

文章编号: 1000-0240(2009)02-0207-07

# 利用地基微波辐射计验证积雪微波 辐射传输模型

常 胜<sup>1, 2</sup>, 蒋玲梅<sup>1, 2</sup>, 张立新<sup>1, 2</sup>, 施建成<sup>3, 4</sup>

(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 100875; 2. 北京师范大学 地理学与  
遥感科学学院, 北京 100875; 3. Institute for Computational Earth System Science, University of California,  
Santa Barbara CA93106, USA; 4. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 积雪雪水当量参数是水文、气候、水资源利用与管理模型中非常重要的输入参数, 积雪辐射理论模型可以模拟积雪物理参数与微波辐射的关系. 因此, 准确模拟积雪辐射信息, 验证积雪辐射模型显得尤为重要. 采用改进的基于能量守恒的干雪微波辐射传输理论模型(DMRT-AIEM-MD), 利用 2008 年 3 月 24 日黑河地区联合实验获取的地面测量数据以及车载辐射计 18.7 GHz 和 36.5 GHz 两个频率的辐射亮温值, 考虑地形的影响, 分析积雪辐射散射特性以及验证该模型. 结果表明: 该模型模拟值与地面实测值吻合的比较好, 该模型能较好的模拟中国地区自然地表积雪辐射信号. 分析了部分模型模拟值和地面实测值偏差的可能原因, 该积雪区是多次堆积形成, 积雪垂直剖面的密度、温度不规则变化可能会引起偏差.

**关键词:** 积雪; 微波遥感; 积雪微波辐射传输理论模型; 模拟; 验证

**中图分类号:** TP722.6; P426.63<sup>+</sup>5 **文献标识码:** A

## 0 引言

季节性积雪对地区气候和水文状况有重要的影响作用. 中国的北方地区大多是季节性积雪, 并且横跨几个经度, 有不同的地貌和气候特点, 积雪的时间、空间分布都有差异. 因此, 需要确定积雪辐射信息与积雪物理参数的关系, 即验证积雪辐射理论模型在中国地区的适用性. 积雪的微波辐射特性随积雪物理参数(深度、雪水当量、密度、温度、颗粒大小等)的变化而变化, 这是被动微波探测积雪信息的物理基础, 积雪辐射传输理论模型可以表征这一特性的. 通过模型与实验数据的分析和比较, 研究模型模拟以及反演积雪参数的精确性, 这都是为了更准确的预测积雪变化和反演积雪物理参数.

近年来, 微波由于其特有的优势<sup>[1-2]</sup>, 微波方法成为估测积雪参数非常重要的方式. 微波辐射计

观测的辐射亮温值可以很好的反映积雪信息, 利用微波辐射传输特性, 通过能量守恒定律建立关系模型<sup>[3-4]</sup>, 可以得到地面参数与辐射计接收的积雪辐射亮温值的关系. 这是基于物理的积雪辐射理论模型, 但在实际不同地区的自然地表下, 该模型能否准确的模拟积雪辐射传输机理过程, 需要验证.

目前, 已有一些微波辐射模型, 如: 多层积雪的被动微波辐射传输模型(MEMLS)和致密介质辐射理论模型(DMRT)等, 但这些模型的验证大多采用美国寒区 NASACL PX 实验数据和瑞士 Weissfluhjoch 试验区的地面实验数据<sup>[5]</sup>. 本文利用中国区域黑河流域实验数据, 利用被动微波辐射传输理论模型(DMRT-AIEM-MD), 即: 考虑多次散射的双矩阵法(MD)求解辐射传输理论模型, 利用致密介质理论, 考虑积雪体散射和发射特性的致密介质辐射传输理论模型(DMRT), 辐射传输方程的边界

收稿日期: 2009-01-10; 修订日期: 2009-03-07

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB714400; 2007CB714403); 中国科学院西部行动计划(二期)项目(KZCX2-XB2-09); 国家自然基础基金项目(40701115)资助

