

紅外技术 在气象卫星中的应用

上海科学技术情报研究所

4

红外技术在气象卫星中的应用

•
上海科学技术情报研究所出版
新华书店上海发行所发行
上海商务印刷厂印刷

•
开本: 787×1092 1/16 印张: 20.5 字数: 520,000
1974年4月第1版 1974年4月第1次印刷
印数: 1—3,600
代号: 151634·172 定价: 2.60元

(只限国内发行)

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，并选译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.

目 录

前言

1. 气象卫星(综述)	1
(一) 引论	1
(二) 气象卫星中的红外观测技术	1
(三) 气象卫星的轨道的特性	6
(四) 国外气象卫星的发展	7
(1) 美国的气象卫星	7
(2) 苏联的气象卫星	12
(3) 其他国家的气象卫星	14
2. 泰罗斯 II 的红外辐射测量仪器	15
3. 泰罗斯 II 的辐射实验及其物理意义	24
4. 雨云中分辨率红外辐射计(MRIR)	29
5. 雨云高分辨率红外辐射计(HRIR)	31
6. 雨云高分辨率红外辐射计的改进	33
7. 雨云 II 高分辨率红外辐射计的准确度	42
8. 艾托斯气象卫星的扫描辐射计	52
9. 艾托斯实用气象卫星的改进型	62
(一) 扫描辐射计	67
(二) 甚高分辨率辐射计	73
(三) 温度垂直分布辐射计(竖温分布辐射计)	80
(四) 太阳质子监测器	82
10. 探测大气温度的垂直分布的顺序滤光片辐射计	83
11. 苏联“流星”系列气象卫星的红外仪器	99
12. 卫星红外分光计: 从卫星测得自由大气的温度的一个实验	106
13. 雨云卫星的红外分光计实验	114
14. 用迭代渐近法解辐射转移方程求大气的温度分布和吸收气体分布	123
15. 从卫星间接地测量大气的温度分布: I. 引论	134
16. 从卫星间接地测量大气的温度分布: III. 分光计和实验	149
17. 从卫星间接地测量大气的温度分布: IV. 高高度气球试验	157

18. 低频载波调制的信息通道分析	169
19. 雨云 III 的迈克耳孙干涉仪	177
20. 雨云 IV 的迈克耳孙干涉仪	189
21. 中红外的双光束干涉仪	199
22. 从卫星远距离探测大气温度 I. 导论	209
23. 从卫星远距离探测大气温度 II. 雨云 D 用的选择调制辐射计	216
24. 对高空大气作远距离探测的辐射计	231
25. 野外用的劈式滤光片型分光计	241
26. 圆周形劈式光学镀膜 I. 理论	244
27. 圆周形劈式光学镀膜 II. 实验	251
28. 精密长波红外辐射的校准和测试	254
29. 为实验室用和卫星用的红外分光计作绝对校准的辐射源	260
30. 劈形浸没热敏电阻型红外探测器	267
31. 十年来为气象卫星而发展的照相系统的综述	273
32. 辐射致冷	285
33. 辐射致冷——锥壁吸收外来辐射功率	298
34. 辐射热交换(补充知识)	307

气象卫星

(综述)

一、引 论

天气是一个全地球性的现象——无论是在规模上、运动上还是在影响上都是全球性的。要想充分了解它、精确地预报它,就必须有全球性的观测数据。然而,要想用通常在地面定点设站观测的办法得到全球规模的观测数据几乎是不可能的。因为地球的大部分表面是海洋,极地和人烟稀少的地区,在这些地区要建立气象观测站,即使不是不可能,也是很困难的。因此,到目前为止能得到合适的或接近于合适的气象观测的地区仅占地球表面的约 20%。

人造地球卫星的出现为进行全球规模的气象观测提供了可能性。因为人造地球卫星以高速度绕地球飞行,能够在符合气象观测所要求的短时间内覆盖全地球。而从人造地球卫星向地面观察时,最先接触到的是大气,它正是气象观测的主要对象。利用远距离探测技术有可能探测到大气的重要参数。正是由于这些原因,人造卫星一问世就受到气象学工作者的重视;在最初发射的卫星中就装置了探测气象要素的仪器。

在人造卫星发展的初期,希望卫星解决的气象问题只有两个:一个是绘制地球上空的云层分布图,二是测量地球的热收支。但是,卫星技术经过了十多年的发展和红外技术的发展,人造卫星所能解决的气象问题远不止这两个。气象学的主要参数几乎都可以从卫星上进行观测。目前已经有几个国家定期地发射进行日常观测的气象卫星,为天气预报提供大量的有价值的资料。

二、气象卫星中的红外观测技术

要想在卫星上观测地气系统,只能用远距离探测技术。就是在卫星上测量从大气方向来的、发射、透射或散射的电磁波的强度,并以时间、空间和波长作为这些测量的变数。然后用各种方式把这些测量结果解释成大气的成分、浓度以及它们的物理态,如温度、气压、速度矢等。可以用来进行这类测量的电磁波的波长范围是很广的,从 0.3 微米的近紫外直到微波。但是由于空间飞行器在体积和功率方面的限制(体积大耗电多的发射设备是不能使用的),只能采用被动式系统。在 0.3~3 微米波段内,散射和反射的太阳光较强,可以利用可见光技术。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。因此,被动式红外技术在气象卫星中有着特别合适的用途。

