

风云三号微波成像仪积雪参数反演算法初步研究

孙知文¹, 施建成^{1,2}, 杨虎³, 蒋玲梅¹, 彭亮¹

(1. 北京师范大学遥感科学国家重点实验室, 北京 100875; 2. 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 100101; 3. 国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要:选择新疆地区作为实验区,为风云三号(FY-3)微波成像仪(MWRI)发展中国区域的积雪参数半经验反演算法。使用2003年4个月的新疆地区的台站观测资料和 AMSR-E 18.7 GHz, 36.5 GHz 和 89 GHz 水平和垂直极化亮温作为 FY-3 MWRI 的模拟数据,在 Chang 建立的半经验模型的基础上,采用多元线性回归分析,建立一个新算法。用已有方法去除水体、降雨、湿雪、冻土的像元后,用新算法反演了新疆地区的2004年1月的积雪参数,并分别与 AMSR-E 雪水当量产品和台站观测值进行比较,结果表明新算法在新疆地区优于 AMSR-E 的反演算法。

关键词:雪深;雪水当量;被动微波遥感;风云3号微波成像仪(FY-3 MWRI);AMSR-E;新疆
中图分类号:TP 722.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-0323(2007)02-0264-04

1 引言

风云三号卫星(FY-3)是我国第2代极轨气象卫星系列,能全球、全天候、三维、适时准确的获取陆地、海洋、大气等的参数^[1]。即将发射的FY-3一星

首次设计搭载微波成像仪(MWRI)(性能见表1),使我们能够利用被动微波遥感技术获取雪深、雪水当量等重要的积雪参数。这些参数能运用于气象预报、气候研究、水文运用、防灾减灾等诸多领域,并为决策部门提供有效的决策服务。

表1 AMSR-E 性能指标

Table 1 The characteristics of AMSR-E

FY-3 MWRI	中心频率(GHz)与极化	10.65(H,V)	18.7(H,V)	23.8(H,V)	36.5(H,V)	89.0(H,V)
	波束宽度(MZH)	180	200	400	900	4 600
	灵敏度(K)	0.5	0.5	0.8	0.5	1.0
	I FOV(km)	51×85	30×50	27×45	18×30	9×15
	天线视角(°)	45±0.1				
	采样点数	240				
	幅宽(km)	1 400				

微波遥感是反演雪深、雪水当量的有效手段。利用星载微波辐射计反演雪深和雪水当量已有大量的研究,如 Chang^[2,3]等, Goodison^[4]等, Kelly^[5]等。目前大多数研究者提出的算法都是基于一定假设的半经验线性算法,形式一般如下:

$$SD = a + b * \Delta T_b \text{ 或 } SWE = a + b * \Delta T_b \quad (1)$$

其中:SD、SWE 分别为雪深、雪水当量, a 和 b 为经验参数, ΔT_b 是不同频率、不同极化下的亮温差,通常是 19 GHz、37 GHz 频率的 V 极化或 H 极化的亮温差。

目前运用较为广泛的半经验算法是 Chang^[3]等提出的算法,该算法基于 Mie 散射理论和辐射传输模型,假设积雪为均一、单层的干雪,雪密度为 0.3 g/cm³,雪的粒径为 0.3 mm 及雪深小于 1 m,结合实测数据,提出了多波段扫描微波辐射仪(SMMR)的反演雪深算法:

