

ITU-R S.1713-1建议书

计算在其“业务”弧上的非对地静止高地球轨道（HEO）类卫星
固定业务（FSS）卫星与对地静止卫星之间
在地球表面的最小隔离角的方法

（ITU-R第241/4号课题）

（2005-2007年）

范围

本建议书为在地球表面任何位置计算“活动”弧内的HEO卫星与对地静止轨道之间的最小隔离角提供了方法。

- a) （GSO）弧内所有可见位置；
- b) 特定GSO卫星。

第一种方法（见附件3）对于确定HEO系统是否符合《无线电规则》第22条等效功率通量密度（epfd）限值适用的频段内的epfd限值十分有益。第二种方法（见附件5）适用于特定GSO网络与HEO类FSS卫星之间的干扰评估。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 在大多数HEO卫星系统的设计中，每个卫星的远地点出现在其轨道的最高纬度点上，且每个卫星仅在远地点附近的“业务”弧内发射信号；
- b) 确定HEO系统和GSO系统出现最严重干扰的关键参数是最小隔离角，此时处于业务弧段的HEO卫星可被任何运行于GSO卫星系统中的地球站所观察到；
- c) 面向地球表面的HEO卫星与GEO内某点之间的夹角，会随地球表面上那一点的经纬度而变化。这样，GSO网络中与某地球站操作的卫星与HEO卫星之间的隔离角，将随此地球站的经纬度发生变化。
- d) 确定HEO系统和GSO网络之间的最小隔离角有利于迅速初步确定HEO系统和GSO系统的频带共用潜力；
- e) 对于适用《无线电规则》第22条规定的epfd限值的频段，非GSO系统，包括HEO系统，在地球表面任何位置均必须符合epfd_↓限值，并顾及GSO弧中所有可视位置的下行链路（无论GSO目前是否存在于最差经度）；
- f) 对于考虑到a)中所述的、在适用《无线电规则》第22条规定的epfd限值的频段内运行的HEO系统，最大epfd对应于业务弧内HEO卫星与最差GSO经度间的地表最小隔离角，且这种情况发生在HEO卫星出现在其业务弧最前端或最末端时（即业务弧中的最低纬度点）；

g) 对于不适用《无线电规则》第22条规定的 $epfd$ 限值的频段，HEO系统与特定GSO网络间的频率共用通常需要计算业务弧内的HEO卫星与特定GSO卫星位置间，在地球表面的最小隔离角；

h) 对于考虑到a)中描述的HEO系统，根据考虑到g)中所述的计算将得出业务弧内HEO卫星与特定GSO卫星间在地球表面的最小隔离角，但这种情况未必会出现在HEO卫星处于业务弧最前端或最末端时，

建议

1 附件1中所述的方法可用于计算运行于某一给定GSO卫星系统中的特定地球站与所观察到的某一业务弧内HEO卫星的隔离角，然后再计算地球表面的最小隔离角，并顾及所有可能的地球站位置以及所有可能的GSO卫星经度；

2 附件2可用于确定由HEO卫星的干扰所造成的GSO链路噪声温度的增加；

3 可将附件5中所述的方法用于计算最小隔离角，此时位于业务弧内的某给定HEO卫星，可以从某特定GSO卫星的特定地球站“观测”到。

注1 – 附件3通过对附件1和附件2中的方法进行迭代计算来确定最小隔离角，在该角度上，在某一HEO系统业务弧段中的卫星可被运行于GSO卫星系统中的任何地球站所观察到并进而计算GSO链路中最坏情况下噪声温度的增加。

注2 – 附件4给出了应用附件1至附件3的示例。

注3 – 附件6给出了应用附件5的示例。

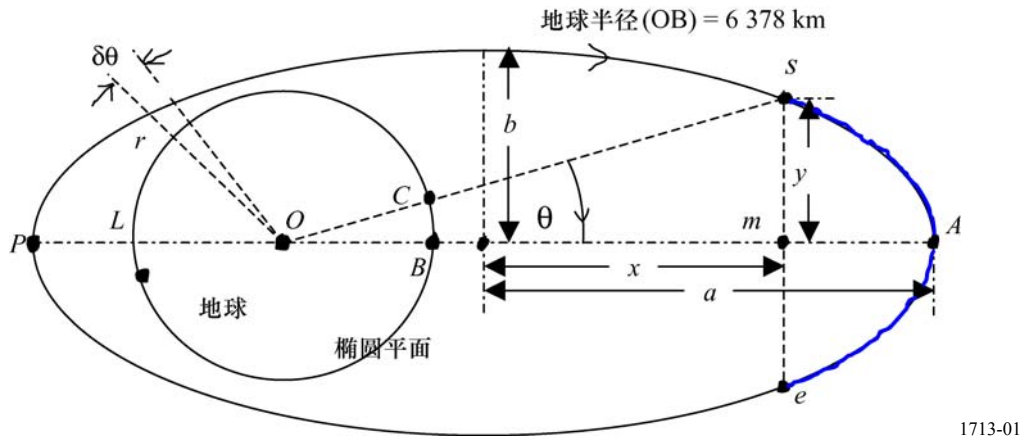
附件1

计算相对于地球表面业务弧内HEO卫星与对地静止 轨道可视部分之间最小角的方法

图1是一个卫星围绕地球运转所形成的二维路径图形。一般来说这将是一个椭圆形轨道，两焦点之一与地球的重心重合(O)，且轨道平面倾斜于地球赤道平面（GSO是个特例，这时椭圆变成赤道平面上的圆）。

图1

椭圆轨道的平面几何



1713-01

在大多数HEO系统中，在这样轨道上运行的卫星仅在包含远地点(A)在内的有限弧段内发射（和接收）电信号，因此也就在该弧段上产生（或受到）干扰，该弧段通常被称为业务弧。由于大多数HEO系统采用的设计使其远地点出现在轨道的最高纬度点上，在这种情况下，最大干扰电平就可能出现在卫星位于业务弧的起点或终点时。不同的系统，业务弧的长度不同。如图1所示，业务弧起始点为(s)，终止点为(e)。轨道动力学表明，卫星在近地点(P)附近运行较快，而在远地点附近运行相对较慢（事实上整个轨道内单位时间矢径 r 扫过的面积，即 $(r^2/2)(\delta\theta/\delta t)$ 是恒定的）。

步骤1：这里第一步由轨道基本特性确定长度Os。

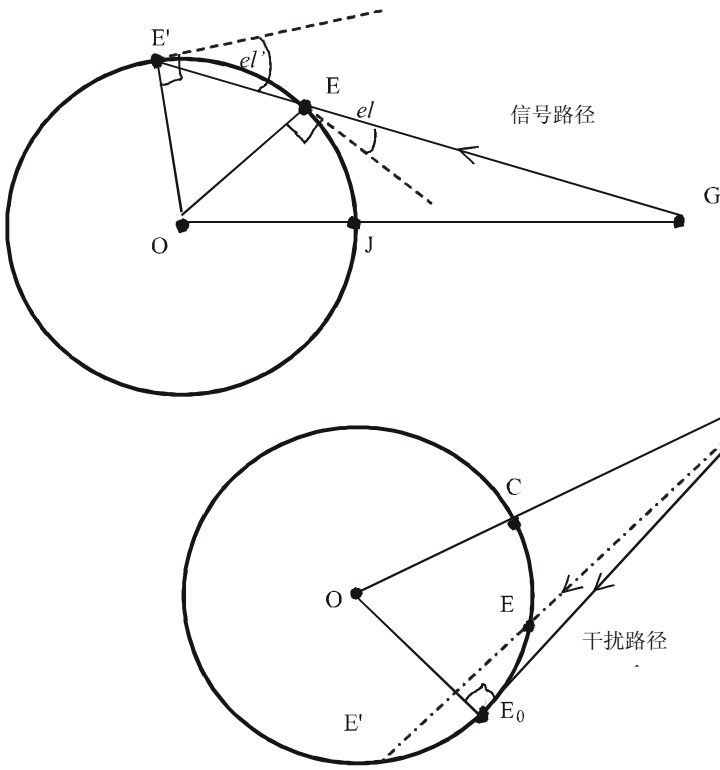
通常提供给ITU-R的涉及HEO系统的信息包括：远地点高度（AB(km)）；近地点高度（PL(km)）；离心率 e ；轨道倾角 i ；业务弧起点（终点）的真近点角（见图1：角 PO_s ，即： $180^\circ - \theta^\circ$ ）。

