

ITU-R S.1781建议书

在由普遍部署的地球站组成的双向对地静止卫星固定业务网络
之间进行频率共用的可用方法

(ITU-R 第209/4号课题)

(2007年)

范围

本建议书阐述了如何在区域协调的基础上，在两固定卫星业务（FSS）间实现频率兼容的方法，其前提是一个或双方系统均涉及大量普遍部署的地面终端，且当一个系统发射时，另一系统的终端在双向均划分给FSS的同一频段内接收。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 人们对普遍部署甚小孔径终端（VSAT）类卫星固定业务（FSS）地球站，即在无独立许可证，而是在系统中使用总许可证的情况下安装和运营地球站，越来越感兴趣；
- b) 在这种情况下，特定地球站的精确位置在对该系统进行频率协调时无法知晓；
- c) 大量部署地球站的需求将使逐站协调变得很困难；
- d) 宜使用此类部署的某些频率在双向的基础上被划分给FSS；
- e) 有些双向划分给FSS的频段亦应符合具体规则性条款的规定，例如《FSS指配规划》或《无线电规则》（RR）附录30A《规划》的规定；
- f) 一些主管部门可能选用某种类型的区域协调，在此协调区内VSAT类FSS地球站可以单向传输工作；
- g) 如考虑到 f)中所述的此类情况，使用以技术选择标准为基础来确定整个协调区的方法，可能会对各主管部门有帮助，

注意到

- a) 该区内的协调等值线，在此范围内主管部门希望使用的协调区可能会与同一主管部门领土中包括的其它协调区或国境共用相同的边界；
- b) 主管部门需要采取必要的步骤确定频段及相关的地理区域，在这些区域内，可使用涉及大量在此频段内工作终端的任何协调方法，

认识到

- a) 主管部门可以在《无线电规则》之外签署其它双边协议；
- b) 主管部门可以选择为在其领土内部署的VSAT类FSS地球站提供的保护；
- c) 对于国际协调，主管部门必须就需考虑的地球站保护特性达成一致；

- d) 对于未包括在双边协议中的，主管部门领土内高功率发射地球接收站保护等因素，人们可能希望将地球接收站的情况在无线电通信局进行登记，无论其是否包括在双边协议之内；
- e) 对根据专门的规则性条款，拟在双向均划分给FSS的频段中运营的地球站，主管部门在规划其部署时需对这些条款加以考虑，

建议

- 1** 有意在其领土内，以协调区为基础，为在双向均划分给FSS的频段中运营的、普遍部署的VSAT类FSS地球站颁发许可证，主管部门应考虑使用本建议书附件1中包含的指导原则。

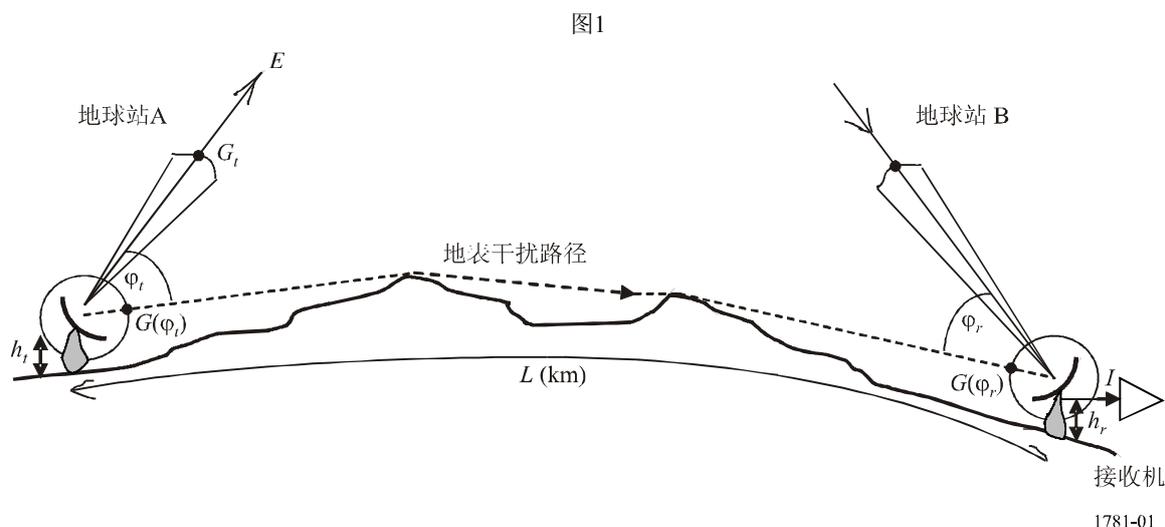
附件1

1 引言

本附件包含在两固定卫星业务（FSS）间实现频率兼容方法的各项要素，其前提是一个或双方系统均涉及大量普遍部署的地面终端，且当一个系统发射时，另一系统的终端在接收。

本附件中的分析是基于12.5-12.75 GHz频段使用的系统参数。由于在该频段内双向FSS划分仅适用于1区，因此有必要使用1区的国家作为示例。但是，此方法具有普遍性并可适用于存在双向FSS共用的任何频段。

2 方法



在图1所示示例中，地球站A为使用12.5-12.75 GHz的FSS（地对空）划分的对地静止卫星工作，而地球站B为使用12.5-12.75 GHz的FSS（空对地）划分的对地静止卫星工作。地球站A发射以12.625 GHz为中心的相移键控（PSK）载波，其全向辐射功率（e.i.r.p.）的频谱密度为 E dB（W/MHz），且干扰是通过地上路径，其接收使用地球站B，另一以12.625 GHz为中心的相移键控（PSK）载波。地球站B接收机输入端的干扰频谱密度 I ，通过下式给出：

$$I = E - G_t + G(\varphi_t) - pl + G(\varphi_r) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (1)$$

式中：

- G_t : 地球站A天线的轴上增益（dBi）
- $G(\varphi_t)$: 地球站B方向面向水平线的地球站A天线增益（dBi）
- pl : 两站间的路径损耗（dB）
- $G(\varphi_r)$: 地球站A方向面向水平线的地球站B天线增益（dBi）
- φ_t : 地球站B方向面向水平线的地球站A偏轴角（度），和
- φ_r : 地球站A方向面向水平线的地球站B偏轴角（度）。

