

ITU-R S.1256 建议书

确定卫星移动业务中非对地静止卫星系统的馈电链路在空间到
地球方向上对 6 700-7 075 MHz 频段对地静止卫星
轨道产生的最大累积功率通量密度的方法

(ITU-R 206/4 号研究课题)

(1997 年)

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 6 700-7 075 MHz 频段在主用的基础上是被指配给空间到地球方向的卫星固定业务 (FSS)，供卫星移动业务 (MSS) 中非对地静止卫星网络的馈电链路使用；
- b) 6 700-7 075 MHz 频段在主用的基础上也是被指配给地球到空间方向的 FSS，而依据《无线电规则》(RR) 附录 30B 的指配计划 6 725-7 025 MHz 频段是用于对地静止卫星网络；
- c) 根据 RR 的第 22.5A 条，由 FSS 中一个非对地静止卫星系统在对地静止卫星轨道 (GSO) 的 $\pm 5^\circ$ 内产生的最大量累积功率能量密度 (pfd) 在任何 4 kHz 频段内不应超过 -168 dB (W/m^2)；
- d) 世界无线电通信大会 (1995 年，日内瓦) (WRC-95) 的第 115 号决议请 ITU-R 建立一种确定一个非对地静止卫星网络在 GSO 上产生的最大累积功率通量密度的方法；
- e) 卫星移动业务的非对地静止卫星网络有如在第 46 号决议 (WRC-95 修订版) 的附件 1 的§A.3 vii) 中所规定的可用的轨道和传输参数，

建议

- 1 应遵循附件 1 中给出的方法来确定空间到地球方向上来自工作在 6 700-7 075 MHz 频段的一个非对地静止卫星网络的馈电链路在 GSO 的 $\pm 5^\circ$ 倾角内的任何位置上产生的最大累积功率通量密度电平 dB (W/m^2) 在任何 4 kHz 频段内)。

附 件 1

方 法

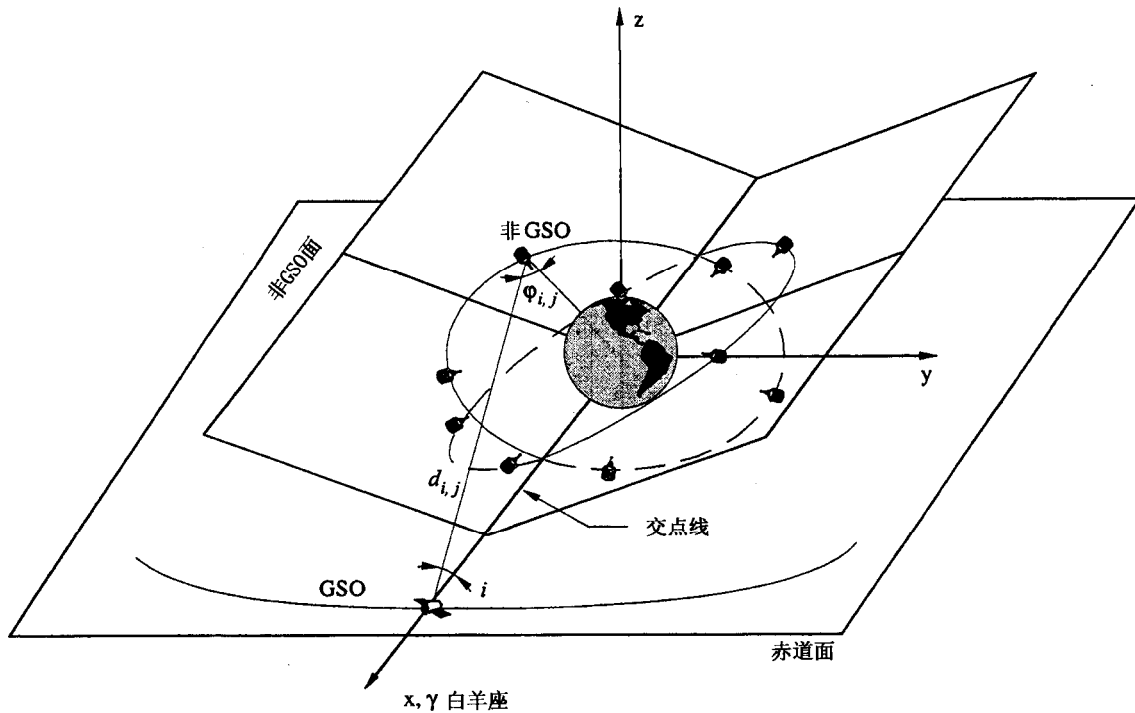
1 方法的描述

为了计算一个非对地静止轨道卫星 (非 GSO) 网络在 GSO 的单个测试位置上产生的累积 pfd，需要建立整个非 GSO 星座的计算机模型和在 CSO 上的一个测试位置。

