

# 陆地上 AMSR-27.3 GHz 观测无线电频率干扰的检测

官莉 黄安晶

南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 中国气象局气溶胶与云降水  
重点开放实验室, 江苏 南京 210044

**摘要** 利用2014年8月1至16日 AMSR-2 一个观测周期的资料详细分析了日本、中国及周边地区陆地上 7.3 GHz 观测, 研究表明: 日本 7.3 GHz 通道无线电频率干扰主要来源于视场反射的静止电视/通信卫星下发信号。除 7.3 GHz 外, 日本 6.9 GHz 和 10.65 GHz 也存在无线电频率干扰(RFI)影响, 主要来自长期稳定的离散地面固定源。越南全境内每天不论是升轨还是降轨 7.3 GHz 都观测到很强的 RFI。中国主要是 7.3 GHz 和 10.65 GHz 通道观测受污染, 这两个频率受 RFI 影响的地域与中国地基雷达站点分布吻合一致。

**关键词** 遥感; 卫星; 星载微波辐射计; AMSR-2; 无线电频率干扰

中图分类号 P413.2

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP53.022802

## Detection of Radio-Frequency Interference over Land from AMSR-2 Observations at 7.3 GHz

Guan Li Huang Anjing

*Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China*

**Abstract** AMSR-2 observations at 7.3 GHz from Aug. 1 to 16, 2014 over Japan, China and surrounding areas are carefully analyzed. The observations of 7.3 GHz channel in ascending portions of orbits are usually interfered over Japanese land, while no radio frequency interference (RFI) detected in descending passes. The signals emanating from geostationary communication and television satellites that reflect off the land surface are the major interference sources of these RFI. Besides 7.3 GHz, the measurements of 6.9 GHz and 10.65 GHz over Japan are all affected by RFI. These RFI signals are all from ground point target sources, being isolated in space and persistent in time. Strong and wide RFI are detected every day in Vietnam in both ascending and descending orbits. Both 7.3 GHz and 10.65 GHz information are all contaminated over China. The cities and areas affected by RFI at both frequencies are identical with the distribution of Chinese ground-based radar stations.

**Key words** remote sensing; satellite; spaceborne microwave radiometer; AMSR-2; radio-frequency interference

**OCIS codes** 280.4991; 010.5620; 120.0280

### 1 引言

卫星微波接收的来自地气系统的被动热辐射与主动传感器发射的信号相混合,称之为无线电频率干扰(RFI),在主动及被动微波遥感探测领域已成为越来越严重的问题<sup>[1]</sup>。人为的 RFI 源主要来自建于地表的主动微波发射器,如手机、雷达、GPS 导航、空中交通管制、车辆测速仪器等,这些 RFI 源会污染卫星接收到的地球、大气散射和发射辐射,会在卫星遥感探测量中增加不可预测的噪声<sup>[2]</sup>。造成视场内观测亮度温度相比自

收稿日期: 2015-06-04; 收到修改稿日期: 2015-08-12; 网络出版日期: 2015-12-18

基金项目: 国家自然科学基金(41175034)、江苏省高校自然科学研究重大项目(13KJA170003)

