

遥感科学技术进展

童 庆 禧

(中国地理学会环境遥感分会 北京 100101)

提 要 本文论述了遥感的实质及其与地理学发展的关系。遥感既是一个独立的科学技术领域,又是地理学的支撑技术之一。近 10 年来,遥感从实验阶段走向了实用的运行阶段。以陆地卫星、气象卫星为代表的遥感系统已广泛在经济和社会的各个方面发挥作用。根据遥感发展的动向,本文对微波遥感、高光谱分辨率遥感以及全球变化遥感研究三个重要前沿问题作了论述,展现了遥感发展的前景。

关键词 电磁波辐射 遥感信息 微波遥感 全球变化 成像光谱

地理学正逐渐摆脱描述,向定量科学的方向发展。新型的地理学在与其它相关科学技术的相互借鉴相互渗透的过程中焕发青春的活力,成为人类社会发展所必需的重要科学领域。在这一发展过程中,遥感一直为地理学研究提供着客观科学的信息,成为地理学研究不可缺少的技术手段。同时,遥感也不断地从地理学的发展中吸取养分,在地理学的需求中获得自身的驱动力。在现代科学技术的发展中,在为社会经济的发展服务中,遥感与地理的联系与结合更为紧密,相得益彰。

1 遥感与地理学的发展

遥感是从远距离,不实际接触物体,而是通过对物体发出的电磁波的测量获得信息,进而进行分析研究的科学技术。遥感就是对地球表面的地学过程及特征进行物理量测量,并以数字量的形式客观地收集、记录、传输、处理和重现这一信息的科学。

遥感技术的发展及其在地学上的应用使地学的常规研究方法和程序发生了根本性的变化。从宏观研究入手,这是遥感的突出特点。地球同步轨道的气象卫星可以提供整个半球的图像,根据气象卫星一次对地面扫描可以获得宽度达 2 800km 的地表图像,1 景陆地卫星影像提供了地表 34 000km 范围的地面细节。这些均是常规地理研究技术所无法实现的。就在美国陆地卫星发射 4 年之后,1976 年,美国首先利用 569 景卫星图像镶嵌了全美国陆地的影像图。几乎同时我国也编成了全国黑白卫星影像图。14 年后的 1990 年一幅 1:100 万编制工艺十分精美的中国全国卫星彩色影像图问世^[1],该镶嵌图由 584 幅陆地卫星彩色合成相片组成。这东西半球两个大国的气势宏伟的卫星影像图形成“缩微景观”,向人们提供了比任何地理制图都要现势、直观的地理信息。

加利福尼亚是美国最大的州,大部地区气候干燥,自然条件恶劣,对这样一个地区进行同期的土地覆盖研究和制图以传统的地理学研究的方法几乎是不可能的,而美国喷气推进实验室、宇航局阿姆斯中心与加州林业局合作在美国国防制图局数字地形资料支持下仅用 7 个月就完成了全州 $40 \times 10^4 \text{ km}^2$ 29 景陆地卫星图像的土地覆盖自动分类,所采用的方法

来稿日期:1994 年 4 月。

是景观生态遥感光谱分析法,从而在遥感的基础上将加州分成了30个景观生态带,其成本仅相当于0.1美分/英亩^①,体现了遥感的优势。

撒哈拉沙漠是世界上最大的沙漠,干旱、缺水使这一地区成为不毛之地。自80年代初期美国航天飞机上天之后,第一次利用航天飞机成像雷达发现了在埃及和苏丹交界处的沙漠下部存在着规模巨大的地下河道,为这一地区的开发提供了重要资源条件。从而为地理学研究的发展作出了贡献。

