

国外林业科技

林业中的遥感

中国林业科学研究院科技情报研究所

1980.12

编辑说明

资源经营中、特别是林业中的应用，发展很快。为了加速发展我国的林业遥感技术，我国技术人员正在积极开展试验研究工作。鉴于这种情况，我们继1978年《遥感在林业中的应用》专辑之后，现又编辑本专辑。

1979年11月2—8日，国际摄影测量委员会和国际林业研究组织协会在西德弗赖堡联合召开了“地球资源与被害环境观测和清查的国际遥感讨论会”，并出版了3卷论文集，共收录论文100多篇。本专辑根据我国的情况，有重点地从中选译了8篇。其余译文则选自近期出版的文献。

本专辑的选题着重遥感在林业中的实际应用，同时也兼顾光谱测定和图象分析等方面。从应用而言，尽量涉及更广泛的范围，诸如用遥感绘制植被图、森林资源清查、病虫害探测、估计伐区面积、绘制森林公路等，在专辑中都有反映。

为了比较全面地了解遥感现状和发展趋势，我们请北京林学院的董乃钧副教授写了评述文章。同时，也收录了美国爱达荷 R.C.Heller 教授的有关评述，这篇文章虽然发表于1977年，但仍有重要参考价值。

由于水平所限，本专辑难免存在缺点错误，请批评指正。

目 录

林业遥感技术的评述	董乃钧(1)
自然资源遥感评述	R. C. Heller(6)
遥感应用的反射率	K. T. Kriebel(13)
联合研究中心采用的光谱特征测定技术:	
主要问题和基本考虑	G. Maracci(15)
用重氮盐彩色软片增强陆地卫星影象	G. K. Moore(20)
环境调查与多光谱象片	荒木春视(27)
森林断面的激光航空摄影	В. И. Солодухин(38)
潮湿热带地区 (主要参考塞拉利昂)	
高空航空摄影的作用和应用	J. A. Howard(40)
用70毫米立体摄影机拍摄的大比例尺象片量测调查森林	Von B. Rhody(56)
在参照地面摄影测量的情况下联合使用大比例尺35毫米和70毫米连续抽样摄影的清查方法	B. Rhody(63)
应用陆地卫星数字影象的森林资源清查	Torleiv Orhang(69)
西德编制森林分布图的多波段卫星数据定性和定量判读	C. M. Ribeiro Garniro等(84)
用陆地卫星象片估计皆伐面积是否可靠?	Y. J. Lee(93)
澳大利亚应用陆地卫星图象数字分析法绘制主要森林火灾范围和林火强度图	
.....	M. L. Benson 等(97)
林火动态和后果的宇航指示	А. И. Мелыа(105)
用彩色或彩色红片外清查针叶林小蠹虫致死的死亡率	W. M. Ciesla 等(108)
根据航空象片判读测绘瑞典植被图	Margareta Ihse(11)
用卫星资料绘制森林类型图	A. G. Dodge()
利用卫星资料绘制森林植被图	J. Beaubien()
卫星资料在绘制魁北克森林公路图中的应用	P. Gignac()
从航空象片上预测坡面的稳定性	G. T. Fogel()

林业遥感技术的评述

董乃钧 (北京林学院)

虽然“遥感技术”这一术语源于1962年美国密芝安大学第一届环境遥感专题讨论会,但它的前身——航空摄影、航空调查……,却已有五十年以上的历史。人造地球卫星的发射,使人类能够从更高的空间,更短的间隔期和较稳定的轨道上探测目的物,从而创立了勘测外层空间和地球资源的航天遥感方法。另一方面,多种新型传感器,如侧视雷达、多谱段摄影机,多光谱扫描仪,热红外传感器等的应用,扩展了常规航空摄影技术,把它推进到现代的航空遥感阶段。

遥感技术在林业工作中,对森林资源勘查、林业区划和规划,森林病虫害的发现和防治,森林火灾监测等等方面起着重要作用。例如,印度尼西亚苏门答腊通过陆地卫星的遥感图像得知最近20年内森林面积减少50%,对印尼林业政策起了决定性作用。陆地卫星数据的自动分类技术虽仍处于试验阶段,但可以看出它将引起自然资源勘查技术上的巨大变化。它不仅要革新常规的分类技术,而且要革新编制技术,而且将改变整个资源调查体系。林业资源勘查工作中长期存在的一些问题,如大面积森林区森林资源的动态监测方法,资源数据更新等,将能通过定期处理陆地卫星数据而得到解决。因此,有必要评述林业遥感技术的发展、动向和它的特点。

遥感技术的发展和其特点

在林业工作中,应用遥感技术最广泛的是森林资源勘查工作。自航空和航空摄影为军事采用后,很快就应用于林业勘查工作中来。从国际上看,遥感技术用于林业,特别是林业勘测工作的历史大约可追溯到20世纪20年代开始试用航空目视调查和空中摄影;30年代采用常规航空摄影;40年代中,航空象片的林业判读技术得到发展,开始编制航空蓄积量表。50年代中,发展了航空象片结合地面的抽样调查技术,并开始试验低空林业航空摄影;60年代中,彩色红外片的应用大幅度地提高了林业判读,特别是树种判读的精度。在这个时期,小比例尺大范围的林业抽样航空摄影进一步得到肯定。70年代初,林业航空摄影比例尺向两个方向发展,超小比例尺的彩色红外片在林业区划方面被认为可以替代常规的中比例尺航空摄影,超小比例尺的低空抽样大比例航空摄影相配合,可以得到较高的效率。与此同时,侧视雷达在热带雨林地区试用成功。此后,卫星图像在林业中开始应用并在一定程度上代替了航空摄影。70年代后期,地球卫星数据自动分类技术引入林业,多种传感器也应用于林业遥感试验。由于林业应用遥感技术历史较长,有较好的基础,在遥感技术发达的国家,林业遥感也位于一些部门之前。

林业资源的辽阔性、再生性以及森林经营要求进行准确的分类和得到各种数据,致使林业遥感具有周期性,季节性,点面结合,地空结合和多种比例尺配合使用的特点。从整个遥感勘测技术范畴看,林业遥感技术在抽样航空摄影和特大比例尺象片判读技术方面,在应用

