

遥感技术在土壤和水资源 研究中的应用

科学出版社

S 17
DCD

遥感技术在土壤和水资源 研究中的应用

戴昌达 等 译

科学出版社

1981

001179

内 容 简 介

本译文集选译了美、英、法、日等国学者近年发表的有关土壤、水资源研究中应用遥感技术的基本理论与技术等方面的论著共二十一篇。土壤资源研究方面：前六篇，介绍现代遥感技术手段及所得遥感资料特点与一般处理方法；五篇是介绍不同国家在不同地区应用遥感图象进行土壤判读制图及土资源合理利用研究的经验总结；另三篇，报道有关土壤自动识别分类与制图问题；还有一篇探讨土壤湿度的遥感监测效果。在水资源研究方面：收集了在有关水库、河口、洪水泛滥、水质评价、地下水等研究中，应用遥感技术的方法与效果；最后一篇，是水体光谱特性测试方法。

本书可供从事土壤、水资源利用、管理研究人员和其他自然资源遥感与环境遥感的技术工作者及有关高等院校师生参考。

遥感技术在土壤和水资源 研究中的应用

戴昌达 等 译

责任编辑 陈培林

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981年12月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1981年12月第一次印刷 印张：12 1/2 插页：1

印数：0001—2,460 字数：290,000

统一书号：15031·379

本社书号：2411·15—10

定 价： 2.10 元

序 言

应用航摄资料于土壤制图和其他自然资源研究,已经很久了。随着航空摄影的发展,分别采用了高空和低空摄影,并研制了红外和彩色红外胶片;也还应用了侧视雷达、行扫描仪等新型传感器,使得航空资料应用于土、水资源研究的广度与深度,均有增进,取得了不少新成果。

空中实验室、人造卫星的发射,获得了大量的磁带信息和图象。卫星图象视野广阔,用四个波段记录了地面实况。直接利用这些信息资料于土壤和水体资源研究,取得翔实的地面资料,为大范围内研究和考察土、水资源,提供了更为广阔的前景。

由于卫星磁带和图象不仅记录了当时不同波段的地面光谱信息;而且对同一目标还多次反复地作了记录。利用这些不同时期,不同季节里所获得的信息,就可对比研究土壤和水体资源的动态,找出其变化的趋势。这些资料的不断累积、储存和更新,为土壤和水资源的更加合理利用,提供了丰富而扎实的科学依据。

目前,国际上在应用遥感资料于土壤及水体资源方面,开展了极为广泛的研究,已发表了许多论文。为便于参阅起见,我们选译了有关文献。其中,对遥感技术的应用基础方面,选译了有关方法论和行扫描仪、侧视雷达、空间平台摄影等方面的文章;对影象增强、自动识别分类和数理分析方面,也进行了选译。

在土壤资源研究方面着重选译了遥感图象判读和制图方面的文章;也对勾绘土壤组合图和资源图方面,进行了选登;至于遥感数据自动识别土壤和微波辐射计测定土壤湿度等方面,均很重要,也选译了有关文章。

关于水资源研究方面,我们选译了有关地表水——水库动态和地下水研究方面的文章;也对水质污染和水环境评价方面,选译了几篇文章。

不论对土壤,还是水资源研究,其中,最重要的环节是对这些自然客体的光谱特性的研究及光谱信号的选择。书中选登了有关这一方面的文章。

我国幅员广阔,土壤、地表水、地下水资源十分丰富多彩。对这样多种多样的土、水资源的考察、动态观察以及土壤肥力和水旱灾害的监测预报,将有利于我国农业现代化建设。当前,我国在应用遥感技术于土、水资源研究方面,正处于起步阶段。国外动态和有关资料的介绍,将有利于这一课题的发展。本文集能在遥感应用于土、水资源研究方面,得以参考利用,参加编译本书的同志们,将感幸甚!

席承藩

1979年1月

目 录

序言	(ii)
航空摄影和其它遥感方法	L. P. White (1)
行扫描仪	L. P. White (6)
侧视雷达	L. P. White (13)
空间平台摄影	L. P. White (21)
影象增强和自动图象分析	L. P. White (30)
关于陆地卫星象片用仿射变换与覆盖地图资料的几何论证	
.....	D. Steiner, M. E. Kirby (37)
在资源卫星图象上辨认南达科他州的土壤组合	F. C. Westin (60)
土壤遥感	福原道一 (72)
遥感图象土壤判读与制图方法	M. C. Girard (84)
在内布拉斯加州沙丘区应用卫星图象勾绘土壤组合	
.....	D. T. Lewis, P. M. Seevers, J. V. Drew (91)
利用卫星图象和航摄资料编制加利福尼亚东北部的土壤及有关资源图	
.....	S. D. Gloria, D. M. Carnegie (98)
• 利用天空实验室多谱段扫描数据探测盐土	
.....	A. J. Richardson, A. H. Gerbermann, H. W. Gausman 等 (104)
用遥感数据自动识别土壤	
.....	K. W. Wong, T. H. Thornburn, M. A. Khoury (111)
用航空成像被动式微波辐射计测量土壤湿度	
.....	J. E. Estes, M.R. Mel, J. O. Hooper (120)
供编制裸露土壤图用的光谱信号选择	G. A. May, G. W. Petersen (130)
• 资源卫星图象监视水库动态的作用估价	
.....	L. G. Everett, L. S. Leonhart, L. K. Lepley (138)
河口前沿的遥感和河口前沿对污染的影响	V. Klemas, D. F. Polis (146)
• 利用卫星图象研究地下水	Gerald K. Moore, Morris Deutsch (160)
衣阿华州季节洪水泛滥的多光谱制图	
.....	B. E. Hoyer, G. R. Hallberg, J. V. Taranik (172)
• 利用卫星图象资料的主成分分析进行水环境评价	
.....	村井俊治 前田 紘 (179)
自然水体光谱响应的野外测定	
.....	L. A. Bartolucci, B. F. Robinson, L. F. Silva (188)
附录: 英汉名词对照	(193)

