

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R SA.364-6 建议书**  
(12/2018)

**用于空间研究业务载人  
和无人近地卫星的优选频率和带宽**

**SA 系列**  
空间应用和气象



国际电信联盟

## 前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

## 知识产权政策（IPR）

ITU-R的知识产权政策在ITU-R第1号决议引用的“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策”中做了说明。专利持有者提交专利和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，该网址也提供了“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策实施指南”以及ITU-R专利信息数据库。

### ITU-R 系列建议书

（也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>）

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传送
<b>BR</b>	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	广播业务（电视）
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	<b>空间应用和气象</b>
<b>SF</b>	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
<b>SM</b>	频谱管理
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射
<b>V</b>	词汇和相关问题

**说明：** 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版  
2019年，日内瓦

© 国际电联 2019

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## ITU-R SA.364-6 建议书

用于空间研究业务载人  
和无人近地卫星的优选频率和带宽

(1963-1966-1970-1978-1986-1992-218年)

**范围**

本建议书就从优选频率和带宽清单中选择用于空间研究业务载人和无人近地卫星的频率和带宽提供了指导。

**关键词**

优选频率和带宽、空间研究业务（SRS）、近地、载人、无人

**相关建议书和报告**

ITU-R SA.363建议书、ITU-R SA.1019建议书、ITU-R SA.1863建议书

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 近地空间研究任务的合适频率和所需射频带宽由无线电波传播因子和技术要求决定；
- b) 许多近地任务需要进行双向通信，这对载人飞行任务而言至关重要；
- c) 在恶劣大气条件下，有必要满足无线电通信可靠性的要求；
- d) 在单一链路上实现无线电通信功能是切实可行的；
- e) 为了实现精确跟踪，需要一对相干相关的地对空和空对地链路频率；
- f) 对于涉及单个天线的同时发射/接收操作，成对的地对空和空对地链路的频率应相隔至少6%；
- g) 空对空和地对空中继卫星无线电通信链路是必要的，以适应空间研究业务中近地探测的增长和发展；
- h) 某些链路可能需要特定的调制和信道编码技术，以符合功率通量密度（pfd）限值要求或者防止多径和/或干扰影响，

建议

**1** 应在表1所列的优选频率范围内，适当考虑链路的目的和共用的可行性，选择空间研究业务中近地任务的频段；

2 应采用附件表2中所列的有关典型单个链路带宽及其用途的信息，以便为空间研究业务内的多航天器、多任务系统提供当前和未来所需的近地电信服务；

3 在设计空间研究系统时，应考虑到划分给空间研究业务的频段、相应的pfd限值以及如附件的附录中所规定的这些频段的典型用途。

## 附件

### 用于空间研究业务载人 和无人近地卫星的优选频率和带宽

#### 1 引言

本建议书就用于空间研究业务（SRS）载人和无人近地卫星的优选频率和带宽提供了信息。第2节探讨了SRS通信的各种功能，包括指令、遥测和跟踪。第3节讨论了SRS任务的频段，包括任务和设备要求、传播和辐射影响、链路性能考虑因素以及相关的ITU-R建议书。第4节包含有关优选频段及其用途和典型单个链路带宽及其用途的表格。

#### 2 空间研究通信和跟踪功能及其技术要求

下面讨论的三种主要航天器功能，指令、遥测和跟踪，是空间操作功能。空间研究任务在单个无线电系统内使用划分给SRS的频段来提供空间操作功能以及任务遥测。这使得可以更有效地使用射频频谱，以及要求较低的航天器功率、部件占用空间和重量。

##### 2.1 功能

###### 2.1.1 指令传输

指令提供对一个航天器的控制，激活各种任务功能或修改一个航天器或其负载的运行，并应付运行异常情况。在发射操作期间，大部分指令由一个星载定序器记录和传递。地对空指令被发送用于实时执行，或者可以存储用于稍后的顺序执行。关键指令经常作为二阶段指令来发送；第一个指令设置要执行的操作，而第二个指令执行该操作。为了要执行的操作，在一个两阶段组中的两个指令都必须成功地被接收。

###### 2.1.2 航天器遥测传输

航天器遥测子系统将报告航天器系统及其负载的情况，并将来自航天器仪表所测量的数据提供给一个指定的地球站。这个系统还给出指令的接收和执行状态。遥测数据可以为了随后的传输而存储起来或者需要进行实时传输，如在发射和应急操作的情况中。

### 2.1.3 任务遥测传输

任务遥测子系统负责向地球传输通过实验、主动和被动遥感积累的科学与技术数据以及由航天器和诸如探测器与着陆器这样的负载所产生的数据。对于载人任务，还要求遥测系统传送音频和视频。

