

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R M.1851-1建议书

(01/2018)

**用于干扰分析的无线电定位雷达
系统天线方向图的数学模型**

M系列

**移动、无线电测定、业余
和相关卫星业务**



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《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/en>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 系列建议书

(也可在线查询<http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
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	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
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	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2018年，日内瓦

©国际电联2018

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R M.1851-1建议书

用于干扰分析的无线电定位雷达系统天线方向图的数学模型

(2009-2018年)

范围

本建议书描述了用于单入和集总干扰分析的无线电定位雷达系统天线方向图。如天线3 dB波束宽度和第一峰值旁瓣电平已知，则可选择适用于方位角和仰角方向图的一组适当的公式。单个干扰源的峰值方向图和多个干扰源的平均方向图均被定义。

关键词

天线方向图、电流分布、照明场、峰值和平均掩模方向图公式

缩略语/词汇表

ADP 天线方向性图

相关的ITU-R建议书

ITU-R F.699、ITU-R F.1245、ITU-R M.1638、ITU-R M.1652、ITU-R M.1849建议书

国际电联无线电通信全会，

考虑到

在没有无线电定位雷达系统具体方向图的情况下，需要一个通用的天线方向图的数学模型用于干扰分析，

建议

1 如ITU-R有关无线电定位雷达系统特性的其它建议书中提供了对此处研究的雷达适用的天线方向图和/或方向图公式，则应使用那些天线方向图或方向图公式；

2 在没有所涉及的无线电定位雷达系统天线方向图的具体信息时，附件1中所述的数学参考天线模型可用于干扰分析。

附件1

用于干扰分析的无线电定位雷达系统
天线方向图的数学模型

1 引言

当ITU-R建议书中没有相关分析所涉及的无线电定位雷达系统适用的方向图的定义时，则需确定无线电定位雷达系统天线方向图的通用数学模型。通用天线方向图模型可用于涉及单个和多个干扰源情况的分析，如来自其它雷达和通信系统的干扰源。

本文描述了建议使用的天线方向图。如波束宽度和第一峰值旁瓣电平已知，即可选择方位角和仰角方向图适用的公式。

ITU-R建议书天线参数范围的调查结果见表1。

表1
调查的天线参数限值

天线参数	单位	描述	最小值	最大值
发射和接收频率	MHz		420	33 400
天线极化类型		水平、垂直、圆极化		
天线类型		全向、八木元素阵列、抛物面反射器、相控阵列		
最常见的波束类型		扇形、笔形、余割平方		
发射和接收增益	dBi		25.6	54
仰角波束宽度 (-3dB)	度	笔形波束	0.25	5.75
		余割平方 (CSC ²) (公式(12)和表4)	3.6 (θ_3) 20 (θ_{Max})	3.6 (θ_3) 44 (θ_{Max})
方位角波束宽度 (-3dB)	度	笔形波束	0.4	5.75
仰角扫描角限值	度		-60	+90
方位角扫描角限值	度		30扇区	360
低于主瓣峰值的第一旁瓣电平	dB		-35	-15.6

表1用于指导研发所建议的天线类型和方向图。

2 数学公式

2.1 窄波束宽度雷达天线

2.1.1 背景

在没有关于3 dB波束宽度或天线孔径上的电流分布或照明场的形状的特定信息但给出了关于天线尺寸的信息的情况下， θ_3 半功率波束宽度（度）近似为 $70 \lambda/D$ ，其中 λ 代表波长、 D 代表天线长度，其用相同的单位表示，参见ITU-R F.699建议书，建议4.1。

如果关于天线孔径上的电流分布或照明场的形状的信息可用，即可采用一种更加精确的天线方向图模型。

为简化分析，将天线电流分布作为仰角或方位角坐标的函数。特定分布的方向性图 $F(\mu)$ 可通过有限的傅立叶变换表示：

$$F(\mu) = \frac{1}{2} \int_{-1}^{+1} f(x) \cdot e^{j\mu x} dx \quad (1)$$

其中：

$f(x)$: 场分布的相对形状，见表2和图1

μ : 在下表中给出 $= \pi \left(\frac{l}{\lambda} \right) \sin(\alpha)$

l : 口径总长度

λ : 波长

ω : 波束仰角或相对于标称孔径的方位角指向（扫描）角

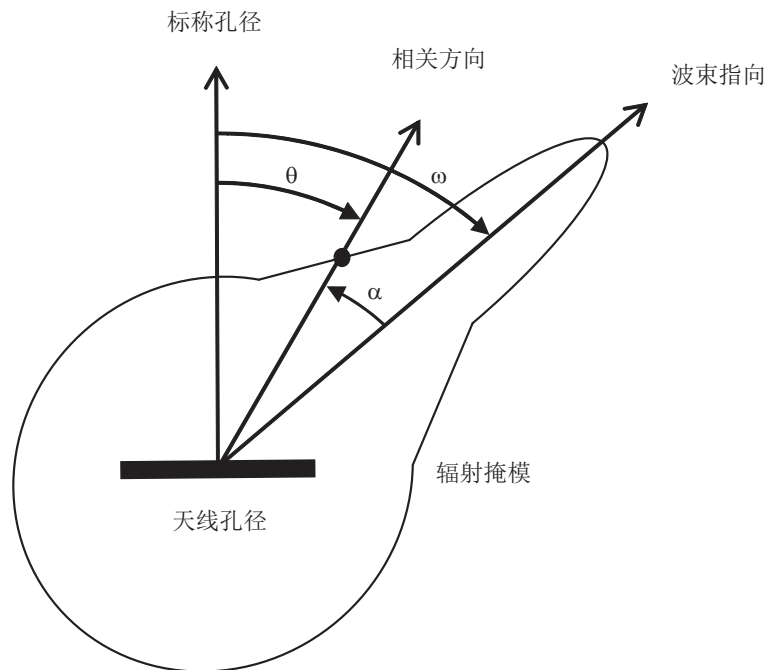
θ : 相对于标称孔径的相关方向角

α : 相对于指向角方向的($\alpha = \theta - \omega$)相关方向角

x : 沿孔径的归一化距离 $-1 \leq x \leq 1$

j : 复合数字符号。

图1
天线极坐标图掩模



M.1851-01

表2提供了具有均匀相位场分布的天线的理论天线方向图。

第7节中给出了相控阵列天线的理论天线方向图，同时考虑到在大扫描角 ω 时出现的特定旁瓣效应。

表2中（及随后在相关表3和各图中）介绍的用于确定天线方向性图（ADP）的参数和公式仅在天线孔径边缘的场幅度等于0且在ADP的主瓣和前两个旁瓣的范围内时才是正确的。

当天线孔径边缘的场幅值不同时，ADP的形式及其参数则可能与本建议书中介绍的理论方向图有很大不同。

在没有其他信息的情况下，可以考虑将与理论主瓣和其他方向上的掩模拟合的简化天线方向图用于与雷达系统的共享和兼容性研究。建议在进行此类研究时将峰值或平均掩模分别用于单个干扰源或多个干扰源。如第2.1.3小节所述，掩模从理论方向图发出的拐点处偏离，并在旁瓣下降至最低掩模，以表示天线远侧旁瓣和后旁瓣。