作者简介: 常胜(1981—), 男, 内蒙古呼和浩特人, 2005 年毕业于重庆邮电大学, 现为北京师范大学地理学与遥感科学学院硕士研究生, 主要从事积雪微波遥感, 辐射计实验及卫星产品研究. E-mail: changsh2006@126.com

条件和下垫面辐射计算则采用高级积分方程模型(AIEM),模拟中国地区自然地表积雪的辐射亮温值.验证该模型的模拟精度,并提出模型模拟偏差的原因,更好地研究中国地区积雪的被动微波辐射特征信息.

1 数据

在中国科学院西部行动计划(二期)项目“黑河流域遥感-地面观测同步试验与综合模拟平台建设”和国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“陆表生态环境要素主被动遥感协同反演”的共同支持下,2008 年 3—4 月开展了“黑河流域遥感-地面观测同步试验”之上游寒区水文试验,其中在冰沟流域的加密观测积雪区<sup>[6]</sup>,进行了车载微波辐射计与地面同步观测.本研究利用该次车载辐射计及地面同步观测获取的数据,分析和验证干雪辐射传输理论模型.

加密观测区的冰沟流域位于青海省祁连县(38.01676° N, 100.23582° E),流域面积 30.28 km<sup>2</sup>,海拔 3 450~4 400 m,平均海拔 3 920 m,平均宽度 3.59 km,季节性积雪厚度约为 0.5 m,最深达 0.8~1.0 m,多年冻土下界可能在海拔 3 400 m.观测点海拔 4 120 m,地带崎岖,地表主要由岩石、砾石组成.本文选用 2008 年 3 月 24 日下午 4:30 的实验数据对于雪辐射传输模型做验证和分析.

1.1 辐射计亮温数据

实验中,将微波辐射计固定于卡车上(RPG-8CH-DP)<sup>[7]</sup>(图 1),通过液压升降机抬高后(离地约 8 m)以不同角度扫描一侧的积雪区域,测量积雪下半空间的辐射亮温.辐射计有 18.7 和 36.5

GHz 两个频率, H 和 V 两种极化方式,观察的角度为 20°~70°,每 5°一个步长.由于本次实验位于道路旁,辐射计入射角小角度下的辐射亮温值会受卡车和道路辐射影响.所以,为了减少数据误差,本文只选用 40°~70°的观测角.

辐射计运行及数据处理是由控制台自动控制,首先通过升降台将辐射计升起,对辐射计进行相对定标与绝对定标(这里采用液氮定标).然后,通过辐射计地面控制台和微机对辐射计运行参数、数据转存方式等设置,辐射计运行的结果数据记录到微机上,导出后经过处理得到不同时刻、不同入射角、不同频率的辐射亮温值.

实验地区是斜坡面(坡度  $\alpha=10^\circ$ ),而该辐射传输理论模型是基于水平面的积雪状况来模拟.因此,在计算不同入角度( $\theta$ )下的亮温时,地形坡度会产生误差.这里,采用地形校正方法<sup>[8-9]</sup>来验证地形坡度对微波辐射的影响程度.由于地形起伏对局地观测几何关系与极化旋转变化的影响,通过分析发现,利用平均本地入射角和平均极化旋转角来校正地形对微波辐射的影响.一个表面的反射和发射在向传感器的  $\hat{k}$  方向,即在笛卡儿坐标系表示为  $(\sin\theta, 0, \cos\theta)$ .这里,坡面法线方向  $\hat{n}$  用来定义入射面偏离垂直方向  $\hat{z}$  的角度,即坡度角  $\alpha$ ,以及相对于全局入射面的方位角  $\phi$ (如图 2 所示).从全局入射面到坡面上,本地入射面的变化既影响了散射的几何关系,也影响了极化的方向<sup>[10]</sup>.

