

ITU-R M.1748 建议书*

**针对来自可能工作在 1 390-1 392 MHz（地—空）和 1 430-1 432 MHz
（空—地）频带内的 MSS 馈线链路的无用发射而采取的对
1 400-1 427 MHz 频带内射电天文业务的保护**

范围

本建议书提供了保护工作在 1 400-1 427 MHz 频带内的射电天文台以抵御来自可能工作在 1 430-1 432 MHz 频带内的 MSS 馈线链路（空—地）和可能工作在 1 390-1 392 MHz 频带内的 MSS 馈线链路（地—空）的 epfd 值，也提供确定工作在 1 330-1 427 MHz 频带内的射电天文台之间间隔距离的方法。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 对于在地—空和空—地方向上工作在 1 GHz 以下的非对地静止卫星移动系统（MSS）的馈线链路，WRC-03 已经将 1 390-1 392 MHz 和 1 430-1 432 MHz 频带以次要使用条件临时划分给固定卫星业务（FSS）（见《无线电规则》（RR）5.339A）且第 745 号决议（WRC-03）适用；
- b) 第 745 号决议（WRC-03）号召包括对可能运行的系统中所使用设备的发射的测量进行研究，以证实这些系统满足抵御来自 MSS 馈线链路的无用发射而提出的保护 1 400-1 427 MHz 频带内无源业务的所有要求；
- c) 在所有区域，1 400-1 427 MHz 频带以主要使用条件被划分给地球探测卫星业务（EESS）（无源）射电天文业务（RAS）和空间研究（无源）业务，而 RR 5.340 适用于该频带；

* 本建议书由无线电通信第 7 研究组和第 8 研究组联合起草，将来的任何修订也将联合进行。

- d) 1 400-1 427 MHz 频带由世界范围的射电天文学家广泛用于中性的氢谱线的观测,也用于连续观测;
- e) ITU-R RA.769 建议书附件 1 的表 1 和表 2 中给出对射电天文观测有害干扰的门限电平;
- f) ITU-R RA.1513 建议书提供了 1 400-1 427 MHz 频带内任何一个网络至 RAS 时数据丢失以及与一个网络有关的上行链路和下行链路可能使到达 RAS 的数据丢失所建议的电平准则;
- g) 从工作在 1 390-1 392 MHz 频带内的地球站到达工作在 1 400-1 427 MHz 频带内的 RAS 的数据丢失在采用相应的小间隔距离如 100 km 量级或更小一点时,可以减至最小;
- h) ITU-R RA.1631 建议书描述了用于涉及卫星星座的兼容性研究的射电天文天线方向图,ITU-R M.1184 建议书为 MSS 和其他业务之间共用研究制定准则提供了 3 GHz 以下频带内卫星移动系统的技术特性,而 ITU-R M.1583 建议书描述了非对地静止卫星移动业务或无线电导航卫星业务与射电天文台台址之间干扰计算采用的方法,

注意到

- a) 对于数据速率和调制技术,不采用专门的后置放大滤波器,而采用如 ITU-R M.[MSS-OOB-1.4 GHz] 建议书中描述的基带处理技术,降低 1 400-1 427 MHz 频带内的无用发射至 ITU-R RA.769 建议书给出的对 RAS 有害的干扰电平是可行的;
- b) 当基带处理涉及注意到 a) 的情况通过其自身还不足以满足所要求的无用发射电平时,可采用一个附加的后置放大滤波器;
- c) 用于观测红色偏移中性氢谱线的 1 330-1 400 MHz 频带也包括在 RR 5.149 中,

建议

1 可能工作在 1 430-1 432 MHz 频带内的一个单独网络的非 GSO MSS 馈线链路(空一地)的无用发射应低于:

- 对于谱线观测大于 2 000 秒的综合周期的 98% 的时间,在 1 400-1 427 MHz 频带的任意 20 kHz 带宽内 -259 dBW/m^2 的 epfd; 而
- 对于连续(宽带)观测大于 2 000 秒的累计周期的 98%的时间,整个 1 400-1 427 MHz 频带内 -243 dBW/m^2 的 epfd;