遥感图象进行地面抽样调查的地空结合方面，在应用光谱比，多时相分析等增强技术进行分类方面有自己的特长。

二、林业航空摄影

航空象片由于其分解力高，判读性能好，仍然是林业遥感中的主要图象资料。30年来，常规的林业航空摄影是采用焦距摄影机、黄滤镜、全色片或红外片，秋季或早春拍摄1:20,000左右的象片。林业航空摄影主要用于编制林业图，进行区划判读或用于配合地面调查工作。

十年前，林业工作中已开始采用高空航空摄影。应用机型为RB—57，U—2以及Mystere20，这些飞机可拍摄1:12万的小比例尺象片。高空摄影具备许多有利因素，摄影覆盖面积大，理论上每个飞行小时可拍摄1万平方公里左右。高空飞行较稳定，修正地球曲面影响后，精度适合于编制1:25,000以上的平面图和正射象片图，符合林业工作要求。采用红外彩片的情况下，林分的区划判读可靠。根据澳大利亚的研究，1:84,000全色片上可以进行粗放的森林分类，并能在稀疏林分中将它按7米树高分级，地物分辨力可望小于3米。更主要的是由于上述有利因素而使成本降低，与常规航摄比较，摄影成本可降低5/6，判读成本降低1/2。但卫星图象应用后，高空摄影受到冲击，在当前林业调查中，仍作为航天遥感的一种配合手段，应用在多阶抽样工作中。

为了取得森林某些地段的数量标志，如林木株数，树高，冠幅大小，单株材积（或林分蓄积），病害情况等，可以采用轻型飞机对这些地段进行特大比例尺抽样摄影。摄影比例尺1:600或1:1,000。为克服低空摄影飞机对地物相对速度过大而引起影像位移，这种摄影均采用小象幅摄影机，即焦距为70或30毫米的轻便相机。通常采用二组相机，按固定的基线距离安置于机翼两侧。这种固定基线的特大比例尺象片可以较精确地采用象片视差量测方法来计算航高，从而可以解决象片比例尺和森林因子的量测问题。加拿大曾在大不列颠哥伦比亚针叶林中试验70毫米、1:1,000比例尺象片，判读结果得出与地面调查精度相当。特大比例尺小象幅抽样摄影象片在定位上存在问题，同时也存在面上的区划判读问题，因此，它常与小比例尺象片配合使用。

红外彩色象片对森林判读病虫害探测极为有利。60年代中期，联合国粮农组织曾组织热带雨林国家林业判读人员赴苏联学习红外彩色片的树种判读技术。近年来，大比例尺彩色红外森林航空摄影更多地被用于病虫害探测。由于绿色树木大量反射绿光和红外线，用柯达克红外彩色片2443/3443拍摄时上层感红外光，曝光后呈青色；中层感绿光，曝光后呈黄色。在透图台上判读这种红外彩色透明正片，白光向上透过正片，绿和红光可以通过，通过的红光强些，故呈红色。针叶树则由于近红外辐射比阔叶树小，绿光波段比阔叶树为大，上述红外彩色片曝光后，青色较浓。在判读透明正片时，通过蓝光较多，呈暗红色。受病害的树木，红外辐射减弱，判读时呈兰红色。如果树木濒于死亡，红外辐射更弱，树冠变枯黄色，至使红外、红光、绿光反射均匀，判读时呈灰白色。目前，一些国家正在进一步研究红外彩色片的判读效果，广泛采用彩色红外片进行林业航空摄影。

三、其他传感器的林业应用

侧视雷达，多光谱扫描仪，热红外扫描仪等在林业遥感工作中均处于试验阶段。

侧视雷达主要用于热带地区,以其优越的穿透云层的摄影能力,使这类地区由于长期云层密布而难以进行一般航空摄影的问题得以解决。它也用于描绘植被层下的地形。它的主要缺点是图象分辨率太低,一般在40米左右,难以辨别树种。

多光谱机载扫描仪在林业遥感技术的研究中已被广为采用。它主要用于研究对各光谱区进行分类的可能性。西德弗赖堡大学林业遥感研究室就采用11个通道的机载扫描仪研究各种树种的可区分光谱区。自1971年以来,多光谱扫描仪的最大改进是可以通过单一孔径聚集所有的辐射能,并且同步地记录所有波段的辐射水平值(在1971年之前,只有可见光和近红外波段可以通过单一孔径记录)。这一改进可以应用于计算机分析,它为计算机提供各个波段的辐射能量,这就为图象自动分析创造了条件。

热扫描仪在森林火灾的探测方面有重大作用,在美国已用于探测和绘制森林火灾图。一个双光谱系统使用两个探测器,一个感应3—4微米光谱段,另一个感应8.5—11微米,该系统可在5,000米高空,以温度为0—50℃的森林为背景,探测出0.09平方米的600℃高温的森林火灾。

目前,美国林业中应用一种轻便热红外辐射仪,称为AGA Thermovision 750,可在800英尺距离探测森林火灾,进行森林动物调查和小蠹虫对林木为害的调查。它的温差可达0.2℃。

总之,光学扫描仪构成图象的分辨率不高,通常为航空象片的三倍,除热扫描之外,很少用于林业。侧视雷达则受设备、成本和判读性差的影响,在温带林区还不能与常规航空摄影相匹敌。除此之外,气象卫星、环境卫星等的遥感图象分辨率太低,只能周期地用作森林防火,地区造林树种的选择等方面的参考。

四、目视判读

目视判读在林业中有传统的基础,它只需少量设备,能充分发挥判读人员的经验,仍然是林业遥感图象分析常用的方法。对于陆地卫星的遥感图象需进行彩色增强,才能提高目视判读效果。至今最常用的方法仍是利用光学合成仪或加色观察器把多光谱扫描(MSS)各波段合成,并印成透明正片以进行目视判读。透明正片的银盐细,分辨率高,彩色饱和度好,适合于判读分类。根据国内外的森林判读区划实践,利用彩色透明正片至少可以将针叶林,阔叶林,混交林,次生林区分离开。

