

无线测试工程师知识点分享：射频与通信基于旋转体矩量法的高性能微波传输天线分析与设计

产品名称	无线测试工程师知识点分享：射频与通信基于旋转体矩量法的高性能微波传输天线分析与设计
公司名称	深圳市实测通技术服务有限公司
价格	.00/件
规格参数	测试周期:5-7天 寄样地址:深圳宝安 价格费用:电话详谈
公司地址	深圳市罗湖区翠竹街道翠宁社区太宁路145号二单元705
联系电话	17324413130 17324413130

产品详情

随着人们对无线通信品质的需求越来越高，多层次的通信系统逐步建立起来。为了使各系统或子系统能够紧密结合起来，稳定高速率的数据传输系统是很有必要的。以毫米波天线为基础的微波传输系统由于其成本较低，易于施工等特点受到人们的青睐。该系统要求毫米波天线满足严格的方向图包络和良好的交叉极化分辨率，一直以来成为天线设计的热点问题之一。反射面天线的设计方法基本上是几何光学和物理光学等高频近似方法。对于电大尺寸的反射面天线，用这种方法分析计算是合理的。对于口径较小，馈源结构比较复杂的反射面天线，高频方法显然不适合应用。文献[1]在馈源上采用低频方法，如矩量法、FDTD等，在反射面天线上则采用高频方法，计算在较小的主瓣附近区域内的方向图，得到比较合理的结果，但是由于没有考虑到馈源系统与主反射面互耦等效应的影响，对于大角度区域，其结果往往和测量结果差别很大。微波传输系统要求的微波传输天线，经常是口径小，焦距比短的毫米波反射面天线，且在全空间满足一定的方向图包络要求。由于这类天线不能满足高频方法要求的电大尺寸条件，且要求分析方法能对天线的远副瓣和背瓣精确的求解，故而高频近似方法不能用于该类问题的求解。目前，采用矩量法分析电大尺寸和复杂结构的研究是计算电磁学的热点问题，特别是文献[6]采用综合函数法与矩量法相结合，把复杂结构分为几块，对每块进行依次求解，虽然使矩量法不能求解的问题得到解决，但求解时间仍然很长。

本文采用矩量法，充分利用轴对称反射面天线的几何结构这一特性，采用旋转体矩量法(BOR MoM)进行求解，使三维问题转化为二维问题。目前，采用旋转体矩量法设计小口径反射面天线得到了重视。文献[8]采用旋转体矩量法设计了小口径微波天线，设计频率为5 GHz，理论结果和实验结果吻合的很好。本文把旋转体矩量法应用到毫米波天线上，这在以往文献上还比较少。实验证明，这种方法能够有效分析具有轴对称结构的反射面天线，解决了高性能微波传输天线的分析设计问题。

1 旋转体矩量法(BoR MoM) 所谓旋转体，是由母线绕旋转轴旋转一周得到的物体，其结构参数如图1所示。其中， r ， θ 和 z 为柱坐标的3个分量； t 为母线的长度； t_i 分别是 S 上任一点沿 t 和 θ 增加的方向； $n = \mathbf{t} \times \mathbf{z}$ ； v 为 t 和 z 轴的夹角。对于散射或辐射问题，经常转化为计算电磁场的边值问题，采用电场积分方

程或磁场积分方程。本文在推导矩阵方程的时候采用的是电场积分方程。对于良导体，边界条件为：

式中： $E_{tan inc}$ 是入射电场的切向分量； $E_{tan s}$ 为散射电场的切向分量； J 为良导体上的感应电流。令 L 算子为：由于所求解的物体为轴旋转体，则求解电流在 ϕ 方向是以 2π 为周期的周期函数，则用基函数 $t'f_i(t')$ 和 $'g_i(t')$ 展开，可以表示为：

采用伽略金方法，所用与基函数相同的检验函数， $W_{m1} = t'f_i(t) e^{jm}$ ， $W_{m1} = g_i(\phi) e^{jm}$ ，对式(6)两边和检验函数求内积，得：
由于傅里叶级数的正交性，只有 $m=n$ 时，式(7)的内积不为零。式(7)扩展成矩阵的形式则为：

