

赋形双偏置天线口面场分布函数研究

孙滢翔, 杜彪, 吴建明

(中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

摘要: 针对目前关于双偏置反射面天线的无遮挡形式口面场分布函数的研究较少的情况, 研究了赋形双偏置天线的几何参数变化对口面场分布的影响, 进而深入分析了口面场分布对辐射方向图的影响。针对平方公里阵天线(Square Kilometer Array, SKA)高效率低旁瓣的要求, 提出了一种改进型余弦口面场分布函数。计算结果表明, 天线第一旁瓣电平低于-20 dB, 天线效率高于85%。

关键词: 口面场分布函数; 高效率; 低旁瓣; 赋形; 双偏置反射面天线

中图分类号: TN82 文献标识码: A 文章编号: 1003-3114(2012)05-47-3

Study of Aperture Field Distribution Function for Shaped Dual-offset Antenna

SUN Ying-xiang, DU Biao, WU Jian-ming

(The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: As there are few researches on non-block aperture field distribution functions of the dual-offset reflector antennas, this paper studies the effect of geometric parameters on aperture field distribution and aperture field distribution on radiation pattern. According to the requirement of high efficiency and low side-lobe level of the Square Kilometer Array, this paper proposes a kind of improved cosine aperture field distribution function. The calculating results indicate that the first side-lobe level is less than -20dB, and the efficiency is higher than 85%.

Key words: aperture field distribution function; high efficiency; low side-lobe level; shaped; dual-offset reflector antenna

0 引言

口面场分布函数的选择是双反射面天线赋形设计的关键问题之一。大量研究表明, 口面场分布函数对赋形双反射面天线的增益和近轴旁瓣起到决定作用^[1]。

赋形双偏置天线采用了偏置结构, 消除了遮挡, 其辐射性能比圆对称反射面天线更好, 但天线的非对称性结构导致了天线加工成本增高, 限制了该类天线的广泛应用。平方公里阵天线(SKA)^[2]将由约3 300面15 m口径的天线组成, 要求天线的辐射性能优异。巨大的需求量可以使单个天线的加工成本降低, 因此双偏置格里高利天线是一种较为理想的天线形式。

圆对称双反射面天线口面场分布函数的研究已有许多文献和论著介绍^[1, 3, 4], 主要是针对有遮挡

的双反射面天线进行, 而有遮挡的口面场分布函数并不适用于无遮挡双偏置反射面天线的赋形设计, 因此需要对无遮挡形式的口面场分布函数进行深入研究。

1 几何参数变化对口面场分布的影响

文献[5]通过选取馈源方向图和对称面(中截面)口面场分布函数, 对天线主副反射面的对称面曲线进行赋形, 通过构造矢量函数^[6]求得副反射面, 再根据反射定律、等光程条件求得天线主反射面。

下面将固定对称面上的口面场分布, 改变天线的几何参数来研究整个口径面上口面场分布的变化。

对于双偏置反射面天线, 选定主反射面直径 D_M 、副反射面直径 D_s 、主反射面焦距 F_M 、主反射面对副反射面的净距 H 及馈源照射半张角作为初始几何参数, 即可计算出天线的其他几何参数。

文献[5]中选取 $D_M = 15\text{ m}$ 、 $D_s = 2.9\text{ m}$ 、 $F_M = 5.4\text{ m}$ 、 $H = 0.5\text{ m}$ 、 $\theta_m = 55^\circ$ 对天线进行赋形设计, 对

收稿日期: 2012-06-22

作者简介: 孙滢翔(1988—), 男, 在读硕士研究生。主要研究方向: 电磁场与微波技术。杜彪(1962—), 男, 研究员。主要研究方向: 天线与馈源。

称面口面场分布函数为 $F(R) = 1$ 、 $F(R) = e^{-\rho(R/R_m)^2}$ 、 $F(R) = [1 - (V_m R/R_m)^2]^P$ (取 $V_m = 0.85, P = 0.75$)。下面分 2 种情况研究几何参数对整个口面上口面场分布的影响, 第 1 种情况: D_m 不变, 改变其他 4 个参数中的任何一个参数, 其他 3 个参数保持不变, 依次改变 D_s 为 2.8 m 和 3.0 m, F_m 为 5.0 m 和 5.8 m, H 为 0.4 m 和 0.6 m, θ_m 为 50° 和 45°, 采用相同的对称面口面场分布函数对天线进行赋形设计; 第 2 种情况: D_m 不变, 同时将 D_s, F_m, H, θ_m 变为 2.8 m、5.0 m、0.6 m、50°, 采用相同的对称面口面场分布函数对天线进行赋形设计。在上述 2 种情况下, 对整个工作频带内天线整个口面上的口面场分布进行了计算, 由于篇幅限制, 仅给出在 10 GHz 频率, $D_m = 15$ m、 $D_s = 2.8$ m、 $F_m = 5.0$ m、 $H = 0.6$ m、 $\theta_m = 50^\circ$ 、口面场函数为 $F(R) = [1 - (V_m R/R_m)^2]^P$ (取 $V_m = 0.85, P = 0.75$) 时计算得到的口面能量分布结果和选用文献[5]中参数、相同的口面场函数得到的口面能量分布的结果。图 1 给出了上述 2 种几何参数和 2 种方法计算的辐射方向图, 即分别使用 GRASP 9 软件计算天线方向图和口面场积分公式计算旋转对称口面场分布函数所形成的方向图。

