

航空发动机隐身技术研究及管理工作探讨

尚守堂^{1,2}, 曹茂国², 邓洪伟², 杨胜男², 唐正府², 李 锋¹

(1. 北京航空航天大学 能源与动力工程学院, 北京 100191; 2. 中航工业沈阳发动机设计研究所, 沈阳 110015)

摘要:隐身技术是提高军用飞机生存力、作战效能的有效手段。航空发动机红外隐身和雷达隐身是飞机隐身的重点和难点。在对航空发动机红外、雷达隐身技术简要分析的基础上,给出了对航空发动机隐身技术研究及管理工作的一些思考,指出了航空发动机隐身技术研究和管理工作应重点开展发动机隐身要求和作战效能分析,加强发动机隐身专业体系建设,梳理发动机隐身技术研究流程和路线图,注重发动机隐身技术研究配套保障条件建设等。

关键词:红外隐身;雷达隐身;航空发动机;技术研究及管理;抑制

中图分类号:V218 **文献标识码:**A **doi:**10.13477/j.cnki.aeroengine.2014.02.002

Discuss on Aeroengine Stealth Technology Research and Management

SHANG Shou-tang^{1,2}, CAO MAO-guo², DENG Hong-wei², YANG Sheng-nan², TANG Zheng-fu², LI Feng¹

(1. School of Energy and Power, Beihang University, Beijing 100191, China; 2. AVIC Shenyang Engine Design and Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: The stealthy technique is an effective means to improve military aircraft survivability and combat effectiveness. The aeroengine infrared stealth and radar stealth technology is an important and difficult part of military aircraft stealth. Based on the brief analysis of aeroengine infrared and radar stealth technology, some thoughts on aeroengine stealth technology research and management were obtained. The aeroengine stealth technology focuses on analyzing engine stealth requirements and operational efficiency analysis, strengthening the construction of engine stealth system, carding engine stealth technology research professional processes and the road map, and regarding on construction of the guarantee conditions of engine stealth technology research supporting.

Key words: infrared stealth; radar stealth; aeroengine; technology research and management; suppression

0 引言

隐身技术(Stealth Technology)广义上包括各种反探测技术,而严格意义上应为目标特征信号控制(signature control or suppression, SCS)技术或低可探测性技术。隐身性能和隐身化已成为现代和未来作战飞机必须具备的重要性能和显著特征。在当今及未来一段时间内,作战飞机最主要的探测威胁来自于各种天基、空基、面基(包括地面和海面)的雷达和红外探测系统,其中雷达和红外探测器比例已经达到60%和30%左右;主要攻击威胁来自于空中、地面(海面)发射的各种雷达、红外制导导弹。近几十年来,随着科学技术的不断进步,武器装备需求日趋强烈,国外飞

行器隐身技术正处于快速发展的阶段。美国将飞行器及其动力装置隐身技术列为国家战略技术之一,投入大量人力、物力、财力开展研究,并已取得大量工程实用成果,在技术研究和工程应用上处于遥遥领先的地位;俄罗斯等欧洲国家也加大了对飞行器隐身技术研究和工程应用的投入力度;一些亚洲国家也已开始隐身飞机和发动机的研制工作^[1-5]。

发动机红外隐身和雷达隐身是飞机隐身的重要组成部分,是飞机隐身工作的关注重点^[1]。发动机隐身包含后向红外、雷达隐身和前向雷达隐身,前二者是发动机隐身的重点。3~5 μm波段的飞机红外信号多由发动机喷管、加力燃烧室和涡轮等热部件和尾喷流

收稿日期:2013-11-30 基金项目:航空基金(2013ZA06001)资助

作者简介:尚守堂(1970),男,在读博士研究生,自然科学研究员,主要从事航空发动机隐身、燃烧、总体等研究工作;E-mail: sst606@163.com。

引用格式:尚守堂,曹茂国,邓洪伟,等.航空发动机隐身技术研究及管理工作探讨[J].航空发动机,2014,40(2):6-9. SHANG Shoutang, CAO Maoguo, DENG Hongwei, et al. Discuss on aeroengine stealth technology research and management[J]. Aeroengine, 2014, 40(2): 6-9.