如存在实际的雷达天线方向图，则应将这些方向图进行数字化并加以使用。

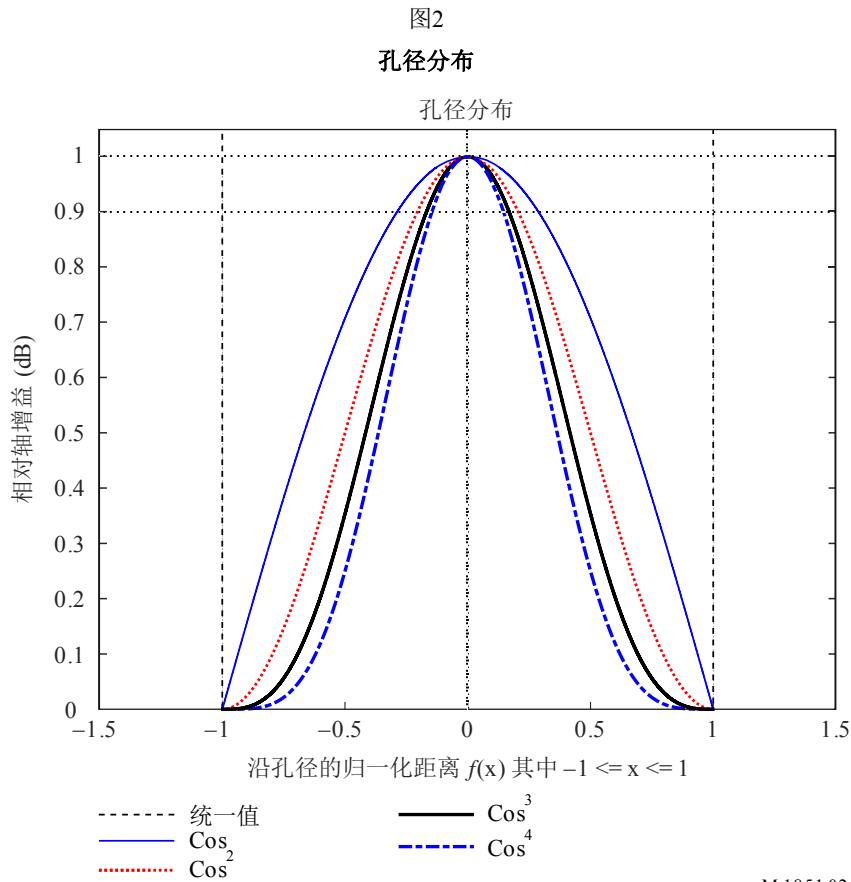
2.1.2 理论天线公式

表2给出了天线孔径上场分布的不同形状的方向性图的公式和相关参数的公式。

表2
理论天线方向性参数

场分布的相对形状 $f(x)$, 其中 $-1 \leq x \leq 1$	方向性图 $F(\mu)$	θ_3 半功率波束宽度 (度)	作为 θ_3 函数的 μ	低于主瓣峰值的第一旁瓣电平 (dB)	公式编号
1的统一值	$\frac{\sin(\mu)}{\mu}$	$50.8 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-13.2	(2)
$\cos(\pi \cdot x/2)$	$\frac{\pi}{2} \left[\frac{\cos(\mu)}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \mu^2} \right]$	$68.8 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi \cdot 68.8 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-23	(3)
$\cos^2(\pi \cdot x/2)$	$\frac{\pi^2}{2 \cdot \mu} \left[\frac{\sin(\mu)}{\pi^2 - \mu^2} \right]$	$83.2 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi \cdot 83.2 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-32	(4)
$\cos^3(\pi \cdot x/2)$	$\frac{3 \cdot \pi \cdot \cos(\mu)}{8} \left[\frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \mu^2} - \frac{1}{\left(\frac{3 \cdot \pi}{2}\right)^2 - \mu^2} \right]$	$95 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi \cdot 95 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-40	(5)
$\cos^4(\pi \cdot x/2)$	$\frac{3\pi^4 \sin(\mu)}{2\mu(\mu^2 - \pi^2)(\mu^2 - 4\pi^2)}$	$106 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi \cdot 106 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-47	(6)

其中 θ_3 是3 dB天线半功率波束宽度（度）。表2中所确定的场分布函数 $f(x)$ 的相对形状如图1所示。



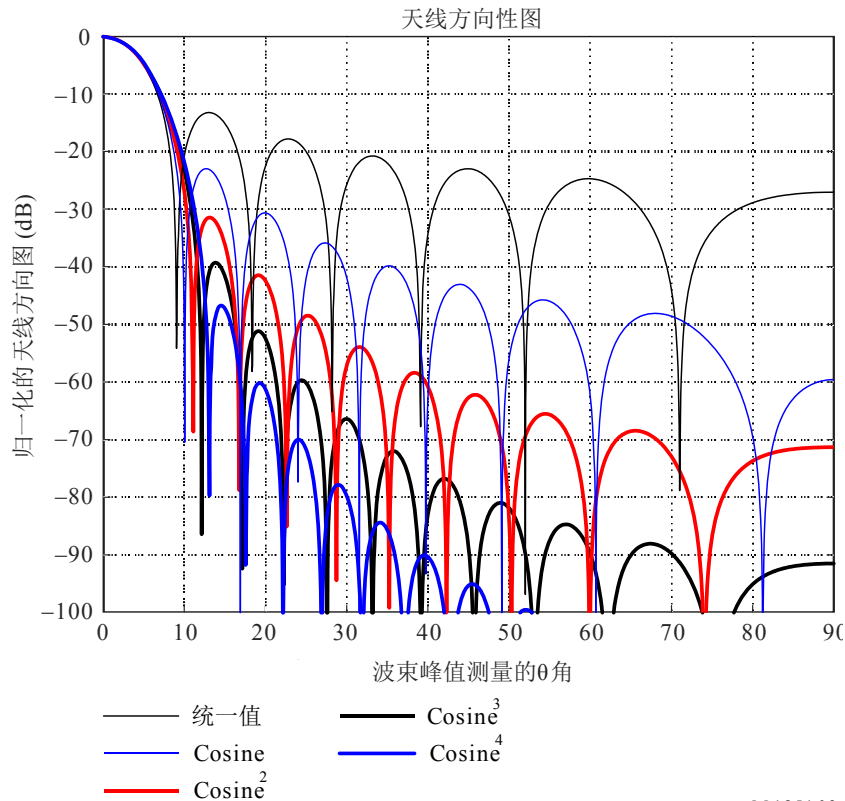
M.185102

假设已给出半功率波束宽度 θ_3 ， μ 的值可重新定义为半功率天线波束宽度的函数。做法是将 $\mu = \pi \left(\frac{l}{\lambda} \right) \sin(\theta)$ 中的量 $\left(\frac{l}{\lambda} \right)$ 替换为一个由场分布相对形状决定的常数；除以半功率波束宽度 θ_3 ，如表2所示。通过设定 $F(\mu)$ 等于-3 dB的等式，并求 θ 角的价值，即可得到表2中的常数值50.8、68.8、83.2、95和106。

图3示出了用于统一、余弦（COS），余弦平方（COS²）和余弦立方（COS³）以及余弦到四分之一功率（COS⁴）场分布函数的各种线性孔径天线方向图。由于方向图在数学上是对称的，因此它们在图上已经被部分定位。为了比较，所有的方向图都被设置为6.0度的相同3 dB波束宽度，这意味着 λ/l 的不同比率。

图3

不同线性天线孔径分布的天线方向图比较，
3 dB波束宽度为6.0度（方向图是对称的）



M1851-03

2.1.3 掩模定位的程序

利用上述图3，通过使用符合天线峰值旁瓣电平的曲线推导出掩模公式。比较理论掩模方向图和建议的掩模方向图积分发现，在一个主平面截图中，峰值功率和平均功率之间的差约为4 dB。下列定义适用：

- 使用 $20 \cdot \log_{10}$ （绝对值（场方向性图））将公式(2)至(6)转换为用 dB表示；
- 使天线方向图增益归一化。统一的场分布并不需要归一化，对于余弦方向图减去-3.92 dB，对于余弦平方方向图，减去-6.02 dB，对余弦立方方向图，减去-7.44 dB；对于余弦到四分之一功率方向图，减去-8.52 dB；
- 绘制掩模图时，使用表2中的理论方向性图，如前两步中所示，根据需要一直绘到峰值天线方向图或平均天线方向图的拐点。在拐点之后，表3中表示的掩模方向图适用；
- 峰值方向图掩模是跨过旁瓣峰值的天线方向图。仅用于单入干扰源的情况；
- 平均方向图掩模是近似理论方向图积分值的天线方向图。用于集总多干扰源的情况；
- 峰值方向图掩模拐点是方向图幅度（dB）低于最大增益的点，此时方向图的形状偏离理论方向图，转向峰值掩模方向图，如表3所示；
- 平均方向图掩模拐点是方向图幅值（dB）低于最大增益的点，此时方向图形状偏离理论方向图，转向平均掩模方向图，如表3所示；

- θ_3 是3 dB天线波束宽度（度）；
- θ 是仰角（垂直）或方位角（水平）主平面截图的角（度）；
- 平均掩模是峰值掩模减去约4 dB。请注意，峰值方向图的拐点与平均方向图不同。

