

# 某卫星天线双轴定位机构建模、控制与仿真研究

杜云飞 李长江 廖瑛 冯向军

(国防科技大学航天与材料工程学院, 长沙, 410073)

**摘要:** 本文详细介绍某卫星天线双轴定位系统的建模、控制与仿真。首先说明了该系统的开发背景; 其次分析了系统开发的技术途径; 然后介绍系统的总体设计方案; 最后, 指明了该系统的应用前景及进一步的研究方向。

**关键词:** 双轴定位机构; 系统建模; 控制模型; 系统仿真

## Study on Modeling, Control and Simulation of Two-axes-oriented Structure for the Satellite Antenna

DU Yunfei LI Chang-jiang LIAO Ying FENG Xiang-jun

(National University of Defense Technology, Changsha, China, 410073)

**Abstract:** The modeling, control and simulation of two-axes-oriented structure for the satellite antenna are developed here. What is emphasized are the modeling and simulation of the system. First is the research aspect of the project. Next, the technical approach is analyzed. Following is the whole design project. Finally the application foreground of the structure and the further research work are discussed briefly.

**Key words:** Two-axes-oriented structure; Modeling; Control; Simulation

## 1 引言

目前系统仿真在工程领域中得到了广泛而深入的应用。系统仿真技术是以相似原理、系统技术、信息技术以及仿真应用领域的有关专业技术为基础, 以计算机系统、与应用有关的物理效应设备及仿真器为工具, 利用模型对系统(已有的或设想的)进行研究的一门多学科的综合性的技术。在民用产品方面, 从大型运载火箭、飞机到日常家用产品电冰箱、洗衣机等, 无不在设计制造过程中广泛使用系统仿真技术。在军用产品的研究、设计、生产和使用领域, 系统仿真技术也得到了广泛的应用。

## 2 问题的提出

某卫星点波束天线的双轴定位机构(TAAPM)是天线实现其应有功能的一个关键部分。这一机构用来实现对天线沿两个转动轴的双自由度运动并获得精确的空间位置, 以便捕获地面指定区域的信号。该机构同时提供天线的位置信号和天线的结构支撑。这种机构在国外的通信卫星和数据中继卫星上已经有了较多的研究和应用。例如, Loral 公司研制的用于

INTELSAT (I-VII) 卫星应用了该机构；日本 ETS-VI 卫星上 KSA 卫星天线定位系统同样应用了该机构；Matra Marconi 研制的 DRRS 卫星天线定位系统同样应用了该机构等等。但是，国内目前尚未开发此类点波束天线双轴定位机构。因此，对此类定位机构进行建模、控制与仿真的研究具有重要的意义。

### 3 技术途径

步进电机是一种比较特殊的机电执行元件，具有良好的开环应用性能。谐波减速器是一种结构紧凑传动比很大的传动元件；两者都是空间设备中常用的执行机构形式。

点波束天线是基于该类执行机构的空间飞行器作动系统。点波束天线双轴定位机构由以下几个部分组成，如图 1 所示。

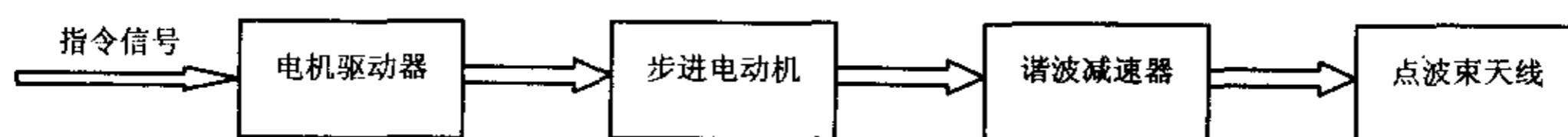


图 1 系统结构图

指令信号发出的是步进电动机的转速和转向的控制信号。指令信号经过电机驱动器转变为步进电动机的控制电压，推动步进电机的运转。步进电机的转矩经谐波减速器放大后推动点波束天线转动，以保证卫星在运转过程中它始终能指向地面指定区域，以便捕获信号。

从对整个系统的工作原理分析中可以得出系统总体的分析模型结构。如图 2 所示。总体模型中，连线上的量是在动态运行过程中各部件子系统之间交换的物理量，其余物理量和参数变化只在各子系统内部发生。

