

ITU-R S.1503-4 建议书

(09/2023)

S系列：卫星固定业务

**开发用于确定非对地静止卫星轨道
卫星固定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
软件工具时应采用的功能描述**



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）

国际电联无线电通信部门（ITU-R）的 IPR 政策述于 ITU-R 第 1 号决议所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从 <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh> 获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策实施指南》和 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
BO	卫星传输
BR	用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电测定、业余及相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	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。

电子出版物
2025年，日内瓦

© 国际电联 2025

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段翻印本出版物的任何部分。

ITU-R S.1503-4建议书

开发用于确定非对地静止卫星轨道卫星固定业务
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应采用的功能描述

(2000-2005-2013-2018-2023年)

范围

本建议书提供了一个软件的功能性描述，国际电联无线电通信局用该软件来检查非对地静止卫星轨道（non-GSO）卫星固定业务（FSS）系统通知单，检查其是否符合《无线电规则》中规定的“确认”限值。

关键词

Epdf、对地非静止（non-GSO）、方法论。

缩写/词汇表

- Alpha角(α): 在与对地静止卫星轨道（GSO）通信的地球站处看到的连向non-GSO卫星的连线与连向GSO弧的连线之间的最小角度。
- e.i.r.p.掩模: 等效全向辐射功率掩模，用于在epfd（上行）计算中定义non-GSO地球站的辐射或为了epfd（IS）计算定义non-GSO卫星的辐射。
- epfd: 等效功率通量密度，如在无线电规则第22.5C.1条中所定义，其中要考虑三种情况：
epfd（下行）：从non-GSO卫星系统进入一个GSO卫星地球站的辐射；
epfd（上行）：从一个non-GSO地球站进入一颗GSO卫星的辐射；
epfd(IS)：从non-GSO卫星系统进入一个GSO卫星系统的卫星间辐射。
- Pfd掩模: 功率通量密度掩模，用来在epfd（下行）计算中定义non-GSO卫星的辐射。
- WCG: 最差情形几何形状，分析所建议的GSO地球站和GSO卫星的位置将会对给定输入引起最高单一输入epdf值。

相关的国际电联建议书、报告

ITU-R BO.1443建议书 – 由《无线电规则》附录30所涵盖的频带内用于涉及非对地静止（GSO）卫星干扰评估的参考BSS地球站天线方向图

ITU-R S.672建议书 – 在使用对地静止卫星的卫星固定业务中用做设计指标的卫星天线辐射方向图

ITU-R S.1428建议书 – 用于10.7 GHz至30 GHz频段干扰评估的非GSO卫星的基准卫星固定业务（FSS）地球站辐射方向图

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 2000年世界无线电通信大会（WRC-2000）采纳了《无线电规则》第22条规定的、在10.7-30 GHz频率范围的某些频带内适用于非对地静止卫星轨道（non-GSO）卫星固定业务（FSS）系统的单入口限值，以保护工作于相同频带的对地静止卫星轨道（GSO）网络免受无法接受的干扰；
- b) 这些频带现由或将由对地静止卫星轨道系统（GSO系统）广泛使用；
- c) 在依据《无线电规则》第9.35条和第11.31条进行检查时，无线电通信局（BR）对non-GSO FSS系统进行了检查，确保其符合《无线电规则》第22条表22-1A、22-1B、22-1C、22-1D、22-1E、22-2和22-3中规定的单入等效功率谱密度（epfd）限值；
- d) 为实施考虑到c)提及的管制检查，无线电通信局（BR）需要一个软件工具，用来计算这些系统产生的功率电平，合适的话，它应基于每个non-GSO FSS系统的特定特点，提交给无线电通信局，以便用于协调或通告；
- e) GSO FSS系统和GSO宽带卫星业务（BSS）系统有各自不同的特点，因此，进行干扰评估时需要综合考虑天线特征、干扰电平与概率等多方面因素；
- f) 卫星网络（non-GSO FSS，GSO FSS和GSO BSS）的设计者需要了解无线电通信局实施此类检查的依据；
- g) WRC-19采用了一种评估37.5-51.4 GHz频率范围内non-GSO系统对GSO网络干扰影响的方法，采用epfd统计数据作为输入；
- h) 此类软件工具可能已经开发出来或正在开发中，并可能提供给无线电通信局，

建议

采用附件1中规定的功能描述来开发用于计算non-GSO FSS系统产生之功率电平的软件工具，并检查这些功率电平是否符合《无线电规则》第22条表22-1A、22-1B、22-1C、22-1D、22-1E、22-2和22-3中规定的限值。

注 – ITU-R同意继续进一步修订本建议书，并起草了一份（与本建议书相关的）工作计划草案和一份工作文件。

附件1

无线电通信局用以评估non-GSO FSS系统是否
满足epfd限值的软件的功能性描述

目录

页码

附件1 – 无线电通信局用以评估non-GSO FSS系统是否满足epfd限值的软件的功能性描述	3
A部分 – 基本约束与基本假设.....	5
A1 概述	5
A2 基本假设	7
A3 建模方法	9
B部分 – 输入参数.....	10
B1 概述	10
B2 BR提供给软件的参数.....	10
B3 non-GSO系统的软件输入.....	11
B4 pfd/e.i.r.p.掩模	15
B5 验证输入参数	16
B部分的附件.....	18
C部分 – 生成pfd/e.i.r.p.掩模.....	25
C1 定义	25
C2 产生卫星的pfd掩模.....	25
C3 生成e.i.r.p.掩模.....	33
C4 pfd掩模的格式.....	35
D部分 – non-GSO文档的检查软件.....	45
D1 概述	45
D2 确定要执行的操作	46
D3 最差情形几何形状	49

D4	计算时间步长和时间步数	80
D5	epfd计算描述	93
D6	几何关系与算法	111
D7	结果的结构与格式	134
E部分 – 软件输出可靠性测试		137
E1	候选软件计算精度评估	137
E2	无线电通信局得到的epfd (↓/↑) 统计结果的评估	137
E3	pdf掩模验证	137
E4	无线电通信局的软件经修改或升级后的重新测试	137
F部分 – 实现本建议书的软件		138
F1	操作系统	138
F2	与现有软件和数据库的接口	138
F3	用户手册	138

A部分

基本约束与基本假设

A1 概述

A1.1 目的

本附件中描述的软件算法是为其应用程序而设计的，无线电通信局用该软件对non-GSO FSS系统通知单进行检查，以判定其是否符合《无线电规则》第22条表22-1A、22-1B、22-1C、22-1D、22-1E、22-2和22-3中规定的限值。

该算法在一定条件下也可以允许采用在无线电规则附录5中的指标检验在9.7A和9.7B条下的non-GSO FSS系统和大的地球站之间是否需要协调。

该算法使用non-GSO系统的参数来推导epfd的统计数据。这些epfd统计数据可用作其他方法的输入，这些方法用于评估在《无线电规则》第22条中没有epfd限值的频段内，non-GSO系统对GSO网络的干扰。

在本建议书中的算法是根据在零倾角赤道轨道上的一颗参考GSO卫星而制定的。要确定一个non-GSO卫星系统是否满足《无线电规则》第22条的epfd限值，是通过计算参考GSO卫星或指向它的地球站处的epfd电平来进行的。以非零倾角操作的GSO卫星网络可能会接收到比该算法预测的更高的epfd电平，同时注意到，根据《无线电规则》第22.5C、22.5D、22.5F款进行的分析是假设GSO卫星的倾角为零。但是，在无线电规则第9.7A和9.7B条下的分析是要通过对比无线电规则附录5中的触发水平来确定是否需要协调，并且因而在此情况下，其他方法是可以接受的选择，包括假设非零GSO卫星倾角的那些。

A1.2 软件框图

本附件中描述的软件算法框如图1所示，它由两部分组成：初始数据部分和计算部分。初始数据部分包含与通告的non-GSO系统相关的整个参数集，它是一组GSO系统参考参数以及epfd限值。

计算部分设计用于检查通告的non-GSO系统是否符合epfd限值，它基于以下几个概念：下行功率通量密度（pfd）掩模（见注1）、上行有效等向辐射功率（e.i.r.p.）掩模（见注2）、卫星间有效等向辐射功率（e.i.r.p.）掩模（见注3）。

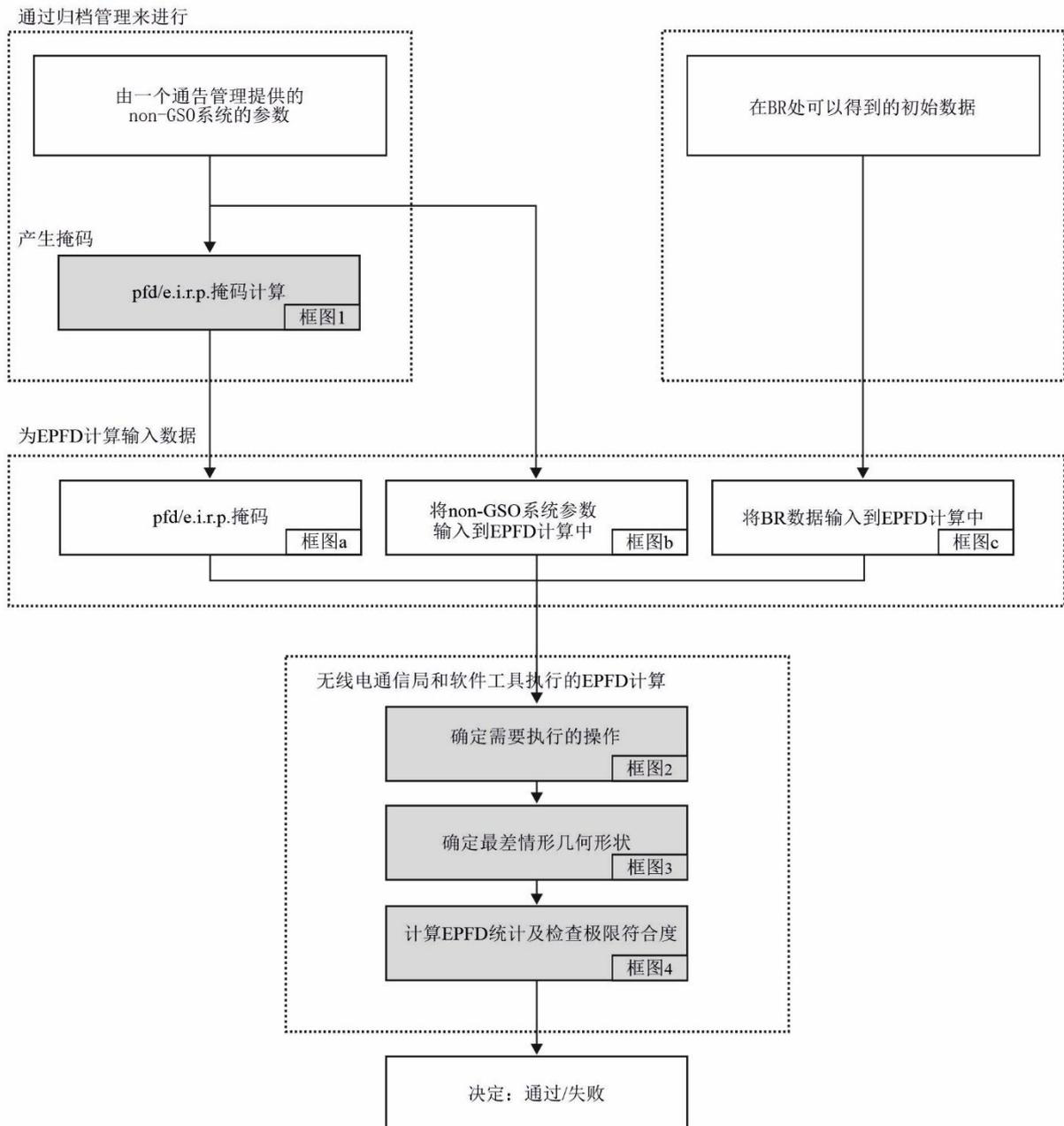
注1 – 功率通量密度（pfd）掩模是指non-GSO空间电台产生的最大功率通量密度（pfd），它在C部分中进行定义。

注2 – 有效等向辐射功率（e.i.r.p.）掩模是指non-GSO地球站辐射的最大有效等向辐射功率（e.i.r.p.），是纬度和角度（发射天线主光束的视轴到GSO弧上的一个点的夹角）的一个函数。

注3 – 卫星间有效等向辐射功率（e.i.r.p.）掩模是指non-GSO空间电台辐射的最大有效等向辐射功率（e.i.r.p.），是纬度和角度（至亚卫星点的线与GSO弧上的一个点之间的夹角）的一个函数。

pfd/e.i.r.p.掩模是通过如在方框1中所确定的归档管理，然后提供在方框a和b中其他non-GSO系统参数来进行计算的。该BR提供了额外的参数，特别是在方框c中的epfd限值。

图1
在epfd验证中的阶段 – 关键逻辑框图



S.1503-01

A1.3 软件工作中主管部门与无线电通信局之间的职责分配

考虑到软件中不同的non-GSO系统配置具有各自不同的特点这一巨大的复杂性，让负责通告适当的non-GSO系统的主管部门承担部分与测试epfd限值有关的责任看起来是合适的。因此，epfd限值符合性检查过程将包括两个阶段。第一阶段将包括为pfd/e.i.r.p提供一个掩模，通过干扰non-GSO网络站点产生。该掩模将解释特定non-GSO系统安排的所有特征（例如可能的波束指向和传输能力）。第一阶段将通过向BR交付pfd/e.i.r.p.掩模来完成。

第二阶段的计算对无线电通信局有影响。第二阶段的特征是完成下列工作：

- 考虑已经归档的频率和在第22条中有epfd限值的频率范围，认定对一个non-GSO网络所需要的操作（方框2）。
- 定义一个GSO空间电台的最大epfd几何关系以及该网络的一个地球站（方框3）。这将确保验证一个通告的non-GSO网络与任何GSO网络在FSS和BSS业务上共享的可行性。
- epfd统计特性估计（方框4）。
- 确定干扰是否符合适当的epfd限值。

epfd统计特性估计基于负责通告的主管部门提供的non-GSO系统参数（方框a和方框b）以及无线电通信局提供的初始数据（方框c）。

任何主管部门都可以使用利用本附件定义的算法开发的软件以及non-GSO网络数据，来估计其GSO网络受到干扰时的统计特性，并检查是否符合epfd限值。这将有助于解决无线电通信局与相关主管部门之间可能存在的争议。

对前面讨论的软件框图各组成部分将在下面进行详细论述，如下所示：

- A部分 整体上描述软件的基本限值与主要的系统要求。
- B部分 讨论non-GSO网络参数和方框a与方框b的初始数据。
- C部分 描述与non-GSO网络地球站和空间电台有关的pfd/e.i.r.p.掩模的定义与估计算法。还将讨论这些掩模在仿真中的应用细节（方框1）。
- D部分 描述与检查non-GSO网络通告、估计epdf统计特性的算法以及输出数据表示格式有关的软件一般要求。D部分包括方框2、方框3和方框4中的所有问题。
- E、F部分 描述与提交的软件评估以及软件输出有效性确认有关的软件要求。

A2 基本假设

A2.1 度量单位

为了提供适当的仿真结果并避免错误，在软件描述过程中，应使用统一的度量单位，如表1所示。表1中列出了基本的物理参数的度量单位。

表1

用于软件性能描述的基本物理参数的度量单位

参数	单位
距离	km
角度	度
时间	s
线转度	km/s
角转度	度/秒
频率	MHz
频带宽度	kHz
功率	dBW
功率谱密度	dB(W/Hz)
功率通量密度	dB(W/(m ² · BW _{ref}))
单位面积上同频non-GSO地球站的平均数目	1/km ²
epfd↓、epfd或epfd _{is}	dB(W/BW _{ref})
天线增益	dBi
地球表面的地理位置	度

A2.2 常量

无线电通信局使用的、用于检查non-GSO网络通告的软件功能描述使用下列常量。

表2

与地球有关的常量

参数	符号	数值	单位
地球半径	R_e	6 378.145	km
对地静止轨道半径	R_{geo}	42 164.2	km
万有引力常数	μ	$3.986\ 012 \times 10^5$	km ³ /s ²
光速	c	$2.997\ 924\ 58 \times 10^5$	km/s
地球自转角速度	ω_e	$4.178\ 074\ 582\ 3 \times 10^{-3}$	度/秒
地球自转周期	T_e	86 164.090 54	s
地球非球形因子	J_2	0.001 082 636	—

A2.3 地球模型

地球的引力是定义一个卫星轨道运动的主要因素，其他因素还包括：

- 由于地球椭圆率以及地球质量分布不均匀而引起的轨道变化；
- 太阳和月亮的引力；
- 介质对卫星的拉力；

– 太阳辐射压力，等等。

本附件的软件功能描述只考虑地球椭圆率对轨道的干扰情况，它基于以下事实，即其他干扰因素的影响非常小。地球椭圆率对升交点经度和轨道近地点角会产生长期和周期的干扰。D6.3部分描述了计算地球椭圆率对轨道影响的表达式。

具有一些循环地面轨迹的轨道对所用的轨道模型的精确性是非常敏感的。主管部门也可以为无线电通信局提供它们自己独自确定的轨道平均进动率，该值可以在软件中直接使用，而不需要利用D.6.3部分中公式计算得到的值。

A2.4 星座类型

在本建议书中的算法是设计得至少适用于表3中所列举的non-GSO卫星系统。

星座可以包含具有不同轨道参数和形状的子星座，但一个星座内的所有子星座都必须是重复的或不重复的。如果星座是重复的，则指定的重复周期必须适用于所有non-GSO卫星，包括所有的子星座。

表3
轨道类型分类

类型	轨道形状	赤道?	重复?
A	圆形	否	是
B	圆形	否	否
C	圆形	是	不适用
D	椭圆 ⁽¹⁾	否	是
E	椭圆 ⁽¹⁾	否	否

⁽¹⁾ 假设椭圆系统在纬度极值处具有近地点和远地点，即具有处于最高或最低纬度的活动弧。

A3 建模方法

在本附件中描述的方法涉及时间仿真法，其中在每个时间步长上对干扰电平进行评估。第D4节中定义计算时间步长的方法和所用时间步长的总数。在分析法中，在non-GSO网络参考卫星位置（经度和纬度）的每个增量上对干扰电平进行评估。该节还确定了一个可选的双时间步长方法以便在不改变结果的情况下减少运行时间。

B部分

输入参数

B1 概述**B1.1 背景**

为了实现必需的软件功能，必须对non-GSO网络的某些参数和其他数据进行详细说明：

- 功能1：计算non-GSO卫星（下行链路）的pfd掩模和地球站发射给这些卫星（上行链路）或non-GSO卫星（卫星间）的e.i.r.p.掩模。
- 功能2：利用pdf/e.i.r.p.掩模计算下行链路epfd↓、上行链路epfd↑与/或卫星间epfd电平（epfd的累积时间分布）。
- 功能3：只在存在争议的情况下，确定pdf/e.i.r.p.掩模电平是否与non-GSO网络的基本发射参数相一致。

non-GSO网络主管部门和无线电通信局的作用在A1.3节中讨论。

BR在对功能2的支持中需要详细的参数，并且因此本节重点在满足这个要求所需要的参数上。

所提供的参数应是一致的，这样，如果管理部门修改其网络（例如，如果星座有改变）而使pdf/e.i.r.p.改变，则将需要将一个新的掩模提供给该BR。

B1.2 范围与概况

本节分四大部分来确定软件的输入：

- B2部分定义所有的输入，以便于完成无线电通信局数据库的设计；
- B3部分定义来自non-GSO运营商的输入，不包括pdf/e.i.r.p.掩模；
- B4部分定义pdf/e.i.r.p.掩模。
- 然后，对B部分的一个附件将这些参数映射到SRS数据库表。

注意，在下列各表中，变量名中的方括号表示该变量的一个下标，而非假定性文字。

B2 BR提供给软件的参数

该BR提供二种类型的数据，首先是要执行的操作的类型：

RunType	{第22、9.7A、9.7B条}之一
SystemID	所要检验系统的ID（non-GSO或大的地球站）

第二个数据是要提供门限epfd水平，用作通过/失败的指标。当产生操作时由该软件获取这些指标，并包括如下的一系列记录：

epfdirection	{Down, Up, IS}之一
VictimService	{FSS, BSS}之一
StartFrequencyMHz	epfd门限应用频率范围的开始
EndFrequencyMHz	epfd门限应用频率范围的结束
VictimAntennaType	在对应于ITU所提供天线增益方向图DLL中所使用的天线增益方向图参照码
VictimAntennaDishSize	在对应于ITU所提供天线增益方向图DLL中所使用的受伤害天线方向图的天线碟面尺寸
VictimAntennaBeamwidth	在对应于ITU所提供天线增益方向图DLL中所使用的受伤害天线方向图的波束宽度
RefBandwidthHz	以Hz为单位的epfd水平的参考带宽
NumPoints	在epfd门限掩模中的点数
epfdthreshold[N]	以dBW/m ² /参考带宽为单位的epfd水平
epfdpercent[N]	与epfd threshold相关的时间百分比

B3 non-GSO系统的软件输入

这些被分成星座参数、每个空间电台的轨道参数以及一组或多组系统工作参数。

B3.1 non-GSO星座参数

N_{sat}	non-GSO卫星数量
H_MIN	最小运行高度 (km)
DoesRepeat	标识星座重复采用轨道站位置保持来维持轨迹的标签
AdminSuppliedPrecession	标识星座轨道模型模型岁差的字段是由管理部门所提供的标签
W_{δ}	轨道站位置保持范围 (度)
ORBIT_PRECESS	管理部门提供的岁差速率 (度/秒)

B3.2 non-GSO空间电台参数

对于每个non-GSO卫星，在仿真开始时用以下参数定义星座的位置：

A[N]	轨道的半长轴 (km)
E[N]	轨道的偏心率
I[N]	轨道的倾角 (度)
O[N]	轨道升交点经度 (度)
W[N]	近地点角距 (度)
V[N]	真近点角 (度)

B3.3 non-GSO系统的工作参数

这些代表定义non-GSO系统操作所需的参数组。在不同频段可能有不同的参数组，但对non-GSO系统使用的任何频段只有一组工作参数。

Freq_Min	该组参数适用的最小频率。
Freq_Max	该组参数适用的最大频率。
MIN_EXCLUDE[纬度]	禁区角度（度），non-GSO ES处GSO弧上的最小角度，在此角度该non-GSO系统可为该位置提供业务，通过纬度在ES处定义（ α 角度）。在特定纬度上的MIN_EXCLUDE将使用数据点之间的线性插值来获得。 该字段可以通过orb_id字段在non-GSO系统轨道平面之间变化。如果orb_id字段等于0，则数据禁区数据适用于所有轨道平面。
MIN_ELEV[纬度][方位角]	non-GSO地球站在接收或发射时的最小仰角（度），以纬度和方位角表示。将使用表中距离之最近的纬度，然后使用方位角进行线性插值。
MIN_DURATION[纬度]	纬度（秒）的最小卫星追踪持续时间：将使用表中距离之最近的纬度。
MAX_CO_FREQ[纬度]	使用纬度的同频跟踪non-GSO卫星的最大数量：将使用表中距离之最近的纬度。
ES_DENSITY	在同一时间活动的non-GSO地球站的平均数量（/km ² ）。
ES_DISTANCE	小区或波束覆盖区中心之间的平均距离（km）
ES_LAT_MIN	non-GSO ES纬度范围的最小极限（度）
ES_LAT_MAX	non-GSO ES纬度范围的最大极限（度）
MIN_ANGLE_AT_ES	地球表面与任意两个工作的non-GSO卫星的连线间的最小夹角（以度为单位）。若未提供，则假定为零。如果MIN_DURATION[纬度]不为零，则不适用
MIN_ANGLE_AT_SAT	non-GSO卫星与任意两个工作的non-GSO地球站连线之间的最小夹角（度）。如果未提供，假定为零
MAX_CO_FREQ_SAT	在EPFD（上行）计算范围内非对地静止卫星同频跟踪的非对地静止地球站的最大数量。如果未提供数值，则假定非对地静止卫星同频跟踪的地球站的最大数量等于为epfd \uparrow 运行创建的地球站数量

这些参数将以XML格式与报头一起提供，如下所示：

```
<non_gso_operating_parameters es_lat_max="+90" es_lat_min="-90" es_distance="200"
es_density="0.00001" c_name="orb_id" b_name="azimuth" a_name="latitude"
high_freq_mhz="F2" low_freq_mhz="F1" param_id="1" angle_at_es = "5" min_angle_at_sat =
5>
```

其中：

字段	类型或范围	单位	例子
ntc_id	整数	–	12345678
sat_name	字符串	–	我的卫星网络
param_id	整数	–	1
low_freq_mhz	双精度	MHz	10 000
high_freq_mhz	双精度	MHz	12 000
a_name	{纬度}范围-90到+90度	–	纬度
b_name	{方位}范围000到360度	–	方位角
c_name	{orb_id}范围01到9999 应使用0表示参数将适用于所有轨道	–	orb_id
es_density	双精度	km ²	0.000 1
es_distance	双精度	km	200
es_lat_min	双精度	度	-90
es_lat_max	双精度	度	+90
min_angle_at_sat	双精度范围0至+90度	度	15
min_angle_at_es	双精度范围0至+90度	度	5
max_co_freq	整数范围, 0到9999	-	2
max_co_freq_sat	整数范围, 0到9999	-	2
min_duration	整数范围, 0到99999	秒	400
elev_angle	双精度范围0至+90度	度	5

在报头之后, XML包含MIN_EXCLUDE数组, 它可以根据orb_id和纬度而变化, 而MIN_DURATION、MAX_CO_FREQ值仅根据纬度而变化。MIN_ELEV数组可以根据纬度和方位角而变化。

请注意, 如果e.i.r.p.掩模中定义的non-GSO ES类型是特定的而不是典型的, 那么不使用字段es_density和es_distance。

non-GSO工作参数将与pfd和e.i.r.p.掩模一样存储在同一个数据库中。

因此, non-GSO工作参数XML文件的一个示例是:

```
<?xml version="1.0"?>
<satellite_system sat_name="MySatName" ntc_id="12345678">
  <non_gso_operating_parameters es_lat_max="+90" es_lat_min="-90" es_distance="200"
es_density="0.00001" c_name="orb_id" b_name="azimuth" a_name="latitude"
high_freq_mhz="F2" low_freq_mhz="F1" param_id="1" min_angle_at_sat = "0" min_angle_at es
=0>
  <min_exclude c="1">
    <exclusion_zone_angle a="-75">0</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="-45">3</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="-15">5</exclusion_zone_angle>
```

```

<exclusion_zone_angle a="15">5</exclusion_zone_angle>
<exclusion_zone_angle a="45">3</exclusion_zone_angle>
<exclusion_zone_angle a="75">0</exclusion_zone_angle>
</min_exclude>
<min_exclude oc="2">
  <exclusion_zone_angle a="-75">0</exclusion_zone_angle>
  <exclusion_zone_angle a="-45">4</exclusion_zone_angle>
  <exclusion_zone_angle a="-15">6</exclusion_zone_angle>
  <exclusion_zone_angle a="15">6</exclusion_zone_angle>
  <exclusion_zone_angle a="45">6</exclusion_zone_angle>
  <exclusion_zone_angle a="75">0</exclusion_zone_angle>
</min_exclude>
<max_co_freq a="0">2</max_co_freq>
<min_duration a="-50">400</min_duration>
<min_duration a="0">1000</min_duration>
<min_duration a="50">400</min_duration>
<min_elev a="-30">
  <elev_angle b="0">30</elev_angle>
  <elev_angle b="90">40</elev_angle>
  <elev_angle b="280">30</elev_angle>
  <elev_angle b="370">40</elev_angle>
</min_elev>
<min_elev a="0">
  <elev_angle b="0">20</elev_angle>
  <elev_angle b="90">30</elev_angle>
  <elev_angle b="280">20</elev_angle>
  <elev_angle b="370">30</elev_angle>
</min_elev>
<min_elev a="30">
  <elev_angle b="0">30</elev_angle>
  <elev_angle b="90">40</elev_angle>
  <elev_angle b="280">30</elev_angle>
  <elev_angle b="370">40</elev_angle>
</min_elev>
</non_gso_operating_parameters>
</satellite_system>

```

B4 pfd/e.i.r.p.掩模**B4.1 non-GSO下行链路pfd掩模**

FreqMin	此pfd掩模的最小频率范围，以MHz为单位
FreqMax	此pfd掩模的最大频率范围，以MHz为单位
RefBW	应以和第22条表格中与所覆盖频率范围相关的epfd门限相同的参考带宽给出pfd掩模中的功率电平，以kHz为单位。如果在第22条中的表格给出二个参考带宽（例如，40 kHz和1 MHz），则应采用较小的那个带宽
掩模类型	{ α , 或(az, el)}之一
选项1 pfd_mask（卫星， 纬度， α , ΔL ）	pfd掩模由下式定义： <ul style="list-style-type: none"> – non-GSO卫星 – non-GSO卫星星下点的纬度 – 这个non-GSO空间电台与该GSO弧线之间的分离角α，如从地球表面上任何一点所看到的，如D6.4.4节中所定义 – non-GSO星下点与使α角最小的GSO弧线上的点之间的经度差值ΔL，如D6.4.4节中所定义
选项2 pfd_mask（卫星， 纬度，Az, El）	pfd掩模由以下定义： <ul style="list-style-type: none"> – non-GSO卫星 – non-GSO星下点的纬度 – D6.4.5节中所定义的方位角 – D6.4.5节中所定义的仰角

B4.2 non-GSO上行链路e.i.r.p.掩模

FreqMin	此pfd掩模的最小频率范围，以MHz为单位。
FreqMax	此pfd掩模的最大频率范围，以MHz为单位。
RefBW	应以和第22条表格中与所覆盖频率范围相关的epfd门限相同的参考带宽给出e.i.r.p.掩模中的功率电平，以kHz为单位。如果在第22条中的表格给出二个参考带宽（例如，40 kHz和1 MHz），则应采用较小的那个带宽。
ES_ID	non-GSO ES的参考，或者，当采用一般ES时为-1。
MaskFormat	LatitudeAndAngleGSOArc或者LatitudeAzimuthElevationDeltaLong
ES_e.i.r.p. [Lat] [θ]	non-GSO地球站e.i.r.p.，作为纬度和角度（来自non-GSO ES视轴线的线与来自non-GSO ES到GSO弧上一点的线之间的角度）的一个函数。
ES_e.i.r.p.[Lat][Az][El][Delta LongES]	作为non-GSO ES纬度、当前指向（方位角、仰角）和non-GSO ES与GSO弧上点之间经度差函数的non-GSO ES e.i.r.p.

B4.3 non-GSO卫星间e.i.r.p.掩模

FreqMin	此e.i.r.p.掩模的最小频率范围，以MHz为单位。
FreqMax	此e.i.r.p.掩模的最大频率范围，以MHz为单位。
RefBW	应以和第22条表格中与所覆盖频率范围相关的epfd门限相同的参考带宽给出e.i.r.p.掩模中的功率电平，以kHz为单位。如果在第22条中的表格给出二个参考带宽(例如，40 kHz和1 MHz)，则应采用较小的那个带宽。
SAT_e.i.r.p.[Lat] [θ]	non-GSO卫星e.i.r.p.，作为纬度和角度（从non-GSO星下点与GSO弧上一点之间的non-GSO卫星来看）的一个函数。

B5 验证输入参数

本节介绍输入参数验证需满足的最小程度：也可以进行额外的检查。

B5.1 non-GSO空间电台参数

这种方法适用于具有如表3中定义之轨道特性的non-GSO系统类型。为确保与这一假设的一致性，需要对每个non-GSO卫星进行以下测试：

测试圆形或近圆形轨道：

```

If the  $e > 0$  and  $e < \text{MAX\_CIRCULAR\_E}$  then
{
    WarningMessage: setting orbit to be circular from eccentricity =  $e$ 
    Set  $e = 0$  and continue
}

```

测试HEO系统有 $\omega = \pm\pi/2$ ：

```

If the eccentricity  $\geq \text{MAX\_CIRCULAR\_E}$  then
{
    Ensure  $w$  in range  $\{-\pi, +\pi\}$ 
    If  $(\text{abs}(\pi/2 - \text{abs}(w))) > \text{MAX\_HELO\_DELTAW}$ 
    {
        ErrorMessage: orbit apogree not at maximum latitude
        Exit
    }
}

```

假定：

$\text{MAX_CIRCULAR_E} = 0.01$

$\text{MAX_HELO_DELTAW} = 1e-5$ 度

对于使用多个子星座的系统，必须检查所有是重复的或所有是不重复的。

B5.2 non-GSO系统工作参数范围

要检查以下non-GSO系统工作参数：

$$\text{MIN_EXCLUDE}[\text{纬度}] \geq 0$$

$$\text{MIN_ELEV}[\text{纬度}, \text{方位角}] \geq 0$$

$$\text{MIN_DURATION}[\text{纬度}] \geq 1 \text{秒}$$

$$\text{MAX_CO_FREQ}[\text{纬度}] \geq 0 \text{ (}$$

$$\text{ES_DENSITY} > 0$$

$\text{ES_DISTANCE} \geq 0$ ($\text{ES_DISTANCE} = 0$ 意味着在受影响的GSO足迹内只能分布一个地球站)

$$+90^\circ > \text{ES_LAT_MIN} \geq -90^\circ$$

$$+90^\circ \geq \text{ES_LAT_MAX} > -90^\circ$$

$$\text{ES_LAT_MAX} > \text{ES_LAT_MIN}$$

$$\text{MIN_ANGLE_AT_ES} \geq 0$$

$$\text{MIN_ANGLE_AT_SAT} \geq 0$$

$$\text{MAX_CO_FREQ_SAT} \geq 0$$

B5.3 掩模和系统工作参数XML文件

要检查以下non-GSO系统工作参数：

- 每个频率范围只有一个non-GSO系统工作参数集。
- 对每个要检查的频率范围只有一个non-GSO系统工作参数集。
- 如果MIN_EXCLUDE随轨道平面而变化，则为每个轨道平面定义一个值。

还有必要检查是否有任何使用LatitudeAndAngleGSOArc格式的ES e.i.r.p.掩模单调递减。

B部分的附件

对于B部分的这个附件详细说明了epfd软件所采用的来自SRS数据库的参数。如果提供了系统工作参数的扩展集，则值应该取自XML文件，而不是从相关的SRS表中取值。

表4列出了目前《无线电规则》附录4中关于non-GSO卫星系统的信息，它们包括在无线电通信局空间网络系统（SNS）数据库中。数据库表之间的关系如图2所示。掩模信息和链接表没有出现在图2中，但在表4中对它们进行了描述。

格式描述

数值	描述
X	用来描述字母与数字数据 例如，X(9)说明包含字母与数字数据的一个9字符字段 XXX等效于X(3)。
9	用于描述数位
‘.’	指出一个小数点的位置
S	表示一个符号（位于前面分开的记号） 例如，S999.99表示具有从-999.99到+999.99数值范围的一个数值字段 99表示具有从0到99数值范围的一个数值字段

图2
SRS实体关系摘录

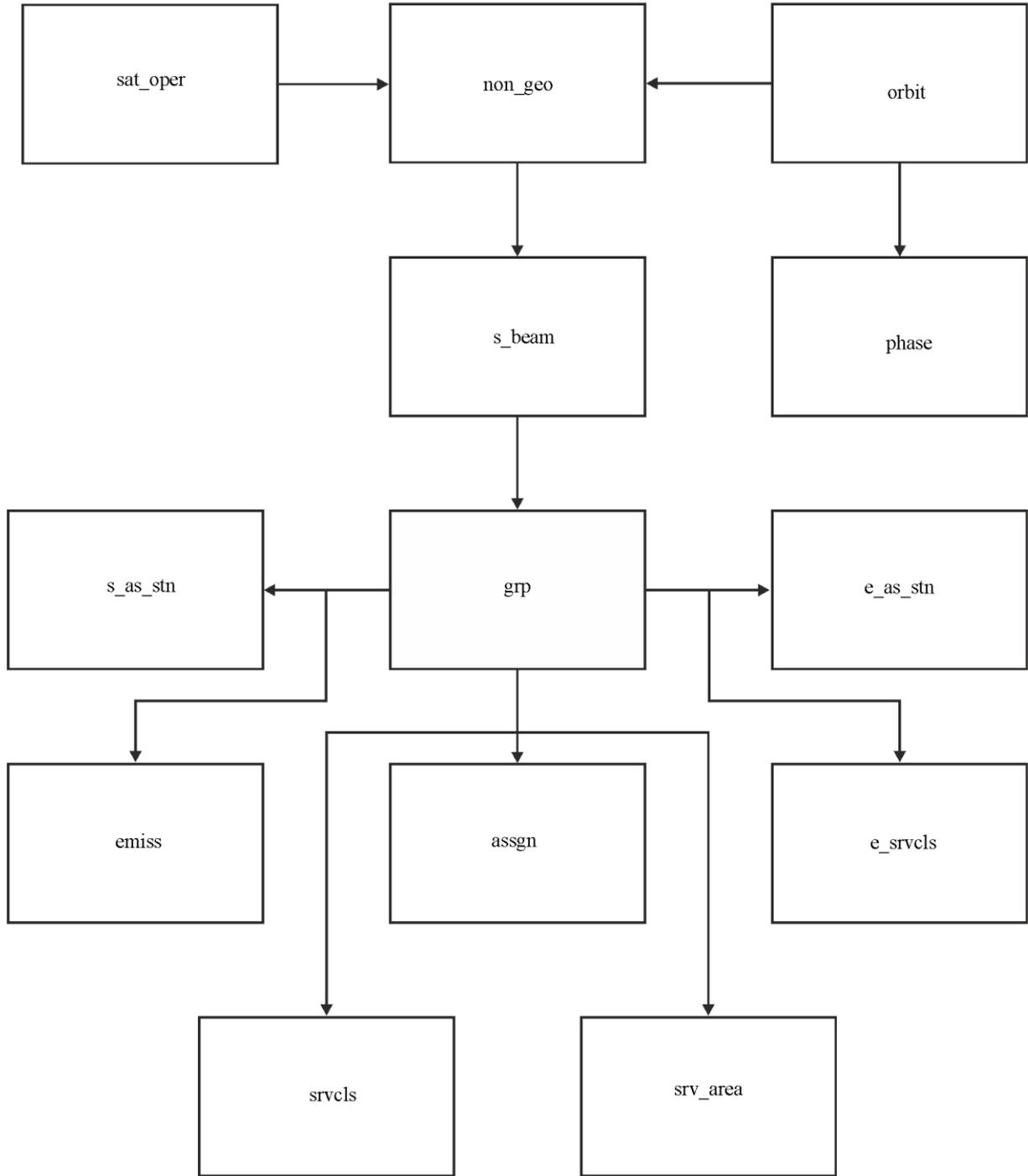


表4

用于epfd分析的SRS数据

通告

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	唯一的组标识符	主要关键字
ntc_type	文本	X	指示这是一个静止轨道卫星[G]、非静止轨道卫星[N]、特定地球站[S]还是典型地球站[T]的通告的代码	值 !=空
d_rcv	日期/时间	9(8)	此通告接收的日期	
ntf_rsn	文本	X	指示已经根据无线电规则1488 [N]、无线电规则1060 [C]、无线电规则1107 [D]、9.1 [A]、9.6 [C]、9.7A [D]、9.17 [D]、11.2 [N]、11.12 [N]、AP30/30A-第2A条、4和5 [B]、AP30B-第6和7条[P]、AP30B-第8条[N]或是Res49 [U]提交此通告的代码	该软件寻找一个是‘C’或‘N’的值
st_cur	文本	XX	此通告当前的处理状态	该软件在第9.7A条检查中寻找一个是‘50’的值

非静止

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	通告的唯一标识符	主要关键字
sat_name	文本	X(20)	卫星的名称	
nbr_sat_td	数字	9	上行链路情况下的Nco	
density	数字	9(9)	上行链路情况下non-GSO ES的平均密度	
avg_dist	数字	9(9)	上行链路情况下同频non-GSO ES之间的平均距离	
f_x_zone	文本	X	应为‘Y’表示基于alpha的禁区	
x_zone	数字	9(9)	禁区的大小	

轨道

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	通告的唯一标识符	外来关键字
orb_id	数字	99	轨道平面的序列号	主要关键字
nbr_sat_pl	数字	99	每个非静止轨道平面的卫星数量	值 !=空&&值> 0
right_asc	数字	999.99	以度表示的、升交点与春分点之间的分离角	值 !=空
inclin_ang	数字	999.9	对应赤道平面的、卫星轨道倾角	值 !=空

轨道（续）

数据项	数据类型	格式	描述	验证
apog	数字	9(5).99	以千米表示的、地球表面或其他参照物上空的、non-GSO卫星的最大高度当大于99 999 km时，距离用“apog”与“apog_exp”字段值的乘积形式表示（如下） 例如，125 000=1.25 × 10 ⁵	值 !=空&&值> 0
apog_exp	数字	99	以10的幂表示的远地点的指数部分为了指示指数；对10 ⁰ 给出0，对10 ¹ 给出1，对10 ² 给出2，等	值 !=空&&值>= 0
perig	数字	9(5).99	以千米表示的、地球表面或其他参照物上空的、non-GSO卫星的最小高度当大于99 999 km时，距离用“perigee”和“perig_exp”字段值乘积的形式表示（如下） 例如，125 000=1.25 × 10 ⁵	值 !=空&&值> 0
perig_exp	数字	99	以10的幂表示的近地点的指数部分为了指示指数；对10 ⁰ 给出0，对10 ¹ 给出1,对10 ² 给出2,等	值 !=空&&值>= 0
perig_arg	数字	999.9	升交点与椭圆轨道近地点之间的分离角（度） 如果采用《无线电规则》第9.11A条	
op_ht	数字	99.99	以千米表示的、地球表面或其他参照物上空的、non-GSO卫星的最小运行高度 当大于99 km时，距离用“op_ht”和“op_ht_exp”字段的乘积形式表示（如下）： 例如：250 = 2.5 × 10 ²	值 !=空&&值>= 0
op_ht_exp	数字	99	以10的幂表示的运行高度的指数部分为了指示指数；对10 ⁰ 给出0，对10 ¹ 给出1,对10 ² 给出2,等	值 !=空&&值>= 0
f_stn_keep	文本	X	指示此空间电台采用[Y]还是不采用[N]轨道站位置保持来维持一个重复地面轨迹的标签	值 !=空&&（值== ‘Y’ ‘N’）
rpt_prd_dd	数字	999	星座循环周期的天部分	
rpt_prd_hh	数字	99	星座循环周期的小时部分	
rpt_prd_mm	数字	99	星座循环周期的分钟部分	
rpt_prd_ss	数字	99	星座循环周期的秒部分	
f_precess	文本	X	指示此空间电台应该[Y]还是不应该[N]采用该轨道升交点特定岁差速率代替J2项建模的标签	值 !=空&&（值== ‘Y’ ‘N’）

轨道（结束）

数据项	数据类型	格式	描述	验证
precession	数字	999.99	对要采用该轨道升交点特定岁差速率代替J2项建模的一个空间电台，在赤道平面上逆时针测量的以度/日表示的岁差速率	如果f_precess == 'Y'，则值 !=空&&值>= 0
long_asc	数字	999.99	第j个轨道平面的升交点经度，在赤道平面上逆时针测量，从格林尼治子午线到卫星轨道使其南北穿越赤道平面的那点（ $0^\circ = j < 360^\circ$ ）	值 !=空&&值>= 0
keep_rng	数字	99.9	升交点经度的经度容差	如果f_stn_keep == 'Y'，那么值 !=空&&值>= 0

相位

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	通告的唯一标识符	外来关键字
orb_id	数字	99	轨道平面的序列号	外来关键字
orb_sat_id	数字	99	轨道平面上的卫星序列号	值 !=空&&值>= 0
phase_ang	数字	999.9	如果采用《无线电规则》第9.11A条时，轨道平面上卫星的初始相位角	值 !=空&&值>= 0

