

应用先进微波探测器 AMSU 资料遥感 反演春季陆地表层湿度*

谷松岩^{1,2)} 邱红^{1,2)} 杨忠东²⁾ 董超华²⁾

1) (北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871)

2) (中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要 利用先进微波探测器 (AMSU) 正演快速微波辐射传输模型, 完成了 AMSU 窗区通道亮温与地表温湿特征的相关性分析, 根据模拟计算结果改进了现有业务上反演地表微波辐射率的统计分析方法, 得到适用于我国非冻土积雪覆盖地区地表微波辐射率反演的指数分析模型; 进一步通过地表微波辐射传输模型迭代反演得到土壤体积含水量信息。2001 年相互匹配的 AMSU 资料和地面农业气象观测站地表相对湿度观测结果的对比分析表明二者间具有一定的相关性。利用 2002 年 3 月和 2003 年 3 月的 AMSU 资料, 反演了我国陆地区域地表湿度; 连续两年春季地表湿度反演结果的对比分析表明, 与 2002 年春季相比, 2003 年我国北方沙尘暴发生源区地表湿度反演值普遍偏高, 潮湿的下垫面特征与沙尘暴发生频次的减少之间有一定的对应关系。试验结果表明, 利用 AMSU 遥感资料可以获得大范围陆地表层湿度信息, 进行区域尺度陆地表层湿度特征的动态分析, 为我国沙尘暴监测分析提供陆地表层湿度基础信息。

关键词: 地表微波辐射率; 陆地表层湿度; 遥感反演

文章编号 1006-9585 (2004) 01-0043-11 **中图分类号** P407 **文献标识码** A

1 引言

AMSU 是新型大气垂直探测器 (ATOVS) 主要仪器组件之一, 由先进的微波探测器 A 型 (AMSU-A) 和先进的微波探测器 B 型 (AMSU-B) 组成。其中 AMSU-A 有 15 个通道, AMSU-B 有 5 个通道, 主要用于改进大气温湿度的垂直探测能力。AMSU-A 的窗区通道同时具备探测地表参数的能力^[1]。AMSU 资料是目前我国唯一能每日及时获取到的星载被动微波遥感资料, 因此推动了 AMSU-A 资料在地表参数反演方面的应用研究^[2-4]。

星载微波辐射计观测到的微波辐射取决于地表和大气发射和散射微波辐射的特性。其中地表的微波辐射特性主要取决于地表的介电常数进而与地表的土壤含水量密切相关。对低频被动微波遥感而言, 土壤湿度是影响微波辐射测量的主要因子。过去 30 多年时间里, 国内外有关研究人员围绕土壤湿度与微波亮温间的关系进行了大量研究试验, 取得了具有局地应用价值的各种算法。特别是 1978 年以后, 美国雨云卫星及国防卫星的升空, 围绕扫描多通道微波辐射计 (SMMR) 和特种微波成像仪 (SSM/I) 等

2004-01-08 收到, 2004-02-10 收到修改稿

* 国家财政部“西北地区土壤水分、沙尘暴监测预测研究”项目 (Y0101) 资助

被动微波遥感资料的应用,开展了被动微波遥感土壤湿度的算法研究。20世纪70~80年代以 Schmugge^[5]为代表,许多科学家根据大量地面实测资料建立微波亮温与土壤湿度间的线性关系,分别得到了微波亮温与土壤湿度、田间持水量和前期降水指数间的线性关系。同期的其他科学家^[6~8]还对影响微波地表湿度反演精度的地表植被覆盖、地表粗糙度、地表纹理和大气等因素进行了讨论,得到了实用的订正方案。20世纪90年代后期 TRMM/TMI (Tropical Rainfall Measurement Mission / TRMM Microwave Imager) 升空后, Koike^[9]根据青藏高原试验中的观测结果提出了对地表湿度特征较敏感的 TMI 微波湿度指数 $I_{sw} = (T_{37H} - T_{19H}) / T_{19H}$, 用以监测陆地水文状况 (其中 T_{37H} 和 T_{19H} 分别为 37 GHz 和 19 GHz 水平极化通道的微波亮温值), 根据这一指数的变化特征分析了青藏高原土壤含水量的季节和年际变化, 及空间分布特征。这些反演应用的基本思路都是首先从被动微波遥感资料中提取与地表湿度信息敏感的特征量, 然后建立这些特征量与地表湿度信息间的统计关系, 获取地表湿度信息。

为了适应沙尘暴业务监测对地表湿度信息的需求, 本文开展了 AMSU-A 资料陆地表层湿度信息提取试验, 利用 AMSU 正演快速微波辐射传输模型, 完成了 AMSU 窗区通道亮温与陆地表层温湿特征的相关性分析, 根据模拟计算结果通过 AMSU 微波指数分析技术获取我国非冻土积雪覆盖地区的地表微波辐射率; 利用 2002~2003 年 3~5 月的 AMSU 资料, 反演得到了我国陆地区域 AMSU-A 通道 3 的地表微波辐射率, 并进一步通过地表微波辐射传输模型的迭代计算反演得到陆地表层土壤体积含水量分析结果, 提取得到沙尘暴多发地区大范围的陆地表层湿度信息。

