

国家科学技术部
国家自然科学基金委员会 联合资助

遥感信息机理研究

陈述彭 童庆禧 郭华东 主编

国家自然科学基金重大项目

- 中国科学院遥感应用研究所
- 中国科学院电子学研究所
- 中国科学院大气物理研究所
- 中国科学院地理研究所

科学出版社

1998

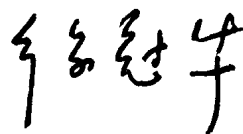
序

江泽民主席最近指出：“人类近现代文明进步史已充分证明，基础研究的每一个重大突破，往往都会对人们认识世界和改造世界能力的提高，对科学技术的创新、高技术产业的形成和经济文化的进步，产生巨大的不可估量的推动作用。”国家自然科学基金委员会和原国家科学技术委员会，在国家财力有限的情况下，联合资助“地表遥感信息传输与成像机理研究”，把它列为“八五”国家重大科学基金项目，是非常及时的。我国遥感科学技术，经历了“六五”期间的仪器研制与应用实验，“七五”期间国家公益型建设工程，包括三北防护林、黄土高原水土保持与江河洪涝灾情预警等，均取得了长足的进步，积累了大量成果；同时，也面临着总结提高、自主创新，技术上要求高度集成，理论上要求分析深化，应用上要求适应产业化的时代需求。当时，我正在中国科学院遥感应用研究所工作，深感国家所赋予的任务意义之重大和自己肩负责任之艰巨。幸运的是有陈述彭院士的亲自挂帅和直接领导，遥感应用研究所和院电子学研究所、大气物理研究所、地理研究所等兄弟单位团结协作，组织了精干的队伍，竭力推动和保障了这一国家重大基金项目、我国遥感科学技术领域的重大应用基础研究工作的顺利进行。

面临 21 世纪以知识和信息为基础的知识经济时代的到来，科学技术进步加快，信息技术向产业化转化的周期、技术及产品的市场生命周期大大缩短，经济增长的可持续性更加依赖于知识和技术的进步。遥感数据获取能力不断提高，来自全球定位系统、地理信息系统、地面台站网络、卫星数据通信……等对地观测系统的数据源极大丰富。探讨遥感信息的传输机理和成像规律，就是从这些海量数据中提取有效信息，并进一步转化为具有经济价值的知识的关键。

知识经济的核心在知识创新。“地表遥感信息传输及其成像机理研究”项目组经过四年的努力，并得到全国遥感界的支持和国际

合作,使之在电磁波谱辐射及其传输机理研究与实验、大气订正与地表反射率测算、高光谱与多极化成像雷达的应用原理与方法探讨,以及在信息复合与时态分析诸多方面,都获得了甚为可喜的成果,闪烁出一些创新的亮点。这些均可能会对我国遥感科学技术的进步和产业化发展,有所启发、有所帮助。集腋成裘,取精图宏,今总结该项目研究成果,出版这部《遥感信息机理研究》学术专著。书中不少是青年博士的成果,同时还特约了几部分专稿,集中反映了当前遥感应用基础研究的理解和共识,实为难能可贵。在本书即将付梓之际,谨此祝贺。祝愿我国遥感界团结协作,自强不息,勇攀高峰,争取在世界科技之林占有一席之地。



中国科学院院士
国家科学技术部副部长
中国科学院地学部主任
1998年6月12日

前 言

遥感是本世纪末发展最为迅速的科学技术领域之一,是一门年轻而富有挑战性的学科。由于它的科学性、技术性、应用性和服务性以及所涉及到的广泛科学技术领域,特别是空间科学、信息科学、地球科学和生命科学等基础学科,它的发展受到了来自各个方面的支持与促进,其应用也深入到经济建设和社会发展的各个方面。在人类向空间发射的数以千计的人造地球卫星大家庭中,以对地观测为主题的遥感卫星就是其中最为活跃、应用面最为广泛并影响最为深远的卫星系列之一。遥感将人类带离地面甚至地球,从而大大开阔了人们的视野,而形形色色的遥感器的探测原理又为人类感官,特别是视觉开辟了无限的延长线。从本质上说,遥感就是远离地表,借助于电磁波来收集、获取地表的地学、生物学、资源环境等过程和现象信息的科学技术。人们正是通过对这些信息的处理、分析、复原和反演来揭示地表各种现象和过程的规律,并进而使其为人类的生存和发展服务的。可以认为,在遥感从技术发展—目标探测—社会服务的全流程中,信息总是一个最活跃的因素,并始终处在核心的位置。