另一种供目视判读的透明正片是重氮盐薄膜。几种单色的重氮薄膜迭加起来,组成彩色透明正片,它的成本约为光学合成片的1/5。但在制作重氮片的过程中,需以1%的MSS透明正片作晒制底片。有时,为了用光谱比的方法突出森林地类,需用MSS负片晒制重氮片。不同波段的正、负重氮片迭加后产生彩色增强效果,可以突出一些目的地类。

彩色合成片或重氮片都应在透图台上利用光学放大设备进行目视判读。国外普遍采用带灯光台的可变焦距(Zoom)立体镜。实际上,在只对单张象片进行判读时,Zoom立体镜只相当一台10倍左右的双目解剖镜。

作为遥感图象目视判读最简单的设备应该有:陆地卫星MSS 1:100万正负透明正片、彩色合成透明正片,1:300万透明正片、各种颜色(致少有黄、品、青、黑)重氮盐薄膜、晒象(曝光)机、熏图设备、透图台、低倍率大视野放大镜、10倍双目解剖镜、光学缩放仪、投影仪和转绘仪、透明膜片等。当然,最好具备加色观察器。

许多研究证明, MSS 图象目视判读的经验与航空象片相同,这在很大程度上取决于图象本身的可判读性。对于林业判读来说, 5 波段和 7 波段 MSS 片容纳了绝大部分森林分类所需信息。此外, 与常规航空摄影相同的是季节性十分重要。在 MSS 图象选择中, 人们往往只注意云量百分数, 而忽视季节性, 应知道云量只影响局部, 而图象的可判区划性则影响全局。对于森林地貌森林分类、特别是对针阔树种区分来说, 秋季图象比夏季图象仍强得多。多时相图象资料的对比也会提高目视森林判读分类的精度。

五、图象自动分类技术

林业图象自动分类技术主要用于 MSS 数据的计算机分类方面。MSS 数据以像素为单元记载在计算机兼容磁带 (CCT) 上, 它是信息最丰富的遥感资料。按波段顺序记载各像素辐射水平值的 CCT 磁带每英寸有 800 或 1600 位 (bpi), 它提供的信息大大超过陆地卫星民用遥感图象。一般电子计算机都可以通过磁带输入设备和宽行打印机快速地将 CCT 磁带上记载的辐射水平值按像素座标分别各个波段打印成数值图。计算机利用各波段同一像素的数值进行比较, 按统计中的最大概似法将各图像素自动分到所属地类中去。一些国家的空间研究中心和遥感研究所都编有成套地分析利用陆地卫星 MSS 数据的电算程序。如美国 EROS 的 ERDS (数字图象处理系统), 加拿大常用的 ARIES (实用的资源图象应用系统)……。林业图象自动分类的研究目前大部分是用这些程序试验分类效果, 和如何进一步采用多时相, 光谱比等不同的方法提高分类精度。

由于林业工作已经作了大量地面工作, 收集了大量地面实况, 许多试验利用已有的地面样地或森林分布图进行比较, 或用作自动分类的训练区。采用有监督的方法对大面积林区自动分类, 时地面实况可训练计算机。多数试验证明, 林业分类中有监督分类的精度高于无监督分类。但是迄今为止自动分类的精度仍远不能满足林业生产的要求。联合国粮农组织林业司与意大利林业局配合在罗马 IBM 计算中心进行了林业自动分类试验, 尽管试验了许多分类方案, 其结果也是各有千秋, 每种方案只对某些地类有较好的分类效果, 还不能提出一种最理想的方案。由于发挥计算机的高速度和高效率, 今后的林业分类方法很可能是一个多方案的综合比较系统。

各国试验的林业自动分类情况相似, 除了水域的分类精度较高以外, 各地类分类平均误差在 5%—10% 左右, 而树种类型的分类误差达 30% 左右。误差主要来自森林生长状况, 坡向, 坡度……的影响, 这些因素使不同森林类型有相似的光谱辐射水平, 同时也因像素面积过大, 受出现的混合像素的影响。为了更好地分类, 常采用主成分转换法 (PCT) 来扩大类型间的方差, 采用多时相的方法来增加信息; 对比生长季节和非生长季节的数据, 来提高落叶常绿树种, 针叶树和阔叶树的分类精度; 采用光谱比的方法来突出植被象叶树种和素, 消除阴影 (坡向) 的影响等。光谱比的研究对林业分类、植被区划等有重要意义, 这一工作是 1969 年由使用近红外和红外波段之比值开始的。现在为了突出各植被类型。已发展到计算各种指数以及采用不同波段值的回归数值等方法。

林业图象自动分类的输出成果有三种类型: 一种定用不同符号或灰度打印的分类图; 第二种是从计算机终端的显象设备图上以不同色彩表示的分类图象; 第三种是带有自动喷色笔喷绘的森林类型图 (有时是林相图)。所有输出成果都是以像素为单元的, 因此, 计算机很方便地统计出各类像素数, 打印出各类面积或面积百分数。由于成图的最小单位是像素, 自

动分类实质上是对像素大小的元进行全及调查、分类。因此,数值化图象分析是充分发挥陆地卫星数据的唯一途径。1979年加拿大的一次林业遥感工作会议,交流了林业遥感各方面的试验情况后,认为林业图象自动分类可望有新的突破。他们已开始试验运用这些新技术的森林资源清查体系。

六、林业遥感中的抽样技术

林业调查应用现代抽样技术有30年以上的历史。在航空摄影技术和现代遥感技术飞速发展的今天,利用地面抽样方法配合遥感手段以取得地面实况和一些必要的数量标志仍然是必不可少的。许多遥感专著都把应用的现代抽样技术,计算机分析技术直接纳入遥感技术中去。目前,林业遥感在对大面积自然资源的抽样估测方面领先于其他部门。

