



空间业务部

对地静止卫星网络间的兼容性分析

摘要

本文件旨在概要介绍评估对地静止卫星网络兼容性所采用的不同标准，确定需要与其进行协调的网络并引入可促进协调并获得不受干扰的操作环境可采用的方法等问题。文件包含WRC-15和即将召开的WRC-19开展的研究所取得的最新成果。

文件还考虑到发出通知的主管部门可将其卫星网络的特性申报给国际电联，指出为优化输出成果可在组织申报时考虑的一些问题，同时尽可能准确地反映实际情况。

在任何情况下，都应从概念和实际角度考虑问题，做到既有部分细节，又不偏离总体目标。

1 确定协调要求

《无线电规则》附录5确定了在各种情况下需采用的技术标准，包括：

- 包含协调形式的规则条款；
- 与情况相关的共用方案；
- 频段和区域；
- 业务；
- 门限/条件；
- 计算方法。

附录5的表5-1、5-2和附件1介绍了不同情况的详细说明。

在GSO网络根据第9.7款进行协调的情况下，存在以下标准：

1.1 协调弧

此概念包括在外来网络标称轨道经度位置为 ± 6 、 ± 7 、 ± 8 、 ± 12 或 ± 16 度（取决于频段、业务和区域）的窗口内，在相同发射方向确定频率重叠的卫星网络。

无线电通信局采用该方法在附录5所述的具体频段内，确定非规划FSS和BSS业务以及卫星气象、空间研究及其各自用于空间操作的相关频率指配的协调要求。

下表列出了各种情况的摘要：

频段、区域	业务和适用的协调弧
1) 3 400-4 200 MHz 5 725-5 850 MHz (1区) 5 850-6 725 MHz 7 025-7 075 MHz	FSS 的任一网络 and 任何相关的空间操作功能，其空间电台位于 FSS 拟议网络的标称轨道位置 $\pm 7^\circ$ 的轨道弧内
2) 10.95-11.2 GHz 11.45-11.7 GHz 11.7-12.2 GHz (2区) 12.2-12.5 GHz (3区) 12.5-12.75 GHz (1和3区) 12.7-12.75 GHz (2区) 13.4-13.65 GHz (1区) 13.75-14.5 GHz	非规划FSS或BSS 的任一网络，以及任何相关的空间操作功能，其空间电台位于 非规划FSS和BSS 拟议网络的标称轨道位置 $\pm 6^\circ$ 的轨道弧内 - 在 13.4-13.65 GHz 频段内，空间研究业务（SRS）中的任何网络或 FSS 中的任何网络或 FSS或SRS 中拟议网络标称轨道位置 $\pm 6^\circ$ 轨道弧内使用空间电台进行的相关空间操作功能（见第 1.23 款）。 - 在 14.5-14.8 GHz 频段内， 无需遵守规划 的空间研究业务（SRS）或 FSS 中的任何网络以及 无需遵守规划 的SRS或 FSS 中拟议网络标称轨道位置 $\pm 6^\circ$ 轨道弧内使用空间电台进行的相关空间操作功能（见第 1.23 款）。
3) 17.7-20.2 GHz (2和3区) 17.3-20.2 GHz (1区) 和 27.5-30 GHz	FSS 的任一网络 and 任何相关的空间操作功能，其空间电台位于 FSS 拟议网络的标称轨道位置 $\pm 8^\circ$ 的轨道弧内
4) 17.3-17.7 GHz (1和2区) 5) 17.7-17.8 GHz (第5.517款适用于2区)	FSS 的任一网络 and 任何相关的空间操作功能，其空间电台位于 BSS 拟议网络的标称轨道位置 $\pm 8^\circ$ 的轨道弧内， 或相反情况
6) 18.0-18.3 GHz (2区) 18.1-18.4 GHz (1和3区)	FSS或卫星气象业务 的任一网络 and 任何相关的空间操作功能，其空间电台位于 FSS或卫星气象业务 拟议网络的标称轨道位置 $\pm 8^\circ$ 的轨道弧内
6)之二 21.4-22 GHz (1和3区)	BSS 业务的任一网络 and 任何相关的空间操作功能，其空间电台位于 BSS 拟议网络的标称轨道位置 $\pm 12^\circ$ 的轨道弧内。 亦见第 553 和 554 号决议（ WRC-12 ）
7) 高于17.3 GHz频段， 3)和6)款中定义的频段 除外	FSS 的任一网络 and 任何相关的空间操作功能，其空间电台位于 FSS 拟议网络的标称轨道位置 $\pm 8^\circ$ 的轨道弧内（亦见第 901 号决议（ WRC-07 ，修订版））
8) 17.3 GHz以上频段，4)、5)和6) 之二款规定的频段除外	非规划的FSS或BSS 的任一网络 and 任何相关的空间操作功能，其空间电台位于 非规划的FSS或BSS 拟议网络的标称轨道位置 $\pm 16^\circ$ 的轨道弧内， FSS对FSS的情况除外 （亦见第 901 号决议（ WRC-07 ，修订版））。

