

航空双波段全极化 SAR 信息分析*

郭华东 邵 芸

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 GlobeSAR 是一项有 12 个国家参与的大型雷达遥感国际合作研究计划。该文系统叙述了 GlobeSAR 中国项目研究成果。进行了目标物雷达散射特性和极化特性的分析, 双波段、全极化数据的处理分析方法研究, 给出了该先进机载 SAR 在肇庆试验区农业、林业、地质、水文等方面的应用结果。同时, 进行了雷达卫星(RADARSAT)数据模拟试验及机载 SAR 与 RADARSAT 数据的对比, 该结果为其后利用雷达卫星数据提供了科学基础。

关键词 航空, 双波段, 全极化, GlobeSAR

1 前 言

在对地观测技术广泛应用于资源环境探测的同时, 对电磁波“资源”的开拓与利用正变得十分重要。雷达遥感领域, 从真实孔径到合成孔径, 从单波段到多波段, 从单极化到多极化, 及至近年出现的极化雷达与干涉雷达, 可以看到, 伴随着一种新的技术的问世, 遥感应用能力就往前推进一步。因此, 发掘电磁波频率、极化、振幅、相位特性及几何特性“资源”, 是提高资源环境遥感探测水平的关键之一。

加拿大拥有的 CV-580 SAR 是一部双波段多极化兼具极化及干涉测量能力的雷达系统。1993 年, 加拿大发起了基于 CV-580 SAR 的全球雷达遥感(GlobeSAR)计划^[1], 中国作为 GlobeSAR 计划的重要成员与其它 11 国共同开展了这一大型机载雷达遥感合作计划。开展先进成像雷达信息处理分析, 进行 RADARSAT 数据的模拟及应用潜力研究^[2]。

1993 年秋, 在中国政府支持下, 建国以来首架外国遥感飞机进入中国, 对 GlobeSAR 计划中国项目试验区进行飞行, 获得第一次覆盖中国国土的机载双波段多极化雷达数据, 特别是在 GlobeSAR 12 个成员国中, 唯一在中国试验区获得极化雷达数据。该文介绍了 GlobeSAR 计划中国项目的初步研究结果。

2 SAR 系统特点及中国试验区数据获取

2.1 GlobeSAR 试验区

试验区选定于广东省肇庆地区。面积共计 8100 km², 位于北纬 22°30'—23°40', 东经 111°20'—113°20', 东西长 180 km, 南北宽 45 km, 西江横贯试验区, 北江穿越试验区东部, 大部分地区为低山丘陵地区, 东部为平原。肇庆地区位于珠江三角洲的最北部, 经济发展很快, 物产丰富, 不仅盛产水稻和柑桔、香蕉、甘蔗、肇庆(芡实)等经济作物, 还拥有金、硫等丰富矿产资源, 森林繁茂, 水系发育, 这里常年云雨较多, 很难获得光学遥感图象, 雷达图象成为这个地区进行农、林、水文、地矿资源及环境调查的重要遥感信息源。

2.2 CV-580 SAR 系统特点

加拿大遥感中心(CCRS)拥有的双波段全极化雷达系统装载在 Convair-580 载机上。整个系统又称为 CV-580 雷达系统。可实时处理成像, 在机上显示器上实时显示并用于干银粉纸打印输出 SAR 图象, 同时将信号数据记录在高密度磁带上, 待飞行结束后再行处理。具有星下点、窄幅及宽幅³种成像条带模式, 其成像条带宽度分别为 22 km, 18 km 和 63 km(表 1)^[3]。飞机上装有两个天线, 具有 C 和

*GlobeSAR 计划中国项目、国家自然科学基金重大及面上基金、中国科学院院长基金联合资助项目。参加这项研究工作的有王超、廖静娟、魏成阶(刘浩)、卢新琦、王翠珍、魏秀萍、孙利国、陈琦娟、王东和、孙瑞宝、戴西波及 F. Campbell 和 B. Brisco。

收稿日期: 1997 年元月 8 日; 收到修改稿日期: 1997 年元月 28 日

X 两个工作波段，可同时工作获取雷达数据。X 波段具有 HH、VV 极化同时成像能力，C 波段具有 HH、HV、VV、VH⁴ 个极化同时成像能力、极化

表 1 CV-580 雷达系统在 GlobeSAR 计划工作中的系统参数

Table 1 CV-580 SAR specifications during GlobeSAR mission

系统参数	C 波段	X 波段
频率(GHz)	5.30	9.25
波长(cm)	5.66	3.24
峰值功率(kW)	16	6
极化	全极化	HH, VV
干涉测量	C-HH	
分辨率(方位向×距离向)		
星下点模式(m×m)	6×6	6×6
窄幅模式(m×m)	6×6	6×6
宽幅模式(m×m)	20×10	20×10

测量及干涉测量能力。全极化测量同时接收相干回波信号的振幅和相位信息，产生目标物的复散射矩阵，能够最大限度地从目标物的极化散射特征上去识别它，提高分类精度和准确度。干涉测量有两种工作状态，一种是垂直轨迹向干涉测量，另一种是轨道向干涉测量。前者利用装在飞机右侧的 C 波段的第二个水平极化接收天线，精确测量地形高程，通过两个垂直于轨迹向的接收天线间，接收测量到的相位差来计算高程；而后的第二个天线实际上是一个装在轨迹方向的双天线，通过对比两个接收天线分别接收到的相位图象，可以测量目标物相对于雷达的运动速度。CV-580 还装载有较完备的定标设备，为定量化应用提供精确的雷达遥感数据。