作者简介: 官莉(1973—),女,博士,教授,主要从事大气遥感科学与技术方面的研究。E-mail: liguanlily@189.cn

然大气和地表发射/散射辐射而言异常偏大,进而使反演的地表参数(如地表温度、海表温度和土壤湿度等)和资料同化的分析场具有较大误差<sup>[3-4]</sup>。

Li等<sup>[5]</sup>于2004年最先发现先进微波扫描辐射计(AMSR-E)在C波段通道的探测数据中存在大范围的无线电频率干扰现象,并提出可以利用谱差法来量化RFI的强度和范围。Njoku等<sup>[6]</sup>继续分析了AMSR-E数据中的RFI污染问题,并将研究通道扩展为C波段和X波段,利用一整年的观测数据研究发现,6.9 GHz通道观测中RFI区主要集中在美国、日本和中东地区,欧洲地区则分布稀疏;而10.7 GHz通道观测中RFI区主要集中在英国、意大利和日本。Wu等<sup>[2]</sup>的研究表明2008年10月日本10.65 GHz污染比6.925 GHz显著,6.925 GHz干扰只零星分布。Zou等<sup>[1]</sup>利用我国新一代极轨卫星FY-3B上搭载的微波辐射成像仪(MWRI)对陆地上RFI的识别开展了研究,提出了标准化的主成分分析方法(PCA),利用通道间的相关性有效地将积雪覆盖区域RFI识别出来,该算法不仅适用于晴空下垫面而且适用于积雪陆表。Zhao等<sup>[7]</sup>使用WindSat的观测数据对格陵兰岛和南极洲附近海冰下垫面RFI识别算法进行了研究,指出现有的谱差法及PCA方法在对海冰区RFI识别时会产生大量的虚假信号,提出利用双主成分分析方法(DPCA)来识别强散射的海冰区RFI信号。Adams等<sup>[8]</sup>用WindSat反演地球物理参数 $x^2$ 概率估计法对洋面反射的RFI进行识别,研究发现海洋表面反射的静止通信/电视卫星下行信号是干扰海洋上星载被动微波辐射计观测的主要来源。官莉等<sup>[9]</sup>基于AMSR-E观测对欧洲陆地区域的无线电频率干扰进行识别和分析,研究发现陆地反射的静止电视卫星信号也干扰星载微波被动传感器陆地视场观测。

为了有效识别RFI、减轻RFI影响,日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)新研制的AMSR-2在AMSR-E通道设置基础上临近6.925 GHz增加了7.3 GHz。因为是在同类星载微波辐射仪器上首次进行7.3 GHz观测,目前对7.3 GHz观测是否存在RFI影响还未见有研究成果,因此本文将详细分析AMSR-2 7.3 GHz观测在陆地上是否存在无线电频率干扰。

## 2 AMSR-E/2 仪器和资料介绍

先进的微波扫描辐射计AMSR-E搭载在2004年5月NASA发射的EOS地球观测系统Aqua卫星上,分别测量6.925、10.65、18.7、23.8、36.5和89.0 GHz水平极化和垂直极化的亮度温度,共有12个通道,空间分辨率从89 GHz的5.4 km下降为6.9 GHz的56 km<sup>[10]</sup>。辐射仪主要使用的是窗区通道,用于观测云和地表、反演各类水成物含量。18.7 GHz及其以下频率是较透明的窗区通道,受大气干扰小可以探测地表和云顶辐射;23.8 GHz通道是弱水汽吸收带,对水汽敏感;36.5 GHz通道常用来反演云水、雨水含量,而89 GHz通道则对云冰、雪和霰等固态水成物敏感<sup>[11-12]</sup>。AMSR-E于2011年10月停止工作,其后续仪器AMSR-2于2012年5月发射载于地球水环境变动监测卫星上(GCOM-W1),通道设置在AMSR-E基础上临近6.925 GHz增加了7.3 GHz的水平和垂直极化观测,目的是为了有效识别微波低频RFI干扰、减轻RFI影响<sup>[13]</sup>。AMSR-E/2均是圆锥型扫描仪器,天线圆锥扫描角为47.4°,扫描帧幅宽度为1445 km,但AMSR-E采用的是前半锥扫描[图1(a)],而AMSR-2是后半锥扫描[图1(b)],图中每条扫描线上的箭头方向表明仪器扫描方向。AMSR-E仪器在卫星飞行方向的前侧从右到左扫描,而AMSR-2则是在飞行方向的后向从左侧扫描到右侧,两个仪器每条扫描线上均是243个视场。详细的仪器特性及通道设置见表1。

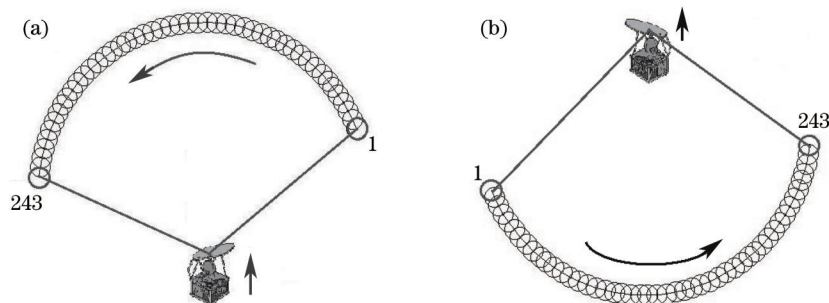


图1 (a) AMSR-E和(b) AMSR-2视场扫描图

Fig.1 Scanning direction of (a) AMSR-E and (b) AMSR-2

表1 AMSR-E/AMSR-2 仪器特性(V和H分别表示垂直和水平极化)

