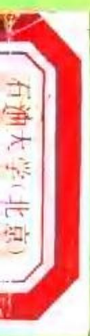


美国勘探地球物理学家协会进修丛书

地球物理勘探遥感原理

R.D.里根 J.V.塔拉尼克 S.I.古特曼 著

石油工业出版社



美国勘探地球物理学家协会进修丛书

地球物理勘探遥感原理

R. D. 里根 J. V. 塔拉尼克 S. I. 古特曼 著

王文彦 等译 李 涛 钱灿圭 校

石 油 工 业 出 版 社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书介绍了遥感技术的基本原理、卫星遥感技术、卫星遥感数据的处理技术及其应用。这套丛书可作为一般地球物理勘探及地质人员的培训教材,也可供有关院校师生参考。

* * *

本书第一、二部分及附录A、B由邱兆祥译;第三、四部分由孙天美译;第五、九部分由史久潜译;第六、七部分由王天禧译;第八部分由王文彦译。

钱灿圭校订本书第一、二部分;其它各部分由李涛校订。

R. D. Regan J.V.Taranik S.I.Gutman
**Principles of Remote Sensing for the
Exploration Geophysicist**
Society of Exploration Geophysicists

美国勘探地球物理学家协会进修丛书

地球物理勘探遥感原理

R. D. 里根 J. V. 塔拉尼克 S. I. 古特曼 著

王文彦 等译 李 涛 钱灿圭 校

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京门头沟妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 18印张 325千字 印1—1,500

1992年1月北京第1版 1992年1月北京第1次印刷

ISBN7-5021-0570-0/TE·543

定价: 3.45元

出 版 说 明

美国勘探地球物理学家协会 (SEG) 编写了一套培训地球物理勘探人员的教材, 我们选择了其中十册翻译出版, 供我国物探技术人员和地质人员自学进修时参考。这套书统称为《美国勘探地球物理学家协会进修丛书》, 其内容有:

《实用地震数据采集技术》

《地球物理资料数字处理》

《实用地震资料处理》

《波动方程偏移引论》

《褶积模型》

《合成声测井和地层圈闭》

《双相介质中波的传播》

《重力勘探应用》

《井中重力测量的解释与应用》

《地球物理勘探遥感原理》

今后还要从这套培训教材的新书中挑选出版。

目 录

一、引言.....	(1)
二、遥感的回顾和基本原理.....	(2)
三、电磁辐射.....	(12)
四、遥感系统的一般特征.....	(22)
五、陆地卫星.....	(52)
六、陆地卫星数据的特征.....	(68)
七、图象增强与分类.....	(89)
八、从遥感技术观点看重力、磁力测量.....	(106)
九、轨道遥感综述：过去、现在和将来.....	(145)
参考文献.....	(150)
附录A 美国气象及地球观测卫星情况表.....	(165)
附录B 陆地卫星数据产品的使用概述.....	(190)

一、引言

近几年来，卫星数据在各个领域中的应用越来越广泛。对有关月球和行星探测计划所作的大量宣传，为卫星技术赢得普遍的认可奠定了基础，并促使这门技术推广到地学研究方面，从而使卫星技术用于地球科学研究，目前正处于普遍应用的时期。

虽然陆地卫星计划取得显而易见的成功，但在地球物理勘探行业内，完全接受这种技术仍有些勉强。总的说来，对卫星遥感技术，地球物理勘探家们仍持十分怀疑的态度，其中许多人将其贬低到有点像魔杖一类的东西。遥感沦为这种状况，不是完全没有根据的。实际上，早期（没有多少年）由于过分的兜售和随便的到处滥用，使这个领域的声誉受到了损害。当然，目前遥感技术已逐渐成熟起来，走上了一条经过深思后的研究道路，并成为勘探工作的一种有价值的手段。

问题的另一方面是，遥感技术相对来说是一个新的和完全不同的领域。让大多数勘探家放弃他们实践过的熟知的技术，而去采用他们不太了解的遥感技术，也是造成勉强的原因。显然，随着新的、内容广泛的教材和刊物的不断出版，这种状况正在不同程度地减小，人们开始对遥感有了恰如其分的评价，勘探家们所遇到的问题，已不是把它当作灵丹妙药，而是和其它方法一起，作为一种有价值的工具加以利用。

由于自然资源供应的不断减少，当今勘探思想是朝加强区域调查方向改变，对于勘探家们来说，应当充分认识到，遥感这一领域是能够作出贡献的，特别是卫星观测提供的概要图往往还能显示出细部。

当然，勘探家们在有效地利用这种方法之前，必须十分了解它们。弄清这种方法的理论基础和解决实际问题时的局限性是很重要的。此外，现今使用的许多卫星和飞行器已获取了大量遥感数据，近期内还要获取更多的数据，这些数据的视场、获取数据时的实施问题，以及此后的适当归纳和解译，也要加以考虑。这些课题正是本教程的内容。

遥感基本原理及其历史，以及电磁辐射的产生和性质，组成了本教程中遥感技术的理论部分。接下来是不同传感技术对某种电磁辐射的适用性，特别对从卫星本身改进、发展，直至图象的生成作了较详细的介绍。

