

面天线结构动态误差对指向精度的影响

郑元鹏

(中国电子科技集团公司第54研究所 石家庄 050081)

摘要 对影响系统指向精度的结构因素做了分析, 给出了圆抛物面天线结构动态误差对波束方向影响的计算方法, 完善了系统指向精度的计算方法。以50m口径射电望远镜为例做了计算, 计算结果为望远镜的结构设计提供了指导。

关键词 动态误差 指向精度 结构变形 曲面拟合

1 动态误差

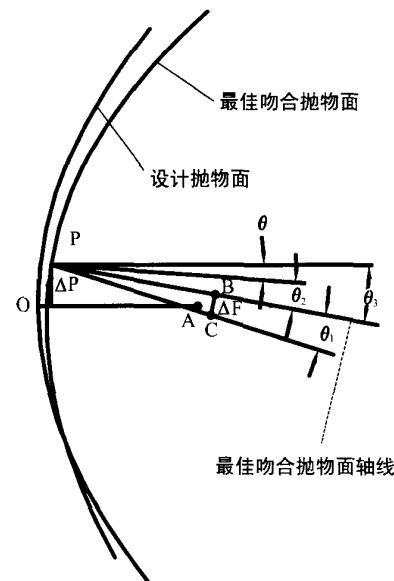
对于跟踪测量雷达、卫星通讯地面站及射电望远镜, 指向精度是系统的一项重要指标, 其定义为输入的指令方向与天线电轴之间的空间角。影响指向精度的因素可以分为伺服误差和结构误差。其中结构误差是指天线结构和天线座结构的综合轴系误差, 又可以分为静态误差和动态误差。静态误差是指结构件制造和安装调整过程中产生的误差, 动态误差是结构在各种载荷作用下变形引起的误差。由于载荷的随机性, 动态误差的分析计算比较复杂。对于小型结构, 动态误差相对静态误差较小, 可在轴系误差分配中, 对动态误差做经验估算, 留出余量。但是对于大型结构或精度要求较高的系统, 必须单独计算动态误差。对于天线结构(包括反射体、馈源及其支撑结构), 动态误差的主要表现是结构在载荷作用下, 反射面变形和馈源位移使电磁波的辐射方向发生改变, 造成电轴与俯仰轴不垂直。对于天线座, 结构变形会引起方位轴线和俯仰轴线的偏移, 影响方位轴的铅垂度和俯仰轴与方位轴的垂直度。可见, 无论是天线结构, 还是天线座结构, 在载荷作用下产生的结构变形都会造成轴系误差的改变, 从而影响系统的指向精度。

2 电轴偏移计算方法

对于主焦抛物面天线结构, 影响天线电轴方向的因素主要有: 反射面形状相对设计曲面的改变和馈源相位中心相对设计焦点的横向偏移。馈源相位中心偏离焦点可按偏移方向分为纵向偏移(偏移方向与抛物面焦轴平行)和横向偏移(偏移方向与抛物面焦轴垂直)。纵向偏移会造成天线增益下降, 旁瓣电平升高, 但由于相心仍在抛物面焦轴上, 反

射线绕焦轴是对称分布的, 因此电磁波的辐射方向不变。对于横向偏移, 最大辐射方向将改变, 从而使天线的电轴与机械轴不重合, 也会引起天线增益的降低。

反射面结构变形后会产生一个新的曲面, 新曲面的形状是任意的。但是, 当反射体结构刚度足够大、变形量较小时, 可以根据反射面上各离散点相对设计抛物面的位移拟和出一个新的抛物面, 使新曲面的



附图 主焦抛物面天线馈源及反射面变化对电轴的影响

表面精度相对这拟合后的新抛物面最佳。我们称这个新抛物面为最佳吻合抛物面。根据最佳吻合抛物面与设计抛物面之间参数的关系, 可以近似计算反射面变形对主波束方向的影响(如附图所示)。

在天线结构设计中, 过分提高结构刚度可能会造成重量的增大。这时, 可采取保型设计, 即允许结构一定量的变形, 但保证变形后的曲面仍近似为一个抛物面。这种从一种类型的曲面变到同类型的另一曲面的变形称为保型变形, 相应的设计称为保型设计。

