

# 高空长航时无人预警机气动及电磁特性研究

任 武 周 洲 王正平

(西北工业大学无人机特种技术重点实验室, 西安 710072)

**摘要** 高空长航时无人预警机具有反应迅速、成本低廉、覆盖范围广等优点, 是侦察卫星、高空飞艇等侦察平台的重要补充。基于天线特性, 提出两种将柱面天线与高空长航时无人机融合的布局形式, 将雷达反射面天线布置于无人机中段, 并分析两种布局在气动及电磁特性的差异, 为此类特种高空长航时无人预警机的设计提供了一定的理论依据。

**关键词** 无人预警机 柱面天线 高空长航时 气动特性 电磁特性

**中图法分类号** V271.47 V211.3; **文献标志码** A

随着科学技术的发展, 现代战争的战略与战术理念都发生了巨大变化。二次大战形成的速度、火力和通信为标志的基本作战要求, 逐步转变为以武器装备发展优先、情报探测及通信结合的新型作战要求。其关键就在于能否随时随地获得最精确的情报, 并及时做出最有效的决策, 派出作战武器, 实施软硬杀伤。在这整个环节中预警机发挥着重要的作用, 然而预警机受其自身航时及机载人员生理等多方面条件约束, 预警能力有限。因此结构简单、成本低廉、维护方便、机动灵活、滞空时间长、覆盖面积广、无人员生理限制等优势的高空长航时无人机成为理想的空中预警平台。

本文将天线与高空长航时无人机结构进行有机融合, 提出两种基于天线的高空长航时无人预警机设计方案, 并对其气动及电磁特性进行分析研究。

## 1 高空长航时无人预警机特点

高空长航时无人机的主要特点集中于高、长二字, 通常的高空长航时无人机飞行高度在 18 km 以上, 续航时间大于 24 h。在此飞行高度, 空气稀薄, 动压较小, 导致在较高升力的条件下才能满足飞机平飞需求, 因此高空长航时无人机普遍存在所需升力偏高问题; 且由于高空长航时飞机的另一个特点, 航时较长, 就要求飞机巡航阻力较低。综上所述大升阻比是高空长航时无人机最主要的设计

特点<sup>[1]</sup>。

## 2 布局设计

根据以上对高空长航时无人机的特点分析结合雷达天线特性, 得出以下高空长航时无人预警机设计要点:

1) 高空长航时无人预警机因需要较大的升力, 就会带来较大的诱导阻力, 而在亚音速情况下, 诱导阻力的影响较大。虽然这种情况可通过增大展弦比得以改善, 但是展弦比并不能无限增大。一方面展弦比太大会导致机翼结构刚度减弱; 另一方面展弦比太大会导致无人机的飞行雷诺数较小。如果雷诺数小, 即使在小迎角下, 机翼都可能产生分离气泡, 使无人机的气动性能变差。所以高空长航时无人预警机的升阻比要选择合适的范围, 一般展弦比在 12 以上 32 以下。同时大展弦比会导致飞机在飞行过程中机翼挠度较大, 越靠近翼尖部分结构受气流扰动影响越大, 气动变形也就越大。同时为保证天线性能又需要尽量将天线布置在气动力干扰较小的地方, 所以本文选择将天线布置于飞机中部(对称面附近)。

2) 由于抛物面天线结构简单, 方向性强, 工作频带宽等特点比较适合做机载雷达天线, 且反射面部分易于与机身融合。所以本文选择抛物柱面天线与无人机进行融合。

结合上述高空长航时无人预警机特点与飞机设计指标, 以抛物柱面天线为基准, 初步设计两种高空长航时无人预警机布局方案<sup>[2]</sup>: 布局形式一和布局形式二(展长 35 m, 展弦比 15.3, 采用 6 台发动

2011 年 11 月 16 日收到

第一作者简介: 任 武(1985—), 男, 山西朔州人, 硕士研究生, 研究方向: 飞行器总体设计。E-mail: renwu55555@163.com。

机驱动的飞翼式布局)见图 1、图 2。

两种布局形式选用相同的外翼和垂尾、相同的低雷诺数翼型<sup>[3]</sup>、相同的动力形式。不同点仅在于布局一因安装抛物反射柱面天线而在中段有一定的弯曲。

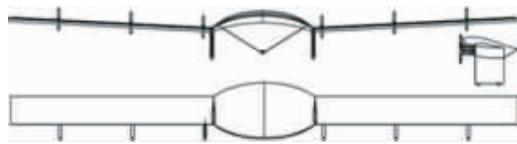


图 1 布局一



图 2 布局二

### 3 气动特性

#### 3.1 计算方法

本文气动计算不考虑螺旋桨、电机舱和起落架等部件对整体布局气动特性的影响。只针对机翼、垂尾组合体的气动外形进行研究。见局部网格示意图(图 3)。

考虑到计算机计算能力及仅对纵向气动特性进行研究,所以选取半模结构网格的剖分方式,以减少计算网格数量,提高计算速率。同时,为避免因计算区域和网格节点的疏密程度等不同造成对气动计算结果的影响,两者模型计算区域和网格节点布置相同,网格数量约 120 万。局部网格情况如图 3 所示。

