:在没有背景辐射和中间大气衰减的理想状态下使用仪器时,它输出正比于入射的辐射量,即有

$$V = R_p P$$

其中: V ——仪器之输出(伏);

P ——入射功率(瓦);

R_p ——功率响应率(伏/瓦)。

在以上的理想情况下 R_p 是常数,而事实上 R_p 不一定是常数,而依赖于入射射线的波长、射线的方向、在接收孔径中射线的位置、它们的偏振、总的入射辐射的大小和探测器上各点响应率的分布情况(特别射线集中在探测器表面的有限区域),频率变化或入射辐射起伏和可能的其他参数像探测元件的温度等。

辐射计按参考辐射的不同而分直流辐射计和交流辐射计两大类,直流辐射计易受漂移

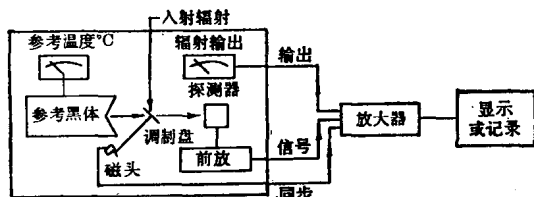


图2 使用调制盘的交流辐射计框图

的影响,因此欲作绝对测量采用交流辐射计比较合适。图2是使用调制盘的交流辐射计,调制盘的转动使探测器交替地接收到参考黑体的辐射和被测源的辐射,如果参考黑体温度可变,则可使它的辐射量调节得和被测源的辐射量相同,这样在电子线路处理中,可以

用零点平衡的方法(例如用电桥)作精密测量。

本文仅讨论某些特殊场合下所使用的辐射计(如卫星上所用的辐射计),已有产品供应的作为一般测量仪器的辐射计可查阅有关产品目录或参考书籍。

2. 卫星上用的红外辐射计

随着空间技术特别是气象卫星的发展,红外仪器得到广泛应用。气象学上的一些参数如压力、温度、风、云层云高和降水等以前没有办法作全球性观测,而人造地球卫星提供了全球性观测的可能性。卫星上敏感元件所接收到的地气系统的热辐射,大气组分的吸收带等等大都位于3~25微米的范围内,加之红外系统不仅可在白天工作而且可在夜间工作,因此被动式红外技术在气象卫星中有特殊合适的用途。第一个用作气象研究的卫星红外仪器是一个广视场辐射计,1959年10月装在探险者VII上飞行,其目的是测量从地球发射的辐射和吸收太阳的辐射之间的地球的热平衡^[3]。美国气象卫星的发展,从泰罗斯到雨云、艾托斯、诺阿,红外仪器的复杂性和种类快速增长,性能越来越好,据报道的计划,高级型诺阿卫星将不用可见光相机而全用红外仪器。

(1) 泰罗斯双光锥低分辨率辐射计和泰罗斯中分辨率辐射计(MRR)^[3,4,5]

这是两个初期装在卫星上的红外辐射计,前者装在泰罗斯II、III和IV上,后者装在泰罗斯II、III、IV和VII上。

泰罗斯双光锥低分辨率辐射计是一个两通道、广视场、无调制的辐射计。用来研究反射的太阳辐射和地球发射出来的热辐射之间的平衡。视场是50°的圆视场。两个热敏电阻同时接收辐射,一个“镀黑”,对长波的大地辐射和反射阳光同样灵敏,另一个“镀白”,对可见光和近红外是反射的,而对长波的大地辐射是吸收的,利用两个热敏电阻的温差可以计算在视场内的辐射温度和反照率。该仪器获得数据有限而且误差也较大(8~14%)。

泰罗斯中分辨率辐射计(MRR)基本上是五个独立的辐射计,具有完全重合的5°×5°的瞬时视场。每个通道的光学系统框图如图3所示。

五个通道的光轴是平行的,对泰罗斯自旋轴倾斜45°,用光学调制器使它们的视场交替地观察相差180°的二个方向,当地球在一个方向的视场内时,另一方向将针对空间,因此地球辐射受到来自空间的基本上是绝对零度的辐射的调制,这样可以获得不依赖于卫星温度

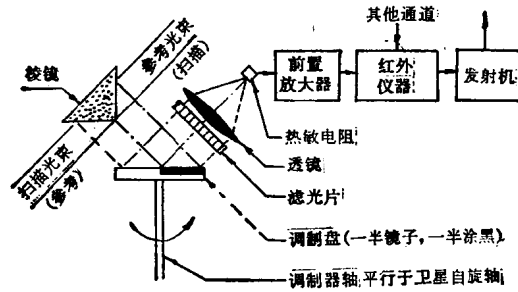


图3 泰罗斯中分辨率辐射计简图

的辐射强度的绝对测量。卫星以 10 转/分自旋时，视场在地球上扫一圆弧形扫描线。五个通道各自带有滤光片，以便响应不同波段的可见和红外辐射。

泰罗斯 II 中分辨率辐射计的各通道波段和作用如下：

1. 6.0~6.5 微米 水汽吸收，
2. 8.0~12.0 微米 地表辐射温度和云层覆盖，
3. 0.2~6.0 微米 反射的太阳光，
4. 8.0~30.0 微米 大地辐射，
5. 0.55~0.75 微米 可见光辐射。

泰罗斯 VII 用 14.8~15.5 微米代替 6.0~6.5 微米，这是为了利用二氧化碳的 15 微米强吸收带来测量同温层温度。

泰罗斯中分辨率辐射计重 6 磅，耗电 2.5 瓦，缺点是没有飞行校准。

(2) 云雨高分辨率红外辐射计 (HRIR)^[3, 6, 7]和雨云中分辨率红外辐射计 (MRIR)^[3, 7, 8]