2 AMSU 通道特性分析

AMSU 遥感到的是来自地球大气系统观测视场内一定厚度介质层的微波辐射, 反映了大气和地表下垫面一定厚度层的物理特性。一般低频微波通道对大气具有一定穿透性, 一定条件下微波辐射主要来自地面表层。AMSU-A 通道 2 是窗区通道, 受大气影响相对较小, 可以有效探测地表特征; 通道 3 有微弱的氧气吸收, 通道 15 会受到大气水汽和降水的影响。但一般来说, AMSU-A 通道 1、2、3 和 15 的权重函数比较低, 对地表特征有很好的响应。AMSU-A 通道的主要特性及其主要探测目的见表 1。

当下垫面由陆地变为水体海域时, AMSU-A 窗区通道 2 和通道 1 的微波亮温会发生大于 100 K 的亮温变化 (图 1), 即使是在陆地区域, AMSU-A 通道 1 和 2 的亮温也会有约 30 K 的亮温变化; 而 AMSU-A 大气温度探测通道 (4~14) 对地表的海陆差异就不敏感, 当地表从陆地区域变为海洋区域 (像元序号从 100 到 105), 没有明显的亮温变化; AMSU-A 通道 3 和通道 15 海陆间也有明显的亮温差, 但差值比通道 1、2 的亮温差值小。AMSU-A 窗区通道陆地区域的亮温差, 为利用 AMSU-A 资料反演陆地表层湿度信息提供了试验的可能。

2.1 微波辐射传输模型

为了更好地分析 AMSU-A 的通道特性, 利用气压层光学厚度微波辐射传输模式进行 AMSU 窗区通道对陆地表层温度、湿度信息的敏感性模拟计算试验, 以便了解地表及大气对 AMSU-A 微波辐射的影响情况。气压层光学厚度微波辐射传输模型适用于计

表 1 AMSU-A 通道特性及其主要探测目的

通道	中心频率	主要吸收成分	主要用途
1	23.8	H ₂ O	地表特征、可降水等
2	31.4	窗区	地表特征、可降水等
3	50.3	O ₂	表面发射率
4	52.8	O ₂	大气温度
5	53.596±0.115	O ₂	大气温度
6	54.4	O ₂	大气温度
7	54.94	O ₂	大气温度
8	55.5	O ₂	大气温度
9	$f_0=57.29\pm0.344$	O ₂	大气温度
10	$f_0\pm0.217$	O ₂	大气温度
11	$f_0\pm0.3222\pm0.048$	O ₂	大气温度
12	$f_0\pm0.3222\pm0.022$	O ₂	大气温度
13	$f_0\pm0.3222\pm0.010$	O ₂	大气温度
14	$f_0\pm0.3222\pm0.045$	O ₂	大气温度
15	89.0	H ₂ O	地表特征、可降水等

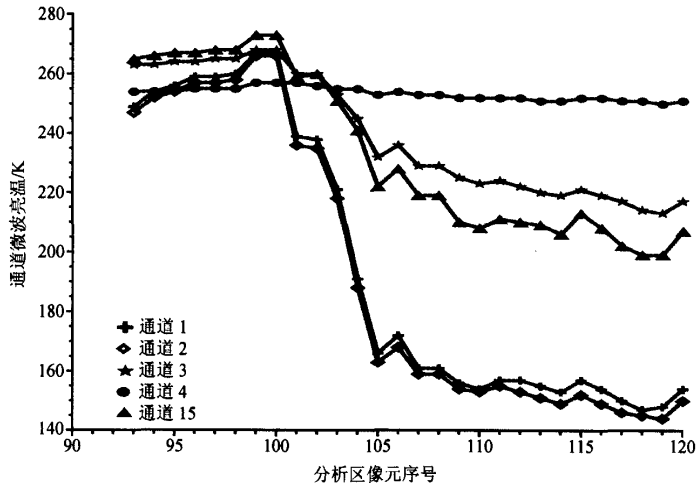


图 1 AMSU-A 通道 1、2、3、4 和 15 像元微波亮温变化曲线

算垂直各向异性平行平面分层大气介质中的微波辐射特征量，是理论分析大气对地表微波辐射影响的有效工具^[10]。利用气压层光学厚度微波辐射传输模型可以计算大气各层的微波辐射通量或强度以及微波亮温。

星载被动微波遥感仪器观测到的微波辐射包含地表和大气两方面的贡献。AMSU 通道上的大气辐射贡献相对较弱，微波辐射主要来自地表。如果无散射大气处于局地热力平衡，地气系统的微波辐射传输方程可以表示为

$$T_{\text{Bp}} = T_s e_p e^{-\tau(0, H)/\mu} + T_a^\dagger (1 - e_p) e^{-\tau(0, H)/\mu} + T_a^\dagger + T_c (1 - e_p) e^{-2\tau(0, H)/\mu}, \quad (1)$$