如附图所示, 在某种工作状态下, 抛物面馈源的相位中心因结构变形由设计抛物面焦点 A 移动至点 C。最佳吻合抛物面的焦点为 B, 焦距为 F 。C 点相对最佳吻合抛物面轴线 PB 的横向偏移 ΔF 产生的偏移角 θ_1 为:

$$\theta_1 = \operatorname{arctg} (\Delta F / F) \quad (1)$$

由 θ_1 引起的波束方向相对轴线 PB 的偏移角为 θ_2 为:

$$\theta_2 = K\theta_1 \quad (2)$$

式中 K 为波束偏移因子, 其值与抛物面的焦径比及口面场分布有关, 可查找相关图表获得。由于轴线 PB 与 OA 的夹角 θ_3 可由最佳吻合抛物面的相关参数获得, 因此, 波束方向相对设计抛物面轴线 OA 的夹角 θ 可以写为:

$$\theta = \theta_3 - K\theta_1 \quad (3)$$

以上计算是针对结构在一个平面内的变形进行的, 实际波束偏移角可通过对结构在二个平面内的变形分别计算后在进行合成后得到。

通过结构力学分析及抛物面拟合, 可以得到 B、C 两点的坐标值 (X_c, Y_c, Z_c) 和 (X_b, Y_b, Z_b) , 从而分别计算出二个平面内的横向偏移 ΔF 如下:

在 X 轴方向:

$$\Delta F_x = \sqrt{(X_c - X_b)^2 + (Z_c - Z_b)^2} \quad (4)$$

在 Y 轴方向:

$$\Delta F_y = \sqrt{(Y_c - Y_b)^2 + (Z_c - Z_b)^2} \quad (5)$$

对于双反射面天线, 影响波束偏转角的因素还包括副反射面的横向位移和绕其顶点的转动。为使问题简化, 在计算时可先分别独立计算各项因素的影响, 再进行代数求和。对于卡氏天线, 波束偏转角 θ 可用下式计算^[1]:

$$\theta = (1 + K) \theta_3 - \frac{K\delta_p}{f} + \frac{K\delta_F}{Mf} + \frac{K(M-1)\delta_s}{Mf} - \frac{2K\theta_4}{f} \quad (6)$$

式中: f 为设计抛物面焦距; H 为副反射面顶点到焦点距离; K 为波束偏移因子; M 为虚焦点横向位移放大因子; θ_3 为最佳吻合抛物面轴线与设计抛物面轴线夹角; θ_4 为副反射面绕顶点转角; δ_p 为最佳吻合抛物面顶点到设计抛物面轴线的距离; δ_F 为馈源相心横向位移; δ_s 为副反射面顶点横向位移。

3 算例

用以上方法对 50 米口径射电望远镜反射体动

态误差对电轴偏移的影响做计算。50 米口径射电望远镜为标准抛物面前馈天线, 工作频段 232 ~ 8400MHz。望远镜承受的外载荷主要包括风载荷、冰雪载荷、温度变化及地震等。根据典型工作状态, 将结构变形分析限定在线性静力条件下, 载荷只计入风载荷、冰雪载荷及自身重力。取 10 种工作状态进行计算, 计算结果如附表所示。

附表 望远镜主焦馈源位移

序号	天线 俯仰角	载 荷	主焦馈源位移(mm)		
			X	Y	Z
1	0°	自重	21.5	1.4	3.5
2	15°	自重	18.4	1.3	5.4
3	30°	自重	14.5	1.2	6.8
4	45°	自重	10.2	1.0	7.6
5	60°	自重	6.0	0.8	7.5
6	75°	自重	1.9	0.6	6.9
7	90°	自重	0.4	0.4	5.3
8	0°	自重 + 17m 风正向	20.4	1.4	4.7
9	0°	自重 + 17m 风背向	22.5	1.3	2.3
10	45°	自重 + 17m 风侧向	10.1	0.7	7.6

附表中, 主焦馈源位移沿 X、Y 轴方向为横向偏移, 沿 Z 轴方向为纵横向偏移。从表中可以看出, 由于结构关于 Xoz 平面对称, 结构自重为主要载荷, 因此馈源的位移在 Y 轴方向较小。

取第 1 种工作状态计算, 拟合后最佳吻合抛物面焦轴偏转角为:

$$\theta_{3x} = 0.021^\circ,$$

$$\theta_{3y} = 0.002^\circ.$$

新焦点坐标为: $(8.6, 0.3, 17503)$, 焦距为 17503.2, 则有:

$$\Delta F_x = 12.91,$$

$$\Delta F_y = 1.21.$$

根据抛物面焦径比 (0.35) 取波束因子 $K = 0.78$, 则 X、Y 方向的波束偏转角为:

$$\theta_x = -0.012^\circ,$$

$$\theta_y = -0.0011^\circ.$$

合成后, 波束偏转角为:

$$\theta = 0.01205^\circ.$$

4 结束语

通过对天线结构变形引起的波束偏移计算, 可

以更加准确地计算系统的指向精度。当实际天线结构的动态误差不能满足指标要求时, 还可以根据计算结果来进行矫正。具体方法可以是移动馈源位置或在跟追程序中做相应数据处理以提高精度。