其后，介绍图象的分析、增强和分类，以及用图象表示地球物理数据等内容。各种卫星计划的综述，以及获取遥感数据时所遇到的实际问题，结合详细的例证讨论，为本教程充实了实际的注释。

二、遥感的回顾和基本原理

陆地卫星计划取得的显著成就重新激起了人们对遥感的兴趣，促使人们对这一多学科研究领域的作用作出新的评价。然而，遥感的应用领域非常广泛，当然也就不完全局限于仅仅利用从陆地卫星所采集到的数据（尽管现在总是这样认为）。遥感的意义或确切含意是：无需实际的触及而认识一个物体的存在、种类、品质和属性的过程。正如今天被普遍使用的那样，遥感这一术语的内涵局限于使用卫星或高空飞机去观测电磁辐射。遥感的基本过程包括通过空间传输信息的有发送源或发送器和接收装置，信息由电磁辐射通过空间传输，并由传感器接收。

根据遥感的定义，显然具有“正常工作条件”的活生物所拥有的许多专门神经组织系统，也可称为传感器，因为它收集围绕有机体的环境信息。毫无疑问，这些系统是随着有机体进化的环境条件改变而发展的。例如，由我们眼睛所感受的是我们称为可见光的光，而不是被带有大量水蒸气的氮—氧大气层极大地衰减了的那些光波。尽管如此，与在大气中没有衰减的低频电磁辐射相比，可见光辐射仍是高能量的。因此，地球上的生命实质上是已经进化了的一系列的遥感系统，这些系统主要是在物理环境所限制的范围内工作。人类的天才之处，在于发展了超越种种限制的技术，以便摆脱自然界的束缚，从而基本达到整个电磁辐射的范围。

1. 发展历史

遥感作为一种应用技术，是在电磁辐射研究的基础上发展起来的，人们对电磁辐射的研究正是从对可见光的感觉开始。在人们试图解释光的本性时，产生了两种学说。就在惠更斯（1678）坚持光的波动性的时候，牛顿（1704）则认为光是由粒子形成的。粒子理论尽管能成功地解释折射和反射，但不能解释由Young（1803）得到的衍射花纹，利用波动理论可以很容易地解释衍射现象。通过实验菲涅耳和Arago分别证明光的波动性与水波或声波这类纵波或压缩波不完全相同，他们发现惠更斯所论述的偏振现象的前提是光应具有横波性质，即振动质子在垂直于波传播的方向上振动。然而承认光的波动性就会导致一个难题，这就是波必须在介质中传播，可是在观测中发现，光可以在类似星际空间的实验真空条件中传播。因此，设想出一种传光以太作为光通过宇宙传播的介质。为了检测这种以太的存在，Michelson和Morley完成了他们著名的试验（1881），这个试验不仅否定了以太的存在，而且证明了光速是恒定的，从而开创了爱因斯坦（1905）狭义相对论的时代。

波动理论的辉煌成就是通过麦克斯韦（1864）的一组微分方程式表达出来的，这组微分方程完满地解释了光的横波本质。他还进一步指出，光是由一系列的快速振荡的电磁场组成的，并且可见光只是电磁辐射的一小部分。电学与磁学之间的关系是1820年由奥斯特第一次阐述的，他发现了在电流通过的导线附近，罗盘指针会产生偏转。电磁学的这个新领域由法拉第进一步加以发展，并在麦克斯韦的工作中取得最高成就。然而，麦克斯韦方程与光之间的关系并不是立即得到承认的。他的理论预言了电磁波的存在，电磁波是由电

场与磁场的交互作用而产生的。换言之，电荷的高速振荡引起了这些波。麦克斯韦预言的电磁波试验室的建成和检测，是由赫兹（1887）利用频率高达 10^9Hz 的电火花间隙振荡器完成的。赫兹波的速度与麦克斯韦预言的传播速度明显一致，证实了麦克斯韦理论是正确的。此外，这类电磁波速度和观测到的光速十分一致，从而导出了可见光是波长很短的电磁波的假说。

尽管电磁波理论取得了成功，而且麦克斯韦还把它公式化了，仍然有一些重要的效应无法解释。这些效应多在考虑电磁辐射与物质的相互作用时出现，而且只能重新引入光的粒子说才能解释。

首先是有关黑体辐射的效应。所有的物体在非零温度时就可以发出这种辐射。理想的黑体与它四周的环境处于热力学平衡之中，在所有的波长范围内，发射的辐射与吸收的辐射相等。观测的黑体发射频谱在某个波长处具有发射峰值，这个波长仅与温度有关。发射强度在频谱的短波区和长波区降低。在整个波长范围内，温度较高的黑体将发射出更多的能量，随着温度的增加，发射峰值将移向较短的波长。为了解释黑体频谱，电磁波理论要和经典的能量均分理论结合，而能量均分理论曾经很成功地解释了气体的比热。这些理论结果与在较长的波长上观察到的频谱（通常称为Raghigh-Jeans）近似，是十分一致的，但理论预测随着波长的减小，发射不会明显地增加。这个矛盾被普朗克（1900）解决，他假定了辐射源内部的振荡不存在所有可能的能态，而是存在某些离散值的能态，这些离散值是某个特定值的整倍数。能量不是连续的，而是离散（或量子化）的能级的这一概念，宣告了量子力学的开始。

