



空间业务部门

等效功率通量密度（EPFD）限值

1 引言

第85号决议（WRC-03）涉及将《无线电规则》第22条用于保护对地静止卫星固定业务和卫星广播业务网络免受非对地静止卫星固定业务系统的干扰。

第85号决议（WRC-03）要求无线电通信局审查频率指配是否达到以下要求：

- a) FSS非地球同步轨道卫星系统符合《无线电规则》第22条表22-1A、22-1B、22-1C、22-1D、22-1E、22-2和22-3包含的EPFD限值；
- b) 特定大型地球站（在一定条件下）需要根据《无线电规则》第9.7A款，使用《无线电规则》附录5中的协调程序与所有现有的非地球同步轨道卫星系统进行协调；或者
- c) 卫星固定业务非地球同步轨道卫星系统需要根据《无线电规则》第9.7B款，使用《无线电规则》附录5中的协调程序，与所有的大型地球站（在一定条件下）进行协调。

这些条款的应用是以确认由非地球同步轨道卫星系统产生的EPFD为基础。

本文提供了关于EPFD限值应用的背景信息，重点关注涉及非地球同步轨道FSS和地球同步轨道FSS/BSS系统之间频率共用的规则情况。

2 非对地静止卫星系统

非对地静止（non-GSO或NGSO）卫星系统是提供覆盖全球的实时通信的理想工具。非对地静止卫星固定业务（FSS）系统通常可以提供高速宽带业务，包括向全世界的家庭和办公室（包括对地静止卫星无法覆盖的位置）提供互联网连接。典型的非对地静止卫星系统由一个或多个位于低地球或中地球轨道的空间电台和关口站构成。这些网关与地面网络相连接，为每个用户提供私人或公共网络接入。

鉴于适宜频率的短缺，并为了充分利用现有的基础设施，非对地静止FSS系统现正与GSO FSS和GSO卫星广播业务系统（BSS）共用频率。为了优化可用频谱的使用，诸如《无线电规则》第22条中的EPFD限值这类的规则性条款需要为非对地静止FSS和GSO FSS系统之间的频率共用提供便利。

目前，已向无线电通信局提交了若干非对地静止系统，以进行协调和通知。这些系统都具有不同的轨道几何形状和星群参数。

大部分系统都拥有从几十到数千颗的大量卫星。甚至在一个单独的卫星系统中，数颗卫星亦可同时向一个特定地理区域发射信号。这种情况要求必须在计算非对地静止网络对其它地面固定电台或GSO的干扰时考虑到以下问题：

- 我们不能事先了解掌握有关造成干扰电台位置的信息；
- 由于干扰源相对于固定接收电台在一直运动，因此应将该干扰的统计属性考虑在内；
- 可能存在若干个同时发射信号的干扰电台，从而导致总干扰水平增加。

鉴于上述因素，有必要确定适当的衡量标准以衡量非对地静止FSS对GSO FSS的干扰。

3 什么是EPFD?

为方便在与GSO FSS共用的某些Ku和Ka波段内引入非对地静止卫星固定业务系统，WRC-97通过了EPFD的概念。

WRC-97对非地球同步轨道系统的发射采取“硬”限值（决不能超过），并给它们下了不用于功率通量密度（PFD）的定义，WRC-97对等效通量密度（EPFD）的定义考虑了来自任何地球同步轨道卫星地球站方向上所有非地球同步轨道卫星的总发射，考虑了地球同步轨道天线的方向性。这样的硬限值使得非地球同步轨道卫星固定业务系统能够与地球同步轨道系统共享频率，并且能在不需要单独协调全球所有系统的情况下保护地球同步轨道系统。

《无线电规则》第22条规定EPFD如下：

22.5C.1 等效功率通量密度定义为，非对地静止卫星系统范围内，所有发射电台在地球表面或在对地静止轨道中的对地静止卫星系统接收电台产生的功率通量密度的总和，并考虑可能指向基准接收天线的离轴鉴别。等效功率通量密度是使用下列公式计算的：