从研究工作的难度来看,我国西藏自治区应与南极、撒哈拉处于同一个水平上,在相当长一段时间里人们所认识的西藏还只是根据由地面测量形成的图件,有的无人区甚至是前人或某些探险家骑马目测手绘的地图。曾几何时,由于遥感技术的发展,这120多万平方公里广袤、高寒的地域已在遥感图像上一览无遗。中国科学院遥感应用研究所会同西藏自治区以及有关部门的专家利用卫星遥感和航空遥感相结合全面完成了全藏土地资源的调查,并将这一研究与当地的生态系统结合起来,将不同的地理单元、气候带以及地带性规律与资源的结构以及合理利用途径联系起来^[2]。位于我国新疆的罗布泊是一个谜,很多学者对它的存在、变迁有过很大的争论,然而近年来作为我国西部的一个大湖已经完全消失,在遥感影像上留下了在地面不易发觉的半边“同心圆”,因而被国外地理遥感工作者称之为“中国的大耳朵”,然而正是这个影像特征及罗布泊的变迁引起了国内外学者的争论,有的人认为这些“同心圆”形迹是湖中泥沙、盐分和石膏等物质非均匀沉积所形成的自然环湖堤,有的人认为这些“耳廓”线是湖泊在历史上逐渐退缩而形成的湖岸阶地,另外也有人认为这只是不同时期盐壳的交界线。无论那一种说法,卫星遥感影像上的罗布泊给我们留下了一部真实的历史记录,叙述着它的沧桑巨变^[3]。

由上述的例子可见,遥感对地理学研究在时间和空间域里提供着丰富的地理现象和地理过程及其相互联系的信息,从电磁波辐射相互作用的机制出发,这一信息是客观的,可定量的。这就在很大程度上避免了传统地理学研究方法的主观因素的作用,因而有的人将遥感称之为地理科学研究的技术工具学科^[4]。

2 遥感发展的10年

现代遥感起步于60年代,70年代美国发射一系列探测地球资源的航天飞行器,如陆地卫星(Landsat)、天空实验室(skylab)、海洋卫星(Seasat)以及热容量制图卫星(HCMM)等,标志了遥感的实验阶段。其重点在于:检验技术,试验系统的运行;考验应用领域及效益。80年代以来的10余年是遥感发展的关键时期,以遥感技术为龙头,地学应用的需求为驱动,技术日臻成熟,应用领域不断拓宽。而最重要的特点之一就是:遥感已步入了作业运行阶段。

以美国陆地卫星TM和法国SPOT卫星为代表的卫星遥感已进入了商业性运营。布置在全球的近20个陆地卫星地面接收站几乎获得了地球陆地表面的完全覆盖。陆地卫星具有较多的波段和较高的光谱分辨率。而法国SPOT卫星则以其较高的空间分辨率(10m)和立

① 1英亩=4.046856×10³m²

体观测能力向美国发起挑战。就在 TM 和 SPOT 激烈的竞争中,气象卫星,特别是美国的 NOAA 系列极轨气象卫星以其很高的时间重复频率,或称时间分辨率,方便的信息获取以及信息源的较低价格吸引了广大的遥感用户,成为卫星运行系统中的重要成员。上述三类卫星所提供的遥感信息估计要占全世界所利用的遥感信息的 2/3 以上,它们在地理、地质、工程建设、城市规划、地图测绘、气象、水利、海洋、环境、农业、林业等领域得到广泛应用,发挥了很大作用。可以认为,除了地球上的两个极点附近以外,地球上的任何地方均可指望周期性地获得卫星遥感信息,整个地球均在遥感卫星的监视下。地球上出现的任何现象,发生的任何过程,只要其达到一定的空间和时间尺度,均可通过遥感信息进行调查、研究和分析,了解其存在现状,研究其变化规律,预测其发展趋势。自气象卫星投入运行以来,天气预报的水平就有了很大的提高,热带风暴和寒潮就从未漏报过,这已是众所周知的事实。1987 年我国东北大兴安岭森林大火也首先是由卫星遥感所发现并成功地进行跟踪监测。在我国的地质区测、铁道选址、土地资源评价、石油资源勘查的规范流程中已明确规定必须使用遥感技术。遥感信息的保证以及经济建设和社会发展的恒定性需求是遥感进入作业运行阶段的重要标志。