2 ITU-R M.1583 建议书中包含的方法应用于从上述建议 1 中对 MSS 网络给出的 epfd 限值中推导每个卫星的 epfd 限值;

3 与一个给定的非 GSO MSS 网络共同运行的、可能工作在 1 390-1 392 MHz 频带内的地球站应与在 1 400-1 427 MHz 频带内进行观测的射电天文台分隔开,以使上行链路和下行链路导致的总的数据丢失不超过 2%;

4 附件 2 中描述的方法应用于在射电天文台和 MSS 馈线链路地球站之间按情况逐个推导出间隔距离。

附件 1

为抵御来自可能工作在 1 430-1 432 MHz 频带内的 MSS 馈线链路的 无用发射对工作在 1 400-1 427 MHz 频带内的射电天文业务的 保护而对应 epfd 限值所要求的每卫星的 pfd 的计算举例

1 方法

ITU-R S.1586（或 ITU-R M.1583）建议书提供了一种估算由非对地静止卫星系统在射电天文台台址产生的无用发射电平的方法。它的基础是将天空以几乎相等大小的网格进行分割，并将 RAS 天线的指向和卫星星座的开始时间作为随机变量进行的一种统计分析。对每一个试验，无用发射电平（以 epfd 项表示）是在 2 000 s 周期上的平均。

此外，ITU-R RA.769 建议书的附件 1 提供了对 RAS 有害干扰的门限电平，而 ITU-R RA.1513 建议书提供了由来自任一网络的干扰造成的 RAS 最大允许的数据丢失为 2% 的判据，这是在射电望远镜处超过 ITU-R RA.769 建议书中规定的电平时的平均频谱功率通量密度（pfd）作为 2 000 s 累计周期的百分数确定的。

目前研究的目的是确定遵守 ITU-R RA.769 和 ITU-R RA.1513 建议书中给出的 1 400-1 427 MHz 频带内保护射电天文观测的准则对应的 1 430-1 432 MHz 频带内非 GSO MSS 系统馈线链路的无用发射所要求的最大 pfd 电平，在估算它们在射电天文望远镜位置处的无用发射电平时，采用 ITU-R S.1586 建议书的方法考虑非对地静止的这些系统的特性。

2 MSS 系统的特性

MSS 系统的特性概括于表 1。假设卫星装备了一副等通量的天线，可对地面产生一个恒定的 pfd。

表 1
MSS 系统的特性

轨道高度	1 000 km
轨道倾角	50 度（而对极地覆盖是 83 度）
平面数量	6（对极地覆盖则再加一个）
每平面的卫星数量	4

3 RAS 站的特性和保护准则

本次分析选择了在德国的 Effelsberg 射电望远镜。它的地理坐标为：纬度：N 50.7°，经度：E 7.0°。

所采用的视轴处的天线方向图和峰值增益由 ITU-R RA.1631 建议书给出。

表 2

对 RAS 有害的 Pfd 电平

频带 (MHz)	干扰电平 (dBW/m ²)	参考带宽 (MHz)	观测的类型
1 330-1 400	-196 ⁽¹⁾	0.02	谱线
1 400-1 427	-180	27	连续
1 400-1 427	-196	0.02	谱线

⁽¹⁾ 对 1 330-1 400 MHz 频带, ITU-R RA.769 建议书没有规定有害门限电平 (见 RR 第 5.149 款)。上面所列对该频带的保护准则是出自用于 1 400-1 427 MHz 频带内的谱线观测情况的。

模拟计算在考虑 0° 和 3° 最小望远镜仰角时进行。

根据 epfd 电平, 对应的有害 pfd 门限电平为:

$$epfd_{lim} = pfd_{lim} - G_{max}$$

表 3

对 RAS 有害的 Epfd 电平

频带 (MHz)	epfd 干扰电平 (dBW/m ²)	参考带宽 (MHz)	观测的类型
1 330-1 400	-259	0.02	谱线
1 400-1 427	-243	27	连续
1 400-1 427	-259	0.02	谱线

4 保护射电天文业务要求的每个卫星的最大 pfd 电平的确定

4.1 程序

采用了下述方法 (见 ITU-R S.1586 建议书):

