

ITU-R 第SA.2098号报告

涉及大量分布或干扰源兼容性分析的大孔径空间研究业务地球站

天线的数学增益模式

(2007年)

1 引言

在 31.8-32.3 GHz 和 37-38 GHz 频段正在开展空间研究业务（SRS）地球站与高密度固定系统间兼容性的研究。

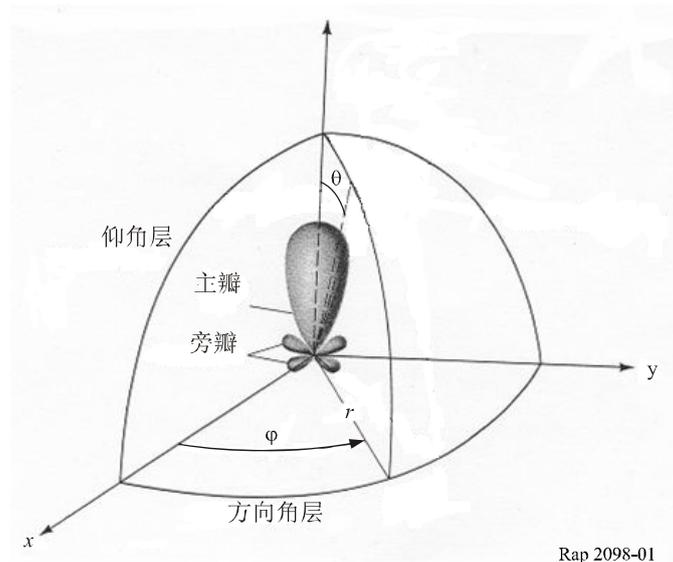
为确定可能在 SRS 地球站产生的干扰电平而需要定义的关键参数之一，便是将在计算中使用的天线辐射图。ITU-R F.699 建议书中给出了固定无线系统的峰包辐射方向图，且 ITU-R F.1245 建议书中给出了表示视距点对点无线中继系统平均旁瓣电平的辐射方向图。ITU-R F.699 建议书的辐射图，在仅应用于极角大于 1° 时，与 ITU-R SA.509 建议书使用的辐射图相同。ITU-R S.580 和 ITU-R S.465 建议书给出了卫星固定业务（FSS）地球站的峰包辐射图，而 ITU-R S.1428 建议书提供了表示卫星固定业务地球站平均旁瓣电平的辐射方向图。本报告对这些辐射图的性能进行了比较并引入了一种新模型。

实际而可行的辐射图涉及多项因素，若要使用简单的理论计算来准确表示，则过于复杂和分散。例如，旁瓣区零和峰值的位置作为天线重力负载、风等因素的函数不断变化，且包络可以很好地表示它们。多年以来，已建议大型反射天线使用过多种辐射图模式（参见 ITU-R F.1245-1 等建议书 – 在某些协调研究和 1 GHz 至约 70 GHz 频率范围内进行干扰评估时使用的、视距点对点无线电中继系统天线的平均及相关辐射图的数学模型）。ITU-R SA.509-2 建议书 – 在包括协调程序在内的干扰计算中使用的空间研究地球站和射电天文参考天线辐射图。ITU-R SA.1345 建议书 – 空间研究和射电天文学[2003 年，Jamnejad]使用的大型天线辐射方向图的预测方法。

描述实际天线模式的一种简单而有效的方法是，使用基于多项理论和实验结果的模型，并为易于在多种情况下应用的天线规定上限和/或下限、包络。在理想情况下，如 ITU-R F.1245 建议书所述，根据天线方向性的定义，增益模型 G （以 dB 为单位）应遵循平均增益比公式 g_a ：

$$g_a = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi g(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\theta d\varphi = 1$$

式中， θ 为视轴极角且 φ 为方位角，如下图所示：



Rap 2098-01

对于圆对称的辐射图，公式可缩减为：

$$g_a = \frac{1}{2} \int_0^\pi g(\theta) \sin(\theta) d\theta = 1$$

典型增益模型（单位为 dB）作为参数 G 给出，其与增益比 g 的关系为：

$$G(\theta, \varphi) = 10 \log(g(\theta, \varphi))$$

或

$$g(\theta, \varphi) = 10^{\frac{G(\theta, \varphi)}{10}}$$

在文献中经常建议使用的模型中，由于使用了上限包络或其它近似值而非实际的辐射图，根据上述整数计算出的平均增益值，远大于单位元素的值（或大于 0 dB）。但是可将其用于该模型与实际天线辐射图对比的一般精度有效性验证。一般小于或约等 2（小于 3 dB）将能够提供合理的近似值。

在此，我们对一系列圆对称增益模型中涉及整数的左半侧进行评估，并提供图表，用以表现其值作为频率和孔径直径等天线参数的函数而产生的变化。

2 增益模型

在下文中给的所有模型中，增益值的单位均为 dB，角度的单位为度，且：

D : 天线主孔径的直径 (m)

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{0.3}{f_{\text{GHz}}}, \text{ 波长 (m)}$$

本文仅考虑 $D/\lambda > 100$ 的大孔径。

a) **ITU-R F.699-7 建议书**中的模型

ITU-R F.699-7 建议书在 1-70 GHz 频率范围使用下述辐射方向图（最大包络）：

$$\text{当 } 0 < \theta < \theta_m \text{ 时, } \quad G(\theta) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \theta \right)^2$$

$$\text{当 } \theta_m \leq \theta < \theta_r \text{ 时, } \quad G(\theta) = G_1$$

$$\text{当 } \theta_r \leq \theta < 48^\circ \text{ 时, } \quad G(\theta) = 32 - 25 \log_{10}(\theta)$$

$$\text{当 } 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \text{ 时, } \quad G(\theta) = -10$$

注意，如果 θ_r 为 1° ，则 ITU-R F.699-7 建议书定义的 1° 至 180° 的增益模式，与 ITU-R SA.509 中定义的模式相同。

其中：

$$G_{max} = 10 \log \left(\eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log_{10} \left(\frac{D}{\lambda} \right)$$

$$\theta_m = 20 \sqrt{G_{max} - G_1} \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-1} \quad \text{度}$$

$$\text{当 } D/\lambda > 100 \text{ 时, } \quad \theta_r = 15.85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0.6}$$

b) **ITU-R RA.1631 建议书**中的模型

法国提议使用 ITU-R RA.1631 建议书中给出的模式。它并非峰包，而是由下述公式定义的平均辐射图：

$$\text{当 } 0^\circ < \theta < \theta_m \text{ 时} \quad G(\theta) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \theta \right)^2$$

$$\text{当 } \theta_m \leq \theta < \theta_r \text{ 时} \quad G(\theta) = G_1$$

$$\text{当 } \theta_r \leq \theta < 10^\circ \text{ 时} \quad G(\theta) = 29 - 25 \log_{10}(\theta)$$

$$\text{当 } 10^\circ \leq \theta < 34.1^\circ \text{ 时} \quad G(\theta) = 34 - 30 \log_{10}(\theta)$$

$$\text{当 } 34.1^\circ \leq \theta < 80^\circ \text{ 时} \quad G(\theta) = -12$$

$$\text{当 } 80^\circ \leq \theta < 120^\circ \text{ 时} \quad G(\theta) = -7$$

$$\text{当 } 120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \text{ 时} \quad G(\theta) = -12$$

其中：

$$G_{max} = 20 \log \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)$$

$$G_1 = -1 + 15 \log_{10} \left(\frac{D}{\lambda} \right)$$

$$\theta_m = 20 \sqrt{G_{max} - G_1} \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-1} \quad \text{度}$$

$$\theta_r = 15.85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0.6} \quad \text{度,} \quad \text{或} \quad \theta_r = 10^{1.28k^2 - 0.08k} \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0.6k} \quad \text{度}$$

$$\text{当 } k = 1 \text{ 时} \quad \theta_r = 15.85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0.6} \quad \text{度,}$$

c) ITU-R F.1245-1 建议书的模型

ITU-R F.1245-1 建议将下述平均辐射图用于 1-40 GHz 频率范围并临时用于 40-70 GHz 的频率范围:

$$\text{当 } 0^\circ < \theta < \theta_m \text{ 时} \quad G(\theta) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \theta \right)^2$$

$$\text{当 } \theta_m \leq \theta < \theta_r \text{ 时} \quad G(\theta) = G_1$$

$$\text{当 } \theta_r \leq \theta < 48^\circ \text{ 时} \quad G(\theta) = 29 - 25 \log_{10}(\theta)$$

$$\text{当 } 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \text{ 时} \quad G(\theta) = -13$$

其中:

G_{max} : 峰值增益

$$G_1 = 2 + 15 \log_{10} \left(\frac{D}{\lambda} \right)$$

$$\theta_m = 20 \sqrt{G_{max} - G_1} \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-1}$$

$$\theta_r = 12.02 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0.6}$$

d) Jp 模型 (峰包)

这一新模型为所有相关频率范围提供峰包值。它与 ITU-R F.699 建议书类似, 仅稍有修改。修改涉及下述领域:

- i) 在孔径照度、阻塞率和表面误差等各类参数的基础上, 辐射的主波束宽度可以有些变化。单侧的半功率波束宽度被定义为 $\theta_{hp} = 0.5 C_{hp} / (D/\lambda)$, 式中常数 C_{hp} 近似值在 65 至 71 之间。对于更为精确的模型, 此参数会根据使用天线的类型和质量而异。在此, 为实现与 ITU-R F.699 建议书的兼容, 选用 $C_{hp} = 69$ 。
- ii) 此辐射图平肩区数值的设置更为实际。此值通常不取决于天线的尺寸和波长, 而是建立在一种由孔径照度和阻塞度组成的复杂函数基础之上。现使用了 17 dB 的值, 但可根据需要进行调整。
- iii) 确定峰值和模型辐射图的斜率时考虑了辐射图的效率。这与其它使用固定斜率的模型不同。辐射图的效率是由孔径照度效率、阻塞效率、溢出效率及表面误差效率组

合而成。我们将效率单独划列为表面容差要素，该要素与频率直接相关，而将其它内容全部归入另一要素，此要素或多或少地独立于该频率。

- iv) 在 80° 至 120° 范围内辐射图平远旁瓣区的平台区提高5 dB，用于应对可能出现的主反射器溢出现象，其精确的高度和位置随 F/D （焦点长度与直径之比）及其它反射器天线设计参数而变。在偶然的情况下，此平台应遵循下文注2中的规定。

这样，该模型的辐射图的计算可使用下述公式：

$$\begin{aligned} \text{当 } 0^\circ \leq \theta \leq \theta_1 \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_0 - 3 \left(\frac{\theta}{\theta_{hp}} \right)^2 \\ \text{当 } \theta_1 < \theta \leq \theta_2 \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_0 - G_1 \\ \text{当 } \theta_2 < \theta \leq \theta_3 \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_0 - G_1 - G_2 \log_{10} \left(\frac{\theta}{\theta_2} \right) \\ \text{当 } \theta_3 < \theta \leq 80^\circ \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_3 \\ \text{当 } 80^\circ < \theta \leq 120^\circ \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_3 + 5 \\ \text{当 } 120^\circ < \theta \leq 180^\circ \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_3 \end{aligned}$$

式中：

$$G_0 = 10 \cdot \log_{10} \left[\eta_a \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right] - 4.343 \left(\frac{4\pi h_{rms}}{\lambda} \right)^2$$

$$G_1 = 17$$

$$G_2 = 27 + 10 \left[\log_{10}(\eta_a) - \log_{10} \left(60 \frac{h_{rms}}{\lambda} \right) \right]$$

$$G_3 = -10$$

$$\theta_{hp} = 0.5 \frac{C_{hp}}{(D/\lambda)} \quad (65 \leq C_{hp} \leq 70, \text{ 额定值} = 69)$$

$$\theta_1 = \theta_{hp} \sqrt{\frac{G_1}{3}}$$

$$\theta_2 = \theta_{hp} 10^{\frac{G_1}{G_2}} \sqrt{\frac{G_2}{36}}$$

$$\theta_3 = \theta_2 10^{\frac{G_0 - G_1 - G_3}{G_2}}$$

η_a 值是指与辐射图相关的（孔径照度、溢出、阻塞等）天线效率，但与表面容差相关的内容除外。注意，在此模型中视轴增益随 η_a 而下降，但 θ_2 和 θ_3 间的增益斜率 G_2 ，随 η_a 而上升。这反映出一种物理现实，即峰值增益的下降，必伴有旁瓣区的上升。此特性并未加入其它模型。

注 1 – 因表面容差而产生的增益损耗被单独作为表面容差 h_{rms} 的函数加入，而表面容差亦会影响到辐射模型的斜率。上述公式使用的表面容差的有效范围如下：

$$\frac{1}{60} \leq \frac{h_{rms}}{\lambda} \leq \frac{1}{15}$$

任何大于1/15的 h_{rms}/λ 值，必须用1/15替代，任何大于1/60的 h_{rms}/λ 值，必须用1/60替代。

这样可将1/60值用于性能良好的天线，1/30用于中等天线，1/15用于性能不良的天线。

注2 – 在偶尔的情况下，对于大表面误差， θ_3 可能会超过 80° ，斜旁瓣区与 80° - 120° 区的平峰会出现重叠。在这种情况下，必须在各个角度选择两者中的最大值。

e) **Ja模型（平均值）**

除峰包之外，可以定义旁瓣区内任一给定角度的平均包络，这对下述内容有意义。假设视轴处存在一批天线和一个固定的角度。鉴于天线并不相同，其旁瓣可能会变换，从而使第一根天线的瓣峰值落在给定方向上，第二根天线可能在该方向为零值，而第三根天线的值可能在峰值与零值之间。这样，在给定方向的增益上假设可使用平均值，即从零到峰值间各值的平均数。最终发现，对于具有很尖锐零值的给定瓣，此平均值接近瓣峰值以下 3 dB

