

干旱区稀疏植被覆盖条件下地表 土壤水分微波遥感估算

丁建丽, 姚 远

(新疆大学资源与环境科学学院 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要:当前在干旱区土壤水分研究工作中,开展利用微波遥感技术高精度估算稀疏植被覆盖条件下地表粗糙度参数的研究是一项非常有意义的工作。基于微波遥感数据,结合土壤水分实测资料,以IEM模型为基础,分析雷达后向散射系数与土壤含水量、地表粗糙度参数之间的关系,利用最小二乘法和非线性回归的方法,建立光滑地表条件下的土壤含水量模型。结果表明:模型提取的土壤水分与实测值之间有很好的相关性,决定系数达到0.886,所建立的土壤水分信息提取模型在裸土以及稀疏植被覆盖地区能够得到较好的应用效果。

关键词:土壤水分;雷达;IEM模型;后向散射系数

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)07-0837-07

在地球系统中,土壤水分参与陆地与大气能量交换,它是陆地表面蒸散,水分运移,碳循环过程中的重要因子,并对这些过程有很强的控制作用^[1-4]。在地表水资源的形成、转化与消耗的循环过程中,土壤水分是重要的研究参数,作为地表水与地下水联系的纽带,对水文过程以及气候变化有着非常重要的调节作用^[5]。同时,土壤水分还是生态系统水循环的重要组成部分^[6],对农业科学领域的研究有着重要的意义,是进行农作物估产,旱情监测等研究中必不可少的指标参数^[7,8]。因此,对土壤水分的大面积监测已成为国际前沿研究领域的热点之一^[9-11]。但是,对于大范围的土壤水分监测,从技术手段而言,也是一个公认的难题^[9-13]。随着遥感技术的发展,大面积及时准确地监测土壤水分成为可能,与可见光及红外遥感相比,微波遥感提供了提取土壤水分空间分布的技术,利用被动微波遥感反演土壤水分^[14-16],或是主被动微波遥感相结合的方法^[17],以及将光学模型反演的植被参数作为微波模型的输入来协同反演土壤水分等方法^[18],均可以提高土壤水分的反演精度。同时,

大量的理论模型和野外实验证明,微波传感器对土壤介电特性表面粗糙度和植被覆盖特别敏感^[19-21]。

土壤介电常数与土壤水分之间有着密切的关系。土壤含水量与土壤介电常数实部呈现单值函数关系,从土壤介电常数的测量可间接获得土壤含水量的数值^[22]。在微波波段,随着土壤含水量的增加,介电常数也会很快增加,雷达的回波信号也会增大。针对雷达后向散射系数与土壤含水量之间的关系,国内外学者已经做了大量的研究,主要包括介电模型的研究以及裸露地表散射特征模型的研究^[23]。目前已经建立的介电常数模型,按构建方式可以分为三类:经验^[22,24,25]、半经验^[26,27]和物理模型^[26-28]。

裸露地表散射特征模型主要分为3类:理论模型、经验模型、半经验模型。理论模型主要有基尔霍夫模型、几何模型、光学模型、物理模型、IEM模型;经验模型主要有Oh模型、Dobuis模型;半经验模型主要有Shi模型^[29-31]。本研究以理论模型IEM为基础,主要考虑裸地及稀疏植被覆盖条件下C波段雷达数据在提取土壤水分时的适用性,首先

收稿日期: 2012-09-26; **修订日期:** 2012-11-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41261090, 41130531)、霍英东教育基金(121018)、教育部新世纪优秀人才支持计划、新疆维吾尔自治区高校科研计划青年教师科研培育基金项目(XJEDU2012S03)资助。