$$SD = 1.59 * (T_{18h} - T_{37h}) \quad (2)$$

其中:SD 为雪深(cm), T_{18h} 和 T_{37h} 分别是 SMMR 的 18 GHz 和 37 GHz 水平极化亮温。

本研究的目的是为 FY-3 MWRI 建立中国区域

收稿日期:2006-12-16;修订日期:2007-03-29

基金项目:国家自然科学基金项目(90302008)和国家气象局风云三号研发项目(FY3-PGS-0601(7-2))资助。

作者简介:孙知文(1983-),男,硕士研究生,主要从事被动微波遥感反演积雪参数的研究。

的半经验反演算法,按照积雪类型的不同将中国区域划分3个子区,本文先以新疆地区为试验区建立反演算法。

2 研究区与所用数据

2.1 研究区

选择新疆北疆地区为实验区,由于该地区冬季降雪较多,降雪发生较早且分布均匀,主要以稳定的季节性积雪为主,每年11月至次年3月为积雪稳定期,平均雪深都在10 cm以上,最深能达到50 cm以上^[6],而且该地区地势相对平坦,森林覆盖度较低,地表大型水体较少。研究区范围介于39.02°~48.03°N,80.25°~95.08°E之间,包括伊犁、塔城、阿勒泰、昌吉、哈密等地。

2.2 资料介绍

研究中使用的数据包括3类:卫星数据、气象台站观测的积雪资料和辅助数据。

2.2.1 卫星数据

卫星数据包括AMSR-E L2A级亮温数据和L3级雪水当量数据。采用AMSR-E L2A级亮温数据作为FY-3 MWRI的模拟数据,用于发展反演算法是因为除缺少C波段外,FY-3 MWRI的频段设置和仪器设计性能与AMSR-E基本一致。研究中使用了18 GHz、36 GHz、89 GHz垂直和水平极化6个通道的升轨数据,统一处理为分辨率是25 km×25 km的Lambert方位等积投影。L3级雪水当量数据是EASE-Grid投影方式的全球产品,分辨率与亮温数据一致。两个产品都由美国国家雪冰中心(NSIDC)发布^[7]。

2.2.2 气象台站观测资料

积雪资料是2003年春冬两季和2004年1月的新疆61个气象台站的观测资料,分别用于发展算法和验证反演结果。资料的数据项记录了台站号,台站名,台站的地理位置(经度、纬度、高程),0(cm)地温,雪深及雪水当量。雪深观测较为完整,雪水当量为非常规观测,缺失较严重,地温数据用于间接去除湿雪记录。

2.2.3 辅助数据

地形起伏,地表的大型水体,森林覆盖和湿雪等强烈地影响被动微波反演雪深、雪水当量的精度。为了尽可能的挑选可信样本建立算法,剔除不可信的样本和提高反演精度,需要使用辅助数据,辅助数据包括:粗糙度分类图、森林覆盖度图和IGBP地表分类图。

3 区域反演算法的建立

3.1 原理

积雪覆盖的地表微波辐射包括两部分:积雪自身的辐射和其下垫面的辐射。对于高于25 GHz的频率,干雪的雪颗粒是强散射体,强烈的衰减来自雪盖下垫面的上行微波辐射,但自身对微波辐射的吸收很小,消光系数主要由散射主导^[8],随着积雪厚度的增加,雪的散射作用增强,被衰减的微波辐射就越多,辐射计探测到的微波亮温随积雪深度的增加而减小,因而这种散射作用可用于探测积雪的存在和厚度。除上述主要因素外,雪颗粒大小、液态水含量、雪密度等均对微波亮温产生影响^[9]。

3.2 反演算法

建立经验算法的关键是获取可信的样本,需要考虑或者去除影响算法精度的干扰因子,包括:湿雪、地表大型水体、森林等。删除地温大于0℃的记录,并通过辅助数据去除了受水体、森林影响较大的站点。