（通常在零值不很尖锐且已在某种程度上被填充的情况下，值会更低）。现在，如果假设峰包模型触及了该瓣的所有峰值点，则平均包络与此包络平行，但比它低 3 dB 左右。

相应地，通过简单地修改上述模型，即将 G_1 值提高 3 dB，将 G_3 值降低 3 dB，并相应地修改 θ_2 ，则可得到“平均”包络的模型。其算式如下：

$$\begin{aligned} \text{当 } 0^\circ \leq \theta \leq \theta_1 \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_0 - 3 \left(\frac{\theta}{\theta_{hp}} \right)^2 \\ \text{当 } \theta_1 < \theta \leq \theta_2 \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_0 - G_1 \\ \text{当 } \theta_2 < \theta \leq \theta_3 \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_0 - G_1 - G_2 \log_{10} \left(\frac{\theta}{\theta_2} \right) \\ \text{当 } \theta_3 < \theta \leq 80^\circ \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_3 \\ \text{当 } 80^\circ < \theta \leq 120^\circ \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_3 + 5 \\ \text{当 } 120^\circ < \theta \leq 180^\circ \text{ 时} & \quad G(\theta) = G_3 \end{aligned}$$

式中：

$$G_0 = 10 \log_{10} \left[\eta_a \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right] - 4.343 \left(\frac{4\pi h_{rms}}{\lambda} \right)^2$$

$$G_1 = 20$$

$$G_2 = 27 + 10 \left[\log_{10}(\eta_a) - \log_{10} \left(60 \frac{h_{rms}}{\lambda} \right) \right]$$

$$G_3 = -13$$

$$\theta_{hp} = 0.5 \frac{C_{hp}}{(D/\lambda)} \quad (65 \leq C_{hp} \leq 70, \text{ 额定值} = 69)$$

$$\theta_1 = \theta_{hp} \sqrt{\frac{G_1}{3}}$$

$$\theta_2 = \theta_{hp} 10^{\frac{G_1-3}{G_2}} \sqrt{\frac{G_2}{36}}$$

$$\theta_3 = \theta_2 10^{\frac{G_0-G_1-G_3}{G_2}}$$

Jp 模型的所有注均适用于 Ja 模型。

3 数字分析和结果

为计算各类增益模型及其“平均”增益，为其绘制图表并进行对比，现已编写了一些 MATLAB 程序。这些程序使用方便，并能够提供简便的方法，用以为分析和绘制图表添加新的模型。通过这些程序得出了如下结果。

图 1-6 (a、b、c) 中的各个图表显示了若干种用于比较的辐射图。其中包括 ITU-R F.699-7 建议书的峰包（1°以上的角与 ITU-R SA.509 建议书中给出的模型相同），ITU-R F.1245-1 建议书中的平均包络模型、ITU-R RA.1631 建议书中的平均包络模型、以及根据 ITU-R F.699 建议书中的模型推导而来的、最近提出的峰包模型“Jp”。

$D/\lambda = 1\ 000$ 时进行对比（例如，在 8.4 GHz 附近工作的 34 米天线）

图 1-3 是为波长直径为 1 000 的天线绘制的，对应于在 8.4 GHz 频段附近工作的、在深空研究中广泛使用的、34 米直径的孔径。根据 Jp 和 Ja 模型绘制的辐射图分别针对“性能不良”“中等性能”和“性能良好”的天线，与其相对应的平方根（rms）表面容差分别为 1/15、1/30 和 1/60 波长。情况 a)、b) 和 c) 是指水平轴上角度变量的线性、扩展线性和对数表达。

$D/\lambda = 4\ 000$ 时进行对比（例如，在 32 和 37 GHz 附近工作的 34 米天线）

图 4-6 是使用波长直径为 4 000 的天线时出现的各种情况，与之对应的是在 32 和 37 GHz 附近工作的 34 米天线，其中深空研究与固定业务的高密度应用（HDFS）间的共用是问题的核心。

性能取决于表面容差

如提议使用的 Jp 和 Ja 模型所示，主波束和旁瓣区的增益性能随表面容差而变。在 Jp 和 Ja 模型中，假设初始孔径效率值 $\eta_a = 0.8$ ，其中不包括表面容差的影响。对于额定 10-11 dB 的孔径边缘斜度，这是孔径和溢出效率组合的典型值。此初始值乘以表面容差因子，可计算出天线的净孔径效率。表面容差因子置于公式之内，且对于“性能不良”“中等性能”和“性能良好”的情况，其数值分别为 0.5、0.9 和 1.0。因此，对于这三种情况，净孔径值分别为 0.4、0.7 和 0.8。注意，此孔径效率应与其它损耗因子相乘，例如馈电喇叭中的损耗，从而得出天线的总效率。对于其它模型，并未明确的考虑表面容差。在所有情况下这些模型的假设孔径效率为 0.7。

例如，在美国国家航空航天局（NASA）深空网络的深空研究中使用的大孔径天线中，34 米天线的表面容差在 8.4 GHz 和 2.3 GHz 可被定性为“性能良好”，在 32 GHz 为“中等”至“好”之间，且在 37 GHz 实施时可能为“中等性能”。在 8.4 GHz 和 2.3 GHz，70 米天线的表面容差可定义为“性能良好”，但如在 32 GHz 使用，则可能为“性能不良”。

各种角度的平均增益

图 7-9 (a、b) 展示了根据上述各类模型公式，各种角度增益平均值的对比，对 Jp 和 Ja，采用“性能不良”“中等性能”和“性能良好”的天线模型。情况 a) 和 b) 分别提供了以 dB 为单位的平均增益和线性比例。如图所示，在 D/λ （天线直径与波长之比）范围内

Jp 和 Ja 模型保持了一致。在 4 000 附近的更高 D/λ 比，中等性能显示出更低的平均增益，性能良好的情况则比其它模型的平均增益低很多。

图 10 (a、b) 展示了在 1 至 40 GHz 频率范围内，与 34 米天线 (0.25 毫米 rms 表面误差) 类似的一套图表。这些图显示，Jp 模型 (峰值) 提供了比 ITU-R F.699 建议书更好的平均增益比，与之类似，Ja 模型 (平均值) 在所有频率，提供了优于 ITU-R F.1245 和 ITU-R RA.1631 建议书中所述平均增益模型的平均增益比。

图 11 (a、b) 展示了 1 至 35 GHz 频率范围内 70 米天线 (0.60 毫米 rms 表面误差) 相应的图表。如图所示，对于 32 GHz 深空网络的 70 米天线，由于此天线在高频区的表现，以及此模型力求更好的适应更高辐射图旁瓣 (与其它模型不同)，其平均增益比高于其它模型。如果宜应在此类高频上使用这种天线，则应改善表面容差。

在不同表面误差相关长度上与理论辐射图进行对比

图 12 (a、b、c) 包括圆孔径的理论辐射图，该图的计算是利用此辐射图的 λ 函数 (归一化的贝塞尔函数) 近似值，其中亦包括使用 Ruze 公式的表面容差产生的影响 [1966 年，Ruze]。图中包括与各类“相关性长度”相关的若干理论辐射图。这些在值为 4 000 的情况下针对 D/λ 计算出的数字显示，Jp 和 Ja 模型提供了比 ITU-R F.699-7 模型更好的包络。在计算出的理论辐射图中，使用了 0.1 的阻塞比、形态为 $E = (1 - c) + c(1 - r^2)^n$ 的孔径场照度，其中边缘照度 $ET = 10$ dB、 $c = 1 - 10^{(-ET/20)}$ 且斜率因子 $n = 1$ 。

图 12a 比较了 rms 表面误差为 $(1/15)\lambda$ 的性能不良天线的增益辐射图。Jp 模型是一种与各类相关长度假设相对应的、全部理论曲线的封闭型上包络。但是，在偏置角大于 1° 情况下的若干相关长度，其理论增益曲线明显超出了 ITU-R F.699-7 建议书的中峰包模型。在偏置位于 0.05° 至 0.1° 之间的某些情况下，亦超出了此模型的范围。正如预测的那样，ITU-R F.1245 和 ITU-R RA.1631 建议书中的“平均增益”模型被超出的更多。

图 12b 显示了“平均”表面容差条件下的天线比较。人们认为差距在变小，且 Jp 模型和 ITU-R F.699-7 建议书都是有效的上包络，但最差情况下轻微的越界除外。ITU-R F.699 建议书的模型在角度为 0.1° 至 10° 之间时，开始超越 Jp 模型。

图 12c 所示为“性能良好”天线的表面容差，可以看出，在所有情况下，Jp 模型仍然是理论增益曲线的有效上包络，但出现最差情况表面误差相关长度时除外。ITU-R F.699 中的模型在 0.1° 至 30° 之间时超出 Jp 模型约 5 dB。甚至 ITU-R F.1245 和 ITU-R RA.1631 建议书平均增益模型亦超出 Ja 约 2 dB。

4 平均增益模型

基于 Ja 的平均增益模型

在 0.1° 至 50° 的角度区间内，天线辐射方向图按上文所述理论辐射图指出的方式振荡。这一区间内的峰包在多个角度都会高估天线的增益。在涉及此区间内所有角度上分布的众多干扰源的兼容性研究中，宜减小此区间内的包络增益，以尽量降低集总干扰估计的偏差。如上文第 2 段情况 e) 所述，此区间内的平均值可认为比振荡峰值约低 3 dB。

由于特定地球站天线的辐射方向图未知，且 Jp 等峰包模型接近在议天线类别的最小包络，合理的作法是在特定区间内降低 Jp 模型的增益 3 dB，并在此区间内将其结果作为“平均增益辐射图”。如果已知实际辐射方向图的平均增益，此“平均增益辐射图”在某些角度仍将高于实际辐射方向图的平均增益。

图 1 至 12 所示的对比中包括从 Jp 中推导出的“平均增益辐射图”。

从平均辐射图中推导增益

0.1°至 50°间下降的 3 dB，可视为衡量蒙特卡洛统计仿真中使用的，确定天线增益辐射图的不确定性或容差的方法。在缺乏此类天线分布数据的前提下，我们建议平均增益的变化使用高斯分布，其中 $3\text{-}\sigma$ 的值等于 3 dB。

5 结论

本文建议使用一种数学增益模型 J_p 来表示目前 SRS 地球站正在使用的大孔径天线类别的包络。它考虑了表面容差对主波束和旁瓣中增益的影响。此模型中包括的孔径效率会同时影响到峰值和旁瓣区。该模型还显示出在多个方面优于现有模型的属性。

此外还提议使用一种“平均增益”模型 J_a ，从而更精确地利用统计仿真（蒙特卡洛法）评估大量分布式干扰源产生的集总干扰。此仿真中还提供了一种描述平均增益辐射图不确定性偏移的简单模型。

针对在 2.3 GHz 或 8.4 GHz 频段工作的，用于深空研究的典型 34 米或 70 米天线， J_p 模型（峰值）提供了一种比 ITU-R F.699-7 建议书中的包络模型更近似的包络以及更佳的平均增益比， J_a 模型（平均值）提供了更佳的近似值以及优于 ITU-R F.1245 和 ITU-R RA.1631 建议书中平均增益模型的平均增益比。对于在 32 GHz 或 37 GHz 频段工作的 34 米天线，上述内容依然适用。

针对天线辐射方向图的所有变化和不确定性，且提议使用的 J_p 模型是一种基于物理学原理计算出的、更为近似的上包络这一事实，应利用单一的确定性天线增益辐射图，将此模型用于所有兼容性和共用研究。平均增益模型 J_a ，仅应在大量分布式干扰源出现在视轴外的各种角度时使用。

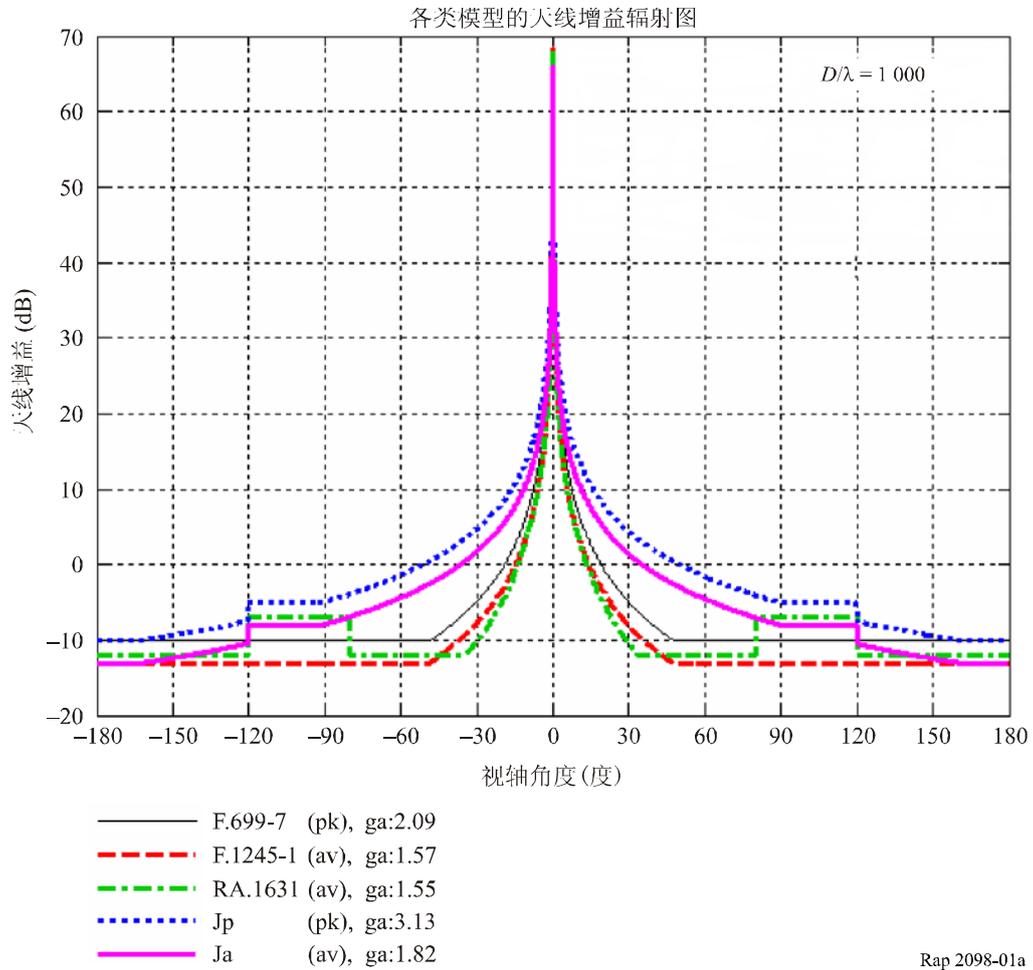
6 参考资料

JAMNEJAD, V. [March 8-13, 2003] Simple gain probability functions for large reflector antennas of JPL/NASA. IEEE Aerospace Conference, Big Sky, Montana.

