

50m 口径天线结构有限元模型的建立方法

冯贞国, 郑元鹏

(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: 给出了 50 m 口径天线结构有限元计算模型的建立过程和方法, 描述了天线结构组成, 通过对结构特征及单元类型的分析, 明确了有限元模型中单元的选取方法和使用原则。提出并比较了箱型梁等腔体结构的 2 种模型建立方法。给出了边界条件的设定方法、载荷的计算方法及计算工况的选取原则, 分析了以上因素对计算结果的影响。考虑到计算工作量, 讨论了将大型复杂模型分块建立再组合计算的可行性。

关键词: 计算模型; 单元; 边界条件; 网格

中图分类号: TN820

文献标识码: A

文章编号: 1003-3114(2008)03-26-2

Establishment Method of a Finite Element Model of 50m Antenna Structure

FENG Zhen-guo, ZHENG Yuan-peng

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

Abstract: In this paper, the establishment method of a finite element model of 50m antenna structure is provided and the composition of antenna structure is described. The principle of finite element type application is given. Two methods to simulate box-beam structure are provided and compared. The boundary condition, load computation and selection of design condition are also described. The influence of these factors to results is also analyzed. For considering computational effort, this paper discusses the feasibility of establishing by partitioning the large and complex model and computation after recombined.

Key words: computation model; element; boundary condition; reseau

0 引言

对于大型天线, 结构承受的重力及环境载荷对天线的影响很大, 一方面, 可能会造成结构的损坏, 丧失功能; 另一方面, 其引起的结构变形会造成天线电性能的下降。因此, 在结构设计过程中, 必须进行结构力学性能分析。随着计算机技术和数值计算理论的发展, 结构力学分析得到了广泛应用。要获得准确的分析结果, 建立完整准确的计算模型是最重要的过程。这一过程就是将复杂的结构进行简化, 表现出结构的基本特征, 用各种单元模拟结构的各部分, 将各种环境载荷转化为计算模型中的数值, 从而获得准确的分析结果。

1 结构组成及单元划分

50 m 天线是为国家天文台研制的, 用于天文观测及探月工程的大型天线。其座架型式为轮轨式方位俯仰座架, 反射面为标准抛物面。结构由反射体

及座架 2 部分组成。反射体包括反射面、背架、馈源仓、馈源支撑等, 座架包括轨道、滚轮、支架、驱动系统、俯仰组合等。

反射面是由许多块扇型单元板组成的, 每块单元板通过调整机构与背架连接, 单元板之间有缝隙, 不连接。如果将单元板和调整机构按实际结构划分单元计入模型, 会造成模型中数据大量增加, 增大工作量, 影响计算速度。由于单元板之间不连接, 对结构整体刚度的贡献很小, 因此, 可以用质量元模拟面板。单元板与背架之间有调整机构, 在对应的背架节点处设置一个质量元, 质量的大小根据每个调整机构所承担的单元板质量确定。对于馈源、平衡重等质量集中、对刚度贡献小的结构件也采取同样的处理方法。如果需要单元板上更多点的变形数据, 可将单元板与调整机构单独做出模型, 将整体计算出的节点位移作为边界条件通过控制单元网格划分, 获得需要点的数据。

背架是支撑反射面的结构, 采用了圆钢管通过焊接球连接, 在局部焊接钢板形成腔体结构, 提高刚度。建立模型时, 用梁单元模拟钢管, 壳单元模拟腔

收稿日期: 2007-10-25

作者简介: 冯贞国(1956-), 男, 高级工程师。主要研究方向: 天线结构设计及制造工艺研究。

体结构。由于背架具有圆对称性,在建立几何模型时,可先建立一个扇形,通过旋转方式形成整个圆背架,可提高建模工作效率。

馈源仓采用角钢、槽钢等型材焊接成长方体,并用轻型密封材料覆盖,底部用花纹钢板与型材焊接形成对馈源旋转机构的支撑。计算模型中,型材用梁单元模拟,底部钢板作为板单元。其余轻型密封材料不计入,但计算风载荷时应按实板考虑受风面积。

