

ITU-R F.699-7 建议书*

**在 100 MHz 到 70 GHz 左右频率范围内进行协调研究和
干扰估算用的固定无线系统天线的参考辐射图**

(ITU-R 110/9 号研究课题)

(1990-1992-1994-1995-1997-2000-2004-2006)

范围

本建议书提供了在 100 MHz 到 70 GHz 左右频率范围内的固定无线系统天线的参考辐射图和信息。当不能获得有关 FWS 天线的特定信息时，这些信息可以用于协调研究和干扰估算。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 在固定无线系统（FWS）之间和这些系统的站和共用同一频带的空间无线电通信业务的地球站之间进行协调研究和估计相互之间的干扰时，可能有必要使用 FWS 天线参考辐射图；
- b) 进行上述研究时，根据旁瓣峰值只有很小百分比超过的那个电平的辐射图可能比较适用；
- c) 天线直径与工作波长之比对不同尺寸天线的旁瓣图的影响非常大；
- d) 在无法得到有关天线直径的资料的情况下，需要参考辐射图；
- e) 在角度大的范围内，必须考虑当地的地面反射的可能性；
- f) 使用其辐射图最容易获得的天线，注意 ITU-R.[9D/Antennas]（文件 9/61），将导致最有效地利用射频频谱，

建议

1 在缺乏有关所涉及的 FWS 天线辐射图的具体资料的情况下（见注 1），应该将下述参考辐射图用于如下场合：

- 1.1** FWS 系统间的干扰估算；
- 1.2** FWS 站和共用同一频带的空间无线电通信业务的站之间进行协调研究和干扰估算；

* 应提请无线电通信第 4、6、7 和 8 研究组注意本建议书。

2 频率在 100 MHz 到 70 GHz 左右范围内时, 应该采用下面的参考辐射图:

2.1 频率在 1 到 70 GHz 左右范围内时, 在天线直径与波长之比大于 100 的情况下, 应该用下面的公式 (见注 6 和 7):

$$G(\varphi) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{对于 } 0^\circ < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{对于 } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{对于 } \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{对于 } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

其中:

$G(\varphi)$: 相对于全向天线的增益

φ : 偏离轴向的角度(度)

D : 天线直径 }
 λ : 波长 } 用同一单位表示

G_1 : 第 1 旁瓣的增益 = $2 + 15 \log \frac{D}{\lambda}$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad (\text{度})$$

$$\varphi_r = 15.85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0.6} \quad (\text{度})$$

2.2 频率在 1 到 70 GHz 左右范围内时, 在天线直径与波长之比小于或等于 100 的情况下, 应该用下面的公式 (见注 6 和 7):

$$G(\varphi) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{对于 } 0^\circ < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{对于 } \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D}$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 2.5 \log \varphi \quad \text{对于 } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{对于 } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

2.3 频率在 100 MHz 到小于 1 GHz 范围内时, 在天线直径与波长之比大于 0.63 的情况下 (G_{max} 大于 3.7 dBi), 应该用下面的公式:

$$G(\varphi) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{对于} \quad 0^\circ < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{对于} \quad \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D}$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{对于} \quad 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < \varphi_s$$

$$G(\varphi) = -2 - 5 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{对于} \quad \varphi_s \leq \varphi \leq 180^\circ$$

其中:

$$\varphi_s = 144.5 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0.2}$$

3 只知道最大天线增益的情况下, 可以从下面的表示式估计 D/λ 的数值:

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{max} - 7.7$$

其中 G_{max} 是天线主瓣的增益(dBi);

4 只知道天线射束宽度的情况下:

4.1 可以从下面的表示式估计 D/λ (以同一单位表示) 的数值:

$$D/\lambda \approx 70/\theta$$

其中 θ 是射束宽度(-3 dB) (度);

4.2 只要给出了 θ 的数值, 可以由下式近似估计 G_{max} :

$$G_{max} \text{ (dBi)} \approx 44.5 - 20 \log \theta$$

5 各主管部门提交测得的天线辐射图或规格, 以使得有可能制定和提出新的和改进的参考辐射图, 供协调研究和干扰估算使用 (见附件 1 的附录 1);

6 附件 1 应该看作有关 FWS 天线的参考辐射图的附加信息;

7 为详细计算干扰通路上的干扰电平, 有必要考虑受扰方和干扰系统天线的交叉极化响应;

7.1 对于建议 7 中的计算, 包括通过发射天线预定极性上辐射的信号元件, 以及受扰接收天线对于通过发射天线非预定极性上辐射的信号元件的同极化响应, 可以用下面的公式:

$$G_t(\varphi_t) + G_r(\varphi_r) = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{G_{tH}(\varphi_t) + G_{rV}(\varphi_r)}{10}} + 10^{\frac{G_{rV}(\varphi_r) + G_{tH}(\varphi_t)}{10}} \right) \quad \text{dBi}$$

其中下列参数与天线增益有关 (dBi):

$G_t(\varphi_t)$: 在受扰天线方向上的发射天线有效增益

$G_r(\varphi_r)$: 在干扰天线方向上的接收天线有效增益

$G_{tH}(\varphi_t)$: 发射天线的水平极化增益元件

$G_{rV}(\varphi_r)$: 接收天线的垂直极化增益元件

$G_{tV}(\varphi_t)$: 发射天线的垂直极化增益元件

$G_{rH}(\varphi_r)$: 接收天线的水平极化增益元件。

φ_t 和 φ_r 是主射束方向与分别朝向受扰天线和发射天线之间的夹角。

关于使用上面公式的进一步信息和数值举例在附件 2 中给出。

8 应该把下面的注看作本建议书的一部分:

注 1 — 重要的是在进行协调研究和干扰估算时应该尽可能利用实际天线的辐射图。

注 2 — 应该指出, 在某些角度范围内, 实际天线的辐射图可能比参考辐射图差 (见注 3)。所以, 不应该把本建议书中的参考辐射图理解为给现有的或已设计的 FWS 天线的辐射图规定的最大限值。注意到为了达到验证的目的, 主管部门可能采用通常基于真实天线的统计测量结果的标准, 可能代表旁瓣辐射图电平的不同值。

注 3 — 特定的馈源系统可能在某些角度范围内产生相当高的溢出电平, 因此使用参考辐射图应该要慎重。

注 4 — § 2 中的参考辐射图只能用于一个极化 (水平或垂直)。两个极化 (水平和垂直) 的参考辐射图正在研究中。

注 5 — 本建议书列出的参考辐射图只适用于旋转对称的天线。非对称开口的天线和频率在 100 MHz 到 1 GHz 范围内无开口的 FWS 天线的参考辐射图需要进一步研究。对于这样的天线, 可以暂时认为上面的参考辐射图是有效的。在这种情况下, 由 G_{max} 计算出的 D/λ 值是一个等效值, 而并非实际的 D/λ 值。

注 6 — ITU-R F.1245 建议书给出了在某些协调研究和干扰估算中所用的平均辐射图的数学模型。

注 7 — 在点对多点系统中的全向天线和扇形天线的参考辐射图在 ITU-R F.1336 建议书中给出。

注 8 — 考虑到天线设计技术的进步，要保证不间断地研究参考辐射图的问题需要进一步研究。

注 9 — 尽管建议 2 中的参考辐射图一般是可以使用，但是不适于作某些实际固定业务天线的模型，并且在 5° 到 70° 这一角度范围内应该谨慎地处理这一问题（也见注 2 和注 3）。

附 件 1

FWS 天线的参考辐射图

1 引言

为了研究 FWS 和 FSS 之间的频率共用问题或为了研究 FWS 网中频率重复使用的可能性，经常需要使用参考辐射图，因为实际的天线辐射图不是总是可以精确地知道或者它过于详细无法使用。所以，参考辐射图应该是以简化的形式代表旁瓣的包络。

但是，所要选择的参考辐射图可能要根据想要使用的条件而有所变化。

一般来说，应该使用本建议书正文中的参考辐射图。

2 参考辐射图的应用

参考辐射图的两种主要用途如下：

2.1 在协调区内进行初步研究

在确定一地球站周围的协调区时，假定 FWS 站天线直接指向地球站。但是，在大多数情况下，将有一些角度鉴别率。使用简单的参考辐射图使得有可能在进一步研究时去掉位于协调区之内但似乎不会产生干扰的那些 FWS 站。

为了避免去掉了一些临界的干扰源，必要时，这一参考辐射图必须取保守的数据。当然，要精确地计算干扰电平需要更精确的天线辐射图的资料。

2.2 在固定无线网中频率重复利用

在一个固定无线网中，同一频率可以多次使用，或者在彼此相距足够远的段上、或者在从同一站出发的但在不同方向的段上，或者在同一段上但使用交叉极化。

在后面两种情况下，天线的性能非常重要，并且对该网络项目必须使用相当精确的参考辐射图；这一参考辐射图可能比 § 2.1 中所提出的规范要复杂一些，意识到需要考虑经济上的效率，主管部门可能希望在高频谱使用区鼓励使用高性能天线类型。

3 对固定无线链路天线的测量结果

大量天线的测试结果为本文中的参考辐射图在 D/λ 值至少达 130 左右范围内提供了充足的证据。但是，必须考虑下列问题：

3.1 某些早先设计的天线的性能特性比更现代的有代表性的天线的满意程度要差一些。在频率共用研究中，应该考虑到存在这样的中等性能的天线。

3.2 上面计算时根据天线在自由空间条件下工作这一假设。然而，由于从相邻障碍物的反射或安装在同一天线塔上的其它天线的反射，在现场安装天线的性能特性可能要稍差一些。

4 高性能天线的辐射图

高性能天线对增加固定无线系统中的结点容量起很大作用。喇叭反射器天线是按照密集网络中地面 FWS 的要求进行研制的。对于这种天线，可以认为只有在水平面上的参考辐射图是有效的，对于偏离水平面的各个平面，显示出很明显的灵敏度的变化。

图 1 给出了一个特定的但是被广泛使用的角锥喇叭反射器天线的辐射图的一个实例。在一个用角度 φ 和 θ 的坐标系统（球坐标系统的中心是天线开口的中心）中画出了辐射包络的等位线图（以低于主射束的 dB 计）。它与本建议书的建议 2 中的参考辐射图的旋转对称性的假设差别相当大是由于下列原因：

- 在 $\varphi = +90^\circ$ 附近和 θ 在 60° 和 80° 之间范围内的溢出瓣，
- 在 $\varphi = -90^\circ$ 附近和 θ 在 50° 和 90° 之间范围内的天线罩的瓣。

溢出瓣是由从角锥喇叭部分辐射的直接射线在开口的上沿产生的波的绕射所造成的。这一效应是仅对垂直极化而言的。天线罩的瓣是由于倾斜的塑料天线罩将能量反射回抛物面上，然后大部分能量重新向下向开口的下沿发射而引起的。这一现象与极化及频率的关系不大。

