

遥感基础研究的范畴及其在遥感 应用发展中的意义

田 国 良

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 本文系统地总结了遥感基础研究的目的是遥感仪器最佳波段选择、图像信息提取、定量分析的深层含义以及对遥感深化研究和进一步发展的重要意义。

关键词 遥感, 基础研究, 应用

遥感,就广义而言,泛指各种非接触的,远距离的探测技术。或者说,是一种远离目标,通过非直接接触而判定、测量并分析目标性质的技术。就狭义而言,是一门新兴的科学技术。主要指从远距离、高空、以至外层空间的平台上,利用可见光、红外、微波等探测仪器,通过摄影或扫描、信息感应、传输和处理,从而识别地面物质的性质和运动状态的现代技术系统^[1]。

遥感对地球表面目标进行探测,是利用装载在遥感平台上的遥感器接收来自目标的反射或辐射。因此,从本质说,遥感是一个信息流和信息交换的过程。来自地表因太阳辐射与地表物体相互作用这一物理过程所形成的信息流,经过遥感信息的获取,处理和分析,成为人们所能利用的有效信息,在对地球资源和环境研究中发挥着积极的作用。

遥感信息具有空间和波谱两重特性,这些特性在物质的相互作用、传输、记录、再现的过程中经受着各方面的影响,产生着各种畸变^[2]。这里有许多机理和基础的问题需要深入研究,才能有效地利用遥感信息。

1 遥感基础研究的范畴

如上所述,遥感基础研究就是在遥感信息流的每一个环节中探求其变化原因和形成的机理,研究其畸变规律,进而研究各种地物在空间和波谱这两方面的同一性和差异性,类聚同类地物,增强和扩展其差异特征,从这一意义上讲,遥感又是研究各种地物差异特征的科学技术。因此,遥感基础研究就是要研究电磁波辐射与地球表面物质相互作用机理,在介质中的传输规律及遥感信息与地面特征之间的内在联系。

1.1 遥感基础研究方向

研究电磁波和地球表面物质(水圈、大气圈、岩石圈、生物圈)的相互作用机理,辐射信息的传输理论,遥感信息的辐射和空间特征,形成遥感图像的地质学、生物学、物理学和化学

收稿日期: 1994年1月3日

基础及规律,以及遥感信息的应用模型等。

1.2 遥感基础研究的内容^[2-4]

1.2.1 遥感信息辐射特性研究

(1) 电磁波与地物相互作用的波谱特性

地物对可见光、近红外、短波红外的反射特性; 热红外的辐射特性; 微波的辐射特性、介电特性、后向散射特性和穿透特性; 地物波谱的空间分布特征-地物波谱的二向反射特征; 地物波谱的时间动态变化特性; 遥感成像机理。

(2) 遥感信息在介质中的传输特性及规律

可见光和红外辐射信息在大气中的传输规律及云和降水对地表微波遥感信息传输的影响; 土壤和岩石能量传输规律; 植被中微波能量传输机理; 可见光在水体的传输特性。

(3) 遥感信息的量化

遥感的辐射定标; 遥感辐射定标试验场的建立; 遥感大气成分的反演; 遥感信息大气影响订正; 遥感信息的定量反演。

1.2.2 遥感信息空间特性研究

(1) 遥感仪器的成像几何机理和模型

新型航天、航空遥感器成像几何机理及几何特征模型; 不同传感器遥感信息的几何特征、配准和复合; 新型传感器图像(成像光谱仪、成像雷达、同轨前后视立体图像、异轨侧视立体图像等)的对地定位模式研究及地图化模型研究;

(2) 遥感信息几何特性理论、模型和方法

遥感信息几何校正模型和方法; 遥感信息空间频谱特性的理论; 遥感信息地图化模型。

(3) 新型对地定位理论和方法

遥感信息空一地定位理论和模型; 四维分析和多元多维复合匹配模型; GPS—RS—GIS一体化信息处理方法。

1.2.3 遥感信息与地学规律研究

(1) 遥感信息与地学和环境参量的关系及地学参量反演研究;

(2) 遥感信息与地物物理性质和化学组分关系的研究;

(3) 遥感成像的区域性分异规律研究;

(4) 遥感成像的成因相关规律研究;