结果表明, 不同几何参数的天线其整个口面上的口面场分布、方向图的增益和前几个近轴旁瓣一致, 口面场分布基本为圆对称分布。仅通过选取对称面口面场分布函数, 对天线对称面曲线进行赋形设计, 就可有效控制整个主反射面的口面场分布。因此, 进一步研究天线对称面的口面场分布函数对双偏置反射面天线的赋形设计是十分有意义的。

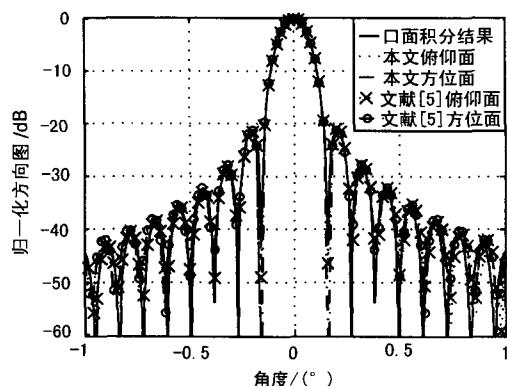


图 1 辐射方向图计算结果对比

2 口面场分布函数的研究

天线辐射方向图获得最大增益的条件是口面上具有等幅同相的场分布, 但此时天线的第一旁瓣也达到最高。天线的增益和旁瓣特性是相互矛盾的, 控制旁瓣的关键就是折中处理增益和旁瓣的关系, 从而使天线既能提供较佳的增益又能提供满足指标要求的旁瓣。这就需要研究口面场分布函数对天线辐射方向图影响, 以便于选择其最优形式。

2.1 等幅余弦口面场分布

等幅余弦口面分布表达式如下:

$$F(r) = \begin{cases} 1 & r \leq \rho \\ \cos \left[\frac{r-\rho}{1-\rho} \arccos \tau \right] & \rho \leq r \leq 1 \end{cases}, \quad (1)$$

式中, $r = R/R_m$ 为归一化半径, τ 为常数。

取 $\tau = 0.2$, 分别取 $\rho = 0.6, \rho = 0.4, \rho = 0.2$, 对应的口面场分布如图 2 所示。

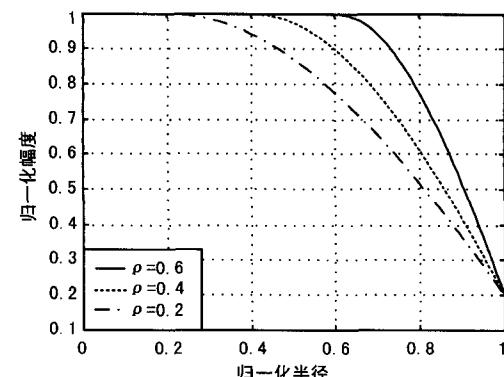


图 2 等幅余弦口面场分布

利用图 2 中的口面场分布函数对天线进行赋形设计, 在 10 GHz 频率计算得到的辐射性能如表 1 所示。

表 1 等幅余弦口面场分布的计算结果

参数 ρ	增益/dB	口面效率/ (%)	第一旁瓣/dB
0.6	63.166 0	84.02	-18.866 0
0.4	63.039 4	81.60	-20.629 4
0.2	62.960 1	80.13	-22.500 1

表 1 中的结果表明, 口面场分布愈不均匀, 口面效率愈低, 旁瓣也愈低。此结论与文献[7]、文献[8]中结论一致。

2.2 其他几种口面场分布

对口面场分布函数进行了深入研究, 其中具有代表意义的哈明口面场分布、幂函数口面场分布、指数口面场分布如图 3 所示。

哈明口面场分布函数使用改造形式 $F(r) = 0.7 + 0.3 \cos(\pi r)$; 幂函数口面场分布 $F(r) = (1-T)(1-r^2)^p + T(1-r^2)^q$, 取 $T=0.7, p=2, q=0$; 指数口面场分布 $F(r) = 1 - a_1 e^{-b_1(1-r)} - a_2 e^{-b_2 r}$, 取 $a_1=0.6, a_2=0.2, b_1=4, b_2=4$ 。