雨云高分辨率红外辐射计的光路图如图 4 所示。由于雨云卫星是三轴控制对地取向的卫星，因此用一与旋转轴成 45° 的扫描镜旋转来获得一维的扫描线，卫星运动作为另一维而组成图象。扫描镜旋转速率是 44.7 转/分，扫描镜旋转一整周需 1.342 秒，在这时间内扫描镜顺次地看向地球、空间和辐射计外壳，后者包括一内部的校准目标。仪器的瞬时视场角为 0.5°，敏感波长是 3.4~4.2 微米，探测器采用 PbSe，靠辐射致冷到 200 K，信息带宽是 280 赫，装在雨云 I 和 II 上用来在夜间绘制云图和测量表面温度。仪器重 12 磅，平均耗电 3 瓦。

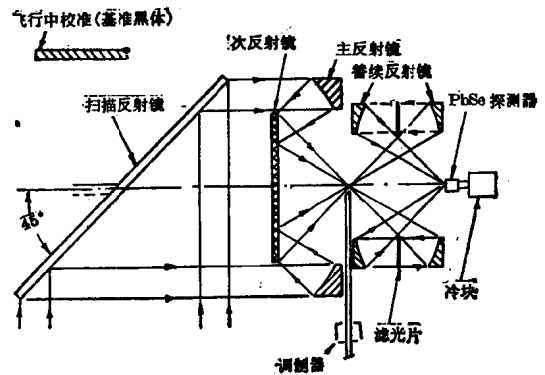


图4 雨云高分辨率红外辐射计的光路图

雨云 III 上装有改型的高分辨率红外辐射计，区别是滤光片透过两个波段，3.4~4.2 微米和 0.7~1.3 微米，短波波段主要用于白天。仪器重 18 磅，平均耗电 6 瓦。

雨云中分辨率红外辐射计有五个通道，其作用与泰罗斯中分辨率辐射计相同，但设计方法完全不一样，而是与雨云高分辨率红外辐射计相似。由 45° 旋转扫描镜产生一维扫描，每个通道都包括一个 1.7 吋直径的折合式望远镜和一个热敏电阻探测器，瞬时视场是 2.8°。用调制器使各通道的辐射都调制成 60 赫，信息带宽为每通道 8 赫，扫描反射镜的转速为每

分钟8转。扫描计有二个飞行中的校准过程,一个是辐射计的扫描镜对准空间作为零辐射校准,另一个是对准仪器内部的300 K黑体校准。

雨云 II 的中分辨率辐射计五个通道的波段分布及作用如下:

1. 6.4~6.9 微米 水汽吸收,
2. 10~11 微米 地表辐射温度和云层覆盖,
3. 14~16 微米 同温层温度,
4. 5~30 微米 大地辐射,
5. 0.2~4 微米 太阳光反射。

仪器重14磅,耗功7.5瓦。

雨云 III 中把5~30微米波段换成20~23微米的水汽转动和吸收带的波段,同时把二氧化碳带的滤光片减窄到14.5~15.5微米,这样能得到更准确的平流层温度。仪器重20磅,耗功7.5瓦。

(3) 艾托斯扫描辐射计(SR)^[3,9,10]、艾托斯甚高分辨率辐射计(VHRR)^[3,10]和艾托斯竖温分布辐射计(VTPR)^[3,10,11]

这三台辐射计是装在1972年发射的艾托斯卫星上,结构比较新颖,指标也比较先进,是标志目前国外水平的仪器。

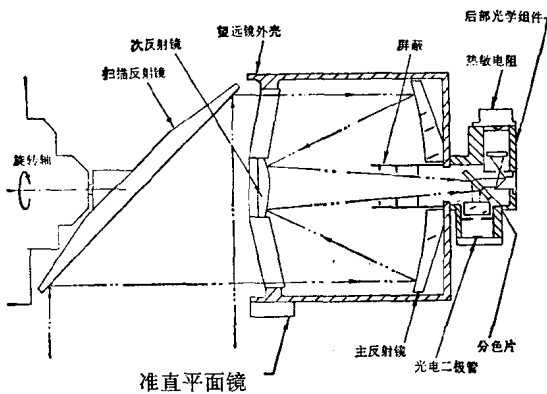


图5 艾托斯扫描辐射计光路图

艾托斯扫描辐射计是一个两通道的线扫描成像系统,光路图如图5所示。由椭圆形的扫描反射镜和一个卡塞格林型望远镜组成,扫描镜与扫描轴成45°角,以48转/分的速率转动,以空间作为零辐射的基准,每扫一次辐射计,对准空间一次,用分色片把入射的光束分成二束,0.52~0.73微米的可见光被反射由硅光电二极管接收,10.5~12.5微米的红外辐射透过分色片,由热敏电阻接收,瞬时视场为5.3毫弧度,

当热敏电阻的温度为25°C,景色温度为300 K(27°C)时艾托斯扫描辐射计的 $NE\Delta T^*$ 约为0.3 K。重量17磅,功耗7瓦。

艾托斯甚高分辨率辐射计是和艾托斯扫描辐射计一样,能量的聚集是用扫描镜和望远镜的组合,扫描镜与扫描轴成45°,以400转/分速率转动,同样以空间作为零辐射基准。敏感波段是0.6~0.7微米的可见光与10.5~12.5微米的红外辐射,用分色片把这两个波段在光学上分开。探测器:可见光用硅光电二极管,红外用碲镉汞探测器,瞬时视场为0.6毫弧度。这就是卫星高度为1464公里,星下点的地面分辨率为0.93公里。

