

SSM/I 资料反演大范围地表湿度试验*

谷松岩 张文建 邱 红

(国家卫星气象中心,北京 100081)

摘 要

利用 SSM/I 遥感数据,结合 2002 年汛期“973”外场观测资料及 T106 资料,借助微波辐射传输正演模型,通过物理反演原理提取 SSM/I 低频 19 GHz 通道像元平均地表微波比辐射率,然后利用地表微波辐射模型,估算 SSM/I 像元的地表湿度信息。以 2002 年 8 月中旬发生在长江流域的暴雨天气过程为例,将反演得到的地表湿度信息与地面观测到的降水信息进行对比分析,并与地面的洪涝特征进行对比分析,得到了与地面降水观测结果较为一致的对比结果。

关键词:被动微波 地表微波比辐射率 地表湿度 物理反演

引 言

微波波段的对地遥感观测具有全天候、多极化等诸多优势,同时微波辐射又代表了地表下垫面一定厚度层的特性,因而被认为是目前土壤湿度遥感探测最具发展潜力的探测手段。目前微波遥感监测土壤含水量的研究试验结果已经引起国内外学者的普遍关注。美国农业部 USDA 制定的农业资源调查联合计划(AgRISTARS)中将微波遥感定为土壤水分监测的主要手段。此外,许多大型水文、气候以及陆面过程研究计划中也都将微波遥感列为区域大尺度土壤湿度信息获取的主要手段。微波遥感土壤含水量的机理在于土壤的介电性质直接取决于土壤含水量这一事实。被动微波对地遥感观测时,受土壤含水量的制约,土壤介电常数的实部会从松散性干物质时的 5 变化到水物质的 80,相应地微波比辐射率的大小可从 0.98 变化到 0.60,因此可从被动微波遥感信号的强弱中分析出土壤的含水量信息^[1]。

美国国防卫星系列自 1987 年以来一直装载 SSM/I 被动微波遥感仪器,长时间序列的 SSM/I 资料为地表湿度信息提取的应用研究提供了基础。Teng^[2](1993)利用 SSM/I 数据结合地面观测资料,针对美国玉米、小麦主要产区作物分布带上湿润农田的土壤湿度进行了遥感估算方法研究,分析了 SSM/I 19 GHz 通道亮温与前期降水指数(API: Antecedent Precipitation Index)间的关系,并进一步建立了 API 与 SSM/I 19 GHz 频点归一化微波极化差指数(MPDII9: Microwave Polarization Difference Index)之间的相关关系。研究表明,在研究区的半干旱农田中,SSM/I 19 GHz 通道亮温与 API 之间的相关性可达 0.7;但对湿润和植被茂密区这种相关性只有 0.4。Choudhury 等人^[3](1987)根据

* 本研究得到国家自然科学基金(90102010)和国家基础研究(2001CB309402)的共同资助。

2003-08-05 收到,2003-12-11 收到修改稿。

SSM/I 37 GHz 微波通道亮温对植被特征敏感的性质提出微波植被指数(37 GHz 通道亮温极化差指数)的概念,并得到微波植被指数随植被层含水量的增加而减少的分析结果。Manfred Owe 等人^[4](2001)的研究工作中利用微波植被指数来推算植被层的光学厚度,并进一步结合其它频点的被动微波遥感资料来推算地表含水量,取得了比较好的应用效果。M. Drusch、E.F. Wood 和 T.J. Jackson 等人^[5](2001)发表了他们根据 1997 年美国南部大平原水文观测(SGP97)试验中土壤、植被和大气数据得到的植被和大气订正对被动微波地表湿度信息提取精度影响的分析结果,在他们的分析结果中进一步表明,尽管 SSM/I 不是以土壤湿度信息的遥感反演为目的而设计的被动微波遥感仪器,但其 19 GHz 水平极化通道的微波亮温仍对地表的湿度状况有比较好的响应,可以用来进一步定量提取地表湿度信息,他们的分析结果与 Hsu (1999)^[6]、Heymsfield 和 Fulton(1992)^[7]、Jacson (1997)^[8]、以及 Choudhury(1993)^[9]等人的研究结果一致。Kerr 和 Njoku(1990)^[10]、Jones 和 Jonder Haar(1997)^[11]的研究结果中认为植被和大气都对土壤湿度信息的遥感反演有影响,但 M. Drusch(2001)等^[5]的分析结果表明,在利用 SSM/I 的 19 GHz 水平极化通道数据反演地表湿度信息时,大气修正对反演结果精度提高的效果并不显著。

