目　录

序……（3）
前　言……（4）
第一章　开场白——本书谈的是什么……（8）
第二章　传感器——我们新的“眼睛”……（32）
第三章　主动系统……（63）
第四章　遥感平台……（83）
第五章　数据的地面接收……（104）
第六章　数据处理……（124）
第七章　我们生活的陆地……（135）
第八章　河流、湖泊和海洋……（152）
第九章　农业、林业和野生生物……（172）
参考书目……（188）
译后记……（190）

序

对于那些从事遥感专职研究的人们说来，遥感技术的主要特点就是变化迅速，以致于一个人还没有时间去熟悉和使用新的仪器和方法，更新的仪器和方法就接踵而来，冲击着各个方面。我觉得，多罗西·哈珀在一定的时间和空间里已经尝到了这门令人兴奋的新技术的乐趣。这个时间就是1969—1976年，这个空间就是加拿大。在她的著作中，作者在过分简化与复杂化之间采取了巧妙的折衷办法，这样的著作是在向外行人介绍技术的时代中极为需要的珍贵礼物。

1969年加拿大首次正式请求美国国家航空与宇宙航行局允许我们从萨斯喀彻温的阿伯特王子站接收来自地球资源技术卫星的信息，此外还围绕着地球资源技术卫星（后来称为陆地卫星）拟订了加拿大国家规划。

我觉得，应该由一位物理学家和光谱学家来写这样一本书是恰当的，因为光谱学是遥感的物理基础；我总认为，光谱学家和天文学家真正是名副其实的遥感学家的先驱。

我们目前正处在规划地球资源技术卫星后期的过程中，这个时期具有双重的复杂性，因为它既涉及到政策问题，又涉及到电子研究和空间研究中的技术水平问题。

渥太华加拿大遥感中心

主任　L.W.莫利

前　言

最令人兴奋的现代进展之一是卫星的出现，其中包括气象卫星、通讯卫星、研究地球的卫星和研究天空及其他行星的卫星。我准备介绍的正是其中的一个方面——通过1972年7月美国国家航空与宇宙航行局(NASA)发射的地球资源技术卫星来研究我们的地球和我们的环境。这颗卫星原来叫地球资源技术卫星1号(ERTS-1)，但当1975年1月22日发射了第二颗类似的卫星时，这两颗卫星分别重新命名为陆地卫星1号和陆地卫星2号。因为我们必须着眼于将来而不是过去，所以我在文中谈到这些卫星时，用的是陆地卫星的名称。然而过去发表的论文和参考文献是不能改变的，为了避免混淆，我们必须记住，地球资源技术卫星和陆地卫星是同一种卫星。

我们必须感谢美国把这种卫星发射到我们的顶空，使我们能收集有关我们自己陆地的信息；加拿大在发展接收、加强和解译传送到地面的数据的方法方面，起了重要的作用。我们从陆地卫星得来的这种数据和信息的范围确实是惊人的，它在研究自然资源(森林、地形、水和冰，庄稼、地热资源和其他环境条件）方面有着无法估计的价值。加拿大的陆地非常辽阔，许多地区又难以进去，所以空间研究方法对加拿大有特

殊的意义。对于询问空间研究费用的那些人，我们必须回答，报偿与费用是相当的，事实上，报偿比最初预料的更大。在陆地卫星1号发射之前，已经对加入美国国家宇航局计划而获得的财政利益作了估计。实际利益甚至超过了最乐观的估计。陆地卫星传送给我们的资料比我们希望的还多，而这些资料对实际问题的应用，表明比我们期望的还要好。在北极地区，每当冰发生空前扩张的时候，正确的信息是非常缺乏的，而陆地卫星传送给我们的信息却特别可靠。

空间仪器正在使我们能用新的眼睛来看地球，它们扩大了我们的眼界。然而，它们仅仅是我们从空中看地球的手段中的一种，仪器也可以带到普通飞机上、直升飞机上、气球上和火箭上，每一件仪器在不同高度上进行的工作将告诉我们一些不同的内容。从飞机上进行测量的历史是古老而光荣的历史，虽然新近已应用了卫星，但飞机决没有过时。新的摄影技术和其他成象方式的发展，使航空方法处于显著的地位；而飞机获得的经验也有助于卫星获得惊人成功。本书对其中某些方法作了概述。如果叙述它们的篇幅与它们的成就或重要性不一致的话，这是因为其他书已经讲得很多了，若干有关的书籍列在本书的结尾。

通过遥感方法，我们正在获得关于地球资源的新知识，这种知识财富对于发展中国家应该是非常宝贵的；这方面的资料正为发展中国家所享有；他们也正在用各种方法取得有用的资料，这是很好的。一些发展中国家正在考虑建立他们自己的地面接收站，一些国家得到了联合国粮农组织所创议的计划的帮助，其他国家正在接收来自国家宇航局的资料。在

比较富裕的国家中，认识到使所有国家都能利用这种新知识是道义上的责任，大量的想法和计划正在使这种愿望成为现实。

照例，在这种书的前言中，应列举出所有帮助过写作这本书的有关人员。我感到这个任务太困难。帮助过写作这本书的人很多，选择一些姓名是一件使人讨厌的困难事情。在收集资料的过程中，我拜访了遍布加拿大的许多机构中将近一百名科学家，他们都毫无例外地、慷慨地牺牲了他们的时间和献出了他们的知识。他们供给我笔记、象片和图表，并且鼓励我写作。我无限真诚地对他们表示感谢。然而，我必须特别提及渥太华加拿大遥感中心的工作人员，在过去18个月多一些的时间里，他们一直不厌其烦地帮助我，他们许多人审阅了我的部分原稿，并提出了宝贵的建议。

最后，我必须特别感谢两个人，他们虽然与遥感没有任何联系，但是他们仔细地阅读和审核了我的全部初稿。比肖普斯大学物理系主任哈里·达顿教授阅读了本书，他的批评性意见对我帮助很大。我的姐姐凯瑟琳·哈珀博士，她也是比肖普斯大学的，是一位英语教授，她审核了我的字、句、标点和精透的语法。假如书中有时表达方式稍微离开了语言学者的要求的话，这是因为我急于想避免学究式，想使语言更通俗些。

我享受了写这本书的乐趣，它是一件很值得做的工作；现在对我来说，就是希望你们将享受到读这本书的乐趣。本书不是为专家写的，而是为有一定文化程度的门外汉，喜爱科学的中等学校学生和大学低年级学生写的。我希望大学团体的

一些成员，特别是学习地理、农业和林业课程的人员，也将从中发现一些使他们感兴趣的东西。对于刚入门的学生来说，遥感是一门迷人的领域，也是一门很有发展前途的学科。

多萝西·哈珀

于加拿大比肖普斯大学

第一章　开场白——本书谈的是什么

1957 年 10 月 4 日，在灼热的、涡动的气体中，184 磅重的卫星腾空而起进入空间飞行，这是苏联发射的第一颗人造卫星被送入空间轨道。卫星发射的第二天，我们大多数人从无线电里收听到了这个新闻，大家都感到有些恐惧和一定程度的忧虑。卫星的发射打开了探求未知事物的大门，但是另一方面它说明了什么呢？这种新的进展是用于敌对目的呢？还是为了人类的利益而不是人类的毁灭呢？人们的头脑里产生种种疑问，但这是新出现的情况，要回答这些问题是困难的。

现在，在将近二十年后的今天，我们看到已经发射了几千颗这样的卫星，其中，有的绕地球运转，有的绕太阳，月球运转，还有的则绕其他行星运转。我们也看到已经有人驾驶飞船到空间飞行；也有些飞行器穿越宇宙空间，飞行极远的距离，永不返回地面。这些卫星和飞行器上的仪器把大量新的信息传送到地面，而这些信息我们是不能用任何其他方法得到的。特别是它们正在扩大我们的视野，前景确是令人兴奋的。

这些新发展是科学的一个分支，这就是遥感。

遥感这个词意味着从远处感知物体，也就是不和该物体

接触而探测和测量该物体的一些性质。到过月球的宇航员，感到月球的表面是干燥的、布满尘埃的，这不是遥感，因为这是宇航员在月球上直接感觉到的。但是，如果你是在家里、坐在电视机前面的舒适椅子上，看到宇航员的登月器撞击月球表面的时候升起一片尘云，于是你推论出月球上是干燥的、布满尘土的。这就是遥感。因为你不在月球上（除了想象以外），你不能直接触觉到它。当伽利略用望远镜观看天体的时候，他就是一个初期的遥感工作者。在早上交通拥挤的时候，直升飞机驾驶员，驾驶着直升飞机观察地面交通运输的情况，并把交通阻塞的情形立即报告给地面，他是一个遥感工作者。当我们在晒太阳感到温暖的时候，在观看赛马的时候，或者听水在水壶中沸腾的声音的时候，我们也就象是遥感工作者。因为我们感到太阳的温暖，看到赛马和听到壶中水的声音，都没有同这些物体接触，与它们隔开一定的距离。根据温暖的感觉，我们能够推论太阳是热的；根据视觉，我们能够推论马飞奔的速度；根据听觉，我们能够推论壶中水的温度已经达到了沸点。

实际上这些都是遥感的一些例子，然而，在科学领域里，遥感这个术语已经有一个比较严格的含义。从本书的目的出发，我们仅仅研究通过地球上空的仪器来完成对地面资源和环境的感知和测量。这些仪器基本上是各类摄影机，如使用黑白胶片和彩色胶片的普通摄影机、红外和紫外摄影机、电视摄影机等。这些摄影机可以被带上火箭、气球、飞机和直升飞机，现在已经被带到卫星上了。

最初的一些空中摄影的实验是由法国摄影师菲尔克斯·

图尔纳琼(Felix Tournachon)进行的，1856 年，他在气球上对巴黎作了航空摄影。自那时以来，摄影的方法和仪器一直在不断改进，到今天，我们已经有了高度完善的仪器，可以被带到按预定的轨道绕地球连续运行的卫星上。这就为遥感科学鲜明地指出了一个完全新的方面。

遥感有什么用处呢？它将为我们做些什么呢？

1972 年 7 月，美国国家航空与宇宙航行局发射了陆地卫星 1 号，得到了一些最实用的初步结果。这颗卫星最初叫做地球资源技术卫星，但当 1975 年 2 月，发射了第二颗相同的卫星——陆地卫星 2 号后，它就改名为陆地卫星 1 号。虽然这两颗离地面约 600 英里的卫星，都是美国发射的，但是其他国家通过同美国国家宇航局商定，可以应用卫星传送回来的资料。资料是极其丰富的，事实上，资料多得简直使我们应接不暇。例如，仅仅在加拿大，每年传送回来的地球表面象片约 75,000 张，处理和解译这些资料是一个非常艰巨的任务，它需要特殊的地面接收站和高度专业化的人员。而且把这些资料通知给有关方面，就其本身来说，也是一件麻烦的事。例如，有关森林失火、航道上冰的移动、春季洪水泛滥的影响和其他突然事件，除非极快地将这些情况通知给有关方面，否则，这些资料也是无用的。而其他资料，如内陆湖泊和其他地形特征的标图，就不必那么快处理。这些资料使我们发现我们的许多地图，特别是遥远的地区，如北极圈的地图，必须重新绘制，我们地理书上的一些岛屿，它们恰恰不在图上所示的位置。

很明显，象加拿大、澳大利亚这些国家，它们领土辽阔，有

许多地区又是难以通行的，因而遥感是一种特别重要的工具。用遥感大面积收集资料所花的费用和时间，只占常规方法的一部分。根据我们电视机中的气象预报图，我们对这种方法已经有了亲身体验。

遥感能够告诉林务员关于他们森林的大量资料，如树木的种类和范围、病害、伐木或环境变化对森林的损坏等。遥感能帮助地质学家，告诉他们关于地面的矿物情况，从而指出可能的矿物沉积和有进一步探查价值的地区。遥感可以为地理学家提供新的制图技术，为农学家提供预报农作物产量的方法，为研究环境污染问题的专家提供监视和区分油膜及其他污染物质的方法。

对加拿大来说，提供的最有价值的资料大概是关于北极圈和北部地区的资料。这些地区，我们原来知道得非常少。由于矿产和石油勘探活动的增加，我们应该增加对该地区气候、冰层、地形和其他环境特征的认识。我们不仅需要知道环境对人类的影响，而且需要知道人类对环境的影响，当然，只有知道了大规模的人类活动发生以前的环境状况，我们才能够估计这些影响。陆地卫星正在关键时刻来到了。整个卫星计划对航行的船员、建筑工程师、地质学家和其他人员有难以估计的价值，并且节省了无数美元。

在轨道上的卫星中，按固定的时间间隔和白天的同一时刻，仪器被带到地面上空的同一部位(对陆地卫星来说，每隔18天重复一次)。这就是说，缓慢的变化能够被观测到。例如，浮冰在航道上的移动、河湖中冰融化的速度、侵蚀和流沙所引起海岸线的变化方式等都可以观测到。

上述这些事现在能够在全球范围内进行，这是以前决不可能办到的。获得的资料对发展中的国家有很大的意义，使他们可以既快又省地估计他们的资源。其中一些国家可以有他们自己的接收站；为了以最快的速度将这些资料传送到其他国家，许多措施正在被研究。当卫星到达接收站上空时，它就送回大量资料。我们必须合理的、有效的应用这些资料。

因此，你能看到，卫星和空间研究并不是少数富裕国家的"空中掉馅饼"，似乎他们并不知道如何化钱。对所有的人们来说，它是一只"空中的眼睛"，它正在为我们所有的人带来非常实际的降临地球的利益。它的潜力是巨大的，到目前为止还远远没有发挥出来。

我前面曾说过，遥感正在教我们看东西的新方法。事实上，在详细讨论这个问题之前，我们应该研究一下，我们是怎样看见东西的，我们又是怎样看见不同颜色的。

我们通过反射光看到我们周围的大多数物体，这光白天来自太阳，晚上来自人工光源。光一消失，我们就不能看到任何物体，因为这时没有物体所反射的光线了。这些反射光通过我们眼睛的晶体(透镜)后，在视网膜上聚焦，然后它们刺激某些细胞，这些细胞又把信息传送给大脑，一只眼睛很象一架摄影机，它们都有一个透镜，在摄影机里，景物在胶片上聚焦，而在我们的眼睛里，景物是在视网膜上聚焦。

这就是由光引起的一切。但什么是光呢？每个人都知道光，然而要说明光的性质却是困难的。与无线电波和 x 射线一样，光是电磁辐射的一种形式，它们的传播是和直线运动的波一样的。从一个波到相邻一个波的距离，或者说从一个波

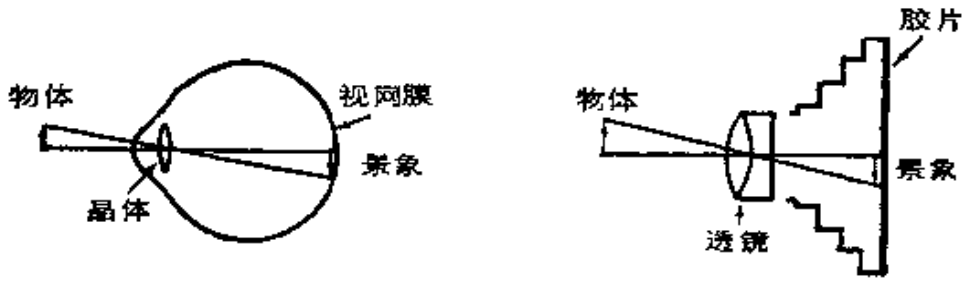


图 1　人类的眼睛和摄影机图

峰到相邻一个波峰的距离叫做波长，一般用希腊字母 λ 表示。电磁波的不同性质和特性由它们的波长所决定，所以，一种波长表示了无线电波所特有的性质，而另一种波长表示了光波的性质，等等。

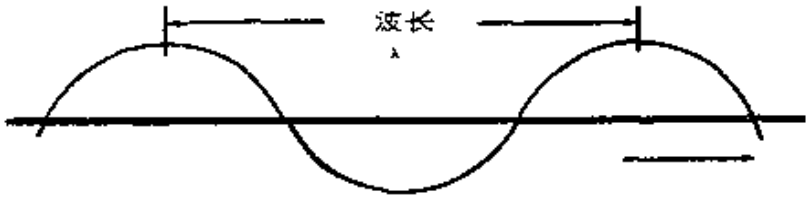


图 2　特征波的轮廓

为了比较好的想象这些波，我们不妨回忆一下可以看见的波的运动方式，例如水中的波浪运动。当一块石头投进池塘，就会产生一个波浪系统，并以一定的速度在池塘里传播。由于我们不需要研究实际数字，我们把这个传播速度称为 s，一个波峰到相邻一个波峰的距离称为波长 λ。假如我们在池塘中竖一根杆子，那么我们就能够计算出在一定的时间里，譬如说在一分钟的时间里，通过这根杆子的波浪数目，这就是波浪的频率，或许是每分钟 30 次，我们把频率叫做 f。很明显，如果波长长(即 λ 大)，那么频率就小。如果波速保持不变，当

两个波峰之间的距离变得较小(即波长减小)，那么波浪通过这根杆子的频率 f 将变得较大。我们可以更精确地用下列公式表示:

$$f=\frac{s}{\lambda}$$

$$或\lambda=\frac{s}{f}$$

光确实是一种以很高的速度在空气中传播的波动，事实上，所有的电磁辐射都以这样的高速传播，即大约是每秒186,000英里或每秒3亿米。我们称这为 c，因为它是不变的，所以对于电磁辐射，我们能够用下式表示:

$$\lambda=\frac{c}{f},\quad 或\quad f=\frac{c}{\lambda}$$

在描述一个波的时候，无论是用波长或者用频率，两者是没有区别的。但是习惯上我们是用波长来表示短波，如 x 射线、可见光、红外线，有时微波也用波长表示，而用频率表示长波，如波谱的无线电波部分。

电磁辐射波谱用图解表示在下面，它从最短的 γ 射线和 x 射线一直延伸到长波无线电波。

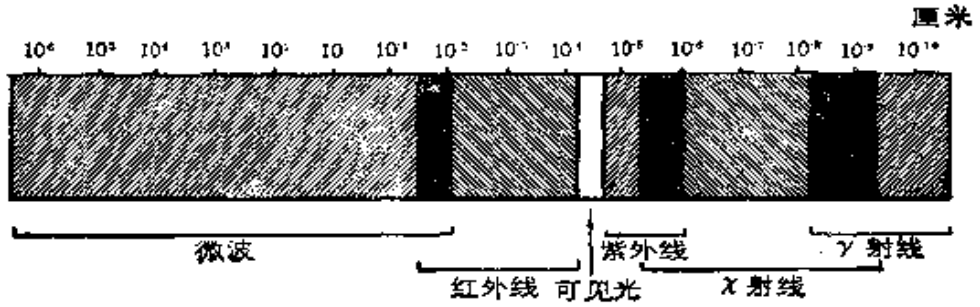


图 3　电磁波谱图

从图上你能看到，能对我们的眼睛起作用的，我们称它为光的这一段光谱是整个波谱中很小的一部分。在可见光谱的两端部分，是非常接近于可见的；可见和不可见之间的界限各人是不同的，一些人看见的范围比另一些人大一些。在可见光短波的旁边是紫外线，夏天，这些光线会把我们晒黑。在可见光长波的末端，是红外线，它们给我们以热的感觉。从γ射线到无线电波，所有这些光线都是由太阳发射的，但是，这些辐射在通过地球大气的时候，大量被吸收了。这对我们来说是非常幸运的，否则很久以前，我们都会被烧得死去活来。

现在我们感兴趣的是看东西，所以我们把波谱的可见光部分取出来，并且比较仔细地看一下。可见光的波长从400×10^{-9}米附近开始，到750×10^{-9}米（即4×10^{-5}—7.5×10^{-5}厘米）。由于这些数字使用起来很麻烦，所以我们给这个波段一个新单位，就是说，可见光谱从400毫微米到750毫微米。即

1毫微米$=\frac{1}{1,000,000,000}$米$=10^{-9}$米。可见光波段仅仅是电磁波辐射的巨大的波谱的一部分，它能够通过眼睛把信息传输给我们的大脑。然而，摄影机胶片却能在比较宽的波段内记录景象，它能够利用紫外和近红外波段。而其他类型的传感器甚至可以探测更长的波，如热红外范围的红外线，雷达应用的微波等。

我们习惯于按颜色看物体，颜色的差异是由于进入我们眼睛的光的波长不同。这里又涉及到波谱的可见光波段，如果波长450毫微米左右的光触及了我们眼睛后面的视网膜，我们就看到蓝光；如果波长在550毫微米左右，那么我们就看

到绿光;如果波长在700毫微米,我们就看到红光,等等。当信息到达我们大脑时,每一种波长都产生一种不同的信息。这就解释了为什么不同的光产生不同颜色的道理。氖光通常表现为红色,因为它发出的光能量集中在700毫微米左右的波段。在不同的条件下,运用不同的灯能产生不同的颜色。水银灯一般是稍冷的蓝色,因为它们的大部分辐射是400—450毫微米左右,即光谱的紫色和蓝色末端部分(它也有许多辐射在紫外部分,但我们看不见)。钠灯经常应用在机场周围,它们是明亮的橙—黄色,因为它们发出的光非常强,在580毫微米左右。通过日光我们看到门外的物体,日光是所有这些波长或颜色的光的混合物,由于它们相互抵消,所以它完全没有颜色,我们称它为"白光"。

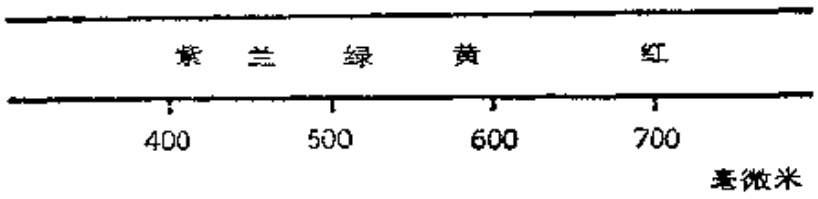


图 4 可见光谱

我们能够用发射曲线来描述光源的颜色,在这曲线上,我们能够确定各个波长的光的相对强度。在下图中,(a) 表示钠光的发射曲线,它在略小于600毫微米的地方强烈发射,所以出现黄光;(b)是水银灯的发射曲线,它表示在蓝光和紫光处发射很强;而日光(c)有一根十分平缓的曲线,我们叫这种光为"白光"。

就自然光源而言,最重要的是太阳。我们通过反射光看到月亮,通过恒星本身发出的光看到恒星。在更接近地面的

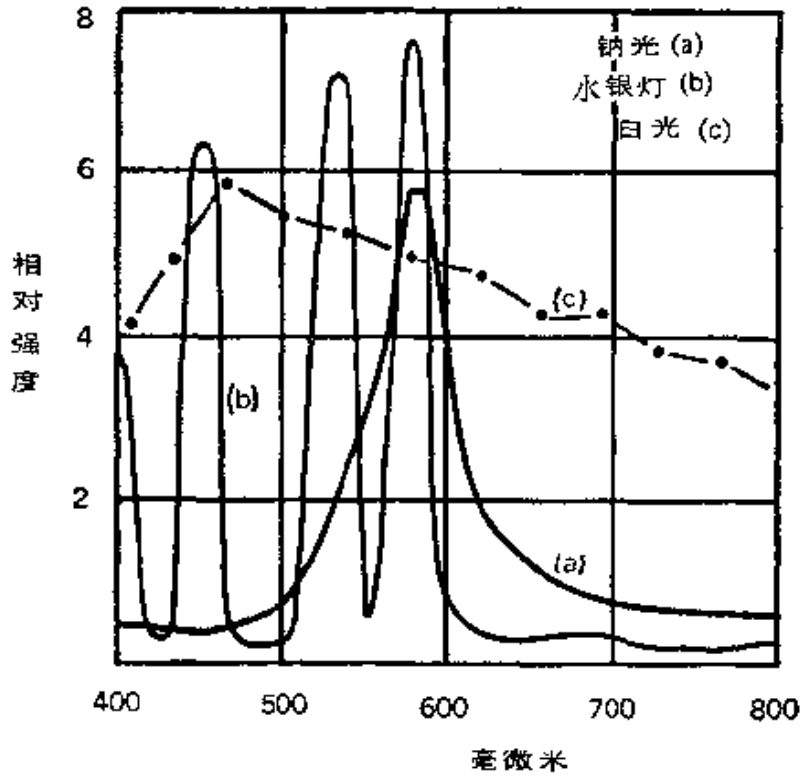


图 5　光源的发射曲线

地方，有许多强度不大的自然光源，如发光虫和萤火虫、使船舰尾波产生亮度的海洋微生动物、腐烂的木材和真菌等。所有这些光源都能用发射曲线来描述。

我们前面说过，我们通过反射光看到物体；现在我们说，日光是“白光”。那么我们在

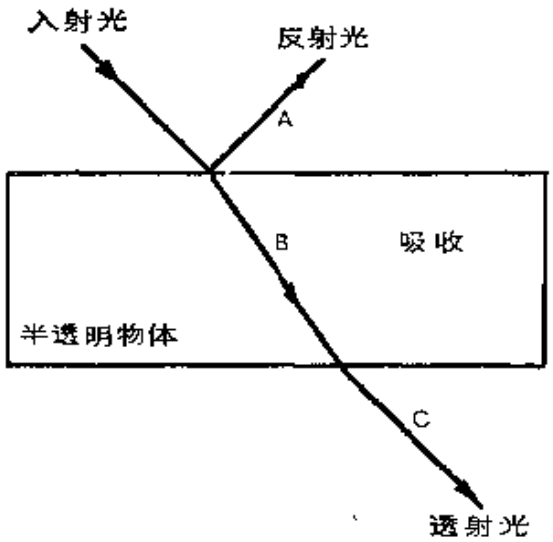


图 6　白光射到半透明的彩色物体上

日光下看到的所有物体为什么不都是白色呢？毕竟，这些物体仅仅是反射了日光。为什么我们看到不同的颜色呢？

这是因为，当白光射到物体上的时候，它不是全部反射掉的，物体本身吸收了一部分波长的光，吸收的波长取决于组成这种物体的原子和分子的性质。

图6表示，当一束光线射到一块半透明的材料上，例如射到一块彩色塑料上所发生的一些现象。光线A被反射而离开物体，光线B通过物体，在此过程中一部分被吸收，光线C是直接通过物体进入另一边空气中的那部分。在吸收过程中，一些波长被选择性地吸收了。所以反射部分和透射部分是吸收部分的互补色。我们知道，黄色和蓝色是互补色，绿色和红色、紫色和橙色也是互补色。例如我们取一片绿色的叶子，当含有所有波长的白光射到它上面的时候，叶子的叶绿素吸收了相当于光谱的红光和蓝光区域的那些波长，而反射的仅仅是它们的互补色绿光，所以我们看到叶子是绿色。

这是可见光的情况。但是我们看不见的光谱的红外部分，甚至能给我们更多的信息。活树的叶子反射近红外光线，所以在红外摄影机拍摄的黑白象片上，叶子是亮的。相反，干叶子吸收红外线，所以在红外黑白象片上，干叶子出现暗色。健康树叶和干枯树叶在光谱的红外部分吸收能力，差别是很显著的，在第九章中讨论林业和农作物时，我们将看到这个问题的重要性。

我们说叶子是绿色的，但它是哪一种绿色呢？是蓝绿色还是黄绿色呢？对科学家来说，这样的描述都是不够确切的。描述颜色的一种比较好的方法是用分光光度曲线。什么是分

光光度学呢？分光光度曲线是怎样得来的呢？它们将告诉我们些什么呢？

光度学（photometry）这个词是从两个希腊字来的，photos 的意思是“光”，metron 的意思是“测量”。所以光度学的意思就是测量光的强度。摄影机中有一个曝光表，它能告诉我们用哪一种曝光量。我们已有各种光控装置，如防盗警报器、能自动打开的车库大门等等，所有这些装置都取决于测量光的强度或光度学。测量仪器常常是光电管，虽然它对一些波长比对另一些波长敏感些，但是光度学仍意味着测量光的总量。它不能告诉我们在该波段范围内，这种光或颜色的分布。换言之，它不能告诉我们光谱分布。这是分光光度学所研究的范围。分光光度计可以把我们看到的光的总量分成波段，并测量每一特定波长的强度。在分光光度曲线上，可以逐点对着相应的波长确定强度。看了分光光度曲线，我们能够知道它代表什么颜色。让我们看一些这样的曲线：

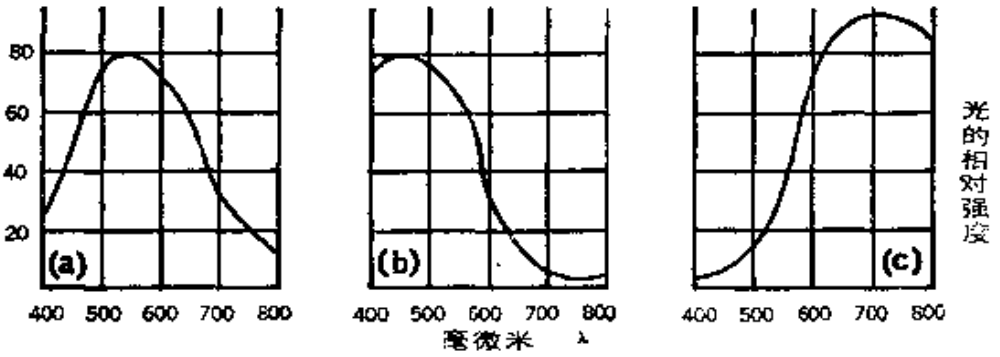


图 7　绿色(a)、蓝色(b)和红色(c)表面的分光光度曲线

曲线(a)、(b)和(c)分别代表绿色、蓝色和红色物体。我们看到，在曲线(a)上，在 550 毫微米附近的绿光波段，有一个

高的强度，所以这个物体显出绿色。在曲线（b）上，在400—500毫微米处有一高的强度，所以物体显出蓝色。在曲线(c)上，强度的峰值出现在700毫微米附近，所以物体显出红色。

虽然我们能用红、绿、蓝等来概括地描述颜色，但是用分光光度曲线来描述颜色更为理想。下图是两条绿色曲线，曲线(d)表示蓝绿色，曲线(e)表示黄绿色。你能看到，两条曲线各有一个峰值，它们的最高强度都在550毫微米附近，但曲线(d)的蓝色成分较多，曲线(e)的黄色成分较多。

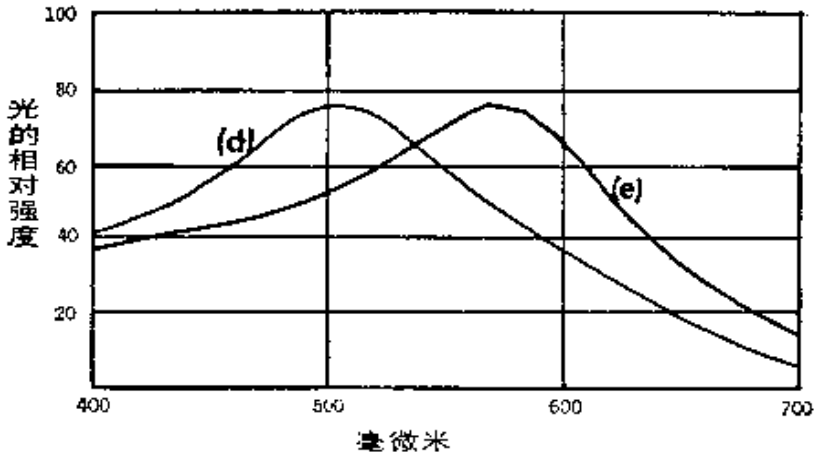


图 8　具有不同绿色色调的两种表面的分光光度曲线，蓝绿色(d)和黄绿色(e)

分光光度计区分颜色虽然不如人的眼睛敏感，但是它能区分出很小的颜色差异。例如，针叶树云杉的绿色比落叶树枫树的绿色稍微蓝一些，在分光光度曲线上能够显示出这些差别。事实上，这些曲线成了颜色的一种标志，或者说，任何颜色都有一种光谱特征。分光光度曲线是物体光谱特征的记录和分析，而光谱特征在遥感中具有特殊的重要性。

分光光度学在过去半个世纪里迅速发展，现在已经成为工业生产中的一项重要手段；纺织工业、颜料工业和造纸工业都要应用分光光度学来搭配颜色，化学家利用分光光度学来分析材料。分光光度曲线是如此重要，尤其是，这种方法的概念是许多遥感仪器的基础，所以在使用中弄清楚这些曲线是怎样得到的，或许是必要的。

分光光度计是用来绘制分光光度曲线的仪器。它可以测量我们要描述其颜色的那种物体在一定的波长间隔内（如400，420，440毫微米等）反射光的比例（反射比%）。首先把白光按波长间隔或波段分开，这可以用棱镜或衍射光栅来进行，这两种分光元件都应用在现代仪器上，选择哪一种元件取决于它们在仪器中的特殊用途。我们考虑用棱镜，因为大多数人对它是比较熟悉的。

牛顿——整个时代最伟大的科学家之一，是他在1666年首先发现白光是由各种颜色的光组成的。他是在一个遮暗的房间里用玻璃棱镜做这个实验的。他在百叶窗上开了一个小孔，阳光可以通过这小孔射进房间。这种白光射到一个银幕

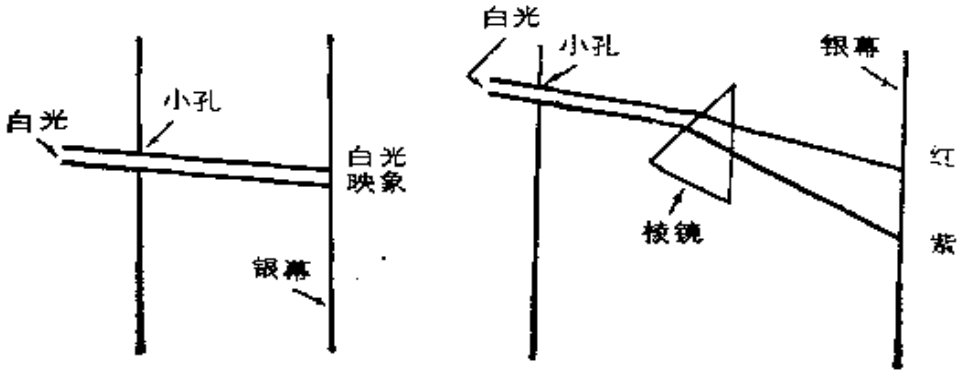


图 9　通过棱镜的光的色散

上，就象家庭电影用的那种银幕，不出所料，他在银幕上看到一个圆的光点。于是他在小孔和银幕之间的光路上放一个棱镜，往银幕上一看，便看到了一连串的彩色光斑，虹的全部颜色——紫、蓝、绿、黄、橙和红色（波长 400—750 毫微米）都出现了。同时，整个光线都弯折了，而位于光谱一端的紫光比另一端的红光弯折得更厉害。

在牛顿的这个实验里，彩色象是重迭的，颜色是混淆的，很不纯的，但是这个实验却是分光光度学的基础。其后，研究者的主要目标是提纯这些颜色，也就是把这些波长分成越来越小的波段，这就是物理学家所说的，增加光谱分辨力。

一个用来测量反射颜色的分光光度计可以用这样的图解表示：

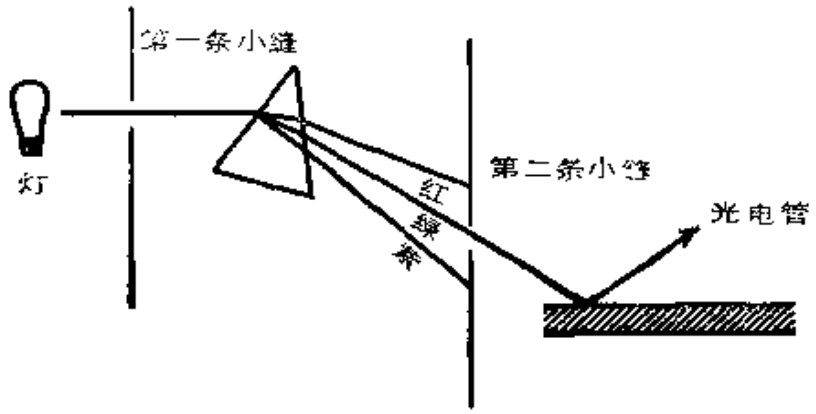


图 10　分光光度计简单示意图

从灯发出的光，通过一条窄缝后到达棱镜，与牛顿的实验一样，棱镜把组成这种光的颜色或者波长分开。另一条小缝放在棱镜后面出现的光路上，使一条窄的波段刚好通过。上下移动这条小缝或者转动棱镜，我们可以选择我们所需要的任何波段，使它通过小缝。以后，这光线射到我们要测量其颜色

的物体上，于是可以用灵敏度高的仪表，如光电管，来测量从这个物体表面反射的光的百分比。假如我们转动棱镜，我们可以选择另一种波长，并测定这种波长的反射比，直到把颜色的全部光谱都转动到。然后，对着入射光的每一种波长，画出光电管测得的光的强度曲线。于是我们就得到了与图 7 和图 8 类似的分光光度曲线。

上面所示的图解是十分简单的。事实上，分光光度计有许多复杂的光学结构，它是一种很精密的仪器。现在已经不要逐点读出数值，也不需要人工在一张图纸上画曲线，而是能够自动画出来了。另一方面，数字可以输入计算机中，虽然完全没有画出任何可见的曲线，却能够计算和提出物体的全色描述。

全色曲线就是一种全色描述；然而，有时为了查明我们需要知道的那一种物体，并不需要研究一条完整的曲线。根据曲线的复杂程度，可以选择在一个波长处、或者在两个、甚至在三个波长处进行测量，这是允许的。仅仅在几个选择的波长处进行测量的技术就是节略分光光度测量，这种节略分光光度测量是多光谱扫描器的先驱者，在下一章中我们将研究多光谱扫描器。多光谱扫描器分四个波段，二个分别在绿光波段和红光波段，另外两个在红外波段。通过对这四个波段的测量，我们能够得到大量信息，并能建立一些简单的光谱特征。

我们已经讨论了看到彩色光的两种方式，一种是通过光源的直接发射，另一种是通过彩色物体反射。另外还有通过所谓荧光现象的第三种方式，在荧光过程中，一种材料吸收了

一种波长的光之后，又把它转换为较长的波长，再发射出来。例如，一种材料可以吸收蓝光，然后再发射出绿光或黄光的能量；而另一种材料可以吸收绿光，然后再发射出红光，等等。因为在这个过程中，实际上产生了一种光，所以荧光颜色有很大的纯度和亮度。我们在纺织品和广告上看到的一些明亮的粉红色和红色，就是用荧光染料和油墨制造的。

有一类材料是特别有趣的，这种材料能吸收我们看不见的紫外线的能量，然后再发射出可见光的能量。于是，全世界光的总量增加了。我们看到，在日光荧光灯中应用了这种材料。普通的水银蒸汽光是一种冷光，光谱的紫光和紫外线部分的短波，占有很高的比例。管子内侧的一层荧光粉涂层，能吸收看不见的光线，并把它们变换为较长的波，所以我们能够看见它们。这不仅给我们一种比较温暖、比较悦目的光，而且效率更高了，一美元价值的电源能给我们更多的光。另一类日常应用是去垢剂，近来大多数去垢剂中都含有称为光学发光物的荧光染料，它们能够粘在织物上。当家庭主妇把她洗的衣服挂在外面的绳子上，这些染料就接收太阳的看不见的光，并且把它变换为带蓝色的白光，所以正如广告中宣传的那样，她丈夫的衬衫看起来“比白色还要白”，这是因为衣服上发出了光。在我们的社会里，白色与清洁是同义的。那种特殊品种的洗衣粉使她把衣服洗得确实干净，她对此感到满意。

在荧光过程中，吸收光的波长和发射光的波长是被涉及的特殊材料所特有的，这整个机理取决于材料的原子和分子的性质和结构。所以用荧光材料发出的光的光谱来鉴定该材

料的设想是合理的，事实上也是这么做的。这就提供了一种分析方法，这种方法对鉴定油是特别适用的。例如我们能够迅速地区分奶油和人造奶油，我们也能够发现和鉴定海洋上的油膜。许多地质体也显示出清楚的荧光图象，一些工厂的排出物也是如此。能量的吸收和再辐射是在很短的周期内发生的。假如用光源简短地照射一种材料，然后拿掉这个光源，那么产生的光一般将很快地在千分之几秒钟内消失。不管时间如何短促，周期是能够测量的。试验者发现，衰弱的时间也足以表现特殊材料的特征。于是，一种物质具有三种可以测量的荧光特征：(1)物质优先吸收的波长（即它的吸收光谱）；(2)重新发出的光的波长(即物质的发射光谱)；(3)衰弱时间。这三个特征都可以作为检测和鉴定物质的方法，第三章在讨论激光器时将再谈及这些特征。