Grp

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	通告的唯一标识符	外来关键字
grp_id	数字	9(9)	唯一的组标识符	主要关键字
emi_rcp	文本	X	标识波束性质的符号：[E]表示发射波束，[R]表示接收波束。	值 !=空&& (值 == 'E' 'R')
beam_name	文本	X(8)	对卫星天线波束的指定	
elev_min	数字	S9(3).99	任何相关地球站能够发送到一个非静止轨道卫星的最小仰角，或射电天文台进行单天线碟面或VLBI观测的最小仰角	值 !=空&&值>= 0
freq_min	数字	9(6).9(6)	用MHz表示的最小频率（分配频率-半带宽）（该波束所有的频率）	值 !=空&&值>= 0
freq_max	数字	9(6).9(6)	用MHz表示的最大频率（分配频率+半带宽）（该波束所有的频率）	值 !=空&&值>= 0
d_rcv	日期/时间	9(8)	对给该组频率分配清单接收的日期	
noise_t	数字	9(6)	接收系统噪声温度	仅仅对9.7A/B检查验证

srv_cls

数据项	数据类型	格式	描述	验证
grp_id	数字	ss9(9)	唯一的组标识符	外来关键字
seq_no	数字	9(4)	序列号	值 != 空 && 值 >= 0
stn_cls	文本	XX	站的等级	

sat_oper

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	唯一的组标识符	外来关键字
lat_fr	数字	9(9)	纬度范围的起点	-90 <= lat_fr < lat_to
lat_to	数字	9(9)	纬度范围的结束	lat_fr < lat_to <= 90
nbr_op_sat	数字	9	Nco 表示向下方向，用于 lat_fr 至 lat_to 范围内的纬度	> 0

mask_info

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	唯一的组标识符	外来关键字
mask_id	数字	9(4)	序列号	外来关键字
f_mask	文本	X	掩模标识代码，地球站 e.i.r.p. 为 'E'，空间电台 e.i.r.p. 为 'S'，pfd 为 'P'	值 != 空 && (值 == 'E' 'S' 'P')
f_mask_type	文本	X	描述掩模格式的代码，其中 'A'=Alpha，'Z'=方位角/仰角，'O'=离轴，'D'=方位角、仰角和 deltaLong	值 != 空 && (值 == 'A' 'Z' 'O' 'D')

e_as_stn

数据项	数据类型	格式	描述	验证
grp_id	数字	9(9)	唯一的组标识符	外来关键字
seq_no	数字	9(4)	序列号	值 != 空 && 值 >= 0
stn_name	文本	X(20)	发射或接收站的名称	
stn_type	文本	X	指示该地球站是特定 'S' 还是典型 'T' 的代码	值 != 值 && (值 == 'S' 'T')
bmwidth	数字	999.99	精确到小数点后2位的辐射主瓣的角度宽度，以度表示	值 != 空 && 值 >= 0

mask_lnk1

数据项	数据类型	格式	描述	验证
grp_id	数字	9(9)	唯一的组标识符	外来关键字
mask_id	数字	9(4)	掩模的唯一标识符	外来关键字
orb_id	数字	99	轨道平面的序列号	外来关键字
sat_orb_id	数字	99	轨道平面上的卫星序列号	值 != 空 && 值 >= 0

mask_ink2

数据项	数据类型	格式	描述	验证
grp_id	数字	9(9)	唯一的组标识符	外来关键字
seq_e_as	数字	9(4)	相关地球站的序列号	外来关键字
mask_id	数字	9(4)	掩模的唯一标识符	外来关键字

mask_ink3

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	通告的唯一标识符	外来关键字
param_id	数字	9(4)	系统工作参数的唯一标识符	外来关键字

在第9.7A/9.7B款计算中所用的表**e_stn**

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	通告的唯一标识符	外来关键字
stn_name	文本	X(20)	地球站的名称	值 !=空
sat_name	文本	X(20)	相关空间电台的名称	值 !=空
lat_dec	数字	S9(2).9(4)	精确到小数点后4位的纬度表示	值 !=空
long_dec	数字	S9(2).9(4)	精确到小数点后4位的经度表示	值 !=空
long_nom	数字	S999.99	相关空间电台的标称经度，对西给出'-', 对东给出'+'	值 !=空

e_ant

数据项	数据类型	格式	描述	验证
ntc_id	数字	9(9)	通告的唯一标识符	外来关键字
emi_rep	文本	X	将一个波束标识为发射[E]还是接收[R]的代码	值 !=空
bmwidth	数字	999.99	地球站天线的波束宽度	
gain	数字	S99.9	地球站的最大全向增益	

C部分

生成pfd/e.i.r.p.掩模

C1 定义

生成pfd/e.i.r.p.掩模的目的是定义non-GSO空间电台和non-GSO地球站辐射的功率包络，使得在non-GSO系统生存周期的不同阶段，不论使用哪种资源分配和切换策略，辐射功率都能包括在计算结果内。

这些掩模是规则约束条件，non-GSO FSS系统在任何时候都不应该超过这些值，并且可以使用下面的方法来获得。它们代表一个系统产生的功率包络，它将限值pfd或e.i.r.p.在数据点之间可以多快地改变、数组中的极值点可获得多低的值。请注意，系统不能在某些纬度上进行传输是可行的：在这种情况下，应该使用-1000 dBW的空值。

C2 产生卫星的pfd掩模

C2.1 概述

卫星pfd掩模定义为从地球表面上任意一点观察到的、干扰non-GSO系统中任何空间电台产生的最大pfd值。建议无线电通信局验证软件使用一个四维的pdf掩模，它按下面两个选项中的一个进行定义：

选项1：定义为下列参数的函数：

- non-GSO卫星；
- non-GSO卫星星下点的纬度；
- 该non-GSO空间电台与GSO弧段之间的分离角 α ，该角可以从地球表面上的任意一点观察到，如第D6.4.4节中的定义；
- non-GSO星下点与GSO弧段上 α 角为最小的点之间的经度差 ΔL ；如第D6.4.4节中的定义。

选项2：定义为下列参数的函数：

- non-GSO卫星；
- non-GSO卫星星下点的纬度；
- 在第D6.4.5节中定义的non-GSO卫星方位角；
- 在第D6.4.5节中定义的non-GSO卫星仰角。

不管使用哪些参数来生成pfd掩模，产生的pfd掩模都应该转换成上述格式选项之一。

由于non-GSO空间电台能同时产生某个给定的最大数量波束，因此为了更好地适应系统设计，不对non-GSO系统施加太多的限值，设计时应考虑到这一点。

non-GSO系统采用的缓解技术，如GSO弧段避免技术，在计算pfd掩模时将会采用。GSO弧段避免技术在non-GSO空间电台的视野内定义一个地面上的非操作区。该地面非操作区的位置将移动，它的移动方程是non-GSO星下点纬度的函数搜索。为了获得一个更加精确的non-GSO系统模型，non-GSO星下点的纬度应该作为pfd掩模计算的一个参数。

C2.2 缓解技术描述

为了在计算epfd↓时能够充分利用缓解技术建模，对在non-GSO系统中使用的缓解技术应在本节中进行准确描述。

关于在GSO弧段周围使用非操作区，至少有2种不同的方法可用来构建基于小区结构的non-GSO系统模型：

- 从小区宽度角度观察的非操作区：当从non-GSO小区任意一点观察到的、该non-GSO空间电台与GSO弧段之间的分离角小于 α_0 （GSO弧段避免角）时，关闭non-GSO空间电台的波束。
- 从小区中心角度观察的非操作区：当从小区中心点观察到的、该non-GSO空间电台与GSO弧段之间的分离角小于 α_0 时，关闭non-GSO空间电台的波束。

non-GSO系统可能使用的其他缓解技术在此未列出。有关这些缓解技术的信息将由non-GSO主管部门提供，用于描述和验证pfd掩模。

C2.3 pfd计算

C2.3.1 pfd计算

地面上任意一点的non-GSO空间电台辐射的pfd是同频带内所有发射波束产生的pfd之和。

一些non-GSO系统具有指向地球表面固定小区的跟踪天线，并且不随卫星移动。不过，由于pfd掩模是依据non-GSO位置产生的，因此，在生成pfd掩模时必须做一些假设。最简单的假设是小区随卫星移动，这将导致epfd电平地理分布不精确。

需要注意的是，由于non-GSO系统使用缓解技术，将不会有主波束和主波束成直线排列的情况，因此，去极化效应意味着同极化和交叉极化的作用必须都包括在干扰源中。

应用pfd掩模明确说明了non-GSO卫星对GSO地球站的同极化和交叉极化作用，还说明了其他类型的极化作用（如圆极化对圆极化或线性极化对线性极化）。不直接包括具有不同类型极化（圆极化对线性极化）的系统之间的隔离。一项调查已经表明，在0.048 dB的BSS天线接收的干扰功率中，所有轴比上总的干扰功率的平均值和极化椭圆倾向是一个非常小的净增量。任何交叉极化作用的范围为-30 dB至+3 dB，它很难达到。

则：

$$pfd = 10 \log \left(\sum_i^{N_{co}} 10^{pfd_coi/10} + \sum_j^{N_{cross}} 10^{pfd_crossj/10} \right)$$

其中：

- pfd*: 参考带宽下，non-GSO空间电台辐射的pfd，（单位为dB(W/m²））
- i*: 相关极化下，发射波束的下标
- N_{co}*: 相关极化下，可同时发射的波束最大数目
- pfd_{coi}*: 参考带宽、相关极化下，一个波束在地球表面相关点产生的pfd，（单位为dB(W/m²））
- j*: 相关极化的反极化下，发射波束的下标
- N_{cross}*: 相关极化的反极化下，可同时发射的波束最大数目

pdf_cross_j : 参考带宽、相关极化的反极化下，一个波束在地球表面相关点产生的 pfd，单位为 (dB(W/m²))；

以及

$$pdf_co_i = P_i + G_i - 10\log_{10}(4 \pi d^2)$$

其中：

P_i : 参考带宽下，波束*i*辐射的最大功率，（单位为dB(W/BW_{ref}））

BW_{ref} : 参考带宽，（单位为kHz）

G_i : 相关极化下，波束*i*在地球表面相关点产生的增益，（单位为dBi）

d : non-GSO空间电台与地球表面相关点之间的距离（如果non-GSO卫星天线增益位于等通量内， d 指的是non-GSO空间电台的高度），（单位为m）

以及

$$pdf_cross_j = P_j + G_cross_j - 10\log_{10}(4 \pi d^2)$$

其中：

G_cross_j : 相关极化的反极化下，波束*j*在地球表面相关点产生的交叉极化增益，（单位为dBi）。

希望用来产生pfd/e.i.r.p.掩模的参数符合non-GSO卫星在其预期生命周期内的性能。pfd水平应该是所有可能的通信和波束组合的包络，并且表示在系统整个生命周期中可以在给定方向上实现的峰值pfd。使用波束大小和旁瓣可调节的自适应天线的non-GSO卫星系统，应采用以下组合，即在生成pfd掩模时，在每个方向的预期生命寿命期间，将产生预期的最高pfd。因此，卫星工作的所有角度的pfd将是最高pfd，例如，在该方向上有通信热点时，将产生之。这种方法与D部分的算法一致，用于计算考虑到non-GSO系统内频率重用约束条件的epfd。

C2.3.2 地球表面观察点处的卫星天线增益

本节的目的是确定当卫星天线指向小区*i*时，地球表面点M在该方向上的增益。天线坐标可通过四种坐标系进行定义：

φ : 球坐标

v : $u = \sin \theta \cos \varphi$, $v = \sin \theta \sin \varphi$

B : $A = \theta \cos \varphi$, $B = \theta \sin \varphi$

(Az, El) : $\sin(El) = \sin \theta \sin \varphi$, $\tan(Az) = \tan \theta \cos \varphi$

天线增益数据可以多种格式和坐标系来提供。由于epfd计算的关键输入是pfd掩模，而不是用于推导pfd掩模的天线增益方向图，因此该天线增益方向图的格式和坐标系可能与本文件中其他地方使用的格式和坐标系不同。特别需要注意的是，上述与 (θ, φ) 和 (Az, El) 之间转换有关的方程不同于第D3.1.3.1节中包括的公式，这些公式用于最坏情况几何算法。

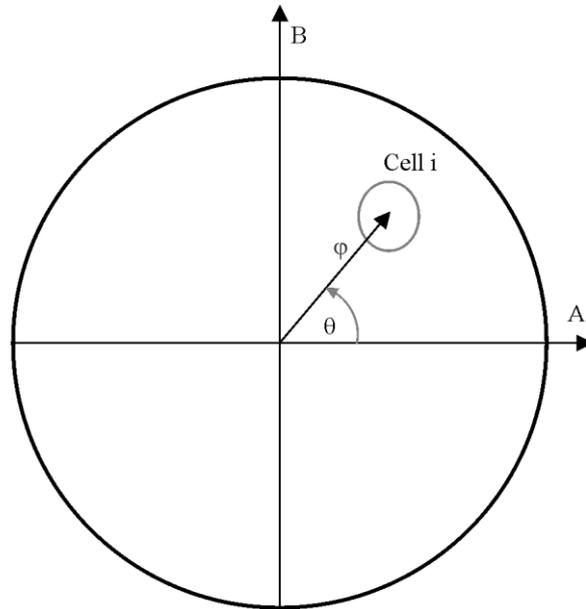
作为一个例子，以下计算是在天线参考平面（A，B）中进行的。

应对non-GSO天线图的采样进行调整，以便使插值不会导致增益电平明显脱离实际值。

图3表示了天线平面（A，B）中的几何关系，而图4显示了使用上述定义的 (θ, φ) 和 (Az, El) 角之间的几何形状。

图3

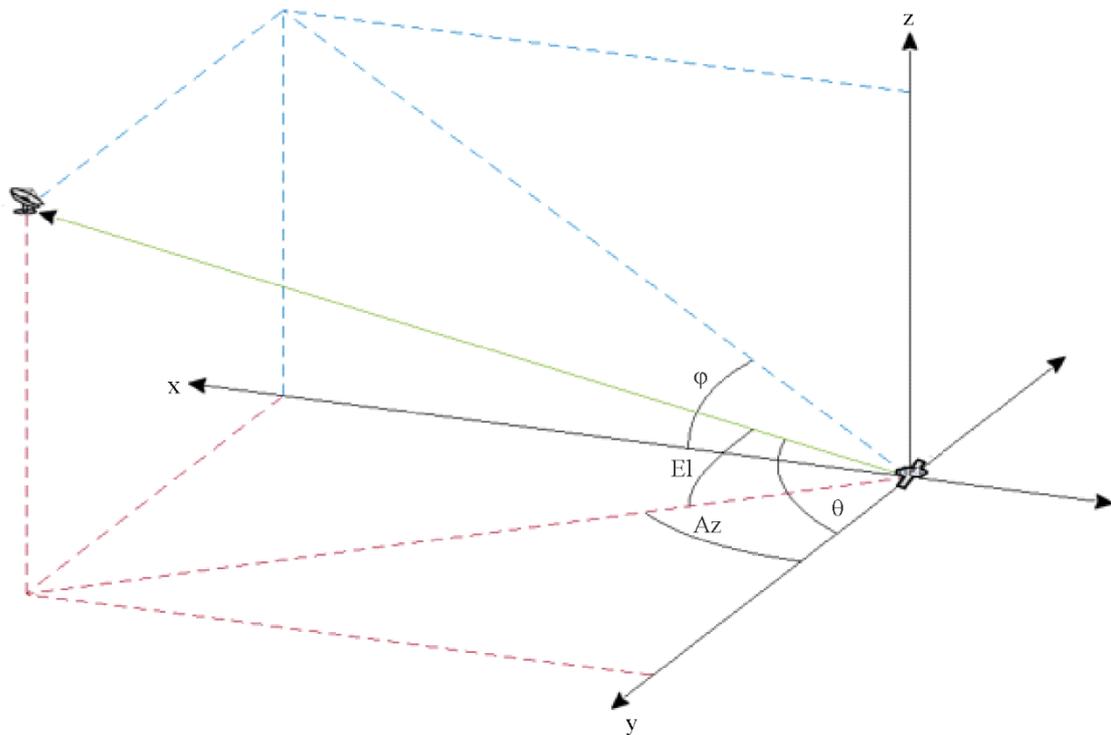
天线平面 (A, B)



S.1503-03

图4

(θ, ϕ)和(Az, El)几何形状, 使用以卫星为中心的参考坐标系来表示



S.1503-04

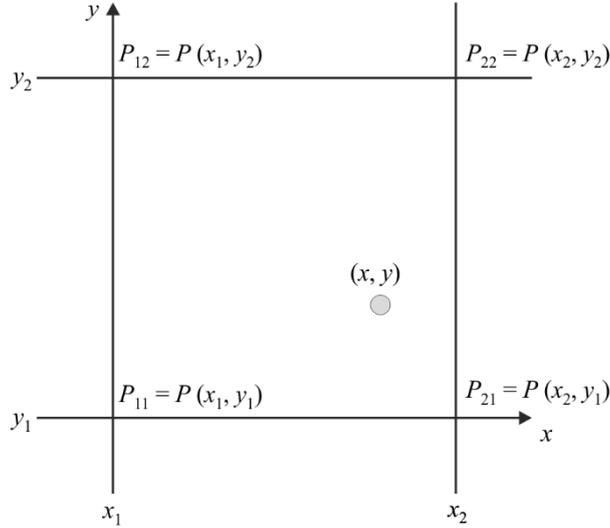
在天线平面 (A, B) 中, 地球表面点M的坐标为(a, b), 极坐标表示为(θ_M, ϕ_M)。
在天线平面 (A, B) 中, 小区i中心点C的坐标为(A_c, B_c), 球坐标表示为(θ_c, ϕ_c)。

对用函数描述（即方程）的卫星天线增益图，点M处的增益可以直接从C(Ac, Bc)点的坐标和M(a, b)点的坐标计算出来。对用其他方式表示的卫星天线增益图，卫星天线增益以(A, B)点组成的网格给出，点M(a, b)可位于(A, B)网络的四个点之间。

总之，因此必须要在数据之间进行插值。对一个x值={x₁, x₂, ...}和y值={y₁, y₂, ...}的范围考虑一个数值P的网格，如图5。

图5

数据点之间的插值



S.1503-05

可以通过确认边界值推算出点(x, y)处参数P的值，并且因此：

$$\lambda_x = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\lambda_y = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

则可以采用下式对P进行插值：

$$P = (1 - \lambda_x)(1 - \lambda_y)P_{11} + \lambda_x(1 - \lambda_y)P_{21} + (1 - \lambda_x)\lambda_y P_{12} + \lambda_x\lambda_y P_{22}$$

应对non-GSO卫星天线图的采样进行调整，以便使插值不会导致明显的接近。

在对pfd掩模进行采样时，应采用相同的准则。

C2.4 方法

pfd掩模由任何空间电台产生的最大pfd定义，这些空间电台在干扰的non-GSO系统内，pfd掩模是选项1或选项2定义的参数的函数。为了生成pfd掩模，根据non-GSO系统所用的指向波束，在non-GSO卫星的覆盖区内设置了若干小区。由于卫星具有可调天线，所以卫星能够在其整个太空轨迹中始终指向地球的另一地区。

这些小区相对地球表面是固定的。由于各卫星具有相对该卫星固定的天线指向角，因此小区相对该卫星是静止的，但相对地球是运动的。

C2.4.1 选项1

举个例子，在选项1中，pfd掩模定义为分离角 α 的一个函数。

pfd掩模定义为从地球表面的任何点观察到的、该non-GSO空间电台与GSO弧段之间分离角 α 以及non-GSO星下点与GSO卫星之间经度差 ΔL 的一个函数。

因此角 α 是从这一特定地球站观察到的、干扰non-GSO空间电台与可视的GSO弧段上任意一点之间的最小地心角。

掩模的目的在于定义non-GSO空间电台可能辐射的最高电平，它是地面上任意一点处non-GSO空间电台与GSO弧段之间分离角的一个函数，每个间隔大小为 ΔL 。

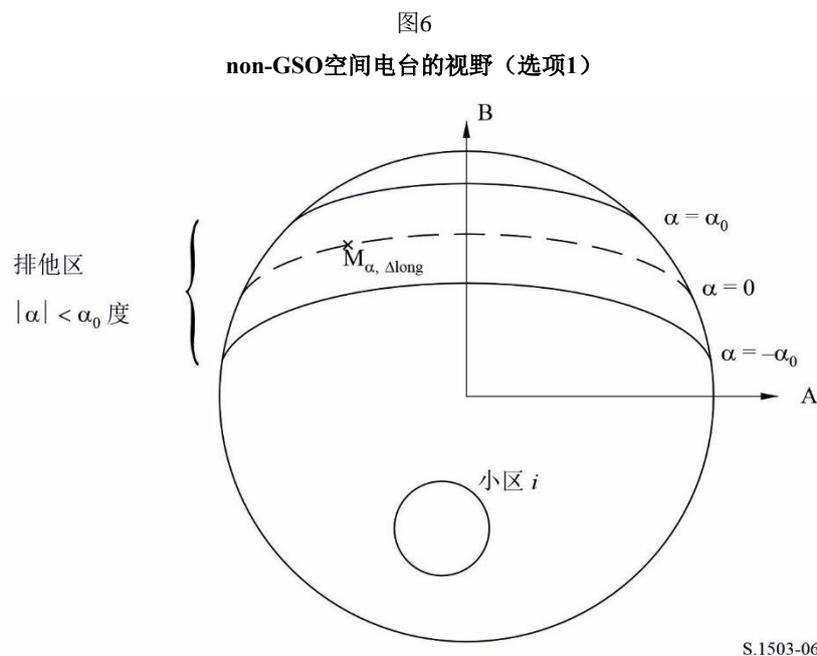
在non-GSO卫星覆盖区的每一个点上，pfd值由下列因素决定：

- 卫星发射的点波束的配置情况；
- 可同时发射的同频波束的最大数目；
- 可同时发射的同频、同极化波束的最大数目；
- 卫星转发器可提供的最大功率。

建议的、生成pfd掩模的方法如下所述：

步骤1：在任意给定时间，在non-GSO空间电台的视野内， N_{total} 是在最小工作仰角下所能观测到的小区最大数目。

步骤2：在non-GSO空间电台的视野内，有可能绘制iso- α 线，即地球表面具有相同 α 值的各点（见图6和图7）。

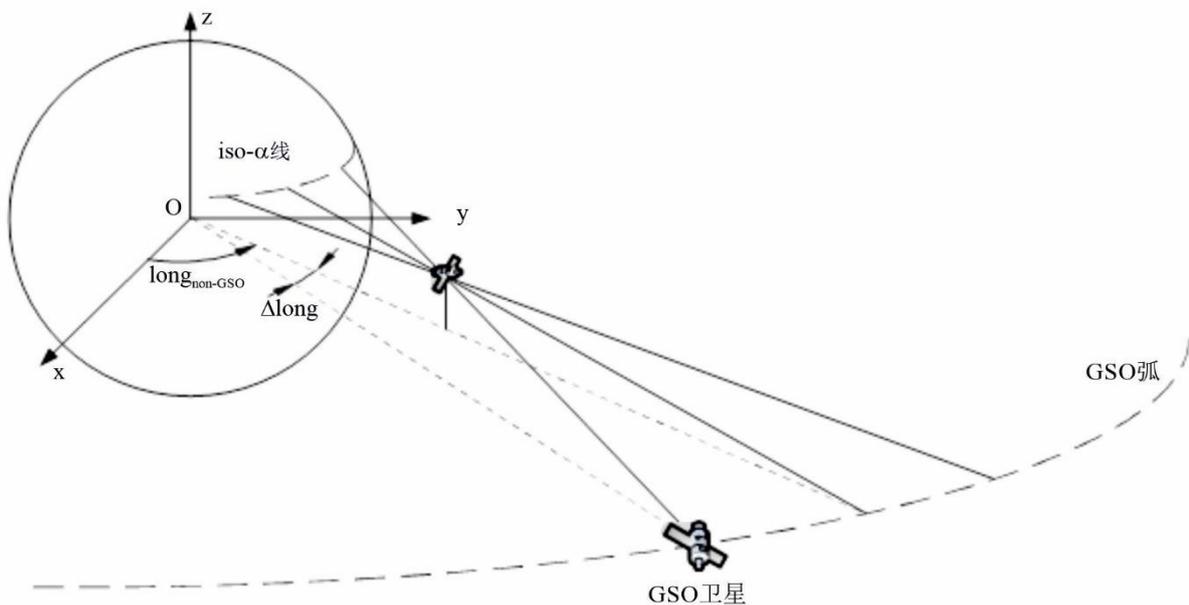


步骤3：沿iso- α 线，定义间隔 ΔL ：它是non-GSO星下点与GSO弧段上点之间的经度差，在该点处，分离角 α 取最小值。

步骤4: 对每个间隔 ΔL , 可通过一组 n 点 $M_{\alpha,k}$, $k = 1, 2, \dots, n$ 来定义 $\text{iso-}\alpha$ 线。为了确定对应某个 α 值的最大 pfd , 必需计算每个点 $M_{\alpha,k}$, $k = 1, 2, \dots, n$ 的最大 pfd 。给定点 $M_{\alpha,k}$ 的最大 pfd 值由第一个 pfd 值确定, 它是在考虑旁瓣图与波束倾角之间的依赖关系下, 每个小区 i 对 $M_{\alpha,k}$ 所起作用的结果。然后对最大 pfd 对 $M_{\alpha,k}$ 的作用进行叠加, 起作用小区的数目受限于空间电台的物理限值:

- 在通信最小仰角下, 在空间电台覆盖区内能看到 N_{total} 个小区外, 只有 N_{co} 个小区能以一种极化方式受到相同带宽的辐射, 而 N_{cross} 个小区用的是另一种方式的极化。这表明了non-GSO空间电台上天线系统的局限性。为了计算一种极化方式下的掩模, 能在该极化中受到辐射的小区需要标识出来, 对其他小区考虑交叉极化电平。
- 在这些 N_{co} 和 N_{cross} 小区之外, 只有一定数量的小区能够被同时驱动。这表明了non-GSO空间电台转发系统的局限性。
- 合适的话, 还需要对频率再用样式和极化再用样式的限值进行说明。
- 合适的话, 分配给一个小区的功率可以有所变化, 例如, 考虑到相对该小区的仰角变化:

图7

iso- α 线的三维视图

S.1503-07

步骤5: 产生 pfd 掩模还需要精确考虑non-GSO系统中采用的缓解技术。

考虑到在GSO弧段周围使用非操作区, 至少有3种不同的方法可用于基于小区结构的non-GSO系统建模:

- 从小区宽度角度观察的非操作区: 当从地球上某点观察到、non-GSO卫星位于GSO弧段的 α_0 角内时, 关闭波束。在这种特殊情况下, 关闭任何向 α 值满足 $|\alpha| \leq \alpha_0$ 的 $\text{iso-}\alpha$ 线穿过的小区发射信号的波束;
- 从小区中心角度观察的非操作区: 当从小区中心点观察到、non-GSO卫星位于GSO弧段的 α_0 角内时, 关闭波束。在这种情况下, 关闭任何向小区中心位于由两条 $\text{iso-}\alpha_0$ 线包围成的非操作区内的小区发射信号的波束;

步骤6: 对应给定 α 值且在间隔 ΔL 内的最大pfd值为:

$$pfd(\alpha, \Delta L) = \max_{1,2,\dots,n} (pfd(M_{\alpha,k}))$$

步骤7: iso- α 线的位置, 即沿着该线的最大pfd值取决于non-GSO星下点的纬度。因此, 需要提供一组对应于星下点不同纬度的pfd掩模。

步骤8: 可能需要一组pfd掩模 (每个non-GSO卫星一个)。

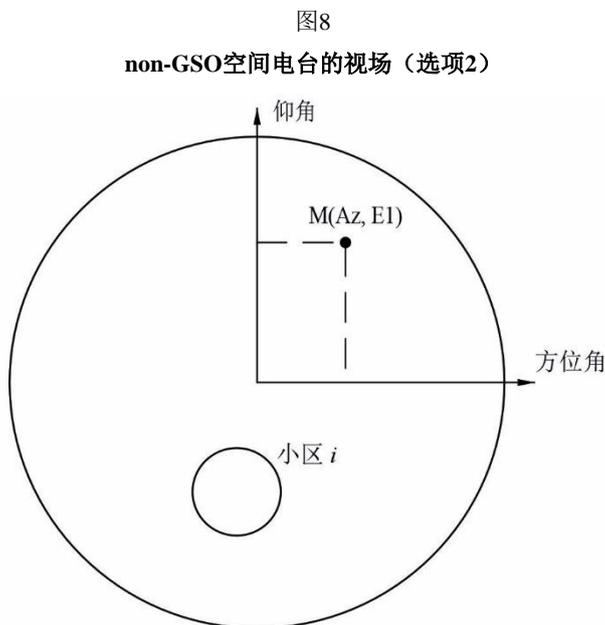
C2.4.2 选项2

pfd掩模定义在一个方位角和仰角的网格内, non-GSO星下点的每一个纬度值对应一个方格, 如图8所示。

掩模的目的是定义non-GSO空间电台在该方位角仰角网格内可能辐射的最大pfd电平。

对non-GSO卫星覆盖区上的每一点, pfd值由下列因素决定:

- 卫星发射的点波束的配置情况;
- 可同时发射的同频波束的最大数目;
- 可同时发射的同频、同极化波束的最大数目;
- 卫星转发器上可提供的最大功率。



S.1503-08

建议的、生成pfd掩模的方法如下所述:

步骤1: 在任意给定时间, 在non-GSO空间电台的视野内, N_{total} 是在最小工作仰角下所能观测到的小区最大数目。

步骤2: 对每个点 $M(Az, El)$, 确定最大的pfd。给定 $M_{\alpha,k}$ 点的最大pfd值由第一个pfd值确定, 它是在考虑旁瓣图与波束倾角之间的依赖关系下, 每个小区 i 对 $M(Az, El)$ 所起作用的结果。然后对最大pfd对 $M_{\alpha,k}$ 的作用进行叠加, 起作用小区的数目受限于空间电台的物理限值:

- 在通信最小仰角下，在空间电台覆盖区内能看到 N_{total} 个小区外，只有 N_{co} 个小区能以一种极化方式受到相同频带宽度的辐射，而 N_{cross} 个小区用的是另一种方式的极化。这表明了non-GSO空间电台上天线系统的局限性。为了计算一种极化样式下的掩模，能在该极化中受到辐射的小区需要标识出来，对其他小区考虑交叉极化电平。
- 在这些 N_{co} 和 N_{cross} 小区之外，只有一定数量的小区能够被同时驱动。这表明了non-GSO空间电台转发系统的局限性。
- 合适的话，还需要对频率再用样式和极化再用样式的限值进行说明。
- 合适的话，分配给一个小区的功率可以有所变化，例如，考虑到相对该小区的仰角变化。

步骤3：产生pfd掩模时还需要精确考虑non-GSO系统中采用的缓解技术。

考虑到在GSO弧段周围使用非操作区，至少有3种不同的方法可用于基于小区结构的non-GSO系统建模：

- 从小区宽度角度观察的非操作区：当从地球上某点观察到、non-GSO卫星位于GSO弧段的 α_0 角内时，关闭波束。在这种特殊情况下，关闭任何向 α 值满足 $|\alpha| \leq \alpha_0$ 的iso- α 线穿过的小区发射信号的波束；
- 从小区中心角度观察的非操作区：当从小区中心点观察到、non-GSO卫星位于GSO弧段的 α_0 角内时，关闭波束。在这种情况下，关闭任何向小区中心位于由两条iso- α_0 线包围成的非操作区内的小区发射信号的波束；

步骤4：需要提供一组pfd掩模，它们是星下点纬度的函数。

步骤5：可能需要一组pfd掩模（每个non-GSO卫星一个掩模）。

C3 生成e.i.r.p.掩模

C3.1 生成地球站的e.i.r.p.掩模

C3.1.1 概述

地球站的e.i.r.p.掩模通过最大e.i.r.p.值的一组表格来定义，是纬度和以下之一的一个函数：

- 1) 地球站产生的、GSO弧方向上的离轴角。可以有适用于不同纬度的不同e.i.r.p.表。
- 2) 地球站当前所指向的non-GSO卫星的方位角和仰角，以及地球站与GSO弧上参考点之间的经度差。在不同的纬度可以有不同的此类e.i.r.p.表。

non-GSO地球站位于一个non-GSO小区内，该小区由最大数目的non-GSO空间电台服务。non-GSO地球站的密度也可作为计算的一个输入，这些non-GSO地球站可以同时同频工作。

C3.1.2 缓解技术描述

为了在计算epfd \uparrow 时能充分建模，non-GSO系统中应用的缓解技术应在本节中予以准确解释。（参见第C2.2节）。

C3.1.3 地球站天线图

为了计算地球站的e.i.r.p.掩模，需要确定所用的地球站天线图。

C3.1.4 方法

步骤1:

地球站增益方向图可以定义为non-GSO地球站处朝向non-GSO空间电台的视轴方向和GSO弧上的一个点之间的离轴角的函数，其e.i.r.p.掩模可计算如下：

给定纬度地球站的e.i.r.p.掩模定义为参考带宽下地球站辐射的最大e.i.r.p.值，它是离轴角的一个函数，通过以下公式计算得到：

$$ES_{e.i.r.p.}(Lat, \theta) = G(Lat, \theta) + P(Lat)$$

其中：

$ES_{e.i.r.p.}(Lat, \theta)$: 参考带宽下的有效等向辐射功率，（单位为dB(W/BW_{ref})）

Lat: e.i.r.p.掩模的地球站纬度

θ : 在至non-GSO空间电台的视轴线与GSO上的一个点（例如GSO空间电台）之间的non-GSO地球站处的离轴角（度）

$G(Lat, \theta)$: 给定纬度地球站方向天线增益，（单位为dBi）

$P(Lat)$: 给定纬度参考带宽下传送给天线的最大功率，（单位为dB(W/BW_{ref})）

BW_{ref}: 参考带宽，单位为（kHz）。

或者，增益方向图可以ES_e.i.r.p.(Lat, az, el, DeltaLongES)格式提供，相应的e.i.r.p.掩模可以计算如下：

给定纬度上的地球站e.i.r.p.掩模定义为参考带宽中地球站辐射的最大e.i.r.p.值，它是方位角、仰角和 Δ 经度角的函数，由下式给出：

$$ES_{e.i.r.p.}(Lat, az, el, \Delta LongES) = G(Lat, az, el, \Delta Long) + P(Lat)$$

其中：

$ES_{e.i.r.p.}(Lat, az, el, \Delta LongES)$: 参考带宽内的等效全向辐射功率（dB(W/BW_{ref})）

Lat: 该e.i.r.p.掩模的地球站纬度

az: 天线指向方向的方位角分量（度）

el: 天线指向的仰角分量（度）

$\Delta LongES$: non-GSO地球站与GSO弧上点之间的经度差（度）

$G(Lat, az, el, \Delta Long)$: 给定纬度的地球站定向天线增益（dBi）

$P(Lat)$: 在给定纬度参考带宽（dB(W/BW_{ref})）内向天线传送的最大功率

BW_{ref}: 参考带宽（kHz）。

步骤2: 假定non-GSO小区均匀地分布在地球表面上，同时同频发射的non-GSO地球站均匀地分布在小区上。因此，干扰者能在小区中心来实施仿真。

此操作将对ES_e.i.r.p.可能不同的所有纬度重复进行。

C3.2 生成空间电台的e.i.r.p.掩模

空间电台的e.i.r.p.掩模通过non-GSO空间电台生成的最大e.i.r.p.来定义，是至所考虑之non-GSO空间电台星下点的线与GSO弧上的一个点之间的、自non-GSO空间电台看的角的一个函数。

空间电台的e.i.r.p.掩模通过参考带宽中空间电台辐射的最大e.i.r.p.值来定义，是该角的一个函数，通过以下公式计算得到：

$$NON - GSO_{SS_e.i.r.p.}(\theta) = G(\theta) + P$$

其中：

$NON-GSO_{SS_e.i.r.p.}$ ：参考带宽下的有效等向辐射功率，（单位为dB(W/BW_{ref}））

θ ：是至所考虑之non-GSO空间电台星下点的线与GSO弧上的一个点之间的、自non-GSO空间电台看的角（以度为单位）

$G(\theta)$ ：空间电台天线增益，（单位为dBi），对应所有波束的集

P ：参考带宽下的最大功率，（单位为dB(W/BW_{ref}））

BW_{ref} ：参考带宽，（单位为kHz）。

C4 pfd掩模的格式

C4.1 掩模的总体结构

pfd和e.i.r.p.掩模是ITU-R S.1503建议书的重要输入，格式为：

- 对epfd（下行）的操作，是pfd掩模，包含pfd($\alpha, \Delta\text{long}$)或pfd（方位，仰角）表，一起还有每个表有效的纬度。
- 对epfd（上行）的操作，是non-GSO地球站e.i.r.p. (θ)或e.i.r.p. ($az, el, \Delta\text{long}$)掩模，每一个包含e.i.r.p. (θ)表，一起还有每个表有效的纬度。
- 对epfd(IS)的操作，是non-GSO卫星e.i.r.p.掩模，每一个包含e.i.r.p. (θ)表，一起还有每个表有效的纬度。

在模拟期间，该软件将计算相关参数，例如纬度和离轴角或 α 角，然后利用以下方法采用该掩模来计算一个pfd或e.i.r.p.：

- 1) 搜索{纬度，表}数组，并选择具有对模拟中所计算出来的值最近纬度的表。
- 2) 利用所选择的表，然后通过插值计算pfd或e.i.r.p.，采用：
 - a) pfd：在pfd($\alpha, \Delta\text{long}$)或pfd（方位、仰角）中采用双线性内插法计算；
 - b) e.i.r.p. (θ)：在e.i.r.p. (θ)中采用内插法计算；
 - c) e.i.r.p. ($az, el, \Delta\text{long}$)：采用D5.2.7中的方法。

每个表都是独立的，即，在不同的纬度，它能使用一个不同的网格分辨率和范围。该掩模不需要覆盖整个范围：超出所提供的数值之外，假设将采用最后的有效值。

但是，应该注意到，对没有实际pfd产生的纬度和{方位，仰角， $\alpha, \Delta\text{long}$ }区域，为了避免采用包含操作pfd值的最近纬度表，建议对这些范围提供极为低的pfd值来模拟无传输的场景。

假设该pfd掩模表在{方位，仰角， $\alpha, \Delta\text{long}$ }中不是对称的，且应对从正到负极值的全部范围给出。当在模拟中所计算的{方位，仰角， $\alpha, \Delta\text{long}$ ，离轴角}超出了在pfd或e.i.r.p.掩模中所给出范围的情况下，则应该采用最后的有效值。

对ES e.i.r.p.掩模，有一个选项，通过参照SRS中一个特定的ES由（纬度、经度）而不是密度来指定位置。请注意，不允许混合类型：或者通过特定ES来定义所有non-GSO ES，或者通过密度字段定义所有的。

每个掩模具有报头信息，给出：

- 通告ID
- 卫星名称
- 掩模ID
- 以MHz表示的最低频率掩模是有效的
- 以MHz表示的最高频率掩模是有效的
- 掩模的参考带宽，以kHz为单位
- 掩模类型
- 掩模参数。

由于《无线电规则》第22条中的epfd阈值有多个带宽，因此需要掩模的参考带宽。掩模是缩放的，假定pfd或e.i.r.p.具有恒定的光谱功率密度，因此在计算中使用的pfd或e.i.r.p.是：

$$\text{pfd_Calc} = \text{pfd_Mask} + 10\log_{10}[\text{Threshold_Bandwidth} / \text{refbw_khz}]$$

如果掩模中不存在refbw_khz，则假定ref_bw_khz = 40。

$$\text{e.i.r.p.}_\text{Calc} = \text{e.i.r.p.}_\text{Mask} + 10\log_{10}[\text{Threshold_Bandwidth} / \text{refbw_khz}]$$

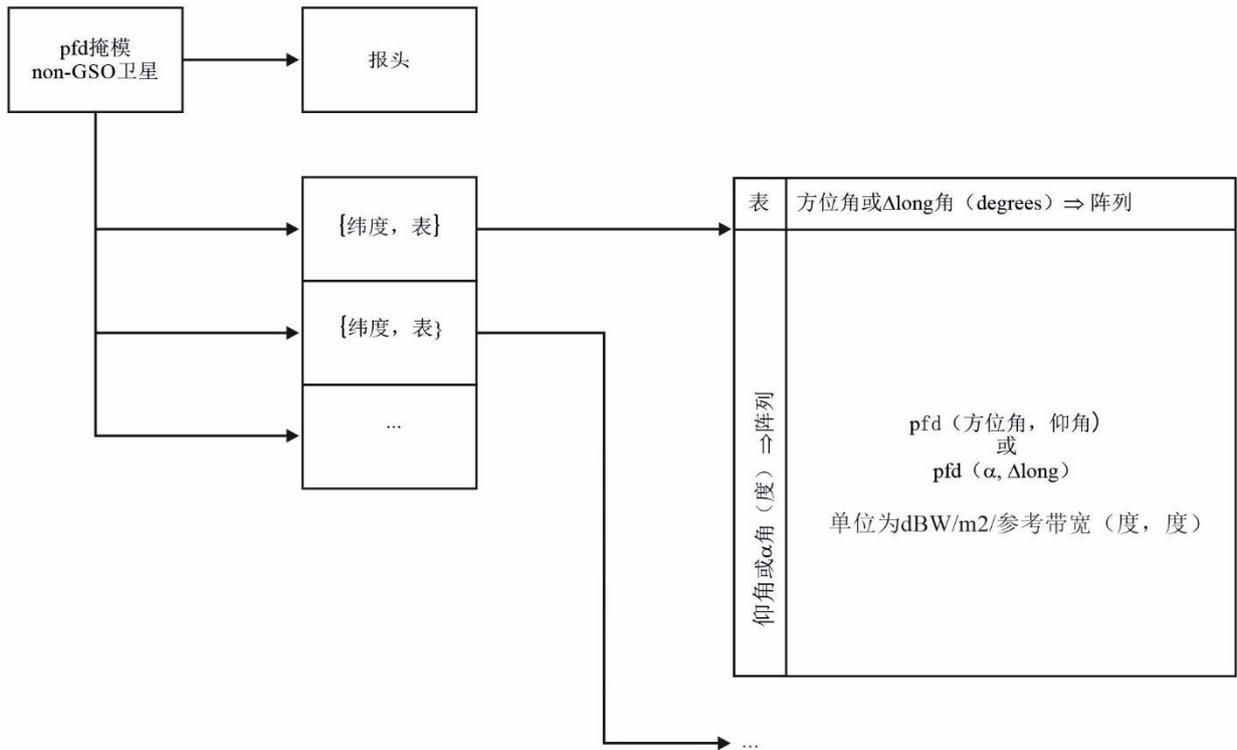
pfd和e.i.r.p.水平可以根据纬度而变化：至少应该给出一个纬度值（默认为0度）。

每个XML文件都应包含一个掩模（pfd或e.i.r.p.）。

掩模关系显示在图9到图12。

图9

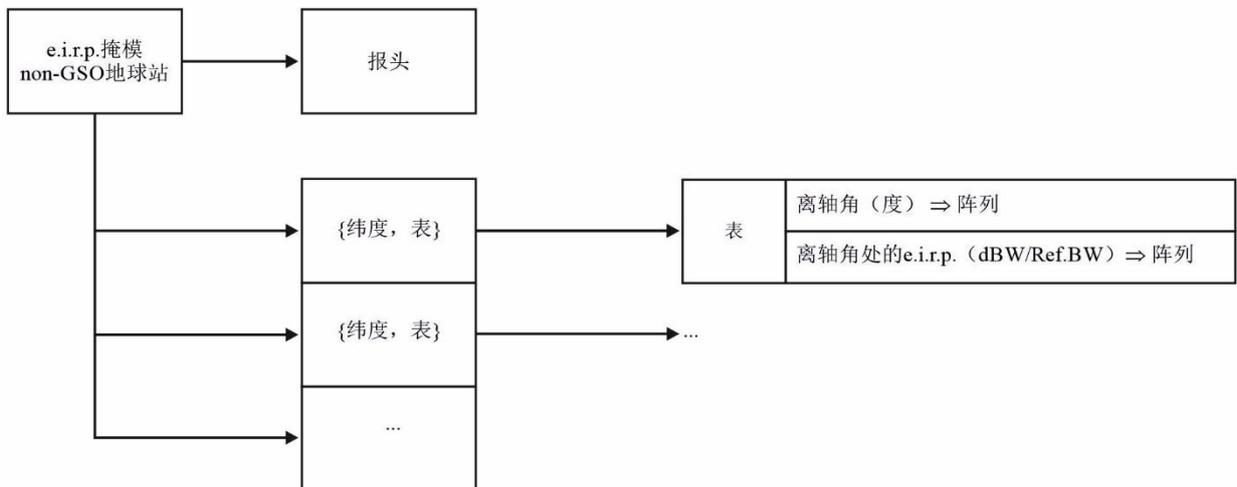
epfd (下行) 的pfd掩模数据结构



S.1503-09

图10

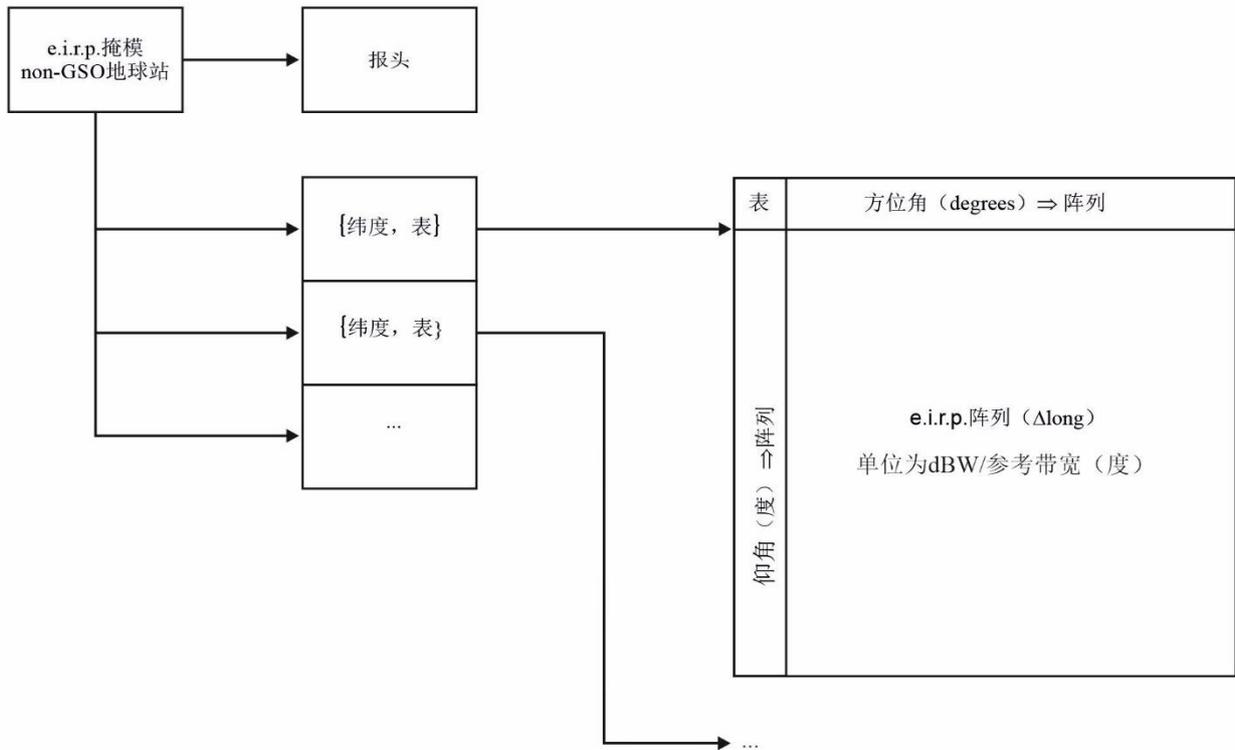
epfd (上行) 基于离轴的e.i.r.p.掩模数据结构



S.1503-10

图11

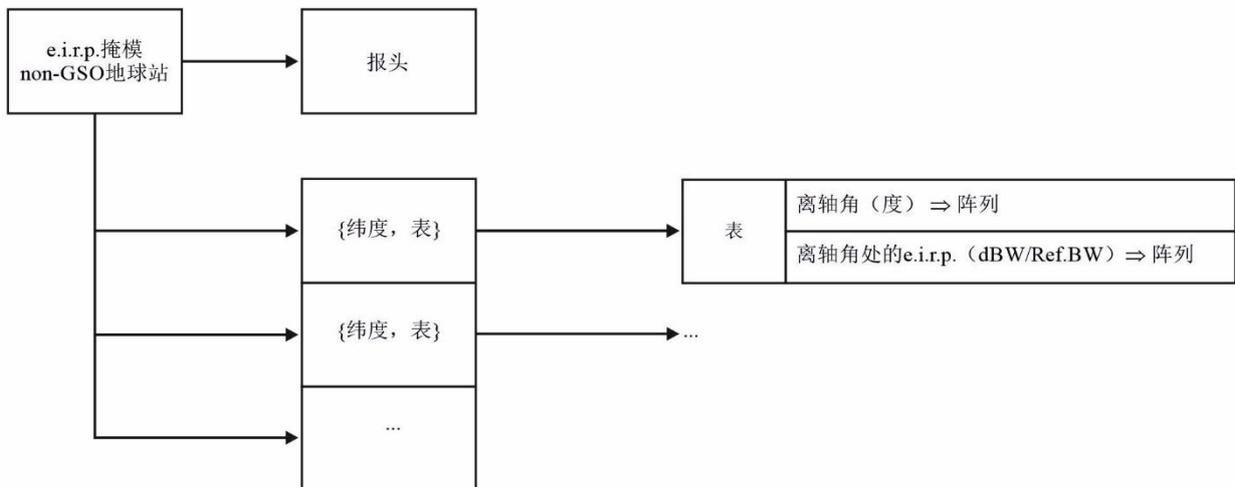
epfd (上行) 基于方位仰角的e.i.r.p.掩模数据结构



S.1503-11

图12

epfd (IS) 的e.i.r.p.掩模数据结构



S.1503-12

Pfd掩模要以XML格式提供给ITU BR, 因为:

- 它既是机器可读的, 也是人可读的
- 既允许格式检验, 也允许类型检验
- 是数据交换的国际标准。

此XML格式是具有开始和结束块的纯文本, 如下:

```
<satellite_system>
```

```
</satellite_system>
```

在每一节中则有与该块相关的字段。所有的角都应应以度为单位。

在顶层，卫星系统是通过其通告ID和名称如下标识的：

```
<satellite_system ntc_id="NNNNNNN" sat_name="NAME">
```

```
  [Header]
```

```
  [Tables]
```

```
</satellite_system>
```

在这个结构内有报头，后面跟随着每个表格。

在下面的几节中更加详细地描述了每个掩模的格式。

C4.2 epdf（下行）的pfd掩模

Pfd掩模的报头格式如下：

```
<pfd_mask mask_id="N" low_freq_mhz="F1" high_freq_mhz="F2" refbw_khz = "BW"
type="Type" a_name="latitude" b_name="B" c_name="C">
```

此处（参见表5）：

表5

Pfd掩模报头格式

字段	类型或范围	单位	实例
mask_id	整数	—	3
low_freq_mhz	双精度	MHz	10 000
high_freq_mhz	双精度	MHz	12 000
refbw_khz	双精度	kHz	40
type	{alpha_deltaLongitude, azimuth_elevation}	—	alpha_deltaLongitude
a_name	{纬度}	—	纬度
b_name	{alpha, 方位角}	—	Alpha
c_name	{deltaLongitude, 仰角}	—	deltaLongitude

对a、b、c的每一个，则有数值数组，例如：

```
<by_a a="N">
```

```
</by_a>
```

在那个开放/封闭结构中的数值则都与a = N相关：一个类似的结构被用于b值。

最内部的组给出实际的pfd值，例如：

```
<pfd c="0">-140</pfd>
```

因此一个实例pfd掩模将是：

```

<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
<pfd_mask mask_id="3" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000" refbw_khz=
"40" type="alpha_deltaLongitude" a_name="latitude" b_name="alpha"
c_name="deltaLongitude">
<by_a a="0">
  <by_b b="-180">
    <pfd c="-20">-150</pfd>
    <pfd c="0">-140</pfd>
    <pfd c="20">-150</pfd>
  </by_b>
  <by_b b="-8">
    <pfd c="-20">-165</pfd>
    <pfd c="0">-155</pfd>
    <pfd c="20">-165</pfd>
  </by_b>
  <by_b b="-4">
    <pfd c="-20">-170</pfd>
    <pfd c="0">-160</pfd>
    <pfd c="20">-170</pfd>
  </by_b>
  <by_b b="0">
    <pfd c="-20">-180</pfd>
    <pfd c="0">-170</pfd>
    <pfd c="20">-180</pfd>
  </by_b>
  <by_b b="4">
    <pfd c="-20">-170</pfd>
    <pfd c="0">-160</pfd>
    <pfd c="20">-170</pfd>
  </by_b>
  <by_b b="8">
    <pfd c="-20">-165</pfd>
    <pfd c="0">-155</pfd>
    <pfd c="20">-165</pfd>
  </by_b>
  <by_b b="180">

```

```

<pdf c="-20">-150</pdf>
<pdf c="0">-140</pdf>
<pdf c="20">-150</pdf>
</by_b>
</by_a>
</pdf_mask>
</satellite_system>

```

XML格式可用于提交简写形式，以避免重复数据，但表格将通过插值或重复使用数组中的先前值来完成。D部分中epfd计算算法使用的pdf掩模的形式是每个pdf(x, y)纬度处的网格，其中(x, y)是掩模的两个变量。

在每个纬度上都将有一个x和y值的数组：

$$x_i = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

$$y_i = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$$

这些数组可以在纬度之间变化。

则对每个 (x_i, y_i) 都有一个关联的pdf值，因此表中有 $n \times m$ 个pdf值，如下面简化的 4×4 表格中所示：

(x, y)数组	x_1	x_2	x_3	x_4
y_1	pdf(1,1)	pdf(2,1)	pdf(3,1)	pdf(4,1)
y_2	pdf(1,2)	pdf(2,2)	pdf(3,2)	pdf(4,2)
y_3	pdf(1,3)	pdf(2,3)	pdf(3,3)	pdf(4,3)
y_4	pdf(1,4)	pdf(2,4)	pdf(3,4)	pdf(4,4)

提交的数据可以是其中的一个子集，例如：

(x, y)数组	x_1	x_2	x_3	x_4
y_1	—	pdf(2,1)	pdf(3,1)	—
y_2	pdf(1,2)	—	—	pdf(4,2)
y_3	pdf(1,3)	—	—	pdf(4,3)
y_4	—	pdf(2,4)	pdf(3,4)	—

在这种情况下，pdf表将通过假设的一个组合来完成。首先，如果没有指定表值边缘，则使用最接近的定义值来扩展掩模，并假设它将继续：

$$\text{pdf}(1,1) = \text{pdf}(2,1)$$

$$\text{pdf}(4,1) = \text{pdf}(3,1)$$

$$\text{pdf}(1,4) = \text{pdf}(2,4)$$

$$\text{pdf}(4,4) = \text{pdf}(3,4)$$

然后，如果没有指定中央表格值，则按如下方式，使用来自周边值的线性插值来完成：

$$\text{pdf}(2,2) = \text{Interpolate}\{x_2, \text{pdf}(1,2), \text{pdf}(4,2), x_1, x_4\}$$

$$\text{pdf}(2,3) = \text{Interpolate}\{x_3, \text{pdf}(1,2), \text{pdf}(4,2), x_1, x_4\}$$

$$\text{pfd}(3,2) = \text{Interpolate}\{x_2, \text{pfd}(1,3), \text{pfd}(4,3), x_1, x_4\}$$

$$\text{pfd}(3,3) = \text{Interpolate}\{x_3, \text{pfd}(1,3), \text{pfd}(4,3), x_1, x_4\}$$

在计算某个特定几何体的pfd期间，可以在读取或实时读取时完成pfd掩模。

C4.3 epdf（上行）的e.i.r.p.掩模

e.i.r.p.掩模的报头格式如下：

```
<eirp_mask_es mask_id="N" low_freq_mhz="F1" high_freq_mhz="F2" refbw_khz =
  "BW" a_name="latitude" b_name="offaxis angle" ES_ID = "-1">
```

此处（参见表6）：

表6

non-GSO ES e.i.r.p. 掩模报头格式

字段	类型或范围	单位	实例
mask_id	整数	–	1
low_freq_mhz	双精度	MHz	10 000
high_freq_mhz	双精度	MHz	12 000
refbw_khz	双精度	kHz	40
format	字符	–	“T”或“A”
a_name	{纬度}	度	纬度
b_name	{离轴角}	度	角度
ES_ID	整数	–	12345678 -1, 如果不是特定的ES。
c_name	{方位角}	度	45
d_name	{仰角}	度	15
e_name	{deltalongES角}	度	5

对给定的离轴角，如果format = “T”，则对每个相关的纬度，都有e.i.r.p.值数组，例如：

```
<eirp b="0">30.0206</eirp>
```

e.i.r.p.掩模应该单调递减。

因此，一个示例e.i.r.p.（上行）掩模将是：

```
<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
```

```
<eirp_mask_es mask_id="1" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000" refbw_khz =
  "40" format = "T" a_name = "latitude" b_name="offaxis angle", ES_ID=-1>
```

```
<by_a a="0">
```

```
<eirp b="0">30.0206</eirp>
```

```
<eirp b="1">20.0206</eirp>
```

```
<eirp b="2">12.49485</eirp>
```

```

<eirp b="3">8.092568</eirp>
<eirp b="4">4.9691</eirp>
<eirp b="5">2.54634976</eirp>
<eirp b="10">-4.9794</eirp>
<eirp b="15">-9.381681</eirp>
<eirp b="20">-12.50515</eirp>
<eirp b="30">-16.90743</eirp>
<eirp b="50">-18.9471149</eirp>
<eirp b="180">-18.9471149</eirp>
</by_a>
</eirp_mask_es>
</satellite_system>

```

如果format = "A"，那么在每个纬度上，对于覆盖的每个（方位角、仰角）指向角，将有一组表格，每个表格中针对ES和GSO弧上该点之间经度差的e.i.r.p.。

因此，e.i.r.p.（上行）掩模的一个例子是：

```

<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
<eirp_mask_es mask_id="1" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000" refbw_khz =
"40" format = "A" a_name = "latitude" c_name="azimuth angle" d_name = "elevation
angle" e_name = "DeltaLongES", ES_ID=-1>
<by_a a="0">
<by_c c = "0">
<by_d d= "0">
<eirp e="0">30.0206</eirp>
<eirp e="1">20.0206</eirp>
<eirp e="2">12.49485</eirp>
<eirp e="3">8.092568</eirp>
<eirp e="4">4.9691</eirp>
<eirp e="5">2.54634976</eirp>
<eirp e="10">-4.9794</eirp>
<eirp e="15">-9.381681</eirp>
<eirp e="20">-12.50515</eirp>
<eirp e="30">-16.90743</eirp>
<eirp e="50">-18.9471149</eirp>
<eirp e="180">-18.9471149</eirp>
</by_d>

```

C4.4 eirp(IS)的e.i.r.p.掩模

e.i.r.p.掩模的报头格式如下：

```
<eirp_mask_ss mask_id="N" low_freq_mhz="F1" high_freq_mhz="F2" refbw_khz="BW"
a_name="latitude" b_name="offaxis angle">
```

此处（参见表7）：

表7

non-GSO卫星e.i.r.p.掩模报头格式

字段	类型或范围	单位	实例
mask_id	整数	–	1
low_freq_mhz	双精度	MHz	10 000
high_freq_mhz	双精度	MHz	12 000
refbw_khz	双精度	kHz	40
a_name	{纬度}	–	纬度
b_name	{角度}	–	角度

对给定的离轴角，则对每个相关的纬度，都有e.i.r.p.值数组，例如：

```
<eirp b="0">30.0206</eirp>
```

e.i.r.p.掩模应该单调递减。

因此，一个示例e.i.r.p.（IS）掩模将是：

```
<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
<eirp_mask_ss mask_id="2" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000" refbw_khz="
40" a_name="latitude" b_name="offaxis angle">
<by_a a="0">
<eirp b="0">30.0206</eirp>
<eirp b="1">20.0206</eirp>
<eirp b="2">12.49485</eirp>
<eirp b="3">8.092568</eirp>
<eirp b="4">4.9691</eirp>
<eirp b="5">2.54634976</eirp>
<eirp b="10">-4.9794</eirp>
<eirp b="15">-9.381681</eirp>
<eirp b="20">-12.50515</eirp>
<eirp b="30">-16.90743</eirp>
<eirp b="50">-18.9471149</eirp>
<eirp b="180">-18.9471149</eirp>
</by_a>
</eirp_mask_ss>
</satellite_system>
```

D部分

non-GSO文档的检查软件

D1 概述**D1.1 范围**

本节范围详细说明计算机程序的软件需求文档（SRD），无线电通信局可用该计算机程序来计算一个主管部门提议的、特定的non-GSO系统是否符合epdf限值要求。

有三个该软件必须要完成的关键任务，如图1中所标出：

- 1) 确定要执行的操作；
- 2) 对每个操作，确定最差情形几何形状；
- 3) 对每个操作，计算epdf统计并检验与极限的符合度。

D1.2 背景

本节假定使用以下方法：

计算 $epfd_{\downarrow}$ ：每个non-GSO卫星有一个pdf掩模，每个卫星的pdf用来计算GSO系统地球站总的 $epfd_{\downarrow}$ 。在一系列时间步长内重复这一计算，直到得出 $epfd_{\downarrow}$ 的一个分布为止。然后，可以将该分布与限值进行比较，以给出通过/不通过的决定。

计算 $epfd$ ：地球上遍布着non-GSO地球站。每个地球站使用该星座的指向规则指向一个non-GSO卫星，并向它传输经定义的e.i.r.p.。从每个地球站的e.i.r.p.掩模，能够计算得到GSO处的 $epfd_{\uparrow}$ 。在一系列时间步长内重复这一计算，直到得出 $epfd_{\uparrow}$ 的一个分布为止。然后，可以将该分布与限值进行比较，以给出通过/不通过的决定。

计算 $epfd_{is}$ ：从每个空间电台的e.i.r.p.掩模，可以计算GSO空间电台处的 $epfd_{is}$ 。在一系列时间步长内重复这一计算，直到得出 $epfd_{is}$ 的一个分布为止。然后，可以将该分布与限值进行比较，以给出通过/不通过的决定。

软件需求文档提供详细的算法，任何感兴趣的团体都可在软件中应用该算法，而不需要参考任何特定的开发方法。

D1.3 概述

D部分结构上分为以下几节：

- 第D2节： 确定要执行的操作
- 第D3节： 为每个操作确定最差情形几何形状
- 第D4节： 计算时间步长和时间步数
- 第D5节： 计算epdf统计和检验极限符合度
- 第D5.1节： 定义 $epfd_{\downarrow}$ 算法
- 第D5.2节： 定义 $epfd_{\uparrow}$ 算法
- 第D5.3节： 定义 $epfd_{is}$ 算法

第D6节： 定义两个epdf计算均需使用的核心几何关系和算法，包括增益图

第D7节： 阐述输出格式以及获得通过/不通过决策的过程

注意参数名中的方括号表示的是数组的下标，而不是假定性的话。

D1.4 一般假设与约束

生成epdf统计信息的一般限值是：

量化间隔： $S_B=0.1$ dB

为了与D部分的第D7.1.3节中的评估算法保持一致，每个时间步长计算的epdf值应该四舍五入至下限值，最大精度为0.1 dB。

如果可行的话，按照第D6.4.4节中所述，计算与GSO弧的角度 α 应该使用分析方法来计算。如果此方法无法提供解决方案，则可以基于多个测试点使用迭代方法，并在它们之间指定间隔：

GSO测试点之间分隔距离记为： $1e-6$ 弧度。

测试点应该位于 $1e-6$ 弧度的整数倍上。

D1.5 数据库和接口

自动验证分析应该从SRS或其它数据库中获取输入数据，并结合BR资源（如DLL）来定义epdf限值并计算天线增益。定制分析可以向用户请求一些参数，例如GSO卫星和ES位置。

D2 确定要执行的操作

D2.1 第22条操作

对一个第22条的操作，一个关键的任务是要确定对一个non-GSO归档和在无线电规则中指定的epdf极限要执行哪个操作。

在任何方向上，如果没有掩模，无论是pfd还是e.i.r.p.，那么就没有必要进行任何运行。

有必要查看SRS grp、freq表，以便：

- 确定涉及的日期；
- 确定频率的列表。

还需要检查系统工作频率表：如果在不同的频率下有不同的参数组，那么必须为每个唯一的pfd/e.i.r.p.掩模、轨道元素和系统工作特性组执行一次运行。

对每个{freq_min, freq_max, date}，使用组合来调用LimitsAPI。如果有重复限值返回，则只需运行最低频率的情况。

```
For all unique Satellite {freq_min, freq_max, date} in non-GSO notice
{
    From LimitsAPI request all FSS epfd(down) limits for {freq_min, freq_max,
date}
    For all unique epfd(down) limits returned
    {
        Set FrequencyRun = max( $f_{\min}(\text{mask})$ ,  $f_{\min}(\text{limits})$ ) + RefBW/2
```

```

CreateRun:
  Direction = Down
  Service = FSS
  Frequency = FrequencyRun
  ES_DishSize = From Limits API
  ES_GainPattern = From Limits API
  epfd_Threshold = From Limits API
  Ref_BW = From Limits API
}
From LimitsAPI request all BSS epfd(down) limits for {freq_min, freq_max,
date}
For all unique epfd(down) limits returned
{
  Set FrequencyRun = max( $f_{\min}(\text{mask})$ ,  $f_{\min}(\text{limits})$ ) + RefBW/2
  CreateRun:
    Direction = Down
    Service = BSS
    Frequency = FrequencyRun
    ES_DishSize = From Limits API
    ES_GainPattern = From Limits API
    epfd_Threshold = From Limits API
    Ref_BW = From Limits API
  }
}
For all unique ES {freq_min, freq_max} in non-GSO notice
{
  From LimitsAPI request all epfd(up) limits for {freq_min, freq_max, date}
  For all unique epfd(up) limits returned
  {
    Set FrequencyRun = max( $f_{\min}(\text{mask})$ ,  $f_{\min}(\text{limits})$ ) + RefBW/2
    CreateRun:
      Direction = Up
      Frequency = FrequencyRun
      Sat_Beamwidth = From Limits API
      Sat_GainPattern = From Limits API
      epfd_Threshold = From Limits API
      Ref_BW = From Limits API
    }
  }
}
For all unique Satellite {freq_min, freq_max, date} in non-GSO notice
{
  From LimitsAPI request all epfd(is) limits for {freq_min, freq_max, date}
  For all unique epfd(is) limits returned
  {
    Set FrequencyRun = max( $f_{\min}(\text{mask})$ ,  $f_{\min}(\text{limits})$ ) + RefBW/2
    CreateRun:
      Direction = Intersatellite
      Frequency = FrequencyRun
      Sat_Beamwidth = From Limits API
      Sat_GainPattern = From Limits API
      epfd_Threshold = From Limits API
  }
}

```

```

    Ref_BW = From Limits API
  }
}

```

D2.2 《无线电规则》第9.7A款

对《无线电规则》第9.7A款的操作，在《无线电规则》附录5中定义了标准和门限，并且操作产生如下：

```

If the selected earth station meets the criteria in Appendix 5
{
  Get the frequency range of the selected ES ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
  Get all non-GSO networks in the SRS that overlap that frequency range
  For each non-GSO network returned
  {
    Query Limits API with the selectedES ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    {
      Get RefBW from Appendix 5 Data
      Set FrequencyRun = max(ES_ $f_{min}$ , Mask_ $f_{min}$ ) + RefBW/2
      CreateRun:
        Direction = Down
        Frequency = FrequencyRun
        ES_DishSize = From ES filing
        ES_GainPattern = From ES filing
        epfd_Threshold = From Appendix 5
        Ref_BW = From Appendix 5
    }
  }
}

```

D2.3 《无线电规则》第9.7B款

对《无线电规则》第9.7B款的操作，在《无线电规则》的附录5中定义了标准和门限，并且操作产生如下：

```

Get ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ ) from non-GSO notice
{
  Get all ES in the SRS that overlap that frequency range
  For each ES returned
  {
    If the earth station meets the criteria in Appendix 5
    {
      Query Limits API withES ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
      Get RefBW from Appendix 5 Data
      Set FrequencyRun = max(ES_ $f_{min}$ , Mask_ $f_{min}$ ) + RefBW/2
      CreateRun:
        Direction = Down
        Frequency = FrequencyRun
        ES_DishSize = From ES filing
        ES_GainPattern = From ES filing
        epfd_Threshold = From Appendix 5
        Ref_BW = From Appendix 5
    }
  }
}

```

}
}
}
}

D3 最差情形几何形状

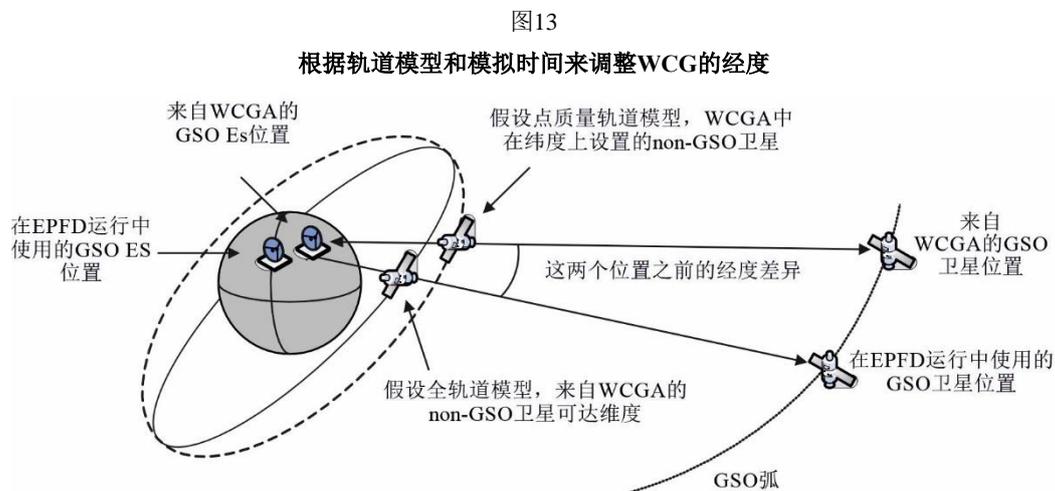
《无线电规则》第22条中的epfd限值适用于所有GSO ES，以及从该ES可见的、指向GSO弧该部分的所有指向角。然而，在验证软件内构建所有这些几何形状模型是不可行的。最差情形几何形状（WCG）是GSO卫星的一个参考位置，GSO卫星波束的ES或视轴用于检查non-GSO系统是否符合《无线电规则》第22条中的epfd限值。non-GSO运营商仍需满足《无线电规则》第22条中关于所有其它几何形状的epfd限值，包括对第A1.3节所述的特定GSO网络的测试。

WCG通过一个算法来选择，即最坏情形几何形状算法（WCGA），它负责检查pfd/e.i.r.p.掩模以及non-GSO卫星轨道参数，以确定最高的单项epfd值。如果有多个具有最高单项epfd值的几何形状，则在选择几何形状时应通过考虑角速度或仰角来确定该最高单项epfd，以获得最大的时间百分比。这些假设基于关键的epfd水平是最高的，它们是最容易测量的。

WCGA基于迭代一组位置，通常是non-GSO卫星的位置。假设几何形状在经度上是对称的，并且可以使用简单的点质量模型将卫星精确地设置在所需的纬度上。然而，第D5节中所述的epfd计算引擎可以使用具有特定时间步长的一系列轨道模型，因此可使卫星到达指定纬度的经度将不同于WCGA中的经度。因此需要一个额外的阶段，对于导致最高单项epfd的non-GSO卫星，经度差异计算如下：

- non-GSO卫星在使用WCGA中点质量模型到达指定纬度时的经度，使用静态时间 $t = \text{仿真开始时间}$ （例如相对时间 = 0）转换为（纬度、经度）。
- 使用完整轨道模型以及为给定运行计算得到的细时间步长，non-GSO卫星最接近指定纬度的经度，使用相关仿真时间转换为（纬度、经度）。

下面的图13显示了经度上的这种差异：



然后使用这种经度上的差异来调整WCGA中计算得到的GSO卫星和ES的位置，以便具有导致最高epfd的pfd掩模的non-GSO卫星在其第一个轨道期间经过导致该epfd值的几何形状。在使用时间步长来迭代纬度时，在经度计算中将使用给出最近纬度的时间步长。

请注意，本建议书中的算法无意考虑ITU-R区域或特定经度，因为《无线电规则》第22条中的epfd限值适用于所有GSO ES位置和GSO弧的可见部分。

在比较浮点数以检查舍入错误时，需要格外小心。在WCGA中，可以舍入到最近的 0.1° dB而不是四舍五入。搜索网格以 0.1° 步进，当角度差小于 $1e-5$ 弧度时，二元搜索例程将终止。

D3.1 WCG epfd

D3.1.1 输入

对该算法的输入包括：

- pfd_mask: 要检验的pfd掩模
- $\alpha_0[\text{lat}]$: 依据纬度，该non-GSO卫星的GSO弧规避角 = MIN_EXCLUDE[Latitude]
- h : 该non-GSO卫星的最小运行高度
- $\epsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$: 依据纬度和方位角，该non-GSO卫星的最小仰角
- $\{a, e, i\}$: 该non-GSO系统的轨道参数
- ES: 该ES的参数，包括增益方向图。

D3.1.2 算法

本节描述了确定epfd（下行）方向的最差情形几何形状（WCG）的算法。

请注意，对不同的pfd掩模，可以有不同的频率：假设要对每个有效的频率范围重复该过程。对每个有效的频率范围，可能存在不同的pfd掩模，多组 $\{a, e, i\}$ 或系统工作参数（例如，可随non-GSO卫星变化的GSO避角）：应该对每个这样的组重复该处理过程。

WCG以在由该non-GSO卫星所看到的 (θ, φ) 中进行的搜索为基础，对包括 $\alpha = 0$ 的区域 $(-\alpha_0, +\alpha_0)$ 予以特别的注意。这个搜索在很多测试non-GSO卫星的纬度进行重复。此外，对 $\alpha = \{-\alpha_{0,0}, +\alpha_{0,0}\}$ 的最高纬度进行了特别的检验，以保证与ITU-R S.1714建议书中方法的兼容性。

对每个所考虑的测试点，此算法采用pfd掩模和接收天线增益计算该epfd，并且将其与相关纬度的门限值进行比较。增益的计算方法是对离轴角 φ 使用 α 角：对BSS ES天线增益方向图，围绕视轴它可能不是对称的， θ 应该是假设该点位置上的ES点对应 α 角而计算得到的值。请注意，该算法可以通过使用矢量化计算多个碟形尺寸的WCG的方式来实现。

很可能，多个测试点将形成epfd水平和门限之间的相同差值。为了评估哪个应被用作WCG，计算了由该ES所看到的该non-GSO卫星的角速度，并且所选择的几何形状是：

- 1) 根据结果统计的分辨率给出epfd水平和门限之间的最高的差（ 0.1 dB ）。
- 2) 如果多个几何形状满足第1点，选择将导致给出如ES所看到的卫星最低角速度的几何形状的那一个。

该搜索算法显示在图14和图15中，其中：

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0[lat]$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_0[lat, az]$$

图14
为WCGD_CalcAtLat搜索(θ, ϕ)网格

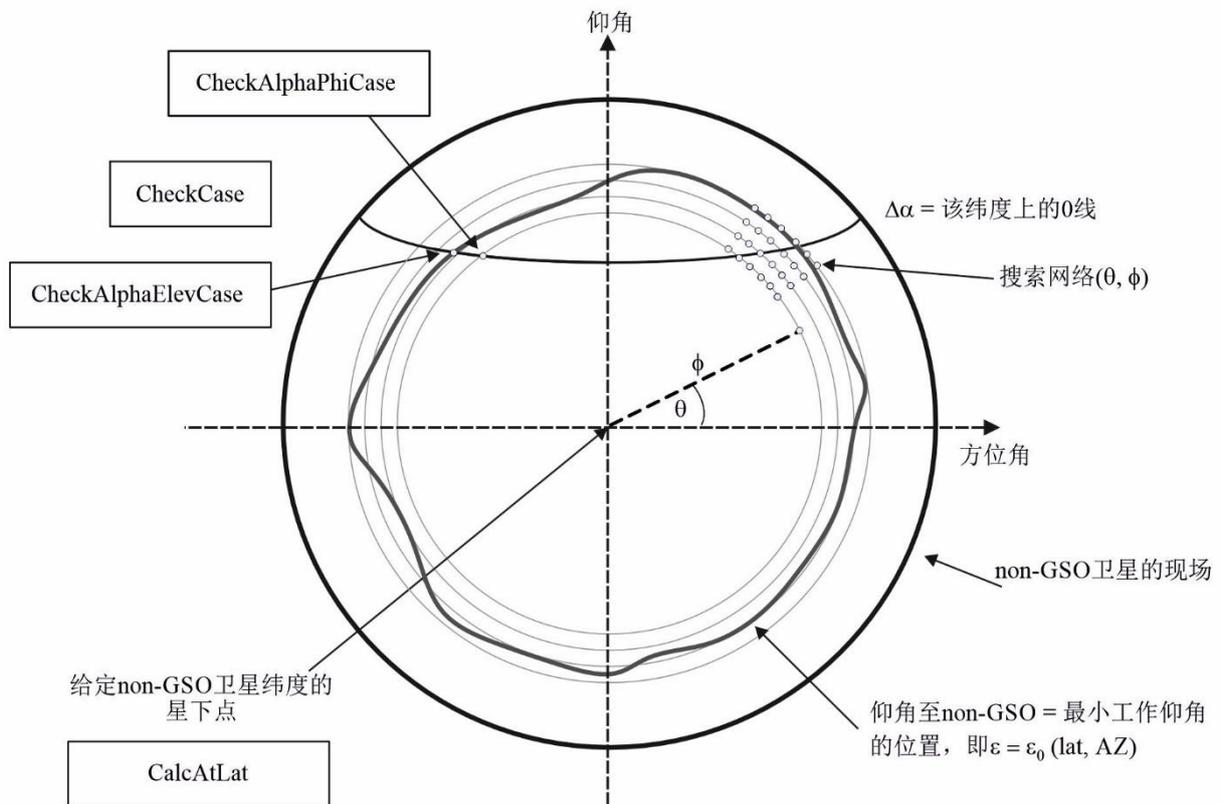
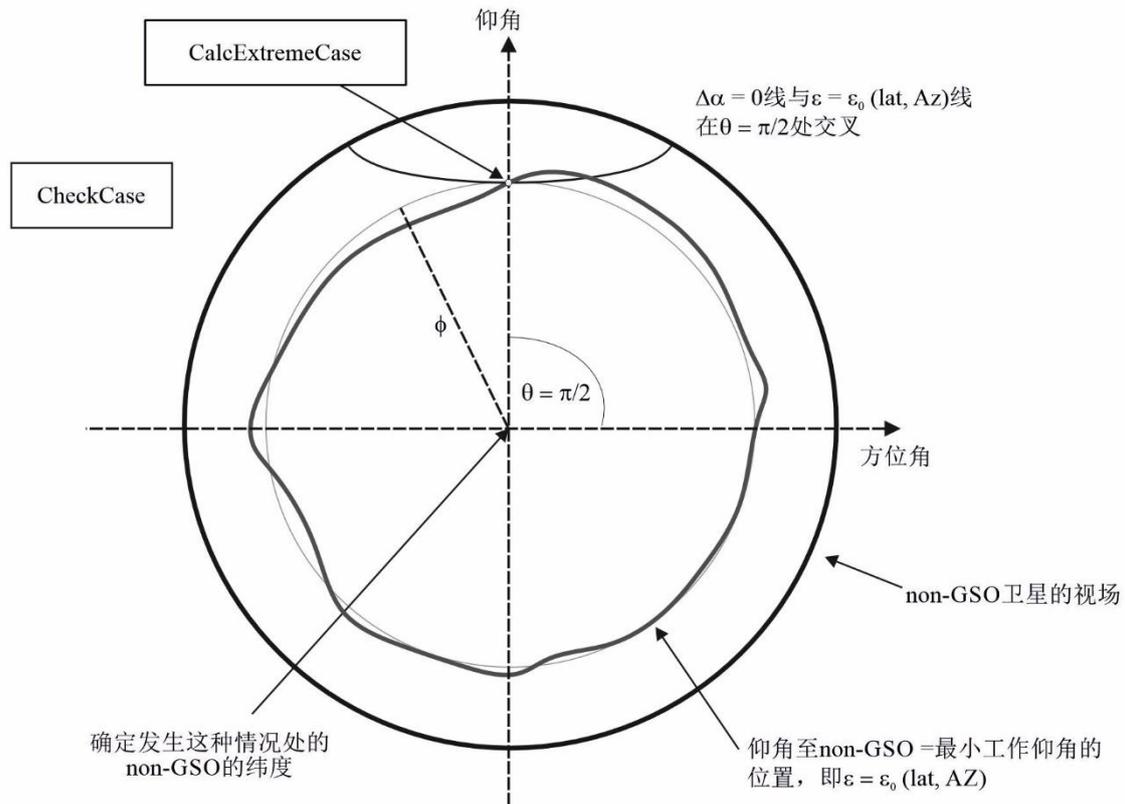


图15

WCGD_CheckExtremeCase的几何形状



S.1503-15

在以下针对指定GSO ES类型的伪代码中对算法进行了描述：

WCGA_Down:

```

Set WorstEPFDBin = -9999
Set WorstAngularVelocity = +9999
Identify  $\epsilon_{0,\min}$  = minimum value over all values in the  $\epsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$  table
For all satellites in the order listed in ITU DB
{
    Determine PFD mask to use for this satellite
    If this PFD mask and satellite orbit (a, e, i) combination has not been
checked so far then or this satellite uses a different  $\alpha_0[\text{lat}]$  then
        Call GetWCGA_Down(SystemParams)
    End if
}
Next satellite

```

Note that SystemParams = (PFD_Mask, $\alpha_0[\text{lat}]$, $\epsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$, ES, OrbitParams, $\epsilon_{0,\min}$) as required

GetWCGA_Down (SystemParams):

```

StepSize = 0.1°
If (i = 0)
{
    WCGD_CalcAtLat(SystemParams, latitude = 0)
}

```

```

Else
{
  LatNumSteps = RoundUp(i / StepSize)
  For n = 0 to LatNumSteps inclusive
  {
    latitude = i * n / LatNumSteps
    WCGD_CalcAtLat(SystemParams, latitude)
    If (n > 0)
    {
      WCGD_CalcAtLat(SystemParams, -latitude)
    }
  }
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, 0,  $\theta = +\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, 0,  $\theta = -\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, +1,  $\theta = +\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, -1,  $\theta = -\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, +1,  $\theta = +\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, -1,  $\theta = -\pi/2$ )
}
}

WCGD_CalcAtLat(SystemParams, latitude):
  Locate non-GSO satellite at latitude
  Calculate height of non-GSO satellite from its radius, r
  If height of non-GSO satellite < minimum operating height then return
  Calculate  $\phi_0$  for elevation angle  $\epsilon_{0, \min}$  and radius r
  WCGD_CheckCase(SystemParams, latitude,  $\theta = 0$ ,  $\phi = 0$ )
  NumPhiSteps = RoundUp( $\phi_0$  / StepSize)
  PhiStepSize =  $\phi_0$  / NumPhiSteps
  For  $\phi = \text{PhiStepSize}$  to  $\phi_0$  inclusive in NumPhiSteps steps
  {
    ThetaMin =  $-\pi/2$ 
    ThetaMax =  $+3\pi/2$ 
    If the PFD mask is symmetric in DeltaLong or Azimuth and elevation table
    is also symmetric between east and west
    {
      ThetaMax =  $\pi/2$ 
    }
    NumThetaSteps = max(16, RoundUp( $2\pi\phi/\text{PhiStepSize}$ ))
    ThetaStepSize = (ThetaMax-ThetaMin)/NumThetaSteps
    For ThetaStep = 0 to NumThetaSteps inclusive
    {
       $\theta = \text{ThetaMin} + \text{ThetaStep} * \text{ThetaStepSize}$ 
      WCGD_CheckCase(SystemParams, latitude,  $\theta$ ,  $\phi$ )
    }
  }
  WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\phi$ , 0, RHS)
  WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\phi$ , +1, RHS)
  WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\phi$ , -1, RHS)
  If the PFD masks is not symmetric then
  {
    WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\phi$ , 0, LHS)
    WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\phi$ , +1, LHS)
  }

```

```

    WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\phi$ , -1, LHS)
  }
}
WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, 0, RHS)
WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, +1, RHS)
WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, -1, RHS)
If the PFD mask is not symmetric then
{
  WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, 0, LHS)
  WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, +1, LHS)
  WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, -1, LHS)
}

```

WCGD_CheckCase(SystemParams, latitude, θ , ϕ):

```

Convert ( $\theta, \phi$ ) to (az, el) in the satellite reference frame
Create line from non-GSO satellite N in direction (az, el)
Identify point P in which line intersects Earth
Calculate the latitude of P, latP
If Absolute(latP) > 81.2 degrees then exit this function
If latP < ES_LAT_MIN then exit this function
If latP > ES_LAT_MAX then exit this function
If number of non-GSO satellites that operate at this latitude is zero then
exit this function
Calculate the (azNGSO, elNGSO) of the non-GSO satellite as seen by the ES
Find the nearest latitude to latP in the  $\epsilon_0$ [latP, AzNGSO] table
At point P calculate ( $\alpha$ ,  $\Delta$ long) angles wrt point N
At point P calculate AngularVelocity using methodology below
Calculate PFD from mask, latitude & (az, el,  $\alpha$ ,  $\Delta$ long)
Calculate  $G(\alpha)$  and  $G(\alpha_0[\text{lat}_P])$ 
Calculate the elGSO of the point on the GSO arc associated with the calculated

```

α

ϵ_{GSO} = the appropriate minimum elevation angle in Table 8

If ($(\alpha \geq \alpha_0[\text{lat}_P]$ and $\text{el}_{\text{NGSO}} \geq \epsilon_0[\text{lat}_P, \text{Az}_{\text{NGSO}}]$ and $\text{el}_{\text{GSO}} \geq \epsilon_{\text{GSO}}$

or $G(\alpha) > \min(G_{\text{max}} - 30 \text{ dB}, G(\alpha_0[\text{lat}_P]))$) then

```

{
  Calculate EPFDThreshold from latitude of point P on the Earth's surface
  Calculate EPFDMargin = PFD +  $G_{\text{rel}}(\alpha)$  - EPFDThreshold
  Calculate EPFDBin = EPFDMargin/BinSize
  If WorstEPFDBin < EPFDBin
  {
    WorstEPFDBin = EPFDBin
    Worst AngularVelocity = AngularVelocity
    Store this (N, P)
  }
  Else if (WorstEPFDBin = EPFDBin &&
    WorstAngularVelocity > AngularVelocity)
  {
    WorstAngularVelocity = AngularVelocity
    Store this (N, P)
  }
}

```

WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, Latitude, φ , Sign, Side):

Set θ range according to side to check (left or right)

If bracket $\delta\alpha = 0$ then

{

Use binary search to iterate on θ until $\text{WCGD_GetDeltaAlpha}(\text{SystemParams}, \text{Sign}, \theta, \varphi) = 0$

WCGD_CheckCase(SystemParams, latitude, θ , φ)

}

WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, Latitude, Sign, Side):

Set θ range according to side to check (left or right)

If bracket $\delta\alpha = 0$ then

{

Use binary search to iterate on θ until within $1e-5$ radians

{

For each θ_i

{

Call $\text{WCGD_CalcPhiFromThetaElev}(\text{SystemParams}, \theta_i)$ to determine φ_i

Call $\text{WCGD_GetDeltaAlpha}(\text{SystemParams}, \text{Sign}, \theta_i, \varphi_i)$ to determine $\delta\alpha_i$

}

} selecting θ that brackets $\delta\alpha = 0$

WCGD_CheckCase(SystemParams, latitude, θ , φ)

}

WCGD_CalcPhiFromThetaElev(SystemParams, ThetaTest, PhiMax):

$\varphi_0 = 0$

$\varphi_1 = \text{PhiMax}$

Use binary search to iterate on φ until within $1e-5$ radians

{

For each φ_i

{

Call $\text{WCGD_CalcDeltaElev}(\text{SystemParams}, \text{ThetaTest}, \varphi_i)$

}

} selecting φ that brackets $\delta\varepsilon = 0$

Return φ

WCGD_GetDeltaAlpha(SystemParams, Sign, θ , φ):

Convert (θ, φ) to (az, el)

Create line in direction (az, el) from non-GSO satellite

Identify point P where line intersects Earth

Calculate latitude of P, lat_P

Determine exclusion zone size at this point, $\alpha_0[lat_P]$

At point P calculate α

$\text{deltaA} = \text{Sign} * \alpha_0[lat_P]$

Return $\alpha - \text{deltaA}$

WCGD_GetDeltaElev(SystemParams, θ, φ):

Convert (θ, φ) to (az, el)

Create line in direction (az, el) from non-GSO satellite

```

Identify point P where line intersects Earth
Calculate latitude of P, latP
Calculate (azNGSO, elNGSO) of non-GSO satellite as seen by point P
At point P calculate ε0[lat, az]
Return elNGSO - ε0[lat, az]

```

WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, Sign_α, θ):

```

Set latitude range according to sign (north or south hemisphere)
If bracket δα = 0 then
{
  Use binary search to iterate until latitude range less than 1e-5 radians
  {
    For each test latitude, Lat
    {
      Call WCGD_CalcDeltaAlphaFromLatElev(SystemParams, Lat, Sign, θ) to
determine δαi and corresponding φi
    }
  } Selecting latitudes that bracket δα = 0
  WCGD_CheckCase(SystemParams, latitude, θ, φ)
}

```

WCGD_CalcDeltaAlphaFromLatElev(SystemParams, Latitude, Sign, θ):

```

Set satellite at Latitude
Get φ using WCGD_CalcPhiFromThetaElev SystemParams, θ, PhiMax)
Calculate δα from WCGD_CalcDeltaAlpha(SystemParams, Sign, θ, φ)
Return δα, φ

```

该算法采用在以下几节中所给出的几何形状。

D3.1.3 几何形状

D3.1.3.1 (az, el)和(θ, φ)之间的转换

可以采用以下公式:

$$\cos(\varphi) = \cos(az) \cos(el)$$

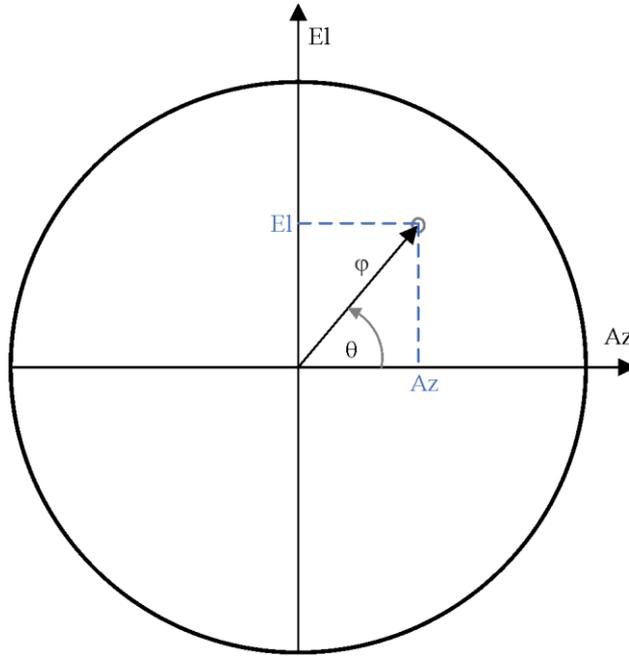
$$\sin(el) = \sin(\theta) \sin(\varphi)$$

