

# 口径面天线辐射近区场强计算

张加坤, 胡皓全, 杨显清, 赵家升

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

**【摘要】**利用一种新的天线口径场积分的近似算法和几何绕射理论,并结合实际工程中天线的计算实例,对口径面天线的近区场进行计算,提高了计算的速度,又保证了计算结果的准确性。结果表明,该方法是处理天线辐射近区场强以及电磁兼容问题的一种有力工具。

**关键词** 口径面天线; 辐射近区; 几何绕射; 电磁兼容

中图分类号 TN823.27 文献标识码 A

## Near-Zone Field Strength of Aperture Antenna

ZHANG Jia-kun, HU Hao-quan, YANG Xian-qing, ZHAO Jia-sheng

(school of Electronic Engineering, UEST of China chengdu 610054)

**Abstract** A approximation algorithm of aperture integration and geometrical theory of diffraction be used to calculate the near-field power densities of aperture antenna described in this paper. And an example will be provided to illustrate how to use the method in the actual engineering. The new method can permit more rapid and efficient calculations than previous aperture integration techniques. The method can be applied to analyze the radiation near-fields of aperture antennas and electromagnetic compatibility.

**Key words** aperture antennas; near-field; geometrical theory of diffraction; electromagnetic compatibility

在处理天线问题时,通常将天线的周围根据场的特性以及场结构划分为若干区。一般可以粗略的分为远区场和近区场。近区场可以分为感应近区场和辐射近区场,感应近区场是最靠近天线的区域。由电磁场的知识可知,随着天线工作频率的升高,感应近区场的范围不断缩小,到微波波段,感应近区场将不予考虑,而主要考虑辐射近区场<sup>[1]</sup>。

口径面天线是广泛应用于微波通讯领域内的一种天线,具有较强的方向性。其远区场的计算,有很多成熟的理论和完善的算法,而近区场问题的研究相对较少。但是随着近年来通信事业的飞速发展,各种通信设备大量增加,设备之间的共存性问题(电磁兼容性问题)显得越来越重要,且随着人们环保意识的增强,电磁污染问题开始受到重视,需要确定微波发射设备(主要是天线)的安全范围,即解决辐射近区问题。

早期计算口径面天线辐射近区场问题时,一般都用口径场积分法,但是该方法被积函数复杂,数值计算速度非常慢,不适合工程计算。近年来,人们利用几何绕射理论(Geometrical Theory of Diffraction, GTD)来计算。虽然用几何绕射方法计算速度很快,但它无法计算焦散区的场,因此无法获得完整的辐射近区方向图<sup>[2]</sup>。利用两者的结合会使计算速度得到显著提高,但还是受到口径场积分方法的限制,计算速度仍然不理想。本文通过对口径场积分的改进,得到计算口径面天线辐射近区场强的表达式,再把它和GTD方法结合,可以提高计算的速度。

收稿日期:2003-05-12

作者简介:张加坤(1978-),男,硕士,主要从事电磁兼容方面的研究。

## 1 理论模型

设  $E(M)$  为  $M$  点的场强, 则原始口径场积分公式为:

$$E(M) = \frac{1}{4\pi} \int_A G(\mathbf{x}, \mathbf{h}) \frac{\exp(-jkr)}{r} \left[ \left( jk + \frac{1}{r} \right) \cos(n, r) + jk \cos(n, s) \right] d\mathbf{x} d\mathbf{h} \quad (1)$$