航空摄影和其它遥感方法

L. P. White

首先在航空象片上，而不是在普通地图上来勾绘不同土壤类型之间界线的想法是完全可以理解的。一张普通的平面图只负载有限数量的自然(非文化)特征信息，虽然像地面点高程和等高线等，在判读景观的自然特征时是宝贵的，但是它们本身却不能直接表示土壤性质。另一方面，一张象片尽管只从一个位置录象，并且是以不完整的或歪曲的形式录象，但它却是景观的永久记录。它能使人对景物有直接感受。因此，它显示了自然地表以及地面植被的精细的、多样的特征，而这些特征中有些则是与土壤性质及土壤界限有关的。

我们应用空中摄影已经很久了。甚至早在美国内战期间就在气球上摄取象片进行军事侦察活动。第一次世界大战期间，摄影机被广泛地在飞机上使用。在第一次和第二次世界大战之间，人们探索了利用航空象片系统地编制地形图和用来编制自然资源图的可能性。现在，已充分确立了摄影测量这门技术。新近已从人造卫星上摄取了象片并发展了记录图象的新方法。这些新的技术和新的摄影学合称为遥感。遥感这个专门名词在1960年之前是并不流行的(它起源于美国密执安大学维罗伦实验室，即现在的密执安环境研究所)。

遥感，虽未精确地下定义，但它包括了所有获得象片的方法，或离地球表面一定距离的其它电磁的记录形式，以及图象资料的处理和加工。这个专门名词还被扩大到海底调查和大气监测的某些方式中。它包括传感器、摄影机等的使用，和象片或其它图象以及那些传感器获得的非图象资料的处理和判译。实际上，摄影技术比任何其它遥感技术被利用得更多，摄影胶片比其它传感器系统(如扫描仪和侧视雷达)记录图象资料的任何其它工具(或手段)使用得更广泛。不足为奇的是遥感这个词遭到一些常规航空摄影人员和摄影测量制图人员的抵制。他们埋怨他们已经确立的学科被使用新技术的其它人员(假如只从字面上来讲)所并吞了，而这些新技术在实际应用中大部分仍然还未经过验证。

因此，从广义上来说，遥感涉及到探测和记录传感器视场范围内目标物的电磁波辐射。这种辐射可能直接来源于目标物的个别成分；也可能是目标物反射的太阳能；或者也许是从传感器本身对目标物发射的能量的反射。

电磁波辐射的特性是具有频率、波长(波长与频率成反比)和强度。任何目标物的辐射均可用波谱来表示，在波谱中，从短波波长到长波波长最常用的部分是紫外光、可见光、红外光和部分无线电波(图1)。

人眼被动地记录被反射的辐射能，它对380毫微米和780毫微米之间(即0.38—0.78微米)的可见光波段是敏感的。色视觉提供了多光谱效应。标准的色视觉与常见的虹的光谱一样，将可见光波段划分为蓝、绿、红原色部分。因为我们的眼睛是成对的，由于重叠视场的缘故，它们就可以在我们的脑子里产生立体或三维图象，由此，我们得到了深度的透视

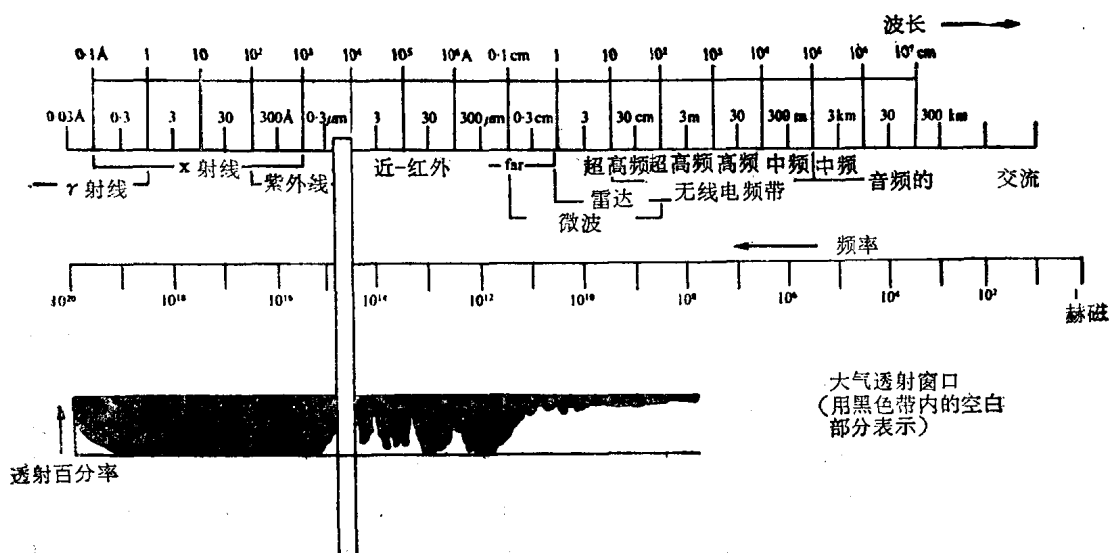


图1 电磁波谱和大气窗口

或深度的感觉。眼睛是记录图象极好的器件,但是它们不同于摄影机,因为它们不能产生永久的记录。人眼所以对可见光谱特别敏感,是因为在这个波段上约 0.5 微米处有一个峰值,在此处太阳辐射最强烈,地面目标物也具有很高的反射率。假如太阳光的性质不同,或者大气具有不同的吸收性能,那么,我们肉眼的光谱灵敏度也许会有不同的演变了。例如,假如我们的太阳是一个蓝色的矮星,或者是红色的巨星,那么,我们的“视觉”范围也许早已更进一步分别延伸到光谱的紫外光部分,或者红外光部分了。

