

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R S.1714-1 建议书**  
(01/2022)

**用于计算 $epfd_{\downarrow}$ 以便于按照  
《无线电规则》第9.7A和9.7B款  
来协调非常大的天线的静态方法**

**S 系列**  
**卫星固定业务**



国际电信联盟

## 前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

## 知识产权政策（IPR）

ITU-R的知识产权政策在ITU-R第1号决议引用的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策》中做了说明。专利持有者提交专利和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，该网址也提供了《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策实施指南》以及ITU-R专利信息数据库。

### ITU-R建议书系列

（可同时在以下网址获得：<http://www.itu.int/publ/R-REC/zh>）

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传输
<b>BR</b>	用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	广播业务（电视）
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	移动、无线电测定、业余及相关卫星业务
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	<b>卫星固定业务</b>
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
<b>SM</b>	频谱管理
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射
<b>V</b>	词汇和相关课题

注：本ITU-R建议书英文版已按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版  
2022年，日内瓦

© 国际电联 2022

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## ITU-R S.1714-1建议书

用于计算 $epfd_{\downarrow}$ 以便于按照《无线电规则》第9.7A  
和9.7B款来协调非常大的天线的静态方法

(2005-2022年)

## 范围

本建议书提供了一种方法，用于计算任何GSO地球站（特定GSO地球站）的地理坐标已知且非静止系统的天线指向有用静止空间电台时，在最坏情况下从非静止（non-GSO）系统到GSO地球站的静态 $epfd_{\downarrow}$ 值。

## 关键词

$epfd_{\downarrow}$ 、非静止（non-GSO）、方法、9.7A、9.7B、静止

## 缩写/词汇表

Alpha角（ $\alpha$ ）：在GSO地球站处到非静止卫星的直线与到GSO弧的直线之间的最小角度。

$epfd_{\downarrow}$ ：等效功率通量密度，定义见《无线电规则》第22.5C.1款，从非静止卫星系统到GSO卫星地球站的发射。

pf<sub>d</sub>掩模：功率通量密度掩模，用于在 $epfd_{\downarrow}$ （下行）计算中定义非静止卫星的发射。

X角（ $X$ ）：在非静止卫星处来自GSO地球站的直线与到GSO弧线的直线之间的最小角度。

## 相关的国际电联建议书、报告

ITU-R S.1503-3建议书 开发用于确定非对地静止卫星轨道固定卫星业务系统或网络是否符合《无线电规则》第22条所含的限值的软件工具时采用的功能描述

国际电联无线电通信全会，

考虑到

a) 为保护在 10.7-30 GHz 频率范围的有些部分中的 GSO 卫星固定业务（FSS）和 GSO 卫星广播业务网络，WRC-2000 在《无线电规则》（RR）的第 22 条中采纳了非静止 FSS 系统应满足的等效功率通量密度（ $epfd_{\downarrow}$ ）限值；

b) WRC-2000 同意，超过由考虑到 a) 中的  $epfd_{\downarrow}$  限制所提供的额外保护对于某些具有特定的接收地球站的 GSO FSS 网络来说是所要求的，这些地球站具有所有下列特性：

- i) 对于频带 10.7-12.75 GHz，地球站天线最大各向同性增益是大于或等于 64 dBi，或者对于频带 17.8-18.6 GHz 和 19.7-20.2 GHz，地球站天线最大各向同性增益是大于或等于 68 dBi；
- ii) 具有 44 dB/K 或更高的  $G/T$ ；
- iii) 对低于 12.75 GHz 的频带具有 250 MHz 或更大的辐射带宽或者对高于 17.8 GHz 的频带具有 800 MHz 或更大的辐射带宽；

- c) 为提供此额外的保护，WRC-2000 采纳了 RR 第 9.7A 和 9.7B 款，建立一个规程来实现在某些频带中 FSS 的一个对地静止网络中特定地球站和使用非静止中卫星的 FSS 中的系统之间的协调；
- d) 按照 RR 第 9.7A 和 9.7B 款来触发协调的技术条件定义在 RR 附录 5 中，并且包括了考虑到 b) 中的门限，以及当天线指向需要的 GSO 卫星时，由非静止 FSS 卫星系统对采用非常大天线的地球站所辐射的下列  $epfd_{\downarrow}$ ：
- i) 在频带 10.7-12.75 GHz 中：
- a) 对于任何时间百分比，对于所有卫星只工作在等于或低于 2 500 km 高度的非静止卫星系统： $-174.5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$ ；或者
- b) 对于任何时间百分比，对于只要有卫星工作在高于 2 500 km 高度的非静止卫星系统： $-202 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$ ；
- ii) 在频带 17.8-18.6 GHz 或 19.7-20.2 GHz 中：
- a) 对于任何时间百分比，对于所有卫星只工作在等于或低于 2 500 km 高度的非静止卫星系统： $-157 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ ；或
- b) 对于任何时间百分比，对于只要有卫星工作在高于 2 500 km 高度的非静止卫星系统： $-185 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ ；
- e) 计算由一个非静止卫星系统产生的、作为时间函数的  $epfd_{\downarrow}$  要求使用一个适当的模拟软件工具；
- f) ITU-R S.1503 建议书对计算作为时间的函数的  $epfd_{\downarrow}$  的软件模拟工具提供了一个规范，然而，它并没有考虑到 GSO 卫星的倾斜；
- g) 由于非常大的 GSO 地球站天线的高增益及  $epfd_{\downarrow}$  等式的性质的影响，处在非常大 GSO 地球站天线旁瓣中的非静止卫星并不对  $epfd_{\downarrow}$  值有明显的贡献；
- h) WRC-03 采纳了第 85 号决议 (WRC-03)，在直到合适的软件可用之前的临时的基础上，它允许按照 RR 第 9.7A 和 9.7B 款只使用 GSO FSS 网络的特性来实现协调；
- i) 对于按照 RR 第 9.7A 和 9.7B 款进行的协调只有有限的指导，

#### 建议

- 1 当天线是指向需要的 GSO 卫星时，本建议书附件 1 中的方法能够被按照 RR 第 9.7A 和 9.7B 款来实现协调的电信主管部门用来在一个特定的 GSO 地球站天线处计算来自一个非静止系统的最坏情况的静态  $epfd_{\downarrow}$  值；
- 2 从建议 1 得到的结果应该与 GSO 网络的  $epfd_{\downarrow}$  保护标准和考虑到 d) 中引用的标准做比较以确定对于非静止系统是否存在不满足此保护标准的可能性；
- 3 如果非静止系统满足 GSO  $epfd_{\downarrow}$  保护标准和考虑到 d) 中引用的标准，则相关《无线电规则》条款可视为已经满足；
- 4 如果非静止系统不满足 GSO  $epfd_{\downarrow}$  保护标准或考虑到 d) 中引用的标准，则应开展更详细的分析。

## 附件1

## 1 方法的描述

第 CR/176 号通函中，依照第 59 号决议（WRC-2000）的做出决议 2，无线电通信局要求，对非静止卫星系统负有责任的电信主管部门在某些频带中按照  $epfd$  限制在从 2002 年 3 月 26 日起的 6 个月内向国际电联递交补充信息。此补充信息包含了有关卫星网络操作和计算由非静止系统产生的  $epfd$  电平所需要的  $pdf$  掩模的详情。本建议书中提出的方法利用了这个补充信息，并且不需要有任何其他额外的、涉及非静止卫星系统的信息。

为了符合  $epfd$  限制，非静止卫星系统需要采用某种类别的缓解技术。最通常的技术之一是 GSO 弧段回避。通过用三种不同的方法来建立一个排他区的方式来采用 GSO 弧段回避：

- 排他区定义为从 GSO 地球站到  $\pm X^\circ$  的 GSO 弧段的区域，当在排他区内时，非静止卫星能够向位于距 GSO 地球站至少一个预先定义的距离的非静止地球站发射；
- 排他区的定义如图 1，然而，当在排他区内时，非静止卫星不能发射；
- 排他区是由纬度来定义的，当其星下点纬度是在一个特定的  $\pm X$  纬度范围之间时，非静止卫星不能发射。

这三种 GSO 弧段回避技术中的每一种的示意图在图 1 至 3 中给出。

图 1

## 情形1排他区

情形 1：排他区定义为从 GSO 地球站到  $\pm X^\circ$  的 GSO 弧段的区域，并且当非 GSO 卫星在排他区内时，非 GSO 卫星能够向位于距 GSO 地球站至少一个预先定义的距离的非 GSO 地球站发射。