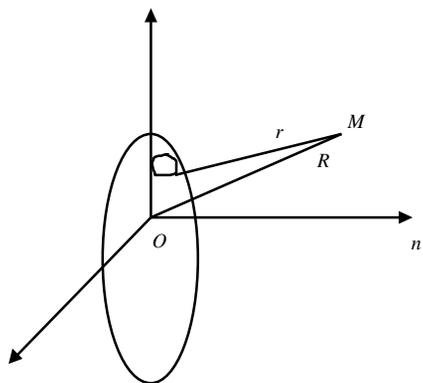


图1 口径面图

式中  $G(\mathbf{x}, \mathbf{h})$  为口径面上的场的分布,  $(n, r)$  为口径面的法向与  $r$  的夹角,  $(n, s)$  为口径面法向与口径面上的入射场的夹角,  $k$  为波数。口径面图如图1所示, 在计算远区场时, 假设: 1) 括号内的  $1/r$  项, 与  $jk$  项相比较可以忽略不计。2)  $\cos(n, s) = 1$ , 入射场的方向与口径面的法向夹角为零。3)  $G(\mathbf{x}, \mathbf{h})$  已知。4)  $1/r \approx 1/R$ 。

于是可以利用口径场积分公式算出远区场。但是, 要考虑近场问题时, 假设中的1) 就不能成立, 因为  $r$  很小时,  $1/r$  与  $jk$  相比是不可忽略的。

### 1.1 对口径场积分公式的近似处理

把口径面分为若干个足够小的面元, 把口径面天线辐射近区中  $M$  点看作是处在每一个小面元的辐射远区中。同时, 由于面元足够小,  $G(\mathbf{x}, \mathbf{h})$  在这个小面元上可以看作是一个常数, 得到<sup>[3]</sup>:

$$E_n(M) = \frac{1}{4\pi} G(\mathbf{x}_n, \mathbf{h}_n) \int_{A_n} \frac{\exp(-jkR_n)}{R_n} \left[ \left( jk + \frac{1}{R_n} \right) \cos(n, R_n) + jk \cos(n, s) \right] d\mathbf{x}_n d\mathbf{h}_n \quad (2)$$

式中  $E_n(M)$  为第  $n$  个面元在  $M$  点产生的场强。在式(2)中, 没有用  $r_n$ , 而用了  $R_n$ , 这是因为面元足够小, 可以用面元中心到  $M$  点的距离来代替面元上各点到  $M$  点的距离。对式(2)作进一步简化, 假设  $\cos(n, s) = 1$ 。由积分的有关知识可以知道, 当积分区域足够小时, 用求和来代替积分可以提高计算速度。于是  $M$  点的场强可以用这  $n$  个面元的场进行叠加, 由此得到计算辐射近区内一点  $M$  的场强的表达式为:

$$E(M) = \frac{1}{4\pi} \sum_n G(\mathbf{x}_n, \mathbf{h}_n) \frac{\exp(-jkR_n)}{R_n} \left[ \left( jk + \frac{1}{R_n} \right) \cos(n, R_n) + jk \right] A_n \quad (3)$$

式中  $A_n$  为第  $n$  个面元的面积。

### 1.2 几何绕射公式

应用几何绕射公式可以计算天线的近区和远区场。在圆形口径面天线辐射近区场的诸多计算公式中, 通过比较分析, 采用下面的计算公式<sup>[4-6]</sup>:

$$E_{\text{GTD}} = \begin{cases} \exp(-jkz) \\ 0 \end{cases} + \sqrt{\frac{a}{\pi r}} \exp\left(-j\frac{\pi}{4}\right) \left[ \exp(-jkR_2) F\left(\sqrt{kR_2(1-\sin(\mathbf{q}_2))}\right) \mp j \exp(-jkR_1) F\left(\sqrt{kR_1(1-\sin(\mathbf{q}_1))}\right) \right] \quad (4)$$

式中 函数  $F(\cdot)$  是菲涅耳(Fresnel)函数, 它的具体形式为:

$$F(x) = \exp(jx^2) \int_x^\infty \exp(-jt^2) dt$$

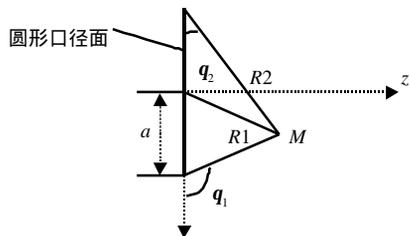


图2 应用几何绕射时口径面剖面图

式中  $a$  为口径面的最大尺寸。当  $r < a$  时, 大括号内取上面的项, 相应的  $\mp$  符号中取  $-$  号,  $r > a$  时则相反。应用几何绕射时口径面剖面图如图2所示, 图中  $r, \mathbf{q}, z$  是以口径面中心为坐标原点的柱坐标系。在应用几何绕射公式时, 假设口径面上的场是均匀分布的, 式(2)中的  $G(\mathbf{x}_n, \mathbf{h}_n)$  等于1。