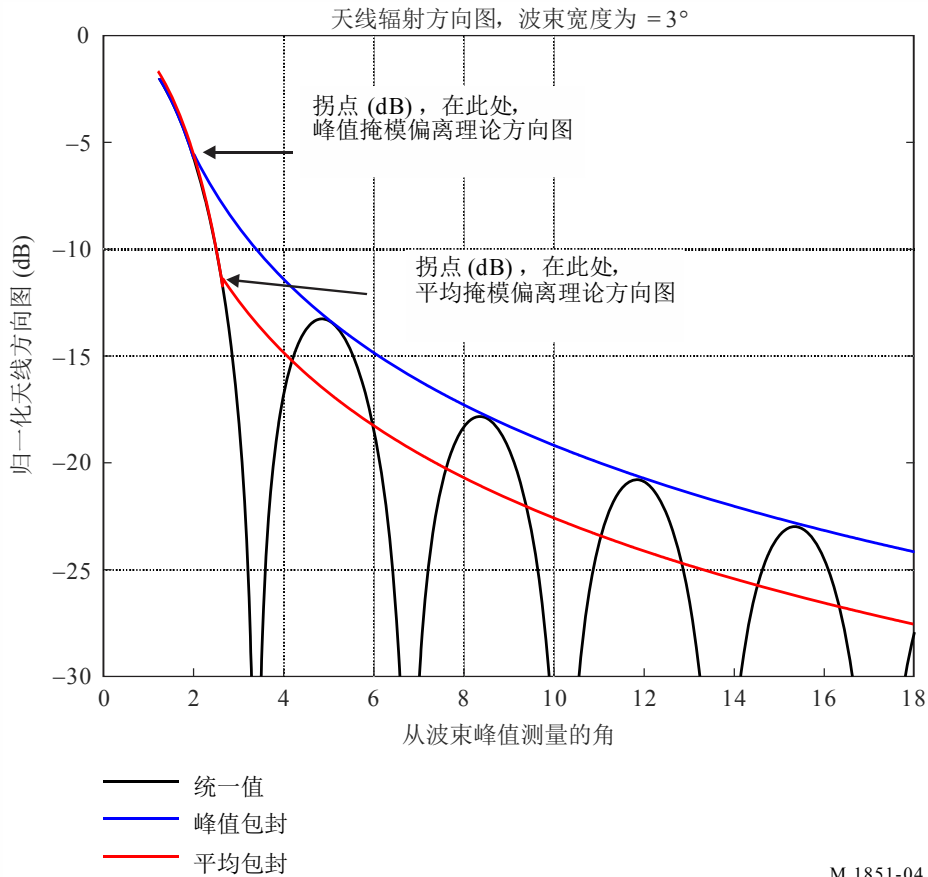
表3列出了在计算中使用的公式。

表3
峰值和平均掩模方向图公式

场分布	当掩模偏离理论方向图时，超出方向图拐点的掩模公式 (dB)	当掩模偏离理论方向图时的峰值方向图拐点 (dB)	当掩模偏离理论方向图时的平均方向图拐点 (dB)	在峰值方向图中增加常数，将其转换为平均掩模 (dB)	最低掩模电平 (dB)	公式编号
统一值	$-8.584 \cdot \ln \left(2.876 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-5.75	-12.16	-3.72	-30	(5)
COS	$-17.51 \cdot \ln \left(2.33 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-14.4	-20.6	-4.32	-50	(6)
COS ²	$-26.882 \cdot \ln \left(1.962 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-22.3	-29.0	-4.6	-60	(7)
COS ³	$-35.84 \cdot \ln \left(1.756 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-31.5	-37.6	-4.2	-70	(8)
COS ⁴	$-45.88 \cdot \ln \left(1.56 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-39.4	-42.5	-2.61	-80	(11)

函数ln()是自然对数函数。拐点示例见图4。

图4
拐点示例



M.1851-04

2.2 具有余割平方仰角方向图的雷达天线

余割平方方向图是一种特殊情况。通过以下获得：

$$G(\theta) = G(\theta_1) \cdot \left(\frac{\text{CSC}(\theta)}{\text{CSC}(\theta_1)} \right)^2 \quad (12)$$

其中：

$G(\theta)$: 角 θ_1 和 θ_{Max} 之间的余割平方方向图

$G(\theta_1)$: θ_1 处的方向图增益

θ_1 : 余割平方方向图起始= θ_3 ，该处的半功率波束宽度

θ_{Max} : 余割平方方向图终止处的最大角

θ : 仰角

θ_3 : 半功率天线波束宽度（度）。

对于余割平方方向图，不考虑平均天线方向图增益。该增益应用于单个和多个干扰源的情况。余割方向图的应用如下所示：

表4

余割平方天线方向图公式

余割平方公式	条件	公式编号
$\frac{\sin(\mu)}{\mu}; \mu = (\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta))/\theta_3$	$-\theta_3 \leq \theta \leq +\theta_3$	(13)
$G(\theta_1) \cdot \left(\frac{CSC(\theta)}{CSC(\theta_1)}\right)^2$	$+\theta_3 \leq \theta \leq \theta_{Max}$	(14)
余割最低限值 (如 = -55 dB)	$\theta_{Max} \leq \theta \leq \theta_{90}$	(15)
$G(\theta_1) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}}$	$\theta_1 = \theta_3$	(16)

注： $G(\theta_1) \cdot \left(\frac{CSC(\theta)}{CSC(\theta_1)}\right)^2$ 指功率方向图的振幅， $\frac{\sin(\mu)}{\mu}$ 和 $G(\theta_1) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}}$ 指“方向

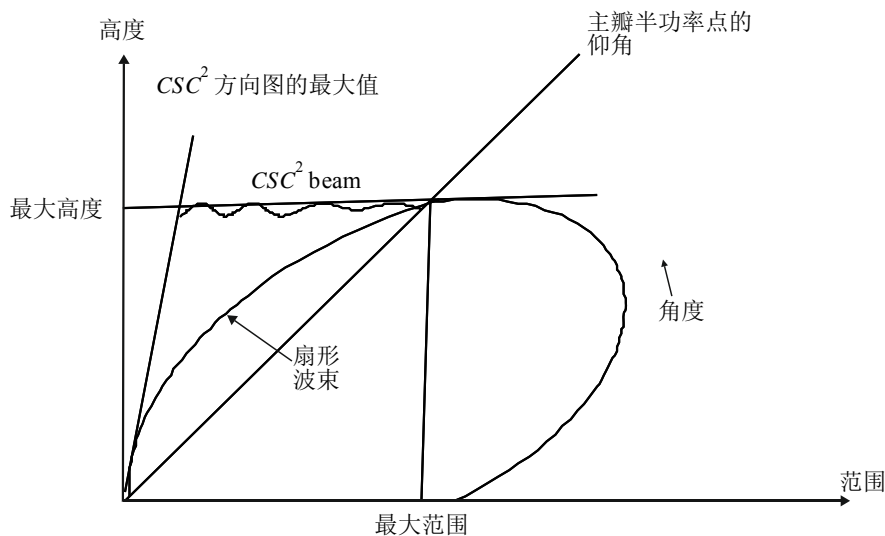
性图 $F(\mu)$ ”，场振幅；其是功率振幅的平方。答案可写作： $\left(\frac{\sin(\mu)}{\mu}\right)^2$ 和

$$G(\theta_1) = \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}}\right)^2$$

方向图的图形描述如下图所示。

图5

搜索雷达的余割平方波束覆盖



2.3 不同天线辐射方向图的理论图形和掩模

图6

天线方向图，峰值 $\left(\frac{\sin \theta}{\theta}\right)^2$ 单位是弧度，或者 $\left(\frac{\sin \theta}{\theta} \times \frac{180}{\pi}\right)^2 \approx \left(\frac{\sin \theta}{\theta} \times 57.3\right)^2$ 单位是度，

