

应用 AMSU 资料监测中国地区雪盖的初步研究*

陈爱军¹⁾ 刘玉洁²⁾ 杜秉玉¹⁾

¹⁾ (南京气象学院,南京 210044)

²⁾ (国家卫星气象中心,北京 100081)

摘 要

根据微波遥感积雪的原理,提出了利用 NOAA-16 AMSU 的 1 通道(23.8 GHz)、2 通道(31.4 GHz)和 15 通道(89.0 GHz)等 3 个通道监测中国五大区域雪盖范围的初步判识方法。由该方法制作合成了 2001 年 10 月 1 日至 2002 年 4 月 1 日中国地区的周积雪覆盖监测图,与来自全国气象站的地面积雪观测记录以及美国人机交互式冰雪制图系统(Interactive Snow and Ice Mapping System, IMS)的雪盖图、SSM/I (Special Sensor Microwave Imager)雪盖图的比较结果表明:AMSU 监测结果不仅具有比较高的准确性,而且其准确性和可靠性达到甚至优于其它两种积雪监测结果(尤其是雪季中期)。

关键词: AMSU 微波 遥感 区域雪盖 判识

引 言

积雪是一种重要的淡水资源,在冬季覆盖着北半球大约 60% 的地球表面。由于积雪具有高反照率的特点,而且融化过程中需要吸收大量的能量,所以对全球的辐射平衡和能量交换具有重要影响,是影响区域性和全球气候的一个重要因素^[1]。另外,雪盖通过与大气的相互作用,能够调整和改变总的大气环流形势^[2]。因此,掌握区域性乃至全球积雪覆盖定量和定性信息,对于建立水文学和气候学模式,改进中长期天气预报,验证全球气候模式都是十分必要的。此外,积雪监测在农牧业生产,以及防灾、减灾和国防等领域也具有重要的应用价值。

除了地面观测这种常规积雪监测手段之外,星载光学遥感仪器(如改进的甚高分辨率辐射计 AVHRR、中分辨率成像光谱仪 MODIS 等)和被动微波遥感仪器(如扫描式多通道微波辐射计 SMMR、微波成像仪 SSM/I 等)也是进行积雪监测的一种重要手段。微波遥感具有全天候的积雪监测能力(不受光照的影响),而且具有较强的穿透能力(一般不受云层的影响),不仅可以像光学遥感那样提供雪盖范围,还能定量遥感雪深、雪水当量(Snow Water Equivalent, SWE)及其他积雪参数,只是目前星载微波遥感仪器的空间分辨率还比较低,一定程度上影响了积雪监测的精度。

1978 年以来,美国国家宇航局(National Aeronautics and Space Administration,

* 由“国家高技术研究发展计划(863 计划)——多光谱卫星遥感雪盖范围、雪深和雪水当量(2002AA135250)”课题和“我国西北地区生态气候环境监测预测方法研究”课题共同资助。

2003-07-23 收到,2004-02-23 收到修改稿。

NASA) 在 Nimbus 系列卫星上搭载了扫描式多通道微波辐射计 SMMR 进行包括积雪监测在内的对地观测试验和研究,一直持续到 1987 年。从 1987 年开始,美国国防气象卫星 (Defense Meteorological Satellite Program, DMSP) DMSP 系列卫星上搭载了微波成像仪 SS M/I (Special Sensor Microwave Imagers),直到今天仍然可以获得来自 SS M/I 的资料。利用获取的 SMMR 和 SS M/I 遥感资料,人们已经开发了大量的定性判识雪盖范围、积雪状态(干雪/湿雪),以及定量反演雪深或雪水当量的算法。例如:Kunzi 等^[3]利用 Nimbus-7 SMMR 资料监测雪盖范围、雪水当量及融雪;Grody 等^[4~6]利用 SS M/I 的 19 GHz 垂直和水平极化通道并结合 22.85 GHz 垂直极化通道来识别全球的降水和雪盖;Hallikainen 和 Jolma^[7~8]研究了利用 SMMR 的 37 GHz 垂直极化通道与 18 GHz 或 10.7 GHz 垂直通道相结合的方法监测芬兰的雪水当量;Walker 和 Goodison^[9]还利用 SS M/I 的 37 GHz 垂直和水平极化通道的亮温差来识别“湿雪”,并在加拿大大草原取得了成功。比较而言,中国在星载被动微波遥感积雪方面的研究工作比较有限。