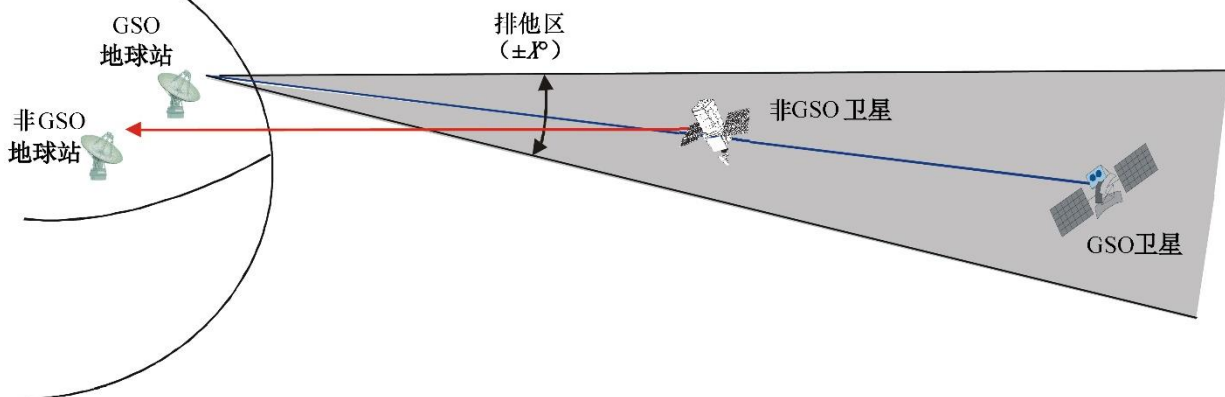
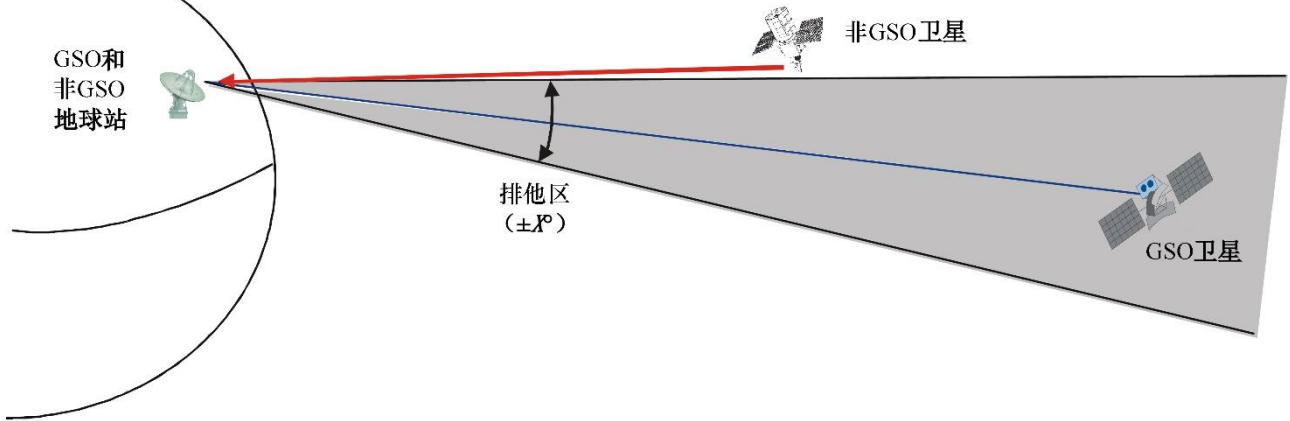


图2

情形2 排除区

情形2: 排除区定义为从GSO地球站到 $\pm X^\circ$ 的GSO弧段的区域。  
 当在排除区内时, 非GSO卫星不能发射。

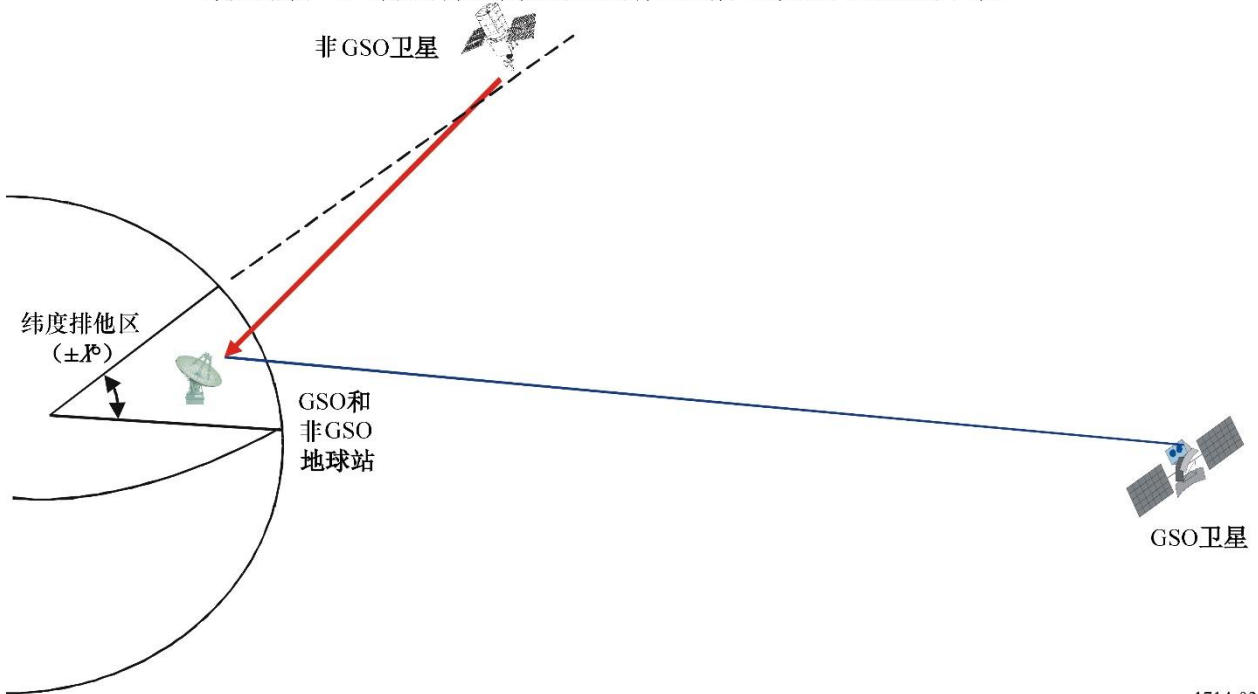


1714-02

图3

情形3 排除区

情形3: 当星下点纬度是在一个特定的纬度范围之间时, 非GSO卫星不能发射。例如, 星下点纬度在 $+X^\circ$ 和 $-X^\circ$ 纬度之间时, 中地球轨道(MEO)不能发射。在低于 $+X^\circ$ 纬度或高于 $-X^\circ$ 纬度时高地球轨道(HEO)将不发射, 这决定于远地点的半球。



1714-03

情形 1 和 2 描述了最可能被低地球轨道 (LEO) 星座所使用的 GSO 弧段回避的形式；而情形 3 将最可能被 HEO 类型的星座所使用，而所有三类弧段回避都能被 MEO 星座所使用。因为对于 HEO 不大可能使用情形 1 和 2 中描述的弧段回避，这些方法中的计算限于圆轨道。只要当 HEO 卫星穿越接通/切断纬度时知道到 HEO 卫星的半径，情形 3 的方法能被用于 HEO 星座。用于确定触发非静止 FSS 系统与 GSO FSS 网络中特定地球站之间协调的技术条件的 RR 附录 5 中的  $epfd_{\downarrow}$  门限是根据高度来定义的，其中一个触发值用于所有卫星都工作在等于或低于 2500 km 高度的非静止系统，另一个触发值用于只要有卫星工作在高于 2 500 km 高度的非静止 FSS 系统。表 1 给出了非静止轨道类型、RR 附录 5 协调触发及考虑用做缓解技术的情形之间的关系。

表1

轨道类型、RR附录5触发值及缓解技术之间的关系

轨道类型	附录 5 协调触发值 (km)	缓解技术
LEO	$\leq 2\ 500$	情形 1 和 2
MEO	$> 2\ 500$	情形 1、2 和 3
HEO	$> 2\ 500$	情形 3

