

ITU-R SM.2091报告***

关于在相邻或邻近频带内划分的有源空间业务
对射电天文业务影响的研究

(2007年)

目 录

	页码
1 引言	5
2 方法	5
2.1 概述	5
2.2 流程图的详细说明（见图1）	8
3 在150.05-153.0 MHz频带内工作的RAS系统与在137-138 MHz频带内工作的卫星 移动业务（空对地）系统之间的兼容性	17
3.1 RAS	17
3.2 MSS	18
3.3 兼容性门限	19
3.4 干扰评估	19
3.5 减扰技术	25
4 在322-328.6 MHz频带内工作的RAS系统与在387-390 MHz频带内工作的卫星移 动业务（空对地）系统之间的兼容性分析	26
4.1 RAS	26
4.2 MSS	27
4.3 兼容性门限	29
4.4 干扰评估	29
4.5 减扰技术	33

* 因为使用了与射电天文业务相邻的已划分给FSS、RNSS、MSS和BSS的频带，叙利亚保留不接受本报告提出的任何保护标准的权利。

** 出席RA-03的阿拉伯国家主管部门表示，它们不接受本报告提到的ITU-R RA.769建议书的内容。

5	在406.1-410 MHz频带内工作的RAS系统与在400.15-401 MHz频带内工作的卫星移动业务（空对地）系统之间的兼容性分析	34
5.1	RAS.....	34
5.2	MSS	34
5.3	兼容性门限	35
5.4	干扰评估	36
5.5	减扰技术	42
6	在608-614 MHz频带内工作的RAS系统与可能在620-790 MHz频带内工作的卫星广播业务（空对地）系统之间的兼容性分析	43
6.1	RAS.....	43
6.2	BSS	44
6.3	兼容性门限	46
6.4	干扰评估	47
6.5	减扰技术	50
7	在1 400-1 427 MHz和1 610.6-1 613.8 MHz频带内工作的RAS系统与在1 525-1 559 MHz频带内工作的非GSO卫星移动业务（空对地）系统之间的兼容性分析	51
7.1	RAS.....	51
7.2	MSS	54
7.3	兼容性门限	59
7.4	干扰评估	59
7.5	用于RAS的减扰技术.....	65
7.6	研究结果	66
8	在1 400-1 427 MHz频带内工作的RAS系统与在1 452-1 492 MHz频带内工作的BSS（空对地）系统之间的兼容性分析	66
8.1	RAS.....	66
8.2	BSS	69
8.3	兼容性门限	69
8.4	干扰评估	69
8.5	减扰技术	72
8.6	研究结果	73

页码

9	在1 400-1 427 MHz频带内工作的RAS系统与在1 525-1 559 MHz频带内工作的GSO卫星移动业务（空对地）系统之间的兼容性分析	73
9.1	RAS.....	73
9.2	MSS	75
9.3	兼容性门限	76
9.4	干扰评估	76
9.5	减扰技术	77
9.6	研究结果	78
10	在1 610.6-1 613.8 MHz频带内工作的RAS系统与在1 559-1 610 MHz频带内工作的RNSS系统之间的兼容性分析	78
10.1	RAS.....	78
10.2	RNSS	80
10.3	兼容性门限	92
10.4	干扰评估	92
10.5	减扰方法	99
10.6	研究结果	100
11	在1 610.6-1 613.8 MHz频带内工作的RAS系统与在1 613.8-1 626.5 MHz频带内工作的MSS（空对地）系统之间的兼容性分析	101
11.1	RAS.....	101
11.2	MSS	103
11.3	兼容性门限	103
11.4	干扰评估	103
11.5	减扰技术	104
11.6	研究结果	105
12	在1 610.6-1 613.8 MHz频带内工作的RAS系统与在1 525-1 559 MHz频带内工作的GSO MSS（空对地）系统之间的兼容性分析	106
12.1	RAS.....	106
12.2	MSS	107
12.3	兼容性门限	108
12.4	干扰评估	109
12.5	减扰技术	110
12.6	研究结果	110

13	在2 690-2 700 MHz频带内工作的RAS系统与在2 655-2 690 MHz频带内工作的BSS和FSS（空对地）系统之间的兼容性分析	111
13.1	RAS.....	111
13.2	有源频带	113
13.3	兼容性门限	114
13.4	干扰评估	114
13.5	减扰技术	116
13.6	研究结果	117
14	在10.6-10.7 GHz频带内工作的RAS系统与在10.7-10.95 GHz频带内工作的FSS（空对地）系统之间的兼容性分析	118
14.1	RAS.....	118
14.2	FSS.....	119
14.3	兼容性门限	119
14.4	干扰评估	119
14.5	减扰技术	127
14.6	研究结果	129
15	在22.21-22.5 GHz频带内工作的RAS系统与在21.4-22 GHz频带内工作的BSS（空对地）系统之间的兼容性分析	130
15.1	RAS.....	130
15.2	BSS	132
15.3	兼容性门限	133
15.4	干扰评估	133
15.5	减扰方法	133
15.6	研究结果	134
16	在42.5-43.5 GHz频带内工作的RAS系统与在41.5-42.5 GHz频带内工作的FSS和BSS（空对地）系统之间的兼容性分析	134
16.1	RAS.....	134
16.2	FSS和BSS.....	138
16.3	兼容性门限	140
16.4	干扰评估	140
16.5	减扰技术	141
16.6	研究结果	144

1 引言

无源射电天文业务(RAS)研究在由自然法则确定的频率上产生射电辐射的自然现象。

已经在与RAS划分相邻或邻近的频带内对地对空方向的各种空间业务，如卫星固定业务(FSS)、卫星无线电导航业务(RNSS)、卫星移动业务(MSS)和卫星广播业务(BSS)，做了主要划分。

本技术报告中的研究结果为支持有源业务与在相邻或邻近频带内工作的RAS之间的干扰评估结果提供了方法和框架。该方法以等效功率通量密度(epfd)的概念为基础，用于计算由非GSO卫星系统的无用发射产生的干扰。

本项研究所涉及的频带清单见表1。这些研究的结果见于本报告的随后各节。

表1
与RAS（无源）的兼容性研究清单

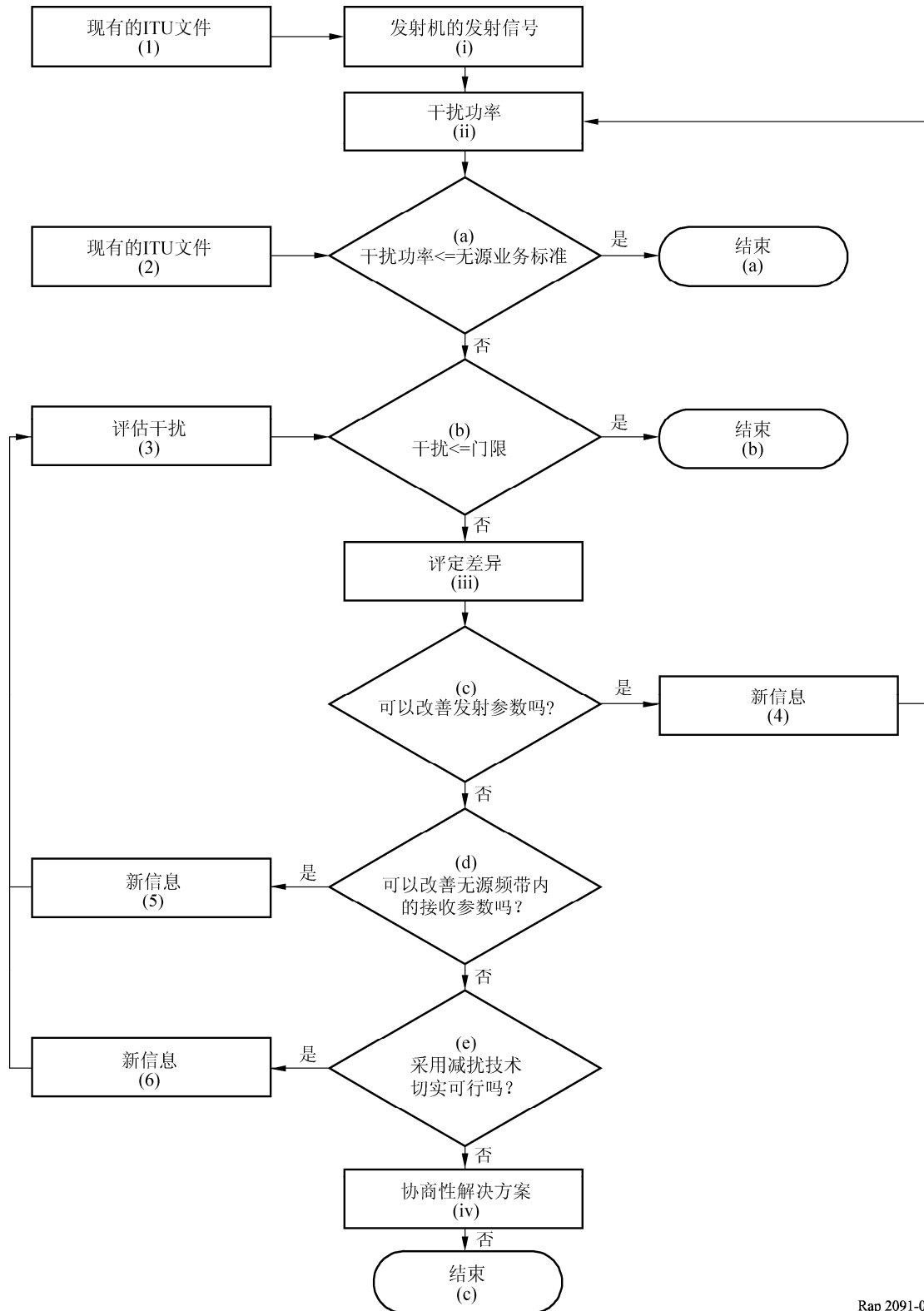
RAS频带	有源业务频带
150.05-153.0 MHz	137-138 MHz (非GSO MSS)↓
322-328.6 MHz	387-390 MHz (MSS)↓
406.1-410 MHz	400.15-401 MHz (非GSO MSS)↓
608-614 MHz	620-790 MHz (BSS)
1 400-1 427 MHz	1 452-1 492 (BSS)
1 400-1 427 MHz	1 525-1 559 MHz (MSS)↓
1 610.6-1 613.8 MHz	1 559-1 610 MHz (RNSS)↓
1 610.6-1 613.8 MHz	1 613.8-1 626.5 MHz (MSS)↓
1 610.6-1 613.8 MHz	1 525-1 559 MHz (非 GSO MSS)↓
2 690-2 700 MHz	2 655-2 690 MHz (BSS, FSS)↓
10.6-10.7 GHz	10.7-10.95 GHz (FSS)↓
22.21-22.5 GHz	21.4-22 GHz (BSS)
42.5-43.5 GHz	41.5-42.5 GHz (BSS, FSS)↓

2 方法

2.1 概述

下文的一般方法规定了一种系统化的手段，在各自划分频带内经营有源业务的运营商与开办无源业务的运行机构据此得出双方可接受的兼容性标准。流程图（见图1）归纳了该方法，每个单独的步骤在下文第2.2节中做了详细说明。由于程序是逐步逼近的，在得出某个解决方案之前可能需要进行几个循环。

图1
在相邻或邻近频带内工作的无源和有源业务的评估程序



第一步是确定有源业务的发射参数(矩形(i))。该步骤以最坏情况为出发点, 而最坏情况是用于确定在相邻或邻近频带内工作的一切类型的有源业务是否有可能对无源业务产生有害干扰的。这种最坏情况下的功率电平常常可由现有规则性限值确定(矩形(1)), 如《无线电规则》(RR)第21条中规定的pfd。而要确定最坏情况下进入无源频带的无用发射电平, 则必须采用有源业务发射功率的规则性限值(矩形(ii))。

下一步是确定在相关频带内最坏情况下的干扰电平是否高于无源业务干扰门限(菱形(a))。这些门限电平在各ITU-R建议书中给出(矩形(2)), 如ITU-R RA.769建议书或ITU-R RS.1029建议书。若该干扰门限高于频带内最坏情况下的无用发射电平, 则对无源业务工作没有不利影响。在这种情况下, 流程沿着“是”线路进行, 程序结束。在这一结束点上, 与流程中所有其他结束点一样, 为达到结束点所做的假设构成了相关有源与无源业务之间可兼容工作安排的技术基础。如何应用这些技术假设以及由此形成的结论属于管理实务, 超出了本建议书的技术范围。但对于菱形(a)的情况, 若所评估的干扰大于无源业务标准, 则必须沿“否”分支行进至菱形(b)。在第一次反复中, 没有得到新的信息, 因此继续沿路径到矩形(iii)。在后续反复中, 由于修改或附加了参数及业务间兼容性负担的公平分摊, 菱形(b)中的门限可能与菱形(a)中采用的无源业务标准不同。这些修改或附加的参数有可能是从菱形(c)、(d)或(e)得出的。无论是否达到兼容性, 菱形(b)都允许进一步评估。

若情况如此, 则程序沿着“是”分支行进, 程序结束。若情况并非如此, 则必须评定差异, 在到达菱形(c)、(d)或(e)时应研究下列选项:

- 改善有源业务的发射参数, 如实际系统参数、可用基本功率等; 和/或
- 改善无源频带内的接收参数; 和/或
- 开发有源和无源业务的其他减扰技术, 这可能同时涉及选项(a)和(b)。

在评定差异的过程中, 如矩形(iii)所示, 若两电平之间的差异很大, 则第一次反复中所采用的假设显然不足以解决问题, 必须就两种业务的特性及工作提出更为详细的假设。不过, 若分歧很小, 就可以略微修改基本假设中的某一项, 以便在下一次反复中找到解决方案。反复分析这些现有的数据可能会提示哪些其他假设是有利的。

有鉴于此, 在连续的反复中, 可以考虑修改有源业务参数、无源业务参数、兼容性标准或可能减扰方法中的一项, 也可以考虑修改多项。要完全弥合差距或尝试所有可能的解决方案, 就要按照需要进行多次反复。若所有可能的解决方案都用尽也无法兼容地工作, 则该方法以“协商性解决方案”结束。这意味着对于特定的有源系统, 若有可能, 唯一可能的解决方案是与特定的无源业务系统运行机构协商, 以实现某种一对一的解决方案。协商性解决方案的详细内容超出了本建议书的范围。

该方法仅探讨了在其划分频带内工作的单一有源业务产生的潜在干扰。注意，卫星地球探测业务(EESS)（无源）可能同时受到多个业务的干扰，在计算多个有源业务合计干扰影响时可能还要求附加考虑。

2.2 流程图的详细说明（见图 1）

2.2.1 矩形(1)：现有的ITU文献

该矩形指可能与确定发射机的发射信号有关的文献。下列《无线电规则》条款以及ITU-R 建议书和报告与确定可能落入无源频带的发射机功率有关，列在此处作为参考。在评估可能进入无源业务频带的有源业务无用发射时，将以这些规则和建议作为出发点。

《无线电规则》

第1、第5、第21、第22条和附录3。

ITU-R建议书

ITU-R F.758:	制定固定业务与其他业务之间频率共用标准时考虑的问题
ITU-R F.1191:	数字固定业务系统的带宽和无用发射
ITU-R SM.326:	调幅无线电发射机功率的确定和测量
ITU-R SM.328:	发射的频谱和带宽
ITU-R SM.329:	杂散域内的无用发射
ITU-R SM.1446:	使用频率、相位或复调制技术的发射机互调产物的定义和测量
ITU-R SM.1539:	在应用ITU-R SM.1541建议书和ITU-R SM.329建议书时所需的带外域和杂散域之间边界的变化
ITU-R SM.1540:	落入邻近的已划分频带的带外域无用发射
ITU-R SM.1541:	带外域无用发射。

可能还需要一些超出了这些建议书提供范围的数据，包括：

- 系统的占空比；
- 发射机的地理分布和密度，包括部署密度；
- 无线电测定系统或地对空发射的天线指向或扫描图；
- 空对地发射的波束覆盖；
- 相关频谱掩模；
- 天线方向性图。

对于上述列出的各项，并非所有需要的数据都可以得到。某些参数可能必须假设。其他信息，如部署信息，可能需要建立模型。

2.2.2 矩形(2): 现有的ITU文献

该矩形指与选择适当的无源业务标准以免受干扰有关的文献。各种无源业务标准由负责各自无源业务的工作组制定, 在流程图上作为菱形(a)的输入项。这些建议书是为了帮助其他处理有源业务的工作组评估各自的业务对无源业务的潜在干扰而先后制定的。涉及的建议书清单如下:

ITU-R 建议书

ITU-R RA.769: 用于射电天文测量的保护标准

ITU-R RA.1513: 对于以主要使用条件划分给射电天文业务的频带, 因干扰恶化形成的射电天文业务的数据损失水平和时间百分比标准

ITU-R RS.1028: 卫星无源遥感的性能判据

ITU-R RS.1029: 卫星无源遥感的干扰判据。

2.2.3 矩形(3): 评估干扰

该矩形的作用是根据矩形(5)和(6)提供的信息为无源业务生成一个新的共用标准。例如, 可以假设旁瓣电平低于目前为RAS假设的0 dBi的接收天线增益数字。若情况如此, 重新计算共用标准的程序将按照矩形(3)进行。

为了评估非GSO FSS系统对RAS中各站的干扰, 应采用ITU-R S.1586建议书中的方法。同样, 为评估非GSO MSS和RNSS系统对RAS中各站的干扰, 应采用ITU-R M.1583建议书中的方法。

2.2.4 矩形(4)、(5)和(6): 新信息

这些矩形的作用是容纳共用研究过程中经过多次反复而引入的新信息。这种情况的一个例子是利用矩形(4)中提交给无线电通信局(BR)的《无线电规则》附录4信息来证明有理由采用低于规则性数值的带内pfd。其他的信息可能包括矩形(4)、(5)和(6)中任何一个所含的滤波器或天线信息, 这些信息是在研究过程中为了弥合差距而引入的。新信息也可能包括以前未考虑过的其他输入项, 如特定的ITU-R建议书、区域性建议或区域性标准。下面是相关矩形的例子:

矩形(4)

在较高的频率上, 发射天线的方向性图可能具有很窄的波束宽度, 以便在有限的服务区内使功率最大化, 从而增加吞吐量和克服大气效应。这样, 大部分地球表面都可能接收到一个远低于无源业务有害电平的无用发射pfd电平。有可能在一部分地球表面放宽该电平, 而不是找出整个地球表面都适用的电平。因此RAS站接收到特定方向有害干扰的可能性相当小。

在40-42.5 GHz 频带内, ITU-R S.1557建议书《供卫星固定业务与固定业务之间共用研究使用的50/40 GHz频带内工作的卫星固定业务系统的工作要求和特性》包括与该频带相关的研究中可能采用的参数。

矩形(5)

有些特性, 如频带特定接收天线方向性图, 可用于减小无源业务有害干扰电平与收到的无用发射电平之间的差别。

矩形(6)

ITU-R SM.1542建议书列出了许多减扰方法, 可以将有源业务对无源业务的影响降到最小。在任何特定情况下, 只有其中的某些减扰方法可能适用于当时的状况。在应用某种减扰方法时, 常常必须确定如何分摊由该应用带来的负担。

2.2.5 矩形(i): 发射机的发射信号

该矩形的目的是确定天线反射面边缘的带内发射功率密度。

2.2.5.1 一般情况

通常可以由下式得出发射功率密度值:

$$p_{\text{密度}} = e.i.r.p_{\text{密度}} - G_t \quad (1)$$

其中:

$p_{\text{密度}}$: 进入发射天线的发射功率密度(dB(W/Hz))

$e.i.r.p_{\text{密度}}$: 发射e.i.r.p.密度(dB(W/Hz))

G_t : 发射天线增益(dBi)。

发射功率密度也可按下式计算:

$$p_{\text{密度}} = 10 \log(p_t) - OBO - 10 \log(BW_{nb}) - L_c \quad (2)$$

其中:

p_t : 发射放大器最大额定功率(W)

OBO : 输出补偿(dB)

BW_{nb} : 必要带宽(Hz)

L_c : 发射放大器与发射天线之间的电路损耗(dB)。

应注意的是, 在公式(2)中, 假设发射功率密度在必要带宽上均匀分布。若该假设不正确, 则可以通过适当地修改带宽来更正。

2.2.5.2 依据《无线电规则》表 21-4规定的带内卫星发射功率电平

为从pfd限值中算出发射功率密度, 可采用下式:

$$P_{\text{密度}} = pfd + 10 \log(4\pi d^2) - G_t + L_c \quad (3)$$

其中:

pfd : 下行链路功率通量密度(dB(W/(m² · MHz)))

- d : 倾斜路径, 卫星至地球站(km)
 G_t : 发射天线增益(dBi)
 L_c : 发射放大器和发射天线之间的电路损耗(dB)。

若采用这些值, 结果将产生可能性最高的发射机发射信号电平, 这在许多情况下是不现实的)。这是因为许多因素未加考虑, 如实际发射天线的滚降和频谱波形。在上述计算中应记住, 发射天线增益取决于每个系统及其应用。通常, 卫星发射天线增益的变化如下:

- 对于非GSO MSS系统, 增益的变化范围是17 dBi至31 dBi, 取决于卫星的高度、仰角;
- 对于GSO MSS系统, 增益的变化范围是41 dBi至45 dBi;
- 对于现有4/6 GHz和12/14 GHz的FSS卫星系统, 天线增益的变化范围是20 dBi至42 dBi。然而, 未来的4/6 GHz和12/14 GHz卫星系统的天线增益可能明显地高于现有系统的天线增益;
- 对于20/30 GHz和40/50 GHz频带内的FSS卫星系统, 卫星发射天线增益的范围是44 dBi至60 dBi。

2.2.5.3 依据空间站RF总功率确定的功率密度

发射e.i.r.p.密度的计算取决于一个卫星的RF总发射功率、发射功率放大器与发射天线之间的电路损耗、发射天线增益、频率再用方案、指配的带宽、波束数目等。平均发射e.i.r.p.密度可由下式计算:

$$P_{\text{密度}} = 10 \log(P_{\text{总}}) - 10 \log(N_{\text{波束}}) - 10 \log\left(\frac{BW_{as}}{N_{freq}}\right) - OBO \quad (4)$$

其中:

- $P_{\text{总}}$: RF总发射功率(W)
 $N_{\text{波束}}$: 波束的数目
 BW_{as} : 指配的带宽 (Hz), 例如
 对于4/6 GHz频带为500 MHz; 对于12/14 GHz频带为1 000 MHz等。
 N_{freq} : 频率再用方案
 OBO : 输出补偿(dB)。

2.2.5.4 依据ITU卫星登记资料规定的功率密度

卫星发射功率密度可以直接从《无线电规则》附录4登记资料中获得。

2.2.6 矩形(ii): 干扰功率

该步骤的目标是根据矩形(i)中确定的带内pfd导出无源业务接收到的无用发射电平。不过评估结果会随着发射业务的特性以及受到干扰的无源业务的特性而有所变化。有源业务系统的无用发射对无源业务产生的潜在干扰可根据下式计算:

$$pfd_{\text{(无用发射)}} = pfd_{\text{带内有源}} - OoB - L \quad (5)$$

其中：

- $pf_{d(无用发射)}$ ：在RAS接收站址的功率通量密度电平
- $pf_{d(带内有源)}$ ：有源业务系统的带内pfd电平。在计算中可以采用表21-4中所示的最大可允许pfd限值。在某些情况下，无下行链路的pfd限值，可以采用有源系统的最大下行链路pfd限值
- OoB ：带外抑制掩模（例如，根据ITU-R SM.1541建议书）
- L ：由大气气体和闪烁损耗产生的衰减（见ITU-R P.676建议书《由大气气体产生的衰减》）。

《无线电规则》第1.153款和ITU-R SM.1541建议书提出了用于确定OoB域有源业务发射的方法。在应用ITU-R SM.1541建议书时，OoB域的范围通过应用ITU-R SM.1539建议书确定。采用ITU-R SM.329建议书得出在杂散域产生的有源业务的无用发射电平。

2.2.6.1 EESS接收机

EESS容易受来自地面发射机的干扰，包括单个高电平发射机和密集分布的低功率电平发射机的集总发射。星载发射机会通过从地球反射到天线主波束内的信号，或直接通过天线的侧面或背面而增加传感器接收的能量。

评估有源系统对EESS接收机产生的总功率需要的输入项包括：

- EESS系统的增益；
- EESS系统的指向特性；
- EESS系统的高度；
- 大气吸收。

2.2.6.1.1 发射机的地理密度

在传感器的测量周期内，地球表面部署的系统本质上是静止的。当传感器天线的主波束中出现几个发射机时，潜在的干扰增加。评估从EESS像素中部署的有源系统收到的功率所需要的信息如下：

- EESS像素的大小；
- 同时采用相同频率的像素大小中部署的终端数目；
- 地面系统在EESS卫星方向的增益的近似值。ITU-R F.1245建议书给出了FS点对点(P-P)系统的天线方向性图，ITU-R F.1336建议书给出了点对多点(P-MP)系统的基准辐射图。由于FS终端的指向接近地平线，所以FS系统直接指向EESS卫星天线主波束的概率甚低。在计算EESS卫星接收到的集总功率时要用到FS系统在EESS卫星方向的平均增益，作为一种初步方法，对每一FS终端而言，该平均增益可用偏轴角为90°时算出的增益来近似。

对于FS系统的情况，应考虑下述参数：

- 作为一种初步方法，（若可行的话）考虑频道安排（检查与EESS频带“最靠近的”频道）；
- ITU-R F.1191建议书规定，对于数字FS系统，必要带宽将被认为与占用带宽具有相同的值，还规定占用带宽之外（下限之下或上限之上）的FS功率应不超过某一给定发射的总平均功率的0.5%（见《无线电规则》第1.153款）。总平均功率的值在ITU-R F.758建议书中给出。

2.2.6.1.2 指向传感器的发射机

在某些情况下，若传感器位于地面站的天线主瓣内，个别的发射机可能会干扰测量。评估从有源系统接收到的功率需要如下信息：

- 发射机在EESS方向的增益；
- 链路。

2.2.6.1.3 卫星下行链路

在某些情况下，干扰可能来自进入空间站主波束的地面反射信号。评估从有源系统接收到的功率需要如下信息：

- 地面或水域的反射系数；
- 空间系统在地球方向的增益；
- 空间系统的高度或在地球上的pfd。

2.2.6.2 RAS接收机

2.2.6.2.1 来自固定业务的无用发射

预计高空平台站(HAPS)系统对RAS有潜在的干扰。关于地面源对射电天文频带的其他干扰问题，ITU-R SM.1542建议书尚未确认。

2.2.6.2.2 来自空间系统的无用发射

RAS站接收到的干扰功率不是来自GSO卫星业务下行链路，就是来自非GSO卫星业务下行链路。在第一种情况下，干扰的位置或时间通常不变。在第二种情况下，干扰功率在时间或空间位置上都变化。因此两种情况要分别处理。

2.2.6.2.2.1 来自GSO卫星系统(下行链路)的无用发射

无用发射的pfd可按式评估：

$$pfd_{\text{无用发射}} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g(f)}{SL \cdot ATM(f)} df \quad (6)$$

其中：

- $pfd_{\text{无用发射}}$ ：在RAS站的pfd(W/m²)
- f_1, f_2 ：分别为RAS接收机频带的下边缘和上边缘(Hz)
- $p(f)$ ：在发射天线反射面边缘上的无用发射功率密度(W/Hz)
- $g(f)$ ：射电天文站址方向的发射天线增益

SL : 扩散损耗(m^2)

$ATM(f)$: $f_1 - f_2$ 频带内的大气吸收, 为频率的函数。

应注意的是, 发射信号的功率密度、天线子系统的增益和大气吸收随频率而变化, 因此表示为频率的函数。RAS站所在位置的无用发射的 pdf 是这些函数在接收机通带频率上的积分, 如上式所示。在无源业务接收机的整个带宽内若无用发射功率密度、天线增益和大气吸收为恒定值, 则函数可以简化如下:

$$pdf_{\text{无用发射}} = \frac{P \cdot g}{SL \cdot ATM} (f_2 - f_1) \quad (7)$$

在有源频带与无源频带相邻的情况下, 可以假设发射天线增益在发射频带和无源频带内都保持近似恒定。不过情况并非常常如此, 特别是在无源频带低于天线子系统中波导馈电网的截止频率时。

2.2.6.2.2.2 来自非GSO卫星系统(下行链路)的无用发射

为了评估非GSO FSS系统对RAS中各站的干扰, 应采用ITU-R S.1586建议书中的方法。同样, 为了评估非GSO MSS和RNSS系统对RAS中各站的干扰, 应采用ITU-R M.1583建议书的方法。

2.2.7 矩形(iii): 评定差异

该矩形的目的是在进行流程中的下一次反复之前, 重新检查输入数据和差异。若已经达到该矩形, 则接收到的干扰大于门限, 这意味着在下一次反复中必须做出改变以弥合两个数字之间的差异。

在循环的头几次反复中, 应着重提高评估无源业务所受干扰的准确度。由于在初步的共用研究中对两个系统做了粗略假设, 因此需要改善这些假设, 以便适当地评估潜在干扰。更详细的系统描述和计算方法可能需要更复杂的计算, 但最后可能会揭示出潜在干扰明显低于粗略假设所表明的值。

一旦认为该研究已经足够精确但是依然存在差距, 其中一方或双方必须采取限制性措施以明确问题之所在。这些限制性措施的形式可以是操作限制、设备特性的改变或共用标准的修改。

一旦在该矩形中确定下一步可能的改变范围, 则相应的判定框将影响这种改变并导致新的干扰评估。

2.2.8 矩形(iv): 协商性解决方案

在流程中经过几次反复后, 有源和无源业务之间仍然可能存在差距。若系统参数、保护标准或减扰方法中的任一个都无法进一步改变, 则没有通用的解决方案允许有源频带的所有使用者与无源业务的所有使用者共用。剩下的唯一有可能采用的解决方案是有源频带和无源频带的一部分使用者展开讨论, 或许这部分使用者能达成协议。例如, 在两个相邻频带之间, FSS和RAS之间有可能无法找到解决方案。然而, 在非GSO FSS和RAS之间找到解决方案却是可能的。

图1的方法有可能确实对本节中一部分共用频带的运营商和运行机构之间展开的讨论有用。

然而，若较小的协商小组都不能达成协议，则该方法以未能弥合差距而结束。在流程中几经反复取得的进展可能确实已对弥合差距和表明未来的研究范围提供了帮助。它也为规则制定和执行者可以从中选择的多重解决方案提供了基础。

2.2.9 菱形(a): 干扰功率 \leq 无源业务标准

将矩形(ii)中评估的干扰功率与矩形(2)中相应的无源业务保护标准相比较。若干扰大于有害电平，则流程进行至判定菱形(b)。若干扰小于或等于这些保护标准，则该方法结束。

2.2.10 菱形(b): 干扰功率 \leq 门限

在随后的反复中，菱形(b)中的门限可能表明，在尽量减少对有源业务的限制的同时为无源业务提供足够保护的工作安排是可能的。所用的参数可从菱形(c)、(d)或(e)中的程序得到。由这种安排产生的负担在两种业务之间公平分配。若产生干扰的有源业务有多个，每个单独的业务都应遵循反复程序，对每种业务都可能导致不同的工作安排。指导原则是，相关各方的总负担不应导致其中的任何一方无法有效工作。

2.2.11 菱形(c): 可以改善发射参数吗?

完成矩形(iii)的重新检查之后，可能会修改有源业务的发射参数。例如，对于计划中的未来系统，可以用更能代表趋势的电平更低的规则性限值来替代最坏情况假设。在后续的反复中则可以顾及这些修改的假设。

2.2.12 菱形(d): 可以改善无源频带内的接收参数吗?

完成矩形(iii)的重新检查之后，可能会修改无源业务的接收参数。例如，可以采用实际天线方向性图，而不采用更为保守的方向性图。在后续的反复中则可以顾及这些修改的假设。

2.2.13 菱形(e): 采用减扰技术切实可行吗?

一旦有源和无源业务的参数无法继续改善，但干扰和共用门限之间仍存在差距，则可以认为减扰方法是减小差距的一种方式。本节中还包括3种可能的方法，尽管还存在其他的方法（例如ITU-R SM.1542建议书附件3中的清单）。

2.2.13.1 有源系统

2.2.13.1.1 由有源系统进行滤波

一种充分保护无源业务的方法是在发射机的RF链中引入附加的滤波过程以降低无用发射电平。在某些情况下，若发射机的体系结构允许插入一个滤波器或改善现有的滤波器，由此造成负担最小。然而在某些情况下，滤波器的适用性可能受到成本、重量和/或容量降低等的影响。

2.2.13.1.2 保护频带的使用

一种降低有源业务发射机对无源频带的无用发射电平的方法是引入保护频带。保护频带可以降低无源业务运行机构接收到的干扰功率。虽然这可能在双方系统共用相邻频带时有效，但在频带之间的间距较大时就内什么价值了，因为附加带宽可能不会显著提高滤波器的衰减。而且，插入保护频带减小了一方或双方业务可用的带宽。

要评估保护频带的影响，应进行下列计算。无源业务接收到的干扰功率(W)如下：

$$I = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g_1(f) \cdot g_2(f) \cdot |h(f)|^2}{FSL \cdot ATM(f)} df \quad (8)$$

其中：

- I : 无源业务接收机在其接收带宽内收到的干扰功率(W)
- f_1, f_2 : 分别为无源业务接收机频带的上边缘和下边缘(Hz)
- $p(f)$: 发射天线反射面边缘上的无用发射功率密度，为频率的函数(W/Hz)
- $g_1(f)$: 无源业务天线方向的发射天线增益，为频率的函数
- $g_2(f)$: 发射天线方向的无源业务天线增益，为频率的函数
- FSL : 自由空间损耗
- $ATM(f)$: 频带内的大气吸收，为频率的函数
- $h(f)$: 无源业务接收滤波器的传递函数。

实现保护频带包括移动变接收机和发射机两者的曲线。频移的结果是改变了某些曲线的形状以适应可用的带宽。

2.2.13.1.3 地理隔离的使用

避免有害干扰的另一种方法是确保无源业务地球站距有源业务发射机的视轴足够远。若无源业务地球站所处的位置远离空间站服务区，则干扰最小。而且，若无源业务地球站数量很少且其位置众所周知，则空间站设计者可以安排波束的位置以避免无源业务地球站。

2.2.13.2 无源系统

见ITU-R SM.1542建议书。

2.2.14 结束圆形(a)、(b)、(c)

结束(a): 从流程在该点结束可以确定, 在初始无源业务参数和初始或改善的有源业务参数之间, 已明确显示出兼容性。该点一个可能的结果是, 不需要再修改, 对初始参数的分析表示系统是兼容的。

结束(b): 从流程在该点结束可以确定, 在初始或改善的无源业务参数以及初始或改善的有源业务参数之间, 或通过考虑其他减扰技术, 已明确显示出兼容性。

结束(c): 从流程在该点结束可以确定, 采用每项业务的初始或改善的参数无法显示出兼容性。负责特定系统的主管部门必须参加涉及这些系统的协商。

3 在150.05-153.0 MHz频带内工作的RAS系统与在137-138 MHz频带内工作的卫星移动业务(空对地)系统之间的兼容性

3.1 RAS

3.1.1 划分的频带

150.05-153.0 MHz频带以主要使用条件划分给第一区的固定业务、移动业务(航空移动除外)和RAS。另外, 《无线电规则》第5.225款以主要使用条件将该频带划分给澳大利亚和印度的射电天文业务。

《无线电规则》第5.149款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护RAS。

3.1.2 观测类型

该频带用于连续谱(宽带)观测。

必须确保对宇宙射电源连续谱观测所必需的频谱覆盖。已知该覆盖需要倍频程间隔, 该覆盖正好位于73-74.6 MHz频带和322-328.6 MHz频带之间, 而这些频带也由射电天文业务用于同样的目的。该频带也用于太阳观测和脉冲星的高速、周期性发射的观测。

3.1.3 所需的保护标准

对射电天文观测的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中给出。

这些门限电平成为保护标准, 超过该门限, 射电天文数据会降质, 最终有可能完全损毁。一般而言, 在相当理想的环境下, 若稍微超过这些电平, 有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下, 天文望远镜的通道容量会降低, 科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设(如天线性能等), 在干扰电平比该建议书中的规定高出10 dB或以上时, 要确保科研人员获得有效的科研数据, 靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术, 射电天文站将无法在受影响频带工作, 其提供服务的能力也就不存在了。

对于连续谱观测，通常使用150.05-153.0 MHz的整个2.95 MHz带宽。单反射面观测的有害干扰的pfd门限为-194 dB(W/m²)。

3.1.4 工作特性

一般而言，连续谱观测是以不同的方式进行的：可以测绘天空中宇宙射电源周围的那部分区域，而背景发射则被去除，或者可以对来自源方向（源内）和来自天空中一个或多个邻近点(源外)的功率进行测量。从源内值中去除源外值，即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

3.2 MSS

3.2.1 划分的发射频带

137-137.025 MHz和137.175-137.825 MHz频带以主要使用条件划分给所有三个ITU区域的MSS(空对地)。137.025-137.175 MHz和137.825-138 MHz频带以次要使用条件划分给所有三个ITU区域的MSS。

《无线电规则》第5.208A和第5.209款适用于该频带的MSS。

《无线电规则》第5.208A款规定，“在对137-138 MHz、387-390 MHz和400.15-401 MHz频带内的卫星移动业务的空间电台进行指配时，各主管部门应采取一切切实可行的措施保护150.05-153 MHz、322-328.6 MHz、406.1-410 MHz和608-614 MHz频带内的射电天文业务免受无用发射的有害干扰。ITU-R RA.769-1建议书的表1内列有对射电天文业务有害干扰的门限电平。(WRC-97)”。

《无线电规则》第5.209款规定，“卫星移动业务使用137-138 MHz、148-150.05 MHz、399.9-400.05 MHz、400.15-401 MHz、454-456 MHz和459-460 MHz频带限于非对地静止卫星系统。(WRC-97)”。

3.2.2 应用

1 GHz以下非GSO MSS中的系统能够以较低的数据速率(2.8至19.2 kbit/s)发送数据的数字分组。这些系统提供高质量的无线数据通信。低频率(1 GHz以下)和低地球轨道形成了小型的小功率地球站，系统实现成本也因此降低。网络的设计目标是能够在世界上全部地区或大部分地区提供覆盖(某些系统不包括极区的全部覆盖)。一般而言，在同一个卫星同时覆盖用户电台和馈电链路电台时，这些MMS系统以近实时的方式工作。但若用户电台和馈电链路电台不在同一卫星的覆盖区内，例如当一个用户位于开放的海域时，系统也能以存储转发方式工作。按照该方式，系统的工作时延范围从几秒钟到几小时，取决于下一次卫星跃过馈电链路电台的时间。

3.2.3 依据规则性条款规定的电平

没有硬性规定该频带MSS适用的限值。

3.2.4 工作特性

ITU-R M.1184建议书对正在使用或计划用于业务下行链路频带或网关下行链路频带的4种非GSO MSS系统的技术和工作特性做了说明。这些系统是L、M、P和Q。实际系统Q的轨道特性与该建议书中的有所不同。系统Q的实际特性在表2中给出，表中还包括系统L、M和P的特性。

表2

1 GHz以下非GSO MSS网络的轨道参数

系统	L	M			P	Q	
卫星数目	48				6	26	
高度(km)	950	825		775	893	1 000	
倾角(度)	50	45	0	70, 108	99	66	83
轨道平面	8	3	1	2	2	4	2
卫星/平面	6	8			3	6	1
升交点赤经(度)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 120, 240	0	0, 180	9.8	0, 90, 180, 270	0, 90
下行链路发射功率(W)	25	18.2			1	32	
下行链路e.i.r.p.(dBW)	19.7	13.6			3.8	17.8	
必要带宽(kHz)	25	25			855	25	
MSS频带的pfd(dB(W/m ²))	-111	-115			-126	-113	

3.3 兼容性门限

对于非GSO星群的情况，可由ITU-R RA.769建议书中给出的对射电天文观测的有害干扰pfd门限电平和ITU-R RA.1631建议书中给出的最大射电天文天线增益（对该频带为44 dBi）算出150.05-153 MHz频带的epfd门限电平为-238 dB(W/m²)。

3.4 干扰评估

3.4.1 用于评估干扰电平的方法

ITU-R M.1583建议书给出了评估由某个非GSO系统在射电天文站址处产生的无用发射电平的方法。该方法的基础是把天空分成尺寸几乎相同的小区并进行统计分析，在统计分析中RAS天线的指向和卫星星群的启动时间都是随机变量。对于每次评估，无用发射电平（以epfd表示）都在2 000 s的时段内平均。

所选择的RAS特性相当于德国Effelsberg射电望远镜的特性，该射电望远镜可以在相关频带内进行观测，天线直径为100 m，最大增益约为44 dBi。天线方向性图和最大天线增益取自ITU-R RA.1631建议书。

Effelsberg监测站的地理坐标为：

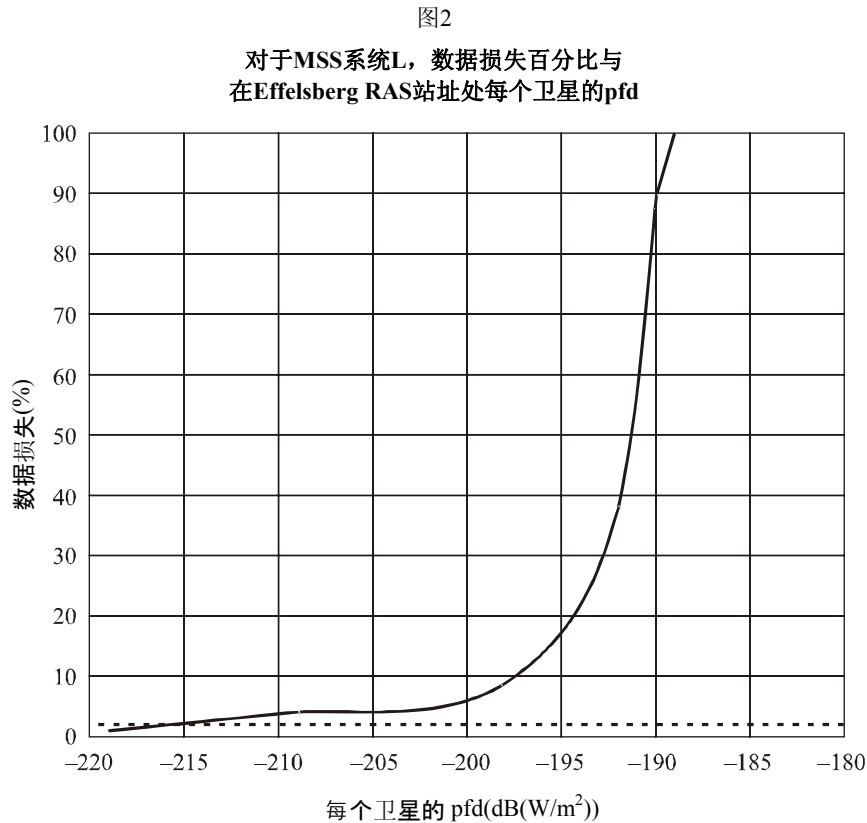
纬度：50.7° N 经度：7.0° E

为了得到最一般化的结果，完成仿真时RAS天线选取0°的仰角。

3.4.2 干扰电平的计算

3.4.2.1 MSS系统L

图2示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限电平的时间百分比（按照ITU-R RA.1513建议书的解释，超过该门限相当于发生了数据损失）。



为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内MSS系统L的每个卫星产生的pfd应小于-216 dB(W/m²)。

图3示出了对于天空中的每个小区和（每个卫星）-216 dB(W/m²)的pfd，超过epfd门限电平的时间百分比。

在图3、图5、图7和图9中，0°方位角为正北，方位角增加的方向为由西向东。

3.4.2.2 MSS系统M

图4示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限电平的时间百分比。

为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内MSS系统M的每个卫星产生的pfd应小于-212 dB(W/m²)。

图5示出了对于天空中的每个小区和(每个卫星)-212 dB(W/m²)的pfd，超过epfd门限电平的时间百分比。

图3

对于MSS系统L, 在Effelsberg RAS站址处
pfd值为 $-216 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 时天空中的数据损失百分比