作者简介: 丁建丽(1974-),男,山东成武县人,博士,教授,主要从事干旱区遥感与GIS应用研究。E-mail:watarid@xju.edu.cn

利用 IEM 模型对数据进行模拟分析,在此基础上建立 C 波段土壤水分提取模型,最后对模型进行数据验证。

1 研究区概况

渭干河-库车河三角洲绿洲位于新疆南部的塔里木盆地中北部,绿洲包括库车、沙雅和新和县,总面积 $5.23 \times 10^4 \text{ km}^2$,属典型的大陆性暖温带干旱气候,多年平均气温 11.6°C ,1 月平均气温 -5.8°C ,7 月平均气温 25°C 。多年平均日较差 14.7°C ,全年 $>10^\circ\text{C}$ 积温为 $4\ 208^\circ\text{C}$,多年平均蒸发量 $2\ 420.23 \text{ mm}$,多年平均降水量为 43.1 mm ,蒸降比约 54:1。不同程度盐渍地表均生长有盐化草甸芦苇 (*Phragmites australis*)、怪柳 (*Tamarix laxa Willd.*)、花花柴 (*Karelinia caspica*) 和盐爪爪 (*Kalidium gracile*) 等耐盐植被。该区域经济方式以农牧业为主,土地利用/覆被类型为典型荒漠绿洲生态系统类型。

2 数据源与研究方法

2.1 数据源

1) RADARSAT-2 数据。本研究获取了研究区 RADARSAT-2 的影像,成像时间为 2008 年 9 月 10 日至 9 月 14 日。在卫星过境期间对地表参数进行了实地观测。RADARSAT-2 是一颗搭载 C 波段传感器的高分辨率商用雷达卫星,是由加拿大太空署与 MDA 公司合作,于 2007 年 12 月 14 日在哈萨克斯坦拜科努尔基地发射升空。

2) 雷达图像处理。原始的 RADARSAT-2 数据没有做过外定标。在进行土壤水分提取时我们首先要将图像数据转换为后向散射系数,这是通过定标来实现的^[32,33]。定标公式如下:

$$\sigma_{jk}^0 = 10 \log (D_{\text{DN}jk}^2 + A_0) / A_j + 10 \log [\sin(I_j)] \quad (1)$$

式中, j 表示第 j 列, k 表示第 k 行。 D_{DN} 为雷达图像的灰度值。 A_0 和 A_j 为雷达系统自动增益控制系数。 I_j 为每个像元沿距离方向上的入射角。定标后需对图像进行滤波^[34],在这里我们选择 Enhance Lee 滤波方式,选择 5×5 窗口。在对雷达图像进行定标之后,还需要对图像进行几何校正,在做完图像处理之后,数据才能进一步用于土壤水分的提取。

3) 实测数据。为验证土壤水分提取经验模型,在卫星过境同期测量了地表水分、地表土壤温度等数据。土壤质地结构、土壤容重等数据是根

据实验区的其他数据获得的。

2.2 IEM 模型

积分方程模型 (Integrated Equation Model, IEM) 是基于电磁波辐射传输方程的地表散射模型,由 Fung A K 等人于 1992 年提出的^[29]。该模型能在一个很宽的地表粗糙度范围内再现真实地表后向散射情况,被广泛应用于微波地表散射、辐射的模拟与分析中。该模型经过不断地改进和完善,模拟精度不断提高。

IEM 模型的表达式为:

$$\sigma_{pp}^0 = \frac{k^2}{2} e^{-2k_z^2 \delta^2} \sum_{n=1}^{\infty} \delta^{2n} \left| I_{pp}^n \right|^2 \frac{W^n(-2k_x, 0)}{n!} \quad (2)$$

式中, p_{pp} 为极化方式,为 HH 极化, k 为空间自由波数, $k_z = k \cos \theta$, $k_x = k \sin \theta$, δ 为均方根高度, $W^n(-2k_x, 0)$ 为地表粗糙度谱,对于相关长度为 l 的表达形式有高斯自相关与指数自相关, n 为阶次, I 为入射角, I_{pp}^n 为极化入射系数,其计算公式为:

$$I_{pp}^n = (2k_z)^n f_{pp} e^{-\delta^2 k_z^2} + \frac{k_z^n [F_{pp}(-k_x, 0) + F_{pp}(k_x, 0)]}{2} \quad (3)$$

