

## ITU-R RS.577-7建议书

用于卫星地球探测（有源）和空间研究（有源）业务中  
星载有源传感器的频段和所要求的带宽

(1982-1986-1990-1994-1995-1997-2006-2009年)

## 范围

本建议书给出了五种基本类型的星载有源传感器的频段和带宽。尽管附件1中的讨论主要集中在地球观测，但通常认为测量技术在其他行星上是同样有效的。因此，本建议书同时涵盖了卫星地球探测（有源）和空间研究（有源）业务。

国际电联无线电通信全会，

## 考虑到

- a) 星载有源微波传感器能够提供有关地球和其他行星的物理属性的独特信息；
- b) 检测不同的物理属性要求使用不同的频率；
- c) 测量的空间分辨率决定了要求的带宽；
- d) 经常需要在许多频率上同时测量以区分各种属性；
- e) 卫星地球探测（有源）和空间研究（有源）业务中的星载有源微波传感器与无线电定位业务中的地面雷达之间通常可以共用，

## 建议

- 1 星载有源传感所使用的频段和要求带宽应当与附件1一致；
- 2 表1中给出的频段和带宽应该用于有源传感测量地球的：
  - 土壤湿度；
  - 植被测图；
  - 雪的分布、深度及水含量；
  - 地质测图；
  - 土地使用测图；
  - 冰的边界、深度、类型和冰期；
  - 海浪结构；
  - 海洋风速和方向；

- 海洋循环（水流和漩涡）测图；
- 石油溢出；
- 测地绘图；
- 降雨率；
- 云层高度和广度；
- 地面气压；
- 热带森林中生物量的测量；
- 等等。

表 1

《无线电规则》 第5条中 分配的频段	应用带宽				
	散射仪	高度计	成像仪	降雨雷达	云层剖面雷达
432-438 MHz			6 MHz		
1 215-1 300 MHz	5-500 kHz		20-85 MHz		
3 100-3 300 MHz		200 MHz	20-200 MHz		
5 250-5 570 MHz	5-500 kHz	320 MHz	20-320 MHz		
8 550-8 650 MHz	5-500 kHz	100 MHz	20-100 MHz		
9 300-9 900 MHz <sup>(1)</sup>	5-500 kHz	300 MHz	20-300 MHz		
13.25-13.75 GHz	5-500 kHz	500 MHz		0.6-14 MHz	
17.2-17.3 GHz	5-500 kHz			0.6-14 MHz	
24.05-24.25 GHz				0.6-14 MHz	
35.5-36 GHz	5-500 kHz	500 MHz		0.6-14 MHz	
78-79 GHz					0.3-10 MHz
94-94.1 GHz					0.3-10 MHz
133.5-134 GHz					0.3-10 MHz
237.9-238 GHz					0.3-10 MHz

<sup>(1)</sup> 见2007年无线电通信大会（WRC-07）的相关决定。

## 附件1

### 与确定星载有源传感的频段和要求带宽有关的因素

#### 1 引言

有源传感器与无源传感器不同之处在于它们照射受观察的目标并对反射的能量作出响应。

有5种基本类型的有源传感器：

- 散射仪；
- 高度计；
- 成像仪（合成孔径雷达）；
- 降雨雷达；
- 云层剖面雷达。

雷达散射仪对于确定大型物体的粗糙度是有用的。当工作在高于300 MHz的频率上时，散射仪测量由表面粗糙引起的背向散射的量，粗糙包括从平滑变化到非常粗糙的广泛类别。在200 MHz附近的频率上，反射率决定于目标的介电常数；在较低的频率上，反射率主要决定于电导率。这些较低的频率能被用于穿透地球表面以检测地表下的结构。

