

## ITU-R M.1583建议书\*

非对地静止卫星移动业务或卫星无线电导航业务系统与  
射电天文望远镜站址之间干扰的计算

(2002年)

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 在一些情况下，射电天文业务和空间业务（空对地）被划分给相邻或附近的频段；
- b) 射电天文业务的基础是接收比其它无线电业务通常采用的功率低很多的发射；
- c) 由于这些接收功率较低，射电天文业务通常比其它业务更易受到来自无用发射的干扰；
- d) 《无线电规则》（RR）中的多个脚注（如第5.149、5.340、5.372和5.443B款）提请注意保护射电天文业务的问题，尤其是保护其免受空间发射机的干扰；
- e) 由于非对地静止（non-GSO）卫星系统的特性，特别是干扰时间不同的特性，难以采用类似评估对地静止（GSO）卫星的方式对此类卫星对射电天文望远镜的干扰进行评估，

做出建议

- 1 计算非对地静止卫星无线电导航业务（RNSS）或卫星移动业务（MSS）系统在射电天文站址产生的无用发射电平时，应根据附件1中所描述的方法进行；
- 2 当进行这些计算时，应采用附件2中的天线方向图，以建立射电天文天线的模型；
- 3 应根据附件3中描述的方法，计算超出等效功率通量密度（epfd）电平的时间百分比（该百分比按照假设在干扰方向接收天线增益为0 dBi，且在给定的积分时间内进行定义）。

---

\* 此建议书应提请无线电通信第7研究组的注意。

## 附件1

## 计算一非对地静止轨道卫星无线电导航业务 或卫星移动业务系统在射电天文站址产生的无用发射

在此所述的方法基于《无线电规则》第22.5C款规定的“等效功率通量密度”（epfd）概念，旨在用于计算一non-GSO卫星系统对射电天文望远镜产生的功率通量密度（pfd）电平，同时考虑到卫星系统和射电天文望远镜天线的特性。等效功率通量密度值为所有卫星发射的集总值，其表述方式为射电天文望远镜波束中心（主波束的峰值）的单一等效源的功率通量密度。

### 1 所需参数

鉴于非对地静止卫星系统的具体特性，显然，来自此类卫星的、对射电天文望远镜的干扰不能像对对地静止轨道卫星那样进行评估。需采用统计方法进行，统计时需考虑到非对地静止卫星的动态情况。

在积分时间（2 000秒）段内对来自于卫星的、对射电天文望远镜干扰的评估应基于统计数字的计算，并应考虑到卫星和射电天文望远镜两方面的参数。

非对地静止轨道卫星系统的参数：

- 在射电天文电台天空的可见卫星数量；
- 在所考虑的射电天文频段内，在射电天文望远镜处采用dBsd或dBc掩模预测的功率通量密度；
- 卫星与射电天文电台的距离；
- 卫星的详细轨道特性；

射电天文望远镜的参数：

- 天线位置；
- 天线方向图和天线增益；
- 指向方向的实际范围；
- 波束中心的指向方向；
- 射电天文电台天线的波束中心和发射卫星方向之间的离轴角；
- 积分时间（2 000秒）。

### 2 射电天文站址等效功率通量密度的计算

在非对地静止卫星方向（与对地静止轨道相反）的射电天文望远镜的接收增益因时间不同而不同，主要原因是由于卫星的移动和射电天文望远镜旁瓣方向图因角度变化引起的明显变化。有时在卫星方向天文望远镜的增益远高于0 dBi；而其它时间该增益值则低于0 dBi。

此外，在非对地静止轨道系统有多个卫星的情况下，它们造成的所有影响均必须包括在内而且得到适当考虑。

这可以利用原定义的等效功率通量密度（epfd）概念进行，以便评估GSO系统和non-GSO系统之间的可能共用条件。在下节中，将针对一个可能受到non-GSO卫星干扰的射电天文电台的案例，进一步说明上述概念。其定义基于世界无线电通信大会（2000年，伊斯坦布尔）（WRC-2000）通过的第22.5C款。

## 2.1 等效功率通量密度的定义

当一天线在其参考带宽内、从不同方向、在不同距离同时从各发射机接收到不同的入射功率通量密度时，等效功率通量密度则为，如果是从最大增益方向的天线远场的一个单一发射机收到的功率通量密度，则可在接收机的输入端产生相同功率，如同从不同发射机的集总值实际收到的功率一样。