## 2 情形1

情形 1 描述了当一个排他区定义为从 GSO 地球站到 $\pm X^\circ$ 的 GSO 弧段的场景。当非静止是在此排他区内时，它能发射，但不是向 GSO 地球站的方向上。非静止能够发射的、到 GSO 地球站的距离由非静止的操作确定。对于此情形的最坏情况几何关系在图 1 中描述，其中非静止是直接处在 GSO 卫星和 GSO 地球站之间的连线上，但非静止是发向远离 GSO 地球站的一个地球站。此几何关系产生了一个非静止旁瓣干扰 GSO 主波束的场景。此缓解技术典型地将与 LEO 星座一起使用，但也会适用于 MEO 星座。计算  $epfd_{\downarrow}$  值的算法需要下列步骤：

- 步骤1： 输入：地球半径，非静止轨道半径，非静止倾角，GSO轨道半径，GSO卫星经度，GSO卫星倾角，GSO地球站纬度，GSO地球站经度。
- 步骤2： 计算从GSO地球站到GSO卫星的方位角和仰角。
- 步骤3： 对于与GSO卫星相同的方位角和仰角，计算非静止的星下点纬度和经度。
- 步骤4： 如果非静止 $epfd_{\downarrow}$ 掩模是以Alpha对Delta经度的形式来表示（关于Alpha和Delta经度的定义参见ITU-R S.1503建议书）。
- 将Alpha计算为GSO地球站处到非静止卫星的直线与到GSO弧的直线之间的角度。
  - 从 $epfd_{\downarrow}$ 掩模中选择最靠近非静止卫星星下点纬度的纬度上的 $epfd_{\downarrow}$ 、Alpha以及静止和非静止卫星之间的经度差。
  - 由于这是一个同轴事件， $epfd_{\downarrow}$ 计算的 $G(\theta)/G_{max}$ 部分等于1或0 dB。
  - 因为GSO卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的 $epfd_{\downarrow}$ 掩模；所有这些都应当被包括。
  - 按照RR第22.5C款中定义的方法来计算 $epfd_{\downarrow}$ 。

步骤5: 如果非静止pfd掩模是以方位角对仰角的形式来表示（关于方位角和仰角的定义参见ITU-R S.1503建议书）。

- a) 计算GSO卫星、地球站和非静止卫星的地心固定（ECF）坐标。
- b) 把非静止卫星与GSO地球站之间的矢量从ECF坐标变换和旋转到卫星中心坐标。
- c) 计算从非静止卫星到GSO地球站的方位角和仰角。
- d) 对于从非静止卫星到GSO地球站的方位角和仰角，从pfd掩模中选择最靠近非静止卫星星下点纬度的纬度上的pfd。
- e) 由于这是一个同轴事件，epfd计算的 $G(\theta)/G_{max}$ 部分等于1（数字表示）或0 dB。
- f) 因为GSO卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的pfd掩模；所有这些都应当被包括。
- g) 按照RR第22.5C款中定义的方法来计算epfd。

已经开发了一个 Excel 工作表，它具有适当的等式和预选编程好的计算过程。对于情形 1 计算过程页的一个描述示于表 2 中。对于非静止卫星系统的输入值是虚构的，并不代表任何特定的系统。



表 2  
情形1 Rev1 Excel电子数据表计算过程

情形 1: 排他区定义为从 GSO 地球站到±X°的 GSO 弧的区域			
非静止卫星在排他区内能够发射, 但不能指向 GSO 地球站			
最坏情况: 非静止卫星是与最大倾角的 GSO 卫星和 GSO 地球站同轴			
注: 此算法只适用于圆轨道的非静止卫星			
输入			
地球半径 (km)	$R_e$	6 378.15	
非静止半径 (km)	$R_n$	7 878	
非静止卫星倾角 (度)	$i$	55	
GSO 半径 (km)	$R_g$	42 164	
GSO 卫星经度 (度)	$GSO_{long}$	-30	
GSO 卫星倾角 (度)	$i_g$	5	
地球站纬度 (度)	$\varphi$	38	
地球站经度 (度)	$earth_{long}$	-77	
掩模参考带宽 (kHz)		40	根据掩模文档决定 (40或1 000)
频段 (Ku或Ka)		Ka	
计算过程			
GSO 卫星纬度 (度)	$\delta_g$	5	
地球站与 GSO 卫星经度之间的差 (度)	$\Delta\lambda_g$	47	$GSO_{long} - earth_{long}$
计算从地球站到 GSO 卫星的伽马 (gamma) 角 (度)	$\gamma_g$	53.91141	$\arccos[\sin(\varphi) \times \sin(\delta_g) + \cos(\varphi) \times \cos(\delta_g) \times \cos(\Delta\lambda_g)]$
计算从地球站到 GSO 卫星的斜线距离 (km)	$d_g$	3 8751.35	$\sqrt{R_e^2 + R_g^2 - 2 \times R_e \times R_g \times \cos(\gamma_g)}$
计算从地球站到 GSO 卫星的仰角 (度)	$El$	28.44516	$\arccos\left[\left(\frac{R_g}{d_g}\right) \times \sin(\gamma_g)\right]$
计算从地球站到 GSO 卫星的方位角 (度)	$Az$	115.6339	若 $(\Delta\lambda_g > 0$ 且 $\varphi < 0$ ) 或 $(\Delta\lambda_g < 0$ 且 $\varphi < 0)$ 则 $\arcsin\left[\cos(\delta_g) \times \sin\left(\frac{\Delta\lambda_g}{\sin(\gamma_g)}\right)\right]$ 否则 $180 - \arcsin\left[\cos(\delta_g) \times \frac{\sin(\Delta\lambda_g)}{\sin(\gamma_g)}\right]$
计算从地球站到非静止卫星的伽马角 (度)	$\gamma_n$	16.16731	$\arccos\left(\left(\frac{R_e}{R_n}\right) \times \cos(El)\right) - El$
计算此方位角和仰角上非静止卫星的星下点纬度 (度)	$\delta$	29.76146	若 $\varphi > 0$ 则 $90 - \arccos[\cos(90 - \varphi) \times \cos(\gamma_n) + \sin(90 - \varphi) \times \sin(\gamma_n) \times \cos(Az)]$ 否则 $90 - \arccos[\cos(90 + \varphi) \times \cos(\gamma_n) + \sin(90 - \varphi) \times \sin(\gamma_n) \times \cos(Az + 180)]$
计算非静止卫星和地球站之间的经度差 (度)	$\Delta\lambda_n$	16.80892	若 $\Delta\lambda_g > 0$ 则 $\arccos\left[\frac{\cos(\gamma_n) - \sin(\varphi) \times \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \times \cos(\delta)}\right]$ 否则 $-1 \times \arccos\left[\frac{\cos(\gamma_n) - \sin(\varphi) \times \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \times \cos(\delta)}\right]$
计算此方位角和仰角上非静止卫星的星下点经度 (度)	$nGSO_{long}$	-60.1911	$earth_{long} + \Delta\lambda_n$

表2 (续)