步骤 1: 选择每个卫星的 pfd。在第一次近似中 (且作为一种最坏情况) 可认为这一值对所有仰角是不变的。

在特例的考虑中, 假设卫星装备了一副等通量的天线。

步骤 2: 选择一个射电天文台。

步骤 3: 将天空分成 2 334 个网格, 每个约 9 平方度立体角 (见 ITU-R S.1586 建议书附件 3 的表 1)。

步骤 4: 对各网格 t , 射电天文台可进行观测 (在 RR 的附录 4 中规定的频带内考虑在射电天文台可以进行观测的最小仰角 θ_{min}), 将射电望远镜指向随机选择的网格内, 并在随机选择的时间点上开始卫星传输。之后在 2 000 s 累计时间上, 以 1 秒的时间步长在每个时间取样上估算 epfd。然后计算对应本试验的平均 epfd。

步骤 5: 如果 epfd 电平在本试验的 2 000 s 综合时长上平均后超过了干扰门限电平, 那么要考虑这一特定的 2 000 秒观测是受影响的。

步骤 6: 重复步骤 4 和步骤 5 以得出试验的典型值 (已发现 100 次试验在统计上是足够的)。

步骤 7: 确定步骤 4 规定的射电望远镜可观察到的整个天空的受影响的 2 000 s 累计周期的百分数。

步骤 8: 改变非 GSO MSS 系统的 pfd 电平直至这一百分数低于 2%。

4.2 结果

该模拟计算导出了由表 4 给出的对每个 MSS 卫星要求的 pfd 限值。

表 4

为保护射电天文台的每个 MSS 卫星的最大 pfd 电平

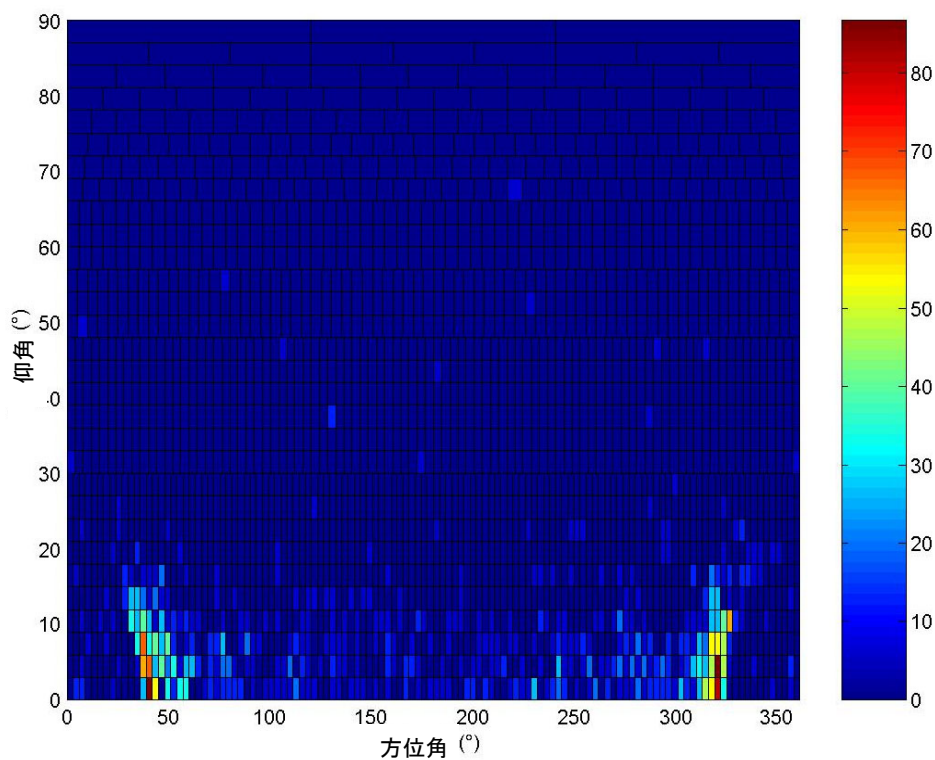
频带和观测类型	每个卫星的 pfd 限值 (dBW/m ²)	参考带宽 (MHz)
1 330-1 400 MHz (谱线)	-201	0.02
1 400-1 427 MHz (连续)	-185	27
1 400-1 427 MHz (谱线)	-201	0.02