云图摄制是卫星上最易进行的一个气象观测项目。云是一个重要的天气现象。云图能

对云系的组织、结构和形态提供大量的信息。温带和热带气旋都伴随着组织得很好的螺旋状云。利用卫星云图可以较早地侦察出热带中具有重要意义的天气区域。找到气旋的中心,就能得到热带风暴、飓风、台风的中心位置。这对恶劣天气的预报具有很大价值。另外,云的出现和高度的测量还可用来估计大气垂直运动的存在和大小。这也是一个重要的参量。

利用可见光的电视式照相机,借助云层对太阳光的反射可以摄取地球上空的云层分布图(见本书 273 页)。然而这一技术只能用于地球的白天面。对于地球的黑夜面,则必须采用红外技术才能获取云层分布图。

用红外技术描绘云图的原理是很简单的。假定地气系统中,发射辐射的表面都具有黑体的特性,则这些表面所发射的辐射仅与它的温度有关,可用普朗克定律来描述

$$B(\lambda, T_{BB}) = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{C_2/\lambda T_{BB}} - 1} \quad (1)$$

T_{BB} 为发射体的温度, C_1 和 C_2 为两个常数, $C_1 = 2\pi hc^2 = (3.7415 \pm 0.0003) \times 10^4$ 瓦·微米⁴/厘米², $C_2 = hc/k = (1.43874 \pm 0.00019) \times 10^4 \mu^\circ K$ 。 $B(\lambda, T_{BB})$ 代表温度 T_{BB} 所发射的、在 $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$ 之间的辐射出射度。从 λ_1 到 λ_2 之间的辐射出射度则为

$$I_{BB} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T_{BB}) d\lambda \quad (2)$$

如果在卫星上安装一扫描辐射计,它的敏感波长从 λ_1 到 λ_2 。它以一定的视场角在垂直于卫星轨道的方向上对地扫描,卫星的前进运动作为它的第二维的扫描。则辐射计每一瞬间所测量的就是它所看到的地面视场内的辐射出射度 I_{BB} 。由 I_{BB} 之值就可换算成该视场的表面温度 T_{BB} 。因此,辐射计扫描的结果将是一幅地气表面温度的分布图,或者直接用数字来表示,或者以黑白的深浅来表示温度的高低。

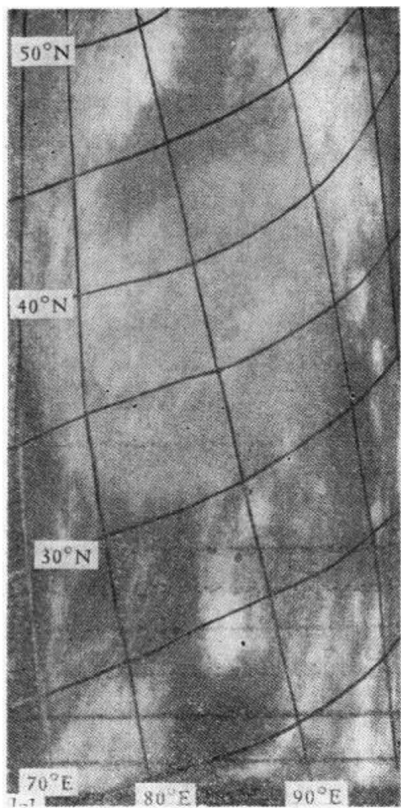


图1 卫星的红外云图

由于云层的顶面温度与地面温度有很大的差别。用灰度表示的温度分布图就包含着云层分布。图1是用辐射计所获得的云图的例子。

在用(2)式把测得的 I_{BB} 转换成 T_{BB} 时要依赖两个假设,即云的辐射是各向同性的和辐射计的视场完全为云层充满。各向同性的假设并不是很牢靠的。但由于缺少这方面的知识暂时只能假定它是正确的。云层充满辐射计视场的假设则是一个辐射计设计问题,可以根据气象尺度的要求设计辐射计的视场角。

利用红外技术不仅可绘制地球的背光面的云图,而且,还能提供可见光云图所没有的定量数据:云顶面的温度。由于大气的温度随高度而递减,如果有别的实验测得大气温度的垂直分布,则可根据云顶面温度推得云顶的高度。图2的上部是用可见光摄取的一个台风区的云图。下面是经过台风中心的一条红外扫描线,照相图相当于200条这样的扫描线。左面的

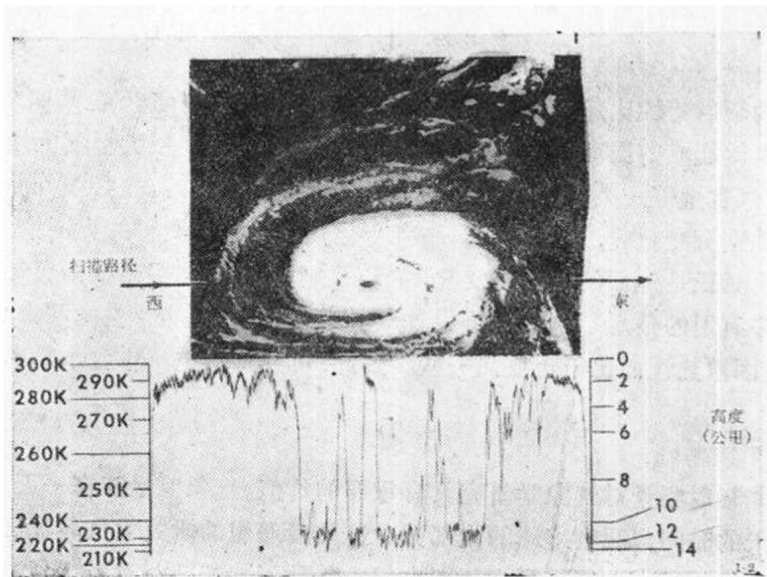


图2 通过台风中心的一条扫描线

标尺表明与辐射值相当的温度。右面是从温度转换成的高度。图中螺旋带的中部下降到 200°K , 相当于 14 公里的云顶高度。 300°K 相当于暴风雨区外的晴朗地区。

