

## ITU-R SM.2092报告\*

**关于在相邻或邻近频带内划分的有源业务  
对卫星地球探测业务 (无源) 影响的研究**

(2007年)

## 目 录

	页 码
1 引言 .....	4
2 方法 .....	4
2.1 概述 .....	4
2.2 流程图的详细说明 .....	7
2.3 技术附录 .....	16
3 在1 400-1 427 MHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在1 350-1 400 MHz频带内工作的无线电定位业务系统之间的兼容性分析 .....	39
3.1 EECS (无源).....	39
3.2 无线电定位业务 .....	42
3.3 兼容性门限 .....	45
3.4 干扰评估 .....	45
3.5 减扰技术 .....	70
3.6 研究结果 .....	74
4 在1 400-1 427 MHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在1 350-1 400 MHz和1 427-1 452 MHz频带内工作的固定业务之间的兼容性分析.....	75
4.1 EECS (无源) .....	75
4.2 固定业务 .....	75
4.3 兼容性研究 .....	80
4.4 减扰技术 .....	89
4.5 研究结果 .....	90
5 在1 400-1 427 MHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在1 427-1 429 MHz频带内工作的空间操作 (地对空) 业务系统之间的兼容性分析 .....	91
5.1 EECS (无源) .....	91

---

\* 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。

5.2	空间操作业务 (地对空).....	91
5.3	干扰门限 .....	94
5.4	干扰评估 .....	95
5.5	减扰技术 .....	97
5.6	研究结果 .....	99
6	在1 400-1 427 MHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在1 350-1 400 MHz和 1 427-1 452 MHz频带内移动业务之间的兼容性分析.....	100
6.1	EESS (无源) .....	100
6.2	移动业务 .....	100
6.3	兼容性门限 .....	104
6.4	干扰评估 .....	104
6.5	减扰技术 .....	111
6.6	研究结果 .....	111
7	23.6-24 GHz频带内的EESS (无源) 系统与22.55-23.55 GHz频带内ISS之间的兼容性 分析 .....	113
7.1	EESS (无源) .....	113
7.2	卫星间业务 .....	120
7.3	兼容性干扰标准 .....	127
7.4	干扰评估 .....	127
7.5	减扰技术 .....	139
7.6	结论 .....	139
8	31.3-31.5 GHz频带内的EESS (无源) 系统与30-31 GHz频带内的FSS (地对空) 和 MSS (地对空) 之间的兼容性分析 .....	140
8.1	EESS (无源) .....	140
8.2	FSS和MSS.....	144
8.3	干扰门限 .....	149
8.4	干扰评估 .....	149
8.5	减扰技术 .....	173
8.6	研究结果 .....	174
9	在31.3-31.5 GHz频带内工作的卫星地球探测业务 (EESS) (无源) 系统与在31- 31.3 GHz频带内工作的固定 (FS) 业务系统之间的兼容性分析 .....	177

## 页码

9.1	EESS (无源) .....	177
9.2	固定业务 .....	178
9.3	兼容性门限 (若适用的话).....	179
9.4	干扰评估 .....	180
9.5	减扰技术 .....	197
9.6	研究结果 .....	198
10	在50.2-50.4 GHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在47.2-50.2 GHz频带内工作的FSS (地对空) 系统之间的兼容性分析 .....	199
10.1	EESS (无源) .....	199
10.2	FSS (地对空).....	203
10.3	干扰门限 .....	205
10.4	干扰评估 .....	205
10.5	减扰技术 .....	220
10.6	研究结果 .....	220
11	在50.2-50.4 GHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在50.4-51.4 GHz频带内工作的FSS (地对空) 业务系统之间的兼容性分析 .....	222
11.1	EESS (无源) .....	222
11.2	FSS.....	227
11.3	干扰门限 .....	229
11.4	干扰评估 .....	229
11.5	减扰技术 .....	242
11.6	研究结果 .....	242
12	在52.6-52.8 GHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在51.4-52.6 GHz频带内工作的固定业务系统之间的兼容性分析 .....	244
12.1	EESS (无源) .....	244
12.2	固定业务 .....	245
12.3	兼容性门限 .....	247
12.4	干扰评估 .....	247
12.5	减扰技术 .....	259
12.6	研究结果 .....	259

1 引言

无源卫星地球探测业务 (EESS) (无源) 关注的是电平相当低的自然发射信号的接收，而这种电平是其他无线电通信业务通常使用的。因此，传感器通常更易受到有源业务无用发射的干扰。

已经在与EESS (无源) 划分频带相邻或邻近的频带内对地-空方向的卫星固定业务 (FSS)、卫星移动业务 (MSS) 和卫星广播业务 (BSS) 之类的各种空间业务做了主要划分，并/或对固定业务 (FS)、移动业务 (MS) 和广播业务 (BS) 之类的地面业务做了主要划分，下文称这些业务为“有源业务”。

本技术报告给出了不同“频带对”研究的进展情况。这些研究为在相邻或邻近频带内工作的有源业务与EESS无源业务之间的干扰评估结果的文档化提供了方法和框架。

这些研究所涉及的频带清单见下表。这些研究的结果见于本报告的随后各节。

与EESS (无源) 的兼容性研究清单

EESS (无源) 频带	有源业务频带
1 400-1 427 MHz	1 350-1 400 MHz (无线电定位)
1 400-1 427 MHz	1 350-1 400 MHz和1 427-1 452 MHz (FS)
1 400-1 427 MHz	1 427-1 429 MHz (空间操作)
1 400-1 427 MHz	1 350-1 400 MHz和1 427-1 452 MHz (MS)
23.6-24 GHz	22.55-23.55 GHz (卫星间业务 (ISS))
31.3-31.5 GHz	30-31 GHz (FSS, MSS) <sup>↑</sup>
31.3-31.5 GHz	31.0-31.3 GHz (FS)
50.2-50.4 GHz	47.2-50.2 GHz (FSS) <sup>↑</sup>
50.2-50.4 GHz	50.4-51.4 GHz (FSS, MSS) <sup>↑</sup>
52.6-52.8 GHz	51.4-52.6 GHz (FS)

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2-1) 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次循环。

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))。



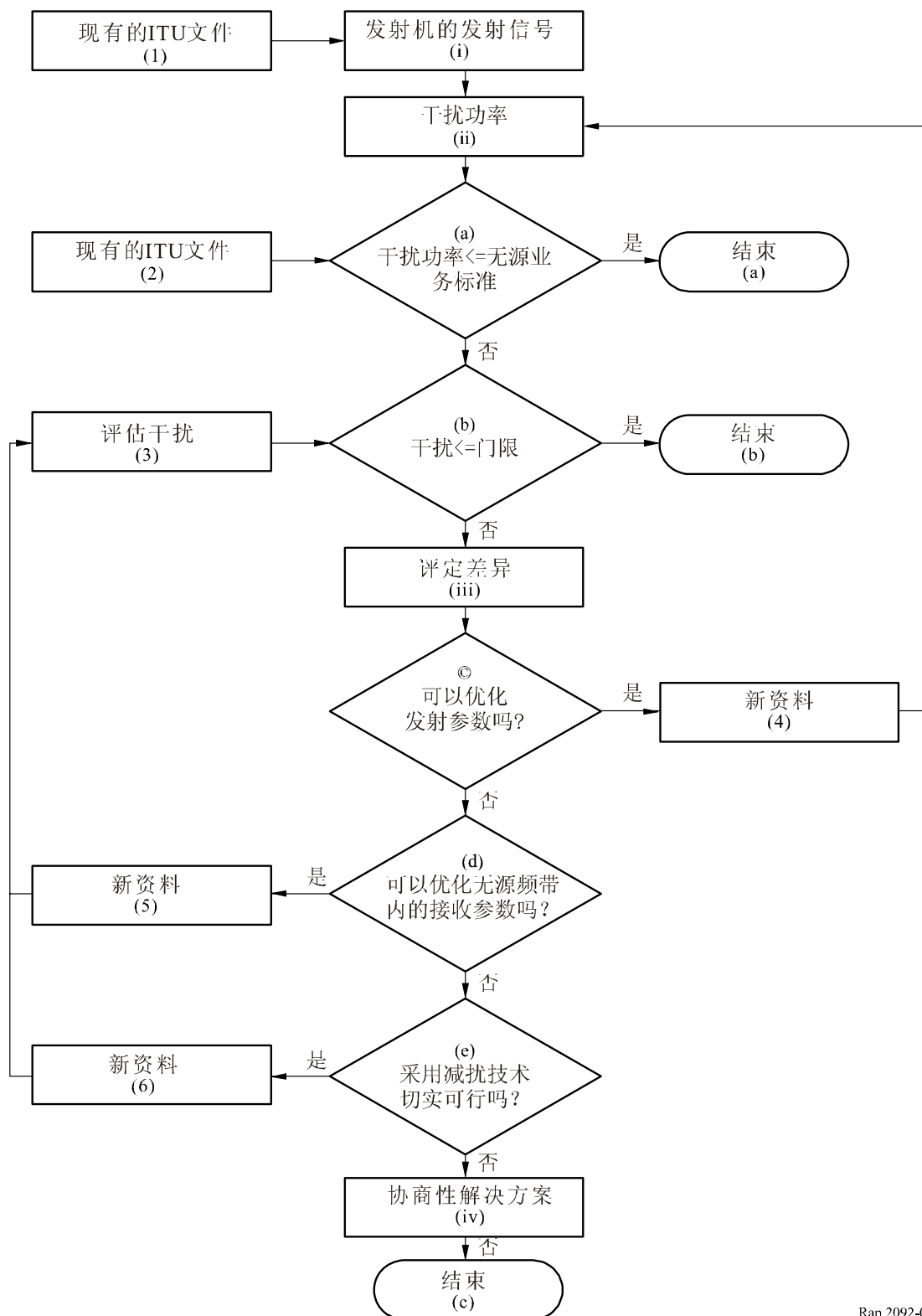
下一步是确定在所研究的频带内最坏情况下的干扰电平是否高于无源业务干扰门限 (菱形(a))。这些门限电平在各ITU-R建议书中给出 (矩形 (2)), 如ITU-R RA.769建议书或ITU-R RS.1029建议书。若该干扰门限高于该频带内最坏情况下的无用发射电平, 则对无源业务的工作没有不利影响。在这种情况下, 该方法沿着“是”线路行进, 程序结束。在这一结束点上, 与该方法中所有其他结束点一样, 为达到结束点所做的假设构成了相关有源与无源业务之间可兼容工作安排的技术基础。如何应用这些技术假设以及由此形成的结论属于管理实务, 超出了本建议书的技术范围。但对于菱形 (a) 的情况, 若所评估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:

- 优化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
- 优化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)。

图2-1

## 在相邻或邻近频带内工作的无源和有源业务的评估程序



Rap 2092-01

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，若可行的话，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，要顾及多个有源业务的合计干扰影响，可能还需要进一步研究。

## 2.2 流程图的详细说明

### 2.2.1 矩形 (1): 现有的ITU文件

该矩形指可能与确定发射机的发射信号有关的文献。《无线电规则》(RR) 下列各条以及下列 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，将以该规则和这些建议书作为出发点。

#### 《无线电规则》

《无线电规则》第1、第5、第21、第22条；《无线电规则》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、相位或复杂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:	落入相邻的已划分频带的带外域无用发射
ITU-R SM.1541:	带外域的无用发射。

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文件

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。

### 2.2.4 矩形 (4)、(5) 和 (6)：新资料

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资料。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。其他的资料可能包括矩形 (4)、(5) 和 (6) 中任何一个所含的滤波器或天线资料，这些资料是在研究过程中为了弥合差距而引入的。新资料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，在等式 (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/(m<sup>2</sup> · 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，结果将有可能产生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。但未来的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颗卫星的RF发射总功率、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、频率复用方案、指配的带宽、波束的数目等。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发射总功率 (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

$N_{freq}$ ：频率复用方案

$OBO$ ：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：

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

其中：

- $pfd_{(无用发射)}$ ：在RAS接收站址的功率通量密度电平
- $pfd_{带内有源}$ ：有源业务系统的带内pfd电平。在计算中可以采用《无线电规则》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带外域有源业务发射的方法。在应用ITU-R SM.1541建议书时，带外域的范围通过应用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容易受到来自地面发射机的干扰，包括单一高电平发射机的干扰和密集分布的低功率电平发射机的集总发射的干扰。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像素内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；

- 在相同时间以相同频率在像素大小的范围内部署的终端数目；
- 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) 系统的基准辐射方向性图。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 $90^\circ$ 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；
- 链接路径。

#### 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

无用发射电平可按下式评估:

$$I = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g(f)}{SL \cdot ATM(f)} df \quad (6)$$

其中:

- $I$ : 在RAS站的干扰功率 ( $\text{W/m}^2$ )
- $f_1, f_2$ : 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 ( $\text{W/Hz}$ )
- $g(f)$ : 射电天文站址方向的发射天线增益
- $SL$ : 扩散损耗 (dB)
- $ATM(f)$ :  $f_1 - f_2$ 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、天线子系统的增益都随频率而变化, 因此表示为频率的函数。RAS站所在位置的总干扰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:

$$I = \frac{p \cdot g}{SL \cdot ATM} \quad (7)$$

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该方法的下一次反复之前, 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, 因此需要优化这些假设, 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

在该方法中经过几次反复后，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可让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2-1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。该方法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，则该方法进行至判定菱形 (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): 可以优化发射参数吗？

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): 可以优化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): 采用减扰技切实可行吗？

一旦有源和无源业务的参数无法继续优化，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进原有的滤波器，由此造成的负担最小。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没什么价值了，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：

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

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

$r(f)$ ：无源业务接收滤波器的传递函数。

实现保护频带涉及改变接收机和发射机两者的特性曲线。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目很小且其位置众所周知，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): 从该方法在该点结束可以确定, 在初始无源业务参数和初始或优化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): 从该方法在该点结束可以确定, 在初始或优化的无源业务参数以及初始或优化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): 从该方法在该点结束可以确定, 采用每项业务的初始或优化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。

## 2.3 技术附录

本技术附录的目的是汇总技术课题方面的资料, 这些资料可用于逐个频带地分析在相邻频带内划分的EESS (无源) 与有源业务之间的兼容性。本附录分为两大部分。第一部分关注的是按照特定的或一般性的资料表示无用发射频谱的方法。第二部分提出关于动态仿真和解释其输出的方法。

ITU-R SM.1541建议书和《无线电规则》附录3为评估相邻或邻近有源业务频带内的有源业务对无源频带内无源传感器的干扰确定了一个出发点。

但是, ITU-R SM.1541建议书中的掩模和《无线电规则》附录3中的限值为分别评估带外域或杂散域发射电平所依据的最大电平确定了包络, 因此利用这些包络电平估算带外域或杂散域内总功率值的任何尝试都有可能过高估计无用频谱的实际功率。此种应用也就只能提供最坏情况分析。若采用这种初步分析无法达到兼容性, 则有必要对研究进行优化。下面几节详述若干用于完成更准确估算的可能的技术:

- 适用于固定、移动、卫星固定、卫星移动和卫星间业务通信系统的计算机仿真法;
- 适用于雷达系统的傅里叶分析法;
- 用于FSS/MSS系统信号滚降的 $(\sin x/x)^2$ 函数和用于FSS上行链路的其他调制后滤波器;
- 使用升余弦滤波器。

### 2.3.1 无用发射频谱的表示方法

#### 2.3.1.1 采用ITU-R SM.1541建议书表示无用发射频谱

##### 2.3.1.1.1 用于FSS/MSS系统的理论方法, 带外域或杂散域的确定

若无法从计算机模型或任何其他替代模型推导出无用发射频谱, 则仍可采用ITU-R SM.1541建议书。ITU-R SM.1541建议书的附件5具体规定了用于FSS和MSS地球站和空间站的一般性带外 (OoB) 掩模。

ITU-R SM.1541建议书的附件5指出：

“在必要带宽内一个4 kHz基准带宽中 (对于工作于15 GHz以上的系统，可用1 MHz的基准带宽替代4 kHz的基准带宽)，应按照下式，将在划分给FSS的频带内工作的电台的带外域发射衰减到最大psd以下：

$$40 \log \left( \frac{F}{50} + 1 \right) \quad \text{dBsd} \quad (9)$$

其中， $F$ 是距离总指配带宽端点的频偏，用必要带宽的百分比表示。要注意的是，OoB发射域开始于总指配带宽的端点。”

例如，若无源频带高于有源频带，则 $F$ 可以写成：

$$F = 100 \frac{f - \left( f_0 + \frac{B_n}{2} \right)}{B_n} \quad (10)$$

其中：

- $f$ : 必要带宽之外的频率
- $f_0$ : 载波中心频率
- $B_n$ : 有源业务的必要带宽。

要注意的是，OoB发射域从总指配频带的边缘算起。总指配频带的一个边缘是  $f_0 + \frac{B_n}{2}$ 。采用等式 (10) 可将式 (9) 转换为下式：

$$40 \log \left( 2 \frac{(f - f_0)}{B_n} \right) \quad \text{dBsd}$$

### 2.3.1.1.2 相邻频带内的带外功率的计算

为了评估带外发射对划分给相邻或邻近频带的无源业务的影响，必须考虑下面几项：

- 有源系统发射的必要带宽，因为它是规定带外域大小的一个关键参数。
- 接收机带宽。

带外域内功率谱密度的表达式由下列等式给出：

$$PSD(F) = PSD_{max\_B_N} - 40 \log_{10} \left( \frac{F}{50} + 1 \right) \quad \text{dBW/MHz}$$

落入相邻无源频带内的带外功率的表达式如下：

$$\begin{aligned}
 p &= \int_{F_1}^{F_2} 10^{\frac{PSD(F)}{10}} \left( \frac{B_N}{100} \right) dF \\
 &= \left( \frac{B_N}{100} \right) \int_{F_1}^{F_2} \frac{psd_{max\_B_n}}{\left( \frac{F}{50} + 1 \right)^4} dF \\
 &= \frac{1}{6} \left[ \left( \frac{F}{50} + 1 \right)^{-3} \right]_{F_2}^{F_1} (psd_{max\_B_N} B_N)
 \end{aligned} \tag{11}$$

其中：

- $B_N$ ： 单位为MHz
- $psd_{max\_B_N}$ ： 必要带宽内的功率谱密度 (W/MHz)
- $F_1$ ： 代表带外域起点与无源频带起点之间的频率间隔，用必要带宽的百分比表示
- $F_2$ ： 代表带外域起点与无源频带的终点之间或与带外域的终点之间的频率间隔，以先出现的为准。

可以规定一个系数 ( $R_1$ )，代表必要带宽 $B_N$ 内的功率与无源频带内的功率之间的差值：

$$R_1(dB) = P_{B_N} - P = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{6} \left( 1 - \frac{1}{\left( \frac{F_2}{50} + 1 \right)^3} \right) \right) \tag{12}$$

### 2.3.1.1.3 总功率余量的计算

《无线电规则》第1条未规定实际发射的总功率 $p_{tot}$ 的概念。这一概念等于：

$$P_{tot} = p_{Bn} + p_{OoB} + p_{杂散} \tag{13}$$

其中：

- $p_{Bn}$ ： 必要带宽内的功率
- $p_{OoB}$ ： 两侧的带外功率 =  $2p$  (取 $F_1 = 0$ 和 $F_2 = 200$ )
- $p_{杂散}$ ： 两侧的杂散功率。

可以采用ITU-R SM.1541建议书中的掩模将 $p$ 写成下式：

$$p = \frac{62}{375} (psd_{max\_B_N} B_N) \quad (\text{将 } F_1 = 0 \text{ 和 } F_2 = 200 \text{ 代入等式 (11)}) \tag{14}$$

假设功率在必要带宽内是均匀分布的，则可以得出：

$$p_{B_N} = psd_{max\_B_N} B_N$$

$$p = \frac{62}{375} p_{B_N} \approx 0.165 p_{B_N}$$

考虑到等式 (13)，可以得出：

$$p_{tot} = p_{B_N} + 2p + p_{杂散}$$

$$\approx 1.33 p_{B_N} + p_{杂散} \quad (15)$$

因此，这意味着按照ITU-R SM.1541建议书中给出的带外域掩模，用于发射有用信息的总功率只有不到75%落入必要带宽内。25%以上的总功率由无用发射构成，而不是1% (发射的每一侧占0.5%)，按照ITU-R SM.328-10建议书第2节，1%是从频谱效率的角度认为发射得到了优化所必需的。

这一结果与《无线电规则》中“占用带宽”的定义不一致。因此，在假设所有带外发射总是处于ITU-R SM.1541掩模的最大电平的情况下，带外域内功率计算的结果显示，该掩模在用于评估给定发射的合规性时只能作为指导原则。

为了与ITU-R SM.1541建议书中给出的带外掩模一致并优化使用频谱，应只考虑按照推荐的带外掩模算出的带外功率的一部分。

按照ITU-R SM.1541建议书，给定频率 $F$ 的功率谱密度表达式如下：

$$psd(F) = \frac{psd_{max\_B_N}}{\left(\frac{F}{50} + 1\right)^4}$$

其相应的对数表达式则为：

$$PSD(F) = P_{B_N} - 10 \log_{10}(B_N) - 40 \log_{10}\left(\frac{F}{50} + 1\right) \quad \text{dB(W/1 MHz)} \quad (16)$$

上面所示等式中的 $B_N$ 以MHz为单位。

因此，落入带外域的功率为：

$$P_{OoB} = \int_{F=0}^{200} psd(F) \frac{B_N}{100} dF \quad (17)$$

若计算带外域 (即[0;200]范围内的 $F$ ) 内的功率时假设必要带宽一侧的无用发射被限制在小于总功率 $p_T$ 的0.5%，则可以得出：

$$p_{B_N} = 0.99 p_T$$

规定填充系数 $ff$ 为： $ff \cdot P_{OoB} \leq 0.005 P_T$ 。因此，可以注意到 $ff$ 表示采用ITU-R SM.1541建议书掩模算出的确保从频谱效率的角度完成优化所要保持的那部分带外功率 ( $B_N$ ：《无线电规则》第1.153款规定的占用带宽)。

若考虑采用对数表达式，则可以得出：

$$10\log_{10}(ff) + P_{B_N} - 20 + 10\log_{10}\left(\int_0^{200}\left(\frac{F}{50} + 1\right)^{-4} dF\right) \leq P_T - 23$$

$$10\log_{10}(ff) + P_T - 0.044 - 20 + 10\log_{10}\left(\int_0^{200}\left(\frac{F}{50} + 1\right)^{-4} dF\right) \leq P_T - 23$$

通过计算可以发现：

$$10\log_{10}(ff) \leq -2.96 - 10\log_{10}\left(\left[-\frac{50}{3}\left(1 + \frac{F}{50}\right)^{-3}\right]_0^{200}\right) \\ \leq -15.14$$

最后得出：

$$ff \leq 3\% \quad (18)$$

#### 2.3.1.1.4 数字通信

《无线电规则》通过第1.153款的定义规定占用带宽内的功率等于总平均发射功率的99%，另有规定者除外。通常，对于采用根升余弦滤波的数字通信，必要带宽与占用带宽相同，因此99%的总平均发射功率处于必要带宽之内。从确保可用频谱尽可能得到使用的频谱效率的角度看，这一点对于宽带载波的情况尤为重要。这特别有益于卫星业务在必要带宽内发射大部分可用功率。

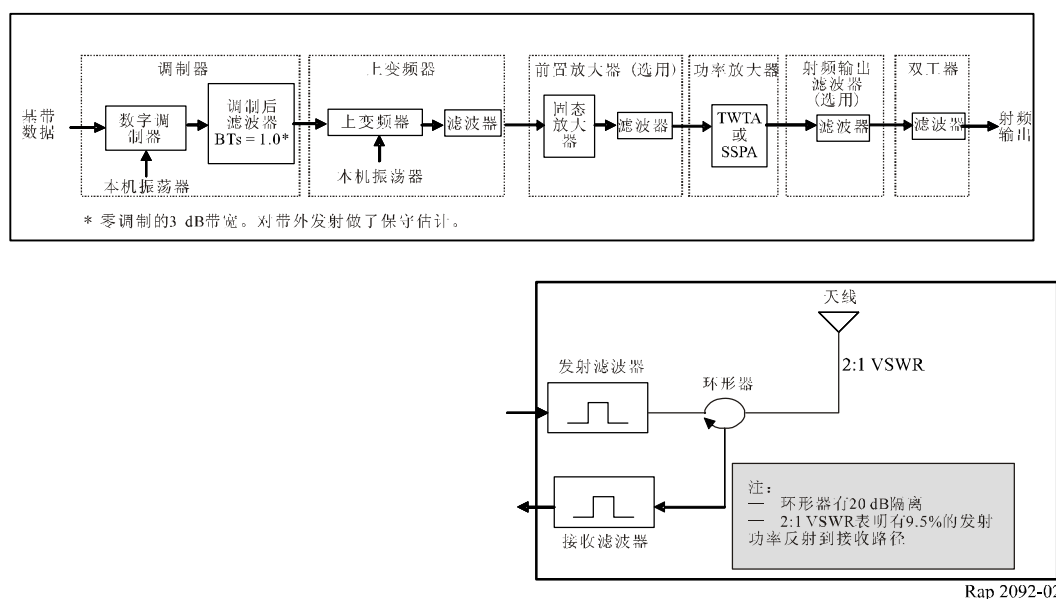
#### 2.3.1.2 由仿真提供的无用发射频谱

发射机在相邻或邻近频带内产生的无用发射频谱的一个更具代表性的估计值可借助计算机仿真得到，这种仿真模拟的是有源业务所用的典型发射机。图2-2表示一个被模拟通信系统的框图。



图2-2

用于无用发射频谱仿真的通信发射机框图



这种仿真必须针对特定的频带，以反映对本建议书涉及的每一频带内各种业务来说典型的特定技术参数和运行参数。在某些情况下，常常可从现有的ITU-R资料来源获得有代表性的调制参数，例如从ITU-R F.758建议书获取固定业务参数。仿真所需的其它参数则可假设为典型值，例如发射机非线性的特性化。尽管有必要采用相关调制类型的典型值对调制载波的所用的数据流的中频滤波加以具体规定，但在迄今为止的研究中尚未纳入最终的输出滤波特性。不过仿真方法能够顾及各种类型的调制后滤波对无用发射频谱表示方法的影响，在可以得到关于调制后滤波特性的资料时，仿真中应包括这种调制后滤波。

图2-2中的仿真模型用于说明采用单一基带信号调制载波的发射机的特性。多载波发射机和变频卫星转发器之类更复杂的发射机产生的无用发射频谱（包括互调制效应）也可以通过计算机仿真来模拟，不过图2-2中的仿真框图必须扩充才能涵盖此类情况。

### 2.3.1.3 无用雷达发射

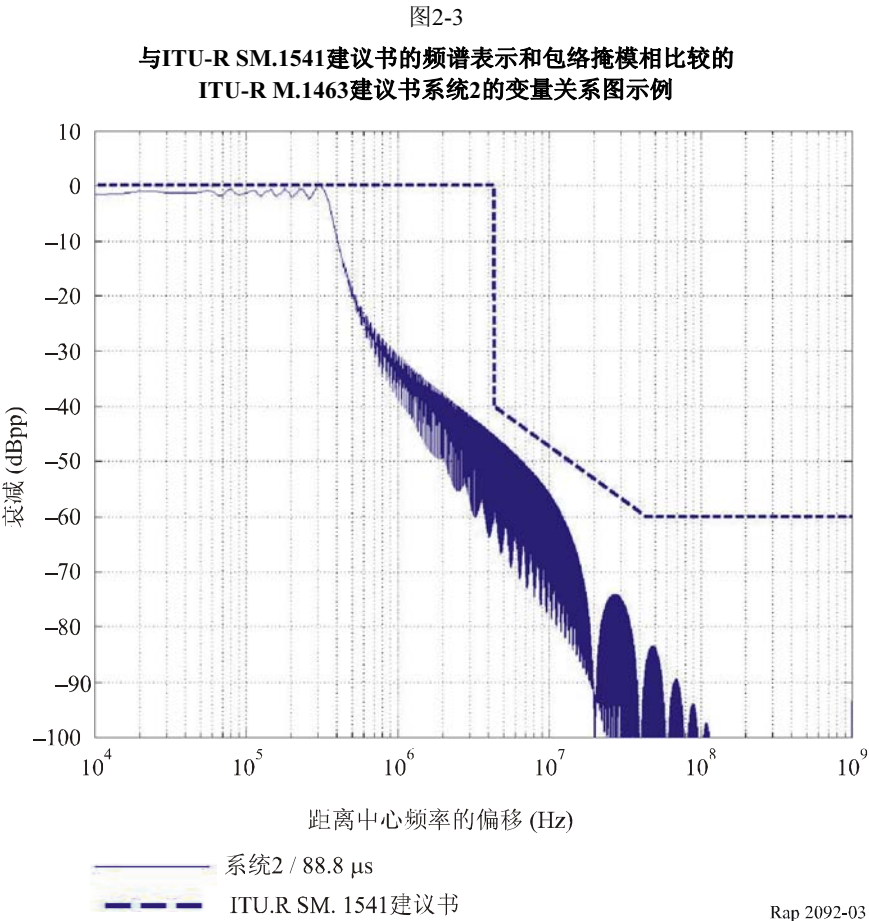
对于雷达发射的情况，已经制定了一种方法，利用了以傅里叶分析为基础的频谱表示法，目的是更准确地估计落入无源频带内的无用发射。

#### 2.3.1.3.1 一般方法

ITU-R SM.1541建议书提出了一种衰减掩模，在用于评估落入EESS (无源) 频带内的无用功率时会产生过高的估计值。为了获得已调制和未调制雷达信号的准确频谱表示，首先要考虑脉冲的形状。这里要采用的是梯形脉冲，脉冲的上升时间和下降时间类似，未调制脉冲由此形成对称的脉冲形状。

雷达频谱与ITU-R SM.1541建议书附件8的图25 (第48页) 所含的一次雷达的带外域掩模相近。由于该掩模是用频率间隔，即占-40 dB带宽 ( $B_{-40}$ ) 的百分比表示的，所以 $B_{-40}$ 显然取决于雷达参数，需要按照附件8 (ITU-R SM.1541建议书) 的公式计算。

图2-3为变量关系图的一个示例。

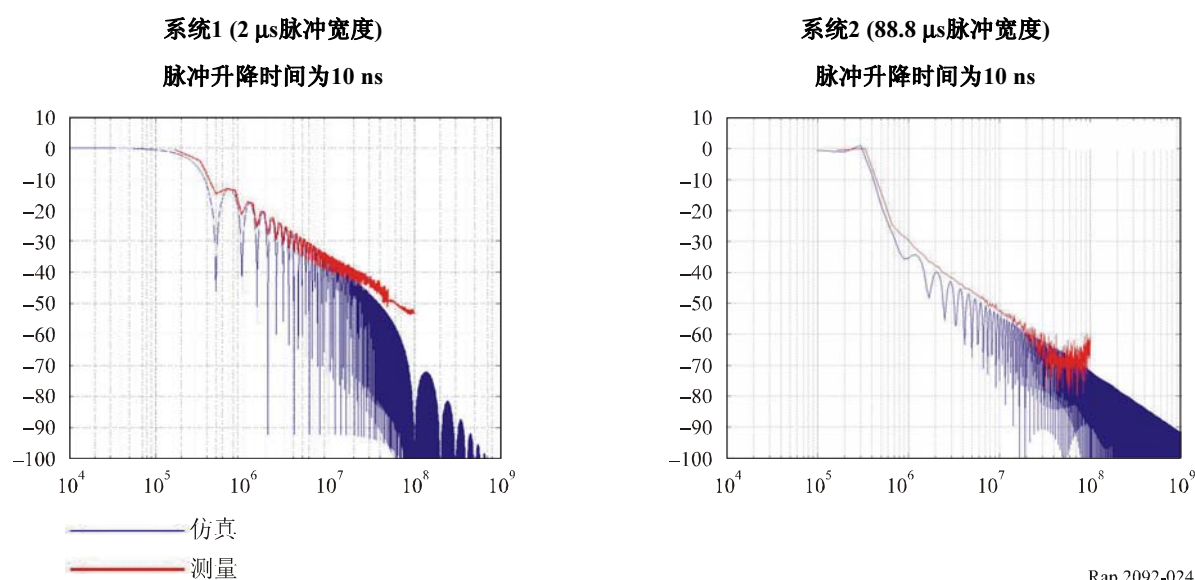


从已得出的掩模和频谱可以得知，雷达信号的衰减与带内衰减相近。若还给定进入天线的峰值功率，则可以估计出落入无源频带内的功率值，以便得出雷达天线端口上的无用功率。由此形成兼容性分析的基础。

### 2.3.1.3.2 一般方法的验证

已经对第3节表3-3的雷达系统1和系统2做了分析。得出的结果示于图2-4。

图2-4



采用频谱分析仪的“最大量程”设置完成测试，这意味着图2-4中的红色曲线基本上是峰值包络。从这些图中可以清楚地看出，理论频谱与采用同样参数的实际测量值非常接近。在实验室设备配置中采用了一种频率扫描仪（框图中的波形发生器），预计该扫描仪的频谱纯度不足以达到完成距离载波100 MHz左右的测量所要求的本底噪声。

### 2.3.1.4 采用 $(\sin x/x)^2$ 表示的FSS/MSS系统已调制信号无用发射频谱的计算

在兼容性分析中采用ITU-R SM.1541建议书表示无用发射频谱的另一种拟用方式包括采用已调制信号频谱的 $\sin^2 x/x^2$ 表示，在最坏情况下还要酌情接着采用非显著调制后滤波或采用调制后滤波特性的某种表示法。

卫星通信网上采用的数字通信载波通常使用升余弦调制前滤波来降低符号间干扰。在某些情况下，滤波由发射机和接收机平均分担，此时的调制前滤波采用均方根升余弦。不过实际上滤波并非由发射机和接收机平均分担，但总地看是升余弦的。因此，不可能规定对所有地球站的发射信号来说都具代表性的调制前滤波量。另外，在6/4、14/11-12和30/20 GHz波段的商业卫星应用中，FSS地球站的发射信号根本未采用任何调制后滤波。

已调制信号频谱的 $\sin^2 x/x^2$ 表示适用于调制前数据脉冲未采用滤波的情况。但FSS系统通常采用根升余弦调制前滤波。

### 2.3.1.5 MSS/FSS系统中所用的衰减函数及其对了解落入无源频带内的无用发射的潜在用途

正如下文的等式所表明的，下述FSS上行链路衰减函数用于特定的FSS系统。

$$\begin{aligned}
 A(f) &= 40 \log_{10} \left[ \frac{|(f - f_c)|}{(f_c - 50.4)} \right] + 8 \quad \text{对于 } 50.4 < f_c < 51.4 \text{ GHz} \\
 A(f) &= 40 \log_{10} \left[ \frac{|(f - f_c)|}{(f_c - 31)} \right] + 8 \quad \text{对于 } 30 < f_c < 31 \text{ GHz} \\
 A(f) &= 40 \log_{10} \left[ \frac{|(f - f_c)|}{(f_c - 50.2)} \right] + 8 \quad \text{对于 } 47.2 < f_c < 50.2 \text{ GHz}
 \end{aligned} \tag{19}$$

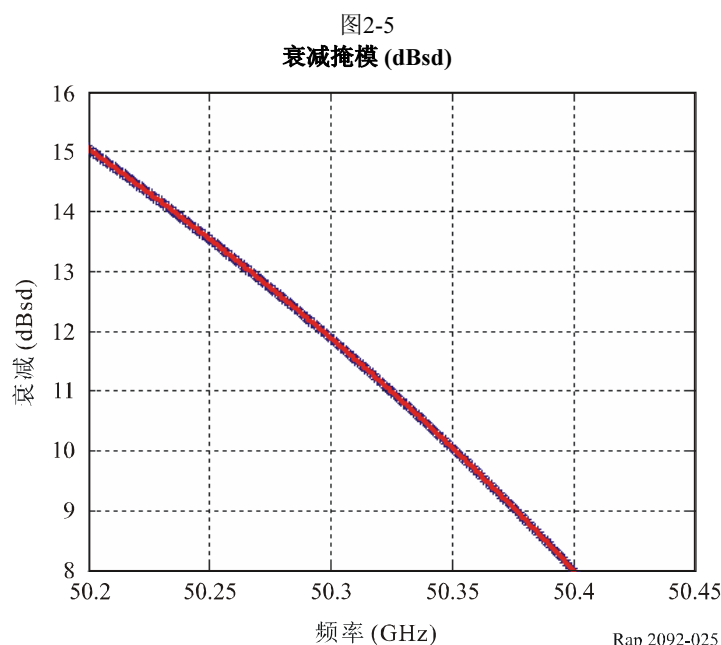
其中  $f_c$  为最靠近无源频带边缘的FSS发射信号的中心频率。

按照FSS频道的一个边缘也对应着无源频带的一个边缘的假设，很容易显示出，上面给出的等式等价于与ITU-R SM.1541建议书给出的FSS带外掩模相关的等式外加8 dB。这样，在有关的频率范围内，上述等式中的每一个都等价于下式：

$$A(F) = 40 \log_{10} \left( \frac{F}{50} + 1 \right) + 8 \tag{20}$$

不过要注意，视  $A(f)$  函数、dBsd衰减函数 (dBsd掩模) 或滤波器衰减函数的性质，其用途有所不同。

#### 2.3.1.5.1 将衰减函数用做dBsd掩模 (ITU-R SM.1541建议书 + 8 dB) (见图2-5)



为了评估带外域发射对相邻频带内无源频带的影响，必要带宽内的最大功率谱密度与上述衰减函数的比率在如下所示的相关频率范围内积分：

$$p = \int_{f_1}^{f_2} \frac{psd_{max\_B_N}}{a(f)} df \quad (21)$$

其中：

$psd_{max\_B_N}$ : 必要带宽内的最大功率谱密度  
 $a(f)$ : 以线性尺度表示的dBsd衰减函数。

还可以得出下述等式：

$$p = \int_{F_1}^{F_2} 10^{\frac{PSD(F)}{10}} \frac{B_N}{100} dF$$

其中：

$$PSD(F) = PSD_{max\_B_N} - 40 \log_{10} \left( \frac{F}{50} + 1 \right) - 8 \text{ W/MHz}$$

$F_1$ : 带外域起点与无源频带起点之间的频率间隔，用占必要带宽的百分比表示

$F_2$ : 带外域起点与无源频带终点之间或与带外域终点之间的频率间隔，以先出现的为准，用占必要带宽的百分比表示。

落在无源频带内的带外功率为：

$$\begin{aligned} p &= \int_{F_1}^{F_2} 10^{\frac{PSD(F)}{10}} \frac{B_N}{100} dF \\ &= \int_{F_1}^{F_2} \frac{psd_{max\_B_N}}{10^{0.8 \left( \frac{F}{50} + 1 \right)}} \frac{B_N}{100} dF \\ &= 10^{-0.8} psd_{max\_B_N} \frac{B_N}{100} \int_{F_1}^{F_2} \left( \frac{F}{50} + 1 \right)^{-4} dF \\ &= \frac{1}{6} 10^{-0.8} psd_{max\_B_N} B_N \left[ \left( \frac{F}{50} + 1 \right)^{-3} \right]_{F_2}^{F_1} \end{aligned} \quad (22)$$

其中：

$B_N$ : 以MHz为单位

$psd_{max\_B_N}$  (W/MHz): 必要带宽内的最大功率谱密度

$p_{BN}(W)$ : 必要带宽内的功率。假设功率在 $B_N$ 内是均匀分布的, 则可以得出:

$$p_{B_N} = psd_{max\_B_N} B_N$$

等式 (22) 可改写为下式:

$$p = \frac{P_{B_N}}{6} 10^{-0.8} \left[ \left( \frac{F}{50} + 1 \right)^{-3} \right]_{F_2}^{F_1} \quad (23)$$

若以对数尺度表示。等式 (23) 可变为:

$$P = P_{B_N} + 10 \log_{10} \left( \frac{1}{6} \left( 1 - \frac{1}{\left( \frac{F_2}{50} + 1 \right)^3} \right) \right) - 8 \quad (24)$$

可以规定用一个系数 ( $R_2$ ) 表示落在必要带宽 $B_N$ 内的功率与200 MHz无源频带内的功率的差值:

$$\begin{aligned} R_2(\text{dB}) &= P_{B_N} - P \\ &= 8 - 10 \log_{10} \left( \frac{1}{6} \left( 1 - \frac{1}{\left( \frac{F_2}{50} + 1 \right)^3} \right) \right) \end{aligned} \quad (25)$$

### 2.3.1.5.2 将给定函数用做滤波器衰减函数

为了评估无用发射对相邻频带内无源频带的影响, 必要带宽内的最大功率谱密度与上述衰减函数的比率在如下所示的相关频率范围内积分:

$$p = \int_{f_1}^{f_2} \frac{s(f)}{a(f)} df \quad (26)$$

$s(f)$ : 滤波器输入端信号的功率谱密度函数,  $a(f)$  表示线性尺度的滤波器衰减函数

$f_1$ 和 $f_2$ : EESS (无源) 频带的边缘<sup>1</sup>。

滤波器特征函数有时也可以按其频率响应 (滤波器传递函数 $h(t)$  的傅里叶变换) 给出, 一般称为 $h(f)$ 。

### 2.3.1.5.3 频率响应、滤波器增益和滤波器衰减函数之间的关系

假设 $a(f)$  和 $g(f)$  分别表示线性尺度的滤波器衰减函数和滤波器增益函数, 可得:

$$a(f) = \frac{1}{g(f)} \quad (27)$$

<sup>1</sup> 对于带外掩模 (dBsd)的情况,  $f_2$ 不是表示无源频带的边缘, 就是表示带外域的终点, 以先出现的为准。

另外，滤波器的增益和滤波器的频率响应存在如下关系：

$$g(f) = |h(f)|^2 = \frac{1}{a(f)} \quad (28)$$

根据等式 (27)，等式 (28) 变为：

$$p = \int_{f_1}^{f_2} s(f) g(f) df = \int_{f_1}^{f_2} s(f) |h(f)|^2 df \quad (29)$$

其中：

$s(f)$ : 滤波器输入端信号的功率谱密度函数， $g(f)$  表示线性尺度的滤波增益函数

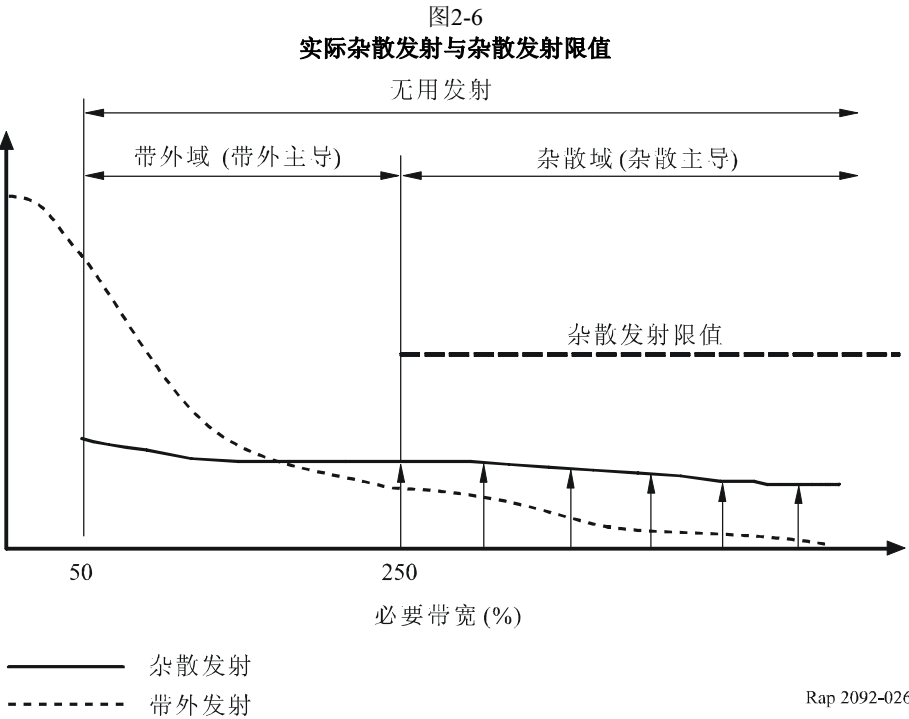
$h(f)$ : 滤波器传递函数的傅里叶变换

$f_1$ 和 $f_2$ : EESS (无源) 频带的边缘。

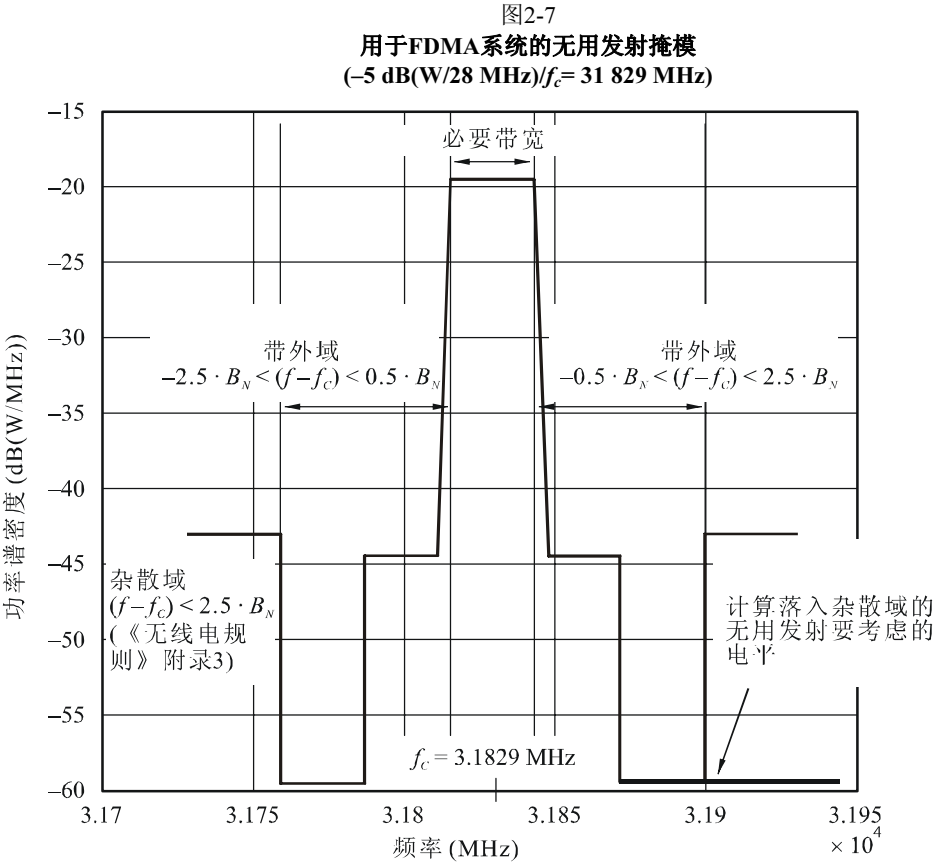
### 2.3.1.6 在无源发射来自FS系统的情况下干扰功率计算可能的优化

#### 2.3.1.6.1 可能落入EESS频带的常见方式

在带外域边缘处来自FS系统的无用发射电平 (从ITU-R SM.1541建议书导出) 显著低于ITU-R SM.329建议书或《无线电规则》附录3中规定的杂散域中的限值的情况下，采用ITU-R SM.329建议书或《无线电规则》附录3中规定的限值计算落入EESS频带内的干扰功率将会显著高估落入较宽基准带宽内的功率值 (见图2-6)。



因此，通过假设杂散发射电平未超过在带外边缘处达到的电平，在计算FS系统落入较宽基准带宽内的无用发射引起的干扰功率时就可以进行优化 (见图2-7)。



FDMA系统的无用发射掩模 ( $-5 \text{ dB(W/28 MHz)}/f_c = 31\,829 \text{ MHz}$ )

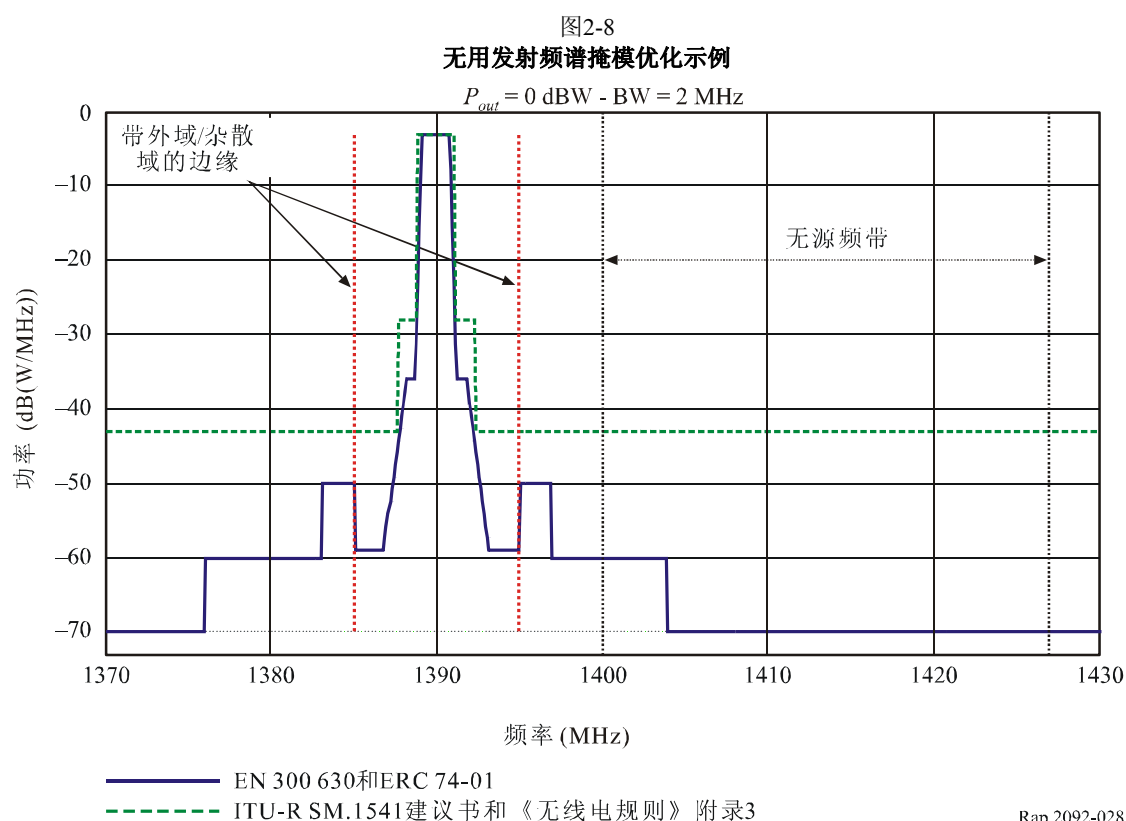


### 2.3.1.6.2 1 400-1 427 MHz频带可能的优化

另外，根据兼容性研究所用的方案，也可能采用某些国家标准或区域标准来优化无用发射频谱的估计值。

例如，ECC 02-05建议书对CEPT国家使用整套ITU-R建议书及其与关于杂散发射的ERC 74-01建议书的关系提供了指导意见。另外，在欧洲内，在1 350-1 400和1 427-1 452 MHz频带内工作的固定业务必须符合某些ETSI标准，这些标准比相应的ITU-R建议书或CEPT建议书更为严格。在该频带适用的ETSI标准用有两个：ETSI EN 300 630和ETSI EN 301 390。

采用的频率规划 (频道的中心频率和带宽) 因国而异。图2-8描绘了其中一种固定业务链路的频谱，其发射功率为0 dBW (即e.i.r.p.减去天线最大增益)，频道带宽为2 MHz，中心频率为1 390 MHz。



### 2.3.1.7 采用 $(\sin x/x)^2$ 衰减的FSS/MSS系统无用发射频谱的计算

在兼容性分析中采用ITU-R SM.1541建议书表示无用发射频谱的另一种拟用方式包括采用已调制信号频谱的 $\sin^2 x/x^2$ 表示，在最坏情况下还要接着酌情采用非显著调制后滤波或采用调制后滤波特性的某种表示法。

卫星通信网上采用的数字通信载波通常使用升余弦调制前滤波来降低符号间干扰。在某些情况下，滤波由发射机和接收机平均分担，此时的调制前滤波采用均方根升余弦。不过实际上滤波并非由发射机和接收机平均分担，但总地看是升余弦的。因此，不可能规定对所有地球站的发射信号来说都具代表性的调制前滤波量。另外，在6/4、14/11-12和30/20 GHz波段的商业卫星应用中，FSS地球站的发射信号根本未采用任何调制后滤波。

已调制信号频谱的 $\sin^2 x/x^2$ 表示适用于调制前数据脉冲未采用滤波的情况。FSS系统通常采用根升余弦调制前滤波，这样做可将调制后无用发射频谱的功率密度电平降至 $\sin^2 x/x^2$ 表示法所预测的电平之下，这取决于发射机所用的总滤波量。不过对于这种调制后发射频谱，目前还找不出能在必要带宽之外使用的闭型表示来替代 $\sin^2 x/x^2$ 表示。

### 2.3.2 采用动态仿真技术优化干扰分析

#### 2.3.2.1 理由

若所用的方案不是静态的，且最坏情况静态分析得出的可能的干扰电平超过了无源业务干扰标准，则需要确定干扰事件的动态分布。通过动态分析可以完成这一任务，因为动态分析考虑了方案的时变特性。应采取的步骤如下：

步骤1：在所用方案为时变的情况下应采用动态仿真以确定干扰的统计分布。动态仿真有可能显示发生的干扰是无关紧要的，这种无关紧要的干扰在ITU-R RS.1029-2建议书或ITU-R RA.1513建议书中做了规定。若情况如此，则无需进一步分析。

步骤2：若仿真显示干扰是显著的，则应在采用可能的减扰技术的情况下重复仿真过程，以确定这种技术是否能够解决难题。这种技术可以包括各方面的考虑，如调制后滤波的影响或离无源频带更远的有源业务中心工作频率的影响。应采用各种假设重复进行计算，直到对无源业务系统的干扰部分功率小于所需的保护电平，以确定所需的减轻程度和评估此等减轻对有源业务设计的影响。

#### 2.3.2.2 说明

按照下述方法完成动态仿真。

##### 2.3.2.2.1 带内仿真

同频情况需要采用相应的有源系统参数在无源频带内运行仿真。

可以根据相关ITU-R建议书从带内仿真提供的累积分布了解干扰门限超过的程度。令 $\Delta P$ 为动态分析的结果。该值等于有源频带内干扰源的e.i.r.p.与落入保护标准所用的 $B_{ref}$ 基准带宽内的e.i.r.p.之间的带外衰减系数。

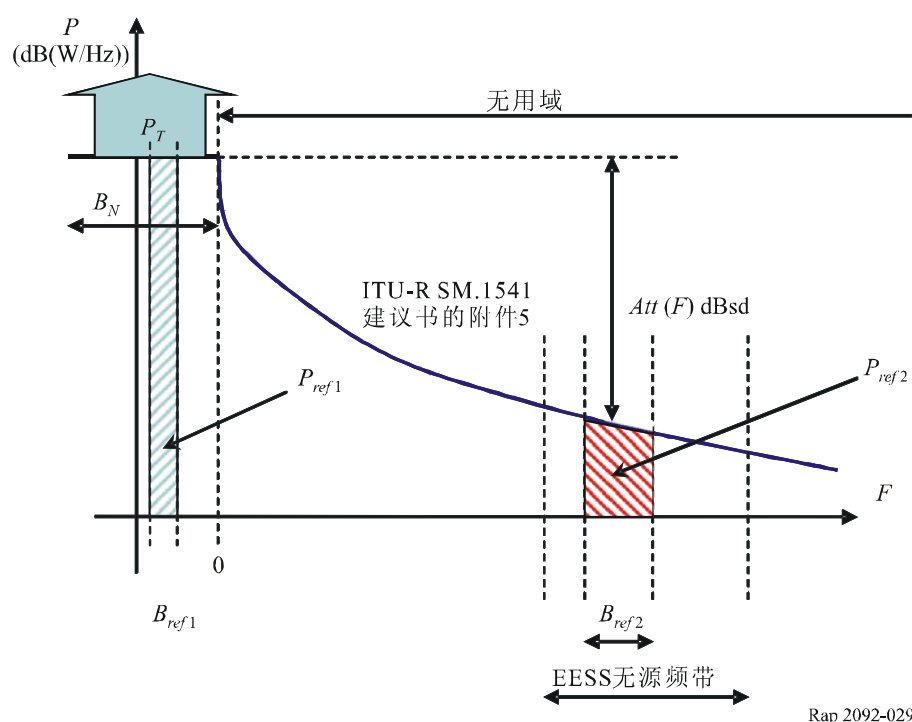
### 2.3.2.2.2 采用带内仿真的结果确定由ITU-R SM.1541建议书或其他调制/调制后滤波、减扰技术提供的衰减

本节验证有源业务的无用掩模形状是否能与带内仿真确定的所需衰减 $\Delta P$  (dB) 吻合。

采用下述定义。

- $B_{ref1}$ : 与带外掩模的使用相关的基准带宽 (对频率高于15 GHz的空间业务为1 MHz, 低于该频率为4 kHz), 由ITU-R SM.1541建议书给出。
- $P_{ref1}$ : 带外掩模基准带宽内的发射功率 ( $W/B_{ref1}$ );
- $B_N$ : 必要带宽;
- $P_T$ : 必要带宽内的发射功率 ( $W$ );
- $B_{ref2}$ : EESS保护标准的基准带宽 (大多数情况下为200 MHz);
- $P_{ref2}$ : EESS基准带宽内的发射功率 ( $W/B_{ref2}$ );
- $L$ : EESS基准带宽内的拟用限值 ( $W/B_{ref2}$ );
- $Att(F)$ : 随“ $F$ ”而变的带外衰减掩模 (dBsd), “ $F$ ”为用必要带宽的百分比表示的频率偏移 (见ITU-R SM.1541建议书);
- $S$ : EESS保护标准 ( $W/B_{ref2}$ );
- $I$ : 在假设有源业务发射功率为 $P_T$ 的情况下由带内仿真形成的干扰, 采用的基准带宽等于 $B_{ref2}$  (仿真系统)。

图2-9  
采用ITU-R SM.1541建议书计算衰减的图示



Rap 2092-029

下述计算均采用线性表达式 (而非用dB) 表示。

根据带内仿真，可以规定下述参数：

- 干扰与EESS保护标准之间的比率：

$$\Delta P = \frac{I}{S} \quad (30)$$

- EECS基准带宽内的拟用限值 (也称为EESS频带的临时功率限值)：

$$L = \frac{P_T}{\Delta P} \quad \text{W}/B_{ref2} \quad (31)$$

带内仿真将给出 $\Delta P$ 系数，它代表相关保护标准所需的门限之上的超额功率。因此，EESS基准带宽内的相应无用功率为

$$L = P_T - \Delta P \quad \text{dBW}/B_{ref2} \quad (32)$$

$L$ 可用另一种方式写成 $P_T - I + S$ ，且与 $B_N$ 或 $B_{ref2}$ 无关。

最后，要将该图与第2.3.1节所述的两种选项中的一种给出的相关衰减和与附加滤波 (调制或调制后) 给出的相关衰减进行比较。

可能还需要识别出无源频带内预计的衰减掩模值。

根据ITU-R SM.1541建议书，可以规定下述参数：

- 必要带宽 $B_N$  (用于规定EESS频带临时功率限值的实际系统，而非仿真系统) 内的最大功率谱密度。假设功率在必要带宽内是均匀分布的，则可以得出：

$$P_{ref1} = P_T \frac{B_{ref1}}{B_N} \quad \text{W}/B_{ref1}$$

- 假设dBsd衰减掩模 (相对于 $B_N$ 内最大功率谱密度的衰减) 的情况下落入无源频带内的带外发射功率。

$$P_{ref2} = \int_{B_{ref2}} \frac{P_{ref1}}{\text{Att}(F) \cdot B_{ref1}} \left( \frac{B_N}{100} \right) dF = \frac{P_{ref1}}{B_{ref1}} \frac{B_N}{100} \int_{B_{ref2}} \frac{1}{\text{Att}(F)} dF \quad \text{W}/B_{ref2} \quad (33)$$

假设按照频率偏移 (占必要带宽的百分比) 表示的积分域 $B_{ref2}$ 的限值为 $F_1$ 和 $F_2$ ，从必要带宽的边缘算起，则可以得出：

$$P_{ref2} = \frac{P_{ref1}}{B_{ref1}} \frac{B_N}{100} \int_{F_1}^{F_2} \frac{1}{\text{Att}(F)} dF$$

假设EESS基准带宽内为恒定衰减 (平坦带外掩模) ( $Att(F) = C$ ), 则可以得出:

$$\begin{aligned}
 P_{ref2} &= \frac{P_{ref1}}{B_{ref1}} \frac{B_N}{100} \int_{F_1}^{F_2} \frac{1}{Att(F)} dF \\
 &= \frac{P_{ref1}}{B_{ref1}} \frac{B_N}{100} \int_{F_1}^{F_2} \frac{1}{C} dF \\
 &= \frac{P_{ref1}}{B_{ref1}} \frac{B_N}{100} \frac{(F_2 - F_1)}{C} \\
 &= \frac{P_{ref1}}{B_{ref1}} \frac{B_{ref2}}{C}
 \end{aligned} \tag{34}$$

为了保护EESS无源传感器, 必须令  $P_{ref2} \leq L$ , 这意味着:

$$\begin{aligned}
 \frac{P_{ref1}}{B_{ref1}} \frac{B_{ref2}}{C} &\leq \frac{P_T}{\Delta P} \Leftrightarrow C \geq \Delta P \frac{P_{ref1}}{B_{ref1}} \frac{B_{ref2}}{P_T} \\
 &\Leftrightarrow C \geq \Delta P \frac{B_{ref2}}{B_N}
 \end{aligned}$$

相应的对数表达式为:

$$C \geq \Delta P + 10 \log \left( \frac{B_{ref2}}{B_N} \right) \quad \text{dBsd} \tag{35}$$

然后必须考虑带宽的缩放系数  $B_{ref2}/B_N$ , 以识别出低于有源频带内有源业务psd的必要衰减系数 (dBsd), 特别是若在之前的计算中采用ITU-R SM.1541建议书的话。

### 2.3.3 进一步优化

#### 2.3.3.1 用于无源业务与有源业务之间兼容性研究的由大气气体引起的最小地球-空间传播衰减

##### 2.3.3.1.1 引言

由包括水汽在内的大气气体的吸收导致的地面站与空间站 (对地静止或非对地静止) 之间的地球-空间传播衰减在无源业务与有源业务之间的兼容性研究中是一个重要的因素。这种斜径衰减取决于温度、压力和湿度之类的气象参数沿路径的分布, 因此会随着站址的地理位置、一年中的不同月份、地面站的海拔高度、斜径的仰角和工作频率而变化。ITU-R P.676建议书的附件1给出了计算斜径衰减的程序, 是一种逐条谱线进行的程序。

大气吸收衰减的具体计算可能要利用当地最干燥月份平均水汽含量的资料和当地的其他气象参数, 以及ITU-R P.835建议书中的大气模型。若缺少这种资料, 下述结果提供了一种估计大气衰减的简便程序。

下面给出的公式考虑了划分给无源业务的每一个相关频带, 是针对世界上 (北半球和南半球) 五个有代表性的地理地区提出的。

2.3.3.1.2 地-空路径衰减的估计

就这种简化的估计而言，地球表面上的电台被认为位于三个气候区之一，这完全取决于所处的纬度（绝对值）：

- 距赤道22.5°以内的低纬度；
- 距赤道大于22.5°但小于45°的中纬度；
- 距赤道45°或大于45°的高纬度。

表2-1示出了这几个区中每一个的气候参数。注意，低纬度区的海平面水汽密度比ITU-R P.835建议书所述的干燥季节相应的密度要低。已确定这几个区中的衰减值是从地球表面上的电台至空间站（GSO或非GSO）位置的实际发射（或接收）路径仰角的函数。下面几节给出了大气衰减的数值公式，与理论值非常接近，其中：考虑到下面的记法并采用计算斜径衰减的程序，可以得出下面各相关频带低纬度 $A_L(h, \theta)$ <sup>2</sup>、中纬度 $A_M(h, \theta)$ 和高纬度 $A_H(h, \theta)$ 的大气吸收损耗总量（dB）公式：

$A_L(h, \theta), A_M(h, \theta), A_H(h, \theta)$ ：分别为低纬度、中纬度、高纬度区的大气吸收损耗总量（dB）；  
 $H$ 和 $\theta$ ：分别为地球表面电台的海拔高度（km）和仰角（度）。

表2-1  
各气候区的海平面参数

气候区	温度 (K)	大气压力 (hPa)	水汽密度 (g/m <sup>3</sup> )
低纬度	300.4	1 012.0	10.0
中纬度	272.7	1 018.9	3.5
高纬度	257.4	1 010.8	1.23

用ITU-R P.676建议书附件1的逐条谱线法进行积分。用ITU-R P.835建议书规定的温度、压力和水汽密度的高度分布线计算损耗。由于划分给无源业务的每个频带的宽度都较窄，因此用频带的中心频率作为有代表性的频率，并假设每一频带内的衰减都近似于常量。近似的范围为 $0 \leq h \leq 3 \text{ km}$ 和 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 。列出的公式有一些来自ITU-R SF.1395建议书和ITU-R F.1404建议书，此处是为了完整起见而纳入的。

若干扰路径位于两个空间站之间，则大气吸收衰减应视为0 dB。

<sup>2</sup>  $h$ 和 $\theta$ ：分别为地球表面台站的海拔高度（km）和仰角（度）。

**1 400-1 427 MHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 1.59 / [1 + 0.6294 \theta + h (0.2258 + 0.1220 \theta)] \quad (36)$$

$$A_M(h, \theta) = 1.89 / [1 + 0.6813 \theta + h (0.2828 + 0.1580 \theta)] \quad (37)$$

$$A_H(h, \theta) = 2.09 / [1 + 0.7106 \theta + h (0.3057 + 0.1718 \theta)] \quad (38)$$

**1 610.6-1 613.8 MHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 1.63 / [1 + 0.6348 \theta + h (0.2323 + 0.1250 \theta)] \quad (39)$$

$$A_M(h, \theta) = 1.95 / [1 + 0.6870 \theta + h (0.2908 + 0.1621 \theta)] \quad (40)$$

$$A_H(h, \theta) = 2.16 / [1 + 0.7172 \theta + h (0.3148 + 0.1767 \theta)] \quad (41)$$

**2 690-2 700 MHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 1.78 / [1 + 0.6527 \theta + h (0.2552 + 0.1355 \theta)] \quad (42)$$

$$A_M(h, \theta) = 2.11 / [1 + 0.7022 \theta + h (0.3123 + 0.1730 \theta)] \quad (43)$$

$$A_H(h, \theta) = 2.33 / [1 + 0.7331 \theta + h (0.3371 + 0.1881 \theta)] \quad (44)$$

**10.6-10.7 GHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 3.38 / [1 + 0.8346 \theta + h (0.2690 + 0.2738 \theta) + 0.09948 h^2] \quad (45)$$

$$A_M(h, \theta) = 3.00 / [1 + 0.7507 \theta + h (0.3983 + 0.2147 \theta)] \quad (46)$$

$$A_H(h, \theta) = 2.97 / [1 + 0.7476 \theta + h (0.3734 + 0.2072 \theta)] \quad (47)$$

**21.2-21.4 GHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 39.24 / [1 + 0.8450 \theta + 0.06450 \theta^2 - 0.002107 \theta^3 + 0.1657 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0.2902 + 0.3773 \theta) + h^2 (0.09362 + 0.1667 \theta) + 0.03977 h^3] \quad (48)$$

$$A_M(h, \theta) = 17.15 / [1 + 0.8101 \theta + 0.02691 \theta^2 + h (0.2374 + 0.2727 \theta) + h^2 (0.1157 + 0.08487 \theta)] \quad (49)$$

$$A_H(h, \theta) = 9.87 / [1 + 0.6239 \theta + 0.04358 \theta^2 + h (0.07017 + 0.3633 \theta) + 0.1166 h^2] \quad (50)$$

**22.21-22.5 GHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 47.63 / [1 + 0.7826 \theta + 0.1060 \theta^2 - 0.009088 \theta^3 + 0.0002975 \theta^4 - 0.3991 \times 10^{-5} \theta^5 + 0.1853 \times 10^{-7} \theta^6 + h (0.2959 + 0.3016 \theta) + h^2 (0.06740 + 0.1773 \theta) + 0.03795 h^3] \quad (51)$$

$$A_M(h, \theta) = 20.26 / [1 + 0.7215 \theta + 0.05983 \theta^2 - 0.001961 \theta^3 + 0.1555 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0.2047 + 0.2338 \theta) + h^2 (0.1088 + 0.08897 \theta)] \quad (52)$$

$$A_H(h, \theta) = 11.48 / [1 + 0.6065 \theta + 0.04355 \theta^2 + h (0.05653 + 0.3470 \theta) + 0.1096 h^2] \quad (53)$$

**23.6-24.0 GHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 41.78 / [1 + 0.8705 \theta + 0.06699 \theta^2 - 0.002203 \theta^3 + 0.1743 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0.3132 + 0.4079 \theta) + h^2 (0.09824 + 0.1906 \theta) + 0.04830 h^3] \quad (54)$$

$$A_M(h, \theta) = 18.42 / [1 + 0.8311 \theta + 0.02870 \theta^2 + h (0.2517 + 0.2995 \theta) + h^2 (0.1330 + 0.09409 \theta)] \quad (55)$$

$$A_H(h, \theta) = 10.73 / [1 + 0.6427 \theta + 0.04402 \theta^2 + h (0.08210 + 0.3840 \theta) + 0.1273 h^2] \quad (56)$$

**31.3-31.5 GHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 19.52 / [1 + 0.9294 \theta + 0.02495 \theta^2 + h (0.3409 + 0.4368 \theta) + h^2 (0.1938 + 0.07732 \theta)] \quad (57)$$

$$A_M(h, \theta) = 11.89 / [1 + 0.8124 \theta + 0.01982 \theta^2 + h (0.2738 + 0.3876 \theta) + 0.1181 h^2] \quad (58)$$

$$A_H(h, \theta) = 9.70 / [1 + 0.8149 \theta + h (0.2388 + 0.2699 \theta) + 0.08830 h^2] \quad (59)$$

**42.5-43.5 GHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 33.54 / [1 + 0.7690 \theta + 0.04472 \theta^2 - 0.001416 \theta^3 + 0.1072 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0.2675 + 0.3897 \theta) + 0.1253 h^2] \quad (60)$$

$$A_M(h, \theta) = 26.58 / [1 + 0.6859 \theta + 0.04579 \theta^2 - 0.001451 \theta^3 + 0.1108 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0.2418 + 0.3068 \theta) + 0.07381 h^2] \quad (61)$$

$$A_H(h, \theta) = 25.01 / [1 + 0.6552 \theta + 0.04585 \theta^2 - 0.001450 \theta^3 + 0.1109 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0.2219 + 0.2734 \theta) + 0.06186 h^2] \quad (62)$$

**50.2-50.4 GHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 91.86 / [1 + 0.65929 \theta + 0.055368 \theta^2 - 0.0039239 \theta^3 + 0.00011109 \theta^4 - 0.13407 \times 10^{-5} \theta^5 + 0.57041 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0.24505 + 0.18790 \theta + 0.0016855 \theta^2) + h^2 (0.055349 + 0.026631 \theta)] \quad (63)$$

$$A_M(h, \theta) = 90.25 / [1 + 0.64981 \theta + 0.059840 \theta^2 - 0.0043911 \theta^3 + 0.00012737 \theta^4 - 0.15609 \times 10^{-5} \theta^5 + 0.67150 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0.23568 + 0.17708 \theta + 0.0022801 \theta^2) + h^2 (0.052633 + 0.033709 \theta)] \quad (64)$$

$$A_H(h, \theta) = 93.17 / [1 + 0.65343 \theta + 0.061286 \theta^2 - 0.0045343 \theta^3 + 0.00013177 \theta^4 - 0.16120 \times 10^{-5} \theta^5 + 0.69120 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0.24860 + 0.16341 \theta + 0.0027123 \theta^2) + h^2 (0.047282 + 0.035113 \theta)] \quad (65)$$

**52.6-52.8 GHz频带**

$$A_L(h, \theta) = 243.6 / [1 + 0.61184 \theta + 0.035912 \theta^2 - 0.0018265 \theta^3 + 0.40052 \times 10^{-4} \theta^4 - 0.41231 \times 10^{-6} \theta^5 + 0.15890 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0.16591 + 0.16486 \theta + 0.0016442 \theta^2 - 0.26154 \times 10^{-4} \theta^3) + h^2 (0.045789 + 0.022061 \theta)] \quad (66)$$

$$A_M(h, \theta) = 243.8 / [1 + 0.63597 \theta + 0.037426 \theta^2 - 0.0019080 \theta^3 + 0.41762 \times 10^{-4} \theta^4 - 0.42823 \times 10^{-6} \theta^5 + 0.16431 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0.17376 + 0.18234 \theta + 0.0018276 \theta^2 - 0.29487 \times 10^{-4} \theta^3) + h^2 (0.053692 + 0.028670 \theta)] \quad (67)$$

$$A_H(h, \theta) = 249.9 / [1 + 0.64303 \theta + 0.038850 \theta^2 - 0.0019901 \theta^3 + 0.43669 \times 10^{-4} \theta^4 - 0.44802 \times 10^{-6} \theta^5 + 0.17189 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0.18620 + 0.18810 \theta + 0.0019179 \theta^2 - 0.31541 \times 10^{-4} \theta^3) + h^2 (0.052809 + 0.030444 \theta)] \quad (68)$$

注1 — 若确实算出了传播衰减并纳入未考虑传播衰减的每项兼容性分析中, 则兼容性分析的结果可能会略有不同。当然, 两个地球站之间和两个空间站之间不必计算地球-空间传播衰减, 但地球站与空间站之间必须计算。对于这后一种情况, 高仰角时衰减效应相当弱, 但对于低仰角则该效应比较强。将来有必要对低仰角情况做进一步研究。



### 2.3.3.2 关于反射系数的说明

干扰功率落入EESS无源频带的一种方式，是FSS下行链路的无用发射从地球表面反射到邻近的EESS传感器。在10-20 GHz左右的频率范围内，这种反射能量含有显著的时变分量。这种模式的反射构成了可以预见的最坏情况干扰。还存在其他反射模式。这些模式可能出现得更频繁，但电平较低。ITU-R RS.1449建议书描述了一种反射系数模型，可以此为基础，制定适用于这些研究的反射系数模型。ITU-R对今后的工作做了规划，以制定双站微波散射模型，用于按这种方式进行干扰评估。

### 2.3.3.3 一般参数方法

这种一般参数方法可视为在下述一些特定情况下使用的一般性指导原则：

- 目前无法获得相关的有源系统的资料或资料极少；
- 在某些情况下，对于空间业务现有系统或规划中的系统，其广为人知的特性几乎无法在分析中加以考虑。

#### 2.3.3.3.1 理由

这一概念是将有源空间业务系统的e.i.r.p.和必要带宽 $B_n$ 视为可变参数。目的是范围广泛地确定可符合无源传感器保护标准（干扰门限和可提供性标准）的可能配置。对于各给定的有源空间系统，“配置”基本上由构成一组的三个参数来表示：最大e.i.r.p.、必要带宽 $B_n$ 和频率偏移。最后还可以调整天线增益，因为在许多情况下，考虑发射的功率与考虑天线增益方向性图一样。

#### 2.3.3.3.2 说明

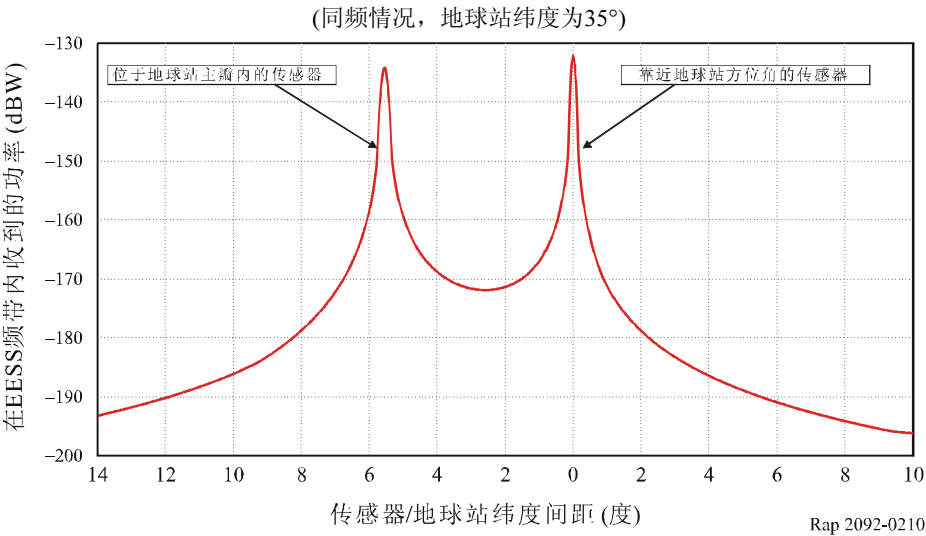
**2.3.3.3.2.1** 第一步是规定要研究的有源系统的典型模型。除一般配置外，还将规定下述参数：

- 轨道高度，在系统涉及空间站发射机（例如ISS系统）的情况下为可变参数；
- 天线增益，该参数可能需要根据相关轨道高度进行调整；
- 与划分给有源业务的频带相兼容的必要带宽（ $B_n$ ）的范围。实际范围可以占到，比如说，有源业务频率划分的5%至50%，或必要情况下更高的值。

**2.3.3.3.2.2** 第二步是确定与无源传感器的保护标准（干扰门限和可提供性标准）相兼容的最大e.i.r.p.。完成该步骤时假设无源传感器与有源业务共用相同频带（同频情况）。第二步包括下述过程：

- 分析“干扰者-受影响者”的几何分布（半静态分析），以便识别出有可能让无源传感器受到干扰的潜在的关键配置。可先任意规定e.i.r.p.的值。在该分析中要考虑的参数基本上是相互取向的“干扰者-受影响者”天线、其间的距离和大气吸收。半静态分析可以让有代表性的几何参数围绕潜在的干扰配置连续变化，以便对情况做出准确描述。得到的结果绘在图上，显示潜在的干扰峰值，这种峰值取决于无源传感器与干扰源的相对位置。图2-10中的示例是FSS(↑)系统的情况。在FSS地球站天线的指向含在地球探测卫星轨道平面内时，出现最坏情况配置。假设地球站天线的仰角为固定值（GSO中的FSS即属于这种情况），计算随地球站与地球探测卫星的星下点之间（地心）角距离而变的干扰电平。出现两个峰值，一个是卫星跨越地球站天线主波束时，一个是卫星位于地球站方位角内时。注意，峰值的宽度给出了干扰事件持续时间和潜在的覆盖区损失的初步估计值。为了降低干扰峰值的宽度和持续时间，增加有源业务的天线增益是有益的；

图2-10  
无源传感器在已划分频带内收到的来自FSS/MSS地球站的功率



— 根据无源传感器的可提供性标准评估潜在的关键配置的出现概率 (动态分析)，并采用迭代过程调整e.i.r.p.电平以满足无源传感器的保护标准。这种动态分析还需要关于有源空间业务部署模型的其他资料。该统计过程的目标是避免对有源业务施加过多限制。可以忽略虽超过干扰门限，但总体上讲 (例如在无源传感器的一个轨道周期内) 符合无源传感器可提供性标准的情况。得到的结果是在同频假设下与无源传感器的保护标准相兼容的最大e.i.r.p.。

**2.3.3.3.2.3** 第三步是确定采用掩模可以得到的带外抑制，这取决于 $B_n$ 和从 $B_n$ 的边缘算起的频率偏移。对于从上文规定的范围内选择的 $B_n$ 变量值，可通过第2.3.1节解释的各种手段计算抑制量。

**2.3.3.3.2.4** 第四步是确定在实际频谱利用中与无源传感器的保护标准相兼容的最大*e.i.r.p.*，这取决于 $B_n$ 和从 $B_n$ 的边缘算起的频率偏移。

- 将第二步确定的同频情况下的最大*e.i.r.p.*与第三步由带外域掩模提供的抑制量相加，得出对于每一选定的 $B_n$ 值，与各种频率偏移值情况下无源传感器保护和可提供性标准相兼容的最大*e.i.r.p.*；
- 将最终结果绘在单幅图中 (每个抑制掩模一个图)，确定对于 $B_n$ 的若干值，*e.i.r.p.*与频率偏移之间的对应关系，以便满足无源传感器的保护要求。

该程序可迅速给出合乎无源传感器保护标准的许多可能的配置。而“可能的解决办法”的范围则限于：

- 与有源业务划分频带相兼容的 $B_n$ 的最大值；
- 与已划分频带的有效使用相兼容的频率偏移的最大值 (待定，比如说不超过已划分的有源加无源频带的百分之几)。

### 3 在1 400-1 427 MHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在1 350-1 400 MHz MHz频带内工作的无线电定位业务系统之间的兼容性分析

#### 3.1 EECS (无源)

##### 3.1.1 划分的频带

本节探讨1 350-1 400 MHz频带内划分的无线电定位业务与相邻的1 400-1 427 MHz无源频带内划分的卫星探测 (无源) 业务之间一项逐个频带的兼容性研究。应注意的是，按照《无线电规则》第5.340款，在1 400-1 427 MHz频带内禁止一切发射。表3-1示出了各划分。

表3-1  
相邻频带划分

划分	在划分频带低端的业务	无源频带	在划分频带高端的业务	
	1 350-1 400 MHz	1 400-1 427 MHz	1 427-1 429 MHz	1 429-1 452 MHz
第一区	固定 移动 无线电定位 5.149 5.338 5.339 5.339A	卫星地球探测 (无源) 射电天文 空间研究 (无源) 5.340 5.341	空间操作 (地对空) 固定 移动 (航空移动除外) 5.341	固定 移动 (航空移动除外) 5.339A 5.341 5.342
第二+第三区	无线电定位 5.149 5.338 5.339 5.339A			固定 移动 5.343 5.339A 5.341

3.1.2 应用

1 400 MHz附近的频率适合测量土壤湿度，也适合测量海面盐度和植被生物量。土壤湿度在水文循环中是一个关键变量，对蒸发、入渗和径流有显著影响。在渗流区，土壤湿度主宰着植被的水摄入比。海面盐度对深海热盐环流和经向热输运构成影响。盐度的变化对热带大洋的近表面动态过程构成影响。迄今为止，尚无法在全球范围内直接测量土壤湿度和海面盐度，所以对该无源频带的保护是必不可少的。

3.1.3 所需的保护标准

ITU-R RS.1029-2建议书具体规定了保护卫星无源遥感所需的干扰标准。对于1 400-1 427 MHz频带，建议2和表1规定在27 MHz的基准带宽内可允许干扰电平为-174 dBW。建议3和表1规定在传感器观测区或测量区0.1%以上的面积内，应不超过该干扰电平，除非有理由另外规定；观测区或测量区规定为地球上10 000 000 km<sup>2</sup> 的方形。

3.1.4 工作特性

在本项分析中，1 400-1 427 MHz频带内要研究的无源传感器任务卫星有SMOS、HYDROS和Aquarius三颗。SMOS采用干涉仪技术将各基础波束组合成一个窄波束，以进行土壤湿度测量。HYDROS采用锥形扫描传感器来收集土壤湿度数据<sup>3</sup>。Aquarius采用推扫式传感器收集测量值，用于观察海面盐度和建立该值的变化对气候变化及全球水分循环影响的模型。表3-2给出了这些无源传感器的特性和参数，图3-1、图3-2图3-3给出了这些传感器的无源传感器天线方向性图。

表3-2  
EESS的特性

参数	SMOS	HYDROS	Aquarius
EESST天线最大增益 (dBi)	9	35	30.7
EESST高度 (km)	757	670	657
EESST -3 dB天线口径 (度)	71.6	2.6	5.3
EESST指向 (度)	偏离天底32 (固定)	偏离天底40 (旋转, 6 r.p.m.)	偏离天底26.5, 33.8, 39.9 (固定)
扫描宽度 (km)	620	1 000	340

SMOS天线阵中一个单元的增益可表示为：

$$G = 9 - 0.0027\theta^2 \qquad \text{对于 } |\theta| < 120^\circ$$
$$G = -30 \qquad \text{对于 } |\theta| > 120^\circ$$

(69)

其中θ为偏离视轴的角度 (度)。

<sup>3</sup> 美利坚合众国已推迟了HYDROS的实施时间，并正在起草最终的任务报告。

图3-1  
SMOS天线方向性图

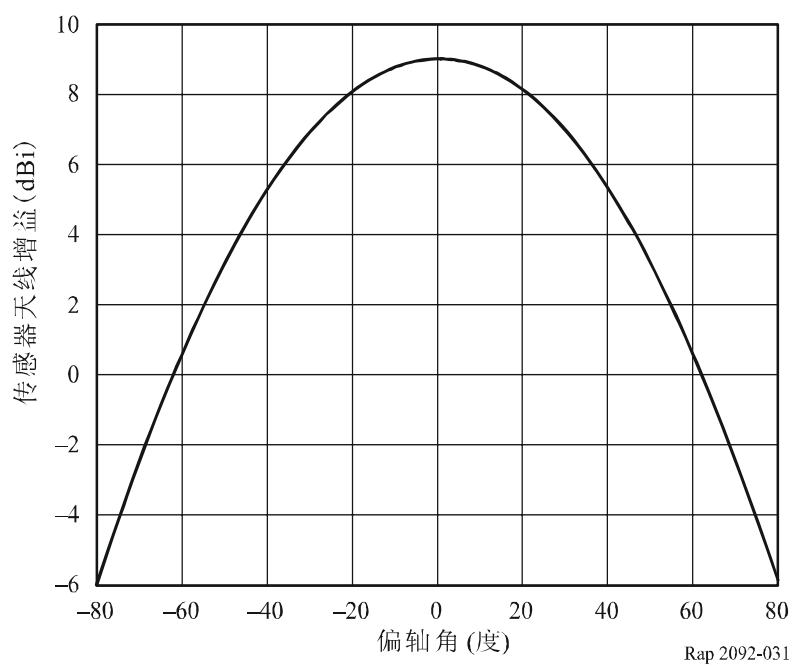
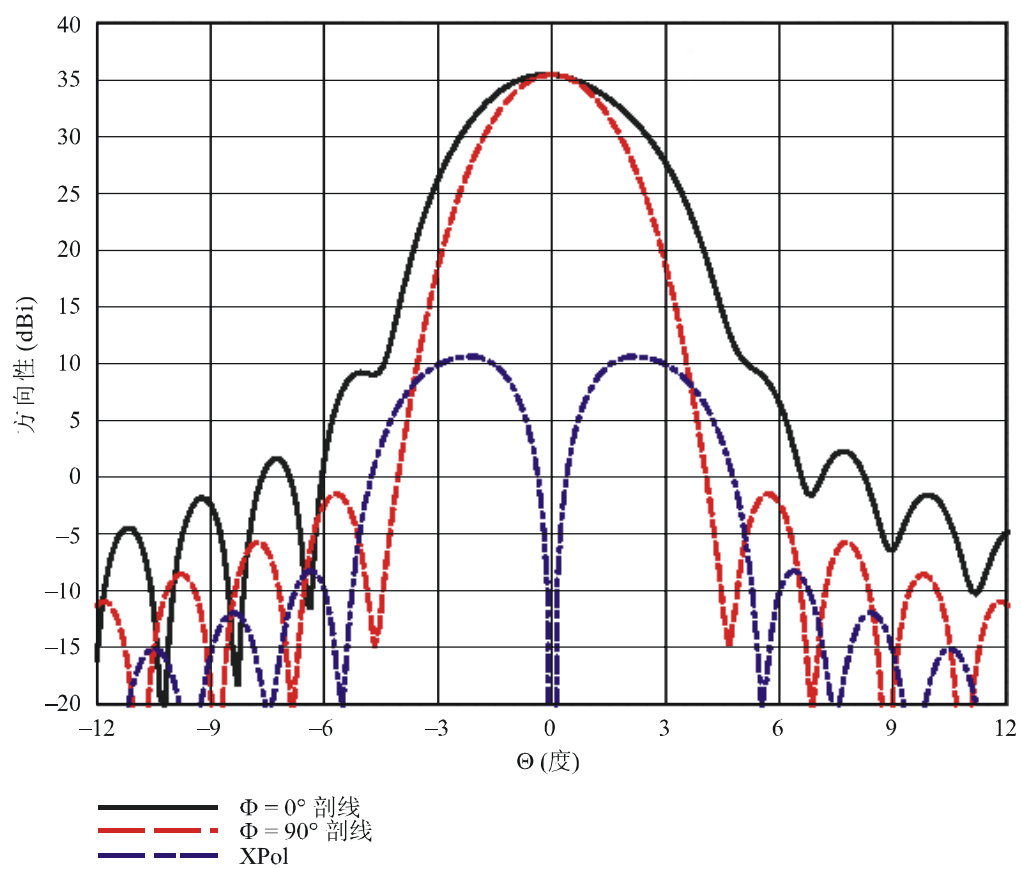


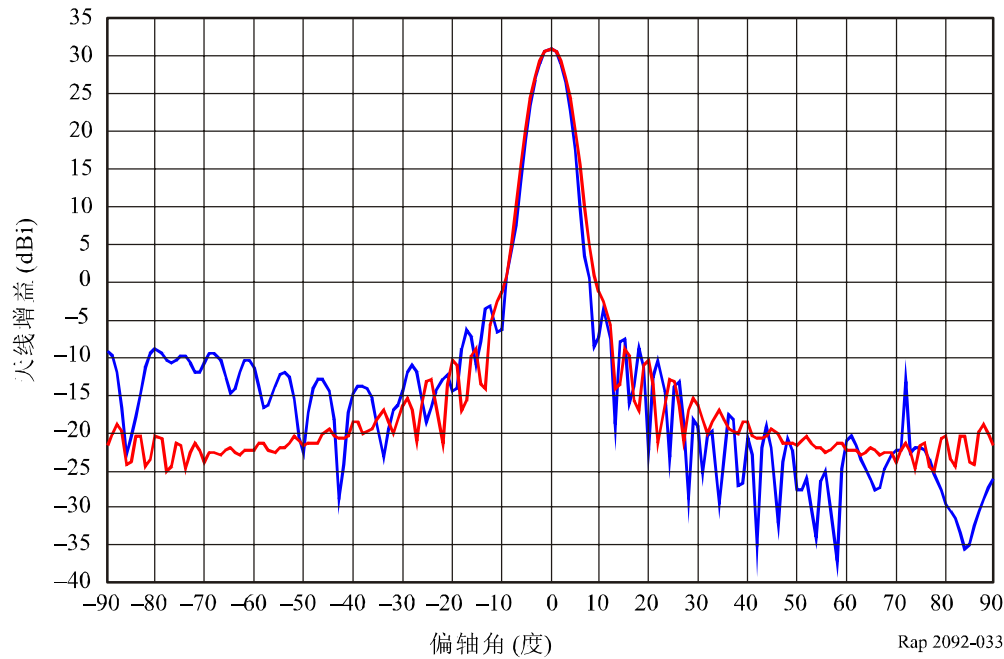
图3-2  
HYDROS天线方向性图



$F = 1.414$  GHz,  $R[D = 6, H = 6, F = 3.6]$  m,  $CH[R = 0.25, r = 0.075, s = 0.15]$