选择通道时我们做如下考虑:观测资料中最大雪深仅为59 cm,不使用穿透性较深的X波段,K波段受大气水汽含量的影响过大。通过对AMSR-E剩余通道进行组合,用低频减去高频,得到的频率差、极化差或频率极化差作为独立变量,将独立变量与雪深、雪水当量进行相关分析,选取相关系数较大的变量,做多元回归分析最后得到(3)、(4)。

$$\text{SWE} = -27.959 + 18.1(T_{19v} - T_{37h}) + 0.959(T_{89v} - T_{89h}) \quad (3)$$

$$R = 0.810 \quad R^2 = 0.656$$

$$\text{SD} = -8.475 + 0.895(T_{19v} - T_{37h}) + 0.345(T_{89v} - T_{89h}) \quad (4)$$

$$R = 0.809 \quad R^2 = 0.653$$

研究发现在新疆地区,18.7 GHz的垂直极化与36.5 GHz的水平极化的亮温差对雪深和雪水当量的变化更敏感(如图1所示)。Shuman^[10]等研究表明同一通道的极化差能够反映表面霜和深霜层的信息,我们将89 GHz的极化差项加入到公式中,结果也表明该项能提高回归公式的R值。

3.3 反演结果与讨论

用新算法反演了2004年1月新疆地区的雪深和雪水当量,算法中使用Grody^[11]的雪盖判别方法,去除了降雨、冷沙漠、冻土、湿雪等像元,并与147站点实测值和AMSR-E的雪水当量产品进行比较,由