(5) 遥感成像的时相变化规律研究;

(6) 遥感成像的人工组合规律研究。

1.2.4 遥感应用模型研究

(1) 综合分析评价模型;

(2) 区域生态环境调控模型;

(3) 资源环境要素的动态分析模型;

(4) 网络分析模型;

- (5) 生物地球化学找矿模型;
- (6) 全球变化系统模型。

2 遥感基础研究在遥感应用发展中的意义和作用

如前所述,应用遥感技术对地球进行探测是以各种物体对电磁波的反射、吸收、透射和发射特性为基础的,因此,遥感基础研究在遥感应用发展中占有重要的地位,起着非常重要的作用,它的地位和作用可以概况为先导、中坚、后盾 3 个方面。

2.1 遥感应用发展的先导

2.1.1 最佳遥感仪器和最佳探测波段的选择^[3]

这是遥感基础研究的最基本的任务之一。遥感技术的成功与否的第一个关键就在于能否用最佳的遥感仪器和最佳的光谱段去进行探测。由于自然界是一个极其复杂的综合体,各种物体的存在都是与其它物体,特别是错综复杂的环境要素相互依存的,正因为遥感基础研究对各种地物波谱特性进行了大量研究,认识了遥感信息的传输规律,才能为遥感器的设计如大气窗区和探测波段的选择,动态范围和信噪比的确定等提供了基本依据。

例如美国的地球资源卫星(后改为陆地卫星)中多光谱扫描仪(MSS)的 4 个波段的选择主要考虑了农业对它的要求,但对于地质应用只是用它的第 5 波段(MSS5: 0.5—0.6 μm)。这是因为通过对地物波谱的研究对植被波谱有了较多的认识,但当时并没有很好地论证波段选择的原则。通过对地物波谱特性研究发现,这样的光谱段选择对地质岩性识别有很大的局限性。根据波谱特性研究,提出以 2.2 μm 为中心的光谱段用于鉴别地质岩石的蚀变带,增加在地质探矿方面应用的可能性。为此,在陆地卫星 4 号和 5 号的主题绘图仪(TM)中增加了 2.08—2.35 μm 的第 7 通道。据美国地质调查所对地物波谱研究证明,窄波段对粘土矿和矿物的蚀变带的识别效果很好,因此,后来发展的短波红外的细分光谱仪,用于粘土矿的探测和蚀变带的鉴别,而直接用于找金矿等就是基于遥感的基础研究。

为了对农作物和植被进行监测,在美国的陆地卫星 1,2,3 号中采用的 MSS6 (0.7—0.8 μm) 和 MSS7(0.8—1.0 μm) 这两个近红外波段。通过对植被光谱的进一步研究,认为 0.76—0.90 μm 的近红外光谱区就足够了,这既可适用于对植被和农作物的一般研究,也适用于对不利条件下植物长势的监测,NASA 在陆地卫星 4 号的主题绘图仪的第 4 波段中采用了这一波段。

通过对地物波谱特性与其理化特性关系的研究表明,对于岩石类型的识别,仅用可见和近红外光谱区就显得十分不足了,根据美国 60 年代中期以来的岩石波谱特性的研究证明岩石的红外辐射特性与岩石的矿物含量有很大的关系。在利用实验室和野外红外辐射研究的基础上 Lyon 获得了红外辐射的峰值波长与岩石二氧化硅含量关系的著名曲线^[4]。可以看出,不同岩类的辐射低峰随着波长有很大变化,变化的幅度达到 2.5 μm 。岩石红外辐射特性的这种变化是由于岩石中二氧化硅(SiO_2)含量的变化而引起的,随着二氧化硅

含量的增加,岩石红外辐射低峰则逐渐向波长较短的方向偏移(从 $11.3\mu\text{m}$ 偏到 $8.8\mu\text{m}$)。二氧化硅是地球上最常见和最多的矿物之一,它的含量与红外辐射的这种密切关系,为在红外遥感中采用类型匹配技术进行岩性识别提供了依据。所以在 TM6 波段、热容量制图任务的专题卫星(HCMM)、JERS-1 的 OPS 中均有 $10.4\text{—}12.5\mu\text{m}$ 波段。根据各种地物,特别是岩石的红外辐射特性与其物质含量的关系,后来发展的热红外多光谱扫描仪(TIMs)在 $8\text{—}14\mu\text{m}$ 区域选择了 6—7 个波段,通过航空遥感试验已证明了这种技术的有效性,下一步拟装载到航天飞机上进行空间遥感试验。