在上面的讨论中, 我们假设辐射的发射面是黑体。事实上一般表面都不是绝对黑体而可能是灰体, 具有小于一的比辐射率 ε 。因而辐射计所测量的不是 I_{BB} 而是

$$I_G = \bar{\varepsilon} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) d\lambda = \bar{\varepsilon} I_{BB} \quad (3)$$

其中, $\bar{\varepsilon}$ 为表面在 λ_1 到 λ_2 波段内的平均比辐射率。因此, 实际测得的辐射出射度要低于黑体的辐射出射度。如仍以黑体公式转换成表面的辐射温度, 则所得温度比实际温度偏低。卫星的辐射测量数据表明, 大多数类型的云的比辐射率在 0.75 上下。这就是说, 如果要求出云顶的绝对高度, 则必须对上述方法求得的 T_{BB} 按云温度的高低和视角的大小加 $+5 \sim +10^{\circ}\text{K}$ 的修正。这一修正一般是使云顶高度降低约 1 公里。

2

上述的红外扫描辐射计除掉绘制云图外, 还能绘制地球表面的温度分布, 首先是海洋表面的温度分布。因为, 海水的发射特性很接近黑体。如果天气晴朗, 采用“大气窗口” $3 \sim 5$ 微米或 $8 \sim 13$ 微米作为测量波段, 则从实测的辐射出射度转换成的辐射温度基本上就是海洋表面的温度。在这些波段内, 大气的微弱吸收对测量的影响可根据大气中水汽含量的数据进行修正。

目前海面温度测量的主要困难在于: 如何正确地断定视线中确实无云、海水的比辐射率随视角的变化以及无规噪声等等。

3

利用红外扫描辐射计还可描绘两极地区冰雪覆盖区的边界。因为冰雪表面的温度与辐射特性都与一般陆地的情况有显著的差别, 在红外热象上很容易识别出来。

4

陆地表面的辐射特性比起海洋表面或云层表面来要复杂得多。在某些情况下,根据地面的辐射测量转换成的温度不仅与地面的高度有关,而且在很大程度上还依赖于如热容量、热导率和水汽含量等一类参数。在测得辐射强度有差别时,首先必须判断这一差别是由于地面的真实温度有变化呢,还是比辐射率有变化。在从卫星测得的热图中,辐射强度变化有很多可以认为真正是地面的温度的变化,有许多则不可能。但是根据已知的地理情况还是可以得到很多有用的信息。例如土壤中含水量增多时,它的热容量就增大,在夜间绘制的热象中,湿土壤因散热慢而比干土壤热一些。因此,可分辨出土壤中含水量的高低。

5

利用卫星作辐射测量对气象学研究具有重要的价值。气象卫星能在一天之内观察全球,或者在不到一天的时间内观察地球的大部分。这是最理想的研究大气环流的平台。利用卫星辐射计和(或)照相机有可能得到大范围内的大气环流的特性。这是任何其他方法不可能做到的。

地球的辐射平衡的研究也是在卫星上最便于进行的一个项目。在宽广的波长范围内测量地气系统的辐射就能得到总的长波辐射出射度,同时测量反射的太阳辐射,则结合太阳常数就能对辐射平衡作出估计。

6

利用红外辐射绘制地球的热象,基本上只能得到大气的两维结构。对于温度与水汽的垂直分布仅提供极有限的信息。如果要充分地了解有重要气象学意义的现象,则必须有大气三维结构。例如,天气的数值预报就要求知道全球规模的大气条件,才能得出统治大气过程的方程式的数值解。这些起始条件包括温度、风、湿度和云的水平分布和垂直分布,如果可能的话还要有臭氧的分布和面压力。因此,在获得大气的二维信息后,进一步要考虑的问题就是如何得到大气的温度和湿度的垂直分布。

早在人造卫星出现的初期就有人指出:大气中的辐射转移方程包含着大气温度的垂直分布的信息。

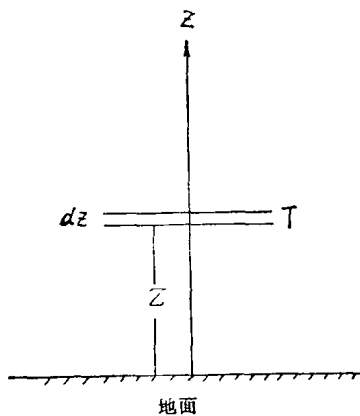


图3 转移方程的坐标示意图

太阳辐射进入大气层时,如果没有云,部分辐射为大气吸收,增加其热量;另一部分则透过大气层到达地面。地面吸收其中的一部分而获得热量,同时反射掉其余部分。如果入射的太阳辐射遇到云层就有部分被反射,部分被吸收和透过。地球有一定的温度也向大气发射辐射,部分被大气吸收,部分透过大气射入太空。大气本身也有热辐射,或向上发射或向下发射。辐射在大气中传播时还有散射作用和漫射作用。其最后结果总是部分辐射射入太空、部分辐射射向地面。因此,在大气中总是有向上和向下两个方向传播的两种辐射。写出这两种辐射的辐射率就是辐射转移方程。