式中, f_{pp} 、 F_{pp} 是相关函数,取决于空间变量。

3 裸露地表土壤水分的估算

3.1 后向散射系数与土壤含水量关系分析

为了研究土壤含水量与后向散射系数之间的关系,本研究运用 IEM 模型模拟了土壤含水量与后向散射系数之间的关系。IEM 模型的输入参数中,土壤介电常数是表征土壤含水量的参数,本研究中计算土壤介电常数时将温度设定为 25°C ,土壤质地以砂土为主,其中沙粒含量 (S) 为 60%,粘粒含量 (C) 为 13%, P_0 土壤质量为 1.2 g/cm^3 ,在土壤含水量 5%~50% 之间按 3% 的步长计算得到各土壤含水量所对应的介电常数,然后将计算得到的介电常数代入 IEM 模型,得到与土壤含水量对应的后向散射系数值。模拟条件为 C 波段,HH 极化方式,模拟结果见图 1a、b。

从图 1c 可以看出,两种极化方式下后向散射系数与土壤含水量之间呈现很好的对数关系。在不同的均方根高度和不同的相关长度下这种对数关系都保持不变,因此土壤含水量与后向散射系数之间的关系可以下面的公式表示:

$$\sigma_{hh}^0 = A_{hh} \ln(m_v) + f(r_{\text{roughness}}) \quad (4)$$

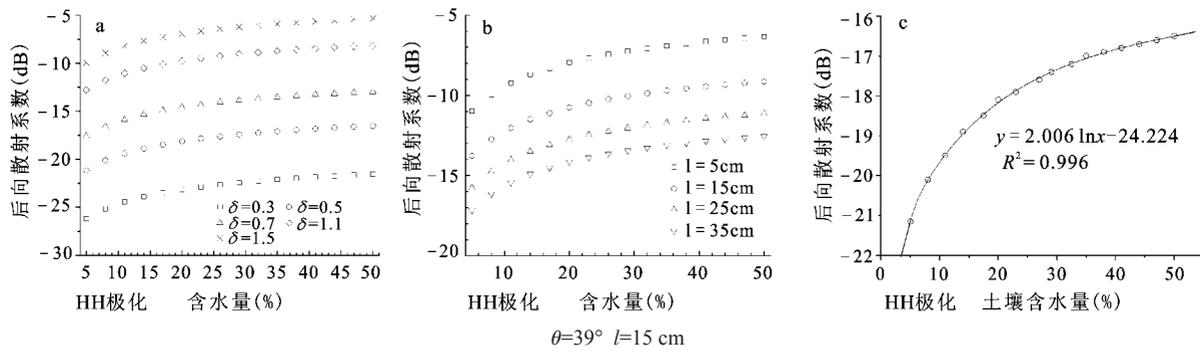


图1 后向散射系数与土壤含水量的关系(a,b)及其回归关系(c)

Fig. 1 The relationship between backscattering coefficient and soil moisture content(a,b), and the regression functions between them (c)

式中,系数 A_{hh} 与均方根高度和相关长度没有关系, $f(r_{roughness})$ 为指定均方根高度和相关长度。在使用公式提取土壤含水量时应该确定粗糙度项的具体表达式,从而得到土壤含水量的提取结果。

3.2 后向散射系数与地表粗糙度参数关系分析

在应用IEM模型时,需要输入的参数有:入射角、介电常数、均方根高度、相关长度。本研究使用Zribi M等的组合粗糙度参数 $Z_s = \delta^2/l$ 进行地表

参数的提取^[35]。由于本研究的研究区地表粗糙度状况较为光滑,因此在这里讨论了C波段均方根为0.1~0.9 cm范围内时后向散射系数地表粗糙度的关系,然后利用大小入射角后向散射系数差来进行组合粗糙度的提取。图2分别模拟3种(23°、29°、39°)不同入射角度,6种(5、10、15、20、25、30 cm)不同相关长度条件下后向散射系数对均方根高度的响应。图3为不同含水量条件下,后向散射