2.1.2 对地物识别和图像判读的预先认识和遥感应用的准备

通过遥感辐射特性和空间特性研究,特别是地物的波谱特性研究,对遥感识别地物的原理有了预先的认识,对于其形成的影像特征,从遥感辐射特性和空间特性出发有了了解,为以后遥感图像的信息提取,影像特征分析和图像判读提供准备。

2.2 遥感应用的中坚

对地观测系统主要是用于对地球资源的调查和环境的监测,通过在空间平台上的遥感仪器获得地面的大量信息,对遥感图像进行判读分析,信息提取,达到识别目标鉴别地物的目的,同时通过一些模型在农业、林业、水资源、海洋、地质等领域得以应用。这些应用,都是基于遥感的应用基础研究。因此,遥感基础研究在遥感应用研究中起着中坚的作用,是把遥感应用推向深入的动力。

2.2.1 遥感图像判读和信息提取的基础

遥感技术的根本目的是要通过图像的分析,深入研究各种自然环境要素,达到定性、定量分析和识别研究对象的目的,从而在国民经济和军事上发挥它的作用。建立各种判读标志是这一工作中的重要步骤。遥感图像是地面物体反射或发射电磁波特征的记录,也是地面景象真实的、瞬时的写照。遥感图像是地表面按一定比例尺缩小了的自然景观综合影像图。它能够较准确、客观、全面地反映地表面的自然综合景观。图像判读就是建立在研究地物性质、电磁波性质及影像特征三者的关系。它主要从影像特征来判断电磁波的性质,从而确定地物的属性,也就是从影像特征来识别地物。地物电磁波特征的差异在影像上的反映就是各种各样的色、形信息。整个遥感图像的影像要素或特征,概括起来分“色”和“形”两大类:色:色调、颜色、阴影、反差;形:形状、大小、空间分布、纹理等。“色”只有依附在“形”上来判读才有意义^[6]。

遥感图像的判读基础就是地物的辐射特性和空间特性。只有深入地研究这两种基本特征,才能更好地判读遥感图像和更好地应用。目前发展起来的计算机图像处理和信息提取技术也是建立在这两种特性研究的基础上。遥感图像的分类主要基于地物的波谱特性,结合其空间特性,达到增强不同地物的差异,提取有用信息的目的。在以波谱特性为主要基础的图像处理中,人们还在利用地物的空间特性—精细的纹理结构。常用的纹理识别方法基本上都是以图像的统计特性和结构特性为基础的。近年来发展起来的频谱段图像来获取地物的空间特性和纹理结构^[7]。最终可能发展成为一种基于地物波谱和空间特性的计算机图像处理的综合方法。

2.2.2 遥感应用的推动和深化

许多遥感应用研究表明,遥感应用的成功与否,取决于遥感基础研究的深度。遥感基础研究越深入,遥感应用的效果越成功,应用的范围越广泛。否则只能是知其然不知其所以然,仍处于模仿和重复状态。

近年来兴起的在资源调查中的遥感地质找矿方面,取得了突破性的进展。其主要原因就是根据遥感基础研究,特别是岩矿的光谱特性研究,研制了相应的遥感仪器,如航空红外细分光谱扫描仪,机载成像光谱仪、热红外多波段扫描仪等,选择了最佳探测波段,开展了相应信息提取方法和矿化指数模型研究,推动了地质遥感应用,实现了用遥感直接找矿的目标。

例如:红外遥感油气资源直接勘探技术就是基于工业油气藏烃类微渗漏理论。它利用烃类特有的 $2.27-2.46\mu\text{m}$ 波谱双峰吸收带,以土壤烃组分异常为标志,发展了遥感直接探测地下油气有利聚集的方法:红层褪色、粘土矿物异常、地植物异常、热惯量异常等,提出了一套油气遥感勘探评价模式。经在新疆准噶尔盆地东部系统试验研究,证明该模式是可行的。尤其在干旱半干旱地区,土壤吸附烃异常的遥感探测最为直接、最为有效。³次大面积试验表明,与已知油流区块的符合率达 70%,在未知的油气遥感异常中,一些已被钻探证实含有油气性,业已正式列入油气勘探生产计划^[8,9]。

