

文章编号:1006-2343(2005)03-006-03

大型星载天线的展开系统失效树分析

陈建军, 张建国, 段宝岩, 王小兵

(西安电子科技大学机电工程学院, 西安 710071, E-mail: jjchen@xidian.edu.cn)

摘要:针对某周边桁架式大型星载天线进行了展开可靠性研究, 重点在于展开机构的运动可靠性。首先分析了该大型天线的展开机理, 并应用失效树分析方法建立起展开系统的失效树。随后探讨了星载天线展开机构可靠性的建模和底事件的失效概率计算, 并在此基础上对系统的可靠度进行了预测。可靠性分析的结果表明: 提高系统可靠性的关键环节在于防止动力矩不足和避免卡滞失效问题。

关键词:星载天线; 展开系统; 失效树分析; 机构可靠性

中图分类号: V416.1: TB114.3 文献标识码:A

Faulty Tree Analysis of the Deployment System of a Large Satellite Antenna

CHEN Jian-jun, ZHANG Jian-guo, DUAN Bao-yan, WANG Xiao-bing
(Shool of Electromechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A study on the deployment reliability of a large satellite antenna with hoop-truss was presented in this paper and the key point was on the movement reliability of the deployment mechanism. To begin with, Firstly the movement principium of the large antenna was studied and the faulty tree of the deployment system was built by using the Faulty Tree Analysis method. Subsequently, the reliability model of the deployment mechanism and the probability calculating formulae of some base affairs were given, and upon which the system reliability was forecasted. The reliability analysis shows that preventing the deployment mechanism from a lack of enough kinetic moments and avoiding the blocking problems are important for improving the system reliability.

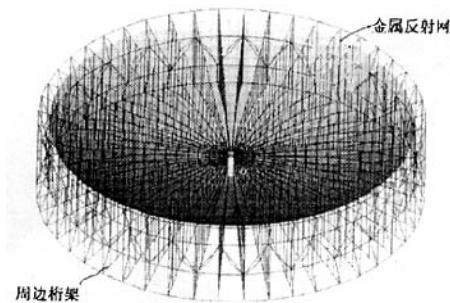
Key words: satellite antenna; deployment system; faulty tree analysis; mechanism reliability

技术性能和可靠性是当前用户和社会需求的焦点, 是产品质量的重要组成部分。从20世纪50年代初期开始, 可靠性问题被作为一门科学开始研究, 美国军用航空部是最先系统地进行可靠性研究的部门。60年代, 随着美国航天工程的发展, 机械故障导致发射失败的事故时有发生, 从那时起, 机械方面的故障成为NASA(美国宇航局)主要关心的事件。目前, 可靠性工程引起了世界各国的关注并有了长足的发展。

随着人类对宇宙空间的探索, 各种星载天线相继问世。由于运载火箭尺寸的限制, 大型星载天线在发射阶段一般采用折叠方式, 待卫星入轨定位后遥控展开。天线在太空要正常工作, 首先要顺利实现展开, 在航天史上曾有数起因天线或太阳能帆板未能展开而导致发射任务失败的先例。因此, 有必要在研制阶段对星载天线的展开可靠性进行分析和预测。

天线展开装置的机械部分通常为机构。由于机构系统复杂构造复杂、形体可变、失效机理多样, 故机构可靠性比结构可靠性问题的难度大, 目前理论和方法还不成熟, 对于运动功能可靠性研究涉及甚少^[1~4]。当前关于星载天线的研究主要集中在展开结构设计和展开动力学分析等方面^[5~8]。文[5]对于星载天线缠绕助条的力学特性进行了探讨。文[6]介绍了一种空间大型网状天线的展开机构设计, 并分析了工作原理。文[7]论述了环境实验对提高航天器可靠性的作用, 及其与可靠性实验的关系。

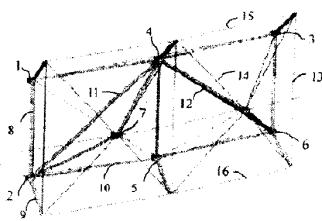
迄今为止, 公开发表的有关星载天线展开可靠性的文献极少。本文对研制中的某周边桁架式大型星载天线的展开可靠性进行了探讨性研究, 主要建立起展开系统的失效树, 并在此基础上研究了展开机构的运动可靠性分析模型, 对系统的可靠度进行了预测。最后依据可靠性分析和重要



