

文章编号: 1007 4619(2006) 05 0656 05

# 利用 AMSR-E 微波辐射计对地表粗糙度参数的一种新标定方法

王 磊<sup>1,2</sup>, 李 震<sup>1</sup>, 陈 权<sup>1,2</sup>

(1. 遥感科学国家重点实验室, 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 在利用微波辐射计进行对地观测的过程中, 陆地表面特性参数(如土壤水分、土壤粗糙度和植被冠层)是土壤微波辐射的重要影响因素。地表粗糙度的标定对于利用微波辐射计数据反演地表参数而言是十分重要的工作。地表粗糙度参数( $h$ 和 $Q$ )随着观测频率而变化。通常的标定方法是, 假设 $h$ 的空间分布是变化的,  $Q$ 在全球均一地分布, 则在沙漠地区首先采取 $h=0$ 的近似, 再对 $Q$ 进行标定。但是事实上,  $h$ 和 $Q$ 在全球的分布都是变化着的, 这与地面环境状况有关。以 AMSR-E 数据为例, 在对 MPDI 分析的基础上, 推导给出了简单的、基于理论模型的参数 $\Gamma$ 。 $\Gamma$ 可以直接由观测亮温值计算得到, 它是一个与土壤水分无关, 仅与植被层含水量 $w_c$ 和土壤粗糙度 $\sigma$ 有关的参量, 因此它可以用于地表粗糙度的标定和对植被层含水量、植被生长变化的估计。本文选择干旱季节里的北非地区, 在没有对 $h$ 采取任何假设的前提下, 利用参数 $\Gamma$ 实现了对地表粗糙度参数 $h$ 和 $\sigma$ 的标定, 并与原有标定方法的结果做了比较分析。

**关键词:** 土壤水分; 地表粗糙度参数; 标定方法; 微波辐射计; AMSR-E; MPDI

**中图分类号:** TP722.6      **文献标识码:** A

## New Calibration Method for Soil Roughness Parameters with AMSR-E Observations

WANG Lei<sup>1,2</sup>, LI Zhen<sup>1</sup>, CHEN Quan<sup>1,2</sup>

(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, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Observing the land with radiometer, the land parameters, such as soil moisture, soil roughness and vegetation layer, have great influences on the soil microwave emission. Calibration for the soil roughness parameters is very important for land surface parameters retrieval with radiometer. Soil roughness parameters( $h$  and  $Q$ ) vary with the observing frequency. In the past studies,  $h$  was considered to vary in the world and  $Q$  was considered to be a fixed value. Then, usually,  $h$  was assigned to zero and  $Q$  was derived over desert. In fact, both  $h$  and  $Q$  are affected by the land surface conditions and vary globally.

This paper takes AMSR-E data as sample data and presents a new parameter  $\Gamma$ , which is computed from MPDI and independent on the soil moisture.  $\Gamma$  is dependent on soil roughness and vegetation water content, and it has the potential to calibrate the soil roughness parameters and estimate the vegetation water content and vegetation growth variety. In this paper,  $\Gamma$  is used to calibrate soil roughness parameters over the desert in the north of Africa, and the calibration results are compared with the results from the past studies.

**Key words** soil moisture; soil roughness parameters; calibration; AMSR-E; MPDI

收稿日期: 2006-04-10 修订日期: 2006-05-26

基金项目: 国家“863”项目(编号: 2003AA131053)和 KGW 项目资助, 中国科学院百人计划项目(编号: KZCX0415), 国家教育部留学回国人员科研启动基金重点项目(编号: HX040013), 国防科学技术工业委员会项目(编号: KJ9X0401)。

作者简介: 王 磊(1979—), 男, 中国科学院遥感应用研究所博士研究生, 研究方向为微波遥感。E-mail: toneywang@ustc.edu

# 1 引 言

大陆尺度的土壤水分变化对于建立全球的水循环模型很重要, 进而可以预测气候变化和洪涝监测。传统的地面观测站网络不能满足大陆尺度上土壤水分的时间、空间变化研究的需要, 星载辐射计能够及时地测量全球的微波辐射, 来进行大尺度的土壤水分变化的研究。微波辐射计 AMSR-E 搭载于 EOS 系统的 Aqua 卫星于 2002 年升空, 它兼备了低的观测频率和较高的空间分辨率, 因此为监测全球大陆范围内的土壤水分的变化提供了一种新的数据。