Table 1 AMSR-E/AMSR-2 instrument description (V and H denote vertical and horizontal polarization)

| Frequency /GHz | Polarization | AMSR-E footprint resolution /km | AMSR-2 footprint resolution /km | Bandwidth /MHz | NE $\Delta$ T /K | Observation operator error /K |
|----------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|------------------|-------------------------------|
| 6.925          | V            | 74×43                           | 62×35                           | 350            | 0.3              | 1.5                           |
| 7.3            | H            | —                               | 62×35                           | 350            | 0.3              | 1.5                           |
|                | V            |                                 |                                 |                |                  |                               |
| 10.65          | V            | 51×30                           | 42×24                           | 100            | 0.6              | 1.5                           |
|                | H            |                                 |                                 |                |                  |                               |
| 18.7           | V            | 27×16                           | 22×14                           | 200            | 0.6              | 1.5                           |
|                | H            |                                 |                                 |                |                  |                               |
| 23.8           | V            | 31×18                           | 26×15                           | 400            | 0.6              | 1.5                           |
|                | H            |                                 |                                 |                |                  |                               |
| 36.5           | V            | 14×8                            | 12×7                            | 1000           | 0.6              | 1.5                           |
|                | H            |                                 |                                 |                |                  |                               |
| 89.0           | V            | 6×4                             | 5×3                             | 3000           | 1.1              | 2.5                           |
|                | H            |                                 |                                 |                |                  |                               |

### 3 AMSR-27.3 GHz 观测分析

AMSR-2是由日本宇宙航空研究开发机构研制的,在AMSR-E通道设置基础上增加了7.3 GHz,利用6.925、7.3和10.65 GHz三个低频通道观测互相进行RFI识别、减轻RFI影响,因此,本文将研究区域选为日本、中国及其周边地区。由于极轨卫星有效载荷AMSR-E和AMSR-2轨道每16天覆盖完全相同的区域,16天的周期内每天轨道覆盖观测范围不太相同,下一个16天周期内卫星每天观测区域重复上一个周期内的分布(图略)。又考虑到冬季时积雪下垫面的散射会加剧RFI识别难度,将很多积雪地表误判为是RFI影响,因此为排除积雪干扰,选取2014年夏季8月1至16日一个完整周期的AMSR-2观测进行研究。

图2显示了2014年8月4日[图2(a)]和7日[图2(b)]AMSR-2升轨7.3 GHz水平极化通道在研究区域观测的陆地上亮度温度分布,图中灰色线条表明每个轨道扫描边界,空白区域为洋面和卫星扫描间隙区,4日和7日两天的观测基本全部覆盖了研究区域。在地形高的天山山脉和喜马拉雅山脉有一些视场亮温接近300 K,是积雪的影响,雪的发射率在7.3 GHz水平极化通道相对其它自然地表是较高的,因此表现为亮温比一般自然地表高。在该频率自然地表的水平极化发射率要比垂直极化发射率低,稍小于0.9,因此如果7.3 GHz水平极化观测亮温超过300 K,初步可断定为RFI影响。在越南全境内观测到很强的RFI(亮度温度都在320 K以上),而且不论是升轨还是降轨在研究的AMSR-2观测周期内每天都存在;在前人的文献中还没有出现有关越南存在强RFI的结论,至于造成如此大范围、强度很强的RFI的原因具体是什么还不清楚,需要进一步深入研究。同时,日本在7.3 GHz通道也观测到强的RFI分布[图2(b)],即图中的红点处。在AMSR-2一个观测周期内,日本有的时间会出现RFI,有的时间又没有7.3 GHz的污染,出现的位置也随时间变化;而且RFI只出现在AMSR-2的升轨观测中,在所有的降轨观测中均没有出现(图略)。这些特征都跟官