荧光现象是由原子内部电子运动所引起的。还有一种现象，它也能引起射到材料上的光波长发生变化，但这种变化是由整个分子运动引起的。分子可以来回地振动、旋转或者进行许多复杂的运动。在分子运动的时候，便与邻近的分子发生碰撞。1928 年科学家拉曼(Raman)发现了这个现象，所以称这个现象为拉曼效应。由波长的这些变化所引起的光谱叫做拉曼光谱，拉曼光谱也足以表现产生这种光谱的物质的特征，所以可以用来鉴定该物质。气体中，分子可以到处自由运动，拉曼光谱显示得特别好，所以拉曼光谱对于监测和分析空气污染物质如 SO_2 和 NO_2 很有希望，这个问题将在第三章中进一步讨论。

我们已研究了地面物体对可见光的反射和吸收作用，以

及对看不见的紫外线的吸收作用。现在我们将研究可见光谱长波边缘之外的红外线。这里实际上分为两个区域，一个是光学红外或近红外区域，从750毫微米可见光波段的边缘一直延伸到3,000毫微米附近。另一个是热红外或远红外区域，从3,000毫微米一直延伸到1毫米附近的微波段。实际的界线是相当任意的；一是因为这两个区域可以用来测量物体的不同性质，二是因为这两个区域的探测需要不同的传感器，所以把两者的界线定在3,000毫微米附近是合适的。在我们讨论红外辐射波长的时候，用微米表示波长比较方便。1微米$=10^{-6}$米$=1,000$毫微米。我们可以说，近红外区域从0.75微米附近开始延伸到3微米，而远红外区从3微米附近开始延伸到1,000微米。

近红外波与已经讨论的可见光波是非常相同的，它们由太阳发射，射到地球上后，被物体吸收或反射，反射光线的强度能够被测定，测定的完整记录构成了一种物体的部分光谱特征。

现在我们看一下热红外区域。这个区域包括了波长比较长的射线，这些射线是产生热的原因。我们周围的所有物体，即使是冰，都在发射红外线。我们所以强调冰，是因为难以想象冰还会辐射热。这完全取决于我们所说的热的含义是什么。对我们来说，冰似乎并不热，因为我们的温度比冰高，所以一比较，冰就似乎是冷的了，这完全是相对的。假如你处在绝对温度零度，也就是摄氏$-273°$或开氏$0°$，那么冰就是热的了(但在那种温度下，你早就完全不能感觉任何东西了)。冰发射的红外辐射的波长是很长的；随着物体温度的升高，物体

发射出更多的辐射，同时发射的波长越来越短，所以这样一种物体的光谱曲线告诉我们许多关于它的温度和性质的内容。在地球平均温度情况下，辐射峰值在 10 微米附近。假如我们能够象看到可见光线一样看到红外辐射，那么热的物体显得明亮，而比较冷的物体显得比较暗淡。事实上我们的眼睛是看不见红外线的，但是我们有另外的"眼睛"——探测器，探测器能够让我们看到红外线。一个物体发射的热辐射量主要取决于两个因素，一个是刚才提到的温度，另一个是材料的发射率。发射率是材料本身的特征，它表示材料通过辐射放出热的一种本领。假如在相同的环境中，两种物体的温度完全相同，但是发射率高的物体比发射率低的物体将辐射出更强的热射线。一个物体的视在温度(即发射辐射的计量单位)叫做亮度温度，对一个具有全发射率的物体来说，亮度温度是与物体的真温度相同的，水基本上就是这种情况。

因此，从任何一个地面物体，我们接收到两种类型的辐射，一种是反射的太阳辐射，峰值在 550 毫微米附近的绿光区，并包含一些近红外辐射，另一种是物体本身发射的辐射，峰值在 10 微米附近的热红外区。

假如我们采用的一些探测器，对 550 毫微米的光(如多光谱扫描器的绿光波段)和对 10 微米的热辐射（如红外扫描器中使用的波段)是敏感的，那么可以容易地把两种辐射分开。因为大气对 10 微米的辐射吸收很弱，所以热红外测量能在夜间和有雾的情况下进行，这是一个很大的优点。

陆地和水体之间在发射率和温度上存在差别，这是表现其性能的一个重要方面。大家知道，夜间，陆地比水体冷得快

得多；而在白天陆地比水体加热快得多。假如我们得到一张湖泊的白天红外图象，由于陆地比水体热，所以象片上湖泊显示出暗色，而陆地显得比较亮；在夜里，陆地比水体冷，所以象片上陆地是较暗的颜色，而湖泊显得较亮。图 11 可以看到这种情况：(a)是白天的一张红外象片，(b)是夜间同一地点的红外象片。注意白天的象片很清楚地显示出山脉的阴影效果，这是很有意义的。山脉的南坡比北坡增温快，所以在正片图象上，南坡显得比较亮。中央从上到下的那条白线表示飞机的航线。

电磁波谱更长的波长区，是微波区域。同前面一样，为方便起见，我们再改变一下波长单位，在微波区域，我们应用毫米或厘米单位，1 厘米＝10 毫米＝10,000 微米。我们回过去看一下在整个光谱中应用的单位，可以看到在可见光波段用的是毫微米，在红外波段用的是微米，在微波段用的是厘米。现在我们可以看到这样做的必要性，假如我们仍用毫微米，那么我们必须用 1,000 万毫微米来代替 1 厘米，这是麻烦的。正如我们试图用英寸表示从蒙特利尔到温哥华的距离，我们发现要理解这样的数目是困难的。微波的波长范围一般从 0.3 厘米附近开始到 6 厘米附近。

对这些波长，通常作另一种基本变换。我们知道，波长与频率是这样的一种关系：

$$f(\text{频率})=\frac{c\,(\text{光速})}{\lambda\,(\text{波长})}$$

或

$$\lambda=\frac{c}{f}$$

微波经常用它们的频率（赫兹）来表示，这样就使微波和无线电波一致起来，微波和无线电波是类似的。无线电波一般用每秒兆赫，兆周或百万周表示。6厘米的波长相当于 5,000,000,000 赫兹的频率，0.3 厘米的波长相当于 100,000,000,000 赫兹的频率，这样大的数目用起来也是不便的，所以它们分别用 5 千兆赫和 100 千兆赫来表示，这里，1 千兆赫等于 1,000,000,000 赫兹或 1×10^9 赫兹。

微波能告诉我们些什么呢？它也能提供给我们有关地面物体发射的热辐射的信息，并且能测量亮度温度。它们的最大优点是，不仅穿透雾和霾的能力比红外线强，而且还能穿透云，雨和降雪。

下一章我们将讨论用微波在北极圈地区得到的一些很有意义的结果。微波也应用于雷达系统中，第三章关于主动系统部分将叙述雷达系统。

我们讨论了在空中用仪器探测地面的物体。当然，所有这一切都取决于一个假定，即地球通过反射或发射所辐射的电磁波实际上都到达了这些仪器。但遗憾的是，不是全部辐射都能达到传感器，一部分在传播过程中被地球的大气层吸收了，吸收多就意味着透射少（反过来也是这样）。大气圈含有大量气体，许多气体强烈吸收辐射，对某些波长甚至完全吸收，指望这样一些波长的射线通过大气层是没有用的。图 12 表示了从 1 微米（近红外波段）到 15 微米的各种波长的大气透射曲线。在透射光谱上透射率高的那些位置称为大气窗口，大气窗口几乎能让光线自由通过，所以必须使设计的传感器能在这样的一些波长处进行探测。大气对可见光吸收很

少，这是非常幸运的；否则，我们是不能得到这个波段的任何航空象片的。甚至更为重要的是，除了使用人工光源以外，我们在地面上是绝对不能看到任何物体的，因为来自太阳的可见光决不能到达地面。然而，在红外区，有许多波段实际上对我们是无用的，因为在这些波段中没有射线能够到达地面。这也是非常幸运的，否则，我们和全部生物在很久以前就被来自太阳的热所烧毁了。例如，在3微米附近，大气中的水蒸汽和CO_2强烈吸收辐射；在5微米处，CO_2吸收辐射；在5.5—7.5微米处，水蒸汽吸收辐射；所以我们设计的传感器必须避开这些波段。另一方面，在1.5微米附近有一个大气窗口，另外，还有一些其他大气窗口。在下一章中讨论传感器的设计时，我们将比较详细地介绍这些问题。

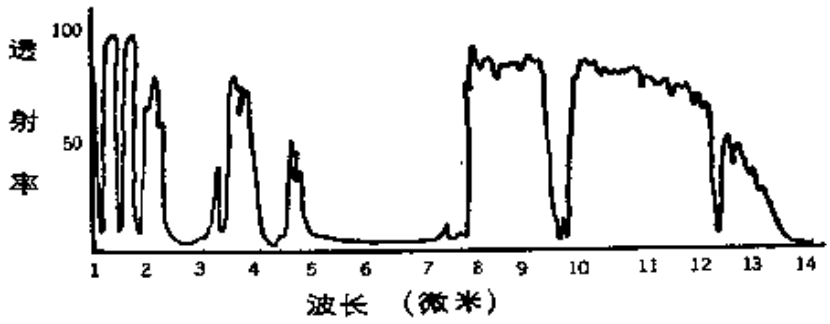


图 12 大气透射光谱

以上就是遥感方法所根据的一般物理原理。在本书的其它部分，我们将看到，我们怎样来应用这些物理原理，以及地理学家、林学家、农学家和工程师等怎样来充分利用这些原理。

第二章　传感器——我们新的“眼睛”

我们已经了解，我们是怎样看见物体的，特别是，我们怎样看见物体的颜色。简言之，一般由太阳发出的光线被一个物体反射到我们的眼睛里，一直到达视网膜，在那里，它们被记录下来。

现在我们需要设计传感器，它不仅要执行“看”的任务，而且假如可能的话，还要比眼睛有所改进。这不是一件容易的事。眼睛是一种最卓越的仪器。它实际上有一个可变焦距的透镜、能够自动地、连续地对离我们10英寸左右到极远处的物体聚焦。它有一个自动调节的孔径，象猫眼一样，在明亮的条件下，孔径闭拢些，而在黑暗的条件下，张开些。眼睛也有非常高的光谱分辨力，换句话说，眼睛能够很好地区别不同的颜色，尽管它们的色调是非常接近的。人们的大脑和眼睛相结合，它能够吸收和解译传送到眼睛的各种信息。眼睛和大脑就代表一个数据处理系统，这个系统在某些方面是难以超越的。它能够判断和记忆。然而我们的眼睛仅仅利用了电磁波谱中一个很小的范围，即大约从400毫微米到750毫微米的可见光波段。人造传感器能利用的范围从紫外线到可见光、红外线，并延伸到微波。每一种不同的波段能提供一些有别于我们经验的东西，并扩大我们观察物体的能力。

摄影机是最接近于人眼的一种仪器，它实在是航空遥感系统中（即从飞机、气球等上）的“驾辕的马”。对航空系统传感器的要求与卫星系统传感器稍有不同，特别是不同于无人驾驶的宇宙飞船上的传感器，这是可以理解的，因为这种卫星或飞船上的摄影胶片是不能送回到地面来处理的。把航空遥感与航天遥感相比较，对传感器的设计者提供了许多方便。首先，航空传感器可以进行多次试验。但是我们却不能轻易把仪器放到卫星上，除非我们几乎能100%确保它一定能工作。卫星一旦发射后，就不容易使它把仪器带回地面进行更改。但是，装在飞机上我们就可以冒这个险，并试验新的设想。其实，在一定程度上，我们可以把飞机作为研制以后可能装在卫星上的传感器的实验室。

虽然传感器有了许多新发展，雷达、激光、电视摄影机和分光光度计正引入遥感中来，但是，各种类型的摄影术目前仍是我们研究我们生活的周围世界的最重要手段。

当然，摄影的仪器是摄影机，它同一些比较奇异的传感器比较起来，似乎显得有些平常，但是，在一个专家的手中，它却是一种高度发展和非常完善的仪器。我们不再讨论摄影机的设计原理和摄影的主要机理，这在别处已论述过了，而论述这个问题就需写一本书。但是对于一些有兴趣的人来说，把论述这个问题的一些文献列在书末，以供参考。

摄影机是一种有多种用途的仪器，通过改变滤光片和胶片的配合，提高处理过程中的技术，熟练的操纵者能获得大量的信息。但是，假期中我们许多人的快镜摄影和有经验的科学家为了工作而进行的摄影，这两者之间有着天壤之别。

在遥感中我们选择哪一种摄影机呢？对于航空摄影机来说，又有什么样的特殊要求呢？当然，这取决于我们要用它干什么。如进行大面积的快速的测量工作，可用米制测量摄影机，为减少振动，它被装在减震器上。这是一种常规摄影机，带有9英寸半宽、约200英尺长的胶卷，它拍摄标准的9×9英寸的象片。所摄地面的面积取决于飞机的高度和摄影机中透镜的类型。透镜的类型（即焦距）决定视角，视角和飞机高度一起，共同决定所摄象片的比例尺。这比例就等于飞机的高度和透镜的焦距之比。例如，我们使用的摄影机的焦距是6英寸(半英尺)，飞机的飞行高度是15,000英尺，那么象片的比例尺就是1/2:15,000或1:30,000。这种1:30,000比例意味着，9英寸宽的图象相当于地面宽度是22,500英尺。但这必须假定地面是平的，假如地面不平的话，那么在比较高的地点，实际的地面宽度小于此数，也就是象片的比例尺较大。小比例尺地图是一个地区小规模的表示法，也就是该地区和地图之间存在着大的数值比。为了得到地面的平面图，摄影机一般是垂直向下拍摄，但有时也用倾斜的方法摄影。例如，飞行在海洋上空时，那里没有地面标志和物体去建立垂直关系，所以就必须采用倾斜的摄影方法。假如采用垂直拍摄，那么倾斜拍摄用一架辅助摄影机查看地平线，作为对飞机姿态的检验。假如利用倾斜摄影，则必须永远记住，象片的横向比例尺是不一致的；接近地平线一边的距离会被缩短很多。但是，这个误差能被纠正。遥感摄影几乎总是垂直拍摄。倾斜摄影多用于军事和测量方面，它们同时使用三架摄影机，一架装在飞机机舱里，垂直向下拍摄，两架倾斜摄影机分别安装在

飞机的舱门和右舷旁。

为了得到任何一个地区的完整的象片，飞机必须在已规定好了的航线上飞行，正常情况下，这些航线都是直线。必须确保覆盖没有间隙，假如飞机向右或向左改变航向，则在这些航线上必然有轻微的重迭，这种重迭叫做侧向重迭，一般重迭30 %。当驾驶员沿着航线飞行时，摄影机就在一定的时间间隔内进行重复摄影。时间间隔是计算出来的，一般是调整到使象片有60 %的前后重迭（见图13）。这样，当判读这些象片时，判读员可以看到这个地区的立体图象，从而更好地看出一些地形特征。假如两张象片前后重迭至少达到50 %时，一

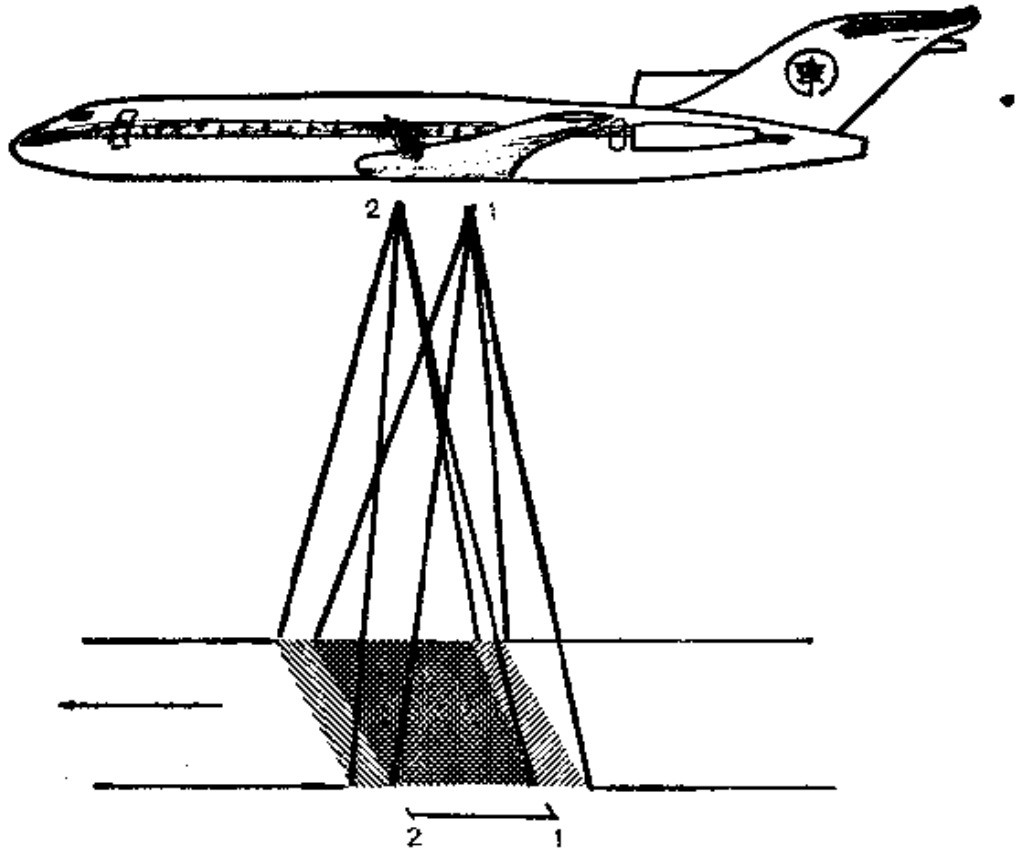


图 13　表示前后重迭的飞机航线

般认为可以得到立体图象。前后重迭安排 50 %是比较经济的，但是为了确保没有间隙，一般都是选择重迭 60 %。当把两张重迭的象片，并排放在立体镜下观测，相片就显示出三维立体感来。因此对航空摄影机要求，它必须能够有效地重复拍摄相同的景物，计时机构必须精确地调整，使它能有规律地起动，从而得到必要的重迭。当然，时间的间隔取决于飞机的速度(V)和高度(H)。为此，必须计算V和H的比$\left(\frac{V}{H}\right)$。这个工作常常是由计算机进行的，它能够自动操纵摄影机快门。快门的速度要快，这也是重要的，特别是当飞机进行低空或高速飞行时，地面的物体飞速移过视场，要是曝光时间不快的话，则图象就是模糊的。

航空摄影的一个问题是震动和不规则运动，如果不经过校正，则影响象片的质量。必须为摄影机提供防震装置；用陀螺仪配合转矩发动机(自动驾驶仪)能够使飞机稳定。

在这些摄影机中，透镜系统的焦距一般很短，多半是 3—12 英寸。胶片始终放在透镜系统的焦距上，使无穷远处的物体在胶片上产生好的聚焦。这样，由于飞机飞得很高，地面上所有的点都会聚到焦点上，能得到一幅清晰的图象。

我们还应用其他类型的摄影机。但对于绘制资源图来说，拍摄 9×9 英寸象片的大测量摄影机，在近期内无论如何可能还是主要的一种摄影机。一些使用者正在计划用比较小的摄影机来进行增补。一些人提倡 35 毫米摄影机，这种摄影机胶片比较经济，它的标准象片规格是 24×36 毫米，对于飞行方向不是纵向的、就是横向的来说，它使我们可以选择两

种摄影机位置。可以拍摄黑白象片或彩色象片，为了直观显示，还可以把它们投射到标准的荧光屏上。利用连续象幅之间的适当重迭，我们就能够进行立体观察。在进行各次主要航测的间隔时期，许多景观发生了变化，为了取得最新近的象片，可以很有效、很经济地利用 35 毫米摄影机。35 毫米摄影机采用廉价多路装置后，也可以顺利地实现多光谱和多比尺摄影。

70 毫米摄影机是常用的一种中等大小的摄影机。在加拿大，以文坦（Vinten）摄影机为代表，拍摄的象片是 2 英寸宽 $\times 2\frac{1}{4}$ 英寸长，透镜的焦距很短，是 3—6 英寸，快门速度是 $\frac{1}{700}$ 秒，胶卷长 150 英尺，可以曝光 700 次。

这些就是航空摄影用的标准摄影机。还有一些其他摄影机，例如，有一种全景摄影机，它在大面积范围内有好的分辨力，但是它相当复杂。由于视场小，为了取得好的象片，必须应用扫描设备，使它横切航线进行扫描，这导致种种机械问题。然而，有一些高效率的样机是在军事上非常有用的。其他一些摄影机，为了在飞行中改变比例尺，可带一些可以更换的透镜，或者为了进行多光谱摄影，可带一些可以更换的滤光片。

在所有航空摄影机中，都可以应用各种各类的胶片，随着滤光片的更换，可以依次变换胶片。专家的技巧就在于选择这些胶片同滤光片的配合。他知道，哪种胶片同哪种滤光片相配合，能够在使用者所需要勾划的图象上显示出特征。为

了显示出水道和陆地上的水系格式，他也许会采用某一种配合；为了显示绿色植物，或者为了区别健康的庄稼和发病的庄稼，他将采用另一种配合；为了显示出兽类或鸟类，则采用其他的配合，等等。

人们有时选用普通的黑白胶片，有时选用彩色胶片，但是对于航空摄影来说，假彩色胶片是最有用并用得最多的一种胶片。所以称为假彩色，那是因为它所拍摄的彩色象片的颜色，并不是真实的彩色。

我们会看到，这种假彩色胶片与我们大多数人在摄影机中所使用的普通真彩色胶片有什么不同。

对摄影技术感兴趣的人大概知道，普通彩色胶片是由三层染色层组成的，每一层分别对可见光谱的不同波段敏感（见图 14(a)）。顶层对蓝光敏感，中间一层对绿光敏感，底层对红光敏感。因为下面两层对蓝光也是敏感的，我们必须不让蓝光到达下面两层，所以在顶层和下面两层之间插入一个黄色滤光层。在加工的时候，黄色滤光层被冲洗掉，彩色层中被显影的染料是与每一种彩色感光度互补的。顶部绿色敏感层产生紫红色的蓝色敏感层产生景物的黄色图象，图象，红色敏感层产生蓝、绿色图象。假如我们仅仅只要勾划

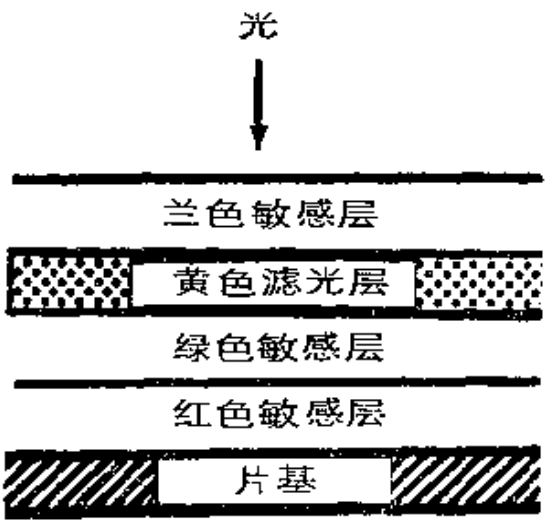


图 14 (a)　真彩色胶片

颜色界线，象这样处理过的胶片就能够应用了，或者，在下一个处理阶段，我们把彩色颠倒过来，这样就得到了我们在彩色幻灯片上看到的那种真彩色。

天然彩色胶片在航空摄影中占有一定的地位，但是它有几个缺点。从地面到飞机之间的光路是长的，假如有很多雾的话，光就被散射或吸收，光谱的蓝光末端散失得更为厉害。即使应用雾滤光片，得到的象片仍可能是模糊的。如果我们采用普通的胶片，无论是黑白胶片还是彩色胶片，就不能把可利用的全部电磁辐射都利用上。红外线也是被地面物体反射的，它们能使我们得到大量的信息，它们穿透雾的能力比那些波长比较短的电磁波强。假彩色胶片就利用这些近红外波长。

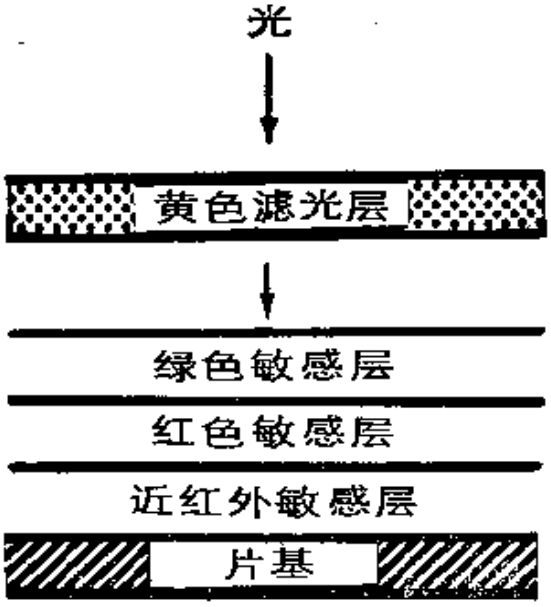


图 14(b)　假彩色红外胶片

假彩色胶片有时称为彩色红外胶片或彩色伪装探测胶片，和普通彩色胶片一样，也是由三层敏感层组成。它们之间虽有相似的光阑，但是它们的敏感层却是不同的。假彩色胶片没有蓝色敏感层，而被近红外敏感层代替。所以假彩色胶片有绿色敏感层、红色敏感层和近红外敏感层（见图14(b)）。

现在的问题是，假如在曝光后我们要显影出胶片的固有

的彩色，那么对红外线我们怎么办呢？要描绘我们看不见的一种颜色是困难的。这个问题的解决，就是通过完全忘记真彩色并且用其他的颜色来代替它们。毕竟、颜色对于我们说来唯一功用就是勾划界线，而它是不是真彩色，对于科学的目的是无关紧要的。因此，在精加工的胶片上，绿色被描绘成蓝色，红色被描绘成绿色，红外变成红色。就这种胶片说来，我们看起来为绿色的健康植物，在这种胶片上会表现出红色，这是因为绿色植物强烈反射红外线的缘故；不健康的植物，不管是由于干旱、疾病还是虫害引起的，它们会显示出蓝-绿色，所以容易与健康植物的红色相区别。就这种胶片说来，为了防止蓝光进入摄影机中，我们必须应用黄色滤光片。现在我们可以明白，为什么称这种胶片为伪装探测胶片。利用近红外辐射拍摄黑白图象的普通伪装探测胶片已经应用多年，这种假彩色胶片真正达到目前的精致水平是在越南战争期间。军队为了伪装坦克、大炮及其他军事设备，砍下森林中的树枝，覆盖在这些军事目标物上，使它们隐蔽起来，以免被觉察。普通黑白胶片甚至彩色胶片是不能显示这些目标物的位置的，但是用假彩色红外胶片拍摄象片，能清楚地把这些干枯的树枝显示出来。这种胶片不仅能够检测植物是否健壮，而且能够区分针叶树和落叶树，并测量各类森林的范围。

水是不能反射红外线的，所以水域呈现黑色，与它所相邻的陆地明显不同。假彩色胶片对城市应用和城市规划似乎是最好的。事实上，红外胶片的应用是多方面的，随时都有着新的发展。在第七章、第八章和第九章中将比较详细地论述这些问题，在那几章我们将讨论遥感的应用。

遥感中还应用另一种类型的假彩色摄影技术。

这种摄影与我们上面讨论的那种不同，它不是让来自景物的全部光线通过一个透镜，从而在具有绿色、红色和红外敏感层的合成胶片上成象，而是用滤光片把来自景物的光分成绿光、红光和红外三个波段，并让它们分别进入三架摄影机，我们也可以得到同样的效果。这三架摄影机装有普通的黑白胶片，其中一架装有绿色滤光片，另一架装有红色滤光片，第三架装有红外滤光片，用这三架摄影机同时拍摄地面景物。因为三架摄影机每次都是对同一景物摄影，所以这种摄影机必须进行非常精确的调整，快门装置必须在完全相同的时间打开和曝光。我们体会到，曝光时间可以用$\frac{1}{700}$秒左右，这是一个很重要的必要条件。快门装置必须能够很快起动，特别是当飞机飞得低，我们为了进行立体观察，要求景物有60%的重迭时，更是这样。三架摄影机同时曝光的结果，就能得到同一景物的三张黑白透明片，这三张黑白透明片仅在由地面景物反射光颜色所决定的灰度或密度等级方面有所区别（当我们说到颜色的时候，我们认为红外线也是一种颜色，尽管我们不能看见它）。在某种程度上，我们可以说，这种摄影与具有三层单独彩色敏感层的假彩色胶片有相同的情况。但是，使用三架独立的摄影机这种方法比较灵活，我们能够改变滤光片的组合，我们也能够改变显示最后象片的方法。

在没有经过任何影象增强的情况下，使用者经常能够研究这三种原始的黑白透明负片，通过比较在这三个不同的彩色波段所得到的胶片的密度，他能获得他所需要的全部信息。

一些使用者宁要这种方法而不要其他方法，因为他们感到，胶片经过进一步处理后，一些信息损失了，一些细节不是那么清楚了。

另一方面，假如我们需要的话，能够将这三种黑白胶片经过处理，得到真彩色或假彩色图象，所得图象的彩色取决于滤光片的选择和处理的方法。

假如我们需要真彩色表示法，那么三架摄影机必须分别装上蓝色、绿色和红色滤光片。曝光后我们可以得到三种黑白透明负片。如果我们需要，可以把它们颠倒过来，得到透明正片，然后分别用蓝光、绿光和红光照射它们，并把这些图象投影到银幕上去，使它们精确地重迭，这样就可以看到具有天然彩色的景物。原理是这样的：设想有一个简单的地面景物，它是由蓝、绿、红三个矩形组成的，如图 15(1)所示。

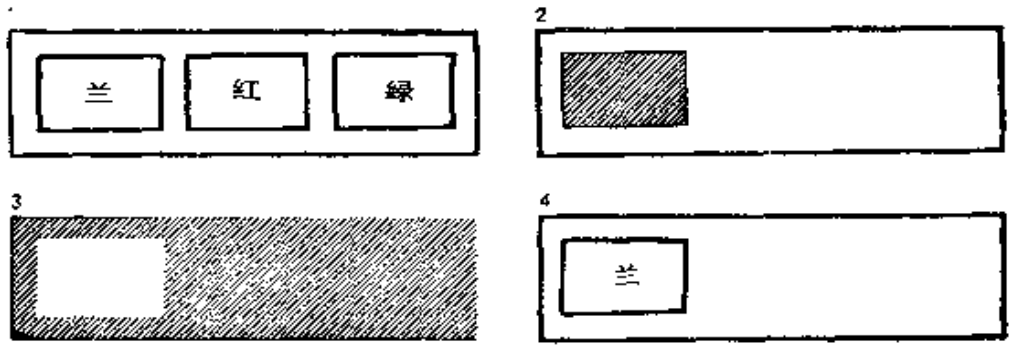


图 15　利用黑白胶片制造彩色图象

假如三架分别带有蓝色、绿色和红色滤光片的摄影机，在黑白胶片上拍摄这个景物，它们拍的景物看来都是不同的。带有蓝色滤光片的摄影机会产生一张负片，这张负片显影后在透明胶片上把蓝色矩形显示为暗色(2)。与此相反，这张负

片的正片是在暗色的背景上把蓝色矩形显示出亮色（3）。假如现在你用蓝色投射光把这张正片投影到银幕上，你就又可以看到象原来的地面景物一样的蓝色矩形(4)。同样，把另外两架摄影机拍摄的正片分别用绿光和红光照射，使它们也投影到银幕上。然后，使三个图象在银幕上重迭，这样就可以产生一幅天然彩色图象，它完全象你从飞机上看到的一样。这时，你可以用普通彩色胶片对银幕拍摄，这样得到的象片和你最初从飞机上拍摄的彩色象片似乎是一样的。

你可能会问："为什么要搞得这么麻烦呢？为什么不在一开始就用彩色胶片拍摄呢？"这是因为，用这种比较间接的方法，在表现最后的合成图象时，就可以非常灵活。当投影这些透明片时，你可以利用不同强度的彩色光的变化，经过试验直到你能最好地识别细部为止。

用完全相同的方法，我们能够制出假彩色红外图象。这种摄影机分别装有绿、红和红外滤光片，它们分别与合成胶片中的三个敏感层相适应，拍摄景物后，可以得到三种黑白正负透明片，以供我们选择。我们又可以用任何彩色光照射这些透明片，以便显示出我们希望看到的细部。如果由绿色、红色和红外滤光片得到的透明正片，分别用蓝光、绿光和红光来照射，使它们投影到银幕上，我们又再一次得到与用假彩色红外胶片拍摄象片相同的结果。我们还可以利用颜色的任何其他组合。

由此你能看到，这些技术的应用是广泛的，它们展示出摄影技术是一种多么万能的工具。

当人动身到空间去旅行的时候，很自然，对于他的这种最

大的冒险行动，他需要用摄影记录下来。初期的宇航员带的是相当一般的小摄影机，使用黑白胶片和彩色胶片，拍摄了一些美丽的镜头。这些象片多半是在100—200英里的上空拍摄的，它们的分辨力惊人地高。我们大多数人都看到了一些这样的象片，特别是看到了来自“双子星座”宇宙飞船系列的象片。在后来的一次飞行中，“阿波罗—土星”4号无人驾驶卫星（1967年11月），飞行高度约8,500英里，得到了整个地球的一些极好的象片。判读初期象片的颜色是有些困难的，因为我们没有从外部空间看地球的经验。光线通过大气传播的时候，一部分被吸收和散射，其中一些波长比另一些波长吸收和散射得多，所以颜色有些改变。虽然这些象片没有太大的科学价值，然而它无疑说明了完全可能从空间拍摄象片，而且它们为今后传感器的设计方案指出了途径，所以这些象片是重要的。正是通过发射卫星，它在长时间内以有规律的时间间隔环绕地球运转，使得从空间拍摄象片就具有自己的独特性。我们能够第一次连续地获得地球的部分图象，在几个月或几年时间内，能够不断反复地拍摄同一景物的镜头，从而能够观测我们环境的变化特点。气象卫星、陆地卫星和近来的天空实验室都是这种情况。

在无人驾驶的卫星上，不用常规摄影机拍摄象片，而用其他形式的传感器一般是比较方便的，我们能够实时向地面转播资料。这意味着，我们在地面上能接收到卫星在景色上空通过时所摄取的图象。此外，在航天器上，可以把图象记录在磁带上面贮存起来，然后根据地面控制站的指令向地面传送。

为达到上述目的，可以应用电视摄影机，光导摄象管就是

一种普通的电视摄影机。它的基本元件是光电导屏。光电导材料的电导是随着光照强度的变化而变化的。电视播送的景物被一个透镜系统聚焦后，到达屏上，这个屏能保留图象约 0.1 秒时间，在这个时间内，电子束射到屏背面，它呈光栅图状，一行一行地横向扫描。如图 16 所示。

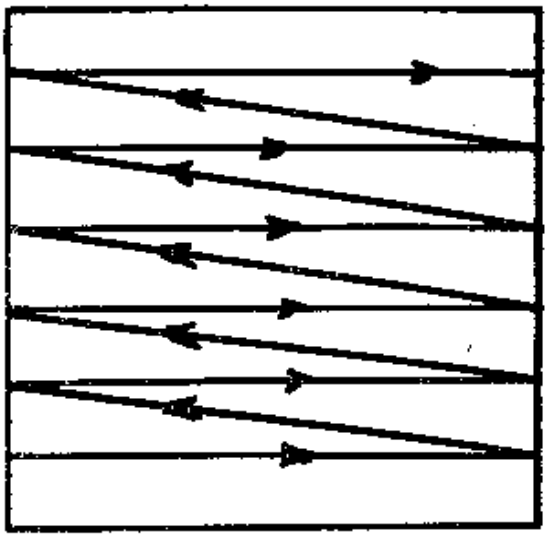


图 16　电视摄影机扫描图形

为了使图解清晰，扫描线画得拉开了。事实上，电视摄影机大约有 525 行水平扫描线，扫描速度是那样快，以致整个屏面几乎被瞬时覆盖。由于屏面是由光电导材料构成的，所以产生的电流的大小将随着照到屏上光的数量而改变，明亮的光产生的电流强。由于这种扫描作用的进行，电子束实际上是从光导摄象管表面把图形扫除掉，这与我们在黑板上一行一行擦去图形的方式非常相似。实际上，现在我们是把图象一行一行地分割成无数很小的部分，幸而，这不象一经破坏就无法修复的东西，它在别处又能被拼凑复原，这是通过电视机中显象管而达到的。设法将这些分割成很小的部分，以强度变化的电流形式发送出去，并且常常调制成一种电视接收机中阴极射线管的信号，在阴极射线管中，光点被聚焦到荧光屏上。光的亮度与电流大小有关，电流越大，光就越亮。象电视

摄象管中一样，光点在荧光屏上呈光栅图状扫描，并且与原来电视摄象管中的电子束同步。这样，在荧光屏上就形成一幅图象，并且与我们分割以前的图象完全相同。整个过程是非常快的，所以我们的眼睛是不能看到在荧光屏上移动的光点的。但是，当电视机工作不正常时，我们就能看到扫描时一系列的水平线。

以上就是电视的原理。来自光导摄象管的电流可以通过电缆直接通向隔壁房间里的接收机，这就是闭路电视。它能够使医学院学生在他们自己的教室里观察医院中别的房间正在进行的手术，它也能使中心办公室的护士同时对很多病人进行密切注意，它还能使工业管理人员监控工厂的工序，等等。此外，光导摄象管的电流能够通到天线，用无线电波向世界各地播送。所以我们能够看到遥远的月亮一面，能够看到宇航员从舒适的扶手椅子上走出来进行第一次空间散步。

刚才叙述的这种摄影机同气象卫星泰罗斯(Tiros)系列中应用的一种是类似的。然而它们有一个重要的区别，陆地卫星上应用的光导摄象管摄影机要求比较高的分辨力，这意味着什么呢？这意味着，我们需要能够看到更多的细部，我们需要能够把图象分成更小的部分。由于拍摄的地面景物是离得那么远，所以比例尺很小，要是分辨力不高的话，象片上除了一片模糊以外，其余什么东西也没有。这又与黑板擦和黑板类似，就是说，为了擦净这块板，我们需要一个很小的黑板擦，并且必须多次从这个景物上擦过。同样，为了用光导摄象管得到较高的分辨力，我们必须设计一种摄象管，在这种摄

象管中，在荧光屏上扫描的电子束有很小的横截面，为了扫完这幅图象，它必须来回扫描 4,000—5,000 次，而电视摄影机只是 525 次。

对普通的光导摄象管摄影机进行一些小的修改，便成为返束光导摄象管（RBV），它目前已被应用在资源卫星上。返束光导摄象管比一般的摄象管有下列优点：灵敏度比较高，信噪比比较高，分辨力也比较高。或许我们应该解释一下这些术语。灵敏度，差不多它本身就进行了解释，就是说这种摄影机对光是很敏感的，在光微弱的情况下能够拍摄象片。信噪比就是一个物体同它的背景对比的程度。而分辨力已叙述过了，它与我们能看到的细部总数有关。在一般的光导摄象管摄影机中，电子束对景物聚焦的表面进行扫描，所得到的电流通到信号电极。在返束光导摄象管中，电子束扫描景物聚焦的表面如一般光导摄象管中一样，但是电子束被反射到光电倍增器拼件上，在那里进行放大，最后向地面发送。

现在我们看一下返束光导摄象管这种类型的传感器，它目前安装在陆地卫星上绕地球旋转。

使用航空象片的初步工作表明，在可见光谱和靠近可见光的三个区域，我们能够得到地面物体的最多的信息。这三个波段是：绿光波段、红光波段和红外波段。由于从绿光波段到红外波段波长是增加的，光线穿透水的能力减小，但是穿透云和烟雾的能力却增加。绿光能穿过洁净的水达 70 英尺深或更深些，所以绿光波段对于探测水下物体和海底地形、研究污染情况和测量混浊度是特别有用的。太阳辐射强度的峰值是在绿光波段，这也是有意义的，所以有比较多的绿光辐射被

反射。红外线对于绘制航道图和含水量高的土壤图，对于区分健康植物和有病植物是最好的。

因此，为了能象航空摄影那样，我们就喜欢用这三个波段从空间进行摄影，使我们能制成彩色象片。为此，我们使用三架返束光导摄象管摄影机，每架通过不同的滤光片接收图象，然后以三个不同的波段向地面播送。第一波段从 475—575 毫微米(蓝—绿波段)，第二波段从 580—680 毫微米（黄—红波段)，第三波段从 680—830 毫微米（近红外波段)。你能够看到，对于所有的实际目的来讲，这些波段与航空摄影中应用的波段是相同的。图 17 表示了这种装置。

