

大型空间索网式展开天线的动力优化设计

罗 鹰 段宝岩

(西安电子科技大学机电工程学院, 陕西 西安 710071)

摘要: 针对某 17 米口径星载展开天线结构的特点, 建立了有限元预张力分析模型, 对其动力学特性作了初步探讨; 另外, 以结构重量作为目标函数, 以反射面精度、固有频率以及结构强度为约束函数, 以拉索预应力以及周边桁架的单元截面积作为设计变量建立了优化模型, 并利用改进后的遗传算法对其进行了实际的数值优化计算, 取得了合理的结果。

主题词: 展开天线 动力优化 索网 固有频率

On Dynamic Optimization of the Deployable Large Flexible Net Antenna

Y. Luo and B.Y. Duan

(School of Electromechanical Engineering, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract Considering the flexible cable net deployable antenna, structural characteristics of the large deployed antenna for satellite are discussed and derived the pre-stress variables and cross-section variables of the structure. The paper presents an optimum design model searching for minimum weight design while the constraints such as reflector precision, eigenfrequency, strength and forbidden frequency domain are concerned. The design parameter are stress of cable and cross-sectional area of truss. The improved GA method is utilized to solve it with reasonable results.

Keywords: Deployed antenna Dynamic optimum Flexible net Eigenfrequency

1 引言

随着现代航天科学技术的飞速发展, 空间展开天线得到了愈加广泛的应用, 早期的星载天线, 因其口径较小, 多采用以径向肋或缠绕肋等刚性结构为骨架的结构形式。但随着卫星通信频段提高与发射重量的限制, 天线口径越来越大, 有时甚至达到上百米, 这就迫使人们将目光转向了索网式可展开天线。这种天线具有尺寸大、重量轻、柔性大的特点。本文针对大型索网式可展开天线结构特点, 对这种天线结构的动、静力特性进行了分析比较, 提出了其动力优化设计模型, 将其应用于实践并取得了比较满意的结果。另外, 空间展开天线的优化设计应该包括其发射过程中的收拢状态和进入轨道后的展开状态, 本文目前的研究工作仅限于展开状态。

2 优化设计模型

2.1 结构特点分析

图 1 所示为某 17 米口径索网式展开天线结构, 它主要由三部分构成: 周边桁架 (1)、索网系统 (2) 以及中心圆筒 (3)。由图可见, 该天线反射面是由从中央圆筒 (中心体) 均匀向外辐射的悬索系统形成的。图 2 为单组曲面拉索的结构原理简图, 它比较清楚地表明了天线曲面形成原理。从图中可知, 上悬拉索一端固定在中央圆筒的上部, 一端固定在周边桁架的上斜杆顶端。下悬拉索一端固定在中央圆筒略下一点位置, 一端固定在周边桁架的下斜杆顶端。依靠垂列线将上悬拉索调整到所需曲率。对整个天线反射面而言, 分别调整每一组悬索线, 就能够使其形成所需的反射面。另外, 为避免由于各组曲面拉索之间的互动性, 确保网面精度的准确调整, 因此该天线悬索系统中的各组拉索之间没有环向拉索。通过对图 2 的分析可知: 当曲面拉索中的竖向索调节力为竖直方向时, 拉索内的水平张力保持为一个常量。因此, 对于该索网式展开天线的任一组曲面拉索必然存在唯一的水平张力与之对应。因此, 只要给定一个水平张力, 就能够找到与该力对应的平衡结构形状。推广到整个天线反射索网, 若存在 m 组曲面拉索, 则只需确定 m 个水平力, 就能够完全确定悬索系统中各索单元的内力与反射网面的形状。

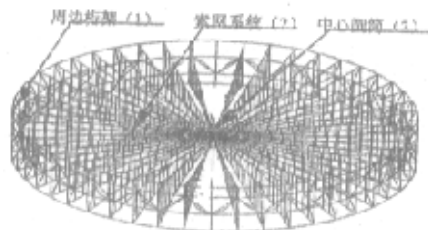


图 1 天线总体结构简图

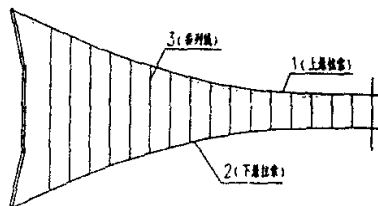


图 2 一组天线曲面拉索原理图

2.2 优化设计变量的确定

通过对天线结构的观察可见, 能够对结构性能产生影响的因素主要包括周边桁架结构质量、索网系统质量、中心圆筒质量以及拉索预张力。针对以上四种因素对天线结构性能的影响分别进行了分析, 分析结果分别如下面各图所示。