通过 10 余年的努力,遥感已成为我国在国际上能与发达国家同步发展的科学技术领域之一。经历了“六五”、“七五”两个五年计划的努力又顺利地过渡到“八五”攻关计划。遥感技术在我国有了全面的发展:我国已在研制各类分离式遥感仪器,如多光谱扫描仪、红外扫描仪、多波段光学照相机、合成孔径侧视雷达、真实孔径雷达、微波辐射计、散射计、航空光谱仪、激光测高计等的基础上发展了机上集中监视、控制系统,机-地遥感信息实时传输系统,遥感信息的光学和数字处理系统以及相应的遥感定标,光谱辐射测量和应用试验场等技术支持系统,形成了我国自己独立发展的“高空机载实用系统”。这一系统的研究为我国在遥感的深层次应用奠定了技术基础。矿藏资源和油气资源的遥感直接勘察技术已见明显的效果,我国已具备采用自行研制的技术系统监视自然灾害的发生和发展,追踪洪水的泛滥,评估淹没损失的能力。

以彩色红外遥感摄影为主,我国已相继在天津、北京、广州、上海、太原、沈阳、大连等城市开展了遥感研究,其内容涉及到城市土地利用及其变化,地表及近地层环境,城市绿被状况,道路状况及车流,水质及固体废弃物,城市热岛效应以及城市规划等。卫星与航空遥感相结合在我国大型工程选址,如大亚湾核电站,龙口、大坝火电站,二滩、龙滩以及三峡等大型水电站的地质稳定性评价,水库淹没损失评估,诱发地质灾害的分析以及移民规划等方面发挥了重要作用。遥感已紧密与国家经济建设和社会发展相结合并日益成为一支不可缺少的科技力量。

我国的遥感已连续三个五年计划被国家列为重点科技攻关项目,这充分表明国家对遥感发展的重视和期望,“七五”期间国家计委直接提出了黄土高原和三北防护林调查两项大型遥感应用工程项目就是明显的例证。

黄土高原最严重的问题是土地侵蚀。遥感第一次定量地给出了各类土地以及不同土壤侵蚀强度的面积、地区分布及其在该地区所占的比例。研究表明该地区实际耕地数比上报数要高出 128%。这一研究结果对该地区的综合治理和发展规划具有重要价值。

“三北”防护林地区的总土地面积为 $406.9 \times 10^4 \text{ km}^2$,在这广大的地域上开展植树造林

活动,力求从根本上改变这一地区的生态环境面貌。国家每年要投入数亿元的巨款,耗费大量人力物力,为此,国家急需了解巨大的投入与实际效果之间的关系。遥感在宏观的规模上,客观、定量地分析了该地区各类土地利用类型的数量、质量及其分布,乔、灌、草的比例。通过对全区内 $113.94 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的遥感调查表明,森林覆被率从 1977 年的 6.31% 增到 8.43%,提高了 2.12%,反映了“三北”防护林工程的巨大成就。研究还定量地分析了宜农、宜林、宜种植灌木和草的土地数量及其区域分布。在“三北”防护林地区如此广阔的范围内进行精确的定量分析,体现了遥感的优势,为地区的经济和社会发展提供了科学依据。

3 遥感科学技术的前沿

自 80 年代以来,人们通过早期的遥感实验活动逐步深化了对它的理解。遥感从电磁波与地表物质相互作用的机理出发,将地球作为一个完整、综合的系统,在光谱、空间和时间等多维系统中进行研究^[5]。由于这一认识的获得,以及遥感理论、技术和应用的发展,遥感已从单纯技术发展成了一个完整的科学领域^[6]。

3.1 微波遥感得到很大加强

不少专家预言,90 年代将是雷达遥感的时代^[7]。从较广的意义上说,微波遥感,包括主动和被动微波均受到人们的高度重视。这种较新型的遥感技术,由于其受天气条件干扰小,对地表特征,如粗糙度、纹理结构、几何形状、空间定向、水分含量以及物质构成等均十分敏感,因此在研究地表的地质现象和过程中愈益得到广泛的应用。以美国的对地观测系统(EOS)计划为例,在系统的总共 41 项仪器设备中,微波遥感就有 8 项,约占总数量的 20%。