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

其中：

- N_a : 从地球表面或在对地静止轨道考虑的对地静止卫星系统接收电台可看见的非对地静止发射电台的数量；
- i : 非对地静止卫星系统发射电台的指数；
- P_i : 在基准带宽中考虑的非对地静止卫星系统发射电台天线输入点的RF功率；
- θ_i : 非对地静止卫星系统接收电台方向非对地静止卫星系统中发射电台视轴之间的离轴角度；
- $G_t(\theta_i)$: 在对地静止卫星系统接收电台方向非对地静止卫星系统电台的发射天线增益（比率）；
- d_i : 非对地静止卫星系统发射电台和对地静止卫星系统接收电台中发射电台之间以米计算的距离；

- φ_j : 非对地静止卫星系统中对地静止卫星系统接收电台的天线视轴和i-th发射电台方向之间的离轴角度；
- $G_r(\varphi_i)$: 非对地静止卫星系统中i-th发射电台方向的对地静止卫星系统接收电台的接收天线增益（比率）；
- $G_{r,max}$: 对地静止卫星系统接收电台天线的最大增益（比率）；
- $epfd$: 基准带宽中计算的等效功率通量密度（以dB/(W/m²)表示）。（WRC-2000）

图1
下行链路EPFD计算几何形状

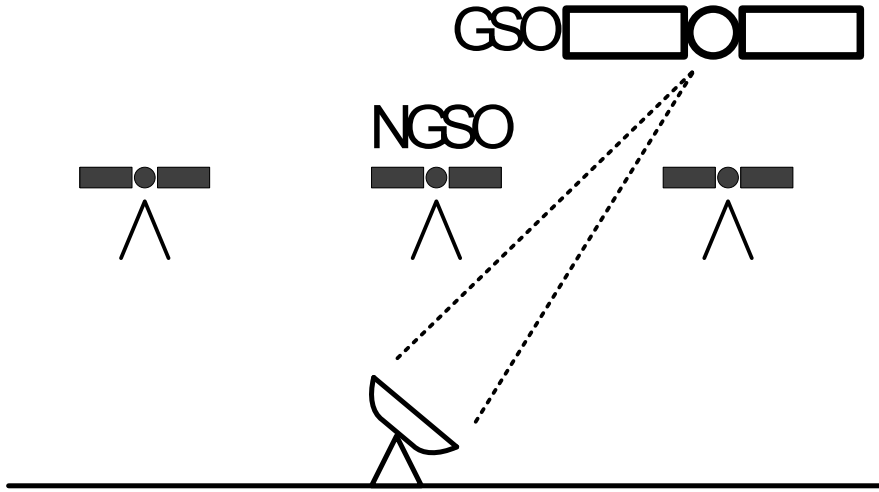


图2
上行链路EPFD计算几何形状

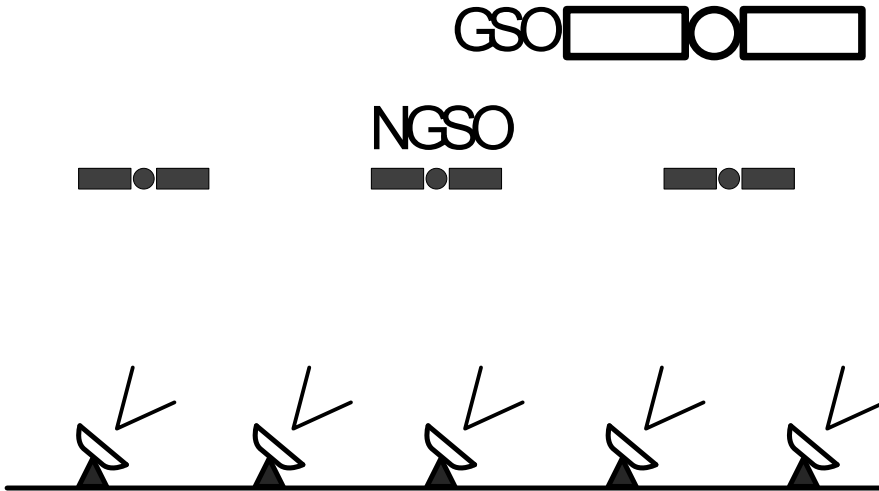
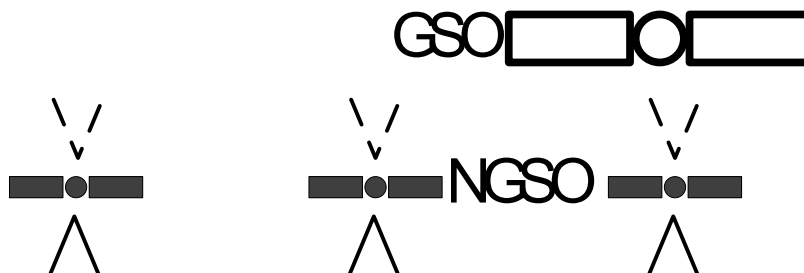


