

# 基于微波穿透性能对双极化 SAR 数据识别浅覆盖层岩石的研究

叶超, 邢立新\*, 崔建楠 (吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林长春 130026)

**摘要** 在对雷达波穿透性能影响因素研究的基础上, 通过对阿巴嘎地区 ALOS 卫星地物后向散射强度数据进行分析, 显示出在不同极化方式下 ALOS 数据具有的差异性。结合 Landsat 7 卫星获得的影像数据, 对其差异性进行分析, 表明 HH 极化方式能够识别山体边缘浅覆盖层下的岩石。研究表明, ALOS HH 极化方式对浅覆盖层下岩石的识别更具优势。

**关键词** 双极化 SAR; ALOS; 穿透性能; 后向散射

中图分类号 S126; TP79 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)04-369-03

**Based on the Study of Microwave Penetration Performance in the Dual-Polarisation SAR Data for Recognizing the Shallow Layer of Rock**

YE Chao, XING Li-xin\*, CUI Jian-nan (College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun, Jilin 130026)

**Abstract** Firstly, the ALOS data of ground objects scattering intensity are analyzed in Abaga area based on the research of influence factors in the radar wave penetration performance. In terms of the data, there are the certain differences shown between diverse polarization modes of ALOS data. Then, combining acquired image data from the Landsat 7, it reflects the fact that HH polarization mode of ALOS data manages to identify the rocks which isolate beneath the shallow layer of mountains margin by the means of analysis these differences. Overall, ALOS HH polarization mode demonstrates the superiority in the identification of rocks beneath the shallow layer of mountains margin.

**Key words** Dual-polarisation SAR; ALOS; Penetration performance; Backscatter

SAR 是一种使用微波探测地表目标的主动式成像传感器, 具有全天候、全天时成像能力<sup>[1]</sup>。极化 SAR 正是在 SAR 技术发展的大背景下发展起来的, 是 SAR 的一个重要部分。极化 SAR 技术利用不同的式交替发射和接收雷达信号, 从而使得雷达系统能够获得丰富的地物目标散射特性信息<sup>[2]</sup>。由于目标对于不同极化方式的电磁波具有不同的调制作用, 因此极化雷达能够全面地获取目标在观测方向上的散射特性, 相比于传统的固定极化方式的 SAR 蕴含了更加丰富的信息量, 这使得人们对于目标的物理特性如方向、形状、粗糙度、介电常数等有更为深入的分析<sup>[3]</sup>。此外, 由于微波对地表有一定的穿透能力, 因此不仅能够对地表目标进行观测, 还可以对一定深度的地下目标进行探测。

ALOS 卫星是日本 2006 年发射的对地观测卫星, 装有 3 个传感器, 其中一个为相控阵型 L 波段合成孔径雷达 (PAL-SAR), 用于全天时全天候陆地观测。PALSAR 是一种主动式微波传感器, 它不受云层、天气和昼夜影响, 可全天候对地观测, 比传统卫星所携带的 SAR 传感器性能更优越。该传感器具有高分辨率、扫描式合成孔径雷达、极化 3 种观测模式, 使之能获取比普通 SAR 更宽的地面幅宽。目前国内主要将数据应用于植被分类的研究; 对裸土信息提取及土壤含水量的反演; 对特定地物的分类识别等。

笔者在研究雷达穿透能力基础上, 通过对地物后向散射系数的分析, 对比不同时相和极化方式的 ALOS 数据, 取山体边缘区域与 Landsat 7 卫星获得的影像数据作对比, 证实了 ALOS 双极化在地表浅覆盖层的条件下对地探测的优势。

## 1 微波穿透性能

**1.1 波长** 电磁波在介质中传播总会发生衰减, 引起衰减的原因主要是介质的吸收和传播过程中的散射, 但对一些低损耗介质, 波长较长的电磁波具有一定的穿透能力<sup>[4]</sup>。

对于土壤层, 可以将其视为均匀介质层。其复介电常数分为实部和虚部, 虚部表示介质将电磁波能量吸收并转化的能力<sup>[5]</sup>。穿透深度  $\delta_p$  定义为电场强度在有损介质中衰减到  $1/e$  时介质中的深度  $\delta_p$ :

$$\delta_p = \frac{1}{2a} \quad (1)$$

式中,  $a$  为电场衰减系数, 计算公式为:

$$a = \frac{2\pi}{\lambda} \left( \frac{\mu\epsilon_r}{2} \left\{ \left[ 1 + \left( \frac{\epsilon_i}{\epsilon_r} \right)^2 \right]^{1/2} - 1 \right\} \right) \quad (2)$$