虽然我们的耳朵不能构成图象,但它们也是遥感器官。它们在超长波的声纳波带中起作用。除了形成我们人的通信系统部分外,它还起着定向作用和调整设备的作用。由于水对大多数随意穿过大气的电磁波辐射来说是不能传导的,所以在水下测图系统中,我们可以利用声纳振动(例如侧视扫描 Side-scan)来进行工作。

不论是直接从太阳接收到的,或是从另一个天然或人工光源接收到的,所有的辐射能都与地表部分相互作用,并受到它们的改变。根据表面的性质和辐射的波长与强度,辐射能以不同的比率被反射、透射或吸收。地球表面也发出它自己的辐射。根据“布朗克”定律,温度在绝对零度以上的任何物体都能发射辐射能。当物体的自然温度增加时,它的发射光谱的波峰就逐渐朝短波方向移动(史梯芬定律)。因此,一根白热的拨火棒比一根红热的拨火棒来得热。对于组成地表物质的大部分来讲,它自身发出的辐射的波峰是在红外光谱中部约 10 微米处。

一般说来,遥感主要与直接从目标物表面所发生的反射率有关。因此,它只记录表面性质。另一方面,自身发射的辐射能则可能直接受目标物介质内部条件的影响。

辐射能的偏振也可以受到它和目标物相互作用的影响。偏振是“场矢量的方向”,亦即电磁波辐射的电分量传播的平面。(磁分量与此呈直角传播)。辐射能当它被接收时,可在不同方向上引起偏振,辐射就在那个方向里传播着。例如,在有些类型的雷达中,信号是以水平偏振方式传播的,但是由于目标物的反作用,在后向散射体(反射体)上引起了许多偏振方向,因而,设计了只接受垂直偏振分量的接收天线。

机载或星载传感器与它的目标物之间的大气,对辐射来说,好比是个选择性的滤波

器,它在不同的波长上吸收和散射不同的部分。因此,传感器的使用被限于那些受大气影响最小的电磁波谱部分。这些受大气影响最小的电磁波谱部分称之为“大气窗口”(图1)。

在无云大气中,可见光波段辐射能的散射是由于“瑞利”效应和“曼”效应(即曼杰利斯塔姆效应——译者注)引起的。“瑞利”效应起因于光与大气气体分子的相互作用。朝着比较短的波长方向(光谱的紫外光端)“瑞利”效应变得越来越显著,在可见光波段中,以散射蓝光为优势,它使得天空呈现出特有的蔚蓝色。“曼”散射是由于大气中比较大的气溶胶颗粒:灰尘,花粉,或水滴所引起的。它在可见光谱比较长的红光端引起大部分的扩散。

各种传感器记录了电磁波谱不同波段的辐射能。因此,传感器的工作波段首先是由传感器的探测部件或记录装置的灵敏性决定的。其次是根据它们可能得到的大气窗口来规定的。传感器系统也受到目标物有效辐射量的约束。例如,在白天虽然有大量的太阳反射,但到夜间所反射的可见光和近红外辐射能就急剧地减弱,这就限制了摄影的使用。虽然所有的物体均产生可测定的热红外和微波辐射强度,但是,对于能将它们从一般的背景辐射(通称为噪声)中满意地区别出它们的遥感器来说,这些热红外和微波辐射的强度可能太低了,但可以用选定波段来照明目标物的办法去解决这个问题。就像在摄影机上使用一个闪光灯泡一样。这就是与“被动式”传感器系统相反的“主动式”传感器的原理。

“被动式”传感器系统,如摄影机和大部分类型的扫描仪,通常只记录自然反射的辐射能或自身发射的辐射能。“主动式”系统,如雷达,发射出它们本身的辐射信号,并记录它们的反射能力。表1.1列出了传感器系统的主要种类和它们的工作波段。这些传感器中最常见的当然是摄影照相机。我们也将涉及到扫描仪,侧视雷达和用于人造卫星中的电视摄像机(即光导管摄像机——译者注)。

表1 主要遥感仪器的记录波段

波 段	波 长 (微米)	传感器系统
紫外光	0.3 — 0.38	摄影照相机
可见光	0.38 — 0.78	
近红外	0.78 — 0.9	
	0.9 — 1.1	
中红外	3.5 — 5.5	
远红外	8.0 — 14.0	电视 摄影机
远红外—微波	14 — 1000	
微波—无线电波	1000 — 1米	
		扫描仪
		雷达

如我们已知的摄影照相机,就是在摄影胶片上记录光谱可见光部分和与紫外光、红外光紧邻部分的图象的“被动式”系统。它们通过一组透镜系统聚集图象,并通过快门控制每次曝光所接收到的光量。

电视摄像机也是“被动式”仪器,它所工作的波段与摄影照相机工作的波段几乎相同。但它们的图象是在经过一组电子束扫描、并转换成电信号的图象感光板上,以电荷图案的方式形成的。这些图象可以通过无线电线路来作长距离传播,或者作为录象磁带方式贮存起来以备其后重播和显象。