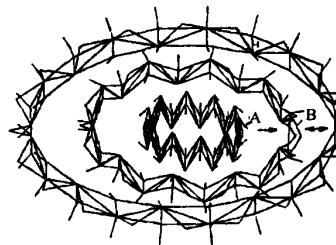
▲图 1 天线的全貌轴测图
度计算的结果, 指出了影响
系统可靠性的关键环节。

1 天线展开机构工 作原理

目前, 国内外星载可展
开天线的主要结构形式有:
径向肋、缠绕肋、折叠式和



▲图 2 周边桁架的两框单元图



▲图3 展开过程示意图

单元有48组,图2是其两单元结构示意图。其中1,3,5为四支杆节点;2,4,6为八支杆节点;7为二支杆节点;8~12为各支杆件;13~16为各种拉索。

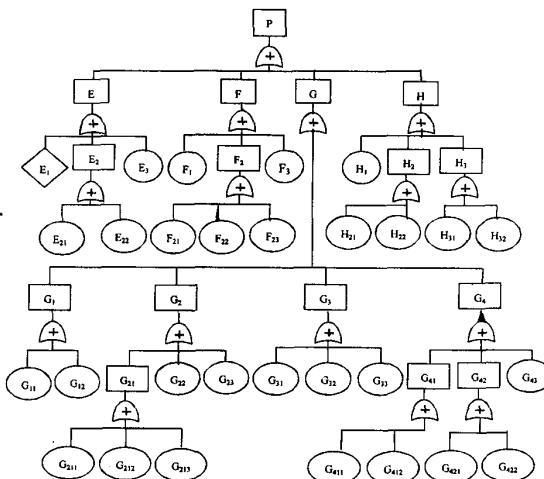
天线展开机构由电机、绳轮、扭簧、牵引拉绳、转动关节及中心圆筒等零部件组成,天线展开过程主要涉及解锁、展开、定位三个阶段。解锁阶段,天线的捆索爆断脱落,在扭簧作用下,桁架稍微张开以摆脱自锁位置;展开阶段,电机启动,穿过桁架对角杆的牵引拉绳收紧缠绕在绳轮上,对角杆的长度缩短,桁架单元由细长菱形逐渐变为矩形,缠绕在中心圆筒上的网面及其拉索从中心圆筒拉出;定位阶段,牵引电机停止转动,在对角杆弹簧锁和各关节限位块的作用下,天线展开到位并锁定。图3为周边桁架展开过程的示意图。

2 天线展开过程的失效树分析

失效树分析(FTA: Faulty Tree Analysis)是在系统设计过程中,通过对造成系统失效的各种可能因素(包括硬件、软件、环境、人为因素)进行分析,画出失效树逻辑框图;根据失效树中系统失效原因的各种组合及其发生概率,可以计算出整个系统的失效概率。失效树建立的目标事件被称为顶事件;将引起顶事件发生的最根本原因这些事件称为底事件;而位于顶事件与底事件之间的其它事件称中间事件;建立失效树的过程即在顶事件、中间事件和底事件之间确定逻辑关系。

本文针对所研究的星载天线设计方案,根据展开系统的工作原理、展开过程和太空工作环境等分析,构建了天线展开机构系统的失效树,如图4所示,其中的符号说明见表1。在建立失效树时,未考虑天线展开的动力效应和各运动副的磨损和疲劳失效因素。不考虑天线展开的动力效应是由于:天线的展开是一个极缓慢的过程,且无过大的冲击性荷载作用,目前设计的天线展开机构有相当的刚度,因此展开的动力效应(冲击作用)对天线展开可靠性的影响较小。不考虑磨损和

疲劳失效的理由是:展开机构中各运动副的有效工作时间短,而且为低速运动,磨损和疲劳失效的现象几乎不发生。



▲图4 星载天线展开系统失效树

3 展开机构系统的可靠性分析

从所建立的失效树出发,下一步是构建失效树中各个底事件的可靠性分析模型,推导出其失效概率的计算公式。机构可靠性的计算主要有功能函数法和安全裕度法,关于空间机构的可靠性,在美军标、国军标及欧洲航天局(ESA)标准中至今未有统一的定量分析方法,仅有展开功率裕度的概念。本文对于天线展开机构可靠性的定量计算是具有探索性的,主要采用运动功能函数的方法建立可靠性分析模型,下面以桁架展开过程中“动力矩不足”为例说明底事件失效概率的推导过程。