时间可作为起点s和终点e真近点角的替代表达方式，通常给出卫星从起点s运行到远地点和从远地点运行到终点e的时间，例如 ± 4 小时。这样， θ 角就可以通过时间步进模拟算法或根据 $(r^2/2)(\delta\theta/\delta t)$ 是常数求积分而推算出来，但相对而言，这两种方法都比较复杂。对于ITU-R的研究来说，如明确给出s（或e）的真近点角或角 θ 将更为方便，这是在此的假设；然而本建议书所附的EXCEL表电子文件包含了VB程序用以计算 θ 角，依据是卫星到达远地点以前的时间；此时卫星位于s点（或卫星处于远地点以后的时间；此时卫星到达e点）。

可能应当指出当任何非GSO卫星系统的申报资料提交到无线电通信局（BR）时，《无线电规则》（RR）附录4所要求提供的信息包括远地点高度、近地点的高度及离心率，但目前对于涉及到HEO类型的非GSO系统的业务弧的范围并未列入到所要求提供的数据之中。然而，对于计划使用受第22条等效功率通量密度限制频段的非GSO系统（无疑包括HEO）来说，RR附录4要求的参数之一是该系统中的任一卫星在发射电信号时离地球表面的最低高度。对于HEO卫星来说就是图1中的sC。

根据图1，应用椭圆和平面三角公式，通过AB、PL、 e 和 θ 可以建立 x 的二次方程，然后求出 x ，长度Os也可通过三角形Oms得出。

图2
平面三角局部图



GSO链路不可能设计为在低于5°仰角 (el) 且 EG 等于41 124.624 km的情况下运行。 el' 可能超过5°，但 $E'G$ 肯定超过该长度。因此 E 能被 G 观测到的条件是 $35\,786\text{ km} \leq EG < 41\,124.624\text{ km}$ 。

E 对于 s 是可见的，但由于地球的遮挡 s 却看不到 E' 。 E_0 在 s 的仰角为0°时的等高线上。三角形 OsE_0 是直角三角形，故 $sE_0 = [(Os)^2 - (6\,378)^2]^{0.5}$ 。所以 E 能从 s 被观测到的条件是 $sE < [(Os)^2 - (6\,378)^2]^{0.5}$ 。

1713-02

步骤2：第二步确定 s 的纬度和经度，该经度是相对于此时远地点的经度。如图3所示，这是轨道的三维表示法并采用与图1相同的符号 – 这样 Os 可从第一步中计算出来。通过对图3球面三角形 $OBCD$ 和 $CODF$ 应用球面余弦定理，而后对球面三角形 $ONBC$ 应用球面正弦定理，则 s 相对于 A 的经度 (α_C) 和纬度 (λ_C) 可通过下面公式得出：

$$\alpha_C = -\angle FOD = -\tan^{-1}(\tan(\theta)/\cos(i)) \text{ 和 } \lambda_C = \angle FOC = \cos^{-1}(\sin(\theta)/\sin(\alpha_c))$$

图 3

HEO 业务弧起点的地理坐标

A、B、C、L、O、P、s 和 θ 如图1所示。

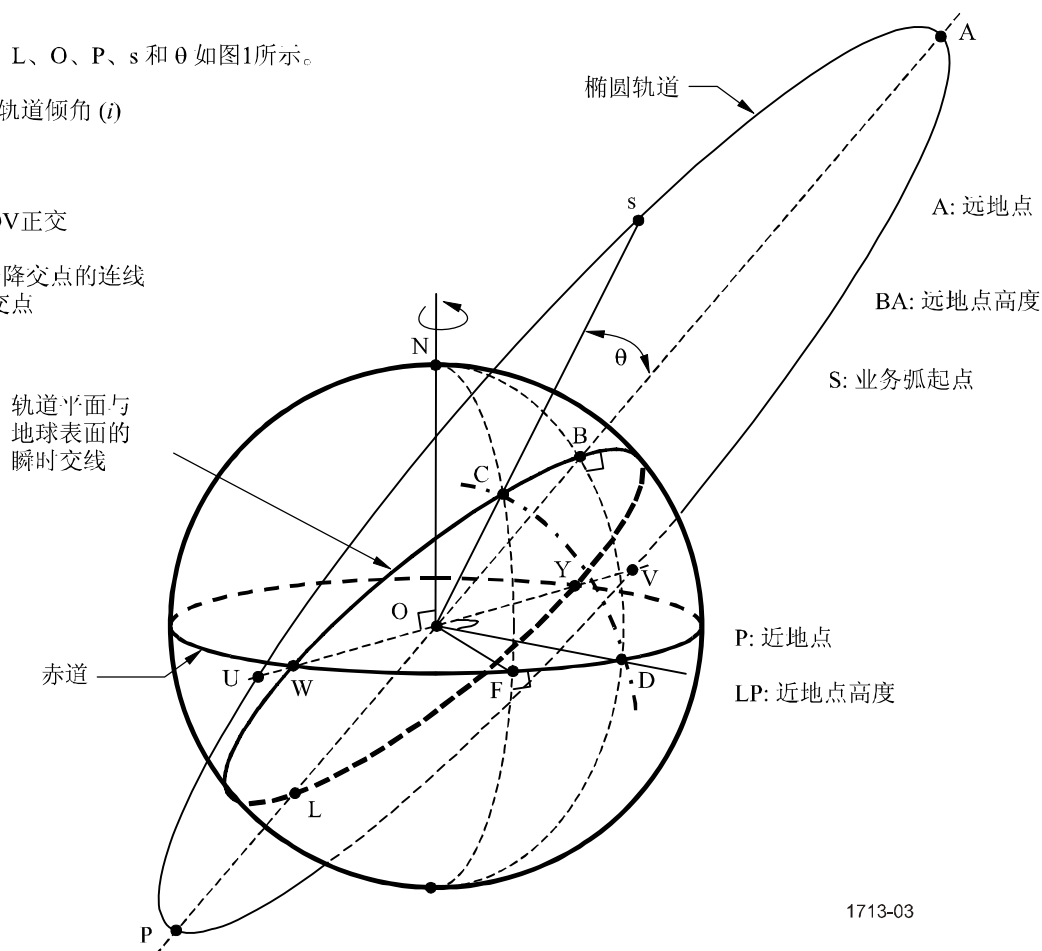
角 BOD = 轨道倾角 (i)

U: 升交点

V: 降交点

OD: 与 UOV 正交

W 和 Y: 升降交点的连线
与赤道的交点



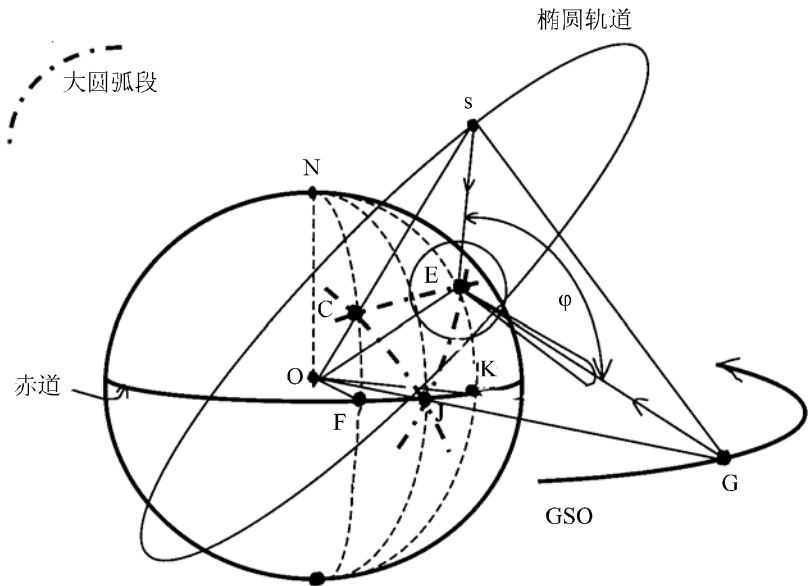
1713-03

步骤 3: 确定了 s 的纬度和瞬时相对经度, 利用图 4 可计算出相应的运行于任一对地静止轨道卫星系统 (G) 的任一地球站 (E) 的干扰隔离角 (φ), 图中点 C、O、F、N 和 s 与图 3 是相同的。这样在图 4 中 E 点的纬度是 λ_E , 它相对于 A 点的经度是 α_E , G 点相对于 A 点的经度是 α_G 。那么由于 α_C 、 α_E 、 λ_C 、 λ_E 、 α_G 、OE (地球半径)、OG (GSO 半径) 和 O_s 是已知的或已被计算出来, 则