偏置反射器型天线有很强的方向性，特别是在水平面内。图 2 说明了偏置反射器天线辐射图的几个实例，图中也画出了角锥喇叭反射器天线的实例（数据取自图 1）。

图 1

一角锥喇叭反射器天线在 3.9 GHz 和垂直极化时的三维辐射图
(注意在 $\theta = 10^\circ$ 处标度的变化)

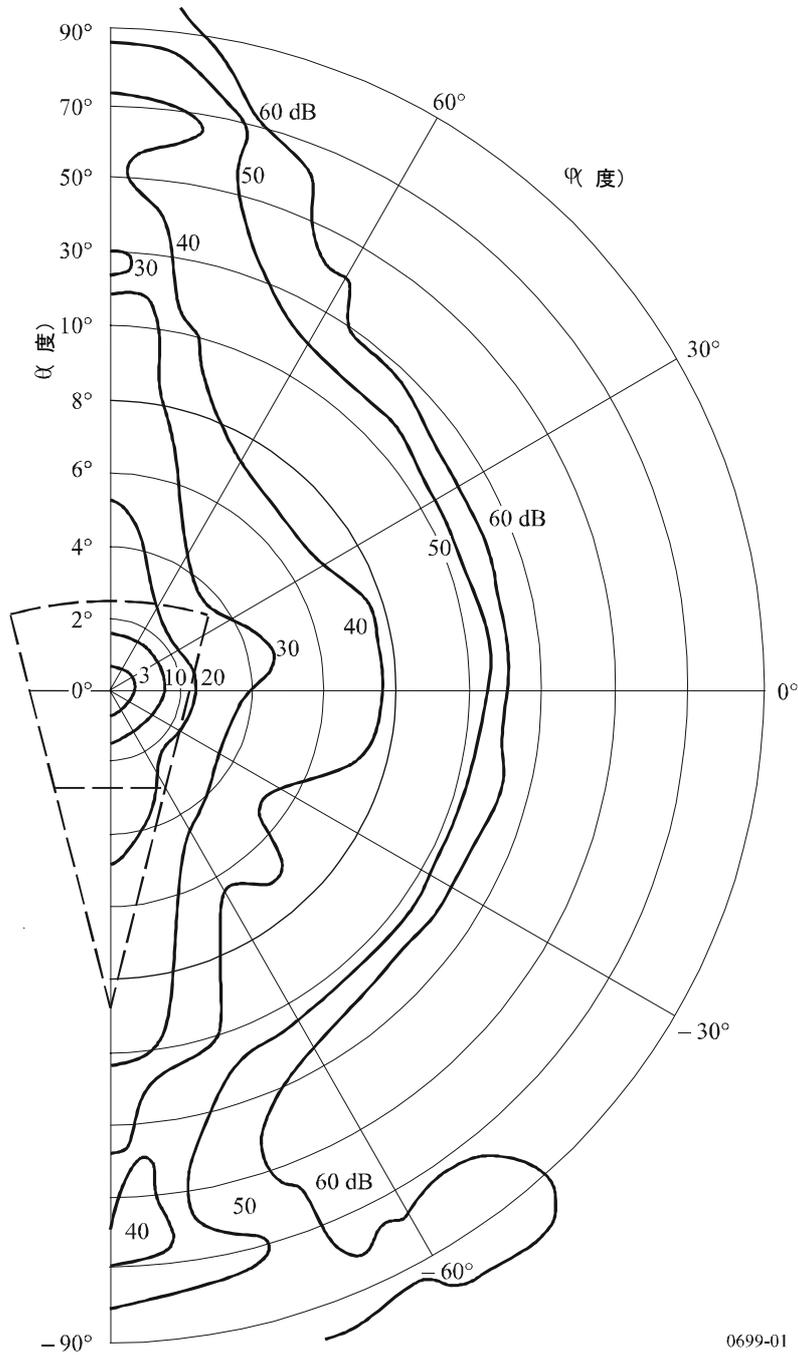
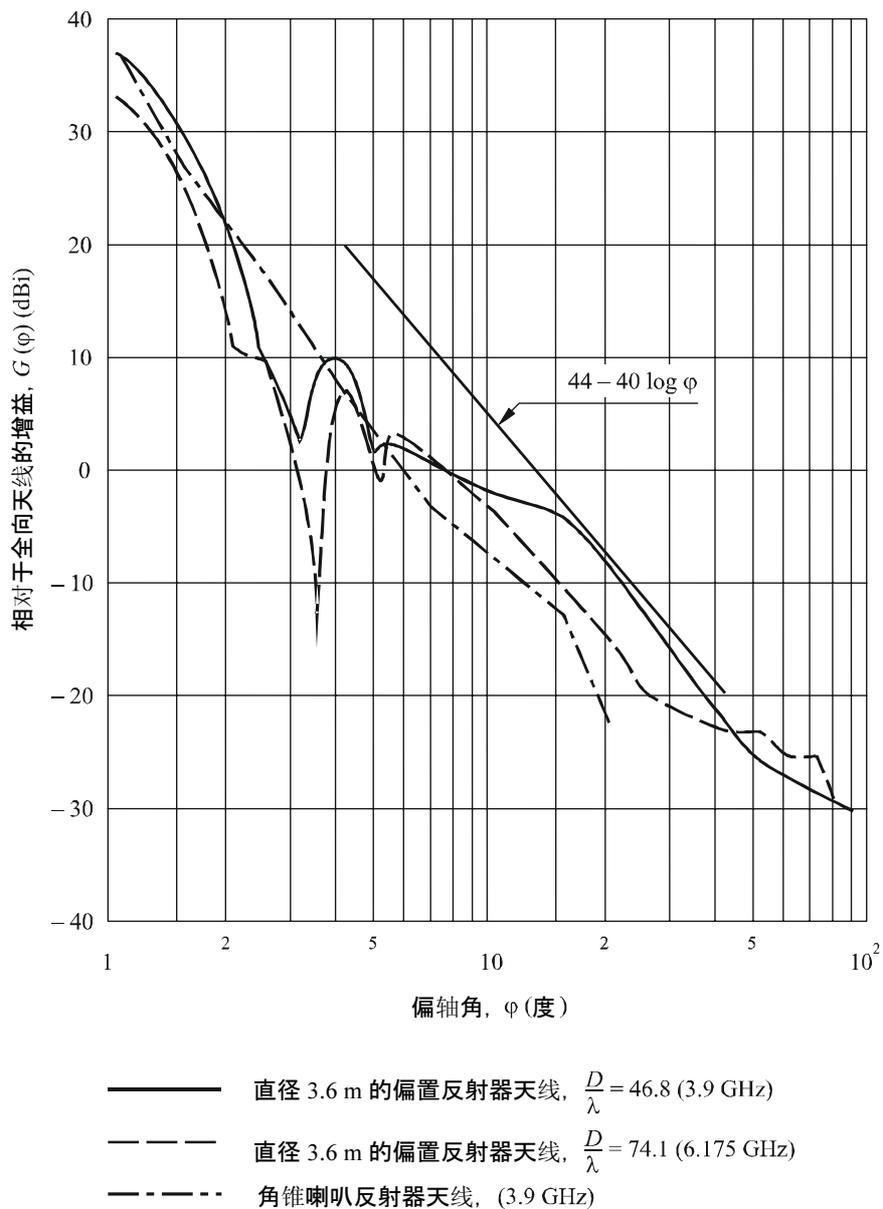


