

解析诸国争相研制“察打一体” 飞翼隐身无人机

Analytical Countries Compete to Develop the " Reconnaissance and Strike Integrated" Wing Stealth UAV

林一平 / Lin Yiping

(上海交通工程研究院, 上海 200435)

(Shanghai City Traffic Engineering Research Institute, Shanghai 200435, China)

摘要:

“察打一体”无人机以飞翼无尾气动布局、翼身融合体、复合材料结构、雷达吸波材料等特征,具有升阻比大、有效载重量大、隐身性能好等优点,能够对大纵深、高风险和高价值目标进行侦察与打击,诸国争相研制,后续发展空间巨大。

关键词: 飞翼无人机;“察打一体”;争相研制

[Abstract] "Reconnaissance and strike integrated" wing stealth UAV advantage is very obvious, has been incorporated into the countries develop UAV development roadmap, it becomes a hot research reality. Upgrading through its transformation, following a huge space for development.

[Key words] Flying Wing; UAV "Reconnaissance and Strike Integrated"; Racing to Develop

0 引言

“察打一体”的无人机系指同时具备侦察机和攻击机的功能,美国“察打一体”的无人机在伊拉克、阿富汗、南联盟战场上以及反恐作战中,以低成本、低风险、小规模、不对称战术-技术手段打击大纵深、高风险、高海拔、高价值目标所取得的显著战果。但在实战中暴露出航速低、升限低、续航力有限、载弹量有限、突防能力不强、并且自身非隐形的缺陷,对付的只是弱小国家,难以与防空体系健全、防空力量强大的对手过招。

现在美国将陆基型的“捕食者”无人攻击机技术升级为海军型的“捕食者”C 无人攻击机,其中最明显的变化是改螺旋桨发动机为喷气发动机推进,改固定式起落架为收藏式,总体设计初步实现了整机的准隐身化,如图 1 所示。X-47B 也是美国研制全球首款在航母上起降的舰载无人机,如图 2,图 3 所示。法国、英国放弃研制第 5 代有人驾驶隐形战

斗机,转向研发第 6 代无人隐形战机。俄罗斯著名的米格公司正研制“电鳐”无人隐形战机。

这些隐形无人机设计不谋而合,其共同特点是采用飞翼无尾气动布局,翼身融合体,内置弹舱,单发高亚音速飞行,全部为侦察-攻击机。



图 1 “捕食者”C 无人攻击机外挂武器

1 发挥飞翼隐身优势

无尾飞翼布局,没有常规布局暴露在外的雷达

罩、进气道、垂尾、垂尾与平尾之间的夹角以及外挂物,没有雷达反射截面技术的部件,隐身性能大为提高。还采用了复合材料机体、雷达吸波材料、低噪声发动机、红外抑制、表面细缝隙、充电表面涂层、等离子隐身技术,善于隐蔽,迅速突防,主动接敌。



图2 X-47B 舰载隐形战术无人机三视图



图3 正在着舰中的 X-47B 舰载无人机

在总体布局上,无尾飞翼隐身无人机去除了垂尾和平尾,缩短了后机身长度,浸润面积比常规无人机减少了50%,亚声速零阻系数下降了53%;在同等展弦比下,飞翼无人机的最大升阻比约为常规布局无人机的1.4倍。实现了“四位一体”的重大变革,即最优的气动设计、理想的隐身方式、精简的整体设计、轻量化的结构重量,整架无人机就成为一个升力体,翼、身无分界面,且光滑连接,无干扰阻力,诱导阻力也因此降低。有利于提高飞行性能和满足战术技术要求。

从结构分析看,翼身融合体经过五次简化去除了传统机身与机翼连接部分,变双体为单体、改变了以前两者均要在该设计分离面强化的结构、减轻了结构重量、减少了零部件制造工序、简化了装配过程,对批量生产,降低成本十分有益。

飞翼无人机的全机质量与气动载荷分布基本一致,各种机载设备能够更合理地沿翼展分布。翼身融合体采取一体化设计,使翼根部结构高度和弦

长更大,能最大限度地提供了机内空间。经过合理安排,能够安装下更多机载设备,提供更大的动力舱、燃油箱和内置武器舱。可在两侧机翼的外段设置整体油箱,起落架舱、武器舱依次由外向内排开,整机系统既紧凑又合理,使无人机结构质量减小的同时超宽短的翼身融合体的结构强度和刚度也得到了增加。