大量的研究表明:植被、地形、地表状况、季节的变化、大气状况、雪层结构以及雪粒子谱等都会影响微波遥感积雪参数的精度^[10]。一般来说,一个地区的微波亮温与雪深之间的经验关系难以推广到另一地区。因此,本文试图利用目前在中国所能获得的唯一一种星载被动微波遥感业务资料——单极化方式的 AMSU 资料,借鉴已有的微波遥感积雪参数研究成果,开发一种适合于中国地区的微波遥感监测积雪范围的方法。

1 判识方法的确立

1.1 通道的选择

AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) 是美国 NOAA-K, L, M 系列极轨业务环境卫星所携带的一种高级微波探测器,是由原来 TIROS 系列极轨卫星上搭载的 4 通道微波探测器 MSU (Microwave Sounding Unit) 改进而来的。本研究中采用的 AMSU 资料来自 2000 年 9 月 21 日发射成功的 NOAA-L (入轨后更名为 NOAA-16)。

AMSU 共有 AMSU-A 和 AMSU-B 两种探测器,AMSU-A 有 15 个通道,星下点分辨率大约为 48 km,AMSU-B 有 5 个通道,星下点分辨率大约为 16 km,主要用于探测雨率、可降水、表面发射率,以及从地表到大气层顶部不同高度的大气温度和湿度。在 AMSU 的 20 个通道中,AMSU-A 的 1、2、3 和 15 通道(频率分别为 23.8 GHz、31.4 GHz、50.3 GHz 和 89.0 GHz)为窗区通道,可以探测到来自地表的微波辐射能量。

本文的研究是建立在分析较为典型的沙漠、森林、草原、平原、高原、积雪等不同地表类型以及青海湖湖面在 AMSU 的 1、2 和 15 通道的光谱响应特性基础之上的。分析结果表明:尽管 AMSU 的空间分辨率比较有限,分析过程中所选择的各种地表特征也并不十分准确,但在中国地区范围内,利用 AMSU 的 1、15 通道的亮温差或 2、15 通道的亮温差仍然完全能够将积雪与沙漠、森林、草原、平原、高原和没有冻结的水体区分开来。对于冻结的水体,目前还无法将其与雪盖区划分开来^[11]。

1.2 区域的划分

有关研究表明:地形、地表特征、气候特点、植被状况以及雪粒子的大小等都会对微波

遥感积雪参数的精度产生影响^[10]。中国地域广阔,不仅各地的地形、地表状况、植被状况和气候条件各不相同,而且降雪发生的机制和频率也不尽相同。为了利用 AMSU 资料尽可能准确地监测全国的积雪覆盖情况,本文尝试将全国划分为几个不同的区域,分别确定各区域的积雪监测方法。

顾钟炜等^[12]根据中国的地形条件、降雪的天气系统、积雪的分布特点将中国地区划分为 4 个积雪类型区域:青藏高原及毗邻山地积雪区,新疆和内蒙古西部荒漠山区积雪区,东北及内蒙古东部草原积雪区,华北、华中及其他积雪区。董超华等^[13]在按地形和地表特征划分中国地区的积雪分布特点时也有类似的划分方法。在上述研究的基础上,本文经过实验和调整,将中国地区划分为以下五大区域:

(1) 新疆自治区,记为“ A 区”。当地每年降雪发生的时间比较早,而且冬季降雪较多。境内除天山等永久性积雪区之外,基本以稳定的季节性积雪为主,阿勒泰、富蕴等地还是雪灾多发区。

(2) 东北地区(包括黑龙江、吉林、辽宁以及内蒙古东北草原地区),记为“ B 区”。在这一地区,每年冬季降雪发生的时间也比较早,而且大部分地区都属于稳定积雪区,只有少部分地区属于不稳定积雪区,地形上既有属于森林、山地的大小兴安岭和长白山,也有东北平原、呼伦贝尔草原等。

(3) 青藏高原地区(包括青海、西藏、四川西部以及云南西北部地区),记为“ C 区”。这一地区的积雪分布特点非常复杂,既有永久积雪区,又有稳定积雪区和不稳定积雪区,此外还有冰川、冻土等。准确监测这一地区的积雪覆盖情况被认为是非常困难的^[13]。青海省的海南、果洛、玉树、黄南和海北五个州的大部分地区,以及相邻的藏北唐古拉山附近的那曲地区都是雪灾多发区^[12]。

(4) 华北地区,主要以黄土高原、内蒙古高原为主,还包括华北平原的一部分地区,记为“ D 区”。之所以将上述地区划入同一区域并统称为“华北地区”,主要是从地理位置、气候特点、降雪频率以及形成降雪的天气系统等方面考虑的。在这一地区,除阿拉善高原的巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠等地多为瞬时积雪区外,其他地区多为不稳定积雪区,锡林郭勒盟还是雪灾多发区。