### 2.1.4 跟踪

跟踪是任何空间研究任务的一个基本要求。在提供确定航天器位置和速度所必要的信息之外，跟踪对发射和轨道性能的评估、轨迹修正、确定制动火箭点火这类关键功能的精确定时以及航天器和地球站所需要的预测航天器可见度和天线指向角也是需要的。

## 3 用于空间研究任务的频段

决定空间研究任务特定频率适用性的因素包括任务要求、设备可用性和成本、无线电波传播和辐射效应、链路性能和现有的SRS频率划分。不断演进的任务要求和物理效应被用来定义对新空间研究频率划分的要求。

### 3.1 任务要求

空间研究任务要求各种数据类型来支持指令、遥测和跟踪功能。实时音频和视频被要求用于载人任务。这些要求通常被复用到一个单频载波来实现高效的频谱利用。

更高的频率划分通常允许更宽的带宽。更宽的带宽提供支持更高数据速率要求、视频通信和使用更复杂编码机制的能力，来有效地减少误码率和对干扰的敏感度。

如果其轨道特性和传输要求可避免过高的干扰水平，则航天器的频率可以重用。但是，如果其轨道特性和传输要求可导致过高的干扰水平，则会为航天器要求不同的频率。

精确跟踪要求地对空和空对地跟踪信号的频率应该以一个适合的反转比相干相关。这个要求是通过确保前向和返回频率间隔介于更高频率的6-10%之间的范围来满足的。

用于有源和无源遥感的频段取决于所探寻的关于目标特性、空间环境和/或在所研究空间中特殊现象的特殊信息。所选定的频段是被物理学确定为对科学调查最佳的那些频段。带宽决定分辨率和可以得到的精确性。

### 3.2 设备要求

频率相关的设备因素或者直接影响链路的性能，例如，天线的增益、效率和定向准确性，或者不直接影响链路性能，然而要求在频率选择中予以考虑。对于涉及单独一个天线的同时发射与接收操作，成对的地对空间和空对地频段对于近地需要分开高频的6-7%，对于深空任务则是高频的8-20%。

航天器天线尺寸受限于空间和重量的限制、对大型非折叠天线的技术开发、和卫星以所要求的精确度对该天线指向的能力。100 MHz至1 GHz频率范围适合于具有宽束或全向天线和窄带宽要求的航天器，和适合于没有天线跟踪设施的简单地球站。在1-10 GHz频率范围中，航天器天线具有与姿态稳定和波束控制要求兼容的增益。对大型地球站所要求的抛物面和指向准确度也可以在此范围中得到满足，它也适合于宽的频段精确跟踪和通信系统。

空间合格硬件的可用性可能会是在更高频率使用中的一个限制因素。当前，已经为2 GHz频率和7/8 GHz频段开发出来大部分成熟的空间研究硬件，它们对提供天气宽容链路是必须的。这个设备对于具有低数据速率要求和预算限制的小项目/任务也是有吸引力的，并且已经可用。对于27/32/34 GHz频段，硬件正变得成熟，这些频段为近地和深空航天器提供更宽可用带宽的优点。

### 3.3 传播和辐射的影响

地球站和空间研究卫星之间的无线电通信链路通过地球的大气层，在那里，吸收、降水和散射影响无线电信号的传播，并限制了很多频段的使用。降水，特别是降雨，引起无线电波的吸收和散射，这可能会导致严重的信号衰减。对所有降雨率，随所用频率增至大约100 GHz后，衰减迅速增加，之后，衰减率不再作为频率的函数而明显增加。对位于高降雨率地区中的国家，如果要保持一个高质量性能而不在于不利的天气条件，则对适当频率的选择很关键。

分子吸收主要是由大气水蒸气和氧气所造成。在缺少水蒸气时，痕量气体也能对高于70 GHz的频率贡献显著的衰减。水蒸气具有中心在22.235 GHz、183.3 GHz和大约325 GHz处的吸收线。氧气具有从53.5延伸到65.2 GHz的一系列吸收线，以及中心在118.74 GHz的一条孤立的吸收线。在将来，可以期望采用工作在对通过地球大气的无线电信号传输相对不透明的频率的地球同步中继站，因此限制了中继站和航天器之间来自地面站的干扰。

一个地球站天线所看到的天空噪声温度是频率、天线仰角和大气条件的一个函数。在大约4 GHz以上，降水可能导致数倍于接收机噪声温度的天空噪声的增加。一个航天器所看到的天空噪声温度主要是由天体所决定，例如月球和行星，它们对大多数空间研究任务提供了背景。具有6000 K黑体辐射温度的太阳将极大地增加系统噪声温度，因此通常要避免要求一个指向或接近太阳的接收天线的传输。月球和行星的黑体辐射温度范围大约是50-700 K（地球温度是290 K）。对于很多近地任务，地球通常将是在一个航天器或DRS天线的主瓣之内，并且对接收系统的总体噪声温度有所贡献。典型航天器的系统噪声温度范围是从600到1500 K。