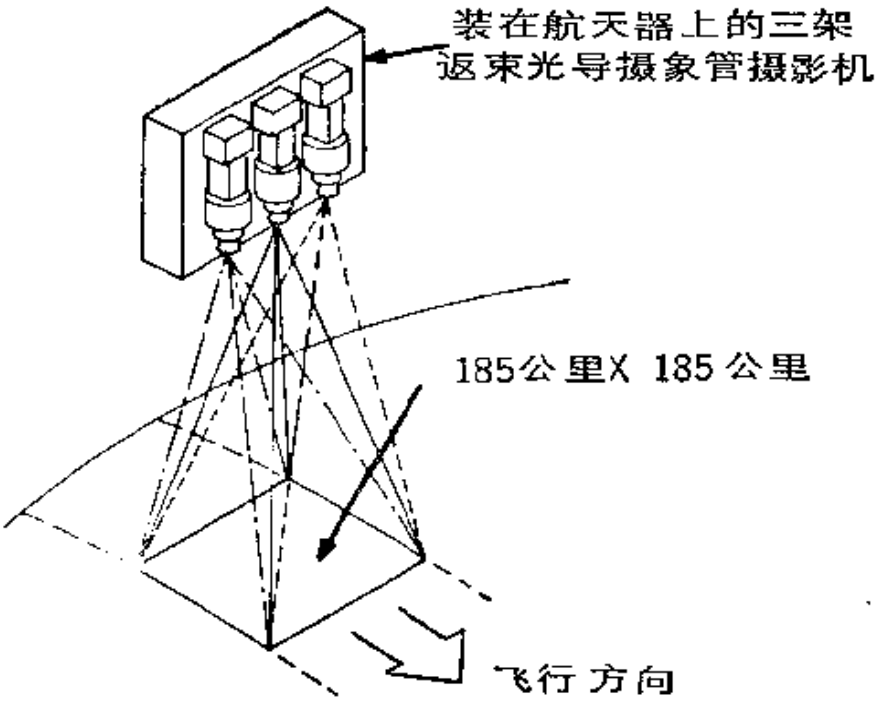


图 17　返束光导摄象管摄影机示意图
（据美国国家宇航局）

这三架摄影机的输出信号发射到地面，最后给我们三种黑白图象，除了比例尺小得多以外，它与航空象片是相似的。对于它的 9×9 英寸象片来说，比例尺是 1:1,000,000。因此很明显，从航空成象到航天成象，失去了一些细部。然而，与此相反，航天象片也有它的优点，一些大规模的现象，如地质断裂构造，在大比例尺象片上往往被忽略，而在卫星象片上却十分醒目地显示出来。从这种象片上，我们能够辨别地面上分隔约 150 英尺的相邻两物体；宽度小于 150 英尺的简单物体，如果它们的反射率很高，也可以被显示出来。因为三架摄影机都在精确的同一时间打开快门，所以三个景色几乎是完全相同的，于是以后可以把它们重迭在一起，进行彩色合成。这种彩色合成方法将在第六章中叙述。每张象片的覆盖面积是 185 公里见方的正方形，也即约 115 英里宽的正方形。快门的速度是几毫秒，因此在拍摄象片的这么短的时间内实际上没有运动，航天器的任何滚动都可以没有影响。它每隔 25 秒拍摄一次，这就在每一组景物上产生 10 %的重迭。

上述的返束光导摄象管是包括在陆地卫星组件中的一种传感器，陆地卫星上的另一种传感器是多光谱扫描器(MSS)，在扫描机制和显示方面，它与返束光导摄象管不同。

多光谱扫描器不是通过摄影机的透镜把地面景物聚焦到胶片上，也不是象返束光导摄象管那样聚焦到屏上，然后再对屏扫描。它能够直接对地面扫描，然后把数据向地面传送(或者象卫星上的人说的那样，用遥测发射器向地面传送)，地面则接收这些数据并且把它转换为图象。

为了理解多光谱扫描器是怎样工作的，我们现在再回想

一下第一章中谈到的分光光度计。我们知道，任何一个物体的颜色能够用反射比曲线来描述。在这种曲线上，标出了每一种波长的反射光强度。这种曲线反映了一种物体的光谱特征。我们也知道，对于一些简单的曲线，例如我们通常得到的反射光曲线，并不一定需要画一条完全的曲线，我们常常能从曲线上的特殊部位，取得一两个读数，从而得到我们所需要的全部信息。这实质上就是多光谱扫描器所做的工作。理论上应该在曲线上得到尽可能多的读数，但实际上这么多的数据处理起来是相当困难的；而且对于我们在视场中能够看到的无数颜色，我们还不知道如何迅速地取得它们的数据。一些更复杂的传感器正在研制之中，在将来我们是可以做到这一步的。但是目前我们仅仅有几个点或几个波段范围内的有限读数就满足了。

我们看一下陆地卫星上应用的多光谱扫描器，在这个多光谱扫描器中，我们选择了 4 个光谱波段，用它们来记录地面的反射光。除了在近红外区再加了一个波段外，其余都是与返束光导摄象管中应用的波段相近的。它们是 500—600 毫微米(绿色)，600—700 毫微米(橙红色)，700—800 毫微米(红外)和 800—1,100 毫微米(也是红外)。红外区域加的这个波段在研究水和土壤湿度方面非常有用。为便于识别起见，这四个波段编为 4、5、6 和 7 波段，以免与返束光导摄象管的 1、2 和 3 波段相混淆。

多光谱扫描器是通过对航天器下面一条长而宽的地带进行扫描而工作的。它不是象返束光导摄象管那样自动快速拍摄，而是当航天器在地面上空通过时对景物扫描，所以最后的

连续图象是一条线一条线地拼接起来的。图 18 表示多光谱扫描器的工作情况。

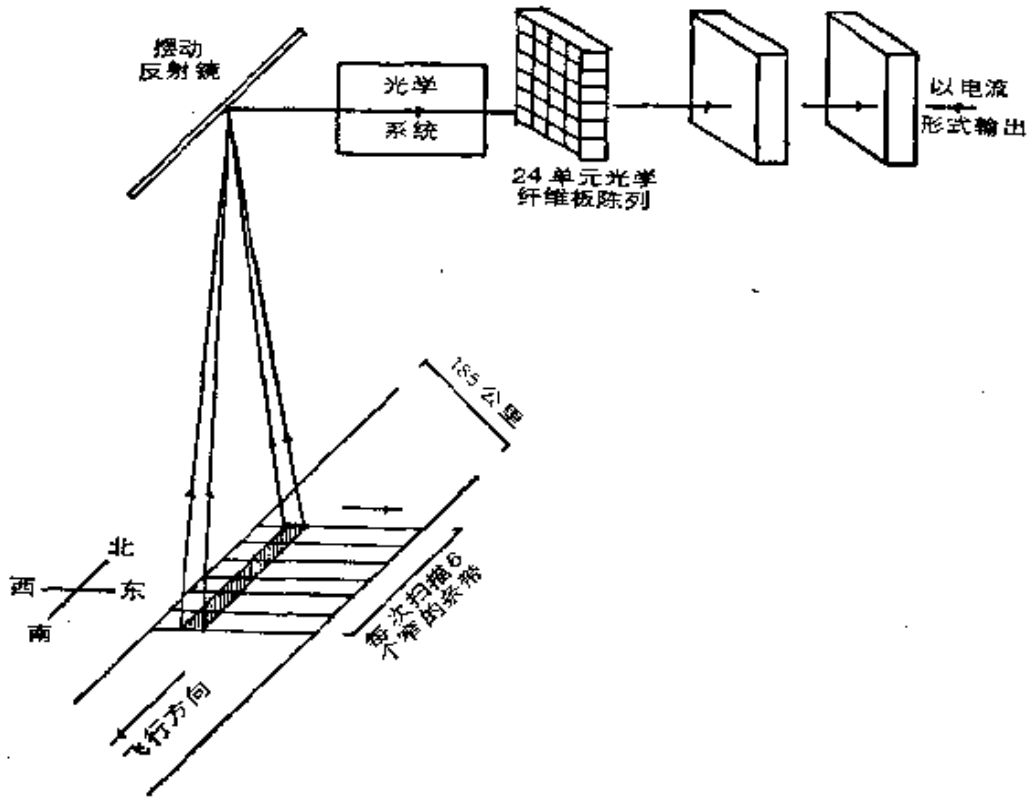


图 18　多光谱扫描器示意图

卫星自北向南飞行，观察地面 185 公里宽的地带，反射镜横过这个地带自西向东扫描。地面来的光被反射镜接收，然后通过光学系统反射到具有 24 个单元的光学纤维板阵列上。我们可以看一下这样做的理由，因为多光谱扫描器是从垂直于飞行方向的地带上接收来自地面的辐射，这个地带是宽了些，因此分辨力是低的，将失去很多细部。为了避免这个缺点，当光束被光学纤维板阵列接收的时候，分成了 6 部分，然后再投射到 6 个不同的单元带上。这样做的效果，就如我们

对地面扫描，是用垂直于飞行方向的6个窄的条带代替一个宽的条带，从而提高了分辨力。对4个波段的每一个波段我们都这样做。所以这6个阵列单元的每一个都被分成4个，共计得到24个单元。来自每一个单元的光都通过与某一个波段相对应的滤光片，然后被送到24个检波器组合中的一个检波器。每一个检波器都能变光信号为电信号，但是它们有着不同的光敏表面。其中6个检波器对500—600毫微米的波长(4波段)敏感；6个检波器对600—700毫微米波长(5波段)敏感；6个检波器对700—800毫微米的波长(6波段)敏感，剩下的6个检波器对800—1,100毫微米的波长(7波段)敏感。4、5、6波段的检波器是光电倍增管，而7波段的检波器是硅光电二极管。

我们再次把来自地面的光信号变成电信号，这些电信号被适当的电子线路处理以后，能够立即向地面实时发送。此外，这些信号也能记录在航天器中的磁带上，以后根据地面站的指令向地面发送。

现在我们看到，拍摄快照类型的返束光导摄象管摄影机覆盖地面面积是185公里见方的正方形，而多光谱扫描器则沿着一个185公里宽的连续地带记录图象，对于摄影复制来说，这种形式很不方便。因此，安装了电子设备，以这样的一种方式将记录割断，即使它象返束光导摄象管一样，最终产生一个185公里见方的地面景物，并且具有10%的连续景物的重迭。这样，多光谱扫描器的最后成果是4个波段的185公里见方的地面图象。近来，人们的极大兴趣是在制造计算机适用的磁带方面，而不是在目视图象方面。后面在第六章中

将研究这个问题。

你会感到奇怪，既然返速光导摄象管和多光谱扫描器两种传感系统是那么相似，它们都覆盖相同的面积，而且在大致相同的波段范围内工作，为什么在卫星上要用这两种传感器呢？你必须记住，陆地卫星是实验卫星，试验这一种传感器是否可行，它的最初作用并不是为了收集我们所看到的那么多的资料；而且我们也不十分了解在飞行的情况下这两种传感器的工作情况。返束光导摄象管系统比多光谱扫描器系统的分辨力高。返束光导摄象管拍摄瞬时快照，而多光谱扫描器系统则连续工作，但由于航天器在飞行中的运动，它可能产生误差。所以原来设想返束光导摄象管的图象比多光谱扫描器的清晰，分辨力高。事实上多光谱扫描器的运转比原来期望的好得多，它正在产生着非常好的象片，这在彩色照片Ⅲ和Ⅳ中可以看到。卫星发射以后不久，返束光导摄象管由于电源问题而被迫停止工作，几乎所有的资料都从多光谱扫描系统传给我们，这当然使我们失望。对于获得定量的信息和提供彩色合成的资料来说，多光谱扫描器无疑是一种较好的传感器。在另一方面，对于制图来说，返束光导摄象管比较好，而制图只需要有一个波段的分辨力高就行。假如应用一个远距离照相的透镜，返束光导摄象管有极好的发展前途。

我们现在的许多研究工作是集中在改进多光谱扫描系统上。我们刚才叙述的这种多光谱扫描系统，事实上是在4个波段范围内，提供分光光度曲线的样品。前面我们已经了解，通过在比较大量的点上提供这些曲线的样品，就能够作出地物光谱特征的一种比较好的分析，这是目前正在进行的研究

方向。例如，天空实验室是比较新近进行的实验，它有 13 个不同的波段，包括蓝光区域 2 个波段，红外部分 8 个波段（其中一些波段在热红外范围）。不列颠哥伦比亚大学正在研制的传感器，利用了一种硅二极管阵列技术，它能在反射曲线的 256 个点上作出反应。这不是产生 256 幅图象（绝对不行），而是假如需要的话，可以为作反射曲线提供数据，或者将数据直接输送给计算机。处理如此多的数据将出现一些问题，但是毫无疑问，随着时间的推移，这些问题都将得到解决。其他一些大学也正在用完全新式类型的传感器工作，如应用干涉滤光片、全息摄影术等新技术。前途是光明的，今后几年大概会显示出一些引人注目的发展。

到目前为止，我们一直是在光谱的可见光和近红外部分研究成象。可以认为，近红外区域几乎是可见的；它刚好是在我们视觉范围之外，这些光线的性质很象波长稍短的可见光。它们被地面物体所反射，也是地物光谱特征的一个部分。

现在我们讨论一下电磁波谱中波长更长的区域——远红外的传感器。远红外的波长在 3,000 毫微米左右和以上，它们的性质与可见光相比是非常不同的。

在热红外范围，不能用普通摄影机直接摄影。首先没有合适的胶片，但这不是一个不能克服的困难，我们或许能够制造一些这样的胶片，但是麻烦的是摄影机本身会辐射出一些红外能量，这会使胶片变得模糊。恰象我们必须制造一个不透光的普通摄影机一样，我们必须制造一个不透热的红外摄影机。这就需要把整个摄影机和胶片冷却到非常低的温度，而这种做法是不切实际的。

刚才已经对多光谱扫描器作了叙述，我们现在再了解一下与多光谱扫描器中所用的那种扫描系统类似的一种扫描系统。历史上，红外扫描系统由于军事的需要而发展起来，它的应用早于多光谱扫描器。红外扫描系统在设计和操作方面是比较简单的。红外扫描器没有作为陆地卫星的装备仪器，但是在气象卫星上应用了几种红外扫描器，红外传感器也成了天空实验室中传感器组件的一部分，它在航空实验中被广泛应用。

有众多的红外扫描系统，它们在光学设计、扫描装置和所用的探测器类型方面是各不相同的。把它们全部介绍出来是太冗长了，所以我们仅仅取出一种，对它比较详细地讨论一下，知道了这一种，所有其他的只不过是对这一种的略加修改而已。我们把目前应用在渥太华飞机上的红外扫描器作为一个例子。图 19 是红外扫描器的简化示意图。

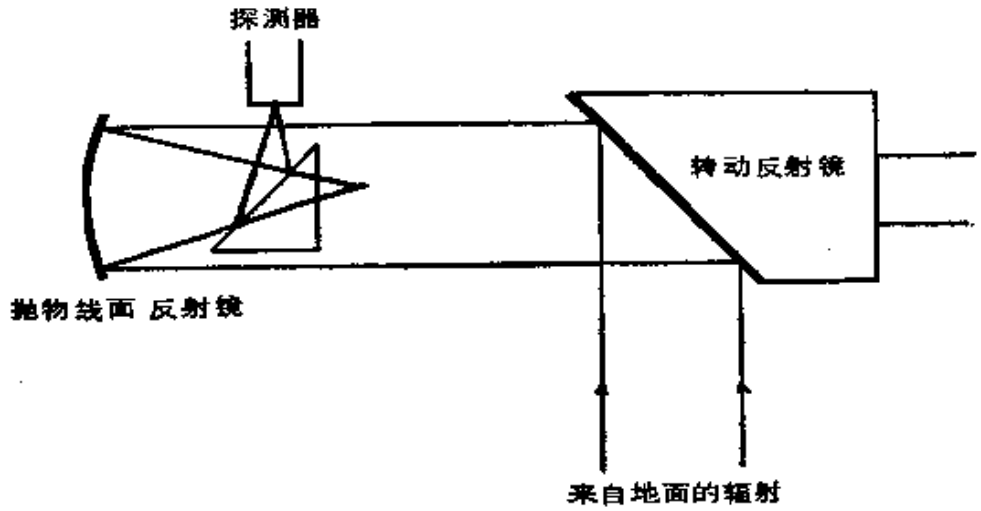


图 19　一种热红外扫描器示意图

通过转动反射镜，接收来自地面的热辐射，它的直径大约

4 英寸，镜面与轴成 45 °角。在转动期间，反射镜对它下面的地面扫描，扫描的方向与飞行方向相垂直，光学系统把这个能量聚焦到一个小探测器上，这个探测器是一个半导体光电池型的东西，它能够把不同强度的辐射转换成不同强度的电流，这与多光谱扫描器中的工作方式非常相同。然后，这些变化着的电流被输送给磁带记录器，当飞机返回地面后，又把它们转换为几种目视图象。

你会注意到，按照这种装置，在这种仪器里是不需要胶片的；摄影过程从热辐射探测中取消了。关于外来辐射，我们要特别注意的是在探测器本身。探测器的头部很小，大约是 0.375 毫米见方，所以它比较容易屏蔽；探头通常安装在一个保护的盒子里，盒子里装有液氮，液氮温度很低，实际上不发出热辐射。这种装置的效果，能得到较大的信噪比，前面已经提到，大的信噪比是传感器合乎需要的特征之一。事实上，当超过某个临界温度时，大多数这种传感器就不工作了。关于分辨力——传感器的另一个合乎需要的特征又是怎样的呢？在飞机遥感的情况下，分辨力取决于飞行高度。当高度是 10,000 米，反射镜能接收到辐射的地面面积大约是直径 2.5 米(8 英尺)的一个圆。所以你能够看到，识别很小的细部是可能的。处理以后，图象可以呈现在 70 毫米的黑白胶片上。如果我们看一下负片，最黑的部分代表最高的温度，但是，除非用某些方法对仪器进行定标，否则我们不能知道温度倒底是多高。所谓定标，就是我们找一个与特殊温度相对应的灰度，然后就能够把所有其他灰度同这种灰度比较，这是在扫描器中进行的。扫描器是转动的，但是它在转动过程中，只有很

短一段时间接收来自地面的辐射，这段时间大约是$\frac{1}{4}$周期，而其余的$\frac{3}{4}$周期的时间，扫描器实际上是失效的。在这周期的失效期间，反射镜依次轮流朝向两个具有不同温度的标准热源装置，这样，传感器就定标了。可以把所有灰度与已知温度的灰度比较，于是，适用于整个刻度的一种绝对亮度温度算出来了。这里我们没有考虑由于大气吸收和大气本身发射而可能造成的小误差。

如果我们看一个地区的远红外象片（如图 11），我们会看到一种颇不熟悉的景色，它与我们看到的用可见光拍摄的象片很不相同。因此，对一部分解译员来说，需要有一些判读经验。我们知道，相同的灰度代表相同的亮度温度，但遗憾的是，我们的眼睛对灰度很不敏感，除非这些地区是彼此相邻的，如果两个部分彼此是分开的话，那么要把象片的某一部分的灰度同另一部分的灰度相比较，是非常困难的。但是，我们却能很好的区分不同的彩色。用彩色密度分割技术可以把灰度或密度等级变换为不同的彩色，因此一种灰度可以变换成一种彩色（如红色），而另一种灰度可以变换成另一种彩色（如黄色）。于是，通过对比彩色来比较亮度温度就是很容易的事了。

这个例子可以看彩色照片 I，这一照片表示，当安大略省皮克林核电站的废水流到安大略湖的时候产生的温度变化。温度的变化范围从 9.6 ℃到 17 ℃，在这个范围之外象片是白色，在象片上有两个地区是白色，一个是 17 ℃以上的地方（核

电站废水的直接出口处)，另一个地区是低于 9.6 ℃的地方，(在安大略湖远处的废水末端)。象片上的暗红色代表的温度是 15.77℃—17℃; 淡红色代表 14.55℃—15.77℃; 绿色代表 13.32℃—14.55℃; 紫红色代表 12.10℃—13.32℃; 暗蓝色代表 10.88℃—12.10℃; 淡蓝色代表9 .66℃—10.88℃。

在这张象片的右上部，我们能看到从湖泊流进核电站的冷水（两条窄的白色挡墙之间的蓝色色调)。从电站流出的17℃以上的废水(白色)在象片的左面。当废水流进湖泊更远处的时候，温度降低了，我们能够看到两种水体发生混合的路线。这种象片是通过对原始的红外摄影透明片扫描，按密度等级进行电子分割，然后把每一个密度等级分别显影在透明片上而制成的。为了得到不同的颜色，我们依次把每一种密度等级的透明片拿来并曝光在不同彩色的 Diazo胶片上，这将在第五章中叙述。然后把这些单独的彩色透明片重迭起来，整个彩色合成就完成了。

很明显，红外扫描为寻找地球表面的热部位提供了一种极好的方法。这种热部位的产生或是由于火山活动，或者由于森林失火。在火山快要喷发之前，这种象片能够显示出这个部位某些热异常的存在，所以应用热红外技术作为预警系统的一部分是可能的。假如我们能从卫星上连续的记录这些图象，这是特别有用的。

应用于森林失火是一个很明显的例子，红外扫描的优点是红外线比可见光容易穿透失火时的烟雾，所以红外扫描能够勾出失火地区和最热部位的界线。而这对地面上的灭火者来说往往是难以办到的。因为他们本身被烟所包围，能见度

很差。红外技术也被应用于探测废弃煤矿里的地下火和页岩废石堆里的热部位。过去发生过这种情况，工人被陷进了页岩废石堆的洞里，火从地下冒出来，从上面是看不见他们的，若能从上面测定这些位置，就可以救出许多生命。

红外图象还可应用于跟踪水流和探测水中的混合方式，例如当任何热的工厂废水排到河流或湖泊的时候，当河流流入海洋的时候等等所发生的现象。在探测海上油的渗漏、勾划地热活动区和温泉等方面，红外图象也是有用的。在世界能源急剧短缺的情况下，这对世界经济来说，也许是一个特别重要的贡献。

我们已经了解了可见光波段、近红外波段和远红外波段传感器的发展，现在我们再讨论电磁波谱中微波波段的传感器。我们为什么还需要微波传感器呢？微波能告诉我们哪些从比较短的电磁波所不能发现的信息呢？

首先，微波的最大优点是，它们不仅穿透雾和霾的能力比红外线强，而且还能穿透云、雨和降雪。在阴天时，它实际上是我们能够有效地应用的唯一波段。我们一些摄影师和驾驶员，为了在阴天时等待一次云开日出的机会，往往需等几天，甚至几个星期，这真是在等待老天的恩赐。浪费时间就是浪费金钱，微波的应用就是很好的节约。微波技术使我们能在一天 24 小时内，一年 365 天内收集资料。与此相反，微波的缺点必须提出，这就是微波系统的分辨力比起较短的电磁波的分辨力要低。

和红外技术的情况一样，微波用来探测地面物体发出的热辐射和测量温度。当然，记录在传感器中的温度，与传感

器接收到的地面辐射的温度是对应的，也称为亮度温度。它与地面温度有关，但是它并不等于地面温度。这是因为一方面受到地面发射率的影响，另一方面光线在大气中传输时，从地面到传感器的过程中，会经受某些变化。地面实际温度和微波传感器接收到的信号强度之间的相互关系，不象应用红外系统时所建立的那样好。我们知道，物体发射的热辐射量取决于物体的发射率和物体的温度。在微波范围内，不同材料的发射率很不相同，这就意味着，在相同的温度下，不同物体所发出的辐射量可以相差相当大。对任何单一物体来说，辐射强度对于温度的依赖性不如比较短的波明显。因此，微波技术不是测量温度变化的好方法，但它却是测量物体在发射率方面的差别的一种极好的方法。所以对于探测具有不同发射率的不同材料之间的界线来说，微波是一种极好的技术。例如，在微波波段，冰的发射率是水的发射率的两倍以上。所以，假如两者的温度相同，那么冰辐射到飞机上微波传感器中的能量是水辐射的能量的两倍。假如海面有浮冰，水看来比冰冷。把来自这样景物的信号转换成摄影图象后，我们可以看到浅色的冰漂浮在深色的海面上。研究北极圈冰的状况后，结论很明显，那就是微波技术虽然是一种比较新的技术，但是这种方法已经产生了一些很有前途的结果。整个极地冰盖近来已经非常成功地制了图，这从彩色照片 II 可以得到证明，它是雨云 5 号卫星用 1.55 厘米的波长(19.35 千兆赫)得到的。

对我们这些解译技术不熟练的人来说，这样的一幅图看起来既是有趣的，但也是迷惑不解的。首先标在旁边的温度

的颜色代码并不表示绝对温度，而是表示“亮度”温度，它不仅是温度的函数，同时也是发射率的函数。因为在相同的实际温度下，冰比水有高得多的“亮度”温度，所以我们在图上可以看到冰和水之间的界线，水是深蓝色的，而同样温度的冰区是淡蓝色的。北冰洋是一个动态系统，冰和水的界线是经常不断变化的，有时在北极圈甚至有开阔的水面。在规律性的时间间隔内获得的这种图象，使专家可以研究变化情况。知道冰的年龄也是很有意义的，因为冰压实的程度影响到它的发射特性，所以第一年的冰和多年的冰是非常不同的。多年冰的平均亮度温度大约是220°K，而第一年的冰大致是250°K。在这样的一张象片上，多年冰出现蓝色，而一年冰出现黄色或绿色。我们可以看到，在巴芬湾到格陵兰岛西部，是一年冰的地区，而往北，则大部是多年冰。

在更长的波段，从20—75厘米，我们能够穿过冰“看到”下面的海，这里是大部分发射的源地。

我们已经提到，从地面发射的一部分能量通过大气的时候会被吸收。为了避免这个问题，我们必须尽可能找一个大气窗口，这在第一章中已叙述过。波长大于3厘米的波段，大气的吸收很少，因此这里是一个很好的大气窗口。然而波长越长，分辨力就越低，区别相邻的物体也就越困难。所以我们通常不得不采取折衷的办法。

当我们要测量地面辐射的时候，虽然小于3厘米的波长被大气吸收是一个不利因素，然而为了某些目的，我们能够把这个不利因素变为有利因素。在大气中，这种吸收大多是由于水蒸汽和氧的作用，所以我们为了研究空气中水蒸汽和氧

的含量，就可以应用这些较短的微波。例如，水对一毫米多一点的波长吸收很强，通过微波技术和温度效果相结合，我们能够研究从地面到传感器之间水蒸汽的分布情况，这样就能得到大气中水蒸汽分布图。与热红外情况一样，因为我们是探测地面发出的热辐射，为此，我们要求一种与红外传感器类似的仪器，确实，微波传感器基本上是与红外传感器类似的。

就红外传感器说来，它有反射镜和光学系统，用来收集辐射并且把它引到一个探测器上，从探测器输出的是电信号形式，它被记录在磁带上，以后可以用来制成景物的图象。就微波系统说来，它有抛物线或抛物面型式的反射器和天线，用来收集辐射并且把它引到一架起探测器作用的无线电接收机中。接收机的输出通过电流输送到磁带记录器上。这些信息以后可以用来制成适当的图象。目前的发展正导致采用相控天线阵，它可以提高分辨力。

初期的传感器没有扫描型式，只不过是当它们通过航线时，收集它们下面的信息，这种传感器叫做辐射计，它们的特点是温度分辨力比扫描型式的传感器高。新近已经研制了扫描辐射计，陆地卫星中没有应用这种仪器，但是我们看到在飞机上正在有效地应用扫描辐射计。天空实验室也装有两架微波仪器，并获得了一些有意义的结果，雨云5号卫星上也装有一架微波仪器。

第三章　主动系统

迄今我们所研究的传感系统都是所谓被动系统。这种传感器记录从地球反射或发射的电磁波强度。这些电磁波，一种是最初由太阳发射而后仅仅被地面物体所反射的光线，另一种是地面物体本身因它们的温度而发射的热红外线。被动系统的主要特点是传感器不提供任何能量，它们仅仅接收和记录电磁波，它们的作用是一种被动的作用。

现在我们来讨论主动系统。主动系统这种方法，由飞机和航天器本身提供能量，来"照射"地球，然后，这种能量又返回到传感器中。这可以与你应用闪光灯的常规摄影相比拟。我们可以说，用闪光灯的摄影是一种主动系统，而不用闪光灯的摄影是一种被动系统。

我们首先研究雷达这种主动系统，这里包括的波长是电磁波谱的微波波段。我们已经了解在微波区工作的一些有利条件，其中最主要的是微波能穿透云和雪，在某种程度上还可以穿透雨。利用主动系统还有一些其它优点，我们不仅能放出和使用比较大的能量，而且能够选择我们所需的波段，选择发射能量的方向，以及选择一些其他特性，如偏振等。换句话说，我们不需要接受自然界的恩赐，我们能够根据自己的条件决定测量方法，我们可以选择我们需要的特征并且控制这些

特征以适合我们的需要。

大概首先要决定的问题是利用什么样的波长。虽然目前正在研究较长波长的实验性雷达，但是遥感雷达通常所用的波长是 0.86—3.3 厘米。我们不必担心大气的吸收问题，这个波段实际上没有大气吸收。可是我们要考虑来自大雨滴的反射，因为大雨滴会以反射信号干扰雷达的工作。为了避免这种干扰，我们必须应用比较长的波长，大约是 3 厘米。另一方面，如果我们需要为天气预报而探测雨滴，我们则必须应用波长较短的波段，从而利用雨滴的强烈反射。

当把可见光图象和热红外图象进行比较时，我们可以发现，两者的景色是非常不同的。因为可见光图象取决于光的反射，尤如我们所看到的景象；而热红外图象取决于温度。现在我们还将进一步扩大我们的"视力"，我们将制出无线电反射波的图象，这种图象景色又与上述两种图象很不相同。为了解译我们看到的这种雷达图象，我们必须重新学习。一种物体反射无线电波的能力取决于物体的介电常数这种性质，而一种材料的介电常数是与该材料的导电能力有关的。一般说来，良导体如金属，反射无线电波很强，象反射镜反射光波一样。水也是一种良导体，但导电性能不如金属那么好，所以水和潮湿土壤反射无线电波也是相当强的；而冰、岩石和干燥土壤是不良导体，所以反射无线电波不是那么强。不同化学成分的不同类型的岩石，反射程度也不同，所以有可能观察到在其他任何波段所不能看到的一些岩石类型的差异。

于是，我们可能会认为，反射强的物体会产生强的信号，但结果并不是始终如此的，这是因为雷达照射物体的角度不

同。飞机上雷达发出的波束被强烈反射，但是假如表面是光滑的话，那么波束就弹向水平方向，雷达则不能接收到回波。这种类型的反射叫做镜反射，象一个普通的反射镜一样，只在一个背离发射源的方向上，才能产生明显的图象。另一方面，假如表面是粗糙的话，那么波束就向各个方向散射，雷达至少可以接收到一部分回波，这叫做漫反射。图 20 表示这两种反射类型。

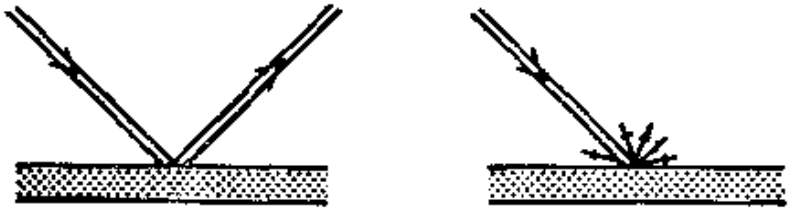


图 20　镜反射和漫反射

因此，光滑的表面如冰、静止的水、铺设的道路和机场跑道在正象上出现黑色，而粗糙的表面如波状起伏的冰和水面、植被等在正象上颜色显得比较亮。

影响信号反射强度的另一个因素是地面的坡度，当发射的波束射到起伏的地面上，如果斜坡朝向飞机，则信号比较强；如果地面的斜坡背离飞机，则信号比较弱。这可以看图 21。

因为涉及到那么多的因素，所以我们在最后的图象上看到的现象是很难解译的。这些因素有：（1）地面物体的反射特性，而这反射特性又取决于波长；（2）地形的性质，是粗糙的还是光滑的，是平坦的还是起伏的；（3）由微波本身性质所决定的若干其他特征。

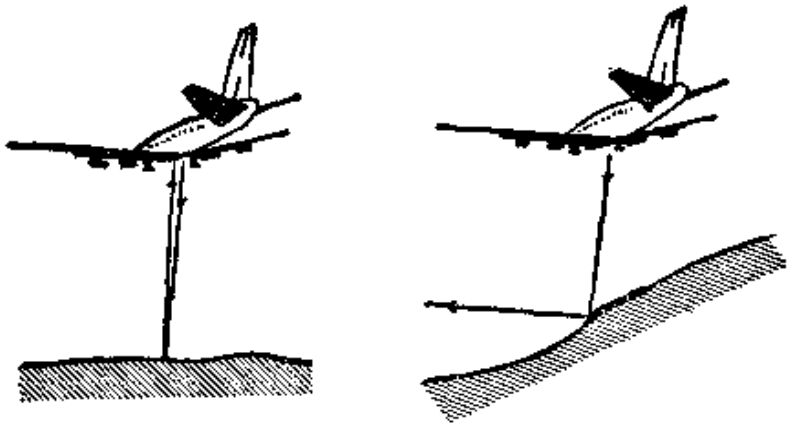


图 21　地形对雷达信号反射的影响

现在我们讨论雷达，雷达是什么呢？它是如何工作的呢？关于它，我们需要何种设备呢？

雷达是无线电探测和测距的缩略语。第二次世界大战中，雷达迅速发展起来。在本世纪三十年代初，进行了雷达试验，试验中，发射机发送出一个无线电脉冲，当遇到一个导电物体被反射回来以后，又被装在发射机旁的无线电接收机接收。因为所有的电磁辐射都是以300,000公里/秒或186,000英里/秒这同一速度传播的，微波也不例外。所以只要测出一个脉冲传播到一个物体，而后又被反射回来的这段时间，我们就能算出这个物体的距离。从这些简单的实验开始，雷达技术迅速发展起来。第二次世界大战期间，雷达技术提高了，它不仅用来探测和测距，而且也用来定向，用来指挥探照灯、控制高射炮火和探测潜水艇。作为一种早期的预警系统，它在不列颠战役中和挽救马耳他岛屿中起了很大的作用。战后，雷达逐渐应用到民用方面。首先，我们发展了适用于研究天体的无线电望远镜，雷达用来探测暴风雨和作天气预报，用来

控制空中交通，用来避免海洋上船舰之间发生碰撞。因为雷达脉冲能用来测距，所以毫不奇怪，雷达可以作为飞机上的高度计。一个脉冲从飞机上传播到地面后又被反射回来的时间，就告诉了我们飞机的高度。假如飞机以一固定的高度在起伏的地面上空飞行，那么就可以告诉我们飞机下面陆地地形的情况。

雷达主要由下列部分组成：发射机——能够发出所需波长的波，并以脉冲形式发送出去；天线——用来瞄准目标，以便能够在需要的方向上发送和接收能量；接收机——接收返回的信号；以及记录或显示接收到的数据的一些设备。这些是雷达的基本部件。利用这些原理的一般有两种基本类型的装置。一种是天线可以旋转，对整个视场进行扫描，信号被显示在阴极射线管中的圆形荧光屏上，这种类型叫做平面位置显示类型(PPI)，它是在第二次世界大战期间发展起来的，目前广泛用于军事部门和飞机、船舰的航行方面。它可以远距离测距，但是对于区分地面形态和其他细部来讲，它的分辨力是不够高的。

在无线电波的情况下，分辨力取决于天线长度与波长之比，你们在周围看到的许多雷达设备中的抛物面类型的天线，它们的分辨力取决于抛物面天线直径与波长之比。所以为了获得高分辨力，我们需要应用长天线或者短波长。但是波长不能无限制的短，我们知道，因为在波长比较短的情况下，有大气干扰问题。假如是旋转式天线的话，天线的长度也是有限制的。首先，飞机上的天线必须用塑料圆盖罩住，显然它不能太大，否则它会干扰飞机的飞行特性。再者，一个过分长的

天线，假如在飞行期间连续旋转，会产生一些机械问题。

为了克服这些困难，设计了一种新式的 SLAR 雷达，它是侧视航空雷达的缩写。它的天线不转动，是沿飞机机身安装的，两侧各有一根。顾名思义，它是从侧面看出去的，所以天线可以有机身那么长。

一架带有典型的侧视雷达的飞机有两根长天线，大约是 4 米或 5 米左右（即 12 英尺或 15 英尺左右），飞机两侧各装备一根。飞机里大功率发射机发出短而迅速的无线电脉冲，轮流输给每一根天线，天线又把这些脉冲发射到地面。脉冲一部分被反射回来，进入接收机被记录在磁带上，或者象其他传感器一样，用于调制阴极射线管，从而形成一幅图象。这些脉冲波从侧面发射出去，以便在飞机下面形成一个窄扇形波束，照射下面的地面。当飞机向前飞行时，它扫过一条长而宽的地带，记录从这个地带反射回来的信号。实际上，雷达是沿着飞行方向对航迹从这边到那边进行扫描的，就象红外扫描系统一样，一条接一条地构成一幅图象。这里，不需要实际的机械扫描，因为波束照射的地面宽度决定了航迹的宽度，而波束照射的地面宽度又由天线系统的几何形状所决定。一般原理可用图 22 加以说明，典型的侧视雷达象片可见第 143 页的图 38 。

这种雷达的分辨力怎样呢？航迹的纵向和横向的分辨力是不同的，一般分别叫做方位分辨力和距离分辨力。

让我们首先研究一下距离分辨力。距离分辨力决定了我们从地带中心移向两侧时，我们能够区分物体的程度。我们假定，波束的脉冲大约是持续 0.2 微秒，而每秒产生 750 个脉

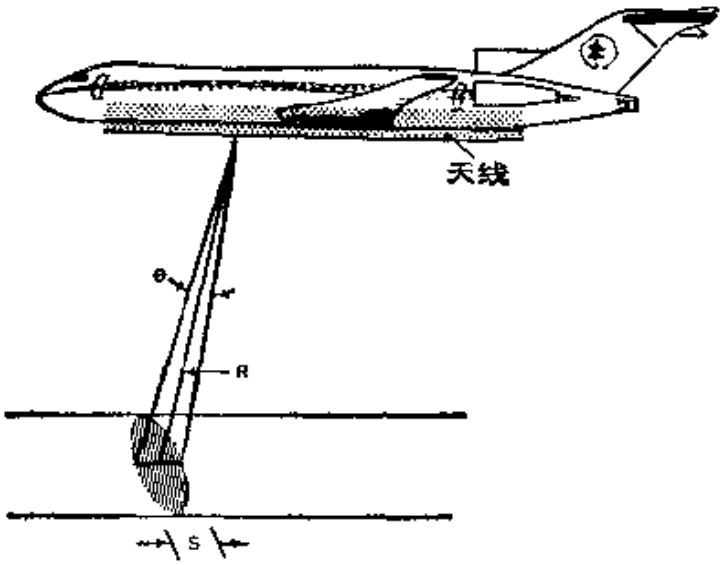


图 22　装备侧视雷达的飞机图

冲。在下一次脉冲开始之前，前一次脉冲有传播到地面并且再反射回来的时间。于是我们想一想，照射下面地带的呈一个扇形波束的发射脉冲，直接从飞机下面的地面返回的信号会比从地带边缘的地面的信号先到达，这是因为前者传播的距离近。我们在这里所做的就是测量距离，或者测量离开中心线的距离。与这个位置相对应，我们可以得到某一强度的信号。所以距离分辨力由我们能够测量距离的精度所决定，而距离的精度取决于发出脉冲的持续时间。一个较短的脉冲会产生较高的分辨力，脉冲宽度为 0.2 微秒的雷达系统，它在地面上的距离分辨力大约是 10—15 米 (30—45 英尺)。距离分辨力与飞机的高度或物体的距离无关。

方位分辨力是怎样呢？当飞机沿航线飞行时，它在航迹上一条接一条地收集信息。前后方向的分辨力将取决于这些条带的宽度，而条带的宽度又取决于飞行方向上波束的宽度。

一条窄的波束会产生一个高的分辨力，反过来也是这样。条带的宽度取决于离开飞机的距离，因此不用地面上的宽度（米）来确定方位分辨力，而一般用波束的角度来表示方位分辨力。方位角用毫弧度表示，图22中用θ表示。

根据方位分辨力，很容易得出任何距离的地面分辨力，假如R是一个物体离开飞机的距离，θ是用弧度表示的角度，于是按照弧度的定义，可以得到地面分辨力S。

$$S = R\theta$$

我们叙述的这种雷达的方位分辨力是8毫弧度，10,000英尺高度的地面分辨力约为80英尺小一些，而100,000英尺高度的地面分辨力为800英尺小一些，等等。这样的分辨力是非常低的。怎样提高方位分辨力呢？