与使用绝对情况的假设相反，可以生成等值线，这些等值线内部署的FSS电台（在同一频段内相反方向传输），通过适当地选择公式（1）中使用的参数，可实现在任何特定比例下兼容。

例如，在2002年间，国际电联无线电通信部门（ITU-R）对现有和规划的FSS地球站所做调查取得了天线直径、地球站的e.i.r.p.，以及发射载波带宽方面的数据。调查中包括将近127 000个终端，其直径范围在1.5至2.1米之间。尽管主要集中在拟于14-14.5 GHz频段内发射的地球站，但可以假设集中在12.5-12.75 GHz频段的调查会产生类似的数据，尽管其数据库会更小。这些结果可用于为公式（1）中的参数 E 和 G_t 作出合理的假设。

φ_t 或 φ_r 的值取决于地球站的纬度和经度，卫星运行所在经度和其它地球站方位角的方向。 φ 中这些参数的变化在附录1中进行了计算，这也显示出了为反向传输的地球站间干扰的偏轴角建立累积分布函数的方式，从而可为公式（1）选择充分的 φ_t 值和 φ_r 值。

2.1 应用于国际示例的方法

ITU-R在2002年对现有和规划中的FSS地球站所做调查披露了至2002年时所安装的最受欢迎的天线直径，在14-14.5 GHz频段工作的天线直径约为1.8米，对于98%的此类天线发射载波其e.i.r.p.不超过52 dBW且其带宽不超过1 MHz。因此当前的示例选择了 $E = 52 \text{ dB (W/MHz)}$ 和 $G_t = 10 \log \left((0.65) \{ \pi \cdot (1.8) / \lambda \}^2 \right) = 45.7 \text{ dBi}$ 。

如附录1所示，对于约96%的地球站， φ_t 和 φ_r 将不会小于 25° ，因此 $G(\varphi_t)$ 和 $G(\varphi_r)$ 不会大于 -3 dBi 。附录1还显示，如果 $G(\varphi_t) \cong -3 \text{ dBi}$ ，则假设 $G(\varphi_r) \cong -10 \text{ dBi}$ 已足够稳妥，反向同理。

将这些值用于 E 、 G_t 、 $G(\varphi_t)$ 和 $G(\varphi_r)$ 分别代表准最差情况，则公式(1)为：

$$I = -6.7 - pl \quad \text{dB (W/MHz)} \quad (2)$$

根据ITU-R S.1323建议书，GSO FSS的设计基础应为“来自所有其它GSO FSS网络的地球与空间站发射的集总干扰…在解调器的输入端不超过，…晴天条件下总系统噪声功率的20%…”。对于当前的示例，假设集总干扰包括所有以12.625 MHz为中心1 MHz频段内同向与双向GSO FSS系统的对等上下行链路发射。因此，地对空方向使用1 MHz频段的地球站B接收到的、来自所有地球站的集总干扰，在此最多不会超过链路噪声预算的5%。

除CDMA网络之外，只有一台地球站可以在给定频率和极化方向上向给定卫星发射，同时，会落在给定接收波束的覆盖范围之内，这是因为同一波束的多同频载波上行链路会相互干扰。（尽管CDMA允许 n 个此类载波在此情况下共存，但在此情况下各地球站的e.i.r.p.仅是使用CDMA的单一地球站e.i.r.p.的 $1/n$ 。）在纬度 50° 附近，GSO在 120° （i.e. $\pm 60^\circ$ ）附近的经度范围内，在地球表面任一点仰角都大于 10° 。在国际电联1区和3区内的同频同覆盖卫星之间，最小间隔约为 3° ，对于2区，约为 2° 。根据规定，对于该限制，给定覆盖范围内有40至60个地球站可使用相同载频和极化，向GSO中的不同卫星发射，根据其天线发射方向图提供的鉴别度，其上行链路间的干扰在可接受的范围之内。

尽管人们认为利用这种方式该载波频段已经充分利用了GSO频谱资源，但是，在公共覆盖区发射的所有地球站与接收同频载波的给定地球站距离近到足以对该地球站产生明显干扰的可能性不大。一方面，资源有可能在几个国家间分配，因为在14-14.5 GHz频段工作的典型卫星波束是为洲际覆盖而并非仅针对某个国家而设计的。因此对目前的任务而言，允许使用十个在12.625 GHz内以1 MHz频段发射的、会对在此频率上进行接收的同一地球站产生干扰的地球站，已足够稳妥。因此，在此项研究中，晴朗条件下单一地球站A对地球站B产生的最大干扰被限制在系统噪声预算的0.5%以内。

由于通过地上路径产生的干扰会受到传播条件的影响，因此有必要了解“晴朗”条件适用时间所占的比例。在ITU-R S.1062建议书中，超出长期比特差错率（BER）要求的时间不得多于最差月份的10%，即平均年份的4%。因此，地球站A对地球站B产生的干扰超过系统B噪声0.5%的时间不得超过4%，即：

$$I \leq 10 \log \left((0.05) (kTB) \right) \quad \text{dBW} \quad (3)$$

式中：

$10 \log(k)$: $-228.6 \text{ dB (W/Hz) /K}$ (玻尔兹曼常数)

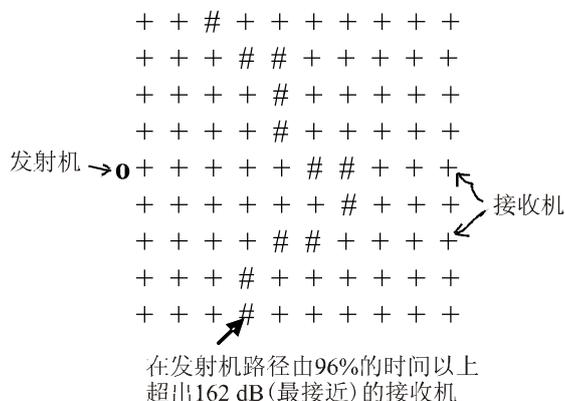
T : 系统噪声温度 (在大部分14-14.5 GHz上行链路中 $> 200 \text{ K}$)