光电效应是波动理论不足以解释观察到的现象的又一实例。即在入射光作用下，观测到的从金属中脱出的电子能量与理论预测值明显不一致。按照波动理论，波的能量是均匀分布在波的前缘，且一个单原子断面所截获的波的能量，大大小于观测到的光电子的能量，这就使得爱因斯坦（1905）得出结论，认为电磁辐射是离散的光子束，并由光子在碰撞时，向原子传递它们携带的全部能量。康普顿效应（1922）是光的特殊性的另一个例子。在某些材料散射时，可以观察到单色X射线将移向低频部分。这些结果只能用光子与原子内部的电子弹性碰撞的这种假定来解释。根据观察到的现象，电磁辐射既有波动的特性，又有粒子的特性，这就导致了波一粒二象性的概念，即电磁辐射是由叫做光子的小能束组成，光子的观测速度与观测者的相对运动无关，它能象粒子一样在真空中传播，并且具有一定的动量。光子还具有频率特性，频率与其能量成正比，并表现出一般与波相联系的所有的衍射现象。

波动理论的另一个不足之处是对电磁辐射起因理解上的困难。波动理论预测在电荷加速时将发射电磁辐射，这种能量的发射是以粒子的机械能为代价的。由此围绕原子核运动的电子将连续地辐射，直到电子螺旋进入原子核内部为止。为了解释辐射的这种不分明性和原子的稳定性，Bohr（1913）提出把电子轨道的角动量量子化，并提出电子只能存在于轨道上，其角动量是某些特定量的整数倍。当电子在一个轨道上运行时是没有辐射的，然而，当它们从一个轨道或能态跃迁到另一个轨道或能态时，将会发射或吸收光子。光子的能量与电子的能量变化相符合。Bohr的理论成功之处在于直接计算出氢原子的谱线。此后，处理原子核内部及分子中的各原子之间的辐射，就象原子的电子壳层中的能态量子化概念一样可以用量子力学来表述，量子力学成功地预测了所观测到的大量原子的、原子核

表 1 遥感发展史大事记

紫 外 光			
世 纪	日 期	人 名	事 件
19世纪	1801 1802	Ritter Wollaston	在光谱紫光区边缘相邻的区域，通过氯化银变黑，独立地演示电磁辐射的存在
	约1805	Young	指出圆形干涉环(牛顿环)的半径与频率有关，该环在透镜与平板之间伴有一定厚度的空气，并与“光化射线”(90年代重新命名为紫外线)引起的一些较小的环为同心
	1842	Stokes	首次运用光学石英和棱镜于紫外波谱学研究，扩大了紫外波段的研究范围
	1850~1870	Various	应用萤石棱镜和反射光栅，把紫外光的研究推广到较短的波长，认识到大气对紫外光的吸收
20世纪	1915~1930	Various	天文学的研究产生光谱摄影以及月球上紫外光异常的检测
	1930	Krinov	首次使用天文学技术进行地球分光光谱摄影——用光度计进行光谱测量的一致波段
	1956	Kozyrev	发明夫琅禾费线的层次鉴别器(FLD)
	60年代	Various	发现清晨天空光中的紫外光组分。研制出汞灯紫外光源。发现大气中紫外光由气溶胶的反向散射。紫外光谱的再现和实验室岩石样品的特征光谱。阴极射线管和激光荧光设备的研制。用先进的夫琅禾费线的层次鉴别器仪表进行研制和实验
可 见 光			
世 纪	日 期	人 名	事 件
18世纪	1704	Newton	光学的出版
	1759	Lambert	发展并发表摄影原理
19世纪	1839	Daguerre and Niepce	第一张照片
	1840	Arago	倡导用照相术制作地形图
	1853	Carvalho	第一个参加勘探队的摄影者
	1855	Maxwell	提出加色法概念的验证(young的彩色三原色理论)
	1858	Tournaehon	第一次航空摄影
	1861	Sutton-Maxwell	第一次多光谱摄影
	1862	du Hauron	第一次进行多光谱影像分析(使用一个单镜头和光束分离器)
	1895	Deville du Hauron	第一本摄影制图学 首次分离三原色