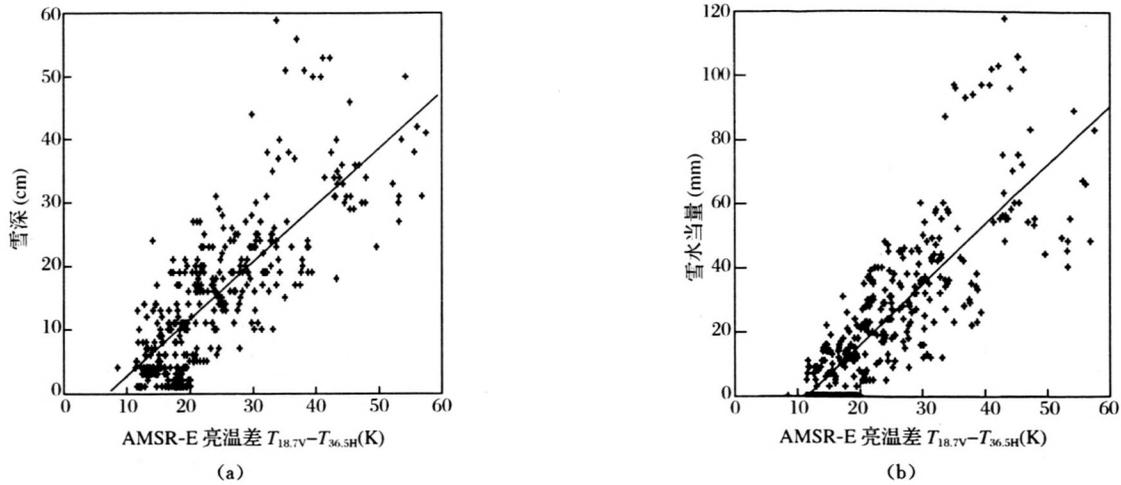


图1 雪水当量、雪深与亮温差的关系

Fig. 1 The plot of SWE, snow depth and difference of brightness temperatures

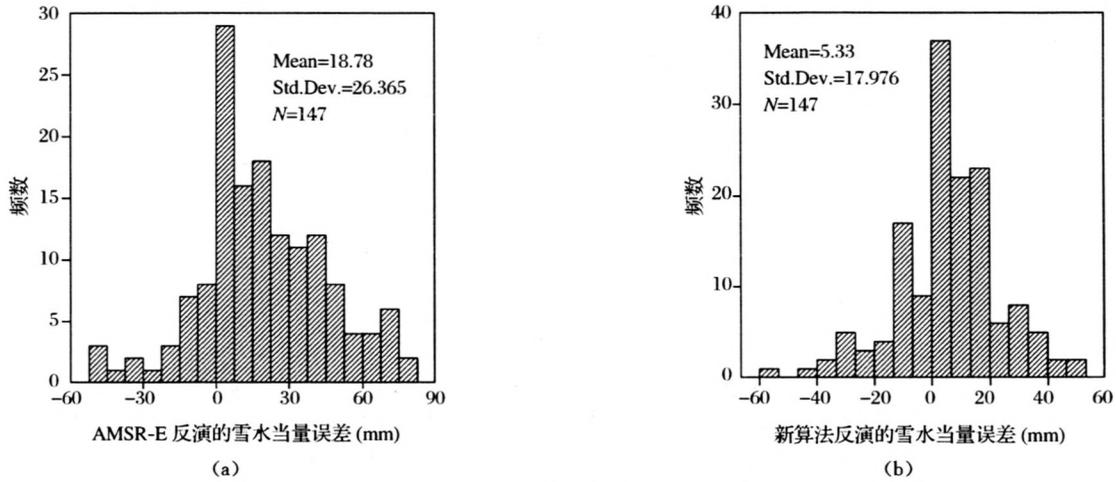


图2 新算法反演误差分布的直方图

Fig. 2 The histograms of retrieved snow depth and SWE errors

于浅雪难于被星载微波辐射计监测^[5], 进行比较时只选取雪深大于3 cm 以上的数据。新算法反演的雪深和雪水当量的均值分别为16.7 cm 和26.9 mm, 站点实测的分别为:15.2 cm、21.6 mm, 相对误差分

别为:7.3%、24.7%, 均方根误差分别为10.3 cm 和18.0 mm, 见图3(a,b), 而AMSR-E反演的均方根误差仅为26.4 mm, 见图3(c)。误差分布的直方图见图2(a,b), 图中可以看出新算法的误差分布大部

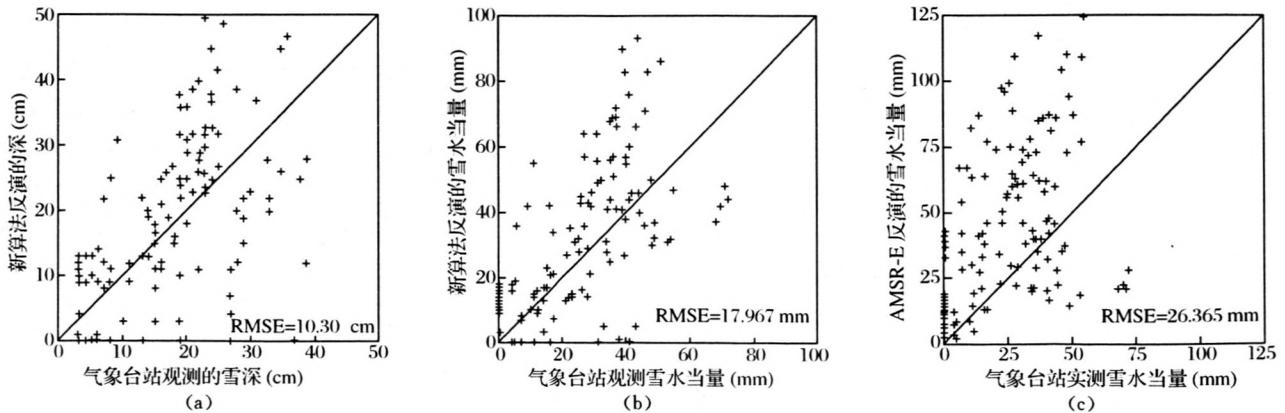


图3 新算法、AMSR-E反演值与气象台站观测值对比

Fig. 3 Plots of retrieved versus measured snow depth and SWE with new algorithms and AMSR-E

分小于 20mm, 优于 AMSR-E 的算法。新算法反演的雪水当量值较 AMSR-E 的反演值更加接近站点实测值, 均方根误差也有了较大提高, 新算法优于 AMSR-E 的反演算法。