对空间研究，100 MHz以下的射频频谱通常不予以考虑，因为电离层的影响、宇宙和人造噪声减弱了该范围中频率的使用。在100 MHz和1 GHz之间的范围，大气吸收很低，而且天气对信号传播具有很少的影响。但是，背景噪声相对很高，随着 $1/f^2$ 而增加，因此，低噪声接收机的使用在此频率范围中并不提供显著的性能改善。在1到10 GHz频率范围中，天气的影响非常小，特别是在该范围的低端，允许基本天气无关的通信。银河和大气噪声都很低，允许使用低噪声接收机。在10 GHz以上并直到275 GHz，信号通过大气的传播受到高衰减的影响，主要是由于降水和气体吸收。这些条件都会对地对空通信路径产生明显影响。

### 3.4 链路性能

链路可靠性是一个重要的任务要求。关键的操作，例如发射和当航天器的方向不能被保证时的意外操作，要求高可靠性的链路。可靠性对所有载人任务至关重要。2 GHz划分给SRS旨在为空间研究任务提供一个可靠的、天气无关的链路，并被用于这些关键功能。

确定为空间研究通信和跟踪链路提供最佳性能的频段在链路性能分析中进行，并取决于无线电波传播参数和设备特性。一个方便的链路性能指数是所接收信号功率与噪声功率频谱密度之比 ( $P_r/N_0$ )。从链路性能分析得出的信息曲线在确定为所建议的任务条件提供最佳性能的频率范围中有所帮助。关于通信距离、天线特性和发射机功率的不同假设值改变了  $P_r/N_0$  的绝对值，但不改变曲线的形状。为一个特殊系统提供最高  $P_r/N_0$  值和传播条件集合的频段被定义为优选频段。

### 3.5 空间研究业务划分相关的建议书

对空间研究的频段划分是在日内瓦1959年普通无线电行政大会期间发起的，当时为地球和人造地球卫星之间传输的规定划分是定在136-137 MHz和2290-2300 MHz频段。在1963年，特别无线电行政大会加强了这两个空间研究频率划分，使它们成为基本的、等同于其他业务、并且在2区中是专有的。那个时代在空间研究技术和通信中的进展和满足不断增长的数据要求的需求使得必须要求额外频段划分来满足空间研究业务不断增长的需求。

可以在以下的ITU-R建议书中找到用于空间研究业务的优选频段：

- ITU-R SA.363建议书 – 空间操作系统
- ITU-R SA.1019建议书 – 数据中继卫星系统的优选频段和传输方向
- ITU-R SA.1863建议书 – 载人航天飞行中用于紧急情况的无线电通信

对SRS系统使用的SRS划分综合表及其用途和对应的pfd限值在本附件的附录中给出。

## 4 优选频段、SRS系统对其的用途以及典型的单个链路带宽及其用途

通过使用  $P_r/N_0$  为所考虑天气条件和空间站天线限制最大情况下的频段来获得最大数据速率能力。表1汇总了针对各种应用的优选频段。在确定全天候频段的宽度时假设降雨率很高，以便获得的结果能全球适用。超出此范围的频段可能适用于降雨率较低的地区。

空对空链路最好位于高大气衰减的频率范围内，因为这实际上消除了任何有关至/自地面来源的干扰问题。

在大约150 GHz以上，当仰角低时，跨大气通信受到高水平的信号衰减。不过，对穿越大气的链路而言，可考虑150 GHz以上的频率范围，其操作的仰角不低。

表1中给出的频段列表旨在确定从技术角度来看优选的那些频率范围。在表中包含频段无意指明将有足够可用的链路余量或带宽，也不意味着已经划分了这些频率。此外，从表中排除其他频率并不一定排除在这些频段中的操作，当中的频率共用因素和最新设备限制条件决定了其用途。

表1

优选频率范围及其用途\*

频率范围 (GHz)	方向 s-E = 空对地 E-s = 地对空 s-s = 空对空	评论
0.1-2.5 0.1-3.0	s-E E-s	一个全天候链路，无论航天器方向如何，在必须建立通信时都应是最佳的。
0.1-10 0.1-10	s-E E-s	一个晴天链路，在航天器上需要宽的或固定的波束宽度天线时应是最佳的。
0.02-6 0.02-6	s-E E-s	一个全天候链路，用于定向天线。
0.02-6 13.4-27.5 31-36	s-s s-s s-s	利用现有的和经过验证的空间设备和技术提供空对空通信所需的频段。在其他频段显示实际和技术可用性之前，还需持续提供服务。
10-26 14-23 31-36 40-41 31-36 37-38 74-84 85-100 127-137	s-E E-s E-s E-s s-E s-E s-E E-s和s-E E-s和s-E	一个晴天链路，对航天器上的高或中增益天线应是最佳的。
65-66 117-120 178-188 318-328	s-s s-s s-s s-s	频段为地面应用的空对空链路提供最大的晴空干扰保护，对高到中增益的航天器天线应是最佳的。