本文的研究工作中,结合 2002 年汛期“973”外场观测资料及 T106 数值预报分析场资料,利用微波辐射传输方程反演 SSM/I 像元平均地表微波比辐射率,然后利用地表微波辐射模型,估算 SSM/I 像元的地表湿度信息。以 2002 年 8 月中旬期间发生在长江流域的暴雨天气过程为例,将反演得到的地表湿度信息与地面观测到的降水和地面的洪涝信息进行对比分析。

1 反演原理

一般星载微波辐射计观测到的微波辐射主要来自地球大气系统,其中地表微波辐射取决于地表的物理温度、地表微波比辐射率和地表介质的组分及微物理特性。诸多因子中,地表的微波比辐射率直接与地表的湿度特征密切相关,当地面表层介质中水物质含量从干土壤变化到水体时,微波比辐射率会从 0.98 变化到 0.45。当土壤中水物质含量发生变化时,地表微波比辐射率的显著响应特征,为利用微波辐射计的观测结果来反演地表湿度提供了可能。在利用 SSM/I 资料反演地表湿度信息时,首先要从观测结果中有效提取地表的微波辐射特征量微波比辐射率,然后借助地表微波辐射模型提取地表湿度信息。

一般在微波波段,当 $h\nu/KT \ll 1$ 时,可以用 Rayleighr Jeans 近似来描述物体微波辐射亮度与物体温度间的线性关系: $B_\nu = c\nu^2 \times T$ 。其中 h 为普朗克常数, ν 为波数, K 为玻耳兹曼常数, T 为目标的物理温度, c 为常数。处于局地热力平衡的无散射大气,如果地表为裸土,无积雪覆盖,地气系统的微波辐射传输方程可以表示为:

$$T_{bp} = T_{surf} \times \epsilon_p \times e^{-\tau(0, H)/\mu} + T_{atm-down} \times (1 - \epsilon_p) \times e^{-\tau(0, H)/\mu} + T_{atm-up} + T_{space} \times (1 - \epsilon_p) \times e^{-2\tau(0, H)/\mu} \quad (1)$$

$$T_{atm-down} = \int_H^0 T(z) \alpha(z) e^{-\tau(0, z)/\mu} dz, \quad T_{atm-up} = \int_0^H T(z) \alpha(z) e^{-\tau(z, H)/\mu} dz$$

其中 T_{bp} 为卫星测量到的微波极化亮温 ; T_{surf} 为地表温度 ; ϵ_p 为地表极化微波比辐射率 ; $\mu = \cos \theta$, θ 为入射角 ; $a(z)$ 为 z 高度处大气的气体吸收 ; $T(z)$ 为 z 高度处大气的温度 ; $\tau(z_0, z_1) = \int_{z_0}^{z_1} a(z) dz$ 为 z_0 到 z_1 高度间大气层的光学厚度 ; $T_{space} = 2.6 K$ 为外空微波辐射亮温 ; p 代表极化状态 , $p = H$ 为水平极化 , $p = V$ 为垂直极化。根据上面的微波辐射传输方程 , 可以得到地表微波比辐射率的公式为 :

$$\epsilon_p = \frac{T_{bp} - T_{atm-down} \times \exp(-\tau(0, H)/\mu) - T_{atm-up} - T_{space} \times \exp(-2\tau(0, H)/\mu)}{\exp(-\tau(0, H)/\mu) \times (T_{surf} - T_{atm-down} - T_{space})} \quad (2)$$

借助 VDISORT 大气微波辐射传输模型(Weng, 1992)^[12,13,14], 在已知大气状态参数的条件下, 可以确定 SSM/I 像元的地表微波比辐射率。VDISORT 大气微波辐射传输模型适用于计算垂直各向异性平行平面分层大气介质中微波辐射特征量。模式计算中大气的分层可依据大气的性质来分层, 一般假定层内由均质介质组成, 如果没有微波热源的话, 一般层间温差不超过 10 K。如果假定大气由晴空大气、沙尘和云组成, 那么大气可分为 3 个计算层。计算的极角数(流数)可根据模拟分析的精度要求来定。