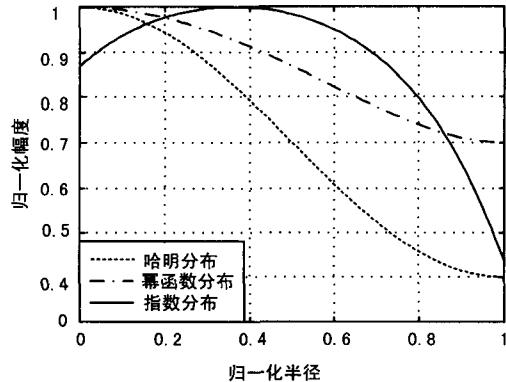


图3 其他几种口面场分布图

利用图3中口面场分布函数对天线进行赋形, 在10 GHz频率计算得到辐射性能如表2所示。

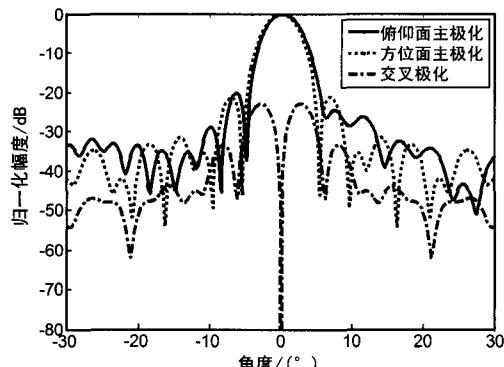
表2 其他几种口面场分布的计算结果

口面场函数	增益/dB	口面效率/(%)	第一旁瓣/dB
哈明分布	63.180 0	84.29	-25.280 0
幂函数分布	63.505 1	90.84	-19.785 1
指数分布	63.403 5	88.74	-18.923 5

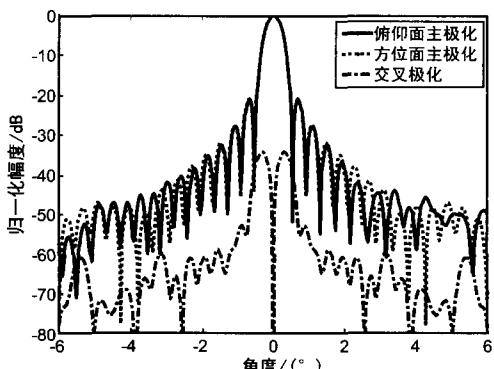
表2中的结果表明哈明口面场分布函数产生的辐射方向图第一旁瓣满足低于-20 dB的要求,但效率偏低;幂函数和指数口面场分布函数产生的辐射方向图第一旁瓣都高于-20 dB。以上口面场函数都不能满足天线高增益和低旁瓣的要求。

2.3 改进型余弦口面场分布

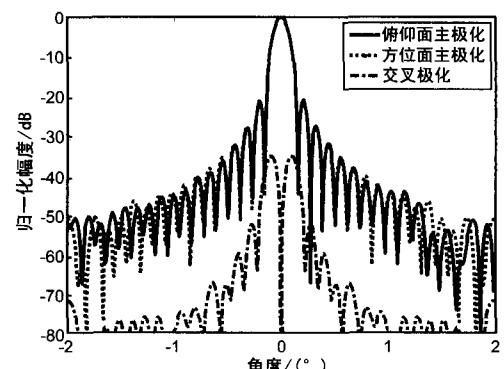
将余弦口面场分布函数改造为: $F(R) = \cos\left(\frac{0.9R\pi}{R_m/2}\right)^{0.5}$, 使用此函数对天线赋形设计可以满足第一旁瓣低于-20 dB的要求,同时又可得到较高的天线增益。其0.3 GHz、3 GHz和10 GHz频率所对应的天线辐射方向图分别如图4(a)、图4(b)、图4(c)所示。由辐射方向图可以看到,天线在0.3 GHz频率时的口面效率、第一旁瓣电平、交叉极化电平分别达到72.35%、-20.26 dB、-23.06 dB;在3 GHz频率时分别达到85.18%、-20.92 dB、-34.13 dB;在10 GHz频率时分别达到87.42%、-20.74 dB、-34.90 dB。在频率为0.3 GHz时,天线的增益相对偏低,这是由于此时副面的电尺寸只有3~4个波长,绕射现象较为严重的缘故。