- 通过对球面三角 ONCE 应用球面余弦定理, 然后对平面三角形 O_sE 应用平面余弦定理, 可以求出长度 sE ;
- 通过对球面三角 OCFJ 应用球面余弦定理, 然后对平面三角形 O_sG 应用平面余弦定理, 可以求出长度 sG ;
- 通过对球面三角 OEJK 应用球面余弦定理, 然后对平面三角形 OEG 应用平面余弦定理, 可以求出长度 EG。

最后在平面三角形 EsG 中, 由于其三个边 sE 、 sG 和 EG 都已知, 则角 φ 可通过平面余弦定理求得。

图4
HEO 卫星在业务弧起点干扰
GSO网络地球站(即路径 sE) 的几何图



C、F、N、O 和 s：如图3所示

G：对地静止卫星

E：接收G点卫星信号的地球站

1713-04

这样，如果知道HEO的轨道倾角、远地点高度、近地点高度、离心率以及真近点角或业务弧起点（或终点）相对于远地点的时间，那么通过这一系列的步骤，就可针对任何GSO下行链路计算出干扰隔离角度(φ)（即处于任何地理位置的地球站接收来自于任何经度GSO卫星信号的隔离角度）。

为了找到 φ 的最小值，可以编写一个简单的循环计算程序，并通过一系列的 α_E 、 λ_E 和 α_G 数值，计算相应的 φ 值，然后选择其中的最小值。由于干扰仅发生在从G和s都可观测到E时所对应的一系列 α_E 、 λ_E 和 α_G 数值（见图4），所有这些数值都必须加以研究，这样通过该循环计算程序，就可以容易地计算出这三个变量的各种不同组合情况，然后从中去除掉不符合条件的数值：即由于地球的障碍无法从G或s看到E或者从G和s都不能观测到E的情况。参见平面三角局部图2。

附件2

计算由于HEO卫星在业务弧起点产生干扰所造成的GSO链路噪声的增加

由图4可以看出，位于 s 点的HEO卫星对静止轨道 G 点的卫星和 E 点的地球站之间链路产生的干扰将通过天线方向图的旁瓣进入地球站接收机。相应的GSO链路噪声温度的增加为：

$$10 \log((\Delta T/T)/100) = E_1 - 20 \log(4 \pi d / \lambda) + G(\varphi) - 10 \log(k T) \quad \text{dB}$$

其中：

$\Delta T/T$ ：链路噪声增加百分比

E_1 ：HEO卫星所发载波的e.i.r.p.密度，dB(W/Hz)

d ：干扰路径 sE 的长度（m）

λ ：波长（米）= $(0.3)/f$ ，其中 f 是HEO的载波频率（GHz）

$G(\varphi)$ ：地球站天线在离轴角度为 φ ，频率为 f 时的接收增益（dBi）

T ：GSO链路的噪声温度（K）；和

k ：玻耳兹曼常数，即 $10 \log(k) = -228.6 \text{ dB (W/Hz/K)}$ 。

T 既可以单指GSO下行链路的噪声温度，又可指GSO系统相对于地球站接收机输入端的噪声温度，这取决于倾向于怎样表达 $\Delta T/T$ 。

至于 $G(\varphi)$ 的计算，由于此附件中的方法涉及到非GSO系统与GSO系统的干扰，所以可以采用ITU-R S.1428建议书中的增益方向图，其中 $G(\varphi)$ 以 D/λ 表示， D 是天线直径（m）。

附件3

附件1中方法的迭代应用

附件1所述的计算步骤是通过本附件后附资料（“MinseparationHEOangle”）内所附的EXCEL电子表单具体实现的，它包含VB循环计算程序，采用的参数包括不同时刻的地球站纬度、经度以及GSO卫星的经度，此时GSO卫星和HEO系统业务弧的起点同时可见，从而确定可能发生相互干扰的任一地球站与HEO卫星的最小隔离角度。为方便用户，如果需要可将附件2中的简单计算合并到上述表单中，从而得出对应于此干扰的 $\Delta T/T$ 最大值。附件4中的示例明确显示出表单涵盖了所有使用有限业务弧的轨道类型，前提是该弧段与GSO与地球表面任一点连线的交线不包括 $\pm 81.3^\circ$ 纬度点。

HEO系统所需的输入参数如下：

- 远地点高度（km）；
- 近地点高度（km）；

- 离心率 (< 1) ;
- 轨道倾角 (度) ;
- 三个参数中的一个 (或多个) 用于确定业务弧的起点“s” (或终点“e”) :
 - 即: s和远地点之间的地心角 ($^{\circ}$) ,
 - 或者是卫星在s到远地点之间运行所需的时间 (h)¹,
 - 或者是s的高度 (km) 。

如果希望得到相应的 $\Delta T/T$ 值, 需要输入下列附加参数:

- HEO卫星最大e.i.r.p.密度 (dB (W/Hz)) ;

和下列GSO链路参数:

- GSO链路地球站天线的直径 (m) ;
- GSO链路地球站天线的接收增益方向图 (dBi, 相对于离轴角度) ;
- GSO链路的噪声温度 (K) ;
- 频率 (GHz) 。



MinseparationHEOangle.xls

附件4

附件1的方法应用示例

表1的第2和第8行, 列出了12种不同设计类型的HEO系统的轨道特性, 这些特性参数取自ITU-R所收到的申报资料。为了说明这些系统, 图5-7比较了它们不同的地球轨迹类型。表1的第11行给出了远地点的经度, 用于画出图5-7; 选择这些远地点的经度仅是为了图示的方便, 没有其他意义。

¹ 为利用这些数据, 后附资料包括了一个附加的VB程序。如果输入数据, 不仅可以计算出最小隔离角, 而且可计算出此时地球站和GSO卫星的绝对位置, 前提是附加输入HEO远地点的经度值。详见文件名为“MinseparationHEOangle”的EXCEL相关文件。

表1

1. HEO 系统	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. 远地点高度 (km)	35 970	44 640.5	39 000	35 800	52 700	40 000	50 400	27 288.3	20 180	47 669	39 300	27 470
3. 近地点高度 (km)	4 500	26 931.5	500	35 800	18 900	31 600	21 200	517.4	20 180	9 312.9	1 075	310
4. 轨道离心率	0.59	0.21	0.74	0	0.4	0.1	0.347	0.66	0	0.55	0.72	0.67
5. 轨道倾角 (度)	50	42.5	63.43	63.4	60	40	63.4	63.435	63.4	45	63.4	45
6. 起点 s 相对于远地点的角度 (度)	35	31	(29.5)	60	(30)	37	(24)	40	(30)	(36)	25	(28)
7. 起点 s 相对于远地点的时间 (h)	(-3.13)	(-3)	-3.5	(-4)	-4	(-2.95)	-3	(-2.55)	-1	(-4.5)	(-3.06)	-2
8. 起点 s 的高度 (km)	(27 200)	(42 800)	(26 900)	N/A	(48 000)	(39 000)	(47 900)	(16 500)	N/A	(37 800)	(30 700)	(21 400)
9. 最小隔离角 (度)	39.84	35.84	52.58	26.94	49.35	31.34	55.49	40.66	51.84	35.47	55.55	37.73
10. 模拟验证 (度)	(39.78)	(35.78)	(52.50)	(26.86)	(49.25)	(31.40)	(55.47)	(40.91)	(51.86)	(35.51)	(55.49)	(37.26)
11. 远地点的经度 (E 度)	-150	-108	-62	-43	-130	-38	-110	-83	-30	-18	27	57
12. 地球站的经度 (E 度)	-117.63	-110.81	14.89	17.33	-43.32	38.65	-34.89	-75.38	-35.33	79.63	101.86	82.72
13. 地球站的纬度 (N 度)	73.63	-46.70	3.72	-7.73	-3.15	-5.44	-2.01	73.63	73.63	-5.44	2.58	73.63
14. GSO 卫星的经度 (E 度)	-150.29	-102.22	-61.32	-58.88	-119.52	-37.55	-111.09	-108.04	-67.99	3.42	25.66	50.06
15. $\Delta T/T$ 的示例 (%) ⁽¹⁾	0.204	0.072	0.150	0.200	0.058	0.108	0.058	0.572	0.386	0.043	0.122	0.312