(5) 除上述四大区域之外的华中、华东、华南地区都被划入同一区域,记为“ E 区”。相对而言,本地区的海拔都不太高,植被覆盖也比较丰富。在这一区域,降雪一般是由于强大的寒流引起的,降雪发生的频率、强度方面有相似之处,大部分地区都属于瞬时积雪区,南方一些地区甚至是无雪区。

1.3 各区域的判识方法

本文以来自全国气象台站的地面雪深观测记录及同期的 AVHRR 积雪监测图作为“真值”,随机挑选 2001 年 10 月至 2002 年 3 月的 NOAA-16 AMSU 资料,以 1、15 通道的亮温差和 2、15 通道的亮温差为基础,并结合 1、2、3 和 15 通道的亮温,针对五大区域逐一进行积雪监测试验,直到 AMSU 监测结果与“真值”达到最佳一致。实验结果表明:尽管 2、15 通道的亮温差与 1、15 通道的亮温差具有一定的相关性,且都能将积雪与其他地表特征区分开来(当然,冻结的水体除外),但在实际监测应用中,前者要比后者能更为准确地反映雪盖信息。另外,若对 1 通道设定适当的门槛值,对于滤除一部分“伪”信号,提高

监测结果的准确性是比较有利的,尤其是在雪季的初期和末期。

经过一系列的试验和修正,最终得到了应用 AMSU 资料监测各区域积雪的初步方法:在 A 区,如果 2、15 通道的亮温差在 4.0 K 以上,且 1 通道的亮温在 265.0 K 以下时,当地有积雪存在,用数学表达式的形式可以表示如下:

$$\begin{cases} T_{b1} < 265.0 \\ (T_{b2} - T_{b15}) \geq 4.0 \end{cases} \quad (1)$$

其中 T_{b1} 、 T_{b2} 、 T_{b15} 分别表示 AMSU 的 1、2、15 通道的亮温值。

类似地,B、C、D、E 区的监测方法也可以分别表示为:

$$\begin{cases} T_{b1} < 268.0 \\ (T_{b2} - T_{b15}) \geq 2.8 \end{cases} \quad (2) \quad \begin{cases} T_{b1} < 265.0 \\ (T_{b2} - T_{b15}) \geq 7.0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} T_{b1} < 267.0 \\ (T_{b2} - T_{b15}) \geq 2.5 \end{cases} \quad (4) \quad \begin{cases} T_{b1} < 268.0 \\ (T_{b2} - T_{b15}) \geq 0.1 \end{cases} \quad (5)$$