该计算方法中, 结构力学分析及抛物面拟合是必要条件, 因此, 必须进行大量的数据处理工作。如果能够根据实际的测量结果做修正, 将会使计算准确性得到提高。

(上接第 26 页)

2.6 背板单元

背板单元主要完成交换单元板与各单元板之间的信号连接, 并为各个业务单元提供电源 (直流 -48V), 同时完成时钟的选择以及为每个业务单元插槽分配板号。其中的信号线包括 LVDS、系统复位控制、HDLC-BUS、系统时钟信号, 以及交换单元、中心控制单元主备控制线等。关键技术是要求背板布线阻抗匹配以及合理的背板布局。

2.7 时钟单元

时钟单元主要完成 LSR 的网同步功能。工作方式有外钟、主钟和从钟模式, 可以灵活适应各种网同步的要求。

2.8 电源模块

LSR 采用 AC/DC 和 DC/DC 两次分布式供电模式, 其中 AC/DC 采用主备模式, 均为 175~245V AC 输入, -48V 输出。主备切换为智能方式: 可主备同时供电, 也可单独主模块供电。

3 ATM - LSR 的特点

基于 ATM 实现 MPLS 的 LSR 具有很多优点:

①只要将 MPLS 的标签通过某种方式封装于 ATM 的 VPI/VCI 域中, 就可很容易地使用 ATM 的交换硬件。从实现的角度讲, ATM 的交换硬件已经为 MPLS 在第二层交换部分作了充分的准备;

②ATM 硬件拥有强大的业务管理特性, 可以通过某种软件或硬件与 ATM 控制软件作适当的相关从而使这些特性为 MPLS 所用。例如: ATM 硬件排队调度技术使 ATM 可以提供多种业务。这种方式与 MPLS 的 LDP 协议中的 CoS 域有很好的对应关系。这样 MPLS 就可以很容易地通过 LDP 中的 CoS 域利用 ATM 的排队调度技术实现相应功能。另

参 考 文 献

- 1 叶尚辉, 李在贵. 天线结构设计. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986
- 2 吴凤高. 天线座结构设计. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986
- 3 谢处方, 邱文杰. 天线原理与设计. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986

外在 MPLS 域的边缘也可以使用与 ATM 相同的业务成型 (Traffic Shaping) 和流量管理策略 (Traffic Policing) 来实现排队调度功能;

③ATM - LSR 也要求在同一平台上支持多种业务。因此基于 ATM 实现 MPLS 可以减少用于提供多种业务所需的低层系统的数量, 从而可能在同样的低层系统之上提供原 ATM 支持的业务及 MPLS 特有的业务;

④可以充分利用现有的 ATM 网络设备, 从而保护了原有 ATM 网络设备的投资, 这同时也是 MPLS 的经济优势所在。

使用 MPLS 可以实现从 IP over ATM 到 IP over MPLS over ATM 的简单过渡, 甚至可以说虽然 MPLS 不是专门用于实现 IP over ATM, 但是它是实现 IP over ATM 的理想手段。

正是由于基于 ATM 实现 MPLS 有上述的诸多优点, 所以基于 ATM 实现 MPLS 成为当前 MPLS 研究的重点之一。

4 结语

通过以上的分析, 对 ATM - LSR 的组成和工作原理有了一定的认识, 然而 ATM - LSR 所涉及的技术决非这些。随着对 MPLS 研究的逐渐深入, 以及 MPLS 工作组标准的进一步完善, 对该技术的研究也将更加深入。相信在不远的将来我国的通信骨干网将逐渐是基于 MPLS 技术的网络体制。

参 考 文 献

- 1 Cisco MPLS Controller Software Configuration Guide, April 2000
- 2 石晶林等. MPLS 宽带网络互联技术. 北京: 人民邮电出版社, 2001
- 3 吴江, 赵慧玲. 下一代的 IP 骨干网络技术——多协议标签交换, 2001
- 4 崔丽珍. 基于 ATM 的 MPLS 网络设计. 无线电通信技术, 2001 (2)

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>