在土壤水分反演的过程中, 地表粗糙度是一个十分重要的参数, 它直接影响着地表土壤的微波辐射。在已有的研究当中, 根据 AMSR-E 的观测数据, 对于地表粗糙度的标定方法都是在沙漠地区, 采取了  $h=0$  和  $Q$  全球均一分布的近似假设<sup>[1-3]</sup>。但是事实上, 全球范围内地表粗糙度的参数  $h$  和  $Q$  的空间分布是变化的, 这种变化受到地形、地貌等环境的影响。因此, 找到一种不对  $h$  进行任何假设条件下的对  $h$  和  $Q$  标定的方法将是十分有意义的, 利用新的标定方法可以实现对全球任何地方地表粗糙度的标定。

微波计划差异指数 (MPDI) 是根据观测亮温计算得到的指数, 它与地表的物理温度无关。MPDI 已经被广泛应用于植被层光学厚度的计算和生物量的估计<sup>[3-7]</sup>。MPDI 受到土壤水分、土壤粗糙度和植被层含水量的影响。考虑到土壤水分和植被层含水量都是随时间变化的量, 而地表粗糙度可以近似为不随时间变化, 则从 MPDI 中消除土壤水分的项, 将使 MPDI 对于地表参数的反演更有意义。

# 2 模型公式的推导

基于微波辐射传输模型, 星载微波辐射计观测得到的亮温值能够根据正演模型计算得到。这个物理模型已经应用到利用 AMSR-E 的亮温数据的地表参数反演当中<sup>[1, 8, 9]</sup>。

$$T_{B_p} = T_u + e^{-\tau_a} [ T_{bp} + r_{sp} e^{-2\tau_c} (T_d + T_{sky} e^{-\tau_a}) ] \quad (1)$$

$$T_{bp} = T_{soil} (1 - r_p) e^{-\tau_c} + T_{can} (1 - \omega_p) (1 - e^{-\tau_c}) \times (1 + r_{sp} e^{-\tau_c}) \quad (2)$$

$$r_{sv} = [(1 - Q)r_{ov} + Qr_{oh}] e^{-h} \quad (3a)$$

$$r_{sh} = [(1 - Q)r_{oh} + Qr_{ov}] e^{-h} \quad (3b)$$

式中,  $p$  代表不同的极化方式 (V 或 H 极化),  $T_{soil}$  和

$T_{can}$  分别为土壤和植被的温度, 可以近似为  $T_{soil} \approx T_{can} \approx T_e$ 。对于 18.7GHz 以下的微波频段, 可以近似忽略植被单次散射系数  $w_p$  和大气的的影响, 这样简化得到:

$$T_{B_p} = T_e [ 1 - \gamma_p e^{-2\tau_c} ] \quad (4)$$

微波极化差异指数 MPDI 定义为

$$MPDI = \frac{T_{B_v} - T_{B_h}}{T_{B_v} + T_{B_h}} \quad (5)$$

将式 (4) 代入 (5), 得到

$$\frac{1}{MPDI} = \frac{(\gamma_{sv} + \gamma_{sh}) - 2e^{2\tau_c}}{\gamma_{sv} - \gamma_{sh}} \quad (6)$$

将粗糙表面的地表反射率的表达式 (3.1) 和 (3.2) 代入, 得

$$\frac{1}{MPDI} = \frac{(\gamma_{ov} + \gamma_{oh}) e^{-h} - 2e^{2\tau_c}}{[1 - 2Q][\gamma_{ov} - \gamma_{oh}] e^{-h}} \quad (7)$$

根据这个式子, 可以看出, MPDI 与植被层不透明度  $\tau_c$  之间存在对数的关系。

$$\frac{1}{MPDI} = \frac{\gamma_{ov} + \gamma_{oh}}{[1 - 2Q][\gamma_{ov} - \gamma_{oh}]} - \frac{2e^g}{[1 - 2Q][\gamma_{ov} - \gamma_{oh}]} \quad (8a)$$

$$\frac{1}{MPDI} = A(m_v) - B(m_v) e^g \quad (8b)$$

式中,  $g = 2\tau_c + h$  作为一个描述植被光学厚度和土壤粗糙度的参数。因为  $\tau_c$  和  $h$  都与观测的频率有关,  $g$  也受到观测频率的影响。