3.1 底事件的失效概率

本文所研究的星载天线展开机构中,各桁架杆靠转动关节相联,展开的动力由电机提供,阻力主要来自关节的摩擦阻力矩,它由关节轴上的正压力和摩擦系数产生。考虑到构件的加工、装配误差及环境随机因素的影响,将电机产生的牵引力 T 、关节轴半径 r 、销轴与轴套之间的摩擦系数 f 均视为随机变量。欲使周边桁架顺利展开,须满足如下两个运动功能之一:

(1) 主动力矩始终大于阻力矩

此功能函数对应的极限状态方程为:

$$Z_M(\theta) = M_a(\theta) - M_r(\theta) = 0 \quad (\theta_0 \leqslant \theta \leqslant \theta_m) \quad (1)$$

其中, $Z_M(\theta)$ 为力矩形式的功能函数; $M_a(\theta)$ 和 $M_r(\theta)$ 分别为主动力矩和阻力矩;它们三者均为展开角 θ 的函数,且为随机变量(T, r, f)的函数; θ_0 和 θ_m 为展开的起始、终止角度。

利用可靠性分析中的二阶矩方法^[9],可求得运动可靠性指标和可靠度分别为:

表1 系统失效树的符号说明

代号	意义	代号	意义	代号	意义	代号	意义
P	天线展开失效	F ₂	网面缠绕	G ₂₁	转动关节卡死	G ₄₁₁	有杂质入侵
E	解锁失效	F ₃	网索连接失效	G ₂₂	扭力弹簧失效	G ₄₁₂	润滑脂老化
F	网面展开失效	F ₂₁	网面松脱失效	G ₂₃	动力矩不足	G ₄₂₁	拉绳断裂
G	桁架展开失效	F ₂₂	网面轴向滑移	G ₃₂	绳索结构缠绕	G ₄₂₂	从滑轮中脱出
H	限位失效	F ₂₃	网绳框架缠绕	G ₃₃	不是有序拉出	H ₁	电机限位失效
E ₁	电子打火失效	G ₁	角杆滑动失效	G ₄₁	摩擦系数增大	H ₂	弹簧锁位失效
E ₂	信号遥控失效	G ₂	转动关节失效	G ₄₂	动力拉绳失效	H ₃	限位挡板失效
E ₃	捆索爆炸不足	G ₃	管理机构失效	G ₄₃	电机失效	H ₂₁	弹簧强度失效
E ₂₁	发射装置失效	G ₄	动力传递失效	G ₂₁₁	滑轮轴卡死	H ₂₂	珠孔配合失效
E ₂₂	接收装置失效	G ₁₁	弹簧锁阻过大	G ₂₁₂	节点轴卡死	H ₃₁	限拉挡板变形
F ₁	有网绳断裂	G ₁₂	套管卡死	G ₂₁₃	齿轮转动卡死	H ₃₂	限位挡板断裂

$$\begin{aligned}\beta_M &= \mu_{Z_M} / \sigma_{Z_M} \\ &= (\mu_{M_a} - \mu_{M_r}) / \sqrt{\sigma_{M_a}^2 + \sigma_{M_r}^2} \quad (2) \\ P_{rM} &= P(M_a(\theta) - M_r(\theta) > 0) \\ &= \Phi(\beta_M) \quad (3)\end{aligned}$$

其中, $\mu(\cdot)$ 和 $\sigma(\cdot)$ 为随机变量 (\cdot) 的均值和均方差; $\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数。

(2) 主动力矩所做的功大于阻力矩所做的功

此功能函数对应的极限状态方程, 以及相应的可靠性指标和可靠度分别为:

$$Z_W(\theta) = W_a(\theta) - W_r(\theta) = 0 \quad (\theta_0 \leq \theta \leq \theta_m) \quad (4)$$

$$\beta_W = \mu_{Z_W} / \sigma_{Z_W} = (\mu_{W_a} - \mu_{W_r}) / \sqrt{\sigma_{W_a}^2 + \sigma_{W_r}^2} \quad (5)$$

$$P_{rW} = P(W_a(\theta) - W_r(\theta) > 0) = \Phi(\beta_W) \quad (6)$$

其中, $Z_W(\theta)$ 为做功形式的功能函数; $W_a(\theta)$ 和 $W_r(\theta)$ 分别为累积的主动功和阻力功; 它们三者均为展开角 θ 的函数, 且为随机变量 (T, r, f) 的函数。

