

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-RRA.769-2 建议书**

**(03/2020)**

**用于射电天文测量的保护标准**

**RA系列**

**射电天文**



国际电信联盟

## 前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电电信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

## 知识产权政策（IPR）

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和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/zh>）

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>	<b>射电天文</b>
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<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  
2020年，日内瓦

© 国际电联 2020

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 RA.769-2建议书

## 用于射电天文测量的保护标准

(ITU-R145/7号课题)

(1992-1995-2003年)

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 在过去的五十年中，许多最基本的天文学进展（例如射电星系、类星体和脉冲星的发现、中性氢的直接测量、某些外部星系距离的直接测量以及精确到~20弧 $\mu$ s的位置参考系的建立）都是通过射电天文取得的，射电天文观测有望继续对我们对宇宙的理解作出根本性的贡献，并且它们提供了研究某些宇宙现象的唯一途径；
- b) 射电天文的发展也带来了重大的技术进步，特别是在接收和成像技术方面，增进了对无线电通信至关重要的基本无线电噪声限制的了解，并有望取得进一步的重要成果；
- c) 射电天文机构从地球表面，在2MHz至1 000GHz及以上的所有可用大气窗口中，进行了有用的天文观测；
- d) 空间射电天文中采用空间平台射电望远镜的技术可以观测10 kHz以上的整个无线电频谱，包括由于大气吸收而无法从地球观测到的频谱；
- e) 免受干扰对射电天文和相关测量的发展至关重要；
- f) 射电天文观测大多使用高增益天线或阵列进行，以提供尽可能高的角度分辨率，因此在大多数情况下不需要考虑主波束干扰，除非在有可能损坏接收机时；
- g) 导致天文数据质量下降的大部分干扰是通过望远镜的远旁瓣接收的；
- h) 射电天文接收设备的灵敏度仍在稳步提高，特别是在毫米波长，大大超过通信和雷达设备的灵敏度；
- j) 典型的射电天文观测需要几分钟到几小时的积分时间，但是敏感的观测，特别是谱线的观测，可能需要更长的记录时间，有时长达几天；
- k) 航天器的某些发射会给射电天文带来干扰问题，这些问题不能通过选择观测站的地点或通过本地保护来避免；
- l) 对射电天文的干扰可能是由月球、飞机以及可能的人造卫星反射的地面发射造成的；
- m) 某些类型的高空间分辨率干涉测量观测需要位于不同国家、不同大陆或空间平台上远距离相隔的接收系统以相同的无线电频率同时接收；
- n) 在约40MHz以下频率的传播条件下，在地球任何地方工作的发射机均可能对射电天文造成有害干扰；

- o) 通过在各国层面而非国际层面进行适当的频率指配，可以实现某种程度的保护；
- p) 世界无线电通信大会已经完善了对射电天文的划分，特别是在71GHz 以上，但在许多频段，特别是那些与其他无线电业务共用的频段，可能仍然需要仔细规划其保护问题；
- q) 已经制定了对射电天文业务（RAS）产生有害干扰的技术标准，这些标准载于表1、2和3，

#### 做出决议

- 1 应鼓励射电天文机构尽可能选择不受干扰的站址；
- 2 各国主管部门应对其本国和邻国的射电天文机构使用的频率和站址提供一切可行的保护，并在规划全球系统时适当考虑附件1中给出的干扰电平；
- 3 各国主管部门在设法保护特定的射电天文观测时，应采取一切切实可行的步骤，将需要保护的射电天文频段内的所有无用发射降低到绝对最低限度，特别是来自飞机、高空平台台站、航天器和气球的发射；
- 4 在建议频率划分时，各国主管部门应考虑到RAS很难与任何其他位于从发射机到观测站的直接视距路径上的业务共用频率。对于发射机不在观测站的直接视距范围内的业务，在大约40 MHz以上的频率共用可能是可行的，但是可能需要协调，特别是发射机功率大的情况下。

## 附件 1

## 射电天文系统的灵敏度

## 1 计算干扰电平过程中的基本考虑和假定

## 1.1 干扰有害程度的标准

射电天文观测的灵敏度可以用辐射计输入端可探测和测量的功率电平 $P$ 的最小功率电平变化 $\Delta P$ 来定义。灵敏度公式为：

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\sqrt{\Delta f_0 t}} \quad (1)$$