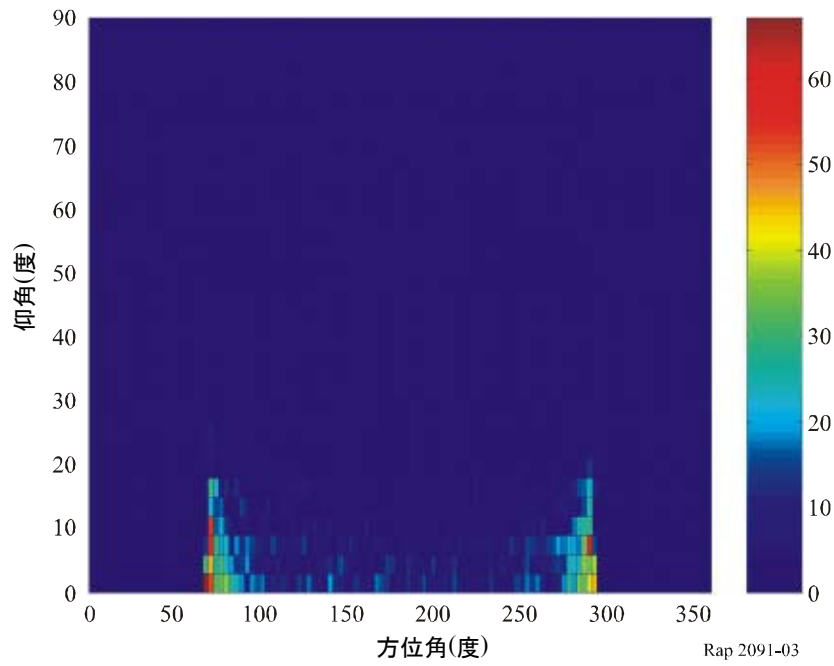


图4

对于MSS系统M, 数据损失百分比与
在Effelsberg RAS站址处每个卫星的pfd

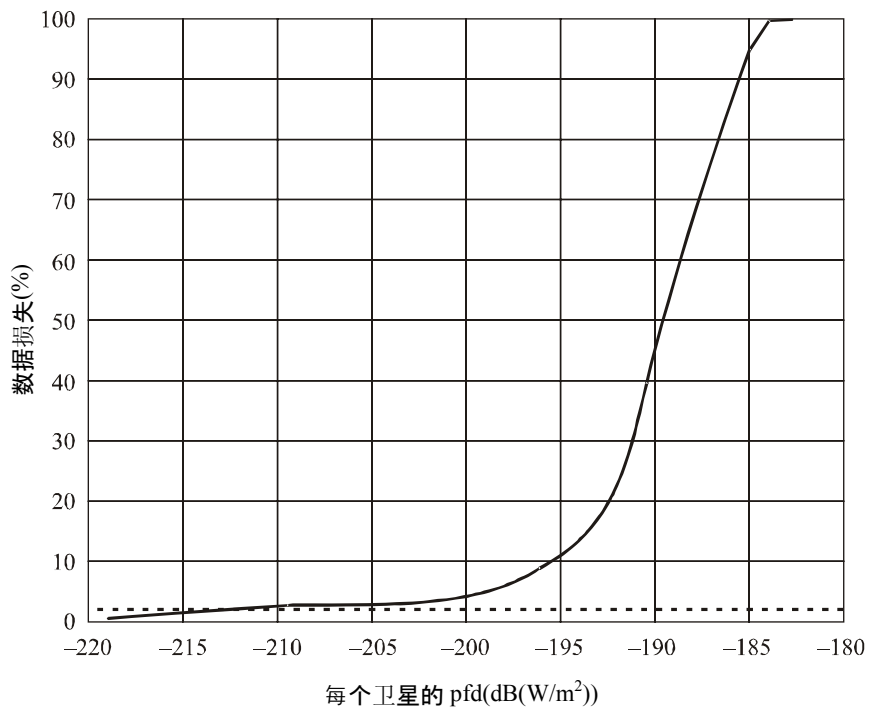
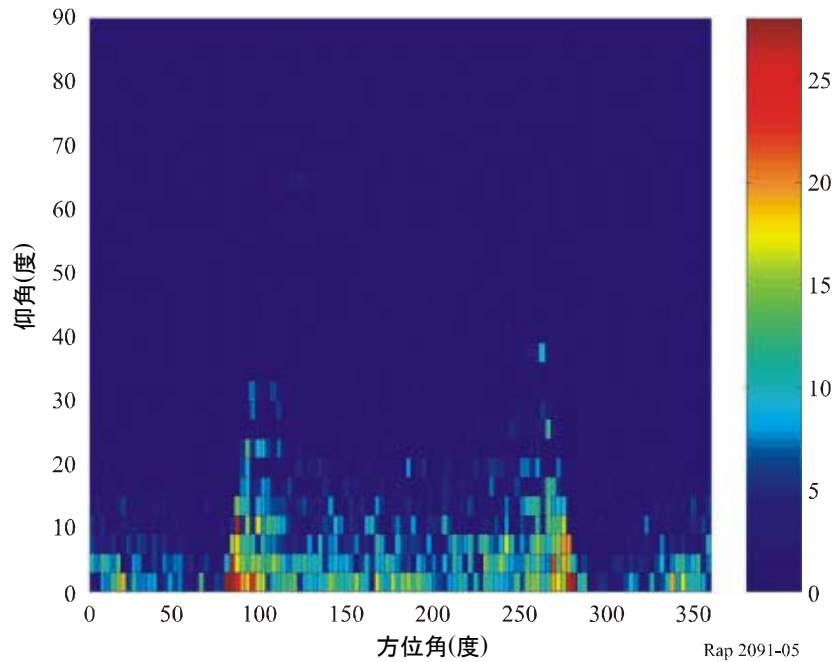


图5

对于MSS系统M, 在Effelsberg RAS站址处
pfd值为 $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 时天空中的数据损失百分比

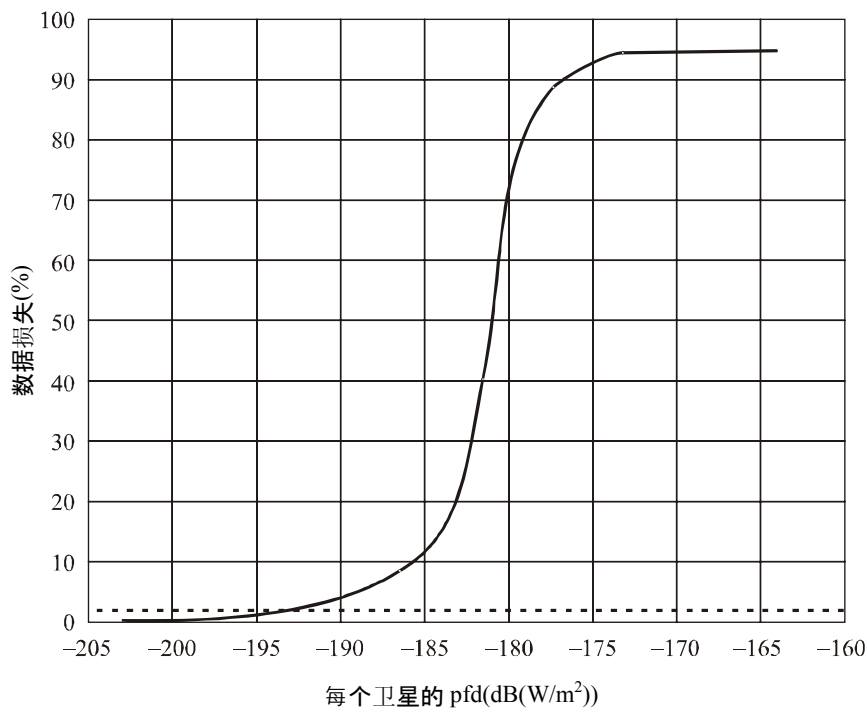


3.4.2.3 MSS系统P

图6示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值, 在射电天文站址处超过epfd门限电平的时间百分比。

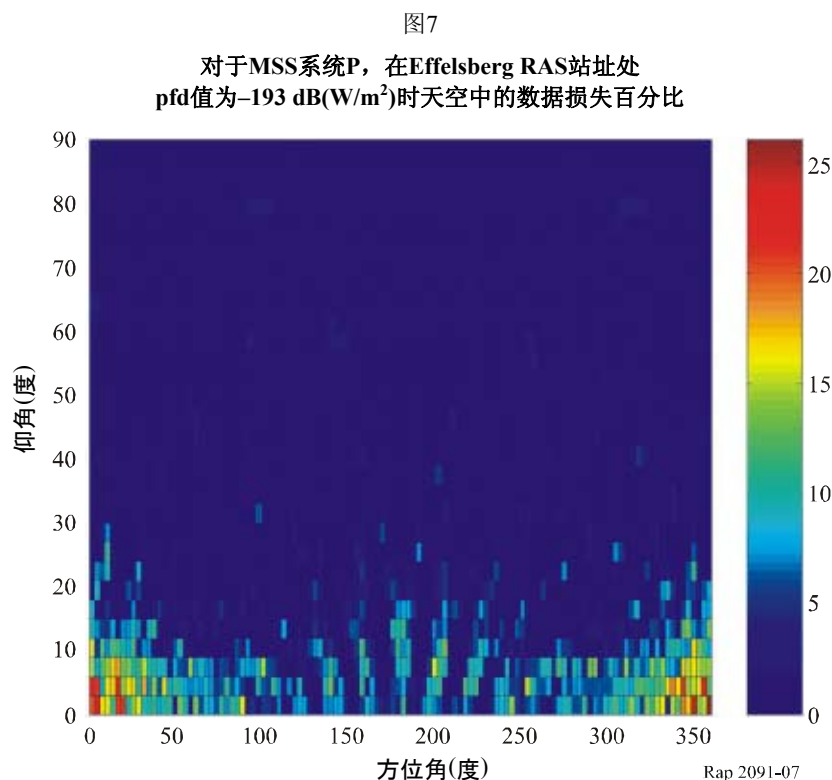
图6

对于MSS系统P, 数据损失百分比与
在Effelsberg RAS站址处每个卫星的pfd



为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内MSS系统P的每个卫星产生的pfd应小于 $-193 \text{ dB(W/m}^2)$ 。

图7示出了对于天空中的每个小区和（每个卫星） $-193 \text{ dB(W/m}^2)$ 的pfd，超过epfd门限电平的时间百分比。



3.4.2.4 MSS系统Q

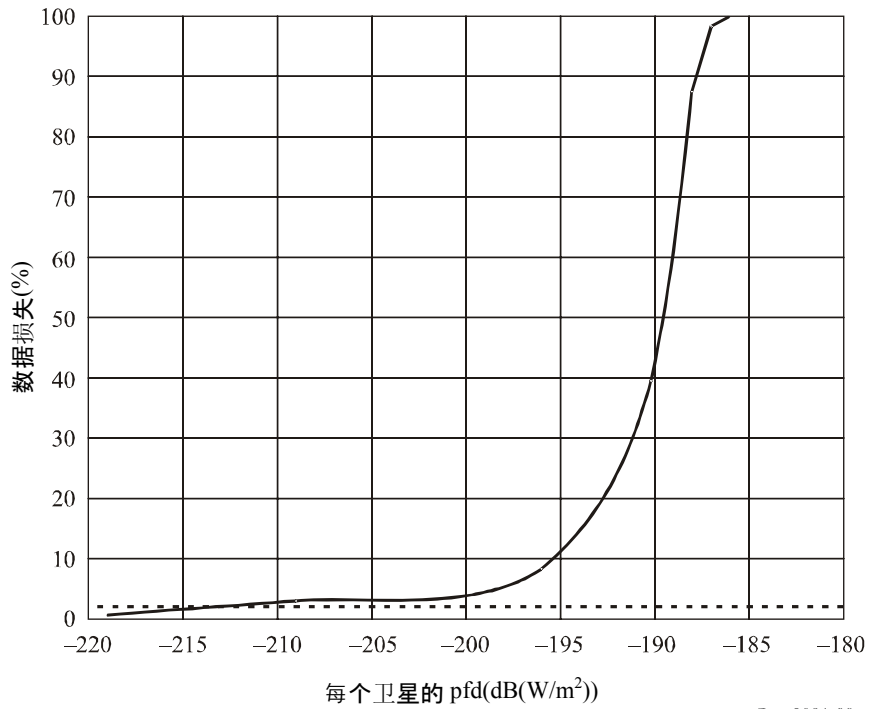
图8示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限电平的时间百分比。

为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内MSS系统Q的每个卫星产生的pfd应小于 $-212 \text{ dB(W/m}^2)$ 。

图9示出了对于天空中的每个小区和（每个卫星） $-212 \text{ dB(W/m}^2)$ 的pfd，超过epfd门限电平的时间百分比。

图8

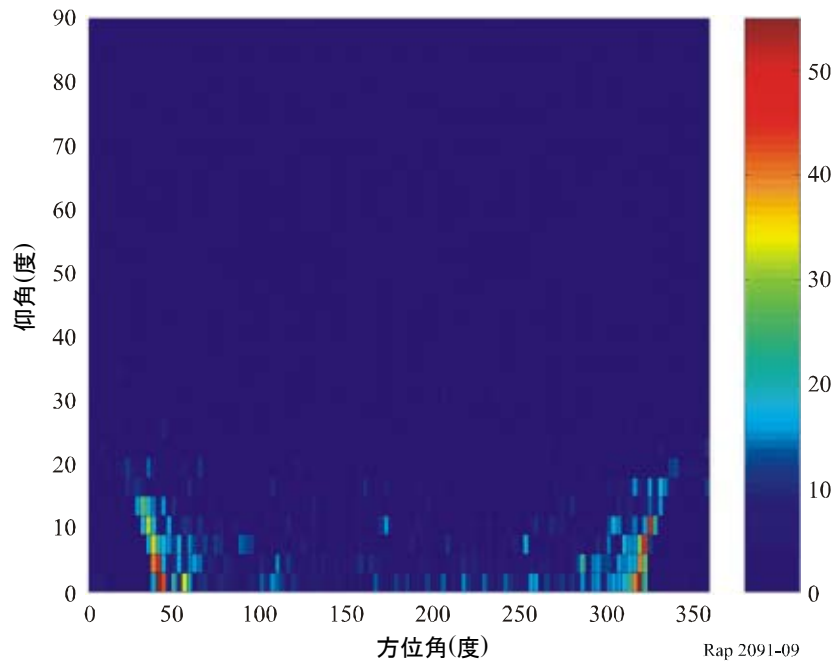
对于MSS系统Q，数据损失百分比与在Effelsberg RAS站址处每个卫星的pfd



Rap 2091-08

图9

对于MSS系统Q，在Effelsberg RAS站址处 pfd值为-212 dB(W/m²) 时天空中的数据损失百分比



Rap 2091-09

3.4.3 达到的值

采用137-138 MHz频带的MSS非GSO卫星落入150.05-153 MHz RAS频带内的无用发射属于杂散域。

表3示出了为避免超过有害epfd门限，1 GHz以下的4个非GSO MSS系统中每一个系统所必需的衰减。

表3

1 GHz以下的非GSO MSS网络为达到有害epfd电平所必需的衰减

系统	L	M	P	Q
MSS频带内的发射功率(W)	25	18.2	1	32
MSS频带内的pfd (dB(W/m ²))	-111	-115	-126	-113
43 + 10 × log (P)	57	56	43	58
附录3中的杂散衰减(dBc, 在4 kHz内)	57	56	43	58
附录3中的杂散电平(dB(W, 在4 kHz内))	-43	-43	-43	-43
RAS频带内的杂散电平(dBW)	-14.3	-14.3	-14.3	-14.3
RAS频带内的杂散pfd (dB(W/m ²))	-139	-142	-140.3	-143
无源频带内所需的pfd (dB(W/m ²))	-216	-212	-193	-213
必需的衰减(dB)	77	70	52.7	70

必须注意，为了计算RAS频带内杂散发射的总量，可以认为杂散发射在整个RAS频带内具有恒定的电平。这种假设须符合非常严格的条件，显然不代表实际情况，因为杂散发射一般出现在某些离散频率上。因此还需要进一步努力，顾及杂散发射的这种离散分量，以便获得更实际的RAS频带内MSS无用发射电平。

3.5 减扰技术

3.5.1 RAS

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入的地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明，大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。

3.5.2 对RAS的潜在影响

天线旁瓣性能：尝试降低射电天文天线对来自空间站的无用发射的灵敏度，有可能会增加射电天文望远镜对地面辐射的灵敏度，并有可能降低其主瓣增益。这两种效应都会降低所需的总积分时间内望远镜的通道容量，并因此导致总积分时间延长。

时间和/或频率屏蔽：这种屏蔽存在着降低数据完整性的风险，对数据进行科学解释时有可能形成误差。屏蔽还有可能增加观测所需的总积分时间，这相当于损失了望远镜的通道容量。

4 在322-328.6 MHz频带内工作的RAS系统与在387-390 MHz频带内工作的卫星移动业务（空对地）系统之间的兼容性分析

4.1 RAS

4.1.1 划分的频带

322-328.6 MHz频带以主要使用条件划分给固定业务、移动业务（航空移动除外）和射电天文业务。

《无线电规则》第5.149款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护RAS。

4.1.2 观测类型

在单反射面以及甚长基线干涉测量(VLBI)方式中，该频带既用于连续谱（宽带）观测，也用于谱线（窄带）观测。

必须确保对宇宙射电源连续谱观测所必需的频谱覆盖。已知该覆盖需要倍频程间隔，该覆盖正好位于150.5-153 MHz频带和608-614 MHz频带之间，而这些频带也由RAS用于同样的目的。

该频带含有一条重要的原子谱线：频率为327.4 MHz的氘的超精细结构谱线，是最近（2005年5月）检测到的。氘相对于氢的丰度直接关系到宇宙的起源问题和元素的合成问题，确定其丰度或确定该值上限的最低值将有助于限定宇宙学理论。

该频带也用于观测1 420.4 MHz中性氢原子(HI)谱线的甚高红移发射。该谱线是邻近星系中最常观测的射电谱线。322-328.6 MHz频谱范围内的观测可探测星系形成期以及大尺度结构，并将有助于限定宇宙学理论。

4.1.3 所需的保护标准

对射电天文观测造成有害干扰的门限电平在ITU-R RA.769建议书中给出。这些门限电平成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设（如天线性能等），在干扰电平比该建议书的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

322-328.6 MHz频带用于连续谱观测和谱线观测。对于单反射面连续谱观测，采用该频带整个6.6 MHz的带宽，此时有害干扰的pfd门限为 $-189 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。对于单反射面谱线观测，在10 kHz带宽内有害干扰的pfd门限为 $-204 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映，对于整个6.6 MHz带宽，其值为 $-147 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

4.1.4 工作特性

一般而言，观测是以不同的方式进行的。

对于连续谱发射，可以测绘天空中宇宙射电源周围的那部分区域，而背景发射则被去除，或者可以对来自源方向（源内）和来自天空中一个或多个邻近点（源外）的功率进行测量。从源内值中去除源外值，即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

对于谱线观测，在包括相关谱线发射在内的频率范围内对频谱进行记录，然后在偏离谱线发射的某个频率上进行记录，或者在频率相同的空间邻近位置上进行记录（基准频谱）。从线状谱中去除基准频谱，即可从数据中去除无用噪声分量和其他掺杂物。

谱线观测采用多通道分光仪，可以同时将在频带内的许多（通常最多为8 192个）频率通道的功率集中到一起。选择的通道的数目和各自的带宽应能对天线波束内来自天体的净发射形成足够的抽样。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

4.2 MSS

4.2.1 划分的发射频带

在所有三个ITU区域，387-390 MHz频带以次要使用条件划分给卫星移动业务（空对地）。

《无线电规则》第5.208A和第5.255款适用于该频带的MSS。

《无线电规则》第5.208A款规定，“在对137-138 MHz、387-390 MHz和400.15-401 MHz频带内的卫星移动业务的空间电台进行指配时，各主管部门应采取一切切实可行的措施保护150.05-153 MHz、322-328.6 MHz、406.1-410 MHz和608-614 MHz频带内的射电天文业务免受无用发射的有害干扰。ITU-R RA.769-1建议书的表1内列有对射电天文业务有害干扰的门限电平。(WRC-97)”。

《无线电规则》第5.255款规定，“卫星移动业务的312-315 MHz（地对空）和387-390 MHz（空对地）频带也可用于非对地静止卫星系统。这种使用须按照第9.11A款进行协调。”

4.2.2 应用

1 GHz以下非GSO MSS系统计划用于数字传输和通信支持。

4.2.3 依据规则性条款规定的电平

没有硬性规定该频带MSS适用的限值。

4.2.4 工作特性

4.2.4.1 非GSO MSS系统

在任何ITU-R建议书中，特别是在ITU-R M.1184建议书中，不含有关于使用387-390 MHz频带的MSS系统的资料。

在ITU国际频率登记总表(MIFR)中确认了俄罗斯GONETS系统。表4表示在分析中采用的MSS系统特性。

为了衰减322-328.6 MHz频带内的无用发射，在GONETS-M卫星上安装了可提供50 dB衰减的特殊滤波器。

表4

GONETS-M的特性

参数	值
轨道类型	圆形
高度(km)	1 500
倾角(度)	82.5
轨道平面中的卫星数目	8
轨道平面的数目	6
轨道平面中卫星之间的间隔(度)	22.5
轨道平面的间隔(度)	60
工作频带(MHz)	387-390
最大频谱功率密度(dB(W/Hz))	-32.3
在322-328.6 MHz频带内发射信号的功率(dB(W/6.6 MHz))	-34.8
在322-328.6 MHz频带的10 kHz带宽内的频谱功率密度(dB(W/10 kHz))	-63
滤波器衰减(dB)	50
卫星天线的最大发射增益(dB)	3
发射天线方向性图	ND

4.2.4.2 GSO情况

在MIFR中可以找到某些MSS GSO卫星，在表5中列出，但未提供技术参数。

表5

在MIFR中登记的387-390 MHz有源频带内的卫星

主管部门	卫星名称
AUS	ADF/ADF West
F	SYRACUSE-4
G	SKYNET-5
RUS	VOLNA

因此，考虑在干扰评估中采用经度为0°的典型GSO卫星。

4.3 兼容性门限

4.3.1 非GSO系统

对于非GSO星群的情况，可由ITU-R RA.769建议书中给出的对射电天文观测的有害干扰pfd门限和ITU-R RA.1631建议书中给出的最大射电天文天线增益（对该频带为51 dBi）算出322-328.6 MHz频带的连续谱观测的epfd门限电平为-240 dB(W/m²)。对于谱线观测，在10 kHz频带内相应的门限电平为-255 (dB(W/m²))。

4.3.2 GSO系统

ITU-R RA.769建议书含有对射电天文连续谱(宽带)观测的有害干扰的门限电平。表6重新列出了这些电平。

表6

RA保护标准

有源频带 (MHz)	有源业务	无源频带 (MHz)	最大功率 (RA.769) (dBW)	pfd (RA.769) (dB(W/m ²))	spfd (RA.769) (dB(W/(m ² ·Hz)))
387-390	MSS	322-328.6	-201	-189	-258

4.4 干扰评估

4.4.1 非GSO情况

4.4.1.1 用于评估干扰电平的方法

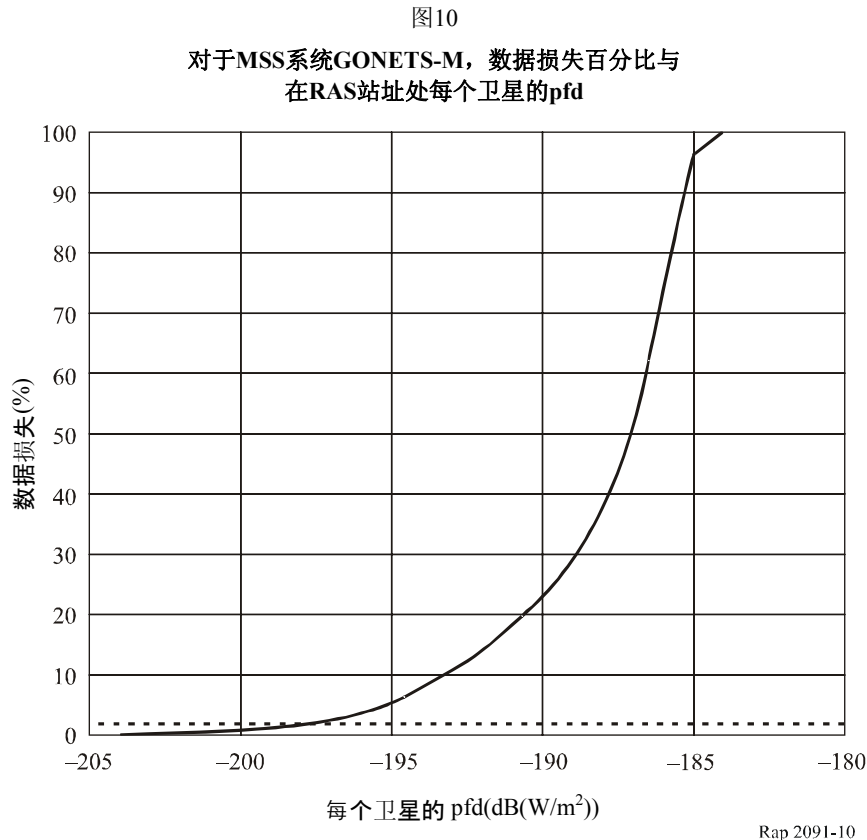
ITU-R M.1583建议书给出了评估由某个非GSO系统在射电天文站址处产生的无用发射电平的方法。该方法的基础是把天空分成尺寸几乎相同的小区并进行统计分析，在统计分析中RAS天线的指向和卫星星群的启动时间都是随机变量。对于每次评估，无用发射电平（以epfd表示）都在2 000 s的时段内平均。

所选的RAS站的天线直径为100 m，最大增益为51 dBi。天线方向性图和最大天线增益取自ITU-R RA.1631建议书。它位于法国的中部。

为了得到最一般化的结果，完成仿真时RAS天线选取0°的最小仰角。

4.4.1.2 干扰电平的计算

图10示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限电平的时间百分比（按照ITU-R RA.1513建议书的解释，超过该门限相当于发生了数据损失）。



为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限，在322-328.6 MHz射电天文频带内MSS系统GONETS-M的每个卫星产生的pfd应小于-198 dB(W/m²)。

图11示出了对于天空中的每个小区和（每个卫星）-198 dB(W/m²)的pfd，超过epfd门限的时间百分比。

在图11中，0°方位角为正北，方位角增加的方向为由西向东。

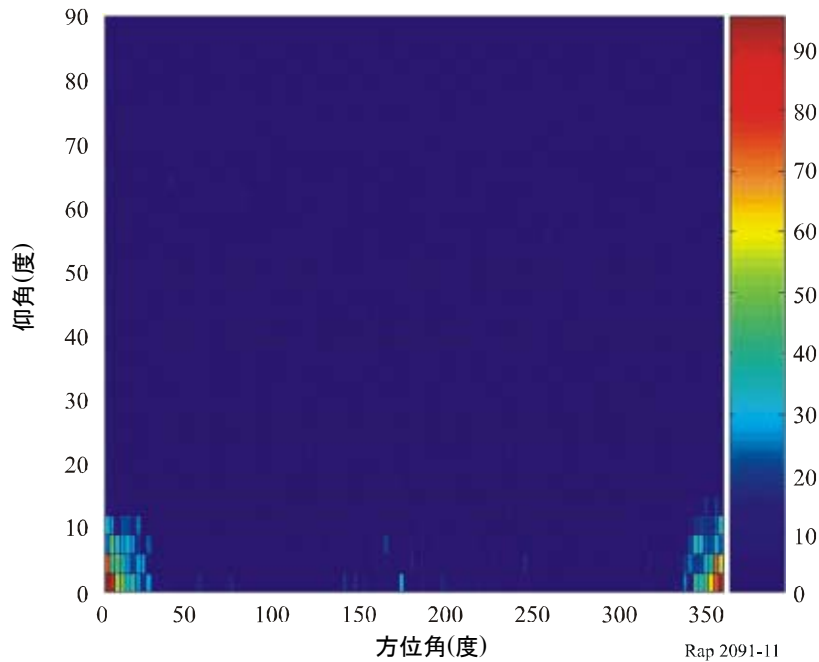
谱线观测所需的pfd值可以采用公式(9)直接推算出，而无需连续谱观测所需值的再模拟：

$$Pfd_{\text{谱线}} = pfd_{\text{连续谱}} + epfd_{\text{谱线}} - epfd_{\text{连续谱}} \quad (9)$$

为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限，在322-328.6 MHz射电天文频带的任何10 kHz带宽内MSS系统GONETS-M的每个卫星产生的pfd应小于-213 dB(W/m²)。

图11

对于MSS系统GONETS-M，在RAS站址处
pfd值为 $-198 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 时天空中的数据损失百分比



根据系统性能，任何GONETS M卫星在322-328.6 MHz频带的任何10 kHz频带内在地球表面产生的频谱功率密度等于 $-244.5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ kHz))}$ （见第4.3.1节），未超过上文 $-213.5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ kHz))}$ 的保护标准。

4.4.2 GSO情况

在MIFR中可找到4颗现有卫星的信息。据此可以认为频谱功率密度等于 $-244.5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ kHz))}$ 的GSO卫星位于 0° 的经度上。

对于下文各小节中所含的研究而言，

- RAS站的全部特性均取自网页<http://www.astron.nl/craf/raobs.htm>。这些射电天文站位于CEPT国家。

考虑到GSO卫星和相关射电天文站处在不同的位置，因此能够算出RAS频带内可允许的e.i.r.p.，以便遵守图12中所示的所有射电天文站的保护标准。

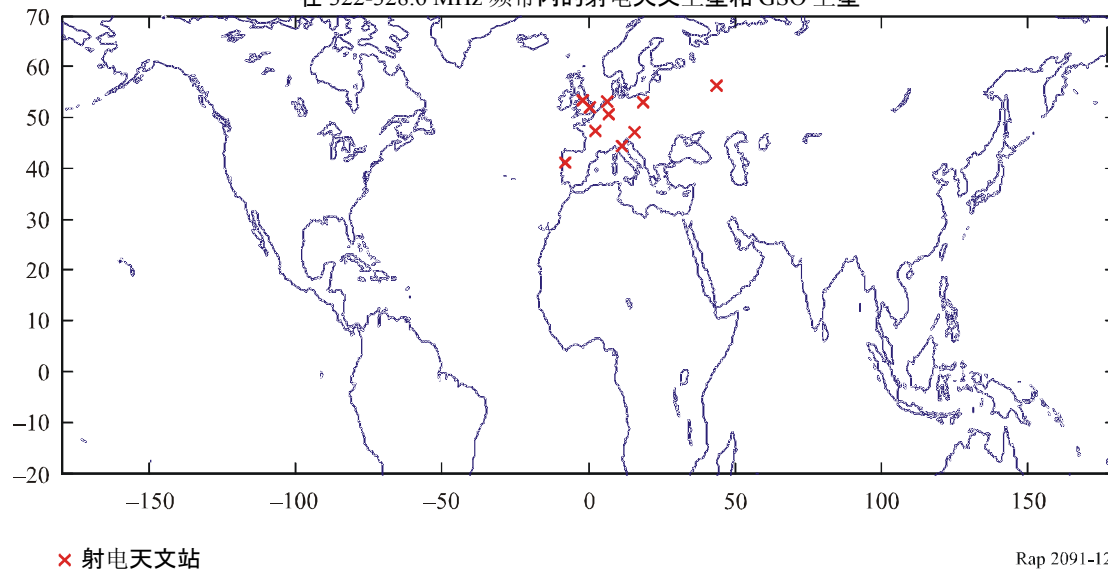
因此，若能得某个GSO卫星的典型参数，就可以通过有源业务中GSO卫星的e.i.r.p.与无源频带内最大可允许e.i.r.p.之间的差值确定OoB衰减因子。

这一必需的衰减因子若符合相关ITU-R建议书规定的相关数据(例如《无线电规则》附录3中的限值)，就可以据此结束干扰评估。

图12

在322-328.6 MHz频带内的RAS站和GSO卫星

在 322-328.6 MHz 频带内的射电天文卫星和 GSO 卫星



4.4.3 达到的值

4.4.3.1 非GSO情况

根据第4.2.4节中提供的数据可以算出每个MSS卫星在RAS频带内辐射的pfd，如表7所示。

表7

GONETS-M卫星辐射的最大pfd

参数	连续谱 (322-328.6 MHz频带)	谱线(322-328.6 MHz频带的任何10 kHz带宽内)
高度(km)	1 500	
发射信号的功率(dBW)	-34.8	-63
附加滤波器衰减(dB)	50	
发射卫星的最大天线增益(dB)	3	
每个卫星辐射的最大pfd(dB(W/m ²))	-216.3	-244.5

对结果的分析表明（见第4.4.1.2节），对于连续谱观测，超额余量超过18 dB，对于谱线观测则超过31 dB。该结论对322-328.6 MHz频带内的射电天文VLBI观测也有效。

应注意的是，该方法未考虑GONETS-M空间站的动态频道指配。另外，GONETS-M空间站以短时突发脉冲群的形式发射信息，每次采用不同的频率。在研究中，假设所有卫星每次都都用相同的频道发射。所以得出的结果是最坏干扰情况的。

4.4.3.2 GSO情况

考虑到自由空间损耗，表8中给出的e.i.r.p.是从表8（最后一列）中给出的pfd门限电平算出的。应该记得，卫星被认为是位于0°的经度上，因为在MIFR中登记的卫星没有任何技术参数可用。

表8

卫星在RAS频带内的最大可允许e.i.r.p.

有源频带 (MHz)	无源频带 (MHz)	在RAS频带内的最大 e.i.r.p. (dB(W/Hz))	在RAS频带内的最大 e.i.r.p. (dBW)
387-390	322-328.6	-94.5	-26.3

4.5 减扰技术

4.5.1 RAS

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明，大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。

4.5.2 对RAS的潜在影响

天线旁瓣性能：尝试降低射电天文天线对来自空间站的无用发射的灵敏度，有可能会增加射电天文望远镜对地面辐射的灵敏度，并有可能降低其主瓣增益。这两种效应都会降低所需的总积分时间内望远镜的通道容量，并因此导致总积分时间延长。

时间和/或频率屏蔽：这种屏蔽存在着降低数据完整性的风险，对数据进行科学解释时有可能形成误差。屏蔽还有可能增加观测所需的总积分时间，这相当于损失了望远镜的通道容量。

5 在406.1-410 MHz频带内工作的RAS系统与在400.15-401 MHz频带内工作的卫星移动业务（空对地）系统之间的兼容性分析

5.1 RAS

5.1.1 划分的频带

406.1-410 MHz频带以主要使用条件划分给固定业务、移动业务(航空移动除外)和RAS。

《无线电规则》第5.149款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护射电天文业务免受有害干扰。

5.1.2 观测类型

该频带仅用于连续谱(宽带)观测。

必须确保对宇宙射电源连续谱(宽带)观测所必需的频谱覆盖，该覆盖正好位于322.0-328.6 MHz频带和608-614 MHz频带之间，而这些频带也由RAS用于同样的目的。

5.1.3 所需的保护标准

对射电天文观测的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中给出。

这些门限电平成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设(如天线性能等)，在干扰电平比该建议书的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

406.1-410 MHz频带仅用于连续谱观测。一般而言，对于连续谱观测，采用该频带整个3.9 MHz的带宽。对于单反射面观测，有害干扰的pfd门限为 $-189 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

5.1.4 工作特性

一般而言，连续谱观测是以不同的方式进行的：可以测绘天空中宇宙射电源周围的那部分区域，而背景发射则被去除，或者可以对来自源方向（源内）和来自天空中一个或多个邻近点(源外)的功率进行测量。从源内值中去除源外值，即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

5.2 MSS

5.2.1 划分的发射频带

400.15-401 MHz频带以主要使用条件划分给所有三个ITU区域的MSS（空对地）。

《无线电规则》第5.208A和5.209款适用于该频带的MSS。

《无线电规则》第5.208A款规定，“在对137-138 MHz、387-390 MHz和400.15-401 MHz频带内的卫星移动业务的空间电台进行指配时，各主管部门应采取一切切实可行的措施保护150.05-153 MHz、322-328.6 MHz、406.1-410 MHz和608-614 MHz频带内的射电天文业务免受无用发射的有害干扰。ITU-R RA.769-1建议书的表1内列有对射电天文业务有害干扰的门限电平。(WRC-97)”。

《无线电规则》第5.209款规定，“卫星移动业务使用137-138 MHz、148-150.05 MHz、399.9-400.05 MHz、400.15-401 MHz、454-456 MHz和459-460 MHz频带限于非对地静止卫星系统。(WRC-97)”。

5.2.2 应用

1 GHz以下非GSO MSS中的系统能够以较低的数据速率(2.8至19.2 kbit/s)发送数据的数字分组。低频率(1 GHz以下)和低地球轨道形成了小型的小功率地球站，系统实现成本也因此降低。网络的设计目标是能够在世界上全部地区或大部分地区提供覆盖(某些系统不包括极区的全部覆盖)。一般而言，在同一个卫星同时覆盖用户电台和馈电链路电台时，这些MMS系统以近实时的方式工作。但若用户电台和馈电链路电台不在同一卫星的覆盖区内，例如当一个用户位于开放的海域时，系统也能以存储转发方式工作。按照该方式，系统的工作时延范围从几秒钟到几小时，取决于下一次卫星跃过馈电链路电台的时间。

此类系统为商务、工业、政府和全球客户提供高质量的无线数据。

5.2.3 依据规则性条款规定的电平

没有硬性规定该频带MSS适用的限值。

5.2.4 工作特性

ITU-R M.1184建议书对正在使用或计划用于业务下行链路频带或网关下行链路频带的4种非GSO MSS系统的技术和工作特性做了说明。这些系统是L、N、Q和S。实际系统Q的轨道特性与该建议书中的有所不同。系统Q的实际特性在表9中给出，表中还包括系统L、N和S的特性。

5.3 兼容性门限

对于非GSO星群的情况，可由ITU-R RA.769建议书中给出的pfd门限和ITU-R RA.1631建议书中给出的最大天线增益(对该频带为53 dBi)算出epfd门限。因此406.1-410 MHz频带的epfd门限为-242(dB(W/m²))。

表9

若干1 GHz以下非GSO MSS网络的轨道参数

系统	L	N	Q		S
卫星数目	48	3	26		6
高度(km)	950	800	1 000		692, 667
倾角(度)	50	88	66	83	98.04
轨道平面	8	3	4	2	2
卫星/轨道平面	6	1	6	1	3
升交点赤经(度)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 15, 90	0, 90, 180, 270	0, 90	143.5, 53.5
下行链路发射功率 (W)	25	6.3	32		10
下行链路EIRP (dBW)	19.7	10	17.8		18
必要带宽(kHz)	35	85	45		300
MSS频带内的pfd (dB(W/m ²))	-111	-119	-113		-110

5.4 干扰评估

5.4.1 用于评估干扰电平的方法

ITU-R M.1583建议书给出了评估由某个非GSO系统在射电天文站址处产生的无用发射电平的方法。该方法的基础是把天空分成尺寸几乎相同的小区并进行统计分析，在统计分析中RAS天线的指向和卫星星群的启动时间都是随机变量。对于每次评估，无用发射电平(以epfd表示)都在2 000 s的时段内平均。

RAS天线直径为100 m，该值相当于最大天线增益为53 dBi左右。天线方向性图和最大天线增益取自ITU-R RA.1631建议书。

选定的地理坐标为：

纬度：46.9° N 经度：2.4° E

为了得到最一般化的结果，完成仿真时选取0°的仰角。

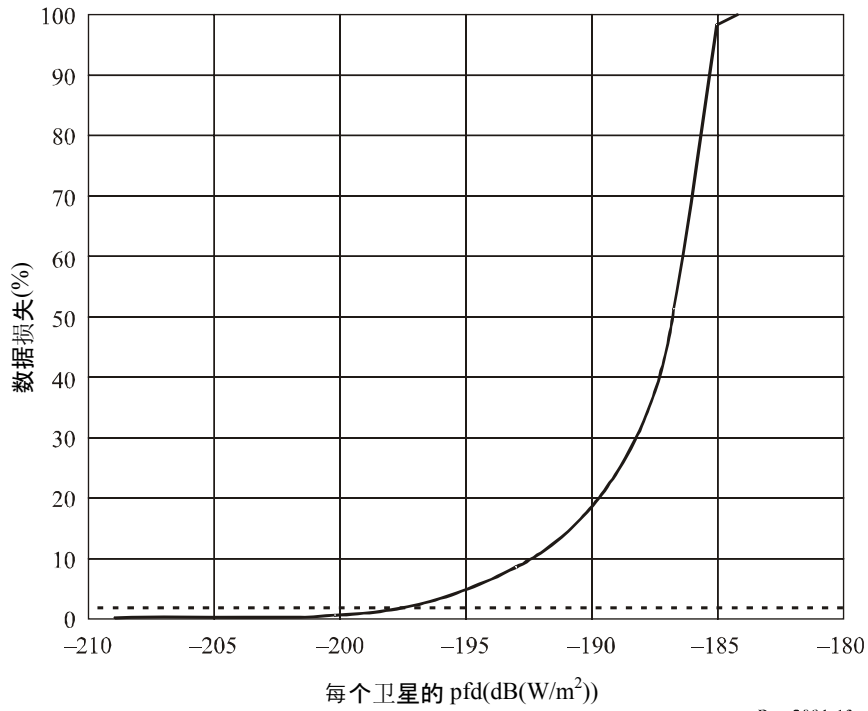
5.4.2 干扰电平的计算

5.4.2.1 MSS系统L

图13示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限的时间百分比（按照ITU-R RA.1513建议书的解释，超过该门限相当于发生了数据损失）。

图13

数据损失百分比与在RAS站址处每个卫星的pfd



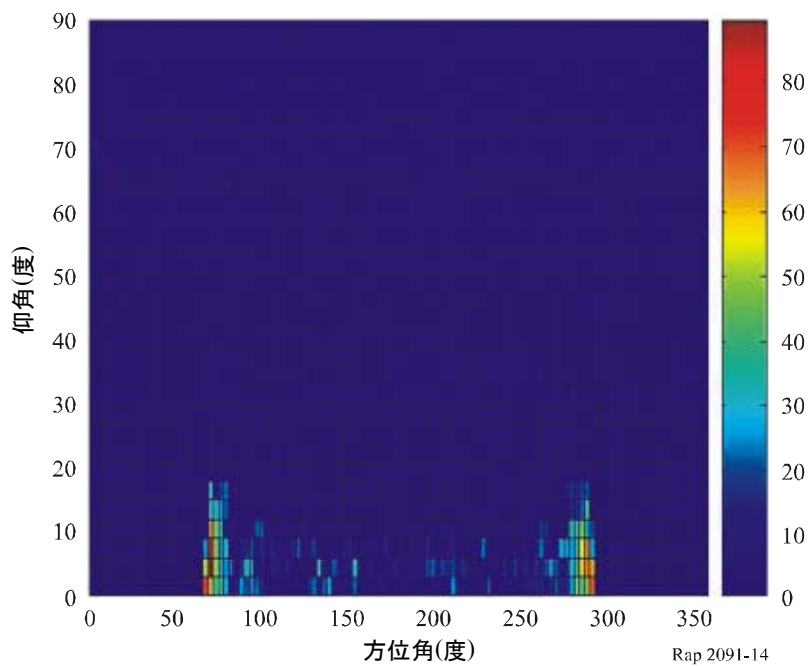
Rap 2091-13

为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内MSS系统L的每个卫星产生的pfd应小于-197 dB(W/m²)。

图14示出了对于天空中的每个小区和(每个卫星)-197 dB(W/m²)的pfd，超过epfd门限的时间百分比。

图14

在RAS站址处pfd值为-197 dB(W/m²)时
天空中的数据损失百分比

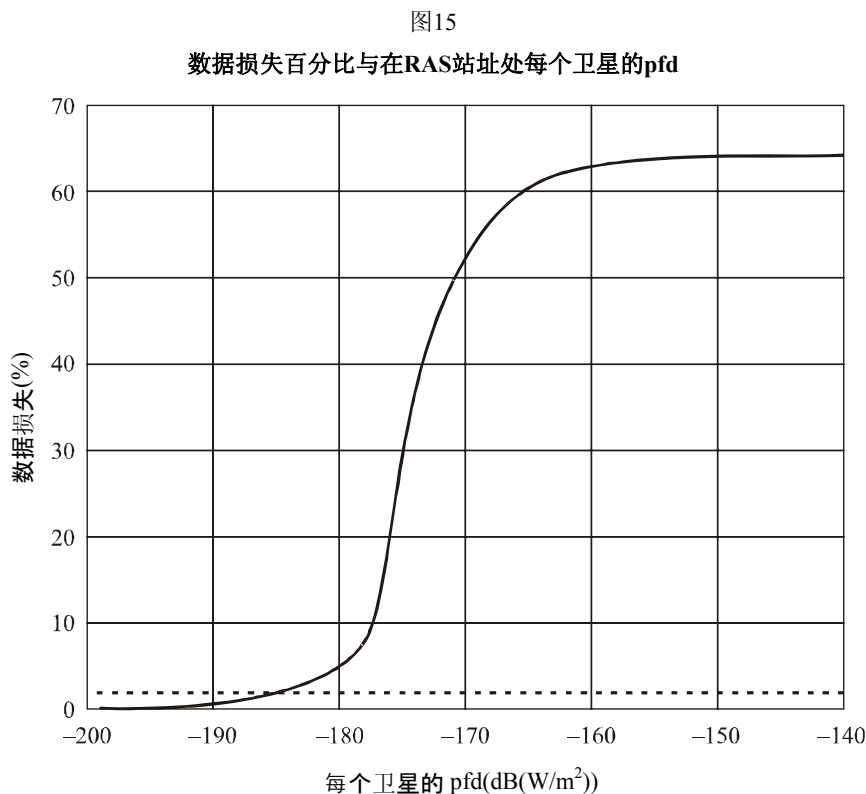


Rap 2091-14

在图14、图16、图18和图20中， 0° 方位角为正北，方位角增加的方向为由西向东。

5.4.2.2 MSS系统N

图44示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限的时间百分比。



为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内MSS系统M的每个卫星产生的pfd应小于 $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