我们需要设法使雷达发射的波束在飞行方向上比较窄。我们前面已知道，波束的宽度部分由天线的长度所决定，或者，由在光学系统上类似的孔径所决定。我们需要增加孔径的大小，但是我们不能把天线设计得非常长，否则在力学上天线会变得不稳定。因此，设计了一种新式天线系统，其中，采用了所谓合成孔径，它与刚才叙述过的真实孔径系统不同。这是一种相当复杂的装置部件，当飞机在上空飞行时，它可以从飞机的各个位置，对来自地面任何一个点的信号进行测量；换句话说，也就是它以不同的角度进行测量；测量的结果然后可以进行数学处理，从而取得类似我们前面看过的图象。这种装置有综合增加天线长度的效果，所以它可以提高分辨力。更主要的优点是，真实孔径侧视雷达的分辨力依赖于离开飞机的一个点的距离，而合成孔径侧视雷达的分辨力几乎是与

距离无关的。因此，合成孔径侧视雷达在坏天气也照常能用，如果飞机仍是比较稳定的话，这对提高分辨力和产生好图象也有帮助。现在正实验试制的合成孔径侧视雷达，获得的分辨力在两个方向上都是 15 米(45 英尺)

熟悉光学的人将会看出，合成孔径技术是与干涉量度技术类似的。事实上，记录这些反射信号的磁带就象是干涉图，它实际上记录了反射波的位相和振幅。这些数据在返回地面之后，可用傅里叶(Fourier)变换，使之清晰。目前，在发展其他干涉方法方面，开展了大量的活动，特别是多伦多大学正在研究全息摄影技术。

另一类主动微波仪器以散射计为代表。它不是刚才叙述的那种成象设备，而是一种剖面测量装置，它可以绘制出飞机下面的一段地形的剖面。散射计的原理是根据多普勒效应，假如某种波从运动着的物体传送出去，它们的波长将会受到影响。可以说，在运动源的前方，波将被挤到一起，而在运动源的后面，波将拉开一些。因此，在运动源的前方，波长会变得短一些，也就是频率会变得高一些；而在运动源的后面，波长会变得长一些，也就是频率会变得低一些。波长改变的程度叫做多普勒频移，它取决于运动源的速度。一列奔驰的火车放汽笛时，你就可以看到多普勒效应的一个实例。火车以一定的频率发出一种声音，当火车接近你的时候，声波的频率增加，你能听到一个比较高的音调；当火车刚刚在你旁边的时候，你可以听到这种声音的真实音调；当火车远去的时候，声音的音调会变得较低，因为它的频率降低了。

上面所举的是声波发生多普勒频移的一个例子。当有一

个运动源时，任何类型的波都会发生多普勒频移。通过对远去的一些恒星发出的光测量，天文学家能够计算出银河系以多快的速度扩展，也就是可以算出这些恒星离开我们的运动速度。通过对雷达波的测量，我们能够用从导弹表面反冲回来的波检验飞行弹导的速度。

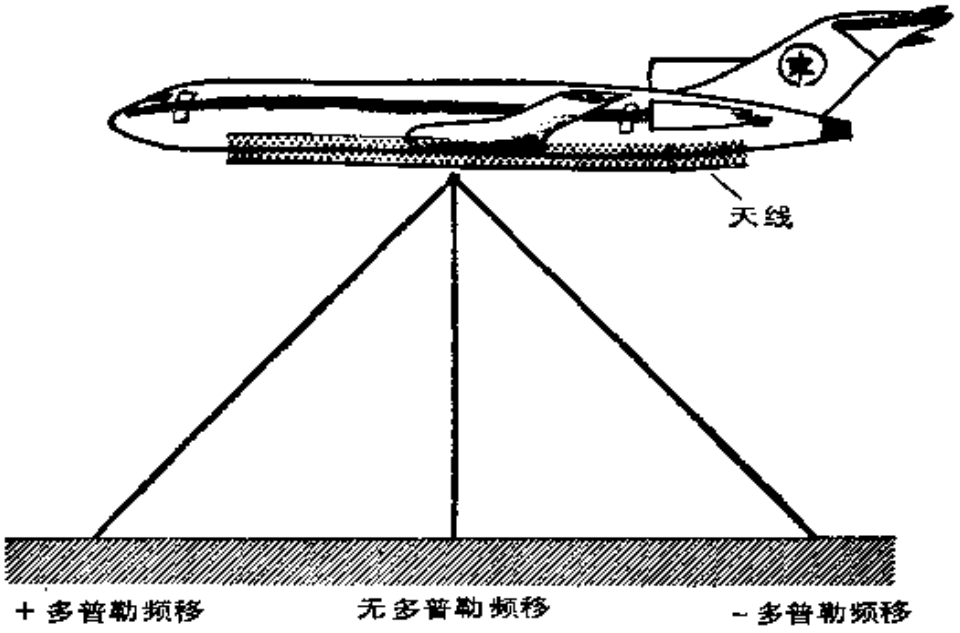


图 23　飞行着的飞机的多普勒频移

散射计就是利用这个原理，它没有利用象雷达那样的脉冲信号，而是发送出连续的辐射。辐射的波长一般是 2 厘米多一些，频率是 13.3 千兆赫。辐射计沿着飞行方向发送出去一个窄的波束。从地面反射以后，测量回波的频率和强度。在飞机的正下方，频率没有变化；在飞机前方各点，频率将增高；在飞机后方的各点，频率将降低。这可以用图 23 加以说明。

因为飞机将依次在航迹上每一点的上空通过，所以我们可以得到各种频率的强度的资料，而频率是与位置有关的，位

置又是与“视角”有关的，因此我们能够按照不同视角标出回波的强度或反射系数，并且可以得到如图 24 所示的曲线。

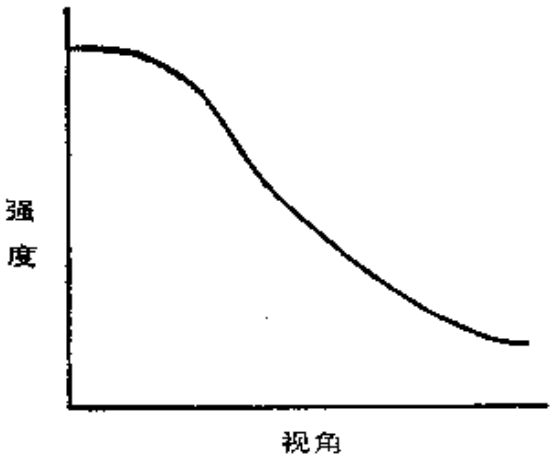


图 24　视角对强度的影响

我们对航迹的任何点都能作出这种曲线，图 24 称为极线图。散射计是一种极好的仪器，因为它是带在飞机上绘制极线图的唯一仪器。目前，这种仪器还处于试验阶段，但是试验的初步结果是很有意义的。它对于研究冰的类型是一种重要的工具，它不仅可以研究冰的光滑程度和在冰面上形成的波纹的大小，而且可以研究冰的年龄和厚度。

对于主动遥感方法来说，正在发展的另一种技术是应用激光。激光是在新近(1960 年) 发明的一种光源。也许，“发明”一词在这里应用得不确切，因为激光的原理是本世纪五十年代末在进行一项单纯的物理科研时，几乎被偶然发现的。大多数装置都是为了某一特殊需要而发明的，而激光的发展似乎正好相反。长期以来，有一种相当滑稽的说法：激光能解决的问题，还在探索之中。当然，通常我们有非常多的问题在探索解决它的办法。现在，我们发现有许多问题需要激光来解决，目前大量的研究是继续寻找适合遥感需要的最好类型的激光器。

激光这个词是“被受激辐射所放大的光”的缩略语。激光

器的主要作用是提供一种具有一些非常特殊特性的光束。首先，激光是单色光，这意味着，它在一个单一的波长处发出它的几乎全部能量。例如红宝石激光器设计在 694.3 毫微米处工作，产生一束红光，它的大部分能量完全在 694.3 毫微米处发出；另外，可以使频率加倍（即波长减半），我们能够得到一个紫外区的 347.2 毫微米的波长。二氧化碳激光器可以设计在波长 10.6 微米处的红外区域工作，它完全在 10.6 微米处发射出它的几乎全部能量。可以说，这种单色性还有一个相伴而来的好处，因为从这种光源发出的所有的波有完全相同的波长，所以它们能够相互重合，就是所有的波峰能够落在同一个顶点，于是就产生一束非常强烈的光。当这种现象发生的时候，波就是相干的。这样，激光器利用功率就非常有效，都可用来变换成光，它输出的是一束单一波长的强度很高的光束。当它从管中产生的时候，这束光线很窄，发散度是小的。假如你有一支手电筒，你使它发一束光射到离你大约 3 英尺的墙上，你知道，光传播出去成为一个锥体，它会发散，射到墙上成一个光环，比从手电筒本身发出的光环大得多。如果你离开墙壁更远些，那么光射到墙上形成的光环会变得更大，同时，光也会变得更模糊。另一方面，假如你用激光光束射到墙上，你只能看到一个很小的光点，也许只有几毫米宽，但是它非常强。当你把激光源移动到离墙更远的地方时，光点实际上仍然是同样大小，因为激光束的发散度是低的。由于激光的发散度非常低，所以能用一束激光从地面照到月球的表面，虽然距离是如此惊人，但是光点仅仅是一英里左右宽。激光束是非常强烈的，甚至当它传播到那么大的面积上时，它的照

明效果仍然是很强的。我们不仅能够把这种光线对准到月球上去，而且当它反射后又回到地面上时，我们还能够接收它。因为我们已经知道了光速，所以我们能够发射一个脉冲光到月球上去，被反射回来后，我们在地面上接收它，测量出脉冲光的来去时间，就能够计算出月球的距离。光来去的时间大约是2—3秒，这取决于当时月球的位置。从地球到月球的平均距离是239,000英里。这是一种很象雷达的系统，不是吗？我们发送出一种电磁能量脉冲，计算它的来去时间，从而算出距离。

上面所述是激光雷达的基本原理，激光雷达是光探测和测距的缩略语，这与雷达不同，雷达是无线电探测和测距。两种系统的主要区别是利用的波长不同，如同所有遥感仪器一样，有时利用这一种波长比较有利，有时则利用另一种波长比较有利。因为激光雷达是一种自己提供光源的主动系统，所以它能在白天或晚上工作，一般说来晚上比较好，因为晚上反射的信号不受太阳光的任何假反射的干扰。但遗憾的是由于波长短，它的光受到大气的吸收，所以不能穿透云层。因此，甚至在晴朗的日子，激光雷达系统探测的距离只有10—20公里(6—12英里)，这比微波雷达的距离(50—100公里或31—62英里)小得多。

与此相反，激光雷达的分辨力比较高。这部分原因是由于波长比较短，部分原因是由于光束的发散度小，在地面上产生一个很小的光点。你可以说，这就象试图用一支削尖的铅笔，而不是用一支粗的毛笔来画一幅精细的图画。因此一般说来，短距离内的详细探测，激光雷达比较好，长距离内的大规

模调查，微波雷达比较好。此外，使用的波长将决定两者之中每一种辐射同地面物体作用的方式，它也是在任何一种特定环境中，决定哪一种系统最有用的一个因素。

测距激光雷达的应用近几年来已经在美国军队中习以为常了。钕玻璃激光器的工作波长是 1.06 微米，位于光谱的红外部分，它的优点是对方看不见它，适用于探测导弹、直升飞机和坦克等。它们的优点是方向性比雷达好。

激光技术特别合适的一种应用是测量浅水深度。可以指望，这对军队也是重要的，它关系到在敌方海岸船泊登陆的问题。加拿大为了测量海岸地区、湖泊和河流的水深，这方面的研究取得了很大的成就。为了测量水深，他们制成了一种专门仪器，叫做激光测深器。我们知道，用于穿透水的最好波长是光谱的绿光部分，所以这种测深器中用的激光器是脉冲氖激光器，激光的波长是 540 毫微米（或者是频率加倍的钕玻璃激光器，波长是 530 毫微米）。激光测深器安装在飞机上，如图 25 所示，脉冲光对准下面的水面。一部分脉冲光从水面被反射回来后到达飞机中的接收器；而另一部分脉冲光则穿过水体到达底部，然后再从底部反射回来。所以接收器接收两个脉冲，一个来自水面，另一个来自水底。象我们讨论过的其他类型传感器一样，这些光脉冲被转变为电脉冲，这些电脉冲可以记录在磁带上以待研究，或者在阴极射线管中实时显示出来。两种方法都让我们算出接收到两个脉冲之间的时间间隔，从而又使我们算出第二个脉冲比第一个脉冲额外多走的距离，因此可以求出水的深度。因为光束穿过水体，然后又反射回来，所以水的深度（D）当然只有额外多走的距离的一半。

由于水中光的传播速度小于空气中光的传播速度，对此，我们必须加以考虑。假如光在水中传播速度为 s，两个脉冲到达的时间之差为 t，我们可以用下式表示：

$$D=\frac{s\times t}{2}$$

这类时间间隔很短，是毫微秒数量级的，也就是零点几微秒。

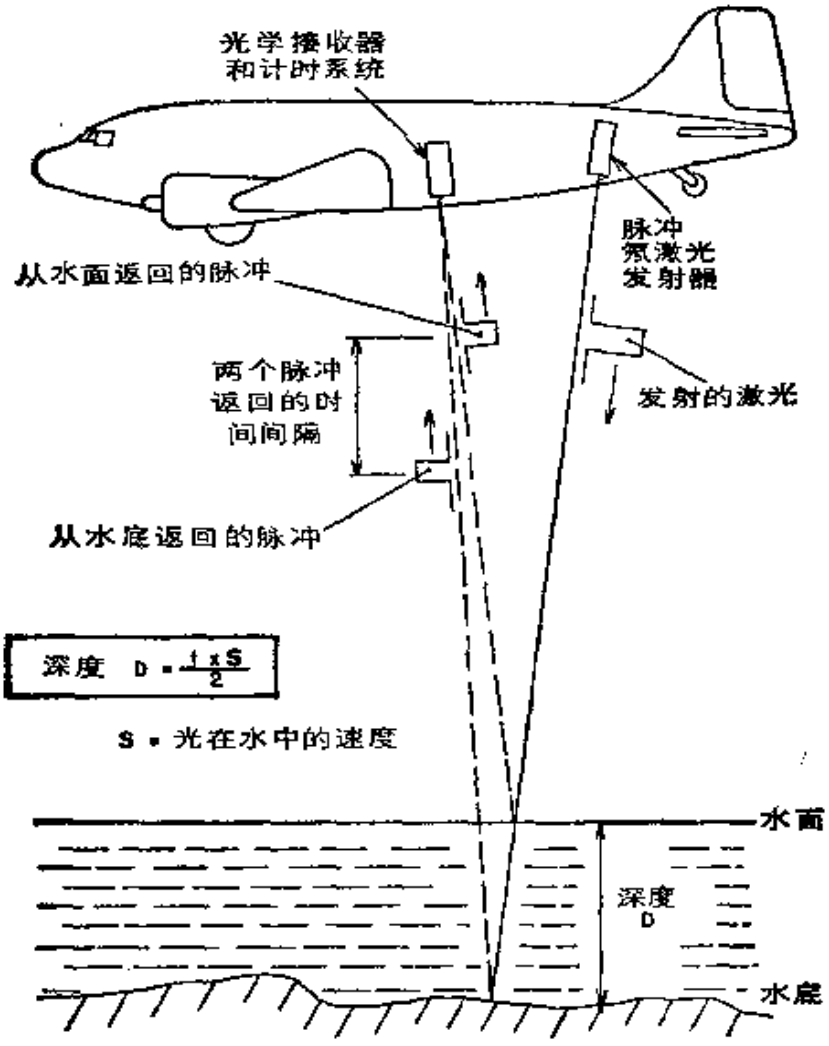


图 25　航空激光测深系统的工作原理

当然，能获得的穿透深度取决于水的透明度，西半球最清的水是在西印度群岛。这里，在理想的条件下，能够测量几百英尺的深度。加拿大的水对测深是比较不利的，特别是在海岸附近，但是海洋水文工作者对这种方法很有信心，初步的试验已经显示出良好的结果，适合于机载的仪器正在继续迅速发展。

激光雷达技术能很精确地测量海冰脊的高度和配置，而认识这种性质，对冰川工作者研究北极圈水域中冰的构造具有很大的意义。它也能以雷达同样的方法，记录下起伏的地形的剖面。假如飞机以一固定的高度沿规定的航线飞行，那么对从地面反射来的光信号进行计时，我们就能确定飞机正下方的地面高度。前面已经提到，窄光束或发散度低的光束产生一个很高的分辨力，分辨力也取决于飞机的高度。这种仪器的典型光束发散度是一毫弧度，在1,000英尺的高度，光束在地面上形成一个直径1英尺的光点。以这种方式工作的仪器起一种陆地剖面测量装置的作用，要获得完整的地形图象就要象多光谱扫描器或红外扫描器一样扫描。这种系统一直被美国军事部门应用，目前则由于遥感的应用而被发展起来。为了得到完整的地面覆盖，这种仪器要求脉冲的重复速率应该非常高。此外，连续波激光器可以用来测量剖面，事实上，为了测量剖面，它是优先选用的一种仪器。它不是测量两个脉冲之间的时间，而是测量回波的相位变化。

还有一种涉及到应用激光的主动系统，但是它是根据一种完全不同的原理工作的。第一章中我们看到，一些材料会发荧光。它们吸收某一波长的光，常常是紫外线，然后再发出

一种波长较长的光。这种重新发射的光的波长是该材料所特有的，所以能够用来鉴定这种材料。以油类为例，油类是能够强烈发出荧光的一种材料，但不同的油类以不同的波长重新发射它们的能量。因此，我们假如用一种已知波长的光照射海洋，在光返回时，我们发现波长改变了，所以，我们不仅能够探测洋面上的漏油，而且也许能够鉴定油的种类和追踪油的来源。图26说明这种仪器的工作原理。这种系统在某些方面比激光测深器复杂些，因为仅仅探测返回的信号是不够的，我们还必须分析它的光谱，我们要知道返回的信号波长是多长。已经用一系列滤光片进行了第一次以地面为基地的试验，但是为了从飞行的飞机上比较肯定地区分两种不同的材料，需要比较完善的扫描方法。目前，正在改进这些扫描方法。

和安大略省霍克斯堡的纸浆厂合作，在渥太华河上完成的试验表明，从飞机上进行荧光测量，对于监测纸浆厂和造纸厂排出的废水，是非常有效的。在烧煮木材的时候，提取出一种叫木磺酸盐的物质，它和失去效能的烧煮溶液一起流进湖泊或河流。这些有机物发生分解的时候，夺取水中的氧，于是严重损害鱼群。因为木磺酸盐是一种强荧光物质，所以我们能够探测这些流进河里的有机废水流，并绘出图来。其他的工业排出物，例如去垢剂，也能用这种方法来检查。

上面列举的是监测已经存在的荧光物质以便检验水质的例子。我们也可以比较主动地利用这种现象。我们可以故意把荧光染料放入水中，使我们能够探索这种水的流动方式，或者，在海空营救时，我们也可以利用染料来探测。陆地上，因

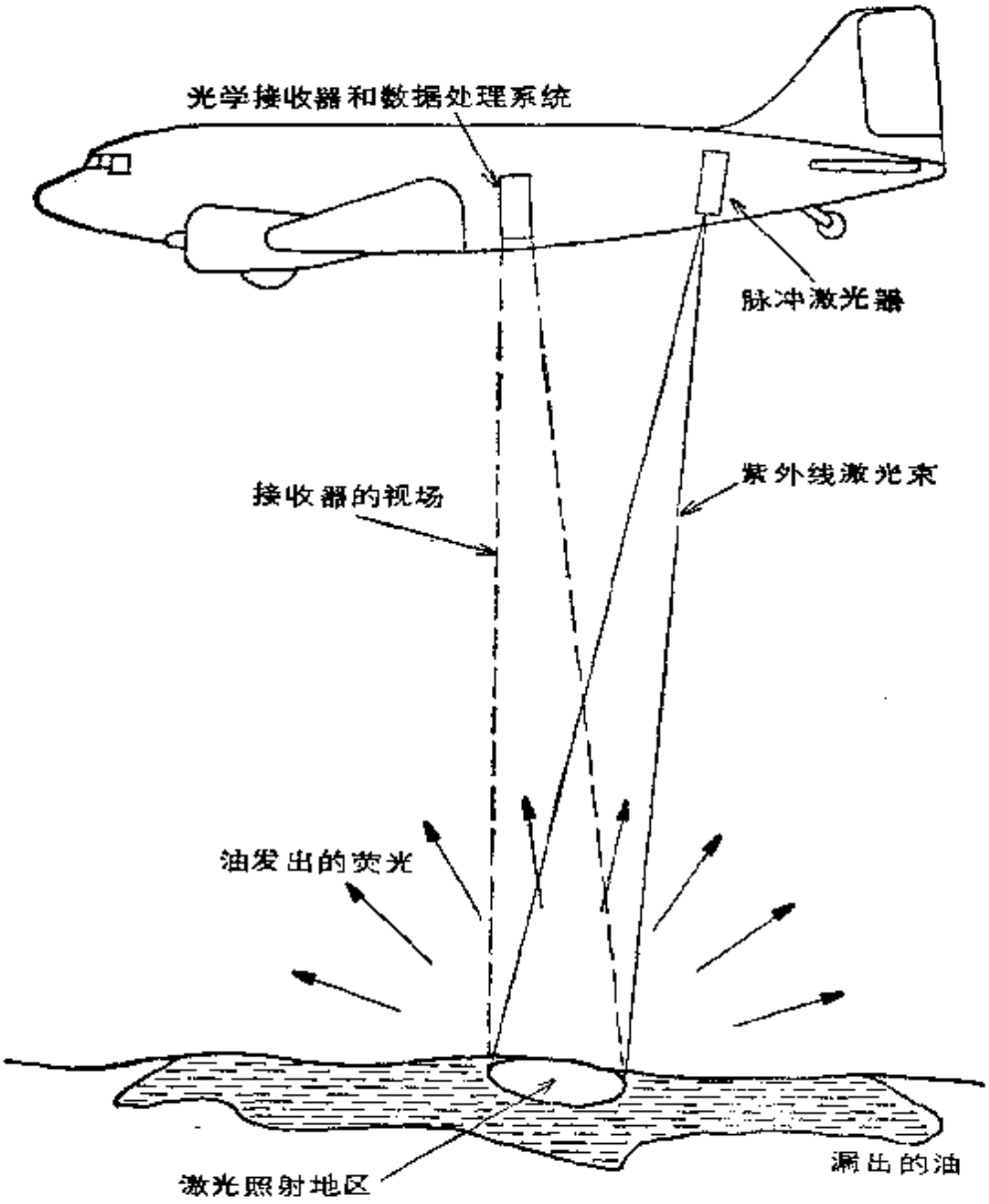


图 26　航空激光荧光遥感系统工作原理

为叶绿素是一种天然发荧光的材料，所以这种方法可以帮助我们研究农作物及其病害；有一些荧光矿物也可以用这种方法来探测。

我们在第一章中还看到，一些材料，特别是气体，由于发

射拉曼光谱，在反射的时候，会引起别的波长发生变化。而这种波长的变化，对不同的材料来说是不同的。因此它提供了另一种鉴定材料的方法。用拉曼光谱监测和分析空气污染物如二氧化硫和二氧化氮是很有希望的。多伦多市约克大学实验空间科学研究中心(CRESS)完成的初步试验表明：在分析工业烟囱排出的气体方面，能够得到极好的效果。仪器安装在一个小的流动卡车上，所以它能够在四周乡村活动。它使用一个带有倍频系统的红宝石激光器，产生 347 毫微米的波长。这波长在光谱的紫外线部分，拉曼效应预计是能够发生的。但是，这种仪器的应用受到它不易穿透雾的限制。目前，正在研究其他类型的激光器和效率更高的系统。

可以说，用同一束激光产生的拉曼光谱和荧光光谱相配合，在与污染作斗争中，为科学家提供了一种非常强有力的工具。因为这两种方法都是靠探测波长的变化，这两种方法都对光谱短波部分的入射光的响应最有效，所以用同一个仪器同时利用这两种现象是可能的。此外，利用一种特殊类型的激光器，进行距离测量或水深测量也是方便的。这是一种联合的氖氮激光器，利用同一个激光管，我们可以使两种气体轮流通过激光管，氖气产生 540 毫微米的波长，用来测量距离；氮气产生 337.1 毫微米的波长，用来测量荧光光谱和拉曼光谱。多伦多大学空间研究所和加拿大遥感中心用这种激光器在安大略湖进行联合试验，已经展示出一些很有意义的初步成果。这种仪器安装在俯视安大略湖的悬崖上，这里，可以对距离在 900 英尺以外的水面进行测量。原油标本放进湖中暴涨地区，激光照射后，光谱测量根据反射信号来确定。结果表

明，为了在正式项目中应用这种方法，能提出足够肯定的证据。在未经故意污染的水上，用这种方法进行的测量也表明，激光荧光传感器方法同样可以是评价有关水质的一些因素的一种好方法。为了了解溶解或悬浮在天然水中的许多物质的光谱特征，现在正在实验室中进行更深入的研究。

从这里你能看到，激光方法在遥感方面的应用还刚刚开始。但是，随着首先在飞机上以后也许在卫星上的继续试验，它们为我们向污染作斗争的计划以及对大气和水质评价开辟了一个全新的方面。一旦设备得到进一步改进，那么我们将无疑发现，这种增添给我们的最新技术还有其他用途。

第四章　遥感平台

现在，我们有丰富的经验来选择供不同应用的传感器。对于遥感目的来讲，我们怎样来部署这些传感器，才能最好地利用它们呢？我们应该把它们安装在什么样的平台上呢？

众所周知，站得越高，看得越远。当人们最初开始研究环境时，他在地面上必然就是这样做的。为了看得远一些，他就爬到树上，或者跑到小丘或高山上。那时，人们建造了一些观察林火的塔楼，并应用其他的传感器，如望远镜，来增加他的视力。当最初的气球做成的时候，人们就抓住机会，离开地球，在气球上往下看，利用摄影机拍摄看到的景色。这时，比空气重的机器，如飞机，直升飞机和火箭也随着气球之后相继产生。现在，又出现了人造卫星和其他航天器。综合研究我们的环境，大概将应用所有这些平台。每一种平台都将以它自己的方式作出它自己的贡献。由于我们站得更加高了，所以比例尺就更小了，当然，我们也就不能看见那么多的细节了。因此，必须牺牲细节来获取更广大的视域，以便整个地质构造能够同时看见。卫星能够在很短的时间周期内，获得全世界的覆盖，在以前是不能做到的。

让我们来考察一些这样的平台，同时了解一下每一种平台的优点是什么。

开始，在一段长时间内，为了测量和收集资料，我们是在地平面上，利用浮标和塔等建筑物，把我们的仪器安装在它们上面。天气预报科学家为了收集关于温度、降雨、风速和其他有关因素的资料，就是利用了这些平台。管理水资源的科学家为了确定水质、水温、流速和混浊度等，以及记录水位，就利用了以地面为基地或以海洋为基地的平台。这些都不是真正的遥感设备，因为一般说来，在那里传感器同测量的对象是直接接触的，但是这里还要提到它们，因为由于卫星的出现，对于处理它们提供的资料，已经提出了新的方法。过去，因为仪器常常是安装在难以到达的地方，所以收集和传播资料都有困难。除了用有使用期限的蓄电池外，一般没有合适的电源。设计海洋停泊平台方面的最新发展，包括长寿命蓄电池的研制，使流动浮标网络系统成为一种比较有吸引力的计划。

从地面站收回资料的许多方法也发展了，最有意义的一种就是利用卫星或其他航天器。每一个收集资料的平台可以带 8 种不同的传感器，可以选择它们用来测量我们所需要测量的内容，例如在全球范围内选择一些地方对土壤、海洋、湖泊和空气的性质进行测量。安装在地面平台上的发射机能够用无线电把这些资料发送给卫星上的资料收集系统，而资料收集系统又能把这些资料发送给地面上的一些其他地方。当叙述陆地卫星时，我们将再谈这个问题。

历史上，由于气球的应用，开始了平台改进的下一个阶段，并且在上世纪中叶，从一些初期的气球上拍摄了象片。气球作平台有若干优点。需要多长时间，气球就能够在一个地区上空停留多长时间；它可以自由漂浮，或者可以用绳拴住；

没有震动和小的运动，就摄影而论，这是一个有利条件，它不需要用昂贵的运载火箭从地面发射，放气球不仅费用较小，而且它所携带的仪器受到损坏的危险也比较小；在它的任务结束的时候，它再轻轻地降到地面上，这又减少了仪器遭受损害的危险。此外，携带仪器的吊篮可以通过降落伞收回。一个十分重要的考虑是气球的生产和操作比较便宜。

最初的气球里充的是热空气，使它可以升起来，这种最廉价的方法，对于一些低空飞行，直到如今仍然被利用，但是对于高空飞行来说，必须充氢气。气球虽然提供了一种使人和仪器离开地面升到空中的最早的方法，但是它决不是过时的方法，今天，现代的发展又使它们处于显著的地位。目前，气球能够在 50 公里左右（约 164,000 英尺）的高空，在相当长的时间内带 1,800 公斤重的有效负载进行工作。这种高度是飞机不能达到的；所以在传感器装进卫星之前，在接近宇宙空间的条件下，作为试验传感器的平台，气球提供许多有利条件。本世纪六十年代初，密执安大学高空工程实验室很成功地完成了这方面的试验。科学家为了试验那些打算在泰罗斯和雨云（ Nimbus ）气象卫星上应用的辐射测量仪器，进行了一系列气球飞行。气球达到的高度大约 35 公里（约 114,600 英尺），悬挂在气球下面的吊篮里安装了辐射计和摄影机两种仪器，当气球在飞行的时候，资料通过无线电发送到地面。在地面有汽车跟踪气球，汽车里装有接收信息的设备。试验结束的时候，用降落伞回收吊篮。这些试验不仅在试验仪器和收集环境资料方面是有用的，而且证明，利用气球有可能达到上述目的。

关于固定的气球系统(高空气球),计划在进行之中,把这种气球放到地球周围的战略位置上,它就能够把信息发送到卫星上,然后再从卫星发送到地面。这对气象学家来说是极宝贵的,他们多年来一直利用气球作为他们安放仪器的平台,特别是在海洋上空。

高空气球最接近航天器的情况,事实上,它还有一些胜过卫星的优点。它们的轨道是比较灵活的。在卫星进入轨道以后,很多工作就不能再进行了。卫星的轨道是不易改变的,卫星不能把仪器带回地面进行修理。正如我们即将看到的一样,为了使卫星与地球保持相对固定的位置(或者如专家所说,把卫星保持在与地球同步的轨道上),卫星必须发射到十分高的空中,大约是23,000英里。在这样的高度,仪器的分辨力是很低的,看地球的任何细节都是困难的。另一方面,气球能够在很低的空中,在相当长的时间内,保持或多或少的固定位置。另外,气球的运动虽然受到风的难以预测的变化的影响,但是,假如它是一个空气动力形态,而不是一个球形的话,这个不利条件至少可以克服一部分。为了使气球在空中预定的位置上保持不动,可利用两种方法。一种方法是用铁索把气球拴住,另一种是供给它动力。在很低的高度,把气球拴住几乎不成问题,但是对于高空要这么做,则是不可能的。目前,研制适用于高空的有动力的、易操纵的飞船的工作正在进行,这些飞船将用太阳能电池发动,能够达到大约15,000—30,000米(50,000—100,000英尺)的高度。

直升飞机作为拍摄象片的平台,提供了一些有利条件。它能够在一个地区上空盘旋,能够完成比飞机复杂的飞行路线

(例如跟踪道路或河流),它们也能在低空工作。然而,它们受到震动的影响,但是给摄影机加上防震装置,在某种程度上能够排除影响,当然在飞机上也必须应用这种防震装置。它们的费用比较便宜,飞行计划灵活,提供的信息容易回收。所以林务员估计林区森林面积、农学家研究大面积庄稼,测量员在城市和矿区测量,都成功地应用直升飞机。

目前,飞机是最有用和应用最广泛的一种遥感平台。它几乎能够携带各种传感器——常规摄影机、电视摄影机、多光谱扫描器、红外扫描器、雷达和其他微波设备、荧光传感器等。因为它们获得的信息容易回收,又因为携带的仪器容易改装和维修,所以在卫星上天之前,飞机对于试验实验性的计划是非常有用的。由于飞行的高度、飞行的距离、携带的传感器等方面不同,可以选择和应用不同的飞机。

在加拿大,用来摄影的、应用最广的一种飞机是 CF 100 型,这是一种双引擎喷气式飞机,除了驾驶员外,还能乘一名领航员或传感器操作员。通常它带有可供选择的摄影机,即进行垂直摄影的摄影机和倾斜摄影的摄影机,它们都安装在密封机身的外面,没有外部温度调节器。它可以在海拔 1,000 —40,000 英尺的高空工作,但是在比较低的高度,它受到空气涡流的影响,而且燃料的消耗量大。所以它曾被限制在 10,000 英尺以上的高空飞行,现在这种限制已经废除了。对于比较低的高度,达科他(Dakota)运输机通常是优先选用的。这种飞机的最大飞行高度是 10,000 英尺,作出这个限制是因为超过了这个限度就没有足够的氧气供应传感器操作员。加拿大遥感部门有这两种飞机,一种飞机用于实验性工

作，所以它没有成套的传感器，但可以改装上任何传感器；另一种飞机是从事正规飞行的达科他飞机，它带有可供选择的摄影机和红外扫描器。对于较高的高度，正在应用猎鹰式喷气机，它带有四至五名传感器操作员和两名驾驶员，能够在35,000英尺高空工作，飞行距离达1,500英里，在飞机机首的密封舱的外面装有红外扫描器。根据承担的工作要求，可以选用各种摄影机。近来已经购买了远程涡轮螺旋桨 Convair 580型飞机，它能够在北极圈和海洋上空工作。

用飞机作为遥感平台的优点是：飞机是有人驾驶的，在飞行的时候，能够控制，并具有灵活性。摄影或磁带形式的记录能够直接带回进行处理。目前已经发展到能够在飞行的时候，在飞机上完成许多资料的处理工作。航空资料获得系统(ADAS)目前也在试验之中，它其实是一台以小型计算机为基础的资料收集和监控系统。它对传感导航和监测的资料进行收集、分类和处理，然后以数字和模拟形式记录在宽磁带记录器上。这种系统已经设计出来，可提供适合于飞行后分析和处理的资料。

自从最原始的火箭在战争中应用以来，至今已有六、七百年时间了。从那时以来，火箭的动力、射程和控制都在逐步得到改进和提高，直至用于战争的最先进的火箭——第二次世界大战中发展的V2火箭。德国造了许多这种火箭，幸而在战争结束时，还未用到战争中去。战后，俄国和美国充分利用这些火箭作为科学仪器的平台，进行实验，探索地球上空的上层大气层。这确是我们目前空间研究计划的开始。首先，从应用固体燃料，如黑色火药，到应用液体燃料的这种改变，是火

箭发展的最重要的阶段之一。最初的一个液体燃料火箭是1926年罗伯特·戈达德(Robert H. Goddard)在美国发射的，为了纪念他的功绩，在他死后，把位于马里兰州格林贝尔特的美国中央空间研究站命名为戈达德空间飞行中心。另一个重要阶段是发展多级火箭，这能使火箭射得更高，飞得更远。较早的火箭射程是有限制的，因为它们带的燃料不能很多，否则火箭就太重了。而多级火箭则在飞行过程中，脱落一些它们不需要的重量，它们就能够比较有效地应用燃料。例如，两级火箭是由两节火箭组成的，其中一节火箭安装在另一节的头上。首先应用第一节火箭的燃料，来推动整个火箭前进，当燃料烧完的时候，第一级火箭就脱落下来，留下第二级火箭，带着科学仪器继续前进，完成其余的路程。第二级火箭仅是火箭原来重量的一部分，它以相当大的初速度开始其单级火箭的飞行，当它依次燃着它的推进剂时，它就能够获得极高的速度。较大的多级火箭不久在著名的海盗式系列中发展到顶点，这种火箭能够达到约160英里的高度，携带的仪器负载达800磅以上。为了收集大气和气象资料，为了研究太阳和外层空间的辐射，应用了大量小型火箭，这主要是在美国进行的。

在我们对空间进行研究的过程中，这些发展都是很有意义的，也是一个重要阶段。但是，火箭决不是观测地球的一种理想的平台，甚至它也不是察看周围大气圈的理想平台。首先，它靠喷射起飞，以很高的加速度离开地面，产生的冲击容易损坏它所携带的仪器。事实上，灵敏的仪器若能完全经受住这些冲击并继续工作，那是难以想象的。当火箭再回到地

面时，碰撞也容易进一步损坏仪器和它们已经取得的记录。所以我们能得到的资料的数量和类型是有限的。火箭在几分钟时间内向上起飞又再落下，它可以在准确无误的位置上记录资料的持续时间是比较短的。然而，在短时间内进行大量摄影是可能的，在这短暂的片刻，照明条件是一致的，这是其优点。地球资源火箭已在英国研制，这是为了特殊的目的，例如调查庄稼，要求火箭有所特长而研制的。火箭适宜于短期的计划，当云通过的时候，它能够在发射地点保持准备状态，等待合适的时机，然后在操作员的控制下放出去。

一般说来，虽然火箭提供的是一种价钱较高的收集资料的方法。但是我们能够利用火箭的进展，更有效地用火箭使卫星进入轨道和发动航天器。只有卫星，不论是有人驾驶的还是无人驾驶的，才能在空间进行长时间的测量，这里我们可以拿 1972 年 7 月发射的卫星作为例子。这颗卫星最初叫做地球资源技术卫星(ERTS-1)，第一年拍摄的图象上标了 ERTS 的名称。1975 年 1 月 14 日，它被重新命名为陆地卫星 1 号，因此在资料方面有时有些混乱。陆地卫星是作为六个卫星系列中的第一个而设计的，它最初的设计目的并不是为了收集那么多的资料（虽然事实上收集的资料已经完全超出了原有的期望），而是试验这样做的可能性和所取得的资料的价值。世界各国都被美国宇宙航行局邀请参加这个试验。加拿大接受了这个邀请，并且从卫星发射以来就接收了资料。1975 年 1 月 22 日发射了陆地卫星 2 号，它所补充的传感器与陆地卫星 1 号是非常类似的。

这种系列的其他卫星所补充的传感器，有些部件还不过

关，但是，希望至少有一颗卫星（用来收集海洋学资料）将带雷达系统。

我们要比较详细地了解一下陆地卫星1号，但是在此之前，我们要一般地介绍一下卫星的特性——它们的性能、速度、高度和轨道。

当我们了解到，一个非常奇异的物体作为人造卫星按照十七世纪中叶牛顿提出的运动定律运转的时候，这是相当令人惊奇的。每个人都听过这样的故事：23岁的牛顿，坐在苹果园的树下，当苹果落在附近的时候，他立刻想到了地心引力的理论。实际上，当时牛顿正在剑桥大学研究天体的运动，因为当时传染病流行，当局关闭了剑桥大学，所以他碰巧是在家里。

大约早在50年前，J.刻卜勒（Johannes Kepler）在数学上研究了他的导师——丹麦天文学家T.布拉赫（Tycho Brahe）留下的大量细致记录的资料，在阐明关于行星运动的某些定律方面，已经前进了一大步。这些都只是事实，但原因是什么呢？明显的问题似乎是“月球为什么不落到地球上来？是什么力量把它保持在那里？”这是牛顿的独创性见解中具有代表性的。牛顿说过：“月球为什么不飞出去进入外部空间？什么力量保持它靠近地球？”他已经提出了他的运动定律的要点，其中他说道：“一个物体，如果没有外力对它作用，那么它将以相同的速度朝相同的方向继续运动。”那么月球为什么不按直线继续运动呢？它为什么环绕地球成圆形轨道呢？这必然有一些神秘的力作用于它，并把它拉向地球。这是什么力呢？在观看苹果落地的时候，牛顿认识到，使苹果落地的力和

使月球紧绕地球而不抛出去进入空间的力是相同的。他把两个物体之间的这种吸引力叫做万有引力，这种力也把我们的卫星保持在轨道上。

月球是地球的天然卫星，它以几乎是圆形的轨道，围绕地球旋转，离开地球的平均距离大约是 385,000 公里或239,000英里。它象其他任何物体一样，受到完全相同的力学定律的支配。现在我们发射到轨道上的人造卫星也受到这些相同定律的支配。三百年前，如果我们有可能发射这样的卫星的话，牛顿就会告诉我们关于卫星绕轨道运转的速度和高度之间的全部关系（即它的轨道速度是与它飞离地球的速度相反的）。为了使卫星在一天中完成任何给定的圈数，他能够预测我们应该把卫星发射到什么高度。他预测了火箭的第二宇宙速度，达到这个速度时，火箭能够克服地球的引力，脱离地球，进入外层空间，这个速度是每秒11公里多些（约每秒7英里）。确实，那时和现在的唯一区别是：现在我们有了获得这样高的速度的方法，有了火箭燃料，有了经得起最初发射引起的高应力的材料。我们能够设计多级火箭，把飞行器发射到宇宙空间。