Rap 2092-032

图3-3  
Aquarius天线方向性图



3.2 无线电定位业务

3.2.1 划分的发射频带

有源业务频带为1 350-1 400 MHz无线电定位频带。

3.2.2 应用

1 215-1 400 MHz频带的位置非常适合于在不利天气和其他工作条件下进行远距离无线电定位应用。

3.2.2.1 理想条件下的雷达操作

雷达能量必须传向目标，经过反射后到达接收机。因此，与大多数频谱独立系统不同，雷达发射的能量起码也得经受 $R^4$ 的路径衰减——即便不考虑其他因素也是如此。例如，雷达目标仅向预定接收机反射一部分入射能量。要满足性能规范，需要较大的天线口径来收集和放大相当微弱的返回信号，以便提供给接收机和信号处理器时其电平符合所需的工作性能要求。因此，要可靠地检测给定范围 $R$ 内的一个目标，雷达必须发射强大的功率。

3.2.2.2 雷达在频谱独立方面要考虑的问题

自然源和人造源产生的RF噪声电平的相对减弱，天气（例如雾、雪和雨）产生的杂波效应的最小化，发射机、天线、接收机和信号处理器安装的相对便利等等，这些因素使得1 350-1 400 MHz频带内或该频带附近的频谱特别适合于空中交通管制，并特别适合于工作要求为在单程距离为几百km的范围内检测大量目标的其他雷达。另外，划分的频带足以让大量部署的雷达兼容地工作，这些雷达，比如说，要求双通道操作并采用数十兆赫兹的频道间隔以减轻目标衰落和增加检测小目标的可靠性。

### 3.2.3 依据ITU-R SM.1541建议书确定的电平

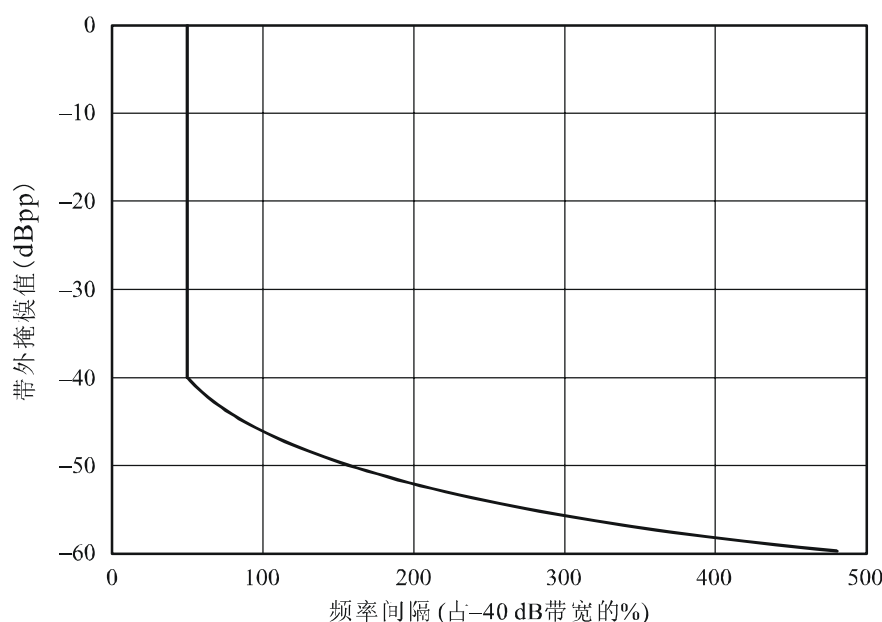
ITU-R SM.1541建议书的附件8具体规定了用于一次雷达的通用无用发射掩模。下文作为一种拼合关系对此做了重复。因变量 $F$ 是距离频带中心的频率偏移，表示为雷达-40 dB带宽的百分比，示于图3-4。

$F$ : 距离频带中心的频率偏移，表示为雷达-40 dB带宽的百分比

dBpp: 相对于峰值功率最大值的分贝数，用基准带宽在占用带宽中的百分比衡量

基准带宽内的无用发射功率由同一基准带宽内无用发射功率的衰减 (dBpp) 与带内峰值功率的差值给出。

图3-4  
一次雷达的带外掩模



Rap 2092-034

### 3.2.4 发射机的特性

发射机的特性在表3-3中说明。该表摘自ITU-R M.1463建议书。

### 3.2.5 工作特性

本项兼容性分析中考虑的一组雷达特性改编自ITU-R M.1463建议书 — 在1 215-1 400 MHz频带内无线电测定业务中工作的雷达的特性和保护标准。

见表3-3。

### 3.2.6 带内发射电平

见表3-3。

表3-3

## 1215-1 400 MHz无线电测定系统的特性\*

参考号	参数	系统1	系统2	系统3	系统4
(a)	进入天线的峰值功率 (dBm)	97	80	76.5	80
(b)	脉冲宽度 (μs)	2	88.8; 58.8 <sup>(1)</sup>	0.4; 102.4; 409.6 <sup>(2)</sup>	单频为39 双频为26和 13 <sup>(3)</sup>
(c)	脉冲重复率 (pps)	310-380 交错的	平均值291.5或 312.5	远距离为200- 272 近距离为400- 554	平均值774
(d)	调频 (啁啾) 脉冲的啁啾带宽	不适用	两种脉冲宽度 均为770 kHz	对于102.4 μs为 2.5 MHz  对于409.6 μs为 625 kHz	不适用
(e)	相位编码子脉冲宽度 (μs)	不适用		1	
(f)	压缩比	不适用	68.3:1 和 45.2:1	两种脉冲均为 256:1	
(g)	RF发射带宽 (3 dB) (MHz)	0.5	1.09	2.2; 2.3; 0.58	1
(h)	输出设备	速调管	晶体管		交叉场放大器
(i)	天线类型	喇叭馈电反射器	集束反射器	旋转相控阵	抛物柱面
(j)	天线极化	水平, 垂直, LHCP, RHCP	垂直, 圆	水平	垂直
(k)	天线最大增益 (dBi)	34.5, 发射 33.5, 接收	32.4-34.2, 发射 31.7-38.9, 接收	38.9, 发射 38.2, 接收	32.5
(l)	天线仰角波束宽度 (度)	3.6至44	3.63-5.61, 发射 2.02-8.79, 接收	1.3	4.5至40
(m)	天线方位角波束宽度 (度)	1.2	1.4	3.2	3.0
(n)	天线水平扫描特性	360° 机械式, 速度为5 r.p.m.	360° 机械式, 远距离速度为 6 r.p.m., 近距离速度为 12 r.p.m.	360° 机械式, 速度为 6, 12或15 r.p.m.	
(o)	天线垂直扫描特性	不适用	在12.8或 13.7 ms内为 -7°至+30°	在73.5 ms内为 -1°至+19°	不适用



表3-3 (续)

参考号	参数	系统1	系统2	系统3	系统4
(p)	接收机中频带宽	780 kHz	0.69 MHz	4.4至6.4 MHz	1.2 MHz
(q)	接收机噪声系数(dB)	2	4.7	3.5	
(r)	平台类型	固定	可搬运		
(s)	系统工作的时间百分比 (%)	100			

\* 修订本文时，ITU-R M.1463建议书也正在修订。增加了3个系统的特性供审议。预计这些系统不会改变本文提到的结论。

LHCP: 左旋圆极化。

RHCP: 右旋圆极化。

(1) 雷达有44个RF频道对，以正常方式选择44个RF频道对中的一对。发射的波形由一个频率为 $f_1$ 的88.8  $\mu$ s脉冲和一个频率为 $f_2$ 的58.8  $\mu$ s脉冲组成。 $f_1$ 和 $f_2$ 之间的间隔为82.854 MHz。

(2) 雷达有20个RF频道，频率增量为8.96 MHz。发射的波形组由一个0.4  $\mu$ s的P0脉冲 (非强制性的) 后跟一个2.5 MHz啁啾的102.4  $\mu$ s线性调频脉冲 (若不发射0.4  $\mu$ s的P0脉冲的话)，后面还可能跟有1至4个远距离409.6  $\mu$ s线性调频脉冲，每个脉冲进行625 kHz啁啾并在相距3.75 MHz的不同载波上发射。正常操作方式采用频率捷变，由此以伪随机方式从1 215-1 400 MHz频带的20个可能的RF频道中选定每个波形组的各个频率。

(3) 雷达具备单频或双频操作的能力。双RF频道之间的间隔为60 MHz。单频道式采用39  $\mu$ s脉冲宽度。在双频道方式中，26  $\mu$ s的脉冲在频率 $f$ 上发射，后跟的13  $\mu$ s脉冲在 $f + 60$  MHz频率上发射。

### 3.3 兼容性门限

对于在1 400 MHz附近工作的传感器，ITU-R RS.1029建议书规定的无源业务干扰门限为27 MHz内-174 dBW。

有可能从多种业务的多种源同时收到干扰。ITU-R RS.1029建议书 (对某一特定频带) 所列的标准为来自所有源的无源传感器的最大可允许干扰。

### 3.4 干扰评估

#### 3.4.1 用于评估干扰电平的方法

第一步是分析同频干扰情况，这并非有代表性的现实情况，因为EESS和无线电定位业务并没有共用频带。由此找出满足EESS (无源) 保护标准所需的衰减。第二步是计算刚好在-40 dB 雷达带宽之外的EESS (无源) 频带内的衰减。

表3-4  
分析方法

分析	A			B	C
	A1	A2	A3		
	静态	半动态	动态	静态	动态
基准雷达系统	见表3-3 (也见于《无线电规则》和ITU-R M.1463建议书)			见表3-10	见表3-13
部署	单一			单一	实际部署

3.4.2 干扰电平的计算

3.4.2.1 无用发射掩模

此处采用以傅里叶分析为基础的频谱表示，以便更准确地给出落入无源频带内的无用发射功率的估计值。将给出对 (以ITU-R SM.1541建议书为基础和以傅里叶分析为基础的) 两种方法的比较。测量数据显示，理论频谱与采用同样参数的实际测量值非常接近。

对于系统1，表3-5在图中示出了一些参考值，对于不同的脉冲上升和下降时间，在 $B_{-40}$ 的50%-500%之间 ( $B_{-40}$ 的另50%位于频率轴的负值上，此处没有示出) 掩模和雷达频谱最大值是吻合的。

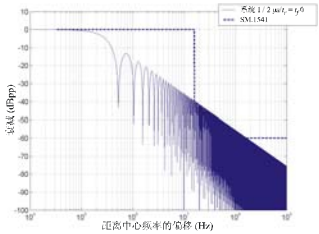
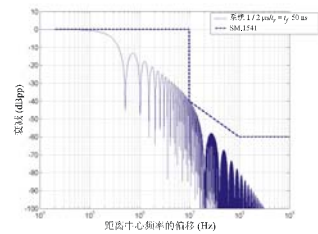
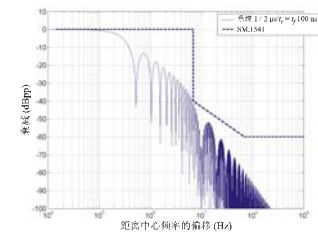
这些图清楚地显示，在 $B_{-40}$ 的50%-500%之间，雷达频谱每十倍频程20 dB的滚降和雷达频谱最大值与掩模是匹配的。

由于在实践中并不存在方方正正的脉冲，在雷达系统中需要采用脉冲的上升和下降时间，以便表示雷达频谱。较短的脉冲上升和下降时间形成较宽的频谱，因此雷达频谱的滚降较慢。

-40 dB带宽 ( $B_{-40}$ ) 50%处的掩模与雷达频谱基本吻合，但从 $B_{-40}$ 的50%起，两端频谱都以每十倍频程40 dB的速度滚降。在 $B_{-40}$ 的500%处，掩模与被模拟频谱之间的差值在20 dB左右。

表3-5反映了对被考察的脉冲上升时间而言系统1的必要带宽和-40 dB带宽 (按照ITU-R SM.1541建议书)。

表3-5  
对不同的脉冲上升时间而言系统1的必要带宽和-40 dB带宽

系统1 (2 μs脉冲宽度)				
	$t_r = t_f 0$ (图3-1)	$t_r = t_f 50\text{ ns}$ (图3-2)	$t_r = t_f 100\text{ ns}$ (图3-3)	
	$B_n$	3.18 MHz	3.18 MHz	3.18 MHz
	$B_{-40}$	32.0 MHz	19.6 MHz	13.9 MHz

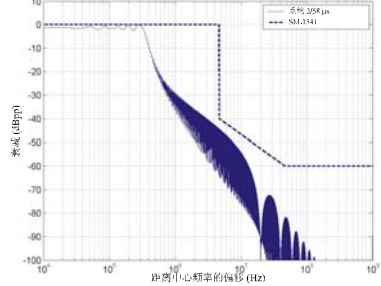
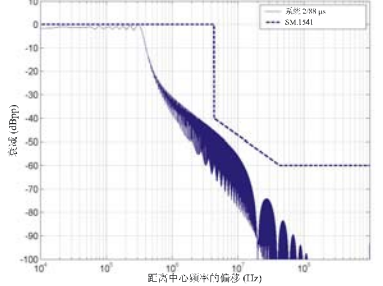
Rap 2092-ta035

也为系统2形成了发射频谱。这些频谱在表3-6的图中表示。系统2是线性调频 (啁啾) 雷达系统，仿真对此做了考虑。提出了两种具体情况，显示了58.8 μs脉冲宽度和88.8 μs脉冲宽度的雷达频谱。对两种脉冲宽度而言，啁啾带宽均为770 kHz。

在两个图中，掩模都过高估计了被模拟的频谱，且在-40 dB带宽的50%处，雷达频谱的最大值与同一点上的掩模无法对应 (对未调制雷达信号的频谱也是如此)。

表3-6反映了对被考察的脉冲宽度而言系统2的必要带宽和-40 dB带宽 (按照ITU-R SM.1541建议书)。

表3-6  
系统2的必要带宽和-40 dB带宽

系统 2			
	$B_n$	$B_{-40}$	
	58.8 μs/50 ns	2.58 MHz	9.36 MHz
	88.8 μs/50 ns	2.39 MHz	8.68 MHz

Rap 2092-ta036

3.4.2.2 落入无源频带的雷达无用发射功率

3.4.2.2.1 分析A：使用算出的掩模和频谱

从已得出的掩模和频谱，对比带内情况即可了解雷达信号的衰减。还由于已知进入天线的峰值功率，因此可以估计出落入1 400-1 427 MHz无源频带的功率值，以便得出雷达天线端口处的无用发射功率。由此可形成兼容性分析的基础。

假设无源频带的起点 (即1 400 MHz) 位于与掩模的-40 dB衰减点对应的偏移的频率处，该衰减点为 $B_{-40}$ 的50%

对于两种不同的方法，即包络掩模法 (ITU-R SM.1541建议书) 和“频谱”法，计算了1 400-1 427 MHz无源频带内系统1和系统2的相对于峰值功率最大值的平均衰减电平和无用发射总功率。系统1和系统2的计算结果分别示于表3-7和表3-8。系统1按不同的脉冲上升时间 (0、50和100 ns) 做了区分，而系统2则对两种不同的脉冲宽度 (58.8和88.8 μs) 进行了模拟。

用下列等式确定无源频带内的功率：

$$P_{pk} - 10\log(B_{-3dB}) - A_{dBpp} = P - 10\log(B_{ref})$$

其中：

- $P_{pk}$ : 进入天线的峰值功率 (dBm)，例如表3-3中参考号为 (a) 的项目
- $B_{-3dB}$ : RF发射带宽 (MHz)，例如表3-3中参考号为 (g) 的项目
- $A_{dBpp}$ : 无源频带内的平均衰减电平 (dBpp)
- $P$ : 无源频带内的无用发射功率
- $B_{ref}$ : 无源频带 (27 MHz)。

表3-7

由两种不同方法得出的落入无源频带内的无用发射功率

系统1	衰减 (ITU-R SM.1541 建议书)	无源频带内的功率 (ITU-R SM.1541 建议书)	衰减 (频谱法)	无源频带内的功率 (频谱法)
$t_r = t_f = 0$	-44.4 dBpp	39.9 dBW	-46.9 dBpp	37.1 dBW
$t_r = t_f = 50\text{ ns}$	-45.8 dBpp	38.5 dBW	-52.8 dBpp	31.3 dBW
$t_r = t_f = 100\text{ ns}$	-47.0 dBpp	37.3 dBW	-57.0 dBpp	27.1 dBW

假设选择雷达中心频率时让-40 dB点落在频带边缘上，则在该频带边缘上峰值瞬时功率将为27 dBW。在超出频带边缘的任何点上，瞬时功率由下列公式给出：

表3-8

由两种不同方法得出的落入无源频带内的无用发射功率电平

系统2	衰减 (ITU-R SM.1541 建议书)	无源频带内的功率 (ITU-R SM.1541 建议书)	衰减 (频谱法)	无源频带内的功率 (频谱法)
58.8 $\mu$ s	-48.4 dBpp	15.6 dBW	-58.0 dBpp	8.8 dBW
88.8 $\mu$ s	-48.7 dBpp	15.3 dBW	-59.1 dBpp	7.7 dBW

在系统1中，对于无源频带从 $B_{-40}$ 的50%算起的情况，两种方法的差别从3 dB ( $t_r = 0$ ) 至超过10 dB ( $t_r = 100$  ns)。在系统2中，功率电平的差别约为7 dB。若距离雷达中心频率的偏移更大，则功率电平的差别将显著增加(如图中所示)。

### 3.4.2.2.2 分析B：使用测得的无用发射最大值和最小值

美国现有的1 215-1 400 MHz固定雷达中包括采用类似于表3-3中雷达系统1-雷达系统4的技术参数的雷达。总体上讲，雷达是沿着美国本土、阿拉斯加和波多黎各的边界部署或在边界之内部署的，用于提供可靠的雷达覆盖。

表3-9给出了类似于雷达1-雷达4的美国雷达假设的相关技术参数。

表3-9

类似于雷达1-雷达4的有代表性的美国1 215-1 400 MHz雷达的相关参数

雷达系统	最高频率 (MHz)	发射衰减 1 400-1 427 MHz (相对于峰值)			发射衰减 1 400-1 427 MHz (基准：27 MHz带宽)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均
1	1 350	-120	-90 <sup>(1)</sup>	-98.5	-100.5	-70.5	-79
2	1 400	-89	-55 <sup>(2)</sup>	64.5	-74.7	-40.7	-50.2
3	1 400	-40	-25 <sup>(2)</sup>	-30.7	-25.7	-10.7	-16.4
4	1 350	-65	-50 <sup>(2)</sup>	-55.7	-50.7	-35.7	-41.4

<sup>(1)</sup> 在300 kHz带宽内测得。

<sup>(2)</sup> 在1 MHz带宽内测得。

表3-9还给出了在1 400-1 427 MHz频带内测得的每种美国雷达的杂散发射相对于雷达峰值发射电平的衰减电平。该数据对于雷达可能的最高频率，即接近1 400 MHz的频率，是有效的。如表所示，每种雷达的基准测量带宽有所不同。例如，类似于雷达1的美国雷达的基准测量带宽为300 kHz，而类似于雷达2和雷达3的雷达的基准带宽为1 MHz。

上面的分析将-174 dB(W/27 MHz) 门限标准转换为1 400-1 427 MHz频带内的常量-174 dBW。类似地，每一测得的杂散衰减值也通过加上一个校正系数而转换为27 MHz带宽的值。

$$\text{校正系数} = 10 \log \left( \frac{27 \text{ MHz}}{BW_{ref}} \right)$$

因此，对于雷达1，最大和最小衰减所加的校正系数为19.5 dB，对于雷达2和雷达3，其值所加的校正系数为14.3 dB，由此形成表3-8的最后两栏。

### 3.4.2.2.3 测得的数据

#### 3.4.2.2.3.1 1 215-1 400 MHz雷达带宽和无用发射频谱

有一个主管部门提供了测得的1 215-1 400 MHz频带内工作的某一类型雷达的辐射发射频谱。图3-5和图3-6示出了该频带内这种固定调谐雷达的辐射频谱。目前至少有一个主管部门正在使用数十个这种类型的雷达。图3-5示出了1 200-4 600 MHz内频率范围很广的频谱，而图3-6则示出了1 200-1 400 MHz范围内相同雷达发射频谱的细节。这种雷达采用交叉场放大器 (CFA，也称为返波增幅管) 作为末级输出。由于返波增幅管的技术特性，雷达无用发射的可测量电平扩展至几吉赫兹的频率范围，如图3-5所示。为了获得与相邻频带系统更好的兼容性，在雷达发射机上安装了输出滤波器。滤波器的效果可视为图3-5中1 400-1 800 MHz范围内的输出电平抑制。如图3-5所示，频率高于1 800 MHz时滤波器无法抑制雷达信号，在1 800-4 600 MHz范围内都能观测到雷达发射信号。在图3-6中，可以详细看出1 200-1 400 MHz范围内滤波器的效应。在1 235 MHz和1 375 MHz附近的滚降频率处CFA的高发射电平降了下来。但由于CFA发射信号的宽带性质，在滤波器的滚降频率之间雷达正好调谐的特定频率上，雷达发射电平并未受到影响。这样，重新调谐加了输出滤波的这种类型的雷达发射机的基频，将不会在1 400-1 430 MHz范围内降低辐射计所用的那部分频谱的发射电平。

图3-5

1 200-4 600 MHz范围内采用输出滤波的单频道雷达的测得的辐射频谱

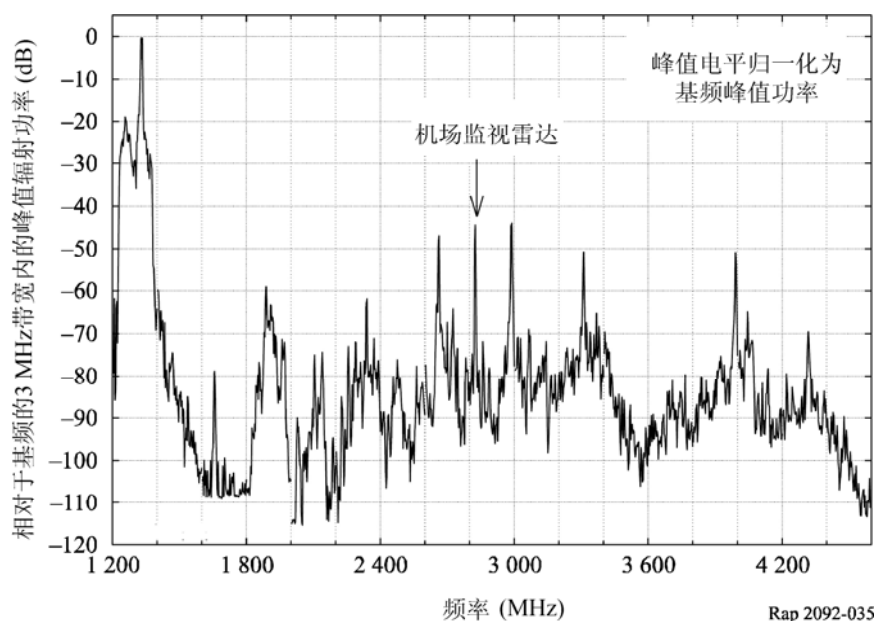
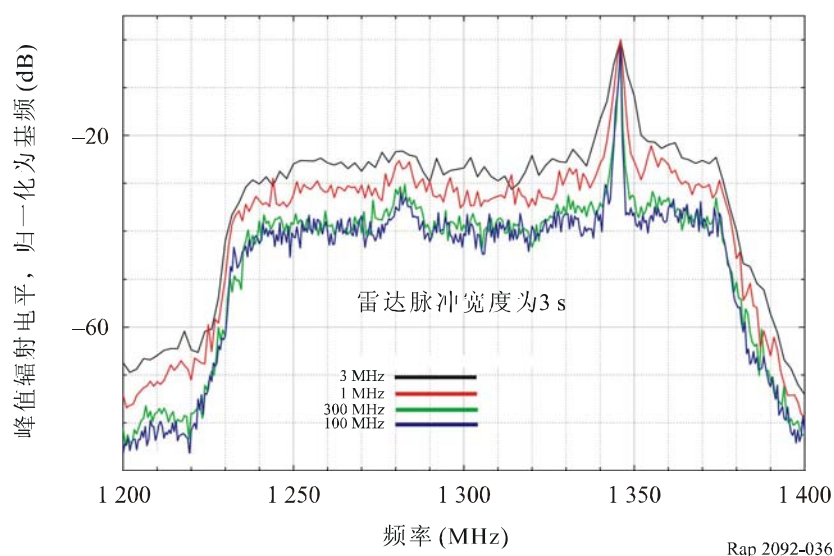


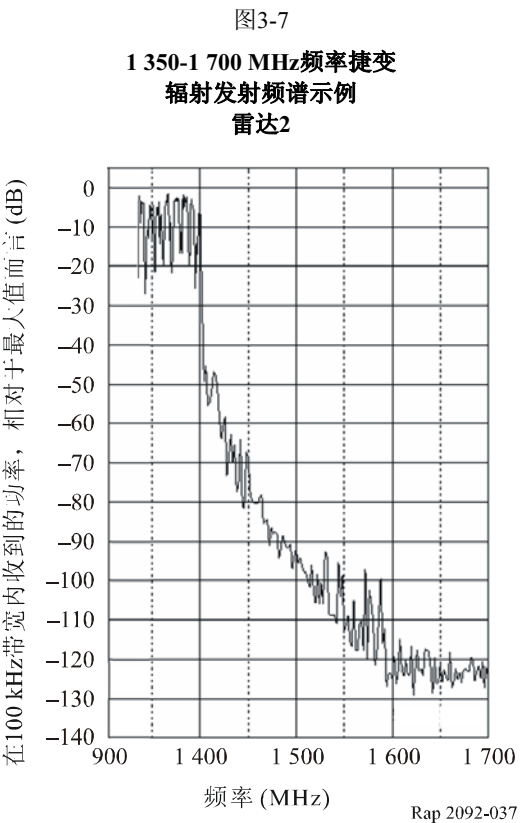
图3-6

图3-5中1 200-1 400 MHz范围频谱的详情，  
显示出雷达输出滤波器的效应  
并显示出发射滚降与雷达已调谐频率的独立性



### 3.4.2.2.3.2 频率捷变分布式阵列天线雷达

某些类型的雷达，如ITU-R M.1463建议书中的雷达系统3，以频率捷变方式在整个1 215-1 400 MHz频率范围工作。这些雷达的工作需要整个频率范围，因此没有现成的“重新调谐”雷达的选项。雷达采用具有数百个有源功率单元（嵌入在其天线结构内）的分布式天线阵列，因此再装备新的附加滤波功能不切实际。图3-5和图3-6示出了这种雷达的发射示例。由于这样的诸多因素，在1 400-1 430 MHz范围内降低这些雷达的发射电平可能是行不通的。



不过对于1 215-1 400 MHz的雷达无用发射信号，其频谱滚降在1 400-1 427 MHz频带内也可能不是单调递减的，例如图3-5和图3-6中的示例。任何线性内插起码都应根据无用发射频谱中完成积分的那部分频谱的最佳配合线性近似值进行。

3.4.2.3 达到的值

3.4.2.3.1 分析A

在本节中，采用算出的无源频带功率电平进行兼容性分析。考虑了两种无源传感器，分别称为SMOS和HYDROS。下文探讨静态、半动态和动态情况。



**A1 – 静态分析：**

表3-10反映了采用0 dBi雷达天线增益的分析结果。

表3-10

**与雷达的兼容性分析 (雷达天线增益 = 0 dBi)**

	系统1/50 ns		系统2/58.8 μs		系统2/88.8 μs	
无源频带内的功率 (dBW)	31.3		8.8		7.7	
占空比 (dB)	-31.2		-17.7		-15.9	
自由空间损耗SMOS/HYDROS (dB)	152.9	154.4	152.9	154.4	152.9	154.4
传感器天线增益SMOS/HYDROS (dBi)	9	35	9	35	9	35
干扰门限 (dBW)	-174		-174		-174	
差异 (dB)	30.2	54.7	21.2	45.7	21.9	46.4
无源频带内的无用发射功率限值 (dBW)	-30.1	-54.6	-30.1	-54.6	-30.1	-54.6

表3-10中的自由空间损耗值在卫星位于雷达正上方时是有效的，此时倾斜范围最小。对于0°的雷达仰角，轨道高度为757 km的卫星在1 400 MHz频率上的自由空间路径损耗为165.4 dB，因为倾斜范围增大了。第3.2段给出了确定地对空路径由大气引起的总附加路径衰减的公式。

由表3-10可以看出，无源频带内的功率电平全都超过-174 dB(W/27 MHz) 的干扰标准，对于正好在雷达上空的无源卫星，差值的范围在21.2至54.7 dB之间。这种明显的不兼容性主要是由于雷达系统较高的峰值功率以及雷达频道的中心频率相当靠近无源频带。

两种EESS (无源) 仪器达到的值之间的差别可用天线最大增益的不同来解释。不过，两种传感器的天线特性在动态干扰分析中相互抵消。例如，由于SMOS具有较大的天线扫宽(但较低的天线增益)，在某种情况下受到干扰的可能性较高，尽管与HYDROS相比较低的增益导致超额干扰门限降低。

**A2 – 半动态分析：**

对于半动态分析，得到的结果示于图3-8和图3-9，这些图以dB为单位描绘了与ITU-R RS.1029-2建议书的差别。

在这种持续473 s的半跨越 (全跨越会形成附加的重影) 期间，对于两种分析情况，接收到的干扰功率总是高于ITU-R RS.1029-2建议书的干扰门限 (-174 dB(W/27 MHz))。

考虑的天线方向性图有两种，一种是天线增益为0 dBi的全向天线，另一种以ITU-R F.1245建议书为基础。

图3-8

对系统1 (2μs未调制脉冲) 的分析

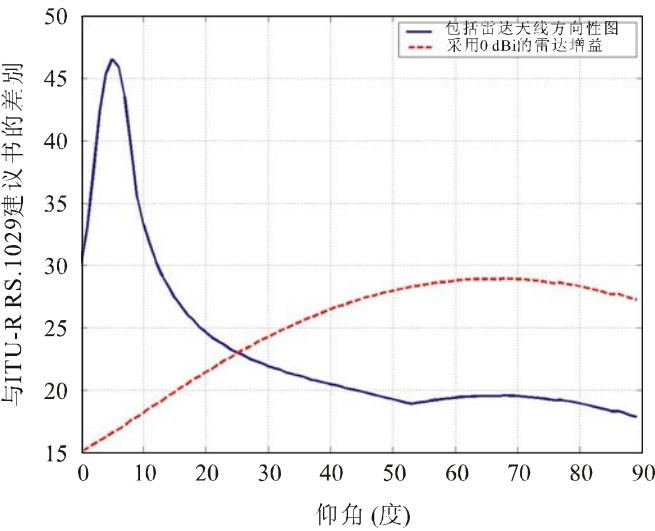
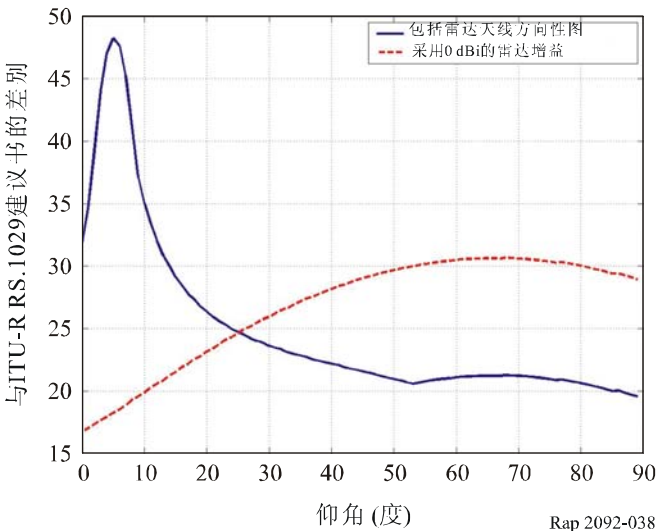


图3-9

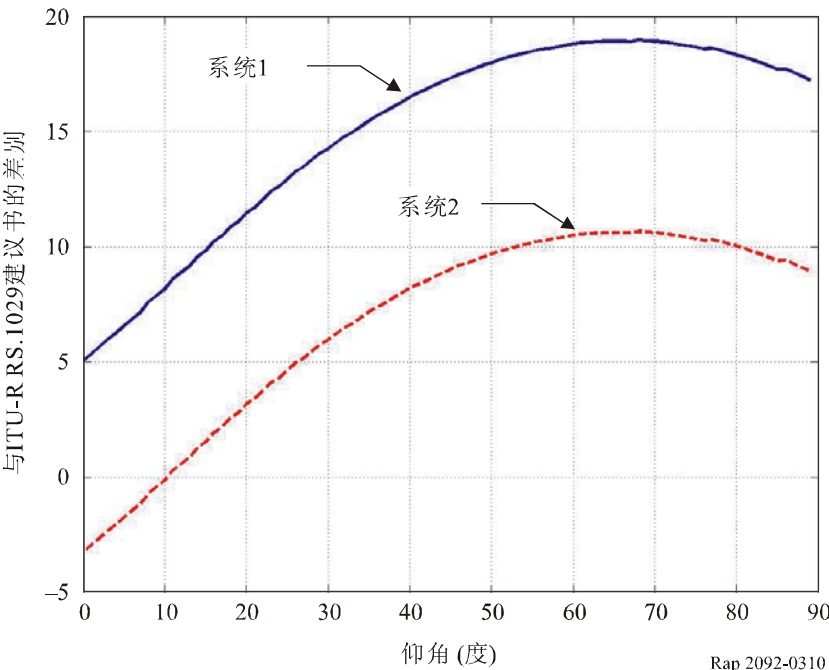
对系统2 (88.8 μs 未调制脉冲) 的分析



Rap 2092-038

图3-10

系统1 (蓝色实线) 和系统2 (红色虚线) 的频率跳变结果



Rap 2092-0310

**A3 – 动态分析:**

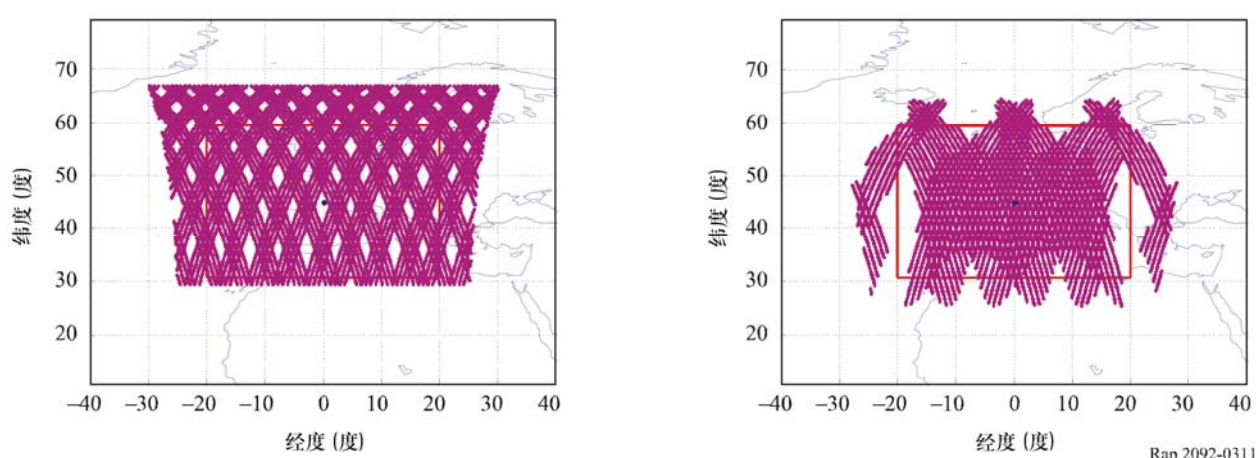
目前通过计算机仿真来估计干扰电平，采用动态建模和蒙特卡洛技术来估计干扰电平的统计分布，干扰电平通过采用典型的不同类型的雷达产生，按照测量区内超过干扰门限电平的面积百分比与上述第3.1.3节规定的保护要求进行比较。

拟定的方法是计算在无源频带内提供给天线的功率为0 dBW时的集总干扰。结果，无源传感器在0.1%的时间内所见的干扰值与门限 (在无源频带内为-174 dBW) 之间的差值将代表1 400-1 427 MHz频带内雷达的最大可允许发射功率。具有表3-3所示特性的雷达被置于该测量区的中心。模拟雷达在垂直和水平两个方向的扫描效果。由于EESS飞行路径与雷达并不同步，所以为每轮仿真随机选择初始相位。

对这些方案中的每一种，考虑十轮仿真。考虑到传感器不是SMOS就是HYDROS，对四种雷达中的每一种绘出不同的CDF (累积分布函数，见图3-11至图3-15)。最后，还用紫红色绘出平均CDF。无源频带内的可允许无用发射功率电平由-174 dBW与该曲线和0.1%门限的交叉点之间的差值给出。

图3-11

SMOS和HYDROS测量区



仿真结果在图3-12至图3-15中给出。

图3-12

类型1雷达的仿真结果 (SMOS 在左侧，HYDROS在右侧)

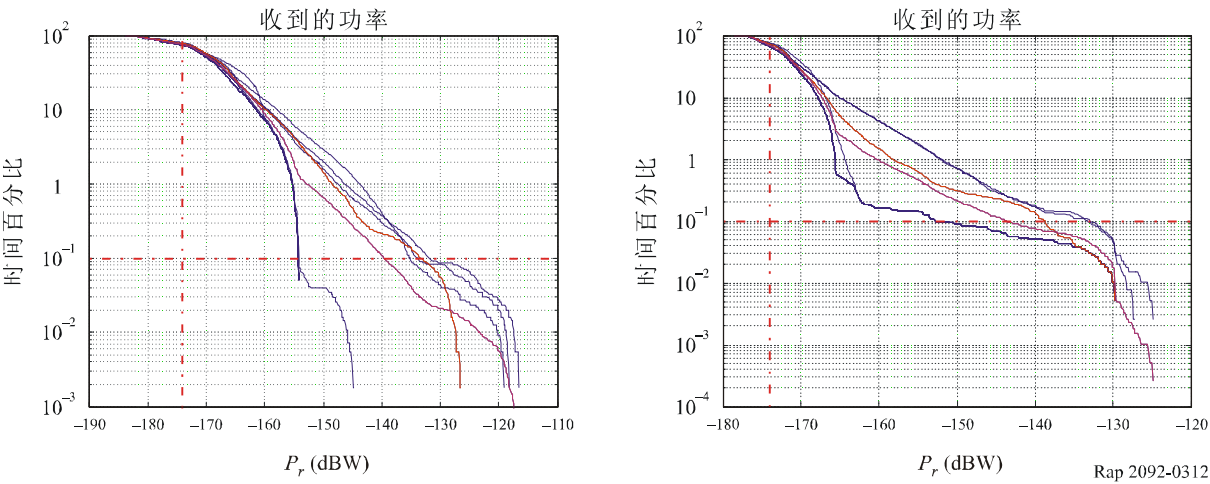


图3-13

类型2雷达的仿真结果 (SMOS在左侧，HYDROS在右侧)

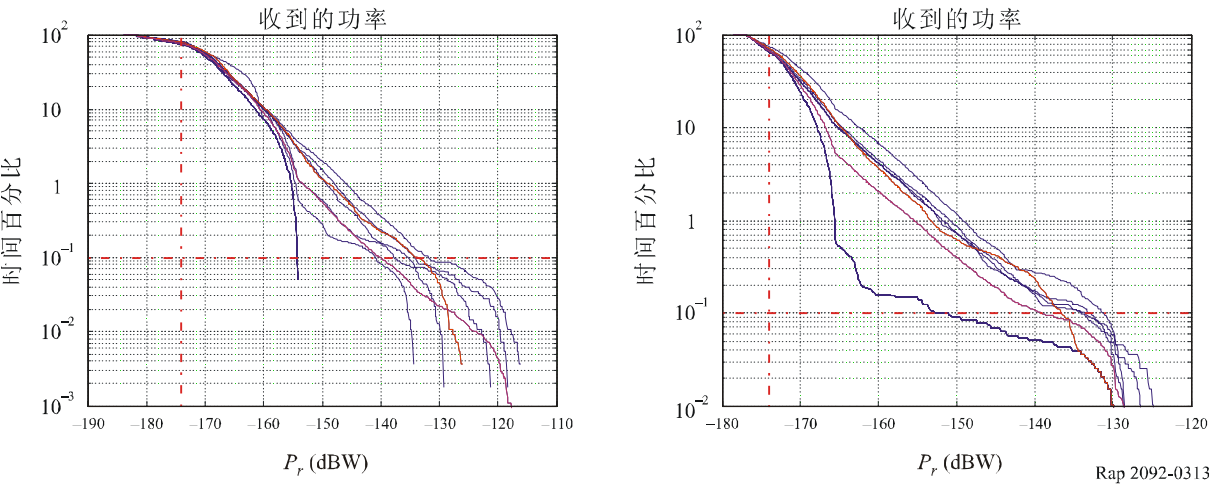
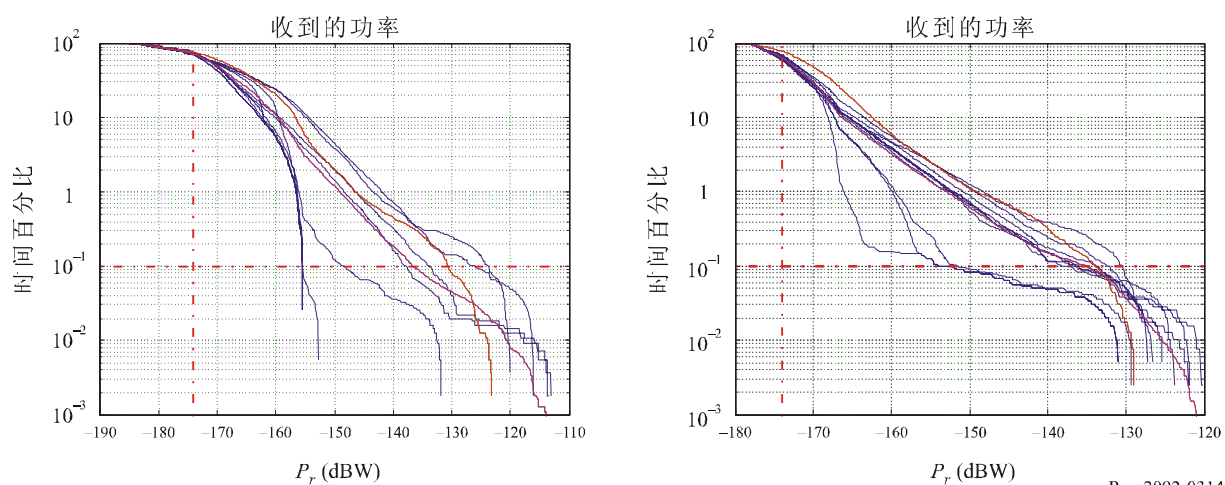


图3-14

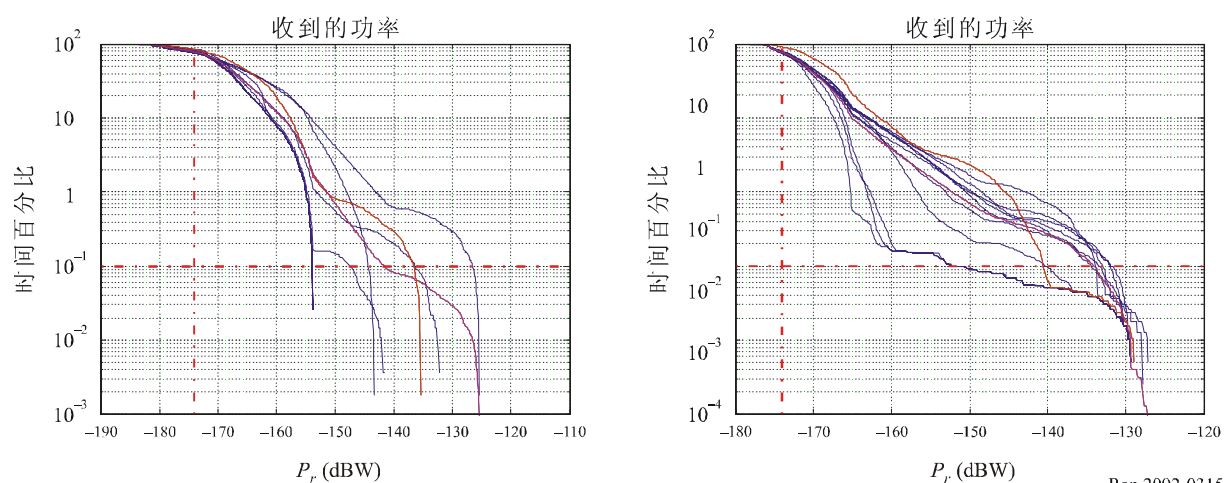
类型3雷达的仿真结果 (SMOS在左侧, HYDROS在右侧)



Rap 2092-0314

图3-15

类型4雷达的仿真结果 (SMOS在左侧, HYDROS在右侧)



Rap 2092-0315

表3-11

动态分析结果的合成

雷达	SMOS传感器的 功率限值 (dB(W/27 MHz))	HYDROS传感器的 功率限值 (dB(W/27 MHz))
1	-40.5	-35.2
2	-40	-37.4
3	-43	-40
4	-37.3	-33.4

这些仿真显示, 无源频带内的可允许干扰电平约为 $-40\text{ dBW}/27\text{ MHz}$ , 这意味着比预定电平 ( $-29\text{ dB(W}/27\text{ MHz)}$ ) 低 $10\text{ dB}$ 。

这些结果显示, 干扰的CDF分布函数在最小时间百分比内的值存在较大变差。这一点可从仿真过程中雷达天线增益的演变得得到解释。平均天线增益似乎低于 $0\text{ dBi}$  (例如约 $-9\text{ dBi}$ ), 但EESS无源卫星穿越雷达主波束的情况除外。此时, 在CDF中要考虑形成最高值的特定的高干扰电平。这在很大程度上取决于此类事件发生的概率。随机初始相位导致不同轮次的仿真雷达的指向角度皆不同, 令该问题更为突出。特别是, 若EESS无源传感器并未穿越雷达主波束, 则CDF函数远低于平均值 (每幅图的最左侧)。

最后, 这种动态分析旨在显示干扰电平主要是在EESS卫星穿越雷达主波束的情况下出现的。对于EESS无源传感器并未穿越雷达主波束的所有仿真运行, 雷达天线增益差不多维持约 $-9\text{ dBi}$ 的恒定值, 这也证实了静态分析中认为天线增益为 $0\text{ dBi}$ 的假设。在此情况下, 考虑到这一新的平均值, 表3-10静态分析中的无用发射电平可以放宽。与此相反, 若EESS无源传感器跨越雷达主波束, 则这一假设就不适用了。此时会在链路预算中导致一个接近天线最大增益的附加的发射增益 (最高为 $35\text{ dBi}$ )。由于差值将显著改善, 此时会导致一个增强的限值。

### 减扰技术和分析 A 的结论:

为了避免无源业务受到无用发射的干扰, 同时又不增加有源业务的负担, 建议考虑下面两种减扰要素, 以找出可共同接受的解决办法:

- a) 在半动态分析中提出的第一种减扰因素考虑了这样的实际情况, 即典型的无线电定位系统是围绕垂直轴旋转的。因此, 不必把整个雷达方向性图看成静态单元 (图3-8和图3-9中的蓝线), 而是可以把旋转系统看成在指向卫星的方向具有平均 $0\text{ dB}$ 的增益 (图3-8和图3-9中的红线)。这样做显然过于简化了, 但有助于找出可接受的解决问题的妥协办法。动态分析证实了这个问题, 因为在超过 $30\text{ dBi}$ 的某种典型的天线最大增益情况下雷达指向EESS无源传感器的平均天线增益接近  $-9\text{ dB}$  (见表3-3 (k))。
- b) 图3-8和图3-9中的结果针对的是雷达占用频道的 $-40\text{ dB}$ 带宽正好位于 $1\text{ 400 MHz}$ 的频带边缘内的情况。在现实中可以假设, 在 $1\text{ 350-1 400 MHz}$ 子频带内部署的雷达大多为频率跳变雷达, 按其“跳变策略”, 在雷达可用的离无源频带最近的最后一个频道中可能并未利用全额脉冲重复频率。按照雷达可用频道的数目, 无源频带内最终的平均功率可按一定的系数降低。例如, 若雷达频道为 $20$ 个, 则根据频道间隔和与无源频带之间的间隔, 兼容性方案至少可得到 $10\text{ dB}$ 的宽松量。因此为了改进兼容性分析的结果, 考虑频率跳变对平均功率的影响就成为一个重要因素。

采用第一种减扰要素可以达到下列效果: 对于系统1, 平均功率为 $0.1\text{ dB(W}/27\text{ MHz)}$ , 由此形成 $29.0\text{ dB}$ 的差值。对于系统2, 平均功率为 $-8.2\text{ dB(W}/27\text{ MHz)}$ , 由此形成 $20.7\text{ dB}$ 的差值。对于这两种系统, 若无源频带内的平均无用发射不超过 $-28.9\text{ dBW}$ , 则会存在应有的兼容性。

若同时采用两种减扰要素，则最终的情况在图3-11中给出，由于所研究的雷达系统的峰值功率甚高，仍存在系统1的19 dB和系统2的10.7 dB差值，但比起静态分析中得出的47 dB，这些值已是相当容易处理的亏损了。

通过某种有限的滤波，或通过避免采用无线电定位频带的最高频率（让信号在到达无源频带之前自然地降低）或通过可以降低无源频带内平均功率的其他技术手段，可以达到-28.9 dB(W/27 MHz) 的无用发射功率电平。

即便达到这样的无源频带内的平均功率电平，在雷达主波束指向卫星的情况下EESS (无源) 传感器仍会受到干扰，但兼容性状况要比目前的情况有利得多。

本项研究采用了-40 dB带宽完全落在无线电定位频带内的假设，这种假设不必对所有系统都有效。另外，有一个主管部门已对1350-1400 MHz频带内的若干雷达类型的发射进行了详细的测量，并对跨越相邻频带的那些雷达的发射电平进行了测量。这些测量值显示，依照《无线电规则》，雷达占用了1400 MHz频带边缘处的必要带宽。已发现在1 MHz带宽内测量时，在1400 MHz处测得的相对于该频带内雷达基波发射最大值的峰值发射电平约为-20 dB。同样的测量值还显示，在1 MHz带宽内测量时，在1420 MHz频率处达到-40 dB的发射电平。不过，作为一个例子，某些主管部门提供了无线电定位系统只能在1215-1375 MHz频带使用的信息，因为其他业务使用了1375-1400 MHz频带。

### 3.4.2.3.2 分析B

下面的表审查了ITU-R M.1463建议书中的雷达系统在遵守1400-1427 MHz频带内预定的-28.9 dB(W/27 MHz) 无用发射限值方面的可行性。为了避免将1350-1400 MHz频带内的雷达操作简单化和一般化，必须谨慎行事。

表3-12审查了ITU-R M.1463建议书中的雷达系统在遵守1400-1427 MHz频带内预定的-28.9 dB(W/27 MHz) 无用发射限值方面的能力。表中纳入了表3-9中所示的最小杂散衰减值，在该平均功率电平中还纳入了另两个系数，即 $G = 0$  dBi的雷达天线增益和假设雷达利用了“跳变策略”得到的杂散发射辐射电平10 dB的附加衰减。

表3-12

分析B：确定ITU-R M.1463建议书中雷达系统1-雷达系统4的杂散发射的平均电平

雷达系统 编号	PT (dBW)	最大杂散 衰减 (dB)	最小杂散 衰减 (dB)	平均杂散 衰减 (dB)	占空比 (dB)	频率跳变 <sup>(2)</sup> (dB)	无用发射的 最低功率电 平 (dBW)	无用发射的 最高功率电 平 (dBW)	无用发射的 平均功率电 平 (dBW)
1	67	-100.5	-70.5	-79	-31.2	-10	-74.7	-44.7	-53.2
2	50	-74.7	-40.7	-50.2	-15.7	-10	-50.4	-16.4	-25.9
3	46.5	-25.7	-10.7	-16.4	-10.0 <sup>(1)</sup>	-10	+0.8	+15.8	+10.1
4	50	-50.7	-35.7	-41.4	-15.2	-10	-25.9	-10.9	-16.6

<sup>(1)</sup> 最大值，雷达可工作于不同的方式 (见表3-3)。

<sup>(2)</sup> 应注意的是，并非所有雷达系统都采用频率跳变，因此该衰减系数不一定适用。



假设对于1 400-1 427 MHz频带内无用发射的可允许辐射电平，由每种雷达发射衰减的最大值都能得到让所有雷达或者满足或者接近满足预定的最大值的結果。

但是，按照雷达发射只得到最小衰减的假设，只有雷达系统1满足1 400-1 427 MHz频带内预定的无用发射最大辐射限值。这主要是由于该系统的使用频率 (1350 MHz) 最高。其他雷达系统则需要对各自的无用发射产生9.5至41.7 dB的附加衰减，以合乎推荐的-28.9 dBW无用发射最大辐射平均值。

按照最小和最大衰减假设，雷达3这种采用先进调制技术的典型雷达具有最高的无用发射电平。无论如何，必须注意到整个无源频带是含在 $B_{-40}$ 带宽之内的，因为最大衰减为40 dBpp。这与EESS (无源) 频带刚好位于雷达的-40 dB带宽之外的假设不符，有可能是产生这种不兼容性的原因。

另外，对这种特定的系统而言，由频率跳变或占空特性引起的衰减可能会更大，因此有可能减轻不兼容性。

最后，第四种结果整体上可解释为由使用具有较高的无用发射性能的CFA引起。该频带将来的系统不大可能装备这种技术。

### 3.4.2.3.3 分析C

为评估1 215-1 400 MHz频带的无线电测定雷达产生的无用发射对1 400-1 427 MHz频带内无源传感器的影响而进行了动态分析。采用了商业仿真程序来完成动态模型仿真，以确定四种方案中无源传感器穿越密集部署无线电定位站的地区时雷达干扰对其测量的时域影响。

采用了北美、阿拉斯加和波多黎各在1 215-1 400 MHz频带内核准雷达系统的一个数据库来确定该仿真模型。用于本项分析的雷达参数在表3-13中给出。

表3-13

1 215-1 400 MHz频带内的无线电测定雷达参数

参数/雷达	雷达A	雷达B	雷达C	雷达D	雷达E	雷达F
最低频率 (MHz)	1 231	1 250	1 215	1 215	1 221	1 231
最高频率 (MHz)	1 383	1 350	1 340	1 390	1 309	1 383
平均发射功率 (dBW)	36.021	34.914	35.19	33.6	30	26.232
天线峰值增益 (dB)	39.1	34	33.5	35	34	30.9
仰角波束宽度, 3 dB (度)	2.2	5.	4.5	2	4.5	4.5

表3-13 (续)

参数/雷达	雷达A	雷达B	雷达C	雷达D	雷达E	雷达F
方位角波束宽度, 3 dB (度)	2.1	1.2	1.1	1.4	2.5	4.5
旋转速度 (度/s)	30	36	30	30	30	60
所用天线	ITU-R F.1245-1建议书	ITU-R F.1245-1建议书	ITU-R F.1245-1建议书	ITU-R F.1245-1建议书	ITU-R F.1245-1建议书	ITU-R F.1245-1建议书

但要注意的是，对于不妨碍在无线电定位频带的1400 MHz边缘之下工作的系统的部署，动态分析未予考虑。

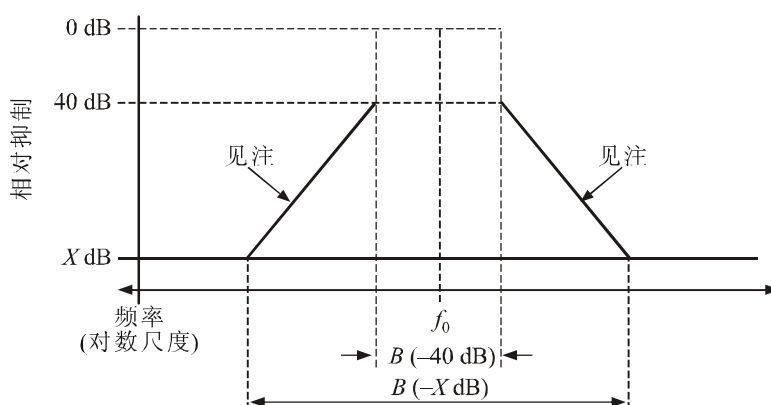
与1 215-1 400 MHz频带的空中交通管制雷达类似，US ATC雷达具有 (余割)<sup>2</sup> 类型的天线方向性图，它将大部分能量向上辐射，从水平面之上几度一直到将近40°。

本项分析每种雷达模拟一种天线。也考虑了频率跳变和非频率跳变雷达。对于非频率跳变雷达，从划分频带内均匀地随机选择固定频率。对认定的频率跳变雷达，采用频率跳变技术。

本项分析纳入了一个频率相关抑制 (FDR) 系数，用于根据假设的雷达频谱和无源传感器接收机特性确定接收机对发射信号的衰减量。对本项分析而言，FDR对每种雷达利用了NTIA《联邦无线电管理规则和程序手册》第5章规定的雷达频谱工程标准 (RSEC) 的发射掩模 (<http://www.ntia.doc.gov/osmhome/redbook/redbook.html>)。该发射掩模示于图3-16。该掩模比《无线电规则》附录3的限值更为严格。对用于评估EESS (无源) 与无线电定位业务之间全球兼容性的类似分析援用《无线电规则》附录3的限值，可能会给出不同的结果，但不会影响本文件的结论。

图3-16

雷达发射带宽和发射电平



Rap 2092-0316

注：对于标准B和标准C，从-40 dB点至-X dB点的滚降斜率S为每十倍频程20 dB，对于标准D为每十倍频程40至80 dB。-40 dB点和-X dB点之间斜率为每十倍频程S dB的最大发射频谱电平用下述公式表示：

$$\text{抑制(dB)} = -S * 10 \log \left| \frac{F - F_0}{\frac{1}{2} B(-40 \text{ dB})} \right| - 40$$

其中：

$$\frac{1}{2} B(-40 \text{ dB}) \leq |F - F_0| \leq \frac{1}{2} B(-X \text{ dB})$$

且：

F: 计算抑制所用的频率

$$B(-X \text{ dB}) = (10^a) B(-40 \text{ dB})$$

$$a = \frac{X - 40}{S}$$

注：本图中的标准B、标准C和标准D涉及不同类别的雷达系统。本项分析中考虑的所有雷达系统都属于标准C，是具有某种特性的雷达的发射掩模。

仿真是根据图3-17和图3-18中所绘的4种动态分析方案进行的。对HYDROS卫星路径经过北美的西部和东部时的动态仿真方案1和方案2进行了分析。对Aquarius卫星路径经过美国的西海岸和东海岸时的动态仿真方案3和方案4做了规定。

图3-17

仿真方案1和方案2 – HYDRO北美西部和东部模型

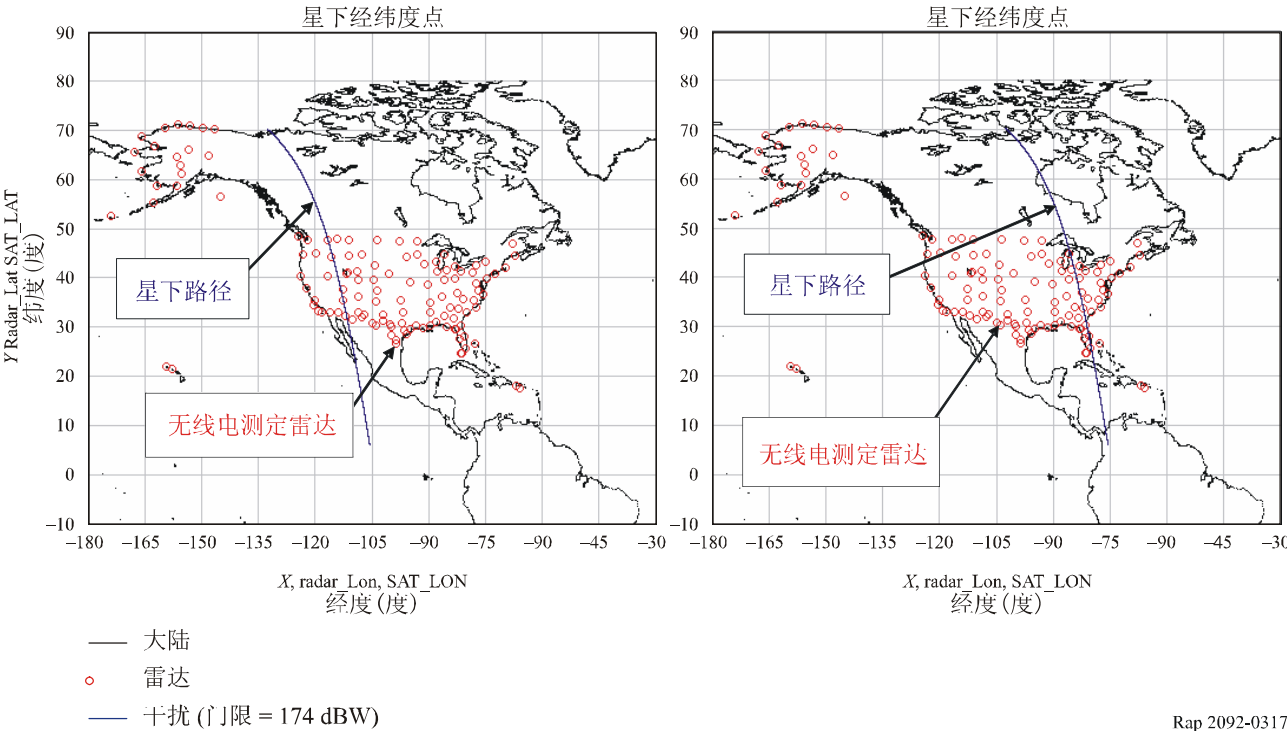
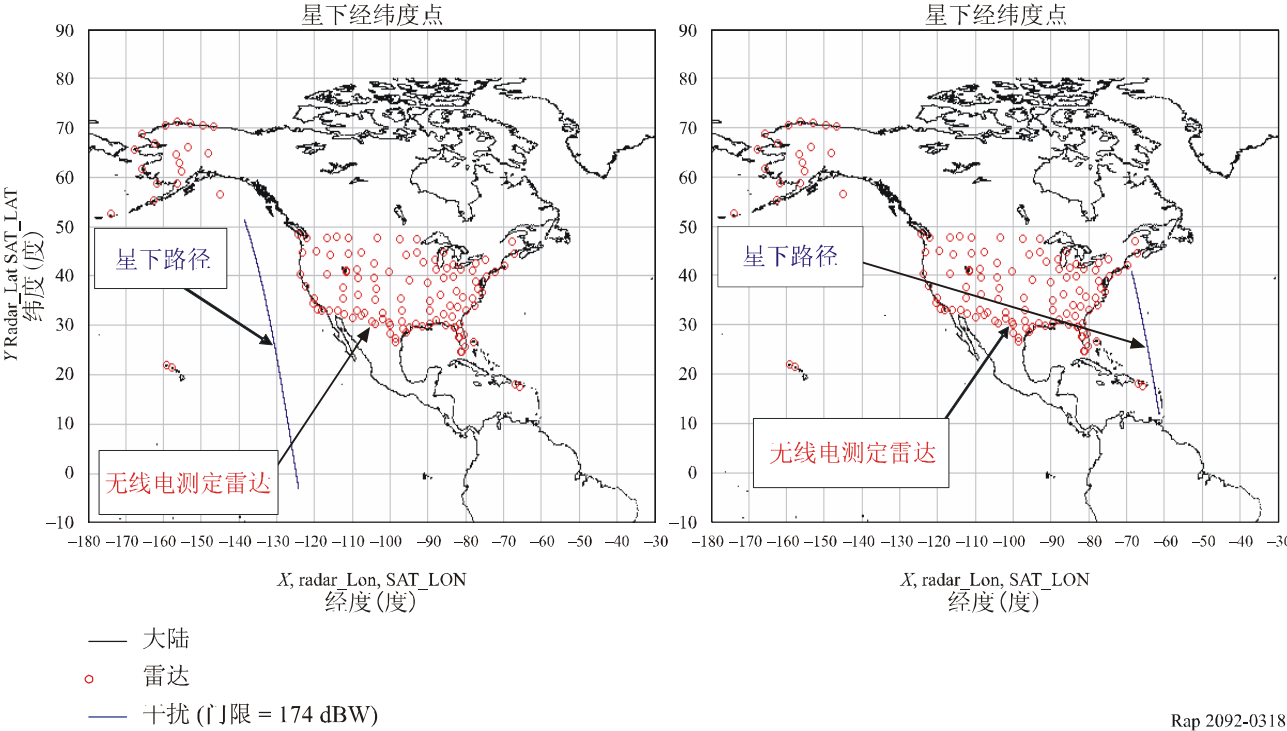


图3-18

仿真方案3和方案4 – Aquarius西海岸和东海岸分析模型



对于图3-19和图3-20所示的每种仿真方案进行一轮仿真，以形成与HYDROS和Aquarius的不同卫星路径相对应的时域结果和CDF，步长为10 ms。时域图显示一部分卫星路径，而CDF图则显示整个卫星路径。图3-21至图3-26给出了时域图和CDF图。

图3-19

仿真方案1 – HYDROS北美西部干扰分析模型  
时域

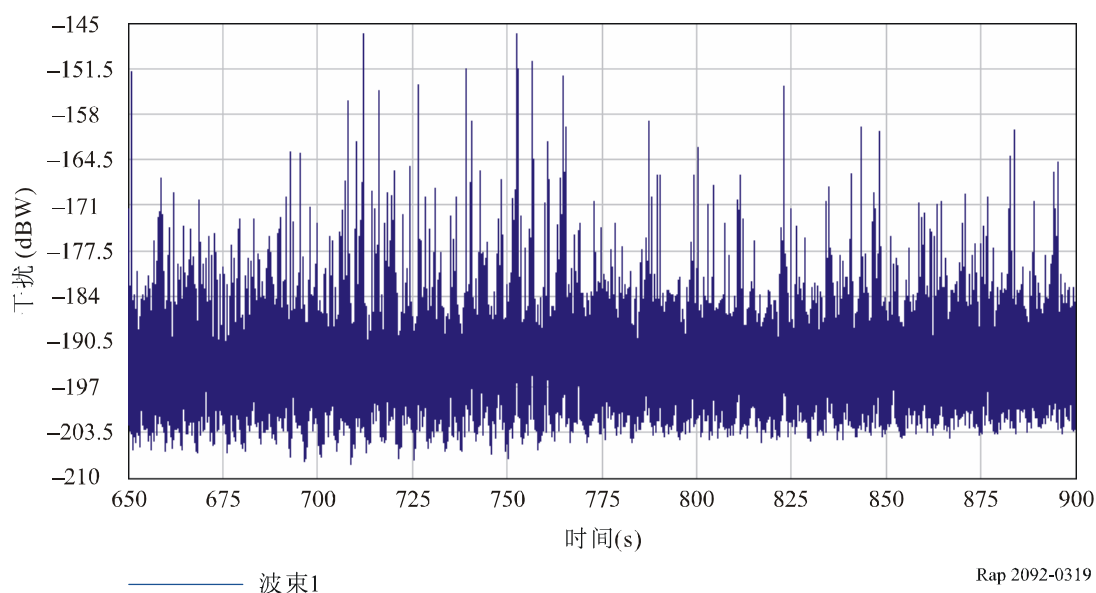


图3-20

仿真方案1 – HYDRO北美西部干扰分析模型  
CDF

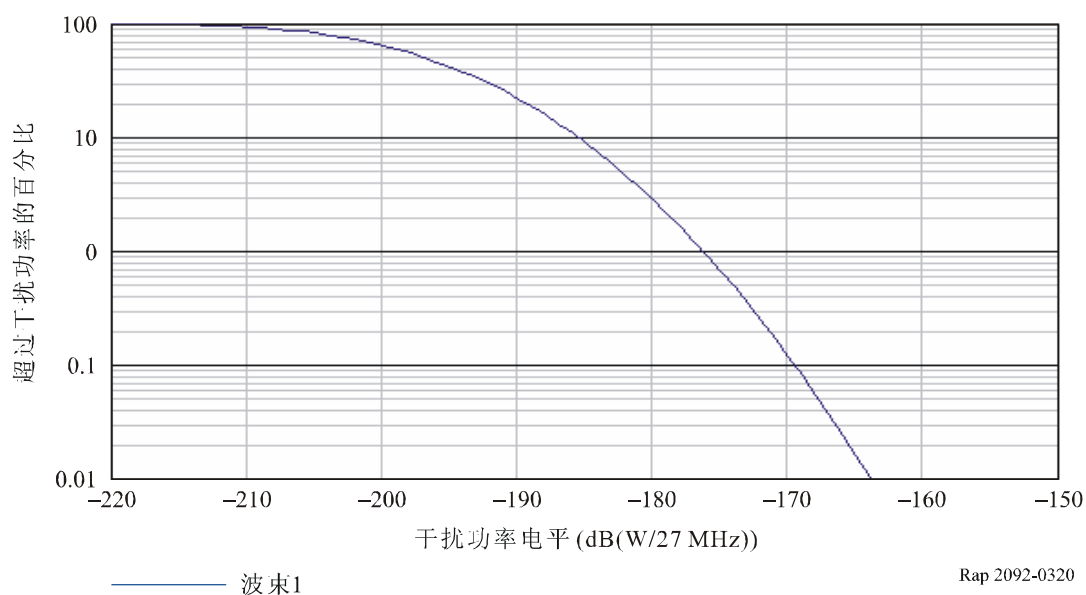


图3-21  
仿真方案2 – HYDROS北美东部干扰分析模型  
时域

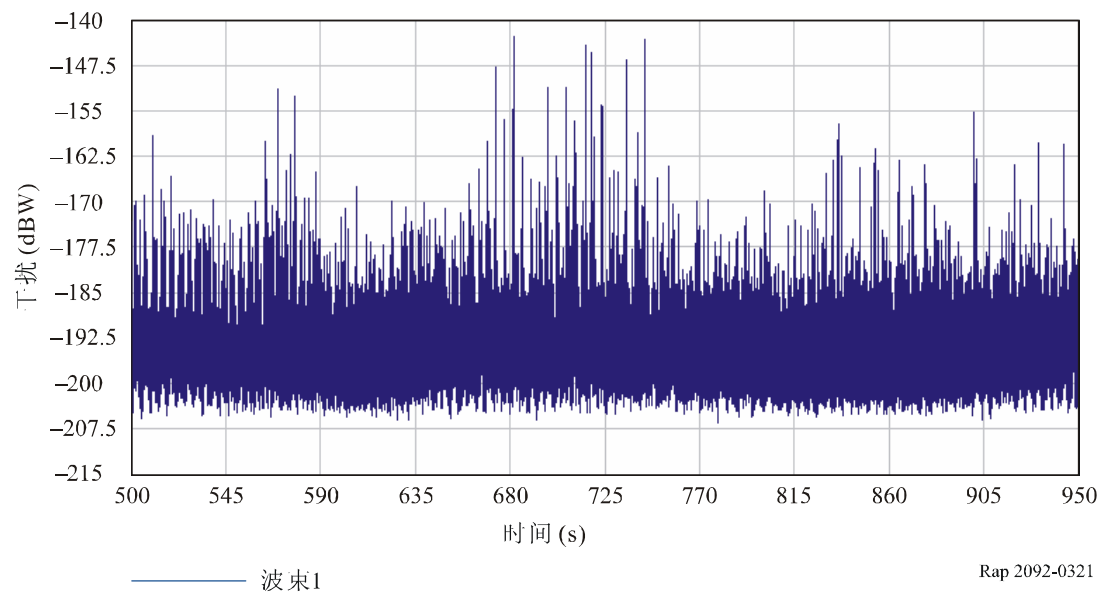


图3-22  
仿真方案2 – HYDROS北美东部干扰分析模型  
CDF

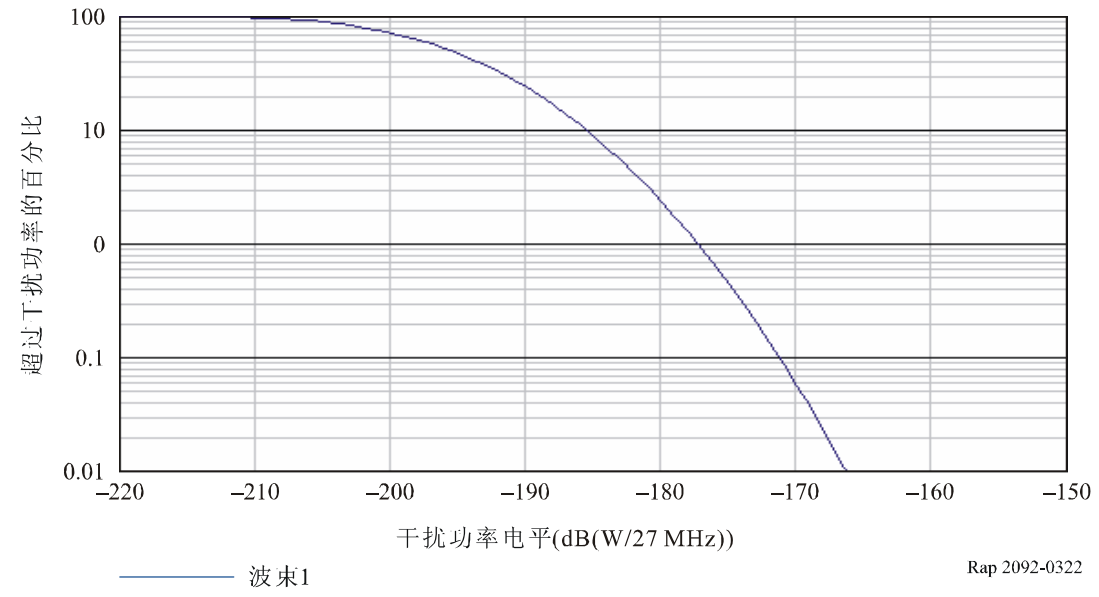


图3-23

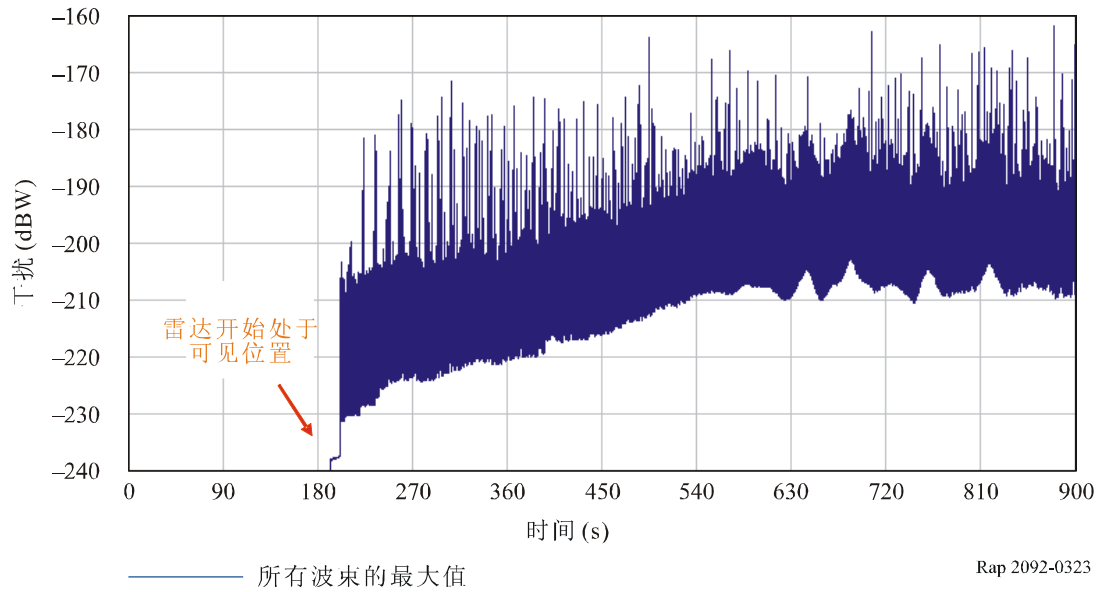
仿真方案3 – Aquarius西海岸干扰分析模型  
时域

图3-24

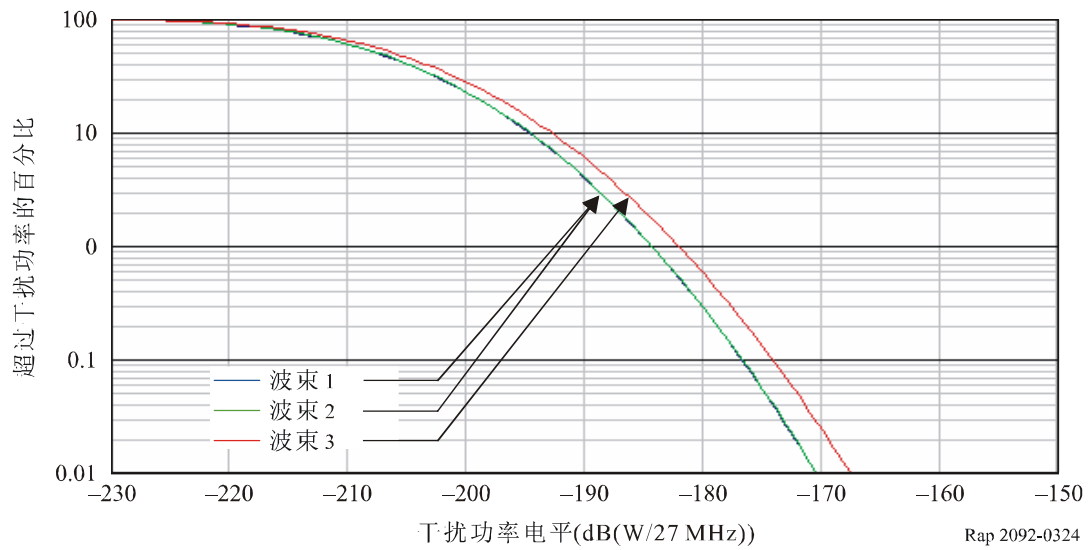
仿真方案3 – Aquarius西海岸干扰分析模型  
CDF

图3-25  
仿真方案4 – Aquarius东海岸干扰分析模型  
时域

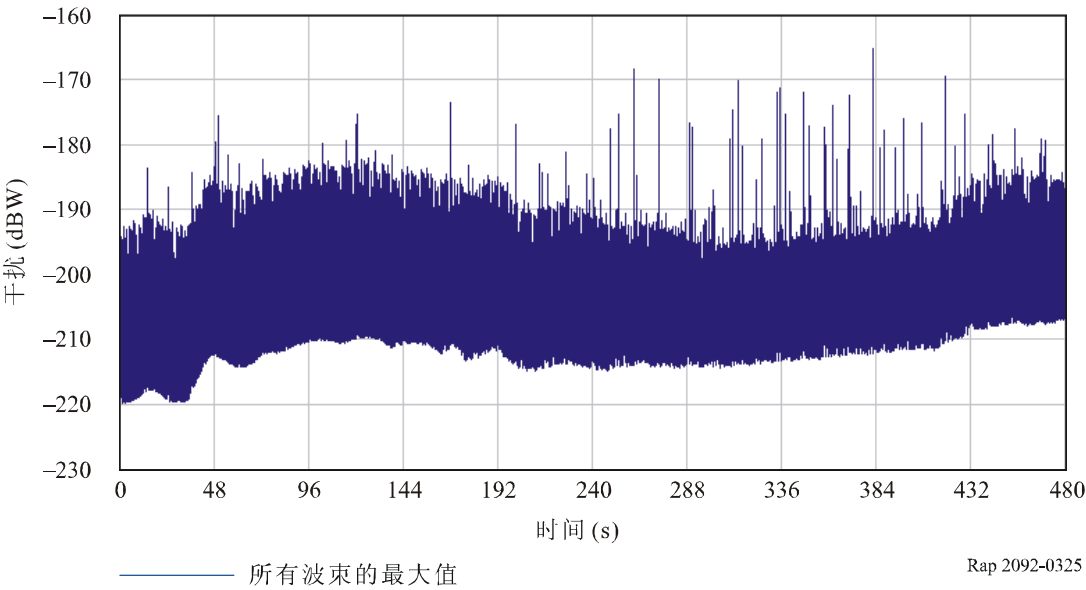


图3-26  
仿真方案4 – Aquarius东海岸干扰分析模型  
CDF

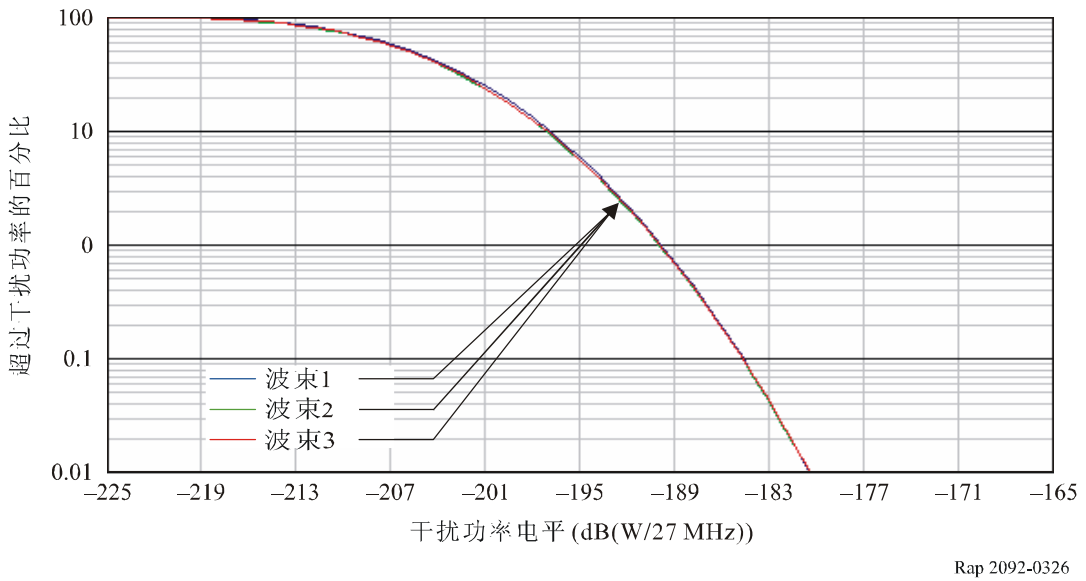


图3-19、图3-21、图3-23和图3-25中所绘的干扰电平分析结果显示，在时间不长的一遍仿真里，1 400-1 427 MHz频带内无源传感器接收到的无线电测定业务无用发射电平，对于HYDROS的任务超过-174 dB(W/27 MHz) 可允许干扰门限的时间低于0.1%，对于Aquarius的任务超过该值的时间也低于0.1%。

3.4.2.3.4 各项分析的综合

全动态分析的结果与第3.4.2.3.1节中所含的分析存在明显差异，可用下述因素解释：



- 1 第3.4.2.3.1节中分析的是ITU-R M.1463建议书中所列的雷达，而第3.4.2.3.2节中的雷达则具有北美系统的典型雷达参数。系统参数似乎非常相似，但表3-13中缺少发射带宽和脉冲调制之类分析中需要用到的信息。
- 2 表3-13中指明了每一种系统的最高工作频率。根据脉冲调制和发射带宽，可以假设大多数系统的 $B_{40}$  (dB) 带宽完全位于无线电定位划分频带内。第3.4.2.3.1节的分析中所用的主要假设是以 $B_{40}$  (dB) 带宽的边缘正好与1 400 MHz相邻为出发点的。

半动态分析是以HYDROS的特性和无源频带内的平均功率为0 dB(W/27 MHz) 的某种雷达系统 ( $B_{40}$  (dB) 带宽的边缘正好与1 400 MHz相邻的系统1) 的特性为基础进行的。在雷达特性 (峰值对应着最坏情况下单一系统的主瓣至旁瓣，或者旁瓣至主瓣的干扰电平) 类似的情况下，该分析中干扰峰值的幅度应与第3.4.2.3.2节中提出的全动态分析的峰值相对应。因此，分析之间的差异可直接表明这些系统的无源频带内的无用发射功率。

图3-27

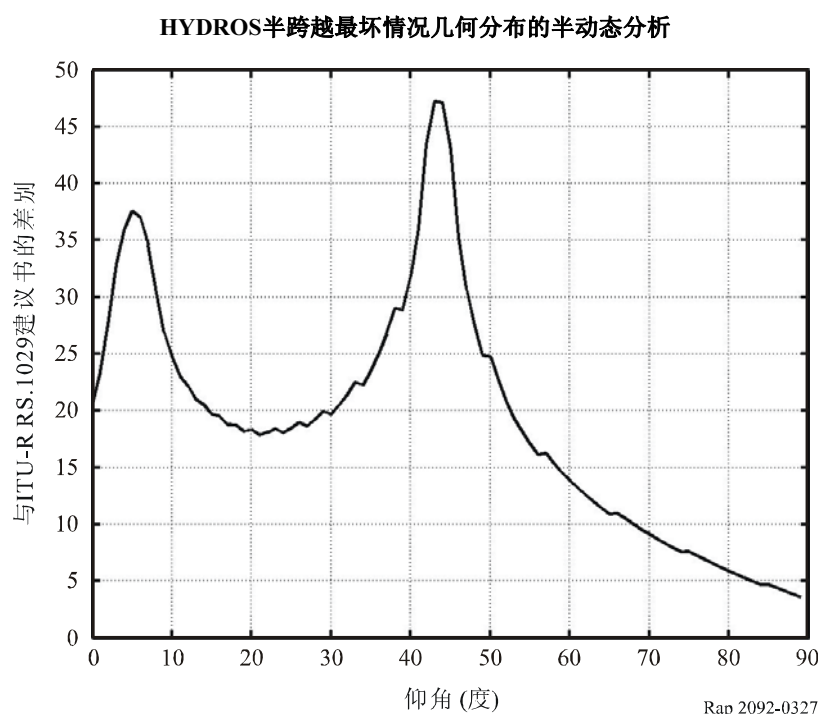


图3-27给出了两个峰值，一个是在小仰角情况下从雷达主瓣到达EESS (无源) 旁瓣的峰值，代表超过干扰门限~37 dB的最大值，另一个是从雷达旁瓣到达EESS (无源) 主瓣的峰值，最大值为~47 dB。从EES (无源) 传感器收到的干扰电平的角度看，这分别对应着-137 dBW和-127 dBW的值。在图3-20和图3-22所示的分析中，HYDROS的峰值约为-147 dBW。因此可以得出结论，动态分析中无用发射性能最差的系统可达到的平均无用发射功率优于-20 dB(W/27 MHz)。

全动态分析对于大多数现有的不大可能对EES (无源) 产生有害干扰的系统 (主要是ATC雷达) 而言，很可能代表一种有效的方案。而这些系统的大多数可能已经满足了预定的-20 dB(W/27 MHz) 电平，该值不会保护EES (无源) 频带，因为具有第3.4.2.3.1节所分析的参数的单一系统可在跨越卫星的整个时间内产生干扰。因此，若存在数个这种系统，将会大大超过可提供性标准，相当于把图3-21提出的仿真方案移动了~20 dB。

### 3.5 减扰技术

#### 3.5.1 EESS (无源)

由于划分的27 MHz频带的宽度有限，有效保护频带之类的减扰技术无法用于EESS (无源) 频带。

#### 3.5.2 无线电定位业务

可以从实际观点以及理论观点考察目前在用系统的减扰技术。

在考虑现代雷达将要采用的理论减扰技术时，必须顾及雷达不得不克服的在运行方面固有的缺点和负担，特别是在与其他无线电业务相比较的情况下。雷达收到的合乎需要的能量必须从雷达发送到目标并返回，经历一个往返衰减，该衰减起码要符合 $R^4$ 路径损耗衰减律；从给定目标返回的能量仅为进入目标的能量的一小部分；雷达的工作要求所需的远距离探测在许多情况下为数百公里数量级，雷达因此容易受到天气和其他大气效应的影响；为了进行可靠的目标探测，需要采用多种技术，其中心频率的最大间隔需要达到约90 MHz；任何雷达都必须在有可能存在人为干扰的情况下工作；为了以所需的性能水准完成预定任务，电子控制转向天线可能需要数千个单独的集成模块来获得足够高的增益和足够窄的波束宽度。

要注意的是，采用相控阵技术的雷达，例如系统3，能够在天线中集成数千个单独的发射/接收模块，而不是采用单一的大功率放大器或振荡器。这些模块尺寸小，排布紧密，很难插入附加器件，例如对输出端发射频谱进行滤波的器件。

对于窄频带、单频道的雷达，有可能通过避免或尽量减小在频谱高端的发射来解决矛盾(即1 375-1 400 MHz，某些主管部门在该频带已解决了问题)。对于这些主管部门，若最靠近的雷达频道与现有无源频带的边缘之间的频率间隔约为无线电定位系统-40 dB带宽的2至2.5倍，则兼容性分析会得出有利的方案。

但是，也可能有一些主管部门需要采用大量1 215-1 400 MHz雷达为其边界内的较大地理地区提供非常可靠的无线电导航及无线电定位业务。对于雷达必须彼此靠得较近或者位于视距内，例如在山顶上，以提供较大的总覆盖区的环境中，可能需要较大的频率间隔以利于同时工作。此时，可能需要采用频带的1 375-1 400 MHz部分，以便在必要的地理覆盖区内达到兼容的雷达工作，尤其是若1 215-1 400 MHz频带还与其他有源业务共用的话。

1 215-1 400 MHz频率范围内的雷达有不少采用了频率捷变技术，与划分的频带相比具有相当小的瞬时RF发射带宽。不过这些雷达可能需要使用全部1 215-1 400 MHz频道以优化工作性能。例如，频率捷变雷达需要采用划分的整个频率范围以避免收到来自频谱的其他使用者的干扰并尽最大可能减小对同频带其他频谱使用者的干扰效应。将频率捷变雷达的带宽限制在小于可用频谱资源会使雷达更易受到干扰，并使雷达对频谱的其他使用者形成更强的干扰。对于无线电定位业务来说，这是一种严重影响和负担。

某些主管部门要求在调谐频率的最低端、中间和最高端测量天线远场的发射频谱。这种测量考虑了发射机输出端与天线之间波导、耦合器和旋转接头的固有滤波特性。对于最高可调谐到1 400 MHz或接近1 400 MHz的雷达，要在1 400 MHz以上频率测量和达到发射机输出端的预定无用发射电平是相当困难的。

### 3.5.3 潜在影响

#### 3.5.3.1 EESS (无源)

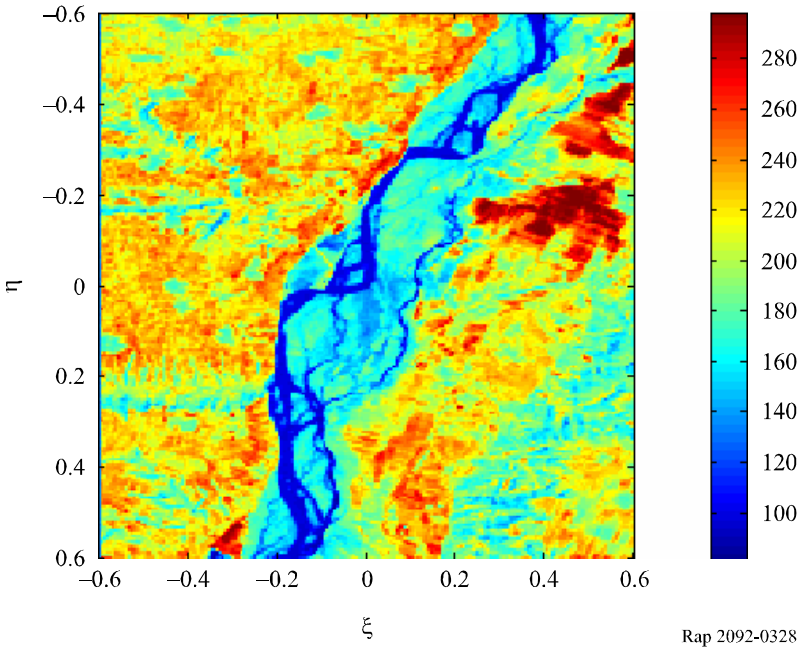
1 400-1 427 MHz频带内的无源卫星传感器若位于相邻频带低端无线电定位雷达的视距范围内，将会收到超过-174 dBW门限电平的无用发射。

