

文章编号: 1672-2892(2012)01-0060-05

不同参数超宽带反射面天线系统辐射特性

黎 佳^{1,2}, 周海京²

(1.中国工程物理研究院 研究生部, 北京 100088; 2.北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100088)

摘 要: 在超宽带反射面天线设计中, 首要问题是馈电天线的方向图与反射器匹配。以往在频域上对反射面天线的研究发现, 当馈源天线方向图给出约-11 dB 的边缘照射时, 反射面天线可实现其最佳性能。在参数化模拟了作为馈源的透射电子显微镜(TEM)喇叭天线方向图特性的基础上, 根据反射面天线的频域设计准则, 相应地加入合适的超宽带反射面天线, 对其远场辐射特性进行模拟计算。为了获得尽可能大的远场辐射场, 采用计算机仿真技术(CST)数值模拟软件, 在 0 GHz~1 GHz 频率范围内模拟了以不同参数 TEM 喇叭天线作馈源的超宽带反射面天线的远场辐射特性, 并在时域上对其结果进行分析。模拟结果表明, 由于其相位中心的不确定性, 作为馈源的 TEM 喇叭天线无法与反射面天线完全匹配, 其沿着反射面天线主轴移动时产生的反射面口径场相位和幅度的变化影响着远场辐射场的变化, TEM 喇叭天线的遮挡效应也不容忽视。

关键词: 时域; 超宽带; 匹配; 透射电子显微镜喇叭; 反射面天线

中图分类号: TN822⁺.8

文献标识码: A

The radiated characteristics of UWB reflector antenna with different parameters

LI Jia^{1,2}, ZHOU Hai-jing²

(1.The Graduate School of China Academy of Engineering Physics, Beijing 100088, China;

2.Beijing Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China)

Abstract: In the design of the Ultra-wideband(UWB) reflector antenna, the most important problem is the matching between the radiation pattern of feeding antenna and the reflector. A rule in designing the reflector antenna in the frequency domain is that the radiation of the feeding antenna on the edge of the reflector is about -11 dB. The radiation patterns of Transmission Electron Microscopy(TEM) horn are simulated in different parameters, then some proper UWB reflector antennas are added and simulated to obtain higher amplitude of the far-field radiation by Computer Simulation Technology(CST) in 0 GHz-1 GHz. In the end, the simulation results are analyzed in the time domain. It is concluded that the radiation pattern of the TEM horn cannot match up with the reflector as the phase center of the TEM horn is uncertain, and when the TEM horn moves along the central axis, the field of the reflector surface changes, which leads to the change of the far-field radiation. At the same time, the effect of the shade of TEM horn should not be neglected.

Key words: time domain; Ultra-wideband; match; Transmission Electron Microscopy horn; reflector antenna

电磁脉冲辐射天线^[1-3](Impulse Radiating Antenna, IRA)已成为国内外高功率超宽带电磁脉冲辐射系统中应用最广的天线形式, 从某种角度上说, 其实际上是 TEM 喇叭天线和反射面天线的综合体。然而超宽带反射面天线系统的性能局限主要由馈源负责, 之前在频域上对反射面天线的研究表明, 综合对口径场分布情况及反射面截获效率的考虑, 馈源的边缘照射电平加上空间衰减降低 11 dB 时^[4], 反射面天线系统辐射性能最佳。为此本文在模拟了一系列不同几何参数的透射电子显微镜(TEM)喇叭天线方向图的基础上, 依据上述准则, 添加合适的反射面, 然后在时域上对其进行模拟研究。作为时域天线的 TEM 喇叭天线, 传统天线的描述方式对其已不再适用, 目前世界上对其的研究宽泛而缺乏统一的认识, 本文主要是依据其时域方向图特性设计反射面天线, 并对馈源相对反射面焦点不同位置进行模拟分析。

收稿日期: 2011-03-01; 修回日期: 2011-03-15

1 基本理论

抛物面的几何结构见图 1，其主要参数有焦距 f (顶点 O 到焦点 F 的距离) 和反射面口径 D 。由抛物面的几何特性可知，由焦点发出的射线经抛物面反射后到达过焦平面的总长度相等，并且反射线与抛物面的对称轴平行，所以相位中心位于反射面焦点处的馈源发出的球面波经抛物面反射后，在口径上形成平面波前，口径上的场处处同相，并且反射面天线的频域设计准则为馈源方向图在反射面边缘照射约 -11 dB 时天线性能最佳。IRA 能够形成尖锐的辐射波束，获得很高的增益，其原因在于辐射信号的高频分量经抛物面的反射而能量聚焦于前向窄波束中；与此同时，低频分量通过馈臂形成的组合振子保证了天线的单向辐射，因而实现了最大可能的能量集中^[5]。