当所考虑的最小仰角为 0° 时, 数据丢失的总量为 2.07%, 而当考虑的最小仰角为 3° 时则为 1.65%。

图 1 表示的是 Effelsberg 的射电天文台台址, 在对整个天空的每个网格模拟计算后, 已超过 epfd 判据的观测的百分数。试验的总量对每个网格都是 100。亮度等级表示已超过 epfd 判据的试验的数据。

图 1

对 Effelsberg 的模拟结果



5 结论

研究表明, 在整个 1 400-1 427 MHz 频带内每个 MSS 卫星 -185 dBW/m^2 (对于连续观测) 的 pfd 限值和 在 1 400-1 427 MHz 频带的任一 20 kHz 带宽内每个 MSS 卫星 -201 dBW/m^2 (对于谱线观测) 的限值对被考虑的系统而言是足以保护射电天文业务的。

谱线 pfd 限值也可适用于 1 330-1 400 MHz 频带。

附 件 2

工作在 1 400-1 427 MHz 频带内的射电天文台和可能工作在 1 390-1 392 MHz 频带内的 MSS 馈线链路地球站之间的间隔距离

1 引言

本附件的目的是确定可能工作在 1 400-1 427 MHz 频带内的射电天文台和工作在 1 390-1 392 MHz 频带内的 MSS 馈线链路地球站之间的间隔距离，以避免对射电天文台的有害干扰。

ITU-R RA.1513 建议书所涉及的射电天文观测可接受的最大数据丢失电平和时间百分数的判据的结果集中在共用研究方面。ITU-R RA.769 建议书给出的是对射电天文观测有害干扰的门限电平。

2 方法论

对于射电天文学，接收到的功率是整个时间周期上的集合。这一集合的结果在后续段落中被称为观测。

在一次观测期间从干扰信号接收到的功率可表示如下：

$$I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{P_t(i) \cdot G_t(i) \cdot G_r(i)}{L_b(i)} \quad (1)$$

其中：

$L_b(i)$: 在时刻 i 的传输损耗

$P_t(i)$: 在时刻 i 的天线入口 RAS 带宽内的发射功率电平 (W)

$G_t(i)$: 在时刻 i 射电天文天线方向上的发射天线增益

$G_r(i)$: 在时刻 i 发射机方向上射电天文天线的增益

N : 取样数

I : 在观测周期 T 上的在接收机输入参考带宽内的平均干扰功率 (W)。

通常（与 ITU-R RA.769 建议书中所给的有害门限电平一致）这一计算是在 2 000 s 的综合周期 T 上完成的。在这一时间周期中，有些参数可能会变化。对这一特定的应用，考虑 P_t 是一常量。当发射机是一个跟随一颗卫星或一个卫星星座的地球站， G_t 在集合时间内是变化的且还是每次观测是不同的。我们假设射电天文天线的特性在集合时间内是固定的（例如 G_r 在 2 000 s 周期内不变），但 RAS 天线指向方向每次观测是不同的。

当接收到的干扰 I 在 T 上平均后超过 ITU-R RA.769 所给的门限值时，在一给定的综合时间上完成的观测就被认为是丢失。

因此，

$$L_b = \frac{P_t}{\Delta P_H} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_t(i) \cdot G_r(i) \quad (2)$$