B: 如上文中的定义, 1 MHz。

将公式 (2) 和 (3) 合并可以得出, 对于将由FSS网络共用的频段, 地球站A和B之间干扰路径上的损耗在96%的时间内, 应为162 dB或更高。

如果地形数据库可用, 即包含给定区域内均匀分布点在海平面以上各个高度的数据库, ITU-R P.452和ITU-R P.526建议书中的资料和算法, 可用于计算该区内任意两数据点之间的大圆路径上任意时间内, 超出规定的传播损耗。这些建议书同时包括视距路径和超地平线路径, 根据情况其中会包括大气吸收与衍射、管道效应以及对流层散射传播模式的影响。这样, 如果建立一种由单一发射机和大量均匀分布的接收机构成的软件模型, 则可能计算出发射机与各个接收机间路径上, 在特定时间段超出规定的损耗值, 从而确定损耗接近给定值的所有路径-见图2。

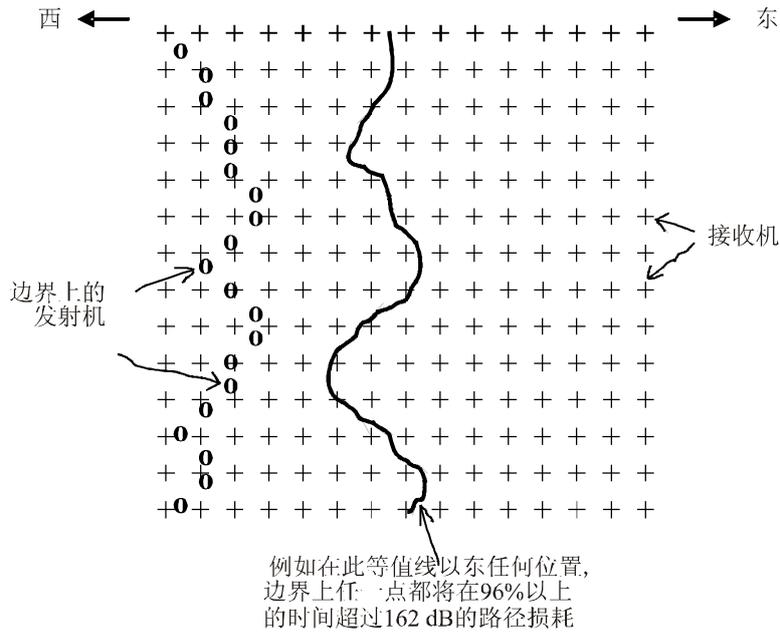
图 2



1781-02

通过在此模型中加入更多的发射机, 在相关地理区域内沿给定边界线以小间隔排列, 然后选择最大路径长度 L , 从与相关路径损耗相对应的发射机可划出等值线, 在给定时间内边界上任何一点的传输, 损耗给定值都将被超出。边界和此等值线间的区域, 将是频率共用路径损耗不足的最大区域。在适当的相邻接收机对间使用线性内插, 可以提高等值线的精度-见图3。

图 3



1781-03

等值线的形状部分取决于边界的形状，部分取决于等值线和边界间地形的性质。

从此分析可以明显的看出，在此例中，天线为1.8米或更大的地球站，在 12.5-12.75 GHz 频段的发射e.i.r.p.可达52 dB (W/MHz)，并可位于边界以西的任何位置，且在等值线以东任何位置、使用同一频率的接收地球站，不会超过0.5%系统噪声这一单入干扰标准。

使用专用软件包，建立了上述模型示例，其中边界假设为德法边境。使用的地形数据库水平分辨率约900米且垂直分辨率约1米。因此，在整个法国东部和德国西部，相邻接收地球站的间隔为5公里，两国间沿边境的相邻地球站间具有相似的分辨率。各接收地球站以及各发射地球站在本地地面上的天线高度（图1中的 h_r 和 h_t ），被设置为5米。

法国和德国的等高线的最终研究结果如图4所示。这显示了两种情况，即：

- 当发射地球站部署在靠近法国边境的地方，干扰标准在德国的等值线G上及其东侧的任何地球站都会得到满足，且
- 当发射地球站部署在德国靠近国境的地方时，干扰标准在法国的等值线F上及其西侧的任何地球站都会得到满足。

为在该频段内最大限度地利用上下行链路分配，同时为两国提供平等地接入，技术上可行的方案是，法国使用该频段在等值线F以西的任何部分，并在等值线F与德国边境之间的任何位置使用半个频段，而德国可使用该频段等值线G以东的任何部分，并且在等值线G与法国边境之间的任何位置使用另半个频段。当然，这种安排需经两国主管部门的事先同意。频段限制适用的地区可认为是法国和德国总面积内适度的一部分，并且在干扰路径的两端不考虑本地站点屏蔽。

如果使用更佳分辨率的地形数据库且/或，缩小计算机模型中的相邻地球站，同时增加其数量，则可以更精确的计算出等值线。在大多数情况下，这将导致“限制”区数量的减少。此外，根据不同情况，可使用站点屏蔽实现减少本地“限制”区。

2.2 应用于国内示例的方法

在这种情况下，明显不宜使用两国边境作为双向频率共用的边界。在任何给定的国家中，均有必要定义其边界，在此边界内地球站可以使用与此边界外地球站所用频率相同的频率向某些卫星发射，但在相关国家境内，其接收来自其它卫星。理论上可以对此使用当地的地理边境（例如，英国国境或瑞士各州间的边界），但此种方法也可能没有用处，因为VSAT系统的部署与此类边境的地理情况可能不相关。一种更为适宜的方法便是定义六边形边界，使相邻区域可以在全国共用双向频率-与蜂窝地面系统相似，但“小区”的面积更大-如图5所示。

