

注：装备发展中心公开基金（2018 领域基金 61404130110）

摘要：为了解决传统多功能无人机系统设计中面临的传感器最佳探测性能与平台长航时、长航程之间的突出矛盾问题，国内外很多国家研究一种新型的无人飞行器——传感器飞机，其利用传感器与无人机结构功能一体化设计思想，通过载荷平台一体化设计，实现系统整体性能的最优化设计。本文分析了传感器飞机的概念内涵，对国内外各类传感器飞机研究进展进行了概述，并对传感器飞机的功能、作战场景及使用模式进行了分析，结合未来作战需求阐述了传感器飞机急需突破的关键技术和壁垒。

关键词：传感器飞机；研究进展；作战使用模式

中图分类号：TN911.73；TH7 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2020)09-0007-05

收稿日期：2020-06-16

# 传感器飞机国内外研究进展和作战使用模式分析

徐振华 杨江洪 牛利民 霍恩来

中国电子科技集团公司第三十八研究所，安徽合肥 230088

## 一、引言

在现代高技术条件下的“陆、海、空、天、电”**在** 五维一体的战争中，具备多功能的无人机系统在夺取战场制信息权、保证战场单向透明等方面具有不可替代的作用<sup>[1]</sup>。传统无人机设计方法难以同时满足传感器与平台的需要，一方面，当传感器的性能得到满足时，平台的性能就会下降，难以实现“长航时、长航程”；另一方面，当平台的性能能够保证时，传感器的能力就会受到较大限制，平台资源难以支撑“大阵面”、“强综合”<sup>[2]</sup>。

为了解决上述问题，美国首先提出传感器飞机的概念，体现了传感器与无人机结构与功能一体化设计的思想<sup>[3-4]</sup>。其设计理念要求突破传统无人机设计中传感器的从属地位，将传感器性能最优化作为一种设计约束，考虑进系统的总体方案设计过程中。通过这种载荷平台一体化设计，可以实现系统整体性能的最优化设计，从而使其具有长航时、大航程和隐身性等多种优势<sup>[3]</sup>。当前，国内各研究机构目前主要瞄准

大型传感器飞机远程预警和中小型传感器飞机对海多功能的应用需求，开展载荷平台一体化相关关键技术研究。

### 1、总体情况概述

回顾国外，尤其是美国传感器飞机到目前为止的技术发展过程，可以看出四个明显的阶段划分<sup>[3-4]</sup>。传感器飞机技术发展脉络图如图1所示：

第一阶段（1993年~1997年）：共形天线技术的起步阶段<sup>[5]</sup>。这期间主要围绕天线能否与飞机实现结构共形，开展了“灵巧蒙皮结构”和“射频多功能共口径结构”等技术的研

第二阶段（1997年~2000年）：共形天线技术的应用阶段。以传感器为核心，基于载荷平台一体化设计思想，采用共形天线技术，具备全方位探测能力的空中无人预警探测系统概念，传感器飞机开始酝酿并逐渐成熟<sup>[6-8]</sup>；

第三阶段（2000年~2004年）：概念可行性研究评估阶段。从2003年的“X波段天线阵列”和2004

年的“联接翼缩比样机”两个项目可以看出，主要围绕天线阵列技术和飞行器平台技术两个方面对传感器无人机的可行性进行了先期验证；

第四个阶段（2004年至今）：工程化研制阶段。自传感器飞机项目正式发布后，波音公司和诺斯罗普·格鲁曼公司两大军工巨头正式开始介入。波音公司采用联接翼布局满足360°全向探测；诺斯罗普·格鲁曼公司采用一种能够从侧面辐射电磁波的雷达天线技术——“Endfire”搭配其成熟的飞翼布局来实现360°全向探测。

总体而言，国外对传感器飞机的研究中主要包含两个方面，一方面是设计无人机气动外形结构，使其满足作为传感器飞机的要求（360°扫描，阵面规模等等），包括研究先进的气动性技术以提高升阻比，从而进一步延长航时与航程；另一方面是先进的传感器技术，主要包括结构与功能一体化设计技术、孔径综合设计技术、共形天线低副瓣设计技术、低功耗轻量化收发组件设计技术和智能环控设计技术等，本文不再赘述。