20世纪50年代航空象片判读分层、分层抽样,平均可降低外业工作量30%以上。60年代中,利用象片判读进行森林类型的成数估计并配合地面样地分层双重抽样技术,至今仍认为是具有高效率的森林勘测方法。70年代由于特大比例尺小象幅航空摄影提供了在象片上高精度量测林木的条件,多相抽样方法有了进一步发展。1969年底美国阿波罗卫星取得的林区图象被应用于森林资源的五阶抽样,并获得初步成功。第一次以卫星图象为基础的五阶抽样发挥了各种比例尺林业航空摄影配套的特点。从第一阶至第四阶是遥感图象判读区划的单元,第五阶单元是地面上测设的少量样地。这种方法关键是利用卫星图象将一阶单元区划得合适,使一阶变动缩到最小,因此发挥了卫星图象宏观区划的有利之处。

70年代中期,多阶抽样由等概进入不等概试验。利用各阶遥感图象以森林面积作辅助因子进行PPS(与单元大小成比例的不等概抽样)抽样。这样各阶遥感图象上森林面积的测定被充分利用作抽样概率,以提高调查精度。

70年代后期,林业遥感技术的自动分类方面进展较大,如何在自动分类的基础上进行地面抽样如何将地面抽样和像素单元接合起来,如何利用地面材料和遥感数据更新资源统计资料……都在研究中。加拿大认为最先进的森林清查体系必然是自动分类,绘图,多阶,多相抽样,各种比例尺抽样摄影,特大比例尺象片抽样量测等相结合的一种新体系。

七、对我国发展林业遥感技术的意见

鉴于国外林业遥感技术发展的情况,对比我们的差距,我们应该:

1. 尽快改善林业遥感部门的工作和设备条件。主要应该提高遥感图象的判读性能。为此,应首先解决彩色处理设备,放大设备和彩色透明正片图象的生产设备。

2. 有组织地开展林业遥感科研和试验工作。主要应是:林业遥感试验场的建立;低空特大比例尺林业抽样摄影的试验;卫星数据自动分类的试验;编制林业正射象片图;森林植被的图象增强技术;森林资源的遥感和监测等方面。

3. 充分利用现有条件,开展目视判读应用。这方面要求培养专业人员,提供必要的成套工具和资料。

自然资源遥感评述

Robert C. Heller (美国)

一、引言

遥感已发展很久了,但直到1962年在密芝安大学第一届环境遥感专题讨论会上才首次对遥感这个术语定名。然而,遥感还要走一段很长的路。

我对遥感现况的评述并非以任何特殊的学科或研究为基础,而是以过去5—10年间我在遥感方面的经验和我对其他人工作的评价为基础的。一份研究计划凝聚着许多致力于本学科的博学多才的科学家的心血。实在说,因时间所限,我不可能谈及一切可能的自然资源学科,因此我的评述不能面面俱到。

首先,我想谈的是遥感的方法中似乎确信已成功的一些传感系统和技术,其次是在现在学说中还需要做的一些工作,第三是今后需要研制的某些系统。

二、成功的遥感系统和技术

我将把为做决策而使用遥感数据和技术土地管理部门作为我认为成功的根据。这些成功可能仅被当事人所看到。例如,可能我认为成功的,另一个人可能认为是微不足道。

我将列举我认为以现用各类传感器为基础的成功的遥感系统的现在使用情况并简述每种用途。

1. 眼睛观测

人的眼和脑的结合是一个很有效的传感器。这常常被比喻为一台大的计算机。比较聪明的人从低空慢速飞行的飞机上通过目视可取得大量信息。例如,从小飞机上进行目视已是为林业工作者和森林昆虫工作者取得森林病害信息的极为成功的技术。在美国许多地区每年都进行这类调查,费用极为便宜(每1000英亩20—60美分)。

2. 航空象片

航空象片由于它适用、低成本、易判读,仍是对自然资源最有用的传感器之一。已发现五种航空象片对土地经营者最有用,现简述如下。

(1) 比例尺1:20,000黑白航空象片仍用来绘制土壤图、量测作物土地面积和对有林地分层。这些用途分别由土壤保护局、农业稳定保护局和林业局森林调查处实施;所有这些部门都属美国农业部管。

(2) 资源勘测的航摄比例尺为1:12,000—1:20,000,通常为全色片或红外黑白片。不过,最近五年间,一些私营公司、美国农业部和美国工业部已由航空彩色负片印晒彩色洗印片。这些部门已用这类航空象片来帮助制定有关采伐的管理决策,安排牧场调拨、植树造林等。

(3) 森林经营部门已拍摄专门的彩色片和红外彩色片,其目的是用来探测不同规模的病虫害。在病虫害蔓延情况下,当有可能采取防治和扑灭措施时,一般就用这种专门的象片。由

于这种专用航空象片的成本高，一般情况下极少使用。

(4) 近十年来，已有可能进行小比例尺高空摄影，这要用比较好的摄影机、胶片和高空飞机。许多自然资源应用部门已发现宇航局拍摄的红外彩色航空象片用处很广。例如，地理工作者可以区划土地利用，农业工作者可以绘制灌溉地图，林业工作者和牧场科学家能够以较高的精度把广阔的森林和牧场分类。为了国家利益，可以建议每五年在全国绝大部分领土拍摄这类清查象片。当然由于只需拍摄较少的象片，每张象片约覆盖 350 平方英里，其细部适于多方面应用，所以使用小比例尺红外片是有益的。

正射象片是一种摄影测量学的新发展，这可绘制自然资源部门很有用的地图。大多数正射象片是用小比例尺（1 : 76,000）黑白航空象片做的。当把正射象片与已知比例尺和精度的底图重迭时，自然资源管理人员就发现摄影信息特别有利。美国地质测量局正在要求在最近五年内对美国所有领土都绘制这类地图。

(5) 一些土地经营机构发现，大比例尺彩色和红外彩色片（比例尺 1 : 600—1 : 1200）可用来清查林木的枯死率和监测牧场动态。在这次座谈会上也发言的 Paul Tueller 教授，将讨论用这几种用于清查牧场的象片。美国农业部林务局在北落矶山和加利福尼亚的一些区，正用 1 : 2,000 的标准彩色样带片测定国有林的枯死率。这种标准象片由航空摄影公司承包。

