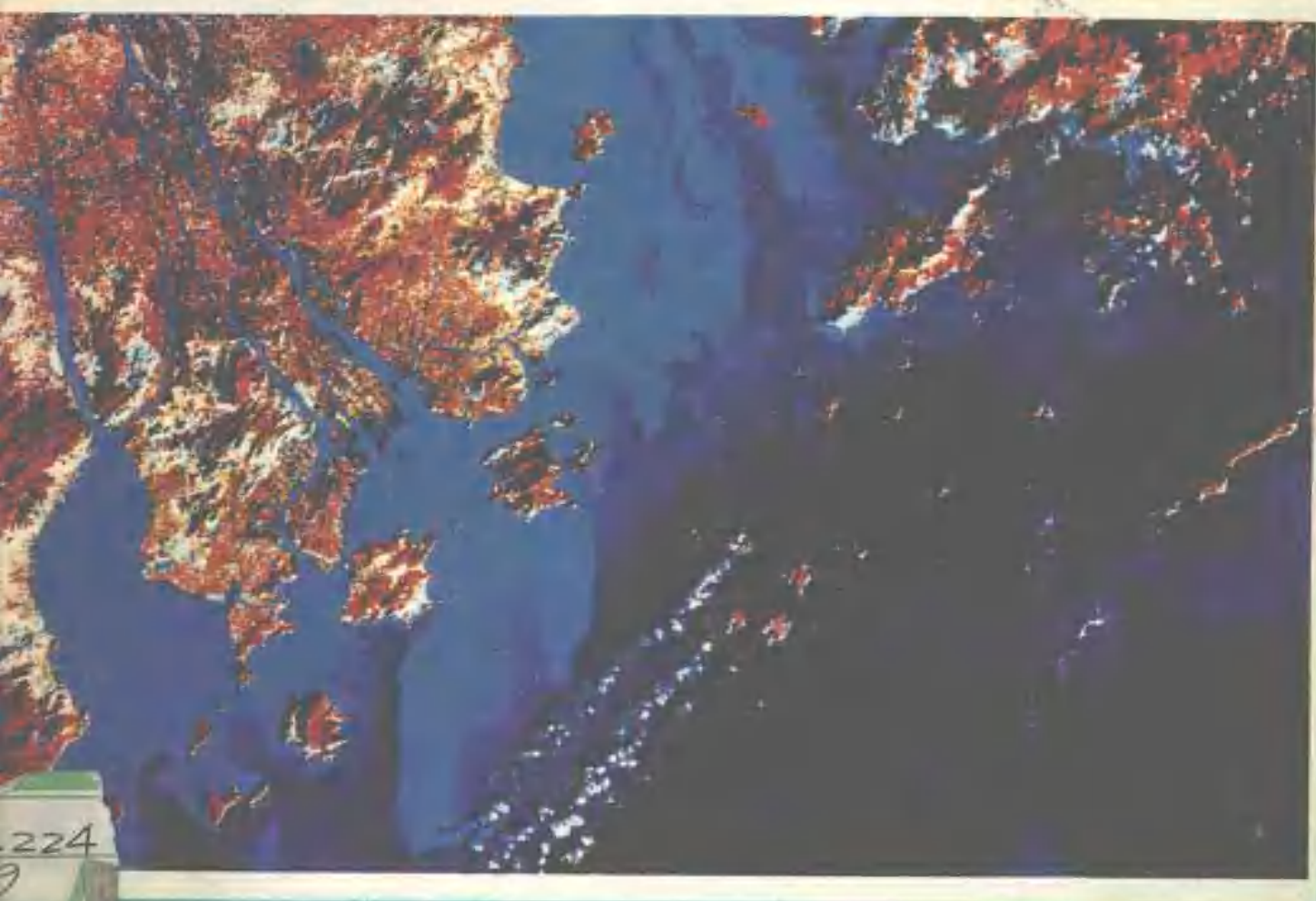


遥感反射光谱测试 与应用研究

舒守荣 陈 健 邓仁达 著



科学出版社

遥感反射光谱测试与 应用研究

舒守荣 陈 健 邓仁达 著

科 学 出 版 社

1988

内 容 简 介

本书是国内近年在遥感基础理论与应用研究方面有关地物光谱研究的一本著作。全书分九章,首先探讨了遥感反射光谱测量技术的研究现状与发展动态,尔后,分别论述地物光谱在农作物估产、水体泥沙和叶绿素浓度遥测、遥感图象处理、遥感专题制图、土壤湿度探测等领域的遥感应用及其具体测试方法。

本书可供从事农业、水文、海洋、环境、生态、渔业、地学等研究的遥感科学工作者以及上述有关专业的大专院校师生参考。

遥感反射光谱测试与应用研究

舒守荣 陈 健 邓仁达 著

责任编辑 姚岁寒

科学出版社 出版

北京朝内大街137号

广州地理研究所印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988年10月第一版 开本: 787×1092 1/16

1988年10月第一次印刷 印张 6 插页 1

印数: 0001—1,000 字数 143,000

ISBN7-03-001013-2/P·184

定价: 6.00元

前 言

遥感光谱学，即通常所称的地物光谱研究是近代遥感技术的重要组成部分之一。按其性质而论，它属于遥感基础研究的范畴。作为一门学科的基础研究，它应该对本学科的理论和应用始终起开创作用。先进国家的遥感光谱研究，在传感器研制、遥感波段的开拓以及遥感新探测技术的发展方面，均取得了卓越的成果，而且也是保障技术领先地位的长期战略中的重要一环。