行扫描仪是使用一个旋转光学系统,沿着飞机或卫星的轨道扫描地面上连续条带的“被动式”系统。沿着构成象场的扫描线所收集到的辐射能被聚集在探测器元件上。不同

类型的元件,对不同的光谱部分敏感,产生了电子信号,这些电信号经过电子处理就转换为图象记录。按所用的探测器,行扫描仪能够记录从紫外到微波这样宽广的波谱范围。

摄影照相机和电视摄像机都同时记录聚焦在记录装置上的画面或景色,这就是通常所说的“象面”。另一方面,当光谱信息直接从目标物区、即在“物面”内收集起来时,扫描仪系统就由光谱信息构成了图象。和摄影机不同,信息是连续记录的,不用快门。

和扫描仪一样,侧视雷达(SLR)系统也是在物面内,而不是在象面内收集它们的信息的。但它们却是由一束脉冲无线电电子束反射的信号(后向散射体)所产生图象的“主动式”系统。沿着飞机轨道,由连续脉冲照射的线构成一个象幅。

这些主要的传感器系统将在其它各章中叙述。

彩色和黑白(全色)摄影,通常记录整个可见光波段的景色。然而,可见光谱的各个组成部分可以用彩色滤光片分别记录下来,这些彩色滤光片将被记录的辐射能分成它的组成部分。多光谱显象技术在理论上同样能够与具有宽波段能力的任何类型传感器一道被使用。主要局限性是探测部件或记录装置的灵敏度,以及滤光片的效率。假如目标物辐射强度能够在一些正确规定的光谱段中被分别量测的话,那么就有可能以数学术语或“光谱信号”的形式去描述目标物的外貌,而光谱信号就导致了自动识别目标物和自动化制图的可能性。

从一个特殊目标物来的辐射可能受到它和传感器之间的大气的吸收和散射的限制,也可能受到背景辐射或噪声,以及传感器系统本身的不一致性的限制。因此,显象系统必须要有非显象仪器配合。这种“补充校正”传感器可用来精确地测量目标物样品的辐射特性。然后,在相同波段中将读数与图象记录进行比较,以便校正图象数据,并使图象数据定量化。

在可见光和红外波段中,校正仪包括单波段和多波段辐射计以及记录一个独立点的既定波段总反射率的光谱辐射仪。在无线电波中,所用的校正仪是被动式微波记录器和主动式雷达散射测量仪。校正仪可以和成像传感器一起在飞机上使用,或者可将它们用于地面,配合航测,以便提供通常称为“地面实况”的测量资料。

除摄影照相机外,所有的遥感成象系统都可以将电信号转变为等量的(模拟的)光信号。这些电信号是从遥感目标物接收到的辐射能转换来的,而光信号则可以被记录在胶片上产生摄影图象的再现。这里常用的一个专门名词是“硬拷贝”。由于,除了直接的摄影记录外,胶片用这种形式来记录变换的光谱影象,所以有通称遥感象片为摄影照片的趋势。如“雷达摄影”象片和“红外摄影”象片等术语。对于什么是微波记录,什么是热图象记录的含义来说,名词上是矛盾的。基于这个理由,对于不是用摄影机直接记录在胶片上的记录,用“成象”的名词比较好。而把“摄影”象片这个名词限于用摄影机直接产生的可见光和邻近红外波段的记录。

与摄影相反,在任何电子传感系统中,最初的图象数据是一组连续变化的电信号或模拟电压。在电视摄像系统中,图象数据可直接地并立即显示在荧光屏上,这就是通常所说的“实时”显象。另一方面,信号电压也可以记录在磁带(例如,录象磁带)上,以后再通过录象磁带来产生象片。由于这种变化,在任何阶段都可以使模拟信息数字化,这样有利于数据处理和程序分析。

为了根据模拟磁带或数字磁带制造“硬拷贝”图象或晒印象片,使用了各种胶片记录

系统,在这些记录系统中,制造一束光源仿照在地面上记录原始数据那样,横穿一张未经曝光的胶片,而它的强度是通过记录电压的变化来调节的。完成这个程序的各种电子束,莱塞和机械扫描系统将在后面的章节中讨论。

因此,大部分电子遥感系统具有三个基本组件:

- (1) 传感器系统: 电视摄影机;扫描仪;雷达。
- (2) 磁带记录器: 模拟记录或者数字记录。
- (3) 图象处理机: 胶片记录系统。

因为磁带记录器几乎对所有系统都是共同的,所以通过所提供的一台公共图象处理处来处理任何电子传感器的数据应该是可能的。但这里的数据首先要被转换成适当的格式后,才能给公共图象处理机进行处理。此外,普通摄影机获得的象片也可以经过扫描产生同样格式的数据,这样可以进行选择性的处理和增强。

用遥感系统来收集数据需要飞机、其它运载工具或在其上装配有仪器的空中平台。这些运载工具中最熟悉的是由地方或政府测绘机构及军事部门操作的航测飞机。气球、风筝和火箭也用过,虽然它们几乎总是被当作试验用。火箭已经被用来将摄影机带到大气层外,但是,这个区域的主要运载工具是载人的或不载人的卫星。

一般来说,其它遥感方法比常规航空摄影对常规土壤研究显示的优点似乎有限。传感器本身已经被发展为各种不同的用途,它们的图象对土壤调查也许不是特别适用的。已经有了一些利用先进的传感器系统和制图技术研究土壤和与土壤有关的试验,但是利用这些比传统象片判读优越的先进手段来完成常规土壤调查的还很少。