所以  $\delta_p$  也可以表示为:

$$\delta_p = \frac{\lambda}{4\pi} \frac{1}{\left( \frac{\mu\epsilon_r}{2} \left\{ \left[ 1 + \left( \frac{\epsilon_i}{\epsilon_r} \right)^2 \right]^{1/2} - 1 \right\} \right)^{1/2}} \quad (3)$$

式中,  $\lambda$  为波长;  $\mu$  为磁导率;  $\epsilon_r$  为复介电常数实部;  $\epsilon_i$  为复介电常数虚部。由于在微波波段, 非铁磁质的相对导磁率十分接近于 1, 即  $\mu \cong 1$ , 正常条件下  $\epsilon_r \gg \epsilon_i$ , 即  $\epsilon_i/\epsilon_r < 0.1$ 。

则(3)式最终可简化为:

$$\delta_p = \frac{\lambda \sqrt{\epsilon_r}}{2\pi\epsilon_i} \quad (4)$$

可见穿透深度与波长成正比, 与复介电常数实部成反比, 对于各种自然的松散介质, 复介电常数的大小主要与含水量有关。除水以外, 大多数自然介质材料可用上式(4)计算<sup>[6]</sup>。

**1.2 入射角** 如图 1 所示, 平面电磁波在不同介质界面上反射与折射特性与可见光的特性基本相似, 折射角  $\theta_2$  与入射角  $\theta_1$  之间则满足 Snell 定律<sup>[7]</sup>:

**作者简介** 叶超(1987-), 男, 硕士研究生, 从事极化 SAR 技术的原理及应用研究。\* 通讯作者, 教授, 从事遥感与地理信息系统方面的教学与研究工作。

**收稿日期** 2014-12-15

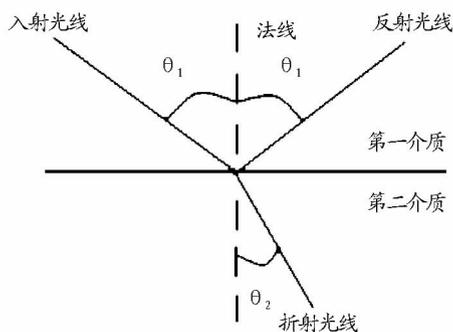


图1 Snell 定律

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2}} \quad (5)$$

式中,  $\varepsilon_1$  代表空气的介电常数;  $\varepsilon_2$  代表介质的介电常数。

微波电磁波的入射角越小, 在穿透相同深度的情况下传播的路径就越短, 损失的能量就越小。因此采用较小的入射角可以提高探测次地表地物的能力。

**1.3 入射波极化方式** 电场在入射平面, 称为平行极化, 即 H 极化; 电场垂直于入射平面, 称垂直极化, 即 V 极化。分别对两种极化波在不同介质界面上进行折射的能力进行分析:

入射波为平行极化时, 透射系数  $T_{11}$  为:

$$T_{11} = \frac{2(\varepsilon_2/\varepsilon_1)\cos\theta_1}{(\varepsilon_2/\varepsilon_1)\cos\theta_1 + \sqrt{(\varepsilon_2/\varepsilon_1)\sin^2\theta_1}} \quad (6)$$

入射波为垂直极化时, 透射系数  $T_{\perp}$  为:

$$T_{\perp} = \frac{2\cos\theta_1}{(\cos\theta_1 + \sqrt{(\varepsilon_2/\varepsilon_1) - \sin^2\theta_1})} \quad (7)$$

