

构架式可展开天线结构设计的程序实现

关富玲, 侯国勇, 赵孟良

(浙江大学 空间结构研究中心, 浙江 杭州 310027)

摘要: 可展开天线的反射面是通过在可展开背架结构上铺覆金属丝网格薄膜形成的, 所以存在一个形面偏差。为了满足给定的形面精度指标, 必须预先设计杆的长度、数量以及互成的角度等量值。本程序编制时采用了计算功能强大的 Matlab 语言, 并用 C++ 制作界面。计算结果具有很高的实用价值。

关键词: 可展结构; 拟合; 形面偏差

中图分类号: V414; TP302

文献标识码: A

文章编号: 1006-754X(2006)02-0108-06

Program implementation of structure design for deployable truss antenna

GUAN Fu-ling, HOU Guo-yong, ZHAO Meng-liang

(Space Structure Research Center, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: There exists a shape-surface deviation in reflective surface of deployable antenna because it is formed by covering metal-wire-net film on deployable structure. In order to meet the requirements of surface and shape accuracy, it is necessary to confirm all the parameters ahead, such as number and length of members, angles between them and their space position. This program and the operating windows are developed respectively by Matlab and VC++. The results show that it has high practical value.

Key words: deployable structure; fitting paraboloid; surface error.

随着卫星技术的不断发展, 对卫星天线提出了新的要求。在大功率通信卫星、电子侦察卫星以及深空探测领域, 大口径天线越来越成为必不可少的设备。对于星载大口径天线, 需要采用空间可展开形式, 可采用的展开天线形式有: 花瓣型天线、伞状天线、缠绕肋天线、环柱天线、构架式天线和环形展开天线等。

单元构架式展开天线(truss modular deployable antenna)的背架是由各种桁架单元(truss modular)构成的一种称为 Pactruss 的桁架结构, 具有高展开可靠性、高刚度和高抗震性能, 并且具有灵活的几何设计, 能满足不同的反射面要求。由于具有显著优点, 它成为各国宇航研究开发的重点。美国 NASA 的 Olympus astromast^[1]、俄罗斯宇航局的 Tetrahedral truss^[2]、日本 ISAS 的 Hingelessmast^[3]都有各自的特点。

可展开天线不能像固面天线一样通过模具加工出相对理想的反射面, 它的反射面是通过在可展开背架结构上铺覆金属丝薄膜形成的, 所以形面偏差又引入了一个设计偏差。而且, 对于这类可展开反射器, 设计偏差是主要的形面偏差。为了满足给定的形面精度指标, 必须在设计前预先设计杆的数量, 这就要求在设计前进行计算, 求出满足给定精度前提下的最少杆件的设计, 以此计算为基准, 确定设计需要的杆件的长度和数量。本程序即针对四面体单元构架天线的设计来编写的。

该程序是为了减少设计者的工作量、减短设计周期、提高设计质量而编制。在编程语言方面, 采用了计算功能强大的 Matlab 语言, 并用 C++ 制作界面, 提高了程序使用的方便性。

展开天线的网格优化设计软件具有自主独立开发的图形系统和良好的中文用户界面, 操作方便、直

观. 结构的节点编号、杆件编号等完全由计算机自动完成. 用户直接进行图形交互操作,毋须预先编制数据文件,能够直观地生成天线图形,极大地提高了设计效率.

1 软件编制原理及基本公式

1.1 结构整体构思

构架式天线通过毂与空间平台连接,其馈源支架由中心支撑,这必然影响天线中心部分的利用,减少了有效反射面. 国外进行了运用于偏馈的全构架单元支撑的展开天线应用研究,并投入应用,结构布置如图 1 所示. 虽然构造展开天线的构架单元众多,机构不一,但从展开机理、设计技术难度等各方面考虑,以四面体桁架单元构造的展开天线是最基本的一种^[4],其结构布置如图 2 和图 3 所示.