当人类进入空间时代并跨入信息时代的门槛之时,各种运行于空间、翱翔于空中的遥感平台连续不断地在多尺度上对我们的地球进行着观测,各种先进的对地观测系统源源不断地向地面提供着各种信息源。但是,无可争辩的事实是人们对遥感信息的认识和利用程度要远远落后于通过空间和航空系统收集信息源的速度。据估计,人们可能用到的遥感信息仅在全部分获取信息的5%左右,而深层次的信息开发则更少。这就是所谓信息“过剩”现象。究其原因,技术系统,或对信息的处理、加工、分析技术的发展落后于信息获取技术的发展,当是其中重要原因。但毋庸讳言,人们对信息的认识不足,特别是对遥感信息与其所反映的地表物质和传输介质间相互作用机理的了解尚待深化,则可能是遥感信息未能被充分利用的更

本质和更深层的原因。

遥感信息,首先是指以光或电磁波作为载体,经介质传输而由航空和航天遥感平台所收集到的信息。对一个连续、开放、完整、复杂的地球系统而言,通过对地观测获取的遥感信息具有三重属性,即遥感信息是电磁波辐射与地表物质相互作用的产物,是地圈、生物圈等基础科学规律的反映并同时也是该信息载体在其传输路径上受各种介质影响的结果。与此同时,遥感信息又同时具有空间、波谱和强度三种特性。因此,研究遥感信息机理就必须把握上述各个方面才能奏效。

经历了 70 年代到 90 年代的科技发展历程,特别是从国家“六五”、“七五”到“八五”三个五年计划的攻关,遥感在我国有了很大的发展。一系列先进遥感技术系统经我国科技工作者之手研制出来,卫星地面接收站的建立,航空遥感系统的发展,使得我国拥有了保障遥感信息源的必要手段。在另一方面,国家社会主义建设事业的发展,特别是农业基地建设、森林资源调查与保护、国家对矿产资源和基础测绘的迫切需求,加之城市的发展、环境压力的增长、灾害威胁的加剧以及海洋开发等均对遥感的应用提出了广泛的需求。遥感,这一新兴学科在各方面需求的驱动下,在我国广阔的陆地,浩瀚的海域得到大规模的应用;其涉及范围之广、应用领域之宽为国际遥感界所瞩目。我国已为遥感的发展,特别是应用提供了一片沃土,并在国际舞台上十分活跃,然而在遥感理论基础研究方面的薄弱,已成为实际上阻碍我国遥感进一步发展的主导因素。正是基于这种共识,“地表遥感信息传输及其成像机理研究”这一项基础研究申请,于 1994 获得了国家自然科学基金委员会的批准,并同时得到了国家科学技术委员会和国家自然科学基金委员会的共同支持和资助。这项研究,遂成为有国家自然科学基金以来最大的遥感基金项目,也是迄今为止国家最大的遥感基础研究项目。该项目的设置和批准表明了国家对遥感基础研究的高度重视和关注。

遥感信息机理,或电磁波与地物的相互作用贯穿着遥感技术发展和遥感应用的全过程,涉及极为广泛的领域。如果要在整个基础研究项目中全面出击,在经费和时间均十分有限的情况下,显然是不可能的。因此在立项和研究过程中采取了更为务实的方针,即:

讲求实际,发挥优势,突出重点,有限目标。在具体研究的部署方面实际上是抓住了两端,前端是电磁波信息的基本特性及其在介质中的传输规律,而在后端则突出了以当前国际上两大前沿技术即成像光谱和成像雷达为代表的信息特征和应用基础。研究目的性较强且有明确的实用性。这样,“地表遥感信息传输及其成像机理研究”项目就仅包含了以下四个方面的研究内容,即:

1. 遥感信息在介质中的传输理论与时空规律研究;
2. 地物微波遥感信息处理和成像机理;
3. 高光谱分辨率遥感信息处理及地物识别原理;
4. 遥感信息地学特征与模型分析研究。

本专著奉献给读者的首先是四年重大基金项目研究成果的提炼与升华。为了克服研究中所涉及领域的局限性,本书特邀了一批在国内遥感界造诣很深的专家撰稿,荟萃他们的华彩,为本书增辉。全书共分五章:

第一章 电磁波辐射与散射的基本特性

本章以微波为例研究了电磁波或电磁波散射场信息中地物的几何和物理特征的分离问题,以及地物介电常数这一表征电磁波与物质相互作用参量的测量和反演方法。在研究解决复杂地球环境微波遥感理论,如微波散射理论、矢量辐射传输理论以及相干矩阵特征值分析方法的基础上,利用国外微波卫星数据对大尺度的大气降水、海面风场、作物长势、海冰、水灾等进行了反演。利用时域有限差分法(FDTD),计算了电磁波由粗糙表面的散射场。