诸国的隐身无人攻击机采用飞翼无尾气动布局,其显著优点是气动升力效率比其它布局高;机身基本被机翼融合了,单翼面和翼身融合,使得雷达反射截面积更小,隐身性能更好;由于去除了垂直尾翼,降低了该无人机的气动阻力,减小了雷达反射面;采用单翼面后,去除了常规无人机由翼面之间不利干扰产生的升力损失。

诸国采用飞翼布局背部进气道,翼身融合体,内置弹舱都是为了隐身突防、精简结构、减轻重量、实现整机轻量化;采用单发的原因是使用单发已经能够实现高亚音速飞行,就不必再配置双发;这些措施对降低成本,控制造价,减少使用费,简化维护工作量,确保整机的可靠性都是有利的。飞翼无尾气动布局的缺点是升降舵操纵力臂较常规布局机型更短,因而操纵效能大为降低。由于俯仰操纵效能的降低,飞翼布局无人机的起飞、着陆性能相对较弱。由于没有了水平安定面,纵向稳定性下降,甚至会出现静不稳定。由于没有了垂尾和方向舵,其侧向及航向稳定性下降,航向控制需借助其他方式来提供足够的偏航力矩,另外单翼面的纵向气动操纵效率也较低。

2 美国先导,技术领先

美国 X-47B 舰载无人机为第6代战机,是美国国防部国防高级研究计划局、美空军和海军共同参与研发的,是用于压制敌方防空火力、实施电子战攻击、执行侦察、搜索和救援任务于一体的无人机。作为全球首款在航母上完成正常起降的无人机,其全程飞行以机载电脑飞行管理和控制为主,仅在必要时由人员介入操控。

X-47B 在研制过程中应用了包括先进隐身技术、先进航电综合技术、先进推进技术、先进的航材、先进的控制技术和智能技术等在内的一些关键技术。表1对 X-47B 与“捕食者”系列无人机的性能作比较,可见其在外表几何尺寸变化不大的情况下,起飞重量和有效载重有了明显增加,动力装置

也由初期的活塞发动机升至中期的涡浆发动机,再升级到涡扇发动机,实用升限得到提高,飞行速度的增加更是十分突出,增强了突防能力和攻击能力。而对续航力、实用升限等技术指标则采取适当降低的做法。因为,续航力可以通过空中加油来实现。

美国研发飞翼气动布局的飞机从二战期间开始,经历了几十年的漫长岁月,在广泛试验、遭遇失败、技术验证中才逐步搞清其机理,掌握其规律。研制的型号有 N9M、YB-35、YB-49、X-45A、X-45B、X-45C、X-46、X-47A、X-47B 等。X-47B 最为著名,它于 2008 年 3 月下线,2011 年 2 月首飞,2012 年 11 月首次舰上起飞。

表 1 X-47B 与捕食者系列无人机的性能比较

型号	捕食者 A	捕食者 B	捕食者 C	X-47B
翼展(m)	14.85	20	20.12	18.92
机长(m)	8.22	11	12.5	11.64
机高(m)	2.1	2.21		3.1
起飞重量(kg)	1020	4760		20 215
有效载重(kg)	>340	1362	1 360.78	2 000
飞行速度(km/h)	217	482	740	1 000
实用升限(m)	7620	15 000	18 288	12 192
续航力(h)	40~60	14~28	20	9
动力装置	一台 115 马力活塞四缸涡轮增压发动机	一台 P331-10T 涡浆发动机,功率 712kw	一台普惠 PW545B 涡喷,推力 4 500lb	一台普惠无加力涡扇发动机,推力 8 070kg

X-47B 的高隐身性设计采用了飞翼无尾气动布局,被称为缩小版的 B-2。其几何尺寸直逼美海空军现役的 F/A-18E/F 超级大黄蜂战斗机。X-47B 从隐身性能上对所有波段的雷达波的隐身性均极高。其外翼由铝合金部件和碳纤维环氧树脂复合材料蒙皮组成,其尺寸大约为 4.88m×1.22m。每侧机翼上装有副翼,并拥有高度集成的电子和液压系统装置。该机翼设计还具备折叠功能,以便于在母舰甲板或机库停放。