只有当两种功能函数均小于零时, 周边桁架才无法展开, 故“动力矩不足”事件的失效概率为:

$$P_{rf} = (1 - P_{rM})(1 - P_{rW}) \quad (7)$$

根据天线的结构设计方案, 对于运动功能函数的表达式进行显示化处理, 推导出运动可靠度的计算公式, 并根据提供的设计参数对“动力矩不足”这一底事件的失效概率进行了预估。对于滑轮轴卡滞失效、同步齿轮卡死等底事件也利用功能函数进行了失效概率的公式推导, 得到理论预测值。但不是所有的底事件均可以推导出可靠性计算公式, 对于无法进行理论计算的底事件的失效概率, 可利用查阅手册、或进行类比、或依据经验来取值。如电机失效的概率、弹簧锁配合失效的概率则可通过模拟试验得到统计数据。对于实在无法定量计算的底事件的失效概率则只能人为给出估计值, 如绳索发生缠绕的概率等。

依据整个星载天线系统失效树模型, 在得到各个底事件发生的概率之后, 可求得顶事件(即系统失效)发生的概率为:

$$P_0 = \prod_{i=1}^n [1 - P(x_i)] \quad (8)$$

式中, P_0 为星载天线展开系统的失效概率; $P(x_i)$ 为第 i 个底事件的失效概率。

3.2 底事件的重要度计算

表 2 底事件的失效概率和重要度计算结果

底事件	失效概率	概率重要度	关键重要度	底事件	失效概率	概率重要度	关键重要度
E ₁	1.0E-5	0.9 ³ 415	1.68E-2	* G ₂₃	3.106E-4	0.9 ³ 716	5.219E-1
E ₂₁ ~E ₂₂	1.0E-5	0.9 ³ 415	1.68E-2	G ₃₁ ~G ₃₃	1.0E-6	0.9 ³ 406	1.68E-3
E ₃	1.0E-5	0.9 ³ 415	1.68E-2	G ₄₁₁ ~G ₄₁₂	1.0E-6	0.9 ³ 406	1.68E-3
F ₁	1.0E-6	0.9 ³ 406	1.68E-3	* G ₄₂₁	1.052E-7	0.9 ³ 4051	1.767E-4
F ₂₁ ~F ₂₃	1.0E-5	0.9 ³ 415	1.68E-2	G ₄₂₂	1.0E-6	0.9 ³ 406	1.68E-3
F ₃	1.0E-5	0.9 ³ 415	1.68E-2	G ₄₃	1.0E-5	0.9 ³ 415	1.68E-2
G ₁₁ ~G ₁₂	1.0E-6	0.9 ³ 406	1.68E-3	H ₁	1.0E-5	0.9 ³ 415	1.68E-2
* G ₂₁₁	5.412E-5	0.9 ³ 459	9.091E-2	H ₂₁	1.0E-6	0.9 ³ 406	1.68E-3
* G ₂₁₂	2.815E-5	0.9 ³ 433	4.728E-2	H ₂₂	1.0E-5	0.9 ³ 415	1.68E-2
* G ₂₁₃	7.113E-5	0.9 ³ 476	1.195E-1	H ₃₁	1.0E-5	0.9 ³ 415	1.68E-2
* G ₂₂	2.328E-7	0.9 ³ 4052	3.91E-4	H ₃₂	1.0E-6	0.9 ³ 406	1.68E-3

系统中各基本事件的概率重要度是衡量基本事件的状态对系统发生故障概率的影响程度, 其物理意义是: 当且仅当第 j 基本事件发生时, 对系统失效概率的影响程度。概率重要度的定义式为:

$$I_j = \partial g(q) / \partial q_j \quad (9)$$

式中, I_j 为第 j 事件对应的概率重要度; q_j 是第 j 事件的失效概率; $g(q)$ 是顶事件概率表达式。

由概率重要度的定义, 对于本文的星载天线展开系统失效树有:

$$I_j = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n 1 - q_i = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n 1 - p(x_i) \quad (10)$$