其中：

P_t : 天线输入口（包括馈送损耗）RAS 带宽内的发射功率电平（W）

$G_t(i)$: 在时刻 i 射电天文天线方向上的发射天线增益

$G_r(i)$: 在时刻 i 发射机方向上射电天文天线的增益

N : 取样数

ΔP_H : ITU-R RA.769 建议书给出的干扰功率门限（W）。

为了证实观测丢失的百分数低于 ITU-R RA.1513 建议书所给的 2% 的判据，需要完成若干时间周期上的计算。

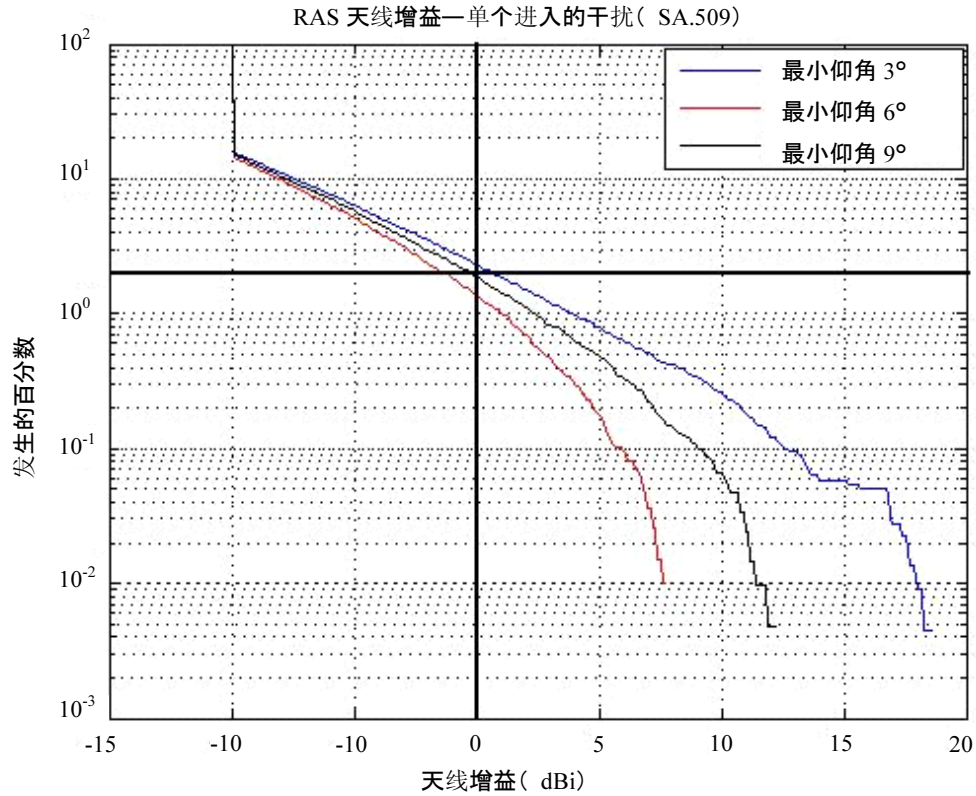
3 指向 MSS 馈线链路地球站的射电天文台的增益

有可能应用 ITU-R M.1583 建议书中附件 3 的第 1 节中的方法指导对射电天文台的天线增益的统计计算。将天空分割成 2 334 个网格，每个约 9 平方度的立体角。每个网格都有可能被考虑为一个射电望远镜天线的随机指向方向，且由此及天线方向图，计算以 0° 仰角看到的地球站的方向上的天线增益。

图 2 中的曲线是对应 ITU-R SA.509 建议书的天线方向图和一个 100 m 天线直径的天线在 1.4 GHz 频率上得到的。从射电望远镜可看到发射机的仰角取 0° 。因为 ITU-R SA.509 建议书的天线方向图与频率或最大天线增益无关，所以这些曲线在考虑其他频带或天线直径时不发生改变。