图16示出了对于天空中的每个小区和（每个卫星） $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 的pfd，超过epfd门限的时间百分比。

5.4.2.3 MSS系统Q

图17示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限的时间百分比。

为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内MSS系统Q的每个卫星产生的pfd应小于 $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

图18示出了对于天空中的每个小区和（每个卫星） $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 的pfd，超过epfd门限的时间百分比。

图16
在RAS站址处pfd值为-185 dB(W/m²)时
天空中的数据损失百分比

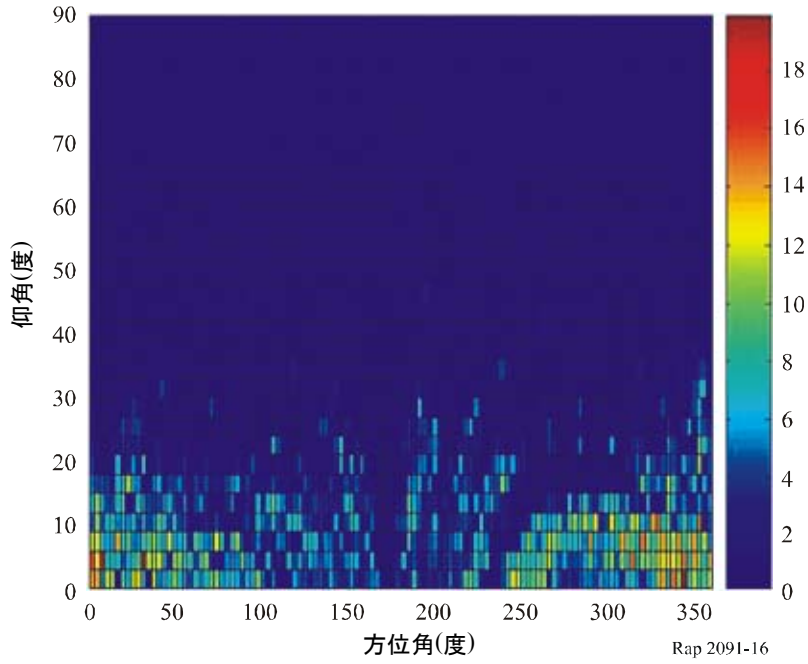


图17
数据损失百分比与在RAS站址处每个卫星的pfd

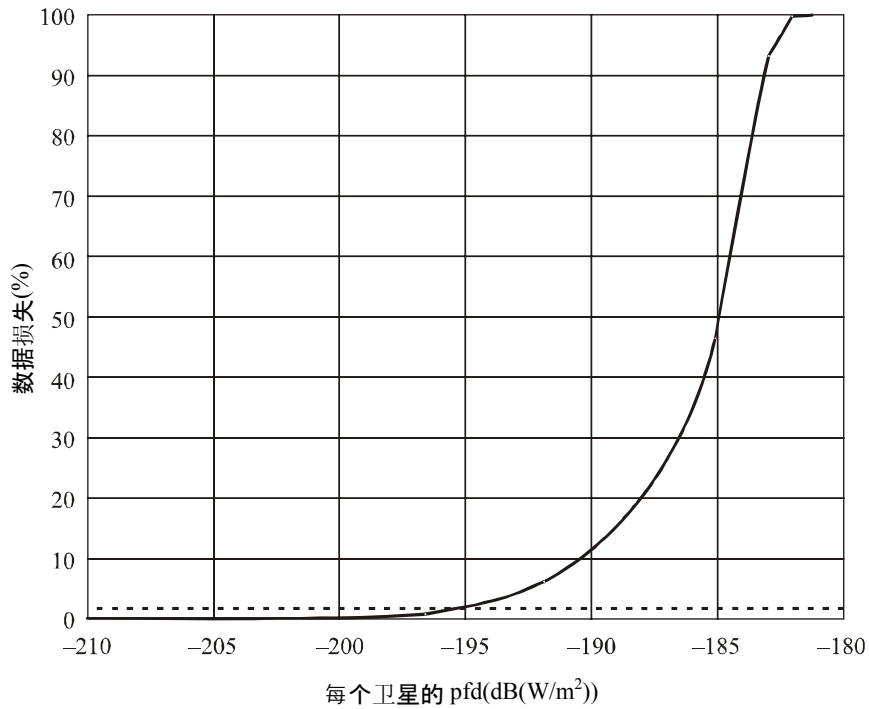
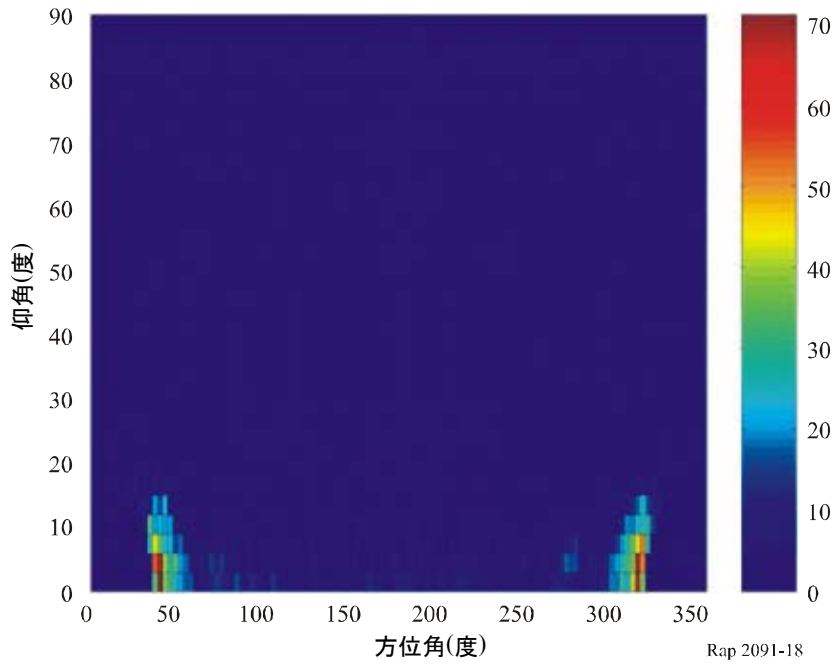


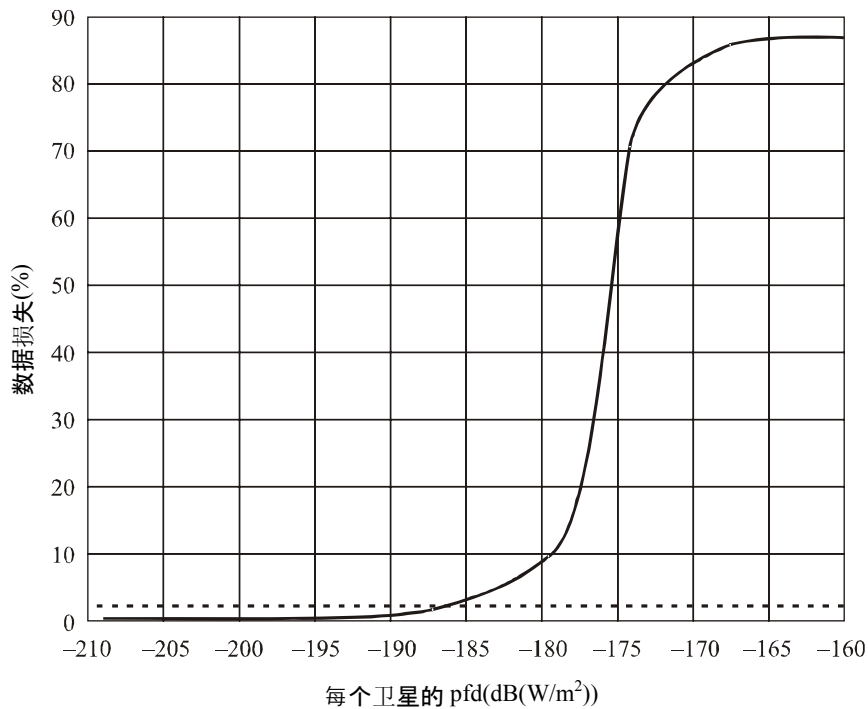
图18
在RAS站址处pfd值为-195 dB(W/m²)时
天空中的数据损失百分比



5.4.2.4 MSS系统S

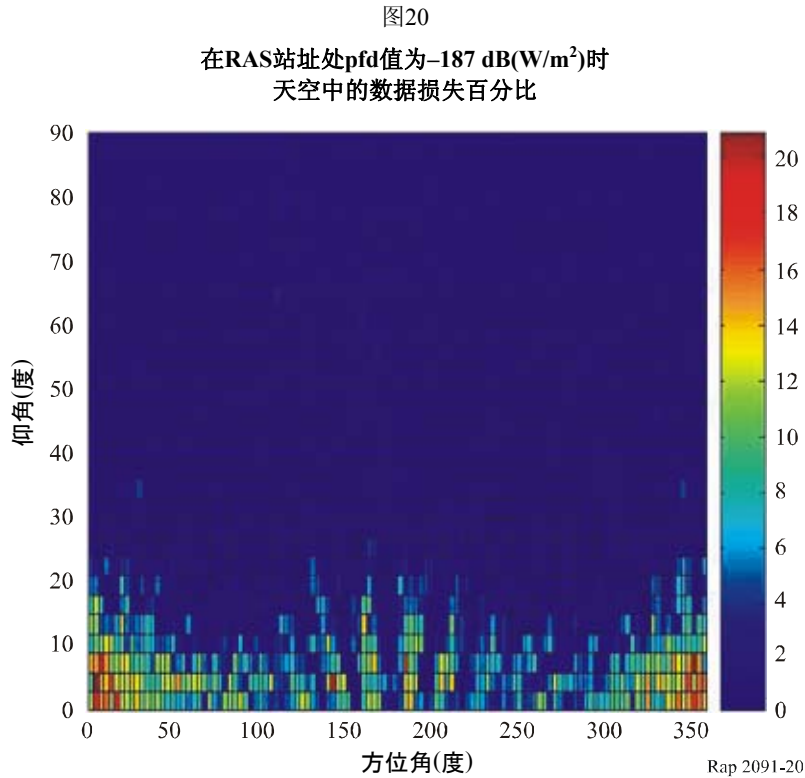
图19示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限的时间百分比。

图19
数据损失百分比与在RAS站址处每个卫星的pfd



为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内MSS系统S的每个卫星产生的pfd应小于 $-187 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

图20示出了对于天空中的每个小区和（每个卫星） $-187 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 的pfd，超过epfd门限的时间百分比。



5.4.3 达到的值

采用400.15-401 MHz频带的MSS非GSO卫星落入406.1-410 MHz RAS频带内的无用发射属于杂散域。表10示出了为避免超过有害epfd门限，1 GHz以下的4个非GSO MSS系统中每一个系统所必需的衰减。

要注意的是，为了计算RAS频带内杂散发射的总量，可以认为杂散发射在整个RAS频带内具有恒定的电平。这种假设须符合非常严格的条件，显然不代表实际情况，因为杂散发射一般出现在某些离散频率上。因此还需要进一步努力，顾及杂散发射的这种离散分量，以便获得更实际的RAS频带内MSS无用发射电平。

表10

1 GHz以下的非GSO MSS网络为达到有害epfd电平所必需的衰减

系统	L	N	Q	S
MSS频带内的发射功率(W)	25	6.3	32	10
$43 + 10 \log P$	57	51	58	53
《无线电规则》附录3中的杂散衰减 (dBc, 在4 kHz内)	57	51	58	53
《无线电规则》附录3中的杂散电平(dBW, 在4 kHz内)	-43	-43	-43	-43
MSS频带内的pfd (dB(W/m ²))	-111	-110	-113	-110
RAS频带内的杂散电平(dBW)	-13.1	-13.1	-13.1	-13.1
RAS频带内的pfd (dB(W/m ²))	-138	-131	-141	-133
RAS频带内的最大pfd (dB(W/m ²))	-197	-185	-195	-187
必需的衰减(dB)	59	54	54	54

5.5 减扰技术

5.5.1 RAS

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明，大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。

5.5.2 对RAS的潜在影响

天线旁瓣性能：尝试降低射电天文天线对来自空间站的无用发射的灵敏度，有可能会增加射电天文望远镜对地面辐射的灵敏度，并有可能降低其主瓣增益。这两种效应都会降低所需的总积分时间内望远镜的通道容量，并因此导致总积分时间延长。

时间和/或频率屏蔽：这种屏蔽存在着降低数据完整性的风险，对数据进行科学解释时有可能形成误差。屏蔽还有可能增加观测所需的总积分时间，这相当于损失了望远镜的通道容量。

6 在608-614 MHz频带内工作的RAS系统与可能在620-790 MHz频带内工作的卫星广播业务（空对地）系统之间的兼容性分析

6.1 RAS

6.1.1 划分的频带

608-614 MHz频带以主要使用条件划分给第二区的射电天文业务，《无线电规则》第5.307款以主要使用条件将该频带划分给印度的射电天文业务，《无线电规则》第5.305款以主要使用条件将该频带划分给中国的射电天文业务。

《无线电规则》第5.306款以次要使用条件也将该频带划分给第一区（非洲广播区除外，见《无线电规则》第5.10至第5.13款）和第三区的射电天文业务。

《无线电规则》第5.149款在第一和第三区适用于该频带。该款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护射电天文业务免受有害干扰。

6.1.2 观测类型

该频带用于单反射面和VLBI两种模式的连续谱（宽带）观测。

必须确保对宇宙射电源连续谱（宽带）观测所必需的频谱覆盖，该覆盖正好位于406.1-410 MHz频带和1 400-1 427 MHz频带之间，而这些频带也由RAS用于同样的目的。

6.1.3 所需的保护标准

对射电天文观测的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中给出。

这些门限电平成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设(如天线性能等)，在干扰电平比该建议书的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

608-614 MHz频带仅用于连续谱观测。对于采用单反射面的连续谱观测，要使用整个6 MHz频带宽度，此时有害干扰的门限pfd限值为-185 dB(W/m²)。

VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带内VLBI观测的门限pfd电平上有所反映，对于6 MHz的全部带宽，其值为-143 dB(W/m²)。

6.1.4 工作特性

一般而言，连续谱观测是以不同的方式进行的：可以测绘天空中宇宙射电源周围的那部分区域，而背景发射则被去除，或者可以对来自源方向（源内）和来自天空中一个或多个邻近点（源外）的功率进行测量。从源内值中去除源外值，即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

6.2 BSS

6.2.1 划分的发射频带

《无线电规则》第5.311款适用于该频带，该款规定：“在620-790 MHz频带内，可对卫星广播业务使用调频制的电视台进行指配，但须经有关主管部门与那些开办了按频率划分表运营的业务并可能受影响的主管部门达成协议（见第33号决议（WRC-03，修订版）和第507号决议（WRC-03，修订版））。在未征得有关国家主管部门同意的情况下，在到达角小于 20° 时，该电台不得在这些国家的领土上产生超过 $-129 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 的功率通量密度（见705号建议）。第545号决议（WRC-03）适用。（WRC-03）”。

第545号决议（WRC-03）要求进行研究并在WRC-07之前制定出共用标准和规则性条款，以保护在620-790 MHz频带内的地面业务，特别是地面电视广播业务，使其免受计划在该频带内工作的GSO BSS网络和非GSO BSS卫星网络或系统的影响。

6.2.2 应用

有可能使用该频带的BSS系统的目的是在国内或区域内提供广播业务。GSO或非GSO BSS系统都可能使用该频带。

由于采用高效的压缩、编码和复用技术，有可能通过BSS系统向大众市场环境中的移动终端提供范围广泛的内容。

6.2.3 依据规则性条款规定的电平

作为临时规定，在地面广播电台的服务区内，620-790 MHz频带BSS中的空间站在地球表面产生的最大 pfd 应不超过：

$$\begin{aligned} -129 & \text{ dB(W/m}^2\text{)} \quad , \text{ 对于 } \delta \leq 20^\circ \\ -129 + 0.4 (\delta - 20) & \text{ dB(W/m}^2\text{)} \quad , \text{ 对于 } 20^\circ < \delta < 60^\circ \\ -113 & \text{ dB(W/m}^2\text{)} \quad , \text{ 对于 } 60^\circ < \delta < 90^\circ \end{aligned}$$

其中 δ 为到达角（见第705号建议）。

6.2.4 工作特性

6.2.4.1 非GSO BSS系统

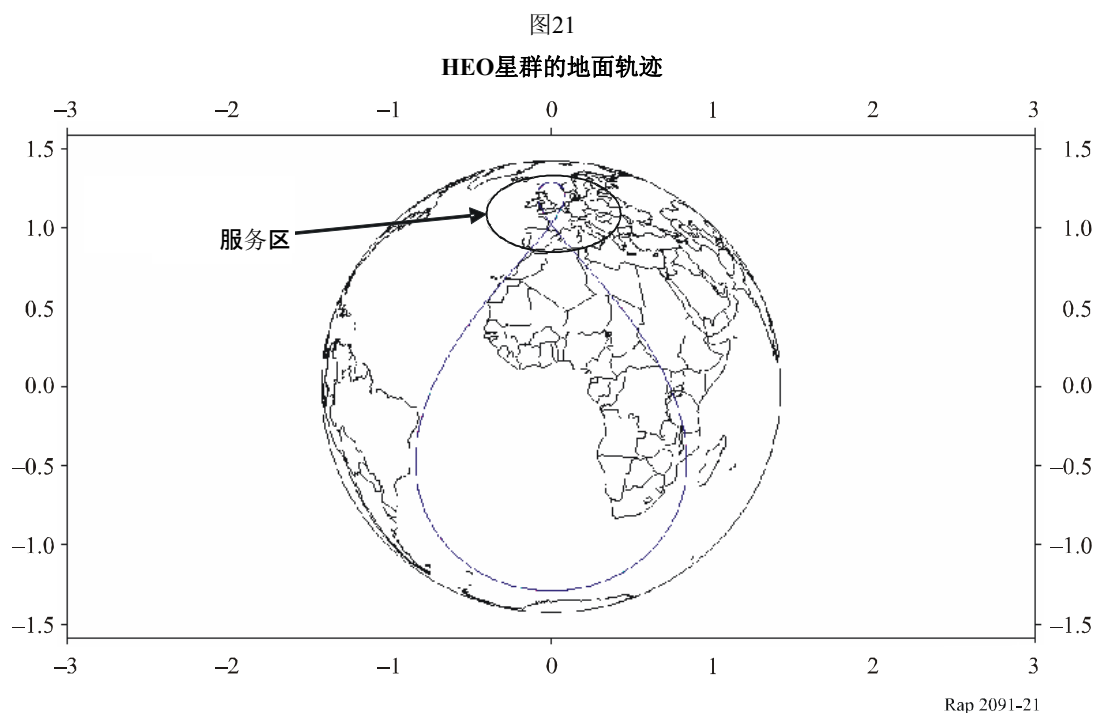
6.2.4.1.1 星群参数

本项研究考虑的系统将使用大椭圆轨道（HEO）上的卫星。对星群参数进行优化以向服务区内的所有使用者提供满意的能见条件。下例示出的是使用Tundra轨道覆盖西欧国家的的某星群的情况，该星群采用3颗轨道周期为24小时的卫星：

- 半长轴： 42 164 km
- 偏心率： 0.2684

- 倾角: 63.4°
- 近地点幅角: 270°
- 升交点赤经: 110°、230°和350°
- 平近角点: 340°、220°和100°

图21示出了卫星在地球表面形成的地面轨迹。



6.2.4.1.2 卫星活动的时间

按照某一给定HEO星群的轨道参数，某一给定卫星的能见范围只有1/3的时间能在仰角大于60°时处于服务区内：

- 在其24小时轨道周期内，某一卫星的能见范围连续8小时在仰角大于60°时处于服务区内，其后的16小时将处于“不可见范围”内。
- 在其16小时的不可见范围期间，卫星将按计划处于待用状态。这意味着，在任何给定的时间只有一个卫星向服务区发射。

6.2.4.1.3 卫星天线和功率管理

无论什么时间，也无论接收机处于服务区内什么位置，地面上的pfd都将保持恒定。为此，卫星天线的设计要在有效发射期间满足若干要求：

- 服务区内的等通量发射

卫星将使用等通量天线以优化其功率要求并应对服务区内的pfd限值。这意味着无论接收机处于服务区内什么位置，服务区内的卫星天线增益都会让地球表面的pfd保持恒定。

— 波束变焦

卫星是以一定的立体角看服务区的，该立体角是卫星高度的函数，将随时间变化。为应对这种“变焦效应”并减少总的功率需求，卫星也将随其高度的变化而调整功率和波束的形状。

6.2.4.2 GSO情况

在MIFR中登记了两个GSO卫星。它们属于俄罗斯联邦，被命名为STATSIONAR。

在兼容性研究中已经考虑了STATSIONAR卫星的参数，以评估具有类似特性的未来系统的影响，表11中给出了这些参数。

表11

STATSIONAR的参数

名称	STATSIONAR-T	STATSIONAR-T2
经度(度)	99	99
载波频率(MHz)	714	754
带宽(MHz)	24	24
峰值功率(dBW)	23	21.5
峰值功率(dB(W/Hz))	-51	-52.3
最大天线增益(dBi)	34	33.5
覆盖区中心位置(度)	$L = 91, l = 73$	$L = 95.24, l = 69.16$
GSO卫星的指向与从GSO卫星到RA站的方向之间的夹角(度)	8.7	4.4
面向最暴露的射电天文站的天线增益(dBi)	27.5	13.5
面向最暴露的射电天文站的有源频带内的 e.i.r.p. (dB(W/Hz))	-23.5	-38.8

6.3 兼容性门限

6.3.1 非GSO系统

对于非GSO星群的情况，可由ITU-R RA.769建议书中给出的对射电天文观测的有害干扰 pfd门限和ITU-R RA.1631建议书中给出的最大射电天文天线增益(对该频带为56 dBi)算出608-614 MHz频带的epfd门限电平为-241 dB(W/m²)。

6.3.2 GSO系统

ITU-R RA.769建议书含有对射电天文连续谱（宽带）观测的有害干扰的门限电平。表12重新列出了这些电平。

表12

RA保护标准

有源频带 (MHz)	有源业务	无源频带 (MHz)	最大接收功率 (RA.769) (dBW)	pfd (RA.769) (dB(W/m ²))	spfd (RA.769) (dB(W/(m ² ·Hz)))
620-790	BSS	608-614	-202	-185	-253

6.4 干扰评估

6.4.1 非GSO情况

6.4.1.1 用于评估干扰电平的方法

ITU-R M.1583建议书给出了评估由某个非GSO系统在射电天文站址处产生的无用发射电平的方法。该方法的基础是把天空分成尺寸几乎相同的小区并进行统计分析，在统计分析中RAS天线的指向和卫星星群的启动时间都是随机变量。对于每次评估，无用发射电平（以epfd表示）都在2 000 s的时段内平均。

对于HEO系统的情况，计算简化了不少，因为在任何时间都只有一个卫星向地球发射。

6.4.1.2 干扰电平的计算

本项研究表明，整个射电天文频带内，若HEO BSS卫星在任何RAS站址处辐射的pfd小于-188 dB(W/m²)，则可以保证620-790 MHz频带内工作的HEO BSS系统的无用发射与在608-614 MHz频带内工作的RAS之间的兼容性。

考虑到在该频带内射电天文站实施观测的最小仰角 θ_{min} (见《无线电规则》附录4的附件2中表A的规定)，该电平可确保在射电天文站实施观测的那部分天空中RAS的数据损失将小于2%。

图22给出了对于整个天空中的每个小区，在2 000 s长的试验中在英国Jodrell Bank射电天文站址超过epfd标准的试验次数。每个小区的试验总数是30，右侧垂直刻度表示每个小区超过epfd标准的试验次数。例如，从图22看出，若射电望远镜的指向为350°的方位角和84°至87°的仰角（见图22中的相应小区），完成的所有观测受到的干扰影响都将超过ITU-R RA.769建议书中给出的有害电平。

6.4.2 GSO情况

对于下文各节中所含的研究而言，

- RAS站的全部特性均取自网页<http://www.astron.nl/craf/raobs.htm>。这些RAS站位于CEPT国家。
- GSO卫星的全部特性取自ITU MIFR。

图23和图24示出了灵敏度最高的射电天文站的位置以及低于指向该射电天文站的最大天线增益的衰减。

图22

Jodrell Bank的仿真结果

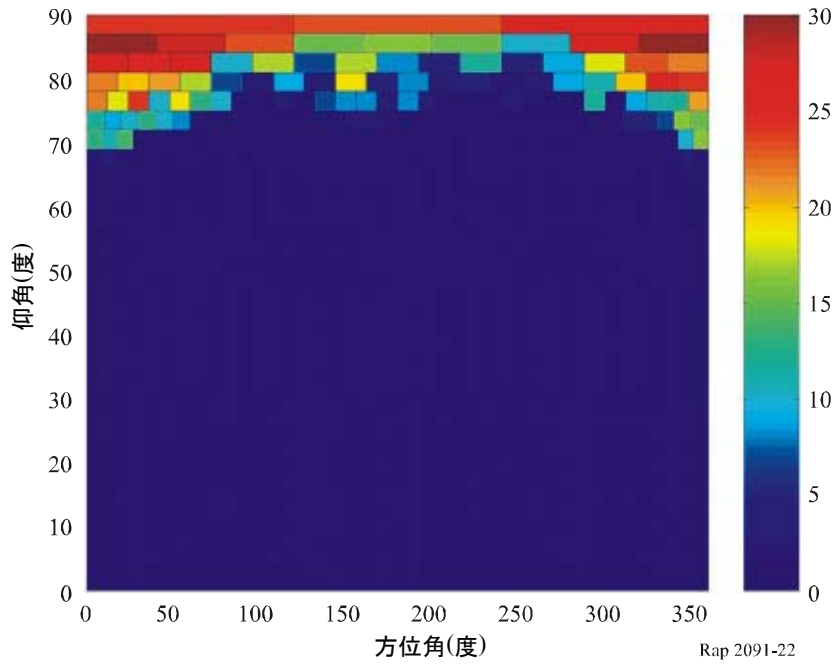


图23

STATSTIONAR-T

在 608-614 MHz 频带内的射电天文卫星和 GSO 卫星

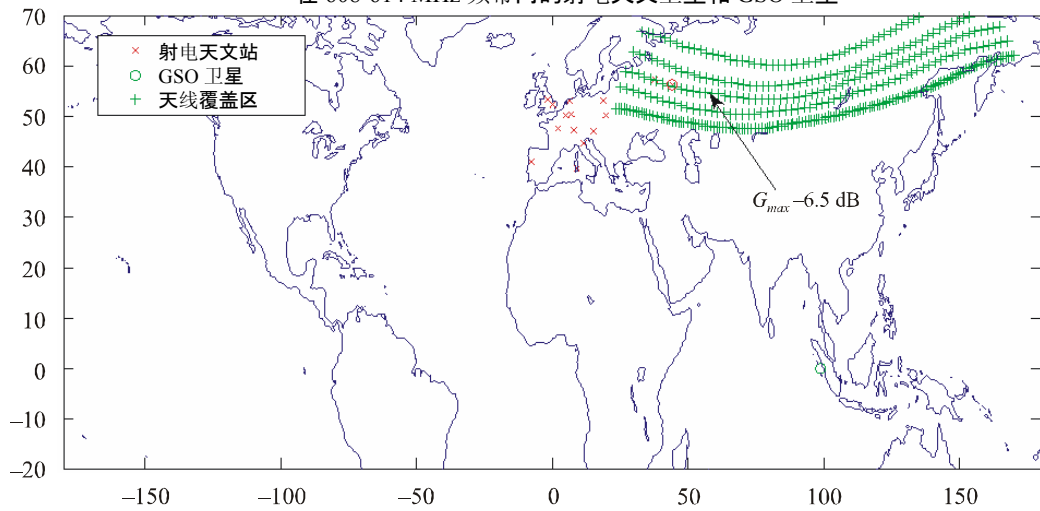
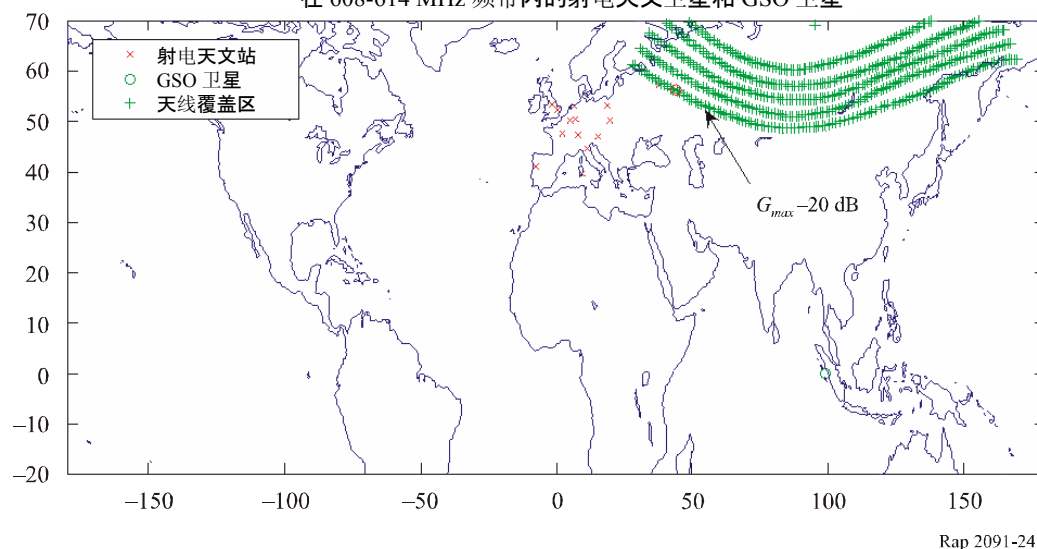


图24

STATSTIONAR-T2

在 608-614 MHz 频带内的射电天文卫星和 GSO 卫星



Rap 2091-24

考虑到GSO卫星与大多数灵敏的射电天文站处于不同的位置，计算RAS频带内可允许的e.i.r.p.，以便遵守保护标准。

因此，可以通过有源业务中GSO卫星的e.i.r.p.与无源频带内最大可允许e.i.r.p.之间的差值确定OoB衰减因子。

这一必需的衰减因子若符合相关ITU-R建议书规定的相关数据（例如《无线电规则》附录3中的限值），就可以结束干扰评估。

6.4.3 达到的值

6.4.3.1 非GSO情况

若假设HEO BSS系统在620-790 MHz频带内辐射的最大pfd为 $-113 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 8 \text{ MHz))}$ ，即第705号建议中指出的最大电平，则 $-188 \text{ dB(W/m}^2)$ 的无用发射pfd值相当于HEO BSS卫星在地球表面6 MHz带宽内辐射的pfd衰减了74 dB。

6.4.3.2 GSO情况

考虑到自由空间损耗，表12中给出的e.i.r.p.是从表12(最后一列)中给出的pfd门限电平算出的。

表13

卫星在RAS频带内的最大可允许e.i.r.p..

有源频带 (MHz)	无源频带 (MHz)	在RAS频带内的最大e.i.r.p. (dB(W/Hz))	在RAS频带内的最大e.i.r.p. (dBW)
620-790	608-614	-92	-24

考虑到表10和表12，对于STATSIONAR-T衰减因子必须大于69 dB (92 – 23.5 dB)，对于STATSIONAR-T则必须大于53 dB (92 – 38.8 dB)。落入RAS频带内的无用发射属于杂散域。

《无线电规则》附录3的表II对BSS的规则性条款表明，最大允许发射功率电平衰减大于60 dBc与 $43 + 10 \log P$ 之间的最小值。 P 代表以W为单位的平均功率。在这种情况下，衰减因子将为60 dBc。

考虑到《无线电规则》附录3中所含的电平，STATSIONAR卫星在RAS频带内向CEPT国家的RAS站辐射的无用发射比ITU-R RA.769建议书中所含的门限电平最多高出10 dB。不过经验表明，《无线电规则》附录3中所含的电平非常高，真实系统的杂散发射远低于这些电平，最多达20 dB (见COSPAS-SARSAT)。因此，可以认为具有类似特性的未来系统在该特定频带能够满足ITU-R RA.769 建议书中的门限电平。

6.5 减扰技术

6.5.1 RAS

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。

6.5.2 对RAS的潜在影响

天线旁瓣性能：尝试降低射电天文天线对来自空间站的无用发射的灵敏度，有可能会增加射电天文望远镜对地面辐射的灵敏度，并有可能降低其主瓣增益。这两种效应都会降低所需的总积分时间内望远镜的通道容量，并因此导致总积分时间延长。

时间和/或频率屏蔽：这种屏蔽存在着降低数据完整性的风险，对数据进行科学解释时有可能形成误差。屏蔽还有可能增加观测所需的总积分时间，这相当于损失了望远镜的通道容量。

7 在1 400-1 427 MHz和1 610.6-1 613.8 MHz频带内工作的RAS系统与在1 525-1 559 MHz频带内工作的非GSO卫星移动业务（空对地）系统之间的兼容性分析

7.1 RAS

7.1.1 划分的频带

1 400-1 427 MHz频带以主要使用条件仅划分给下述无源业务：RAS、EESS (无源)和空间研究业务(SRS) – 无源。本附件仅讨论射电天文业务。

《无线电规则》第5.340款禁止在该频带内的一切发射。

1 610.6-1 613.8 MHz频带以主要使用条件划分给RAS以及MSS或航空导航之类的其他有源业务。

《无线电规则》第5.149款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护射电天文业务。

7.1.2 观测类型

7.1.2.1 1 400-1 427 MHz频带

在所有三个ITU-R区域，1 400-1 427 MHz频带的使用都比其他频带频繁。射电天文使用频带主要是进行宇宙中性原子氢(也称为HI)的谱线观测，其中心频率为1 420.406 MHz。这种物质目前为止是银河系和其他星系的主要成分，发生在结构复杂的巨大云状物中。这条谱线的观测包括发射和吸收两方面，由于云状物结构的局部运动和整体运动，谱线会因多普勒效应而发生扩展和频移。因此，HI观测可用于绘制银河系和其他星系中物质的分布图和运动图。可以借助于这种方式绘制银河系的结构图，并了解物质是如何运动的。

1 400-1 427 MHz划分带宽相当宽，足够容纳银河系和邻近星系中云状物的多普勒频移发射。测量HI发射或吸收的极化现象，可以得到关于星系磁场的重要资料，从中增进对星系结构的了解。

1 400-1 427 MHz 频带也用于对热等离子体产生的宽带发射和对星系磁场中的高能(快速运动)电子间的相互作用产生的宽带发射(同步加速器发射)进行连续谱观测，这种热等离子体是恒星对周围的云状物加热和形成的。

7.1.2.2 1 610.6-1 613.8 MHz频带

1 610.6-1 613.8 MHz 频带用于OH (羟基原子)的谱线观测。OH谱线中心频率为1 612 MHz，是射电天文中最重要谱线之一，ITU-R RA.314建议书就将其列为最重要的谱线之一。OH是在无线电频率上检测到的第一个宇宙基(1963年)，且一直是强有力的研究工具。OH产生了四条谱线，所在频率约为1 612、1 665、1 667和1 720 MHz，在银河系和河外星系中都能观测到。OH谱线的研究为广泛的天文现象提供了信息，如原恒星的形成和恒星的演变。为了解释在OH谱线上进行的众多观测，有必要衡量这些谱线中若干谱线的相对强弱。不具备观察这些谱线中某一条的能力，可能就无法研究某几类物理现象。

这些OH谱线是由某种相干过程产生的，在此过程中聚集在一起的OH基“逐步”辐射，形成窄带发射。在这种聚集的物理条件下，谱线会略有扩展。这些聚集区相对于地球的运动对线发射产生了多普勒效应。由于在源头存在若干聚集区，以不同的速度运动，让频谱变得更为复杂，包含若干重叠的高斯谱线轮廓，这些谱线具有不同的宽度和幅度，频率也略有不同(由不同的多普勒效应形成)。要求频带划分的宽度能适应因源头的微分运动和整体运动产生的频谱扩展和偏移。

在恒星演变的某些阶段，有些类别的恒星仅在1612 MHz谱线上辐射。对该谱线的研究可以让天文学家衡量这些恒星的物理属性，如恒星喷射气体的速度和气体重新形成星际介质的速度。这些恒星的某些属性是无法从任何天文观测中推论的。对发射OH的恒星进行的测量也用于估测到银心的距离，用于测量银河核球的质量，并用于研究银河系及河外星系中分子组分的空间分布。最后，在若干河外星系的核附近检测到了极强的微波激射辐射。这种来自星系核的OH巨微波激射辐射可以让天文学家研究星系中心的分子气体的温度和密度。

OH谱线也用于观测彗星；在安排观测这些“意外目标”时没有什么灵活性。

进行谱线观测时采用分光仪，分光仪可同时将所用频带内分布的大量（通常为256-4 096个）频率通道的功率集中到一起。通道的宽度和数目必须足够大，以准确降低射电望远镜所接收的发射频谱。通常采用每个频率通道~0.2-20 kHz的瞬时带宽，这取决于科研计划。

源很小，要测量其尺寸和结构常常需要采用VLBI技术进行观测。

7.1.3 所需的保护标准

7.1.3.1 1 400-1 427 MHz频带

对射电天文观测的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中给出。

这些门限电平成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设（如天线性能等），在干扰电平比该建议书的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

在1400-1427 MHz频带内，采用20 kHz通道宽度（一个分光仪通道）的单反射面谱线观测的门限pfd限值为-196 dB(W/m²)。对于采用单反射面的连续谱观测，要使用整个27 MHz频带宽度，此时有害干扰的门限pfd限值为-180 dB(W/m²)。

VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映，对于20 kHz的带宽，其值为-166 dB(W/m²)。

7.1.3.2 1 610.6-1 613.8 MHz频带

在1 610.6-1 613.8 MHz频带内，采用20 kHz通道宽度（一个分光仪通道）的单反射面谱线观测的门限pfd限值为-194 dB(W/m²)。

7.1.4 工作特性

在所有射电天文频带中，1 400-1 427 MHz频带是使用最频繁的。在世界范围内，所有三个ITU区域都在使用该频带，有些射电望远镜，如加拿大彭蒂克顿的自治领射电天体物理台(DRAO)的综合孔径射电望远镜，在该频带内进行全天候观测。单天线射电望远镜用于测量小角直径源的集总spfd，并测绘综合孔径望远镜无法测绘的大角直径源的结构。

全世界很多国家都有若干射电天文站址从事1 612 MHz频带的观测。1 612 MHz频带的观测有时是针对意外目标开展的，如彗星这类天体，已观测到这类天体在该谱线上产生了暂现发射。在该频带也常常开展VLBI观测，有时是在北美和欧洲的VLBI网络之间开展的。

综合孔径望远镜的角分辨率较高，这样就有可能测绘氢云和连续谱发射源（如超新星遗迹）的精细结构。然后将这些图与采用较低分辨率的单天线射电望远镜得到的图组合，形成银河系及其他星系的高质量三维图像。采用多天线阵的综合孔径射电望远镜可能需要一次至十几次的12 h“曝光”以形成某一部分天空的完整图像。

为了便于测绘比较大的源结构，某些综合孔径射电望远镜，如DRAO所用的仪器，采用了由较小的天线组成的阵列。这样的仪器不具备优化的旁瓣抑制性能，因此更易受到干扰。

谱线观测采用多通道分光仪，可以同时将分布在频带内的许多（通常为256至 4096）频率通道的功率集中到一起。选择的通道的数目和各自的带宽应能对天线波束内来自氢云的净发射形成足够的抽样。

一般而言，观测是以不同的方式进行的。对于连续谱发射，可以测绘天空中宇宙射电源周围的那部分区域，而背景发射则被去除，或者可以对来自源方向（源内）和来自天空中一个或多个邻近点（源外）的功率进行测量。从源内值中去除源外值，即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

对于谱线观测，在包括相关谱线发射在内的频率范围内对频谱进行记录，然后在偏离谱线发射的某个频率上进行记录，或者在频率相同的空间邻近位置上进行记录（基准频谱）。从线状谱中去除基准频谱，即可从数据中去除无用噪声分量和其他掺杂物。

由于银河系中充满中性氢云，射电望远镜不仅在天线主波束内会检测到云的发射或吸收，在天线旁瓣内也会检测到很强的分量。这种“杂散辐射”令频谱失真，也降低了图像的细致程度。从数据中将其去除需要（尽可能）对整个天线波束进行大尺度测量，还需要估计杂散辐射的校正量。因此，干扰和天空中的大“遮挡”区会在干扰源周围大角度范围内影响对部分天空的测绘能力。

通过记录在覆盖相关区域的一组点上的发射，可以测绘延伸的射电辐射面积。连续谱观测和谱线观测二者均可进行。对于单天线射电望远镜，这组点中每个点上的观测都表示来自天空中该位置的总功率（连续谱观测）或发射频谱（谱线观测）；组中各点的间隔应不超过天线波束宽度的一半。在采用综合孔径射电望远镜进行观测时，若需要测绘的面积超过了瞬时测绘区，则组中各点的间隔应不超过其中一个射电望远镜天线波束宽度的一半。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

7.2 MSS

7.2.1 划分的发射频带

划分的发射频带为1 525-1 559 MHz（空对地）。

《无线电规则》第5.356款规定，“卫星移动业务（空对地）使用1 544-1 545 MHz频带限于遇险和安全通信（见第31条）”。

7.2.2 应用

1 525-1 544 MHz和1 545-1 559 MHz频带仅由GSO系统使用，且由于MSS地球站的天线特性（全向天线），非GSO系统也很难使用这些频带。不过ITU-R M.1184建议书给出了一种有可能使用这些频带的非GSO MSS系统的特性。

Cospas-Sarsat全球卫星搜索和救援辅助系统使用1 544-1 545 MHz频带已有多多年。Cospas-Sarsat是一种为帮助搜救(SAR)行动而提供遇险告警和位置数据的卫星系统，采用空间飞行器和地面设施对406 MHz或121.5 MHz频率上工作的遇险无线电信标进行检测和定位。非GSO卫星(LEOSAR系统)用于转发121.5 MHz信号及从406 MHz信号中提取的数据，供地面处理。

7.2.3 依据规则性条款规定的电平

所需的衰减为 $43 + 10 \log P$ dBc或60 dBc，以其中较宽松者为准，其中 P 为任何4 kHz带宽内天线输入端的峰值功率(W)。

7.2.4 工作特性

7.2.4.1 依据ITU-R M.1184建议书的MSS系统G

表14

非GSO卫星移动系统的技术特性(前向业务链路)

系统参数	系统G	
	链路1	链路2
极化		
馈线链路	LHCP	LHCP
业务链路	RHCP	RHCP
发射方向	空对地	空对地
频带(GHz)		
馈线链路	14	14
业务	0.4	1.5
轨道	圆	圆
高度(km)	1 500	1 500
卫星间隔(度)	30	30
卫星数目	48	48
轨道平面	4	4
倾角(度)	74	74
卫星天线		
波束数目(服务链路)	1	6
波束尺寸(km ²)	5×10^7	8.4×10^6
平均波束旁瓣(dB)	-3	-2
波束频率再用	1	0.6
链路特性		
最大e.i.r.p./波束(dBW)	-2	2.8
平均增益/波束(dBi)	3	13
e.i.r.p./载波(dBW)	-15	-7.2
无盲区的使用者e.i.r.p. (dBW)	无	无
有盲区的使用者e.i.r.p. (dBW)	无	无
e.i.r.p./CDMA信道(dBW)	-5	-10.2
使用者G/T (dB(K ⁻¹))	-23.8	-14
最小仰角(度)	7	10
发射参数		
调制	QPSK	QPSK
编码	FEC	FEC
多址方案	FDMA/CDMA	FDMA/CDMA
双工方案	全双工	全双工
帧长度(ms)	无	无
脉冲群速率(kbit/s)	无	无

7.2.4.2 COSPAS-SARSAT

尽管LEOSAR星群名义上仅由四个卫星组成（两个COSPAS卫星和两个SARSAT卫星），但在研究中要考虑的卫星包括使用COSPAS装备的两个俄罗斯造卫星：NADEZHDA-1和NADEZHDA-6，以及使用SARSAT装备的五个美国造卫星：NOAA-14至18。表15给出了这些卫星的轨道特性。

表15

COSPAS SARSAT系统中各卫星的特性

装备名称	卫星名称	发射日期	高度(km)	倾角(度)	平近角点(度)	RAAN(度)
COSPAS-4	NADEZHDA-1	1989	1 000	82.96	302	151
COSPAS-9	NADEZHDA-6	2000	689	98.38	131	219
SARSAT-6	NOAA-14	1994	863	99.08	204	289
SARSAT-7	NOAA-15	1998	825	98.51	213	245
SARSAT-8	NOAA-16	2000	862	99.02	134	198
SARSAT-9	NOAA-17	2002	824	98.65	155	312
SARSAT-10	NOAA-18	2005	868	98.75	22	184