⁽¹⁾ 通过附件 2 的计算值, 已知 $E_1 = -21$ dB(W/Hz), $D = 3$ m, $T = 100$ K, $f = 11$ GHz。 $G(\varphi)$ 取自 ITU-R S.1428-1 建议书。

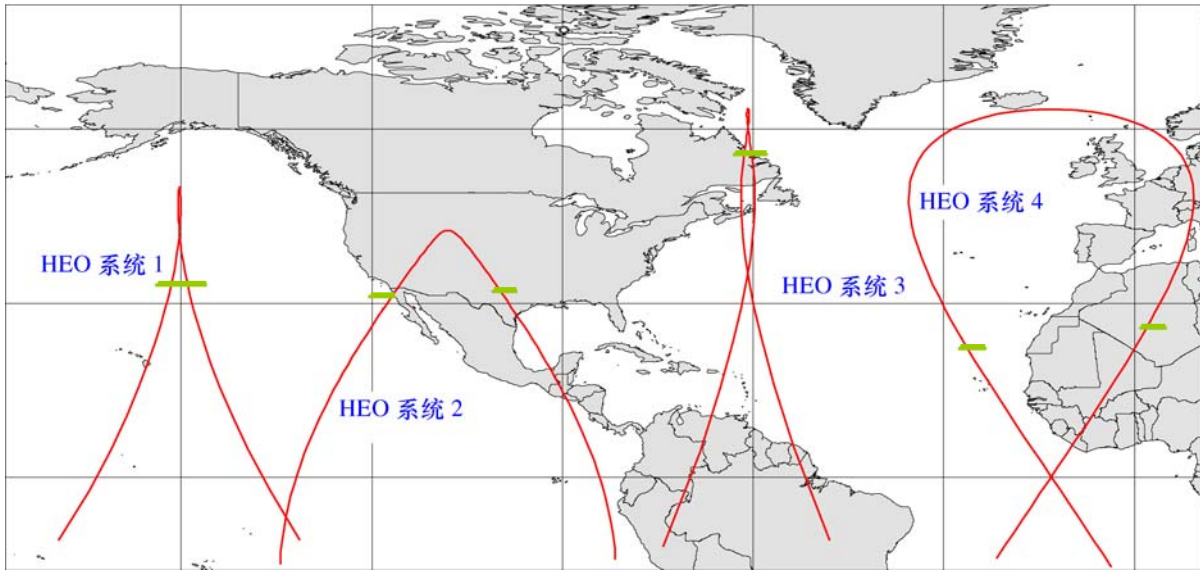
N/A: 未提供。

第6、7和第8行给出了业务弧起点（或终点）的不同表达方式。在这三行中未加括号的是报送给ITU-R的数据；加括号的来源于计算机对每个系统的模拟，每次程序的运行将终止于未加括号的数值处并对另外两个括号内的值给出相应的注释。通过采用未加括号的数值所确定的业务弧的起点，并根据附件3得出了第9行中的计算结果。（在附件3中使用加括号的数值时，结果稍有不同，但差别在计算允许的精度范围之内）。计算机模拟程序验证每一个结果，并得出在第10行用斜体字表示的最小隔离角；可以看出它们与第9行的值十分接近，由此证实了附件3的正确性。