牛顿的天体运动理论指出：天体围绕地球旋转的速度是与它离开地球的距离有关的，离开地球越远，它运转的速度就越低。事实上，速度是按照它的高度的平方根的倒数而改变的。工程师可以根据这个知识来设计卫星绕地球运转的轨道，如陆地卫星每天绕地球 14 周，为此，它必须在大约 570 英里的上空飞行。他甚至能设计这样一种轨道，即卫星与绕轴自转的地球保持同步，这样一来，卫星就好象固定不动的悬挂

在空中。这种轨道叫做地球同步轨道，为此，卫星必须发射在赤道上空很高的地方，离开地面的距离大约是 35,400—37,000 公里(22,000 —23,000 英里)。这样，它就要 24 小时才环绕地球一周。

在设计人造卫星轨道的时候，有三种主要轨道类型。一种是刚才提到的地球同步轨道；另一种是极轨道，卫星在极地上空从北向南或从南向北飞行；还有一种是倾斜轨道，卫星的轨道平面与地球的极平面之间成一角度。这三种轨道用图式表示在图 27 中。

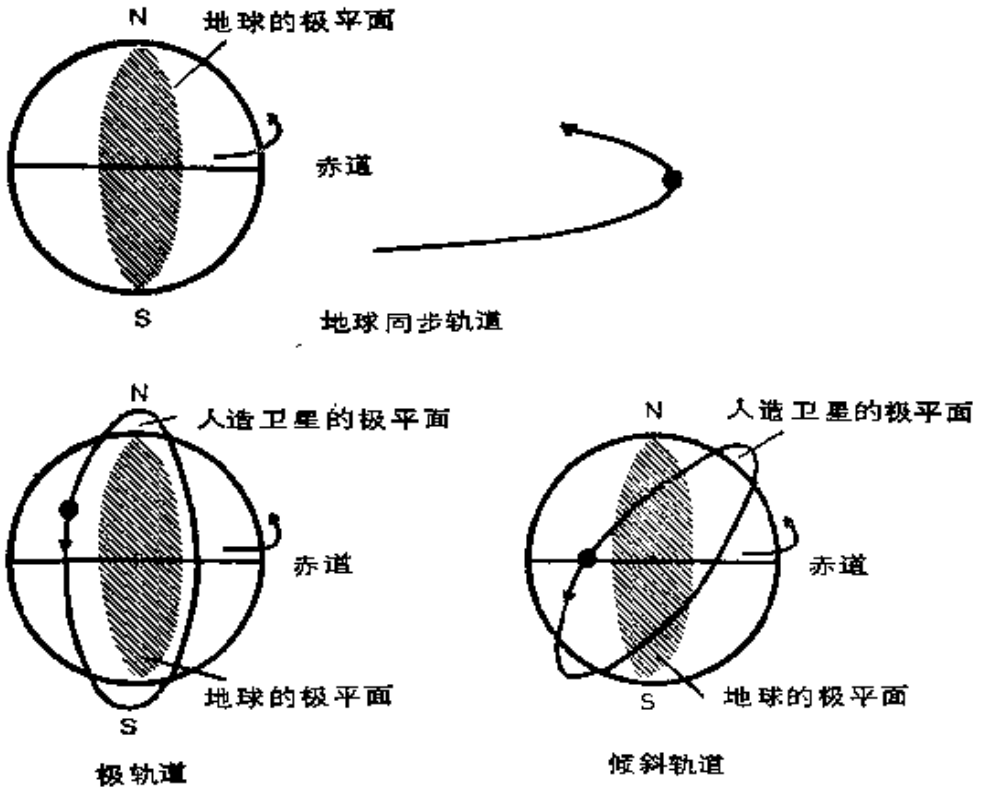


图 27　地球卫星轨道类型

陆地卫星以接近极平面的太阳同步轨道飞行，它们在白

天是从北向南飞行，在晚上是从南向北飞行。所谓与太阳同步，就是不管在世界哪一部分，卫星每次经过时，都在完全相同的地方时通过赤道。这时间设计在上午 9:30，这时，在卫星下面的地面上，阴影总是明显的。阴影能够比较清楚地显示出地形特征。每天于完全相同的时间在上空通过，这确保传感器在白昼条件下察看下面的地面和拍摄景色，阴影也是尽可能相同的。当然，由于覆盖的云量不同，阴影会有区别，但这是我们无法加以控制的。由于我们发展了其他能够比较容易穿透云的传感器，这些困难将得到克服。

陆地卫星每天绕地球飞行 14 周，环球飞行一周的时间是 103.3 分钟。你们也许问："既然卫星在 24 小时内通过赤道 14 次，那么它怎样始终在相同的时间通过赤道呢？"这是因为，我们所说的时间是相同的地方时，或者相同的太阳时。在卫星相继两次通过赤道的周期里(即约103分钟)，地球本身也在自转、时区随着地球一起旋转。一天地球自转一周，而卫星绕地球从一极到另一极旋转 14 周。实际上，我们把地球想象成静止的，而把卫星轨道平面想象成绕地球移动的，这就比较容易理解了，如图 28 所示。

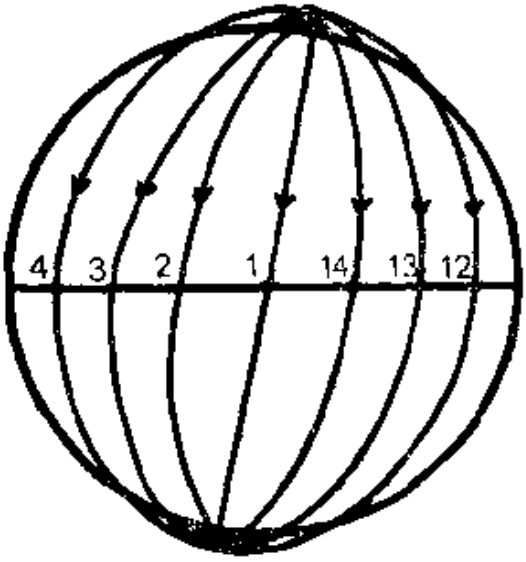


图 28　24 小时周期内陆地卫星轨道
(只绘出向下通过的轨道)

地球的周长大约是 40,050 公里(29,900 英里),因此,在赤道上相邻两轨道之间的距离大约是 2,870 公里。接近极地的地方,相邻两轨道之间的距离是很短的,所以扫描器扫过的地带是重迭的。因此,我们可以把地球想象为一个巨大的有 14 瓣的柑桔,卫星每天在每一瓣上空通过两次,一次在白天(从北向南),另一次在晚上(从南向北)。

想象这些三维空间的旋转是相当困难的,因此让我们把这个球形的地球打开,并且把它铺平,墨卡托投影的地图册就是这样做的。我们将研究陆地卫星 1 号一天的运行情况,我们可以绘出每一个轨道的地面轨迹线(即直接在卫星下面的地面位置,卫星的天底点)。从图 29 上可以看到这些轨迹。

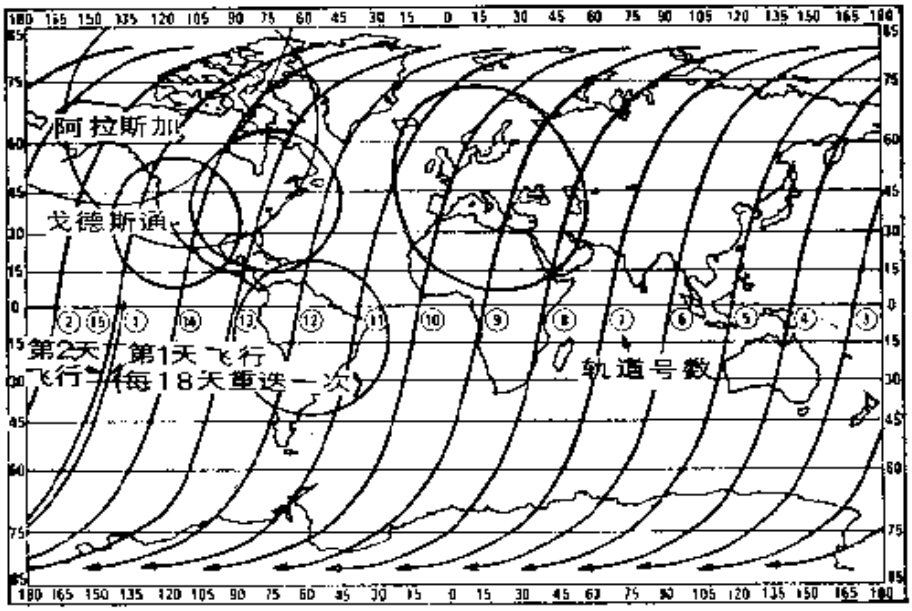


图 29 典型的陆地卫星一天的地面轨迹线
(仅白天通过的轨迹线)
(据美国国家宇航局)

我们设想:当卫星在纬度 0°的太平洋上空某地时,开始

第一天的飞行，它接近通过南极上空，然后再到地球另一面的上空。这时地球的另一面是黑夜，所以我们对这一面的轨迹并不感兴趣。103 分钟以后，卫星又将从北向南在赤道上空通过，但是在这个时间里，地球也在自西向东旋转，太阳时将是相同的。象你能从图上看到的一样，这种运动每天重复 14 次，然后卫星又在适当的位置，准备开始第二天的工作。第二天的第一条轨道就是第 15 号轨道，但是你会注意到，它与第1号轨道不完全重合。原因是：在赤道上，相继的两条轨道之间的距离是 2,870 公里，但是卫星上传感器的扫描带宽度只有 185 公里。这意味着，相邻两轨道之间有很大范围没有被覆盖到。因此，第二天所有的地面轨迹都比前一天的位置刚好向前移动一些距离，第三天又比第二天向前移动一些，直到第 18 天结束的时候，整个地球就都被覆盖到了。你能看到，这个周期结束的时候，最后的一条轨迹线（即第 252 号轨迹线）将同第一天的第一条轨迹线重合。然后准备开始再进行一次完整的循环，因此第 19 天的第一条轨道便与第一天的第二条轨道精确地重迭在一起，以后的轨道也将依次重迭。这样一来，地球上的任何部分每隔 18 天就会被覆盖一遍。较靠近极地的地方，那里重迭很多，覆盖将是比较频繁的。图 30 表明第一天的第 1 、2 轨道之间地面轨迹线的增补。1 是第一天的第 1 条轨道，用1/1表示；15 是第二天的第 1 条轨道，用1/2表示；29 是第三天的第 1 条轨道，用1/3表示，以此类推。直到第 253 条轨道，它是第 19 天的第一条轨道，用1/19表示，它同第一天的第 2 条轨道重合。

你们会注意到，在赤道上，相继的两条轨道离开 2,870 公

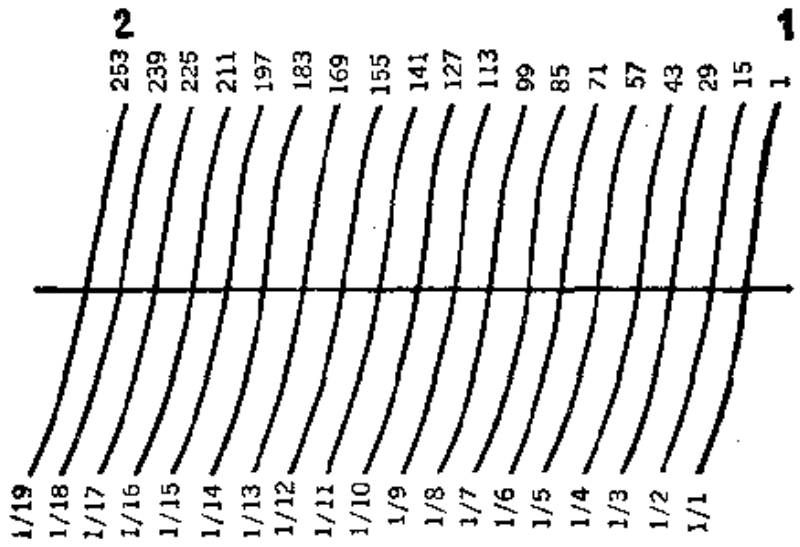


图 30　18 天周期内每天第一条轨道的地面轨迹线

里，其间被 17 条地面轨迹线覆盖，每两条轨迹线之间的宽度是 160 公里。传感器扫描带宽度是 185 公里，所以在赤道上有将近16%的旁向重迭。在极地轨迹聚集，所以在高纬地区的旁向重迭达 90% 左右。这看来是多余的，但是必须记住，不是所有的景色都是适合的。因为云的覆盖，有些景色可能是无用的。这种重迭对加拿大来说是幸运的，因为北极地区对我们具有特殊的意义。

我们曾说过，陆地卫星 1 号以近极轨道飞行，为什么它只是近极呢？因为，如果它恰好是极面轨道的话，由于所谓岁差现象，是不能使它在整年内与太阳同步的。为此，就在 570 英里高空飞行的陆地卫星说来，轨道面与极面之间需要 9° 的夹角。因此，它覆盖地球是不很完整的，而是从北纬 81° 延伸到南纬 81°，无疑，它包括了我们感兴趣的大部分地区。这是陆地卫星的飞行路线。关于卫星本身它是怎样的呢？它看起来象什么呢？

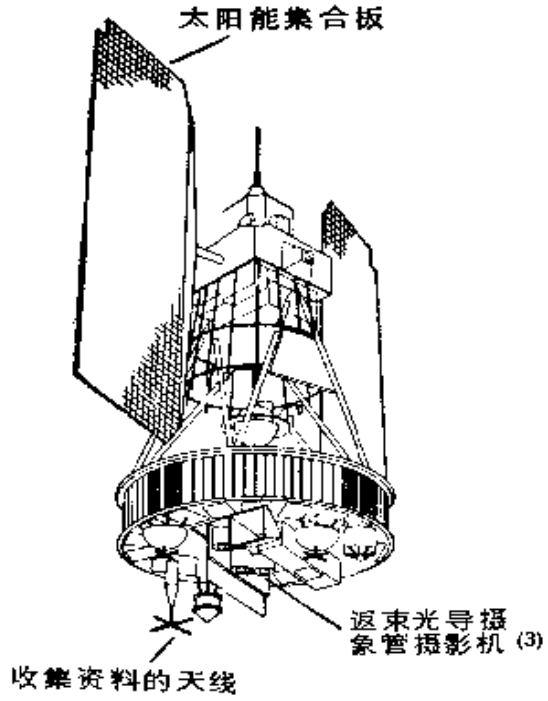


图 31　陆地卫星 1 号图解

陆地卫星重 2,100 磅，约 10 英尺高，直径约 5 英尺。图31 展示了陆地卫星的外形。

前面已经讨论过，陆地卫星 1 号带有两种传感器，一种是包括三架摄影机的返束光导摄象管系统，可以看到它安装在卫星的底部，另一种是多光谱扫描器。每种传感器都有它自己的高密度的磁带记录器。返束光导摄象管的输出信号以模拟形式用频率2265.5兆赫的无线电波发送到地面，多光谱扫描器的输出信号以数字形式记录下来，并用 2229.5 兆赫的频率发送到地面。资料不是连续发送的，而只是当卫星到了地面接收站的视域之内它才发送。在世界的另一面上空，发送信号是浪费能量，因为那里没有地面站接受信号，而在卫星上，能量是非常珍贵的。因此，当卫星到了地球另一面上空时停止发送，把资料记录在磁带上贮存起来，以后根据美国地面站的指令，再向地面播送。通过国家宇航局的安排，当卫星在加拿大领土上空经过时，发送装置始终是接通的，所以在萨斯喀彻温的阿伯特王子地面接收站，可以接收到全部资料。在卫星的基部可以看到发射信息的天线。除了发送被卫星本身的传感器所

收集的信息以外，卫星还能够转发它从地面资料收集中心所接受到的信息，这在本章的开头部分已经提到。因此，在隆冬季节，应用者不需到难以通过和难以接近的地区去调查，并且不必付出地面联络系统的费用，就能够得到地面站的资料。到1974年年中为止，大约有150个资料收集平台在工作。

就加拿大而论，她只需要提供处理遥感资料的设备。另一方面，美国则涉及许多其他因素，必须有数个其他通讯渠道。当卫星进入轨道以后，就要经常检查它的位置，假如它偏离轨道，就必须进行校正。这是通过使用一磅力推冲器的单元推进剂肼的分系统达到的，它能够提供校正发射轨道所需要的力，以及进入轨道后或许有必要进行调节时所需要的力。为了使卫星始终直立向下朝着地面，必须保持卫星的姿态。所以安装了姿态控制分系统，它使卫星的垂直轴与真垂线之间的夹角保持在0.7°以内。卫星的俯仰和滚动靠仪器来校正，这仪器对四面作水平扫描，把位置上的那些误差反馈回来，并作出校正。用陀螺罗盘校正偏航角。

为了完成所有这些任务，卫星需要电源，而电源必须从太阳取得。图31展示了两个独立的太阳能集合板，它们是硅光电池的组合，能够把太阳光转化成电。近极轨道的飞行器，例如陆地卫星，它们有大约一半的路程是在黑暗中飞行的，所以必须有贮存电源的工具，而电池组就提供了贮存的条件。电池组按照需要供电，当卫星在太阳光下时重新充电。

虽然气象卫星已超出这本书的范围，但是我们也许应该对它们有一些简短的了解，因为它们是较新的地球资源卫星

的先驱者。它们虽然是为了观察大气层而设计的，但是它们却代表了人类在记录地球资料方面的最初尝试，而早期的气象卫星，分辨力太低，以至许多信息还靠在地面来收集，最近的发展已经达到这样的改进，即现在它们能够为天气预报和小比例尺地面制图的双重目的服务。这使气象卫星对测量大范围的冰特别有用，可以显示出冰的分布和运动。

近期的泰罗斯、伊萨（Essa）和雨云卫星上的电视摄影机和扫描辐射计已经拍出了海冰状况的有用的图象。在这方面，雨云－5号卫星对我们有着特殊的意义。它带有一架扫描微波辐射计，工作波长是1.55厘米，得到的空间分辨力大约是30公里。它每天提供全球的海冰分布情况。用这颗卫星，已经得到了极地的全图，图上显示了这些地区的亮度温度，彩色照片Ⅱ展示了这样的一张象片。近来的诺阿(NOAA)卫星，带有分辨力非常高的辐射计，它对于海冰制图也是极宝贵的，直接在卫星底下的地面分辨力约是一公里。因为这种卫星的轨道规定极地每天有二次被扫过，所以我们可以很快知道冰的运动。由此我们能够了解分辨力较低但覆盖比较大的这种卫星的优点。

无人驾驶的卫星能够得到那么多的信息，那么，使人到卫星上去，亲自操纵仪器，能得到多少我们预期的信息呢？人到卫星以后，整个计划立即变得更为灵活，科学家能够进行短期的或长期的实验，能够在运行中修理仪器或者安装新的设备，他们能够亲自把资料带到地面，当时机需要的时候，他们能从宇宙飞船上发射小卫星。

然后是下一个主要阶段——天空实验室阶段。于是，在

1973 年 5 月 14 日，发射了天空实验室。它进入同赤道成 50° 角的倾斜轨道。由于这样的一个倾斜角度，它仅仅能在北纬 50°和南纬50°之间获得覆盖，可惜加拿大被覆盖的面积不很多。天空实验飞船的飞行高度比陆地卫星的飞行高度低得多，前者大约 270 英里，后者大约 567 英里。因此，它旋转得较快，每隔 93.2 分钟绕地球一周，而陆地卫星是 103.3 分钟旋转一周。1974 年 2 月 8 日，最后的几个宇航员离开了他们在天空中临时的家，天空实验室带着宇航员航行了总计 7,000 万英里的路程，绕地球 2,476 周。图 32 表示了天空实验室的地面轨迹图。

天空实验室原来并不是如陆地卫星那样，为了研究地球而设计的，研究地球仅是它很小的一部分使命。虽然一共完成了 250 多次试验，它们的目的首先是研究在空间条件下人

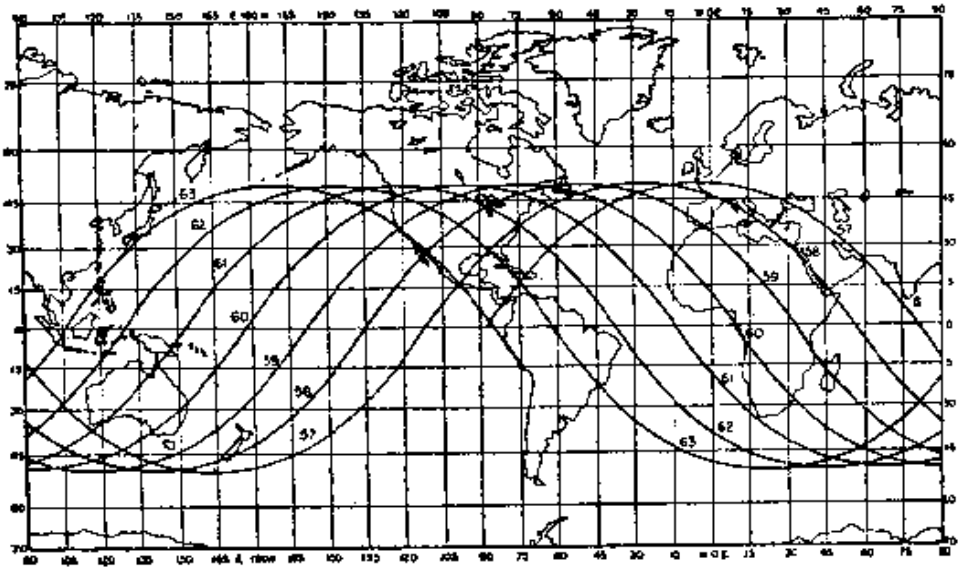


图 32　天空实验室地面轨迹图
（据美国国家宇航局）

和其他动物的特性(医学的、生物学的和心理学的研究);其次是研究星际空间和天体,特别是太阳;第三是收集关于地球和大气的资料,这个工作,无人驾驶卫星已经进行了。另外还完成了一系列其他科学研究工作,其中有失重状况下晶体的生长和金属的合铸等实验。

所有这些实验的说明可以写成好几本书,这里我们只能稍微介绍一下研究地球资源的实验,因为在这方面,它们是陆地卫星所进行的那些试验的补充。虽然分配给这些研究的时间是有限的,但是它仍对制造若干新传感器作出了评价,并且又得到了可供以后解译的许多完整的新资料。

你们记得,陆地卫星仅带两种传感器——返束光导摄象管系统和多光谱扫描器。天空实验室有目标比较宏伟的有效负荷,多光谱扫描器包括10个可见光波段、2个近红外波段和一个热红外波段,共计13个通道,而陆地卫星只有4个通道;天空实验室波长下限在紫外线区域,是400毫微米,而陆地卫星的波长下限在蓝--绿光区域,是500毫微米。我们确实不需要13个波段去勾划大部分界线,但是对任何特殊目的来讲,我们希望知道哪一个波段最好,比较一下从所有这些波段得到的资料,将告诉我们哪一个波段最好。此外,宇航员本人也拿着小摄影机,天空实验室还带有6架其他的摄影机,四架摄影机用黑白胶片,但带有四个不同的滤光片,在不同的波长区工作。一架摄影机用假彩色红外胶片,另外一架用普通彩色胶片。所有这些摄影机都安排好了对准地面79米见方(260英尺见方)的同一地区,所以能够得到它们之间的正确比较。这些象片的共同比例尺是1:2,800,000。

天空实验室也带有微波传感器，主动系统用来测量地面物体的微波反射率、在不同波长处工作的被动系统用来记录地物发出的辐射。最后，在用来记录地面物体的可见光和红外线光谱特征的一套仪器中，包括了能够进行光谱扫描的取景光谱仪。通过图象电子放大的透镜系统，地面覆盖的直径变化范围大约从 11.3 公里到 113 公里(7 英里到 70 英里)。

这是一种真正令人印象深刻的传感器大汇集，这些传感器都是用来瞄准我们小小的地球的。为了得到地面的真实资料和在以后解译天空实验室的资料中有所帮助，要尽可能同时从飞机上得到高度比较低的记录。天空实验室在飞行期间是没有信息发送到地面的，摄影胶片由每一组宇航员在返回地面的时候带回，非摄影资料则录在高密度磁带上，也在返回地面时带回。分析和解译所有这些资料要长时间才能完成，但是天空实验室已经告诉我们有关我们环境的新情况，并且指出了今后的发展应该采取的方向。

现在正提出发射永久性天空实验室的计划，在这种天空实验室里，也许要有 100 名经过不同训练的科学家才能在比较轻松的气氛中完成大批试验。他们要能在来往于宇宙飞船和地面之间的空间航天飞机上作短途旅行——这确是勇敢探索的新领域。

第五章　数据的地面接收

我们已经知道，信息是如何从地球传送到飞机或卫星上，在那里又如何把信息记录下来，以及如何再把它传送到地面。现在我们看一看下一步的情况——这种信息如何被接收、判读和传送到希望利用它的人们手里。

从飞机上获得数据的问题是比较简单的，一是数据量比较小，二是景象已经经过某些选择。只有在特殊的需要、特定的地方和适合的气象条件下，飞机才记录数据。凡是要求飞行的人都确切了解他所要达到的目的。可是，在无人驾驶的人造卫星上，却没有这样的选择，信息是连续收集的。希望利用这种信息的人很多，而且他们的兴趣各不相同。大量的材料被收集到了，许多磁带、象片、图表和信号可能使我们忙不过来，需要尽快地对它们进行判读、评定和发送出去。有时，除非在数小时之内将这些材料传送给那些急需的人，否则这些材料是无用的。假如在取得信息两天以后，再告诉北极水域船上的驾驶员说："如果你再向南前进 40 英里的话，你就可能通过浮冰了。"这是毫无用处的。当船舶驾驶员在那里面临着一个似乎不能通过的冰障时，他立刻需要信息，否则，对他是没有用处的。

编制和处理这些数据是一项巨大的任务，可是首先我们

在地面上究竟如何接收数据的呢？

我们以陆地卫星作为例子。我们知道，陆地卫星正在全世界收集资料，但是到目前为止，只有几个地面站能够接收数据。其中美国有三个地面站，它们分别在阿拉斯加的费尔班克斯、加里福尼亚的戈德斯通和马利兰州格林贝尔特的戈达德宇宙飞行中心。加拿大在萨斯喀彻温的阿伯特王子城有一个地面站，巴西和意大利各建有一个地面站，扎伊尔和伊朗也计划建立地面站。由于这种地面站已被证实是有价值的，所以毫无疑问，其他国家不久也将建立地面站。在此期间，这些国家正从美国得到他们的资料。目前，美国国家宇宙航行局正在把资料传送给同他们一起工作的30多个国家的600多名陆地卫星研究者。当陆地卫星在欧洲上空通过时，它能够接收到数据，并把数据贮存在磁带上，然后根据指令传送给美国的地面站。因为国家宇宙航行局每天获得的图象总数是188幅，所以四个波段中的每一个波段一年将近有7万幅图象，实际上一年共有28万张象片。另外，在加拿大上空，每天获得70幅图象。编写这本书的时候(1974年7月)，陆地卫星1号已经运行了将近3年，陆地卫星2号运行了6个月，前后获得的象片总数达一百万幅以上。这些象片没有全部处理和分发，首先，计划是不言而喻地落后一些了，从那时以来，我们收集资料的能力超过了处理资料的能力。再者，象片不是全部都有用的(例如，有时云遮盖了景物)。但是为了区分出象片的好坏，对所有的记录都必须查看。可以把图象投射到阴极射线屏上，它类似于我们在电视机中所看到的荧光屏，通过这种方法就能进行象片初选。

描述如何接收这些数据的最简单方法，也许就是看一个实际的地面接收站。我们把在萨斯喀彻温的阿伯特王子城的地面接收站作为例子。

二十世纪60年代末，加拿大作出决定，在研究地球资源卫星的潜力方面与美国国家宇宙航行局合作，考虑的第一件事是在什么地方设立地面站。由于这必然具有实验性质，所以就要求尽可能少花钱同时又有很好的接收能力；为了白手起家设立一个精巧的、永久性的但后来可能证明是无用而累赘的装置，使国民受到无谓的损耗，这将是不正确的方针。还要求使整个加拿大特别是北极地区尽可能有完整的覆盖。因为北极地区难以接近，所以，这个地区的资料非常缺乏，在迅速发展的今天，人们痛感资料之不足。为了在陆地卫星1号发射后立即就准备接收数据，所以另一个要求是使地面站迅速工作。因此采取了折衷的办法。在如此短促的时间内获得这样成功的结果，这个事实高度赞扬了有关人员的技能和热情。

在考虑设置地面站的最好的地点的时候，有四个方案：第一个在曼尼托巴的丘吉尔城，第二个在新斯科舍的米尔村，第三个在萨斯喀彻温的阿伯特王子城，第四个在渥太华。其中，丘吉尔城或阿伯特王子城两个地点可望有最好的覆盖。在丘吉尔城，覆盖可能会比阿伯特王子城还要好些，特别是对于沿海各省。但在卫星发射之前，还来不及在那里设立一个能工作的地面站。所以最后决定在阿伯特王子城建立一个地面站。这个地面站所以能够相当迅速装配好，是因为这里已经有一个原先为雷达而设计但是不再使用的天线。这种天线系统对于由陆地卫星传送来的信号频率是可以胜任的。在这种

天线系统中，一个大的抛物面天线是花钱最多的项目，而采用原来的天线是最省钱的。如果以后认为地面站的位置需要改变，那么一些必需而又昂贵的辅助设备就应是活动的，并且能够移动到别处。所以，阿伯特王子城就成了加拿大第一个地球资源卫星地面站的场所。

图 33 表示阿伯特王子城的接收站可能覆盖的范围，实际上覆盖的范围比图上所表示的要大一些。

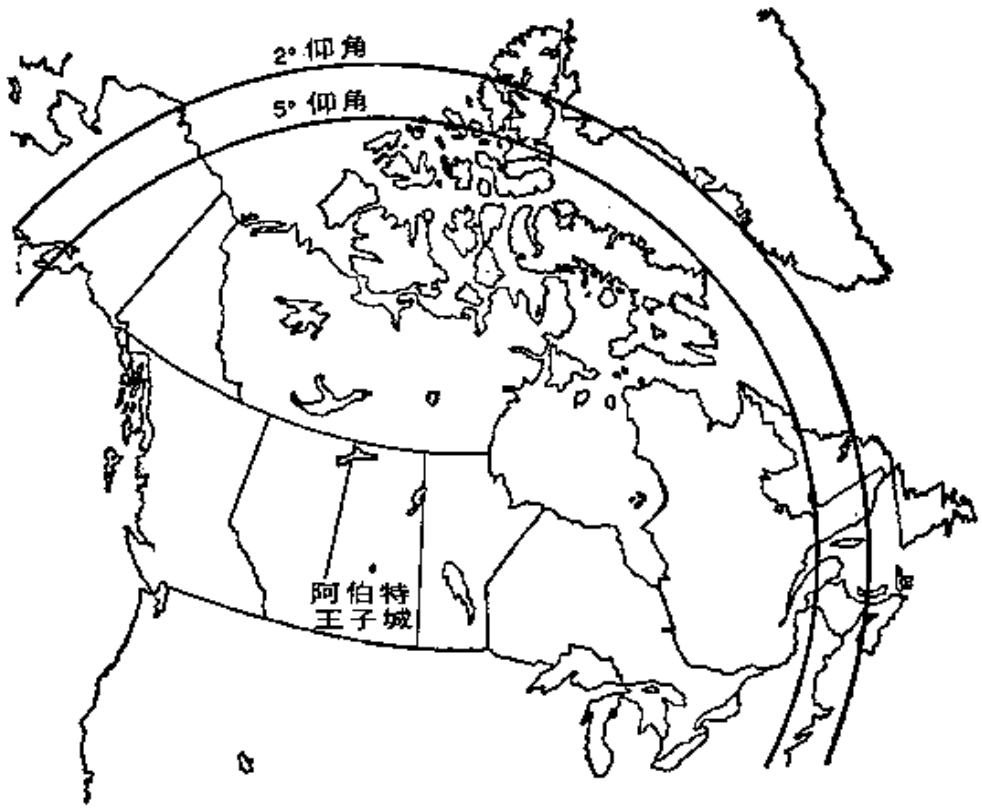


图 33 从阿伯特王子地面站所接收到的陆地卫星覆盖

这幅地图上的两个圈是以阿伯特王子城为圆心的，一个为 5° 仰角，另一个为 2° 仰角。5° 仰角表示抛物面天线指向地平线以上 5° 的角度，与此相对应，2° 仰角表示天线指向地

平线以上 2° 的角度。低于这角度时，因为电离层的折射效应和大气的闪烁作用，估计会减弱信号的接收。这是作出最初选择的依据。后来的工作表明，阿伯特王子地面站的覆盖范围可以达到地平线，也就是仰角为 0°，所以它的接收范围甚至比设想的更好。而且还发现，在低角度时不是减弱接收力，实际上折射提高了接收力，用—0.2° 仰角也获得了正确的数据。

你能看到，虽然没有完全覆盖加拿大，但是对加拿大的覆盖是相当好的。它没有包括整个埃尔斯米尔岛或整个大西洋各省；对于这两个地区的资料，决定从戈达德空间飞行中心的国家宇宙航行局地面站那里取得。现在考虑在纽芬兰岛的圣约翰附近建立一个新的地面站，这个地面站将对东海岸和北大西洋地区有较好的覆盖。

我们在上一章看到，陆地卫星在 18 天时间内从东向西完成它对全世界的覆盖。因为它在一天内从北向南运行 14 圈，又因为第二天的每一条轨道都比前一天的轨道稍微向前移动，所以第 18 天的最后一条轨道与第一天的第一条轨道正好重合，很清楚，全世界被 251 条轨道所覆盖(即 $14\times18-1$)。

夏季，陆地卫星的这 251 条轨道中，至少有 80 条以上在阿伯特王子卫星站的范围之内；夏季白天最长的时候，在 18 天周期内，有 81 条轨道被地面站追踪。冬季，由于白天变短，这个数目也随之减少。

我们能够计算出陆地卫星在加拿大领土上空的持续时间。我们发现，在夏季，阿伯特王子卫星站在卫星每天经过 5 次或 6 次的过程中，总共有 34—40 分钟的时间能够接收信

区是黑暗的，但是其他部分还很亮。积雪不仅遮盖了一些我们希望了介的地面特征，而且它具有很高的反射比，发出大量的光进入传感器中，产生了使传感器失明的不好效果。我们知道，在3月份晴朗的白天，我们的眼睛也能被积雪发出的耀眼的光弄得看不见东西。仪器也会发生同样的情况，它们因光线饱和而失去作用。

我们在上一章看到，每个陆地卫星带有两种传感器。一种是返束光导摄象管，它使用3架电视摄影机，用3个波段同时拍摄同一景物；另一种是多光谱扫描器，它用4个波段连续地对下面的地球进行扫描。这就是陆地卫星必须传送给地面的，也就是阿伯特王子地面站所接收的数据。

接收系统的心脏是一个大的抛物面天线，就象你在乡下许多地方能够看到的供雷达接收和发射所用的天线一样。事实上，阿伯特王子站的设备原先是用于雷达的，为了使它适应于目前的用途，仅仅需要调整反射镜。从前面照片，你可以看到这个天线的外形。

根据国家宇宙航行局关于陆地卫星的初步说明，数据将通过7个频道传送到地面。其中，对加拿大来说，仅仅需要调节3个频道。另外4个通道是供国家宇宙航行局用来指挥和控制航天器，用来收集来自其他地面资料收集系统(如观测箱，观测塔等)的数据，用来管理航天器的内务，即记录和控制温度、轨道参数和其他环境条件。

为了在阿伯特王子站接收和处理来自陆地卫星的信息，阿伯特王子卫星站的天线对多光谱扫描器来说，它必须能够接收频率为2229.5兆赫、带宽为20兆赫的信号(PCM/FSK)。

对返束光导摄象管摄影机来说，它必须能接收频率为 2265.5 兆赫、带宽为 20 兆赫的信号(VIDEO/FM)。为了管理数据和接收有关轨道参数的资料，天线必须能接收频率 2287.5 兆赫、带宽 5 兆赫的窄波段信号(PCM/FM-FM/PM)，因为有时需要根据这种数据作出校正。为了接收卫星信号，对原来的天线系统作出的主要改变是换动波导管和装配副反射镜及馈电系统。为了跟踪在轨道上的卫星，研制了两种新的系统。用高频，宽带接收机代替地面站的雷达接收机。为了分离从卫星上传送来的各种信号并使它们清晰，研制了信号倍增分离设备。为了在高密度磁带上记录这种信息并以某种形式把它们显示给操纵该站的工作人员，另一类设备也已设计出来了。这包括一种速看系统(QUICK LOOK SYSTEM)，在这种系统中，信号被输入一种电视接收机，由此得到的影象能够立即显示出来。这样，在一定程度上能迅速地发现卫星运转中的缺点，并在通过下一个轨道之前得到校正；也在一定程度上能测知地面的紧急事件，如洪水、冰情或林火等。虽然这种系统最初是作为地面站管理人员的辅助设备而设计的，但后来它发展成一种对使用者非常重要的手段，下面我们将看到这种情况。

设在渥太华附近希尔莱湾的政府通讯研究中心，曾管理阿伯特王子站，一直到 1972 年年底；该研究中心也主管了从雷达接收站到卫星接收站的改装工作。然后这个地面站被能源、矿山和资源部接管，现在这个部负责管理这个作为加拿大遥感中心之一的地面站。

我们是以简单的方式获得卫星传送来的信号的。这就

是，位于抛物面反射镜中心的接收机收集信号，沿着天线塔向下传送给控制室，在那里把信号记录下来。

为了得到可靠的图象和对各条轨道能比较的图象，天线当然应该一直盯着卫星。

为了确实使阿伯特王子站的天线直接对准卫星，并当卫星在我们感兴趣的那部分轨道上时能准确地跟踪它，分别采用了两种跟踪系统。一种是计算机驱动系统，它使天线准确地对准目标，然后锁定目标进入第二种系统，这第二种系统能使天线自动跟踪目标。

如果你们去参观阿伯特王子接收站(你们去参观的话，肯定会受到欢迎)，你们能看到这个大的抛物面反射镜对着天空缓慢地移动，自动地跟踪一颗看不见的卫星。你会知道，它正在接收来自空中的信息。如果你走进天线旁边的一个小房子里，你将能看到一些反射到荧光屏上的信息，它们对没有经过专门训练的人，似乎不能产生许多感觉，但是对于在那里控制着波形振动和闪光画面的那些人，则意味着大量的内容。这是怎么回事？如何才能把所有这些资料解译出来呢？

前面我们说过，返束光导摄象管实际上用三个波段(1、2和3波段)快速拍摄地球的象片，这三个波段分别对应于绿光、红光和近红外，每张象片在地面上覆盖185公里×185公里(115英里见方)的面积，每张象片大约有10%的重迭。如前所述，这些图象被收集在卫星中一种电视屏上。然后，如果用电子束扫描图象，就能把信息从屏上取下，记录在磁带上，并转换成与普通电视信号类似的模拟视频信号，再以2265兆赫的频率向地面发送。在频率改变和放大以后，这些信号沿

着天线塔向下传送到控制室，在那里被数字化，记录在有28条磁道的高密度磁带上，再送到渥太华处理和分发。另外，可以用记录过的磁带把地面景物的图象投射到高分辨力的阴极射线管上，在那里，恰好可以查看图象，检验正在正确地工作的一切情况，或者可以把图象拍摄出来。这种阴极射线管对图象有很高的要求，以便充分利用返束光导摄象管系统的高分辨能力。图象由4,500条线组成，每条线有4,500个象元，这远远超出了只有525行扫描线的任何普通电视显象管的能力。因此，为此目的研制了一种特殊的显象管。

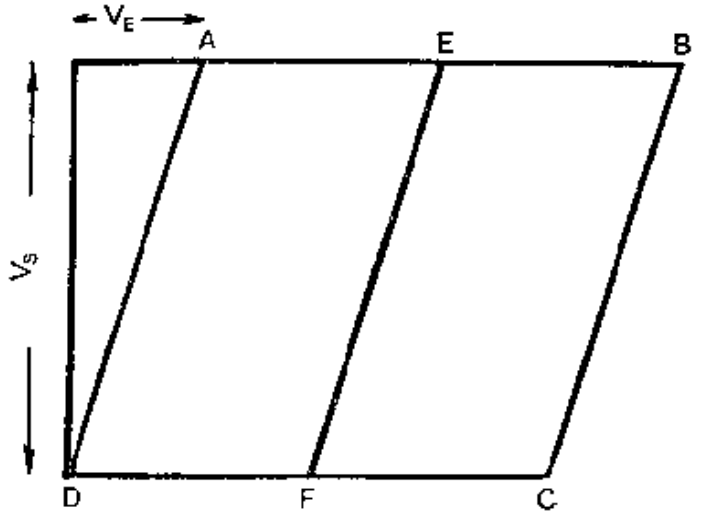
另一种传感系统——多光谱扫描器，它需要相当复杂的接收设备。多光谱扫描器有4个波段，包括一个近红外波段，而不是3个不同波段的3种不同图象。它并不对整个地区进行快速摄影，而是对一个地区连续地从一侧到另一侧扫描。你们记得，在垂直于飞行的方向上，把扫描的地区分成6条依次邻接的扫描带，每条扫描带被记录在对应于4个不同波段的4个不同的探测器上，因此共得到24个不同的记录。这个事实再次意味着，要把信息转换成适合于阴极射线管显示的形式，是特别复杂的。在航天器里，以数字形式依次对每条扫描带的输出取样，然后被倒频或多路传输成为一种单一的信号，再向地面传送。在把信号转换成有意义的图象之前，接收时，信号已分解复原或者进行信号分离。信号被记录在高速度的、28条磁道的磁带上，直接送往渥太华，或者把它的图象投影到荧光屏上并摄影下来。但是这里我们遇到了一些困难。对返束光导摄象管系统的图象摄影是相当简单的，因为它只有曝光量的变化，而多光谱扫描器图象是连续移动的。

