

地形坡面对被动微波遥感影响的试验研究

李欣欣^{1,2}, 张立新^{1,2}, 蒋玲梅^{1,2}, 赵少杰^{1,2}, 赵天杰^{1,2}

(1. 北京师范大学/中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要:地表起伏所形成的倾斜表面,特别是在山区,受地形坡度和坡向变化的影响,地表的微波辐射特征较之平坦地表发生明显变化。基于地基微波辐射地形试验,模拟星载被动微波辐射计 AMSR-E 的观测参数,通过建立地形坡面的地貌微缩景观进行观测,探索地表斜坡对被动微波辐射特征的影响,用 AIEM 模型和 Fresnel 方程分别模拟裸土地形坡面的微波辐射特征。结果表明,倾斜坡面对被动微波辐射的亮度温度产生了 10~15 K 的偏差,由坡度形成的本地入射角改变了地表的有效发射率,并随坡向的变化发生微波极化旋转。经试验数据和模型模拟结果对比,认为 AIEM 在考虑了表面粗糙度影响时可以较好地模拟地形坡面的被动微波辐射特征。

关键词:地形坡面;被动微波遥感;地形试验;AIEM;AMSR-E

中图分类号:TP 722.6;TP 721.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2011)01-0074-08

1 引言

地形是陆地表面形态的真实体现,它既是卫星遥感观测的主体之一,也是遥感地表参数反演的制约体。一切自然地表都能向外发射微波辐射,特别是穿透性强、信息丰富的微波,在对地观测中具有独特优势,星载微波辐射计以被动工作方式接受地表的相位非相干自然辐射,在 0.3~100 GHz 的频率范围内实现被动微波遥感大尺度地表信息。由于地形的存在,地表发射的微波辐射受到影响,电磁波的传输方向会发生偏转,辐射计的实际观测角度也会因地表的倾斜发生改变。无论是何种地表形态,随着地势的起伏变化,或缓或陡的倾斜地表会形成连续或单一的坡面,它广泛分布在多种地形中。地形坡面中最重要的地形因子是坡度和坡向,它们直接影响地物微波辐射的传输路径和能量的传递。因此,地形坡面作为微波能量传输的地表单元,是被动微波遥感机理研究的重要对象。正确理解坡面在微波辐射传输中的作用机制,为有效消除微波地形影响提供了可能,进一步提高被动微波遥感地表参数反演的精度,这也是本文的研究目的。

倾斜地表微波辐射特征不同于平地,引起地形坡面辐射偏差,如 Kerr 等^[1]将数字高程模型(DEM)融入模型研究中,发现在倾斜地表模拟得到的亮温值与平坦地表模拟值相比有十几开尔文的偏差。Talone 等^[2]用 30 m 分辨率的 DEM 和 100 m 分辨率的地表覆盖图作为 SMOS 辐射传输模型的输入参量,通过图像处理技术判断坡面阴影像元,通过对阴影像元的亮温值进行校正考虑了坡面阴影对微波辐射的影响。Mialon 等^[3]更进一步地讨论了阴影和本地入射角在欧空局土壤湿度与海水盐度(SMOS)计划中的影响,并发展了一项准则用以识别 SMOS 观测的像元亮温值在坡面阴影和本地入射角的影响下观测误差是否满足不大于 4 K 的要求,但由于采用 L 波段卫星微波辐射观测,空间分辨率进一步降低,即便是全球大范围连续地形起伏区域对该波长范围的观测影响也表现得很小,在反演土壤水分等地表参数时,其反演误差在允许精度范围(<4%)。Sandells^[4]和 Matzler、Standley^[5]的研究以观测目标的几何光学原理为基础,基于微波辐射传输方程,假设地面为朗伯体和镜面反射两部分组成,分别讨论了地表海拔高度、坡度以及坡面阴影对微波辐射亮度温度的影响。近期,