新的遥感方法对土壤调查可能的应用是(i)作为常规航空摄影不可能到达和不能满意获得结果的那种地方的一种代替方法;(ii)取得用摄影方法记录不到的那个波段中的信息;(iii)取得比摄影所能提供的更为精确的光谱数据,而且在形式上,这些数据直接适合于自动化制图技术。

对于提供较好分辨率的、小比例尺图象的地球资源技术卫星*(即陆地卫星)目前正在引起大量的注意。这些资源卫星图象正显示着它们对包括土壤调查在内的科研项目所具有的实际价值。尤其是当它们与其它调查技术联合使用时。机载侧视雷达图象也在用于实验性的科研项目中。然而,一般来说,土壤调查要求具有高分辨率的,投影比较正确的立体图象。摄影测量照相机满足这种要求是最容易的,也是最廉价的。或许,除了一般的踏勘以外,土壤制图还要求高密度的地面核对;因此,对于供收集和判读远距离分析复杂光谱数据用的替代方法受到了限制。利用摄影方法以外的其它遥感方法,在一些其它自然资源制图应用方面,例如,在地质学中,可作出很大的贡献。对于基本土壤调查来说,它的用途似乎受到更多的限制。但是,这种技术在与土壤有关的活动可以肯定是有价值的,如用于监视水分状况和监视植被灌溉和作物管理。

周慧珍译自 《Aerial Photography and Remote
Sensing for Soil Survey》1—9 页,
Clarendon Press Oxford, 1977;
陆漱芬校

* 简称资源卫星。——译者注

行 扫 描 仪

L. P. White

行扫描仪提供了一种手段，来解决不能直接记录在胶片上的那部分光谱产生图象的问题。这种技术首先是为了大于1微米的热红外制图而发展起来的。但也能应用于光谱的其它部分。行扫描仪大体上有三大类：(1)单或双通道热红外扫描仪，(2)微波扫描仪，(3)从紫外到近红外大气窗，包括整个可见光域的多谱段扫描仪。无论是单通道或多通道行扫描仪，一般都在物平面或瞄准平面，而不在象平面收集信息。也就是信息直接从瞄准平面一部分一部分地记录下来，而不象照相机那样将整个图象记录在焦平面上。整个图象不是用快门在瞬间记录下来，而是由飞机下面的连续线性扫描所组成。这些图象资料是由与飞机飞行方向呈直角转动或摆动的反射镜或棱镜组成的光学系统收集的（见图1）。转动或摆动的速度在每秒300至3000周之间。

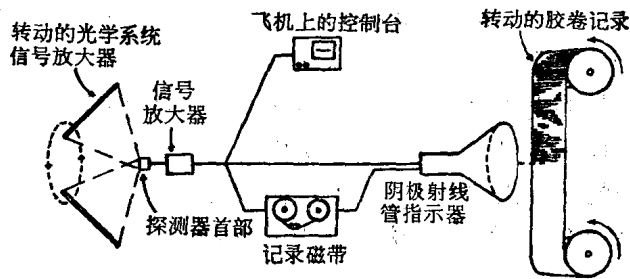


图1 行扫描仪部件

扫描仪与照象机和光导管摄像机一样，也是被动式仪器。它本身不照明地面目标，而只记录地面目标反射其它能源（主要是太阳）的辐射能或自身发射的辐射能。在紫外——可见光——近红外大气窗（0.3—1.1微米）之间，多谱段扫描仪主要记录反射的太阳辐射能。在波长大于4.5微米的热红外窗和更长的微波区域，大部分辐射能系自身发射，所以图象与日光无关。在中红外窗（3.5—5.5微米），自身发射和反射太阳辐射能的比例白天大致相近。在这个波段，同一地面目标白天与夜晚得的图象看起来可能十分不同。

沿扫描线收集的辐射能由光学系统聚焦到探测器上。为了记录所需要的光谱信息，探测器可以是窄波段专用探测器；另一方面如果辐射能首先通过选择性干涉滤光片或借助棱镜的不同折射而分离成各种成分，则宽波段探测器也可采用。探测器把接受到的入射辐射能转换为电信号，包括扫描图象在内的多种能量水平的永久性记录便可从中提取出来。在最简单的仪器装置中，相当于地面每条扫描线的信号在阴极射线管（c. r. t）上显示为不同亮度的线条，并可记录在胶片带上。胶片带作连续转动，从而获得整个扫描区的永久性图象记录（称硬拷贝“Hard copy”）（图2）这些负片上的记录可按常规摄影方法进行复制。通常在正片上高辐射能（即热目标）显示为亮色，低辐射能（冷目标）显示为暗色。

另一种方法是：把空中直接记录到的图象资料先寄存在磁带上，尔后在地面处理。这

对于以后为了获得高质量的纠正图象需对信号进行更复杂的处理是有利的。磁带有这种优点,它能贮存所有的动态变化范围,亦即能全部记录所接受到的各种强弱不同的信号;另一方面摄影胶片在高信号电平或低信号电平时则可能发生曝光过量或不足的问题。胶片把相应于各种强弱的信息区分为大量不同密度级的能力也有限。这种有限的“灰度分辨率”会大大降低图象的分辨率。

用磁带记录信息的扫描仪通常附有某种形式的快速处理系统,借以“尽快看到”已获得的记录。这种快速处理系统能提供一些粗略图象来说明合适的地面覆盖区是否已经得到,以及信号平衡是否正确。显示地面覆盖区一次为一条线,或沿着扫描区逐次增量,则获得满幅电视图象的阴极射线管指示器,也可用于飞行监视。