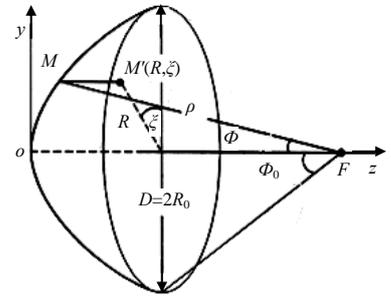


Fig.1 The IRA geometry and coordinate system
图 1 抛物面几何结构

2 实验结果与讨论

在此之前已经参数化模拟了一系列 TEM 喇叭天线的方向图特性^[6]。TEM 喇叭几何结构见图 2，模拟结果表明，TEM 喇叭天线的远场辐射能量主要集中在主轴上，天线方向图特性与天线参数有很大关系。具体表现在方向性、增益、主瓣宽度及能量集中性与极板水平投影长度 R 、口面宽度 A 和高度 B 的关系上。 R 的增大有助于天线增益的增强及能量的集中，但是当其增大到一定量的时候，继续增大所带来的效果不再明显。由于天线几何结构特性导致 A 和 B 的变化对天线性能的影响有相似性，它们都存在各自的最佳值 (A 取 $1\ 020$ mm, B 取 760 mm 左右时)，使得天线能够表现出最佳状态。

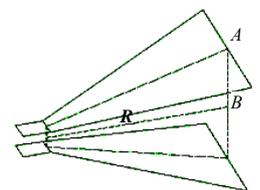


Fig.2 Structure of TEM horn
图 2 TEM 喇叭模型图

在上述研究的基础上加入了抛物面反射天线，然后利用 CST 软件进行模拟计算，见图 3。首先通过上述研究中产生的 TEM 喇叭天线 E 面、 H 面方向图确定 -11 dB 点，计算出图 1 中偏离主轴的夹角 ϕ_0 ，接着通过 ϕ_0 确定反射面天线的口径 D 。当馈源相位中心处于反射面焦点位置时，反射面天线远场辐射性能最好，但是相位中心为频域概念，在时域上无法确定，在此对反射面天线主轴远场辐射的研究过程中，主要采取的是将馈源在主轴上进行来回移动，然后模拟对比。

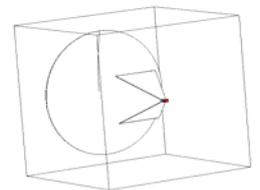


Fig.3 Model of the IRA in CST
图 3 反射面天线

2.1 平板传输线与极板交界面位于焦点处时

同 TEM 喇叭天线的研究方法一样，在此也是固定 A, B 和 R 中的 2 个参数，只改变另 1 个参数，然后进行模拟计算。图 4 为 A 取 480 mm, B 取 520 mm, R 取 480 mm 时，激励信号、TEM 喇叭主轴远场辐射波形及反射面天线远场辐射波形图。由图 4 可明显看出信号的能量通过 TEM 喇叭和反射面天线得到了逐步集中，峰值场也有明显的提升。

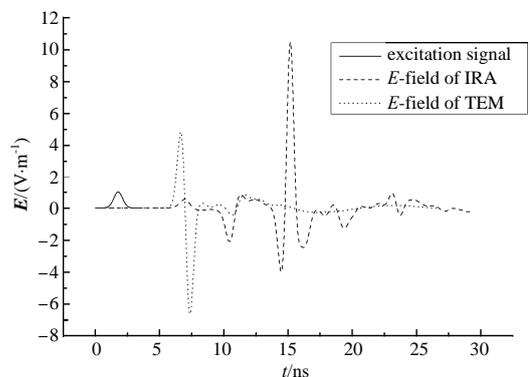


Fig.4 Plot of the excitation waveform and radiation field of IRA and TEM
图 4 信号波形及辐射波形图