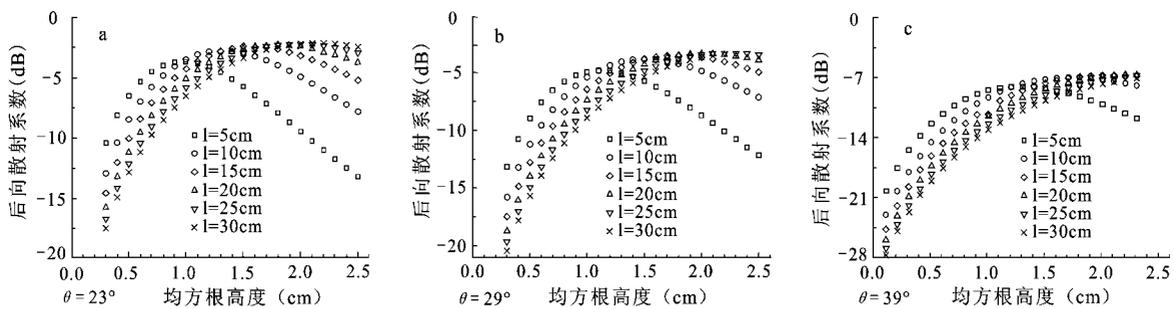


图2 不同入射角后向散射系数对均方根高度的响应

Fig.2 Response of the different incidence angle backscattering coefficient to RMS height

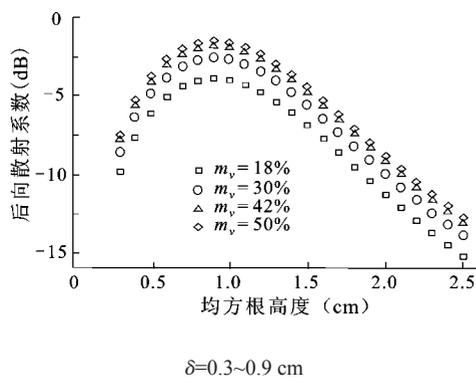


图3 不同含水量后向散射系数对均方根高度的响应

Fig.3 Response of different soil moisture to RMS height

系数与均方根高度的关系。

由图4可以看出均方根高度在0.3~0.9 cm范围内,组合粗糙度参数与后向散射系数之间呈很好的对数关系。

基于以上分析,我们可给出后向散射系数 σ^0 与组合粗糙度参数 Z_s 之间关系表达为:

$$\sigma_{hh}^0 = B_{hh} \ln(Z_s) + f(m_v) \quad (5)$$

式中,系数 B 与含水量无关, $f(m_v)$ 为指定土壤含水量。

Zribi M在他的研究中利用了水平极化条件下23°与39°入射角的后向散射系数之差来提取组合

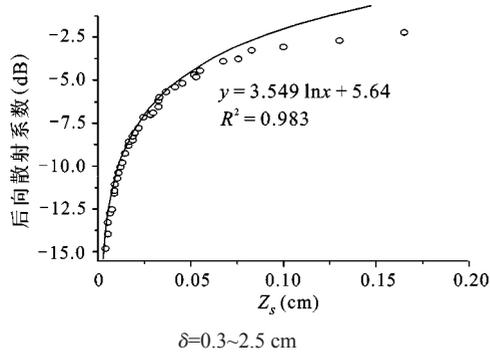


图4 后向散射系数与 Z_s 的相关性

Fig. 4 Relevance between backscattering coefficient and Z_s

粗糙度参数^[35]。本研究中也利用这类模型来提取地表组合粗糙度参数 Z_s 。在本研究中分析了HH极化下后向散射系数差 $\Delta\sigma^0$ 与组合粗糙度参数 Z_s 之间的相关关系,所选用角度为 23° 与 39° (图5)。图5看出,对于HH极化来说后向散射系数差值 $\Delta\sigma^0$ 和组合粗糙度参数 Z_s 之间的相关性较好,模型的决定系数达到0.851。HH极化下后向散射系数差 $\Delta\sigma^0$ 与组合粗糙度参数 Z_s 的关系可以写为下式:

$$y = -0.772 \ln x + 3.824 \quad (6)$$

组合粗糙度参数 Z_s 的提取公式为:

$$Z_s = e^{-1.295\Delta\sigma_{hh}^0 + 0.531} \quad (7)$$

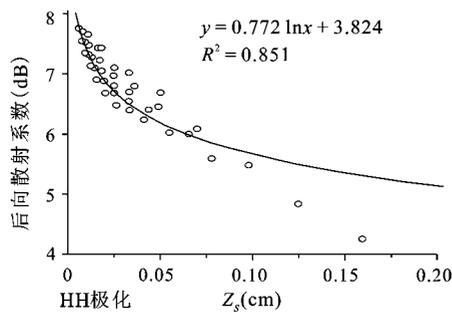


图5 后向散射系数差 $\Delta\sigma^0$ 与 Z_s 的相关性

Fig.5 Relevance between $\Delta\sigma^0$ and Z_s

3.3 C波段土壤水分提取模型建立

通过土壤水分(m_v)与同极化后向散射系数之间的关系和后向散射系数与地表组合粗糙度参数(Z_s)、雷达入射角(θ)之间的关系公式我们可以看出,后向散射系数与土壤含水量以及地表粗糙度的关系可以由下式给出:

$$\sigma_{hh}^0 = A_{hh}(\theta)\ln(m_v) + B_{hh}(\theta)\ln(Z_s) + C_{hh}(\theta) \quad (8)$$

式中,系数 $A(\theta)$ 、 $B(\theta)$ 、 $C(\theta)$ 只与入射角参数有关,是入射角 θ 的函数。因此要提取土壤含水量就要

确定系数 $A(\theta)$ 、 $B(\theta)$ 、 $C(\theta)$ 确切的表达式。为确定这三个系数的具体表达式,利用IEM模型模拟了表1参数条件下所有的数据,之后利用最小二乘法进行非线性拟合,计算每一个入射角条件下的 $A(\theta)$ 、 $B(\theta)$ 、 $C(\theta)$ 具体的值,然后再对这些数据进行非线性回归^[36,37],得到 $A(\theta)$ 、 $B(\theta)$ 、 $C(\theta)$ 关于入射角的表达式。

表1 系数模拟输入参数值

Table 1 The value of parameter for coefficients simulation

输入参数	入射角	土壤含水量	均方根高度	相关长度
范围	$10^\circ\sim 60^\circ$	5%~50%	0.3~0.9 cm	5~30 cm
步长	2°	3%	0.1 cm	3 cm

HH极化方式下每一个入射角所对应的 $A(\theta)$ 、 $B(\theta)$ 、 $C(\theta)$ 具体见表2。

$A(\theta)$ 、 $B(\theta)$ 、 $C(\theta)$ 在HH极化下的具体表达式为:

$$A(hh) = 2.202\sin^3\theta - 2.101\sin^2\theta + 1.765\sin\theta + 2.195 \quad (9)$$

$$B(hh) = 6.491\sin^3\theta - 10.236\sin^2\theta + 1.580\sin\theta + 1.58 \quad (10)$$

$$C(hh) = -21.940\sin^3\theta + 42.230\sin^2\theta - 53.251\sin\theta + 20.591 \quad (11)$$

HH极化下3个系数与入射角之间有很强的相关性,分别达到0.997,0.994和0.997。

对经验模型进行检验,利用IEM模型和经验模型分别模拟土壤含水量为5%~50%,均方根高度为0.3~0.9 cm,相关长度为5~30 cm在入射角为 23° 时的所有数据。并将经验模型模拟的数据与IEM模型模拟的数据进行相关性分析(图6)。图6可看出经验模型的模拟结果与IEM模型模拟的结果相关性很好,达到0.9以上。基于公式8~11,对RADARSAT-2数据进行处理,得到研究区土壤水分信息图(图7)。

4 模型的验证

本研究在进行土壤水分提取时利用的是前面得到的HH极化土壤水分提取公式和组合粗糙度提取公式(公式7、9~11)。通过波段运算,提取得到了实验区地表土壤含水量 m_v 。经过实地采样获得49个样点0~5 cm土层的土壤重量含水量数据并记录采样点坐标,将提取所得数据与实测值进行相关性分析(图8)。通过图8看出,提取得到的地