RUZE, J. [April 1966] Antenna tolerance theory-A review. *Proc. IEEE*, Vol. 54, p. 633-640.

图 1a

天线直径 $D=1\ 000\ \lambda$ 时增益辐射图模型的对比
Jp和**Ja**模型是针对表面误差 $h_{rms}=(1/15)\ \lambda$ 的“性能不良”天线
 (线性角度轴)



Rap 2098-01a

图 1b

天线直径 $D = 1000 \lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/15) \lambda$ 的“性能不良”天线
 (扩展线性轴)

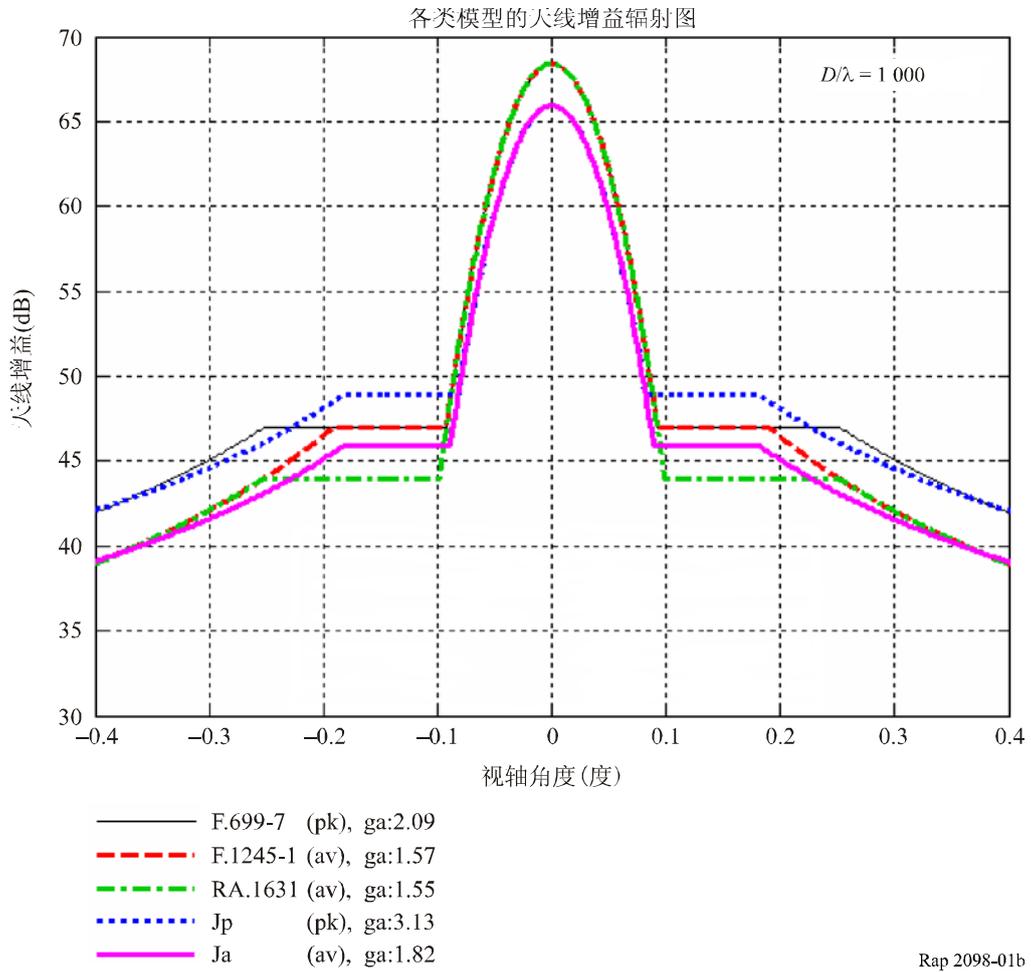


图 1c

天线直径 $D=1000\lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms}=(1/15)\lambda$ 的“性能不良”天线
 (长角度轴)

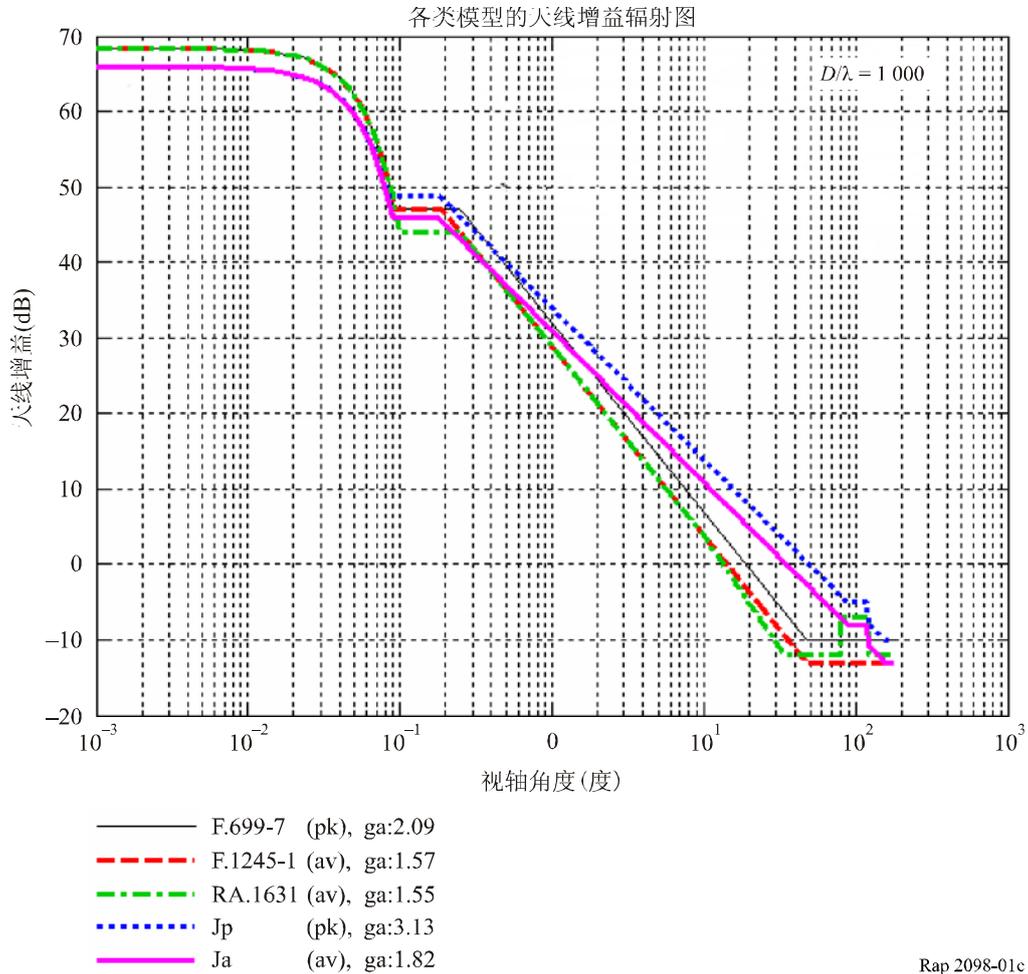


图 2a

天线直径 $D = 1\,000\lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/30)\lambda$ 的“中等性能”天线
 (线性角度轴)

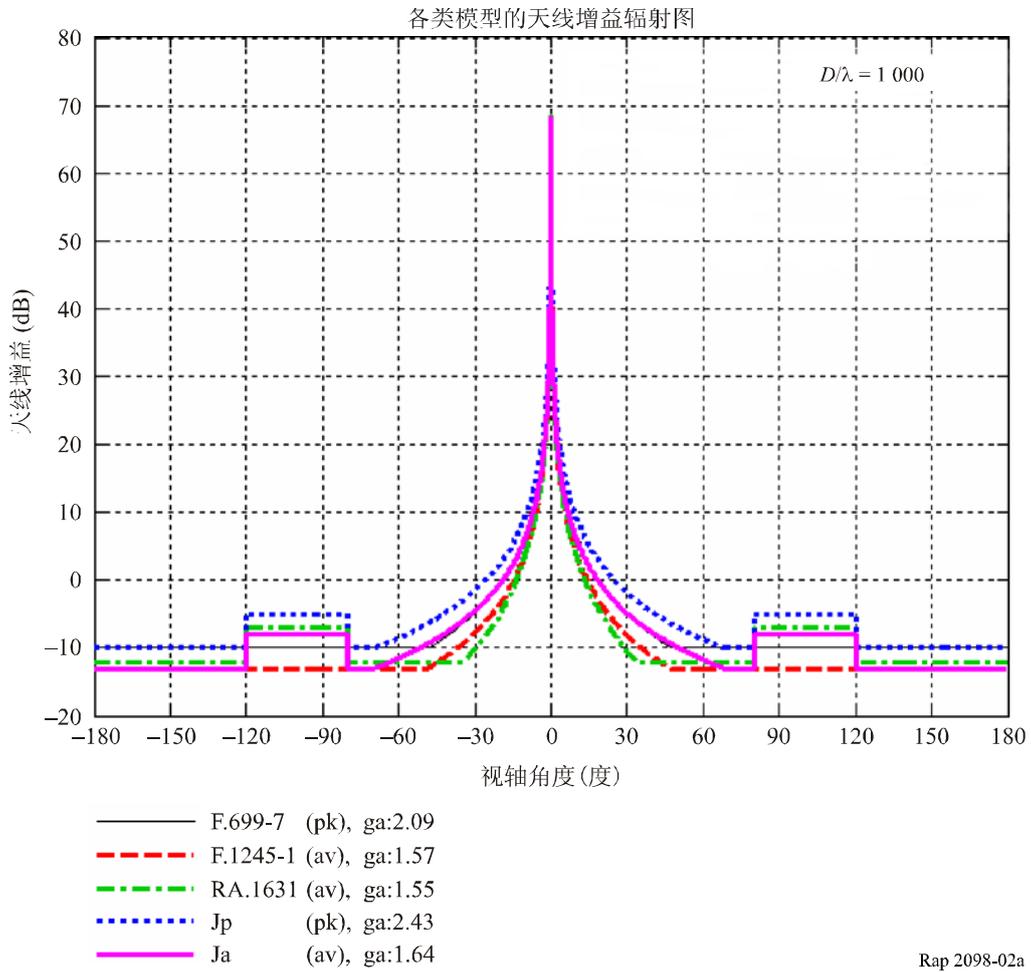


图 2b

天线直径 $D = 1000 \lambda$ 时增益辐射图模型的对比。
Jp和**Ja**模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/30) \lambda$ 的“中等性能”天线
 (扩展线性角度轴)

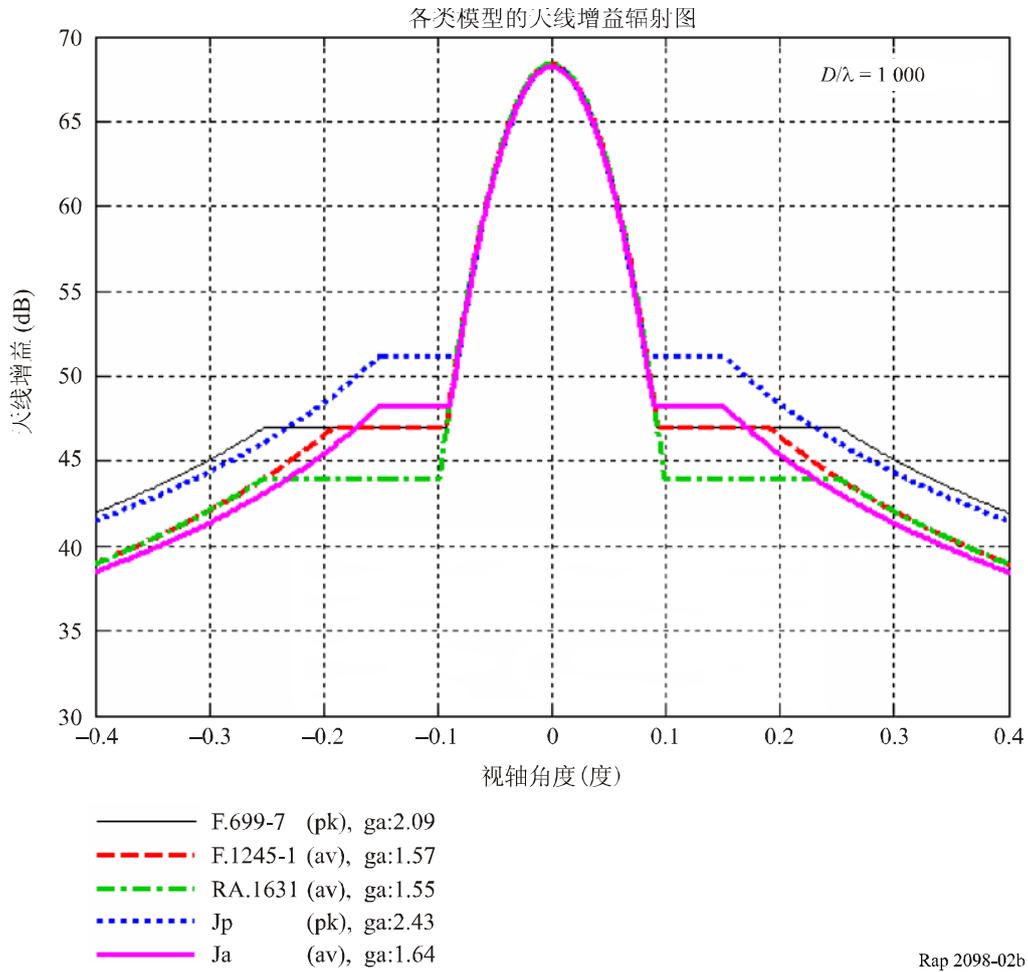


图 2c

天线直径 $D=1000\lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms}=(1/30)\lambda$ 的“中等性能”天线
 (对数角度轴)