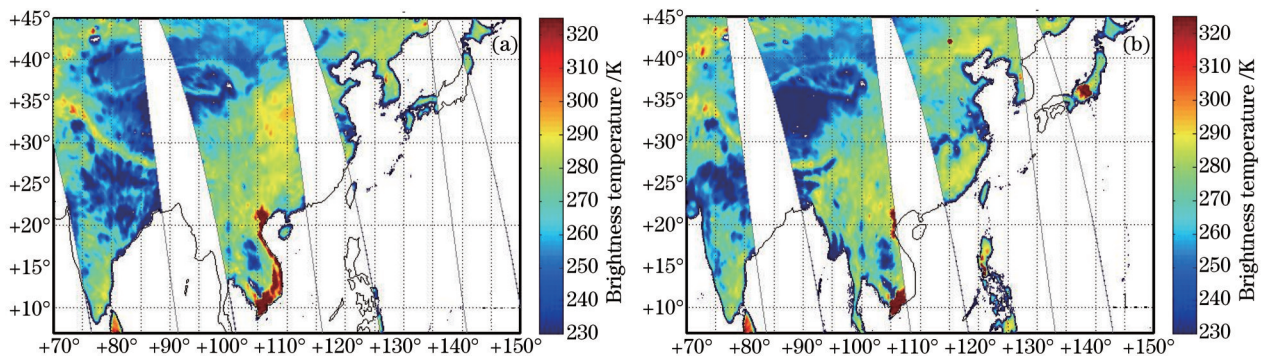


图2 (a)2014年8月4日和(b)7日AMSR-2升轨7.3 GHz水平极化通道陆地观测亮温

Fig.2 AMSR-2 ascending brightness temperature at 7.3 GHz with horizontal polarization over land on (a) Aug. 4, 2014 and (b) Aug. 7, 2014



莉等<sup>[9]</sup>研究的星载微波辐射计陆地视场来源于地表反射的静止电视/通信卫星下发信号出现的 RFI 特征相符。对日本地区 7.3 GHz 通道观测进行仔细分析,发现 RFI 出现位置与星载微波辐射计观测扫描方位角和观测视场相对静止电视卫星的方位有关。可以判断日本 7.3 GHz 通道升轨观测的无线电频率干扰来自反射的静止电视/通信卫星下发信号,日本通信卫星主要下发频率为 C 波段(4~8 GHz)和 Ku 波段(11.7~12.2 GHz)<sup>[14-15]</sup>,因此 C 波段的主动通信频率影响了卫星微波仪器被动接收该波段的自然辐射。

根据 Adams 等<sup>[8]</sup>研究成果,由视场反射静止电视卫星信号引起的 RFI 在北半球多出现在星载微波辐射计 AMSR-E 降轨观测上,而升轨观测几乎不受静止电视卫星信号干扰。研究发现日本 RFI 只出现在 AMSR-2 的升轨观测中,在所有的降轨观测中均没有出现,二者是矛盾的。仔细分析了 AMSR-E 和 AMSR-2 的扫描方式发现,这是由于 AMSR-E 采用的是前半锥扫描[图 1(a)],AMSR-2 采用的是后半锥[图 1(b)]扫描模式,两个仪器都不是全锥扫描,一个扫描卫星飞行方向的前方(AMSR-E),而 AMSR-2 则观测卫星飞行方向的后侧半锥,因此能接收到地表视场反射静止卫星辐射时极轨卫星飞行方向刚好相反。

## 4 无线电频率干扰分析

### 4.1 日本 RFI 分析

根据上一节的分析,AMSR-27.3 GHz 降轨观测在日本不存在 RFI 影响,因此用其降轨观测来判断 6.925 GHz 和 10.65 GHz 通道是否存在 RFI。由于 8 月是夏天,在研究区域不存在积雪影响,因此就用简单有效的谱差法来识别 RFI。图 3(a)给出了 2014 年 8 月 13 日 AMSR-2 降轨 6.925 GHz 与 7.3 GHz 亮温差,图 3(b)为 10.65 GHz 观测亮温,图 3(c)为 7.3 GHz 与 10.65 GHz 亮温差,图 3(d)为 10.65 GHz 与 18.7 GHz 观测亮温差。一般,相邻通道的谱差大于 10 K 就认为是 RFI 影响。从图 3(b)和图 3(d)可看出,日本东北部的盛冈存在 10.65 GHz 的强干扰,即图 3(b)中的红点区,10.65 GHz 通道观测亮温异常高处(超过 290 K),图 3(d)中 10.65 GHz 与 18.7 GHz 谱差正值大值区(至少超过 10 K),18.7 GHz 则没有出现 RFI 污染。在图 3(c)中盛冈表现为很深的蓝点,就是因为在该处 10.65 GHz 受到干扰,亮温大大增加,使得 7.3 GHz 亮温低于 10.65 GHz 亮温超过 20 K。综合其他日期观测,日本 10.65 GHz 通道 RFI 干扰还长期存在于大阪、东京、名古屋等地。而