以及用于均匀场分布的平均包封

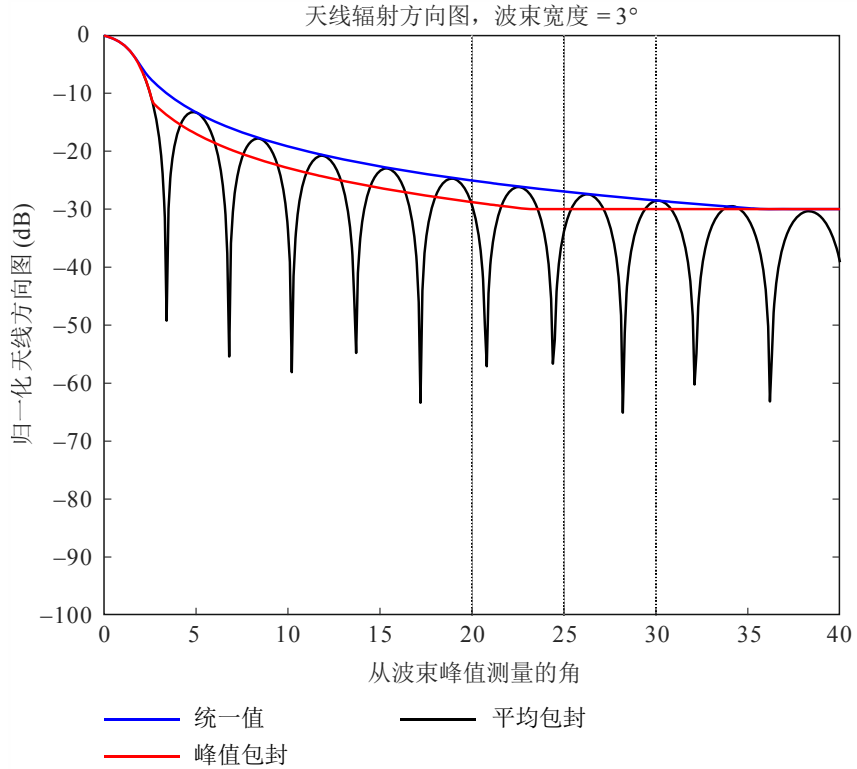
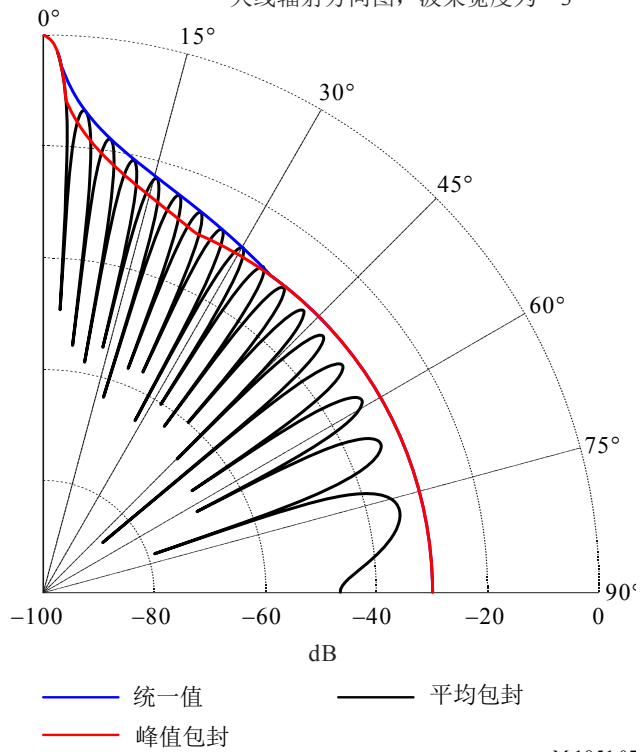