我国的遥感光谱研究，始于 70 年代末期。总体来说，起步不算太晚。由于对这种研究的性质、作用、方法以及在近代遥感技术中的地位认识不一，所以尽管取得了不少可喜的成绩，但长期以来始终没有摆脱徘徊不前的局面，未能对遥感学科的理论和应用起到应有的先导作用。以作者管见，这也许是有碍于我国遥感技术推广应用的原因之一。因为近代科学技术的历史经验已经证明，没有扎实的基础研究，任何学科的高速度发展和有效应用都是不可能的。

本书为两项专题研究成果的总结。一项是中国科学院广州分院和广东省科学院 1983 年下达的《珠海遥感光谱测试与应用研究》，另一项是中国科学院科学基金委员会 1985 年资助的《淡水水域叶绿素浓度的定量遥感研究》。现将这两项研究中与地物光谱有关的成果合并以《遥感反射光谱测试与应用研究》为书名一起付稿出版。作者期望通过这些不同内容的研究，在遥感光谱的研究模式和应用途径方面进行一些新的探索和尝试。具体而言，我们试图突破以遥感光谱为单一研究手段的陈规，将遥感光谱研究与多种学科的技术结合起来，采用跨学科的方法来解决具体的遥感应用问题。此外，通过甘蔗遥感光谱估产和水质参数遥测等研究，我们希望证明，遥感光谱学并不仅仅是一种基础研究的工具，而且也是一种很有潜力的应用研究手段。改变遥感光谱研究方面的落后现状，使之迅速赶上国际先进步伐，需要一代人的集体努力和锐意创新。我们的工作，囿于水平和物力限制，只是做了些浅部挖掘，仅仅是开始的一小步，希望它能起到集腋成裘的作用。书中疏漏和讹误在所难免，敬请读者和专家不吝指正。

全书共九章。每章在研究内容方面都是一个独立的单元，但各章之间又有一定的连贯性。各章的撰稿分工如后：第一至第七章舒守荣和陈健，第八章邓仁达，第九章何在城。全书最后由舒守荣审阅修改并综合定稿。需要说明的一点是，第一章的光谱图册部分，由于谱图的清绘工作量太大，所以这次未能一起出版。

书中各项研究得以完成，首先应感谢中国科学院广州分院、珠海市政府和科委以及中国科学院科学基金委员会在研究经费上的资助。陈述彭教授对各项研究的鼓励和关心，广州地理研究所中心实验室在样品分析方面的全力协作，作者一併表示由衷谢忱。

作者
1987年10月

目 录

前言	(i)
第一章 地物反射光谱特性的测试	(1)
1-1 地物光谱辐射特性研究的意义	(1)
1-2 地物光谱特性研究的现状和发展趋势	(2)
1-3 地物反射光谱的测试技术	(4)
1-4 珠海市光谱测试实例	(8)
1-5 典型地物光谱特征分析	(10)
第二章 利用光谱辐射计进行甘蔗遥感估产的研究	(20)
2-1 引言	(20)
2-2 甘蔗的植物生理特征和遥感估产原理	(21)
2-3 估产测试方法	(24)
2-4 估产数据分析	(25)
2-5 结论	(28)
第三章 不同深度水体中泥沙含量的定量遥测	(29)
3-1 引言	(29)
3-2 测量原理	(29)
3-3 仪器和测量方法	(31)
3-4 数据处理和结论	(34)
第四章 不同深度水体中叶绿素浓度的定量遥测	(36)
4-1 引言	(36)
4-2 原理和方法	(44)
4-3 数据处理分析	(47)
第五章 不同深度水体中叶绿素浓度和悬浮泥沙含量的定量遥测	(52)
5-1 原理和方法	(52)
5-2 数据处理和分析	(54)
5-3 水体叶绿素遥测研究的结论	(59)
第六章 珠海市卫星影象图的数字镶嵌	(63)
6-1 引言	(63)
6-2 卫星影象镶嵌方法	(63)
6-3 珠海市卫星影象图的数字镶嵌	(64)
6-4 珠海市卫星影象图的制作	(67)
第七章 珠海市甘蔗基地地图的编制	(71)
7-1 引言	(71)
7-2 编图原始资料	(71)

7-3	编制方法	(71)
7-4	蔗田分布界线的勾绘方法	(72)
7-5	调查验证和修订	(75)
7-6	结论	(75)
第八章	土壤含水量光谱探测方法研究	(76)
8-1	引言	(76)
8-2	土壤反射光谱和含水量的实验测量	(76)
8-3	测量数据的处理分析	(76)
第九章	珠海下栅石英砂矿的地质特征及可见—近红外光谱研究	(82)
9-1	矿区石英砂矿的成因和沉积环境	(82)
9-2	石英砂样品的光谱测量	(84)
9-3	不同SiO ₂ 含量样品的光谱特征分析	(85)
参考文献		(89)
	彩色图版	

第一章 地物反射光谱特性的测试

1-1 地物光谱辐射特性研究的意义

现代所说的遥感,主要是指从空中,特别是从地球轨道高度,根据地物对电磁波的响应特性来探测地面物体和现象的技术。地物对电磁波的响应特性主要有四种:

(1) 光谱辐射特性:即地物对电磁波的光谱响应特性。这种特性在可见波段就反映出地物的不同颜色,在热红外波段则反映出物体本身的温度。

(2) 空间特性:这种特性对电磁波没有光谱响应,它只是地物的大小、形状和结构在图象上的反映。地物对电磁波的空间响应是遥感图象目视判读的主要依据之一。

(3) 时间特性:它反映地物在不同时相(年、月、日、时)对电磁波响应特性的变化。地物对电磁波响应的时相特性是遥感数据多时相分析的依据。

(4) 偏振特性:它反映地物对电磁波从入射到反射之间所产生的偏振变化。

地物的光谱特性研究是现代遥感技术的重要组成部分。它既可为传感器工作波段的选择和设计提供依据,又是遥感数据分析判读的基础。在图象遥感技术(image-oriented remote sensing technique)中,图象的判读是以分析影象的特征为根据的。影象特征包括形状、大小、结构、图形(pattern或称模式)、阴影、位置、色调以及这些特征的组合,一般把这八个影象特征称为判读标志。前面六个特征可简称为形态-结构特征,第七个特征称为色调-灰度特征。形态结构特征和色调灰度特征是遥感图象判读的主要依据。在遥感图象上,不同的色调-灰度特征反映了物体对电磁波的不同光谱响应特性。如果能预先知道地物的光谱响应特性,则就有可能利用这种判读标志来识别不同的地物。若不同的地物具有相同的形态-结构特征,则可以利用它们在色调-灰度特征方面的差别来对它们进行正确的区分。在数字遥感技术(digital-oriented remote sensing technique)中,当前主要是利用计算机辅助人工方式通过数字分析来进行遥感数据判读-识别分类。各类算法所采用的特征值,目前主要还是地物的各种光谱特征量。换言之,在利用计算机对地物进行分类和识别时,可依靠光谱特征量作为分类指标。如果单凭光谱特征仍不足以进行正确的分类识别时,就必须借助于时间和空间特征。尽管光谱结合时间和空间特征的综合分类方法,目前尚未达到成熟阶段,但在某些成功的研究中,由于分类精度的显著提高而引起了普遍的重视,因此是遥感数据机助判读的未来突破方向。

地物光谱特性方面的新发现,往往伴随着新工作波段的诞生和传感器设计的革新,其必然结果是导致探测能力方面的突破。一些著名的例子现在已为大家所熟知。美国陆地卫星(Landsat)4号和5号上的新一代传感器——主题测绘仪(Thematic Mapper,简称TM)就是在测试分析了大量地物光谱特性的基础上对原来的四波段MSS扫描仪进行设计革新的产物(见表1-1)。

表 1-1 TM 的光谱波段、设计依据和主要用途

波 段	波长范围 (微米)	设 计 依 据	主 要 用 途
1	0.45—0.52	植物吸收峰0.45微米	近海岸水域制图、土壤/植物分类、 落叶/针叶林分类
2	0.52—0.60	植物反射峰0.55微米	探测植物叶绿素反射率
3	0.63—0.69	植物吸收峰0.65微米	探测植物叶绿素吸收率
4	0.76—0.90	植物近红外反射特征0.7—1.3微米	植物生物量测定, 水体测绘
5	1.55—1.75	水分子吸收峰1.4和1.9微米	植物和土壤含水量测量, 云和雪的区分
6	10.4—12.5	地物热红外发射特征	植物热强度测量和地物热测绘
7	2.08—2.35	与蚀变岩石有关的粘土矿物中的羟基吸收	蚀变岩探测、地质探矿

美国宇航局 (NASA) 通过实验室和空中光谱试验证明, 各种岩石在热红外波段的发射率变化主要与岩石中的硅含量有关, 可以利用这种发射辐射特性的差别来区分主要的岩石类型, 提高地质遥感中岩性区分的有效性。为此, NASA 设计了一种热红外多波段扫描仪, 采用了 8.2—8.6, 8.6—8.9, 9.0—9.4, 9.4—10.2, 10.2—11.2, 11.2—12.2 微米六个波段。这种新的热红外传感器在机载试验中已取得预期的良好效果, 证明它是一种有效的地质遥感新工具, 可以提供以往传感器难以揭示的更丰富的矿物学信息, 特别是硅酸盐岩的信息。当然, 还可以列举更多的例子来说明地物光谱研究对传感器研制和遥感应用的重要性, 但以上两个较典型的示例已足以显示先进国家发展新型航天遥感仪器所遵循的基本模式: 地物光谱特性研究→发现新遥感波段→设计新型传感器→机载试验→航天遥感应用。

新的遥感探测技术和测试方法的建立, 与地物光谱特性的研究亦有十分密切的关系。尤其是近十年来, 根据地物光谱特性的研究, 各国遥感科学家在岩石反射率比值特征鉴别, 地植物学探矿方法, 水体泥沙含量遥感, 作物光谱估产, 作物营养、水份和长势监测等方面开拓和发展了一系列富有成效的探测方法, 使遥感技术的应用进入了一个纵深发展的新阶段。由于地物光谱研究作为主要的动力之一, 在遥感技术的历史实践中积极地促进了这种技术的蓬勃发展, 因此许多国家, 特别是美苏等发达国家均对这种基础研究给予了高度的重视, 并作出了巨大的努力。