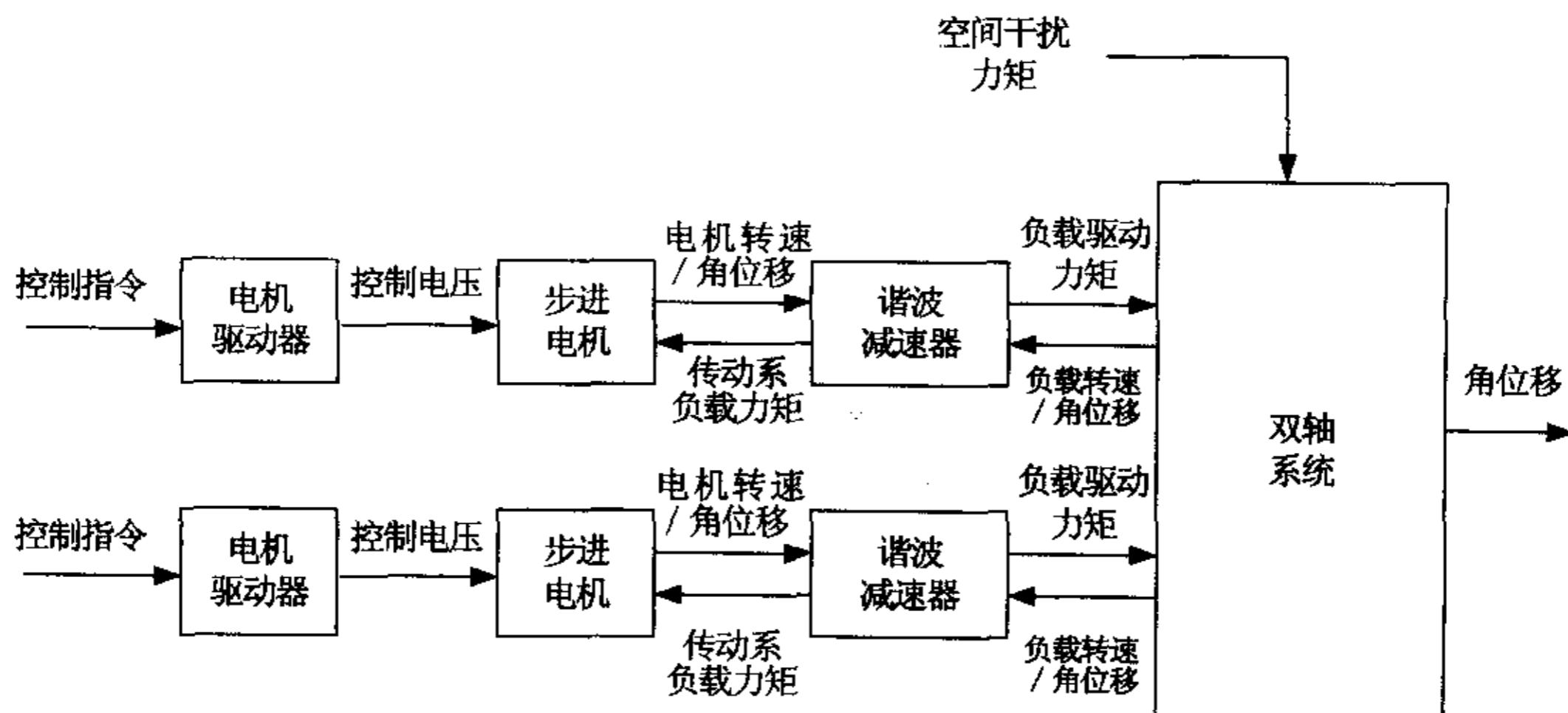


图 2 系统分析原理图

为了既能够达到有效仿真的目的，又使系统具有通用性和推广应用价值，采用分系统建模的方法可以降低仿真的复杂性。即根据图 1 的构成，分成若干个分系统进行建模和仿真。同时在总体构成上采用模块化的方法，使系统具有良好的扩展性和通用性。然后将它们按照图 2 的构架组合，即可得到全系统的动态数字仿真模型，供开展各种动态分析使用。该系统

采用 MATLAB 进行仿真，输入是步进电机的控制信号，经各分系统仿真，最后对系统工作状况做出综合评价。在此基础上可以考察各个分系统的工作状况。通过各个分系统的行为来对整个系统的性能做出评价。