在使用第**901**号决议（**WRC-15**）的过程中，根据ITU-R的研究结果以及未来大会所做出的决定，协调弧的数值可以扩展到其它频段和业务。

1.2 $\Delta T/T > 6\%$ 的标准（《无线电规则》附录8）

无线电通信局采用该方法来确定根据《无线电规则》第9.7款未采用协调弧的其它情况的协调要求。各主管部门在根据《无线电规则》第9.41款要求无线电通信局将其名称或某一卫星网络纳入或排除在协调过程之外时也利用该方法。

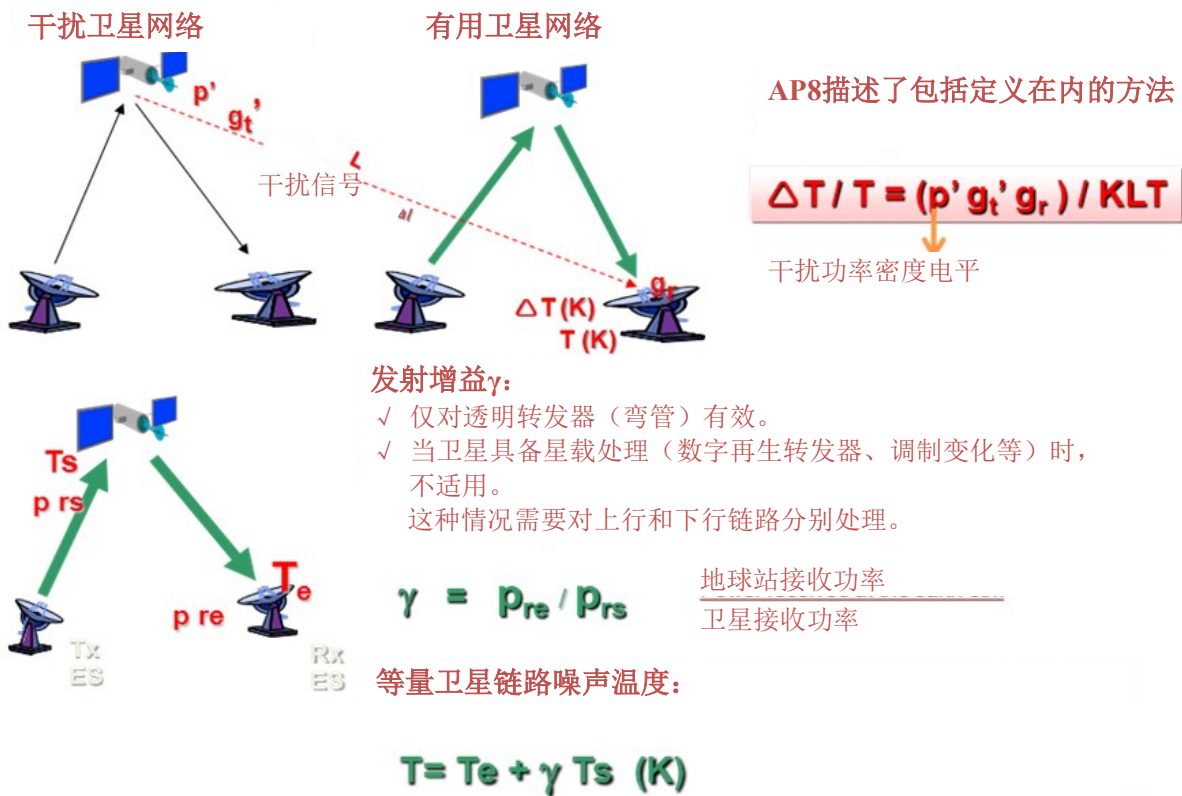
该方法定义了如果超过即可能产生有害干扰的门限。但是，如果未超出，该方法确保了相关频率指配之间的兼容性。

本质上，该方法是对接收机因干扰造成的噪声温度提高进行测量。

在 $\Delta T/T > 6\%$ 的情况下，需要进一步分析来确认所研究的指配不兼容，强调这一点非常重要。这是因为 $\Delta T/T$ 标准并未考虑有用信号和产生干扰的频谱形状（例如，C/I等其它方法更加准确）。

下图描述了一般性概念、各种不同的可能情况以及要应用的公式：

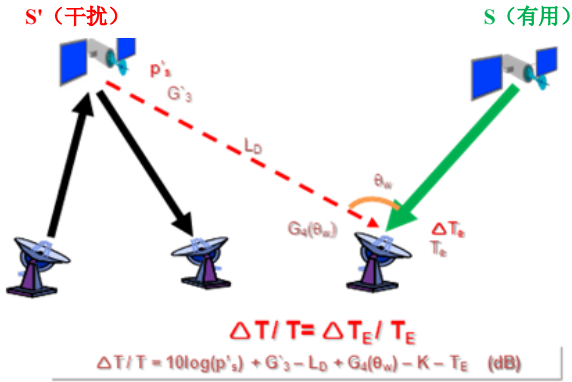
一般性概念



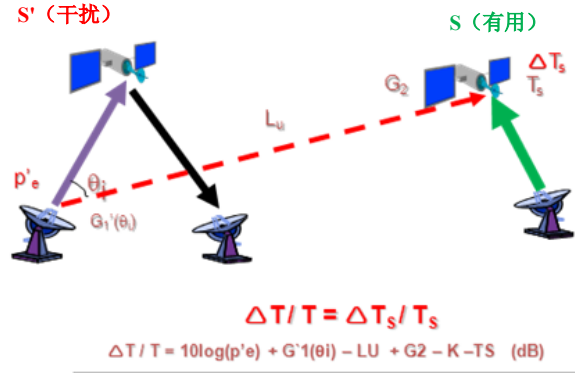
$\Delta T/T$ 第一种情况：频率重叠且同向

对上行和下行链路的分别处理
(有用卫星具备星载信号处理)