第二章 遥感信息传输规律与辐射特性

本章阐述了遥感信息在大气、土壤、植被以及岩石中的传输规律,涉及的光学特性是大气中对遥感信息以及对地球系统辐射收支和气候变化最为重要和最为活跃的因素。

通过对大气气溶胶的研究,叙述了在我国大气条件下气溶胶光学厚度与能见度关系的区域分布规律,也建立了气溶胶与大气中水汽含量的关系模型。提出了改进的 RADFIELD 大气订正模式、参数化的向上高度模式以及使用 LOWTRAN 7 模型的辐射近似算法,以期满足对地遥感图像对大气辐射订正的要求。

在土地表层遥感信息传输方面,对地表能量平衡模型进行了简化,发展了农田的双层蒸散模型和土壤热惯量野外测量的简单方法。利用遥感信息对一定深度范围内土壤水分的运动规律进行了研究。所有对土壤、热量、水分方面的研究表明,利用遥感信息可以有效地计算土壤水分、监测对农作物具有重要影响的干旱过程。本章对在植被覆盖条件下冠丛的反射和热辐射的方向性这一重要的热点问题也有所涉及,并对岩石的物理性质与热特性之间的关系也进行了适当研究描述,并分析了岩石在昼夜之间温度的变化规律。

第三章 高光谱分辨率遥感信息机理与地物识别

本章介绍了由本项基金推动并在我国得以发展的我国第一台固态推帚式光谱成像仪。在应用需求的驱动下,我国在高光谱遥感领域的研究工作不断发展和深化。用于岩石和矿物的光谱吸收指数模型已成功地用于岩性和地层的划分、某些单矿物的识别以及蚀变带和矿化带的制图。

高光谱遥感信息的导数光谱模型和角度相似性匹配理论的发展,已使得对某些植被的精细分类成为可能。本章对高光谱遥感中混合光谱及其分解的理论和实用问题进行了探讨,文中较详细地对高光谱遥感信息在海洋水色研究方面的进展作了论述,在发展一系列海洋水色遥感模型基础上对各类海洋水色资料进行了实用性分析。本章也初步涉及到热红外高光谱遥感信息对地表温度和发射率的研究问题,提出了一种反演各种岩石相对发射率的模式并用以进行岩性及其与矿物成分关系的分析。研究表明,热红外辐射在时间维上的信息也可能是研究地表性质的重要参量。高光谱遥感信息的定标以及作为对地物性质研究重要依据的光谱数据库问题,在本章中也有论述。

第四章 雷达遥感信息特征及地物识别

本章重点研究合成孔径雷达信息。首先对微波散射和极化机理及雷达信息的定标等基础问题,从理论和技术途径上进行了论述。在一系列国际合作计划的支持下,雷达信息机理研究得以深入开展。

通过在我国所进行的航天飞机雷达的第一次穿透性实验基础

上,对雷达波在沙层介质中极限穿透深度的理论和实际问题作了理论和定量的分析;森林和植被后向散射、裸露岩石散射模型、雷达信息极化机理以及多波段多极化模型的发展,使得雷达遥感在对地表物体的类型和状态的分析、识别和提取方面有了长足的进展。本文特别对雷达信息应用于岩性、构造分析、植被和农作物的识别以及遥感考古方面的应用成果进行了较详尽的表述。

文中也论述了干涉雷达信息处理,特别是相位信息的解译、数字地形模型的生成以及对海浪的成像等问题,为成像雷达信息的深入开发和应用奠定了基础。

第五章 多维遥感与信息复合

这是以论述遥感新技术的发展以及其它相关科学为主的一章,从原理和技术上对一种将红外源与扫描激光测定以及动态差分全球定位系统集成于一体的新型遥感系统进行了阐述。为获取地表三维遥感信息,减少对地面测量的依赖并为遥感向实时化方向发展提供了技术支撑。本章还讨论了因特网和万维网等相关技术的发展,特别论述了它们对遥感信息科学的发展和应用方面的影响。土地覆盖和土地利用研究是全球变化的命题,也是遥感最为广泛和最大量的研究和监测对象。文中叙述了基于遥感信息对我国土地覆盖和土地利用的空间和时间变化特征的研究结果,以及这一研究对全球变化和国家资源环境可持续发展的作用和贡献。本章还通过我国近年来利用遥感技术监测主要自然灾害,分析灾情的发生和发展,评价灾情的损失,研究灾害的预测模型等方面的工作,阐述和提炼了灾情评估与预警模型。最后讨论了一种充分利用现有的遥感信息技术,发挥新型、特别是全数字遥感技术、的优势对诸如香港这样的经济发达地区进行区域遥感综合实验研究的一种结合式的集成方案,以期将遥感信息用于现代化大都市的研究中获得良好的结果。