新算法在新疆地区较 AMSR-E 的雪水当量反演算法有较大的改进, 可以沿用此法建立其它地区如: 东北地区、内蒙中部、青藏高原等地的算法。虽然新算法在新疆地区优于 AMSR-E 的算法, 但局部地区的误差仍然较大, 依然存在问题。为提高精度迫切需要解决的问题有: 提高降雨、冻土、寒漠等散射体的判识精度、消除山区地形的影响、混合像元分解等问题。

参考文献:

- [1] 杨虎, 施建成. FY-3 微波成像仪地表参数反演研究[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(1): 194-200.
- [2] Goodison B E, Walker A E. Use of Snow Cover Derived from Satellite Passive Microwave Data as An Indicator of Climate Change[J]. *Annals of Glaciology*, 1993, 17: 137-142.
- [3] Chang A T C, Foster J L, Hall D K. NIMBUS-7 SMMR Derived Snow Cover Parameters[J]. *Annals of Glaciology*, 1987(a), 9, 39-44.
- [4] Goodison B E, Walker A E. Use of Snow Cover Derived from Satellite Passive Microwave Data as An Indicator of Climate Change[J]. *Annals of Glaciology*, 1993, 17: 137-142.
- [5] Kelly R J, Chang A T, Tsang L, et al. A Prototype AMSR-E Global Snow Area and Snow Depth Algorithm[J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41(2): 1-13.
- [6] 崔彩霞, 杨青, 王胜利. 1960~2003 年新疆山区与平原积雪长期变化的对比分析[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(4): 486-490.
- [7] Ashcroft P, Wentz F. Updated Daily. AMSR-E/Aqua L2A Global Swath Spatially-Resampled Brightness Temperatures (Tb) V001[DB/OL]. September to October 2003. Boulder, CO, USA, National Snow and Ice Data Center. Digital media.
- [8] F T 乌拉比, R K 穆尔, 冯建超. 微波遥感第一卷微波遥感基础和辐射测量学[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [9] Thomas H P, Jeff Dozier, Dar A R, et al. Retrieval of Subpixel Snow-covered Area and Grain Size from Imaging Spectrometer Data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85: 64-77.
- [10] Shuman C A, Alley R B. Spatial and Temporal Characterization of Hoar Formation in Central Greenland Using SSM/I Brightness Temperatures[J]. *Geophysical Research Letters*, 1993, 20(23): 2643-2646.
- [11] Norman C, Grody, Alan N. Basist. Global Identification of Snowcover Using SSM/I Measurements [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Jan. 1996, 34(1): 237-249.

A Study on Snow Depth Estimating and Snow Water Equivalent Algorithm for FY-3 MWRI

SUN Zhi-wen¹, SHI Jian-cheng^{1,2}, YANG Hu³,
JIANG Ling-mei¹, PENG Liang¹

- (1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875 China;
2. Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
3. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100101, China)

Abstract: FY-3 is the second generation polar orbit meteorological satellite serial of China. There is a radiometer- Microwave Radiometer Imager (MWRI) board on first satellite of FY-3 which will be launched in 2007 in first time. Xinjiang province as a test site was selected to develop the snow parameters algorithm for FY-3 MWRI in china area. Base on Chang's semi-empirical model, AMSR-E brightness temperatures at 18.7 GHz, 37 GHz and 89 GHz, four-month snow depth and SWE which are observed by meteorology station at Xinjiang in 2003 were used to establish regional algorithm. A monthly records of daily snow depth and SWE in JAN 2004 and AMSR-E SWE products were used to test the new algorithm. The surface water body, wet snow, precipitation and other anomalous scattering signals are screened using established methods. While compare estimated SWE by using new algorithm and SWE from AMSR-E with meteorological stations records respectively, the RMSE are 17.9 mm and 26.4 mm. The result show the new algorithm is better performance than algorithm for AMSR-E over Xinjiang province.

Key words: Snow depth, Snow water equivalent(SWE), Passive microwave remote sensing, FY-3 MWRI, AMSR-E, Xinjiang