其中， T_{Bp} 为卫星以观测角 θ 观测到的极化亮度温度 ($p=v, h$ 垂直或水平极化)，

$$T_a^\downarrow = \int_H^0 T(z)\alpha(z)e^{-\tau(0,z)/\mu} dz, \quad T_a^\uparrow = \int_0^H T(z)\alpha(z)e^{-\tau(z,H)/\mu} dz, \quad (2)$$

分别为大气下行和上行微波辐射, T_s 为地表物理温度, e_p 为地表极化辐射率, $\mu = \cos\theta$, $\alpha(z)$, $T(z)$ 分别为 z 高度处大气的气体吸收系数和物理温度, $\tau(z_0, z_1)$ 为高度 z_0 到 z_1 间大气层光学厚度, H 为整层大气的厚度, $T_c = 2.7 \text{ K}$ 为外空微波辐射。

对于有植被覆盖的地表, 利用陆表微波辐射模型进行模拟计算^[11,12]。陆表微波辐射模型中地表物质的体散射利用二流近似原理来计算得到, 地表介质表面的发射和散射利用交叉极化订正并考虑了粗糙度因子影响的 Fresnel 方程来计算; 植被冠层的光学参数利用几何光学原理来计算。

模拟计算中用到了美国威斯康星大学提供的大气廓线基础数据, 资料中除大气温、湿和臭氧含量廓线外, 还包含有地表温度、地面气压资料和相应的 AMSU 通道 3 地表微波辐射率。大气廓线库约含 8000 个数据样本。

2.2 AMSU-A 通道特性的正演分析

利用前面介绍的微波辐射传输模型和基础数据库资料进行模拟计算, 结果表明, AMSU-A 窗区通道 (通道 2、3 和 15) 对地表特征比较敏感, 当下垫面从陆地变为海域时, 通道微波亮温值明显降低, 其中通道 2 陆海微波亮温差最大约为 120 K, 通道 1 和通道 3 次之; 其他权重函数峰值分布比较高的温度探测通道 (通道 4 到通道 14) 对地表的陆海状况不敏感, 亮温的模拟计算结果重合。在微波波段大气的主要吸收气体为水汽、氧气和臭氧。其中水汽分布特征的变化最大。一般海洋上空, 大气的水汽含量比较大, 变化也比较剧烈, 模拟计算结果中几个窗区通道在海洋背景条件下都有比较大的变化范围。模拟计算结果表明, 对相同频点而言, 海洋下垫面微波冷背景条件下微波亮温的变化量大于陆地背景条件下的微波亮温变化量; 其中海洋背景条件下, 通道 1 由于位于水汽吸收带上, 所以引起的微波亮温差最大, 达到了 50 K; 陆地微波热背景条件下, 大气的影晌相对减弱。另一个变化幅度比较大的通道是中心频点位于 89 GHz 的通道 15。这个通道在海洋上空亮温变化范围比较大的原因与云顶冰晶或较大降水颗粒对上行微波辐射的散射有关。与海域的情况不同, 陆地区域大气的影晌相对较小。可用于地表特征探测的 AMSU-A 窗区通道 (通道 2、3 和 15) 中, 对地表陆海特征差异的响应通道 2 和通道 3 相当, 但大气对通道 2 的影晌, 从模拟计算结果来看, 比通道 3 大。AMSU-A 通道特性的模拟计算结果见表 2。

表 2 AMSU-A 通道特性模拟计算结果

通道	陆地区域		海洋区域	
	微波亮温动态变化范围/K	微波亮温平均值/K	微波亮温动态变化范围/K	微波亮温平均值/K
1	286~294	290	170~220	200
2	284~296	290	162~186	174
3	280~290	286	228~248	240
15	286~294	290	234~270	258

正演模拟分析还表明, AMSU-A 通道 3 微波亮温与地表温度有很好的相关, 通道 2 的微波亮温与地表微波辐射率有很好的相关。当地表温度取 289.0 K 时, 模拟计算了当地表微波辐射率从 0.1 变化到 1.0 时, 星上微波亮温的变化情况, 结果表明,

AMSU-A 窗区通道 2、3 和 15 对地表微波辐射率的变化有很好的响应。当大气状况不变，仅地表微波辐射率变化时，通道 2 的亮温变化量可以达到约 263.0 K，通道 3 的亮温变化量达 226.0 K，通道 15 的亮温变化量达 254.0 K。