又如,通过对岩矿光谱的研究,确定光谱吸收特征参数的测度。光谱吸收峰的存在是识别地物尤其是蚀变矿物的理论依据。因此对光谱吸收特征参数,即吸收峰的波长位置(P)、宽度(W)、深度(H)、斜率(K)及对称度(S)的描述,是确定地物特征的重要方法。基于这些研究,在细分光谱研究中将矿物光谱吸收峰的特征表征为矿物光谱吸收指数(MAI),成功地进行了热液蚀变矿物的填图,发现了金矿的新靶区^[10-12]。

1980年美国 Hunt 和 Salisbury 研究了岩石和矿物辐射特征。他们认为:岩石在热红外波段具有显著的 Si-O 基团中伸缩振动引起的特征光谱带。这一特征谱带是利用热红外多光谱扫描仪成像遥感技术识别地表岩石和矿物成分的基本依据之一。采用热红外遥感技术进行岩石制图研究,并在岩性识别方面取得了较大的进展。其后,美国 NASA 国家空间技术实验室开发研制出热红外多光谱(TIMS),用 TIMS 图像进行矿物成分的填图工作。通过遥感调查表明,利用 TIMS 可区分热液蚀变硅质壳与沙漠漆壳,以及识别出玄武岩、硅质岩、碳酸岩和未蚀变的凝灰岩。利用 TIMS 开展洪积扇研究,识别出洪积扇的成分和年代。在风化玄武岩研究中,发现 TIMS 对二氧化硅以及景观的细微构造信息反应灵敏,是干旱和半干旱地区的玄武岩岩流制图的有效手段。中国科学院上海技术物理研究所 1990 年研制出热红外多光谱扫描仪(TIMS),它在 $8.0-12.5\mu\text{m}$ 范围内精细地划分为 7 个波段,根据岩石在热红外的光谱特征,利用 TIMS 在唐山北部山区金厂峪金矿区获取了热红外多光谱(TIMS)图像,经计算机图像处理和金矿光谱信息提取,TIMS 图像可直接用于岩性划分和构造填图,以及圈定金矿化光谱异常带。结果表明,TIMS 遥感技术在地质应用方面有较大潜力^[13]。

在环境监测方面,基于遥感基础研究,已取得了很好的遥感应用效果。例如,在研究植被光谱特性及其时相变化的基础上,提出的绿度指数模型。在绿度指数与生物量关系及与作物产量形成关系的研究中,利用遥感图像大面积估算植物的生物量,特别是作物估产取得了很大进展。在作物长势监测,作物种类鉴别,作物种植面积提取,作物估产模

型的建立等方面都是根据遥感的辐射和空间特性及应用模型来实现的^[14]。如今遥感估产在我国乃至世界对农业的宏观决策方面起到了重要作用,取得了重大的社会效益。

在重大自然灾害监测中,基于遥感基础研究而发展的林火、水灾、旱灾、雪灾、森林虫害和沙漠化等的遥感监测评价方法,成功地应用到自然灾害的监测中,为防灾减灾救灾决策提供了可靠的信息,发挥了快速、准确、及时的特点,是当前遥感应由深化的一个重要特点^[15,16]。例如,在探测森林火灾方面,人们早就发现红外遥感是探测森林火情的有效手段。早期用于森林火灾探测的红外扫描仪只有一个热红外通道(8—14 μm),由于这一通道位于常温物体的辐射峰值,因此在探测中很容易出现虚警,效果欠佳。通过进一步研究,在第二代的森林探火的红外扫描仪则采用了两个红外通道,即 3—4 μm 和 8.5—11 μm ,探火效率大为提高。目前 NOAA—AVHRR 也具有类似的波段。巴西用 NOAA 卫星的 AVHRR 图像监测亚马逊河流域林火取得成功。它可以实时监测,定期作出林火强度、林火频度图以及对环境的影响评价。我国用遥感技术对洪涝灾害监测已进行多年。用雷达图像可成功地获得洪水淹没面积,这是利用了微波后向散射特性,水的镜面反射特强,而造成水陆界线十分清晰,再配合 TM 或其它航空遥感图像,土地利用图及分析评价模型,就可估算出淹没损失。在旱灾遥感监测评价中,发展了基于能量平衡的干旱监测评价模型,将遥感图像和气象数据结合起来,能给出比常规方法更直观的旱情分布图和更详细的受旱面积数据。而森林虫害的遥感监测,更是根据正常生长的松树和受虫害的松树的光谱特性的差异和动态变化的研究而发展的监测方法。