此外，根据第11行的远地点经度，通过应用附件3可以针对每一示例求出对应于最小离轴角的地球站与GSO卫星的相应位置，这些数据列在表的第12、13和14行中。

图 5

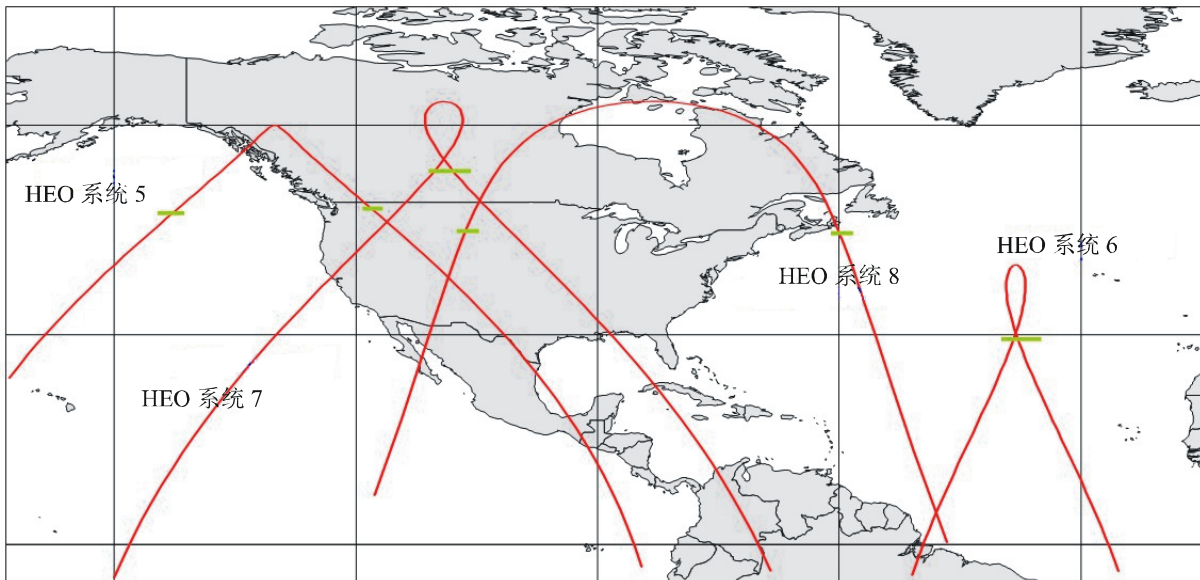
1至4 HEO系统的地球轨迹局部图，同时显示业务弧（即——之上的部分）



1713-05

图6

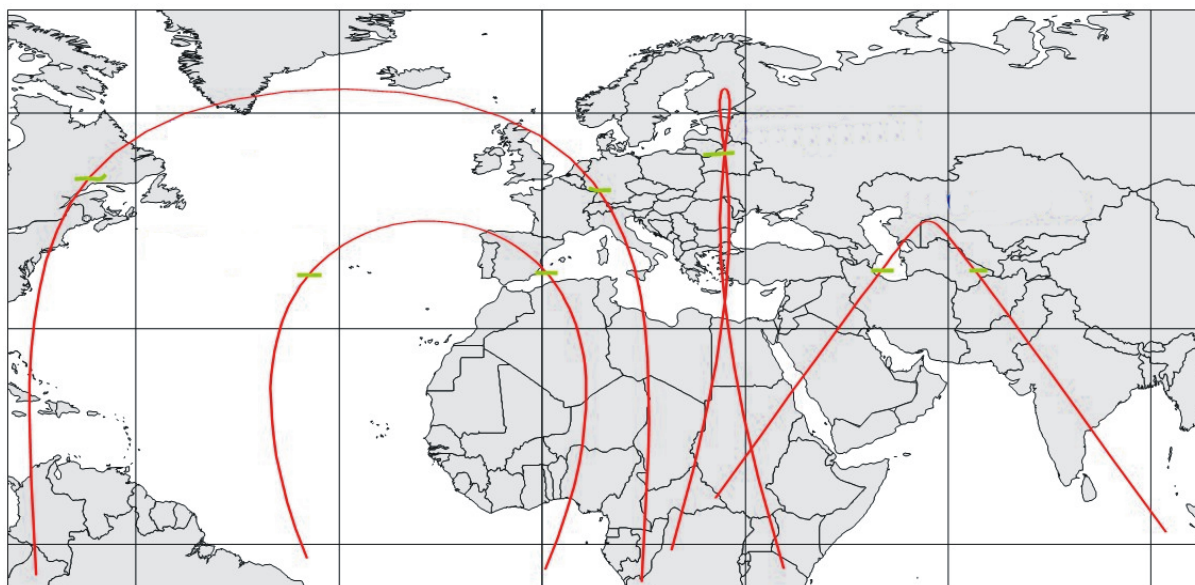
5至8 HEO系统的地球轨迹局部图，同时显示业务弧



1713-06

图7

9至12 HEO系统的地球轨迹局部图，同时显示业务弧

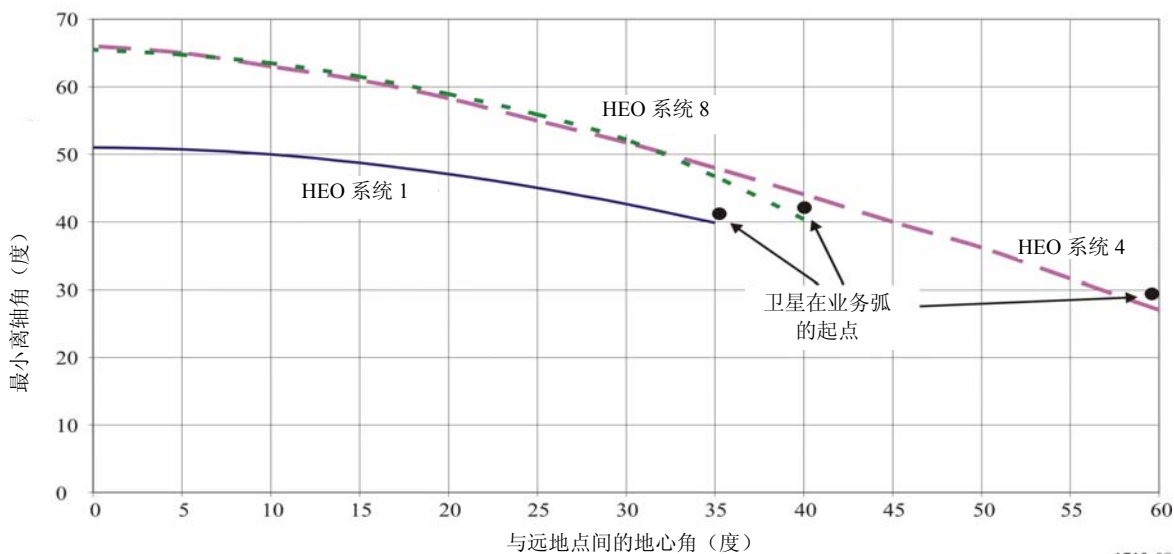


1713-07

最后，附件3的使用提供了一种有效的方法来验证考虑到c)在这些示例中的真实性。这已通过1、4和8这些广泛的系统类型加以说明，它们通过不断减小HEO卫星和远地点间的地心角 θ 来确定最小离轴角（或隔离角）。结果在图8中用图表示出。

图8

针对HEO卫星与远地点的距离得出的最小离轴角曲线



1713-08

对于典型的HEO系统，图8清楚地表明，卫星距轨道的远地点越远，理论上从运行于对地静止卫星系统中的地球站所观察到的最小离轴角也就越小，且在此情况下，该对地静止卫星位于此HEO卫星轨道GSO弧的最差经度。

附件5

计算给定经度上对地静止卫星波束脚印内相对于地球
表面的该卫星与业务弧内HEO卫星
之间最小角度的方法

1 椭圆轨道的平面几何

下文图9所示为围绕地球旋转的HEO卫星轨迹的二维图。以下参数常被用来定义此类卫星在其轨道内的瞬时位置，即平均近点角 M ，离心近点角 E ，和根据下述公式²给出的真近点角 f ，其中符号的定义如下：

$$M = 2\pi t/T \text{ (rad)}$$

$$M = E - \varepsilon \sin(E) \text{ (rad) (开普勒公式)}$$

$$f = 2 \tan^{-1}[\{(1 + \varepsilon)/(1 - \varepsilon)\}^{0.5} \tan(E/2)] \text{ (rad)}$$

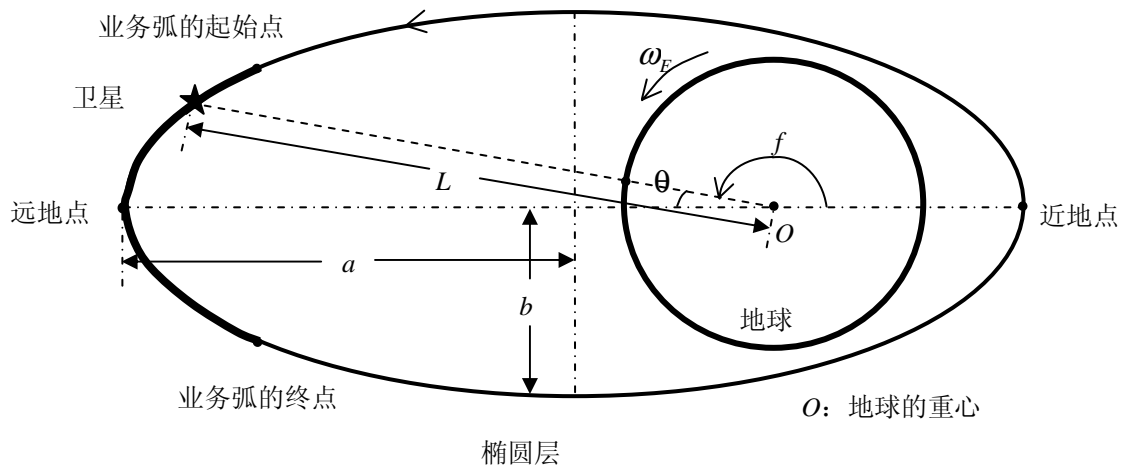
此外，可以通过下式计算出“工作”HEO卫星与地球重心之间的距离 L ：

$$L = a(1 - e \cos(E)) \text{ km}$$

² 见ITU-R S.1529附件1。

图9

椭圆轨道的平面几何图



- a : 半长轴 (km)
- b : 半短轴 (km)
- i : 倾角 (rad)
- ϵ : 离心率
- f : 真近点角 (rad)
- E : 离心近点角 (rad)

- t : 时间 ($t=0$: 近地点) (s)
- T : 轨道周期 (s)
- θ : 远地点角 (rad)
- ω_E : 地球旋转的角速度 (rad/s)

1713-09

2 计算“工作”HEO卫星的地理坐标

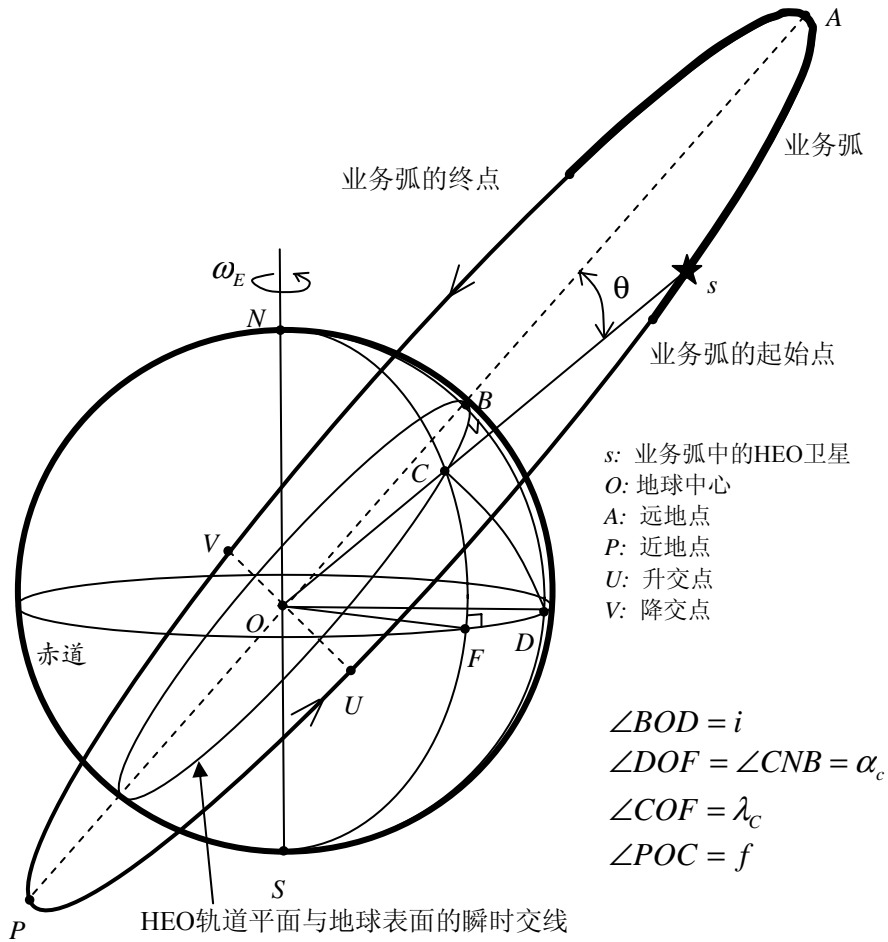
采用附件1步骤2所述方法，可计算出“工作”HEO卫星的纬度 λ_C 和相对经度 α_C 。此外，其绝对经度，通过下式计算：