### 2、气动外形设计

多家美国公司设计了传感器飞机外形，主要是Boeing公司的联接翼构型、Northrop Grumman公司的飞翼构型。联接翼构型主要优势：便于孔径最大化、便于360°方位覆盖、外形利于隐身；主要劣势：联接机翼结构特性未知（变形影响、气动外形）。飞翼构型主要优势：结构相对简单、便于360°方位覆盖、外形利于隐身；劣势：无尾外形导致操作性差、机翼安装设备有限、机翼变形严重。

实际上，除了上述联接翼构型和飞翼构型，传感器飞机外形也可以根据需要采用其他构型，比如像圆盘形和平直翼布局，但上述两种构型目前尚未见国外报道。

### 3、共形承重天线的研发

围绕传感器飞机的应用需求，美国空军开展了“共形承重阵列”项目的研究。从上个世纪90年代初开始，主要由美国空军试验室承担研究任务，先后开展了“灵巧蒙皮结构（S3TD）”、“射频多功能共口径结构（MUSTRAP）”、“低波段结构天线（LOBSTAR）”

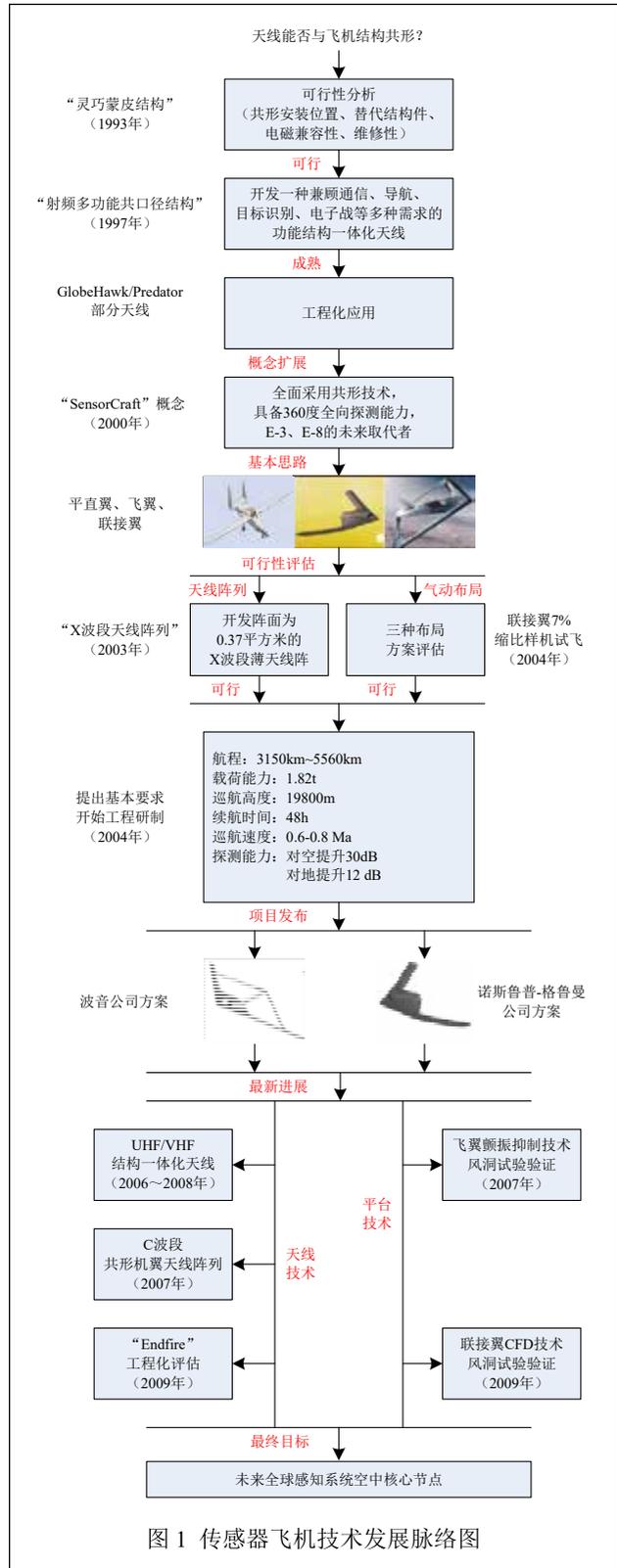


图1 传感器飞机技术发展脉络图

和“结构一体化 X 波段阵列 (SIXA)”等项目的研究。

“灵巧蒙皮结构 (S3TD)”项目 (1993 年~1996 年): 项目设计加工了共形承重天线的试验件, 尺寸为 915mm×915mm, 工作频率为 225MHz~400MHz, 并开展了相关的力学试验。