在环境污染监测中,根据植被在生长期的光谱特性及其受污染后的光谱特性的变化,例如在某些特征波长处、叶绿素吸收,近红外反射肩部拐点处等的“蓝移”或“红移”现象来间接地监测环境污染。因为植物固定在一个地方,只要污染物存在,它就无时无刻不在经受着污染的影响,因此特别适合于长期污染监测。利用这种方法已在一些城市污染监测中应用。成像光谱仪的发展,为这种监测提供了强有力的手段。而且这种方法也可以用于地植物异常,或称为生物地球化学效应找矿方面。对于海上石油污染通过基础研究发现,石油污染的海面在紫外波段有很强的反射,而在热红外波段与周围海水有较大的反差,于是研制出紫外和热红外扫描仪专门用于海洋油污染。近年来研究油污染的微波辐射特性,认为也可以利用微波辐射计来监测海洋油污染,在这方面也有很大应用潜力。

2.2.3 量化遥感应由

遥感的深化发展的标志之一,就是量化的遥感应由,要实现遥感应由定性向量化的发展,必须开展遥感应由量化基础研究。

通过遥感应由量化研究,逐步解决遥感仪器的内外定标,大气成分反演,大气影响订正和遥感数据的定量反演等基础问题,为遥感应由应用提供更精确的定量数据。

成像光谱仪的发展为遥感应由应用提供了图谱合一的综合信息。由于其高光谱分辨率,可以从地物的细微光谱特性来识别目标,通常的方法是将成像光谱仪获得的波谱曲线,与在地面或实验室测量的波谱曲线进行对比分析。由于基础研究,发展了反射率的定量反演方法,(如统计模型法、试验场定标法,对数残差模型和大气影响订正法)而在地质找矿中得到很好地应用。热红外多波段扫描仪数据包含了地物辐射温度和发射率双重信息。如何反演发射率和温度信息正是遥感应由量化基础研究要解决的问题。近年来发展的

模式发射率方法、热对数剩余方法、 α 剩余方法、去相关拉伸方法,加权比值方法等提取发射率信息,而用发射率转换方法或主成分分析方法提取温度信息。在这些研究基础上,用 TIMS 资料成功地进行岩性识别和找矿。

在农田蒸散和土壤水分估算及早情监测中,在地质和土壤热惯量制图中,不仅需要遥感提供定量数据,而且还要通过遥感数据定量计算一些物理量。在遥感定量化研究中,通过对 NOAA—AVHRR 数据的大气影响订正和波段反射率及地表辐射温度的定量反演,利用 AVHRR 图像计算了地面净辐射、农田蒸散、土壤和岩石的热惯量、土壤水分和干旱指数等,推动了定量化遥感的应用^[17-21]。

2.3 遥感发展的后盾

遥感基础研究不仅是遥感应用的先导,遥感应用中的中坚,而且也是遥感发展的后盾和技术储备。

2.3.1 为遥感的发展提出新方法和新方向

遥感基础研究的很大部分包含遥感的前沿研究,它关系到遥感能否继续发展的问题。例如,目前在国际上开展的地物波谱特性研究,特别是植被的二向性反射模型。通过实验和理论分析,研究了地物波谱二向性特性,提出了几何光学模型,混浊介质模型,混合模型和计算机模拟模型,这些研究的目的是建立一些精确地描述辐射与植被相互作用过程的数学模型,更重要的是如何依据这些模型和多角度的遥感资料反演出在许多领域中都很有价值的植被结构参数和生物量,有效地进行植被生长模拟、动态监测和类型区分^[22,23]。通过这些研究,不仅象目前一样应用地物的二维信息,更重要的是应用地物的三维信息,有可能解决植被监测中植被结构参数的反演和生物量的精确估算,如目前很难解决的森林蓄积量的估算问题和三维立体成图。根据这项研究,美国 EOS 计划中提出变角中分辨率成像光谱仪 (MODIS-T),就是为了这个目的,因此,这项研究将推动遥感在这一领域的发展,也为今后应用 MODIS-T 数据作好了技术储备。

