

空间可展开天线结构研究进展

刘明治，高桂芳

(西安电子科技大学，西安 710071)

摘要：扼要综述了空间可展开天线结构的发展及目前的国际动态，叙述了空间可展开天线结构、设计及分析中的主要研究课题及其目前的进展。指出“把多体动力学与有限元法相结合的综合动力学建模法”、“辨识模型后，用预测控制和优化的思想进行展开过程控制”、“用多约束优化法调整网状天线反射面形状精度”等是适合我国目前状况的较好方法。

关键词：可展开天线；空间结构；多柔体系统；动力学建模；动力控制；无重力实验

中图分类号：V443.4 文献标识码：A 文章编号：1000-1328(2003)01-0082-06

0 引言

宇航事业的高速发展对宇航用天线提出了越来越高的要求。例如，为了减少背景噪声的影响，为了提高天线的增益和数据传输的速率，中继卫星天线通常选在 Ku 波段，天线增益要求不小于 50 分贝。这样，天线口径便需大至 5 米，波速宽度约 0.27 度，数据传输速率可达 300 兆比特/秒。由于天线反射器口径已达 5 米，超过了运载工具整流罩所能容纳的尺寸，故必须采用可展开天线这种结构形式。太空空间站等要求天线尺寸更大，且由于没有重力，天线刚度可以大大减低，从而重量减小，柔性增大。这样，对上述的精度要求高的可展开空间天线又提出了尺寸大、重量轻、柔性大的要求，这使得对空间可展开天线的制造及分析变得更加复杂，吸引来国内、外大批学者对其进行探讨。本文扼要综述了空间可展开天线结构的发展及目前的国际动态，叙述了空间可展开天线结构、设计及分析中的主要研究课题及其目前的进展。期望本文的综述会对包括可展开天线在内的多柔体系统动力学结构建模、设计、分析与控制问题的研究有一定的促进作用。

1 宇航可展开天线结构形式

可展开天线是发射时折叠收藏于整流罩内，一旦到达预定位置，便自动展开形成工作态形状的天

线。这种天线有各种各样的结构形式以满足各种不同的工程需要。由于其种类繁多，所以其分类方法也因人而异。本文以反射面的结构形式为准，分空间可展开天线为板状反射面天线、网状反射面天线、膨胀(充气)式反射面天线、回转构造型反射面天线等四类。

1.1 板状反射面可展开天线

这种可展开天线反射面为板状结构，根据反射面及展开机构的不同，可分为：

1.1.1 整体单轴型：这种天线像太阳电池帆板那样整个反射器绕某轴转至特定位置即达工作位置。

1.1.2 多体多轴型：其反射面分成几块，它们各自绕各自的轴旋转，最后各块拼装为工作位置上的整体反射面。

1.1.3 花瓣型：其反射面由许多块刚性板组成，板间用铰相联，铰处有弹簧。天线折叠时，弹簧储存了能量，解锁后在弹簧力的作用下天线自动展开。因折叠时像含苞待放的花朵而得名。

1.1.4 复合型：其折叠态是一个小圆柱，展开后是六角形板状天线，其结构复杂，日本刚开始研制。

1.2 网状反射面可展开天线

这种可展开天线反射面为网状结构，根据反射面及展开机构的不同，可分为：

1.2.1 径向肋天线：其反射器由径向折叠的刚性肋、反射网及展开机构组成，其形式五花八门：

(1) 伞形天线：肋做成抛物线状，反射网张紧，固定于肋上。

(2) 中间有刚性盘的伞形天线。

(3) 有辅助牵引面的伞形天线：辅助牵引面是用若干绳索组成的网状面，它与反射面间用线相连，调其长度，可调反射面精度。

(4) 具有中间刚性盘及辅助牵引面的复合天线。

(5) 折叠肋式伞形天线：如自动伞那样，肋由可折叠的数段组成。

1.2.2 缠绕天线：反射器由柔性肋及反射网组成，柔性肋是抛物型，反射器中心有一轮毂，柔性肋根部沿周向均匀连在轮毂上，折叠时柔性肋沿轮毂缠绕起来。

1.2.3 环—柱天线：由圆环、张索、中心柱、反射网及展开机构组成，圆环由若干刚性段组成。收拢时可将圆环折叠起来，中心柱可以收缩。

1.2.4 构架式天线：由反射网、主动或被动型面控制系统及可展开机构等组成。其展开机构有同步或异步展开的四面体、盒状展开机构、螺旋状展开机构

及剪刀式展开构架等。由二个方向、三个方向及多个方向展开的 Truss 展开形成的可展开天线因可建造更大的天线等优点获得广泛的应用。

1.3 膨胀(充气)式天线：

膨胀(充气)式天线的主要部件用薄膜粘接而成。根据设计把它加工成抛物形、锥形等形式。发射时其尺寸很小，入轨后，充气膨胀成天线反射器形状。这时，有些支持结构自动硬化成刚性体，而预浸了一层特殊材料的天线材料(如聚脂薄膜，它在地面是柔软的)在充气后于空间自动硬化成刚体。这种天线亦分简单型与复合型等结构形式。