图 2

在 0° 仰角 RAS 指向一个发射机的天线增益



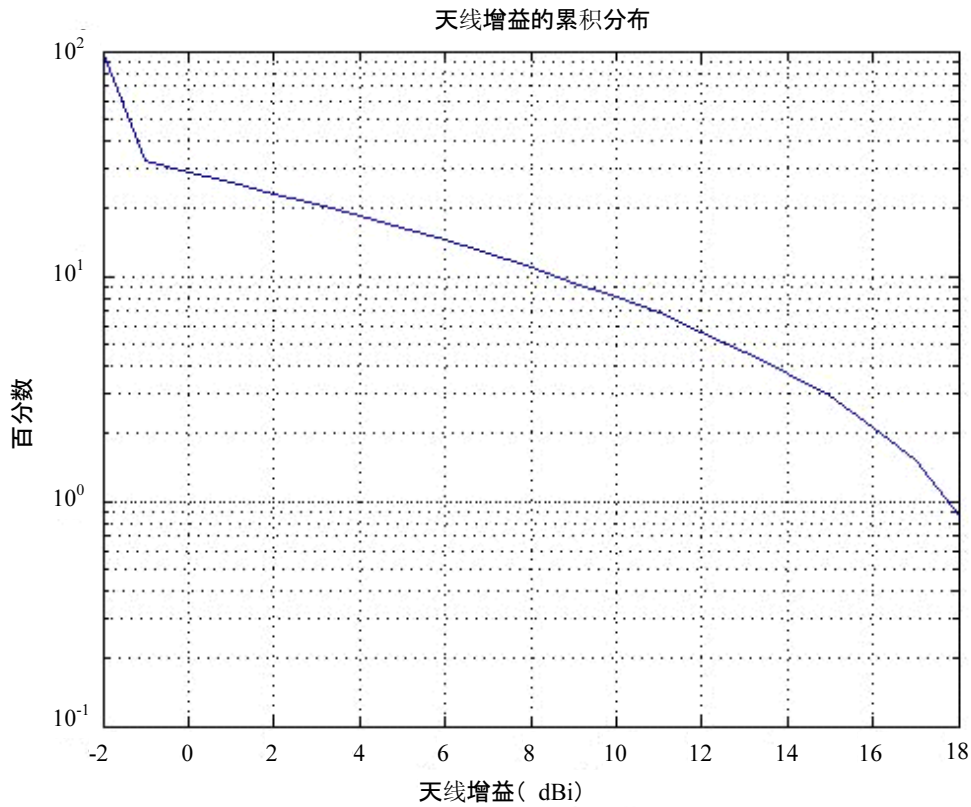
[编者注：图形是正确的。颜色的表示不正确。]

4 指向射电天文台的 MSS 馈线链路地球站天线的增益

示于图 3 中的天线增益累积分布 (cdf) 曲线是有符合《无线电规则》的附录 8 的附件 III 规定的天线方向图且最大天线增益为 30 dBi 的 MSS 馈线链路地球站跟踪高度为 1 000 km 24 颗卫星星座得到的。

