

无人机外形参数化建模及 CATIA 二次开发*

廖炎平, 刘 莉, 王嘉博

(北京理工大学宇航学院, 北京 100081)

摘要:文中研究了无人机外形参数化描述方法,应用 VB 程序进程外访问的方式对 CATIA 进行二次开发,将几何外形参数与无人机几何属性关联,当外形参数改变时,几何模型能自动更新,建立了无人机设计变量与几何模型的驱动关系,实现了概念设计阶段中无人机外形参数化建模,提高了建模效率。算例表明,文中建立的参数化模型能快速生成无人机几何外形。

关键词:无人机;参数化建模;CATIA;二次开发

中图分类号:V279 **文献标志码:**A

Parameterization Modeling of UAV Configuration Using API in CATIA

LIAO Yanping, LIU Li, WANG Jiabo

(School of Aerospace Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The geometry parameterization methods of unmanned aerial vehicle (UAV) were investigated in this paper. In conceptual design phrase, the parameterization modeling of UAV configuration was achieved by making use of the API functions of the CATIA software, which established the relationship of geometry parameters and attributes of UAV. When the geometry parameters changed, the corresponding geometry model updated automatically. The efficiency of modeling was improved by using the drive relationship of design variables and geometry model of UAV. The constructed parameterization model was validated by the UAV applications, and can generate UAV geometry configuration quickly.

Keywords: unmanned aerial vehicle; parameterization modeling; CATIA; secondary development

0 引言

在无人机概念设计阶段中,无人机的外形参数需要反复修改,传统的几何外形建模中几何元素和其属性之间没有相互关联的关系,模型的修改必须重新进行绘制,建模效率低。而参数化建模技术为快速生成无人机几何外形提供了一个有效的解决方法。

无人机几何外形参数化描述方法是用一组尽量少的外形参数来比较精确描述无人机的几何外形。文中分机翼类和机身类两种基本部件描述无人机几何外形,着重研究了 CST 方法在无人机几何外形参数化描述中的应用。目前参数化建模设计程序主要有两种^[1-3]:①基于图形库的方法;②基于现有商业 CAD 软件二次开发的方法。

文中的参数化设计程序是利用 VB 程序进程外访问的方式对 CATIA 进行二次开发,利用 CATIA 强大的几何建模功能,建立了无人机概念设计阶段的几何外形参数化模型,提高了概念设计阶段效率。

1 无人机外形参数化

无人机外形由机身、机翼、平尾和垂尾几部分组成。文中主要介绍机翼类和机身类部件的外形参数化描述方法。

1.1 机翼外形参数化

机翼几何外形通过翼型(剖面形状)和外形参数进行描述。

1)常用机翼剖面参数化方法有线性形函数扰动法和特征参数描述法。线性形函数扰动法是在基准翼型上叠加形函数扰动,变量的取值范围受限。而特征参数描述法描述的翼型容易出现奇异。文中采用 Kulfan^[4-7]提出的 CST 方法描述机翼剖面形状。翼型上下表面坐标用下式定义:

$$\begin{cases} \xi_U(\psi) = C(\psi) \cdot S_U(\psi) + \psi \cdot \Delta\xi_U \\ \xi_L(\psi) = C(\psi) \cdot S_L(\psi) + \psi \cdot \Delta\xi_L \end{cases} \quad (1)$$

* 收稿日期:2010-10-29

作者简介:廖炎平(1985-),男,湖南临澧人,博士研究生,研究方向:飞行器总体设计。

式中: $\psi = x/c$ 为翼型无因次 x 坐标; $\xi = y/c$ 为翼型无因次 y 坐标; $\Delta\xi_U = y_{U_{TE}}/c$ 为翼型上表面后缘厚度比; $\Delta\xi_L = y_{L_{TE}}/c$ 为翼型下表面后缘厚度比; $C(\psi) = \psi^{N1} \cdot (1 - \psi)^{N2}$ 为翼型的类函数, 对于一般的圆头部、尖后缘翼型, $N1$ 为 0.5, $N2$ 为 1.0。翼型上表面的形函数为 $S_U(\psi) = \sum_{i=0}^{N_U} Au_i \cdot S_i(\psi)$; 翼型下表面的形函数为 $S_L(\psi) = \sum_{i=0}^{N_L} Al_i \cdot S_i(\psi)$; 系数 Au_i 和 Al_i 为翼型上下表面部件形函数的系数, 它们可用于翼型数值优化中的外形参数变量, 也可通过最小二乘拟合获得指定翼型外形对应的系数。在翼型优化设计中, 为了保证翼型上下表面前缘曲率的连续性, 翼型上下表面前缘半径必须相同, 即 $Au_{i=0} = Al_{i=0}$ 。