一张象片所摄的面积是与一帧返束光导摄象管的图象同样大小的，拍摄后胶片被自动移到一个新的地点，这过程每 25 秒钟重复一次。然而，返束光导摄象管的象片有一些重复，而多光谱扫描器的象片离开一些，这是因为换胶片需要时间，但空隙只有一点点，小于 1%，如果在遗漏的地区出现一些特殊重要的情况，则可以很容易地重放一遍磁带，稍微使图象位移一下，以便使象片包括以前被遗漏的部分。

你们可能认为，这样叙述接收过程未免过分简单了一些。实际上，象片受到一些必须考虑的误差的影响。很容易理解，多光谱扫描器象片的几何误差和畸变要比返束光导摄象管象片严重得多。返束光导摄象管象片是在短暂的瞬间拍摄的，所以航天器的任何运动都不会对它们产生很大的影响。而对多光谱扫描器来说，收集数据的过程比较慢。以前，曾担心陆地卫星的诸如偏航、俯仰和滚动这些因素，以及它在地球上空连续飞行期间的运动，可能会导致最后象片的失真和不清晰。幸好实际上没有产生这些问题。卫星发射后大约 30—35 天，由于电源出了故障，返束光导摄象管停止了工作，但是加拿大还是设法从它取得了一些信息，接着又回过来利用多光谱扫描器图象。这些图象比原来预料的好得多，所以返束光导摄象管虽然停止了工作，但影响不大。一些误差是系统中固有的，但是在大多数情况下，这些误差能够得到校正。我们可以看一看这些误差的性质，就可以了解它们是如何影响到所接收的图象的。

首先，我们必须记住，在使用多光谱扫描器的情况下，当扫描镜从一侧向另一侧摆动，对它下面的一条地带进行扫描

时，卫星本身正从北向南运动。同时地球正在自西向东旋转。在扫描器收集信息的短暂时间内，地球的运动不是很大的，但是它仍足以对图象引起偏斜的影响，使图象不是规则的正方形而变成不规则的四边形。图 35 用夸大的方法，表示了这种影响。



V_E = 地球的速度（东→西）
V_S = 卫星的速度（北→南）

图 35　由于地球的运动而产生的图象畸变

图 35 表明，在开始拍摄象片的时候，卫星在 E 的上空，扫描器正在以从 A 到 B 的方向扫描。在卫星飞行到正方形另一边的这段时间里，卫星也就连同传感器从 E 移动到 F，扫描镜将沿着从 D 到 C 的方向扫描。我们希望能够看正方形的象片，幸好，因为地球的运动是预先知道的，所以这种畸变很容易校正。

其次，关于航天器的姿态，它不可能始终是十分水平的，所以它不可能成直角对准着地球。卫星本身虽有一个校正机

构，它能使卫星的倾斜角小于0.7°，但是，即使这样小的偏差，也能导致图象的位移。对返束光导摄象管来说，卫星0.7°的角位移，就意味着在地面上这个地区的中心位移了大约10公里或6英里多一些。这种误差一部分能够用卫星本身提供的资料来校正。对多光谱扫描器来说，因为进行一次扫描的时间在整个一张象片上误差可能不稳定，结果引起了几何畸变。只有通过把象片上一些明显特征的相对位置与精确地图上的那些相同特征的位置进行比较，才能做到精确的校正。用同样的方法可以计算出由于卫星旋转而产生的误差。

我们知道，地球是圆的，这导致小小的投影误差。然而，这些误差是固定不变的，是我们所知道的，所以能够进行校正。实际上，在一张平的纸上表示一个球形的地球就是一种人工处理方法，大部分地图是按照所谓墨卡托投影画出来的，我们对用这种方法画出的地球，看起来很习惯，因为我们接受它了。你们也许会说，陆地卫星和其他航天器只不过给我们提供一种新的投影方法，它正如其他投影一样，是正确的，但是我们对它不习惯，并感到这种投影难以想象。也许，随着越来越多的利用空间图象，以后我们将感到，我们不必改变原始资料，因为有了经验，我们将习惯于这种新投影，并会承认它是投影的一种。事实上，对单张卫星象片所覆盖的地区，要把一种投影与另一种投影区分出来是很困难的。

我们讨论的这些误差可以叫做几何误差。我们还必须研究另一种误差，这种误差是由于传感器本身灵敏度变化而产生的，叫做辐射测量误差。任何成象设备的灵敏度都可以随

时间而变化，特别是当仪器老化时，灵敏度会降低。因为任何象片所提供的信息是以光学密度的变化形式，换句话说，就是以明暗的变化形式来表达的，所以灵敏度的任何变化都很重要。在比较逐天记录的时候，灵敏度是重要的，对彩色胶片更为重要。例如，在多光谱扫描器光学系统中，如果传感器的一个波段的灵敏度降低，或一个滤光片变得不大透明，因而透过的光较少，那么最终象片的颜色就会变得不协调。所以，为了校正这些仪器，采取了一些步骤，按照校正的结果，对资料进行纠正。由于信号的放大，大气的透射比，太阳角以及胶片和显影过程而引起的变化，这些情况都必须考虑。

前面我们已经提到，阿伯特王子卫星站的特征之一是它有一个速看系统。这个系统最初是为了使这个站的全体工作人员能够迅速看一下仪器的工作情况，检查一下接收到的数据的质量，然后作出必要的校正而设计的。这在加拿大的情况下是特别重要的，因为加拿大只有一个接收站，它离开渥太华数据处理站有 1,500 多英里。然而，目前它已经发展成为一种很有价值的顾客服务部，它能使任何感兴趣的人在尽可能短的时间内得到信息。这些初步的信息资料没有全部精制成最后的图象，它们没有太高的分辨力，也没有对它们作太多的校正，不象以后体现在从渥太华发送出的象片中的那样。对于地球自转和辐射测量变化而引起的误差作了校正，而对于上面叙述过的其他次要原因引起的误差，则还没有得到校正。然而，速度有时比精度更重要，所以速看图片是非常有用的。正在不断地进行调查研究以便改进这些图片的质量和它们的传送方式。

这种系统怎样工作的呢？它有什么局限性呢？

速看系统的心脏是一个高分辨力的阴极射线管，用70毫米摄影机从阴极射线管中拍摄象片。你们从电视机显象管知道，这种管的表面是有点弯曲的，所以如果对它的表面拍摄象片，图象的边缘部分是有点变形的。为了校正这种变形，电子线路设计成一种通往阴极射线管的数据馈给系统，这样才得到一幅实际上平的图片。

现在我们研究一下多光谱扫描器数据的记录情况，因为这是用来为顾客服务的方法。如前所述，从卫星传送来的信息，记录在有28条磁道的磁带上，为了在阴极射线管中显示它们，磁带的输出被馈送到所谓编组器(formatter)中，在那里准备或重新编排数据。在胶片边上给出景物参考数码的信号也输送到编组器中，这些数码与渥太华给胶片加注所用的数码是一样的。编组器告诉摄影机，什么时候把胶片向前推，进行下一次摄影，它也操作快门。用这样的方法，一个185公里见方地区的完整图象可以显示在荧光屏上，并且每25秒钟被拍摄一次。

当卫星完成了在我们感兴趣的那一部分轨道上的运转以后，这也许要几秒到840秒的时间，70毫米的负片立即从摄影机中制成并显影出来。这就是后来用于各个方面的一套主要负片。

你们记得，第6波段的景象是用光谱的红外部分拍摄的，用它表示水陆分界线特别好，它们被制成缩微胶卷，为速看顾客服务打下了基础。它们作为一套缩微胶片每天被分发出去。为了使它们与以后可能因别的卫星而分发的其他类型的

缩微胶卷和区别，把它们叫欧茨胶卷(Ertsfiche)。通过订购，可以从卫星资料综合服务有限公司得到这套胶卷。因为这个公司设在阿伯特王子城，与地面接收站位于同一地点，所以在运送和处理磁带及胶片的过程中，没有时间上的浪费，为了让用户尽快得到资料，作了一切努力。从阿伯特王子站接收来自卫星的信息，到使用者能够研究他所要的图象，这中间的时间间隔变得越来越短。一年前，使用者要两周以后才能收到资料，目前最好的成绩是大约两小时，在一、两年内，我们希望能够达到即刻传送。

一接收到每日收集的欧茨胶卷，使用者就可以用标准的缩微胶卷观察器观看，这常常可以使他得到所需要的全部信息。然而，如果他想要更详细地或加上颜色来看一些景象，他可以向渥太华定购较大的 9 英寸 × 9 英寸的象片。而欧茨胶卷能作为现有资料的目录，并能永久地归档。根据顾客的选择，他可以得到校正过的黑白象片，或者得到突出他感兴趣的某些特征的假彩色象片。也许，他想自己制造彩色图象，在这种情况下，他可以采用某几种颜色波段的透明正片或透明负片，利用一种非常简单的 Diazo 工序来得到他所需要的彩色结合。大多数绘图社已经有了这种设备，可以加工出彩色象片。整个工序实质上是用紫外光源使 Diazo 胶片曝光，再用一些氨使它稳定。最简单的方式，就是利用太阳光和装在封闭容器里吸附在海绵上的一些氨。虽然可以利用有些比较复杂的设备，但是，这种简单的设备无疑是比较方便的，成果也能复制。设备不需要精巧，但是非常需要有一些计算曝光时间和调整光源强度的控制装置。用于制造蓝图的设备是十分

适合的。Diazo 透明胶片容易得到，并且可以买到几种不同颜色的胶片。选择恰当的胶片颜色与陆地卫星透明片的恰当的波段相结合，就能够得到多种彩色合成，每一种彩色合成显示出一种不同的地形特征。例如，如果我们要制造一种 3 种颜色合成的象片，我们可以从 8 种可能存在的透明片中任取 3 种，也就是从 4 个彩色波段中任取 3 种正片或负片。每一种透明片可以在 3 种 Diazo 胶片的任何一种上曝光。例如，我们可以采用红—蓝—绿或青—品红—黄结合。为了增强特别重要的那些界线和特征，原始胶片的选择和最终颜色的结合可以挑选。并不需要始终有 3 种颜色结合，有时两种颜色就够了。不管怎样挑选，在胶片被显影和定影之后，都必须对得很准，把它们中一张放在另一张上面，用某些方法将所选的颜色进行合成定位。这就可以得到一些非常有意义的彩色合成；在有了一些经验的情况下，能够制造出非常好的假彩色象片，它们常是为特殊目的服务而定制的。制造假彩色象片既迅速又便宜。

事实上，整个陆地卫星业务在费用方面是非常合算的。举个例子，如果顾客需要加拿大一个波段（第 6 波段）一年的全部覆盖，这包括夏季每天大约 100 幅景象，冬季每天大约 50—60 幅景象，他大约要花 1,000 加元。如果他从渥太华数据处理中心买同样范围的经过精细加工和校正的象片，他大约要花 6 万加元。只要他记住速看系统所带来局限性，他很可能会发现，欧茨胶卷的迅速和省钱抵上了加工象片的比较高的精度和分辨力。这完全取决于当他得到图象时，他打算怎样利用这些图象。或许，理想的情况是利用两种系统的图

象，以便相互补充。速看系统给予初步的信息和现有景象的连续日录，然后，从中他能够选择那些特别重要的资料。

我们一直强调，用速看系统传达信息，速度是重要的。能够迅速传达信息的一种有意义的新发展是传真系统。为了提高用传真过程传送图象的质量，研究工作正在进行。目前，只要有了正规的速看70毫米象片，就可显影和放大成9英寸×9英寸，以便产生黑白象片；然后把地理细节如地名等都写在照片上；再把整张象片放在传真发射装置的磁鼓上，通过电话线转播给使用者。如果用户在电话线的另一端有合适的传真机的话，那么他可以把象片记录下来——这是在卫星本身观察该景象以后仅仅几小时的事情。

用这种方法，可以把信息传送给北极区的船只。因为没有直接的电话线，但可以通过电话把信息中继给渥太华的通讯研究中心，在那里把信息记录在磁带上，然后通过通讯卫星如ANIK，再把它传送给船只。船上必须有合适的传真接收装置，这样就能够立刻复制象片。在渥太华，磁带记录信息的唯一目的是贮存信息，以便卫星在合适的时间把信息传送出去。如果通讯卫星上有空余时间的话，象片在几分钟内就能够直接从阿伯特王子站传送到渥太华，再传送到船上，但不幸，这种情况并不经常碰到。这对处于冰区的船只，价值是明显的。一个公司估计，每天可以节约数千加元。

让我们看一个实例。最近，有一艘正在北极地区进行海洋地震研究的船只，需要有关冰的构造的资料，驾驶员也想迅速了解这种资料。由于工作性质的原因，船要直线行驶，所以供给正规航行用的海冰资料是不够的。从阿伯特王子站，驾

驶员能足够快地得到他所需要的资料，使他能够把船驶入，进行他的实验，在冰封之前又把船开出来。由于在北极地区冰移动非常快，第二天开出来就太迟了。后来的象片表明，整个地区接着就被冰封锁了。

再举另外一个例子，冰情预报中心习惯上是派遣飞机到北极区检查冰情。这大概需要飞行 50 小时，每小时费用达 1,000 加元，总费用达到 5 万加元。最近科学家们用陆地卫星的资料试验，他们证明，用这种方法能够得到符合他们目的的更好的情报，而费用仅仅 3,000 加元。于是他们决定了解一下从欧茨胶卷能够得到些什么，结果发现，这也是令人满意的，费用可以进一步降低到仅需 1,000 加元，比派遣飞机总共节约 49,000 加元。当然，最理想的是飞机和卫星两种系统相互配合使用。陆地卫星能更好地得到大范围的、全面的象片，而飞机能得到如冰的性质和厚度等其他资料。

由此你们可以得知，非常迅速的信息对我们还是有用的，你们很可能问："这意味着我们将能够检查出所有森林火灾的源地？""这意味着在洪水真正发生之前，我们将能得到洪水的信息？"我们必须老实地说："并不始终如此。"如果陆地卫星处在恰当的位置和恰当的时间，要达到上述目的是可能的，但是在决定性的时刻，陆地卫星可能在地球的另一面，这对我们就很不好了。陆地卫星每 18 天对全世界覆盖一遍，如果卫星经过某一特定地点以后，正好发生一场火灾，那个地区的图象就要再过 18 天才能接收，而在这段时间里，火灾可能蔓延到很大的范围。但是陆地卫星 2 号的轨道是处于陆地卫星 1 号的轨道正中间的，所以假如用两个卫星收集信息，这 18 天的

周期将被减半。在发射了更多的卫星以后，这种情况将得到改进。请记住，我们研究卫星还刚刚开始。为了试验这种卫星系统的潜力，陆地卫星仍然只是实验计划的一部分，我认为，你们会同意，这种卫星的潜力是巨大的，它的价值已经毫无疑问地得到了证明。将来，飞行在不同轨道上的卫星，将能告诉我们需要知道的有关地球表面的一切，这仅仅是一个时间问题。

到目前为止，我们主要讨论了陆地卫星的工作。最近发射了另一种卫星——诺阿卫星，它也正在得到一些有意义的成果。这种卫星最初是为了天气预报而设计的，它有一架极高分辨力辐射计(VHRR)，用两个波段工作，一个是可见光红光波段，另一个是红外波段。目前加拿大能接收和记录极高分辨力辐射计信号的只有阿伯特王子接收站，虽然接收仍处于试验阶段，但是已经得到一些有意义的成果。诺阿卫星绕地球运行一圈需115分钟，阿伯特王子接收站每天跟踪卫星运行轨道中的三个轨道。因为这颗卫星的传感器有一个宽角度透镜，所以它的优点是可以在任何时间观察较大的范围。信息每天传送到冰情预报中心、气象站和对这些信息有兴趣的任何公司。这些单位都是极其感兴趣的。目前正在建立一些地区的历史资料，现在正在勘探北极地区的石油公司可能会感到，过去的气候和冰情资料是非常有用的，但是我们不能使时光倒驶，然而我们可以肯定，在将来，现在的这些资料将是有用的。例如，目前我们对波弗特海地区以及整个北纬60°以北的地区的情况了解极少。现在我们正在储备资料，这对将来希望在那里勘探的人有着无法估计的价值。

第六章　数据处理

现在，我们要把所摄的景象送到渥太华加拿大遥感中心，在那里对数据进一步处理。

你们记得，阿伯特王子站每天把包括全部卫星数据的28条磁道的数字化磁带空运到渥太华，第二天则送去与磁带有关的完整的一套欧茨胶卷。从这些资料我们能够得到完全校正过的高精度的黑白象片或彩色象片以及计算机适用的磁带，其中任何一种都能供应给用户或在图书馆中进行研究。

首先让我们研究一下象片是怎样制造的。不管原始资料来自返束光导摄象管或多光谱扫描器传感器，都可以用电子束图象记录器从磁带上直接显示成图片。电子束图象记录器有些象普通电视机的显象管，两者都是通过进来的信号来调制电子束，然后电子束在荧光屏上扫描，产生图象。在电视显象管的情况下，我们直接在荧光屏上观看图象；而在电子束图象记录器的情况下，荧光屏被摄影胶片代替了，得到的成果是黑白透明片，它除了具有较高的质量以外，和你们用任何摄影机得到的透明片是一样的。摄影胶片对电子束要比对光束更敏感，所以可以用感应比较缓慢的、颗粒较细的胶片。我们希望这个过程产生透明负片。卫星观察到的亮光会产生强的信号，这信号传送到地面并被磁带记录以后，又被转换成电子

束，并在胶片上产生一个暗色斑点。正常情况下，这个过程就是如此，但是可以用一些电子器件，把这个过程颠倒过来，在这种场合下我们就得到透明正片。我们一般喜欢用透明正片看东西，但是假如需要负片的话，我们也能够得到负片，这仅仅决定于需要透明片的最终目的。用这种方法，我们得到70毫米透明片。对于返束光导摄象管三个波段的每一个波段资料，对于多光谱扫描器四个波段的每一个波段资料，都可以这样来复制。在这个阶段，仪器中固有的大部分几何误差和辐射度量误差将得到校正，我们可以拿到一些非常好的象片，对大多数用户来说，这些象片是十分适合的。然而，如果需要有特别高的位置精度，也许是为了制图的目的或地形的精确定位，那么我们就需要应用一种进一步的校正手段，即所谓景象校正(scene correction)。可以说，这是一种对校正作的校正，从而得到一种非常精确的图象。

为了进行景象校正，把从电子束图象记录器得到的70毫米透明片放大到240毫米(约$9\frac{1}{2}$英寸×$9\frac{1}{2}$英寸)。将它放在一张透光桌上(仅仅是一块大玻璃，玻璃下有一道亮的光源)，然后仔细地检查，寻找那些在相同比例尺的精密地图上位置已知的某些地面控制点。用一个安在可曲臂上的游标，量出这些地面控制点的位置，然后计算所量出的位置与地图上所给的正确位置之间的差距。虽然游标是用手来移动的，但进行测量和将结果输进计算机中却是自动的，计算机算出对原始图象必须作的校正，并记录在磁带上。然后，用这种新的校正磁带和原始图象一起，去触发电子束图象记录器，产生新的

透明片。这些透明片几乎是我们能够得到的最精确的产品，它将有最好的精度和最好的分辨力。它是一张70毫米见方的黑白透明片，用它可以制出照片和放大到几乎任何尺寸。供应的标准尺寸是从70毫米到1.2米见方。它们可以作为透明正片或透明负片，或者作为正象的象片供应用户；这些透明片或象片可以是由传感器记录的任何光谱波段的。它们也可以作为假彩色合成象片供应用户。

现在的问题是我们需要黑白透明片还是彩色透明片？许多有经验的解译人员更喜欢黑白透明片。黑白透明片的分辨力比较好，对于解译细节来说，分辨力是要首先考虑的。然而，对于我们其他人来说，彩色透明片有某些优越性，因为我们容易区分不同颜色之间的界线，而不大容易区分不同灰色色调之间的界线。

有几种制造假彩色象片的方法，我们已经了解了一种方法——Diazo处理，这种方法能使顾客非常便宜地制造出假彩色图象。然而，这种方法速度相当慢，对于大规模快速生产是不合适的。一种比较好的方法是利用加拿大遥感中心设计的方法。

首先，我们从电子束图象记录器得到70毫米黑白透明片，这些透明片可以是4个波段中任何3个波段的正片或负片。然后把它们放在一个相当复杂的合成印刷机/放大机上，在这里，每一张透明片（比如说多光谱扫描器的4、5和6波段）受到不同的彩色光——蓝、绿或红光照射，而这些彩色光又完全重迭透射在一张普通的彩色胶片上。你们可以看到，就多光谱扫描器来说，从4个波段中选择三张透明片，或者是

正片或者是负片，并依次把每一张透明片暴露到三种颜色光的任何一种中去；彩色组合可以是多种多样的。在实践中发现，两种组合就能满足大部分需要，即彩色组合1和彩色组合2。彩色组合1近似于假彩色红外，它由蓝光照射的绿波段透明片、绿光照射的红波段透明片和红光照射的红外波段(0.7—0.8微米)透明片迭加在一起而成。这种彩色组合可以供希望辨别植物的那些人选用。另外，彩色组合2可以为其他目的提供比较有价值的信息。这里主要利用两种红外波段透明片和一种可见光红波段透明片，照射它们的光的颜色也颠倒过来。红色波段透明片用红光照射，最近红外波段(0.7—0.8微米)透明片用绿光照射，次近红外波段透明片(0.8—1.1微米)用蓝光照射。这种组合可以供希望鉴别湖泊和河流的那些人选用。因为所有这些看来似乎有些混乱，让我们列成一张表来阐明这个问题。

透明片波段

	绿 0.5—0.6 微米 微米	红 0.6—0.7 微米 微米	红 外 0.7—0.8 微米 微米	红 外 0.8—1.1 微米 微米
彩 色1				
照射光	蓝	绿	红	—
彩 色2				
照射光	—	红	绿	蓝

这些假彩色合成能够产生一些非常显著的、引人注目的效果，它是判读象片的一种重要辅助手段。也许你看到在红色田野之间流过黑色的河流或者一些诸如此类的彩色组合时不再惊讶。毕竟，这些彩色不仅仅是为了使象片看起来漂亮，

而是为了比较容易地显示我们所需要的特征。彩色照片Ⅲ和Ⅳ就是这种假彩色合成的例子。

观看任何一种摄影类型的图象，都可以使我们得到大量的信息。尽管那些颜色看起来可能是陌生的，可是很久以来，我们对象片却是熟悉的，我们能容易地了解象片，也容易把我们在象片上看到的情况和地面特征联系起来。然而，磁带上的资料比这类图象所显示出来的资料要多得多。磁带上的资料是直接从卫星上传送来的原始资料，它没有受到任何在图象制造过程中不可避免的变质的影响。在摄形复制的时候，我们受到胶片和印象纸的物理缺陷(光学的，和空间的)所限制。印象纸仅能给我们大约 14 种可以辨认的灰色色调，而卫星却以 0—63 级的数字形式传送数据。在这方面，光学分辨力要减少四分之三以上。空间分辨力的损失就更为严重。你们记得，陆地卫星的多光谱扫描器是按每条 79 米宽的 6 条带，横切 185 公里宽的地带进行扫描的。当它扫过这 185 公里宽的条带时，取得 3240 个读数，即在 79 米宽的条带上，每隔 57 米取得一个读数。而在飞行方向上，185 公里含有 2340 条 79 米宽的带；这样，185 公里见方的一块地面，共得到约 7.5×10^6 个数据单元。对 4 个波段的每一个波段，这些数据都记录在多光谱扫描器磁带上，4 个波段共计有31①$\times10^6$ 个读数。要把这些数据重新记录到 4 张 70 毫米见方的胶片上是不可能的。每一个小数据单元称为象元(pixel)，它对应于地面的面积是 57 米 $\times$ 79 米。在百万分之一的比例尺的相片上，每个象元的面积是 5.7×10^{-3}厘米 $\times$ 7.9×10^{-3}厘米，这样

① 似应为 30×10^6。——译者

小的一个点是不大可能看出来的。图 36 表示条带的宽度和地面航迹上的象元。

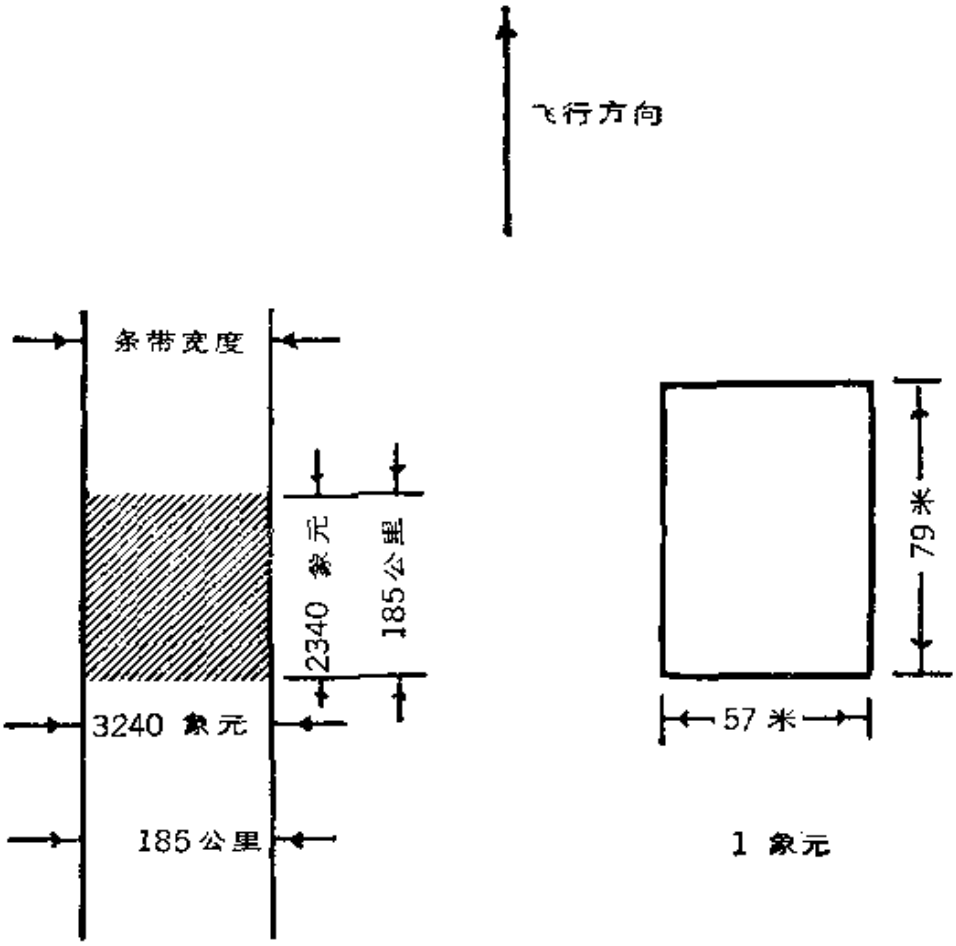


图 36　单幅图象和单个象元的地面覆盖

当我们力图在标准图象上表示卫星数据时，为满足空间分辨力的面积，这就发生一些问题。只有在高速数字化计算机帮助下，我们才能够利用卫星传送给我们的全部资料。直接从计算机适用的磁带上取得数据，使我们能分别利用 7×10^6个以上数据中的每一个数据；计算机还能够根据所需要的详细程度对任何给定数目的象元的读数进行平均。例

如，在宽10个象元、长10个象元的方块上取一个平均值，那么在185公里×185公里的地面上仍然可以得到70,000个以上的读数。这些结果可以馈入数学模式中，和那些没有试图用图象来表示的其他数据结合起来。气象卫星的数据，具有短期性，可以与其他来源的数字资料相结合而迅速地作出圆满的预报。

可以选择小范围的景象，用图象表示出来，并作详细研究。其中一个例子便是伊利湖皮利角附近的水流和沉积物的研究，这个例子在第八章中将进一步讨论。图40和41是根据直接从计算机适用的磁带所取得的数据而获得的这种用图象来表示的地图的一小部分。在这种情况下，计算机利用每一个象元的反射光总能量自动打印出地图。

刚才举的这个例子表示一种比较简单的计算机的制图方法，它产生相当详细的黑白复制品。根据光谱特征对地面物质和细部进行分类，可以用其他比较复杂的计算机。

为了上述目的，已经研制了几种类型的分类计算机。目前在加拿大遥感中心应用的一种是通用电气公司研制的图象100型分类机。其他类型的分类机大体上是相同的，我们将把图象100型作为例子。简单地说，这种计算机从来自陆地卫星的数字化磁带取得数据，逐个象元来分析磁带，根据它们的光谱特征，对磁带上的对象进行分类。对于这种计算机而言，不需要知道这些光谱特征代表什么；它仅仅认出，它们彼此之间是相同还是不同。

举一个简单的实例，让我们研究一下在绿色原野上流过蓝色河流的一张象片。首先，我们可以把假彩色象片和数字

化磁带提供给计算机，并要计算机告诉我们，它可以分出几类。计算机将告诉我们，这里有两类材料，一类是一群有相同光谱特征的象元群（河流），另一类是有不同特征的背景（原野）。计算机能在纸上打点，把河流河道打印出来，每个象元打一个点。我们也可以要计算机对具有这种相同光谱特征的各点，打上字母R或一些其他符号。我们还可以要计算机在彩色电视显象管上显示出图象，并且通过适当的按钮，能够选择我们想要看的颜色。然后，如果我们需要，我们可以将其拍摄成彩色象片，作为永久性记录。此外，我们可以要计算机把这些结果记录在数字化磁带上，如前面已经提到的那样，这些数字化磁带以后可用电子束图象记录器制出图象。为了进行运算，输入的是计算机磁带，该磁带把扫描数据馈入计算机；输出的可能是一幅打印图，也可能是给我们提供彩色象片的彩色电视显示，或数字化磁带。原来的输入磁带可能来自卫星，它也可能是来自任何象片的数字化资料（如来自航空象片），等等。

当我们遇到比较复杂的图形时，计算机可以答复原始的问题，几种不同的颜色或光谱特征，它能够区分出来，并告诉我们，它能够区分出5种、6种或10种物质。把具有相同光谱特征的地区聚集在一起的过程叫做群集，被分类的每一类物质称为一个主题。我们可以要求计算机打印出或在电视显象管上显示出所有这些群集的完整的主题图，每种群集以不同的符号打印；我们也可以要求计算机以不同的颜色把它们显示在电视显象管上。

在这个阶段，我们仅仅把物质分成若干不同的群集，这是

一种无监督分类法。我们不知道这些群集代表什么，那是下一个阶段的任务。为了训练计算机告诉我们那里有什么，对此我们需要比较多的信息。我们需要一小部分景象的地面实况资料，这些资料可以通过航空测量，通过现有的森林覆盖图或当地的农民来提供。我们需要知道，一小块地区实际上是玉米还是云杉，是铺设的道路还是我们希望描写的某个主题。知道了这些以后，我们就能够训练计算机检查整个地区，并完成一幅主题图。这就是说，假如我们知道了森林里的树木特征，例如，从森林的边缘容易进入的地区得到了资料，我们就能非常迅速地对不能进入的森林深处的地区制图。如果我们要估算一个果园(如柑树园)的产量，我们可以拍摄这个果园的多光谱航空象片，以数字化的形式把它们提供给计算机，并训练计算机认识柑树的光谱特征，这样，计算机就将产生一幅柑树主题图，它甚至可以为我们计算出种植柑树的图象面积的百分率，据此，农场主就能够估计总产量。

我们可以利用分类方法，给我们显示出在一段时间内情况可能发生什么样的变化。例如，可以训练计算机认得水乃至湿度大的土壤，从而按逐个象元绘出易受泛滥地区的略图。如果在卫星连续经过的这段时间内进行这种工作，那么根据这种图象上所注明的差别，就能够获得有价值的信息。这种叫做变化探测的新技术，目前正在发展，它能在还未制出可见图象的情况下认得这些变化。卫星各次通过同一地区的记录可以自动进行比较，而且只要有两次通过，其间的差别就可表现出来。由于它减少了被检查的数据量，所以可以节约大量时间。

我们怎样训练计算机认出和识别物质的种类呢？再一次为了简单起见，我们用两个主题的情况来说明。也许我们要了解湿地中的草甸范围，因为草甸的存在是湿地兴旺的一种指示。我们把这个地区的一张彩色红外象片投射到荧光屏上，从屏上我们选择一小部分已知的草甸，并用在屏上闪光的电子栅栏把这个地区圈起来。由操纵杆控制，这种栅栏或游标是容易操作的，它的大小、形状和位置都能调整到与取样的范围相吻合。然后我们对计算机说"这是草甸，你检查一下整个图片，为我们绘出具有相同光谱特征的所有地区的图。"我们还可以接着说"告诉我们草甸占多大的总面积。"我们可以要求计算机对每一个具有与草甸相同光谱特征的象元都打出字母M①，我们也可以要求计算机把这些地区用彩色显示在荧光屏上。这种方法叫做监督分类法。

我们利用两个主题的分类作为例子，但是更好的分类方法能够同时给出10个主题。这种例子可以看彩色照片V，它是新斯科舍莫顿港周围地区的主题图。资料来源于1974年5月3日陆地卫星1号通过该地上空时取得的数字化磁带；这个分类是参照《大西洋海岸资源汇编》作出来的。内陆地区，由于没有直接关系，所以没有进行分类，它们呈现黑色。而海岸地区则相当详细地进行了分类，正如所附的彩色图例表明的那样。图中的小插图是把萨默维尔海滩地区放大了4倍。

第九章将讲述这种程序的另一个例子，那里选用彩色照片III的一小部分（用一个小正方形标出）来进行研究。图42

① 草甸，英文为marsh grass。——译者

是一幅这个地区按字母顺序编码的主题图；彩色照片VI和VII是同一地区的彩色增强图。这些将在第九章中有关森林的部分更加详细地讨论。

很明显，按逐个象元所显示的一幅图象将会是一张放大得相当大的照片。因为用单个计算机打印出或在电视机荧光屏上显示出一幅陆地卫星象片的750万个数据单元是不可能的，而必须按照一块一块方式来做。计算机只能处理宽512个象元，高512个象元的面积，即总共262,144个象元。这大约是原来象片面积的$\frac{1}{30}$。计算机的运算速度是惊人的。一旦计算机经过训练以后，它就能够在几秒钟内产生出分类结果。这表明它在研究土地利用分类方面是极其宝贵的，整个地区在几小时内可以分类完毕，而以前要花几个星期的时间。

你们可能会说，“既然根据计算机适用的磁带来解译是如此出众，那么为什么还应用其他方法呢？”这是因为有许多问题并不需要这样详细的研究，整张照片的观察不仅已经足够，而且提供的资料是比较多的。同时还必须考虑时间和费用。用计算机这种方法来处理所有陆地卫星影象几乎是不可能的。需要的这种计算机是昂贵的，而且现有的这种计算机也极少。为了从计算机得到最多的信息，解译专家必须操作这些计算机，同样目前只有少量这样熟练的解译人员。这是一门处于初期发展阶段的新领域，但是当人们认识到，通过比较彻底地研究卫星象片和航空象片，能够获得多么丰富的信息，而目前还有多少信息正储存在我们的档案中时，机器和人员短缺的局面将无疑地得到纠正。

第七章　我们生活的陆地

一般说来遥感方法使我们能够描绘地球，而描绘地球则是地理学的本质。航空摄影至今仍是很好的一种技术，而新的传感器的发展则是对航空成象的革新。尽管有这些现代技术，但是据估计，美国已制成适合的地图的面积还不到一半。加拿大全国已编成 1:250,000 比例尺的地图，约一半地区已编出 1:50,000 比例尺的地图，一小部分地区，主要包括城市地区已编出 1:25,000 比例尺的地图。而大量的制图工作仍有待进行。不仅要完成更大比例尺的地图，而且全部老图必须不断地加以修订，使之更新。海岸线随时间而变化；建造水坝和水电站使陆地面貌发生改变；河流改道，新公路建成，我们的城市继续不断地向周围的乡村扩展，所有这些变化都需要反映在地图上。制图工作者的业绩是不朽的。但是我们想要去做的全部工作的价值却受到现行方法的限制。那末让我们来看一看卫星所能给我们的帮助吧。

一般说来，从卫星上获得的信息仅适用于小比例尺制图。而以往是漠视这种小比例尺地图，并看作是不大重要的。现在让我们来看看在这个小比例尺的范围内，我们能做多么大量的工作。为了某些目的，小比例尺的概略图是有一定的优越性的。我们有可能在一张小比例尺的地图上更好地观察粗

略的地理外貌，例如断裂线、褶皱和地理上的线性特征。最近我们使用陆地卫星象片，实际上已发现许多新的东西。地域的形式(自然的或人文的)是容易区分的。在冬天，当地面上覆盖积雪，而且太阳角较低，投下明显的阴影时，这些形式显示得特别清楚。冬季图象的一个例子可参见图37，这是一张在1974年12月28日拍摄的马尼科阿甘湖的陆地卫星象片。我们可以看到在冻结的湖上及其周围岩石的裂隙内，雪的堆积如何增强了构造的特征。这个湖形成在“火山口”上，这个“火山口”是数百万年前由一个巨大的陨石降落撞击而成的。后来其中心受向下压力的挤压而造成一个直径约37英里的环形凹地。马尼科阿甘湖现在是魁北克东北部主要的水源地。

卫星摄影能取得快速、廉价和有效的象片。如果使用飞机，就必须用大量的象片，并要把它们镶嵌起来。而且这些航空象片是在一天中不同时间和不同的光照条件下拍摄的。陆地卫星能够为我们提供115英里×115英里地区的一张近于瞬间的象片，而且在几分钟内它能覆盖从加拿大北部到南部宽115英里的一条地带。在这短暂的时间内，光照的条件将有可能是同样的。

有时存在这种情况，陆地卫星的位置准确性不够好，不象地图上的位置那么准确。必须强调指出，如果没有能作为参考点的一系列事先测定的地面控制点，那末不论是航空遥感或航天遥感都不能提供准确的位置。然而在加拿大境内有大片难以到达的地区，那里的地面控制点是十分稀少的，有的地方甚至根本没有控制点。

有能作为陆标用的地势详图的遥远地区，确定公路和其他特征的准确位置常常是困难的。航空象片只覆盖一块小地区，可以不需要其他详图，在航空象片上就可以确定出公路的位置。举一个实际例子，在育空地区通向通斯坦的公路可在空中俯瞰到，而且在已出版的1:250,000比例尺的地图上也标有大体的位置。但从卫星象片上发现其长度在某一段有1,500米的误差。用大比例尺的航空象片来复查，也可以看出在这个特殊的区段，几乎没有编绘出可能与公路有关的详图。同样的情况也适用于遥远地区的其它线状特征，例如河流、动力线、管道线以及导水管。

地图的更新是陆地卫星象片一个很有价值的应用方面。按上述所引用的例子来看，卫星象片上显示出的大量河流、公路、海岸线和岛屿，在我们出版的一些地图上，实际上却标错了位置。象北极地区这样遥远的地区特别需要应用卫星象片，这正是我们在某个时候非常需要准确信息的地区。北极地区资源极为丰富，在今后25年内将会得到惊人的发展，例如其石油储藏量可能比北海还要多。估计北海的石油为150亿桶，而北极地区则在1,000亿桶以上。在近两年内，预期在斯特拉思科纳海峡和小康沃利斯岛开采铅锌矿，不过这仅仅是开始，还有未知的矿藏财富。整个地区充满着极其令人兴奋的前景，加拿大已为其开发作好准备，否则其他一些国家将去开发。校正现有的比例尺为1:250,000的地图和编制新的比例尺为1:50,000的地图，对于北部地区来说日益显得格外需要。安全的空中和海上航行，需要精确测定无数个近岸小岛的位置。这里没有地面控制点，而且在所有这些岛屿上设

立控制点，造价都是很高的。常规的航空象片不能显示岛屿间的海域，而一张陆地卫星象片的覆盖面积为12,000平方英里，通常就可非常恰当地包括岛屿间的海域。

陆地卫星多光谱扫描器第6和第7波段象片可用来判读诸如河流、湖泊和水库这类水体，因为它们对呈淡色调的陆地而言，是黑色的。这将在第八章中作比较详细地介绍，在那一章我们将讨论利用遥感技术来研究水资源，我们还将探讨测定北冰洋水域海冰的位置和冰川的运动。