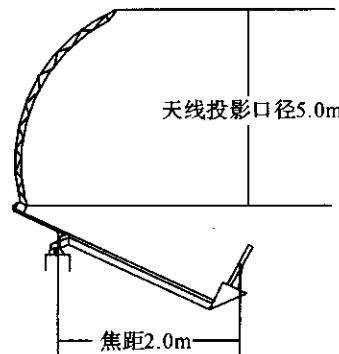


图 1 偏馈天线结构整体布置图

Fig. 1 Arrangement plan

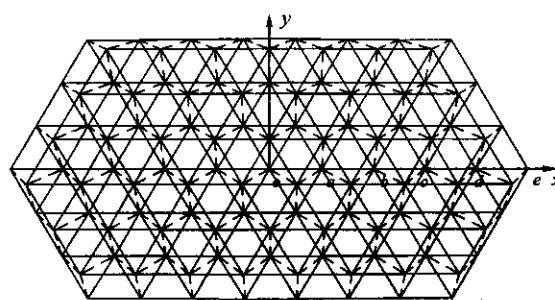


图 2 天线俯视图

Fig. 2 Top view



图 3 天线正视图

Fig. 3 Front view

1.2 结构工作机理

结构由基本的四面体单元组合而成,分析清楚结构内四面体的组成关系以及四面体的展开机理,可知整个结构的工作机理. 图 4 和图 5 为其上下弦的布置图.

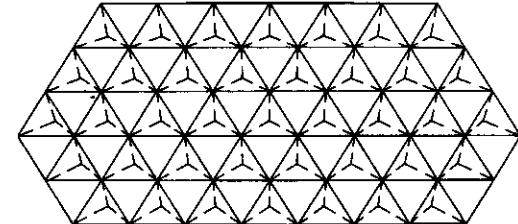


图 4 模型下弦单元图

Fig. 4 Lower booms

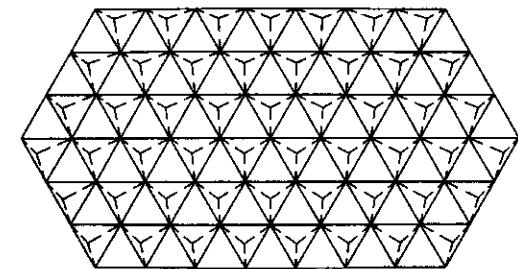


图 5 模型上弦单元图

Fig. 5 Top booms

为了图面清楚,图 4 中仅画出四面体的底边与顶点,实线为底边,虚线为腹杆.

四面体桁架单元由 6 个杆件组成,3 个底边构成天线背架的上下弦杆,三棱为斜腹杆. 腹杆两端与接点(毂—spider joint)相连,其长度固定,在展开过程中保持不变. 底边的两端与接点(毂—spider joint)相连,杆中间有一个可折叠展开的接点,该接点是一个主动接点(activator),结构通过该接点的展开折叠而驱动结构自身的展开折叠,折叠过程如图 6 所示.

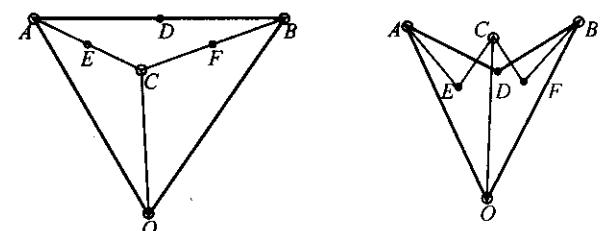


图 6 四面体单元折叠过程图

Fig. 6 Folding procedure of tetrahedral element

结构折叠状态为柱体, 直径基本上决定于所有

杆件直径大小、毅接点直径、主动接点大小, 仔细设计配合, 可以达到结构“完全”折叠, 获得高的收纳率。高度由腹杆长度决定。结构折叠时, 主动接点储藏能量, 在解锁作用后, 接点释放能量, 驱动上弦杆向下折叠, 下弦杆向上折叠, 腹杆绕接点毅限定的转动副内向中心转动靠拢。