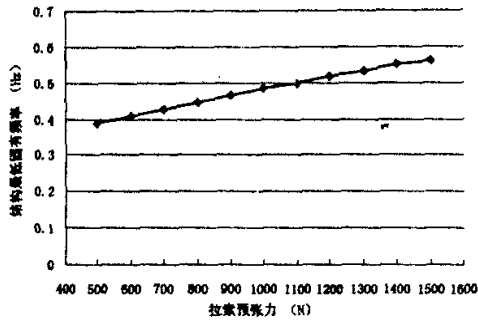


图3 拉索预张力与天线基频的关系曲线图

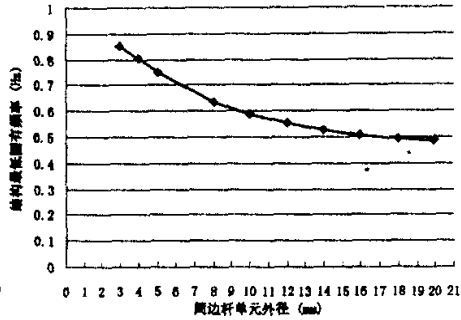


图4 周边单元外径与天线基频的关系曲线图

索预张力对展开天线基频的影响是比较明显的, 当在拉索上施加的水平预张力由 500N 增加至 1500N 时, 结构最低固有频率呈现非线性上升趋势, 其最低固有频率增加了 0.2Hz 左右。可见, 索网式展开天线中拉索预张力对结构动力性能的影响是比较大的。

图4给出了周边桁架单元截面面积变化对天线最低固有频率的影响, 本文通过固定单元壁厚, 改变单元外径的方法来改变周边桁架单元截面面积。由分析结果可见, 当单元外径由 3mm 增加到 20mm 后, 结构基频则由 0.86Hz 下降为 0.48Hz, 降低了几乎一半, 呈现非线性下降趋势。由此可见, 周边桁架单元截面面积变化对天线最低固有频率的影响同样也是比较明显的。

图5和图6分别显示了展开天线中心圆筒质量和拉索截面半径对天线结构基频的影响关系曲线。由图可见, 随着中心圆筒质量由 0.5Kg 增加到 5.0Kg, 结构基频降低不到 0.1Hz, 呈现缓慢的下降趋势。另外, 当拉索系统中索单元截面半径由 0.5mm 增加到 1.2mm 时, 其结构基频却只下降了 0.1Hz 左右, 同样呈现出缓慢的下降趋势。由此可见, 索网式展开天线中中心圆筒的质量与拉索截面在通常范围内的变化对结构动力性能的影响并不明显。

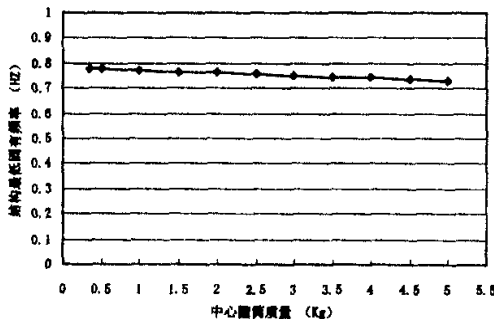


图5 中心圆筒质量与天线基频的关系曲线图

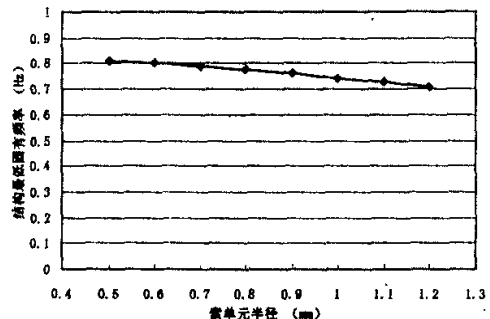


图6 拉索半径与天线基频的关系曲线图

综上所述, 考虑到各设计参数对结构整体动力性能的影响, 本文在对展开天线进行动力优化设计时, 选择拉索系统中各索单元的预张力和周边桁架单元截面面积作为优化设计变量。