2.3 SAR 数据获取

GlobeSAR 中国项目于 11 月 20 日和 21 日分别进行了两次成像飞行。飞行高度为 5400m，时值小雨天气，飞机紧贴云层上空飞行。第一次飞行获取了 3 个图象条带，包括 C 波段 HH、VV 极化及 X 波段 HH、VV 极化数据，21 日第二次飞行获取了 C 波段 HH、HV、VV、VH⁴ 个极化及部分全极化波测量数据，共 6 个图象条带。与成像飞行的同时，我们开展了同步地面观测，采集了土壤、植被样品并测量了它们的含水量，测量了各种植被的密度、大小、结构参数，以及水文要素和地质构造要素，采集了岩石样品。继而又多次在 11 月份的

成像时间赴试验区进行准同步详细地面观测，收集了大量的地面实况资料。

3 地物散射特性及全极化测量

3.1 后向散射强度可视化模型

为了研究目标物的散射特性及其与雷达系统参数波长和极化的关系，为了尽可能地保留目标物之间的散射特性差异，我们用目标物的后向散射强度而没有用后向散射系数来分析目标物的散射特性。从试验区图象上选取一小块样区，将其后向散射强度作为高度输入进三维制图软件，生成目标物的后向散射强度可视化模型(Radar Backscatter Intensity Visualization Model)，简称 RBIVM。

进行这种分析的理想数据源是定标数据。由于数据量及时间所限，GlobeSAR 数据只有一个条带的 C-HH 数据进行了定标校正。所以，所用的数据是没有经过定标校正的，仅用于讨论目标物的散射特性之间的差异及其与波长和极化之间的关系。图版 I 图 1(a)是水体与水生植物肇实的 RBIVM，4 个水塘被田埂隔开，C-HH 图象的 RBIVM 上，4 个水塘没有差别，而 C-VV 图象上，左方的肇实塘，其雷达后向散射强度要大于水体。同样 X-HH 图象上，两者没有差别，而 C-HV，X-VV 图象上肇实的后向散射强度要远远大于水体。图版 I 图 1(b)是水稻田与稻茬田的 RBIVM，水稻在 X-HH 图象上(右前方为水稻田，后方为稻茬田)，雷达后向散射强度要明显大于 X-VV；同样，C-HV、C-HH 的后向散射强度也明显大于 C-VV。

极化特性对于水稻识别是非常重要的。H 极化的后向散射能量比 V 极化的衰减得少，因而可以更多地被天线接收。因为水稻具有类垂直结构分布的叶片及茎干^[4]，可以认为它们是由一些细柱状的介电体组成。水稻田和稻茬田的后向散射能量由 3 部分组成：(1)植株间的体散射；(2)来自冠冠下水面或潮湿土壤的面散射；(3)冠层、茎干及土壤层面之间的多次反射。成像期间，正值水稻收割季节。成熟水稻干燥具有低介电常数，稻茬田中，占大部分面积的具有高介电常数的潮湿土壤直接暴露于雷达天线，因此，稻茬田具有比水稻田高得多的后向散射强度。

同时我们还研究了香蕉、甘蔗、葡萄园的 RBIVM。从分类训练样区提取的各类目标物的灰度平均值(图 2)，我们发现，香蕉的硕大叶片，形

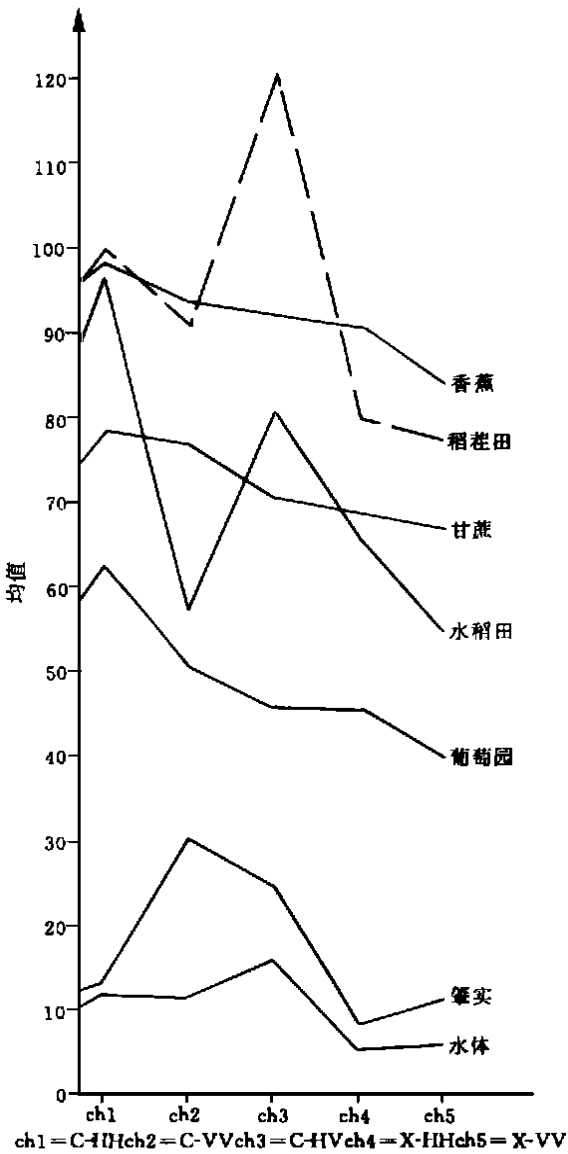


图 2 目标物的平均灰度值及其与波长和极化的关系
Fig. 2 Mean grey-level values of the targets in relation to the wavelength and polarization