部件形函数 $S_i(\psi)$ 用伯恩斯坦多项式表示如下:

$$S_i(\psi) = K_i^N \cdot \psi^i \cdot (1 - \psi)^{N-i} \quad (2)$$

式中: N 表示翼型上下表面伯恩斯坦多项式的阶次; K 表示与伯恩斯坦多项式相关的二项式系数。二项式系数定义如下:

$$K_i^N = \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad (3)$$

则, 用 CST 方法描述翼型上下表面坐标最终可表示为:

$$\begin{cases} \xi_U(\psi) = \psi^{0.5} \cdot (1 - \psi)^{1.0} \cdot \sum_{i=0}^N \left[Au_i \cdot \frac{N_U!}{i!(N_U - i)!} \cdot \psi^i \cdot (1 - \psi)^{N_U - i} \right] + \psi \cdot \Delta\xi_U \\ \xi_L(\psi) = \psi^{0.5} \cdot (1 - \psi)^{1.0} \cdot \sum_{i=0}^N \left[Al_i \cdot \frac{N_L!}{i!(N_L - i)!} \cdot \psi^i \cdot (1 - \psi)^{N_L - i} \right] + \psi \cdot \Delta\xi_L \end{cases} \quad (4)$$

式中: N_U 和 N_L 分别表示翼型上下表面部件形函数的伯恩斯坦多项式的阶次。采用不同阶次的伯恩斯坦多项式作为部件形函数, 对对称翼型(NACA0012)、弯度翼型(RAE2822) 和超临界翼型(NSC 2 - 0714) 采用最小二乘拟合翼型曲线, 研究结果表明用 5 阶伯恩斯坦多项式已经能很好满足几何外形拟合精度和气动计算精度。因此文中选取 11 个部件形函数系数作为翼型设计变量:

$$\begin{cases} X_U = (Au_0, Au_1, Au_2, Au_3, Au_4, Au_5) \\ X_L = (Al_1, Al_2, Al_3, Al_4, Al_5) \end{cases} \quad (5)$$

式中翼型设计变量值通过最小二乘拟合给定翼型得到。

2) 机翼外形几何参数的定义如图 1 所示, 机翼分为两段描述, 其中 C_{root} 为内翼根弦长; C_{mid} 为外翼根弦长; C_{tip} 为梢弦长; χ_{inner} 为内翼前缘后掠角; χ_{outer} 为

外翼前缘后掠角; $b_{inner}/2$ 为内翼半展长; $b_{outer}/2$ 为外翼半展长; 当外翼有上反角时, 用 Γ_{outer} 定义外翼的上反角。

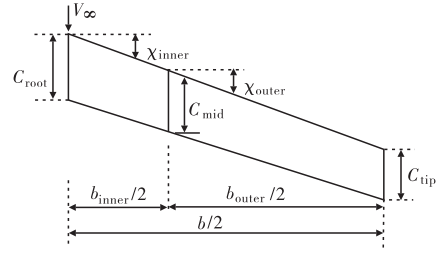


图 1 机翼外形参数化描述

1.2 机身外形参

机身外形通过机身截面和纵向轮廓线描述。机身截面的参数化方法有: 超椭圆方法^[8] 和 CST 方法; 机身头部纵向轮廓采用指数曲线^[3] 描述。

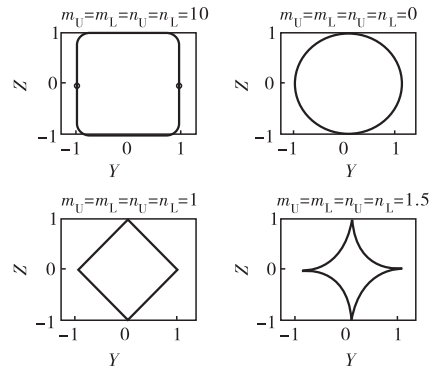


图 2 超椭圆方法描述机身截面形状

1) 超椭圆方法描述机身截面坐标的表达式为:

$$z = \begin{cases} z_c + b_U \cdot \left[1 - \left(\frac{|y - y_c|}{a_U} \right)^{2+m_U} \right]^{\frac{1}{2+n_U}} & (y_c - a_U < y < y_c + a_U) \\ z_c - b_L \cdot \left[1 - \left(\frac{|y - y_c|}{a_L} \right)^{2+m_L} \right]^{\frac{1}{2+n_L}} & (y_c - a_L < y < y_c + a_L) \end{cases} \quad (6)$$

式中: (y_c, z_c) 为质心坐标; a_U, a_L 分别为机身上表面和下表面水平半轴长; b_U, b_L 分别为机身上表面和下表面垂直半轴长; m_U, m_L, n_U, n_L 为控制机身截面形状的超椭圆指数。不同超椭圆指数的机身截面形状如图 2 所示。

2) CST 方法描述机身截面的上下表面。假定机身截面上下对称, 机身截面为椭圆, 如图 3(a) 所示。机身截面上表面的椭圆方程描述为:

$$\zeta(\eta) = 2\eta^{0.5} (1 - \eta)^{0.5} \quad (7)$$

式中: $\eta = z/W$ 为机身截面无因次 z 坐标; $\zeta = y/H$ 为机身截面无因次 y 坐标。机身截面上表面椭圆外形的形函数为:

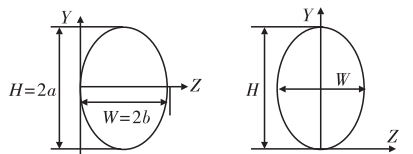
$$S_U(\eta) = \frac{\zeta_U(\eta)}{\eta^{NC1} (1 - \eta)^{NC2}} = 2 \quad (8)$$

式中: $NC1$ 和 $NC2$ 为类函数 $C(\eta) = \eta^{NC1} (1 - \eta)^{NC2}$ 的指数。则机身截面的几何方程用形函数和类函数表

示为:

$$\begin{cases} \zeta_u(\eta) = S_u(\eta)C(\eta) \\ \zeta_l(\eta) = S_l(\eta)C(\eta) \end{cases} \quad (9)$$

对于椭圆截面,截面上表面的形函数为 $S_u(\eta) = 2$;截面下表面的形函数为 $S_l(\eta) = -2$ 。类函数的指数 $NC1 = NC2 = 0.5$ 。通过改变类函数的指数 $NC1$ 和 $NC2$ 生成不同的机身截面形状如图 4 所示。



(a)截面形状上下对称 (b)截面形状左右对称

图 3 CST 法描述机身截面形状

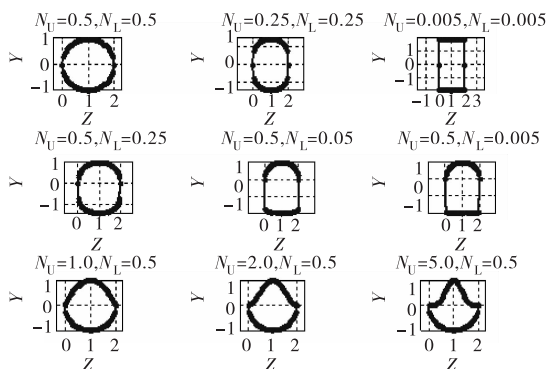


图 4 CST 方法描述机身截面上下形状

另一种描述机身截面形状的方式如图 3(b) 所示。机身截面形状是左右对称的,则描述几何外形的方程为:

$$\eta(\zeta) = 2\zeta^{0.5} (1 - \zeta)^{0.5} \quad (10)$$

式中: $\zeta = y/H$ 为机身截面无因次 y 坐标; $\eta = 2z/W$ 为机身截面无因次 z 坐标。同理,通过改变类函数的指数,生成的机身截面形状如图 5 所示。