图 2

高性能天线的辐射图



0699-02

对于喇叭反射器天线和对于反射器边缘上有很低照射的偏置天线, 可以暂时用下面的公式作为水平面内的参考辐射图:

$$G = 88 - 30 \log \frac{D}{\lambda} - 40 \log \varphi \quad (1)$$

对于主瓣以外 φ 在 90° 左右以下时, 这一公式是正确的。但是, 当反射器边缘的照射不很低时, 在某些方向上, 旁瓣电平可能高于由公式 (1) 给出的数值。

附件 1 的
附录 1

用于将来制定本建议书的测得的辐射图

1 引言

有必要不断地修订和更新本建议书中的参考辐射图，因为用于 FWS 的频带扩展到 70 GHz 以上，所以有必要将这些参考辐射图的范围扩展到 70 GHz 以上。为了帮助上面的工作，本附录将某些实际天线的辐射图包络和辐射图与从本建议书和 ITU-R F.1245 建议书导出的相应参考辐射图进行了比较。

图 3

10.7 GHz 直径为 3 m 的点对点天线 ($D/\lambda = 114$; 增益 = 49.8 dBi)
(H: 水平极化, V: 垂直极化)

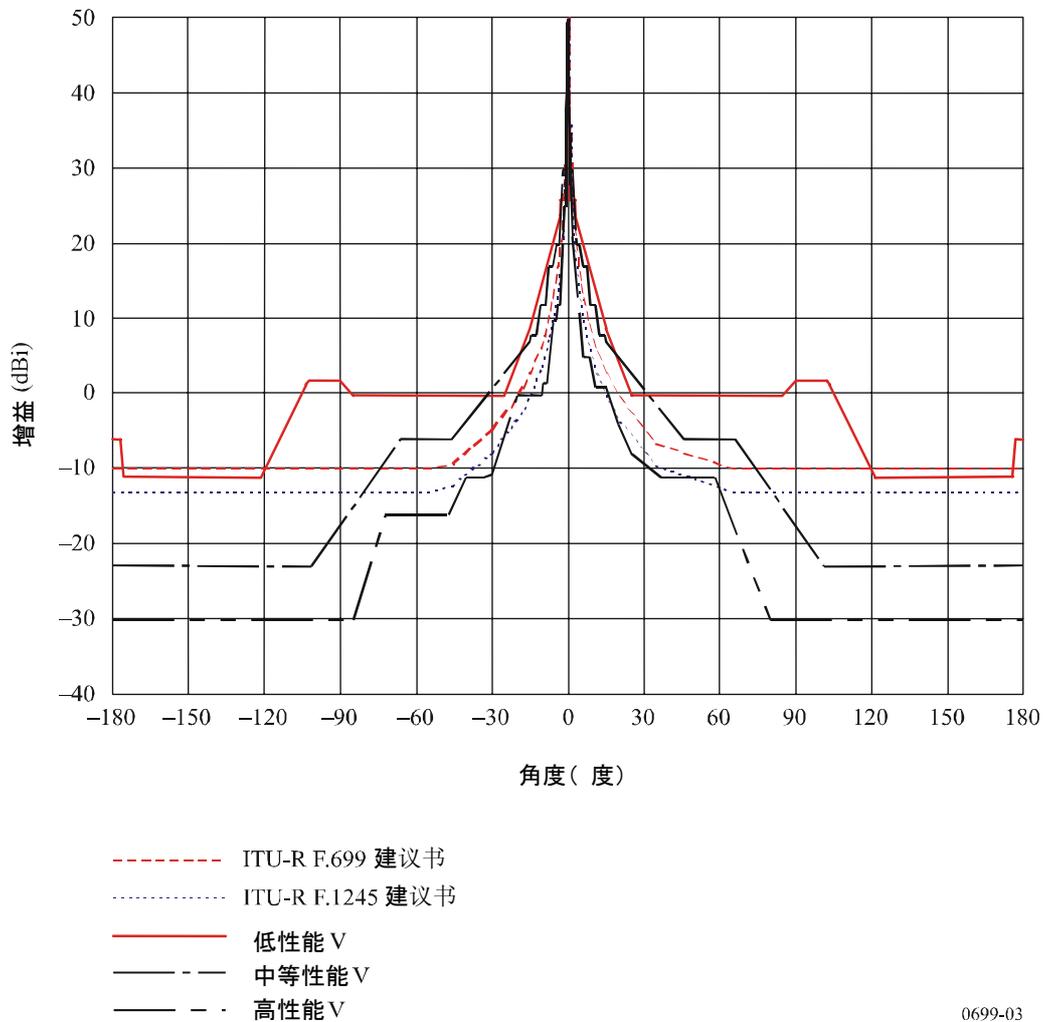


图 4

生产天线的一个取样图
(直径为 1.8 m, 水平极化, 10.7 GHz)

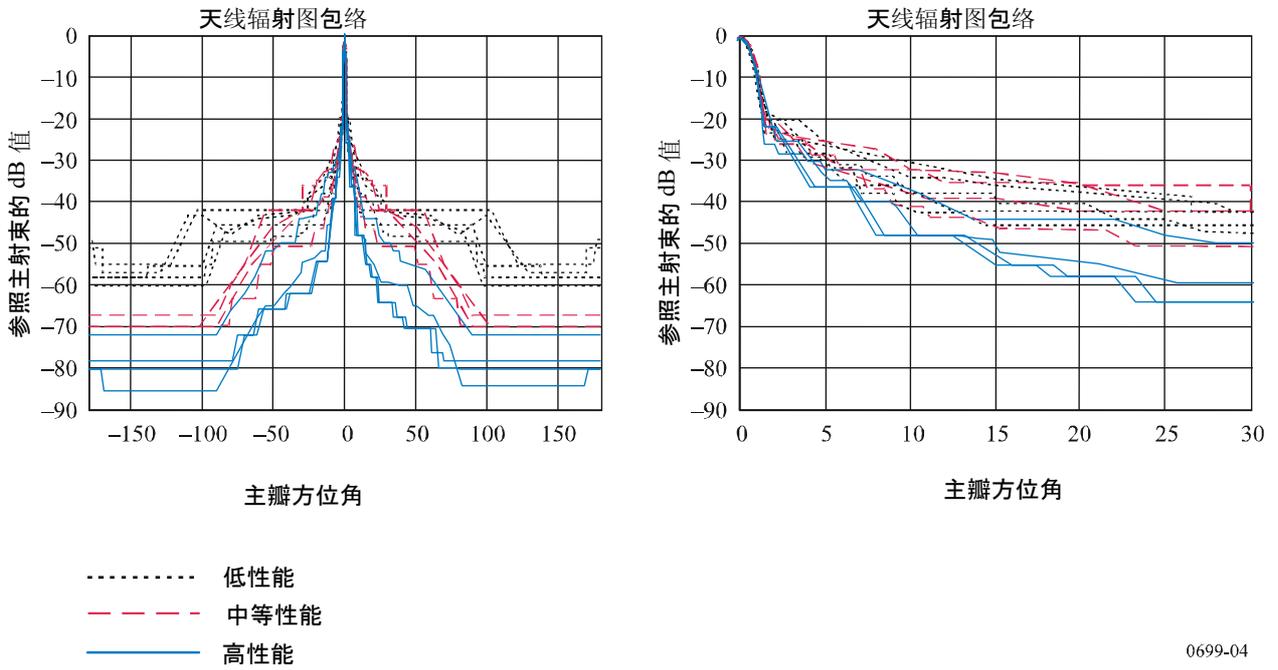
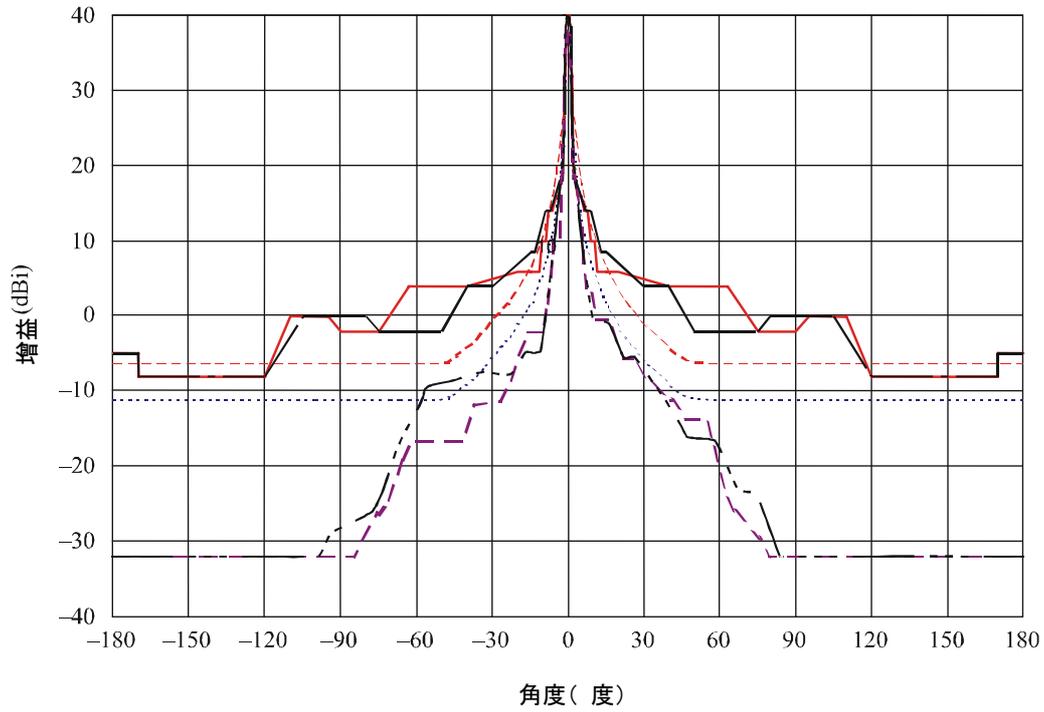