其中：

$P$  和  $\Delta P$ : 噪声的功率谱密度

$\Delta f_0$ : 带宽

$t$ : 积分时间。公式(1)中的 $P$ 和 $\Delta P$ 可通过玻尔兹曼常数 $k$ 以温度单位表示：

$$\Delta P = k \Delta T; \quad \text{且} \quad P = k T \quad (2)$$

因此，我们可将灵敏度公式表示为：

$$\Delta T = \frac{T}{\sqrt{\Delta f_0 t}} \quad (3)$$

其中：

$$T = T_A + T_R$$

该结果适用于射电望远镜的一种极化。 $T$ 等于宇宙发射、地球大气层和地面辐射造成的天线噪声温度 $T_A$ 与接收机噪声温度 $T_R$ 之和。公式(1)或(3)可用于估算射电天文观测的灵敏度和干扰电平。表1和2列出了具体的结果；假定观测（或积分）时间 $t$ 为2 000秒，且表1和表2中给出的干扰门限电平 $\Delta P_H$ 表示为在 $\Delta P$ （或 $\Delta T$ ）测量中引入10%误差的带宽 $\Delta f$ 内的干扰功率，即：

$$\Delta P_H = 0.1 \Delta P \Delta f \quad (4)$$

概括而言，表1和2各栏内的相应数值均可以按照以下方法计算得出：

- $\Delta T$ ，使用公式 (3)，
- $\Delta P$ ，使用公式 (2)，
- $\Delta P_H$ ，使用公式 (4)。

干扰亦可以从天线的功率通量密度（pfd）角度进行表述，既可以是总带宽内的pfd，也可以是每1 Hz带宽的功率通量谱密度 $S_H$ 。给定的数值适用于在干扰到达方向具有一定增益的天线，并且等于全向天线（其有效面积为 $c^2/4\pi f^2$ ，其中 $c$ 代表光速， $f$ 代表频率）的相应数值。如1.3节所述，全向辐射器的0 dBi增益作为旁瓣电平的一般代表值。

$S_H \Delta f$  (dB(W/m<sup>2</sup>))的值等于 $\Delta P_H$ 加上:

$$20 \log f - 158.5 \quad \text{dB} \quad (5)$$

其中,  $f$  的单位为Hz。考虑到带宽的因素, 减去 $10 \log \Delta f$  (Hz)便可以得到 $S_H$ 。

## 1.2 积分时间

表1和表2中给出的计算灵敏度和干扰电平基于2 000秒的假设积分时间。天文观测中实际使用的积分时间涵盖了广泛的值。用单天线望远镜(不同于干涉测量阵列)进行的连续观测可以很好地用2 000秒的积分时间来表示, 这是典型的高质量观测。另一方面, 2 000秒不太能代表谱线观测。接收机稳定性的提高和相干光谱仪使用的增加使得需要更长积分时间来观测弱谱线的使用更加频繁, 且持续几个小时的谱线观测非常普遍。这些观测更具代表性的积分时间是10小时。对于10小时积分, 门限干扰电平比表2中给出的值严格6分贝。也有某些时变现象(例如脉冲星、恒星或太阳爆发以及行星际闪烁)的观测, 对于这些观测, 短得多的时间周期可能是足够的。

## 1.3 天线响应方向图

对射电天文的干扰几乎总是通过天线旁瓣接收, 因此不需要考虑主波束对干扰的响应。

ITU-R SA.509建议书中给出的频率范围为2至30GHz的大型抛物面天线的旁瓣模型非常接近许多射电天文天线的响应, 并在本建议书中被用作射电天文参考天线。在该模型中, 旁瓣电平随着离主波束轴的角距离(度数)而降低, 对于 $1^\circ < \varphi < 48^\circ$ , 为 $32 - 25 \log \varphi$  (dBi)。干扰信号的影响明显取决于与天线主波束轴之间的入射角, 因为模型中的旁瓣增益就是作为该角度的函数, 在32至-10 dBi之间变化。然而, 计算旁瓣增益特定值的干扰强度门限电平是有用的, 我们选择该值为0 dBi, 并在表1至表3中使用。根据模型, 该旁瓣电平与主波束轴成 $19.05^\circ$ 夹角。如果信号以小于 $19.05^\circ$ 的角度入射到天线上, 则为0 dBi旁瓣增益定义的有害门限电平的信号将超过接收机输入端的有害电平标准。角半径为 $19.05^\circ$ 的圆锥内的立体角为0.344 sr, 等于射电望远镜在任何给定时间都能观测到的地平线以上天空的 $2\pi$  sr的5.5%。因此, 如果干扰入射角的概率在天空上均匀分布, 大约5.5%的干扰信号将在指向天空的天线的主波束轴的 $19.05^\circ$ 范围内入射。还应注意的是, 5.5%的数字与ITU-R RA.1513建议书中建议的射电天文观测数据丢失水平(时间百分比)相一致。