利用 AMSU 窗区通道提取陆地表层湿度信息时，地表的植被覆盖以及卫星扫描角等都对结果的精度有影响。从模拟计算结果来看，AMSU-A 两个较低频率的窗区通道（通道 2、3）模拟计算结果一致，植被覆盖使裸土地表微波辐射率对土壤体积分水量的敏感性降低。AMSU 采取横跨轨道的扫描方式来获取地气系统微波辐射，地表目标的微波辐射特征在不同扫描位置上有差异，这种差异随目标物的不同而有不同的变化特征^[13]。一般随着扫描角的增加，水平极化的微波辐射先变强，然后快速减弱；垂直极化的微波辐射先稳定不变，当入射角超过 40° 时，开始下降。受扫描角变化的影响，在 AMSU 有效扫描范围内，AMSU-A 扫描线边缘微波亮温根据不同目标物，有不同程度的边缘畸变效应，因此，利用 AMSU 资料提取陆地表层湿度信息时，需要考虑 AMSU 资料的边缘订正、大气影响订正和地表植被覆盖订正等。

3 AMSU-A 资料陆地表层湿度信息提取算法描述

利用 AMSU 窗区通道提取陆地表层湿度信息时，首先获取陆地表层微波辐射率，然后利用经验分析，完成微波辐射率到土壤湿度间的统计分析，进而获取陆地表层大范围湿度的分布特征。

3.1 地表微波辐射率反演

地表微波辐射率是利用 AMSU 资料反演陆地表层湿度算法中的重要参数，也是陆地区域大气温湿廓线反演时必不可少的物理量。由辐射传输方程 (1)，可得地表微波辐射率为

$$e_p = \frac{[T_B - T_a^* e^{-\tau(0,H)/\mu} - T_a^*]}{e^{-\tau(0,H)/\mu}(T_s - T_a^*)} \quad (3)$$

一般业务应用时大气和地表状况参数都未知，因此无法利用 (3) 式来反演地表微波辐射率。为了满足业务应用的需要，研究试验中尝试构造了对地表微波辐射率敏感，而对地表温度和大气参数不敏感或相对不敏感的指数参数，并建立这样的参数与地表微波辐射率间的统计关系。结合 AMSU-A 的通道特性，经通道特性的相关分析，本文提出对地表温度的影响有一定抑制作用的通道 2 和通道 3 亮温归一化组合形式的指数 (I_A : AMSU-A brightness temperature index):

$$I_A = (T_{B3} - T_{B2}) / (T_{B3} + T_{B2}) \quad (4)$$

分析结果表明， I_A 指数与地表温度的相关系数为 -0.32，AMSU-A 通道 3 的微波亮温与地表温度的相关系数为 0.68，通道亮温组合形成的 I_A 指数降低了单通道亮温与地表温度的相关，减弱了地表温度对 I_A 指数的影响。与此同时， I_A 指数与地表微波辐射率的相关系数达到 -0.85，而 AMSU-A 通道 3 的微波亮温与地表微波辐射率的相关系数为 0.74。 I_A 指数在有效抑制地表温度影响的同时，提高了与地表微波辐射率的相关性。

为了建立 I_A 指数与地表微波辐射率间的统计关系，从所有样本中遴选出 AMSU

通道 3 地表辐射率大于 0.85 的陆地非冻土地表 ($T_s > 280 \text{ K}$) 数据样本共 3 200 个。模拟计算过程中, 随机选取其中的 2000 个样本, 以 $I_A = 0.3$ 为分界点, 分别建立 I_A 指数与 AMSU-A 通道 3 地表微波辐射率间的线性统计关系, 得到根据 I_A 指数统计计算 AMSU-A 通道 3 地表微波辐射率的公式为

$$\begin{aligned} e &= -0.0328796I_A + 0.949248, \quad I_A \leq 0.3, \\ e &= -0.0187479I_A + 0.938049, \quad I_A > 0.3. \end{aligned} \quad (5)$$

AMSU-A 图像分类处理后, 水体、沙漠、终年积雪和图像中强降雨区不做反演, 其他区域利用 (5) 式反演可得到 AMSU-A 像元综合的微波辐射率值 (图 2)。图 2 为 2002 年 4 月 20 日到 30 日 AMSU-A 通道 3 中国区域等经纬度投影 0.5 度分辨率的地表微波辐射率旬合成图。

3.2 陆地表层湿度信息提取

AMSU 被动微波遥感资料在改善热带海洋地区大气温湿廓线反演精度方面的优势已得到充分显示。但在陆地区域, 地表微波辐射率的复杂性及不确定性限制了 AMSU 资料的深入应用。合理准确反演得到的地表微波辐射率, 结合其他波段遥感信息有助于进一步获取陆地表层的热力状况信息, 可以保障 AMSU 被动微波遥感资料的应用效果。

为了估算 AMSU-A 像元中土壤的水分含量, 要准确估算 AMSU-A 像元中裸土组分占像元面积的百分比, 才能从反演得到的 AMSU-A 像元平均地表微波辐射率值中提取得到裸土组分的微波辐射率, 进一步利用地表微波辐射传输模型推算像元中土壤组分的湿度特征。国际地理生物圈计划 (IGBP) 形成了空间分辨率为 $1/120^\circ$ 静态的地表类型基础数据, 从这一数据出发, 可以得到 AMSU-A 像元中裸土占整个像元面积百分比的分布情况 (图 3), 同时也提取得到了 AMSU-A 像元中水体及植被覆盖的面积百分比信息。图 3 中, 紫色区域为以植被为主的区域, 蓝色区域为以裸土为主的区域, 黄色区域为完全裸土或沙漠区域。

