

飞行器隐身测试用低散射塔架结构及其制造工艺

Low-Scattering Pylon Structure Used in Stealth Property Measurement of Aircraft and Its Manufacture Technology

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 焦洪杰 陈五一 张以都

[摘要] 根据目标支撑塔架的结构特点及基本性能要求,给出了一般制造工艺流程,详细论述了制造低散射塔架的完整工艺路线及具体措施,并分析了改善性能的基本原理。

关键词: 紧缩场 塔架 低散射 制造工艺

[ABSTRACT] Based on the structure characteristics and basic performance requirements of target support pylon, general manufacture technology process is presented. The concrete measure of target support pylon manufacture technology and whole craft course are discussed in detail and the basic law of improving performance is analyzed.

Keywords: Compact range (CR) Pylon Low-scattering Manufacture technology

军事科学技术的发展对飞行器隐身性能的要求越来越高,而隐身性能测试技术及相关设备直接影响着测试结果。在紧缩场中对飞行器等目标进行电磁散射测量需要一个可靠的目标支撑系统,这种支撑系统应具有低的雷达有效反射面积(Radar Cross-Section, RCS)值,以便使测量数据可靠。由于受电气性能的制约,塔架结构系统的外形、结构及材质对测量结果有较大的影响。在一定频率范围内测量时,将飞行器或缩比模型固定在金属塔架上,然后对其各个角度方位进行测量,这需要对飞行器等目标进行定位,并提供精确的、可重复的目标旋转的方式。

由于金属支架具有良好的负载承受特性,装置容易实现,操作方便,通过改变塔架的形状和涂覆吸波材料可以减小塔架的回波;另外,紧缩场可以在近距离上提供一个性能优良的准平面波测试区,并可以架设在微波暗室中,具有全天候、操作方便、保密性好等特点,所以这种静态测量方法正得到日益广泛的应用。

低散射塔架非常像飞机的一个机翼,一般要求其本身的 RCS 以及与目标的相互作用都很小,这种要求对此结构的力学性能来说是十分不利的。结构设计完成后,其制造工艺直接决定了塔架性能。由于低散

射塔架在科学试验方面及国防科学技术领域里具有特殊用途,航空工业发达国家对我国一直处于保密和禁运状态,设计参数和制造工艺更无公开报道。在国内,航空制造工程研究所曾经为某院设计制造 1 台卵形低散射塔架,目标直接放在支架顶部平台上,人工调整目标方位;上海大学通信工程系提出一个金属支架方案,目标固定在卵形支柱后边缘后边的支撑杆上,目标动作也由人工实现。但关于制造问题都没有系统论述。

很多因素影响着飞行器的目标测量精度,而塔架结构及制造中由于工艺措施引起的外形误差及结构刚度误差都会直接影响初始数据测量精度^[1],所以对其结构形式、制造工艺等进行深入研究有着重要的理论价值和实际意义^[2-3]。

1 支撑塔架基本要求

1.1 基本技术要求

飞行器等目标在塔架上的运动方式有:围绕 Z 轴的旋转运动;围绕 X 轴的横滚运动;围绕 Y 轴的俯仰运动;沿 X 轴纵向平移运动;沿 Y 轴横向平移运动。当飞行器机头朝向来波方向时,俯仰角定义为 \pm ;当机尾朝向来波方向时,俯仰角为 \mp ,俯仰角偏航角伺服调整,速度位置可控。塔架具体技术指标为:目标高度 4 000mm;最大载荷 2 000N;俯仰角 $\pm 15^\circ$,连续可调,