请注意,有必要检查az或φ的符号,以确保正确计算arccos/arcsin。

还应注意的是,上述公式应用于最坏情况几何算法的应用,并且它们不同于C2.3.2节中包含的将(θ, φ)转换为(Az, El)的公式。

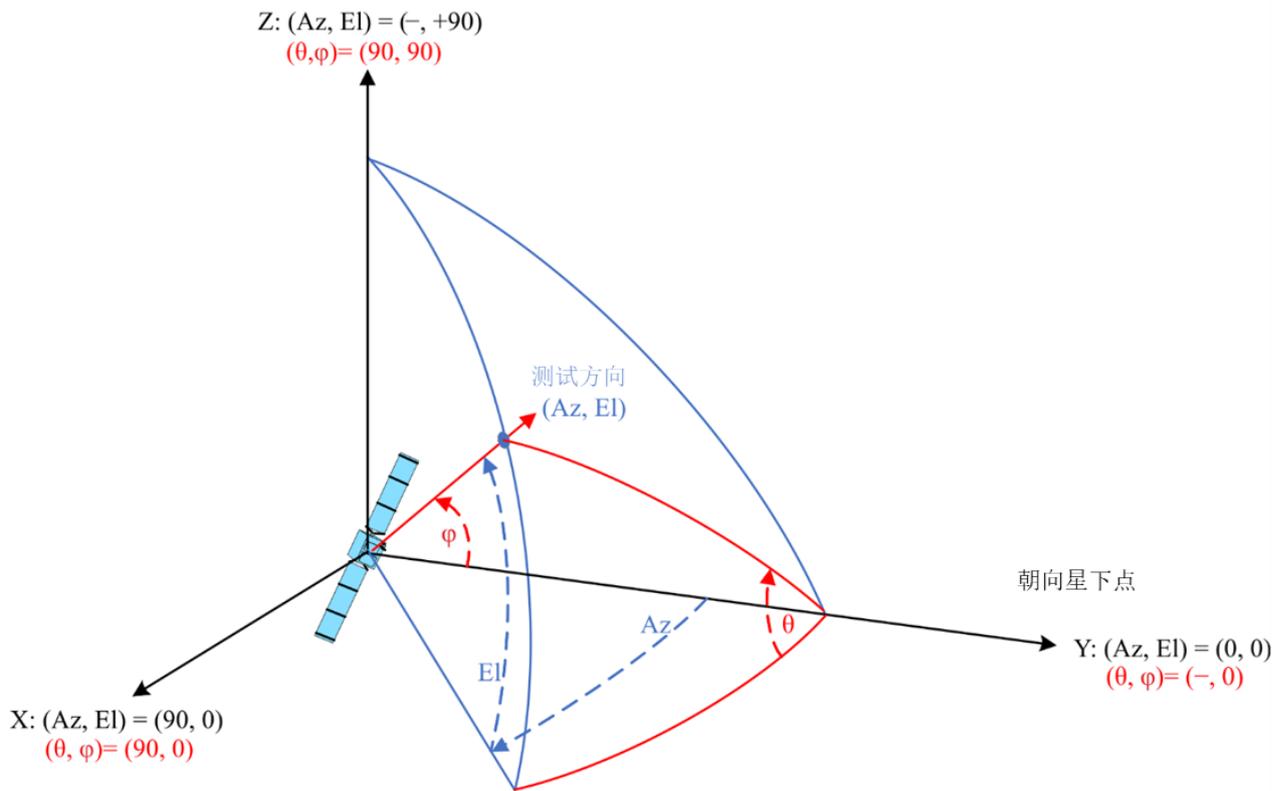
(θ, φ)坐标系及其与(az, el)坐标系的关系如以下图16和图17所示。

图16
 (方位角、仰角) 和 (θ, φ) 之间从卫星视角的转换



S.1503-16

图17
 (方位角, 仰角) 和 (θ, φ) 之间的3D转换



S.1503-17

φ 角在两条线之间:

- 从卫星到星下点
- 从卫星到测试方向。

θ 角从仰角 = 0平面起按逆时针方向围绕视轴。

D3.1.3.2 设定卫星纬度

在该算法中的关键步骤是计算non-GSO卫星和ES的位置及速度向量。对圆形轨道系统, 该纬度可以被用来采用下式推算真近点角 v :

$$\sin(\omega + v) = \frac{\sin lat}{\sin i}$$

对于椭圆系统, 有必要使用二分查找。假设系统被设计为具有参数近地点 = $\pm\pi/2$, 则当平均异常在 $[0, \pi]$ 间变化时, 卫星将从最小纬度转到最大纬度。因此, 二分搜索可以从 $M = (0, \pi)$ 开始, 并从该处开始迭代。

要推算出位置和速度向量, 可以采用以下公式:

在卫星平面中:

$$\underline{r}_{sat} = r_{sat}(\cos v \underline{P} + \sin v \underline{Q})$$

$$\underline{v}_{sat} = \sqrt{\frac{\mu}{p}}(-\sin v \underline{P} + (e + \cos v) \underline{Q})$$

此处:

P, Q : 如D6.3.3所述, 在以地心为原点且 P 与轨道长轴一致的轨道平面中的单位向量

a, e, v : 轨道根数。

以及:

$$r_{sat} = \frac{p}{1 + e \cos v}$$

$$p = a(1 - e^2)$$

然后, 可以采用标准旋转矩阵通过 (Ω, ω, i) 轨道根数将non-GSO的位置和速度向量从基于PQW轨道的框架变换到以地球为中心的向量。对WCG计算, 可以假设, 不需要考虑包括 J_2 因子的二阶影响。

位置向量公式还可以用来计算到一个真近点角 v 的纬度, 并因此通过迭代将该卫星定位于所要求的纬度。

D3.1.3.3 计算卫星视角中的最大 φ

对一个给定纬度及卫星半径, 可以采用下式从仰角 ε 推算出在卫星处相对星下点的最大角度 φ_0 :

$$\sin(\varphi_0) = \frac{R_e}{r_{sat}} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon\right)$$

D3.1.3.4 计算角速度

输入如下:

ES位置向量:

$$\underline{r}_{es}$$

ES位置向量: \underline{r}_{es}

non-GSO卫星位置向量: \underline{r}_{sat}

non-GSO卫星位置向量: \underline{v}_{sat}

从这些，有可能计算出从ES到卫星的视在速度和向量:

$$\underline{r} = \underline{r}_{sat} - \underline{r}_{es}$$

$$\underline{v} = \underline{v}_{sat} - \underline{v}_{es}$$

然后可以计算这二个向量之间的角度:

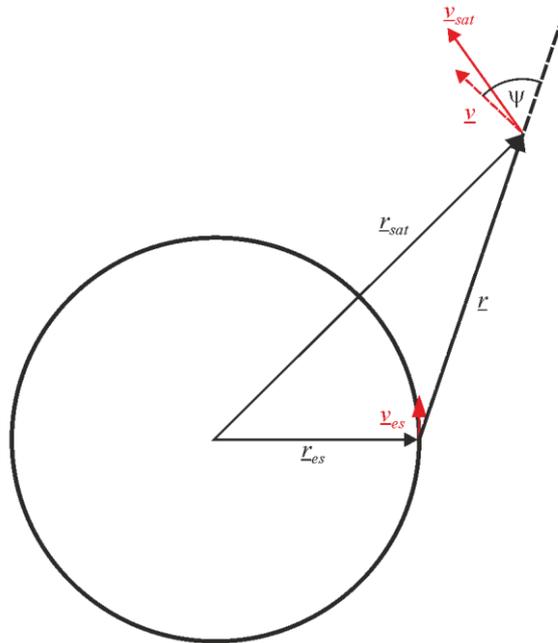
$$\cos \psi = \frac{\underline{r} \cdot \underline{v}}{r v}$$

则瞬时角速度是:

$$\theta = \frac{v}{r} \sin \psi$$

各项显示在图18中:

图18
计算non-GSO卫星视在角速度的向量



S.1503-18

请注意，一个低的角速度将导致较高的干扰可能性，因此，对于一个给定epfd值，将要使用的是给出最低视在角速度的WCG。

可以如下从其位置向量(x, y, z)推算出ES的速度向量:

$$\underline{v}_{es} = w_e \begin{pmatrix} -y \\ x \\ 0 \end{pmatrix}$$

此处， w_e 是以每秒弧度表示的地球角速度。

D3.2 WCG epfd↑

请注意，由于第22条中的epfd限值是100%的时间，因此不需要考虑特定几何形状的可能性，而只需考虑最大的epfd（上行）值。

如果存在多个具有可选轨道元素的子星座或某些卫星使用不同的排除区角，那么应为每个唯一集重复该处理过程。

D3.2.1 输入

对该算法的输入如下：

ES_e.i.r.p.: 要检验的non-GSO ES e.i.r.p.掩模。这可能因纬度而异，每个纬度范围有一个e.i.r.p.样式，定义为与朝向GSO弧的离轴角的关系表或通过纬度、方位角和仰角，每个纬度/方位角/仰角有一个e.i.r.p.样式，定义为e.i.r.p.对应ES和GSO卫星之间经度差的表格。

θ_{dB} : GSO卫星的波束半功率波束宽度

$\epsilon_{0,GSO}$: GSO系统的最小仰角

$\epsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$: non-GSO系统的最小仰角，它可能因纬度和方位角而异。

$\alpha_0[\text{lat}]$: non-GSO系统的最小排除角度，它可能因纬度和non-GSO卫星而异。

$N_{co}[\text{lat}]$: 可以在地球表面某个特定位置提供同频服务的non-GSO卫星的数量，它可能因纬度而异。

ES_DISTANCE, ES_DENSITY : 来自non-GSO系统的同频波束之间在地球表面的平均距离（km）和同频non-GSO ES的密度或者：

ES(lat, long) : non-GSO系统的特定ES的经度和纬度。

$\{a, i, e, \Omega, \omega, \nu\}$: non-GSO系统的轨道参数，包括non-GSO系统的轨道参数，包括系统的地面轨迹是否重复，如果是，则为重复时间。

D3.2.2 GSO系统参数

假设GSO系统的最小工作仰角和波束宽度如表8所示。

表8

WCG（上行）GSO系统参数

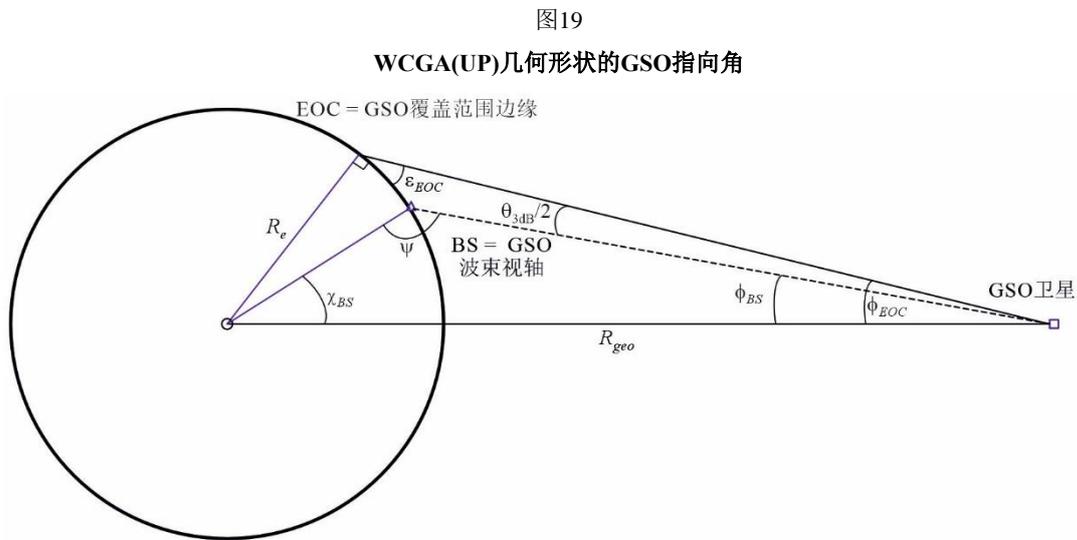
频段	$f < 10 \text{ GHz}$	$10 \text{ GHz} \leq f < 17 \text{ GHz}$	$f \geq 17 \text{ GHz}$
波束宽度（度）	1.5	4	1.55
最小仰角（度） ϵ_{EOC}	10	10	20

表9显示了对应于最小仰角以及因此而得到的、朝向波束视轴的GSO卫星上最大角度的地心角 φ_{BS} ：

表9
WCG (上行) 获得的最小值和最大值

频段	$f < 10 \text{ GHz}$	$10 \text{ GHz} \leq f < 17 \text{ GHz}$	$f \geq 17 \text{ GHz}$
GSO卫星上的 φ_{EOC} (度)	8.567	8.567	8.172
GSO卫星上的 φ_{BS} (度)	7.817	6.567	7.397
φ_{BS} 的地心角 χ (度)	56.230	42.552	50.934

这些是利用图19中的几何结构和以下公式生成的。



S.1503-19

φ_{BS} 在此可从如下公式获得：

$$\sin \varphi_{EOC} = \frac{R_e}{R_{geo}} \sin \left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon \right)$$

$$\varphi_{BS} = \varphi_{EOC} - \frac{\theta_{3dB}}{2}$$

则注意到 $\psi > \pi/2$ ：

$$\sin(\pi - \psi) = \frac{R_{geo}}{R_e} \sin(\varphi_{BS})$$

因此：

$$\chi_{BS} = \pi - \varphi_{BS} - \psi$$

D3.2.3 算法

epfd（上行）情形的WCGA如下：

```

WCGA_UP:
  Calculate  $\varphi_{BS}$  from  $\epsilon_{EOC}$ 
  From  $\varphi_{BS}$  calculate  $\chi_{BS}$ 
  If ES from density
    Call WCGA_UP_General
  Else
    If non-GSO satellite repeats
      Call WCGA_UP_SpecificES_Repeating
    Else
      Call WCGA_UP_SpecificES_NonRepeating
    Endif
  Endif

```

对各种情形，在以下几节中描述它们的功能和几何形状。

D3.2.3.1 聚合epfd计算

在一般情况下，聚合epfd（上行）可以利用以下公式来计算：

$$epfd(up) = \sum_{i=1}^{i=N_{ES}} e.i.r.p.(lat) - L_S + G_{rel,rx} + 10 \log_{10}(NUM_{ES}) + 10 \log_{10}(N_{co,ES}(lat))$$

请注意，总和是绝对的，尽管公式是以dB为单位给出的，其中：

e.i.r.p.(lat): 对于给定的non-GSO ES纬度，朝向GSO的e.i.r.p.或者是朝向GSO弧的纬度和离轴角的函数，或者是non-GSO ES与GSO卫星之间纬度、视轴（方位角、仰角）和经度差的函数。

L_S: 扩散因子。

G_{rel,rx}: 使用ITU-R S.672增益方向图的、GSO卫星上的相对增益。

NUM_{ES}: 为使用密度而非特定ES的系统的一个因素（通常涉及访问方法），它源自non-GSO系统的密度和距离字段，如第D5.2.5节中所给出的。

$$NUM_{ES} = ES_DISTANCE * ES_DISTANCE * ES_DENSITY$$

N_{co,ES}(lat): 可在某个给定位置上传输的同频non-GSO ES的最大数量。

利用第D5.2.5节中的算法，对部署于GSO卫星15 dB波束宽度覆盖范围内的 N_{ES} non-GSO求和。这取决于同频波束之间的间隔距离，它是由non-GSO系统提供的一个参数。

对WCG（上行）计算，假设聚合epfd由视轴上的单入口epfd加上聚集因子来支配，则这可通过从总和中提取non-GSO参数来对其进行估算，如下所示：

$$epfd(up) \cong e.i.r.p.(lat) + 10 \log_{10}(NUM_{ES}) + 10 \log_{10}(N_{co,ES}(lat)) + \sum_{i=1}^{i=N_{ES}} G_{rel,rx} - L_S$$

最后一项仅取决于ITU-R S.672建议书中的几何形状（特别是地心角 χ ）和增益方向图，但不取决于任何non-GSO参数，因此可以做预先计算。

$$\left(\frac{D_{ES}}{100}\right)^2 F_{672}(x) = \sum_{i=1}^{N_{ES}} G_{rel,rx} - L_S$$

基于假设之non-GSO ES间隔距离ES_DISTANCE = DES = 100 km的计算方法是通过以下Pade近似来进行的:

$$y = a + \frac{bx+cx^2+dx^3+ex^4+fx^5}{1+gx+hx^2}$$

其中:

表10

F₆₇₂ Pade近似参数

参数	波束宽度 = 4°	波束宽度 = 1.55°x < 35°	波束宽度 = 1.55°x > 35°	波束宽度 = 1.5°
a	-133.536851	-133.323814	-133.323814	-142.1952459
b	0.001384021	0.017909858	0.02314611	-0.001235207
c	0.000637798	-0.011981864	-0.001336397	0.00121213
d	6.9531E-07	0.002350044	2.26511E-05	-4.77102E-05
e	-1.94494E-07	-4.61428E-05	-6.95017E-08	6.5926E-07
f	1.41944E-09	-3.30E-07	-7.75011E-10	-2.83069E-09
g	-0.033027982	-0.408584467	-0.036720978	-0.033787173
h	0.000434998	0.054553642	0.000370144	0.000306156

对具体的ES情况, 未定义 D_{ES} , 因此当NUM_ES设为1时, 应使用值100, 故该术语不起作用。

考虑到F₆₇₂因子, 给定几何形状的epfd(上行)可以利用以下公式来估算:

$$epdf(up) \cong e.i.r.p.(lat) + 10 \log_{10}(NUM_{ES}) + 10 \log_{10}(N_{co,ES}(lat)) + \left(\frac{D_{ES}}{100}\right)^2 F_{672}(x)$$

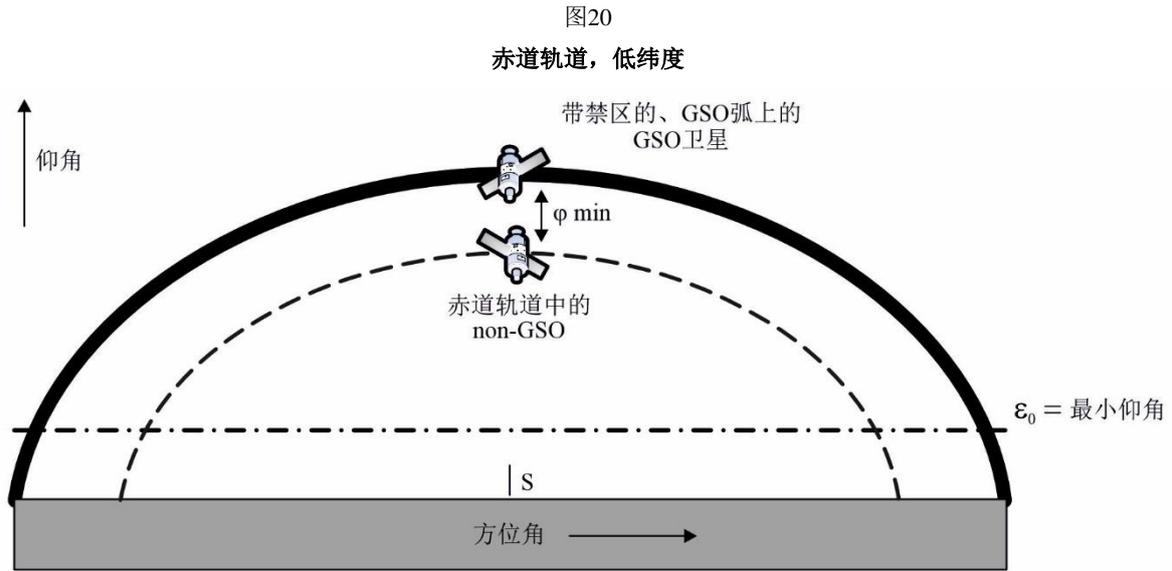
D3.2.3.2 最差的指向

上述epfd计算依赖于计算朝向GSO的最大e.i.r.p.的能力。e.i.r.p.掩模亦是如此, 这将取决于诸多额外因素, 包括:

- non-GSO ES的纬度
- 该纬度处的最小仰角 $\epsilon_0[az, lat]$
- 禁区大小 $\alpha_0[lat]$
- 星座(或子星座)轨道参数。

假设non-GSO ES位于北半球, 图的中心因此而指向南方, 在下面的例子中可以看出一些因素的影响情况。

赤道轨道，低纬度

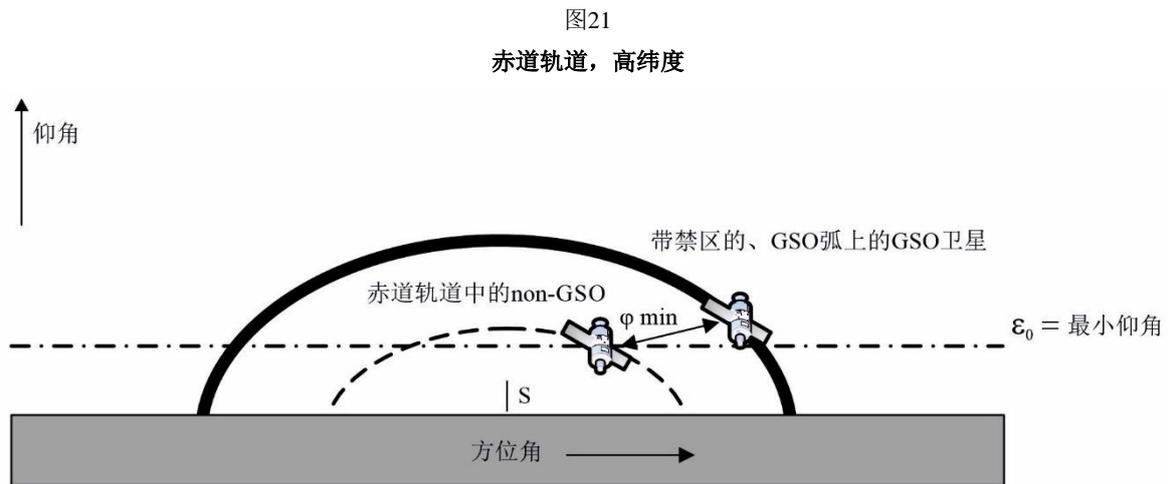


S.1503-20

这里的non-GSO卫星决不会与GSO轨道或禁区相交，因此 ϕ_{min} 是所考虑方位角内赤道轨道与GSO弧之间non-GSO ES上的角。

请注意，纯粹的赤道轨道将是重复的，因此将通过WCG内的一个个案予以处理。不过，纳入之，用于显示边缘情况以及加深对相关几何形状的理解。

赤道轨道，高纬度

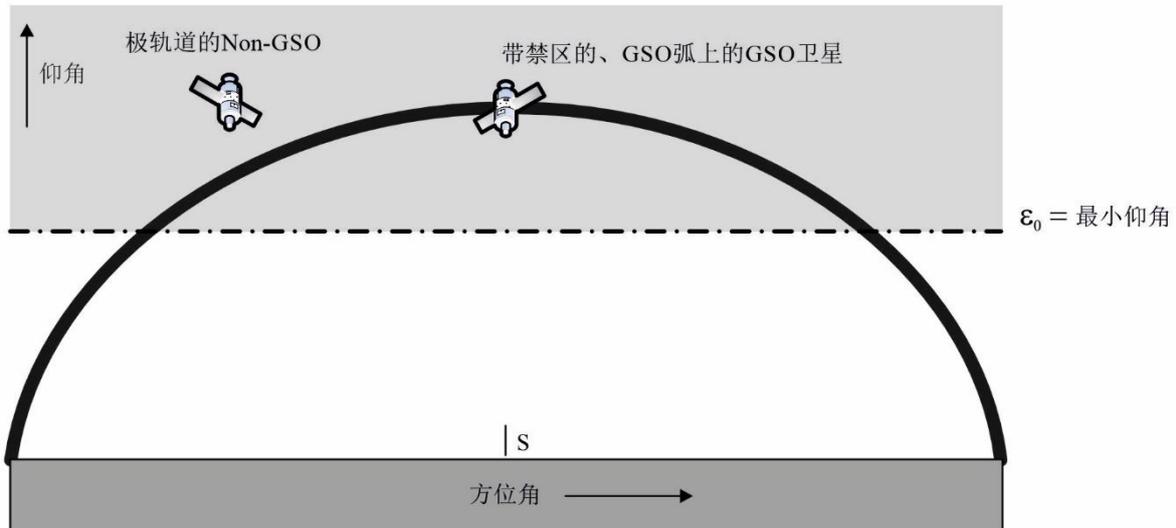


S.1503-21

这里的non-GSO卫星轨道再也不会与GSO轨道或禁区相交，但对于GSO卫星的方位角，non-GSO卫星不会处于活跃状态，因为它低于最小仰角。因此 ϕ_{min} 在最接近的方位角之间，对此，non-GSO卫星将在地平线以上。不过，这一点将被认为是对GSO卫星上另一个位置适用的点，其最小离轴角将更小，因此e.i.r.p.更大。因此建议，如果non-GSO卫星低于该方位角的最小仰角，则无需考虑之。

极轨道，低纬度

图22
极轨道，低纬度

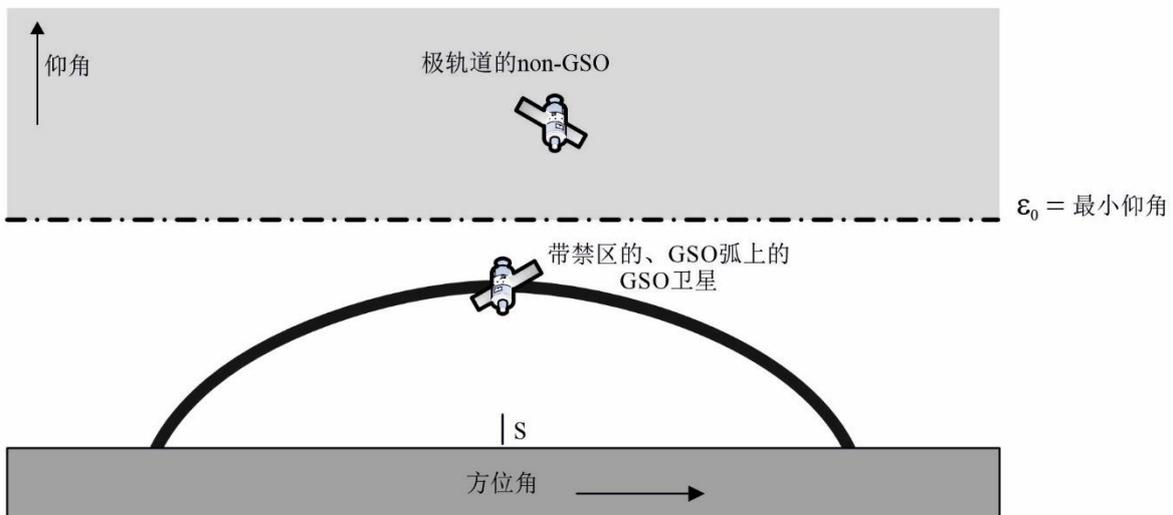


S.1503-22

在这种情况下，极轨道卫星可以位于non-GSO ES能看到的任何指向角(az, el)上，则限值情况为禁区的边缘，故 $\varphi_{min} = \alpha_0[lat]$ 。

极轨道，高纬度

图23
极轨道，高纬度

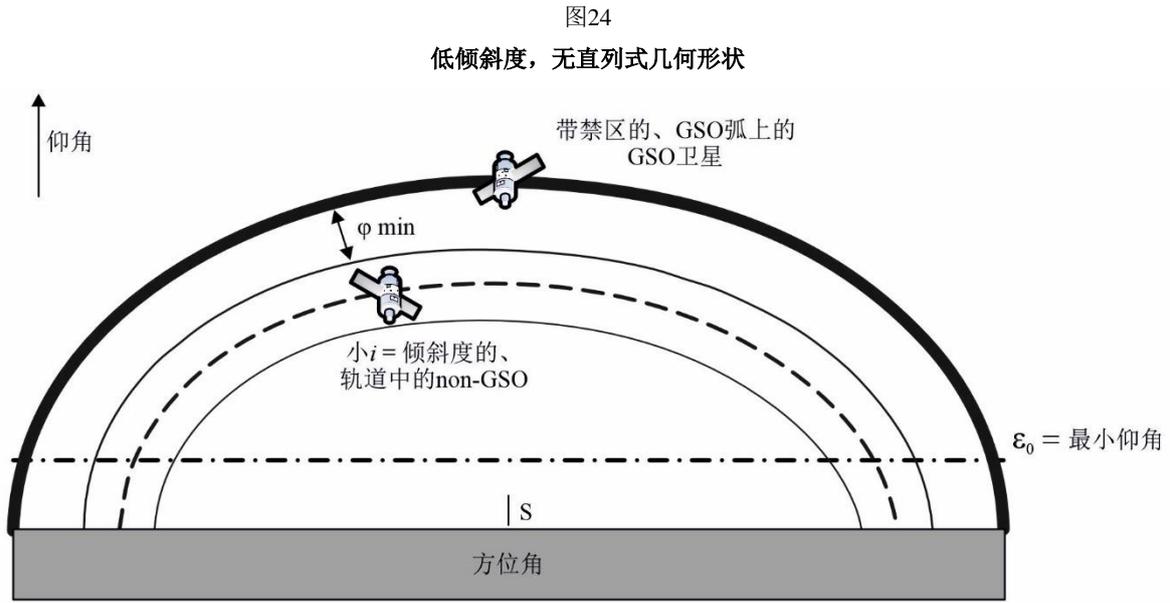


S.1503-23

在这种情况下，GSO弧总是低于最小仰角，因此最小离轴角 φ_{min} 为在感兴趣的方位角/纬度上最小仰角与GSO弧仰角之差。

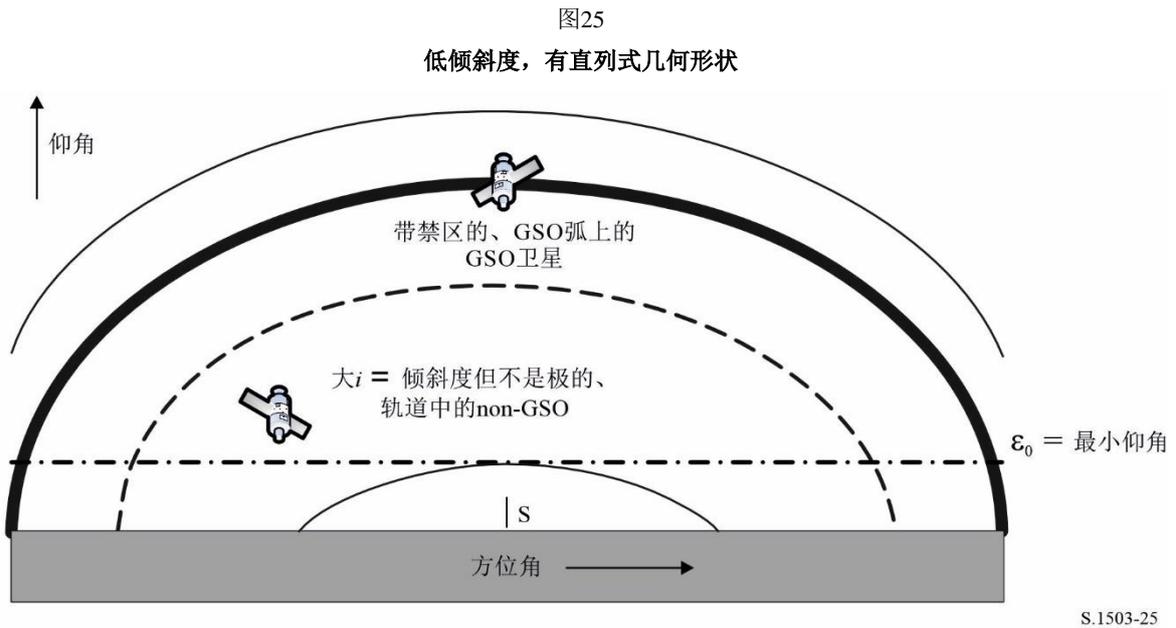
请注意，极端边缘情况下的前一种情形（极轨道，低纬度）也是这种情况，当中，non-GSO ES看到的GSO弧有一个低的仰角。

低倾斜度，无直列式几何形状



这个例子类似赤道的情况，它没有任何并列的几何形状，因此使用的 φ_{min} 角为可见区域边缘与GSO弧之间的角间隔或禁区角 $\alpha_0[lat]$ 二者中的较大者。

低倾斜度，有直列式几何形状



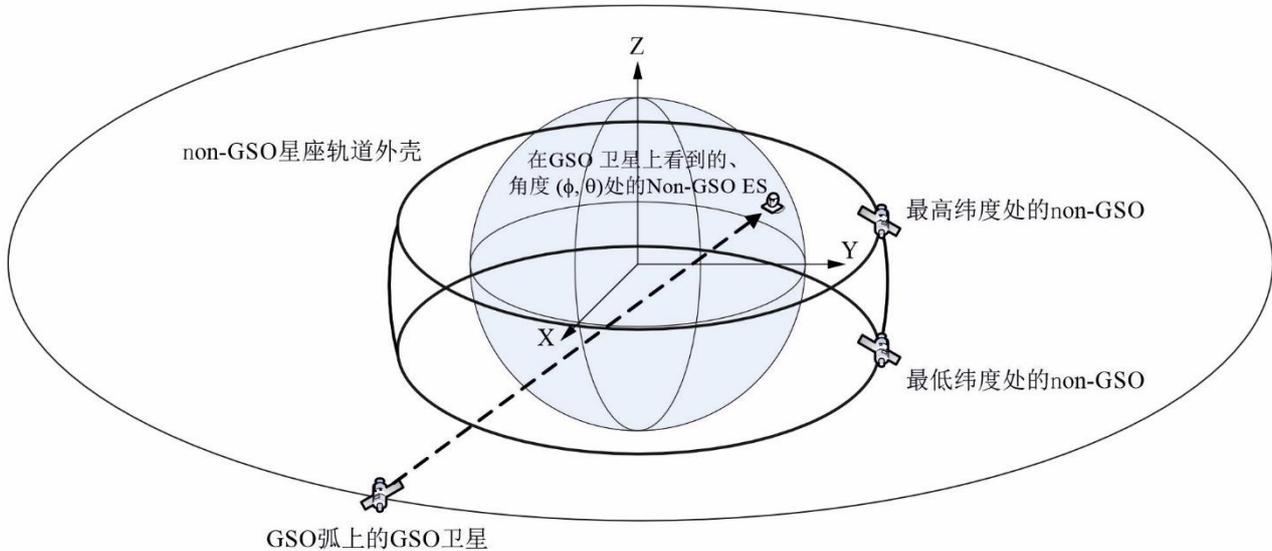
这是前一种情况的延伸，倾斜度增加至可见区域扩展到GSO弧的任一侧。而后最小离轴角为禁区大小，故 $\varphi_{min} = \alpha_0[lat]$ 。

一般情况

一般情况下的几何结构如图26所示。

图26

带有轨道外壳的一般情况



S.1503-26

一般方法遍历GSO卫星的视场，并确定相关的ES位置。

对于具有非重复轨道的non-GSO系统，GSO系统所有经度的结果将是相同的，因此可以使用GSO经度=0°。

对于具有重复轨道的non-GSO系统，应进行初始运行，并计算每个non-GSO卫星在重复周期内的平均经度，同时计算non-GSO卫星在平均经度1度之内的可能性。GSO卫星应位于non-GSO卫星的平均经度上，最有可能位于该卫星平均经度的1度以内。

然后给出：

- GSO卫星经度；
- non-GSO ES φ （纬度，经度）；
- non-GSO卫星的最大或最小纬度；
- 在最大/最小纬度时的non-GSO卫星的半径。

然后就可以迭代non-GSO卫星的经度，它使从ES看到的、到GSO卫星的角最小化。这是 α 角的逆，因此被称为 β 角。这可以利用迭代或第D6.4.4.4节中所述的解析方法来导出。将有两个位置，与最大纬度相关的 β_+ 以及与non-GSO系统最小纬度相关的 β_- 。

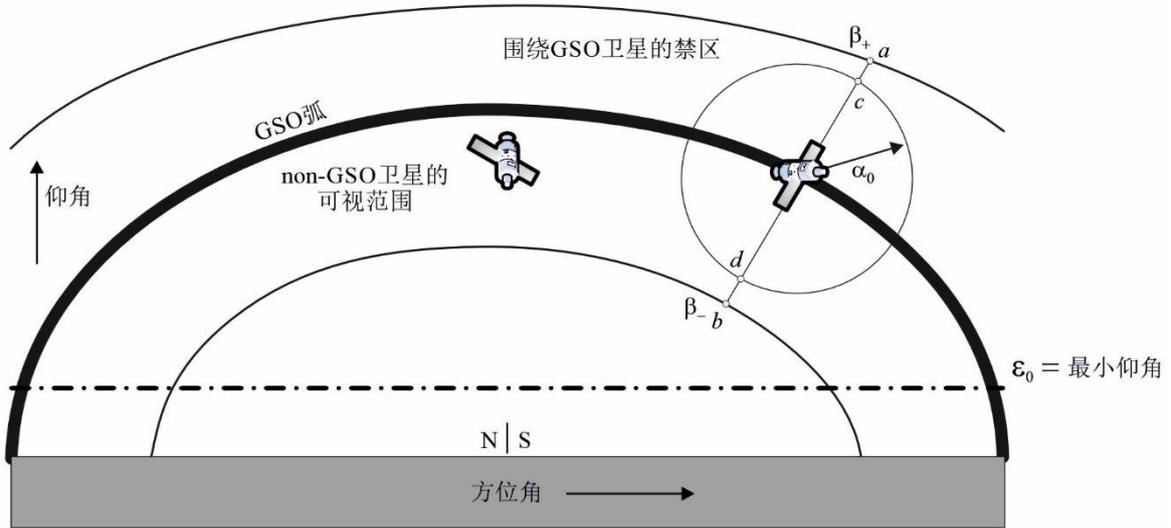
如图27、图28和图29所示，也可以从GSO卫星利用角 α_0 确定在 β_+ 和 β_- 点方向上的各点。这将产生点 $\{a, b, c, d\}$ ，而后可对其进行检查，以确定它们是否有效，尤其是：

- 它们离GSO卫星（弧）至少 α_0 ；
- 它们在ES能看到的、non-GSO卫星的 $[\beta_+, \beta_-]$ 范围内；
- 它们高于测试点的non-GSO ES纬度和方位角的最小non-GSO仰角。

如果它们是有效的，那么在指向non-GSO卫星时，它们可以被认为是non-GSO ES上朝向GSO卫星的最小离轴角的可能选项。

图27

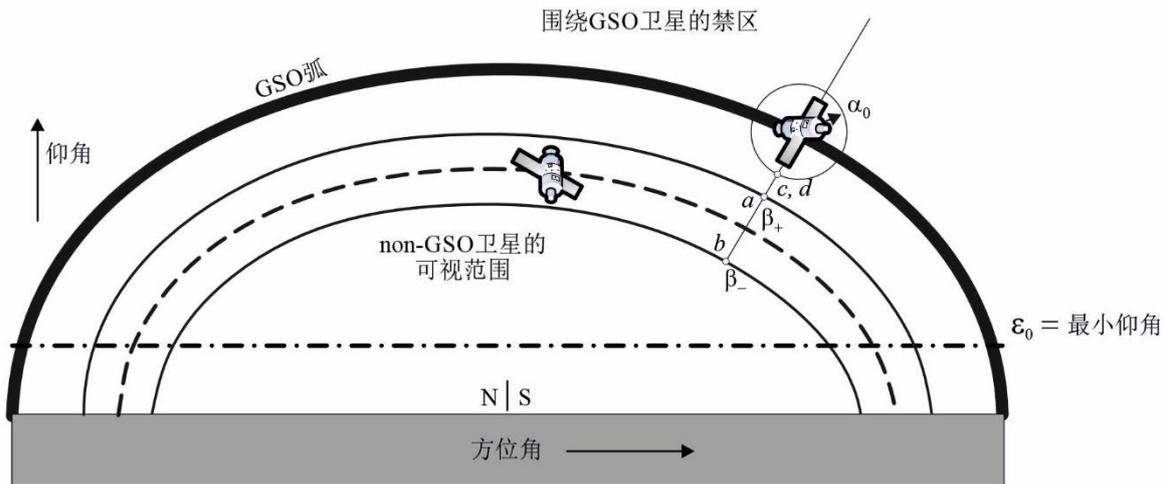
当 $[\beta_+, \beta_-]$ 括GSO弧时的WCG（上行）一般情况



S.1503-27

图28

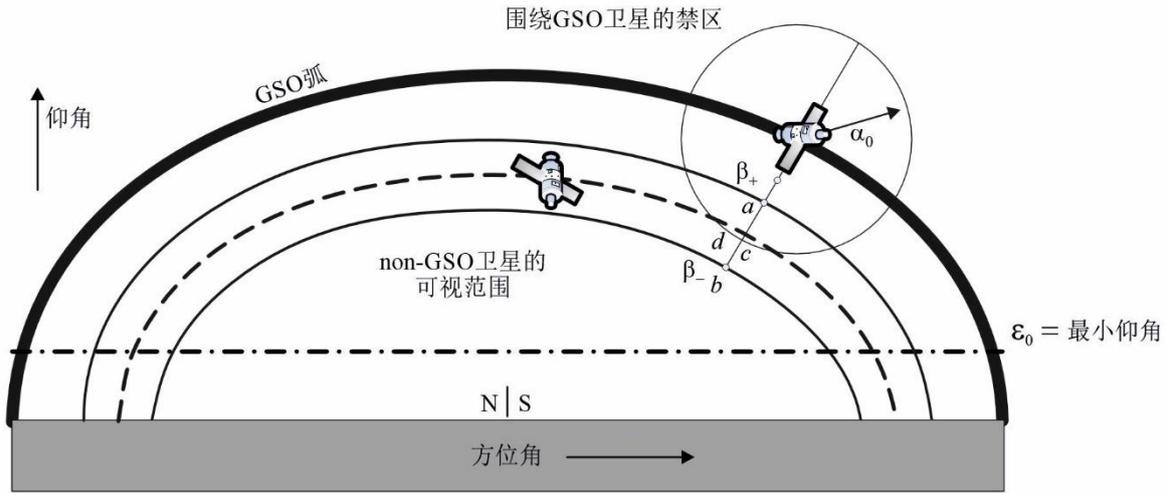
当 $[\beta_+, \beta_-]$ 不括GSO弧或者交叉最小 α 时的WCG（上行）一般情况



S.1503-28

图29

当 $[\beta_+, \beta_-]$ 不括GSO弧但交叉最小 α 时的WCG（上行）一般情况

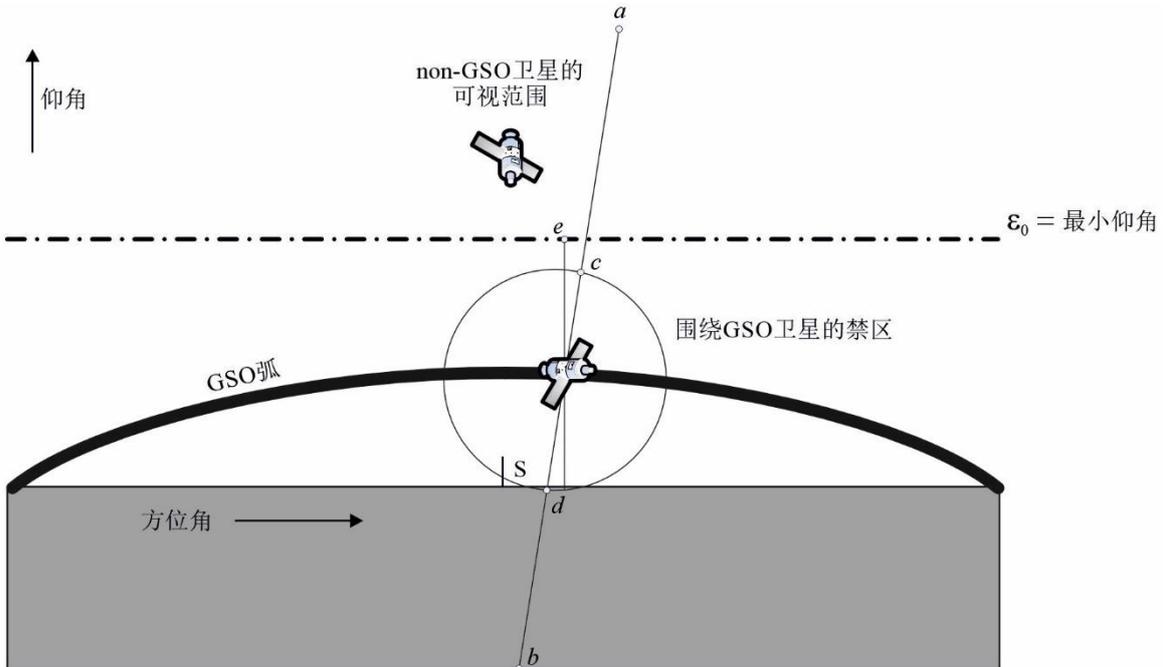


S.1503-29

如图30所示，当GSO弧低于最小仰角时，还有第五个测试点{e}来处理这种情况。

图30

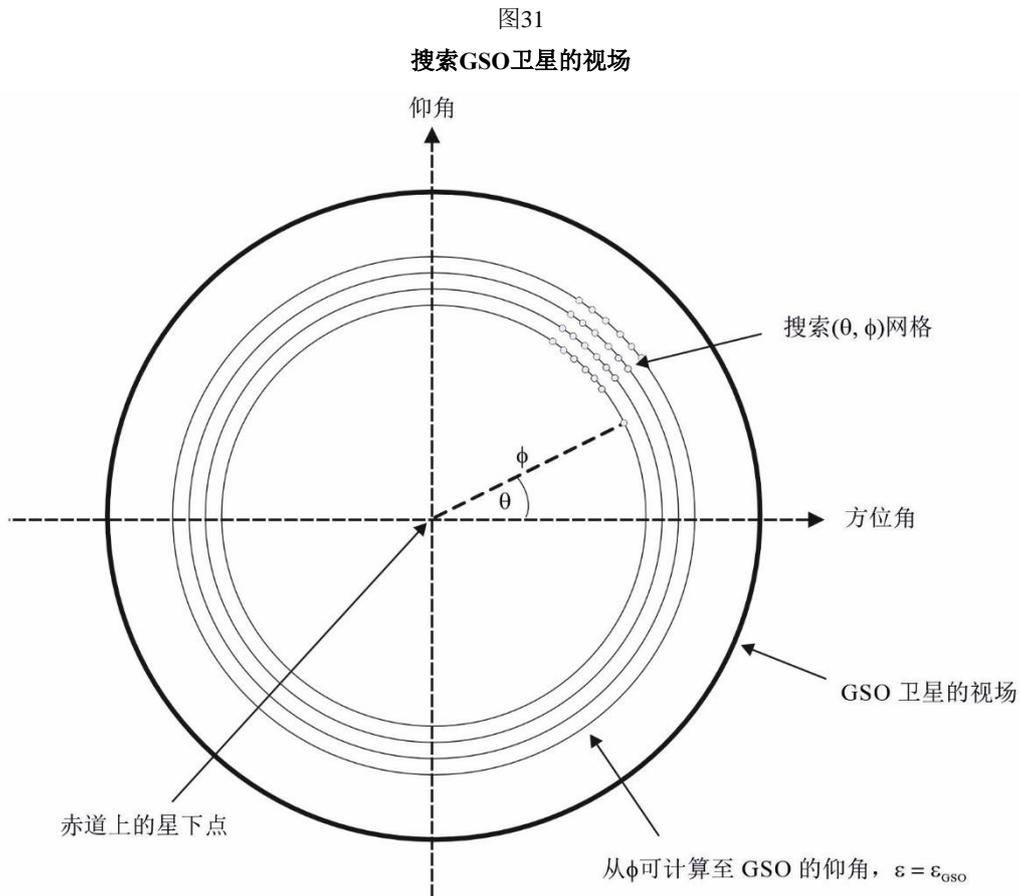
当 $[\beta_+, \beta_-]$ 括GSO弧但低于最小仰角时的WCG（上行）一般情况