AMSU-A 像元裸土面积百分比信息 (f_s) 与像元平均微波辐射率 (e) 结合, 可以得到裸土组分的微波辐射率 (e_s), 其中内陆水体的微波辐射率 (e_w) 和植被的微波辐射率 (e_c) 取经验近似值, 相应的内陆水体和植被组分的面积百分比为 f_w 和 f_c 。

$$e = f_s e_s + f_c e_c + f_w e_w, \quad (6)$$

$$e_s = (e - f_c e_c - f_w e_w) / f_s. \quad (7)$$

当像元裸土面积百分比为 0 时, 取像元其他单一组分或像元平均的微波辐射率。反演得到 AMSU-A 像元组分微波辐射率信息后, 进一步可以借助地表微波辐射传输模型, 利用迭代技术反演得到土壤的水分含量。

2002 年 4 月下旬 AMSU-A 资料经上述反演算法得到中国北方地区地表层土壤湿度分布反演结果 (图 4)。图 5 是反演过程的信息处理流程图。利用相同算法处理 2001 年 AMSU-A 资料得到陆地表层土壤湿度分布结果, 利用同期 2001 年 4 月下旬农业气象地面观测数据进行反演结果的对比分析, 结果表明, 利用 AMSU-A 遥感数据反演得到的土壤体积含水量与地面农气观测的土壤相对湿度 (绝对湿度/田间持水量) 资料间的相关系数对裸地而言, 可达 68.0%; 春小麦农田可达 61.0%。如果将多种小麦地的匹配样本放在一起, 地面观测结果与遥感反演结果间的相关性达到 51.7%。

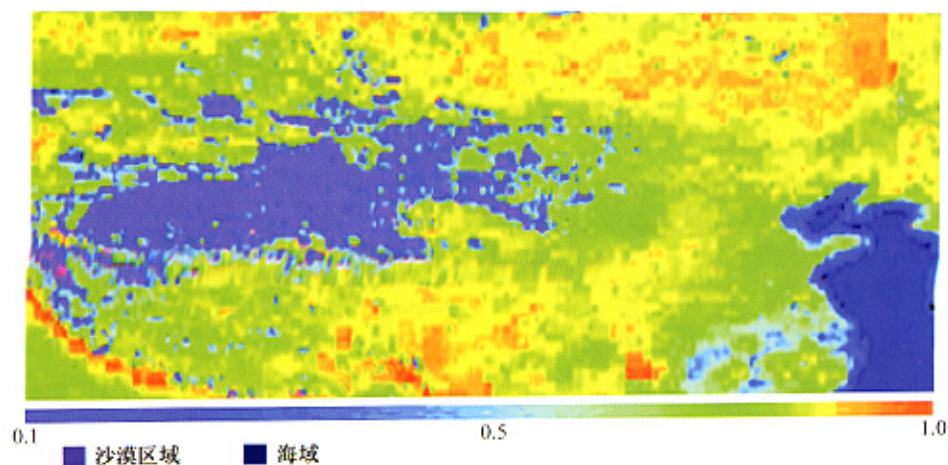


图2 AMSU-A 通道 3 (50.3 GHz) 地表微波辐射率句合成图 (2002 年 4 月 20~30 日)

