

ITU-R RA.611-4 建议书<sup>\*, \*\*</sup>

## 保护射电天文业务免受杂散发射的干扰

(ITU-R第145/7号课题)

(1986-1990-1992-2003-2006年)

## 范围

本建议书为主管部门和/或运营商保护射电天文业务（RAS）免受杂散发射的干扰提供了指导性意见，此类杂散发射可能由在RAS频段的相邻或附近频段内具有划分的有源业务产生。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 射电天文仍然处于科学知识普及的最前沿；
- b) 射电天文业务（RAS）要求频段不受干扰，以便进行天文观测；
- c) 无线电频谱使用的日益增多（特别是在空间领域）致使射电天文业务越来越可能受到有害的杂散发射的干扰（见本建议书的附件1）；
- d) 使用对杂散产物过滤不力的某些调制技术，可导致远离有用发射频段的射电天文频段受到影响；
- e) 《无线电规则》（RR）的附录3规定了所允许的最大杂散发射电平，并考虑利用更为严格的杂散发射电平向RAS电台提供充分保护；
- f) 对使用数字调制技术的无线电系统而言，《无线电规则》附录3所规定的杂散发射电平并不适用，但可用作一个指导性指标。需指出，ITU-R RA.1237建议书已考虑到使RAS免受宽带数字调制应用产生的无用发射干扰的问题；
- g) 射电天文观测在高达1 000 GHz的频段内进行；
- h) ITU-R RA.769建议书的附件1规定了对RAS有害的干扰的门限电平；
- j) ITU-R RA.1513建议书为作为主要业务划分给RAS的频段规定了可接受程度的射电天文观测数据损失，以及因干扰导致降级的时间百分比标准；

---

\* 注 – 阿拉伯主管部门不接受ITU-R RA.769建议书附件1中所述的对RAS的有害干扰电平，认为1995、1997和2000年无线电通信大会在处理《无线电规则》第66号建议时已确认这些电平值不现实。

\*\* 无线电通信第7研究组于2017年根据ITU-R第1号决议对此建议书进行了编辑性修正。

k) 若GSO空间站的发射机的杂散发射对射电天文业务造成有害干扰，则应就RAS采用ITU-R RA.769建议书的附件1中提出的技术标准，以便在距GSO大于或等于5°角的位置进行射电天文观测；

l) 在满足RAS要求且不对其它业务带来有害影响方面已取得进展；

m) 在天线设计和杂散发射的滤波技术方面正在不断出现改进，

做出建议

1 应继续将射电天文台设置在具有防范RAS有害干扰的良好自然保护的位置；

2 应采取各种务实手段来尽可能地减小射电天文天线的旁瓣增益；

3 主管部门在启用电台时应尽最大可能考虑到高功率地面电台或空间站对射电天文观测产生的杂散发射干扰；

4 对GSO空间站而言，主管部门应尽最大可能考虑到在与GSO保持5°或5°以上角的位置进行观测时使RAS免受有害杂散发射干扰的目标（见ITU-R RA.769建议书）。

## 附件 1

### 杂散发射对RAS的干扰

#### 1 RAS的干扰标准

大多数射电天文观测的灵敏度限值的功率通量密度（pfd）电平，远小于用于接收无线电通信信号的电平。ITU-R RA.769建议书的附件1阐述了在RAS和其它业务共用频率时的1个干扰门限电平和保护标准；其中的表1、2和3列出了不同频率的灵敏度限值。然而，对RAS的有害干扰也可能来自并不共用同一频段的发射机，此类干扰可以被划入相邻频段干扰类别（见ITU-R RA.517建议书）和其它频段内的发射机产生的杂散发射干扰。在其它参数均相同的情况下，在发射机中使用扩频技术的宽带数字调制引起的杂散发射将会产生更为严重的影响，ITU-R RA.1237建议书已对此进行了讨论。

#### 2 谐波和互调干扰

由谐波辐射或两个或更多信号互调产生的干扰，可能源自与射电天文频段具有充分频率间隔的发射机。同样，未经充分过滤的数字调制（如扩频）信号产生的干扰，可影响到远离载波频率的射电天文频段。

谐波干扰可在任何频段内发生，且主要在发射机的输出功率放大器一级产生。载波频率的二次和三次谐波可能会在相当高的电平上出现，但发射机通常会配置（调谐或低通）滤波器，此类滤波器将在发射机的输出端把所有谐波衰减到比峰值功率至少低60 dB。当某一发射机的一部分信号穿过混合滤波器直达馈送公用天线的另一发射机的输出电路时，也可能出现载波互调的情况。相对简单的附加滤波器将衰减这些无用产物，前提是它们的频率不能过于接近发射机。