第二种分析B中的动态仿真表明，1 400-1 427 MHz频带内的无源卫星传感器收到的无线电测定业务的无用发射电平超过-174 dB(W/27 MHz) 可允许干扰门限的时间低于1%，在某些情况下超过该值的时间低于0.1%。另一个主管部门做了类似分析，采用的国家频率划分表总体上允许雷达使用低于最高频率1 400 MHz的频率，雷达的部署类似于分析B（见第3.4.2.3.2节），得出了更为保守的结果。对一个主管部门来说，在这么短的时间内遇到这么高的干扰电平很容易被认定是干扰，此时，可以舍弃受到这种突发干扰的无源传感器测量值，对1 400-1 427 MHz频带内EESS的总体任务不构成实际影响。

为了评估从单一发射机进入1 400-1 427 MHz无源频带的各种数值的平均无用发射功率对SMOS的干扰影响，进行了一项仿真。图3-28示出了用做仿真程序输入的源的亮度温度图。

图3-28

描绘中国西北城市西安附近的一段黄河的输入亮度温度图



仿真所用的视场约为70°，该值对应着超过1 000 km × 1 000 km的面积。被模拟的平均功率电平在-40 dB(W/27 MHz) 至 0 dB(W/27 MHz) 范围内。

图3-29

采用平均电平为-40 dBW的RFI重建的亮度温度图

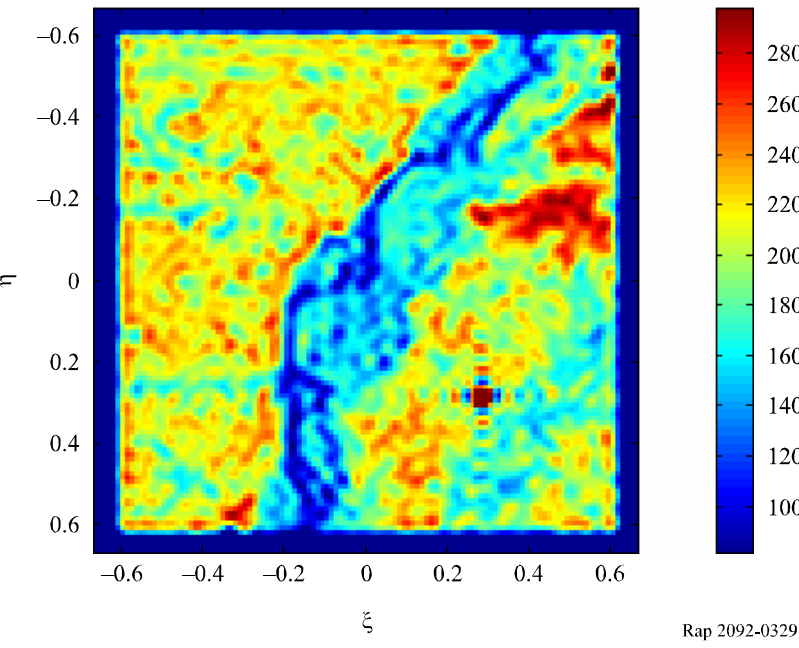


图3-30

采用平均电平为-30 dBW的RFI重建的亮度温度图

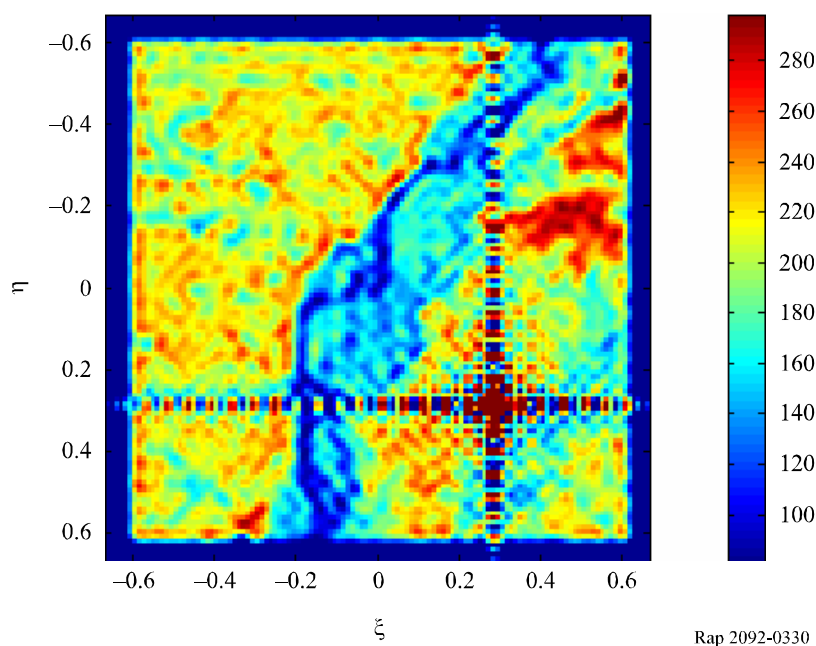


图3-31

采用平均电平为-20 dBW的RFI重建的亮度温度图

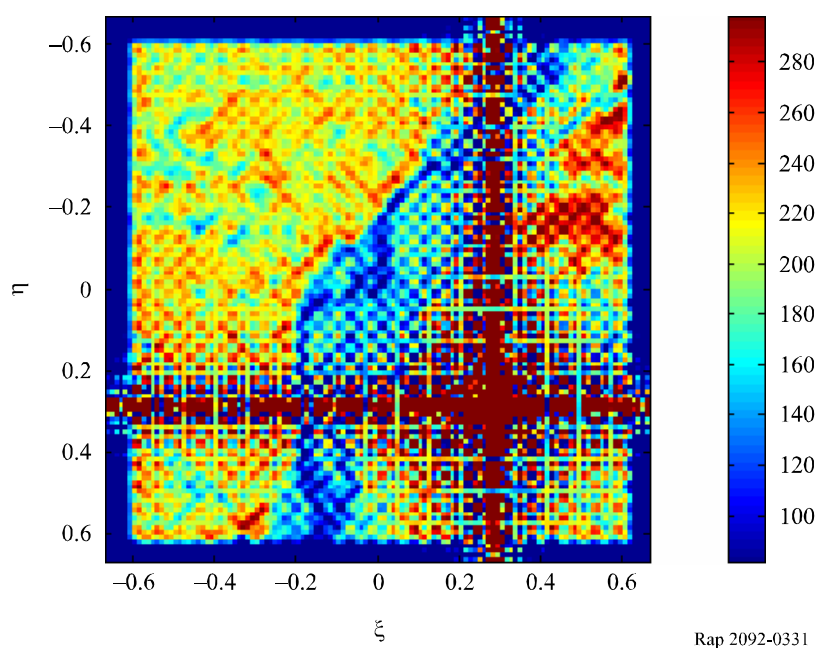
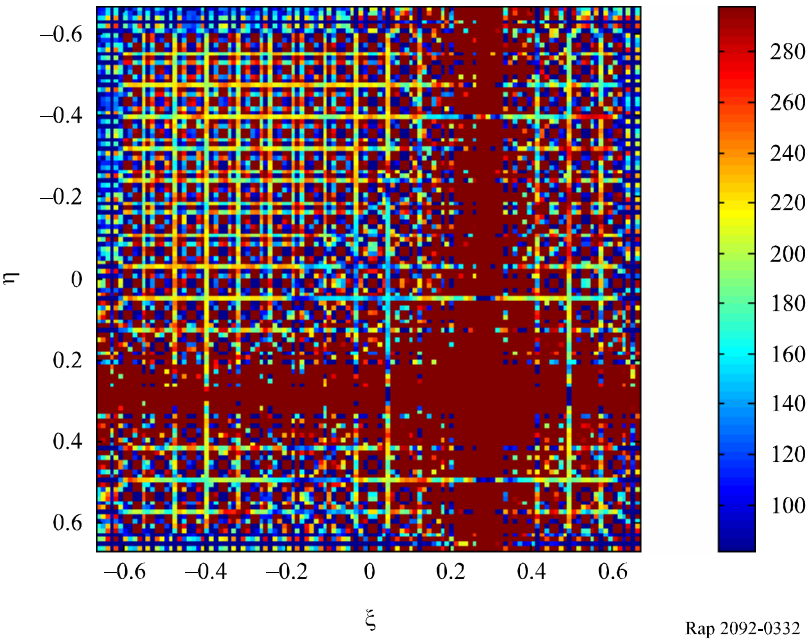


图3-32

采用平均电平为-10 dBW的RFI重建的亮度温度图



从这些结果可以得出结论，电平为-30 dB(W/27 MHz) 的干扰的影响仍是显著的。不过这个结论与某些兼容性分析一致，这些兼容性分析显示将发生整体上超过可提供性标准的干扰，但仍收集到一些有用的数据。无用发射限值约为-30 dB(W/27 MHz) 的方案虽远不能代表理想情况，但可以代表一个绝对限值，超过该值则卫星测量值将变得不能使用。

3.5.3.2 无线电定位业务

1 215-1 400 MHz雷达大多很难满足-174 dB(W/27 MHz) 的EESS保护标准。本附件中分析的某些雷达也很难满足在1 400-1 427 MHz频带发射机输出端测得的无用辐射发射的-28.9 dB(W/27 MHz) 的预定平均值。

3.6 研究结果

3.6.1 小结

本项兼容性分析算出了在划分给EESS (无源) 的1400-1427 MHz的低端相邻频带内由无线电定位系统产生的潜在干扰。

对于1 400-1 427 MHz频带内EESS (无源) 的工作，无源频带内-28.9 dB(W/27 MHz) 的平均功率限值可给出改善的干扰环境。

但是，完成的其他计算显示，目前在用的某些无线电定位雷达无法满足在发射机输出端测得的-28.9 dB(W/27 MHz) 的平均功率限值。

雷达和无源传感器必须合乎众多管理规定，并按照物理学定律所确定的特有负载量工作。

有一个主管部门根据自己的动态仿真得出结论，即便自己领土上收集的测量数据最多有1%因无用发射超过干扰门限而必须舍弃，自己的传感器仍可收集到有用的科学数据。另一个主管部门做了类似分析，采用的国家频率划分表总体上允许雷达使用低于最高频率1 400 MHz的频率，雷达的部署类似于分析B（见第3.4.2.3.2节），由此得出了更为保守的结果。

### 3.6.2 结论

本项兼容性研究显示，若上述动态分析的结果可认为对目前的许多系统都具有代表性，则可以得出若干现有雷达系统已满足 $-29\text{ dB(W/27 MHz)}$ 的预定平均无用发射功率限值的结论。

对于这些系统中的大多数而言，其未来的发展不会因需要满足预定的无用发射平均功率而受到影响。对于不满足该电平的系统，可以在将来的雷达设计中采用一些减扰技术。

采用 $-29\text{ dB(W/27 MHz)}$ 的平均电平，将发生卫星干扰整体上超过可提供性标准的情况，但仍可收集到某些有用的数据。无用发射限值超过 $-29\text{ dB(W/27 MHz)}$ 的方案虽远不能代表理想情况，但可以代表对EESS（无源）工作的一种显著影响。

在1 400 MHz以上，很难在发射机输出端测出雷达设备的发射信号并合乎 $-29\text{ dB(W/27 MHz)}$ 的预定平均电平。另外，合乎这种标准可能会形成实施上的负担；但雷达要合乎《无线电规则》附录3的杂散发射限值。

有助于雷达合乎预定的 $-29\text{ dB(W/27 MHz)}$ 平均功率电平的理论减扰方法可能对雷达的工作性能构成消极影响，对无线电定位业务可能是一种附加的沉重负担。

最后，预定的 $-29\text{ dB(W/27 MHz)}$ 平均电平表示对两种业务都有影响。

## 4 在1 400-1 427 MHz频带内工作的EESS（无源）系统与在1 350-1 400 MHz和1 427-1 452 MHz频带内工作的固定业务之间的兼容性分析

### 4.1 EECS（无源）

本节探讨与划分给EESS（无源）业务的1 400-1 427 MHz无源频带相邻的1 350-1 400 MHz频带内划分的无线电定位业务。关于EESS（无源）的更多资料可查看第3.1节。

### 4.2 固定业务

#### 4.2.1 划分的发射频带

发射频带在表3-1中给出。

#### 4.2.2 应用

1 350-1 400 MHz和1 427-1 452 MHz频带在众多国家用于各种类型的应用。

ITU-R F.758-3建议书《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》对制定与其他业务之间的共用标准时需要考虑的FS系统的技术特性提供了指导。该建议书的表8和表9以表格形式列出了本项研究中涉及的有代表性的系统的各种点对多点FS终端。本文件第4.2.4节的表4-2摘录了与这些研究有关的参数。

ITU-R F.1242建议书给出了FS频带低端和高端的频道安排。

4.2.3 无用发射电平

下面三小节回顾了在后面的研究中考虑的不同的无用发射掩模。

4.2.3.1 ITU-R SM.1541建议书和《无线电规则》附录3

ITU-R SM.1541建议书附录12的表23具体规定了数字FS设备的一般性无用发射掩模。该掩模在本文件表4-1中给出，提到的频率偏移用偏离发射中心频率的百分比给出，称为FS频道间隔 (CS)。

表4-1  
在30 MHz以上频率工作的数字固定业务的频谱掩模  
除FDMA之外的所有系统

频率偏移 (CS%)	衰减 (dBsd)
0	0
55	0
120	-25
180	-40
250	-40

考虑到QPSK调制的典型传输速率约为2.4 Mbit/s，0 dBW发射信号的最大功率谱密度 (PSD) 为 -60.8 dB(W/Hz)。对于2 MHz的频道间隔，ITU-R F.1242建议书给出的1 375-1 400 MHz和1 427-1 452 MHz频带的FS频道规划在与无源业务频带相邻的频带边缘提供了0.5 MHz的保护频带。采用ITU-R SM.1541建议书的这个无用发射掩模在1 400-1 427 MHz无源频带内积分可得出-14.6 dB的无用发射系数，此处无用发射系数规定为无源频带内的无用发射功率与FS发射总功率之比。

《无线电规则》附录3提供了杂散发射的最大可允许功率电平。该电平必须比总平均电平 $P$ 至少低 $-x$  dBc。功率 $P$ 要在足以容纳总平均功率的带宽内测量。对于所有高于1 GHz的频率，杂散域发射要在1 MHz基准带宽内测量。衰减在 $43 + 10 \log(P)$ 和70 dBc之间，是一个不很严格的值。

值得注意的是，杂散限值以dBc为单位给出，无用发射掩模则以dBsd为单位给出。为了像无用发射掩模那样在图中显示杂散限值，dBc单位必须转换成dBsd。

4.2.3.2 依据ECC (欧洲邮电主管部门大会 (CEPT)) 建议书规定的电平

ECC 02-05建议书为整套ITU-R建议书的使用及其与关于杂散发射的ERC 74-01建议书的关系提供了指导。



ITU-R SM.1541建议书给出的带外域无用发射限值只是一般性的“安全净限值”，因为这些值通常构成最小限制带外域发射限值，是已在国内或区域规则中顺利实施的限值。

ECC 74-01建议书 (附件1) 中的杂散域无用发射限值 (杂散域发射限值) 对应着ITU-R SM.329建议书中的B类限值。该建议书中含有绝对值为-50 dBm的提供给天线的杂散发射功率，其基准带宽取决于频率偏移和频道间隔 (CS)。

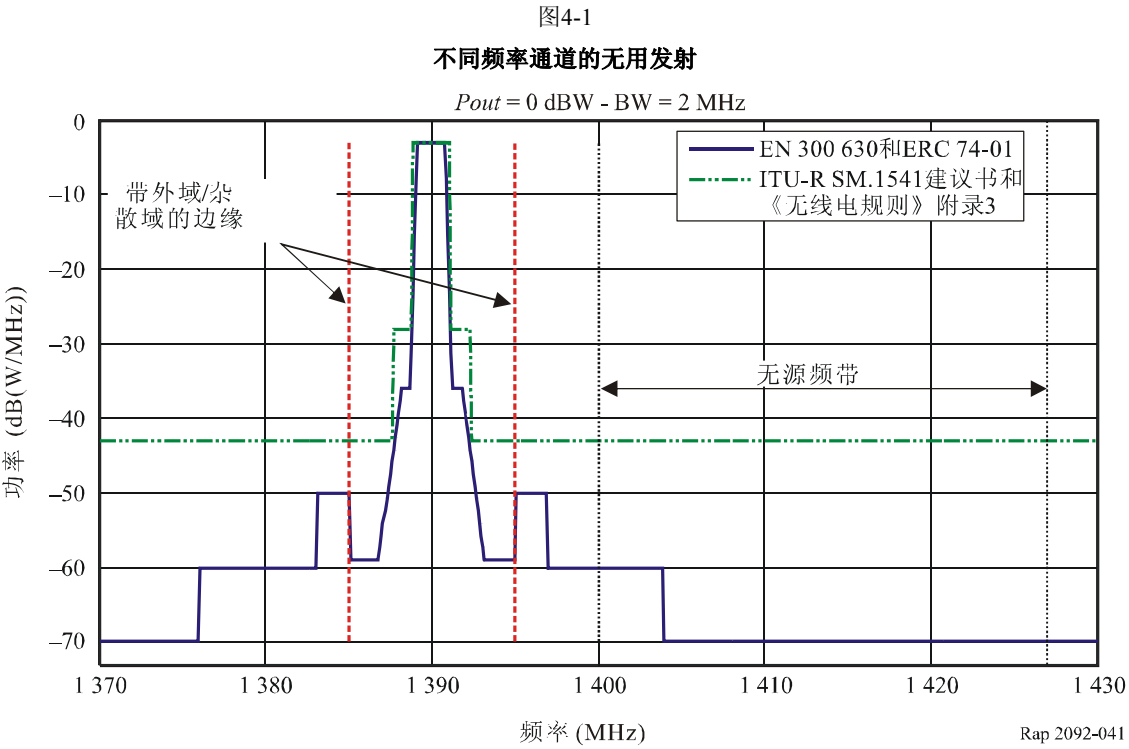
另外在欧洲范围内，在1 350-1 400和1 427-1 452 MHz频带内工作的固定业务设备必须合乎ETSI标准，比相应的ITU-R或CEPT建议书更为严格。上述频带适用的ETSI标准有两个：ETSI EN 300 630和ETSI EN 301 390。

- ETSI EN 300 630提供了该频带内要部署的点对点设备的特性。尤其是该标准提供了关于带外域内发射掩模的资料。1类和2类表示最坏情况，并在计算中加以考虑。
- ETSI EN 301 390提供了与杂散域内无用发射应满足的限值有关的资料，并在其计算中引用ECC 74-01建议书。

必须注意的是，无用发射域的电平是用相对于在必要带宽内提供给天线传输线路的功率而言的衰减给出的，而杂散域内的电平则用其绝对值给出。ECC 74-01建议书解释了如何确定这两个域的边缘。

#### 4.2.3.3 示例

频率规划 (频道的中心频率和带宽) 因国而异。本小节概述在某种固定业务配置下的不同掩模。示例中考虑的发射功率为0 dBW (即e.i.r.p.减去天线最大增益)，频道带宽为2 MHz。其中心频率为1 390 MHz，如图4-1所示。



显而易见，落入无源频带内的无用发射取决于频道带宽、距离中心频率的偏移和功率。

无用发射衰减系数则规定为在1 400-1 427 MHz无源频带内积分的无用发射功率与提供给FS天线的功率落入有源频带的那部分的比值。

在本示例中估计的无用发射衰减为52 dB。

4.2.4 发射机的特性

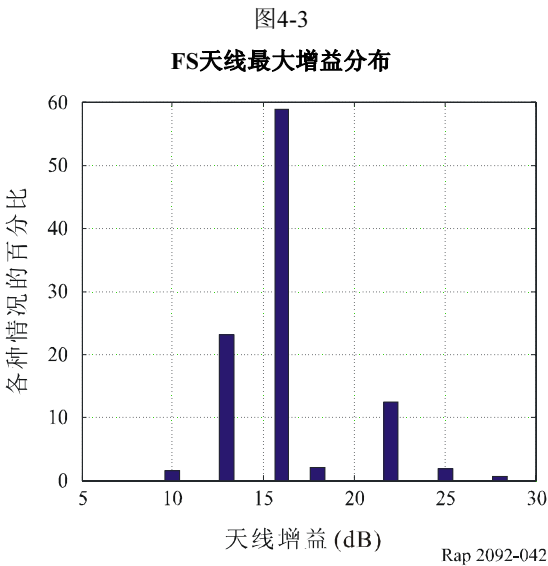
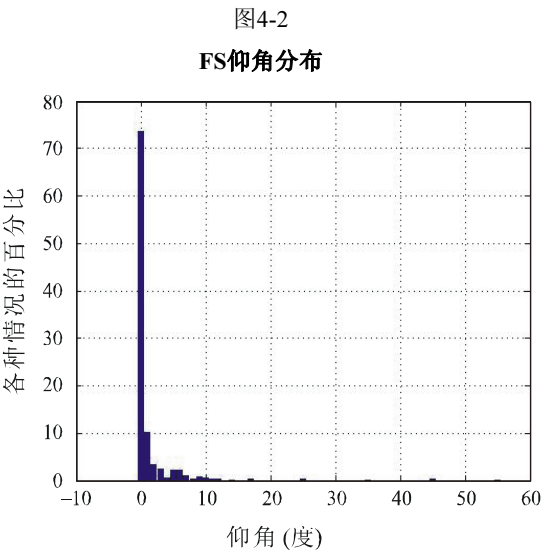
表4-2

FS点对点系统的参数

参数	值
调制	4 PSK
频道间隔	25 kHz至2 MHz
天线增益	8至31 dBi (八木或抛物面)
馈线损耗	3 dB
最大e.i.r.p.	0至37.5 dBW

4.2.5 点对点 (P-P) 系统的工作特性

下面是CEPT国家部署的FS链路的有代表性的天线增益分布和FS仰角分布。



下面的表4-3给出了对于大多数常见频道带宽参数而言各固定链路出现的百分比。

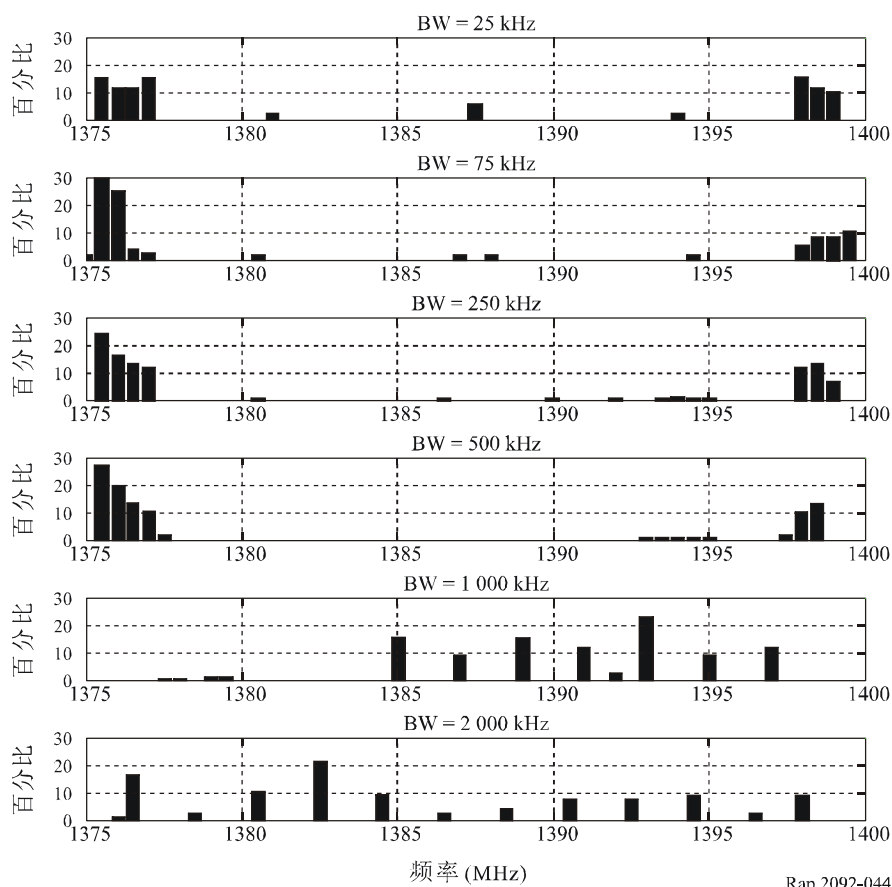
表4-3  
在CEPT国家内FS点对点频道间隔的分布

频道间隔	各种情况的%
25 kHz	4
75 kHz	6.7
250 kHz	53.7
500 kHz	8.3
1 MHz	21.1
2 MHz	6.2

对这些频道间隔中的每一个，根据从不同主管部门得到的实际值估计了中心频率的分布律。分布律示于图4-4。可能会注意到，无源频带旁有0.5 MHz的保护频带。

图4-4

不同频道带宽情况下中心频率的分布



Rap 2092-044

### 4.3 兼容性研究

#### 4.3.1 用于评估干扰电平的方法

上文第3.1.3节按照测量区内超过干扰门限电平的测量面积所占的百分比具体规定了保护要求，为了与该要求进行比较，还进行了一项集总干扰研究，采用动态建模技术完成了计算机仿真，以便估计出由FS站的典型部署模型产生的干扰电平的统计分布。

#### 4.3.2 采用动态模型仿真计算集总干扰电平

##### 4.3.2.1 第一项分析

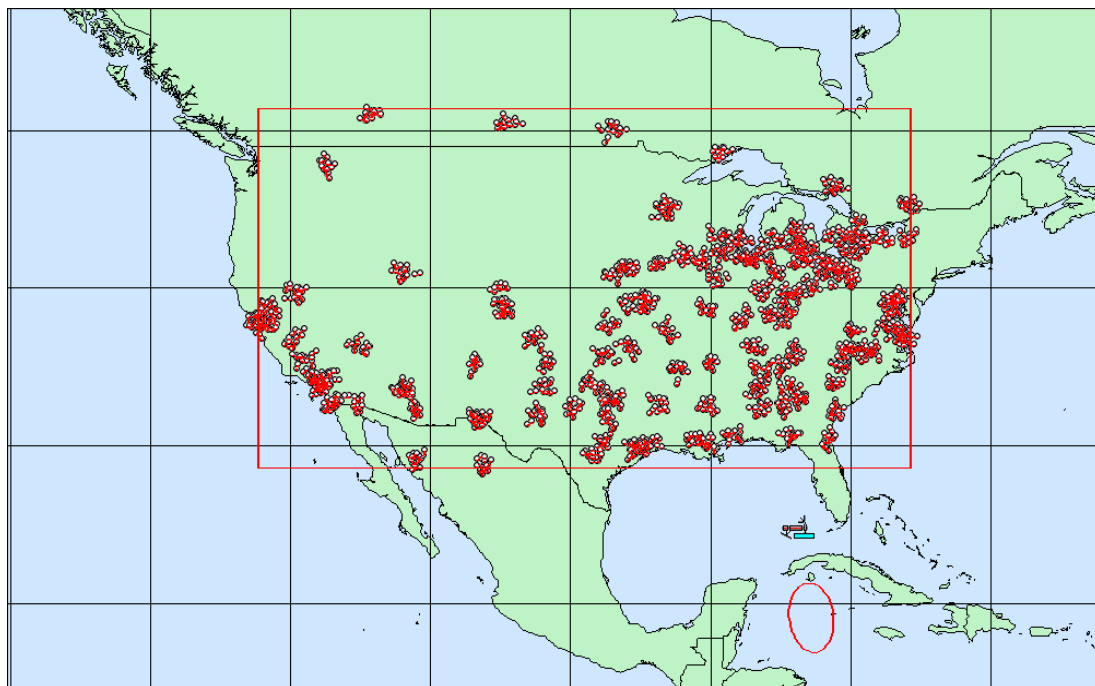
对于假设的FS站的地理分布，可以采用动态建模仿真来确定在相邻频带内工作的FS站产生的集总干扰。图4-5描绘了一个假设的FS部署模型，FS链路随机分布在132个北美城市附近，每处包括10条双向FS链路。这些城市位于10 000 000 km<sup>2</sup>的测量区内，边线为51.375° N、75.695° W、28.625° N和122.305° W。

在该示例仿真中采用的FS参数 (e.i.r.p.和基准天线方向性图) 以增益为31 dBi、直径为3 m的抛物面天线为基础。仿真中每一FS链路一端的坐标在距离相关城市20至70 km的范围内随机选取。随机选取链路的方位角，链路另一端的坐标在此方位角上按距离35 km计算。假设链路每一端的仰角为0°。按照该假想的FS部署模型中每个城市10条点对点FS链路的假设部署密度，仿真中FS发射机的总数为2 640个。

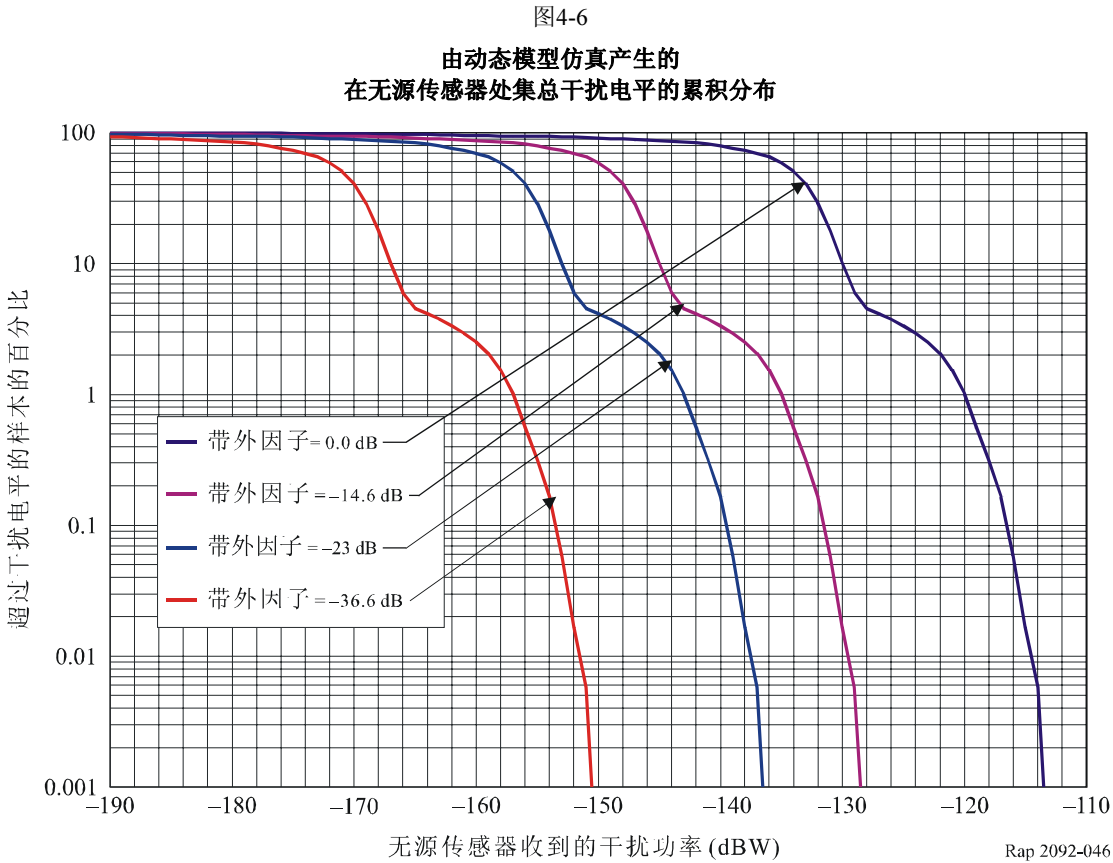
该轮计算机仿真模拟了15天的卫星轨道，时间步长为72 ms。图4-6给出了在图4-5所绘的测量区中能见到卫星的那些时间步长内无源传感器收到的集总干扰电平累积分布函数。

图4-5

进行动态模型仿真的北美测量区



Rap 2092-045



4.3.2.2 第二项分析

另一种动态模型仿真考虑了部署具有第4.2.5.2段给出的工作特性的3 000条FS点对点链路的情况。天线增益鉴别力通过援用ITU-R F.1245建议书得出。

拟定的方法是计算在无源频带内提供给天线的功率为0 dBW时的集总干扰。结果，无源传感器在0.1%的时间内受到的干扰值与门限 (在无源频带内为-174 dBW) 之间的差值将代表1 400-1 427 MHz频带内任何FS的最大可允许发射功率。

分析结果则在图4-8中给出。

图4-7

1.4 GHz频带内点对点FS链路的部署

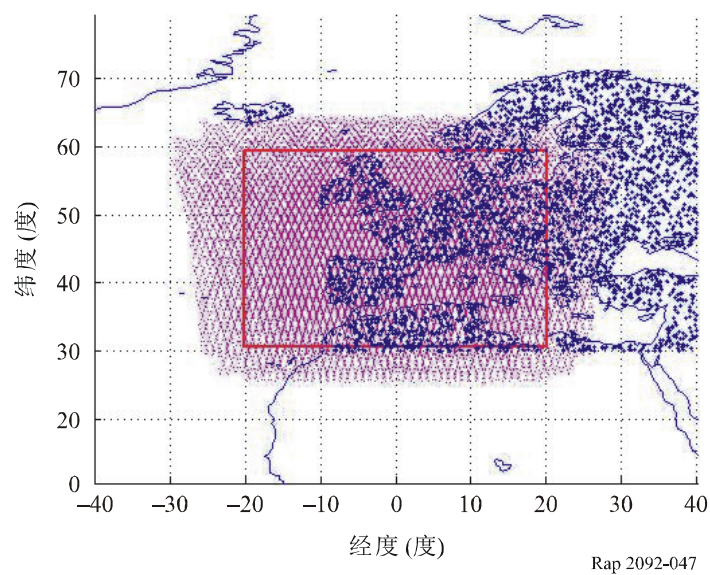
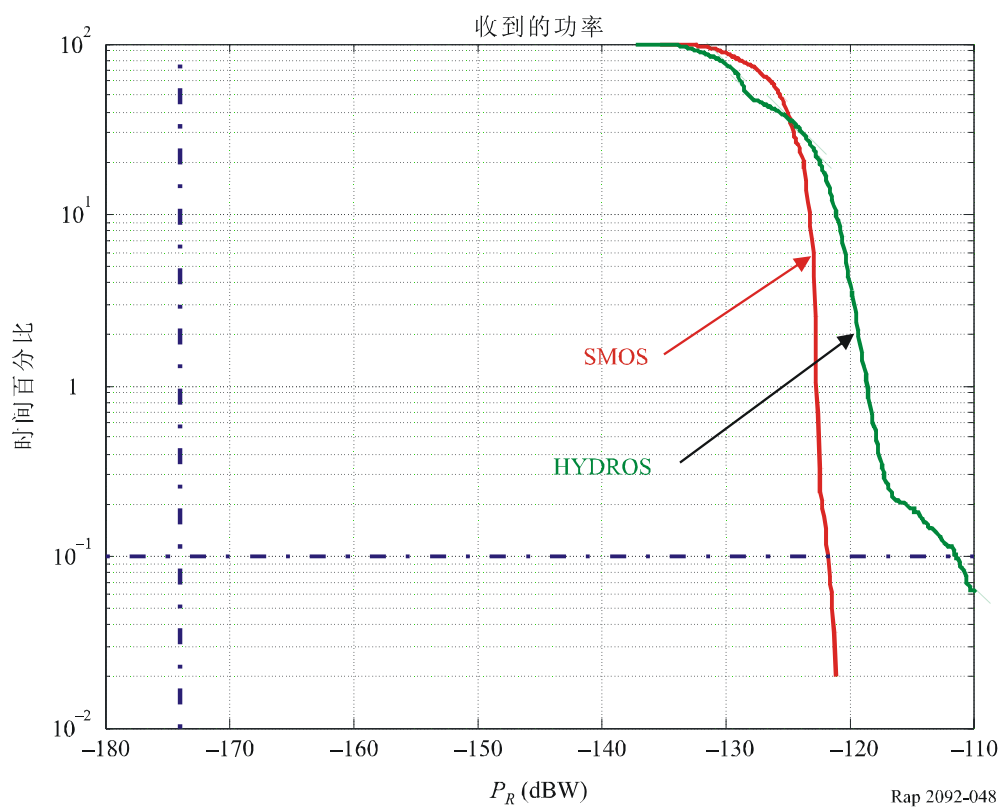


图4-8

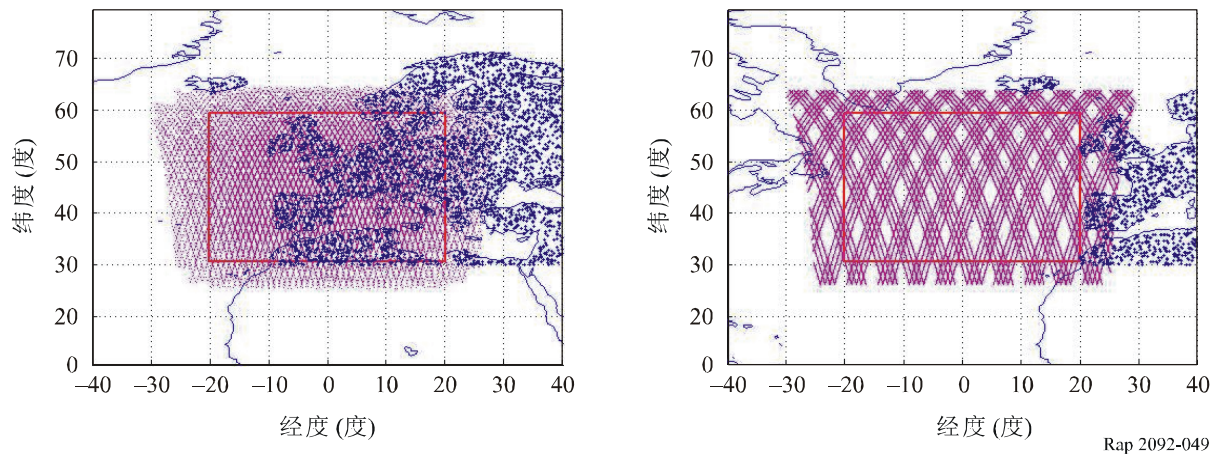
点对点情况的仿真结果



SMOS有两个任务：测量土壤湿度和海洋盐度。SMOS在海洋上完成测量时受到的干扰在图4-9中给出。

图4-9

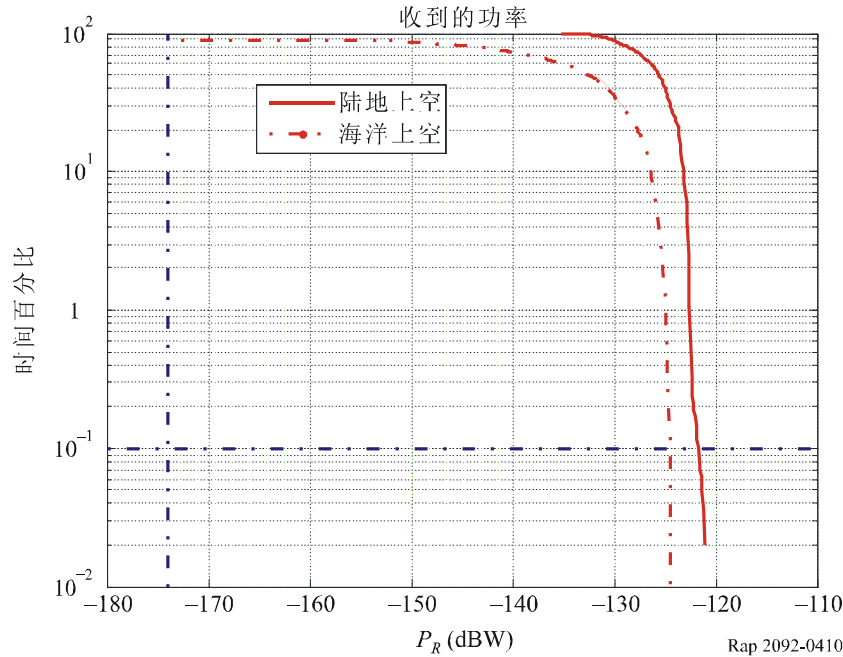
SMOS：在陆地和海洋上空进行的测量



Rap 2092-049

图4-10

SMOS传感器的仿真结果



Rap 2092-0410

在此情况下，干扰要低5 dB，尽管测量区并未远离部署了FS链路的海岸地区。必须注意到，HYDROS专用于土壤湿度测量，因此将只在陆地上完成测量。NASA完成专门测量海洋盐度任务的是AQUARIUS。因此，这种情况对HYDROS不适用。

这些仿真显示，考虑到在很大的面积内部署了3 000个点对点FS系统且提供给天线的功率电平在无源频带内等于0 dBW，在0.1%的时间内，干扰电平对于HYDROS将约为-111 dBW，对于SMOS将约为-121 dBW (而ITU-R RS.1029建议书所含的电平为-174 dBW)。



由干扰功率与保护标准之间的差值得出能够遵守保护标准的最大无用发射功率限值。该限值为：

- 对于SMOS传感器为-53 dBW；
- 对于HYDROS传感器为-63 dBW。

SMOS传感器对干扰的敏感度弱一些，因为它是由最大增益为9 dBi的低增益天线组成的阵列。HYDROS传感器采用高增益天线，天线最大增益为35 dBi，高出了26 dB。

#### 4.3.2.3 第三项分析

采用一种能够构建动态仿真模型的格式将可公开获取的某主管部门核准电台的数据汇总，该仿真站模型在位置、功率和指配频率几方面与核准电台具有相同的特性。该数据库列出了1 427-1 452 MHz频带内67个核准电台的2 168个频率指配。电台大多归类为航空器飞行测试站，或者作为专用陆地移动无线电业务提供遥测业务。

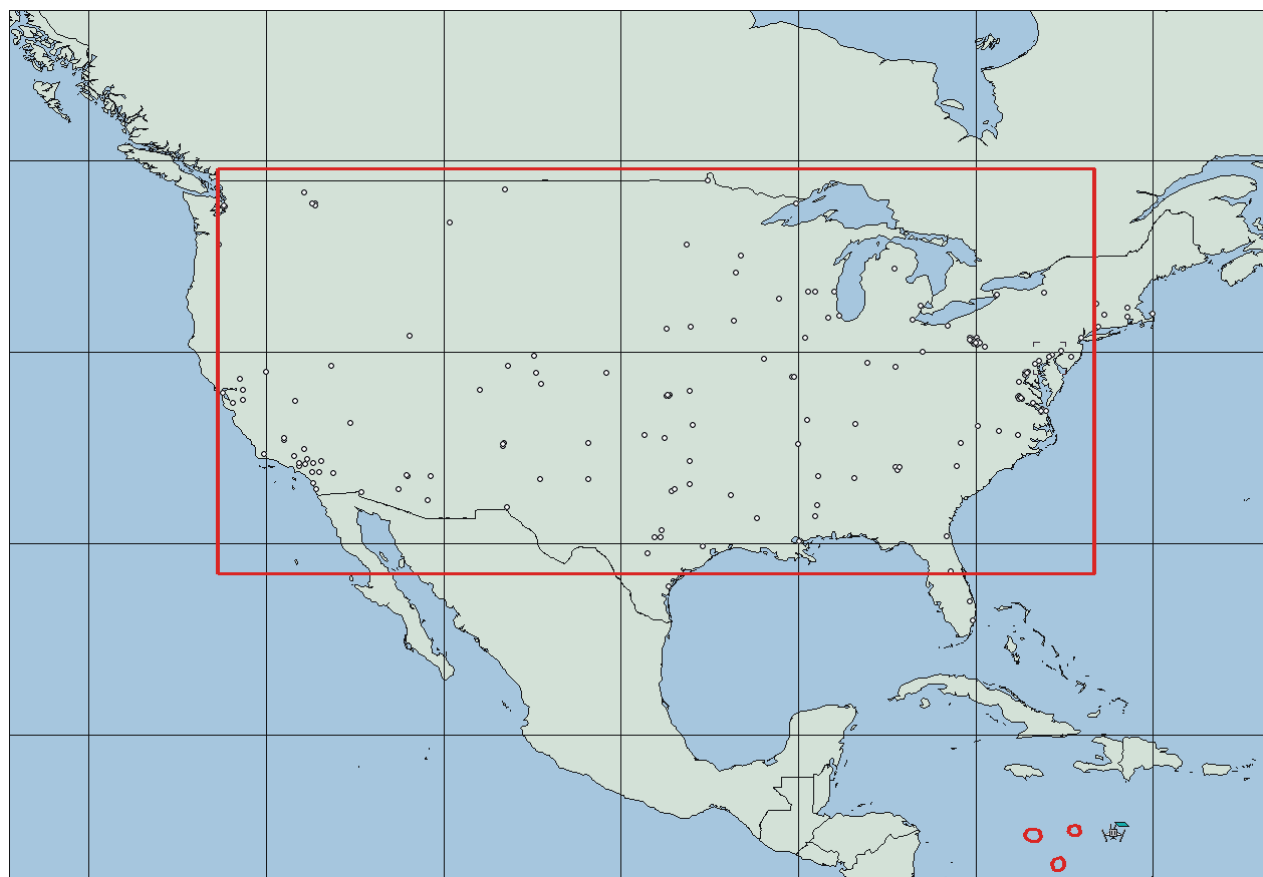
该数据库不包括目前在1 395-1 400和1 427-1 432 MHz频带核准的无线医疗遥测操作、某些政府无线电台或尚需在1 390-1 392 MHz和1 392-1 395/1 432-1 435 MHz频带核准的未来的固定业务站。

图4-11绘制了这些FS发射站的部署，以及用于通过仿真模型确定干扰统计值的无源传感器测量区。图中各点表示该频带核准电台数据库所含的67个电台。电台执照大多规定了在某一特定位置的某个半径范围内的操作，且常常含有对数十至数千个相关移动台的授权，而其基站位置的经纬度则被用做仿真中的基站位置。有几个电台被归类为临时的固定站，在10 000 000 km<sup>2</sup>的测量区内随机指定这类电台的位置。在所有情况下，每个频率指配只有一个电台纳入部署模型，其发射功率在该频率指配的执照中列明。

发射功率的范围在0.6和25 W之间，发射带宽的范围在1 kHz和20 MHz之间。在大多数情况下，执照数据不包括辐射功率电平，且在该仿真中假设所有电台均采用全向天线。根据核准的频率指配中的指配频率和必要带宽对适用的国内规则中规定的发射掩模进行积分，算出落入1 400-1 427 MHz EESS (无源) 频带的无用发射功率。这些值的范围在-28.7和1.3 dB(W/27 MHz)之间。

图4-11

美国核准电台的部署



Rap 2092-0411

对这种部署模型的仿真是在 $10\,000\,000\text{ km}^2$ 的测量区内进行的，范围是图4-11所示的 $28.4234^\circ\text{ N}$ 与 $49.5766^\circ\text{ N}$ 之间和 $73.3159^\circ\text{ W}$ 与 $122.6841^\circ\text{ W}$ 之间。运行仿真时假设所有电台连续工作，并假设工作系数为50%，也就是将具有两个或两个以上指配的电台的频率指配削减一半，将只有一个频率指配的电台削减一半。

在无源传感器能够对测量区内的点进行抽样时运行仿真，以便在3天的仿真运行内产生CDF，对于HYDROS时间步长为72 ms，对于Aquarius时间步长为1 s。核准电台对1 400-1 427 MHz频带内无源传感器产生的干扰的CDF在图4-12和图4-13中给出。用规则性发射掩模对窄带信号在27 MHz无源传感器带宽内的无用发射进行积分，得到的结果有可能高估实际发射的电平。由于这个原因，仿真中考虑了将部署模型中每一电台在EESS (无源) 频带内的无用发射均匀地限制在 $-45\text{ dB(W/27 MHz)}$ 的情况，该值比采用规则性发射掩模进行积分算出的平均无用发射功率低30 dB。图4-12和图4-13中表明的在测量区0.1%的面积内超过的干扰功率，若采用假设的核准电台参数则在 $-115$ 和 $-124\text{ dB(W/27 MHz)}$ 之间，对于均匀的 $-45\text{ dB(W/27 MHz)}$ 的情况则在 $-145$ 和 $-154\text{ dB(W/45 MHz)}$ 之间。图4-12和图4-13纳入了另一种情况，此时，与静态分析的结果相比，动态仿真中的每一FS站工作时在EESS (无源) 频带内产生的无用发射电平为 $-28.9\text{ dB(W/27 MHz)}$ ，该电平在静态分析中假设为一个平均值以拉平雷达波束运动和频率跳变的动态范围。

图4-12

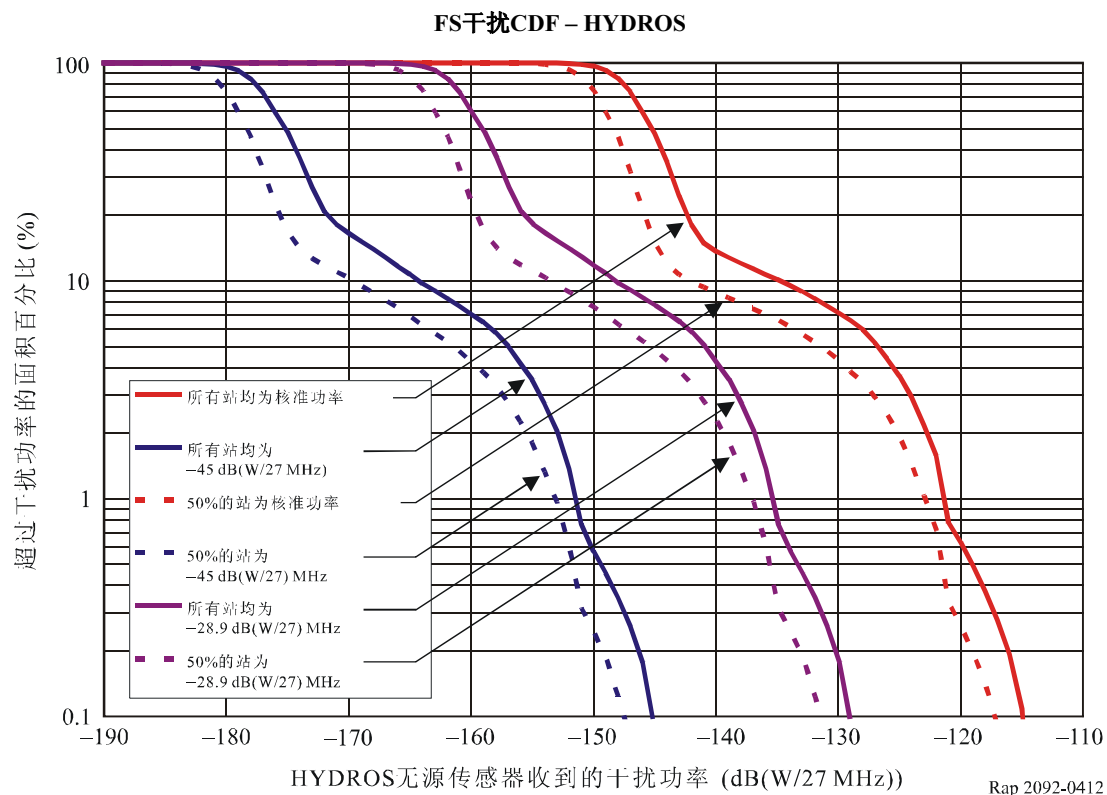
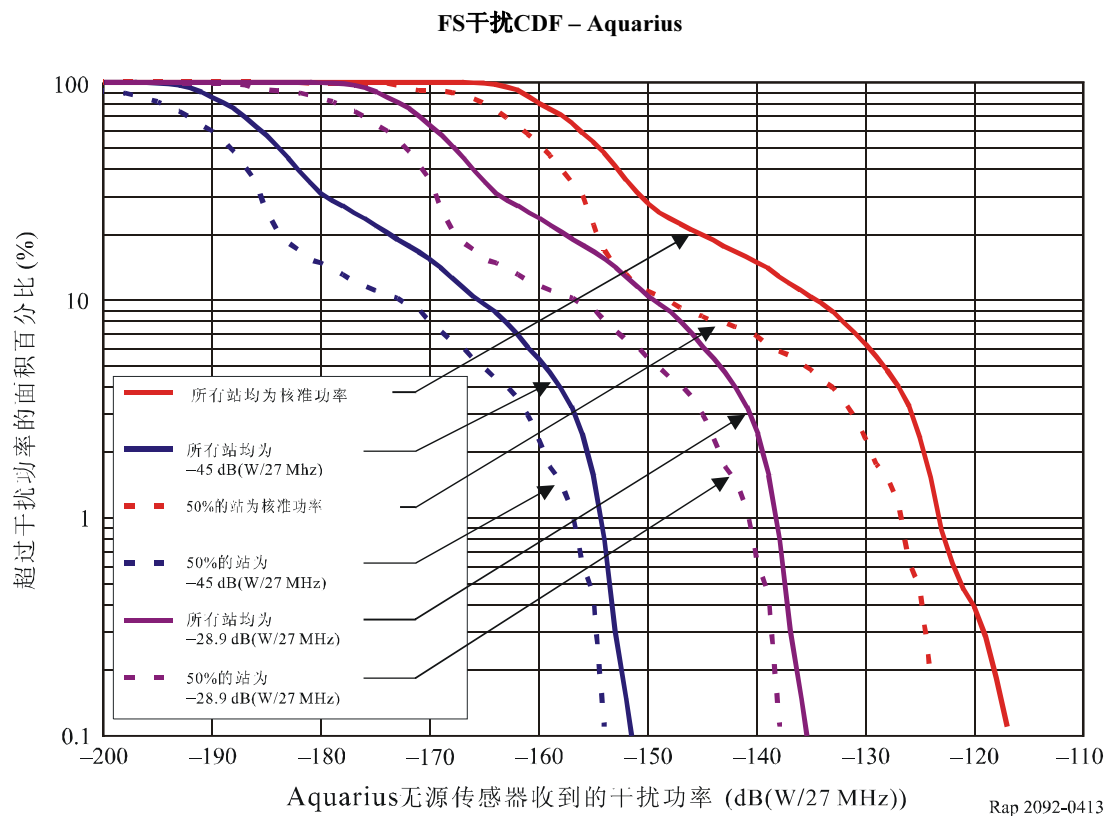


图4-13



### 4.3.3 达到的值

第4.3.2.1节对城市地区周围10 000 000 km<sup>2</sup>的面积内2 640个站的FS站部署方案提出了一项HYDROS传感器仿真分析。该项分析表明，若在1 400-1 427 MHz无源频带内天线端口的FS无用发射功率电平不超过-53 dB(W/27 MHz)，则可以满足ITU-R RS.1029-2建议书的集总可允许干扰标准。

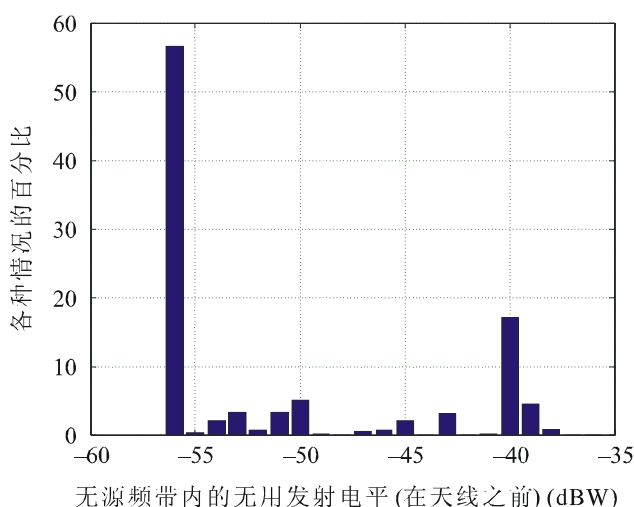
另一项研究显示，考虑到在很大的面积内部署了具有第4.2.5.2节提出的典型特性的3 000个点对点FS系统，若在无源频带内天线端口的无用发射功率对于SMOS传感器低于-53 dBW及对于HYDROS低于-63 dBW，则在0.1%以上的时间内不会超过干扰门限。

涉及在一个主管部门内核准的2 168个频率指配的第三项仿真表明，若落入1 400-1 427 MHz频带内的无用发射功率不超过-71至-65 dB(W/27 MHz)，则不会超过集总EESS (无源)干扰标准。

作为一个示例，图4-14示出了落入1 400-1 427 MHz无源频带的天线端口的无用发射功率，此时考虑的是CEPT国家内符合ETSI标准、具有ITU-R F.1242建议书中所含的0.5 MHz保护频带和典型的FS链路部署的情况。这些值大都在-56至-38 dBW的范围内。要注意的是，在1 400-1 427 MHz频带内，符合上述标准的现有FS链路产生的无用发射约有50%不超过-55 dB(W/27 MHz)，约有95%不超过-40 dB(W/27 MHz)。无论如何必须指出，ETSI标准可能还是高估了杂散电平，尤其是对于中心频率远离无源频带或频道间隔较窄的FS链路。

图4-14

无源频带内无用发射电平的分布



Rap 2092-0414

这些研究中所用的FS特性来自关于FS与其他业务之间共用研究的ITU-R F.758建议书。另外，有些主管部门在点对多点FS系统中使用高于1 427 MHz的频率，这些系统的特性可能与ITU-R F.758建议书规定的特性有所不同。应注意的是，这些研究是以仅含点对点FS系统的仿真为基础的，这些研究的结果可能不适用于点对多点系统。

## 4.4 减扰技术

### 4.4.1 卫星地球探测(无源)业务

由于划分的27 MHz频带的宽度有限, 但凡减小无源传感器的带宽都将降低其灵敏度并对由数据测量形成的科学产物的质量构成不利影响。

### 4.4.2 固定业务

尽可能增加中心频率与无源频带边缘之间的频率偏移可被认为是一项可能的减扰技术。这种偏移必须大于必要带宽的250%, 以便让无源频带落入杂散域。要求保护频带超过ITU-R F.1242建议书的频率规划所规定的值可能对FS形成不适当的限制。

### 4.4.3 潜在影响

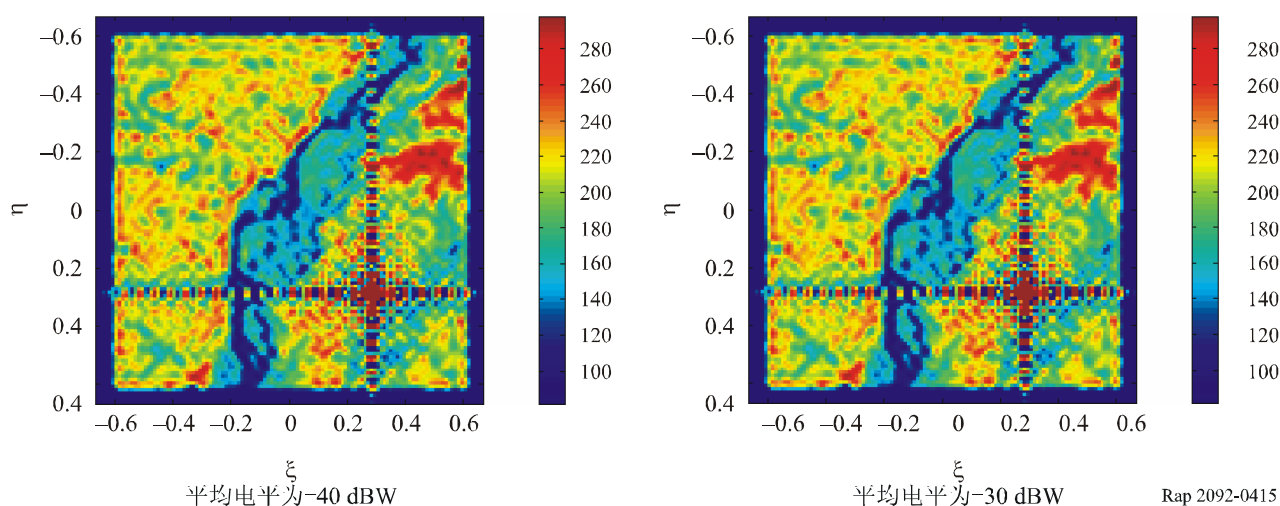
#### 4.4.3.1 卫星地球探测(无源)业务

当前和未来在相关频带内使用的无源传感器无法区分预定的自然发射和非预定的人为发射。因此, 若集总无用发射电平超过分析中所用的假设值, 则存在测量受损的风险。受损的测量数据可能对国际合作伙伴举措构成不利影响, 这些举措在全球、区域和国家层面产生了综合性的数据, 可满足对环境信息的需求和支持关于环境的科学测量计划。

为了评估从单一发射机进入1 400-1 427 MHz无源频带的各种数值的平均无用发射功率对SMOS的干扰影响, 进行了一项仿真。图4-15示出了用做仿真程序输入的源的亮度温度图。

图4-15

描绘中国西北城市西安附近的一段黄河的输入亮度温度图



仿真所用的视场约为70°, 该值对应着超过1 000 km × 1 000 km的面积。

#### 4.4.3.2 固定业务

在欧洲,无用发射电平是分别由ETSI的EN 302 217 (点对点应用) 和EN 301 753 (点对多点应用) 标准给出的。杂散限值由以ECC 74-01建议书的限值为基准的EN 301 390给出,对应着ITU-R SM.329-7建议书中的B类限值。这些ETSI标准中的无用发射限值比ITU-R SM.1541建议书中给出的无用发射电平更为严格。另外,实际设备所用的无用发射电平常常低于ITU-R SM.1541建议书中规定的电平。

作为一个示例,采用了相关ETSI标准中的无用发射掩模 (I类和II类), 并假设发射机的输出为 $-10\text{ dBW}$ <sup>4</sup>、最大频道间隔为 $3.5\text{ MHz}$ ,此时来自相邻频道的无用发射电平为 $-33\text{ dBW}$  (基准带宽 $=3.5\text{ MHz}$ )。这意味着比预定的 $-53\text{ dB(W/27 MHz)}$  限值高出 $20\text{ dB}$ 以上。若采用 $3.5\text{ MHz}$ 的保护频带,则无用发射电平为 $-55\text{ dBW}$  (基准带宽为 $3.5\text{ MHz}$ ),即在转换为 $27\text{ MHz}$ 的EESS带宽时仍高于预定的限值。若不采用附加滤波,则需要较宽的保护频带以满足预定的限值,但ITU-R F.1242建议书的FS频道规划给出的保护频带不超过 $0.5\text{ MHz}$ 。

对于ITU-R F.1242建议书中最高 $250\text{ kHz}$ 的频道间隔, $1\,400\text{--}1\,427\text{ MHz}$ 无源频带内的大部分无用频谱属于杂散域。对于中心频率远离无源频带的所有那些FS链路,这种杂散电平 (在 $100\text{ kHz}$ 基准带宽内为 $-80\text{ dBW}$ ) 的积分形成了低于 $-56\text{ dB(W/27 MHz)}$  的无用功率,刚好低于预定门限,而不论发射功率任何。

总之,有些FS系统可能难于满足预定的无用发射限值,尤其是采用ITU-R F.1242建议书中频道间隔大于 $250\text{ kHz}$ 、小于最大值 $3.5\text{ MHz}$ 的那些系统。一种解决办法可能是首先将最靠近无源频带的中心频率指配给窄带CSFS链路。由此让落入无源频带的无用发射属于杂散域。

### 4.5 研究结果

#### 4.5.1 小结

本节探讨了在 $1\,400\text{--}1\,427\text{ MHz}$ 频带内工作的EESS无源业务系统与在 $1\,350\text{--}1\,400\text{ MHz}$ 和 $1\,427\text{--}1\,452\text{ MHz}$ 频带内工作的固定业务之间的兼容性分析。

头两小节给出了一些关于EESS和固定业务系统的资料。随后的一小节关注兼容性研究。该小节根据对北美或欧洲FS点对点链路部署情况的三种动态仿真得出了关于干扰电平结论。这些研究考虑了在约 $10\,000\,000\text{ km}^2$ 的面积内 $2\,000$ 至 $3\,000$ 条FS链路的部署情况。这些研究显示,若FS站发射机天线输入端口的无用发射功率密度超过 $-71$ 至 $-53\text{ dB(W/27 MHz)}$ ,具体值视无源传感器的特性和假设的FS站的特性以及特定研究中的部署模型而定,则仅由FS产生的干扰就会超过EESS (无源) 的集总可允许干扰标准。

不过,有些FS系统可能难于满足这样的预定无用发射限值,尤其是采用ITU-R F.1242建议书中频道间隔大于 $250\text{ kHz}$ 、小于最大值 $3.5\text{ MHz}$ 的那些系统。在不考虑实际系统在何种程度上超过CEPT标准的要求的情况下,通过最低合乎EN 300 630标准 (无用发射掩模)、CEPT 74-01建议书的杂散域发射限值和CEPT T/R 13-01建议书 (频率通道安排),CEPT国家在 $1\,400\text{--}1\,427\text{ MHz}$ 频带内现有的FS链路产生的无用发射电平约有 $50\%$ 不超过 $-55\text{ dB(W/27 MHz)}$ ,约有 $95\%$ 不超过 $-40\text{ dB(W/27 MHz)}$ 。

---

<sup>4</sup> 根据ITU-R F.758建议书,采用功率电平高于 $+5\text{ dBW}$ 的FS系统正在运行。

## 4.5.2 结论

考虑到在所研究的部署面积内2 000至3 000条FS链路的部署情况, 研究显示, 若落入无源频带内的无用发射功率不超过进入天线端口的 $-71$ 至 $-53$  dB(W/27 MHz), 具体值视无源传感器的特性和假设的FS站的特性以及特定研究中的部署模型而定, 则可以满足EESS (无源) 集总可允许干扰标准。研究还显示, CEPT国家内合乎EN 300 630标准的无用发射掩模、CEPT 74-01建议书的杂散域发射限值和CEPT T/R 13-01建议书的频率通道安排的现有FS链路, 与约50%情况下进入天线端口的 $-53$  dB(W/27 MHz)和约95%情况下进入天线端口的 $-40$  dB(W/27 MHz) 无用发射电平是兼容的。将这些频带内FS点对点发射机落入EESS (无源) 频带内的无用发射功率限制在进入天线端口的 $-53$ 和 $-40$  dB(W/27 MHz) 之间的某个电平上, 有可能不对FS产生不适当的负担。所有FS站产生的无用发射电平若属于该范围的上半段, 将超过ITU-R RS.1029-2建议书中的可允许干扰电平, 尽管如此, 将FS无用发射限制在该范围内仍可让无源传感器在1 400-1 427 MHz频带完成其任务。该范围的下半段对EESS (无源) 提供了更强的保护, 但也对FS施加了更多的限制, 而该范围的上半段虽然导致对FS的限制较少, 但却导致进入EESS (无源) 的干扰电平更高。

若无源频带内的无用功率低于进入天线端口的 $-45$  dB(W/27 MHz), 则有可能达到可接受的干扰, 因为对高于进入天线端口的 $-40$  dB(W/27 MHz) 的所有电平, 可以把某种影响看做来自一个单一的干扰源, 且FS链路大多合乎这一干扰电平。

但应注意的是, 这些结论是以仅含点对点FS系统的仿真为基础的, 可能不适用于点对多点系统。因此, 可能需要进一步研究以确定技术限制给点对多点FS系统造成的影响。

## 5 在1 400-1 427 MHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在1 427-1 429 MHz频带内工作的空间操作 (地对空) 业务系统之间的兼容性分析

### 5.1 EESS (无源)

本节探讨与划分给EESS (无源) 业务的1 400-1 427 MHz无源频带相邻的1 427-1 429 MHz频带内划分的空间操作业务。关于EESS (无源) 的更多资料可查看第3.1节。

### 5.2 空间操作业务 (地对空)

#### 5.2.1 划分的发射频带

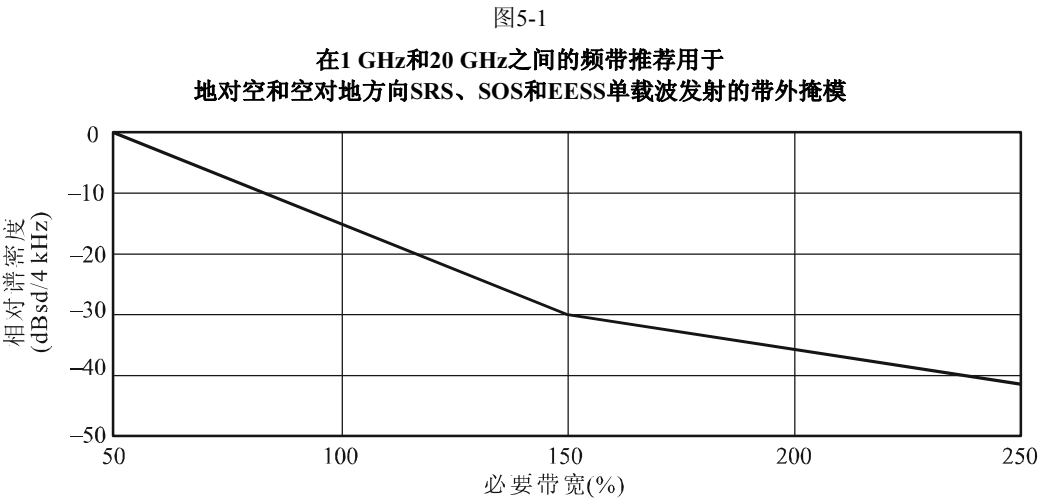
有源业务频带为1 427-1 429 MHz空间操作业务频带。

5.2.2 应用

该频带的空间操作业务在地对空方向用于遥测和遥令目的。在本项研究中考虑两种应用。第一种应用中采用的特性属于由9颗卫星组成的RNSS网 (COMPASS-H) 的遥令链路，该网络计划将1 427-1 429 MHz频带用于卫星的上行链路。第二种应用是为了向由低地球轨道卫星组成的某个星座提供遥令链路。

5.2.3 依据ITU-R的规定和建议书规定的电平

图5-1给出了ITU-R SM.1541建议书规定的空间操作业务 (SOS) 的无用发射域掩模。



注1 — 发射掩模一般扩展至必要带宽的250%。但窄带系统和宽带系统带外域的外边缘要按照ITU-R SM.1539建议书加以改动。

Rap 2092-051

规定发射掩模以dBsd为单位，在4 kHz基准带宽内测得。

该发射掩模规定为：

$$\text{衰减} = -15 + 15 (X / 50\%)$$
$$\text{衰减} = +12 + 6 (X / 50\%)$$

$$\text{dBsd} \quad \text{对于 } 50\% < X \leq 150\%$$
$$\text{dBsd} \quad \text{对于 } 150\% < X \leq 250\%$$

其中X规定为占必要带宽的百分比。

5.2.4 发射机特性

表5-1  
发射机特性

系统	仿真方案1 COMPASS-H	仿真方案2 Walker星座
轨道	非GSO	非GSO
高度 (km)	36 000	750



表5-1 (续)

系统	仿真方案1 COMPASS-H	仿真方案2 Walker星座
倾角 (度)	50	50
带宽 <sup>(1)</sup> (MHz)	2	2
峰值功率 <sup>(1)</sup> (dBW)	30	30
天线增益 <sup>(1)</sup> (dBi)	41	41
半功率波束宽度 <sup>(1)</sup> (度)	1.47	1.47
卫星数目	9	16
地球站天线方向性图	ITU-R F.1245-1建议书	ITU-R F.1245-1建议书

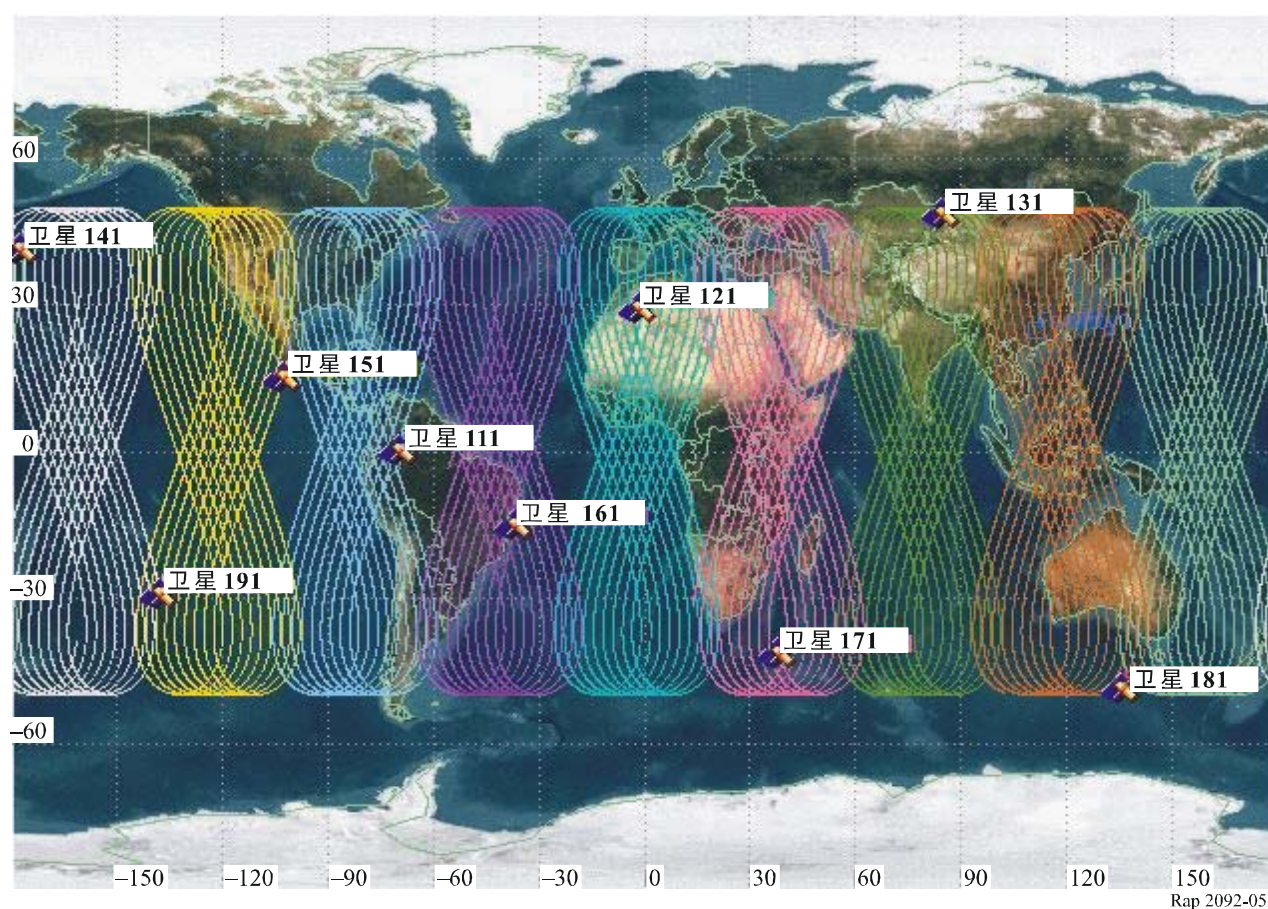
<sup>(1)</sup> ITU-R卫星登记资料中为COMPASS-H系统规定的值。

### 5.2.5 工作特性

COMPASS-H卫星网由9颗卫星组成, 从赤道平面看间隔均匀 (每隔40°经度一颗卫星), 如图5-2所示。

图5-2

COMPASS-H轨道配置



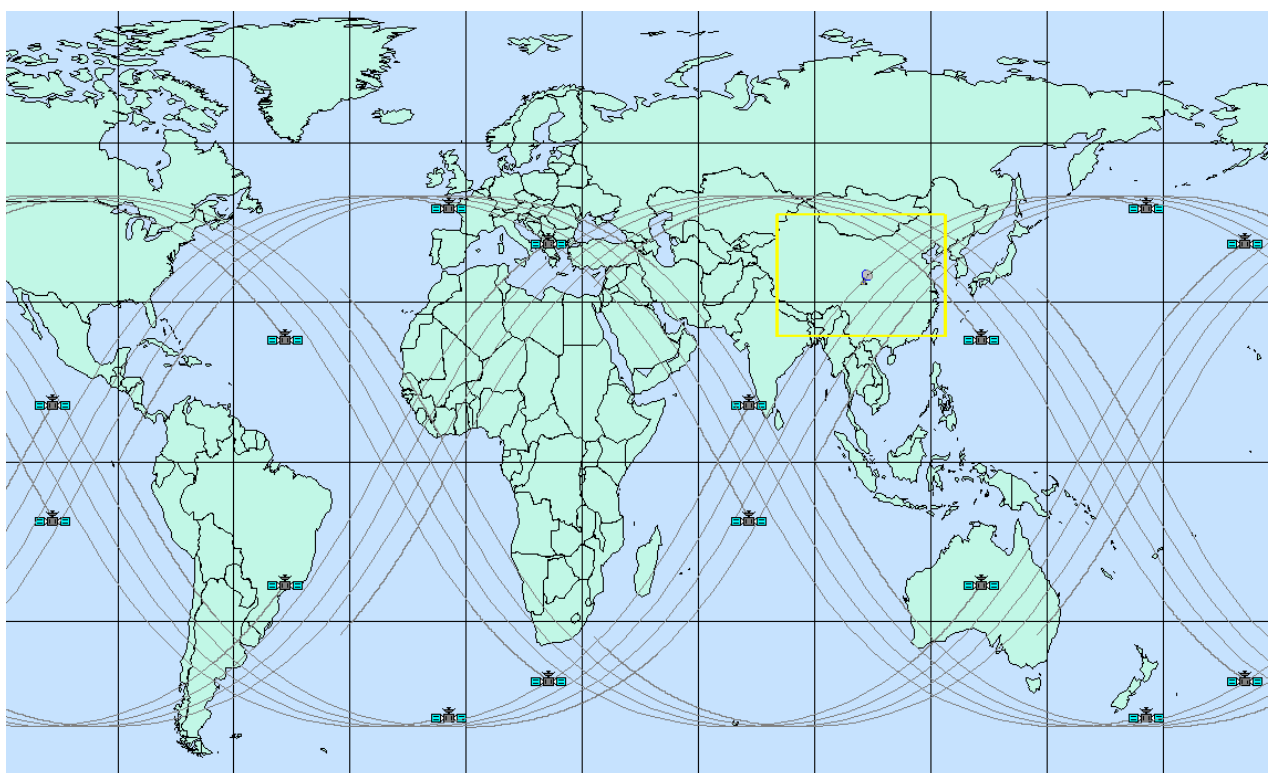
Rap 2092-052

为了不间断地访问9颗卫星，需要3至4个地球站。目前尚不清楚要为COMPASS-H卫星星座装备多少个地球站。

1 427-1 429 MHz空间操作业务频带的另一种可能用途是支持多个低地球轨道 (LEO) 卫星。就本项研究而言，假设为图5-3所示的由16颗LEO卫星组成的星座。

图5-3

16颗LEO卫星的轨道配置



Rap 2092-053

### 5.2.6 带内发射电平

地球站参数可查看表5-1。

### 5.3 干扰门限

对于在1 400 MHz频率附近工作的传感器，ITU-R RS.1029建议书规定的无源业务干扰门限在27 MHz带宽内为-174 dBW。

有可能从多种业务的多种源同时收到干扰。ITU-R RS.1029建议书 (对某一特定频带) 所列的标准为来自所有源的无源传感器的最大可允许干扰。

## 5.4 干扰评估

### 5.4.1 用于评估干扰电平的方法

为评估1 427-1 429 MHz频带的空间操作业务产生的无用发射对1 400-1 427 MHz频带内无源传感器的影响而进行了动态分析。

### 5.4.2 动态仿真的结果

采用了商业仿真程序来完成动态模型仿真，以确定对于在ITU-R RS.1029-2建议书规定的10 000 000 km<sup>2</sup>测量区内进行的观测而言，无源传感器收到的干扰的累积分布函数(CDF)。

就该动态仿真而言，规定测量区为地球表面以23.58° N与46.42° N等纬度线和80.29° E与123.71° E等经度线为边线的10 000 000 km<sup>2</sup>的面积，测量区的中心为35° N、102° E。该无源传感器测量区示于图5-4。假设空间操作业务上行链路地球站位于该测量区的中心。

图5-4  
EESS测量区



Rap 2092-054

表5-2规定的发射功率为发射总功率。必须用一个无用发射系数来修正该值，以便仅考虑落入1 400-1 427 MHz无源传感器频带的无用发射功率量值。规定无用发射系数为发射总功率中落入受影响接收机 (例如无源传感器) 带宽内的部分。采用ITU-R SM.1541建议书的空间操作业务的无用掩模，可得出-8.4 dB的无用发射系数。该无用发射系数对应着21.6 dBW的上行链路发射功率，相当于在中心频率为1 413.5 MHz的27 MHz无源传感器频带内62.6 dB(W/27 MHz) 的无用发射e.i.r.p.。

在无源传感器能够对测量区内的点进行抽样时，运行该仿真模型以便在时间步长为200 ms的16天仿真周期内产生CDF。空间操作业务上行链路对1 400-1 427 MHz频带内的HYDROS和Aquarius无源传感器产生的干扰的CDF在图5-5和图5-6中给出。

图5-5

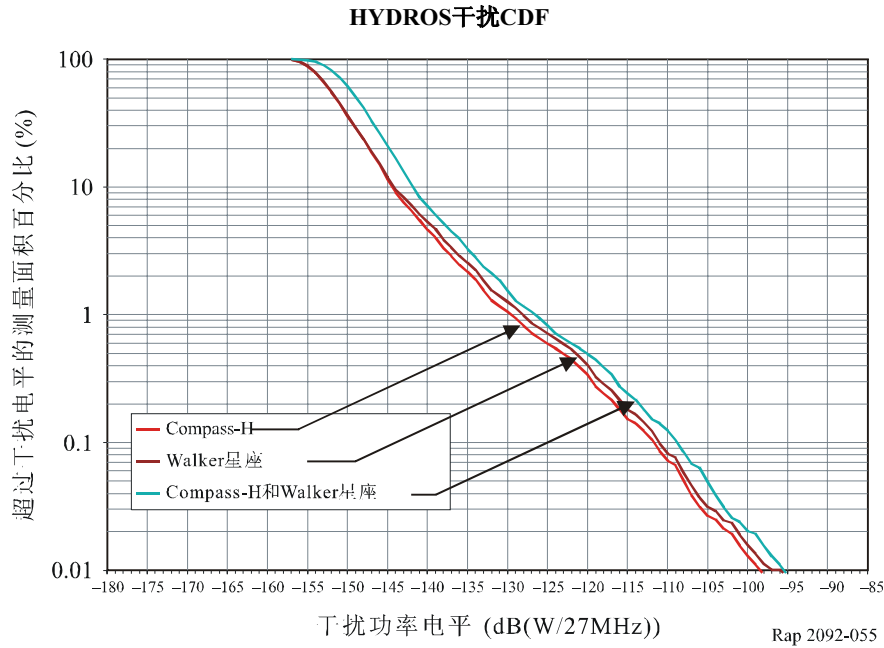


图5-6

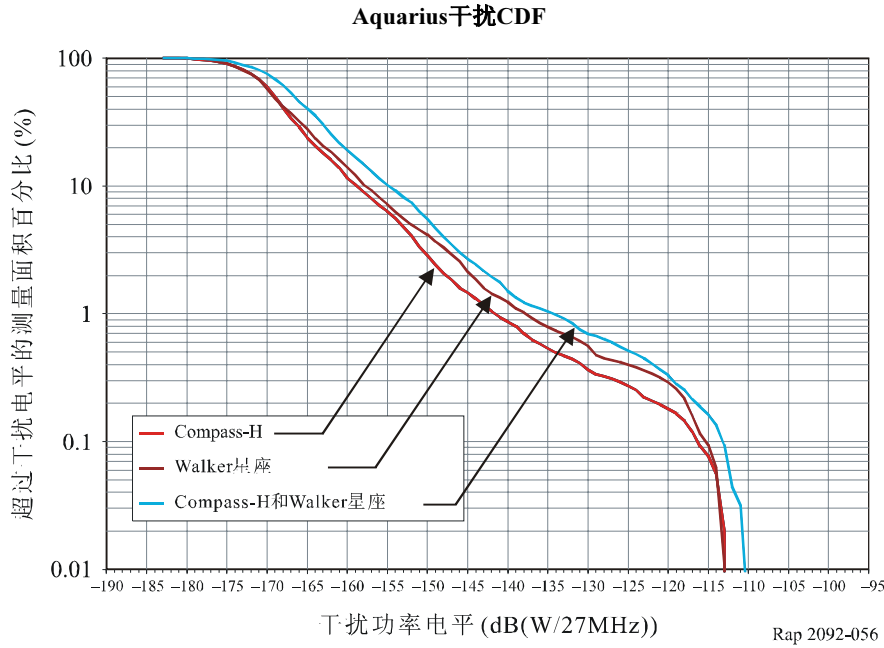


图5-5和图5-6中所绘的干扰电平分析结果显示，在ITU-R RS.1029-2建议书规定的0.1%以上的时间内，1 400-1 427 MHz频带内无源传感器收到的空间操作业务无用发射电平超过了-174 dB(W/27 MHz) 的可允许干扰门限。表5-2给出了满足该门限标准所要求的无用发射功率。

表5-2

## 满足ITU-R RS.1029-2建议书所需的无用发射衰减

	HYDROS			Aquarius		
	来自 COMPASS-H 的干扰	来自Walker星 座的干扰	来自 COMPASS-H 和Walker星 座的干扰	来自 COMPASS-H 的干扰	来自Walker 星座的干扰	来自 COMPASS-H 和Walker星座 的干扰
依据ITU-R RS.1029-2建议书规定的干扰门限 (dB)	-174	-174	-174	-174	-174	-174
0.1%情况的干扰电平 (dB)	-112.0	-111.2	-108.8	-116.2	-115.5	-113.0
满足ITU-R RS.1029-2建议书所需的附加无用发射衰减 (dB)	-62.0	-62.8	-65.2	-57.8	-58.5	-61.0
可允许无用发射功率 (dB(W/27 MHz))	-40.4	-41.2	-43.6	-36.2	-36.9	-39.4
可允许无用发射 e.i.r.p. (dB(W/27 MHz))	0.6	-0.2	-2.6	4.8	4.1	4.6 1.6

## 5.5 减扰技术

### 5.5.1 EESS (无源)

由于划分的27 MHz频带的宽度有限，但凡减小无源传感器的带宽都将降低其灵敏度并对由数据测量形成的科学产物的质量构成不利影响。

### 5.5.2 空间操作业务

根据已公布的空间操作上行链路地球站的参数，动态仿真的结果显示，要想不超过1 400-1 427 MHz频带内EESS (无源) 的集总可允许干扰标准，1 427-1 429 MHz频带内的空间操作业务需要较大数值的附加带外衰减。可以通过降低发射机功率和采用《无线电规则》第1.153款指明的工作特性之类的减扰技术来减小进入相邻频带的无用发射功率的量值。对COMPASS-H和Walker星座上行链路的初步评估表明，根据已通知的COMPASS-H系统的参数，在仿真中模拟的发射机功率之类的参数可能超过了正常工作条件下此类系统的链路要求。表5-3提出了一种链路预算计算方法，在假设使用这些附加减扰技术的情况下，可根据Aquarius无源传感器已通知的15 dB C/N值和根据其无用发射干扰余量来评估链路余量。



表5-3

## 空间操作业务链路预算的计算

	COMPASS-H	Walker
地球站发射功率 (dBW)	30.0	30.0
地球站发射天线增益 (dBi)	41.0	41.0
自由空间损耗 (dB)	186.4	153.0
空间飞行器接收天线增益 (dBi)	10.0	7.0
空间飞行器接收系统温度 (K)	30.4	27.0
波尔兹曼常数	-228.6	-228.6
接收机带宽 (MHz)	2.0	2.0
空间飞行器C/N (dB)	29.8	63.6
合乎需要的C/N (dB)	15.0	15.0
上行链路C/N余量 (dB)	14.8	48.6
可允许无用发射功率电平 (dB(W/27 MHz))	-36.2	-36.9
来自已公布数据的无用发射电平	21.6	21.6
《无线电规则》第1.153款合规性所需的附加衰减 (dB)	14.6	14.6
C/N余量所需的附加衰减 (dB)	14.8	48.6
最终的无用发射电平 (dB(W/27 MHz))	-7.8	-41.6
超额无用发射电平 (dB)	28.4	-4.7

将上行链路发射功率限制在确实靠近正常工作条件下的链路所必需的最小值，能够显著降低进入EESS无源频带的无用发射电平，且在显著低于发射机饱和和工作点的发射机输出功率电平上工作，也将减轻由频谱旁瓣再生导致的无用发射电平，这种再生是由放大器工作在饱和情况下产生的非线性引起的。例如像表5-3表明的那样，由低地球轨道卫星组成的Walker星座在正常工作条件下工作时，采用《无线电规则》第1.153款给出的工作特性并将上行链路发射功率降至最大已通知功率之下，可降低无用发射电平，导致由上行链路地球站产生的干扰电平满足ITU-R RS.1029-2建议书。

不过对于在更高的高度上工作的COMPASS-H卫星，还需要附加的减扰措施，因为这些卫星的路径损耗也更高。ITU-R的COMPASS-H卫星登记资料列出了为空间操作的上行链路带宽划分的整个频带 (1 427-1 429 MHz)。假设采用QPSK调制，这意味着最高数据速率为4 Mbit/s。许多其他遥令链路工作在比这低很多的数据速率上。若这些遥令链路能够工作在更低的数据速率上，则所需的带宽可以减小，且无用发射电平有可能会更低，调制后滤波也可以更有效。较窄的带宽也会让发射频率的位置距离无源传感器频带的边缘更远，因而给出一定的频率间隔。

### 5.5.3 潜在影响

#### 5.5.3.1 EESS (无源)

若空间操作任务利用了为上行链路操作划分的整个频带 (1 427-1 429 MHz) 及ITU-R卫星登记资料中表明的较大的发射功率电平, 则1 400-1 427 MHz频带内的EESS (无源) 传感器将收到超过-174 dB(W/27 MHz) 门限的无用发射。目前还没有成熟的技术可以识别出无源传感器的测量值受到了干扰的损害和减轻这种受损的测量值对1 400-1 427 MHz频带内按计划执行的任务所收集的科学数据的影响。

当前和未来在相关频带内使用的无源传感器无法区分预定的自然发射和非预定的人为发射。因此, 若集总无用发射电平超过分析中所用的假设值, 则存在测量受损的风险。受损的测量数据可能对国际合作伙伴举措构成不利影响, 这些举措在全球、区域和国家层面产生了综合性的数据, 可满足对环境信息的需求和支持关于环境的科学测量计划。

#### 5.5.3.2 空间操作 (地对空) 业务

第5.4节所述仿真确定了无用发射需要较大的衰减值, 部分原因似乎是由于采用了ITU-R卫星登记资料中最坏情况下的参数值, 且在正常工作期间落入EESS (无源) 频带的无用发射电平有可能显著低于研究中假设的最坏情况下的值。

进入无源频带的无用发射电平可在正常工作期间通过采用尽可能低的发射功率 (《无线电规则》第3.3、第15.2和第15.5款) 和采用《无线电规则》第1.153款表明的工作特性之类的技术而显著降低。对于低地球轨道星座的工作, 采用这些技术能够将正常工作期间进入无源频带的无用发射的发射功率降至-41 dB(W/27 MHz) (或相当的0 dB(W/27 MHz) 无用发射 e.i.r.p. 电平), 不会超过可允许干扰标准。确定一个比该值高约10 dB的无用发射限值应可在正常工作期间提供足够的链路余量, 同时将该干扰控制在仍可让无源传感器完成其1 400-1 427 MHz频带科学任务的电平上。