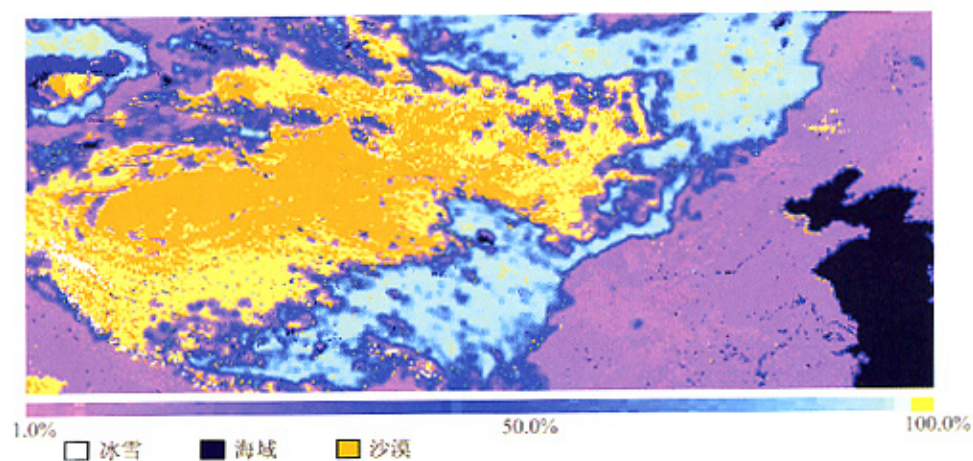


图3 AMSU-A 像元裸土面积百分比分布

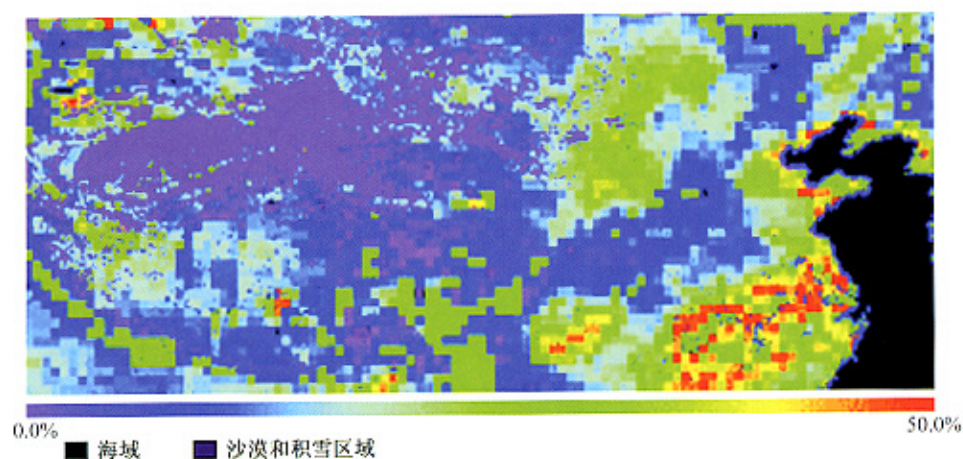


图4 利用 AMSU-A 资料得到的中国区域地表层湿度信息分布 (土壤体积含水量)
2002 年 4 月 20~30 日

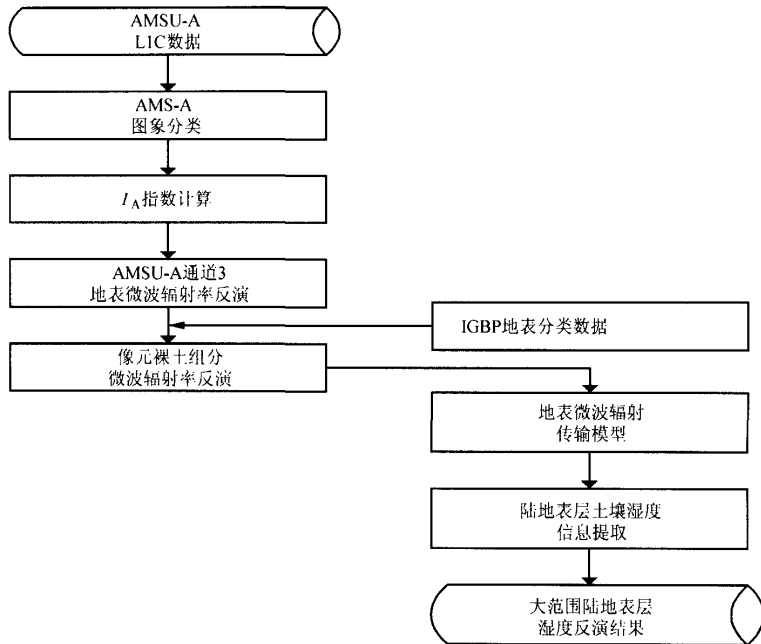


图5 利用 AMSU-A 资料反演中国区域地表层湿度信息流程

反演及对比分析结果表明,利用 AMSU-A 资料可以获得陆地表层大范围土壤湿度信息,一定程度上弥补了地面常规观测资料的不足。地表微波辐射的复杂性及 AMSU 横跨轨迹的扫描方式和 AMSU 在各频点处没有双极化通道的弱点,给利用 AMSU 星载被动微波遥感资料反演陆地表层湿度信息带来难度; AMSU-A 45 km 的空间分辨率使得像元的组分特征异常复杂,受资料空间分辨率的影响, AMSU 反演得到的陆地表层湿度信息很难应用于农业管理,但 AMSU 资料反演结果的空间分辨率与气候模式或沙尘暴预报模式的空间分辨率相当,将天气气候模式与被动微波遥感反演相结合,不仅会给被动微波遥感资料的应用带来希望,同时也为反演结果精度的改进提供了空间。

4 春季北方地区陆地表层湿度反演值与沙尘暴发生频率及强度的比较分析

沙尘暴发生源地及传播路径的陆地表层物理状况会影响沙尘暴的发生频率及其强度。其中相关的关键参数包括陆地表层的覆被参数、陆地表层温度参数和陆地表层湿度参数等。利用前面分析试验中形成的反演方法反演得到了 2002、2003 年 3 月北方地区陆地表层湿度的空间分布。选取北京北面 (43°N , 117°W) 附近, $1.0^{\circ}\times 1.0^{\circ}$ 的样区为对比分析区。样本分别取自 2002 和 2003 年 3 月 1 日到 3 月 31 日每天过境的 AMSU-A 资料。图 6 为陆地表层湿度反演值的时间演变曲线,图中虚线为 2003 年 3 月的反演结果,实线为 2002 年 3 月的反演结果。从相同分析区的反演结果来看,2003 年 3 月分