成了强散射体，在所有波段和极化都具有高后向散射强度；叶片稍小的甘蔗次之。由于两者均具有呈随机分布的叶片，成为随机分布散射体，因此，它们的后向散射强度随极化变化不大，但仍然可以看出它们的后向散射强度 H 极化要略大于 V 极化。这说明对于具有垂直结构的植被，VV 极化的衰减要略大于 HH 极化^[4]。

与这些垂直结构的植被相反，肇实则表现得截然不同，肇实是一种与莲同一家族的水生植物，它有直径近 1m 的大叶片铺在水面上，叶面上有一些小突起，形成了与水体镜面反射体不同的微粗糙表面，根据微扰理论，微粗糙表面的 VV 极化反射略大于 HH 极化，因此，尽管在肇实收割季节水面上

仅残留下少量的叶片^[5]，但 VV 极化波还是能把肇实和水体区分开来。

3.2 极化波测量

CV-580 SAR 具有极化测量功能，在肇庆飞行中获取了极化波测量数据。全极化雷达能够同时发射和接收极化信号，不但记录了回波振幅值，也记录了不同极化波之间的相位差。另外，它不但可以记录线性极化(H、V)状态下的回波信息，也可以计算任意一种极化状态包括圆极化、椭圆极化的回波散射系数，并生成该极化状态下的图象(dB 值)。极化雷达的基本记录单元是全散射矩阵，极化分析也就是研究雷达发射与接收微波的极化特性，即极化响应，并从回波信息中提取地物的散射特征。

GlobeSAR 极化数据获取时间恰为水稻收割季节，稻田中既有未收割的成熟水稻田块，也有已收割的田块，二者混杂分布。利用极化数据可以更好地加以区分。略去土壤层对波的散射作用，成熟水稻构成了层状散射，其中上层的叶及穗对入射波的作用最强，它们呈辐射状分布，覆盖率大，构成了有一定粗糙度的散射平面，因而与 H 极化波的相互作用最强；收割后的稻茬田只有茎干及潮湿土壤与入射波作用，接近于粗糙面散射体。极化分析的核心是极化合成技术，也就是利用散射矩阵的 4 个元素值，计算任意极化组合的散射系数。表 2 给出了试验区水稻与水稻茬的极化合成计算结果。

从表 2 可见，在与极化波的相互作用中，水稻与水稻茬在散射系数、相位差、极化度等方面都有很大的差别。这种差别表现在极化响应(图版 I 图 3)及极化图象(图版 I 图 4)(dB 值)上效果也很明显。

表 2 水稻与水稻茬的极化合成结果

Table 2 The polarimetric synthesis results for rice and harvested rice

	θ (°)	σ_{HH}^0	σ_{VV}^0	σ_{HV}^0	$\Delta\varphi_{HH-VV}$	m (%)
水稻	61.43	-20.18	-22.00	-30.05	29.3	77.8
	60.81	-19.72	21.41	29.17	19.9	76.2
	62.08	-18.58	-23.06	-30.63	12.1	83.1
水稻茬	59.87	-21.53	-19.74	-27.59	7.0	67.1
	59.46	-21.08	-19.96	-28.21	6.0	72.3
	59.14	-20.54	-19.88	-28.21	6.0	72.3

©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
 θ 为入射角； σ_{HH}^0 、 σ_{VV}^0 、 σ_{HV}^0 ，分别为 HH、VV、HV 后向散射系数； $\Delta\varphi_{HH-VV}$ 为 HH 与 VV 的相位差；m (%) 为极化度

地物的极化特征与它对入射波的散射特征有很强的相关关系。任何一种典型地物，都有其特定的极化响应曲线。通过对不同地物极化响应曲线的比较，可以确定地物散射的最佳极化状态。利用极化合成技术，可以计算出地物的任意极化状态下的散射系数图象，即 dB 值，它们比常规图象更清晰地显示出地物的散射差别。因此，极化数据的获取及极化合成技术从全新角度解释了地物的散射过程，可以应用于地物识别与提高图象分类精度和准确度。

4 GlobeSAR 数据处理

4.1 数据处理

GlobeSAR 数据的处理主要包括以下几个方面^[6]：天线方向图校正，图象与图象间配准，滤波，条带间镶嵌，增强，分类与信息提取，雷达卫星 RADARSAT 图象模拟与分析等。利用工作站版本的 PCI 图象处理软件开展了这些工作：(1) 天线方向图校正。天线方向图校正用以校正由于天线增益不同而造成的距离向的不均匀照射，即近距离端到远距离端的灰度的逐渐增强，继而又逐渐降低的过程，即两端黑，而中间亮。经校正，克服了图象灰度不均匀性；(2) 配准。双波段多极化雷达图象是该研究的基础，鉴于所获数据为两次飞行成象，需要对双波段多极化图象进行配准，研究中选用 C-HH、C-VV、C-HV、X-HH、X-VV 图象进行配准。将 C-VV、C-HH、X-HH、X-VV 图象配准到 C-HH 图象上，这样就为分析图象和提取专题信息提供了一个多波段多极化数据集^[5,7,8]；(3) 去噪声。合成孔径雷达发射接收的是相干电磁波，使雷达图象本身具有相干斑点噪声。因此，在分析图象前，必须首先滤除斑点噪声，采用“Lee”滤波来降低斑点噪声；(4) 镶嵌。11月21日获取的 C 波段 4 极化数据是半个条带宽度数据，即幅宽仅 7.5km，共计有 6 个条带。为获得成象区的全景图象，我们把 6 个条带的图象全部镶嵌到了一起^[7]。镶嵌图被用于进行全景图象的分析和 RADARSAT 图象的模拟；(5) 雷达卫星数据的模拟分析。将全景 GlobeSAR 图象作为输入图象，输入 RADARSAT 系统参数，实现了对 GlobeSAR 数据的 RADARSAT 模拟。农业应用表明，模拟的 RADARSAT 数据仍然很好地显示小块农田，而全景模拟图象给地质应用提供了更广阔的视野。