当平板传输线与极板交界面位于焦点处时，反射面天线 E 面、 H 面时域方向图随 TEM 喇叭天线极板 A, B 和 R 的变化关系见图 5 和图 6。由图看出，反射面天线远场辐射最大值随 A, B 和 R 的变化规律已不同于单个的 TEM 喇叭天线的辐射随 A, B 和 R 的变化规律。当反射面天线的远场辐射值达到最大时， A, B 和 R 值分别为 680 mm, 520 mm 和 600 mm。当 A 和 B 变化时，天线始终保持主轴辐射场值最大，但 R 变化时，情况有所不同，随着 R 的增大，天线 E 面方向图最大值不再是主轴方向。导致如此变化的原因，主要是当 TEM 喇叭天线尺寸变大时，TEM 喇叭天线对反射面天线的遮挡效应越来越明显，并且由于 TEM 喇叭为上下开口，所以对 E 面方向遮挡更为严重。同时还可看到， H 面方向图

明显比 E 面方向图主瓣宽度窄,这主要是因为 TEM 喇叭天线的 H 面方向图比 E 面方向图主瓣宽,在设计反射面时,图 1 中角 Φ_0 的取值是根据 E 面方向图来设置,这样反射面口径场在 H 面上幅度分布更均匀,远场辐射能量更集中。

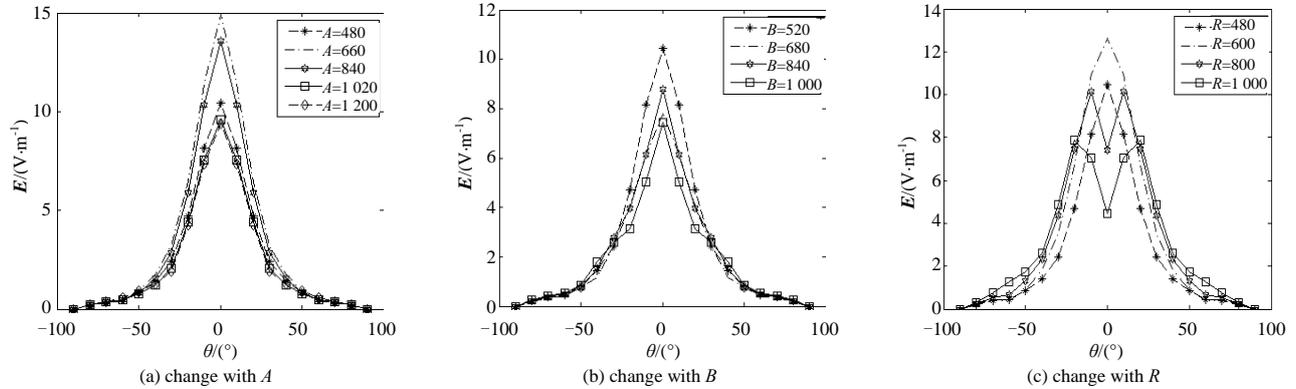


Fig.5 Plot of the radiated pattern in the vertical E -plane for the IRA in time domain when the plane of the transmission line and plate lie in the focus of the reflector

图 5 平板传输线与极板交界面位于焦点处时 E 面时域方向图

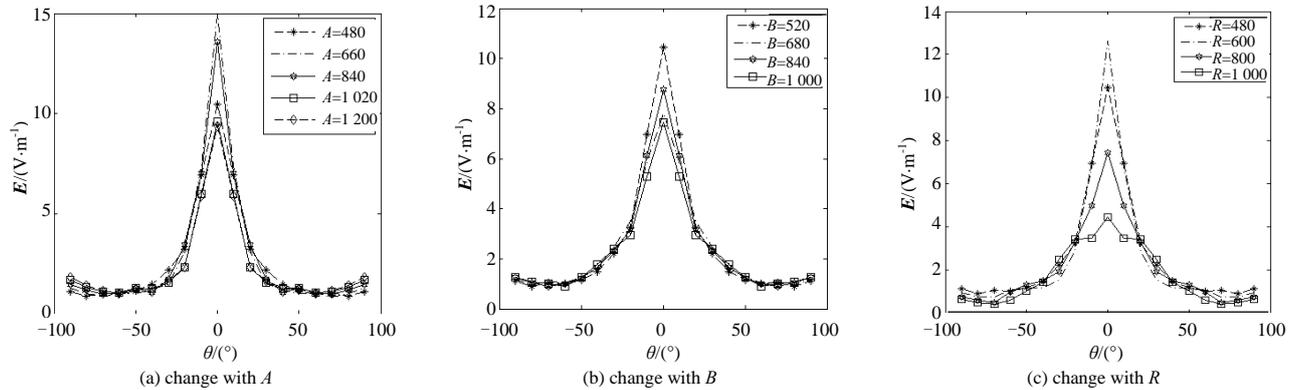


Fig.6 Plot of the radiated pattern in the vertical H -plane for the IRA in time domain when the plane of the transmission line and plate lie in the focus of the reflector