得到 SSM/I 像元地表微波比辐射率 ϵ_p 后, 需要根据 SSM/I 像元的组分特征对 ϵ_p 进行必要的订正处理, 其中包括地形订正处理, 植被组分订正处理等。进一步得到 SSM/I 像元中裸土组分的微波比辐射率值, 然后利用地表微波辐射传输模型(Weng, 2000)^[15], 一定条件下获取 SSM/I 像元中裸土地表的湿度信息。地表微波辐射传输模型中地表物

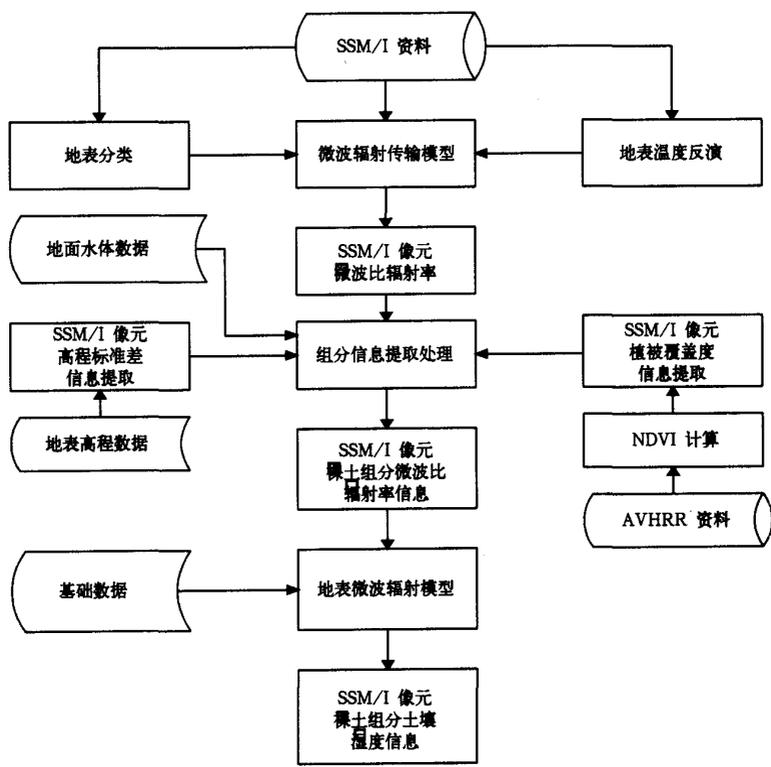


图 1 利用 SSM/I 资料反演土壤湿度信息处理流程

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经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。

反演算法的信息处理流程如图 1 所示。

2 反演试验

2.1 专用微波成像仪(SSM/I)简介

专用微波成像仪(Special Sensor Microwave/Image, SSM/I)由美国休斯公司研制,于 1987 年首次由美国国防气象卫星计划(DMSP)中的 Block 5D/F8 卫星载入空间执行探测使命。从 1987 年 DMSP 升空到 1997 年 TRMM 升空,期间的 10 年时间内,SSM/I 一直是世界上最先进、空间分辨率最高的星载被动微波遥感探测仪器。DMSP 卫星为近极地圆形太阳同步轨道卫星,卫星高度约 833 km,轨道面倾角 98.8° ,轨道周期 102.2 min,地方时 06:13 过赤道升交点,24 h 覆盖全球。极地区域有半径为 280 km 的扫描盲区,赤道处的菱形扫描盲区在 72 h 后可以覆盖。SSM/I 由设置在 4 个频点处的 7 个通道组成,中心频点分别为 19.35、22.235、37.05 和 85.5 GHz。其仪器实际上是由 7 个相互独立的全功率型、平衡混频、超外差式接受的被动微波辐射计系统构成,可以同时测量来自地球大气系统的微波辐射。除 22.235 GHz 频点处的通道外,其它频点处的通道均同时具有水平和垂直两种极化状态。SSM/I 仪器基本性能指标见表 1。

表 1 SSM/I 仪器性能指标

频率(GHz)	极化	积分时间 (ms)	3 dB 视场大小(km)	
			沿轨迹	横跨轨迹
19.35	V	7.95	69	43
19.35	H	7.95	69	43
22.235	V	7.95	50	40
37.05	V	7.95	37	28
37.05	H	7.95	37	29
85.5	V	3.89	15	13
85.5	H	3.89	15	13