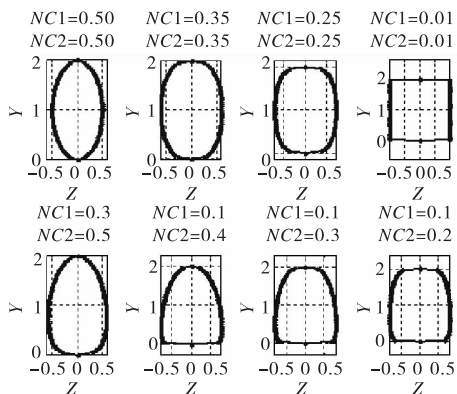


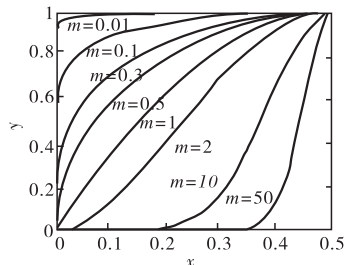
图 5 CST 方法描述机身截面左右形状

3) 指数曲线描述的亚音速无人机钝头外形为:

$$\bar{y} = [4\bar{x}(1 - \bar{x})]^m \quad (11)$$

不同指数 m 的钝头外形如图 6 所示。

图 6 机身钝头外形指数曲线



超音速无人机机身头锥外形采用如下的指数曲线形式,其中 n 为指数。不同指数的锥头外形如图 7 所示。

$$\bar{y} = \tan\varphi \left(\bar{x} - \frac{1}{n} \bar{x}^n \right) \quad (12)$$

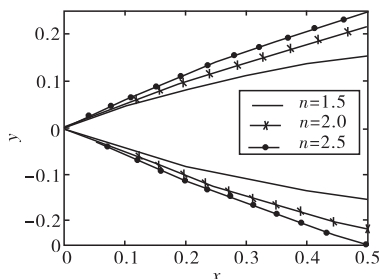


图 7 机身锥头外形指数曲线

2 CATIA 二次开发

通过程序访问 CATIA 对象有很多种不同的方法。对于其他程序或脚本来说,CATIA 只是一个 OLE(object linking and embedding) 自动化对象服务器。任何能访问 COM 对象的程序或脚本都能访问 CATIA 的对象并对其进行操作。CATIA 接口通过两种方式与外部程序通信:进程内应用程序方式和进程外应用程序方式^[9]。文中选用 VB 程序进程外访问的方式对 CATIA 进行二次开发。所谓进程外访问是指将 CATIA 作为一个 OLE 自动化服务器,外部程序通过 COM 接口来访问 CATIA 内部的对象。

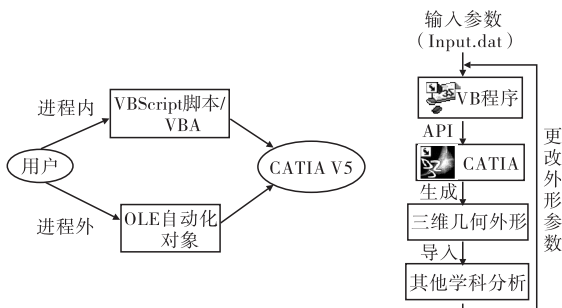


图 8 用户访问 CATIA 的方式 图 9 CATIA 二次开发流程图

CATIA 二次开发实现参数化建模的流程图如图 9 所示。首先将描述几何外形的参数存放在外部数据文件(Input. dat) 中。VB 程序解析文件中的参数并赋值给程序中的变量,VB 程序用 CreateObject 方法启动 CATIA 后,再用 GetObject 方法连接到 CATIA。VB 根据描述的几何外形调用 CATIA 的 API 函数实

现参数化几何模型的生成,生成的几何模型能导出和保存为其他学科分析的几何外形数据。当几何外形参数改变时,VB 程序自动实现参数化模型的更新和导出,整个建模流程是自动的。

3 算例验证

3.1 机身头部外形参数化

文中采用 CST 法和指数曲线结合的方式进行机身头部外形的参数化描述,假定机身头部截面上下对称,机身头部剖面形状为圆形,则描述机身钝头外形的参数如表 1 所示。利用文中建立的参数化设计程序,由 CATIA 生成的不同指数 m 下的机身钝头参数化外形如图 10 所示。