1.4 回转构造型天线：

设计好的质量群或柔软薄膜于发射阶段收缩在一起，入轨后，质量系统绕某定轴回转，在离心力作用下达到预定位置。柔软的反射面材料紧紧贴合其上，固化成形。形成天线的质量群有连续型、离散型两种。

以上只是可展开天线的大概，它们各有优缺点。各种可展开天线特性比较如表 1 所示。

表 1 各种可展开天线特性比较表

Table 1 Comparision of the characteristic for some deployable antennas

	花瓣形	缠绕肋	径向肋	环—柱	构架式	复合形	充气式	回转构造式
可靠性	较差	好	好	较好	差	差	较好	好
反射面精度	最好	较差	好	好	较好	好	较差	较好
收藏体积比	最差	最好	差	好	好	较好	好	好
重量	重	较轻	较轻	轻	较轻	重	最轻	轻
可达直径/m	< 10	< 60	< 15	< 100	< 100	较小	大	大
造价	高	最低	低	较高	较高	高	低	低
目前状态	样机	已使用	已使用	样机	使用	方案	样机	方案

以上各种结构均有其一定的适用范围。目前，人们仍在研制可靠性好、反射面精度高、收藏体积比大、重量轻、可建造大直径天线而造价尽可能低的可展开天线的结构形式。最近出现了一种混合型天线，根部连于轴的伸展梁的末端与闭合的可伸展四边形相连，四边形又外接膨胀(充气)式天线。一旦到达预定位置，同时释放紧固件，给膨胀式天线充气，使整个系统绕轴旋转，在离心力，伸展驱动力，膨胀式天线提供的张力下(这几种展开方式可选择使用)，可伸展四边形形成闭合圆，其上固好的网形成准确的反射面。

2 可展开天线的分析

宇航可展开天线尺寸大、柔性大、重量轻，是典型的多柔体系统。其动力学、运动学属多柔体系统的动力学、运动学，其展开过程必伴随有冲击、振动。所以，下面就多柔体系统动力方程建立、动力方程求解、运动结点的动态机理等问题稍作介绍。

2.1 可展开天线动力方程建立^[1]

可展开天线在展开过程中的运动由各部件的刚性运动及弹性运动迭加而成。根据刚、弹运动耦合的强弱分可展开天线动力方程的建立方法为运动弹性动力学(KED)方法、综合法及介于二者之间的方法。

2.1.1 运动弹性动力学方程^[2]:当可展开天线的刚、弹性运动间的耦合较弱时,人们近似地认为:其弹性运动不影响刚性运动,而刚性运动却反过来影响弹性运动。即先不计弹性运动,用多刚体动力学中常用的牛顿第二定律、达朗伯原理、虚功原理、拉格朗日方程等方法列出其刚体运动方程式,求出刚体各瞬时的响应。然后把刚体运动在各部件上产生的惯性力施加于各部件,用各部件的弹性变形方程式求出其弹性变形,可展开天线的实际运动是上述刚性运动与弹性运动的迭加。

2.1.2 简单多柔体动力学方程^[3~4]:对于较简单的多柔体或由柔体和刚体组成的复合体系,人们把多刚体动力学的建模法予以引伸、改进,完成了简单多柔体的动力学建模。许多可展开天线可看作简单多柔体系统。简单多柔体动力学建模法有(1)基于 Lagrange 方程的动力学建模法(2)旋转代数法(3)模型辩识法。从力学角度讲,上述方法可归纳为:

①牛顿—欧拉法:先用动量(矩)定理列出各分离体的动力学方程式,然后用约束条件消去约束力。这种方法特适于系统中有一个刚性主体的情况。

②虚位移法:从虚位移原理出发演变出拉格朗日第一类方程或进一步根据变分原理建立拉格朗日第二类方程,从而得到其动力学模型。

④上述两种方法的改进,这中间典型的有(1)Roberson 法(2)Kane 法(3)IGC(Inbedded Geometric Constraint)法(4)AIGC(Augmented Inbedded Geometric Constraint)法(5)NSD(Nonlinear Strain Displacement)法等。