控制模型方面，以步进电机输出特性模型作为系统的输入模型，外部环境为干扰力模型，采用 MATLAB/SIMULINK 寻求满足控制特性基本要求的最佳控制方案。

仿真方面，在 MATLAB 中选择合适的仿真算法和仿真步长，将各组动力学模型和控制模型化为仿真模型。

参数化设计方面，研制 Pro/E 和 MATLAB 的接口，采用 Pro/E 获取系统的参数，将获取的参数输出到 MATLAB 仿真程序中进行运动仿真。

## 4 系统方案

下面从系统的功能分析入手，结合一定的技术性能指标，详细介绍系统的总体设计方案。

### 4.1 系统功能

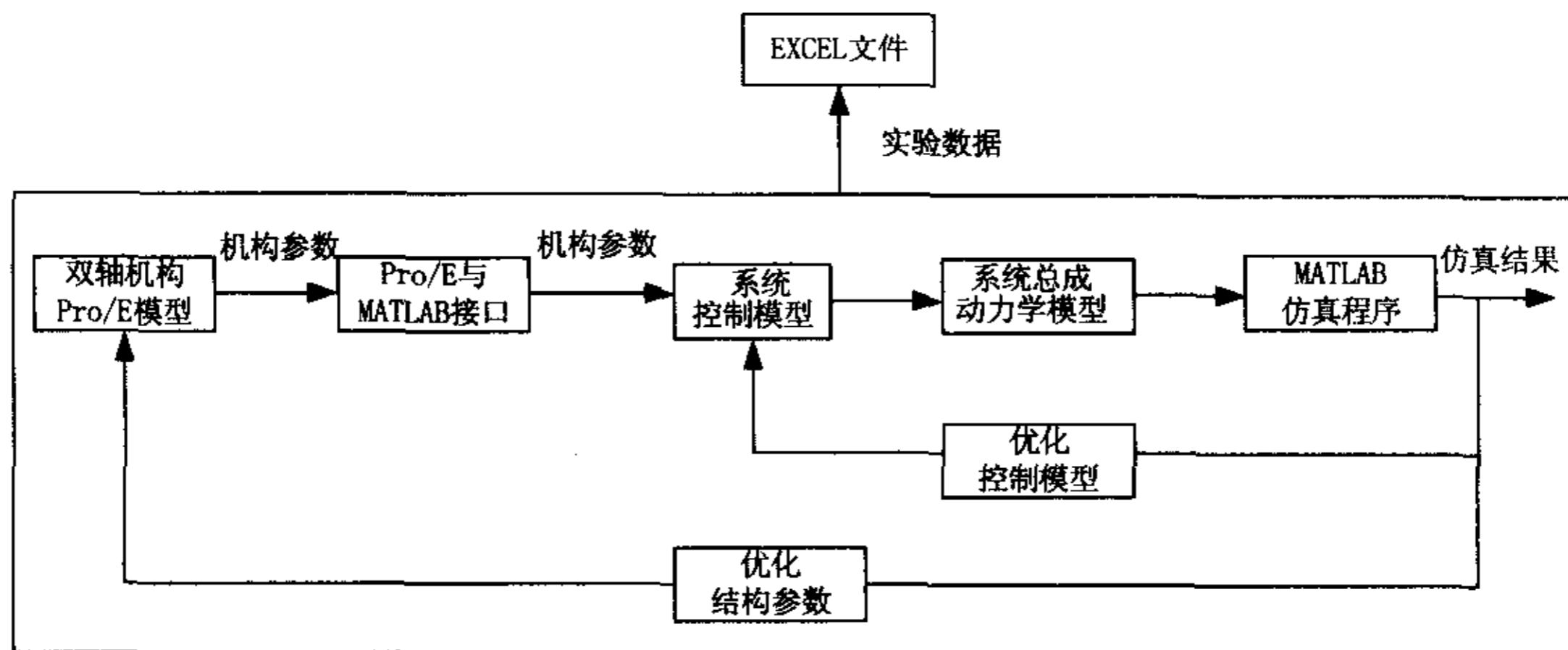


图 3 系统总体功能图

该系统设计实现了以下功能：

(1) 建立 TAPPM (含双轴定位机构、天线系统、驱动组件) 的刚体动力学模型

建立主要部件组合的刚体动力学模型和 TAAPM 总成的刚体动力学模型，以便进行控制系统设计和分析。

(2) 建立控制模型，设计控制律

建立 TAAPM 总成的控制模型，以便进行控制特性分析。

(3) 仿真试验，进行动力学特性分析和控制特性分析

设定系统的试验参数和初始条件，分析系统的动力学特性指标如转角范围、转速、指向精度等以及控制特性指标如系统稳定性、响应时间、过调量、稳态误差、瞬时特性等。

(4) 参数优化设计

建立试验参数的规律变化模型，结合仿真计算程序和参数优化分析计算程序，研究参数变化规律对系统特性的影响。

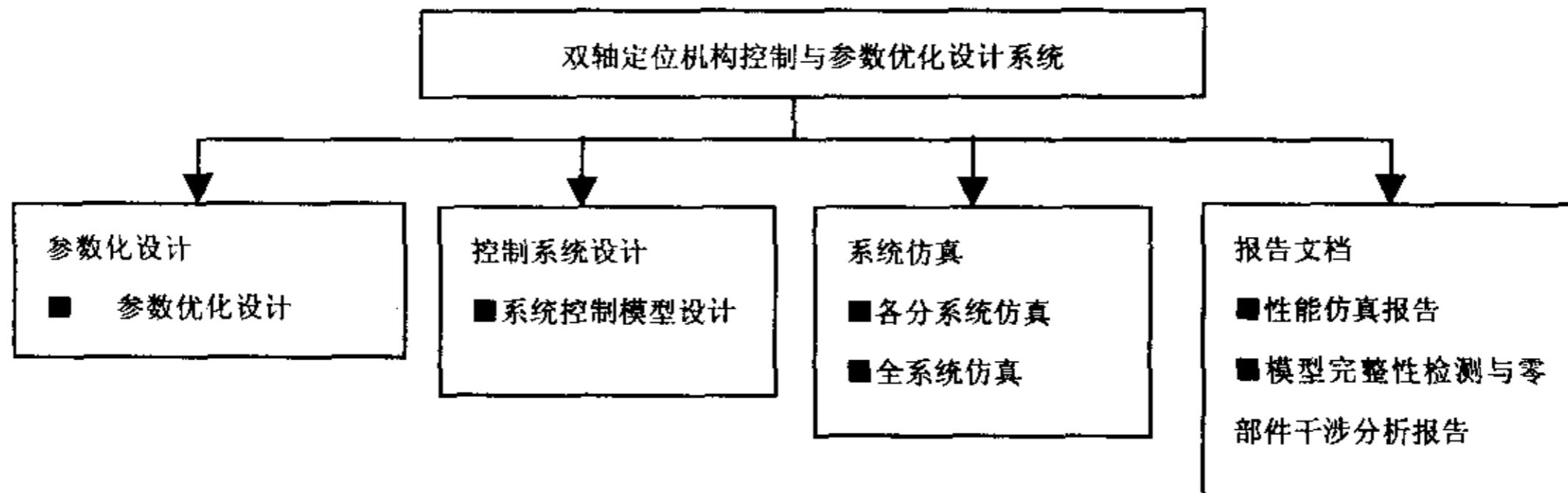
### (5)实验数据管理

将实验的数据自动输入到 Excel 文件中以便管理。

系统总体功能如图 3 所示。

## 4.2 系统软件设计

该系统采用模块化结构，应用软件工程技术进行开发，其总体框架结构如图 4 所示。



### (1)参数化设计

建立试验参数的规律变化模型，结合仿真计算程序和参数优化分析计算程序，研究参数变化规律对系统特性的影响。

### (2)控制系统设计

寻求满足控制特性基本要求的最佳控制方案，建立系统的控制模型。

### (3)系统仿真

系统仿真完成各分系统仿真和全系统仿真两项工作。对系统的动力学特性和控制特性进行分析。

### (4)报告文档

报告文档包括性能仿真报告和模型完整性检测与零部件干涉分析报告两类。

## 4.3 系统技术性能指标

该双轴定位机构 TAPPM 计算分析系统以 WINDOWS 操作系统为运行平台，设计技术性能指标为：