(a) 0.3 GHz 频率计算结果



(b) 3 GHz 频率计算结果



(c) 10 GHz 频率计算结果

图4 天线辐射方向图

3 结束语

通过利用相同的口面场函数对不同几何参数的天线进行赋形设计,可得到几乎一致的口面场分布,说明仅对天线的对称面曲线进行赋形,再通过构造矢量函数求取整个副反射面,就可有效控制整个主反射面的口面分布,进而获得理想的辐射方向图。

(下转第63页)

```

{ ColNum = dyn. GetRecordCount( );
//如果成功,执行查询
    while( ! odyn. IsEOF( ) )
//循环按条件获取指定列名
    { dyn. GetFieldValue( "列名" ,tmpbuf,101 );
      m_QueryContent[ index ]. colName. Format( "%
s" ,tmpbuf );
      .....
      index + +;
      dyn. MoveNext();
    }
    while( ! dyn. IsEOF() ) //循环按指定
条件对指定的列进行查询并获取结果
    { for( int i = 0 ;i < ColNum ;i + + )
      {
        if( m_QueryContent[ i ]. dataType == " VAR-
CHAR2" || m_QueryContent[ i ]. dataType == " CHAR" || m_QueryContent[ i ]. dataType == " DATE" )
          dyn. GetFieldValue( m_QueryContent[ i ]. col-
Name,tmpbuf,2000 );
        else if( m_QueryContent[ i ]. dataType == " NUMBER" )
        {
          if( m_QueryContent[ i ]. digLen != 0 )
            dyn. GetFieldValue( m_QueryContent[ i ]. colName,&tmpDouble );
          else
            dyn. GetFieldValue( m_QueryContent[ i ]. colName,&tmpLong );
          if( m_QueryContent[ i ]. colDispData != "" )

```

(上接第 49 页)

研究了赋形双偏置格里高利天线口面场分布对辐射方向图的影响,并针对 SKA 的实际需求给出了一种具有高效率、低旁瓣的改进型余弦口面场分布函数,研究的结果可应用于指导双偏置格里高利天线赋形设计。文中的无遮挡形式口面场分布函数亦适用于双偏置卡塞格伦天线。

参 考 文 献

- [1] 杨可忠,杨智友,章日荣.现代面天线新技术[M].北京:人民邮电出版社,1993.
- [2] DEWENEY PETER E, HALL PETER J, SCHILIZZI RICHARD T, et al. The Square Kilometre Array[J]. Proceedings of the IEEE, 2009, 97(8):1482 - 1496.

```

        str = GetDispData( m_QueryContent[ i ]. colD-
ispData,strTmp );
      else  str. Format( "% d" ,tmpLong );
      }
    }
  }
  dyn. MoveNext();
  index + +;
}

```

4 结束语

通过对软件架构技术基本理论和方法的介绍,针对多源信息融合系统工程领域的应用分析,设计了一个基于软件架构体系的多源信息融合系统框架模型,从系统角度对混合多级式多源信息融合系统的构建提出了一种新的设计思路。

参 考 文 献

- [1] 徐正权.软件复用方法与技术[M].武汉:华中理工大学出版社,1998:57-62.
- [2] 耿刚勇,李渊明,仲萃豪.基于构件的应用软件系统的体系结构及其开发模型[J].计算机研究与发展,1998,35(7):594-598.
- [3] 胡钰舒.基于软件重用的信息系统框架研究[D].重庆:重庆大学,2004.
- [4] 韩崇昭,朱洪艳,段战胜.多源信息融合[M].北京:清华大学出版社,2006:13-18.
- [5] 杨露菁,余华.多源信息融合理论与应用[M].北京:北京邮电大学出版社,2006:21-25.
- [6] 何友,王国宏.多传感器信息融合及应用[M].北京:电子工业出版社,2000:57-62.
- [3] 杨可忠,杨智友.口面场分布函数[J].无线电通信技术,1990,16(4):1 - 10.
- [4] 张立军,史振起.高效率低旁瓣天线口面场分布函数研究[J].无线电通信技术,2010,36(4):36 - 38.
- [5] 孙滢翔,杜彪,吴建明.一种双偏置格里高利天线的赋形方法[J].电波科学学报,2011, 26 (增刊): 513 - 516.
- [6] TAKEICHI YASHIMOTO T, MANO S. 卫星通信天线电气和机械设计中的先进技术[M].电子部十四所八部译.南京:电子部十四所八部,1995.
- [7] 林昌禄,聂在平,肖笃,等.天线工程手册[M].北京:电子工业出版社,2002
- [8] 谢处方,邱文杰.天线原理与设计[M].西安:西北电网工程学院出版社,1985.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>