在此安排中，如果六边形区域足够大，区域A中的大部分地区可用于与在B、C、D等区内地球站上接收的地球站频率相同的地球站（至不同的卫星）发射，且反向操作亦适用。如国际示例中所述，将存在一条不规则的地带，其位置与传输受限的各区域的六边形边界紧紧相临。限制的准确属性将是相关运营商和国家许可机构要考虑的问题。表1中列出了一种可能性，可为接入各六边形区域的受限部分提供均等的频谱。

图 4

两反向传输FSS网内普遍部署的地球站间共用的等值线；国际部分

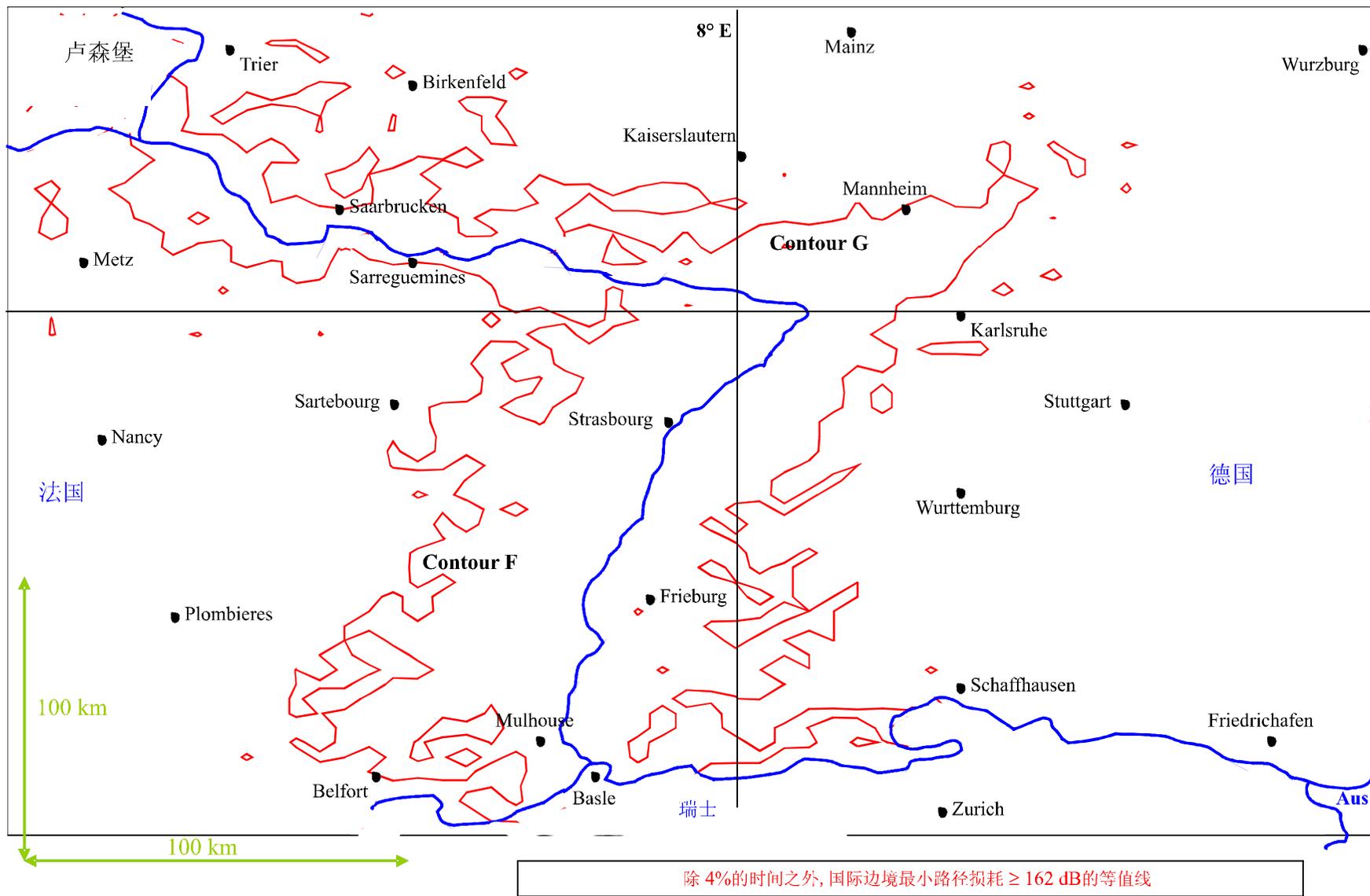
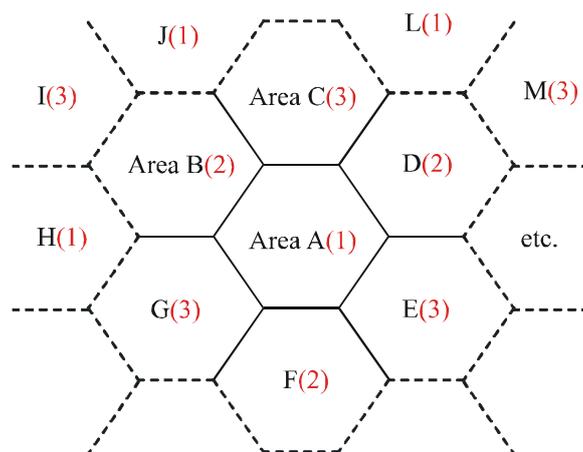