由COSPAS-SARSAT网页 <http://www.cospas-sarsat.org/DocumentsTSeries/T3OCT03.pdf> 可获取装备的规格。该文件含有COSPAS和SARSAT装备的杂散发射电平规格和天线方向性图规格。

7.2.4.2.1 COSPAS

图25给出了COSPAS信号在其划分带宽内的典型频谱。COSPAS杂散发射电平限制在-60 dBW。不过未给出基准带宽。图26给出了COSPAS下行链路的天线方向性图。

图25

COSPAS 1 544.5 MHz信号的频谱

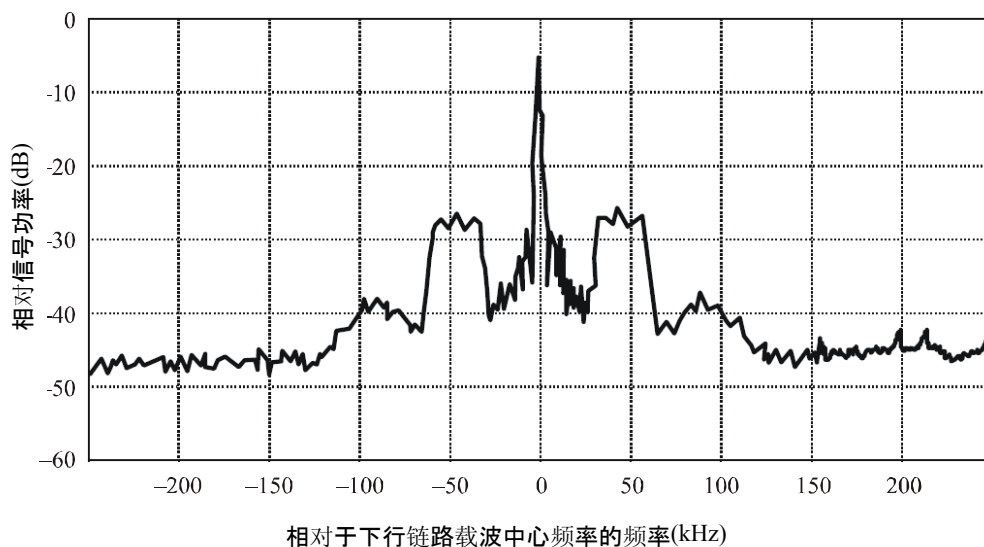
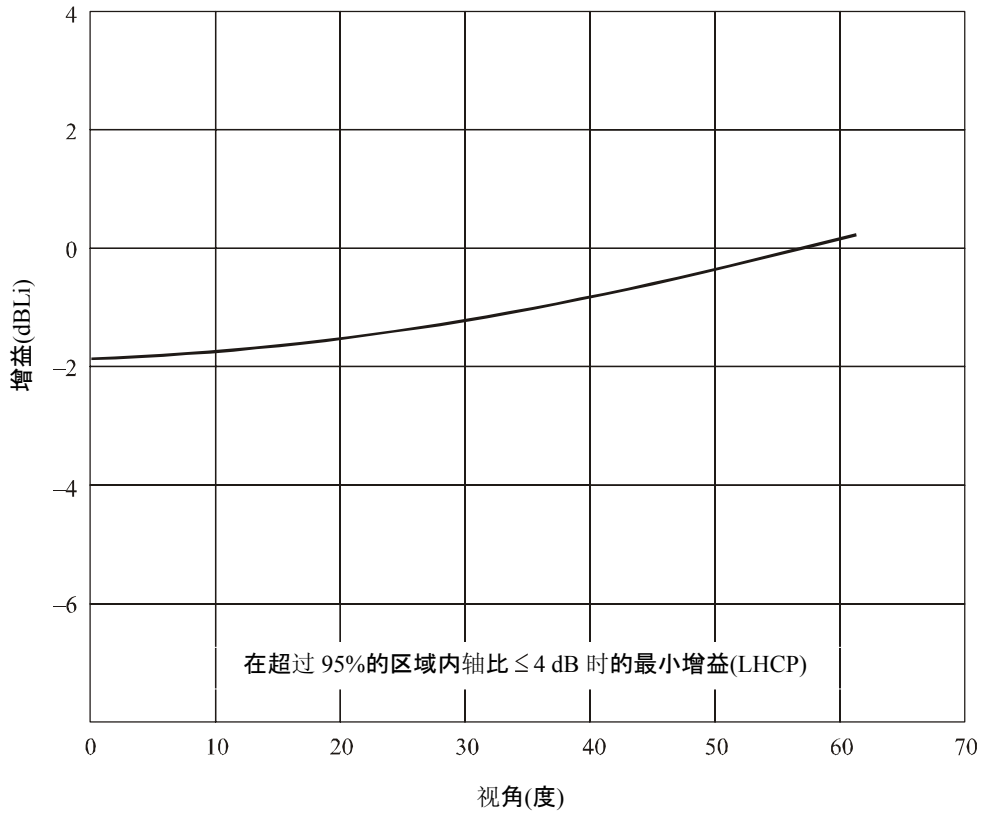


图26
COSPAS天线方向性图

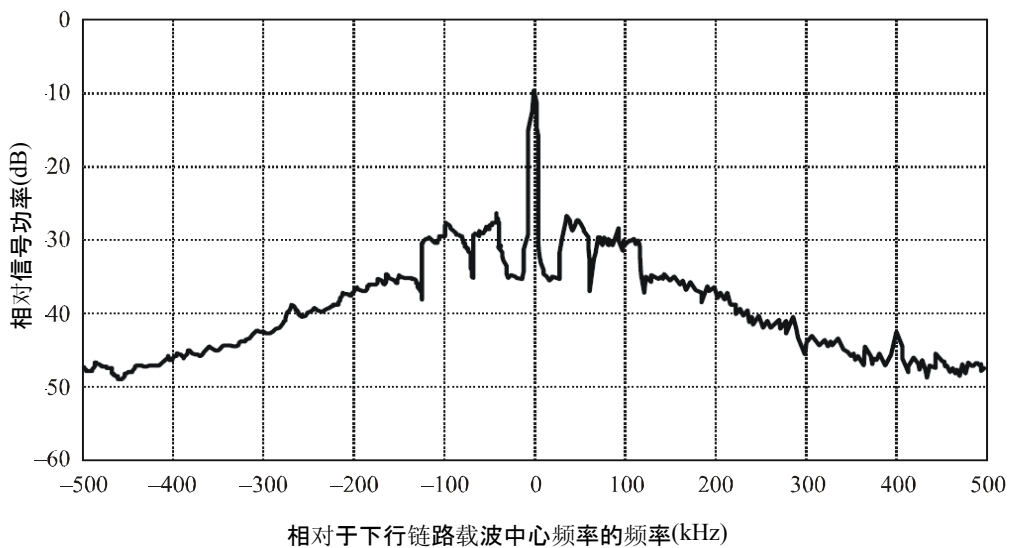


Rap 2091-26

7.2.4.2.2 SARSAT

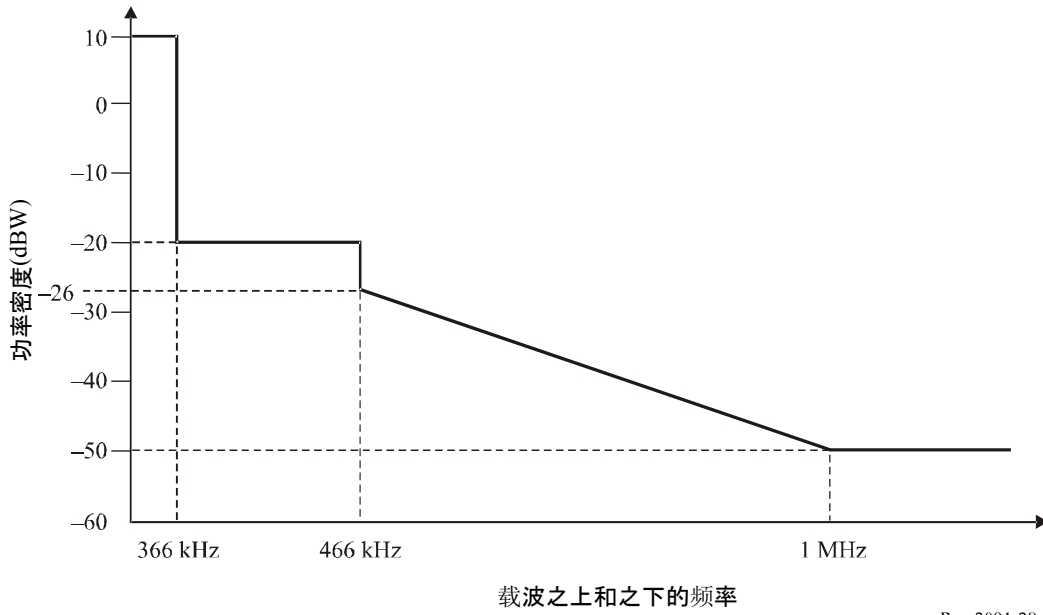
图27给出了SARSAT信号在其划分带宽内的典型频谱。SARSAT无用发射电平限制在图28和图29给出的掩模内，分别对应离散发射和类噪声发射。不过未给出离散情况的基准带宽。图30给出了SARSAT下行链路的天线方向性图。

图27
SARSAT 1 544.5 MHz信号的频谱



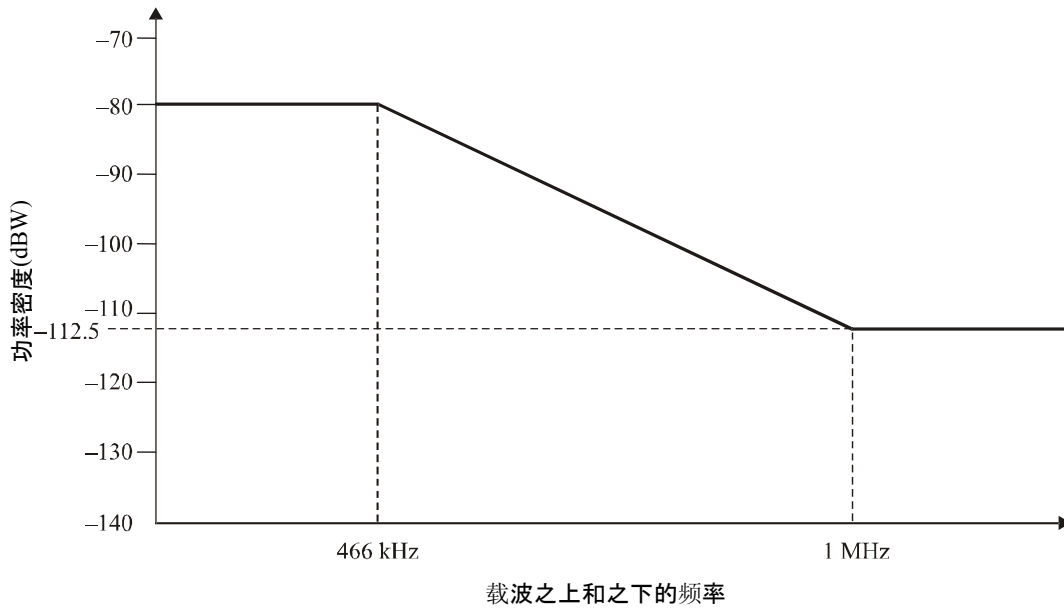
Rap 2091-27

图28
离散无用发射限值



Rap 2091-28

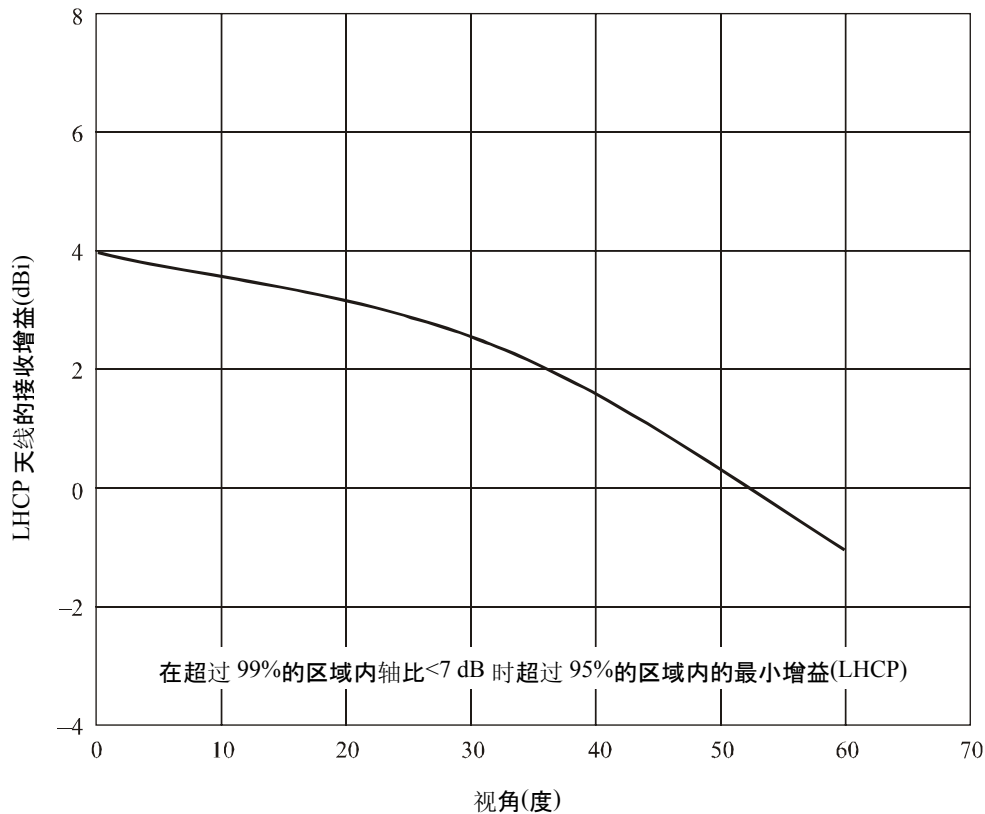
图29
类噪声无用发射限值



Rap 2091-29

图30

SARSAT天线方向性图



Rap 2091-30

7.3 兼容性门限

对于非GSO星群的情况，可由ITU-R RA.769建议书中给出的pfd门限和ITU-R RA.1631建议书中给出的最大天线增益(在该频带该值为63 dBi)算出epfd门限。因此，1 400-1 427 MHz频带内的epfd门限对于单反射面连续谱观测在整个1 400-1 427 MHz频带内为-243 (dB(W/m²))，对于单反射面谱线观测在1 400-1 427 MHz频带的任何20 kHz带宽内为-259 (dB(W/m²))，对于单反射面谱线观测在1 610.6-1 613.8 MHz频带的任何20 kHz带宽内为-258 (dB(W/m²))。

7.4 干扰评估

7.4.1 用于评估干扰电平的方法

ITU-R M.1583建议书给出了评估由某个非GSO系统在射电天文站址处产生的无用发射电平的方法。该方法的基础是把天空分成尺寸几乎相同的小区并进行统计分析，在统计分析中RAS天线的指向和卫星星群的启动时间都是随机变量。对于每次评估，无用发射电平(以epfd表示)都在2 000 s的时段内平均。

RAS天线直径为100 m，该值相当于在1 400-1 427 MHz频带的最大天线增益约为63 dBi，在1 610.6-1 613.8 MHz频带约为64 dBi。天线方向性图和最大天线增益取自ITU-R RA.1631建议书。

选定的地理坐标为：

纬度：46.9° 经度：2.4°

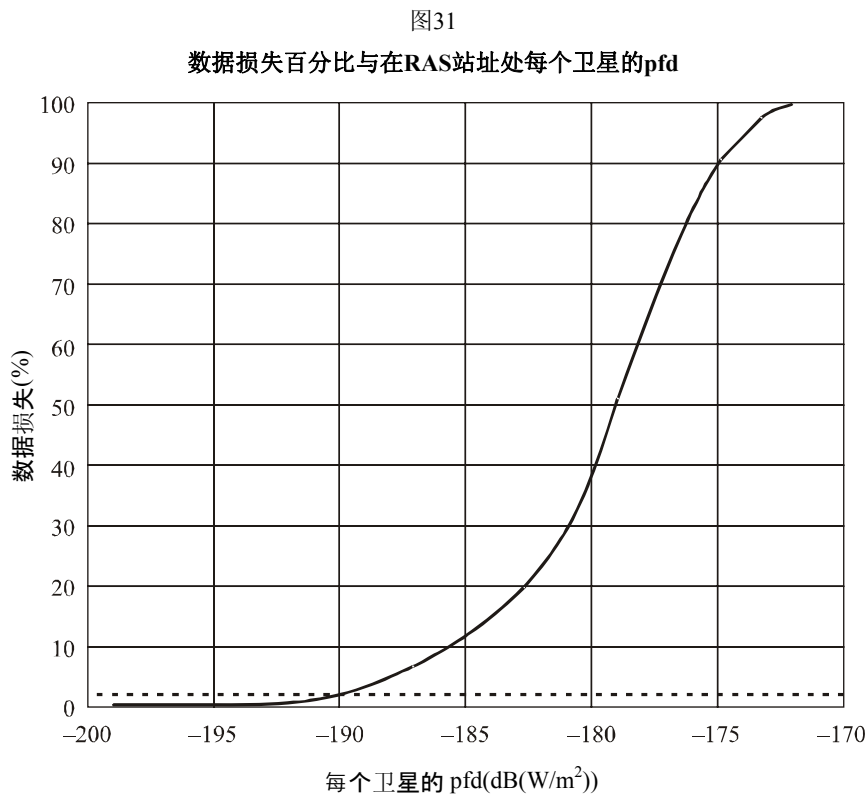
为了得到最一般化的结果，完成仿真时选取 0° 的仰角。

7.4.2 干扰电平的计算

7.4.2.1 1 400-1 427 MHz频带内的连续谱观测

7.4.2.1.1 依据ITU-R M.1184建议书的MSS系统G

图31示出了对于给定的每个MSS卫星的pfd值，在射电天文站址超过epfd门限的时间百分比(按照ITU-R RA.1513建议书的解释，超过该门限相当于出现了数据损失)。



Rap 2091-31

要在整个天空中平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，每个MSS系统G卫星在射电天文频带内产生的pfd应小于 $-190 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

图32示出了对于天空中的每个小区和(每个卫星) $-190 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 的pfd，超过epfd门限的时间百分比。

0° 方位角为正北，方位角增加的方向为由西向东。

7.4.2.1.2 COSPAS-SARSAT

图33示出了对于给定的每个卫星的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限的时间百分比(按照ITU-R RA.1513建议书的解释，超过该门限相当于出现了数据损失)。

图32

在RAS站址处pfd值为-190 dB(W/m²)时天空中的数据损失百分比

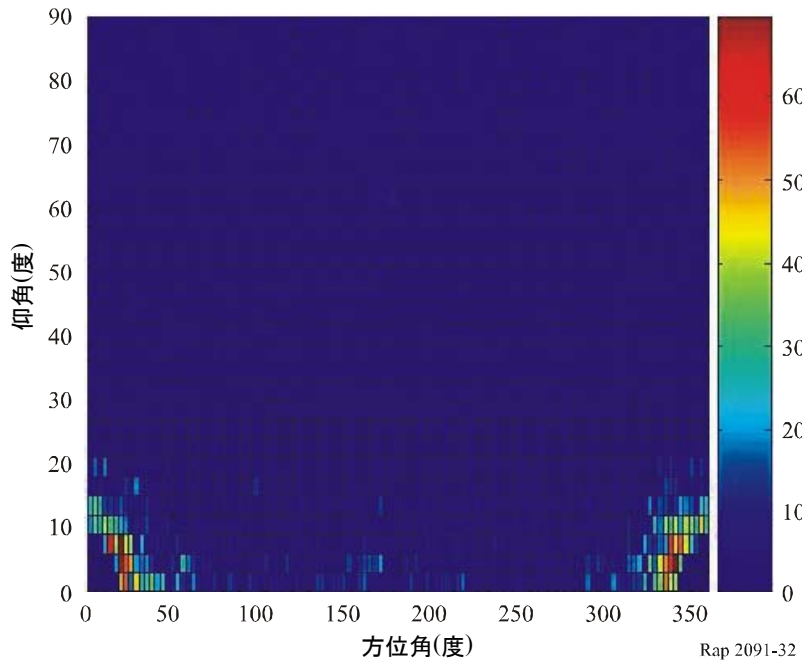
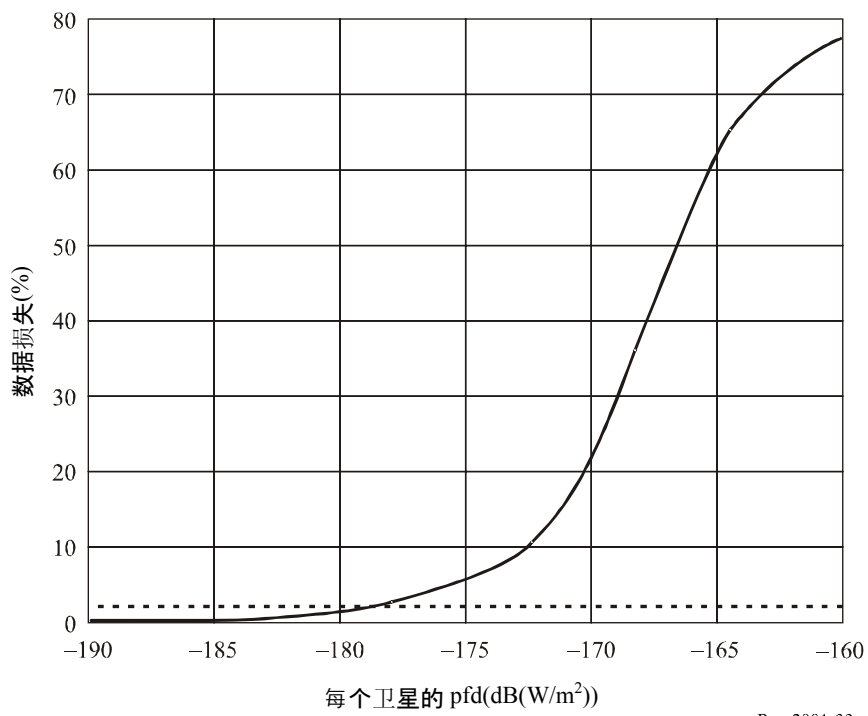


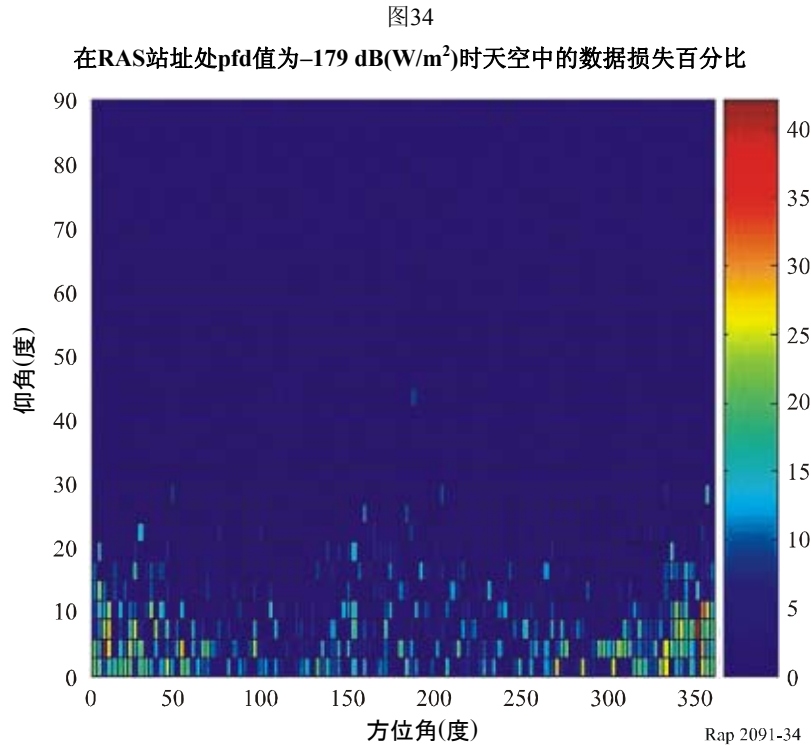
图33

数据损失百分比与在RAS站址处每个卫星的pfd



要在整个天空中平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，每个LEOSAR卫星在射电天文频带内产生的pfd应小于 $-179 \text{ dB(W/m}^2)$ 。

图34示出了对于天空中的每个小区和(每个卫星) $-179 \text{ dB(W/m}^2)$ 的pfd，超过epfd门限的时间百分比。 0° 方位角为正北，方位角增加的方向为由西向东。



7.4.2.2 1 400-1 427 MHz频带内的谱线观测

此时每个卫星的pfd值可采用下式直接从连续谱观测所需的值进行推断，而无需进一步仿真：

$$Pfd_{\text{谱线}} = pfd_{\text{连续谱}} + epfd_{\text{谱线}} - epfd_{\text{连续谱}} \quad (10)$$

要在整个天空中平均超过98%的时间内满足20 kHz带宽内 $-259 \text{ dB(W/m}^2)$ 的epfd门限，每个MSS系统G卫星在射电天文频带的任何20 kHz带宽内产生的pfd应小于 $-206 \text{ dB(W/m}^2)$ ，每个COSPAS-SARSAT卫星在射电天文频带的任何20 kHz带宽内产生的pfd应小于 $-194 \text{ dB(W/m}^2)$ 。

7.4.2.3 1 610.6-1 613.8 MHz频带内的谱线观测

相对于有害门限电平而言，射电天文站接收机收到的功率为：

$$P = \text{average}(pfd) \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \sum_{i=1}^n G_i \quad (11)$$

其中:

- P : 在射电天文带宽内收到的功率(W)
- Pfd : 由一个卫星在射电天文带宽内对射电天文站辐射的pfd(假定为常量)(W/m^2)
- λ : 波长(m)
- n : 可见范围内活动卫星的数目
- G_i : 在卫星*i*的方向射电天文天线的增益。

在2 000 s的RAS观测周期内计算平均值。

从上式可以看出, 一个频率与另一个频率之间的差值由以下值决定: λ 值, 射电天文望远镜的天线增益, 有害门限电平, 还有传播条件。ITU-R 7D工作组(ITU-R WP 7D)开展的一项研究已经显示, 天线增益对结果几乎不产生什么影响: 在所有研究中对所有频率都选择直径100 m的天线, 原因就在于此。另外, 对于此处考虑的各个频率, 传播条件变化也不大。因此可以认为, 从一个频率变到另一个频率时产生的每个卫星的pfd的差值主要取决于有害门限电平的波长。

因此公式可以改写成:

$$pfd_2 \approx pfd_1 + P_2 - P_1 + 20 \log\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right) = pfd_1 + P_2 - P_1 + 20 \log\left(\frac{f_2}{f_1}\right) \quad (12)$$

其中:

- pfd_2 : 在频率1处应遵守的每个卫星的pfd ($dB(W/m^2)$)
- pfd_1 : 在频率2处应遵守的每个卫星的pfd ($dB(W/m^2)$)
- P_1 : 在频率1处的有害门限电平(dBW)
- P_2 : 在频率2处的有害门限电平(dBW)
- f_1 : 频率1 (MHz)
- f_2 : 频率2 (MHz)。

要在整个天空中平均超过98%的时间内满足20 kHz带宽内 $-258 \text{ dB}(W/m^2)$ 的epfd门限, 每个MSS系统G卫星在射电天文频带的任何20 kHz带宽内产生的pfd应小于 $-205 \text{ dB}(W/m^2)$, 每个COSPAS-SARSAT卫星在射电天文频带的任何20 kHz带宽内产生的pfd应小于 $-193 \text{ dB}(W/m^2)$ 。

7.4.3 达到的值

采用1 525-1 559 MHz频带的MSS非GSO卫星在RAS的1 400-1 427 MHz频带和1 610.6-1 613.8 MHz频带内产生的无用发射属于杂散域。

7.4.3.1 依据ITU-R M.1184建议书的MSS系统G

表16根据《无线电规则》附录3的杂散发射掩模给出了某个pfd的评估值, 该pfd是由MSS系统G在射电天文站产生的。

表16

在1 525-1 559 MHz频带内的非GSO MSS网络为满足有害epfd电平所必需的衰减

系统G	
在MSS频带内每波束和每载波的e.i.r.p. (dBW)	-7.2
在MSS频带内的pfd (dB(W/m ²))	-141.7
天线增益(dBi)	13.0
在MSS频带内每波束和每信道的发射功率(dBW)	-20.2
43 + 10 log P	22.8
由《无线电规则》附录3得出的杂散衰减(dBc, 4 kHz内)	22.8
由《无线电规则》附录3得出的杂散电平(dB(W, 4 kHz内))	-43
在1 400-1 427 MHz频带内的杂散电平(dBW)	-5
在RAS频带内的杂散pfd (dB(W/m ²))	-126
在无源频带内所需的pfd (dB(W/m ²))	-206

要注意的是，为了计算RAS频带内杂散发射的总量，可以认为杂散发射在整个RAS频带内具有恒定的电平。这种假设须符合非常严格的条件，显然不代表实际情况，因为杂散发射一般出现在某些离散频率上。因此还需要进一步努力，顾及杂散发射的这种离散分量，以便获得更实际的RAS频带内MSS无用发射电平。

同样的说法对1 610.6-1 613.8 MHz频带也有效。

7.4.3.2 COSPAS-SARSAT

表17(天底情况)和表18(地平线情况)分别计算了两种系统在地面辐射的pfd。

在关于SARSAT或COSPAS的离散性质杂散发射的规范中都没有给出基准带宽。不过收到了SARSAT装备制造商发来的资料。杂散发射在10 kHz基准带宽内进行测量。对COSPAS采用同样的假设。

表17

在天底辐射的最大pfd

系统	杂散电平 (dBW)	基准带宽 (kHz)	高度 (km)	天线增益 (dBi)	最大pfd (dB(W/m ²))
SARSAT	-38	27 000	825	4	-164
	-47	20	825	4	-172
COSPAS	-57	20	1 000	-2	-190
	-57	20	690	-2	-187

表18

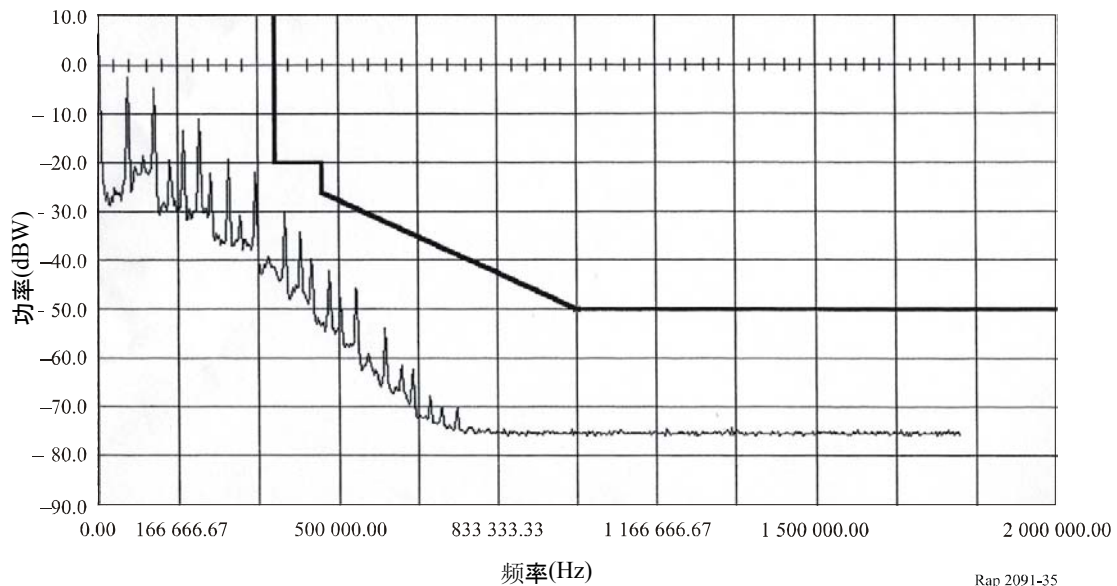
在60° 偏轴角辐射的最大pdf (水平方向)

系统	杂散电平 (dBW)	基准带宽 (kHz)	倾斜范围 (km)	天线增益 (dBi)	最大pdf (dB(W/m ²))
SARSAT	-38	27 000	2 272	-1	-177
	-47	20	2 272	-1	-186
COSPAS	-57	20	2 973	0	-197
	-57	20	1 792	0	-193

图35是由SARSAT装备制造商提供的。该图显示，25 dB的杂散电平其实比规范值低。因此在射电天文频带内在地面上辐射的实际pdf会比表17和表18中给出的值低25。因此也可以认为，若不对装备施加不恰当的限制，还是有可能满足第7.4.2节中确定的每个卫星的pdf电平的。由于SARSAT装备代表了最坏情况，因此对COSPAS装备也可以得出同样的结论。

图35

SARSAT无用发射的测量



Rap 2091-35

7.5 RAS减扰技术

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明，大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。

7.6 研究结果

7.6.1 小结

下面的表19归纳了在1 544-1 545 MHz频带内保护射电天文站不受COSPAS-SARSAT装备的无用发射的干扰所需的epfd和pfd门限电平。

表19

保护RAS不受COSPAS-SARSAT无用发射干扰所需的门限电平

RAS频带(MHz)	观测类型	基准带宽	E _{pfd} 门限 (dB(W/m ²))	每个卫星的 p _{pfd} 门限 (dB(W/m ²))
1 400-1 427	连续谱	27 MHz	-243	-179
1 400-1 427	谱线	20 kHz	-259	-194
1 610.6-1 613.8	谱线	20 kHz	-258	-193

在考虑COSPAS和SARSAT装备的规范时，可以看出，由无用发射在地面和RAS频带内产生的p_{pfd}对于连续谱观测超过了表17中每个卫星的p_{pfd}门限电平2 dB至13 dB，对于谱线观测则超过5 dB至22 dB。

不过，RAS频带与COSPAS-SARSAT频带分别相距65 MHz和117 MHz。另外，在SARSAT装备上实际测得的无用发射电平要比规范低25 dB。因此，SARSAT装备满足表17中给出的p_{pfd}限值。由于SARSAT代表了最坏情况，因此对COSPAS也可以得出同样的结论。

7.6.2 结论

若不对COSPAS-SARSAT系统施加进一步的限制，还是有可能满足表19中确定的每个卫星的p_{pfd}电平的。

8 在1 400-1 427 MHz频带内工作的RAS系统与在1 452-1 492 MHz频带内工作的BSS (空对地)系统之间的兼容性分析

8.1 RAS

8.1.1 划分的频带

1 400-1 427 MHz频带以主要使用条件仅划分给下述无源业务：RAS、EESS (无源)和SRS (无源)。

《无线电规则》第5.340款禁止在该频带内的所有发射。

8.1.2 观测类型

在所有三个ITU-R区域, 1400-1427 MHz频带的使用都比其他频带频繁。射电天文使用频带主要是进行宇宙中性原子氢(也称为HI)的谱线观测, 其中心频率为1420.406 MHz。这种物质目前为止是银河系和其他星系的主要成分, 发生在结构复杂的巨大云状物中。这条谱线的观测包括发射和吸收两方面, 由于云状物结构的局部运动和整体运动, 谱线会因多普勒效应而发生扩展和频移。因此, HI观测可用于绘制银河系和其他星系中物质的分布图和运动图。可以借助于这种方式绘制银河系的结构图, 并了解物质是如何运动的。

1400-1427 MHz划分带宽相当宽, 足够容纳银河系和邻近星系中云状物的多普勒频移发射。测量HI发射或吸收的极化现象, 可以得到关于星系磁场的重要资料, 从中增进对星系结构的了解。

1400-1427 MHz 频带也用于对热等离子体产生的宽带发射和对星系磁场中的高能(快速运动)电子间的相互作用产生的宽带发射(同步加速器发射)进行连续谱观测, 这种热等离子体是恒星对周围的云状物加热和形成的。

8.1.3 所需的保护标准

对射电天文观测的有害干扰的门限电平在ITU-R RA.769建议书中给出, 其中列出的无用发射电平将会使测量误差增加10%。该频带既用于谱线观测, 也用于连续谱观测。在1400-1427 MHz频带内, 采用20 kHz通道宽度(一个分光仪通道)的单反射面谱线观测的门限pfd限值为-196 dB(W/m²)。对于采用单反射面的连续谱观测, 要使用整个27 MHz频带宽度, 此时有害干扰的门限pfd限值为-180 dB(W/m²)。

VLBI观测不易受到干扰, 因为信号来自分布很广的各个天线, 信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映, 对于20 kHz的带宽, 其值为-166 dB(W/m²)。

对RAS的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中做了规定和计算, 成为保护标准, 超过该门限, 射电天文数据会降质, 最终有可能完全损毁。一般而言, 在相当理想的环境下, 若稍微超过这些电平, 有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下, 天文望远镜的通道容量会降低, 科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设(如天线性能等), 在干扰电平比该建议书中的规定高出10 dB或以上时, 要确保科研人员获得有效的科研数据, 靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术, 射电天文站将无法在受影响频带工作, 其提供服务的能力也就不存在了。

8.1.4 工作特性

在所有射电天文频带中, 1400-1427 MHz频带是使用最频繁的。在世界范围内, 所有三个ITU区域都在使用该频带, 有些射电望远镜, 如加拿大彭蒂克顿的自治领射电天体物理台(DRAO)的综合孔径射电望远镜, 在该频带内进行全天候观测。单天线射电望远镜用于测量小角直径源的集总spfd, 并测绘综合孔径望远镜无法测绘的大角直径源的结构。

综合孔径望远镜的角分辨率较高，这样就有可能测绘氢云和连续谱发射源(如超新星遗迹)的精细结构。然后将这些图与采用较低分辨率的单天线射电望远镜得到的图组合，形成银河系及其他星系的高质量三维图像。采用多天线阵的综合孔径射电望远镜可能需要一次至十几次的12 h“曝光”以形成某一部分天空的完整图像。为了便于测绘比较大的源结构，某些综合孔径射电望远镜，如DRAO所用的仪器，采用了由较小的天线组成的阵列。这样的仪器不具备优化的旁瓣抑制性能，因此更易受到干扰。

谱线观测采用多通道分光仪，可以同时将在频带内的许多(通常为256至4096)频率通道的功率集中到一起。选择的通道的数目和各自的带宽应能对天线波束内来自氢云的净发射形成足够的抽样。

一般而言，观测是以不同的方式进行的。对于连续谱发射，可以测绘天空中宇宙射电源周围的那部分区域，而背景发射则被去除，或者可以对来自源方向(源内)和来自天空中一个或多个邻近点(源外)的功率进行测量。从源内值中去除源外值，即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

对于谱线观测，在包括相关线发射(线状谱)在内的频率范围内对频谱进行记录，然后在偏离线发射的某个频率上进行记录，或者在同样的频率上在天空中的某个邻近位置进行记录(基准频谱)。从线状谱中去除基准频谱，即可从数据中去除无用噪声分量和其他掺杂物。

由于银河系中充满中性氢云，射电望远镜不仅在天线主波束内会检测到云的发射或吸收，在天线旁瓣内也会检测到很强的分量。这种“杂散辐射”令频谱失真，也降低了图像的细致程度。从数据中将其去除需要(尽可能)对整个天线波束进行大尺度测量，还需要估计杂散辐射的校正量。因此，干扰和天空中的大“遮挡”区会在干扰源周围大角度范围内影响对部分天空的测绘能力。

通过记录在覆盖相关区域的一组点上的发射，可以测绘延伸的射电辐射面积。连续谱观测和谱线观测二者均可进行。对于单天线射电望远镜，这组点中每个点上的观测都表示来自天空中该位置的总功率(连续谱观测)或发射频谱(谱线观测)；组中各点的间隔应不超过天线波束宽度的一半。在采用综合孔径射电望远镜进行观测时，若需要测绘的面积超过了瞬时测绘区，则组中各点的间隔应不超过其中一个射电望远镜天线波束宽度的一半。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

8.2 BSS

8.2.1 划分的发射频带

1 452-1 492 MHz频带划分给BSS。

8.2.2 应用

纯声音信号的广播。

8.2.3 依据规则性条款规定的电平

没有设定。

8.2.4 工作特性

依据已经部署的或非常有可能部署的BSS声音系统的特性，给出下列特性作为预期最大值和典型的必要带宽。另外，本建议书提出了天线增益的典型值。

表20

频带 (MHz)	被通知的系统	必要带宽 (MHz)	卫星天线增益 (dBi)	预期最大带内pfd (dB(W/(m ² · 4 kHz)))
1 452-1 492	数字系统A	1.536	30	-128
	数字系统DS	1.84	30	-138

注1 – 本附件中的结果仅限于GSO系统。

8.3 兼容性门限

见第8.1.3节。

8.4 干扰评估

8.4.1 用于评估干扰电平的方法

关于非GSO系统，其射电天文保护标准和有关方法在ITU-R RA.769建议书和ITU-R RA.1513建议书中做了说明，在有关FSS系统的ITU-R S.1586建议书中也有说明。

计算中用到的OoB发射掩模在第8.4.3.1节中做了说明。

8.4.2 干扰电平的计算

见第8.4.3节。

8.4.3 达到的值

应注意，下面几节仅涉及GSO系统的情况。

8.4.3.1 谱线观测

根据表20给出的必要带宽并根据BSS频带与无源业务频带的间隔，对于BSS划分显然应采用 $43 + 10 \log P$ 或60 dBc的杂散限值，以其中较宽松者为准，式中 P 为提供给天线传输线的平均功率(W)。表21给出了这方面的详情。

表21

BSS划分 (MHz)	最近的无源业务划分 (MHz)	被通知的系统	必要带宽 (MHz)	OoB域的起点 (MHz)	OoB域的终点 (MHz)	无源划分内所需的衰减
1 452-1 492	1 400-1 427	数字系统A	1.536	1 452	1 448.928	$43 + 10 \log P$ 或60 dBc
		数字系统DS	1.84	1 452	1 448.32	$43 + 10 \log P$ 或60 dBc

可从表22中的参数推断出预期无用发射电平。

表22

BSS划分 (MHz)	必要带宽 (MHz)	预期最大带内pfd (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	卫星天线增益 (dBi)	发射机总平均输出功率 (dBW)	无源划分内所需的衰减 (dBc)	预期最大无用发射电平 (dB(W/(m ² · 4 kHz)))
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1 452-1 492	1.536	-128	30	29.8	60	-162.4
	1.84	-138	30	20.6	60	-171.4

表中各栏的关系如下：

$$(4) = (2) + 162 (\text{自由空间损耗}) - (3)_{\text{带内}} - 36 + 10 \log ((1))$$

电平(4)确定了采用杂散限值时所需的衰减：

$$(6) = (4) - (5) + (3)_{\text{带外}} - 162$$

假定在无源划分频率上的卫星天线增益与卫星划分工作频率上的相同(即 $(3)_{\text{带内}} = (3)_{\text{带外}}$ ，下文就采用这种写法)。应记住这属于最坏情况。

无源频带既用于谱线观测，也用于连续谱观测。谱线观测采用(通常的)20 kHz的通道宽度(一个分光仪通道)进行，门限pfd则为-196 dB(W/m²)。该保护标准需要与下面的值加以比较：

$$-162.4 + 10 \log((20/4)) = -155.4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$$

并比较:

$$-171.4 + 10 \log((20/4)) = -164.4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$$

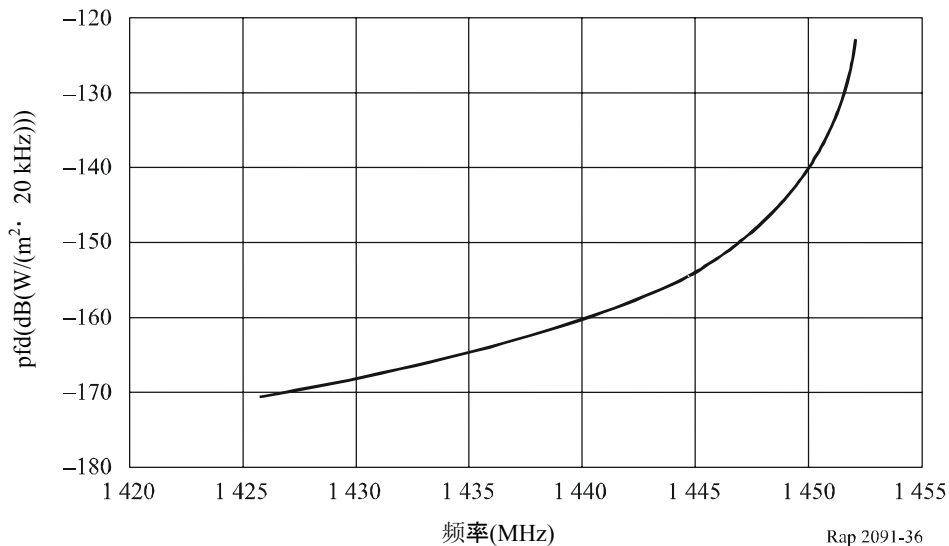
这意味着在OoB域的终点, 保护标准与杂散限值间的差值在40 dB数量级。由于OoB域的终点出现在1448.928 MHz, 而RAS划分的频带始于1427 MHz (超过必要带宽的10倍), 有可能在RAS频带的开始处, 杂散发射与保护标准间的差值相当小。