雷达测高已经对实际的系统产生了三种可能的操作概念。这些技术之一是基于使用非常窄的波束宽度（2 mrad）和非常短的发射脉冲（2 ns）。发射脉冲上升沿的往返时延的定时被用于提供高度信息。一种类似于短脉冲系统的技术是脉冲压缩技术。一个短的冲激脉冲产生了一个较长的调频脉冲，并且具有宽带宽的回波被压缩回一个短脉冲，然后才检测到上升沿。第三种技术要求适度的天线尺寸和航天器稳定性，通过时间门控技术获得来自天底点的雷达回波。在此系统中，高度信息是通过测量早到部分雷达波形的质心而不是非常短脉冲的上升沿来提取的。

采用雷达成像系统是为了产生用户所需要的诸如地质学、海洋学和农学这类领域中的高分辨率图像。为从空间达到合理的分辨率，合成孔径聚焦雷达将会被许多应用所采用，因为它们具有与距离无关的分辨率。在气象扫描多普勒雷达的领域中可能也会被采用。

需要有全球降雨量和云层分布的知识来理解和预测全球的气候变化。微波传感器相对于可见光/红外传感器有明显的优点，因为它们具有穿透云层覆盖的能力，因此提供降雨和云量的直接信息。有源传感器尤其重要，因为它们是提供垂直的降雨和云层结构的唯一手段，因此，是研究大规模大气循环和辐射预算所必要的。此外，有源传感器能够提供与背景表面的微波辐射属性无关的定量的降雨和云层信息。

微波范围内的有源遥感相对于可见光范围的传感器和微波无源传感器提供了几个优点。除了对几种陆地/海洋/大气变量（比如，植物湿度和云层高度）特别灵敏外，有源传感能够通过改变照射角增强一些特征，比如穿透表面和植被、全天候日夜工作、达到高的空间分辨率（合成孔径雷达（SAR）），并且能够工作在广泛的光谱范围，与窄带现象的辐射无关。

有源传感器照射受观察的目标并且对反射的能量做出反应。为了收集关于从空间观察到的地球表面的信息，发射的信号必须穿过大气层两次。结果是，大气层的电磁吸收和散射特性在确定适合于有源遥感器的光谱范围中起着重要的作用。

严重的大气衰减局限于较短的波长，由于这个原因，有源传感器通常工作在低于60 GHz氧吸收区，也要避免22 GHz水蒸气线附近的频谱区域。

降雨和云引起的电磁散射能够比大气吸收导致更严重的问题。来自水滴的回波随着水滴直径的增加而增加，随着波长的增加而减小。这样，在较长的波长时，云产生小的回波，但由于雨滴较大的颗粒直径，降雨会产生稍微强一些的回波。

有源传感器研究的几个方面在下面给出，特别是由于它关系到用于从一个空间平台测量面向地球的变量的频率选择。应该指出，在确定最佳频率时，由于各种感兴趣现象的宽频率响应范围，经常需要在几个频率上同时测量以便能够区分来自不同源的雷达回波的贡献。

来自任何表面的雷达回波是雷达频率、表面粗糙度、表面介电性能、入射角和朝向角、表面下的微结构的函数。在列出的每一种应用中，反射回雷达传感器的能量受到至少一种与被测现象有关的背向散射机制的强烈影响。一般而言，这些有：海洋粗糙度（用于研究海洋结构和海洋表面的风）； $O_2$ 吸收（用于确定海洋上空的表面压力）；及表面粗糙度和介电常数变化（用于研究冰、雪和陆地参数）。

## 2 海洋和海洋风的有源传感

海洋有源传感器研究是由波浪结构确定、海面风测量和洋流调查所主导。一般，反射的微波能量是由于海洋粗糙引起的：特别地，雷达回波是来自大的引力波浪和小的毛细管状的、骑在大规模波浪上的表面张力波纹以及泡沫的衍射效应的一个函数。被一个有源传感器观测到的这些效应中的每一个导致的反射的辐射量决定于海洋状态和特定的有源测量技术。