图 5



1781-05

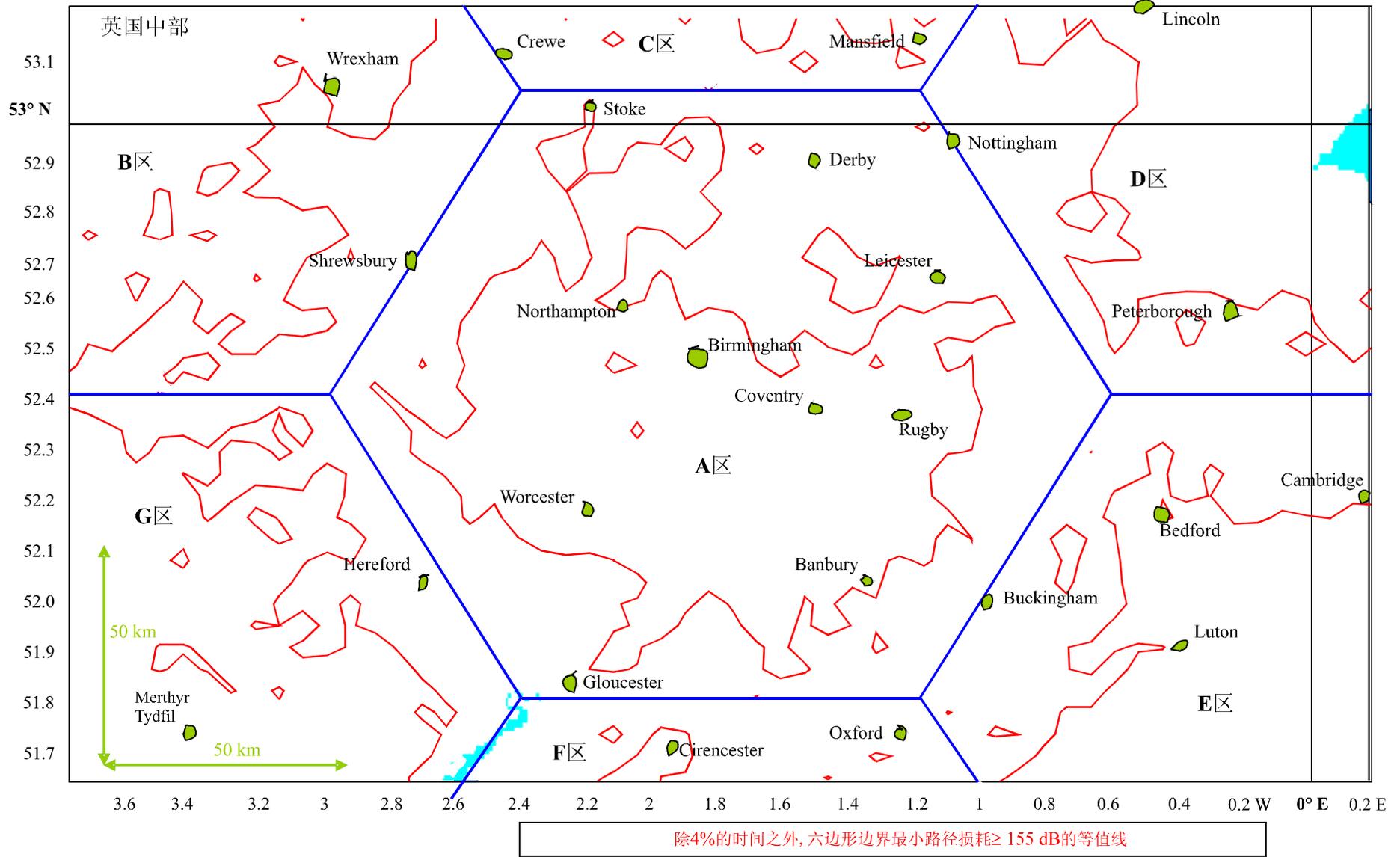
表 1
平均划分频段的可能性

<----- 12.5-12.75 GHz ----->		
f1 = 12.5-12.583 GHz 图5中的 (1)	f2 = 12.583-12.667 GHz 图5中的 (2)	f3 = 12.667-12.75 GHz 图5中的 (3)
f1上发射的A中受限制的部分	f2上发射的B中受限制的部分	f3上发射的C中受限制的部分
f1上发射的H中受限制的部分	f2上发射的D中受限制的部分	f3上发射的E中受限制的部分
f1上发射的J中受限制的部分	f2上发射的F中受限制的部分	f3上发射的G中受限制的部分
f1上发射的L中受限制的部分		f3上发射的I中受限制的部分
		f3上发射的M中受限制的部分

此安排的示例使用专用软件包建模，建模的方式采用第3段中针对英格兰中部六边形区域使用的方法，其结果如图6所示。相邻接收地球站间以及相邻发射地球站间的间隔仍为5公里，且所有电台的天线均设置为5米。发射地球站位于中间的六边形边界，并沿分隔面积相等的相邻小区的六条直线分布。接收地球站的“格栅”面积覆盖了图6中包括的整个正方形区域。这样，便可以绘制定义六边形区域中标为“区域A”的限制区等值线，此外还可绘制建模区域内B、C、D、E、F和G等邻区的部分对应等值线。

图 6

两反向传输FSS网内普遍部署的地球站间共用的等值线；国内部分



国家内部的频率共用，特别是在相对小的国家中，宜使用不太保守的干扰标准，从而不会因“限制”区在六边形地区内所占比例过大而产生不便。因此，对于当前的国内用法示例，其假设导致再次使用公式（2）和公式（3），且做出了如下改变：

- 首先，对数据库（根据2002年针对在14-14.5 GHz运行且天线直径范围在1.5米-2.1米的VSAT所做问卷调查表编辑而成）的复审显示，尽管98%的地球站发射值不超过52 dBW（每1 MHz带宽），但仅当e.i.r.p.电平低于约49 dBW时，这一比例开始明显下降。实际上，97%的地球站发射e.i.r.p.不会大于50 dBW。
- 其次，在此情况下的频率共用是在单一主管部门的权利范围之内，因此其对于干扰环境的控制可能会大于国际示例中的情况。此外，与国际示例相比，特定地球站“干扰”距离内地球站的数量可能少于十个，且其发射与接收均使用相同频率的可能性不大。因此，在当前的示例中，单入容差为系统噪声预算的1%（而非第2段中的0.5%）被认为是合理的。
- 第三，从图11可以看出在发射或接收地球站，约有92%干扰路径的偏轴角将大于30°（而非第2段中假设的25°）。在30°的偏轴处，天线旁瓣增益将为-5 dBi。因此，对于92%的干扰路径，该增益将小于-5 dBi，另外在此示例中，我们假设 $G(\varphi_t) = -5$ dBi且 $G(\varphi_r) = -10$ dBi。