陆地卫星成象比之航空摄影要便宜。卫星一经进入轨道，就自动向地球发出信息，这种发出信息的速率简直可以说是很惊人的。它使我们能很经济地获得小比例尺的类似地图一样的图象，每一幅图象描绘出12,000平方英里以上的地区。对于在制图方面往往非常差的发展中国家来说，卫星成象的价值是很明显的，其中大部分国家自己没有接收卫星信息的设备，但他们能够从美国宇航局获得有关资料。他们发现，具有70米左右分辨力的陆地卫星图象，对于过去未制过图的地区进行小比例尺区域制图是极其有用的。联合国粮农组织在45个国家作了60多次遥感调查，发现卫星遥感资料在研究有关地下水（埃塞俄比亚）、土地利用（印度尼西亚）、植被（苏丹）和世界土壤图（非洲）等等方面是有用的。这是它在尽快推广其遥感活动的过程中所取得的进展。

看来，判断陆地卫星图象有用的最好方法就是仔细观察一张实际的象片（彩色照片Ⅲ）。这张象片是1972年9月3日从卫星上接收来的，它显示的是蒙特利尔周围地区，从西面的湿太华至东面的里奇柳河，从南面的康沃尔和阿迪龙达克

斯至北面的马斯基农杰河。这一天，几乎没有云，虽然可以辨别出有少许白色喷烟散布在地面景色之上，特别是在象片的东北部。象片是用第4、第5和第6波段合成的，这些波段的波长范围分别为500—600毫微米(绿光)、600—700毫微米(红光)和700—800毫微米(近红外)。假如上述这些波段的黑白透明片分别用蓝、绿和红光照射，我们就获得C1型的假彩色图象。在这种假彩色图象上，水由于对近红外波段强烈吸收而呈现为黑色，可是在有悬浮物的浅水区，却是深蓝色和淡蓝色；对红外强烈反射的植物，显示为红色；拥有几乎相连接的树冠的森林，显示为暗红色；而田野显得不太明亮；建筑物多的地区和道路显得比较明亮，并略带灰色。

乍看起来，这张象片似乎有些混乱，但一个内行的解译者可以从中获得大量的信息。彩色照片的图例概略地描述出了某些特征。如果你要详细判读彩色图象，你可以把一张塑料薄膜蒙在陆地卫星象片上，用墨水描出一幅透明图来。所用符号的说明列在下一页上。此时你会对描绘的细节感到惊奇。你将注意到，暗色的博列尔林区(密西纳比-卡波加地区)与淡色的圣劳伦斯混合林之间的分界是容易判别的。道路，甚至正在建设中的道路，以及城镇、极小的居民点，都清晰地显示出来。河流和湖泊也是界限分明的，在这里我们还可以看到庞特科特湾的河流(T_3)和圣劳伦斯河口三角洲的河流(T_5)的混浊段的一些迹象。其它特征可从研究透明图和图例来判断。这张象片反映出陆地卫星图象，对确定断层和褶皱这样的线状地质构造的位置是有很大优越性的。格伦维尔岩系中的褶曲构造显示得特别好。

你会说:“在你已掌握地面信息和知道那里有什么的情况下,就能很好地解译图象的一切。但对于未知的地面,那就是另一回事了。”这种说法是正确的,但只要通过研究已知的地形外貌,我们就能获得识别未知地面的能力。解译是不容易的,但我们的解译专家在这方面显得愈益熟练了,他们具有他们所属的专业的专门知识。可以说,这种专门知识往往是不可缺少的。一个具备林学专门知识的林学家,必须从描绘森林的象片中获得大量知识;一个具备地学方面专门知识的地理学家,必须从如我们以上所述的那些象片中得到大量资料。

卫星图象对于世界大部分地区可以说都是有用的,对于处在云雾包围中的制图地区来说则是无用的。在潮湿的热带地区,特别是被丛林覆盖的地区,能见度差,常规摄影也不适用,这里是采用雷达方法最合适的地方。这已在巴拿马的达里安省得到证明。航空摄影的一个周期超过40年,它能用于成图的只占这个国家的很小一部分,大约只有16,000平方公里的范围。一个商业公司购进一架配有一台侧视航空雷达系统的卡拉维列(Caravelle)航空飞机,大约在六个小时以内能制成一套图,图上显示出植被、排水系统、溪流等等。这项成果引人注目,所以巴西、委内瑞拉和其他热带国家迅速地仿效他们。亚马孙河地区的制图是雷达方法的又一次成功,因为唯有使用雷达这一方法才得以在密林上空潮湿和有云的天气中进行勘察;波长较长的微波能穿透树冠和植被而获得陆上和水下的信息。新几内亚使用雷达绘制地图很成功,能显示出海拔5,000米的,为云雾所笼罩的山峰的地貌形态。因此,雷

达的图象就成为野外地质工作者使用普通飞机或直升飞机在这种危险的、至今未绘制地图的地区上空，寻找他们的飞行路线时唯一可用的地图。

这些多次成功的报导，使人们对于雷达方法引起很大兴趣，实际上现在所有热带地区都已使用雷达来制图。由于开始使用比较新式的具有较高分辨力的合成孔径系统，制图工作无疑将不时地反复进行，以使这些地图得到更新，并作得更加详细；但在遥感发展的历史中，对于早期试验的重要意义还不宜估计得过高。遥感只是为研究这些难以进入的地区提供了唯一可能的手段。

以上论述也适合于北极地区，特别是在白天如此短促的冬天。雷达又是踏勘工作和日常监测中最有效的系统。图38是GMS合成孔径雷达系统所获得的图象的一个实例，它飞行于1974年3月，飞行高度为30,000英尺。两条照射带共计5英里宽，相当于两个航摄带，它描绘了加拿大爱德华太子岛的东南端、诺森伯兰海峡和新斯科舍大陆的皮克托地区。使用的波长为3厘米，地面分辨力约为50英尺。这是一个有云层覆盖的日子，常规摄影不能进行，使用雷达却取得了高质量的详图。我们能看到，在有开阔水域的沿岸显示为黑色的海峡里散布着浮冰。港湾内也有冰，但这些冰具有光滑的表面（同外边具有破裂结构的冰体相比较而言），所以也显现为黑色。因此，用这一波段来区分海岸坚冰与开阔水域是困难的。虽然冰体和陆地均为雪所覆盖，但微波仍能穿透雪盖，清楚地揭示出冰体的边棱和地表的形态。

绘制土地利用图是多少有些不同的一种制图。卫星象片

可现成地用来编绘大区域概要图，看来这是容易的。但它们对于象城市这样大小的小地区，用处多少是有限的。然而，直接从计算机磁带复制象片的方法得到迅速发展，密度分割技术和计算机打印术也正在发展，它们极有助于影象的增强，因而现在有可能为了土地利用的研究，从中取得很有效的信息。若使用普通的航空象片，收集资料和编制土地利用图，所需的时间相当长，以致于往往在出版前它就已经过时了。用卫星资料来制图要迅速得多。因此我们只好放弃精度来换取速度，有时我们宁可要一份最新的地图，尽管这幅图没有表示出很多的细节。在美国，由于许多调查者的努力，已成功地对土地利用进行了分类和制图。美国罗得岛全州分出11种类型的土地利用图，仅化了8个劳动日就完成了。阿拉斯加(570,000平方英里)的土地利用图是为远景规划服务的。希望通过这种方法能为选择适于开发的场地，并为进行有关生态效果的研究提供资料。城市规划者使用陆地卫星象片来监视城市向周围乡村扩展的情况，并进行农业区和娱乐区的规划。

大多数地理学方面的问题，适当运用带有多种传感器的几个遥感系统，就可以得到最好的解决。陆地卫星成象具有广阔的视域，它可以起一种筛选或初步观察的作用，使我们能从中选出值得今后研究的地区。然后我们再使用多种不同的航空传感器——摄影机、多光谱扫描器、热红外扫描器、微波仪器等等。

在加拿大的曼尼托巴北部和麦肯齐谷地进行实验，显示了遥感在永冻地区制图方面的价值。在北极和亚北极这样的

环境里，卫星图象能够间接地探测出为整片植被的反射光所有效地显示的地区；在更南的地区，永久冻土、植被、水系和土壤之间的关系是比较复杂的，陆地卫星象片在用其他方法加以检验的地区，被证明是有用的。对于永冻地区，最好的信息看来要靠航空假彩色红外摄影，并配合标准的黑白象片来提供，在某些场合下还要配合热红外扫描图象。

在建筑设计中，研究永久冻土和其它地表形态是很有实际价值的。例如恰当地选择公路和管道线路就与此有关。修建管道的成本每英里大约一百万加元。如果处在劣质土地段（沼泽或泥炭地区），那么每一英里的成本可能增加25万加元。应该注意避开需要用高价进行爆破的坚硬岩石的地段。最近工程师们利用陆地卫星资料来研究在伊丽沙白皇后群岛铺设天然气管道的可能线路。象片清晰地勾画出起伏不平的独特的地形轮廓，以及雪的堆积和冰的运动对这个地区所造成的影响。选择建筑一条合适的公路线，也可以借助于遥感的方法，特别在北方，那里路线长，并存在几条可供选择的线路。研究水系格局能减少公路桥梁的数量，每一座桥梁造价约为200万加元，或者能减少涵洞的数量，每一个涵洞的造价从10,000—250,000加元。遥感有助于确定砂砾堆和其它筑路材料的分布位置，因而可以减少建筑材料的运费。它指明了一些值得进行航空摄影作进一步研究的地区。造纸厂的位置就是另一个恰当的例子。它们的厂址应该尽可能靠近木材供应地，并具有能迅速把制成品运送到世界市场的能力。通过遥感将能对木材数量和类型作出估价，可以看出被林火燃烧掉的面积有多大，或者是受病虫害的面积有多大；也可看出已

经砍伐的地区的范围，并且还可看出有多少伐木道路可供造纸厂使用。卫星图象使我们能够作出最初的选择，然后还可以通过航空传感器予以复查。

这样的考察不仅适用于建筑工程规划，对于我们所期望的实质性的和经济上的利益，在这些规划中也是非常清楚的。它们同样有助于对整个土地利用的研究。遥感方法可用来规划公园、娱乐场地、野生生物管理区和森林经营地。

雷达表明它在这方面也是有用的，因为它的图象不仅显示出形状，而且也反映出结构，因此它们提供另一种类型的信息。象房屋和道路这类人造的地形就靠它们的形状以及它们表面的平滑程度来分辨的。新耕的地显得粗糙，很容易与生长作物的庄稼地区分开来；小块林地在表面结构上也有别于草地。夏、冬两季的地表结构是有区别的。在冬季，小块林地的表面结构似乎有点粗糙，这或许是由于细枝和无叶树枝的散射光的缘故，而牧场被雪覆盖时，则呈现出一种平滑的外貌。

能周期重复成象的陆地卫星，为我们提供一个无与伦比的观察动力过程的机会，例如关于建筑设施对环境的影响的动态研究。要能够评价某种行动对周围地区的不良影响，我们必须预先知道在该行动发生之前那儿是个什么样子。换句话说，我们需要确定一条基线(baseline)作为一个参考点。卫星图象现在所提供的资料将使我们能够建立这样的基线。我们庆幸的是，从一开始就能够收集到供詹姆斯湾规划用的象片，而且象片是连续的，包括整个工作区，这些象片将为我们提供有意义的连环画式的历史。目前我们正在收集有关波弗

特海和北极其他地区的资料，我们渴望在不久的将来对这些地区开展更多的活动。陆地卫星也能监测任何一种自然的或人为的环境变化，它对于企图在该地区立足的公司来说，将提供包含有非常宝贵而丰富的知识的资料。有关这方面的情况目前还知道得不多。工程师们携带着高价的采矿设备，他们想知道安装这些设备的最佳处所，提供这些设备的最适宜季节，以及运送这些设备的最好路线。陆地卫星所收集的大量资料，使我们对至今尚未能解释的许多这类问题作出回答。

在遥远的北方，在漫长黑暗的冬天，以及不利的多云的条件下，目前装在卫星上的传感器所能收集的信息是有限的，这一点已作过叙述。因此，在这种条件下，雷达对于研究动力过程就有很大贡献。它作为进行勘察和定期监测的手段是理想的。由于在北极或亚北极地区要确定挖洞或打油井人员的行迹是非常困难的，而使用雷达作定期观测，对环境保护机构来说是很重要的。且不说雷达的有效性如何，为这样的目的来使用雷达还是合算的。因为雷达扫视的范围广，它可以很迅速地覆盖大面积地区。现在举一个例子说明：在2,000米高处，普通垂直摄影所能达到的覆盖度约为3,000米，广角摄影的覆盖度约为4,000米，超广角摄影的覆盖度约为6,000米，勘察用的侧视航空雷达系统的视角为40°，覆盖度大约为20,000米。虽然飞行时间相同，开支大小一样，而后者的覆盖度要大得多。当然分辨力相应要差些，但这是我们必须付出的代价。随着分辨力较高的系统的发展，覆盖度与分辨力之间的矛盾关系将能得到改善。

采用这一方法来研究许多其它动力过程也是可能的。我

们已经看到，借助装在航天器上的热红外扫描器，我们可以预测火山活动，而且我们能定时地从陆地卫星的资料收集系统中获得有关的信息。自动观测的仪器可架设在火山上，或安放在火山中，它能把观测资料用无线电传送到卫星上，然后通过卫星再转播到地面。科学家们应用这一方法预测到危地马拉的菲戈火山在 1973 年 2 月的爆发。冰岛的火山在爆发前，不幸没有掌握这样的信息；我们能调查到的只是火山爆发后所造成的破坏情况。

另一些灾难性事件，例如滑坡，我们能获得某些预先的征兆。尽管预先获得有关滑坡即将发生的确切迹象是困难的，但我们能确定地体对于这类现象的敏感性的某些标志，因而能对它加以监测。首先，陡坡，特别是粘质土壤的陡坡，容易发生滑动。这些陡坡可以是人工造成的或自然发育的。1974 年阿斯贝斯托斯灾难性的滑坡就是人为造成的一个例子，霍克斯布里以东大约 5 英里处的大滑坡，就是在 50 年代初期修建 17 号公路时发生的。天然陡坡可以由于支流注入干流河床而加强侵蚀所造成。在底部有浸润的粘土，而且地下水流向河床的条件下，这是滑坡发生的一般原因。运动的水在地下形成不可忽视的压力，造成高度液化状态的粘土与水的混合物，随之产生流动。有趣的是顶层地面往往是十分干燥的，但整个顶层，甚至连同上面的建筑物，都跟着向沟谷中滑去。可以借助于航空传感器，假彩色红外摄影，热红外扫描和雷达来研究引起上述现象的水系型式与水流动态；还可借助于陆地卫星成象来研究它们。通过卫星所提供的重复图象，在某种程度上可以监测土地状况的变化情况。

由于各种遥感装置能提供这么多有关地球表面自然现象的信息，就会使人们联想到这样一个问题："它们能帮助地质工作者寻找镍、铁、石油和天然气等新矿源吗？"

乍看起来，答案会令人有些失望。大部分矿产处在地下，因此不容易直接发现它。但是地质工作者经过训练，有能力根据他在地表上见到什么，来推断地下有什么，而且许多地表细节还能告诉他大量关于深埋在地下的岩石和土壤的物理特性和化学特性。地表的形态、结构、颜色和格式都与造成它们的地质过程有关。因此，地质工作者使用任何一种遥感方法都是有意义的，都将给他提供相应的资料。虽然没有一种遥感方法能告诉他全部情况，但几乎每一种遥感方法都能告诉他一些情况。地质工作者比较熟悉从飞机上以及在特殊情况下从直升飞机上拍摄的航空象片。常规的航空摄影已使用了半个多世纪，现在增补了新型的胶片、多光谱扫描器、红外扫描器等。当天气条件不宜摄影时，他可以使用雷达，虽然费用比较大一些。实际上，侧视航空雷达有着很多的优越性，它更易于分辨不同的岩性，而这可作为研究构造的线索。不同的矿物有不同的辐射率和热容量，因而热红外扫描能够提供一些有意义的资料，包括地热活动、土壤湿度和水系等等。过去把专用仪器装在飞机上运载，以获取某种专门的资料。地磁仪曾用来寻找铁矿以及与铁矿共生的其他一些矿体；γ射线分光计曾用于估计表层地壳中所富藏的钾、铀和钍矿；电磁仪能显示出良导体的存在。目前我们可以把陆地卫星成象增补到这一类引人注目的手段之列。由于有许多其他仪器配合使用，虽然陆地卫星不能精确地直接测定矿物资源，但它能在几

小时或几天内提供出用常规方法工作几年才能获得的构造信息。从500英里以上的高度获得大范围的概要图景，显示出了线状特征和迄今未被人们认识的地质单元，它增加了我们的知识，加深了我们的理解，因而就可引导我们间接地去发现新的资源。卫星还有助于确定哪几个地区为值得研究的地区。例如，在内华达、俄勒冈、密苏里、纽约州、巴西和埃塞俄比亚寻找圆形和椭圆形构造的工作，看来是颇有意义的，它可以很好地指引我们去发现新的矿床。

岩体构造和它们之间的几何形态关系，能在陆地卫星象片上很好地显示出来。第6波段的卫星象片似乎是大多数地质工作者优先选用的，因为它能清晰地显示出构造、地貌和线状特征，同时也能很好地显示出河流和土壤湿度。某些岩石，特别是砂岩，在第4波段和第5波段的卫星象片上显示出很强的光谱反差。使用光谱来分辨岩石和土壤类型的技术仍处在萌芽阶段，但目前的研究工作正走向借助于光谱特性来识别地物。如果能做到这一点，并能与自动化的计算机技术相结合，那么在矿物勘测方面的工作将前进一大步，这对于发展中国家更有价值。

为了从卫星图象中获取最多的信息，通常要重视分析每年不同季节所取得的象片。主要的构造特征在每个时期的象片上都能很好地显示出来，而季节的变化有时会增强一些比较难以捉摸的细微构造。冬季，由于太阳光线较为倾斜，投下了较长的阴影，使地形显得突出了。这些阴影表现出陆地的构造和结构。初春的残雪集中在岩石和丘陵的裂隙中和背阴处，有助于勾划出某些构造特征。在苔原地区，白雪和黑色的

地体的鲜明对照，使这些构造显得特别清晰。春天，融雪使小河水位上涨，这些小河可以把水系显示出来，并且刻划出许多小的线状特征。这些细节在苔原区表现得特别明显，这些地区植被少，并且永久冻土能使水迅速从地表排走。夏季的烈日，对于研究岩石与无植被覆盖地区的光谱特征是最好的时机。植被的存在，本身就可以为探明下覆土壤的成分提供某些线索。植物养分是从植物所生长的土壤中得到的，对草地和树木所作的考察——它们的颜色和一般长势，可以告诉我们有关这一地区的化学成分的某些情况。某些矿物过多，就会使植物中毒。当利用飞机红外胶片或陆地卫星彩色合成C1型象片时，中毒的迹象显得非常清楚。地面植物的航空调查是有植被区找矿的一种有前途的初测步骤，是作为确定岩石或土壤成分异常区的一种方法。

这一点越来越清楚了：我们不能无限制地浪费资源，即使它是取之不尽的。在对资源的消费作出精明的计划时，重要的是，我们首先应该确切了解必需消耗的是多少。利用这些不同类型的遥感装置，作为科学方法，至少能查明进一步开发的方向。

第八章　河流、湖泊和海洋

水是世界上最有价值、但也可能是利用得最不合理的资源。水容易得到而且便宜。除了在偶然的降水少的情况下，我们加拿大用水是不成问题的。我们浪费水、污染水；而世界上有些地区，水量不丰富，因此价值较高，从而也管理得好。随着世界人口的不断增长，以及我们生活水平的提高，在饮用、排污、农业、工业用水方面，需水量越来越大。航运、养鱼、水鸟及其他各种水生生物的栖生都需要水。在寒冷天气，水起贮热库的作用，在夏天起冷却剂的作用。将来，我们需要有更多的高质量的水，而那时，人类活动的加强，看来要造成水质的下降。从农业用地排到河流中的水，含有化肥、农药和动物的排泄物。许多工厂都位于河边，主要原因在于工厂在生产过程中需要大量的水，并且要利用大量的水来排除工厂废弃物。我们最大的城市是位于河边的，城市的许多阴沟都通到河边。在运河、河流和湖泊中往来的船舶，把污物倾倒到水里，有时，偶然使舱内货物溢出，例如，油不断地流进水里。

很明显，我们必需着手管理这一重要的资源，使它比我们现在做的要好得多。第一，我们要能评价水资源的范围，并寻找新的水源。第二，我们要能监测水质。遥感方法在以上两方面都能帮助工程师们对我们的水进行管理。

可利用的水量，在一年中是有变化的，因而，遥感方法能使我们在复制的底图上绘出这些变化。对整个国家进行整年的遥感观察是十分必要的。陆地卫星看来可以满足这些要求。正如从卫星多光谱扫描器第4到第7波段所拍摄的象片，我们看到，光线透射能力入水后就降低了。用第4波段的短波(500—600毫微米)，我们能够看到水下的情况，而且，在浅水情况下，实际上我们能看到水底。第7波段给我们提供的象片是特别好的，它表示出水与周围的土地有清晰的对照。不同波长的几种象片的恰当综合，给我们提供了大量的资料。根据卫星象片可以作出1:250,000比例尺地图，完全能满足大面积水域制图的要求。但对于较小的河道，我们还需要用航空传感器来补充资料。

加拿大有大量的湖泊，面积达几十万平方英里。但由于这些湖泊，许多是在不易进出的地区，所以没有充分利用。从陆地卫星象片上我们看到了新的水体和有希望的地区，以后可以用飞机红外摄影、红外扫描和雷达作更仔细的调查。根据提供给我们的整个国家的鸟瞰图，陆地卫星可以很快显示出湖泊的位置，和它们与需要淡水供应的城市，农业区之间的地理联系。因为我们更关心的是水量而不是范围，用这种方法进行调查，至少可以近似地计算出水量。用激光测深器或把卫星象片的第4波段和第7波段的数据结合起来测量水深，使我们早已能计算浅水的水量。湖泊水量也是决定水的冷却速度的一个因素，因此，热红外测量可以为我们提供信息。冬季还可以对冰的厚度作雷达测量。从通过卫星转播的地面资料收集站的数据也起重要的作用。河川径流数据、水

位和降雨数字可以传送到卫星上，然后把这些数据用遥测发射器发送到地面接收站，地面接收站把它们与其他数据结合起来，以便分发给各有关单位。所有这些信息对水资源的管理都是非常有价值的。

卫星不仅能指出地表水的位置，而且也可以间接地确定地下河道的位置。如果知道了区域构造的某些情况——岩石与断裂带的类型——地质学家就可以凭经验推断地下水的所在地。根据陆地卫星象片对岩石类型的判别，成功地定出了钻探井位，这有许多例子。某些至今意想不到的水源，现在正为农业提供地下水，这对于那些因供水不足而使生产潜力受到限制的牧场主说来，就是一项直接、实际而且非常有价值的成果。

加拿大大量淡水来自春天的融冰化雪，有时酿成洪灾。我们不可能阻止融雪过程（当然，我们也不希望去这样做！），但冬季对积雪的观察和春天对融雪速度的观察，将对那些可能遭到洪水威胁的人们提出预警。陆地卫星能够把这种信息提供给我们。确定雪线的高度，误差约在200英尺以内；而确定雪的覆盖面积，误差只有百分之几。在有地面高程标志的地方，甚至可以对雪深作出较好的估算。我们可以注意到，在卫星连续飞越的过程中，地面标志消失了。融化的第一阶段，雪或冰的表面被一层薄薄的水覆盖着，这就大大降低了反射比，因而可以从卫星象片上察觉出来。工程师们根据所有这些资料就可以近似地计算径流总量的径流率。许多资料是从广大范围的难以通行的地区收集来的，在这样大的地区靠飞机连续监测是不切合实际的。发洪水的可能性，有时可以用土

壤中水分的饱和度来作指标。如果表层几英寸的土壤已经湿润，就会很快产生径流。雷达是确定土壤水分状况的极好手段。飞机或卫星传感器所拍摄的近红外波段的象片也会提供有用的信息。陆地卫星象片可以快速地进行分析，这是有很大意义的。在紧要关头，这些象片可以在几小时内解译出来，而从地面资料收集站得到的数据在半小时内就解译出来了。这就使工程师们有时间控制水库，把水放走，并且采取另一些措施，以避免洪水的某些最坏影响。

所有这些信息，不仅对于防止洪水灾害，而且对于水电工程师们来说，无论对已建成的电站或设计中的电力工程，都是有价值的。它使水库蓄水、河川径流的灌溉用水、生活用水和工业用水的管理更加有效。现在，利用卫星方法，可以测量全球范围的水资源。这对水文学家将有很大帮助，使他们能够对世界的淡水供应获得新概念——从我们人口不断增长的观点来看，这是很重要的因素。

冰厚度测量现在可以做到非常精确的程度。陆地卫星为我们提供小比例尺冰分布的轮廓图。但在测量冰厚度方面，我们是利用飞机传感器的，例如红外扫描器，或仍然最好用微波辐射计，或雷达。渥太华通讯研究中心在圣劳伦斯和渥太华河上空进行的试验表明，测量冰厚度的误差仅在1%左右。该项试验是用每小时飞行150英里的直升飞机所侧载的雷达设备来做的。在这次试验中，冰厚5—18英寸，而雷达波束可以穿透10英尺或更厚的冰。测量冰厚度不仅提供了在春季估算可利用淡水的另一种方法，而且在航道方面也有很大帮助。这增进了我们对航线的了解，并有助于实现我们在圣劳

伦斯水道上终年通航的宿愿，例如，它已经使我们前进了一大步。雷达也可以告诉我们什么地方冰厚，足以负载各种车辆或建筑物；什么地方冰薄，可以破冰开辟航道。在有冰的地方，雷达可以对通过航道的船舶导航。

在世界许多地方，冰川是重要的水源。据估计，加拿大有大小从100平方码至1,520平方英里的7万—10万条冰川。这些冰川大多数位于落矶山脉和北极地区。它们含有如此之多的水量，竟与五大湖所有的水一样多。这些冰川的制图工作，在长时期以来，原是用飞机做的，但不可能用这种方法对如此大量的冰川作日常的监测。有规律的重复摄影的卫星象片，对于冰川学家来说也是非常有价值的工具。卫星象片首次为1973年2月特威得斯米尔冰川表面发生的断裂提供了标志。这是一条中等大小的冰川，约44英里长，8英里宽，它横跨不列颠哥伦比亚、育空和阿拉斯加的交界处。从1973年2月以来，我们可以看到冰川加快了前进速度。我们担心，冰川很快会阻塞阿尔塞克河，造成洪水泛滥。幸好，现在似乎还不太可能发生这种情况。已经用飞机和卫星密切而小心地注视着冰川的运动。正如我们所预料的，冰川已经把老的河道切断了，河水已流入另一条河道。河水倒流，形成了小湖。但它仍在泄出，冰川速度已经减慢。然而，我们不知道什么时候冰川会再开始加速前移，现在仍然密切注视着它的情况。

因此，遥感可以告诉我们许多对于我们可利用的水量的情况。遥感也可以为我们提供水质的信息，这同样是重要的。

水质评价是一个相当复杂的问题，这是由于有许多污染类型。在化学污染方面，我们有从工厂排出的污水，它降低了

饮用水的水质，而且对鱼及其他各种水栖生物可能是有毒的。这种污水往往是不雅观的，因而给旅游区造成损害。磷肥和其他化肥使水生植物生长繁盛，因此，会妨碍河水的流动。还有细菌造成的污染，例如人类和动物的排泄物以及其他有机物质，利用水中的氧进行分解。还有由于意外的溢漏造成油膜污染，由于疏浚及其他作业造成的沉积物的污染，还有热污染。所有这一切污染类型都需要用不同的调查方法进行探测。

探测热污染可能是最简单的。热污染主要来自加工工业及热电厂。它们排出大量的温水，造成河流和湖泊温度上升，有时超过了鱼能耐受的程度。比较高的温度还增加了有机物分解的速率，因而进一步耗尽了水中的氧；植物和藻类生长的速度也加快。正如我们所看到的，探测温度小差异的最好方法是红外扫描。这种方法非常灵敏，可以测量零点几度的变化，如我们在彩色照片1中所看到的。用从飞机上拍摄的象片监测从工厂排出的温水流是一个简单的问题。我们可以十分精确地测定水的温度，而且能研究运动着的水的流态。有时温水实际上是非混合的股流，而且表现为一种长羽状，长达几英里，一直流入湖中。有时，紊流会引起冷、暖水的混合，并且很快地达到一种合宜的温度。了解实际发生的情况是改正这种情况的第一步。

对于未知的热污染的探测几乎与对已知的工业排水的监测一样重要。例如，在大的牲畜圈地或家禽农场中，地面径流含有许多有机物质，这种流水一般比其所注入的河流温度高，这种水的流动可以用红外传感器加以监测。当然，它会造成

脏污染和热污染。

用遥感来识别化学和生物污染，稍微困难一些。如果我们垂直向下看洁净的水，这种水显示为蓝色。当淤泥、藻类和浮游生物增加时，颜色变为绿色、黄色和棕色。这些颜色变化的解译工作仍然停留在早期阶段，或者可以说是在它的青春期阶段。目前，几个实验室正从安大略湖的许多点取水样做研究。对已过滤样品（它表明颜色仅是由于溶解物造成的）和未过滤样品（这表明还有悬浮微粒的影响）都作出了分光光度曲线。这些测量值与水的物理、化学、生物特性之间的关系的研究，显示出某些有意义的结果。这些工作表明，要对水的颜色分析得好，还需要利用能测量出比现在多光谱扫描器的范围更窄的光谱段的传感器。现在的想法是，采用把各种分光光度计类型的传感器与可调谐的激光器相结合的办法是有好处的。这种组合表明，水的反射能量是射到水面上的非常小的波长范围的能量的函数（可用几个毫微米来代替现在多光谱扫描器所用的 100 毫微米范围）。换一句话说，我们是能够作出第一章中所说的那一类曲线的。这些光谱特征将帮助我们识别溶于水中或悬浮于水中的污染物。

甚至用比较简单的传感器，早就能对两种普通的污染类型，即叶绿素和沉积物的浓度，提供一些有价值的资料。叶绿素是水中生物体的标志。沉积物使混浊度上升。姑且不说我们不喜欢饮用混浊的水这样一个事实；由于混浊，减弱了透射到下层水中的光量，这也是令人惋惜的。在加拿大内陆水研究中心，用陆地卫星 1 号资料作了试验，它表明混浊度和叶绿素含量与多光谱扫描器所得的反射比之间有一定的相关。我

们发现，第5波段的象片用来研究混浊度是最好的，因为这一波段的光对水的透射要比红外波段好。另一方面，第6和第7波段对确定叶绿素含量是最好的。由于红外线不能透过水，它仅适于测量水的表面，它常被叶绿素含量高的水挡住。在安大略湖西南端库特斯帕拉迪斯的西塘和汉米尔顿港做了试验，用陆地卫星磁带，计算机打印出了图，清楚地显示出浊水的分布及混合类型，用实际水样的测量值作校核，数量上非常吻合。这些结果表明，卫星象片对估计水质非常有帮助。用任何别的方法，都需要非常大量的测量工作才能测遍这些地区。这种试验是具有历史意义的，因为它第一次对这样大的水体，在同一时刻精确地取得了如此详细的资料。

如前所述，工业废水对水的污染是严重的。近年来，作了许多努力，工业界花费了几百万元，力图对废水进行净化。但是，这个问题离彻底解决还很遥远。我们早已看到激光荧光传感器在某些情况下是有用处的，明显的就是造纸厂，那里排出含有荧光的物质。业已证明陆地卫星传感器也是有用处的，至少有过这样例子，即利用卫星象片作为对造纸厂提出法律诉讼的证据。在我们掌握了更多的各种污染物的光谱特征以后，其他的方法当然也要发展。

石油溢漏是一个关系重大的问题。任何人看到了1972年切达布克托湾灾难性事故后的海滩和海岸，都一定会意识到这个问题的严重性。这只是一般18,000吨的小油轮。现在，我们有吨位很大的超级油轮。将来，我们还会有越来越大的油轮。事故还会发生。在加拿大内陆水域，特别是在大湖区船只往来频繁，表明随时都有发生事故的危险。克服这种

状况的第一步在于探测石油溢漏，并且圈出水上石油浸布的范围。遥感是做这件事的唯一方法。为什么它是用于这项工作的最好系统呢？

许多方法都可以用，但卫星系统总是有无可争议的优点的。它可以在同一时间监视广大的地区。但是虽然在陆地卫星象片上注意到有油膜存在，却难以判别它确实是不是石油的斑块。现在的传感器实际上不适合于石油的监测，但并没有理由说，将来的卫星就不能携带专门为这种目的而设计的传感器。

航空系统包括多波段摄影、用紫外和热红外波段的探测、微波方法和激光荧光传感器。每一种都有它的优点和缺点，而且通常必须做到互相补充。现在，荧光系统似乎是最有希望的。它可用于监测油的溢漏，测量油膜的厚度和范围，最终研究油的类型。并非所有的油的漫溢都是意外的事，有时，船舶违反了禁止倾倒废物的全部规章。遥感系统可以对这种过程进行监察，因为，它确实可以监测出任何一种非法的倾倒废物的事件。

当考虑水质时，河流和湖泊中的沉积物可能成为我们不需要的东西；但当我们研究这些水的动态过程时，沉积物却是有用处的。泥沙颗粒可以作为表示水流方向的示踪物质。用这种方法研究沉积物的分布，可以提供海岸变化的信息：在一个地方开始侵蚀，而在另一个地方发生堆积。它还会表示出在狭窄的水道中，例如圣劳伦斯水道中，航行的侵蚀效应。这对于土地利用的规划人员是非常重要的信息。在岸上建筑一个大旅馆或大公寓，而在 10 年时间内这块地可能被侵蚀掉，

这将造成重大损失。要掌握将来条件可能发生变化的充分资料，才能去建设旅游区和海滨浴场。别墅的主人不希望把他们的钱投资在地基正在消失的建筑上。

利用卫星象片可以研究这些问题，并且还可以利用大湖区作为我们的野外实验室。在安大略省伯林顿的加拿大内陆水域研究中心取得了一些很鼓舞人心的成果。他们利用记录在磁带上的数字资料，研究了休伦湖—圣克莱尔湖—伊利湖水系的沉积物的搬运情况。图 39 是这一地区的一张草图。注意在皮利角和朗迪欧所得的结论有特殊意义。图 40 是 1973 年 3 月 26 日陆地卫星经过这些地区上空时，所得到的这一地区的计算机打印图。图上比较明亮的区域表示沉积物浓度最高的地区。全图最亮的区域是陆地。沿伊利湖西岸可以看到明亮的混浊区。进而向湖中心，混浊度减弱。在沿着罗姆尼与克里威港之间伸延的湖岸，湖水分流。一股流向东北，另一股向南流。两股水流都携带着沉积物。图 41 表示皮利角地区的放大情况。这也是根据卫星所得的数据用计算机打印出来的图，图上的箭头表示推测的水流方向。可以清晰地看到螺旋形流线，也可以看出围绕着岬角有一股回流，而且紧挨着另一侧的海岸线，然后在那里泥砂就沉积下来。陆地卫星能从地面以上 500 英里的距离向下“观看”，所以发现了这些螺旋形。这是没有什么奇怪的。皮利角的东面，土壤开始被侵蚀，沿小岬角搬运，再在西边沉积下来，这是明显的。航空摄影也证实了这些结论。而且，根据湖中不同地点流速的测量，已经满意地查明了被搬运的沉积物的整个机制。

让我们举另一个应用卫星资料调查内陆水域问题的例

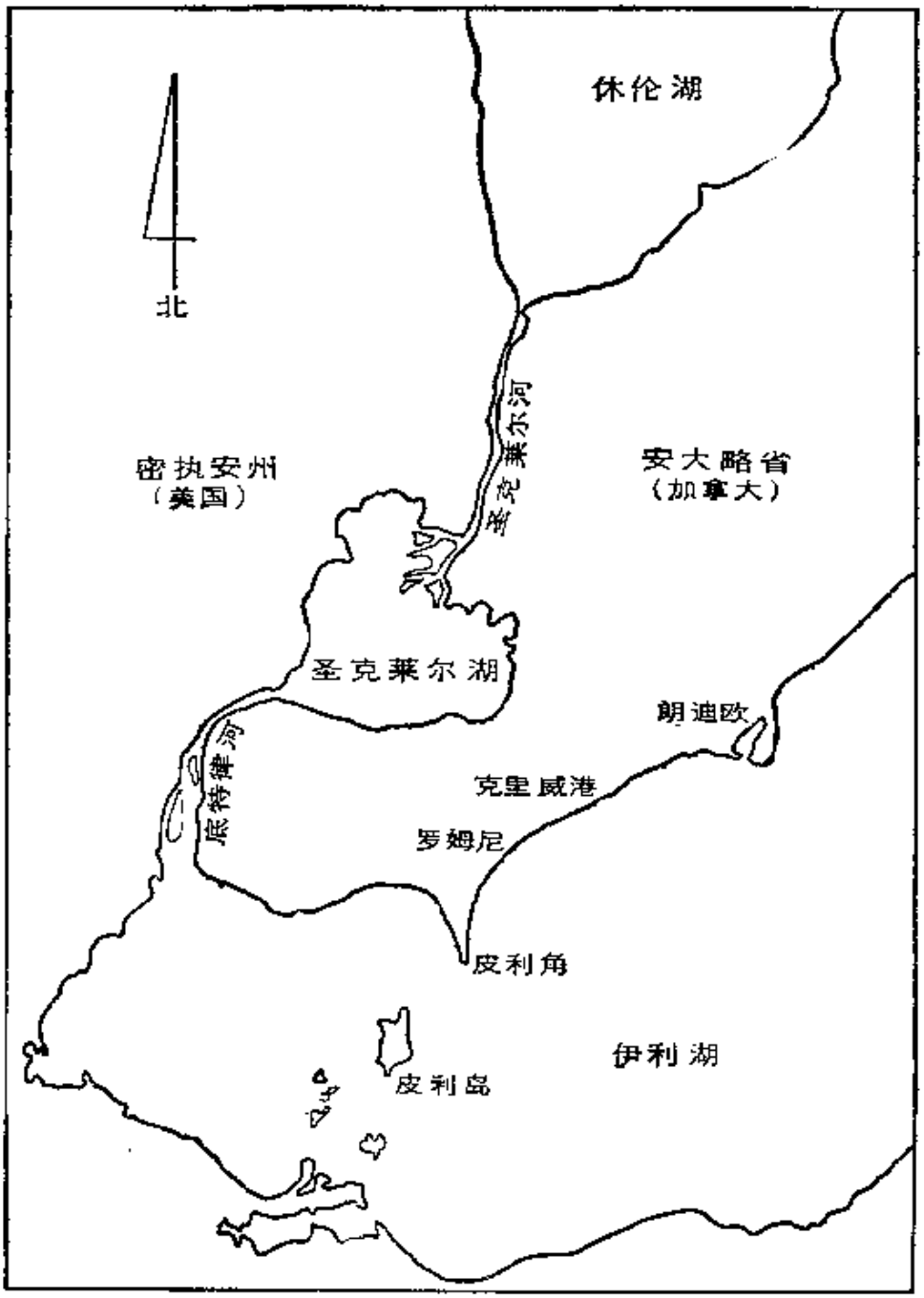


图 39　伊利湖地区略图

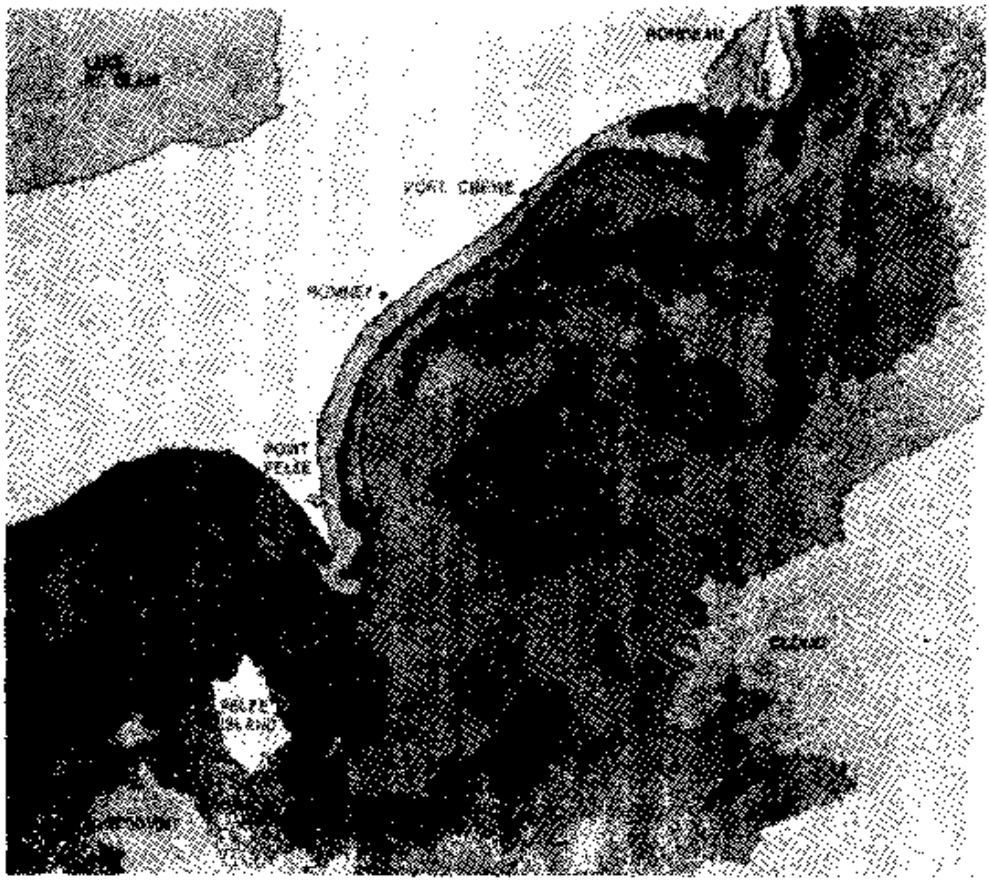


图 40　伊利湖地区的计算机打印图
（加拿大内陆水域研究中心供稿）

子。彩色照片IV是一张由 1973 年 7 月 26 日陆地卫星拍摄的西北地区麦肯齐三角洲地区的象片。褐色区域表示被携带到下游河口的粉砂和淤泥；白色斑点是冰，那里水很浅，深度只有 9 英尺左右。现在石油公司正在此建筑人工岛，并进行钻探作业。他们想知道这将给环境带来什么样的变化——水流形式会发生什么变化，污染（有些是不可避免的）会对这个地区有什么影响。这里有大量野生生物——海豹、北极熊、野鸭等等。蒙着一层油的水对它们是一种威胁。不幸的是，如果油局部地漫溢到冰上，这些比较暗的斑点吸收阳光比其周围