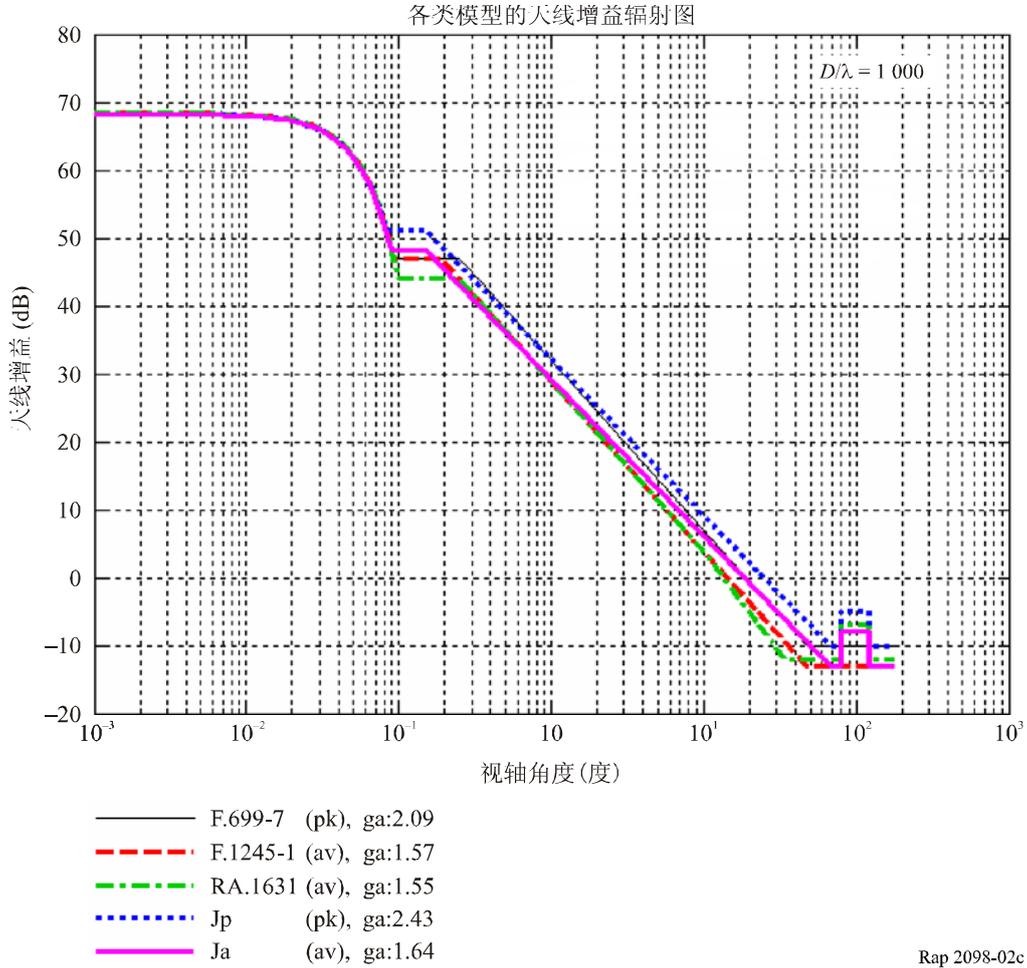


图 3a

天线直径 $D = 1\,000\lambda$ 时增益辐射图模型的对比
Jp和**Ja**模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/60)\lambda$ 的“良好性能”天线
 (线性角度轴)

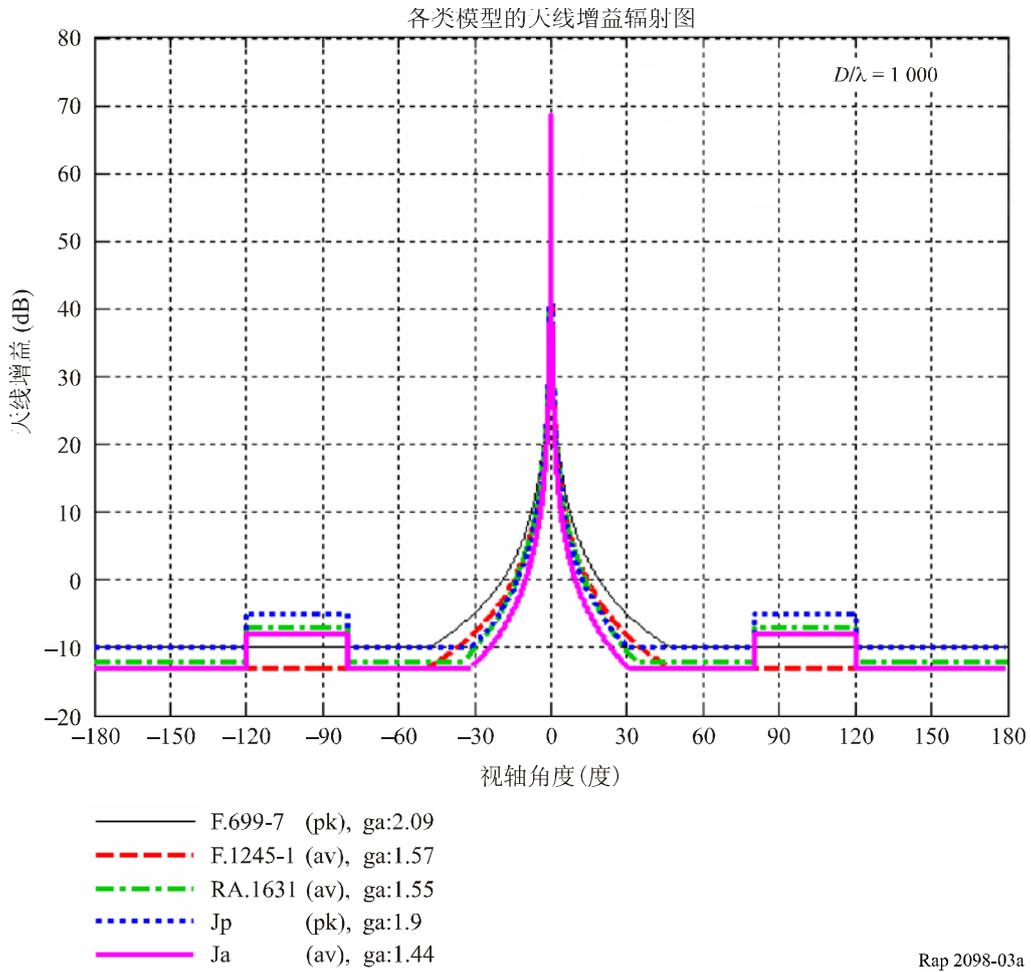


图 3b

天线直径 $D = 1\,000\lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/60)\lambda$ 的“良好性能”天线
 (扩展线性角度轴)

各类模型的天线增益辐射图

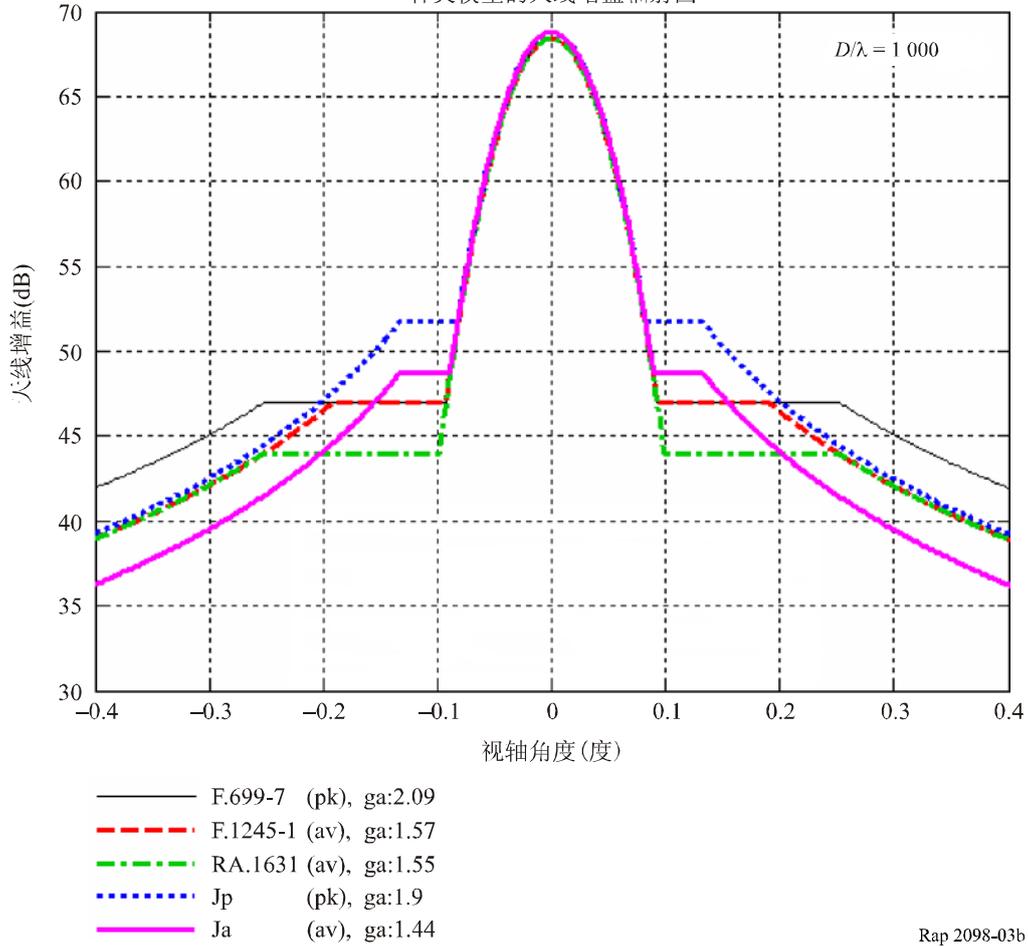


图 3c

天线直径 $D=1\ 000\ \lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms}=(1/60)\ \lambda$ 的“良好性能”天线
 (对数角度轴)

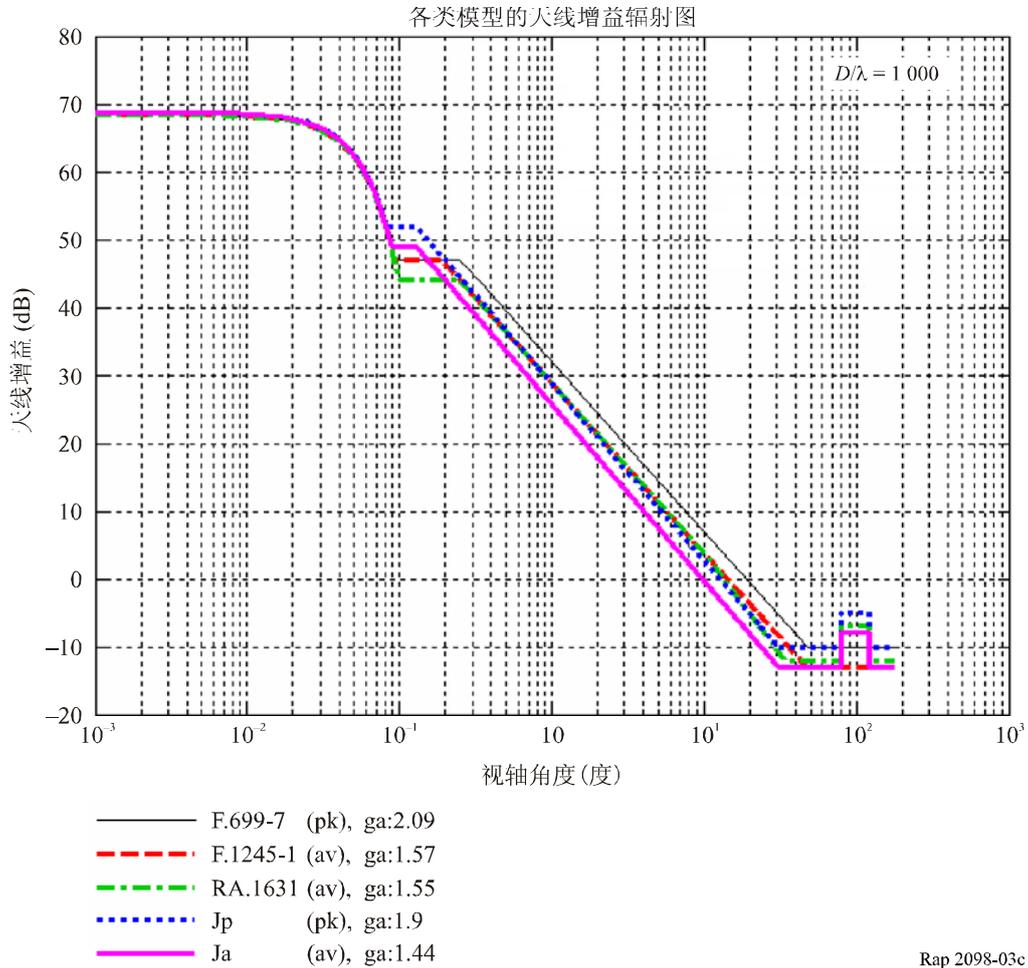


图 4a

天线直径 $D = 4000 \lambda$ 时增益辐射图模型的对比
Jp和**Ja**模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/15) \lambda$ 的“性能不良”天线
 (线性角度轴)