不过对于由中地球轨道卫星组成的星座, 同样的减扰技术会对其工作形成-8 dB(W/27 MHz) (33 dB(W/27 MHz) e.i.r.p.) 的无用发射功率, 超过可允许干扰电平28 dB。此时, 为了降低无用发射电平, 可能有必要采取附加的减扰技术, 如采用比划分的整个频带窄的发射带宽、对无用发射进行附加滤波和选择远离EESS无源频带边缘的发射频率。偶尔出现的甚大功率应急发射 (例如对于急剧下降的空间飞行器发出命令) 是不连续的, 因此不大可能引起超过EESS (无源) 传感器可允许电平的干扰。

### 5.6 研究结果

#### 5.6.1 小结

本项兼容性分析算出了在划分给EESS (无源) 的1 400-1 427 MHz的频带内由1 427-1 429 MHz频带的空间操作业务产生的潜在干扰。根据已通知的最大地球站功率和带宽数值以及ITU-R SM.1541-1建议书中规定的1 400-1 427 MHz频带的无用发射掩模, 研究结果显示, 空间操作业务无用发射引起的干扰会超过EESS (无源) 集总干扰标准约60 dB。上行链路地球站发射的超过-41至-36 dB(W/27 MHz) 的无用电平 (或相当的0至5 dB(W/27 MHz) 无用发射 e.i.r.p.电平), 具体值视所考虑的无源传感器而定, 会导致超过可允许电平的干扰。

### 5.6.2 结论

若采用目前已通知的最大功率和带宽工作, 1 400-1 427 MHz频带内的EESS (无源) 传感器从空间操作业务上行链路地球站接收到的杂散发射电平将大大超过EESS (无源) 集总可允许干扰标准。确定一个比该值高约10 dB的无用发射限值应可在正常工作期间提供足够的链路余量, 同时将该干扰控制在仍可让无源传感器完成其1 400-1 427 MHz频带科学任务的电平上。对空间操作业务上行链路地球站的无用发射设定一个比本项研究指出的-41至-36 dB(W/27 MHz) 范围的可允许无用发射功率电平最多高10 dB的限值, 仍可让EESS (无源) 传感器完成其1 400-1 427 MHz频带的科学任务, 同时不对1 427-1 429 MHz频带的空间操作业务施加过多限制。

## 6 在1 400-1 427 MHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在1 350-1 400 MHz和1 427-1 452 MHz频带内的移动业务之间的兼容性分析

### 6.1 EESS (无源)

本节探讨与划分给卫星地球探测 (无源) 业务的1 400-1 427 MHz无源频带相邻的1 427-1 452 MHz频带内划分的移动业务。关于EESS (无源) 的更多资料可查看第3.1节。

### 6.2 移动业务

#### 6.2.1 划分的发射频带

有源业务频带为1 427-1 452 MHz移动业务频带。

#### 6.2.2 应用

很长时间以来, 许多国家一直将1 427-1 452 MHz频带用于各种类型的应用。有一个国家正在将1 429-1 453 MHz频带用于三个运营商的2G蜂窝系统, 发射方向为移动台至基站。另外, 该国家正在规划将包括1 427-1 452 MHz在内的1.4 GHz频带重新划分给采用国际移动通信-2000 (IMT-2000) 的3G蜂窝系统, 预计不久的将来可完成2G蜂窝系统的个人数字蜂窝 (PDC) 系统到3G蜂窝系统的过渡。因此, 本项兼容性分析考虑2G和3G两种蜂窝系统。

ITU-R M.1073建议书给出了1 429-1 453 MHz频带内PDC系统的系统参数。ITU-R M.1457建议书给出了IMT-2000系统的参数。

另外, 航空移动遥测在1 427-1 452 MHz频带内按照《无线电规则》第5.342和第5.343款脚注工作。ITU-R M.1459建议书给出了这些系统的参数。

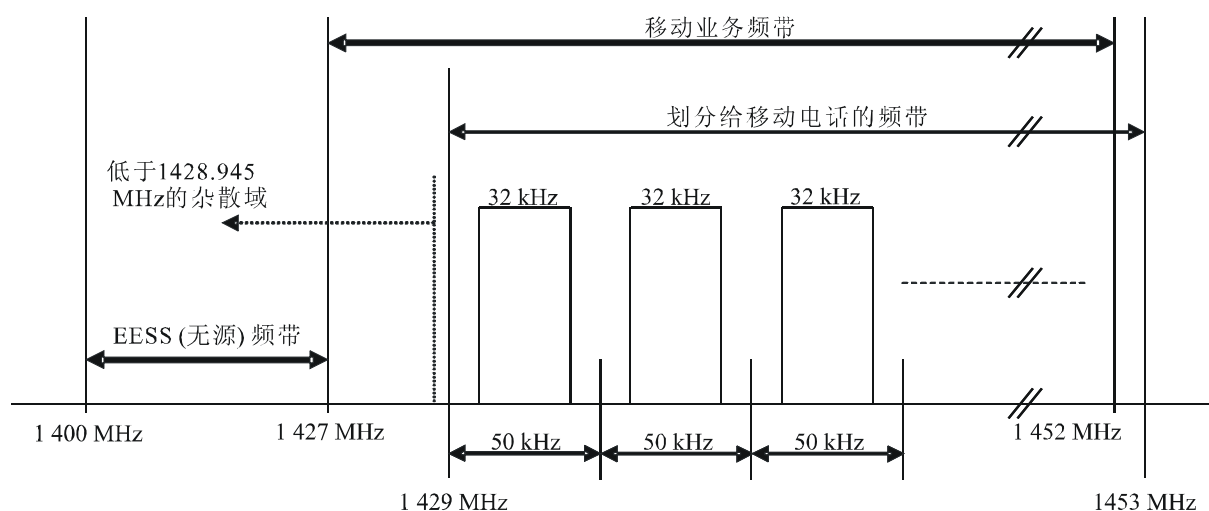


### 6.2.3 依据ITU文件规定的无用发射电平

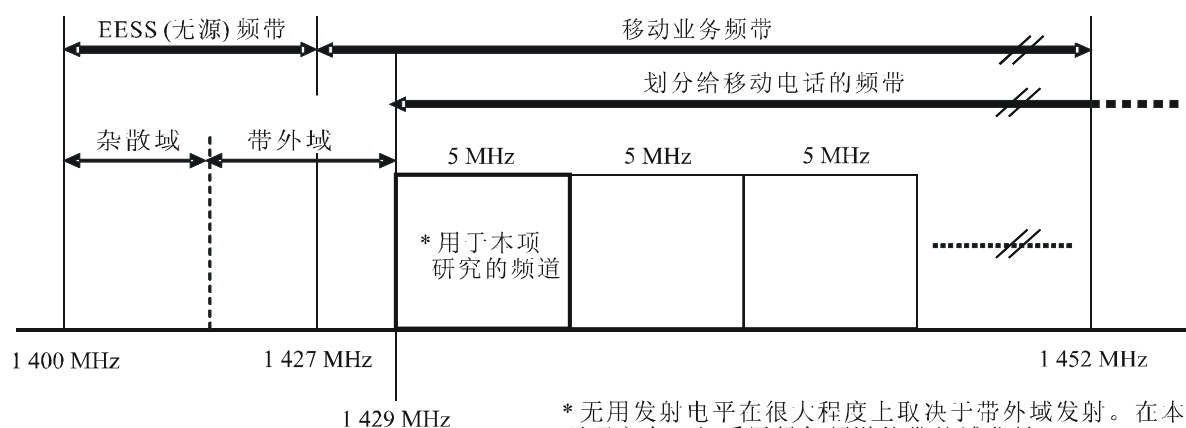
如图6-1 a) 所示, 在某一国家中, 划分给EESS的频带位于杂散域内, 紧邻PDC系统移动电话的载波发射。

图6-1

a) PDC系统的频谱划分



b) IMT-2000系统的频谱划分



\* 无用发射电平在很大程度上取决于带外域发射。在本项研究中, 仅采用紧邻频道的带外域发射。

Rap 2092-061

《无线电规则》附录3的表II规定, 用于计算移动业务中杂散域内适用于无线电设备的最大可允许发射功率电平的衰减值可由下式算出:

$$43 + 10 \log (P) \text{ 或 } 70 \text{ dBc, 取较宽松者}$$

在本项分析中, 在适用于PDC系统的计算中采用了60 dBc的衰减, 该值以某一国家的规则为基础并满足上文指明的《无线电规则》中规定的电平。

IMT-2000系统对EESS系统产生的无用发射电平在很大程度上取决于带外域无用发射电平，而非杂散发射电平，如图6-1b)所示。不过，包括《无线电规则》和ITU-R建议书在内的ITU文件目前都没有提供1.4 GHz频带IMT-2000系统适用的无用发射电平的限值。因此，将2 GHz频带的规定值用于IMT-2000与EESS系统之间的兼容性研究。

ITU-R M.1457建议书引用的3GPP TS 25.101 “用户设备 (UE) 无线电发射和接收 (FDD)” 给出了包括2 GHz频带在内的IMT-2000频带的无用发射域和杂散域内所需的发射掩模。由于该规范不包括1.4 GHz频带的情况，所以本项研究采用为2 GHz频带规定的发射掩模。表6-1示出了无用发射域的频谱发射掩模要求。对于 $\Delta f > 12.5$  MHz，需要30 dBm/MHz的通用杂散发射电平。对该频谱表达式进行积分，可算出-43 dB(W/27MHz) 的无用发射电平。

表6-1

频谱发射掩模要求  
(摘自3GPP TS 25.101)

$\Delta f$ (MHz)	最小要求	
	相对要求	绝对要求 (dBm)
2.5-3.5	$\left\{ -35 - 15 \cdot \left( \frac{\Delta f}{\text{MHz}} - 2.5 \right) \right\} \text{ dBc}$	-71.1
3.5-7.5	$\left\{ -35 - 1 \cdot \left( \frac{\Delta f}{\text{MHz}} - 3.5 \right) \right\} \text{ dBc}$	-55.8
7.5-8.5	$\left\{ -39 - 10 \cdot \left( \frac{\Delta f}{\text{MHz}} - 7.5 \right) \right\} \text{ dBc}$	-55.8
8.5-12.5	-49 dBc	-55.8

6.2.4 依据实际移动台的测量值规定的无用发射电平

为了评估实际条件下的兼容性，对PDC系统和IMT-2000系统均采用实际移动台测得的无用发射电平。

- 对于PDC系统，采用-60 dB(W/27MHz) 作为本项研究中的实际无用发射电平。该值是抽样测量9个实际PDC移动台的无用发射电平所得的中值，所用的频道在1.4 GHz频带内紧邻EESS频带。
- 对于IMT-2000系统，采用-56.5 dB(W/27MHz) 作为本项研究中的实际无用发射电平。该值是抽样测量用于2 GHz频带的4个实际IMT-2000移动台的无用发射电平所得的中值，而不是在1.4 GHz频带内目前并不存在的移动台的无用发射电平。

### 6.2.5 移动台发射机的特性

表6-2示出了在所考虑的频带内某一国家当前的PDC系统和IMT-2000系统所用的典型的系统参数。

在某一国家，PDC系统与IMT-2000系统的预计用户数目有所不同，这是由下列情况引起的：

- PDC系统采用1 429-1 453 MHz频带作为核心频带，该频带在全国范围内使用，因此可以认为所有PDC移动电话用户都使用该频带。
- 预计IMT-2000系统将把包括1 427-1 452 MHz在内的1.4 GHz频带作为附加频带，在特定地区用该附加频带携带大业务量，比如在城市地区。因此，可以认为使用该频带的IMT-2000移动电话用户数量较小。

表6-2

移动业务的系统参数

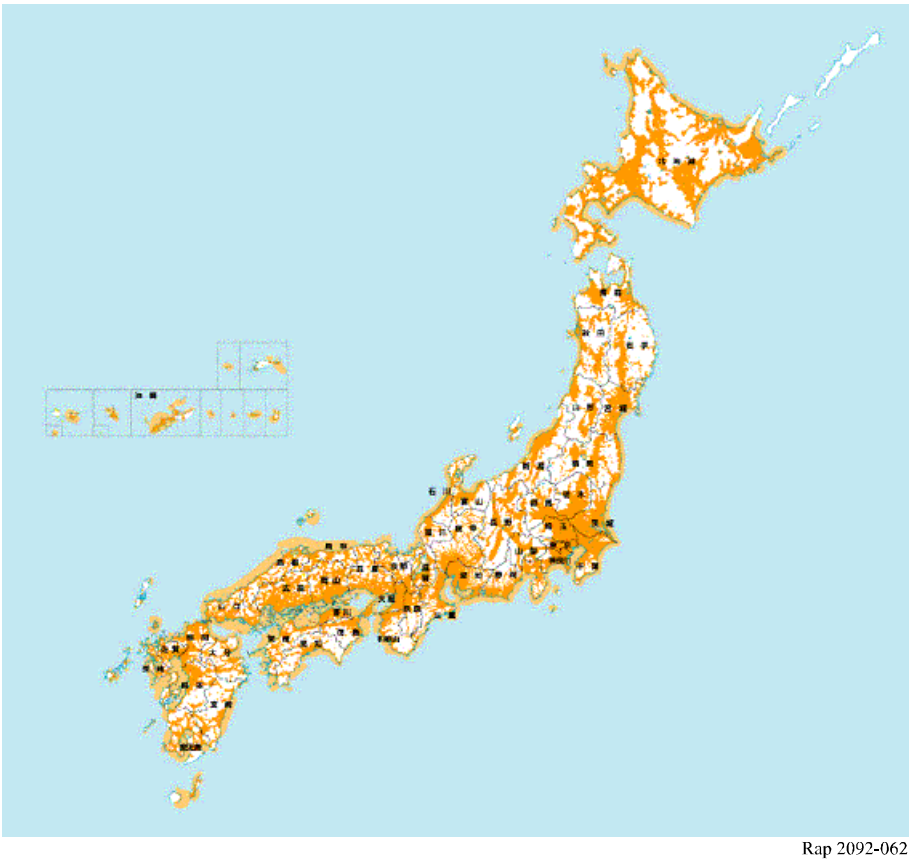
	PDC系统	IMT-2000系统
频带 (GHz)	1.429-1.439/1.443-1.453	1.4 GHz带宽 (具体划分有待研究)
调制	$\pi/4$ 移相QPSK	
频道容量	6个频道 × 398个载波	–
频道间隔	50 kHz (25 kHz交织)	5 MHz
天线增益 (最大)	3.5 dBi	0 dBi
馈线/复用器损耗	–1 dB	0 dB
天线类型	全向天线	全向天线
发射机输出功率	–7 dBW	–6 dBW
e.i.r.p. (平均)	–4.5 dBW	–
移动电话用户数目 (总数)	15 000 000	1 000 000
户外用户占激活总数 (户外用户 + 室内用户) 的比率	0.5	0.5
活动系数 <sup>(1)</sup>	0.005	0.005
占用带宽	32 kHz	5 MHz
杂散衰减	–60 dBc	–70 dBc

<sup>(1)</sup> 最忙小时占用频道数目与某一地区内登记的终端总数之比。

### 6.2.6 移动台的工作特性

图6-2示出了某一国家在该频带内工作的PDC系统的服务覆盖区示例。如橙色区所示，大部分领土都被可用服务区覆盖，只有山区除外。在各个频带工作的IMT-2000系统的服务覆盖区看起来几乎与PDC系统的覆盖区相同。不过，1.4 GHz频带的覆盖区将仅限于城市地区。

图6-2  
移动电话业务的覆盖区



6.3 兼容性门限

按照ITU-R RS.1029-2建议书的规定，EESS (无源) 的干扰门限电平在27 MHz基准带宽内为-174 dBW。

所研究的干扰是由大量移动台引起的。ITU-R RS.1029-2建议书中所列的值是来自所有源的无源传感器的最大可允许干扰电平。本附件对单一有源业务产生的干扰做了一番分析。

6.4 干扰评估

6.4.1 用于评估干扰电平的方法

本项研究进行了两类干扰电平计算，即单一干扰源情况和集总情况。还对第3.1.3节规定的占 $10^7 \text{ km}^2$  无源传感器测量区的面积百分比的干扰标准进行了估计。

进行了单一干扰源的干扰计算，以确定由单一移动电话产生的干扰是否超过了无源传感器的干扰功率标准。

为了与第3.1.3节规定的保护要求进行比较，还在假设采用某种移动电话部署模型的情况下通过简单计算完成了集总干扰计算。

## 6.4.2 干扰电平的计算

### 6.4.2.1 单一干扰源干扰电平的计算

在本项研究中，用下述公式计算从单一MS终端进入无源传感器的干扰 $I_{EESS-se}$  (dB(W/27 MHz)):

$$I_{EESS-se} = E_{\text{无用}} - L_{\text{自由空间}} + G_{\text{rec-EESS}}$$

其中:

$E_{\text{无用}}$ : 在1 400-1 427 MHz频带内积分的MS无用发射e.i.r.p.密度 (dB(W/27 MHz))  
(在某些情况下，该e.i.r.p.密度电平可规定为进入天线的无用功率密度与移动终端天线最大增益之和)

$L_{\text{自由空间}}$ : 到无源传感器的自由空间损耗 (dB)

$G_{\text{rec-EESS}}$ : 在MS终端方向的无源传感器天线的主波束增益 (dBi)

这些计算中 $E_{\text{无用}}$ 的值是按照PDC和IMT-2000 MS终端的规定最大值和更为实际的测得值给出的。

### 6.4.2.2 集总干扰电平的计算

集总干扰电平是在考虑传感器主波束-3 dB等值线内移动电话的平均数目 ( $N_m$ ) 的情况下计算的。传感器主波束等值线包围的面积是作为EESS偏离天底的角度函数的函数计算的。

$$N_m = N \times A_m / A_j$$

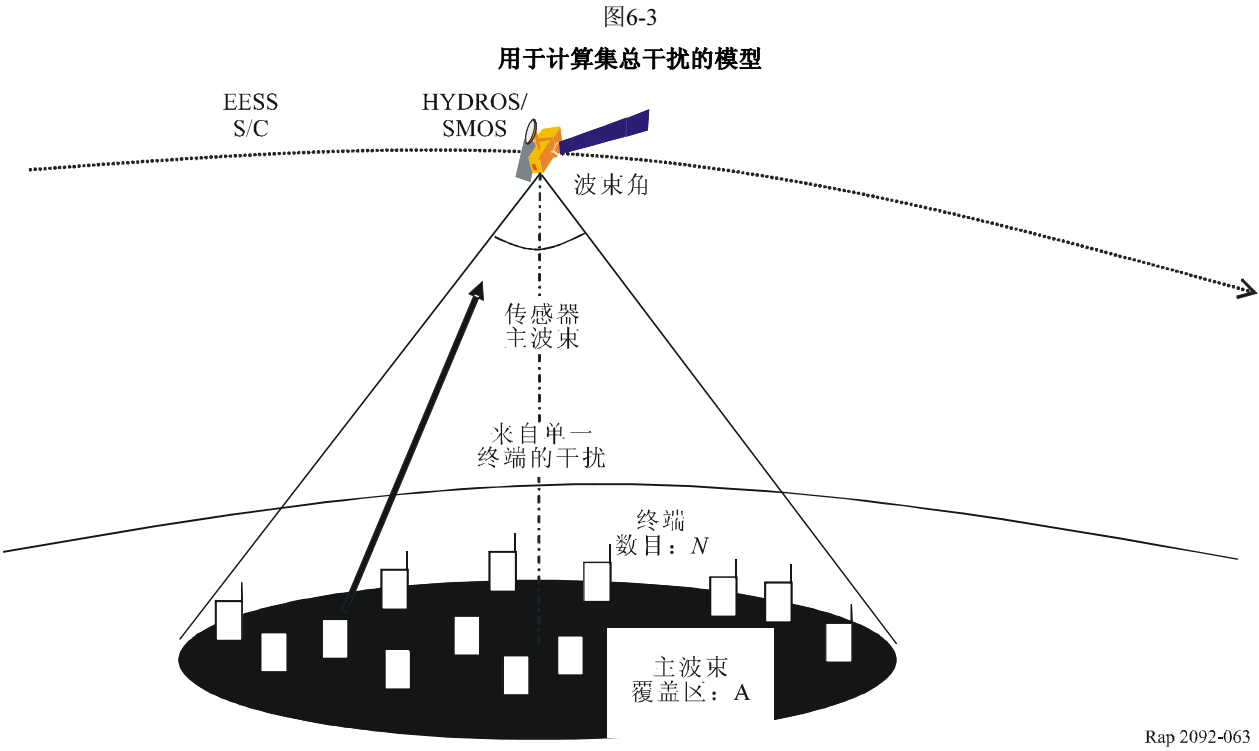
其中:

$N$ : 在某一国家内部署的激活移动电话的总数

$A_m$ : 传感器主波束的面积

$A_j$ : 某一国家群岛及周围海域的总面积。

图6-3示出了上述计算所用的干扰模型。



这些计算的结果在表6-3和表6-4中做了归纳。

表6-3

a) 由PDC系统对HYDROS和SMOS产生的干扰电平

EESS	HYDROS	SMOS
卫星高度 (km)	670	760
接收天线增益 (dBi)	35	9
指向 (偏离天底的角度)	40	32
主波束覆盖区 (椭圆, km <sup>2</sup> )	1 402	263 8745
面积 (km <sup>2</sup> )	377 000	
移动台		
总数	15 000 000	
户外移动台的百分比 (%)	50	
阻挡引起的衰减 (适用于室内移动台) (dB)	12	
活动系数 (%)	0.5	
发射功率 (W)	0.2	
杂散衰减 (dBc) <sup>(1)</sup>	-60	
测得的无用发射(dB(W/27MHz)) <sup>(2)</sup>	-60	
发射天线增益 (dBi)	2.5	
人体吸收效应 (dB)	-8	

表6-3 (续)

EESS		HYDROS		SMOS	
		户外	室内	户外	室内
EESS主波束内的激活数目		139	139	37 500	37 500
从单一移动台收到的功率 (dB(W/27 MHz))	规定值	-177.78	-189.78	-203.18	-215.18
	测得值 <sup>(3)</sup>	-185.10	-197.10	-210.50	-222.50
集总接收功率总值 (dB(W/27 MHz))	规定值	-156.29		-157.39	
	测得值 <sup>(3)</sup>	-163.66		-164.76	
门限 (ITU-R RS.1029-2建议书) (dB(W/27 MHz))		-174			
超额电平 (dB)	规定值	17.71		16.61	
	测得值 <sup>(3)</sup>	10.34		9.24	

## b) 由PDC系统对Aquarius产生的干扰电平

EESS		Aquarius					
		波束1		波束2		波束3	
卫星高度 (km)		657					
接收天线增益 (dBi)		29.1		28.8		28.5	
指向 (偏离天底的角度)		25.8		33.8		40.3	
倾斜范围 (km)		739		810		896	
波束椭圆 – 长轴 (km)		94		120		156	
波束椭圆 – 短轴 (km)		76		84		97	
主波束覆盖区 (椭圆, km <sup>2</sup> )		5 611		7 917		11 885	
日本地区 (km <sup>2</sup> )		377 000					
移动台							
总数		15 000 000					
户外移动台的百分比 (%)		50.00%					
阻挡引起的衰减 (适用于室内移动台) (dB)		12					
活动系数 (%)		0.50%					
发射天线增益 (dBi)		2.5					
规定的 PDC 带外e.i.r.p. (dB(W/27 MHz))		-50.5					
测得的PDC带外e.i.r.p. (dB(W/27 MHz))		-57.5					
人体吸收损耗 (dB)		-8					
1 413.5 MHz频率的路径损耗		152.8		153.6		154.5	
		户外	室内	户外	室内	户外	室内
EESS主波束内户外移动台的激活数目		558	558	787	787	1,182	1,182
从单一移动台收到的功率 (dB(W/27 MHz))	规定值	-180.2	-192.2	-181.3	-193.3	-182.5	-194.5
	测得值	-187.2	-199.2	-188.3	-200.3	-189.5	-201.5
集总接收的户外移动台功率 (dB(W/27 MHz))	规定值	-152.8	-164.8	-152.4	-164.4	-151.8	-163.8
	测得值	-159.8	-171.8	-159.4	-171.4	-158.8	-170.8
集总接收功率总值 (dB(W/27 MHz))	规定值	-154.7		-154.3		-153.7	
	测得值	-161.7		-161.3		-160.7	

表6-3 (续)

EESS		Aquarius		
		波束1	波束2	波束3
来自ITU-R RS.1029-2建议书的标准 (dB(W/27 MHz))		-174		
超额电平 (dB)	规定值	19.3	19.7	20.3
	测得值	12.3	12.7	13.3

- <sup>(1)</sup> 见第6.2.3节。仅适用于采用规定值的研究。
- <sup>(2)</sup> 仅适用于采用测得值的研究，测得值为测量的中值。抽样测量中采用了9个1.4 GHz频带的PDC移动台。
- <sup>(3)</sup> 务必要注意的是，抽样测量中测得的无用发射电平是仅从9个移动台获得的值。因此，在该结果中有必要考虑与测量中的这些假设有关的某种不确定性。

表6-4

a) 由IMT-2000系统对HYDROS和SMOS产生的干扰电平

EESS		HYDROS		SMOS	
卫星高度 (km)		670		760	
接收天线增益 (dBi)		35		9	
指向 (偏离天底的角度)		40		32	
主波束覆盖区 (椭圆, km <sup>2</sup> )		1 402		263 8745	
面积 (km <sup>2</sup> )		377 000			
移动台					
总数		1 000 000			
户外移动台的百分比 (%)		50			
阻挡引起的衰减 (适用于室内移动台) (dB)		12			
活动系数 (%)		0.5			
规定的无用发射电平 (dB(W/27MHz)) <sup>(1)</sup>		-43			
测得的无用发射 (dB(W/27MHz)) <sup>(2)</sup>		-56.5			
发射天线增益 (dBi)		0			
人体吸收效应 (dB)		-8			
自由空间损耗 (dB)		-154.6		-154.0	
		户外	室内	户外	室内
EESS主波束内的激活数目		9	9	2500	2500
从单一移动台收到的功率 (dB(W/27 MHz))	规定值	-170.60	-182.60	-196.00	-208.00
	测得值 <sup>(3)</sup>	-184.10	-196.10	-209.50	-221.50
集总接收功率总值 (dB(W/27 MHz))	规定值	-160.92		-162.02	
	测得值 <sup>(3)</sup>	-174.42		-175.52	
门限 (ITU-R RS.1029-2建议书) (dB(W/27 MHz))					
超额电平 (dB)	规定值	13.08		11.98	
	测得值 <sup>(3)</sup>	-0.42		-1.52	



表6-4 (续)

## b) 由IMT-2000系统对Aquarius产生的干扰电平

EESS		Aquarius					
		波束1		波束2		波束3	
卫星高度 (km)		657					
接收天线增益 (dBi)		29.1		28.8		28.5	
指向 (偏离天底的角度)		25.8		33.8		40.3	
倾斜范围 (km)		739		810		896	
波束椭圆 – 长轴 (km)		94		120		156	
波束椭圆 – 短轴 (km)		76		84		97	
主波束覆盖区 (椭圆, km <sup>2</sup> )		5 611		7 917		11 885	
日本地区 (km <sup>2</sup> )		377 000					
移动台							
总数		1 000 000					
户外移动台的百分比 (%)		50.00%					
阻挡引起的衰减 (适用于室内移动台) (dB)		12					
活动系数 (%)		0.50%					
规定的PDC带外e.i.r.p. (dB(W/27 MHz))		-43					
测得的PDC带外e.i.r.p. (dB(W/27 MHz))		-56.5					
人体吸收损耗 (dB)		-8					
EESS极化失配 (dB)		-2					
1 413.5 MHz频率的路径损耗		152.8		153.6		154.5	
		户外	室内	户外	室内	户外	室内
EESS主波束内户外移动台的激活数目		37	37	52	52	79	79
从单一移动台收到的功率 (dB(W/27 MHz))	规定值	-174.7	-186.7	-175.8	-187.8	-177	-189
	测得值	-188.2	-200.2	-189.3	-201.3	-190.5	-202.5
集总接收的户外移动台功率 (dB(W/27 MHz))	规定值	-159	-171	-158.6	-170.6	-158	-170
	测得值	-172.5	-184.5	-172.1	-184.1	-171.5	-183.5
集总接收功率总值 (dB(W/27 MHz))	规定值	-159		-158.6		-158	
	测得值	-172.5		-172.1		-171.5	
来自ITU-R RS.1029-2建议书的标准 (dB(W/27 MHz))		-174					
超额电平 (dB)	规定值	15		15.4		16	
	测得值	1.5		1.9		2.5	

(1) 3GPP 规定值 (在与1 400-1 427 MHz相应的27 MHz内积分的掩模)。

(2) 测量的中值。抽样测量中采用了4个2 GHz频带的IMT-2000移动台。

(3) 务必要注意的是, 抽样测量中测得的无用发射电平是仅从4个2 GHz频带 (**不是**1.4 GHz频带) 的移动台获得的值。因此, 在该结果中有必要考虑与测量中的这些假设有关的某种不确定性。

下面的表6-5归纳了这些计算的结果。

表6-5  
以dB为单位的超额干扰电平汇总

	HYDROS	SMOS	Aquarius		
			波束1	波束2	波束3
PDC规定值	17.7	16.6	19.3	19.7	20.3
PDC测得值	10.3	9.2	12.3	12.7	13.3
IMT-2000规定值	13.1	12.0	15	15.4	16
IMT-2000测得值	-0.4	-1.5	1.5	1.9	2.5

6.4.3 受干扰影响的EESS (无源) 测量面积的计算

ITU-R RS.1029-2建议书建议，在测量区为地球上10 000 000 km<sup>2</sup> 的方形的条件下，在传感器观测区0.1%以上的面积内应不超过干扰电平，除非有理由另外规定。在Aquarius、HYDROS和SMOS无源传感器的这种测量区内该国面积所占的百分比按下式计算：

$$377\,000\text{ km}^2 / 10^7\text{ km}^2 = 3.77\%$$

因此，表6-3和表6-4中所列的从MS终端计算出的干扰电平是在不超过测量区3.77%的面积内发生的。但应注意的是，无源传感器可能会受到由覆盖该国领土的10<sup>7</sup> km<sup>2</sup>测量区内其他国家的电台辐射的无用发射的干扰。

6.4.4 达到的值

6.4.4.1 单一干扰源情况

来自单一IMT-2000移动台的干扰电平大于PDC移动台的干扰。同时预计IMT-2000移动台的数目将少于PDC移动台的数目，因为预计1.4 GHz频带的IMT-2000系统在业务量繁忙的某些地区将被用做附加频带业务，在现有频带的容量可能短缺的情况下携带那些繁忙的业务量。对于在单一干扰源的干扰计算中适用于PDC和IMT-2000系统二者的参数，来自单一MS的干扰电平不超过Aquarius、HYDROS和SMOS传感器的可允许干扰门限。

6.4.4.2 集总情况

采用无用发射电平规定值 (对PDC和IMT-2000分别为-53和-43 dB(W/27MHz)) 的干扰计算显示，与ITU-R RS.1029-2建议书中的可允许干扰标准相比，来自移动业务中移动台的干扰电平超出约12至20 dB，具体值视无源传感器的类型和所部署的移动业务而定。采用无用发射电平测得值 (对PDC和IMT-2000分别为-60.0和-56.5 dB(W/27MHz)) 的干扰计算显示，与ITU-R RS.1029-2建议书中的保护标准相比，干扰电平超出约-1.5至13 dB，具体值视无源传感器的类型和所部署的移动业务而定。

但务必要注意的是，在研究中用于PDC和IMT-2000的测得的无用发射电平是从为数不多的样本值中导出的。另外，对于IMT-2000系统，测得的无用发射电平是从2 GHz频带（即不是1.4 GHz频带）的IMT-2000移动台得出的。因此，在这些结果中应考虑与本项研究中的这种假设有关的某种不确定性。

下面列出的条件会提高干扰电平。

- a) 计算中所用的模型未将相关频带中的所有蜂窝系统考虑在内。移动台越多，干扰电平越高。
- b) 未考虑刚刚超出测量传感器主波束的区域。仅考虑了主波束区域。
- c) 未考虑10 000 000 km<sup>2</sup>的方形面积中某一国家之外其他潜在的某种（某几种）移动业务。

## 6.5 减扰技术

### 6.5.1 EESS (无源)

预计不可能大幅降低来自单一移动电话载波的无用电平，因为EESS频带位于最靠近移动电话载波的杂散域内，而指望能够补偿超额时间百分比和超额电平的其他条件也不现实。因此，移动业务不大可能合乎EESS保护标准。

### 6.5.2 移动业务

让中心频率与无源频带之间达到最大的频率偏移有可能成为一种减扰技术。

增加滤波设备或加大滤波衰减有可能降低移动电话的无用发射电平。

### 6.5.3 潜在影响

#### 6.5.3.1 EESS (无源)

当前和未来在相关频带内使用的无源传感器无法区分预定的自然发射和非预定的人为发射。因此，若集总无用发射电平超过分析中所用的假设值，则存在测量受损的风险。这些不能使用的测量数据可能对国际合作伙伴举措构成不利影响，这些举措在全球、区域和国家层面产生了综合性的数据，可满足对环境信息的需求和支持关于环境的科学测量计划。

#### 6.5.3.2 移动业务

若采用新的或更严格的无用发射限值，则需要开发新设备和更换设备。尤其是增加滤波设备或加大滤波衰减对移动台的大小和功耗效率会产生影响，将对低成本和小尺寸MS用户终端的市场要求形成过多限制。

## 6.6 研究结果

### 6.6.1 小结

本项研究探讨了1 400-1 427 MHz频带的EESS (无源) 业务与1 429-1 452 MHz频带的移动业务之间的兼容性。采用无用发射电平规定值（对PDC和IMT-2000分别为-53和-43 dB(W/27MHz)）的兼容性研究显示，与ITU-R RS.1029-2建议书中的可允许干扰标准相比，来自移动业务中移动台的干扰电平超出约12至20 dB，具体值视无源传感器的类型和所部署的移动业务而定。采用无用发射电平测得值（对PDC和IMT-2000分别为-60.0和-56.5

dB(W/27MHz)) 的兼容性研究显示, 与ITU-R RS.1029-2建议书中的保护标准相比, 干扰电平超出约-1.5至13 dB, 具体值视无源传感器的类型和所部署的移动业务而定。

但务必注意的是, 在研究中用于PDC和IMT-2000的测得的无用发射电平是从为数不多的样本值中导出的。另外, 对于IMT-2000系统, 测得的无用发射电平是从2 GHz频带 (即不是1.4 GHz频带) 的IMT-2000移动台得出的。因此, 在这些结果中应考虑与本项研究中的这种假设有关的某种不确定性。

### 6.6.2 结论

应注意下述结论:

- 采纳无用发射电平规定值 (对PDC系统为-53 dB(W/27 MHz), 对IMT-2000系统为-43 dB(W/27 MHz)) 的研究显示了高出EESS (无源) 可允许干扰功率电平的超额电平 (约12至20 dB)。将MS终端的无用发射限制在这样的电平上不会对这样的MS系统施加过多限制。
- 研究中对PDC系统采纳测得值 (-60 dB(W/27MHz)), 仍超过EESS (无源) 可允许干扰功率电平约9至13 dB。研究中对IMT-2000系统采纳测得值 (-56.5 dB(W/27MHz)), 则在某些情况下未超过EESS (无源) 可允许干扰功率电平。但应注意的是, 所有移动台在制造时满足的是规定值, 即不满足本项研究中的测得值。不能保证所有移动台在每种情况下都达到这些测得的无用发射电平。
- 在本项研究中, 将该频带MS终端的无用发射电平限制在PDC系统的-73 dB(W/27MHz)和IMT-2000系统的-59 dB(W/27MHz) 数值, 可满足EESS (无源) 可允许干扰功率电平, 但会对MS施加过多限制。
- 在EESS (无源) 频带与移动业务频带之间采纳足够的频率间隔和增加MS终端的滤波是可能采用的减扰技术, 不过为了全面保护EESS (无源) 而实施这些减扰技术将对蜂窝系统的移动台施加过多限制。
- 将该频带MS的无用发射电平限制在-60 dB(W/27MHz), 在某些情况下可适当保护EESS (无源), 但会对MS施加过多限制。而-43 dB(W/27 MHz) 规定值的无用发射电平不会对这些系统施加任何新的限制, 但却可能对EESS (无源) 产生不可接受的高电平干扰。
- 对1 429-1 452 MHz频带的航空移动遥测系统的无用发射尚未开展研究。

## 7 23.6-24 GHz频带内的EESS (无源) 系统与22.55-23.55 GHz频带内的ISS之间的兼容性分析

### 7.1 EESS (无源)

#### 7.1.1 划分的频带

23.6-24 GHz频带划分给EESS (无源)、RAS和SRS (无源)。应注意的是, 23.6-24 GHz频带适用《无线电规则》第5.340款。表7-1示出了与23.6-24 GHz无源频带相邻的划分。

#### 7.1.2 应用

23.8 GHz (水汽总量)、31.5 GHz (窗口频道) 和90 GHz (液态水) 频率周围的无源测量提供了辅助性数据, 对氧气吸收频谱内进行的温度测量值的收集过程起着举足轻重的作用。这些辅助性测量必须具备与温度测量的性能相一致的辐射计量性能和几何性能以及可提供性标准。

表7-1

相邻频带划分

在划分频带低端的业务		无源频带	在划分频带高端的业务
22.55-23.55 GHz	23.55-23.6 GHz	23.6-24 GHz	24-24.05 GHz
固定 卫星间 移动 5.149	固定 移动	卫星地球探测 (无源) 射电天文 空间研究 (无源) 5.340	业余 卫星业余 5.150

注1 — 卫星间划分可用于GSO和非GSO系统。

#### 7.1.3 所需的保护标准

ITU-R RS.1029-2建议书给出了卫星无源遥感的干扰标准。

下面是适用于测量的干扰标准:

- 第一个标准是EESS传感器从所有潜在的源接收到的最大可允许干扰功率。该干扰门限在200 MHz的基准带宽内为-166 dBW;
- 第二个是因干扰而损失的测量小区的最大容许比例。

因干扰而损失的测量小区的比例应不超过0.01%。该出现频次限值对机械式扫描和推扫式天底探测器及锥形扫描仪都有效。对0.01%的水平而言, 测量区是地球表面2 000 000 km<sup>2</sup>的方形, 除非有理由另外规定。

7.1.4 工作特性

7.1.4.1 锥形扫描仪器

表7-2给出了典型的机械式扫描传感器的主要特性。

表7-2

锥形扫描传感器的典型特性

23.6-24 GHz频道	MEGHA-TROPIQUES	AMSR-E	AMSR	CMIS
频道带宽 (MHz)	400	400	400	400
跨迹像素尺寸 (km)	38.7	17.6	10	14.2
波束效率 (%)	96	97	96	98
覆盖区中心的入射角 <i>i</i> (度)	52.3	55	55	53.6
卫星高度 (km)	817	705	52	828
天线最大增益 (dBi)	40	48	48	52
反射器直径 天线增益方向性图	0.6 m 图7-2	1.6 m 图7-3	2.0 m 图7-4	2.2 m 图7-5
半功率天线波束宽度 $\theta_{3\text{ dB}}$ (度)	1.8	0.9	0.5	0.7
像素地表面积 (km <sup>2</sup> )	1 926	425	132	264

跨迹像素尺寸是在考虑到卫星高度和波束视轴入射角的情况下从天线方向性图的-3 dB等值线计算的。

重要的是要指出，那些EESS传感器不是天底指向卫星，但具有锥形扫描配置的EESS传感器以天底方向为中心。在整个扫描线上保持恒定的地面入射角对于解释地表测量值是很重要的。锥形扫描仪器的几何图形在图7-1中说明。仪器（而不是卫星）的旋转速度在 $w = 20$  r.p.m.和40 r.p.m.之间变化。

锥形扫描传感器的配置示于图7-1。

图7-2至图7-5示出了相对天线增益方向性图，分别表明了MEGHA-TROPIQUES卫星的最大增益和EOS AMSR-E的最大增益。

图7-1

典型锥形扫描微波辐射计的配置

锥形扫描微波辐射计的几何结构

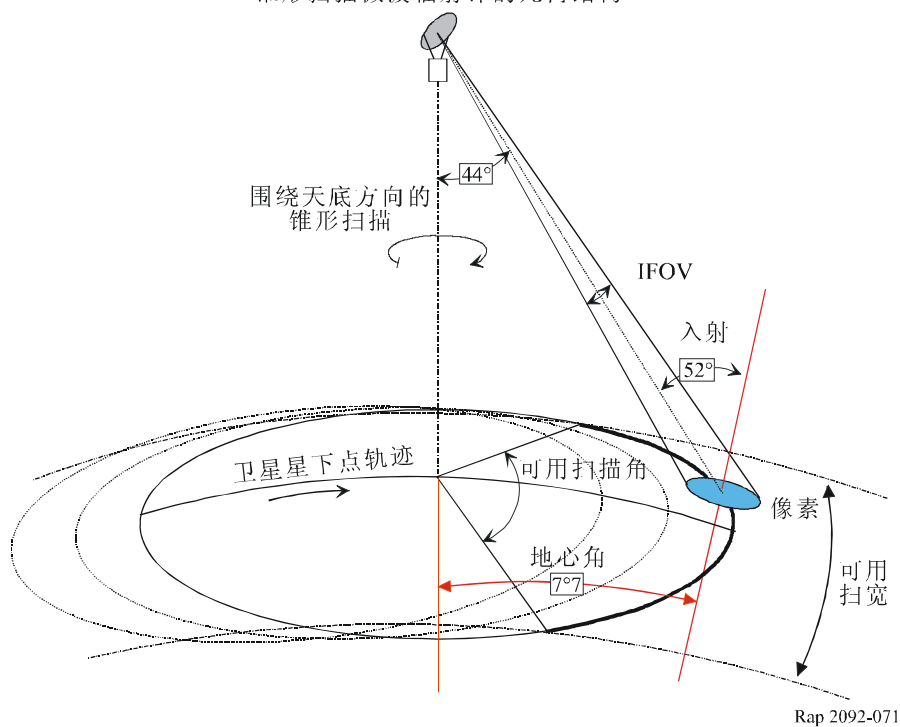


图7-2

MEGHA-TROPIQUES的天线增益方向性图

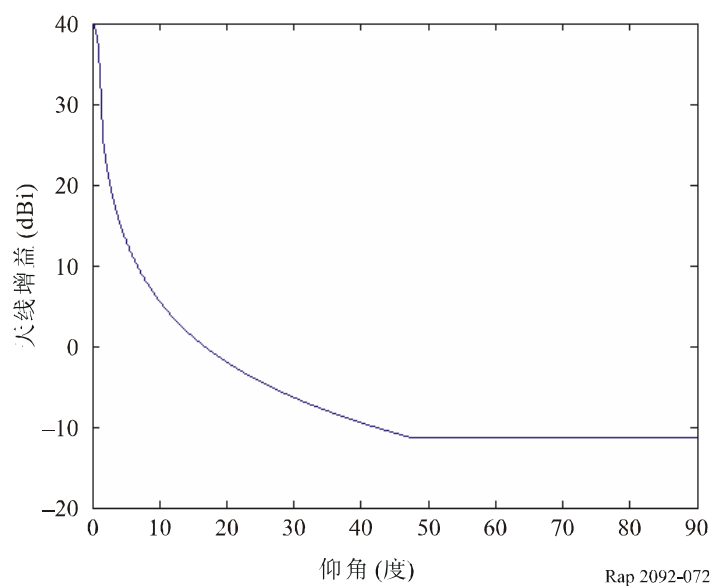


图7-3

AMSR-E辐射计的天线增益方向性图

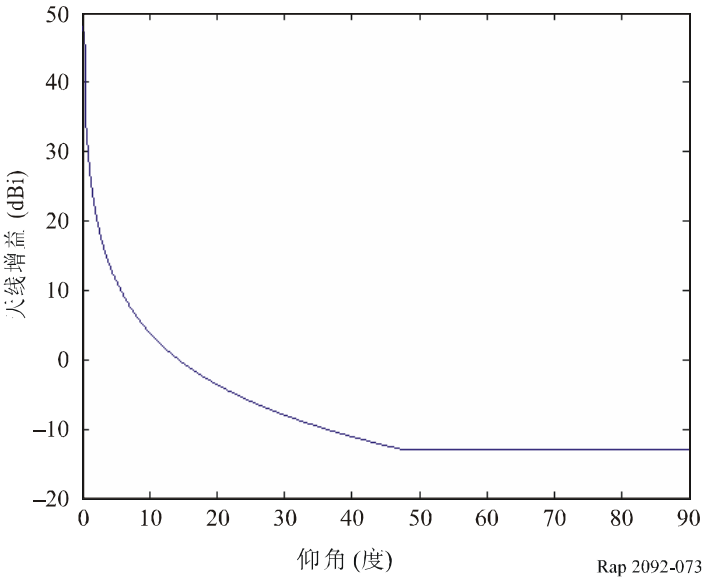


图7-4

AMSR辐射计的天线增益方向性图

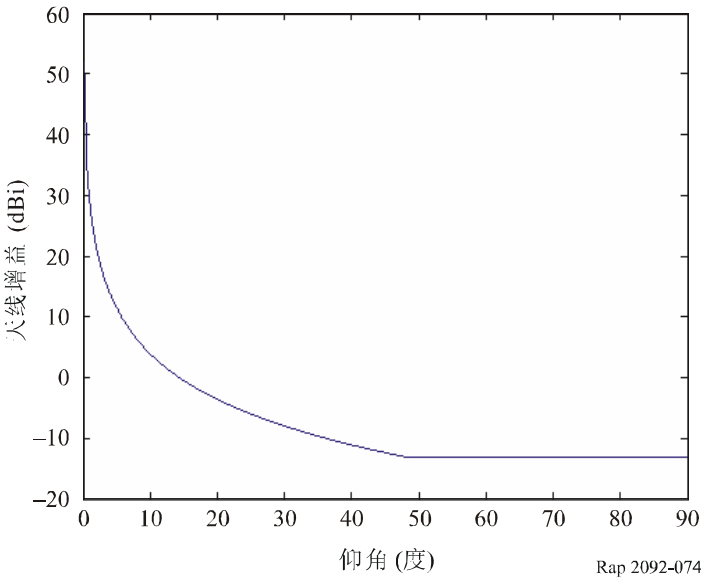
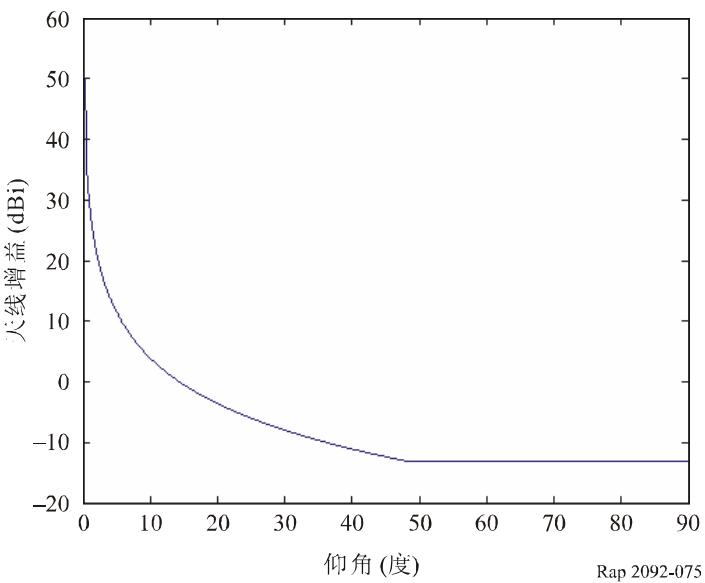




图7-5

CMIS辐射计的天线增益方向性图



7.1.4.2 天底测量仪器的工作特性

本项分析所用的天底无源传感器是AMSU和推扫式垂直探测器，AMSU是围绕天底方向进行跨迹扫描的机械式扫描仪器。推扫式仪器是纯静态仪器，没有活动部件。推扫式仪器的主要特征是同时获得某一扫描线上的所有像素，有利于显著增加积分时间和可获得的辐射计量分辨率，而不像机械式扫描传感器 (即AMSU类型) 那样顺续获得像素。推扫式仪器包括一副指向天底方向的固定数据捕获天线和一副专用冷空定标天线。对于使用AMSU的情况，主天线在指向冷空方向的情况下每扫描一周进行一次调整。这些传感器的主要特性在表7-3中给出。

表7-3

天底传感器的特性

参数	AMSU-A (机械式扫描)	推扫式 (电子式扫描)
主天线增益 (dBi)	36	45
-3 dB半功率波束宽度 (度)	3.3	1.1
跨迹像素尺寸 (km)	48	16
测量带宽 (MHz)	可变	可变
极化	V	H/V ?
传感器高度 (km)	850	850
卫星倾角 (度)	98.8	98.8
轨道周期 (min)	102	102
冷空定标天线增益 (dBi)	36	35
冷空定标角度 (与卫星轨迹的夹角度数)	90	90

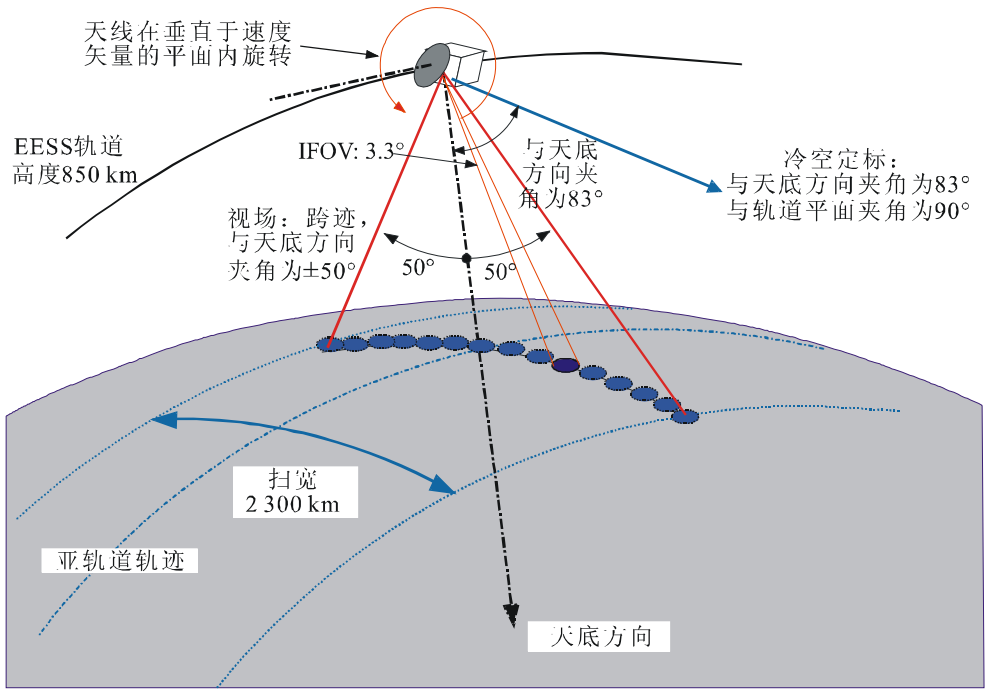
表7-3 (续)

参数	AMSU-A (机械式扫描)	推扫式 (电子式扫描)
冷空定标角度 (与天底方向的夹角度数)	83	83
反射器直径 (m)	0.28	0.9
像素地表面积 (km <sup>2</sup> )	1 824	206

这些传感器的轨道配置示于图7-6和图7-7。

图7-6

AMSU天底探测器的轨道配置  
(机械式扫描天底探测器的轨道配置)



Rap 2092-076

图7-7

### 推扫式天底探测器的轨道配置

(推扫式无源探测器的轨道配置)

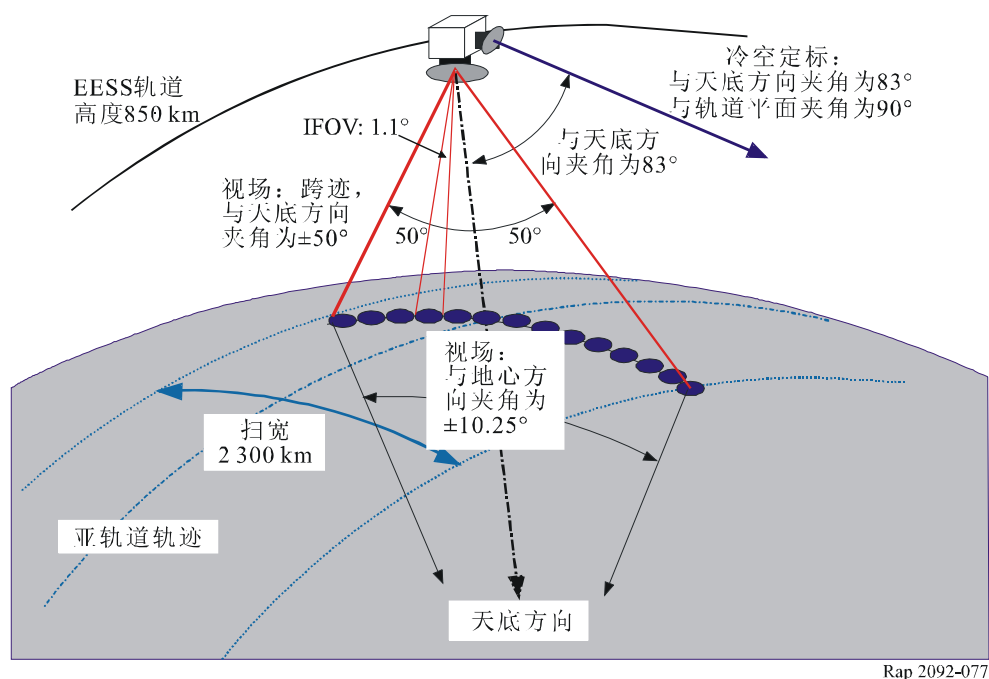


图7-8示出了AMSU-A天线方向性图。推扫式天线系统由大约90个单独波束组成，每个波束的全向增益为45 dB<sub>i</sub>，半功率波束宽度为1.1°。扇形复合方向性图覆盖角度为100° (跨迹，在卫星的速度矢量两侧角度对称)。图7-9示出了跨迹轴的一侧头11个连续波束的天线方向性图的精细结构。每一波束用ITU-R F.1245建议书的基准天线方向性图来模拟。

图7-8

### AMSU辐射计的天线增益方向性图

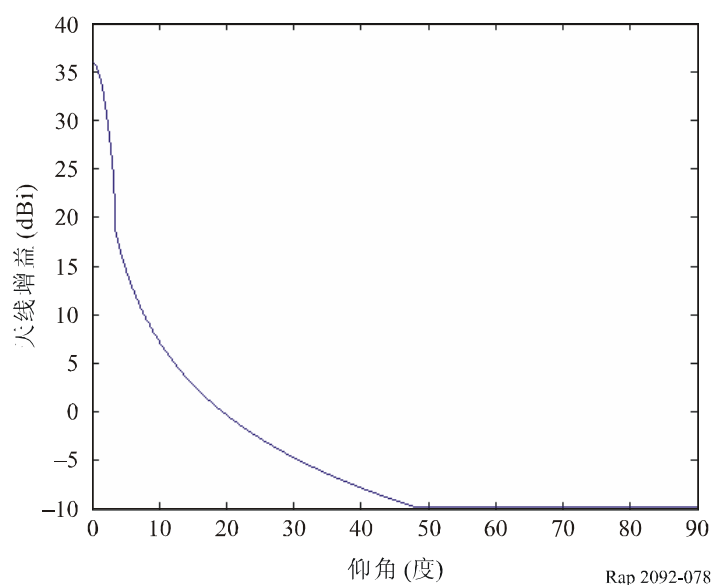
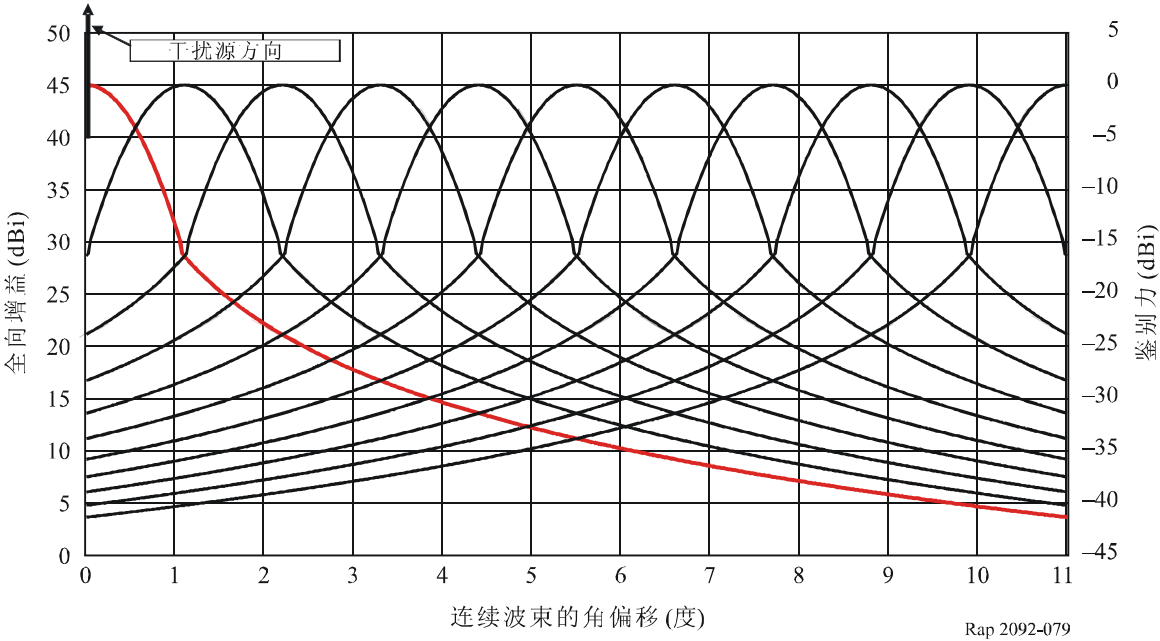


图7-9

复合的推扫式天线方向性图的精细结构和鉴别力

(推扫式天底探测器：复合天线方向性图和鉴别力)  
(45 dBi增益, ITU-R F.1245建议书)



将指向干扰源的天线波束作为基准波束 (0 dB)，由各单独方向性图所给出的基准波束两侧各10个连续波束的鉴别力数值在表7-4中给出。在干扰源的高度低于EESS轨道的情况下，该参数对于考虑干扰源跨越无源传感器扫描平面时产生的干扰是很重要的。

表7-4

连续天线波束之间的鉴别力

波束	基准	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
鉴别力 (dB)	0	-16.4	-23.9	-28.3	-31.4	-33.8	-35.8	-37.5	-38.3	-40.2	-41.4

由于所有波束同时被激活，相邻波束之间的鉴别力不是无穷大，结果，视干扰的幅度和几何配置的不同，干扰有可能同时影响连续的若干波束。

涉及30 GHz附近有源与无源频带之间兼容性分析的附件13显示，无论使用推扫式天线的复合表示还是使用详尽的精细结构，效果都一样。因此，为简单起见，建议在动态分析中采用推扫式天线的复合表示。

7.2 卫星间业务

7.2.1 划分的发射频带

研究的发射频带为22.55-23.55 GHz频带 (见表7-1)。

## 7.2.2 应用

在本项分析中要考虑的有源业务是ISS。ITU-R S.1328建议书含有在FSS的GSO与非GSO卫星系统之间的频率共用分析中要研究的卫星系统的特性，包括用于MSS的馈线链路。但该建议书不含关于卫星间链路的资料。

## 7.2.3 无用发射频谱的表示

从有源业务进入EESS (无源) 传感器的无用发射电平是通过落入无源频带内的发射电平进行积分来估计的。该积分以有源系统的工作参数和有源系统的无用发射掩模为基础，该掩模的依据是对系统实施管理的国内规则或ITU-R SM.1541建议书。

## 7.2.4 发射机的特性

目前有三个工作中的卫星系统采用22.55-23.5 GHz频带的馈线链路。

### 7.2.4.1 非GSO卫星网络HIBLEO-2

表7-5示出了HIBLEO-2/2FL非GSO MSS卫星系统的主要特性。其轨道配置在表7-6中做了说明。

对于整个系统而言，很难了解有多少个频道连续工作或同时工作。系统的满负荷情况很不均衡，每颗卫星都有指向不同的多个波束。在正常工作方式下，有理由假设没有什么频道是连续工作的。

表7-5

**HIBLEO-2系统的规范**

系统参数	值
卫星平面数目	6
每平面卫星数目	11
标称高度	780
轨道类型	圆形越极 (倾角为86.5°)
轨道周期 (mn)	100
频率范围 (GHz)	23.183-23.377
8个频道的必要带宽	8个频道 × 19 MHz (总带宽 194 MHz)。 每频道的必要带宽为19 MHz。 频道间隔等于25 MHz。
发射机峰值功率 (每19 MHz频道)	3 dBW
天线增益 (每频道一个天线)	36.6 dBi
e.i.r.p. (单一的19 MHz频道)	39.6 dBW

表7-6

HIBLEO-2卫星的平近点角

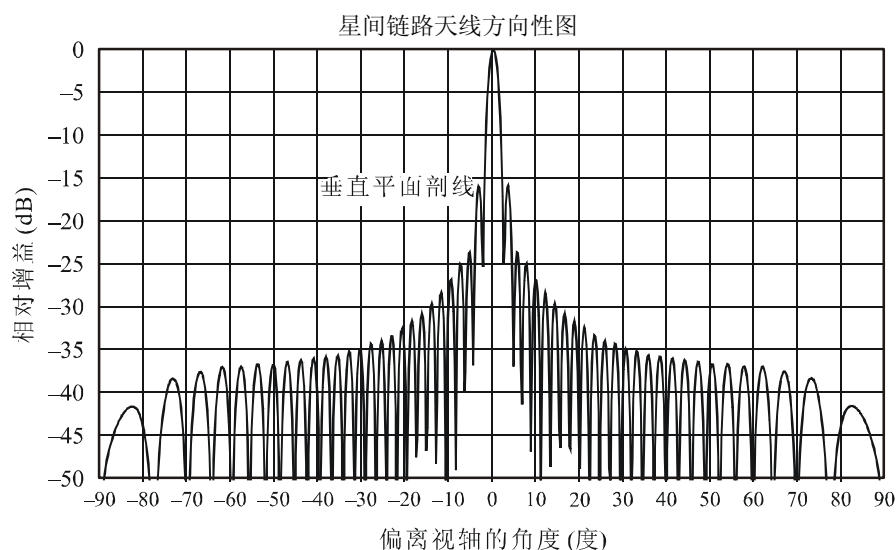
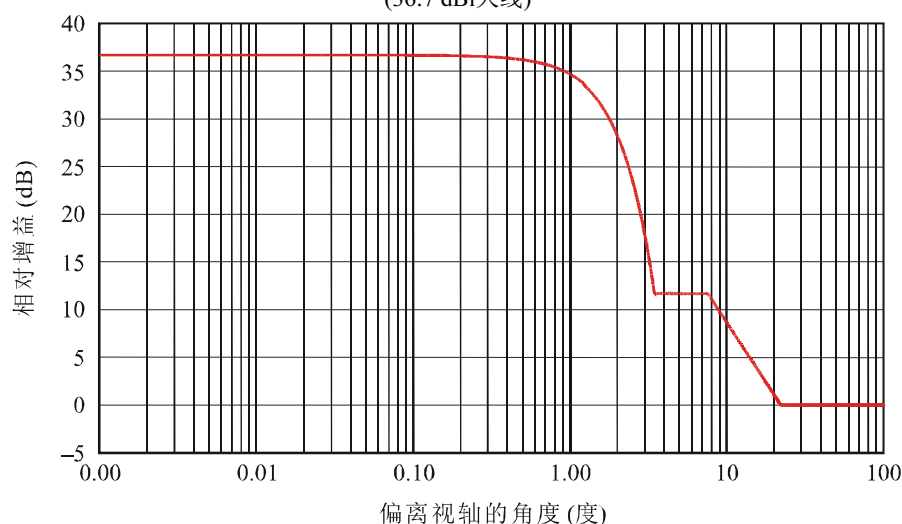
平面1 升交点赤经 $\Omega = 0$		平面2 升交点赤经 $\Omega = 31.6$		平面3 升交点赤经 $\Omega = 63.2$	
卫星	平近点角	卫星	平近点角	卫星	平近点角
1	100.7752	12	83.1116	23	98.1752
2	68.048	13	50.3844	24	65.448
3	35.3207	14	17.6571	25	32.7207
4	2.5934	15	344.9298	26	359.9934
5	329.8661	16	312.2025	27	327.2661
6	297.1389	17	279.4753	28	294.5389
7	264.4116	18	246.748	29	261.8116
8	231.6843	19	214.0207	30	229.0843
9	198.9571	20	181.2935	31	196.3571
10	166.2298	21	148.5662	32	163.6298
11	133.5025	22	115.8389	33	130.9025

平面4 升交点赤经 $\Omega = 94.8$		平面5 升交点赤经 $\Omega = 126.4$		平面6 升交点赤经 $\Omega = -22.1$	
卫星	平近点角	卫星	平近点角	卫星	平近点角
34	80.5116	45	95.5752	56	77.9116
35	47.7844	46	62.848	57	45.1844
36	15.0571	47	30.1207	58	12.4571
37	342.3298	48	357.3934	59	339.7298
38	309.6025	49	324.6661	60	307.0025
39	276.8753	50	291.9389	61	274.2753
40	244.148	51	259.2116	62	241.548
41	211.4207	52	226.4843	63	208.8207
42	178.6935	53	193.7571	64	176.0935
43	145.9662	54	161.0298	65	143.3662
44	113.2389	55	128.3025	66	110.6389

图7-10示出了HIBLEO-2卫星间链路的天线增益方向性图。

图7-10

HIBLEO-2卫星间链路的天线增益方向性图

符合ITU-R S.672建议书的天线包络/平均方向性图  
(36.7 dBi天线)

Rap 2092-0710

#### 7.2.4.2 GSO卫星网络TDRSS的卫星间链路参数特性

在该频带还经另一个系统提供卫星间链路。美国宇航局运行着跟踪和数据传输卫星系统 (TDRSS)，该系统提供了对地静止TDRSS卫星与包括航天飞机和国际空间站在内的低地球轨道卫星之间的卫星间通信链路。

低地球轨道卫星包括航天飞机 (STS) 和国际空间站 (ISS)，跟踪和数据传输卫星系统 (TDRSS) 采用GSO卫星在低地球轨道卫星与美国新墨西哥州怀特桑兹的一个中心地球站之间转发数据、遥测和指令，TDRSS卫星位于 $174^{\circ}$  W ( $186^{\circ}$  E) 和 $41^{\circ}$  W ( $319^{\circ}$  E)。

第二代TDRSS卫星 (称为TDRSS-H、I和J) 运行着22.55-23.55 GHz频带卫星间链路，为其Ka波段的单通路业务提供前向链路。每一个这种TDRSS卫星都能够支持两条这样的链路，每条链路都是通过卫星上一个单独的可控高增益天线提供的。下面的参数适用于每条链路：

- 必要带宽 = 50 MHz
- e.i.r.p. = 71 dBW
- 最接近无源频带的指配频率 = 23.505 GHz
- 天线峰值增益 = 58 dBi。

7.2.4.3 数据传输测试卫星系统

关于下文要讨论的DRTS (数据传输测试卫星) 系统卫星间链路的资料如图7-11所示。

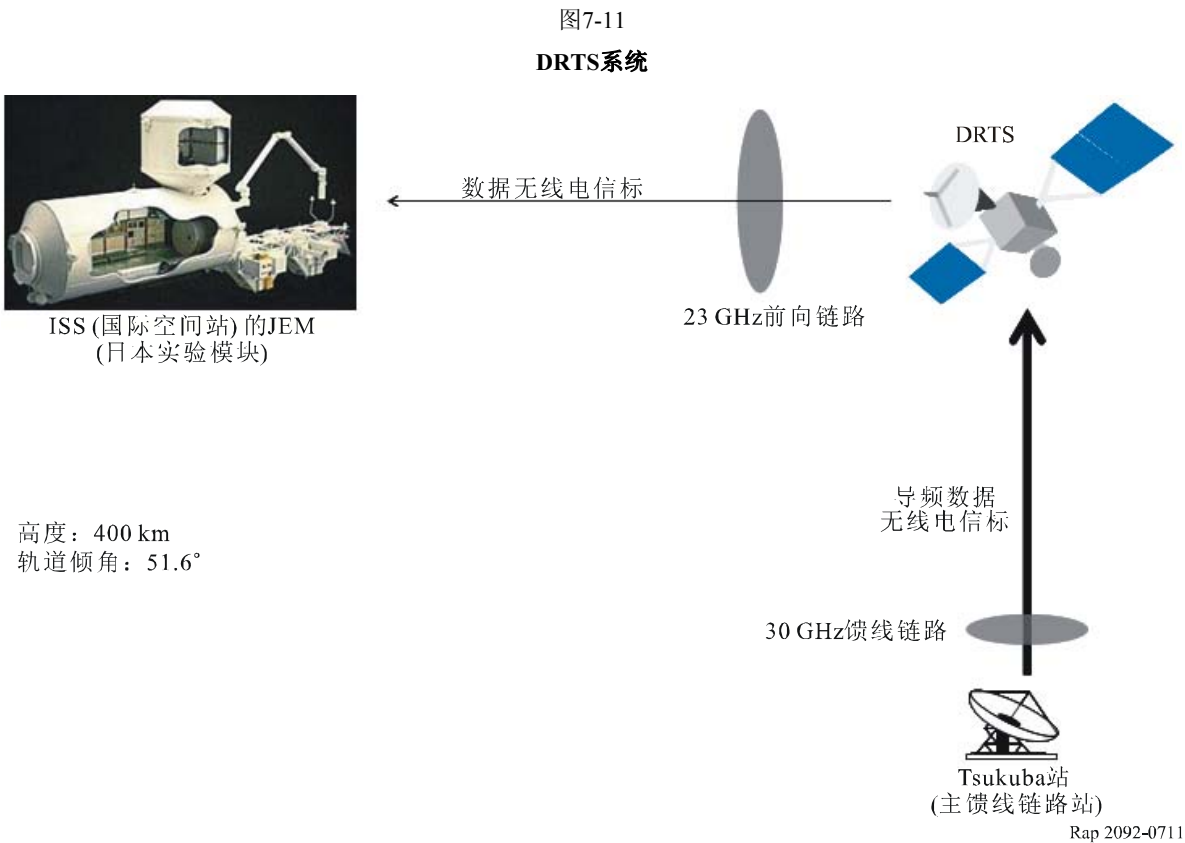
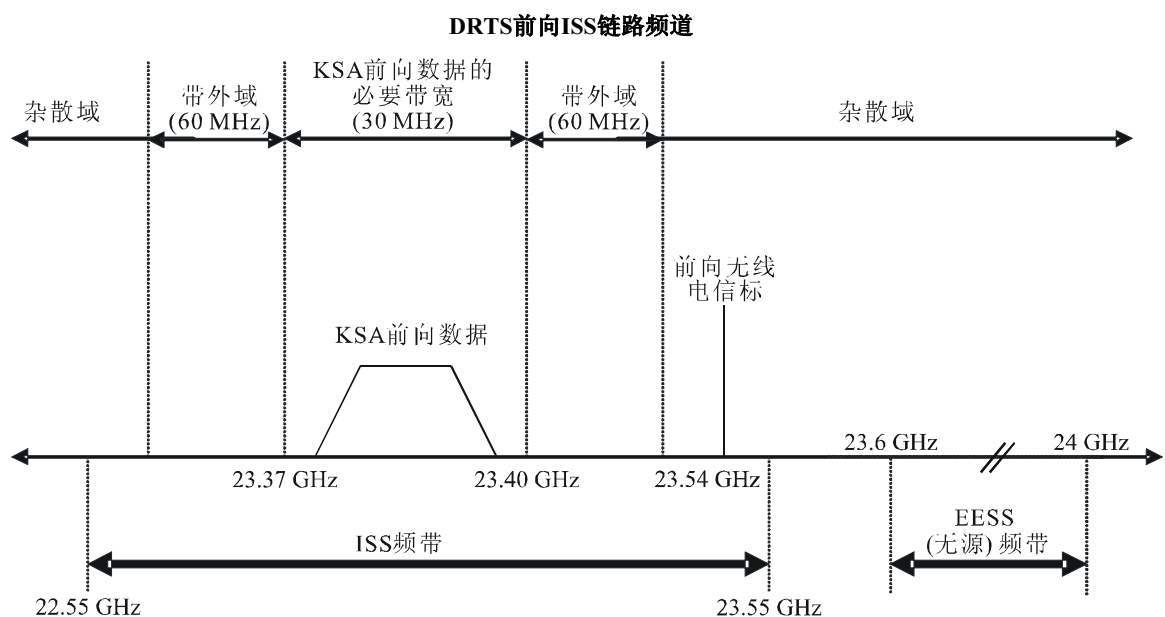


图7-12示出了DRTS前向ISS链路的频谱。如图所示，EESS (无源) 频带位于DRTS前向ISS链路的杂散域内。



图7-12



Rap 2092-0712

《无线电规则》附录3的表II规定，计算无线电设备所用的最大可允许杂散域发射功率电平时采用的衰减值取 $43 + 10 \log(P)$ 或60 dBc，对于空间业务 (空间站) 以较宽松者为准。因此可给出下面的表7-7中的ISS链路信号的杂散衰减电平：

表7-7

**杂散衰减**

	KSA前向数据	无线电信标信号
衰减电平 (dBc)	38.5 <sup>(1)</sup>	59.8 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>  $43 + 10 \times \log(0.36 \text{ W}) = 38.5 \text{ dBc} (< 60 \text{ dBc})$

<sup>(2)</sup>  $43 + 10 \times \log(48 \text{ W}) = 59.8 \text{ dBc} (< 60 \text{ dBc})$

DRTS卫星的传输特性依DRTS与哪个用户卫星通信而有所不同。国际空间站附带的日本实验模块 (JEM) 被认为是最适合本项研究的用户卫星，因为DRTS前向链路是在23 GHz朝向JEM发射。

在22.55-23.55 GHz频带内发射的DRTS ISS前向信号共包括KSA (Ku波段单通路业务) 前向数据与无线电信标这两个信号，如图7-12所示。在JEM位于DRTS卫星视野内的时间内，这些信号每天总共发射8小时。

DRTS前向链路 with JEM通信时的资料见表7-8。

表7-8

DRTS卫星系统的规范 (指向JEM的ISS前向链路)

系统参数	前向数据	无线电信标信号
卫星数目	1	
标称高度	35786	
轨道类型	GEO	
频率范围	23.37-23.40 GHz	23.54 GHz
数据频道的必要带宽	30 MHz	无调制 0.004 MHz (《无线电规则》附录3中的基准带宽)
发射机峰值功率	-4.4 dBW	16.8 dBW
天线增益 (包括馈线损耗)	55.1 dBi	20.8 dBi
e.i.r.p.	50.7 dBW	37.6 dBW

DRTS前向数据和无线电信标信号由不同的天线发射。图7-13示出了用于前向数据发射的DRTS ISS天线增益方向性图。波束宽度在-3 dB增益下降点窄到只有0.23°。

图7-14示出了具有宽波束的DRTS无线电信标天线的方向性图，用于支持跟踪。

图7-13

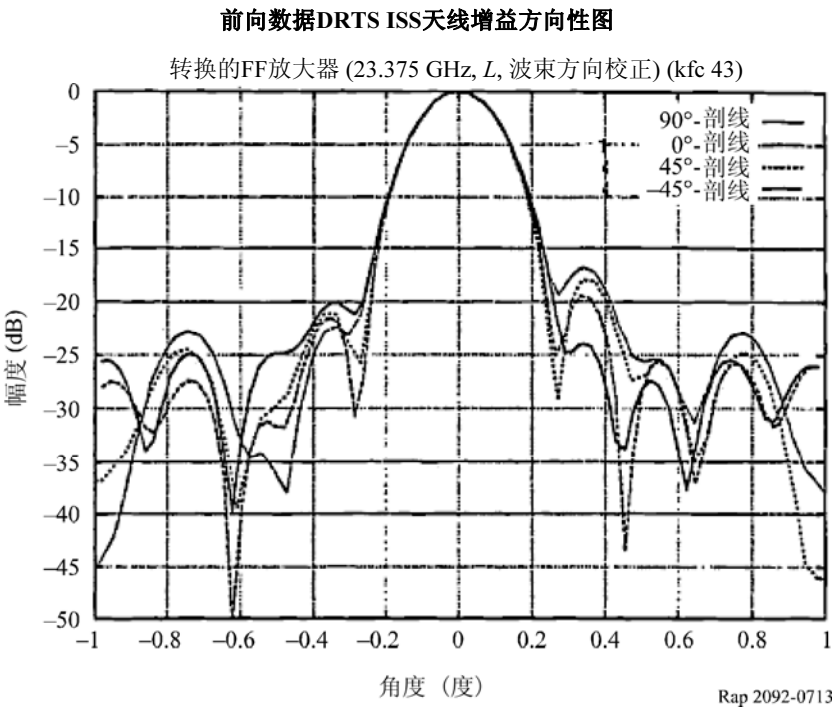
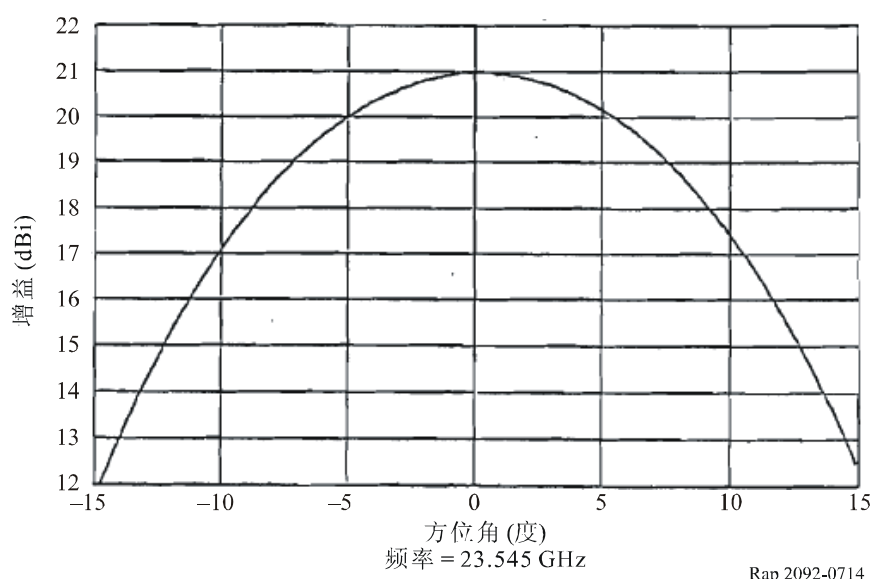


图7-14

DRTS无线电信标天线增益方向性图



### 7.3 兼容性干扰标准

有可能从多种业务的多种源同时收到干扰。ITU-R RS.1029建议书 (对某一特定频带) 所列的数值为来自所有干扰源的无源传感器的最大可允许干扰电平。在23.6-24 GHz频带, 应采用该-166 dBW的在任何200 MHz带宽内的兼容性电平。

### 7.4 干扰评估

为了确定来自HIBLEO-2和TDRSS系统卫星间链路的无用发射对第7.1.4节所述的无源传感器的影响, 进行了动态仿真。另外, 还对Hibleo-2和DARTS卫星系统进行了半静态分析。

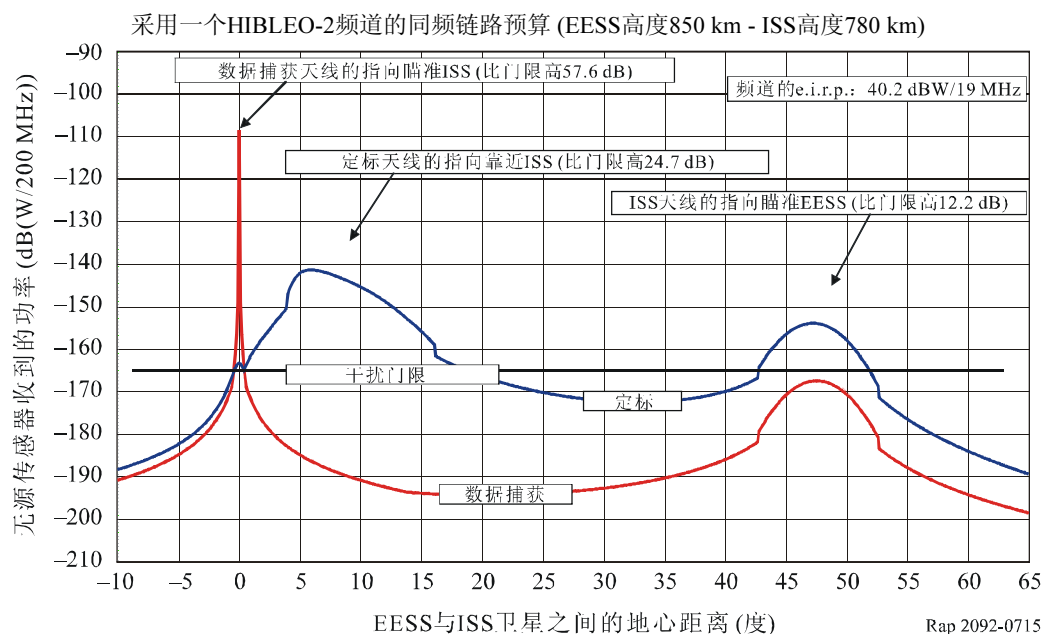
#### 7.4.1 半静态分析

##### 7.4.1.1 HIBLEO-2的半静态干扰分析

图7-15中的线条绘出了有一个HIBLEO-2 19 MHz频道的最坏情况配置。仅考虑数据捕获天线的天底波束。接收到的干扰量值可能随所考虑的传感器天线波束和随ISS天线的朝向而变化。

图7-15

用于动态分析的配置  
(同频情况, 一个HIBLEO-2 19 MHz频道)



根据ISS与EES (卫星地球探测) 轨道之间的地心距离, 发生的干扰事件有三种:

- 两种轨道之间的角距离为 $0^\circ$ 时, 数据捕获天线的天底波束瞄准ISS天线。可确定ISS天线远波瓣至推扫式天线波束这条干扰路径。一个ISS频道产生的干扰电平比门限高57.6 dB。该门限与ISS卫星上占用的发射频道的数目成比例。由于相邻波束之间的鉴别力不是无穷大 (见表7-4), 所有天线波束都受干扰的影响。  
由于数据捕获天线的所有波束总是处于激活状态, 在两种轨道之间的角距离处于 $\pm 10.25^\circ$ 范围内时, 所有这些波束都存在与上面类似的情况。
- 在两种轨道之间的角距离为 $6^\circ$ 左右时, 冷空定标天线的指向靠近ISS。干扰电平比门限高33.7 dB。此时, 传感器捕获的所有探测数据都是无效的。
- 在两种轨道之间的角距离为 $47^\circ$ 左右时, EES位于ISS天线的主瓣内。可确定ISS天线主瓣至推扫式天线远波瓣这条干扰路径。最坏干扰电平 (冷空定标天线) 比门限高21.2 dB。所有探测数据都是无效的。

动态分析应仔细考虑每种特定情况。在所有情况下, 每一受到干扰的波束算做一个干扰事件。

#### 7.4.1.2 DRTS对锥形扫描传感器干扰的半静态分析 (包括无用发射的衰减评估)

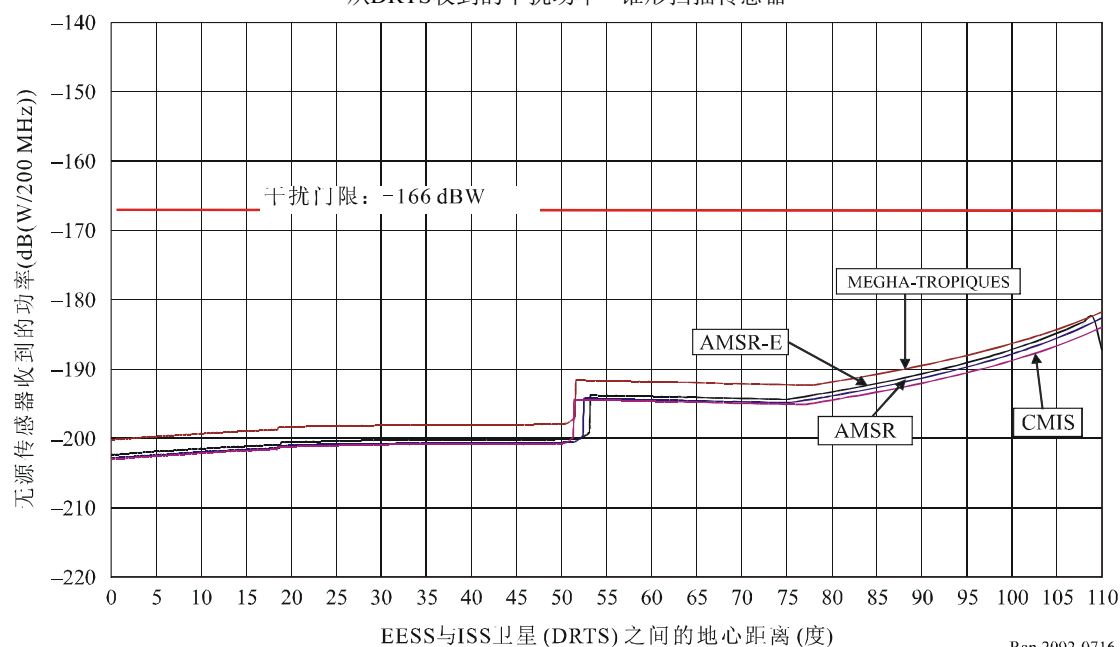
为了检测EESS (无源) 传感器是否收到第7.3节中给出的门限电平, 进行了半静态分析。图7-16示出了对于MEGHA、AMSR-E、AMSR和CMIS传感器的分析结果。

如图所示，在EESS传感器与DRTS卫星之间的任何地心距离上，锥形扫描传感器从DRTS ISS前向链路收到的功率都不超过门限电平。

图7-16

### 锥形扫描传感器收到的功率 (半静态分析)

从DRTS收到的干扰功率 - 锥形扫描传感器



#### 7.4.1.3 DRTS对天底传感器干扰的半静态分析 (包括无用发射的衰减评估)

传感器天线未指向DRTS卫星，因为与天底传感器视场方向的角度为 $\pm 50^\circ$ ，如图7-6和图7-7所示。

冷空定标天线与天底方向的夹角为表7-3中给出的 $83^\circ$ ，使得定标天线比传感器天线更易受到干扰。

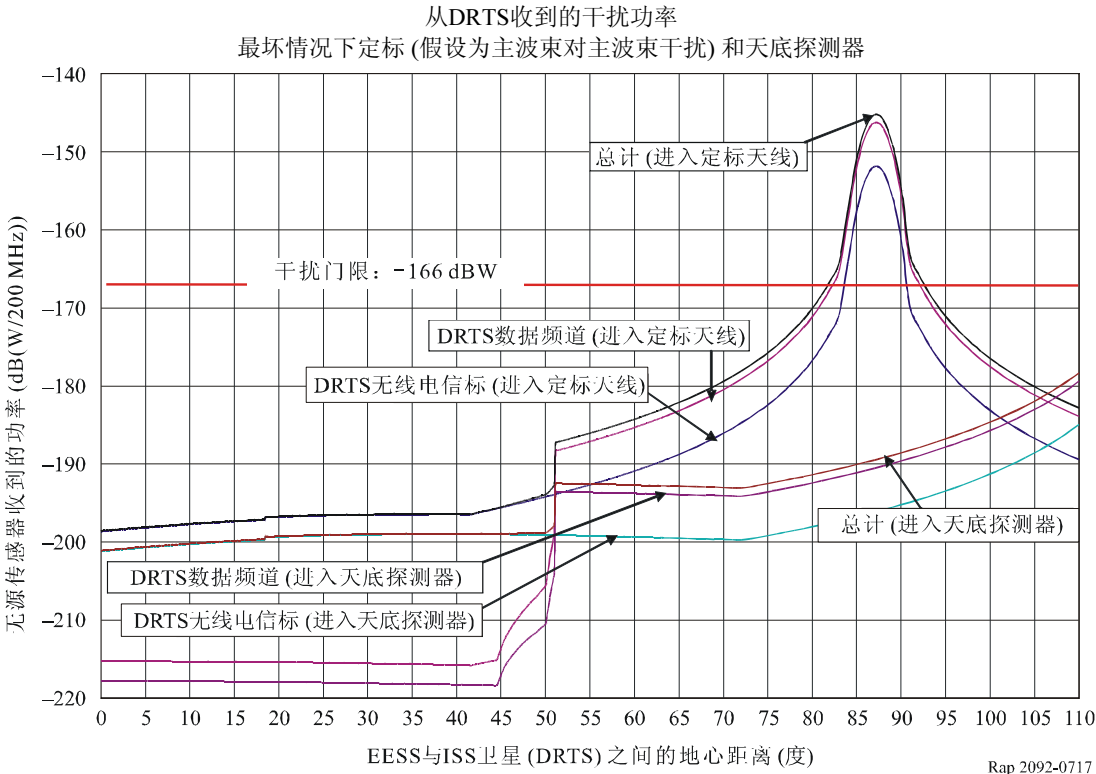
此外，从AMSU-A和推扫式天底传感器的波束方向性图推断，推扫式传感器会比AMSU-A传感器接收到更强的DRTS卫星的干扰。因此本项分析选择推扫式传感器作为有代表性的天底探测器。

图7-17示出了在干扰功率电平方面半静态分析的结果。

对传感器受DARTS系统的影响进行了评估，考虑了传感器的扫描和定标两种模式。尽管两种模式都不超过干扰标准，但可确认定标模式更易受到干扰，可能有必要进一步分析。

图7-17

推扫式传感器收到的功率 (半静态分析)



有一种干扰情况出现在DRTS ISS天线指向天底定标天线时。在传感器与DRTS卫星之间的地心距离位于85°至约90°时，这种情况就会出现。此时算出推扫式传感器超过干扰门限的电平为23.7 dB。

表7-9示出了DRTS卫星进入推扫式传感器的无用发射超过-166 dB(W/27 MHz) 的干扰门限时，EESS定标天线的最小偏轴角。在定标天线的方向与DRTS卫星链路的方向之间的夹角超过4.91°时，干扰电平不超过门限电平标准。

表7-9  
链路预算

参数	值
23.6-24 GHz频带内最坏情况的200 MHz内DRTS的总e.i.r.p. (dBW)	31.40
自由空间损耗 (dB)	212.40
EESS定标天线的偏轴角 (度)	4.91
EESS定标天线增益 (dBi)	14.98
EESS定标天线收到的功率	-166.0

为了确定定标天线与DRTS卫星之间的夹角超过 $4.91^\circ$ 的情况出现的概率，进行了半动态仿真，在9天的时间 (EESS轨道周期) 内采用2 s的时间增量。该步长足以进行仿真，因为2 s的时间步长对应着9天的0.000257%，小于0.01%的门限。

该仿真的结果显示，定标天线的方向与DRTS卫星链路的方向之间的夹角小于 $5.9^\circ$ 的出现次数为零，即该角度总是超过 $4.91^\circ$ 。因此，23 GHz频带的DRTS ISS链路满足23.6-24 GHz频带EESS (无源) 的干扰标准。