收稿日期:2010-06-17;修订日期:2010-09-26

基金项目:国家 973 计划项目(2007CB714403)资助;欧盟 FP7 计划项目“青藏高原土壤水分产品反演”(212921)资助。

作者简介:李欣欣(1985—),女,陕西商洛人,硕士研究生,主要从事被动微波遥感模型机理研究。E-mail:lixix213@mail.bnu.edu.cn。

Alejandro 等^[6]已将裸露地表的地形影响扩展到考虑地表多覆盖要素,如土壤水分、植被生物量等与地形的关系,综合分析了多地表因素影响下的辐射计观测亮温的空间分异性。我国已有研究者郭英^[7]在被动微波辐射研究中基于 AIEM 模型的模拟,定量分析和评价了本地入射角、极化旋转和阴影对地表发射率的影响,在此基础上提出了基于被动微波像元尺度的地形校正算法,该算法验证表明只有 2 K 左右的坡面亮温偏差,缺乏地表真实性实验的验证。对于微波遥感地形影响的探讨在国内外已引起了广泛关注,虽然结合 DEM 已获得了许多结论,但都没有地面试验的支持,各项研究结果间仍存在分歧,缺少真实性检验,因而也就没能提出较可靠的微波辐射地形模型,而本研究的意义正是要通过地面辐射计观测,重点研究地形坡面,明确地形效应的影响因子,及其在微波辐射中的作用,据此发展微波辐射的地形效应模拟模型。本研究立足于地形效应观测试验,模拟 AMSR-E 的参数设置,探索地形坡面对被动微波辐射特征的影响。

2 微波辐射的坡面效应

影响裸露地表微波辐射特征——亮度温度的物理量主要有微波极化方式、辐射计观测角度、地表温

度以及土壤介电常数^[8]。地形坡面是兼有坡度和坡向信息的倾斜地表面。当微波辐射计观测地表时,若观测环境稳定,即地表温度和土壤状况保持不变,则微波极化方式和辐射计观测角度随地表的起伏变化发生改变。根据 Kirchhoff 定理,对一切物体来说发射率等于吸收率,在被动微波遥感中物体发射的微波辐射可以等同的理解为辐射计发射的微波能量,认为地表的电磁波出射角等于辐射计的观测角。地表坡度的存在使地表法线不再垂直于水平面,而是垂直于坡面,这样由地表法线和辐射计的发射路径所形成的观测角发生偏转,形成本地入射角,也就是说地球表面坐标系下的全局入射角在斜坡的作用下转换为地形局部坐标系下的本地入射角。辐射计观测角、本地入射角以及坡度三者之间可以从几何学的角度解析如下: θ_1 、 θ 、 α 分别代表本地入射角、辐射计观测角和山体坡度, n_1 表示地表铅垂法向量, n_2 表示坡面法向量, k 表示入射向量。

(1) 当入射向量 k 和全局法向量 n_1 分别在本地法向量 n_2 两侧时,在大角度观测条件下,有 $\alpha = \theta - \theta_1$,如图 1(a)。

(2) 当入射向量 k 和全局法向量 n_1 分别在本地法向量 n_2 一侧时,即在小角度观测时,又有 $\alpha = \theta + \theta_1$,如图 1(b)。

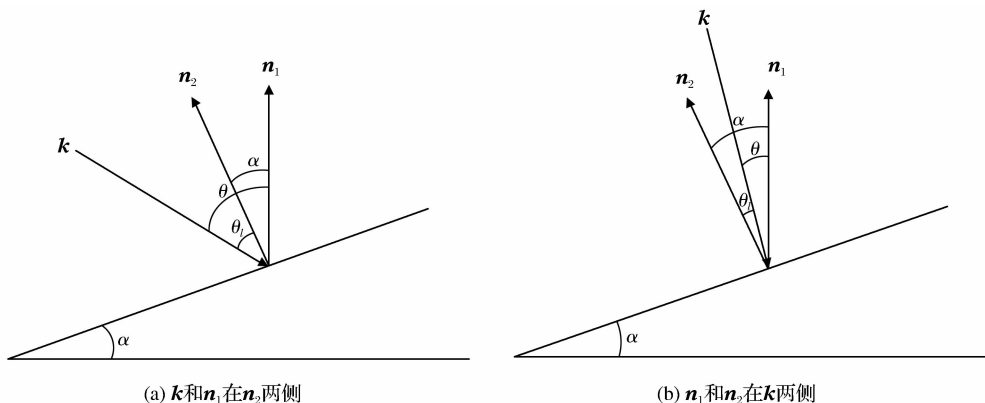


图 1 本地入射角的形成

Fig. 1 The formation of local incident angles

据此,本地入射角的计算公式可以表示如下:

$$\theta_1 = \pm (\theta - \alpha) \quad (1)$$

$$\cos(\theta_1) = \cos(\theta - \alpha) \quad (2)$$

$$\cos(\theta_1) = \cos\alpha \cdot \cos\theta + \sin\alpha \cdot \sin\theta \quad (3)$$