S.1503-30

D3.2.3.3 WCG_Up_General

如图31所示，一般情况遍历“受害”GSO卫星的视场。



(θ, φ) 中进行搜索，如下所述：

WCGA_UP_General:

```

CheckCaseUpGeneral(0, 0)
NumberOfPhiSteps = Integer(Degrees( $\varphi_0$ ) / 0.1)
For PhiStep = 1 to NumberOfPhiSteps inclusive
   $\varphi = \varphi_0 * \text{PhiStep} / \text{NumberOfPhiSteps}$ 
  ThetaStepSizeDegrees = 0.1 *  $\varphi_0 / \varphi$ 
  NumberOfThetaSteps = max(16, Integer(360 / ThetaStepSizeDegrees))
  For ThetaStep = 0 to NumberOfThetaSteps-1 inclusive
     $\theta = \text{radians}(\text{ThetaStepSizeDegrees} * \text{ThetaStep})$ 
    CheckCaseUpGeneral( $\theta, \varphi$ )
  Next ThetaStep
Next PhiStep

```

CheckCaseUpGeneral(θ, φ):

```

Convert ( $\theta$ ,  $\varphi$ ) to ( $az$ ,  $el$ ) at a GSO satellite set at longitude = 0
Use ( $az$ ,  $el$ ) to create line from the GSO satellite
Calculate the intersection point of that line and the spherical Earth
Calculate the ( $lat$ ,  $long$ ) of the non-GSO ES at the intersection point
Check that the latitude is in the range of the non-GSO system i.e between
ES_LAT_MIN and ES_LAT_MAX
Check that the  $N_{co}(lat) > 0$ 
If the latitude is ok then
    If the non-GSO system uses a repeating orbit then
    {
        Call WCGA_UP_SpecificES_Repeating
        Return
    }
For this ( $lat$ ,  $long$ ) calculate the geocentric angle  $\chi$ 
For the GSO system's beamwidth, calculate the  $F_{672}(\chi)$ 
If the e.i.r.p. mask is defined by offaxis angle then
{
    Call CalcMinOffaxisAngle to calculate  $\varphi$  for this location
    If find a minimum offaxis angle then calculate the  $epfd(up)$  using:

$$epfd(up) = e.i.r.p.(lat, \varphi) + 10\log_{10}(NUM\_ES) + 10\log_{10}(N_{co}(lat)) + \left(\frac{D_{ES}}{100}\right)^2 F_{672}(\chi)$$

    If this is the highest  $epfd(up)$  then store this value and ( $\theta$ ,  $\varphi$ )
}
Else the ES e.i.r.p. mask is defined by ( $az$ ,  $el$ ,  $DeltaLongES$ ) then
{
    Call CalcES_e.i.r.p.(Non-GSO ES  $lat$ ,  $long$ ) to calculate
e.i.r.p.( $lat$ ) for this location
    Calculate the  $epfd(up)$  using:

$$epfd(up) = e.i.r.p.(lat) + 10\log_{10}(NUM\_ES) + 10\log_{10}(N_{co}(lat)) + \left(\frac{D_{ES}}{100}\right)^2 F_{672}(\chi)$$

    If this is the highest  $epfd(up)$  then store this value and ( $\theta$ ,  $\varphi$ )

Endif
Endif

```

请注意，第D3.2.3.6节给出了用于计算non-GSO系统最大纬度的方法。

```

CalcES_e.i.r.p.(non-GSO ES  $lat$ ,  $long$ )
    Calculate the  $DeltaLongES$ 
    Create a vector  $r_{ES}$  of the non-GSO ES
    Set  $Maxe.i.r.p. = -9999$ 
    Identify the ES_e.i.r.p. table for this non-GSO latitude
    Set  $StepSizeDeg = 0.5$ 
    Set  $NumAz = 1 + integer(360 \text{ degrees} / StepSizeDeg)$ 
    Set  $NumEl = 1 + integer(90 \text{ degrees} / StepSizeDeg)$ 

```

```

For all az_i = 0 to NumAz not inclusive
  Az = -180 + az_i * 360 / NumAz
  For all el_i = 0 to NumEl inclusive
    El = 0 + el_i * 90 / NumEl
    Create a vector r_azel in direction (az, el)
    Select the appropriate es e.i.r.p. (az, el) array
    If the (az, el) direction is outside the exclusion zone and above
the minimum elevation for this azimuth and there could be a satellite in this
direction then
      {
        Calculate the ES_e.i.r.p._az,el towards the GSO for this (az, el,
DeltaLong)
        If ES_e.i.r.p._az,el is greater than ES_e.i.r.p. then use this value
instead
      }
    Next el_i
  Next az_i

```

为了确定在给定(az, el)方向上是否可能存在来自位置 r_{ES} 的non-GSO ES的non-GSO卫星，可以使用以下算法，假设向量 r_{ES} 和 r_{azel} 在以地球为中心的坐标(x, y, z)中：

输入：

non-GSO ES位置矢量 = r_{ES}

方向矢量(az, el) = r_{azel}

non-GSO卫星轨道倾角 = i

non-GSO卫星半长轴 = a

non-GSO卫星偏心率 = e

如果non-GSO卫星偏心率=0（即圆形轨道）：

方向(az, el)可能有一颗卫星，如果

$$-i \leq \text{Latitude}(a) \leq +i$$

否则，如果non-GSO卫星偏心率>0（即椭圆轨道）：

方向(az, el)中可能有一颗卫星，如果两者都成立：

$$-i \leq \text{Latitude}(a(1+e)) \leq +i$$

$$-i \leq \text{Latitude}(a(1-e)) \leq +i$$

其中函数CalcLatitude(d)为：

使用参数 λ 从方向(az, el) non-GSO ES创建一条线：

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_{ES} + \lambda \mathbf{r}_{azel}$$

线距离地球中心为 d 时的 λ 值可通过解二次方程来计算：

$$r_{azel}^2 \lambda^2 + 2(\mathbf{r}_{ES} \cdot \mathbf{r}_{azel}) \lambda + r_{ES}^2 - d^2 = 0$$

须使用 $\lambda > 0$ 来计算位置向量 \mathbf{r} 的根。

由此可采用下式计算纬度：

$$\text{Latitude}(d) = \text{asin}(r.z / r)$$

CalcMinOffaxisAngle(non-GSO ES lat, long)

Calculate the $(az_{GSO}, \epsilon_{GSO})$ of the GSO satellite as seen by the non-GSO ES

Determine the radius $R_{n,+}$ of the non-GSO satellite when its $lat = +i$

Determine the radius $R_{n,-}$ of the non-GSO satellite when its $lat = -i$

If $R_{n,+}$ or $R_{n,-}$ are below the minimum operating height then determine the latitude of the non-GSO satellite when at this height and use this instead

For each of $\{R_{n,+}, R_{n,-}\}$ and $\{lat_+, lat_-\}$, calculate the $\{\beta_+, \beta_-\}$ angles and associated non-GSO satellite positions identified as (a, b) in Figs. 27-29

For each of the $\{\beta_+, \beta_-\}$ positions, use spherical geometry to derive points (c, d) which have angle at the ES of α_0 along the lines to point (a, b) respectively

For each of (a, b, c, d) points, calculate the (azimuth, elevation) as seen by the ES

Set the MinimumAngle to be +9999

For each of points (a, b, c, d) :

If point is within $\{\beta_+, \beta_-\}$ range and at least α_0 away from GSO satellite and above the $\epsilon_0(lat, azimuth)$ then

{

MinimumAngle = min(MinimumAngle, angle for this point)

}

Next point

If $\{\beta_+, \beta_-\}$ bracket the GSO arc and the elevation of the GSO satellite is less than the minimum elevation angle for the GSO satellite azimuth then

{

MinimumAngle = min(MinimumAngle, $\max(\alpha_0, \epsilon_0[Lat, Az_{GSO}] - \epsilon_{GSO})$)

}

Return MinimumAngle or if not found, an error code

D3.2.3.4 WCGA_UP_SpecificES_Repeating

如果有特定的ES位置和采用一个重复轨迹轨道的non-GSO卫星网络，则将有极为有限数量的可行的几何形状。因此，有可能让卫星飞行重复周期，然后对每个ES、每个non-GSO卫星计算这个 α 。如果 $\alpha \leq \alpha_0$ ，或仰角低于最小值，则该ES将不传送，对其他情况则可以推算出朝向那个位置的epfd。

不是所有的几何形状都可行。例如：

- 高于 81.29°N 或S的non-GSO ES将看不到GSO弧，因此可排除之；
- 由GSO系统的覆盖边缘（EOC）仰角确定的、non-GSO ES的经度之间将存在最大的经度差；
- 当其位于由 $\alpha < \alpha_0$ 定义的禁区内时，non-GSO ES不会传输给non-GSO卫星；
- 当其仰角低于最小值 $\epsilon < \epsilon_0[lat, az]$ 时，non-GSO ES不会传输给non-GSO卫星；
- non-GSO卫星低于最低工作高度 h_{min} ；
- 在该纬度上可ES的non-GSO卫星数量为零；
- 因此在下面的算法中对这些进行检查：

WCGA_UP_SpecificES_Repeating

```

Calculate time step according to algorithm in § D4.3
For t = 0 to repeat time of constellation
  Update positions of non-GSO satellites for this time step
  For each non-GSO ES
    If the non-GSO ES lat is <+81.29° && >-81.29° && Nco[Lat] > 0 then
      For each non-GSO satellite
        If satellite is visible and above minimum operating height
          Calculate the elevation angle  $\epsilon$  and azimuth
          Calculate the exclusion zone angle  $\alpha$ 
          If ( $\epsilon \geq \epsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$  and  $\alpha \geq \alpha_0[\text{lat}]$ ) then
            
$$EPFD(\text{up}) = EIRP(\alpha, \text{lat}) + 10\log_{10}(N_{co}(\text{lat}))$$

            If this is the worst epfd so far then store this
geometry
          Endif
        Endif
      Endif
    Next satellite
  Endif
Next ES
Next time step

```

D3.2.3.5 WCGA_UP_SpecificES_NonRepeating

对于非重复的情况，non-GSO卫星将占据轨道外壳，但只有一些在一般情况下考虑的几何形状是可行的，因为non-GSO ES只会处于特定的纬度上。因此，该方法搜索各个non-GSO ES看到的GSO弧，而后采取与一般情况类似的方法。

WCGA_UP_SpecificES_NonRepeating:

```

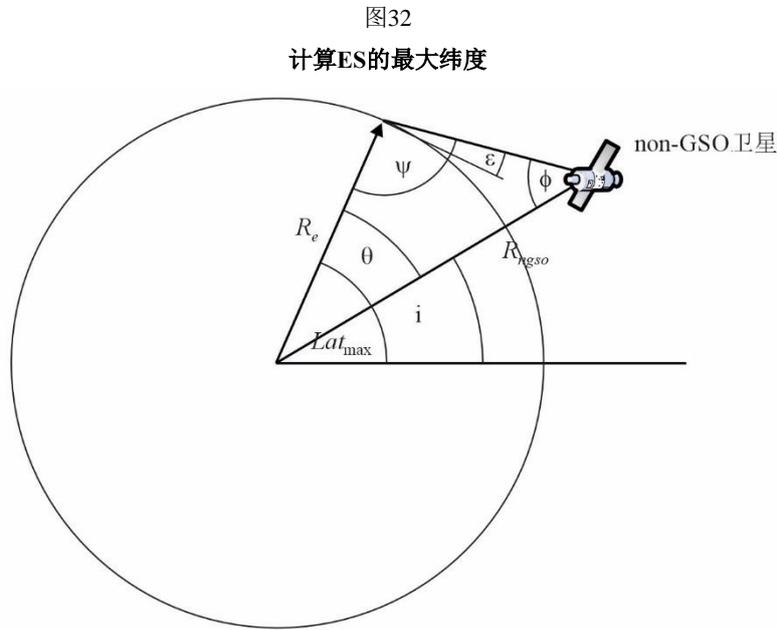
For each non-GSO ES
  If the non-GSO ES latitude is <+81.29° or >-81.29° then
    Calculate MaxDeltaLong = acos((Re/Rgeo)/cos(ES_lat))
    NumLongSteps = (integer)(degrees(MaxDeltaLong)/0.1°)
    For DeltaLongStep = -NumLongSteps to +NumLongSteps
      DeltaLong = MaxDeltaLong * DeltaLongStep / NumLongSteps
      GSO_Long = ES_Long + DeltaLong
      Calculate (az, el) of ES as seen by GSO satellite
      Convert (az, el) to ( $\theta$ ,  $\varphi$ )
      Call CheckCaseUpGeneral( $\theta$ ,  $\varphi$ )
    Next DeltaLongStep
  Endif
Next ES

```

D3.2.3.6 纬度的范围

当计算WCG（上行）以及epfd（上行）时，必须要确认ES可能处于的位置。在大多数类型A和B的系统具有全球覆盖的同时，类型C的non-GSO网络将被限值在纬度范围内。对具有多个子星座的系统，该范围可能在子星座之间有所不同。

可以从卫星的高度、其倾角和最小运行仰角推算出ES的纬度范围，如图32中所示。



S.1503-32

对椭圆系统，将有二个数值，一个用于远地点，而另一个用于近地点，并且因此输入将是：

轨道的半长轴（km）： a

轨道的偏心率： e

最小仰角（弧度）： ϵ

倾角（弧度）： i

从这些参数，可以进行以下的计算：

$$r_a = a(1 + e)$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} + \epsilon$$

$$\varphi_a = \sin^{-1} \left(\frac{R_e}{r_a} \sin \psi \right)$$

$$\theta_a = \pi - (\psi + \varphi_a)$$

则：

$$Lat_{max} = i + \theta_a$$

类似地，采用：

$$r_p = a(1 - e)$$

采用相同的公式，但是用下标(p)代替(a)，可以进行以下推算：

$$Lat_{min} = -i - \theta_p$$

这假设，对椭圆系统，远地点是在北半球，即，以下之一成立：

$$e = 0$$

$$\omega = 270^\circ$$

此处：

ω ： 近地点角距。

在以下情形中：

$$e > 0$$

$$\omega = 90^\circ$$

则应进行以下调整：

$$Lat_{max}' = -Lat_{min}$$

$$Lat_{min}' = -Lat_{max}$$

在轨道倾角为零及偏心率为零（即，对一个赤道圆形轨道）的情形下，则这些公式简化为：

$$Lat_{max} = \theta$$

$$Lat_{min} = -\theta$$

D3.3 WCG epfd_{IS}

D3.3.1 输入

对此算法的输入如下：

SS_e.i.r.p.: 要检验的卫星e.i.r.p.掩模

θ_{dB} : 该GSO卫星的波束半功率宽度

ε : 该GSO系统的最小仰角

$a, i, e, \Omega, \omega, \nu$: 该non-GSO系统的轨道参数。

对GSO卫星波束的半功率波束宽度和最小仰角，可以使用与第D3.2.2节中有关WCG epfd（上行）的相同方法来选择。

如果存在多个具有替代轨道元素的子星座，则应该为每个独特的 $\{a, e, i\}$ 集重复该处理过程。

D3.3.2 算法

WCGA_IS:

From the epfd limits get the gain pattern to use

From the epfd limits get the GSO beamwidth θ_{dB}

From θ_{dB} calculate φ_1, φ_2

Using the gain pattern calculate $G_{rel}(\varphi_i)$ for $i = 1, 2$

From φ_1 calculate LatBS

If for all satellites $i = 0$ then

{

```

Worst Case Geometry:
  BS.Latitude = 0
  BS.Longitude = LatBS
  GSO.Longitude = 0
}
Else
{
  Set WorstEPFDBin = -9999
  Set WorstAngularVelocity = +9999
  For all satellites in the order listed in ITU DB
  {
    Determine e.i.r.p. mask to use for this satellite
    If this e.i.r.p. mask has not been checked so far then
    Call GetWCGA_IS(e.i.r.p._mask, i)
  End if
Next satellite
}
If no solution has been found then
{
  Convert ( $\theta=i$ ,  $\varphi=\varphi_1$ ) to (az, el)
  Using (az, el), create line from the GSO satellite
  Put the ES at the first intersection point with the Earth
}
Rotate GSO, BS in longitude to ensure inline event

```

```

GetWCGA_IS(e.i.r.p._Mask, i):
LatStep = i / RoundUp(i) in degrees
For lat=-i to +i in LatStep steps
{
  Set satellite at latitude to calculate  $\underline{r}$ ,  $\underline{v}$ 
  If satellite is above minimum operating height
  {
    From  $r$ ,  $\varphi_i$  calculate  $\psi_i$ 
    From  $\varphi_i$ ,  $\psi_i$  calculate  $D_i$ ,  $\theta_i$ 
    Try to calculate  $\Delta long_i$ 
    In the cases that the geometries are feasible
    {
      From the GSO gain pattern calculate  $G_{rel}(\varphi_i)$ 
      From the e.i.r.p. mask calculate e.i.r.p. $(\psi_i)$ 
      Calculate  $epfd_i$ 
      Calculate  $\underline{r}_{gso}$ ,  $\underline{v}_{gso}$ 
      Calculate  $\theta$  of non-GSO satellite as seen by GSO
      If  $epfd_i$  is higher than Worstepfd
      {
        Store this geometry
        WorstAngularVelocity =  $\theta$ 
        Worstepfd =  $epfd_i$ 
      }
    Else if  $epfd_i$  is the same bin as Worstepfd
    {
      If  $\theta$  is lower than WorstAngularVelocity
      {
        Store this geometry
      }
    }
  }
}

```

```

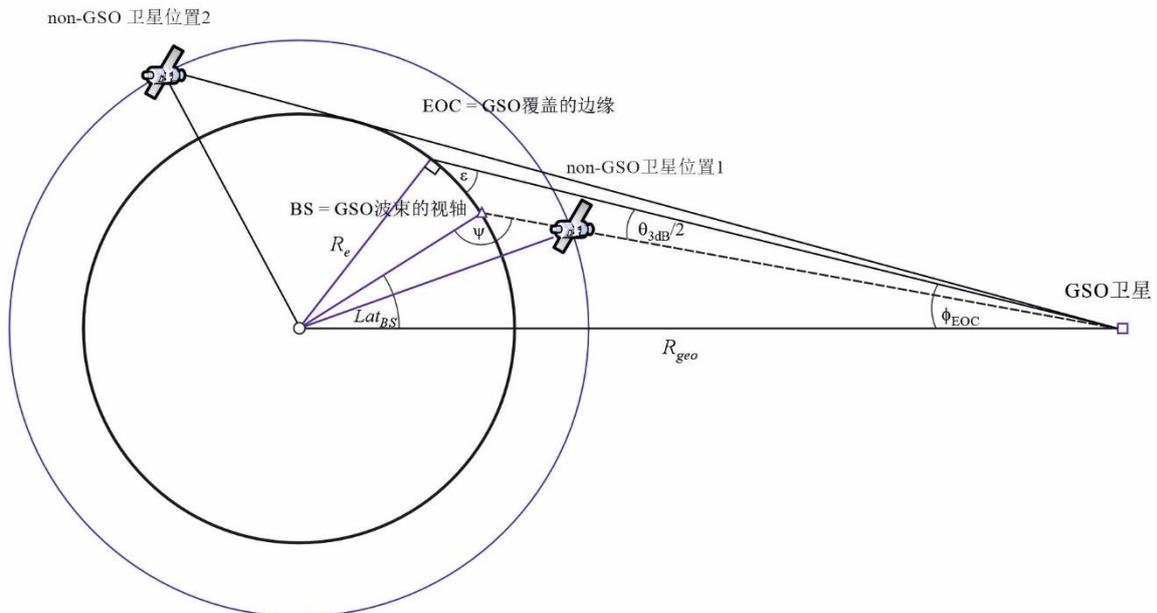
        WorstAngularVelocity =  $\theta$ 
    }
}
}
}
}
}

```

D3.3.3 几何形状

有二种具有潜在重要性的几何形状，它们就是当该non-GSO卫星刚刚变得可由GSO卫星看到时和当它横穿该GSO卫星波束时，如图33所示：

图33
二个WCG(IS) non-GSO卫星的位置

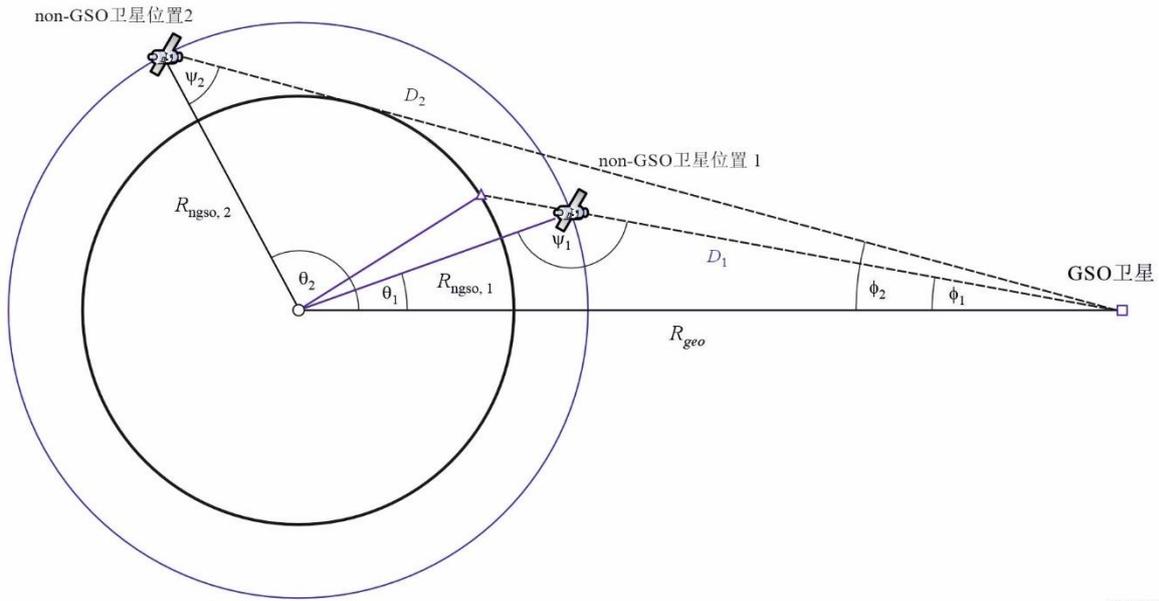


S.1503-33

在一些情况中，相同的WCG位置将处理这二种几何形状 – 例如，对一个赤道卫星系统，在方位极值处的一个波束将为这二种几何形状对齐。

从这些位置每一处的non-GSO卫星的半径，有可能计算出在该卫星处的离轴角，以及因此计算出e.i.r.p.(θ)和距离，如图34所示：

图34
卫星离轴角的二个WCG(IS)计算



S.1503-34

其中:

$$\varphi_1 = \varphi_{BS} \text{ (根据以上)}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{R_e}{R_{gso}}$$

因此:

$$\sin \psi_i = \frac{R_{geo}}{R_{ngso,i}} \sin \varphi_i$$

其中, $i = \{1, 2\}$, 要注意 $\psi_1 > \frac{\pi}{2}$ 和 $\psi_2 < \frac{\pi}{2}$, 因此:

$$\psi_1 = \pi - \sin^{-1} \left[\frac{R_{geo}}{R_{ngso,1}} \sin \varphi_1 \right]$$

$$\psi_2 = \sin^{-1} \left[\frac{R_{geo}}{R_{ngso,2}} \sin \varphi_2 \right]$$

则:

$$\theta_i = \pi - \varphi_i - \psi_i$$

$$D_i = R_{ngso,i} \frac{\sin \theta_i}{\sin \varphi_i}$$

因此, 给出在二个指定几何形状具有半径距离 $R_{ngso,i}$ 的一颗 non-GSO 卫星, 可以计算这二个单一入射 epfd 水平如下:

$$epfd_i = e.i.r.p.(\psi_i) + G_{rel,i} - 10 \log_{10}(4\pi D_i^2)$$

请注意, $G_{rel,1} = 0$ 和 $G_{rel,2} = G_{rel}(\varphi_2 - \varphi_1)$ 和 D , 以米为单位。

通过将该 non-GSO 卫星设定在一个指定的纬度, lat , (此处它有经度, $long$), 因此有可能从以上所确定的半径向量和二个几何形状推算出单一入射 epfd。

在一些情况下，将没有在一条直线上的几何形状 – 例如对在远地点的椭圆系统，从non-GSO卫星到GSO弧线的直线将与地球没有交点。这可以通过采用下式从以上几何形状及non-GSO卫星的纬度计算该non-GSO卫星与GSO弧线上的点之间的经度差来检验：

$$\cos \Delta long_i = \frac{\cos \theta_i}{\cos lat_i}$$

如果对此方程没有解，则没有满足所要求几何形状的位置。如果该non-GSO卫星位于最低运行高度之下，其他位置可以被排除。

如果有解决方案，那么non-GSO和GSO卫星的位置可以从以下公式计算得到：

$$\begin{aligned} \underline{r}_{ngso} &= R_{ngso} \begin{pmatrix} \cos(lat)\cos(long) \\ \cos(lat)\sin(long) \\ \sin(lat) \end{pmatrix} \\ \underline{r}_{gso} &= R_{gso} \begin{pmatrix} \cos(long - \Delta long) \\ \sin(long - \Delta long) \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

对于*i* = 1的情况，视轴是从GSO到non-GSO卫星的线 \underline{L} 与地球表面相交的地方。

$$\underline{L}_1(\lambda) = \underline{r}_{gso} + \lambda(\underline{r}_{ngso} - \underline{r}_{gso})$$

对于*i*=2的情况，视轴位于使用调整后的non-GSO卫星位置所创建的线上，计算公式如下：

$$R'_{ngso,2} = R_{geo} \frac{\sin \varphi}{\sin \psi'_2}$$

其中：

$$\psi'_2 = \pi - \varphi_1 - \theta_2$$

假如有多个位置具有相同的单一入射epfd，则要采用将是具有最低角速度的那一个，采用与WCGA（下行）相同的方法，要注意，可以采用与用于对地球站相同的方法推算出该GSO卫星的速度向量，即，

$$\underline{v}_{gso} = w_e \begin{pmatrix} -y \\ x \\ 0 \end{pmatrix}$$

将采用与WCGA（上行）相同的方法选择该GSO卫星的位置，以使具有所确定e.i.r.p.掩模的non-GSO卫星之一在其第一绕轨期间穿越关键几何形状。

epfd(IS)的WCG的附加几何形状在以上D3.1.3和D3.2.3中描述。

D4 计算时间步长和时间步数

D4.1 仿真时间增量和精度

在仿真模型基础上，仿真时间增量是确定来自non-GSO网络干扰的分布函数的最重要参数之一。规定的仿真时间增量值应确保考虑到高电平、短时间干扰超过某个可接受电平的情况。否则，仿真分析结果将是不精确的甚至是错误的。减小仿真时间增量能增加仿真结果的精度，但同时会增加总的仿真时间增量数量以及所需计算量。

上行链路和下行链路仿真时间增量的计算算法将在下面描述。

这些算法基于一组轨道特征，例如倾斜角度。如果有多组，例如对于多个子星座，则应该使用所有子星座中最长的运行时间和最小的时间步长。

当使用人工进动时，对non-GSO系统的所有卫星应使用相同的值。所用的值应该是为卫星计算的值，用于导出时间步长大小和运行持续时间。

为了减少运行时间，当时间步数超过 $1e8$ 时，在对非重复轨道情况下，应使用以下步骤来调整时间步长：

```
Calculate time step and run time using  $N_{hit} = 16$ 
If orbit is non-repeating
  If number of time steps exceeds  $1e8$  then:
    
$$N'_{hit} = \frac{N_{hit}}{\min(N_{course}, \sqrt{N_{satellites}})}$$

    Re-calculate time step and run time
    
$$N'_{course} = \text{floor}\left(\frac{N'_{hit}}{N_{hit}} N_{course}\right)$$

    
$$TS'_{course} = TS' \cdot N'_{course}$$

  Endif
Endif
```

D4.2 确定最小下行链路仿真时间增量的步骤的描述

仿真时间增量值应确保能以要求的精度获得并描述最短时间的干扰场景。高电平、短时间的干扰是由同轴情况下non-GSO地球站的发射引起的（同轴情况是指non-GSO卫星通过GSO地球站天线的主波束）。因此，确定仿真时间增量 Δt_{ref} 的一个方法是在时间间隔 Δt 内取得epfd↓估计所需的点数 N_{hit} ， Δt 是non-GSO卫星通过GSO地球站天线主波束的时间间隔，计算公式如下：

$$\Delta t_{ref} = \frac{\Delta t}{N_{hit}} \quad (1)$$

Δt_{ref} 应舍入到最接近的非零毫秒。

non-GSO卫星通过GSO地球站天线主波束所需时间取决于GSO网络上地球站和空间电台的相互位置以及non-GSO网络的轨道参数。确定确切的 Δt 值通常是困难的。 Δt 的值应在non-GSO卫星通过GSO主波束所需时间最小的区域内计算。因为在这种情况下，GSO地球站直接位于GSO空间电台之下，通过时间 Δt 可由公式(2)和公式(3)计算得到：（见图35）

$$\Delta t = \frac{2\varphi}{\omega} \quad (2)$$

其中：

$$\varphi = \frac{1}{2}\theta_{3dB} - \arcsin\left[\frac{R_e}{R_e+h} \sin\left(\frac{1}{2}\theta_{3dB}\right)\right]$$

$$\omega = \sqrt{(\omega_s \cos(i) - \omega_e)^2 + (\omega_s \sin(i))^2} \quad (3)$$

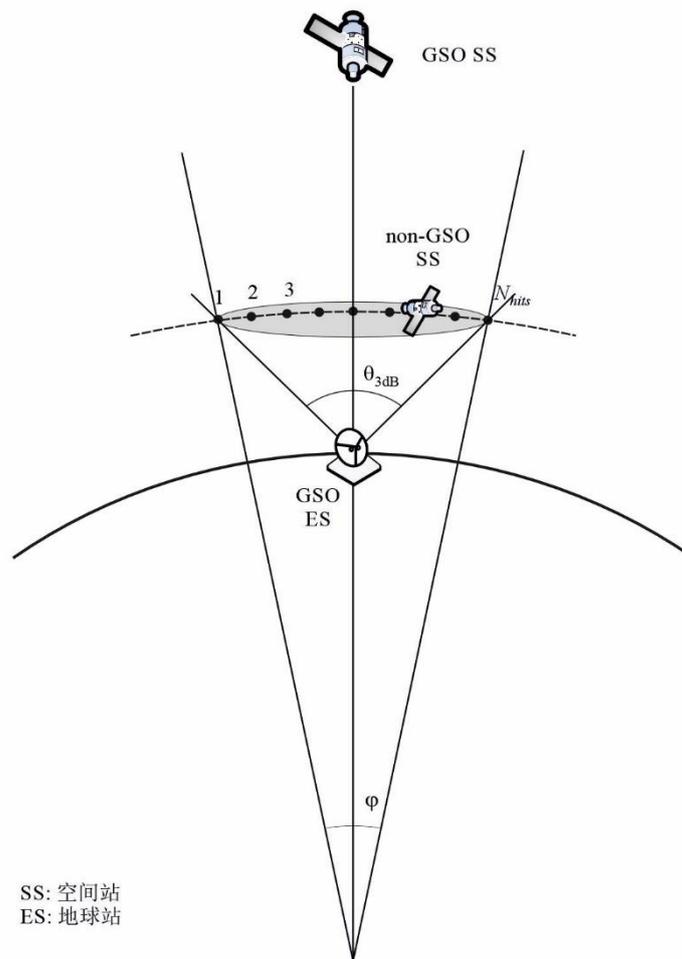
$$\omega_s = \frac{0.071}{[(R_e + h)/R_e]^{1.5}}$$

- ω_s : non-GSO卫星处于最小运行高度时绕地球旋转的角速度（度/秒）；在有多
 多个轨道的情况下，应选取最大的 ω_s ；
- ω_e : 赤道处地球的自转角速度（度/秒）；
- i : 轨道倾角（度）；
- θ_{3dB} : GSO地球站天线3 dB波束宽度（度）；
- R_e : 地球半径（km）；
- h : 轨道高度（km）（见注1）。

注1 – 当星座的不同子星座或平面有多个轨道高度值 h 时，选用最小的 h 值。当轨道是椭圆轨道时，轨道高度为最小运行高度。

图35

计算epfd（下行）时间步长



N_{hit} 值定义了仿真精度， N_{hit} 越大，最终仿真结果的精度越高。

应如在D4.5节中所推导的将 N_{hit} 设置为16。在一个non-GSO卫星星座包含具有不同轨道参数的卫星的情况下，有必要对所涉及轨道的每一个类型确定一个模拟时间增量并定义一个最小值。

表11
输入数据

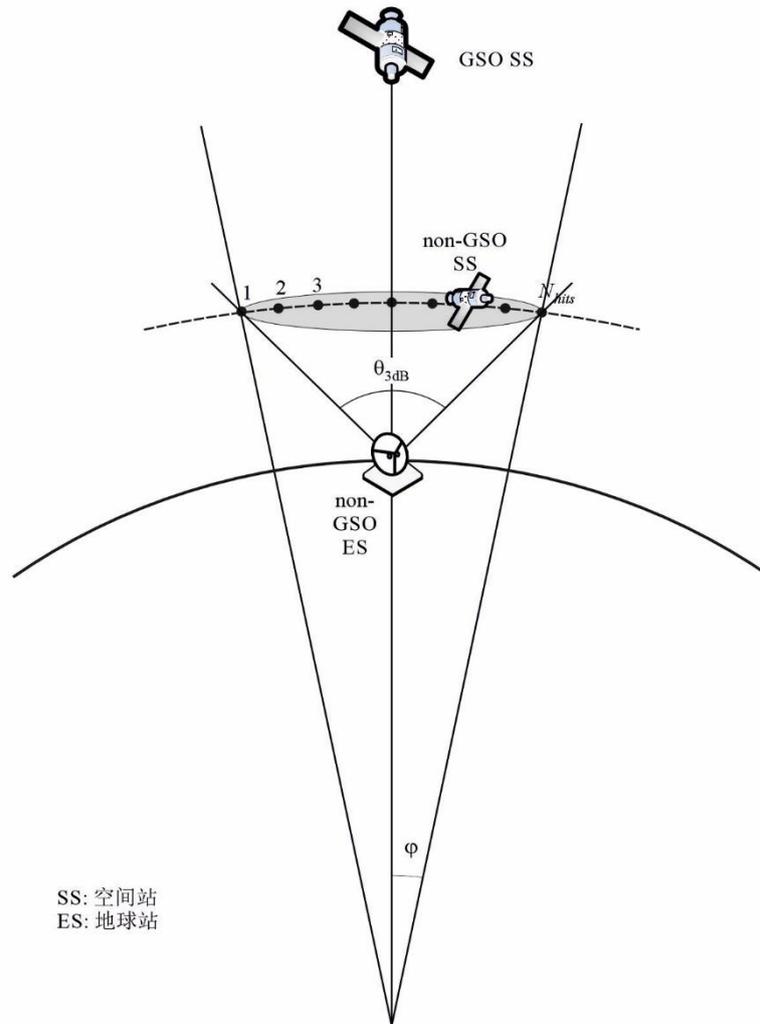
参数	名称	单位
轨道倾角	i	度
轨道高度或椭圆轨道的最小运行高度	h	km
GSO 地球站天线 3 dB 波束宽度	θ_{3dB}	度
在一颗 non-GSO 卫星通过一个 GSO 地球站天线主波束期间需要计算的 $epfd_{\downarrow}$ 数目	N_{hit}	—

D4.3 确定最小上行链路仿真时间增量的步骤的描述

高电平、短时间的上行链路干扰是由同轴情况下non-GSO地球站的发射引起的（同轴情况是指GSO卫星站位于non-GSO地球站天线的主波束内）。 $epfd_{\uparrow}$ 测量所需的数目 N_{hit} 应在GSO卫星停留在non-GSO地球站天线主波束期间受到影响，以确保获得并描述同轴情况。如果non-GSO地球站直接位于GSO卫星之下（见图36），那么最小仿真时间增量的值可以通过公式(1)和公式(2)计算得到。在这种情况下，应采用non-GSO地球站天线主波束宽度而不是GSO地球站天线主波束宽度。

图36

计算epfd（上行）时间步长



S.1503-36

表12

输入数据

参数	名称	单位
轨道倾角	i	度
轨道高度	h	km
non-GSO地球站天线3 dB波束宽度	θ_{3dB}	度
在一颗GSO卫星通过一个non-GSO地球站天线主波束期间需要计算的epfd数目	N_{hit}	-

D4.4 确定最小卫星间仿真时间增量的步骤的描述

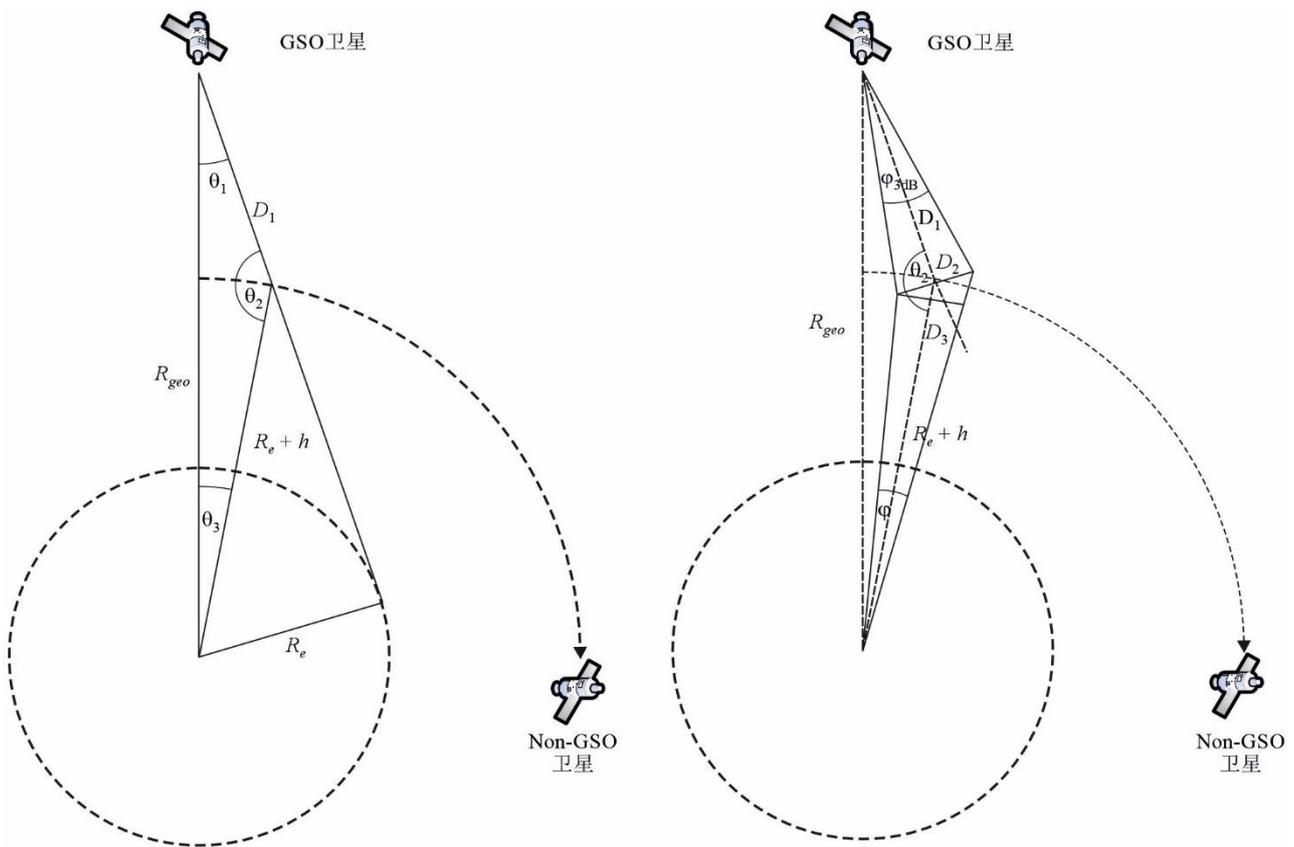
在求取用于epfd_{is}计算的时间步长大小时，需要考虑到：在non-GSO卫星位于GSO卫星主波束内的期间，应该至少有 N_{hit} 个时间步数。如果当GSO波束离卫星星下点尽可能远时的时间步长最小，并设以下内容：

- R_e : 地球半径
- h : non-GSO轨道高度
- R_{geo} : 对地静止轨道半径
- θ_{3dB} : 半功率GSO波束宽度。

对椭圆轨道系统，计算non-GSO卫星穿越赤道时的高度，即当 $v = -\omega$ 或 $+\omega$ 时，使得 $(v+\omega) = 0$ 或 π 的整数倍。另外，有必要考虑最低运行高度，以便使用的高度是{最小运行高度，穿越赤道时的高度}的最大值。

则时间步长可采用下列算法进行计算（见图37）：

图37
在这些公式中所涉及的几何参数



S.1503-37

计算：

$$\theta_1 = \arcsin\left(\frac{R_e}{R_{geo}}\right)$$

$$\theta_2 = 180 - \arcsin\left(\sin(\theta_1) \frac{R_{geo}}{R_e + h}\right)$$

$$\theta_3 = 180 - (\theta_1 + \theta_2)$$

$$D_1 = (R_e + h) \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_1}$$

$$D_2 = 2D_1 \sin\left(\frac{\theta_{3dB}}{2}\right)$$

$$D_3 = D_2 \cos(180 - \theta_2)$$

然后计算数值:

$$\varphi = 2 \arctan \left[\frac{D_3/2}{(R_e+h) - (D_2/2) \sin(180 - \theta_2)} \right] \quad (4)$$

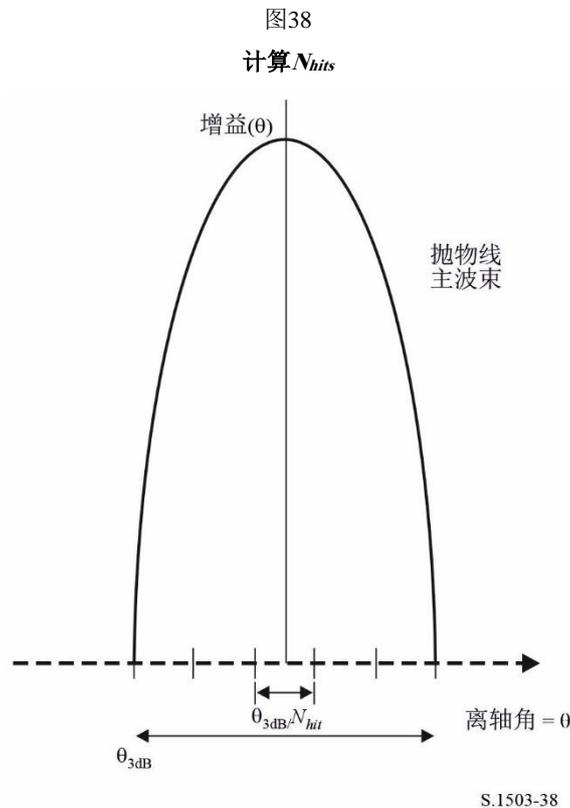
它可以被用在公式(2)中来计算要使用的步长。

D4.5 推算 N_{hit}

选择时间步长来保证在受害的主要波束中有足够的epfd分辨率。必要的分辨率是通过0.1 dB的bin大小推算的, 并且从这个分辨率可以推算出主波束中的步数。

应该选择 N_{hit} , 以使最高epfd将在模拟中被检测出来, 并且确认将是在正确的bin中。这意味着在 $(0.1 \text{ dB})/2 = 0.05 \text{ dB}$ 计算中的一个分辨率。