## 7.4.2 动态分析

### 7.4.2.1 HIB LEO-2仿真模型和评估干扰电平所用的方法

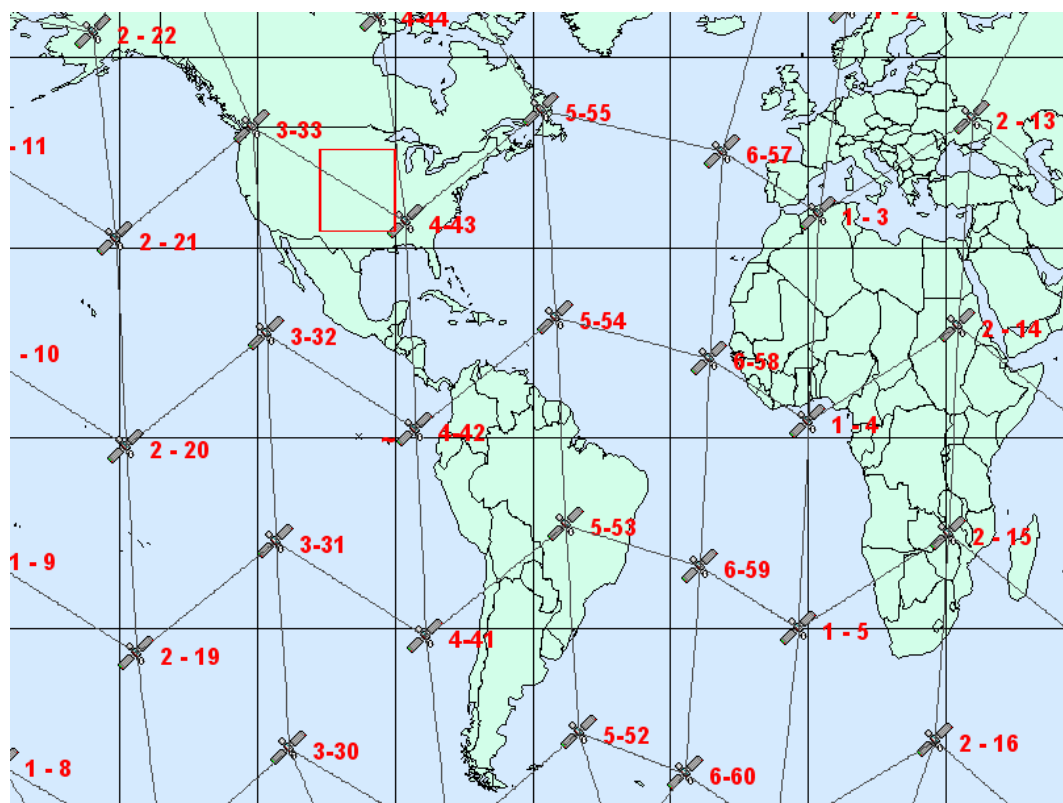
考虑了两种动态仿真。一种仿真模拟了HIB LEO-2系统对AMSU-A、AMSR-E和CMIS无源传感器的干扰。另一种考虑了进入推扫式无源传感器的干扰。

#### 7.4.2.1.1 对AMSU-A、AMSR-E和CMIS无源传感器的仿真

图7-18示出了用于该仿真的Iridium部署模型。根据HIB LEO-2系统适用的国内规则，在EESS (无源) 频带最低端的200 MHz内对无用发射掩模进行积分，可得出 $-32.8$  dB(W/200 MHz) 无用发射的发射功率和相应的 $3.8$  dB(W/200 MHz) 的无用发射e.i.r.p.。在每一时间步长内对来自HIB LEO-2卫星的4条可能的卫星间链路中的每一条进行干扰计算。对部署模型的仿真在北美 $2\,000\,000\text{ km}^2$ 的测量区内进行，测量区位于 $32.524^\circ\text{ N}$ 和 $45.476^\circ\text{ N}$ 以及 $89.966^\circ\text{ N}$ 和 $106.034^\circ\text{ W}$ 之间，如图7-18所示。

图7-18

HIBLEO-2部署模型



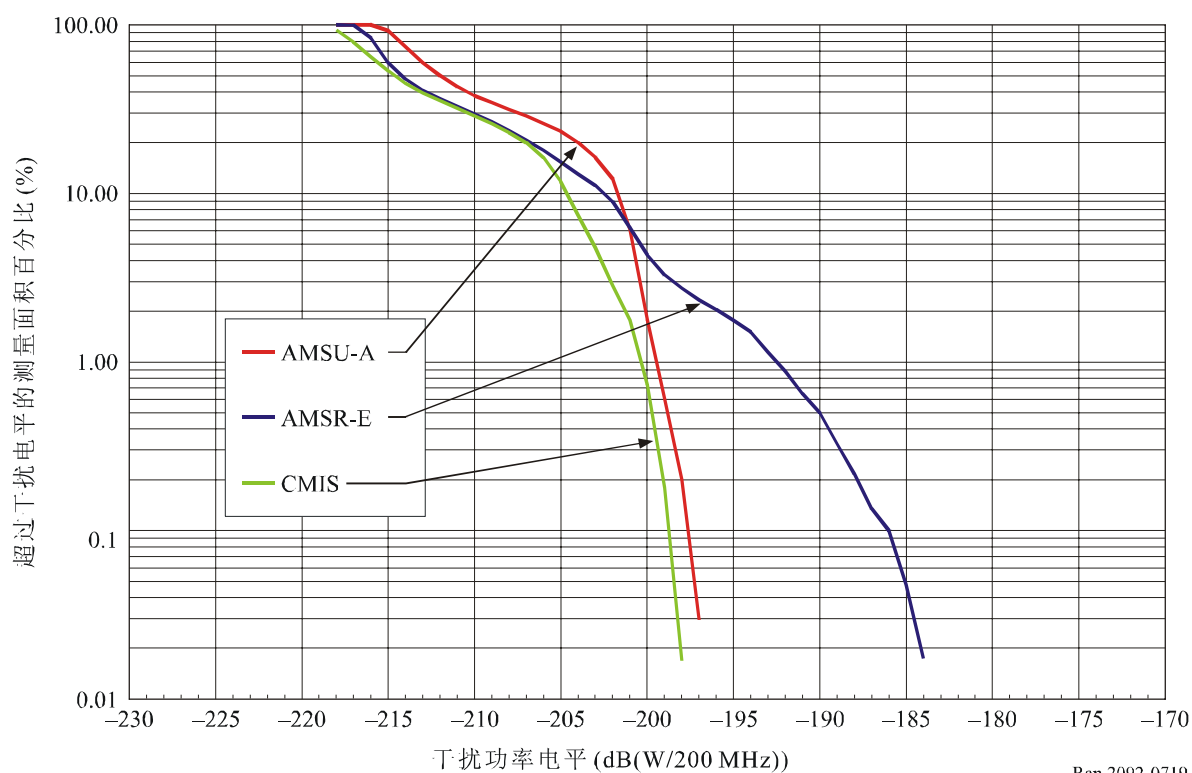
Rap 2092-0718

在无源传感器能够对测量区内的点进行抽样时运行仿真，以便在16天的仿真运行内产生CDF，时间步长为200 ms。Iridium卫星间链路对23.6-24.0 GHz频带内无源传感器产生的干扰的CDF在图7-19中给出。应注意的是，无源传感器从HIBLEO-2系统的无用发射收到的干扰电平不超过ITU-R RS.1029-2建议书中的可允许干扰标准。



图7-19

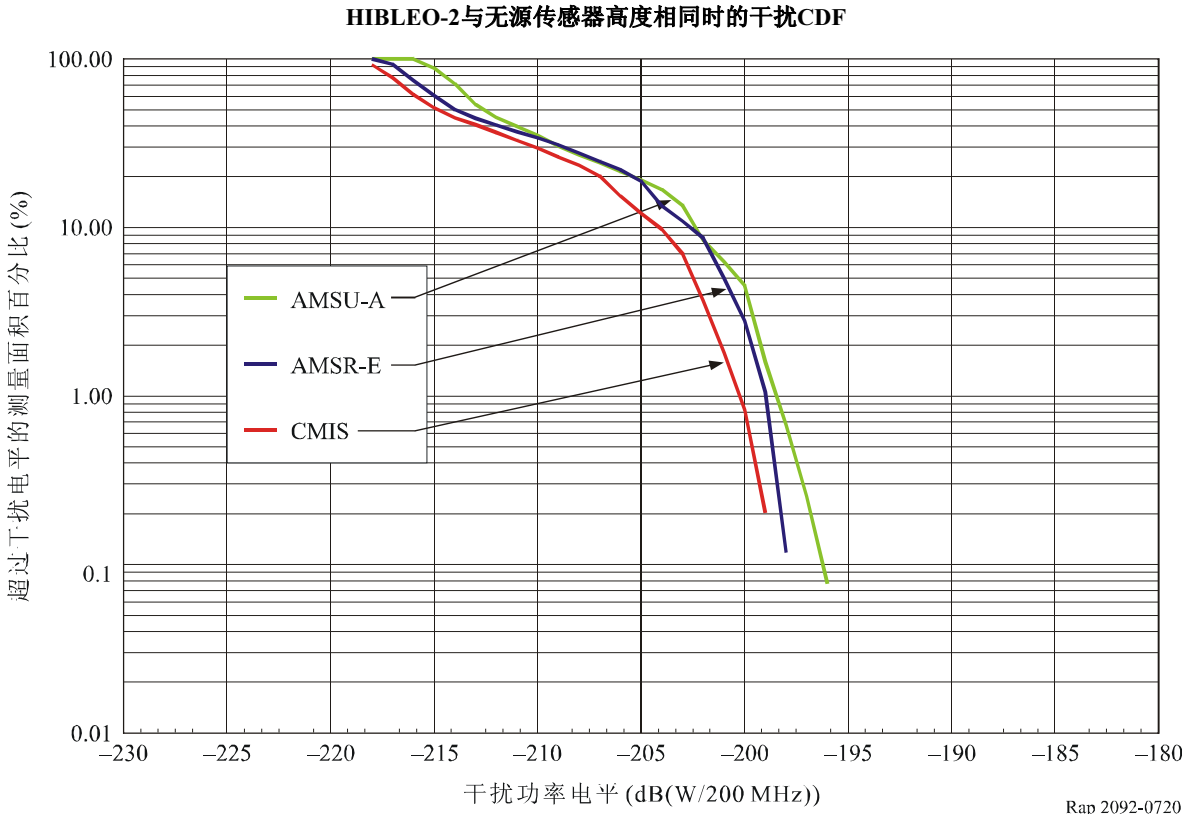
HIBLEO-2产生的干扰CDF



Rap 2092-0719

为了考察假设的HIBLEO-2轨道高度与无源传感器轨道高度相同这种理论情况，又进行了几轮附加的仿真。图7-20示出了该理论情况，假设AMSU-A与HIBLEO-2、AMSR-E与HIBLEO-2以及CMIS与HIBLEO-2具有同样的轨道高度。应注意的是，无源传感器受到的干扰电平不超过ITU-R RS.1029-2建议书中的可允许干扰标准。

图7-20



**7.4.2.1.2 推扫式无源传感器的动态仿真**

下面的图7-21示出了动态仿真的结果，一个占用频道内仅有一个HIBLEO-2在工作。按照HIBLEO-2的特性，一个占用频道的带宽为19 MHz。为了获得足够的准确度，该仿真选择的时间增量为0.5 2 s。

用于仿真的EES轨道参数 (高度、倾角和周期) 是表7-3中给出的参数，且在预定的动态仿真中采用推扫式传感器。

ISS星座轨道参数是表7-5和表7-6中给出的参数。

所有研究结果用同频方式给出。下文中，ITU-R SM.1541建议书给出的衰减应适用，因为目前未提出其他方法。但由于ITU-R SM.1541建议书附件1的附录中完成的计算，应强调，该建议书给出的MSS和FSS系统的掩模是不现实的，因为它显著高估了无用发射功率。

按照HIBLEO-2星座进行的动态仿真是以这样一个简单假设为基础的：每一卫星都试图与星座内最靠近的另四颗卫星通信。

但该动态仿真未顾及第7.1.4.2节描述的关于鉴别力的效应，该鉴别力是由复合推扫式天线增益的天线方向性图所提供的，因为该动态仿真考虑是的复合形式的推扫式天线。

图7-21

由HIBLEO-2与一种推扫式无源传感器之间的  
动态分析形成的累积分布

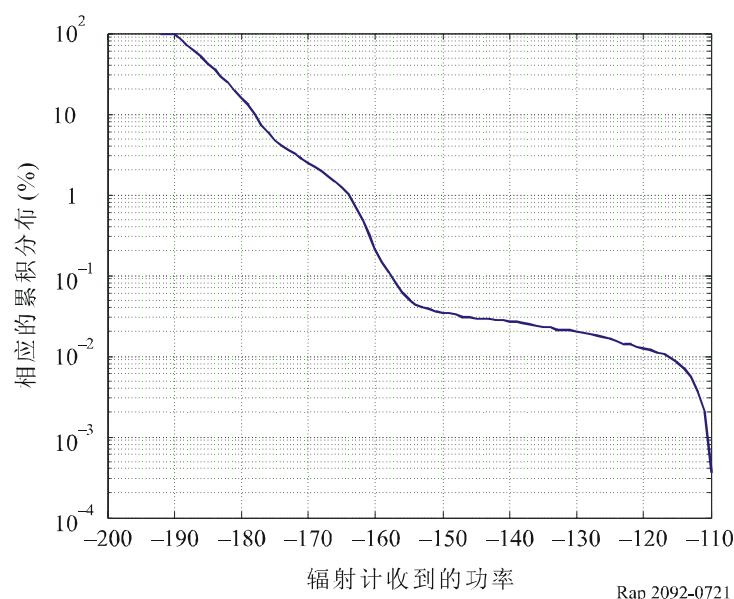


表7-10

非GSO系统HIBLEO-2的一条卫星间链路  
与一种推扫式EESS传感器之间的动态分析

累积分布 (%)	0.0021	0.01	0.10	1.30	2	160
推扫式：(在200 MHz 基准带宽内) EECS收到的相应干扰功率 (dBW)	-111	-117	-158	-164	-166	-178

按照表7-10，在卫星间链路工作时，EESS卫星经受干扰的概率很高 (受干扰影响的数据的量在所需的门限之上)。

若累积分布为0.01%，即可能超过干扰门限的相应时间或面积百分比为0.01%，则对于200 MHz无源传感器的200 MHz基准带宽，表7-10表明的干扰功率为-117 dBW。但有源系统仅在19 MHz的带宽内发射，这意味着超过门限的系数为  $\Delta P = 166 - 117 = 49$  dB。

这些结果，特别是对于0.01%的累积分布超过门限49 dB的结果，是假设一个发射频道在无源频带内的总e.i.r.p.为39.6 dBW的情况下对表7-4所述的HIBLEO-2系统进行分析得出的。

可以把这些值与半静态分析中确定的比门限高出57.6 dB的电平加以比较，半静态分析考虑的是一个辐射电平为40.2 dBW的单独的19 MHz发射频道。

因此,若采用第2.3节技术附录中的方法,下一步研究所用的类似于HIBLEO-2的星座所适用的最大值(暂定)出现在同频情况下:

$$\text{e.i.r.p. (一个频道)} = -9.4 \text{ dBW (39.6 dBW} - 49 \text{ dB)}, \text{ 若ISS星座的} \\ \text{一条链路在200 MHz基准带宽内满负荷工作}$$

目前的动态分析假设在表7-5中表明的频带内只有一个星座在工作:合计问题尚未考虑。但要注意,多个星座的合计将对兼容性分析的结果产生影响。

若类似于HIBLEO-2系统中某颗卫星的某单一卫星在无源频带内辐射的无用发射功率对于200 MHz基准带宽不超过-9.4 dBW,则可获得兼容性。

#### 7.4.2.1.2.1 由 ITU-R SM.1541建议书和《无线电规则》附录3提供的衰减

下面的图(见图7-22)显示,衰减是在19 MHz带宽内通过使用ITU-R SM.1541建议书提供的。假设占用了单一频道。在考虑一个在19 MHz必要带宽内发射功率为3 dBW的单一频道时,无源频带将属于其杂散域。

因此,所需的衰减由《无线电规则》附录3给出,在空间业务这一特定情况下,在4 kHz基准带宽内等于 $43 + 10 \log(P)$ 和60 dBc二者中的较宽松值。

由此得出了在无源频带的4 kHz基准带宽内 $3 - (43 + 3) = -43 \text{ dBW}$ 的绝对杂散功率。在200 MHz的基准带宽内,该值将为4 dBW。

要避免EESS受到HIBLEO-2的干扰,还相差50 dB ( $4 - (-9.4 - 36.6)$ )。

无论如何,人们普遍了解到,目前的规则性限值在某些情况下还是相当重要的。在本项研究中情况尤为如此。

由此可以预料,无用发射将呈现高于ITU-R SM.1541建议书和《无线电规则》附录3所需的滚降率。

因此,考虑到在无源频带内可采用ITU-R SM.1541建议书提供的无用发射掩模,建议采用第2.3节该方法的技术附录中所述的公式(3)(第7.1.1.1.2节)。无用发射域掩模不限于必要带宽的250%,而是在无源频带内扩展。

从该假设可以得出,无源频带所需的衰减必须大于:

$$C = \Delta P + 10 \log \left( \frac{B_{ref2}}{B_N} \right) = 59 \text{ dBsd},$$

其中:

$$B_{ref2} = 200 \text{ MHz}$$

$$B_N = 19 \text{ MHz}.$$

采用该方法,若ISS HIBLEO-2的占用频道离EESS(无源)频带稍近(其 $f_0 = 23.367 \text{ GHz}$ ),则算出的衰减等于49.7 dBsd,若ISS HIBLEO-2的占用频道离EESS(无源)频带稍远(其 $f_0 = 23.367 \text{ GHz}$ ),则算出的衰减等于57.4 dBsd。要注意,该计算不包括任何调制后滤波,而调制后滤波一般情况下总是采用的。因此可以预料,在23.6-24 GHz无源频带内无用发射至少衰减至-59 dBsd,足以保证兼容性。

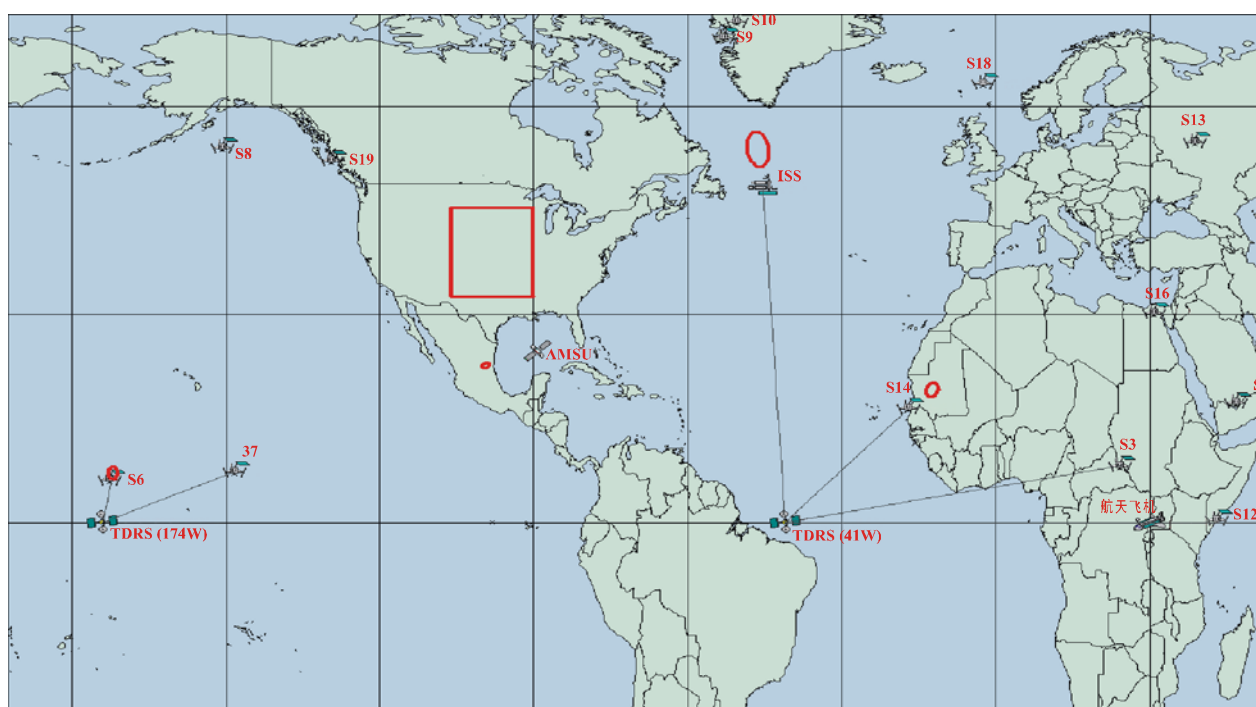
### 7.4.2.2 TDRSS仿真模型和结果

图7-23示出了采用位于 $174^{\circ}$  W ( $186^{\circ}$  E) 和 $41^{\circ}$  W ( $319^{\circ}$  E) 的TDRSS卫星的TDRSS部署模型。根据TDRSS系统适用的国内规则，在EESS (无源) 频带最低端的200 MHz内对无用发射掩模进行积分，可得出 $-20.3$  dB(W/200 MHz) 的无用发射的发射功率。

仿真也包括可由TDRSS前向链路提供服务的其他卫星。就该仿真而言，这些卫星包括航天飞机、国际空间站和位于随机分布的各轨道上的20颗卫星组成的一个星座。在每一时间步长内对来自TDRSS卫星至航天飞机、国际空间站和20颗卫星的星座内最靠近的两颗卫星的4条可能的卫星间链路中的每一条进行干扰计算。在每一时间步长内，到每颗TDRSS卫星的链路中对无源传感器产生最高干扰电平的两条链路的干扰电平合在一起，用于计算来自该TDRSS卫星的卫星间链路的干扰。对AMSU-A、AMSR-E和CMIS无源传感器运行了TDRSS仿真模型。

图7-22

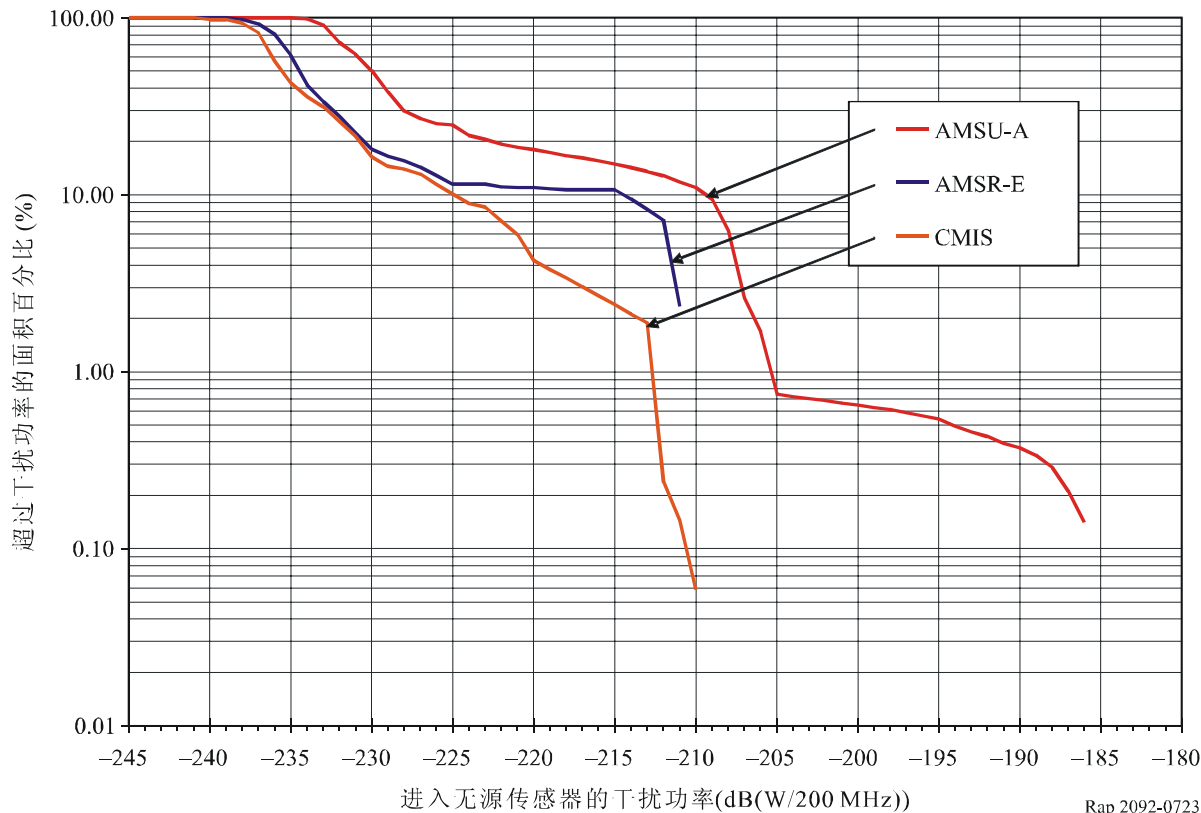
TDRSS部署模型



Rap 2092-0722

对这种部署模型的仿真是在北美 $2\,000\,000\text{ km}^2$ 的测量区内进行的，范围是图7-23所示的 $32.524^{\circ}$  N与 $45.476^{\circ}$  N之间和 $89.966^{\circ}$  W与 $106.034^{\circ}$  W之间。在无源传感器能够对测量区内的点进行抽样时运行仿真，以便在16天的仿真运行内产生CDF，时间步长为200 ms。TDRSS卫星间链路对200 MHz基准带宽内AMSU-A、AMSR-E和CMIS无源传感器产生的干扰的CDF在图7-24中给出。应注意的是，无源传感器从TDRSS的无用发射收到的干扰电平不超过ITU-R RS.1029-2建议书中的可允许干扰标准。

图7-23  
干扰CDF



### 7.4.3 研究结果小结

对ISS中的非GSO HIBLEO-2系统、GSO TDRSS和GSO DRTS系统以及对EESS (无源) 中当前的若干类型无源传感器进行了一系列动态仿真研究。这些仿真表明, 对于当前的传感器而言, 将满足ITU-R RS.1029-2建议书中的集总EESS (无源) 可允许干扰标准。结果, 有源和无源两种业务都不需要采用减扰技术来获得兼容性。

另一项研究表明, 若类似于HIBLEO-2系统中的某颗卫星的某单一卫星在无源频带内辐射的无用发射功率对于200 MHz基准带宽不超过-9.4 dBW, 则未来的无源传感器可获得兼容性。HIBLEO-2研究以该系统的某些特性为基础, 而非以全部特性为基础, 并假设系统在100%的时间内满负荷工作。其实HIBLEO-2的负荷在一天的不同时段和世界上的不同地区变化很大。无源频带内的这种无用e.i.r.p.可以通过采用无用发射掩模和调制后滤波而减轻。

## 7.5 减扰技术

### 7.5.1 EESS (无源)

当前和未来的无源传感器是对从卫星收到的信号进行积分，不可能区分自然发射和人为发射。对于当前的无源传感器，没必要采用减扰技术，因为未超过ITU-R RS.1029-2建议书中规定的可允许干扰标准。但对于未来的推扫式无源传感器，在某些地区得到的测量数据存在着受损的风险，有可能影响世界范围的天气预报。

### 7.5.2 ISS

目前正在工作的ISS系统与当前的无源传感器是兼容的，没必要采取任何附加的减扰措施。而对于未来的无源传感器，分析显示，有源业务可以很容易地满足保护无源频带所需的总衰减。因此不需要特定的减扰技术。

### 7.5.3 潜在影响

#### 7.5.3.1 EESS (无源)

预计对EESS (无源) 没有不利影响，因为目前正在工作的ISS系统满足EESS (无源) 干扰标准。

#### 7.5.3.2 ISS

预计对EESS (无源) 没有不利影响，因为目前正在工作的ISS系统不需要采用减扰技术来满足EESS (无源) 干扰标准。

## 7.6 结论

### 7.6.1 小结

为了估算非GSO HIBLEO-2、GSO TDRSS和GSO DRTS系统卫星间链路的无用发射对23.6-24 GHz频带当前和规划中的几种类型无源传感器的预计干扰电平，进行了动态仿真分析，所有上述系统目前都正在工作。

对TDRSS和DRTS系统的仿真表明，对于所有的无源传感器而言，将满足ITU-R RS.1029-2建议书的可允许干扰标准。

对HIBLEO-2系统的仿真表明，对于锥形扫描AMSR-E和天底扫描AMSU-A无源传感器之类当前的无源传感器而言，将满足ITU-R RS.1029-2建议书的可允许干扰标准。但对于推扫式传感器之类未来的无源传感器而言，研究显示，23.6-24 GHz频带HIBLEO-2类型系统e.i.r.p.为-9.4 dBW(W/200 MHz) 的无用发射电平会满足ITU-R RS.1029-2建议书的可允许干扰标准，且ISS很容易满足该衰减电平。

### 7.6.2 结论

由某些动态仿真可以得出结论，所研究的ISS系统将满足ITU-R RS.1029-2建议书中的集总EESS (无源) 可允许干扰标准，不需要采用减扰技术或采取规则性措施。

其他研究的结论是，考虑到仿真及其相应的衰减评估得出的结果，对于天线增益小于55 dBi且在23.6-24 GHz频带内 (用已调载波) 发射数据的ISS链路，为了获得兼容性，有必要采用e.i.r.p.为-9.4 dB(W/200 MHz) 的无用发射电平。要注意，ISS很容易满足该e.i.r.p.电平，且该电平不意味着对ISS系统有任何其他限制。

**8      31.3-31.5 GHz频带内的EESS (无源) 系统与30-31 GHz频带内的FSS (地对空) 和MSS (地对空) 之间的兼容性分析**

**8.1      EESS (无源)**

**8.1.1    划分的频带**

31.3-31.5 GHz频带划分给EESS (无源)、RAS和SRS (无源)。应注意的是，31.3-31.5 GHz频带适用《无线电规则》第5.340款。表8-1示出了与31.3-31.8 GHz无源频带相邻的划分。

表8-1  
相邻频带划分

在划分频带低端的 空间业务	在划分频带低端的 业务	无源频带	在划分频带高端的 业务
30-31 GHz	31-31.3 GHz	31.3-31.5 GHz	31.5-31.8 GHz
卫星固定 (地对空)	固定	卫星地球探测 (无源)	卫星地球探测 (无源)
卫星移动 (地对空)	移动	射电天文	射电天文
卫星标准频率和时间 信号(空对地)	卫星标准频率和时 间信号(空对地)	空间研究 (无源)	空间研究 (无源)
	空间研究 5.544 5.545		固定 (第一和第三区)
			移动 (航空移动除外) (第一 和第三区)
			5.149 5.546 (第一区)
			5.340 (第二区)
5.542	5.149	5.340	5.149 (第三区)

**8.1.2    应用**

23.8 GHz (水汽总量)、31.5 GHz (窗口频道) 和90 GHz (液态水) 频率周围的无源测量提供了辅助性数据，对氧气吸收频谱内进行的温度测量值的收集过程起着举足轻重的作用。这些辅助性测量必须具备与温度测量的性能相一致的辐射计量性能和几何性能以及可提供性标准。



### 8.1.3 所需的保护标准

ITU-R RS.1029-2建议书给出了卫星无源遥感的干扰标准。EESS传感器从所有干扰源接收到的最大可允许干扰功率，对于当前的无源传感器在200 MHz基准带宽内为-160 dBW，对于未来的无源传感器在200 MHz基准带宽内为-166 dBW，按照ITU-R RS.1028-2建议书，数据可获得性为99.99%。相应的测量区是地球表面2 000 000 km<sup>2</sup>的方形，除非有理由另外规定。

### 8.1.4 工作特性

这些研究中考虑的31.3-31.5 GHz频带当前和未来的无源传感器为天底扫描仪器，当前的无源传感器采用机械式扫描，未来的推扫式无源传感器采用电子式扫描。表8-2给出了这些传感器的主要特性。

表8-2  
天底传感器的特性

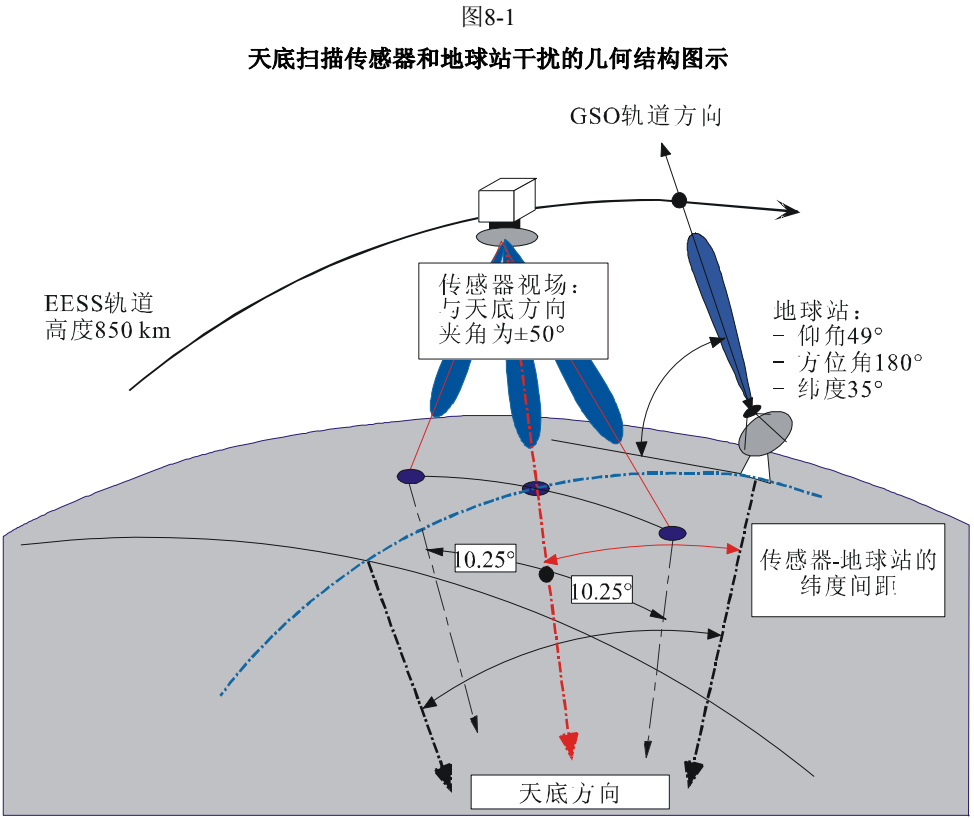
参数	AMSU-A (机械式扫描)	推扫式 (电子式扫描)
主天线增益 (dBi)	36	45
-3 dB半功率波束宽度 (度)	3.3	1.1
波束数目	1	101
波束指向偏离天底的角度 (度)	±48.335，共31步	±50
跨迹像素尺寸 (km)	45	16
干扰门限密度 (dB(W/100 MHz))	-160	-166
传感器高度 (km)	850	850
轨道倾角 (度)	99	98
冷空定标天线增益 (dBi)	36	35
冷空定标角 (相对于卫星轨迹的度数)	90	90
冷空定标角 (相对于天底方向的度数)	83	83
反射器直径 (m)	0.28	0.9
可用扫宽 (km)	1 870	2 030

机械式扫描传感器 (AMSU-A) 投入使用已有几年，也是目前仍在用的系统。AMSU传感器天线每8 s自转一周，其自转轴与卫星的速度矢量一致。传感器天线主波束与旋转轴呈直角，因此在每一扫描周期内波束都经过星下点。在这样的扫描周期内，为了进行测量，波束在距天底±48.33°的范围内以200 ms的时间步长均匀地步进30个指向角。在8 s扫描周期的剩余2 s内进行热空和冷空定标。

推荐采用的“推扫式”传感器具有固定波束，扫宽类似于AMSU-A。本项分析所用的天底无源传感器是“推扫式”垂直探测器，因为它最易受到干扰。“推扫式”仪器是纯静态仪器，没有活动部件。推扫式仪器的主要特征是同时获得某一扫描线上的所有像素，有利于显著增加积分时间和可获得的辐射计量分辨率，而不像机械式扫描传感器 (即AMSU类型) 那样

顺续获得像素。推扫式仪器包括一副指向天底方向的固定数据捕获天线和一副专用冷空定标天线。

图8-1示出了这类传感器的轨道配置。

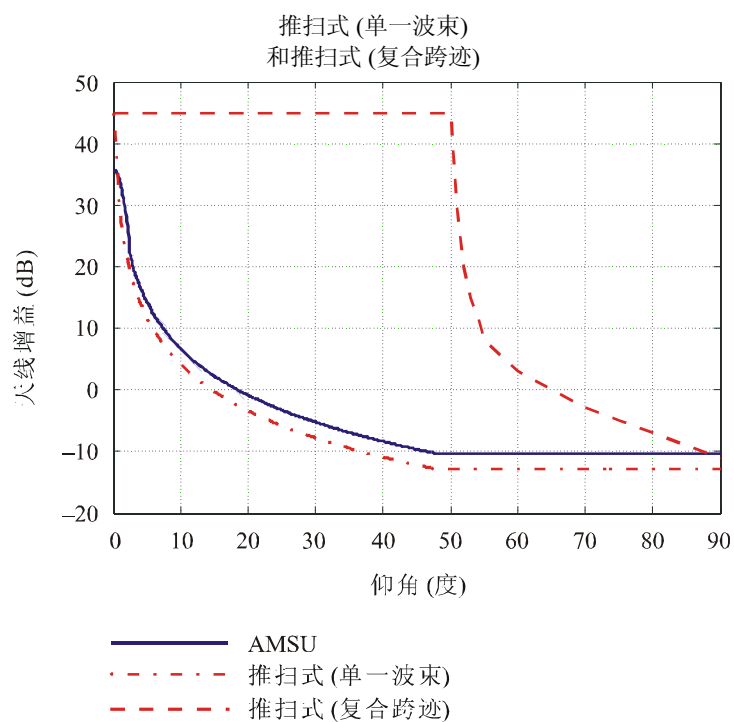


Rap 2092-081

图8-2示出了AMSU-A传感器波束天线增益方向性图。推扫式天线系统由大约90个单独波束组成，扇形复合方向性图覆盖的跨迹角度为 $100^\circ$ ，以星下点为中心。每个波束的全向增益为45 dBi，半功率波束宽度为 $1.1^\circ$ 。假设每一波束的天线方向性图符合ITU-R F.1245-1建议书。图8-2示出了一个单个波束的方向性图，还示出了一个复合方向性图，用于简化1号仿真模型中的干扰计算。该复合方向性图是所有单个波束沿传感器跨迹轴的峰值增益的包络，而单个波束的方向性图则是沿卫星航向轴的。图8-3示出了传感器跨迹轴的一侧头11个连续波束的天线方向性图的精细结构。

图8-2

## AMSU辐射计的天线增益方向性图

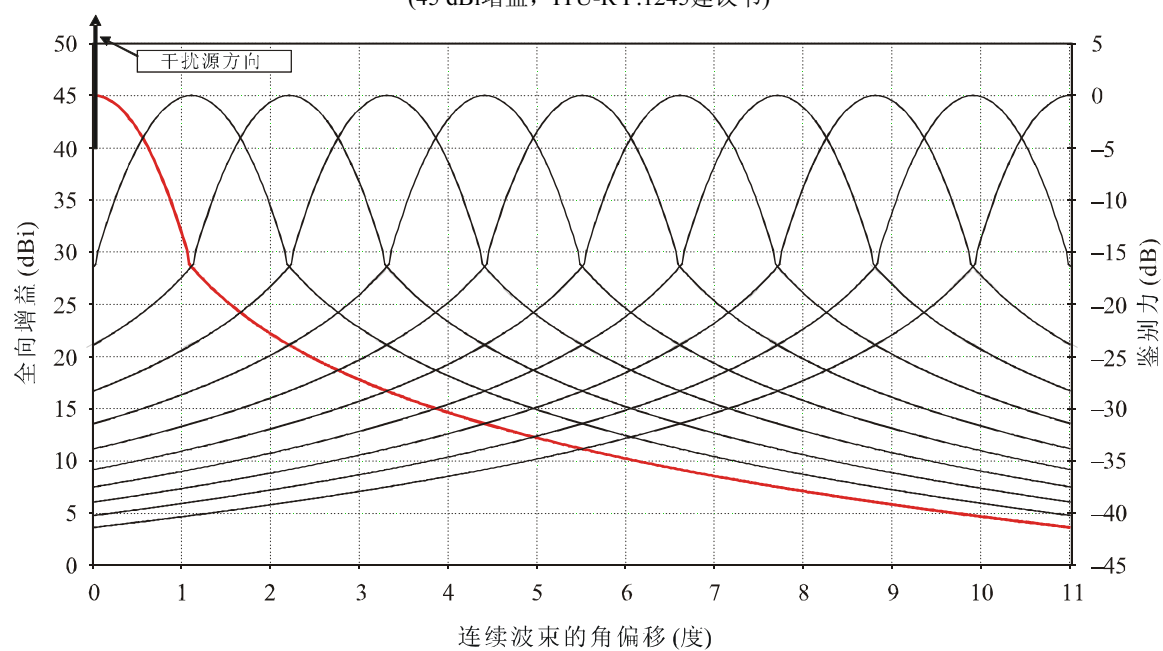


Rap 2092-082

图8-3

## 推扫式无源传感器的天线增益方向性图

(推扫式天底探测器: 复合天线方向性图和鉴别力)  
(45 dBi增益, ITU-R F.1245建议书)



Rap 2092-083

## 8.2 FSS和MSS

### 8.2.1 划分的发射频带

见表8-1。

### 8.2.2 应用

本节考虑的有源业务为30-31 GHz频带的FSS上行链路和MSS馈线链路。

### 8.2.3 无用发射频谱的表示

#### 8.2.3.1 调制滤波器

第2节，尤其是第2.3节的技术附录，提供了关于无用发射频谱各种表示方法的用途的丰富资料。

#### 8.2.3.2 调制后滤波器

##### 8.2.3.2.1 ATHENA系统滤波器的特性

ATHENA系统的基带信号须采用升余弦滤波(符合也称DVB-S的卫星数字电视广播标准)。滚降系数须为 $\alpha = 0.35$ 。 $f_N$ 是奈奎斯特频率:

$$|H(f)| = \begin{cases} 1 & |f| < f_N(1-\alpha) \\ \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{2f_N} \left( \frac{f_N - |f|}{\alpha} \right) \right) \right]^{\frac{1}{2}} & f_N(1-\alpha) \leq |f| \leq f_N(1+\alpha) \\ 0 & |f| > f_N(1+\alpha) \end{cases}$$

对于 $f/f_N > 2$ ，调制器输出端的信号频谱衰减至-40 dB。

关于ATHENA系统，要注意，该系统正处于设计中。但按规划每个地球站都要装备滤波器。尽管事实是实际规范目前尚不可知，但预计无源频带内的最小衰减约为30 dB。

##### 8.2.3.2.2 其他表示方法

第2节，尤其是第2.3节的技术附录，提供了调制后衰减滤波器的相应等式。

## 8.2.4 发射机的特性

这些研究中考考虑的若干系统的发射机特性均摘自ITU-R S.1328-3建议书《在包括卫星移动业务(MSS) 馈线链路在内的卫星固定业务(FSS) 中做对地静止卫星轨道(GSO) 与非GSO卫星系统之间的频率共用分析时需要考虑的卫星系统特性》。其他系统的参数摘自提交ITU-R的卫星协调请求和通知资料。

注1 — ITU-R S.1328-3建议书中出现的大多数采用30 GHz范围内FSS上行链路的系统，其频率范围一般截止在30 GHz。尽管事实如此，还是假设上行链路在30-31 GHz范围内的FSS卫星与在30 GHz以下频率工作的卫星具有相似的特性。

## 8.2.4.1 GSO卫星网络

表8-3示出了在1号和2号动态仿真研究中所用的两类上行链路地球站的参数。

表8-3

GSO系统上行链路地球站 (ES) 参数

FSS卫星系统	USCSID	KOREASAT-123.7 KA	STRATSAT-1	ATHENA
占用带宽 (MHz)	1,000	200	50	56
调制类型	QPSK			
地球站天线最大增益 (dBi)	70	55	56	63
地球站e.i.r.p. (dBW)	102	99	92	90
地球站发射机功率 (dBW)	32	44	36	27
地球站天线方向性图	ITU-R S.1428-1建议书	ITU-R S.465建议书	A-25 LOG(f)	ITU-R S.465建议书
地球站3 dB波束宽度 (度)	0.06	0.3	0.25	0.1
系统轨道类型	GSO	GSO	GSO	GSO
跟踪策略	无 (总是指向指定的GSO卫星)	无	无	无
卫星数目	6	1 (123°7' E)	1 (29° E)	1
地球站数目	6	1	1	2

3号动态仿真研究在GSO卫星协调资料中规定的卫星和地球站参数范围内采用了典型参数。转发器带宽的范围是100至500 MHz，卫星接收系统噪声温度的范围是600至800 K。正如这些卫星资料所表明的，这些卫星网中上行链路地球站天线直径的尺寸范围是0.45至9 m，发射带宽的范围是103 kHz至125 MHz，上行链路C/N的范围是5至18.4 dB。每一发射的最大和最小功率电平还在很大的范围内变化，包括某些情况下范围超过30 dB。在这些参数范围内选取与“小”、“中”和“大”负荷地球站相对应的参数的组合，算出位于测量区中心并向最远的卫星发射信号的地球站要产生规定的C/N所需的晴空发射功率电平，假设卫星接收系统的噪声温度为600 K。表8-4给出了这三种典型地球站的参数值和平均载波发射功率电平的计算值。

用一个系数对这些算出的上行链路发射功率电平进行校正，以便在FSS上行链路载波频率处于最靠近无源传感器频带的FSS频带的边缘时，估计出落入31.3-31.5 GHz无源传感器频带内的无用发射功率的量值。规定该系数为落入受影响接收机 (例如无源传感器) 带宽内的无用发射功率 (在相应的频谱范围内对已滤波或未滤波信号进行数值积分即可得出) 与发射总功率的比值。采用的频谱表示包括QPSK发射的  $(\sin(x)/x)^2$  频谱形状，其符号率等于规定的带宽，作为FSS上行链路系统中采用的调制前滤波的一种闭型近似。在某些情况下，在计算落入无源传感器带宽内的无用发射功率时还采用下述由调制后滤波形成的衰减特性：

$$A(f) = 40 \log_{10} |(f - f_c)/(f_c - 31)| + 8$$

按照 $(\sin(x)/x)^2$  频谱形状的QPSK发射未采用调制后滤波的情况和按照还包括由调制后滤波形成的每十倍频程40 dB衰减的情况，对无用发射功率进行了仿真。

表8-4  
FSS上行链路地球站参数

典型地球站	0.75 M	2.4 M	6.1 M	m
合乎需要的C/N	12	16	18	dB
地球站天线增益	45.2	54.7	63.4	dBi
自由空间损耗	213.8	213.8	213.8	dB
大气损耗	0.3	0.3	0.3	dB
卫星天线增益 (−1 dB等值线)	49	49	49	dBi
卫星接收系统温度	600	600	600	K
上行链路带宽	27	64	200	MHz
所需上行链路功率	5.4	3.7	1.9	dBW
转发器带宽	250	250	250	MHz
转发器中心频率	30 875	30 875	30 875	MHz
上行链路载波频率	30 980	30 950	30 875	MHz
无用发射功率，采用 $A(f)$ (在31.3-31.5 GHz内)	−57.5	−56.2	−53.5	dB(W/200 MHz)
无用发射系数，采用 $A(f)$	−62.9	−59.8	−55.4	dB
无用发射e.i.r.p.，采用 $A(f)$ (在31.3-31.5 GHz内)	−12.3	−1.5	−9.9	dB(W/200 MHz)
无用发射功率，未采用 $A(f)$ (在31.3-31.5 GHz内)	−25.5	−24.2	−22.0	dB(W/200 MHz)
无用发射系数，未采用 $A(f)$	−30.9	−27.9	−23.9	dB
无用发射e.i.r.p.，未采用 $A(f)$ (在31.3-31.5 GHz内)	19.7	30.5	41.4	dB(W/200 MHz)

8.2.4.1.1 DRTS系统

表8-5和表8-6给出了DRTS系统及其馈线链路地球站的发射机特性。在JEM工作时由Tsukuba站发射的30-31 GHz频带的DRTS馈线链路信号共包括KSA前向数据、无线电信标信号和导频信号三个信号，如图8-4所示。导频信号是总在发射的，而其他信号则在JEM位于DRTS卫星视野内的时间内每天总共发射8小时。关于该频带内DRTS系统馈线链路的资料见表8-6。

表8-5

**DRTS系统的特性**

参数	值
业务	FSS
轨道	GSO, 90.75° E
高度 (km)	35 786
倾斜 (度)	0
极化	LHCP/RHCP
地球站	Tsukuba站 (主站) (140.13° E / 36.07° N)

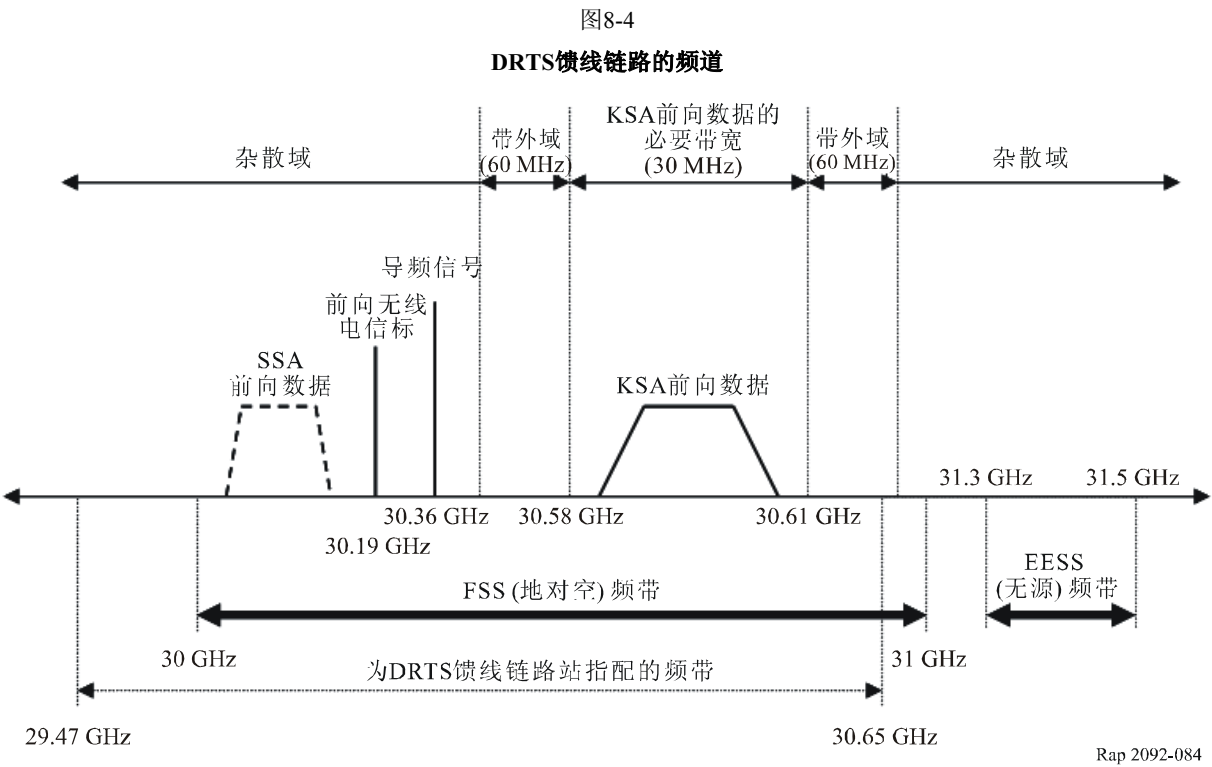
LHCP: 左旋圆极化。

RHCP: 右旋圆极化。

表8-6

**30 GHz频带内DRTS馈线链路信号的特性**

信号 (操作方案)	必要带宽 (MHz)	地球站发射 功率 (dBW)	地球站天线增益 (dBi)	天线方向性图
<b>KSA前向数据</b> (8 h/天)	30	17.1	62.4 (包括馈线损耗 5.8 dB)	ITU-R S.580建 议书
<b>导频信号</b> (24 h/天)	0.004 (《无线电规则》附录 3中的基准带宽)	18.0	62.4 (包括馈线损耗 5.8 dB)	ITU-R S.580建 议书
<b>无线电信标信号</b> (8 h/天)	0.004 (《无线电规则》附录 3中的基准带宽)	14.5	62.4 (包括馈线损耗 5.8 dB)	ITU-R S.580建 议书



下面的表8-7给出了馈线链路信号的杂散衰减电平。

表8-7  
杂散衰减

	KSA前向数据	导频	无线电信标
衰减电平 (dBc)	60 <sup>(1)</sup>	70 <sup>(2)</sup>	60 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> 《无线电规则》附录3中的限值。

<sup>(2)</sup> DRTS地球站的测量数据，比《无线电规则》附录3中的值有更严格的衰减。

8.2.4.2 非GSO网络

1号和2号动态仿真所用的非GSO USCSID-P系统的特性及其相关上行链路地球站的特性在表8-8和表8-9中给出。



表8-8

非GSO USCSID-P卫星系统的轨道参数

卫星/轨道平面数目	1	2	3	4	5	6	7	8
远地点高度 (km)	39 336.3							
近地点高度 (km)	1 063.75							
半长轴 (km)	26 578.17							
偏心率	0.72							
倾角	63							
初始平近点角	0	135	90	225	180	315	270	45
初始真近点角	0	169.122	155.854	169.122	180	133.323	155.854	133.323
升交点赤经	45	90	135	180	225	270	315	360
近地点变量	270	270	270	270	270	270	270	270

表8-9

非GSO USCSID-P系统上行链路地球站 (ES) 的参数

占用带宽 (MHz)	1 000
调制类型	QPSK
地球站天线最大增益 (dBi)	70
地球站e.i.r.p. (dBW)	102
地球站发射机功率 (dBW)	32
地球站天线方向性图	ITU-R S.1428-1建议书
地球站3 dB波束宽度 (度)	0.06
系统轨道类型	非GSO (HIO, HEO)
卫星跟踪战略	距离GSO轨道最远且仰角 $\geq 10^\circ$ 的非GSO卫星

### 8.3 干扰门限

有可能从多种业务的多种源同时收到干扰。ITU-R RS.1029建议书 (对某一特定频带) 所列的数值为来自所有干扰源的无源传感器的最大可允许干扰电平。

本章对单一有源业务产生的干扰和第8.1.3节为干扰门限规定的标准进行了分析。

### 8.4 干扰评估

为了确定同频工作的无源传感器在2 000 000 km<sup>2</sup>的测量区内收到的无用功率电平的累积分布函数, 进行了动态仿真。考虑了三项动态仿真研究, 涉及一定范围的地球站部署模型。

8.4.1 1号动态仿真研究

对FSS系统的推扫式传感器进行了该动态仿真。这些动态仿真的时间增量为500 ms。每当累积分布函数趋于稳定时，仿真即停止。

为了顾及有源系统的必要带宽与无源系统的基准带宽之间的差异，引入了带宽校正系数。

8.4.1.1 连续天线波束之间鉴别力的影响

下面的结果用于考察第8.1.4节提到的连续天线波束之间鉴别力的影响。所模拟的情况是推扫式情况，长期激活的天线波束约100个。

确定了某个70 dBi + 30 dBW地球站和某个55 dBi + 45 dBW地球站对一些推扫式天线波束 (偏离天底方向的范围是0°至+/-50°) 样本产生干扰的概率。所有波束都受到了大量干扰，如图8-6和图8-7中的直方图所示。图8-6显示，对于进行了分析的波束中的每一个，都超过干扰门限约50 dB (70 dBi地球站天线的情况) 和65 dB (55 dBi地球站天线的情况)，在所考虑的时间段内地球站周围进行的所有测量都遭到了破坏。

对于天线增益为70 dBi的情况，超过门限50 dB，对于55 dBi的天线，超过门限65 dB。在这两种情况下，在99.99 %的时间内超过门限。

这种传感器的轨道配置与来自GSO FSS/MSS系统的地球站如图8-5所示。只有一个地球站在工作，位于50°纬度。

图8-5  
GSO FSS/MSS的配置

(FSS/MSS地球站干扰推扫式传感器的配置)

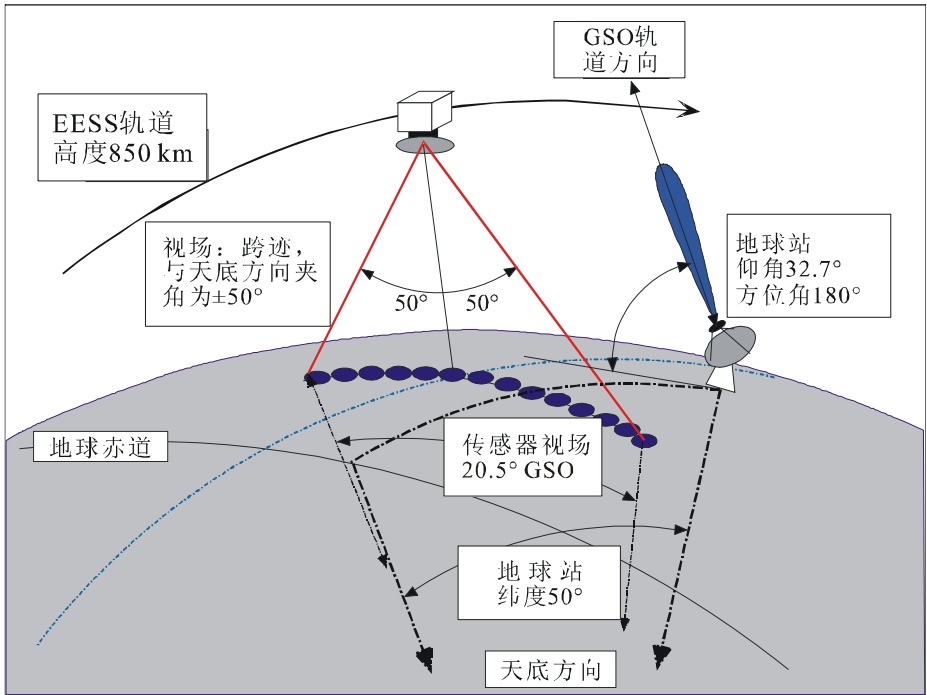
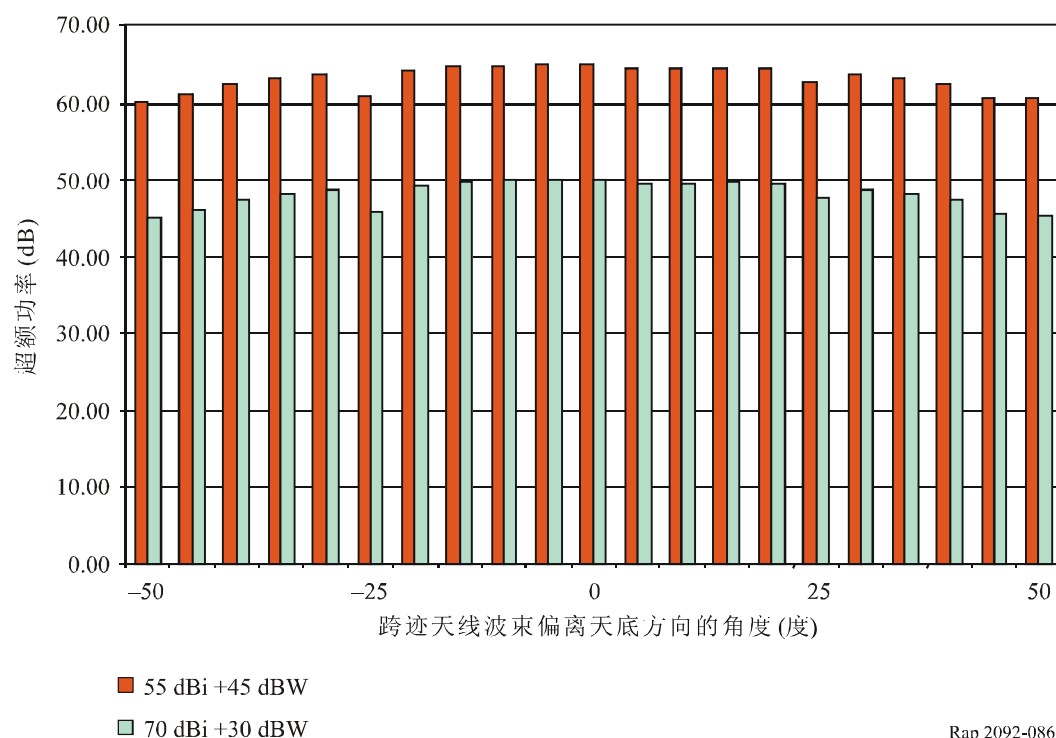


图8-6

## 超过干扰门限的功率

(超过门限的功率取决于天线波束的偏离  
每五个推扫式天线波束中只分析一个)

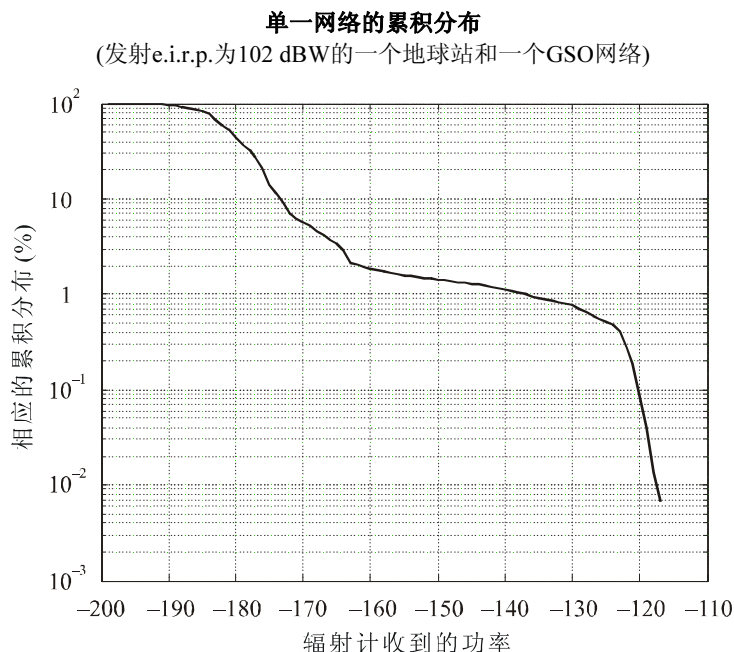


Rap 2092-086

如图8-6所表明的，具有一个e.i.r.p.为 $100 \text{ dBW} = 70 \text{ dBi} + 30 \text{ dBW}$ 的地球站和一颗卫星的GSO网络，在采用精细结构的推扫式天线方向性图的情况下，产生的干扰比门限高 $50 - 7 = 43 \text{ dB}$  (采用7 dB的带宽系数)。

动态分析采用一个GSO网络和一个在1 GHz带宽内发射e.i.r.p.为 $102 \text{ dBW} (70 \text{ dBi} + 32 \text{ dBW})$ 的地球站的复合推扫式天线方向性图，该分析显示，按照下面的图8-7，余量为负的 $48 - 7 = 41 \text{ dB}$  (采用7 dB的带宽系数)。

图8-7



Rap 2092-087

因此，本节得出的结果显示，与采用图8-2所述的复合推扫式天线方向性图得到的余量相比，采用图8-3中的精细结构推扫式天线方向性图得到的负的余量较高。使用复合推扫式天线方向性图未高估干扰电平。动态仿真时间很长，为了简化起见，下面的仿真将采用推扫式天线方向性图的复合表示来完成。

#### 8.4.1.2 GSO系统的动态分析

动态分析是在45天的时间段内完成的，时间步长为0.2 s。单一波束的概率指的是无源传感器2 000 000 km<sup>2</sup>测量区内的概率。为了确定干扰的概率，采用0.5 s的时间增量进行了仿真，以得到准确的结果。在累积分布函数趋于稳定时，仿真即停止。另外必须注意的是，下文提出的所有这些仿真均只涉及天底探测器“推扫式”卫星。还应注意的是，某一给定FSS系统中地球站数目和卫星数目有可能显著增加发生有害干扰的概率。这对最终结果显然会产生影响。

##### 8.4.1.2.1 仅涉及一个系统的动态分析

图8-8显示了在4种不同情况下得出的累积分布。每种情况都只涉及一个GSO网络。

第一个网络由6个GSO系统组成 (USCSID类型)，6个不同的地球站分别对应着每颗GSO卫星 (-75E, -80E, -95E, -100E, -110E, -118E)，全都位于2 000 000 km<sup>2</sup>的测量区内。每个地球站发射功率为32 dBW，天线增益为70 dBi (03 dB = 0.06°)。因此每一地球站的e.i.r.p.为102 dBW。在此情况下，带宽校正系数为7 dB。

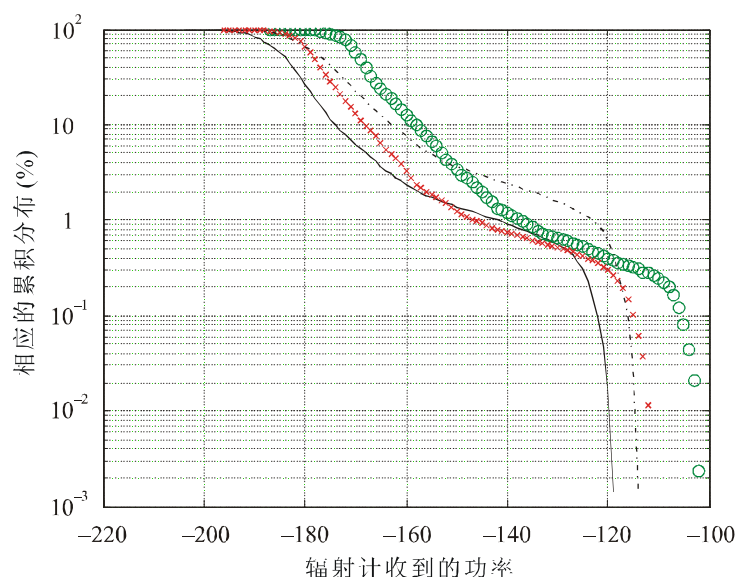
第二个网络包括1颗GSO卫星和1个地球站 (KOREASAT类型)。该地球站位于123° E，发射功率为44 dBW，天线增益为55 dBi。因此地球站的e.i.r.p.为99 dBW。在此情况下，带宽校正系数为0 dB。

第三个网络包括1颗GSO卫星和1个地球站 (STRATSAT-1类型)。该地球站位于29° E，发射功率为36 dBW，天线增益为56 dBi。因此地球站的e.i.r.p.为92 dBW。在此情况下，带宽校正系数为0 dB。

第四个网络包括1颗GSO卫星 (ATHENA类型) 和2个地球站 (1E和11E)。每一地球站发射功率为27 dBW，天线增益为63 dBi。因此每一地球站的e.i.r.p.为90 dBW。在此情况下，带宽校正系数为0 dB。

图8-8

4个单一-GSO网络的累积分布: ATHENA(-),  
KOREASAT(o), STRATSAT-1(x), USCSID(-)



Rap 2092-088

表8-10示出了与图8-8对应关系最密切的数字。

表8-10

单一-GSO网络的初步研究结果

	0.01 %累积分布的 干扰功率 (dBW)	EESS门限 超额值 (dB)	无源频带内 临时最大e.i.r.p. (dB(W/200 MHz))	无源频带内 临时最大功率 (dB(W/200 MHz))
USCSID网	-122	44	51	-19
KOREASAT网	-103	63	36	-19
STRATSAT网	-111	55	37	-19
ATHENA网	-120	46	44	-19

#### 8.4.1.2.2 多重GSO系统的动态分析

为了显示某单一-GSO系统的影响，进行了前面的动态分析。预计未来将在某一给定地区运行多重GSO系统和多个GSO发射地球站。因此，有必要采用有代表性的GSO系统的特性在某一给定地区进行集总动态分析。

8.4.1.2.2.1 北美多重GSO系统的动态分析

下面是集总动态仿真的特性。

表8-11  
各种GSO FSS上行链路系统的特性

FSS卫星系统 (从USCSID导出)	FSS 类型1	FSS 类型2	FSS 类型3
占用带宽 (MHz)	1000	1000	1000
地球站e.i.r.p. (dBW)	102	102	102
地球站发射机功率 (dBW)	32	32	32
天线增益 (dBi)	70	70	70
地球站3 dB波束宽度 (度)	0.06	0.06	0.06
跟踪战略 (总是指向指定的 GSO卫星)	无	无	无
卫星数目	6	6	6
地球站数目和位置	6个 (美国东部) 波束: -70E, -74E, -80E, -82E, -84E, -86E	6个 (美国中部) 波束: -96E, -98E, -99E, -101E, -103E, -105E	6个 (美国西部) 波束: -113E, -114E, -116E, -118E, -119E, -122E

图8-9示出了由表8-11所述的GSO特性得出的累积分布。

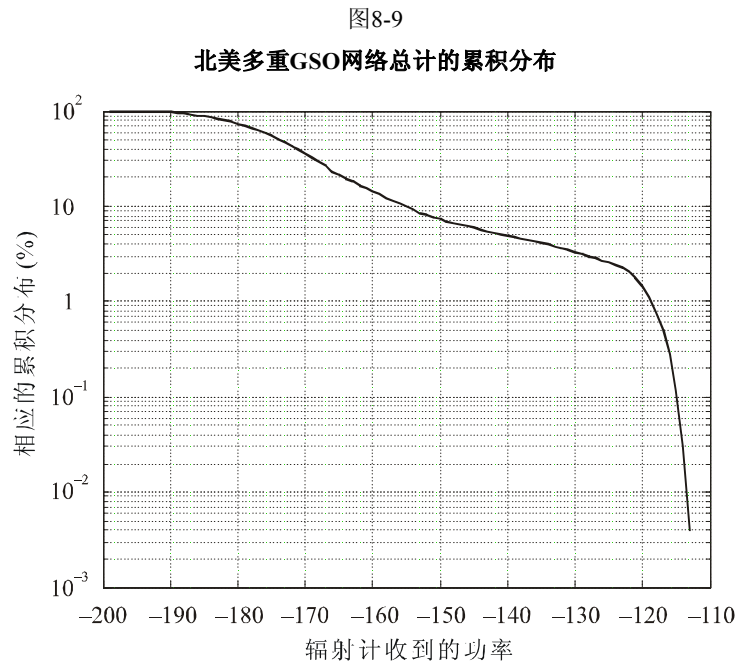


表8-12示出了与图8-9对应关系最密切的数字。

表8-12

图8-9所示的动态分析的结果

累积分布 (%)	5	1	0.1	0.01	0.003
收到的功率/1 000 MHz	-140	-118	-115	-113	-112

在此情况下，带宽校正系数为7 dB。

若累积分布为0.01%，即可能超过干扰门限的相应时间或面积百分比为0.01%，表8-12表明的干扰功率为 $-113 - 7 = -120$  dBW，该值比干扰门限高46 dB。

因此对某单一有源GSO系统而言，下一步研究所用的无源频带内的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 49 \text{ dBW} \quad (95 \text{ dBW} - 46 \text{ dB})$$

由于无源频带的基准带宽为200 MHz，天线增益为70 dBi，无源频带31.3-31.5 GHz内的功率应不超过-21 dBW/200 MHz基准带宽。

#### 8.4.1.2.2.2 欧洲多重GSO系统的动态分析

表8-13

各种GSO FSS上行链路系统的特性

FSS卫星系统 (由ATHENA导出)	FSS 类型1	FSS 类型2	FSS 类型3	FSS 类型4	FSS 类型5	FSS 类型6
占用带宽 (MHz)	56	56	56	56	56	56
地球站e.i.r.p. (dBW)	90	90	90	90	90	90
地球站发射机功率 (dBW)	27	27	27	27	27	27
天线增益 (dBi)	63	63	63	63	63	63
地球站3 dB波束宽度 (度)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
跟踪战略 (总是指向指定的 GSO卫星)	无	无	无	无	无	无
卫星数目	1	1	1	1	1	1
地球站数目和位置	2 (-7E, 56N; -2E, 59N)	2 (-8E, 43N; - 3E, 43N)	2 (3E, 49N; 8E, 50N)	2 (13E, 55N; 14E, 42N)	2 (20E, 45N; 26E, 47N)	2 (19E, 59N; 25E, 57N)

图8-10示出了由表8-13所述的GSO特性得出的累积分布。

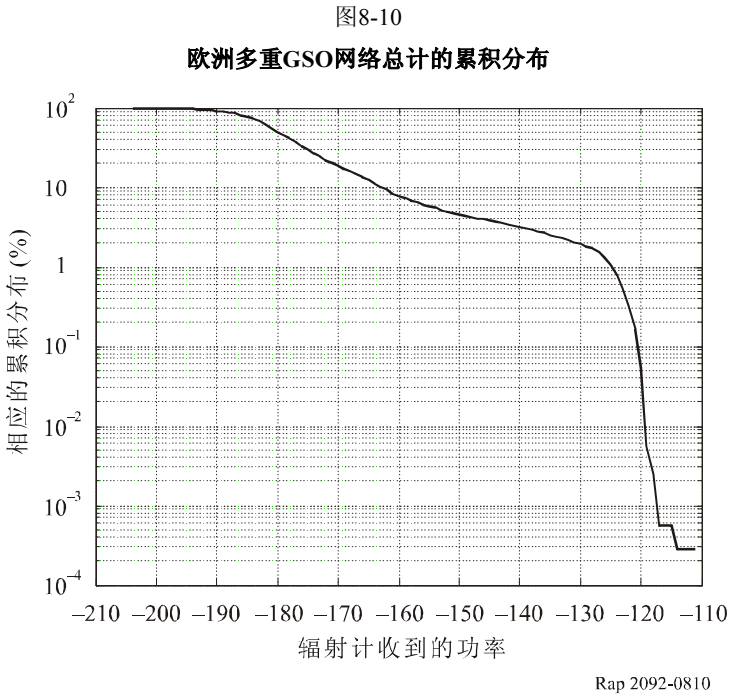


表8-14示出了与图8-10对应关系最密切的数字。

表8-14

图8-10中的动态分析结果

累积分布 (%)	4	1	0.1	0.01	0.0003
收到的功率/200 MHz	-146	-125	-121	-119	-111

在此情况下，带宽校正系数为0 dB。

若累积分布为0.01%，即可能超过干扰门限的相应时间或面积百分比为0.01%，表8-14表明的干扰功率为-119 dBW，该值比干扰门限高47 dB。

因此对某单一有源GSO系统而言，下一步研究所用的无源频带内的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 43 \text{ dBW} \qquad (90 \text{ dBW} - 47 \text{ dB})$$

由于无源频带的基准带宽为200 MHz，天线增益为63 dBi，无源频带31.3-31.5 GHz内的功率应不超过-20 dBW/200 MHz基准带宽。



## 8.4.1.2.2.3 亚洲多重GSO系统的动态分析

表8-15

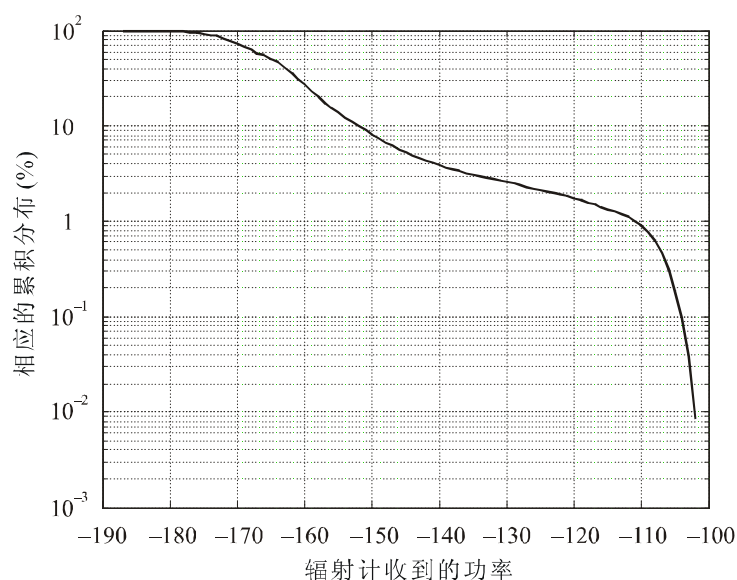
各种GSO FSS上行链路系统的特性

FSS卫星系统 (由KOREASAT导出)	FSS 类型1	FSS 类型2	FSS 类型3	FSS 类型4	FSS 类型5	FSS 类型6
占用带宽 (MHz)	200	200	200	200	200	200
地球站e.i.r.p. (dBW)	99	99	99	99	99	99
地球站发射机功率 (dBW)	44	44	44	44	44	44
天线增益 (dBi)	55	55	55	55	55	55
地球站3 dB波束宽度 (度)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
跟踪战略 (总是指向指定的GSO卫星)	无	无	无	无	无	无
卫星数目	1	1	1	1	1	1
地球站数目和位置	1 (113E, 37N)	1 (120E, 31N)	1 (122E, 48N)	1 (128E, 40N)	1 (134E, 38N)	1 (142E, 43N)

图8-11示出了由表8-15所述的GSO特性得出的累积分布。

图8-11

亚洲多重GSO网络总计的累积分布



Rap 2092-0811

表8-16示出了与上面图8-11对应关系最密切的数字。

表8-16

图8-11所示的动态分析的结果

累积分布 (%)	5	1	0.1	0.01
收到的功率/200 MHz	-159	-111	-104	-102

在此情况下，带宽校正系数为0 dB。

若累积分布为0.01%，即可能超过干扰门限的相应时间或面积百分比为0.01%，则表8-16表明的干扰功率为-102 dBW，该值比干扰门限高64 dB。

因此对某单一有源GSO系统而言，下一步研究所用的无源频带内的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 35 \text{ dBW} \quad (99 \text{ dBW} - 64 \text{ dB})$$

由于无源频带的基准带宽为200 MHz，天线增益为55 dBi，无源频带31.3-31.5 GHz内的功率应不超过-20 dBW/200 MHz基准带宽。

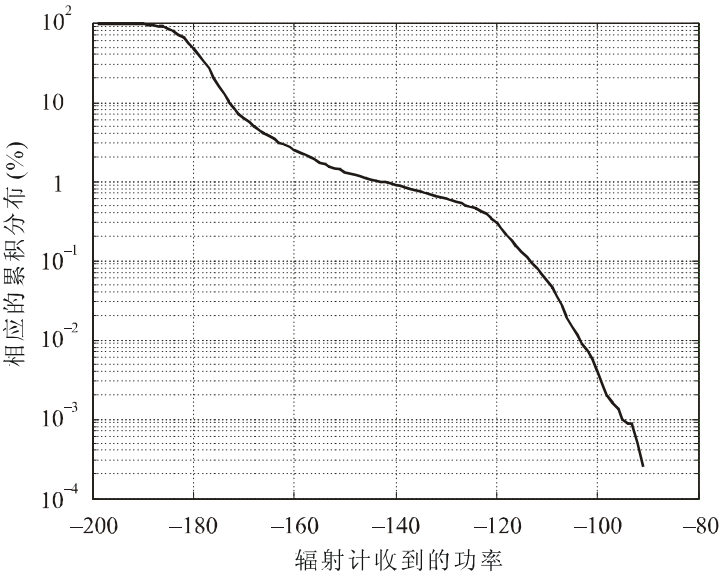
8.4.1.3 对单一非GSO系统的动态分析：USCSID-P

所模拟的情况为8个椭圆轨道（表8-5和表8-6中的特性）卫星和2个地球站（-75E和-118E），每个地球站发射功率为32 dBW，天线增益为70 dBi。因此e.i.r.p.为102 dBW。

图8-12示出了由该非GSO网络得出的该仿真的结果。

图8-12

由单一非GSO网络得出的累积分布



Rap 2092-0812

表8-17示出了与图8-12对应关系最密切的数字。

表8-17

图8-12所示的动态分析的结果

累积分布 (%)	50	1	0.1	0.01	0.001
收到的功率/1 000 MHz	-180	-140	-114	-104	-96

在此情况下，带宽校正系数为7 dB。

若累积分布为0.01%，即可能超过干扰门限的相应时间或面积百分比为0.01%，表8-17表明的干扰功率达到 $-104 - 7 = -111$  dBW，该值比干扰门限高55 dB。

因此对某单一有源GSO系统而言，下一步研究所用的无源频带内的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 40 \text{ dBW} \quad (95 \text{ dBW} - 55 \text{ dB})$$

由于无源频带的基准带宽为200 MHz，天线增益为70 dBi，无源频带31.3-31.5 GHz内的功率应不超过-30 dBW/200 MHz基准带宽。

#### 8.4.1.4 对集总情况下得到的功率电平的评价

##### 8.4.1.4.1 研究结果小结

表8-18示出了按照第2节的方法 (尤其是第2.3节的技术附录) 通过前面的仿真和使用ITU-R SM.1541建议书及填充系数得到的各种功率电平。

表8-18

对集总情况下各种动态分析的计算得出的功率电平的评价

集总方案	0.01 %累积分布的干扰功率 (dBW)	EESS门限超额值	无源频带内临时最大e.i.r.p. (dB(W/200 MHz))	无源频带内临时最大功率 (dB(W/200 MHz))	按照该方法通过采用ITU-R SM.1541建议书得到的功率 (dB(W/200 MHz))	通过采用ITU-R SM.1541建议书和填充系数得到的最大功率 (见该方法) (dB(W/200 MHz))
北美上空的多重GSO	-120	46	49	-21	15	0
欧洲上空的多重GSO	-119	47	43	-20	-13	-28
亚洲上空的多重GSO	-102	64	35	-20	16	1
非GSO USCSID-P	-103	62	40	-30	15	0

计算最大可获得功率所用的方法是以ITU-R SM.1541建议书和填充系数的结合使用为基础的。已经确定，从ITU-R SM.1541建议书中得到的掩模过高估计了带外功率；即便ITU-R SM.1541建议书和填充系数一并使用也是如此。预计 $(\sin x/x)^2$ 之类的频谱形状和第8.2.4.2节中的等式 (1) 所表征的调制后滤波器的使用将极大地改善兼容性情况 (其他细节也见第2节)。

例如, 本章显示, 对于“北美上空的多重GSO”和“非GSO USCSID-P”的情况, 采用 $(\sin x/x)^2$ 之类的频谱形状和第8.2.4.2节中的等式 (1) 所表征的调制后滤波器可达到-17 dB(W/200 MHz)的最大功率(对于200 MHz带宽衰减为41.7 dB)。

#### 8.4.1.4.2 ETSI卫星地球站(地对空)杂散发射标准的使用

可与ETSI标准ETSI EN 301 459 V1.2.1 (2000-10) 进行比较, 该标准提供了足够的与其他无线电系统的兼容性。该ETSI标准的题目如下。

卫星地球站和系统 (SES); 在29.5至30.0 GHz频带内向对地静止轨道卫星发射的卫星互动终端 (SIT) 和卫星用户终端 (SUT) 所用的涵盖30-31 GHz R&TTE指令第3.2条必备要求的统一欧洲标准。

该ETSI标准第4.2.2.2节的表3规定, 在标称带宽之外, 来自卫星终端的发射在任何100 kHz频带内对于超过7°的所有偏轴角应不超过偏轴杂散辐射。在表3中, 30.15 GHz至40 GHz频带内按e.i.r.p.衡量的杂散辐射限值为67 dBpW, 该值对应着100 kHz的-53 dBW或200 MHz的-19.9897 dBW。

然后, 采用200 MHz内 $P_{max} = \text{e.i.r.p.限值} - (29 - 25 \log(7)) = -27.8 \text{ dBW}$ 的天线增益 (偏轴:  $29 - 25 \log(\phi)$ )。

因此, 上述ETSI标准的外推值显示, 在FSS/MSS带宽之外不超过-27.8 dBW(W/200 MHz) 电平。必须注意的是, 该ETSI值低于本文件中的预定限值, 这些预定限值用于保护31.3-31.5 GHz频带免受来自30-31 GHz频带的无用发射的影响。

#### 8.4.2 2号动态仿真研究

根据表8-3、表8-8和表8-9中的系统参数将USCSID和USCSID-P FSS系统纳入了该部署模型。假设对地静止USCSID系统包括:

6颗卫星, 4颗位于西经10°、13°、24°和30°的大西洋上空, 2颗位于西经141°和144°的太平洋上空。

假设每个GSO USCSID卫星采用一个单独的上行链路地球站, 共有2个东海岸、2个中部海岸和2个西海岸FSS上行链路天线, 每个天线指向一个不同的USCSID GSO卫星。对于非GSO USCSID-P星座而言, 假设任何时间都有一个东海岸和一个西海岸FSS上行链路地球站处于激活状态。仿真采用动态链路, 让每一个非GSO地球站指向距离GSO最远的那颗USCSID-P卫星。假设所有上行链路天线都位于东海岸、中部海岸和西海岸的相同站址。

用一个无用发射系数来修正上行链路发射总功率, 以便在FSS载波频率为30.5 GHz时仅考虑落入31.3-31.5 GHz无源传感器频带的无用发射功率量值。规定无用发射系数为发射总功率中落入受影响接收机 (例如无源传感器) 带宽内的部分。

在无源传感器基准带宽内对下面两个系数的乘积进行数值积分，可算出该系统-41.76 dB的无用发射系数。一个系数是1 Gbps符号率的QPSK发射的  $(\sin(x)/x)^2$  频谱形状。另一个系数表示由调制后滤波引起的衰减，对于USCSID系统，该衰减用下式表征：

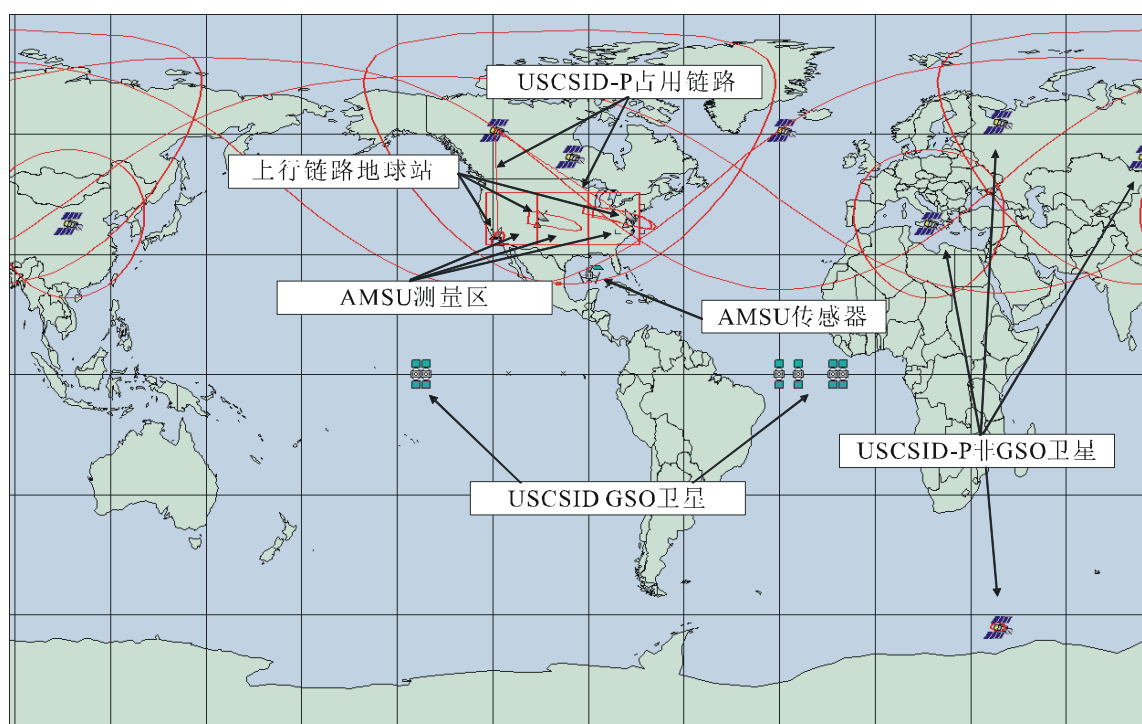
$$A(f) = 40 \log_{10} |2(f - 30.5)| + 8$$

该无用发射系数对应着中心为31.4 GHz的200 MHz频带内-9.76 dBW的上行链路发射功率。

图8-13绘出了仿真刚开始运行时仿真对象的配置。按照图中表明的三个不同的无源传感器测量区 (即东部、中部和西部) 算出无源传感器所受干扰的累积分布函数 (CDF)。

图8-13

仿真模型的初始配置 (t = 0)



Rap 2092-0813

在北美三个相邻但并不重叠的测量区内对该USCSID/USCSID-P部署模型进行了仿真，测量区位于北纬32.524°与45.476°和西经73.898°与122.102°之间，如图8-13所示。每一测量区面积为2 000 000 km<sup>2</sup>，分别称为东部、中部和西部测量区。

在无源传感器能够对测量区内的点进行抽样时运行仿真，以便在16天的仿真运行内产生CDF，时间步长为200 ms。对于进行分析的三个测量区中的每一个，FSS上行链路对31.3-31.5 GHz频带内无源传感器产生的干扰的CDF在图8-14、图8-15和图8-16图中给出。由于这三个图表明未超过ITU-R RS.1029-2建议书中目前所用无源传感器的可允许干扰电平，因此可以得出结论，USCSID和USCSID-P系统与EESS (无源) 是兼容的。