可 见 光			
世 纪	日 期	人 名	事 件
20世纪	1904	Wright and Wright	美国地质调查局首次使用摄影测量制图（应用于阿拉斯加）
	1920	Unknown	第一次将航空摄影应用于石油勘探
	1947	Krinov	苏联航空方法实验室发表天然地层的光谱反射特性
	1969	NASA	SO-65-Apollo 9 多光谱摄影实验——航天多光谱遥感第一次正式应用
红 外			
19世纪	1800	Herschel	发现红外辐射
	1821~1829	Seebeck, Noil and Melloni	发明热电偶
	1870	Raleigh	提出散射现象
	1880	Langley	发明辐射热测量计
20世纪	1900	Planck	辐射定律
	1917	Case	在光电导效应原理下工作的第一台检测仪
	1932	Firestone	数据的自动记录
	1940~1945	Various Multi-national	研制可供使用的热红外扫描器和探测器。用于模拟量探测的红外胶片取得进展
	1945~1960	Various	研制本征铅探测器以及掺锗的金、样非本征探测器
	1960~1978	Various	研究高灵敏度的本征和非本征探测器。高密度阵列探测器和快速热探测器的研制。发射载有目标照射雷达、辐射计和扫描器的云雨(Nimbus)和泰罗斯(Tiros)航天器。发射HCMM航天器
微波—雷达			
19世纪	1889~1890	Hertz	证实了麦克斯韦预言的电磁波的存在。证实了固体目标反射无线电波
20世纪	1903	Hulsmeyer	首次取得雷达类装置的专利权 雷达检测装置的研制。电离层或海氏层的探测（在10~300m波长范围内）
	1934	Young and Page	第一次大范围的航空探测
	第二次世界大战	Various Multi-national	以军事为目的实用雷达装置的研制
	50年代~现在	Various Industry, government, academic institutions multi-national	机载侧视雷达(SLAR)和综合孔径雷达系统的研制。 光、电、数字信号重叠合法的研制微波辐射发射带有微波辐射计和综合孔径雷达的各种航天器进入地球轨道

和的分子的特征谱线。

随着这个理论发展而来的是技术的快速发展，并力图去探索在理论上能证实可行的，在应用上能获取的、新的、可利用的、且能有效地读出的信息。众所周知，利用可见光电磁辐射的第一种遥感仪器是照相机。然而从熟知的其它特性的电磁辐射立即研究出一些通常的、新的、有趣的现象，正如下面将要叙述的那样，按照波长和频率的区域，电磁辐射可以分成许多类，通常分为：紫外线、可见光、红外线和微波。在这些分类条件下，同时把遥感发展的编年史列在表1中。在遥感手册的第二章中，大致提供了遥感历史的一个更完整的回顾（Reeves, 1975）。

2. 基本原理及常用的遥感系统

人能用眼看到波长为 $0.4-0.7\mu\text{m}$ 的光，耳能听到 $16-20000\text{Hz}$ 的声音，皮肤则能感觉到一个宽范围的温度和压力。由于研制出了诸如闪烁计、照相机、扫描仪、检测电磁辐射的辐射计，以及其它象测量低频声能的地震仪，人对电磁波谱和物理环境的感受范围已经超过了上述的限制。所有电磁遥感系统的实质是，其工作方式建立在产生这种现象的原理基础上，例如，如果离子化的原子跃迁产生可观测到的辐射，那么，所用的辐射计也是用离子化的原子跃迁原理测量这种辐射。饶有趣味的是，一般来说所有地球物理勘探方法都可以认为是遥感，因为这些方法均不与地下构造直接接触，而获取地下构造信息。这一过程很适合定义遥感的目的，即通过电磁辐射（或力场）的全空间、光谱和时间特性，来研究地球内部或外部的物质特征和分布，而电磁辐射（或力场）是由物质发射、反射或相互作用而来的。然而，在实践中有些实际限制和工艺的选择，不能这样理想。例如，地球的辐射特性可以用地面高精度测量进行勘察，但显然要受时间和人力的限制。使用航空测量可以在较短的时间里覆盖较大的面积，但若进行全球测量，费用仍然过高。卫星遥感勘探尽管也有某些损失，但仍是一种成本低、效果好的方法，完全解决了全球覆盖的问题，就空间而言，若传感器在离目标较远的地方移动，那么主要的损失是降低了分辨微小特征的能力。对遥感数据的用户而言，重要的是考虑地面分辨率和全球覆盖之间的取舍，并且由它们的特殊应用来确定什么是更为重要的。

当采用高空或星载传感器时，产生的另一种缺陷是，在目标和传感器之间出现了地球的大气干扰。大气层主要起着光谱滤波器的作用，使一定的频率及一定光谱范围的光通过，其它光谱范围的光则被衰减或完全吸收。因大气层的吸收使在大气层上面接收到的地球辐射振幅减小，又由于频率依赖于大气吸收，致使谱线的相对强度和光谱范围发生畸变。

尽管如此，对此问题还是具有一定的共同性。遥感的基本过程包括通过空间的信息传输，并且要有发送器或信息源以及接收器。通过空间借助电磁辐射传输信息，接收器称作传感器。对于遥感过程，传感器是基本的，详细地研究一个常用传感器就可对其有所认识。下面后两章中，我们将详细讨论电磁辐射，然后再研究传感器系统的特征。

所有遥感系统有一个基本的目的：测量作为位置、频率和偏振度的函数的入射电磁辐射强度。遥感系统的主要组成部分如图1所示。这些组成部分合起来是所有遥感系统的总体部分，为了解它们与整个遥感过程的关系，分别研究每一组成部分是有益的。