竖温分布辐射计是用来测量11微米到19微米范围内八个窄波段中的红外辐射,利用这些数据可以推导出辐射柱体内的大气温度的垂直分布,大气温度的垂直分布在雨云卫星上是用多通道光栅分光计来获得,由于滤光片工艺水平的提高,使得可以用分立的滤光片来达到相应的光谱分辨率而使仪器性能大大提高。艾托斯竖温分布辐射计就是用这个方法,

* $NE\Delta T$ 称噪声等效温度,就是仪器能够探测的两个黑体目标的能量之差正好等于均方根噪声所相当的能量,则两个黑体目标的温度差称为噪声等效温度,是一个表明仪器测量温度的准确程度的参数。

它的角视场的立体角仅为光栅分光计的二十分之一，而辐射度量的灵敏度却要比光栅分光计好一倍。

竖温分布辐射计光路图如图'6 所示，其特点是测量八个波段的辐射只用一个光学系统和一个热释电探测器，装有八个滤光片的圆盘位于探测器之前的光路中，圆盘以 120 转/秒的转速旋转，即每 62.5 毫秒把八个滤光片之一带入视场，采用这一方法使每 0.5 秒就可取得一组能推导温度分布的数据。利用这种方法就可以取代初期要用多个并列辐射计才能取得多波段辐射数据的方法。

辐射计滤光片的特性如表 1 所示。光学参数和扫描参数列于表 2。竖温分布辐射计的设计具有优于 0.5% 的绝对准确度，各通道之间的相对准确度为 0.125% (Q 支通道是 0.25%)，要达到这样水平的准确度必须经常核准仪器，利用空间 (4K) 和仪器内部黑体 (约 285 K) 来核准。辐射计重 13.6 公斤，功耗 19 瓦。

表 1 辐射计滤光片在 35°C 的特性

滤光片序号	光谱响应中心波数 (厘米 ⁻¹)	带 宽 和 公 差	
		50% 响 应 (厘米 ⁻¹)	10% 响 应 (厘米 ⁻¹)
1 (Q 支)	668.5±0.5	3.5±0.5	10.5±1.5
2	695 ±1	10.0±2.5	20 ±5
3	725 ±1	10.0±2.5	20 ±5
4	535 ±1	10.0±2.5	20 ±5
5	835 ±1	8.0±2.0	16 ±2
6	747 ±1	10.0±2.5	20 ±5
7	708 ±1	10.0±2.5	20 ±5
8	677 ±1	10.0±2.5	20 ±5

表 2 辐射计的光学参数和扫描参数

光学参数	
主反射镜直径	73.5 毫米
次反射镜直径	28.6 毫米
入射光孔直径(D)	66 毫米
卡塞格林光学系统的焦距	197 毫米
视场(FOV)	2.235°×2.135°
探测器面积(A _d)	1.5 毫米×1.5 毫米
有效焦距 $f_e = \sqrt{A_d} / \sqrt{FOV}$	38.5 毫米
系统的有效 f/数 = f_e/D	0.584 毫米
扫描参数	
穿越轨道扫描的角度	63.4°
扫描步数	23
每 23 步的时间	11.5 秒
扫描回复时间	1.0 秒

(4) “流星”系列的辐射计^[12]

苏联“流星”系列的辐射计是狭角辐射计，敏感波段是 8~12 微米，光路图如图 7 所示，

由平面扫描镜摆动而获得热图象, 瞬时视场角为 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$, 总视场是 $\pm 50^{\circ}$, 它既能作电视式图象传感器用, 也能作被测波段内出射辐射强度绝对值的仪表, 辐射强度测量采用以地球辐射和宇宙辐射相比较的双光束方法来解决。