如果卫星pdf掩模是以Alpha对Delta经度的形式来表示				
当非静止与在最大倾角的倾斜GSO相合时, 确定从对地静止弧测得的Alpha				
	GSO弧 纬度 (度)		0	
计算ECF中VLA纬度的x、y、z分量				
	VLA <sub>x</sub> 值 (km)		1 130.615 4	$R_e \times \cos(\varphi) \times \cos(\text{earth}_{lon_g})$
	VLA <sub>y</sub> 值 (km)		-4 897.233	$R_e \times \cos(\varphi) \times \sin(\text{earth}_{lon_g})$
	VLA <sub>z</sub> 值 (km)		3 926.781 2	$R_e \times \sin(\varphi)$
计算ECF中GSO弧的x、y、z分量				
	GSO弧 <sub>x</sub> 值 (km)		36 515.095	$R_g \times \cos(GSO_{lat}) \times \cos(GSO_{lon_g})$
	GSO弧 <sub>y</sub> 值 (km)		-21 082	$R_g \times \cos(GSO_{lat}) \times \sin(GSO_{lon_g})$
	GSO弧 <sub>z</sub> 值 (km)		0	$R_g \times \sin(\varphi)$
计算ECF中, 当非静止卫星与在最大倾角的倾斜GSO相合时所在纬度的x、y、z分量				
	Non-GSO <sub>x</sub> 值 (km)		3 399.673 8	$R_n \times \cos(\delta) \times \cos(nGSO_{lon_g})$
	Non-GSO <sub>y</sub> 值 (km)		-5 934.022	$R_n \times \cos(\delta) \times \sin(nGSO_{lon_g})$
	Non-GSO <sub>z</sub> 值 (km)		3 910.561 3	$R_n \times \sin(\delta)$
计算从最大倾角的GSO看到的Alpha所需的矢量				
	VLA到GSO弧 矢量 (km)		39 107.898	$\sqrt{(GSO_{arc_x} - VLA_x)^2 + (GSO_{arc_y} - VLA_y)^2 + (GSO_{arc_z} - VLA_z)^2}$
	VLA到non-GSO 矢量 (km)		2 494.758 2	$\sqrt{(nGSO_x - VLA_x)^2 + (nGSO_y - VLA_y)^2 + (nGSO_z - VLA_z)^2}$
	GSO弧到non-GSO 矢量 (km)		36 624.921	$\sqrt{(nGSO_x - GSO_{arc_x})^2 + (nGSO_y - GSO_{arc_y})^2 + (nGSO_z - GSO_{arc_z})^2}$
	Alpha		5 390 246	$\text{acos} \left[ \frac{((VLA \text{ to } GSO_{arc} \text{ vector})^2 + (VLA \text{ to } nGSO_{vector})^2 - (GSO_{arc} \text{ to } nGSO_{vector})^2)}{(2 \times VLA \text{ to } GSO_{arc} \text{ vector} \times VLA \text{ to } nGSO_{vector})} \right]$
	计算GSO和非静止卫星之间的Δ经度 (度)	<i>delta</i>	30.19108	$GSO_{lon_g} - nGSO_{lon_g}$

表2 (续)

从pfd掩模中选择其星下点纬度、Alpha和Delta与上述计算值最接近的pfd。因为GSO卫星VLA的频宽很大，可能会有几套频率重叠的掩模，所有这些都应当加进来。因为这是一个同轴事件，epfd计算的 $G_r(\theta)/G_{r,max}$ 部分等于1（数字表示）或0 dB。				
	频率1: 非静止卫星的pfd	$pfd_1$	-140	例子
	频率2: 非静止卫星的pfd (如不适用, 输入NA)	$pfd_2$	-131	例子
		...		
	频率n: 非静止卫星的pfd (如果不适用, 输入NA)	$pfd_n$	-140	例子
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd$	-130.025	$10 \log \left( 10^{\left(\frac{pfd_1}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{pfd_2}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{pfd_n}{10}\right)} \right)$
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-116.045	$10 \log \left( 10^{\left(\frac{pfd_1}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{pfd_2}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{pfd_n}{10}\right)} \right)$
	Epfd触发电平 (dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd$	-171.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	Epfd触发电平 (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-157.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	超出了Epfd触发电平?		是	
<b>如果卫星pfd掩模是以方位角对仰角的形式来表示</b>				
计算ECF中地球站的x, y, z和r分量				
	地球站x值 (km)	$X_e$	1 130.615	$R_e \times \cos(\varphi) \times \cos(earth_{long})$
	地球站y值 (km)	$Y_e$	-4 897.23	$R_e \times \cos(\varphi) \times \sin(earth_{long})$
	地球站z值 (km)	$Z_e$	3 926.781	$R_e \times \sin(\varphi)$
	地球站r值 (km)	$R_{es}$	6 378.15	$\sqrt{X_e^2 + Y_e^2 + Z_e^2}$
计算ECF中非静止卫星的x, y, z分量				
	非静止x值 (km)	$X_n$	3 399.674	$R_n \times \cos(\delta) \times \cos(nGSO_{long})$
	非静止y值 (km)	$Y_n$	-5 934.02	$R_n \times \cos(\delta) \times \sin(nGSO_{long})$
	非静止z值 (km)	$Z_n$	3 910.561	$R_n \times \sin(\delta)$
	非静止半径 (km)	$R_n$	7 878.00	$\sqrt{X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2}$
计算非静止卫星和地球站之间的矢量				
	矢量X (km)	$X$	-2 269.06	$X_e - X_n$
	矢量Y (km)	$Y$	1 036.788	$Y_e - Y_n$
	矢量Z (km)	$Z$	16.219 97	$Z_e - Z_n$

表2 (续)

	矢量 $r$ (km)	$r$	2 494.76	$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$
北矢量				
	北 $X$	$N_x$	0	北矢量 $x$ 分量
	北 $Y$	$N_y$	0	北矢量 $y$ 分量
	北 $Z$	$N_z$	1	北矢量 $z$ 分量
	北大小	$N_{mag}$	1	北矢量大小
通过从卫星到地球中心的矢量的负值与北矢量的交叉乘积, 计算出卫星框架的 $X$ 分量				
	$X$ 框架- $x$ 分量	$X'_x$	5 934.021 63	$-Y_n \times N_z + N_y \times Z_n$
	$X$ 框架- $y$ 分量	$X'_y$	3 399.673	$-Z_n \times N_x + N_z \times X_n$
	$X$ 框架- $z$ 分量	$X'_z$	0	$-X_n \times N_y + N_x \times Y_n$
	$X$ 大小	$X'_{mag}$	6 838.89	$\sqrt{X'^2_x + X'^2_y + X'^2_z}$
通过从卫星到地球中心的矢量的负值与卫星框架 $X$ 分量的交叉乘积, 计算出卫星框架的 $Z$ 分量				
	$Z$ 框架-升交点经度的 $x$ 分量余弦	$Z'_x$	-13 294 632.6	$-Y_n \times X'_z + X'_y \times Z_n$
	$Z$ 框架-升交点经度的 $y$ 分量正弦	$Z'_y$	23 205 355.1	$-Z_n \times X'_x + X'_z \times X_n$
	$Z$ 框架-非静止卫星倾角的 $z$ 分量余弦	$Z'_z$	46 770 394.5	$-X_n \times X'_y + X'_x \times Y_n$
	$Z$ 大小-非静止卫星倾角的正弦	$Z'_{mag}$	53 876 762.8	$\sqrt{Z'^2_x + Z'^2_y + Z'^2_z}$
通过点积计算卫星到地球站在卫星轴方向上的矢量大小				
	$X$ 方向的大小	$X_{delta}$	-1 453.437 9	$X \times \frac{X'_x}{X'_{mag}} + Y \times \frac{X'_y}{X'_{mag}} + Z \times \frac{X'_z}{X'_{mag}}$
	$Y$ 方向的大小	$Y_{delta}$	1 752.088 4	$-X \times \frac{X_n}{r} - Y \times \frac{Y_n}{r} - Z \times \frac{Z_n}{r}$
	$Z$ 方向的大小	$Z_{delta}$	1 020.550 3	$X \times \frac{Z'_x}{Z'_{mag}} + Y \times \frac{Z'_y}{Z'_{mag}} + Z \times \frac{Z'_z}{Z'_{mag}}$
从卫星的视角计算到地球站的方位角和仰角				
	从卫星视角到地球站的方位角 (度)	$Az$	-39.677	$\text{atan}\left(\frac{Y_{delta}}{X_{delta}}\right)$
	从卫星视角到地球站的仰角 (度)	$El$	24.146	$\text{asin}\left(\frac{Z_{delta}}{r}\right)$

表2 (完)

<p>从pfd掩模中选择其星下点纬度、方位角和仰角、纬度与上述计算的非静止卫星星下点纬度值最接近的pfd。因为GSO卫星VLA的频宽很大，可能会有几套频率重叠的掩模，所有这些都应当加进来。因为这是一个同轴事件，epfd计算的<math>G_r(\theta)/G_{r,max}</math>部分等于0。</p>				
	频率1: 用到地球站的方位角和仰角找到非静止卫星的pfd	$pfd_1$	-140	例子
	频率2: 用到地球站的方位角和仰角找到非静止卫星的pfd	$pfd_2$	-131	例子
		...		
	频率n: 用到地球站的方位角和仰角找到非静止卫星的pfd	$pfd_n$	-140	例子
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd$	-130.025	$10 \log \left( 10^{\left(\frac{pfd_1}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{pfd_2}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{pfd_n}{10}\right)} \right)$
	计算最坏情况的epfd(dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-116.045	$10 \log \left( 10^{\left(\frac{pfd_1}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{pfd_2}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{pfd_n}{10}\right)} \right)$
	Epfd触发电平(dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd$	-171.0	
	Epfd触发电平(dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-157.0	
	超出了Epfd触发电平?		是	