析区陆地表层比 2002 年 3 月湿润，2003 年 3 月陆地表层湿度的反演结果整体上高于 2002 年 3 月的反演结果。

沙尘暴是在天气系统影响下，干旱和半干旱地区的一种风蚀现象^[14]。沙尘暴事件中，地表状况对沙尘暴发生频率和强度有一定影响^[15~18]。2002 年和 2003 年春季我国北方沙尘暴发生的频次和强度有很大差异，大气环流形势的不同是这种差异的主要原因^[16]，陆地表层湿度特征的不同也会对此产生一定影响。图 7 是 2002、2003 年春季 3、4 月沙尘暴发生频次及强度的对比统计结果，从中可以看到 2003 年 3 月北方地区（华北、内蒙）没有出现沙尘天气，而 2002 年同期，却发生了多起强沙尘暴事件；2003 年 4 月北方地区发生了沙尘暴事件，但频次比 2002 年同期少，强度比 2002 年同期弱。

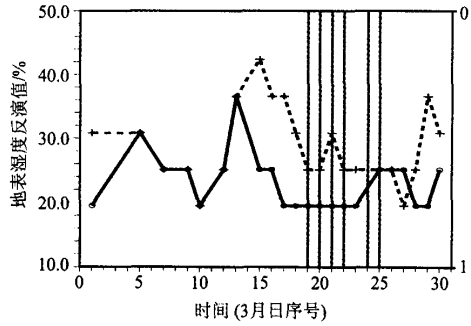


图 6 2002 年 3 月与 2003 年 3 月相同地面分析区地表湿度反演结果的对比分析
虚线为 2003 年 AMSU-A 反演结果，实线为 2002 年 AMSU-A 反演结果，灰色竖线标识出 2002 年 3 月发生强沙尘暴事件的时间段

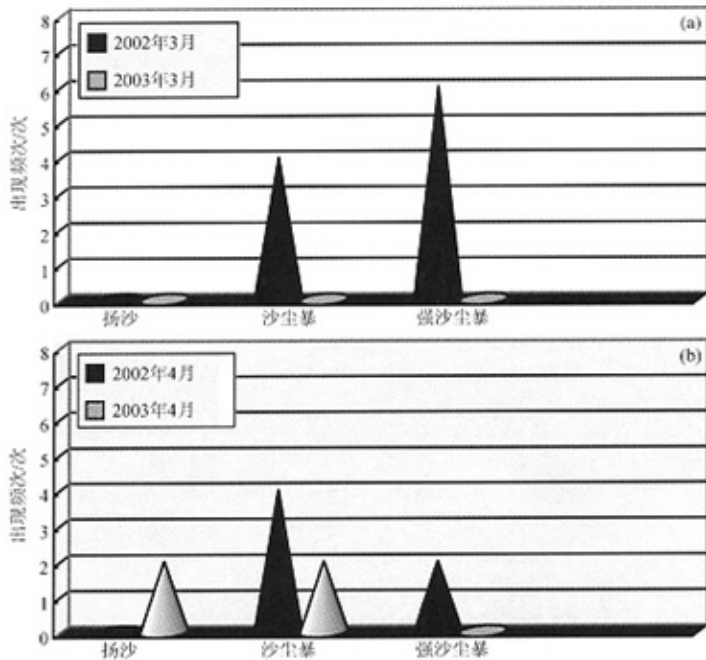


图 7 2002 年与 2003 年北方地区沙尘暴发生频次及强度的统计分析
(a) 3 月；(b) 4 月

北京以北区域陆地表层湿度反演值与同期同区域沙尘暴的发生频次和强度间有一定的相关性,地表干燥,沙尘事件发生的频次高、强度大。地表特征参数遥感反演值对于干旱、半干旱地区沙尘暴发生频次及强度影响的定量描述有待遥感资料与沙尘暴监测预测模式同化应用后,进一步深入研究。

5 结束语

通过试验分析,得到如下几点结论:

(1) AMSU-A 窗区通道对大范围区域地表湿度特征敏感,利用 AMSU-A 中心频点位于 31.4 GHz 和 50.1 GHz 的窗区通道微波亮温的组合可以有效提取地表湿度信息。

(2) 利用 AMSU-A 微波遥感资料反演得到的大范围区域地表湿度特征与地面农业气象观测结果间有一定的相关,但由于 AMSU 资料空间分辨率及探测方式的差异,反演结果与单站观测资料的相关性不一定好。