应用上述监测方法,本文制作合成了 2001 年 10 月 1 日至 2002 年 4 月 1 日期间全国的 AMSU 周雪盖图(图 1)。

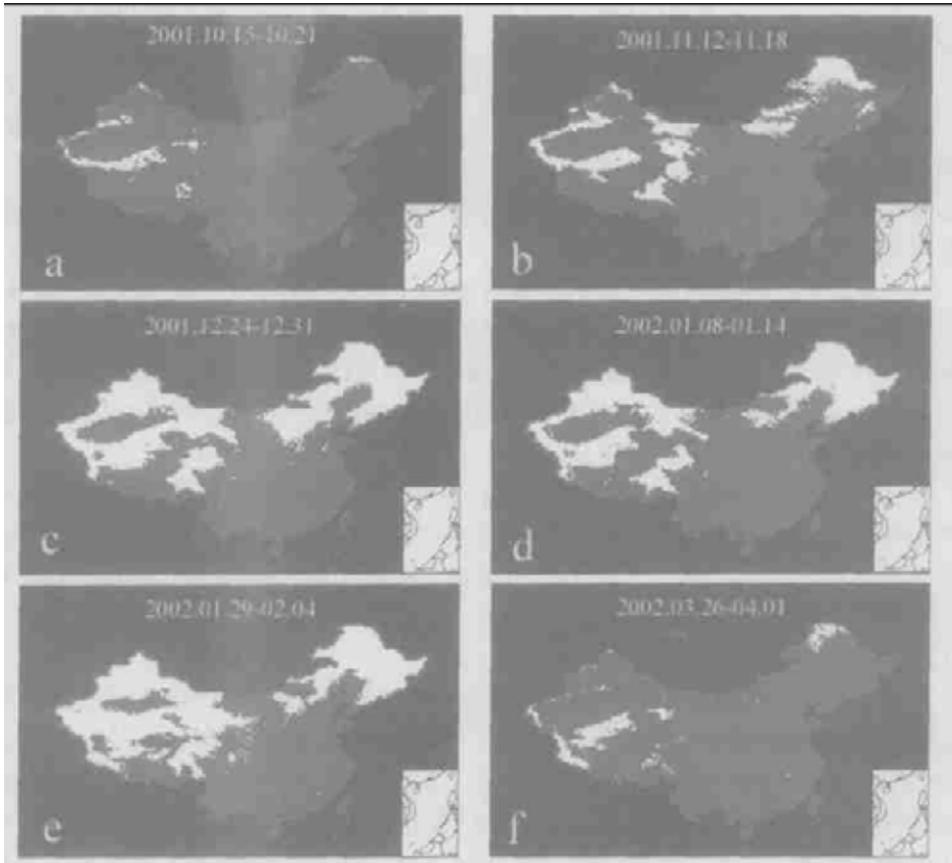


图 1 中国地区的部分 AMSU 周雪盖图

(a) 2001 年第 42 周,(b) 2001 年第 46 周,(c) 2001 年第 52 周,(d) 2002 年第 2 周,
(e) 2002 年第 5 周,(f) 2002 年第 13 周

2 监测结果

中国地区合成的 AMSU 周雪盖图(图 1)显示:2001 年 10 月初,只有昆仑山、祁连山等地有少量积雪存在。第 42 周(一年以 52 周计算,除年末的第 52 周以 8 天计外,其余每周均为 7 天)在黑龙江省北部的漠河也开始出现了积雪(图 1a)。然后,上述地区的雪盖范围有所扩大,同时在阿尔山、天山以及新疆与甘肃接壤地区、东北大兴安岭、内蒙古等地都不同程度的出现了积雪(图 1b)。随后,积雪由这些地区迅速扩展,整个北方地区出现了大量降雪,在第 51、52 周全国的雪盖范围处于最大时期(图 1c)。2002 年的第 1、2 周里,新疆、东北、青藏高原等地的积雪范围比较稳定,但华北部分地区的雪盖范围有所消退(图 1d)。之后,主要是新疆、青藏高原地区的积雪范围又有所反弹,其他地区变化不大,例如 2002 年第 5 周的雪盖图(图 1e)。此后,各地的积雪开始迅速融化,到 3 月底第 13 周的时候,只有昆仑山、祁连山和东北的漠河一带还有积雪存在,其余地区的积雪已消融殆尽(图 1f)。

经过与地面常规观测资料和 AVHRR 雪盖图的分析 and 比较,上述监测结果基本上比较准确地反映了 2002 年雪季(2001 年 10 月至 2002 年 3 月)中国地区的积雪变化情况。

3 监测结果的验证

3.1 监测结果与地面资料的比较

利用来自全国约 680 个气象台站的地面雪深观测记录,采取“点对点”的方式来验证 AMSU 监测结果的可靠性,也就是验证 AMSU 在台站所处位置的监测结果与地面观测结果是否一致。为了便于比较,对以日为时间序列的地面观测资料进行了整理,取该站点一周的最大雪深记录代表其周积雪覆盖情况,得到了全国以周为时间序列的地面雪深观测资料。

一般地,认为被动微波探测器无法探测到雪深在 3~5 cm 以下的薄雪层,原因在于薄雪层引起的微波辐射信号比较弱^[7,11]。考虑到 AMSU-A 的空间分辨率又比较低,因此本文假定其能监测的最小积雪深度为 4 cm,并将地面雪深观测资料划分为“浅雪”、“有雪”和“无雪”三类:雪深为 0 的为“无雪”类;雪深介于“微量”与 3 cm 之间(≤ 3 cm)的为“浅雪”类;雪深在 4 cm 以上(≥ 4 cm)的为“有雪”类。理想条件下,“有雪”和“无雪”这两类都能被 AMSU 准确监测到,而“浅雪”类则难于被 AMSU 准确监测到。

通常,E 区(即华中、华东、华南地区)的降雪比较少,即使有降雪发生,积雪深度一般也比较浅,达不到 AMSU 的最低监测范围。为了尽可能准确地评价 AMSU 监测中国地区积雪覆盖的准确率,本文主要讨论在由 A、B、C、D 这四个降雪比较多、雪深比较厚的区域所形成的“中国主要积雪区”的验证结果。在 2001 年 10 月至 2002 年 3 月共 26 周的时间里,AMSU 在中国主要积雪区的“雪”判识准确率有 21 周在 60%以上,特别是雪季中期有 17 周的准确率在 70%以上;“非雪”判识准确率也都接近或高于 70%;总体判识准确率在 80%左右(图 2)。逐一分析 A、B、C、D 这四个积雪区的结果,AMSU 的各项判识准确率与上