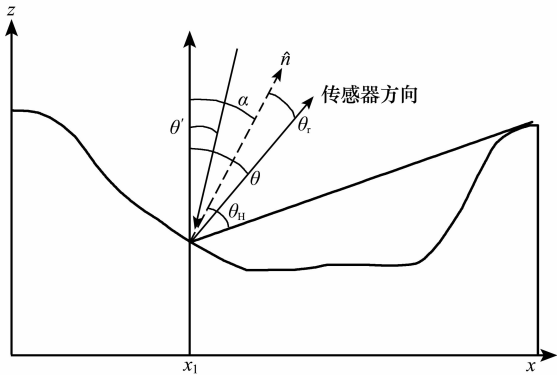


图 2 坡面上位置  $x_1$  的本地入射角  $\theta_1$ 、全局入射角  $\theta$ 、坡度角  $\alpha$ 、相对水平面的本地入射角  $\theta_H$  的剖面图

Fig. 2 Profile of the terrain showing  $\theta_1$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ , and  $\theta_H$



图 1 车载辐射计(RPG-8CH-DP)

Fig. 1 Radiometer loaded on a truck

本地入射角  $\theta_1$  可表示:

cosθ<sub>1</sub> = sinθsinαcosφ + cosθcosa

(1)

线性极化旋转的角度  $\varphi$  可表示为：

$$\sin\varphi = \sin\phi\sin\alpha/\sin\theta_1$$

(2)

每个面元的发射率  $E_{\text{vl}}$  和  $E_{\text{hl}}$  就可以在全局参考系统里，通过极化旋转角  $\varphi$  和本地入射角  $\theta_1$  得到校正后的发射率，可表示为：

$$E_{\text{v}}(\theta) = E_{\text{vl}}(\theta_1)\cos^2\varphi + E_{\text{hl}}(\theta_1)\sin^2\varphi$$

(3)

$$E_{\text{h}}(\theta) = E_{\text{vl}}(\theta_1)\sin^2\varphi + E_{\text{hl}}(\theta_1)\cos^2\varphi$$

(4)

因此，利用式(1)、(2)、(3)和(4)可以计算出地形校正后的发射率。把实验中车载辐射计测量得到的不同全局入射角  $\theta$  下发射率与地形校正算法后的发射率值比较，可以分析地形对辐射亮温的影响程度(地形校正算法中，取  $\alpha=10^\circ$ ， $\phi=80^\circ$ )。

计算得到不同全局入射角下，校正前后的误差变化如图 3 所示。地形坡度对发射率的影响随着入射角增加而增大，但最大的发射率误差为 0.01，积雪实地测量温度为 266.8 K，因此，亮温误差为 2~3 K。在本次模型验证研究中，地形坡度对辐射亮温影响可以不予考虑。

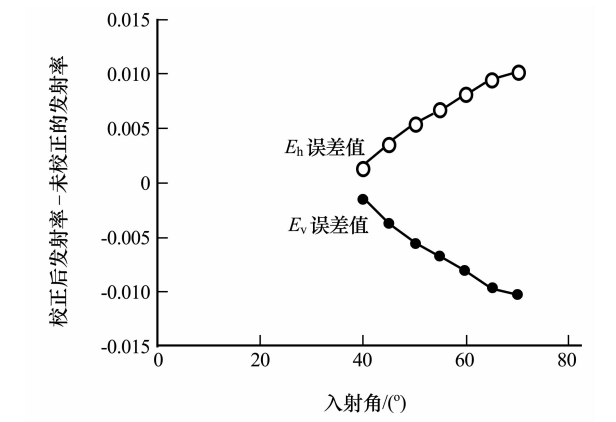


图 3 不同入射角下，H 和 V 极化，校正前后发射率差值的变化

Fig. 3 Change of emissivity difference with incidence angles and H-pol, V-pol.