地球表面是一个复杂的集合体,陆地表面的大部分被植被、冰雪以及沙层所覆盖,而占地球表面 60% 以上的海洋更是瞬息万变,加之云层对地面的覆盖,这常使光学和红外遥感技术无能为力。因此在遥感发展过程中人们理所当然地将相当的注意力转向微波遥感的开发。微波遥感可以是图像式的,也可以是非图像式的,可以是主动式的,也可以是被动式的。它既可以在不受或少受云层干扰情况下获得地面清晰的图像,甚至对植被、干沙及其它干燥松散沉积层具有一定的穿透作用,也可以直接测量地面的温度、土壤水分、海洋波浪状况及风场等。

1978 年 6 月 26 日一颗海洋卫星(Seasat)携带着分辨率为 25m 的合成孔径雷达发射入轨。遗憾的是这颗卫星仅仅运行了 105 天,其雷达即告失效。但无论如何,这是人类第一次将合成孔径雷达送入空间以观测地球的大胆尝试。在这一短时间内所获取的大量图像资料,为雷达遥感的开发和完善,以及微波遥感对地观测提供了丰富的信息。

80 年代初美国开始进行航天飞机试验为遥感的发展又提供了一次可贵的契机。航天飞机相对宽松的空间容积和用电量使得在海洋卫星上因为电源不足而停止工作的雷达有了转机。1981 和 1984 年两台航天飞机成像雷达 SIR-A 和 SIR-B 先后随机进行了雷达成像飞行,获取了地球表面从热带雨林到干旱荒漠,包括陆地和海洋广大地区的雷达图像。各国的研究人员对这些数据进行了广泛的地学研究,在地理学、地质学、水文学和海洋学方面

均有不少新的认识。微波遥感,特别是雷达遥感以其特有的优势更加引起了人们的关注。

90年代以来微波遥感将有更大的发展。1991年,前苏联和欧洲空间局相继发射了自己的雷达或以微波遥感为主的卫星。1992年,日本又将他的第一颗资源卫星(JERS-1)发射入轨。其L波段,空间分辨率为18m的合成孔径雷达成为这颗卫星的主要技术支柱。90年代,一系列微波遥感活动空前活跃,除上述计划外,航天飞机成像雷达(SIR-C),加拿大雷达卫星(Radarsat),对地观测系统计划雷达(EOS-SAR)均将在1994年和90年代的后几年发射运行。

除卫星遥感外,航空成像雷达的活动也十分频繁,其中最著名的有美国喷气推进实验室主持的航空雷达(AIRSAR)计划以及加拿大遥感中心主持的全球雷达(GLOBESAR)计划,根据加拿大全球雷达计划,其机载雷达曾在美洲、拉丁美洲以及亚洲巡回飞行。与我国合作,已于1993年11月在我国广东省肇庆地区飞行,并开展合作研究,以为其后将发射的雷达卫星进行系统的预研究。

微波遥感所获得的地球表面关于构造的信息,关于土地水分差异的信息,关于对于沙层穿透及地下隐伏信息,关于洪水淹没,特别是热带丛林下洪水分布范围的信息以及雷达信息对表面粗糙度和地形揭示方面的信息大大丰富了人们的地学知识,提高了对地球表面的研究程度。

3.2 全球变化研究受到了高度的重视

作为一个完整的体系,地球系统无时无刻不处在动态变化的过程中。全球变化是一个极其复杂的科学问题,它涉及地学、生物学、物理学、化学等学科领域,然而对它的研究如果仅依赖于传统的学科方式即由微观研究向宏观认识转化的方式是难以奏效的。全球变化研究问题的提出本身就是现代科学技术进展的产物,而全球问题的研究更要求相应的科学理论和技术方法。遥感由于其本身的特点正适应了研究全球变化的需要,同时也由于遥感的发展使得全球变化研究更加现实和更加深化,特别是全球同步研究成为可能。