注:V:垂直,H:水平

2.2 SSM/I 资料地表特征区分类

DMSP SSM/I 数据校准与验证组于 1989 年提出了针对 SSM/I 数据的陆地分类算法,1990 年 Neale 给出了 SSM/I 数据地表分类的判据。形成分类算法的过程中,试验组在北美、南美和非洲等地设立地面真实性检验场地,结合气象常规观测资料,形成地表类型分类判据。利用 SSM/I 资料进行地表分类时,首先利用 SSM/I 7 个通道的亮温数据计算 8 种对地表特征敏感的特征量,然后根据各特征量的不同阈值,将地表分类为 12 种类型。确定各种特征量阈值时,利用了地面真实性检验场地的观测数据及其它遥感数据的地表分类结果。8 种特征量的定义形式如表 2 所示。地表特征区分类判据见表 3。

表 2 SSM/I 分类特征量定义

特征量	表达式
A	22V - 19V
B	$[(19V - 19H) + (37V - 37H)]/2$
C	37V - 19V
D	85V - 37V
E	85H - 37H
F	37V - 37H
G	19V
H	19V - 19H

表 3 SSM/I 分类判据

地表类型	A	B	C	D	E	F	G	H
1 水体	> 4							
2 林区	≤ 4	≤ 1.9		≥ 0	< 4.5		> 262	
3 农区	≤ 4	1.9 < B ≤ 4		≥ 0	< 4.5		> 262	
4 旱区	≤ 4	4 < B ≤ 9.8	≥ - 6.5	- 5 ≤ D < 0	< 4.2		> 257	
5 湿区	≤ 4	4 < B ≤ 19	≥ - 6.5	0 ≤ D < 4	< 4.2		> 257	
6 半干旱区	≤ 0.9	9.8 < B ≤ 19	≤ D	< 0	< 6	> 7	> 257	
7 沙漠	≤ 0.8	≥ 19			> - 1		> 257	
8 降水植被区	≤ 4	≤ 4		< 0			> 262	
9 降水土壤区	≤ 4	> 4	< - 3	< - 5	< - 4		> 257	
10 植被水体复合区	≤ 4	< 6.4		≥ 0	≥ - 4.5			
11 土壤水体复合区	≤ 4	> 6.4		> - 2	≥ - 4.2			
12 积雪区	≤ 4	> 4	< - 6.5				≤ 257	≥ 5

利用如上 SSM/I 分类算法,处理 2002 年 6 月至 9 月的 SSM/I 数据,首先得到表 3 中的 12 类,然后,根据继续反演地表湿度信息的需要,将 12 类归并为 7 类,分别为资料空白区、裸露土地、植被或植被与裸土的混合像元、沙漠、水体、降水和积雪。

2.3 利用 SSM/I 资料反演地表温度

利用 SSM/I 数据可以在晴空和云天条件下反演地表温度,因此从 1987 年 SSM/I 发射升空以来,许多科学家围绕 SSM/I 地表温度反演,进行了深入的应用研究。其中 Pullianinen 等人利用约束最小方差法结合多元线性回归针对针叶林区进行了地表温度的反演试验,结果表明在无积雪覆盖的条件下,该方法可以很有效地反演林区的的海表温度;McFarland 等人利用最小均方根方法,针对多种地表下垫面进行了反演方法研究;Hilliger 则与地表分类结果相结合,针对不同类型下垫面分别建立 SSM/I 各通道微波亮温与地表温度间的反演方程,得到区域范围内的地表温度产品,该算法也是目前 SSM/I 通用的陆表温度反演算法。文中地表温度反演基于 Hilliger 的方法,根据 SSM/I 陆地产品检验组报告,该方法反演陆表温度的误差一般可以在 3.0 K 以内。反演过程中将同一天升降轨性质相同的 SSM/I 轨道资料做了多轨拼接,资料重复时保留温度高值。反演方程中的系数见表 4。反演方程为:

$$T_s = C_0 + C_1 \times T_{b19H} + C_2 \times T_{b22V} + C_3 \times T_{b37V} + C_4 \times T_{b85V}$$

表 4 SSM/I 陆表温度反演方程中的系数

	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
林区	24.94	- 1.2784	0.8800	0.5933	0.7299
湿土壤	23.16	- 0.1873	0.5221	- 0.6271	1.237
干土壤	72.68	- 0.4598	0.5984	0.8828	- 0.2623
牧区	6.97	- 0.6266	0.2716	- 0.1297	1.482