1-2 地物光谱特性研究的现状和发展趋势

苏联可能是进行地物光谱特性研究最早的国家, 早在1947年克里诺夫 (Кринов) 就

开始了地物光谱的野外测试研究,并发表了题为“自然物体的反射光谱”的论文。苏联在发射“联盟”、“东方”和“礼炮”号系列宇宙飞船前后,曾配合进行了大量的地物光谱测试研究。由于资料保密较严,故公开发表的较少。美国在60年代后期到70年代初陆地卫星发射之前,曾对各种地物的光谱特性进行了七、八年之久的长期研究,收集积累了丰富的资料,为陆地卫星传感器的设计提供了可靠的依据。在陆地卫星发射之后,这种研究还在继续进行。1965年以来,在NASA的支持下,陆续将美国国内的普杜和普尔杜尔农庄、斯里普海滩、阿尔格斯岛、巴克斯湖、阿斯费尔盆地、卡斯达冰川、芝加哥、菲尼克斯以及加利福尼亚州(加州)南部地区等289个区域划定为地面和海上试验基地。在美国境外的墨西哥和巴西等地,NASA还有18个试验基地。设置这些试验基地的目的,除了进行地物光谱的测试研究以外,还可以进行遥感仪器系统试验,多种学科的判读和应用理论研究。美国的地物光谱研究,不仅包括实验室测量和野外测试,而且还进行了大量的航空测量。美国在地物光谱研究方面所作出的巨大努力,可以从一些统计数字得到概括说明。截止1972年4月,美国已对1000多种岩石矿物、1000多种土壤和3000余种植物以及60余种水体的反射、辐射和吸收特性进行了系统的测试分析,为地球资源的探测以及遥感数据的校准和判读提供了大量基础资料。为了充分利用这些数据为各种遥感研究服务,以美国为首的先进国家在80年代后就着手进行各种光谱数据库的研究。美国普杜大学于1980年建立了一个美国土壤反射光谱数据库,实现了土壤光谱数据的快速检索、编辑、显示,亦可以进行有关的运算和分析。加州理工学院的喷气推进实验室(JPL)在1981年建成了一个地质野外光谱数据库,存入了JPL多年陆续测得的近万条岩矿和其它地物的光谱数据。各种类型地物光谱数据库的建立,特别是地物光谱与地球物理(重力、磁力等)、地球化学相结合的综合数据库的建立,在提高遥感技术的探测能力和应用水平方面,必将会提供更广阔的前景。为了推动和促进国际间的地物光谱特征研究。国际摄影测量与遥感协会(ISPRS)已组织了三次国际地物遥感光谱特性学术讨论会。从1981年9月召开的第一届会议到1985年12月的第三届会议,虽然时间仅隔四年,但是各国在地物光谱特性研究方面的深度和广度,却有了迅速明显的进展。

国内的地物光谱研究,大约开始于70年代的末期。在基础薄弱、缺乏仪器的不利条件下,中国科学院、地质矿产部和农林部门的有关单位,在光谱仪器研制、野外光谱的测试、数据图册的编制以及最佳光谱波段的选择等方面进行了大量的工作。在研究的前期阶段,由于各单位的研究筹备均处于草创时期,所以研究都是在自发和缺乏计划的基础上进行,旨在摸索和积累经验。到80年代初,情况明显好转,一批较有价值的研究,例如0.4—2.5微米双光束野外光谱仪的研制,土壤、岩石、水体、植被、冰雪的最佳遥感波段的选择,植物病虫害、金属中毒引起的光谱异常,小型数据库的研究等等,都是在中期发展阶段完成的。80年代中期,虽然国内地物光谱研究的势头正处低潮时期,但是却出现了一些数量不多、质量较高的研究成果。如中国科学院上海技术物理研究所研制的近红外和中红外野外光谱仪,长春精密光学机械研究所建立的国内第一座自动化程度较高的太阳能模拟光谱测量实验室等,都是达到或接近国际先进水平的研究项目。我国从无到有,在不到十年的时间内在地物光谱研究方面所取得的成绩应说是明显、巨大的。这些成就亦反映了我国广大遥感人员在填补学科空白方面的高度责任感和献身精神。但是回顾历程,亦不得不注意到一些有待思考和解决的问题。这些问题可概述如下:

(1) 研究上没有一个全国性的权威协调机构, 因此在地物光谱研究方面迄今缺乏长远的战略规划以及实现这种规划必须的分期战术计划。

(2) 重复性和一般性的研究较多, 开拓性或具有长远意义的研究课题较少, 致使地物光谱这一基础研究长期以来未能对遥感应用起指导作用。地物光谱研究的主要应用目标应该是发展新型传感器, 开拓新的遥感探测技术, 以及从基础方面为发展新的判读技术和图象处理方法提供理论依据。

(3) 以往的地物光谱研究比较注重数据的收集和积累, 忽视了数据的应用问题。正确的光谱测试方法和光谱数据的可靠性是保证数据可应用性的首要条件, 其次是数据的合理编制以适应最新的应用要求。陆地卫星4号和5号的图象在国内的应用日趋普遍, 应用部门要求迅速编制地物按 TM 波段划分的反射光谱数据, 由于地物光谱仪器性能的限制, 这一要求迄今仍难满足。

(4) 对地物光谱研究的作用, 在认识上长期不一致。研究的势头从初期的一哄面起到后期的掩旗息鼓, 说明需要对它进行认真的再认识, 然后组织力量, 振兴研究状态, 以期在不远的未来赶超国际水平。

针对这些存在问题, 本研究希望通过实践来达到一些基本目标, 以期证明这些问题, 至少其中一部分问题是可以有意识的探索来解决的。本研究的基本目标是:

(1) 通过光谱测试技术的研究, 建立正确的光谱测量方法, 从而保证光谱数据的可靠性。

(2) 提供按 TM 波段排列的典型地物反射光谱数据, 通过数据图册的合理编制, 为较新的 TM 图象的处理和解译提供基本依据。

(3) 通过甘蔗光谱估产和水体泥沙含量和叶绿素浓度遥测等专题研究来试图证明, 只要把光谱研究与具体的应用目标密切结合起来, 开拓地物光谱这一基础研究的新应用领域是完全可能的。