(1) 收集器

收集器(或窗口)是接收辐射的第一个部分。它有两个作用,一是收集从大面积上接收的辐射并将其聚焦到一个较小的面积上,为系统的下一部分利用。对于某一种类型的辐射源,测量系统的有效能量与收集器的大小成比例。收集器的第二个也是最重要的一个作用,是起空间滤波器的作用。它有选择地接收来自主要方向的辐射,并急剧地衰减来自其它方向的辐射。

常用的收集器类型,取决于要观测的光谱范围。从紫外到远红外,通常用镀银或镀铝的玻璃反射器,制成一定形状的抛物面,对于某些应用,透镜可以起到一个较好的窗口作

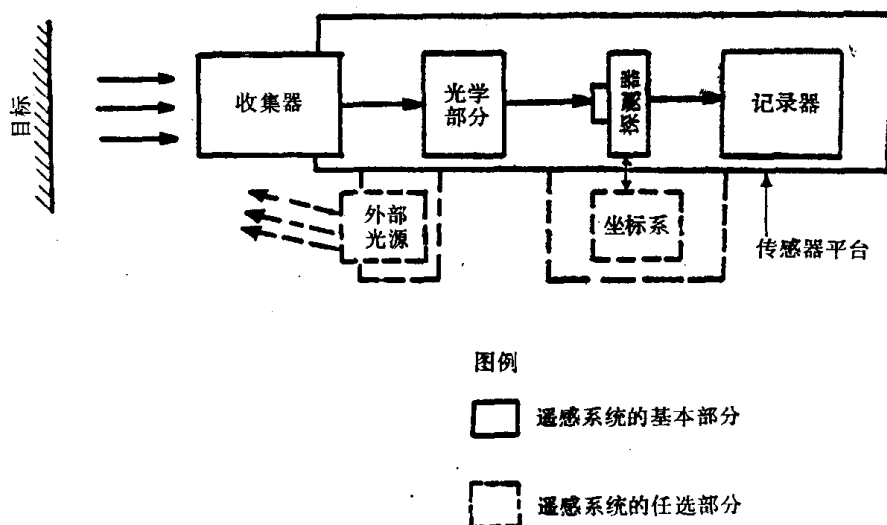


图 1 理想的遥感系统

用,但必须注意,由于辐射通过窗口并以波长或光行差为函数而被吸收,和滤波器作用一样,采用透镜以消除不需要的频率可能是合适的。上面讨论的有关反射器的方程也适用于透镜。在微波频段,使用由反射金属网或格栅做成的某种型式的抛物天线作为收集器,网眼的间隔及其单元的大小取决于要观测的波长,这样天线的反射接近100%。

假设有一个特定波束宽度的收集器,我们应该考虑怎样用该收集器观测地球。在一般的遥感系统内部收集器被安装在高度很高的飞机或卫星上的传感器平台上。收集器最简单的工作方式是使它直接指向下方或处于最低点。当平台在地球表面的上方移动,收集器将观测其下正在直接通过的波束宽度范围之内的区域,为了覆盖整个地球,就必须使飞机沿着相距一个波束宽度的航线飞行,或一直等到大量的卫星轨道最终提供足够的覆盖。为快速、经济地获得大面积的覆盖,只要在平台移动时,使收集器倾斜以观测较大的区域,就能容易地达到这个要求。这个过程称作空间扫描或简称扫描,扫描方向通常垂直于平台移动的方向,得到的是一宽带覆盖区而不是一条细线。为此,常用的方法是使窗口本身倾斜,或在窗口前使用旋转镜。除机械扫描以外,还可采用电子装置的相控阵进行定向扫描。

(2) 光学装置

收集器通常采集所有波长的辐射和偏振。那么,光学装置的作用则是确定系统的光谱和偏振的特性,因此,只有所要求的信息才能达到检测器。实际上也不总是必要的,上述功能是由窗口或探测器的具有一定物理性质的部件来完成的,因为这些部件有时仅对一定

的光谱范围和偏振方式敏感。

对所接收的辐射的光谱范围，最常用的方法是用滤波器来限制。制造滤波器的材料对所要求的波长范围内的光要尽可能地透明，而对滤波器带宽以外波长的光则全部吸收。实际上，整个红外和光谱的可见部分的任何中心波长和带宽都是可用的。在一般的结构中，从一个滤波器来的辐射到一个检测器，以记录某一确定光谱宽度内的强度。在解释这个响应时，注意滤波器的光谱响应是十分重要的。如果可能的话，制造这样一个滤波器，在它的整个带通内具有有限的唯一透射值，而在带通以外则绝对为零，这当然是非常困难的。事实上，大部分滤波器在中央频率附近具有宽的响应，而邻近滤波器光谱宽度的边缘则减小并趋近零。因此，在滤波器的光谱范围内，由发射源发射的辐射的实际分布因滤波器而失真。

滤波器可以选择，以便它们正好包含确定的谱线，因此，滤波后的辐射与相当的谱线所发射或吸收的总辐射成正比。滤波器的光谱响应也可以足够地宽，以致个别谱线的吸收或发射对所通过的总辐射的影响不予考虑。当需要进行专门详细的辐射光谱测试时，习惯使用棱镜或光栅摄影仪。使用这些仪器把光分散开，而波长是所观察的辐射所处角度的函数，用这些装置可以观测特定谱线的线形。在微波频段，一般通过外差作用选择观测的频率。