行扫描图象与常规摄影片几何形状有相当大的差别。因为前者收集图象资料的途径不采用透视几何学的一般原则。因此,行扫描获得的条带图象不能按常法进行立体观测。当光学收集系统每次进行横向扫描时,飞行器都在向前移动,所以扫描区的图象最初是不成直线的,每条扫描线实际上都是斜的。其角度随与飞机距离的增大而增大。这给图象造成了一个正弦曲线的畸变。每条扫描线视场角的变化也引起每条图象的边缘受到压缩。随之与飞行器位置有关的扫描点的几何图形也发生改变。这种畸变特征如图3所示

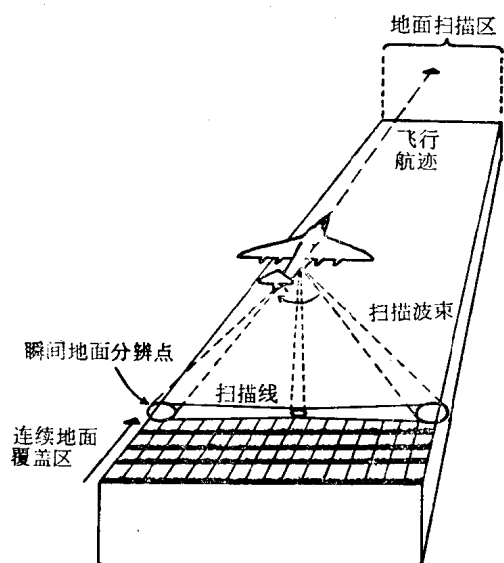


图2 机载行扫描仪作业图

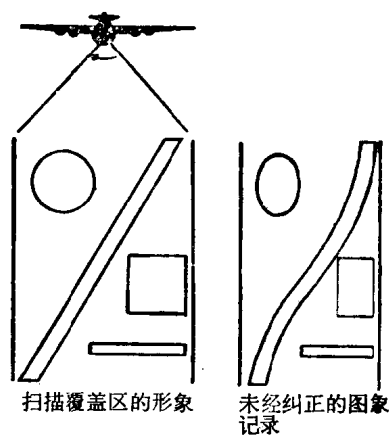


图3 行扫描图象的畸变

这些畸变在采用简单直接胶片记录的方式时是不可避免的,但可通过电子学的处理,予以某种程度的纠正,特别是以磁带记录时,处理较为方便。把扫描仪安置在一个稳定的平台上可减少由于飞行器的不稳定性、颠簸与滚动所引起的额外畸变,或借助于内部的陀螺仪系统,通过改变被记录的扫描线的位置使滚动得到补偿而减少误差。

行扫描仪的空间分辨率首先取决于光学收集系统。而该系统收集面或孔径的大小也影响到它的光谱灵敏度。大的孔径具有高光谱分辨率,但空间分辨率低。随着探测元件灵敏度的增高,响应时间的加快,达到高分辨的能力也愈大。

光学系统在任一瞬时 (at any instant) 能观察到的地面点的大小叫做瞬时视场, 瞬时视场的大小也就是该光学系统的瞬时地面分辨率。通常, 机载扫描仪的瞬时地面分辨率不小于 1 毫弧, 即当飞行高度为 1000 米, 在飞机下方能直接观察到的地面点长度为 1 米。航线两侧, 瞬时视场的直径增加, 其形状随着与光学收集系统距离的增大而发生畸变 (见图 2)。

上面已经指出: 慢响应探测元件对扫描系统的空间分辨率有不利影响。特别是热探测元件更是如此。慢响应的元件不大可能在沿扫描线接踵而来的下一目标起作用之前, 全部记录下前面各目标点的温度。它使得每条扫描线的光谱特性曲线变得平缓, 缩小了记录资料的变动范围, 以致很热或很冷的目标不能被完整的记录下来。而且, 从热体发出的高响应可能被邻近冷体的低响应所淹没或延缓 (carry over), 从而使扫描图象模糊不清。

在图象条带边缘扫描线终端的信号, 穿过大气层的路线比之飞机下方的要长些, 所以大气的吸收和散射对于图象条带的边缘的影响比之中间要大些。为了使这种影响缩小到最小限度, 通常把扫描角限定在 90° (垂线的两边各 45°), 某些使用者还建议扫描角不超过 70° 以获得条带各部分较一致的结果。

表 1 列举了若干扫描仪性能特点, 某些专用类型的详情则分别叙述如后:

表 1 某些热扫描仪和多波段扫描仪性能明细表

仪 器	通道	光 谱 范 围 (微米)	角分辨率 (1/百万)	视场跨接线 (扫描角) (度)	会聚孔径 (厘米)	扫描速度 (每秒摆动数)
EMI Airscan	1	3.5—5.5或8—14	1.5或3.3	140	10	50
Hawker-Siddeleg 212	1	8—14	1.5	120	9	500
Texas Instruments RS-310	1	在 0.3—14.0 中选择	1.5	90	16	200
Texas Instruments RS-14	2	在 0.3—14.0 中选择	1.0或3.0	80	16	200
Daedalus	12	0.3—14.0	1.7或2.5	77	13	80
Environmental Research Institute of Michigan	12	0.41—9.82	3.0	80	—	—
Bendix M ² S	11	0.38—11.0	2.5	100	10	10—100
Bendix MSDS	24	0.34—13.00	2.0	80	23	10—100