当二个时间步进位于主波束两侧上相同间隔时将发生最大的误差, 如图38所示:



取样之间的间隔将是:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{3dB}}{N_{hit}}$$

可以假设在主波束中的增益方向图是抛物线形并因此得到如下：

$$G_{rel} = 12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

在此曲线上的斜度是：

$$\frac{\Delta G_{rel}}{\Delta \theta} = \frac{24}{\theta_{3dB}^2} \theta$$

因此，可推算出0.05 dB差所需的 N_{hit} 如下：

$$\Delta G_{rel} = 0.05 = 24 \cdot \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \cdot \frac{\Delta \theta}{\theta_{3dB}} = 24 \cdot \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \cdot \frac{1}{N_{hit}}$$

因此：

$$N_{hit} = 480 \cdot \frac{\theta}{\theta_{3dB}}$$

因此，当如下时有距离主波束最近的时间步进：

$$\theta = \frac{1}{2} \frac{\theta_{3dB}}{N_{hit}}$$

则：

$$N_{hit} = \text{RoundUp}[\sqrt{240}] = 16$$

这种方法也被用于交叉跟踪取样，并因此 $N_{track} = N_{hit} = 16$ 。

D4.6 总的模拟运行时间

本节描述了对在D5节中所指定的epfd↓和epfd↑算法的时间步数的计算。基本方法首先分别考虑了具有重复和非重复地面轨迹的星座，其中，采用重复地面轨迹的系统采用位置保持来保证该卫星沿着单独一个地球轨迹。例如，除非日常使用位置保持来保证轨迹重复，否则会有将使轨道漂移的轻微的发射误差及扰动。如果操作上没有使用位置保持来保证轨迹循环的话，微小的发射误差以及扰动将使轨道漂移。因此，主管部门必须向无线电通信局指明它们是否采用了位置保持来维持单一的轨迹。

一些星座的轨道平面间具有不同的倾角、高度或偏心率。在这种情况下，假设：为了保持覆盖范围，需要设计星座，以使平面间的分隔不会变化太大。对循环地面轨迹而言，这意味着星座存在一个单一的循环周期，该周期是星座中所有卫星在位置保持约束下，返回相对地面和各卫星而言为相同位置的时间。对非循环地面轨迹而言，这意味着对所有轨道平面围绕赤道运动存在一个单一的周期。

该方法将用在具有圆轨道的星座和椭圆轨道的星座中。这种方法是要被用于具有非零轨道倾角的圆形和椭圆轨道的星座。对其中所有卫星具有相同纬度的赤道轨道星座，则对单独一个重复周期进行操作是足够的。这可以计算如下：

$$T_{run} = \frac{2\pi}{w_s - w_e}$$

$$N_{steps} = \text{RoundDown} \frac{T_{run}}{T_{step}}$$

此处， w_s 和 w_e 是如D2中所给出的该卫星和地球的旋转角速度。

表13显示了用在所有其他星座类型中的输入参数。

表13
输入数据

参数	名称	单位
星座循环/非循环	类型	—
获得统计显著特征的最小采样数	$N_s = 10$	—

在两种情况下，时间步长都可以利用上述方法进行计算。时间步数至少应为：

$$N_{min} = N_s \times 100 / (100 - (\text{在无线电规则第22条表中的小于100\%的最大\%}))$$

例如，当最大百分比为99.999%时，时间步数将为：

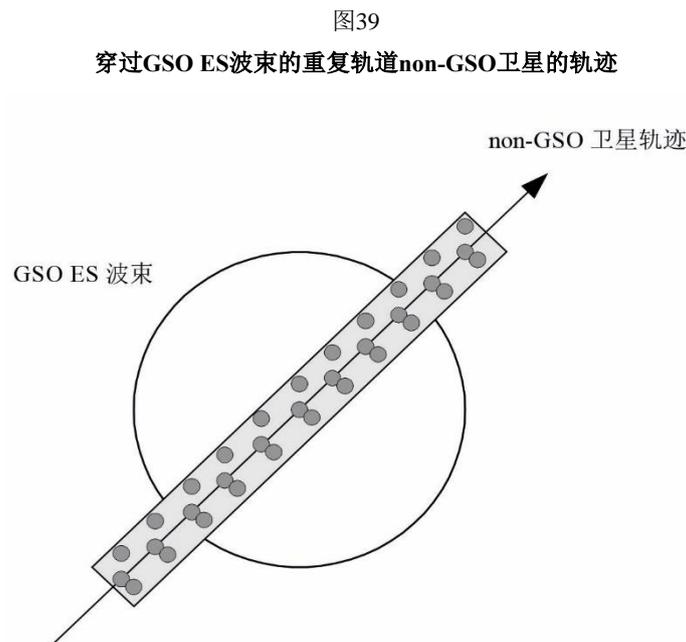
$$N_{min} = 1000000$$

D4.6.1 循环轨道

对那些指定为循环的轨道，轨道预报器必须精确，以确保其循环性。因此，主管部门可以使用一个可选项来指定相对某个点的轨道预报器的确切经度旋进率，从而确保轨道的循环性。该参数的定义与使用见D6.3部分。

利用该参数能得到一个循环的仿真轨道，但实际上，由于经度位置保持的误差，轨道将存在微小漂移。这种效果可通过机理建模表示，如在D部分中讨论的轨道随机采样或线性漂移。

该结果应如在图 39 中所显示：



S.1503-39

在图39中，可以看到，该结果将是在GSO地球站主波束中的一系列精细到足以解析主波束的取样，包括了位置保持漂移并产生足够的取样来生成所需要的统计。

表14
输入数据

参数	名称	单位
星座循环周期	重复	秒

假定下列参数：

- N_{min} : 获得统计显著特性所需的最少时间步数
- P_{repeat} : 星座循环周期（秒）
- T_{step} : 时间步长（秒）
- N_{tracks} : 主波束内的轨迹数，= 16、如在D4.5所确定。

对这种情况，时间步长不应被星座循环周期整除。如果：

$$N_{repsteps} = P_{repeat}/T_{step}$$

是一个整数，那么按照下式计算修正的时间步长（用在下面的公式中，用于替代 T_{step} ）：

$$T'_{step} = T_{step}(1 + N_{repsteps})/N_{repsteps}$$

计算时间周期是为了获得统计特性显著的最小时间步数：

$$T_{sig} = N_{min} \cdot T_{step}$$

这对应下列星座循环数：

$$N_{rep} = \text{round}(T_{sig}/P_{repeat}), \text{ 四舍五入, 取比它大的最小整数。}$$

星座循环数是 N_{rep} 或 N_{tracks} 的最大值，即：

$$N_{run} = \max(N_{rep}, N_{tracks})$$

则总的运行时间为：

$$T_{run} = N_{run} \cdot P_{repeat}$$

则时间步数为：

$$N_{steps} = \text{round}(T_{run}/T_{step}), \text{ 四舍五入, 取比它小的最大整数}$$

$$T_{run} = N_{steps} \cdot T_{step}$$

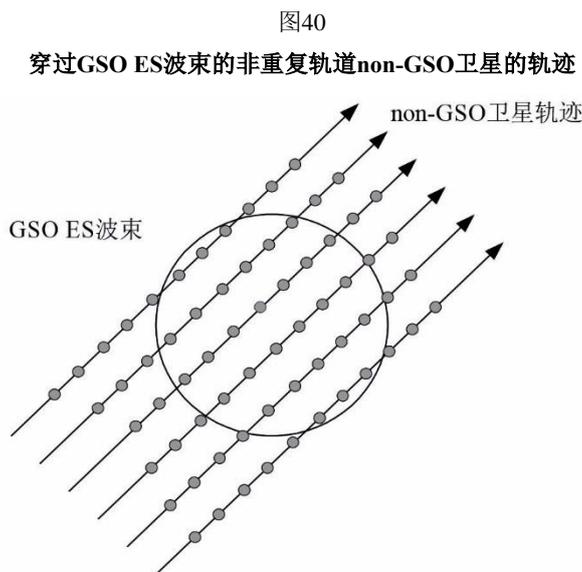
D4.6.2 非循环轨道

在这种情况下，必须检查连续经过升交点之间的经度间隔，以确保在主波束范围内有足够的轨迹。时间步长大小和时间步数可用来确定在运行过程中一个特定的轨道将行进多远的距离。这些数量也可用来确定需要经历多少时间步数后轨道才能绕着赤道漂移。然后用轨道周期来计算轨迹之间的差。

用来指定主波束内所需点数的常量可以用来指定主波束要求的轨迹数目（即 $N_{track} = N_{hits}$ ）。如果轨迹之间的间隙太大或太小（分别导致采样数量不够或运行时间过长），那么将使用人工推进。

人们希望，从长远来看，位置保持不会产生漂移，因此也就不需要与之相关的这些计算。

结果如图40所示：



S.1503-40

在图40中，可以看到，该结果将是在GSO地球站主波束中的一系列精细到足以解析主波束的取样，并产生足够的取样来生成所需要的统计。

表15
输入数据

参数	名称	单位
轨道倾角	i	度
轨道长半轴	a	km
GSO地球站天线3 dB波束带宽 ⁽¹⁾	φ_{3dB}	度
一颗non-GSO卫星经过一个GSO地球站天线主波束所需的轨迹数	N_{tracks}	—

⁽¹⁾ 在计算 $epfd_{\downarrow}$ 运行长度的情况下。在计算 $epfd_{is}$ 和 $epfd_{\uparrow}$ 的情况下：

$epfd_{\uparrow}$ ：利用通过公式（3）计算得到的non-GSO地球站（在其e.i.r.p.掩模中指定）波束带宽来计算 φ 。

$epfd_{is}$ ：利用通过公式（4）计算得到的GSO卫星波束带宽来计算 φ 。

需要两个参数：

S_{pass} ：连续两次向上通过赤道平面之间的经度间隔

S_{req} ：基于GSO地球站波束大小的、通过赤道平面所需的分辨率。

计算按如下步骤进行：

步骤1：采用D6.3.2中的公式，计算 $\bar{n}, \Omega_r, \omega_r$ ，以弧度/秒为单位

步骤2：将 $\bar{n}, \Omega_r, \omega_r$ 变换为度/分

步骤3：采用下式计算以分钟表示的该轨道交点周期：

$$P_n = \frac{360}{w_r + \bar{n}}$$

步骤4: 假定地球的旋转角速度为 ($\Omega_e = 0.250684$ 度/分钟), 计算连续两次上升通过赤道平面S之间的经度间隔:

$$S_{pass} = (\Omega_e - \Omega_r) \cdot P_n \quad \text{度}$$

以上方程适用于圆轨道。对于椭圆轨道系统, 计算方程大不相同, 主管部门应提供 S_{pass} 的值。

步骤5: 利用GSO地球站波束宽度, 采用公式(3)可以计算得到高度 S_{req} :

$$S_{req} = \frac{2\varphi}{N_{tracks}}$$

步骤6: 考虑到每个平面都有升交点和降交点, 计算完全聚集在赤道周围的轨道数:

$$N_{orbits} = \frac{180}{S_{req}}$$

步骤7: 对 N_{orbits} 取整, 取比它大的最小整数。

步骤8: 计算在这段时间内轨道旋转的总的角度:

$$S_{total} = N_{orbits} \cdot S_{pass}$$

步骤9: 计算角度对 360° 的模, 并四舍五入, 取比它大的最小整数:

$$N_{360} = \text{int}\left(\frac{S_{total}}{360}\right)$$

步骤10: 计算平面之间的隔离角, 这相当于:

$$S_{actual} = \frac{360N_{360}}{N_{orbits}}$$

步骤11: 为了确保轨道漂移在要求的旋进率下进行, 应包括以下附加的人工旋进:

$$S_{artificial} = S_{actual} - S_{pass} \quad \text{度/轨道}$$

或:

$$D_{artificial} = \frac{S_{artificial}}{T_{period}} \quad \text{度/秒}$$

步骤12: D部分给出了关于该参数如何使用的更详细信息。总的运行时间就是围绕赤道推进的时间, 取决于轨道模型, 使用D6.3.1或D6.3.2的轨道周期, 即:

$$T'_{run} = T_{period} \cdot N_{orbits}$$

步骤13: 总的时间步数为:

$$N_{steps} = \text{Round}(T'_{run}/T_{step}), \text{ 四舍五入, 取比它小的最大整数}$$

$$T_{run} = N_{steps} * T_{step}.$$

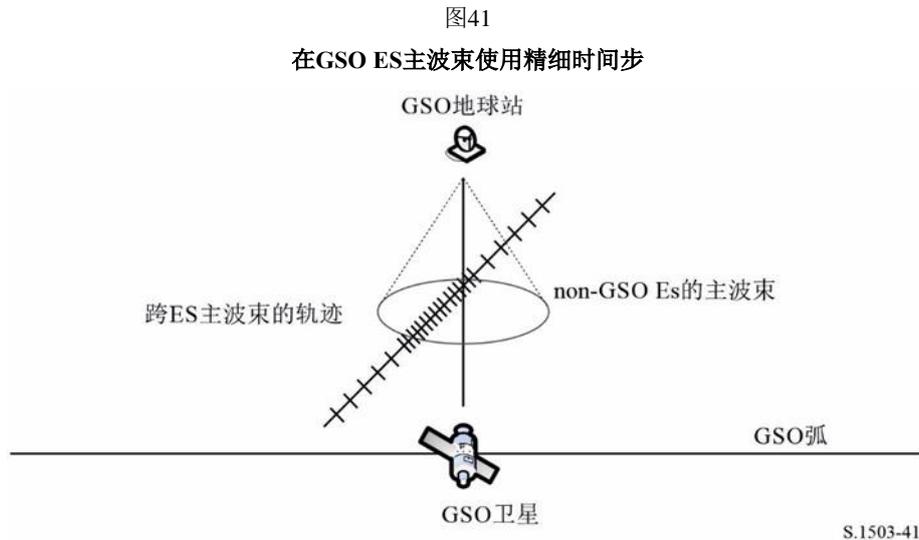
D4.7 双时间步长选项

D4.7.1 双时间步长选项epfd (下行)

为了提高仿真效果, 算法的一个选项是采用双时间步长, 即粗时间步长和细时间步长。除非当任何non-GSO卫星靠近GSO ES的主波束或禁区边缘时, 否则将使用粗时间步长, 定义如下:

$$G_{RX}(\varphi) > \min[G_{\max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$$

图41示出应用细时间步长的区域：



粗步长用于远离 GSO 地球站主波束的非关键区。粗步长的大小定义为一个地心角：

$$\varphi_{coarse} = 1.5^\circ$$

该粗步长用于所有的天线带宽和所有的 non-GSO 系统。

出于统计目的，粗步长的大小要求是细步长大小的整数倍。由于粗步长的大小是不变的，因此粗步长与细步长之比仅依赖于 GSO 地球站的波束宽度 ($\varphi_{3\text{dB}}$)。该比率定义为：

$$N_{coarse} = \text{Floor}((N_{hits} * \varphi_{coarse}) / \varphi_{3\text{dB}})$$

其中，floor 是一个函数，它去掉比率中的小数部分而输出其整数部分。这得到的是一个保守的粗步长与细步长之比，以确保粗步长绝不会比目标地心角大 1.5° 。

D4.7.2 双时间步长选项epfd（上行）

为了提高仿真效果，算法的一个选项是采用双时间步长，即粗时间步长和细时间步长。除非当从 non-GSO ES 到 GSO 卫星的增益大于 -30 dB 时，否则将使用粗时间步长。

粗步长用于远离GSO地球站主波束轴和排他区边界的非关键区域，粗步长的大小定义为一个地心角：

$$\varphi_{coarse} = 1.5^\circ$$

该粗步长用于所有的天线带宽和所有的 non-GSO 系统。

出于统计目的，粗步长的大小要求是细步长大小的整数倍。由于粗步长的大小是不变的，因此粗步长与细步长之比仅依赖于 non-GSO 地球站的波束宽度 ($\varphi_{3\text{dB}}$)。该比率定义为：

$$N_{coarse} = \text{Floor}((N_{hits} * \varphi_{coarse}) / \varphi_{3\text{dB}})$$

其中，floor 是一个函数，它去掉比率中的小数部分而输出其整数部分。这得到的是一个保守的粗步长与细步长之比，以确保粗步长绝不会比目标地心角大 1.5° 。

D5 epfd计算描述

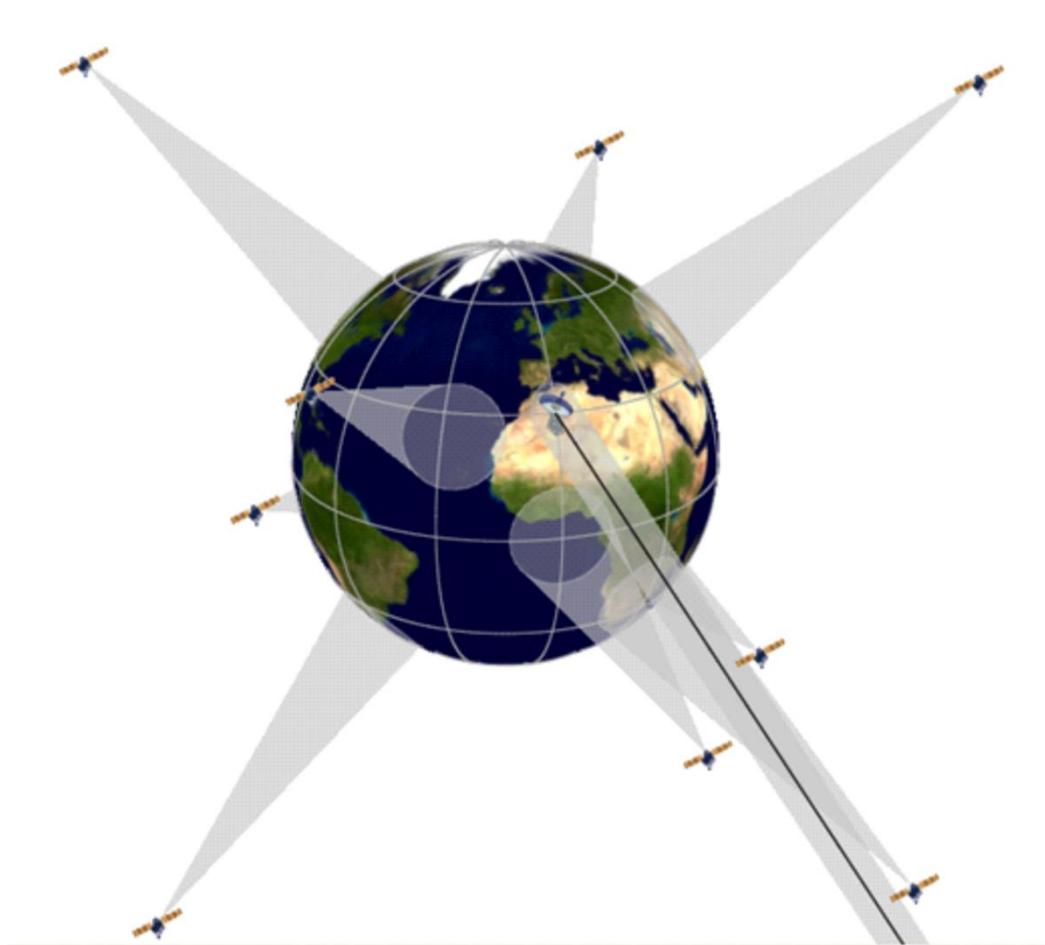
D5.1 epfd↓软件描述

本节描述用来计算从non-GSO星座到GSO下行链路的epfd↓的算法。假设每个non-GSO卫星有一个pfd掩模。从每个卫星的pfd计算GSO系统一个地球站处的集总epfd↓。在一系列时间步长内重复这一计算，直到得出epfd↓的一个分布为止。然后，可以将该分布与限值进行比较，以给出通过/不通过的决定。

图42显示了具有向一个GSO地球站发射的non-GSO卫星和测试GSO卫星的几何形状。

图42

epfd（下行）场景的实例



S.1503-42

D5.1.1 参数配置

这些操作定义参数是：

参数名称	参数值	参数单位与范围
频带	F_DOWN	MHz
GSO卫星经度	GSO_LONG	度
GSO地球站纬度	GSO_ES_LAT	度
GSO地球站经度	GSO_ES_LONG	度
GSO地球站天线大小	GSO_ES_D_ANT	m
参考地球站增益图	GSO_ES_PATTERN	D6.5中的单位之一
参考带宽	REFBW	kHz
epfd↓点数	Nepfd_DOWN	–
Nepfd_UP epfd↓值数组	epfd_DOWN[I]	dB(W/(m ² · BW _{ref}))
Nepfd_UP百分比数组	PC[I]	%

D5.1.2 non-GSO系统参数

将会采用如在B3.1中所指定的以下参数。

参数描述	参数名称	参数单位
卫星的pfd掩模	见C部分的定义与格式	
non-GSO卫星的数目	N_{sat}	–
发射中心频率	F_DOWNsat	MHz
排他区按纬度的角，可能因卫星而异	MIN_EXCLUDE [纬度]	度
按纬度的最小卫星跟踪持续时间	MIN_DURATION [纬度]	秒
地球位置上同频运行的最大卫星数量，可能因纬度而异	MAX_CO_FREQ [纬度]	–
轨道具有位置保持维持的循环地面轨迹	是或否	–
主管部门提供特定节点的旋进率	是或否	–
升交点的位置保持范围作为半总范围	Wdelta	度
最小工作高度	H_MIN	km
按纬度和方位角的最小运行仰角	ES_MINELEV [纬度][方位角]	度
在ES处工作的non-GSO卫星之间的最小角度	MIN_ANGLE_AT_ES	度

对每个卫星，将使用下列参数，它们在第B3.2节中有详细说明，在仿真开始之时，在第D6.3.1节中对这些参数的定义进行说明。

注意，在下表中，下标[M]用来表示每个卫星将有不同的值，第N个值对应第N个卫星。对于pfd掩模，它表示pfd数据的结构是这样一种形式，即pfd[M]入口是指向某特定子集的参

考。例如，星座中每个卫星可以参考同一个pfd (lat, az, el) 表、pfd (lat, X, Δlong) 表或pfd (lat, α, Δlong) 表。

参数描述	参数名称	参数单位
使用的pfd掩模	pfd[M]	-
长半轴	A[M]	km
偏心率	E[M]	-
倾角	I[M]	度
升交点的经度	O[M]	度
近地点角	W[M]	度
真近地点角	V[M]	度

D5.1.3 操作时间步进参数

操作参数可以用第 D4 节中的算法计算获得。

参数描述	参数名称	参数单位
时间步长	TSTEP	s
时间步数	NSTEPS	-

时间步长和统计考虑到了时间窗口，如下面的图43所示。



S.1503-43

以下内容在第D4节中计算得到：

- 运行持续时间；
- 细时间步长；
- 粗时间步长。

在non-GSO卫星选择方法由轨迹持续时间确定的情况下（例如，至少在一个纬度上，MIN_DURATION [Latitude]为非零，那么还需要考虑一套时间窗口，以确保对卫星选择的所有组合进行分析。

MIN_DURATION是为星座提供的（可能取决于纬度，在本例中是ES）。细时间步长中的时间窗口长度被计算为该轨道持续时间除以细时间步长的整数比。MIN_SLIDING_TIME也被计算为整数个细时间步长。

最小滑动时间是：

$$\text{MIN_SLIDING_TIME} = \max \left\{ 1 \text{ second}, \frac{\text{MinimumOrbitalPeriod}}{100 \cdot N_{\text{satellites}}} \right\}$$

其中，*MinimumOrbitalPeriod*是所有子星座中最小的轨道周期。

运行持续时间在第D4节中得出，这样，星座返回到初始条件，并因此完成统计。这可能需要部分地纳入最后一个时间窗口：即只有运行周期内的那些时间步长才会被纳入epfd统计数据。然而，仿真将持续到时间窗口完成，以确定要跟踪的卫星。另外，由于每个窗口的开始时间是偏移量，因此有必要为其它窗口运行额外的步长，它们超出了第一个时间窗口所用的范围。

以细时间步长数计的、滑动窗口的长度：

$$N_{sw} = \text{RoundDown}(\text{MIN_DURATION} / T_{fine})$$

MIN_SLIDING_TIME的细时间步长数可以计算如下：

$$N_{MSL} = \text{RoundUp}(\text{MIN_SLIDING_TIME} / T_{fine})$$

则在计算中使用的时间窗口数为：

$$N_{TW} = \text{RoundUp}(N_{sw} / N_{MSL})$$

则运行持续时间的窗口重复次数为：

$$N_{Repeat} = \text{RoundUp}(N_{step} / N_{sw})$$

仿真所需的总的细时间步长数量等于运行持续时间加上完成所有时间窗口所需的时间，即：

$$N_{TotalSteps} = N_{Repeat} * N_{sw} + (N_{TW}-1) * N_{MSL}$$

则完成所有滑动窗口所需的总的运行持续时间为：

$$T_{TotalDuration} = N_{TotalSteps} * T_{fine}$$

D5.1.4 算法与计算步骤

在non-GSO卫星选择方法由轨迹持续时间确定的情况下（例如，对于至少一个纬度，MIN_DURATION [Latitude]为非零，则算法和计算程序见D5.1.4.2节，否则见D5.1.4.1节。

运行的non-GSO卫星是指那些在排他区之外的卫星，在其最小运行仰角之上，并向（即高于或等于MIN_OPERATING_HEIGHT）GSO地球站辐射。运行的non-GSO卫星的最大数目是指允许向地面上同一地区发射同频的non-GSO卫星的最大数目。

D5.1.4.1 不使用轨道持续时间时的算法和计算步骤

为了计算不使用轨道持续时间时从一个non-GSO系统到一个GSO系统地球站的epfd↓值，应该使用以下算法。如果需要的话，该算法还可用于多个并行运行的GSO系统。

步骤1： 读取第D5.1.2节中规定的non-GSO系统参数。

步骤2： 读取第D5.1.1节中规定的GSO参数。

- 步骤3: 如果需要, 使用第D3.1节中的算法, 计算最大epfd GSO位置, 否则使用请求的GSO卫星和ES位置。
- 步骤4: 使用第D4节的算法, 计算时间步数和时间步长大小, 然后计算结束时间。
- 步骤4之二: 通过将epfd↓值的所有间隔归零来初始化统计。
- 步骤5: 如果包括了双时间步长算法, 那么使用子步骤5.1, 否则, 对于整个仿真过程, $N_{coarse}=1$ 。
- 子步骤5.1: 计算粗步长大小 $T_{coarse}=T_{fine} * N_{coarse}$ 。
- 步骤6: 如果包括了双时间步长算法, 那么重复子步骤6.1到步骤22, 直到仿真结束, 否则, 重复步骤7到步骤22, 直到仿真结束。
- 子步骤6.1: 如果是仿真的第一步, 那么令 $T_{step} = T_{fine}$ 。
- 子步骤6.2: 否则如果还剩不到 N_{coarse} 步, 那么令 $T_{step} = T_{fine}$ 。
- 子步骤6.3: 否则如果最后一个步长的任何 $G_{RX}(\varphi)$ 在峰值的30 dB范围内, 那么令 $T_{step} = T_{fine}$, 否则令 $T_{step} = T_{coarse}$ 。
- 步骤7: 基于第D6.1节中的坐标系, 更新所有地球站的位置向量。
- 步骤8: 基于第D6.2节中的坐标系, 更新所有GSO卫星的位置向量。
- 步骤9: 基于第D6.3节中的坐标系、轨道预测模型和位置保持算法, 更新所有non-GSO卫星的位置向量。
- 步骤10: 令epfd↓=0。
- 步骤11: 使用第D6.4.1节中的算法, 选择GSO地球站可见的所有non-GSO卫星。
- 步骤12: 对每一个可见的non-GSO卫星, 重复步骤13到步骤18。
- 步骤13: 使用第D6.4.4或D6.4.5节中的角度定义, 计算pfd掩模要求的参数, (lat, α , $\Delta long$) 或 (纬度, 方位角, 仰角)。
- 步骤13之二: 使用第D6.4.4节中的角度定义, 计算在GSO ES位置处看到的、non-GSO卫星的 (方位角 ϵ_{NGSO} , ϵ_{NGSO})。
- 步骤14: 使用第D5.1.5节中规定的non-GSO卫星pfd掩模, 对选定的non-GSO卫星使用pfd掩模, 计算GSO地球站的pfd (lat, α , $\Delta long$) 或 (纬度, 方位角, 仰角)。
- 步骤15: 计算GSO卫星与non-GSO卫星连线之间的GSO地球站处的离轴角 φ 。
- 步骤16: 使用第D6.5节所述算法中指定的相关增益图, 计算 $G_{RX}(\varphi)$ =GSO地球站的接收增益 (dB)。
- 步骤17: 对该non-GSO卫星, 使用步骤18中的公式计算epfd↓_i:
- $$epfd\downarrow_i = pfd + G_{RX}(\varphi) - G_{max}$$
- 其中 G_{max} 是GSO地球站天线的峰值增益。
- 步骤18: 存储每颗卫星的epfd↓_i, 如果:
- 该卫星的 $\alpha \geq \alpha_0[\text{latitude}]$ 且 $\epsilon_{NGSO} \geq \epsilon_0[\text{latitude}][\text{Azimuth}_{NGSO}]$
 - 或其 $G_{RX}(\varphi) > \min[G_{max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$

- 步骤19: 对每个时间步长重复步骤20和步骤21, 只要步骤23中包括的卫星不超过MAX_CO_FREQ[lat]。
MAX_CO_FREQ[lat]是在GSO_ES纬度上运行的non-GSO卫星的最大数量, 对应于允许以相同频率向地面同一地区发射的最大卫星数量, 满足为non-GSO系统定义的GSO禁区、最小仰角和MIN_ANGLE_AT_ES要求。
- 步骤20: 对具有 $\alpha \geq \alpha_0[\text{latitude}]$ 且 $\epsilon_{\text{NGSO}} \geq \epsilon_0[\text{latitude}][\text{Azimuth}_{\text{NGSO}}]$ 且具有最高单个epfd_↓的卫星应用步骤23。
- 步骤21: 如果已规定了non-GSO卫星之间的MIN_ANGLE_AT_ES, 则从步骤18中 $\alpha \geq \alpha_0[\text{latitude}]$ 且 $\epsilon_{\text{NGSO}} \geq \epsilon_0[\text{latitude}][\text{Azimuth}_{\text{NGSO}}]$ 的non-GSO卫星中移除相对于步骤20使用的卫星中不满足这一标准的non-GSO卫星。
- 步骤22: 对 $G_{\text{RX}}(\varphi) > \min[G_{\text{max}} - 30 \text{ dB}, G_{\text{RX}}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$ 的卫星重复步骤23。
- 注: 在第23步中不应重复计算卫星。特别是, 如果一颗卫星在最高MAX_CO_FREQ[lat]卫星列表中, 并且 $G_{\text{RX}}(\varphi) > \min[G_{\text{max}} - 30 \text{ dB}, G_{\text{RX}}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$, 在步骤20中, 它应仅作为MAX_CO_FREQ[lat]卫星的一部分包括一次。
- 步骤23: epfd_↓按epfd_↓值递增。
- 步骤24: 将epfd_↓统计量增加该时间步长($T_{\text{step}}/T_{\text{fine}}$)条目的epfd_↓。
- 步骤25: 使用第D7.1.2节中的算法, 从epfd_↓ PDF生成所有滑动窗口的epfd_↓ CDF。
- 步骤26: 使用第D7.1节中的算法, 将所有滑动窗口的epfd_↓统计数据与限值进行比较。
- 步骤27: 使用第D7.3节中规定的格式输出结果。

D5.1.4.2 使用轨道持续时间时的算法和计算步骤

为了计算使用轨道持续时间时从一个non-GSO系统到一个GSO系统地球站的epfd_↓值, 应该使用以下算法。如果需要的话, 该算法还可用于多个并行运行的GSO系统。

- 步骤1: 读取第D5.1.2节中规定的non-GSO系统参数。
- 步骤2: 读取第D5.1.1节中规定的GSO参数。
- 步骤3: 如果需要, 使用第D3.1节中的算法, 计算最大epfd GSO位置, 否则使用请求的GSO卫星和ES位置。
- 步骤4: 使用第D4节的算法, 计算时间步数和时间步长大小, 然后计算结束时间。如第D5.1.3节所述, 将MIN_SLIDING_TIME和MIN_DURATION调整为细时间步长的一个整数, 然后计算NUM_SLIDE_WINDOWS。将运行持续时间增加整数个细时间步长, 以便所有滑动窗口都具有完整的统计数据。
- 步骤4之二: 对每个NUM_SLIDE WINDOWS, 通过将epfd_↓值的所有二分归零来初始化统计数据。
- 步骤5: 如果包括了双时间步长算法, 那么使用子步骤5.1, 否则, 对于整个仿真过程, $N_{\text{coarse}}=1$ 。
- 子步骤5.1: 计算粗步长大小 $T_{\text{coarse}}=T_{\text{fine}} * N_{\text{coarse}}$ 。

- 步骤6: 如果包括了双时间步长算法, 那么重复子步骤6.1到步骤22, 直到仿真结束, 否则, 重复步骤7到步骤22, 直到仿真结束。
- 子步骤6.1: 如果是仿真的第一步, 那么令 $T_{step} = T_{fine}$ 。
- 子步骤6.2: 否则如果还剩不到 N_{coarse} 步, 那么令 $T_{step} = T_{fine}$ 。
- 子步骤6.3: 否则如果最后一个步长的任何 $G_{RX}(\varphi)$ 在峰值的30 dB范围内, 那么令 $T_{step} = T_{fine}$, 否则令 $T_{step} = T_{coarse}$ 。
- 步骤7: 基于第D6.1节中的坐标系, 更新所有地球站的位置向量。
- 步骤8: 基于第D6.2节中的坐标系, 更新所有GSO卫星的位置向量。
- 步骤9: 基于第D6.3节中的坐标系、轨道预测模型和位置保持算法, 更新所有non-GSO卫星的位置向量。
- 步骤10: 令 $epfd_{\downarrow} = 0$ 。
- 步骤11: 使用第D6.4.1节中的算法, 选择GSO地球站可见的所有non-GSO卫星。
- 步骤12: 对每一个可见的non-GSO卫星, 重复步骤13到步骤18。
- 步骤13: 使用第D6.4.4或D6.4.5节中的角度定义, 计算pfd掩模要求的参数, ($lat, \alpha, \Delta long$)或(纬度, 方位角, 仰角)。
- 步骤13之二: 使用第D6.4.4节中的角度定义, 计算在GSO ES位置处看到的、non-GSO卫星的(方位角 $\epsilon_{NGSO}, \epsilon_{NGSO}$)。
- 步骤14: 使用第D5.1.5节中规定的non-GSO卫星pfd掩模, 对选定的non-GSO卫星使用pfd掩模, 计算GSO地球站的pfd ($lat, \alpha, \Delta long$)或(纬度, 方位角, 仰角)。
- 步骤15: 计算GSO卫星与non-GSO卫星连线之间的GSO地球站处的离轴角 φ 。
- 步骤16: 使用第D6.5节所述算法中指定的相关增益图, 计算 $G_{RX}(\varphi) =$ GSO地球站的接收增益 (dB)。
- 步骤17: 对该non-GSO卫星, 使用以下公式计算 $epfd_{\downarrow i}$:
- $$epfd_{\downarrow i} = pfd + G_{RX}(\varphi) - G_{max}$$
- 其中 G_{max} 是GSO地球站天线的峰值增益。
- 步骤18: 存储每颗卫星的 $epfd_{\downarrow i}$, 如果:
- 该卫星的 $\alpha \geq \alpha_0[latitude]$ 且 $\epsilon_{NGSO} \geq \epsilon_0[latitude][Azimuth_{NGSO}]$
 - 或其 $G_{RX}(\varphi) > \min[G_{max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[Latitude])]$
- 步骤19: 如果一个窗口正在关闭该时间步长, 那么确定哪些non-GSO卫星满足窗口整个持续时间的 α_0 、 ϵ_0 约束条件。
- 步骤19之二: 对于在窗口整个持续时间内满足 α_0 、 ϵ_0 约束条件的每颗卫星, 计算时间窗口上最高的 $epfd_{\downarrow [nSat]}$, 并按照每颗卫星的 $epfd_{\downarrow [nSat]}$, 对卫星列表进行排序。
- 步骤20: 针对该列表中MAX_CO_FREQ[纬度]卫星的 $epfd_{\downarrow [nSat]}$ 作用以及 $G_{RX}(\varphi) > \min[G_{max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[纬度])]$ 的那些卫星, 在窗口中的每个时间步长重复步骤21和步骤22, 其中MAX_CO_FREQ[纬度]是所涉之GSO_ES纬度上运行的non-GSO卫星的最大数量, 对应于允许以相同频率针对地面同一区域发射的最大卫星数量, 满足non-GSO系统定义的、GSO排除区和最小仰角要求。

注：在步骤21中不应重复计算卫星。特别是，如果某颗卫星在最高MAX_CO_FREQ[纬度]卫星列表中，且 $G_{RX}(\varphi) > \min[G_{max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$ ，则只应将其作为步骤21中MAX_CO_FREQ[纬度]卫星的一部分包含一次。

步骤21: epfd↓按epfd↓值线性递增。

步骤22: 通过 (T_{step}/T_{fine}) 入口，对该时间步长相关滑动窗口的epfd↓统计结果递增epfd↓。如果上一个时间步长是一个粗的时间步长，并且在该时间步长内窗口关闭，则epfd↓统计结果应通过窗口中的那部分 T_{step} 来更新，并存储剩余部分以用于下一个窗口。如果该滑动窗口自开始时间以来的运行超过运行持续时间，则在统计结果中仅包括处于运行持续时间内的那部分时间窗口。

步骤23: 使用第D7.1.2节中的算法，从epfd↓ PDF生成所有滑动窗口的epfd↓ CDF。

步骤24: 使用第D7.1节中的算法，将所有滑动窗口的epfd↓统计数据与限值进行比较。

步骤25: 使用第D7.3节中规定的格式输出结果。

D5.1.5 pfd掩模计算

pfd掩模定义为一个包含各种角度和纬度的pfd值表。

注意，纬度范围应为：

最小值： $-i$

最大值： $+i$

其中 i 是non-GSO卫星轨道的倾角。

通常，（方位角，仰角），或在每个时间步长中计算得到的（ α 或 $\Delta long$ ）角，将在数组中的两个值之间。在这种情况下，公式应使用pfd值之间的双线性插值：

$$pfd = (1 - \lambda_x)(1 - \lambda_y)pfd_{11} + \lambda_x(1 - \lambda_y)pfd_{21} + (1 - \lambda_x)\lambda_y pfd_{12} + \lambda_x\lambda_y pfd_{22}$$

其中：

$$\lambda_x = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\lambda_y = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

(x, y)是pfd掩模的两个纬度。

如果角度在pfd掩模之外，则软件从掩模中的最高角度（即在掩模边缘）来软件计算pfd。

应该使用在纬度上与参考卫星接近的掩模。C部分给出了有关pfd掩模格式和采样的更加详细的信息。

D5.1.6 输出

算法的结果是二个数组，格式如下：

epfd↓值数组	epfd_DOWN_CALC[I]	dB(W/(m ² · BW _{ref}))
百分比数组	PC_CALC[I]	%

其中PC_CALC[I]是epfd_DOWN_CALC[I]超时百分比。

D5.2 e_{pf}d_↑软件描述

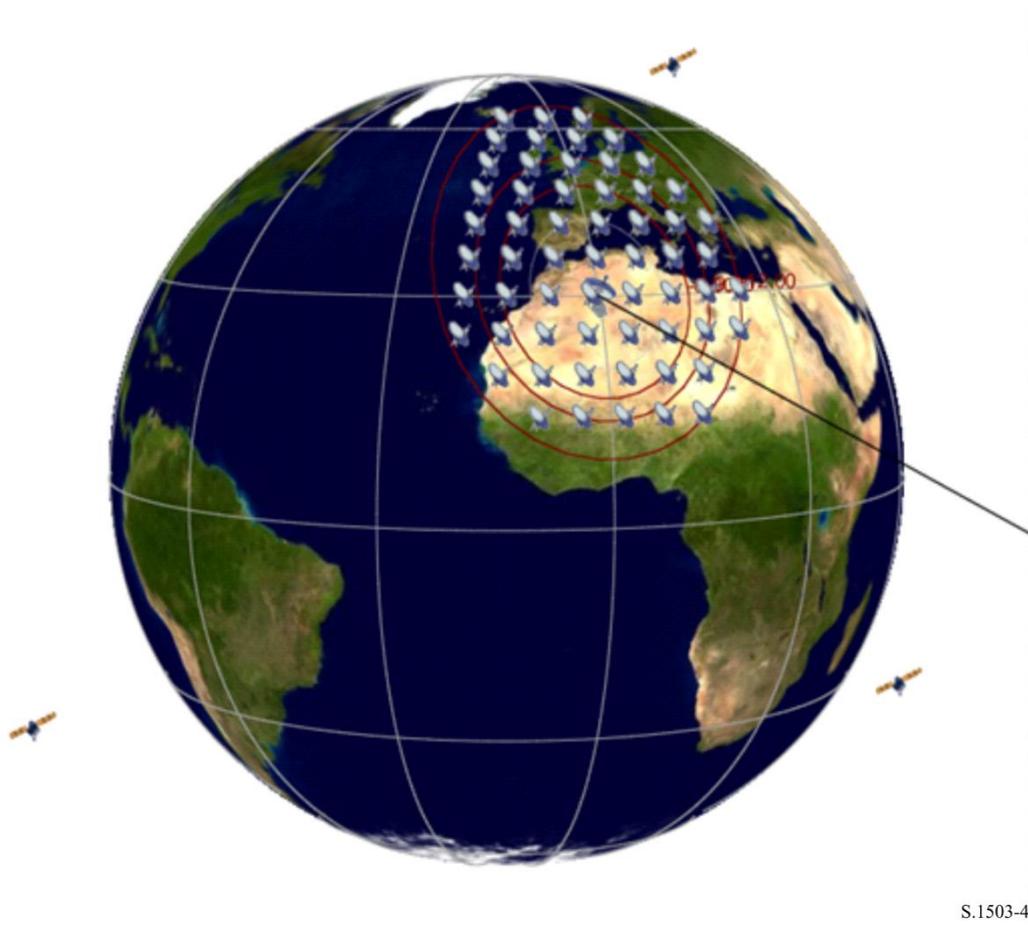
本节描述用于计算从 non-GSO 地球站到 GSO 上行链路的 e_{pf}d_↑的算法。该 ES 的位置可以以二种方法之一来定义：

- 1) 假定地球上均匀分布着 non-GSO 地球站。在此情况下，在 e.i.r.p. 掩模中的 ES_ID 应被设置为-1。
- 2) 通过在 ES e.i.r.p. 中的一个字段使用特定 ES 的位置。在此情况下，不使用密度字段。

利用针对该星座的指向规则，每个地球站指向一个 non-GSO 卫星，并用定义的 e.i.r.p. 进行发射。从每个地球站的 e.i.r.p. 和离轴增益方向图，可以计算得到 GSO 处的 e_{pf}d_↑。该计算在一系列时间步数中重复进行，直到计算出 e_{pf}d_↑ 的一个分布为止。该分布而后用来与 e_{pf}d_↑ 的限值进行比较，以便做出通过/不通过的决策。

图 44 给出了 non-GSO 地球站向 non-GSO 卫星星座发射的几何关系，以及测试 GSO 卫星接收来自 GSO 地球站信号的情况。

图44
e_{pf}d_↑（上行）场景示例



D5.2.1 参数配置

本节指定了在无线电规则中所定义的所有 e_{pf}d_↑ 计算所需的参数。这将是一个可以在操作之间共享的 N 组极限的一个数据集。应能对该表进行查询，以便能够根据 non-GSO 系统频率的要求使用所需的值。

对极限的每一组，以下将如在D2.1中所产生的那样来定义。

参数名称	参数值	参数单位与范围
频带	FREQ	MHz
GSO增益图	FEND_UP	D部分第6.5节中的单位之一
GSO峰值增益	GSO_SAT_PEAKGAIN	dBi
GSO半功率波束宽度	GSO_SAT_BEAMWIDTH	度
参考带宽	RAFBW	kHz
epfd↓点数	Nepfd_UP	–
Nepfd_UP epfd↑值数组	epfd_UP[I]	dB(W/(m ² · BW _{ref}))
Nepfd_UP百分比数组	PC_UP[I]	%