1.3 节点坐标计算

1.3.1 上弦节点

反射面索网铺设在天线的上表面即上弦杆上, 因此上弦杆节点定位的精度直接影响到天线反射面的精度。上弦节点必须做到精确定位。上弦杆节点空间位置的确定较复杂, 全部节点在展开状态时都应在旋转抛物面上, 故以最终的展开状态来确定节点的空间位置、网格布置、杆件长度。在确定位置前, 仅仅知道基本单元的形状和旋转抛物面的方程。各上弦节点应满足方程:

$$x_i^2 + y_i^2 = 4fz_i \quad (1)$$

式(1)中, f 为焦距, i 为节点号。

在确定节点位置时, 须考虑以下条件:

①由于所有节点在抛物面上, 上弦杆长不可能全部一致, 设计时尽量保证杆长的均匀性。

②为了方便设计及杆件、节点制作的标准化, 保证节点各杆角度的均匀性, 设计时尽可能使结构对称。

③接点越多, 则在抛物面上的点就越多, 结构的形面精度越高; 但接点越多, 设计、加工、安装、收拢的难度加大; 因此, 要综合考虑。

由于设计时节点只受空间位置在抛物面上一个已知约束条件的限制, 设计的自由空间较大, 方案也较多, 更增加了复杂性。经过反复计算、比较, 选取其中的一个方案。如图 2 所示, 以上旋转抛物面的底点为坐标原点建立坐标系, 取上弦杆:

$$L_{oa} = L_{ab} = L_{bc} = L_{cd} = L_{de} = \dots = L = \text{const} \quad (2)$$

这里弦杆的长度需要由参数“控制精度”来确定, 本程序采用了英国剑桥大学的近似公式^[5]来计算, 即

$$\delta_{rms} = \frac{L^2}{8\sqrt{15}\left(2F + \frac{D^2}{32F}\right)} \quad (3)$$

反算得到估计的杆件长度为:

$$L = \sqrt{\delta_{rms} \times 8\sqrt{15}\left(2F + \frac{D^2}{32F}\right)} \quad (4)$$

节点 a, b, c, d, e, \dots 在 XOY 上的投影落在 x 轴上, 这样可使结构对称于 y 轴, 从而简化计算和设计, 可得到:

$$\left. \begin{aligned} x_i^2 + y_i^2 &= 4fz_i \\ L_{oa} = L_{ab} = L_{bc} = L_{cd} = L_{de} &= \dots = L \\ (i = a, b, c, d, e, \dots) \\ y_i &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

于是得到一个非线性方程组:

$$F(X) = 0$$

即

$$\left. \begin{aligned} f_1(x) &= x_a^2 + z_a^2 - L^2 = 0 \\ f_2(x) &= x_b^2 - 4fz_a = 0 \\ f_3(x) &= (x_b - x_a)^2 + (z_b - z_a)^2 - L^2 = 0 \\ f_4(x) &= x_b^2 - 4fz_b = 0 \\ f_5(x) &= (x_c - x_b)^2 + (z_c - z_b)^2 - L^2 = 0 \\ f_6(x) &= x_c^2 - 4fz_c = 0 \\ f_7(x) &= (x_d - x_c)^2 + (z_d - z_c)^2 - L^2 = 0 \\ f_8(x) &= x_d^2 - 4fz_d = 0 \\ f_9(x) &= (x_d - x_e)^2 + (z_d - z_e)^2 - L^2 = 0 \\ \dots & \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

为了尽量避免解此非线性方程组带来的误差, 本程序采用了实际坐标图形上的二分法来计算此对称轴上节点的坐标, 即逐个计算各个节点的 x, z 坐标。如图 2, o 点的坐标 $x_o = 0, z_o = 0$, 首先假设 a 点的 x 坐标为 $x_a = L$, 可得 $z_a = \frac{x_a^2}{4f}$, 判断 $(x_a - x_o)^2 + (z_a - z_o)^2$ 与 L^2 的大小关系, 接下去减小或增大 x_a 的值再进行判断, 直到得到满足精度的方程 $(x_a - x_o)^2 + (z_a - z_o)^2 = L^2$ 的解。接下去后面一个点根据和前面一个点的距离为 L , 采用同样的方法计算, 这样可获得最高精度的对称轴上的节点坐标。