图 3

以 0° 仰角指向 RAS 站的 MSS 馈线链路地球站的天线增益

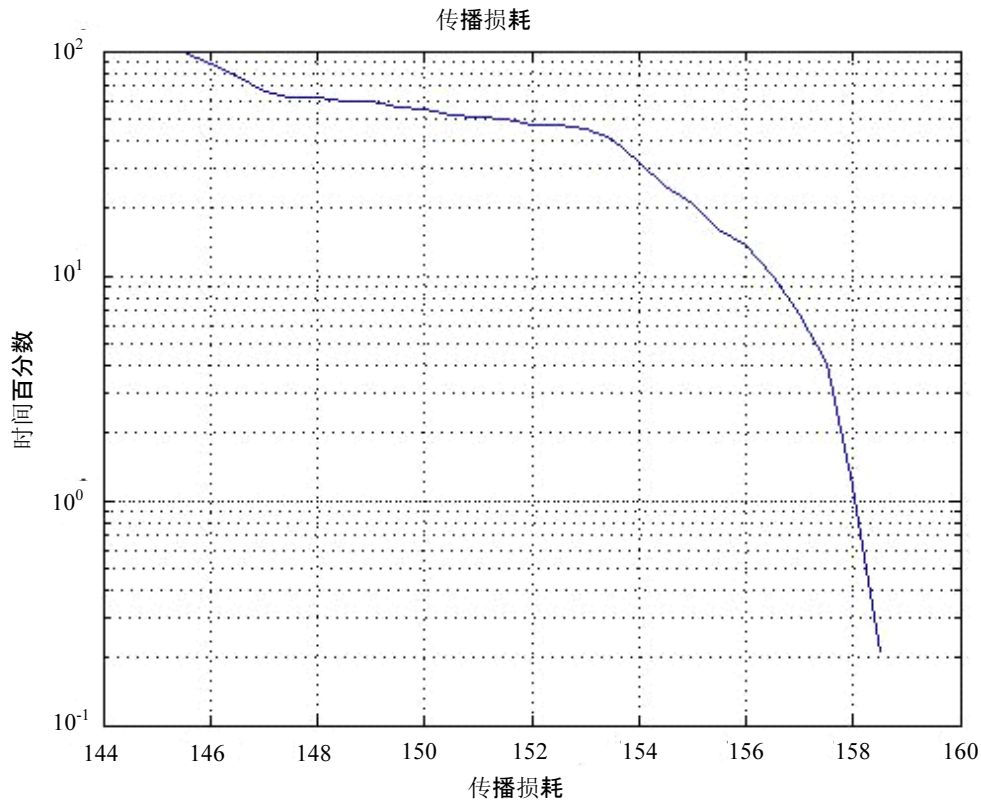


5 用蒙特卡罗方法导出的传播损耗

蒙特卡罗模拟计算考虑了 2 000 秒周期内发射机天线增益的变化、1 400-1 427 MHz 频带内-60 dBW 的发射功率和-205 dBW 的 RAS 保护门限，可得出示于图 4 的对应传播损耗的 cdf 曲线。

图 4

为保护 RAS 站抵御来自相邻频带内的 MSS 馈线链路地球站发射在 0 度的最小望远镜仰角时所要求的传播损耗



由 MSS 系统对射电天文台造成的 2% 的数据丢失需要在上行链路和下行链路之间做出分配。作为一个例子，如果 RAS 在下行链路没有遭受到数据丢失，那么对应的上行链路的传播损耗（在 2 000 秒上平均）应为 157.9 dB。如果下行链路的数据丢失是 1.8%，那么对应 0.2% 的数据丢失的传播损耗应为 158.5 dB，仅高了 0.6 dB。

从这一值可以很容易地推导出对应其他发射功率值或有害门限电平的相同的传播损耗，具体可采用下面的等式：

$$L_2 = L_1 + (P_{t2} - P_{t1}) - (P_{r2} - P_{r1})$$

下面的表 1 给出了对不同 MSS 馈线链路地球站发射功率以及 RAS 观测类型和频带算出的值。

表 1

到达有害门限时所要求的传播损耗

观测类型	频 带	带 宽	P_t (dBW)	P_r (dBW)	L_b (dB)	注 释
连续	1 400-1 427 MHz	27 MHz	-60	-205	158	对上述计算的假设
连续	1 400-1 427 MHz	27 MHz	-63	-205	155	用于保护 EESS 的新的功率限值
连续	1 400-1 427 MHz	27 MHz	-107.5	-205	111	一个 MSS 系统的实际无用发射功率
谱线	1 400-1 427 MHz	20 kHz	-94	-220	139	假设频谱正好在无源频带中
谱线	1 400-1 427 MHz	20 kHz	-127	-220	106	一个 MSS 系统的实际无用发射功率
谱线	1 330-1 400 MHz	20 kHz	3	-220	236	MSS 地球站在 20 kHz 内的发射功率

必须注意的是考虑 0.2% 而不是 2% 的数据丢失百分数时会比表 1 中提供的那些值高 0.6 dB 的衰减损耗。

6 从传播衰减引出的保护距离

实际的保护距离或保护区半径取决于 RAS 站址和其周围的地区环境（包括地貌、草木和建筑物）。下面的一幅图示出 ITU-R P.452 建议书对位于英国 Jodrell Bank 的 RAS 站点的一个应用（作为举例），该图还表明这样的保护区是很容易做到的。

在以 Jodrell Bank 射电天文台为中心的同圆心周围考虑 MSS 馈线链路地球站的几个位置。对每个位置采用 ITU-R P.452 建议书的方法计算传播损耗。方块表示的位置是传播损耗超过 158 dB。