### 3 情形2

情形 2 描述了当一个排他区定义为从 GSO 地球站到 $\pm X^\circ$ 的 GSO 弧的场景。当非静止是在此排他区内时，它不能向任何地球站发射。对于此情形的最坏情况几何关系在图 2 中描述，其中向同位置的 GSO 和非静止地球站发射的非静止是在排他区的边缘。此几何关系产生了一个非静止主波束干扰 GSO 旁瓣的场景。此缓解技术典型地将与 LEO 星座一起使用，但也会适用于 MEO 星座。计算  $epfd_{\downarrow}$  值的算法需要下列步骤：

- 步骤1： 输入：地球半径，非静止轨道半径，非静止倾角，GSO轨道半径，GSO卫星经度，GSO卫星倾角，GSO地球站纬度，GSO地球站经度。
- 步骤2： 计算从GSO地球站到GSO卫星的方位角和仰角。
- 步骤3： 由于非静止卫星排他区是基于 $0^\circ$ 倾角的GSO弧，计算从一个GSO地球站到位于 $0^\circ$ 倾角及受影响GSO卫星的经度上的一颗GSO卫星的方位角和仰角。
- 步骤4： 为了找到在排他区边缘上的非静止卫星的位置，在与 $0^\circ$ 倾角的GSO卫星相同的方位角以及 $X^\circ$ （排他区角）加上到 $0^\circ$ 倾角的GSO卫星的仰角上，计算非静止卫星的星下点纬度和经度。
- 步骤5： 计算轴外接角（到非静止卫星的仰角与倾斜GSO卫星之间在最大振幅处的增量）及在GSO地球站处相应的增益。
- 步骤6： 当非静止与以最大倾角的倾斜GSO相合时，计算从对地静止轨道弧测得的Alpha角（ $Alpha_{Conjunction}$ ）
- 如果 $Alpha_{Conjunction}$ 大于 $X^\circ$ （排他区角），那么当倾斜的GSO在排他区角之外时会发生相合，应该使用情形1。
  - 如果 $Alpha_{Conjunction}$ 小于或等于 $X^\circ$ （排他区角），则当倾斜的GSO在排他区角内时会发生相合，应使用情形2。
- 步骤7： 如果非静止pfd掩模是以alpha对delta经度的形式来表示（关于alpha和delta经度的定义参见ITU-R S.1503建议书）。
- 对于 $Alpha=Alpha_0$ 及GSO和非静止卫星之间的经度差，从pfd掩模中选择最靠近非静止卫星星下点纬度的纬度上的pfd。
  - 因为GSO卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的pfd掩模；所有这些都应当被包括。
  - 按照RR第22.5C款中定义的方法来计算epfd。
- 步骤8： 如果非静止卫星pfd掩模是以方位角对仰角的形式来表示（关于方位角和仰角的定义参见ITU-R S.1503建议书）。
- 计算GSO卫星、地球站和非静止卫星的ECF坐标。
  - 把非静止卫星与GSO地球站之间的矢量从ECF坐标变换和旋转到卫星中心坐标。
  - 计算从非静止卫星到GSO地球站的方位角和仰角。
  - 对于从非静止卫星到GSO地球站的方位角和仰角，从pfd掩模中选择最靠近非静止卫星星下点纬度的纬度上的pfd。

- e) 因为GSO卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的pfd掩模；所有这些都应当被包括。
- f) 按照RR第**22.5C**款中定义的方法来计算epfd。

已经开发了一个 Excel 工作表，它具有适当的等式和预选编程好的计算过程。对于情形 2 计算过程页的一个描述示于表 3 中。对于非静止卫星系统的输入值是虚构的，并不代表任何特定的系统。

表 3

情形2 – Excel电子数据表计算过程

情形 2: 排他区定义为从 GSO 地球站到 $\pm X^\circ$ 的 GSO 弧的区域				
非静止卫星不能在排他区内发射				
最坏情况: 直接向 GSO 地球站发射的非静止卫星是在排他区的边缘				
Alpha = $a_0$				
注 1: 此算法只适用于圆轨道的非静止卫星				
注 2: 如果相合时的 Alpha 角大于非静止排他区角, 应使用情形 1				
输入				
	地球半径 (km)	$R_e$	6 378.15	
	非静止半径 (km)	$R_n$	7 878	
	非静止卫星倾角 (度)	$i$	55	
	非静止排他区角 (度)	$\beta$	10	
	GSO 半径 (km)	$R_g$	42 164	
	GSO 卫星经度 (度)	$GSO_{long}$	-30	
	GSO 卫星倾角 (度)	$i_g$	5	
	地球站纬度 (度)	$\varphi$	38	
	地球站经度 (度)	$earth_{long}$	-77	
	地球站天线最大增益 (dB)	$G_{max}$	70	
	掩模参考带宽 (kHz)		40	根据掩模文档决定 (40或1 000)
	频段 (Ku或Ka)		Ka	
计算过程				
	GSO 卫星纬度 (度)	$\delta_g$	5	
	地球站与 GSO 卫星经度之间的差 (度)	$\Delta\lambda_g$	47	$GSO_{long} - earth_{long}$
	计算从地球站到 GSO 卫星的伽马角 (度)	$\gamma_g$	53.91141	$\arccos[\sin(\varphi) \times \sin(\delta_g) + \cos(\varphi) \times \cos(\delta_g) \times \cos(\Delta\lambda_g)]$
	计算从地球站到 GSO 卫星的斜线距离 (km)	$d_g$	38 751.35	$\sqrt{R_e^2 + R_g^2 - 2 \times R_e \times R_g \times \cos(\gamma_g)}$
	计算从地球站到 GSO 卫星的仰角 (度)	$El$	28.44516	$\arccos\left[\left(\frac{R_g}{d_g}\right) \times \sin(\gamma_g)\right]$
	计算从地球站到 GSO 卫星的方位角 (度)	$Az$	115.6339	如果 $(\Delta\lambda_g > 0$ 且 $\varphi < 0)$ or $(\Delta\lambda_g < 0$ 且 $\varphi < 0)$ 那么 $\arcsin\left[\frac{\cos(\delta_g) \times \sin(\Delta\lambda_g)}{\sin(\gamma_g)}\right]$ 否则 $180 - \arcsin\left[\frac{\cos(\delta_g) \times \sin(\Delta\lambda_g)}{\sin(\gamma_g)}\right]$
	计算从地球站到 $0^\circ$ 倾角的 GSO 卫星的伽马角 (度)	$\gamma_0$	57.49168	$\arccos[\cos(\varphi) \times \cos(\Delta\lambda_g)]$
	计算从地球站到 $0^\circ$ 倾角的 GSO 卫星的斜线距离 (km)	$d_0$	39 107.9	$\sqrt{R_e^2 + R_g^2 - 2 \times R_e \times R_g \times \cos(\gamma_0)}$



表3 (续)