接着确定第一圈节点的空间位置, 如图 7 所示为第一圈上弦节点的俯视图。由于中心点同四周点在一个旋转抛物面上, 而在空间坐标中不处于同一个平面上, 因此空间网格无法做到全部为等边三角形, 即上弦杆无法全部一致。采取折衷的方法, 取任意三角形网格为等腰三角形, 且长度为 $L = \text{const}$, 注意到图 7 中 14~25 节点和 47~58 节点关于 XOZ 平面对称, 因此它们的 y 坐标值为相反数, x 和 z 坐标相同, 因此计算的时候只计算一侧的节点坐标。



图 7 模型上弦第一圈俯视图

Fig. 7 Top booms near symmetry axis

本程序中采用牛顿迭代法计算图 7 中 14~25 节点的坐标, 这里以计算 14 节点的坐标为例加以说明。

以 1, 2 节点为球心做两个球, 它们的半径都为 L , 相交为一个圆, 和抛物线相交可得到两个交点, 其中一个交点便是所需要的 14 节点, 方程如下:

$$\begin{aligned} f_1(x, y, z) &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 - L^2 = 0 \\ f_2(x, y, z) &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 - L^2 = 0 \\ f_3(x, y, z) &= x^2 + y^2 - 4fz = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

形成方程矩阵为:

$$F = [f_1 \quad f_2 \quad f_3]$$

偏导数矩阵为:

$$F' = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} & \frac{\partial f_1}{\partial z} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} & \frac{\partial f_2}{\partial z} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x} & \frac{\partial f_3}{\partial y} & \frac{\partial f_3}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (8)$$

然后采用牛顿迭代法进行迭代, 迭代公式为

$$x_{k+1} = x_k - [F'(x_k)]^{-1} \times F(x_k) \quad (9)$$

式(9)中, x 为解矩阵空间, $x = [x \quad y \quad z]^{-1}$. 迭代初值的选择比较重要, 本程序选择一个球心的坐标即 1 点的坐标的 x, z 值作为迭代初值的 x, z 值, 1 点坐标的 y 值加上杆长 L 的值作为迭代初值的 y 值。经调试, 程序在任何情况下都能得到比较好的结果。

为保证杆长的均匀性, 取基本三角锥单元的弦杆为等腰三角形且接近于等边三角形, 由求得的两个角点, 迭代出第三个角点, 如此即可得到全部上弦节点的空间位置。在程序的编制过程中, 作者发现, 为了保证杆件长度的均匀性, 这样得到的三角形单元的角度变得十分不均匀, 考虑工程实际的需要, 采用尽量满足角度与 60° 的差的绝对值最小为原则, 因此进行了节点的优化设计。如图 7 所示, 按迭代法计算得到的节点 14, 15 以后, 使这两个节点的 y 坐标减小, 减小的原则是使角度 14—2—15 和角度 14—1—2 相近。经过优化以后, 所得的各个三角形的角度变得比较均匀。经过不断调试, 表明使用了优化子程序比不使用该子程序能使差的绝对值减小近 $1/2$ 。

1.3.2 腹杆长度

腹杆长度主要是根据收拢状态上下弦杆中间节点之间的最小距离为 10 mm。当所有腹杆长度一样时, 正馈天线在原点处曲率最大, 在这里计算得到的背面杆件长度最大。因此在靠近原点处计算腹杆长度, 以此腹杆长度作为结构所有腹杆的统一长度。

如图 8 所示, 虚线为下弦杆件。计算空间三角形 ABC 和 ADE 的形心坐标, 并计算形心之间距离, 记为 P 。再计算过形心且垂直于各自平面的两条直线的夹角, 记为 θ 。因此有下式:

$$P + 2\sin \frac{\theta}{2} \sqrt{\frac{Lw^2 - \frac{Lw^2}{3} - dia}{2}} + \frac{L - dia}{2} + 10 = Lw \quad (10)$$