底事件的关键重要度是考查基本事件对系统故障影响的另一个重要指标, 关键重要度不仅考虑了基本事件的概率重要度, 同时也考虑了基本事件本身发生的概率对系统故障的影响。其定义式为:

$$II_j = q_j I_j / g(q) \quad (11)$$

式中, II_j 表示第 j 个基本事件的关键重要度; $I_j, g(q)$ 的含义同前。

对本文天线展开系统失效树, 其中各底事件的失效概率、概率重要度和关键重要度的计算结果一同列在表 2, 其中带 * 者为理论计算的失效概率值, 其余为经验估计的概率值。

按照表 2 中概率重要度 I_j 从大到小的顺序, 确定各个基本事件对系统故障的影响大小顺序如下:

$$(G_{23}) > (G_{213}) > (G_{211}) > (G_{212}) > (E_1, E_{21} \sim E_{22}, E_3, F_{21} \sim F_{23}, F_3, G_{43}, H_1, H_{22}, H_{31}) > (F_1, G_{11} \sim G_{12}, G_{31} \sim G_{33}, G_{411} \sim G_{412}, G_{422}, H_{21}, H_{32}) > (G_{22}) > (G_{421})$$

根据关键重要度 II_j 从大到小的顺序, 确定各个基本事件对系统故障的影响大小顺序与上是一致的, 由此可知, 对天线展开机构系统失效概率影响最大的几个基本事件依次是: 动力矩不足 (G_{23})、同步齿轮卡死 (G_{213})、节点轴卡滞 (G_{211})、滑轮轴卡滞 (G_{212})。

将各个底事件失效概率代入公式(8), 得到顶事件的失效概率 $P_0 = 5.95 \times 10^{-4}$, 所以本文星载天线展开的可靠度预测值为 $P_S = 1 - P_0 = 0.9^3 405$ 。

4 结束语

本文针对周边桁架式大型星载天线的展开过程进行了系统失效树分析, 并利用运动功能函数法推导了部分底事件的失效概率计算公式,

根据设计方案的有关结构参数, 对目前星载天线展开机构系统设计方案的展开可靠度进行了预测, 为该设计方案的改进和调整提供了参考依据。

(下转第 18 页)

到的方法是“数控”——控制出料管按色块的轮廓运动。这种方法虽然可行,但不难想象其生产效率非常之低,不符合工业化生产的需要。深入领会 TRIZ 的“预操作”及“复制”原理,可得出这一问题的另一个解——用“模板”布料,即在料斗与料框之间增加一个中间介质“模板”,模板的镂空部分即为某一色块的布料区域(若图 4b 是模板,则青色块区域为镂空部分),料斗布料运行时,只在模板空穴处落料,从而在料框中形成预期图案。

对于任一种天然石材,一般包含多种色调,故需要若干块模板多次布料才能达到比较真实的效果。运用“分割”原理,将“多管布料系统”分解成多个布料工位,每个工位只对一种色块进行布料,其工艺动作相对简单;运用“反向”原理,将料框由静止改为运动,通过辊道使其在各布料工位间循环运动,由此形成一条流水生产线。由于各工位的布料时间重叠、可以配置多个料框,故生产效率大为提高。

为减少占地面积、使结构紧凑,运动“维数变化”原理,将生产线设计成双层结构,顶层为布料线,底层为空料框的回程线。

市场对瓷砖品种的需求是瞬息万变的,为使这种新型布料系统具有广泛的适应性和柔性,运用“动态化”原理,将组成系统的各个布料工位模块化,具有基本相同的机械组成原理、结构、联接方式及控制原理。根据所生产瓷砖的花色品种不同,工位的个数可以方便地增减、先后位置可灵活地调整,模板的更换简便易行。

经过 TRIZ 理论的指导后,最终形成了新型布料系统的总体方案,如图 5 所示。限于篇幅,本系统中的其他问题如送料平台、空料框回收机构、模板制造、系统协调控制、料框组成、细小纹理刻划等不在此讨论。

4 结 论

TRIZ 的冲突解决理论及发明原理是产品创新的有效工具,为广大科技工作者提供了一把开启创新之门的金钥匙。

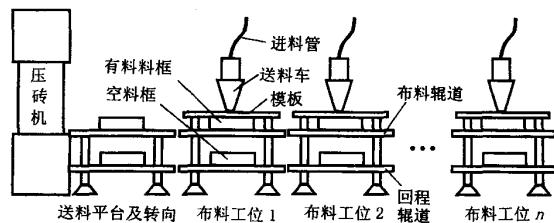
(上接第 8 页)