瞬时等效功率通量密度采用以下公式计算：

$$epfd = 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r,max}} \right] \quad (1)$$

其中：

$N_a$ ：从射电天文望远镜可见的non-GSO空间电台的数量

$i$ ：所考虑的non-GSO空间电台的指数

$P_i$ ：在参考带宽的non-GSO系统中考虑的发射空间电台的天线输入端的无用发射射频功率（dBW）（或在有源天线的情况下，射频的辐射功率）

$\theta_i$ ：在所考虑的non-GSO系统发射空间电台的波束中心和射电天文望远镜方向之间的离轴角（度）

$G_t(\theta_i)$ ：在射电天文望远镜方向的non-GSO系统中考虑的空间电台的发射天线增益（作为一种比值）

$d_i$ ：在射电天文望远镜和non-GSO系统中考虑的发射台站之间的距离（米）

$\varphi_i$ ：在射电天文望远镜指向和non-GSO系统中的发射空间电台之间的离轴角（度）

$G_r(\varphi_i)$ ：在所考虑的non-GSO系统的发射空间电台方向，射电天文望远镜的接收天线增益（作为一种比值）（见附件2）

$G_{r,max}$ ：射电天文望远镜的最大增益（作为一种比值）

$epfd$ ：射电天文望远镜参考带宽的瞬时有效功率通量密度（dB(W/m<sup>2</sup>））。

公式(1)的等效功率通量密度计算假设,所有干扰源造成的功率通量密度指向接收天线的波束中心,在那里天线增益值最大。但是,射电天文保护标准基于0 dBi的射电天文天线等值线。采用公式(1)中的方法,所有干扰源造成的,指向接收天线0 dBi增益的功率通量密度则可通过以下方法确定:

$$epfd_{G_r=0 \text{ dBi}} = 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot G_r(\phi_i) \right] \quad (2)$$

在2 000秒的积分时间内,利用公式(2)得出的 $epfd_{G_r=0 \text{ dBi}}$ 值可与功率通量密度值进行比较(后者按照假设在干扰方向的接收天线增益为0 dBi且在给定的积分时间内进行定义)。

注1 – 在此假设,每个发射机均位于射电天文望远镜的远场(即,距离大于 $2D^2/\lambda$ ,其中 $D$ 为射电天文望远镜的有效直径, $\lambda$ 为观察波长)。虽然这一条件不可能总得到满足,但是这被认为是一种合适的近似值。

注2 – 对于一些天文望远镜而言,最大增益方向(波束中心方向)可能并不总与射电天文望远镜的几何轴重合。

注3 – 在有源天线的情况下, $P_i$ 应被视为射频辐射功率,而不是天线输入端的功率。

注4 – 发射台站的天线增益 $G_t(\theta_i)$ 是从所考虑的射电天文频段的频率处得出的。它可能与欲进行发射的频率的增益不同。

## 附件 2

### 射电天文望远镜天线方向图的模型

诸如ITU-R SA.509建议书中描述的天线方向图并不适合在动态环境中使用。在动态环境中,采用ITU-R S.1428建议书中描述的模型,用于卫星固定业务的天线方向图。定义射电天文天线的方向图,需要进一步开展工作。在过渡期间,在测量的方向图缺失的情况下,可将ITU-R S.1428建议书中的方向图作为射电天文天线主波束和旁瓣区域的代表来考虑。以下反射镜直径大于 $100\lambda$ 的方向图样例摘自于ITU-R S.1428建议书:

$$G(\varphi) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{dBi} \quad \text{对于 } 0 \leq \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{dBi} \quad \text{对于 } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{对于 } \varphi_r \leq \varphi < 10^\circ$$

$$G(\varphi) = 34 - 30 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{对于 } 10^\circ \leq \varphi < 34.1^\circ$$

$$G(\varphi) = -12 \quad \text{dBi} \quad \text{对于 } 34.1^\circ \leq \varphi < 80^\circ$$

$$G(\varphi) = -7 \quad \text{dBi} \quad \text{对于 } 80^\circ \leq \varphi < 120^\circ$$

$$G(\varphi) = -12 \quad \text{dBi} \quad \text{对于 } 120^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