“射频多功能共口径结构 (MUSTRAP)”项目是“灵巧蒙皮结构项目”的延续, 对外宣布研制了具备多功能、宽带 (0.03G-2G)、结构一体化的低成本天线, 满足通信、导航、目标识别和电子战的需求。

“低波段结构天线 (LOBSTAR)”项目在“传感器飞机共形低波段天线结构”项目基础之上, 其主要目的是开发一种低频段天线, 可以探测丛林植物隐藏的慢速移动目标。

“结构一体化 X 波段阵列 (SIXA)”项目 (2003 年~2007 年) 验证了结构功能一体化的有效性<sup>[3-4]</sup>。

在研究机构方面, 雷声公司研制的共形天线可分为四代<sup>[4]</sup>。第一代共形天线, 曲面半径约为 0.5m, 目前正在制造第二代天线, 形成可以用于扫描的波束, 天线上折叠或栅格的间距, X 波段为 0.15m, UHF 是 1m。该项目中所采用的是第三代有源电扫共形阵列天线。研究人员认为, 他们目前正在研制的第四代阵列能够直接“粘贴”到空中和地面的大型结构件中。欧洲航空防务与航天公司 (EADS) 从 2000 年起开始对共形阵列技术进行研究, 第一种型号为 SIA-A1 型, 天线厚度不到 1cm, 主要用于验证天线的基本功能以及搜索不同材料之间的相互作用信息。SIA 天线的第二个型号是 SIA-A2, 这种天线的辐射单元被集成到由碳

纤维增强塑料制造的平面机体部件上。第三个型号称为 SIA-A3, 研究人员使用了特殊的集成技术。SIA 的第 4 个型号在 2005 年底前完成研制, 天线包含有 128 个天线模块, 该天线工作在 X 波段<sup>[3-4]</sup>。欧洲 EADS 公司的曲面成组天线阵列如图 2 所示。

目前, 世界上对共形阵列的研究主要是将厚达几厘米的共形天线直接贴装在飞机蒙皮上, 但今后的共形天线将是能够在结构上承载的阵列, 其天线单元嵌入到飞机蒙皮内, 在辐射或接收电磁能量的同时, 能够承载相应的载荷重量, 成为飞机本身结构的一部分<sup>[9-13]</sup>。

通过上面的分析可以发现, 传感器飞机核心思想是通过传感器与飞行器的一体化设计实现整体性能的最优化, 是先进电子技术与先进气动技术的结合体, 是未来电子设备重要发展方向, 传感器与飞行器平台的一体化设计已成为未来的重要发展趋势。

国内方面, 中国电科第 38 研究所是国内最早从事传感器飞机关键技术研究及应用验证的单位, 另外, 西安电子科技大学和电子科技大学等单位也对传感器飞机的相关关键技术进行了研究。

## 二、作战使用模式分析

传感器飞机兼具预警探测和战场监视功能, 平时前出远海, 执行长时间空中预警和态势探测<sup>[14-15]</sup>; 战时抵近战区, 对空执行远距离预警探测和指挥引导, 支援海上制空作战。可执行大范围战场监视、丛林或地表下隐蔽目标监视、高分辨率成像及识别等任务, 实现情报、侦察、监视一体。

具体的作战使用模式包括以下几点:

### 1、高空、持久探测

传感器飞机飞行高度高, 续航时间长, 可用于对重点区域保持持久的预警探测, 任务载荷与飞行器平台一体化设计, 避免了载荷对飞行器气动性能的影响, 使得飞行器保持优越的飞行气动性能, 相对于传统预警机布局, 一是大大降低了飞行资源消耗, 从而获得更持久的续航时间; 二是摆脱了大孔径天线负载对飞行器爬升性能以及维持高空飞行的影响, 从而获得更优越的高空飞行特性。高空、持久探测的一个典型应