式(3)表示了由全局观测角 θ 转换为本地入射角 θ_1 的计算公式。

极化是微波的特征属性,它表示电磁波的传播

方向,极化方向以地球表面为参考平面,电场 E 向量方向即为极化方向。水平线性极化方向定义为与地球表面平行,垂直线性极化与之垂直。因此,当地表不是水平分布时,极化方向随起伏地表一定会发生改变,特别是坡面方位各异时,极化因坡向的不同而发生旋转,在重新确立的电磁波本地入射坐标系下,形成极化旋转角, R 为地形面元到地表水平面的垂直距离,如图 2 所示。

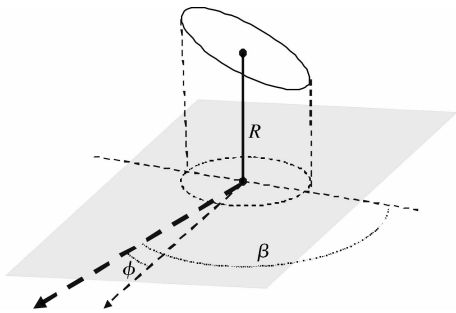


图 2 极化旋转角的形成

Fig. 2 The formation of polarization rotation angles

在地形坡面的影响下,极化旋转角可表示为下式:

$$\sin \varphi = \sin(\phi - \beta) \sin \alpha / \sin \theta_i \tag{4}$$

其中: φ 表示极化旋转角, α 代表坡度, β 表示坡向, ϕ 描述观测视场方位角。

同时,因为辐射计的观测角是联系极化与地表发射率的重要纽带,极化和入射角共同作用于地表发射率,在极化旋转和本地入射角的影响下,地表发射率表示为式(5)。

$$\begin{aligned} E_v(\theta) &= E_v(\theta_i) \cos^2 \varphi + E_h(\theta_i) \sin^2 \varphi \\ E_h(\theta) &= E_v(\theta_i) \sin^2 \varphi - E_h(\theta_i) \cos^2 \varphi \end{aligned} \tag{5}$$

其中: E_v 和 E_h 分别表示垂直极化和水平极化地表发射率。

微波遥感接受地表真实电磁波辐射能量,首先要考虑的是大气的影响。研究表明对于频率小于 10 GHz 的观测通道,可以不受大气的影响^[8],坡面高度会影响微波辐射大气传输的光学厚度,因此,选择不同的观测频率坡面产生的辐射效应也会有所不

同。由此,在不考虑大气的状况下,裸露地表微波辐射特征——亮温值 T_B ,由式(6) 表示:

$$T_B = E_p(\theta) \cdot T \tag{6}$$

这里 $E(\theta)$ 是根据式(5),由本地入射角和极化旋转角计算得到的地形坡面影响下的微波有效发射率, P 表示水平极化或者垂直极化。 T 代表地表物理温度。至此,我们得出了裸露坡面地表的微波辐射传输方程。

3 试验数据准备

为了探索地形坡面对被动微波遥感的影响,以微波辐射特征的坡面效应试验作为研究的基石,在微波遥感保定试验场内人工建构地形坡面微缩地貌景观,模拟星载微波辐射计 AMSR-E 的观测参数设置,利用车载微波辐射计(SMMR)观测裸露地表坡面的微波辐射特征。试验场位于 115°22'20.87"E, 38°40'18.47"N 的河北省保定市清苑县冉庄,采用多频率双极化的车载微波辐射计获得地表亮温信息,辅以手持式热红外测温仪测量地表温度,坡度仪测量坡面的坡度角。控制试验中的环境条件(空气湿度、空气温度、土壤湿度等)保持稳定,土壤类型为黄砂质潮土,模拟 AMSR-E 观测,具体的观测参数见表 1。AMSR-E 是搭载在日本先进微波辐射计卫星(AMSR)上的多频率双极化圆锥式扫描微波辐射计,其观测频率分布于 6.9~89 GHz,观测角度为 55°,用于对地球进行整体观测,特别是获得地球上与水相关的地球物理参数。

表 1 试验参数设置
Table 1 Parameters for the experiment

观测角度	观测频率/GHz	土壤类型	土壤体积含水量/%	土壤温度/℃	土壤砂粒含量/%	土壤粘粒含量/%
55°	6.925、10.25	黄砂质潮土	12.8 v/v	15.8	51.7 v/v	8.2 v/v