式(10)中, Lw 为腹杆长度, dia 为花盘对轴距离。程序解此关于腹杆长度的方程即得到腹杆长度的值。

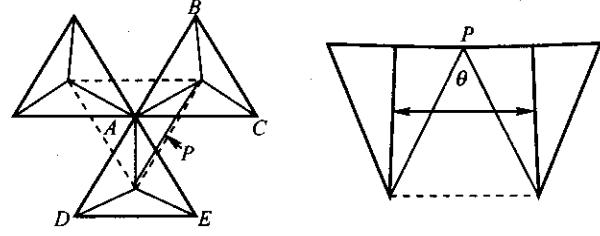


图 8 原点处三个单元及计算腹杆长度图示

Fig. 8 Three tetrahedral element and the model of determine web member length

1.3.3 下弦节点

如图 6 中所示, A, B, C 为上弦节点且位置已确定, 求下弦节点 O 的位置, 其中 OA, OB, OC 为斜腹杆, 满足:

$$L_{OA} = L_{OB} = L_{OC} = Lw = \text{const} \quad (11)$$

$$\begin{cases} f_1(x, y, z) = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 - Lw^2 = 0 \\ f_2(x, y, z) = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 - Lw^2 = 0 \\ f_3(x, y, z) = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 - Lw^2 = 0 \end{cases} \quad (12)$$

同样采用牛顿迭代法计算下弦节点坐标, 迭代公式如式(9), x 为解矩阵空间, $x = [x \quad y \quad z]^{-1}$ 。迭代初值的选择比较重要, 本程序选择一个球心的坐标即 A 点的坐标的 x, y 值作为迭代初值的 x, y 值, A 点坐标的 z 值减去腹杆长度 Lw 的值作为迭代初值的 z 值。经调试, 程序在任何情况下都能得到比较好的结果。

1.4 均方根值的计算及抛物面的拟合

本程序也计算了国内通用的计算均方根值的方法, 即在每个三角形上取 10 个点, 计算这 10 个点到最佳拟合抛物面距离的平方和。取点如图 9 所示。

假设拟合抛物面顶点只在 z 轴上移动, 即设拟合抛物面方程为 $\frac{X^2 + Y^2}{4f} + H = Z$, 其中 f 为拟合抛物面的焦距, H 为顶点位移。如图 10, 原设计抛物面上 A 点对应实际反射面上的 B 点, B 点既不在设计

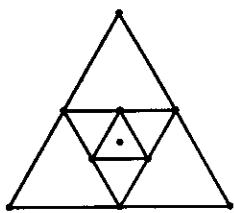


图 9 每个三角形单元取点示例

Fig. 9 Points position on element

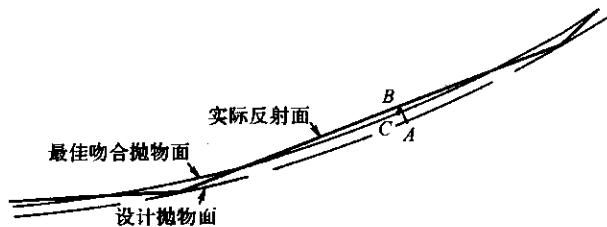


图 10 与最佳吻合抛物面的偏差

Fig. 10 Deviation with the optimal paraboloid

抛物面上,也不在最佳吻合抛物面上. 因结构偏差是微小的,所以 B 点至最佳吻合抛物面的法线方向余弦近似等于原设计抛物面上 A 点的法线方向余弦. 由 B 点向最佳吻合抛物面作法线 BC , 交于 C 点, 令 $BC = \Delta$. 这里 Δ 为代数量, 当最佳吻合抛物面在实际反射面内侧时为正, 反之为负. 设 $A(x_0, y_0, z_0)$, $B(x_1, y_1, z_1)$, 如图 9 取点, 坐标都为已知量. A 点的法线方向余弦 l, m, n 为:

$$l = \frac{-x_0}{2\sqrt{f(f+z_0)}} \quad m = \frac{-y_0}{2\sqrt{f(f+z_0)}} \quad n = \sqrt{\frac{f}{f+z_0}} \quad (13)$$