注意到在通常情形中，基本上一颗 GSO 卫星将以约 $T_{GSO}=24$ 小时的周期沿对地静止轨道运动而一颗非 GSO 卫星的轨道周期 ($T_{\neq GSO}$) 将不一定是 T_{GSO} 的约数，可能需要全面、费时的统计仿真来评估将导致在 GSO 位置上产生最大 pfd 电平的最差情形。

一种简单且很不费时的仿真能被用来评估任何 GSO 位置上的最大 pfd。不是考虑一颗实际的沿轨道运动的 GSO 卫星，而是考虑在 GSO 上的一个固定测试位置，其轨道位置是相对于一个 $Oxyz$ 笛卡尔参照系（见图 1）而不是相对于旋转的地球参照系固定的。在此条件下，既然非 GSO 卫星有一个轨道周期 $T_{\text{非GSO}}$ ，这意味着从固定的 GSO 测试位置看（见图 1），非 GSO 卫星的位置在每个轨道周期 $T_{\text{非GSO}}$ 内将至少重复一次。此外，在非 GSO 卫星均匀分布在每个轨道面上的情况中，非 GSO 卫星的相同几何配置将以一个等于 $T_{\text{非GSO}}/N_s$ （其中 N_s 是均匀分布在一个轨道面上的非 GSO 卫星的数目）的周期重复。根据这些基本的考虑，GSO 测试位置上的累积 pfd 电平（对能见的非 GSO 卫星累计）将具有在此周期内重复的值。

图 1
计算 pfd 的 GSO/非 GSO 星座几何: $\Delta\Omega=0^\circ$



1256-01

累积 pfd 能以每个时间步长计算，并且对于选定的 GSO 测试位置在从 T_0 到 $T_0 + T_{\text{非GSO}}/N_s$ 的模拟时间内能导出一个最大的累积 pfd。

对于图 1 中特定的 GSO 测试位置得到的值不一定是最大 pfd 电平。为了找到最高可能的最大累积 pfd 电平，必须通过增加 GSO 测试位置与非 GSO 交点线之间的夹角 $\Delta\Omega$ （见图 2）来对其他 GSO 测试位置重复相同的步骤。此第二次迭代是对 0° 和 $\Delta\Omega_{\text{max}} = 360^\circ/N_p$ 之间的 $\Delta\Omega$ 的角度进行的，其中 N_p 是非 GSO 卫星轨道面的数目。在 N_p 是偶数的情况下（如每个 LEO-F 和 LEO-D） $\Delta\Omega_{\text{max}} = 180^\circ/N_p$ 。

此方法也适用于不符合前述轨道要求的任何非 GSO 星座（如不均匀的卫星分布、椭圆轨道）。在这些情形中，时间仿真将以一个等于星座构造的最小可重复性周期的时间间隔来执行，在许多情形中，此时间间隔等于星座周期 $T_{\text{非GSO}}$ 。

§2 报导了获得一个给定的非 GSO 网络在 GSO 的一个给定测试位置上产生的累积 pfd 电平所需的所有基本方程式，并且图 3 给出了这里所描述的方法的软件实现的流程图。