即：根据矩阵方程的线性性质，由于 W_n 和 J 都具有 t 和 ϕ 两个分量，进行进一步的推导，得：

反射面天线一般由馈源和主反射面组成，对于轴对称结构的反射面天线，是指主反射面和馈源都具有对称结构，这类天线在实际应用中非常广泛，该类天线的母线如图2(a)所示。采用分域基函数：

对于辐射和散射问题，其区别仅仅存在于激励项，而阻抗矩阵并不会发生变化。下面求解辐射情况下的激励矩阵。为了求解反射面天线的辐射问题，在馈源内放置于 $(0, 0, z_0)$ 上一沿 x 轴方向的电流元， $J_i = x \delta(x) \delta(y) \delta(z - z_0)$ ，则对于激励元素：式中： E_i 为电流源 J_i 辐射的电场，积分区域为整个环性区域，根据互易定律：式中： E_{it} 为 t 处辐射的电场，积分区域为电流源所在的位置，即 $V_{it} = x \cdot E_{it}(0, 0, z_0)$ 。同理，对于激励元素 $V_{it} = x E_{it}(0, 0, z_0)$ ，这样就完成了矩量法的矩阵填充。通过求解矩阵方程，电流后天线的远区方向图很容易得到。

2 高性能微波传输天线的分析与设计 在点对点微波传输系统中，为了降低系统之间的相互干扰，要求的传输天线具有严格的方向图包络和良好的交叉极化分辨率。为了得到这一特性，必须解决两个关键问题，一是馈源的设计，二是主反射面的形状。在设计馈源时，本文采用的是具有四个扼流槽的平面波纹喇叭天线。应用于 $17.7 \sim 19.7$ GHz的微波传输系统中的馈源结构参数如图2(b)所示。

分析馈源时采用旋转体矩量法，激励采用电流元激励，沿 x 放置在馈源内部，分析的结果如图3所示。

从图3可以看出，馈源具有旋转对称的方向图，低交叉极化特性。在计算相位方向图时，坐标轴是放在了馈源口径面的中心位置，由图3可看出，馈源的相位方向图在很宽的角度上都很平坦，这说明馈源具有稳定的相位中心。

经常采用在普通的反射面天线上增加围边的方法，天线的参数为主反射面焦距，即 $f=126$ mm，焦径比 $f/d_{ratio}=0.42$ ，围边长度为 $h=195$ mm。考虑到馈源和主反射面之间的互耦，本文在计算反射面方向图时，采用旋转体矩量法，把馈源和主反射面看成一个整体。图2(b)给出了馈源和反射面的截面结构示意图，馈源的结构参数与图2(a)给出的相同。激励同样采用电流元激励，沿 x 放置在馈源内部工作频率为 $f=18.7$ GHz。图4给出了测试的方向图和采用旋转体矩量法得到的方向图，两者较好的吻合，达到了工程应用的精度。测量和计算结构的差别，主要是计算过程中馈源支撑结构未考虑进去，因为考虑了馈源支撑结构，就不能再应用旋转体矩量法了；另外，因为测试的频率较高，并采用远场测试的方法，测试中难免会有误差。

由图4可以看出，除了后瓣以外，天线的方向图在角域上满足了ETSI Class3的方向图包络的要求。为了降低天线的后瓣，一般的方法是在围边的周围加一层吸波材料。图5给出了加吸波材料的方向图。从图5可以看出，天线很好地达到了ETSI Class3的方向图包络要求。

3 结语 本文采用旋转体矩量法解决了在高频近似方法不适用的情况下毫米波反射面天线

的分析问题。由于采用了矩量法分析该问题，把馈源和反射面作为一体，考虑了两者的耦合，使分析结果更加准确。通过理论分析和实验，设计的口径为0.3 m天线在整个角域上满足了特定的方向图包络，达到了ETSI Class 3的高性能标准，为小口径高性能微波传输天线的设计提供了新的设计分析方法。