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_{apogee} - \omega_E(t - t_{apogee}) \quad \text{rad}$$

t_{apogee} : 远地点时间 (s);

α_{apogee} : 远地点经度 (rad)。

图10
HEO卫星的地理坐标



1713-10

3 计算最小隔离角

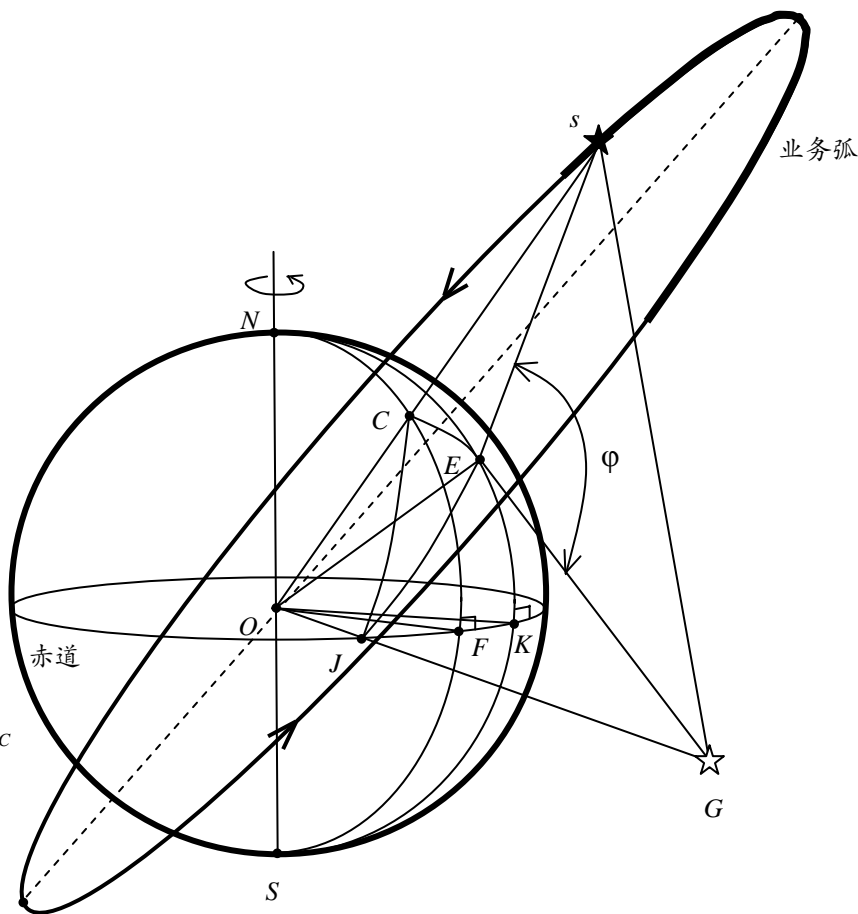
对于从特定GSO接收信号的、可能处于任何地理位置的地球站，如果HEO的倾角、远地点高度、近地点高度、离心率、远地点的经度和GSO的经度已知，则采用附件1步骤3中的方法，可计算出“工作”HEO卫星与特定GSO卫星间的隔离角 ϕ 。

图11

从E点的GSO地球站观察到的HEO和GSO卫星之间的隔离角

- s : 业务弧中的HEO卫星
- G : GSO卫星
- E : GSO地球站
- O : 地球的重心
- ϕ : 隔离角
- α_C : HEO卫星的经度
- α_E : GSO ES的经度
- α_G : GSO卫星的经度
- λ_E : GSO ES的纬度
- λ_C : HEO卫星的纬度
- L : s 与 O 之间的距离
- H_{GSO} : GSO卫星的高度
- R : 地球半径

$$\begin{aligned} \angle FOJ &= \alpha_C - \alpha_G \\ \angle KOF &= \angle CNE = \alpha_E - \alpha_C \\ \angle KOJ &= \alpha_E - \alpha_G \end{aligned}$$



1713-11

注意，在附件1中， α_E 和 α_G 与 α_C 相关，而在附件5中它们分别指E和G的绝对经度。

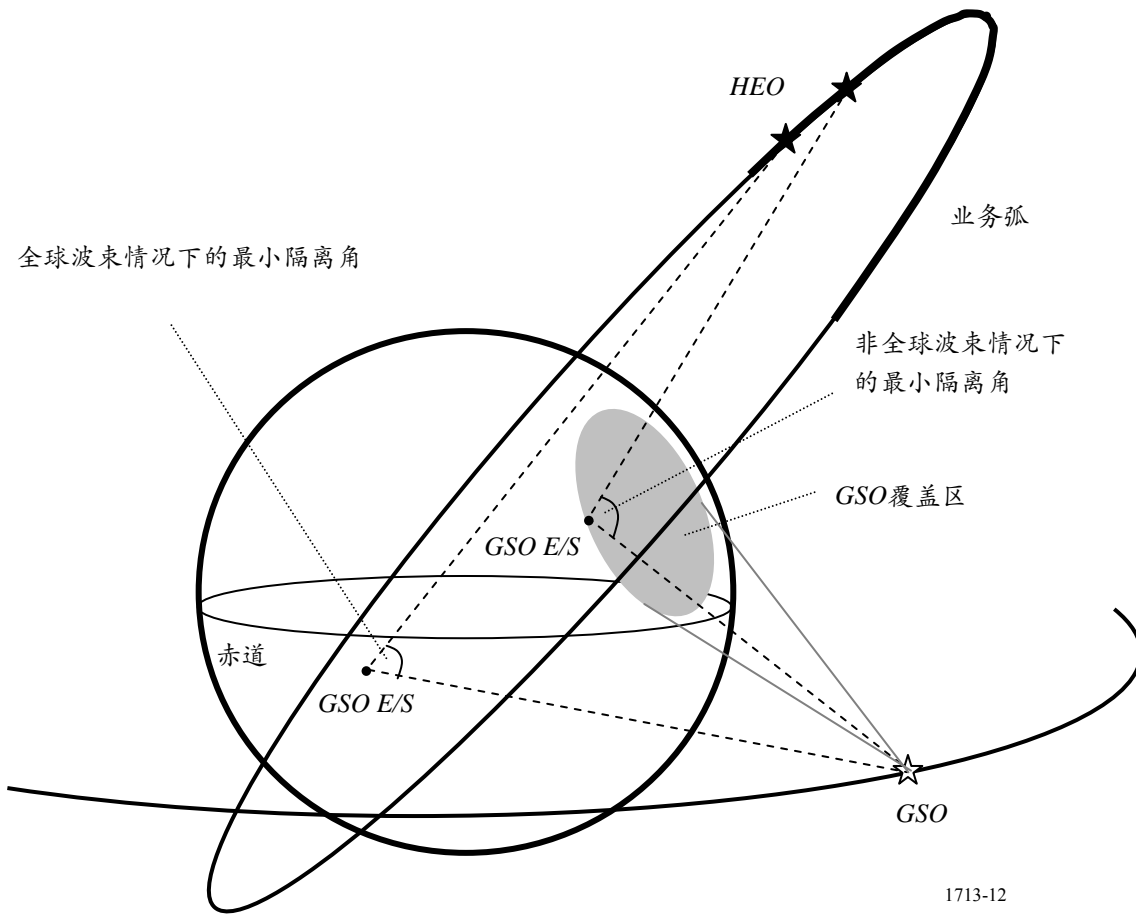
为找出 ϕ 的最小值，可通过编写计算机程序对 α_E 、 λ_E 和 t 的组合进行轮检，并采用附件1步骤3中的程序计算各个组合中的 ϕ 值，然后选择其中的最小值。

只有那些HEO卫星和GSO卫星都能看到地球站的 α_E 、 λ_E 和 t 组合会出现干扰（但由于必须对所有此类组合都进行调查），因此，方便的做法是使此程序中包括大量的三变量组合，然后再将因地球阻挡，而无法看到GSO卫星、HEO卫星或两颗卫星均无法看到的地球站组合从计算结果中排除。图2已对此加以说明。