图 5

周围超过 158 dB 传播损耗的位置

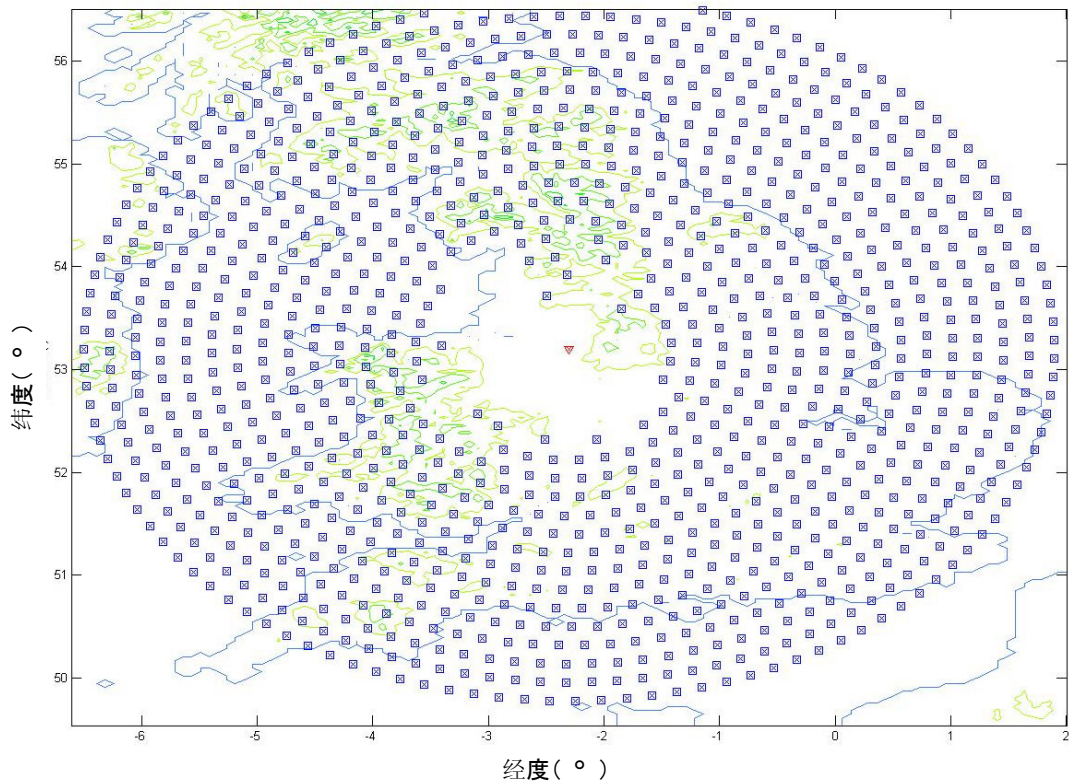


表 2 给出了采用 ITU-R P.452 建议书从表 1 所给的传播损耗推算的与 Jodrell Bank 的间隔距离。

表 2

近似的最小间隔距离

观测类型	频 带	带 宽	P_r (dBW)	距离 (km)
连续	1 400-1 427 MHz	27 MHz	-60	120
连续	1 400-1 427 MHz	27 MHz	-63	100
连续	1 400-1 427 MHz	27 MHz	-107.5	7
谱线	1 400-1 427 MHz	20 kHz	-94	50
谱线	1 400-1 427 MHz	20 kHz	-127	4.5
谱线	1 330-1 400 MHz	20 kHz	3	> 600

该计算表明,假设可能工作在 1 390-1 392 MHz 频带内的 MSS 馈线链路地球站在 1 400-1 427 MHz 辐射了-63 dBW 的无用发射功率的限值(利用了 EESS 的保护),那么所需要的辐射间隔距离约为 100 km。这样的间隔距离被认为是可以做到的。

然而,对一个实际的 MSS 系统,已经表明最小的间隔距离可能可降至 10 km 以下。因此需要对 1 400-1 427 MHz 频带内进行观测的所有射电天文台周围按情况逐一地计算最小间隔距离,计算中应考虑真实的 MSS 馈线链路(地-空)系统的参数。

为了保护射电天文台在 1 330-1 400 MHz 频带内进行观测,将要求大于 600 km 的间隔半径,这样可以预防那些射电天文台周围很大范围内分布的 MSS 馈线链路地球站的辐射。