图 2
 计算 pfd 的 GSO/非 GSO 星座几何: $\Delta\Omega \neq 0^\circ$

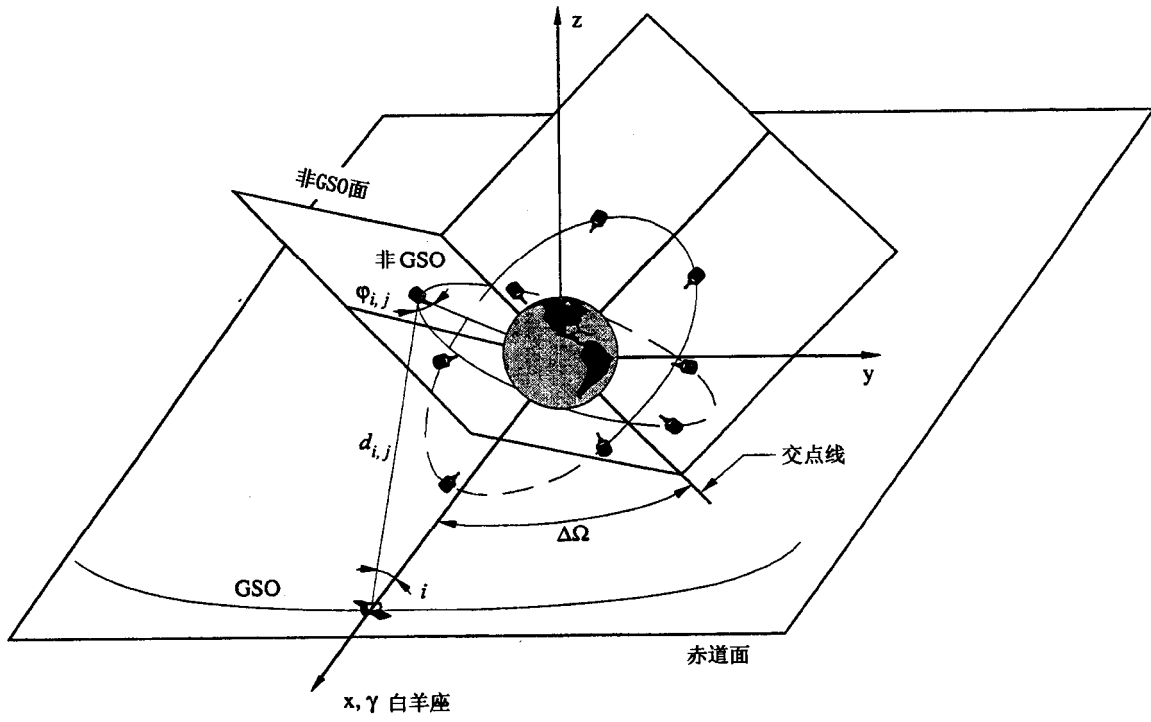
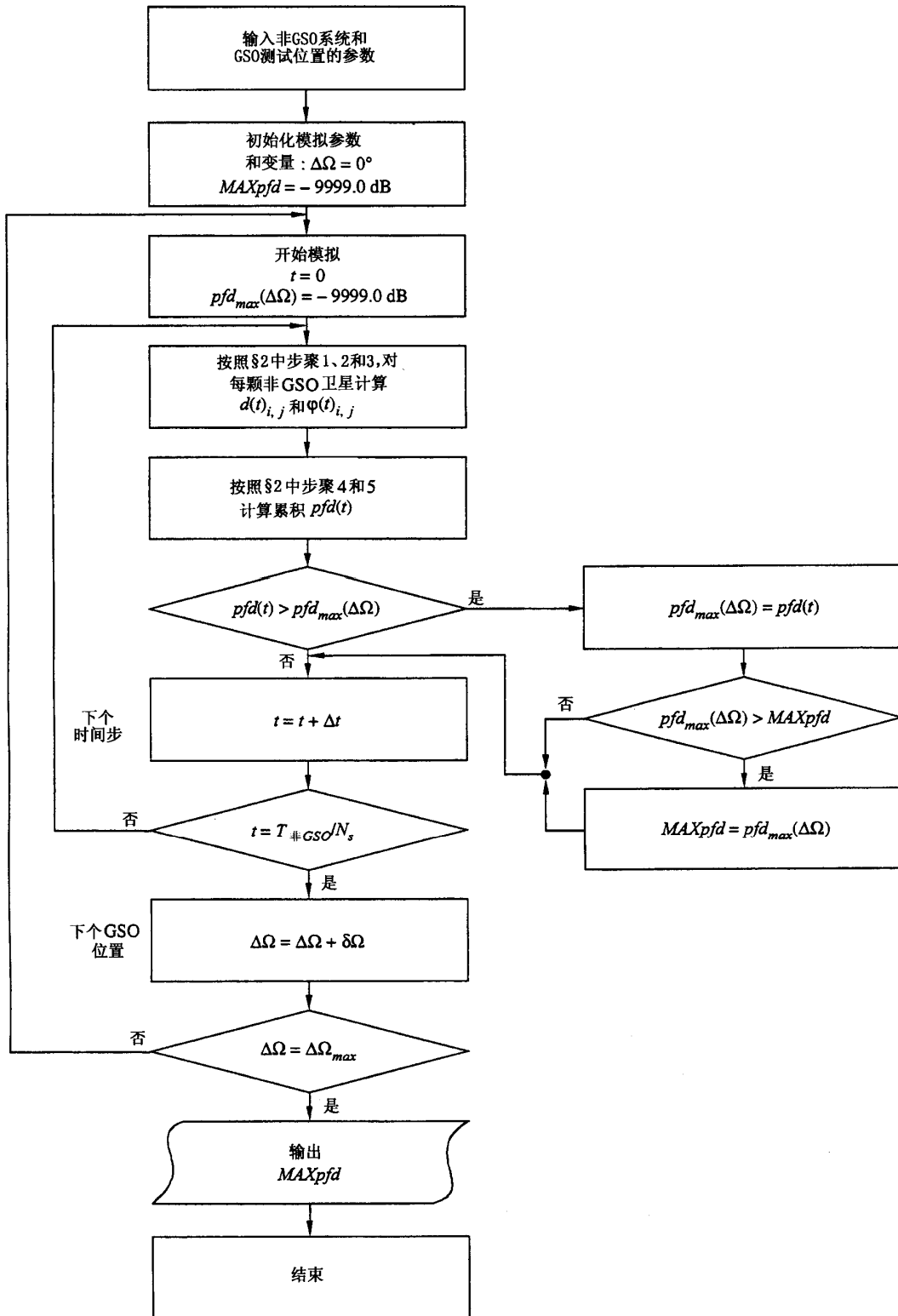