图 5

10.5 GHz 直径为 1.2 m 的点对点天线 ($D/\lambda = 43$, 增益 = 39.9 dBi)

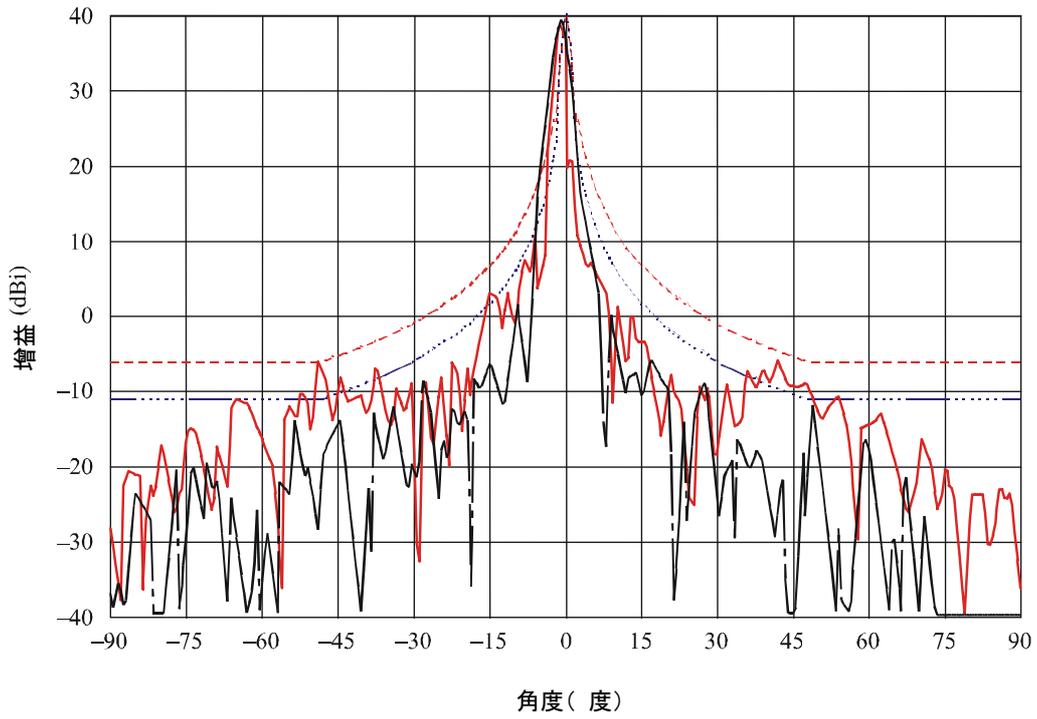
(H: 水平极化, V: 垂直极化)



- ITU-R F.699 建议书
- ITU-R F.1245 建议书
- 低性能 H
- 低性能 V
- 高性能 H
- 高性能 V

图 6

21 GHz 直径为 50 cm 的透镜喇叭点对点天线 ($D/\lambda = 37$; 增益 = 40 dBi)

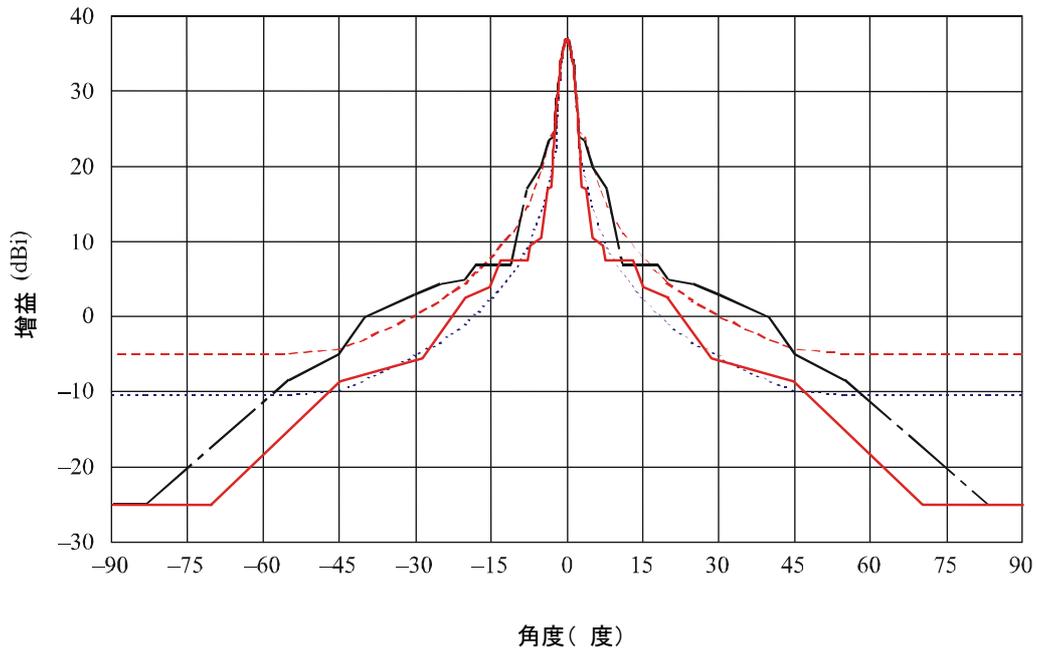


- ITU-R F.699 建议书
- ITU-R F.1245 建议书
- 实测值
- 实测值

图 7

31 GHz 直径为 0.3 m 的点对点天线 ($D/\lambda = 32$; 增益 = 36.9 dBi)

(H: 水平极化, V: 垂直极化)