表 1 机身头部外形参数描述

参数	钝头外形	锥头外形
头部长度 L_H/mm	100	100
指数 m 或 n	0.01 ~ 2	1.5 ~ 3.0
CST 系数 NC	0.5	0.5

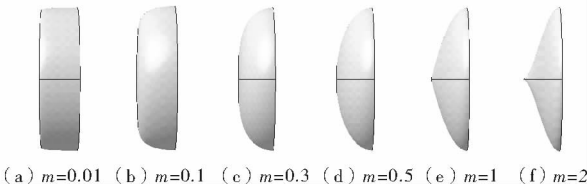


图 10 机身钝头外形示意图

同理,由参数化建模程序生成的不同指数 n 下的机身锥头参数化外形如图 11 所示。

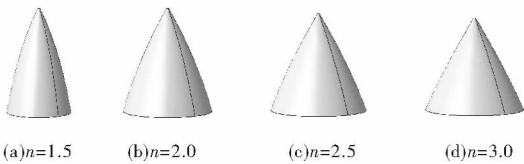


图 11 机身锥头外形示意图

3.2 无人机全机参数化

表 2 无人机机身外形参数描述

参数	数值
机身总长度 L/mm	1880
头部长度 L_H/mm	300
头部指数 m	0.5
机身宽度 W/mm	300
机身高度 H/mm	360
机身截面指数 NC	0.005

为矩形,机身外形参数如表 2 所示。表 3 给出了无人机机翼的外形参数,机翼分为两段,翼型均为 Clark-Y。表 4 给出了无人机平尾和垂尾的外形参数,平尾和垂尾翼型均为平板,厚度为 20mm。则由文中的参数化建模程序生成的无人机的几何外形如图 12 所示。

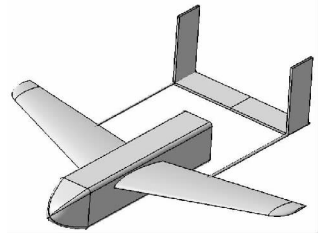


图 12 无人机外形示意图

表 3 无人机机翼外形参数描述

参数	数值
内翼根弦长 C_{root}/mm	600
外翼根弦长 C_{mid}/mm	306
梢弦长 C_{tip}/mm	148
内翼前缘后掠翼 $\chi_{inner}/(^{\circ})$	25
外翼前缘后掠翼 $\chi_{outer}/(^{\circ})$	25
内翼半展长 $b_{inner}/2/mm$	1126
外翼半展长 $b_{outer}/2/mm$	124
内翼根部翼型	Clark-Y
外翼根部翼型	Clark-Y
梢部翼型	Clark-Y
全局坐标位置	(600,80,150)

表 4 无人机平尾和垂尾外形参数描述

参数	平尾	垂尾
根弦长 C_{root}/mm	250	250
梢弦长 C_{tip}/mm	250	250
半展长 $b/2/mm$	570	600
后掠角 $\chi/(^{\circ})$	0	90
根部翼型	平板	平板
梢部翼型	平板	平板
全局坐标位置	(2215,80,0)	(2215,80,570)

4 结论

文中研究了无人机几何外形参数化方法,着重研究了 CST 方法在无人机几何外形参数化描述中的应用。借助 CATIA 强大的曲面生成功能,采用 VB 程序进程外访问的方式对 CATIA 进行二次开发,建立了无人机几何外形参数化模型,提高了设计效率,并为后续的 CFD 和 FEA 学科分析提供了统一的几何外形。

(下转第 74 页)