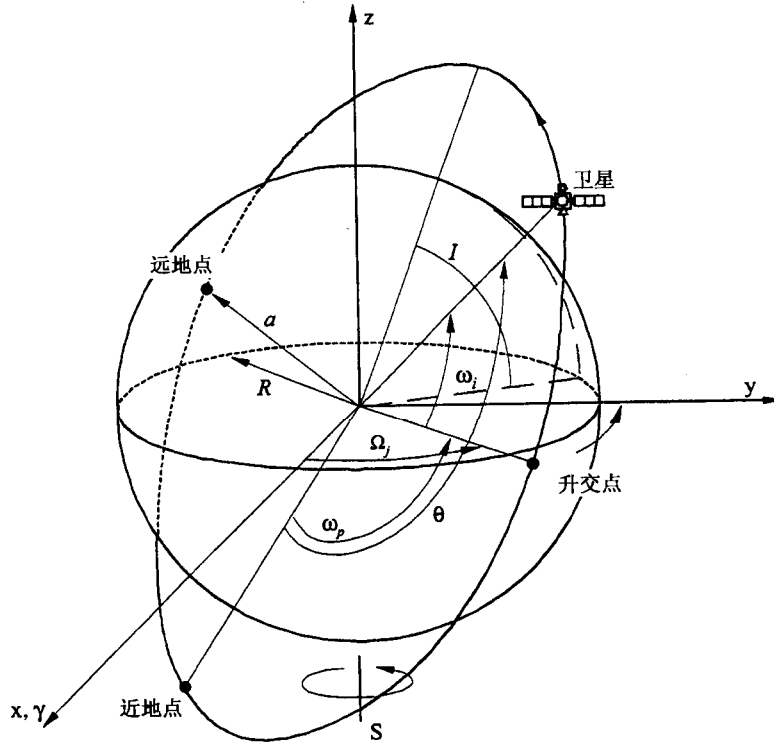
图 3
方法流程图



2 基本模拟步骤

第 1 步： 非 GSO 卫星的轨道位置

图 4
非 GSO 轨道和参照系



1256-04

图 4 指出了在任意时刻完整估计任何非 GSO 卫星在其轨道上的位置所需的各种参数。这些参数参考自第 46 号决议 (WRC-95 修订版) 附件 1 的 §A.3 vii) :

a : 半长轴, 圆轨道情形中半长轴是固定的且等于轨道半径

I : 相对于赤道面的轨道倾角

Ω_j : 第 j 个轨道面的升交点的赤经, 在赤道面内从春分点至卫星南北跨越赤道面的点的方向进行逆时针测量 ($0^\circ \leq \Omega_j < 360^\circ$)