为了研究 (8b) 式子中  $A(m_v)$  和  $B(m_v)$  在不同土壤水分情况下, 受观测频率的影响, 本文对  $A(m_v)$  和  $B(m_v)$  的变化做了模拟。图 1 展示的是当土壤水分在 0—50% 范围内变化的时候,  $A(m_v)$  和  $B(m_v)$  随频率的变化曲线。其中将  $Q$  设为 0.2 的固定值, 砂土含量 40%, 粘土含量 15%。土壤介电常数模型选择的是 Dobson 模型<sup>[10]</sup>。图 1 中横轴为土壤体积含水量, 纵轴分别为  $A(m_v)$  和  $B(m_v)$  的模拟值, 菱形、圆圈、三角形分别代表 6.9GHz, 10.7GHz 和 18.7GHz 的模拟曲线。

根据图 1 在土壤水分变化的大部分范围内, 不同观测频率 (6.9, 10.7, 18.7GHz) 下的  $A(m_v)$  和  $B(m_v)$  之间的差异十分有限, 可以忽略。当土壤水分大于 30% 之后, 18.7GHz 下的  $A(m_v)$  开始偏离 6.9GHz 和 10.7GHz 下的  $A(m_v)$ , 而且随着土壤水分的继续升高, 这种差异越来越大。在土壤水分的变化范围内,  $B(m_v)$  的频率之间的差异都是十分小的。因此, 当观测频率小于 18.7GHz 的时候, 可以近似认为  $A(m_v)$  和  $B(m_v)$  主要受到土壤水分的影响。

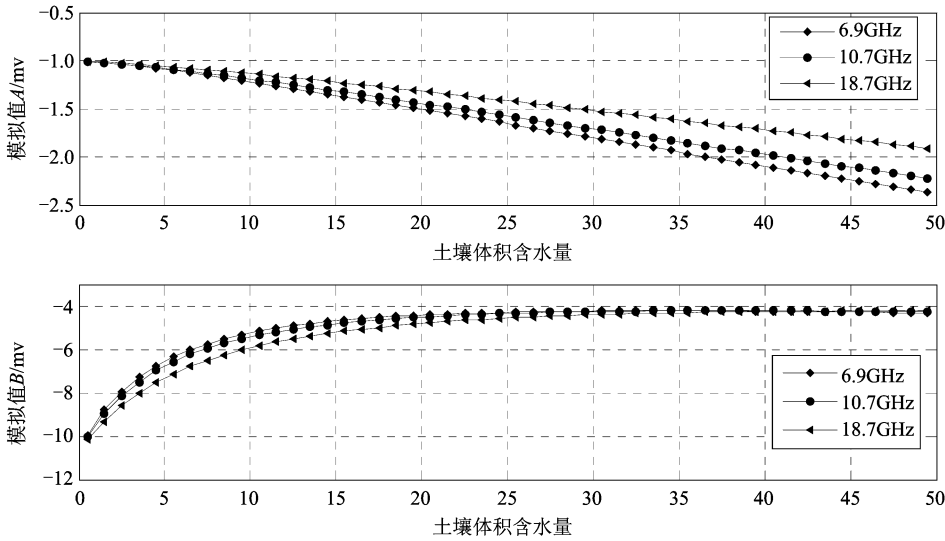


图 1 模拟得到的  $A(m_v)$  和  $B(m_v)$  随观测频率的变化曲线

( $Q=0.2$  砂土含量 40%, 粘土含量 15%。菱形、圆圈、三角形分别代表 6.9 10.7 18.7GHz)

Fig 1 Simulation curve of  $A(m_v)$  and  $B(m_v)$  in the volume soil moisture range from 0 to 50%

( $Q$  sand and clay are assigned to 0.2 40% and 15%. Diamonds circles and triangles respectively stand for the simulated result at 6.9 10.7 18.7GHz)

响, 观测频率导致的影响很小。这样在同一次观测当中, 不同观测通道中的  $A(m_v)$  和  $B(m_v)$  可以分别近似成为相同的值, 与观测频率无关。