试验采用局部变量控制方法,通过堆建棱柱状山体 and 圆锥状山体,调整辐射计观测的视场范围使辐射计对本地入射角和极化旋转角进行独立观测。辐射计观测主波瓣为 3 db 及 10 db,其椭圆视场的中心与地形底面的中心重合,地形坡面测量试验场(图 3)的建立参数如表 2 所示。

这样,当观测对象是棱柱状山体时,使辐射计只观测山体的单向坡面,避免了因坡向变化而产生的极化旋转现象,以本地入射角为单一地形变量,改变

坡面的坡度角进行地形坡度的系列观测,如图 4 所示;当观测对象是圆锥状山体时,由于坡向是在 0~360°之间变化的,即辐射计观测的每一个面元都具有不同的坡面方向,同时固定坡度角不变,地形的微波辐射信息只与坡向有关,独立考察了微波的极化特性,如图 5 所示。此外,分别用小于 10 GHz 的 C 波段和略大于 10 GHz 的 X 波段观测棱柱状山体的坡面,考察在不同频率下大气对微波辐射地形效应的影响。

表 2 地形试验场建立参数

Table 2 Parameters for setting up observed field

参数项	观测主波瓣							
	3 dB				10 dB			
辐射计平台高度(平台至车厢底面)/m	2.5				2.5			
辐射计中心距视场近边的距离/m	7.6				6.8			
辐射计中心距视场远边的距离/m	9.6				10.9			
地形底边长度/m	3				4			
辐射计中心距地形坡面近边的距离/m	7.3				6.8			
辐射计中心距地形坡面远边的距离/m	10.03				10.8			
坡度/°	0	10	20	30	0	10	20	30
坡高/m	0	0.27	0.55	0.87	0	0.35	0.73	1.15



图 3 地形试验场

Fig. 3 Setup of the field experiment



图 5 坡度角为 30°的圆锥状山体坡面

Fig. 5 Conic hill with slope angle 30°

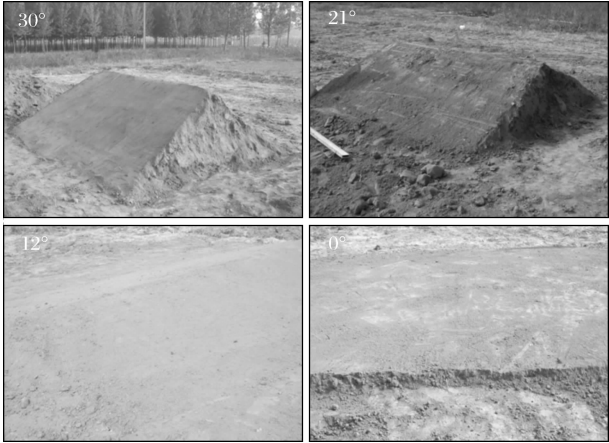


图 4 不同坡度的棱柱状山体坡面

Fig. 4 Views of relief landscape of different slopes:
30°、21°、10° and 0° prismsy hills

试验地形观测与土壤参数测量协同进行,具体试验步骤如下:

- (1) 辐射计定标;
- (2) 在观测足迹内建立平坦地形观测场(4 m×4 m);
- (3) 辐射计观测平坦地表;

- (4) 采集平坦地表土样;
- (5) 建造棱柱状山体,坡度从 0~30°间变化;
- (6) 观测棱柱状山体;

(a) 分别观测不同坡度角的坡面;

(b) 测量每个坡面的土壤温度;

(c) 采集每个坡面的土样;
- (7) 观测圆锥状山体;

(a) 观测整个圆锥山体,坡向范围 0~360°;

(b) 从各个方向测量土壤温度;

(c) 土壤采样;
- (8) 重复观测步骤(6)和(7);
- (9) 保存好土样并关闭辐射计 TMMR;
- (10) 实验室测量:将土样在实验室中利用烘箱,采用烘干法测量土壤体积含水量,以及土壤的砂粒含量和粘粒含量等物理参数,人工录入存储测量数据。