地表的进程是全球变化最重要的表征,水系的变化、海岸的变迁、湖泊水体的动态、土地利用的变化、沙漠的进退和荒漠化、森林的破坏和草场的退化等无一不能在遥感影像上得到解译和追溯,而宏观尺度的定量分析、空间的展布以及时间上的变化研究都因遥感而成为可能。

植被是地球环境变化最直观和最敏感的指标,植被在空间和时间上的动态直接反映了全球、区域和局地环境的变化结果。由于植被的特殊反射和吸收特征,植被指数(NDVI)、叶面积指数(LAI)成为了表征植被状况,进而指示地理单元和地学过程的重要因子。而这些指数由于有了气象卫星甚高分解率扫描辐射计(AVHRR)的高时间频率和宽视场的对地覆盖,从而使得在无云条件下每天都可获得任何一个地方的植被指数。这就是当前国际上研究全球环境变化最常用、最有效的方法。

大气圈和水圈是地球系统中最不稳定、变化最为迅速,反映人和自然相互作用和自然过程最为敏感的圈层。遥感的发展使得人类可以在大范围内观测大气和海洋的状况。气象卫星是众所周知从空间观测地球效益最好的遥感卫星。从70年代以来,人们一直不断探索着利用遥感监测大气成分、气溶胶状况、海洋叶绿素和浮游生物的技术方法。美国曾在其“雨云”(Nimbus)气象卫星以及航天飞机上开展了大气污染成分,特别是CO的垂直测量

(MAPS)、海岸带水色扫描仪(CZCS)和海洋水色试验(OCE)等方面的大量实验研究。而NOAA气象卫星的大气垂直探测系统(TOVS)已实现了全球覆盖的大气温、湿度等气象要素的垂直剖面观测,不断地提供系统性的资料。

全球环境变化研究是一种多变量、多尺度、多频谱的测量和分析过程,不同的要素要求有不同的研究方法以及测量和分析技术,这就需要充分利用多种遥感技术系统不同的空间分辨率、光谱分辨率、时间分辨率以及温度分辨率的综合能力。这种多参数的搭配绝非一个单一空间系统所能完成的。前述的美国“地球观测系统”(EOS)计划就是以全球变化为主要研究目标而制定的一个多卫星、多探测系统、多研究目标、多种探测参数综合以及多国合作的空间计划。这一计划的时间跨度为15年,从而可能覆盖多种地球环境变化的时间尺度。该计划拟于1998年和2000年发射两个分别由3颗卫星组成的极轨平台系列EOS-A和EOS-B。在将要用于这一计划中的遥感器分别由美国、欧洲空间局、日本和加拿大提供,EOS-A将以探测地球表面和大气为主而EOS-B则侧重于海洋和大气化学。计划中的微波遥感系统将全面对地球进行观测。EOS的雷达是一部多频段(L、X、X)、多极化(HH、VV、HV、VH)、多分辨率(30—500m)和长运行周期的合成孔径雷达,它将获取和提供地球表面完整、高分辨率、周期性的雷达图像。

微波高度计(ALT)将提供海洋浪高、表面流风速、海水等信息,高度分辨率可达3.5cm;微波散射计(SANSCAT)对热带海洋表面风的测量在风速3m/s以下时误差不超过20%,在3—30m/s时仅在10%以内;日本提供的微波探测辐射计(AMSR)的温度分辨率为1°K;美国NOAA的微波辐射计(AMSU)将用于测量由地表到40km大气的温度和水汽,其温度分辨率0.25—1.3°K;由美国喷气推进实验室负责的微波临边探测仪主要目的是测量由于人类工业活动所引起平流层和中圈层的臭氧变化。

在EOS平台上更大量的还是光学和红外遥感系统,其中主动光学激光遥感器将发挥很大的作用。这类遥感仪器的主要功能是:测量地球表面陆地-大气-海洋的能量收支,太阳辐照度的变化;精确测量大气从对流层到平流层温度、水汽、气溶胶的垂直分布,特别强调对O₃、CO、CO₂、NO₂、CH₄、氟里昂以及其它痕量物质的含量及垂直分布进行探测。这对于研究臭氧空间、温室效应等均具有重要的意义。如此大规模利用空间技术,将遥感、地学、物理学、化学结合起来全面测量、研究和监测地球的环境,这在人类历史上还是第一次。