2.4 SSM/I 像元植被覆盖率信息获取

A 模式下 SSM/I 低频 19 GHz 通道像元分辨率约 45.0 km,一般情况下像元的组分比较复杂,如果认为地表植被状况在旬的时间尺度上变化不大,可以利用目前较高空间分

分辨率光学遥感技术获取到的地表植被信息来细化 SSM/I 像元的组分特征。利用实时获取的 AVHRR 资料来更新背景资料,可以得到与 SSM/I 时间上更匹配的、动态的地表状况信息。利用 NOAA/AVHRR 像元 NDVI 信息提取像元植被覆盖百分数 f_g (Fraction of Green Vegetation),然后求 SSM/I 像元的平均植被覆盖百分数 (f_{gssmi}),可以获得 SSM/I 像元中植被的组分比例。

利用 NOAA/AVHRR 资料可以提取多种植被指数,其中 NDVI 是在全球尺度上研究地表植被覆盖特征时使用最广的一个遥感特征量。 $NDVI = (\rho - \rho) / (\rho + \rho)$,其中 ρ 和 ρ 为 AVHRR 通道 1 ($0.63 \mu m$) 和通道 2 ($0.85 \mu m$) 的通道反射率测值。归一化比值形式的植被指数,可以有效克服地表双向反射、大气及其它因素对到达卫星的辐射量的影响。NDVI 是纯粹的遥感量,无法在天气、气候模式中使用,为此 Price 于 1992 年^[16]提出了可在模式中使用中间变量植被覆盖百分数 f_g 。对 NOAA/AVHRR 像元而言,NDVI 与 f_g 间有简单的概念性的关系:

$$NDVI = \sum_{i=1}^n f_{gi} \times NDVI_{gi} + (- \sum_{i=1}^n f_{gi}) \times NDVI_0$$

其中 $NDVI_0$ 为 NDVI 最低值, $NDVI_{gi}$ 为占像元面积百分比为 f_{gi} 的植被的 NDVI 值, i 为像元中的组分个数,对与有 n 种组分组成的像元, $i = 1, 2, \dots, n$ 。当 NOAA/AVHRR 像元完全由浓密植被覆盖时,受 NDVI 饱和现象的影响,像元 NDVI 值还和植被的叶面积指数有关。如果将由裸土和某种植物组成的混合像元抽象为等效的纯裸土和茂密植被组成,像元的 NDVI 可以表示为: $NDVI = f_g \times NDVI_{\infty} + (1 - f_g) \times NDVI_0$ 。Gutman 于 1998 年^[17]生成全球植被覆盖百分数产品时,利用从连续 5 年全球 NDVI 资料中分析得到的局地 NDVI 最大、最小值,代替 $NDVI_{\infty}$ 和 $NDVI_0$ 。 $NDVI_0 = NDVI_{min} = 0.04$, ($\sigma_0 \approx 0.03$); $NDVI_{\infty} = NDVI_{max} = 0.52$, ($\sigma_{\infty} \approx 0.03$)。在此,我们直接引用 Gutman (1998 年) 的结果,利用 2002 年 6 月到 9 月期间,与 SSM/I 资料时段相同 NOAA/AVHRR 的 NDVI 资料,生成中国区域的植被覆盖百分数分布图像(彩图 2)。

2.5 SSM/I 地表微波比辐射率及地表湿度信息的物理反演试验

SSM/I 像元地表微波比辐射率的物理反演试验针对 19 GHz 频点水平极化通道来进行,反演试验资料为 2002 年 9 月 1 日,大气背景场信息取同天 00:00 UTC 国家气象中心提供的数值预报结果(T106),T106 水平分辨率为 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$,垂直分为 19 层,地表温度取上面的反演结果,将 T106 资料中的温度及相对湿度资料读出后进行必要的变换,得到微波辐射传输模式可以输入的变量,利用地表和大气的微波辐射传输模型正演计算微波亮温,SSM/I 观测时间约为地方时 06:00,与 T106 资料的时间比较接近,当然仍会有时间上的偏差。

利用双极化通道在地表微波比辐射率取两种极限情况 0 或 1 时,正演亮温与观测亮温间的相互关系,得到地表微波比辐射率的反演值,反演公式为:

$$e_{sp} = \frac{(Tb - Tb \downarrow \times \exp(-\tau(0, H)/\mu) - Tb \uparrow)}{\exp(-\tau(0, H)/\mu) \times (Ts - Tb \downarrow)} = \frac{Tb - Tb_0}{Tb_1 - Tb_0} \quad (3)$$