1 - 3 地物反射光谱的测试技术

泛指的地物光谱辐射特性, 包括两个范畴。一是地物对太阳辐射的反射特性, 另一是地物本身的发射辐射特性。反射辐射的光谱波长范围为0.38—3.0微米, 发射辐射的光谱区域为7—15微米。本章以及其后各章的研究对象均为地物的反射光谱特性, 研究的波长范围为0.38—1.1微米和0.40—2.50微米, 视研究所使用的光谱仪器的性能而定。

物体的反射率随波长而变化的规律称为该物体的反射光谱。根据物质结构理论, 物体的反射光谱是其内部结构特征的反映, 因此可作为鉴定物质的一种基本依据。物体的反射光谱测量技术, 一般分为实验室和野外两种。由于仪器和测量的方法都不一样, 故需分别叙述。

(一) 室内测量技术

凡是反射光谱特性受环境变易影响较小的物体, 都可以在实验室内测定其反射光谱。室内测量, 条件比较稳定, 而且实验条件易于控制, 因此, 可以获得分辨率和精度

都比较高的光谱。室内光谱的测量仪器,现代一般都采用带有积分球附件或双向反射附件的双光束分光光度计。本研究使用的仪器是“日立340型”双光束分光光度计,其主要性能指标如下:

波长范围: 0.19—2.6微米, 紫外—可见0.19—0.85微米, 近红外波段0.80—2.60微米

分辨率: 紫外—可见波段优于0.15毫微米

杂散光: 0.0002% (接近300毫微米处)

波长精度: $< \pm 0.2$ 毫微米 (紫外可见波段, 环境温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$)

波长重复性: 紫外—可见波段优于0.1毫微米, 近红外波段优于0.5毫微米

对于固体样品,如岩石和土壤,通常都利用粉末作测量试样,因此要求对样品进行破碎和研磨。为了减少杂质对光谱的影响,特别是铁屑类的杂质,粉末制样过程中应尽量避免污染样品的可能性。由于粉末样品的光谱与其物理状态如粒度、松紧度、表面平整度等都有密切关系,所以全部试样的物理状况应保持一致,这要求测量人员具有较高的制样技术。

(二)野外测量技术

室内光谱测量,虽然条件稳定,精度亦较高,但测量的实验条件不是地物存在的自然状态。遥感图象所记录的光谱信息是地物本身及其存在环境的综合反映,所以大多数地物只有它们的野外光谱才具有真正的遥感应用价值。

1. 地物反射光谱的复杂性和随机性

存在于自然环境中的地物,其反射光谱不仅与其本身的内部结构有关,而且与存在的环境密切相关。所谓存在环境是指一切与它存在或生存有关的自然因素。以岩石为例,其存在环境包括风化程度、表面粗糙度、颜色、污染以及周围的植被分布和湿度等。对于植物,则水分、营养、长势、覆盖度、风力、气候等将是主要的环境影响因素。同一种地物,因存在环境的不同,其反射光谱的特性亦将有不同的变异。所以确切地说,地物的反射光谱特性是其内部结构和外部环境因素的随机变量。

除了内部结构和外部环境之外,导致地物反射光谱复杂性的第三种原因是地物的表面性质。绝大多数地物的自然表面都不是理想的漫反射面——朗伯面,至多是比较近似的朗伯面。因此,用光谱辐射计在野外条件下测得的地物反射率 R_i 是测量几何参数的函数:

$$R_i = f(\theta_i; \phi_i; \theta_s; \phi_s) \quad (1-1)$$

式中 θ_i = 仪器的倾角

θ_s = 太阳天顶角

ϕ_i = 仪器方位角

ϕ_s = 太阳方位角

R_i 称为双向反射率,测量几何参数 $\theta_i, \phi_i; \theta_s, \phi_s$ 的定义如图 1-1 所示。

2. 野外反射光谱测量技术

统计采样方法

由于地物的反射光谱具有随机性, 所以单次和少数测量获得的反射光谱, 不能真正代表某种地物固有的光谱特征, 必须进行多次的统计测量才能得到接近其固有特征的反射光谱。根据统计要求和野外测量条件的实际可能, 我们规定, 对于某种地物至少要在测区选择四个样品, 每个样品则至少要选择四个不同的部位进行反射光谱测量。换言之, 每种地物至少要进行16次测量。四个样品的选择要注意代表性和随机性, 这两个因素是影响统计结果正确性的主要关键。增加样品量

和测量次数, 当然有利于提高统计精度, 但工作量和野外作业强度亦必显著增加。考虑到珠海测区酷热的气候条件, 本研究只能采用16次这一最低限度的统计样本量。

光谱测量仪器

本研究使用的野外光谱仪器有三种: H-10型野外光谱辐射计, HHR型手提式比值辐射计和REFSPEC II型野外反射分光计。前面两种仪器, 因十分轻便, 主要在野外测量中使用。REFSPEC II 由于重量和体积都比较大, 不宜野外运载, 故多用于专题性的精细研究(如水体泥沙含量遥测研究)。应用H-10的目的是采集地物目标在0.4—1.1 微米波段内的连续反射光谱曲线和数据, HHR则是用来收集各种地物在MSS四个波段内和TM六个波段内的反射率数据。因国内目前很少发表各种典型地物的TM波段的野外反射光谱数据, 而TM图象的应用日趋广泛, 所以及时将这种数据汇编成册, 估计会有较大的应用价值。

三种仪器的主要性能指标已简要列在表1-2中。

野外光谱测量条件的选择

由于HHR和H-10都需要分别对目标和白板进行测量, 故野外光谱测试均应选择晴朗无云的天气进行。公式(1-1)表明, 双向反射率 R_s 是测量几何参数 θ_i , ϕ_i , θ_s , ϕ_s 的函数。为了使几何参数对 R_s 的测量影响最小, 我们通过条件实验和长期的测试实践认为, 这些几何参数必须近似满足公式(1-2)所示的条件(参考图1-1)。另一个必须满足的条件是, 光谱测量中使用的标准白板应该具有良好的余弦特性。也就是说其表面的漫反射特性应该尽量接近朗伯面。