上一段所述的电平适用于在发射机输出一级产生的干扰。此外，发射机系统中的非线性也可能产生谐波和互调产物<sup>1</sup>。

### 3 宽带调制产生的无用发射

在某些类型的有用发射（多与数字形式的数据相关）中，产生频谱边带的频段远宽于接收此类信号所用的频段。需特别指出，二级相移键控（2-PSK）调制技术将在有用带宽之外产生随频率缓慢减小的、且具有循环出现的附加最大值的波形功率谱  $(\sin x/x)^2$ 。若未进行滤波，则在距离载波频率约十个带宽（3 dB）上出现的边带的功率谱密度，将被减至仅比频段中心的功率电平约低36 dB。此外，若此2-PSK发射的键控频率为10-20 MHz，上述的十个带宽则包含着指配频率中的几百兆赫。例如，假设一部简单的2-PSK发射机的键控频率为10 MHz，中心频率为1 615 MHz，功率为40 W，且全向发射天线安装在一个视距距离为400 km的航空器上（此距离为在约10 000米高度上飞行的航空器的视距）。在发射机站址上，此发射机产生的无用发射的 pfd 电平即使在 1 400-1 427 MHz 频段内，也会比 ITU-R RA.769 建议书附件1的表1中给出的对RAS有害的门限干扰电平高出40 dB。这样，同样划分给射电天文业务的1 660-1 670 MHz频段中的发射便自然处于一个相当高的电平值。此类设于航天器上的发射机对射电天文业务可以说是更难对付的干扰源。因此，在设计此类发射机时应做到务必谨慎，以确保能够对无用发射进行适当的抑制。

在某些类型的扩频调制中使用键控频率为几兆赫的2-PSK。常见扩频技术的一个特性是具有类似于随机噪声的低功率密度的宽带信号。这一特性通常使此类扩频系统可能的干扰对象减少到常规的窄带通信系统，而非RAS。在射电天文业务中，宇宙信号具有随机噪声的波形，且经常使用较大的带宽。对于射电天文学家较为关注的较低的信号电平而言，通常没有较可行的办法来区分扩频信号和宇宙信号。适用于某一射电天文频段内的人为信号的pfd有害门限电平（见ITU-R RA.769建议书附件1）亦适用于无用发射、有意发射和各类调制，其中包括上文所述的调制。如今的技术已可设计出能够确保对无用的带外发射进行有效抑制的新型发射机。在2-PSK调制方案中，只要载波相位变化平滑而非发生180°的突变，那么此类发射机便可以稳定工作，且不会辐射远边带，如此所产生的波形的功率谱为  $(\sin x/x)^n$ ，其中  $n > 2$ 。

---

<sup>1</sup> 相关的附加技术信息见ITU-R WP 7D网站。

## 4 卫星发射产生的干扰

卫星发射可能会对RAS产生严重的干扰。虽然地面干扰源通常处于射电望远镜天线的远旁瓣区，并且很可能会因射电天文台附近的地形而产生进一步衰减，但通过主波束和内旁瓣还是可能会收到卫星发射机带来的干扰，且产生相当高的增益。干扰的性质取决于发射机和系统所提供的业务类型、卫星处于GSO还是非GSO以及位于射电天文台地平线之上的相关系统中的卫星的数目。