频率重叠仅在下行链路

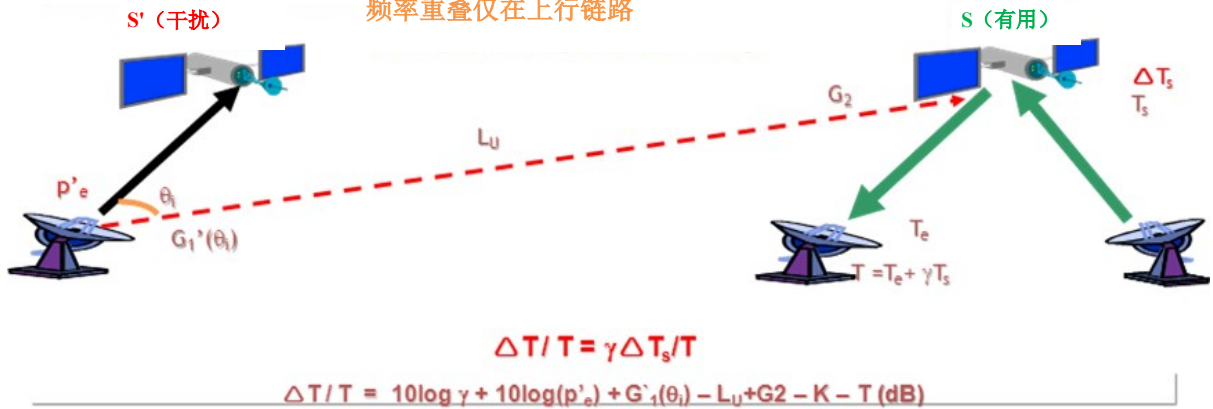


频率重叠仅在上行链路

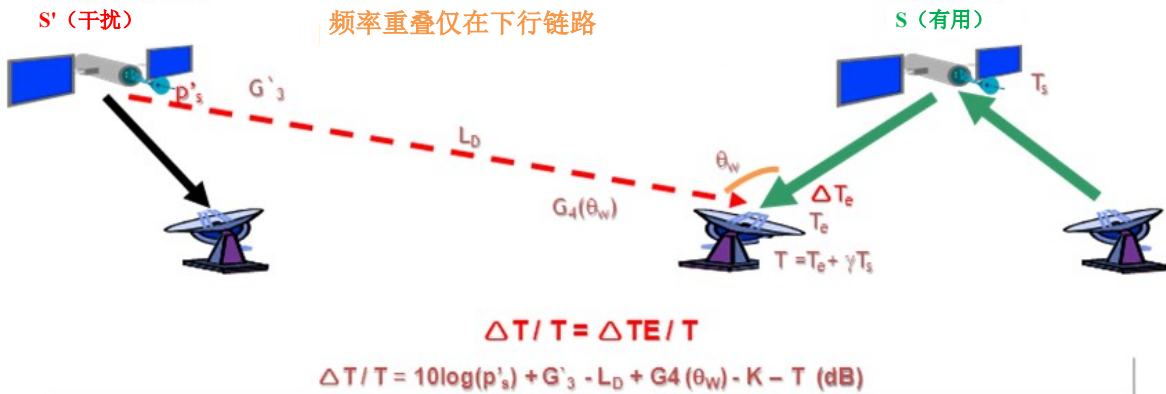


透明转发器 (弯管)