- (1)系统功能完善，具有较好的仿真效果；
- (2)人机界面友好，操作简单方便；
- (3)具有错误提示及操作提示信息功能；
- (4)兼容性强，可适用于 WINDOWS 2000/NT/XP 等多种不同的平台；
- (5)系统可维护性强，易于进行功能扩充和移植。

## 5 应用前景及进一步的研究工作

该天线双轴定位机构以某卫星天线为对象设计，首先应用在该卫星天线上，经实践证明

其高效性和实用性后，再将该成果模式推广应用到其它卫星天线的双轴定位机构中。该系统具有重要的实用价值，同时也具有显著的经济效益。

由于该系统是面向刚体设计开发的，所以存在一定的局限性。可对系统部件间的非刚体因素以及系统的柔性作进一步的研究工作。

### 参考文献

- [1] Mukherjee R, Chen D., Control of Free Flying Underactuated Space Manipulators to Equilibrium Manifolds, IEEE Trans. on Robotics and Automation, 1993,9(5):561—57
- [2] E.Papadopoulos and S.Dubowsky, Coordinated Manipulator/Spacecraft Motion Control for Space Robotic System, Proc. Of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Sacramento, California,1991,4
- [3] 吴葳, 洪炳熔, 空间机器人的建模及仿真, 计算机工程与设计, 第 19 卷第 6 期
- [4] 李华忠, 洪炳熔, 杨维萍, 柳长安, 自由飞行空间机器人的动力学控制及其仿真, 武汉汽车工业大学学报, 第 21 卷第 2 期, 1999 年 4 月

## 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](http://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](http://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](http://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>