4.2 地物分类^[9]

常规分类器是根据目标物训练样区单一象元灰度矢量的统计特征来进行分类。与光学图象不同，SAR 图象记录的是目标物的后向散射强度，是相干电磁波成象。因此，SAR 图象不仅存在斑点噪声，而且同一类目标物的灰度矢量也往往不是单一均匀的。这给分类带来了很大困难。研究中^[9]选用一块试验区进行土地覆盖类型分类试验。区内主要有 11 种土地覆盖类型，训练样区以地面实时观测为依据，使用的是 C-HH、C-VV、C-HV、X-HH、X-VV，5 个通道的 GlobeSAR 数据。本项目使用了 4 种分类方法并对它们的分类精度进行了对比分析(表 3)。

使用两种方法来衡量分类方法的有效性，即平均精度和总体精度，前者是 11 个类型精度的平均值，后者是将各训练样区中的象元数作为加权后的各个类型精度的平均值，常规的最大似然分类法平均精度仅为 79.24%，总体精度为 77.52%，分类结果图远不能满足应用要求，有许多碎小斑块无法区分。

神经网络分类法的平均精度提高到 85.43%，总体精度达到 84.96%，这里神经网络有 5 个输入节点接收来自 5 个通道的 SAR 数据，2 个隐含层，每个隐含层具有 6 个隐含节点。分类结果效果比前者有所提高。

神经网络具有模糊判断能力。通过提高神经网络中隐含层的数量以及每个隐含层中每个隐含节点的数量来提高分类精度。这就使得具有不同灰度值但属于同一训练样区的象元能够分到同一类型中去。这里使用了 4 个隐含层，每个隐含层具有 9 个隐含节点，精度有了提高，平均精度为 86.47%，总体精度为 87.04%，但是所耗费的时间比原来的方法增加了很多。

将纹理信息图象的灰度值也作为一个输入节点参与分类。这样做的考虑是，尽管同一个训练样区中的灰度值具有不均一性，但它的相邻纹理的测量值则是相同的，这样就能将同一土地覆盖类型，但其内部灰度值有变化的目标物最大可能地分成一类。在分类中，将 15 个纹理层通道加入原来的神经网络中，这些纹理信息是通过原来 5 个通道的 SAR 图象的小波变换得到的。所有的边界信息在纹理信息层中都得到了很好的保护。经过这样处理的分类结果，效果比较理想，平均精度达到

表 3 分类精度对比

Table 3 The comparison of the classification accuracy

精度 分类方法 土地类型	水体	水生植物	水稻	水稻+湿土	稻茬田	香蕉	甘蔗、竹林	桔林	河滩草地	灌木丛	裸土、阴影
最大似然分类法	96.6	93.7	70.7	80.8	60.3	58.6	61.4	81.5	86.2	84.8	97.0
神经网络分类法	98.8	97.5	87.8	76.7	53.8	83.5	88.0	78.1	99.4	82.6	93.6
增加节点后的神经网络分类法	99.4	99.2	91.1	81.1	47.8	78.7	97.5	78.7	97.5	78.9	96.2
增加纹理信息后的神经网络分类法	99.7	100.0	97.1	96.4	65.2	90.0	99.8	91.9	100.0	95.5	98.8
训练样区的象元数量	3088	1912	3560	2028	1748	3700	4816	1972	636	9148	1320

93.89%，总体精度达到 94.68%，为农业应用和土地利用制图提供了有效的分类方法和较为理想的分类精度。

5 GlobeSAR 数据的应用

GlobeSAR 中国项目开展了农业、地质、林业、水文方面应用研究。

5.1 农业

多波段多极化合成 GlobeSAR 图象在识别试验区多种农作物中显示出重要作用。图版 II 图 5 是 C-HH (R)、C-HV (G)、C-VV (B) 的合成雷达图象及单波段单极化图象，不同的目标物，由于其对该波段极化的响应不同而以不同的色调表现在图象上，当波段极化改变或波段极化组合变换时，目标物的可识别性及识别的标志也随之改变，如何根据目标物的散射特性及其与波长和极化的关系，进行自动分类，进行土地利用调查是本项目农业应用的关键。

从 RBIVM 可以看出，同一土地覆盖类型目标，其内部的象元灰度值是不均一的，并且，随目标物的不同其均一性的好坏也发生变化。如一块水稻田，其内部的象元灰度值相差很大，而水体的象元灰度值则比较接近，这给自动分类带来了很大困难，这种目标物内部的不均一性对分类精度有很大影响(表 3)。强散射体如香蕉、稻茬田的不均一性比其它目标物要更强一些。香蕉个体的强散射与个体间的间隙造成的弱反射，造成了蕉田的不均一性；稻茬田由于所留茬高多少的不同而造成了不均一。因此，土地覆盖类型的分类是逐步逐级进行

的，是在不断进行野外实地调查，认识目标物的散射特性的过程中，不断改进分类方法来提高 GlobeSAR 图象自动区分土地覆盖类型的准确度的。通过对目标物 RBIVM 的分析，在此基础上根据野外调查结果，先在小块样区上^[7]进行分类试验，不断提高分类精度^[9]，制成土地利用图(封面)^[8]及将人工目标物与其它土地利用类型分开的更接近真实的土地利用分类图(封三图版 III 图 6)。