本书汇集了四年来“地表遥感信息传输及其成像机理研究”重大基金项目所取得的成果,凝结着参加研究的科学家和青年科技工作者的智慧和基础研究执著的奉献精神。参加本基金项目研究和本书各章节撰写的科技工作者是:

第一章 分主编:陈志雨。撰稿人:陈志雨、李宗谦、金亚秋、夏明耀、张守融、王卫延。

第二章 分主编:邱金桓、田国良。撰稿人:邱金桓、田国良、余涛、刘锦丽、潘广东、杨景海、秦益、崔承禹、李小文、王锦地、隋洪智、支毅乔、肖青、乔延友、罗贤云、吕永红、张忠治。

第三章 分主编:童庆禧。撰稿人:童庆禧、薛永祺、郑兰芬、章立民、禹秉熙、潘德炉、王向军、刘建贵、王晋年、张兵、田庆久、张良培、胡起秀、易维宁、吴长山、熊桢、李淑菁、毛志华、R. Doeffler。

第四章 分主编:郭华东。撰稿人:郭华东、舒士畏、刘浩、王翠珍、王超、邵芸、廖静娟、周长宝、王长林、朱亮仆、洪峻、李俊飞、卢新巧。

第五章 分主编:陈述彭。撰稿人:陈述彭、李胜强、乔彦友、李树楷、杨崇俊、刘纪远、布和敖斯尔、张金胜、朱重光、童庆禧、王劲峰、杨晓梅、刘卫国、周成虎、杨生、李志荣、林晖。

正如前面特别提到的金亚秋、李小文、刘纪远、李树楷、杨崇俊等知名科学家,他们虽然没有参加本项基金的研究工作,但为了充实本专著的系统性和完整性而慷慨赐文,奉献出他们在其它项目中辛勤耕耘的结晶。

在这里我们要特别提到本基金项目的首席科学家、本书主编陈述彭院士。他在我国遥感和地理信息系统方面的贡献已是有口皆碑的,他对开展遥感基础性研究,特别是加强遥感信息机理的研究更是一贯热心。正是由于他的积极倡导和中青年科技人员的共同努力,“地表遥感信息传输及其成像机理研究”才得以进入国家重大基础研究项目的行列。在四年的基金项目研究中,陈述彭先生不仅承担了首席科学家的繁重工作,而且一直身体力行,从项目的论证、立项、课题分解,直至具体研究方案的制定和研究工作的方方面面无不倾注了他的心血。他思路开阔、学识渊博,特别是他严谨的学风以及求实和奉献的精神,对本项研究起着巨大的凝聚作用。总之,本书的出版可以说是我国遥感界集体心血的结晶和本世纪以来对遥感信息科学的奉献。

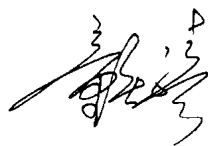
在本书出版的时候,我们也要感谢那些在基金立项前后以及在研究工作中给予了很大支持和帮助的各级领导、科学家和同志们。

感谢国家科学技术部朱丽兰部长、徐冠华副部长在立项和研究前期对本项目所给予的肯定、指导和支持。感谢中国科学院路甬祥院长,资源与环境科学局陆亚洲、张琦娟同志等。正是这些领导和同志们的鼓励和支持增强了科技人员攀登的信心。国家自然科学基金委员会地球科学部和信息科学部两个学部的共同资助,使得从研的科技人员获得了更大的激励和更多的养分。我们对国家自然科学基金委员会孙枢副主任,地球科学部张知非、林海、郭廷彬、赵楚年、吕克解和信息科学部的张志健、王频等领导同志在研究工作中给予的关怀和指导表示衷心的感谢。

同时对参加本项研究的科研人员的所在单位:中国科学院遥感应用研究所、中国科学院电子学研究所、中国科学院地理研究所、中国科学院长春光学与精密机械研究所、中国科学院上海技术物理研究所、中国科学院安徽光学与精密机械研究所、国家海洋局第二海洋研究所、北京大学、上海仙通信息技术研究所等单位的领导、科技部门的负责人和工作同志在本项目研究过程中所给予的持续支持和项目的管理表示感谢。在本书出版过程中,中国科学院遥感应用研究所科技处处长聂跃平博士以及陈子南高级工程师承担了大量的编校和稿件协调工作,张圣凯高级工程师为本书的彩色图版印制付出了辛勤的劳动。我们对他们深表感谢。