文中无人机机身分为头部和中部,机身中部截面

经过若干次被动探测后,得到的目标区可能是任意形状的多边形,为了方便导弹武控系统进行参数装订,提取到如图 11 所示的矩形目标搜索区。

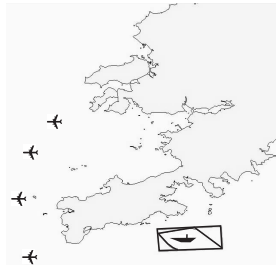


图 11 提取的目标搜索区

在空舰导弹作战使用中,需要关心的是载机完成所有方位探测所需要的机动距离和飞行时间。本例中 4 次探测载机的机动距离和所用时间如表 1 所示。

采用文献[6]所述方法对导弹自控段飞行管道进行规划,管道宽度符合导弹的定位误差模型,并使导弹沿搜索方向进入目标搜索区。

单枚导弹的自控段规划结果如图 12 所示。

表 1 单平台探测的时间间隔与载机飞行距离

探测次数	载机飞行距离	
	载机飞行距离/km	载机飞行时间/s
1	—	—
2	60.42	222
3	52.62	193
4	39.45	145

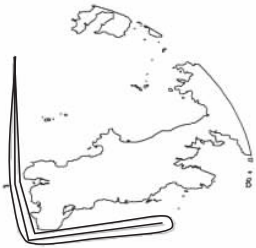


图 12 导弹自控段飞行管道规划结果

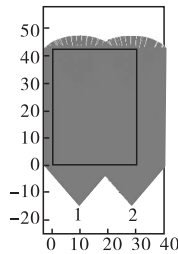


图 13 目标区搜索仿真结果

本例所提取的目标搜索区为矩形,面积1297.08km²。导弹自控终点误差 3.5km,搜索扇形张角 80°,搜索距离 20km,采用两枚导弹对目标区进行完全覆盖搜索,仿真结果如图 13 所示。

5 结论

文中研究了纯方位目标指示条件下空舰导弹目标搜索的一系列问题,包括目标指示模型、目标搜索区计算和目标区搜索方法等。所提出的目标搜索策略能够缩短纯方位攻击的导弹末制导雷达开机时间,克服了容易过早暴露、易受干扰和抗击,以及射击禁航区过大等问题。

参考文献:

- [1] 郭峰,董受全. 反舰导弹纯方位射击初探[J]. 飞航导弹,2008(2):15-17.
- [2] 芮国胜,康健. 机载被动定位系统仿真研究[J]. 计算机仿真,2003,20(9):27-28.
- [3] 杨建华,陈思兴. 国外机载快速无源定位技术最新发展[C]// 雷达跟踪技术研讨会论文集,2001:38-40.
- [4] Taek L Song, Tae Yoon Um. Practical guidance for homing missiles with Bearing-Only measurements[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1996, 32(1):434-443.
- [5] Sherry E Hammel, Vincent J Hidala. Observability requirements for three-dimensional tracking via angle measurements[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1985, AES-21(2):200-207.
- [6] 孙涛,谢晓方,乔勇军. 基于地形裁剪与 DCSAS 的导弹飞行管道规划算法仿真[J]. 系统仿真学报,2009,21(22):7313-7315

(上接第 71 页)

参考文献:

- [1] 谢岳峰,余雄庆. 基于 CATIA 二次开发的飞机外形参数化设计[J]. 计算机工程与设计,2008,29(14):3792-3794.
- [2] 湛岚,余雄庆,沈琼. 大型客机概念设计的外形参数化 CAD 模型[J]. 计算机工程与设计,2009,30(16):3887-3890.
- [3] 金海波,丁运亮. 飞机概念设计中外形参数化模型的研究[J]. 南京航空航天大学学报,2003,35(5):540-544.
- [4] Kulfan B M, Bussoletti J E. "Fundamental" parametric geometry representation for aircraft component Shapes [C]//11th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, Portsmouth, Virginia, 2006. AIAA-2006-6948.
- [5] Kulfan B M. A universal parametric geometry representation method—"CST"[C]// 45th AIAA Aerospace Sci-

ence Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, 2007. AIAA-2007-62.

- [6] Kulfan B M. Recent extension and application of the "CST" universal parametric geometry representation method [C]//7th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference, Belfast, Northern Ireland, 2007. AIAA-2007-7709.
- [7] Kulfan B M. Universal parametric Geometry representation method[J]. Journal of Aircraft,2008,45(1):142-158.
- [8] Gur B M, Mason W H, Schetz J A. Full configuration drag estimation[C]//27th AIAA Applied Aerodynamics Conference. San Antonio, Texas, 2009. AIAA-2009-4109.
- [9] 胡挺,吴立军. CATIA 二次开发基础[M]. 北京:电子工业出版社,2006.