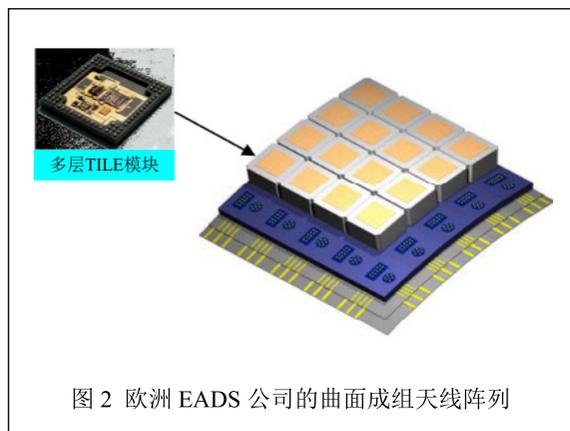


图 2 欧洲 EADS 公司的曲面成组天线阵列

用场景是平流层传感器飞机，这种飞机可使用太阳能动力实现对重点区域和重点目标的常态化持久探测，充分体现了载荷平台一体化带来的长航时、大孔径的优点，具有潜在的重要军事应用价值。

## 2、前出预警探测

传感器飞机使用低频段共形蒙皮天线一体化设计，具备对隐身飞机的远程预警探测能力以及长航时的特点，决定了该装备必然为前出预警探测的优选装备，其作战半径不低于 2000 千米，本土沿海起飞，可执行我国东海或南海各敏感海域的预警探测任务。相比有人预警机，由于传感器飞机具有无人属性，可前出预警探测，与有人预警机高低搭配，提高对陆地和海面战场环境的态势感知能力。

## 3、多平台协同反隐身探测

多平台协同反隐身探测是传感器飞机重要的作战模式。传感器飞机可以与预警机协同，

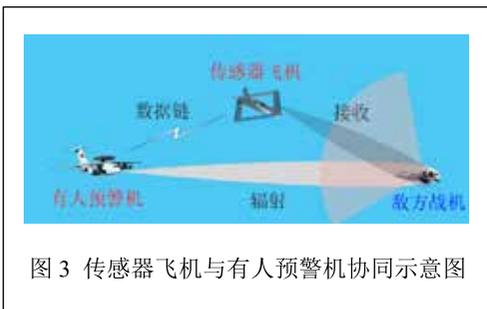


图 3 传感器飞机与有人预警机协同示意图

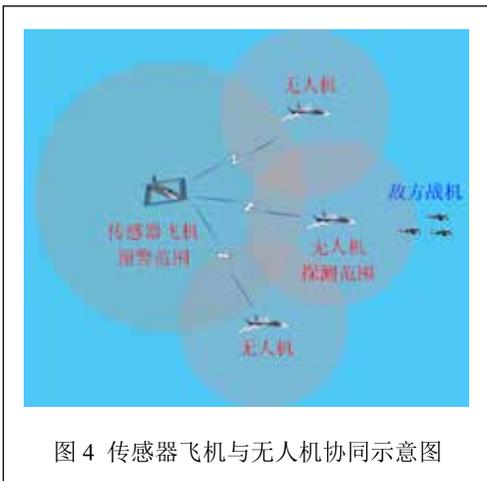


图 4 传感器飞机与无人机协同示意图

达到大幅扩展预警范围的作战效能。传感器飞机与有人预警机的协同，主要的协同模式为多基地协同探测，可分为一发多收和多发多收模式，可实现信号级的协同探测。典型的应用场景如图 3 所示，预警机对外辐射并独立完成预警探测，传感器飞机静默突前接收，由于二者的工作频段存在重合，所以利用重合部分可实现收发双置的多基地预警雷达，不仅扩展预警探测距离，而且能够有效地做到反干扰、隐蔽探测。

传感器飞机与其它频段预警机的协同，主要的协同模式是点、航迹的协同探测。传感器飞机密布、突前探测，探测结果通过数据链实时传递给后面处于安全区的有人预警机，有人预警机作为空中指挥与情报融合中心，完成情报融合以及对传感器飞机的飞行管控等。该协同模式能够有效完成反干扰探测。

传感器飞机与无人机的自组网协同，主要的协同模式是多基地协同探测，传感器飞机为辐射源，并独立完成预警探测，多架小型无人机搭载接收处理设备，突前抵近接收，传感器飞机与无人机之间保持数据链通信，传感器飞机完成最终情报融合。该协同模式能够实现静默突前探测、反干扰探测等。传感器飞机与无人机协同示意图如图 4 所示。