为分析 RADARSAT 应用潜力，根据 GlobeSAR 数据制作的 RADARSAT 模拟图被用来进行农业应用试验，结果表明，小块农田在 RADARSAT 模拟的图象上仍然清晰可辨，30m 分辨率的 RADARSAT 模拟图象适用于农业和土地覆盖类型调查。肇庆地区的田块面积较小，一般为 50m×150m 大小，田块多不规则分布，这一点对中国的小农业分布格局具有很好的代表性，RADARSAT 模拟试验表明，RADARSAT 标准模式的图象可以用于中国的农作物与土地状况调查。

5.2 地质

试验区地处亚热带，发育的植被，给地质工作带来困难。SAR 可以透过植被，揭示植被覆盖下地质矿产信息，为地质矿产研究提供了新手段。

在莲台地区，NNE 走向的武川-四会大断裂带穿越了 GlobeSAR 试验区的中部^[10]，从 GlobeSAR 图象上直接测量到山谷的位错。在罗定县境内，C-HH GlobeSAR 图象，其后模拟的标准模式 RADARSAR 图象及 1996 年 3 月获取的分辨率为 22m×27m 的 RADARSARTC-HHSAR 图象，均精

细地刻划出一个椭圆形花岗岩体。在围岩为灰岩的盆地中,突出地显示出面积为 50km^2 的岩体,可以详细地解译出岩体内几组不同方向断裂。将 1:50,000 地形图数字化生成花岗岩体的数字高程模型(DEM),利用 PCI 软件中的 GCP-Works 模块,将 SAR 图象配准到 DEM 上,然后用 PCIFLY 模块模拟飞行,从多个方向和角度观测该花岗岩体,以替代实地考察而实现旅游规划选址的需求。封四图版 IV 图 7 为罗定花岗岩体的三维显示图。在此基础上,为当地旅游规划部门分别制作了旅游资源调查图和旅游设施规划图,得到当地旅游局的实际应用^[11]。

在河台地区,震旦纪变质岩向南推覆到奥陶纪的岩层上,形成了一条糜棱岩带,这条糜棱岩带走向 $N50^\circ E$,倾向 NW,倾角 $40^\circ-70^\circ$,露头宽度从几十厘米到几米。由于糜棱岩化的程度不同,其后期的风化程度也不同,糜棱岩带形成了一系列小山脊,尽管植被覆盖浓密,但仍然在 GlobeSAR 图象上显示的十分清楚,华南最大的金矿——河台金矿就位于该糜棱岩带的北部,由 SAR 图象探测到的糜棱岩带的延伸和分布。作者将“弧形影象找矿”模型理论^[12]运用于该区,用 SAR 识别出一弧形带,通过野外工作,已表明是含金弧形构造带。为进一步的金矿勘探提供了重要信息。

5.3 林业

研究区内主要森林类型为针叶林($>60\%$)^[13]少量为阔叶林和混交林。占大多数的松林是主要的用材林,松林高度一般 5—10m,最高 15m,森林密度从中到高,基本均匀分布,松林郁闭度 $>20\%$,胸径 20—40cm,土壤为粘土质或沙质,潮湿,中等粗糙。林区绝大多数都分布在海拔高度为 100—300m 的丘陵山地,因此,地形对 SAR 成象有很大的影响,必须用数字地形高程模型来纠正 SAR 图象的几何变形及其对森林类型识别的影响。利用 1:50,000 的地形图数字化后生成 DEM,该 DEM 面积为 $10\text{km} \times 10\text{km}$ 。根据 DEM 和 GlobeSAR 数据的系统参数,模拟生成一个距离一方位向的 SAR 图象。将原始的 SAR 图象根据 DEM 和投影坐标进行地理编码,然后配准到模拟 SAR 图象上去,产生三维 SAR 图象。

对于森林类型识别,极化组合有很重要的作用,交叉极化优于同极化。来自森林的体散射,使得森林对于 HV 极化具有强响应,根据其向后散射强度及纹理特征,易于将森林与其它地物如农田、

果园、水体等区分开。在多波段多极化合成(C—HH、C—VV、C—HV、X—VV)图象上,森林不仅以不同的色彩区分于其它地物,而且根据色彩的不同可以将松林和桉树林区分开来。桉树宽大的叶片,使它的后向散射强度大于针状叶子的松林。研究表明,森林的结构特性如叶片、树冠的大小是用 C、X 波段进行森林类型识别的关键参数。

5.4 水文

水文应用包括 3 个方面研究内容^[14]:

(1) 故河道的分布与规模探测。故河道在地表往往形成负地形,沿着西江和北江故道留下的小湖泊形成镜面反射,与 TM 图象相比,SAR 图象更多地突出了故河道的几何特征。从 SAR 图象上共解译出清、明、宋、唐、金、汉、战国及史前时期的故河道共计 10 条。通过分析,制作了肇庆地区河道演化与分布图。历史文献记载了一些河道变迁情况,但对于具体位置及分布记录不够清楚,而 GlobeSAR 图象则展示了河道变迁的全貌及细节。

(2) 行洪障碍及危险河段分析。行洪障碍是河道中的障碍物使水位局部上升造成溢洪并对河堤构成威胁,是防洪抗洪决策必须了解的潜在危险因素,GlobeSAR 数据输入到 GIS 系统中进行行洪障碍分析,12 个行洪障碍及其分布状况解译成图。分析结果认为肇庆试验区内共有 7 个危险河段,危险河段的总长度为 69.4km,影响到的可耕地面积和人口分别为 46.5万 hm^2 和 51.03 万人。