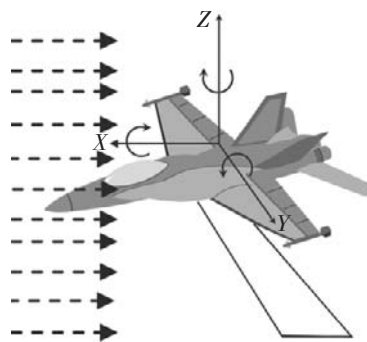


图 1 飞行器目标与来波方向

Fig.1 Aircraft target and wave direction

误差 $<0.1^\circ$,分辨率 $<0.01^\circ$;偏航角 360° ,连续可调,误差 $<0.1^\circ$,分辨率 $<0.01^\circ$;RCS为 40GHz ,VV -48dBm^2 ,HH -58dBm^2 ,VH -64dBm^2 ;弯曲变形 $<0.5\text{mm}$;扭转变形 $<0.008^\circ$ 。

1.2 塔架构成及工作原理

支撑塔架是飞行器等目标紧缩场测量系统中的定位工作台,用来实现待测飞行器等目标绕自身轴的旋转自由度和水平面内 X 和 Y 向的移动自由度。它由主转机构、旋转基座、俯仰机构、主塔架、导向升降机构等部件组成。工作时,按预定程序控制电机带动目标的水平旋转,目标的俯仰运动由步进电机驱动蜗轮蜗杆机构来实现,在俯仰范围内,能够保证目标的方位角精度。当输入位移值达到预定的数值时,计算机控制电机停止转动,从而实现对系统的闭环控制,将待测目标定位于所需位置^[4]。塔架主结构主要由底座、主板、腹弧板、面翼板焊接而成,并且在沿塔架倾斜方向每隔一段距离焊接一块加强肋板。考虑到电磁性能的要求,塔架外表面形状符合一定规则,截面设计为枣核形,在沿轴向长度方向上逐渐变小。支撑塔架系统结构如图2所示。

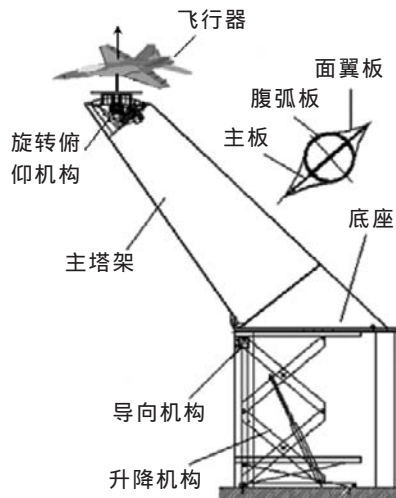


图2 支撑塔架系统结构

Fig.2 Support pylon system structure

2 塔架主结构建模及计算

2.1 理想单元数学模型

理想单元:将塔架主结构分为 n 段,每一段长度一样,为 b_i ,第 n 部分截面惯性矩为 I_{zn} ,第 n 部分的挠度为 ω_n ;塔架顶端 P_0 点的挠度总和为 W_T ,这一变形能满足工程要求时的最大 b_i ,这样的单元,称为理想单元。

塔架顶端的变形主要由测试目标重物和塔架自重引起。计算变形应是在结构受力最危险位置的情况,即目标重心 P 在最远离主坐标系原点的位置。塔架整体刚度是各弹性部件和支承刚度的综合反映^[5]。

分别以各单元部分底面形心为坐标原点,建立局部坐标系。同时假设,每上一单元变形受下一单元支承变形牵连,而不影响下一单元变形,且所有结构件变形都在弹性变形范围内。采用微小变形法分段求解,然后叠加。

运用双积分法,可得第 n 部分的挠度:

$$\omega_n = \frac{1}{2} \frac{M_n x^2}{EI_{zn}} = \frac{1}{2} \frac{M_n (4.2k)^2}{EI_{zn}}$$

式中, E 为材料的弹性模量; M_n 为第 n 部分上端处的弯矩; I_{zn} 为第 n 部分截面惯性矩; x 为目标距重心点的水平距离。

从而有,塔架顶端 P_0 点的挠度:

$$W_T = 1\omega_9 + 2\omega_8 + 3\omega_7 + 4\omega_6 + 5\omega_5 + 6\omega_4 + 7\omega_3 + 8\omega_2 + 9\omega_1 = \sum_{n=1}^{n=9} (10-n)\omega_n$$