3. 多光谱和热扫描器

大约 1965—1972 年，密芝安环境研究所进行过相当详细的试验工作。当 1972 年 7 月发射陆地卫星 1 时，宇航局所资助的大部分这类技术研究工作都停下来。从 1972 年以来多光谱扫描略有减少。机载多光谱扫描器仍是用于遥感研究的强有力的试验工具。改进由高空收集多光谱扫描数据的机载扫描器可能还有余地。从 1971 年以来，在多光谱或光机扫描方面进行的最大的技术改进是全力集中在单一孔径和同时记录所有的波段上。

热扫描器已表明对探测和绘制林火图很有用。Hirsh 为美国农业部林务局发展了热红外扫描技术。一种双光谱系统使用对 3—5 微米和 8.5—11 微米波段敏感的探测器，可从地面以上 5,000 米处探测 0—50℃ 的森林内 0.1 平方米 600℃ 的目标。

去年冬季由于保存能量的兴趣高涨，曾对热扫描器大肆宣传。美国西部奇冷，使许多人感到天然气、石油和煤的供应等能源十分短缺。为此，宇航局进行数次试飞，一些承包公司进行商业性飞行，都已证实用扫描器可以探测隔热不良的住宅。在洗印片上，隔热不好的房子的灰度似乎比隔热较好的房子亮一些。这是因为穿过房顶的热量损失不同。曾对明尼苏达、南达科他和华盛顿州一些城市进行几次这类飞行。预计最近两年内这种应用将有增加。

4. 航空侧视雷达

1971 年下半年已把航空侧视雷达降低密级，用于民用，1972 年当航空测量公司和佳年航空宇宙航行局在委内瑞拉和巴西完成 400 多万平方公里测量时，已受到极大重视。合成孔径系统（8 厘米）已使几何精度和分辨力比老的真实孔径天线有很大改善。在巴西亚马逊河雷达工程计划用的比例尺 1 : 250,000 的侧视雷达镶嵌图，几何定位精度约 ± 66 米。

航空侧视雷达同其它遥感系统相比，其优点已被文件所证实，简单地说，航空侧视雷达可全天候工作，并可穿透云层、甚至可在细雨天摄影。这种极大的穿透云层的能力可对赤道带和南半球的所有地区进行雷达成象。这些地区在过去仅能进行零星小地块摄影。航空侧视雷达在这类地区的应用，无疑会有所增加。

已进行的一些试验证明, 似乎 1 : 250,000 比例尺拍摄的航空侧视雷达影像可以分辨现有森林植被、及其密度和结构。在侧视雷达图象上可以容易识别的其它特征: 地形、现有小河、水体、农业活动和城镇地区。

5. 人造卫星遥感系统

在60年代后几年, 对双子座和阿波罗宇宙航行员拍摄的彩色和红外彩色航空象片极为感兴趣。过去认为从宇宙飞船的高度拍摄的象片不能用; 然而, 这种谬误立即被在美国和非洲的不毛之地拍摄的引人注目的象片驳倒。对资源管理者来说, 在天空试验室飞行期间所得到的象片和其它遥感数据不如无人驾驶人造卫星提供的重复覆盖有用。其主要原因是对地球表面的不适宜覆盖以及天空实验室上的圆锥形光机扫描器操作不可靠。看来在3个天空实验室飞行期间覆盖地球的云比过去几年间任何其它类似的周期的云都多。

1972年7月陆地卫星1和1975年1月发射的陆地卫星2的发射为自然资源管理人員和遥感调查研究人员提供一种手段, 而近几年其他技术则发展缓慢。虽然在获得和处理陆地卫星数据方面还有许多问题, 但是也有一些引人注目的希望, 这在未来将对资源管理人員有所帮助。我将不对陆地卫星1和2论述象波段、要求的性能、数据处理和输出成果一类的要求, 因为这些已由宇航局或在其它文章中做过详细介绍。

(1) 光学技术

这次座谈会的多数成员都已知道在美国的苏福尔斯和南达科他由地球资源测量设备得到的陆地卫星象片影像产品。这些产品有70毫米或210毫米黑白透明片或者可用于透明片或洗印片的彩色合成片。比例尺由1 : 3.3百万到1 : 250,000。在这些影像成果中, 我认为由透明片形成的彩色合成(比例尺1 : 1,000,000)可能对影像判读人员最有用。判读员既可以把影像投射到高高的投影器上, 又可以用光学放大设备观察影像。

用影像综合仪器增强70毫米正透明片(黑白)的用户, 有时需要这类透明片。1977年1月, 这些透明片的价格由一个波段2美元逐渐提高到一个波段8美元, 增加3倍。同价格略增的其它影像产品相比, 这种透明片的价格似乎不合适。

光学影像可能适于多种土地经营利用。这类应用可能是很简单的一级分类; 例如, 把森林与无林地分开, 或者把排水地区与所有其他土地区别开。这类区分在陆地卫星影像上可能很容易。这些象片一样的影像为自然资源经营者提供得信息, 比研制有计算机处理能力的设备要便宜些, 快一些。

(2) 计算机辅助处理技术

1972年以来, 在计算机辅助处理方面已有很大进展。已为以下方面研制出许多计算机预处理程序:

- (1) 恢复丢失的辐射量测数据,
- (2) 用控制点做几何改正,
- (3) 改正地球旋转误差,
- (4) 改正探测器的错误记录,
- (5) 增加反差和边缘。

以上计算机改正是在把任何影像分成对自然资源用户有用的分级之前进行的。

因为所有陆地卫星数据都是以电子形式收集的, 并在计算机兼容磁带上反射率赋与数字密度值, 所以它们适于计算机运算, 已由各大学、联邦公司和私人承包商研制出许多软件系

统。在某程度上所有能胜任的操作都能使操作人员把陆地卫星图象划分为有意义的类别。

许多软件分类程序使用有监督训练系统和无监督（分别把相似的像素归类）的综合技术来分类。现用的方法比较慢，硬件昂贵，并需要经培训的计算机人员操作程序。美国地理学会 $7\frac{1}{2}$ 分方格的典型陆地卫星分类（有分类线的打印机输出）费用约 90 美元。一张陆地卫星图象内有 117 个 $7\frac{1}{2}$ 分的方格。可以得到准确度低、分不出每个像素的计算机输出和彩色代码的计算机分类，费用较低，每张图象约 300 美元。不过对于做决策来说，经营者需要研究所有的像素并对其分类。例如，城市用地的计划人员就需要对每个陆地卫星象素分类。每个象素在陆地卫星图象约为 1.1 英亩。显然，在大多数用户用得起计算机分类地图之前，必须降低计算机费用。