产生;发动机后腔体形成的雷达散射截面积(RCS)约占飞机后向 RCS 的 90%以上。发动机前向的风扇部件产生的雷达回波是飞机进气道腔雷达回波的组成部分,但风扇部件所能采取的雷达隐身措施非常有限,主要有进气帽罩与支板采取修形设计、采用吸波材料或吸波结构等措施,且需与飞机进气道一体化设计。飞机进气道腔 RCS 减缩主要以进气道修形、遮挡及采用吸波材料或吸波结构等为主^[4]。同时,发动机隐身又是飞机隐身工作的难点和“瓶颈”。工作温度、负荷、转速极端多变的工作状态及复杂恶劣的工作环境,推力损失、空间尺寸、质量等限制以及长寿命、高可靠性要求等,均给发动机隐身技术研究及工程应用带来巨大难度和挑战。

1 航空发动机红外隐身技术简要分析

自然界一切温度高于绝对零度的物体都会向外辐射红外线,而且这种辐射都会载有物体的特征信息,这就为探测(目前先进红外探测器探测距离已近 200 km)和目标识别提供了客观基础。红外波段为 0.75~1000 μm ,其中 3~5 μm 、8~14 μm 在大气中红外辐射能量被吸收得少,成为红外探测的主要波段范围。发动机温度高,其红外辐射能量主要从 3~5 μm 波段透过,也有少量能量从 8~14 μm 波段透过,这就为发动机被红外探测器探测、跟踪提供了机会。在均匀背景下,红外探测器对点源目标的探测距离与目标辐射强度的平方根值成正比。目标红外辐射强度降低 90%,探测器作用距离会缩短 68%。降低发动机的红外特征信号,也就大幅度降低了飞机被红外探测器和导弹发现、跟踪、识别、攻击的距离和概率^[1-4]。

发动机红外隐身集中在发动机后段,涉及到发动机总体和喷管、加力、涡轮等部件。其红外辐射能量来自高温固体(如喷管、加力燃烧室、低压涡轮等)壁面和高温尾喷流的辐射以及二者形成的腔体辐射。采取冷却措施降低发动机高温壁面温度是降低其红外辐射最有效的手段^[6-7];同时,降低高温壁面的表面发射率(黑度),也是降低其红外辐射的有效措施。而降低发动机热喷流气体辐射较为有效的手段是降低其温度(如加强冷热气流掺混)^[8-10],这是发动机红外隐身性能提高的关键技术之一。此外,飞机后机身采取遮挡结构也能降低红外探测器在侧向角度范围内对发动机红外辐射的探测能力^[5]。

2 航空发动机雷达隐身技术简要分析

雷达是迄今为止最有效的远程电子探测工具,它根据对雷达波的散射能量来判断目标的存在并确定其位置和运动状态。目前雷达应用比较广泛的是 2~18 GHz 的 S、C、X、Ku 波段,其中 S、X 波段是主要的 2 个工作波段^[11-14]。雷达隐身技术就是通过改变目标的外形、材料以及采用电磁屏蔽、电磁吸收等手段,降低雷达对目标的探测能力。雷达在自由空间最大探测距离与目标的雷达散射截面 RCS 的 4 次方根成正比。目标的 RCS 减少 10dB 可使雷达探测距离缩短约 44%。