3.3 高光谱分辨率遥感是当代遥感的重要前沿问题

遥感的发展总是技术进步和应用深入的结果。从技术上讲,遥感总是在解决光谱分辨率、空间分辨率这一对矛盾中前进的。60年代发展起来的多光谱技术(摄影和扫描)较之以前的黑白和彩色摄影是一大进步,它已可以从若干个光谱段中鉴别出不同地物的光谱响应的差异,从而实现多光谱分类和识别。以美国陆地卫星和法国的SPOT卫星为代表的航天多光谱遥感在长期的对地观测中体现其优越性,已成为当今遥感技术中最重要的信息源。然而,对许多地物来说,在有限而少量的光谱段中往往表现出很大的不确定性甚至是多解性。高光谱分辨率遥感,特别是超多波段(Hyperspectral)成像光谱技术的发展,使得遥感在常规的多光谱基础上向着遥感信息的定量化和识别模型方向又前进了一步。

成像光谱是指在一个连续光谱段上获取大量窄波段遥感图像的技术,这种高光谱维上的成像可以通过图像-光谱重建技术提取出图像上任何一种地物,类似实验室的光谱曲线,

从而为地物的光谱识别奠定了信息基础。

许多地物在其明显的反射和辐射高低、强弱的本底上由于电磁波与组成该地物的物质的相互作用往往形成某些诊断性 (Diagnostic) 的光谱特征。例如, 大气中的水汽和水均具有广泛分布的吸收带, 如 0.718、0.810、0.98、1.395、1.870 μm (微米), CO_2 具有的吸收带在 1.4、1.6、2.7、4.3、10.0 和 14.7 μm 附近; O_3 在紫外区。 O_2 在 0.69 和 0.76 μm ; 甲烷 (CH_4) 在 3.3、7.7 μm 都有自己的吸收带; 叶绿素, 包括海洋中的藻类在 0.42—0.436 以及 0.62—0.68 μm 之间的吸收带都构成了它们的特征诊断信息。要判断植物受外界环境的影响所产生的“红边兰移”效应, 其关键波长在 0.75 μm 附近, 所需要的探测光谱分辨率应有 10nm 左右。对于地球表面的固体物质, 特别是一些矿物也都具有明显的光谱吸收特征, 如粘土矿物的吸收在 2.2 μm 附近, 碳酸盐矿物的吸收在 2.433 μm 附近。

上述某些地物的特征诊断信息, 都是通过高光谱分辨率遥感识别其存在、定量分析其状况所必需利用的信息。由于高光谱分辨率遥感在从空间和空中直接识别地物, 确定地表组成物质的成分方面的潜力, 从而在近 10 年来高光谱分辨率遥感, 特别是成像光谱遥感受到国际上的普遍重视, 是当今遥感的重要前沿领域。由于它最直接体现了电磁波与地物的相互作用, 它的发展也是遥感发展到独立的科学领域的主要标志之一。

成像光谱和高光谱分辨率遥感与常规多光谱技术之间是一个继承和发展的关系, 也是一个从量变到质变的过程。根据目前所能达到的技术条件, 当前国际上发展的主要成像光谱仪的波段宽度或光谱分辨率均在 10—20nm (纳米) 之间, 目前尚不能达到实验室光谱所具有的埃级 (\AA) 分辨率, 这是与当前应用的需要与技术水平相协调的。对于植物的生物地球化学成分和过程的分析以及水中藻类物质含量的遥感, 所必需的光谱分辨率约为 10—20nm, 对于分析和识别植物的含氮量和纤维素以及干叶质信息的提取所需的光谱分辨率应为 10nm。对于从 1.5 至 2.5 μm 的短波红外光谱区, 由粘土羟基 (OH)、碳酸根 (CO_3) 以及水分子等所形成的光谱特征吸收, 在一般情况下其带宽为 10nm, 但对大多数固体矿物来说, 如识别诸如灰岩、白云岩中的含镁矿物, 采用 20nm 的光谱分辨率也可获得良好的结果^[8-10]。