表1 ALOS 卫星上搭载的 PALSAR 基本参数

参数	高分辨率模式		扫描式合成孔径雷达	极化(试验模式)
中心频率//MHz	1 270 (L波段)			
线性调频宽度//MHz	28	14	14, 28	14
极化方式	HH 或 VV	HH + HV 或 VV + VH	HH 或 VV	HH + HV + VH + VV
入射角//°	8 ~ 60	8 ~ 60	18 ~ 43	8 ~ 30
空间分辨率//M	7 ~ 44	14 ~ 88	100(多视条件下)	2 ~ 89

另外选用美国 1999 年发射的 Landsat 7 卫星获得的影像数据, 获取时间为 2010 年 9 月 23 日, 包括 8 个波段, 空间分辨率为 30 m, 选用了 741 波段。741 波段组合图像具有兼容中红外、近红外及可见光波段信息的优势, 图面色彩丰富, 层次感好, 具有极为丰富的地质信息和地表环境信息; 而且清晰度高, 干扰信息少, 地质可解译程度高, 各种构造形迹显示清楚, 不同类型的岩石区边界清晰, 岩石地层单元的边界、特殊岩性的展布以及火山机构也显示清楚, 在各波段组合中效果最好。

### 3 数据处理与分析

#### 3.1 数据预处理

**3.1.1 多视处理。** 由于使用 1.1 级别的数据为单视复数图像, 经过距离和方位(单视)的压缩, 因此需要进行多视处理来提高 SAR 图像的信噪比, 进而有效抑制斑点噪声。该研究使用 ENVI SARscape 对研究区的 PALSAR 双极化数据进行了距离向和方位向的 4 视处理, 原始图像和多视处理后的

由于  $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ ,  $\cos\theta_1 > 0$ ,  $\sqrt{(\varepsilon_2/\varepsilon_1) - \sin^2\theta_1} > 0$ , 因此  $T_{11} > T_{\perp} > 0$ 。说明在相同条件下入射波为 H 极化能够探测到更深的深度。因此选用双极化 HH 和 HV 数据能够较好地探测浅覆盖层下的地物, 也能较全面得到地物的散射信息。

理论上定义的穿透深度并不代表雷达波仅可探测到的次地表目标的深度。因为电场强度衰减到  $1/e$ , 能量的减弱还不到 1 dB, 而一般情况下雷达波能探测到的动态范围可达 20 dB 以上, 因此雷达波探测次地表目标的极限深度取决于雷达系统的信噪比和次地表目标最终回波强度与背景回波强度的反差。

此外雷达对地表具有一定的穿透能力还需要 3 个条件; 土壤表层颗粒小; 厚度小; 气候非常干燥<sup>[8]</sup>。

## 2 研究区与数据源

**2.1 研究区** 研究区位于内蒙古自治区锡林格勒盟阿巴嘎旗地区, 气象资料表明该地区属中温带半干旱大陆性气候, 冷暖剧变, 昼夜温差大, 降水量少, 蒸发量大。地势东北高西南低, 海拔 960 ~ 1 500 m, 是以低山阶状高原、台地、丘陵为主体, 兼有多种地貌单元组成的地区。土壤类型为暗栗钙土, 其次是风沙土, 满足理论要求。

**2.2 数据源** 研究采用的数据为两幅日本 ALOS 卫星上搭载的 PALSAR 所获取的雷达图像。一幅图像获取时间为 2008 年 9 月 23 日, 极化方式为双极化, 数据级别为 1.1 级数据; 另一幅图像获取时间为 2010 年 9 月 29 日, 极化方式为双极化, 数据级别为 1.5 级数据。ALOS 卫星上搭载的 PALSAR 具体参数见表 1。

图像分别见图 2、图 3。



图2 原始图像

**3.1.2** 后向散射辐射定标。该研究采用日本宇宙航空研



图3 多视处理后的图像

究开发机构为 PALSAR 数据提供的定标方法:

$$\sigma^0 = 10 \lg(I^2 + Q^2) + CF - 32.0 \quad (8)$$

式中,  $I$  和  $Q$  分别代表复型数据的实部与虚部;  $CF$  为定标常数;  $HH$  极化数据为  $-83$ ;  $HV$  极化数据为  $-80$ 。经过辐射定标处理后, 得到 1.1 级别数据的后向散射强度图像。