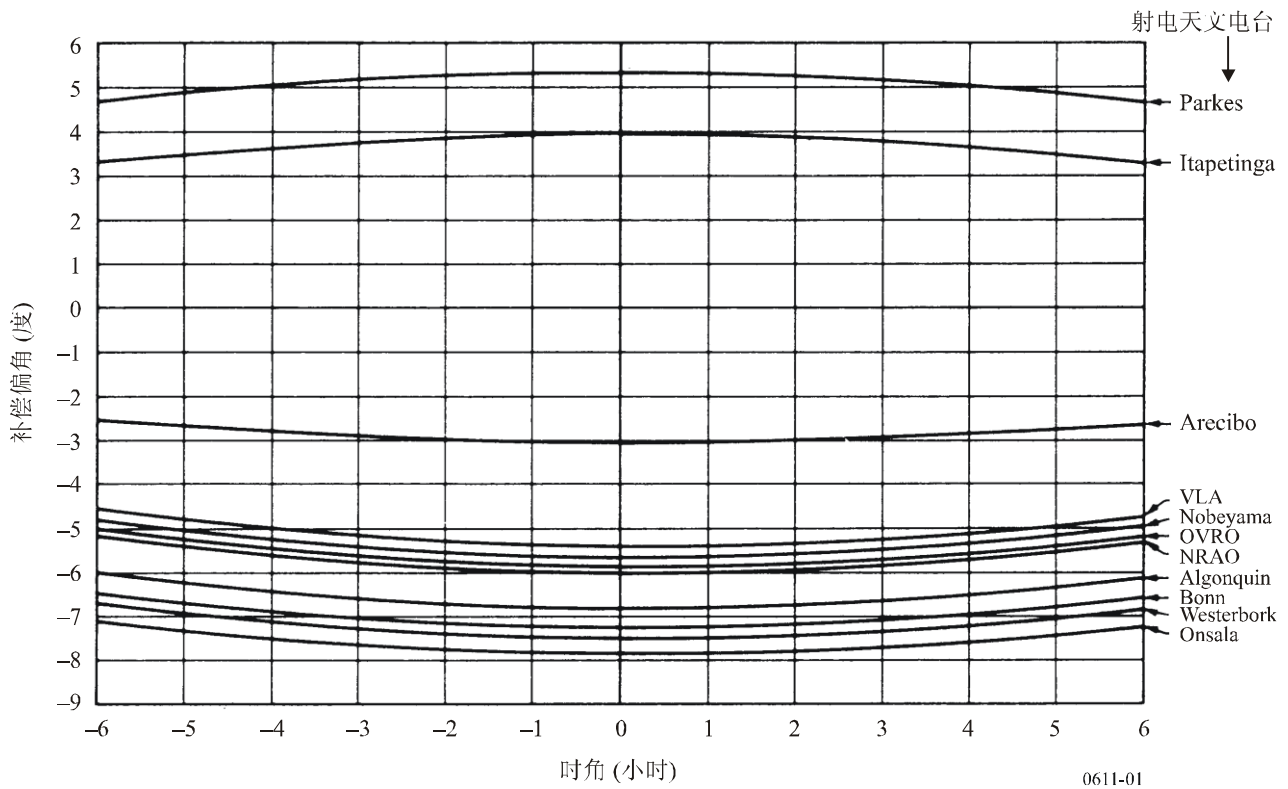
### 4.1 对地静止卫星

从目前运行中的几乎所有射电望远镜均可观测到多颗对地静止卫星，且这些卫星的方位角和仰角均相对保持不变。因此，它们便有可能成为射电天文观测的潜在干扰源。GSO的半径约为地球半径的6.6倍。在此径向距离上，一颗卫星可利用视距内信息照射地表的三分之一，因此也可照射到多部射电望远镜。图1为在一些大型射电天文台所在纬度上观测到的天球坐标内的对地静止卫星带的位置。一些有源业务的推出需要配备大量对地静止卫星。而通过射电望远镜天线场型的近旁瓣却可能会收到一系列潜在干扰源所产生的干扰，这便为射电天文学家带来了一个十分独特的干扰问题。

ITU-R RA.769建议书的附件1给出了可能对射电天文业务有害的门限干扰电平。其中列出的电平为在各射电天文频段内足以对业务产生有害干扰的接收机中的功率电平。此外亦列出了与此干扰相关的等效pfd ( $\text{dB(W/m}^2\text{)}$ )，在计算该值时假设在干扰源方向上射电望远镜的增益为0 dBi。在考虑地平线附近的地面干扰源时这一增益值是适合的，而对地静止卫星则是另一种情况。

若假设射电天文天线的旁瓣特性为ITU-R SA.509建议书所假设的特性，则在主波束轴成 $19^\circ$ 的旁瓣增益将减至0 dBi。对此天线而言，若卫星在射电天文带宽内在射电天文台所产生的pfd等于ITU-R RA.769建议书的附件1中的有害门限，且主波束指向与卫星的 $19^\circ$ 角之内，则将超过对RAS有害的干扰电平。若一系列卫星沿GSO以约 $30^\circ$ 间隔在此电平上进行干扰辐射，则将产生以轨道为中心的、宽度约为 $38^\circ$ 的一个区域，在此区域内射电天文观测将不可避免地受到有害干扰的影响。这一干扰区的宽度随着在轨干扰卫星数目的增多而变大，原则上可以覆盖整个天空。干扰卫星的有效数目将取决于干扰信号是来自卫星发射天线的点波束还是在更广范围内进行辐射的信号。若杂散发射与卫星发射机频率之间的间隔不够宽，则很有可能被天线导向与有用信号相同的方向。

图1  
对地静止卫星轨道在天球上的投射



## 4.2 非对地静止卫星

非对地静止低地球轨道卫星对RAS产生的有害干扰源自其运行数量的巨大，这使很多非对地静止卫星可能会同时高于某一射电天文台的地平线，并处于射电望远镜天线的视距范围之内。这将使射电望远镜天线通过天线波束的许多近旁瓣和远旁瓣以及通过主波束接收到那些可见的非对地静止低地球轨道卫星产生的无用发射。干扰信号到达角的不断变化以及射电望远镜天线对所观测天体源的跟踪则使干扰问题变得更加严重。多个较强信号的输入可能使接收机的操作点移向非线性区，进而导致互调产物的出现。

（低轨道）非对地静止卫星群在射电天文站址上产生的无用发射的影响，可以用ITU-R S.1586建议书（非对地静止卫星固定业务系统在射电天文站址产生的无用发射电平的计算）或ITU-R M.1583建议书（非对地静止卫星移动业务或卫星导航业务系统与射电天文望远镜站址之间的干扰的计算）中介绍的epfd方法以及ITU-R RA.1631建议书中给出的天线增益来确定。

此外，亦可使用上述建议书来确定由于特定卫星系统产生的干扰而在特定射电天文站址进行观测时引起的数据丢失的比例。可接受的数据丢失比例的定义见ITU-R RA.1513建议书。