2.1.3 综合法^[5]:该法先把可展开天线系统划分为铰接在一起的若干个子结构,再把每一个子结构按有限元法离散化为杆、梁、板、壳等有限元单元,求出任意单元上任意点在总体坐标系中的位移矢量、速度矢量,计算出整个系统的动能、势能及非保守力所做的功,代入拉格朗日第二类方程,得出系统运动量之间所满足的方程式。另一方面,各子结构之间用铰相连,所以上面建立的方程中的广义坐标不是相互独立的,它们一定要满足位移协调条件,这两个关系式相联立就成为多柔体系统的动力学方程式,其形式为:

$$\begin{cases} M\ddot{q} + Kq + B^T\lambda = Q_e + Q_v \\ \Phi(q) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

这里 $\Phi(q) = 0$ 为位移约束方程, $B = \partial\varphi/\partial q$, q 为广义坐标, λ 为拉格朗日乘子, M 、 K 、 Q_e 、 Q_v 分别为系

统的质量矩阵、刚度矩阵、广义外力及二次速度矢量。

综合法采用的是广义坐标,其建模高度规格化,十分适于计算机建模,既可以显示出系统的刚弹耦合,又可避免花费很大气力去消除约束力,是适于空间可展开天线动力学建模的好方法。其最大缺点是公式推导繁、难,难保不出错。好在我们用符号运算成功地完成了杆、梁、板、壳单元的质量阵等公式的推导,使得可展开天线的动力学建模得以实现。

2.2 可展开天线动力方程求解^[6~8]

可展开天线的慢变的、大的刚性运动和快变的、小的弹性运动的耦合使得其动力方程成为时变的非线性的刚性方程,其求解过程易出现病态或不收敛,故多柔体系统的动力方程求解引起学者们的极大关注,形成了各种不同的求解法。

2.2.1 降阶法(Gear 法):该法先把方程(1)化为一阶微分方程,然后用 Newton-Raphson 法求解。该法缺点是:方程阶数增大,初始值难选及多步时间离散对约束方程产生综合影响,导致解的漂移。

2.2.2 直接积分法:该法先把约束方程 $\dot{\varphi}(q) = 0$ 用 $\ddot{B}q = C - \dot{B}q - 2\varphi_q \dot{q} - \varphi_u$ 代替,再从方程(1)求出 \dot{q} 的显式表达式,然后用数值积分法求解。但由于求解过程可能出现病态条件,又由于这里是计算 \dot{q} 值,可能出现违反约束的解,所以对这种方法作了各种改进,出现了 Houbolt 法、Newmark 法、Wilson-θ 法及 Zienkiewiey 法等。

2.2.3 违约稳定(CVSM)法:若把原方程(1)的约束方程用 $\ddot{B}q = C - 2\alpha\dot{B}q - \beta^2\varphi(5 < \alpha < \beta < 10)$ 代替,则成为违约稳定法,它可使解振荡地趋于真解。但 α 、 β 的选取无规可循,该法仅在违约小时效果好。

2.2.4 广义坐标分离(GCPM)法:该法把广义坐标分为独立坐标 q^u 及非独立坐标 q^d ,从原方程(1)求得 \dot{q}^u 的显式表达式。这样,用 Raphson 迭代就可求解,不会出现违约。但寻找出独立的广义坐标并非易事。

2.2.5 混合数值积分法(HNIM):若从 $\ddot{q}^u + 2\alpha\dot{q}^d + \beta^2\varphi(q^u, q^d) = 0$ 和动力方程出发,求出 \dot{q}^u 的显式表达式,这就成为混合数值法的基本公式。用该式算出 \dot{q}^u ,积分得 q^u 。再从 $\varphi(q^u, q^d) = 0$ 出发,求 q^d ,形成 q 。然后反复迭代。为了得到好的 q 的估值 q^u 、 q^d ,计算 \dot{q}^u 时,常用其台劳展开的前三项形成。该法是广义坐标分离法与约束稳定法的综合,具有可靠、误差好控制及速度快的优点。