Tb_0 、 Tb_1 为地表微波比辐射率为 0 或 1 时的正演模拟计算得到的亮温值。

经过如上数据处理和信息提取,可以得到 SSM/I 像元 19 GHz 水平极化通道的平均地表微波比辐射率反演结果。

得到像元平均地表微波比辐射率后,结合像元组分信息(水体和植被覆盖百分比)可进一步提取像元中裸土的微波比辐射率信息。在这一过程中对于植被覆盖百分比超过 95% 的 SSM/I 像元,认定为完全植被覆盖像元。对于完全植被覆盖像元,在热力平衡条件下,近似认为:

$$T_{canopy} \approx T_{soil}$$

利用地表微波辐射模型,根据植被覆盖百分比估算植被层整层的光学厚度,然后利用植被覆盖条件下微波辐射传输方程得到已知植被层上界像元微波比辐射率时,求取地表微波比辐射率的公式(T. Schumgege & T. J. Jackson, 1994):

$$\epsilon_{soil} = 1 - (1 - \epsilon_{canopy}) \exp(2 \tau_{canopy})$$

其中 ϵ_{soil} 、 ϵ_{canopy} 分别为土壤和植被层的微波比辐射率, τ_{canopy} 为植被层的光学厚度。可以进一步得到有植被覆盖条件下地表的微波比辐射率。

在前面反演地表微波比辐射率的过程中,对来自大气、像元组分等因素对地表微波比辐射率的影响已经进行了必要的修正。利用地表微波辐射模型物理反演地表湿度信息时,仍需要对 SSM/I 像元内地形变化引起的地表微波比辐射率的变化进行订正。描述随机粗糙面特性时,一般可以用地表高程标准差、相关长度或相关函数等,在讨论地表微波辐射特性时,常用地表高程标准差来刻画地表的起伏程度(h):

$$h = | \overline{z^2} - \overline{z}^2 |^{1/2}$$

在讨论地表的起伏特征对电磁波的影响时,像元是否粗糙不仅取决于地表的几何特征,同时也取决电磁波的特性。一般认为满足瑞利准则:

$$h_a > \frac{\lambda}{16 \times \sin(\theta)}$$

时,像元表面为粗糙面。其中 h_a 为像元高程标准差; λ 为电磁波的波长; θ 为电磁波与地面的夹角。当像元粗糙程度相同时,对短波辐射而言,粗糙度就大,但对长波辐射而言,粗糙度就小。因此像元粗糙与否,取决于地表几何特征和电磁波特征的相互关系。对 SSM/I 低频微波通道 19 GHz 而言, $\frac{\lambda}{16 \times \sin(\theta)} = 1.2 \times E - 3$ 。对 SSM/I 低频通道 19 GHz 而言,像元的微波反射特性依像元的粗糙程度有三种情况,镜面反射、随机粗糙面漫反射和一般粗糙面反射,当地表高程标准差大于 0.5 时,地表呈现漫反射特性,地表的微波辐射特性对地表的粗糙性不敏感。

从美国 USDS 公开的全球高程数据中按等经纬度投影方式提取出中国区域的高程数据,据此计算 SSM/I 像元的地表高程标准差,可用作地表微波辐射模式所需的地表粗糙度变量输入到模式中(彩图 3)。

获取到 SSM/I 像元地表微波比辐射率后,利用地表的微波辐射模型,将上面得到的中国区域植被覆盖百分比信息、地表高程标准差信息做为模式变量代入模式,通过物理反演的途径,获取地表湿度信息。

3 SSM/I 地表湿度信息反演结果与降水过程的相关分析

利用被动微波遥感资料反演地表湿度信息,可以获得地表湿度信息的动态变化特征。

一般自然条件下,大气降水是引起地表湿度变化的主要外因,降水会引起地表湿度在短时间内的增加。因此地表湿度反演结果与降水事件的相关性一定程度上代表了反演结果与地面自然条件下地表湿度增加的相关。为此,这里针对2002年8月两湖流域的暴雨事件,分析了地表湿度反演结果的变化响应。

2002年8月份,我国南方及东北地区降水偏多、气温偏低,部分地区发生暴雨洪涝灾害。12日到18日,主要雨带维持在长江流域地区,长江中上游的降雨持续至20日,24至27日长江流域再次出现降雨天气过程,其间部分地区还降了暴雨或大暴雨。持续降雨致使长江干流部分河段和湖南湘江、资水等河流及洞庭湖、鄱阳湖等水域超警戒水位,洞庭湖城陵矶24日23:00水位达34.97 m,超警戒水位0.91 m,是1949年以来第4次高洪水位;长江出现当年最大的一次洪峰。持续的高水位致使湖南、湖北等沿江各省汛情一度十分严峻。