1.2 地面测量数据

冰沟加密观测区海拔 4 120 m，积雪为多次降雪堆积而成。在积雪的垂直深度内，不同深度内积雪的温度、密度、含水量、介电常数均有差异。积雪层不同深度下，积雪的温度均小于 0℃，积雪区为干雪，符合干雪辐射理论模型的基本条件。

车载的辐射计测量积雪辐射亮温，同时进行雪深，雪颗粒大小，积雪温度、含水量、密度、介电常数以及土壤和大气参数等地面相关数据的观测。本文所用的积雪测量数据有：雪深，积雪表面温度，

积雪密度，颗粒大小，积雪层垂直剖面下各深度的温度和密度。

确定辐射计视场后，与视场周边选取几个采样点，对采样点集中获取各参数数据。其中，雪深数据的精度为 0.5 cm，选取各点值后取平均值；采用铂电阻温度计和红外温度计分别测量各采样点不同深度温度值后求平均值，作为该积雪的物理温度；颗粒大小和密度参数，在不同采样点的不同深度中分别取样后求平均值，作为参数的模型输入值。

模型输入的土壤参数有土壤表面的粗糙程度(均方根高度和相关长度)和土壤含水量。由于该地区地表由石块、岩石和冻土组成，所以观察地面状况通过土壤、石块和砾石的介电常数以及各自组分比例综合估测含水量为 10%~20%。由于冻土和大量石块存在，会产生误差。积雪下地表由岩石、砾石和冻土组成，夹杂少许草根。因此很难直接测量地表的相关高度和相关长度，这里根据地表状况估测地表粗糙度参数。

与辐射计观测同步测量了积雪和地表的主要参数值汇总于表 1。

表 1 实验测量的数据结果  
Table 1 The measured snow and ground surface parameters

参数	值范围
测量时间/(年-月-日-时)	2008-03-24-16:30
辐射计频率/GHz	18.7V&18.7H36.5V&36.5H
雪深/cm	79
雪密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.18~0.25
雪颗粒大小(半径)/mm	0.3~0.62
雪表面温度/K	266.8
土壤表面温度/K	266.8
土壤含水量(估算)	0.1~0.2
土壤表面均方根高度/cm(估测)	0.8~2
土壤表面相关长度/cm(估测)	10~25

2 模型

选用蒋玲梅改进的积雪辐射理论模型<sup>[11]</sup>，该模型采用 Mie 散射假设的致密介质模型来描述雪层的消光和发射特性<sup>[12]</sup>，用 AIEM 模型<sup>[5, 13]</sup>来处理地表发射及矢量辐射传输模型的边界条件，并用考虑多次散射的双矩阵方法(Matrix Doubling Formulation)<sup>[3]</sup>求解矢量辐射传输方程。

在该模型中, 积雪层被看作是紧密排列的不规则非均匀介质层(图 4). 积雪层主要有积雪层内向上辐射、积雪层内向下辐射和积雪下垫面半无限空间向上的辐射等 3 个辐射源, 所有这 3 个辐射源都要经历体散射、面散射、衰减、体一面相互作用和在不规则边界的穿透作用过程到达传感器. 因此, 非均匀介质层的总辐射  $U_l$  可表示为:

$$U_l = L_u U_u + L_d U_d + L_l U_l \tag{5}$$

式中:  $L_u$ 、 $L_d$ 、 $L_l$  是多次散射运算符, 它可以通过多次散射的光线跟踪方法获取;  $U_u$  为介质层向上总辐射;  $U_d$  为介质层向下总辐射;  $U_l$  为介质层下覆半无限空间向上辐射;  $L_u$  是散射源  $U_u$  经历多次散射作用的散射过程;  $L_d$  是散射源  $U_d$  经过多次散射作用的散射过程;  $L_l$  是散射源  $U_l$  经过多次散射作用的散射过程. 如图 4 所示.