其中:

$$G_{max} = 20 \log (D/\lambda) + 8.4 \quad \text{dBi}$$

$$G_1 = -1 + 15 \log (D/\lambda) \quad \text{dBi}$$

$$\varphi_m = 20 (\lambda/D) \sqrt{(G_{max} - G_1)} \quad \text{度}$$

$$\varphi_r = 15.85 (D/\lambda)^{-0.6} \quad \text{度。}$$

作为备选，以下也给出了一个可能更为精确的方向图最深处1度的代表，可用于天线方向图的这部分。

## 1 主波束的模型

对于圆形天线的主波束，使用下列模型是一个现实的方法（见注1）：

$$G_r(\varphi) = G_{r,max} \cdot \left[ \frac{J_1(2\pi x)}{\pi x} \right]^2 \quad (3)$$

其中:

$$G_{r,max} = \left[ \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2} \right] \text{为最大增益 (表示为一个比值)}$$

其中:

$$A_{eff} = \pi(D/2)^2 \text{ 望远镜孔径的面积 (平方米)}$$

$D$ : 望远镜的有效直径 (米)

$\lambda$ : 波长 (米)

$$x = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi}{360 \cdot \lambda} \quad \varphi \text{ 为偏离角 (度)}$$

且

$J_1(x)$ : 一阶贝塞尔函数。

该天线方向图偏离的第一零点位于:

$$\varphi_0 = 69.88/(D/\lambda) \text{ (度)}$$

例如, 如果  $D = 100$  米且  $\lambda = 3$  厘米, 那么  $G_{r,max} = 1.09 \times 10^8$  (相当于 +80.4 dBi) 且

$$\varphi_0 = 0.0209 \text{ 度}$$

该主波束模型对应于孔径效率为 100% 的理想状况。

注 1 – 公式 (3) 和 (4) 表示为一个比值。

## 2 偏离视轴最多 $1^\circ$ 的内旁瓣模型

在  $\varphi_0 \leq \varphi \leq 1^\circ$  (见注 1) 的区域, 对于内旁瓣, 建议其为以下模型:

$$G_r(\varphi) = B \cdot \left[ \frac{\cos(2\pi x - 3\pi/4 + 0.0953)}{\pi x} \right]^2 \quad (4)$$

其中:

$$x = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi}{360 \cdot \lambda} \quad \varphi \text{ 为偏离角 (度)}$$

$D$ : 望远镜的有效直径

$\lambda$ : 工作波长

$$B = 10^{3.2} \pi^2 ((\pi D/2)/(180 \cdot \lambda))^2.$$

注 1 – 公式 (3) 和 (4) 表示为一个比值。

## 附件 3

### 等效功率通量密度的分配

本附件描述了从整个天空获取 epfd 统计值的一种方法。

#### 1 将天空分为近似相等的立体角区域

此方法的第一步是, 将天空分为与地平线平行的  $M$  个环形, 并按照从  $0^\circ$  至  $90^\circ$  的顺序平均分隔仰角。每个环形的宽度为  $90/M^\circ$ 。下一步是将这些环形分为区域, 并选择其方位角宽度, 以便为每个环形区域提供一个积分数目, 该积分数目大致相等:

$$\frac{90/M}{\cos(elevation)} \quad \text{度}$$

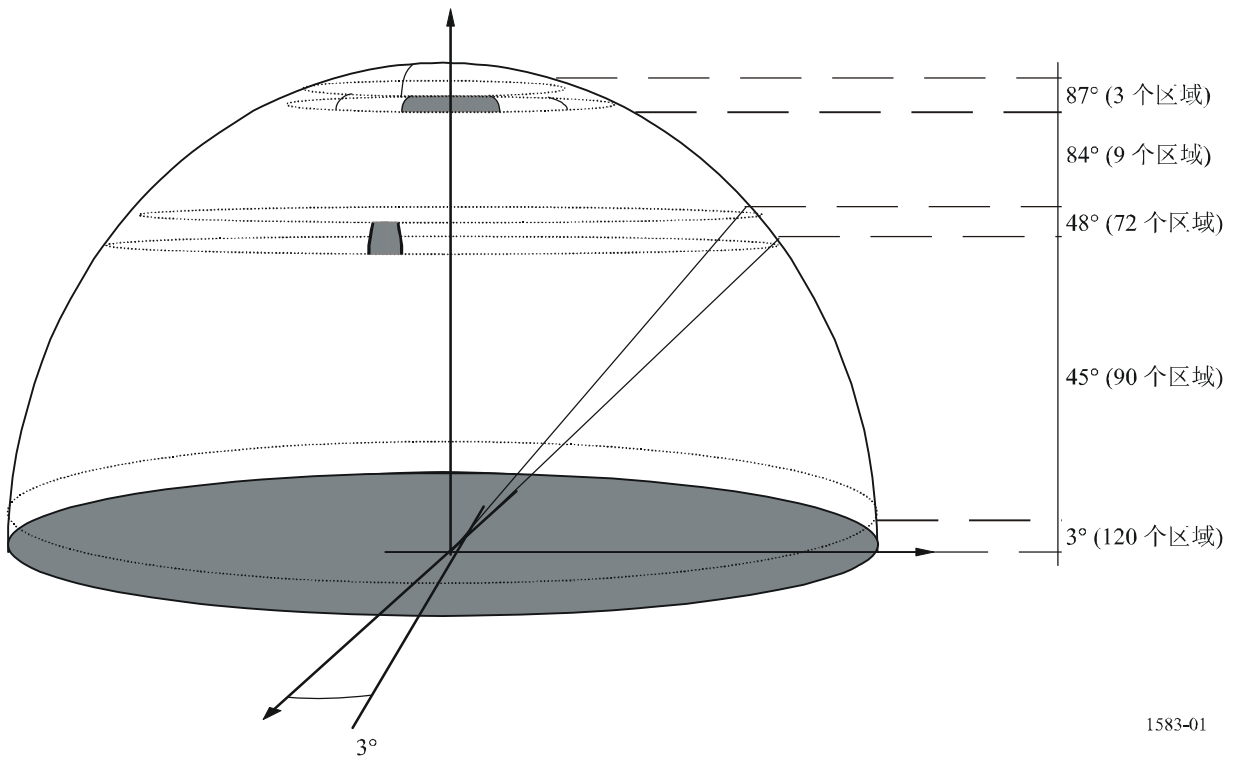
图 1以3°的仰角宽度为例，提供了一个区分实例。此例将天空分为30个3°的仰角环形。这样，方位角宽度大致相等于：

$$\frac{90/30}{\cos(elevation)} \quad \text{度}$$

仰角为一特定环形中的一个平均仰角。

图 1

将天空分为约9平方度的立体角之例



根据此图，天空被分为2 334个区域，每个区域约为9平方度的立体角。表1提供了与此相对应的每个环形中的区域数目。

表 1

## 将天空分为约9平方度立体角的平面区域之例

环形的 较低 仰角(度)	环形的 立体角 (平方度)	累计 立体角 (平方度)	方位角 的步进 (度)	环形中的 区域 数目	区域 立体角 (平方度)	区域 累计数目	立体角 的百分比 (%)	累计 立体角 数目(%)
0	1 079.51	1 079.51	3	120	9.00	120	5.23	5.23
3	1 076.55	2 156.05	3	120	8.97	240	5.22	10.45
6	1 070.64	3 226.69	3	120	8.92	360	5.19	15.64
9	1 061.79	4 288.49	3	120	8.85	480	5.15	20.79
12	1 050.04	5 338.53	3	120	8.75	600	5.09	25.88
15	1 035.41	6 373.93	3	120	8.63	720	5.02	30.90
18	1 017.94	7 391.87	3	120	8.48	840	4.94	35.84
21	997.68	8 389.55	3	120	8.31	960	4.84	40.67
24	974.68	9 364.23	3	120	8.12	1 080	4.73	45.40
27	949.01	10 313.24	3	120	7.91	1 200	4.60	50.00
30	920.75	11 233.99	4	90	10.23	1 290	4.46	54.46
33	889.95	12 123.94	4	90	9.89	1 380	4.31	58.78
36	856.72	12 980.66	4	90	9.52	1 470	4.15	62.93
39	821.14	13 801.81	4	90	9.12	1 560	3.98	66.91
42	783.31	14 585.12	4	90	8.70	1 650	3.80	70.71
45	743.34	15 328.46	4	90	8.26	1 740	3.60	74.31
48	701.32	16 029.79	5	72	9.74	1 812	3.40	77.71
51	657.39	16 687.17	5	72	9.13	1 884	3.19	80.90
54	611.65	17 298.82	5	72	8.50	1 956	2.97	83.87
57	564.23	17 863.06	6	60	9.40	2 016	2.74	86.60
60	515.27	18 378.33	6	60	8.59	2 076	2.50	89.10
63	464.90	18 843.23	6	60	7.75	2 136	2.25	91.35
66	413.25	19 256.48	8	45	9.18	2 181	2.00	93.36
69	360.47	19 616.95	9	40	9.01	2 221	1.75	95.11
72	306.70	19 923.65	10	36	8.52	2 257	1.49	96.59
75	252.09	20 175.74	12	30	8.40	2 287	1.22	97.81
78	196.79	20 372.53	18	20	9.84	2 307	0.95	98.77
81	140.95	20 513.49	24	15	9.40	2 322	0.68	99.45
84	84.73	20 598.21	40	9	9.41	2 331	0.41	99.86
87	28.27	20 626.48	120	3	9.42	2 334	0.14	100.00