发动机雷达散射主要有前腔体(由进气道和风扇等构成)内的风扇(包括进气帽罩、进气支板、进气机匣、风扇叶片等)散射和后腔体(由喷管、加力燃烧室、低压涡轮等构成)雷达散射^[14]。这 2 处雷达散射都属高频散射(入射波波长远小于散射体本身和构成散射体各散射中心尺寸的散射),包括镜面(如加力截锥)散射、不连续表面(如加力稳定器的边缘、拐角和尖端)散射、表面导数不连续散射、爬行波或阴影边界放射、行波散射、凹形(如 2 面角和多面角)区域散射、相互作用散射等多个散射机理,各散射机理综合作用形成总的雷达散射 RCS 特征。要减少这 2 处 RCS,需针对各散射机理综合采取措施。

3 航空发动机隐身技术研究及管理工作的思考

当今及未来的作战飞机都要求具有较高的隐身性能以提高生存力和作战效能。隐身需求带给发动机的不单是技术上的创新,还要转变发动机研制理念。

(1) 对发动机隐身工作要有正确认识和合理定位。一方面,发动机隐身性能是影响作战飞机生存力和作战效能的主要因素之一,既不能有将隐身技术视为“飞机需要,与发动机无关”的错误观念,也要避免有“保证发动机推力、可靠性达标是第 1 位的,隐身是锦上添花”的偏见。另一方面,要认识到对发动机隐身技术指标要求应合理、适度。发动机隐身技术指标既要体现飞机的作战效能和实战需求,也要考虑发动机现有基础和发展潜力以及隐身技术措施的工程可实现性。还要认识到发动机隐身技术的应用是有代价且有局限性的。发动机隐身指标应作为先进作战飞机及发动机研制之初重点关注的主要指标之一。在作战飞机及发动机方案论证之初,就要对发动机隐身要求和隐身能力进行初步分析和评估,并随着研制工作的深

人不断细化完善。发动机研制人员要在设计、制造理念上有所转变,理清实现隐身面临的难点和需解决的关键技术,明确航空发动机隐身技术研究应开展的工作内容。隐身技术的引入对发动机研制提出了一些新要求,对传统的发动机设计和制造习惯、方法、准则和规范提出了挑战,需在发动机的总体、部件和系统的性能和结构以及生产制造、试验测试等方面开展大量深入细致的协调和权衡工作,在推动发动机的发展和技术进步的同时,也会导致发动机研制成本大幅度增加。

(2)发动机隐身技术研究涉及到总体、喷管、加力、涡轮、风扇和材料应用、测试等多个专业,飞发一体化程度高,同时还与飞机、材料、雷达和红外测试等行业密切相关。要有相对固定的研究团队,其成员要分工明确且密切配合。其中总体人员做牵头纳总工作,承担隐身技术专业发展规划、隐身设计工作流程梳理、隐身指标综合论证及对部件分解提要求、型号隐身技术策划与实施、整机隐身计算评估与测试验证等工作;有关专业、部件设计人员依据总体要求开展相关工作,分解落实有关总体要求,承担相关部件的隐身计算评估与测试验证等工作。

4 航空发动机隐身技术研究和管理工作重点

4.1 开展发动机隐身要求和作战效能分析

先发现、先发射、先摧毁或先规避是作战飞机获得生存力、取得胜利的必要条件,但不同用途的作战飞机(如战斗机、无人机和轰炸机等)对其自身及发动机的隐身能力要求差异较大,需求方需根据飞机的用途及作战效能分析明确相关隐身要求,充分论证分析及反馈。发动机隐身指标应从作战性能指标、作战任务、作战效能等需求入手,结合发动机安装形式、数量、隐身措施的技术成熟度及可靠性、风险等因素来制定。最终的发动机隐身指标应与其性能、质量、结构、系统、制造、维护、成本等多方面进行平衡、折衷,还应体现发动机红外隐身与雷达隐身之间的制约、权衡与侧重。

F-35 战斗机配单发 F135 发动机,其红外隐身指标低于配装双发 F119 发动机的 F-22 战斗机的红外隐身指标,而 B-2A 轰炸机安装了 4 台发动机,其主要任务是实施轰炸,不具备防卫能力,因此,对其单台发动机隐身能力要求会更高。