在几何绕射公式中出现的Fresnel函数, 如果直接积分较困难, 可以采用它的近似表达式来代替Fresnel积分。有关Fresnel积分的近似表达式列出其中的一种:

表达式列出其中的一种:

$$F(x) = \begin{cases} C \times \left\{ \frac{1}{2} + A_1 x + A_2 x^2 + A_3 x^3 \right\} & 0 \leq x < 0.25 \\ C \times \left\{ B_0 + \frac{B_1}{x - C_1} + \frac{B_2}{x - C_2} + \frac{B_3}{x - C_3} \right\} & 0.25 \leq x < 4.00 \\ C \times \left\{ \frac{1-j}{2\sqrt{p}} \left[ \frac{1}{\sqrt{2x}} + j \left( \frac{1}{\sqrt{2x}} \right)^3 - 3 \left( \frac{1}{\sqrt{2x}} \right)^3 \right] \right\} & 4.00 \leq x < \infty \end{cases}$$

式中

$$\begin{aligned} A_1 &= -0.396\ 757\ 5 - j0.399\ 240\ 0; & B_0 &= -0.000\ 343\ 359\ 1 + j0.000\ 188\ 866\ 6; & C &= \sqrt{\pi} \exp(-j\pi/4) \\ A_2 &= -0.020\ 442\ 0 + j0.502\ 288\ 5; & B_1 &= 0.448\ 172\ 2 - j0.448\ 462\ 1; & C_1 &= -0.827\ 186\ 7 + j0.827\ 713\ 6 \\ A_3 &= 0.260\ 568\ 5 - j0.265\ 355\ 1; & B_2 &= -0.221\ 412\ 1 + j0.022\ 495\ 2; & C_2 &= -0.063\ 993\ 8 + j1.554\ 088\ 0 \\ & & B_3 &= -0.023\ 426\ 2 + j0.221\ 269\ 7; & C_3 &= -1.553\ 869\ 0 + j0.063\ 805\ 3 \end{aligned}$$

最大误差为  $5 \times 10^{-4}$ 。

## 2 计算结果

对直径为10个波长( $2a=10l$ )的圆形口径面天线进行计算。在天线的焦散区和轴向采用式(3)进行计算,其余的区域用GTD方法,用式(4)。最后所得到的结果如图3~5所示。

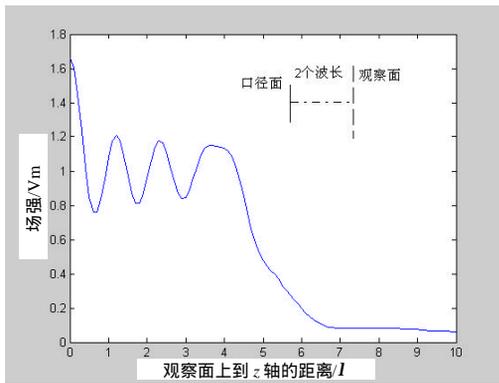


图3 辐射近区的场强分布( $2a=10l, z=2l$ )

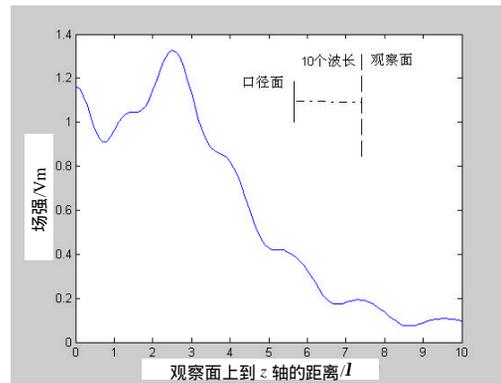


图4 辐射近区的场强分布( $2a=10l, z=10l$ )