## 三、结束语

从机载预警探测平台发展的趋势来看，即将从目前以有人预警机为主向有人和无人平台协同探测的模式过渡，未来将全面实现无人预警机作战。传感器飞机作为未来无人预警机发展的一种形态，研究国内外在这一领域的发展历程和现状对于推动传感器飞机装备的研制具有重要的意义。

## 参考文献

- [1] 邓大松. 无人机雷达载荷发展浅析 [J]. 飞航导弹, 2010, (12): 76-79.
- [2] 刘亮, 吉波. 无人机载雷达现状及发展趋势 [J]. 现代导航, 2014, (3): 227-230.
- [3] 洪森涛, 杨国松. 传感器无人机技术进展及相关发展策略的思考 [J]. 现代电子技术, 2014, (18): 91-93.
- [4] 李国民, 张军红. 传感器无人机发展状况及其关键技术 [J]. 飞行力学, 2012, (6): 481-484.
- [5] 许群, 王云香, 刘少斌, 巩亚萍. 飞行器共形天线技术综述 [J]. 现代雷达, 2015, 37(9): 50-54.

- [6] 朱松. 共形天线的发展及其电子战应用 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2007, 2(6): 562-567.
- [7] LARS JOSEFSSON, PATRIK PERSSON. Conformal Array Antenna Theory and Design[M]. Hoboken, New Jersey: IEEE Press, 2006.
- [8] 张光义. 共形相控阵天线的应用与关键技术 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2010, 5(4): 331-336.
- [9] 张新苗. 传感器飞机机翼形变对共形雷达系统性能的影响研究 [J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(7): 1-4.
- [10] 张平, 吴文志, 吴斌. 传感器飞机机翼结构优化与性能分析 [J]. 电子机械工程, 2019, 31(4): 28-31.
- [11] 周金柱, 黄进, 宋立伟. 结构功能一体化天线的机电耦合机理和实验 [J]. 电子机械工程, 2014, 30(1): 1-7.
- [12] 洪森涛, 杨国松. 传感器无人机技术进展及相关发展策略的思考 [J]. 现代电子技术, 2014, 37(18): 91-93.
- [13] 李军, 李占科, 宋笔锋. 联翼高空长航时无人机布局设计研究 [J]. 飞行力学, 2009, 27(4): 1-4.
- [14] 陈唯实, 黄毅峰, 卢贤锋. 多传感器融合的无人机探测技术应用综述 [J]. 现代雷达, 2020, 42(6): 15-29.
- [15] 崔嵩, 刘林, 王宏强. 多雷达空间目标协同探测任务规划研究 [J]. 现代雷达, 2019, 41(5): 8-11.

### Research Progress and Operational Mode Analysis of Sensor Aircraft at Home and Abroad

XU Zhen-hua, YANG Jiang-hong, NIU Li-min, HUO En-lai

(The 38th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei 230088, China)

**Abstract:** In order to solve the prominent contradiction between the optimal detection performance of sensors and the long endurance and long range of the platform for the traditional multi-functional UAV system design, a new type of UAV -- sensor aircraft has been studied by many countries at home and abroad, which uses the idea of integrated structure and function design for sensor and UAV, and realizes the optimal design for the whole system. This paper analyzes the concept and connotation of sensor aircraft, summarizes the research progress of all

kinds of sensor aircraft at home and abroad, analyzes the use function, combat scenario and mode of sensor aircraft, and expounds the key technologies and barriers that sensor aircraft urgently needs to break through in combination with future combat requirements.

**Key words:** sensor aircraft; research progress; operational mode

### 作者简介

徐振华: 中国电子科技集团公司第三十八研究所, 博士, 高级工程师, 研究方向为新体制雷达系统设计。

通信地址: 安徽省合肥市高新区香樟大道 199 号中电 38 所

邮编: 230088

邮箱: glockc19@163.com

杨江洪: 中国电子科技集团公司第三十八研究所, 工程师, 研究方向为雷达系统设计。

牛利民: 中国电子科技集团公司第三十八研究所, 高级工程师, 研究方向为雷达系统设计。

霍恩来: 中国电子科技集团公司第三十八研究所, 工程师, 研究方向为新体制雷达系统设计。