利用2002年8月SSM/I被动微波遥感资料,依据前面建立的反演算法,反演两湖流域的地表湿度信息,得到图4的反演结果,图4(彩图)为等经纬度投影的两湖流域地表湿度信息分布图像。图4中兰色区域地表湿度已近饱和,亮兰色区域有明水,而深绿色区域为地表湿度接近30.0%。从图中可以看到8月19日造成两湖流域洪涝过程的主要降水过程发生之前,SSM/I遥感反演的地表湿度分布图像中洞庭湖及鄱阳湖流域明水面积较小,24日开始强降水过程发生,部分地区出现暴雨或大暴雨。主要降水带过后,25日的SSM/I遥感反演结果中两湖流域的明水面积明显增大,同时以兰色色调标出的地表湿度接近饱和的区域也明显增加。地面降水常规观测结果表明,雨带在从南向北的移动过程中,造成两湖流域的特大洪涝。

利用SSM/I资料反演得到的地表湿度的变化特征与地面24 h降水观测得到的降水系统的移动一致,同时与天气报告中关于同时段两湖流域的地面洪涝事件也有很好的对应关系。SSM/I的被动微波遥感观测,在一定条件下可以穿透云层,为云天条件下地表特征的遥感反演及云天条件下地表的洪涝特征分析提供了可能。

4 结 论

为了实现地表湿度的定量遥感反演,本文首先就地表微波比辐射率的遥感反演进行了模拟分析,利用物理反演模型结合T106数值预报分析场资料进行了反演试验,根据地表微波比辐射率的反演结果进行了地面洪涝特征和降水观测结果的对比分析,得到如下几点结论:

(1) 利用SSM/I资料通过物理反演技术反演地表湿度信息时,SSM/I资料的图像分类和地表温度估算,可以为地表湿度的物理反演提供有利的辅助信息;

(2) 利用SSM/I资料反演地表湿度信息时,像元的组分特征直接影响反演结果的精度,利用光学遥感AVHRR资料提取SSM/I像元动态的植被覆盖度信息可以改善SSM/I像元组分地表微波比辐射率的反演精度;

(3) SSM/I地表湿度反演结果宏观地反映了地表因暴雨而产生的洪涝,地表湿度反演结果的时空变化趋势与地面降水的常规观测结果的变化趋势有很好的一致性。

致谢:美国 Wisconsin 大学 Madison 学院的 Hal Woolf 博士为本文的研究提供了中国区域的 SSM/I 资料,在此致谢!