图7

均匀场分布的极图天线方向图、峰值和平均包封示例

天线辐射方向图，波束宽度为 3°

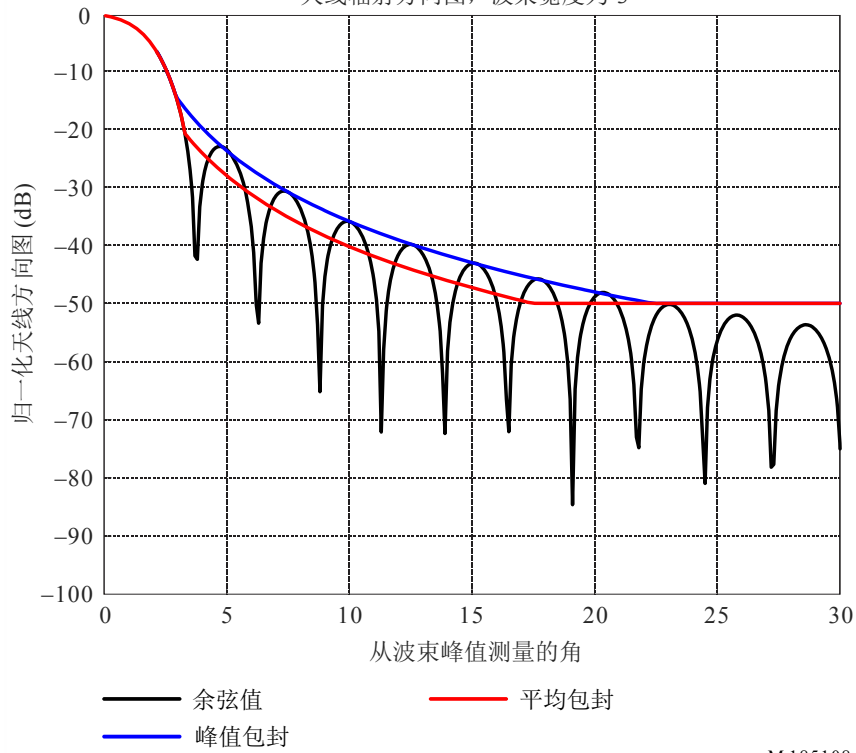


M.1851.07

图8

余弦场分布的天线方向图、峰值和平均包封示例

天线辐射方向图，波束宽度为 3°



M.1851.08

图9

余弦平方分布的天线方向图、峰值和平均包封

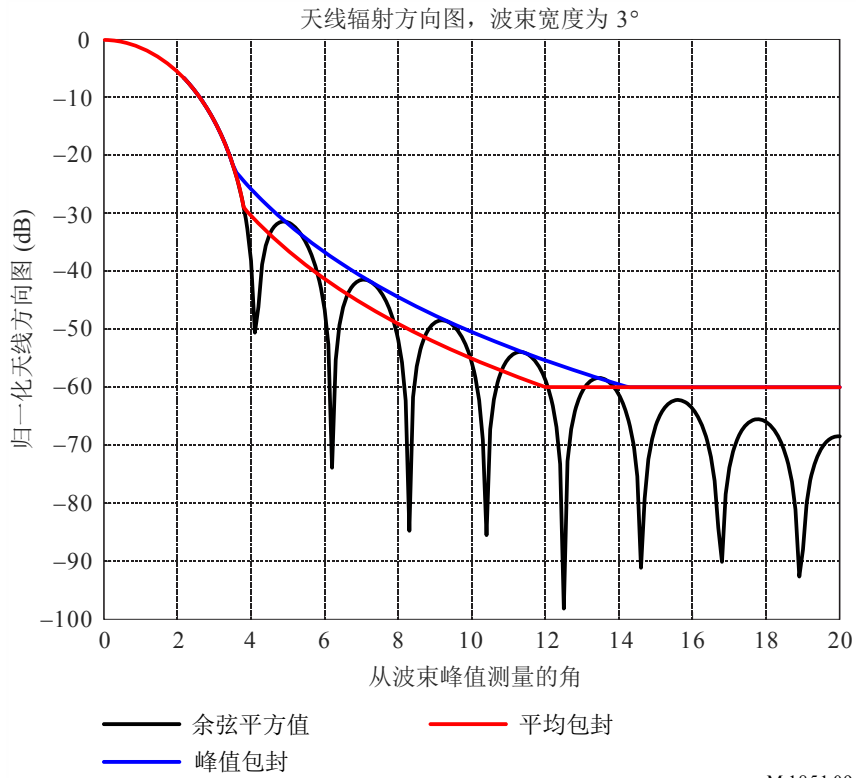


图10

余弦立方分布的天线方向图、峰值和平均包封

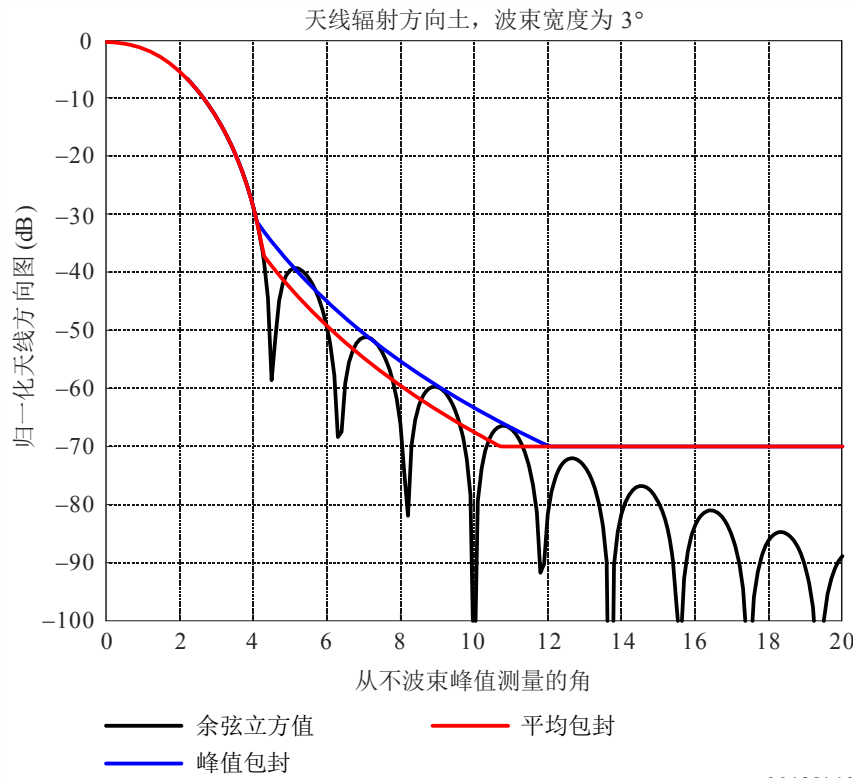
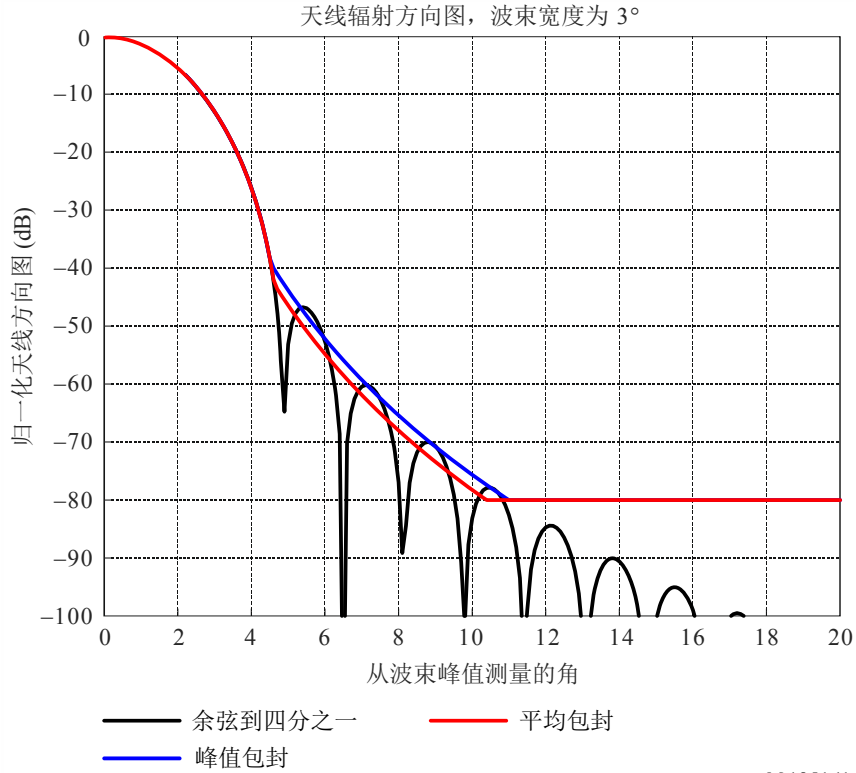


图11

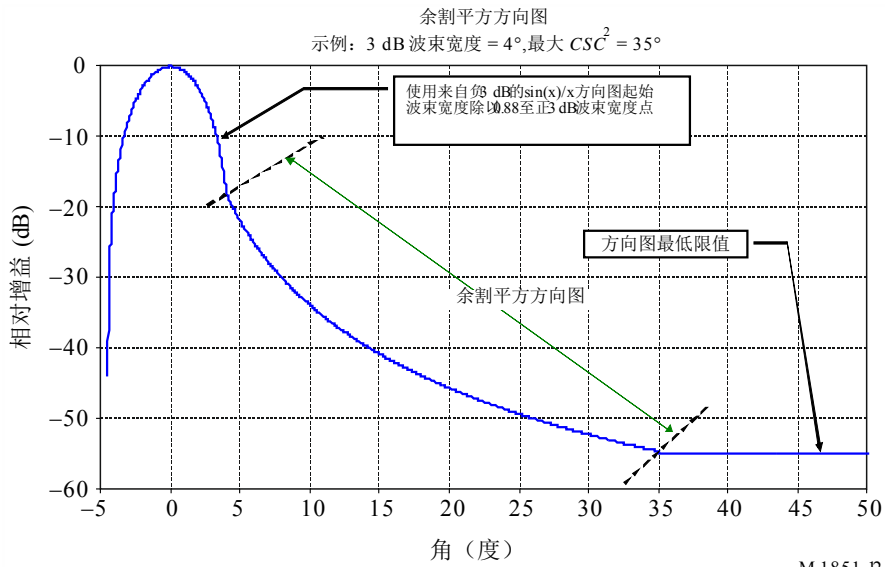
余弦到四分之一功率的天线方向图、峰值和平均包封



M.1851-11

图12

CSC²天线方向图包封



M.1851-12

3 天线方向图选择

有关应如何选择天线方向图的建议是根据半功率波束宽度和峰值旁瓣电平的信息提出的，见表5。

表5
方向图近似值选择表

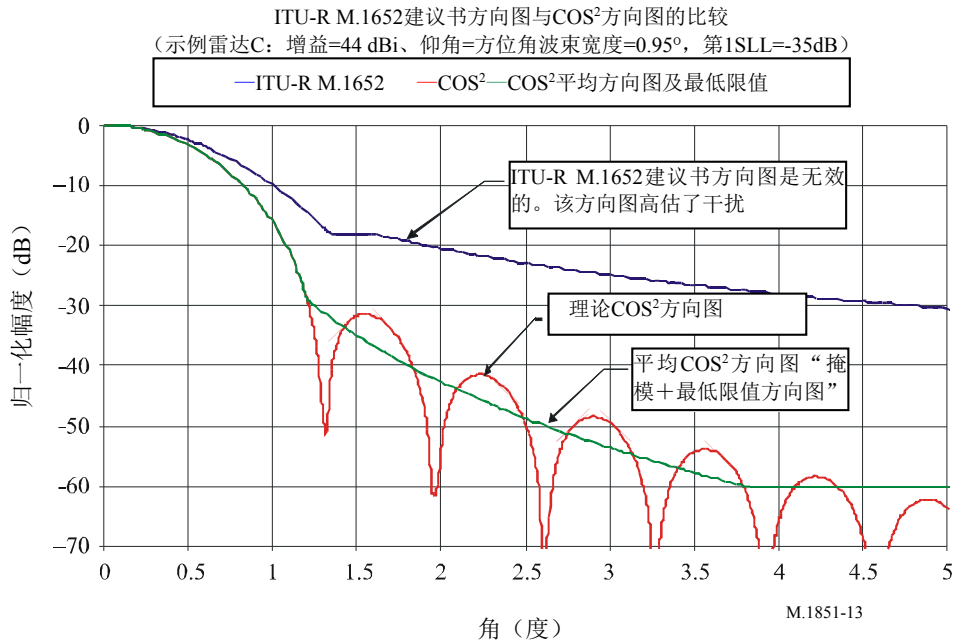
低于主瓣峰值电平的第一旁瓣电平的范围 (dB)	可能的天线分布类型和余弦升高至功率 n	理论方向图公式编号	掩模公式编号
13.2至 < 20	统一值	(2)	(7)
20至 < 30	$n = 1$	(3)	(8)
30至 < 39	$n = 2$	(4)	(9)
39 至<45	$n = 3$	(5)	(10)
≥ 45	$n = 4$	(6)	(11)

4 天线方向图的比较

ITU-R M.1652建议书中给出的已用于干扰分析的无线电定位雷达天线方向图的数学模型以天线增益的函数表示，包括用于几类方向图的公式。对本建议书中所述的模型与来自于ITU-R M.1638-0建议书的雷达C之间进行的比较表明，ITU-R M.1652建议书中的方向图并不是最佳的方向图。如图13所示，ITU-R M.1652建议书中的方向图大大高估了偏离天线视轴（0°）的天线增益。

值得注意的是，ITU-R F.699建议书中定义的公式趋于高估一些雷达系统的旁瓣电平，且公式不是为雷达系统制订的。

图13
天线方向图比较



5 三维 (3-D) 方向图的近似计算

等高线图的数据可用做模拟分析的工具。对3维 (3-D) 天线方向图进行近似计算很容易。将水平和垂直主平面的电压削减相乘即可。为此，将垂直主平面方向图置于一个方阵的中间栏，并将其它元素设为0。将水平主平面方向图置于一个方阵的中间行，将其它元素设为0。将两个方阵相乘，并绘制图形。注意，所有的方向图必须是归一化的。