根据概率重要度和关键重要度的计算结果分析可知,对星载天线展开机构系统失效影响最大的几个基本事件是:动力矩不足、同步齿轮卡死、节点轴卡滞和滑轮轴卡滞,它们是导致系统失效的薄弱环节;而驱动电机失效、网面松脱、绳索与桁架结构勾挂、锁珠与锁孔配合失效等是对系统失效有较大影响的底事件,也应当采取措施避免其发生。

星载天线的展开可靠性问题属于机构可靠性的研究范畴,它是机械可靠性研究领域中比较新的前沿课题,目前理论和方法尚不成熟。本文是对大型星载天线展开可靠性问题的探索性研究,其失效树的建立亦需要随着天线展开结构方案的深入不断细化,一些失效事件的可靠性计算也有待进一步研究完善。

参考文献:

- [1] Feng Y S. The development of theory of mechanism reliability[J]. Reliability Engineering & System Safety, 1993, 41(1): 95~99.



▲图 5 新型布料系统总体方案

但是,TRIZ 并不能直接给出问题的特定解。针对具体工程技术问题,要想获得具有创造性的解,还需要设计者依据 TRIZ 指明的方向,结合问题的特定条件,充分发挥自己的领域知识和实践经验,去对问题进行深入地探索。本文所讨论的新型布料系统就是在 TRIZ 理论指导下取得的创新成果,经过样机试验,表明该系统基本满足了生产仿天然人造大理石瓷砖的工业化需求,瓷砖的花色图案及质感与预选的天然石材相仿,证明这种新型布料方法和系统具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 檀润华. 创新设计——TRIZ: 发明问题解决理论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] 牛占文, 徐燕申, 等. 发明创造的科学方法论——TRIZ [J]. 中国机械工程, 1999, 10(1): 84~89.
- [3] Emily M Smith. From Russia with TRIZ [J]. Mechanical Engineering. New York: Mar 2003, 125: 18~20.
- [4] Darrell Mann. Manufacturing technology evolution trends [J]. Integrated Manufacturing Systems. Bradford 2002, 13: 86~90.
- [5] 马怀宇, 孟明辰. 基于 TRIZ/QFD/FA 的产品概念设计过程模型 [J]. 清华大学学报, 2001, 40(11): 56~59.
- [6] 张付英, 徐燕申, 等. 基于物场分析的伺服液压缸设计研究 [J]. 液压与气动, 2003, (2): 23~25.
- [7] 侯智, 邢预恩, 等. 基于 TRIZ 的计算机辅助设计初探 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2002, (10): 32~34.

作者简介: 张卫国(1957—),男,教授,研究方向为现代设计方法,机械 CAD,发表论文 20 余篇。

- [2] B Z Sandler 著, 马培荪等译. 机构概率设计 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [3] Mitigui Jin. Comparative analysis of deployable truss structures for mesh antenna reflector [J]. AIAA, 1998, 36(8): 1546~1548.
- [4] Masayoshi Misawa, Tetsuo Yasaka, Shojiro Miyake. Analytical and experimental investigations for satellite antenna deployment mechanisms [J]. J Spacecraft, 1989, 26(3): 181~187.
- [5] 董志强, 段宝岩. 星载天线缠绕肋条的力学特性研究 [J]. 西安电子科技大学学报, 2001, 28(6): 755~758.
- [6] 冯达武, 赵人杰. 空间大型网状展开天线展开机构的研究 [J]. 中国空间科学技术, 1997, (1): 64~70.
- [7] 金恂叔. 论航天器的环境试验和可靠性 [J]. 中国空间科学技术, 1997(5): 33~40.
- [8] 朱敏波, 曹峰云, 刘明治, 等. 星载大型可展开天线太空辐射热变形计算 [J]. 西安电子科技大学学报, 2004, 31(1): 28~31.
- [9] Chen J J, Duan B Y. Reliability Aspects in Dynamic & Structural Optimization [M]. Gordon & Breach Publishers, 1999.

作者简介: 陈建军(1951—),教授、博士生导师,主要研究方向: 机械可靠性与优化设计等,发表论文 80 余篇,获部、省级科技进步一、二等奖 5 项。

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>