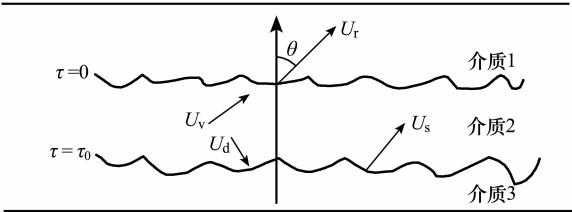


图 4 介质层辐射几何图

Fig. 4 Geometry of the dielectric layer emission

2.1 Mie 散射的致密介质模型

致密介质内部颗粒密集排列, 且占有相当的体积百分比. 致密介质粒子间的相关性必须予以考虑, 这已被实验室试验和蒙特卡罗求解麦克斯方程所证实. 随机介质的电磁波散射取决于颗粒间的位置, 积雪由于其颗粒大小和波长相比拟, 且冰颗粒占有一定体积百分比, 因而积雪作为致密介质, 必须考虑其颗粒间的近场效应. 本文则采用致密介质理论来计算积雪层的消光特性和发射特性<sup>[12]</sup>, 应用分布函数描述颗粒之间位置的相关性. 有研究表明<sup>[14]</sup>, 平均颗粒大小是决定积雪颗粒散射特性的关键因素, 因此, 本文采用平均颗粒大小来表征雪层内的不同颗粒大小散射特征.

2.2 AIEM 模型

描述地表散射特性的传统理论模型有小扰动模型、物理光学模型和几何光学模型等, 这些模型都有各自的适用范围. 实际自然地表的粗糙度是连续的, 包括了各种不同尺度粗糙度水平, 传统散射模型无法描述实际地表粗糙度状况. 因此, 需要一个连续的模型来对不同粗糙度状况下的自然地表情况

进行散射和辐射模拟, 使其能更为逼近实际地表情况电磁波的作用过程. Fung 等<sup>[15]</sup>为解决上述问题, 发展了积分方程模型(Integrated Equation Model, 即 IEM). 该模型是基于对于复杂的原始积分方程的地表散射模型, 能在一个很宽的地表粗糙度范围内再现真实地表散射情况.

但是, 经过验证发现, IEM 过高地估计了 V 极化的有效反射率, 并低估了 H 极化的有效反射率, 不能模拟高频地表发射信号, 降低了针对高频地表信号进行微波建模的能力, 比如我们研究积雪辐射信号则需要将该模型延伸到 37 GHz 频率. 因此, Chen 等<sup>[13]</sup>针对上述问题提出了 Advanced Integral Equation Model(AIEM), AIEM 模型的适用范围已经过蒙特卡罗模拟验证和地面试验数据验证<sup>[16-17]</sup>, 能计算和模拟包括更宽范围的介电常数、粗糙度和频率等参数的地表辐射信号. 本文使用 AIEM 模型, 来更好的模拟积雪下地表发射信息.

2.3 辐射传输模型双矩阵求解法

Matrix Doubling 方法实质上是求解辐射传输方程的一种数值方法, 可以计算面和体散射相互作用的散射过程. 介质边界的相互作用是通过光跟踪技术来实现的, 并且遵循能量守恒定律, 且被证明求解辐射传输方程的有效解<sup>[18]</sup>. 对于光学厚度大的介质层, 跟其它方法相比, Matrix Doubling 算法可以更加清楚地理解散射过程, 用双矩阵法来计算能体现出优越性.

3 模拟验证

根据实验样区的特征以及数据情况, 结合模型输入参数的条件, 积雪微波辐射理论模型输入参数如表 2.