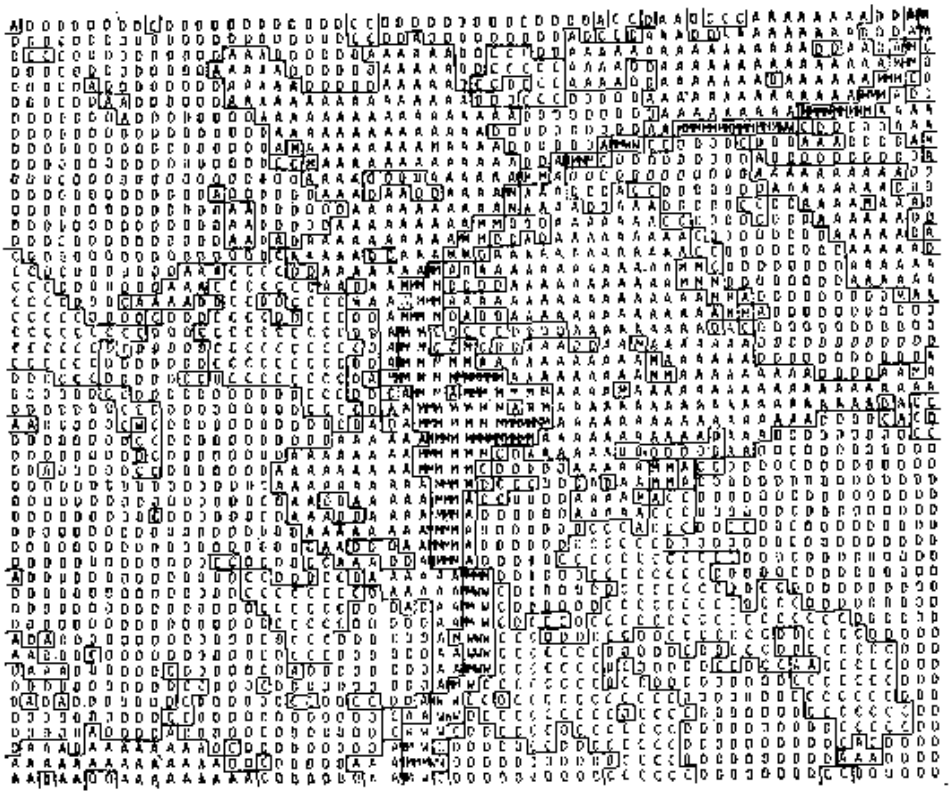


图 42　拉罗斯森林区的计算机打印图
（森林局森林研究所供稿）

是鱼类及其他海生生物的栖息场所。它为我们提供了非常美丽而且有旅游价值的海岸线(不幸的是,海岸对于来自大陆和水域两方面的污染都是很敏感的)。海洋是维持地球热量平衡的重要因素，是形成许多天气系统的主要根源。海床的重要性与日俱增，它是诸如石油和矿石以及可以从海洋本身提取的某些矿物（例如盐和碘）等原材料的来源。这些功能对于整个地球的生态都是重要的。因此，必须密切注视海洋的情况，保证维持它们之间的平衡。用大量小船甚至用浮标遍布海洋进行测量和传送数据是不可能的事。遥感则可以解决问题。

用于内陆淡水湖泊和河流的技术，可以应用于海水，虽然还存在一些保留意见。由于盐分的存在，海水的电导率（因而，介电常数）是变化的，因此用微波方法来测量海冰的厚度就有些不大可靠了。海水泡沫对研究海水颜色有不利影响，而且这种泡沫范围可能很大。飞机在大西洋上空飞行，我们可以看到大片面积是泡沫覆盖的洋区。海洋的状况，包括很高的波浪，会扰乱从海洋表面来的反射光。

海洋的颜色可能是我们最熟悉的一个方面，因此，让我们首先讨论这个问题。如前所述，当我们从上往下看海水时，洁净的水表现为蓝色。如果含有沉积物、海藻等，海水的颜色就起变化。对于淡水，我们寻找清洁和未被污染的作为饮用水；而对于海水，我们则寻找含有大量海藻和浮游植物的海域，因为这些可以作为鱼类的食饵。海藻和浮游植物含有叶绿素，正如我们所知道的，它可以用近红外光谱段或陆地卫星第6和第7波段很容易地探测出来。表面的叶绿素含量很高的海区，有很大的渔业生产潜力，因此，我们可以开发这种海区作为鱼的繁殖基地，也可以据此确定鱼群的位置。

我们立刻会想到把卫星用于这一目的的可能性。陆地卫星能给我们提供某些有用的信息，当然，它最初是为研究地球资源，不是为研究海洋学而设计的。它的传感器实际上不适合研究海洋环境。我们看到，在海洋中，只用多光谱扫描器的4个彩色波段不容易判别各种颜色和颜色的细微变化。然而，在美国，卫星资料已试图用于改进对密西西比湾步鱼[①]的

① 一种鱼，可炼油或作肥料等用。——译者

管理。用第5波段所接收的光量与步鱼群的位置之间似乎有一定的相互关系。

陆地卫星还可以为我们提供海岸浅水的某些有用的地形资料。因为，全世界有几十万英里海岸线，这是举足轻重的。沿着海岸船运的密度最大，由于有岩礁与浅滩，危险性也最大，因此，发生意外事故的可能性也最大。合用的航海图在世界上有些地方往往是不充足的，而且是过时的。我们早已在第三章中看到，激光测深器是测量水深的非常好的遥感工具，但是，它是用飞机装载的，因此，仅用于专门的目的。发射到100英里高度上的双子星座7号的象片，明显地显示，海床上环绕巴哈马群岛植物群落的浅水，从宇宙空间是很容易看到的。陆地卫星第4波段也可以为我们提供近岸海床地形的大量有用资料。

目前值得注意的是，海洋和水产事业局（太平洋地区）在西海岸作了大量的调查工作，以便研制出更适合于海洋研究的传感器。这些传感器需要用宽度比较窄的波段，以便区别颜色；需要用趋向于光谱蓝光末端的波长比较短的波段，以便穿透水体。为此，不列颠哥伦比亚大学研制了256通道的硅二极管阵列的分光光度计，这在第二章中已经述及。这种传感器和其他的传感器现正装在飞机上作试验，因此，最终可能选择一种最好的供卫星使用。

虽然海洋是如此辽阔，但是我们不能忽视污染的影响。我们首先想到的是油造成的污染，部分原因是由于油船溢漏的情况比较引人注意。在海水中探测油与在淡水中探测油没有很大的差别。许多不同的传感器，在不同情况下，每一种都

可以提供一些信息。但是复杂的情节，只有综合几种传感器得来的数据才能弄清。普通的航空摄影提供大量的信息，但只限于白昼时间和晴朗的天气。热红外扫描器可以在夜间工作，并能在油漫溢的早期阶段，即油的温度与其周围海水的温度还没有来得及变成一样以前，就提供信息。微波技术也可以有所帮助，因为它可以全天候使用。由于海水的电导率比淡水高，所以就能更好地画出油与水之间的界线。激光荧光传感器也可以在夜间使用，并能提供用以识别油的类型的进一步的资料。对于大规模的油溢事件，卫星资料也有一些用处。为了使我们能针对每一种不同情况选择最好的传感器，需要作更多的试验。这种试验在瞬时控制油溢方面，是有好处的。现在在巴哈马群岛所做的就是这样。初步的结果看来是有意义的，而且把许多情况告诉了我们。

热也是一种污染，而且对某些鱼群有灾难性的影响。某些鱼类为了生存，对水温的要求是十分严格的。根据美国宇宙航行局作的试验表明，俄勒冈州沿岸大青花鱼是丰富的，水温与鱼的数量之间有一定的关系。在营养丰富的海区，发现海洋生物比正常的数量要多得多，这往往是与从大洋深处上升的寒流有联系。利用红外传感器很容易探测到这些海流。因此，我们就能为我们所掌握的扼要情况补充更多有关温度方面的事实。

因为海水的全部运动几乎都与相邻两股海流之间的温度差异有关，所以在研究海洋动力学时，热测量起着重要的作用。例如，关于墨西哥湾流的水的运动方面，已经取得新的信息。天空实验室所摄的照片表明，存在着巨大的墨西哥湾离

岸旋流。这是一种打着旋涡的从海底升上来的冷水，伸延达700英里以上，进入尤卡坦暖流。

到了比较冷的地方，热测量就给我们提供关于直接邻近冰山的水流的信息。这使我们能了解冰山的活动。从航运的观点来看，这是重要的。已经用航空热传感器作出了赫德孙湾表面温度分布图。这种传感器的设计给我们提供了一种更好的调查方法；用这种方法，可以订正在夏天通过开阔海洋上空空气的温度和湿度，这对气候学家研究我们的天气系统是特别有意义的。这些天气系统，许多是在赫德孙湾地区开始形成的。极地地区开宽的水体也影响着全球的大气环流格局，进而也影响我们的气候。

在前一章，我们指出，雷达具有能够显示结构的特性。海洋表面反射的结构是和波浪的大小或海洋状况有关的。平静的海面，就表现不出反射，因为光线朝水平方向作漫射；如果海面是比较粗糙的，反射信号就会增强。如果卫星带有一种这类装置，就能够在有规律的时间间隔内，取得世界大洋的完整的海洋状况图。

在加拿大，特别需要了解北部水域海冰的情况，这是头等重要的。为了使我们能得到如此大范围的全貌，我们就必需借助于卫星。气象卫星提供了最大范围的简单图象。10多年以前发射的泰罗斯卫星系列给我们送来了海冰图。之后一直到发射最新的诺阿卫星为止，都在改善传感器的分辨力，因此，我们能够每天两次得到北极地区的高分辨力的象片。这种信息直接发送到渥太华的冰预报中心，在那里每天编出一张海图。现在，正在进行大量工作，研制一些方法，以便用最

短的时间把这些信息提供给在北部水域航行的船长。当卫星通过头顶时，几乎同时使他们收到信息，这在技术上是可能的。要介决的乃是组织问题和经济问题，实际上就是通讯问题。

虽然我们谈到了诺阿卫星系列具有“高分辨力”的能力，这仅仅是比较而言的。气象卫星在降低分辨力的情况下，达到过很大范围的视域。有很高分辨力的诺阿卫星辐射计，是在过去气象卫星传感器的基础上作了很大的改进的。因此，它的分辨力为1公里左右(即半英里多一点)。它为船长提供了虽然不详尽却是战略性的信息。它显示出无冰区和穿过冰的某些较开阔的航道。而陆地卫星象片在较小的约10,000平方英里范围内，有70米(即250英尺左右)的分辨力。它显示更多细节，可以指导船舶在浮冰中进行调动，并通过狭窄的航道。可以看到单个的冰山，而且把它们漂流的路线画了出来。虽然，陆地卫星每18天只有一次经过同一轨道位置，在北极地区，这些轨道却是互相靠得很近的，甚至互相重叠，这是很幸运的情况。因此，在特定的地区，可以一天接一天地收到信息。由于陆地卫星2号的发射，增加了覆盖的频率。

用陆地卫星象片可以画出很详尽的海冰界线图。由于冰对光线的反射是如此之好，因此可以从所有多光谱波段得到好的象片。把这几个波段的象片进行对比、对区别冰的类型是有用处的。在第6和第7波段的薄胶片上，由于冰上的融水，大大减弱了反射比，在象片上表现为较暗色的斑点。在第4和第5波段的象片上，因为可见光的反射比变化不是很大，所以不存在上述情况。

采用比较靠近地球的观察平台，就使我们能在较大比例尺图片上观察得更详细。利用携带各种传感器（例如多光谱摄影机、红外扫描器和微波传感器）的普通飞机和直升飞机，就可以做到这一点。

利用假彩色技术的航空摄影可以与卫星所得的成果相比，但它的比例尺比较大。红外系统可以告诉我们有关冰的位置和范围，并且可以画出非常精确的图。微波系统可以告诉我们冰的状态的信息——它是平坦的，还是脊状的；它还可以帮助我们区别当年的冰或多年的冰，研究冰是怎样形成的；它使我们能测量冰的厚度和探测冰中的小裂隙。雷达有时还用来作出以地面为基准的冰厚度剖面。雷达系统可以装配在跟踪式的机动车上，而且天线拖在后边的雪橇上。现在，我们能把这种系统装在飞机上，我们希望最后能把它装在卫星上，以获得更大的视域，并在短时间内提供较多的信息。

我们容易看到，带有传感器的海洋卫星是以所有这些试验为基础的，并且计划收集有关世界大洋尽可能多的信息，这将带来巨大的收益。

第九章　农业、林业和野生生物

大家知道：由于干旱、洪水、暴雨和病虫害，世界上有些地区严重缺粮，甚至在理想的条件下，我们也不能生产出足够的粮食以维持我们不断增长的人口。卫星信息可以为我们预警异常的缺粮情况，并且使我们有时间采取措施减轻其影响，对季节较迟的地区，更加精耕细作，或者改变布局形式。遥感可以在估测谷物种类和产量、监测病虫害的蔓延、估算土壤湿度和地温，以及估计污染的影响、天气预报等等方面为农学家提供许多帮助和信息。

用于农业目的的航空摄影已有多年历史，因此，当 1972 年发射陆地卫星时，在分析卫星象片中，充分利用了过去的经验。卫星的优点在于它能又便宜又快速地在全球范围内对作物作出估测。这对于供应地球上大部分粮食的美国和加拿大说来具有特殊的价值。这对于发展中国家也是有用处的，因为，现在这些国家可以直接与美国宇宙航行局合作，从美国得到资料，或者通过在罗马的联合国粮食和农业组织取得资料。虽然，用卫星象片估算产量还处于发展阶段，但是，初步试验的成果表明，它是有前途的。然而，在现时，如果田块小，估算精度就有出入。

谷物产量估算取决于三个因素。对于有些作物，估算结果比我们想象的低，部分原因是在识别作物种类、播种面积和产量方面的问题。让我们先讨论作物种类的识别问题。我们知道，如果我们看一块稻田和一块马铃薯地，我们就会认出不同深浅的绿色色调。颜色还随作物的成熟情况而变化。如果我们能把我们的视力扩大到近红外波段，我们就一定能够识别"颜色"上的许多微细的差异。这就是后面所说的作物识别的原理。每一类植物都有其自身的光谱特征。对于我们来说，学会如何测出和解译光谱特征，仍然要继续努力。在与各种植物有关的辐射光谱曲线方面，已经做了并正在做着大量的工作。虽然还不能仅用这种曲线来判别每一种植物，但是这方面的研究，已经有了进展。如果把光谱纪录与诸如季节、植物的成熟程度，以及根据当地资料所得出的可能的分类标志等其他信息结合起来，就能得到大量的知识。美国利用卫星资料进行了一些工作，在南达科他州、伊利诺斯州和密执安州判别玉米和大豆，在内布拉斯加判别玉米田和爆玉米田，在堪萨斯判别冬小麦，在加利福尼亚判别稻、红花、天门冬、玉米和棉花。普都大学（Purdue University）的研究表明，有可能从航空传感器得到光谱特征，用以判别包括小麦、燕麦、玉米、大豆、苜蓿、红三叶草和黑麦在内的若干种作物。在加拿大，加拿大农业研究院在萨斯喀彻温做的试验表明，卫星和航空资料与地面记录对油菜子和谷类作物来说有很好的相互补充关系。已收割的谷类作物田块很容易与未收获的田块及油菜子田块相区别。红光波段和红外波段（多光谱扫描器的第5和第6波段）已用于这一目的。掌握作物的成熟阶段是判别作物

的一个因素。例如，油菜子很容易与谷类作物区别开来，因为油菜子的成熟期比较早。而小麦和大麦却不能区分，因为其成熟期相当接近，然而，小麦和大麦的光谱反射曲线是不同的，把它们区别开来是有可能的，不过只是进一步试验的问题。

在安大略西南部的试验同样是成功的，它表明卫星象片可以很有效地用于识别长在以玉米和大豆为主的地区的冬小麦地块。这种地块要大于5英亩，最小宽度为210英尺。

英亩数是估算作物产量的第二个因素。卫星资料可以很容易地用来估算大面积的产量。当然，这是最重要的。但是，对于比较小的面积，就必须用航空资料作补充。尽管包括航空资料和卫星资料两者的计算机方法正在解决，但对于观察单独的田块，卫星象片并不好用，因为分辨力不够理想。

这并不是说，任何有用的信息都必须立即掌握在农业管理人员手里。当季节已过时，除了做第二年的统计用以外，这些信息就没有用处了。正在研制一些复杂的计算机技术，以加快这类信息的传送。直接利用了来自卫星的计算机适用的磁带，来确定田块的位置，记录它们的座标。据此可以计算出每一个田块的面积。现在，利用航空象片对于田块座标的数字化是有帮助的；将来有希望改善卫星象片的分辨力，不久就可以少用飞机。

丰产取决于作物的长势。在估算产量和监测病害方面，确实需要用遥感。我们认为可以用肉眼看出植物是否健壮，我们注意到叶子颜色起了变化，但这时植物染病已经很重了。假彩色红外摄影可以在我们能直接看出其病害之前早就探

测到这种情况。因而，仍然可以有时间对它采取某些措施。根据卫星象片，我们可以绘出病害越过田块、甚至越过国界大规模发展的情况，也许能在它病得不可收拾之前煞住它。航空象片可以提供比彩色照片Ⅷ所看到的更详细的信息。它是严重感染晚疫病的马铃薯试验田块的假彩色红外航空象片。有病的植物是带蓝色的，与健壮植物的品红底色形成非常鲜明的对照。从空中容易测出蚕豆和马铃薯的病害，因为，有病的叶子一般都在顶部。小麦锈病就不那么容易测出，因为，有病的叶子是在下部。不论是干旱、病害还是虫害，许多严重情况都能在早期发现。判别它们的关键在于健壮植物与受害植物之间的红外反射比的差异。

让我们研究一下当阳光照射到叶面上时所发生的情况，晴空的阳光包含着可见光（虹的全部颜色：从紫色到红色）和广阔的不可见光谱，例如紫外射线和红外射线。植物利用可见光波段的蓝光和红光以合成淀粉和糖份；植物不需要绿光；有些光穿过叶片到地面，有些光再返回空中或者被反射掉。所以，我们所看到的叶片是绿色的。太阳能的最大部分是处于红外波段。幸好，植物不吸收这些波长的射线，否则，整个系统就会变得非常暖和，我们就会失去树木和青草的冷却效应，在炎夏中我们就会享受不到这种效应的乐趣。健壮植物几乎反射了它所接收的全部近红外能量；虽然，我们不能看见这些波长，但用摄影机中的红外胶片或多光谱扫描器的第 6 和第 7 波段，就很容易探测到它。另一方面，如果植物是不健康的，它的红外反射比就会急剧减小。红外反射比的这些变化，也就是向农学家作出预报，他的庄稼情况很不妙。值得注意的

是，枯萎叶子的不可见的红外反射减弱了，而可见的红光反射却是增强了，因为植物不再能利用它进行光合作用。这就是秋季叶子转红的原因。

对植物病害的监测有巨大的经济意义，并且对整个世界说来有社会学意义。例如，在美国，据估计，由于病虫害而造成的损失，平均每年达100亿美元左右。在发展中国家，这种损失相对来说甚至更大，而且会对人口造成灾难性的影响。在非洲和中东，沙漠蝗虫每年造成数百万美元的损失。在加拿大恶劣的季节里，我们的小麦会受到锈病的侵袭，蚜虫会侵扰我们的玉米，枯萎病会断送我们的豆类和马铃薯，造成很大损失和财政亏损。比如在安大略西南部，豆类种植者生产的作物价值每年约1,000万美元。细菌枯萎病能使产量减少40%以上，用假彩色红外象片很容易在早期阶段就探测出来。虽然对病害侵袭的探测并不是治病的方法，但却是处理这个问题的第一步，而且对提高产量也是有意义的。

用飞机依照一定航线自动地巡查我们所有的田块，这是不实际的，但是重复而全面观察的卫星象片却能首先发出警报，随后飞机就可以低空飞行对个别田块的情况作研究。

决定各种作物产量的另一些因素是土壤状况和天气。遥感可以提供这两方面的资料。

虽然，如前所述，目前单独用颜色确定土壤和岩石的类型还是有困难的，但是，遥感方法对勾绘若干种不同的土壤类型之间的界线还是有用的。在萨斯喀彻温，利用陆地卫星象片，成功地画出了这种界线。同时，在阿伯特进行的工作表明，由航空分光光度计所得到的光谱反射资料可以很好地作为区别

不同土类的依据，如果把这些读数与热红外扫描器的数据结合起来就更好了。在这一阶段，这种调查结果多少还带点学院式，但是，在可能范围内，这是有益的，令人满意的方法不久就会研究出来。对纹理的研究也有助于土壤分类，因为，沙质土和粘土的表面，从空中看去是很不一样的。低太阳角拍摄的航空象片，增强了这些纹理上的差异。雷达也可得出与纹理有关的独特成果。

遥感能够给我们提供有关土壤的最可靠的信息，也许就是土壤的含水量以及诸如淡水的所在、春天融雪的速率和灌溉用水量的预报等影响土壤含水量的因素。正如前面一章中所讨论的，热红外扫描对于这一目的是特别有价值的。用卫星探测足够大的水体也是有效的。例如，农民想要有关于水从它的灌溉渠道中意外渗漏的信息，以及关于因水道位置的改变或河流改入别的水道而引起土壤中可能发生的变化的信息。近年来，证实了世界的天气状况正在发生变化。撒哈拉沙漠进一步向南移动，相应的结果是，尼日利亚北部广大草原地区越来越干燥；其余地区严重的过多放牧造成饥饿蔓延。这些变化的情况现在可以从卫星象片上看出来，但这已经太迟了。如果陆地卫星早发射 2—3 年，我们就会有些警觉。大家公认，无法阻挡撒哈拉沙漠的移动，就像卡奴特① 无法挡住海潮一样。但人们可以尽可能地迁移人口，或制订一些计划，从各个地方运来粮食供应给灾民。

每个人都知道农民是靠天吃饭的。我们还可以从卫星得

① 卡奴特(Canute)，系公元995—1035 年英格兰和丹麦的王。——译者

到某些帮助。气象卫星，泰罗斯、雨云号和诺阿号使预报科学实现了革命。虽然，它在控制天气方面是无能为力的，但它可以事先告诉我们，天气可能是什么样子。较长周期的天气状况的预报正在取得进展。这种信息对于农民作计划是非常宝贵的。他就可以知道种植与收获庄稼的最好时机，可以使他们的果树免遭霜冻，秋季时把牲畜赶进牲口棚，春季把它们放出来。这表明空间研究通常会带来实际的经济利益。

由于天气对于作物产量是如此重要的一个因素，所以可以把气象卫星数据直接用到估算作物产量的数学模型中去。近来，美国已经开始在这方面的研究，试图在任何时间预测世界粮食的产量。这一项计划称为大面积作物信息试验，它利用气象卫星资料与陆地卫星资料，并把它与历史资料相结合，以达到预报的目的。第一步工作只限于美国小麦产量的预报，但如果成功了，就可以将它推广到更大范围的地区以及更多种的作物。加拿大正在考虑它能否在这个非常有价值的计划中作出贡献。

林业人员也是首批对遥感的价值加以赏识的人们。如果我们想一下有些森林是多么遥远，并且往往难以进入，这就不奇怪了。过去，加拿大的木材储藏量与相对较少的人口相比，是如此之多，以至于我们利用木材时漫不经心。我们可以正当地谴责这种只顾眼前不看长远地挥霍资源的现象。这种情况，现在正在迅速变化。由于人口不断增长，使我们更加认识到森林资源不是无止境的。按平均人口对纸张数量的需求，是一个国家教育水平的指标；用纸越多，意味着毁坏的树木越多。随着财富的增加，对木材、房屋以及其他的消费性产品，

就有更大的需求。由于有更多的空闲的时间以及人口更集中于城市中心，这就需要有更多的旅游性林区，并且需要用森林来保护野生生物。

由于考虑到对林地的这些竞争性需求，森林管理赋有新的重要意义。为了有效地进行规划，我们需要有关合用木材的总量、它们的位置、类型、生长状况以及可通行情况的最新信息。只有用遥感方法才能按照所需要的范围取得这种信息。航空和航天系统两者都各有它们的作用。航空系统能提供单株树木的信息，并且可以又快又清晰地对大面积地区进行摄影。卫星象片可以重复地全貌性观察、监测林区，甚至能更快地摄下地区宽得多的象片，但是并不十分详细。这两种方法是相互补充的，还要用地面调查测量来补充。

早期的工作几乎完全依靠地面调查测量。这是既费钱又费时的，而且根本不可能控制大面积地区和在难以通行的地方进行。森林估测人员只能在森林边缘或者沿着可能通行的河道进行测量。虽然不断增用雪地汽车和直升飞机，但是大片林地还是不能到达。因此，在森林测量的调查工作中着手发展新技术，以便减少必要的野外工作量。中、小比例尺航空象片有了最大的发展。林业中应用大比例尺航空象片，现在在估测的范围内任意选取小块样区。而成功的关键在于合理地选择样区，以便保证它们在整个地区具有代表性。在判别单株树木的种类方面，用航空象片做周密的试验，可以对树木的某些特征，诸如树高、树冠形状和大小，紧密度及结构等进行测量和分类。利用这些特征又可以转而用来估算树木的直径和木材体积，这些都是决定如何才能最好地利用和管理树林

的最有价值的特征。通过对立体象对的研究可以给我们很大的邦助，甚至小到只有 70 毫米胶片那么大小的航空象片，都可以对树木种类进行判别；如果有足够大的比例尺，还可以对单株树木进行描述。在大比例尺象片上进行树冠面积的测量，就可求出木材体积，为了把象片上的测量与地面上的测量作对比，就必须知道摄影机透镜的焦距和飞机的航高，加拿大国家调查协会与森林管理研究所合作，研制了雷达测高仪，为测量航高提供了一种简捷、方便的方法。这种仪器所采用的波长可以使它透过林冠窥到林下地面。雷达仪器的情况，在第三章中已叙述过。微波脉冲是从飞机上发射到地面的。当回波反射到飞机时，它被转换为电信号，其电压是与从飞机到地面的距离成正比的。高度可以由仪表上直接读得，并自动记录在正拍摄的象片的边缘。因此，具有 60％重叠的、可用立体镜观察的象片能提供有关树木的位置、数量和类型的信息。森林管理研究所制订的森林调查方法，可以在世界上许多地方加以运用。

魁北克省土地和森林部在魁北克的一块十分之一英亩的黑色云杉—冷杉林地上所做的试验，是非常成功的。从象片上测得的商品木材总量只比从地面测得的略低一点，以后甚至发展到使估算的精度更高。作为这种初步试验的成果，已经提出了包括魁北克整个 40 万平方英里森林的调查规划，这一计划在用遥感方法以前，是不可想象的。

与其它植物的情况一样，遥感可以为我们提供关于树木长势的大量信息。由于虫害、病害、空气污染（特别是二氧化硫气体）以及水分过多或缺乏所造成的损失，可以很容易在利

用假彩色红外胶片的航空象片上识别出来。大范围的森林退化，用同样方法，在多光谱扫描器近红外波段的卫星象片上可以看到。显然，在早期阶段就发现问题，这是令人满意的，因为这样才能阻止其蔓延。在探查冷杉树上的胶毛蚜虫、云杉芽虫、东方铁杉尺蠖以及其它害虫的蔓延方面，也证明是成功的。如果这些地区的损失已经很大，就可以估计虫害所造成的木材损失。例如，前几年在国立芬蒂公园所做的云杉芽虫的调查是成功的。假彩色航空象片的象片判读与野外工作相结合，提供了关于损失范围、落叶强度、树木严重死亡的地界及木材损失的体积等信息。正在发展用卫星象片进行同样试验。采用卫星来探测病害，前提似乎是需要比较高的分辨力。

我们知道，空气污染是造成树木损失的重要原因。二氧化硫气体则是祸首。工业和采矿产生的气体毁坏了大量的树木，这很容易用航空摄影探测到。例如在不列颠哥伦比亚省的文苏拉，几年前火车发生了事故，从烧毁的货物中逸出二氧化硫气体，飘落在离它许多英里的北托姆普逊河谷中。航空象片记录了远达 18 英里以外的树木受损情况。在安大略省的瓦瓦作了试验，那里二氧化硫危害的面积很大；试验表明，陆地卫星多光谱扫描器第 5 波段的卫星象片，在这方面也是有用的。航空目测、航空摄影和象片判读以及与卫星象片之间的对比试验表明，尽管陆地卫星象片的比例尺小得多，但它对损失的探测几乎是一样好的，而且相当快。然而，航空目测要花一个星期左右，象片判读要花二天半，而用卫星像片作计算的方法大约只要半天，这在时间与人力上都是很大的节约。利用计算机磁带代替目视象片，可能在勾绘界线方面得到

改进。

在查明火烧过的森林范围、监测森林采伐和森林更新情况方面，卫星象片也是有用处的。正在燃烧的林火也很容易在陆地卫星象片上标出来，因为，在卫星经过其上空后，用速看象片几乎立即就可以发现，因此能在火灾的早期阶段发出警报。多光谱扫描器第6和第7波段在确定地表水的位置方面也提供了信息，这一信息，对灭火是有用处的。

另一种损失是由暴风造成的。有时，在遥远的地方，相当长的时间里，直至树木倒下、腐烂和干枯，有造成火灾的危险，甚至烧了起来，仍然没有发觉。观察卫星图象就可以及早把这些情况识别出来，从而可以进行抢救。1970年8月萨德伯里的大片受灾区，在卫星发射后，很快就在卫星象片上看到。这时，死树很容易与其周围活着的长着叶子的树木区别开来。甚至当时的损失，可以用对比风暴前后的图象的方法探测出来。利用计算机适用的磁带，甚至可以提供更精确的信息。

在第六章中，我们看到，直接用磁带上的数据，可以作出好几种主题图。渥太华的森林管理研究所已经利用这种方法，取得了很好的效果。它与加拿大计算机设计院合作，作出了渥太华以东30英里的拉罗斯林区的主题图。在彩色照片Ⅲ的陆地卫星象片上，用方框划出了这个地区的范围。它相当于整个地区的$^{1}/_{36}$左右，包含有216,000个象元。在第七章中，我们已经看到了对整个图象的判读。我们看到，用这种大面积小比例尺图象，以新的方式来表达这么大的地理特征。现在，我们把包括在方框里的小区拿出来，看一看从陆地卫星磁带中能提取多么详细的细节。我们知道，拉罗斯地区有一

些具有35年左右历史的种植园，种有云杉、红松、白松和白杨。利用记录在计算机适用的磁带上的数字化图象，计算机就能区别7种地面类型（即，它能识别7种光谱特征）。必须对计算机进行"训练"，使它告诉我们这些光谱特征说明什么。你会想到，为此，我们必须有一些地面的实际资料。这种地面实况数据，要从占整个试验区的百分之一左右的"训练"区收集。通过对森林覆盖图的研究来得到这种地面资料，并且用野外验证、用中小比例尺彩色和假彩色航空象片作补充。查明训练区内一些小样区（逐个象元选取）的内容，我们就能要求计算机调查整个拉罗斯森林区，并且以代表不同地面类型的字母给我们打印出主题图；即：A——农业用地，C——针叶林，D——落叶林，W——水体，M——不毛之地和泥水，U——未知的。图42是这种图的一部分。每一种物质类型都勾绘出了轮廓线，因此可以很容易把它们区别开来。以W和M表示水和泥是特别有意义的。图上记录了1971年5月发生的滑坡，它滑入南纳辛河中，并且可以看出滑坡上游的水位比较高。

含有为这种图所用的分类数据的磁带，也运用在影象记录器中，以便在摄影胶片上印制彩色主题图，如彩色照片Ⅵ所示。在彩色图上，地面类型是用不同的颜色印刷出来的。

这些图是根据多光谱扫描器所有4个波段所得的数据作出的全部多光谱图。由卫星记录的全部数值都取自1972年9月5日这一天。分析结果表明，主题制图的精度很好，约80%的象元都被用来校正分类。试验很清楚地表明，直接根据记录在计算机适用的磁带上的陆地卫星数字化图象，利用

计算机绘制主题图，是行得通的，也是有优点的。虽然，我们还要设法改进精度。我们试图这样做，把卫星在三个不同日期（1972年9月，1973年3月及1973年10月）通过时所作的记录和数据结合起来，以提供多光谱、多日期的图象。这种意图的背后想法是，这样做，我们会平均掉由于季节变化而产生的差异，平均掉由于数据的出入可能引起的小误差。确实出现了这样的情况，而且分类精度达到了83%。我想你们会同意：这显然是很好地考虑到，精度取决于区分那些光谱特征十分相似的植被类型。如果我们用很不相同的光谱特征来区分各种目标，就可以期望有高得多的精度。计算机打印出的这种合成图象，如彩色图片Ⅶ所示。为了更清楚地表示出用计算机识别的不同地面类型，逐块作了手工着色。进一步的工作正在进行，包括用植被分类所必需的多种光谱波段及陆地卫星图象进行试验，掌握必要的地面实况以保证足够的精度，研究解译数据的显示方法。

虽然森林管理者的主要目的在于提供森林连续生长与采伐的最好条件，但这远不是他的唯一目的。用于野营、划船、教育、狩猎和捕鱼的旅游地区也必须加以考虑。在这些地区的规划中，遥感也能给予许多帮助。来自飞机和卫星的信息都可表示出这些地区距人口中心的相对位置、它们的可通行程度，地域类型及可利用的水源等情况。

大比例尺航空象片能告诉我们关于植被形成特征的一些情况，这些特征又可作为导向野生生物栖息地的路标。曼尼托巴省的矿产资源和环境管理部，前几年对小海豹河流域加拿大鹅巢居问题进行了研究，以便调查这种用植被来寻找野

生生物的可能性。利用假彩色红外胶片可以探测出适合于巢居的地貌植被单元。目前遗憾的是缺乏有关加拿大鹅在北部地区巢居密度的资料。为了确定加拿大鹅的年产量，非常需要作可靠的计算，要在曼尼托巴北部大片难以通行地区进行这种地面工作是不可能的，但是借助航空象片作综合性的调查却是可行的。

魁北克野生生物局在研究白鲟鲸（beluga whales）、雪鹅和较大动物的某些方面，也利用了遥感，取得了很好的成绩。航空目测传统上用于作统计性的调查，在飞机上，观察者实地估计他所经过地区的鸟类或动物的数字。可以理解，这是不很精确的。在任何给定的时间内能够计算的个体数量是有限的。要掌握所有的特征，诸如雌雄、长幼、种类等是困难的，因为飞机在高速飞行，两个专家估计同一个地区，在数值上可以差别很大，至少达 50%。象片提供了一种永久的记录，可以在将来有空时研究它。摄影机垂直向下拍的垂直摄影，是为统计调查作最好的准备。这需要飞得高，才能不过分地干扰下面的野生生物。这种高度大约是 4,000 英尺或更高。在这种高度上，航空摄影机带焦距为 12 或 6 英寸的透镜，就可以拍出如图 43 中所能看到的详细而又使人满意的象片。这张象片摄于 1975 年 10 月，这是对沿圣劳伦斯河春来秋去时期的大雪鹅聚居情况进行调查的一部分。从这种航空象片上，可能对鹅的数量作精确的计算，识别雏鹅与成熟的鹅，测定窝的大小，算出雌雄和长幼的比例。专家也可以区别出其它类型的鸟，例如黑野鸭、针尾鸭和水鸭。

用这种方法调查了白鲟鲸。夏天，白鲟鲸大量集中于北

12. Remote Sensing — Techniques for Environmental Analysis. J. E. Est and L. W. Singer. Hamilton.
13. Applications de la Télédétection à l'Etude de la Biosphère. C. M. & M. C. Girard. Masson.
14. Télédétection & Stercophotogrammetrie dans les Sciences de la Terre. Serge Paul. Doin.
15. Remote Sensing in Ecology. P. L. Johnson. University of Georgia Press.
16. Remote Sensing. A Better View. R. D. Rudd. Duxbury Press.
17. The Surveillant Science. R. K. Holtz. Houghton Mifflin.
18. Environmental Remote Sensing. Barrett. Macmillan.

参 考 书 目

1. Evidence in Camera. Constance Babington-Smith. Macmillan.
2. Skyview Canada. Don Thomson. Information Canada.
3. Interpretation of Aerial Photographs. T. Eugene Avery. Burgess.
4. Manual of Color Aerial photography. American Society of Photogrammetry.
5. Manual of Photographic Interpretation. American Society of Photogrammetry.
6. Manual of Photogrammetry. American Society of Photogrammetry.
7. Aerial Photography. The story of Aerial mapping and Reconnaissance. Grover Heiman, Jr. Macmillan.
8. Rockets and Missiles. J. W. R. Taylor. Bantam.
9. Rockets, Missiles and Men in Space. W. Ley. Signet.
10. A Source Book of Rockets, Spacecraft and Spacemen. T. Furniss. Ward Lock.
11. Skylab Pioneer Space Station. M. G. Holder and W. D. Siuru, Jr.. Rand McNally.

12. Remote Sensing — Techniques for Environmental Analysis. J. E. Est and L. W. Singer. Hamilton.
13. Applications de la Télédétection à l'Etude de la Biosphère. C. M. & M. C. Girard. Masson.
14. Télédétection & Stereophotogrammetrie dans les Sciences de la Terre. Serge Paul. Doin.
15. Remote Sensing in Ecology. P. L. Johnson. University of Georgia Press.
16. Remote Sensing. A Better View. R. D. Rudd. Duxbury Press.
17. The Surveillant Science. R. K. Holtz. Houghton Mifflin.
18. Environmental Remote Sensing. Barrett. Macmillan.

译 后 记

遥感是从六十年代初开始迅速发展起来的一个新的技术领域。遥感技术为人们观察和认识客观世界提供了新的手段，具有重大的意义。在国外，遥感技术已广泛应用于军事侦察、地质、地理、农业、水文、海洋、气象和环境保护等方面。我国为了迅速实现社会主义现代化，正在加紧研究和发展遥感技术。

本书作者多萝西·哈珀退休前是加拿大比肖普斯大学物理学副教授，也是一位科普读物作家。以前曾经写过一本《活动中的同位素》，获得好评。这本《碧空慧眼——遥感入门》介绍了遥感的基本原理、方法、仪器及其应用。写得比较深入浅出，文笔比较生动活泼，这是本书的一个显著特点。

本书由南京大学地理系遥感组的同志译出。其中马仲荃担任序、前言和第1—6章、陈钦峦担任第7章、林炳耀、吕明强担任第8、9章的翻译工作。全书由北京大学地理系江美球校订。译文如有错误和不妥之处，请广大读者批评指正。

译者　1978年11月