作为一个特殊的例子, 非静止卫星属于一种动态情况, 即卫星相对于射电天文天线波束的位置会在2 000秒的积分时间内发生较大变化。分析这种情况下的干扰需要使用《无线电规则》第22.5C款定义的等效功率通量密度(epfd)的概念, 对天线对于不同旁瓣电平的响应进行积分。除此之外, 通常情况下还有必要综合特定系统内多颗卫星对射电望远镜的影响。在此类计算中, 除非可以使用专门为射电天文天线制定的方向图模型, 否则建议采用ITU-R S.1428建议书中直径大于 $100 \lambda$ 天线的天线响应方向图。进一步的讨论见第2.2节。

## 1.4 带宽

等式(1)表明, 当射电天文机构使用尽可能宽的带宽时, 可以获得灵敏度最高的观测。因此, 在表1(连续观测)中,  $\Delta f$ 被假定为分配给高达71 GHz频率的射电天文频段的宽度。在71GHz以上, 使用8GHz的值, 这是在该范围内的射电天文接收机上通常使用的代表性带宽。在表2(谱线观测)中, 等于对应于3 km/s速度的多普勒频移的信道带宽 $\Delta f$ 被用于71 GHz以下的入射。该值代表需要的高光谱分辨率与灵敏度之间的折衷。如ITU-R RA.314建议书所示, 在71GHz 以上有大量天体物理学重要谱线, 表2中仅给出了71-275GHz范围内有害电平的几个代表值。在所有情况下, 用于计算71GHz以上有害电平的信道带宽为1 000 kHz

(1MHz)。选择该值是出于实际原因。虽然它比射电天文接收机在这些频率上通常使用的频谱信道宽度稍宽，但它被用作15GHz以上空间业务的标准参考带宽。

## 1.5 接收机噪声温度和天线温度

表1和表2中的接收机噪声温度代表了射电天文中使用的相关系统。对于1GHz以上的频率，这些是低温冷却放大器或混频器。量子效应将 $hf/k$ 的理论下限置于这种器件的噪声温度上，其中 $h$ 和 $k$ 分别是普朗克常数和玻尔兹曼常数。这一限制在100 GHz以上的频率下变得很重要，它相当于4.8 K。在100 GHz及以上频段，实际混频器和放大器提供的噪声温度比 $hf/k$ 高约4倍。因此，对于100 GHz以上的频率，表1和表2中使用的噪声温度等于 $4hf/k$ 。

表中的天线温度也代表了射电天文中使用实际系统。它们包括电离层或中性大气的影响、溢出或散射引起的旁瓣中的地面接收、欧姆损耗和宇宙微波背景。在100GHz以上的频率上，中性大气中水蒸气造成的大气损耗变得非常重要。对于这些频率，给出的值是主要毫米波射电天文学设施所使用的典型地面站，如夏威夷的Mauna Kea，或智利海拔5 000米的Llano de Chajnantor，这是为30GHz至1 THz范围内频率的主要国际射电天文阵列选择的站址。

## 2 特例

表1和表2中给出的电平适用于地面干扰源。表1和表2所示的有害pfd和功率通量谱密度假设干扰是通过0 dBi旁瓣接收的；当干扰不进入近旁瓣时，应将其视为高灵敏度射电天文观测的一般干扰标准。