对于GSO卫星不使用全球覆盖波束的情况，亦应排除GSO地球站位于GSO卫星可用波束宽度之外的组合。

图12

非全球波束情况下HEO与GSO卫星间的最小隔离角



1713-12

此外，可使用附件2中的方法计算 $\Delta T/T$ 。

附件6

应用附件5中方法的示例

下文表2中的结果是根据附件5，针对表1所列HEO系统的12种不同设计得出的结果。

表 2

具有全球波束的GSO示例的最小隔离角

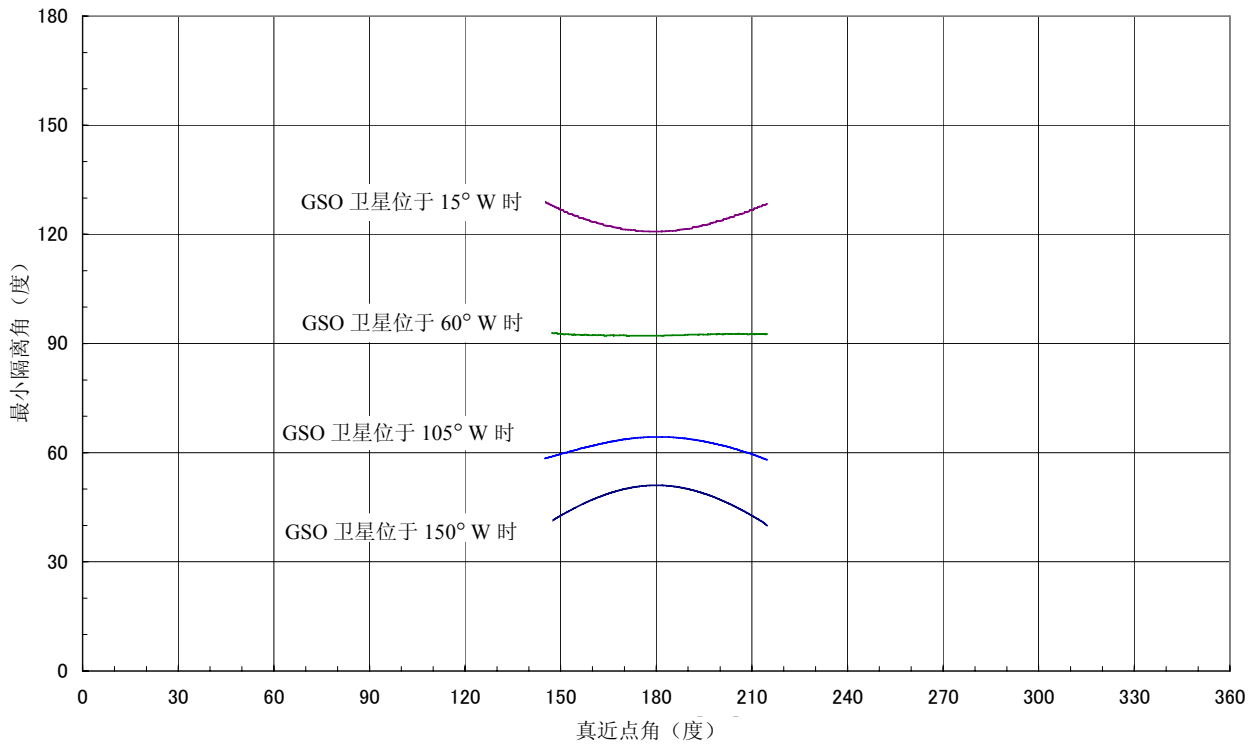
1. HEO系统	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. 远地点高度(km)	35 970	44 640.5	39 000	35 800	52 700	40 000	50 400	27 288.3	20 180	47669	39 300	27 470
3. 近地点高度(km)	4 500	26 931.5	500	35 800	18 900	31 600	21 200	517.4	20 180	9312.9	1 075	310
4. 轨道离心率	0.59	0.21	0.74	0	0.4	0.1	0.347	0.66	0	0.55	0.72	0.67
5. 轨道倾角(°)	50	42.5	63.43	63.4	60	40	63.4	63.435	63.4	45	63.4	45
6. 远地点经度(°E)	-150	-108	-62	-43	-130	-38	-110	-83	-30	-18	27	57
7. 业务弧周期(h)	6.26*	6*	7*	8*	8*	5.9*	6*	5.1*	2*	9*	6.12*	4*
8. GSO卫星经度(°E)	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
9. 最小隔离角(°)	80.5	109.6	118.6	120.2	87.4	145.4	102.5	112.6	118.2	126.7	100.2	78.5
10. 地球站经度(°E)	-153	76	60	-150	66	60	62	-149	59	-165	-152	-162
11. 地球站纬度(°N)	-40	62	24	18	45	22	34	-7	-6	61	35	58
12. HEO卫星经度(°E)	-150.3	-114.1	-62	-43	-141.3	-38.1	-112.0	-96.8	3.7	2.6	27.3	63.4
13. HEO卫星纬度(°N)	38.9	35.4	63.4	63.4	48.8	40.0	62.4	59.5	54.1	36.6	63.2	38.8

* 这些值是通过将表1第7行中的数值加倍得出的。

此外，图13、14和15所示为各真近角点最小隔离角的调查结果，其内容分别针对HEO系统1、4和8的示例。结果显示，“工作”HEO卫星与特定GSO卫星间的最小隔离角随GSO卫星的经度而变化。此外，这些结果证实了考虑到h)的真实性。对此，可能应当注意，远地点出现在真近点角为180度时，且各图中的曲线会从业务弧的起始点的真近点角延伸至业务弧终点的真近点角。