4 模拟与结果分析

坡面效应的模拟也是微波辐射地形研究的模拟实验,通过坡面效应模型的建立和试验数据的分析,验证所获得知识的正确性,达到试验研究的目的和

要求——揭示坡面对微波辐射特征影响的作用规律,而试验分析所获得的信息又可以进一步修正改进模型,因此,模拟与试验二者是科学研究中相辅相成的统一体。

首先对平坦地表和坡面的观测亮温结果进行对比,二者观测的亮度温度差值说明,不同坡度的坡面 H 极化亮温值比平坦地表平均升高了 10~15 K,V 极化反之。试验中由车载辐射计获得的地形亮度温度通过公式(6)计算得到试验观测地表发射率。在地形坡面效应模拟中,首要是裸露地表发射率模型的选择。改进的积分方程(AIEM)针对被动微波辐射计观测,适用于模拟宽波段和大角度的地表微波辐射信号^[9]。利用公式(3)、(5)模拟本地入射角对坡面微波有效发射的影响,其中极化旋转角为坡向 120°的固定值,图 6 展示了在 C 波段本地入射角的试验观测地表发射率值 E_{Obs} 与模型模拟地表发射率值 E_{AIEM} 的对比结果。

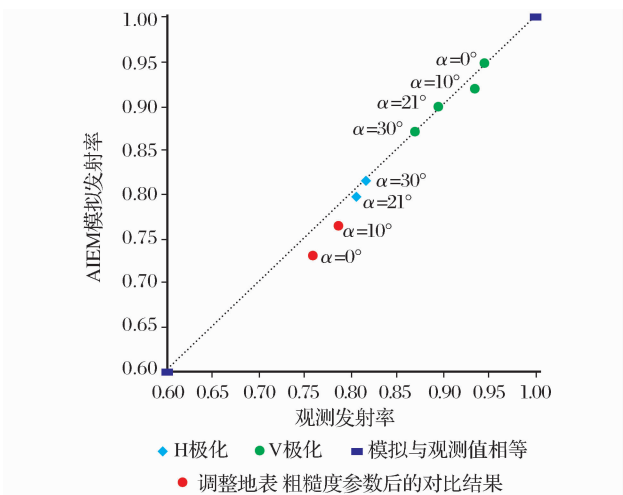


图 6 基于 AIEM 在 C 波段模拟结果与试验观测数据比较

Fig. 6 Comparison of observed data and simulation after roughness regulation at C band

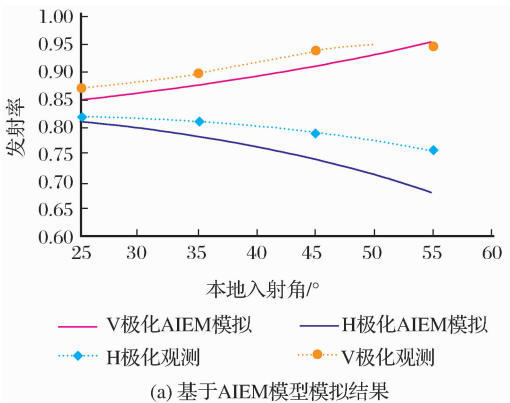


图 6 对比结果显示,地形坡面效应的模拟与试验观测的坡面发射率随本地入射角的变化趋势一致,垂直极化发射率随本地入射角的增加而增加,水平极化发射率相反,随本地入射角的增大而降低。若假设模拟值与观测值完全相等时,二者拟合度为 100%,经计算垂直极化发射率拟合度为 99.68%,水平极化拟合度为 95.25%。模拟与观测 V 极化误差变化范围是 $-0.3\% \sim +0.3\%$,H 极化误差小于 5%。由于试验条件和模型模拟的条件并不完全一致,H 极化误差主要是由于小角度起伏地表微波辐射特征的模拟造成的,我们认为在微波辐射计观测中微起伏地表既要考虑本地入射角影响也受地表粗糙度的影响,据此修改模型模拟的低起伏度地表发射率的粗糙度输入参数,以原有粗糙度参数 $\pm 2\%$ 的变化为步长分别修改了表面相关长度和均方根高度。经过修正 H 极化拟合度为 98.01%,平均误差小于 2%。两种极化方式在不同坡度下观测与模拟的比较,如图 6 所示,红色圆点为调整地表粗糙度参数后的对比结果。对于垂直极化在 $0\sim 30^\circ$ 坡度变化范围内,观测与模拟接近于直线 $E_{AIEM}=E_{Obs}$,而水平极化只有当坡度接近 20° 时模拟值与观测值才趋于一致,实验观测在近平坦起伏地表处发射率与模拟值相差 3.5%,这说明了基于 AIEM 模拟的地形效应在微波水平极化传输中与试验观测的倾斜表面的辐射特征存在差异,而垂直极化采用 AIEM 模型与实验观测比较相差 0.17%,能更好地模拟坡面微波辐射特征。图 7 显示了 AIEM 模型和 Fresnel 方程分别模拟本地入射角的坡面效应并与试验观测进行比较,由图 7(b)可以看出 V 极化模拟与实测值比 AIEM 更接近,但在 H 极化中 Fresnel 方程模拟会使实测值和模拟值差距增大,H 极化拟合度降至 94.3%,同比 AIEM 模拟结果降低了近 1%。