### 2.1 来自GSO卫星的干扰

来自静止卫星的干扰是一种特别重要的情况。由于表1和表2中的功率电平是基于0 dBi天线增益计算的，当参考天线（如ITU-R SA.509建议书中所述）指向辐射电平与表中所列一致的卫星19.05°范围内时，将会出现对射电天文的有害干扰。静止轨道上出现的一系列此类发射机，将使高灵敏度射电天文观测无法在以静止轨道为中线的38.1°区域内进行。失去如此大范围的天空区域，将严重限制射电天文的观测。

一般来说，当射电望远镜的主波束直接指向卫星时，将卫星的有害发射抑制在有害电平以下是不切实际的。一个可行的解决办法是从一些主要射电天文学观测的纬度观测静止轨道在天体坐标中的投影（参见ITU-R RA.517建议书）。如果一台射电望远镜指向GSO的5°范围而没有出现有害干扰，那么这台望远镜就损失了10°的天空进行高灵敏度观测。对于一个观测站来说，这将是严重的损失。但是，如果将南半球和北半球在同一频率上工作的射电望远镜阵结合起来，则整个天空都是可以观测的。因此，5°的值应视为射电天文天线主波束和地球静止轨道之间的最低角距要求。

在ITU-R SA.509建议书的天线响应模型中，偏离主波束5°的旁瓣增益为15 dBi。因此，为避免对指向发射机周围5°范围内、满足ITU-R SA.509建议书天线旁瓣性能的射电望远镜产生有害干扰，卫星发射应比表1和表2中pfd值低15 dB。若GSO上的卫星之间间隔只有几度，与单个发射机相关的发射电平必须更低，才能满足表1和表2中接收的所有干扰信号的功率总和应比 $\Delta P_H$ 低15 dB的要求。

人们认识到，上文讨论的发射限值在实践中无法实现，因此无法在射电天文和卫星下行链路传输之间共用相同的频段。然而，这些限值适用于表1和表2所列的射电天文学频段中的卫星发射机的无用发射。这些发射限值对造成干扰的空间业务有影响，需要仔细评估。此

外，新射电天文天线的设计应努力将主波束附近的旁瓣增益电平降至最低，以此作为减少GSO发射机干扰的重要手段。

## 2.2 来自non-GSO卫星的干扰

就非静止卫星而言，特别是对于低地球轨道卫星而言，这些系统通常涉及许多单个卫星组成的星座。因此，确定干扰电平需要分析许多信号的综合效应，其中大部分信号是通过射电天文天线的远旁瓣接收的。因此，需要一个比ITU-R SA.509建议书更详细的旁瓣模型，并建议使用ITU-R S.1428建议书模型，直到获得更具代表性的射电天文天线模型为止。在使用该建议模型时，直径大于 $100\lambda$ 的天线通常适用于射电天文应用。应当指出，ITU-R S.1428建议书的注释1允许忽略交叉极化分量，但该注释不能应用，因为射电天文天线通常同时接收两个正交极化的信号。非静止卫星在2 000秒积分周期内的天空运动要求在该周期内对干扰电平进行平均，也就是说，当卫星通过旁瓣模式时，必须对每个卫星的响应进行积分。包含这些要求的一种分析系统是《无线电规则》第22.5C款中描述的epfd方法。epfd的值代表通过主波束中心进入天线的信号的pfd，该信号将产生与干扰功率等效的电平。由于表1和表2中有害干扰的门限电平对应于天线增益为0 dBi时接收到的pfd，因此有必要将它们与(epfd +  $G_{mb}$ )的值进行比较，其中 $G_{mb}$ 是主波束增益，以确定干扰是否超过有害电平。最近，利用epfd方法，制定了用于射电天文望远镜和FSS非静止卫星系统之间的干扰计算的ITU-R S.1586建议书。一份类似的建议书，即ITU-R M.1583建议书，是为射电天文望远镜与MSS和卫星无线电导航业务非静止卫星系统之间的干扰计算而制定的。表1和表2中给出的保护标准的适用性在ITU-R RA.1513建议书有所描述。