在卫星上测量的辐射是向上辐射。它的转移方程可以比较方便地写出来。假设大气中

的散射作用可以忽略不计。并假设大气处于局地热力学平衡。把大气分成许多薄层，层中的气体温度为 T 。每层气体都发射辐射，以温度为其特征。向上发射的辐射穿越其上的大气时部分被吸收，剩余的部分射向天空。卫星接受到的辐射就是从地球和各层大气发射来的、通过其上的大气而未被吸收的辐射的总和。

我们考虑，频率为 ν 的辐射的转移方程。设 ν 位于大气的某一组元的吸收带内，例如在 CO_2 的 15 微米吸收带内。设 CO_2 对 ν 的质量吸收系数为 k_ν 。在高度为 z 的气体层的单位面积内， CO_2 的质量为 $du = \rho_\nu dz$ ， ρ_ν 为该层中 CO_2 的密度。根据基尔霍夫定律，这层气体向上发射的频率为 ν 的辐射率为 $k_\nu B_\nu(T) du$ 。其中 $B_\nu(T)$ 为普朗克函数。这一辐射经过 z 以上的大气时要受到其中的 CO_2 的吸收，剩余部分射向太空。 z 以上的大气对该频率的透射比显然可写成

$$\tau_\nu = \exp\left(-\int_z^\infty k_\nu du\right) \quad (4)$$

设大气的密度为 ρ ， CO_2 的混合比为 c ，即 $c = \rho_\nu / \rho$ 。利用流体静力学关系 $-dp = \rho g dz$ ，可把变数 z 转换成气压 p 。则(4)式变成

$$\tau(\nu, p) = \exp\left[-\frac{c}{g} \int_0^p k(\nu, p) dp\right] \quad (5)$$

这里 $\tau(\nu, p)$ 代表从气压 p 到 $p=0$ 之间的大气透射比。采用 $\tau(\nu, p)$ 的定义，就可写出从地面和大气发射的、到达卫星的辐射功率。不过地球发射的辐射都被大气吸收了，到不了卫星。因此，只要写出大气发射的部分。即卫星上所测量的辐射出射度为

$$I_\nu = \int_{p_0}^0 \tau(\nu, p) k_\nu B_\nu(T) \left(-\frac{c}{g}\right) dp \quad (6)$$

利用(5)式，把上式变成以 $\tau(\nu, p)$ 为变数的式子

$$I_\nu = \int_{\tau(\nu, p_0)}^1 B_\nu(T) d\tau(\nu, p) \quad (7)$$

或者改换变数，设 $y = \ln p$ ，则上式变成

$$I_\nu = \int_{\tau(\nu, p_0)}^1 B_\nu(T) \frac{d\tau}{d \ln p} dy \quad (8)$$

如果这个大气组元在大气中的分布是已知的，则 τ 就是已知函数。 $d\tau/d \ln p$ 具有如图 4 所示的形式。这样(8)式就具有非常明显的意义：在卫星上测得的辐射来自大气的各高度层，但主要部分来自高度与 $d\tau/d \ln p$ 的峰值相当的大气层。因此，选择一组数目足够的适当的频率，使各个 $(d\tau/d \ln p)$ 峰均匀地分配在于大气的不同压力高度上，则测量了这组的 I_ν ，就能根据(8)式反演出温度的垂直分布。

测量大气温度垂直分布的这个概念经过了近十年的发展，克服了不少理论上和实验上的困难，已经证明是成功的。卫星所携带几种不同类型的红外分光计都获得良好的效果。反演所得的温度的垂直分布与探空火箭直接测量的温度分布符合得相当好。这一成就被认为是无线电探空发展以来最有意义的气象学成就。

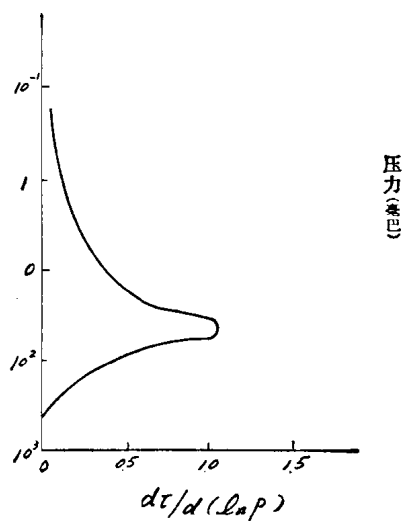


图 4 权函数

目前所选用的波段都是 CO_2 的 15 微米吸收带。因为 CO_2 在大气中的混合比已知是恒定不变的。而且,在 15 微米附近其他气体吸收的影响比较小。在 15 微米带中选择适当的 5~7 个窄波段,就足以进行反演,推导大气温度的垂直分布。如果天气晴朗,则可得到大气温度的垂直分布的全部。如果天空有云,反演就比较复杂,而且只能得到云顶以上的大气温度的垂直分布。

除 CO_2 外, O_2 也可用作测量标本。因为 O_2 在大气中的混合比也是恒定的。 O_2 吸收带在微波区(0.5 毫米)。云对微波的传播没有影响,因此,采用 0.5 毫米的 O_2 吸收带,有可能探测到云层下的温度的垂直分布。这一技术正在发展中。

7

上面的反演技术是在已知气体分布的条件下求温度的垂直分布。事实上,如果已知温度的垂直分布,这一技术也可用来求大气中某些组元的垂直分布。

卫星红外分光计曾用 19~35 微米的 H_2O 的吸收带及反演技术测得大气中水份含量的垂直分布。目前正在发展的技术是利用 H_2O 在微波 1.55 厘米的吸收带进行测量。如果这一技术获得成功,就有可能测量云层中液态水的含量和云层下面的大气的含水量。