图8-14

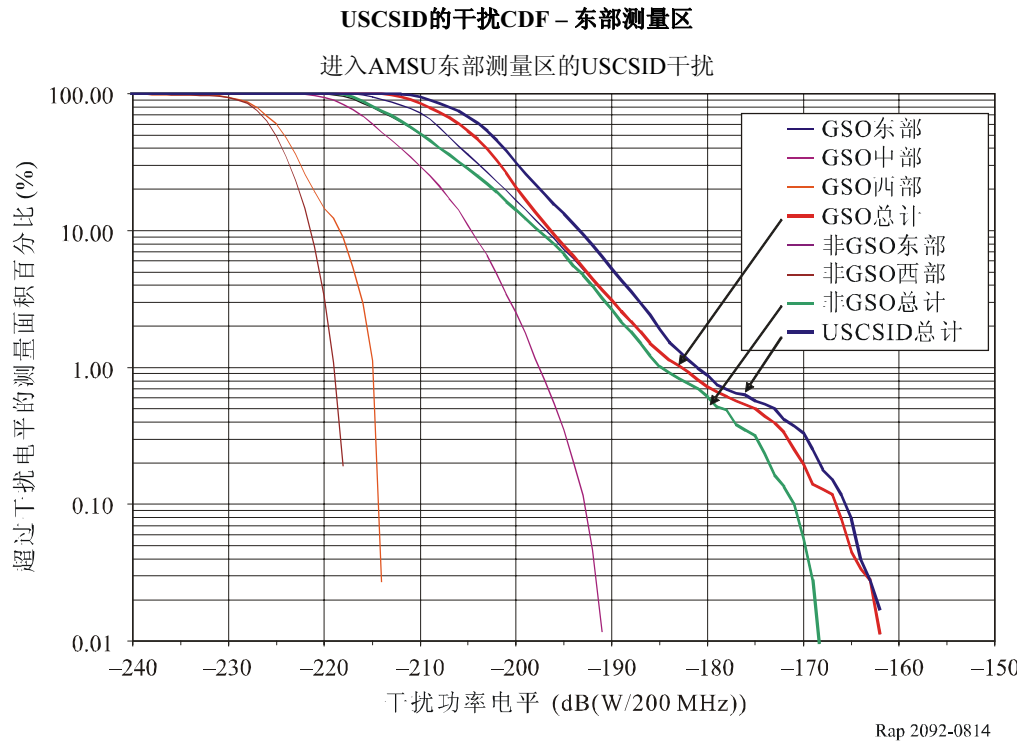


图8-15

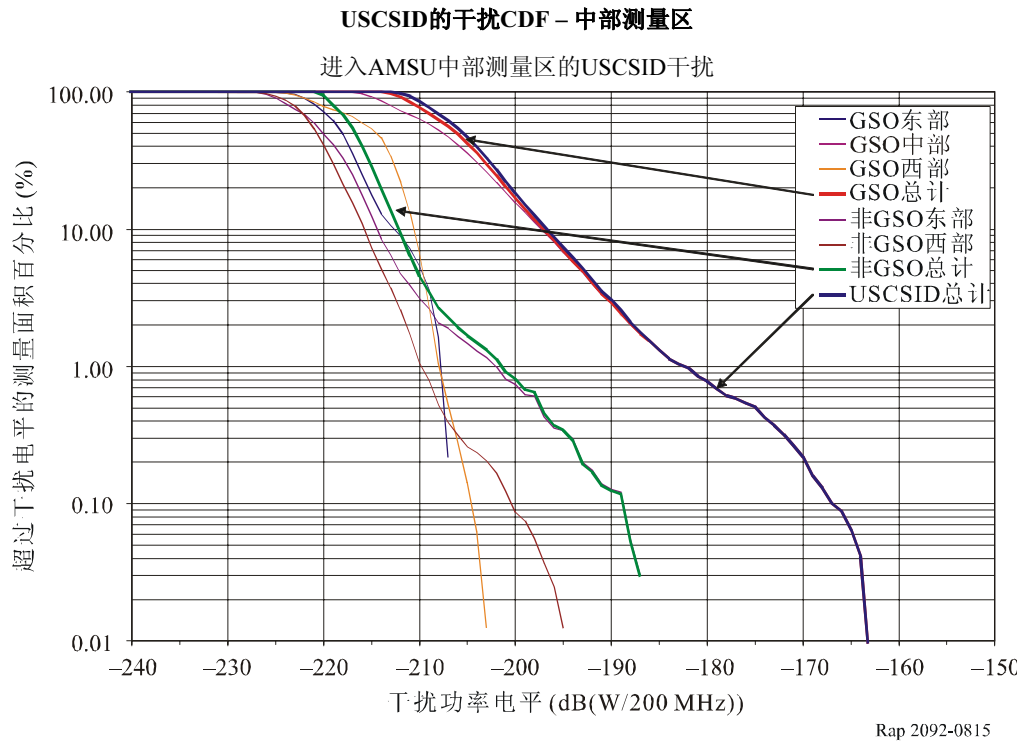
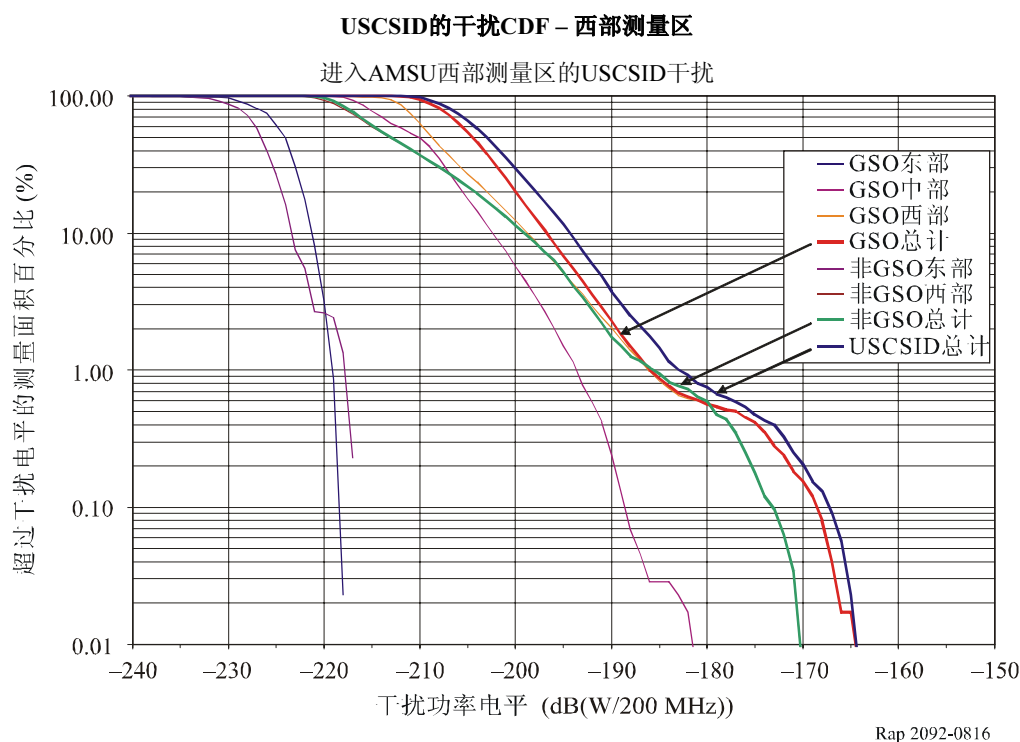


图8-16



为了分析第8.4.1节所述的推扫式传感器，又采用图8-13给出的部署模型进行了附加的研究。对两种情况进行了仿真。一种情况用一个单一的复合跨迹天线波束来模拟推扫式传感器天线。另一种情况用93个单独波束来模拟推扫式传感器。

在无源传感器能够对测量区内的点进行抽样时，运行这两种推扫仿真，仿真周期为16天，时间步长为200 ms。同样采用与中心为31.4 GHz的200 MHz频带内-9.76 dBW的上行链路发射功率相对应的无用发射系数。

将进入93个单独波束的干扰算在一起，形成一个复合CDF，涵盖了所有的测量点。研究结果在图8-17和表8-19中给出。这些结果显示，在分别用各波束模拟推扫式传感器时，能够满足推扫式传感器的可允许干扰电平。

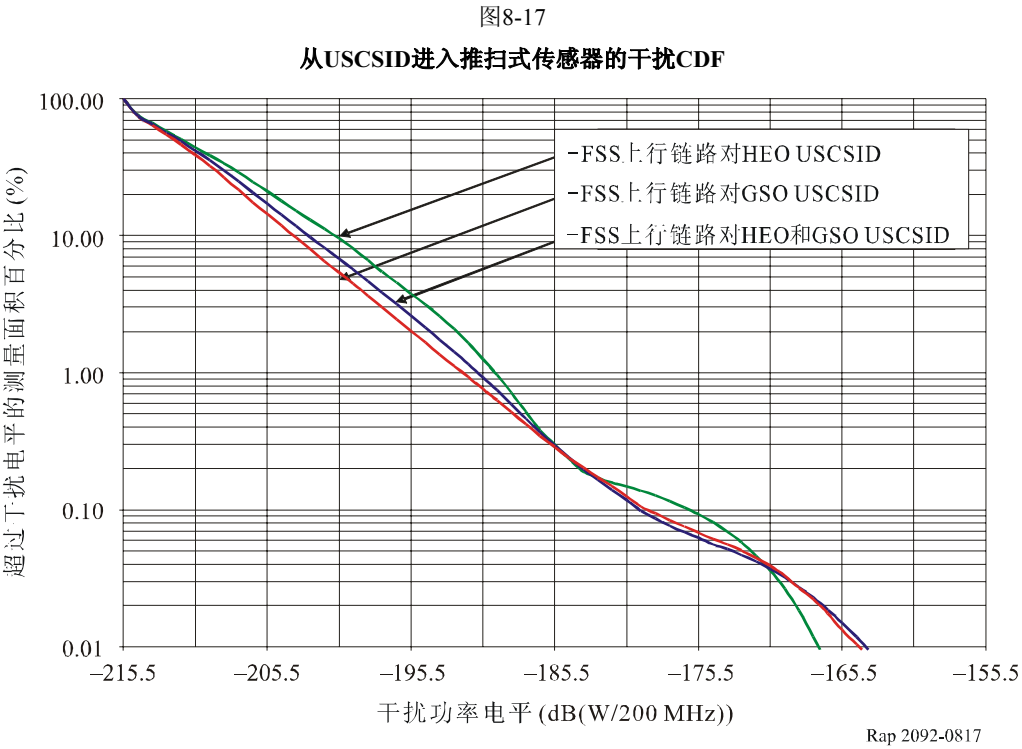


表8-19

图8-17所示的动态分析的结果

	FSS上行链路对 HEO USCSID	FSS上行链路 对GSO USCSID	FSS上行链路对 HEO和GSO USCSID
在0.01%面积内超过的干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-167.25	-164.5	-164.25
极化失配 <sup>(1)</sup>	-2	-2	-2
可允许干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-166	-166	-166
可允许电平的超额值 (dB(W/200 MHz))	-3.25	-0.5	-0.25
可允许无用发射的发射功率密度 (dB(W/200 MHz))	-6.5	-9.2	-9.5

<sup>(1)</sup> 极化失配系数考虑了从FSS天线的旁瓣进入极化无源传感器主波束的干扰能量所受到的损耗，其中FSS天线不具有严格意义上的极化，而无源传感器主波束则具有高度交叉极化抑制。

表8-20针对图8-13给出的FSS部署模型比较了采用复合跨迹天线的推扫式传感器和采用单独波束的推扫式传感器的分析结果。



表8-20

推扫式复合跨迹天线与单独波束的分析结果之间的比较

	FSS上行链路至 HEO USCSID	FSS上行链路 至GSO USCSID	FSS上行链路至 HEO和GSO USCSID
在0.01%面积内超过的干扰电平 (dB(W/200 MHz)), 采用复合跨迹天线方向 性图	-156.25	-151.3	-151.0
在0.01%面积内超过的干扰电平 (dB(W/200 MHz)), 采用单独波束	-167.25	-164.5	-164.25
差值 (dB)	11.0	13.2	13.25

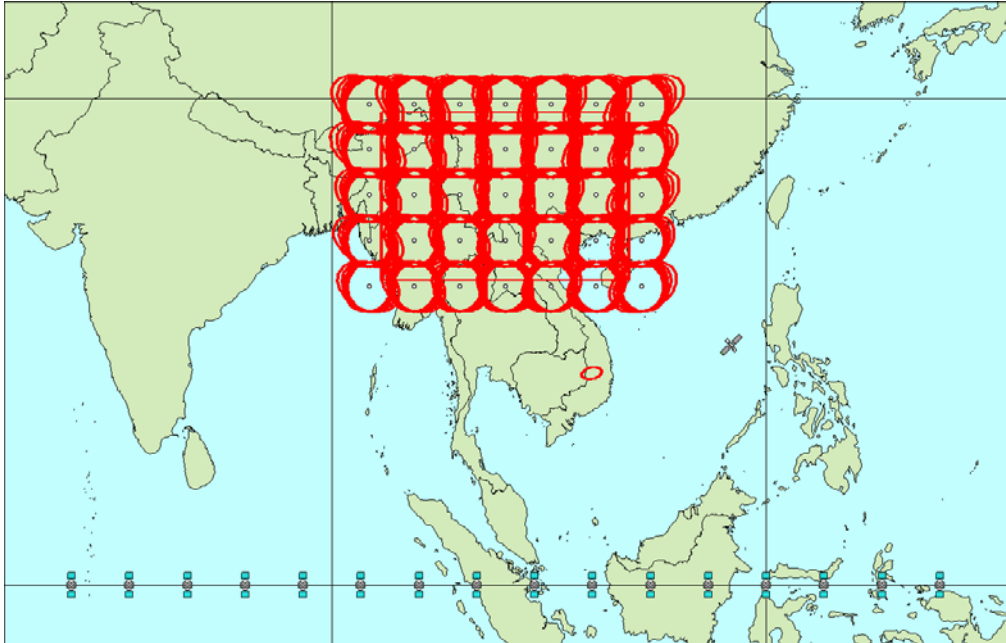
结果显示, 对于该FSS部署模型, 采用复合跨迹天线模拟推扫式传感器比采用单独波束进行模拟要高估干扰电平10 dB左右。

#### 8.4.3 3号动态仿真研究

本项研究使用了两种FSS部署模型, 一种用于低纬度地区, 覆盖亚洲, 另一种用于高纬度地区, 覆盖欧洲, 采用从最近的30-31 GHz频带ITU-R卫星登记资料中得出的典型小容量、中等容量和大容量地球站的参数。就该动态仿真而言, 规定亚洲测量区为地球表面以等纬度线北纬18.84°与29.16°和等经度线东经93.43°与110.57°为边界的地区, 其面积为2 000 000 km<sup>2</sup>, 中心为北纬45°和东经105°。规定欧洲无源传感器测量区为地球表面以等纬度线北纬38.66°与53.34°和等经度线东经9.06°和与24.94°为边界的地区, 其中心为北纬46°和东经17°。图8-18和图8-19绘出了这些无源传感器测量区。

图8-18

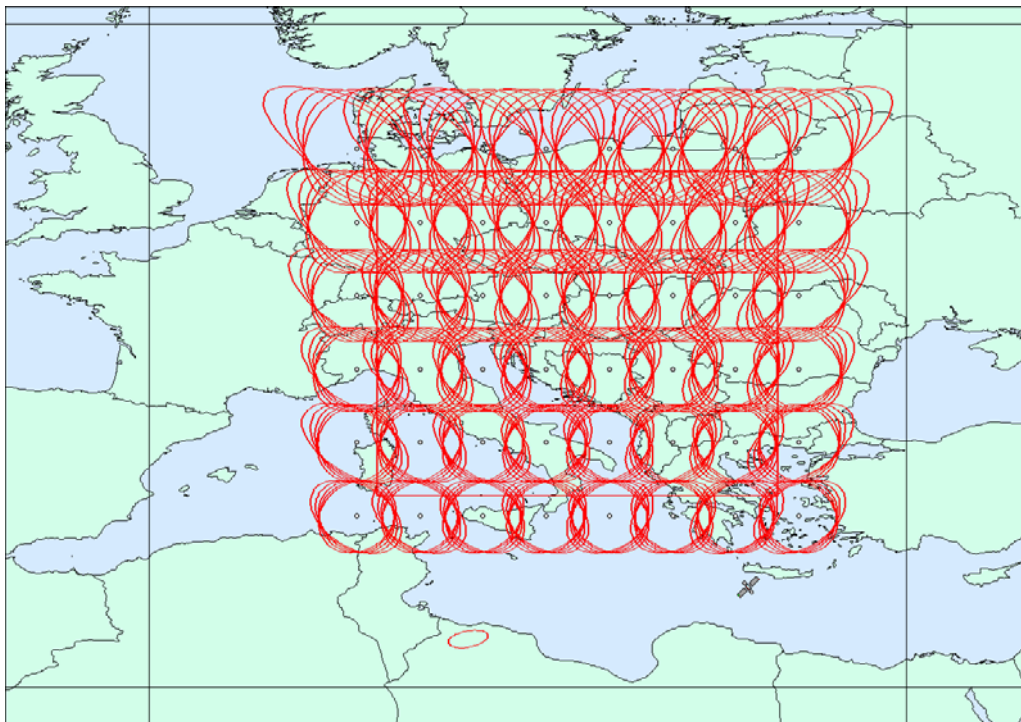
亚洲EESS测量区和FSS部署模型



Rap 2092-0818

图8-19

欧洲EESS测量区和FSS部署模型



Rap 2092-0819

为了确定可能在这种无源传感器测量区内工作或在测量区外紧邻测量区工作的上行链路地球站的数目，假设测量区被略有重叠的FSS卫星的点波束所覆盖。对一些ITU-R卫星登记

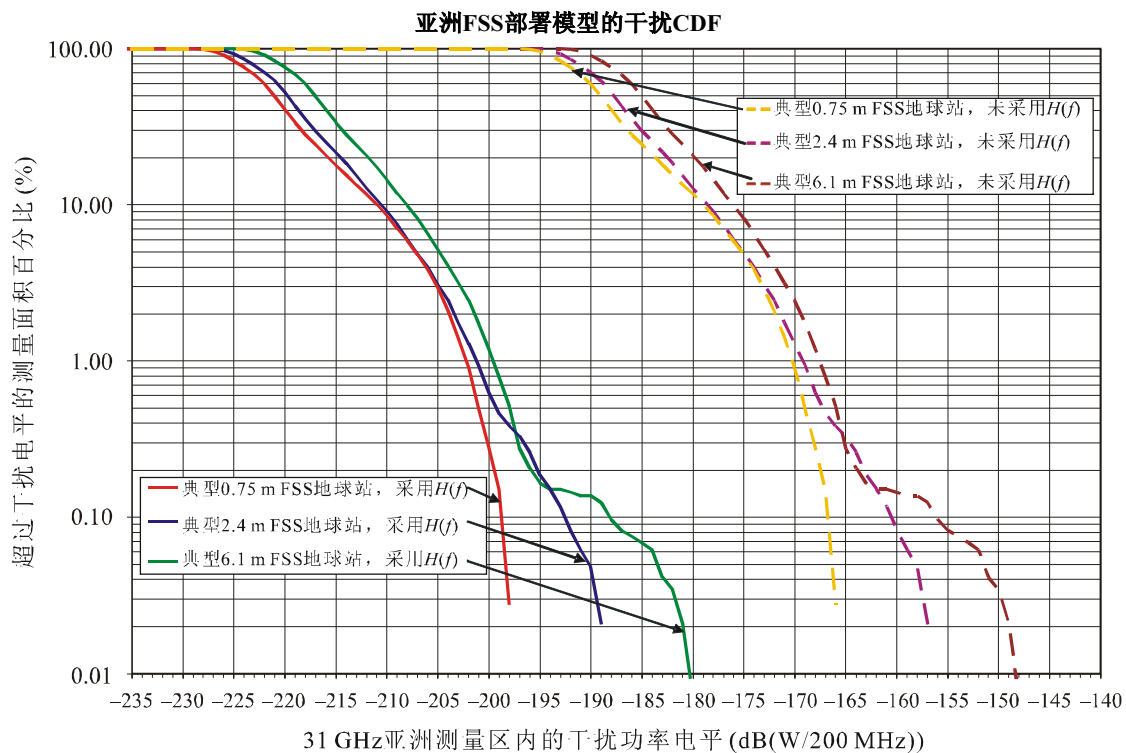
资料样本进行的审查表明，FSS波束增益的典型值有可能为50 dBi左右，该值对应着 $0.5^\circ$ 左右的-3 dB波束宽度。如图8-18和图8-19所示，亚洲测量区可由35个点波束组成的阵列覆盖，而欧洲测量区则可由48个点波束组成的阵列覆盖。

位于东经 $72^\circ$ 与 $132^\circ$ 之间GSO弧上的GSO FSS卫星给出了大于 $35^\circ$ 的亚洲测量区的最小仰角，而位于西经 $1^\circ$ 与东经 $35^\circ$ 之间的卫星则给出了大于 $25^\circ$ 的欧洲测量区的最小仰角。由于为同一业务提供服务的相邻卫星之间未采用极化鉴别，并考虑到卫星之间可能的非同质化，该FSS部署模型使用了 $4^\circ$ 的轨道间隔。由于重叠的卫星波束一般不太可能采用同频发射，所以假设该模型中每一卫星的上行链路发射可在频率最高（即最靠近EESS频带边缘）的卫星频道上用一半的点波束进行。

假设每一波束的中心有一个FSS上行链路地球站，而FSS上行链路地球站与接收卫星配对时要避免在相邻波束位置的地球站向同一卫星发射。由此得出亚洲测量区的地球站不是17个就是18个，而欧洲测量区的地球站则为24个，分布在指明的服务区内，在最靠近无源传感器频带的FSS频率通道上向任何特定的FSS卫星位置发射。该模型假设每一卫星波束的指向是固定的。若FSS卫星采用波束跳变技术，则必须修改该仿真模型，最后得出的干扰CDF很可能与下文给出的结果差别很大。

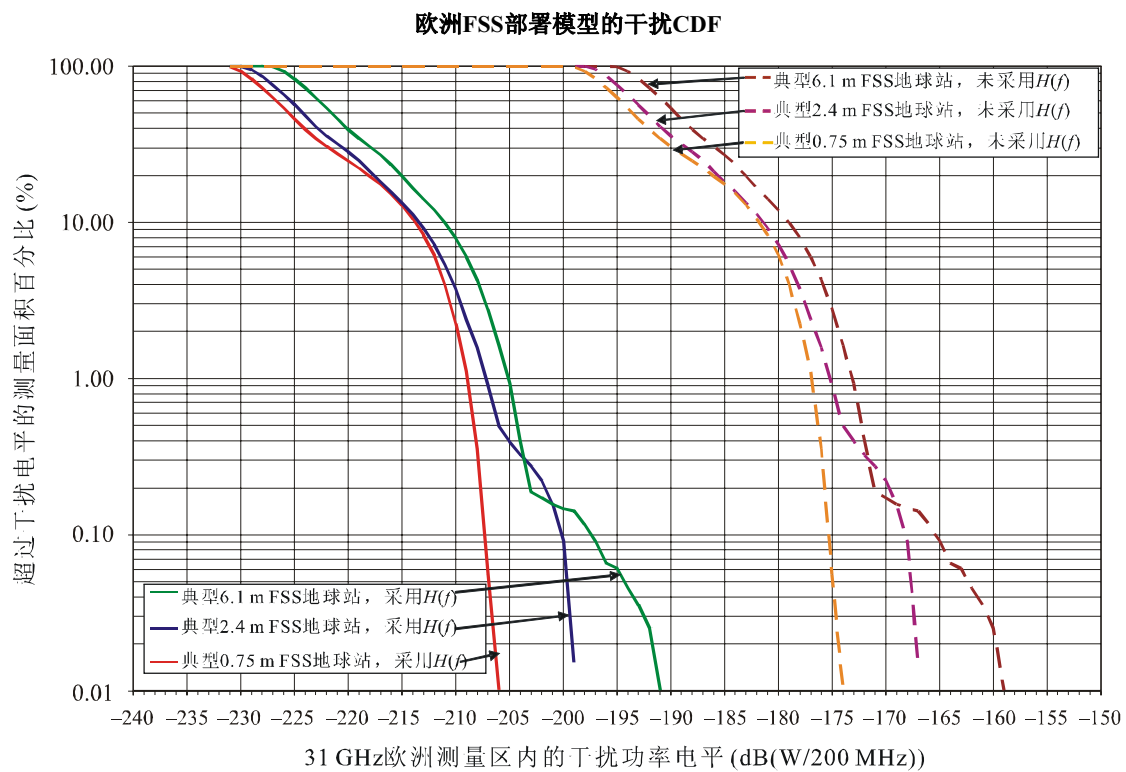
对于图8-18和图8-19中所示的FSS部署模型，在无源传感器能够对测量区内的点进行抽样时运行仿真，以便在16天的仿真运行内产生CDF，时间步长为200 ms。FSS上行链路对31.3-31.5 GHz频带内无源传感器产生的干扰的CDF在图8-20和图8-21中给出。

图8-20



Rap 2092-0820

图8-21



Rap 2092-0821

这些CDF图表明，若采用调制后滤波，则在所有情况下都可满足ITU-R RS.1029-2建议书的可允许干扰电平。表8-21和表8-22分上行链路发射未采用调制后滤波和采用40 dB/十倍频程衰减的调制后滤波两种情况，将这些仿真的结果与ITU-R RS.1029-2建议书规定的当前无源传感器的可允许干扰电平进行了比较。“可允许电平的超额值”项中的负值表明在该情况下满足ITU-R RS.1029-2建议书的标准。

表8-21

## 对仿真结果的分析 (未采用调制后滤波)

FSS上行链路地球站类型	亚洲测量区			欧洲测量区		
	6.1M	2.4M	0.75M	6.1M	2.4M	0.75M
	高容量	中容量	低容量	高容量	中容量	低容量
假设的带外e.i.r.p. (dB(W/200 MHz)), 未采用调制后滤波	41.4	30.5	19.7	41.4	30.5	19.7
在0.01%面积内超过的干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-148	-157	-167	-159	-167	-174
可允许干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-160	-160	-160	-160	-160	-160
可允许电平的超额值 (dB)	12	3	-7	1	-7	-14
可允许带外e.i.r.p. (dB(W/200 MHz))	29.4	27.5	26.7	40.4	37.5	33.7

表8-22

## 对仿真结果的分析 (采用调制后滤波)

FSS上行链路地球站类型	亚洲测量区			欧洲测量区		
	6.1M	2.4M	0.75M	6.1M	2.4M	0.75M
	高容量	中容量	低容量	高容量	中容量	低容量
假设的带外e.i.r.p. (dB(W/200 MHz)), 采用调制后滤波	9.9	-1.5	-12.3	9.9	-1.5	-12.3
在0.01%面积内超过的干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-180.2	-188.5	-197.5	-191	-199	-206
可允许干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-160	-160	-160	-160	-160	-160
可允许电平的超额值 (dB)	-20.2	-28.5	-37.5	-31	-39	-46

要注意的是，在表8-21的六种情况中，有三种情况满足ITU-R RA.1029-2建议书的可允许干扰电平，两种情况略超过1-3 dB，只有一种情况超过了12 dB，而表8-22采用调制后滤波的所有情况均满足该标准。不过这些结果假设所有FSS系统都采用在最靠近无源传感器频

带的频道上工作的高容量地球站，且表8-21中给出的高容量地球站的干扰超额值是最坏情况下的。不过不太可能像仿真模型中假设的那样，对于所有FSS系统中所有激活的卫星波束，高容量上行链路都在最靠近EESS (无源) 频带的FSS频道上发射。实际FSS部署情况的特点很可能是低容量、中容量和高容量地球站在最高频道上混合工作。这种不同类型地球站在最高FSS频道上工作的分布，导致无源传感器的干扰电平位于两种情况之间，最好情况是该频道完全被低容量上行链路占满，最坏情况是完全被高容量上行链路占满。另外，双工器之类的地球站组件是频带受限的，FSS与EESS (无源) 划分频带之间存在的300 MHz频率间隔将因此导致无用发射的某些衰减，进一步降低了在实践中出现表中给出的未经滤波的高容量上行链路情况下最坏干扰电平的风险。考虑到所有这些问题，可以得出结论，30-31 GHz频带这种典型的FSS系统与31.3-31.5 GHz频带的EESS (无源) 系统是兼容的。

#### 8.4.4 4号仿真

##### 8.4.4.1 锥形传感器

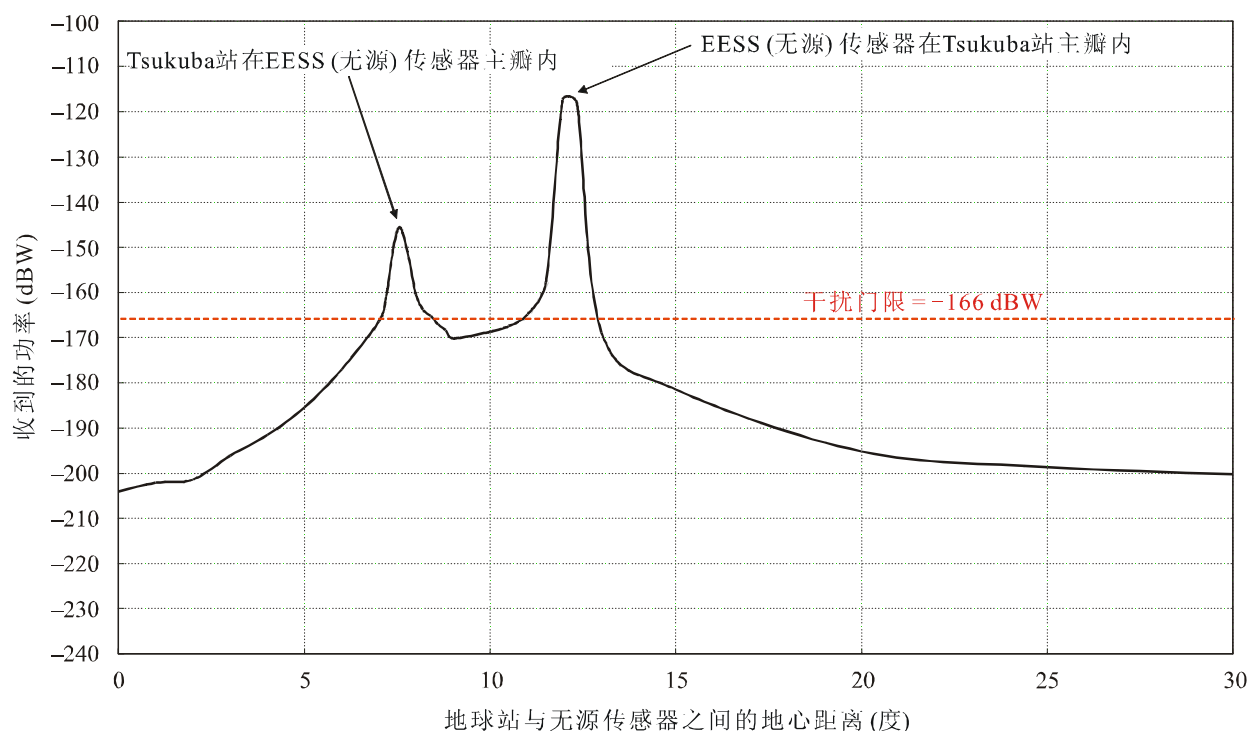
为了检查EESS (无源) 传感器是否收到第8.3节给出的门限电平，要进行半静态分析。若超过门限电平，还要检查最坏情况下的EESS (无源) 传感器。

在半静态分析中，作为最坏情况下的几何配置，要考虑最接近可能的主瓣对主瓣干扰的配置。

图8-22示出了锥形扫描传感器半静态分析的结果。

图8-22

锥形扫描传感器收到的功率 (半静态分析)



Rap 2092-0822

下面是出现的两种干扰情况：

a) 传感器主瓣对地球站旁瓣干扰路径

在传感器与Tsukuba站之间的地心距离接近7.5°时，Tsukuba站位于传感器天线的主瓣内。比锥形扫描传感器的干扰门限超出20.5 dB。

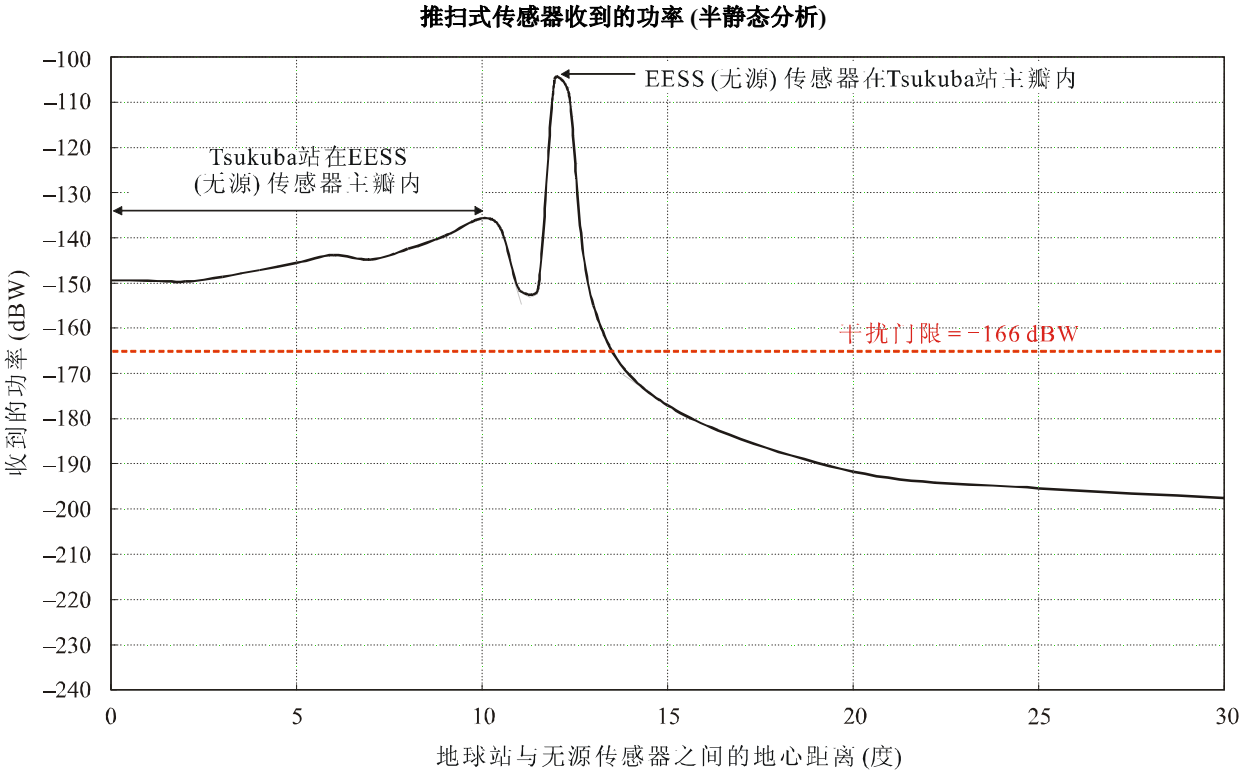
b) 地球站主瓣对传感器天线波束旁瓣

在传感器与Tsukuba站之间的地心距离约为12°时，传感器穿越Tsukuba站天线的主瓣。比锥形扫描传感器的干扰门限超出48.7 dB。

#### 8.4.4.2 天底传感器

表8-2给出的定标天线与天底方向之间的夹角为83°，所以定标天线不可能指向Tsukuba站。因此，天底传感器天线比定标天线更易受到干扰。从AMSU-A和推扫式天底传感器的波束方向性图推断，也可以得出结论，推扫式传感器接收机受Tsukuba站的干扰比AMSU-A传感器强。因此要选择推扫式传感器作为有代表性的天底探测器。在对推扫式传感器的分析中采用图8-2和图8-3中的天线方向性图。图8-23示出了半静态分析的结果。

图8-23



Rap 2092-0823

下面是出现的两种干扰情况：

- a) 传感器主瓣对地球站旁瓣干扰路径  
在传感器与Tsukuba站之间的地心距离为0°至约10°时，Tsukuba站位于天底探测器天线100°宽的扇形复合方向性图 (跨迹) 内。此时，比推扫式传感器的干扰门限超出30.4 dB。
- b) 地球站主瓣对传感器天线波束旁瓣  
在传感器与Tsukuba站之间的地心距离约为12°时，传感器穿越Tsukuba站天线的主瓣。比推扫式传感器的干扰门限超出61.1 dB。

**8.4.4.3 DRTS半静态分析的结果**

如表8-23所示，从Tsukuba站进入锥形扫描传感器和推扫式传感器的无用发射有可能超过-166 dB(W/200 MHz) 的干扰门限。因此需要采用动态分析来检查超过干扰电平时的时间百分比是否满足标准。



表8-23

DRTS半静态分析的结果

	推扫式传感器	锥形扫描传感器
EESS收到的功率 (dBW)	-104.9	-117.3
干扰门限 (dBW)	-166	-166
最坏情况下超过门限的值 (dB)	61.1	48.7

#### 8.4.4.4 动态干扰分析 (天底探测器)

除了上文的静态和半静态情况，还有必要进行动态分析，以便研究发生干扰的时间百分比。如上文所述，在200 MHz带宽内，超过当前传感器-160 dB门限和未来传感器-166 dBW门限的时间不能高于0.01%。对三种不同类型的FSS部署模型进行了动态仿真。

前面几节已经得出结论，更易受到干扰的传感器是推扫式传感器。因此为了确定推扫式传感器受到干扰的概率，进行了动态仿真，在9天的时间 (卫星地球探测轨道周期) 内采用2 s的时间增量。该步长足以进行仿真，因为2 s的时间步长对应着9天的0.000257%，小于0.01%的门限。表8-24示出了该动态仿真的结果。

表8-24

动态分析的结果

	对结果的分析	门限 (ITU-R RS.1029-2建议书)
干扰功率超过-166 dBW的时间百分比 (%)	0.0096	0.01

如表8-24所示，30 GHz频带DRTS系统的馈线链路满足31.3-31.5 GHz频带EESS (无源) 的干扰标准。

## 8.5 减扰技术

### 8.5.1 EESS (无源)

当前和未来的无源传感器是对从卫星收到的信号进行积分，不可能区分自然发射和人为发射。目前还没有成熟的技术可以识别出受干扰损害的无源传感器的测量值和减轻这种受损测量值对天气预报或采用这种数据的其他科学研究的影响。

### 8.5.2 FSS

大多数FSS系统中或计划在工作中既采用调制前滤波器，也采用调制后滤波器。所有FSS地球站都采用调制前滤波器，并获得了关于在仿真研究中涉及的有些FSS系统采用调制后滤波器的资料。若缺少这种资料，则采用第2节的方法中的通用模型来确定在其他情况下对落入EESS (无源) 频带的无用发射施加多大的衰减。EESS (无源) 与FSS频带之间300 MHz的频率间隔显著增加了可由任何调制后滤波提供的对无用发射的衰减。

### 8.5.3 仿真结果的评估和使用

在评估仿真研究的这些结果时，必须考虑一些附加因素：

- a) 无源传感器天线波束是以极高的极化纯度极化的，而在某些情况下，FSS无用发射干扰一般来自极化纯度稍低的地球站旁瓣。这个因素会让算出的干扰电平降低1 dB，在干扰计算中普遍未曾考虑。
- b) 所有仿真都把无源传感器收到的干扰当做由探测器积分得到的平均功率来计算。因此，在动态仿真中所用的FSS发射机功率应解释为平均或中间功率电平。但规则性限值通常是按照峰值功率电平规定的，比数字发射的平均(中间)电平高2至4 dB。

考虑到上述两个因素，在将推荐限值规定为峰值发射功率并用做规则性尺度时，采用设定任何推荐限值所用的功率电平，等于采用比可允许发射功率电平低3至5 dB的平均功率，这些可允许发射功率电平用动态分析中得到的0.01%的累计密度函数与ITU-R RS.1029-2建议书中规定的干扰标准之差直接调整FSS无用发射的发射功率电平即可确定。

### 8.5.4 潜在影响

#### 8.5.4.1 EESS (无源)

若超过可允许干扰电平，则在某些地区得到的测量值存在着受损的风险，有可能影响可靠的天气预报或采用传感器数据产品的其他科学应用。

#### 8.5.4.2 FSS

FSS系统正计划既装备调制前滤波器，也装备调制后滤波器，在某些情况下，这些滤波器对无用发射的衰减更有效率。要注意，预计不采用其他滤波或其他减扰技术。因此，将来在该频带开发FSS业务将不受限制。

## 8.6 研究结果

### 8.6.1 小结

本节探讨了31.3-31.5 GHz频带内的EESS (无源) 与30-31 GHz频带内的FSS (地对空) 和MSS (地对空) 的兼容性。

头两小节给出了无源传感器和FSS的特性。第8.3节回顾了相关ITU-R建议书给出的干扰门限。第8.4节则研究了干扰的评估，该节是作为几种动态仿真的结果提供的。为了确定从30-31 GHz频带的FSS上行链路进入31.3-31.5 GHz频带的EESS (无源) 接收机的无用发射的预计电平，研究了另外三种动态仿真模型。这些仿真模型既涉及当前的AMSU-A无源传感器，也涉及未来的推扫式传感器。在某些情况下，对同样的USCSID和USCSID-P FSS系统采用了不同的地球站实施方案。表8-25归纳了研究结果。

在考虑到FSS和EESS (无源) 频带的边缘之间有300 MHz频率间隔的情况下, 有一项研究表明, 以系统运营商规定的地球站部署方案为基础的大功率、宽带USCSID及USCSID-P系统和以ITU-R卫星登记资料中的参数为基础的典型宽带FSS地球站部署方案具备兼容性。对未来无源传感器的其他仿真得出结论, 对于单一GSO或非GSO FSS系统, 将在无源频带内提供给天线端口的发射功率限制在 $-20$  dB(W/200 MHz), 可保护此类无源传感器免受在30-31 GHz频带内工作的典型天线增益范围为55至70 dBi的FSS地球站无用发射的干扰。另一项用单独的窄带点波束模拟推扫式天线的对USCSID和USCSID-P系统的仿真研究表明, 对于该FSS部署方案和 $-9.76$  dB(W/200 MHz) 的无用发射功率电平, 可以满足ITU-R RS.1029-2建议书的标准。

表8-25

## 仿真研究小结

无源传感器	FSS系统	FSS上行链路部署	无源频带内的最大无用功率 (dB(W/200 MHz))	无用发射功率比 <sup>(1)</sup> (dB)	可用的无用发射功率降低系数 <sup>(2)</sup> (dB)
推扫式 (复合波束)	北美上空的多重GSO	18条上行链路和18颗GSO卫星	-21	46	32, 采用ITU-R SM.1541建议书和符合该方法 <sup>(3)</sup> 的填充系数
推扫式 (复合波束)	欧洲上空的多重GSO	12条上行链路和6颗GSO卫星	-20	47	55, 采用ITU-R SM.1541建议书和符合该方法 <sup>(3)</sup> 的填充系数
推扫式 (复合波束)	亚洲上空的多重GSO	6条上行链路和6颗GSO卫星	-20	64	43, 采用ITU-R SM.1541建议书和符合该方法 <sup>(3)</sup> 的填充系数
推扫式 (复合波束)	USCSID-P非GSO	2条上行链路和8颗非GSO卫星	-30	55	32, 采用ITU-R SM.1541建议书和符合该方法 <sup>(3)</sup> 的填充系数
AMSU	USCSID-P GSO和USCSID-P非GSO	东西2颗GSO卫星和1颗非GSO卫星; 中心测量区2颗GSO卫星	-5.2至-7.7	37.3至39.8 <sup>(2)</sup>	41.6, 通过 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状和 $A(f)$ 调制后滤波

表8-25 (续)

无源传感器	FSS系统	FSS上行链路部署	无源频带内的最大无用功率 (dB(W/200 MHz))	无用发射功率比 <sup>(1)</sup> (dB)	可用的无用发射功率降低系数 <sup>(2)</sup> (dB)
推扫式 (单独波束)	USCSID-P GSO和 USCSID-P 非GSO	东西2颗GSO卫星和1颗非GSO卫星; 中心测量区2颗卫星	-9.5至-6.5	38.5至41.5 <sup>(2)</sup>	41.6, 通过 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状和 $A(f)$ 调制后滤波
AMSU	东经72°至132°之间16颗GSO卫星	每颗GSO卫星17或18条FSS上行链路, 分布在2 000 000 km <sup>2</sup> 的亚洲测量区	-25.5/-27.2/-34, 取决于地球站类型	38/31.6/36.7, 取决于地球站类型 <sup>(2)</sup>	62.9/ 59.9/55.4, 通过 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状和 $A(f)$ 调制后滤波
					30.9/27.9/23.9, 通过 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状
AMSU	西经1°至东经35°之间10颗GSO卫星	每颗GSO卫星24条FSS上行链路, 分布在2 000 000 km <sup>2</sup> 的欧洲测量区	-25.5/-24.2/-23, 取决于地球站类型	38/28.6/25.7, 取决于地球站类型 <sup>(2)</sup>	62.9/59.9/55.4, 通过 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状和 $A(f)$ 调制后滤波
					30.9/27.9/23.9, 通过 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状
					30.9/27.9/23.9, 通过 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状

<sup>(1)</sup> 发射总功率与无源频带内无用发射功率之比。

<sup>(2)</sup> 对于推扫式研究, 指从第2.3节的公式算出的值; 对于AMSU研究, 指从表8-2导出的值。

<sup>(3)</sup> 计算最大可达功率所用的方法是以同时使用ITU-R SM.1541建议书和填充系数为基础的。已经确定, ITU-R SM.1541建议书中所含的掩模高估了带外功率; 即便ITU-R SM.1541建议书和填充系数一并使用, 情况也是如此。预计同时使用  $(\sin x/x)^2$  之类的频谱形状和调制后滤波器将极大地改善兼容性状况 (详情也见第2节)。

例如, 本节显示, 对于采用推扫式传感器 (复合波束) “北美上空的多重GSO” 和 “非GSO USCSID-P” 的情况, 同时使用  $(\sin x/x)^2$  之类的频谱形状和调制后滤波器可获得的衰减为41.7 dB, 而不是32 dB。

## 8.6.2 结论

由若干动态仿真可以得出结论, 目前正在工作的GSO和非GSO FSS系统以及未来在30-31 GHz频带工作的宽带GSO FSS系统与31.3-31.5 GHz频带的EESS (无源) 业务是兼容的。两段频带的边缘之间300 MHz的频率间隔和地球站上行链路设备链中双工器之类的频带受限组件所提供的任何带外衰减, 足以保护EESS (无源), 无需特定的规则性措施。

其他研究的结论是, 考虑到不同仿真及其相应的衰减评估的结果, 要获得兼容性, 有必要将30-31 GHz频带的FSS上行链路在31.3-31.5 GHz频带内提供给天线端口的无用发射功率电平限制在-20 dB(W/200 MHz)。

## 9 在31.3-31.5 GHz频带内工作的卫星地球探测业务 (EESS) (无源) 系统与在31-31.3 GHz频带内工作的固定业务 (FS) 系统之间的兼容性分析

### 9.1 EESS (无源)

#### 9.1.1 划分的频带

31-31.3 GHz频带划分给FS，该频带与划分给EESS的31.3-31.5 GHz频带相邻。本节计算了由工作在低于31.3 GHz频率的FS系统产生的可能落入31.3-31.5 GHz频带内的无用发射电平。

应注意的是，按照《无线电规则》第5.340款，在31.3-31.5 GHz频带内禁止一切发射。

表9-1示出了与31.3-31.5 GHz无源频带相邻的划分。

表9-1  
相邻频带划分

在划分频带低端的业务	无源频带	在划分频带高端的业务
31-31.3 GHz	31.3-31.5 GHz	31.5-31.8 GHz
固定 移动 卫星标准频率和时间信号 (空对地) 空间研究 5.544	卫星地球探测 (无源) 射电天文 空间研究 (无源)	卫星地球探测 (无源) 射电天文 空间研究 (无源) 固定 (第一和第三区) 移动 (航空移动除外) (第一和第三区)

#### 9.1.2 应用

该频带是用于近天底大气探测的频带之一，与23.8 GHz和50.3 GHz等用于确定地球大气每一层特性的其他频带一并使用。

在31 GHz频带内，需要416 MHz的带宽来达到31 GHz频带0.2 K的准确度。这意味着无源微波使用方必须既保护31.3-31.5 GHz频带，也保护31.5-31.8 GHz频带。

该频带还与31.5-31.8 GHz频带一并用做“裂窗”。这样就可以比较在两个子频带完成的测量，以检查数据的质量。然后就可以在预计质量良好时采用整个频带，以增加传感器的灵敏度。

#### 9.1.3 所需的保护标准

ITU-R RS.515建议书 —	卫星无源遥感所用的频带和带宽
ITU-R RS.1028建议书 —	卫星无源遥感所用的性能标准
ITU-R RS.1029建议书 —	卫星无源遥感所用的干扰标准。

9.1.4 工作特性

EESS系统要考虑如下的工作特性：

- 假设EESS传感器具有峰值增益为45 dBi的天线。
- EESS传感器指向天底方向。
- 高度为850 km的传感器的像素尺寸为201 km<sup>2</sup> (直径16 km)。

9.2 固定业务

9.2.1 划分的频带

见表9-1。

9.2.2 应用

该频带可用于点对点 (P-P) FS系统和点对多点 (P-MP) FS系统。

9.2.3 依据现有ITU文件规定的电平

下列ITU-R建议书提供了关于FS系统无用发射的资料：

- ITU-R F.1191建议书 — 数字固定业务系统的带宽和无用发射
- ITU-R SM.329建议书 — 杂散域的无用发射
- ITU-R SM.1541建议书 — 带外域的无用发射。

9.2.4 发射机的特性

在该频带内工作的点对点和点对多点FS系统要考虑如下的工作特性。

表9-2

点对点系统的特性  
(ITU-R F.758建议书)\*

频道间隔 (MHz)	56	3,5
天线增益 (最大) (dBi)	45	45
馈线/复用器损耗 (最小) (dB)	0	0
天线类型	抛物面	抛物面
发射机最大输出功率 (dBW)	0	0
e.i.r.p. (最大) (dBW)	45	45

\* 由于ITU-R F.758建议书未提供该频带内将要部署的点对点系统的任何资料，这些参数以37-39.5 GHz频带内将要部署的具有适当天线增益的系统的参数为基础。

表9-3

**点对多点系统的特性**  
(ITU-R F.758建议书)

频道间隔 (MHz)	50	2,5
发射方向	集线器至RT	RT至集线器
天线增益 (最大) (dBi)	15	36
馈线/复用器损耗 (最小) (dB)	0	0
天线类型	喇叭形, 15° × 90°	抛物面, 2° × 2°
发射机最大输出功率 (dBW)	10	4
e.i.r.p. (最大) (dBW)	25	40

RT: 远端终端

## 9.2.5 工作特性

### 9.2.5.1 点对多点系统的工作特性

建议初步采用1个终端每km<sup>2</sup>的终端密度<sup>5</sup>。

### 9.2.5.2 点对多点系统的工作特性

建议初步采用0.3个终端每km<sup>2</sup>的终端密度<sup>5</sup>。

**频率复用：**通常采用2的频率复用系数，并将其视为典型的方案。频率复用系数为1的状况被视为最坏情况，这种状况很少出现。

**扇形天线：**典型的扇形天线为90°宽度。在某些情况下，预计使用45°的扇形天线，此时从一个站址要传送的业务量难免特别大。

考虑到这些因素，点对多点小区内的一个集线器通常可能要为某一给定小区内的两个同频订户提供服务。

## 9.2.6 带内发射功率

见表9-2和表9-3。

## 9.3 兼容性门限 (若适用的话)

在100 MHz带宽内无源传感器保护标准为-163 dBW (ITU-R RS.1029建议书规定，超过该值的时间不能高于0.01%)。

有可能从多种业务的多种源同时收到干扰。ITU-R RS.1029建议书 (对某一特定频带) 所列的数值为来自所有干扰源的无源传感器的最大可允许干扰电平。

本节对单一有源业务产生的干扰做了分析。

---

<sup>5</sup> 应注意的是，这些数目表示的是最坏情况，还应加以优化以获得每一个所研究的频带内FS系统的实际数目。

要探讨在无源频带之上和之下工作的这些多重有源业务的影响，还需要进一步研究。

9.4 干扰评估

9.4.1 用于评估干扰电平的方法

该方法的第一步是计算由FS系统的部署引起的可能落入某个EESS像素的可接受功率。

地球表面100 MHz内的集总功率 = EECS 保护标准 (dB(W/100 MHz)) –  
EECS增益 + 自由空间损耗

然后才有可能算出每一FS系统落入EECS 100 MHz基准带宽内的无用发射电平：

每台发射机的功率 (dB(W/100 MHz)) = 地球表面100 MHz内的集总功率 –  
 $N_b$  Tx (一个EECS像素内) – EECS方向的FS增益

9.4.2 计算

对于点对点系统，用ITU-R F.1245建议书算出方位角方向的天线增益。在同一频率上工作的终端的密度假设为1个终端每km<sup>2</sup>。

对于点对多点终端站，用ITU-R F.1245建议书算出方位角方向的天线增益。对于点对多点中心站，用ITU-R F.1336建议书算出方位角方向的天线增益。在同一频率上工作的中心站站址的密度假设为0.3个终端每km<sup>2</sup>。在同一站址，两个中心站可能采用同一频率的90°扇形天线。因此在同一小区内，两个终端站可能采用同一频率。

表9-4  
每一点对点FS系统落入EECS频带的  
可接受无用发射电平

频率 (GHz)	31.3	
干扰标准 (dB(W/100 MHz))	–163	
高度 (km)	850	
基准带宽 (MHz)	100	
EECS增益	45	
自由空间损耗	181	
地面合计 (dB(W/100 MHz))	–27	
地面合计 (dB(W/MHz))	–47.1	
台站类型	CS	TS
频道间隔 (MHz)	56	3.5
FS天线增益	45	45
EECS方向的FS增益	–12.3	–12.3
集总功率 (dB(W/MHz))	–34.8	–34.8
系统密度/km <sup>2</sup>	1.0	1.0
像素尺寸 (km <sup>2</sup> )	201	201



表9-4 (续)

$N_b$ Tx	201	201
每台发射机的功率 (dB(W/MHz))	-57.8	-57.8
每台发射机的功率 (dB(W/100 MHz))	-37.8	-37.8

CS: 中心站

TS: 终端站

表9-5

**每一点对多点FS系统落入EESS频带的  
可接受无用发射电平**

频率 (GHz)	31.3	
干扰标准 (dB(W/100 MHz))	-163	
高度 (km)	850	
基准带宽 (MHz)	100	
EESS增益	45	
自由空间损耗	181	
地面合计 (dB(W/100 MHz))	-27	
地面合计 (dB(W/MHz))	-47.1	
台站类型	CS	TS
频道间隔 (MHz)	50	2.5
FS天线增益	15	36
EESS方向的FS增益	-11.6	-10.1
集总功率 (dB(W/MHz))	-35.5	-37.0
系统密度/km <sup>2</sup>	0.6	0.6
像素尺寸 (km <sup>2</sup> )	201	201
$N_b$ Tx	121	121
每台发射机的功率 (dB(W/MHz))	-56.3	-57.8
每台发射机的功率 (dB(W/100 MHz))	-36.3	-37.8

### 9.4.3 达到的值

#### 9.4.3.1 依据ITU-R建议书规定的无用发射电平

作为一种初步方法，仅考虑落入杂散域的王用发射 (若保护频带大于王用发射域)。然后用《无线电规则》附录3和ITU-R SM.329建议书给出的衰减算出FS系统落入杂散发射域 (与FS信号的中心频率相比，偏移超过必要带宽或频道间隔的250%) 的王用发射电平。对于FS系统，《无线电规则》附录3规定的衰减应以dBc为单位，最小值为70 dBc或  $(43 + 10 \log(P))$ 。

根据该初步方法，对于输出功率为0 dBW和频道间隔为56 MHz (见表9-1) 的某个系统，其杂散发射限值为：

$$P \text{ (dBW)} - (43 + P) \quad \text{dB, 在1 MHz基准带宽内}$$

表9-6给出了可能落入100 MHz基准带宽内的无用发射电平。

表9-6

可能落入100 MHz基准带宽内的  
无用发射电平的计算

FS系统	杂散发射电平/1 MHz (dBW)	杂散发射电平/100 MHz (dBW)
点对点, 56 MHz (表9-2)	-43	-23
点对点, 3.5 MHz (表9-2)	-43	-23
点对多点, 50 MHz (表9-3)	-43	-23
点对多点, 2.5 MHz (表9-3)	-43	-23

由该初步方法得出结论，即便仅考虑落入杂散域的王用发射，也不能满足EESS保护标准。

9.4.3.2 计算的优化

由于初步计算已经显示不满足EESS干扰标准，所以对计算的优化将顾及在该频带内将要部署的王用发射系统的特性。尤其是下面几节将以欧洲电信标准协会 (ETSI) 给出的系统特性为基础。欧洲邮电主管部门大会 (CEPT) 采用下面几节所述的方法算出了所需的保护频带，可让从FS系统落入EESS频带的王用发射满足第9.4.2节给出的EESS干扰标准 (-37.8 dB(W/100 MHz))。为了制定在31-31.3 GHz频带工作的FS系统的频道安排，考虑了这些研究结果。

9.4.3.2.1 点对点FS系统

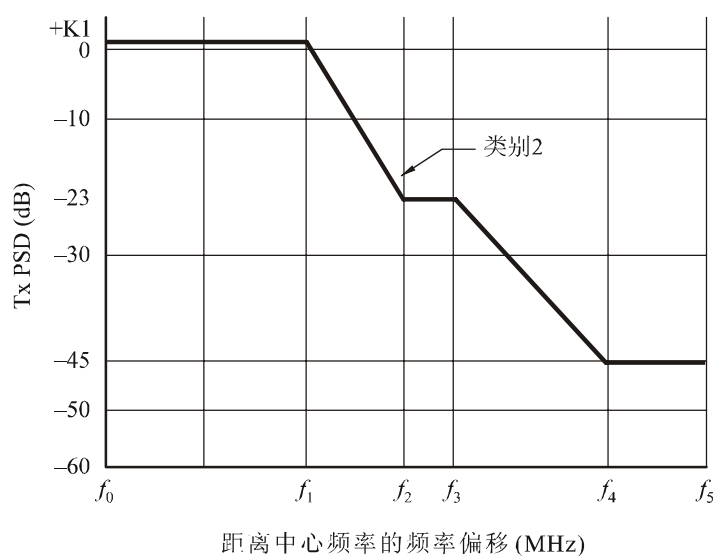
9.4.3.2.1.1 点对点系统的王用发射掩模

为了进行这些分析，考虑ETSI EN 300 197标准中给出的王用发射掩模，该标准为固定无线电系统、点对点设备提供了王用发射掩模；为在32 GHz和38 GHz工作的无线电系统传输数字信号提供了参数。

这些分析要考虑ETSI EN 300 197标准给出的最坏情况下的王用发射掩模，由此导致要考虑下面的掩模 (见图9-1)。

图9-1

## 带外发射掩模



Rap 2092-091

注1 — 频谱掩模上示出的0 dB电平与功率谱密度的标称中心频率有关，与残余载波无关。

表9-7根据不同的频道间隔给出了 $f_i$ 值，按照EN 300 197，频道间隔可从3.5 MHz延续到56 MHz。

表9-7

## 无用发射掩模的折点

频道间隔 (MHz)	K1 (dB)	$f_1$ (MHz)	$f_2$ (MHz)	$f_3$ (MHz)	$f_4$ (MHz)	$f_5$ (MHz)
3.5	+1	1.3	2	2.3	4.3	8.75
7	+1	2.8	5.6	7	14	17.5
14	+1	5.6	11.2	14	28	35
28	+1	11	19	25	45	70
56	+1	18	32	40	70	140

## 9.4.3.2.1.2 点对点系统的杂散发射电平

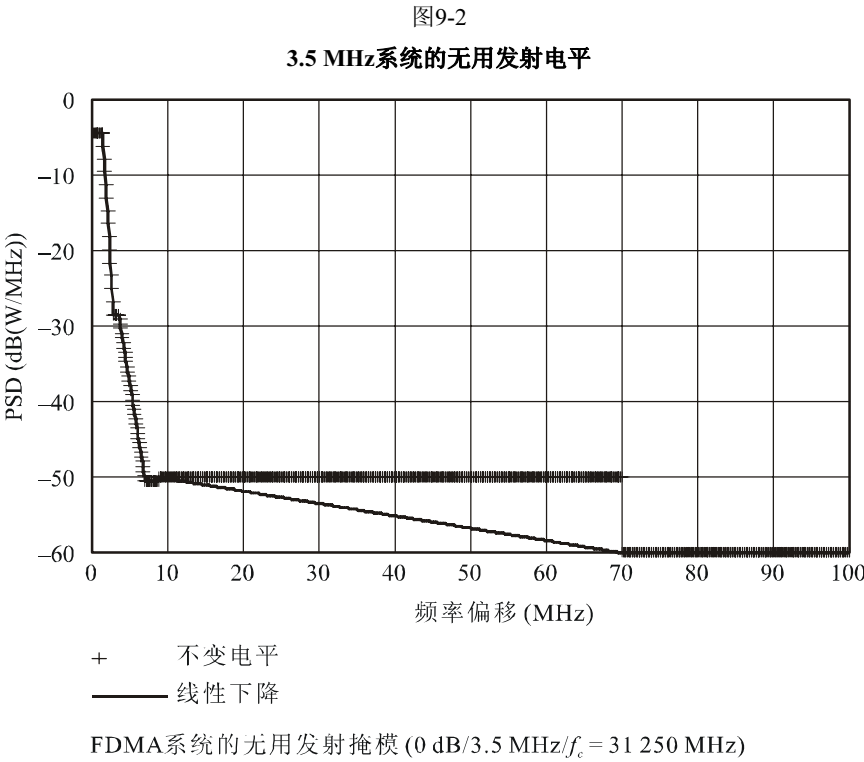
ITU-R SM.329建议书提供了关于杂散发射电平的资料，尤其是该项分析考虑了欧洲采纳的电平和其他一些国家所用的电平 (B类电平)。

对于以大于10 MHz的频道间隔 $C_s$ 工作的点对点系统，杂散发射限值为-60 dB(W/MHz)。

对于以小于10 MHz的频道间隔 $C_s$ 工作的点对点系统，在达到这一-60 dB(W/MHz) 值之前还要经过另一步骤。从与中心频率相比 $2.5 \times C_s$ 的频率偏移至70 MHz的频率偏移，限值等于-50 dB(W/MHz) (或对于100 kHz的基准带宽为-60 dBW)。

对于以小于10 MHz的频道间隔 $C_s$ 工作的点对点系统，为了获得更实际的结果，假设掩模上的-50 dB(W/MHz) 点与相当于-60 dB(W/MHz) 电平的点之间的杂散发射电平呈线性下降关系。

图9-2给出了采用 $C_s$ 为3.5 MHz的系统的无用发射掩模的例子。



Rap 2092-092

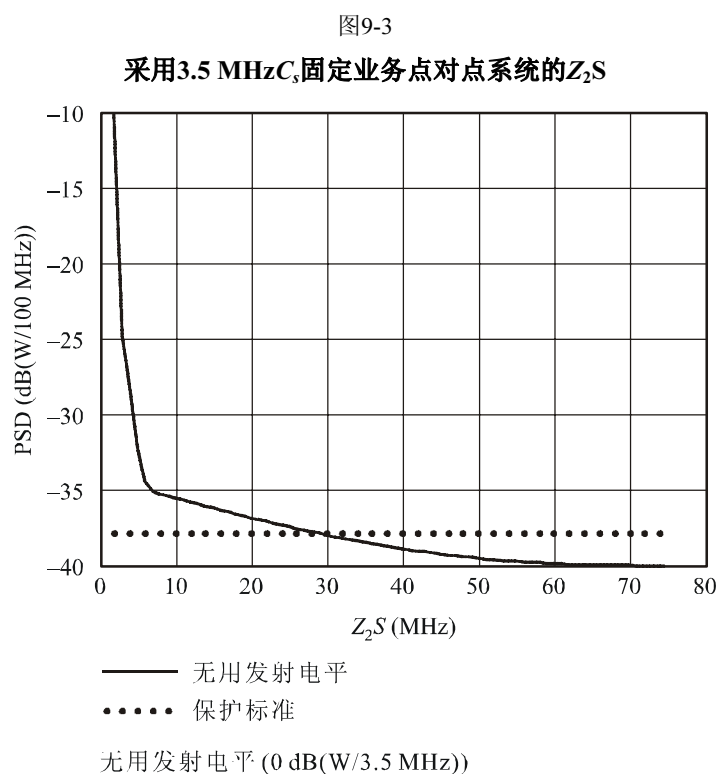
**9.4.3.2.1.3 点对点系统的计算结果**

下面几节按照不同的保护频带算出了EESS系统在100 MHz的基准带宽内可能收到的无用发射电平。

应注意的是，对于在该频带内要部署的点对点系统，ETSI标准给出了0 dBW的最大输出功率。

### 9.4.3.2.1.3.1 3.5 MHz频道间隔的点对点系统

图9-3提供了3.5 MHz  $C_s$ 点对点系统的计算结果。



Rap 2092-093

在ITU-R F.746建议书中， $Z_2S$ 一词定义为最后频道的中心频率与该频带上端之间的上部间隔。这就获得了一个 $28.75 - 3.5/2 = 27$  MHz的保护带，此处假设在掩模 $-50$  dB (W/MHz)点和对应于 $-60$  dB (W/MHz)电平对应点之间存在着线性下降。

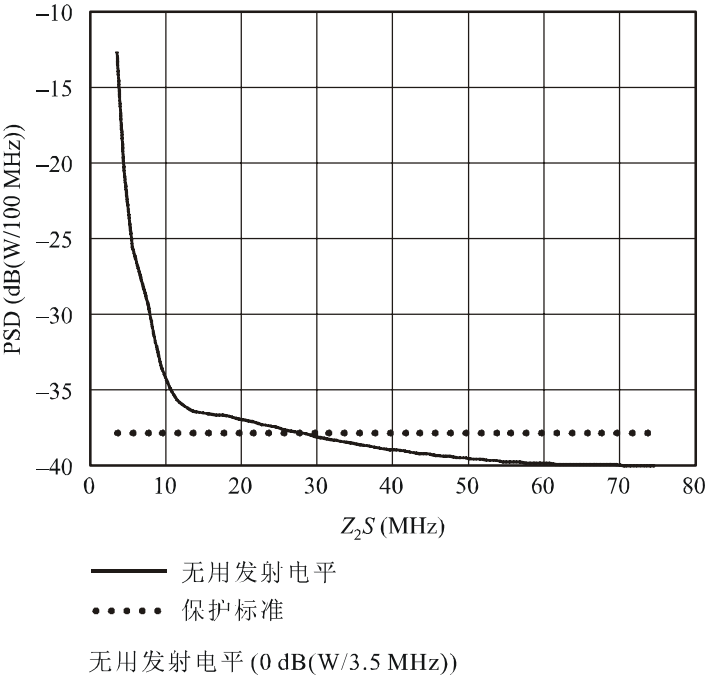
在这种情况下，保护带大于无用发射的范围，于是仅有杂散发射落入卫星地球探测业务(EESS)频带内。

### 9.4.3.2.1.3.2 7 MHz频道间隔的点对点系统

图9-4提供了7 MHz  $C_s$ 点对点系统的计算结果。

图9-4

采用7MHz  $C_s$ 固定业务点对点系统的 $Z_2S$



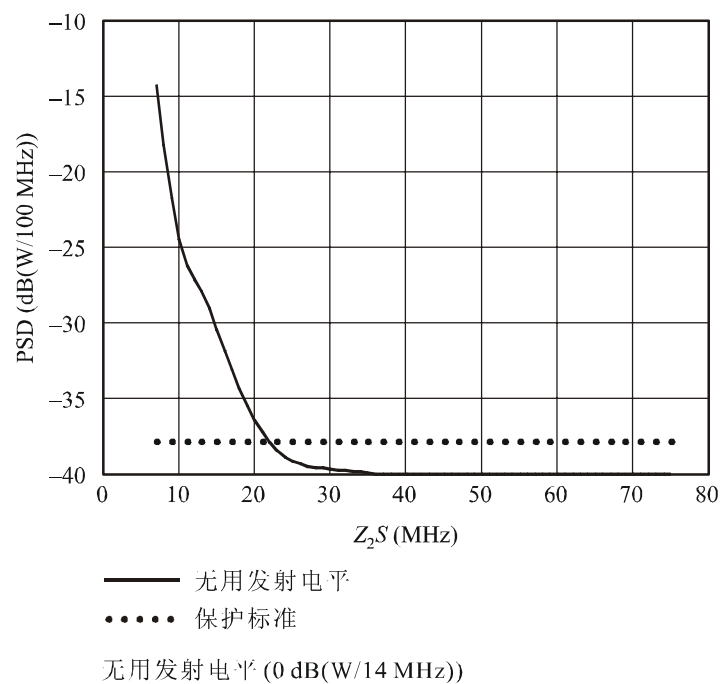
在ITU-R F.746建议书中， $Z_2S$ 一词定义为最后频道的中心频率与该频带上端之间的上部间隔。这就获得了一个 $27.5 - 7/2 = 24$  MHz的保护带，此处假设在掩模 $-50$  dB（W/MHz）点和对应于 $-60$  dB（W/MHz）电平对应点之间存在着线性下降。

在这种情况下，保护带大于无用发射的范围，于是仅有杂散发射落入EESS频带内。

9.4.3.2.1.3.3 14 MHz频道间隔的点对点系统

由于频道间隔大于10 MHz，在这种情况下，没有必要像前面部分那样为杂散发射进行假设。图9-5提供了14 MHz  $C_s$ 点对点系统的计算结果。

图9-5

采用 $C_s$ 为14 MHz的0 dB固定业务点对点系统的 $Z_2S$ 

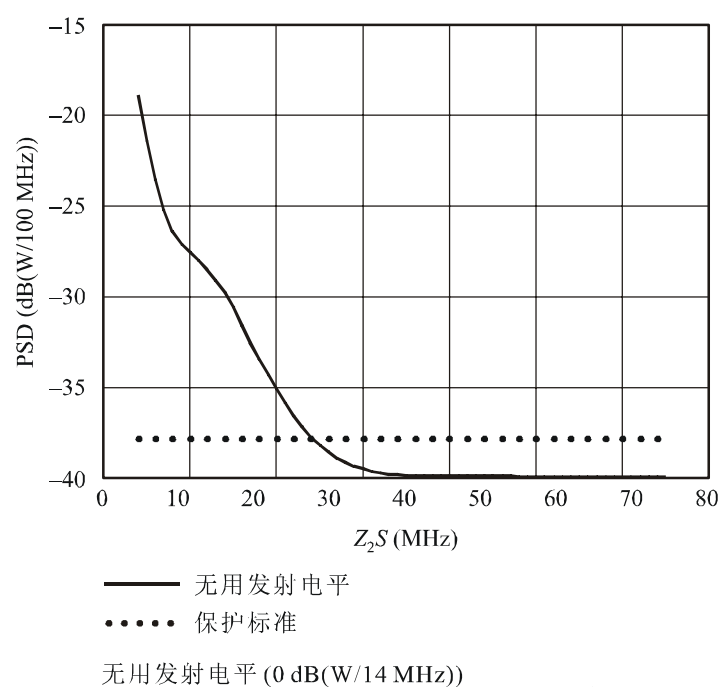
Rap 2092-095

由此获得了 $22 - 14/2 = 15$  MHz的保护带。

#### 9.4.3.2.1.3.4 28 MHz频道间隔的点对点系统

图9-6提供了28 MHz  $C_s$ 点对点系统的计算结果。

图9-6

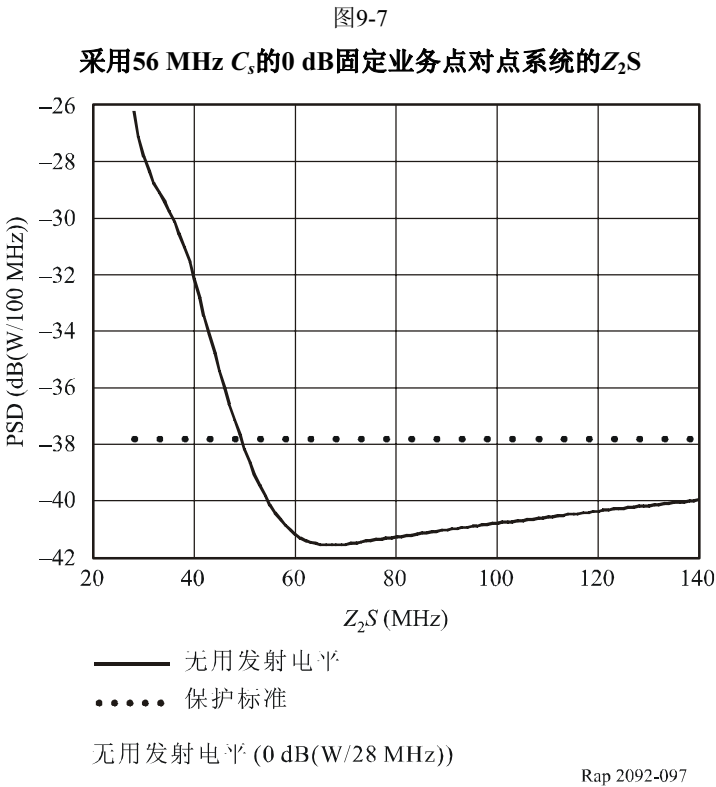
采用 $C_s$ 为28 MHz的0 dB固定业务点对点系统的 $Z_2S$ 

Rap 2092-096

由此获得了 $34 - 28/2 = 20$  MHz的保护带。

9.4.3.2.1.3.5 56 MHz频道间隔的点对点系统

图9-7提供了56 MHz  $C_s$ 点对点系统的计算结果。



由此获得了 $49 - 56/2 = 21$  MHz的保护带。

9.4.3.2.1.3.6 点对点系统的结果摘要

表9-8提供了采用3.5 MHz – 56 MHz的 $C_s$ 的点对点系统的计算结果摘要。

表9-8

取决于 $C_s$ 的保护频带

频道间隔 ( $C_s$ ) (MHz)	$Z_2S$ (MHz)	保护频带 (MHz)
3.5	28.75	27
7	27.5	24
14	22	15
28	34	20
56	49	21

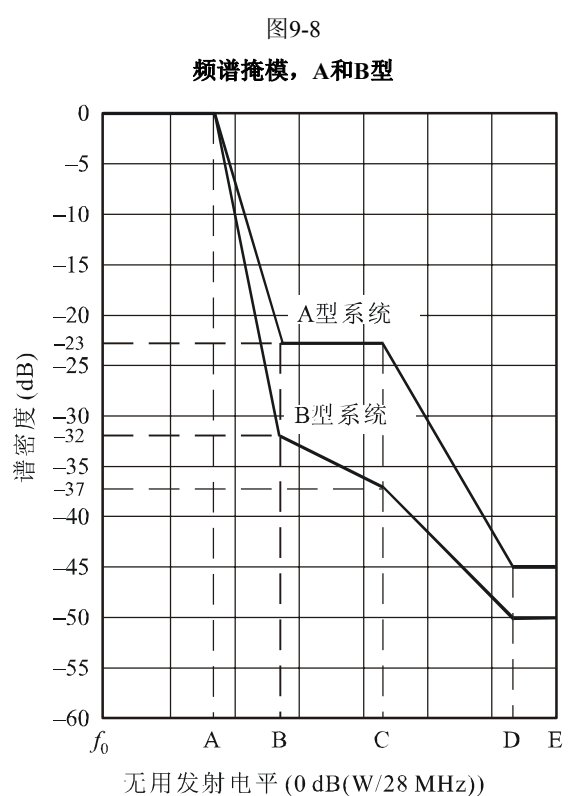


### 9.4.3.2.2 点对多点固定业务系统

应注意到，在终端台站情况下（见表9-6）获得的每个点对多点固定业务系统的可接受无用发射电平与每个点对点固定业务系统可接受无用发射电平（见表9-5）相同。

#### 9.4.3.2.2.1 点对多点系统无用发射掩模

为进行这些分析，我们考虑ETSI标准中给定的无用发射掩模，这些掩模提供了31 GHz到33.4 GHz（32 GHz）频率范围内工作的固定无线电系统、多点设备和多点数字无线电系统的信息。分析的第一步是判定最差情况时的无用发射掩模。这就需要考虑图9-8所示的以下情况。



Rap 2092-098

表9-9提供了A型系统的折点；根据ETSI标准，视 $C_s$ 的不同取值，这些折点可从3.5 MHz扩展到112 MHz。

表9-9

无用发射掩模的折点

同极化频道间隔 图9-8中的点 (MHz)	0 dB A点 (MHz)	-23 dB B点 (MHz)	-23 dB C点 (MHz)	-45 dB D点 (MHz)	-45 dB E点 (MHz)
3.5	1.5	2.8	3.7	7	8.75
7	2.8	5.6	7	14	17.5
14	5.6	11.2	14	28	35
28	11.2	22.4	28	56	70
56	22.5	45	56	112	140
112	45	90	112	224	280

应注意到，这些掩模既适用于终端台站，也适用于基站。

#### 9.4.3.2.2.2 点对多点系统杂散发射电平

EN 301 390提供了点对点系统杂散发射的电平（与ITU-R SM.329建议书B类中给定的电平相同）以及点对多点系统的杂散发射电平。

表9-10和9-11提供了不同类型系统限值的比较。

表9-10

对于采用小于10 MHz  $C_s$ 的系统的杂散限值

频率偏移	$2.5 \times C_s - \max(112 \text{ MHz}; 4.5 \times C_s)$	$> \max(112 \text{ MHz}; 4.5 \times C_s)$
点对点限值 (B类) (dB(W/MHz))	-60	-60
点对多点限值 (EN 301 390) (dB(W/MHz))	-60	-70

表9-11

采用 $C_s$ 大于10 MHz的系统的杂散限值

频率偏移	$2.5 \times C_s - \max(112 \text{ MHz}; 4.5 \times C_s)$	$> \max(112 \text{ MHz}; 4.5 \times C_s)$
点对点限值 (B类) (dB(W/MHz))	-60	-60
点对多点限值 (EN 301 390) (dB(W/MHz))	-60	-70

#### 9.4.3.2.2.3 点对多点系统的计算结果

采用与点对点系统相同的方法。

##### 9.4.3.2.2.3.1 3.5 MHz和7 MHz频道间隔的点对多点系统

根据在9.4.3.2.1.3.1段所作的计算，仅有杂散发射将落到EESS频带内（9 计算的点对点系统的保护带大于无用发射范围）。

因为:

- 在点对多点系统情况下获得的可接受无用发射电平（见表9-6）与分析点对点系统时考虑的可接受无用发射电平（见表9-5）相同；
- 点对多点系统的杂散发射限值比点对点系统要严格，

可以直接得出结论，从点对点系统获得的保护带也涵盖了点对多点系统的情况。

#### 9.4.3.2.2.3.2 14 MHz频道间隔的点对多点系统

由于:

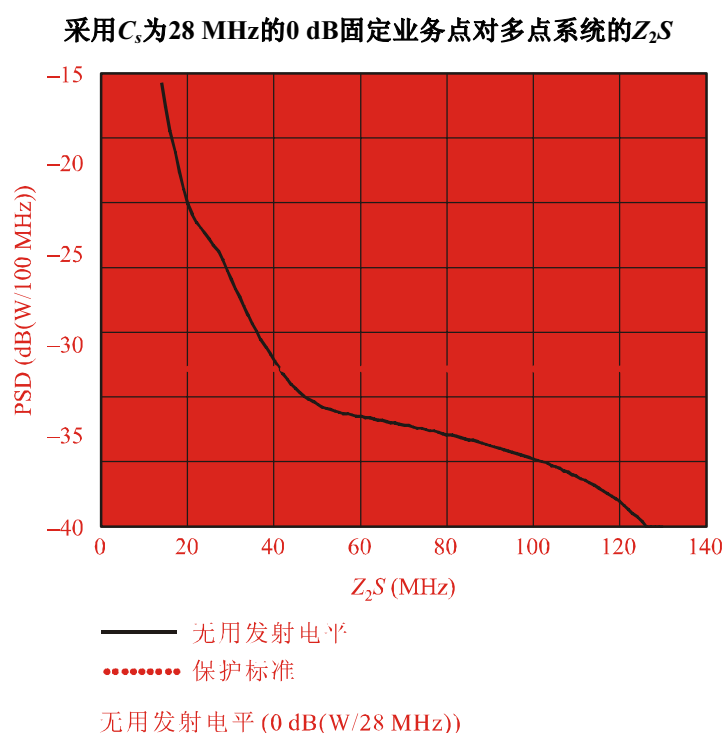
- 点对点系统与点对多点无用发射掩模是相同的（见表9-7和9-9）；
- 在点对多点系统情况下获得的可接受无用发射电平（见表9-6）与分析点对点系统时考虑的可接受无用发射电平（见表9-5）相同，

可以直接做出结论，从点对点系统所获得的保护带也涵盖14 MHz频道间隔点对多点系统的情况。

#### 9.4.3.2.2.3.3 28 MHz频道间隔的点对多点系统

图9-9提供了 28 MHz  $C_s$  点对多点系统的计算结果。

图9-9

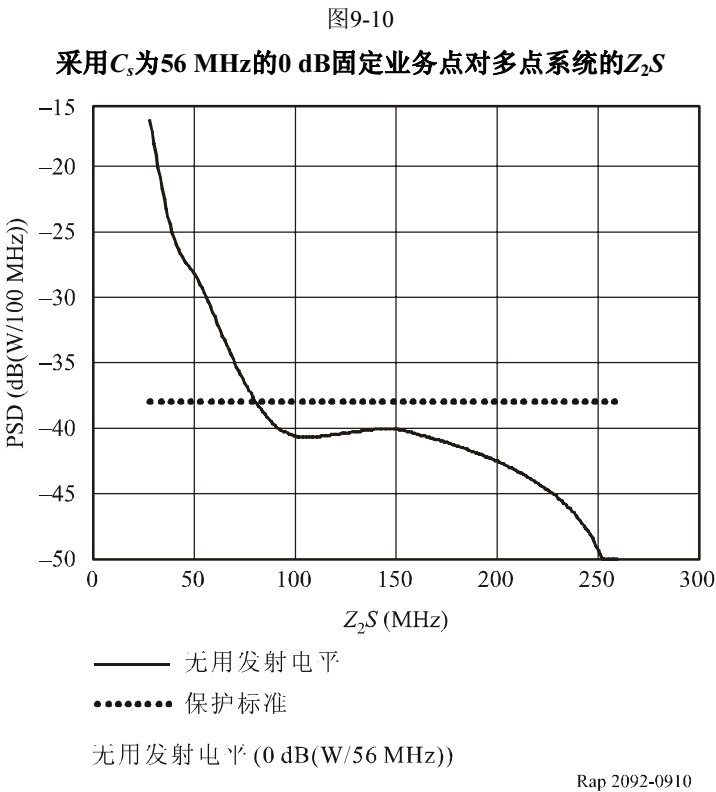


Rap 2092-099

ITU-R F.746建议书将 $Z_2S$ 一词规定为最后一个频道的中心频率与频带上边缘之间的间隔上限。由此形成 $41 - 28/2 = 27$  MHz的保护频带。

9.4.3.2.2.3.4 56 MHz  $C_s$ 点对多点系统

图9-10提供了56 MHz  $C_s$ 点对多点系统的计算结果。

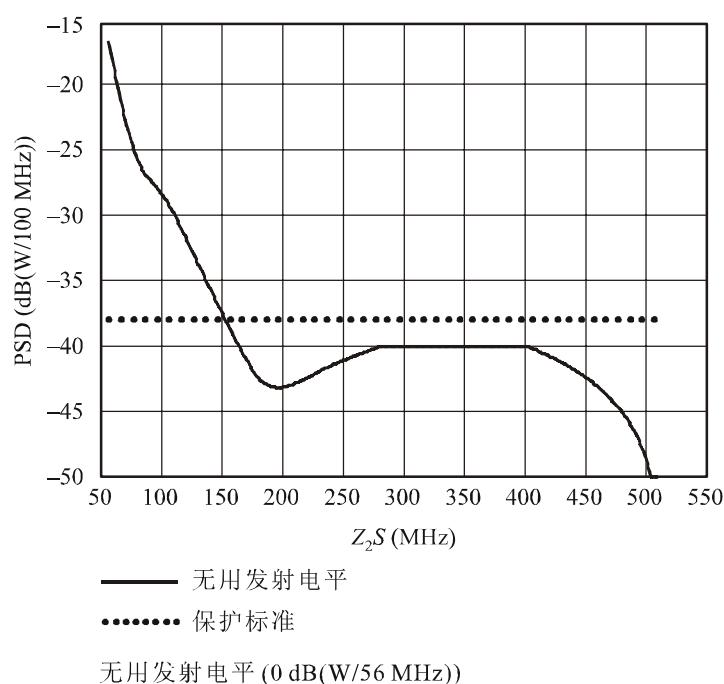


由此，对于0 dBW的输出功率，获得了 $80 - 56/2 = 52$  MHz的保护带。

9.4.3.2.2.3.5 112 MHz  $C_s$ 点对多点系统

图9-11提供了112 MHz  $C_s$ 点对多点系统的计算结果。

图9-11

采用 $C_s$ 为112 MHz的0 dB网固定业务点对点系统的 $Z_2S$ 

Rap 2092-0911

由此，对于0 dBW的输出功率，获得了 $152 - 112/2 = 96$  MHz的保护带。

#### 9.4.3.3 点对点 and 点对多点系统的摘要和结论

表9-12提供了 $C_s$ 取值范围从3.5 MHz到112 MHz时点对点 and 点对多点系统计算结果的摘要（包括表9-8提供的结果）。

表9-12

取决于的 $C_s$ 保护频带

$C_s$ (MHz)	$Z_2S$ (MHz)	保护频带 (MHz)
3.5	28.75	27
7	27.5	24
14	22	15
28	41	27
56	80	52
112	152	96

由于允许的频道数量有限，ITU-R F.746建议书附件8中的频道安排中并没有包括56 MHz和112 MHz的频道间隔方案。特别的是，这两种方案只允许一个56 MHz间隔的频分复用（FDD）频道和一个112 MHz  $C_s$ 的时分复用（TDD）频道。ITU-R F.746建议书附件8的频道安排在31-31.3 GHz频带的上半部分包含了一个31MHz的保护带。

应注意到，由于ITU-R F.746建议书附件8中包括的保护带大于3.5、7、14和28 MHz频道间隔的最小要求，与表9-4和9-5中给定的可接受功率相比，这增加了额外的余量。

#### 9.4.4 动态仿真

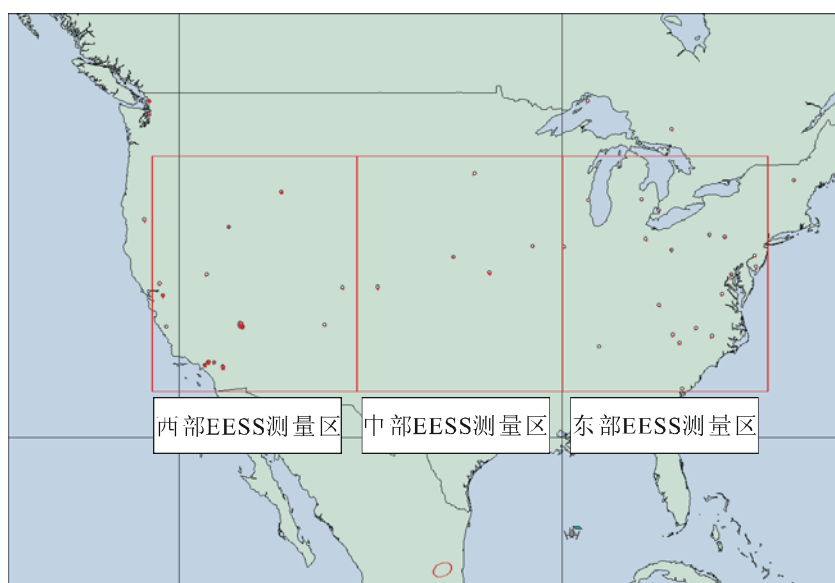
收集了一个主管部门已经颁发执照的台站的公开数据，其格式允许在其基础上构建一个动态仿真模型。在该模型中，仿真台站在位置、功率、频率和天线指向方位角等方面与已颁发执照的台站具有相同的特性。看起来，现在在31-31.3 GHz频带内已颁发执照的台站，不是在特定台站之间拥有链路的点对点台站，就是特性与已颁发执照的点对点链路的特性类似的临时固定台站。图9-12显示了固定业务发射台站的这种部署情况以及覆盖该主管部门的三种无源传感器测量区域，通过仿真模型获得了干扰数据。那些单独的点代表了该频带内包括在已颁发执照台站数据库中的222个固定业务台站频率指配。这些用来定义仿真模型的台站参数包括该主管部门执照数据库中222个频率指配的地理坐标、指向方位角、发射机功率、天线最大增益和3 dB波束宽度。在仿真中，根据ITU-R F.1245-1建议书，采用了主波束增益为38.1 dBi和2.4°波束宽度的固定业务参考天线方向辐射图，因为表中所有条目的主要波束增益都在该值的0.1 dB范围之内。通过求根据指配频率和必要带宽而在该主管部门的规章中规定的发射掩膜的积分，计算每一个台站落入31.3-31.5 GHz EESS（无源）频带内的无用发射功率。在某些情况下，特别是在涉及临时固定设施的情况下，随机指定位置、方位角和频率。

图9-13显示了包含数量为现在已颁发执照的固定业务台站数量十倍的未来发展趋势。通过在每一个已颁发执照台站 $\pm 1^\circ$ 的纬度和 $\pm 1.25^\circ$ 的经度范围内另行随机放置九个额外的固定业务台站，由此产生了未来发展模型，其方位角和指配频率随机选取。这些随机数值中的每一个都采用了均匀分布。

31 GHz频带内未来发展模型中200 MHz内的2 222个台站的固定台站密度仍小于其他频带的固定业务台站。例如，10.6-10.68 GHz频带已颁发执照的固定业务台站的另一个类似仿真模型在80 MHz的频谱内包含了2 652个固定业务台站，而且31 GHz频带内在10 000 000平方公里范围的平均固定业务台站密度（0.0002个固定业务/平方公里）远小于静态分析中假设的固定业务密度（0.6至1个固定业务/平方公里）。

图9-12

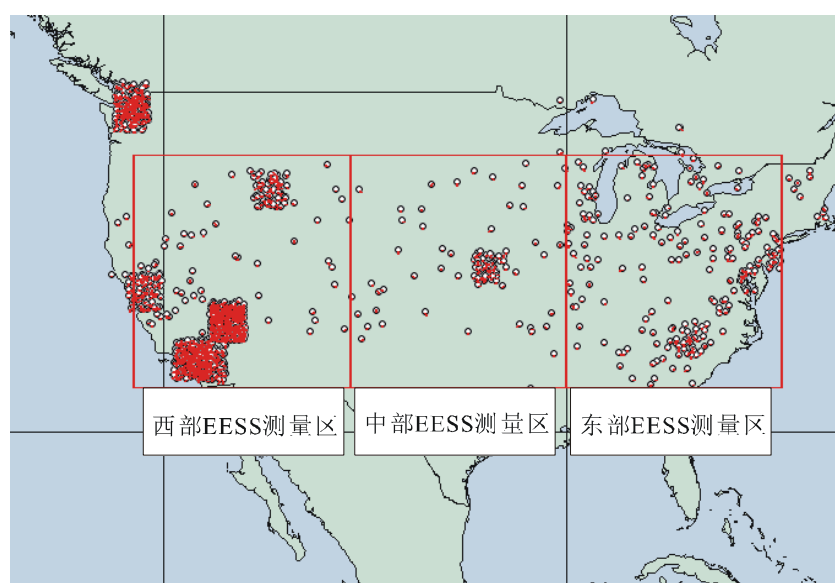
31-31.3 GHz现有已颁发执照的固定业务台站部署



Rap 2092-0912

图9-13

固定业务台站部署未来发展情况



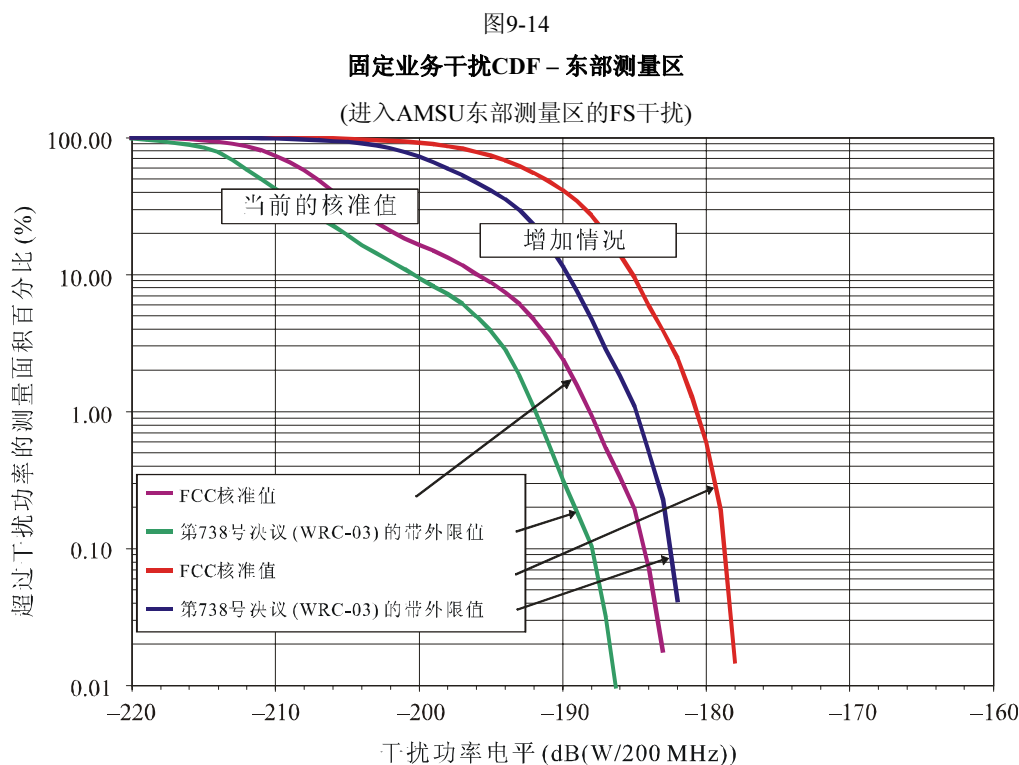
Rap 2092-0913

如图9-12和9-13所示，在纬度 $32.524^{\circ}$ 和 $45.476^{\circ}$ 之间以及西经 $73.898^{\circ}$ 和 $122.102^{\circ}$ 三个相邻但不重叠的测量区进行了该部署模型的仿真。这些区域中的每一个，即东部、中部和西部测量区，拥有2 000 000平方公里的面积。