计算3维方向图的公式表示为：

$$P_{i,h} = 20 \log \left[\sum_{k=0}^N |H_{k,i} V_{h,k}| \right] \tag{17}$$

垂直和水平矩阵 (单位伏) 通过公式(18) 和 (19)表示。

垂直方向图表示为:

$$\text{垂直矩阵 } (V_{h,k}) = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 & El_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & El_2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 0 & El_3 & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & El_{N-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & El_N & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

水平方向图表示为:

$$\text{水平矩阵 } (H_{k,i}) = \begin{pmatrix} 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ Az_1 & Az_2 & & & Az_{N-1} & Az_N \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

图 14和15为3维方向图示例。

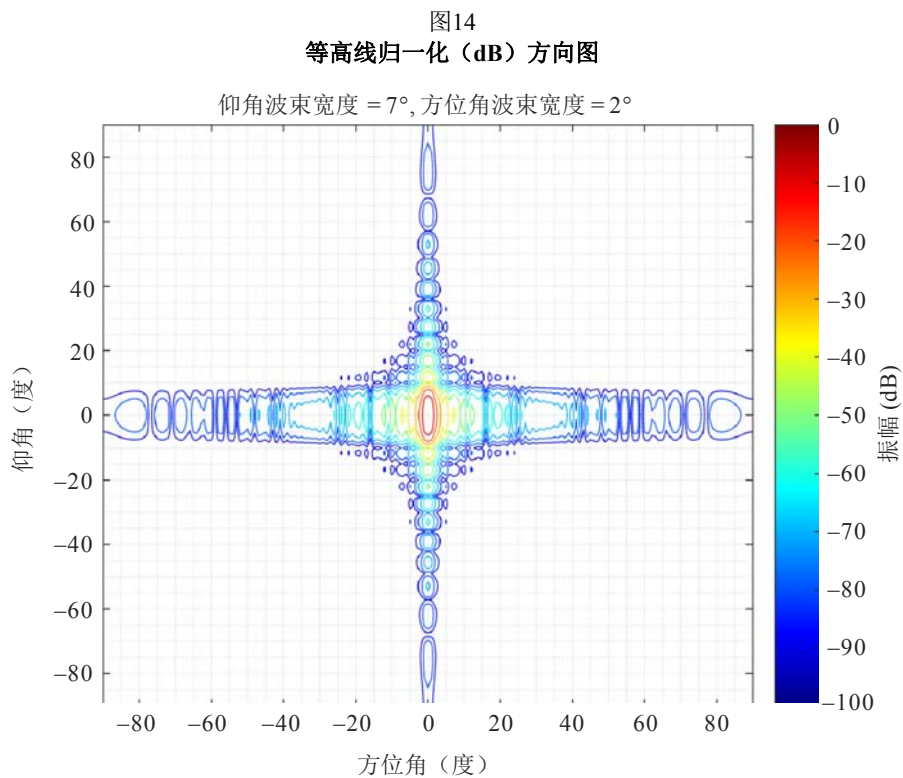
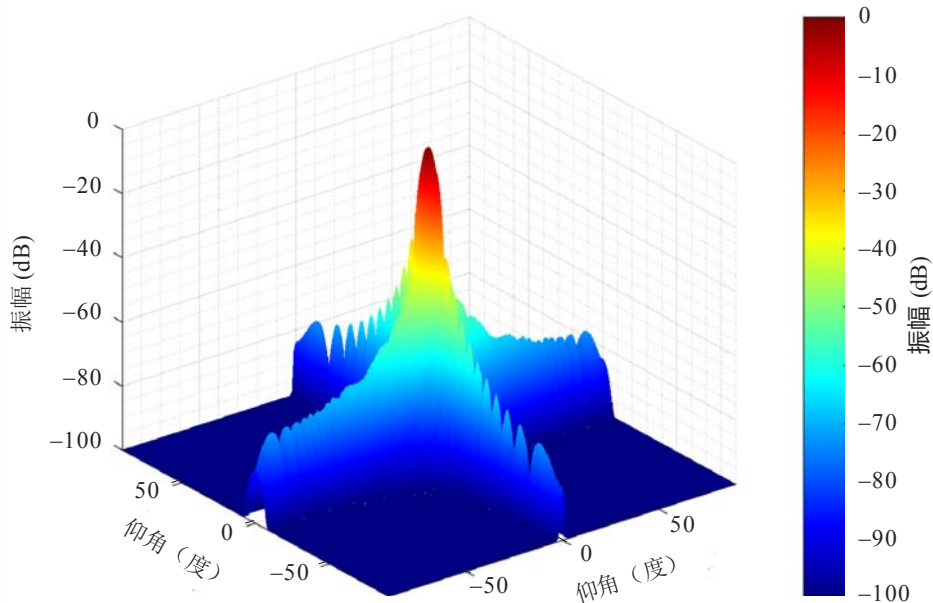


图15

三维相对方位角和仰角天线图，矩形孔径的均匀场分布，衰减（dB）与离轴角度的示例；
 θ （仰角，度）和 φ （方位角，度）

仰角波束宽度 = 7° ，方位角波束宽度 = 2°



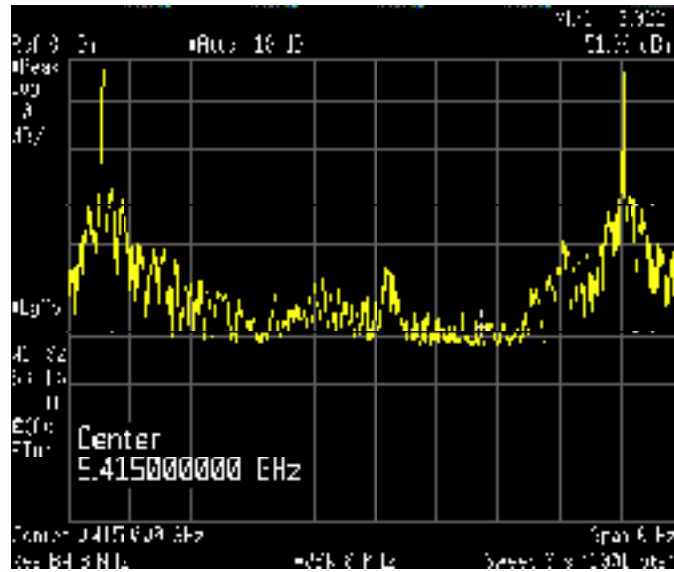
M.1851-15

6 测量方向图示例

图16和17展示了在9 GHz频段测量的雷达天线方向图示例。X轴表示跨越 360° 以上的方位角，Y轴表示在每个方位角上接收的功率电平。该功率方向图必须被归一化到其最大值或被认为是天线方向图或方向性模式的各向同性天线。

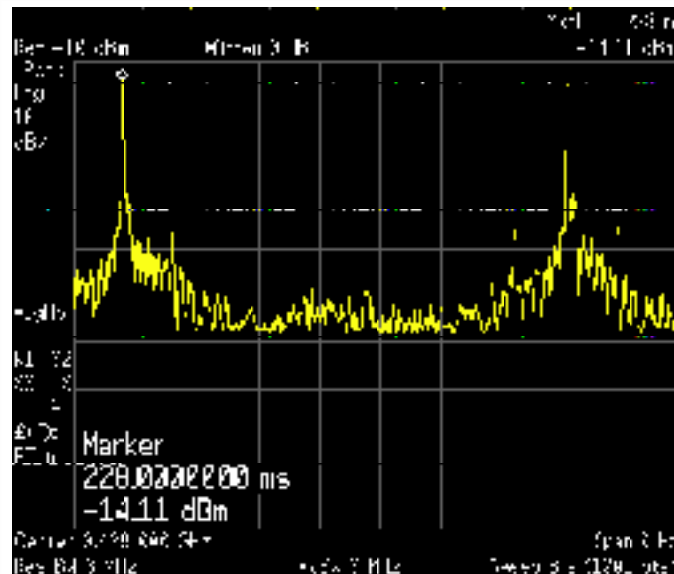
对于这些测量的天线方向图的初次分析表明：第一旁瓣在接近 -30 dBc时出现，由于明显的旁瓣斜率导致粗略估计使用了 \cos^2 孔径照度定律。在这种情况下，由于在该天线方向图中存在后瓣和后衍射波瓣，在 \cos^2 模型给出的 -60 dBc的理论掩模最低限值会在这种情况下出现，之后如果需要的话，建议在可能的情况下使用真正的天线方向图而不是理论方向图。