通过地面光谱测量来研究地物最早起于本世纪 30 年代^[11], 然而将这种技术方法用于航空和空间测量是在 70 年代末和 80 年代初。1981 年一台名为航天飞机多光谱红外辐射计 (SMIRR) 的高光谱分辨率光谱仪在美国航天飞机上进行了试验, 第一次从轨道高度根据地物的光谱特征直接识别了灰岩和高岭石矿物^[12]。而将光谱与图像融为一体并实现成像光谱的航空实验起于 1983 年。由于技术的发展, 于 80 年代末期, 由美国喷气推进实验室主持完成的一台具有 224 个波段的航空可见红外成像光谱仪 (AVIRIS) 开始投入试验^[13]。与此同时, 10 年来国际上一些技术发达的国家纷纷起步, 竞相投入, 出现了一个在遥感发展史上罕见的大发展局面, 15 种类型成像光谱仪已在美国、加拿大、澳大利亚、法国、德国和日本研制成功或即将投入运行。到目前为止成像光谱技术尚处在航空遥感阶段, 然而美国和欧洲空间局已经在实施他们的航天成像光谱遥感计划, 美国的中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 将于 1998—2000 年随美国 EOS 计划发射入轨; 欧洲空间局的中分辨率成像光谱仪 (MERIS) 也几乎同时发射。除此而外, 在美国的 EOS 计划中已列入了 14 种高光谱分辨率的遥感探测仪器, 其中成像型的高光谱分辨率系统占了 7 类。在非图像型中有 115 个

光谱段的大气红外探测仪 (AIRS)、全球臭氧监测辐射计 (GOMR) 以及测量大气中多种气体成分的动态临边探测仪 (DLS) 等。在成像式的遥感系统中有前面提到的中分辨率成像光谱仪, 它具有 36 个光谱分辨率在 10—20nm (热红外除外) 的波段, 地面分辨率为 250—1000m, 轨道覆盖宽度达 2330km。两台以热红外高光谱分辨率成像为主的仪器 (ITIR 和 TIGER) 可提供在热红外波段光谱和空间分辨率均较高的地面图像以进行地表发射辐射的定量测量, 以了解和分析大范围辐射和热量的收支状况。

在进入 90 年代以来, 遥感在我国也有了很大的发展, 我国风云气象卫星的发射, 国家“七五”科技攻关的胜利完成, “八五”攻关的顺利开展, 我国的遥感不仅在资源、环境研究以及自然灾害监测中发挥了突出的作用。而且在国际上遥感的若干重要前沿问题: 成像光谱及成像雷达遥感的发展方面有了重大突破, 成为世界上独立发展和拥有这样系统的少数国家之一, 标志着我国遥感发展的成就。

遥感在其不太长的发展史中, 以其旺盛的生命力, 长足进步, 不断成熟。遥感科学技术的发展使人类更加理智和聪明起来。我们的地球以及地球上的各种过程, 地学的、生物学的、自然的、人文的、缓变的以及突发的均在遥感的洞察之中, 为人类研究和了解所赖以生息的地球, 特别为地理学研究提供了全新的信息。遥感同时也在其自身发展过程中不断吸收相关学科和技术的养分, 如地理信息系统 (GIS)、全球定位系统 (GPS)、智能专家系统 (ES), 以丰富自身, 更有效地为人类社会的发展服务。