ω_p : 近地点幅角, 对于圆轨道, 近地点等于远地点, 因而 ω_p 能赋予 0°

ω_i : 第 i 颗卫星在基准时间 $t=0$ 时在其轨道面内的初始相位角, 从升交点进行测量 ($0^\circ \leq \omega_i < 360^\circ$)

θ : 卫星的真近点角。

对于使用圆轨道的非 GSO 卫星的一个星座, a 和 I 是固定的, 并且 ω_p 等于零, 因而每颗卫星的位置的变化将由 Ω 和 θ 来定义。

对于一条圆轨道，卫星的角速度是固定的，于是一颗卫星的角位置等于其真近点角，且由下式给出：

$$\theta(t)_{i,j} = \frac{360^\circ}{T} t + \omega_{i,j} \quad (1)$$

式中 $i=1$ 到 N_s 并且 $j=1$ 到 N_p 其中 N_s 是每个轨道面内卫星的数目， N_p 是轨道面的数目， T 是由下式给出的以秒计的轨道周期：

$$T = 2\pi \sqrt{a^3/\mu} \quad (2)$$

其中 μ 是地心重力常数，等于 $3.986 \text{ E}14 \text{ (m}^3\text{s}^{-2}\text{)}$ 。

不同的 Ω_j 值将决定于星座的几何关系并且以第 46 号决议 (WRC-95 修订版) 附件 1 的 A.3 vii) 中得到的要素集来给出。相同的原则适用于 $\omega_{i,j}$ 的值。

如果对于每颗卫星知道其真近点角 $\theta_{i,j}(t)$ 和升交点的赤经 Ω_j ，则其地心坐标由下式给出：

$$x(t)_{i,j} = a \left[\cos \Omega_j \cos \theta(t)_{i,j} - \cos I \sin \Omega_j \sin \theta(t)_{i,j} \right] \quad (3)$$

$$y(t)_{i,j} = a \left[\sin \Omega_j \cos \theta(t)_{i,j} + \cos I \cos \Omega_j \sin \theta(t)_{i,j} \right] \quad (4)$$

$$z(t)_{i,j} = a \left[\sin I \sin \theta(t)_{i,j} \right] \quad (5)$$

GSO 测试位置相对于非 GSO 星座交点线的位置由 $\Delta\Omega$ 决定 (见 §1)。因而在方程式 (3)、(4) 和 (5) 中 $\Omega_j = \Omega_{j,0} + \Delta\Omega$ ，其中 $\Delta\Omega$ 范围为 0 到 $\Delta\Omega_{max}$ (见 §1)，并且对于 $\Delta\Omega=0$ 有 $\Omega_{j,0} = \Omega_j$ 。

第 2 步：非 GSO 卫星与 GSO 上测试位置之间的距离 x_{GSO} ， y_{GSO} 和 z_{GSO} 是 GSO 测试位置的地心坐标，被表示为：

$$x_{GSO} = a_{GSO} \cdot \cos I_{GSO} \quad (6)$$

$$y_{GSO} = 0 \quad (7)$$

$$z_{GSO} = a_{GSO} \cdot \sin I_{GSO} \quad (8)$$

其中：

a_{GSO} : 对地静止轨道的半长轴 (42 164 km)