X-47B 的飞翼无尾布局使其能在着舰时采取大迎角姿态减速,并让无人机尾钩较容易勾住阻拦索,有助于正常降落,并保证安全。

X-47B 的飞翼无尾布局有助于卸载,并增加飞机的有效载重。虽然其最大起飞重量超过 20 000kg,但其空重仅 6 000kg。采用了大的机内储油系数,增加了机内自身携带的燃油量来增加航程、续航力和载弹量。X-47B 有 2 个内置弹舱,各可以容纳 1 枚 2 000lb 级的 JDAM,其载弹量要远远超过目前的其他型号的无人机。

X-47B 为高亚音速舰载无人机,在测试中检验了大作战半径、低空侦察、自主空中加油,在航母上的安全起降,其实用升限超过 10 000m,航速可达 1 000km/h。

X-47B 舰载无人机具有陆地操作、航空母舰操作、自动空中加油、持久监视和侦察、全天候精确跟踪以及固定或移动目标的精确打击的能力。还能够通过数据链与新研发的战略轰炸机和 F-35 战斗机互联,通过网络传感系统与机群成员共享飞行状态、图像、作战路线乃至声音等信息,与作战机群密切配合,执行前线突防,纵深打击的任务。

3 英国雷神 注重高端

英国早年有研制“火神”喷气式飞翼单垂尾轰炸机的经验。近年来,不甘人后、奋起直追,注重高端无人机的全面发展,在许多技术上已接近美国的水平。

“雷神”隐身无人攻击机项目始于 2006 年 12 月,是英国继 EF2000“台风”战斗机后,时隔 30 年启动自主研制军用航空器的重要项目,旨在验证英国自主研制生产隐身无人作战飞机的能力。英国国防部和皇家空军已将其列为未来取代狂风 GR.4 战斗轰炸机的备选机型,其使命是纵深打击、情报监视、目标捕获与侦察。该机翼展约 10m,机长约 12m,起飞重量超过 6 000kg。该机的翼身组合体明显厚实,融合度高拥有更大的内部使用空间,具有更大的强刚度;制造时应用了大量的低可探测性复合材料满足隐身要求;选用了技术较成熟的“阿杜尔”MK951 型发动机,提供强大推力,大幅度降低了红外信号特征和雷达反射截面积,利用机内空间装载的大量航空煤油,为“雷神”隐形无人机增加航程。如图 4 所示。

“雷神”隐身无人攻击机采用先进的飞控系统,运用了射流推力矢量和循环控制等关键飞行控制技术,可有效控制机体两侧的喷气主流和次流,使之沿着机体表面产生矢量推力,从而获得俯仰和滚

动控制力。它在充分利用较成熟的气动控制技术基础上,采用了数字式飞行控制系统,能很好地实现操纵面的耦合控制。机翼后缘的多个操纵面能够保证飞机根据控制指令提供相应的偏航力矩,确保无人机在各种条件下可靠地自主飞行。在起飞和降落过程中,打开的起落架舱门可以起到垂尾的作用,以满足低速飞行时航向稳定性的要求。



图4 英国“雷神”隐形无人攻击机

该机还可根据作战需要,搭载4枚“地狱火”导弹,2枚“宝石路”炸弹等致命武器从英国基地起飞,对远在阿富汗的目标进行纵深打击,以大大降低军事人员在前线作战的风险。该机造价超过2.5亿美元。英国期望通过“雷神”隐身无人攻击机的研制,开发出一款堪比“火神”轰炸机的全新无人攻击平台,可执行从目标截获到战后作战损伤评估等宽广范围内的典型任务。

4 法国沿用空客模式

法国一直以来有研制“幻影”系列喷气式无尾战斗机的丰富经验。法国的“神经元”隐身无人攻击机是在经历了AVE-D、AVE-C等一系列前期预研和试验的基础上开发的,目的在于打破美国对高端隐身无人机的技术控制和垄断,推动欧洲各国防务合作的深入和防务市场的一体化。