基础性研究是科学发展的基石,“地表遥感信息传输及其成像机理研究”历经四年的努力,业已完成。本专著的出版只是为本项研究暂时划了一个的句号,大块文章尚有待 21 世纪的努力。如果本书能为遥感基础研究的长河加添了一滴露珠,为后来的研究者有所启迪,则不胜欣慰。由于时间仓促,疏漏、错误在所难免,还望读者不吝赐教。

中国科学院院士



1998 年 5 月 15 日

彩 色 图 版

- 参考图版 1 全球陆地雷达后向散射系数(1995 年 10 月 ERS-1 散射计前天线获取)
- 参考图版 2 中国陆地雷达后向散射系数(1995 年 10 月 ERS-1 散射计前天线获取)
- 参考图版 3 中国第三季度反照率图
- 参考图版 4 中国地表粗糙度图
- 参考图版 5 中国下垫面覆盖类型分布图
- 参考图版 6 陕西宜川地区多波段多极化 SIR-C/X-SAR 图像,三北防护林类型区分
- 参考图版 7 陕西宜川地区多波段多极化 SIR-C/X-SAR 图像,森林类型分类实验
- 参考图版 8 宁河实验区 SIR-C 多波段多极化图像(C-VV, C-VV)
- 参考图版 9 宁河实验区湿地解译图像
- 图版 1.2.1 SSM/IAS-F13 在 1995 年 2 月 28 日 SI_{22-85} 75K 识别的积雪
- 图版 1.2.2 1995 年 3 月 29 日融雪之后的 SI_{22-85}
- 图版 1.2.3 1992 年 1 月 3 日 SSM/I 的 TB85V, SI_{22-85} , PI_{19} 和 SI_{19-37} 全球数据
- 图版 1.2.4 1992 年 8 月 5 日大气水汽,海面风速分布,大气降雨,积雪分布
- 图版 1.2.5 1996 年东半球 7 月全月平均降雨量分布
- 图版 1.2.6 1988-1995 年 8 年全球平均降雨量分布
- 图版 1.2.7 由 SS/I 观测而反演的 1996 年 3 月 14 日—28 日总降水量
- 图版 1.2.8 1996 年 1 月 5 日东半球海面风速分布
- 图版 1.2.9 1996 年 5 月下旬与 1 月下旬的 HI 的差异
- 图版 1.2.10 1996 年 6 月下旬与 1 月下旬的 HI 的差异
- 图版 1.2.11 1996 年和 1995 年 11 月上旬的 HI 的差异
- 图版 2.4.1 气象卫星图像大气校正
- 图版 2.4.2 黄淮海平面土壤体积含水量分布
- 图版 2.6.1 应用 SAR 图像计算土壤湿度(黄河郑州-开封段)
- 图版 2.6.2 黄淮海平原土壤体积含水量分布
- 图版 2.9.1 黄淮海平面净辐射(A)和蒸散(B)分布
- 图版 2.9.2 黄淮海平面旱情分布(1994 年 3 月 26 日)
- 图版 3.2.1 成像光谱图像立方体
- 图版 3.2.2 北海市部分城区高光谱影像与土地利用复合图
- 图版 3.3.1 不同类型地物的识别
- 图版 3.3.2 光谱吸收指数 SAI 图像
- 图版 3.3.3 不同地层成像光谱平均光谱曲线的提取
- 图版 3.3.4 寒武-奥陶纪(红色)和二叠纪白云岩(绿色)的识别
- 图版 3.4.1 成像光谱图像获取的鄱阳湖湿地典型区生物量分布图
- 图版 3.4.2 鄱阳湖南矶乡地区湿地植被光谱分类图
- 图版 3.4.3 导数光谱技术应用于农作物分类调查
- 图版 3.4.4 成像光谱可见-近红外图像与热红外图像应用对比分析

- 图版 3.4.5 基于统计的 SAM 分类方法
- 图版 3.6.1 由 Seawifs 得到的台湾海峡叶绿素浓度分布图像
- 图版 3.6.2 由 Seawifs 得到的台湾海峡悬浮泥沙浓度分布图像
- 图版 4.4.1 利用新疆阿尔泰地区极化数据提取不同期次冲积扇的地面参数
- 图版 4.5.1 新疆昆仑实验区干涉相位图
- 图版 4.5.2 新疆昆仑实验区干涉相位相干图
- 图版 4.5.3 新疆昆仑实验区数字高程模型
- 图版 4.5.4 新疆昆仑实验区 INSAR 获取 DEM 的三维显示
- 图版 4.6.1 雷达穿透现象——内蒙古巴音诺尔公地区
- 图版 4.6.2 雷达图像探测断层渗透水信息
- 图版 4.7.1 广东肇庆林区
- 图版 4.9.1 阿克赛钦湖演化
- 图版 5.1.1 自然季节持续期比例关系空间变化
- 图版 5.2.1 三维遥感实验获取的 DEM 三维透视图像(北京九里山实验区)
- 图版 5.3.1 珠江三角洲地区土地利用变化图
- 图版 5.3.2 太湖地区 1994 年遥感影像及城镇扩展图
- 图版 5.5.1 TM 影像数据与地面 DEM 数据的融合——暗像元信息提取
- 图版 5.6.1 原始的 SPOT 多光谱合成图像
- 图版 5.6.2 归一化处理后得到的 SPOT 多光谱合成图像
- 图版 5.7.1 城市土地扩张图(1987 - 1997)