8

臭氧在大气中的分布也是一个有意义的气象学问题。臭氧是研究平流层中的大气环流与平流层对流层之间的交互过程的示踪剂。天气的逐日变化也反映在臭氧的变化上。利用上述反演技术也可求出臭氧在大气中的垂直分布。红外干涉分光计所得到的 9.6 微米处的臭氧吸收带曾被用来反演臭氧的垂直分布,其结果与无线电探空数据基本上是符合的。另一方面,利用太阳的紫外光在大气中的背反射也能推导出臭氧的分布。

三、气象卫星的轨道的特性

为了要得到覆盖全球的气象观测,卫星的轨道必须有所选择。我们知道,如果卫星的轨道与赤道成 N° 角,则卫星的局地垂线到地面的交点(星下点)的轨踪将限制的纬度 $\pm N^\circ$ 之间,卫星所能观察的地区将限于南北纬度 $\pm N^\circ$ 之间,最多再加上仪器的视场,使观测区稍稍超过 $\pm N^\circ$ 。为了使卫星能观察到全地球,卫星轨道就应当与赤道垂直,通过南北极,即所谓极地轨道。这就相当于卫星沿经度扫描,而地球的自转提供垂直方向的扫描,因而卫星能覆盖全球。

由于地球基本上是一个南北略扁的球体,与赤道成一定(不等于 90°) 倾角的轨道将受到地球的不对称的吸力而产生轨道平面的旋进,即轨道平面在空间以一定的角速度旋转。真正通过南北两极的轨道,其平面是没有旋进的。因此,当地球绕太阳转一圈时,轨道平面的法线与地球到太阳的连线之间的角度也要改变 360° 。这对利用太阳光的气象观测以及太阳电池的工作都不方便。因此,希望轨道平面有一定的旋进。使轨道平面与地-日线的相对位置在一年中始终不变。这就是太阳同步轨道。与赤道成 98.7° 的轨道正好使轨道平面的旋进(约每天 1°)与地球绕太阳的转动同步。这种轨道就是所谓近极太阳同步轨道。

如果选择发射条件使地-日连线位于轨道平面内,则卫星每天经过同一地区的上空两

次。一次在中午，一次在午夜。对于利用可见光照相的卫星最好是在当地时间上午9时或下午3时通过赤道。这样可使照相机得到 45° 的太阳照明。

卫星轨道最好是圆形，在任何时间卫星到地面的垂直距离都是一样。这样，卫星上的仪器对星下点的地面视场将始终不变，这对数据处理要比椭圆形轨道方便得多。

卫星轨道的周期是高度的函数。圆形轨道的周期最好是115~120分钟，即高度要达1,500公里。轨道的周期应这样地调整，使每个赤道穿越点正好在前次覆盖的两个穿越点的中间。这样，前次在仪器视场边缘的地区，现在正好在卫星的正下方。这样可以得到更完整的数据。

近极、太阳同步轨道的卫星对同一地区每天只能作两次观测，即12小时取一次数据。有些猛烈的地方性风暴，其寿命小于12小时；还有一些参数象云的运动、风向、风速等等都不是这种轨道的卫星所能观察到的。可以采用另一种所谓地球同步轨道。这种轨道的高度为35,300公里。它绕地运动的周期正好等于地球自旋的周期。如果轨道平面与赤道平面重合，则从地球上的人看来，卫星始终位于赤道上某一点的上空。如果卫星轨道与赤道成 N° 角，则卫星将在北纬 N° 与南纬 N° 之间徘徊，其周期非常接近一个恒星日。

利用地球同步轨道的卫星可对天气系统的现象进行连续的监测，而不至于漏掉迅速变化的气象，并且可从云的运动推得风向和风速。一个地球同步高度的卫星大概能看到地球圆盘的面积的40~50%。同时，用几个地球同步卫星安排在适当的位置上，就可以监测全地球的重要地区的气象变化。

四、国外气象卫星的发展

目前世界上已经有好几个国家发射过气象卫星。美国和苏联已经经常地发射进行日常观测的所谓实用气象卫星。法国和日本最近也发射了用于气象观测为目的的卫星。

1. 美国的气象卫星

美国在发射人造卫星的初期就注意到气象观测方面的应用。早在先锋1号(1958年3月17日发射)、先锋2号(1959年2月17日发射)和探险者6号(1959年2月17日发射)上就装有摄制云图的设备，但没有得到合用的云图。探险者7号(1959年10月13日发射)上装有辐射平衡实验，曾用其数据计算地球的热收支。

这些早期的试验为泰罗斯卫星(TIROS, “电视和红外观察卫星”的字首缩写)系列的建立铺平了道路。1960年4月1日发射进入轨道的泰罗斯1号装有电视式相机，传送到地面站的云图是很清晰的，并具有气象学价值。

(1) 泰罗斯卫星(TIROS)

泰罗斯1~8号系列卫星是所谓实验卫星。主要是进行一些试验，用以证明某一技术和科学目标是否健全，以备今后进行日常观测的实用气象卫星选用。虽然，有时也能提供一些日常天气预报所需的数据，但这不是它的主要目的。这一系列卫星的结构基本上相同(本书第24页图2)。重量为122~136公斤。柱形截面为18边多边形，直径为106.7厘米，高为56.9厘米。侧面和顶安装太阳能电池(面积为 1×2 厘米²的元件共9,200片)。电流贮入63个Ni-Cd电池，作为卫星上观测、记录和通信等系统的电源。遥测和内部管理用108