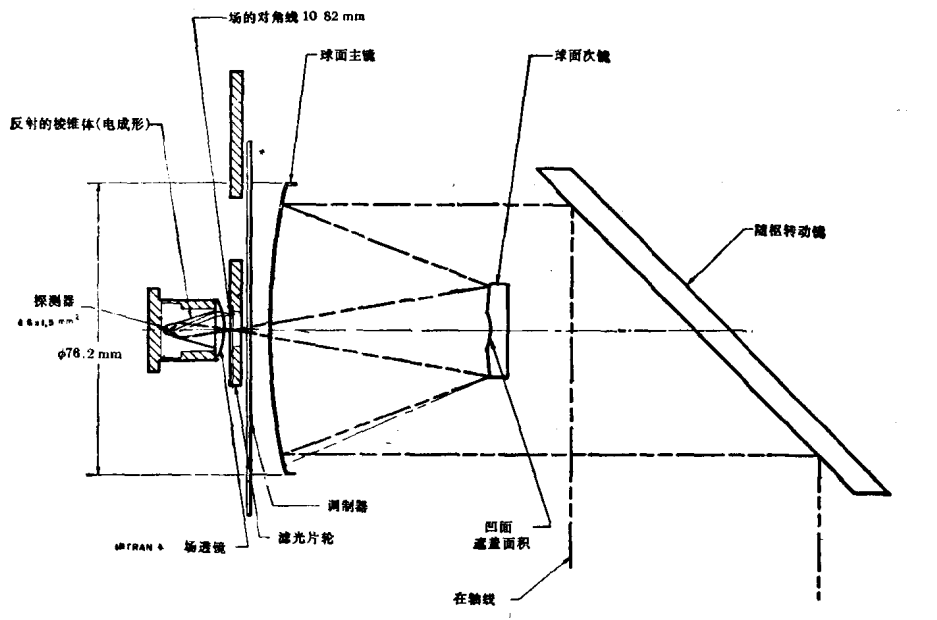


图 6 艾托斯竖温分布辐射计光路图

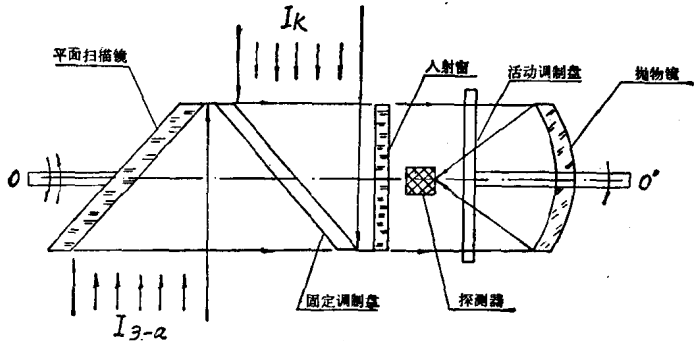


图 7 “流星”系列辐射计的光路图

一般卫星测量气象参数尚有其局限性, 这是因为无法连续测量同一区域的气象情况, 两次数据之间的时间等于卫星的运行周期, 这样象飓风短时间的发展变化等气象现象就无法观测, 目前发展起来的地球同步卫星就能解决这个问题, 只需发射三颗地球同步卫星即能在任何时刻对地球的任何区域进行同时观测。装在地球同步卫星上的甚高分辨率辐射计在 $10.5 \sim 12.5$ 微米红外波段的瞬时视场角原设计为 0.3 毫弧度(实际上有所降低, 大约为 0.4 毫弧度)。

3. 航空用的红外辐射计

辐射计在其他方面也得到广泛应用, 这里仅举二个在航空上实用的红外辐射计。

(1) 用于遥测晴空湍流的 IRCAT 仪器^[13]

IRCAT 实质上是一个狭视场的红外辐射计, 共分三个部分: 传感头部、信息处理电子系统和面板指示器。图 8 是传感器头部剖面图, 热敏电阻探测器和滤光片放在温度控制腔内,

保持温度 10°C ，该腔也用作调制盘的内部辐射基准，仪器垂直视场为 1° ，水平视场为 4° ，调制频率为 100 赫，随动系统精度是使水平视场在 $\pm 0.2^{\circ}$ 之内变动。辐射计灵敏度理论值为 -50°C 时噪声等效温度差是 0.02°C ，但在飞行中探测器受到大气影响的限制，产生较大的背景噪声。

(2) 用于测定水表温度的双通道红外辐射计^[14]

辐射计由三部分组成：双通道光学头部和前置放大器、主放大器和电源部分、9ПП-09 型电位计。第一部分的示意图如图 9 所示。有二个相同的测量通道，可以单独工作，也可以同时工作于测量不同的波段，工作波段是 $9\sim 13$ 微米，每个通道都按双光束系统构成，海面温度的测量就是比较海水辐射和标准黑体辐射而得到。辐射计温度灵敏度理论估计为： 0.003K ，但包括测量标准温度的误差，刻度时确定水温的误差和放大器放大系数不稳定而导致的误差等因素后，仪器总的误差约为 $\pm 0.3\text{K}$ 。

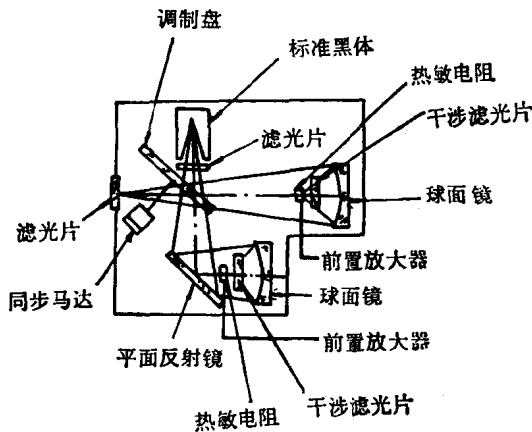


图 9 双通道红外辐射计光学头部示意图
用而发展为红外外差辐射计，波段延伸而产生微波辐射计等。

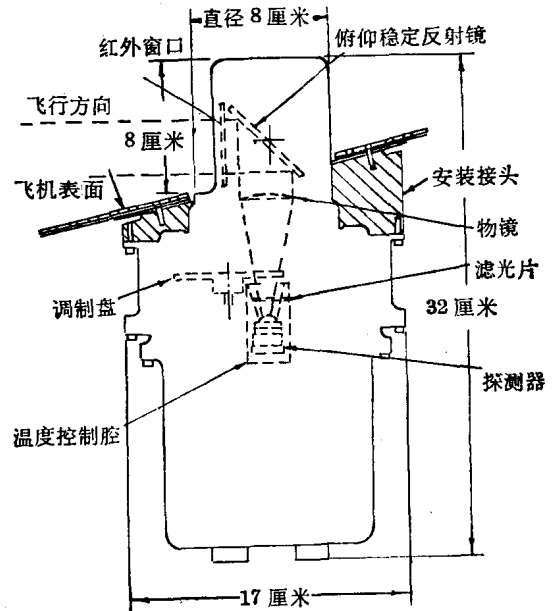


图 8 IRCAT 传感头部剖面图

误差约为 $\pm 0.3\text{K}$ 。

4. 辐射计的其他用途很多。如：辐射计能对洲际导弹各阶段的红外辐射进行研究，包括分波段的辐射率和光谱特性，背景特性，测量排出火焰的辐射来辨认目标等。

以上讨论的都是红外波段的辐射计，红外辐射计对于波长可以是有选择性的，但也可做成无选择性的，已制成从紫外到红外范围内测量辐射功率的无选择直续式辐射计^[15]。目前辐射计的发展还产生了其他各种形式的辐射计，例如：随着激光的应用