目 录

序	(i)
前言	(iii)
彩色图版	(xiii)
第 1 章 电磁波辐射与散射的基本特性	(1)
§ 1.1 地物几何特征与物理特征的分离	(1)
§ 1.2 复杂地球环境微波遥感理论和星载数据验证	(8)
§ 1.3 地物介电常数测量与反演方法	(35)
§ 1.4 用 FDTD 法研究随机粗糙面的电磁散射	(42)
参考文献	(46)
第 2 章 遥感信息传输规律与辐射特性	(48)
§ 2.1 大气气溶胶光学特性遥感	(49)
§ 2.2 中国大气柱气溶胶光学厚度与水汽含量模式	(58)
§ 2.3 云雨大气微波信息的传输特性	(69)
§ 2.4 空间对地遥感的大气影响订正	(76)
§ 2.5 植被反射与热辐射的方向性模型	(85)
§ 2.6 土壤热辐射传输模型和土壤水热耦合运动模型	(92)
§ 2.7 岩石的热模型分析	(111)
§ 2.8 遥感信息在水体中的传输规律	(117)
§ 2.9 地表能量平衡与农田双层蒸散模型	(128)
参考文献	(135)
第 3 章 高光谱分辨率遥感信息机理与地物识别	(139)
§ 3.1 高光谱成像	(141)
§ 3.2 海量信息处理与分析	(148)
§ 3.3 岩石矿物光谱分析、匹配、识别与信息提取	(159)
§ 3.4 植被的精细光谱分类与识别	(175)
§ 3.5 高光谱分辨率热红外遥感信息研究	(185)
§ 3.6 海洋水色高光谱遥感信息分析	(195)
§ 3.7 高光谱遥感混合像元模型研究	(201)
§ 3.8 遥感信息定标与光谱数据库	(212)
参考文献	(231)
第 4 章 雷达遥感信息特征及地物识别	(234)
§ 4.1 合成孔径雷达定标方法	(235)
§ 4.2 雷达图像处理与信息提取	(242)

§ 4.3 多波段全极化雷达信息	(251)
§ 4.4 极化雷达信息分析	(260)
§ 4.5 干涉雷达信息处理	(268)
§ 4.6 雷达的穿透特性	(274)
§ 4.7 松林雷达后向散射特征	(283)
§ 4.8 干涉雷达海浪成像	(288)
§ 4.9 成像雷达古湖泊识别	(304)
参考文献	(311)
第 5 章 多维遥感与信息复合	(316)
§ 5.1 遥感信息的时空分析	(316)
§ 5.2 机载激光遥感影像制图系统	(330)
§ 5.3 土地覆盖、土地利用变化的多时相分析	(338)
§ 5.4 自然灾害区划与监测网络设计	(352)
§ 5.5 多源遥感数据的融合	(359)
§ 5.6 归一化与知识定量化方法	(367)
§ 5.7 城市环境遥感监测综合实验方案	(374)
参考文献	(382)

第 1 章 电磁波辐射与散射的基本特性

遥感技术几十年来取得了飞速的发展。各种各样的遥感器,主动的和被动的,星载的和机载的,可见光、红外和微波的,已向人们提供着大量空对地的信息,几乎可以说达到了“信息爆炸”的时代。相比之下,人们对信息的判断、处理和利用的水平则远远落后于信息获取的水平,人们对遥感机理的认识还远远不够。归根结底,遥感信号来自地物对电磁波的辐射和散射,如何进一步提高从电磁波辐射和散射的角度认识遥感机理以及基于麦克斯韦方程组、惠更斯原理和辐射传输方程的理论计算的水平,是一个亟待解决而又回避不了的问题。在这种形势下,重大自然科学基金项目“地表遥感信息传输及其成像机理研究”和其他有关项目的同志进行了这些方面的研究工作,并取得了可喜的成果。