兆周/秒, 后来改为 136 兆周/秒。观测系统都装在柱形的底面。主要是电视照相机和红外辐射计。

泰罗斯卫星用过的电视相机(见本书 273 页)有三种角度的透镜: 13° 、 78° 、 104° 。窄角相机在 1 号、2 号卫星试用后就暂时放弃。为因广角相机的覆盖更适合于气象观测。电视相机用直径为 1.27 厘米 500 线的光导摄像管, 每帧相费时 2 秒。每个相机带有相应的磁带记录仪, 能贮存 32 个图片。

相机的工作程序按观测需要事前制订好, 由美国国家航宇局(NASA)传输给泰罗斯“指令和数据收集站”(CDA), 由它来对卫星下达指令。磁带上图象的读出时间为 30 秒, 由下一个收集站接收。用 235 兆周/秒的频率。

泰罗斯卫星上的红外仪器总共有三种, 是从 2 号卫星起开始装备的。主要的一种仪器是五通道中分辨率红外辐射计(见本书 16 页)。2, 3, 4, 7 号等四个卫星都装有这种仪器。所有的波段大致相同, 仅有小的改变。即前三个卫星上用的水汽吸通道为 $6.0\sim 6.5$ 微米, 在 7 号卫星上改为 $14.8\sim 15.5$ 微米。前两号卫星的大气窗口通道用 $8\sim 13$ 微米, 后两号卫星改窄为 $8\sim 12$ 微米。其他三个波段都没有变化。

第二种红外仪器是两锥体低分辨率红外辐射计(见本书 20 页)。2, 3, 4 号三个卫星上装有这种仪器。第三种红外仪器是全向辐射计(本书没有收集到有关这一仪器的介绍)装在 3, 4, 7 号等三个卫星上。

红外仪器的输出也是用磁带记录器。到“指令和数据收集站”读出。频率用 237 兆周/秒。

地面的“指令和数据收集站”在收到电视相机和红外仪器的信号后用电子计算机拼制出云图及天气分析, 用无线电传真输送给“气象卫星中心”。气象卫星中心再根据需要确定下次轨道要求摄取云图的地区, 由国家航宇局的“泰罗斯技术中心”计算出指令, 并发到适当的“指令和数据收集站”。

从泰罗斯 8 号起, 开始试验图片自动传输系统。将电视相机摄得的云图信号随时发送出去。世界各地都可在卫星飞临上空时, 用适当的设备把卫星发送的信号接收下来。

泰罗斯 1~8 卫星都是圆形轨道, 高度为 740 公里。1~4 的轨道倾角是 48° , 5~8 增加到 58° 。卫星是自旋(每秒 $8\sim 12$ 转)稳定的, 无姿态控制。电视相机的视场轴平行于卫星的自旋轴。自旋轴名义上是在轨道平面内。因此, 只有相机对准地面的一部分轨道才能摄制云图。又由于相机要利用太阳光, 一个泰罗斯卫星每天能有效地观察到的地面不超过地球面的 $10\sim 25\%$ 。

适当地选择初始发射条件可以使卫星在一定季节覆盖某一地区。也可用两个卫星, 使它们的覆盖区互相补充, 以便得到更全面的覆盖区。泰罗斯 5, 6 和 7, 8 两对卫星就是这样设计的。

(2) 艾萨卫星(ESSA)

由于泰罗斯 1 号卫星的电视相机得到了有用的结果。随后, 这些结果就用于天气预报。因此, 在 1961 年 4 月决定建立实用气象卫星系列。从经过试验证明有用的各种探测设备中选择最有用的设备, 装在实用卫星上, 获取天气预报和其他应用所需的数据。最初确定以雨云卫星系列作为实用卫星。后来由于技术的进展, 1963 年底重新决定把实用气象卫星分成两个发展阶段: 利用泰罗斯已有的成果, 建立泰罗斯实用卫星(TOS), 1965 年开始发展。以后的技术成果则准备用在未来的高级实用气象卫星(AOMS)上。

泰罗斯实用卫星以泰罗斯 9 号(1965 年 1 月 22 日发射)和 10 号(1965 年 7 月 2 日发射)两颗卫星作为试验原型。改用车轮形,自旋轴垂直于轨道面。自旋率为 10 转/分。探测器装车轮子的侧面,因此,每自旋一次都有一定时间对准地球。泰罗斯 9 号和 10 号的轨道改近极地轨道,轨道面与赤道成 98° 倾角,仍是圆形,高度仍为 740 公里。因此,这些卫星能每天覆盖全球两次。卫星上仅装两个电视相机。泰罗斯 9 号装两套高级光导摄象系统(AVCS),它把观测资料储存在磁带上,以后到专门接收站的上空时发送资料。泰罗斯 10 号装两套图片自动传送系统(APT),观察资料直接发送给各地的图片接收站。这两个卫星独立地工作,但互为补充。

泰罗斯 11 号就是正式为天气预报提供数据的实用气象卫星。改名为艾萨(ESSA,环境卫星服务管理局的字首缩写)。采用极地、太阳同步、圆形轨道。从 12 号卫星起,轨道高度改为 1,440 公里。倾角在 102° 左右。

艾萨卫星每两个组成一对,互相补充。单数序号的艾萨卫星(1, 3, 5, 7, 9 号)带两套高级光导摄象系统。偶数序号的艾萨卫星(2, 4, 6, 8 号)带两套图片自动传送系统。都是利用可见光照相。改用 1440 公里的高度后,相机也改用直径为 2.54 厘米的摄象管,800 线。与原来 740 公里高度时所用的直径 1.27 厘米,500 线的摄象管相比,地面分辨率差不多。