2.3 周边桁架单元截面变量

周边桁架单元结构如图7所示, 整个展开天线周边就是由若干个这样的单元连接组合而成, 各个构架单元结构完全相同。根据结构受力情况与加工要求, 在优化设计中将周边桁架各单元的截面变量归并 6 类设计变量:

变量 1: DG, EH, FI 变量 2: DE, EF, GH, HI

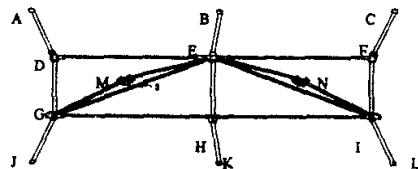


图7 周边桁架单元结构图

变量 3: EG, EI 变量 4: AD, BE, CF, GJ, HK, LI
变量 5: EM, EN 变量 6: MG, NI

2.4 动力优化数学模型

在航天技术方面(人造卫星、火箭以及航天飞机等),首先要求的是结构自重要轻。据相关研究表明,卫星重量每减轻 1 公斤,运载火箭就可以减轻 500 公斤,由此可见减轻卫星重量的重要性。

考虑到星载展开天线工作环境的复杂性,在设计中需要对天线的各方面性能进行严格的规定。首先,由于星载展开天线的特殊性,其对反射网面的精度要求是极其严格的。因此完全有必要对天线反射精度规定比较高的要求。其次,虽然天线在太空的正常工作情况下没有外部荷载作用,但其内部有较大的预应力作用,因此应该保证天线各单元在预应力作用下不会发生破坏,施加强度约束。另外,动力特性也是星载展开天线设计中的重要指标,应通过优化设计使天线的固有频率远离激励(卫星姿态调整或变轨等)频率带宽则可避免谐振现象发生,从而抑制或减少振动,提高结构动力性能。经过对索网式展开天线的各项设计要求的全面考虑,本文建立了如下优化设计模型:

$$\begin{aligned} & \text{Find} \quad A_1, A_2, \Lambda, A_N \text{ and } F_1, F_2, \Lambda, F_M \\ & \text{Min} \quad W = \rho \sum_{i=1}^N A_i \sum_{j \in i} L_j \\ & \text{s.t.} \quad D_{\text{deploy}} - D^L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\text{nup}} \delta_i^2}{\text{nup}}} - D^L \leq 0 \\ & \quad \sigma_e^{\text{deploy}} - [\sigma_{\text{truss}}] \leq 0 \quad (e=1, \Lambda, \text{TNUM}) \\ & \quad \sigma_r^{\text{deploy}} - [\sigma_{\text{cable}}] \leq 0 \quad (r=1, \Lambda, \text{CNUM}) \\ & \quad -\omega_{\min}^{\text{deploy}} + \omega_{\text{deploy}} \leq 0 \\ & \quad \omega_k^{\text{deploy}} \notin [\omega^L, \omega^U] \quad (k=1, \Lambda, \text{PNUM}) \\ & \quad A_i \in [A^L, A^U] \quad (i=1, \Lambda, N) \\ & \quad F_i \in [F^L, F^U] \quad (i=1, \Lambda, M) \end{aligned}$$

其中, A_i 为周边构件单元 i 的截面积, N 为截面积设计变量总数; F_i 为预应力设计变量, M 为预应力设计变量总数; W 为周边构架结构重量, 其中 ρ 为周边构架材料密度, L_j 为与 A_i 相对应的构架单元长度。 D_{deploy} 为网面实际精度,

δ_i 为反射索网上悬节点 i 的误差值, D^L 为反射网面设计允许精度值。 σ_e^{deploy} 为周边构架单元 e 中的实际等效应力, $[\sigma_{\text{truss}}]$ 为单元最大允许应力, TNUM 为构架单元总数。 σ_r^{deploy} 为索单元 r 的实际应力, $[\sigma_{\text{cable}}]$ 为索单元最大允许应力值, CNUM 为索单元的总数。 $\omega_{\min}^{\text{deploy}}$ 为天线实际最低固有频率, ω_{deploy} 为天线设计允许基频值。 ω_k^{deploy} 为天线的第 k 阶频率, ω^L 、 ω^U 分别为在天线设计允许频率带宽的下、上限值。 PNUM 为设计要求的最大频率阶数。 A^U 和 A^L 分别为截面变量上、下限值; F^U 和 F^L 分别为预应力变量上、下限值。