红 外 扫 描 仪

热红外扫描仪是最简单, 也是首先发展的扫描仪型号。这类仪器利用热敏感转换器来探测红外辐射。典型的是用铟-锑探测 3—5 微米大气窗的辐射 (图 4), 用汞-镉-碲或汞-镉-锑探测 8—14 微米大气窗的辐射。探测器元件根据装置要求必须采用液态的空气、氮或氩经超冷处理使温度低达 77°K 。高性能的扫描仪有黑体基准源, 使其图象资料有可能根据标准温度基准进行校正。当光学收集系统凌空俯瞰时, 这种基准源随探测器元件工作, 它能检查到各条扫描线之间的任一非反射空腔。

某些红外扫描系统, 其探测元件能随不同的任务而变更以选择波段。另一些扫描仪为

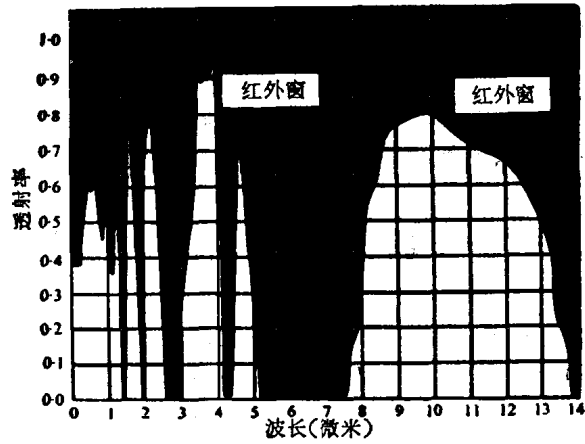


图4 热红外窗

双通道,每个探测器具有单独的收集系统,各在仪器的一端。

多波段扫描仪

多波段扫描仪能在紫外至红外波段操作,但其通道的多数通常是在可见光域。被这类仪器收集的辐射能用光学分离,每部份由各探测元件分别同时记录下来,有的扫描仪已

表2 Bendix MSDS 多波段扫描仪光谱段

通道	光谱段带宽 (微米)	探测器
1	0.34—0.4	紫外
2	0.4—0.4	
3	0.46—0.5	
4	0.53—0.57	
5	0.57—0.63	蓝
6	0.64—0.68	
7	0.71—0.75	绿
8	0.76—0.80	
9	0.82—0.87	红
10	0.97—1.05	
11	1.18—1.30	近红外
12	1.52—1.73	
13	2.1—2.36	硅
14	3.54—4.0	
15	4.5—4.75	锑、铋
16	6.0—7.0	
17	8.3—8.8	中红外
18	8.8—9.3	
19	9.3—9.8	汞掺锑
20	10.1—11.0	
21	11.0—12.0	近红外
22	12.0—13.0	
23	1.16—1.16	锑、硅
24	1.05—1.09	

增达 24 个通道。但最常用的是 4 至 14 个通道的扫描仪。表 2 列举了 24 通道扫描仪记录的各个光谱段：

多谱段扫描仪通常使用光发射 (photo-emissive) 硅探测器阵列来探测光谱的可见光和近红外部份，它们都是光电倍增管，具有比热红外探测器反应时间更快的特点。

微波扫描仪

微波扫描仪本质上是超高频至甚高频波长的无线电接受器，通常称为被动微波辐射计*，其天线采用线性扫描模式。工作波段在 1—30 毫米波长，相应频率范围为 300—104 兆赫兹 (1 赫兹 = 1 周/秒)。在这个范围内有一些大气吸收带，但随着波长的增加，大气透明度也随之增加 (见图 5)

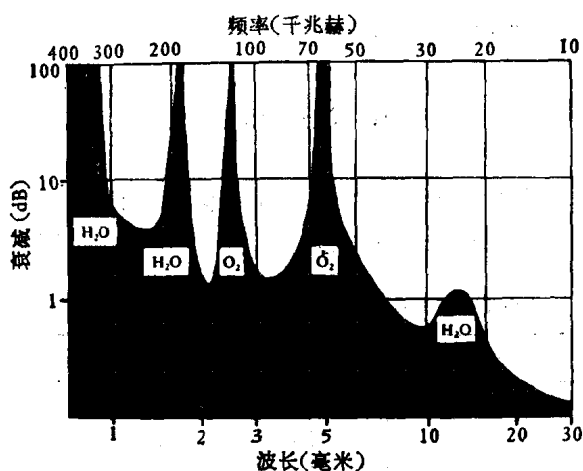


图 5 被大气诸成分吸收的光谱微波部分及“窗口”

此类仪器记录地表的自然辐射发射 (radio emission)。其振幅要比中红外 (热红外) 发射低几个数量级。为了能探测这样低水准的辐射能，并把它从高频背景中分离出来，天线必须有宽的以度数表示的视场角，而不像热扫描仪那样仅以毫弧表示。因此这类仪器的空间分辨率注定是很低的。

微波扫描仪的主要部件是天线和一可供选择“中心频率”的宽波段调谐接受器。天线可以是一锥形喇叭状透镜或抛物线型反射器，能自己转动，或者在其前面安装一转动的扫描金属板。另一种方法是采用电子扫描，天线各部件按一定相位固定排列，以便每个部件记录地面信息的一部分，并转换成模拟行扫描仪的图型，这就是所谓“相位列阵” (phased array)

对于图象记录来说，由于分辨率如此之低，所以输出高质量的图象是不可能的。可产生一种简单的计算机式图表 (graphic computer-type printout) 或记录在磁带上并能显示在电视屏幕上的图象。这可能有两种情况，即以颜色或符号编码来表示信号强弱的不同水平以产生图象。实际上它就是与热红外制图仪搞出来的“热图”相类似的微波温度等值图。