不同的隐身需求决定了在发动机上采用的隐身

措施也不同。F119 发动机为满足 F-22 隐身飞机的需求,采用整体式加力燃烧室、2 元矢量喷管和冷却、隐身材料、雷达修形设计技术等,使发动机隐身能力达到目前世界最高水平,但采用 2 元矢量喷管也带来了推力损失较大、结构复杂、质量增加、成本提高等问题;F135 发动机为满足 F-35A 联合攻击机低成本、多用途和低可探测性的需求,其常规型采用很多与 F119 发动机相同的隐身技术,但最主要变化是安装了锯齿形裙边轴对称喷管,虽使隐身性能有所降低,但推力损失小、结构简化、成本低、质量减轻显著;B-2A 轰炸机的发动机采用背负式安装,同时采用 S 弯曲 2 元喷管,并且不带加力燃烧室,发动机涵道比也较大,因此其隐身性能非常好。

4.2 加强发动机隐身专业体系建设

发动机隐身工作应从专业角度进行专业划分和体系建设,从总体、部件的角度进行管理划分。

从隐身专业的角度看,目前发动机隐身以红外隐身和雷达隐身为重点和主要发展方向。其中红外隐身技术研究包含发动机红外隐身总体、部件和红外隐身材料应用的设计,及红外辐射特性试验测试等;雷达隐身技术研究包含发动机雷达隐身总体、部件、雷达隐身材料应用的设计,及雷达波散射特性测试等。

从部件隐身设计的角度可分为总体、喷管、加力燃烧室、涡轮和风扇的隐身设计。其中除风扇隐身是纯雷达隐身外,其余部件都既有红外隐身又有雷达隐身,要注意兼顾二者。其中总体隐身牵引着整个隐身工作的开展和专业的建设。

4.3 梳理发动机隐身技术研究流程和路线图

发动机隐身技术研究需要对隐身工作流程、工作方法、专业间的接口输入和输出进行梳理;需要与需求方和承制方进行沟通、协调,确保隐身工作按照工作节点完成。

发动机隐身技术研究工作流程是以需求方提出的指标为顶层输入,并由总体部门对该指标进行论证、反馈及分解,根据部件的能力和潜力对隐身指标进行分解,将红外隐身指标与雷达隐身指标转换成部件隐身要求。开展发动机隐身的总体和部件设计,要考虑隐身性能与推力、质量等常规指标的匹配关系,还要注意红外隐身与雷达隐身之间的制约和平衡,开展部件模型和整机测试验证、考核。在设计 and 试验的过程中,需要编写或建立发动机红外隐身计算软件、

雷达 RCS 计算软件、数据库、规范等。

发动机隐身技术研究工作阶段可分为方案论证及关键技术攻关、隐身方案设计与模型试验验证、总体及部件隐身设计和部件及整机级试验验证、验证机及原型机的隐身技术状态确定和考核阶段。在各阶段需要编写大量的规范来指导设计工作。

发动机隐身技术研究应遵循“单项技术研究→技术集成验证→将技术成果向型号移植应用”的路线图,按照不同型号发动机的需求和隐身技术的成熟度分阶段逐步地将隐身措施在发动机上应用,实现发动机隐身能力的提升。

4.4 注重发动机隐身技术研究配套保障条件建设

发动机隐身技术研究是非常复杂的工作,需不断地改善研究中的软件和硬件条件,加大对研究的投入和技术支持力度。

在软件条件方面,应配置计算能力强、精度高的发动机红外辐射和雷达散射计算软件,以及包含材料发射率和隐身测试数据的发动机红外和雷达隐身数据库,以建立完善的发动机隐身设计体系。