(3) 洪水前期的水文要素分析。1994 年 7 月,广东省发生了特大洪水,1993 年成象的 GlobeSAR 数据为该地区防洪抗灾提供了水文要素基础数据。

6 结论与讨论

GlobeSAR 计划中国项目是一次成功的雷达遥感试验,它开展了迄今为止唯一覆盖我国国土的同时成象机载双波段全极化 SAR 数据分析研究,取得明显效果:(1)建立了试验区典型地物的后向散射强度可视化模型,为雷达地物识别定量分析提供了基础;(2)发展了双波段多极化 SAR 数据增强处理及分类的多种技术与方法,提高了地物分类精度;(3)在中国首次进行了极化雷达数据获取及处理分析,生成极化特征及响应图象;(4)进行了

RADARSAT 数据机载模拟, 将 RADARSAT 与 CV-580SAR 数据对比分析, 揭示了 RADARSAT 的应用潜力; (5) 进行了 SAR 在农业、地质、林业及水文中的应用分析, 效果显著, 表明多波段多极化 SAR 是开展植被及植被覆盖下地质体探测的先进工具。

参 考 文 献

- [1] Campbell, F. . *et al.* . GlobeSAR: A Canadian Radar Remote Sensing Program. *Geocarto International*, 1995, **10**(3).
- [2] Guo, H. . *et al.* . Dual-frequency and quad-polarization SAR Observations in Zhaoqin Region, China. *Geocarto International*, 1995, **10**(3).
- [3] Petzinger, F. . GlobeSAR: The CCRS Airborne SAR in the Era of Radarsat. *Geocarto International*, 1995, **10**(3).
- [4] Toan, T. L. . *et al.* . Multitemporal and Dual-polarization Observations of Agricultural Vegetation Covers by X-band SAR Images. *IEEE Trans. on Geos. and Remote Sensing*, 1989, **27**(6).
- [5] Shao, Y. . *et al.* . Multifrequency, Multipolarization GlobeSAR Data for Land Use Mapping. *Proc. First Asia Regional GlobeSAR Workshop, Bangkok*, 1994.
- [6] Lu, X. . *et al.* . Correction of Multi-polarized GlobeSAR Data for Land Use Mapping around Zhaoqing City. *Proc. Second Asia Regional GlobeSAR Workshop, Beijing*, 1996.
- [7] Shao, Y. . *et al.* . Effect of Polarization and Frequency Using GlobeSAR Data on Vegetation Discrimination. *Geocarto International*, 1995, **10**(3).
- [8] Shao, Y. . *et al.* . GlobeSAR Data for Agriculture Applications - Potentials and Limitations. *Proc. Second Asia Regional GlobeSAR Workshop, Beijing*, 1996.
- [9] Liu H. . *et al.* . The Neural Net Classifier Applied to the GlobeSAR Data for Land Use Mapping. *Proc. Second Asia Regional GlobeSAR Workshop, Beijing*, 1996.
- [10] Wang, C. . *et al.* . GlobeSAR RTP Data Quality and Applications in Southern China. *Proc. Second Asia Regional GlobeSAR Workshop, Beijing*, 1996.
- [11] Wei, X. . *et al.* . Application of Calibrated GlobeSAR C-HH Data to the Investigation and Planning of Tourism Resources in the Luoding Area, Guangdong, China. *Proc. Second Asia Regional GlobeSAR Workshop, Beijing*, 1996.
- [12] 郭华东等著. 新疆北部地质矿产遥感. 北京: 科学出版社, 1995, 111-140.
- [13] Liao, J. . *et al.* . Forest Type Discrimination in the Northeast of Shihui Area Using GlobeSAR Data. *Proc. Second Asia Regional GlobeSAR Workshop, Beijing*, 1996.
- [14] Wei, C. . *et al.* . CCRS SAR for Hydrological Analysis in Zhaoqing Region of Southern China. *Proc. First Asia Regional GlobeSAR Workshop, Bangkok*, 1994.

作 者 简 介

郭华东, 男, 生于 1950 年 10 月, 1981 年毕业于中国科学院研究生院。现为中国科学院遥感应用研究所研究员。20 年来从事遥感研究, 出版论著 6 本, 发表论文 90 余篇。

Multiple Applications of Airborne Dual-frequency, Fully-polarized SAR Data

Guo Huadong Shao Yun

(*Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

Abstract GlobeSAR mission is an international cooperation program, there are twelve countries participated in the program. GlobeSAR data are the first and sole airborne, dual-frequency and fully-polarized SAR data sets of covering the Chinese territory. This paper systematically presents the study results of GlobeSAR program in China. The radar backscatter intensity visualization model has been proposed to study the backscatter behaviors of various targets. Rice and euryale ferox received more attention than other targets, their backscatter behaviors in relation to frequency and polarization, and polarimetric features and responses are carefully studied. The geometric and radiometric correction, speckle noise filtering, image registration are applied to the multifrequency, multipolarization GlobeSAR data sets. The assessment of classification accuracy for maximum likelihood, neural net, and texture information added neural net classifiers shows that the texture information added neural net classifiers achieved the highest accuracy. GlobeSAR images discriminated eleven land cover types, two forest types. Finally, the GlobeSAR data application results in agriculture, forest, geology, hydrology and tourism planning are introduced.