**3.1.3 滤波和几何校正。** 分别对多视处理后的图像进行滤波处理, 局部统计滤波既可以抑制相干斑噪声, 又能保留极化信息, 因此是一种综合性能良好的极化滤波方法。该研究中采取了精制 Lee 滤波, 不仅可以有效地抑制相干斑噪声, 同时还能保持图像的分辨率和保留目标的极化信息<sup>[9-10]</sup>。以 ALOS PALSAR1.5 级数据作为参考影像对 1.1 级数据进行几何校正。

**3.2 地物后向散射特性分析** 地面目标的表面都要对入射电磁波产生反射, 只是随物体性质, 大小尺寸以原表面形态与波长的相对关系的不同, 将分别发生镜面反射或漫反射(即散射)。将沿电磁波入射方向返回的散射称之为后向散射。雷达接收的电磁波中包含有地物的信息, 不同地物具有不同的介电常数和回波特性, 因此在雷达图像上也显示出不同的后向散射系数。

**3.2.1 建筑物。** 由于建筑物较易与地面形成角反射器, 不同高度的建筑物也易形成强反射体, 从而产生偶次散射。同极化图像上的回波信号主要由面散射决定, 交叉极化图像上的回波信号则主要由体散射来决定, 因此交叉极化图像不易受角反射器类特殊回波的影响。同时相较于  $HH$  极化数据,  $HV$  数据中对建筑工地和裸土与建筑物的区别也更加清晰。所以用  $HV$  极化数据来识别建筑物群效果较好, 也与实际相符。

**3.2.2 道路。** 人工铺设的道路表面一般比较光滑, 在小范围内标准高度差小, 粗糙度较小, 易发生镜面反射, 在影像上表现比较暗。特别是卫星方位向上的道路在  $HV$  极化方式下基本不能识别。

**3.2.3 网围栏。** 研究区主要为牧区草原, 大范围的建有网围栏。草原围栏网普遍采用高强度钢丝、铁丝材质, 自动化拧编而成, 高度一般不超过 2 m。金属的介电常数具有随频

率高低产生变化的特性, 该研究所选用数据频率为 1.27 GHz, 远远小于金属的阻尼指数( $\gamma_0$  约为  $10^{13}$  Hz), 这种情况下金属的介电常数是一个复数。此时金属的相对介电常数很大与其他非导体差别很大, 在图像上较易分辨。

**3.2.4 土壤。** 土壤参数对雷达后向散射回波有着重要的影响, 其中包含地表粗糙度, 土壤成分, 含水量等。在同样的均方根高度或相关长度的变化范围内, 对于波长较长的 L 波段, 这种地表状况比较平滑, 因此相对与其他波段的微波数据 L 波段数据受地表粗糙度影响较小。该地区风成作用比较强烈, 土壤主要为暗栗钙土, 其次是风沙土, 颗粒小成分较单一。由于降水量小, 蒸发量大, 气候干旱, 且所选数据为 9 月底, 植被稀少, 土壤含水量低。因此该地区整体土壤介电常数较小, 反射回波弱在影像上表现为深色调。

此外, 复介电常数虚部与土壤含水量呈线性相关, 土壤水分含量低造成该地区土壤复介电常数虚部较小。由于复介电常数虚部一般标志着电介质损耗的大小, 因此也为 L 波穿透浅层地表土壤提供了依据。

**3.2.5 岩石。** 由于岩石结构的不同以及地形的影响, 使得其雷达回波信号强度差异极大, 同时受各种潜覆盖土层的影响, 很难将其与其他的物类型区分开来<sup>[11]</sup>。但是由于岩石的结构和地形相对比较稳定, 相同位置的岩石在不同时相的后向散射基本相同。

不同时相的 ALOS 数据在对岩石的识别上基本一致, 由于在不同极化方式下得到的数据岩石的后向散射差异较大, 俯角越大差异越大, 因此取在  $HH$  极化数据上判断为岩石而  $HV$  极化上未识别的部分(见图 4 黑色部分), 成条带状依山势的走向分布, 宽度几十米不等。