I_{GSO} : 对地静止轨道的倾角 ($-5^\circ \leq I_{GSO} \leq 5^\circ$)。

由于在方程式 (3)、(4) 和 (5) 中通过增加偏移量 $\Delta\Omega$ 较容易改变 Ω_j ，这些方程式在模拟过程中保持不变。

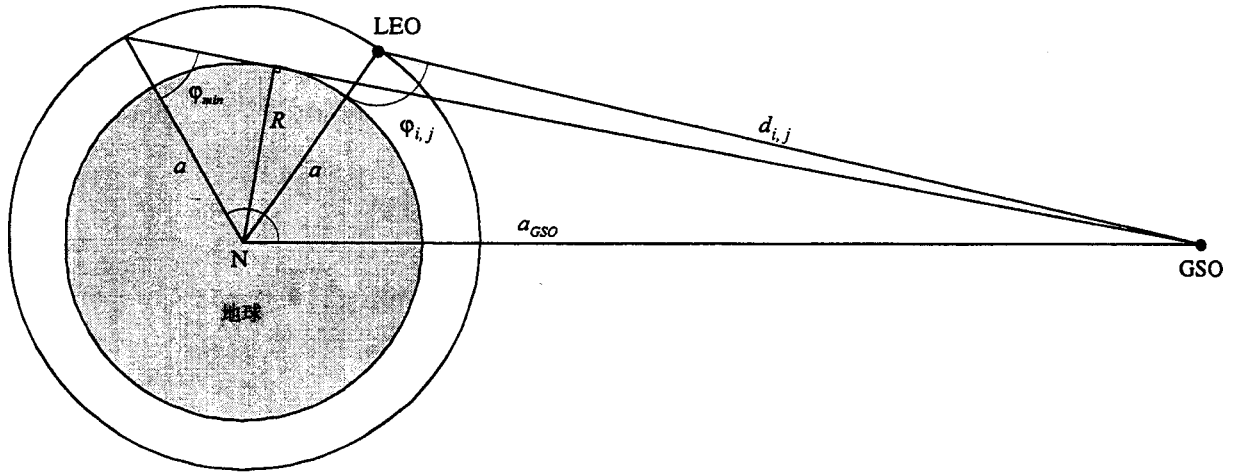
一颗非 GSO 卫星与 GSO 测试位置之间的距离就能用毕达哥拉斯定理计算：

$$d(t)_{i,j} = \sqrt{(x_{GSO} - x(t)_{i,j})^2 + y(t)_{i,j}^2 + (z_{GSO} - z(t)_{i,j})^2} \quad (9)$$

第 3 步：到 GSO 测试位置的非 GSO 天线轴外角的计算

图 5 给出了以二维图表示的相对于 GSO 上测试位置的非 GSO 卫星轴外角的几何关系。

图 5
 $\varphi_{i,j}$ 的计算



1256-05

非 GSO 天线轴外角能使用卡诺定理（也称“余弦”定理）来确定：

$$\varphi(t)_{i,j} = \arccos \left(\frac{a^2 + d(t)_{i,j}^2 - a_{GSO}^2}{2 a d(t)_{i,j}} \right) \quad (10)$$

第 4 步：指向 GSO 上测试位置的非 GSO 轴外天线增益的计算

根据方程式 (10) 中计算得到的轴外角，对于每颗能见卫星计算轴外天线增益 $G(\varphi(t)_{i,j})$ 是可能的。然而，正如图 5 中所看到的，只有在 $\varphi(t)_{i,j}$ 高于下式给出的最小值时这才是必要的：

$$\varphi_{min} = \arcsin(R/a) \quad (11)$$

第 5 步：指向 GSO 测试位置的累积 pfd 电平的计算

累积 pfd 电平能被表示为：

$$pfd(t) = \frac{P_{peak,4kHz}}{4\pi} \sum_{i,j=1 \text{ 至 } N(t)_v} \frac{G(\varphi(t)_{i,j})}{d(t)_{i,j}^2} \text{ 对于 } \varphi(t)_{i,j} \geq \varphi_{min} \quad (12)$$

其中：

$P_{\text{峰值},4\text{kHz}}$ ：在非 GSO 卫星天线输入端的最差 4 kHz 频段内的峰值功率，假定对于所有非 GSO 卫星是固定的和相同的

$N(t)_v$ ：在时刻 t 从 GSO 测试位置观察到的能见的非 GSO 卫星的数目。

3 总的模拟步长数和模拟步进量

需要两种模拟步长来计算一个非 GSO 网络指向 GSO 的最大累积 pfd，时间步长 Δt 和赤经步长 $\delta\Omega$ 。

由于没有直接的来自非 GSO 卫星的成一直线的干扰（无论它们使用等通量低增益天线或者干扰来自发射天线的旁瓣），各种模拟（对于 LEO-D 和 LEO-F）显示一个不超过 0.5 的角步长对于得到有效结果是足够了。因而计算步长将是

$$\Delta t = \frac{T(s) \times 0.5^\circ}{360^\circ}$$

$$\delta\Omega = 0.5^\circ$$

对于每个 GSO 测试位置的总模拟时间和 GSO 测量位置的总数目在§1 中给出。