述结论也十分相似,只是雪季初期和末期的个别时段里“雪”判识准确率略微低一些。

值得注意的是,虽然 AMSU 的总体判识准确率一直保持在 80%左右,但在雪季初期和末期,“非雪”判识准确率比较高而“雪”判识准确率比较低,到了雪季中期又呈相反态势。分析其中的原因,可能是由于 AMSU 的空间分辨率不高而引起的。在雪季初期和末期,雪盖范围小,积雪比较浅,因而引起的微波辐射信号比较弱,积雪难以被 AMSU 准确探测到。例如,在 2001 年的第 40~47 周(即图 2 中的第 1~8 周)以及 2002 年的第 10~13 周(即图 2 中的第 22~25 周)里,报告有积雪的站点数目占全国站点总数比例最高的也只有 4.7%。但到了雪季中期,由于雪盖范围比较广,雪深又比较厚,因而产生的辐射信号比较强,从而在一定程度上弥补了 AMSU 分辨率的不足,产生了“雪”判识准确率高而“非雪”判识准确率又相对低一些的现象。

需要说明的是,由于卫星资料的残缺,可能会给 2001 年的第 40、41、51 周(即图 2 中的第 1、2、12 周)以及 2002 年第 10 周(即图 2 中的第 23 周)的验证结果带来一定的影响。

3.2 监测结果与其他遥感监测结果的比较

为了进一步检验 AMSU 在中国主要积雪区监测结果的可靠性,选取来自 NOAA 气候预测中心(Climatic Prediction Center, CPC)的人机交互式冰雪制图系统(Interactive Snow and Ice Mapping System, IMS)的监测结果(简称“IMS 雪盖图”),以及美国国家气候资料中心(National Climate Data Center, NCDC)提供的 SSM/I (Special Sensor Microwave Imagers)周积雪合成图(简称“SSM/I 雪盖图”)与之进行了对比分析。IMS 雪盖图主要采用了静止卫星和极轨卫星的可见光-红外监测结果,并结合地面气象站的观测结果由分析员手工绘制^[4]。本文所选用的 IMS 雪盖图的空间分辨率大约在 23 km 左右。SSM/I 雪盖图是应用多通道、双极化方式的 SSM/I 探测资料监测得到的。本文所选用的 SSM/I 雪盖图提供的是每个像素点的雪盖率,空间分辨率大约在 33 km 左右。比较之前,本文将 IMS 的日雪盖图合成处理成周雪盖图,在合成处理过程中最大限度地保留了原始的雪盖信息。同时,对于 SSM/I 周积雪覆盖率图,只有当某像素点的雪盖率达到 70%以上时才认为该点有积雪存在,并对其做了适当的投影变换处理。

(1) 判识准确率的比较

首先,参照全国气象台站的地面观测记录,同样以“点对点”的方式比较 AMSU、SSM/I 和 IMS 三种监测结果的“雪”、“非雪”判识准确率。对于“雪”判识准确率,AMSU 监测结果准确率始终是三者中最高的,且绝大多数时段的“雪”判识准确率都在 60%以上;而 SSM/I 和 IMS 的监测结果准确率则只有在不到一半的时段里在 60%以上(图 3)。对于“非雪”判识准确率,AMSU 的则介于 SSM/I 和 IMS 之间,并且基本上都在 70%以上,雪季中期的个别时段里略为低一些(图 4)。综合上述两种判识准确率的比较结果,可

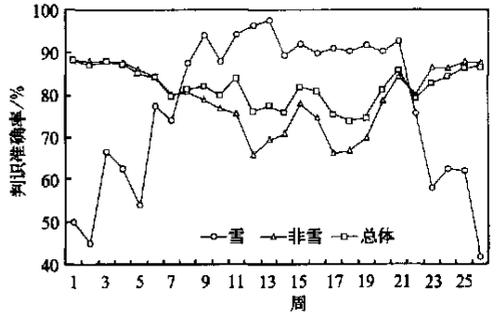


图 2 AMSU 监测中国主要积雪区的判识准确率
(横轴以周为时间序列,时间从 2001 年
10 月 1 日至 2002 年 4 月 1 日)