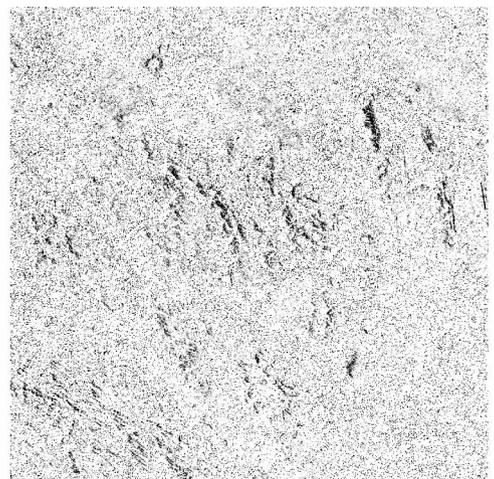


图4  $HH$  与  $HV$  极化差异部分

对具体各部分进行详细区分,  $HH$  与  $HV$  2 种极化方式对山体的识别差异主要是在山体边缘附近。其中靠近山体的一部分在 Landsat 7 卫星获得的影像数据上区分出是山体岩石, 另外更远离山体的一部分在  $HV$  极化方式数据和 L7 数据上均未发现, 说明  $H$  极化波在该地区拥有较深的穿透深度。同时由于地势较平缓, 风化作用强, 表面相对较光滑,

(下转第 392 页)

进展,改进现有陈旧实验,为学生更好的掌握生物化学和生理学夯实了基础;同时又节约了资源,使得资源得到了最优的配置。因此,高校开设分子生物学实验可以参照该院系的经验,在全校范围内统一开设分子生物学实验,这样既可以避免重复开设造成的资源浪费,还可以节约部分资金,从而购买一些比较先进的仪器设备,为有效开设分子生物学实验课奠定良好的基础。

**2.2 精选实验内容和加大设计性实验比重** 随着分子生物学的迅速发展,国内外不同版本的分子生物学教材不断涌现,各高校应该根据自身需要来选择适合的教材。随着实验技术的发展,本科生教学中也应该设计到分子杂交与印迹技术、外源基因转移技术、蛋白质表达技术、分子标记技术、分子改造技术、测序及人工合成技术、基因组学技术、蛋白质组学技术、生物芯片技术、生物信息学技术、RNA 研究技术等。设计性分子生物学实验是一种介于基本教学实验与实际科学研究实验之间,对科学实验的全过程进行初步训练的教学实验。课程安排上可以由教师给出任务和要求,学生通过查阅资料,自行设计实验方案、操作步骤,并写出可行性报告,最后在教师指导、点评与讨论中共同完成实验设计方案,实验方案通过后学生自行准备实验所用的试剂、耗材及仪器设备等,最后在教师指导下利用该实验室的条件完成设计性实验。

**2.3 增加实验课时数和合理调整实验课的时间** 增加实验课时数是进行分子生物学实验教学改革的前提条件,有些高校目前的课时数无法满足分子生物学实验教学需要。在课时数增加后一方面可以增加基础性实验,另一方面可以有目的的开设一些设计性实验,让学生结合所学理论知识和实验技能查阅资料,充分发挥主观能动性。可将分子生物学实验集中在一周到两周内进行,这样既可以避免学生因为实验课间隔的时间太长而忘记上一次实验的内容,还可以避免因为时间长造成的实验误差。

**2.4 多种教学手段的使用提高学生兴趣,培养学生自主学习能力** 多媒体技术利用图文、声音、动画以及影像等多种形式将教师要讲授的教学内容以灵活的方式展现给学生,使学生获得直观、形象、深刻的印象,在有限的时间内增加信息量,实验空隙给学生,集中讲解学生提出的问题,每个

(上接第 371 页)

去极化作用弱,造成 HV 极化回波弱,识别能力较差。

#### 4 结论

基于微波的穿透性能,SAR 技术可以对次地表地物进行探测。通过比较 ALOS 不同极化方式得到的后向散射强度数据,可以得出不同极化方式之间识别的差异性。在对山体边缘岩石识别中结合 Landsat 7 卫星影像数据,可以证实 HH 极化对山体边缘浅覆盖层岩石的识别。由此得出结论: ALOS HH 极化方式基于特定的波长和极化方式可以对浅覆盖层下的岩石进行有效的识别。