6. 多阶抽样

多阶抽样概念作为提高数据收集效率的工具，特别做为大面积资源清查的工具，现已得到公认。量测和估计有用参数的所有可能的数据源，都已考虑到，这些数据可以取自卫星影像，小、中、大比例尺航空象片和地面资料。选择一个最佳综合方案要考虑到可能的信息细部、数据探测的费用，并在每一阶抽取信息。这包括在小比例尺数据（陆地卫星）上进行快而省的一般判读，以及选择依据最初判读成果来收集详细量测大比例尺或地面数据的样本面积。在实际进行多阶或多重抽样中，详细抽样的地块选择和把细部量测值扩大到整个调查区，是以数量统计过程为基础的。这不同于按一般的定量方法检验或改正影像分析成果时仅用详细的地面量测值的通用方法。对大多数资源调查来说，需要抽样技术为遥感多阶数据提供统计结构。某些抽样方法拟合的遥感数据似乎比其它方法更好一些；这些抽样方法是 3P 抽样、回归抽样和比抽样。

三、现用遥感系统所需要的一些改进

1. 传感器

已对传感器技术做了许多改进，这些改进使遥感数据对自然资源用户更有用。这类改进有：提高分辨力，陆地卫星影像和计算机兼容磁带的快速利用，军用传感器和处理仪器降低密级。

(1) 航空摄影的标准化

航空象片的曝光和洗印主要是通过试验估计曝光量（有或没有曝光表）和以可接受的密度（灰度系数）水准加工胶片。使胶片曝光标准化的最容易的方法是用装有灰度标尺楔的密度仪来确定胶片曝光和加工是否适当。美国宇航局 Ames 研究中心已研制一种通过建立一个感光计目标点使红外彩色片标准化的方法，用这个目标点来比较各组胶片。通过使用彩色补偿滤光镜和变换基本曝光量，曝光新胶片可产生具有反应上述胶片特征的形象。象这些标准化的方法，可以使用户把地面的光谱差异与胶片上的能量反应连系起来。不过，应该注意，在彩色胶片上胶片颜色只能是真实光谱反射的近似值。

(2) 卫星传感器的改进

在资源利用中，阻碍使用陆地卫星数据的主要因素之一是从数据获取送到用户的间隔时间。现在根据 EROS 数据中心苏福尔斯的顺序时间，用户可以希望在数据获取后一两月内得到数据。EROS 数据中心是陆地卫星数据的主要分布中心。对于许多象本条件探测、作物清查或灾害估计一类的应用，间隔期一两个月显然是不行的。负责陆地卫星数据分配的人会理

解这一点的，并且正在尽力研制更及时提供数据的程序。在各种情况下都应想到，陆地卫星计划乃是一种实验，不是一种实施计划，才仅仅开始5年，并且现在仍是过渡时期。毫无疑问，近几年数据“周转”期将有一定改进。

以航空多光谱数据为依据时，卫星传感器上的窄波段（大约0.04微米）应有助于自然资源经营者进行比用现在的宽波段（0.10微米以上）进行更精确的清查。我们认为，以下波段比现用的陆地卫星I和II的波段对农业、林业和土地利用的用户更有用。

波段	波长（微米）
1. 绿	0.54—0.58
2. 桔黄	0.58—0.62
3. 红	0.66—0.70
4. 近红外	0.70—0.80
5. 热红外	9.3—11.0

上述各波段有些与陆地卫星I和II的相似；不过，不包括桔黄波段（0.58—0.62微米），这个波段特别适于鉴别植物长势损失和病虫害。在现在的陆地卫星上，桔黄波段一部分包括在绿波段（0.5—0.60微米），一部分在红波段（0.6—0.7微米）中。

人造卫星多光谱扫描分辨率由80提高到40米时，每张象片的像素数将增加8倍，但为光学和数字处理提供了较好的分辨力。这类建议是高级传感器和影象系统委员会向国家宇航局提出的。这可能于80年代在航天飞机传感器系统上得以实现。

同样地，现用航空侧视雷达的平均分辨单元大约20米，如果将像素减小到10米，资源经营者就可以得到比现在可能更好的鉴别能力。

（3）军用传感器和系统降低密级。

如果额外放宽军用传感器和计算机处理技术，则使许多自然资源用户受益。自动绘图（例如自动改正正射摄影的机械）、已改进的扫描器、已改进的航空侧视雷达和激光技术都是可以为用户团体有益的传感器和设备的例子。采用先进的计算机技术和网络计算机服务的实用性可降低费用和可改善计算机辅助多光谱扫描器数据分类的计算机效率。

2. 数据判读

（1）廉价的绘图设备

很需要可以把要从垂直航空象片判读结果迅速转绘到平面底图上的灵活而廉价的仪器。这类仪器应该能够由相纸洗印片和透明片上转绘，应该适用于不同象幅（70毫米—23×23厘米）和范围广的焦距。现在市场上已有许多转绘仪，售价不一，式样繁多，不过任何一种都不具备上述的灵活性，但价格低廉时，可使能够熟练使用这种仪器的人愿意使用。

（2）计算处理

现在由航空扫描器和陆地卫星多光谱扫描器提供的计算机兼容遥感数据的适用性已增加，这就对计算机处理产生广泛的兴趣。不过，今天计算机分类技术的大量研制和使用都是由大的研究组织承担的。现在我们正面临着如何把这种技术普及到有操作责任的个人和组织。这就需要：（1）使资源管理人员有计算机处理的机会；（2）为实际问题而不是在研究规模上论证计算机处理的成本效率；（3）更好地宣传有关使用各种系统（适于生产部门的资源经营

者)的成本和预期成果的资料。同时,这些组织也需要资金,以便提高发展本身的计算机处理能力所需要的费用。这种技术的某些普及工作正由国家宇航局、太平洋西北地区委员会以及爱达荷、俄勒冈、华盛顿各州土地利用清查示范计划的用户团体进行着。