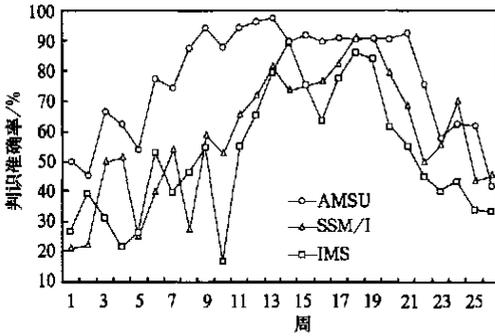


图 3 3 种监测结果在中国主要积雪区的“雪”判识准确率(说明同图 2)

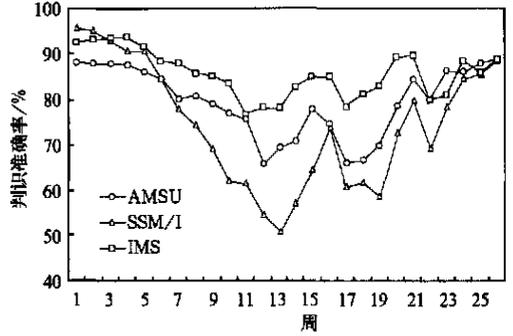


图 4 3 种监测结果在中国主要积雪区的“非雪”判识准确率(说明同图 2)

以看出:AMSU 的总体判识准确率是三种监测结果中最为恒定的,始终保持在 80%左右,而 SSM/I 和 IMS 的则起伏不定,甚至在雪季中期个别时段的总体判识准确率竟然低于 60%(图 5)。

针对 A、B、C、D 区分别进行的检验结果显示:在雪季中期,虽然 AMSU 的监测结果可能会高估 A 区(新疆地区)的雪盖范围,但可信度仍然是三者中比较高的;在 B 区和 D 区,即东北地区及华北地区,AMSU 监测结果的“雪”判识准确率及总体判识准确率都是三者中最高的。在 C 区,即青藏高原地区,尽管 AMSU、SSM/I 和 IMS 三者 在雪季初期的“雪”判识准确率都不高(基本上都在 70%以下),但从总体看来,AMSU 的各项判识准确率明显优于 SSM/I 和 IMS。

总之,无论是从中国主要积雪区的整体还是从各大区域的局部来看,AMSU 的各项判识准确率都是三者中比较好的,具有比较高的准确性。

(2) 雪盖率的比较

上面从微观角度比较了 AMSU、SSM/I 和 IMS 三种监测结果的判识准确率,现从宏观角度比较三者监测的雪盖率。比较过程中,根据气象站的地面观测结果得到的雪盖率视为地面观测雪盖率。显然,由于气象站点分布的合理性及观测结果的代表性,地面观测雪盖率与客观实际是有一定出入的,只能作为参考。在整个中国主要积雪区,SSM/I 的雪盖率始终是最高的,远远超出地面观测雪盖率;AMSU 监测的雪盖率在变化趋势上与 SSM/I 的非常一致,但要比 SSM/I 的低 5%~20%左右,且与地面观测雪盖率比较接近。相对而言,AMSU 与 IMS 两者监测的雪盖率差异更小一些,也与地面观测的雪盖率更加接近一些。

分析三种监测结果在 A、B、C、D 区的雪盖率,发现在 C 区(即青藏高原地区)差异最大,其次是 D 区(即华北地区)。

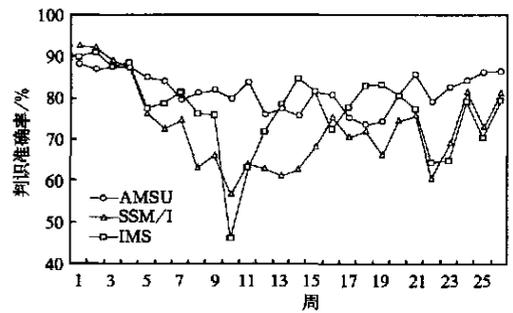


图 5 3 种监测结果在中国主要积雪区的整体判识准确率(说明同图 2)

在青藏高原地区,SSM/I的雪盖率最低时也接近20%,比AMSU、IMS的高出许多(图6)。例如:在2001年的第47~49周(即图6中的第8~10周)和2002年的第2、7~8周(即图6中的第15、20~21周),SSM/I的雪盖率竟比IMS的高出50%以上;在2001年的第46~49、51周(即图6中的第7~10、12周)和2002年的第1、6~10周(即图6中的第14、19~23周),SSM/I的雪盖率比AMSU的也高出了50%以上。AMSU与IMS的雪盖率在变化趋势上则比较相近。如果参考地面观测结果,似乎AMSU与IMS监测的雪盖率具有一定的合理性,至于哪种监测结果更加符合客观实际,还有待于进一步研究。