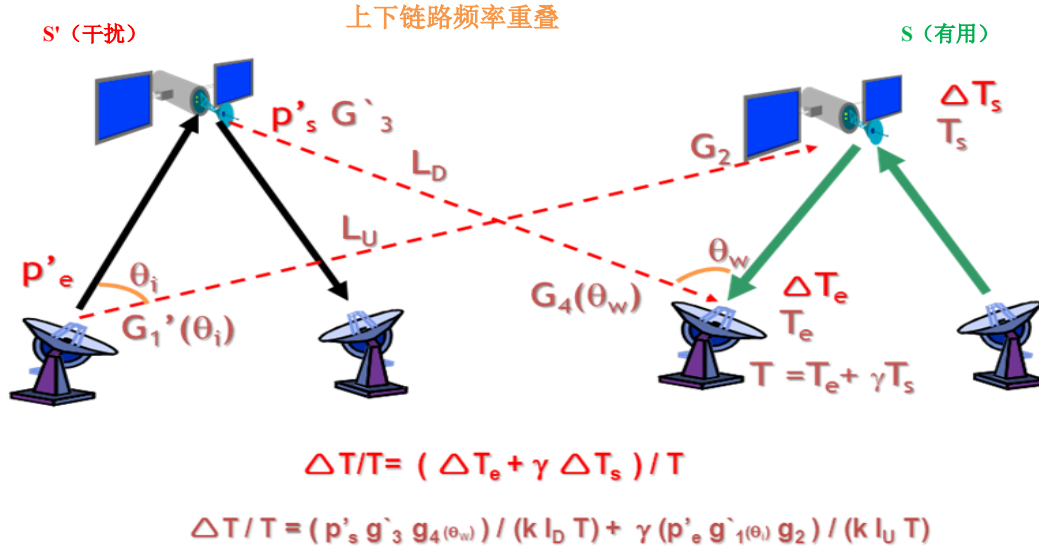
频率重叠仅在上行链路



频率重叠仅在下行链路

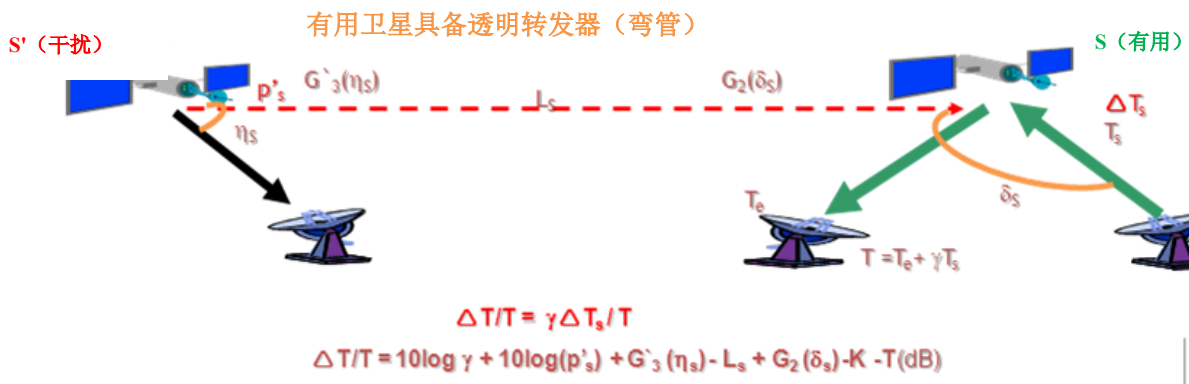
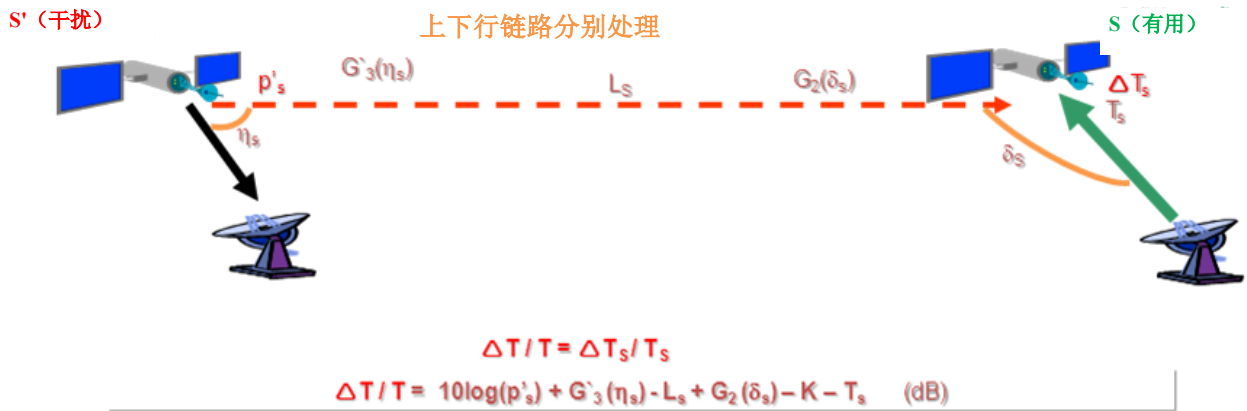