该项目由法国领导,瑞典、意大利、西班牙、瑞士和希腊参与,沿用空中客车分工负责研制的成功模式,共同出资,共担风险。法国达索公司是该项目研发的主承包商,负责项目管理、系统构架设计、飞行控制系统和无人机总装配;法国泰莱斯公司负责提供数据中继设备和指挥控制接口;还有瑞典萨伯公司、意大利阿莱尼亚公司、西班牙EADS-CASA公司、希腊HAI公司、瑞士拉格公司。

“神经元”主要由翼身组合体中段与飞翼左、右段三部分装配而成,组合体中段为核心段。为达到安装后的动力装置后方隐身目的,其发动机进气道和尾气排放走了S形通道,如图5所示,以削弱雷

达波侵入,减小雷达反射截面积;削弱红外辐射信号特征。

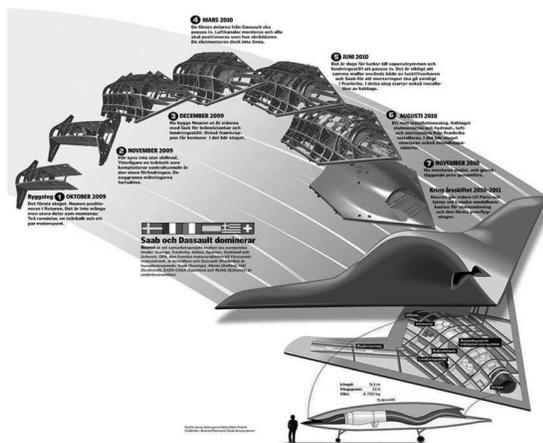


图5 由法国领导多国的“神经元”无人攻击机项目

“神经元”机长9.3m,翼展12.5m,起飞重量6500kg,如图10所示。安装1台“阿杜尔”(Adour)涡轮风扇发动机,飞行速度约为0.8M_z。该机采用飞翼布局,大量使用复合材料,具有低可探测性。它为多电无人机,全部操纵面由机电作动器驱动。它安装1台机载雷达,携带数据中继设备。设有2个机身内部武器舱,可发射空对地导弹,投掷制导航弹。

“神经元”研制开始于2003年,总经费约为8亿欧元,2012年演示验证机研制完毕,计划在2015年前后进入法国空军服役。然后,列装欧洲国家空军。届时,这款飞机不仅是先进军事科技的体现,也是未来欧洲各国广泛合作建立统一政治军事实体的战机范例之一。

5 俄罗斯电鳐学思考

俄罗斯强调新一代无人机有智慧,会思考,意在将掌握的无人驾驶“暴风雪”号航天飞机上的控制技术微型化、轻量化、精细化、智能化,能协调解决包括飞行速度、雷达隐身、机身体积和翼-身融合、有效载重、续航力等诸多因素互相制约的难题,突破有人驾驶飞机的性能包线。俄罗斯力推著名的米格公司开发“电鳐”喷气式隐形无人战机,如图6、图7所示。

“电鳐”隐身无人攻击机也采用飞翼无尾布局,内藏式弹仓;机翼操纵面板、起落架舱门和机舱门处在几条平行的线上,大大降低了雷达反射面;其发动机采用扁平喷嘴,减少了热辐射量,可规避敌方红外线设备的远距离探测;发动机进气道被飞机

上仰的翼前缘部分遮盖,进气口呈现梯形,内设楔形分流板,以遮避入射的雷达波;其隐身性能超过美军的 F-117 隐形战机,能悄然突破敌方的防空系统,对重要目标实施攻击。该机起飞重量为 10 000kg,载弹量 2 000kg,航程 4 000km。