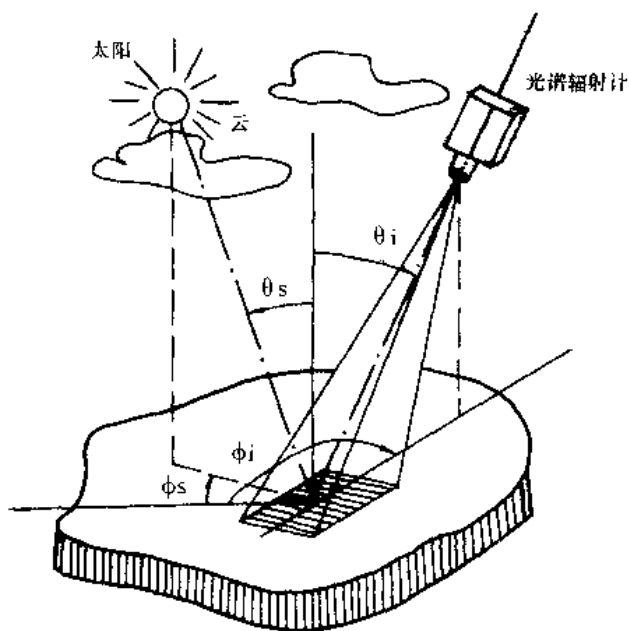


图 1-1 野外光谱测量中的几何参数关系

表 1-2 三种野外光谱仪的主要性能指标

性能指标	REFSPEC II	HHRR	H-10
波长范围(微米)	0.45—2.45	0.40—2.50	0.40—1.10
单光束/双光束	双光束	双光束	单光束
扫描方式	自动连续扫描	手动波段测量式	自动连续扫描
分光元件	0.25米Ebert光栅	滤光片	光栅
分辨率	0.45—1.00 微米 优于1.5毫微米 1.00—2.45 微米 优于3.5毫微米		狭缝宽度为0.5毫米时优于4毫微米
全程扫描时间	210秒		约3分钟
视场		$2 \times 12^\circ$	$0-14^\circ$ 连续可调
输出记录方式	反射率模拟输出、数字磁带记录或光谱曲线绘图	反射率比值或单通道信号模拟输出或液晶数显	模拟磁带分别记录目标和白板信号
可测的光谱量	光谱反射率、波段平均反射率	波段反射率或波段反射率比值	光谱反射率、波段平均反射率
环境温度	$0-40^\circ\text{C}$	$5-40^\circ\text{C}$	$0-40^\circ\text{C}$
数据处理	有专用的数据微处理机	波段反射率需用计算器计算	有专用数据微处理机
电源	117 V 交流电(汽油发电机)	6 V 可再充电池	可再充电池
重量	约50公斤	约2.3公斤	约20公斤

$$\begin{cases} \theta_i \approx 0^\circ \\ \theta_s \leq 40^\circ \\ |\phi_i - \phi_s| \approx \pi/2 \text{ 或 } 3\pi/2 \end{cases} \quad (1-2)$$

本研究所有的野外光谱测试,均以公式(1-2)作为测量几何条件的严格控制标准。实践证明,只要满足公式(1-2)所要求的条件,都能获得精度和重复性较好的反射光谱数据。

1-4 珠海市光谱测试实例

(一)测区概况

珠海市位于珠江口西岸。陆地与澳门毗连,水域与南海相通。全市分陆地与海岛两大部分。珠海市及它所属的斗门县在内,陆地总面积约1192平方公里,其中珠海市612.5平方公里,斗门县579.5平方公里。海域面积为5900平方公里¹⁾。珠海市依青山临碧海,海岛星罗棋布,风光秀丽,素有南海明珠之称。据有关统计,珠海所属岛屿,大小共112个,较著名的有万山群岛和担杆列岛。

珠海内陆部分,地势由西北向东南倾斜,切割比较破碎,主要为丘陵和台地,间有冲积平坦地段。全区的岩性比较单一,主要为花岗岩,其次是变质岩和沙岩。凤凰山东麓,大片海岸几乎全是燕山期花岗岩,岸壁陡峭,地质上属稳定隆起区。由卫星影象上可以看到,珠海的海岸线,除唐家和洲仔两处为凸岸外,其余大部分均为凹岸。由于珠海全境位于伶仃洋的西滩淤积区,故大部分岸段的泥沙淤积较严重,出现大片的淤滩。

珠海领辖的斗门县位于珠海市的西南,地处珠江河口的两大口门,即崖门和磨刀门之间,是孤山、低丘和平原地区。除中部为丘陵和山地外,其余均为水乡平原地带。地势西南高、东北低。县内河流纵横、水渠密布,为生产提供了得天独厚的航运和灌溉之利。为了开发和利用滩涂资源,50年代开始便进行了有计划的滩涂围垦。规模最大的磨刀门围垦工程即在斗门县境内。各垦区经过二三十年的建设经营,现已成为富饶的甘蔗生产基地,工业和旅游业亦有可观的发展。

整个测区属南亚热带海洋性气候。全年温高雨沛,适于农耕。丘陵和山地部分,各种乔灌木丛生,沿岸植被多为台湾相思、木麻黄、海桐、红树林。农作物以水稻和甘蔗为大宗,蔬菜及花卉生产近年有较大发展。