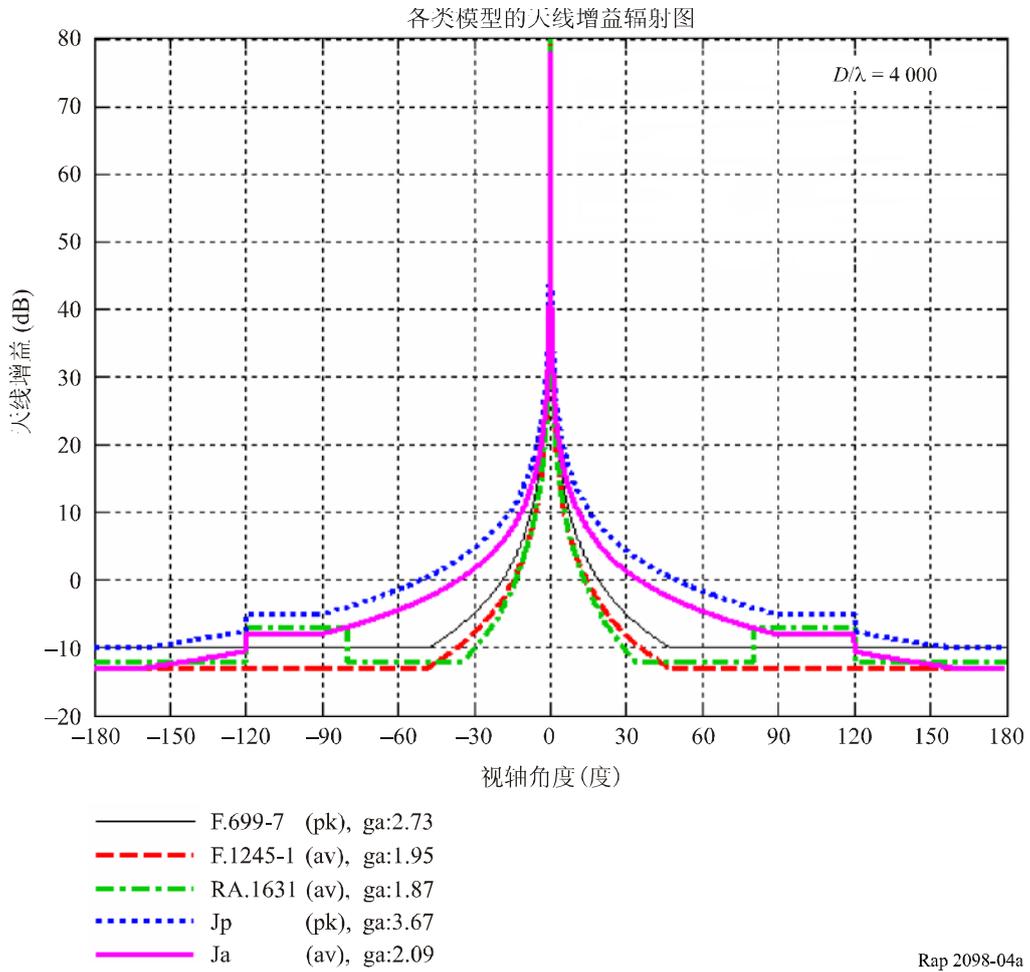


图 4b

天线直径 $D = 4\ 000\ \lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/15)\ \lambda$ 的“性能不良”天线
 (扩展线性角度轴)

各类模型的天线增益辐射图

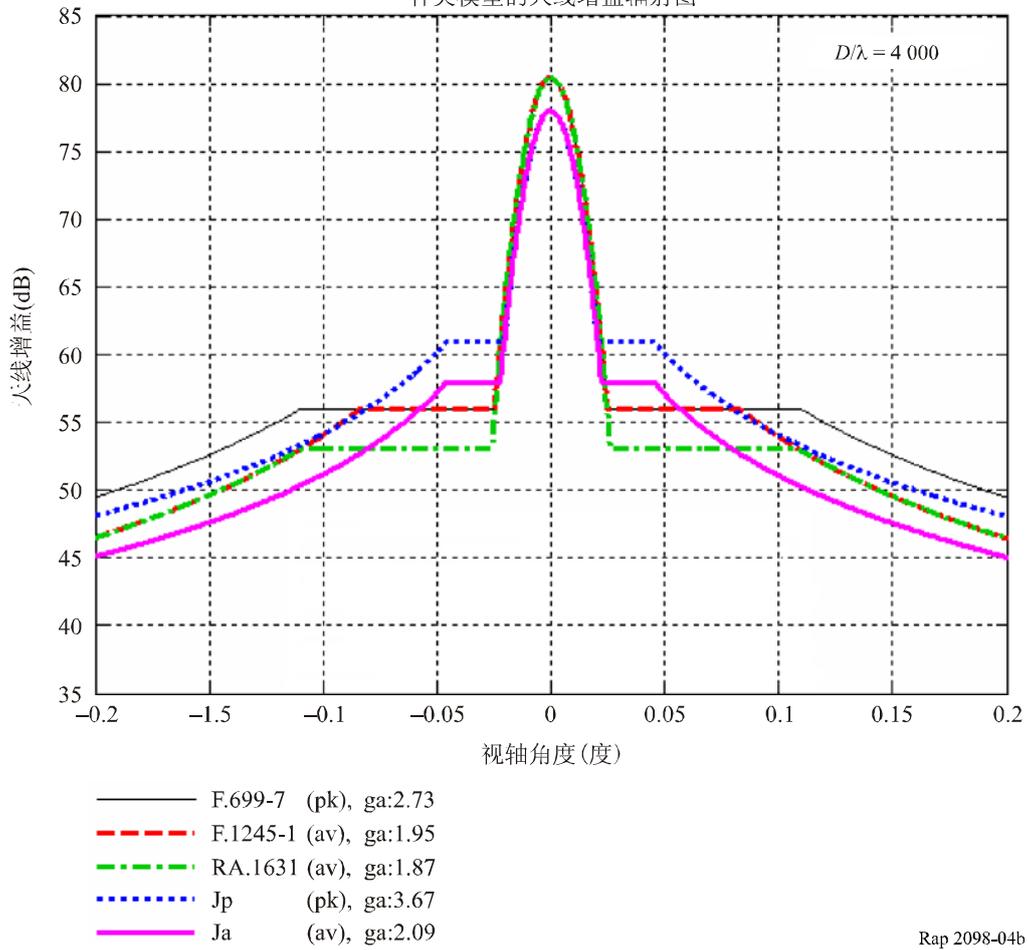


图 4c

天线直径 $D = 4\ 000\ \lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/15)\ \lambda$ 的“性能不良”天线
 (对数角度轴)

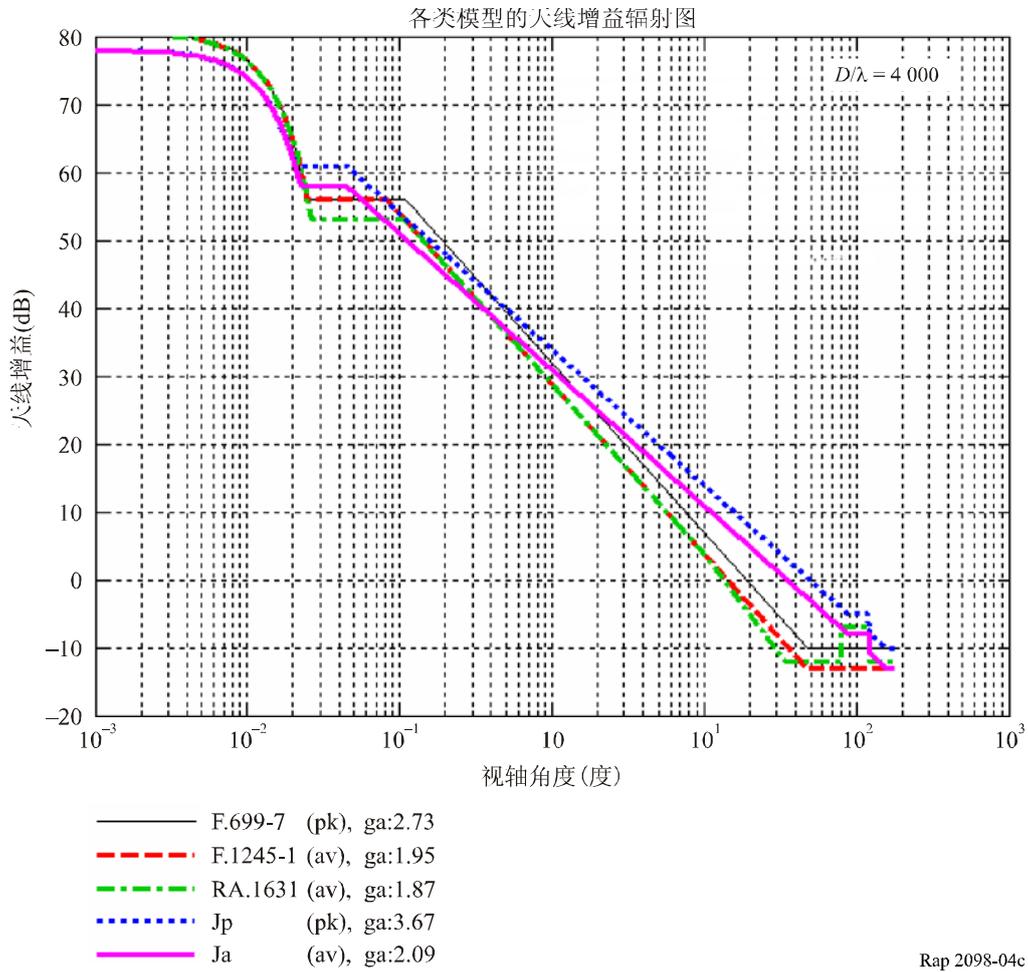


图 5a

天线直径 $D = 4\,000\lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/30)\lambda$ 的“中等性能”天线
 (线性角度轴)

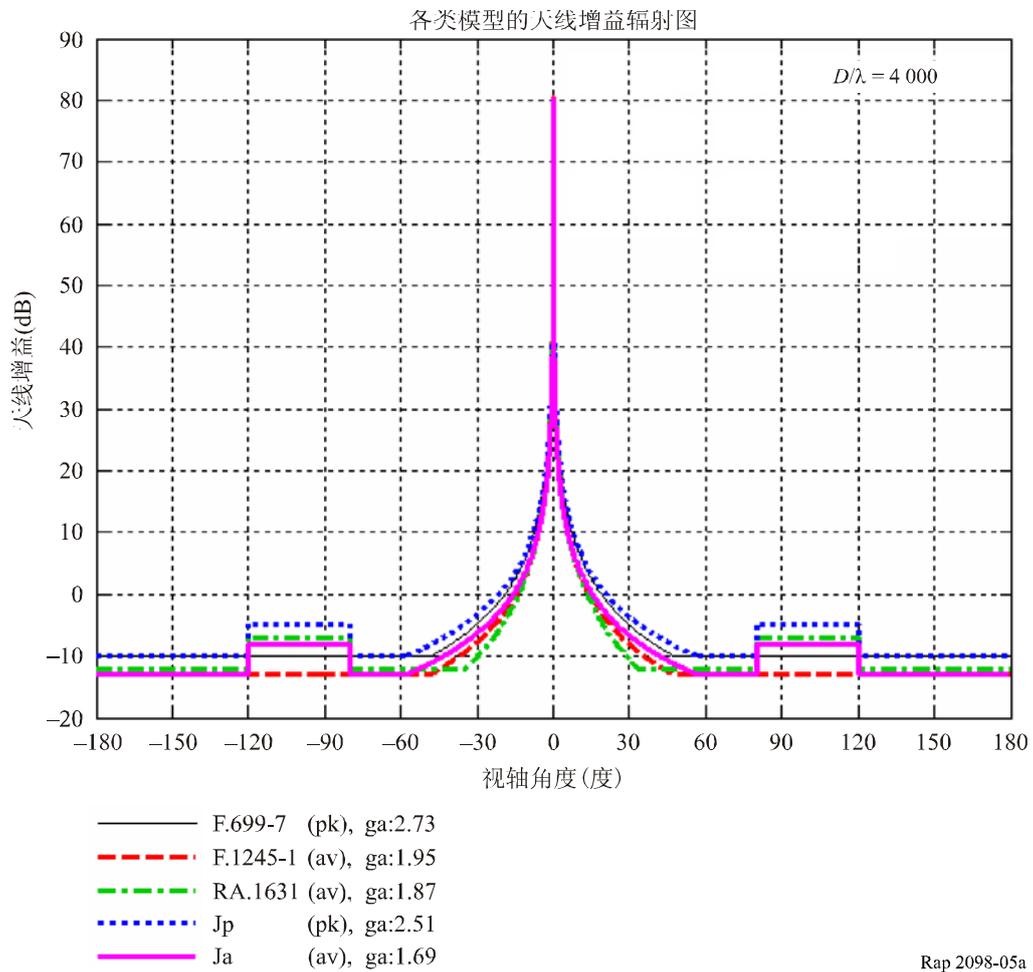


图 5b

天线直径 $D = 4\ 000\ \lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/30)\ \lambda$ 的“中等性能”天线
 (扩展线性角度轴)

各类模型的天线增益辐射图

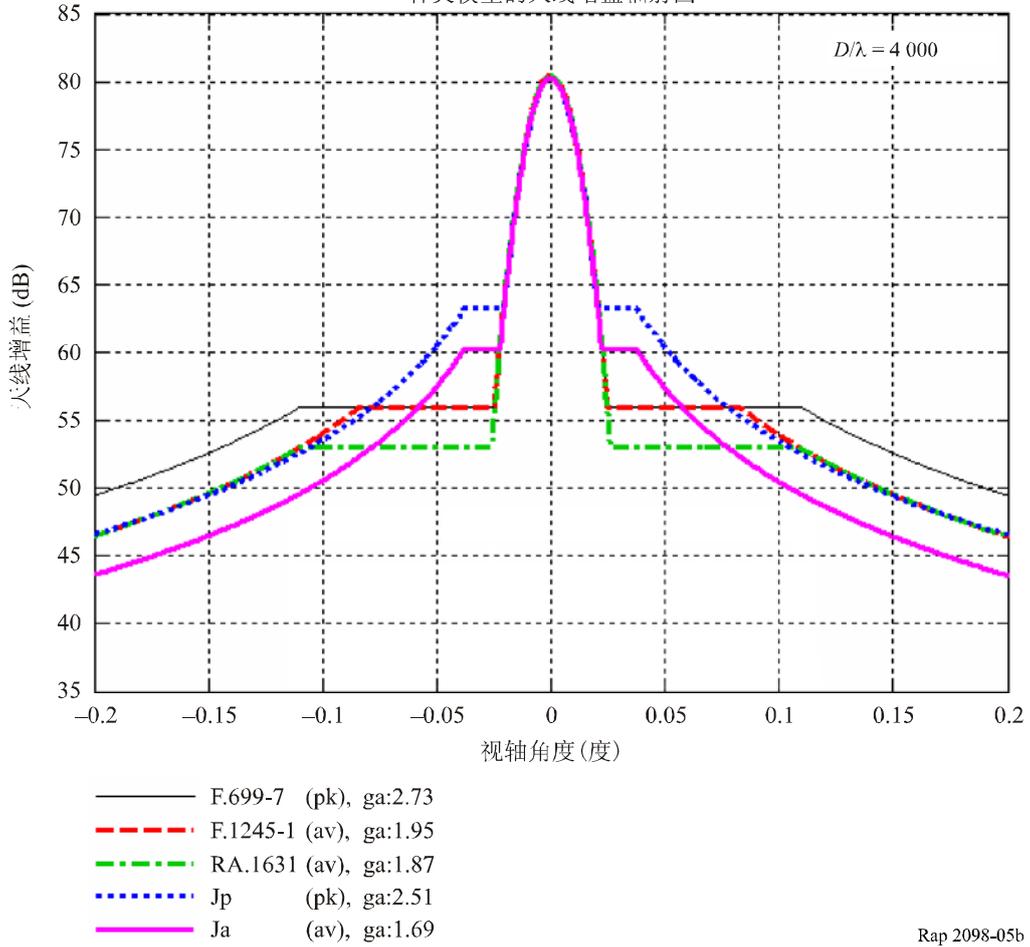


图 5c

天线直径 $D = 4000 \lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/30) \lambda$ 的“中等性能”天线
 (对数角度轴)