## 2.3 干涉仪和天线阵列对无线电干扰的响应

可以通过两种效应降低对干扰的响应。这两种效应涉及将两组天线的输出功率结合在一起时观测到的强度振动频率，以及间距较大的不同天线接收到的干扰信号分量在重新组合之前存在不同的相对时延。在处理这些效应时，天线阵列比第1节讨论的单一天线更为复杂。一般来说，如果接收到的干扰信号的强度保持不变，其影响将减小一个因子，该因子大致等于一个自然边缘振荡的平均时间除以数据平均时间。该时间存在一个变化范围，最长投影间距为 $L' \sim 10^3 \lambda$ （其中 $\lambda$ 为波长）的紧凑型阵列一般为若干秒， $L' \sim 10^7 \lambda$ 的洲际阵列一般不足一毫秒。因此，与单口径射电天线相比，干涉仪具有一定程度的抗扰性，并且可以合理地假定随着以波长表示的阵列尺寸的增加，该抗扰性也会相应提高。

最大的抗干扰性出现在天线的间隔足够大的干涉仪和阵列中，其中相关干扰发生的机会非常小（例如，对于甚长基线干涉测量（VLBI））。在这种情况下，上述考虑不适用。可容忍的干扰电平由干扰信号的功率水平应不超过接收机噪声功率的1%的要求来确定，以防止宇宙信号的幅度测量出现严重误差。表3给出了典型甚长基线干涉观测的干扰电平，其依据是表1中给出的 $T_A$ 和 $T_R$ 值。

必须强调的是，大型干涉仪和天线阵列的应用通常局限于针对角尺寸不超过十分之几角秒（适用VLBI）的高亮度分立射电源。对于更一般性的辐射源研究，表1和表2中的结果适用，因此适用于射电天文的一般保护。



表 1

射电天文连续观测的有害干扰门限值

中心频率 <sup>(1)</sup> $f_c$ (MHz)	假设带宽 $\Delta f$ (MHz)	最低天线 噪声温度 $T_A$ (K)	接收机噪声 温度 $T_R$ (K)	系统灵敏度 <sup>(2)</sup> (噪声起伏)		干扰门限值 <sup>(2)(3)</sup>		
				温度 $\Delta T$ (mK)	功率谱密度 $\Delta P$ (dB(W/Hz))	输入功率 $\Delta P_H$ (dBW)	pfd $S_H \Delta f$ (dB(W/m <sup>2</sup> ))	功率通量谱密度 $S_H$ (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
13.385	0.05	50 000	60	5 000	-222	-185	-201	-248
25.610	0.12	15 000	60	972	-229	-188	-199	-249
73.8	1.6	750	60	14.3	-247	-195	-196	-258
151.525	2.95	150	60	2.73	-254	-199	-194	-259
325.3	6.6	40	60	0.87	-259	-201	-189	-258
408.05	3.9	25	60	0.96	-259	-203	-189	-255
611	6.0	20	60	0.73	-260	-202	-185	-253
1 413.5	27	12	10	0.095	-269	-205	-180	-255
1 665	10	12	10	0.16	-267	-207	-181	-251
2 695	10	12	10	0.16	-267	-207	-177	-247
4 995	10	12	10	0.16	-267	-207	-171	-241
10 650	100	12	10	0.049	-272	-202	-160	-240
15 375	50	15	15	0.095	-269	-202	-156	-233
22 355	290	35	30	0.085	-269	-195	-146	-231
23 800	400	15	30	0.050	-271	-195	-147	-233
31 550	500	18	65	0.083	-269	-192	-141	-228
43 000	1 000	25	65	0.064	-271	-191	-137	-227
89 000	8 000	12	30	0.011	-278	-189	-129	-228
150 000	8 000	14	30	0.011	-278	-189	-124	-223
224 000	8 000	20	43	0.016	-277	-188	-119	-218
270 000	8 000	25	50	0.019	-276	-187	-117	-216

<sup>(1)</sup> 干扰电平根据本栏中的中心频率计算得出，但并非所有的区域都拥有相同的频率划分。

<sup>(2)</sup> 假设积分时间为2 000秒；如果采用的积分时间为15分钟、1小时、2小时、5小时或10小时，表中对应的数值将分别调整+1.7、-1.3、-2.8、-4.8或-6.3 dB。

<sup>(3)</sup> 列出的干扰电平对应的是单个天线接收的总功率测量值。如第2.2节所述，其它类型测量的干扰电平可能不会这么严格。如第2.1节所述，对于对地静止轨道（GSO）中的发射机而言，电平值应进行-15 dB的调整。