为了使珠海测区的地物光谱测试具有更好的代表性,在调查踏勘的基础上,在整个测区内选择了九个子区,即下栅、唐家、香洲、南屏、湾仔、洪湾、九洲港以及斗门县境内的乾雾公社和平沙华侨农场。九个光谱测量子区的地理略图如图1-2所示。前五个子区主要是进行岩石、土壤、植被、水体和建筑物等典型地物的反射光谱测试和光谱

1) 根据广东省测绘局1982年出版的广东省分县图资料。

数据收集，为珠海地区遥感图象的判读和图象处理提供基础资料。洪湾和九洲港口区主要是进行水体泥沙含量定量遥测研究。乾雾和平沙子区则是进行甘蔗光谱估产的专题研究。

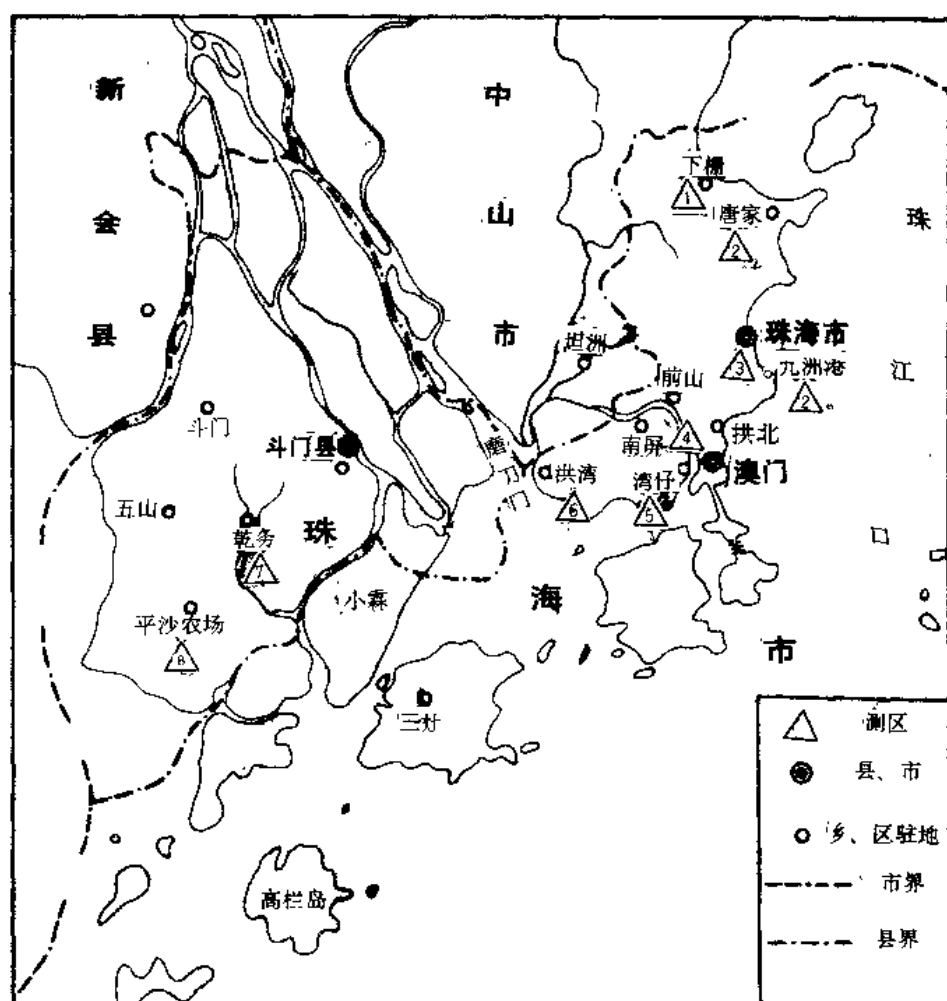


图1-2 光谱测量子区地理略图

(二)光谱测试结果和光谱图册的编制

1984年末至1985年初用了二三个月的时间就完成了全部九个子区的光谱测量任务。只有少数地物类型是以后补测的。初步统计，这次测试共完成了45种地物的反射光谱测量。地物目标包括岩石、土壤、水体、植被、建筑五大典型类别。如前所述，除少数受环境影响较小的地物，如土壤和石英砂进行了室内光谱测量外，其余的地物只测量野外光谱。最终收编入光谱图册的光谱曲线数为300余条，光谱反射率和波段反射率的数据总数约16000余个。

为了检索和使用方便，首先将各种地物按岩石、土壤、植被、水体、建筑物五大类

别进行分类, 然后按类别列出每种地物的光谱曲线和光谱数据。具体的编辑格式如图 1-3 所示。光谱曲线有四种, 即六个 T M 波段的亨利曲线, 四个 M S S 波段的亨利曲线, 0.4—1.1 微米波段的野外反射光谱曲线和 0.38—2.60 微米波段的室内反射光谱曲线。所谓亨利曲线是波段反射率与波段的波长位置的关系图。六个 T M 波段和四个 M S S 波段的光谱波长范围如表 1-3 所示。因为 T M 6 波段(10.4—12.5 微米)属于热红外波段, 在此波段内地物只有发射辐射而无反射辐射, 故所有的 T M 波段亨利曲线中都没有 T M

表 1-3 T M 和 M S S 波段的光谱波长范围

T M 波段	波长范围(微米)	M S S 波段	波长范围(微米)
1	0.45—0.52	4	0.50—0.60
2	0.52—0.60	5	0.60—0.70
3	0.63—0.69	6	0.70—0.80
4	0.76—0.90	7	0.80—1.10
5	1.55—1.75		
6	10.4—12.5		
7	2.08—2.35		