图13

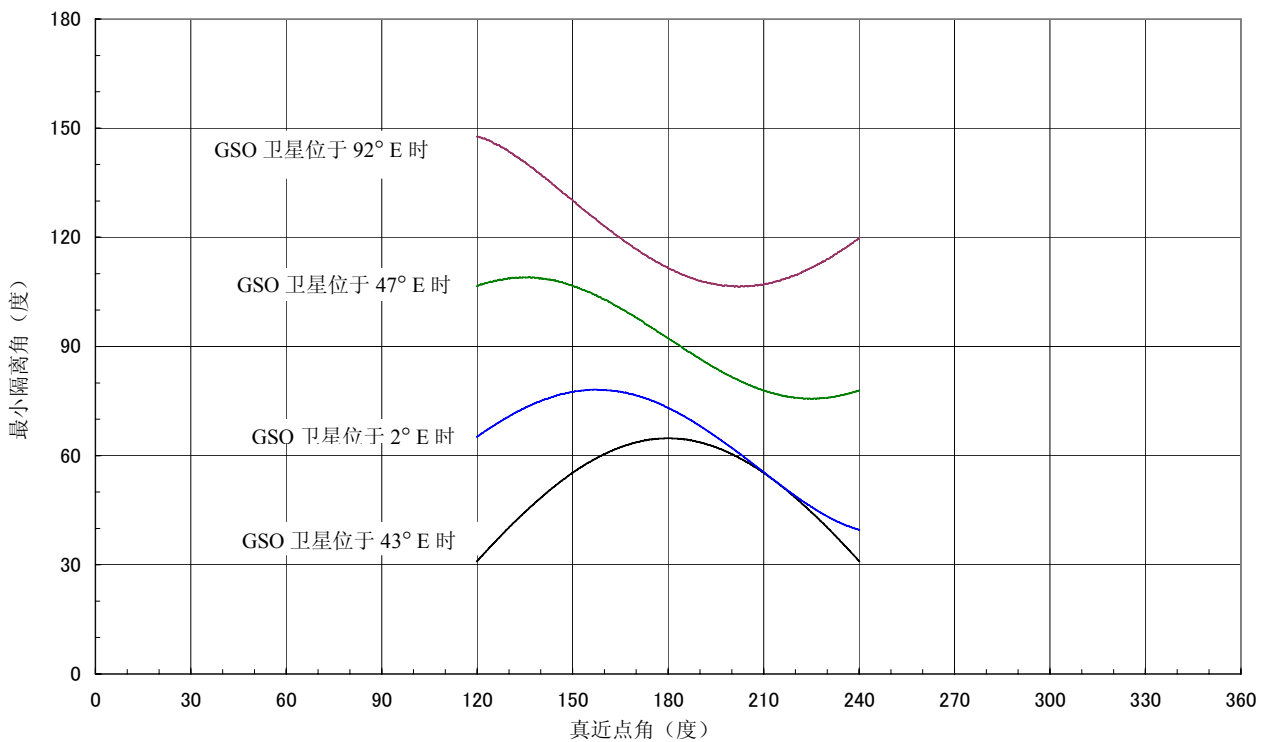
最小隔离角与HEO系统1“工作”卫星真近点角间的关系



1713-13

图14

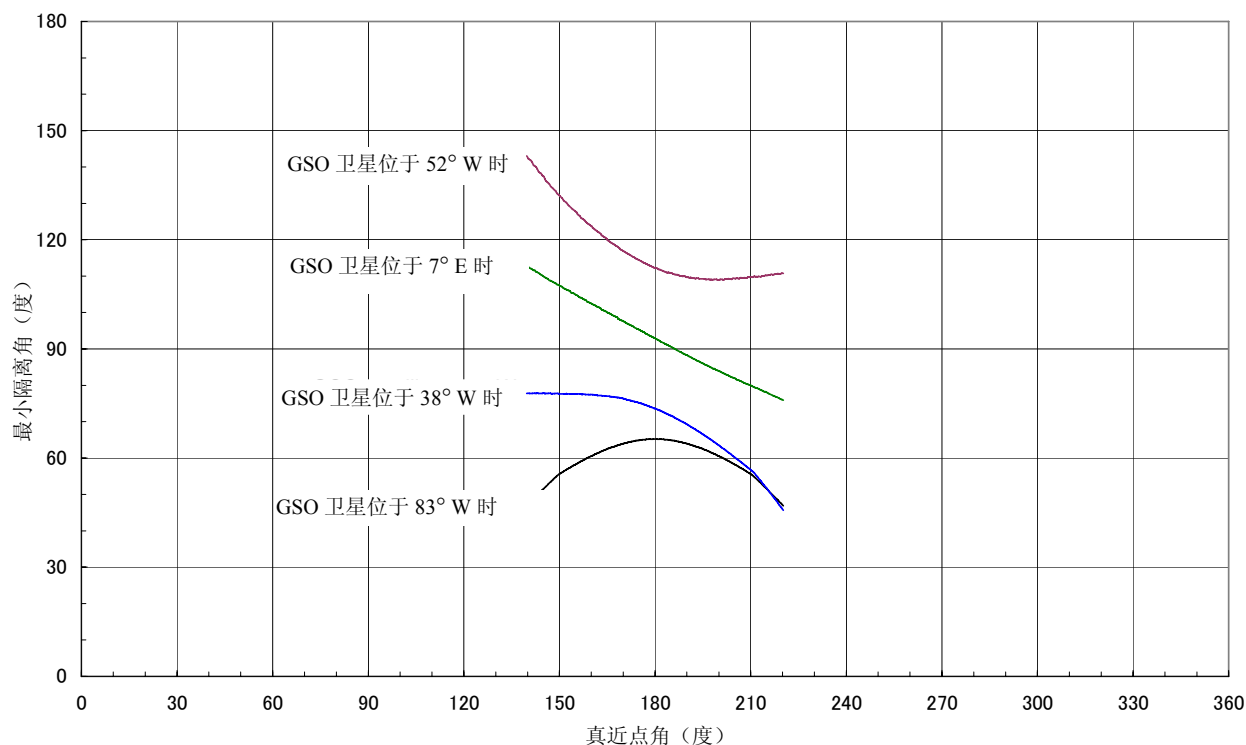
最小隔离角与HEO系统4“工作”卫星真近点角间的关系



1713-14

图15

最小隔离角与HEO系统8“工作”卫星真近点角间的关系



1713-15

表3所示为位于135° E处的GSO卫星椭圆波束脚印示例。表4所示为最小隔离角的调查结果，此隔离角便是HEO系统4的示例与135° E处的GSO卫星（其波束脚印如表3所示）之间的隔离角。此外，图16显示此情况下各真近点角的最小隔离角。

表 3

定义135° E处GSO卫星示例椭圆波束脚印示例的数据

经度(° E)	纬度 (° N)	经度(° E)	纬度 (° N)	经度(° E)	纬度 (° N)
75.7	39.9	74.3	6.3	103.0	29.5
73.3	37.4	77.7	4.8	104.0	32.5
71.1	34.8	81.8	4.4	104.6	35.5
69.1	32.2	85.7	5.4	104.8	38.6
67.8	29.2	88.7	7.5	104.0	41.6
67.2	26.1	91.3	9.9	101.7	44.1
66.9	23.1	93.7	12.4	98.1	45.6
66.7	20.1	95.7	15.1	94.0	46.1
67.0	17.0	97.3	17.9	89.9	45.8
67.7	13.9	98.8	20.8	86.0	44.9
69.1	11.1	100.3	23.7	82.1	43.7
71.4	8.5	101.7	26.5	78.7	42.1

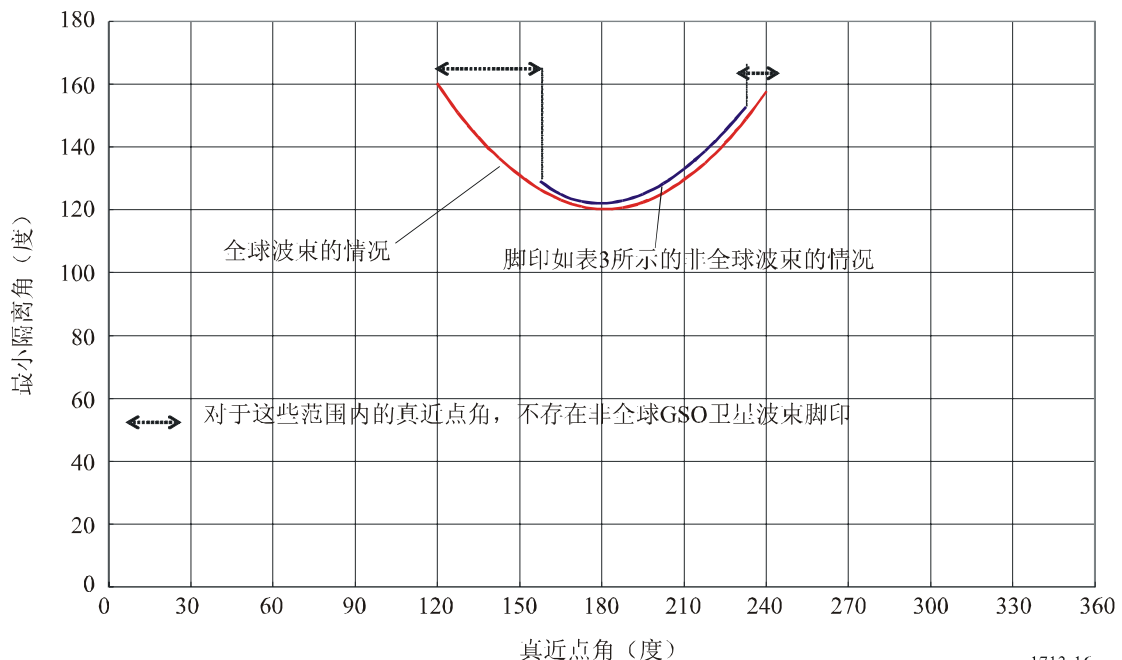
表4

非全球波束GSO示例的最小隔离角

1. HEO系统	4
2. 远地点高度 (km)	35 800
3. 近地点高度(km)	35 800
4. 轨道离心率	0
5. 轨道倾角 (°)	63.4
6. 远地点经度(°E)	-43
7. 业务弧周期 (h)	8
8. GSO卫星经度(°E)	135
9. 最小隔离角 (°)	122.0
10. 地球站经度(°E)	67
11. 地球站纬度 (°N)	18
12. HEO卫星经度(°E)	-39.93
13. HEO卫星纬度 (°N)	63.29

图16

最小隔离角与HEO系统4“工作”卫星真近点角间的关系
(GSO卫星的位置: 135°E)



1713-16

下述内嵌的Excel文件“MinSepAnnex5”中，包括附件5所述方法的附加Visual Basic子程序。此工具在两种情况下均能够正确地计算出最小隔离角：全球波束的GSO和非全球波束的GSO。应注意，如果脚印中不存在凹度问题，这一工具将正确地计算出成形波束脚印内的最小隔离角。如果脚印中存在凹度问题，输入的数据中应包括解决凹度的人工点，同时，如

果计算出的最小隔离角出现在出现凹度问题的某个地理位置，则用户应假设此角度会出现于最靠近计算出的点的脚印等值线点上。



MinSepAnnex5.
xls