成像光谱仪的发展也是基于遥感基础研究而提出来的新一代遥感仪器,它和成像雷达一起将成为九十年代中后期以后主要的航天遥感仪器(如美国的 EOS 计划和我国的 921 计划)。通过对美国 1983 年第一台高分辨航空成像光谱仪 (AIS-I),1987 年先进的 224 波段的航空可见红外成像光谱仪 (AVIRIS) 和我国 1990 年中国科学院上海技术物理研究所研制的机载 71 波段成像光谱仪 (AIS) 获取的图像分析及其基础研究,开展了或正在开展成像光谱信息波谱特性及成像机理研究;成像光谱高速海量信息的处理、地表物质特征信息提取、分析及识别模型研究;高光谱分辨率遥感地学应用潜力研究等,为航天成像光谱仪的实际应用做好了技术储备,推动我国遥感在这一领域的发展。

和成像光谱仪一样,航天成像雷达也是在雷达成像机理,微波介电特性、散射特性、辐射特性和穿透特性研究基础上提出的新一代航天遥感器。例如,已发射的 ERS-1、JERS-1 和将要发射的 Radarsat, EOS 计划中均有成像雷达。有人预言,90 年代中后期,遥感信息有 50% 以上将来自于微波遥感,因此,开展微波遥感散射理论研究;多波段多极化雷达图像成像机理研究;雷达图像处理及信息提取方法研究;典型地物雷达影像特征及其识别能力的研究等,正是为成像雷达的应用提供发展的基础和技术后盾。

如前所述,许多遥感的发展,都是通过遥感基础研究和实际需要提出来的,开展遥感基础研究、不断开拓遥感应用的新领域,提出新的遥感仪器和新的方向。目前遥感技术发展的趋势是光谱和几何分辨率越来越高,覆盖的波段不断扩展,如微波的 P 波段和 S 波段等,这些新的趋势有待于遥感基础研究去解决,以迎接遥感的新挑战。

2.3.2 全球变化研究的后盾

全球环境恶化问题已成为世界关注的焦点问题之一。地球环境问题的全球性质是遥感最易发挥作用的领域,也可以说只有遥感技术发展到现在水平才能解决全球变化研究的主要问题,而遥感要解决全球变化研究中的问题,往往又要依赖于遥感的基础研究和科学积累。全球环境变化的研究要求遥感提供下述类型的数据:

- (1) 全球范围的数据;
- (2) 长时间段的连续数据;
- (3) 周期性的数据,同步观测数据;
- (4) 物理、化学、生物学等多种学科的数据;
- (5) 校正过的定量化的数据;
- (6) 具有准确的全球地理分布的数据。

这些要求,只有通过深入的基础研究,对全球观测获得的机地组合数据,物理量观测中高空间分辨力、高光谱分辨力和合适的时间分辨力的数据以及这些观测量在全球范围准确的地理空间分布进行系统研究和分析,才能解决遥感的定性、定量、定位的问题,即是什么物质,有多少,分布在什么地方。依此方能建立全球系统模型和专业模型^[24]。从这个意义出发,遥感的基础又是全球变化研究中十分重要的一环,是全球变化研究中应用遥感的后盾。

结 语

遥感基础研究在遥感应用发展中占有十分重要的地位,起着非常关键的作用,必须引起足够的重视,组织全国精干的遥感基础研究队伍,建立国家遥感基础研究实验室。以地表物质与电磁波辐射相互作用为主线,以及所产生的电磁波在各个领域,如可见光、近红外和短波红外、热红外、微波等的反射、透射、吸收和发射为基础,建立电磁波遥感信息在大气、水体、岩石、土壤和植被中的传输模型。研究大尺度空间展布的遥感信息的时间序列上的动态变化。在光谱维的延伸上研究成像光谱信息与地学特征的定量关系,在微波遥感方面研究其成像机理及识别地物的能力,在地学应用中研究急需的各种应用模型,在遥感空间特性方面研究新型对地定位理论和方法,加速 GPS—RS—GIS 一体化的进程,促使我国遥感应用向更新更高的方面发展,形成我国遥感科学的理论、方法和模型,迎接对地观测任务的新挑战。