Key words Dual-frequency, Fully-polarized, GlobeSAR

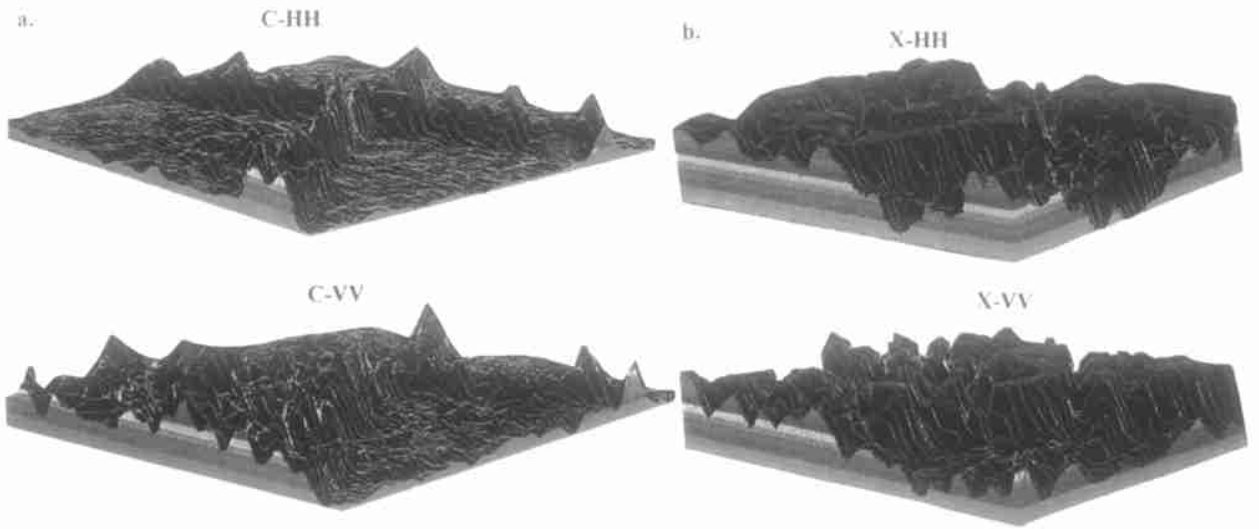


图 1 (a) 水体和肇实的 RRIVM (b) 水稻田和稻茬田的 RRIVM

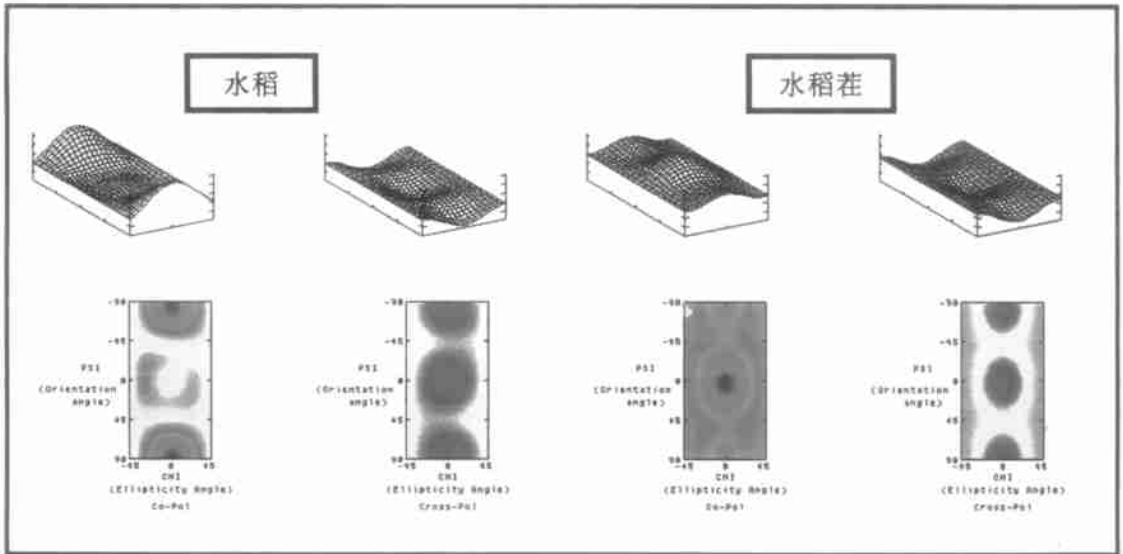
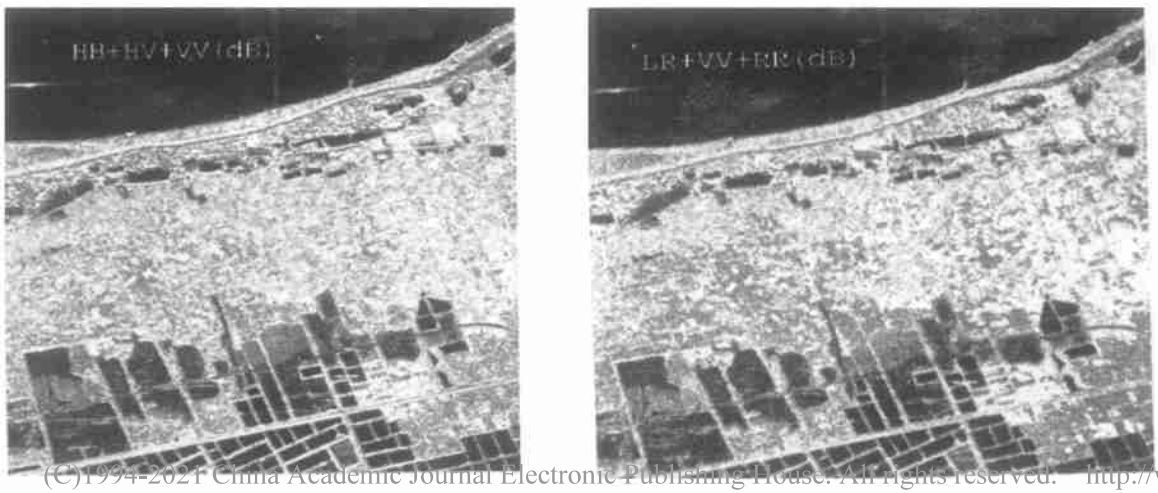