计算从地球站到 0° 倾角的 GSO 卫星的仰角 (度)	$El_0$	24.60297	$\arccos\left[\left(\frac{R_g}{d_0}\right) \times \sin(\gamma_0)\right]$
计算排除区边缘上到非静止卫星的仰角 (度)	$nGSO_{El}$	34.60297	$El_0 + \beta$
计算 GSO 地球站处的偏离视轴角	$\theta$	6.157819	$nGSO_{El} - El$
计算地球站在偏离视轴 $\theta^\circ$ 时的增益 (dB)	$G(\theta)$	9.264328	ITU-R S.1428 建议书
计算从地球站到非静止卫星的伽马角 (度)	$\gamma_n$	13.60588	$\arccos\left(\left(\frac{R_e}{R_n}\right) \times \cos(nGSO_{El})\right) - nGSO_{El}$
计算在此方位角和新仰角处非静止卫星的星下点纬度 (度)	$\delta$	31.21079	若 $\varphi > 0$ 则 $90 - \arccos[\cos(90 - \varphi) \times \cos(\gamma_n) + \sin(90 - \varphi) \times \sin(\gamma_n) \times \cos(Az)]$ 否则 $90 - \arccos[\cos(90 + \varphi) \times \cos(\gamma_n) + \sin(90 - \varphi) \times \sin(\gamma_n) \times \cos(Az + 180)]$
计算非静止与地球站之间的经度差 (度)	$\Delta\lambda_n$	14.35798	若 $\Delta\lambda_g > 0$ 则 $\arccos\left[\frac{\cos(\gamma_n) - \sin(\varphi) \times \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \times \cos(\delta)}\right]$ 否则 $-1 \times \arccos\left[\frac{\cos(\gamma_n) - \sin(\varphi) \times \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \times \cos(\delta)}\right]$
计算在此方位角和仰角处非静止卫星的星下点经度 (度)	$nGSO_{long}$	-62.64202	$earth_{long} + \Delta\lambda_n$
计算从地球站到非静止相合时的伽马角 (度)	$\gamma_{nc}$	16.16731	$\arccos\left(\left(\frac{R_e}{R_n}\right) \times \cos(El)\right) - El$
计算非静止在相合点 $Az$ 和 $El$ 的星下纬度 (度)	$\delta_c$	29.76146	如果 $\varphi > 0$ 则 $90 - \arccos[\cos(90 - \varphi) \times \cos(\gamma_n) + \sin(90 - \varphi) \times \sin(\gamma_n) \times \cos(Az)]$ 否则 $90 - \arccos[\cos(90 + \varphi) \times \cos(\gamma_n) + \sin(90 - \varphi) \times \sin(\gamma_n) \times \cos(Az + 180)]$
计算非静止相合与地球站之间的经度差 (度)	$\Delta\lambda_{nc}$	16.80892	如果 $\Delta\lambda_g > 0$ 则 $\arccos\left[\frac{\cos(\gamma_n) - \sin(\varphi) \times \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \times \cos(\delta)}\right]$ 否则 $-1 \times \arccos\left[\frac{\cos(\gamma_n) - \sin(\varphi) \times \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \times \cos(\delta)}\right]$
计算在 $Az$ 和 $El$ 相合处非静止的星下经度 (度)	$nGSO_{long c}$	-60.1911	$earth_{long} + \Delta\lambda_n$
当非静止与最大倾角的倾斜 GSO 相合时, 确定从对地静止轨道弧测量得到的 Alpha			
GSO 弧纬度 (度)	$GSO_{lat}$	0	
计算 ECF 中 VLA 纬度的 x、y、z 分量			
VLA x 值 (km)	$VLA_x$	1 130.615	$R_e \times \cos(\varphi) \times \cos(earth_{long})$
VLA y 值 (km)	$VLA_y$	-4 897.23	$R_e \times \cos(\varphi) \times \sin(earth_{long})$
VLA z 值 (km)	$VLA_z$	3 926.781	$R_e \times \sin(\varphi)$
计算 ECF 中 GSO 弧的 x、y、z 分量			
GSO 弧 x 值 (km)	$GSO_{arc x}$	36 515.1	$R_g \times \cos(GSO_{lat}) \times \cos(GSO_{long})$

表3 (续)

	GSO弧 y 值 (km)	$GSO_{arc y}$	-21 082	$R_g \times \cos(GSO_{lat}) \times \sin(GSO_{long})$
	GSO弧 z 值 (km)	$GSO_{arc z}$	0	$R_g \times \sin(\varphi)$
计算ECF中, 当非静止卫星与在最大倾角的倾斜GSO相合时所在纬度的x、y、z分量				
	Non-GSO x 值 (km)	$nGSO_x$	3 399.674	$R_n \times \cos(\delta) \times \cos(nGSO_{long})$
	Non-GSO y 值 (km)	$nGSO_y$	-5 934.02	$R_n \times \cos(\delta) \times \sin(nGSO_{long})$
	Non-GSO z 值 (km)	$nGSO_z$	3 910.561	$R_n \times \sin(\delta)$
计算从最大倾角的GSO看到的Alpha所需的矢量				
	VLA到GSO弧 矢量 (km)	$VLA-GSO_{arc}$	39 107.9	$\sqrt{(GSO_{arc x} - VLA_x)^2 + (GSO_{arc y} - VLA_y)^2 + (GSO_{arc z} - VLA_{zx})^2}$
	VLA到non-GSO 矢量 (km)	$VLA-nGSO$	2 494.758	$\sqrt{(nGSO_x - VLA_x)^2 + (nGSO_y - VLA_y)^2 + (nGSO_z - VLA_{zx})^2}$
	GSO弧到non-GSO 矢量 (km)	$GSO_{arc}-nGSO$	36 624.92	$\sqrt{(nGSO_x - GSO_{arc x})^2 + (nGSO_y - GSO_{arc y})^2 + (nGSO_z - GSO_{arc zx})^2}$
	相合时的Alpha	$Alpha_{conj}$	5.390 246	$\arccos \left[ \frac{(VLA \text{ to } GSO_{arc} \text{ vector})^2 + (VLA \text{ to } nGSO \text{ vector})^2 - (GSO_{arc} \text{ to } nGSO \text{ Vector})^2}{2 \times VLA \text{ to } GSO_{arc} \text{ Vector} \times VLA \text{ to } nGSO \text{ Vector}} \right]$
如果相合时Alpha > β, 则使用情形1, 否则继续使用情形2				情形2
如果卫星pfd掩模是以alpha对delta经度的形式来表示				
	计算GSO和非静止卫星之间的Δ经度 (度)	$delta$	32.64202	$GSO_{long} - nGSO_{long}$
从 pfd 掩模中选择Alpha = a <sub>0</sub> 且星下点纬度和Delta与上述计算值最近的pfd。因为GSO卫星VLA的频宽很大, 可能会有几套频率重叠的掩模, 所有这些都应当加进来。				
	频率 1: 非静止卫星的 pfd	$pfd_1$	-140	例子
	频率 2: 非静止卫星的 pfd	$pfd_2$	-131	例子
	...			
	频率 n: 非静止卫星的 pfd	$pfd_n$	-140	例子
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd$	-190.760	$10 \log \left( 10^{\frac{pfd_1 + G(X) - G_{max}}{10}} + 10^{\frac{pfd_2 + G(X) - G_{max}}{10}} + \dots + 10^{\frac{pfd_n + G(X) - G_{max}}{10}} \right)$
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-176.781	$10 \log \left( 10^{\frac{pfd_1 + G(X) - G_{max}}{10}} + 10^{\frac{pfd_2 + G(X) - G_{max}}{10}} + \dots + 10^{\frac{pfd_n + G(X) - G_{max}}{10}} \right)$
	Epdf触发电平 (dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd$	-171.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	Epdf触发电平 (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-157.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	超出了Epdf触发电平?		否	

表3 (续)

如果卫星 pfd 掩模是以方位角对仰角的形式来表示				
计算 ECF 中地球站的 $x, y, z$ 和 $r$ 分量				
	地球站 $x$ 值 (km)	$X_e$	1 130.615	$R_e \times \cos(\varphi) \times \cos(\text{earth}_{long})$
	地球站 $y$ 值 (km)	$Y_e$	-4 897.233	$R_e \times \cos(\varphi) \times \sin(\text{earth}_{long})$
	地球站 $z$ 值 (km)	$Z_e$	3 926.781	$R_e \times \sin(\varphi)$
	地球站 $r$ 值 (km)	$R_{es}$	6 378.15	$\sqrt{X_e^2 + Y_e^2 + Z_e^2}$
计算 ECF 中非静止卫星的 $x, y, z$ 和 $r$ 分量				
	非静止卫星 $x$ 值 (km)	$X_n$	3 096.342	$R_n \times \cos(\delta) \times \cos(nGSO_{long})$
	非静止卫星 $y$ 值 (km)	$Y_n$	-5 984.187	$R_n \times \cos(\delta) \times \sin(nGSO_{long})$
	非静止卫星 $z$ 值 (km)	$Z_n$	4 082.286	$R_n \times \sin(\delta)$
	非静止卫星 $r$ 值 (km)	$R_n$	7 878.00	$\sqrt{X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2}$
计算非静止卫星和地球站之间的矢量				
	矢量 $X$ (km)	$X$	-1 965.727	$X_e - X_n$
	矢量 $Y$ (km)	$Y$	1 086.953	$Y_e - Y_n$
	矢量 $Z$ (km)	$Z$	-155.504 7	$Z_e - Z_n$
	矢量 $r$ (km)	$r$	2 251.61	$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$
北矢量				
	北 $X$	$N_x$	0	北矢量 $x$ 分量
	北 $Y$	$N_y$	0	北矢量 $y$ 分量
	北 $Z$	$N_z$	1	北矢量 $z$ 分量
	北大小	$N_{mag}$	1	北矢量大小
通过从卫星到地球中心的矢量的负值与北矢量的交叉乘积, 计算出卫星框架的卫星 $X$ 分量				
	$X$ 框架 - $x$ 分量	$X'_x$	5984.1867	$-Y_n \times N_z + N_y \times Z_n$
	$X$ 框架 - $y$ 分量	$X'_y$	3096.3422	$-Z_n \times N_x + N_z \times X_n$
	$X$ 框架 - $z$ 分量	$X'_z$	0	$-X_n \times N_y + N_x \times Y_n$
	$X$ 大小	$X'_{mag}$	6737.79	$\sqrt{X'^2_x + X'^2_y + X'^2_z}$
通过从卫星到地球中心的矢量的负值与卫星框架 $X$ 分量的交叉乘积, 计算出卫星框架的 $Z$ 分量				
	$Z$ 框架 - $x$ 分量	$Z'_x$	-12640154.2	$-Y_n \times X'_z + X'_y \times Z_n$
	$Z$ 框架 - $y$ 分量	$Z'_y$	24429161.1	$-Z_n \times X'_x + X'_z \times X_n$