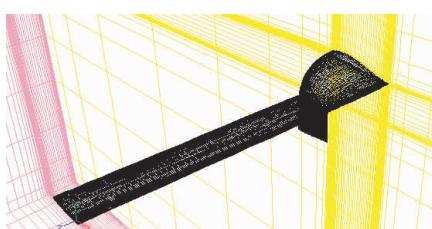


图 3 局部网格示意图

由于飞行高度 20 km 空气密度比较低,飞行速度较小,雷诺数较小约为 40 万,选用密度基隐式求

解器进行求解;边界条件选用压力远场条件。因为  $k-\omega$  是考虑低雷诺数、可压缩性和剪切流传播的湍流,所以本文选用  $k-\omega$  湍流模型分别对两个模型进行气动计算。

#### 3.2 计算结果分析

两种布局的气动特性计算结果如图 4~图 6 所示。

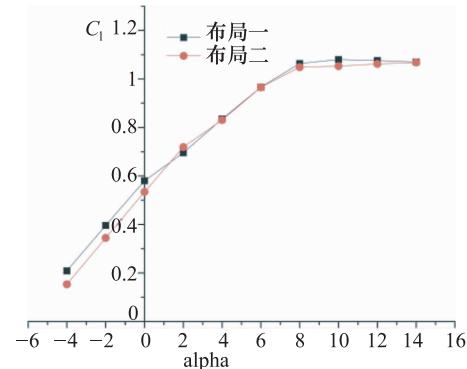


图 4 升力系数曲线

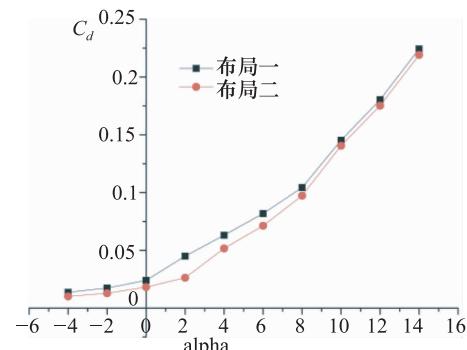


图 5 阻力系数曲线

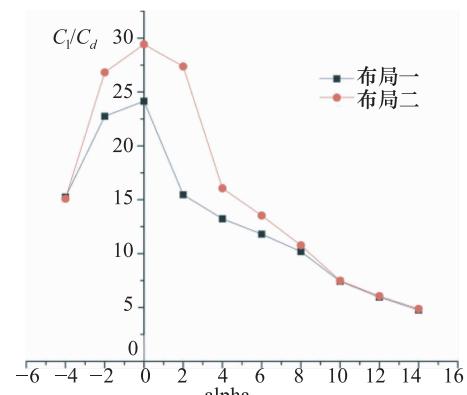


图 6 升阻比曲线

由以上计算结果得：

1) 升力系数。在负迎角情况下随迎角增大升力系数差值逐渐减小,迎角为 $2^\circ \sim 8^\circ$ 时升力系数基本相同,之后随迎角增大升力系数差值又逐渐增大,当迎角大到一定程度两种布局的升力系数又趋近相同。

2) 阻力系数。布局一的浸湿面积较大,阻力系数始终大于布局二的阻力系数。在小迎角的情况下阻力系数差别很大,其余迎角下,阻力系数差别较小。

3) 升阻比。由以上升力系数和阻力系数的分析可得,两种布局在小迎角时的升阻比差别较大,布局二的升力系数明显较大,但是随迎角增大两种布局升阻比的差异在逐渐缩小。

## 4 电磁特性

### 4.1 电磁模型

为简化电磁特性计算,选用相同的单一辐射源(用Antenna Magus完成参数化)见图7,计算中不考虑机翼、垂尾和连杆的遮挡及反射情况,以及机身颤震、气动变形等对天线性能的影响,只选取无人机中段翼型弦线组成的曲面作为天线反射柱面,并对其进行电磁仿真。