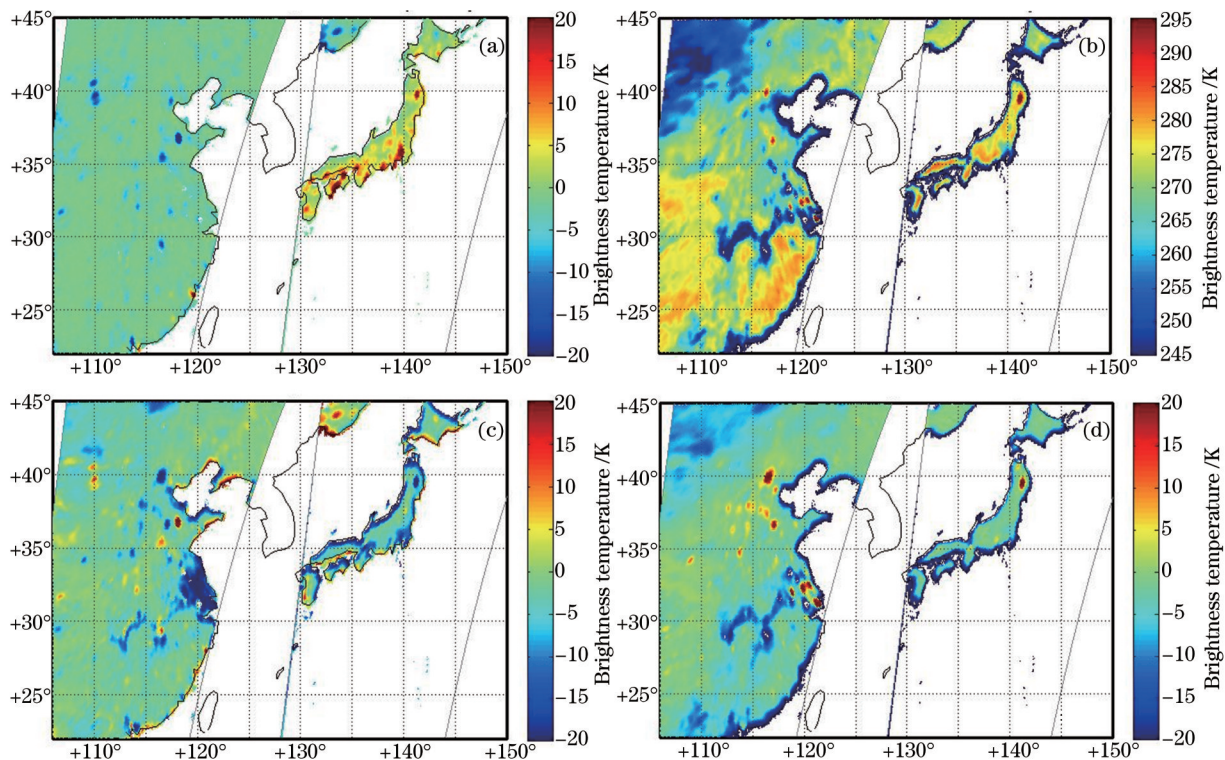


图3 2014年8月13日 AMSR-2降轨亮温谱差。(a) 6.925~7.3 GHz; (b) 10.65 GHz 观测亮温;  
(c) 7.3~10.65 GHz; (d) 10.65~18.7 GHz

Fig.3 AMSR-2 descending brightness temperature difference on Aug. 13<sup>th</sup>, 2014. (a) 6.925~7.3 GHz; (b) observed brightness temperature at 10.65 GHz; (c) 7.3~10.65 GHz; (d) 10.65~18.7 GHz

图3(a)显示日本境内大范围存在6.9 GHz干扰,由于7.3 GHz观测没有受污染,按照正常光谱特性,6.9 GHz亮温应该低于7.3 GHz,但图中离散的红点处表明6.9 GHz亮温远远高于7.3 GHz,多集中在南部的城市,且RFI源长期稳定。