#### 参考文献

[1] 丁晓利,陈永奇,李志林等.合成孔径雷达干涉技术及其在地表形变监

验中向学生多提出几个“为什么”,提高课堂效率。改变过去实验课都是实验员和任课教师准备好,学生按照实验教材的内容去完成得出结果的做法,由教师带领参与准备实验的学生完成预备实验,全程监督,严格要求,在具体操作方面,从试剂的配制、分装到保存,仪器的使用及养护等都给予精心的指导,并对实验过程中出现的问题给予分析和指导。通过参与实验准备,有助于学生理解和掌握整个实验,同时也可激发学生参与实验的兴趣和欲望。

**2.5 完善实验成绩评定体系** 评定学生实验成绩不仅是给学生一个分数,其目的主要是为了能够客观公正的检验学生对实验知识及技能的理解、掌握和运用程度,在实验教学过程中,传统的实验考核方式,比如实验报告的提交等,暴露出许多弊端,为了让学生的成绩真正反应学生的水平,可以将实验报告的成绩适当降低并采取雷同扣分制。在实验操作过程中随机提问,根据学生的实际操作情况、对所做实验原理的了解程度,以及实验后对实验的复述情况,给出学生平时的成绩。另外,出勤情况从一个方面反映了学生对实验的重视程度以及责任感,可以设置考勤分值。

分子生物学实验教学改革取得了一定的成绩也存在一些问题,只有通过不断地学习摸索、创新实践和总结,才能更好地开展分子生物学实验教学工作。改革的同时,由于学生主动性增强,势必对教师提出更多的要求,教师亦要不断进行学习提高。通过改革,师生都会不断取得进步。这样不仅为社会培养了合格的专业人才,也提高了教师的教学和科研能力,更能促进教学提高、学校发展及社会进步。但实验教学改革会遇到诸如时间、经费的问题,因此需要在改革过程中不断进行探索修订,以期获得更好的效果。

#### 参考文献

- [1] 李小洁,唐璟,董淑芬.本科生分子生物学实验教改中存在的问题及对策[J].科技与法制,2011(9):188,412.
- [2] 冯尚国,王慧中.分子生物学实验教学改革初探[J].科技资讯,2010(17):198.
- [3] 卢亚萍,汪瑾,张炜,等.分子生物学实验课程中自行设计实验的实践[J].生物学杂志,2012,29(5):104-105.
- [4] 杨昆,朱利泉,李帮秀.分子生物学实验教学改革的探讨[J].实验科学与技术,2010,8(4):109-110.
- [5] 苏成付.分子生物学教学改革探究[J].安徽农业科学,2014,42(19):6497-6498.
- [6] 测中的应用[J].紫金山天文台台刊,2000,19(2):100-109.
- [7] 郭睿.极化 SAR 处理中若干问题的研究[D].西安:西安电子科技大学,2012.
- [8] 熊涛.极化干涉合成孔径雷达应用的关键技术研究[D].北京:清华大学,2009.
- [9] 周智敏,黄晓涛.VHF/UHF 超宽带合成孔径雷达穿透性能分析[J].系统工程与电子技术,2003(11):1336-1340.
- [10] 郭华东,刘浩,王心源,等.航天成像雷达对阿拉善高次地表古水系探测与古环境分析[J].中国科学(D 辑),2000(1):88-96,113.
- [11] ULABY F, T ELACHI C. Radar polarimetry for geoscience applications[M]. MA: Artech House, 1990.
- [12] 徐立勤,曹伟.电磁场与电磁波理论[M].北京:科学出版社,2010.
- [13] 郭华东.雷达对地观测理论与应用[M].北京:科学出版社,2000.
- [14] 汪洋.极化合成孔径雷达图像处理及其应用研究[D].合肥:安徽大学,2007.
- [15] 韩桂红.干旱区盐渍地极化雷达土壤水分反演研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2013.
- [16] 曹云刚.多时相 ASAR 数据的地表覆盖分类研究[J].测绘科学,2007(5):103-105,204.