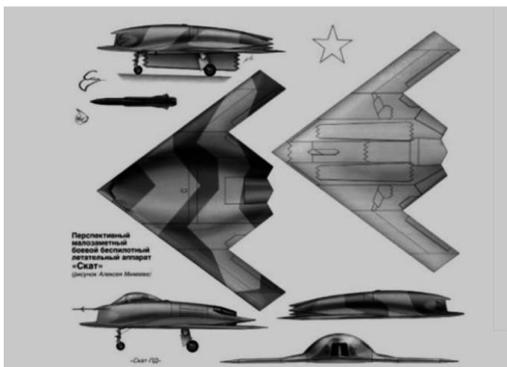


图6 “电鳐”隐形无人攻击机的多视图



图7 俄罗斯“电鳐”隐形无人攻击机

该机的主要战术是突破敌方严密的防空系统,发射弹舱内的空地导弹,投射精确制导航弹,击毁预先侦察到的地面固定目标,也可击毁陆上移动目标和海上目标。它的两个弹药舱,可各放一枚空对地导弹或反辐射导弹,或一枚 250~500kg 的制导航弹。该机既可单独军事行动,也可与有人驾驶战机进行编队行动;既能执行危险的防空压制任务,又能有效打击坦克、军舰或机动导弹发射装置,甚至还可长途深入敌方腹地,偷袭美军设在阿拉斯加的 F-22 战斗机基地等。“电鳐”隐身无人攻击机虽然采用了翼身融合技术,但是机身及发动机舱仍然比飞翼突出,翼身融合度显得不够理想。倘若有必要,仍有扩充空间,无人机的推重比也足够。

6 转型升级 空间巨大

研制“察打一体”飞翼布局的无人机,具有升阻比大、气动效率高,载荷分布均匀、结构效率高,有效载重量大,隐身性能好等突出的优点,能够做到挖掘无人机的潜力,充分发挥无人机平台的作用,

精简单一功能无人机的数量,简化后勤部保障,降低使用和维护成本,达到无人机装备数量、功能和效能的统一。

通过对国外几种验证型飞翼隐身无人机的性能比较,如表 2 所示,可见其采用相同的气动布局,具有共同的用途和一些特征。“雷神”、“神经元”、“电鳐”三者性能接近,起飞重量在 6 000~10 000kg。其中“电鳐”处于上限,但有效载重 2 000kg 与 X-47B 相当;X-47B 的起飞重量几乎分别是三者的 2~3.67 倍;它们的推重比在 0.399~0.504;飞行速度 800~1 000km/h;实用升限 11 000~12 192m;续航力 8~12 h。基本反映了当前飞翼隐身无人机已经到达的技术水平,比目前采用常规布局的无人机的技术水平有了非常大的提高。在某些方面,X-47B 已经接近 F/A-18,隐身性能还优于 F/A-18。

表 2 国外几种验证型飞翼隐身无人机的性能比较

型号	“雷神”	“神经元”	“电鳐”	X-47B
翼展(m)	10	12.5	11.50	18.92
机长(m)	12	9.3	10.25	11.64
机高(m)			2.7	3.1
V 后掠角			540	550
起飞重量(kg)	6 000~8 000	6 500	10 000	20 215
有效载重(kg)			2 000	2 000
飞行速度(km/h)		M0.8	>800	1 000
实用升限(m)		11 000	>12 000	12 192
航程(km)			4 000	
续航力(h)	8	12		9
动力装置	一台“阿杜尔”无加力涡扇发动机,推力 28.9kn	一台“阿杜尔”无加力涡扇发动机,推力 28.9kn	一台 RD-5000B, 无加力涡扇发动机,推力 5 040kg	一台普惠无加力涡扇发动机,推力 8 070kg

从高科技实战审视,采用飞翼布局的隐身无人机最受航空强国的器重,将辅助有人驾驶飞机成为航空兵的新装备。它作为舰载突防利器会装备航空母舰,并得到重点发展,不仅装备数量会增加,而且高风险参战的场次和架次均会增加,不仅战术性能将经受考验,并且也会从中不断地得到改进和提高。

飞翼隐身无人机采用模块化设计有利于共享一

个飞行平台实现多种用途。具体可将无人机的设计分解成几个标准模块,机体为中央主体模块、外翼段模块、弹舱通用模块、动力舱模块等,安装不同的战术—技术要求进行搭配,形成执行不同任务的作战平台。用较少数量的无人机充当多种角色,完成平时需要多种型号、用途、许多架无人机才能完成的任务。简化装备管理和技术保障,方便使用和维护。