馈源支撑采用矩形钢管作纵向主梁,截面尺寸相对很小的圆管作横向及交叉梁,全部作为梁单元处理。

天线座架结构中,轨道及滚轮可以等效为梁单元。其余刚架及俯仰组合等结构所用的材料大部分为钢板焊接的箱型梁,截面相对反射体骨架的材料大很多。可以采用2种方式进行模拟。①采用板壳单元按照实际结构逐一模拟。此方法可获取结构的全部数据,但工作量大,计算时间常,在板梁过度部位需做局部处理消除误差。考虑到箱型梁的长度相对其截面很大,符合梁的等效条件;②将座架结构中的多数箱型梁等效为梁单元。这种处理方法在俯仰轴座等复杂的腔体结构部位可能得不到需要的数据,可以在整体计算完成后,取出该部位结构进行细化,将整体计算获得的梁的内应力作为外载荷施加到相应节点上,进行局部计算,获得需要的数据。

俯仰组合中扇型齿轮采用厚钢板焊接成轮毂,齿板与轮毂通过螺栓连接。在计算模型中,轮毂等效为板单元。在齿轮啮合处,用弹簧单元模拟,其刚度用传动链的刚度等效。

单元确定后,要进行网格的划分,原则是应力梯度大的位置网格密,梯度小的位置网格稀。实际计算中,可采用试算,观察网格密度对计算结果的影响。可以看出,当网格密度达到一定程度后,结果的变化就很小了。

表1 50 m 天线计算模型中单元划分情况

天线结构	采用单元类型	单元数量
背架、馈源支撑、座架箱型梁	梁单元	21179
扇型齿轮、局部加强筋板	壳单元	2488
扇型单元板、馈源、平衡重	质量元	980
俯仰齿轮啮合	弹簧元	2

2 边界条件设定

在计算模型中,边界条件对计算结果影响很大,因此要针对实际结构进行分析,给出适合的约束。在反射体与座架整体计算时,边界约束有以下各处:

2个俯仰轴处:设计中采用了球轴承,计算模型

中,将对应的2个节点的3个位移自由度约束,3个转角自由度释放。

座架滚轮处:4组滚轮对应的4个节点的3个位移自由度约束,3个转角自由度释放。

方位中心枢轴处:释放绕垂直轴的转角自由度和垂直方向的位移自由度,其余4个自由度约束。

在50 m天线模型建立过程中,可先分别做出反射体和座架的模型,再合并为整体。这样可以多人同时开展工作,缩短设计周期。反射体的模型应当包括座架中的俯仰组合部分,此时反射体与座架的连接部位俯仰齿轮啮合及俯仰轴承座处作为2部分的边界,对座架模型,可将载荷加到俯仰轴座处,计算出该点的位移。计算反射体时,将轴座处位移作为边界条件,俯仰齿轮啮合处设定弹簧元。整体计算时,可通过对座架的旋转得出天线各种姿态下的模型。天线结构示意图如图1所示。

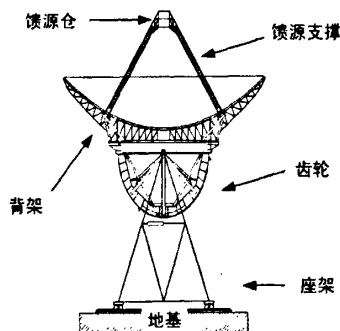


图1 50 m 天线结构示意图

3 环境载荷计算及工况选取

天线承受的载荷主要有重力、风载荷、冰雪载荷、温度载荷、地震载荷、转动时惯性载荷等。在50 m天线模型中,主要考虑了重力、风载荷及冰雪载荷。

风力可按下式计算:

$$F = CFqA, \quad (1)$$

式中, CF 为风力系数, q 为动压, A 为特征面积。

风力计算中重要的是确定风力系数 CF , 依据天线不同的部位,不同风向,该系数不同。可采用近似形体的风洞实验数据,也可通过流体分析获得对应的参数。整体计算时,主要考虑反射面受到的风力,根据反射面上各部位的风力系数,计算出相应区域承受的风力,依据反射面与背架之间各调整机构所分担的反射面区域,将风阻力作为集中力加到对应的背架节点上。