图中的纵坐标是用场强表示,而不用dB,是因为在计算天线辐射近区场时,一般有关文献都是给出场强的值,本文为了方便和其他文献中的结果对比,所以也采用这种表示方法。该天线的口径面的直径都是10个波长,这只是计算时随机取的数值,它还可以计算更大口径的天线(100l以上)。

根据天线的知识,在辐射近区内,天线的方向图与距离有关,在图中直观的反映出来,和远场辐射特性是不相同的。

## 3 结束语

通过口径面积分公式的近似和几何绕射的方法结合,不但可以得到口径面天线完整的辐射近区内的方向图,还可以提高计算速度。只要结合相应的几何绕射公式,该方法不仅可以计算圆形口径的天线近区场,还可以计算其他形状口径天线的近区场。

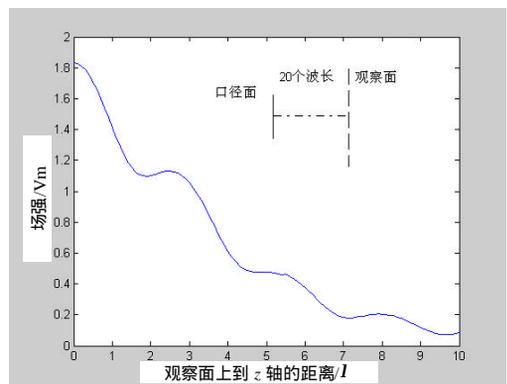


图5 辐射近区场强分布( $2a=10l, z=20l$ )

(下转第52页)

时,  $\lg 10(P_m)$  与  $P_b, g$  的关系曲线。比较图4、5可看出, 随着误码率的减少相关码的虚警概率也减少, 而捕获概率增大。在同一误码率的情况下, 门限  $g$  值越高, 虚警概率越小, 但捕获概率也随之减小, 因此门限值最佳值的确定应兼顾虚警概率和捕获概率<sup>[5]</sup>。当  $G=64$  时, 实际中系统同步的相关码门限可定在50~55之间。

## 6 结 论

以上同步方案用于实际的高速跳频电台中, 经验证, 同步时间短, 捕获概率高, 虚警概率低, 同步可靠。同步性能完全满足高速电台指标要求。

### 参 考 文 献

- [1] Li Weidong, Wang Jing, Yao Yan. Synchronization design of frequency-hopping communication system[R]. Beijing: ICCT'98, 1998, 1-5
- [2] 贴 翊, 鲁远曙, 金永红. 跳频通信同步技术研究[J]. 无线电通信技术, 2001, 27(6): 35-36
- [3] 葛造坤, 李少谦. 快速跳频电台同步系统性能分析[J]. 电子科技大学学报, 1996, 25(9): 334-338
- [4] 曾兴雯, 刘乃安. 通信中的扩展频谱技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995
- [5] 唐 巍, 田日才, 张乃通. 一种跳频同步捕获方案的性能分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1999, 31(2): 46-51

编 辑 孙晓丹

(上接第21页)

### 参 考 文 献

- [1] 张德奇. 微波天线[M]. 北京: 国防工业出版社, 1987
- [2] 汪茂光. 几何绕射理论[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985
- [3] Rudduck R C, Wu D C. Near-field analysis by the plane-wave spectrum approach [J]. IEEE Trans, AP, 1973, 21(2): 231-234
- [4] Kouyoumjian R G, Pathak P H. A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfect conducting screen[J]. Proc. IEEE, 1974, 62(11): 1 448-1 461
- [5] James G L, Kerdemelidis V. Reflector antenna radiation pattern analysis by equivalent edge currents[J]. IEEE Trans, AP, 1973, 21(1): 19-24
- [6] Rudduck R C, Chen Chin Long J. New plane wave spectrum formulations for the near-fields of circular and strip apertures[J]. IEEE Trans, AP, 1976, 24(4): 438-449

编 辑 漆 蓉