表 2 积雪辐射传输理论模型输入参数

Table 2 Input parameters of the model

模型输入参数	值
雪深/m	0.79
雪密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.23
雪颗粒大小(半径)/mm	0.4
雪表面温度/K	266.8
积雪物理温度/K	266.8
土壤表面温度/K	266.8
土壤含水量	0.2
土壤表面均方根高度/cm	1.5
土壤表面相关长度/cm	25

地面实测值与模型模拟值比较的结果如图 5 和图 6，图中线状为不同极化不同频率的发射率模拟值，而方型和三角形离散点 H 和 V 为实测发射率值。由图 5 可看出，在不同的入射角下，18.7 GHz 频率的 H 和 V 极化下的模拟发射率值与实测发射率趋势基本一致，但模拟的发射率都要高于实测值，差值为 0.1；图 6 中，36.5 GHz 的 H 和 V 极化下的模拟发射率值与实测发射率值比较，结果较好，数值和趋势都几乎一致。

比较两图的模拟值与实测值的趋势和关系，可以看出，较高频率(36.5 GHz)对应的实测值与模

拟值吻合的更好些，低频(18.7 GHz)模拟值高于实测值更明显。

#### 4 结果分析

实验区积雪多次堆积而成，垂直上积雪参数有明显的分层和不规则变化。图 7 和图 8 为某一垂直积雪深度下，积雪密度和积雪温度随深度的变化。温度廓线随雪深增加温度先降后升，使得雪表面温度和下垫面地表温度较高，中间温度不规则变化而且比较低。因此，用雪表面温度和下垫面温度代入模型模拟，会使得模拟亮温值偏高，模拟发射率偏大。由于低频的穿透能力较高频强，因此，在低频(18.7 GHz)模型模拟值高于实测更明显；同样，模型模拟中采用的密度是一个平均值，没有考虑积雪层中密度的分层，没有表示不同密度层界面的反射

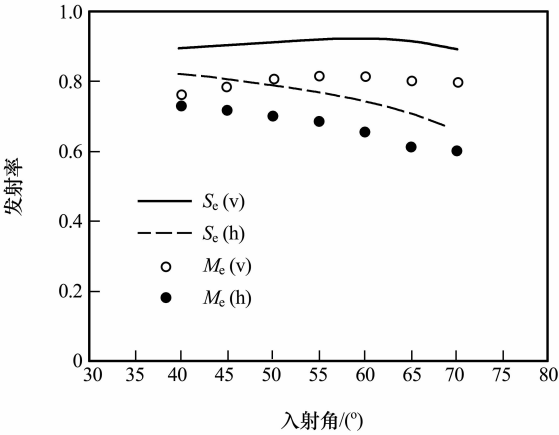


图 5 不同入射角下，18.7GHz 频率 H 和 V 极化的实测发射率值与模拟发射率的比较

Fig. 5 Measured and simulated emissivities changing with incidence angles, in 18.7 GHz and H-pol, V-pol.

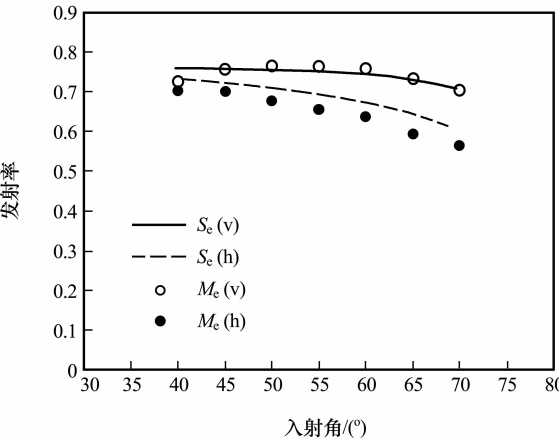


图 6 不同入射角下，36.5 GHz 频率 H 和 V 极化的实测发射率值与模拟发射率的比较

Fig. 6 Measured and simulated emissivities changing with angles of incidence, in 36.5 GHz and H-pol, V-pol.