透明转发器（弯管）



$\Delta T/T$ 第二种情况：频率重叠但传输方向相反（星间）

下行链路（干扰）重叠上行链路（有用）



η_s = 从干扰卫星S'到有用卫星S方向

δ_s = 从有用卫星S到干扰卫星S'方向

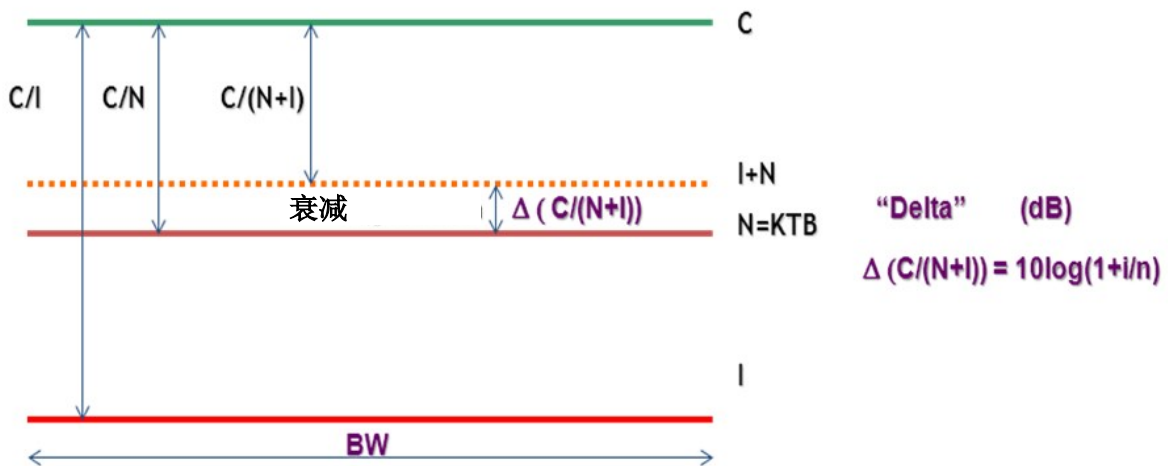
2 C/I标准

尽管《无线电规则》未采用该方法来确定协调要求，但无线电通信局在卫星网络通知资料的审查中采用该方法，以便根据第11.32A款的规定，在发出通知的主管部门提出要求时，对产生有害干扰的可能性是进行更详细的审查。卫星操作者在协调会议中经常使用该标准。

无线电通信局的审查基于ITU-R S.740、ITU-R S.741-2建议书所定义的方法和保护标准以及无线电规则委员会的相关《程序规则》或主管部门之间共同认可的方法和保护标准。

在其它数据中，该方法考虑有用信号（电平和载波调制类型），干扰信号（电平和频谱形状）以及重叠带宽，使得该方法相对于此前介绍的I/N或 $\Delta T/T$ 等简单标准更加准确，特别是在网络间共用分析需要满足特定的质量和可用度目标时。

下图显示了典型的载波电平以及干扰对接收机噪声功率（N）所产生的衰减：



$I/N = -12 \text{ dB} \rightarrow$ 衰减 $\cong 0.26 \text{ dB} \rightarrow \Delta T/T = 6\%$
 $I/N = -10 \text{ dB} \rightarrow$ 0.4 dB
 $I/N = -6 \text{ dB} \rightarrow$ 1 dB

针对单一干扰源。

如上述段落所述，在不详细探讨C/I分析的情况下（另有单独的文件讨论该问题）描述了一些特性和优势，以便向读者提供一些指导原则。

根据这种方式，一般概念可表示为：

$$C/I = C/N + K$$

其中：

K = 保护比（通常在12.2-14 dB之间，取决于载波类型）

C/N = 链路预算结果（考虑S/N或BER、可用度等目标）

C/I = 确保网络之间兼容性所需的保护

通过考虑带宽有利因子（Bandwidth Advantage Factor）可以改善上述公式的结果，该因子为有用信号带宽中干扰载波功率与总干扰载波功率的比值。

原则上，可以假定晴空条件，然后考虑传播损耗等其它因素来进行分析（ITU-R P.676-8和ITU-R SF.766建议书可能非常有用）。

要获得更加准确的结果，还可考虑馈线和未对准损耗。

如果考虑了**多干扰源**，在C/I方面该公式可表示为：

$$c/i_{\text{Total}} = \frac{1}{\frac{1}{c/i_{\text{Adj. Sat}}} + \frac{1}{c/i_{\text{Terrest}}} + \frac{1}{c/i_{\text{Other}}}}$$

3 PFD标准

另一个评估GSO网络之间兼容性的方法包括比较在地球表面或GSO轨道生成的功率通量密度值和具体触发值。如超出，需要进行协调或在应用第**11.32A**款的情况下，则认为可能造成有害干扰。WRC-15最近产生的实例如下：

第762号决议（WRC-15）

按照第**11.32A**款应用功率通量密度标准以评估对无需遵守规划的6 GHz和10/11/12/14 GHz 频段内卫星固定和卫星广播业务网络可能造成的有害干扰。

对于以下卫星网络：

- 对地静止轨道内标称轨道间隔为7°以上的、工作在5 725-5 850 MHz（1区）、5 850-6 725 MHz和7 025-7 075 MHz（地对空）频段内的卫星网络，卫星固定业务（FSS）卫星网络不可能对其他FSS网络的指配造成有害干扰，如果在假设的自由空间传播条件下对于其他FSS 网络的**对地静止卫星轨道位置产生的pfd 未超过-204.0 dB(W/(m² · Hz))***；
- 在10.95-11.2 GHz、11.45-11.7 GHz、11.7-12.2 GHz（2区）、12.2-12.5 GHz（3区）、12.5-12.7 GHz（1区和3区）和12.7-12.75 GHz（空对地）频段，非规划的FSS或卫星广播业务（BSS）卫星网络的指配不可能对其他在对地静止卫星轨道中标称轨道间隔为6°以上的非规划的FSS或BSS网络造成有害干扰，如果在假设的自由空间传播条件下产生的pfd在潜在的受影响指配服务区的任何地方均不超出如下所示*的门限值

$5.8^\circ < \theta \leq 20.9^\circ$	$\text{pfd} = -187.2 + 25\log(\theta/5)$	dB (W/(m ² · Hz))
$20.9^\circ < \theta$	$\text{pfd} = -171.67$	dB (W/(m ² · Hz))