3 问题的求解

由于该优化问题涉及设计变量数多、求解规模大,约束条件比较复杂,优化设计变量的性质以及量级和量纲都存在很大的差异,因此利用传统数值规划方法对该问题进行优化计算就显得比较困难。经过分析比较,本文选择采用改进后的遗传算法(GA)对该问题进行优化计算。

遗传算法(genetic algorithms,简称 GA)是基于“适者生存”原理的一种高度并行、随机和自适应的优化算法,它将优化问题的求解表示成“染色体”的适者生存过程,通过对“染色体”群进行复制、交叉以及变异等操作,使其能够得以不断进化,最终收敛到“最适应环境”的个体,从而获得问题的最优解或满意解。

3.1 编码

由于遗传算法(GA)不是直接处理结构优化中各设计变量,而是将各设计变量通过编码转换

成遗传空间中由基因个体排列组成的染色体或个体后进行进化操作, 这就使其能够不受函数约束条件(连续性、可导性等)的限制。为消除两类变量在数量上的差异, 本文在特引入两组[0, 1]之间的连续设计参数:

1 单元截面设计参数 α_i

$$\alpha_i = \frac{A_i - A_i^L}{A_i^U - A_i^L} \quad (i = 1, 2, \Lambda, ANUM) \quad (1)$$

其中, A_i 为第 i 个单元截面设计变量值; A_i^U 和 A_i^L 分别为单元 i 的截面设计变量上、下限值; $ANUM$ 为天线周边桁架截面设计变量的总数;

2 索单元预张力设计参数 β_j

$$\beta_j = \frac{F_j - F_j^L}{F_j^U - F_j^L} \quad (j = 1, 2, \Lambda, FNUM) \quad (2)$$

其中, F_j 为第 j 个索张力设计变量值; F_j^U 和 F_j^L 分别为 F_j 的上、下限; $FNUM$ 为结构索单元预张力设计变量总数。

3 变量编码

由于两类设计变量性质不同, 其对结构性能的影响存在较大的差别, 为避免两类变量在迭代过程中, 特别是在交叉操作中的相互干扰, 提高优化效率, 本文采用了多层编码技术, 将不同类型变量在不同层面上分别进行编码处理。

3.2 适应度函数

适应度函数用于评价群体中每个个体对环境的适应程度, 也是优化过程发展的依据。对于简单的优化问题, 可以直接利用优化目标函数变换为适应度函数。而对于比较复杂的优化问题, 则需根据具体优化模型来构造比较合适的适应度函数, 使其能够满足 GA 运算的需要。

3.3 遗传算子

优胜劣汰是 GA 的基本设计思想, 并在选择、交叉、变异等遗传算子操作中得以体现。

复制操作是为了避免个体中有效基因的丢失, 使高性能的个体能够得到更大的生存概率, 从而提高算法的全局收敛性和计算效率。最常用的方法是根据适应度排名的复制操作。交叉操作用于产生新的个体, 在解空间进行有效的搜索, 同时降低对有效模式的破坏。在二进制编码中, 主要包括单点交叉与多点交叉两种。与前述多层编码相对应本文采用了分层交叉的方法。根据各类设计变量编码层次的不同, 分别在不同层次上进行交叉操作, 以避免类型不同变量之间的相互干涉。

当交叉操作产生的后代适应度不再进化且没有达到真正的最优时, 就意味着算法出现了早熟收敛现象。这主要是由于个体中有效基因缺损造成的。此时, 变异操作在一定程度上能够有效避免这种早熟现象的发生, 有利于增加种群的多样性。