在3-30 GHz范围内的几个频率上的工作已经证明，大的引力波浪的影响在接近垂直入射时是主导的，而那些毛细管状的波浪在大于 $20^\circ$ 的入射角上是主导的。这样，为敏感海洋粗糙度（非常依赖于微风的波纹的函数）及持久的重力波（粗糙海洋结构）的尺寸和方向，使用了一个双向分量概念。在海面风（在天气预报模型中是重要的）的研究中，隐含的原则是，海洋粗糙度是一种度量，由它能够推算出风的变量，因为小的粗糙元素（传递从风转移到海洋的动量）至少是与风接近平衡。使用可变的频率、极化和入射角，研究者可以推算出海面风、有意义的浪高和波浪的均方斜率的详情，这些功能超出了无源传感的能力。实验已经证明，好的风速灵敏度是在靠近14 GHz的频率上获得的，在1.3 GHz上有一个降低的风速灵敏度。

SAR已经证明了海洋结构粗略测量（平均有意义的浪高）中的承诺。一个设计采用1-10 GHz范围内的4个频段及三种极化方式，具有宽幅和多入射角能力。海洋石油的海上浮油抑制短波长海浪，因此通过微波成像雷达能够把海上浮油区域与周围的清洁水面区别开来。

高度计已经成功地使用在世界海洋上空的许多卫星上。对于海洋学研究，需要一个具有总的距离测量精度优于2 cm的高度计系统。为达到2 cm的精度，将要求消除电离层电子含量引起的距离误差，在13.5 GHz时它引起的误差可以大到22 cm。双频高度计系统能够消除由于电离层引起的距离不确定性。双频高度计系统也能对电离层电子含量的连续宽幅提供准确的测量，在地球海洋的广大区域上空今天还没有这种测量。与13.25-13.75 GHz频段间隔超过一个倍频程的频谱区域对于第二个频率将会是一种适当的选择。第二个频率可以选择在5 GHz周围，而主频率保持在14 GHz附近。从长远看，认为35 GHz周围的较高频率也会被使用。

这样就可以看到，几个频率已经被证明对于海洋波浪结构的有源遥感是有用的。由于高的风速动态范围和大气效应的相对缺乏，风速测量技术已经集中在10-15 GHz区域上。

### 3 覆冰表面的有源传感

研究指出，下列类型的冰变量在对有源微波传感的变化程度上是有责任的：冰的类型（初期的、古老的等）、表面粗糙度、浓度、浮冰的大小和数量、冰间水面、冰碛、表面布局、压力特性、厚度以及在性质和类型分布上的变化。根据这些研究，3-30 GHz之间的频率对于确定海洋冰的类型似乎是最好的。在0.3-3 GHz范围内的雷达频率在解决由于测量薄冰引起的模糊度方面是有用的，尤其是当与3-30 GHz之间的雷达联合使用时。更高的频率也在考虑中。

用于海洋冰应用的最重要的星载有源微波传感器是SAR、雷达高度计和雷达散射仪。有关海洋冰的卫星研究主要是由1.3GHz上的SAR来进行的。机载合成孔径雷达图像（1.3和9.6 GHz）已经证明，在某些情况中，包括海洋冰测图，较高频率的信道是更可取的。尽管海洋冰图像的可解释性确实随着较高的频率而改善，但毫无疑问，在1.3 GHz上的产品仍是有用的。高度计已经被用于绘制海洋冰参数和格陵兰冰盖高度的地图。

当前，从空间对地球的遥感通常限于薄的表面层，而与气候、地球资源或危险监测有关的许多问题需要在更大深度上的信息。在某些情况下，工作在靠近435 MHz频率上的雷达提供了穿越冰层一直下到海底（岩石）成像的可能性，这可以超过4 km的深度。为了建立比较长期（100年到几十万年）的全球大冰原动态性和质量平衡（雪的积聚及冰的融化和冰山裂冰引起的损失）的模型，通过同等质量的观测达到对南极洲大冰原的全面了解是基本的，使用星载的、采用了比如天底冰探测器的平台能最好地完成这一点。