参照 AMSR-E 的观测频率, 比较不同观测频率下的 (8b) 式:

$$\frac{1}{MPDI_{6.9}} = A(m_v) - 2B(m_v)e^{g_{6.9}}$$

$$\frac{1}{MPDI_{10.7}} = A(m_v) - 2B(m_v)e^{g_{10.7}}$$

$$\frac{1}{MPDI_{18.7}} = A(m_v) - 2B(m_v)e^{g_{18.7}}$$

根据这个方程组得到

$$\frac{1}{MPDI_{6.9}} - \frac{1}{MPDI_{10.7}} = 2B(m_v)(e^{g_{10.7}} - e^{g_{6.9}}) \quad (9a)$$

$$\frac{1}{MPDI_{18.7}} - \frac{1}{MPDI_{10.7}} = 2B(m_v)(e^{g_{10.7}} - e^{g_{18.7}}) \quad (9b)$$

将 (9a) 与 (9b) 相除得到参数  $\Gamma$ :

$$\Gamma = \frac{\frac{1}{MPDI_{6.9}} - \frac{1}{MPDI_{10.7}}}{\frac{1}{MPDI_{10.7}} - \frac{1}{MPDI_{18.7}}} = \frac{e^{g_{10.7}} - e^{g_{6.9}}}{e^{g_{18.7}} - e^{g_{10.7}}} \quad (10)$$

可以看出,  $\Gamma$  是一个只与  $g$  有关的参数, 它与 MPDI 相比, 具有不包含土壤水分  $m_v$  项的特点, 成功的去除了土壤水分信息的影响。

从上面的推导可以看出,  $\Gamma$  和 MPDI 都与地表物理温度无关。  $\Gamma$  还与土壤水分无关, 这是  $\Gamma$  较

MPDI 的一个重要优点。当研究区选定之后, 可以认为地表粗糙度不会随着时间而改变。由于  $\Gamma$  与地表粗糙度有关, 因此  $\Gamma$  可以用于地表粗糙度的标定;  $\Gamma$  还受到植被的影响, 因此  $\Gamma$  还可以用于植被层含水量、植被生长变化的研究。

### 3 利用 AMSR-E 数据进行标定

#### 3.1 试验区 and 数据

本文在非洲选择了两处地表均一的沙漠地区作为标定的试验区, 一处位于尼日尔的 Bihra 地区 (18.7°N, 13.0°E), 另一处位于沙特阿拉伯的 Al Hadidah 地区 (21.6°N, 50.5°E)<sup>[2]</sup>。这两处试验区具备裸露地表、干燥、平整、地物均一的地理环境。因为没有同时相的实测数据, 本文选择了旱季晚期的一个月 (2005 年 3 月) 的数据作为试验数据, 这样可以尽可能消除土壤水分和大气降水的影响。

试验选用的亮温数据是 AMSR-E Level B 陆地产品中提供的 EASE-GRID 的栅格亮温数据。不同频率 (6.9 10.7 18.7GHz) 下的亮温数据都重采样为 25km 左右的分辨率。

需要注意的是, 虽然微波对于云层具有一定的穿透性, 但是 18.7GHz 通道的水平极化亮温会受到云层中液态水 (或者水蒸气) 的影响, 大气中水分含量的升高将导致 18.7GHz 水平极化亮温的升高, 进

而 18.7GHz 的 MPDI 将降低, 最终导致  $\Gamma$  的升高。选择旱季里  $\Gamma$  的最小值作为研究数据, 此时对应着大气中水分含量的最小影响。

图 2 展示的是 2005 年 3 月内全球  $\Gamma$  的最小值分布图。其中的方框对应于本文选择的试验区, 两处试验区对应着全球最低的  $\Gamma$  值。