表 2\*

## 射电天文谱线观测的有害干扰门限值

频率 $f$ (MHz)	假设谱线通道 带宽 $\Delta f$ (kHz)	最低天线噪声 温度 $T_A$ (K)	接收机噪声 温度 $T_R$ (K)	系统灵敏度 <sup>(2)</sup> (噪声起伏)		干扰门限值 <sup>(1) (2)</sup>		
				温度 $\Delta T$ (mK)	功率谱密度 $\Delta P_S$ (dB(W/Hz))	输入功率 $\Delta P_H$ (dBW)	pfd $S_H \Delta f$ (dB(W/m <sup>2</sup> ))	功率通量谱密度 $S_H$ (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
327	10	40	60	22.3	-245	-215	-204	-244
1 420	20	12	10	3.48	-253	-220	-196	-239
1 612	20	12	10	3.48	-253	-220	-194	-238
1 665	20	12	10	3.48	-253	-220	-194	-237
4 830	50	12	10	2.20	-255	-218	-183	-230
14 488	150	15	15	1.73	-256	-214	-169	-221
22 200	250	35	30	2.91	-254	-210	-162	-216
23 700	250	35	30	2.91	-254	-210	-161	-215
43 000	500	25	65	2.84	-254	-207	-153	-210
48 000	500	30	65	3.00	-254	-207	-152	-209
88 600	1 000	12	30	0.94	-259	-209	-148	-208
150 000	1 000	14	30	0.98	-259	-209	-144	-204
220 000	1 000	20	43	1.41	-257	-207	-139	-199
265 000	1 000	25	50	1.68	-256	-206	-137	-197

\* 本表仅列出了谱线频率范围内一些具有代表性的例子，无法一一列举整个谱线频段内的对应数据。

<sup>(1)</sup> 假设积分时间为2 000秒；如果采用的积分时间为15分钟、1小时、2小时、5小时或10小时，表中对应的数值将分别调整+1.7、-1.3、-2.8、-4.8或-6.3 dB。

<sup>(2)</sup> 列出的干扰电平对应的是单个天线接收的总功率测量值。如第2.2节所述，其它类型测量的干扰电平可能不会这么严格。如第2.1节所述，对于对地静止轨道（GSO）中的发射机而言，电平值应进行-15 dB的调整。

表1和2的各栏说明:

栏

- (1) 射电天文划分频段的中心频率（表1）或标称谱线频率（表2）。
- (2) 假设带宽或划分频段的带宽（表1）或假设的谱线观测常用通道宽度（表2）。
- (3) 最低天线噪声温度，包括来自电离层、地球大气层和地球辐射的温度。
- (4) 高灵敏度射电天文观测中使用的良好辐射计系统的典型接收机噪声温度。
- (5) 利用天线噪声温度和接收机噪声温度之和、表中列出的带宽以及数值为2 000秒的积分时间，通过公式（1）计算得出的总体系统灵敏度，单位为mK。
- (6) 同上述（5），但以噪声功率谱密度表示，计算公式为 $\Delta P = k \Delta T$ ，其中 $k = 1.38 \times 10^{-23}$  (J/K)（玻尔兹曼常数）。表中的实际数字是 $\Delta P$ 的对数表达式。
- (7) 对高灵敏度观测有害的接收机输入功率电平（ $\Delta P_H$ ）。这表示为在 $\Delta P$ 测量中引入不超过10%误差的干扰电平； $\Delta P_H = 0.1 \Delta P \Delta f$ ；表中的数字是 $\Delta P_H$ 的对数表达式。
- (8) 在全向接收天线的接收系统中产生 $\Delta P_H$ 功率电平所需的谱线信道中的pfd。表中的数字是 $S_H \Delta f$ 的对数表达式。
- (9) 在全向接收天线的接收系统中产生 $\Delta P_H$ 功率电平所需的功率通量谱密度。表中的数字是 $S_H$ 的对数表达式。若要计算4 kHz或1 MHz参考带宽中的相应功率电平，则相应增加36 dB或60 dB。

表 3

VLBI 观测的干扰电平门限值

中心频率 (MHz)	门限值 (dB(W/m <sup>2</sup> · Hz))
325.3	-217
611	-212
1413.5	-211
2695	-205
4995	-200
10650	-193
15375	-189
23800	-183
43000	-175
86000	-172