表2 HH极化入射角对应各系数值

Table 2 The coefficients of different incidence angle

θ	$A(\theta)$	$B(\theta)$	$C(\theta)$	标准偏差	R^2	θ	$A(\theta)$	$B(\theta)$	$C(\theta)$	标准偏差	R^2
10	2.474	2.405	12.380	0.607	0.831	36	2.954	3.387	1.103	0.526	0.919
12	2.492	2.604	11.565	0.678	0.825	38	2.982	3.416	0.568	0.539	0.912
14	2.512	2.796	10.638	0.659	0.827	40	3.012	3.469	-0.053	0.465	0.926
16	2.537	2.832	9.658	0.600	0.852	42	3.073	3.506	-0.465	0.403	0.932
18	2.578	2.901	8.065	0.687	0.815	44	3.146	3.559	-1.011	0.398	0.936
20	2.602	2.985	7.049	0.596	0.895	46	3.201	3.625	-1.368	0.423	0.930
22	2.691	3.024	6.123	0.632	0.829	48	3.267	3.687	-1.769	0.369	0.942
24	2.725	3.068	5.326	0.645	0.823	50	3.301	3.712	-2.145	0.354	0.951
26	2.767	3.102	4.505	0.651	0.825	52	3.364	3.765	-2.687	0.312	0.962
28	2.802	3.159	3.724	0.598	0.898	54	3.412	3.829	-3.269	0.201	0.989
30	2.842	3.211	3.012	0.603	0.836	56	3.478	3.897	-3.755	0.102	0.995
32	2.897	3.275	2.225	0.643	0.823	58	3.521	3.946	-4.052	0.326	0.960
34	2.921	3.326	1.687	0.586	0.901	60	3.586	4.012	-4.368	0.128	0.992

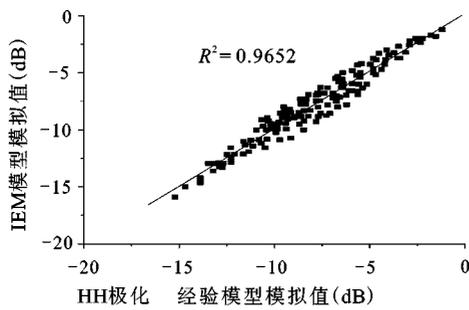


图6 经验模型模拟值与IEM模型模拟值的相关性
Fig.6 Relevance between empirical model simulation value and IEM model simulation value

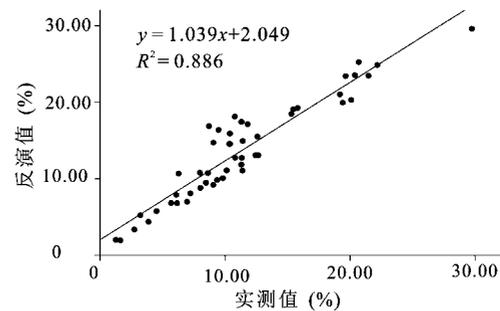


图8 模拟值与实测值的相关性
Fig.8 Relevance between simulation value and measured value

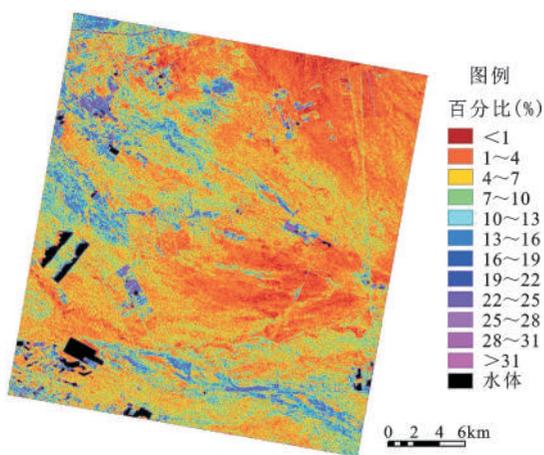


图7 雷达图像提取土壤水分
Fig. 7 Soil moisture extracted from map of radar image

表土壤含水量与实测值之间的相关性较好,相关系数为0.886,这说明本研究建立的土壤水分提取

模型能够满足研究区土壤水分提取的要求。

5 结果与讨论

1) 土壤复介电常数受许多参数的影响,包括入射波频率、土壤含水量、土壤温度、盐度、土壤组分以及土壤容重。在利用土壤复介电常数对土壤水分进行研究时,对于这些参数都要给予考虑,在确定参数值时要根据研究区的具体的土壤状况来确定。