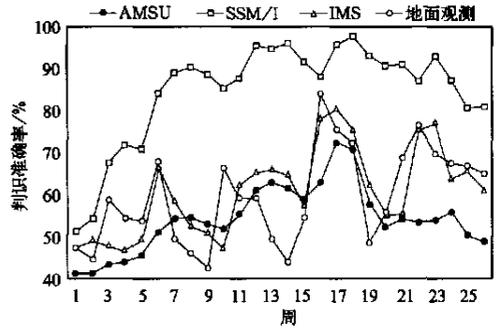


图6 青藏高原雪盖率的监测结果
(说明同图2)

在华北地区,虽然AMSU与SSM/I这两种被动微波探测器监测的雪盖率非常一致,而且与地面观测结果也比较接近,但在雪季中期,两者监测的雪盖率要比IMS的偏高10%~20%以上。

除了在上述两个地区AMSU、SSM/I和IMS这3种遥感监测结果的雪盖率及地面观测雪盖率相互之间存在一定的差异之外,在新疆(A区)和东北地区(B区),尽管AMSU与SSM/I监测的雪盖率更加接近且比IMS的高一些,但遥感监测结果与地面观测结果在变化趋势上大体一致,彼此间的差异并不大。

综合上述针对三种遥感监测结果从微观和宏观角度所做的分析和比较,在新疆、东北和华北这三个区域,AMSU的监测结果不仅是可信的,而且是三者中比较理想的一种;至于青藏高原地区,三者间的差别比较大,但辨识准确率最高的是AMSU,而且AMSU监测的雪盖率与IMS的比较接近,可以初步认为其在这一地区的监测结果是比较可信的。

4 小结

本文针对不同地表特征在NOAA-16 AMSU对地观测敏感的1、2、15通道的光谱特性,结合中国地区的实际特点将其划分为五大区域,并根据微波遥感积雪的原理提出了应用AMSU资料辨识中国地区雪盖范围的方法,制作合成了2001年10月1日至2002年4月1日全国的周积雪覆盖监测图。为了检验AMSU监测结果的可靠性,本文利用全国气象台站的雪深地面观测记录,采取“点对点”的方式对其进行了检验,还将其与美国的IMS和SSM/I雪盖图从微观和宏观角度进行了较为细致的分析和比较。研究结果表明:应用本文提出的AMSU监测方法得到的监测结果不仅具有比较高的可信度,而且其准确性和可靠性达到甚至优于其他两种遥感监测结果,尤其在雪季中期。

总结全文,有以下几方面是值得讨论的:

(1) 从目前的研究结果来看,AMSU监测结果不太理想的时段主要集中在雪季的初期和末期,地点主要集中在青海、西藏、四川三省区交界处,以及青藏高原、昆仑山和冈底

斯山脉一线。分析其中的原因,主要有以下几方面:①冰冻的影响。目前还没有可靠的办法将积雪和冻结的水体区分开来,当有冰冻现象出现时必然会影响到监测结果的准确性。②浅雪或片雪的影响。例如,2001年10月中旬,地面雪深观测记录报告在青海、西藏、四川三省区的交界处有深浅不一的积雪,只有少数雪深在4 cm(≥ 4 cm)以上,多数在4 cm以下,在AMSU的监测结果中该地区几乎没有积雪存在。当然,这里面除了与AMSU自身的空间分辨比较低有关系之外,也不排除有地形、植被等因素的影响。③在一些地区,AMSU的监测结果还缺乏有效的地面观测资料或其他相关资料进行验证,如2001年10月上旬,AMSU监测结果在哈尔克山的汗腾格里峰一带、昆仑山、祁连山等地所反映的积雪信息。

(2) IMS雪盖图是经过由极射赤面投影转换成等经纬度投影而得到的,SSM/I雪盖图是由雪盖率转换而来的,这两个因素可能会给三种遥感监测结果相互间的比较带来一定的影响。

(3) 由于实地积雪观测资料的缺乏,在验证判识准确率和比较雪盖率时采用的都是来自气象台站的地面雪深观测记录,具有一定的局限性。

今后,一方面要开展多种积雪观测实验,另一方面要进一步开展利用AMSU资料对雪深或雪水当量进行监测的试验性研究,并尝试将AMSU监测结果与AVHRR、MODIS等高分辨率资料的监测结果进行有机结合,提高对中国地区的积雪监测能力。