(3) 探测器

探测器是光—电设备，这种设备将电磁辐射转换为电流，以辐射强度的形式来传输信息。探测器的输出与入射辐射的强度成正比，因此，输入辐射的变化使输出电流有规则的改变。有关探测器更详细的讨论，将在图象一章中介绍。

(4) 发光器

发光器提供观测目标所需的电磁辐射源。遥感系统可以是主动的或被动的，取决于传感器工作时有没有人工照射源。例如，雷达是主动的微波系统，它有自己的照射源。相反，被动的微波系统只将测量目标物的固有的微波发射。在某些情况下，增加一个照射源，可以超出它正常的工作规定而增强遥感系统的效用。典型的例子是对于夜晚或弱光摄影可以把高强度Zenon闪光管或频向放电管与常规照相机一起用。

人工照射源的另一功能是激发被目标吸收后的电磁辐射的二次发射，称为发光的过程。对光谱紫外区内的遥感，发光现象的记录是非常重要的。

人工发光器的其它用途包括测高、作剖面、测距、干涉测量及散射测量。通常由激光

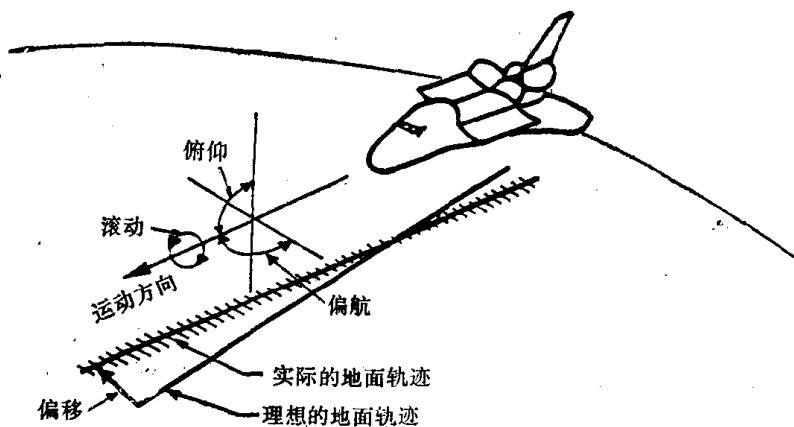


图 2 滚动、俯仰、偏航和偏移的图解说明

雷达或激光雷达系统履行这些功能。

(5) 传感器平台

本节讨论的是机载和星载两种类型的传感器平台。选择“最好的”传感器平台，要从平台的稳定性、承载力、飞行轨道的纠正、分辨率和所要求的波段以及经济效益多方面密切地联合考虑，并且不能与遥感系统的特性完全分离开来考虑。

选择一个合适的传感器平台，需要在开支与收益之间进行权衡，因此所有传感器系统的、最好的、能适用于电磁波谱的任意频段的平台是不存在的。

平台的稳定性是在周期性测量时，收集器的视角保持不变性的度量。可能有四种畸变运动方式：俯仰、滚动、偏航和偏移(图2)。俯仰是在与地球表面垂直的平面上的运动，俯仰运动使观测者看到地球表面上的一组垂直于运动方向的平行线的间距缩短或伸长。滚动是绕决定平台运动方向的轴线的运动，滚动使垂直于平台运动方向的直线显露为波浪形或环形。偏航是在与地球表面平行的平面上的运动，由于偏航使与传感器原航向运动相垂直的平行线两头的间距缩短或拉长，因而使这些线组成楔形。偏移是平台的地面轨迹相对真实的或理想的轨迹的偏离。图3显示了这几个概念。在这个例子中，对于一个完全稳定的正在轨道上的平台来说，所有观测到的线都是平行等间距的。