工程要求, $W_T < [W_{\text{许用值}}]$,计算得 $n=9$ 。

假设:底座、主板、腹弧板、面翼板焊接处为刚性;目标定位处及底座处单元为刚性件,其余为弹性变形件。则沿塔架主轴线方向可分为2个刚性单元和9个弹性单元,如图3所示。

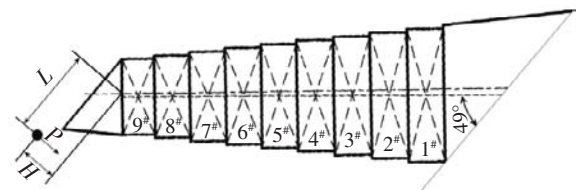


图3 塔架变形计算模型

Fig.3 Algorithm model of pylon deformation

电磁特性限制了截面的形状,对低散射塔架的某个确定的截面,其外形尺寸和各板间的夹角是定值,厚度是可变的。截面各个尺寸都是 b_i 的函数。塔架外表面形状数学表达复杂,根据塔架的实际截面及工程要求,可近似为简单图形的组合,如图4。

2.2 理想单元计算参数

以塔架主结构底面几何形心为主坐标系原点,沿塔架主轴线为 Z 方向分为若干单元。各单元分别引入局部坐标系独立建模,再按照各单元之间的相对位置

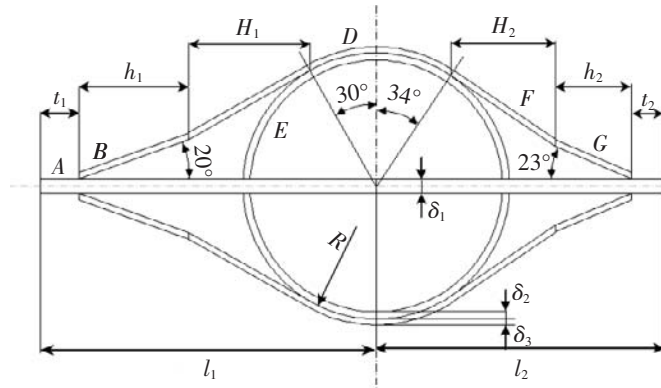


图4 塔架化简后的截面形式

Fig.4 Cross-section form of pylon after simplified

与姿态关系把它们装配起来。同时采用单元部件分离模型化对实际研究对象作简化和近似处理^[6]。

各单元部分的重心近似位于一条平行于形心线的直线上,此直线与水平面夹角为 49°,每一单元部分的高度为 4.2k,两平行线的距离为 0.53k。

设 H_n 和 L_n 分别为目标重物距第 n 部分顶端形心的竖直和水平位移(如图 5 所示),便有:

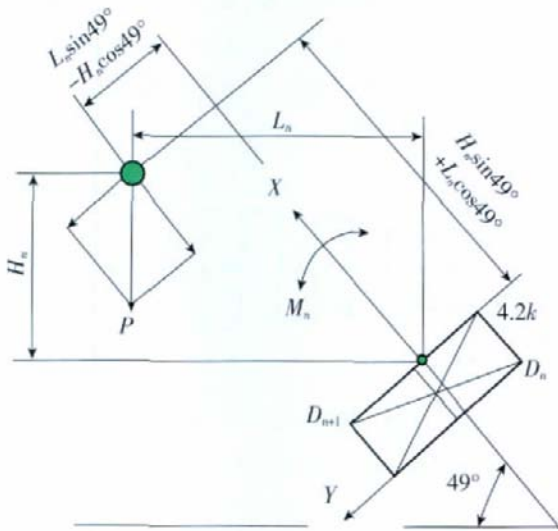


图5 塔架单元计算

Fig.5 Unit algorithm of pylon

$$H_n = H + 4.2(9-n)k \sin 49^\circ;$$

$$L_n = L + 4.2(9-n)k \cos 49^\circ.$$

第 n 部分的弯矩

$$M_n = P \cos 49^\circ \{ [H + 4.2(9-n)k \sin 49^\circ] \sin 49^\circ + [L + 4.2(9-n)k \cos 49^\circ] \cos 49^\circ \} + P \sin 49^\circ \{ [L + 4.2(9-n)k \cos 49^\circ] \sin 49^\circ -$$