其中 θ 是有用和发出干扰的空间电台之间以度计算的对地静止卫星轨道的最小轨道间隔，同时顾及纵向位置保持容限；
- 在13.75-14.5 GHz（地对空）频段内运行、对地静止卫星轨道的标称轨道间隔大于6°的卫星网络，如果在假设的自由空间传播条件下其他FSS网络的**对地静止卫星轨道位置产生的pfd未超过-208 dB(W/(m² · Hz))***，则FSS卫星网络的指配对其他FSS网络的指配不可能造成潜在有害干扰。

4 研究组文稿

ITU-R第4研究组，特别是4A和4C工作组正在不断地研究现有干扰标准的新建议或更新相关的规则程序。

在按照议项7筹备WRC-19时，为提出以下建议正在开展分析：引入[8]度协调弧作为所有3个区29.9-30 GHz（地对空）/20.1-20.2 GHz（空对地）频段以及2区29.5-29.9 GHz（地对空）/19.7-20.1 GHz（空对地）频段内FSS与MSS系统之间协调的触发值。提交4A和4C工作组的研究结果和初步讨论情况见4A工作组主席报告的附件22。同时，根据议项1.5，为审议动中通地球站与卫星固定业务中对地静止空间电台对17.7-19.7 GHz（空对地）和27.5-29.5 GHz（地对空）频段的使用正在开展分析。

讨论的背景、技术和操作研究以及研究周期的初步意见见4A工作组主席报告的附件18。

有关上述提案的进展应在即将召开的相关会议上予以跟进，因为相关讨论结果可能会修改本文件各章节所述的当前标准和程序。

5 促进GSO之间协调和共用的方法

在介绍了确定需要协调的卫星网络的方法以及判断需要消除的干扰电平的标准之后，此阶段剩下的问题是如何使网络互相兼容。

因此，下文介绍了通常用来实现所需的兼容性并可以为读者提供帮助的一些方法，同时认识到这些只是许多方法中的一部分。ITU-R SM.1132-2建议书提供了在该方面的更详细信息。

原则上，选择要采用的方法取决于卫星项目所处的阶段。

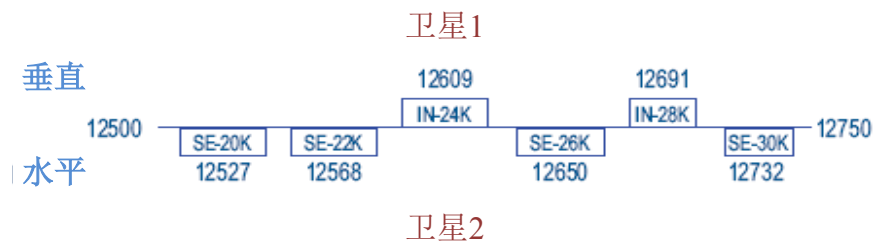
在航天器设计的早期阶段，可以实施对空间电台波束以及相关天线增益等值线图等各方面的可能修改。