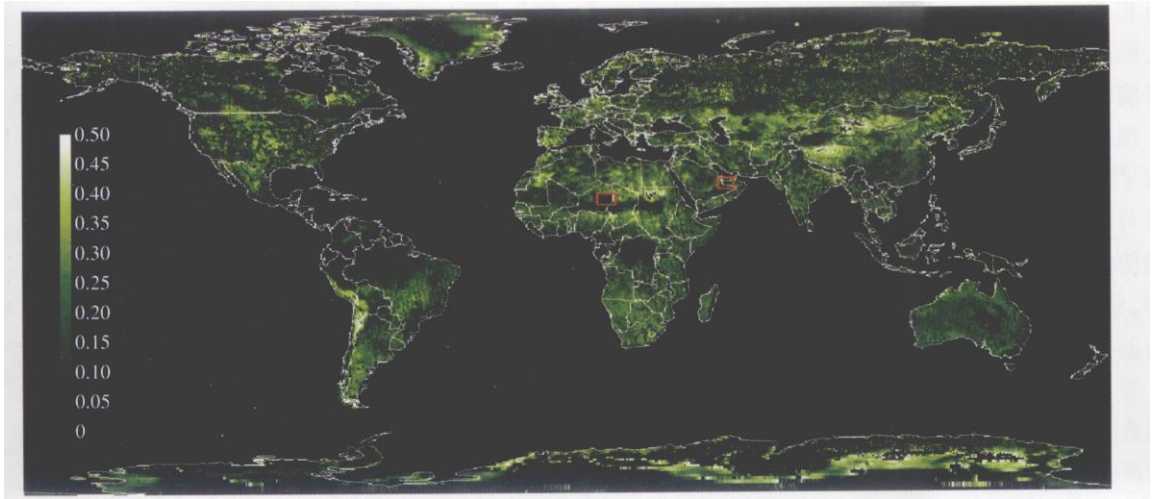


图 2 全球月平均  $\Gamma$  最小值分布 (2005 年 3 月)

Fig 2 Monthly averaged minimal  $\Gamma$  distribution in the world during March 2005

### 3.2 标定和结果比较

在沙漠地区可以认为没有植被的存在, 这样一来有  $\tau_c = 0$  地表粗糙度  $h$  的表达式为:

$$h = (4\pi \cos\theta \lambda)^2 \quad (11)$$

式 (10) 可以简化成为:

$$\Gamma A^{(\sigma \lambda_{18})^2} + (1 - \Gamma) A^{(\sigma \lambda_{10})^2} - A^{(\sigma \lambda_0)^2} = 0 \quad (12)$$

式中,  $A = \exp[(4\pi \cos\theta)^2]$ 。通过求解方程 (13), 可以得到地表均方根高度  $\sigma$ 。表 1 给出了在试验区取得的均方根高度值。

表 1 沙漠地区标定的土壤粗糙度参数  $\sigma$

Table 1 Soil roughness parameter  $\sigma$  derived over the desert

	$\Gamma$ 最小值	$\sigma$ (cm)
Bihna (Niger)	0.019586	0.0291
Al-Hadidah (Saudi Arabia)	0.008293	0.0297

根据 (7) 可以得到根据 6.9GHz 的 MPDI 数据求解参数  $Q$  的方程:

$$Q = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{(\gamma_{ov} + \gamma_{oh}) - 2e^g MPDI}{\gamma_{ov} - \gamma_{oh}} \right] \quad (13)$$

因此, 结合 (11) 和 (13) 式可以实现对  $h$  和  $Q$  的标定。根据表 2 在 6.9GHz 标定的  $h$  接近于 0 这与原有的标定假设  $h = 0$  相一致。在 6.9 和 10.7GHz 标定得到的  $h$  和  $Q$  较文献 [2] 中的标定结果稍高。这是因为文献 [2] 中基于  $h = 0$  的假设, 将

表 2 研究区参数  $h$  和  $Q$  的标定结果 (6.9 10.7GHz)

Table 2  $h$  and  $Q$  derived over the desert region at 6.9 10.7GHz

		Bihna		Al-Hadidah	
		$h$	$Q$	$h$	$Q$
6.9GHz	本文	0.0441	0.2252	0.0458	0.1948
	文献 [2]	0	0.1920	0	0.1740
10.7GHz	本文	0.1064	0.2537	0.1108	0.2093
	文献 [2]	0	0.1980	0	0.1840

地表粗糙度随频率的改变都累计到了参数  $Q$  当中。本文与文献 [2] 中的两组标定结果中,  $Q$  具有相同的变化趋势,  $Q$  随着频率的升高而升高。

## 4 讨论

本文基于 MPDI 的推导, 得到一个新的参数  $\Gamma$ 。这个参数与地表物理温度和土壤含水量都无关, 因此它可以用于地表参数的反演。文中提出了一种利用  $\Gamma$  对地表粗糙度参数标定的新方法, 并在沙漠地区进行了标定试验, 与已有的标定结果做了比较分析。