D5.2.2 确定最大epfd配置

GSO 卫星和波束中心的最大 epfd 位置在第 D3.2 节进行定义。

D5.2.3 计算运行步数

采用在 D4 中还描述了可选双时间步进选项的算法计算时间步进和时间步数。

D5.2.4 输入

D5.2.4.1 输入参数

本节定义一个特定的 non-GSO 系统的输入参数。在这种情况下，输入是一个一般性术语，可以包括文件或用户输入。信息用于：

- non-GSO系统；
- GSO系统；
- 运行配置。

D5.2.4.2 non-GSO系统参数

将使用在第 B3.1 节中详细说明确定的下列参数：

参数描述	参数名称	参数单位
non-GSO卫星的数目	N_{sat}	–
轨道具有位置保持维持的循环地面轨迹	是或否	–
主管部门提供特定节点的旋进率	是或否	–
升交点的位置保持范围作为半总范围	W_{delta}	度

对每个卫星，将使用下列参数，它们在第 B3.2 节中有详细说明，在仿真开始之时，在第 D6.3.1 节中对这些参数的定义进行说明。

注意，在下表中，下标[N]用来表示每个卫星将有不同的值，第 N 个值对应第 N 个卫星。

参数描述	参数名称	参数单位
半长轴	A[M]	km
偏心率	E[M]	—
倾角	I[M]	度
升交点的经度	O[M]	度
近地点角距	W[M]	度
真近地点角	V[M]	度

为了轨道定义和后续的传播，每个卫星都必须有一个独立的参数组，它由 6 个轨道参数组成。

为了定义 non-GSO 地球站的特性，将要用到下列参数，它们在第 B4.2 节中有详细说明：

参数描述	参数名称	参数单位
同频跟踪的non-GSO卫星最大数目	MAX_CO_FREQ [纬度]	—
按照纬度的地球站e.i.r.p.掩模	ES_e.i.r.p. [lat]	dB(W/BW _{ref})
最小仰角	ES_MINELEV[纬度] [方位角]	度
按纬度划分的禁区角度，可能因卫星而异	MIN_EXCLUDE [Latitude]	度
每平方公里同时活跃的non-GSO地球站平均数目	ES_DENSITY	km ²
小区之间的平均距离，或者波束覆盖区中心之间的平均距离	ES_DISTANCE	km
在EPFD(up)计算中由一颗非地球静止卫星同频跟踪的非地球静止地球站的最大数量。如果未提供数值，则假定由一颗非地球静止卫星同频跟踪的地球站的最大数量等于为epfd↑运行创建的地球站数量	MAX_CO_FREQ_SAT	—
non-GSO卫星与任意两个工作的non-GSO地球站连线之间的最小夹角（度）。如果未提供，假定为零	MIN_ANGLE_AT_SAT	度
地球表面与任意两颗工作的non-GSO卫星连线之间的最小夹角（度）。如果未提供，则假定为零。如果MIN_DURATION[纬度]非零，则不适用	MIN_ANGLE_AT_ES	度

请注意，最小跟踪持续时间不用于epfd（上行）情况。

D5.2.4.3 GSO系统参数

GSO 系统参数能够使用第 D3.2 节中的算法计算得到，或使用最差情况下的参数，或是输入的值。所需参数详细说明如下：

参数描述	参数名称	参数单位
GSO卫星经度	GSO_SAT_LONG	度
GSO视轴纬度	BS_LAT	度
GSO视轴经度	BS_LONG	度
GSO参考增益图	GSO_SAT_PATTERN	D部分第6.5节中的单位之一

这些参数在第 D6.1 节和第 D6.2 节中进行定义。

D5.2.4.4 工作参数

工作参数可以用第 D4 节中的算法计算获得。

参数描述	参数名称	参数单位
时间步长	TSTEP	s
时间步数	NSTEPS	—

D5.2.5 产生non-GSO地球站分布

在该 non-GSO ES 位置是由一个为了产生 non-GSO 地球站的分布来定义的情况下，需要用到下列方法：

步骤1：计算实际运行的non-GSO地球站数目，典型的non-GSO地球站用下式表示：

$$\text{NUM_ES} = \text{ES_DISTANCE} * \text{ES_DISTANCE} * \text{ES_DENSITY}$$

步骤2：使用下式计算每个典型的non-GSO地球站的e.i.r.p.：

$$\text{REP_e.i.r.p.} = \text{ES_e.i.r.p.} + 10\log_{10}(\text{NUM_ES})$$

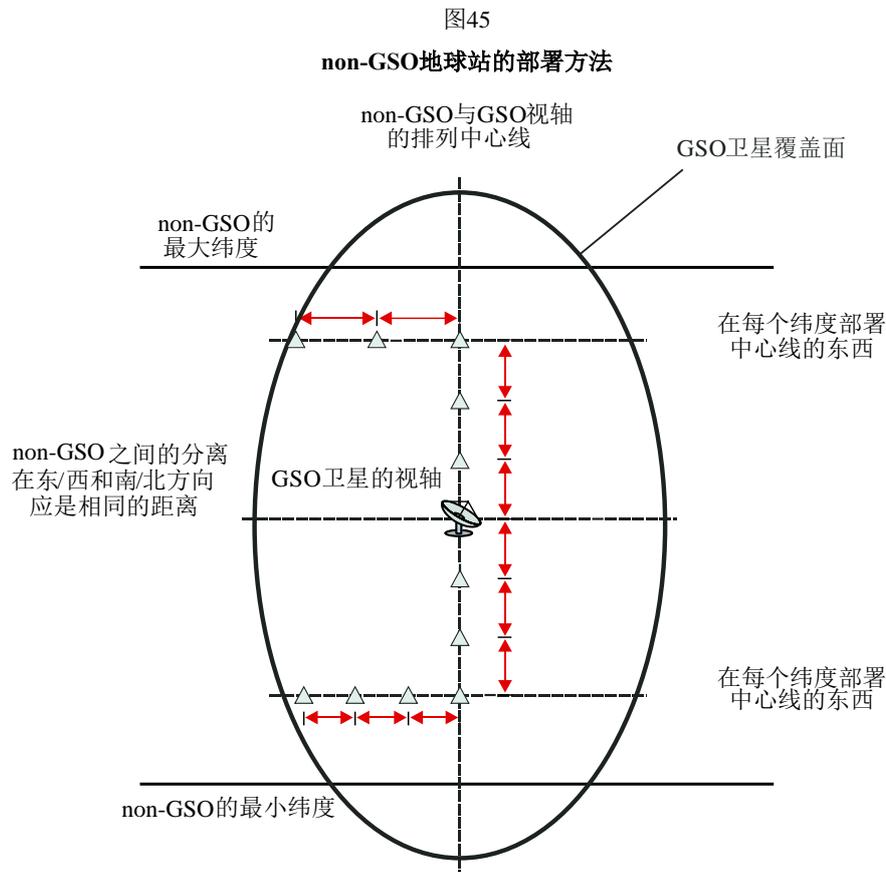
步骤3：GSO服务区定义为由代表15 dB相关增益的等高线所包围的区域。

步骤4：在步骤3中定义的服务区中，经度每隔ES_DISTANCE、纬度每隔ES_DISTANCE，定位一个典型的、辐射为REP_e.i.r.p.的non-GSO地球站。

如果提供的ES_DISTANCE为零，则在步骤1中将NUM_ES设为1，并且在步骤4中在GSO卫星的视轴中定位一个non-GSO ES。

对TDMA和FDMA系统以及对CDMA系统，NUM_ES通常为1，等于在同一时间和位置上、在相同频率上工作的所有同频ES的数量。ES_DISTANCE与同频光束之间的平均距离有关。

部署方法应是对于该GSO卫星视轴的（纬度，经度）对称的，如图45中所示。



non-GSO ES应被部署在最小纬度之下或最大纬度之上，此处，这二个极值是采用第D3.2.3节中方法推算出来的。

可以采用下式从该距离计算出non-GSO ES之间的以弧度表示的纬度分离：

$$\Delta lat = \frac{d}{R_e}$$

可以采用下式计算non-GSO ES之间的以弧度表示的经度分离：

$$\Delta long = \frac{d}{R_e \cos lat}$$

D5.2.6 算法与计算步骤

为了计算从 non-GSO 系统到 GSO 系统卫星的 $epfd \uparrow$ 值，应该使用以下算法。如果需要，该算法还可用于多个并行运行的 GSO 系统。

- 步骤1： 读取第D5.2.4.2节中规定的non-GSO系统参数。
- 步骤2： 读取第D5.2.4.3节中规定的GSO参数。
- 步骤3： 如果需要，使用第D3.2节中的算法计算最大 $epfd$ GSO位置，否则使用请求的GSO卫星和ES位置。
- 步骤4： 如果需要，使用第D5.2.5节中的算法计算non-GSO地球站的位置。
- 步骤5： 通过对所有 $epfd \uparrow$ 间隔清零来初始化统计数据。

- 步骤6: 如果需要, 使用第D4节中的算法计算出时间步数和时间步长大小, 而后计算出结束时间。
如果包括了双时间步长算法, 那么使用子步骤6.1, 否则, 整个仿真过程的 $N_{\text{coarse}} = 1$ 。
子步骤6.1: 计算粗步长大小 $T_{\text{coarse}} = T_{\text{fine}} * N_{\text{coarse}}$ 。
- 步骤7: 对所有时间步数, 重复步骤8到步骤24。
如果包括了双时间步长算法, 那么重复子步骤7.1到步骤22, 直到仿真结束。
子步骤7.1: 如果是第一步, 那么令 $T_{\text{step}} = T_{\text{fine}}$ 。
子步骤7.2: 否则如果还剩不到 N_{coarse} 步, 那么令 $T_{\text{step}} = T_{\text{fine}}$ 。
子步骤7.3: 否则如果最后一个步长的任何 α 角在排他区角 ϕ_{coarse} 的范围内, 那么令 $T_{\text{step}} = T_{\text{fine}}$, 否则令 $T_{\text{step}} = T_{\text{coarse}}$ 。
- 步骤8: 使用第D6.1节中的算法, 更新所有地球站的位置向量。
- 步骤9: 使用第D6.3.2节中的算法, 更新所有 non-GSO 卫星的位置向量和速度向量。
- 步骤10: 使用第D6.2节中的算法, 更新 GSO 卫星的位置向量。
- 步骤11: 将包含 {non-GSO 卫星, non-GSO ES, $epfd\uparrow_i$ } 三元组的可能链路列表初始化为一个空列表。
- 步骤12: 将每颗卫星使用的时间计数器设置为, 适用于所有卫星。
- 步骤13: 将所有 non-GSO ES 的每个 non-GSO ES 使用的时间计数器设置为零。
- 步骤14: 对所有 non-GSO 地球站重复步骤15到24。
- 步骤15: 使用第D6.4.1节中的算法, 确定 non-GSO 地球站能否被 GSO 卫星观测到。
- 步骤16: 如果 non-GSO 地球站能被 GSO 卫星观测到, 那么重复步骤17到步骤24。
- 步骤17: 对于所有的 non-GSO 卫星, 重复步骤18到24。
- 步骤18: 如果该 non-GSO 卫星 a) 对 non-GSO ES 可见, 且 b) 该纬度和该 non-GSO 卫星方位角处的 non-GSO 处最小仰角 $\epsilon_0[\text{latitude}][\text{Azimuth}_{\text{NGSO}}]$ 以上, 以及 c) 在此纬度的排他区 $\alpha_0[\text{纬度}]$ 之外, 执行步骤19至24。
- 步骤19: 使用第C3节中的 non-GSO 地球站 e.i.r.p. 掩模, 计算 non-GSO 地球站在 GSO 卫星方向上的 $ES_{\text{e.i.r.p.}}[\text{lat}]$ (dB(W/BW_{raf}))。
$$REP_{\text{e.i.r.p.}} = ES_{\text{e.i.r.p.}}[\text{lat, off-axis angle}] + 10\log_{10}(\text{NUM}_{\text{ES}})$$
- 步骤20: 使用第D6.5节中的算法中指定的相关增益图, 计算 $G_{\text{RX}} = \text{GSO}$ 卫星的接收相关增益 (dB)。
- 步骤21: 使用第D6.4.1节中的算法, 计算 non-GSO 地球站与 GSO 卫星之间的 $D = \text{距离}$ (km)。
- 步骤22: 计算传播因子 $L_{\text{FS}} = 10\log(4\pi D^2) + 60$ 。
- 步骤23: 计算该 non-GSO 卫星的 $epfd\uparrow_i$:

$$epfd\uparrow_i = REP_{\text{e.i.r.p.}} - L_{\text{FS}} + G_{\text{RX}} - G_{\text{max}}$$

- 步骤24: 将此项{non-GSO Satellite, non-GSO ES, $epfd\uparrow_i$ }添加到可能的链路列表中。
- 步骤25: 按 $epfd\uparrow_i$ 对可能的链接列表进行排序, 最高 $epfd\uparrow_i$ 位于顶部。
- 步骤26: 令 $epfd\uparrow = 0$ 。
- 步骤27: 如果可能的链路列表是空的, 则跳转到步骤35, 否则对具有最高 $epfd\uparrow_i$ 的可能链路清单上的链路{non-GSO satellite, non-GSO ES, $epfd\uparrow_i$ }重复步骤28到步骤34。
- 步骤28: 将 $epfd\uparrow$ 增加该链路的 $epfd\uparrow_i$ 。
- 步骤29: 增加该链路的non-GSO卫星已被使用的次数的计数器。
- 步骤30: 如果该non-GSO卫星计数器等于MAX_CO_FREQ_SAT, 则删除使用该non-GSO卫星的可能链路清单上所有剩余的链路。
- 步骤31: 增加已使用该链路的non-GSO ES的次数的计数器。
- 步骤32: 如果该non-GSO ES计数器等于MAX_CO_FREQ则删除使用该non-GSO ES的可能链路清单上所有剩余的链路。
- 步骤33: 如果MIN_ANGLE_AT_ES不为零, 则从列表中删除在ES处到该链路的non-GSO卫星夹角小于MIN_ANGLE_AT_ES的所有链路。
- 步骤34: 如果MIN_ANGLE_AT_SAT不为零, 则从列表中删除卫星到该链路non-GSO卫星角度小于MIN_ANGLE_AT_SAT的所有链路。
- 步骤35: $epfd\uparrow$ 统计结果按该 $epfd\uparrow$ 递增。
如果包括了双时间步长算法, 那么应使用下面的步骤:
子步骤35.1: 通过(T_{step}/T_{fine})入口, 在该时间步长, $epfd\uparrow$ 统计结果按该 $epfd\uparrow$ 递增。
- 步骤36: 使用第D7.1.2节中的算法, 从 $epfd\uparrow$ pdf生成 $epfd\uparrow$ CDF。
- 步骤37: 使用第D7.1节中的算法, 将 $epfd\uparrow$ 统计结果与限值进行比较。
- 步骤38: 使用第D7.2节中规定的格式输出结果。

D5.2.7 计算e.i.r.p.

如果ES_e.i.r.p.掩模的格式为ES_e.i.r.p.(lat)(θ), 则找到与所考虑的non-GSO ES最近的纬度的表, 然后用它来对照non-GSO ES上朝向GSO卫星的离轴角进行ES_e.i.r.p.的线性插值。

如果ES_e.i.r.p.掩模的格式为ES_e.i.r.p.(lat)(az)(el)(DeltaLongES), 则找到与所考虑的non-GSO ES最近的纬度表。在该表中, 找到由non-GSO ES所看到的、与non-GSO卫星(方位角, 仰角)有最小角度偏移的(az)(el)阵列。使用该阵列针对non-GSO ES和GSO卫星之间的经度差进行ES_e.i.r.p.的线性内插。

D5.2.8 输出

算法的结果是大小为 $N_{epfd\uparrow}$ 的两个数组, 格式如下:

$N_{epfd\uparrow}$ $epfd\uparrow$ 值数组	$epfd_UP_CALC[I]$	$dB(W/(m^2 \cdot BW_{ref}))$
$N_{epfd\uparrow}$ 百分比数组	$PC_CALC[I]$	%

其中 $PC_CALC[I]$ 是 $epfd_UP_CALC[I]$ 超时百分比。

D5.3 epfd_{is}软件描述

本节描述用来计算从 non-GSO 空间电台到 GSO 上行链路的 epfd_{is} 的算法。从每个空间电台的 e.i.r.p.和离轴角，可以计算得到 GSO 空间电台的 epfd_{is}。该计算在一系列时间步数中重复进行，直到产生一个 epfd_{is} 为止。该分布而后用来与 epfd_{is} 限值进行比较，以便做出通过/不通过的决策。

D5.3.1 参数配置

该子节详细说明了所有 epfd_{is} 计算所需的参数。这是一个有 N 个限值的数据集，可在各运行中共享。应能对该表进行查询，以便能够根据 non-GSO 系统频率的要求使用所需的值。

对每一组限值，将按照第D2.1节中的详细说明对以下内容进行定义：

参数名称	参数值	参数单位与范围
起始频带	FREQ	MHz
GSO增益图	FEND_IS	D部分第5.5节中的单位之一
GSO峰值增益	GSO_SAT_PEAKGAIN	dB _i
GSO半功率波束宽度	GSO_SAT_BEAMWIDTH	度
参考带宽	RIFBW	kHz
epfd _{is} ↓点数	Nepfd_IS	–
Nepfd_UP epfd _{is} ↑值数组	epfd_IS[I]	dB(W/(m ² · BW _{ref}))
Nepfd_UP百分比数组	PC_IS[I]	%

D5.3.2 确定最大epfd配置

GSO 卫星和波束中心的最大 epfd 位置在第 D3.3 节进行定义。

D5.3.3 计算运行步数

使用第 D.4 节中的算法，计算单个的时间步长和时间步数。

D5.3.4 输入参数

本节定义一个特定的 non-GSO 系统的输入参数。在这种情况下，输入是一个一般性术语，可以包括文件或用户输入。信息用于：

- non-GSO系统；
- GSO系统；
- 运行配置。

D5.3.4.1 non-GSO系统参数

将使用在第 B2.1 节中详细说明了的下列参数：

参数描述	参数名称	参数单位
non-GSO卫星数目	N_{sat}	—
轨道具有位置保持维持的循环地面轨迹	是或否	—
主管部门提供特定节点的旋进率	是或否	—
升交点的位置保持范围作为半总范围	W_{Δ}	度

对每个卫星，将使用下列参数，它们在第 B2.1 节中有详细说明，在仿真开始之时，在第 B6.3.1 节中对这些参数的定义进行说明。

注意，在下表中，下标[N]用来表示每个卫星将有不同的值，第 N 个值对应第 N 个卫星。

参数描述	参数名称	参数单位
半长轴	A[N]	km
偏心率	E[N]	—
倾角	I[N]	度
升交点的经度	O[N]	度
近地点角距	W[N]	度
真近地点角	V[N]	度

为了轨道定义和后续的传播，每个卫星都必须有一个独立的参数组，它由 6 个轨道参数组成。

为了定义 non-GSO 地球站的特性，将要用到下列参数，它们在第 B4.3 节中有详细说明：

参数描述	参数名称	参数单位
按照纬度的每个空间电台的e.i.r.p.	non-GSO_SS_e.i.r.p.[Lat][ϕ]	dB(W/BW _{ref})
最小发射频率 ⁽¹⁾	IS_F	GHz

⁽¹⁾ 文档主管部门能提供一组空间电台e.i.r.p.掩模和使该掩模有效的相关频率范围。

D5.3.4.2 GSO系统参数

GSO 系统的参数可以使用第 D5.2 节中的算法计算得到，或使用最差参数，或是输入的值。所需参数如下：

参数描述	参数名称	参数单位
GSO卫星经度	GSO_SAT_LONG	度
GSO视轴纬度	BS_LAT	度
GSO视轴经度	BS_LONG	度
GSO参考增益图	GSO_SAT_PATTERN	第D5.5节中的单位之一

这些参数在第 D6.1 和 D6.2 节中进行定义。

D5.3.4.3 工作参数

下列工作参数可以用第 D4 节中的算法计算得到：

参数描述	参数名称	参数单位
时间步长	TSTEP	秒
时间步数	NSTEPS	—

D5.3.5 算法与计算步骤

在为计算 $epfd_{is}$ 的双时间步长计算中， $N_{coarse} = 1$ 。

为了计算从 non-GSO 系统到 GSO 系统卫星的 $epfd_{is}$ 值，应该使用以下算法。如果需要，该算法还可用于多个并行运行的 GSO 系统。

- 步骤1： 读取第D5.3.4.2节中规定的non-GSO系统参数。
- 步骤2： 读取第D5.3.4.3节中规定的GSO参数。
- 步骤3： 如果需要，使用第D3.3节中的算法，计算最差情况下的GSO位置。
- 步骤4： 通过对所有 $epfd_{is}$ 间隔清零来初始化统计数据。
- 步骤5： 如果需要，使用第D4节中的算法，计算时间步数和时间步长，而后计算结束时间。
- 如果包括了双时间步长算法，那么使用子步骤5.1，否则，对于整个仿真过程， $N_{coarse} = 1$ 。
- 子步骤5.1： 计算粗步长大小 $T_{coarse} = T_{fine} * N_{coarse}$ 。
- 步骤6： 对所有时间步数重复步骤7到步骤19。
- 如果包括了双时间步长算法，那么重复子步骤6.1到步骤17，直到仿真结束。
- 子步骤6.1： 如果是第一步，那么令 $T_{step} = T_{fine}$ 。
- 子步骤6.2： 否则如果还剩不到 N_{coarse} 步，那么令 $T_{step} = T_{fine}$ 。
- 子步骤6.3： 否则如果最后一个步长的任何 α 角在排除区角 ϕ_{coarse} 的范围内，那么令 $T_{step} = T_{fine}$ ，否则令 $T_{step} = T_{coarse}$ 。
- 步骤7： 使用第D6.3节中的算法，更新所有non-GSO卫星的位置向量和速度向量。
- 步骤8： 使用第D6.2节中的算法，更新GSO卫星的位置向量。
- 步骤9： 令 $epfd_{is} = 0$ 。
- 步骤10： 对所有non-GSO空间电台，重复步骤10到步骤18。
- 步骤11： 使用第D6.4.1节中的算法，计算该non-GSO空间电台是否被GSO卫星观测到。
- 步骤12： 如果non-GSO空间电台能被GSO卫星观测到，那么重复步骤13到步骤18。
- 步骤13： 使用第C.3节中的e.i.r.p.掩模，计算non-GSO空间电台在GSO卫星方向上的non-GSO空间电台纬度的e.i.r.p. ($dB(W/BW_{rif})$)。
- 步骤14： 使用第D6.5节所述算法中指定的相关增益图，计算 $G_{RX} = GSO$ 卫星的接收相关增益 (dB)。

步骤15: 使用第D6.4.1节中的算法, 计算non-GSO空间电台与GSO卫星之间的 D =距离(km)。

步骤16: 计算传播因子 $L_{FS} = 10 \log(4\pi D^2) + 60$ 。

步骤17: 计算该non-GSO卫星的 $epfd_{isi}$:

$$epfd_{isi} = e.i.r.p. - L_{FS} + G_{RX} - G_{max}$$

步骤18: $epfd_{is}$ 按 $epfd_{isi}$ 值递增。

子步骤19: $epfd_{is}$ 统计结果按该 $epfd_{is}$ 递增。

如果包括了双时间步长算法, 那么应采用以下步骤:

子步骤19.1: 通过(T_{step}/T_{fine})入口, 在该时间步长, $epfd_{is}$ 统计结果按 $epfd_{is}$ 递增。

步骤20: 使用第D7.1.2节中的算法, 从 $epfd_{is}$ pdf生成 $epfd_{is}$ CDF。

步骤21: 使用第D7.1节中的算法, 将 $epfd_{is}$ 统计结果与限值进行比较。

步骤22: 使用第D7.2节中规定的格式输出结果。

D5.3.6 输出

算法的结果是二个数组, 格式如下:

Nepfd_IS $epfd_{is}$ 值数组	epfd_IS_CALC[I]	dB(W/(m ² · BW _{rit}))
Nepfd_IS百分比数组	PC_CALC[I]	%

其中PC_CALC[I]是 $epfd_{IS_CALC}[I]$ 超时百分比。

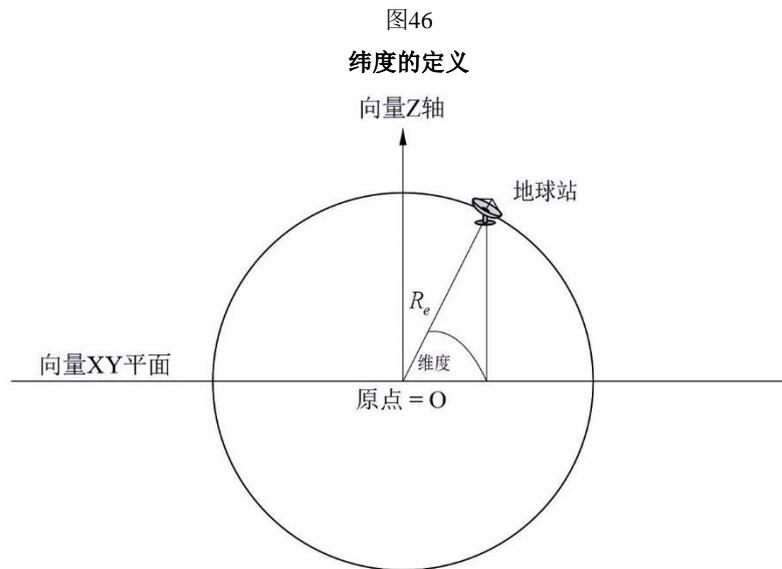
D6 几何关系与算法

本节描述用在软件中定义核心算法的几何关系。一方面是转换成普通的基于向量的笛卡尔坐标系。向量 X 的精确方向未在本建议书中指定, 这允许开发人员可以选择性地应用。选择的坐标轴不会影响结果, 因为卫星和地球坐标系是相对于地球定义的。

为了帮助开发人员, 使用了坐标系的例子来说明如何与通用坐标系进行转换。

D6.1 地球坐标系

图 46 示出地球站的参考坐标系。



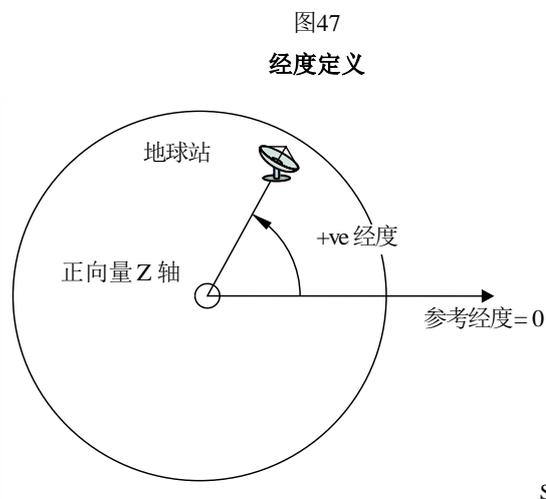
S.1503-46

地球定义成一个球体，半径为 R_e ， R_e 的值在第 A2.2 节中给出。地球绕 Z 轴旋转，转速为 Ω_e ， Ω_e 的值在第 A2.2 节中给出。垂直于 Z 轴、在赤道横穿地球的是 XY 平面。

地球站位于地球上，它有两个角度参数：

纬度：地心与地球站的连线与 XY 平面之间的夹角；

经度：该角如图 47 所示。



S.1503-47

假定地球站的位置（纬度、经度）是不随时间变化的。

XY 平面内 X 轴和 Y 轴的方向在本建议书中并未指定，因为所有的位置都是以地球坐标系为参考的，而不是以一个特定的惯性坐标系为参考。这使得可以采用不同的参考点（如果需要）来实现，而不会影响结果。

一种可能的实现方法如在地心惯性系中所述的那样，在这个例子中，从地理坐标系到地心惯性坐标系的转换通过下面的公式实现：

$$\text{Long} = \arccos\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) \quad \text{如果 } y \geq 0 \quad (5)$$

$$\text{Long} = -\arccos\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) \quad \text{如果 } y < 0 \quad (6)$$

$$\text{Lat} = \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) \quad (7)$$

在这个例子中，使用了坐标系，地理坐标系下的坐标到地心惯性坐标系下的坐标转换关系如下：

$$x = R_e \cos(\text{lat}) \cos(\text{long}) \quad (8)$$

$$y = R_e \cos(\text{lat}) \sin(\text{long}) \quad (9)$$

$$z = R_e \sin(\text{lat}) \quad (10)$$

其中：

- (x, y, z): 地心惯性坐标系下的坐标
- long: 地理经度
- lat: 地理纬度。

在这个例子中，在地心惯性参考系下，地球表面上一个质点的运动方程如下：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_e \cos(\text{lat}) \cos(\text{lon} + \Omega_e t) \\ R_e \cos(\text{lat}) \sin(\text{lon} + \Omega_e t) \\ R_e \sin(\text{lat}) \end{bmatrix} \quad (11)$$

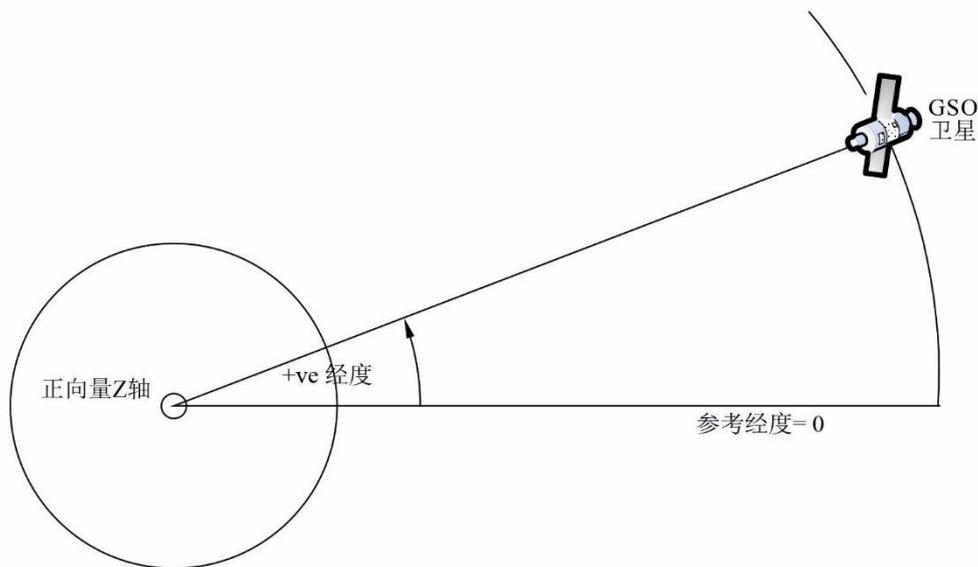
其中：

- lat: 地球表面上质点的地理经度
- lon: 地球表面上质点的地理纬度
- t: 时间
- Ω_e : 地球自转的角速度。

D6.2 GSO卫星坐标系

对地静止弧段是 XY 平面上的一个圆环，它离地球中心的距离为 R_{geo} ， R_{geo} 在第 A2.2 节中详细说明。单个对地静止卫星位于该圆环上，它的经度如图 48 所示。

图48
GSO卫星经度的定义



S.1503-48

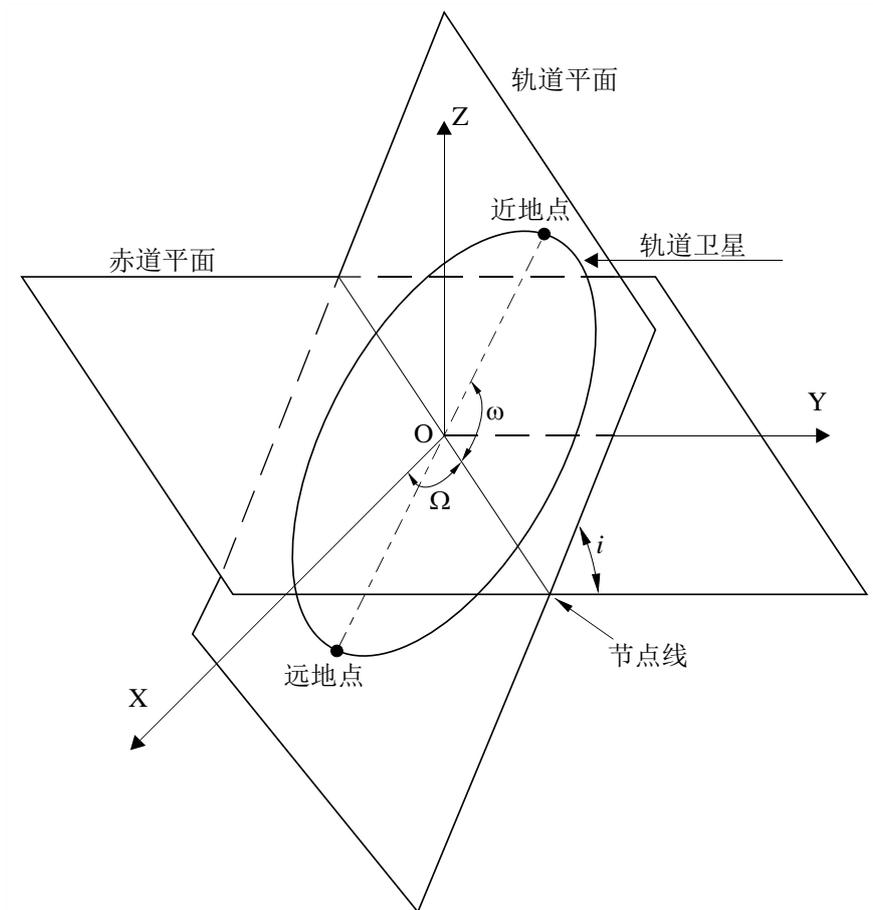
假定对地静止卫星的经度是不随时间变化的。通过将纬度设为0，向量之间的转换可使用上节中所述的相同算法。

D6.3 Non-GSO卫星坐标系

D6.3.1 Non-GSO卫星轨道参数

本节定义表示一个 non-GSO 卫星轨道的参数。non-GSO 卫星在一个如图 49 所示的平面内运动。

图49
轨道平面角



S.1503-49

轨道平面以地球为参考，它有两个角度参数：

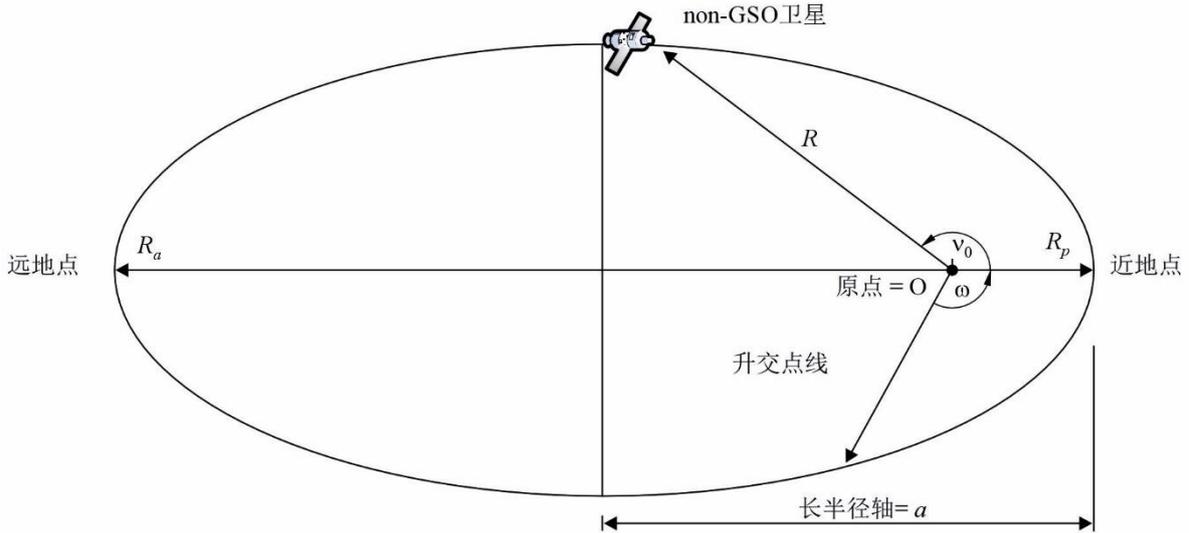
Ω : 轨道的升交点经度：定义为升交轨道平面与赤道平面的相交处。由于轨道在惯性空间中是固定的，而地球是旋转的，因此必须提供一个时间参考，对于该时间参考，该角是合法的。在这种情况下，它便是仿真的开始时间。

i : 轨道倾角：定义为轨道平面与赤道平面的夹角。

轨道和 non-GSO 卫星在轨道内的位置由其他参数定义，如图 50 所示。

图50

non-GSO卫星面内角的定义



S.1503-50

轨道的形状由下列式子定义：

$$a = (R_a + R_p)/2 \tag{12}$$

$$e = (R_a - R_p) / (R_a + R_p) \tag{13}$$

其中：

- a : 长半轴
- e : 偏心率
- R_a : 从地球中心到远地点卫星的距离
- R_p : 从地球中心到近地点卫星的距离。

近地点在轨道平面上的位置由下列定义：

ω : 近地点角距，节点与近地点连线之间的角度。

一个 non-GSO 卫星在一个特定时刻在轨道平面上的位置由下列定义：

v_0 : 近地点与轨道上特定点之间的角度。

对圆轨道， ω 可以置为0， v_0 假定与下式定义的纬度角距相同：

$$\mu_0 = \omega + v_0 \tag{14}$$

其他有用的项为：

$$p = a(1 - e^2) \tag{15}$$

$$M = E - e \sin E \tag{16}$$

$$\tan \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2} \tag{17}$$

$$R = \frac{p}{1 + e \cos(v)} \tag{18}$$

$$T = 2\pi\sqrt{a^3/\mu} \tag{19}$$

其中:

- p : 焦点参数
- E : 偏近点角
- M : 平均近点角
- T : 轨道周期
- R : 当卫星位于位置 v 时, 从地球中心到卫星的距离。

这些参数可用在算法中用来预测在第 D5 节中描述的 non-GSO 卫星的未来位置。

D6.3.2 non-GSO卫星轨道预报器

假定上节所述的轨道要素后, 可以使用标准的轨道机制来预测卫星在未来时刻的位置。此外, 有三个附加的旋进因子可用于下面所述的升交点和近地点角距。

节点线

$$\bar{n} = n_0 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{J_2 R_E^2}{p^2} \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2(i) \right) (1 - e^2)^{1/2} \right) \quad (20)$$

其中:

$$J_2 = 0.001082636$$

$$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$$

升交点经度的轨道旋进

升交点经度长期漂移率定义为:

$$\Omega_r = -\frac{3}{2} \frac{J_2 R_E^2}{p^2} \bar{n} \cos(i) \quad (21)$$

从上面可以得知, 极轨的旋进率为 0, 赤道的旋进率最大。当与卫星运行方向相同时 ($i < 90^\circ$), 升交点向西 (朝 Ω 减小的方向) 漂移; 当与卫星运行方向相反时 ($i > 90^\circ$), 升交点向东 (朝 Ω 增大的方向) 漂移。

近地点角距旋进

近地点角距长期漂移率定义为:

$$\omega_r = \frac{3}{2} \frac{J_2 R_E^2}{p^2} \bar{n} \left(2 - \frac{5}{2} \sin^2(i) \right) \quad (22)$$

近地点角距的旋进率在 $i = 0$ 和 $i = 180$ 时为最大值。当 $i_1 = 63^\circ 26' 06''$ 或 $i_2 = 116^\circ 33' 54''$ 时, 旋进率为 0。如果 $i < i_1$ 或 $i > i_2$, 那么近地点旋进方向与卫星运行方向相同; 如果 $i_1 < i < i_2$, 那么近地点旋进方向与卫星运行方向相反。

使用旋进项

近地点角距定义为:

$$\omega = \omega_0 + \omega_r t \quad (23)$$

其中:

- ω_0 : 初始时刻的近地点角距
- ω_r : 近地点角距旋进率。

当前的升交点经度定义为:

$$\Omega = \Omega_0 + \Omega_r t \quad (24)$$

其中:

Ω_0 : 初始时刻的升交点经度

Ω_r : 升交点经度旋进率。

则修正的轨道周期为:

$$T_P = \frac{2\pi}{\omega_r + \bar{n}} \quad (25)$$

转化成一般笛卡尔基向量依赖于 X 向量的方向。作为一个坐标系的例子, 对圆轨道, 在地心惯性参考系中, 卫星运动表达式可定义为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R (\cos(v + \omega) \cos(\Omega) - \sin(v + \omega) \sin(\Omega) \cos(i)) \\ R (\cos(v + \omega) \sin(\Omega) + \sin(v + \omega) \cos(\Omega) \cos(i)) \\ R \sin(v + \omega) \sin(i) \end{bmatrix} \quad (26)$$

速度向量可以定义为:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x h e}{R p} \sin(v) - \frac{h}{R} (\cos(\Omega) \sin(\omega + v) + \sin(\Omega) \cos(\omega + v) \cos(i)) \\ \frac{y h e}{R p} \sin(v) - \frac{h}{R} (\sin(\Omega) \sin(\omega + v) - \cos(\Omega) \cos(\omega + v) \cos(i)) \\ \frac{z h e}{R p} \sin(v) + \frac{h}{R} \sin(i) \cos(\omega + v) \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$h = \sqrt{\mu p}$$

h : 比角动量

位置和速度矢量的ECF (地心和固定) 分量可以定义为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{ECF} = \begin{bmatrix} x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \\ -x \sin(\theta) + y \cos(\theta) \\ z \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix}_{ECF} = \begin{bmatrix} \dot{x} \cos(\theta) + \dot{y} \sin(\theta) + \Omega_e y_{ECF} \\ -\dot{x} \sin(\theta) + \dot{y} \cos(\theta) - \Omega_e x_{ECF} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \quad (29)$$

其中 Ω_e 是地球的自转速度 ($7,2921158553 * 10^{-5} \frac{rad}{sec}$), θ 是地球本初子午线的格林威治小时角, 即惯性 x 轴和 ECF x 轴之间的角度。

卫星在一个椭圆轨道上的运动是不一致的, 因此, 开普勒表达式和平均近地点角的概念将用在模型上, 作为时间函数来定义实际的近地点角。由于难以获得真近地点角与时间的直接依赖关系, 因此用于求解下列表达式的数值方法将用在其定义上。表达式为:

$$M = M_0 + \bar{n} t \quad (30)$$

开普勒方程 $M = E - e \sin(E)$ 可以用 Newton-Raphson 法求解, 以获得真正的异常:

$$E_0 = M_0 = \arccos\left(\frac{e + \cos(v_0)}{1 + \cos(v_0)}\right) \quad (31)$$

$$E_{i+1} = E_i - \frac{E_i - e \sin(E_i) - M}{1 - e \cos(E_i)} \quad (32)$$

D6.3.3 转化成通用的基于笛卡尔的向量

转换为通用的、基于笛卡尔的向量，将取决于X向量的方向，但一个基于与升交点经度为零之方向对齐的X向量的方法如下所述：

- 1) 对于自仿真开始以来的相关时间 t （以秒为单位），根据需要使用时第D6.3.5节中的决策树来计算进程项的值（ ω, Ω, M ）。
- 2) 利用公式（16）和迭代，从 M 计算偏心异常 E 。
- 3) 利用公式（17），从 E 计算真正的异常值 v 。
- 4) 因此利用公式（18）来计算半径矢量 R 。
- 5) 使用以下公式，以图51中定义的（P, Q）坐标，计算在轨道平面内的卫星位置：

$$\begin{pmatrix} p \\ q \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} R \cos(v) \\ R \sin(v) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

- 6) 利用以下公式创建从卫星轨道坐标到惯性xyz坐标的旋转矩阵：

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \quad (34)$$

其中：

$$R_{11} = \cos(\Omega) \cos(\omega) - \sin(\Omega) \sin(\omega) \cos(i) \quad (35)$$

$$R_{12} = -\cos(\Omega) \sin(\omega) - \sin(\Omega) \cos(\omega) \cos(i) \quad (36)$$

$$R_{13} = \sin(\Omega) \sin(i) \quad (37)$$

$$R_{21} = \sin(\Omega) \cos(\omega) + \cos(\Omega) \sin(\omega) \cos(i) \quad (38)$$

$$R_{22} = -\sin(\Omega) \sin(\omega) + \cos(\Omega) \cos(\omega) \cos(i) \quad (39)$$

$$R_{23} = -\cos(\Omega) \sin(i) \quad (40)$$

$$R_{31} = \sin(\omega) \sin(i) \quad (41)$$

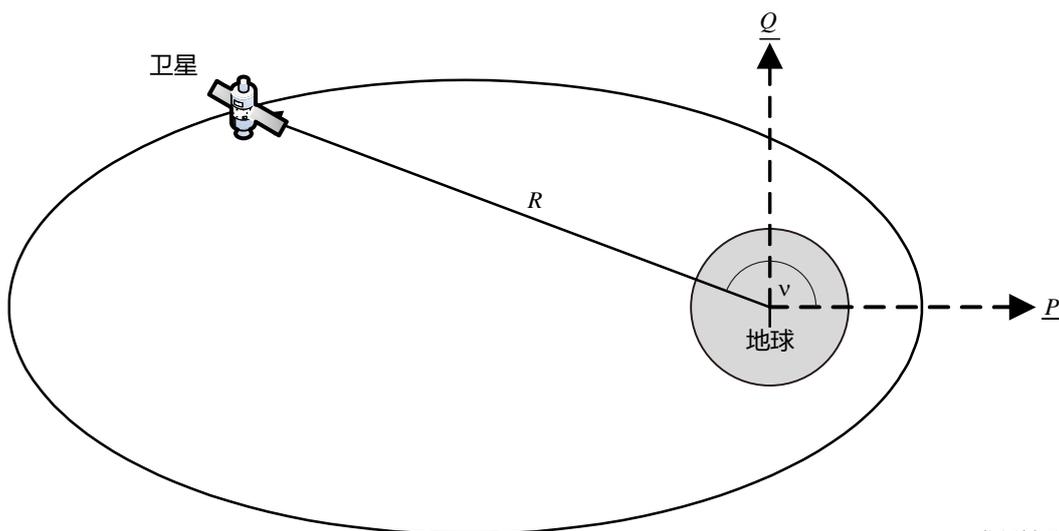
$$R_{32} = \cos(\omega) \sin(i) \quad (42)$$

$$R_{33} = \cos(i) \quad (43)$$

- 7) 因此使用以下公式来计算xyz坐标中的卫星位置：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \tilde{R} \begin{pmatrix} p \\ q \\ 0 \end{pmatrix} \quad (44)$$