简化后得到的两种反射面天线结构模型见图8。

### 4.2 计算模型

本文采用FEKO对天线的电磁特性进行仿真<sup>[4]</sup>。FEKO是针对天线设计、天线布局与电磁兼容性分析而开发的专业电磁场分析软件。在FEKO的求解过程中,一般对电小结构电磁场问题,采用矩量法进行分析,即可保证结果的高精度;对电小与电大尺寸混合结构的电磁场问题,可采用高效的基于矩量法的多层次快速多极子法,也可选用合适的混合方法;对电大尺寸则需要采用多层次快速多极子法或者物理光学法。

物理光学法(Physical Optics,简称PO),即表面电流方法。是一种用来计算电大尺寸物体的散射场的高频方法。通过对表面上的等效电流进行积分,从而获得散射场。在物理光学法中位置为 $r$ 的场点处的散射电场 $E^s(r)$ 近似为:

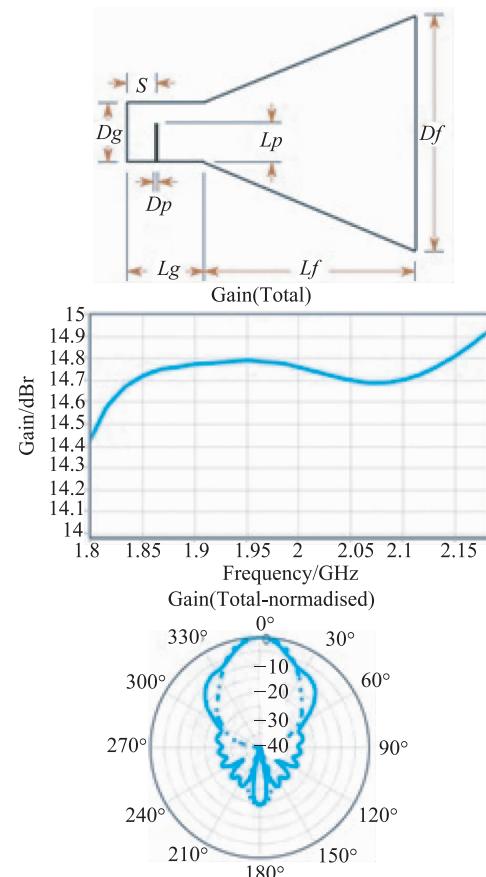


图7 喂源尺寸及电磁特性



(a) 布局一 (b) 布局二

图8 两种反射面天线结构模型

$$E^s(r) = -\frac{jk_0\eta_0}{4\pi} \int [J_s(r') - (\hat{n} \times J_s(r'))\hat{r}] \frac{e^{-jk_0r}}{r} dS'.$$

式中, $r'$ 为反射面上给定点的位置矢量,在反射面表面上,照亮区的感应电流 $J_s(r')$ 为:

$$J_s(r') > > 2\hat{n}(r') \times H^i(r').$$

式中 $\hat{n}(r')$ 和 $H^i(r')$ 分别为表面上的单位法向矢量和入射磁场<sup>[5]</sup>。

由于本文计算模型的抛物柱面天线口径为7 m,电磁波波长为0.15 m,显然抛物柱面口径/波长=7/0.15>10,属于电大尺寸问题,所以可选择物理光学法对模型进行计算。由于抛物柱面天线具有一定的曲率所以选择FEKO中的三角形剖分法对