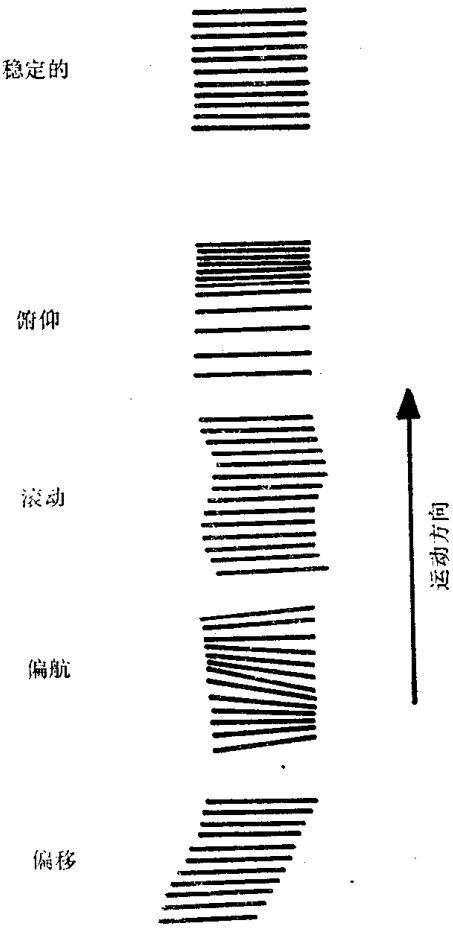


图 3 目标上出现的俯仰、滚动、偏航和偏移的结果

表 2 典型机载遥感平台的实例

平 台	传 感 器	高 度 范 围
Cessna/Beachezafit (双引擎飞机)	地球物理装置包括：磁力仪、伽马射线分光仪及电磁探测器。遥感装置包括：制图照相机、多光谱照相机和扫描仪、TIR(目标照射雷达)扫描仪	平均离地高度为几百英尺至27000ft
NASA NC130B (地球观测飞机)	地球物理传感器如磁力仪。遥感装置包括：多光谱扫描仪、照相机、辐射计、散射计、SLAR(机载侧视雷达)	最高为35000ft
Gates Learjet	地球物理设备包括磁力仪。遥感设备包括：一般照相机、多光谱照相机、扫描仪及辐射计	最高为45000ft
Lockheed U-2	遥感设备最初包括：70mm多光谱扫描仪、152mm制图照相机、多光谱扫描仪	最高为70000ft

表 3 星载遥感平台实例

平 台	传 感 器	轨道特性
Landsat 1, 2, 3	多光谱扫描仪 4 波段: $0.5-0.6\mu\text{m}$ 5 波段: $0.6-0.7\mu\text{m}$ 6 波段: $0.7-0.8\mu\text{m}$ 7 波段: $0.8-1.1\mu\text{m}$ 8 波段: $10.5-12.5\mu\text{m}$ (仅限陆地卫星3号)	高度 = 919km 倾角 = 98° 轨道周期 = 103min 循环周期 = 18d
天空实验室	S190A 多光谱照相机 $0.5-0.6\mu\text{m}$ $0.6-0.7\mu\text{m}$ $0.8-0.9\mu\text{m}$ $0.5-0.88\mu\text{m}$ $0.4-0.7\mu\text{m}$ S190B 地球地形照相机 $0.4-0.7\mu\text{m}$ $0.5-0.7\mu\text{m}$ $1.5-0.88\mu\text{m}$ S191 红外光谱仪 $0.39-15.99\mu\text{m}$ S192 多光谱扫描仪 13 个波段从 $0.41-12.5\mu\text{m}$ S193 微波辐射计、散射计、高度计 2.2cm S194L 一波段辐射计 21cm	高度 = $439-423\text{km}$ 倾角 = 50° 轨道周期 = 93.2min
AEM-A (先进的探测器 —热容量制图 HCMM)	$0.5-1.1\mu\text{m}$ $10.5-12.5\mu\text{m}$ 适用于雨云5号的 SCMR	高度 = 600km 轨道 = 圆形, 与太阳同步。 周期 = $1.5-3.5\text{d}$
Nimbus	高分辨率红外辐射计 (HRIR) $3.4-4.2\mu\text{m}$ 地表成份制图辐射计 (SCMR) $8.3-9.0\mu\text{m}$ $10.2-11.2\mu\text{m}$ $0.8-1.1\mu\text{m}$ 中分辨率红外辐射计 (MRIR) $0.2-4.0\mu\text{m}$ $6.5-7.0\mu\text{m}$ $10.0-11.0\mu\text{m}$ $15.4-15.5\mu\text{m}$ $20.0-23.0\mu\text{m}$ 温度—湿度红外辐射计 (THIR) 中心 $6.7\mu\text{m}$ $10.5-12.5\mu\text{m}$ 电子扫描微波辐射计 (ESMR) 1.55cm	高度 = 1100km 轨道 = 圆形, 与太阳同步, 近极地。 轨道周期 = 107min

有效载荷的能力确定所安装的传感器系统的大小和重量及以下诸因素：能量消耗、最大高度、飞行速度和机载遥感的飞行时间。在星载系统中，有效负载，即传感器系统要满足适宜的航天器助推系统的要求，以及航天器的空间大小和功率的要求。表2和表3根据传感器装置和高度或轨道特征列出某些典型的机载和星载遥感平台的特点。

飞行轨道的纠正问题是至关重要的，这个问题就是确定传感器平台在空间相对地面一些已知点的位置。测量的空间位置不精确，会造成大量的工作、时间和经费的浪费，致使全部工作无效。为解决导航、追踪和飞行轨道的纠正等问题，已进行了大量的工作，尤其是为了进行热研究所需的夜间作业。机载的导航方法有航位推算法和多普勒导航法。

一般的测量纠正采用由设备自动触发的航摄胶片方法，例如用时间间隔读数计保证获得等间隔的数据采样。通过在航摄胶片上标定地图控制点，然后把这些数据标绘在合适的底图上或相片镶嵌图上。另一种飞行轨道纠正的方法使用多普勒导航仪提供的的数据，这种仪器记录飞机的航向、地面速度和仪表的周期时间。为了提供飞机时间和空间的运动过程，多普勒系统可以参照绝对地理坐标，如LORAN站。