$$[H + 4.2(9-n)k \sin 49^\circ] \cos 49^\circ \} + \sum_{i=n+1}^{i=9} G_{n+1} \cos 49^\circ 4.2(i-n)k + \sum_{i=n+1}^{i=9} G_{n+1} 0.53k,$$

式中, ρ 为材料的密度; g 为重力加速度; 单元自重为 $G_n = 4.2\rho g S_n k$ 。

3 塔架制造工艺研究与特性分析

由于低散射塔架是根据特定目标要求设计的,虽然外形相似,但高度和承重要求因待测目标而异,基本是单件制造,有其特殊制造工艺。主板、腹弧板、面翼板等材料选取不锈钢;理想单元的制作包括不锈钢板整形校直、单件下料、单件加工、单件成形、整体结构固结、焊接、热处理和机械表面加工处理及涂导电胶等主要工序。详细工艺步骤及特性分析叙述如下:

3.1 单件薄板成形

(1)单件薄板的高压水切割。

根据设计要求的理论尺寸,选取底座、主板、腹弧板、面翼板的厚度和宽度,控制板宽公差及板边的不直度,以保证理想单元的几何尺寸精度。

(2)单件薄板加工。

用专门工装来保证折边、销孔、棱角的加工精度,开好坡口角度,为焊接作准备。

3.2 腹弧板、面翼板预成形

采用“线性变轮廓多点柔性成形”技术(已申请专利,见图 6)。如图 6 所示,成形模具由数量很多的刚性小模组合成一个间断曲面。刚性小上模下面加弹性金属护板,刚性小下模上面加弹性金属垫板,将工件与刚性小凸模隔离,无凸凹不平,保证工件表面平滑。小模互相紧靠,每个小模可沿其轴线上、下调节,加上弹性金属护板和垫板,可以构成形状可变的连续曲面。曲面形成过程是:

(1)将理想单元基本模型放在成形模具上,使刚性小模构成特定的间断面,调整千斤顶使其顶端小模紧贴基本模型并达到一定压力,通过连动机构固定上下各组刚性小模,借助应变片,通过计算机处理,记录原始压力数据,以便进而控制千斤顶的伸缩量。

(2)模具基体带动下组合模上移分开刚性小模,在其间放入弹性金属护板和垫板,一端固定,另一端游动,然后上组合模下移压紧护板和垫板,压力达到应变片的原始记录数据,同时记录新的位移量。

(3)分开模具,放入工件,上组合模下移带动护板压紧,达到特定位移量及压力;稍保片刻,即可分取

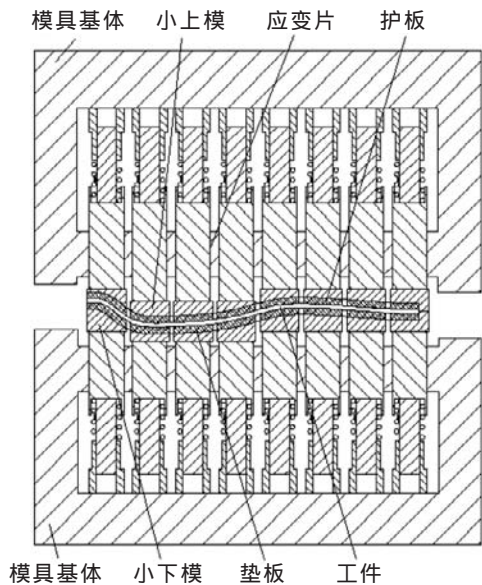


图6 线性弯轮廓多点柔性成形模具

Fig.6 Multi-point flexible die of linear bended outline

出工件。

要注意的是,上下弹簧处于收缩状态,使活动模块与千斤顶紧密相连,工作过程中不会脱离,保证了工作的可靠及制造精度;应变片粘贴牢靠,在活动模块通过计算机计算粗调之后,准确记录各个千斤顶的受力,以便最后判断模具是否严格处于规定的位置。