图16
测量的天线图示例



M.1851-1 6

图17
测量的天线图示例

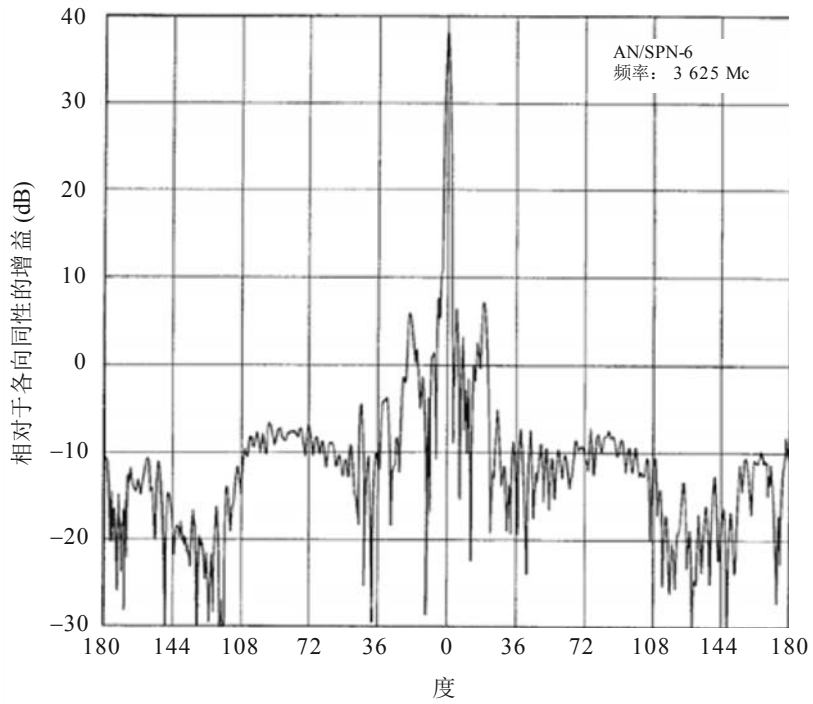


M.1851-1 7

图18和19展示了其他两种示例。

图18

在3.6 GHz和38 dBi对AN/SPN-6雷达天线的测量结果

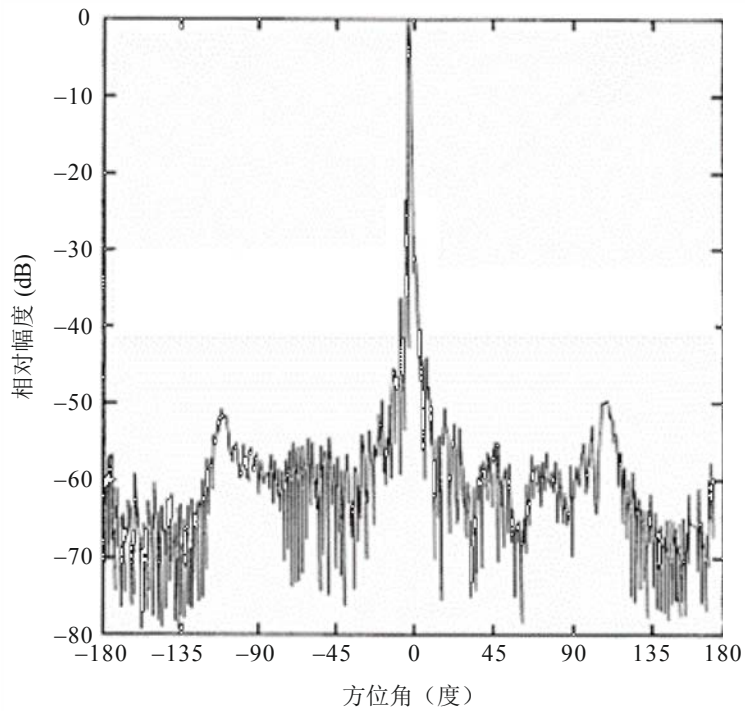


M.1851-18

来源：雷达天线的增益与互增益的统计特征，项目编号：SF 010 204，任务5727，海军部，1963年9月15日

图19

来自气象雷达的多普勒雷达天线方向图，25 dB的第一旁瓣和60 dB的前后比



M.1851-19

来源：美国联邦气象手册，第11期，2005年12月，B部分，B, FCM-H11B-2005

7 相控阵列天线方向图

下述公式可用于计算均匀线性阵列天线归一化方向图的计算：

$$g(\theta) = f(\theta) \cdot \frac{1}{N} |AF(\theta)|^2 \tag{20}$$

其中：

g : 均匀线性阵列天线归一化增益方向图

f : 插入均匀线性阵列天线中的基本辐射单元归一化增益方向图

N : 基本辐射单元数

AF : 均匀线性阵列天线因子； Ψ （弧度）：

$$AF(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{N\Psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)} \tag{21}$$

$$\Psi = 2\pi(d/\lambda)(\sin(\theta) - \sin(\omega)) \tag{22}$$

其中：

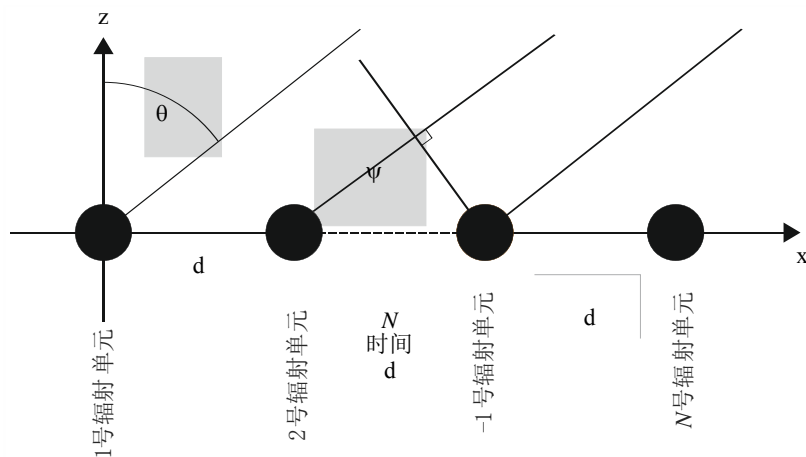
d : 均匀基本辐射单元常规间隙

λ : 考虑频率的波长

ω : 电子波束转向角

θ : 离轴角。

图20

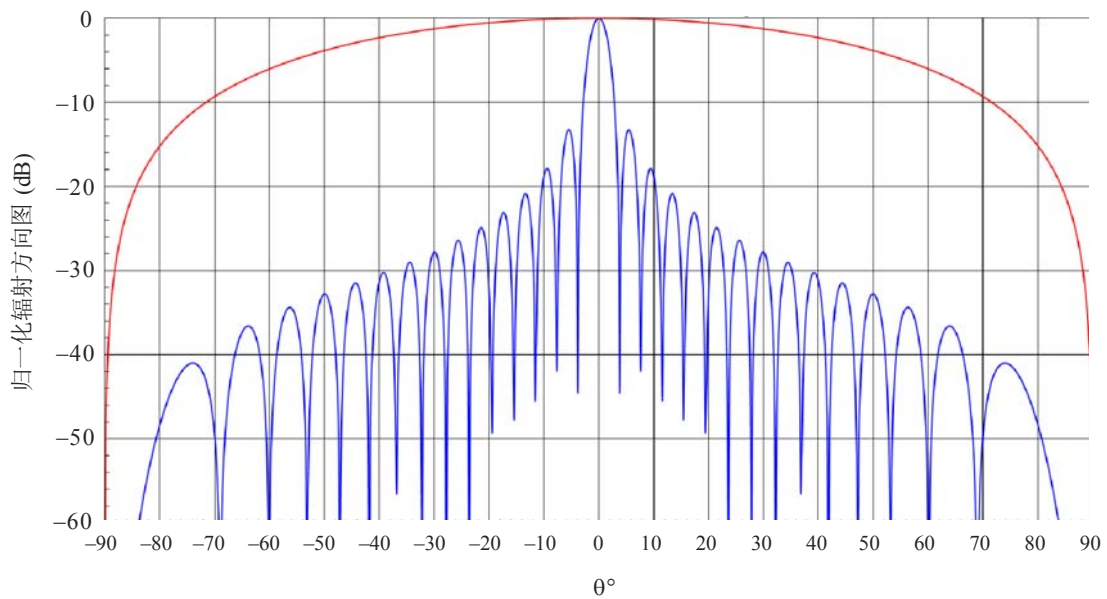


M.185120

相控阵列天线的特殊性质允许以电子方式将天线方向图的主瓣从机械天线视轴对准 $\pm 90^\circ$ 的范围。在大型扫描中，天线方向图中 ω 角特定的旁瓣效果应被视为主瓣的显著放大和非对称化（见图22）。实际上，主瓣最大值随着 $\cos(\omega)$ 而下降，并进一步作为阵列中的基本辐射单元方向图而减小。这个结果是主波束扩大，最大增益损失，因此远旁瓣增加。对于距机械天线视轴 $\pm 60^\circ$ 和 $\pm 90^\circ$ 范围内的 ω 值，结果方向图如此不稳定以至于无法使用（参见图24）。 ω 的实际值介于距机械天线视轴 0° 和 $\pm 60^\circ$ 范围内。此外，如果在阵列中的基本辐射单元阵列点阵大于 $\lambda/2$ ，主瓣的栅瓣可能出现在距机械天线视轴 $\pm 60^\circ$ 的范围内（见图23）。即使阵列中的基本辐射单元之间的阵列点阵为 $\lambda/2$ ，主瓣的栅瓣旁瓣位于与机械天线视轴成 -90° 和 $+90^\circ$ 的位置，也会干扰阵列方向图（见图24）。