图 6 平板传输线与极板交界面位于焦点处时 H 面时域方向图

2.2 喇叭口面位于焦点处时

当喇叭口面放置在反射面天线焦点处时,反射面天线 E 面和 H 面时域方向图随 TEM 喇叭天线极板水平投影长度 R 、口面宽度 A 和高度 B 的变化关系见图 7 和图 8,由图可以看出,反射面天线远场辐射最大值随 A, B 和 R 的变化趋势与 2.1 节中讨论的结果相同,唯一的区别是随 R 变化的 E 面方向图始终保持着轴向场最大。

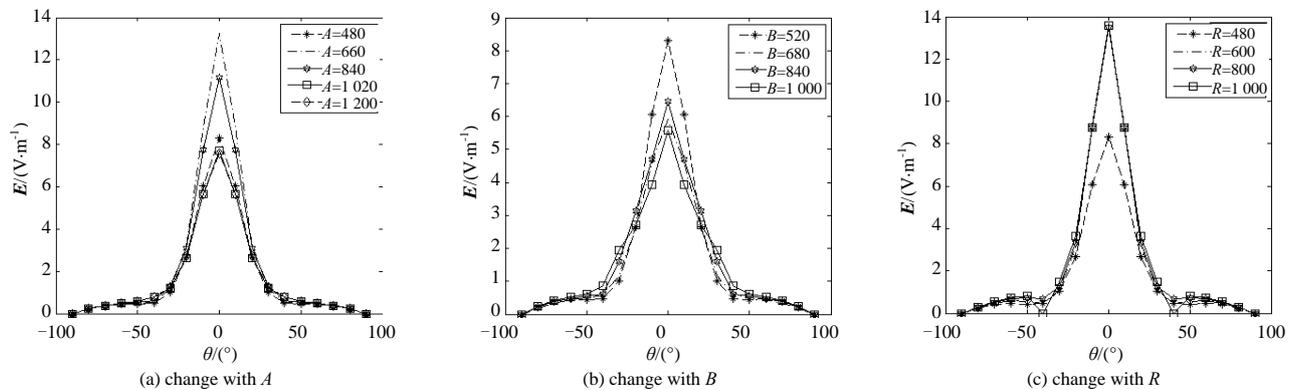


Fig.7 Plot of the radiated pattern in the vertical E -plane for the IRA in time domain when the aperture of the TEM horn lies in the focus of the reflector

图 7 喇叭口面位于焦点处时 E 面时域方向图

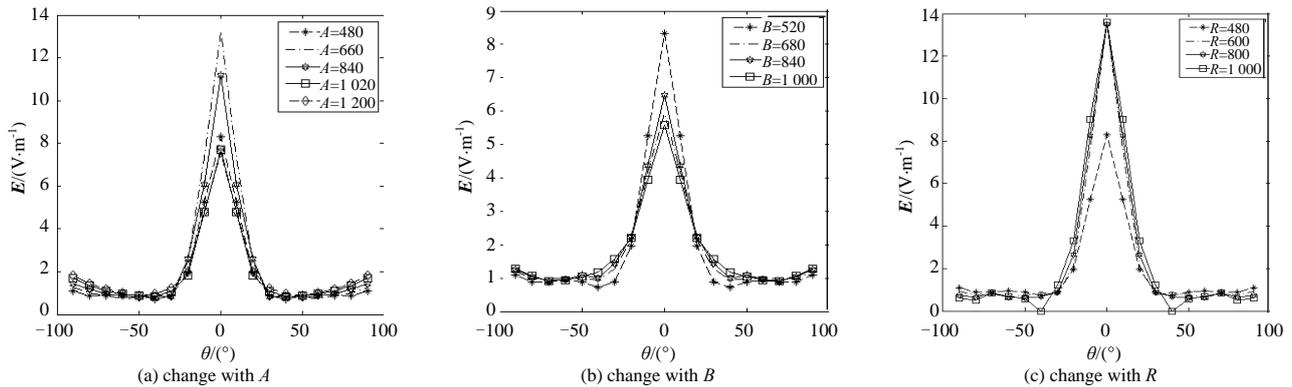


Fig.8 Plot of the radiated pattern in the vertical H -plane for the IRA in time domain when the aperture of the TEM horn lies in the focus of the reflector
图 8 喇叭口面位于焦点处时 H 面时域方向图