#### 4 气象和气候观测

在降雨、风暴特征及气象预报模型中的压力场的地基和机载测量中获得的知识，也已经扩展到星载系统。这些技术是基于与降雨有关的特征引起的晴天大气折射指数中的变化或多个频率回波的不同反射率。在2和37.5 GHz之间的几个频率上用正交极化雷达和多个窄波束覆盖进行的研究已经能够测量海洋上的降雨率、强度、空间分布、雨滴尺寸和表面压力以及风暴内风的移动。有几个因素限制了频率选择。必须选择一个频段组合以匹配最低灵敏度和空间分辨率，然而，在需要的视角上不要被地面回波所淹没。只有向下注视的扫描笔形波束（相对于方位角的或轨迹相交的扇形波束）具有从冰冻层的高度计估计推断降雨强度的能力。测量雨衰以及雷达反射率的单频和多频方法具有从卫星定量取回垂直降雨量剖面的能力。

对于星载云层剖面雷达，靠近94 GHz的频率是首选的并且是采用的，这是基于下列因素：最小可检测的云层反射率、传播和散射、分辨率、天线波束干扰、前期工作和技术。航海层云的反射率（这对于确定地球的辐射预算是非常重要的）可能会低到 - 30 dBZ，一个比降雨（10 mm/h）反射率低70 dB的水平。星载云层剖面测绘任务的目标是测量视域内具有低到 - 30 dBZ的反射率的所有云层的反射率剖面。需要靠近94 GHz的频率来测量此反射率水平，同时也沿着轨迹满足分辨率指标。已经在94 GHz附近以地基和机载雷达系统开发和数据采集的形式进行了大量的实验工作。与此硬件开发同时的是瞄准了研究靠近94 GHz的非瑞利散射体的行为的计算性工作。

#### 5 植被覆盖和土壤湿度的有源传感

由于无源传感器有限的空间分辨率唤起了对土壤湿度的有源传感的兴趣。从土壤反射的雷达功率值决定于土壤粗糙度和介电常数、植被覆盖和发射的微波波束的入射方式。早期的实验室研究表明，由于土壤介电常数的变化导致土壤湿度影响土壤的反射率。小于45°的入射角有助于从湿度回波中区分出粗糙回波。利用了4.7、5.9和13.3 GHz的研究指出，工作在4.7 GHz上的具有5°到17°入射角的卫星散射仪系统能够充分地那些植被覆盖和粗糙回波中区分出土壤湿度回波。然而，当植被覆盖是一个因素或者需要土壤下的测量时，额外的频率是必要的。

另一方面，植被覆盖已经作为一个目标被研究，尤其是在土壤回波成为一个模糊因素的农作物鉴别实验中。成像仪和散射仪都已经使用了来自植被的反射功率，它被关联到植被粗糙度、湿度和介电常数及视角。这些研究的结果指出，卫星在农作物和森林、土地使用模式（山脉、森林等）及分水岭参数的有源传感器鉴别中是有用的。在高入射角（使土壤回波减小到最小）上多光谱、多极化、多时段方式的观测已经在1.3、5.9、9.0、9.4、13、16和35 GHz上的研究中产生了有希望的结果。通过考虑生长期、采用几个频率和在数周内重复测量能够改善农作物的分类。

由于靠近400 MHz对稠密植被增强的穿透及增加的散射信息，靠近400 MHz的机载雷达已经用于热带地区，在那里植被趋向于是最稠密的，以帮助测量热带森林中的木本生物量。这些雷达已经不仅应用于分析森林采伐和重新造林，而且也用于测量地面之上的木本生物量。在北温带森林的几个位置上，根据森林的复杂性，靠近400 MHz的水平到水平、水平到垂直和垂直到垂直的极化数据在实际生物量的12%到27%内产生了总的地面之上的干的木本生物量的估计。在热带森林，靠近400 MHz的雷达能够帮助估计森林的生物量，并且提供任何其他手段都不能得到的结果，即使生物量水平远远超过20 kg/m<sup>2</sup>。