则 C 点的坐标为:

$$x = x_1 + l\Delta \quad y = y_1 + m\Delta \quad z = z_1 + n\Delta \quad (14)$$

C 点在最佳吻合抛物面上, 故满足方程 $\frac{X^2+Y^2}{4f}+H=Z$, 得到法向偏差 Δ 的表达式为:

$$\Delta = \frac{1}{2\sqrt{f(f+z_0)}} [x_0(x_1-x_0)+y_0(y_1-y_0)-2f(z_1-z_0-H)-2z_0(f'-f)] \quad (15)$$

因此, Δ 的加权均方根值 Δ_D^2 为:

$$\Delta_D^2 = \frac{1}{N} \sum \Delta^2 \quad (16)$$

式(16)中, N 为所取的总点数, $N=10\times$ 三角形单元个数.

当 Δ_D^2 取到最小值时, 有

$$\frac{\partial \Delta_D^2}{\partial H} = 0 \quad \frac{\partial \Delta_D^2}{\partial f} = 0 \quad (17)$$

根据上两式可解出 H 和 f .

接着将 f, H 回代到(16)式中, 计算这些点相对于拟合抛物面的均方根值. 通过对计算结果的分析, 作者发现按此方法计算的均方根值比按公式(3)计算的结果大近两倍. 通过对实际天线的测量, 证明后者公式计算的均方根值才是实际值, 因此本程序给出的均方根值仅作为参考值, 但实际测量的天线的焦距值与本程序计算得到的焦距值 f 相等.

1.5 杆件实际长度及花盘实际加工角度的确定

实际杆件均为直杆, 因此在计算杆件实际长度的时候主要根据花盘法线和抛物面法线重合的原则进行.

如图 11 中所示, a', b' 为花盘中心, 也即在原抛物面上, a, b 为花盘边缘一转轴, a', b', a, b 在同一平面上, 所以杆件的实际长度为:

$$(L_{ab})^2 = (L_{a'b'} - aa' \cos\theta_1 - bb' \cos\theta_2)^2 + (aa' \sin\theta_1 - bb' \sin\theta_2)^2 \quad (18)$$

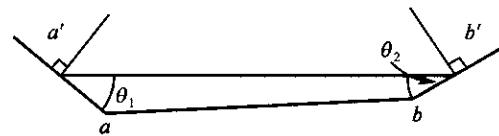


图 11 杆件实际长度与花盘中心距离示例

Fig. 11 Model of bars with faceplate

图 12 所示平面为花盘所在平面, 需要计算杆 1-2 和 1-14 在该平面上投影线的夹角, 该夹角即为花盘上各个角度的实际加工值. 平面方程和分别过 2, 14 点且垂直于平面的两条直线方程为:

$$\left. \begin{aligned} f_1(x, y, z) &= 2x_1(x-x_1) + 2y_1(y-y_1) + \\ &\quad 2z_1(z-z_1) = 0 \\ f_2(x, y, z) &= \frac{x-x_2}{2x_1} = \frac{y-y_2}{2y_1} = \frac{z-z_2}{-4F} \\ f_3(x, y, z) &= \frac{x-x_{14}}{2x_1} = \frac{y-y_{14}}{2y_1} = \frac{z-z_{14}}{-4F} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

分别联立线性方程组 f_1, f_2 和 f_1, f_3 , 可以解得两个点, 这两个点和节点 1 的坐标构成两个向量, 这两个向量的夹角即为所求花盘的角度加工值.