图3
星际路径EPFD计算几何形状



与PFD一样，EPFD是在接收天线处计算的；然而，与PFD相反，EPFD考虑了相对于所有干扰源的天线指向。

就是说，当天线在它的参考带宽内同时接收来自不同距离、不同方向和不同入射pfd电平的发射机的功率时，该epfd等于在最大增益方向上从天线远场中单台发射机接收到的、且在接收机输入端产生的功率与从所有发射机处实际收到的功率相同的pfd。

这个概念容许非常有限地了解接收系统的参数，事实上，描述对特定类型接收系统的干扰时只需要参考天线方向图、天线尺寸和相关最大天线增益即可。《无线电规则》第22条便针对大量接收地球站配置（包括从30厘米到5米的天线尺寸，以及特殊情况下3 700-4 200 MHz频段内长达15米的天线尺寸）规定了相应的限制掩模。

4 《无线电规则》中的EPFD

目前，EPFD被广泛地用于《无线电规则》中的下列情况：

- 1) 在第22条中，为了保护GSO FSS/BSS，对FSS非地球同步轨道卫星系统的硬限值；
- 2) 根据第9.7A款和9.7B款，适用于非地球同步轨道FSS和GSO FSS的EPFD协调触发器限值。
- 3) 为了保护多个频段上的射电天文台站，用于使用非对地静止轨道的不同无线电通信业务中系统的EPFD限值，见第739号决议（WRC-15，修订版）、第741号决议（WRC-15，修订版）和第743号决议（WRC-03）。
- 4) 保护航空无线电导航业务系统不受在1 164-1 215MHz频段上无线电导航卫星业务网络和系统产生的EPFD的干扰，见第609号决议（WRC-07，修订版）。

然而，只有对前两种情况，无线电通信局才有必要审查非地球同步轨道系统的频率指配是否符合第22条规定的限值。

为此目的，WRC-2000要求无线电通信局鼓励主管部门开发EPFD验证软件，该软件可以被无线电通信局用于证实第22条和第9.7A和9.7B款的应用结论。

5 EPFD验证软件

EPFD验证软件采取的方法以ITU-R S.1503-2建议书为基础，该建议书包括了计算EPFD限值输入的详细描述和《无线电规则》第22条和附录5包含的协调触发器。

该方法比较复杂，为了增加所有软件工具的置信度，无线电通信局认为至少两个独立地实现ITU-R S.1503建议书是有必要的。因此，两家商业软件开发公司已经开发了EPFD工具，用于根据第22条审查符合性或根据第9.7A和9.7B款审查协调要求。

无线电通信局按照ITU-R S.1503-2建议书已完成了该软件工具。

无线电通信局按照第85号决议（WRC-03）开展审查工作将使用的EPFD认证软件全部细节见www.itu.int/ITU-R/go/epfd/en。

运行软件确认所需的大多数信息都包含在SRS数据库中，然而，由于不同的非地球同步轨道星座配置复杂，很难模拟系统的准确通信量配置和发射参数。

出于这一目的，ITU-R S.1503-2建议书建立了由干扰的非地球同步轨道网络站产生的pfd/e.i.r.p.的掩模的概念，该掩模将解释特定非地球同步轨道系统装置的所有特性。

这些掩模可能包含非常大的数据，为了让主管部门以电子方式提交掩模数据，并让EPFD软件工具直接使用提交的数据，无线电通信局已经制定了用于pfd和e.i.r.p.掩模的XML格式。

EPFD认证软件被集成到BR GIBC软件中，采取与GIBC软件附录8/PFD模块中现在的审查相同的方式开展无缝审查。