#### 4.2 中国 RFI 分析

根据前人的研究成果,中国地区在18.7 GHz不存在RFI影响<sup>[16]</sup>,因此用10.65 GHz和18.7 GHz的谱差来判断10.65 GHz观测在中国是否存在RFI干扰。图3(b)显示出10.65 GHz中国在北京、济南、泰山、南京、上海、常州、南通等地长期存在亮温异常高区,对应图3(d)中谱差大于10 K以上的部位。而且这些城市的RFI每天都存在,强度强,且出现位置、强度稳定,说明是孤立的、固定的、长期稳定的地面干扰源。图4给出了研究区域内我国目前已经安装使用的地基雷达站点分布图,圆点表示S波段雷达,\*字代表布设的C波段雷达。图3(d)中出现强RFI的地点与图4中雷达站布点对应很好。

从图3(a)可看出中国大陆除福州外在6.9 GHz观测几乎不受RFI影响。图3(c)中出现了7.3 GHz和10.65 GHz亮温谱差较大的红点区,而且这些红点区与图4(b)和图4(d)识别的10.65 GHz通道RFI污染区域分布位置不一样,说明7.3 GHz观测中国也存在RFI污染,主要出现在在滨州、九江站、包头、济宁市等地,位置固定。同时,由于7.3 GHz的通道频率与静止电视/通信卫星频率接近<sup>[17]</sup>,所以偶然也存在反射电视/通信卫星信号的影响,表现为RFI强度时强时弱。

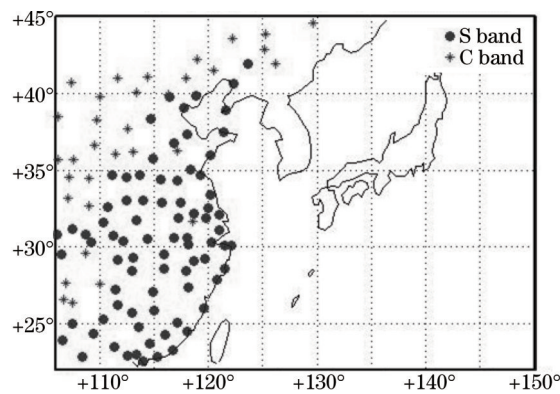


图4 研究区域中国雷达站点分布图

Fig.4 Distribution of Chinese radar stations within study area

#### 4.3 韩国 RFI 分析

朝鲜 AMSR-2 所有通道观测都不存在无线电频率干扰,而韩国7.3 GHz观测不论升降轨都存在强RFI污染,如图5所示,存在7.3 GHz和10.65 GHz亮温差大于15 K的区域,集中在首都首尔、釜山和大邱等几个大城市,是固定地面干扰源,别的频率则没有RFI影响。

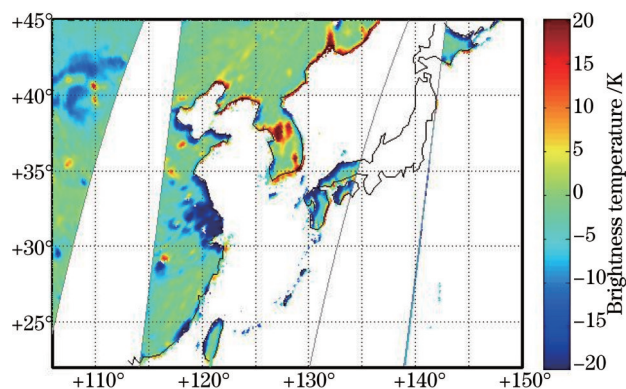


图5 朝鲜和韩国7.3 GHz和10.65 GHz亮温谱差

Fig.5 Brightness temperature difference between 7.3 GHz and 10.65 GHz over North Korea and South Korea

## 5 结 论

利用2014年8月1~16日AMSR-2一个观测周期的资料对所有通道的RFI影响进行了分析,由于其在

AMSR-E通道设置基础上增加了7.3 GHz,主要目的是为了减轻RFI影响,因此重点分析7.3 GHz陆地上的观测。初步结论如下:

1) 日本7.3 GHz通道升轨观测的无线电频率干扰主要来自反射的静止电视/通信卫星下发信号,所有的降轨观测则不受RFI污染。日本6.9 GHz和10.65 GHz也存在RFI干扰,都是长期稳定的离散地面固定源。境内大范围存在强6.9 GHz干扰,多集中在南部的城市,而10.65 GHz通道RFI影响存在于盛冈、大阪、东京、名古屋等地。