致 谢: 国家卫星气象中心的张凤英研究员为本文的研究提供了AMSU资料,国家气象中心气候资料室为本文的研究提供了地面观测资料,在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 Walker A E, Goodison B E. Atlas of Southern Canadian Prairies Winter Snow Cover from Satellite Passive Microwave Data: November 1978 to March 1986. Ontario, Canada: Atmospheric Environment Service, Environment Canada, 1995. 1 ~ 35.
- 2 Foster J L, Chang A T C. Snow cover and snow mass estimates from remote sensing, climatology and United Kingdom Meteorological Office General Circulation Model. In: Choudhury B J, Kerr Y H, Njoku E G, et al, eds. Passive Microwave Remote Sensing of Land-Atmosphere Interactions. ESA/NASA International Workshop, Utrecht, The Netherlands, 1995. 55 ~ 76.
- 3 Kunzi K F, Patil S, Rott H. Snow-cover parameters retrieved from Nimbus-7 scanning multichannel microwave radiometer (SMMR) data. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1982, GE-20(4): 452 ~ 467.
- 4 Grody N C. Classification of snow cover and precipitation using the Special Sensor Microwave Imager. *Journal of Geophysical Research*, 1991, 96(D4): 7423 ~ 7435.
- 5 Grody N C, Basist A N. Identification of snow cover using SSM/I measurements. In: Choudhury B J, Kerr Y H, Njoku E G, et al, eds. Passive Microwave Remote Sensing of Land-Atmosphere Interactions. ESA/NASA International Workshop, Utrecht, The Netherlands, 1995. 499 ~ 507.
- 6 Grody N C, Basist A N. Global identification of snow cover using SSM/I measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1996, 34(1): 237 ~ 249.
- 7 Hallikainen M T, Jolma P A. Retrieval of the water equivalent of snow cover in Finland by satellite microwave radiometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1986, GE-24(6): 855 ~ 862.
- 8 Hallikainen M T, Jolma P A. Comparison of algorithms for retrieval of snow water equivalent from Nimbus-7 SMMR

- data in Finland. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1992, **30**(1) : 124 ~ 131 .
- 9 Walker A E, Goodison B E. Discriminate of a wet snow cover using passive microwave satellite data. *Annals of Glaciology*, 1993, **17**:307 ~ 311 .
- 10 Foster J L, Hall D K, Chang A T C. An overview of passive microwave snow research and results. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 1984, **22**(2) :195 ~ 208 .
- 11 陈爱军, 刘玉洁, 杜秉玉. AMSU 资料监测雪盖范围在新疆的初步应用. *南京气象学院学报*, 2003, **26**(6) : 759 ~ 767 .
- 12 顾钟炜, 梁凤仙, 曾群柱, 等. 我国积雪强度特征和牧区雪灾的分级标准、危险程度研究. *中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊*, 1995, **8**:1 ~ 7 .
- 13 董超华, 章国材, 邢福源, 等. 气象卫星业务产品释用手册. 北京: 气象出版社, 1999. 81 ~ 90 .
- 14 Romanov P, Gutman G, Csizsar I. Automated monitoring of snow cover over North America with multi-spectral satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 2000, **39**(11) : 1866 ~ 1880 .

PRELIMINARY RESEARCH ON MONITORING SNOW COVER OVER CHINA WITH AMSU DATA

Chen Aijun¹⁾ Liu Yujie²⁾ Du Bingyu¹⁾

¹⁾ (*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

²⁾ (*National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081*)

Abstract

The territory of China was divided into five areas, and a primary method for each area was proposed to monitoring snow-cover over China, using the data from channel 1, 2, 15 of NOAA-16 AMSU. With these methods, weekly compositive snow-cover maps of China were achieved during the period of October 1, 2001 to April 1, 2002. The comparison of the ground snow-depth record from the meteorological stations all around the country with snow-cover maps mapped by NOAA Interactive Snow and Ice Mapping System (IMS), and from SSM/I (Special Sensor Microwave Imager) data were used to examine the reliability of the snow-cover maps from AMSU in detail. Analysis result shows that the discrimination of AMSU snow-cover maps is good, and the correctness of AMSU snow-cover maps is close or even superior to those of IMS and SSM/I, especially during the medium-term of the snow season.

Key words: AMSU Microwave Remote sensing Areal snow-cover Discrimination