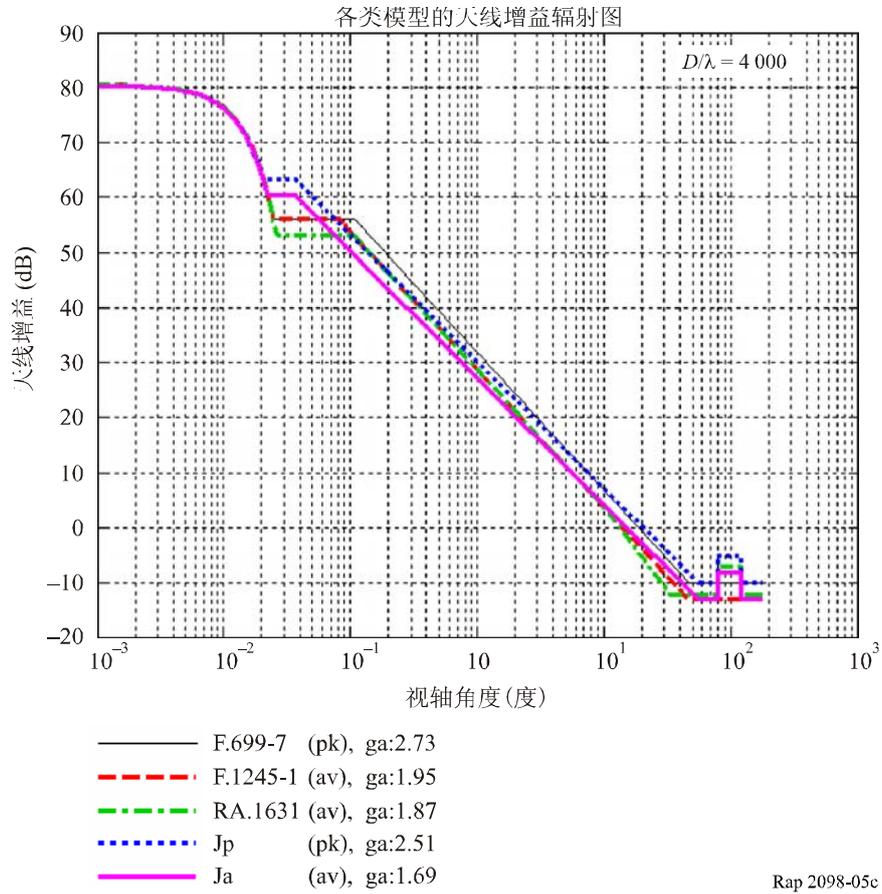


图 6a

天线直径 $D = 4\,000\lambda$ 时增益辐射图模型的对比。
Jp和**Ja**模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/60)\lambda$ 的“良好性能”天线
 (线性角度轴)

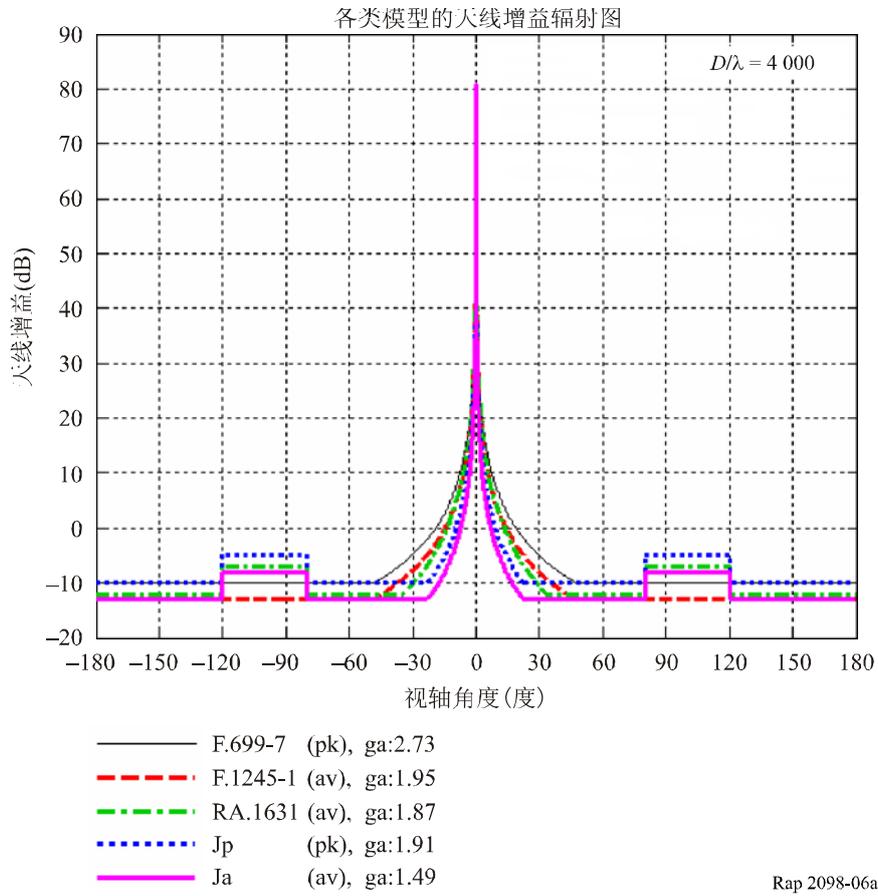


图 6b

天线直径 $D = 4\,000\lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/60)\lambda$ 的“良好性能”天线
 (扩展线性角度轴)

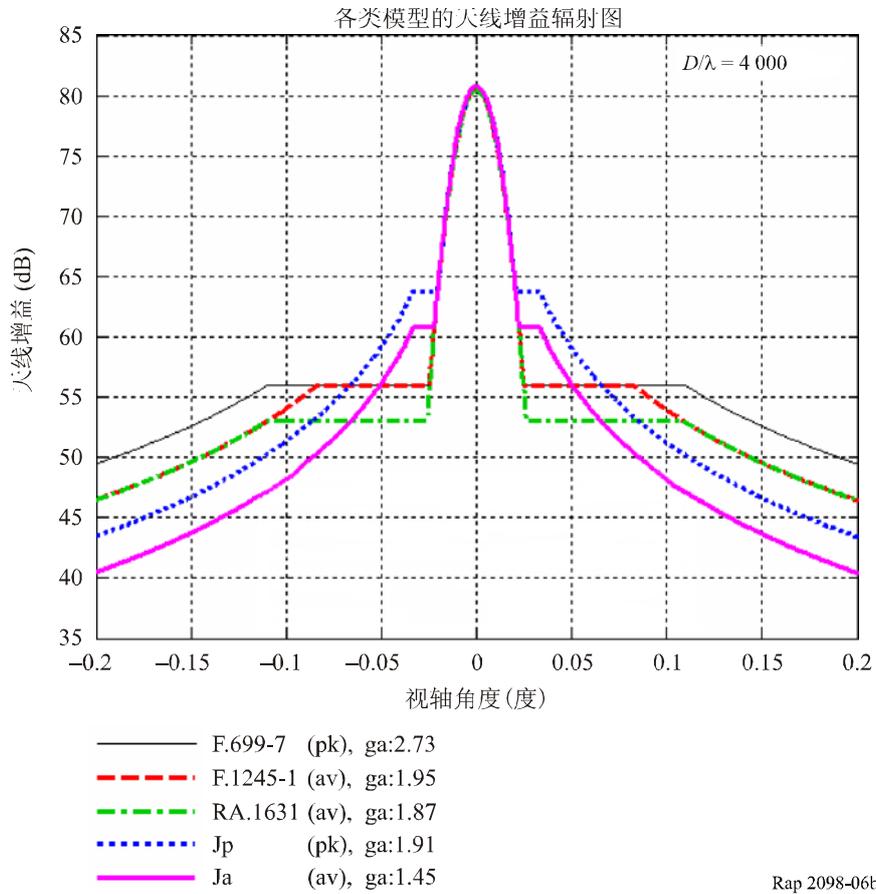


图 6c

天线直径 $D = 4000 \lambda$ 时增益辐射图模型的对比
 Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/60) \lambda$ 的“良好性能”天线
 (对数角度轴)

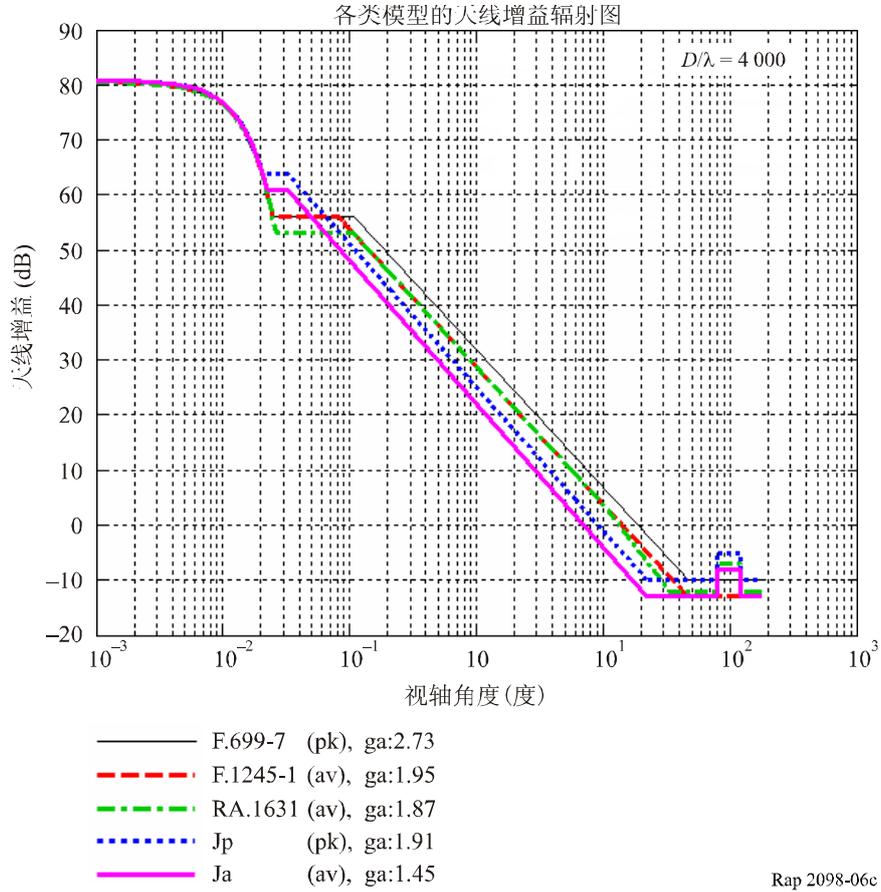


图 7a

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/15)\lambda$ 的“性能不良”天线
 (平均增益 (dB))

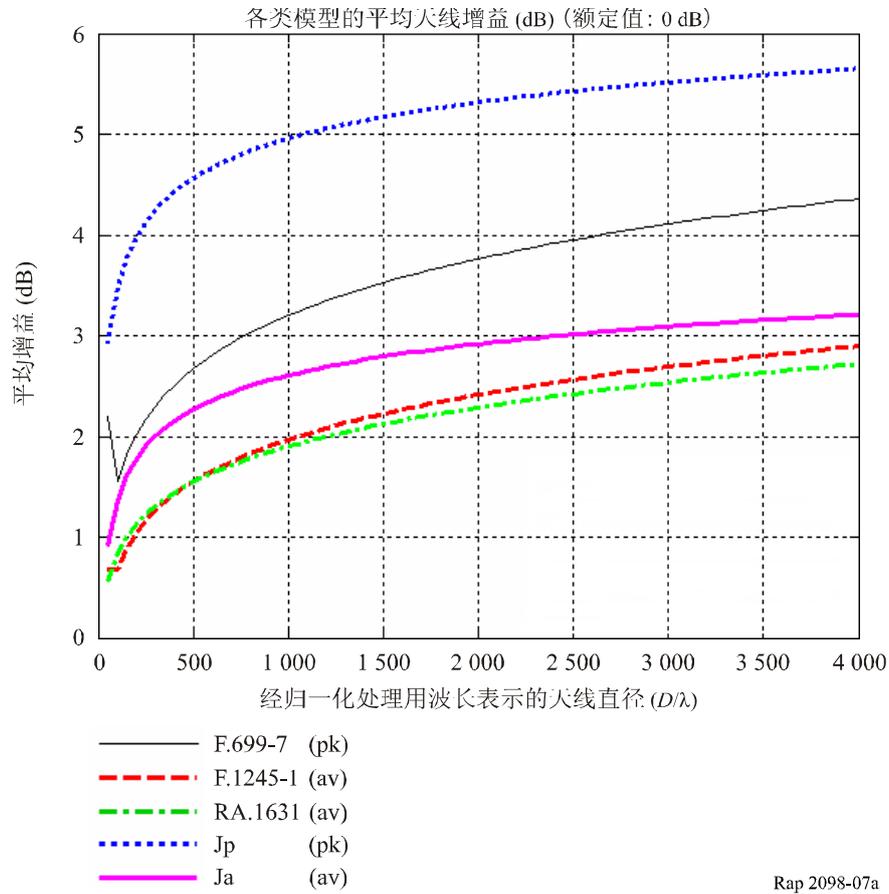


图 7b

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/15)\lambda$ 的“性能不良”天线
 (线性平均增益 (dB))