天线抛物柱面和馈源进行剖分,网格图如图9所示。

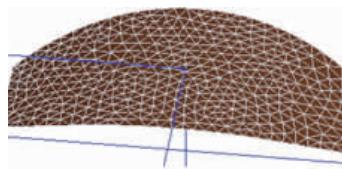


图9 采用FEKO剖分的抛物柱面示意图

### 4.3 计算结果分析

通过计算得两种天线电磁特性如图10、图11所示。

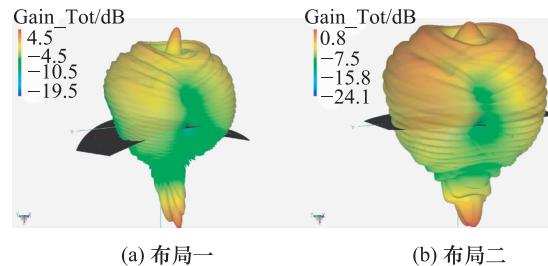


图10 两种布局的天线增益图<sup>[6]</sup>

由图11可以看出对于单一辐射源抛物柱面的增益比平面反射面的增益高3.9 dB,而且抛物面的副瓣比平面反射面的小。

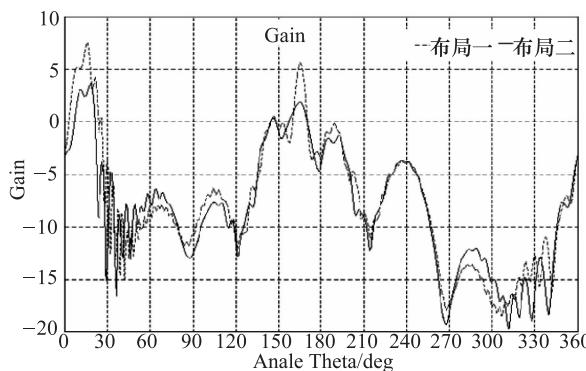


图11 两种布局天线在对称面上的增益比较

## 5 结论

### 5.1 气动方面

原布局形式由于中间构型对气动的干扰,在小

迎角时没有其对比布局形式升阻比高,在迎角增大时两种布局的升阻比趋近相同,而这种高空气长航时预警无人机大多是以巡航状态飞行,此时的迎角较小,因此要重点考虑飞机在小迎角时的情况,即为使这种布局形式在气动上有优势必须尽量控制抛物柱面天线的弯度,确保无人机在巡航状态气动性能最优,升阻比最大。

### 5.2 在天线的增益方面

原始布局的天线在增益特性和低副瓣方面优于其对比布局,从增大天线增益角度出发,为了满足增益要求,需要天线反射面具有一定的弯度。

综上所述,原始布局的天线电磁特性较优,而气动特性较差,对比布局的升阻比高,而天线电磁特性较差。因此在设计此类特种飞行器时需要在气动和电磁特性取折衷。设计时应分别建立各学科主要目标函数,并对设计进行总体多学科优化。

本文对布局的各种特性参数进行分析,为高空气长航时无人预警机的设计提供了一定的方法和理论依据。同时,在本文中对一些条件进行近似、拟合及简化,是下一步精确计算有待改进的方向。

## 参 考 文 献

- 1 许晓平.高空气长航时无人机翼型设计方法研究.飞机设计,2009;29(1):
- 2 李为吉.飞机总体设计.西安:西北工业大学出版社,2004
- 3 Richard Eppler Dan M. Somers. A computer program for the design and analysis of low speed airfoils. NASA,1980
- 4 阎照文,苏东林,袁晓梅.FEK05.4 电磁场分析技术与实例详解.北京:中国水利水电出版社,2009
- 5 左群声,等译.国防工业出版社.无限通讯天线手册.北京,2004:256—279
- 6 匡磊,陈荣标,等译.朱守正审.美国业余无线电传播联盟著.天线手册.北京:人民邮电出版社,2009:30—36

(下转第856页)

## Trajectory Optimization for Reentry Vehicle *via* Interval Algorithm

GAO Dong-ying, YUE Xiao-kui

(College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, P. R. China)

**[Abstract]** Interval algorithm is a new approach for global optimization. All data within the interval can be searched during optimazation. So, the best solution can be found. Thus, this algorithm is researched to design the reentry trajectory for space vehicles. Firstly, the equations of motion in the form of interval were given. The total heat load was chosen to be minimized, and the attack angle and bank angle were chosen as optimal control variables. Secondly, the feasibility and advantages of interval algorithm were discussed. The analytical expressions of attack and bank angle were modeled through the features of interval algorithm. Finily, the simulation results were gotten with the help of Matlab. And the results show that this method can guarantee the best solution and it has some advantages compared to other algorithm.

**[Key words]** interval algorithm    reentry vehicle    trajectory optimization    minimize total heat load  
global optimization

(上接第 851 页)

## Aerodynamic and Electromagnetic Characteristics Research of High-altitude Long-endurance Early Warning Unmanned Aerial Vehicles

REN Wu, ZHOU Zhou, WANG Zheng-ping

(Science and Technology on UAV Laboratory, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710065, P. R. China)

**[Abstract]** The high-altitude long-endurance (HALE) early warning unmanned aerial vehicles (UAV) had become an important complementarity of reconnaissance satellite and high-altitude airship as reconnaissance platform, since it was excellence in quick response, low cost, vast coverage area, etc. Based on the character of antenna, two high-altitude long-endurance early warning unmanned aerial vehicles layouts combined with antenna which was set in the middle of the whole plane were put forward. And then analyzed the aerodynamic and electromagnetic character difference between the two layouts. A certain theory evidence is provided for the design of these special high altitude long-endurance early warning aircraft.

**[Key words]** early warning UAV    cylindrical antenna    HALE    aerodynamic characteristics    electromagnetic characteristics