特别是若假设杂散域内信号的减弱会遵守为BSS系统制定的OoB掩模(见ITU-R SM.1541建议书), 则衰减可由下式给出:

$$32 \log\left(\frac{F}{50} + 1\right) \quad \text{dBsd}$$

图36

在20 kHz内的集总pfd电平, 随频率而变



此时, 在RAS划分的边缘处差值约为25 dB (对于数字系统DS为20 dB)。剩余的这些干扰要通过其他减扰措施(地理隔离和滤波)来避免。

8.4.3.2 VLBI观测

VLBI观测不易受到干扰, 因为信号来自分布很广的各个天线, 信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映, 对于20 kHz的带宽, 其值为-166 dB(W/m²)。

按照第8.4.3.1节中的计算, VLBI保护标准是很有可能满足的。

8.4.3.3 连续谱观测

对于采用单反射面的连续谱观测, 要使用整个27 MHz频带宽度, 此时有害干扰的门限pfd限值为-180 dB(W/m²)。

考虑到表20中给出的两种系统, 最大带内pfd电平为:

$$-128 + 10 \log_{10}(1.536 \text{ MHz}/4 \text{ kHz}) = -102 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1.536 \text{ MHz}/4 \text{ kHz))}$$

若该系统所遵守的电平比无线电通信4A工作组在1-7/149号文件中提出的信号有所降低,则对带内功率与27 MHz频带内集总的功率之间的抑制将大于80 dB。这意味着可以满足连续谱观测的保护标准。这也表明可以满足VLBI保护标准。

8.5 减扰技术

8.5.1 RAS

有多种方法,包括下文所述的方法,被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能:射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化,也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明,大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽:在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下,这项技术是适用的。

8.5.2 BSS

该业务涉及以恒定功率和频谱持续进行或长时间进行信号的不间断发射。有可能采用减扰程序以避免在使用该频带的射电天文站方向发射无用信号,或采用滤波器适当抑制无用发射电平,以便不对1400-1427 MHz频带内的射电天文观测产生有害干扰。

8.5.3 潜在影响

8.5.3.1 RAS

天线旁瓣性能:尝试降低射电天文天线对来自空间站的无用发射的灵敏度,有可能会增加射电天文望远镜对地面辐射的灵敏度,并有可能降低其主瓣增益。这两种效应都会降低所需的总积分时间内望远镜的通道容量,并因此导致总积分时间延长。

时间和/或频率屏蔽:这种屏蔽存在着降低数据完整性的风险,对数据进行科学解释时有可能形成误差。屏蔽还有可能增加观测所需的总积分时间,这相当于损失了望远镜的通道容量。

8.5.3.2 BSS

很明显,滤波器是抑制无用发射的一种方式,但增加这样的滤波器可能严重影响卫星的设计。若采用相控阵有源天线,则天线的每个驱动单元都需要采用滤波器。这会增加卫星的重量。为了补偿滤波器损耗,也需要更大的发射机的功率,这又反过来需要更大的总功率,因此就要求更大的太阳能电池组。重量的增加足以导致需要更大的运载火箭。成本的影响可能很大。这样的话,滤波器的实施只能在系统的设计阶段考虑。不过,滤波器和有源天线设计技术的不断进步最终会化解这种实施问题。

8.6 研究结果

8.6.1 小结

前一小节给出的计算涉及在1400-1427 MHz频带内工作的GSO BSS与在1400-1427 MHz频带内工作的RAS之间的兼容性。关于非GSO系统的情况还需要进一步研究。

前几小节给出的计算显示，正如第8.1.3节讨论的，BSS系统会满足VLBI和连续谱观测的保护标准。但是，要满足谱线保护标准，有可能必须采用减扰技术，如滤波。考虑到与BSS系统所需的必要带宽相比，在划分给RAS和BSS的频带之间已存在较宽的保护频带，预计采用减扰技术，如滤波和地理隔离，在技术上是可行的。应注意的是，采用这些技术在经济方面的影响也不小。

8.6.2 结论

对于该频带内的连续谱观测和VLBI观测，以及对于酌情采用减扰技术的谱线观测，可以满足射电天文观测的保护标准。

9 在1400-1427 MHz频带内工作的RAS系统与在1525-1559 MHz频带内工作的GSO卫星移动业务(空对地)系统之间的兼容性分析

9.1 RAS

9.1.1 划分的频带

1400-1427 MHz频带以主要使用条件划分给下述无源业务：RAS、EESS (无源)和SRS (无源)。本节仅探讨射电天文情况。

《无线电规则》第5.340款禁止在该频带的所有发射。

9.1.2 观测类型

在所有三个ITU-R区域，1400-1427 MHz频带的使用都比其他频带频繁。射电天文使用频带主要是进行宇宙中性原子氢(也称为HI)的谱线观测，其中心频率为1420.406 MHz。这种物质目前为止是银河系和其他星系的主要成分，发生在结构复杂的巨大云状物中。这条谱线的观测包括发射和吸收两方面，由于云状物结构的局部运动和整体运动，谱线会因多普勒效应而发生扩展和频移。因此，HI观测可用于绘制银河系和其他星系中物质的分布图和运动图。可以借助于这种方式绘制银河系的结构图，并了解物质是如何运动的。

1400-1427 MHz划分带宽相当宽，足够容纳银河系和邻近星系中云状物的多普勒频移发射。测量HI发射或吸收的极化现象，可以得到关于星系磁场的重要资料，从中增进对星系结构的了解。

1400-1427 MHz 频带也用于对热等离子体产生的宽带发射和对星系磁场中的高能电子间的相互作用产生的宽带发射(同步加速器发射)进行连续谱观测,这种热等离子体是恒星对周围的云状物加热和形成的。

9.1.3 所需的保护标准

对射电天文观测的有害干扰的门限电平在ITU-R RA.769建议书中给出,其中列出的无用发射电平将会使测量误差增加10%。该频带既用于谱线观测,也用于连续谱观测。在1400-1427 MHz频带内,采用20 kHz通道宽度(一个分光仪通道)的单反射面谱线观测的门限pfd限值为-196 dB(W/m²)。对于采用单反射面的连续谱观测,要使用整个27 MHz频带宽度,此时有害干扰的门限pfd限值为-180 dB(W/m²)。

VLBI观测不易受到干扰,因为信号来自分布很广的各个天线,信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映,对于20 kHz的带宽,其值为-166 dB(W/m²)。

对RAS的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中做了规定和计算,成为保护标准,超过该门限,射电天文数据会降质,最终有可能完全损毁。一般而言,在相当理想的环境下,若稍微超过这些电平,有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下,天文望远镜的通道容量会降低,科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设(如天线性能等),在干扰电平比该建议书中的规定高出10 dB或以上时,要确保科研人员获得有效的科研数据,靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术,射电天文站将无法在受影响频带工作,其提供服务的能力也就不存在了。

9.1.4 工作特性,观测类型

在所有射电天文频带中,1400-1427 MHz频带是使用最频繁的。在世界范围内,所有三个ITU区域都在使用该频带,有些射电望远镜,如设在DRAO的综合孔径射电望远镜,在该频带内进行全天候观测。单天线射电望远镜用于测量小角直径源的集总spfd,并测绘综合孔径望远镜无法测绘的大角直径源的结构。

综合孔径望远镜的角分辨率较高,这样就有可能测绘氢云和连续谱发射源(如超新星遗迹)的精细结构。然后将这些图与采用较低分辨率的单天线射电望远镜得到的图组合,形成银河系及其他星系的高质量三维图像。采用多天线阵的综合孔径射电望远镜可能需要一次至十几次的12 h“曝光”以形成某一部分天空的完整图像。

为了便于测绘比较大的源结构,某些综合孔径射电望远镜,如DRAO所用的仪器,采用了由较小的天线组成的阵列。这样的仪器不具备优化的旁瓣抑制性能,因此更易受到干扰。

谱线观测采用多通道分光仪,可以同时将在频带内的许多(通常为256至4096)频率通道的功率集中到一起。选择的通道的数目和各自的带宽应能对天线波束内来自氢云的净发射形成足够的抽样。

一般而言,观测是以不同的方式进行的。对于连续谱发射,可以测绘天空中宇宙射电源周围的那部分区域,而背景发射则被去除,或者可以对来自源方向(源内)和来自天空中一个或多个邻近点(源外)的功率进行测量。从源内值中去除源外值,即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

对于谱线观测,在包括相关线发射在内的频率范围内对频谱进行记录,然后在偏离线发射的某个频率上进行记录,或者在频率相同的空间邻近位置上进行记录(基准频谱)。从线状谱中去除基准频谱,即可从数据中去除无用噪声分量和其他掺杂物。

由于银河系中充满中性氢云,射电望远镜不仅在天线主波束内会检测到云的发射或吸收,在天线旁瓣内也会检测到很强的分量。这种“杂散辐射”令频谱失真,也降低了图像的细致程度。从数据中将其去除需要(尽可能)对整个天线波束进行大尺度测量,还需要估计杂散辐射的校正量。因此,干扰和天空中的大“遮挡”区会在干扰源周围大角度范围内影响对部分天空的测绘能力。

通过记录在覆盖相关区域的一组点上的发射,可以测绘延伸的射电辐射面积。连续谱观测和谱线观测二者均可进行。对于单天线射电望远镜,这组点中每个点上的观测都表示来自天空中该位置的总功率(连续谱观测)或发射频谱(谱线观测);组中各点的间隔应不超过天线波束宽度的一半。在采用综合孔径射电望远镜进行观测时,若需要测绘的面积超过了瞬时测绘区,则组中各点的间隔应不超过其中一个射电望远镜天线波束宽度的一半。

进行VLBI观测时,将信号下变频至基带,该基带信号不经解调而数字化,并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心,对信号加以同步并确定其相互关系。因此,在观测期结束并对数据进行处理之后,才能了解干扰的全面影响。

9.2 MSS

9.2.1 划分的发射频带

划分的发射频带为1 525-1 559 MHz(空对地)。

9.2.2 应用

MSS。

9.2.3 依据规则性条款规定的电平

所需的衰减为 $43 + 10 \log P$ dBc或60 dBc,以其中较宽松者为准,式中 P 为任何4 kHz带宽内天线输入端的峰值功率(W)。

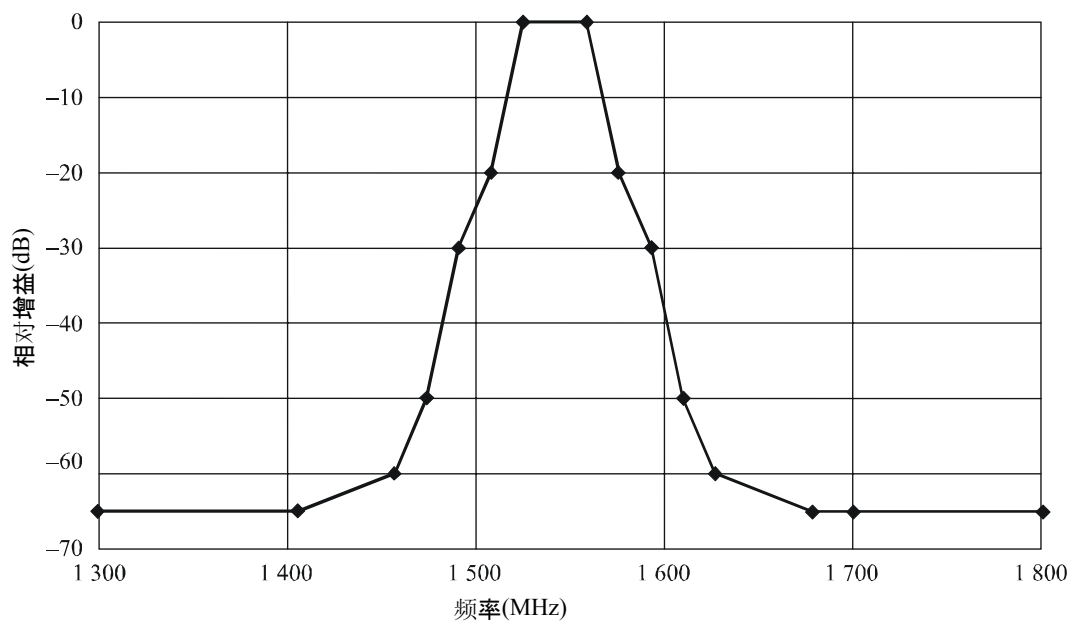
9.2.4 发射机特性

天线增益为41 dBi。

发射机(Tx)输出滤波器的特性示于图37。

图37

发射机输出滤波器的特性



Rap 2091-37

9.2.5 工作特性

对于5 MHz带宽，进入GSO MSS卫星点波束天线输入端的典型峰值功率为16 dBW。

9.2.6 带内发射电平

在4 kHz带宽内，带内发射电平为-15 dBW。

9.3 兼容性门限

见第9.1.3节。

9.4 干扰评估

9.4.1 用于评估干扰电平的方法

用峰值带内功率谱密度、峰值天线增益和在不同频率上测得的发射机输出滤波器衰减几个参数确定地球表面的pfd。

9.4.2 干扰电平的计算

发射机滤波器输出端的典型功率电平、天线输出端的e.i.r.p.密度电平和不同频率上地球表面的pfd示于表23，这些参数以1525-1559 MHz频带发射机滤波器的预期性能为基础。

表23

Inmarsat-4卫星的功率谱密度 (PSD)、e.i.r.p.密度和地球表面的pfd

频率 (MHz)	滤波器输出端的PSD (dB(W/4 kHz))	天线输出端的e.i.r.p.密度 (dB(W/4 kHz))	地球表面的pfd (dB(W/(m ² · 4 kHz)))
1 300	-80	-39	-202
1 406	-80	-39	-202
1 457	-75	-24	-197
1 474	-65	-14	-187
1 491	-45	-4	-167
1 508	-35	6	-157
1 525	-15	26	-137
1 559	-15	26	-137
1 576	-35	6	-157
1 593	-45	-4	-167
1 610	-65	-14	-187
1 627	-75	-24	-197
1 678	-80	-39	-202
1 700	-80	-39	-202
1 800	-80	-39	-202

9.4.3 达到的值

在4 kHz带宽内该值为-202 dB(W/m²)。

将这些值转换为连续谱观测和谱线观测的值，可以得出下值：

- 对于单反射面连续谱观测：-163 dB(W/m²)，在27 MHz带宽内；
- 对于单反射面谱线观测：-195 dB(W/m²)，在20 kHz带宽内。

根据某一运营商的某一GSO卫星移动系统计算出下列余量/亏损：

- 对于单反射面谱线观测，要满足ITU-R RA.769建议书中给出的保护标准尚有1 dB亏损；
- 对于单反射面连续谱观测，要满足ITU-R RA.769建议书中给出的保护标准尚有17 dB亏损。

9.5 减扰技术

9.5.1 RAS

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明，大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。

9.5.2 MSS

为了改善表23中给出的电平，在设计新的空间站时应考虑下列减扰技术：

- 天线的宽带频率响应；
- 中间滤波器的衰减特性；
- 固态功率放大器的增益频率响应；
- 各载波的调制特性；
- 互调产物引起的相对于载波功率的衰减。

9.5.3 对MSS的潜在影响

可以认为第9.5.2节中的减扰技术对于GSO系统在技术上是可行的。

9.6 研究结果

9.6.1 小结

根据某一运营商的某一GSO卫星移动系统的参数并考虑到第9.5.2节中列出的减扰因素，对于第9.1.3节中讨论的单反射面射电天文观测，来自该卫星系统的无用发射电平很可能会满足有害干扰的门限电平。

9.6.2 结论

在酌情采用适当的减扰措施的情况下，有可能满足连续谱观测、VLBI观测和谱线观测的保护标准。

10 在1 610.6-1 613.8 MHz频带内工作的RAS系统与在1 559-1 610 MHz频带内工作的RNSS系统之间的兼容性分析

10.1 RAS

10.1.1 划分的频带

1 610.6-1 613.8 MHz频带以主要使用条件划分给RAS。

《无线电规则》第5.149款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护RAS。

10.1.2 观测类型

1 610.6-1 613.8 MHz频带用于羟基(OH)的谱线观测。OH谱线中心频率为1 612 MHz，是射电天文中最重要谱线之一，ITU-R RA.314建议书就将其列为最重要的谱线之一。OH是在无线电频率上检测到的第一个宇宙基(1963年)，且一直是强有力的研究工具。OH产生了四条谱线，所在频率约为1 612、1 665、1 667和1 720 MHz，在银河系和河外星系中都能观测到。OH谱线的研究为广泛的天文现象提供了信息，如原恒星的形成和恒星的演变。为了解释在OH谱线上进行的众多观测，有必要衡量这些谱线中若干谱线的相对强弱。不具备观察这些谱线中某一条的能力，可能就无法研究某几类物理现象。

这些OH谱线是由某种相干过程产生的，在此过程中聚集在一起的OH基“逐步”辐射，形成窄带发射。在这种聚集的物理条件下，谱线会略有扩展。这些聚集区相对于地球的运动对线发射产生了多普勒效应。由于在源头存在若干聚集区，以不同的速度运动，让频谱变得更为复杂，包含若干重叠的高斯谱线轮廓，这些谱线具有不同的宽度和幅度，频率也略有不同（由不同的多普勒效应形成）。要求频带划分的宽度能适应因源头的微分运动和整体运动产生的频谱扩展和偏移。

在恒星演变的某些阶段，有些类别的恒星仅在1612 MHz谱线上辐射。对该谱线的研究可以让天文学家衡量这些恒星的物理属性，如恒星喷射气体的速度和气体重新形成星际介质的速度。这些恒星的某些属性是无法从任何天文观测中推论的。对发射OH的恒星进行的测量也用于估测到银心的距离，用于测量银河核球的质量，并用于研究银河系及河外星系中分子组分的空间分布。最后，在若干河外星系的核附近检测到了极强的微波激射辐射。这种来自星系核的OH巨微波激射辐射可以让天文学家研究星系中心的分子气体的温度和密度。

OH谱线也用于观测彗星；在安排观测这些“意外目标”时没有什么灵活性。

进行谱线观测时采用分光仪，分光仪可同时将所用频带内分布的大量(通常为256-4 096个)频率通道的功率集中到一起。通道的宽度和数目必须足够大，以准确降低射电望远镜所接收的发射频谱。通常采用每个频率通道~0.2-20 kHz的瞬时带宽，这取决于科研计划。

源很小，要测量其尺寸和结构常常需要采用VLBI技术进行观测。

10.1.3 所需的保护标准

ITU-R RA.769建议书明文规定了射电天文观测的保护标准，并给出了主用射电天文频带内有害干扰的门限电平。在1610.6-1613.8 MHz频带内，采用20 kHz通道宽度（一个分光仪通道）的单反射面谱线观测的门限pfd限值为-194 dB(W/m²)。该频带仅用于射电谱线观测，不用于连续谱观测。

对于来自非GSO系统的有害干扰，其保护标准和相关方法在ITU-R RA.769建议书和ITU-R RA.1513建议书中做了说明，而关于FSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R S.1586建议书中做了说明，关于MSS和RNSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R M.1583建议书中做了说明。

对RAS的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中做了规定和计算，成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书假设（如天线性能等），在干扰电平比该建议书的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

10.1.4 工作特性

全世界很多国家都有若干射电天文站址从事1 612 MHz频带的观测。1 612 MHz频带的观测有时是针对意外目标开展的，如彗星这类天体，已观测到这类天体在该谱线上产生了暂现发射。在该频带也常常开展VLBI观测，有时是在北美和欧洲的VLBI网络之间开展的。

VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限 pfd 电平上有所反映，对于20 kHz的带宽，其值为 $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ ，但没有纳入ITU-R RA.769建议书。

谱线观测采用多通道分光仪，可以同时将分布在频带内的许多（通常为256至4096）频率通道的功率集中到一起。选择的通道的数目和各自的带宽应能对天线波束内来自源的净发射形成足够的抽样。

一般而言，观测是以不同的方式进行的；在包括相关线发射在内的频率范围内对频谱进行记录，然后在偏离线发射的某个频率上进行记录，或者在频率相同的空间邻近位置上进行记录（基准频谱）。从线状谱中去除基准频谱，即可从数据中去除无用噪声分量和其他掺杂物。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

10.2 RNSS

10.2.1 划分的发射频带

1 559-1 610 MHz频带划分给RNSS，用于空对地发射。

10.2.2 应用

与大多数卫星系统相比，卫星无线电导航系统的信号功率极小，使用者，包括射电天文学家 and 空中无源系统，可将其用于方位估计和计时。因此两种业务都是交织业务。RNSS系统主要有两种：非GSO和GSO。GSO系统主要用于航空导航。非GSO系统由全世界许多主管部门用于导航、方位估计、精确计时和搜救。

10.2.3 依据规则性条款规定的电平

《无线电规则》没有硬性规定1 559-1 610 MHz频带的RNSS适用的限值或门限值。

10.2.4 工作特性

10.2.4.1 GALILEO

10.2.4.1.1 轨道特性

下文的表24给出了用于仿真的GALILEO轨道特性。

表24
GALILEO星群参数

参数	值
卫星数目	27
轨道平面数目	3
倾角	56
高度 (km)	23 616

下文的表25给出了星群中每个卫星的轨道参数。

表25
GALILEO星群参数

卫星数目	升交点赤经	真近点角
1	0	0
2	0	40
3	0	80
4	0	120
5	0	160
6	0	200
7	0	240
8	0	280
9	0	320
10	120	13.33
11	120	53.33
12	120	93.33
13	120	133.33
14	120	173.33
15	120	213.33
16	120	253.33
17	120	293.33
18	120	333.33
19	240	26.66
20	240	66.66
21	240	106.66
22	240	146.66
23	240	186.66
24	240	226.66
25	240	266.66
26	240	306.66
27	240	346.66

10.2.4.1.2 GALILEO卫星的无用发射

表26给出了GALILEO卫星在1 610.6-1 613.8 MHz射电天文频带内产生的无用发射电平。

表26

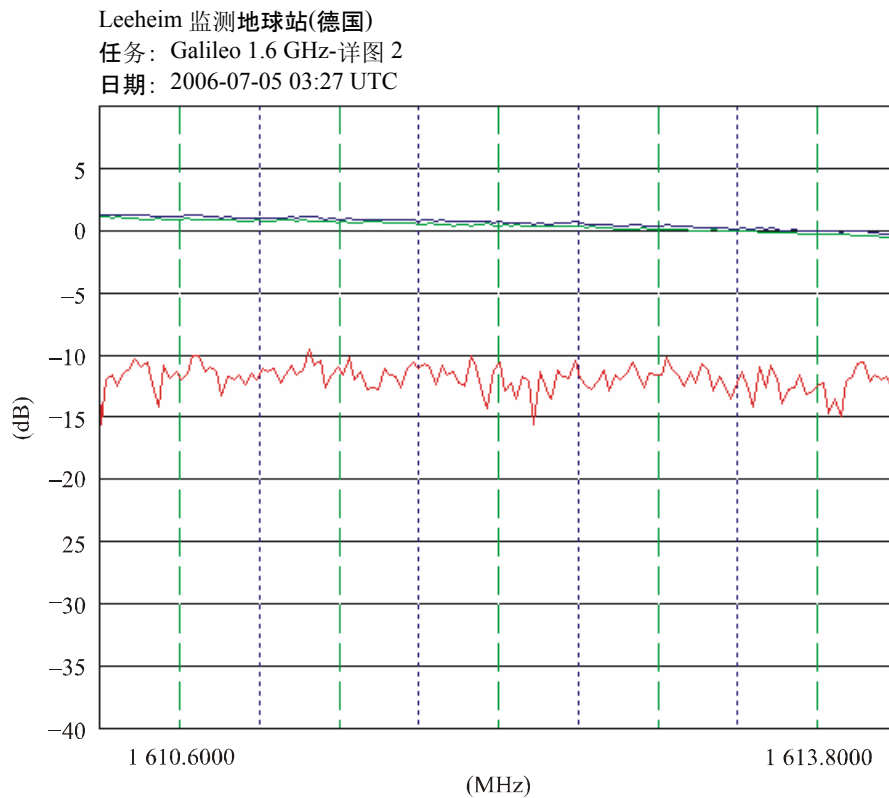
GALILEO的无用发射

参数	值
e.i.r.p.谱密度 (dB(W/kHz))	-68.5
高度 (km)	23.616
spfd (dB(W/(m ² · kHz)))	-227
pfd(dBW/(m ² · 20 kHz))	-214

图38示出了由德国Leeheim监测站得出的在RAS频带内GALILEO卫星OoB发射的测量结果。目前的测量尚无法表明带外发射电平，因为测量站的灵敏度有限。红线表明带宽为20 kHz时系统灵敏度约为-191 dB(W/m²)。

图38

在1 610.6至1 613.8 MHz频率范围内测得的
GALILEO实验卫星的OoB发射电平



在图38中，蓝色曲线（上部曲线）表示测得的Galileo实验卫星的发射电平+晴空噪声，绿色曲线（中间曲线）表示晴空噪声电平，红色曲线（下部曲线）显示的是蓝色曲线与绿色曲线的差值。

10.2.4.2 GPS

10.2.4.2.1 轨道特性

下文的表27给出了用于仿真的GPS 轨道特性。

表27
GPS星群

参数	值
卫星数目	24
轨道平面数目	6
倾角	55
高度 (km)	20 200

表28给出了星群中每个卫星的轨道参数。

表28
GPS星群参数

卫星	升交点赤经	真近点角
1	272.847	11.676
2	272.847	41.806
3	272.847	161.786
4	272.847	268.126
5	332.847	80.956
6	332.847	173.336
7	332.847	204.376
8	332.847	309.976
9	32.847	11.876
10	32.847	241.556
11	32.847	339.666
12	32.847	11.796
13	92.847	135.226
14	92.847	167.356
15	92.847	265.446
16	92.847	35.156
17	92.847	197.046
18	152.847	302.596
19	152.847	333.686
20	152.847	66.066
21	212.847	238.886
22	212.847	345.226
23	212.847	105.206
24	212.847	135.346

10.2.4.2.2 GPS卫星的无用发射

从1989年初开始，采用增强的频率合成技术设计了第一批全面应用GPS卫星，通过使用优化的L波段三通天线转发开关而获得了附加的滤波能力。为了将无用发射降至最小，在Block II/IIA和后续卫星，包括Block IIR和IIR-M卫星中都加入了这种优化的滤波能力。目前的三通天线转发开关是一种相接的六极切比雪夫滤波器，用于L1和L2两个子波段的发射。Block IIF系列的现代化GPS空间飞行器将采用四通天线转发开关设计技术，以容纳L5子波段民用信号，并提供相似的性能。

GPS卫星的无用发射在1 610.6-1 613.8 MHz频带内的输出通量密度不超过 $-258 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 。该值在下文表29的链路余量中做了解释。

表29
GPS无用发射特性

	参数	值
1	最大OoB发射规范(dB(W/Hz))	-110
2	最坏情况OoB发射电平(由制造商提供) (dB(W/Hz))	-113
3	$\lambda \Lambda(c/1\ 612 \text{ MHz})$ (m)	0.19
4	有效接收天线口径($\lambda^2/4\pi$) (dBm ²)	-25.4
5	$D =$ 卫星至Rz天线的距离(m)	2.02E+7
6	路径损耗($\lambda^2/((d*4\pi)^2)$) (dB)	-182.7
7	发射天线增益 (dB)	12
8	收到的pfd(第2行 - 第4行 + 第6行 + 第7行) (dB(W/(m ² · Hz)))	-258.3
9	收到的pfd (dB(W/(m ² · 20 kHz)))	-215.3

10.2.4.3 准天顶卫星系统(QZSS)

10.2.4.3.1 轨道特性

下文的表30给出了用于仿真的QZSS轨道特性。

表30
QZSS星群参数

参数	值
卫星数目	3
轨道平面数目	3
倾角(度)	45
远地点高度(km)	39 970
近地点高度 (km)	31 602
近地点幅角(度)	270

表31给出了星群中每个卫星的轨道参数。

表31
QZSS星群参数(自2000年1月1日0:00起)

卫星数目	升交点赤经 (度)	真近点角 (度)
1	205	129.21
2	325	0
3	85	230.49

10.2.4.3.2 QZSS卫星的无用发射

表32给出了QZSS卫星在1 610.6-1 613.8 MHz射电天文频带内产生的无用发射电平。

表32
QZSS无用发射

参数	值
e.i.r.p.谱密度 (dB(W/Hz))	-86.9
卫星至地球表面的最小距离(km)	31 602
spfd (dB(W/(m ² · kHz)))	-218
pfd (dB(W/(m ² · 20 kHz)))	-205

10.2.4.4 GLONASS

10.2.4.4.1 轨道特性

表33给出了用于仿真的GLONASS轨道特性。

表33
GLONASS星群参数

参数	值
卫星数目	24
轨道平面数目	3
倾角(度)	64.8
高度 (km)	19 100

表34给出了星群中每个卫星的轨道参数。

表34

GLONASS星群轨道参数

卫星	升交点赤经 (度)	真近点角 (度)
1	0	0
2	0	45
3	0	90
4	0	135
5	0	180
6	0	225
7	0	270
8	0	315
9	120	0
10	120	45
11	120	90
12	120	135
13	120	180
14	120	225
15	120	270
16	120	315
17	240	0
18	240	45
19	240	90
20	240	135
21	240	180
22	240	225
23	240	270
24	240	315

10.2.4.4.2 GLONASS卫星的无用发射

在过去若干年中，GLONASS系统在1 610.6-1 613.8 MHz射电天文频带内产生的无用发射电平已经降低（见第10.5.2节）。降低无用发射电平的措施包括：

a) 改变GLONASS的频带：

- 1998年起至2005年：在轨GLONASS卫星不加任何限制地使用编号为 $k = 0 \dots 12$ 的频率（见表35）。编号为 $k = 13$ 的频率用于试验目的。
- 2005年之后：所有在轨GLONASS卫星使用编号为 $k = (-7, \dots, +6)$ 的频率（见表35）。

该系统的频率规划做了这番修改，将GLONASS基波发射转移到了低于1 610.6-1 613.8 MHz的频带。

表35

在1.6 GHz频率范围内GLONASS系统载波频率的分布

频率编号 <i>k</i>	L1子波段的载波频率 (MHz)	频率编号 <i>k</i>	L1子波段的标称载波频率 (MHz)
13	1 609.3125	02	1 603.125
12	1 608.75	01	1 602.5625
11	1 608.1875	00	1 602.0
10	1 607.625	-01	1 601.4375
09	1 607.0625	-02	1 600.8750
08	1 606.5	-03	1 600.3125
07	1 605.9375	-04	1 599.7500
06	1 605.375	-05	1 599.1875
05	1 604.8125	-06	1 598.6250
04	1 604.25	-07	1 598.0625
03	1 603.6875		

- b) 滤波：2005年底之后入轨的所有GLONASS卫星都装备了滤波器，将卫星在1 610.6-1 613.8 MHz频带和1 660.0-1 670.0 MHz频带内的带外发射显著降低至ITU-R RA.769建议书中给出的值（每个卫星的值）。

算得的这些滤波器对GLONASS 无用发射的抑制量示于表36。

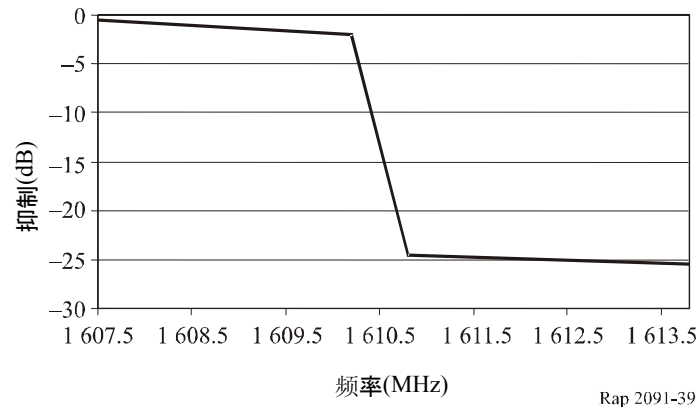
表36

算得的滤波器对GLONASS卫星发射的抑制量

频率 (MHz)	抑制量 (dB)
1 607.5	-0.5
1 610.2	-2
1 610.8	-24.5
1 613.8	-25.5

图39

算得的滤波器对1 610.6-1 613.8 MHz频带内GLONASS卫星发射的抑制量



Rap 2091-39

这都是新一代GLONASS卫星的设计特性，包括在2003年底发射的一个卫星上安装的滤波器。观测结果显示，获得的衰减最高达19 dB。该衰减尚不足以达到ITU-R RA.769建议书中规定的1 610.6-1 613.8 MHz频带的有害门限电平。

按下文所述的方法在1.6 GHz范围内从 $k = -5$ 至 $k = 6$ 的标称频率上对每个GLONASS卫星发射的信号进行了仿真，并对滤波器特性进行了仿真。

$$PFD(\beta_i) = L_F(f_c) + P_{si} + G_t(\theta_i) - L(\beta_i)$$

其中：

- $PFD(\beta_i)$: 在基准频带 Δf 内由第 i 个GLONASS卫星发射的随仰角 β 而变的pdf (dB(W/m²))
- $L_F(f_c)$: GLONASS空间站上安装的一个滤波器的衰减（见图39）(dB)
- P_{si} : 在基准频带 Δf 内由第 i 个GLONASS卫星发射的导航信号总功率(dBW)
- $G_t(\theta_i)$: GLONASS空间站发射的随角度 θ 而变的增益(dBi)
- θ_i : GLONASS空间站发射天线主轴与地球表面上接收点方向的夹角(度)
- $L(\beta_i)$: 随仰角 β 而变的扩展损耗(dB/m²)
- β_i : 在地球表面接收点上形成的GLONASS空间站仰角(度)
- N : 星群中GLONASS卫星的数目
- i : 所研究的GLONASS卫星的编号(1, 2 ... N)
- Δf : 测量基准频带(Hz)
- f_c : 测量基准频带 Δf 的中心频率(Hz)。

在基准频带 Δf 内由第*i*个GLONASS卫星发射的导航信号总功率 P_{si} (dBW)由下式确定:

$$P_{si} = 10 \log 10 \left(PD \cdot \int_{-\frac{\Delta f}{2}}^{\frac{\Delta f}{2}} S_i(f) df \right)$$

$$S_i(f) = \frac{\sin \left[|f - (fx_i - fc)| \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}{\left[|f - (fx_i - fc)| \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}$$

其中:

- P_{si} : 在基准频带 Δf 内由第*i*个GLONASS卫星发射的导航信号总功率(dBW)
- PD : 导航信号的最大频谱功率密度电平(W/Hz)
- $S_i(f)$: 由第*i*个发射站产生的导航信号的频谱特性
- f : 当前频率(Hz)
- fx_i : 第*i*个GLONASS卫星的载波频率(Hz)
- fc : 测量基准频带 Δf 的中心频率(Hz)
- fe : -3 dB带宽 of 导航信号 (Hz)
- Δf : 测量基准频带(Hz)。

此时扩展损耗 $L(\beta_i)$ 由下式确定:

$$L(\beta_i) = 10 \log 10 \left[4\pi(d(\beta_i))^2 \right]$$

$$d(\beta_i) = \sqrt{(H + R)^2 - \left(R \cos \left(\beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)^2} - R \sin \left(\beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right)$$

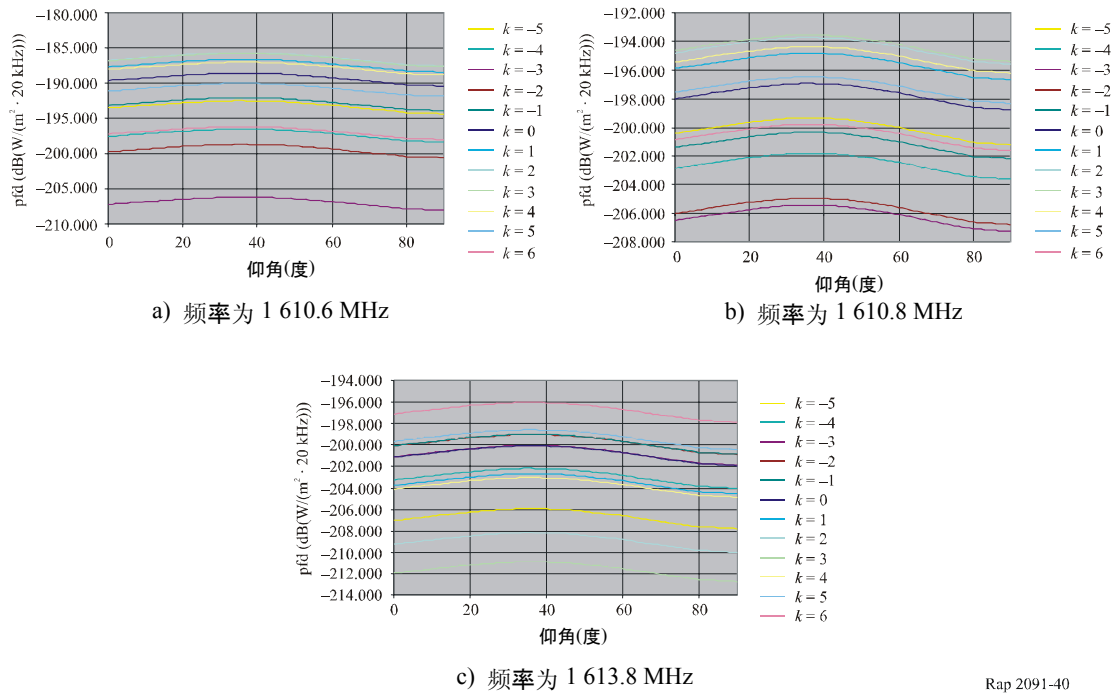
其中:

- $L(\beta_i)$: 随仰角 β 而变的扩展损耗(dBm²)
- β_i : 在地球表面接收点上形成的GLONASS空间站仰角(度)
- $d(\beta_i)$: 随仰角 β 而变的发射空间站与地球表面接收点之间的距离(m)
- H : GLONASS空间站距地球表面高度(m)
- R : 地球半径(m)。

装备了上述滤波器的每个GLONASS卫星(每个载波频率)的pfd电平, 是分别由所给的三个频率1 610.6、1 610.8和1 613.8 MHz上到达信号的仰角确定的(图40)。

图40

每个GLONASS卫星(每个载波频率)的pfd电平



Rap 2091-40

对于epfd仿真，要针对星群中每个卫星出现最坏情况时的频率(1 610.6 MHz)考虑表37中的pfd电平。这是频率规划的一个例子，不一定反映未来GLONASS系统可能采用的实际频率规划。为了简化起见，也由于数值随仰角的变化不大，数值在所有仰角上进行了平均。

最近，Leeheim监测站对新一代具有滤波功能的GLONASS卫星的OoB发射特性进行了测量。下文的图41显示了这些测量的结果。蓝色曲线（上部曲线）表示测得的Galileo实验卫星的发射电平+晴空噪声，绿色曲线（中间曲线）表示晴空噪声电平，红色曲线（下部曲线）显示的是蓝色曲线与绿色曲线的差值。

测量显示，旧的和新的GLONASS卫星之间的调制得到改善，测量还显示，为了在1 610.6-1 613.8 MHz RAS频带内将无用发射电平最多减小19 dB而装备了一个滤波器。装备的滤波器看起来偏离了1 610.6-1 613.8 MHz频带的中心。

调制的解决了改善1 660-1 670 MHz RAS频带内现有的空尖峰信号问题。测得的GLONASS信号的中心频率为1 604.25 MHz，相当于表35中的编号 $k=4$ 。该载波是最靠近RAS频带的工作通道。在1 610.6 MHz上测得的pfd电平约为 $-173.8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ 。

目前的测量尚无法表明实际的OoB发射电平，因为测量站的灵敏度是未知的，也不确定在1 613.8 MHz上测得的最小pfd值($-189 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$)是相当于GLONASS卫星的发射，还是相当于监测站的噪声。

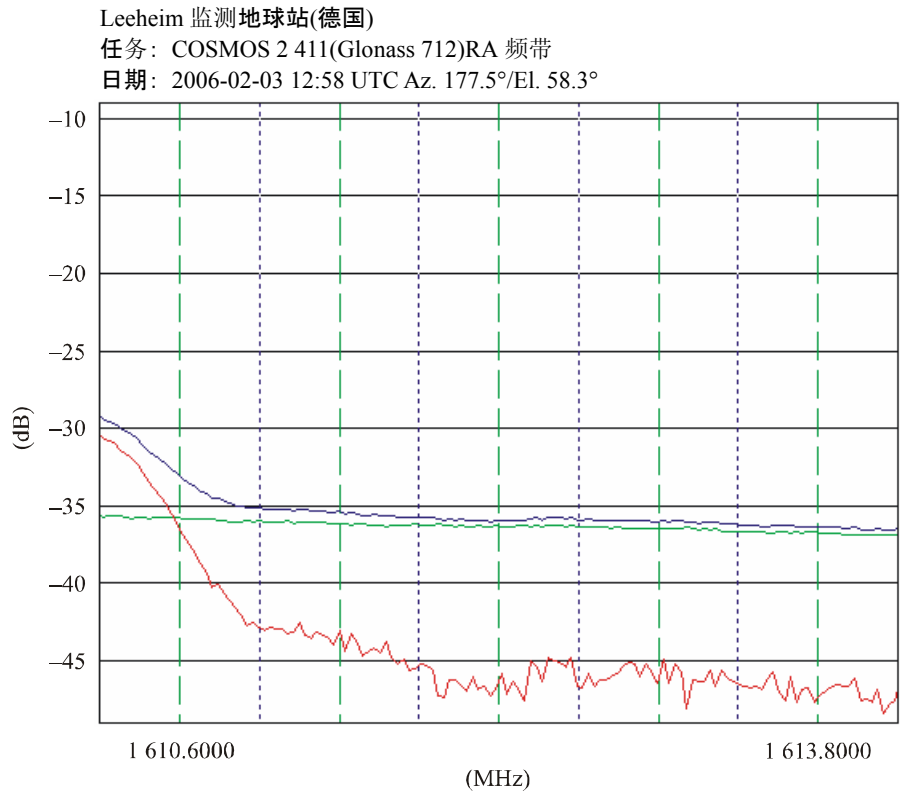
表37

GLONASS每个卫星的pfd电平

卫星	载波 <i>k</i>	pfd (dB(W/(m ² · 20 kHz)))		
		1 610.6 MHz	1 610.8 MHz	1 613.8 MHz
1	-5	-193	-200	-207
2	-4	-197	-203	-203
3	-3	-206	-206	-201
4	-2	-198	-206	-201
5	-1	-192	-201	-200
6	0	-188	-198	-201
7	1	-187	-197	-203
8	2	-186	-194	-209
9	3	-186	-194	-212
10	4	-187	-195	-204
11	5	-190	-197	-199
12	6	-197	-201	-197
13	-5	-193	-200	-207
14	-4	-197	-203	-203
15	-3	-206	-206	-201
16	-2	-198	-206	-201
17	-1	-192	-201	-200
18	0	-188	-198	-201
19	1	-187	-197	-203
20	2	-186	-194	-209
21	3	-186	-194	-212
22	4	-187	-195	-204
23	5	-190	-197	-199
24	6	-197	-201	-197

图41

在1 610.6至1 613.8 MHz频率范围内测得的
新一代GALILEO卫星的OoB发射电平



Rap 2091-41

10.3 兼容性门限

对于非GSO星群的情况,可由ITU-R RA.769建议书中给出的对射电天文观测的有害干扰 pfd门限和ITU-R RA.1631建议书中给出的最大射电天文天线增益(对该频带为64 dBi)算出1 610.6-1 613.8 MHz频带 $-258 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 的epfd门限。

10.4 干扰评估

10.4.1 用于评估干扰电平的方法

ITU-R M.1583建议书给出了评估由某个非GSO系统在射电天文站址处产生的无用发射电平的方法。该方法的基础是把天空分成尺寸几乎相同的小区并进行统计分析,在统计分析中RAS天线的指向和卫星星群的启动时间都是随机变量。对于每次评估,无用发射电平(以epfd表示)都在2 000 s的时段内平均。

关于对GPS、GLONASS和GALILEO的仿真,所选的特性相当于德国Effelsberg射电望远镜,采用100 m直径和约64 dBi的最大增益。天线方向性图和最大天线增益取自ITU-R RA.1631建议书。

地理坐标为:

纬度: 50.7° N 经度: 7.0° E

关于对QZSS的仿真，所选的特性相当于日本Kashima和Usuda射电望远镜。天线方向性图和64 dBi的最大天线增益取自ITU-R RA.1631建议书。

Kashima天文望远镜的地理坐标为：

纬度：35.95° N 经度：140.67° E

Usuda天文望远镜的地理坐标为：

纬度：36.12° N 经度：138.35° E

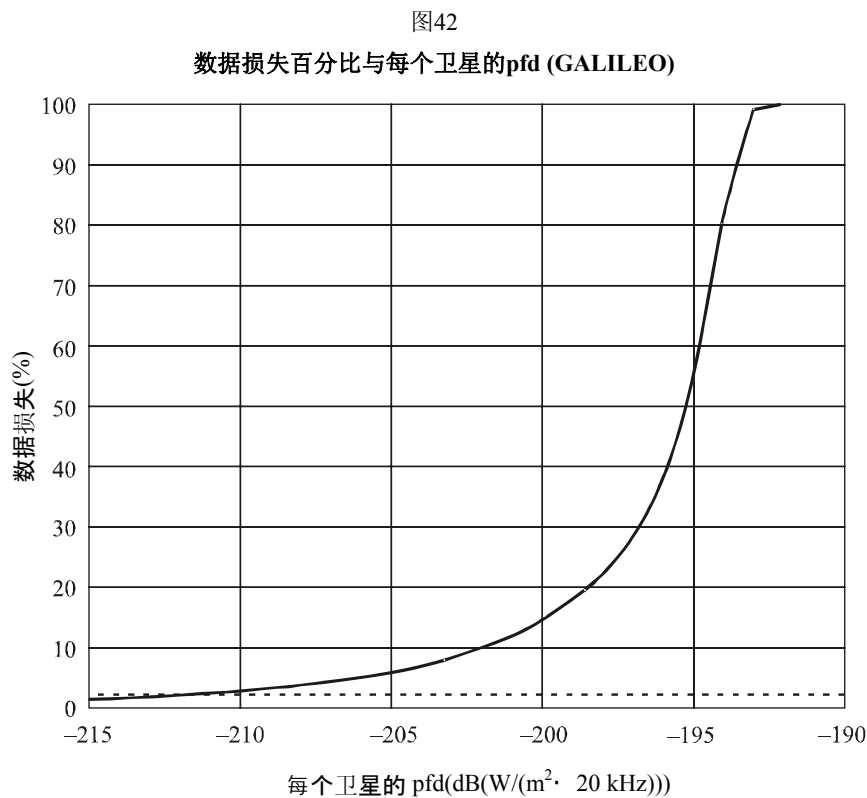
为了得到最一般化的结果，完成仿真时望远镜选取0°的最小仰角。

对于GLONASS情况，由于每个卫星可能采用不同的载波，射电天文频带内辐射的pfd可能会随卫星的不同而有所变化。

10.4.2 干扰电平的计算

10.4.2.1 GALILEO

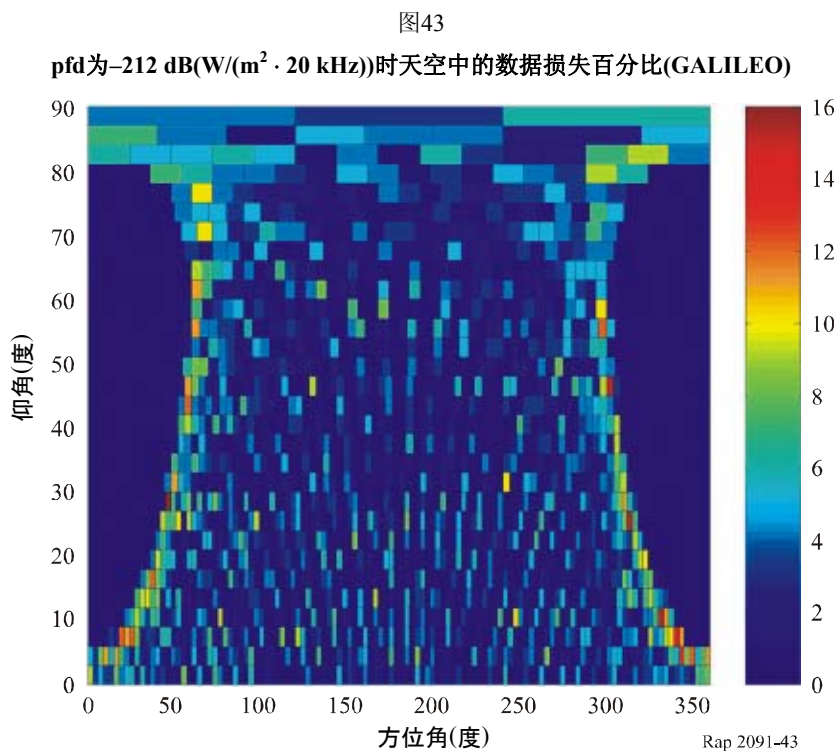
图42示出了对于给定的每个GALILEO卫星的pfd值，在射电天文站址超过epfd门限的时间百分比（按照ITU-R RA.1513建议书的解释，超过该门限相当于发生了数据损失）。



为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内每个GALILEO卫星产生的pfd应小于-212 dB(W/(m² · 20 kHz))。

图43示出了对于天空中的每个小区和（每个卫星）-212 dB(W/m²)的pfd，超过epfd门限的时间百分比。可以看出，每个小区肯定不会超过14%，因此在天空的任何部分都不会产生空间遮挡。

在图43、图45、图47、图49和图50中， 0° 方位角为正北，方位角增加的方向为由西向东。



10.4.2.2 GPS

图44示出了对于给定的由每个GPS卫星产生的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限的时间百分比。

为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内每个GPS卫星产生的pfd应小于 $-211 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ 。该值等同于GALILEO的值。

图45示出了对于天空中的每个小区和（每个卫星） $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ 的pfd，观测到超过epfd门限的时间百分比。可以看出，每个小区肯定不会超过18%，因此在天空的任何部分都不会产生空间遮挡。

10.4.2.3 QZSS

因为对Kashima射电望远镜的仿真形成了最坏情况下的epfd电平，所以此处给出Kashima射电望远镜的计算结果。

图46示出了对于给定的由每个QZSS卫星产生的pfd值，在射电天文站址处超过epfd门限的时间百分比（按照ITU-R RA.1513建议书的解释，超过该门限相当于发生了数据损失）。

为了在整个天空平均超过98%的时间内满足epfd门限电平，在射电天文频带内每个QZSS卫星产生的pfd应小于 $-203 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ 。对于Usuda射电望远镜情况，该值为 $-202.5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ ，该值供参考。

图44

数据损失百分比与每个卫星的pfd (GPS)

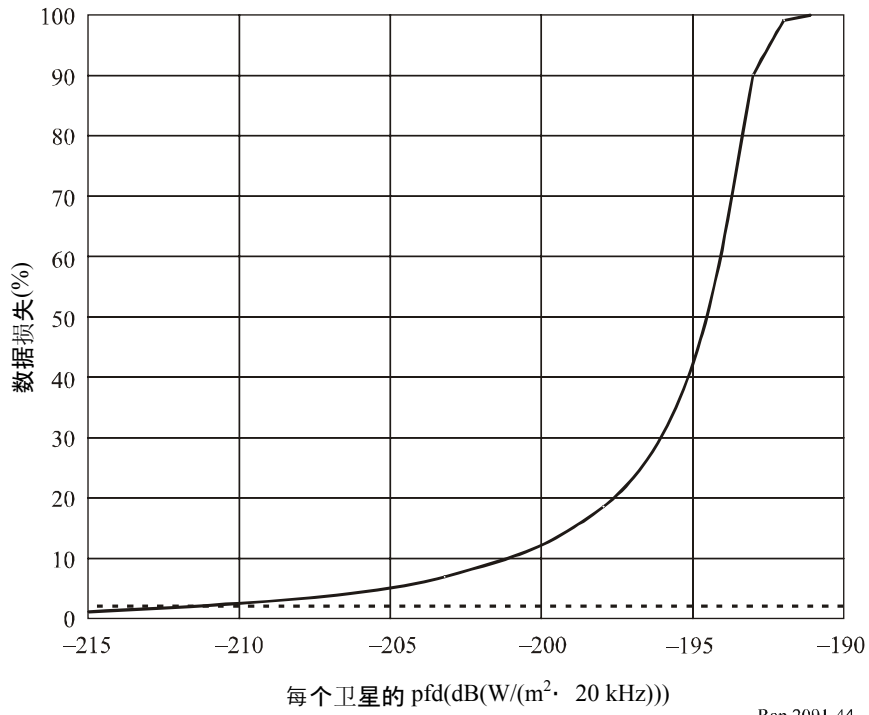


图45

pfd为-212 dB(W/(m² · 20 kHz))时天空中的数据损失百分比(GPS)

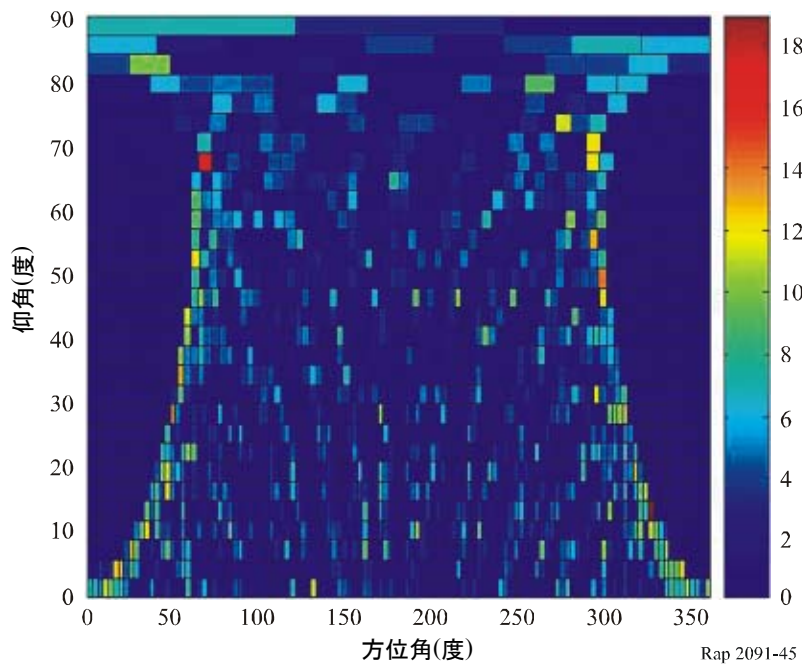
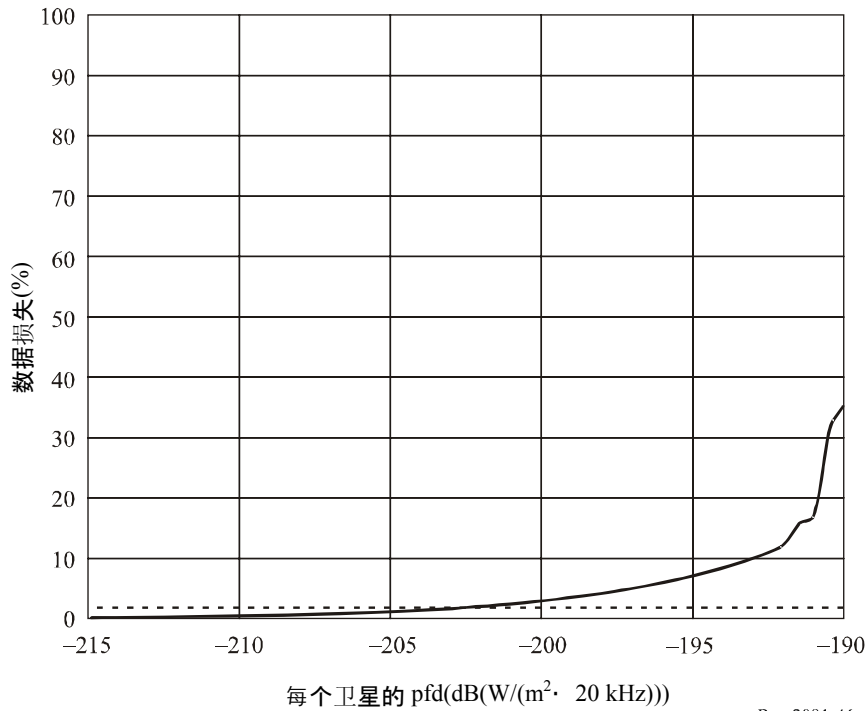


图46

数据损失百分比与每个卫星的pfd (从QZSS进入Kashima射电望远镜)



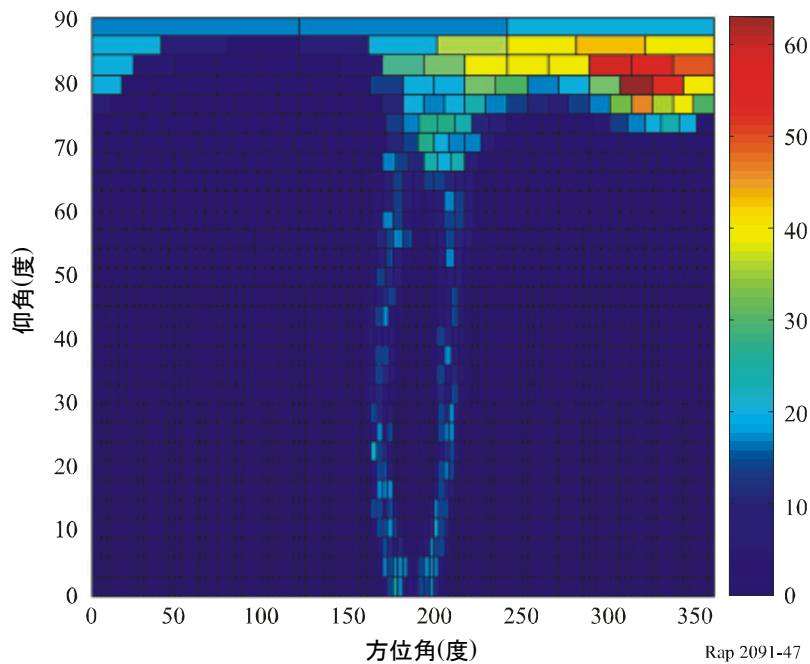
Rap 2091-46

图47示出了对于天空中的每个小区和前面提到的每个卫星的pfd，超过Kashima射电望远镜epfd门限的时间百分比。

图47

对于Kashima射电望远镜，pfd为-203 dB(W/(m² · 20 kHz))时
天空中的数据损失百分比(QZSS)

超过epfd门限的最大时间百分比为64%。另外在空中12.4%的
区域内(288个小区)超过epfd门限的时间为2%。



Rap 2091-47

第10.2.4.3.2节算出QZSS卫星的无用发射电平为 $-205 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ ，因此该值比上文确定的pfd电平低2 dB。

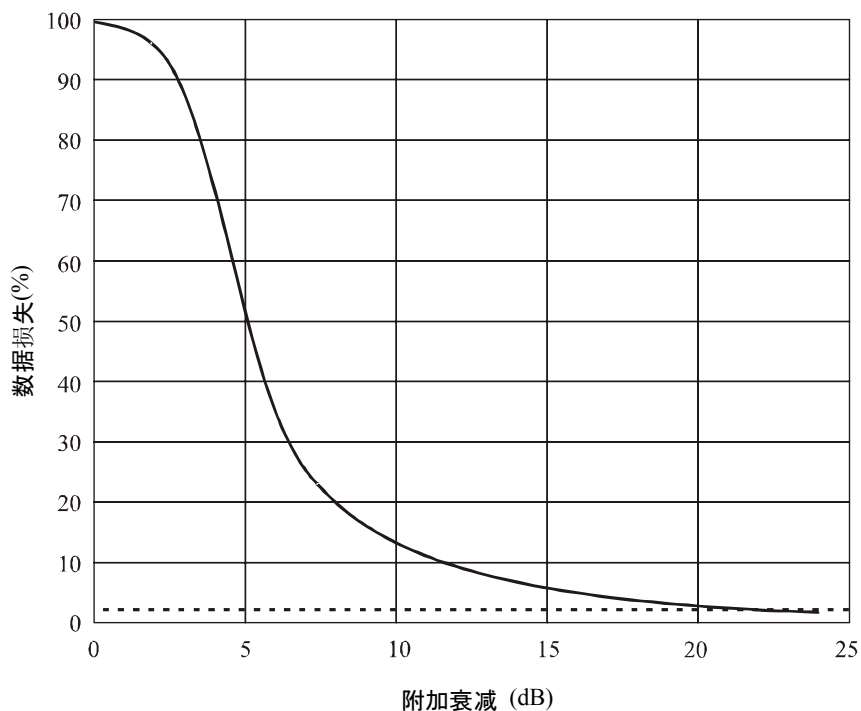
10.4.2.4 GLONASS

图39所示为GLONASS卫星目前的滤波器设计所提供的衰减，图48给出了随附加在该衰减上的衰减而变的中心频率为1 610.6 MHz的20 kHz带宽内的数据损失百分比。

图48

频率为1 610.6 MHz时数据损失百分比与表37中pfd上的附加衰减

超过epfd门限的最大时间百分比为64%。另外在空中12.4%的区域内(288个小区)超过epfd门限的时间为2%。



Rap 2091-48

该图显示，若未来所有GLONASS卫星辐射的pfd电平与那些装备了图39所示滤波器的GLONASS卫星相同，则天空中的数据损失百分比约为99.8%。为了遵守2%的容许数据损失，须增加22 dB的附加损耗。

图49和图50分别显示对于表37中的pfd电平和附加22 dB衰减后的pfd电平，频率为1 610.6 MHz时天空中的数据损失百分比。

应注意的是，按照滤波器的特性（见图39），在偏离1 610.6 MHz频率仅200 kHz(1 610.8 MHz频率)的情况下，为了确保2%的容许数据损失，须附加14.5 dB的损耗，而不是22 dB。

图49

频率为1 610.6 MHz、pfd电平为表37中的值时
天空中的数据损失百分比

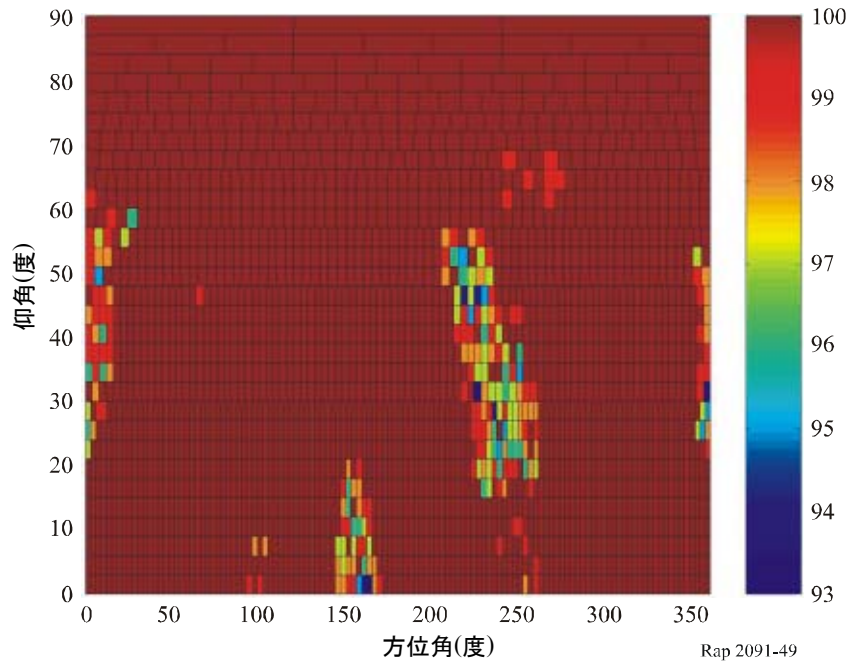
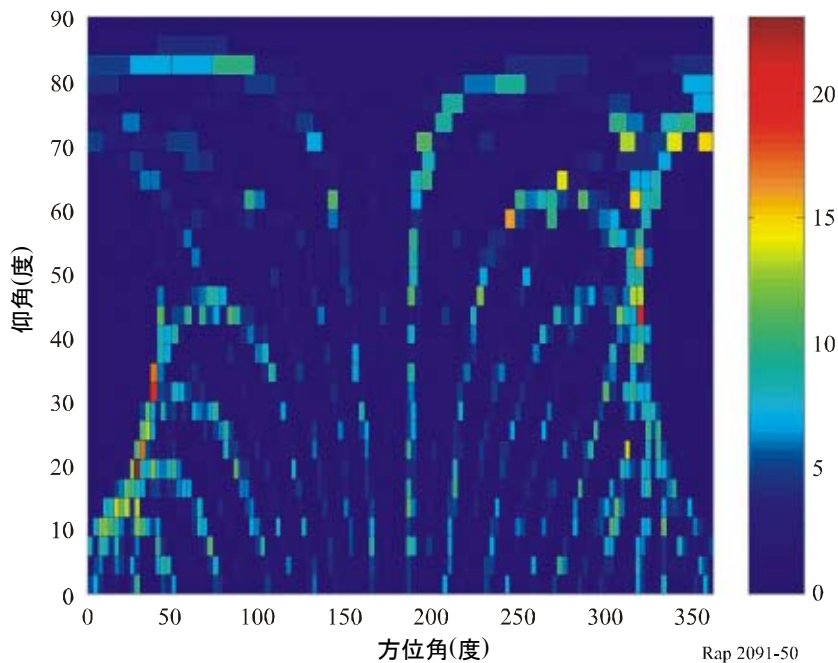


图50

频率为1 610.6 MHz、附加衰减为22 dB时
天空中的数据损失百分比



10.4.3 达到的值

表26、表29、表32 和表37中给出的GALILEO、GPS、QZSS和GLONASS的无用发射pfd电平显示，GALILEO、GPS和QZSS RNSS系统会满足由ITU-R RA.769建议书算出的epfd门限电平，余量分别为2、3.3和2 dB。

不过GLONASS RNSS系统在1 610.6-1 613.8 MHz频带不能满足由ITU-R RA.769建议书算出的epfd门限电平，亏损为22 dB。

10.5 减扰方法

10.5.1 RAS

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明，大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。不过这项技术只在数据损失百分比足够低时才适用。

10.5.2 卫星无线电导航业务

降低RNSS卫星无用发射可用的减扰技术至少有两种：

- 滤波；
- 采用改进的频谱规划。

下面几段文字给出的是现有RNSS系统中应用两种技术的例子。

一开始有两种RNSS系统在1 559-1 610 MHz频带内工作，这两种系统都采用了扩频调制。两种系统都没有对其发射进行滤波就投入了使用，有报告称两种系统都在1 610.6-1 613.8 MHz频带对射电天文站造成了干扰。

一个早期工作系统在出现干扰报告之后发射的那些本系统所属的卫星上采用了滤波器（见上述第10.2.4.2.2节），进入1 610.6-1 613.8 MHz频带的无用发射已降低到了射电天文学界满意的程度。

其他的早期系统在1 610.6-1 613.8 MHz频带内工作，尽管该RAS划分当时仍为次要划分。为了减轻该频带的干扰状况，卫星运营商与在世界范围内代表射电天文学界的射电天文和空间科学频率划分协会间委员会(IUCAF)达成了一个协议(WRC-93/43号文件)。该协议内含若干年后分阶段满足RAS保护标准的方法。根据上述协议对频道规划做了修订，并将卫星发射频率移至低于1 610.6-1 613.8 MHz频带。另外给系统中的新卫星加装了滤波器（见图39），降低了OoB发射并降低了ITU-R RA.769建议书中规定的门限电平。

所谓的滤波器装在发射天线与每站发射机之间，发射机通过同相功率合成辐射出L导航信号。

10.5.3 潜在影响

10.5.3.1 RAS

天线旁瓣性能：尝试降低射电天文天线对来自空间站的无用发射的灵敏度，有可能会增加射电天文望远镜对地面辐射的灵敏度，并有可能降低其主瓣增益。这两种效应都会降低所需的总积分时间内望远镜的通道容量，并因此导致总积分时间延长。

时间和/或频率屏蔽：这种屏蔽存在着降低数据完整性的风险，对数据进行科学解释时有可能形成误差。屏蔽还有可能增加观测所需的总积分时间，这相当于损失了望远镜的通道容量。

若RNSS系统超过由ITU-R RA.769建议书算出的1 610.6-1 613.8 MHz频带的epfd门限电平，可能就无法在该频带开展羟基原子的RAS观测。

10.5.3.2 RNSS

硬件解决办法，如滤波器，可能难于实施。对于多单元的有源天线，可能每个单元都需要滤波器。这样会增加卫星的重量。补偿滤波器损耗也需要更大的发射机的功率，这又反过来需要更大的总功率，因此就要求更大的太阳能电池组。这样就进一步增加了重量。另外，卫星越大、越重，需要的运载火箭也越大。滤波器设计方面的技术进步减轻了这种问题。尤其是若在系统的设计阶段考虑在系统中装备滤波器，则这一任务更易完成。

另外，在GLONASS卫星上装备滤波器已产生了下述基本问题：

- 为在某个频率上形成导航信号而对发射信号进行的相位调整变得十分复杂。缺乏适当的相位调整会导致天线方向性图失真和导航信号发射功率的损失。
- 出现了滤波器通带的附加损耗，由此降低了发射的导航信号的电平。
- 在L1波段出现了调制信号的附加延迟，给使用者补偿电离层误差带来了附加误差。

俄罗斯联邦认为，IUCAF与GLONASS主管部门原先商定的条件已得到满足。

在图39所示的滤波器提供的衰减之外要求对无用发射进行附加的抑制，会让上述问题雪上加霜。若在导航方案中排除导航信号，则GLONASS系统在人命安全方面的应用会受到损害。

由于已经开始生产装备滤波器的GLONASS卫星，这种滤波器的特性在今后一段时间内将不会改变。

10.6 研究结果

在该频带，若采用减扰方法，对于VLBI和单反射面谱线观测，有源业务可以满足第10.1.3节讨论的对射电天文观测的有害干扰的门限电平。在该频带未进行单反射面连续谱观测。第10.4节的分析结果显示，由于采用了减扰技术，已在或计划在1 559-1 610 MHz频带内工作的一个现有系统、一个正在装备中的系统和另一个已有规划的RNSS系统落在1 610-1 613.8 MHz频带内的无用发射电平可以满足射电天文业务的保护标准。分析结果还显示，对相同频带内工作的另一个现有系统，结论就不适用了。

11 在1 610.6-1 613.8 MHz频带内工作的RAS系统与在1 613.8-1 626.5 MHz频带内工作的MSS(空对地)系统之间的兼容性分析

11.1 RAS

11.1.1 划分的频带

1 610.6-1 613.8 MHz频带以主要使用条件划分给RAS。

《无线电规则》第5.149款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护RAS。

11.1.2 观测类型

1 610.6-1 613.8 MHz频带用于OH（羟基原子）的谱线观测。OH谱线中心频率为1 612 MHz，是射电天文中最重要谱线之一，ITU-R RA.314建议书就将其列为最重要的谱线之一。OH是在无线电频率上检测到的第一个宇宙基（1963年），且一直是强有力的研究工具。OH产生了四条谱线，所在频率约为1 612、1 665、1 667和1 720 MHz，在银河系和河外星系中都能观测到。OH谱线的研究为广泛的天文现象提供了信息，如原恒星的形成和恒星的演变。为了解释在OH谱线上进行的众多观测，有必要衡量这些谱线中若干谱线的相对强弱。不具备观察这些谱线中某一条的能力，可能就无法研究某几类物理现象。

这些OH谱线是由某种相干过程产生的，在此过程中聚集在一起的OH基“逐步”辐射，形成窄带发射。在这种聚集的物理条件下，谱线会略有扩展。这些聚集区相对于地球的运动对线发射产生了多普勒效应。由于在源头存在若干聚集区，以不同的速度运动，让频谱变得更为复杂，包含若干重叠的高斯谱线轮廓，这些谱线具有不同的宽度和幅度，频率也略有不同(由不同的多普勒效应形成)。要求频带划分的宽度能适应因源头的微分运动和整体运动产生的频谱扩展和偏移。

在恒星演变的某些阶段，有些类别的恒星仅在1 612 MHz谱线上辐射。对该谱线的研究可以让天文学家衡量这些恒星的物理属性，如天体喷射气体的速度和气体重新形成星际介质的速度。这些恒星的某些属性是无法从任何天文观测中推论的。对发射OH的恒星进行的测量也用于估测到银心的距离，用于测量银河核球的质量，并用于研究银河系及河外星系中分子组分的空间分布。最后，在若干河外星系的核附近检测到了极强的微波激射辐射。这种来自星系核的OH巨微波激射辐射可以让天文学家研究星系中心的分子气体的温度和密度。

OH谱线也用于观测彗星；在安排观测这些“意外目标”时没有什么灵活性。

进行谱线观测时采用分光仪，分光仪可同时将所用频带内分布的大量(通常为256-4 096个)频率通道的功率集中到一起。通道的宽度和数目必须足够大，以准确降低射电望远镜所接收的发射频谱。通常采用每个频率通道~0.2-20 kHz的瞬时带宽，这取决于科研计划。

源很小，要测量其尺寸和结构常常需要采用VLBI技术进行观测。

11.1.3 所需的保护标准

ITU-R RA.769建议书明文规定了射电天文观测的保护标准，并给出了主用射电天文频带内有害干扰的门限电平。在1610.6-1613.8 MHz频带内，采用20 kHz通道宽度（一个分光仪通道）的单反射面谱线观测的门限pfd限值为 $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。该频带仅用于射电谱线观测，不用于连续谱观测。

对于来自非GSO系统的有害干扰，其保护标准和相关方法在ITU-R RA.769建议书和ITU-R RA.1513建议书中做了说明，而关于FSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R S.1586建议书中做了说明，关于MSS和RNSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R M.1583建议书中做了说明。

对RAS的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中做了规定和计算，成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书假设(如天线性能等)，在干扰电平比该建议书的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

11.1.4 工作特性

全世界很多国家都有若干射电天文站址从事1612 MHz频带的观测。1612 MHz频带的观测有时是针对意外目标开展的，如彗星这类天体，已观测到这类天体在该谱线上产生了暂现发射。在该频带也常常开展VLBI观测，有时是在北美和欧洲的VLBI网络之间开展的。

VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映，对于20 kHz的带宽，其值为 $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ ，但没有纳入ITU-R RA.769建议书。

谱线观测采用多通道分光仪，可以同时将分布在频带内的许多（通常为256至4096）频率通道的功率集中到一起。选择的通道的数目和各自的带宽应能对天线波束内来自源的净发射形成足够的抽样。

一般而言，观测是以不同的方式进行的；在包括相关线发射在内的频率范围内对频谱进行记录，然后在偏离线发射的某个频率上进行记录，或者在频率相同的空间邻近位置上进行记录(基准频谱)。从线状谱中去除基准频谱，即可从数据中去除无用噪声分量和其他掺杂物。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

11.2 MSS

11.2.1 划分的发射频带

在WARC-92上，1 613.8-1 626.5 MHz频带以次要使用条件划分给全世界的MSS（空对地）。WARC-92还对1 610.6-1 613.8 MHz频带内的RAS采取了下述行动：

- a) 将1 610.6-1 613.8 MHz频带内已有的射电天文划分从次用地位升级为主用地位；
- b) 通过了《无线电规则》第5.372款，该款规定：“卫星无线电测定业务和卫星移动业务电台不得对使用1 610.6-1 613.8 MHz频带的射电天文业务电台产生有害干扰（第29.13款适用）”该脚注适用于1 610-1 626.5 MHz频带。

11.2.2 应用

1 610-1 626.5 MHz频带在世界范围内以主要使用条件划分给MSS上行链路，但受到某些制约。

1 613.8-1 626.5 MHz频带在世界范围内以次要使用条件划分给MSS（空对地）业务。HIBLEO-2系统是目前在地对空和空对地两个方向使用该频带的唯一系统，而HIBLEO-4则在地对空方向使用该频带。HIBLEO-2是有能力在1 616-1 626.5 MHz频带内工作的卫星系统，但仅获准在1 621.35-1 626.5 MHz频带内工作。

11.2.3 依据规则性条款规定的电平

《无线电规则》中没有OoB发射的规则性限值。不过《无线电规则》第5.28至第5.31款特别规定，次要业务的电台不能对业经指配或将来可能指配频率的主要业务电台产生有害干扰，对来自主要业务电台的有害干扰也不能要求保护。该款适用于来自带内发射和OoB发射二者，也应该适合于次用MSS的下行链路，而不管规定的pfd电平为多少。因此没有什么明显的理由将具体的pfd限值纳入法规。

《无线电规则》第29.13款规定，“各主管部门应该注意旨在限制其他业务对射电天文业务进行干扰的ITU-R相关建议书”。

11.3 兼容性门限

见第11.1.3节。

11.4 干扰评估

11.4.1 用于评估干扰电平的方法

见第11.2.3节提到的涉及非GSO系统的ITU-R建议书。

11.4.2 干扰电平的计算

在满负荷工作条件下，已按照1610.6-1613.8 MHz频带内HIBLEO-2卫星发射信号的集总spfd对某些射电天文站址的无用发射做了理论估计，范围在 $-214 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 和 $-223 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 之间。

11.4.3 达到的值

1998年由HIBLEO-2和美国国家射电天文台(NRAO)开展的协作测试计划测得这些站址的spfd值为 -220 至 $-240 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 。这些值适用于所谓的话音频道，在通信发生时开启。另外还发现HIBLEO-2系统是全时辐射广播信号的。广播频道的频谱显示出，在射电天文频带内存在9-10个窄(宽度小于40 kHz)峰值。在90 ms时间内spfd峰值呈现 $-227 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 的平均值。由于卫星系统的发射及其他参数与射电天文接收机及天线特性不匹配(如射电望远镜不适应卫星跟踪；可用的接收机带宽相差20 kHz等)，要估计在ITU-R RA.769建议书中所列条件下形成的spfd就有困难，该建议书规定的有害干扰电平为 $-238 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 。

11.5 减扰技术

11.5.1 RAS

有多种方法可用于减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。若这些方法不够充分，可以考虑其他解决方案，如卫星系统的运营商与射电天文观测台的运行机构之间达成协议。

《无线电规则》对RAS与有源业务之间的协调协议未做具体规定。不过，关于协调和咨询的一般性规定可查看《无线电规则》第9条。

当事双方，原则上讲也就是卫星运营商和受干扰的天文台，只有共同明确表示同意，才能达成协调协议。就卫星下行链路而言，只有卫星发射的覆盖区小于寻求协调的国家的地理范围且发射空间站在射电天文站周围的能见范围不超出该国的边界，卫星系统运营商与射电天文站之间在国家层面的协商才切实可行。若在1.6 GHz频率工作的射电天文站的局部地理密度过高，任何给定的时刻在同一卫星的覆盖区内或同一卫星的能见范围内的国家不止一个，则需要找出国际解决方案。

一般来说，做出这些安排的条件不是一成不变的，须根据需要复审，为此必须规定阶段性目标。必须事先在协议条文中规定经双方同意安排仲裁，以防出现异议。

HIBLEO-2系统的运营商与射电天文界的各方已达成了若干协议。这些协议的共同点是，对于相关天文台在一天之内4至8小时的观测时长，HIBLEO-2系统的集总发射将满足ITU-R RA.769建议书中给出的1610.6-1613.8 MHz频带单反射面观测的门限电平。某些射电天文站址同意提前通知在该频带内的观测意图。

11.5.2 MSS

有多种方法，如滤波，可用于减轻无用发射。在设计新的空间站时应考虑这些方法。

若这些方法不够充分，可以考虑其他解决方案，如卫星系统的运营商与射电天文观测台的运行机构之间达成协议(见第11.5.1节)。

11.5.3 潜在影响

11.5.3.1 RAS

卫星系统的运营商与射电天文观测台的运行机构之间的协调协议若确实可行，可能会对观测的时间安排、对天文台满足使用者群体的需求的灵活性产生不利影响，并增加管理费用。协调协议对天文台可操作性的整体影响不应该导致无法满足所需的生产率标准。

11.5.3.2 MSS

硬件解决办法，如滤波器，可能难于实施。对于多单元的有源天线，可能每个单元都需要滤波器。这样会增加卫星的重量。补偿滤波器损耗也需要更大的发射机的功率，这又反过来需要更大的总功率，因此就要求更大的太阳能电池组。这样就进一步增加了重量。另外，卫星越大、越重，需要的运载火箭也越大。滤波器设计方面的技术进步减轻了这种问题。尤其是若在系统的设计阶段考虑在系统中装备滤波器，则这一任务更易完成。

应注意的是，按照HIBLEO-2卫星系统运营商与欧洲射电天文界之间的协调协议，自2006年1月1日起，对于欧洲境内的射电天文站，HIBLEO-2系统的集总pfd电平将不超过ITU-R RA.769建议书中规定的电平。这表明预计将在该日期之前实施减扰技术。

但是，若增发卫星的工作延续至2006年1月1日之后，已在轨道上未经充分滤波的卫星将很难采用改进的滤波技术，而采用其他减扰技术可能会产生不利的经济影响。

11.6 研究结果

11.6.1 小结

通过HIBLEO-2系统运营商与射电天文设施运营者之间达成的协议，干扰问题已经减轻。采用这种减扰技术，应能够满足谱线操作的保护标准，如第11.1.3节所述，并满足VLBI观测的保护标准。在该频带未从事单反射面连续谱观测。

11.6.2 结论

采用适当的减扰技术，就有可能在该频带从事有限的谱线观测和VLBI观测。

12 在1 610.6-1 613.8 MHz频带内工作的RAS系统与在1 525-1 559 MHz频带内工作的GSO MSS(空对地)系统之间的兼容性分析

12.1 RAS

12.1.1 划分的频带

1 610.6-1 613.8 MHz频带以主要使用条件划分给RAS。

《无线电规则》第5.149款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护RAS。

12.1.2 观测类型

1 610.6-1 613.8 MHz频带用于羟基(OH)的谱线观测。OH谱线中心频率为1 612 MHz，是射电天文中最重要谱线之一，ITU-R RA.314建议书就将其列为最重要的谱线之一。OH是在无线电频率上检测到的第一个宇宙基（1963年），且一直是强有力的研究工具。OH产生了四条谱线，所在频率约为1 612、1 665、1 667和1 720 MHz，在银河系和河外星系中都能观测到。OH谱线的研究为广泛的天文现象提供了信息，如原恒星的形成和恒星的演变。为了解释在OH谱线上进行的众多观测，有必要衡量这些谱线中若干谱线的相对强弱。不具备观察这些谱线中某一条的能力，可能就无法研究某几类物理现象。

这些OH谱线是由某种相干过程产生的，在此过程中聚集在一起的OH基“逐步”辐射，形成窄带发射。在这种聚集的物理条件下，谱线会有所扩展。这些聚集区相对于地球的运动对线发射产生了多普勒效应。由于在源头存在若干聚集区，以不同的速度运动，让频谱变得更为复杂，包含若干重叠的高斯谱线轮廓，这些谱线具有不同的宽度和幅度，频率也有所不同（由不同的多普勒效应形成）。要求频带划分的宽度能适应因源头的微分运动和整体运动产生的频谱扩展和偏移。

在恒星演变的某些阶段，有些类别的恒星仅在1 612 MHz谱线上辐射。对该谱线的研究可以让天文学家衡量这些恒星的物理属性，如恒星喷射气体的速度和气体重新形成星际介质的速度。这些恒星的某些属性是无法从任何天文观测中推论的。对发射OH的恒星进行的测量也用于估测到银心的距离，用于测量银河核球的质量，并用于研究银河系及河外星系中分子组分的空间分布。最后，在若干河外星系的核附近检测到了极强的微波激射辐射。这种来自星系核的OH巨微波激射辐射可以让天文学家研究星系中心的分子气体的温度和密度。

OH谱线也用于观测彗星；在安排观测这些“意外目标”时没有什么灵活性。

进行谱线观测时采用分光仪，分光仪可同时将所用频带内分布的大量(通常为256-4 096个)频率通道的功率集中到一起。通道的宽度和数目必须足够大，以准确降低射电望远镜所接收的发射频谱。通常采用每个频率通道~0.2-20 kHz的瞬时带宽，这取决于科研计划。

源很小，要测量其尺寸和结构常常需要采用VLBI技术进行观测。

12.1.3 所需的保护标准

ITU-R RA.769建议书明文规定了射电天文观测的保护标准，并给出了主用射电天文频带内有害干扰的门限电平。在1610.6-1613.8 MHz频带内，对于采用20 kHz通道宽度（一个分光仪通道）的单反射面谱线观测，有害干扰的门限pfd为-194 dB(W/m²)。

该频带仅用于射电谱线观测，不用于连续谱观测。

对RAS的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中做了规定和计算，成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书假设（如天线性能等），在干扰电平比该建议书中的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

12.1.4 工作特性

全世界很多国家都有若干射电天文站址从事1612 MHz频带的观测。1612 MHz频带的观测有时是针对意外目标开展的，如彗星这类天体，已观测到这类天体在该谱线上产生了暂现发射。在该频带也常常开展VLBI观测，有时是在北美和欧洲的VLBI网络之间开展的。

VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映，对于20 kHz的带宽，其值为-166 dB(W/m²)，但没有纳入ITU-R RA.769建议书。

谱线观测采用多通道分光仪，可以同时分布在频带内的许多（通常为256至4096）频率通道的功率集中到一起。选择的通道的数目和各自的带宽应能对天线波束内来自源的净发射形成足够的抽样。

一般而言，观测是以不同的方式进行的；在包括相关线发射在内的频率范围内对频谱进行记录，然后在偏离线发射的某个频率上进行记录，或者在频率相同的空间邻近位置上进行记录（基准频谱）。从线状谱中去除基准频谱，即可从数据中去除无用噪声分量和其他掺杂物。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

12.2 MSS

12.2.1 划分的发射频带

1525-1559 MHz (空对地)。

12.2.2 应用

MSS。

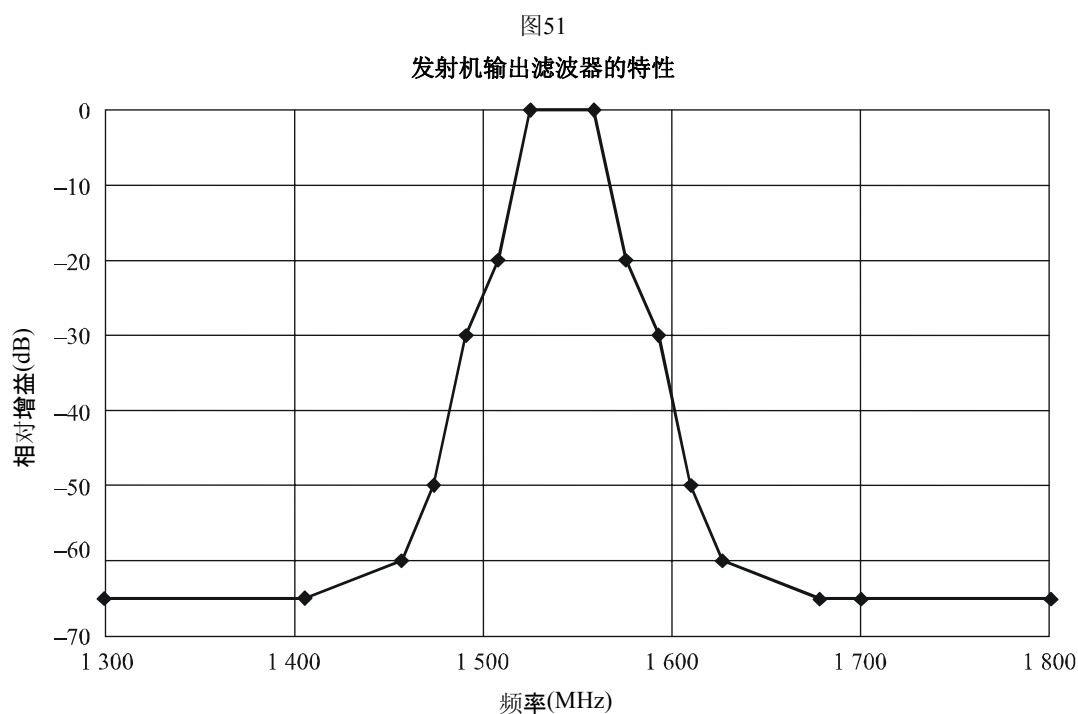
12.2.3 依据规则性条款规定的电平

《无线电规则》附录3。

所需的衰减为 $43 + 10 \log P$ dBc或60 dBc，以其中较宽松者为准，其中 P 为任何4 kHz带宽内天线输入端的峰值功率(W)。

12.2.4 发射机特性

天线增益为41 dBi。发射机输出滤波器的特性示于图51。



12.2.5 工作特性

对于5 MHz带宽，进入GSO MSS卫星点波束天线输入端的典型峰值功率为16 dBW。

12.2.6 带内发射电平

在4 kHz带宽内，带内发射电平为-15 dBW。

12.3 兼容性门限

见第12.1.3节。

12.4 干扰评估

12.4.1 用于评估干扰电平的方法

用峰值带内功率谱密度(PSD)、峰值天线增益和在不同频率上测得的1 525-1 559 MHz频段输出滤波器衰减几个参数确定地球表面的pfd。

12.4.2 干扰电平的计算

发射机L波段滤波器输出端的典型功率电平、天线输出端的e.i.r.p.密度电平和不同频率上地球表面的pfd示于表38，这些参数以1 525-1 559 MHz频段发射机滤波器的预期性能为基础。

12.4.3 达到的值

在4 kHz带宽内达到的值为-192 dB(W/m²)。

对于单反射面谱线观测，将这些值进行转换可以得出，在20 kHz带宽内谱线观测的pfd值为-185 dB(W/m²)。根据某一运营商的某一GSO卫星移动系统的上述参数可以算出，对于单反射面谱线观测，要满足保护标准尚有9 dB亏损。