进行了A型先进微波探测器（AMSU-A）仿真，该型探测器是NOAA K、L和M等一些在轨卫星携带的天底扫描传感器。携带AMSU-A传感器的卫星的圆轨道高度为850公里，倾角为 $99^{\circ}$ 。假设传感器天线围绕其轴完成一次转动的时间为8秒，该轴与卫星速度向量一致。波束在从天底 $\pm 48.33^{\circ}$ 的空间内以200毫秒的时间步长跨越30个均匀分隔的指向角度，以进行测

量。对于用于定标的8秒间隔中的剩余2秒，假设传感器指向卫星顶点，在扫描周期的这个定标部分，没有计算干扰。传感器天线最大增益为36 dBi，波束宽度为 $3.3^\circ - 3$  dB。假设传感器天线旁瓣辐射方向图符合ITU-R F.1245-1建议书中所述的参考天线方向图。在自由空间传播条件下并附以ITU-R P.676 -5建议书中的大气（气体）吸收所造成的额外损失后，评估卫星固定业务（FSS）上行对无源AMSU传感器的干扰。

当无源传感器可以在测量区域从这些点中采样时，进行仿真以便以200毫秒的步长通过三天的仿真运行或者累积分布函数（CDF）。对于三个分析的测量区域中的每一个，31.3-31.5 GHz频带内从固定业务台站到无源传感器干扰的CDF见图9-14、9-15和9-16。假设每一个被许可的固定业务台站发射第738号决议（WRC-03）所述的 $-38$  dB(W/100 MHz) 无用发射功率，也生成了一个用于对比的CDF。



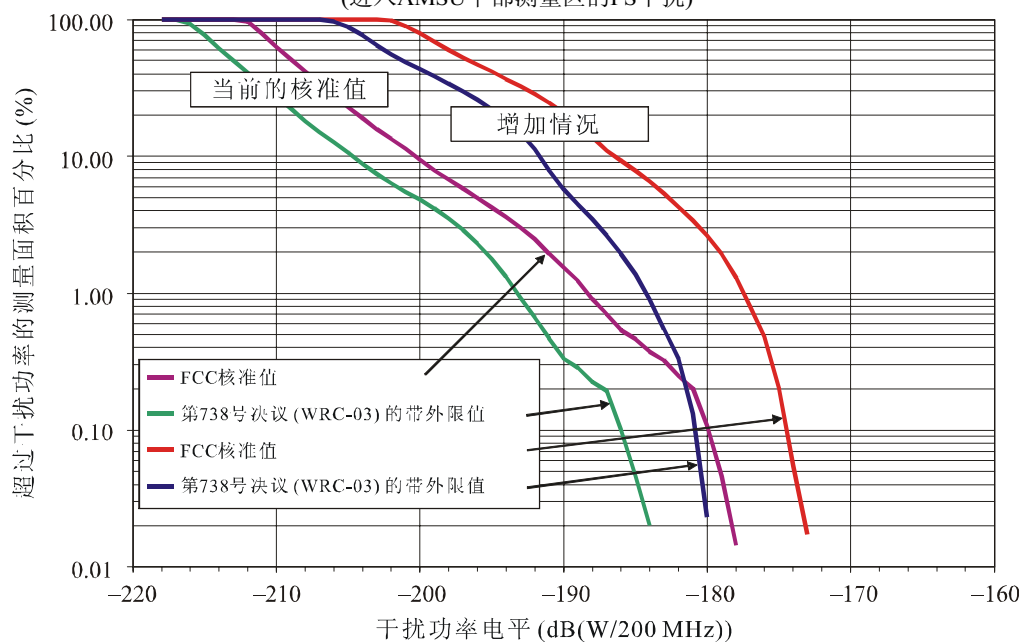
Rap 2092-0914



图9-15

## 固定业务干扰CDF – 中部测量区

(进入AMSU中部测量区的FS干扰)

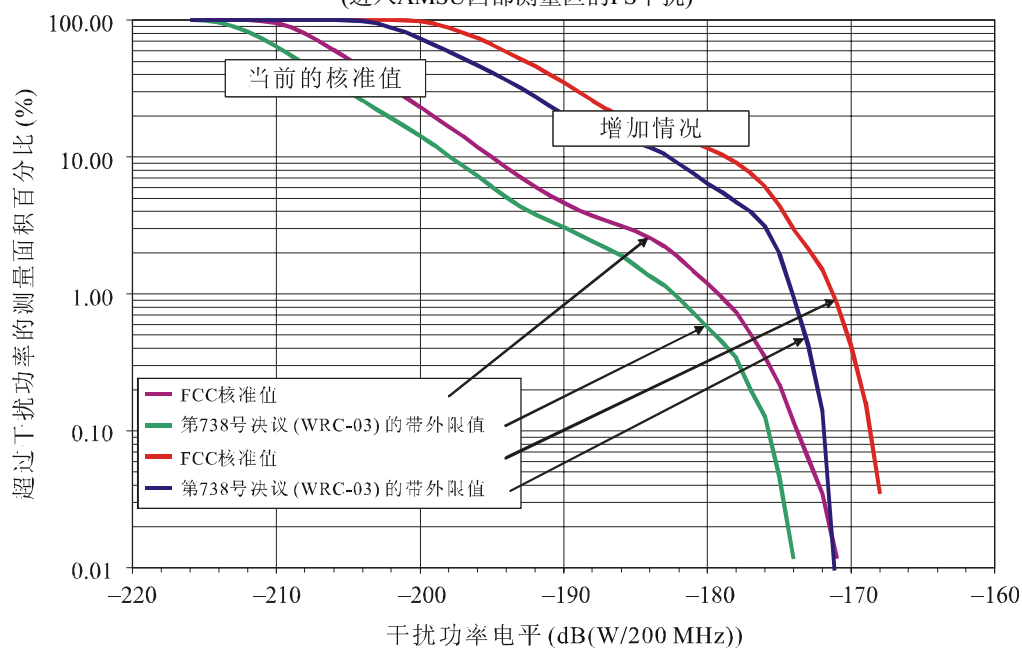


Rap 2092-0915

图9-16

## 固定业务干扰CDF – 西部测量区

(进入AMSU西部测量区的FS干扰)



Rap 2092-0916

## 9.5 减扰技术

### 9.5.1 EESS (无源)

由于EESS系统需要在整个200 MHz划分中进行操作，这些系统无法在EESS频带的下端采用保护带。

### 9.5.2 固定业务

根据ITU-R F.746建议书附件8部署的系统采用了31 MHz的保护带以及这些系统无用发射采用的掩模比ITU-R SM.1541建议书中给定的无用发射掩模和ITU-R SM.329建议书中给定的杂散发射限值（B类）更为严格，确保了固定业务系统落入到31.3-31.5 GHz频带内的无用发射电平符合表9-4和9-5中给出的可接受功率（约是-38 dB(W/100 MHz)）。

也可采用其他滤波等干扰抑制技术，以确保可以满足无源频带内的最大可接受功率。

### 9.5.3 潜在的影响

#### 9.5.3.1 EESS

没有影响。

#### 9.5.3.2 固定业务

如果固定业务系统采用了应用ITU-R SM.329建议书（B类）中给定的无用发射限值和杂散发射限值的干扰抑制技术，那么对于那些未执行这些限值的国家对固定业务的影响还需进行判定。如果固定业务采取了其他技术来满足-38 dB(W/100 MHz)的限制，那么也需要判断这些技术的影响。

## 9.6 研究结果

### 9.6.1 摘要

本节表明欧洲在31-31.3 GHz频带内部署的固定业务系统采用的掩模比ITU-R SM.1541建议书中给定无用发射掩模以及ITU-R SM.329建议书中给定的杂散发射限制（B类）更为严格，将满足保护所需的最大可接受功率-38 dB(W/100 MHz)。应注意到，在兼容性分析中考虑的终端密度代表着最差情况，该数值可以予以改善。

也进行了动态仿真，以评估一个主管部门现在已经许可的台站所产生的无用发射影响以及根据现已许可台站而推断的未来增长情况所带来的影响。在这些部署模型中，在10 000 000平方公里的仿真区域内平均的点对点固定业务台站密度远低于静态计算中假设的无源传感器主波束内的最坏情况固定业务密度，仅为原值的0.02-0.04%。动态仿真的结果表明，对于以假设的、更低的固定业务台站密度部署的AMSU无源传感器，即使点对点固定业务台站的无用发射功率电平超过了第738号决议（WRC-03）所述的-38 dB(W/100 MHz)无用发射功率，也不会超出ITU-R RS.1029-2建议书中所述的EESS（无源）可允许干扰标准。

### 9.6.2 结论

当固定业务系统遵循ITU-R F.746建议书附件8中给定的频道安排且满足比ITU-R SM.1541建议书和《无线电规则》附录3中给出的无用发射限值更严格的限值时，在31-31.3 GHz频带内部署的固定业务系统无用发射电平可满足-38 dB(W/100 MHz)，由此确保在31-31.3 GHz频带内操作的固定业务与在31.3-31.5 GHz频带内操作的EESS相兼容。

## 10 在50.2-50.4 GHz频带内工作的EESS（无源）系统与在47.2-50.2 GHz频带内工作的FSS（地对空）系统之间的兼容性分析

### 10.1 EECS (无源)

#### 10.1.1 划分的频带

与50.2-50.4 GHz EECS无源频带相近的划分见表10-1。应注意到，50.2-50.4 GHz频带也受《无线电规则》第5.340款的管辖并且《无线电规则》第5.340.1款应适用。

表10-1

相邻频带的划分

在较低端 划分频带中的业务	无源频带
47.2-50.2 GHz	50.2-50.4 GHz
固定 卫星固定（地对空） 移动 5.149 5.340 5.552 5.552A 5.555	卫星地球探测（无源） 空间研究（无源） 5.340 5.555A

#### 10.1.2 应用

该频带是50 GHz至60 GHz之间几个共同用来提供大气三维温度曲线图的频带之一。50.2至50.4 GHz频带是可用来测量来自地表发射的“窗口频道”。它不仅用于50至60 GHz范围内氧气温度测量的校准，还用于校准23.8 GHz附近的水汽测量。

这些测量为数值天气预报提供了数据。该模型每隔6小时就需要输入数据并用于短期（6到48小时）细网格天气预报（10公里或更小）。

#### 10.1.3 要求的保护标准

ITU-R RS.1029-2建议书提供了卫星无源遥感的干扰标准。根据ITU-R RS.1028-2建议书，EECS传感器从所有干扰源收到的可允许干扰功率为200 MHz参考带宽内-166 dBW，数据可用率为99.99%。对应的测量区除非另有理由，否则为地球上2 000 000平方公里的正方形。

#### 10.1.4 工作特性

在本章中考虑了两种传感器设计。一种是如正在使用中的AMSU-A传感器那样的跨迹扫描仪，它经过天底进行扫描。另一种是采用横跨其轨迹的多个固定波束的、建议的推扫式传感器。推扫式传感器代表了微波探测的未来，因为它具备允许更长积分时间的独特优势。图10-1显示了天底探测无源传感器的几何构造，表10-2提供了研究中的传感器的工作特性。



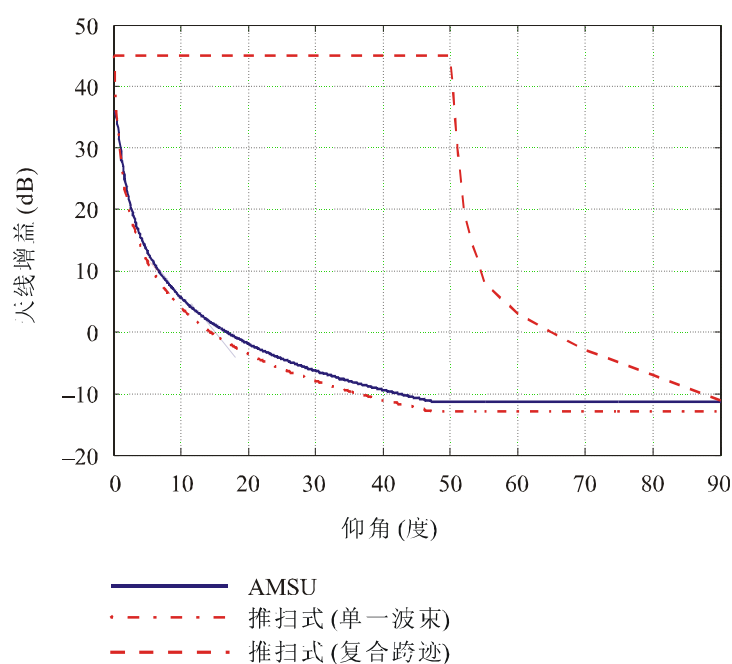
AMSU传感器天线每8秒钟围绕其轴转动一圈，其轴与卫星速度向量一致。传感器天线主波束指向与旋转轴呈直角，以便在每一个扫描周期波束通过卫星星下点。在该周期内，波束以200毫秒的时间步长在以天底为顶的 $\pm 48.33^\circ$ 的范围内均匀分隔的三十个指向角内经过，以进行测量。在8秒扫描周期的其余2秒时间内，进行热态和冷态标定。AMSU传感器的天线增益方向图见图10-2。

已有人建议采用“推扫”传感器，该种传感器扫宽的固定波束与AMSU-A类似。“推扫”是不带活动件的纯静态仪器。推扫的主要特征是扫描线中的所有像素同时获取而不是像机械扫描传感器（即AMSU类型）那样按顺序获得，使得可以大大增加积分时间和可得辐射分辨率。

推扫天线系统由约90个独立的波束构成，其扇形组成方式涵盖了以卫星星下点为中心的 $100^\circ$ 跨迹角。每一个波束全向增益为45 dBi，半功率波束宽度为 $1.1^\circ$ 。每一个波束的天线辐射方向图假设符合ITU-R F.1245-1建议书。图10-2显示了一个单个波束和一个复合模式的天线增益辐射方向图，后者被用来简化第1号仿真模型中的干扰计算。该复合模式是单个波束沿着传感器交叉追踪轴的最大增益以及单个波束辐射方向图沿着卫星飞行方向轴的包络线。第一批11个邻近波束沿着传感器跨迹轴的天线辐射方向图的细微结构见图10-3。

图10-2

AMSU辐射机天线增益辐射方向图，推扫（单个波束）和推扫（复合跨迹）

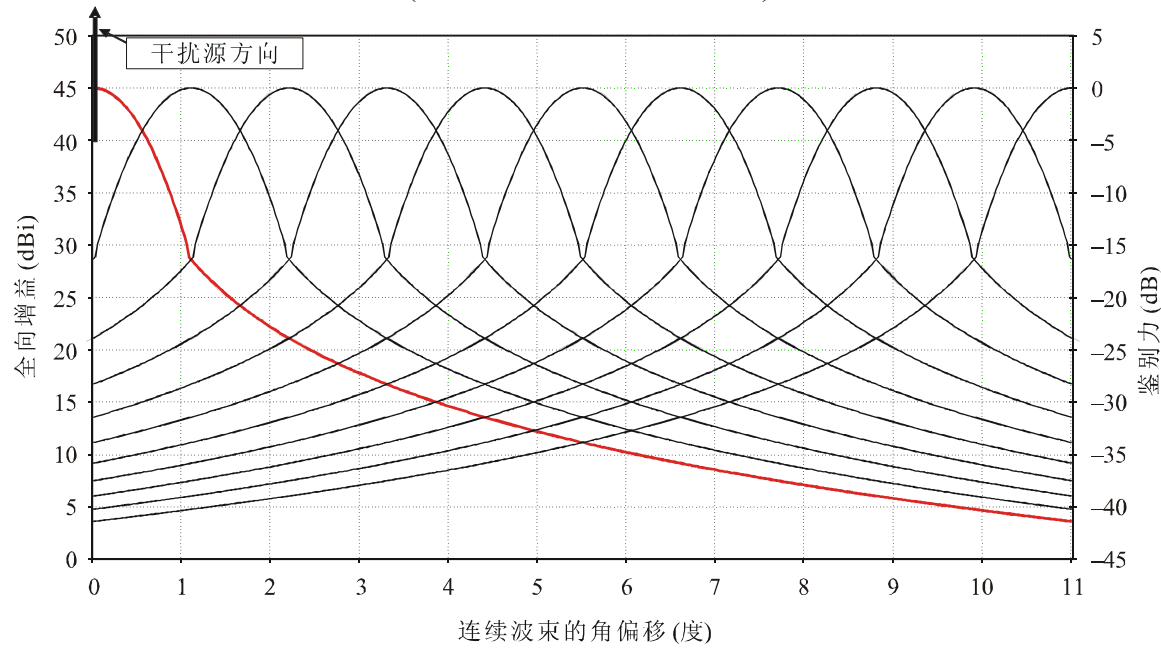


Rap 2092-102

图10-3

推扫天线增益辐射方向图结构

(推扫式天底探测器：复合天线方向性图和鉴别力)  
(45 dBi增益，ITU-R F.1245建议书)



Rap 2092-103

相邻天线波束之间的隔离，也显示在图10-3中（图表的右纵轴）中。将指向干扰源的天线波束指定为参考波束（0 dB），参考波束每一边向10个相邻波束的单个辐射方向图所提供的隔离数值见表10-3。当考虑横跨无源传感器扫描平面的地球站所产生的干扰时，该参数非常重要。

表10-3

相邻天线波束的隔离

波束	参考	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
隔离 (dB)	0	-16.4	-23.9	-28.3	-31.4	-33.8	-35.8	-37.5	-38.3	-40.2	-41.4

由于所有波束同时激活并且相邻波束之间的隔离并不是无限的，其结果就是根据其数量和几何配置，干扰可以同时影响数个相邻波束。

研究30 GHz附近有源和无源频带兼容性分析的第8节表明推扫天线的复合方式或详细的细微结构的使用是相当的。因此，出于简化的原因，建议在动态分析中采用推扫天线的复合方式。

## 10.2 FSS (地对空)

### 10.2.1 划分的发射频带

参考表10-1。

### 10.2.2 应用

本章考虑的有源业务指47.2-50.2 GHz频带内的卫星固定业务（地对空）。

### 10.2.3 无用发射频谱的表示

见第2节（特别是第2.3节中的技术附录）。

### 10.2.4 发射机特性

#### 10.2.4.1 第1号动态仿真研究中的上行地球站参数

表10-4提供了预计将要投入使用的主要GSO网络的特性，表10-5提供了non-GSO FSS网络的典型特性。

表10-4

FSS上行地球站（ES）参数

FSS卫星系统	FSS类型1	FSS类型2	FSS类型3	FSS类型4
占用带宽 (MHz)	200	250	492	252
地球站天线最大增益 (dBi)	68.2	60	60.9	55.8
地球站e.i.r.p. (dBW)	80	87.9	75.9	68.6
ES发射机功率 (dBW)	11.8	27.9	15	12.8
ES天线辐射方向图	A-25 LOG(f)	ITU-R S.580建议书	ITU-R S.465建议书	ITU-R S.465建议书
地球站3 dB波束宽度 (度)	0.06	0.17	0.2	0.3
系统轨道类型	GSO	GSO	GSO	GSO
跟踪策略 (总是指向指定的GSO卫星)	不(总是指向指定的GSO卫星)	不(总是指向指定的GSO卫星)	不(总是指向指定的GSO卫星)	不(总是指向指定的GSO卫星)
卫星数量	1	1	1	1
地球站数量	1	1	1	1

表10-5

第1号动态仿真研究中的non-GSO上行地球站的典型特性

系统	MEOSAT-X	WBV3
轨道	non-GSO圆形	GSO
高度（公里）	10 352	35 786
倾角（度）	50	0
轨道周期	6小时	23小时56分钟
平面内的卫星	8	不适用
平面	4	不适用
极化	LHCP/RHCP	LHCP/RHCP
调制	O-QPSK	D-QPSK
带宽 (MHz)	500	252
e.i.r.p. (dBW)	88	68.6
天线增益 (dBi)	66.08 (ITU-R S.580建议书)	55.8
发射机功率 (dBW)	21.92	12.8

10.2.4.2 第2号动态仿真研究中的上行地球站参数

该仿真采用了各种类型的卫星中认为是比较典型的地球站参数以及在卫星协调资料中所述的地球站参数。转发器带宽范围为250至1 000 MHz，卫星接收系统噪声温度范围为650至1 100 K。如这些卫星网络资料所示那样，这些卫星网络中的上行地球站尺寸范围从直径0.3米至13米等大小不等，发射带宽范围从103 kHz至830 MHz，上行链路C/N范围从5.7至20 dB。每一个发射的最大和最小功率电平也相差很大，包括在某些情况下相差30 dB以上。在这些参数范围内选择了“小容量”、“中等容量”和“高容量”地球站对应的组合参数，并计算了晴空发射功率电平以计算位于测量区中心、向最远卫星发射的地球站的精确C/N，此处假设卫星接收系统噪声温度为800 K。表10-6描述了这三种典型地球站的参数值和载波发射功率电平计算结果。

当FSS上行载波频率位于最靠近无源传感器频带的FSS频带的边缘时，通过一个因子对这些计算的上行发射功率电平进行校正，以估算落入50.2-50.4 GHz无源传感器频带内的无用发射功率。该因子定义为落入EESS频带内的无用发射（通过对适当频谱区内的滤波或对滤波信号进行数值积分法获得）与整个发射功率的比值。假设的频谱表征包括了QPSK发射的 $(\sin(x)/x)^2$ 的频谱形状，其符号率等于所述的带宽。在某些情况下，当计算落入无源传感器带宽内的无用发射功率时，也假设以下调制后滤波而获得的衰减特性：

$$A(f) = 40 \log_{10} |(f - f_c)/(f_c - 50.2)| + 8 \tag{1}$$



在仅有QPSK发射的 $(\sin(x)/x)^2$  频谱形状且没有调制后滤波的情况下以及在包括由于调制后滤波而获得的每十进衰减40 dB的情况下, 进行了无用发射功率的仿真。

表10-6

第2号动态仿真的地球站参数

典型地球站	0.3M	1.8M	4.5M
所需的C/N (dB)	15	18	18
余量	0	0	0
地球站天线增益 (dBi)	41.9	57.5	65.4
自由空间损耗 (dB)	218.2	218.2	218.2
大气损耗 (dB)	3	3	3
卫星天线增益 (-1 dB 圈) (dBi)	52	52	52
卫星接收系统温度 (K)	800	800	800
上行发射带宽 (MHz)	9.6	27	112
所需的上行功率 (dBW)	12.5	4.4	2.7
转发器带宽 (MHz)	250	250	250
转发器中心频率 (MHz)	50 075	50 075	50 075
上行载波频率 (MHz)	50 190	50 185	50 140
无用发射功率, 采用 $A(f)$ (在50.2-50.4 GHz内) (dB(W/200 MHz))	-13.4	-19.1	-23.7
无用发射系数, 采用 $A(f)$ (dB)	-25.9	-23.5	-26.4
无用发射e.i.r.p., 采用 $A(f)$ (在50.2-50.4 GHz内) (dB(W/200 MHz))	28.5	38.4	41.7
无用发射功率, 不采用 $A(f)$ (在50.2-50.4 GHz内) (dB(W/200 MHz))	-3.7	-9.1	-11.5
无用发射系数, 不采用 $A(f)$ (dB)	-16.2	-13.5	-14.2
无用发射e.i.r.p., 不采用 $A(f)$ (在50.2-50.4 GHz内) (dB(W/200 MHz))	38.2	48.4	53.9

### 10.3 干扰门限

可能同时受到多个业务的数个干扰源产生的潜在干扰。ITU-R RS.1029建议书所列的值(对于特定频带)是所有干扰源对无源传感器的最大可允许干扰电平。

本章提供了一个由单个有源业务所产生干扰的分析以及第10.1.3段中所述的干扰门限标准。

### 10.4 干扰评估

进行了动态仿真, 以便判断假设同频操作的, 在2 000 000平方公里测量区内一个无源传感器收到的功率电平的累积分布函数。考虑了两个动态仿真研究, 这两个研究涵盖了一系列广泛的地球站部署模式。

10.4.1 第1号动态仿真

进行了仿真，以判断干扰的概率，此处采用了0.5秒的时间增量以便获得准确的结果。当累积分布函数稳定后，仿真即停止。而且，应注意到以下所介绍的所有这些仿真仅涉及天底探测推扫卫星。还应注意到一个给定FSS系统中的地球站数量和卫星数量可能大大增加有害干扰发生概率。这显然会对最终的结果产生影响。

引入了带宽校正系数，以考虑有源系统的必要带宽和无源系统的参考带宽之间的差别。

10.4.1.1 FSS系统类型1

分别考虑了位于10°、15°、20°、25°和30°经度位置的五个FSS类型1 GSO卫星：相关的地面站位于同样的经度和北纬50°。结果见表10-7和图10-4。在2 000 000平方公里的地域内，该结果是有效的。

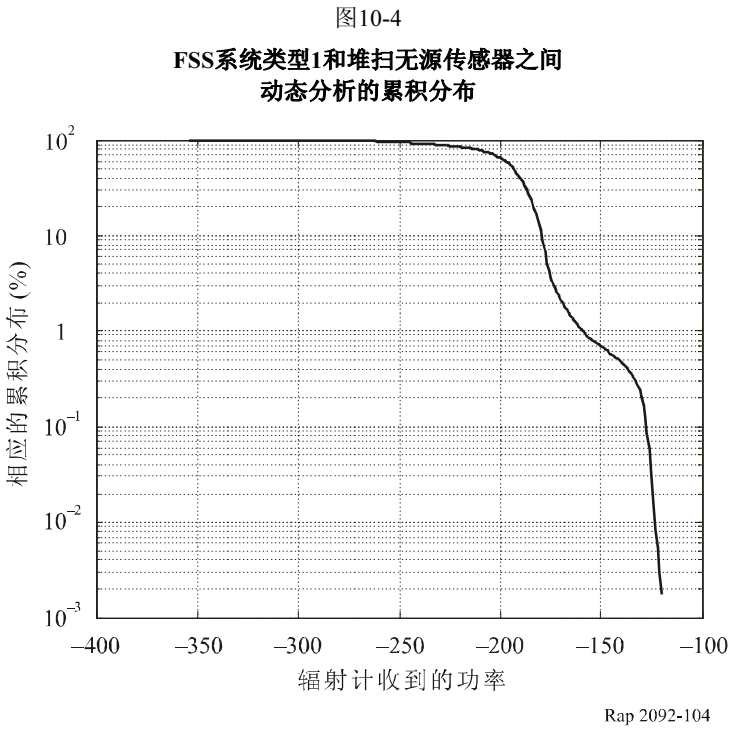


表10-7  
FSS系统类型1和EESS的动态分析

累积分布 (%)	21	3	1.5	0.01	0.001
推扫：EESS接收的相应干扰功率 (dB(W/200 MHz))	-184	-173	-166	-123	-120

在此情况下，带宽校正系数为0 dB。

对于0.01%的累积分布，相当于干扰门限可以超过的时间百分比或区域，表10-8中所示的干扰功率为-123 dBW，该值比干扰门限高43 dB。

因此，对于一个单个的有源GSO系统，在无源频带内为未来研究而采纳的临时最大值为：

$$e.i.r.p. = 37 \text{ dBW} \quad (80 \text{ dBW} - 43 \text{ dB})$$

因为无源频带的参考带宽为200 MHz且天线增益为68.2 dBi，在50.2-50.4 GHz无源频带内的功率不应超过-31.2 dBW/200 MHz参考带宽。

#### 10.4.1.2 FSS系统类型2

目前未考虑。

#### 10.4.1.3 FSS系统类型3

分别考虑了位于10°、15°、20°、25°和30°经度位置的五个FSS类型3 GSO卫星：相关的地面站位于同样的经度和北纬50°。结果见表10-8和图10-5。在2 000 000平方公里的地域内，该结果是有效的。

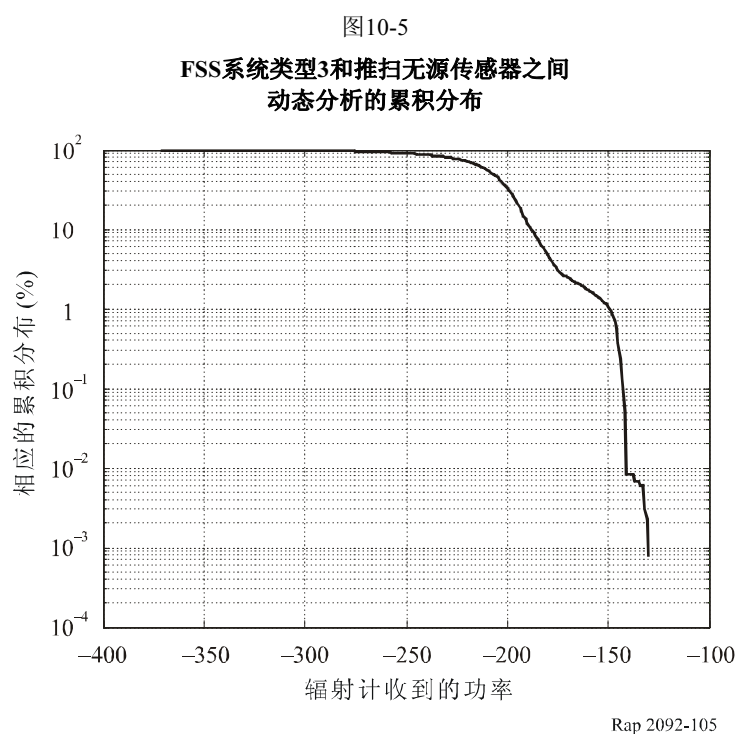


表10-8

FSS系统类型3和EESS的动态分析

累积分布 (%)	40	2	1	0.01	0.0007
推扫：EESS接收的相应干扰功率 (dB(W/492 MHz))	-203	-166	-150	-141	-130

在此情况下，带宽校正系数为4 dB。

对于0.01%的累积分布，相当于干扰门限可以超过的时间百分比或区域，表10-8中所示的干扰功率为 $-141 - 4 = -145 \text{ dBW}$ ，该值比干扰门限高21 dB。

因此，对于一个单个的有源GSO系统，在无源频带内为未来研究而采纳的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 50.9 \text{ dBW} \quad (71.9 \text{ dBW} - 21 \text{ dB})$$

因为无源频带的参考带宽为200 MHz且天线增益为60.9 dBi，在50.2-50.4 GHz无源频带内的功率不应超过-10 dBW/200 MHz参考带宽。

10.4.1.4 FSS系统类型4

分别考虑了位于10°、15°、20°、25°和30°经度位置的五个FSS类型4 GSO卫星：相关的地面站位于同样的经度和北纬50°。结果见表10-9和图10-6。在2 000 000平方公里的地域内，该结果是有效的。

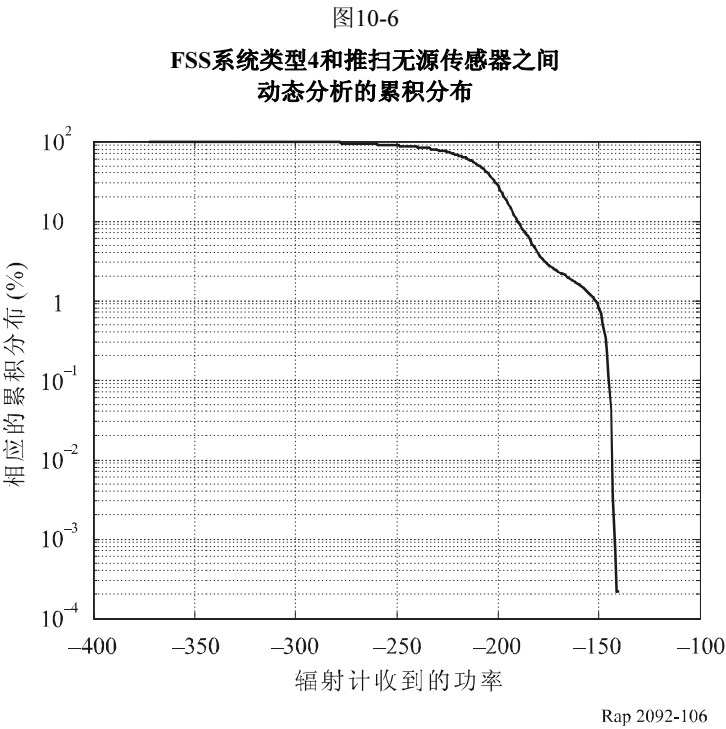


表10-9  
FSS系统类型4和EESS的动态分析

累积分布 (%)	40	10	2	1	0.01	0.0002
推扫：EESS接收的相应干扰功率 (dB(W/252 MHz))	-205	-91	-166	-152	-142	-140

在此情况下，带宽校正系数为1 dB。

对于0.01%的累积分布，相当于干扰门限可以超过的时间百分比或区域，表10-9中所示的干扰功率为-142 - 1 = -143 dBW，该值比干扰门限高23 dB。

因此，对于一个单个的有源GSO系统，在无源频带内为未来研究而采纳的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 44.6 \text{ dBW} \quad (67.6 \text{ dBW} - 23 \text{ dB})$$

因为无源频带的参考带宽为200 MHz且天线增益为55.8 dBi，在50.2-50.4 GHz无源频带内的功率不应超过-11.2 dBW/200 MHz参考带宽。

#### 10.4.1.5 non-GSO系统的动态计算

考虑了一个non-GSO系统，即MEOSAT系统。原先计划在该系统变成全球系统之前，其地球站数量是不限的：因本仿真起见，设定了6个地面台站。表10-6描述了对应的FSS系统特性，其每个地球站的e.i.r.p.为88 dBW。

结果见表10-10和图10-7。这些结果在2 000 000平方公里地域内是有效的。

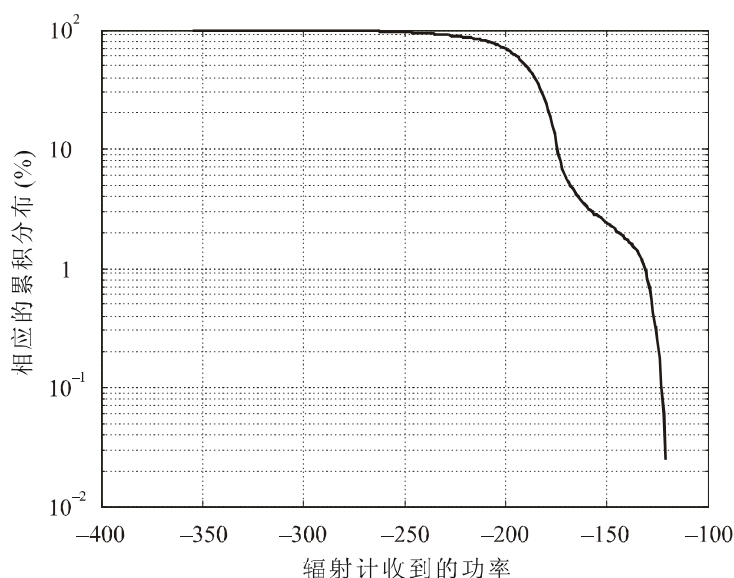
表10-10

non-GSO MEOSAT系统与EESS的动态分析

累积分布 (%)	10	1	0.1	0.01
推扫：EESS接收的相应干扰功率 (dB(W/500 MHz))	-277	-174	-124	-121

图10-7

non-GSO MEOSAT系统与推扫无源  
传感器之间的动态分析累积分布结果



Rap 2092-107

在此情况下，带宽校正系数为4 dB。

对于0.01%的累积分布，相当于干扰门限可以超过的时间百分比或区域，表10-10中所示的干扰功率为 $-121 - 4 = -125 \text{ dBW}$ ，该值比干扰门限高41 dB。

因此，对于一个单个的有源non-GSO系统，在无源频带内为未来研究而采纳的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 43 \text{ dBW} \quad (84 \text{ dBW} - 41 \text{ dB})$$

因为无源频带的参考带宽为200 MHz且天线增益为55.8 dBi，在50.2-50.4 GHz无源频带内的功率不应超过-23 dBW/200 MHz参考带宽。

10.4.1.6 干扰衰减的评估

表10-11显示了通过前面仿真所获得的各种功率电平和ITU-R SM.1541建议书的使用以及依照该方法的填充系数（特别是在附录中）。

表10-11  
计算几种情况下各种动态分析所获得的功率电平的分析

集总情况	0.01%累积分布的干扰功率 (dBW)	EESS门限 超额	无源频带内 临时最大e.i.r.p. (dB(W/200 MHz))	无源频带内 临时最大功率 (dB(W/200 MHz))	根据评估方法， 采用ITU-R SM.1541建议书获 得的功率 (dB(W/200 MHz))	采用ITU-R SM.1541建议书获 得的最大功率和 填充系数（见评 估方法） (dB(W/200 MHz))
GSO FSS 类型1	-123	43	37	-31.2	3.8	-11.2
GSO FSS 类型2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
GSO FSS 类型3	-145	21	50.9	-10	6	-9
GSO FSS 类型4	-143	23	44.6	-11.2	4.8	-10.2
non-GSO FSS (Mosat)	-125	41	43	-23	13	-2

用来计算最大可获得功率的方法综合使用了ITU-R SM.1541建议书和填充系数。已确定ITU-R SM.1541建议书中包含的掩模过高估计了带外功率；即使同时采用了ITU-R SM.1541建议书和填充系数，情况依然如此。预计综合使用如 $(\sin x/x)^2$ 等频谱形状和第10.2.4.2段中公式(1)为特征的调制后滤波器可大大改善占用性状况（详情见第2段）。

10.4.2 第2号动态仿真研究

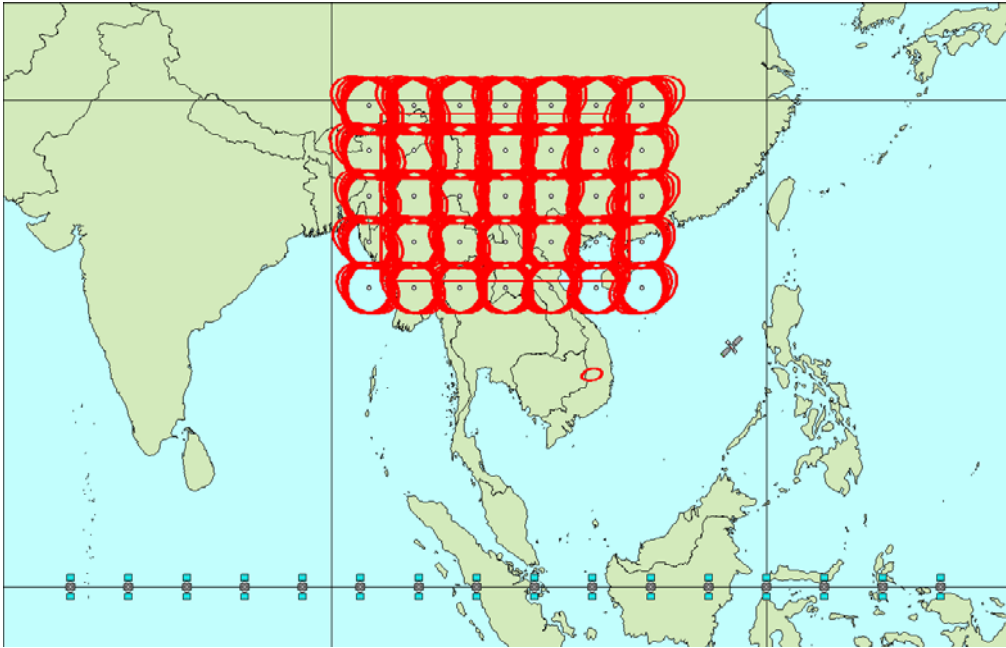
ITU-R RS.1029-2建议书详细描述了该频带内无源传感器在2 000 000平方公里测量区域内在可能超越这些数值的百分比方面可允许的干扰电平。为进行干扰无源传感器的动态分析，需要一个FSS上行链路部署模型来代表无源传感器在2 000 000平方公里的区域进行测量时的干扰源。

许多在这一部分频谱内工作的FSS系统可能被设计为通过各种类型的上行地球站向大量用户提供宽带业务，这些上行地球站以代表了一系列容量要求的各种天线口径和e.i.r.p.为特征。为制定47.2–50.2 GHz频带内这样系统的可能部署模型，研究了ITU-R在线卫星网络列表所包含的卫星登记资料，以制定一个覆盖亚洲的低纬度FSS部署模型和一个覆盖欧洲的高纬度地区FSS部署模型。这两个区域的特点在于自2000年初起，即存在着大量的卫星协调请求。为开展动态仿真起见，亚洲测量区域定义为地表上北纬18.84°和北纬29.16°的连续纬度

线以及东经93.43°和东经110.57°连续经度线所界定的2 000 000平方公里区域，其中心为北纬45°和东经105°。欧洲无源传感器测量区域定义为北纬38.66°和53.34°连续纬度线以及东经9.06°和东经24.94°连续经度线所界定的地球表面，其中心为北纬46°和东经17°。图10-8和图10-9显示了这些无源传感器测量区域。

图10-8

亚洲EESS测量区域和FSS部署模型

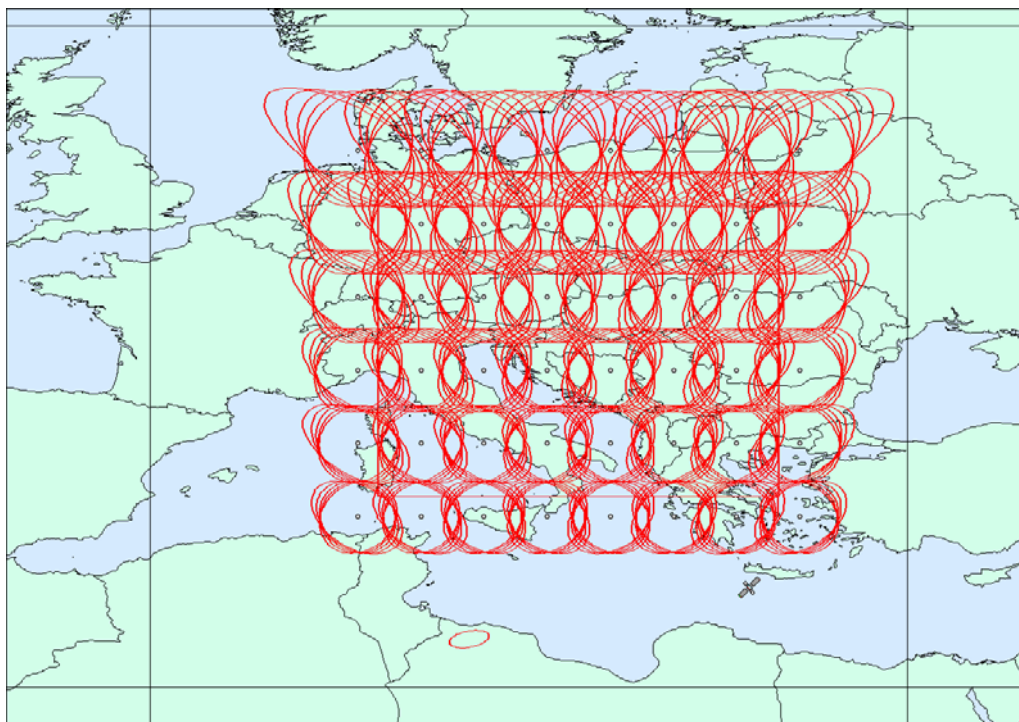


Rap 2092-108



图10-9

欧洲EESS测量区域和FSS部署模型



Rap 2092-109

为判断可在该无源传感器测量区域内或紧靠其外侧的范围内工作的上行地球站的数量，假设该测量区域为一个FSS卫星的多个略有重叠的点波束所覆盖。对一个ITU-R卫星网络资料样例进行的研究表明，一个50 dBi左右的FSS波束增益可能是比较典型的取值，这对应于 $0.5^\circ$ 左右的 $-3$  dB波束宽度。如图10-8和图10-9所示亚洲测量区可由35个点波束所覆盖，而欧洲测量区可由48个点波束所覆盖。

位于东经 $72^\circ$ 和 $132^\circ$ 之间GSO孤线上的GSO FSS卫星可在亚洲测量区提供大于 $35^\circ$ 的最小仰角，而位于西经 $1^\circ$ 和东经 $35^\circ$ 之间GSO孤线上的卫星可在欧洲测量区提供大于 $25^\circ$ 的最小仰角。如果覆盖同一服务区的相应卫星之间没有极化隔离，并考虑卫星之间可能的不均一性，在该FSS部署模型中假设了 $4^\circ$ 轨道间隔。由于在重叠卫星波束中通常无法进行同信道的传输，假设在该模型中，仅在每一颗FSS卫星一半的点波束的最高频率卫星信道（即最靠近EESS频带边缘的部分）进行上行发射。

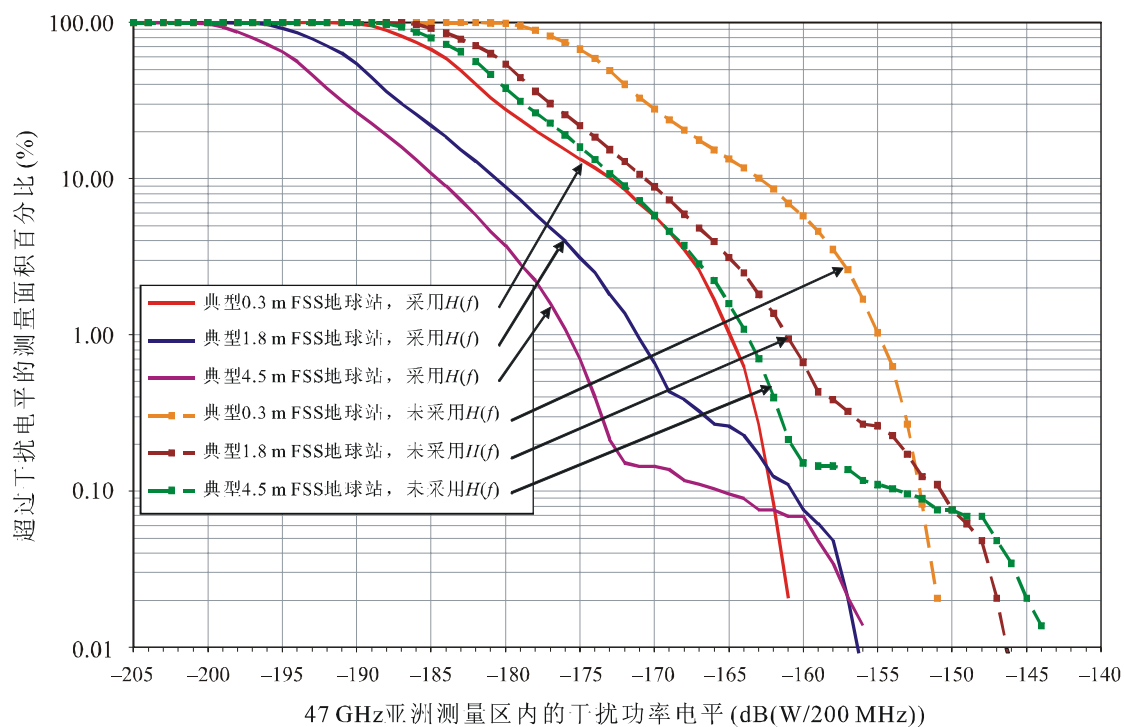
假设一个FSS上行地球站位于每一个波束的中心，且FSS上行地球站和接收卫星的组对方式避免了邻近波束位置的地球站指向同一颗卫星。由此在亚洲测量区产生了17或18个地球站，在欧洲测量区产生了24个地球站，分布在所示的服务区内，在最靠近无源传感器频带的FSS频率信道中向任何一个FSS卫星位置进行发射。该模型假设每一个卫星波束的指向是固定的。如果FSS卫星采用了跳波束技术，则需要修改该仿真模型且得出的干扰CDF有可能与以下所述的内容差异很大。



对于图10-8和图10-9所示的宽带FSS部署模型，当无源传感器可以在测量区抽取样本点时，在为期16天的仿真运行中以200 ms的步长进行了仿真，以制定CDF。图10-10和图10-11显示了50.2-50.4 GHz频带内FSS上行对无源传感器干扰的CDF。

图10-10

亚洲FSS部署模型的干扰CDF



Rap 2092-1010

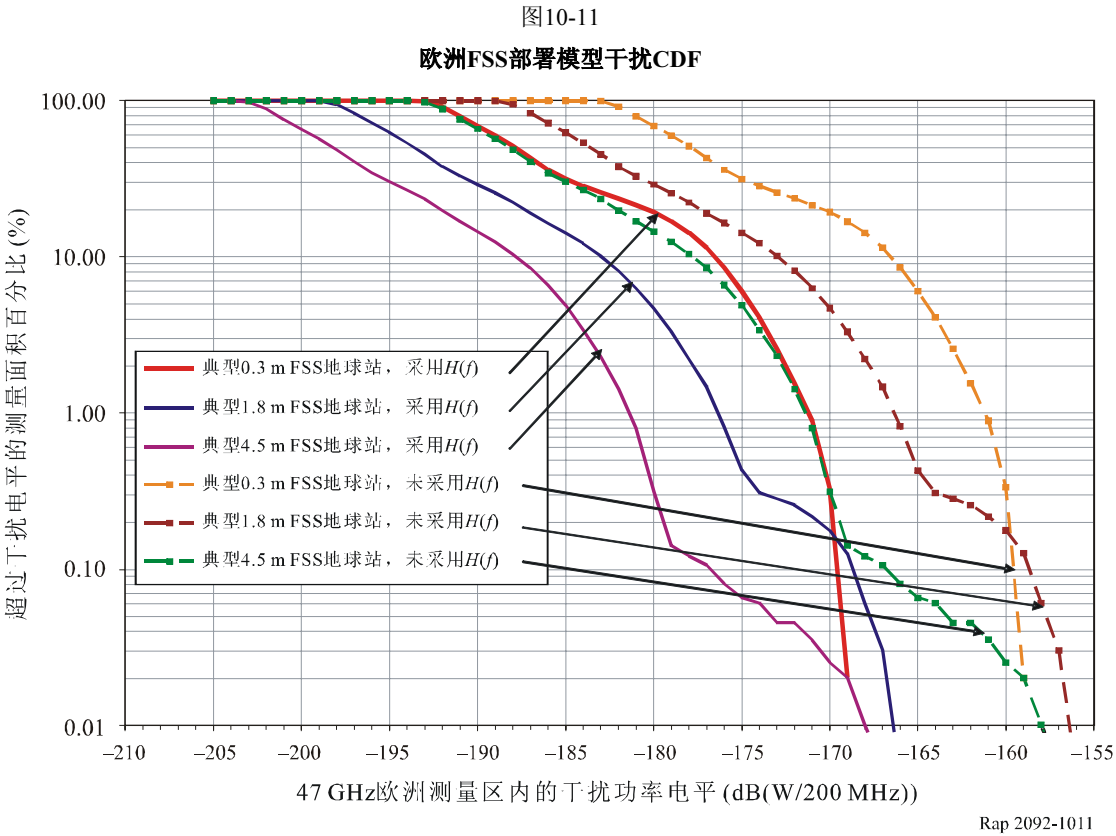


表10-12和表10-13比较了假设上行传输没有调制后滤波以及调制后滤波可获得40 dB/十分位衰减的情况下采用ITU-R RS.1029-2建议书所述的现有无源传感器可允许干扰电平的这些仿真结果。

表10-12

仿真结果的分析（无调制后滤波）

FSS上行地球站类型	亚洲测量区			欧洲测量区		
	4.5米	1.8米	0.3米	4.5米	1.8米	0.3米
	高容量	中容量	低容量	高容量	中容量	低容量
假设的无用发射e.i.r.p. (dB(W/200 MHz)), 未 采用调制后滤波	53.9	48.4	38.2	53.9	48.4	38.2
超过0.01%面积的干扰 电平 (dB(W/200 MHz))	-143	-146.5	-150.5	-158	-156.3	-159
可允许干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-166	-166	-166	-166	-166	-166

表10-12 (续)

FSS上行地球站类型	亚洲测量区			欧洲测量区		
	4.5米	1.8米	0.3米	4.5米	1.8米	0.3米
	高容量	中容量	低容量	高容量	中容量	低容量
可允许干扰电平的超额值 (dB)	23	19.5	15.5	8	9.7	7
可允许无用发射e.i.r.p. (dB(W/200 MHz))	30.9	28.9	22.7	45.9	38.7	31.2

表10-13

## 仿真结果分析（采用调制后滤波）

FSS上行链路地球站类型	亚洲测量区			欧洲测量区		
	4.5M	1.8M	0.3M	4.5M	1.8M	0.3M
	高容量	中容量	低容量	高容量	中容量	低容量
假设的无用发射e.i.r.p. (dB(W/200 MHz)), 采用调制后滤波	41.7	38.4	28.5	41.7	38.4	28.5
超过0.01%面积的干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-155	-156.3	-160.5	-168	-166.3	-169
可允许干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-166	-166	-166	-166	-166	-166
可允许干扰电平的超额值 (dB)	11	9.7	5.5	-2	-0.3	-3
可允许无用发射e.i.r.p. (dB(W/200 MHz))	30.7	28.7	23	43.7	38.7	31.5

对于亚洲测量区，还进行了额外的仿真运行，以研究与测量区内地球站通信的FSS卫星数量和卫星波束之间频率复用模式的部署模型中的假设对结果的灵敏度。特别地，还进行了16、8、4和2颗卫星以及卫星波束之间1:2和1:4频率复用模式等情况的运行。由此产生的CDF表示在图10-12和图10-13中，满足ITU-R RS.1029-2建议书中可允许干扰标准的无用发射e.i.r.p.电平见表10-14。

应注意到，在这些仿真中采用的频率复用和假设卫星的数量计划用来定义在2 000 000平方公里测量区内分布不同数量上行地球站的仿真模型，这些地球站被假设在临近EESS（无源）频带的FSS频带边缘最接近的卫星信道内操作。尽管这些参数取自于国际电联协调资料，这些仿真模型代表了该频带内上行地球站潜在部署密度的上限，在实践中不太可能达到更高的密度（特别是基于1:2频率复用的那些密度）。但是，应注意到，尽管地球站部署密度相差很大（从每2 000 000平方公里的24个至280个地球站），对于表10-14中任何一个假设的上行配置，可允许无用发射e.i.r.p.变化只有1.8至3.3 dB。

图10-12a

大容量FSS上行干扰CDF (1:2复用)

(进入AMSU (1:2复用) 亚洲测量区内的47 GHz FSS干扰)

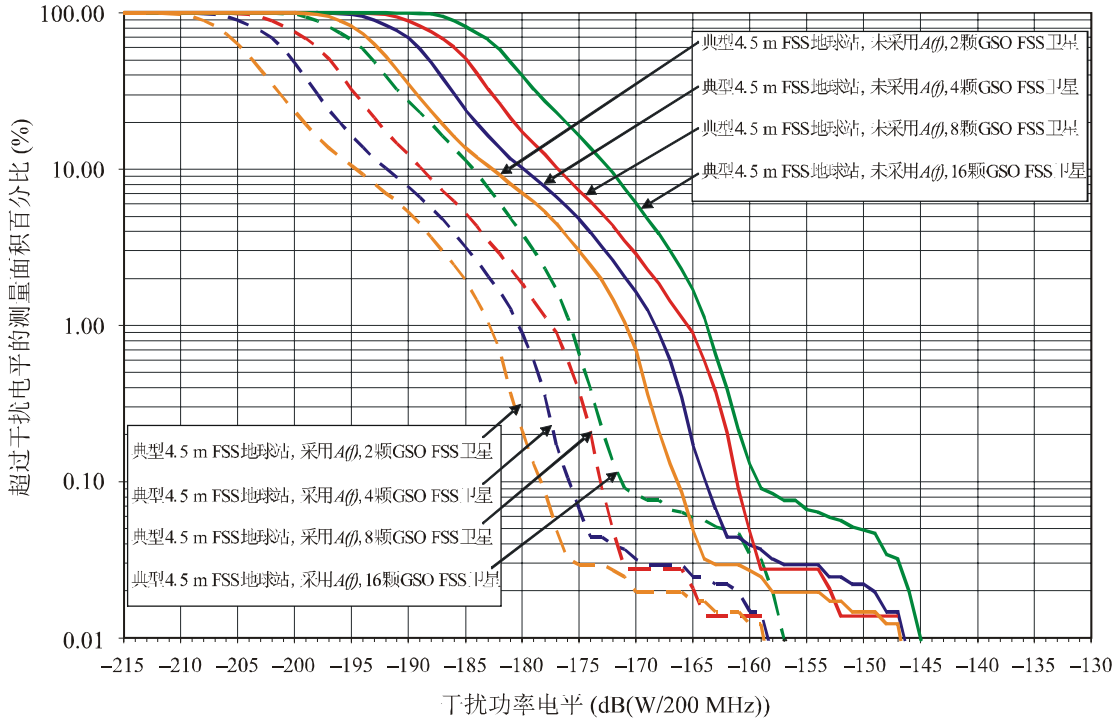
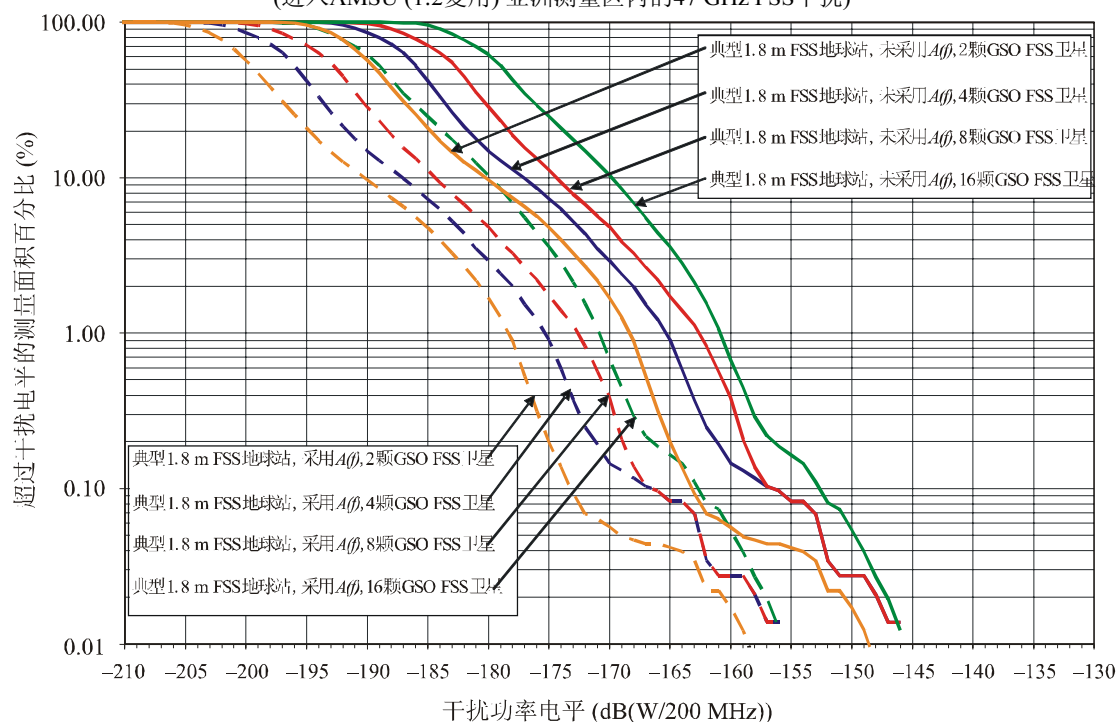


图10-12b

## 中容量FSS上行干扰CDF (1:2复用)

(进入AMSU (1:2复用) 亚洲测量区内的47 GHz FSS干扰)

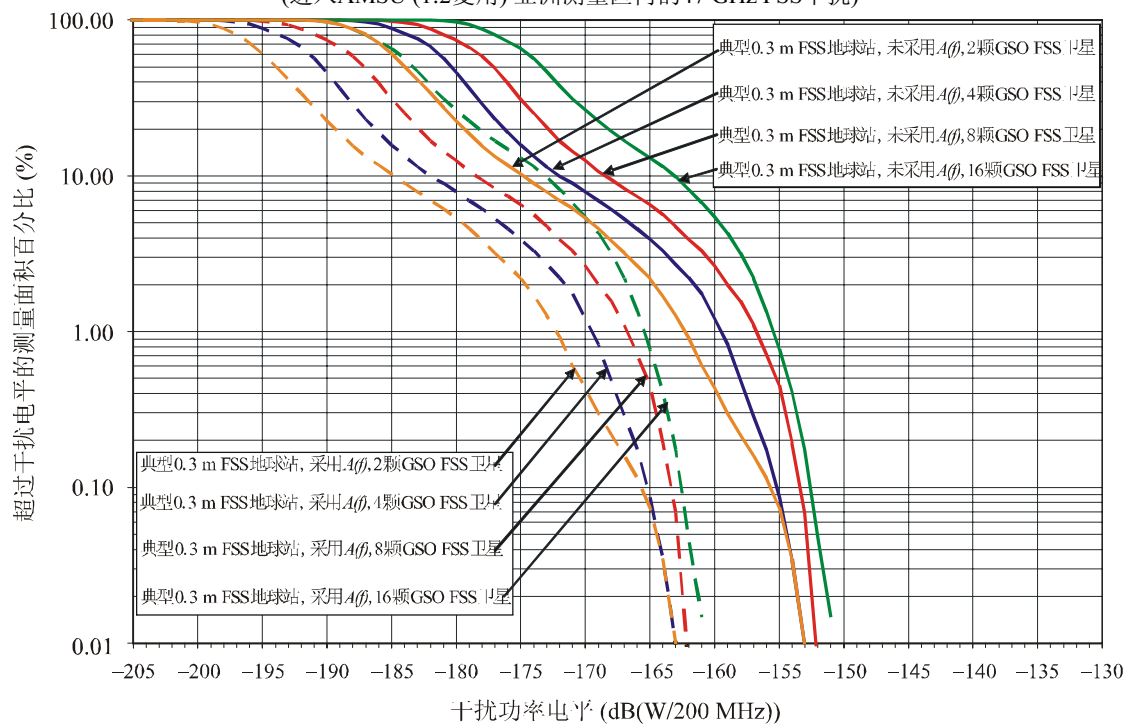


Rap 2092-1012b

图10-12c

## 低容量FSS上行干扰CDF (1:2复用)

(进入AMSU (1:2复用) 亚洲测量区内的47 GHz FSS干扰)

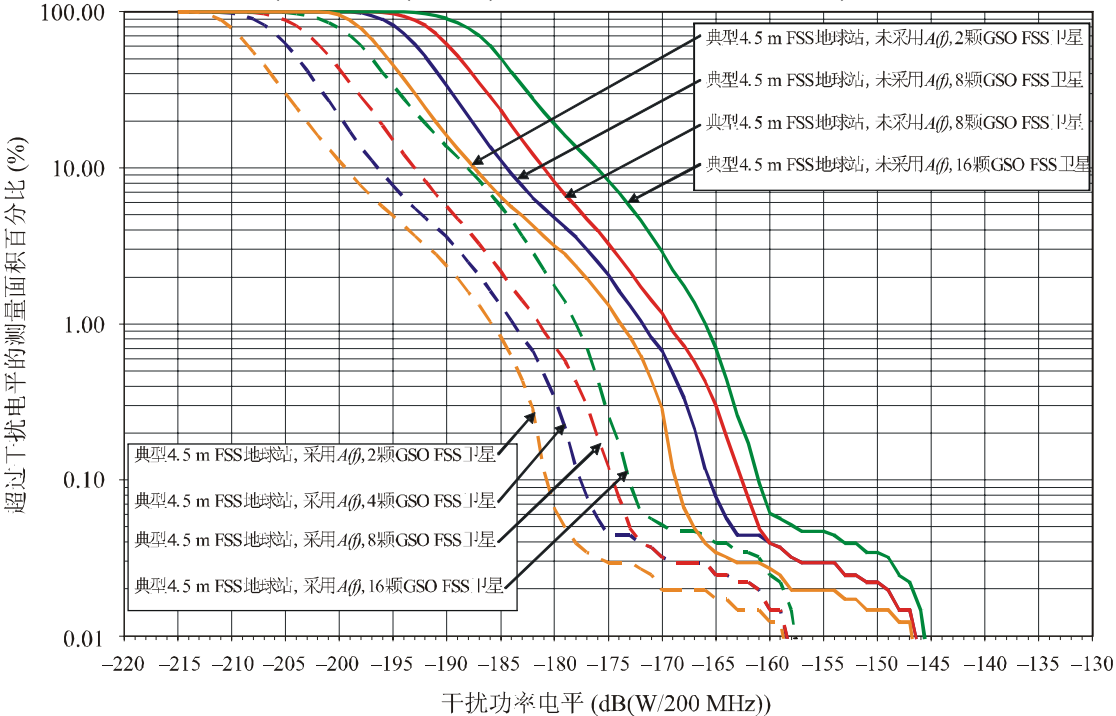


Rap 2092-1012c

图10-13a

大容量FSS上行干扰CDF (1:4复用)

(进入AMSU (1:4复用) 亚洲测量区内的47 GHz FSS干扰)

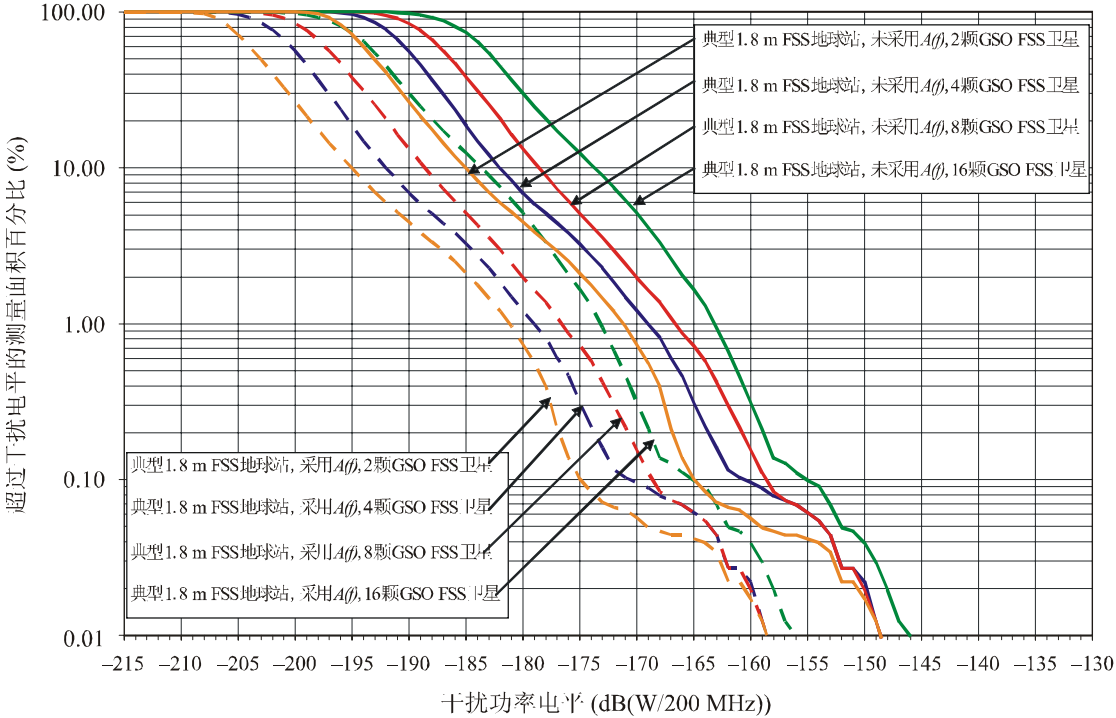


Rap 2092-1013a

图10-13b

中容量FSS上行干扰CDF (1:4复用)

(进入AMSU (1:4复用) 亚洲测量区内的47 GHz FSS干扰)

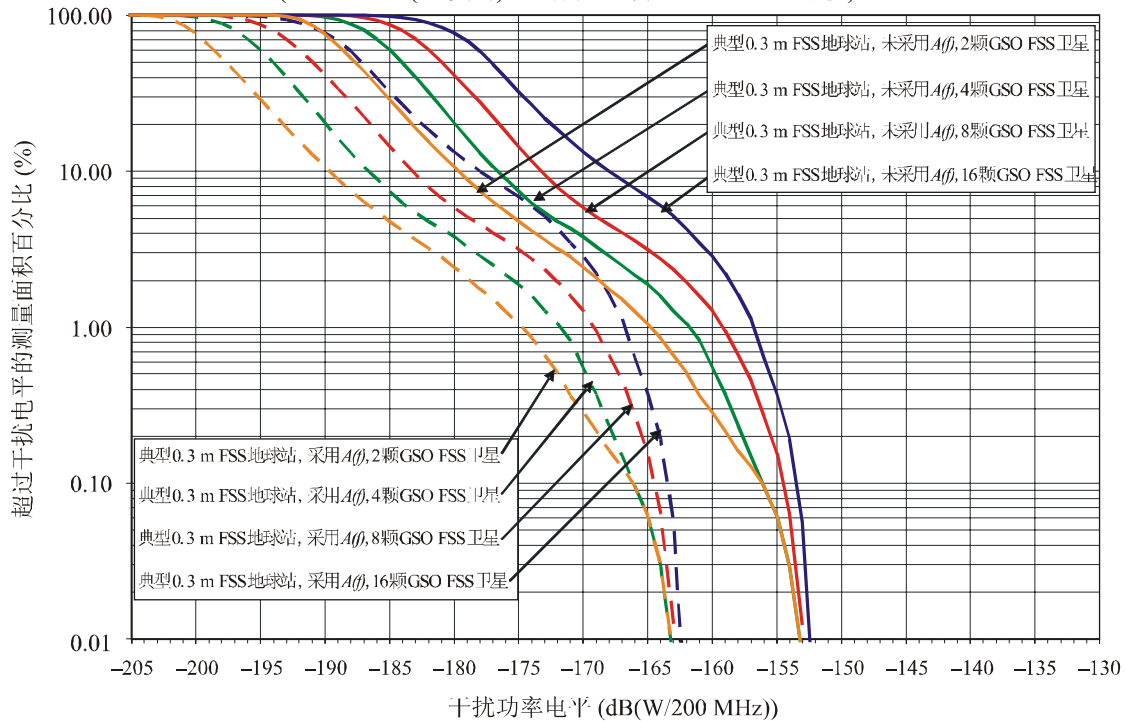


Rap 2092-1013b

图10-13c

## 低容量FSS上行干扰CDF (1:4复用)

(进入AMSU (1:4复用) 亚洲测量区内的47 GHz FSS干扰)



Rap 2092-1013c

表10-14

## 各种上行假设可允许无用发射e.i.r.p.电平

上行地球站时可允许无用发射 e.i.r.p.电平 (dB(W/200 MHz))	1:4复用系数				1:2复用系数			
	16个FSS 卫星	8个FSS 卫星	4个FSS 卫星	2个FSS 卫星	16个FSS 卫星	8个FSS 卫星	4个FSS 卫星	2个FSS 卫星
典型的0.3米FSS地球站, 采用 $A(f)$	24.9	25.5	25.7	25.7	23.1	24.7	25.5	25.5
典型的1.8米FSS地球站, 采用 $A(f)$	28.5	31.2	31.2	31.2	27.9	28.2	28.2	30.9
典型的4.5米FSS地球站, 采用 $A(f)$	33.5	34.2	34.2	34.5	32.7	34.2	34.2	34.5
典型的0.3米FSS地球站, 未采用 $A(f)$	24.7	25.2	25.4	25.4	22.9	24.4	25.2	25.2
典型的1.8米FSS地球站, 未采用 $A(f)$	28.5	31.1	31.1	31.1	27.9	28.2	28.2	31.0
典型的4.5米FSS地球站, 未采用 $A(f)$	33.5	34.4	34.4	34.7	32.9	34.4	34.4	34.7

表10-14中显示的一些研究结果基于非常保守的假设，如每一颗卫星在2 000 000平方公里内拥有最大可能数量的波束，两次频率复用，多达16颗卫星提供同样的覆盖区域等。在实际中，FSS卫星系统在这样的情况下无法进行操作。为部署其他类型的FSS地球站，允许的无用发射电平可比表10-14中所示的数值要高。

## **10.5 减扰技术**

### **10.5.1 EESS (无源)**

现有和未来无源传感器融合了在卫星收到的信号，无法区别自然发射和人工发射。还没有经过验证的技术可用于识别被干扰破坏的无源传感器测量并在天气预报或其他利用该数据的科学研究中消除这样被破坏的测量的影响。

### **10.5.2 FSS**

绝大多数FSS系统正在或计划利用预调制和调制后滤波器进行操作。所有FSS地球站都采用预调制滤波器且对于仿真研究中涉及的一些FSS系统而言，提供了关于调制后滤波器使用情况的信息。当没有这样的信息时，采用第2段方法中一般模型来决定对其他情况下落入EESS（无源）频带内的无用发射采用多大的衰减。

### **10.5.3 可能影响**

#### **10.5.3.1 EESS (无源)**

如果干扰超出了可允许电平，就存在着数个地区的测量可能被破坏的风险，这可能影响到天气预报的可靠性或其他采用传感器数据产品的科学应用。

#### **10.5.3.2 FSS**

FSS系统正计划采用预调制和调制后滤波器，在某些情况下这些滤波器在无用发射衰减方面更为有效。也应注意到，也可能出现没有额外滤波或采取其他干扰抑制技术的可能。因此，FSS业务的未来发展在该频带将不会受到限制。

## **10.6 研究结果**

### **10.6.1 摘要**

考虑了两个动态仿真来判定47.2-50.2 GHz频带内FSS上行无用发射对50.2-50.4 GHz频带内EESS（无源）接收机无用发射的预期电平。每一个研究都确定了FSS部署模型和仿真研究中假设的参数集总可允许无源传感器干扰电平不超过ITU-R RS.1029-2建议书时的无用发射功率电平。结果摘要见表10-15。



表10-15  
动态仿真结果摘要

无源传感器	FSS系统	FSS上行部署	在无源频带内的最大无用功率 (dB(W/200 MHz))	无用发射功率比 <sup>(1)</sup> (dB)	可用的无用发射功率降低系数 <sup>(2)</sup>
推扫式	GSO FSS 类型1	5个FSS上行, 5个GSO	-31.2	43	23 dB 采用ITU-R SM.1541建议书和符合方法的填充系数 <sup>(3)</sup>
推扫式	GSO FSS 类型3	5个FSS上行, 5个GSO	-10	21	21 dB 采用ITU-R SM.1541建议书和符合方法的填充系数 <sup>(3)</sup>
推扫式	GSO FSS 类型4	5个FSS上行, 5个GSO	-11.2	23	22 dB 采用ITU-R SM.1541建议书和符合方法的填充系数 <sup>(3)</sup>
推扫式	non-GSO FSS MEOSAT	6个FSS上行, 8个non-GSO (MEO)	-23	41	20 dB 采用ITU-R SM.1541建议书和符合方法的填充系数 <sup>(3)</sup>
AMSU	西经1°和35°之间的10颗GSO卫星	在欧洲测量区2 000 000平方公里内分布的每一颗GSO卫星有24个FSS上行(总共240个)	-10.7/-18.8/-19.5, 取决于地球站类型	31.2/38.7/45.9 23.2/23.2/22.2, 取决于地球站类型	25.9/23.5/26.4 dB, 频谱形状为 $\sin^2 x/x^2$ 并采用 $A(f)$ 调制后滤波
					16.2/13.5/14.2 dB, 频谱形状为 $\sin^2 x/x^2$
AMSU	东经72°到132°之间的16颗GSO卫星	亚洲测量区2 000 000平方公里内分布的每一颗GSO卫星有17或18个FSS上行(总共280个)	-19.2/-28.6/-34.5, 取决于地球站类型	22.7/28.9/30.9, 取决于地球站类型	25.9/23.5/26.4, 频谱形状为 $\sin^2 x/x^2$ 并采用 $A(f)$ 调制后滤波
					16.2/13.5/14.2, 频谱形状为 $\sin^2 x/x^2$

<sup>(1)</sup> 全部发射功率和无源频带无用发射功率的比值。

<sup>(2)</sup> 对于推扫式研究, 数值来源于方法中的公式; 对于AMSU研究, 数值来源于表10-6。

<sup>(3)</sup> 用来计算最大可获得功率的方法基于ITU-R SM.1541建议书和填充系数的综合使用。已经证实, ITU-R SM.1541建议书中包含的掩模过高估计了带外功率; 即使综合采用了ITU-R SM.1541建议书和填充系数, 情况依然如此。预计综合采用 $(\sin x/x)^2$ 等频谱形状和第10.2.4.2段中的公式(1)等调制后滤波将大大改善兼容状况(详情亦见第2段)。

进行了两组动态仿真，以评估FSS上行无用发射可能对无源传感器产生的干扰电平。一组对现有无源传感器干扰的动态仿真得出如下结论：如果参数与最近ITU-R卫星网络资料相似的、广泛部署的大量FSS地球站的无用发射功率超过 $-34.5$ 至 $-10.7$  dB(W/200 MHz)，那么FSS可能会超过EESS（无源）集总可允许干扰标准。在无用发射e.i.r.p.方面，该范围是 $22.7$ 至 $45.9$  dB(W/200 MHz)。

另一组采用未来无源传感器和一些宽带宽地球站的动态仿真得出以下结论：无源频带内，单个GSO或non-GSO FSS系统，对于 $55$ 至 $70$  dBi的典型地球站天线增益，如果馈送到天线口的发射功率限制在 $-31.2$ 至 $-10$  dB(W/200 MHz)之间，在将保护 $50.2$ - $50.4$  GHz EECS（无源）频带不受在 $47.2$ - $50.2$  GHz频带内操作的FSS上行产生的无用发射的干扰。

### 10.6.2 结论

一项研究代表了FSS上行部署密度的上限，在仿真中假设的最高密度不太可能在实践中获得。第2项研究与其他FSS频带内获得的部署密度相比，假设了低密度的上行地球站，其风险是无用发射对EECS（无源）的干扰电平可能比研究中确定的那些干扰电平更高。第一项研究得出结论，无用发射FSS地球站发射 $-20$ 至 $-10$  dB(W/200 MHz)之间的功率密度，对一些FS部署模型而言，将产生超过集总可允许EECS（无源）标准的干扰电平，但仍可使EECS（无源）传感器在可接受的范围内执行其任务。这些FSS地球站无用发射电平可通过综合采用频谱行动和调制后滤波获得。

第二项研究得出结论，考虑到不同仿真及其对应衰减评估的结果，将 $47.2$ - $50.2$  GHz频带内FSS上行无用发射功率电平在 $50.2$ - $50.4$  GHz频带内在天线口的无用发射功率电平限制为 $-20$  dB(W/200)MHz，是获得兼容性所必需的。应注意到，本研究中考虑的FSS系统可以满足所建议的无用发射电平。

## 11 在50.2-50.4 GHz频带内工作的EECS（无源）系统与在50.4-51.4 GHz频带内工作的FSS（地对空）业务系统之间的兼容性分析

### 11.1 EECS（无源）

#### 11.1.1 划分的频带

与 $50.2$ - $50.4$  GHz EECS无源频带邻近的划分见表11-1。应注意到， $50.2$ - $50.4$  GHz频带适用《无线电规则》第5.340款且第5.340.1款也同样适用。

表11-1

邻近频带的划分

无源频带	划分频带上部的业务
50.2-50.4 GHz	50.4-51.4 GHz
卫星地球探测（无源） 空间研究（无源）  5.340 5.555A	固定 卫星固定 （地对空） 移动 卫星移动（地对空）

### 11.1.2 应用

该频带是50 GHz和60 GHz之间，共同用来提供大气三维温度曲线图的数个频带中的一个。50.2至50.4 GHz的频带是可用来测量地球表面发射的“窗口频道”。它不仅用于50-60 GHz范围内氧气温度测量的校准，还用于校准23.8 GHz附近的水汽测量。

这些测量为数值天气预报提供了数据。该模型每隔6小时就需要输入数据并用于短期（6到48小时）细网格天气预报（10公里或更少）。

### 11.1.3 要求的保护标准

ITU-R RS.1029-2建议书提供了卫星无源遥感的保护标准。EESS传感器从所有干扰源收到的可允许干扰功率在200 MHz参考带宽内为-166 dBW。根据ITU-R RS.1028-2建议书，数据可用率为99.99%，对应的测量区域为地球上2 000 000平方公里的正方形，除非另有规定。

### 11.1.4 工作特性

在本节中考虑了两种传感器设计。一种是如正在运行的AMSU-A传感器那样扫描天底的跨迹扫描仪。另一种是建议的，采用横跨其轨迹的多个固定波束的推扫式传感器。推扫式仪器是配置用来在与卫星速度向量垂直的平面内进行测量的天底扫描设备。应注意到，推扫式扫描仪代表了微波探测的未来发展方向，它具有优化积分时间的独特优势。表11-2提供了研究中的两种传感器的操作特性：AMSU-A和推扫式。推扫式的在轨配置见图11-1。

表11-2

天底传感器的参数

参数	AMSU-A	推扫式
扫描类型	机械式	电子式
主天线增益 (dBi)	36	45
-3 dB 的半功率波束宽度 (度)	3.3	1.1
跨轨迹的像素尺寸 (公里)	45	16
可用扫宽 (公里)	2 300	2 300
轨道	太阳同步极轨	太阳同步极轨
传感器高度 (公里)	850	850
倾斜 (度)	98.8	98.8
轨道周期 (分)	102	102
冷态标定天线增益 (dBi)	36	35
相对于卫星轨迹的冷态标定角 (度)	90	90
相对于天底方向的冷态标定角 (度)	83	83
反射器直径 (米)	0.28	0.9

AMSU传感器天线每8秒钟完成一次围绕其轴的旋转，该轴与卫星速度向量一致。传感器天线主波束指向旋转轴的直角方向，以便波束在每次扫描周期内经过卫星星下点。在该周期内，波束以200毫秒的时间步长经过天底±48.33°之间均匀分布的30个指向角，以进行测量。在8秒扫描周期的其余2秒内，进行温态和冷态标定。AMSU传感器的天线增益的辐射方向图见图11-2。



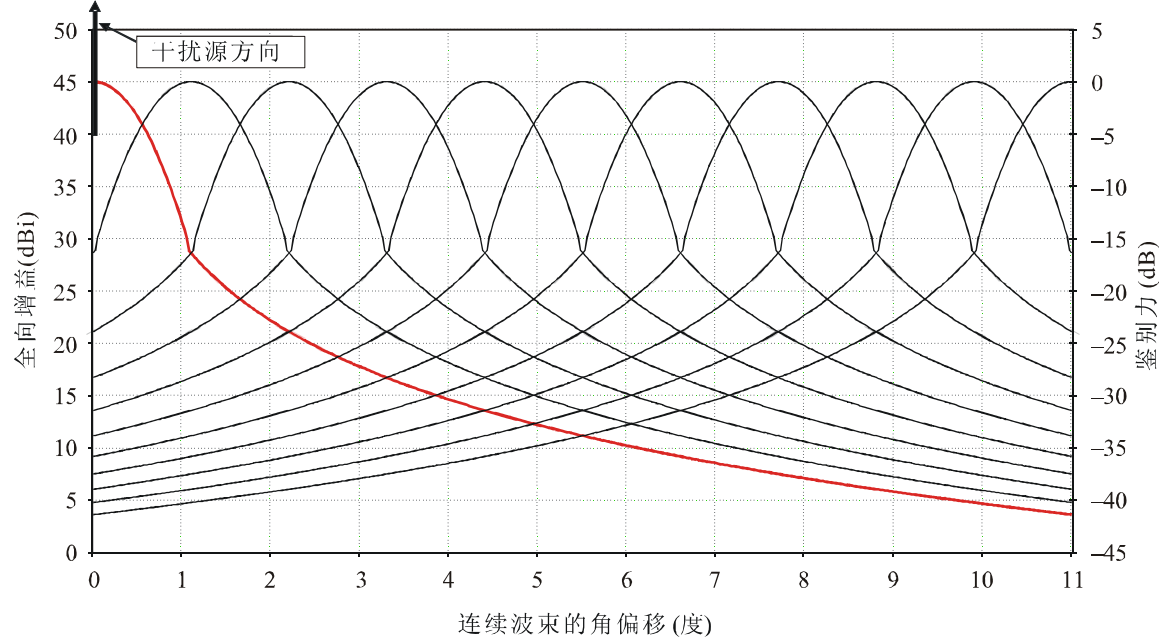
建议了一种在一个扫宽内拥有与AMSU A类似的固定波束的推扫式传感器。推扫式是一种没有活动部件的纯静态设备。推扫式的主要特征是在一个扫描线内同时获得所有像素，而不是像机械式扫描传感器（如AMSU类型）那样依次获得，从而可以大大增加积分时间和可得辐射分辨率。

推扫式天线系统由大约90个独立波束组成，其扇形复合模式涵盖了以卫星星下点为中心的100°跨迹角度。每一个波束全向增益为45 dBi，半功率波束宽度为1.1°。每一个波束的天线辐射方向图假设符合ITU-R F.1245-1建议书。图11-2表示了用来简化1号仿真模型中干扰计算的单个波束和复合模式的增益辐射方向图。该复合模式是沿着传感器跨迹轴的单个波束和沿着卫星飞行方向轴的单个波束模式的峰值增益的包络。沿着传感器跨迹轴一边的最先11个邻近波束的天线辐射方向图的微细结构见图11-3。

图11-3

复合推扫式天线辐射方向图的微细结构和隔离

(推扫式天底探测器：复合天线方向性图和鉴别力)  
(45 dBi增益，ITU-R F.1245建议书)



Rap 2092-113

相邻天线波束的隔离也见图11-3（图表的右轴）。将指向干扰源的天线波束作为参考波束（0 dB），表11-3给定了在参考波束每一边紧接相邻的10个波束的单个方向图所提供的隔离的数值。当考虑横跨无源传感器扫描平面的一个地球站所产生的干扰时，该参数非常重要。

表11-3

相邻天线波束之间的隔离

波束	参考	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
隔离 (dB)	0	-16.4	-23.9	-28.3	-31.4	-33.8	-35.8	-37.5	-38.3	-40.2	-41.4

由于所有的波束同时启动且相邻波束之间的隔离并不是有限的，其结果是根据其大小和几何配置的不同，干扰可以同时影响数个相邻波束。

涉及30 GHz附近有源和无源频带干扰分析的第8节表明推扫式天线的复合表现或详细的微细结构的使用是相当的。因此，出于简化的原因，建议在动态分析中采用推扫式天线的复合表现。

## 11.2 FSS

### 11.2.1 划分的发射频带

见表11-1。

### 11.2.2 应用

该章中考虑的有源业务为50.4-51.4 GHz频带内的FSS（地对空）。

### 11.2.3 无用发射频谱的表现

见第2段，特别是第2.3段中的技术附录。

### 11.2.4 发射机特性

#### 11.2.4.1 1号动态仿真研究中的上行地球站参数

1号动态仿真中假设的FSS特性见表11-4。在FSS中GSO和non-GSO卫星系统之间频率共用分析中考虑的卫星系统特性包括MSS的馈线链路。

表11-4

部署模型1中的GSO上行地球站特性

	FSS模型1 1号上行	FSS模型1 2号上行	FSS模型2
调制	QPSK	QPSK	QPSK
必要带宽 (MHz)	492	252	500
e.i.r.p. (dBW)	75.9	69.8	83.9
天线增益 (dBi)	60.9	55.8	64.8
参考天线辐射方向图	ITU-R S.465建议书	ITU-R S.465建议书	ITU-R S.465建议书
发射机功率 (dBW)	15	13.2	19.1

11.2.4.2 第2项动态仿真研究中的上行链路地球站

该仿真使用卫星协调申报中规定大量卫星和地球站参数中的典型地球站参数。转发器带宽为250至1,000 MHz，而卫星接收系统的噪声温度为650至1 100 K。如卫星登记资料所述，这些卫星网络中的上行链路地球站的直径为0.3至13米，发射带宽为103 kHz至830 MHz，上行链路C/N的幅度为5.7至20 dB。各发射的最大和最小功率电平亦千差万别，在某些情况下超过30 dB。在这些参数范围内，已综合挑选了对应于“小”、“中”和“高”容量地球站的参数并计算了位于测量区中心向最远卫星发射的地球站的晴朗天空发射功率电平（产生规定的C/N），假设卫星接收系统的噪声温度为800 K。表11-5显示出上述三种典型地球站的参数值和载波发射功率电平。

当FSS上行链路载波频率位于最靠近无源传感器频带的FSS频带边缘时，上述计算得出的上行链路发射功率将得到一个系数的校正，从而估算进入到50.2-50.4 GHz无源传感器频带内的无用发射功率量。该系数定义为受到干扰的接收机（如，无源传感器）带宽（通过整合适当频谱区域内过滤和非过滤信号数字得出）内无用发射功率与发射总功率的比。假设的频谱代表式包含一个用等同于规定带宽的符号速率  $(\sin(x)/x)^2$  QPSK发射频谱形状。在一些情况下，以下由调制后滤波造成的衰减亦考虑在无源传感器带宽内的无用发射功率的计算中：

$$A(f) = 40 \log_{10} |(f - f_c)/(f_c - 50.4)| + 8 \tag{1}$$

为无用发射功率进行的仿真是在仅有QPSK发射的  $(\sin(x)/x)^2$  频谱形状，而无调制后滤波及亦包含因调制后滤波造成的每十位40 dB衰减的情况下进行的。

表11-5  
FSS上行链路地球站参数

典型地球站	0.3 M	1.8 M	4.5	米
需要的C/N	15	18	18	dB
余量	0	0	0	
地球站天线增益	41.9	57.5	65.4	dBi
上行链路带宽	9.6	27	112	MHz
所需上行链路功率	12.5	4.4	2.7	dBW
转发器带宽	250	250	250	MHz
转发器中心频率	50 525	50 525	50 525	MHz
上行链路载波频率	50 410	50 415	50 460	MHz
无用发射功率，采用A(f)（在50.2-50.4 GHz内）	-13.7	-19.3	-23.7	dB(W/200 MHz)
无用发射系数，采用A(f)	-26.3	-23.7	-26.4	dB
无用发射e.i.r.p.，采用A(f)（在50.2-50.4 GHz内）	28.2	38.2	41.7	dB(W/200 MHz)



表11-5 (完)

无用发射功率, 采用/不采用 $A(f)$ (在50.2-50.4 GHz内)	-3.9	-9.1	-11.5	dB(W/200 MHz)
无用发射系数, 采用/不采用 $A(f)$	-16.5	-13.6	-14.2	dB
无用发射e.i.r.p., 采用/不采用 $A(f)$ (在50.2-50.4 GHz内)	38.0	48.4	53.9	dB(W/200 MHz)