在硬件条件方面,建设发动机部件和整机红外、雷达试验器和测试场所,配备相关红外、雷达测试仪器及标定设备,用于发动机部件和整机红外、雷达隐身测试研究和考核。

在经费方面,积极申报、争取有关发动机型号和预研隐身工作经费,有效利用经费用于开展针对发动机的隐身技术应用验证及探索研究工作,形成发动机隐身技术应用一代、研究一代、探索一代的研究局面。

5 结束语

航空发动机隐身是先进作战飞机隐身工作的重点和难点,其后向红外隐身和雷达隐身尤为重要。隐身需求带给发动机的不单是技术上的创新,还要转变发动机研制理念。航空发动机隐身技术研究和工作中应重点做好隐身需求分析、专业体系建设、工作流程和路线图梳理、配套保障条件建设等工作。

参考文献:

[1] 桑建华. 飞行器隐身技术[M]. 北京:航空工业出版社, 2013: 1-15.
SANG Jianhua. Low-observable technologies of aircraft [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2013: 1-15. (in Chinese)

[2] 尚守堂,程明,刘殿春,等. 航空动力技术的研究热点及发展趋势[J]. 航空制造技术, 2013(9): 72-74.
SHANG Shoutang, CHENG Ming, LIU Dianchun, et al. State and developing trend for aeronautics propulsion technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013 (9): 72-74. (in Chinese)

[3] 邓洪伟,邵万仁,尚守堂. 飞机/发动机一体化隐身技术初探[J]. 隐身技术, 2010(1): 13-17.
DENG Hongwei, SHAO Wanren, SHANG Shoutang. Aircraft/engine integrated stealth technology study [J]. Journal of Stealth Technology, 2010(1): 13-17. (in Chinese)

[4] 桑建华,张勇. 飞行器红外隐身技术[J]. 航空科学技术, 2011(5): 4-7.
SANG Jianhua, ZHANG Yong. Infrared stealth technology of air vehicles [J]. Aeronautical Science & Technology, 2011(5): 4-7. (in Chinese)

[5] 李锋,尚守堂,唐正府. 不同飞行平台动力系统隐身的关键及发展趋势 [C]// 北京: 总装反隐身技术研讨会, 2011: 400-403.
LI Feng, SHANG Shoutang, TANG Zhengfu. The key and the development trend of power system in different flight platform stealth[C]// Beijing: General Armament Department Seminar for Anti-stealth Technology, 2011: 400-403. (in Chinese)

[6] 邓洪伟,尚守堂,邵万仁,等. 基于加力内锥冷却的红外隐身技术研究[J]. 航空发动机, 2011, 37(2): 12-15.
DENG Hongwei, SHANG Shoutang, SHAO Wanren, et al. Investigation on infrared stealth technology based on afterburning cone cooling[J]. Aeroengine, 2011, 37(2): 12-15. (in Chinese)

[7] 单勇,张靖周,邵万仁,等. 排气系统中心锥气膜冷却结构的气动和红外辐射特性实验 [J]. 航空动力学报, 2012(1): 21-23.
SHAN Yong, ZHANG Jingzhou, SHAO Wanren, et al. Experiments on an aerodynamic and infrared radiation characteristics of film cooling center-body exhaust system for a turbofan engine[J]. Journal of Aerospace Power, 2012(1): 21-23. (in Chinese)

[8] 尚守堂,张青藩. 波反射激励效应抑制超声速射流红外辐射的试验研究[J]. 航空发动机, 2001(3): 25-28.
SHANG Shoutang, ZHANG Qingfan. Experimental study of wave reflection incentive effect of inhibition of supersonic flow of infrared radiation[J]. Aeroengine, 2001(3): 25-28. (in Chinese)

[9] 杨青真. 涡扇发动机引射喷管的红外辐射特性数值研究[J]. 航空工程进展, 2012(1): 92-97.
YANG Qingzhen. Experimental study of wave reflection incentive effect of inhibition of supersonic flow of infrared radiation [J]. Advances in Aeronautical Science and (下转第 18 页)