3.4 优化迭代过程

本文采用了遗传算法(GA)进行优化计算, 其算法流程图如图 8 所示。

4 优化数值结果与分析

某空间索网式展开天线结构设计参数如下: 口径 17m, 反射面高为 1.3894m, 周边构架材料为碳纤维, 弹性模量为 $2.35 \times 10^{11} \text{N/m}^2$, 密度为 $1.8 \times 10^3 \text{Kg/m}^3$, 杆截面全部为圆管, 壁厚为 0.0005m。拉索全部采用芳纶纤维材料, 横截面为圆, 弹性模量为 $1.24 \times 10^{11} \text{N/m}^2$, 半径为 0.001m, 密度为 $1.45 \times 10^3 \text{Kg/m}^3$ 。另外中心体同样采用碳纤维制造, 高度为 2.2m, 半径为 0.20m, 壁厚为 0.001m。天线反射面精度要求为 0.0035m, 天线整体的最低固有频率不小于 0.7Hz。

现根据上述要求建立以天线结构重量为目标, 以固有频率、反射面精度以及结构强度要求为约束条件的优化数学模型, 并且根据该模型进行优化设计计算。由于在优化过程中没有对拉索系统和中心体进行任何变化, 故本文将周边桁架重量作为优化目标, 其随优化迭代的变化过程如图 9 所示, 由图可见, 通过优化, 天线结构重量由最初的 64Kg 最后降为 12Kg, 降幅高达 80%左右, 而且该结果也远远小于设计规定值 34Kg。与此同时, 优化过程中约束函数(结构最低固有频率和天线反射面精度)的变化过程分别如图 10 和图 11 所示。在优化过程中, 其约束函数始终是满足要求的。由此可见, 展开天线结构的动力优化设计对降低结构重量, 提高设计质量效果是十分明显的。