2) HH极化方式下的后向散射系数与土壤含水量呈很好的对数关系,在各种入射角条件下这种关系与粗糙度无关。

3) 地表组合粗糙度参数可以由同极化条件下的后向散射系数差来提取。在地表较光滑的条件下,可以直接进行提取,提取精度达到0.851。

4) 建立C波段地表土壤含水量提取模型。

模型模拟的结果与 IEM 模型模拟的结果以及实测值的相关性都很强,表明本研究建立的模型能够进行地表土壤水分的提取。

参考文献:

- [1] 钟若飞,郭华东,王为民.被动微波遥感反演土壤水分进展研究[J].遥感技术与应用,2005,20(1):49~57.
- [2] 鲍艳松,刘良云,王纪华.综合利用微波遥感数据反演土壤湿度研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),2007,43(3):228~233.
- [3] 吐尔逊·艾山,塔西甫拉提·特依拜,买买提·阿扎提,等.渭干河灌区地下水埋深与矿化度时空动态分布[J].地理科学,2011,31(9):1131~1137.
- [4] 宋长春,邓 伟.吉林西部地下水特征及其与土壤盐渍化的关系[J].地理科学,2010,20(3):246~250.
- [5] 李 震,郭华东,施建成,等.综合主动和被动微波数据监测土壤水分变化[J].遥感学报,2002,6(6):481~485.
- [6] 詹志明,冯兆东.区域遥感土壤水分模型的方法初探[J].水土保持研究,2002,9(3):227~230.
- [7] 韩桂红,塔西甫拉提·特依拜,买买提·沙吾提,等.渭-库绿洲地下水对土壤盐渍化和其逆向演替过程的影响[J].地理科学,2012,32(3):362~367.
- [8] 赵全升,冯 娟,安乐生.德州市深层地下水水质演化研究[J].地理科学,2009,29(5):767~773.
- [9] 邵晓梅,严昌荣,徐振剑.土壤水分监测与模拟研究[J].地理科学进展,2004,23(3):58~66.
- [10] 肖 飞,杜 耘,凌 峰,等.长江中游四湖流域湖泊变迁与湖区土壤空间格局的关联分析[J].湿地科学,2012,10(1):8~14.
- [11] GAO Junqin,OUYANG Hua,LEI Guangchun,et al.Effects of Temperature,Soil Moisture, Soil Type and Their Interactions on Soil Carbon Mineralization in Zoigê Alpine Wetland,Qinghai-Tibet Plateau[J].Chinese Geographical Science,2011,21(1):27-35.
- [12] 陈怀亮,毛留喜,冯定原.遥感监测土壤水分的理论、方法及研究进展[J].遥感技术与应用,1999,14(2):55~65.
- [13] 许小燕,汪志农,张志韬.表层土壤水分反演深层土壤水分的研究进展[J].陕西农业科学,2005, (3):81~84.
- [14] 周 鹏,丁建丽,王 飞,等.植被覆盖地表土壤水分遥感反演[J].遥感学报,2010,14(5):966~973.
- [15] 马红章,柳钦火,闻建光,等.裸露地表土壤水分的L波段被动微波最佳角度反演算法[J].农业工程学报,2010, 26(11):24~29.
- [16] 刘万侠,刘 旭,翁丰惠,等.基于AMSR-E被动微波遥感数据的广东省土壤水分变化监测[J].热带地理,2011,31(3):272~277.
- [17] 杨立娟,武胜利,张钟军.利用主被动微波遥感结合反演土壤水分的理论模型分析[J].国土资源遥感,2011,(2):53~58.
- [18] 余 凡,赵英时. ASAR 和 TM 数据协同反演植被覆盖地表土壤水分的新方法[J].中国科学,2011,41(4):532~540.
- [19] Mo T,Schmugge T J,Wang J R.Calculation of the microwave brightness temperature of rough soil surface: bare field[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1987,25(1):47-54.
- [20] Jackson T J,Le Vine D E.Mapping surface soil moisture using an aircraft-based passive microwave instrument: algorithm and example[J].Journal of Hydrology,1996,184:85-99.
- [21] Shi J,Wang J R,Hsu A Y,et al.Estimation of bare surface soil moisture and surface roughness parameter using L-band SAR image data[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1997,35(5):1254-1266.
- [22] Topp G C,Davis J L,Anna A P.Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines [J].Water Resources Research,1980,16(3):574-582.
- [23] 魏小兰,李 震,陈 权.S波段雷达数据反演土壤水分的模拟分析和验证[J].地球信息科学,2008,10(1):97~101.
- [24] Hallikainen M T,Ulaby F T,Dobson M C,et al.Microwave dielectric behavior of wet soil-Part I:empirical models and experimental observations[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1985, 23(1): 25-34.
- [25] Ledieu J,de Ridder P,de Clerck P, et al. A method of measuring soil moisture by time-domain reflectometry[J]. Journal of Hydrology,1986,88(3-4):319-328.
- [26] Dobson M C,Ulaby F T,Hallikainen M T,et al.Microwave dielectric behavior of wet soil-Part II:dielectric mixing models[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing,1985,23(1):35-46.
- [27] Wang J R,Schmugge T J.An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1980,18(4):288-295.
- [28] Mironov V L,Dobson M C,Kaup V H.Generalized refractive mixing dielectric model for moist soils[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2004,42(4):773-785.
- [29] Fung A K,Li Z,Chen K S.Backscattering from a randomly rough dielectric surface[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1992,30(2):356-369.
- [30] 李 森.基于IEM的多波段、多极化SAR土壤水分反演算法研究[D].北京:中国农业科学院,2007.
- [31] Oh Y,Sarabandi K,Ulaby F T.An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surfaces[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1992,30(2):370-381.
- [32] 邵 芸,郭华东,范湘涛,等.水稻时域散射特征分析及其应用研究[J].遥感学报,2001,5(5):340~345.
- [33] 张永红,林宗坚,张继贤,等. SAR 影像几何校正[J].测绘学报,2002,31(2):134~138.
- [34] 杜培军. RADARSAT 图像滤波研究[J].中国矿业大学学报,2002,31(2):132~137.
- [35] Zribi M,Ciarletti,Dechambre M.A new empirical model to inverse soil moisture and roughness using two radar configurations[C].IEEE:Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002:2223-2225.
- [36] 戴国俊,王金玉,杨建生,等.应用统计软件SPSS拟合生长曲线方程[J].畜牧与兽医,2006,38(9):28~29.
- [37] 郝拉娣,于化东.标准差与标准误差[J].编辑学报,2005,17(2):116~118.