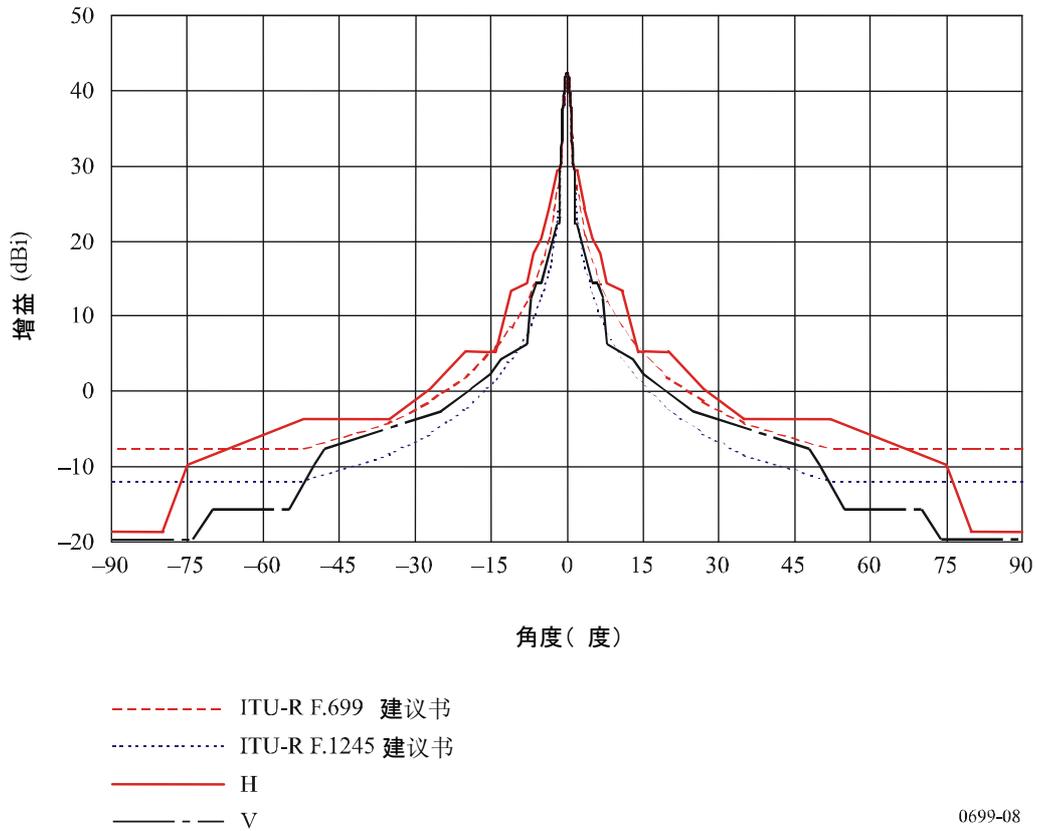
- ITU-R F.699 建议书
- ITU-R F.1245 建议书
- H
- V

0699-07

图 8

55 GHz 直径为 0.3 m 的点对点天线 ($D/\lambda = 57$; 增益 = 42.4 dBi)

(H: 水平极化, V: 垂直极化)