但对每一时间间隙,两个系数的选取尚无通用方法。另一方面,独立广义坐标的选取也较困难。

2.2.6 零空间法(Null Space Method):设 C 是 B 的正交余集, A^T 是 $(n - m) \times n$ 阶矩阵,可以张成子空间 C ,且独立坐标的速度可选作 \dot{q} 的投影,即 $\dot{q}^u = \dot{E}q$ (E 是一个线性结合阵),则从原方程可得 \dot{q}^u 的显式表达式。这是不违约的微分方程,可以简单求解。但积分 \dot{q}^u 必先求零空间矩阵 A 及 B ,它们求法较繁。另外,有时 $[B^T, E^T]^T$ 阵可能奇异,只有变化 E 方可求解。

2.2.7 约束稳定罚函数法:若取 $\lambda = \varphi/\epsilon$ ($0 < \epsilon < 1$, ϵ 为罚因子),则把原动力方程(1)可变为两个独立的微分方程,即使运算过程出现奇异,仍可求解。该法可正确地处理约束条件,但增加了解的鲁棒性。

2.2.8 微分-几何法^[8]:该法先用微分-几何的知识把原方程式化为一阶微分方程,后用向后差分法进行数值求解。这种把微分-几何法与向后差分法相结合的新算法已被算例所证实。

2.3 可展开天线运动结点的动态机理^[9]

由于制造误差及磨损,可展开天线的铰接处不可避免地存在有摩擦、间隙、弹性变形,从而使运动失真、稳定性减弱,并导致强烈的冲击振动。为了提高可展开天线的可靠性及分析精度,必须进行可展开天线铰接处的动态机理的研究。对可展开天线运动结点动态机理的研究实质就是铰链的间隙、摩擦、弹性等对多柔体系统动力响应的影响的研究,其关键在于其力学模型的建立。对于除综合法以外的多柔体系统的建模方法,其在运动结点动态机理的研究中,把摩擦力等作为广义外力直接形成其动力学方程,建立了冲击副一维模型、平面梁冲击模型、交变振动模型及多间隙系统模型等。其中的三个状态模型是把铰接状态分为自由、接触、碰撞三类,用动量守恒及恢复系数公式处理碰撞。认为其动态响应是零间隙运动上迭加了圆周运动,而与它相对立的连续接触模型则认为运动副始终保持接触状态,视其间隙为刚性杆。在综合法建立的力学模型中,运动结点动态机理的研究方法是求出铰接处两子结构上相应点的相对位移、相应线的相对转角及相应的速度,根据给定间隙及铰链材料的弹性、粘性系数,利用弹簧-阻尼器模型,决定作用力(大小、方向、作用点)及应力、应变(若应力、应变过大,则铰链失效)。然后把这个作用力作用于相应的子结构上,重求铰接处的~~状态数据~~。显然这时的位移约束条件已不再

成立。这时铰接模型可以取三个状态模型或连续接触模型。当然取三个状态模型时必须随时判定铰接处于自由、接触、碰撞中的哪个状态。

3 可展开天线的设计

设计的可展开天线除必须满足普通的刚度、强度条件外,它一定要保证可靠的展开,一定要保证天线的反射面精度。可展开天线的设计主要有下面几个问题。

3.1 可展开天线振动控制^[1]

可展开天线在展开过程中会产生较大的动力响应,它大大影响可展开天线的精度和可靠性,必须加以控制。由于可展开天线尺寸大、柔性大、模态多,而控制系统设计要求自由度小的模型,所以可展开天线的截断模态在其振动控制中是重要的。关于多柔体系统的控制方法有(1)PD 控制(2)反馈控制;(3)自适应控制(4)鲁棒控制(5)预测控制(6)非线性控制(7)智能控制。目前已出现了各种控制可展开天线振动的设计方法,如用电磁轴向力作动器采用直接速度反馈控制去控制伸展桁架的振动;用电磁轴向膜作动器采用直接输出反馈控制去控制伸展机构的刚度和阻尼。不过,可展开天线的振动控制研究起步较晚,目前多是利用基本的主动控制方法对简单伸展机构进行振动控制的研究。

面对着林林总总的控制方法,人们总希望能够找出一种最佳的控制组合(混合控制),能够克服模型不准的缺陷,使可展开天线系统的末端定位精确、快速、冲击小,同时又保证末端输出具有很好的鲁棒性、收敛性和稳定性。文献 5 对可展开天线的展开末瞬时的速度控制进行了研究,在可展开天线的动力学建模、动力分析、系统辨识和控制系统设计等方面做了有益的尝试,给出了可展开天线展开末瞬时速度控制的一种智能控制方法:先用分析力学与有限元法相结合给出可展开天线展开的多柔体动力学普遍方程式,再用三层 BP 神经网络方法对系统进行辨识,最后将预测控制和优化的思想引入到神经网络控制系统中,设计出了适用于可展开天线的展开运动末速度控制的智能控制系统。计算机数字仿真结果表明该控制系统能够满足控制要求,且具有良好的准确性、灵活性、适应性等。该方法也适于其他多柔体系统的末瞬时的速度控制。