冰雪载荷可依照反射面单元板的处理方法按质量元加到节点上。

(下转第47页)

均衡时误码率一直为 1×10^{-1} , 均衡后在误码率为 1×10^{-6} 时系统的性能比无失真信道下的性能损失了 1.3 dB; 在信道 D 中, 均衡前误码率一直为 4×10^{-2} , 均衡后在误码率为 1×10^{-6} 时系统的性能比无失真信道下的性能损失了 0.5 dB。

通过图 4 所示的均衡前后系统误码性能可以得到以下 2 点结论: 第一, 没有采用自适应均衡器时系统存在不可减误码, 均衡后消除了不可减误码。经过多径信道传输后造成了严重的符号间干扰, 导致误码性能急剧变坏, 误码率一直为 10^{-1} 、 10^{-2} 量级, 在这种情况下采用纠错编码也无法达到可使用的程度, 采用自适应均衡后补偿了由于多径造成的频率失真, 消除了不可减误码, 误码率随着输入信噪比的增高而降低; 第二, 均衡器没有达到理想值造成了系统性能损失, 但在微波通信中能够容忍这些性能损失。采用判决反馈均衡器及相应算法, 算法比较简单易实现, 但均衡后的误差与信道失真状态有一定关系, 最多的性能损失为 5.1 dB, 最少的性能损失为 0.5 dB。

4 结束语

本文主要研究了自适应均衡技术抗频率选择性衰落性能, 同时也给出了自适应均衡器设计中需

要注意的地方。对于大容量微波通信系统来讲, 信道已不单单是高斯白噪声信道, 必须考虑到由于多径造成的频率选择性衰落, 这就需要采取一系列的措施来抗多径造成的频率选择性衰落, 自适应均衡器就是得到广泛应用的一种抗多径手段。综合考虑线性均衡器和判决反馈均衡器的优缺点, 采用了判决反馈均衡器。在 4 种频率选择性信道下对判决反馈均衡器的抗多径性能进行了详细的测试, 通过测试结果可以看到: 采用判决反馈结构、最小均方误差算法的全数字时域自适应均衡技术的调制解调器, 具有抑制深衰落、消除符号间干扰、提高误码性能等优点。目前, 该自适应均衡器已成功用于工程中, 且工作稳定、性能优良。

参考文献

- [1] PROAKIS J G. 数字通信(第 3 版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [2] 姚彦. 数字微波中继通信工程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1994.
- [3] 郭梯云, 杨家玮, 李建东. 数字移动通信(修订本)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- [4] 王立宁. Matlab 与通信仿真[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999.

(上接第 27 页)

50 m 天线的工作范围是方位: 270° , 俯仰: $7^\circ \sim 90^\circ$, 要获得天线在各种姿态下力学数据, 必须选取足够多的工况进行分析。由于重力及风载荷对天线影响很大, 因此在选择计算工况时, 在俯仰方向, 设定 10° 间隔为一个计算工况, 风载荷计算了正向、背向及侧向 3 个方向。表 2 给出了天线在俯仰角 30° 的计算结果。

表 2 天线俯仰角 30° 计算结果

载 荷	馈源位移 /mm	最大节点位移 /mm	最大单元应力 /MPa
自重	16.3	18.6	50.8
自重 + 正风	11.4	14.1	49.2
自重 + 背风	22.8	24.8	52.3
自重 + 侧风 + 150mm 雪	22.7	80.9	167

4 结束语

大型天线计算模型的建立过程是复杂的, 需要考虑多方面因素。比较关键的环节包括结构的简化与等效、整体与局部的关系处理、边界条件设定等, 还要考虑到天线安装过程中结构发生的变化。50 m 天线计算模型在结构设计过程中, 对论证结构的重要指标反射面精度及系统谐振频率等起到了重要作用。

参考文献

- [1] 段宝岩. 天线结构分析、优化与测量[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1998.
- [2] 吴凤高. 天线座结构设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1986.

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,一直致力和专注于微波、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>