图21

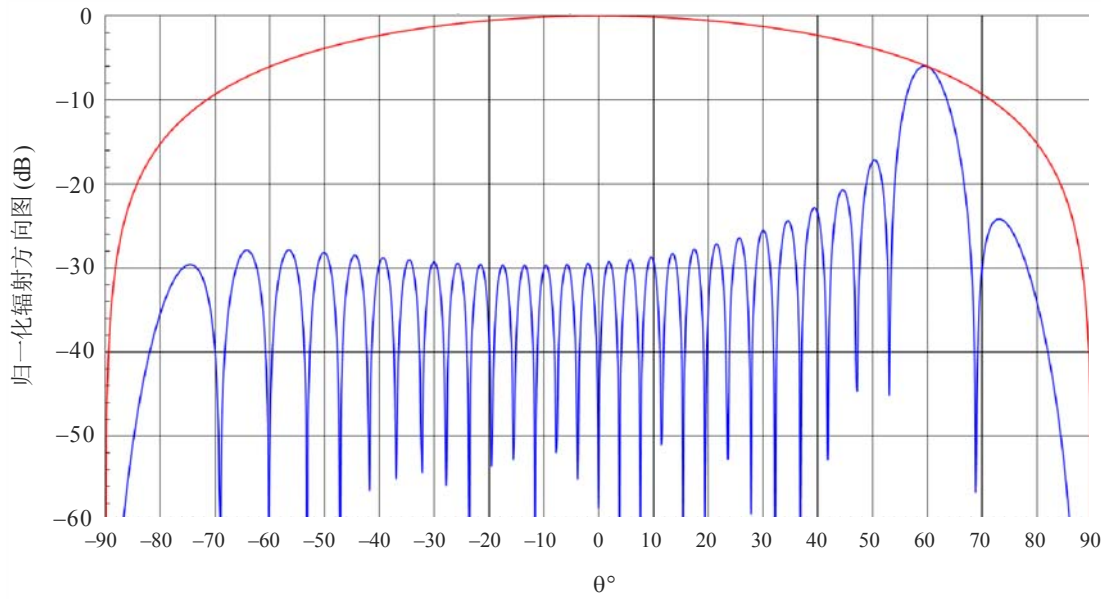
30个辐射单元均匀线性阵列的理论辐射方向图，
具有余弦平方辐射方向图的 $\lambda/2$ 点阵（蓝色曲线），（红色曲线）对准视轴



M.185121

图22

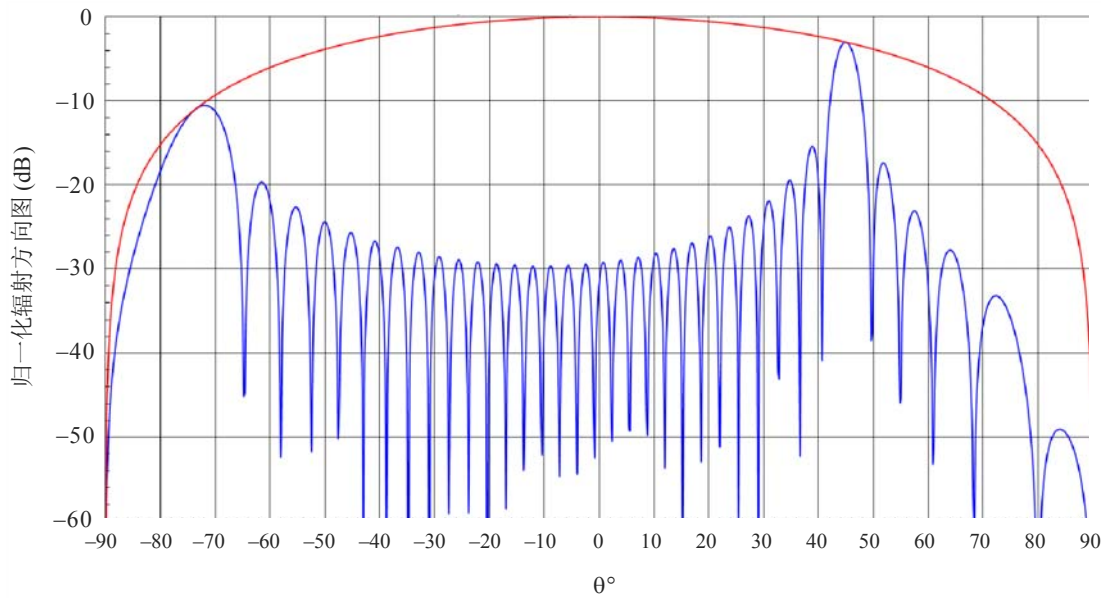
30个辐射单元均匀线性阵列的理论辐射方向图，
具有余弦平方辐射方向图的 $\lambda/2$ 点阵（蓝色曲线），（红色曲线）对准60°



M.1851.22

图23

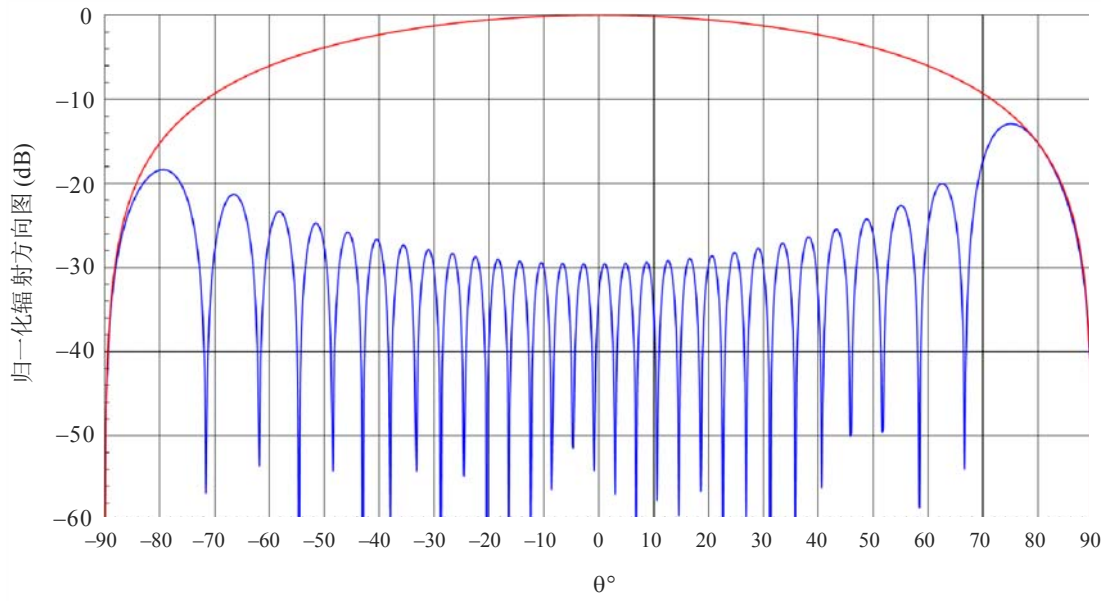
30个辐射单元均匀线性阵列的理论辐射方向图，
具有余弦平方辐射方向图的 $\lambda/2$ 点阵（蓝色曲线），（红色曲线）对准45°



M.1851.23

图24

30个辐射单元均匀线性阵列的理论辐射方向图，
具有余弦平方辐射方向图的 $\lambda/2$ 点阵（蓝色曲线），（红色曲线）对准80°



M.1851-24