3.3 整体固化理想单元内骨架

在特定变曲率半径的模具上预叠装腹弧板、面翼板,使其产生一定的弯曲变形,也可使钢片内产生一定的拉应力并保证理想单元的刚度及回弹性能。为保证对称性,将理想单元内骨架中心钢筒支撑在可旋转的特制支座上,理想单元的内、外胎具和夹具等工装设备与旋转机构联动。

3.4 理想单元组焊

(1)清理干净工件表面。

(2)合理设计接头并避免焊缝交叉。

(3)选择同工件金属的化学成分牌号和一致的焊条,以保证获得良好的焊接性能。

(4)由于不锈钢黏性较大,在选择焊接电流时要比正常情况下稍大一些。腹弧板、面翼板板厚小于6mm,用TIG焊;底座、主板板厚较大,采用MIG焊。

3.5 表面处理

(1)机械磨光:选用砂带打磨方式,均匀磨去高点。

(2)表面抛光:为降低射线反射性,采取单向表面加工,其工艺步骤是先用粗磨料抛光,再用粒度为180的磨料研磨。最后用布抛光轮和抛光膏对仍有磨痕的表面进行抛光。

(3)表面电磁性能处理:均匀喷涂导电胶。

4 结论

(1)基于理想单元进行设计及制造,方法和工艺合理,加工成形方便。

(2)腹弧板、面翼板采用“线性变轮廓多点柔性成形”方法,技术新颖,可扩展性强。

(3)上、下刚性小模间加弹性板,成形工件所需的小模数量可减少,调节时间较短,工作量减轻。

(4)由于金属护板及弹性垫板将工件与刚性小凸模隔离,可使工件表面平滑,且使多点模的集中力变为分布力,这样可避免产生凸凹不平的工件表面。

(5)整体工艺措施可靠、有效,解决了低散射塔架成型制造问题。

参 考 文 献

- [1] 全绍辉,何国瑜,徐永斌. 新型微波-毫米波幅相测试系统及扩展应用,微波学报,2002,18(3):71-74.
 - [2] 董长军,国力. 现代战争的障眼术——隐身与反隐身,长沙:国防科技大学出版社,2000.
 - [3] 孙茂才. 金属力学性能. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.
 - [4] 马伊民. 在紧缩场进行卫星有效载荷测试. 空间电子技术,2003(3):59-64.
 - [5] 李庆祥,王东生,李玉和. 现代精密仪器设计. 北京:清华大学出版社,2003.
 - [6] Jiao Hongjie. Analysis and research on the structure of low-scattering pylon used in low observable aircraft property Measurement. (责编 依然)
-
- (上接第85页)
- [6] 冯晓宁. 基于模板的工程对象设计. 工程图形学报,2000(1):60-65.
 - [7] 王志峰,高锦辉,赵维民. 基于UG的汽车覆盖件模具的模板化设计. 模具工业,2007(5):8-11.
 - [8] 陈军. 基于模板的汽车覆盖件冲压工艺快速设计关键技术研究[D]. 天津:天津大学,2003.
 - [9] 汪文虎,杨丽娜,张西涛,等. 涡轮叶片精铸模具CAD系统参数规则库设计. 现代制造工程,2005(11):70-72.
 - [10] 束庆斌,刘晓平,王浩. 基于模板的冷冲模CAD系统. 合肥工业大学学报(自然科学版),2001(6):332-335.

(责编 淡蓝)