与此相反，如果卫星已经生产，可供选择的方案将更加局限于地面部分且各种可能性或将以地球站为重点。

典型的方法如下：

5.1 频率分割（或者是频段隔离，或者是信道安排计划）

5.2 极化优势



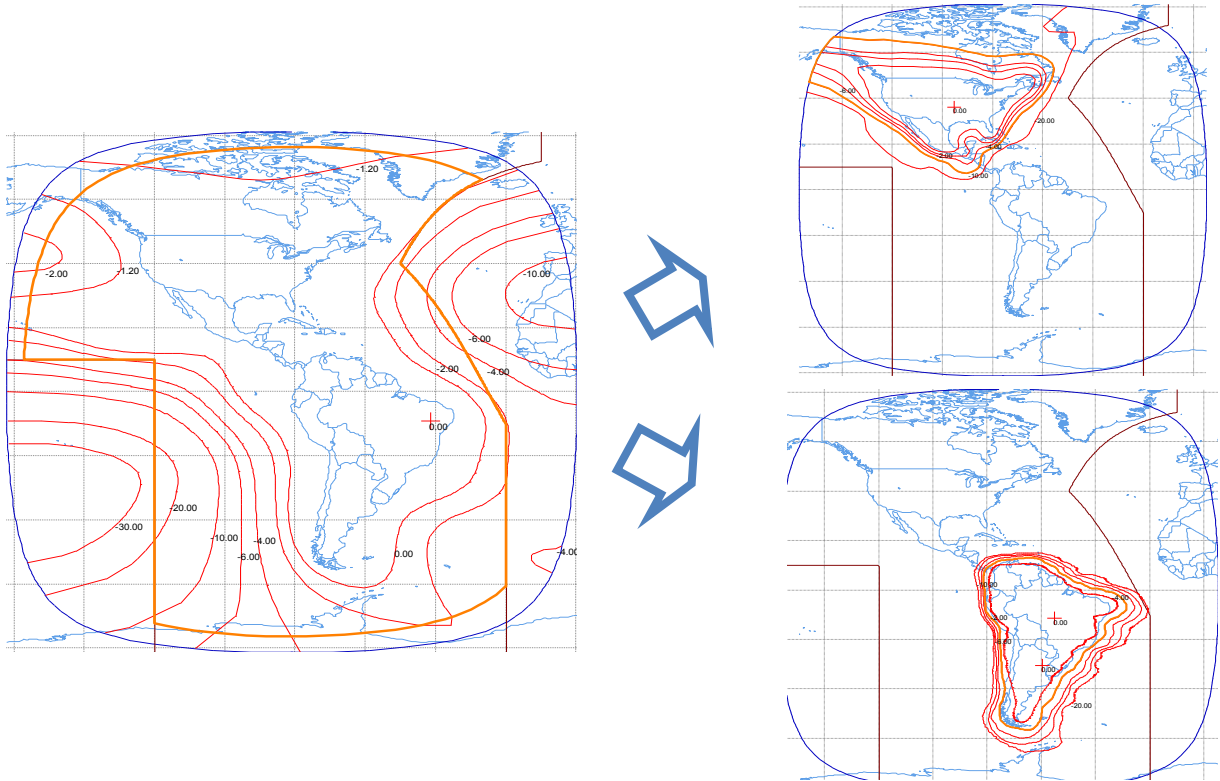
5.3 改善天线系统的空间间隔

- 重新设计或详细说明与卫星波束有关的天线增益等值线图，滚降和业务区
- 修改地面部分的天线直径

- 改进地球站辐射方向图。

空间部分

下图显示了如何采用区域或点波束，而不是用半球波束隔离两个或多个不同的区域。在这种情况下，如果在特定地区与其它网络的协调更为困难，并不会影响到业务区的其它部分。除此之外，该方法还允许进行频率复用且可分别改善频谱轨道资源的利用。



下图显示了当天线直径变化时主瓣的变化情况，可以观察到对相隔1度的卫星所产生的干扰大约降低了5 dB，而同时将天线直径从1.2米增加到13米。

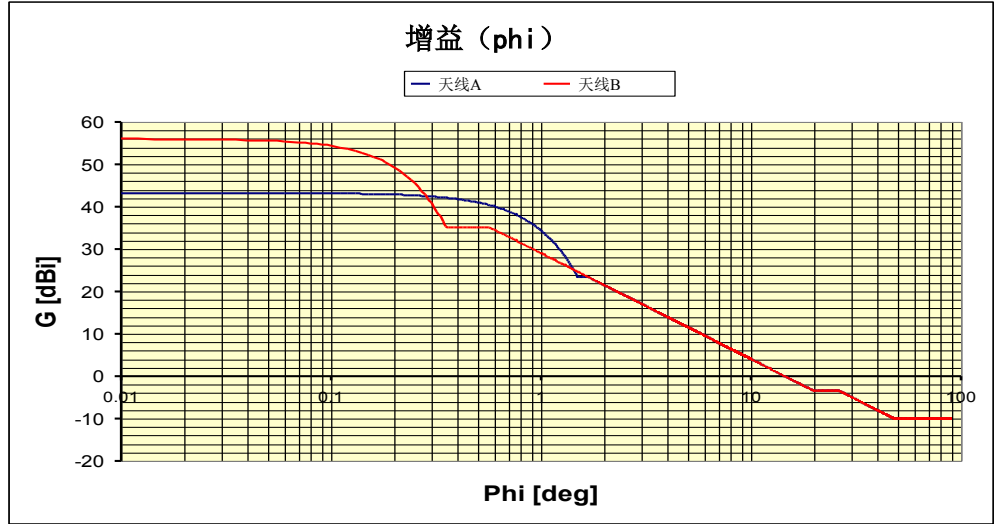
Ga max [dBi]=	43.2
Gb max [dBi]=	56

天线A
 G1 = 23.34
 Phi m = 1.50
 D/L = 59.40
 Phi r = 1.68
 Phi b = 47.86
 Beamwidth = 1.17

天线B
 G1 = 35.21
 Phi m = 0.35
 D/L = 259.28
 Phi r = 0.56
 Phi b = 47.86
 Beamwidth = 0.27

参考 - 意见:
 天线A = 典型1.2M
 天线B = 典型13M

主瓣和近旁瓣
REC-580-6天线图



5.4 修改邻近卫星之间的轨道间隔

以下示例说明了如果将两个卫星之间的距离从2度改为3度，那么干扰将降低4.8 dB:

假定 $D/\lambda = 100$ ；地球站天线辐射方向图符合465-5 / 580-6建议书

干扰降低:

$$I_f - I_i = 25 \cdot \log(\varphi_i / \varphi_f)$$

其中: φ_f : 卫星之间最终的最小间隔

φ_i : 卫星之间最初的最小间隔

情况1

$$\Theta_{1n} - \Theta_{2n} = 2^\circ \quad \rightarrow \text{标称的轨道间隔}$$

$$\Delta\Theta_1 = \Delta\Theta_2 = \pm 0.1^\circ \quad \rightarrow \text{东 - 西轨道保持}$$