地表粗糙度受到多种因素的影响, 因此它在全球范围内都存在变化,  $h = 0$  的假设不能应用到所有地方。所以已有的标定方法只能应用于沙漠地区, 并且只能近似认为  $Q$  在全球均一分布,  $h$  在全球各

处不同,但是仍无法定量的给出  $h$  的分布。新的标定方法与已有的标定方法相比,不需要基于  $h=0$  的假设,因此可以直接实现对全球地表粗糙度的标定。而且根据直接标定得到的  $h$  可以从反演得到的  $g$  中去除地表粗糙度的组分,直接得到植被层含水量的反演结果,实现对现有植被层含水量结果的改进。

根据参数  $\Gamma$  标定的方法应用于 AMSR-E 数据,实现了对 Bihna 和 AlHadidlah 地区的标定,标定的结果与 Njoku 在同一地区标定的结果具有相同的变化趋势,但是数值偏高,这是因为原有标定的方法  $h=0$  将粗糙度随频率的变化都累加到了  $Q$  当中,而新的方法直接对  $h$  和  $Q$  进行标定。

考虑到 AMSR-E 在 18.7GHz 通道的亮温数据会受到大气的影响,因此大气的影响也会对标定结果的准确度产生影响。如果存在更低频率 ( $<11\text{GHz}$ ) 的多通道观测数据可以利用,大气中水分的影响可以忽略,那么本文提出的新标定方法将会具有更好的标定结果,  $\Gamma$  也将会有更广泛的应用前景。

## 参 考 文 献 (References)

- [ 1 ] Eni G Njoku, Li L. Retrieval of Land Surface Parameters Using Passive Microwave Measurements at 6–18GHz [ J ]. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing* 1999, 37(2): 79–93.
- [ 2 ] Eni G Njoku. Seven Vegetation and Surface Roughness Effects on AMSR-E Land Observations [ J ]. *Remote Sensing of Environment* 2006, 100(2): 190–199.
- [ 3 ] Jackson T J, Schmugge T J. Vegetation Effects on the Microwave Emission of Soils [ J ]. *Remote Sensing of Environment* 1991, 36(3): 203–212.
- [ 4 ] Richard A M de Jeu. Retrieval of Land Surface Parameters Using Passive Microwave Remote Sensing [ D ]. Ph. D. thesis, Vrije Univ., Amsterdam, The Netherlands, 2003.
- [ 5 ] Anton G C A Meesters, Richard A M De Jeu, Manfred Owe. Analytical Derivation of the Vegetation Optical Depth from the Microwave Polarization Difference Index [ J ]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 2005, 2(2): 121–123.
- [ 6 ] Simonetta Pabscia, Paolo Pampaloni. Microwave Polarization Index for Monitoring Vegetation Growth [ J ]. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing* 1988, 26(5): 617–621.
- [ 7 ] Macelloni G, Pabscia S, Pampaloni R, et al. Passive Microwave Remote Sensing of Vegetation Biomass [ A ]. International Geoscience and Remote Sensing Symposium ( IGARSS ) [ C ], 1994, 3: 1847–1849.
- [ 8 ] Eni G Njoku, Thomas J Jackson, Venkataraman Lakshmi, et al. Soil Moisture Retrieval from AMSR-E [ J ]. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing* 2003, 41(2): 215–229.
- [ 9 ] Eni G Njoku. AMSR Land Surface Parameters Algorithm Theoretical Basis Document ( version 3.0 ) [ M ]. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA, 1999.
- [ 10 ] Myron C Dobson, Fawaz T Ulaby, Martti T Hallikainen, et al. Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil Part II: Dielectric Mixing Models [ J ]. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing* 1985, GE-23(1): 35–45.
- [ 11 ] Njoku E. Updated Daily AMSR-E/Aqua Daily L3 Surface Soil Moisture Interpretive Products & QC EASE Grids. Boulder, CO, USA: National Snow and Ice Data Center. DVD. [http://nsidc.org/data/docs/daac/ae/land3\\_B\\_soil\\_moisture.gd.html](http://nsidc.org/data/docs/daac/ae/land3_B_soil_moisture.gd.html) 2005.