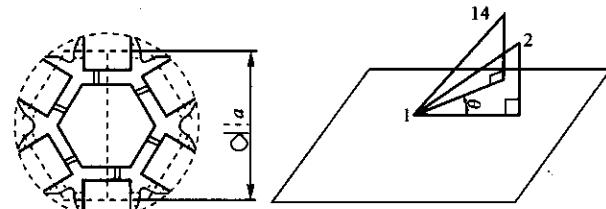


图 12 花盘及花盘上各个角度的确定示例图

Fig. 12 Model of faceplate and determine the corner dimension

2 算例

本程序能够计算正馈和偏馈天线, 界面如图 13 所示。示例中给出计算正馈天线的模型。

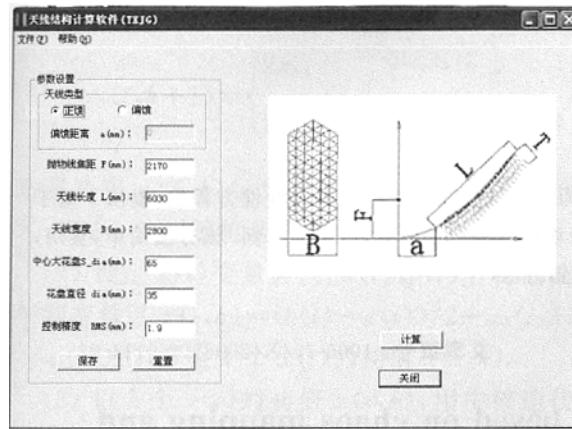


图 13 软件界面

Fig. 13 Operating window of this program

各个参数设置如下:选择正馈选项,抛物面焦距 2 170 mm, 天线长度 6 030 mm, 天线宽度 2 800 mm, 天线中心大花盘直径 65 mm, 普通花盘直径 35 mm, 控制精度 RMS1. 9。

计算完成以后自动生成 antenna.lsp 和 output.txt 文件, 前者可以在 AutoCAD 2000 中加载, 加载完成后能够显示生成天线的三维模型。后者为天线的数据文件,列出了反射面节点坐标、背面节点坐标、反射面节点各花盘所在平面内的 4 个点坐标(根据此 4 个点及花盘中心点坐标可固定花盘的空间位置)、反射面各根杆件实际长度、反射面各个花盘的内部角度、反射面网格内部 3 个角度值、背面各根杆件实际长度、背面网格内部 3 个角度值、腹杆长度、收拢状态反射面杆件的中间关节与背面杆件的中间关节之间的最小间隙、天线实际尺寸、拟合抛物面的焦距和顶点以及均方根值。

3 结论

本文首先介绍了一种旋转抛物面可展开天线形面设计的理论方法。在此基础上编制了天线形面设计软件,详细给出了天线的各种数据,具有较强的实用性,并且成功设计了这种特殊结构。

参考文献:

- [1] EIDEN M, BRUNNER O Stavrinidis. Deployment analysis of olympus astromast and comparison with test measurements[J]. J Spacecraft & Rocket, 1987, 24(1): 63—38.
- [2] HERR R W, HORNER G C. Deployment Test of A 36-Element Tetrahedral Truss Module[R]. NASA-CP-2168-V-1. Vought Corp, Dallas Texas, 2nd Annual Technical Review.
- [3] TAKAGWKI Kitamure, KAKUMA Okazaki. Development of a “hingless mast” and its application[J]. Acta Astronautica, 1988, 17(3): 341—346.
- [4] 岳建如, 关富玲. 大型可展构架式星载抛物面天线结构设计[J]. 浙江大学学报(工学版), 2001, 35(3): 238—243.
YUE Jian-ru GUAN Fu-ling. A large deployable hexapod paraboloid antenna[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2001, 35(3): 238—243.
- [5] LAI C Y, PELLEGRINO S. Feasibility Study of a Deployable Mesh Reflector[R]. Cambridge: Deployable Structure Laboratory Department of Engineering, University of Cambridge, 2001.
- [6] 张京街, 关富玲. 大型切割旋转抛物面展开结构的设计[J]. 工程设计学报, 2000(1): 46—48.
ZHANG Jing-jie, GUAN Fu-ling. Design of large cutting-parabolic structure[J]. Journal of Engineering Design, 2000(1): 46—48.

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>