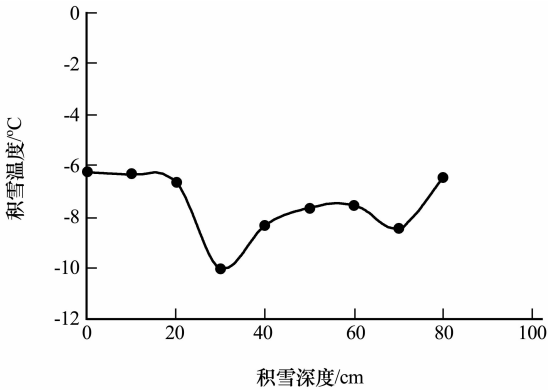


图 7 不同积雪深度下，积雪温度的变化趋势（积雪深度为 0 表示积雪表面，从表面向下，依次递增为不同积雪深度）

Fig. 7 Change of snow temperature with depths

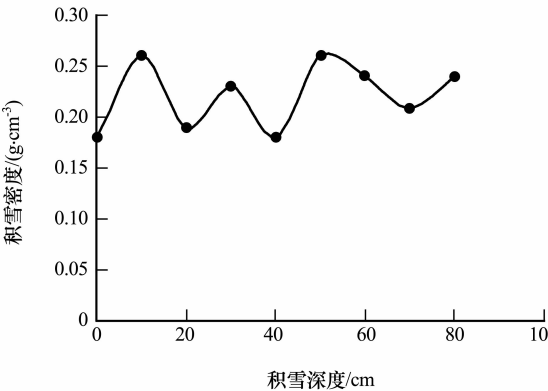


图 8 不同积雪深度下，积雪密度变化趋势（积雪深度为 0 表示积雪表面，从表面向下，依次递增为不同积雪深度）

Fig. 8 Change of snow density with depths

率变化,因此也会产生误差。

由于较低频率(18.7 GHz)的地表信号更强,对地表更敏感,而该试验区地表为碎石块、砾石和土壤混合而成的冻结地表,冻土中水分很难测量,地表介电常数也需要更好的确定。因此,18.7 GHz 频率模拟值和实测值有误差,这需要更进一步研究。

## 5 结论与讨论

利用黑河联合试验区的车载辐射计测量值与积雪微波辐射模型模拟值比较,模拟值与实测结果趋势一致,结果基本吻合,尤其 36.5 GHz 频率吻合的较好。18.7 GHz 对积雪下垫面参数敏感,在该地区效果较差,说明该模型在模拟中国寒区特定的自然地表积雪辐射时,需要进一步研究积雪层内垂直剖面的差异、下垫面对积雪辐射的影响以及改进模型。模型的验证和分析为以后更准确的反演中国寒区积雪参数提供依据。

致谢:本研究得到中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国科学院遥感技术与应用研究所和北京师范大学各单位的老师和同学的大力支持;得到北京师范大学遥感国家重点实验室微波组的全体老师和同学全力帮助;特别受到李新、车涛、马明国、王建、晋锐等老师的指导和帮助,以及与“黑河联合实验”的所有老师和同学的通力合作,在此深表感谢。