附件 2

建议 7 的应用信息

1 引言

为了支持建议 7.1 的公式中使用的表示方法, 给出了一些图和数值举例。

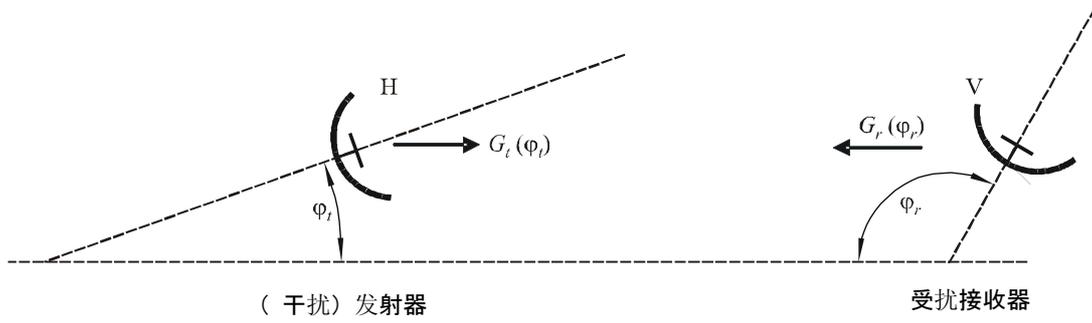
如果给出了相关的天线增益数据, 则可以使用一个备选的公式 (见§ 4)。

在同极化天线之间如果有相互增益计算, 则应该使用备选的公式 (见§ 5)。

2 位置

图 9

发射天线和受扰接收天线的相互之间的位置和方向的通用示例

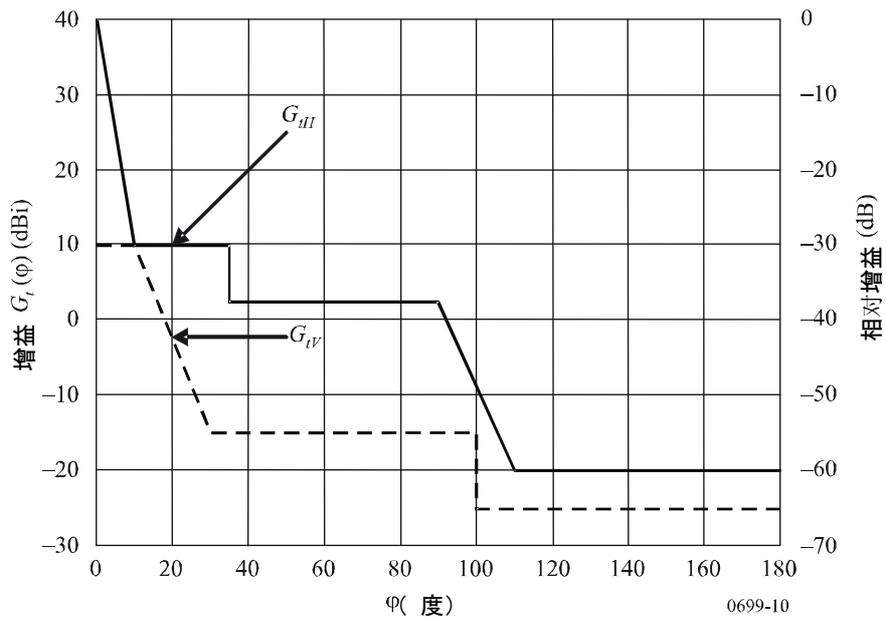


0699-09

3 数值举例

图 10

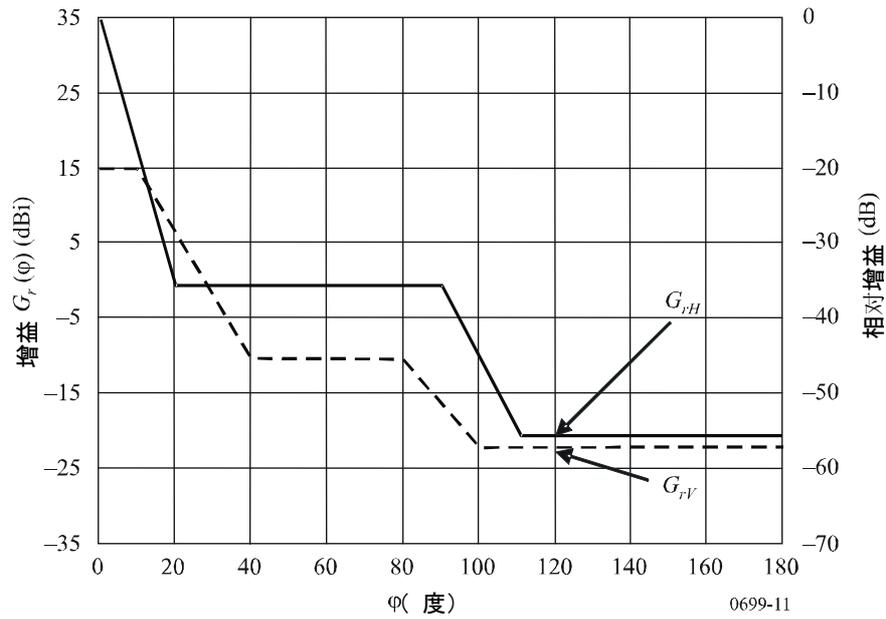
用于同极化和交叉极化的发射天线罩举例



0699-10

图 11

用于同极化和交叉极化的接收天线罩举例



交叉极化天线的举例在下面给出。

可以通过图 9、10 和 11 获得下面的值：

$$\varphi_t = 20^\circ$$

$$\varphi_r = 120^\circ$$

$$G_{tH}(\varphi_t) = 10 \text{ dB}$$

$$G_{rV}(\varphi_r) = -22 \text{ dB}$$

$$G_{tV}(\varphi_t) = -2 \text{ dB}$$

$$G_{rH}(\varphi_r) = -20 \text{ dB}$$

使用等式里的这些值，可以得出以下结果： $G_t(20^\circ) + G_r(120^\circ) = -11.6 \text{ dB}$ 。

如果发射天线和接收天线互换，由于可逆定理，相互增益计算的结果是相同的。

4 交叉极化情况下的备选公式

如果给出了 G_{tmax} , G_{rmax} 和旁瓣的相对增益（如图 10 和 11 中右侧刻度所示），公式（2）适用：

$$G_t(\varphi_t) + G_r(\varphi_r) = G_{tmax} + G_{rmax} + 10 \cdot \log \left(10^{\frac{G_{tH}(\varphi_t) + G_{rV}(\varphi_r)}{10}} + 10^{\frac{G_{tV}(\varphi_t) + G_{rH}(\varphi_r)}{10}} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

在公式 (2) 中， G_{tmax} , G_{rmax} 和计算结果用 dB 表示，而旁瓣的相对增益用 dB 表示。

5 同极化情况下的备选公式

如果两个天线都是同极化的，则数值应相应改变，公式变为：

$$G_t(\varphi_t) + G_r(\varphi_r) = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{G_{tH}(\varphi_t) + G_{rH}(\varphi_r)}{10}} + 10^{\frac{G_{tV}(\varphi_t) + G_{rV}(\varphi_r)}{10}} \right) \quad \text{dBi} \quad (3)$$

在同极化情况下，数值举例给出了如上使用的相同天线的普通增益为-9.8 dBi（图 10 和 11）。