表3 (完)

	Z框架 - z分量	$Z_z$	45397825.7	$-X_n \times X'_y + X'_x \times Y_n$
	Z大小	$Z_{mag}$	53080316.4	$\sqrt{Z'^2_x + Z'^2_y + Z'^2_z}$
通过点积计算卫星到地球站在卫星轴方向上的矢量大小				
	X方向的大小	$X_{delta}$	-1246.357	$X \times \frac{X'_x}{X'_{mag}} + Y \times \frac{X'_y}{X'_{mag}} + Z \times \frac{X'_z}{X'_{mag}}$
	Y方向的大小	$Y_{delta}$	1678.8409	$-X \times \frac{X'_y}{r} - Y \times \frac{Y'_y}{r} - Z \times \frac{Z'_y}{r}$
	Z方向的大小	$Z_{delta}$	835.35433	$X \times \frac{Z'_x}{Z'_{mag}} + Y \times \frac{Z'_y}{Z'_{mag}} + Z \times \frac{Z'_z}{Z'_{mag}}$
从卫星的视角计算到地球站的方位角和仰角				
	从卫星视角到地球站的方位角 (度)	$Az$	-36.5898	$atan\left(\frac{x_{sat}}{y_{sat}}\right)$
	从卫星视角到地球站的仰角 (度)	$El$	21.7775	$atan\left(\frac{z_{sat}}{\sqrt{x_{sat}^2 + y_{sat}^2}}\right)$
从pfd掩模中选择纬度最接近星下纬度, $Az$ 和 $El$ 最接近上面计算的非静止卫星的pfd。因为GSO卫星VLA的频宽是非常大的, 可能会有几套具有重叠频率的掩模, 所有这些都应当被加进来。				
	频率 1: 用到地球站的方位角和仰角找到非静止卫星的 pfd	$pfd_1$	-140	例子
	频率 2: 用到地球站的方位角和仰角找到非静止卫星的 pfd	$pfd_2$	-131	例子
		...		
	频率 n: 用到地球站的方位角和仰角找到非静止卫星的 pfd	$pfd_n$	-140	例子
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd_{40kHz}$	-190.760	$10\log\left(10^{\frac{pfd_1+G(X)-G_{max}}{10}} + 10^{\frac{pfd_2+G(X)-G_{max}}{10}} + \dots + 10^{\frac{pfd_n+G(X)-G_{max}}{10}}\right)$
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-176.781	$10\log\left(10^{\frac{pfd_1+G(X)-G_{max}}{10}} + 10^{\frac{pfd_2+G(X)-G_{max}}{10}} + \dots + 10^{\frac{pfd_n+G(X)-G_{max}}{10}}\right)$
	Epdf触发电平(dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd$	-171.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-157.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	超出了Epdf触发电平?		否	

#### 4 情形3

情形 3 描述了当一个排他区是定义在非静止星下点纬度点的 $\pm X^\circ$ 纬度内的场景。当非静止卫星是在此排他区内时，它不能向任何地球站发射。对于此情形的最坏情况几何关系在图 3 中描述，其中向同位置的 GSO 和非静止地球站发射的非静止卫星是在排他区的边缘上。此几何关系产生了一个非静止卫星主波束干扰 GSO 卫星旁瓣的场景。此缓解技术典型地将与 MEO 星座一起使用，但也会适用于 HEO 星座。如果 GSO 倾角大于非静止切断纬度，可能会发生相合，应使用情形 1。在这种情况下，对于 HEO 非静止轨道，使用 HEO 卫星在相合纬度的半径作为情形 1 中的非静止卫星半径。计算  $epfd_{\downarrow}$  值的算法需要下列步骤：

- 步骤1： 输入：地球半径，非静止轨道半径，非静止卫星倾角，非静止卫星切断纬度，GSO 卫星经度，GSO 卫星倾角，GSO 轨道半径，GSO 地球站纬度，GSO 地球站经度，GSO 地球站最大天线增益。
- 步骤2： 计算从 GSO 地球站到非静止卫星的最小偏轴角（此函数是在一个宏中执行的，它把非静止卫星在经线上沿切断纬度移动并计算偏轴角，然后记录最小值）。
- 步骤3： 计算非静止在最小偏轴角处的星下点纬度和经度。
- 步骤4： 计算 GSO 地球站处的偏轴接收角和增益。
- 步骤5： 如果非静止 pfd 掩模是以  $\alpha$  对  $\delta$  经度的形式来表示（关于  $\alpha$  和  $\delta$  经度的定义参见 ITU-R S.1503 建议书）。
- a) 对于  $\text{Alpha} = \text{Alpha}_0$  及 GSO 卫星和非静止卫星之间的经度差，从 pfd 掩模中选择最靠近非静止卫星星下点纬度的纬度上的 pfd。
  - b) 因为 GSO 卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的 pfd 掩模；所有这些都应当被包括。
  - c) 按照 RR 第 22.5C 款中定义的方法来计算  $epfd$ 。
- 步骤6： 如果非静止 pfd 掩模是以方位角对仰角的形式来表示（关于方位角和仰角的定义参见 ITU-R S.1503 建议书）。
- a) 计算 GSO、地球站和非静止的 ECF 坐标。
  - b) 把非静止卫星与 GSO 地球站之间的矢量从 ECF 坐标变换和旋转到卫星中心坐标。
  - c) 计算从非静止卫星到 GSO 地球站的方位角和仰角。
  - d) 对于从非静止卫星到 GSO 地球站的方位角和仰角，从 pfd 掩模中选择最靠近非静止卫星星下点纬度的纬度上的 pfd。
  - e) 因为 GSO 卫星有非常大的带宽，可能会有几套具有重叠频率的 pfd 掩模；所有这些都应当被包括。
  - f) 按照 RR 第 22.5C 款中定义的方法来计算  $epfd$ 。

已经开发了一个 Excel 工作表，它具有适当的等式和预选编程好的计算过程。对于情形 3 计算过程页的一个描述示于表 4 中。对于非静止卫星系统的输入值是虚构的，并不代表任何特定的系统。