在艾萨 5, 7, 9 号三颗卫星上还装有全向辐射计。以获得计算地球热收支所需的数据。

艾萨卫星从 1 号(1966 年 2 月 3 日发射)起到 9 号(1969 年 2 月 26 日发射)为止共发射了 9 颗。

(3) 雨云卫星(Nimbus)

雨云气象卫星主要是研究和发展的系列卫星,它的目的在于发展和探索能为气象服务的空间技术。这些卫星在低高度、圆形的、太阳同步的近极轨道上飞行。飞行器对地取向,体积较大、能源较丰富,能长期地全天观测地球。飞行器的平台是多能的,能支持各种可能的新的探测系统的试验。地面系统能按轨道收集数据,同时能接近实时地处理数据。

卫星的结构如图(本书第 223 页图 7)所示。它包括三个主要部分:下部是一个直径为 142 厘米的圆环,环的底面安装各种探测系统,飞行时这个面就对准地球。上部是一个较小的六角形的仓,以构架与圆环相连。仓内安装姿态稳定和控制系统。另外有两个太阳能电池(面积 91×244 厘米²)。上面装着 10,500 个 2×2 厘米² 的 *n-p* 硅光电池。在卫星进入轨道的初期,电池板全部受太阳照射时的输出为 450 瓦。太阳电池的输出也被用来对七个 Ni-Cd 蓄电池充电,供应夜间操作所需的电源。在一整圈轨道内,能供卫星使用的稳压电源平均为 170 瓦。卫星总重量约 400~450 公斤。

雨云卫星是三轴定向的。用两个红外地平仪作俯仰和侧滚的姿态测量。用一个偏航陀螺感测偏航姿态。三个轴的控制精度为 $\pm 1^\circ$ 。偏差率低于 $0.05^\circ/\text{秒}$ 。

已发射的雨云号卫星已经知道的是四个。雨云 1 号是 1964 年 8 月 28 日发射的,它没有能进入原计划的 900 公里高度的圆形轨道,而只是椭圆形轨道。它只绕了 396 圈,太阳能电池板的驱动系统出了毛病,缺少电源,卫星失去稳定性。雨云 1 号装有可见光的高级光导摄象系统(AVCS)和图片自动传送系统(APT)。另有一套高分辨率红外辐射计(见本书 31 页)。雨云 2 号是 1966 年 5 月 15 日发射的,除掉上述三套仪器外,它还装有一套中分辨率五通道红外辐射计(见本书 29 页)。

雨云 3 号是 1969 年 4 月 14 日发射入圆形轨道的。高度为 690 公里。倾角接近 90° 。除

上述两套红外仪器外,还装有卫星红外分光计(SIRS见本书106页)和红外干涉分光计(IRIS见本书177页)。后两个仪器是为了探测大气温度的垂直分布而设计的,取得了成功。雨云3号的成就被认为是气象研究领域内的重大突破。

雨云4号是1970年4月8日发射的。圆形轨道,高度为1,100公里,周期为107分钟,倾角接近90°为太阳同步轨道。在当地中午时间穿越赤道上空。卫星上装有四套测量大气温度垂直分布的红外仪器,即上述的卫星红外分光计、红外干涉分光计以及选择调制辐射计(SCR,见本书209页)和劈式滤光片型分光计(FWS,见本书241页)。另外还有一套温度湿度红外辐射计用来代替雨云1号和2号中的高分辨率辐射计,测量地面和云顶的全天的温度,并绘制云图和水汽分布图。除红外仪器,雨云4号上还装有两套紫外仪器和一套可见光仪器:太阳紫外能监测器(MUSE),以监测太阳能的变化。背反射紫外分光计(BUV)用以测量大气中的臭氧分布。析象管照相系统(IDCS)(见本书277页)用以描绘白天的云图。

雨云5号卫星预定1972年发射,除雨云4号中的选择调制辐射计和温度湿度红外辐射计继续进行试验外,另外还将进行两套红外仪器和两套微波仪器的试验:红外温度分布辐射计(ITPR),用以测量有部分云层覆盖时的温度分布和水汽分布。表面组分描绘辐射计(SCMR),用以根据分谱比辐射率识别地面的矿物组分。雨云E微波分光计(NEWS),用以测量在深阴天气的条件下大气的温度和水汽的分布。电子扫描微波辐射计(ESMR),用以描绘地球的微波图。

这两种微波辐射计是测量水汽和氧的发射辐射的,也是被动式的。微波辐射的能量比红外辐射的能量要小3~4个数量级。但探测系统的灵敏度较高,适应性较大,限定波长和通带的线路更为可靠。这些优点可能补偿能量低的缺点。

(4) 艾托斯卫星和(ITOS)诺阿卫星(NOAA)

艾托斯卫星是对艾萨卫星进行了改进并吸取雨云卫星的成果而建立的实用气象卫星系列。采用近极、太阳同步圆形轨道,高度约1,440公里,倾角为102°。卫星形状如图(本书第64页图2)。三轴定向。除掉二套高级光导摄像系统和二套图片自动传送系统外,还有一台红外扫描辐射计(SR见本书67页)和一台全向辐射计(OMNI)。

第二个艾托斯卫星改名为诺阿1号(NOAA国家海洋大气管理局的字首缩写),是1970年12月11日发射的。与艾托斯1号完全一样。

据报道的计划,高级型的诺阿卫星将不用可见光相机,全部用红外仪器。除上述红外扫描辐射计和全向辐射计外,将再增加二台红外仪器:(1)甚高分辨率辐射计(见本书73页),波段与扫描辐射计相同,但地面分辨率为1公里,用以代替可见光相机,由于后者不够稳定,而且不能提供定量的云顶高度与温度的数据。(2)温度垂直分布辐射计(见本书80,83页)。