为了实现在线控制,尤其是空间结构(如可展开天线)的在线控制,智能结构是首选形式。它集传感

器、作动器、控制器于一身,控制器根据传感器提供的信息,经分析给出控制信号,作动器根据这些控制信号动作,提供所需要的控制力,从而保证多柔体系统正常运动。美国已完成了太空模拟飞船的实验室运动控制研究:悬浮于光滑平面上的圆盘(模拟飞船)受脉冲作用,装于圆盘上的柔性“丁”字型梁(模拟太空机械手或可展开天线)剧烈震动,用智能结构控制后,其振动水平大大降低。

3.2 网状反射面可展开天线网面精度控制

网状反射面可展开天线网面精度与网绳的编织形式、网绳材料、长度及其张力有关。

网状反射面可展开天线网面调整除手工调整和用副肋调整^[10]外,多用张力杆天线或靠增加辅助牵引面来完成。在辅助牵引面与网面间拉上调整索,通过调整调整索的长度可以变化网面形状。但网上任意点的位置受网上其它点上作用的调整力的影响而变动,所以一次调整好的点会因调其它点而偏离调好的位置,所以调整网面时最好多人同时调整,多次反复调整。文献[11]给出了利用带复杂约束的优化算法调整网面精度的方法。当然利用智能结构进行网面精度调整的报道也不少。

3.3 回转构造型可展开天线的质量分布^[12]

未来的大型宇航用可展开天线其直径超过50M。被认为是当今最先进的由伸展机构和网面组成的天线结构形式对此已无能为力。于是一种新的宇航用天线构造方式,即利用质量绕轴旋转时产生的离心力及宇宙中固有的光的压力在宇宙空间直接形成大型空间可展开天线的方式被公认是很好的。为此,必须知道形成天线的质量的分布。对面内离散质量和面内连续质量形成的天线系统,文献[12]给出了其质量或质量线密度满足的关系式。

这个问题刚刚开始研究,但它的难度确实较大,现在连空间情况下的基本初始条件均不十分明确,因之是一个颇需花大气力探讨的问题。

4 可展开天线的实验

可展开天线在空间展开并工作。因宇宙空间无重力,所以其实验必须在无重力环境下进行。又因天线尺寸大,所以多用模型进行实验。可展开天线实验的方法有:

1)微重力实验法 我国多用弹簧挂吊法:用弹簧把试件吊起,另一端加上配重后再作实验。欧美有的用气球悬吊法或气浮台法。这只能按条件尽可能

地抵消重力。所以这只是条件不具备时才采用的微重力实验法。

2)塔落法:把试件从几十米高的塔上落下进行实验。其实验时间短,试件易损坏。

3)飞机失重飞行法:试件被装于密闭容器内,容器置于机舱内,在飞机失重飞行中进行实验。该法较危险,试件小,实验时间短。

4)落下坑法:在地面钻一深而直的坑,试件装于密闭容器内从坑口自由下落进行实验。日本北海道上砂川有世界上最大的无重力实验中心。坑深500米,落下时间十秒,实验后试件完好无损。

5 结束语

可展开天线结构的构造、动力学建模及求解、控制与实验问题是当前可展开天线结构研究的热点之一,近年来受到广泛关注。然而,由于问题本身的复杂性和人们认识的局限性,对其进行的研究还远未臻完善,尚有许多理论和应用方面的问题需要解决。本文扼要综述了宇航可展开天线结构的发展及目前的国际动态,叙述了宇航可展开天线结构设计及分析中的主要研究课题及其目前的进展。指出“把多体动力学与有限元法结合的综合动力学建模法”、“辨识模型后,用预测控制和优化的思想进行展开过程控制”、“用多约束优化法调整网状天线反射面形状精度”等是适合我国目前状况的较好方法。期望本文的综述会对包括可展开天线在内的多柔体系统结构(如机器人、太阳电池帆板、运载火箭整流罩等)的动力学建模、设计、分析与控制问题的研究有一定的促进作用。

参考文献:

- [1] 刘明治,刘春霞.柔性机械臂系统动力学建模及控制研究[J].力学进展,2001,31(1):1-8
- [2] 邱扬,叶尚辉,刘明治.大型星载可展开天线的展开动力学问题[J].中国空间科学技术,1992(1):44-52
- [3] Ahmed A Shabana. Dynamics of Multi-body System[M]. A Wiley-Interscience Publication. New York, America, 1989
- [4] 陆佑方.柔性多体系统动力学[M].北京:高等教育出版社,1996
- [5] 刘明治,刘春霞.空间大型可展开天线展开末瞬时速度控制研究[J].宇航学报,2000,21(4):84-89
- [6] Chiou J C. Constraint Treatment Techniques and Parallel Algorithms For Multibody Dynamic Analysis[D]. University of Colorado, Boulder, CO, November, 1990

- [7] Downer J. A Computational Procedure for the Dynamics of Flexible Beams within Multibody Dynamics Systems[D]. University of Colorado ,Boulder ,CO ,November ,1990
- [8] 冯力,叶尚辉,刘明治.用微分几何法与向后差分法相结合求解可展开天线动力方程[J].应用力学学报,1998,15(4):92-96
- [9] 陈艳.多体系统动力学分析[D].西安电子科技大学,1994
- [10] 刘明治,李伟东,郑飞.副肋式网状天线反射面精度调整技术[J].西安电子科技大学学报,1998,25(4):506
- [11] 刘明治,那柏.网状天线的反射面形状精度调整[J].宇航学报,2001,22(6):72-77
- [12] 刘明治.スパン 展开构造物の质量分布及び形状分析[J].

1995.12,日本宇宙科学研究所名取研第七回ゼミナ-



作者简介:刘明治(1944-),男,博士,教授,博士生导师。专业:机械制造与自动化;研究方向:振动控制,智能结构,工程优化。
通讯地址:西安电子科技大学 191 信箱
电话:029-8203040

Advances in the study on structure for space deployable antenna

LIU Ming-zhi, GAO Guifang

(Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract: A review have been done on structure, dynamics modeling, experiment and dynamics control of space deployable antenna. This paper explain the problems to solve in dynamics modeling and dynamics control of space deployable antenna and point out "the dynamical modeling method of deployable antenna", "the intelligent control approach to emphasize on deployable and velocity of deployable antenna" and "the shape precision control approach of reflector for deployable mesh antenna" are effective methods.

Key words: Space structure; Deployable antenna; Flexible multi-body systems; Dynamics modeling; Dynamical control; Weightless experiment

《宇航学报》第四届2次编委会议在京召开

《宇航学报》第四届二次编委会议于2003年1月10日在北京召开,来自全国各地的40余位编委不辞辛劳、不顾年终工作繁忙,怀着对“学报”的极大热诚前来参加会议。科技集团公司马兴瑞付总经理、“学报”主编庄逢甘院士、中国宇航学会张保乾秘书长、李芙蓉付秘书长、科技集团公司陈大亚局长及编辑部全体同志出席会议。

会议上马付总首先作了极其重要的讲话,其精神如下:“2002年‘学报’工作大有长进,‘学报’质量有较大提高,‘学报’是中国宇航学会的窗口,是中国航天领域的窗口。2002年各位编委、编辑部付出很多努力和艰辛,编委对‘学报’给予极大的关心和支持,作出巨大贡献。我代集团公司和个人感谢各位编委,祝大家身体健康。‘学报’尽管取得长进,但‘学报’在世界的地位与国际影响仍有很大差距,请各位找出差距,订出目标,至少是国内一流、国际上有一定影响力度。请各位编委把自己的成果写成文章,提供稿源,编委要把好审查质量关。学会领导很关心、重视‘学报’的工作,编辑部的建设,‘学报’所需经费总公司给予保证。2003年责任和压力很大,我希望大家热爱的‘学报’健康成长,再次感谢各位编委、院士的到来!”马付总的讲话,使我们大家深受鼓舞,决心做好2003年“学报”各方面工作。

会议中每位编委都畅谈了自己的感受和建议,对“学报”今后工作和努力方向作出明确定位并就组稿、审稿、出版校对减少差错等工作中存在的问题提出明确要求。

会议上大家一致认为2003年要大力加强高水平文稿的征集工作,公司内各院所今年要写出多篇高水平的文章,要反映出航天大系统工程,如载人飞船、空间站;卫星、导弹的最新技术成果及前瞻性研究等。要尽快建设好一个一流水平的编辑部,做好各方面工作,努力争取把“学报”在2~3年内办成国内一流,在国际上有一定影响的精品期刊。

《宇航学报》编辑部

2003年1月23日

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>