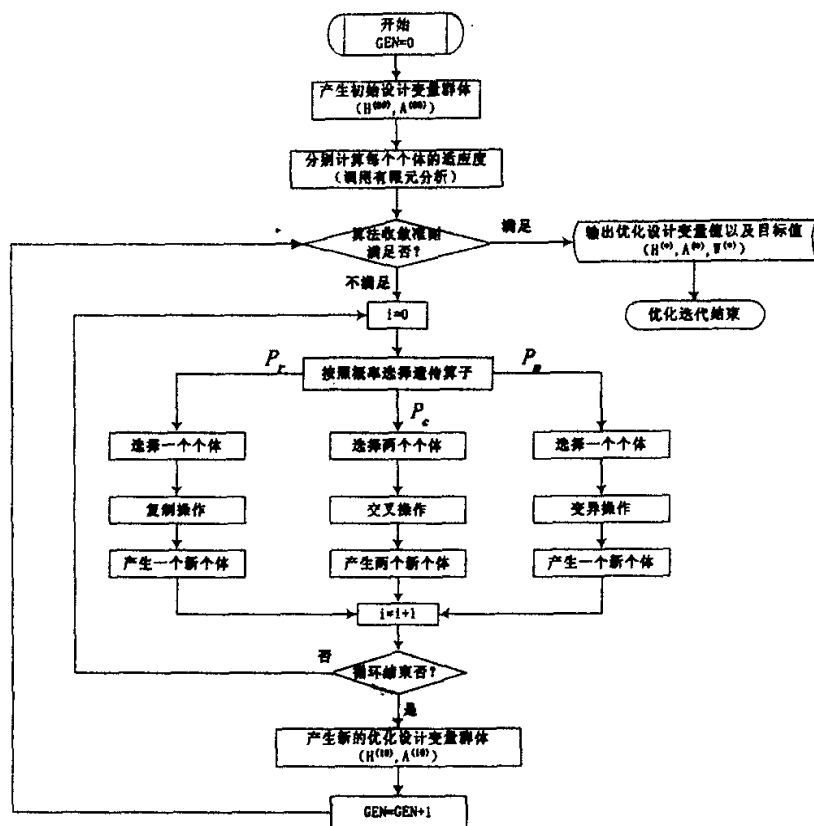


图 8 优化迭代计算流程图

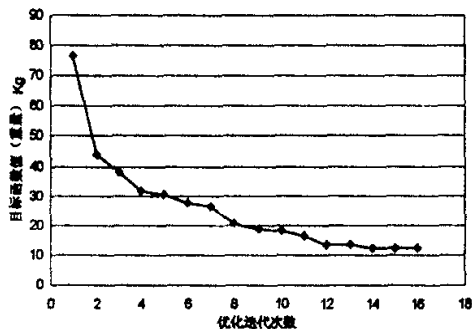


图 9 优化目标（重量）值的变化过程

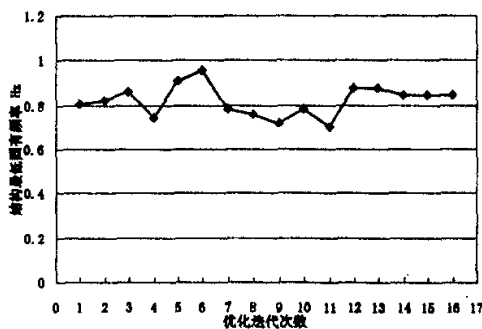


图 10 约束函数（基频）值的变化过程

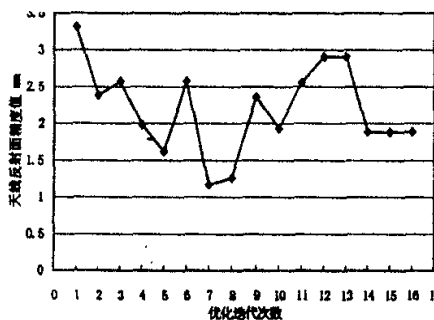


图 11 约束函数（精度）值的变化过程

另：
常需要
态调

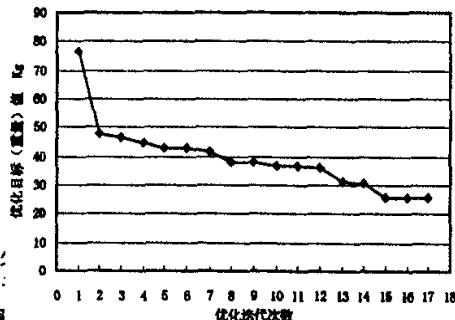


图 12 优化目标（含频率禁区）的变化

生,从而抑制或减少振动,提高结构动力性能。因此,在对空间天线进行优化设计时,有必要将频率禁区作为约束条件,针对上述展开天线,假设频率禁区值为 $[2.0\text{Hz}, 3.0\text{Hz}]$,其它条件参数与上述相同,在增加频率禁区约束后,结构重量随优化迭代的变化过程如图 12 所示,通过优化计算,结构重量由初始设计的 64Kg 降为 25Kg ,比不考虑频率禁区约束情况下的优化结果增加了 13Kg ,这说明频率禁区约束对优化

表 1 展开天线前十阶频率的变化过程值

单位: Hz

频率阶数 迭代次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.81	2.39	3.12	5.42	5.72	9.13	9.67	10.55	12.91	13.35
2	0.74	1.97	3.47	3.75	4.89	5.85	6.81	7.58	9.98	10.35
3	0.75	1.93	3.51	3.71	4.91	5.90	6.86	7.60	9.79	9.96
4	0.72	1.92	3.60	4.34	6.11	7.10	7.12	9.23	9.25	10.85
5	0.74	1.96	3.60	4.27	6.15	6.65	7.25	9.45	9.53	10.39
6	0.74	1.96	3.60	4.27	6.15	6.65	7.25	9.45	9.53	10.39
7	0.74	1.98	3.64	4.40	6.20	6.94	7.29	9.46	9.53	10.82
8	0.75	1.96	3.78	4.34	6.24	6.77	7.19	9.05	9.08	10.22
9	0.75	1.98	3.80	4.38	6.26	6.88	7.22	9.07	9.10	10.41
10	0.73	1.96	3.72	3.90	4.94	6.01	7.05	7.29	9.61	9.72
11	0.77	1.91	3.65	3.79	4.38	5.11	6.35	6.93	9.02	9.40
12	0.77	1.91	3.65	3.79	4.38	5.11	6.35	6.93	9.02	9.40
13	0.81	1.98	3.85	4.01	4.43	5.16	5.99	7.37	8.10	9.44
14	0.72	1.94	3.76	4.25	4.48	5.27	5.44	6.43	7.23	7.95
15	0.72	1.96	4.02	4.05	4.48	5.19	5.78	7.55	7.56	9.47
16	0.72	1.96	4.02	4.05	4.48	5.19	5.78	7.55	7.56	9.47
17	0.72	1.96	4.02	4.05	4.48	5.19	5.78	7.55	7.56	9.47