图 3 水稻与水稻茬的极化响应



(a) 线性极化 dB 图象

(b) 圆极化 dB 图象

图 4 常规图象与极化图象对比分析



C-HH (R) C-HV (G) C-VV (B)



C-HH



C-HV



C-VV



X-HH



X-VV

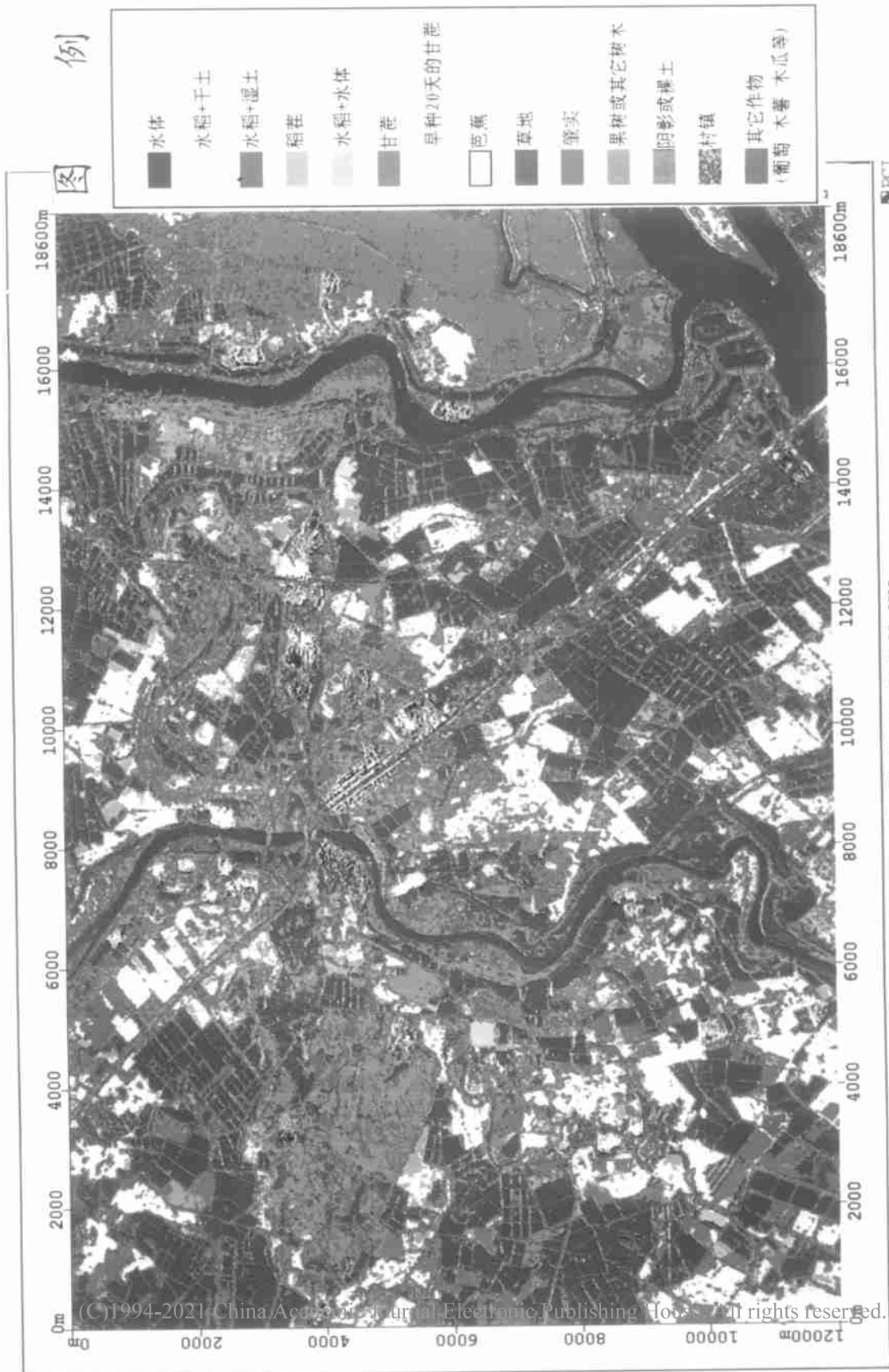


图6 根据多波段多极化GlobeSAR数据制作的土地覆盖类型图



图 7 罗定花岗岩体的三维显示图

遥感学报

(季刊 1997 年创刊)

1997 年 5 月 第 1 卷 第 2 期

JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Quarterly, Started in 1997)

Vol. 1 No.2 May 1997

编 辑 《遥感学报》编辑委员会
北京市德胜门外大屯路遥感所
邮政编码 100101

主 编 徐 冠 华

出 版 科 学 出 版 社
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

印刷装订 中国科学院印刷厂

总发行处 北京报刊发行局

订购处 全国各邮电局

国外总发行 中国国际图书贸易总公司
(中国书店)
北京 399 信箱

Editor: Editorial Board of Journal of
Remote Sensing
P.O.Box 9718, Beijing 100101, China

Chief Editor: Xu Guanhua

Publisher: Science Press
16, Donghuangchenggenbeijie Street
Beijing 100717, China

Distributed Abroad: China International
Book Trading Corporation
(Guoji Shudian)

P.O.Box 399, Beijing, China

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>