二、红外分光计

1. 概述

红外分光计是在红外光谱中选择和分离所需要的波长(或带)用来研究物质的物理性质的仪器。红外分光光度计是在红外光谱中选择或分离一定波长范围，用来同时比较样品物质和参考物质在所选择的这一波长范围内的物理性质的仪器，它们的结构原理可参阅参考文献^[1]。这里讨论的只是用色散部件使辐射计所接收的能量分散成光谱，然后测量其中几个

窄波带的辐射量,因此,把分光辐射计也合在此一起讨论,用多个辐射计组合(象泰罗斯中分辨率辐射计)或用窄带滤光片代替色散部件(象艾托斯的竖温分布辐射计)达到分光目的的仪器已在上节叙述,本节仅讨论具有色散部件的仪器。

2. 卫星上的分光计

在气象卫星上,红外辐射计只能测知大地的两维数据,而天气预报则要求有大气的三维结构的数据,因此,大气温度的垂直分布的测量是气象学中的一个重要问题。目前是选用在15微米的二氧化碳带中选择若干个窄的波段,测出各窄波段内的辐射能够推出大气温度的垂直分布,因此红外分光计成为气象卫星的主要测量仪器之一。

(1) 雨云卫星上的红外光栅分光计^[16]

雨云 III 卫星中装有红外光栅分光计 SIRS-A, 雨云 IV 卫星上装有红外光栅分光计 SIRS-B。它们的剖视图分别如图 10 及图 11 所示。SIRS-A 长 83.82 厘米,直径 45.72 厘米,瞬时视场是 0.04 球面度,固定在天底方向,测量八个窄光谱波段。SIRS-B 长 60.96 厘米,与 SIRS-A 相比有二个改进:一为视场改为扫描视场,一为增加六个光谱波段,二种分光计的光谱间隔的位置和带宽列于表 3。

每个分光计主要部件有:入射缝、主反射镜、光栅,带有各自的滤光片和探测器的各个出射缝。主要分光特性为所选择的波段的波数必须正确,稳定度在 $\pm 0.2 \text{ 厘米}^{-1}$ 以内;每个通道的辐射带宽约 5 厘米^{-1} ;辐射进入入射缝后被主反射镜聚焦投射到光栅上, SIRS-A 的光栅只用第一级工作,而 SIRS-B 用第一到第四级光谱工作,以便得到扩大的光谱范围;被光栅分光后,再经反射镜的第二次反射使入射缝的象形成在出射缝平面上,在焦面上有一系列狭缝,从色散后的光谱上选取所要求的光谱波段。

表 3 光栅分光计的光谱间隔的位置和带宽(波数)

间 隔	SIRS-A		SIRS-B		吸 收 带
	位置 (厘米 ⁻¹)	带宽 (厘米 ⁻¹)	位置 (厘米 ⁻¹)	带宽 (厘米 ⁻¹)	
1	899.3	5.35	899.0	7.36	大气窗口
2	750.6	5.99	750.0	6.83	CO ₂
3	714.3	5.36	734.0	6.70	CO ₂
4	706.3	5.22	709.0	6.13	CO ₂
5	699.3	5.10	701.0	5.96	CO ₂
6	692.3	4.99	692.0	5.81	CO ₂
7	677.8	4.75	679.8	5.61	CO ₂
8	669.3	4.60	668.7	5.42	CO ₂
9			531.5	5.14	H ₂ O
10			436.5	5.00	H ₂ O
11			425.5	5.00	H ₂ O
12			291.5	5.00	H ₂ O
13			302.0	5.00	H ₂ O
14			280.0	5.00	H ₂ O

仪器能在轨道中检查其辐射计响应和波数校准, 辐射度量的校准是用内部的标准黑体和作为另基准的宇宙空间。

对每个通道的灵敏度要求为 0.25 尔格/厘米²·秒·球面度·厘米⁻¹, 这大致相当于观察地球时的信噪比为 200。

(2) 雨云 III 和雨云 IV 上的迈克耳孙干涉仪分光计 (IRIS)^[17, 18]

迈克耳孙的本来的观察“条纹的可见度”的技术仅在某些特殊情况中才能给出分光的信息, 五十年代有人注意到干涉仪具有大的面积, 立体角乘积之后, 使得付里叶光谱得到进展。雨云 III 上装有干涉分光计 IRIS-B, 在雨云 IV 上装有干涉分光计 IRIS-D。

红外干涉分光计的简化图如图 10 所示, 由光束分裂器把入射辐射分成差不多相等的两束光, 一束光朝固定反射镜, 另一束光朝振动着的反射镜, 从镜面反射后的这两束光重新组合, 按相互间相位发生干涉, 这个相位与光程差成正比, 与辐射波长成反比, 这个重新组合的光束被聚焦在红外探测器上, 然后记录下作为光程差的函数的光强度。