(5) 地球同步气象卫星(SMS)

绕地飞行的卫星对同一地区每天只能观测两次,一次在白天,一天在黑夜。一般经过二小时的迟延才把邻近经度地区的照片传送到地面。有些猛烈的地方性风暴,寿命小于12小时,用绕地飞行的卫星不能连续地观察这种恶劣天气。发射与地球同步的卫星,让它始终位于地球某一地区的上空,就能连续地监视与猛烈的地方性风暴有联系的云的特征。在一定限度内,还能从云的表现运动求出风速来。

地球同步气象卫星的概念已经在应用技术卫星爱斯脱-1(ATS-1,1966年12月6日发

射)和爱脱斯-3(ATS-3, 1967年11月5日发射)的成果得到证实。这两个卫星位于赤道附近的上空36,900和35,900公里处,能够看到下面的地球圆盘的40~50%的面积。卫星上装有电视相机(见本书273页)。每26分钟摄取一张2,000线的黑白相片。ATS-3还装有黄、红、青三色滤光片,可得到云图的五彩相片。

在爱脱斯卫星的基础上,将发展同步气象卫星(SMS),作为将来的实用气象卫星——同步实用环境卫星(简称GOES)的实验原型。这种卫星将带十波段的扫描辐射计,八个波段在可见0.55~0.70微米,两个波段在红外10.5~12.6微米。日夜都能摄取云图,每20分钟一帧,能监视云系的运动。取得的云图输送到地面,进行图象处理,然后又通过同一卫星将云图转送给各地区的气象站。因此,这一卫星兼作通信卫星用。

除掉卫星本身的辐射计观测外,这个卫星还要收集地面站或低高度卫星来的气象数据。在广大的海洋上设放许多自动的气象数据观测浮标,或利用一般的商船测量风速、风向、空气温度和海水温度、海洋条件等数据;在荒无人烟的地区放置一些自动的气象观测站。这些设备所测得的数据,或者是自动地发送给、或者经过卫星的问询再发给卫星。卫星还要收集地震测量、潮汐测量、水位测量和雨量等数据。卫星对所有这些数据进行定期的或不定期的收集,然后输送给国家海洋大气管理局(NOAA)的数据收集站,进行处理和使用。

美国所发射的气象卫星的技术数据汇总在表1中。

表1 美国的气象卫星一览表

名称	发射日期	重量 (公斤)	周期 (分)	近地点 (公里)	远地点 (公里)	倾角	停止日期	其他
泰罗斯 1	1960. 4.1	119.4	99	692.0	753.1	48.3°	1960. 6.17	
2	1960.11.23	125.2	98	622.8	727.4	48.5°	1961.12.4	
3	1961. 7.12	129.4	100	741.9	814.3	47.8°	1962. 2.22	
4	1962. 2.8	130.3	100	709.7	844.9	48.3°	1962. 6.10	
5	1962. 6.19	132.2	101	590.6	972.0	58.1°	1963. 5.4	
6	1962. 9.18	127.6	99	680.7	714.5	58.2°	1963.10.11	
7	1963. 6.19	134.8	97	619.6	645.3	58.2°	1966. 2.3	
8	1963.12.21	120.3	98	692.0	762.8	58.5°	1967. 7.1	
雨云 1	1964. 8.28	376.8	98	423.3	931.8	98.6°	1964. 9.23	
泰罗斯 9	1965. 1.22	138.5	119	700.1	2578.1	96.4°	1967. 2.15	
泰罗斯 10	1965. 7.2	127.1	101	737.1	832.0	98.6°	1967. 7.3	
艾萨 1	1966. 2.3	138.5	100	695.2	838.5	97.9°	1967. 5.8	
艾萨 2	1966. 2.28	131.7	114	1356.6	1424.2	101.0°	1970.10.16	
雨云 2	1966. 5.15	414.0	108	1100.8	1181.2	100.3°	1969. 1.18	
艾萨 3	1966.10.2	145.3	115	1384.0	1435.4	101.0°	1968.10.9	
爱脱斯 1	1966.12.6	351.9	24小时	33850.4	36885.2	0.2°		
艾萨 4	1967. 1.26	131.7	113	1322.8	1438.7	102.0°		
爱脱斯 2	1967. 4.5	370.0	3小时39分	185.1	1197.8	28.4°	1969. 9.2	
艾萨 5	1967. 4.20	145.3	114	1351.8	1421.0	101.9°	1970. 2.20	
爱脱斯 3	1967.11.5	365.5	23小时56分	35771.5	35813.4	0.4°		
艾萨 6	1967.11.10	131.7	115	1409.8	1488.6	102.1°	1969.10.17	
爱脱斯 4	1968. 8.10	392.3	85	217.3	772.5	29.0°	1968.10.17	失败
艾萨 7	1968. 8.16	145.3	115	1430.7	1469.3	101.7°	1969. 7.19	
艾萨 8	1868.12.15	131.7	115	1416.2	1464.5	101.8°		
艾萨 9	1969. 2.26	145.3	115	1421.0	1517.6	102.0°		
雨云 3	1969. 4.14	560.0	107	1060.0	1120.0	99.9°		
爱脱斯 5	1969. 8.12	430.0	23小时56分	22196.0	22277.0	2.6°		失败
艾托斯 1	1970. 1.23	306.0	115	1435.0	1482.0	102.0°	1971. 6.16	
雨云 4	1970. 4.8		107					
诺阿 1	1970.12.11	306.0	115	1420.0	1470.0	102.0°	1971. 8.19	