参 考 文 献

- [1] 陈述彭. 遥感大辞典. 北京: 科学出版社,1990.
- [3] 荀毓龙主编. 遥感基础与试验. 北京: 中国科学技术出版社,1991.
- [3] 童庆禧,田国良. 地物电磁波谱特性的研究. 中国典型地物波谱及其特征分析. 北京: 科学出版社,1990.

- [4] 李树楷. GPS 在遥感信息对地定位应用中的试验研究. 环境遥感,1992,7(2).
- [5] Lyon, R. J. P. Infrared Spectral Signatures-A Field Geological Tool. Proceedings of 5th Symp. on Remote Sensing of Environments. Ann Arbor. 1966.
- [6] 濮静娟主编. 遥感图像目视解译原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社,1992 .
- [7] 叶泽田. 频谱段图像及其应用的探讨. 环境遥感,1993,8(2).
- [8] 朱振海. 红外遥感油气资源勘探技术及其有效性评估,环境遥感,1993,8(2).
- [9] 黄秀华等. 1992,冀东地区油气微渗漏地植物的遥感基础研究. 环境遥感,1992,7(2).
- [10] 郑兰芬,王晋年. 成像光谱遥感技术及其图像光谱信息提取的分析研究. 环境遥感,1992,7(1).
- [11] Zhen Lanfen, et al., Study on Mineral Exploration by Infrared Multispectral Approach. in the proceedings of the 11th Asian Conference on Remote sensing. 1990, Vol. II: Q-29.
- [12] Zhen Lanfen, Tong Qingxi et al., Mineral exploration by use of infrared multispectral remote sensing in China. in the Conference Remote sensing an operational technology for the mining and petroleum industries. London, 1990.
- [13] 童庆禧等. 1992,热红外多光谱遥感技术金矿调查应用研究,红外与毫米波学报,1992,11(3).
- [14] 黎夏. 二轴土壤背景纠正的植被指数及其在华南水稻遥感估产中的应用. 环境遥感,1993,8(3).
- [15] 何建邦,田国良,王劲峰. 重大自然灾害遥感监测与评估研究进展. 北京: 中国科学技术出版社,1993.
- [16] 戴昌达等. 应用 TM 图像监测及评估林火、虫灾和洪涝灾害的理论与实践. 环境遥感,1993,8(2).
- [17] 田国良. 1992,冬小麦旱情遥感监测模型研究. 环境遥感,1992,7(2).
- [18] 田国良. 土壤水分的遥感监测方法. 环境遥感,1991,6(2).
- [19] 田国良等. 土壤水分的热惯量模型. 见: 重大自然灾害遥感监测与评估研究进展. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [20] 郎爱军. 航空多光谱数据与地面光谱数据之间相关性研究. 环境遥感,1992,7(3).
- [21] 秦益,田国良等,1994, NOAA-AVHRR 图像大气影响校正的方法和软件研制. 环境遥感, 1994,9(1).
- [22] 覃文汉. 遥感植被双向反射光谱的理论研究与应用展望. 环境遥感,1992,7(4).
- [23] 李小文等. 不连续植被二向性反射的几何光学与辐射传输一体化综合模型初探. 环境遥感,1993,8(3).
- [24] 李树楷主编. 全球环境、资源遥感分析. 北京: 测绘出版社,1992.

The Area of Fundamental Research of Remote Sensing and its Importance for the Development of Remote Sensing Application

Tian Guoliang

(*Institute of Remote Sensing Application, CAS*)

Abstract This paper is a systematic summary for the aim and content of fundamental research of remote sensing and its importance for optimum selection of the sensors channels, information extraction, quantitative analysis and future development of remote sensing application.

Key words Remote sensing, Fundamental research, Application