2) 中国主要是7.3 GHz和10.65 GHz通道污染,且影响区域不一样。7.3 GHz通道RFI强度时强时弱,偶有反射静止电视/通信卫星辐射的影响,分布在滨州站、九江站、包头、济宁市等地;10.65 GHz在北京、济南、泰山、南京、上海、常州、南通等地长期存在亮温异常高区,且强度高。这两个频率受RFI影响的地域与中国雷达站点和地基微波观测仪器分布吻合一致。

3) 朝鲜所有通道都不存在无线电频率干扰,而韩国7.3 GHz观测不论升、降轨都存在强RFI污染,集中在首都首尔、釜山和大邱等几个大城市,是固定地面干扰源,别的频率则没有RFI影响。

4) 越南全境内每天不论是升轨还是降轨7.3 GHz都观测到很强的RFI,至于形成原因还需要进一步研究。

### 参考文献

- 1 X Zou, J Zhao, F Weng, *et al.*. Detection of radio-frequency interference signal over land from FY-3B microwave radiation imager (MWRI)[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2012, 50(12): 4994-5003.
- 2 Y Wu, F Weng. Detection and correction of AMSR-E radio-frequency interference[J]. *Acta Meteor Sinica*, 2011, 25(5): 669-681.
- 3 E G Njoku, L Li. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6 to 18 GHz[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 1999, 37(1): 79 - 93.
- 4 F J Wentz, C Gentemann, D Smith, *et al.*. Satellite measurements of sea surface temperature through clouds[J]. *Science*, 2000, 288(5467): 847-850.
- 5 L Li, E G Njoku, E Im, *et al.*. A preliminary survey of radio-frequency interference over the U.S. in Aqua AMSR-E data[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2004, 42(2): 380-390.
- 6 E G Njoku, P Ashcroft, T K Chan, *et al.*. Global survey and statistics of radio-frequency interference in AMSR-E land observations[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2005, 43(5): 938-947.
- 7 J Zhao, X Zou, F Weng. WindSat radio-frequency interference signature and its identification over Greenland and Antarctic [J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2013, 51(9): 4830-4839.
- 8 I S Adams, M H Bettenhausen, P W Gaiser, *et al.*. Identification of ocean-reflected radio-frequency interference using windSat retrieval chi-square probability[J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2010, 7(2): 406-410.
- 9 Guan Li, Zhang Sibao. Source analysis of radio-frequency interference over Europe land from advanced microwave scanning radiometer-E[J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(7): 0728004.  
官莉,张思勃.星载微波辐射计欧洲大陆无线电频率干扰分析[J].*光学学报*, 2014, 34(7): 0728004.
- 10 T Kawanishi, T Sezai, Y ITO, *et al.*. The advanced microwave scanning radiometer for the earth observing system (AMSR-E), NASDA's contribution to the EOS for global energy and water cycle studies[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2003, 41(2): 184-194.
- 11 S Q Kidder, T H V Haar. *Satellite Meteorology: An Introduction*[M]. New York: Academic Press, 1995: 151-154.
- 12 Wang Min, Bu Lingbing, Gao Aizhen, *et al.*. Microphysical properties observation of cirrus based on micro-pulse lidar and millimeter wave radar[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2013, 50(7): 070102.  
王敏,卜令兵,高爱臻,等.微脉冲激光雷达和毫米波雷达联合探测卷云微物理特性[J].*激光与光电子学进展*, 2013, 50(7): 070102.
- 13 H Shimoda. GCOM overview[C]. *IGARSS*, 2014, 1084: 106-109.
- 14 亚洲卫星. 亚洲卫星电视中文网[OL]. <http://www.asiatv.ro.com/channelinfo/128.htm>. [2015-10-26].
- 15 Zhao Weihu, Zhao Jing, Zhao Shanghong, *et al.*. Dynamic scheduling fast heuristic algorithm for data relay satellite with microwave and laser hybrid links[J]. *Chinese J Lasers*, 2014, 41(9): 0905007.  
赵卫虎,赵静,赵尚弘,等.微波与激光混合链路中继卫星动态调度快速启发式算法[J].*中国激光*, 2014, 41(9): 0905007.
- 16 Guan Li, Xia Shichang, Zhang Sibao. Identifying the interference of spaceborne microwave radiometer over large water area [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2015, 26(1): 22-31.  
官莉,夏仕昌,张思勃.大面积水体上空星载微波辐射计的干扰识别[J].*应用气象学报*, 2015, 26(1): 22-31.

栏目编辑: 刘丰瑞