Evaluation of Soil Moisture Contents Under Sparse Vegetation Coverage Conditions Using Microwave Remote Sensing Technology in Arid Region

DING Jian-li, YAO Yuan

*(Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry, College of Resource and Environment Sciences,
Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China)*

Abstract: Soil moisture information can be extracted by microwave remote sensing technology; however, the problem is how to eliminate the influence of ground surface roughness and vegetation coverage on the backscattering data. Ground surface roughness is the key factor determining the data accuracy in northwest China where the vegetation coverage is small. Thus, evaluating and modeling the surface roughness parameters with a high precision is an important task for the arid land soil moisture study. Using IEM model, the response relationships between the different types of backscattering coefficient and the radar systematic coefficient and soil surface parameters are simulated. Results show that the backscattering coefficient is different from these parameters' change. Based on these achievements, the best radar parameters which can reflect the soil moisture are put forwarded. The corresponding relationships between the radar backscattering parameters and soil moisture contents, ground surface roughness parameters (such as, mean root height method, persistence length method and combined roughness method) are analyzed, and the experimental model which can reflect the soil moisture of relatively smooth ground surface is developed by using least squares method and non-linear regression method. At last, for a ground truth testing analysis, using the obtained RADAR-SAT2 data, the experimental model is applied in Weigan River and Kuch River delta oasis area. Results show that the data obtained from the experimental model has relatively high corresponding relationship with the soil moisture data collected in situ, and the determination coefficient is up to 0.886, implying the experimental model can be used in relatively wide scale for analyzing and modeling the soil moisture contents of some bare soil surface or the area whose vegetation density is low and vegetation coverage is small.

Key words: soil moisture; radar; IEM model; backscattering coefficient