图51
卫星P, Q坐标的定义



S.1503-51

D6.3.4 non-GSO卫星轨道位置保持

位置保持的一个重要方面是仿真 non-GSO 卫星多次通过地球站的主波束，每次通过的方向稍微有些偏差。由于在平面内改变位置不会对此造成影响，因此变化的主要参数是升交点的经度。

建议的方法给出了升交点的经度范围 $\pm W_{\text{delta}}$ 。开始仿真时，星座中所有站都有该参数偏移 $-W_{\text{delta}}$ 。在仿真过程中，该参数升至 0（在运行中间点），然后升至 $\pm W_{\text{delta}}$ 。

这通过绕 Z 轴对站的位置和速度向量旋转一个要求的角度来实现，要求的旋转角度在第 D6.3.4 节中有详细说明。

D6.3.5 受迫轨道旋进

标准的轨道预测算法基于地球质点和 J_2 扰动修正因子，下面两种情况下无法进行预测：

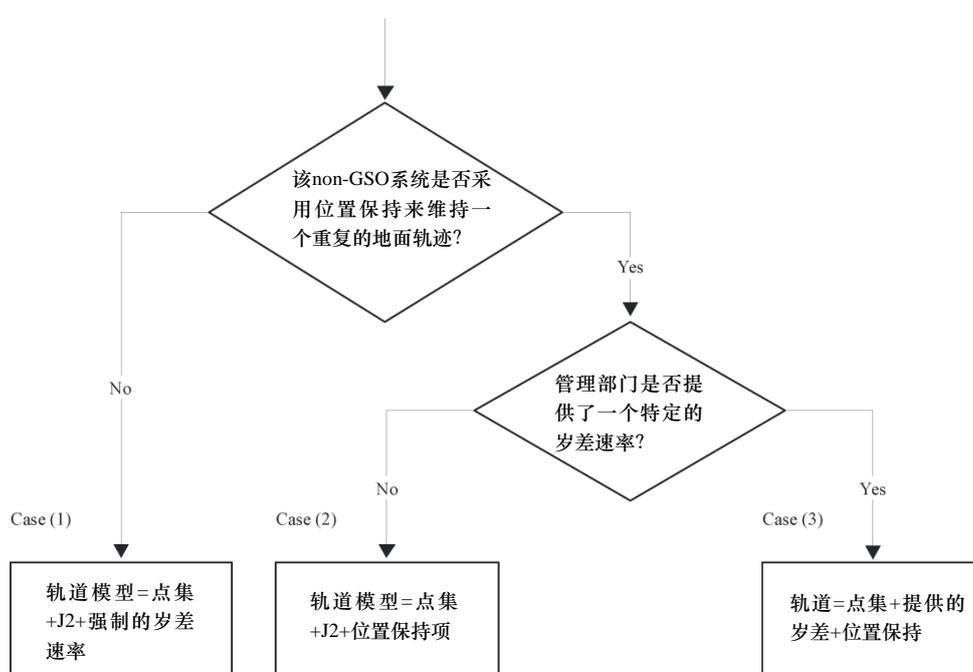
- 当主管部门提供一个详细的关于地球质点的轨道旋进率值以确保循环地面轨迹时；
- 对非循环轨道，采用人工旋进率，以确保以要求的间隔经过赤道。

D6.3.6 组合轨道模型

轨道模型的各种选项可以采用图52中所示的三种方法来组合。

图52

轨道模型选项的流程图



S.1503-52

请注意，赤道轨道*i* = 0星座是一个特殊情况，其中没有位置保持，但每颗卫星的地面轨迹仅仅重复一个轨道。因此，它应该被看做是情形（1），但强制岁差被设置为零，如在D4中所描述。

这三种情况的关键轨道角度以弧度更新如下：

情形1

$$\omega(t) = w_0 + \omega_r t \tag{45}$$

$$\Omega(t) = \Omega_0 + \Omega_r t + \frac{\pi}{180} D_{artificial} t \tag{46}$$

$$M(t) = M_0 + \bar{n} t \tag{47}$$

情形2

$$\omega(t) = w_0 + \omega_r t \tag{48}$$

$$\Omega(t) = \Omega_0 + \Omega_r t + \frac{\pi}{180} \cdot W_{delta} \left(\frac{2t}{T_{run}} - 1 \right) \tag{49}$$

$$M(t) = M_0 + \bar{n} t \tag{50}$$

情形3

$$\omega(t) = w_0 \tag{51}$$

$$\Omega(t) = \Omega_0 + \frac{\pi}{180} D_{admin} t + \frac{\pi}{180} \cdot W_{delta} \left(\frac{2t}{T_{run}} - 1 \right) \tag{52}$$

$$M(t) = M_0 + n_0 t \tag{53}$$

其中：

Ω_r = 升交点经度的*J*₂进动，以弧度/秒为单位

ω_r = 近地点参数的*J*₂进动，以弧度/秒为单位

- \bar{n} = 轨道运动，包括 J_2 项，以弧度/秒为单位
 n_0 = 点质量的轨道运动，以弧度/秒为单位
 $D_{artificial}$ = 人工进动，以度/秒为单位
 D_{admin} = 管理者提供的进动，以度/秒为单位
 W_{delta} = 地球站保持的范围，以度为单位
 t = 仿真时间，以秒为单位
 T_{run} = 总的仿真运行时间，以秒为单位。

D6.3.7 从SRS数据映射轨道参数

以下轨道参数是在SRS / IFIC数据库中给出的：

轨道表：

- 远地点高度 (km) = h_a
- 近地点高度 (km) = h_p
- 倾角 (度) = INC
- 赤经 (度) = RA
- 升交点经度 (度) = LAN
- 近地点角距 (度) = AP。

相位表：

- 相位角 (度) = PA。

对此字段的大部分，有可能几乎直接映射到所需要的轨道参数，例如：

$$a = R_e + \frac{h_a + h_p}{2}$$

$$e = \frac{h_a - h_p}{2a}$$

$$i = \text{INC}$$

$$\Omega = \text{LAN}$$

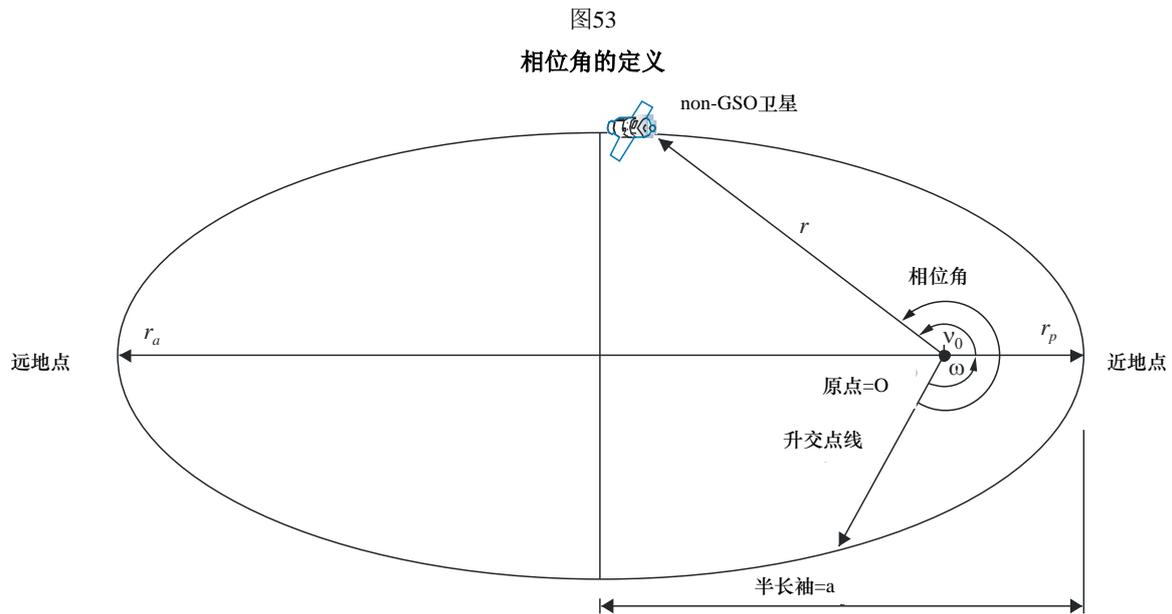
$$\omega = \text{AP}$$

请注意，这个算法采用基于经度而不是赤经的升交点定义来保证轨道正确的参照于地球站的经度。

要定义的最后字段是真近点角 v ，它可以从相位角推算出来。在无线电规则附录4中相位角被定义如下：

A.4.b.5.b: 在参考时间 $t = 0$ 时在其轨道平面中的第 i 颗卫星的初始相位角 (ω_i)，从升交点测量， ($0^\circ \leq \omega_i < 360^\circ$)

该相位角显示在图53中：



S.1503-53

因此，可以如下从相位角推算出真近点角：

$$v_0 = PA - \omega$$

或者：

$$PA = \omega + v_0 = \mu_0$$

D6.4 几何关系

D6.4.1 二个站之间的距离

以 (x, y, z) 形式给定二个站的位置向量，可以采用下式计算出它们之间的距离：

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

D6.4.2 到地球地平线的距离

可以如下地计算出具有以地球为中心位置向量幅度 R 的站到地平线的距离 D_h ：

$$D_h = \sqrt{R^2 - R_e^2}$$

D6.4.3 卫星可见性检查

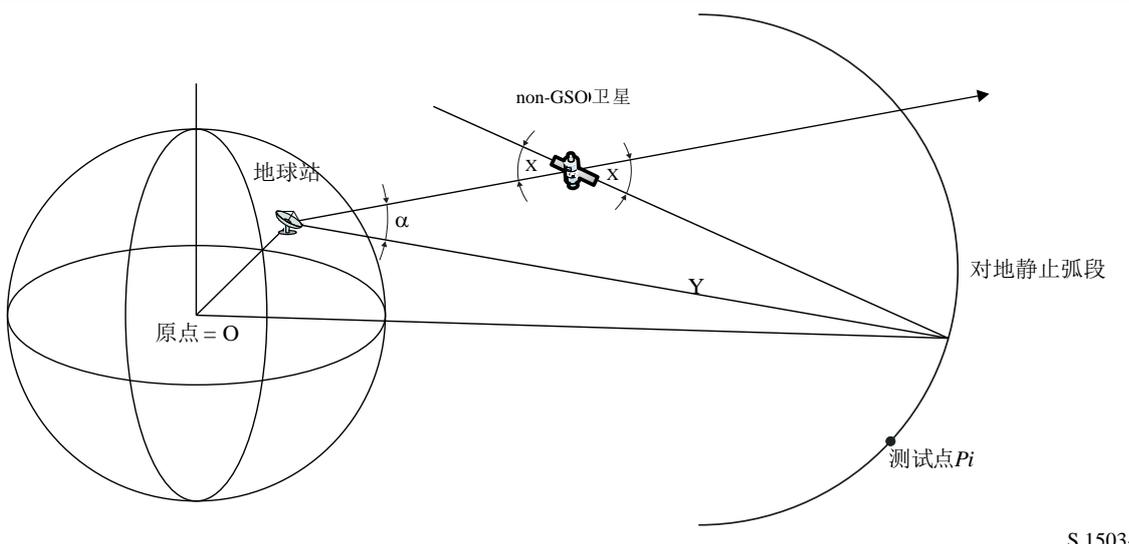
两个站，不论是地球站还是卫星，可见的条件是它们之间的直接距离比每个站到地平面距离的和要小，利用第D6.1节中所述的地球模型计算。

D6.4.4 至GSO弧段的角和 Δ 经度

D6.4.4.1 定义

图 54 示出 α 角的定义。

图54
α角的定义



S.1503-54

该图示出一个测试地球站和 non-GSO 卫星。

对GSO弧段上的每一个测试点 P_i ，有一条从地球站出发并与该点交叉的直线。那么在该线与从地球站至non-GSO卫星的直线之间就存在一个夹角，记为 α_i 。

对所有的测试点而言， α 角是最小的，对应它的线不与地球相交，即：

$$\alpha = \min(\alpha_i)$$

α 的符号是如下由从地球站到non-GSO卫星的线与XY平面是以一个小于还是大于GSO半径的距离相交来决定的：

设：

地球站位置向量： \underline{R}_{ES}

non-GSO卫星位置向量： \underline{R}_{NS}

构成线：

$$\underline{R} = \underline{R}_{ES} + \lambda \underline{R}_{EN}$$

此处：

$$\underline{R}_{EN} = \underline{R}_{NS} - \underline{R}_{ES}$$

当如下时，此线穿过XY平面：

$$R(z) = 0$$

即，当：

$$\lambda_{z=0} = \frac{-R_{ES}(z)}{R_{EN}(z)}$$

因此：

$$\underline{R}_{z=0} = \underline{R}_{ES} + \lambda_{z=0} \underline{R}_{EN}$$

α 、 X 的符号由下式确定：

如果 $\lambda_{z=0} < 0$ 则 $R_{z=0} = \text{无穷大}$

在ES位于北半球的情况下：

如果 $R_{z=0} < R_{geo}$ ，则 α 是正；

如果 $R_{z=0} = R_{geo}$ ，则 α 是零；

如果 $R_{z=0} > R_{geo}$ 或者如果 $\lambda_{z=0} \leq 0$ ，则 α 是负。

在ES位于南半球的情况下：

如果 $R_{z=0} > R_{geo}$ ，则 α 是正；

如果 $R_{z=0} = R_{geo}$ ，则 α 是零；

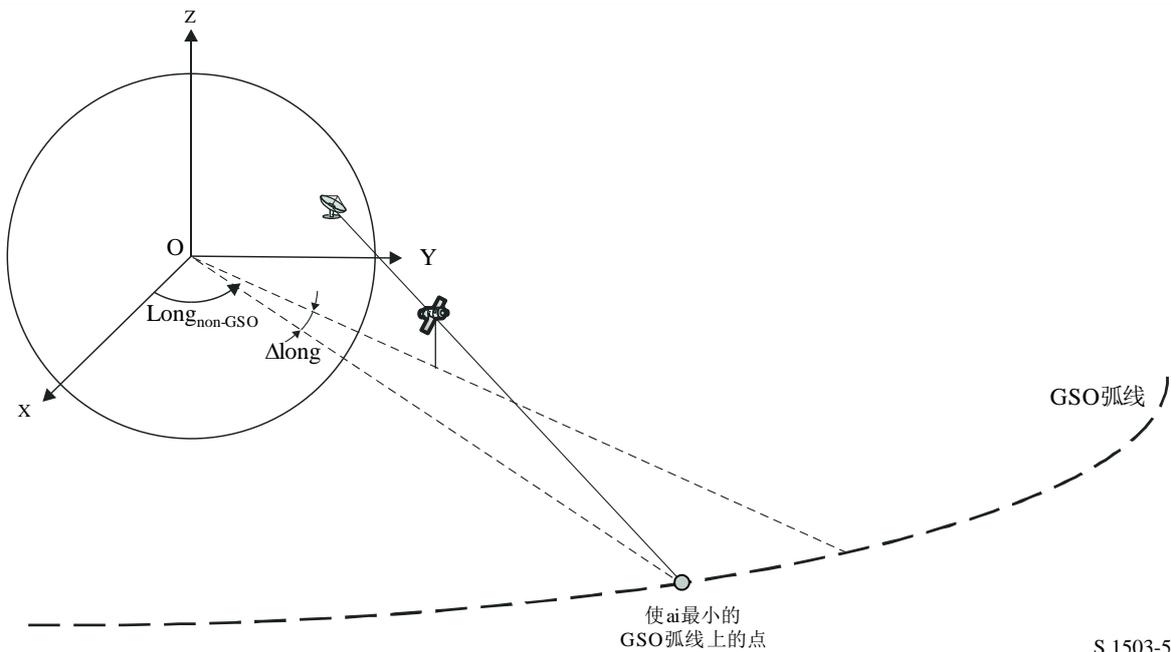
如果 $R_{z=0} < R_{geo}$ 或者如果 $\lambda_{z=0} \geq 0$ ，则 α 是负。

在ES位于赤道的情况下：

α 是符号 $R_{EN}(z)$ 的负数

从标记来给出 α 角的测试点，可以计算在non-GSO星下点和 α 角被最小化的GSO弧线上的点之间的 Δ 经度，如图55中所示：

图55
 Δ 经度的定义



S.1503-55

因此：

$$\Delta\text{Long} = \text{LongAlpha} - \text{LongNGSO}$$

α 迭代应采用满足第D1.4节中要求的测试点。

如果GSO弧上有两个点给出相同的 α （可能是可见点的两个边），则应该选择绝对值 ΔLong 最小的那个点。如果两者具有相同的 ΔLong 但符号不同，则应使用正值。

D6.4.4.2 α 的搜索范围

请注意，如果经度差小于以下值，则GSO弧在高度 h_{nGSO} 和纬度 lat_{nGSO} 上对non-GSO是可见的：

$$\cos \Delta long = \frac{\cos x}{\cos lat_{nGSO}}$$

其中：

$$x = x_1 + x_2$$

以及：

$$\cos x_1 = \frac{R_e}{R_{gso}}$$

$$\cos x_2 = \frac{R_e}{R_e + h_{nGSO}}$$

通过设置 $x_2 = 0$ ，可以以类似的方式计算对ES可见的、GSO弧的范围。

D6.4.4.3 α 的符号

下面的图56和图57旨在澄清从北半球和南半球的non-GSO卫星或non-GSO ES角度看到的 α 的符号。

当non-GSO卫星位于北半球时：

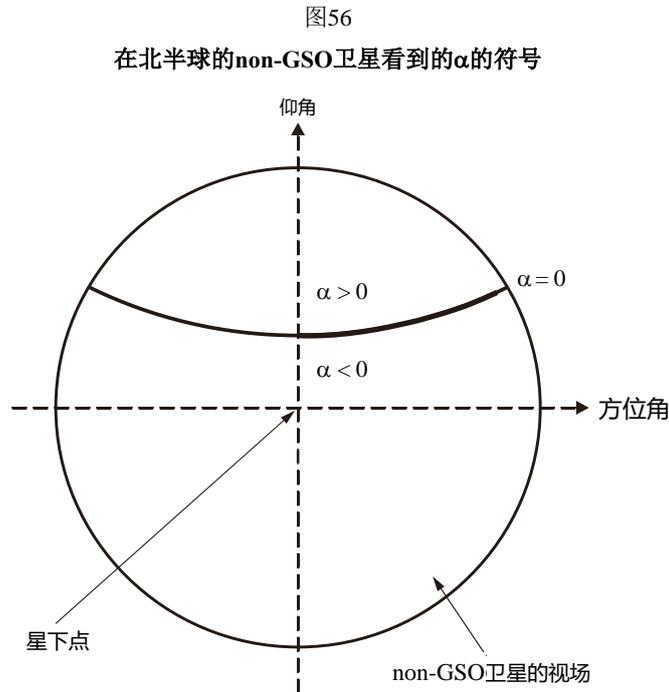
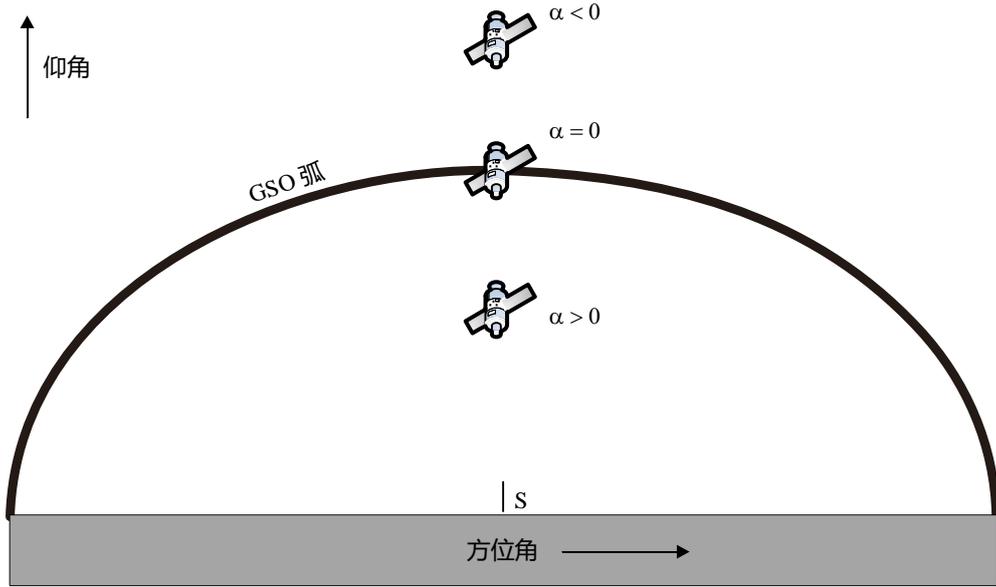


图57

在北半球的non-GSO ES向南看时看到的 α 的符号

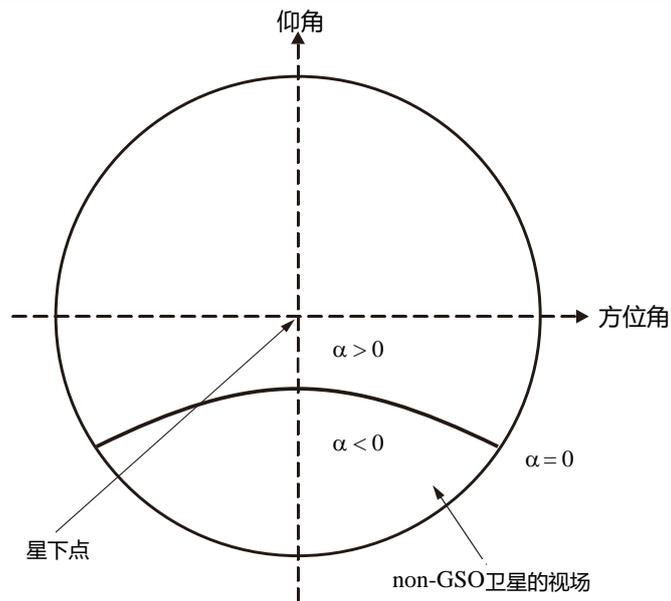


S.1503-57

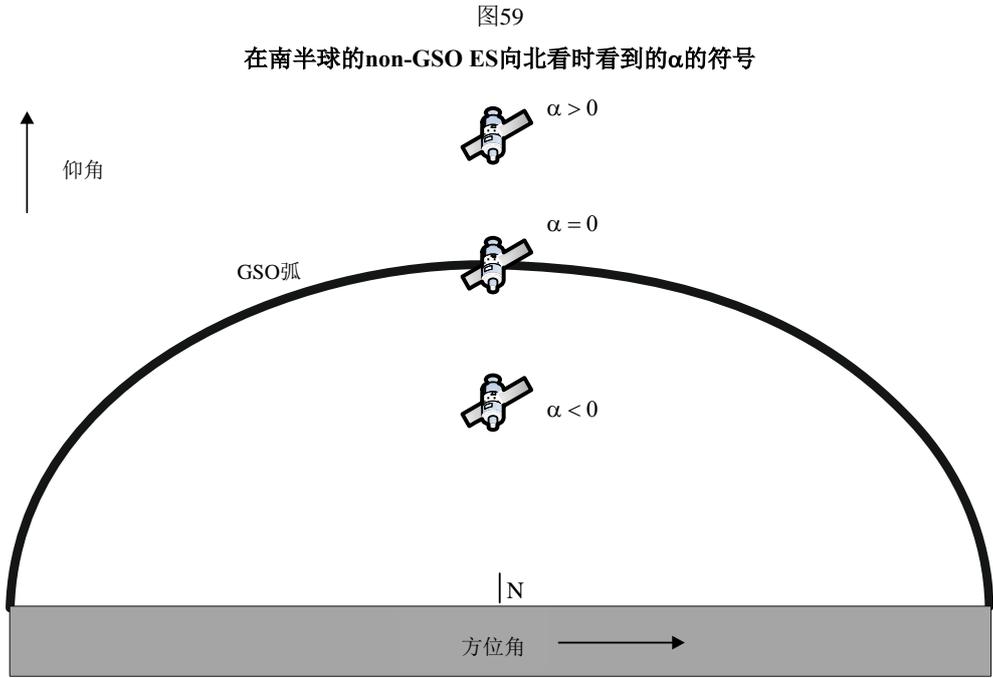
对non-GSO卫星位于南半球时的情况，几何形状如图58和图59所示：

图58

在南半球的non-GSO卫星看到的 α 的符号



S.1503-58



S.1503-59

D6.4.4.4 计算 α 和 β 的解析方法

本节介绍了一种解析方法，用来计算 α 角以及相关的 β 角。

α 的解析计算

计算 α 的解析方法从以下两个输入开始：

\mathbf{P} = GSO ES的位置矢量，典型值为量级=地球半径= R_e

\mathbf{N} = non-GSO卫星的位置矢量。

这些被定义为：

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{pmatrix}$$

则假设：

\mathbf{G} = 由角度 θ 和对地静止轨道半径 R_{geo} 指定的、GSO弧上点的位置矢量：

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} R_{geo} \cos \theta \\ R_{geo} \sin \theta \\ 0 \end{pmatrix}$$

则 α 是线 \mathbf{PN} 与 \mathbf{PG} 之间所有 θ 角中的最小值，其中：

$$\mathbf{PN} = \begin{pmatrix} x_n - x_p \\ y_n - y_p \\ z_n - z_p \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{PG} = \begin{pmatrix} R_{geo} \cos \theta - x_p \\ R_{geo} \sin \theta - y_p \\ -z_p \end{pmatrix}$$

这可以利用以下公式来计算得到：

$$\cos \alpha = \frac{\mathbf{PN} \cdot \mathbf{PG}}{|\mathbf{PN}| |\mathbf{PG}|}$$

在以下情况下，这将在 θ 上被最小化：

$$\frac{d\alpha}{d\theta} = 0$$

在以下情况下，这也是：

$$\frac{d}{d\theta} \left[\frac{\mathbf{PN} \cdot \mathbf{PG}}{|\mathbf{PN}| |\mathbf{PG}|} \right] = 0$$

将其写为：

$$\frac{d}{d\theta} \left[\frac{f}{g} \right] = 0$$

则 f 可以写成：

$$f = A + B \cos \theta + C \sin \theta$$

其中：

$$A = -[(x_n - x_p)x_p + (y_n - y_p)y_p + (z_n - z_p)z_p]$$

$$B = (x_n - x_p)R_{geo}$$

$$C = (y_n - y_p)R_{geo}$$

且 g 可以写成：

$$g = \sqrt{E + F \cos \theta + G \sin \theta}$$

其中：

$$E = R_{geo}^2 + R_e^2$$

$$F = -2x_p R_{geo}$$

$$G = -2y_p R_{geo}$$

请注意， $D = PN$ 的量级不依赖于 θ ，因此是一个不需要做进一步考虑的常数。

利用：

$$g = \sqrt{g_r}$$

并注意到：

$$\frac{d}{d\theta} \left[\frac{f}{g} \right] = 0$$

当：

$$\frac{d}{d\theta} \left[\left(\frac{f}{g} \right)^2 \right] = 0$$

即当：

$$\frac{d}{d\theta} \left[\frac{f^2}{g_r} \right] = 0$$

利用 f 来表示由 θ 区分的 f ，利用标准方法可将之扩充为：

$$\frac{2ff'g_r - g_r'f^2}{g_r^2} = 0$$

这可以简化为：

$$2f'g_r = g_r'f$$

利用：

$$x = \sin \theta$$

请注意，有一种替代解决方案，它使用 $\cos \theta$ 而不是 $\sin \theta$ 。

利用一组新的参数 $\{a, b, c, d, e\}$ 将之简化为：

$$[a + bx]^2(1 - x^2) = [c + dx + ex^2]^2$$

其中：

$$a = AG - 2CE$$

$$b = BF - CG$$

$$c = 2CF - BG$$

$$d = AF - 2BE$$

$$e = -BG - CF$$

可扩充之，然后重新组织成：

$$a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 = 0$$

其中：

$$a_4 = e^2 + b^2$$

$$a_3 = 2de + 2ab$$

$$a_2 = d^2 + 2ce + a^2 - b^2$$

$$a_1 = 2cd - 2ab$$

$$a_0 = c^2 - a^2$$

这个四次方程可以使用许多方法来求解，包括使用Newton-Raphson方法¹。该方法旨在求解变量 x 的函数 f ，方法是使用迭代法，给出一个初始值且 $f=f$ 的导数，公式如下：

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

其中：

$$x = \sin \theta$$

$$f(x) = a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0$$

$$f'(x) = 4a_4x^3 + 3a_3x^2 + 2a_2x + a_1$$

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_method

当 x_n 和 x_{n+1} 之间的绝对差值小于 $1e-6$ 时，Newton-Raphson方法被认为是收敛的。

对于初始值， $x=+1$ 和 $x=-1$ 均可使用，并导出了两种解决方案来匹配从GSO ES位置 P 到non-GSO卫星 N 前向或后向的线的两种情况。

该分析方法未考虑GSO ES所看到的GSO弧的可见范围。因此，有必要使用下列公式确定可视GSO弧的最大范围：

$$\cos \theta_{\max} = \frac{R_e}{R_{geo} \cos Lat_{ES}}$$

GSO弧上对应于 $\pm\theta_{\max}$ 的点可被视为其他可能的解。要使用的解决方案是在 $-\theta_{\max}$ 到 θ_{\max} 范围内的解决方案，得出最小alpha角的那个方案。

如果这些方法不能推算出适用于四次方程的解，则迭代法可用作后退法，但优选方法是解析法。

β 的解析计算

β 角的定义方式与 α 的类似，但对GSO卫星的某个给定位置，在non-GSO卫星的所有可能位置上，予以最小化，其半径矢量为 R_n 、纬度为 lat 、经度未知。

计算 β 的解析方法从以下两个输入开始：

P = GSO ES的位置矢量，典型值为 R_p = 地球半径 = R_e

G = 量级为 R_g 的GSO卫星的位置矢量

这些定义为：

$$P = \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix}$$

$$G = \begin{pmatrix} x_g \\ y_g \\ 0 \end{pmatrix}$$

则假设：

N = 纬度 lat 、角度 θ 和对地静止轨道半径 R_n 处的non-GSO卫星的位置矢量：

$$N = \begin{pmatrix} R_n \cos lat \cos \theta \\ R_n \cos lat \sin \theta \\ R_n \sin lat \end{pmatrix}$$

则 β 是线 PN 与 PG 之间所有 θ 角中的最小值，其中：

$$PN = \begin{pmatrix} R_n \cos lat \cos \theta - x_p \\ R_n \cos lat \sin \theta - y_p \\ R_n \sin lat - z_p \end{pmatrix}$$

$$PG = \begin{pmatrix} x_g - x_p \\ y_g - y_p \\ -z_p \end{pmatrix}$$

这可以利用上面类似的方法来计算，使用 f 和 g_r 函数：

$$f = A + B \cos \theta + C \sin \theta$$

$$g_r = E + F \cos \theta + G \sin \theta$$

其中:

$$A = R_P^2 - (x_G x_P + y_G y_P + z_P R_N \sin lat)$$

$$B = (x_G - x_P) R_N \cos lat$$

$$C = (y_G - y_P) R_N \cos lat$$

以及:

$$E = R_N^2 + R_P^2 - 2z_P R_N \sin lat$$

$$F = -2x_P R_N \cos lat$$

$$G = -2y_P R_N \cos lat$$

请注意, $D = PG$ 的幅度不依赖于 θ , 因此是一个不需要做进一步考虑的常数。

当已经定义了参数集 $\{A, B, C, E, F, G\}$ 时, 则可以使用类似的方法来求解 θ , 就像上面求解 α 一样。可能存在一些情况, 例如它用在最坏情况几何算法中, 其中不需要对可见性进行检查。

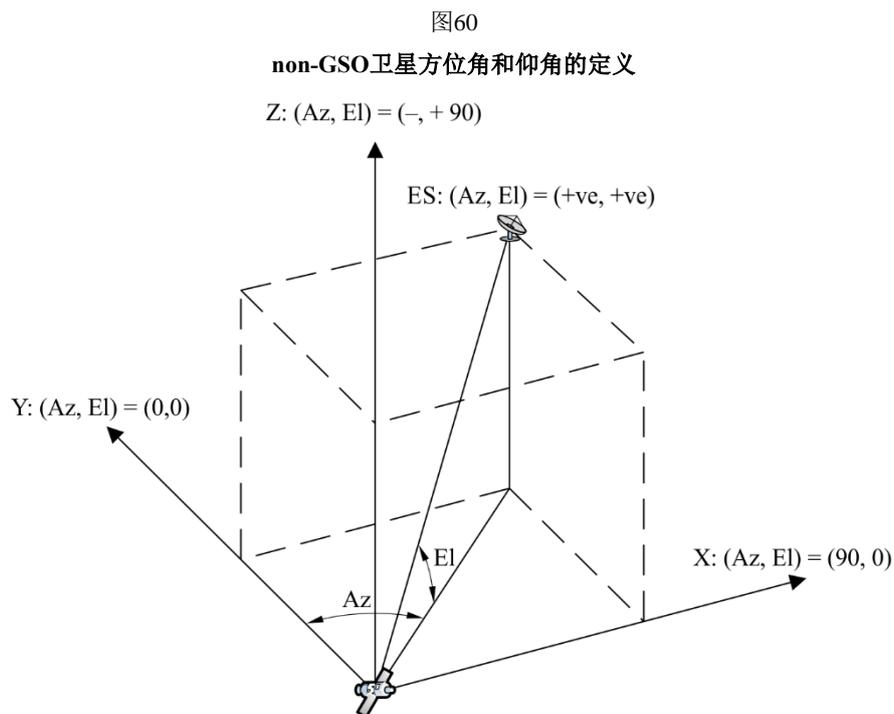
D6.4.4.5 DeltaLongES

用于定义ES_e.i.r.p.掩模的non-GSO ES与GSO弧上某点的经度差定义如下:

$$\text{DeltaLongES} = \text{Longitude(GSO point)} - \text{Longitude(Non-GSO ES)}$$

D6.4.5 卫星和地球站的方位角和仰角

图 60 显示了 non-GSO 卫星使用的方位角和仰角定义:



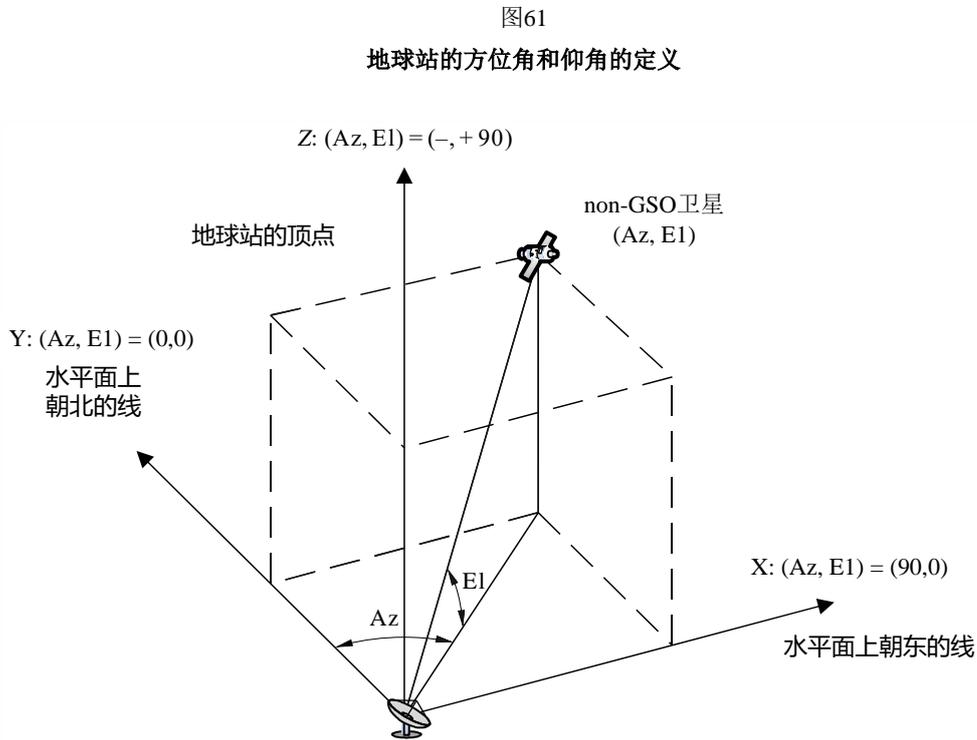
应注意到，在这个图中笛卡尔向量 X 、 Y 、 Z 的方向是：

X : +ve 从 non-GSO 卫星指向东方向

Y : 从 non-GSO 卫星指向地球中心方向

Z : +ve 从 non-GSO 卫星指向北方向。

对地球站而言，方位角和仰角的定义如图61所示：



S.1503-61

应该注意的是，该图中笛卡尔 X 、 Y 、 Z 向量的方向为：

X : +ve 从水平面的地球站指向东方向

Y : 从水平面的地球站指向北方向

Z : +ve 指向垂直于水平面的地球站的顶点。

此外，归一化坐标 u 和 v 可以根据方位角和仰角计算如下：

$$u = \cos(El) * \cos(Az)$$

$$v = \cos(El) * \sin(Az)$$

D6.5 增益图

本节定义用于地球站和卫星算法中的增益图。注意，所有的公式包括峰值增益，因此对需要相对增益的场合，峰值增益应该被减掉。

D6.5.1 GSO地球站增益图

D6.5.1.1 FSS地球站增益图

使用的 FSS 地球站增益图在 ITU-R S.1428 建议书中有详细说明。

D6.5.1.2 BSS地球站增益图

使用的 BSS 地球站增益图在 ITU-R BO.1443 建议书中有详细说明。

D6.5.2 GSO卫星增益图

使用的峰值增益值、半功率波束宽度和天线参考辐射图在《无线电规则》第 22 条中有详细说明。基于 ITU-R S.672 建议书。

应使用表16来选择用于分析的峰值增益。

表16

峰值增益与ITU-R S.672建议书一起使用

第22条中的半功率波束宽度	用于分析的峰值增益
1.5°	41.0 dBi
1.55°	40.7 dBi
4°	32.4 dBi

D7 结果的结构与格式

D7.1 通过/不通过决策

D7.1.1 决策过程总体描述

仿真得出一个 pfd 的概率分布函数 (PDF)。对每个 pfd 电平, PDF 记录着产生的 pfd 电平被所有间隔之和相除的仿真时间步数。应将 PDF 转换成一个累积分布函数 (CDF), CDF 记录着每个 pfd 电平的、pfd 电平过大时的仿真时间步数,以总的仿真时间步数进行归一化处理。

请注意,术语“累积分布函数”旨在依据情形纳入互补累积分布函数的概念。

D7.1.2 CDF的产生

在第 D5 节中详细描述的过程产生一个 pfd 值的 PDF。该 PDF 应转换成一个 CDF, CDF 记录着每个 pfd 电平的、pfd 电平过大时的时间百分比的估计值。

对每个 pfd 值, CDF 应通过下式计算:

$$CDF_i = 100 (1 - \text{SUM} (\text{PDF}_{min: \text{PDF}_i}))$$

其中:

PDF_x: 针对 X dB pfd 值的 PDF 表入口, 需要进行归一化处理, 以使所有 PDF_x 的总和为 1。

D7.1.3 比较程序

下一阶段是将《无线电规则》中的 pfd 限值与概率表中的值进行比较：

步骤1：对每个规格限值 i ，执行步骤2到步骤4。

步骤2：从数据库读取pfd值/概率对（ J_i 和 P_i ）。

步骤3：如果pfd值 J_i 的精度高于 S_B （目前为0.1 dB），那么对 J_i 四舍五入，取下限值，最高精度为0.1 dB。

步骤4：从CDF中找出 P_i ，它是pfd值 J_i 超过软件获得值的概率。

步骤5：如果 $P_i < P_i$ ，那么记录“通过”：CDF符合该规格点。否则记录“不通过”：CDF不符合该规格点。

最后阶段是将在软件运行阶段记录的最大 pfd 值与针对 100%时间规定的限值（如果有的话）进行比较。

从 CDF 中找出在软件运行阶段记录的最大 pfd 值 J_{max} ，把它与针对 100%时间规定的限值 J_{100} 进行比较。如果 $J_{max} < J_{100}$ ，那么记录“通过”：CDF 符合该规格点；如果 $J_{max} \geq J_{100}$ ，那么记录：CDF 不符合该规格点。

D7.1.4 决策过程

如果对所有规格限值记录的结果都为“通过”，那么 non-GSO 网络符合该规格。如果记录有任何“不通过”结果，那么就认为 non-GSO 网络不符合该规格。

D7.2 决策的背景信息

需要的背景信息为：

- 软件运行时生成的pfd数据（包括天线直径）和参考天线图；
- 用于各种天线直径和参考天线图的规范限值表。

D7.3 输出格式

输出格式应为：

- 测试结果的说明；
- 汇总表；
- CDF表（仅提供信息）。

D7.3.1 符合性测试结果说明

应输出第 D7.1.4 节中定义的总的评估（通过或不通过）。

D7.3.2 汇总表

汇总表应列出以下数据（见表 17）：

表17
汇总表

规格点		结论	仿真点
pdf值	概率		概率
$J_1 \text{ dB}(W/(m^2 \cdot BW_{ref}))$	P_1	通过/不通过	P_y
:	:	:	:
$J_i \text{ dB}(W/(m^2 \cdot BW_{ref}))$	P_i	通过/不通过	P_y

其中：

J_i 和 P_i ： pdf值/概率规格值，来自数据库

通过/不通过：测试结果

P_y ： 概率值，来自概率表。

D7.3.3 概率表

输出应包括有关计算得到的 CDF 的信息，CDF 用在决策过程中。

E部分

软件输出可靠性测试

E1 候选软件计算精度评估

这些测试可由软件开发人员完成，测试结果和候选软件提供给无线电通信局。

需要评估以下软件功能：

轨道投影 – 使用一组经过简化的参数，以产生一个定义的循环周期，按照要求的仿真间隔运行软件，检查实际值（卫星向量）并与预期值进行对比。

偏移角 – 使用若干组适当的地球站和卫星位置，检查实际波束的偏移角值并与预期值进行对比。这些组测试数据应能覆盖大部分复杂的三角关系情况：例如，在经度为 0° 和经度为 180° 的位置。

时间步长和仿真周期 – 使用若干组适当的non-GSO网络参数，检查软件生成的时间步长值和仿真周期值并与预期值进行对比。

生成CDF – 使用若干组已知CDF结果的测试输入文件，验证CDF生成软件。

通过/不通过决策过程 – 使用若干组CDF测试输入文件，验证通过/不通过决策过程的正确性。

应该能够执行多次，然后通过敏感性分析来对软件进行评估，可对其输出结果进行比较以便确保一致性。

E2 无线电通信局得到的epfd（↓/↑）统计结果的评估

这些测试将作为每次运行的一部分由软件自动执行，以确认在运行中确实能够找到最差干扰事件。

100%时间的epfd值 – 运行中获得的100%时间的epfd↓值应与通过分析non-GSO星座的计算值进行比较。获得的值应在期望值的 $\pm 0.X$ dB范围内。

E3 pfd掩模验证

pfd掩模是无线电通信局的验证工具的输入，该验证工具由负责通告的主管部门提供给无线电通信局，同时提供的还有用于计算的软件、完整的软件描述和参数。当出现争议时，可将产生pfd掩模的信息提供给感兴趣的主管部门。

E4 无线电通信局的软件经修改或升级后的重新测试

应定义一组测试，用于无线电通信局的软件或软件运行环境发生了变化或进行了升级的情况。这些测试包括：

- a) 在第E1节中定义的、用于候选软件计算精度初始评估的部分或全部测试；
- b) 重复一组典型的、对实际non-GSO文档进行的评估，将初始软件系统获得的结果与经过修改的软件系统获得的结果进行比较。

F部分

实现本建议书的软件

F1 操作系统

该软件应在 Windows 10 或更高版本操作系统的微软平台上运行。

F2 与现有软件和数据库的接口

无线电通信局将所有输入的、与空间业务有关的通告都归入一个文字数字数据（SNS）中央数据库中；并将图形数据（GIMS）归入另一个数据库中，如天线图、服务区。这些数据库用于出版发行 DVD 数据、周报及其特刊，还可用于提供软件包的输入数据，这些软件包用于执行《无线电规则》附录 8 和 pfd 检查。批处理的图形接口（GIBC）被用来采用这些不同模块执行检验。这确保了出版的数据也是用在这些检查中的数据。无线电通信局认为这对通告主管部门和其业务可能受新站影响的主管部门都很重要。这不仅方便了无线电通信局，也确保了对主管部门的一致性和透明度。

F3 用户手册

用户手册的目的是告诉使用者如何进行不同的测试来获得某个结果。考虑到这些测试的复杂性，需要对测试进行详细论述。