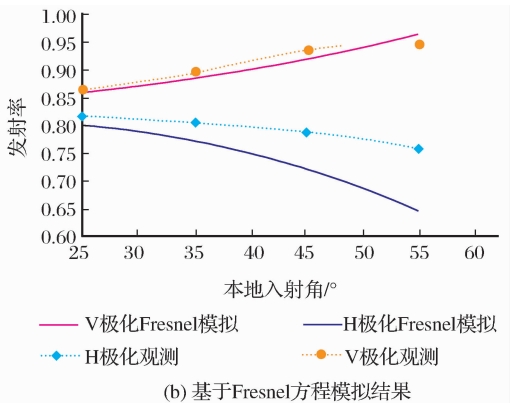


图 7 比较 AIEM 模型和 Fresnel 方程在 C 波段的坡面效应模拟

Fig. 7 Results of observed data compared with simulation based on AIEM and Fresnel at C band

这是因为 AIEM 模型考虑了地表粗糙度的影响,而 Fresnel 方程仅描述光滑理想表面的发射特性,这又一次证明了表面粗糙度在地形效应模拟中是重要的影响因素。

由公式(4)和(5)基于 AIEM 模拟坡面的极化旋转,其中本地入射角由坡度 30°计算保持不变,比较单斜面定坡向与坡向圆周变化坡面的微波辐射信息,如图 8 所示。

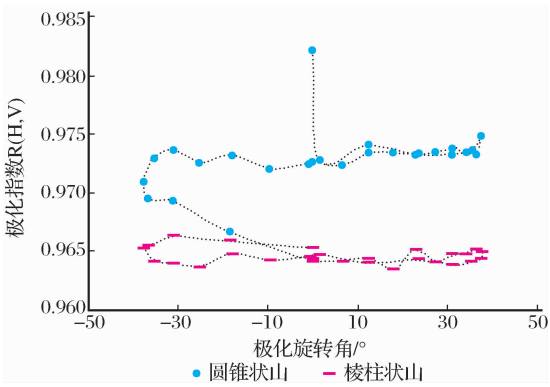


图 8 不同形状坡面极化旋转对比

Fig. 8 Polarization rotation with polarimetric ratio in different shape hills

图 8 中纵坐标 $R_{(H,V)}$ 是极化比值 r ,其表达式如式(7), T_v 和 T_h 分别表示垂直和水平极化的亮度温度。

$$r=\frac{T_v}{T_h}$$

(7)

极化比值指示 H 和 V 极化在电磁波传播方向上的方向变化性^[8]。圆锥山体(Conic hill)的微波极化指数 $R_{(H,V)}$ 随着极化旋转角的变化发生明显的方向性旋转,其 R 指数最大变化达到 2%,棱柱山体(Prismy hill)较之前者极化没有发生明显旋转变化的,仅有 0.01% 的变化。这说明了极化主要受地表形态参数(形状和方向)的影响,当观测面元的方位角发生变化则极化旋转发生。

被动微波辐射计观测地表,不得不考虑能量在大气中的传输,在本研究中采用不受大气干扰的 C 波段(<10 GHz)和可能会受大气影响的 X 波段(> 10 GHz)比较分析了大气对地形效应的影响,其中经观测 C 波段的天空亮温值为 6 K,X 波段天空亮度温度约为 8 K。如图 9 所示。图 9(a)和(c)分别显示了 V 和 H 极化的微波发射率模拟值与观测值之差 ΔE_p 随本地入射角的变化,图 9(b)和图 9(d)两幅图表示 V 和 H 极化 ΔE_p 随坡度的变化。比较结果表明,C 波段比 X 波段的观测值更逼近模型模拟结果,因 C 波段观测值与模拟值的差值 ΔE_p 在两种极化方式下曲线变化都在 X 波段曲线下方,说明 C 波段发射率差值 ΔE_p 小于 X 波段。此结论符合理论探讨,C 波段频率小于 10GHz,不受大气辐射