结果的影响还是比较明显的,当然这一点与频率禁区的选取范围有直接关系。表 1 所列为包括频率禁区约束后,展开天线前十阶固有频率值在优化迭代过程中的变化情况。由表中数据可见,虽然初始设计点不满足频率禁区约束条件,但通过优化算法,很快在第二次迭代就出现了可行解,这充分说明了本优化方法的有效性。另外,通过对优化数据的分析可知,索网式展开天线结构具有各阶固有频率分布十分密集,而且频率呈跳跃式密集分布的特点。

5 结束语

本文根据索网式展开天线的结构特点,建立了柔性索网式展开天线结构的动力优化数学模型,并且针对具体算例进行了实际的优化设计计算,通过对数据结果的分析比较可得到以下几点体会:

首先,拉索预张力与周边桁架单元截面积都是影响结构特性的可变参数,但对天线反射面精度起主要作用的还是拉索预张力。本文对拉索预张力变量以及单元截面积变量的选择与归并处理只是作者个人的意见,今后还应该进一步探讨更为合理的变量归并方法和途径。

其次,索网式展开天线结构刚度的大小(固有频率的高低)直接影响到对天线结构的控制特性。刚度要求越高就要求拉索预应力越大,而这又必然导致对天线展开驱动力的更高要求。显然,这是一对矛盾,作者认为要解决该问题,需从结构设计上考虑。

最后,本文只涉及到了空间展开天线的展开工作状态,而对其收拢状态同样应该具有频率与强度等设计要求,如何使天线展开与收拢状态同时反映在同一个优化模型中,则是今后需要继续深入研究的课题。

参考文献

- 1 Samy Missoum and Zafer Gurdal, "Displacement-based Optimization for Truss Structures Subjected to Static and Dynamic Constraints", AIAA Journal, 2002, Vol. 40, No. 1, pp. 154-161

- 2 D.Dinevski, "Shaping Optimal Design of Elastic Planar Frames With Frequency Constraints", AIAA Journal, 2002, Vol.40, No.10, pp.2113-2119
- 3 N.Stander, J.E.Coster, *Structural Optimization of Guyed Trusses*, AIAA Journal, 1995, Vol.33. No.12, pp.2393-2397
- 4 O.G.McGee, K.F.Phan, "Adaptable optimality criterion techniques for large-scale space frames with multiple frequency constraints", *Computer & Structures*, 1992, Vol.42 No.2
- 5 Edward A.Sadek, "Dynamic optimization of framed structures with variable layout", *Int.J.Numer.Methods Eng.*, 1986, Vol.23, pp.1273-1294
- 6 Grandhi R, "Structural optimization with frequency constraints-a review", *Journal AIAA*, 1993, Vol.31, No.12, pp.2296-2303
- 7 A.S.K.Kwan, "A new approach to geometric nonlinearity of cable structures". *Computer & Structures*, 1998, Vol.67, pp.243-252
- 8 陈建军, 车建文等, "结构动力优化设计述评与展望", *力学进展*, 2001, Vol. 31 No. 2 pp. 181-192
- 9 孙国钧, 矛人杰, "频率约束下复合材料圆柱壳的最轻量化设计", *振动工程学报*, 1997, Vol. 10 No. 4 pp. 470-473
- 10 王生洪, "具有频率约束的结构轻量化设计", *固体力学学报*, 1982, Vol. 2 No. 2 pp. 165-175
- 11 石连控, 孙焕纯, 冯恩民, "具有动应力和动位移约束的高散变量结构形状优化设计方法", *计算力学学报*, 2001, Vol. 18 No. 4 pp. 419-423

☆☆
(上接第 266 页)

几个有关的结构与技术问题进行了初步的总结与探讨, 希望能对相关领域工作的科技工作者有所借鉴。

参考文献:

- 1 程景全.天文望远镜原理和设计.中国科学技术出版社,2003,2
- 2 吴凤高.天线座结构设计.西北电讯工程学院出版社,1986
- 3 叶尚辉,李在贵.天线结构设计.西北电讯工程学院出版社,1986
- 4 中国航天机电集团二十三所.五十米口径射电望远镜天线概念书.2002
- 5 信息产业部电子五十四所.五十米口径射电望远镜天线概念书.2002
- 6 www.mpifr-bonn.mpg.de
- 7 www.gb.nrao.edu

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>