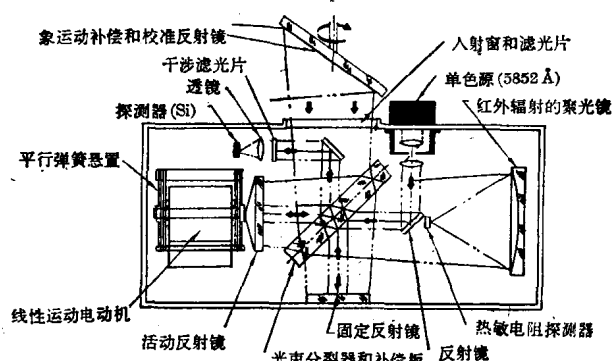


图 10 红外干涉分光计简化图

IRIS 包括一个图象运动补偿和校准装置, 它由扫描反射镜, 扫描马达, 有关的电子学、反射镜位置敏感器和控制装置, 以及温度敏感器等组成。

用 IRIS-B 获得在 400 厘米⁻¹ 和 2000 厘米⁻¹ 之间的地球的红外发射光谱及温度, 其分辨率相当于 5 厘米⁻¹, 准确度是 1% 。

IRIS-D 的主要改进是使光谱分辨率增加到 2.8 厘米⁻¹ (实际可能接近 3 厘米⁻¹), 分辨率增加的后果是缩小仪器的视场, 从 IRIS-B 的 4° 半锥角缩小到 2.5° 。仪器的噪声等效辐射小于 1 尔格/秒·厘米²·球面度·厘米⁻¹。

仪器用星际空间和标准黑体 285 K 校正, 以保证其准确度, IRIS-B 重 14.5 公斤 (包括电子学部件), 功耗 16 瓦。

利用迈克耳孙干涉法另外还制成在中红外的双光束干涉仪^[19], 所有相互作用的光束的分裂和会合是用光束分裂器的同一面积进行的, 不过用了立体角的不同部分。观察 750 厘米⁻¹ 到 1250 厘米⁻¹ 的大气发射谱时的分辨率优于 1 厘米⁻¹。采用相位改正技术得到切趾后的光谱, 分辨率为 0.6 厘米⁻¹。

(3) 压力调制辐射计

上述的几种分光计由于分辨率的限制, 只能用于低层大气的探测, 或许是低于 35 公里的大气探测, 为了研究 $40 \sim 80$ 公里范围的高空大气探测, 继选择调制技术^[20]以后又制成了压力调制辐射计^[21], 如图 11 所示。它是入射辐射通过含有少量二氧化碳气体的盒,

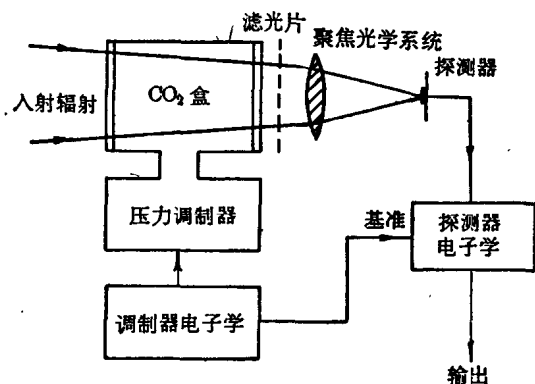


图 11 压力调制器辐射计

用压力调制器使盒内气压发生周期性的变化,这对所有频率都起作用,然后通过干涉滤光片,只让二氧化碳的 15 微米带能通过,其他带全部滤掉,因此探测器的信号包含调制频率 ω 的成分,它的强度与大气中二氧化碳的 15 微米的发射辐射有关,因之也就与大气的温度有关。探测器输出用选频放大调谐到频效 ω ,则来自二氧化碳的 15 微米带以外的任何辐射都被有效地除掉。

这个仪器能够探测到 65 公里高度大气的约 1 K 的温度改变并可应用到 80 公里的高度。

三、红外照相机

1. 概述

红外照相的早期仅局限于近红外照相,即用对近红外敏感的照相底片直接照相,但一般物体本身的辐射大都在 8~14 微米远红外区,这种情况下用近红外直接感光的照相方法就无能为力了。因为红外胶片只能把敏感范围从可见光延伸到 1.2 微米的近红外区,用红外电视摄像管也只宜于 2.5 微米的范围内,而扫描技术的发展使红外长波照相成为可能,它是由红外辐射经光学系统聚焦通过红外探测器转变成电信号,再由电信号通过电光转换器件转变成可见光。每一个瞬时是探测瞬时视场内的红外辐射,瞬时视场通过光学机械扫描而依此变动形成热图象,因此,红外相机也常称为热图系统。以前所述的扫描辐射计其实就是照相机,而所以这样归类是因用途的侧重点不同而已。

红外照相机按用途不同大致分为二类:即空用照相机和医用(或工业用)照相机。但是它们的原理大致相同,因此不是截然分开的二种相机,也有的相机既可医用,工业用,也能用在空中作森林火种探测或资源勘察等。

2. 空用红外照相机

红外空用照相机与可见光相机相比较有其独特的优点,主要有:

- (1) 白天、夜间都能拍摄。
- (2) 薄云、烟雾天也可拍摄:在此情况下比可见光拍摄的清晰。
- (3) 能识别真假伪装目标,或地下、海下目标,并不易被干扰。
- (4) 可能使传感器件自动或半自动工作。信息的传输、记录、分析、处理可以自动化及数字化。
- (5) 与相同分辨率的可见光相机相比象区宽。