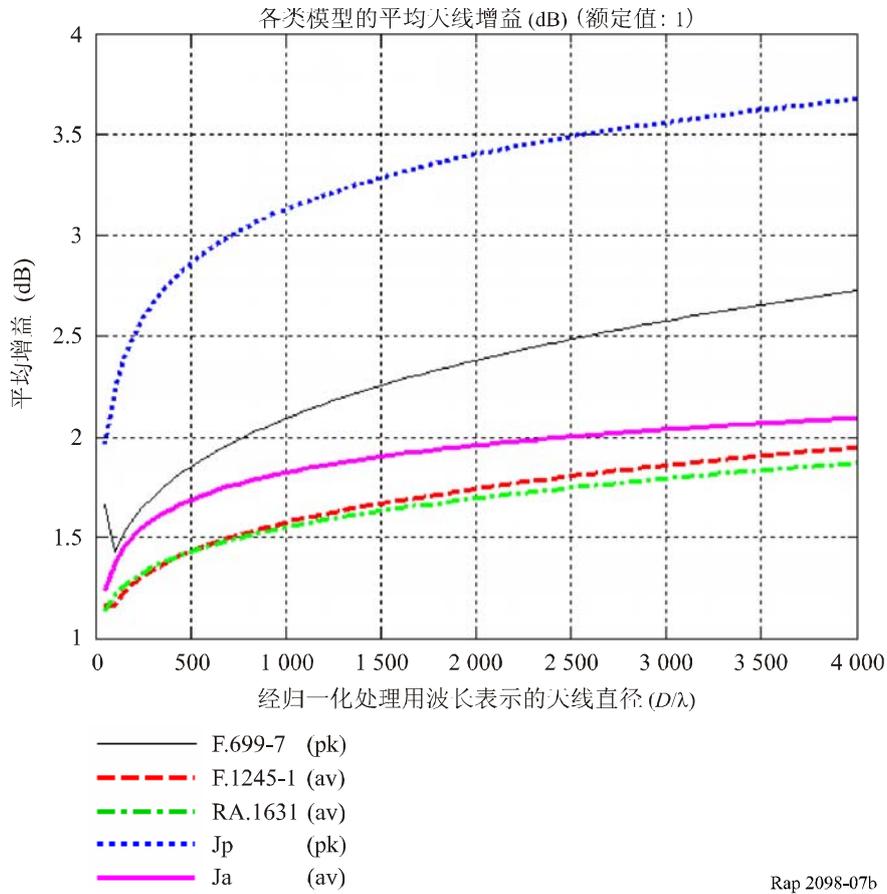


图 8a

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/30)\lambda$ 的“中等性能”天线
 (平均增益 (dB))

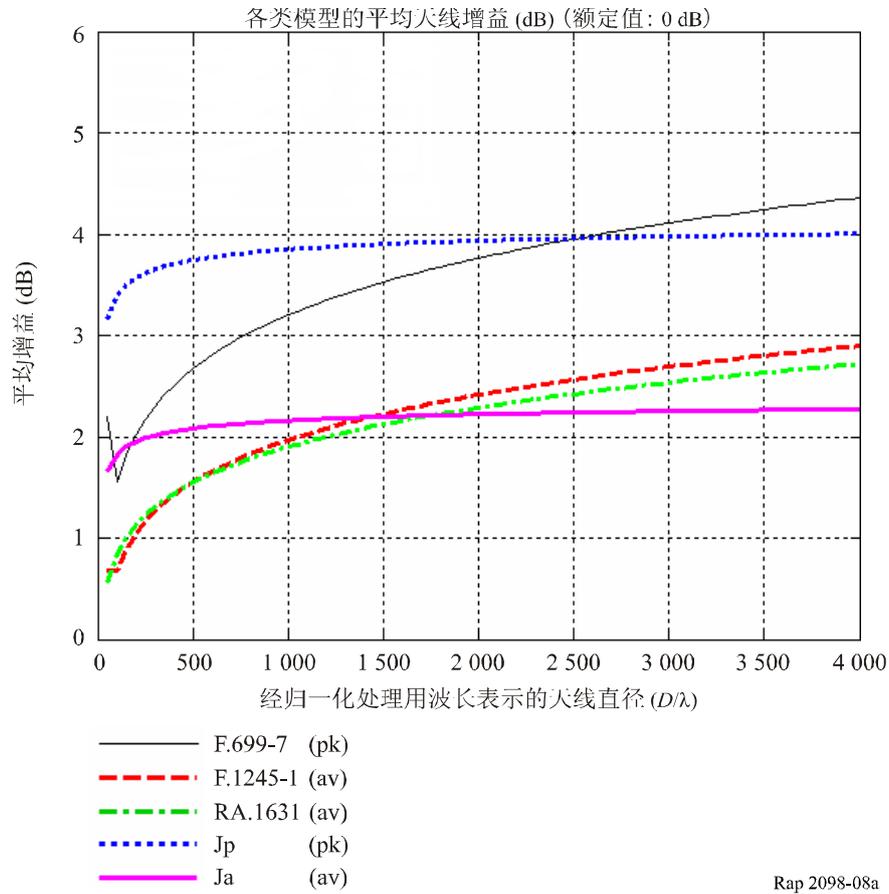


图 8b

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/30)\lambda$ 的“中等性能”天线
 (线性平均增益 (dB))

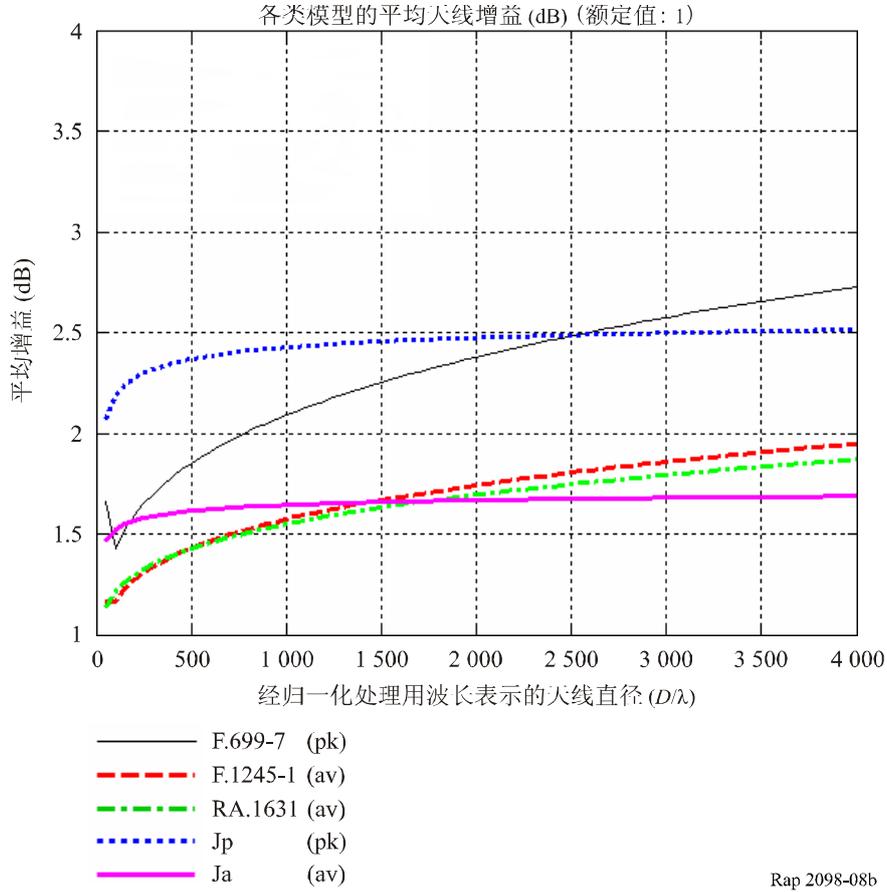


图 9a

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/60)\lambda$ 的“性能良好”天线
 (平均增益 (dB))

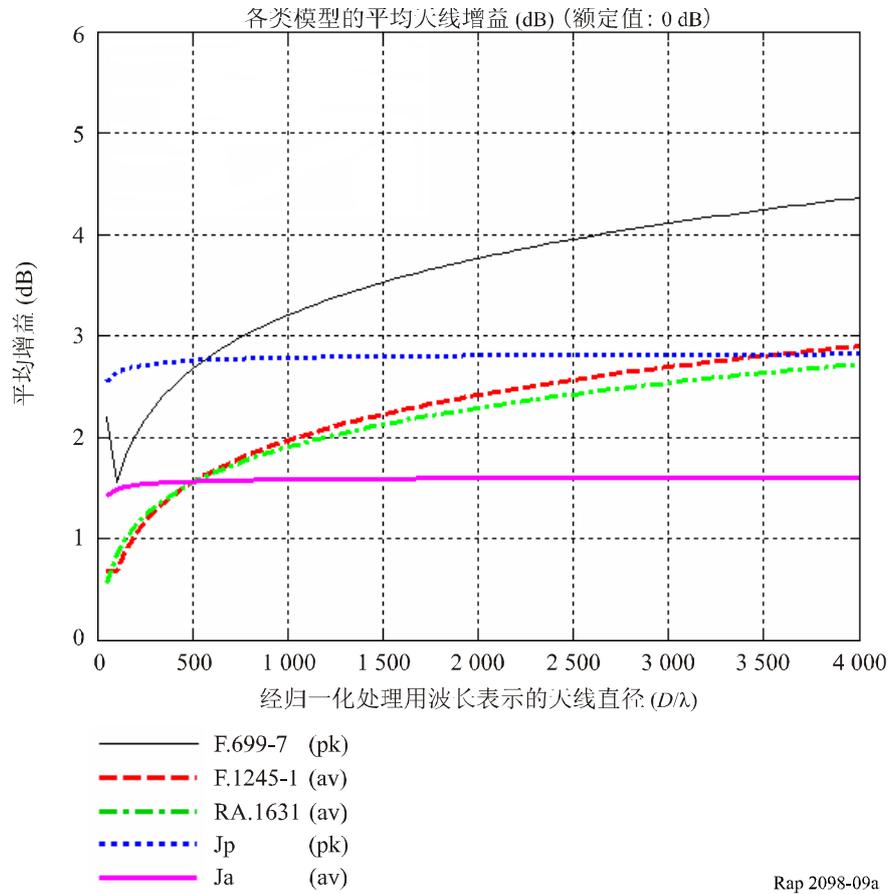


图 9b

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = (1/60)\lambda$ 的“性能良好”天线
 (线性平均增益 (dB))

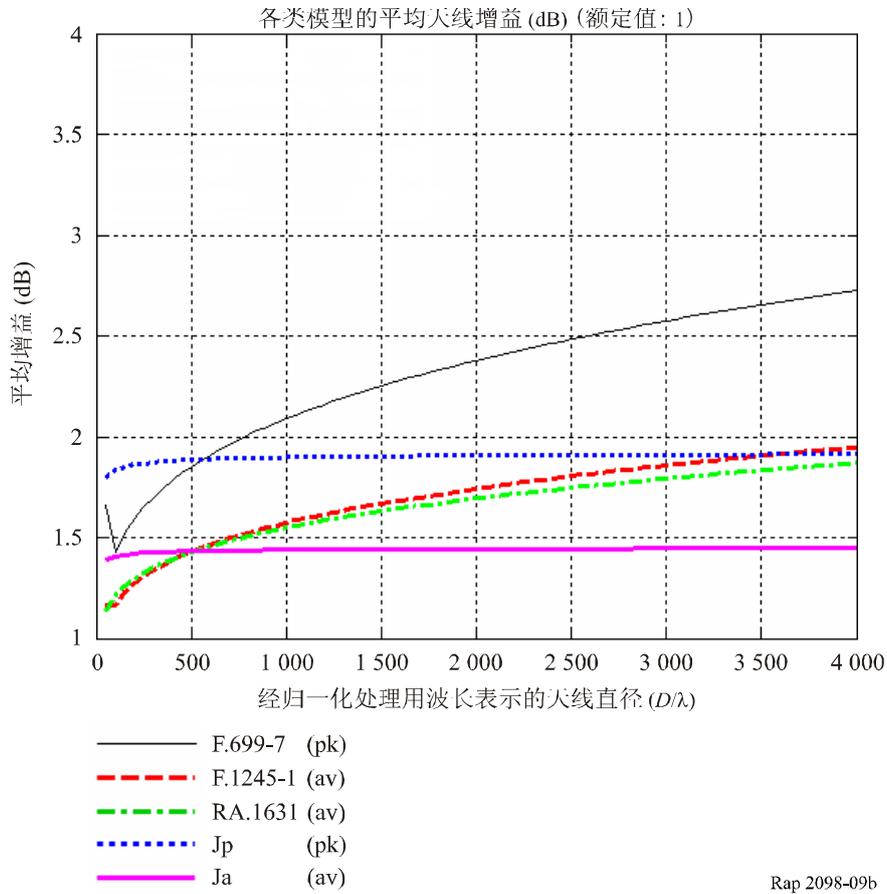


图 10a

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = 0.25 \text{ mm}$ 的34 m天线
 (平均增益 (dB))

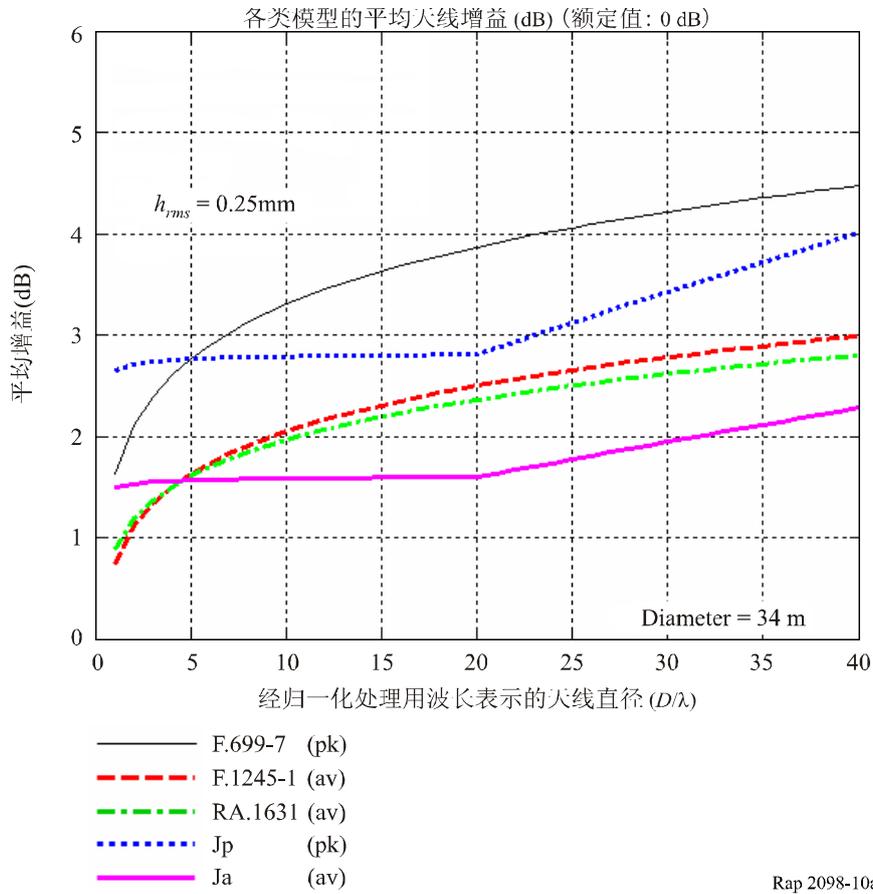


图 10b

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = 0.25 \text{ mm}$ 的34 m天线
 (线性平均增益 (dB))