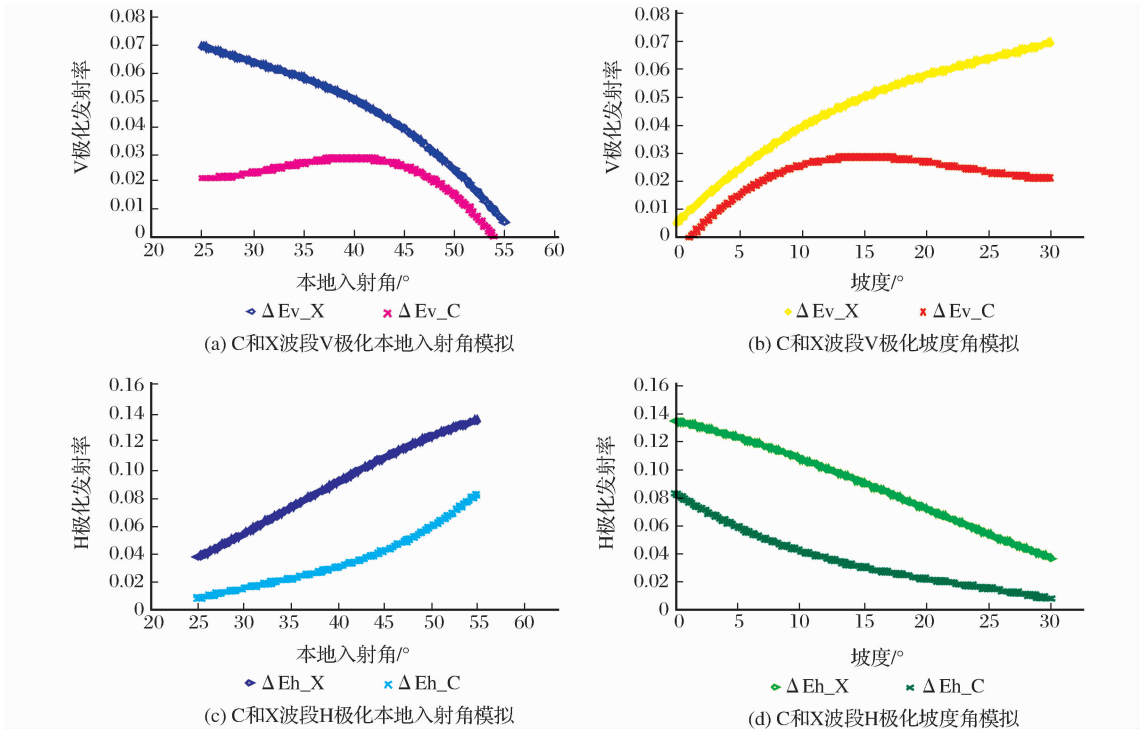


图 9 比较 C 波段和 X 波段的坡面效应微波辐射特征的模拟

Fig. 9 Results of observed data compared with simulation at C band and X band

影响,不考虑地形起伏引起的大气光学厚度变化,因此观测值与模拟值趋于一致。

5 结 语

本研究利用试验构造了一个模拟被动微波遥感坡面裸露地表的观测环境,开展了单因素地形坡面控制条件下微波辐射机理的观测研究,为了衡量我们在试验中所获取知识的正确性,通过模型模拟将坡面效应进行符合微波辐射传输特性的演绎,开展了模拟实验,由计算机系统控制组织微波辐射的坡面信息。野外试验与模拟实验的协同推进,揭示了坡度和坡向这两种地形因子对微波辐射特征的作用规律,其中最直观也是最直接的结果是地形坡面较之平坦地表(坡度为 0°)对微波辐射的亮度温度产生了 $10\sim 15\text{ K}$ 的差值影响。其次,野外试验观测表明地表微波辐射特征随着地表倾斜度的增大,电磁波的本地入射角逐渐减小,地表发射率在垂直极化呈上升趋势,在水平极化相反,逐渐减小。更进一步,由模型模拟出地形坡面的影响过程,地形坡度从 0° 开始逐渐递增,模拟曲线显示了地表微波辐射特征的渐变过程,模拟与实测值之间相互反馈,既验证了地形坡面效应的存在,通过调整地表粗糙度参数,又改进了坡面模型的模拟,尽可能地恢复了地形坡面微波辐射的原貌。因为 AIEM 模型需要考虑地表的粗糙度,模拟更接近于自然界真实地表,故而 AIEM 比 Fresnel 方程更适合描述地形坡面的微波辐射特性。同时,在坡面极化特性的研究中,我们发现坡面形状是微波极化的重要影响因素,观测坡向在不同形态山体的分布使微波极化发生旋转,所形成的极化旋转角也对地表的微波辐射特征产生直接影响。此外,本研究还考虑了坡面高度对电磁波的大气传输产生的影响,对比了两个低频波段的坡面观测,认为使用频率小于 10 GHz 的 C 波段可以消除大气的影。这样,在不考虑大气效应的条件下,坡面的坡度角和坡向共同作用于地表的微波辐射特征,观测与模拟相结合,使地形坡面理论促进被动微波遥感真实地表研究。其更深刻的意义在于通过地形坡面的校正,使被动微波遥感更精确地反演多种地表参数,为被动微波遥感土壤水分反演^[10],冻结地表微波辐射特征机理研究奠定基础。