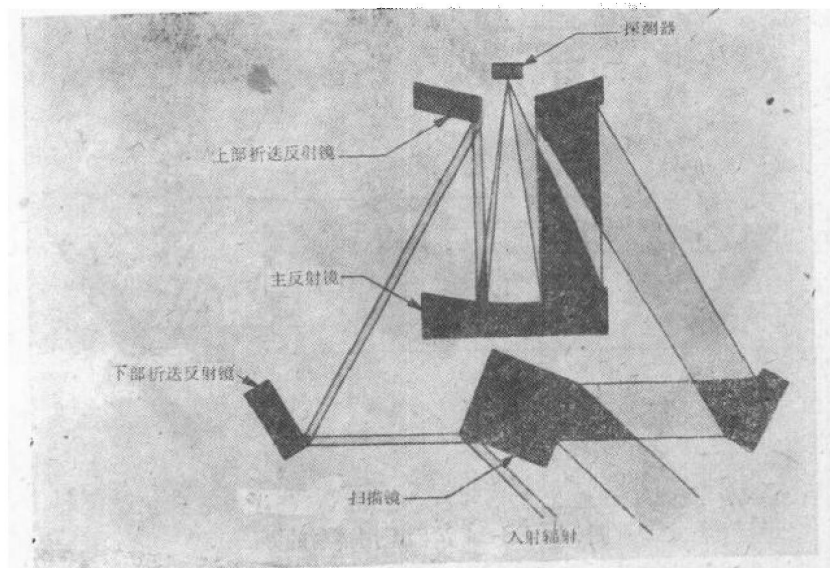
红外相机的缺点主要是空间分辨率低,热分辨率也不够理想,因此为了要更准确的分析,往往是可见光与红外配合使用。

空用照相机又有军用和民用之别,这是因为一般而言,军用和民用对照相机有不同的要求,所谓军用主要是探测天然(非人为)环境中的人为目标,如探测森林、小路(非人为目标)上的一辆卡车(人为目标),完成这项任务就需要高的空间分辨率和适当的热分辨率,而民用要求却不同,例如:对大地资源的遥测,探测水源,区别不同植物及植物生长情况,或是其他用途。因为目标比较大,一般不要求高的空间分辨率,而对热分辨率却有一定要求,另外在某些要求下,如:区别农作物变化或病虫害时,需要许多通道的信息相互比较处理才能最后确定。因此往往需要多通道探测,从而发展成为多谱线照相技术,它是通过滤光片把几个光

谱波段同时分别照相。地物景象的辐射和反射都存在差异,对各波段敏感程度也不一样,而且对于不同的目标可选用不同的波段,通过对各波段象的比较处理能得到有用的资料。

(1) RS-14 型复光谱扫描系统^[22]

RS-14 是专为非军用遥测而设计的,其光学系统是 Kennedy 系统的改进型,基本的 Kennedy 系统如图 12 所示:由四方棱镜旋转扫描,通过下、上反射镜反射到主镜,然后聚焦并成像在探测器上,总的视场是 $\pm 80^\circ$ (以最低点为中心)。



基本的 Kennedy 系统

RS-14 的光学系统如图 13 所示,是在基本的 Kennedy 系统的基础上加二个部件: (1) 二个校准源。位于二个离轴抛物面镜的焦点上,而抛物面镜位于下反射镜的下方,当四方棱镜位于图 13 位置时,此位置即为前一扫描的结束或后一扫描的开始:这个时刻地物信号不进入系统,正好把标准源聚焦到探测器上。(2) 二个独立的光学通道,在主镜与次镜之间放倾斜 45° 角的分色片,使所有波长小于 5 微米的能量被垂直反射到扫描器的右边,而波长大于

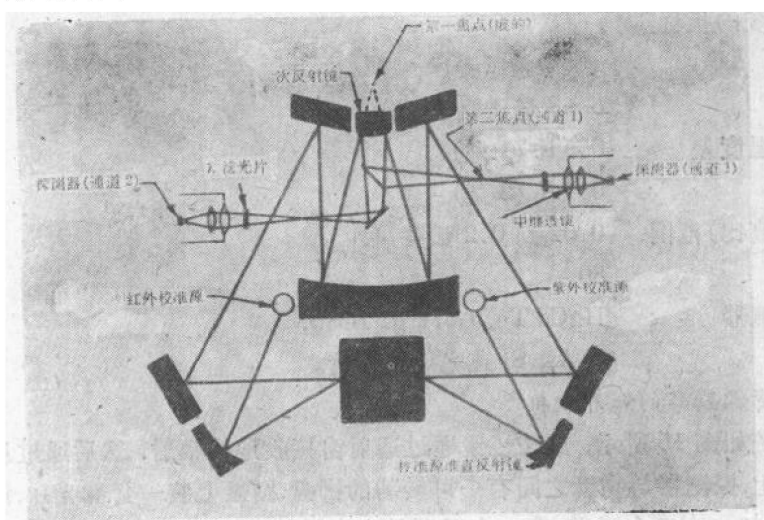


图 13 KS-14 扫描器光学系统

于 5 微米的能量透过分色片,再通过反射镜反射到左边。系统的主镜是椭球面镜,次镜是球面镜。光学表面镀 0.15 微米到 0.20 微米的氟化镁薄膜,由于氟化镁不牢固,因此再镀一层 0.3 微米的一氧化硅保护层。

光学设计的另一考虑是降低背景辐射,因为扫描镜后面的腔体能量也同样被四方棱镜接收而进入系统与地物辐射迭加,因此希望背景是均匀的,设计中用了一块护板如图 14 所示,使背景变成恒定辐射,这样就可以消除腔体辐射的影响。