表 4

## 情形3 Excel电子数据表计算过程

情形 3: 当高于或低于一个特定的纬度时, 非静止卫星不能发射。在+或 -X 纬度之间时 MEO 不能发射。在低于 +X 纬度或高于 -X 纬度时 HEO 将不发射, 这决定于远地点的半球				
最坏情况: 非静止卫星是处在直接向 GSO 地球站发射的规定纬度上				
Alpha = $\alpha_0$				
注 1: 对于一颗 HEO 卫星, 对非静止半径的输入值是指 HEO 在接通/切断纬度上的半径				
注 2: 如果 GSO 倾角大于非静止切断纬度, 可能会发生相合, 应使用情形 1。在这种情况下, 对于 HEO 非静止轨道, 使用 HEO 卫星在相合纬度的半径作为情形 1 中的非静止卫星半径。				
输入				
	地球半径 (km)	$R_e$	6 378.15	
	GSO 半径 (km)	$R_g$	42 164	
	非静止卫星倾角 (度)	$i$	55	
	非静止半径 (km)	$R_n$	23 958	
	非静止卫星接通/切断纬度 (度)	$\beta$	-45	
	是否切断纬度都是正或负? (1= 是或 2=否)		1	
	GSO 卫星经度 (度)	$GSO_{long}$	-30	
	GSO 卫星倾角 (度)	$GSO_{inc}$	5	
	地球站纬度 (度)	$\varphi$	38	
	地球站经度 (度)	$earth_{long}$	-77	
	地球站天线最大增益 (dB)	$G_{max}$	70	
	掩模参考带宽 (kHz)		40	根据掩模文档决定 (40或1 000)
	频段 (Ku或Ka)		Ka	
计算过程				
	计算最小偏轴角	$\beta$	44.09438	宏
	最小偏轴角时的非静止卫星经度	$nGSO_{long}$	-32	宏
	最小偏轴角时的非静止卫星纬度	$nGSO_{lat}$	45	宏
	计算地球站在偏离视轴 $\theta^\circ$ 时的增益 (dB)	$G(\beta)$	-12	ITU-R S.1428 建议书
如果卫星 pfd 掩模是以 alpha 对 delta 经度的形式来表示				
	计算 GSO 和非静止卫星之间的 $\Delta$ 经度 (度)	$delta$	2	

表4 (续)

从pfd掩模中选择Alpha= $a_0$ 且星下点纬度和Delta与上述计算值最接近的pfd。因为GSO卫星VLA的频宽是非常大的，可能会有几套具有重叠频率的掩模，所有这些都应当被加进来。				
	频率1: 非静止卫星的pfd	$pdf_1$	-140	例子
	频率2: 非静止卫星的pfd	$pdf_2$	-131	例子
	...			
	频率 $n$ : 非静止卫星的pfd	$pdf_n$	-140	例子
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd_{40kHz}$	-212.025	$10\log \left( 10^{\frac{pdf_1+G(X)-G_{max}}{10}} + 10^{\frac{pdf_2+G(X)-G_{max}}{10}} + \dots + 10^{\frac{pdf_n+G(X)-G_{max}}{10}} \right)$
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-198.045	$10\log \left( 10^{\frac{pdf_1+G(X)-G_{max}}{10}} + 10^{\frac{pdf_2+G(X)-G_{max}}{10}} + \dots + 10^{\frac{pdf_n+G(X)-G_{max}}{10}} \right)$
	Epdf触发电平(dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd$	-199.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	Epdf触发电平(dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-185.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	超出了Epdf触发电平?		否	
<b>如果卫星pfd 掩模是以方位角对仰角的形式来表示</b>				
计算ECF中地球站的 $x, y, z$ 和 $r$ 分量				
	地球站 $x$ 值 (km)	$X_e$	1 130.62	$R_e \times \cos(\varphi) \times \cos(earth_{long})$
	地球站 $y$ 值 (km)	$Y_e$	-4 897.23	$R_e \times \cos(\varphi) \times \sin(earth_{long})$
	地球站 $z$ 值 (km)	$Z_e$	3 926.78	$R_e \times \sin(\varphi)$
	地球站 $r$ 值 (km)	$R_{es}$	6 378.15	$\sqrt{X_e^2 + Y_e^2 + Z_e^2}$
计算ECF中非静止卫星的 $x, y, z$ 分量和半径				
	非静止卫星 $x$ 值 (km)	$X_n$	14 366.67	$R_n \times \cos(\delta) \times \cos(nGSO_{long})$
	非静止卫星 $y$ 值 (km)	$Y_n$	-8 977.29	$R_n \times \cos(\delta) \times \sin(nGSO_{long})$
	非静止卫星 $z$ 值 (km)	$Z_n$	16 940.86	$R_n \times \sin(\delta)$
	非静止卫星半径 (km)	$R_n$	23 958	$\sqrt{X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2}$
计算非静止卫星和地球站之间的矢量				
	矢量 $X$ (km)	$X$	-13 236.05	$X_e - X_n$
	矢量 $Y$ (km)	$Y$	4 080.057	$Y_e - Y_n$
	矢量 $Z$ (km)	$Z$	-13 014.08	$Z_e - Z_n$

表4 (续)

	矢量 $r$ (km)	$r$	19 005.428	$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$
北矢量				
	北 $X$	$N_x$	0	北矢量 $x$ 分量
	北 $Y$	$N_y$	0	北矢量 $y$ 分量
	北 $Z$	$N_z$	1	北矢量 $z$ 分量
	北大小	$N_{mag}$	1	北矢量大小
通过从卫星到地球中心的矢量的负值与北矢量的交叉乘积, 计算出卫星框架的卫星 $X$ 分量				
	$X$ 框架- $x$ 分量	$X'_x$	8977.2903	$-Y_n \times N_z + N_y \times Z_n$
	$X$ 框架- $y$ 分量	$X'_y$	14 366.667	$-Z_n \times N_x + N_z \times X_n$
	$X$ 框架- $z$ 分量	$X'_z$	-0	$-X_n \times N_y + N_x \times Y_n$
	$X$ 大小	$X'_{mag}$	16 940.86	$\sqrt{X'^2_x + X'^2_y + X'^2_z}$
通过从卫星到地球中心的矢量的负值与卫星框架 $X$ 分量的交叉乘积, 计算出卫星框架的 $Z$ 分量				
	$Z$ 框架- $x$ 分量	$Z_x$	-243383767.2	$-Y_n \times X'_z + X'_y \times Z_n$
	$Z$ 框架- $y$ 分量	$Z_y$	152083056.9	$-Z_n \times X'_x + X'_z \times X_n$
	$Z$ 框架- $z$ 分量	$Z'_z$	286992882	$-X_n \times X'_y + X'_x \times Y_n$
	$Z$ 大小	$Z_{mag}$	405869226.0	$\sqrt{Z'^2_x + Z'^2_y + Z'^2_z}$
通过点积计算卫星到地球站在卫星轴方向上的矢量大小				
	$X$ 方向的大小	$X_{delta}$	-3553.954595	$X \times \frac{X'_x}{X'_{mag}} + Y \times \frac{X'_y}{X'_{mag}} + Z \times \frac{X'_z}{X'_{mag}}$
	$Y$ 方向的大小	$Y_{delta}$	18668.32096	$-X \times \frac{X'_n}{r} - Y \times \frac{Y'_n}{r} - Z \times \frac{Z'_n}{r}$
	$Z$ 方向的大小	$Z_{delta}$	263.6282482	$X \times \frac{Z'_x}{Z'_{mag}} + Y \times \frac{Z'_y}{Z'_{mag}} + Z \times \frac{Z'_z}{Z'_{mag}}$
从卫星的视角计算到地球站的方位角和仰角				
	从卫星视角到地球站的方位角 (度)	$Az$	-10.77862297	$\text{atan} \left( \frac{Y_\delta}{X_\delta} \right)$
	从卫星视角到地球站的仰角 (度)	$El$	0.794787166	$\text{asin} \left( \frac{Z_\delta}{r} \right)$



表4 (完)

从pfd掩模中选择纬度最接近星下纬度，Az和El最接近上面计算的非静止卫星的pfd。因为GSO卫星VLA的频宽是非常大的，可能会有几套具有重叠频率的掩模，所有这些都应当被加进来。				
	Freq 1: 用到地球站的方位角和仰角找到非静止卫星的pfd	$pdf_1$	-140	例子
	Freq 2: 用到地球站的方位角和仰角找到非静止卫星的pfd	$pdf_2$	-131	例子
		...		
	Freq n: 用到地球站的方位角和仰角找到非静止卫星的pfd	$pdf_n$	-140	例子
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd_{40kHz}$	-212.025	$10 \log \left( 10^{\left(\frac{pdf_1 + G(X) - G_{max}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{pdf_2 + G(X) - G_{max}}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{pdf_n + G(X) - G_{max}}{10}\right)} \right)$
	计算最坏情况的epfd (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-198.045	$10 \log \left( 10^{\left(\frac{pdf_1 + G(X) - G_{max}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{pdf_2 + G(X) - G_{max}}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{pdf_n + G(X) - G_{max}}{10}\right)} \right)$
	Epdf触发电平(dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	$epfd$	-199.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	Epdf触发电平(dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	$epfd$	-185.0	根据国际电联《无线电规则》附录5
	超出了Epdf触发电平?		否	



S.1714-Rev1\_3Nov2  
021.xlsm