情况2

$$\Theta_{1n} - \Theta_{2n} = 3^\circ$$

$$\Delta\Theta_1 = \Delta\Theta_2 = \pm 0.1^\circ$$

与情况1有关的干扰降低

$$I_f - I_i = 25 \cdot \log(1.8 / 2.8) = -4.8 \text{ dB}$$

尽管从技术角度看这似乎是一种优秀的解决方案，但必须强调：现在在C和Ku频段的FSS等绝大多数经典业务和频段中，改变轨道内卫星将给位于第一颗卫星移动方向相同频段内的部分卫星网络增加干扰（以 $\Delta T/T$ 进行衡量）。

从规则的角度看，根据无线电规则委员会与第9.27款有关的《程序规则》第2段，并考虑到上述情况下对地静止轨道卫星高度拥挤的现状，这种新增干扰将产生新的协调要求或修改协调的要求，而大家并非始终有此愿望，因此应谨慎地加以评估。

5.5 重新安排不同类型载波的分布

该方法基本上包括以下步骤：

- 确定不同类型的载波，如：
 - 遥测、跟踪与控制（TT&C）
 - 模拟电视/调频
 - 数字数据
- 考虑在带宽、最大功率和谱密度分布等方面采用不同的特性。
- 在频率范围内将其分组，考虑邻近的卫星使用类似的载波分布。
- 可在协调过程中达成与载波类型和频段有关的偏轴e.i.r.p.掩模以及操作的限制或放松。

5.6 采用先进的调制/前向纠错（FEC）技术（如DVB-S2）、信号编码和处理方法（扩频或CDMA等）

5.7 重新设计链路预算，包括调制-FEC、功率密度电平、调整性能和可用度目标，以便容忍更大电平的干扰

6 如何优化提交国际电联的申报资料

6.1 现状

在该阶段，已经说明了如何确定协调要求，评估GSO卫星网络之间兼容性的几种干扰标准、可用于促进协调的方法，以及GSO网络之间共用的情况。

《无线电规则》第9和11条阐述了将在频率总表中登记指配，获得国际认可、保护以及相关的权利和义务等主要目标的整个实现过程，该过程涉及以下三个阶段：

- 提前公布资料
- 协调和
- 通知

无线电通信局已经发开了几种软件工具来实施上述程序，包括提交通知单。

每一种通知都具有编辑与相关卫星网络有关，或者用于协调，或者用于通知申报资料的一整套频率指配特性的结构。

一些特性是：

- 空间电台波束

- 业务区
- 频段
- 功率密度电平
- 相关地球站

这些特性和其它一些特性被安排在频率指配组（**Group**）中，随后各主管部门采用这些特性来进行协调并最终向国际电联提交卫星网络通知。

各主管部门可自行选择在几个组中安排一整套频率指配的方式。但是，各通知的目的均是尽可能获得合格的审查结果，以便将指配登入频率总表中。根据这种方式，本章希望向读者提供一些指导原则，以便提高效率。根据通知组织结构的不同，这种效率可以用登入频率总表的频率指配的数量与提交的频率指配总数间的比率进行衡量。

鉴于可自由地将在协调或通知资料中提交的指配进行分组，如果这些指配按照分组层面获得审查结果与指配实际使用相吻合这一方式进行申报，则不仅将确保在无需应用第**11.41**款的情况下进行登记的机率，还将有助于其它卫星网络未来对频率轨道资源的有效利用。由于改进了频率总表中的可用信息，强调这一点可能是有意义的。

综上所述，了解到在协调阶段，有必要在组合几种正在研究的特性方面保留更大的灵活性，且非常重要是在与其它网络开展协调的末期，应在卫星项目需要满足的最终需求均已明确之后再对其加以定义。

因此，预计协调申请可能会成为一种更加笼统的方法，而不是提交用来进行通知的一套具体且准确的指配。

6.2 在安排通知的过程中需考虑的问题

可以采用第5.1段所述的特性，以解释对申报资料的可能优化，具体如下：

a) 空间电台波束和业务区：

在分析其它相邻卫星网络的过程中，有可能发现一些地区的操作比其它地区更加现实。因此，业务区可分为不同的组，甚至不同的波束。通过这种方法，可确保与最恰当的业务区有关的频率指配可以成功地进行登记，而其它频率指配可继续进行协调或在后期进行修改。

b) 频段

同样的概念也可用于频率规划。已经成功完成协调的频段部分可以安排在与协调尚未完成的其它部分不同的组中。否则，由于在与整个频段有关的单个组中包含了一部分指配，整个频率指配有可能获得不合格的审查结果。

c) 功率密度电平

根据发射的不同，可以找到几种功率密度电平来满足所需链路预算的要求。这些载波的一些可能已经成功完成协调，而其它载波仍需要进一步进行协调。在这种情况下，再次建议在考虑不同功率电平的情况下将组进行分割。

一个典型的示例是将空间操作载波从数字数据或调频电视载波中分离出来，在这种情况下最大的功率电平可能相差几个dBW。

d) 相关地球站

关于地球站，如上述第4项所示，天线直径将影响到其主瓣及其对邻近的独立卫星产生的干扰或其抵抗邻近的独立卫星所产生干扰的能力。因此，例如，9米天线地球站的兼容情况将远远好于1.2米天线的兼容情况。而且，根据天线尺寸采用不同的组将确保在不受相同组最坏情况影响的情况下，将指配相应地进行登记。