## 2 一区域的等效功率通量密度分布

首先，针对射电天文业务天线的指向进行一项随机选择。该天线将位于第1段中所定义的天空中的一个特定区域。之后，随机选择观测星座的起始时间。之后，再根据2 000秒的积分时间对每一时间抽样的epfd进行评估。此后，再针对所选择的指向和观测星座的起始时间，进行与此试验相对应的平均epfd的计算。

重复进行此操作，以便获得所考虑区域的epfd分布统计。此方法涉及到多次试验，其中每个试验均根据2 000秒的积分间隔计算平均epfd值。试验的次数越多，此分布情况越精确。需要进行足够次数的试验才能获得所需的可信值。尤其是，试验数目与2 000秒的积分时间的乘积应显著高于星座的阶段。而且，还有必要确保星座整个阶段有适当的统计抽样。一当发现在分布中没有进一步的显著变化，即可得出结论，试验的次数已经足够。此检查可作为模拟工作的一项不可分割的内容自动进行，或通过定期停止模拟工作人工进行。

## 3 最坏指向方向时的等效功率通量密度分布（仅在来自卫星的等效功率通量密度电平对于一个射电天文业务天线的给定仰角而言保持恒定时才适用）

评估天空各区域的等效功率通量密度分布可通过首先评估对应于最坏指向方向时的等效功率通量密度分布予以简化。这些最坏指向方向可认为是卫星可见性最高时的指向方向。可依据ITU-R S.1257建议书《计算地球表面上一点所见的非对地静止卫星轨道卫星短期内可见性统计数据 and 干扰统计数据的方法》的公式(28) 和 (29)确定这些指向方向。对于一个给定的仰角和non-GSO 卫星星座，该建议书允许计算最坏情况的方位角（通常在一个给定仰角有两个最坏方位角）。

对于这些最坏指向方向所在的区域，等效功率通量密度分布可在足够数量的2000秒积分时间内予以评估。然后，可将该等效功率通量密度分布与功率通量密度门限电平（按照假设在干扰方向接收天线增益为0 dBi，且在给定的积分时间内进行定义）作比较。

对一个区域，超过功率通量密度门限电平的时间百分比可用在射电天文望远镜处平均功率通量密度超过2000秒积分时段内的该功率通量密度门限电平的百分比计算。

比较等效功率通量密度分布与对应着这些最坏指向方向区域内的功率通量密度门限电平，可得出以下结论：

- 在所有的M环形中，在高于时间百分比标准的时间百分比内，如果满足了最坏指向方向的功率通量密度门限，即意味着在整个天空都可以满足标准。
- 在一个给定仰角定义的环形内，在高于时间百分比标准的时间百分比内，如果满足了最坏指向方向的功率通量密度门限，即意味着整个对应的环形中总能满足该标准。
- 如果未满足干扰标准，则需要进一步研究。

这些对最坏指向方向的考虑提供了最坏情况区域位置的信息。

#### 4 等效功率通量密度分布的输出

第2段中描述的等效功率通量密度计算提供了天空中每一区域等效功率通量密度电平分布，如图2所示。