表38

在1 525-1 559 MHz频段内某个Inmarsat-4卫星的
PSD、e.i.r.p.密度和地球表面pfd的预期值

频率 (MHz)	滤波器输出端的PSD (dB(W/4 kHz))	天线输出端的 e.i.r.p.密度 (dB(W/4 kHz))	地球表面的pfd (dB(W/(m ² · 4 kHz)))
1 300	-80	-39	-202
1 406	-80	-39	-202
1 457	-75	-24	-197
1 474	-65	-14	-187
1 491	-45	-4	-167
1 508	-35	6	-157
1 525	-15	26	-137
1 559	-15	26	-137
1 576	-35	6	-157
1 593	-45	-4	-167
1 610	-65	-14	-187
1 627	-75	-24	-197
1 678	-80	-39	-202
1 700	-80	-39	-202
1 800	-80	-39	-202

12.5 减扰技术

12.5.1 射电天文业务

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明，大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。

12.5.2 卫星移动业务

为了改善表37中给出的电平，在设计新的空间站时应考虑下列减扰技术：

- 天线的宽带频率响应；
- 中间滤波器的衰减特性；
- 固态功率放大器的增益频率响应；
- 各载波的调制特性；
- 互调产物引起的相对于载波功率的衰减。

12.5.3 潜在影响

12.5.3.1 RAS

根据第12.4节中的分析和第12.5.1节中列出的减扰技术的性质，在卫星穿越天线的主瓣或内旁瓣时，观测时间会有所损失。这种损失的程度将取决于望远镜的天线和卫星的数目。数据损失问题在ITU-R RA.1513建议书中讨论。

12.5.3.2 MSS

可以认为第12.5.2节中的减扰技术对于GSO系统在技术上是可行的。

12.6 研究结果

12.6.1 小结

根据某一运营商的某一GSO卫星移动系统的参数并考虑到第12.5.2节中列出的减扰因素，来自该卫星系统的无用发射电平有可能会满足第12.1.3节中讨论的保护标准。在该频带未从事单反射面连续谱观测。

12.6.2 结论

对于单反射面谱线观测情况和对于VLBI，可以满足保护标准。

13 在2 690-2 700 MHz频带内工作的RAS系统与在2 655-2 690 MHz频带内工作的BSS和FSS (空对地)系统之间的兼容性分析

13.1 RAS

13.1.1 划分的频带

2 690-2 700 MHz频带以主要使用条件划分给RAS、EESS (无源)和SRS (无源)。

《无线电规则》第5.340款规定在该频带内“禁止一切发射”。

13.1.2 观测类型

该频带主要涉及射电源连续谱发射的研究。

一般认为对射电源连续谱发射的研究要求在很广的频率范围内对这些源进行抽样观测。在许多不同频率上进行观测有助于确定来自这些源的频谱的形状，由此得到关于辐射源物理参数的信息，如密度、温度和磁场，同时由这些参数得出这些源的寿命信息。了解这些物理参数对于理解射电辐射的物理过程是必不可少的。在1至3 GHz频率范围内，许多银河外射电源在其非热频谱上显示出一段“间歇”，因此~2.7 GHz频率范围的连续谱测量对于准确确定这种频谱特性是必不可少的。

存在一段好用的连续谱测量频带，部分是由于星系背景辐射较低，还由于射电天文接收机在这些频率上有甚高的质量和甚低的噪声。

该频带对关于电离氢云和银河系常见漫辐射的星系研究也很有用。由于目前的射电望远镜在这些频率上具有足够的角分辨率（波束窄，大望远镜在10 arc min数量级），对星系平面，包括星系中心区域，已进行了多项研究，而星系中心在光波长上是不可见的，因为存在尘埃的星际吸收。银河系中心或许是最重要的区域，不过目前只能在红外波长和射电波长上观测，因为这些波长不受星际空间尘埃的影响（光波长则受到这种尘埃的吸收和散射）。对星系核的研究，包括对银河系核的研究，正成为极为重要和基础的天文学课题。

对这些天体可以研究的问题包括在星系核中物质的状态和存在黑洞的概率；星系核的爆炸活动和极强双射电源产物；星系核对星系的形态结构的影响；星系和类星体的形成；还包括许多重大的天体物理课题。

射电波长的一项重要研究是从射电源观测到的辐射的极化。常常可以发现射电源存在轻微的线性极化，其位置角取决于频率。这种效应是由于射电波到达我们这里所穿越的传播媒介是由带电粒子、电子和中子组成的，同时还存在磁场。极化程度和角度的确定为我们提供了关于星际媒介的磁场和电子密度的信息，在某些情况下还提供了关于发射源本身性质的信息。射电波的频率越高，极化程度越高。2 690-2 700 MHz频带对于极化测量特别重要。

13.1.3 所需的业务保护标准

ITU-R RA.769建议书明文规定了射电天文观测的保护标准，并给出了主用射电天文频带内有害干扰的门限电平。在2690-2700 MHz频带内，采用整个10 kHz带宽的单反射面连续谱观测的门限pfd限值为 $-177 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

该频带仅用于连续谱观测，不用于谱线观测。

VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映，对于20 kHz的带宽，其值为 $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

对于来自非GSO系统的有害干扰，其保护标准和相关方法在ITU-R RA.769建议书和ITU-R RA.1513建议书中做了说明，而关于FSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R S.1586建议书中做了说明。

对RAS的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中做了规定和计算，成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设(如天线性能等)，在干扰电平比该建议书中的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

13.1.4 工作特性

全世界很多国家都有若干射电天文站址从事2690-2700 MHz频带的观测。该频带的观测有时是针对意外目标开展的，如彗星这类天体，已观测到这类天体在该谱线上产生了暂现发射。在该频带也常常开展VLBI观测，有时是在北美和欧洲的VLBI网络之间开展的。

射电天文观测通常是以不同的方式进行的，可以测绘天空中包含宇宙射电源的那部分区域，而背景发射则被去除，或者可以对来自源方向（源内）和来自天空中一个或多个邻近点（源外）的功率进行测量。从源内值中去除源外值，即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

通过记录在覆盖相关区域的一组点上的发射，可以测绘延伸的射电辐射面积。对于单天线射电望远镜，这组点中每个点上的观测都表示来自天空中该位置的总功率（连续谱观测）或发射频谱（谱线观测）；组中各点的间隔应不超过天线波束宽度的一半。在采用综合孔径射电望远镜进行观测时，若需要测绘的面积超过了瞬时测绘区，则组中各点的间隔应不超过其中一个射电望远镜天线波束宽度的一半。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

13.2 有源频带

13.2.1 划分的发射频带

2655-2670 MHz子频带以主要使用条件划分给BSS。

2670-2690 MHz子频带以主要使用条件划分给MSS（地对空）、第二和第三区的FSS（地对空）以及第二区的FSS（空对地）。

下列相关脚注适用于2655-2670 MHz子频带：《无线电规则》第5.149、第5.413、第5.415、第5.416和第5.420款，而下列脚注适用于2670-2690 MHz子频带：《无线电规则》第5.149、第5.419和第5.420款。这些脚注中与目前所说的问题关系最大的是：

《无线电规则》第5.149款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护RAS免受干扰。

《无线电规则》第5.413款规定，“敦促各主管部门在设计2 500-2 690 MHz频带间的卫星广播业务系统时，采取一切必要的措施，以保护在2 690-2 700 MHz频带内的射电天文业务。”

《无线电规则》第5.415款规定，在该频带，对于在第二和第三区工作的FSS，“在空对地方向，在地球表面的功率通量密度不得超过第21条的表21-4中规定的数值。”

13.2.2 应用

在该频带内运行着BSS，特别为印度提供服务。这些业务归属BSS的分配定义。

13.2.3 依据规则性条款规定的电平

按照《无线电规则》表21-4的规定，对于BSS的集体接收和对于FSS，存在着pfd限值。

13.2.4 发射机特性

13.2.4.1 FSS/MSS系统

根据在该频带内工作的系统的典型特性，FSS/MSS系统应采用20 MHz的必要带宽，并应采用《无线电规则》第21条中给出的pfd限值工作： $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ （即 $-100 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$ ）。

13.2.4.2 BSS系统

根据在该频带内工作的系统的典型特性，FSS/MSS系统应采用18 MHz的必要带宽，并应采用《无线电规则》第21条中给出的pfd限值工作： $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ （即 $-100.5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$ ）。

13.2.5 工作特性

下文的计算仅涉及GSO系统。

13.2.6 带内发射电平

BSS集体接收和FSS的pfd电平符合《无线电规则》表21-4中的电平。

13.3 兼容性门限

见第13.1.3节。

13.4 干扰评估

13.4.1 用于评估干扰电平的方法

13.4.1.1 MSS/FSS情况

ITU-R SM.1541建议书给出了FSS/MSS系统情况下OoB域中的无用发射掩模。

13.4.1.2 BSS情况

BSS是全时业务，因此将在所有时间内对所服务的区域提供频谱相同、功率相同的信号。另一方面，射电天文站并非在所有时间使用相关频带。若产生干扰问题，GSO卫星系统将是位于空中固定位置的稳定发射机，而宇宙源则由于地球的自转而绕过这些发射机，这样干扰就不会完全阻碍对源的观测。

对单天线射电望远镜的干扰会降低观测质量，降低的程度随卫星与天线视轴之间的夹角而变，可采用epfd方法进行评估(见第13.1.3节)。

采用BSS的OoB掩模计算无用发射电平的方法目前载于ITU-R SM.1541建议书，该计算方法已显示出，按照这一dBc掩模，在某些情况下OoB域中的发射电平可能高于必要带宽内的发射电平。因此，为BSS系统制定了一个新的OoB掩模。

在必要带宽的4 kHz基准带宽内(对于在15 GHz以上工作的系统，可以用1 MHz的基准带宽代替4 kHz)，在划分给BSS的频带内工作的某个电台的OoB发射应衰减至低于最大PSD，衰减量如下：

$$32 \log \left(\frac{F}{50} + 1 \right) \text{ dBsd}$$

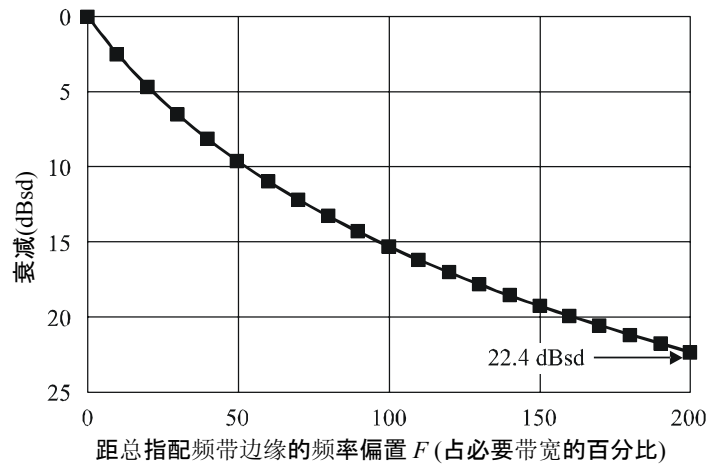
其中 F 是距总指配频带边缘的频率偏置，用必要带宽的百分比表示。应注意，OoB发射域是从总指配频带的两个边缘开始的。

OoB发射掩模滚降至杂散边界或滚降至等于《无线电规则》附录3中杂散发射限值的点，取其中衰减较小者。空间业务的杂散发射衰减在4 kHz基准带宽内为 $43 + 10 \log P$ 或60 dBc，取其中衰减较小者，或者相当于在1 MHz基准带宽内为 $19 + 10 \log P$ 或36 dBc，取其中衰减较小者。

图52

BSS系统的OoB掩模

(BSS系统 QoB 域中的衰减(dBsd))



Rap 2091_52

13.4.2 干扰电平的计算

若援用《无线电规则》第1.153款能改善兼容性问题，则该脚注应予考虑：

“1.153 占用带宽：指这样一种带宽，在它的频率下限之下或频率上限之上所发射的平均功率各等于某一给定发射的总平均功率的规定百分数 $\beta/2$ 。

除非ITU-R建议书对相应的发射类别另有规定， $\beta/2$ 值应取0.5%。”

若占用带宽的下边缘位于或高于卫星业务划分的下限，则在低于已划分带宽的频率上无用发射的总功率不会超过 P 的0.5%，其中 P 是带内功率。因此，在50.2-50.4 GHz EESS频带内的频率上无用发射的总功率不会超过 $P - 23$ dB。

13.4.3 达到的值

13.4.3.1 FSS/MSS情况

对采用必要带宽的FSS/MSS系统援用ITU-R SM.1541建议书会在整个RAS频带内形成108.5 dB(W/(m²·10 MHz))的集总 pfd。援用《无线电规则》第1.153款会形成-123 dB(W/(m²·10 MHz))的总pfd。这表明将不会满足连续谱观测的保护标准。

在RAS频带边缘20 kHz内集总的pfd等于-130 dB(W/(m²·20 kHz))，即比VLBI 保护标准高约30 dB。

13.4.3.2 BSS情况

假定采用18 MHz的必要带宽且应用第13.4.1.2节中的掩模，根据《无线电规则》第21条给出的pfd限值(-137 dB(W/(m²·4 kHz)))，对于在2670 MHz频率以下工作的BSS系统，落入10 MHz 基准带宽的最大pfd等于-121 dB(W/(m²·10 MHz))，即比连续谱观测的保护标准高约56 dB。援用《无线电规则》第1.153款会形成-123.5 dB(W/(m²·10 MHz))的pfd。这表明将不会满足连续谱观测的保护标准。

在2670 MHz频率以下工作的BSS系统在RAS频带边缘 20 kHz内集总的pfd等于-146 dB(W/(m²·20 kHz))，该值比VLBI 保护标准高约15 dB。

13.5 减扰技术

13.5.1 RAS

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明，大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。

保护频带：保护频带是在有源业务与无源业务之间提供足够的频率间隔的技术。一般而言，保护频带将平等跨越有源业务与无源业务之间的边界。

地理隔离：在给定某一特定BSS/FSS卫星的轨道位置的情况下，特定射电天文站址的地理隔离可以成为有利于保护这些站址的观测的因素，因为卫星数目相对较少。

13.5.2 FSS/BSS

该业务涉及以恒定功率和频谱持续进行或长时间进行信号的不间断发射。有可能采用减扰程序以避免在使用该频带的射电天文站方向发射无用信号，或采用滤波器适当抑制无用发射电平，以便不对2 690-2 700 MHz频带内的射电天文观测产生有害干扰。

13.5.3 潜在影响

13.5.3.1 RAS

天线旁瓣性能：尝试降低射电天文天线对来自空间站的无用发射的灵敏度，有可能会增加射电天文望远镜对地面辐射的灵敏度，并有可能降低其主瓣增益。这两种效应都会降低所需的总积分时间内望远镜的通道容量，并因此导致总积分时间延长。

时间和/或频率屏蔽：这种屏蔽存在着降低数据完整性的风险，对数据进行科学解释时有可能形成误差。屏蔽还有可能增加观测所需的总积分时间，这相当于损失了望远镜的通道容量。

保护频带：在宽带连续谱观测的情况下，使用保护频带会大幅降低通道能力，因为必须增加积分时间以补偿带宽损耗。

地理隔离：若逐站考虑地理隔离，对相关射电天文站址可能就没什么影响。不过这不一定会对作为一项业务的射电天文提供保护。

13.5.3.2 FSS/BSS

很明显，滤波器是抑制无用发射的一种方式，但增加这样的滤波器可能严重影响卫星的设计。若采用相控阵有源天线，则天线的每个驱动单元都需要采用滤波器。这会增加卫星的重量。为了补偿滤波器损耗，也需要更大的发射机的功率，这又反过来需要更大的总功率，因此就要求更大的太阳能电池组。重量的增加足以导致需要更大的运载火箭。成本的影响可能很大。这样的话，滤波器的实施只能在系统的设计阶段考虑。不过，滤波器和有源天线设计技术的不断进步最终会化解这种实施问题。

由于某些多波束卫星系统已计划在相关频率范围内工作，多波束系统内波束的数目或单元的数目成倍增加了相控阵天线系统中附加射频滤波的成本与重量影响。这是由于在多波束系统中，波束间一般不会共用输出放大器，而是应该分别滤波。在一个相控阵型的系统中，最后一级放大在阵列的各单元上进行，每个单元都应该分别滤波。按照这种方式，单个滤波器的重量影响要乘以系统中波束的数目或相控阵中单元的数目。滤波器插入损耗可能影响系统容量。

在特定的射电天文接收机站址，为了达到满足商定的共用标准所需的隔离，地理隔离会涉及使用卫星天线方向性图的滚降。该技术显然假定FSS系统将不会有全球覆盖区，甚至不会有区域覆盖区，这个假设本身是一个限定性假设。许多系统都具有区域波束或次区域波束，区域隔离行不通。其他点波束系统有可能采用地理隔离；不过从卫星系统的角度看还没有什么吸引人的解决方案，因为会导致地球上的一些地区无法接受卫星服务。这种FSS服务区上的限制对营业收入可产生严重影响。不过这种解决方案确实有益于考虑特定射电天文站址的实际保护要求，而不需要在每个射电天文站址引用最坏情况下的保护标准。

13.6 研究结果

13.6.1 小结

所做的干扰计算显示，根据第13.1.3节讨论的保护标准，若无法采用减扰技术，相邻频带的业务有可能对2690-2700 MHz频带内的射电天文观测产生有害干扰，其干扰电平实际上会阻止该频带内从事的任何天文测量。

卫星运营商将继续与射电天文界紧密合作，以便把卫星OoB发射的影响降至最低。在许多实例中，常规卫星转发器滤波将足以确保不对射电天文频带产生有害影响。若不是这种情况，将会考虑附加卫星滤波的影响，包括其他减扰技术，如地理方向性图隔离和射电天文地面站隔离。这要根据射电天文站址和轨道位置逐例完成。

13.6.2 结论

对于单反射面连续谱观测或谱线观测或VLBI，不能满足保护标准。

14 在10.6-10.7 GHz频带内工作的RAS系统与在10.7-10.95 GHz频带内工作的FSS (空对地)系统之间的兼容性分析

14.1 RAS

14.1.1 划分的频带

10.6-10.7 GHz频带以主要使用条件划分给RAS、EESS（无源）和SRS（无源）；10.68-10.7 GHz子频带在世界范围内划分给这些业务专用。

下列脚注与该频带有关：关于10.6-10.68 GHz频带的《无线电规则》第5.149款和关于10.68-10.7 GHz频带的《无线电规则》第5.340款。

14.1.2 观测类型

14.1.2.1 单反射面观测

该频带的天文用途包括观测只在该频率范围内才能检测到的非热同步加速器源。这些观测在能够轻易检测这些源的最高频率上提供了信息，由此可以确定这些源的某些物理参数。10.6 GHz频带对监测包括类星体在内的射电星系的强度变化也极为重要。这些天体被认为是天文学家能检测到的最远的天体，已检测到其强度在几小时至几年的时间长度内会发生变化，并产生大量的能量。在这样的爆发期间，一个类星体发出的能量相当于能在几周或几个月时间内彻底摧毁几亿颗恒星。发生这些事件的基本物理过程还没有完全搞清，对这些源的大小和变化进行观测对解开这些谜团特别关键。这种观测最好在10至15 GHz频率范围内完成。

据称在这些频率上发生了类星体的变化，对类星体的观测则促进了对此类事件的探索和监测，而天文学家对这些事件的物理过程还了解不多。观测可以让我们估计这些源的大小，可看出就所发出的能量而言，源的尺寸很小。10.6 GHz频带对于许多大型单反射面射电望远镜能给出若干最佳的角分辨率(~2 arc min)。

14.1.2.2 VLBI观测

从VLBI观测看，类星体的尺寸相当小（小至毫角秒）。在10.6-10.7 GHz频带也开展了这类观测，不过目前8.4 GHz仍是VLBI观测更常用的频带。与较低频率上的观测相比，8-10 GHz频率范围提供了更高的角分辨率，可以让科学家更准确地确定射电星系的和大小和小尺度结构。

14.1.3 所需的保护标准

ITU-R RA.769建议书明文规定了射电天文观测的保护标准，并给出了主用射电天文频带内有害干扰的门限电平。在10.6-10.7 GHz频带内，采用整个100 MHz带宽的单反射面连续谱观测的门限pfd限值为 $-160 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。该频带仅用于连续谱观测，不用于谱线观测。

VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映，对于50 kHz的带宽，其值为 $-145 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

对于来自非GSO系统的有害干扰，其保护标准和相关方法在ITU-R RA.769建议书和ITU-R RA.1513建议书中做了说明，而关于FSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R S.1586建议书中做了说明，关于MSS和RNSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R M.1583建议书中做了说明。

对RAS的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中做了规定和计算，成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设（如天线性能等），在干扰电平比该建议书的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

14.1.4 工作特性

全世界有若干射电天文站址从事10.6-10.7 GHz频带的观测，这些观测采用单天线和阵列射电望远镜进行。

一般而言，观测是以不同的方式进行的。对于连续谱发射，可以测绘天空中宇宙射电源周围的那部分区域，而背景发射则被去除，或者可以对来自源方向(源内)和来自天空中一个或多个邻近点(源外)的功率进行测量。从源内值中去除源外值，即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

通过记录在覆盖相关区域的一组点上的发射，可以测绘延伸的射电辐射面积。对于单天线射电望远镜，这组点中每个点上的观测都表示来自天空中该位置的总功率（连续谱观测）或发射频谱（谱线观测）；组中各点的间隔应不超过天线波束宽度的一半。在采用综合孔径射电望远镜进行观测时，若需要测绘的面积超过了瞬时测绘区，则组中各点的间隔应不超过其中一个射电望远镜天线波束宽度的一半。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

14.2 FSS

14.2.1 划分的发射频带

考虑的有源业务频带为10.7至10.95 GHz。

14.2.2 应用

10.7至10.95 GHz频带以主要使用条件划分给FSS。这一划分受《无线电规则》附录30B的支配，该附录采用一个规划来指配和保证各成员国的权力。考虑到先来先核准的总政策，制定《无线电规则》附录30B规划可以让发展中国家保留在将来某一时间获取GSO弧的权力。对FSS施加任何限制，如保护频带或滤波，都会影响《无线电规则》附录30B规划的分配。

14.2.3 依据规则性条款规定的电平

从FSS进入10.6-10.7 GHz频带的无用发射电平以规则性的带内pfd限值为基础。采用《无线电规则》附录3的杂散发射电平和ITU-R SM.1541建议书的OoB发射电平完成从带内功率到带外功率的转换。按照规则性的电平规定的10.6至10.7 GHz频带内收到的无用发射电平为 $-154 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ 。原来给出的电平为 $-166 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ ，这是根据实践经验确定的。

14.2.4 发射机特性

在该频带内工作的FSS GSO系统受《无线电规则》附录30B的支配。在该频带内工作的FSS的非GSO系统受《无线电规则》第22条的支配。

14.2.5 工作特性

为了与地面固定业务共用频带，《无线电规则》表21-4中FSS的pfd限值范围是 -116 至 $-126 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ ，该限值代表地平面之上 0° 至 90° 之间 -176 至 $-186 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 的范围。

14.3 兼容性门限

见第14.1.3节。

14.4 干扰评估

14.4.1 用于评估干扰电平的方法

射电天文界和卫星运营运营商根据某些射电天文站址和某些卫星系统在该频带取得的经验，提出了关于在10.6-10.7 GHz频带有可能产生的无用电平的信息。

14.4.2 干扰电平的计算

如第14.4.1节指出的，根据第14.4.3节给出的信息完成计算。

14.4.3 达到的值

14.4.3.1 欧洲GSO卫星系统的例子

在欧洲，10.6-10.7 GHz频带内的RAS正经历着某一FSS系统OoB发射的严重有害干扰。特别是这种有害干扰事实上让德国Effelsberg射电天文站彻底地无法工作了。这一严重问题已引起德国主管部门的注意，该主管部门证实其所属的Leeheim卫星监测站观测到干扰，由于得到这一证据的支持，该问题也已引起运营商的注意。

例如，下文描述了在10.714 MHz的标称中心频率上工作、转发器带宽为26 MHz的某一特定的GEO FSS 卫星系统干扰RAS工作的实例。

图53示出了Effelsberg 100 m 射电望远镜在10.6 GHz上对3C84的RAS测量结果，3C84是最强的点状宇宙源之一。这一测量是在1995年之前完成的。视场大小为 $30' \times 12'$ ，源产生的流量为 20.5 Jy ($\sim -247 \text{ dB(W/(m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}))$)。

图53

Effelsberg 100 m 射电望远镜在10.6-10.7 GHz频带内测得的天体“3C84”的图像*



* 源 3C83 的角直径比天线波束宽度小很多，所以上图显示的是天线波束轮廓，包括旁瓣。由于制作图像是为了衡量源的亮度而非其结构，所以这算不上什么问题。

Rap 2091-53

之后，在1995年，有一个GSO FSS卫星在某个轨道位置投入使用，而其他卫星已在轨工作了一段时间。该卫星的发射中心频率较低，为10.714 GHz，转发器带宽为26 MHz。由上述轨道位置进入相邻的10.6-10.7 GHz RAS频带的无用FSS发射形成的噪声起伏相当强，彻底掩盖了任何天文信号。

为此，图54示出了在与图53所示相同大小的空中 $30' \times 12'$ 视场内形成的图像，不过时间是在卫星于1995年投入使用后，其轨道位置与所绘制的空中视场相隔 10° 。为了比较，把图53中的3C84加到了图54的图像上。不过，这一相当强的点源在卫星发射信号引起的流量中已经看不见了。

图54

空中视场同图53，但Effelsberg 射电望远镜受到干扰的图像



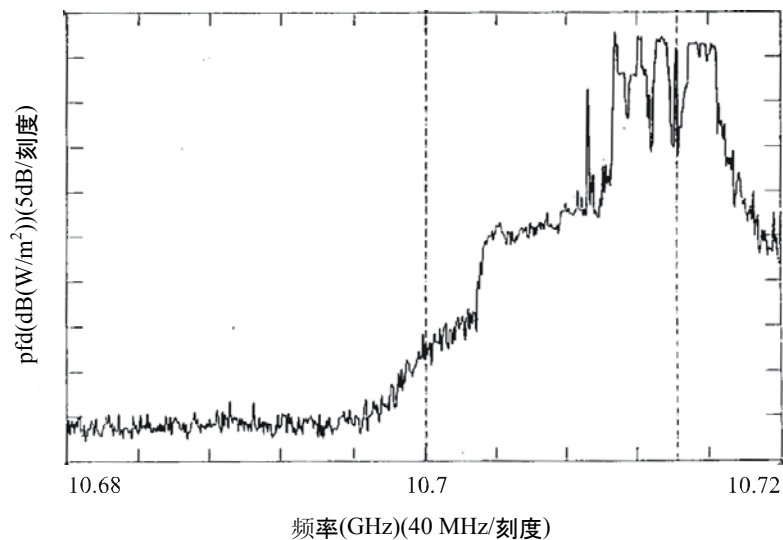
Rap 2091-54

为了调查这一干扰情况，德国管理局设在Leeheim的卫星监测站测量了从给定的卫星轨道位置发射的FSS信号(见图55)，以确定进入RSS频带的无用发射电平。不过应注意的是，监测站的灵敏度和动态范围在ITU-R RA.769建议书作为RAS保护标准给出的电平上还不足以验证干扰。

注1 – 在图54中，由于受到干扰，天体已经看不见了。

图55

在Leeheim监测站进行的干扰测量(1995年)



Rap 2091-55

从图55可以看出，在无源专用频带内RAS划分的10.7 GHz边界，在100 kHz基准带宽内测得的无用发射电平为 $-151 \text{ dB(W/m}^2)$ 。该值相当于 $-201 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ ，而ITU-R RA.769建议书则给出了比该值低39 dB的 $-240 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 的干扰门限，并进一步认为最好对GSO卫星采用严15 dB的限值。这一巨大的差异出现在10.6-10.7 GHz频带的上边缘，在频带的其余部分差异略小。

10.7 GHz的边缘向下至约10.69 GHz，也就是干扰信号达到Leeheim监测站本底噪声($\text{pfd} \sim -160 \text{ dB(W/m}^2)$)的频率，干扰信号每4 MHz滚降约10 dB。若假定这一滚降率持续到下面的10.6 GHz，则估计从该轨道位置进入10.6-10.7 GHz频带的总发射功率为 $-145.6 \text{ dB(W/m}^2)$ ，比ITU-R RA.769建议书给出10.6-10.7 GHz频带的 $-160 \text{ dB(W/m}^2)$ 门限高约14.4 dB，因此整个10.6-10.7 GHz频带都无法进行射电天文观测，如图54所示。

尽管卫星系统运营商已在一定程度上改进了系统，Effelsberg射电望远镜也装备了滤波器，但迄今还是无法拿出这一问题的有效解决方案。

下文给出了典型FSS系统在RAS频带内产生的无用发射的电平值。有两个运营商确认，比表39中的电平还低的任何限值都会对目前正在10.7-10.95 GHz频带内工作的FSS系统构成过度的限制。

表39

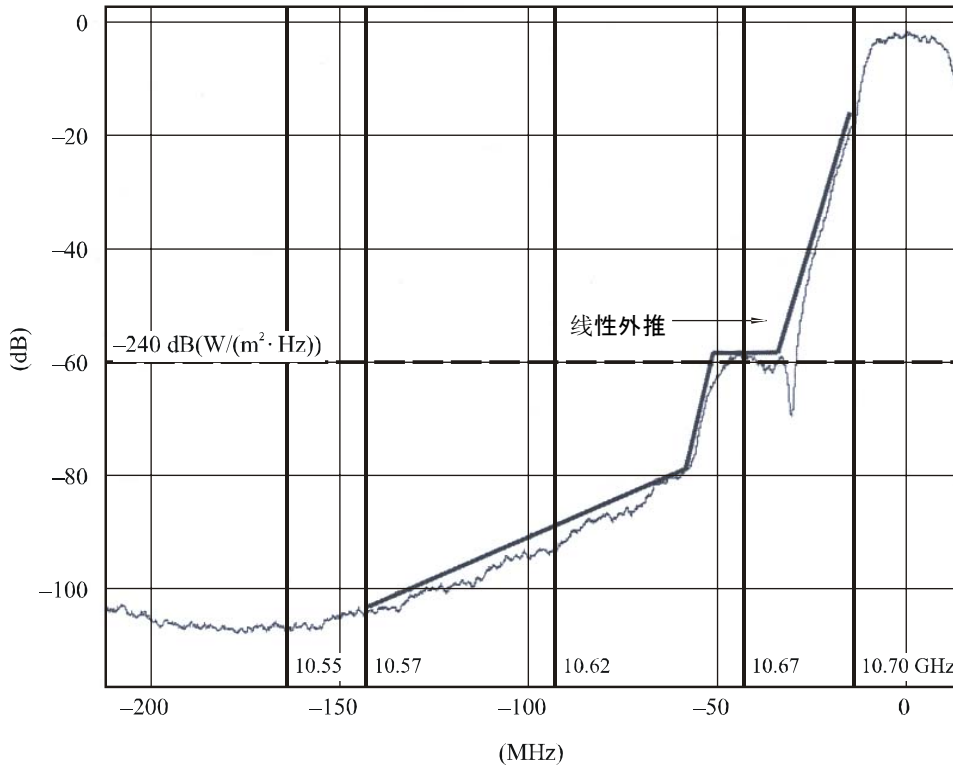
在特定点上落入10.57-10.7 GHz频带的无用发射电平

边界 (GHz)	无用发射spfd电平 ($\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$)
10.570	-285
10.656	-256
10.662	-237
10.680	-237
10.700	-195

图56示出了在10 714 MHz频率上工作、符号率为22 Msymbol/s、滚降率为35%、转发器带宽为MHz的数字调制的spfd电平。出于实际考虑，有功功率的降低是从线性功率降低外推得到的，以便根据频偏估计落入整个100 MHz射电天文频带的功率。

由于数字调制本身的性质，数字调制的必要带宽与转发器的带宽相当接近。因此，落入RAS频带上半部分的spfd电平比模拟调制时观察到的spfd电平要高许多（见图57）。

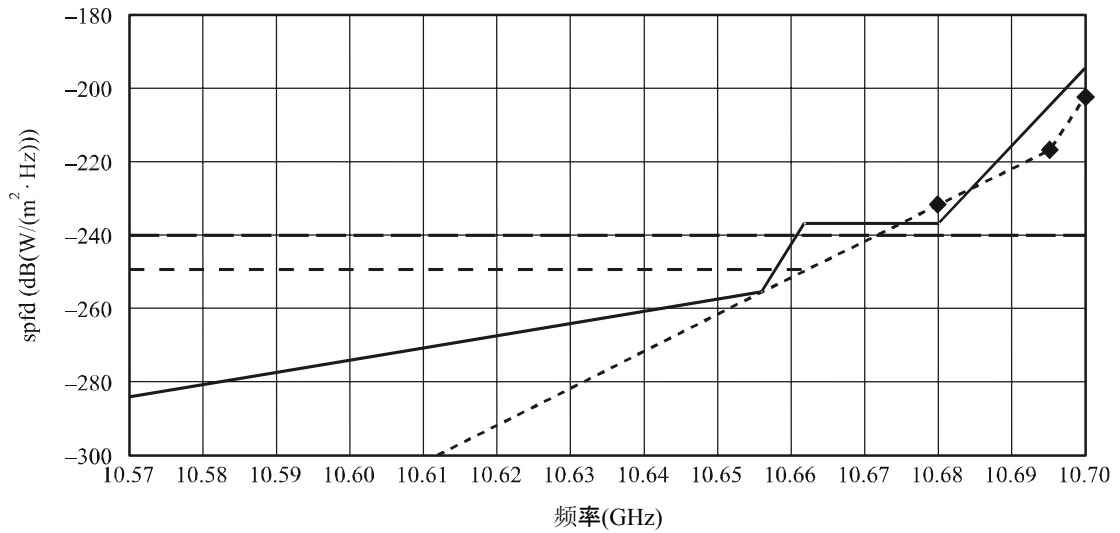
图56
数字OoB发射掩模



符号速率: 22 Msymbol/s, 35%的滚降率

Rap 2091-56

图57
不同调制方式的spfd电平比较



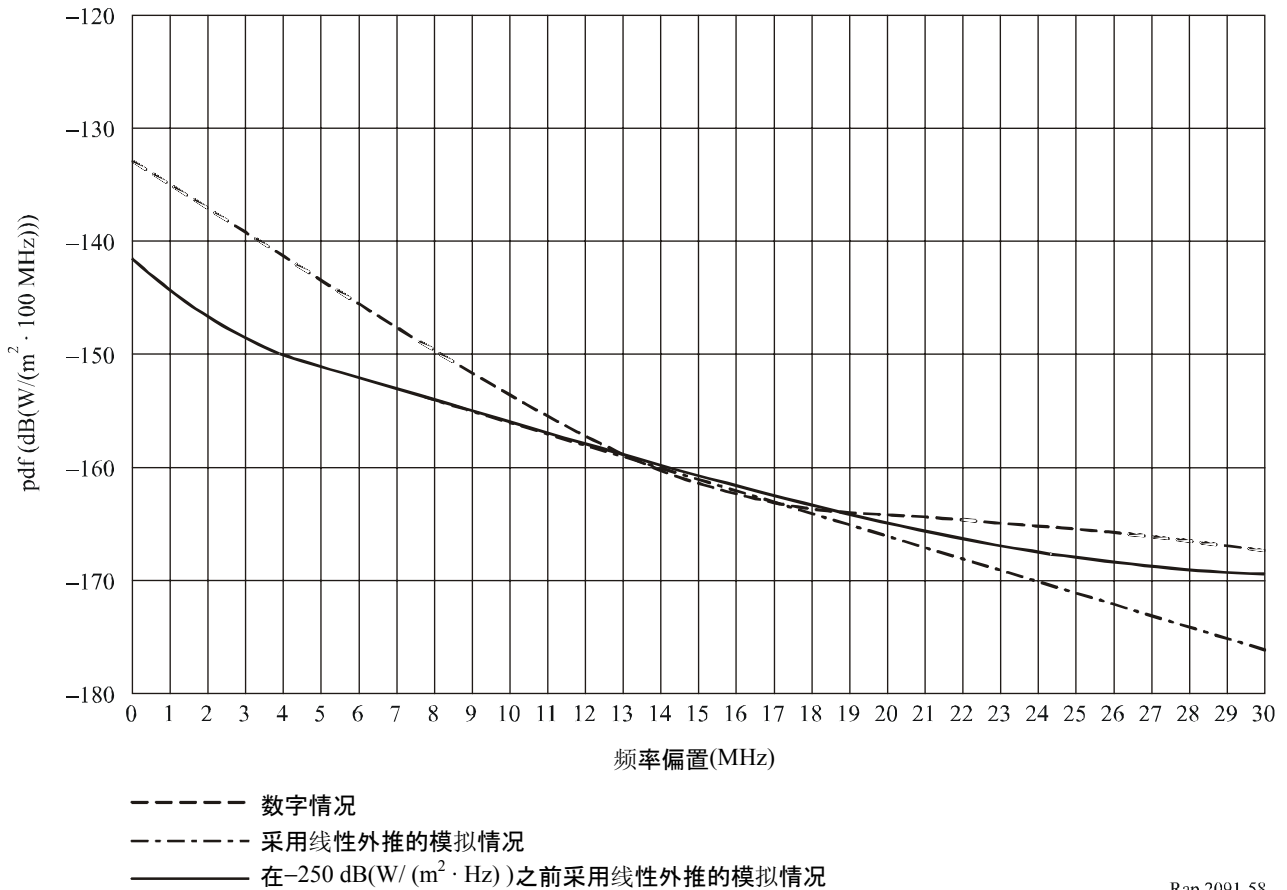
- 数字功率降低
- - - ◆ - - - 初始 QoB 模拟电平
- 采用线性内推的模拟功率降低
- - - 在-250 dB(W/(m²·Hz))之前采用线性内推的模拟功率降低

Rap 2091-57

有可能根据积分开始的频率从图57计算落入100 MHz基准带宽的功率（见图58）。

图58

根据不同的调制类型在100 MHz带宽内积分的pdf



在图58中，0 MHz的频偏意味着100 MHz的积分是从10.7 GHz开始（因此在10.6 GHz结束），同样，30 MHz的频偏意味着100 MHz的积分是从10.67 GHz开始（因此在10.57 GHz结束）。

按照图58中关于信号降低的假设，在两种业务之间实施至少15 MHz保护频带的情况下可以满足连续谱观测的门限电平，即-160 dB(W/(m²·100 MHz))。其他的信号降低假设可能会导致需要更宽的保护频带。

因此，在本例中为了得出关于两种业务兼容所需频率间隔的结论，所做的关于信号降低的假设应该是成立的。

14.4.3.2 第二区GSO卫星系统的例子

在1993年11月，美国国家射电天文台(NRAO)利用设在西弗吉尼亚格林班克的43 m望远镜在10.68-10.7 GHz频带开展了一项152° W至7° W对地静止带的调查（自退役起），以确定可能出现的发射的电平，并已确定这部分天空至少不存在达到-250 dB(W/(m²·Hz))电平的发射。

第二区有一种情况涉及在10.75-10.95 GHz频带内工作的两个同样的GSO卫星，它们按照《无线电规则》附录30B使用10.75-10.95 GHz频带以便为某种MSS应用提供馈线链路。还有一种情况是某个运营商提供关于其空间站在10.6-10.7 GHz频带预想性能的数据。

对于上述两个同样GSO卫星的情况，以显著增加运营商的开支为代价装备了特殊的滤波器，在10.6-10.7 GHz频带提供将超过40 dB的衰减，以消除对保护本地无源业务的担忧。卫星对10.68-10.7 GHz频带产生干扰有两个独立的来源：

- 行波管放大器(TWTA)产生的热辐射噪声。在天线方向性图的峰值处测得的10.68-10.7 GHz频带最坏情况下的热管噪声e.i.r.p.为 -27 dB(W/4 kHz) ，减去 $-163.2 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 的扩散损耗后形成的spfd为 $-226.2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ ；
- 由TWTA的非线性产生的载波间的互调(IM)产物。10.75至10.95 GHz的下行链路频带细分为27个子频带，每个子频带载有数目不同的射频载波。在峰值负荷条件下，子频带上同时分布着近600个载波。为了估计落在射电天文频带内的IM电平，对最坏情况进行了仿真，在子频带内注入高斯噪声以模拟存在许多载波，而TWTA则在最大负荷电平下工作。仿真采用了测得的TWTA输入-输出传递特性，得出10.69-10.70 GHz频带IM产物的峰值spfd电平(包括所有各阶IM产物)为 $-223.0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 。该频带内平均最坏情况下IM的spfd为 $-231 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 。RAS频带其余部分的值约低5 dB(即峰值为 -228.0 ，平均值为 $-236.0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$)。

IM是由几百个独立的射频载波产生的，这些载波由独立的随机比特流调制。每一调制器在信息流上采用24比特最大伪随机序列，以确保载波之间的交叉相关最小。在射电天文频带内分布着几千个独立的互调产物。射频载波本身只在出现话音时才开启，这也进一步加剧了复合IM信号的随机性。因此IM产物的性能看起来与宽带高斯噪声很相像。

射频载波在需要时按需指配，其他情况下关闭。因此，这些最坏情况的条件将出现在正常工作日的忙时内，通常在一天内的12小时周期内。在夜间、周末和节假日，峰值负荷会大为减小。这种负荷量的减小会将TWTA的工作移至更为线性的区域，降低IM的程度。射频载波的数目越少，IM产物的数目也越少。在这样的非峰值期间，IM的spfd至少降低40 dB，即在 $-260 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 左右。

总干扰估计值：管噪声与IM噪声混合形成分布式宽带高斯噪声。跨越10.6至10.69 GHz频带的最坏情况下的平均spfd的估计值为 $-225.6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ ，在10.7 GHz升至 $-221.3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 。在业务负荷较轻的时段内，跨越整个频带的spfd估计值为 $-226.2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 。

14.4.3.2.1 计算机仿真

根据计算机仿真开展的一项研究显示，对于空间站能见度之内的所有射电望远镜，采用《无线电规则》附录30B中的任何分配都会引起高于第14.1.3节所列的连续谱pfd门限电平的干扰。该项研究强调的事实是，落在10.6-10.7 GHz频带内的最大一部分无用发射功率出现在频带的边缘。应该指出，用ITU-R SM.1541建议书来确定OoB电平高估了无用发射电平，因为这表示的是对最坏情况下的掩模的积分。还需要根据代表典型无用发射性能的掩模开展其他研究。

14.4.3.3 非GSO卫星系统

虽然目前并没有任何非GSO卫星系统在10.7-10.95 GHz频带内工作，但已有若干系统规划在不久的将来开始工作。对其中的一个系统(F-SATMULTI1 B)采用epfd法（见ITU-R RA.1513建议书和ITU-R S.1586建议书）完成了初步计算。这些计算显示，需要采用ITU-R RA.769建议书中的假设(滤波值在30 dB和40 dB之间)来保护10.7 GHz频带的RAS免受该系统100 MHz带宽内电平为-240 dB(W/(m²·Hz))的杂散发射的干扰，该结果与上述第一个GSO例子一致。

14.5 减扰技术

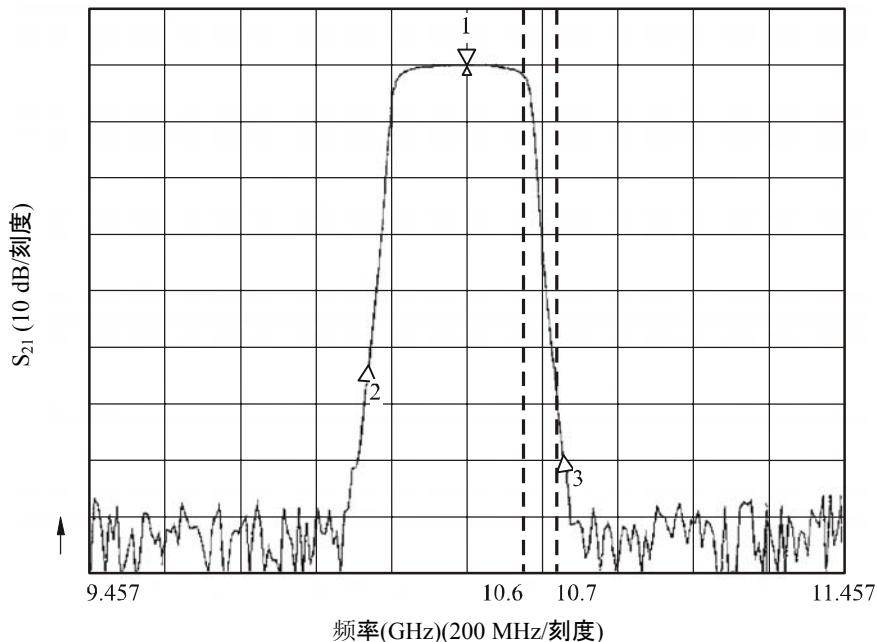
14.5.1 RAS

为了在第14.4.3.1节所述的干扰情况下开展不间断的RAS观测，在射电望远镜的接收机前端引入了滤波器。滤波器的设计规格是将来自干扰源的主要发射抑制70 dB，同时以最小的插入损耗留下足够的通带。