在公式（2）和（3）中考虑到这三项因素，必须在96%的时间内超过路径损耗（其值达到155 dB），以便得出等值线。

图6显示，如国际示例中所述，对多数国家中的地球站而言，各国在整个12.5-12.75 GHz频段内实现双向FSS共用是可行的。例如在图6中的A区，等值线内发射地球站对频段的使用没有限制，该等值线覆盖了这一区域的50%，且有迹象表明这亦适用于B、C、D、E和H等区域。使用比在此使用的地形数据库分辨率更高的数据库，并将本地“杂波”（即建筑物、树木等）加入，在很多情况下会将等值线“移”至区域的边缘。在等值线与六边形边界之间，需要使用补充手段来促进频段共用，例如，如上文所述，在每个六边形区域内对向三分一频段的传输加以限制。

附件1和附录1

干扰路径偏轴角的变化

对地静止轨道卫星地球站仰角可使用下述公式来确定：

$$E_s = \arctan\left(\frac{(\cos(\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos(\lambda_E) - 0.1513)}{(1 - \cos^2(\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos^2(\lambda_E))^{1/2}}\right) \quad (4)$$

式中：

- E_s : 地球站天线的仰角
- α_E : 地球站的经度
- α_S : 卫星的经度
- λ_E : 地球站的纬度。

卫星方向地球站的方位角可用下述公式确定：

$$A_S = 180 + \arctan \left(\tan (\alpha_E - \alpha_S) / \sin (\lambda_E) \right) \quad (5)$$

式中 A_S 为真北方向面向地球站工作方向空间站的方位角，测量单位为度。

假设水平仰角为零度¹，可使用下述公式确定地球站的偏轴角，此地球站的运行是根据上文中确定的 E_S 和 A_S 值，方向是面向其它地球站，且单位为度、方向真北的方位角为 A_E ：

$$\alpha = \arccos \left(\cos (E_S) \cos (A_E - A_S) \right) \quad (6)$$

式中：

φ : 朝另一地球站方向的地球站天线偏轴角

A_E : 方位角，朝向另一地球站方向，从真北以度为单位测量。

在国际示例中，本建议书正文内的平均纬度约为 49°N ，且图7至10中的公式（4）至（6）被用于在 $\lambda_E = 49^\circ$ 的情况下绘制 φ ，作为 A_E 的函数，用于地球站及其对应的对地静止卫星（ $\alpha_E - \alpha_S$ ）纬度之间间隔的四个值。从图7中可以看出，正如所预见到的，当地球站及其卫星在同一经度上时，偏轴角的变化对于东西方位角的角度而言是对称的。与之相似，图8、9、10显示了不对称的东西方向变化，当 A_E 与发射地球站的方位角相对应时，会出现最小值 φ 。如果图8、9和10针对相应的情况进行了重新计算，且其中卫星在地球站以西，则可计算出三张图的映射图像（大约为 $A_E = 0^\circ$ ）。

同样，正如预测的那样，每种情况下的最小值 φ 等于地球站“可看到”的卫星仰角。可以通过公式（4）的评估并将结果与图7至10中曲线的最小点进行对比，来对此进行验证。

$\alpha_E - \alpha_S$ (度)	0	20	40	60
E_S (度)	33.78	30.58	22.11	10.60

鉴于在14-14.5 GHz运行的大部分GSO FSS网络的仰角低于 10° ，可认为图7至10包括反向传输地球站间干扰的所有偏轴角。

由于地球站可位于任何位置，使用12.5-12.75 GHz的FSS（地对空）划分的地球站与使用12.5-12.75 GHz的FSS（空对地）划分的地球站之间的干扰路径，可以在地球表面的任何方向。因此任何地球站的所有方位角角度（ A_E ），无论是带内发射还是接收，均可认为其出现概率相同。与之类似，对于目前的做法，地球站与卫星经度（ $\alpha_E - \alpha_S$ ）之间所有（切合实际的）不同角度出现概率相同；（实际上细微经度差要比巨大的经度差更为普遍，但目前的假设出于稳妥考虑，简化了分析和误差，即结果稍为乐观）。因此，针对 0° 至 60° 间间隔为 10° 的数值 $\alpha_E - \alpha_S$ ，生成图7、8、9、10中的表格，则可生成覆盖所有地理情况的，干扰偏轴角的累积分布函数（CDF），而其所用的假设为出现概率均等且平均纬度为 49° 。此CDF显示为图11中上面的那条曲线。

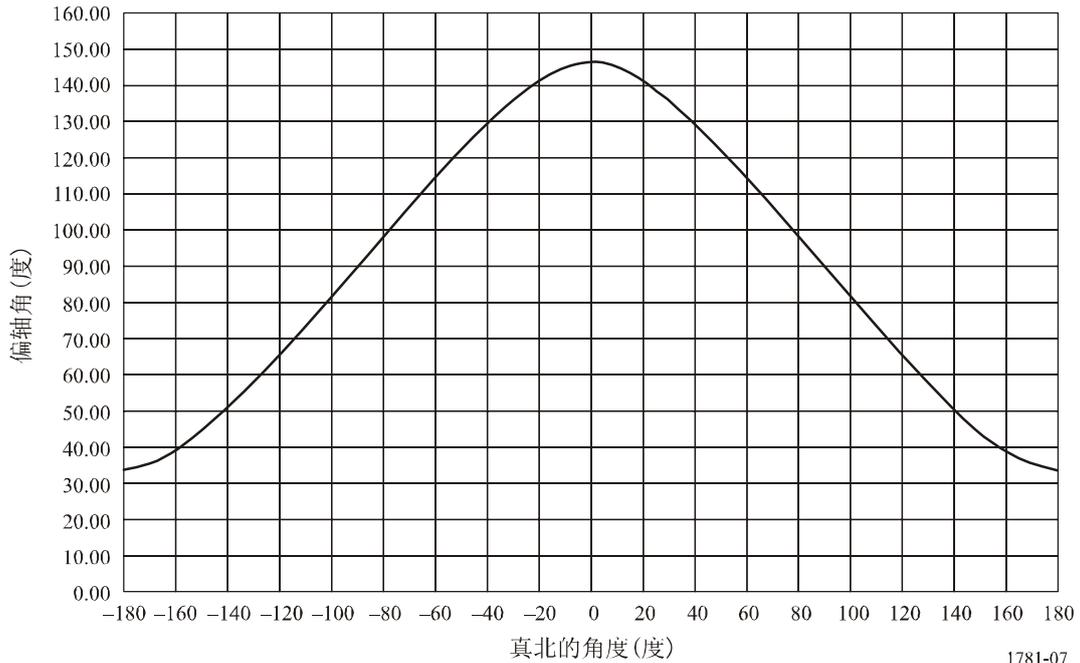
为了方便，12.625 GHz处1.8米天线的偏轴增益辐射图（如本建议书正文部分包括的示例）已被加入图11（下面一条曲线），其做法是插入一根比例适当的右垂直轴。此偏轴天线增益辐射图的计算是使用ITU-R S.580建议书公式。例如，这样便可以发现，至少有96%的干扰路径其 25° 的偏轴角被超过，且对于所有大于 25° 的偏轴角而言，天线增益小于 -3 dBi 左右。鉴于在假设效率为65%的情况下，此类天线的最大（即在轴）增益为 45.7 dBi ，允许