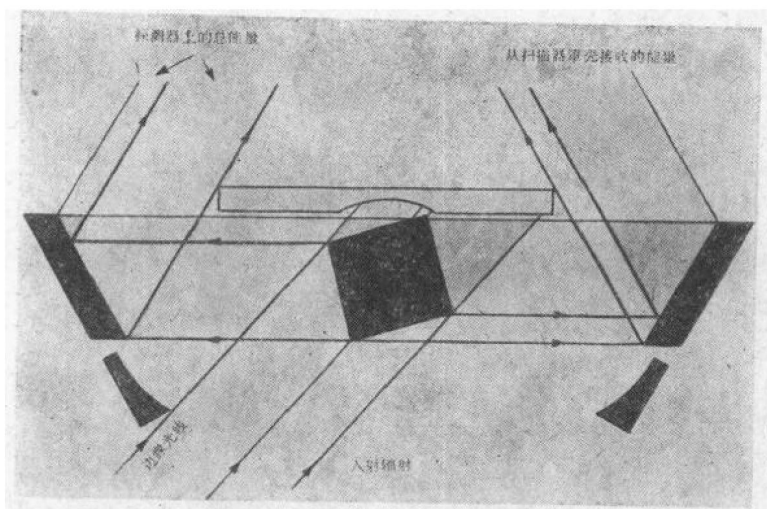


图 14 RS-14 消除无用辐射的办法

系统的通用性是使系统具有足够的灵活性以满足不同任务的需要: 根据需要可以装上瞬时视场为 1 毫弧度或 3 毫弧度的探测器, 这就可以根据要求选择用高的热分辨率还是高的空间分辨率。探测器可以紫外到红外变换(探测器前的滤光片也相应改变), 每条光路中可用四个不同的探测器, 还可选择二种不同的扫描速率, 这样给使用者共有 64 种组合可以选择。

系统的输出可用磁带记录和(或) 5 吋的照相胶片。

RS-14 系统的指标:

角分辨率	1×1 毫弧度(1 型) 3×3 毫弧度(2 型)
噪声等效温度差	0.5 K (1 型) 0.1 K (2 型)
V/H (速高比)范围	0.02 到 0.2 弧度/秒
总视场	80°
可用的探测器	HgCd Te, Ge:Hg, InSb, InAs, Si 或光电倍增管。

(2) 用于资源勘察的红外相机^[23]

其光学系统如图 15 所示, 旋转棱镜通过透射窗接收地物辐射, 然后通过反射镜和物镜聚焦在探测器上, 探测器与物镜之间有一可转动的圆盘, 圆盘上装一套滤光片, 探测器采用硒化铅, 用液氮冷却。有二个通道, 第一个通道是十个元件的列阵, 第二个通道是一个大元件,

长度与十个列阵长度相等, 这样扫描参数可以相同, 十个探测器用十个前置放大器, 然后用电子开关使后面处理电路变成一个, 相机的基本性能如下:

工作波段 1.8~5.3 微米
 3.2~5.3 微米
 3.6~5.3 微米
 4.2~5.3 微米

瞬时视场角

第一通道 5 分 (1.5 毫弧度)

第二通道 70 分 (20 毫弧度)

温度分辨率 (在 20°C 时)

第一通道 0.5°C

第二通道 0.3°C

总视场角 54°

速高比最大值 $(V/H)_{\max}$ 0.4 弧度/秒

重量 约 300 公斤

功耗 约 14 瓦

(3) S-192 型多波段扫描装置 [24, 25]

这是一个卫星用的 13 个通道的扫描装置, 13 个通道的波段分别为 (1) 0.41~0.46 微米, (2) 0.46~0.51 微米, (3) 0.52~0.56 微米, (4) 0.56~0.61 微米, (5) 0.62~0.67 微米, (6) 0.68~0.76 微米, (7) 0.78~0.86 微米, (8) 0.98~1.08 微米, (9) 1.09~1.19 微米, (10) 1.20~1.30 微米, (11) 1.55~1.75 微米, (12) 2.10~2.35 微米, (13) 10.2~12.5 微米。其光路图如图 16 所示, 是一个史密特系统。分色片是用锆作基片的 OOL1 滤光片, 在 0.4~2.5 微米中有 80% 的反射率, 在长波有 80% 的透过率, 因此光束通过分色片后就分成两个通道。

利用外部扫描镜产生圆扫描, 卫星的运动就使圆扫描展延而成图象。

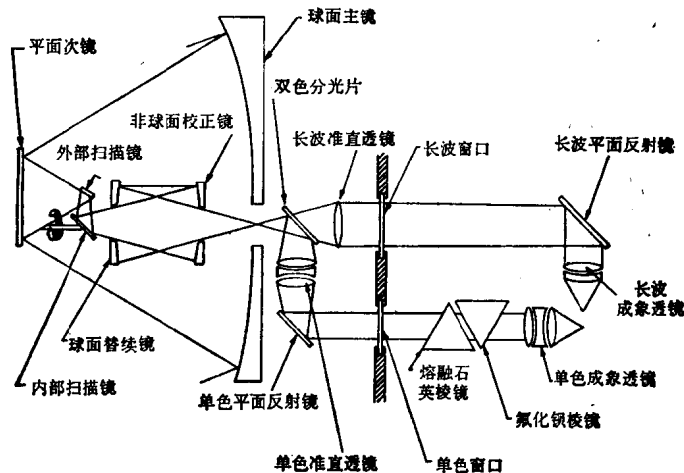


图 16 S-192 多波段扫描装置光路图

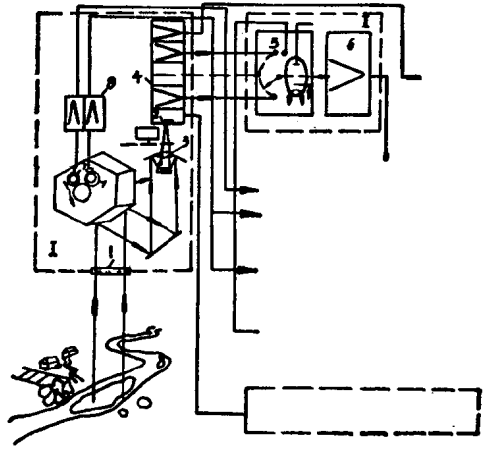


图 15 红外相机光学系统