(3) 改善输出产品

由多光谱扫描数据分类得到的主要产品是地图覆盖和各种格式的表列统计值。这样一些地图覆盖:即未经几何校正、比例尺不正确时利用非标准分类比例,以及不能与用户现有底图相比,都是一般产品,对用户面临的专门经营问题来说用处极小。

完成分类后,就所得的表列统计值来说,遥感团体面临几个主要问题。除了与由地图覆盖表示的各类资源面积有关的资料外,资源经营者需要各类资源面积(英亩或公顷)的表列估计值和数字精度估计值。常常在根据外业训练或外业检查来证明有疑问的统计值是正确的情况下,才对训练地块和检查地块广泛地提出表列统计值。对地图精度分类的两个普通测量方法是对检查的地块部分改正分类和全面改正分类。除了用完善的抽样方法选择检查地块外,这类数字很可疑,可能或不可能表示地图精度。这类统计值对资源经营者没多大实用价值,因为他需要在0.95的可靠性水准时以 $\pm 5\%$ 的置信区间估计一个资源级的面积(公顷)。

需要按照完善的统计抽样方法对分类地图精度进行更详细的分析,以便得到可落在置信限范围内的估计值。值得注意的是,在多光谱数据分类中过分依赖统计判定理论,很不愿使用统计抽样理论来评价一些成果和以用户团所需要的格式提供估计值。遥感团体的职责是尽最大努力发展完善的抽样方法,以便评价地图成果的精度和得到有以用户目的为基础的具体置信限的资源参数估计值。以这类方式提出的地图成果和表列数据将得到用户的广泛承认,并是资源经营者可以按数据值做决策和把这类数据纳入经营决策的格式。

(4) 分析技术——特征的扩充

对影像分析方法(不论是手工的,还是自动的)起码要充分了解问题之一是特征扩充法。当把所用的具体资源类型的代表性例子选作分类人员的训练场地时,需要知道如何将训练场地的光谱特征扩充到大面积上,甚至可得到可接受的分类结果。

这个问题并不简单,环境特有的空间可变性以及所分析的影像或数据的特征将影响光谱特征能够扩充的程度。当然没有一般的答案,这是因为有很多变量影响着既定资源类型的光谱特征。虽然如此,在可以认为在实践意义上能把自动分类用于各种资源之前,还是需要充分了解这个问题。

(5) 分析技术——有监督和无监督训练

这里不拟介绍有监督和无监督两种方法的区别,读者可参阅遥感手册第12章(美国摄影测量协会,1975)。但是,近几年许多研究工作都致力于有监督和无监督的分类。这两类分析方法以及如何把它们用于图象分析都相当混乱,在概念和理解上都有错误。

虽然在文献中已透彻地说明了集群算法的一些优点,但有些用过的重大分析对资源管理者并无多大价值。在某种意义上,资源管理者对现在的许多光谱分级并不怎么感兴趣,而愿意要与光谱级有联系的资源类型。例如,在一次草场的陆地卫星数据分析中,有230个光谱级。直到草场管理者对大量的分类赋予某些意义时才有办法让资源经营者愿意接受无监督分类的方法。一些研究人员曾介绍过在完全无监督方式中使用集群算法的特征分析,有监督方法以及被看作修改的集群方法(所用的集群被分析人员严密控制)。最后一种方法得到最高的分类精度。类似的研究工作应为自然资源经营者规定最好的分析组合。

四、未来系统的发展

因为我们的自然资源在多种意义上是容易被破坏的且可再生的，所以自然资源的管理者一直面临正在增长的多种利益的复杂情况，并且在做决策之前必须具备他能支配的有关总资源的现时信息。据以得出这些信息的数据，可由遥感系统提供。

过去，常常以不连续的方式获取和分析遥感数据，以致资源经营者只得到零星的资料，这很难纳入他的总研究计划。所需要的是可以并入现有基本地图的遥感特征。例如，研制识别作物种类、地形差异等的计算机程序，但这些特征需要用地理位置来辨别。而且，大的土地利用轮廓的数字化能够得到由自然资源组成的地理覆盖，并且这些地理覆盖能够指示环境的总的相互关系。一旦这些基本数据与座标图系统合并，我们就必须判定土地管理者在对资源进行评定、计划，预测和经营时需要那种信息。

有几种应列入地理系统的基本的固定信息。这些信息有权属界限的位置、山脊的结构、山坡、方位、主要道路、主要流域和城市发展。对土地利用分类单位或早期资源开发计划来说，这种资料本来就适于制图和工程目的。当加上其他详细信息（如遥感数据）时，这些信息就变为信息系统的基础。这类信息应列入作为基础数据的信息系统。小比例尺、高空（50,000—60,000 英尺）航空摄影提供一个概略的观察，并是这类信息的主要数据源。

有几种正在发展的传感器，应把这些传感器看作未来的传感系统。例如，电荷耦合探测器（CCD）的概念在固体组件影象传感器发展领域有了重大突破。典型的二极管反射是硅二极管，其敏感性从蓝扩大到红外。这种新装置虽然尚在试验中，但已在高空飞机和空间影象方面很有前途。其优点是：非机械扫描，特有的几何精度，硅对可见光和近红外波段的高效率、高分辨力、良好的稳定性和低压操作。

· CCD 系统代表使用固体组件探测器线性系统的影象术，这种技术所做推式路扫描模型。在这类系统中，用探测器系统以交叉轨迹方向构象，并用宇宙飞船的运动提供正交扫描成分。

这种系统的分辨力看来是有前途的；例如，某些实验室内一些城市影象是以每毫米56对线成象的。在一个已设计好的航天飞机飞行方案中，CCD 系列的设计者们，预计在 920 公里高空的 185 公里交叉轨迹影象上地面分辨力为 7.5 米。这类传感器（如返回的影象分辨力和非失真能力都有改进的一种）比现用的传感器强。这类传感器也可以把数据记录在计算机兼容磁带上，以供以后进行计算机处理。

沙瑟译自美国犹他州大学“自然资源遥论会论文集”