* 也称无源雷达。——译者注

表 3 列举了某些仪器型号的详细情况,从表中可看到:天线的大小和扫描波束范围随波长增加(频率降低)而扩展,这意味着对于长波频段来说,需要功率更大的,数量更多的天线系统。

表 3 某些机载微波辐射计系统

仪 器 型 号	中 心 频 率 (GHz)	波 束 宽 (角分辨率) (度)	温 度 分 辨 率 (K)
McDonnell-Douglas	10.7	20.0	1
Spectran RA 111	30.0	2.4	0.21
Spectran RK 112	13.7	3.2	0.15
Spectran RX 112	10.2	4.3	0.11
Spectran RS 112	2.4	10.0	0.15
DFLVR	11.0	1.88	0.1
DFLVR	32.0	5.0	0.5
DFLVR	90.0	1.8	3.0
DFLVR	32.0	1.0	20.0

扫描仪的操作

红外和多谱段扫描仪在操作上仅比一般航测照相机稍许复杂一些。其基本的扫描单元很小。这些仪器可装在航测飞机的标准摄影机窗口,或者携带在轻便飞机的舱外,磁带记录器和监控设备放在机内,其体积不大。热扫描仪探测器元件所需的致冷问题并不造成严重困难。某些微波扫描仪的巨大天线可能产生一些问题,但这类仪器的其它部件都不大。携带扫描仪的飞行操作与常规航空摄影很相似,只是红外和微波遥感常需在夜晚飞行,以消除直接反射太阳光的干扰影响,这要求使用较复杂的导航设备如多普勒仪。

应 用

照相机获得的图象比扫描仪获得的图象具有更高的平面精度和空间分辨率。扫描仪比之照相机的主要优点在于它能以光谱通道收集那些不能直接记录在胶片上的信息。有些扫描仪则能以相当多的分离通道记录信息,而且这些通道的光谱段可被规定得相当精确,其光谱资料也更容易、更可靠地进行定量。

多谱段扫描仪获得的资料在美国得到大量应用。其中以帕杜(Putda)大学和密执安大学采用计算机处理进行土地资源自动制图最为著称。这种根据光谱信号识别不同制图单元的技术将在另文阐述,这类工作目前主要用于作物制图和自然植被制图方面,因为大面积作物或自然植被的均匀性,为这种方法提供了比较明显的目标。但此法在地质、地貌、土壤等方面的一些工作中也正在应用。

帕杜大学遥感应应用研究室(LARS)在一次分析某地区多谱段扫描仪资料中,曾制出几份与光谱特征密切相关的“光谱等级”图。把它与野外测制分出5种土壤的图件相比较,其中有三种土壤与之相当。实际上,光谱等级与土地利用管理组合间的相关性比之与

土壤单元的相关性更为密切。从这项工作获得的总的结论是：在此试验样方内，光谱等级与常规土壤调查所用制图单元之间的一一对应，不可能是由于各土壤类型之间的差别及其明确界线的缺乏。

这个实例展示了这种土壤制图手段的一个主要问题：虽然土壤颜色是一种标志。但只有土壤不被植物覆盖时才能准确观测到。再则，土体的光谱特性通常主要是其表面的，它与土壤剖面的其它重要性状可能有直接的相关性，也可能没有这种相关性。地面表象(surface expression)之间的变化界线在制图上虽很有用，但这些地面表象既未必与下伏土壤密切相关，也不一定与它同样重要。

单或双通道热红外扫描仪在一般土壤调查中的应用较多谱段扫描仪少。现有的这类仪器分辨率低，图象失真大，造成区分相邻扫描条带状况的困难，这些困难抵销了热红外信息所具有的优越性。但红外可对土壤质地、水分分布，也许还可为工程目的或土地管理想要了解地面物质矿物组成而进行的专门土壤调查提供信息。

地质工作者曾对利用余辉效应(Restrahlen effect)来鉴定岩石类型感兴趣。在8—14微米中红外窗口，倘若两种岩石温度相同，则基性岩(即硅质含量低的岩类)的最低发射水准出现在比酸性岩(即富含硅质的岩类)波长要长得多的波段。在正常情况下，比较中部9和11微米波长两个通道的图象资料，就有可能自动分辨出这两类岩石。

这种方法对某些土壤类型的调查，特别是干旱地区土壤调查可能颇有价值。(Lyon, 1965; Uincent 和 Thomas, 1971)

微波仪器不同于热红外和可见光扫描仪，它能记录到紧接地表下的信息。这就打开了应用遥感进行底土制图的可能性。但实际上由于辐射能被土壤中的水分如此强烈地衰减，以致能探测的有效深度限于通过最干燥的物质层。理论上，有可能穿透几十米的干涉层，并且使用的波长愈长，能探测的深度也愈大。

微波遥感器所以有较广泛的用途，还因为它不受云雾覆盖的影响，使能按规定监视土壤湿度状况，为农业管理服务。这类仪器的分辨率低，所以用作区域调查比之详查更为合适。

各类扫描图象的应用问题，曾做过相当大量的研究。但至今除了陆地卫星系列(即地球资源卫星系列)多谱段扫描仪获得的小比例图象得到广泛的应用之外，其它都很少付之实际使用。机载扫描仪对于土壤制图工作的某些使用完全是试验性的。迄今仪器的不够完善可能是限制这类资料在土壤调查制图的实际工作中使用的部分因素。但图象分辨率与几何学精度都不如航空摄影，是其固有的缺陷。今后如何改进仪器设备和资料处理，以提高扫描图象的可利用性，将给土壤调查带来益处。

戴昌达译自《Aerial Photography and Remote Sensing for Soil Survey》，

43—54页，Clarendon Press Oxford, 1977；张同亮校