靠近400 MHz的表面穿透要比1 250 MHz深一个8到10倍的因子，因此对于地球穿透研究是最有利的。使用靠近400 MHz的成像雷达，利用埋藏于地下的河流系统的地图及周围的地形在世界较大的沙漠内证明地质历史和气候变化，以及在利用地表地图和埋藏于地下的地质结构（如断层、裂缝、向斜和背斜）在世界的半干旱区域中建立区域层次的大地构造的模型也许是可能的。

## 6 有源传感的带宽要求

有源传感器的带宽要求随传感器的类型（即SAR、真实孔径雷达、散射仪、高度计或降雨和云层雷达）而变。在所有情况中，带宽是由所要求的距离分辨率所确定，并且等于：

$$B = \frac{1}{\tau} = \frac{c}{2\Delta R} \quad (1)$$

其中：

- $B$ : 带宽 (Hz)
- $\tau$ : 脉冲持续时间（等效于脉冲压缩带宽的倒数）(s)
- $c$ : 光速 (m/s)
- $\Delta R$ : 沿着雷达波束的距离分辨率 (m)。

注意到侧视雷达在地表的距离分辨率（或交叉轨迹分辨率）是由 $\Delta R/\cos \theta_d$ 给出的，其中 $\theta_d$ 是从卫星看的俯角或者等效地是地球上的到达角。例如，一个100 MHz的带宽对于沿着雷达波束的距离分辨率 $\Delta R$ 给出了一个1.5 m的值，在60°的俯角上，在地表上此距离分辨率 $\Delta R/\cos \theta_d$ 是3 m。如为获得更高分辨率而使用500 MHz的带宽，则得到的 $\Delta R$ 值为0.3 m，在60°的俯角上，地表距离分辨率为0.6 m。在降雨和云层雷达的情况中，每个扫描位置上大量相互独立的采样应该在短的驻留时间内获得，可以采用频率捷变技术。在此情况中，考虑到保持雷达接收机信道之间必要的隔离所需的频率间隔，雷达的总带宽将需要 $B \times N_f$ 或更多（ $N_f$ 是频率捷变系统中的频道数）。

总之，对于除了高度计和高分辨率合成孔径雷达之外的星载有源微波传感器，100 MHz的带宽与被科学家们所预料到的大多数应用将是一致的，高度计和高分辨率合成孔径雷达需要更宽的带宽。

## 7 有源传感首选频段和必要带宽的摘要

尽管有源微波传感技术发展迅速，并且仍有许多需要学习，但能够规定一组首选的频率，它满足测量要求并且提供用于区分来自不同源的信号贡献所需要的多频测量。共用考虑要求，有源传感器的专用频段应该在与无线电定位业务共用的频段内。这样，有源星载传感器测量的首选频率落在435 MHz附近及1、3、5、10、14、17、24、35、78、94、133和238 GHz附近。除了高分辨率合成孔径雷达和高度计之外，100 MHz的带宽对于使用有源传感器仪器的大多数应用是合适的。高度计测量可能需要最高500 MHz的带宽以满足准确度要求，但是，目前，此要求只能在分配给有源传感的靠近14和35 GHz的频段内满足。对高度计在海洋学中的应用，具有500 MHz带宽的第二个频段将达到2 cm的精度。比如，对于达到此精度有帮助的另一个频段是在5 GHz附近。对于500 MHz带宽的高分辨率合成孔径雷达，在60°的俯角上，所测量的地表距离分辨率的值为0.6 m。通过测量全球大冰原的广度和厚度及干旱和半干旱地区的地表下的测图，靠近435 MHz的6 MHz的最小带宽对于使用SAR来测量土壤湿度和生物量及证明地质历史和气候变化的应用是足够了。

---