卫星的轨道可以通过精确的跟踪网络作高精度的纠正，但是传感器定位的不精确性和误差，在某些情况下，需要进行控制点的标定。在夜间或在没有足够的地理控制点的区域进行数据采集就特别困难。为进行数据编辑和分析而必须使多通道数据一致或配准时，由上述原因而产生的不精确性是非常麻烦的。由热容量制图飞行(HCMM)卫星获取的数据更是这样。

遥感系统的范围和分辨率决定了它所采用的传感器平台的特性。例如，收集伽马射线的光谱测量数据需要低空飞行，这是由于大气对伽马辐射有衰减作用，而低速能满足空间分辨率的要求。另一方面，综合孔径雷达如SLAR能有效地以最高的高度和最大的速度运行，这是因为系统就视角和孔径而论所具备的灵活性，以及照射光的传播速度。

根据接收到的具有合格质量与数量的数据，可以认为一个系统的投资效果是随着为此所付出的开支数目而变化。例如，一旦卫星发射进入轨道后，即可长期收集一定类型和分辨率的数据，但这一优势对提高分辨率、灵敏度和灵活性并不利，为此可以使用飞机或地面调查的方法。

因此，对用什么样的系统最好，必须作出判断，这要根据目标的性质、要测量范围内的辐射特性、传感器系统的能力以及为此所需付出的费用来确定，这里所说的传感器系统的能力是指测量辐射所具有的足够的灵敏度和精度。

有了一个概括的遥感传感器概念之后，就要考虑传感什么，即电磁辐射。

三、电 磁 辐 射

太阳发出自然光，所以我们才能“看见”物体。然而，我们用眼睛看到的电磁辐射，称为可见电磁辐射，只占从太阳发出的辐射加上由其它物体反射或发出的总辐射的很小一部分。我们的眼睛作为传感器只能检测到可见光这一有限范围内的电磁辐射。当然还有能检测到范围更广的电磁辐射的传感器，它们的检测范围从人们现在尚未认识的电磁辐射到电视或无线电所接收的电磁辐射。传感器的种类很多，因为通常每种传感器都被设计成只采集总电磁辐射的某个区段。可是在详细讨论传感器之前，我们必须首先探讨被检测的对象——电磁辐射。为此，我们先讨论电磁辐射的性质，概要地介绍电磁辐射的波谱——即把总电磁辐射划分为小区段的分类图，然后较为详细地讨论电磁辐射的生成。

1. 电磁辐射的性质

所有的电磁辐射归根结底都是由于对电荷（通常指电子，有时也指离子）进行加速而生成的。也就是说，一个电荷的能量增减分别伴随有电磁辐射的吸收或发射。在本节中，我们随后将要讨论引起辐射的最重要的机理。当然，首先探讨一下电磁辐射的性质是有益的。

电磁波是由在传播方向上相互垂直的交变电场和磁场组成的。图4表示了一个理想电磁波的模型。这些电磁波的极化是由电场的方向确定的。电磁波传播时，如果电场仅在一个方向上振荡，极化即称为线性的；如果电场方向是旋转的，即称为圆极化；如果电场方向是随机的，则电磁波就是非极化的。被研究的电磁波其极化很少是一个模式。多数情况下，常发现非极化的电磁波，在它的垂直方向和水平方向上，包含有线性的极化分量。

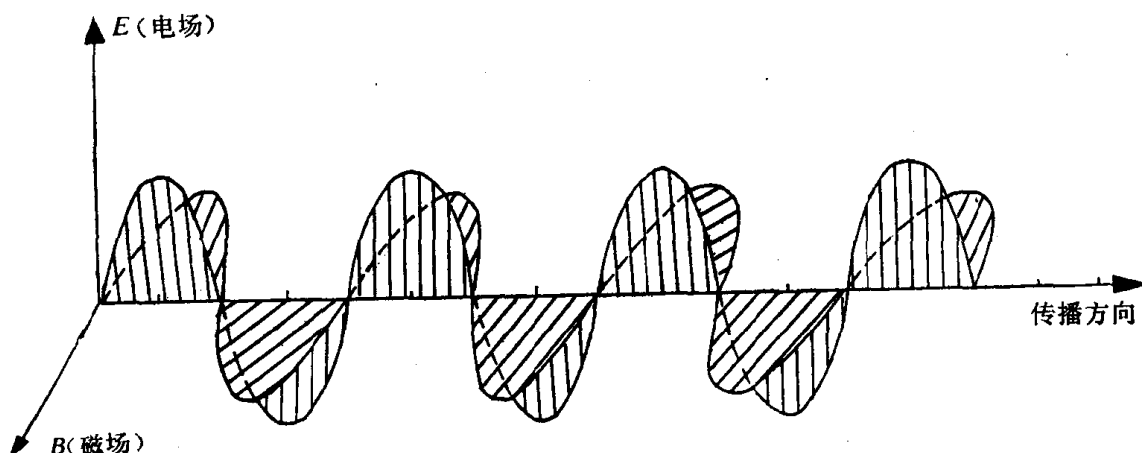


图4 图解说明电磁辐射的横截面性质，即传播方向垂直于电场和磁场方向矢量
由于电场矢量是垂直方向的 所以这个波是垂直极化波