### 11.3 干扰门限

干扰可能会同时来自于若干业务源。ITU-R RS.1029-2建议书列举的数值 (具体频带) 是无源传感器可接收各类干扰的最大可允许干扰电平。

本章分析了单一有源业务产生的干扰并使用了第11.1.3段规定的干扰门限标准。

### 11.4 干扰评估

开展动态仿真的目的是决定一个无源传感器在方圆2 000 000 km<sup>2</sup>测量区内采用同频操作时收到的无用功率电平的累积分布函数。所考虑的两项动态仿真研究涉及了多数地球站部署模式。

#### 11.4.1 第1项动态仿真研究

该动态仿真是为FSS系统的推扫型传感器进行的。上述动态仿真的时间增幅为500 ms。当累积分布函数稳定时, 仿真则中断。

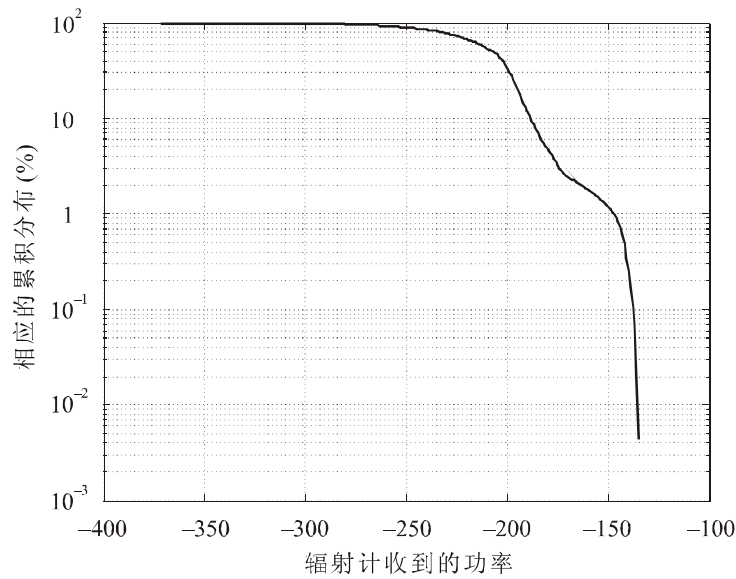
为考虑到有源系统必要带宽与无源系统参考带宽之间的差异, 引入了一个带宽纠正系数。

##### 11.4.1.1 使用部署模型1的FSS系统, 上行链路1

考虑到的五个GSO卫星FSS部署模型1, 上行链路1的经度分别为0°、5°、9°、13°和16°。相关地面站亦处于同样经度和北纬50°。结果见表11-6和图11-4。这些适用于涵盖欧洲的2 000 000 km<sup>2</sup>范围内。FSS系统的特性见表11-4, 各地球站的e.i.r.p.为75.9 dBW。

图11-4

FSS系统部署模型1、上行链路1和推扫型无源传感器之间动态分析产生的累积分布



Rap 2092-114

表11-6

FSS系统部署模型1，上行链路1和EESS之间的动态分析

累积分布 (%)	30	1	0.1	0.01	0.0004
推扫型：由EESS接收的相应的干扰功率 (dB(W/200 MHz))	-199	-148	-138	-136	-135

在此情况下，带宽校正系数为4 dB。

对于0.01%的累积分布，根据时间或区域比例，干扰门限可能被突破，表11-6所示的干扰功率为 $-136 - 4 = -140$  dBW，比干扰门限超出26 dB。

因此，进一步考虑的单一有源GSO系统无源频带内通过的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 45.9 \text{ dBW} \quad (71.9 \text{ dBW} - 26 \text{ dB})$$

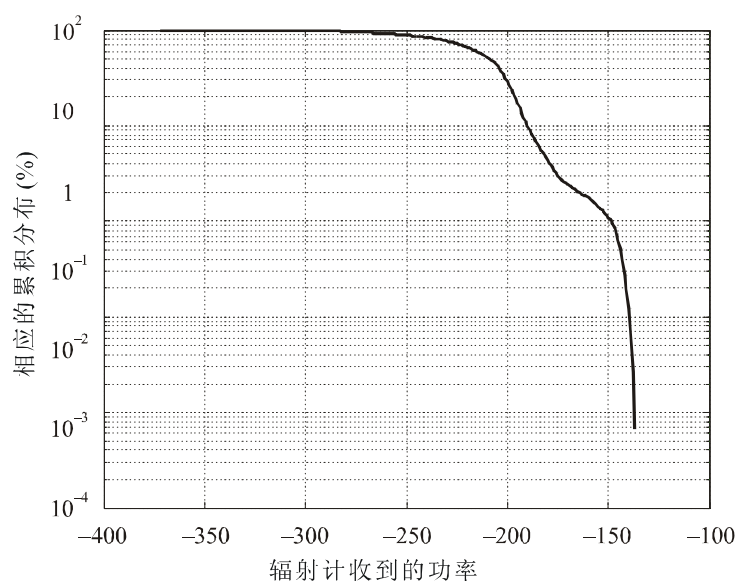
由于无源频带的参考带宽为200 MHz，而天线增益为60.9 dBi，50.2-50.4 GHz无源频带内的功率不得超过-15 dBW/200 MHz参考带宽。

11.4.1.2 使用部署模型1的FSS系统，上行链路2

已考虑五个GSO卫星FSS部署模型1，上行链路2的经度分别为0°、5°、9°、13°和16°。相关地面电台亦处于同样的经度和北纬50°。结果见表11-7和图11-5。这些对于涵盖欧洲的2 000 000 km<sup>2</sup>范围内均有效。FSS系统的特性见表11-4，各地球站的e.i.r.p.为69 dBW。

图11-5

FSS系统部署模型1、上行链路2和  
推扫型无源传感器之间动态分析产生的累积分布



Rap 2092-115

表11-7

FSS系统部署模型1，上行链路2和EESS之间的动态分析

累积分布 (%)	40	4	1	0.1	0.01
推扫型：由EESS接收的相应的干扰功率 (dB(W/200 MHz))	-204	-179	-149	-140	-138

在此情况下，带宽校正系数为1 dB。

对于0.01%的累积分布，根据时间或区域比例，干扰门限可能被突破，表11-7所示的干扰功率为 $-138 - 1 = -139$  dBW，比干扰门限超出27 dB。

因此，进一步考虑的单一有源GSO系统无源频带内通过的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 41 \text{ dBW} \quad (68 \text{ dBW} - 27 \text{ dB})$$

由于无源频带的基准带宽为200 MHz，而天线增益为55.8 dBi，50.2-50.4 GHz无源频带内的功率不得超过-14.8 dBW/200 MHz基准带宽。

#### 11.4.1.3 GSO FSS系统动态计算的统计结果（FSS模型2）

已考虑五个GSO卫星FSS部署模型1，上行链路2的经度分别为0°、8°、16°、24°和32°。相关地面电台亦处于同样的经度和北纬50°。结果见表11-8和图11-6。这些在2 000 000 km<sup>2</sup>范围内有效。

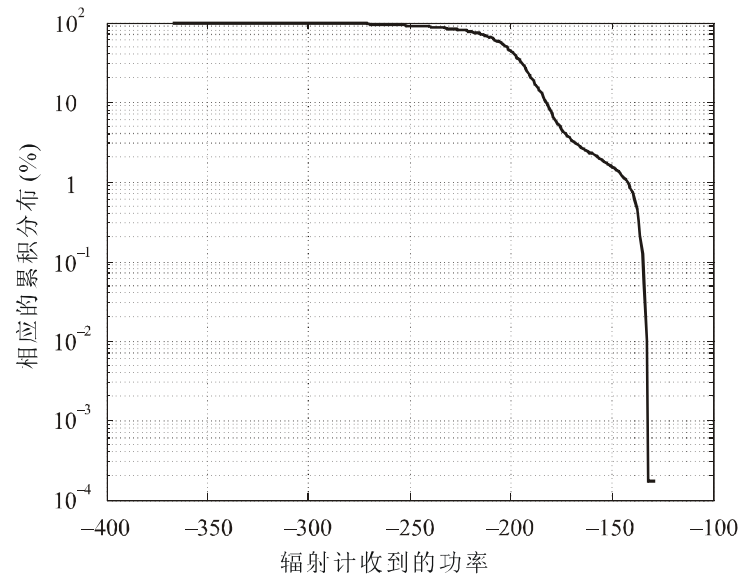
表11-8

五个GSO FSS系统和EESS之间的动态分析

累积分布 (%)	46	1	0.1	0.01	0.0001
推扫型：由EESS接收的相应的干扰功率率(dBW) (200 MHz基准带宽)	-201	-143	-135	-133	-129

图11-6

五个GSO FSS系统和推扫型无源传感器之间  
动态分析产生的累积分布



Rap 2092-116

在此情况下，带宽校正系数为4 dB。

对于0.01%的累积分布，根据时间或区域比例，干扰门限可能被突破，表11-8所示的干扰功率为 $-133 - 4 = -137$  dBW，比干扰门限超出29 dB。

因此，进一步考虑的单一有源GSO系统无源频带内通过的临时最大值为：

$$\text{e.i.r.p.} = 50.9 \text{ dBW} \quad (79.9 \text{ dBW} - 29 \text{ dB})$$

由于无源频带的基准带宽为200 MHz，而天线增益为64.8 dBi，50.2-50.4 GHz无源频带内的功率不得超过-13.9 dBW/200 MHz基准带宽。

11.4.1.4 衰减的评估

表11-9显示了通过以往仿真获得的不同功率电平和对ITU-R SM.1541建议书的使用以及按照方法（特别是附录中的）采用的填充系数。

表11-9

通过在综合案例中计算不同动态分析获得的功率电平的评价

综合情形	0.01%累积 分布的 干扰功率 (dBW)	EESS 门限超额	无源频带内 临时最大e.i.r.p. (dB(W/200 MHz))	无源频带内 临时最大功率 (dB(W/200 MHz))	按照方法使用 ITU-R SM.1541 建议书得到的 功率 (dB(W/200 MHz))	通过使用 ITU-R SM.1541 建议书和填充系数 得到的最大功率 (见第2段) (dB(W/200 MHz))
模型1 上行链路1	-140	26	45.9	-15	6	-9
模型1 上行链路2	-139	27	41	-14.8	5.2	-9.8
模型2 FSS	-137	29	50.9	-13.9	10.1	-4.9

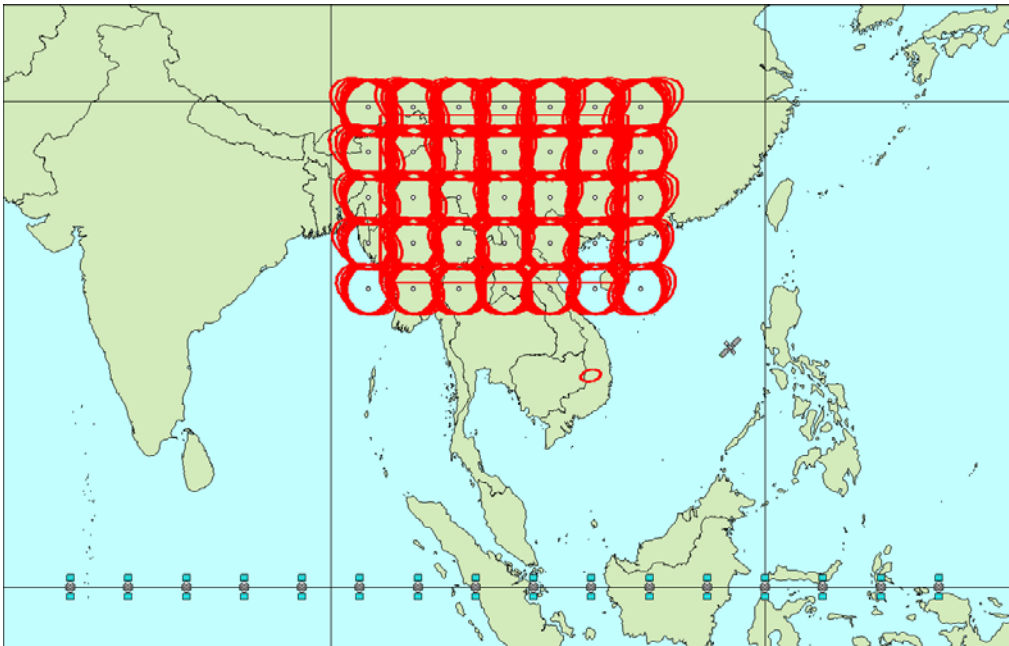
所采用的用来计算最大可实现功率的方法基于ITU-R SM.1541建议书和填充系数的综合使用。按规定，ITU-R SM.1541建议书中的掩模过高估算了带外功率。即使ITU-R SM.1541建议书和填充系数综合使用，情况依然如此。预计综合使用  $(\sin x/x)^2$  频谱形状和诸如第11.2.4.2段(1)等式表示的调制后过渡器将大大改善兼容状况（详细情况亦见第2段）。

#### 11.4.2 第2项动态仿真研究

在该部分频谱中的很多FSS系统通常被规定用来向使用不同类型上行链路地球站的大量客户提供宽带服务，这些地球站的天线直径和e.i.r.p.因容量需求各不相同。为开发50.4-51.4 GHz频带内此类系统的可能部署模型，对ITU-R在线卫星网络清单中的卫星登记资料进行了审查，以便为覆盖亚洲的低纬度地区和覆盖欧洲的高纬度地区开发FSS部署模型。这两个地区的特点是自2000年以来提出大量卫星协调请求。为完成此项动态仿真研究，亚洲测量区被定义为北纬18.84°至29.16°及东经93.43°至110.57°的2 000 000 km<sup>2</sup>地球表面范围内，其中心为北纬45°和东经105°。欧洲无源传感器测量区定义为地球表面的北纬38.66°至53.34°和东经9.06°至24.94°范围内的区域，中心为北纬46°和东经17°。这些无源传感器测量区显示在图11-7和图11-8中。

图11-7

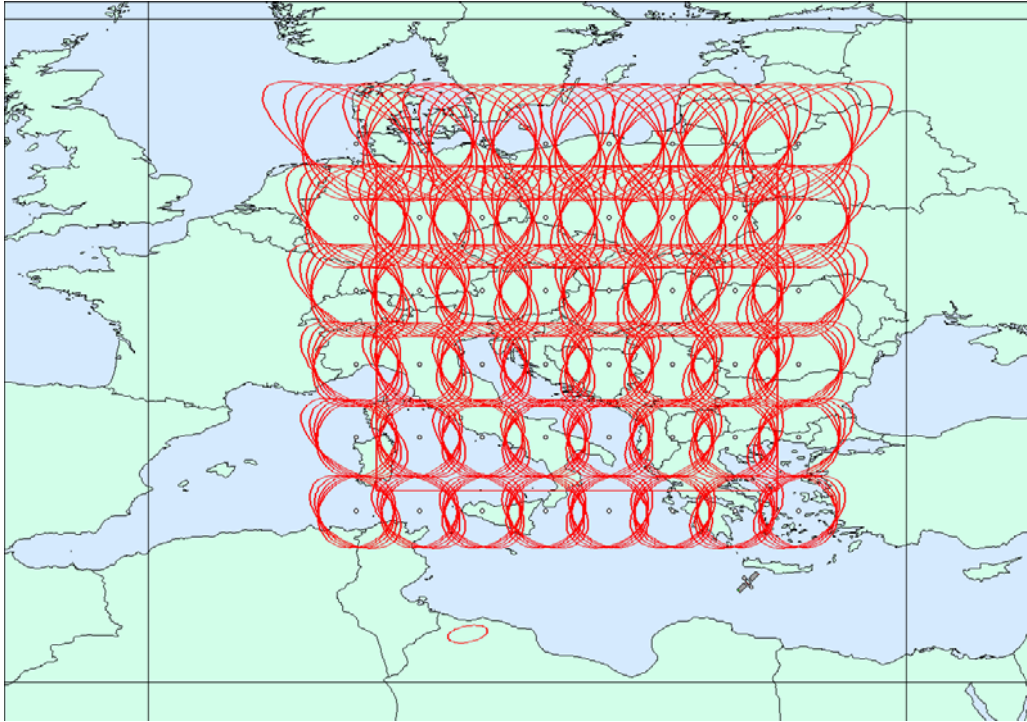
亚洲EESS测量区和FSS部署模型



Rap 2092-117

图11-8

欧洲EESS测量区和FSS部署模型



Rap 2092-118

为决定可能在该无源传感器测量区内或边缘以外操作的上行链路地球站的数量，假设测量区由FSS卫星略微重叠的点波束覆盖。对ITU-R该频带卫星申报的抽样审查表明，53 dBi可能是典型的FSS波束增益，对应于 $0.4^\circ$ 的-3 dB波束宽度。如图11-7和图11-8所示，亚洲测量区可由35个点波束阵覆盖，而欧洲测量区则可能被48个点波束阵覆盖。

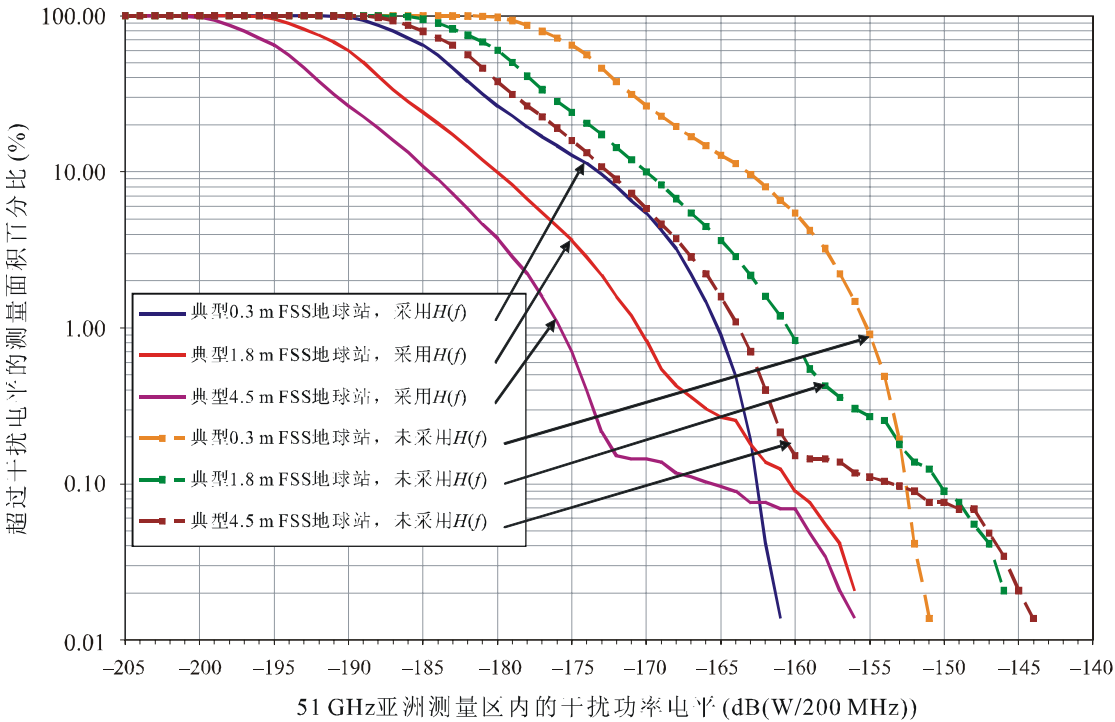
位于东经 $72^\circ$ 和 $132^\circ$ 之间GSO弧上的GSO FSS卫星在亚洲测量区提供的最小仰角大于 $35^\circ$ ，而在西经 $1^\circ$ 和东经 $35^\circ$ 之间的GSO弧上的卫星在欧洲覆盖区提供的最小仰角大于 $25^\circ$ 。在缺少同一服务区内邻近卫星之间极化鉴别时，同时考虑到各卫星之间可能的差异，该FSS部署模型将轨道间隔假设为 $4^\circ$ 。由于在重叠卫星波束中通常无法进行同频道传输。假设上行链路传输可以在本模型中各FSS卫星的一半点波束中的最高频卫星频道上进行（即最靠近EESS频带边缘）。

假设一个FSS上行链路地球站位于各波束中心FSS上行链路地球站和接收卫星的配对避开了向同一卫星发射的邻近波束位置中的地球站。这样做的结果将在亚洲测量区产生17或18个地球站，在欧洲测量区产生24个地球站，分布在所示服务区中，向最靠近无源传感器频带的FSS频道上的FSS卫星位置发射。该模型假设各卫星波束的指向是固定的。如FSS卫星使用波束跳跃技术，该仿真模型必须加以修改，因此干扰CDF可能与下述CDF完全不同。

对于图11-7和图11-8所示宽带FSS部署模型，进行仿真的目的是当无源传感器可以在测量区内抽取样点时，使用200 ms在16天仿真中产生CDF。在50.2-50.4 GHz频带内进入到无源传感器中的FSS上行链路产生的干扰CDF显示在图11-9和图11-10。

图11-9

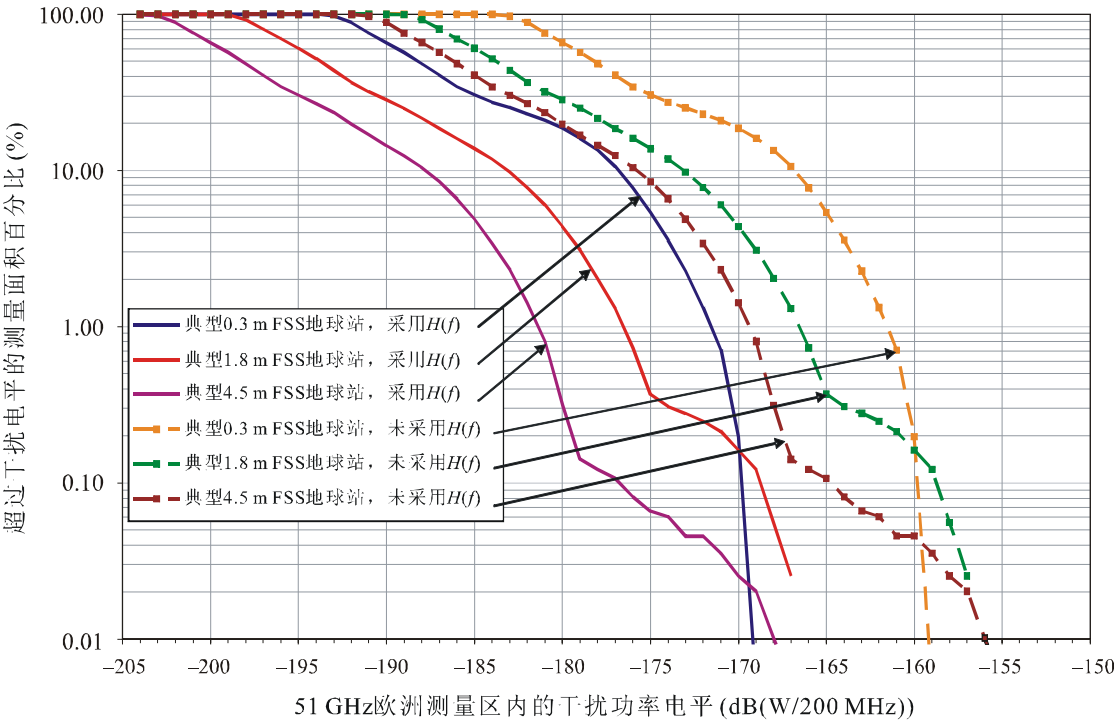
亚洲FSS部署模型干扰CDF



Rap 2092-119

图11-10

欧洲FSS部署模型干扰CDF



Rap 2092-1110



表11-10和表11-11使用ITU-R RS.1029-2建议书中规定的目前无源传感器的可允许干扰电平比较了这些仿真的结果，假设未采用上行链路传输的调制后过滤并假设调制后过滤的衰减为40 dB/十位。

表11-10  
仿真结果分析（无调制后过滤）

FSS上行链路地球站类型	亚洲测量区			欧洲测量区		
	4.5M	1.8M	0.3M	4.5M	1.8M	0.3M
	高容量	中容量	低容量	高容量	中容量	低容量
假设的OoB e.i.r.p. (dB(W/200 MHz)), 无调制后滤波	53.9	48.4	38	53.9	48.4	38
超过0.01%面积的干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-143	-145	-150.5	-156	-156	-159.2
可允许干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-166	-166	-166	-166	-166	-166
可允许干扰电平的超额值 (dB)	23	21	15.5	10	10	6.8
可允许OoB e.i.r.p. (dB(W/200 MHz))	30.9	27.4	22.5	43.9	38.4	31.2

表11-11  
模拟结果分析（采用调制后滤波）

FSS上行链路地球站类型	亚洲测量区			欧洲测量区		
	4.5M	1.8M	0.3M	4.5M	1.8M	0.3M
	高容量	中容量	低容量	高容量	中容量	低容量
假设的OoB e.i.r.p. (dB(W/200 MHz)), 无调制后滤波	41.7	38.2	28.2	41.7	38.2	28.2
超过0.01%面积的干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-155	-155	-160.5	-168	-167	-169
可允许干扰电平 (dB(W/200 MHz))	-166	-166	-166	-166	-166	-166
可允许干扰电平的超额值 (dB)	11	11	5.5	-2	-1	-3
可允许OoB e.i.r.p. (dB(W/200 MHz))	30.7	27.2	22.7	43.7	39.2	31.2

亚洲测量区还进行了更多的仿真，以便调查结果对于部署模型中测量区服务于地球站的FSS数量假设的敏感度以及卫星波束之间频率复用模式。具体而言，所进行的仿真包括卫星波束之间频率复用模式为1:2和1:4情况下的16、8、4和2颗卫星。所产生的CDF已体现在图11-11和图11-12中。表11-12显示了满足ITU-R RS.1029-2建议书中可允许干扰标准的无用发射e.i.r.p.电平。

应注意的是，这些仿真中采用的频率复用和卫星数量旨在确定一个仿真模型，从而在2 000 000 km<sup>2</sup>测量区内分布不同数量的上行链路地球站，该测量区假设运行于最接近邻近EESS（无源）频带的FSS频带边缘的卫星信道。尽管这些参数取自国际电联协调申报，这些仿真模型代表在该频带内可能部署的上行链路地球站的密度上限。在实际运行中，很难实现更高的密度（特别是基于1:2的频率复用）。然而，还应认识到，尽管在2 000 000 km<sup>2</sup>范围内部署的地球站密度可从24个到280个，对于表11-4中任何假设的上行链路配置而言，可允许无用发射e.i.r.p.的差别仅为1.8至3.3 dB。

图11-11a

大容量FSS上行链路干扰CDF（1:2复用）

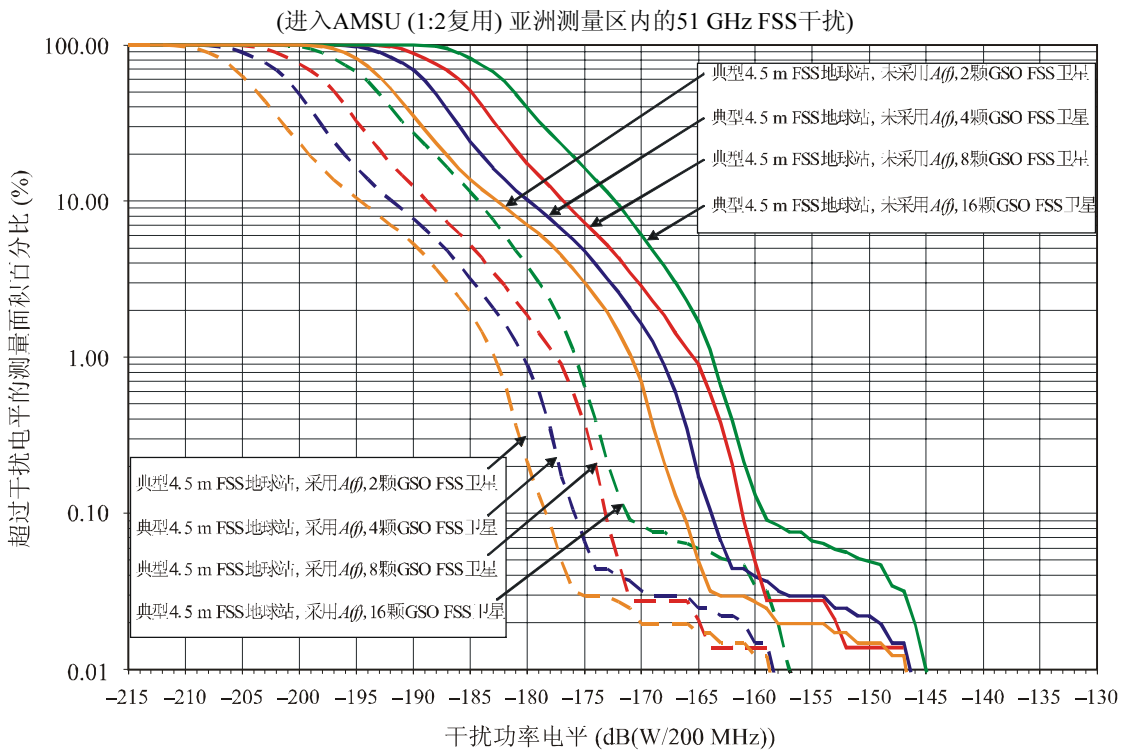
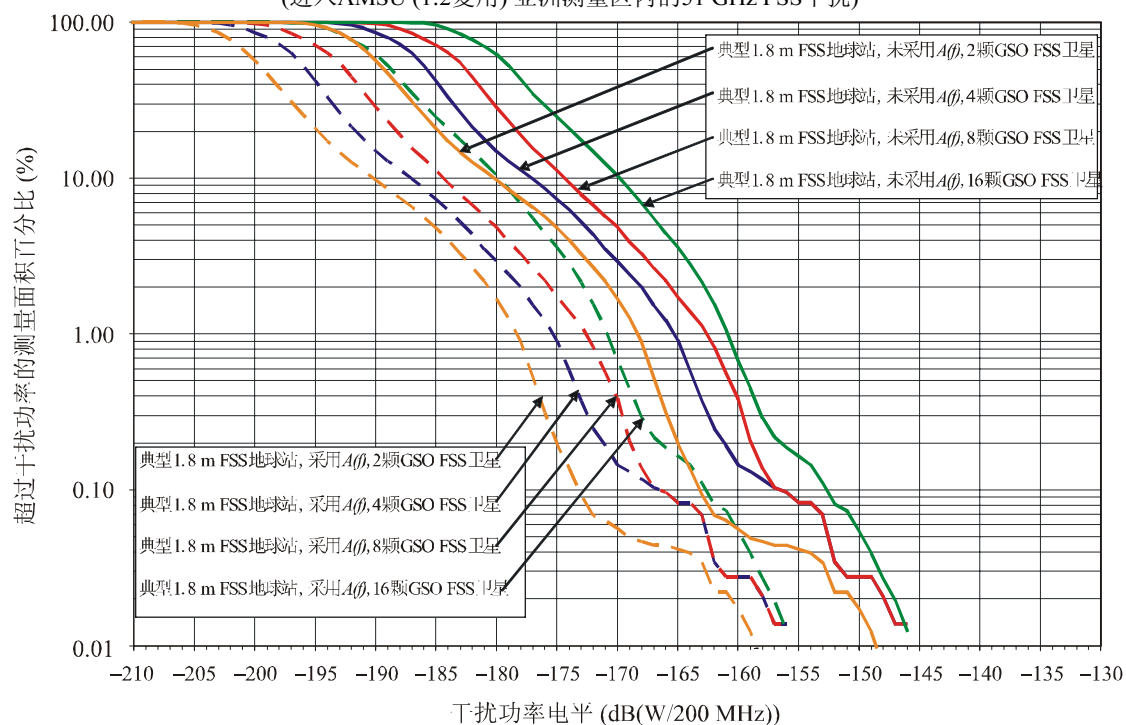


图11-11b

## 中容量FSS上行链路干扰CDF (1:2复用)

(进入AMSU (1:2复用) 亚洲测量区内的51 GHz FSS干扰)

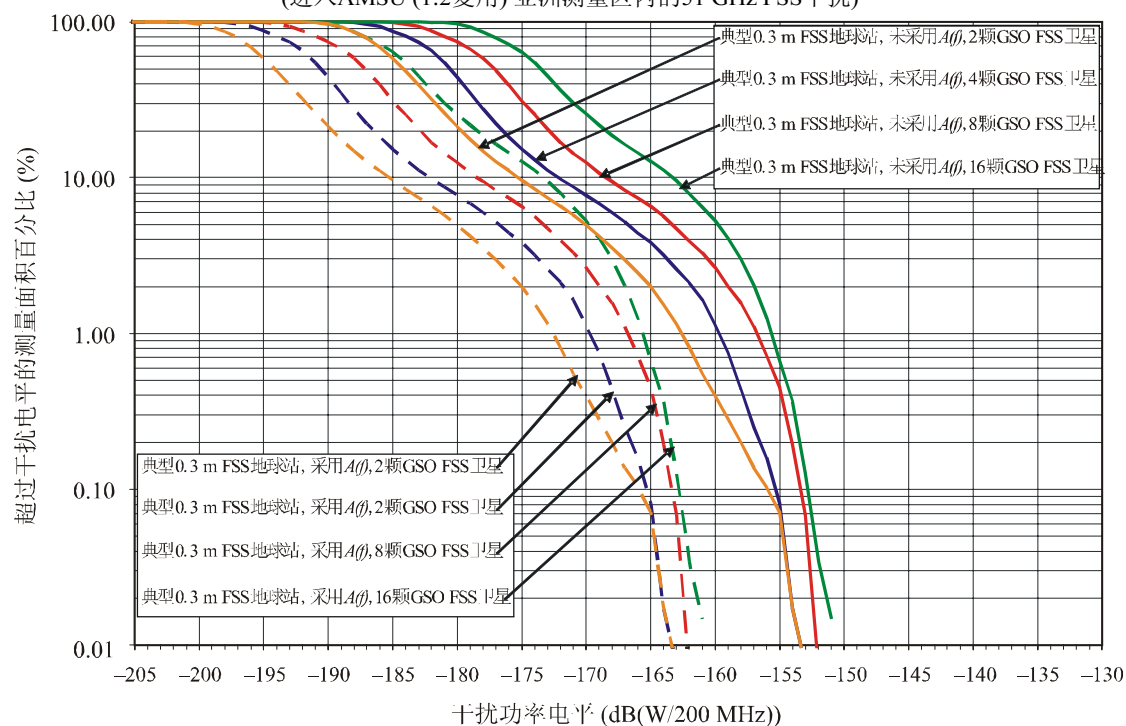


Rap 2092-1111b

图11-11c

## 低容量FSS上行链路干扰CDF (1:2复用)

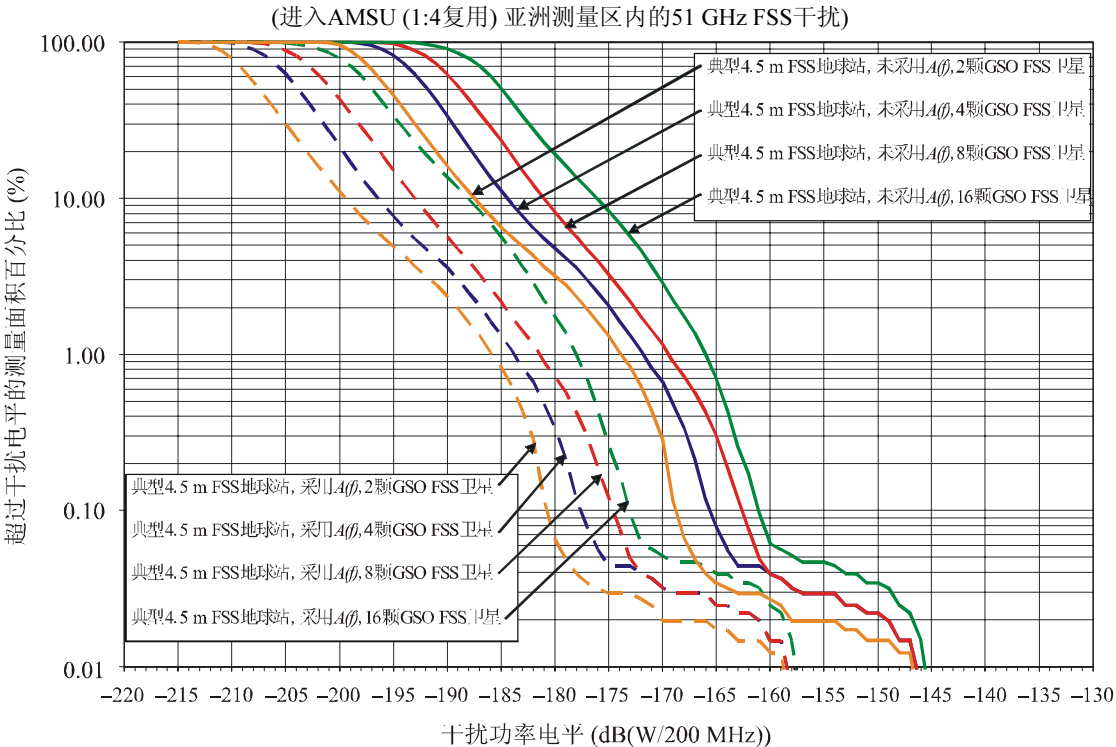
(进入AMSU (1:2复用) 亚洲测量区内的51 GHz FSS干扰)



Rap 2092-1111c

图11-12a

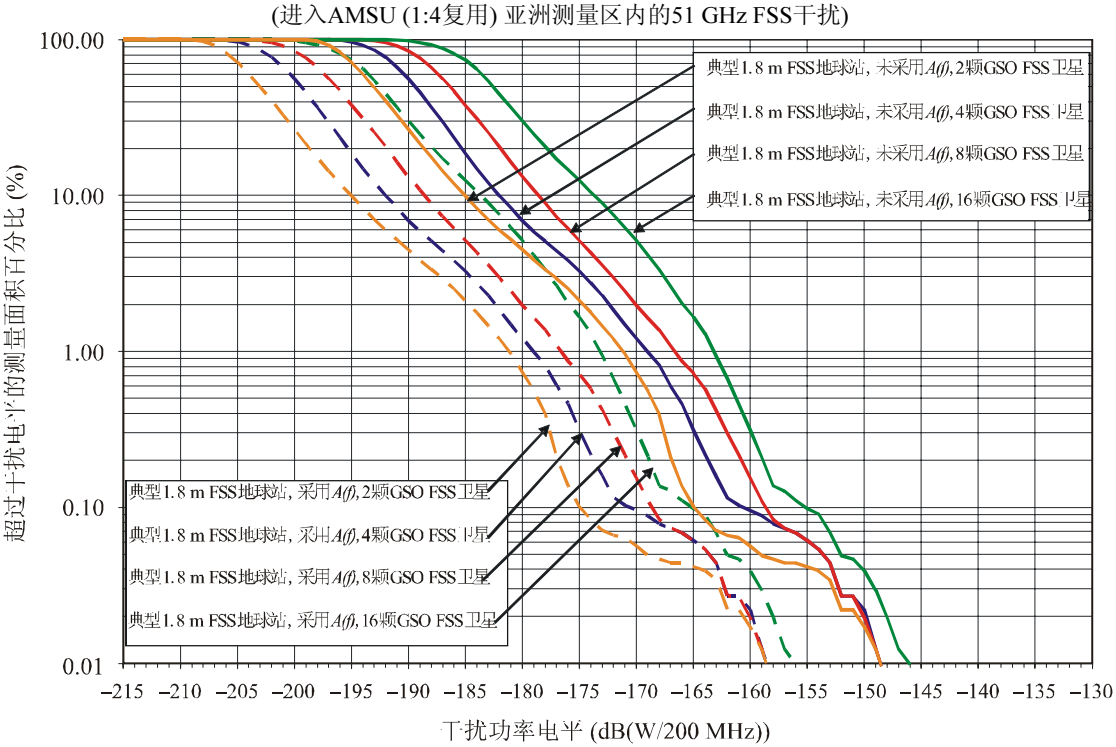
大容量FSS上行链路干扰CDF (1:4复用)



Rap 2092-1112a

图11-12b

中容量FSS上行链路干扰CDF (1:4复用)

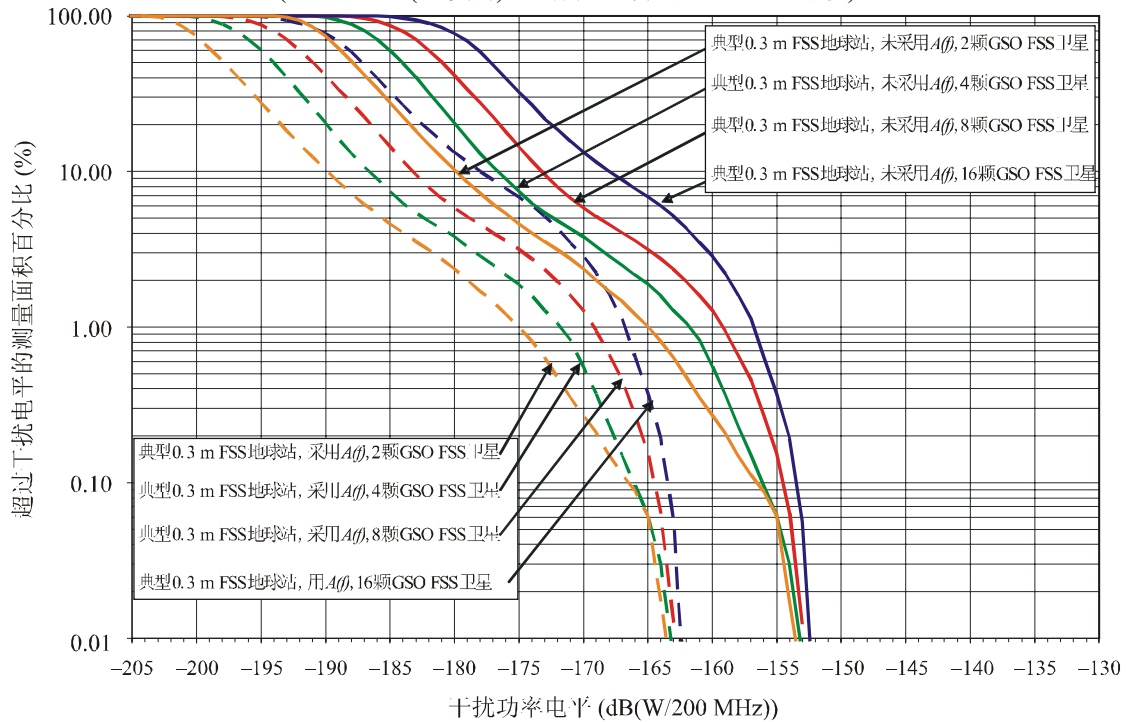


Rap 2092-1112b

图11-12c

## 低容量FSS上行链路干扰CDF (1:4复用)

(进入AMSU (1:4复用) 亚洲测量区内的51 GHz FSS干扰)



Rap 2092-1112c

表11-12

## 不同上行链路假设的可允许无用发射e.i.r.p.电平

上行链路地球站 情况下的 可允许无用发射 e.i.r.p.电平 (dB(W/200 MHz))	1:4复用系数				1:2复用系数			
	16 FSS 卫星	8 FSS 卫星	4 FSS 卫星	2 FSS 卫星	16 FSS 卫星	8 FSS 卫星	4 FSS 卫星	2 FSS 卫星
典型的0.3 m FSS ES, 采用 $A(f)$	24.5	25.2	25.4	25.8	22.9	24.3	25.4	25.4
典型的1.8 m FSS ES, 采用 $A(f)$	28.3	31.0	31.0	31.0	27.7	28.2	28.2	30.5
典型的4.5 m FSS ES, 采用 $A(f)$	33.5	34.2	34.2	34.5	32.7	34.2	34.2	34.5
典型的0.3 m FSS ES, 采用/不采用 $A(f)$	24.5	25.0	25.3	25.6	23.1	24.2	25.4	25.4
典型的1.8 m FSS ES, 采用/不采用 $A(f)$	28.5	31.1	31.1	31.1	27.9	28.4	28.4	31.1
典型的4.5 m FSS ES, 采用/不采用 $A(f)$	33.1	34.4	34.3	34.7	32.9	34.4	34.4	34.7

## 11.5 减扰技术

### 11.5.1 EESS (无源)

目前和未来的无源传感器整合在卫星收到的信号，但是无法区分自然和人为发射。现在尚没有确定受到干扰影响的无源遥感测量并缓解这种受到干扰的测量对气象预报或使用这一数据的其他科学研究所产生的影响。

### 11.5.2 FSS

多数FSS系统运行或计划使用预调制和调制后滤波器运行。所有FSS地球站使用预调制滤波器。有关仿真研究中涉及的一些使用调制后滤波器FSS系统的信息已公布。在没有信息的情况下，第2段的通用模型可用来确定其他情况下EESS（无源）频带内无用发射的衰减情况。

### 11.5.3 潜在影响

#### 11.5.3.1 EESS (无源)

如果干扰超出可允许电平，若干地方的测量会受到干扰，由此可能影响到稳定的气象预报或其他使用传感器数据产品的科学应用。

#### 11.5.3.2 FSS

FSS系统预计实施预调制和调制后滤波器，在一些情况下，这些滤波器在无用发射的衰减方面效力更高。应注意的是，目前没有其他的滤波或干扰减轻技术。因此，FSS业务的未来发展不会在频带内受到限制。

## 11.6 研究结果

### 11.6.1 摘要

为决定47.2-50.2 GHz频带内FSS上行链路对50.2-50.4 GHz频带内EESS（无源）接收机所产生的预期无用发射电平已进行了两个动态仿真。这些研究均确定了无用发射的功率电平，在FSS部署模型集总可允许无源传感器干扰电平未超出ITU-R RS.1029-2建议书的规定以及仿真研究假设的参数。研究结果见表11-13。

表11-13  
动态仿真结果总结

无源传感器	FSS系统	FSS上行链路部署	无源频带内的最大无用功率 (dB(W/ 200 MHz))	无用发射功率比 <sup>(1)</sup> (dB)	可用的无用发射功率降低系数 <sup>(2)</sup> (dB)
推扫型	GSO模型1, 上行链路1	5上行链路, 经度分别为东经0°、5°、9°、13°和16°, 北纬50°	-15	26 <sup>(1)</sup>	20, 按照方法使用ITU-R SM.1541建议书和填充系数 <sup>(3)</sup>
推扫型	GSO模型1, 上行链路2	5上行链路, 经度分别为东经0°、5°、9°、13°和16°, 北纬50°	-14.8	27 dB <sup>(1)</sup>	22, 按照方法使用ITU-R SM.1541建议书和填充系数 <sup>(3)</sup>
推扫型	GSO模型2 FSS	5上行链路, 经度分别为东经0°、8°、16°、24°和32°, 北纬50°	-13.9	29 dB <sup>(1)</sup>	20, 按照方法使用ITU-R SM.1541建议书和填充系数 <sup>(3)</sup>
AMSU	10 GSO卫星, 西经1°和东经35°之间	每GSO卫星24 FSS上行链路, 分布在2 000 000 km <sup>2</sup> 的欧洲测量区(总数为240)	-10.7/-19.1/-21.5 取决于地球站类型	23.2/23.5/24.2 取决于地球站类型 <sup>(2)</sup>	26.2/23.7/26.4采用 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状和 $A(f)$ 调制后滤波
					16.4/13.5 /14.2采用 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状
AMSU	16 GSO卫星, 东经72°和132°之间	每GSO卫星17或18 FSS上行链路, 分布在2 000 000 km <sup>2</sup> 的亚洲测量区(总数为280)	-19.4/-30.1/-34.5 取决于地球站类型	31.9/34.5/37.2 取决于地球站类型 <sup>(2)</sup>	26.2/23.7/26.4采用 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状和 $A(f)$ 调制后滤波
					16.4/13.5 /14.2采用 $\sin^2 x/x^2$ 频谱形状

<sup>(1)</sup> 无源频带中发射总功率与无用发射功率之比。

<sup>(2)</sup> 对于推扫型研究, 第2段算式中得出的数值; 对于AMSU研究, 表11-2显示的数值。

<sup>(3)</sup> 用来计算最大可实现功率的方法基于对ITU-R SM.1541建议书和填充系数的综合使用。按规定, ITU-R SM.1541建议书中包含的掩模过高估算了带外功率; 即使同时使用ITU-R SM.1541建议书和填充系数, 情况依然如此。预计通过综合使用诸如 $(\sin x/x)^2$ 频率形状和诸如第11.2.4.2段中的等式(1)所显示的调制后滤波器可大大改善兼容状况(详细情况亦见第2段)。

为评估上行链路无用发射对无源传感器产生的干扰电平, 已进行了两套动态仿真。

一套有关对当前无源传感器产生的干扰的动态仿真表明, EESS(无源)集总可允许干扰标准在大量部署的FSS地球站的无用发射功率超过-34.5至-10.7 dB(W/200 MHz)时可能被超出, 上述地球站的参数类似于最近ITU-R卫星申报中建议的参数。有关无用发射e.i.r.p., 范围在22.5至43.9 dB(W/200 MHz)之间。

另一套动态仿真使用了未来无源传感器和一些宽带地球站，仿真表明：

- 对于单个GSO FSS系统而言，将提供给无源频带内天线端口的发射功率限制在-15 dB(W/200 MHz)将使50.2-50.4 GHz频带内的EESS（无源）免受在50.4-51.4 GHz频带内运行的FSS上行链路无用发射的干扰，因为典型地球站天线增益在55至65 dBi之间。
- 所有被研究的FSS系统完全符合所需要的衰减。没必要为保护该无源频带而对有源业务施加更多的限制。

### 11.6.2 结论

一项研究代表FSS上行链路部署的密度上限，而仿真中假设的最高密度在现实中很可能难以实现。第二项研究假设了上行链路地球站的低密度并与其他FSS频带内可实现的部署密度相比较，风险是进入到EESS（无源）的无用发射干扰可能高于本项研究确定的数值。第一项研究得出结论，FSS地球站无用发射功率在-20和-10 dB(W/200 MHz)之间，这将造成干扰电平超出某些FSS部署模型中的集总可允许EESS（无源）标准，但仍能使EESS（无源）传感器在可接受的情况下完成任务。这些FSS地球站的无用发射电平可通过频谱造型和调制后滤波加以实现。

第二项研究的结论指出，考虑到不同仿真及其相应衰减评估的结果，有必要为实现兼容性将运行在50.2-50.4 GHz频带内的FSS上行链路在天线端口的无用发射功率限制在50.4-51.4GHz频带内的 - 20 dB(W/200 MHz)。应指出，此项研究中所审议FSS系统可以实现该建议无用发射电平。

## 12 在52.6-52.8 GHz频带内工作的EESS (无源) 系统与在51.4-52.6 GHz频带内工作的固定业务系统之间的兼容性分析

### 12.1 EECS (无源)

#### 12.1.1 划分的频带

51.4-52.6 GHz频带已划分给FS，而且该频带邻近于划分给EESS的52.6-52.8 GHz频带。因此，有必要评估FS系统无用发射对52.6-52.8 GHz频带EESS产生的影响。本章为工作在31.8 GHz以上的FS系统提供了影响51.4-52.6 GHz频带的各级无用发射的计算。

应指出，根据《无线电规则》第5.340款，52.6-54.25 GHz频带禁止各种发射。

邻近52.6-52.8 GHz无源频带的划分见表12-1。



表12-1

## 邻近频带划分

划分频带中 下半部分的业务	无源频带	划分频带中 上半部分的业务
51.4-52.6 GHz	52.6-54.25 GHz	54.25-55.78 GHz
固定 移动	卫星地球探测（无源） 空间研究（无源）	卫星地球探测（无源） 卫星间 5.556A GSO只有pfd限值 空间研究（无源）

## 12.1.2 应用

该频带是用于接近最低点大气探测的频带之一，与代表大气各层的23.8 GHz、31.5 GHz、50.3 GHz频带共同使用。

## 12.1.3 所需要的保护标准

以下这些建议书确定了无源传感器的干扰标准：

- ITU-R RS.515建议书 – 用于卫星无源遥感的频带和带宽
- ITU-R RS.1028建议书 – 卫星无源遥感性能标准
- ITU-R RS.1029建议书 – 卫星无源遥感干扰标准

## 12.1.4 工作特性

以下是EESS系统的操作特性：

- EESS传感器应有一个增益为45 dBi的天线。
- EESS传感器指向最低点方向。
- 高度为850 km传感器的像素为201 km<sup>2</sup>（直径16 km）。

## 12.2 固定业务

## 12.2.1 划分的频带

见表12-1。

## 12.2.2 应用

根据《无线电规则》第5.547款，51.4-52.6 GHz频带用于固定业务的高密度应用。

该频带可同时用于P-P FS系统和P-MP FS系统。

## 12.2.3 现有国际电联文件规定的电平

以下ITU-R建议书提供了有关FS系统无用发射的信息：

- ITU-R F.1191建议书 – 数字固定业务系统的带宽和无用发射
- ITU-R SM.329建议书 – 杂散域的无用发射

ITU-R SM.1541建议书 – 带外域的无用发射。

12.2.4 发射机特性

表12-2和12-3包含的以下特性已得到使用。

表12-2

**P-P系统的特性**  
(ITU-R F.758建议书)

频道间隔 (MHz)	56	3.5
天线增益 (最大) (dBi)	50	50
馈线/复用器损耗 (最小) (dB)	0	0
天线类型	盘形/喇叭形	盘形/喇叭形
最大发射机输出功率 (dBW)	-20	-20
e.i.r.p. (最大) (dBW)	30	30

表12-3

**P-MP系统的特性**  
(ITU-R F.758建议书)

台站类型	CS	TS
频道间隔 (MHz)	28	28
天线增益 (最大) (dBi)	14	盘形 41 平面 28
馈线/复用器损耗 (最小) (dB)	0	0
天线波束宽度 (3 dB) 方位角/仰角 (度)	>15	1.2 × 1.2
最大发射机输出功率 (dBW)	-10	-15
e.i.r.p. (最大) (dBW)	4	26/13

CS: 中心台站

TS: 终端台站

12.2.5 工作特性

ITU-R F.1496建议书为将部署在该频带内使用3.5 MHz、7 MHz、14 MHz、28 MHz和56 MHz频道间隔的系统提供了频道安排。

12.2.5.1 P-P 工作特性

建议先将终端密度定为每km<sup>2</sup>一个终端<sup>6</sup>。

12.2.5.2 P-MP 工作特性

建议首先将每km<sup>2</sup> 0.3终端作为终端密度<sup>6</sup>。

---

<sup>6</sup> 应注意的是，这些数目表示最坏情况下的值，还应加以优化以获得每一相关频带内FS系统的实际数目。

频率复用：通常使用的频率复用系数为二并将之作为典型情形。频率系数为一时被认为是罕见的最差情况。

扇面天线：典型的扇面天线宽度为90°。在一些情况下，45°的扇面天线将用于从一个台站位置传送大量业务的情况。

基于这些考虑，一个P-MP基站在一个给定小区内通常服务于两个同信道用户。

### 12.2.6 带内发射功率

见表12-2和12-3。

## 12.3 兼容性门限

无源传感器的保护标准是在100 MHz带宽内-166 dBW（按照ITU-R RS.1029建议书的规定，超出的时间不得超过0.01%）。第12.2.4段规定了部署于该频带的FS系统的特性。根据这一信息，可以推导出各FS系统可对EESS频带允许产生的功率影响。

干扰通常是由同步提供的多项业务来源收到的。ITU-R RS.1029建议书列出的数值是有关无源传感器的最大可允许干扰电平。

该节为单一有源业务产生的干扰提供了分析。

要解决工作在无源频带以上和以下的多种有源业务造成的影响需要开展更多的工作。

## 12.4 干扰评估

### 12.4.1 评估干扰电平的方法

第一步是计算部署可能对EESS像素产生影响的FS系统产生的可接受功率：

$$\text{用100 MHz表示的地球上集总功率} = \text{EESS保护标准 (dB(W/100 MHz))} - \text{EESS增益} + \text{自由空间损耗}$$

由此可以推导出进入到EESS 100 MHz基准带宽内每个FS系统的无用发射电平：

$$\text{功率/发射机 (dB(W/100 MHz))} = \text{用100 MHz表示的地球上集总功率} - N_b \text{ Tx (EESS像素)} - \text{EESS方向的FS增益}$$

### 12.4.2 计算

对于P-P系统（见表12-4），ITU-R F.1245建议书可用来推导天顶方向的天线增益。工作在同一频率的终端密度应假设为每km<sup>2</sup>一个终端。

表12-4

进入EESS频带的P-P FS系统的可接受无用发射

频率 (GHz)	52.6	
干扰标准 (dB(W/100 MHz))	-166	
高度 (km)	850	
基准带宽 (MHz)	100	
EESS增益	45	
自由空间损耗	185.5	
气体吸收(dB)	3	
地面合计 (dB(W/100 MHz))	<b>-22.5</b>	
地面合计 (dB(W/MHz))	-42.5	
台站类型	CS	TS
频道间隔 (MHz)	<b>56</b>	<b>3.5</b>
FS天线增益	50	50
EESS方向的FS增益	-13	-13
集总功率 (dB(W/MHz))	-29.5	-29.5
系统密度/km <sup>2</sup>	1	1
像素尺寸/km <sup>2</sup>	201	201
$N_b$ Tx	201	201
功率/Tx (dB(W/MHz))	-52.5	-52.5
功率/Tx (dB(W/100 MHz))	<b>-32.5</b>	<b>-32.5</b>

对于P-MP终端台站（见表12-5）可使用ITU-R F.1245建议书推出天顶方向的天线增益。对于P-MP中心台站，可使用ITU-R F.1336建议书推导出天顶方向的天线增益。工作在同一频率的中心台站的站址密度假设为每km<sup>2</sup> 0.3终端。在同一站址，两个中心台站可使用同一频率，假设扇面天线为90°。因此，两个终端台站可能在同一小区内使用同一频率。

表12-5

进入EESS频带的P-MP FS系统的可接受无用发射

频率 (GHz)	52.6
干扰标准 (dB(W/100 MHz))	-166
高度 (km)	850
基准带宽 (MHz)	100
EESS增益	45
自由空间损耗	185.5
气体吸收	3

表12-5（续）

地面合计 (dB(W/100 MHz))	-22.5	
地面合计 (dB(W/MHz))	-42.5	
台站类型	CS	TS
频道间隔 (MHz)	28	28
FS天线增益	14	41
EESS方向的FS增益	-10.3	-11.3
集总功率 (dB(W/MHz))	-32.2	-31.2
系统密度/km <sup>2</sup>	0.6	0.6
像素尺寸/km <sup>2</sup>	201	201
$N_b$ Tx	121	121
功率/Tx (dB(W/MHz))	-53	-52
功率/Tx (dB(W/100 MHz))	-33	-32

### 12.4.3 实现的数值

#### 12.4.3.1 ITU-R建议书规定的无用发射电平

第一步只考虑属于杂散发射的无用发射（如保护频带大于无用发射域）。之后，使用《无线电规则》附录3和ITU-R SM.329建议书规定的衰减电平推导从FS进入到杂散发射域中的无用发射电平（与FS信号的中心频率相比必要带宽或信道分割的偏移大于250%）。对于FS系统，《无线电规则》附录3规定的衰减应用dBc表示，最低为70 dBc或 $(43 + 10 \log (P))$ 。

根据上述方式，对于输出功率为-6 dBW，频道间隔为56 MHz的系统（见表12-2），该系统的杂散发射限值为：

$$P \text{ (dBW)} - (43 + P) \quad 1 \text{ MHz 基准带宽中的dB}$$

表12-6提供了可能进入到100 MHz基准带宽的无用发射电平。

表12-6

#### 可能进入到100 MHz带宽的 无用发射电平的计算

FS系统	杂散发射电平/1 MHz (dBW)	杂散发射电平/100 MHz (dBW)
P-P 56 MHz（表12-2）	-43	-23
P-P 3.5 MHz（表12-2）	-43	-23
P-MP 50 MHz（表12-3）	-43	-23
P-MP 2.5 MHz（表12-3）	-43	-23

第一步的结论是，即使仅考虑进入到杂散域中的无用发射，也未达到EESS保护标准。

### 12.4.3.2 完善计算

#### 12.4.3.2.1 使用第2.3段所述方法完善计算

ITU-R SM.1541建议书为FS系统下的无用发射提供了掩模。EESS频带内的整合功率的计算假设（见2节第2.3段）杂散发射电平在无用发射域边缘未超过限制。

##### 12.4.3.2.1.1 频道间隔 $C_s$ 的情况为3.5、7和14 MHz

应注意的是，ITU-R F.1496建议书为部署在该频带的、使用3.5 MHz、7 MHz、14 MHz、28 MHz 和56 MHz  $C_s$ 的系统提供了频道安排。这些频道安排在FS频带的下半部分提供了一个40 MHz的保护频带。

这意味着，对于 $C_s$ 为3.5、7和14 MHz的情况，无用发射域（相对于FS信号的中心频率而言从 $C_s$ 的50%延伸至频道分割的250%）将包含在保护频带内。那么，对于使用3.5、7和14 MHz  $C_s$ 的系统，仅需考虑进入到杂散域的无用发射。

ITU-R SM.1541建议书为FSS系统情况下的无用发射提供了掩模。在此无用发射域的边缘，衰减为40 dBsd。如果我们假设杂散发射电平在无用发射域边缘未超过限制，EESS频带内的综合功率将为：

对于3.5 MHz  $C_s$ ：

$$-10 \text{ dBW} -10 \log (3.5) -40 + 10 \log (100) = -35 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

对于7 MHz  $C_s$ ：

$$-10 \text{ dBW} -10 \log (7) -40 + 10 \log (100) = -38 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

对于14 MHz  $C_s$ ：

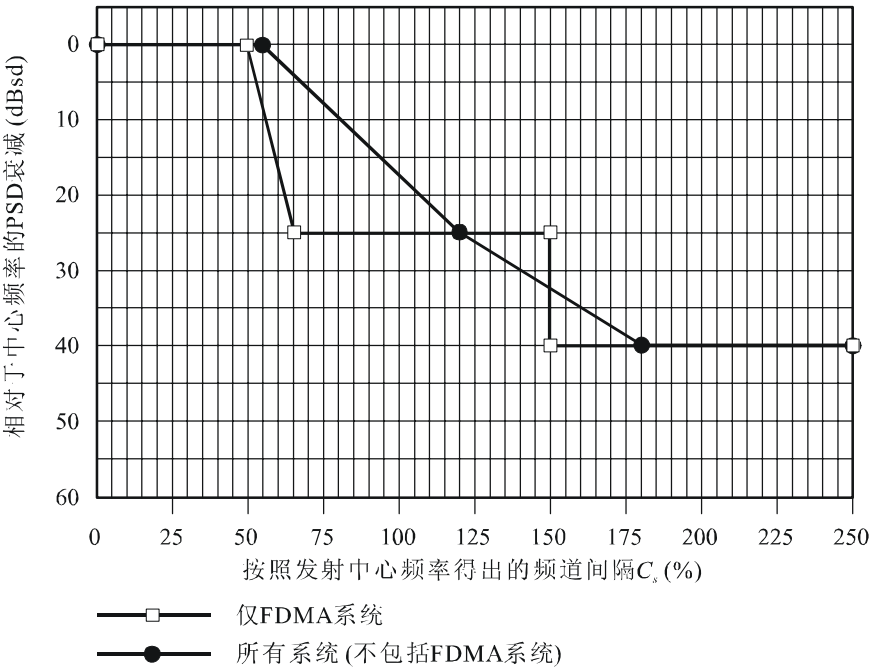
$$-10 \text{ dBW} -10 \log (14) -40 + 10 \log (100) = -41 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

上述所有情况均达到EESS保护标准。

##### 12.4.3.2.1.2 28和56 MHz $C_s$ 的情况

对于进入到无用发射域的王用发射，所涉及的无用发射掩模见ITU-R SM.1541建议书。

图12-1  
工作在30 MHz以上的数字FS的通用频谱掩模  
(见表12-7)



Rap 2092-121

注一 所规定的掩模用 $C_s$ 百分比的函数表示，但是，对于工作在没有设定无线电频率频道安排的频带内工作的系统， $C_s$ 比例应用必要的带宽比例取代，或在可行的情况下，用ITU-R SM.329建议书规定的必要带宽较低门限取代。如在ITU-R其他建议书中没有规定，应从ITU-R F.1191建议书中推导必要的带宽。

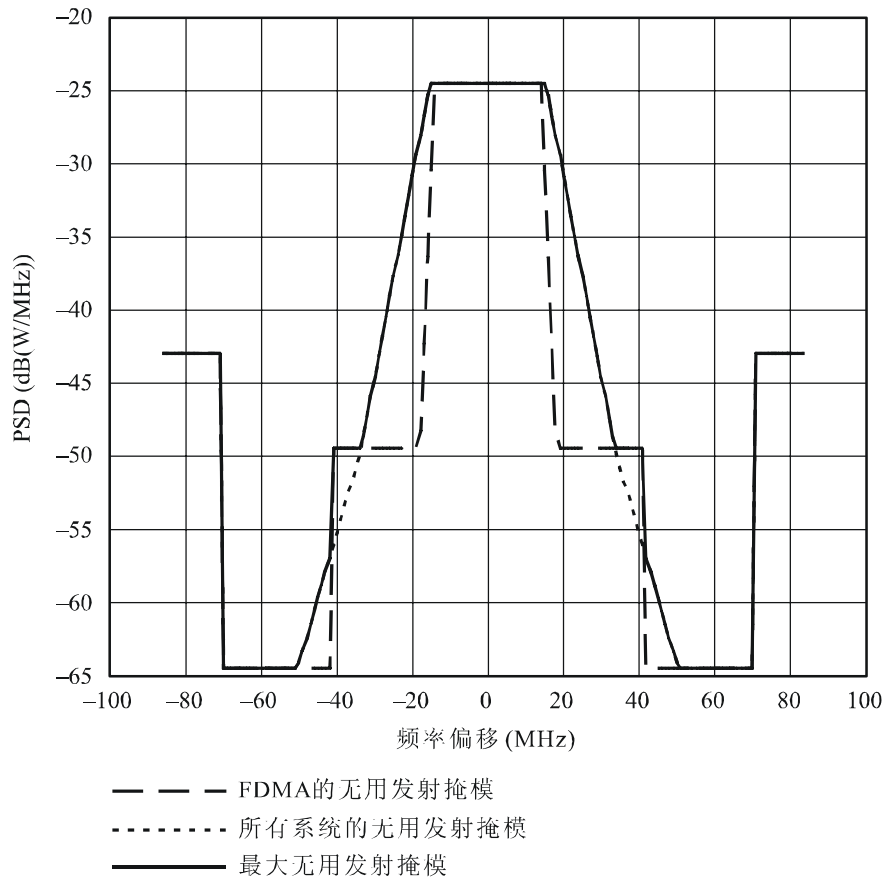
表12-7

工作在30 MHz以上的数字FS (参考图12-2)			
所有系统 (不包括FDMA)		仅FDMA系统	
频率偏移 ( $C_s$ %)	衰减 (dBsd)	频率偏移 ( $C_s$ %)	衰减 (dBsd)
0	0	0	0
55	0	50	0
120	25	65	25
180	40	150	25
250	40	150	40
		250	40

相应的无用发射掩模见图12-2。

图12-2

28 MHz  $C_s$ 系统的无用发射掩模



无用发射掩模  $(-10 \text{ dB(W/28 MHz)}/f_c = 52\,546 \text{ MHz})$

Rap 2092-122

在以下的分析中，我们考虑两个掩模（最差情况假设）的峰值。

同样，进入到EESS频带的功率的计算可假设杂散发射电平在无用发射域边缘超出限值。由此得出：

对于28 MHz  $C_s$ ：  $-44.5 \text{ dB(W/100 MHz)}$

对于56 MHz  $C_s$ ：  $-39.5 \text{ dB(W/100 MHz)}$

上述所有情况达到EESS保护标准。

**12.4.3.2.2 使用ITU-R SM.1541建议书和B类限值（见ITU-R SM.329建议书）完善计算**

**12.4.3.2.2.1 3.5和7 MHz  $C_s$ 的情况**

应注意的是，ITU-R F.1496建议书为使用部署在该频带的3.5 MHz、7 MHz、14 MHz、28 MHz和56 MHz  $C_s$ 系统提供了频道安排。这些频道安排包括一个FS频带内的40 MHz保护频带。

这意味着，对于 $C_s$ 为3.5、7和14 MHz的情况，无用发射域（相对于FS信号的中心频率而言，从 $C_s$ 的50%延伸至频道间隔的250%）将包含在保护频带内。那么，对于使用3.5、7和14 MHz  $C_s$ 的系统，仅需考虑进入到杂散域的王用发射。



ITU-R SM.329建议书给出了进入到杂散域的无用发射电平信息，特别是该分析考虑到欧洲采用的电平和和其他一些国家使用的电平（B类电平）。

对于使用低于10 MHz  $C_s$ 工作的FS系统，在达到-60 dB(W/MHz)数值前还有一步。从 $2.5 \times C_s$ 的偏移到中心频率，再到70 MHz的偏移，限值等同于-50 dB(W/MHz)（或100 kHz基准带宽内的-60 dBW）。

对于使用 $C_s$ 小于10 MHz工作的FS系统，为获得更加现实的结果，我们假设，在掩模的-50 dB(W/MHz)点到对应于-60 dB(W/MHz)点之间存在线性减弱。

图12-3提供了使用3.5 MHz  $C_s$ 的系统的无用发射掩模情况。

通过计算EESS频带边缘功率（52.6 GHz），得出：

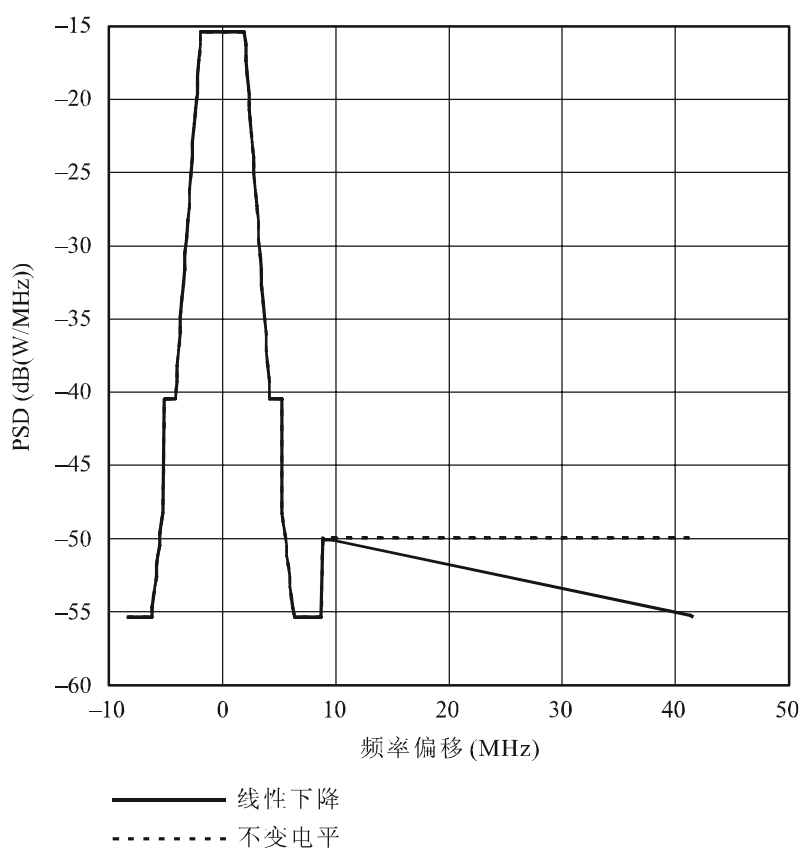
对于3.5 MHz  $C_s$ : -55.5 dB(W/MHz)

对于7 MHz  $C_s$ : -54.5 dB(W/MHz)

这些数值低于表12-4和12-5给出的最低值(-53 dB(W/MHz))。这意味着EESS干扰标准将得到满足。的确，由于干扰功率应纳入一个100 MHz的基准带宽，余量很大。

图12-3

使用3.5 MHz  $C_s$ 的系统的无用发射电平



无用发射掩模  $(-10 \text{ dB(W/3.5 MHz)}/f_c = 52 \text{ 558.25 MHz})$

#### 12.4.3.2.2.2 14 MHz $C_s$ 的情况

应指出的是，ITU-R F.1496建议书为将部署于该频带的、使用3.5 MHz、7 MHz、14 MHz、28 MHz和MHz  $C_s$ 的系统提供频道安排。这些频道安排在FS频带内包含一个40 MHz的保护频带。

这意味着，对于 $C_s$ 为3.5、7和14 MHz的情况，无用发射域（相对于FS信号的中心频率而言，从 $C_s$ 的50%延伸至频道间隔的250%）将包含在保护频带内。那么，对于使用3.5、7和14 MHz  $C_s$ 的系统，仅需考虑进入到杂散域的无用发射。

ITU-R SM.329建议书给出了杂散发射电平的信息，特别是该分析考虑到了欧洲采用的电平以及一些其他国家使用的电平（B类电平）。

对于使用 $C_s$ 高出10 MHz的系统，杂散发射限值为-60 dB(W/MHz)。

进入到100 MHz基准带宽的无用发射电平可直接计算得出：

$$P = -60 \text{ dB(W/MHz)} + 10 \times \log(100 \text{ MHz})$$

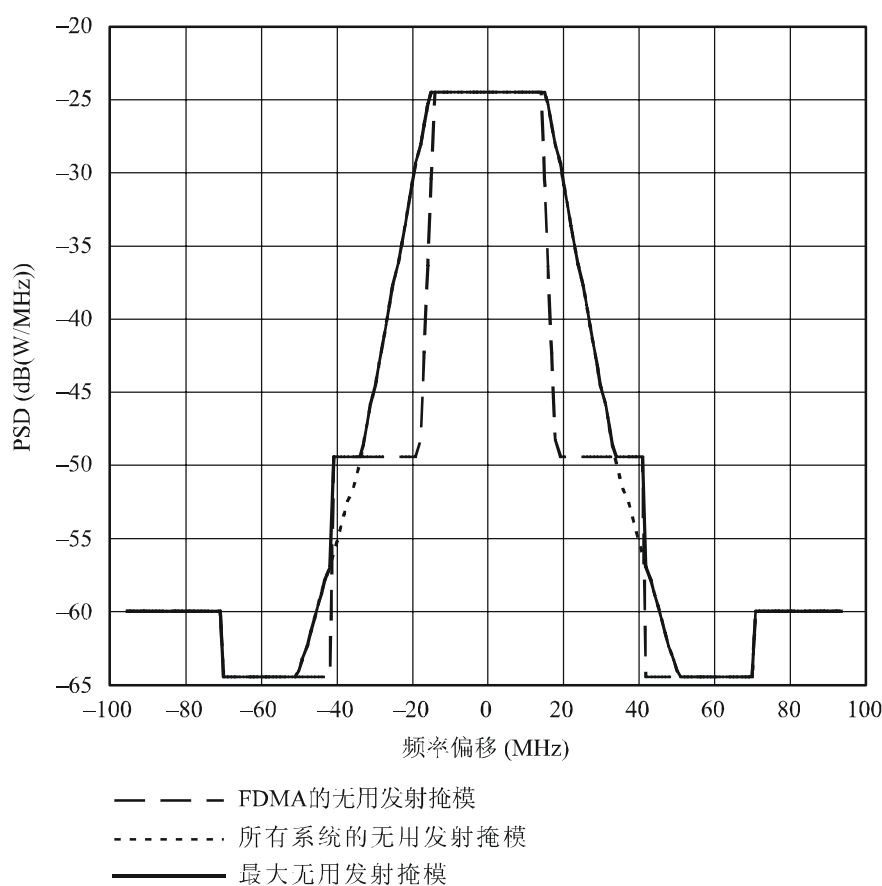
$$P = -40 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

同样，EESS干扰标准得到满足(-33 dB(W/100 MHz))。

#### 12.4.3.2.2.3 28 MHz $C_s$ 的情况

对于进入到无用发射域的无用发射，ITU-R SM.1541建议书给出的无用发射掩模得到考虑（见图12-1）。从ITU-R SM.1541建议书推导得到的发射掩模见图12-4。

图12-4

28 MHz  $C_s$ 系统的无用发射掩模

无用发射掩模 ( $-10 \text{ dB(W/28 MHz)}/f_c = 52\,546 \text{ MHz}$ )

Rap 2092-124

在以下分析中，我们将考虑两个掩模（最差情况假设法）的峰值。

ITU-R SM.329建议书给出了有关杂散发射电平的信息，特别是该分析考虑到B类电平。对于使用 $C_s$ 高出10 MHz的系统，杂散发射限值为 $-60 \text{ dB(W/MHz)}$ 。

使用ITU-R SM.329（B类）建议书给出的无用发射掩模和杂散发射电平，可以推导出可能进入到52.6-52.7 GHz频带的无用发射电平。由此得出在100 MHz基准带宽内以 $-10 \text{ dBW}$ （ITU-R F.758建议书给出的最大值）至 $-40.5 \text{ dBW}$ 工作的28 MHz频道间隔。EESS保护标准得到满足。

#### 12.4.3.2.2.4 56 MHz $C_s$ 的情况

同上文采用了同样的方法。由此得出在100 MHz基准带宽内以 $-10 \text{ dBW}$ ， $-38.7 \text{ dBW}$ 工作的56 MHz  $C_s$ 。EESS保护标准得到满足。

#### 12.4.4 动态仿真

动态仿真是按照一主管部门根据适用于38.4-40 GHz最近FS频带的规定所实施的P-P FS台站特点进行的。在此仿真中，国家有关38.4-40 GHz频带的最大e.i.r.p.和最小天线增益假设适用于51.4-52.6 GHz FS频带。在没有国家频道计划的情况下，在此仿真中使用了ITU-R F.1496建议书中为在51.4-52.6 GHz频带的P-P FS频道分隔规定的频道安排。表12-8给出了在此仿真中使用的FS P-P台站参数。

表12-8提供了在此仿真中采用的两种不同情形模型，其中最大的差异体现在中心频率、必要带宽和所计算的进入到52.6-52.8 EESS（无源）频带中的无用发射。无用发射功率是通过整合适用于最近FS频带内无源传感器基准带宽中的发射掩模得出的。

表12-8

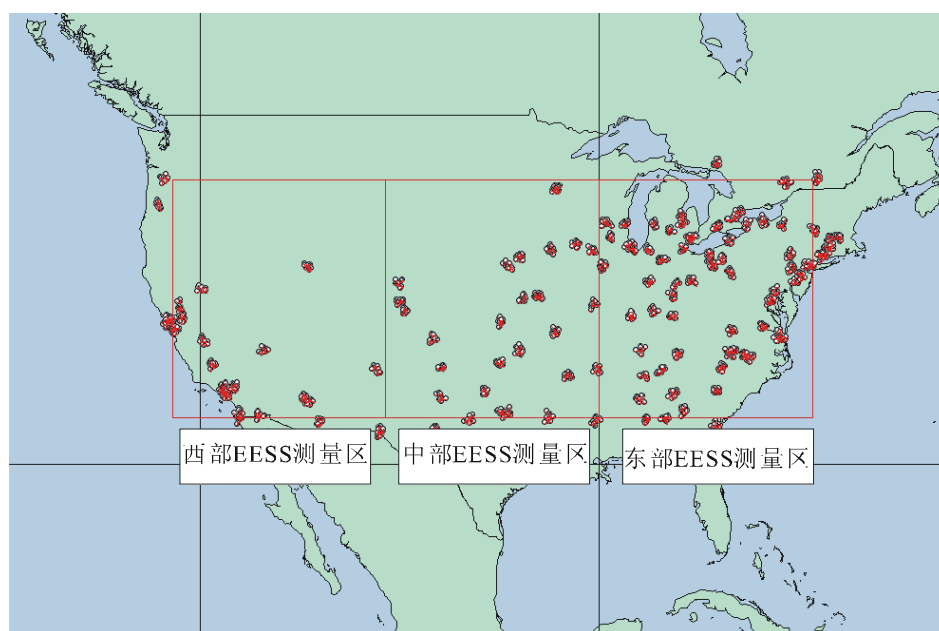
FS P-P台站参数

	情形1	情形2
中心频率 (MHz)	52 556.5	52 532.0
必要带宽 (MHz)	5	50
e.i.r.p. (dBW)	55	55
天线增益 (dBi)	38	38
发射功率 (dBW)	17	17
无用发射功率 在EESS无源频带内(dB(W/200 MHz))	-27.0	-35.4
FS天线方向性图	ITU-R F.1245-1建议书	ITU-R F.1245-1建议书

图12-5显示了发射FS台站的部署及仿真模型所涉及的干扰统计数字及相关主管部门测量区内的三个无源传感器。虚线代表该主管部门131个主要城市中随机分布的2 620个FS台站。在FS部署模型中，200 MHz内2 620台站的FS台站密度依然小于其他频带内的FS台站。举例而言，对于10.6-10.68 GHz频带内的许可FS台站的类似仿真模型，80 MHz的频谱中包含2 652个FS台站，在10 000 000 km<sup>2</sup>的51 GHz频带内的平均FS台站密度（0.0003 FS/km<sup>2</sup>）大大低于前面章节中静态分析所假设的FS密度（0.3至1 FS/km<sup>2</sup>）。

图12-5

## 51.4-52.6 GHz FS 台站部署



Rap 2092-125

该部署的仿真是为北纬 $32.524^{\circ}$ 和 $45.476^{\circ}$ 之间及西经 $73.898^{\circ}$ 和西经 $122.102^{\circ}$ 三个临时的、但非重叠的测量区进行的，如图12-5所示。三个测量区分别称为东、中和西测量区，面积为 $2\,000\,000\text{ km}^2$ 。

对先进的微波探测装置A（AMSU-A）亦进行了仿真，该装置是一个远地点扫描传感器，载于多颗运行卫星，如NOAA K、L和M卫星。AMSU-A传感器是在一个圆轨道上载于卫星，高度为850 km，倾角为 $99^{\circ}$ 。假设传感器天线每8秒绕其轴旋转一圈，该轴与卫星速度矢量一致。波束通过30个指向仰角从最低点得到 $\pm 48.33^{\circ}$ 的平均间隔并与200 ms时间步骤进行测量。对于用于校正的8 s间隔中的2 s，传感器应指向卫星顶点，而且在此扫描周期内的校正部分没有计算干扰。传感器天线最大增益为36 dBi，波束宽度为 $3.3^{\circ} - 3\text{ dB}$ 。传感器天线旁瓣方向图符合ITU-R F.1245-1建议书规定的基准天线方向图。FSS上行链路进入到无源AMSU传感器的干扰在自由空间传播条件下得到评估，同时考虑到ITU-R P.676建议书规定的大气（气体）吸收造成的额外损耗。

仿真的目的是要在每步200 ms的范围内进行16天的仿真，从而产生CDF，使无源传感器得以在测量区内抽取样点。FS台站进入到52.6-52.8 GHz EES（无源）频带内的干扰CDF见图12-6、12-7和12-8（分别是代表三个测量区）。由此产生了对CDF的比较，假设每个经许可的FS台站按第738号决议（WRC-03）发射 $-33\text{ dB(W/100 MHz)}$ 的无用发射功率。

图12-6

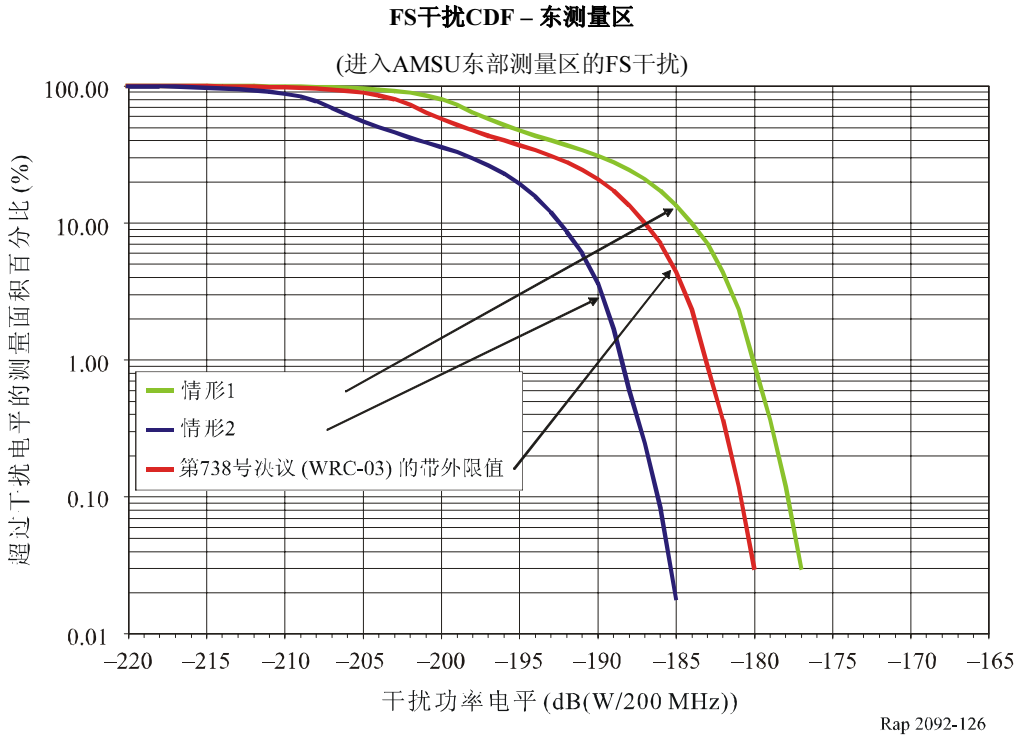


图12-7

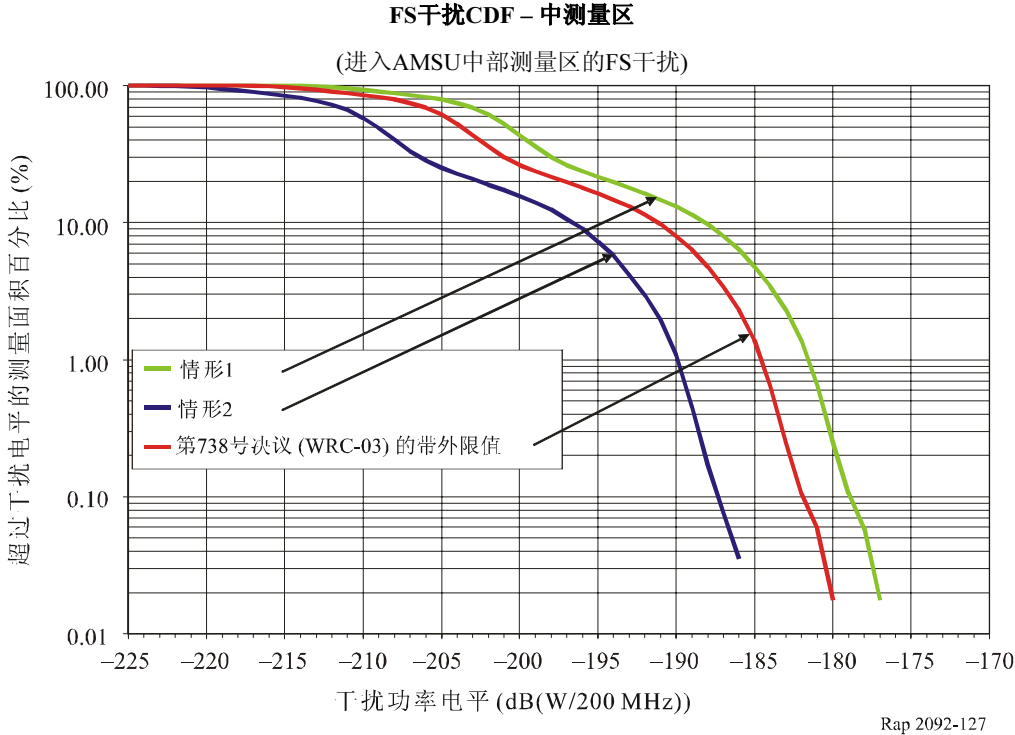
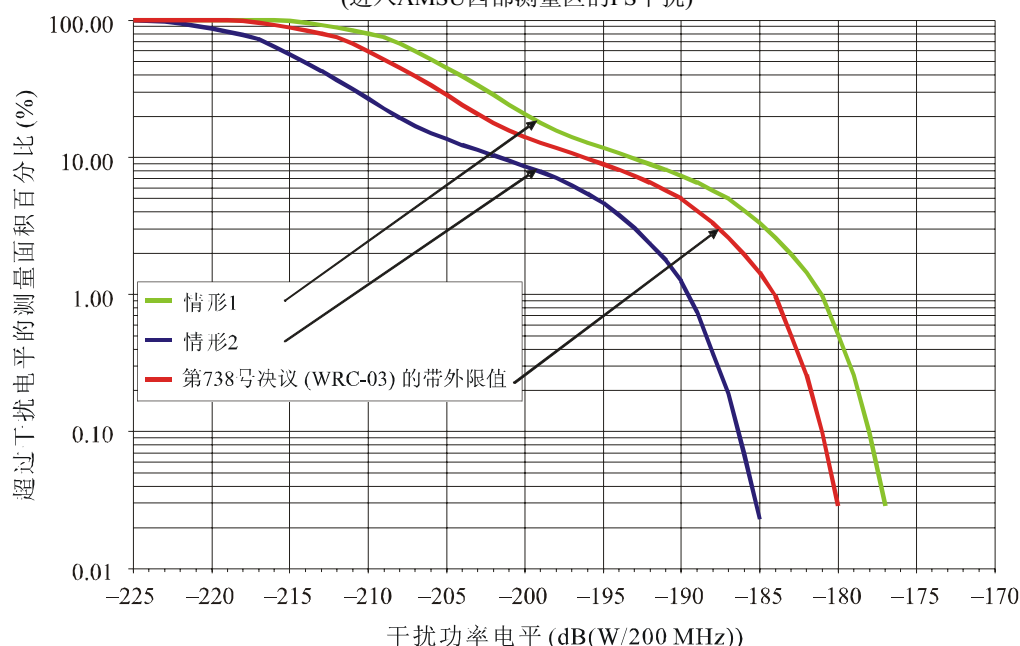


图12-8

## FS干扰CDF – 西测量区

(进入AMSU西部测量区的FS干扰)



Rap 2092-128

## 12.5 减扰技术

### 12.5.1 EESS（无源）

无需干扰减轻技术。

### 12.5.2 FS

在设计FS系统时无需考虑其他的干扰减轻技术。

### 12.5.3 潜在的影响

#### 12.5.3.1 EESS

没有影响。

#### 12.5.3.2 FSS

没有影响。

## 12.6 研究结果

### 12.6.1 摘要

在本节中，可以看出工作在51.4-52.6 GHz频带的FS系统的无用发射电平可满足EESS业务的保护标准。

为评估一主管部门许可台站目前产生的无用发射的影响已进行了动态仿真。10 000 000 km<sup>2</sup>仿真区域内这些部署模型的P-P台站平均密度大大低于按照0.03-0.04%系数进行的静态计算所得出的无源传感器主波束最差情况下的FS密度。这些动态仿真的结果表明，AMSU无源传感器即使在P-P台站的无用发射功率电平超过第738号决议（WRC-03）规定的无源发射功

率-33 dB(W/100 MHz)情况下，以假设较低的FS台站密度仍未超出ITU-R RS.1029-2建议书规定的EESS（无源）可允许干扰标准。

#### 12.6.2 结论

51.4-52.6 GHz频带FS系统产生的无用发射电平可达到-33 dB(W/100 MHz)，由此确保EESS和FS系统在52.6 GHz的兼容。

---