(3) 春季 3 月沙尘暴发生源区地表湿度值与当地沙尘暴的发生频次间具有一定的负相关性。

综上所述,利用 AMSU-A 被动微波遥感信息可以实现大范围区域地表湿度特征的动态监测,遥感监测结果可用于春季区域地表湿度特征分析,同时也可春季北方地区沙尘暴的预报分析提供定量的陆地表层湿度信息。

致 谢 国家卫星气象中心 TOVS 学科组提供了 AMSU 资料,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Grody, N., Weng Fuzhong, and R. Ferraro, Application of AMSU for obtaining hydrological parameters, *Microw. Radiomet. Remote Sens. Earth's Surf. Atmosphere*, 2000, 339~351.
- 2 刘志明、张柏、晏明、李铁强, 土壤水分与干旱遥感研究的进展与趋势, *地球科学进展*, 2003, **18** (4), 576~583.
- 3 谷松岩、邱红、冉茂农、张文建、卢乃锰, 用星载先进微波探测器 (AMSU) 资料开展区域地表洪涝分类监测, *应用气象学报*, 2003, **14** (1), 8~16.
- 4 Gu, S., H. Gao, Y. Zhu et al., Remote Sensing land surface wetness by use of TRMM/TMI microwave data, *Meteor. Atmos. Phys.*, 2002, **80**, 59~64.
- 5 Schmugge, T., P. E. O'Neill, and J. R. Wang, Passive microwave soil moisture research, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1986, **GE-24** (1), 12~21.
- 6 Choudhury, B. J., T. J. Schmugge, A Chang, and R. W. Newton, Effect of Surface Roughness on the Microwave Emission From Soils, *J. Geophys. Res.*, 1979, **84**, 5699~5706.
- 7 Jackson, T. J., and T. J. Schmugge, Vegetation effects on the microwave emission of soils, *Remote Sensing Environ.*, 1991, **36**, 203~212.
- 8 Jackson, T. J., and P. E O'Neill, Salinity effects on the microwave emission of soil, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1987, **GE-25**, 214~220.
- 9 Wang, J., T. Koike, and H. Fujii, The retrieving of surface parameters with microwave remote sensing, Proc., The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, 2001, 343~349.

- 10 Li Jun, W. W. Wolf, W. P. Menzel, and Zhang Wenjian, Global soundings of the atmosphere from ATOVS measurements; the algorithm and validation, *J. Appl. Meteor.*, 2000, **39**, 1248~1268.
- 11 Weng, F., and N. C. Grody, Physical retrieval of land surface temperature using the special sensor microwave imager, *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**, 8839~8848.
- 12 Schulz, F. M., K. Stamnes, and F. Weng, An improved and generalized discrete ordinate radiative transfer model for polarized (vector) radiative transfer computations, *Quant. Spectrosc. Radiat. Trans.*, 1999, **61**, 105~122.
- 13 Goldberg, M. D., D. S. Crosby, and Zhou Lihang, The limb adjustment of AMSU-A observations; meteorology and validation, *J. Appl. Meteor.*, 2001, **40**, 70~83.
- 14 方宗义、王炜, 2002 年我国沙尘暴的若干特征分析, *应用气象学报*, 2003, **14** (5), 513~521.
- 15 胡秀清、卢乃锰、邱红、刘玉洁, 利用静止气象卫星监测沙尘暴, *气候与环境研究*, 2003, **8** (1), 92~106.
- 16 陆均天、邹旭恺、王锦贵、任国玉, 近 3 年我国沙尘天气较频繁发生的原因分析, *气候与环境研究*, 2003, **8** (1), 107~113.
- 17 Lu Hua, and ShaoYaping, Toward quantitative prediction of dust storms: an integrated wind erosion modeling system and its applications, *Environ. Modelling and Software*, 2001, **16** (3), 233~249.
- 18 Shao Y., A model for mineral dust emission, *J. Geophys. Res.*, 2001, **106**, 20239~20254.

Spring Soil Moisture Retrieving by AMSU-A Microwave Remote Sensing Data

Gu Songyan^{1,2)}, Qiu Hong^{1,2)}, Yang Zhongdong²⁾, and Dong Chaohua²⁾

1) (Department of Atmospheric Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

2) (National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract Remote sensing of soil moisture by microwave radiometry has been a subject of intensive studies in the past two decades. Following the studies done before, retrieval of the terrain surface microwave emissivity from the remote sensing data of the AMSU-A is studied. Based on radiance transfer simulation, the AMSU-A brightness temperature index is defined for emissivity retrieval. The surface emissivity retrieved is applicable to the soil moisture retrieval on regional scale. Surface moisture information of regional scale over North China in March 2003 and March 2002 was retrieved by use of semi-empirical method based on the results of surface microwave radiance forward simulation. Good results were obtained by the comparison with surface observation data. The algorithm can be used to detect the surface moisture dynamically. The retrieval results can be a new data source of land surface physical parameters for sand storm simulation.

Key words: surface microwave emission; surface moisture; remote sensing retrieval