今后“察打一体”的飞翼隐身无人机也将由以平台为中心向以任务为中心转型。形成“陆、海、空、天、网”一体化联合作战体系,实现全时域、全天候、全纵深作战,成为网络中心战的核心突击力量。伴随其的大量装备使用,将引起空中作战思想、作战理论、战术运用、战力组合,乃至部队编制、军备采购、装备维护等方面的一系列变革。“察打一体”的隐身无人机将通过不断提高智能化水平,提高自主飞控性能,提高协同作战能力,更多地运用于海空作战,并有可能改变传统的空对地打击、潜舰大海战的作战样式,形成未来新的海空战作战模式。它将执行不仅限于空中侦察、监视、跟踪、中继通信等非接触性任务,而且还将执行许多接触性的作战

任务,担负完成包括打击敌方水面舰艇、搜索潜艇、掩护登陆作战、纵深精确打击地面高价值目标、布雷/扫雷,乃至参与有限的空中作战的任务,在争夺制空权、制海权的作战中发挥出重大作用。

参考文献:

- [1] 殷铭燕. 2005 ~ 2030 年美国无人机系统发展路线图 [M]. 北京:海军装备部航空装备科研订货部,海军装备研究院科技信息研究所,2006.
- [2] 2006 中国无人机大会论文集(上、下册) [C]. 北京:中国航空学会,2006.
- [3] 2008 中国无人机大会论文集(上、下册) [C]. 北京:中国航空学会,2008.
- [4] 2010 中国无人机大会论文集(上、下册) [C]. 北京:中国航空学会,2010.
- [5] Noll T E, Brown J M, etc, Investigation of the Helios Prototype Aircraft Mishap [R]. NASA Mishap Report,2004.
- [6] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030 [R]. Memorandum for Secretaries of the Military Departments, U. S. A. 2005.

(上接第 34 页)

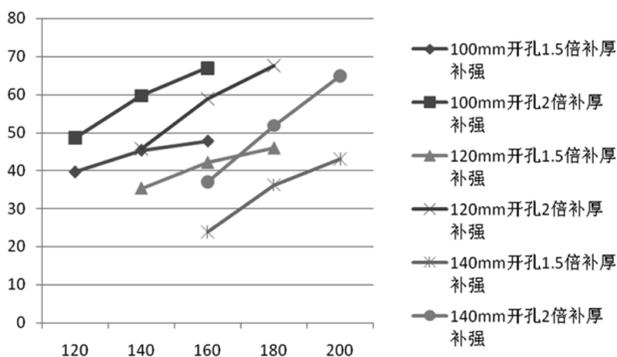


图7 开孔补强仿真屈曲临界载荷

4 结论

基于 MSC PATRAN/NSATRAN 建立复合材料梁腹板结构模型,通过分析不同开孔尺寸、孔边补强厚度、补强区域大小对结构承载能力的影响,计算得到稳定性分析结果,得出以下结论:

复合材料梁腹板开孔对结构承载能力影响较大,随着开孔尺寸变大,抗屈曲承载能力下降越快;复合材料梁腹板孔边不同区域大小补强,能够提高结构稳定性,但随着区域面积的增大,补强效率变小;复合材料梁腹板孔边增厚补强效果明显,结构

效率较高,设计中应该采用孔边增厚补强。

参考文献:

- [1] 陈绍杰,高树理,等. 复合材料结构设计手册 [M]. 北京:航空工业出版社,1990.
- [2] 杨乃宾,章怡宁. 复合材料飞机结构设计 [M]. 北京:航空工业出版社,2002.
- [3] 罗小东,寇长河,于卫东,等. 复合材料层合结构开口的非对称补强研究 [J]. 航空学报, 1994, 15 (12): 1478-1481.
- [4] 寇长河,汪彤,郦正能,等. 复合材料层合板开口补强研究 [J]. 北京航空航天大学学报,1997,23:477-481.
- [5] 王毅,姜云鹏,岳珠峰. 压缩载荷作用下复合材料层合板结构开口翻边补强试验及数值模拟 [J]. 机械强度,2006, 28(6):869-873.
- [6] Hwang Shunfa, Liu Guihuann. Buckling behavior of composite laminates with multiple delamination under uniaxial compression [J]. Compositestructures,2001,53: 235 - 243.
- [7] 童贤鑫,郑晓玲,等. 复合材料结构稳定性分析指南 [M]. 北京:航空工业出版社,2002.
- [8] Smith C S. Design of Marine Structures in Composite Materials [M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers Ltd,1990.