(Symposium of Remote Sensing of Natural

Resources) 1977 年 8 月，21—22 日

遥感应用的反射术语

K. T. Kriebel (西德)

野外(即实验室以外的)反射测量伴随有半球辐照。一般测量的反射辐射,或者用视场角相当小的,或多或少地测定方向反射分量的仪器,或者用视场角很大的,近于测定半球内全部反射的仪器。出于这种原因,虽然反射辐射是在有限小或有限大的锥角内进行测量的,但一般的测量条件不是被压缩到方向极限,就是压缩到半球极限。

至少是对方向性测量来说,这种做法是不合适的,因为获得的反射特性要依赖于对其求平均值的视场角的大小。

仪器的视场角是一毫弧度还是一百个毫弧度,是有差别的,但是通常都把这两者叫做方向性测量,并互相比较,好象它们是用同一台仪器测定的。这就是我们之所以建设放弃方向几何条件而采用锥体几何条件的主要原因,锥形几何或许更适于提醒研究人员确定仪器的视场角,以便更可靠地比较测定结果。

这样做的另一原因是命名法。现用的方向反射量通常以两种方法表示。或者叫(反射)辐射率因数(reflection radiance factor)或者叫方向反射比因数(directional reflectance factor)。由于不知道是否有一个折衷方案,以及许多研究者不喜欢辐射因数这个术语,使用与锥体几何相联系的反射比因数这个术语,就避免了这两种命名系统间的冲突,这是因为对于锥体几何条件来说,两个系统都同样应用反射比因数这个术语。所以我们建议,除去对于半球测量以外,对于所有实际测量条件都应用反射比因数。而对于半球测量还保留反射比(reflectance)这术语,它仍然与上述两种命名系统相符合。

辐照特点的表述法还没有解决。通常的情况都是半球辐照,因为与太阳辐照相比较、天空及云的辐射不能忽视。将反射特性按不同辐照锥角分离处理固然能得到与辐照分布无关的反射数据,但做起来太费事了。可是因为这是可能的,故应加以分清并应指明以下两种情况,即反射比因数究竟是对半球入射而言,还是对锥角入射而言。后者是在实验室内用单一辐照源测定时的标准条件。

对“半球入射反射比因数”提出一种符号是困难的,因为还没见到什么适宜的解决办法。CIE(国际照明委员会)建设用带有适当下标的 R 。但 R 完全超出了通常用以表示物质特性的小写希腊字母的范围。可是目前没有什么别的推荐符号来表达锥体几何的特性,我们遵从CIE的建议,并提议把“半球入射反射比因数 R ”做为表达半球入射和锥角反射辐射的量,正如遥感应用中常遇到的情况一样。

由CIE所给的定义如下:

反射比因数(在一个有代表性的表面元上,对于锥顶在该表面元上的一给定锥角内所包含的反射辐射分量,以及对于有给定光谱组成及几何分布的入射辐射):由锥角所限定的各方向的反射辐射通量(光通量)与被辐照情况一致的完全漫反射体在同样的方向上所反射的辐射通量(光通量)之比。

反射比因数的定义式为

$$R = \frac{\int_{\Omega_r} L_r(\theta_r, \varphi_r) \cos \theta_r d\Omega_r}{\int_{\Omega_r} \cos \theta_r d\Omega_r} = \frac{\bar{L}_r(\Omega_r)}{L_w} \dots \dots \dots (1)$$

式中, (Ω_r, φ_r) 分别表示反射的天顶角和方位角, $\bar{L}_r(\Omega_r)$ 是在立体角的横截投影面上的平均反射辐射率。 L_w 是完全漫反射体的反射辐射率。

单色反射比因数的定义是

$$R(\lambda) = \frac{\int_{\Omega_r} L_{\lambda r}(\theta_r, \varphi_r) \cos \theta_r d\Omega_r}{\int_{\Omega_{\lambda w}} \cos \theta_r d\Omega_r} = \frac{\bar{L}_{\lambda r}(\Omega_r)}{L_{\lambda w}} \dots \dots \dots (2)$$

如果不用反射标准, 而是以照度 E 来测定入射辐射, 那么就 $E/\pi\Omega$ 代替 L_w 求反射比因数, 因为根据定义 $E = \pi\Omega_o L_w$, 其中 $\Omega_o = 1$ 球面度。这样得出

$$R = \frac{\pi\Omega_o \bar{L}_r(\Omega_r)}{E_{\lambda}} \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{或 } R(\lambda) = \frac{\pi\Omega_o L_{\lambda r}(\Omega_o)}{E_{\lambda}} \dots \dots \dots (4)$$

用(1)式或(2)式测量时需要一块充满仪器视场的标定过的反射标准。但是如果在两次测量中(即对目标及标准——译者)仪器的视场角保持恒定(不一定保持观测方向不变), 就只需要知道仪器的相对响应特性。

但是用公式(2)或(2a)则需要知道以绝对单位表示的反射辐射率和辐照度, 因为在两次测量中须用不同的视场角, 所以不能用同一台仪器测量。

我们不对符号 R 推荐任何变量或标志, 因为要详细说明测量的情况需包含很多的变量或标志。在下面, 为了更可靠地比较各次测量, 介绍了一些测量说明。

a) 表面:

类型(品种), 组成, 坡度及坡向, 线性或非线性结构及其对太阳方位差异, 周期长度(一个表面主要轮廓的平均距离, 例如, 就森林来说, 树的平均距离), 年龄, 生长高度, 生长状况, 季节, 影响光谱特性的环境因子。

b) 测量条件:

太阳位置, 是否是直射阳光, 云量, 风, 风速, 直射阳光与半球辐射的关系, 大气混浊度, 空气温度及湿度, 观测方向在天顶角及方位角上与太阳角的差值, 仪器离地面的高度。

c) 仪器:

视场角, 在目标处视场的直径(与周期长度比较), 中央波长和光谱间隔的半带宽或带宽, 电子器件的积分时间。

d) 反射标准:

类型及尺寸, 标定值, 随时间的衰减。

张玉贵译自西德弗赖堡国际遥感讨论会文集, (ISP+IUFRO Symposium, FREIBURG, 1978, 卷 I, 第539—541页)