本章的内容列举了他们最近工作的一部分,很多工作是富有新意的。例如,在电磁波逆散射的研究中,这里提出了几何参数与物理参数分离的概念和做法,尽管这个工作才刚刚开始。在用空间波对地物介电常数的测试中,不再使用以前的双振幅法而采用了位相法。用矢量辐射传输方程(VRT)求解的模型也比过去大大前进一步;针对近年来发展的雷达全极化测量技术,对植被全极化散射提出了多成分非均匀分布非球形粒子全极化散射数值模拟和相干矩阵特征值分析方法;针对 SSI/M 星载遥感,发展了 VRT 理论,并将数值模拟与星载遥感数据验证相结合。对主被动遥感的相关性,这里也开始进行探索。近年来国际上迅速发展起来的一种电磁计算方法——时域有限差分法(FDTD),这里也被应用到计算粗糙表面的散射问题中,等等。相信这些有关地物遥感信息的理论研究,会使人们进一步加深对遥感机理的认识及提高遥感信息利用的水平起到促进的作用。

§ 1.1 地物几何特征与物理特征的分离

§ 1.1.1 导 言

遥感实际上是个反演问题,即从接收的电磁波或光波的信息反推出地物的特性。地物的特性有几何上的,如土壤的粗糙度、高度标准差、自相关函数、各种植被的形状和长势等,一般说来,是随机过程的统计量。地物的特性还有物理上的,如介电常数、土壤湿度等,由物质本身性质所决定。地物的几何特征参数与物理特征参数同时包含在散射场的信息中,从数学上讲,它们与雷达参数同时耦合在由惠更斯原理出发的积分方程中,如何由散射场的信息同时或分别反演出这两种类型的参数是非常重要而又非常困难的课题。本章侧重于“分别”反演的方法,即通过排除一种类型参数去求出另一种类型参数,这就是所谓“两种特征参数分离”的含义。

所谓分离问题的研究还是刚刚被提出,由于问题的复杂性,目前的工作暂时不包含植被,即只面向裸土粗糙表面的散射。另外,此研究重点针对微波波段。

近十几年来,遥感工作者在利用雷达散射数据反演土壤湿度和粗糙度方面做了不少

工作。较典型的方法有：①基于经验散射模型和土壤模型的反演方法(Oh, et al., 1992)。②采用人工神经网络的反演方法(Dawson, 1997)。③同时利用主被动遥感数据的方法(黄兴忠、金亚秋, 1996)。这些方法各有优缺点, 在实用上可互相补充。但尚未见作者由电磁场理论出发采用两种特征参数分离的概念求解逆问题。用分离方法求解逆问题有两个可能的好处：①有的场合下, 人们只关心某一种类型的参数, 这时没有必要再化功夫去求另一种类型的参数。②提供多一条途径去求解耦合问题。由于问题的复杂性, 分离并不是总能成功的。现在提出的一个思路是(李宗谦、冯孔豫, 1997)：合适选取雷达参数, 使地物的模型成为较易求解的模型, 例如小扰动模型(SPM)、基尔霍夫(Kirchhoff)模型等, 在这些模型下, 有些可测量量, 例如同入射角下两种同极化散射系数之比, 两个不同入射角的同一散射系数比等, 会变成对某一种类型参数敏感而对另一种类型参数不敏感的物理量, 这样就有可能由测量数据中将某一种类型参数反演出来。图 1.1.1 为问题的几何示意图。

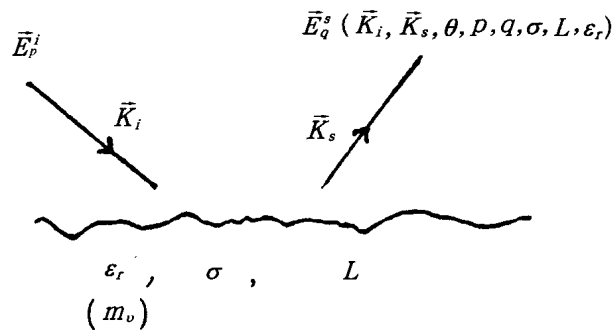


图 1.1.1 散射反演问题示意图

$\vec{E}_p^i$: 入射场, $\vec{E}_q^s$: 散射场, $\vec{K}_i, \vec{E}_s, \theta, p, q$: 雷达参数, $\vec{K}_i, \vec{K}_s$: 入射和散射波矢量, θ : 入射角, p, q : 极化方式, σ, L : 几何参数, ϵ_r, m_0 : 物理参数。