用场效应管制造的放大器或多或少能调节至更低的频率而不引入增益损耗或增加噪声系数，而且市面上可以找到很好的滤波器设计。图59示出了有滤波器制造商滤波器的传递函数。

图59

第4.3.1节中提到的射电望远镜上装备的带阻滤波器的滤波器衰减曲线



Rap 2091-59

图59中的记号3置于干扰卫星发射的标称中心频率，即10.714 GHz。注意，Note that the 10.6-10.7 GHz的RAS频带划分用虚线表示。

应注意的是，上述滤波器是设计用于保护RAS接收机的，它在距被滤信号约200 MHz的频率间隔时给出了最小的插入损耗。随着滤波器技术的进步，可以达到更佳数字，不过目前可用的测量仪器要求至少达到100 MHz的频偏。

还应注意的是，在Effelsberg，可以在10.5 GHz附近的某个频带内进行有效的RSA观测，该频带是划分给地面固定业务的，只是偶尔有该频带受到干扰的报告。由于其他国家在该频带的固定业务有特定的用途，这些观测在其他国家有可能无法进行。

14.5.2 有源业务

可能有若干减扰方法可用于最大限度地减小对无源业务的影响。ITU-R SM.1542建议书列出了这些方法。下面列出在保护10.6-10.7 GHz内工作的无源业务方面已经出现的某些具体情况：

- 有一个主管部门发现，尽管ITU-R RA.769建议书书中的干扰限值为RAS的运行免受干扰提供了保护，但还可以表现出更大的灵活性，因为需要非GSO FSS业务提供商与使用10.6-10.7 GHz频带的RAS设施进行协调并达成双方可以接受的协议，确保这些设施为免受干扰而得到充分保护。为此，在相关的国家划分表中加入了一个脚注。该脚注的文字如下：

“在10.7-11.7 GHz频带内，卫星固定业务(空对地)的非对地静止卫星轨道持照者在业务运行之前须与下列射电天文站协调，就保护10.6-10.7 GHz频带内工作的射电望远镜设施达成双方可以接受的协议。”

注1 – 在脚注的这个地方，列有射电天文站址表格。

- 有一份文稿提出，应考虑在FSS频带和RAS频带之间设立保护频带的可能性（见第14.4.3.1节中关于这一问题的见解）。从对逐个频带进行研究的结果可以得出结论，唯一的方案是寻求在FSS和RAS之间实施保护频带。不过业务之间保护频带的责任划分还需要研究。

应记住，对FSS业务实施任何保护频带都会影响《无线电规则》附录30B规划。同样，对RAS业务实施任何保护频带都会导致增加测量时间，从而减低RAS站的使用率。

同样，若考虑将RAS划分扩展到低于10.6 GHz以便让RAS业务在100 MHz带宽内正常工作，这种扩展可能影响10.6 GHz以下工作的业务。

14.5.3 潜在影响

14.5.3.1 RAS

要想在射电天文这一侧滤除第14.4.3.1节提到的干扰，从技术上讲是不可能的。即便是设计良好的BSS/FSS系统也会迫使射电天文站在接收机前端插入滤波器。目前射电天文站在用的接收机前端一般都含有冷却高电子迁移率晶体管(HEMT)放大器，这种放大器本来就是宽带的。第一级放大器的通带在设计带宽的边缘之外缓慢下降。卫星发射机，特别是离观测方向很近的卫星发射机，可能会引起接收系统的非线性，因此可能需要在接收机前端的第一放大级之前进行滤波。不过在设计射电天文接收机时，人们总会尝试避免发射损耗，该损耗会提高接收机噪声温度。若没有考虑为保护射电天文观测设置足够的保护频带，就会发生这种损耗，另一个原因是在所考虑的频率上滤波技术不是特别成熟。

14.5.3.2 FSS

可以采用滤波器抑制无用发射，但增加滤波器可能会显著影响卫星的设计：

- 滤波器引入的插入损耗可导致容量损失。为了补偿该损耗，需要增加HPA的尺寸，结果对空间站的设计（成本，重量，功率，可靠性）构成影响。
- 插入滤波器会影响带内信号的相位响应。若超过接收机相位容差的级别，尽管接收机有足够的功率，链路性能还是会受到影响。
- 增加滤波器加大了空间站设计和测试程序的复杂性。

另外若采用相控阵有源天线，可能每个天线单元都需要滤波器。

对于计划在相关频率范围内工作的多波束卫星系统，相控阵天线系统内波束的数目或单元的数目成倍增加了相控阵天线系统中附加射频滤波的成本与重量影响。这是由于在多波束系统中，波束间一般不会共用输出放大器，而是应该分别滤波。在一个相控阵型的系统中，最后一级放大在阵列的各单元上进行，每个单元都应该分别滤波。按照这种方式，单个滤波器的重量影响要乘以系统中波束的数目或相控阵中单元的数目。滤波器插入损耗可能影响系统容量。

在特定的射电天文接收机站址，为了达到满足商定的共用标准所需的隔离，地理隔离会涉及使用卫星天线方向性图的滚降。该技术显然假定FSS系统将不会有全球覆盖区，甚至不会有区域覆盖区，这个假设本身是一个限定性假设。许多系统都具有区域波束或次区域波束，区域隔离行不通。其他点波束系统有可能采用地理隔离；不过从卫星系统的角度看还没有什么吸引人的解决方案，因为会导致地球上的一些地区无法接受卫星服务。这种FSS服务区上的限制对营业收入可产生严重影响。不过这种解决方案确实有益于考虑特定射电天文站址的实际保护要求，而不需要在每个射电天文站址引用最坏情况下的保护标准。

14.6 研究结果

14.6.1 小结

在第二区，目前可用的设计做法和减扰方法已可避免目前部署的数目有限的FSS空间站对10.6-10.7 GHz频带内的射电天文业务产生干扰。在使用《无线电规则》附录30B规划可能干扰射电天文观测的情况下，另一个国家的国内压力确保这种情况得到纠正。不过将来部署的空间站若不是有意设法保护射电望远镜，则有可能对其运行产生不利影响。

在第一区，由于划分给RAS和FSS或BSS的频带邻近，用于在空对地方向发射信号，在某些国家产生了非常严重的干扰问题 – 只有在两种业务之间提供保护频带才能解决的问题。在该频带，对于VLBI情况，有源业务可以满足第14.1.3节所列的保护标准，但对于反射面连续谱情况则无法满足。在第二区采用了减扰方法以满足单反射面连续谱电平。不过在第一区，目前还存在持续的有害干扰。

关于第三区，既没有收到数据，也没有开展研究。

14.6.2 结论

在第一区，对于VLBI情况可以满足保护标准，但对于单反射面连续谱或谱线观测则无法满足。在第二区，对于VLBI情况可以满足保护标准。

15 在22.21-22.5 GHz频带内工作的RAS系统与在21.4-22 GHz频带内工作的BSS(空对地)系统之间的兼容性分析

15.1 RAS

15.1.1 划分的频带

22.21-22.5 GHz频带以主要使用条件划分给RAS。

《无线电规则》第5.149款敦促各主管部门采用一切切实可行的措施保护RAS。

15.1.2 观测类型

该频带由RAS用于水分子的连续谱观测和分光谱线观测，在该频带内的分光带是射电天文中最重要分光带之一(见ITU-R RA.314建议书、表40和“国际天文联合会重要谱线列表”)。

采用单反射面和VLBI两种技术都在该频带观测到了水分子的跃迁。

15.1.3 所需的保护标准

ITU-R RA.769建议书明文规定了射电天文观测的保护标准，并给出了主用射电天文频带内有害干扰的门限电平。

对于22.21-22.5 GHz频带，ITU-R RA.769建议书给出的采用250 kHz通道宽度(一个分光仪通道)的单反射面谱线观测的pfd门限限值为 $-162 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。对于该频带内采用单反射面的连续谱观测，要使用整个290 MHz频带宽度，规定pfd门限限值为 $-146 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映，对于250 kHz的带宽，其值为 $-128 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

对于来自非GSO系统的有害干扰，其保护标准和相关方法在ITU-R RA.769建议书和ITU-R RA.1513建议书中做了说明，而关于FSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R S.1586建议书中做了说明，关于MSS和RNSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R M.1583建议书中做了说明。

对RAS的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中做了规定和计算，成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设（如天线性能等），在干扰电平比该建议书中的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

15.1.4 工作特性

全世界有若干射电天文站址从事22.21-22.5 GHz频带的观测。这些观测可能是连续谱发射，也可能是谱线发射，或者是VLBI实验。该频带的观测有时是针对意外目标开展的，如彗星这类天体。在该频带也常常开展VLBI谱线观测。

谱线观测采用多通道分光仪，可以同时将分布在频带内的许多（通常为256至4096）频率通道的功率集中到一起。选择的通道的数目和各自的带宽应能对天线波束内来自源的净发射形成足够的抽样。

一般而言，观测是以不同的方式进行的。对于连续谱发射，可以测绘天空中宇宙射电源周围的那部分区域，而背景发射则被去除，或者可以对来自源方向（源内）和来自天空中一个或多个邻近点（源外）的功率进行测量。从源内值中去除源外值，即可把源产生的发射同接收机输出端的其他分量区分开。

对于谱线观测，在包括相关线发射在内的频率范围内对频谱进行记录，然后在偏离线发射的某个频率上进行记录，或者在频率相同的空间邻近位置上进行记录（基准频谱）。从线状谱中去除基准频谱，即可从数据中去除无用噪声分量和其他掺杂物。

通过记录在覆盖相关区域的一组点上的发射，可以测绘延伸的射电辐射面积。连续谱观测和谱线观测二者均可进行。对于单天线射电望远镜，这组点中每个点上的观测都表示来自天空中该位置的总功率（连续谱观测）或发射频谱（谱线观测）；组中各点的间隔应不超过天线波束宽度的一半。在采用综合孔径射电望远镜进行观测时，若需要测绘的面积超过了瞬时测绘区，则组中各点的间隔应不超过其中一个射电望远镜天线波束宽度的一半。

进行VLBI观测时，将信号下变频至基带，该基带信号不经解调而数字化，并与精确时序信号一起记录在磁带或其他存储媒介上。然后将数据送往VLBI数据处理中心，对信号加以同步并确定其相互关系。因此，在观测期结束并对数据进行处理之后，才能了解干扰的全面影响。

15.2 BSS

15.2.1 划分的发射频带

有源业务划分的频率范围是21.4至22 GHz。

15.2.2 业务

WARC-92已将第一和第三区21.4-22.0 GHz频带重新划分给将于2007年4月1日之后实施的BSS高清晰度数字电视(HDTV)业务。已确认该频带用于开发未来的分配规划。

15.2.3 依据规则性条款规定的电平

第525号决议(WRC-03修订版)附件的第三节 – 与2007年4月1日之前引入的BSS (HDTV)工作系统有关的过渡程序。

为了在2007年4月1日之前在第一和第三区21.4-22.0 GHz频带引入BSS (HDTV)工作系统，若由某一空间站在另一国家的地球表面产生的pfd超过下列值，须适用第33号决议(WRC-03修订版)所含的程序：

- 对于地平面之上0°至5°之间的任何到达角，在任何1 MHz频带内， $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ ；
或
- 对于地平面之上25°至90°之间的任何到达角，在任何1 MHz频带内， $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ ；或
- 对于地平面之上5°至25°之间的任何到达角，可由这些限值线性内推得出的值。

第525号决议（WRC-03修订版）附件的第四节 — 与2007年4月1日之后引入的BSS (HDTV)工作系统有关的过渡程序。

为了2007年4月1日之后在第一和第三区21.4-22.0 GHz频带引入和运行BSS (HDTV)系统，在未来某届大会就确定性的管理程序做出决定之前，须适用《无线电规则》第9至第14条的所有相关程序，但《无线电规则》第9.11款除外。

15.2.4 发射机特性

采用下列特性：

- 在BBS和RAS频带，BSS系统的天线增益相同；
- 对从BSS系统落入RAS频带的无用发射采用最大spfd/pfd电平；
- 因转发器非线性产生的数字调制信号的频谱再生；
- 落入RAS频带的TWT噪声；
- OMUX滤波器改进的特性。

15.2.5 工作特性

目前的第15节仅涉及GSO系统的情况。非GSO系统的情况需要进一步研究。

15.2.6 带内发射电平

见第15.2.3节。

15.3 兼容性门限

见第15.1.3节。

15.4 干扰评估

15.4.1 用于评估干扰电平的方法

见第15.2.4节。

15.4.2 干扰电平的计算

表40给出了在21.4-22 GHz频带内工作且落入22.21-22.5 GHz射电天文频带内的最大无用发射电平。

表40

BSS系统的最大无用发射电平

频带 (GHz)	最大无用窄带发射spfd电平 (dB(W/(m ² · Hz)))	最大无用宽带发射pfd电平 (dB(W/(m ² · 290 MHz)))
22.21-22.5	-221	-146

15.4.3 达到的值

对ITU-R RA.769建议书给出的用于保护22.21-22.5 GHz频带RAS的门限pfd电平（见第15.1.3节）与表40中给出的BSS系统产生的无用发射电平做了比较，形成的结果在表41中给出。

表41

ITU-R RA.769建议书的RAS门限pfd电平
与BSS无用发射电平之间的差别

观测类型	连续谱观测	谱线观测	VLBI观测
ITU-R RA.769建议书的RAS门限pfd电平与 BSS无用发射电平之间的差别(dB)	0	+5	+37

从这一计算可以得出，对于单反射面连续谱观测、单反射面谱线观测和VLBI观测，可以满足ITU-R RA.769建议书门限电平。

15.5 减扰方法

15.5.1 RAS

有多种方法，包括下文所述的方法，被认为能够减轻卫星发射机对射电望远镜的无用发射。

天线旁瓣性能：射电望远镜的口径照度通常按照 G/T 进行优化，也就是望远镜增益除以系统温度。这是为了将点发射源的 S/N 比值最大化。这种方法的一个关键因素是降低由远端

旁瓣进入地面辐射。这样就不可避免地相应增加了近端旁瓣的电平。经验表明，大多数射电望远镜能在绝大多数方向上满足ITU-R SA.509建议书中给出的旁瓣掩模包络。

时间和/或频率屏蔽：在完全可以根据时间和/或频率明确识别进入射电天文频带的干扰的情况下，这项技术是适用的。

15.5.2 BSS

滤波器：这涉及实施了附加射频滤波的有源系统。

15.5.3 潜在影响

15.5.3.1 RAS

天线旁瓣性能：尝试降低射电天文天线对来自空间站的无用发射的灵敏度，有可能会增加射电天文望远镜对地面辐射的灵敏度，并有可能降低其主瓣增益。这两种效应都会降低所需的总积分时间内望远镜的通道容量，并因此导致总积分时间延长。

时间和/或频率屏蔽：这种屏蔽存在着降低数据完整性的风险，对数据进行科学解释时有可能形成误差。屏蔽还有可能增加观测所需的总积分时间，这相当于损失了望远镜的通道容量。

15.5.3.2 BSS

对于计划在相关频率范围内工作的多波束卫星系统，多波束系统内波束的数目或单元的数目成倍增加了相控阵天线系统中附加射频滤波的成本与重量影响。这是由于在多波束系统中，波束间一般不会共用输出放大器，而是应该分别滤波。在一个相控阵型的系统中，最后一级放大在阵列的各单元上进行，每个单元都应该分别滤波。按照这种方式，系统中单个滤波器的重量影响要乘以系统中波束的数目或相控阵中单元的数目。滤波器插入损耗可能影响系统容量。

15.6 研究结果

计算显示，对于所有观测模式（VLBI、单反射面连续谱和谱线观测），均可满足第15.1.3节中讨论的保护标准。

16 在42.5-43.5 GHz频带内工作的RAS系统与在41.5-42.5 GHz频带内工作的FSS和BSS(空对地)系统之间的兼容性分析

16.1 RAS

16.1.1 划分的频带

RAS以主要使用条件与固定业务、FSS（地对空）和移动（航空移动除外）业务共用42.5-43.5 GHz频带。

16.1.2 观测类型

42.5-43.5 GHz频带由RAS用于连续谱观测和分光谱线观测。该频带对射电天文业务十分重要，因为频率几乎是23.6-24 GHz连续谱带的两倍，为以倍频程间隔对连续谱发射进行抽样提供了一个有效点，对确定射电源的谱指数是必不可少的。对连续谱发射的观测给出了与产星区有关的星际介质物理状态的关键信息。43 GHz频带还广泛用于研究宇宙微波背景(CMB)。该频带还包括与一氧化硅(SiO)分子有关的谱线，其中心频率为42.519、42.821、43.122和43.424 GHz，这些谱线属于天体物理学领域最重要的谱线，但ITU-R RA.314建议书并没有将其全部列出。

这些谱线对于研究宇宙现象，如恒星的诞生和死亡，是必不可少的。

16.1.3 所需的保护标准

ITU-R RA.769建议书明文规定了射电天文观测的保护标准，并给出了主用射电天文频带内有害干扰的门限电平。在42.5-43.5 GHz频带内，采用500 kHz通道宽度（一个分光仪通道）的单反射面谱线观测的门限pfd为 $-153 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。对于采用单反射面的连续谱观测，要使用整个1 GHz频带宽度，门限pfd限值为 $-137 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

VLBI观测不易受到干扰，因为信号来自分布很广的各个天线，信号被记录下来并在观测后确定其相互关系。这种情况在该频带VLBI观测的门限pfd电平上有所反映，对于500 kHz的带宽，其值为 $-116 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 。

对于来自非GSO系统的有害干扰，其保护标准和相关方法在ITU-R RA.769建议书和ITU-R RA.1513建议书中做了说明，而关于FSS系统的保护标准和相关方法在ITU-R S.1586建议书中做了说明。对RAS的有害干扰电平的门限在ITU-R RA.769建议书中做了规定和计算，成为保护标准，超过该门限，射电天文数据会降质，最终有可能完全损毁。一般而言，在相当理想的环境下，若稍微超过这些电平，有可能通过增加观测时间在射电天文观测台进行补偿。这种情况下，天文望远镜的通道容量会降低，科研结果也相应减少。若采用ITU-R RA.769建议书中的假设（如天线性能等），在干扰电平比该建议书中的规定高出10 dB或以上时，要确保科研人员获得有效的科研数据，靠增加观测时间就不再有什么作用了。若不采用适当的减扰技术，射电天文站将无法在受影响频带工作，其提供服务的能力也就不存在了。

下列ITU-R建议书或者直接探讨在42.5-43.5 GHz频带内开展观测的射电天文站的保护问题，或者与之相关：

ITU-R RA.314建议书 – 用于射电天文测量的优选频带。

ITU-R RA.517建议书 – 避免射电天文业务受在邻近频带工作的发射机影响。

ITU-R RA.611建议书 – 保护射电天文业务免受杂散发射的干扰。

ITU-R RA.769建议书 – 用于射电天文测量的保护标准。

ITU-R RA.1237建议书 – 保护射电天文业务免受宽带数字调制应用产生的无用发射的干扰。

ITU-R RA.1513建议书 – 对于以主要使用条件划分给射电天文业务的频带，因干扰恶化形成的射电天文业务的数据损失水平和时间百分比标准。

ITU-R S.1586建议书 – 在射电天文站址由非对地静止卫星固定业务系统产生的无用发射电平的计算。

《无线电规则》第5.149、第5.547、第5.551AA和第5.551G款适用于该频带。

16.1.4 工作特性

所有三个ITU区域都在42.5-43.5 GHz频带内开展射电天文观测。表42示出了在42.5-43.5 GHz频带内工作或计划在该频带内工作的射电天文站清单。计划中的设施包括正在墨西哥（大型毫米波望远镜，美国-墨西哥合建项目），智利（阿塔卡玛毫米波大天线阵）和意大利（撒丁岛望远镜）建造的设施或UK MERLIN干涉仪阵中该频带的测量工具。

表42

在42.5-43.5 GHz频带内工作的射电天文站

第一区						
国家	站址	经度	纬度	高度 (m)	直径 (m)	说明
芬兰	Metsähovi	24° 23' 17"	60° 13' 04"	61	13.7	S
法国	Bordeaux Plateau de Bure	-00° 31' 37"	44° 50' 10"	73	6 × 15	S
		5° 54' 26"	44° 38' 01"	2 552		S
德国	Effelsberg	06° 53' 00"	50° 31' 32"	369	100	S
意大利	Medicina Noto Cagliari	11° 38' 43"	44° 31' 14"	44	32	S
		15° 03' 00"	36° 31' 48"	85 570	32	S
		09° 14' 40"	39° 29' 50"		64	S
俄罗斯联邦	Dmitrov	37° 27' 00"	56° 26' 00"	200	32	S
西班牙	Pico Veleta Yebes	-03° 23' 34"	37° 03' 58"	2 870	30	S
		-03° 06' 00"	40° 31' 30"	931	40	S
瑞典	Onsala	11° 55' 35"	57° 23' 45"	10	20	S
英国 (计划中)	Cambridge	00° 02' 20"	52° 09' 59"	24	32	S
	Darnhall	-02° 32' 03"	53° 09' 21"	47	47	S
	Jodrell Bank	-02° 18' 26"	53° 14' 10"	78	76	S
	Knockin	-02° 59' 45"	52° 47' 24"	66	25	S
	Pickmere	-02° 26' 38"	53° 17' 18"	35	25	S

表42 (续)

第二区						
国家	站址	经度	纬度	高度 (m)	直径 (m)	说明
巴西	Atibaia, SP	-46° 33' 28"	-23° 11' 05"	805	13.7	S
智利	San Pedro de Atacama	-67° 44' 00"	-23° 02' 00"	5 000	64 × 12	S
墨西哥	Sierra Negra	-97° 18' 00"	18° 59' 00"	4 500	50	S
美国	Goldstone, CA	-116° 47' 40"	35° 14' 50"	[]	34	S
	Green Bank, WV	-79° 50' 24"	38° 25' 59"	1 071	100	S
	Socorro, NM	-107° 37' 06"	34° 04' 44"	946	27 × 25	S
	St. Croix, VI	-64° 35' 01"	17° 45' 24"	16	25	VLBI
	Hancock, NH	-71° 59' 12"	42° 56' 01"	309	25	VLBI
	North Liberty, IA	-91° 34' 27"	41° 46' 17"	241	25	VLBI
	Ft. Davis, TX	-103° 56' 41"	30° 38' 06"	1 615	25	VLBI
	Los Alamos, NM	-106° 14' 44"	35° 46' 31"	1 967	25	VLBI
	Pie Town, NM	-108° 07' 09"	34° 18' 04"	2 371	25	VLBI
	Kitt Peak, AZ	-111° 36' 45"	31° 57' 23"	1 916	25	VLBI
	Owens Valley, CA	-118° 16' 37"	37° 13' 54"	1 207	25	VLBI
	Brewster, WA	-119° 41' 00"	48° 07' 52"	255	25	VLBI
	Mauna Kea, HI	-155° 27' 19"	19° 48' 05"	3 720	25	VLBI
	Kitt Peak, AZ	-111° 36' 50"	31° 57' 10"	1 916	12	S
	Mauna Kea, HI	-155° 28' 20"	19° 49' 33"	3 720	10.4	S
Westford, MA	-71° 29' 19"	42° 37' 23"	[122]	36	S	
第三区						
澳大利亚	Parkes	148° 15' 44"	-33° 00' 00"	415	64	S
	Mopra	149° 05' 58"	-31° 16' 04"	866	22	S
	Narrabri, NSW	149° 32' 56"	-30° 59' 52"	237	6 × 22	S
	Tidbinbilla	148° 58' 59"	-35° 24' 18"	677	34	S
日本	Nobeyama	138° 28' 32"	35° 56' 29"	1 350	45	S
	Kashima	140° 39' 46"	35° 57' 15"	50	34	S
	Mizusa	141° 07' 57"	39° 08' 01"	117	20	S
	Ogasawara	130° 26' 25"	31° 44' 53"	569	20	S
	Ishigakijima	142° 13' 00"	27° 05' 30"	273	20	S
韩国	Taejon	127° 22' 18"	36° 23' 54"	120	13.7	S
	Yonsei U.	126° 56' 35"	37° 33' 44"	260	20	S
	Ulsan U.	129° 15' 04"	35° 32' 33"	120	20	S
	Tamna U.	126° 27' 43"	33° 17' 18"	100	20	S
其他						
美国设立	南极洲	N/A	-90° 00' 00"	3 000	多种	S

注1 - S指开展单反射面观测的射电天文站，而VLBI指专门开展VLBI观测的射电天文站。

43 GHz频带有极高的科学价值。最有价值的是对甚弱射电源的观测，这些源接近技术上的极限，相当于2-20 μK 数量级的天线噪声温度，积分时间在2000-4000 s数量级。长积分时间对观测科学家感兴趣的暗源是必不可少的。已形成了相关观测模式和差异观测模式，并成功地用于应对大气起伏以实现如此之长的积分时间。

美国国家射电天文台(NRAO)的甚大天线阵(VLA)可能是世界上使用最频繁的射电望远镜，过去几年中在该频带上的观测时间约占总观测时间的20%。NRAO的甚长基线天线阵(VLBA)也保持了同样的统计数字。VLA和VLBA收到的观测请求是它们能够提供的观测时间的两三倍。

每个射电天文站花在42 GHz上的时间百分比随天文站的不同和年份的不同而有所不同。许多射电望远镜目前都具备频率灵活性，可以在一分钟或更短的时间内将其工作从一个频带切换至另一个频带。这样就可以灵活安排时间，最大限度地利用观测条件（天气等）。因此，从业务之间兼容性研究的角度看，完全有把握保证表42中的任何射电天文站在任何时间在43 GHz上进行观测。

16.2 FSS和BSS

16.2.1 划分的发射频带

所研究的有源业务是41.5-42.5 GHz频带。

16.2.2 应用

根据ITU卫星登记资料，计划在40 GHz频带和相应的47 GHz上行链路频带内工作的FSS和BSS系统超过250个。计划在50/40 GHz频带内工作的FSS系统的典型参数示于表43。

表43

计划在37.5-42.5 GHz频带内工作的 GSO和非GSO FSS系统
典型下行链路的系统特性 (ITU-R S.1557建议书)

参数	GSO FSS	非GSO FSS (MEO)
卫星天线波束宽窄(度)	0.3至0.6	0.6至1.8，取决于卫星高度
典型空间站DC功率(kW)	10至15	3至5
进入天线的典型卫星发射RF功率	2.5 kW至3.5 kW	700 W至1.1 kW
波束的数目	30至60	10至20
带宽(GHz)	2.0至5.0，包括HDFSS和网关/中枢	
频率再用方案	4或7次(大多数系统采用4次再用方案)	
链路可用性： - 网关/中枢(%) - HDFSS (VSAT) (%)	- > 99.9 - 99.5至99.7	
卫星装备	透明转发器或处理装备	

表43 (续)

参数	GSO FSS	非GSO FSS (MEO)
最小工作仰角(度)	> 15	> 20
调制	QPSK/8-PSK/16-QAM	
BER	1×10^{-8} 至 1×10^{-10}	
编码	串联编码	
所需的 $E_b N_0$ (dB)	6至12.5, 取决于调制和编码	
干扰恶化(dB)	2至4	
系统余量(dB)	1至3	
地球终端天线大小:		
– 网关/中枢(m)	– 1.8至2.7	– 1.5至2.7
– HDFSS (VSAT) (m)	– 0.3至0.6	– 0.3至0.6
地球终端系统噪声温度(K)	600至800	

HDFSS: 高密度卫星固定业务。

VSAT: 甚小口径终端。

16.2.3 依据现有ITU文件规定的电平

相关的ITU-R 建议书如下:

ITU-R S.1557建议书 – 供卫星固定业务与固定业务之间共用研究使用的50/40 GHz频带内工作的卫星固定业务系统的工作要求和特性

ITU-R SF.1484建议书 – 为保护固定业务, 37.5-42.5 GHz频带内工作的卫星固定业务非对地静止卫星在地球表面产生的功率通量密度的最大可允许值

ITU-R SF.1573建议书 – 为保护固定业务, 37.5-42.5 GHz频带内工作的卫星固定业务对地静止卫星在地球表面产生的功率通量密度的最大可允许值

ITU-R SM.1540建议书 – 落入邻近的已划分频带的带外域无用发射

ITU-R SM.1541建议书 – 带外域的无用发射。

16.2.4 发射机特性

大多数打算在50/40 GHz频带内工作的FSS系统都计划提供很高的数据速率, 从电视会议质量直到STM-1 (155 Mbit/s)至 $10 \times$ STM-4 (6.22 Gbit/s)的甚高传输速率。由于在这一频率范围内传输损伤严重, 在该频带要考虑特殊的设计问题, 而这种特殊设计对较低的频率不一定适用。为了在40 GHz频带获得链路可用性和较高的数据速率, 大多数拟议中的FSS系统将采用高增益卫星天线工作。发射和接收天线3 dB的波束宽度对应着 0.3° 至 0.65° 的范围。另外, 由于卫星重量和功率的限制, 计划在哪些频带内工作的所有拟议中的FSS系统, 其卫星视野内的任意时刻, 激活波束的数目都将很小, 一般小于5%。在相关研究 (ITU-R S.1557建议书) 中, 计划在40 GHz频带内工作的FSS和BSS系统被认为具有同样的系统参数。

表43表明,大多数拟议中的FSS系统计划在空对地方向采用至少2 GHz的频谱,且大所述系统将采用4次频率再用方案。这意味着每一波束将得到500 MHz的划分。不过某些拟议中的系统计划对每一波束采用2 GHz的频谱。每一波束的实际带宽将取决于具体应用和波束之间的间隔。

16.2.5 工作特性

见ITU-R S.1557建议书和第16.2.4节。

16.2.6 带内发射电平

计划在40 GHz频带内工作的FSS和BSS系统只能在非常小的时间百分比内以《无线电规则》表21-4中的pfd限值发射。在晴空条件下实际的下行链路pfd电平取决于每一卫星系统的设计,如透明转发器、星上处理装备、调制、编码等。在研究中,假定FSS系统通常以 -117 dB(W/m²)的pfd电平和 25° 至 90° 的仰角在晴空条件下工作。

-117 dB(W/(m²·MHz))一值代表晴空电平,比《无线电规则》表21-4中的峰值pfd电平低12 dB。由于空间站的功率限制,波束在克服传播效应的情况下只能在很短的时间内才能达到全功率。另外,晴空电平为该频带内部署的某些敏感的固定业务系统提供了保护。其他细节可查看ITU-R S.1557建议书和ITU-R SF.1572建议书。

16.3 兼容性门限

见第16.1.3节。

16.4 干扰评估

16.4.1 用于评估干扰电平的方法

图60给出的是最坏情况的例子,依据的是500 MHz必要带宽和ITU-R SM.1541建议书确定的最大电平处的频谱滚降。同样,例子假设必要带宽扩展至FSS划分的边缘。

16.4.2 干扰电平的计算

为了算出集总无用发射功率,对图60中的频谱性能曲线进行了数值积分,以便评估在1 GHz连续谱带内的影响。

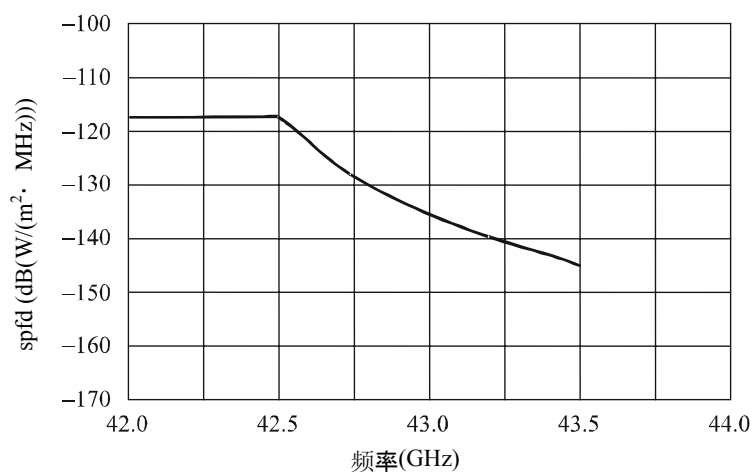
直接从曲线上取值(为了反映带宽从1 MHz至500 kHz的变化而减去了3 Db),以验证是否合乎单反射面谱线观测的门限和VLBI观测的电平。

该计算假设波束位于星下点。因此,实际的pfd值会比朝向卫星的仰角小于 90° 的射电望远镜的值低一些。

该计算未考虑大气衰减的影响¹。

¹ 见ITU-R P.676建议书。该值在海平面上有1至2 dB的变化。

图60
频谱性能



Rap 2091-60

16.4.3 达到的值

根据图中曲线，在频带 42.5至43.5 GHz频带内可以达到下述最坏情况下的电平：

- $-97 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{GHz))}$ ，比42.5-43.5 GHz频带连续谱观测的门限高37 dB。
- 在42.5 GHz为 $-120 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 500 \text{ kHz))}$ ，比谱线观测的门限高36 dB。

因此，要合乎射电天文保护标准，需要采用一种或多种减扰方法。

16.5 减扰技术

16.5.1 RAS

对于RAS，可能的减扰方法是：

- 保护频带；或
- ITU-R SM.1542建议书所列的其他减扰方法。

16.5.2 FSS和BSS

16.5.2.1 卫星滤波

情况1：多波束空间站

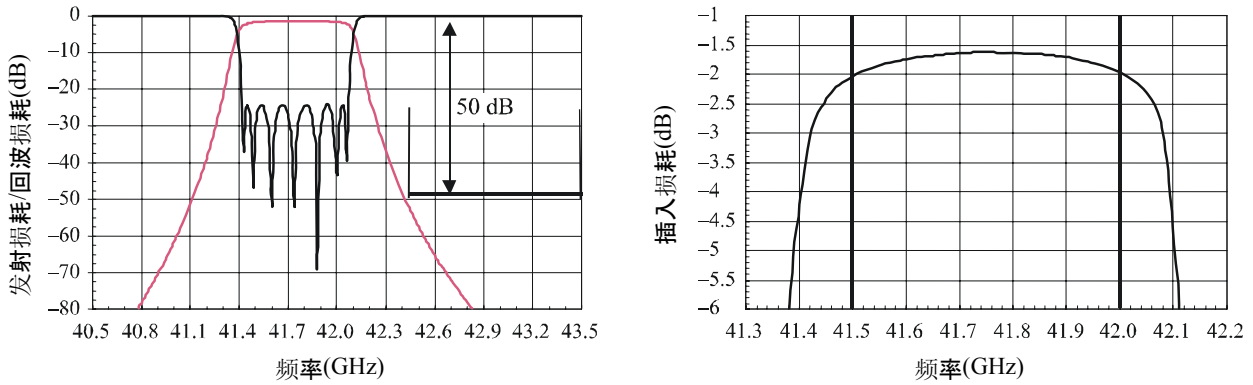
对于宽带载波，图61中的曲线作为一个例子，示出了该频带内采用7极滤波器的一种典型滤波器设计的性能。

情况2：相控阵空间站

对于相控阵所用的宽带载波，图62中示出了该频带内采用15极滤波器的一种典型滤波器设计的性能。

图61

发射损耗/回波损耗/插入损耗



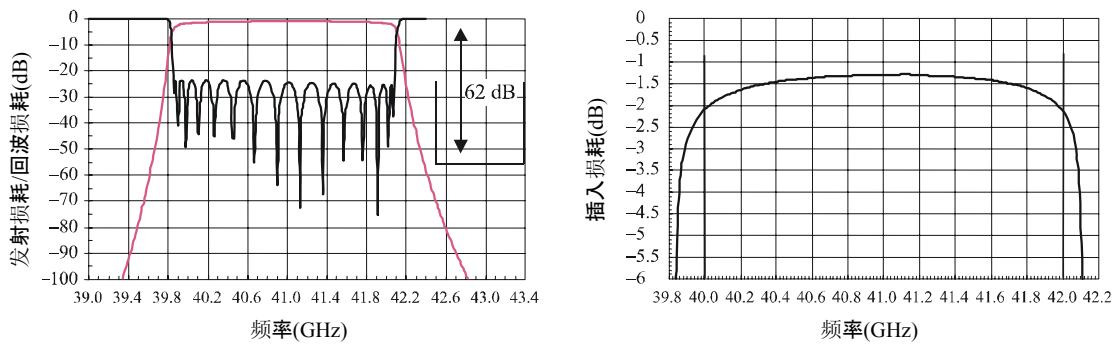
N = 7, TE101 滤波器

尺寸(宽×高×长): 1.125" × 1.125" × 3.80" /重量: 0.24 磅(铜)

Rap 2091-61

图62

发射损耗/回波损耗/插入损耗



N = 1.5, TE101 带通滤波器(BPF), 串联 WR22 低通滤波器/WR22 波导滤波器

尺寸(宽×高×长): 1.125" × 1.125" × 5.50" /重量: 0.33 磅(铜)

Rap 2091-62

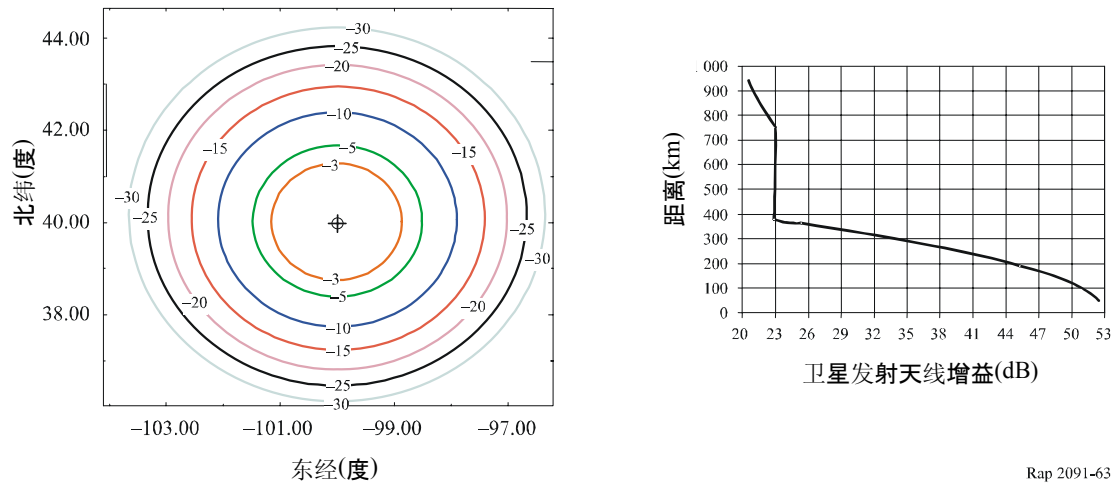
16.5.2.2 地理隔离

若40.5-42.5 GHz频带内工作的FSS和BSS系统无法为了满足42.5-43.5 GHz频带内工作的RAS站的有害干扰标准而装备附加的发射滤波器, 则应考虑将地理隔离作为一种减扰技术。

根据表43, 卫星发射天线波束的宽窄位于0.3°至0.6°的范围。图63的左幅示出了GSO空间站天线的增益等值线, 该天线的峰值增益为53 dBi, 3 dB波束宽度为0.4°。从图63的右幅曲线可以看出在任何距离上地理隔离相对于峰值增益的优势。

图63

卫星等值线和波束中心至覆盖区边缘的距离与卫星发射天线增益



Rap 2091-63

16.5.2.3 FSS/BSS信号的频谱形状

可以选择FSS/BSS发射信息所用的波形，让频谱滚降最小，以限制无用发射信号。同样，在设计和使用时也可以采用让FSS/BSS信号产生的无用发射电平进一步降至最小的方式。

16.5.2.4 保护频带

两种业务之间的保护频带要考虑到信号的滚降和滤波器。

16.5.2.5 附加的减扰方法

ITU-R SM.1542建议书列出了附加的减扰方法。

16.5.3 潜在影响

16.5.3.1 RAS

*RAS*频带边缘处的保护频带 — 对于宽带连续谱测量的情况，在射电天文频带内采用一段保护频带会形成显著的数据损失，因为需要增加积分时间以补偿带宽的损失。如第16.1.3节所述，这种方法限制了可行性。

该频带还包括与一氧化硅(SiO)分子有关的谱线，其中心频率为42.519、42.821、43.122和43.424 GHz，这些谱线属于天体物理学领域最重要的谱线，但ITU-R RA.314建议书并没有将其全部列出。因此在射电天文频带内，在不影响对一条或多条SiO谱线的观测能力的情况下，保护频带的应用范围是有限的。

16.5.3.2 FSS和BSS

16.5.3.2.1 卫星滤波

在上文的多波束例子中，若采用7极发射滤波器，插入损耗为2.0 dB，该值对应着系统容量37%的恶化。这样的滤波会将空间站的重量每波束增加120 g或更多，视发射机的功率而定。

在上文的相控阵例子中，若采用15极发射滤波器，插入损耗为2.0 dB，该值对应着系统容量37%的恶化。这样的滤波会将空间站的质量每单元增加160 g或更多，视发射机的功率而

定。对于采用2818个单元相控阵天线的空间站，卫星装备的质量会额外增加450 kg，由此造成成本的增加和性能的下降。

另外，采用相控阵天线的大多数系统更愿意使用固态功率放大器(SSPA)。若需要附加的发射滤波器，由于产生了附加损耗，可能需要使用TWTA，视实际发射功率而定。要实现使用TWTA的相控阵天线是很困难的。

16.5.3.2.2 地理隔离

只有卫星服务区内射电望远镜的数目很小，且设计空间站天线子系统时考虑了射电望远镜的位置，才可以使用这种减扰方法。另外，这种减扰方法也限制了空间站重新定位的能力或波束重新指向卫星视野的其他部分的能力。

16.5.3.2.3 FSS/BSS信号的频谱形状

大功率放大器(HPA)的线性和动态范围内HPA的工作点决定了空间站发射信号的频谱形状。通过在较低的输入功率上工作或通过改善放大器的线性，就可以降低HPA产生的无用发射。不过，维持放大器工作在线性区是以降低HPA的效率为代价来减少无用发射。两种方法对空间站的吞吐量及其成本和重量都有影响。

16.5.3.2.4 保护频带

任何保护频带的使用都会降低FSS/BSS的容量，若该保护频带占用其划分的话。

16.6 研究结果

16.6.1 小结

世界上大多数RAS站址利用该频带进行单反射面测量。要满足单反射面测量的保护电平，需要同时采用若干适当的减扰技术。

有一项研究考虑采用频率间隔，而不采用任何其他减扰技术。这项研究假设FSS和BSS系统工作频率最高至42 GHz且无用发射电平取自ITU-R SM.1541建议书。研究显示，可以满足ITU-R RA.769建议书给出的对VLBI观测的有害干扰电平。不过不能满足对单反射面谱线观测或连续谱观测的门限pfd限值，且干扰特别严重，实际上阻止了任何有效的天文观测，除非采用其他减扰方法。

第16.4.1节提出的场景是未采用减扰方法的最坏情况，依据的是500 MHz必要带宽和符合ITU-R SM.1541建议书确定的速率的频谱滚降。另外，这个例子假设必要带宽扩展至42.5 GHz处的FSS划分边缘。

所研究的最坏情况示例的无用发射超过了《无线电规则》第5.551G款中的限值，也超过了ITU-R RA.769建议书中单反射面谱线观测和连续谱观测的保护标准。不过在42.5至43.5 GHz频带内可以满足VLBI观测的保护标准。通过使用减扰方法可以克服这一缺陷。在实际系统中可以考虑使用的减扰方法有不少；可能需要同时采用若干这样的方法。

对于某些系统，若考虑采用ITU-R SM.1633建议书附件1的技术附录中所述的临时性FSS频谱表示法而不是ITU-R SM.1541建议书中的表示法，则关于连续谱标准的缺陷就可以减轻了。这不一定能减轻关于频带边缘的缺陷，除非考虑采用其他减扰方法。不过这也表明，这种频谱表示法是以较低频带取得的经验为基础的。

可以料想，采用第16.5节确认的一种或几种减扰方法，FSS/BSS系统有可能满足ITU-R RA.769建议书中连续谱观测的保护标准。另外，FSS系统要在42.5-43.5 GHz频带的某些部分满足谱线观测的标准可能是困难的。对要求FSS系统满足《无线电规则》第5.551G款中的标准是否实际可行还存在疑问，因为这些要求会施加严格的工作限制并大幅增加卫星系统的成本。

因此，两种业务的全部需要都得到满足是不太可能的。可能还需要进一步努力以改进这项研究。

16.6.2 结论

在该频带，对于VLBI情况，FSS和BSS系统可以满足ITU-R RA.769建议书中给出的对射电天文观测的有害干扰的门限电平。对于连续谱情况，FSS和BSS系统通过采用减扰方法有可能满足门限。在该频带的一部分满足谱线观测的门限是可能的。减扰方法是否足以在RAS划分的下边缘满足谱线观测的标准还不确定。

世界上有三分之二的RAS站址（见表42）利用该频带进行单反射面测量，因此同时采用若干适当的减扰技术以满足单反射面测量的这些保护电平是非常重要的。