¹ 如果假设使用非零水平仰角，则本附录的结果可能会稍有不同，但由于地球站位置中仰角超过 2° 或 3° 的情况罕见，其差别会很小。

天线路径任一端的分辨率在96%的情况下至少为48.7 dB。此外，在干扰路径方向的天线增益概率为接近-3 dBi，这对两地球站天线而言非常低—约 $(0.04)^2$ 或0.16%，因此对本建议书的主体而言，假设干扰路径一端的偏轴增益为-3 dBi而另一端为-10 dBi是稳妥的。

图 7

干扰的偏轴角与真北49° N地球站的方位角角度
卫星与地球站在同一经度



1781-07

图 8
干扰的偏轴角与真北 49° N地球站的方位角角度
卫星与地球站以东 20°

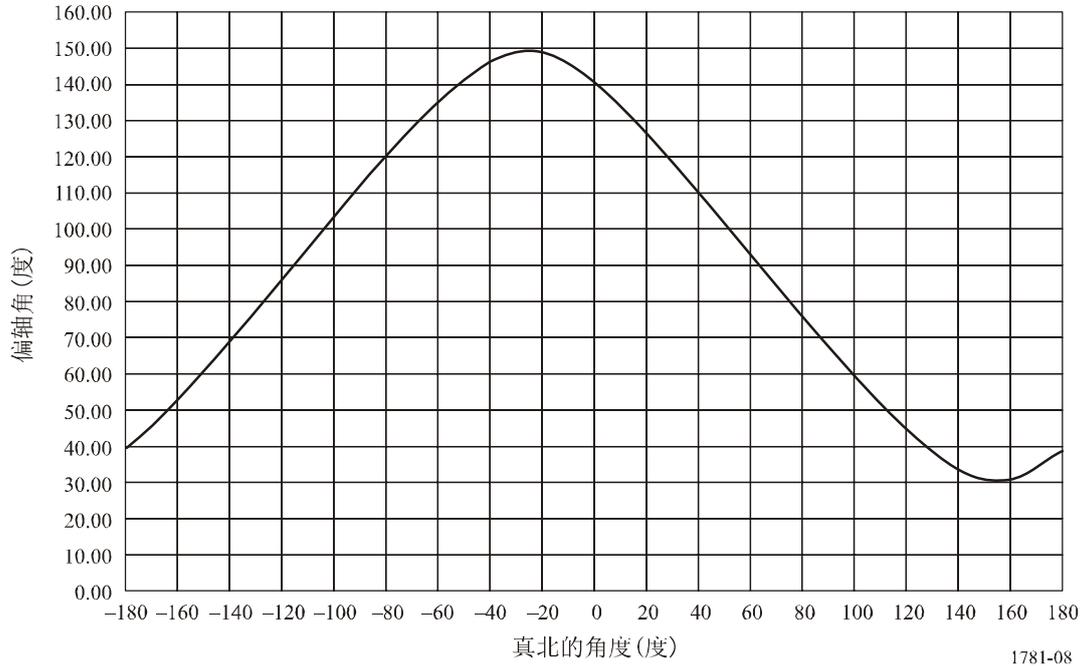


图 9
干扰的偏轴角与真北 49° N地球站的方位角角度
卫星与地球站以东 40°

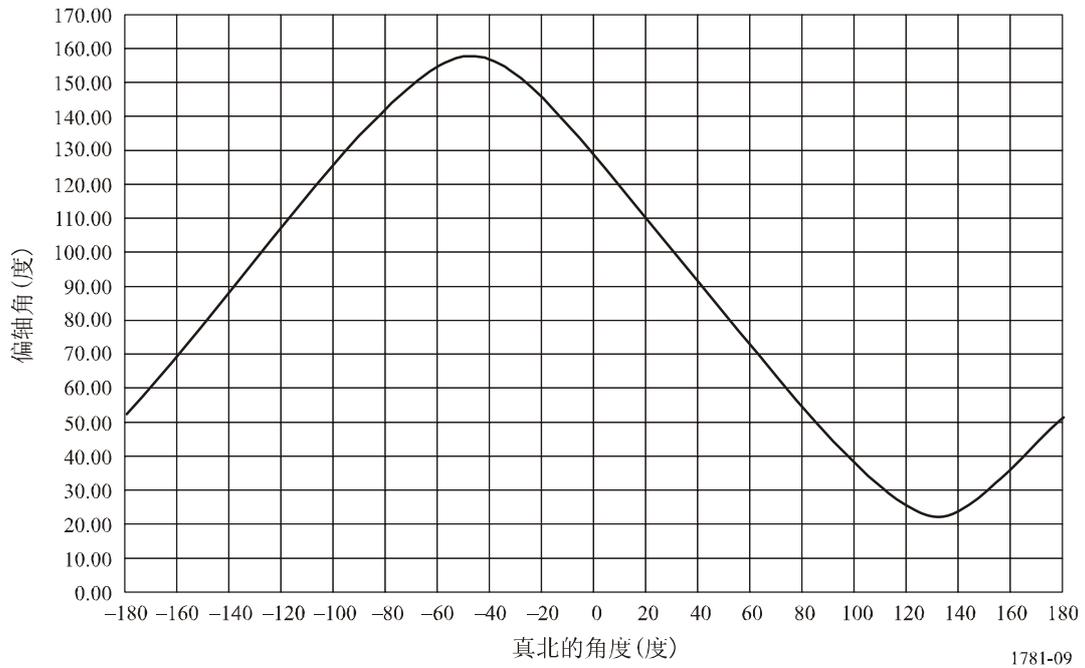
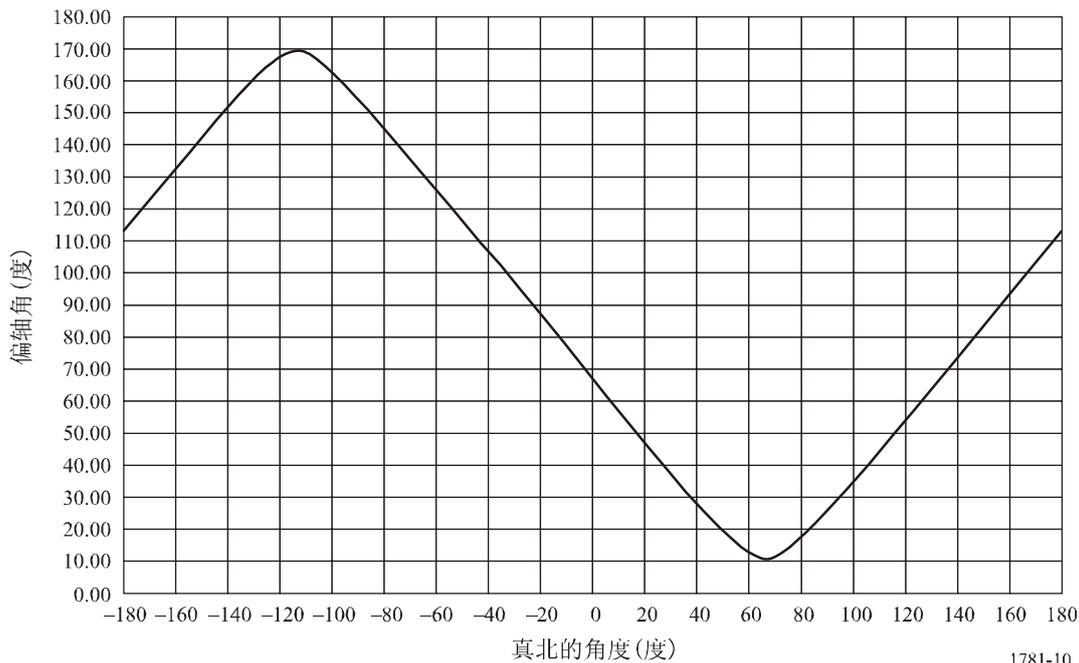


图 10

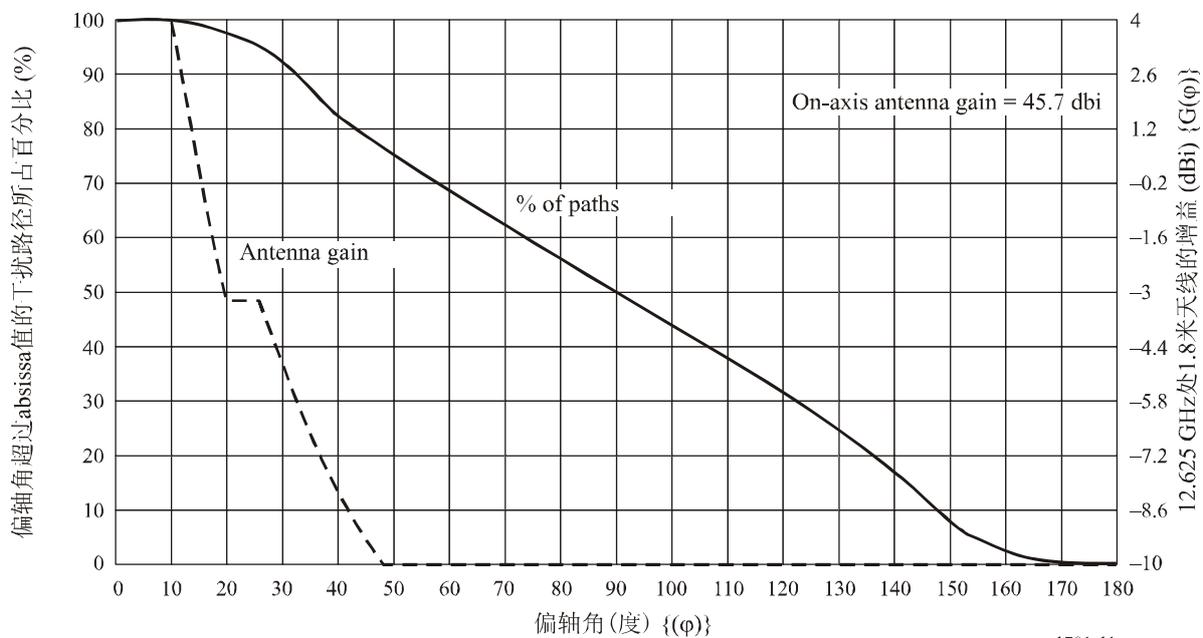
干扰的偏轴角与真北 49° N地球站的方位角角度
卫星与地球站以东 60°



1781-10

图 11

反向传输地球站间干扰偏轴角的累积分布函数与ITU-R S.580建议书中偏轴辐射图的对比



1781-11