§ 1.1.2 小扰动模型下两种特征参数的分离

小扰动模型的条件是：

$$k\sigma < 0.3, \quad \sqrt{2}\sigma/L < 0.3 \quad (1.1.1)$$

式中, k 表示电磁波的波数, σ 表示粗糙表面的高度标准差, L 表示自相关长度。这是个起伏模型。为符合这个模型电磁波的频率要选择得比较低。由于在整个表面上 kz ($z = z(x, y)$, 为表面高度起伏) 很小, 可用微扰法用边界条件解出表面场(Ulaby et al., 1982)。最后得到的对 SPM 一级近似下的同极化后向散射系数为：

$$\sigma_{pp}(\theta) = 8k^2\sigma^2\cos^4\theta |\alpha_{pp}(\theta)|^2 W(2k\sin\theta, 0) \quad (1.1.2)$$

式中, p 表示极化, $p = v$ 或 h , v 为垂直极化, h 为水平极化, θ 为入射角, $W(u_x, u_y)$ 是表面自相关函数的 Fourier 变换, 它仅与几何参数有关而与物理参数无关, 对垂直极化

$$\alpha_{vv}(\theta) = (\epsilon_r - 1) \frac{\sin^2 \theta - \epsilon_r (1 + \sin^2 \theta)}{(\epsilon_r \cos \theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta})^2} \quad (1.1.3)$$

式中 ϵ_r 为相对介电常数。对水平极化

$$\alpha_{hh}(\theta) = \frac{\cos \theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}} \quad (1.1.4)$$

由(1.1.2)式取两种同极化后向散射系数之比,可得

$$\frac{\sigma_{vv}(\theta)}{\sigma_{hh}(\theta)} = \left| \frac{\alpha_{vv}(\theta)}{\alpha_{hh}(\theta)} \right|^2 \quad (1.1.5)$$

(1.1.5)式右边只包含物理参数,左边为可测量,至此物理参数已被分离出来单独求解。

值得注意的是介电常数是个复数量,而(1.1.5)式左边是实量,本来需要使用两个人射角得到两个方程才能解出 ϵ_r 的实虚部,但具体针对土壤时,并不一定要这样做,因为土壤介电常数的实虚部都与其湿度密切相关。最常见的如土壤的经验模型和理论模型参见参考文献(李宗谦、冯孔豫,1997),应用了这些土壤模型后,(1.1.5)式待求的未知量就只有土壤湿度一个,因而用一个人射角就可以求解。

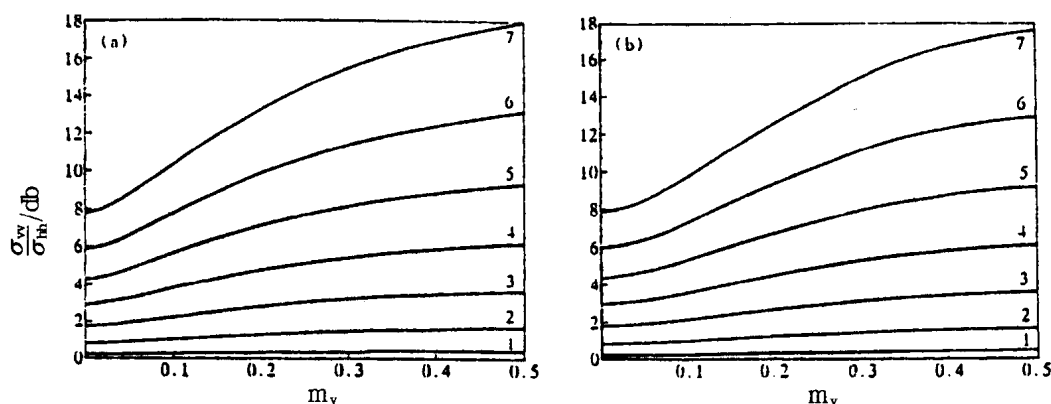


图 1.1.2

(a) 结合土壤经验模型的结果;(b) 结合土壤理论模型的结果。1~7 分别对应 $\theta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$ 。

图 1.1.2 (a),(b)画出了用土壤的经验模型和理论模型在不同入射角下 $\frac{\sigma_{vv}}{\sigma_{hh}}$ 随土壤体积分湿度 m_v 的变化曲线。比较(a)(b)可见两种模型的结果是非常接近的。 $\frac{\sigma_{vv}}{\sigma_{hh}}$ 当 θ 较小时对 m_v 不敏感,当 θ 较大时对 m_v 比较敏感,但 $\theta > 70^\circ$ 时散射模型准确度不高,且后向散射较弱,综合以上因素,取 $\theta = 40^\circ \sim 60^\circ$ 比较合适。另外计算还表明, $\frac{\sigma_{vv}}{\sigma_{hh}}$ 对土壤成分和结构并不敏感,特别在湿度较大时,主要决定于土壤湿度,因此,即使不知道土壤结构参数,也能大致估算出 m_v 。