遥感必将以更新的面貌向着 90 年代后期和下一个世纪迈进。

参 考 文 献

- 1 张圣凯等. 中国彩色卫星影像图的设计与编制. 环境遥感, 1991, 6 (3): 231—238.
- 2 楚玉山, 刘纪远. 西藏自治区土地利用. 北京: 科学出版社, 1992.
- 3 陈述彭主编. 陆地卫星影像中国地学分析图集. 北京: 科学出版社, 1984.
- 4 钱强新. 环境遥感的学科地位. 环境遥感, 1991, 6 (3): 169—174.
- 5 Goetz AFH, Vane G, Solomon JE, et al. Imaging spectrometry for Earth remote sensing. *Science*, 1985, 1147—1153.
- 6 童庆禧. 遥感的某些新发展及我们的对策. 环境遥感, 1990, 5 (1): 11—16.
- 7 Singhory VH. Rodor Geology: Techniques and Results. *Episodes*, 1992, 5 (1): 15—20.
- 8 Goetz AFH. Imaging Spectrometry for Earth Observations. *Episodes*, 1992, 15 (1): 7—14.
- 9 Staeng K. A Decade of Imaging Spectrometry in Canada. *Canadian journal of Remote Sensing*, 1992, 18 (4): 187—197.
- 10 童庆禧等. 成像光谱学的理论. 技术与实践. 第八届全国遥感技术学术交流会论文集, 广西南宁, 1993, 4—10.
- 11 Тольчинский ЮС. Оптические свойства ландшафта. Пеннзпраг: издательство «Наука», 1974.
- 12 Goetz AFH, Rowan LC, Kingston MJ. Mineral Identification from Orbit: Initial Results from the Shuttle Multispectral Infrared Radiometer. *Science*, 1982, 218: 1020—1024.
- 13 Peter WM, Enmark HT. System Overview of the Airborne Visible/Infrared Spectrometer (AVIRIS), in Vane, Gregg, ed. *Imaging spectroscopy 11*, San Diego, California, USA. SPIE (Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers) Proceedings, 1987, 834, 22—31.

ADVANCE IN REMOTE SENSING SCIENCE AND TECHNOLOGY

Tong Qingxi

(*The Branch Society of Environmental Remote Sensing, Geographical Society of China, Beijing, 100101*)

Key Words Electromagnetic spectrum, Remote sensing information, Microwave remote sensing, Global change, Imaging spectrometer

Abstract

Virtually, remote sensing is the physical measurement of geo-process and geo-features on the earth surface without direct contacting with it. In this paper the relationship between geography and remote sensing is described. Remote sensing is an independent science and technology and also is a support technique for geographical studies on other hand. By using of remote sensing the procedure of geographical studies has been essentially changed.

During the last decade remote sensing has developed from its experimental stage to the operational stage. As the representative of remote sensing system, Landsat and SPOT satellites have found its wide application in geography, geology, engineering urban planing, surveying and mapping, meteorological, hydrology, oceanography, environmental monitoring, agriculture, forestry and other disciplines. In addition, the meteorological satellites such as NOAA series satellite also have its great potential by its high frequency of repeated coverage of earth surface.

Three important frontiers of remote sensing are described in this paper. Microwave remote sensing and high spectral resolution remote sensing are the most important new fields. Great attention has been paid in development of such new remote sensing fields in the last decade. Microwave remote sensing has its all weather, all time and proper penetration capabilities while the high spectral resolution remote sensing has fairly high spectral resolution with nano-meter (nm) level. Both of them has provided a great potentials for the study of earth surface phenomena. The information about the structure, the soil moisture, the penetration information under dry sand and the information about the flooding provided by microwave remote sensing has greatly enriched the knowledge of earth sciences for human being.

With increasing the spectral bands and spectral resolution the abilities of identification of surface materials and components such as minerals and mineral alterations, vegetation and vegetation under the environmental stress have been greatly enhanced. the spectral diagnostic features of the earth objects extrated from the hyperspectral imagery can be used for identification and classification with high accuracy.

The study of earth simultaneously and in real time base at global scale has become possible only with remote sensing. The dynamic change of drainage, migration of coast lines and water bodies, landuse change, land degradation, desertification, deforestation and biomass distribution. can be analysed and mapped by using of remote sensing. Remote sensing is also in developing with integration and support of Geographic Information System (GIS), Global Positioning System (GPS), Expert System (ES) and other science and technologies. Remote sensing has shown its broad prospects in the coming decade.