## 参考文献(References):

- [1] Ulaby F T, Moore R K, Fung A K. Microwave Remote Sensing: Active and Passive, Volume III: from Theory to Applications [M]. Norwood, MA: Artech House, 1986: 1065—2162.
- [2] Zhao Yingshi. Remote Sensing Applications of Analysis Principles and Methods [M]. Beijing: Science Press, 2003: 1—478. [赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1—478.]
- [3] Fung A K. Microwave Scattering and Emission Models and Their Applications [M]. Norwood, MA: Artech House, 1994: 1—573.
- [4] Wiesman A, Matzler C. Microwave emission model of layered snowpacks[J]. Remote Sensing of Environment, 1999, **70**: 307—316.
- [5] Wu T D, Chen K S. A reappraisal of the validity of the IEM Model for backscattering from rough surfaces [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2004, **42**(4): 743—753.
- [6] Li Xin, Ma Mingguo, Wang Jian, *et al.* Simultaneous remote sensing and ground-based experiment in the Heihe River Basin: Scientific objectives and experiment design [J]. Advances in Earth Science, 2008, **23**(9): 897—914. [李新, 马明国, 王建, 等. 黑河流域遥感-地面观测同步试验: 科学目标与试验方案[J]. 地球科学进展, 2008, **23**(9): 897—914.]
- [7] Rose Th, Czekala H. RPG-8CH-DP 4 Frequency, Dual Polarized Radiometer: Operating Manual [Z]. Radiometer Physics GmbH, 2006.
- [8] Matzler C, Standley A. Technical note: Relief effects for passive microwave remote sensing [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, **21**, 2403—2412.
- [9] Guo Ying, Shi Jiancheng. Evaluation of terrain effect on microwave radiometer measurement and its correction [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008. (to be published)
- [10] Wiesmann A, Stozzi T, Weise T. Passive microwave signature catalogue of snow covers at 11, 21, 35, 48 and 94 GHz [R]. IAP Research Report 96—8, University of Bern, Switzerland, 1996.
- [11] Jiang Lingmei. Passive Microwave Remote Sensing of Snow Water Equivalent [D]. Beijing: Beijing Normal University, 2005. [蒋玲梅. 被动微波雪水当量研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2005.]
- [12] Tsang L, Kong J A. Scattering of electromagnetic waves from a dense medium consisting of correlated Mie scatterers with size distributions and applications to dry snow [J]. J. EM Waves and Applications, 1992, **6**: 265—286.
- [13] Chen K S, Wu T D, Tsang L, *et al.* The emission of rough surfaces calculated by the integral equation method with a comparison to a three-dimensional moment method simulations [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 2003, **41**(1): 90—101.
- [14] Shi J, Davis R E, Dozier J. Stereological determination of dry snow parameters for discrete microwave Modeling [J]. Annals of Glaciology, 1993, **17**: 295—299.
- [15] Fung A K, Li Zongqian, Chen K S. Backscattering from a randomly rough dielectric surface [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, **30**(2): 356—369.
- [16] Shi J, Chen K S, Li Q, *et al.* A parameterized surface reflectivity model and estimation of bare surface soil moisture with L2 band radiometer [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 2002, **40** (12): 2674—2686.
- [17] Shi J, Jiang L M, Zhang L X, *et al.* A parameterized multi-frequency-polarization surface emission model [J]. IEEE TGRS, 2005.
- [18] Twomey S, Jacobowitz H, Howell H B. Matrix methods for multiple-scattering problems [J]. J. Atmos. Sci., 1966, **23**: 289—296.

# Validation of Dry Snow Passive Radiative Transfer Model by Microwave Radiometer Loaded on a Truck

CHANG Sheng<sup>1, 2</sup>, JIANG Ling-mei<sup>1, 2</sup>, ZHANG Li-xin<sup>1, 2</sup>, SHI Jian-cheng<sup>3, 4</sup>

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by Beijing Normal University and the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100875, China; 2. School of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Institute for Computational Earth System Science, University of California, Santa Barbara CA93106, USA; 4. The Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Snow equivalent water is a very important parameter which is input to the hydrological, climate, use of water resources and management models. The snow radiation theoretical model can simulate the relation of the snow physics parameters and the microwave radiation, therefore, to simulate the snow radiation information accurately and to validate the model is important.

The improved dry snow radiative transfer model based on conservation of energy (DMRT-AIEM-MD) was used. Then the capability of a multi-scattering microwave emission model was evaluated, which includes the Dense Media Radiative Transfer Model (DMRT) and AIEM in simulation of dry snow emission and Matrix Doubling

approach (MD). And the snow radiation characteristics were analyzed and the accurate of the model was validated by using the data from Heihe area experiment and radiation bright temperatures of 18.7 GHz and 36.5 GHz on 24th March, 2008, considering the influence of terrain. It is revealed that the simulated result is consistent with the measurement basically, and the model can well simulate the snow radiation on the surface. The little difference between the simulation and measurement is analyzed, which may result from the anomalous variations of snow density and temperature in the vertical profile due to the snow accumulation time after time.

**Key words:** snow cover; microwave remote sensing; passive microwave emission model; simulation; validation