6 波段的反射率数据。需要说明的是, 光谱图册中除土壤和岩石类的地物外, 其余地物均无室内反射光谱曲线。其原因前面已述及, 不再重复。辑入图册的光谱数据包括六个 T M 波段的波段反射率、四个 M S S 波段的波段反射率、野外和室内光谱反射光谱曲线及其相应的光谱反射率打印值。打印值的波长采样间隔为 0.01 微米, 一条野外反射光谱曲线共有 70 个光谱反射率打印值, 室内反射光谱曲线则为 220 个打印值。波段反射率均直接表示在亨利曲线的下面(见图 1-3)。光谱反射率的打印值由于数量较多, 不宜表示在相应的反射光谱曲线的上下或左右位置。为版面美观和整洁起见, 统统都按地物的类别顺序安排在图册的最后, 可按地物的类别和名称进行检索。

由于三百余条光谱曲线的清绘工作量较大, 再加一万六千多个光谱数据所占的篇幅很多, 故本章的地物光谱图册部分未收入书内。拟将来另行出版。

1-5 典型地物光谱特征分析

如何应用和充分发挥应用效果是进行光谱特性测试和光谱数据编制的主要目的。本节希望通过植物、土壤、水体这三类地物反射光谱特征的简要分析, 为解决光谱数据的应用问题提供一些初步线索或基本提示。有效地利用地物光谱研究的结果以及发现这些结果的新的潜在应用, 则需要我们对已获得的资料数据进行更细致的分析研究。第二章的甘蔗光谱估产研究、第三章的水体泥沙含量遥测研究、第四章的水体叶绿素浓度遥测

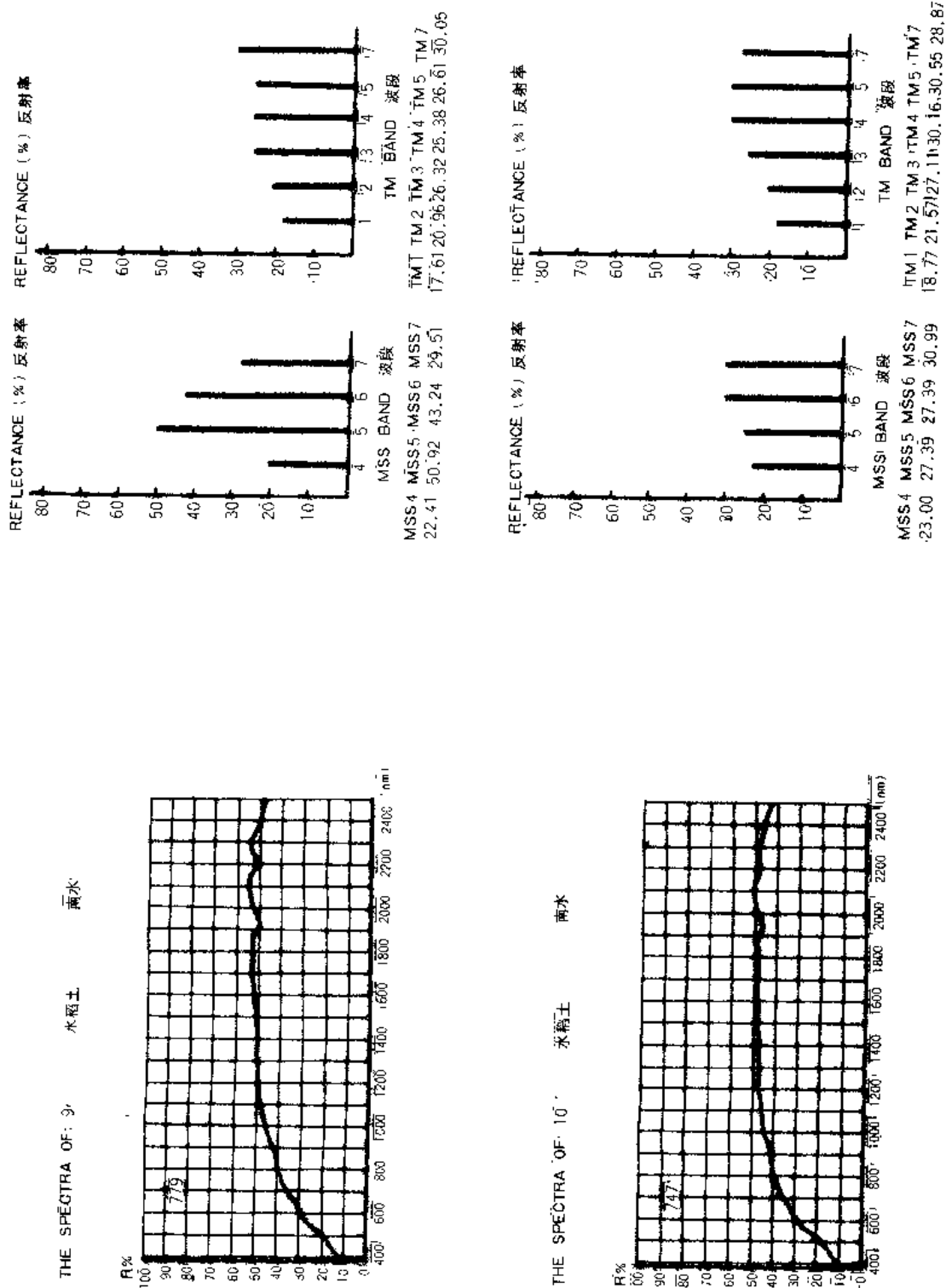


图 1-3 光谱曲线图册中的编辑格式