参 考 文 献

- 1 金亚秋.电磁散射和热辐射的遥感理论.北京:科学出版社,1993.
- 2 Teng W L, Wang J R, Doraiswamy P C. Relationship between satellite index and regional soil moisture. *Int J R S*, 1993, **14**(13): 2483 ~ 2500.
- 3 Choudhury B J, Owe M, Goward S N, et al. Quantifying spatial and temporal variabilities of microwave brightness temperature over the U.S. Southern Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, 1987, **8**: 177 ~ 192.
- 4 Owe M, de Jeu R, Walker J. A methodology for surface soil moisture and vegetation optical depth retrieval using the microwave polarization difference index. *IEEE Trans Geosci Rem Sens*, 2001, **39**(8): 1643 ~ 1654.
- 5 Drusch M, Wood E F, Jackson T J. Vegetative and atmospheric corrections for the soil moisture retrieval from passive microwave remote sensing data: Results from the Southern Great Plains Hydrology Experiment 1997. *Journal of Hydro meteorology*, 2001, **2**: 181 ~ 192.
- 6 Hsu A Y, Jackson T J, O'Neil P E. Comparison of ESTAR and SSM/I Derived Surface Soil Moisture. In Proc: Int Geoscience and Remote Sensing Symp'99, Hamburg, Germany, 1999. 1908 ~ 1910.
- 7 Heymsfield G A, Fulton R. Modulation of SSM/I microwave soil radiances by rainfall. *Remote Sens Environ*, 1992, **29**: 187 ~ 202.
- 8 Jackson T J. Soil moisture estimation using Spacial Sensor Microwave/Imager satellite data over a grassland region. *Water Resour Res*, 1997, **33**: 1457 ~ 1484.
- 9 Choudhury B J. Reflectivities of selected land surface types at 19 and 37 GHz from SSM/I. *Remote Sens Environ*, 1993, **46**: 1 ~ 17.
- 10 Kerr Y H, Njoku E G. A semiarid land surface as seen from space. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 1990, **28**: 384 ~ 393.
- 11 Jones A S, VonderHaar T H. Retrieval of microwave surface emissance over land using coincident microwave and infrared satellite measurements. *J G R*, 1997, **102**: 13609 ~ 13626.
- 12 Weng F. A multi-layer discrete-ordinate method for vector radiative transfer in vertical-inhomogeneous, emitting and scattering at mosphere. Part I: Theory. *J Quant Spectrosc Radiat Trans*, 1992, **47**: 19 ~ 33.
- 13 Weng F. A multi-layer discrete-ordinate method for vector radiative transfer in vertical-inhomogeneous, emitting and scattering at mosphere. Part II: Application. *J Quant Spectrosc Radiat Trans*, 1992, **47**: 35 ~ 42.
- 14 谷松岩,邱红.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.
- 15 Weng F. Microwave land emissivity model developed for satellite data assimilation and remote sensing applications. Technocal Proceedings of The Eleventh International ATOVS Study Conference, 2000. 423 ~ 436.
- 16 Price J. Estimating vegetation amount from visible and near-infrared reflectances. *Remote Sensing Environment*, 1993, **41**: 29 ~ 34.
- 17 Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *INT J Remote Sensing*, 1998, **19**(8): 1533 ~ 1543.

RETRIEVING REGIONAL SOIL MOISTURE OVER CHINA FROM SSM/I MICROWAVE DATA

Gu Songyan Zhang Wenjian Qiu Hong
(*National Satellite Meteorology 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, a new approach to retrieve surface layer soil moisture is accomplished, in which the passive microwave data from SSM/I, as well as AVHRR and ground observation data are used to retrieve surface microwave emissivity. The retrieved emissivity is further used to derive surface soil moisture. For getting the information about the mixed-pixel, the surface temperature, canopy percentage and surface roughness are involved, and the microwave emissivity of soil element in a pixel can be retrieved. The emissivity of soil component in one pixel is better than average emissivity over the whole pixel when retrieval the surface moisture. The physical technique is also retrieved the surface microwave emissivity and surface moisture.

Key words: Passive microwave Surface microwave emissivity Soil moisture Physics retrieval

谷松岩等：SSM/I 资料反演大范围地表湿度试验

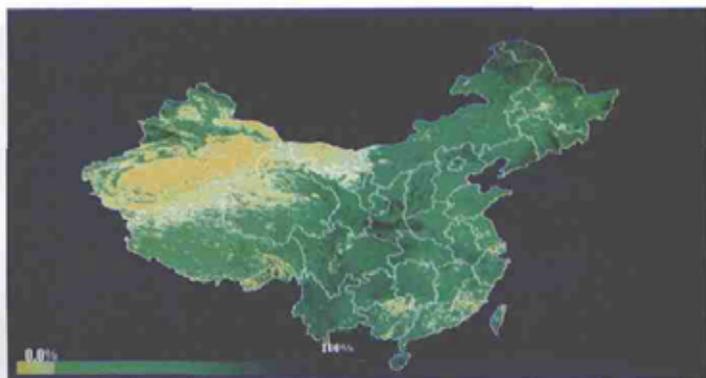


图2 2002年9月上旬全国AVHRR像元植被覆盖百分率(%)分布图



图3 中国及其周边地区地表高程数据分布特征

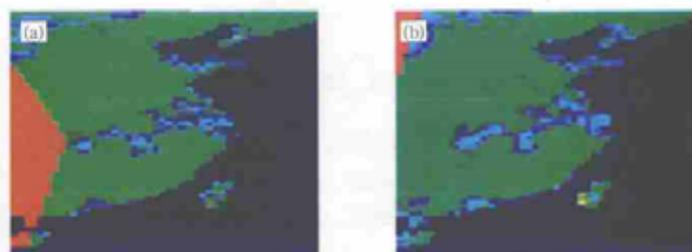


图4 2002年8月19日(a)和8月25日(b)两湖流域地表温度反演结果
(红色区域为轨道未覆盖区域)