与 2.1 节相比，此时的 TEM 喇叭天线远离了反射面天线，天线的遮挡效应有所减小，但是对比平板传输线与极板交界面位于焦点处时的情况来看，当喇叭口面位于焦点处时，远场辐射场值普遍下降，究其原因是在此时的 TEM 喇叭相位中心偏离焦点比较远，导致反射面口径场相位分布不均匀，因此主轴辐射场值变小。

2.3 喇叭馈电端口位于焦点时

将 TEM 喇叭天线的馈电端口放置在焦点处，模拟结果与上述 2 种情况类似。图 9 为反射面天线主轴远场辐射值分别随 A, B 和 R 的变化情况，其中 data1,2,3 依次与上述 3 种情况对应，从图中可以看出喇叭馈电端口位于焦点时的遮挡效应更加明显。

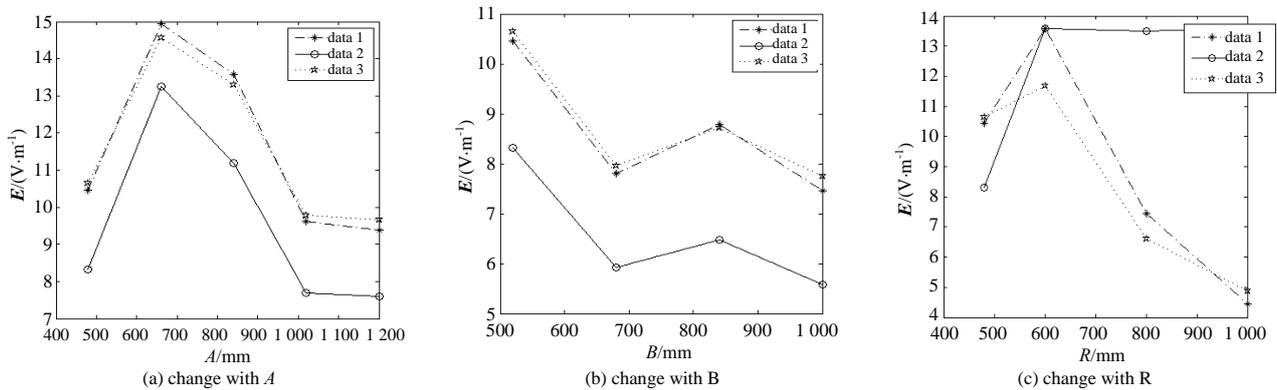


Fig.9 Variety of the far-field radiation
图 9 主轴远场辐射值的变化

与此同时，还对天线频域方向图进行观察，发现天线在高频时远场辐射值明显高于低频时，这是由于喇叭天线本身对低频反射较大，一般可以通过添加馈臂，形成组合振子天线对其进行改善。

3 结论

作为超宽带反射面天线馈源的 TEM 喇叭天线，由于自身不存在确定的点相位中心，当它给反射面天线馈电时，无法达到完全匹配。当 TEM 喇叭天线沿着反射面天线主轴移动时，会造成反射面口径场相位幅度变化，从而导致主轴远场辐射场的变化规律不再遵循单个 TEM 喇叭天线所表现的远场辐射值随自身几何参数的变化规律。同时，TEM 喇叭结构参数变化时引起不同程度的遮挡效应也对反射面天线远场辐射有所影响。本文是在频域设计准则上对反射面进行的设计分析，其他情况下超宽带反射面天线的辐射特性还需进一步的研究。

参考文献：

[1] Baum C E, Farr E G. Impulse radiating antennas[C]// Ultra-Wideband, Short Pulse Electromagnetics. New York: Plenum, 1993:139-147.
[2] Farr E G, Baum C E, Buchenauer C J. Impulse radiating antennas, Part II[C]// Ultra-Wideband, Short Pulse Electromagnetics 2. New York: Plenum, 1995:159-170.