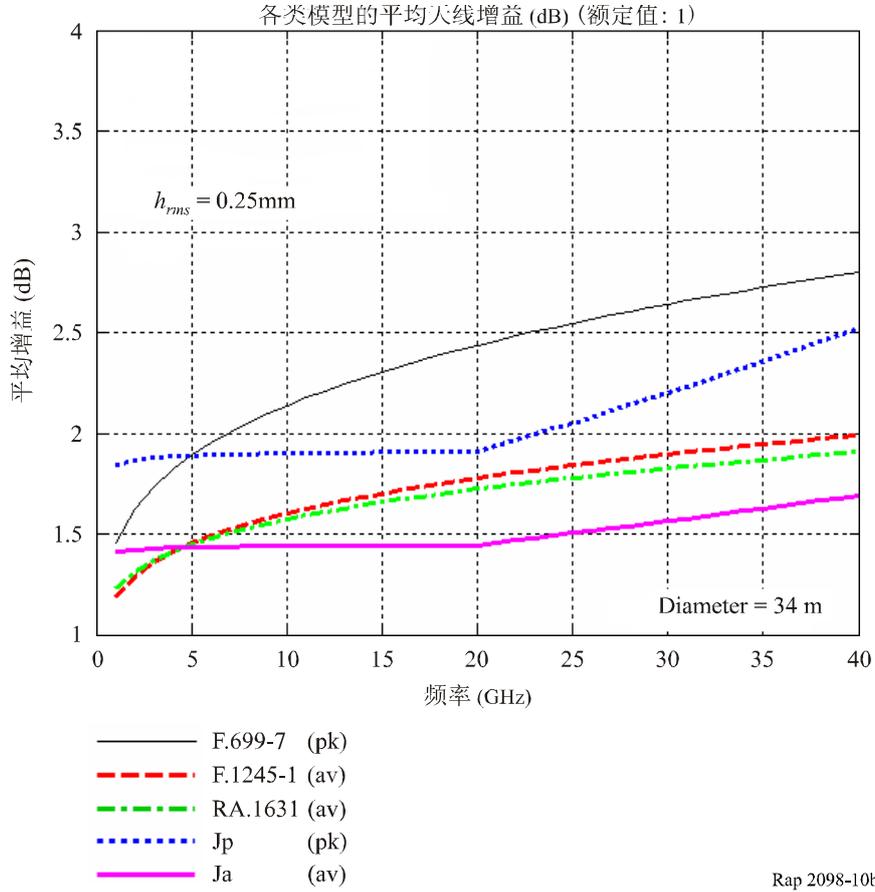


图 11a

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = 0.60 \text{ mm}$ 的70 m天线
 (平均增益 (dB))

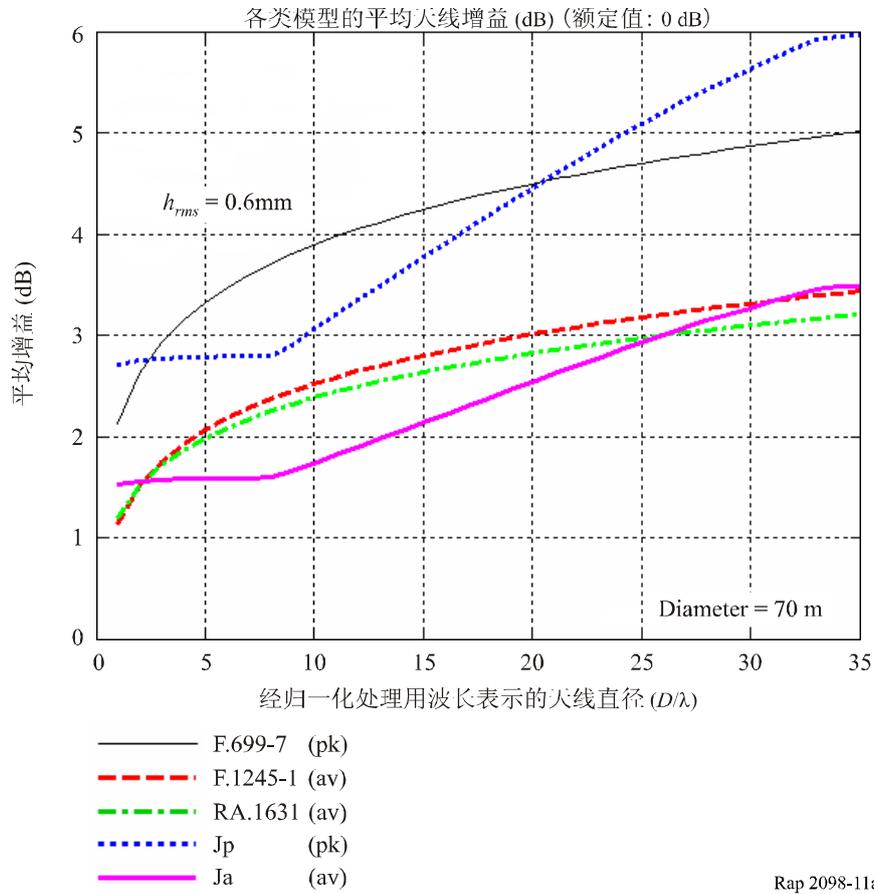


图 11b

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = 0.60$ mm的70 m天线
 (线性平均增益 (dB))

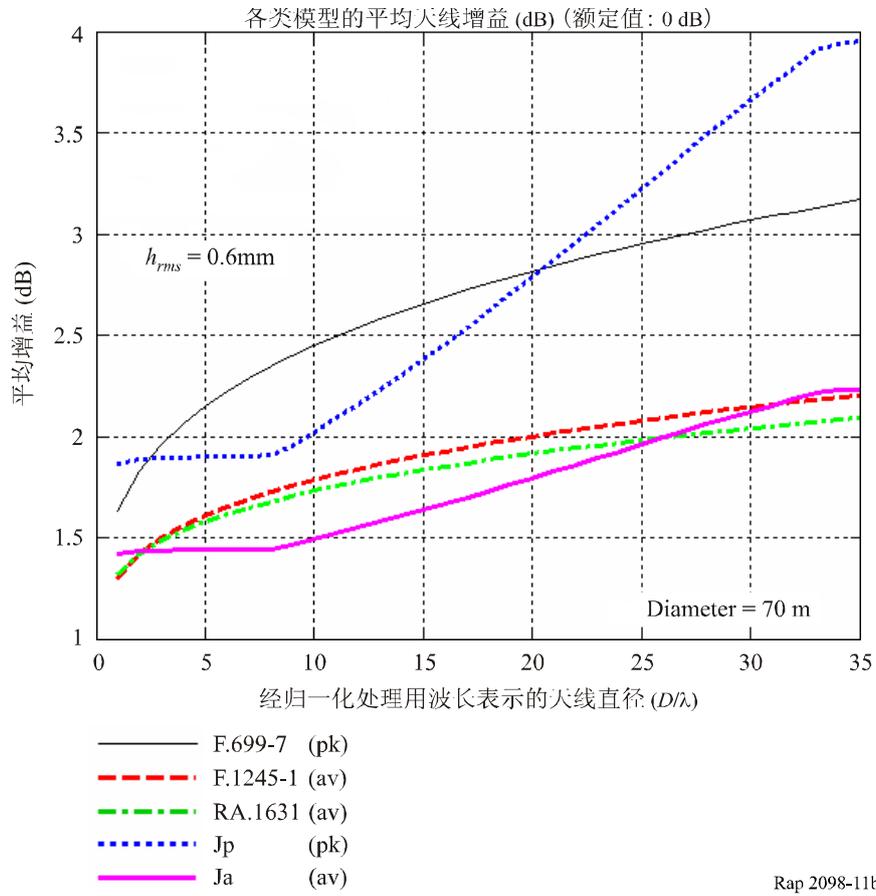
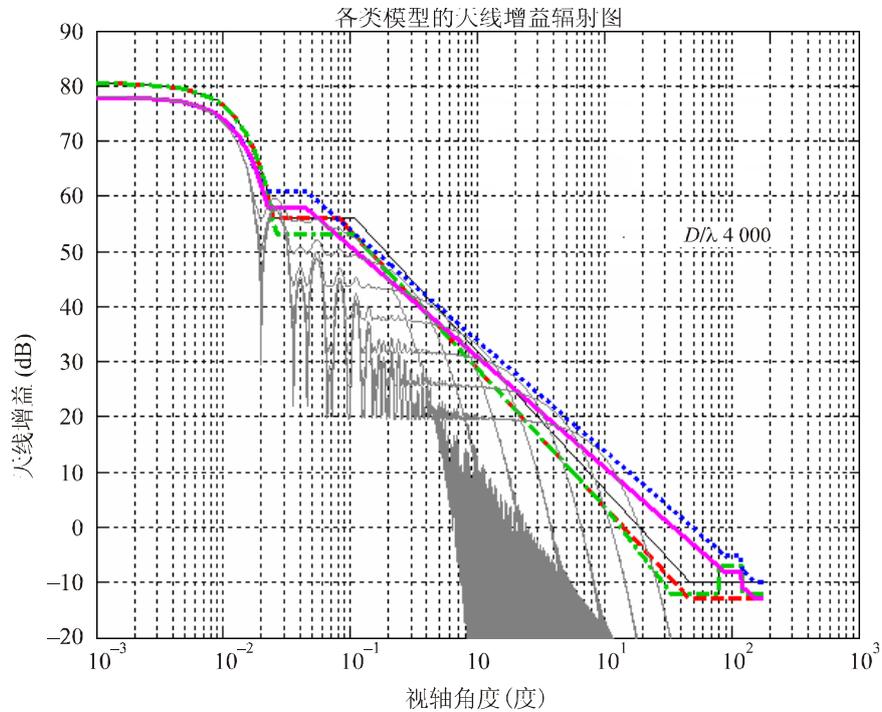


图 12a

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = 1/15 \lambda$ 的“性能不良”天线
 包括几种不同相关长度的理论辐射图计算结果
 ($\sigma\lambda = 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 160$)



- F.699-7 (pk), ga: 2.73
- F.1245-1 (av), ga: 1.95
- RA.1631 (av), ga: 1.87
- Jp (pk), ga: 3.67
- Ja (av), ga: 2.09
- Calc. pattern, ga: 1

图 12b

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = 1/30 \lambda$ 的“中等性能”天线
 包括几种不同相关长度的理论辐射图计算结果
 ($c\lambda = 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 160$)

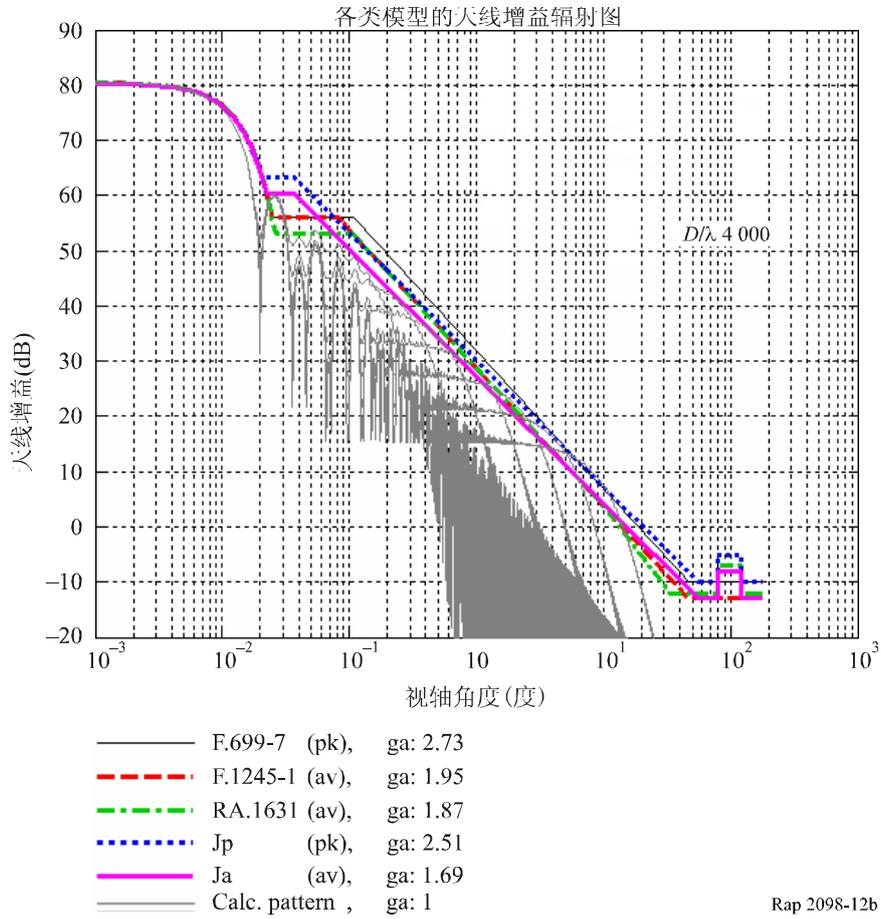


图 12c

不同模型平均增益的对比
 其中Jp和Ja模型是针对表面误差 $h_{rms} = 1/60 \lambda$ 的“性能良好”天线。
 包括几种不同相关长度的理论辐射图计算结果
 ($c\lambda = 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 160$)