\* 用于SRS系统的特定频段需要根据现有的SRS划分情况来使用（见附件的附录）。

表2中给出的典型单个链路带宽列表包含有关当前技术可支持的链路带宽的信息。在表中包含链路带宽无意指明可能需要单个链路来操作的频段，也无意限制支持任何特定航天器或任务系统所需的此类链路数量。

表2  
典型的单个链路带宽及其用途

使用类型	方向	典型的带宽	评论
遥令	E-s	10-500 kHz	直接卫星传输到地球 中继卫星链路至地球站，来自一个或多个用户卫星的数据 用户卫星链路至中继卫星 中继卫星链路至中继卫星 干涉 距离和距离速率系统 雷达 Bilateration测距
维护遥测	s-E	5-500 kHz	
遥测	s-E（直接）	100 kHz-100 MHz	
遥测	s-E（中继）	225-650 MHz	
遥测	s-s	5-225 MHz	
遥测	s-s	> 1 GHz	
跟踪	s-E	500 Hz-500 kHz	
跟踪	E-s	1-3 MHz	
跟踪	E-s	1-10 MHz	
跟踪	E-s	5-6 MHz	

## 附件的附录

表3

分配给SRS的频段，《无线电规则》（2016年版）  
中规定的相应的pfd限值以及SRS系统对这些频段的使用

频段		使用 SRS = 非特定 s-E = 空对地 E-s = 地对空 s-s = 空对空	对水平面以上到达角 ( $\theta$ ) 的功率通量密度限值 (dBW/m <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>			参考带宽
			$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$	
2 501-2 502	kHz	SRS				
5 003-5 005	kHz	SRS				
10 003-10 005	kHz	SRS				
15 005-15 010	kHz	SRS				
18 052-18 068	kHz	SRS				
19 990-19 995	kHz	SRS				
25 005-25 010	kHz	SRS				
30.005-30.01	MHz	SRS				
39.986-40.02	MHz	SRS				
40.98-41.015	MHz	SRS				
137-138	MHz	s-E				
138-143.6	MHz	s-E				

表3 (结束)

频段		使用 SRS = 非特定 s-E = 空对地 E-s = 地对空 s-s = 空对空	对水平面以上到达角 ( $\theta$ ) 的功率通量密度限值 (dBW/m <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>			参考带宽
			$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$	
143.6-143.65	MHz	s-E				
143.65-144	MHz	s-E				
400.15-401	MHz	s-E				
410-420	MHz	s-s				
1 215-1 300	MHz	SRS有源遥感				
2 025-2 110	MHz	E-s, s-s	-154	$-154 + 0.5 (\theta - 5)$	-144	4 kHz
2 200-2 290	MHz	s-E, s-s	-154	$-154 + 0.5 (\theta - 5)$	-144	4 kHz
3 100-3 300	MHz	SRS有源遥感				
7 190-7 235	MHz	E-s				
8 450-8 500	MHz	s-E	-150	$-150 + 0.5 (\theta - 5)$	-140	4 kHz
8 550-8 650	MHz	SRS有源遥感				
9 300-9 800	MHz	SRS有源遥感				
9 800-9 900	MHz	SRS有源遥感				
13.25-13.4	GHz	SRS有源遥感				
13.4-14.3	GHz	SRS有源遥感				
14.4-14.47	GHz	s-E				
14.5-15.35	GHz	SRS				
17.2-17.3	GHz	SRS有源遥感				
22.55-23.55	GHz	s-s	-115	$-115 + 0.5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
22.55-23.15	GHz	E-s				
25.25-27.5	GHz	s-s	-115	$-115 + 0.5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
25.5-27	GHz	s-E	-115	$-115 + 0.5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
31-31.3	GHz	SRS	-115	$-115 + 0.5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
34.7-35.2	GHz	SRS	-115	$-115 + 0.5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
35.5- 36	GHz	SRS有源遥感				
37-38	GHz	s-E, NGSO	-120	$-120 + 0.75 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
37-38	GHz	s-E, GSO	-125	$-125 + (\theta - 5)$	-105	1 MHz
40-40.5	GHz	E-s				
65-66	GHz	SRS				
74-84	GHz	s-E				
94-94.1	GHz	SRS有源遥感				

<sup>(1)</sup> 空项表示该值不可用。