参考文献(References):

- [1] Kerr Y, Secherre F, Lastent J, *et al.* SMOS: Analysis of Perturbing Effect Cover Land Surfaces[J]. *Process IGARSS*, 2003, 2: 908-910.
- [2] Talone M, Camps A, Monerris A, *et al.* Surface Topography and Mixed-pixel Effects on the Simulated L-band Brightness Temperatures[J]. *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, 2007, 45(7): 1996-2003.
- [3] Mialon A, Coret L, Kerr Y. H, *et al.* Flagging the Topographic Impact on the SMOS Signal [J]. *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, 2008, 46(3): 689-694.
- [4] Sandells M J, Davenport I J, Gurney R J. Passive L-band Microwave Soil Moisture Retrieval Error Arising from Topography in otherwise Uniform Scenes[J]. *Advance Water Resource*, 2008, 31(11): 1433-1443.
- [5] Matzler C, Standley A. Technical Note: Relief Effects for Passive Microwave Remote Sensing[J]. *International Journal Remote Sensing*, 2000, 21(12): 2403-2412.
- [6] Alejandro N F, Valeriy Y I, Dara E, *et al.* Impact of Hillslope-scale Organization of Topography, Soil Moisture, Soil Temperature, and Vegetation on Modeling Surface Microwave Radiation Emission[J]. *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, 2009, 47(8): 2557-2571.
- [7] Guo Ying. Study on Terrain Correction of Passive and Active Microwave Measurements and Soil Moisture Retrieval Combining Passive and Active Microwave Remote Sensing[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences, 2009. [郭英. 主被动微波遥感的地形校正与土壤水分联合反演研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2009.]
- [8] Dobson M C, Ulaby F T, Hallikainen M T, *et al.* Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil-Part II: Dielectric Mixing Models[J]. *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, 1985, GRS-23(1): 35-46.
- [9] Shi Jiancheng, Jiang Lingmei, Zhang Lixin. A Parameterized Multi-frequency-polarization Surface Emission Model [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(4): 502-514. [施建成, 蒋玲梅, 张立新. 多频率多极化地表辐射参数化模型[J]. *遥感学报*, 2006, 10(4): 502-514.]
- [10] Gao Feng, Wang Jiemin, Sun Chengquan, *et al.* Advances in Study on Microwave Remote Sensing of Soil Moisture[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2001, 2(16): 97-102. [高峰, 王介民, 孙成权, 等. 微波遥感土壤湿度研究进展[J]. *遥感技术与应用*, 2001, 2(16): 97-102.]

Measurement and Simulation of Hill-slope Effects on Passive Microwave Remote Sensing

LI Xin-xin^{1,2}, ZHANG Li-xin^{1,2}, JIANG Ling-mei^{1,2},
ZHAO Shao-jie^{1,2}, ZHAO Tian-jie^{1,2}

(1. *State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences and Beijing Normal University, Beijing 100101, China*; 2. *School of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: Hill-slope terrain has an essential influence on microwave radiation due to slope angles and aspects. It is necessary to experiment in the field by observed different topographic landscapes we designed based on the trunk-mounted microwave radiometer. In the configuration of AMSR-E, the observed data compared with simulations of relief effects modeled by AIEM and Fresnel equation. The result shows there are 10~15K bias of brightness temperatures affected by tilted angles between flat terrain and mountainous terrain. When frequencies less than 10 GHz, the relief effect of terrain elevation becomes weakened. And we certified that microwave polarization path and direction changed for surface geometrical property, such as shape and the orientation of hills.

Key words: Hill-slope; Passive microwave radiation; Experiment; AIEM; AMSR-E