

无人机系统适航现状及发展研究

Current Status and Development for Unmanned Aircraft System Airworthiness

中航工业第一飞机设计研究院西安飞豹科技发展公司 吕游

[摘要] 针对无人机系统适航性要求,介绍了国内外无人机系统现状及发展趋势,以及国内外无人机适航审定政策,提出了无人机系统适航工作建议。

关键词: 无人机系统 适航性 规章

[ABSTRACT] Upon the UAS airworthiness requirement, the status, trend and certification policy of UAS is introduced, and a suggestion on certification work is given.

Keywords: UAS Airworthiness Regulation

近年来,无人机系统因具有设计灵巧、空间利用率高、生存能力强、对人员安全系数高等特点得到迅猛的发展。目前,从事无人机研究和生产的有美国、俄罗斯、以色列、法国、英国和南非等近 30 个国家,无人机机型数量已增加到 300 多种。鉴于独有的低成本、低损耗、零伤亡、可重复使用和高机动等诸多优势,其使用范围已拓宽到军事、民用和科学研究 3 大领域。随着无人机的快速发展和数量的不断增多,为保证地面人员、设施、空中其他飞机等的安全,各国开始研究无人机系统适用的适航标准,降低对空中飞行器以及地面人员和设施的安全风险,但目前的研究尚处于起步和试验阶段。

1 国内外现状与趋势分析

1.1 国外现状与发展趋势分析

1.1.1 国外军用无人机现状与发展趋势分析

美国军方最先于 20 世纪 80 年代后期提出军机适航性概念,至 90 年代中后期基本成熟。进入 21 世纪以来,世界各主要军事大国也逐步认识到军机适航性问题,在不断追求更高性能的同时,更加注重航空武器装备安全要求,强调军机“性能设计要求”与“适航性安全要求”的融合,并将军机适航性审查纳入军机性能验证之中。目前,美国、英国、法国、意大利、以色列等国军方均已开展了军用无人机的适航性工作。

2006 年 1 月 25 日,诺思罗普·格鲁门公司生产的 RQ-4A“全球鹰”首次通过了美国空军的军用适航性审查。空军确认“全球鹰”系统具备安全和可靠运行的能力,并认可了 FAA 已经为其颁发的适航证。以色列航空工业公司(IAI/MATLA)研制的无人机包括从 0.5kg

的 Mosquito 无人机到 4650kg 的 Heron TP 高空长航时无人机,并积极推进无人机系统适航性工作,获得了军用无人机系统适航性批准。目前世界军用无人机型号开展适航性工作已经是大势所趋。

(1) 美国军用无人机系统适航审查标准。

在军用无人机系统适航性审查标准方面,美国国防部颁布了 MIL-HDBK-516“适航性审查准则”,规定了军用飞机适航性审查条款;2004 年 2 月和 2005 年 9 月先后颁布了 A 版和 B 版;2008 年 2 月 29 日,美国国防部又对 B 版进行了第一次更改。MIL-HDBK-516B 规定了美国固定翼/旋翼、有人驾驶/无人机各类型军用航空器适航性的通用要求,主要包括系统工程、结构、飞行技术、推进系统和推进系统安装、航空器子系统、机组人员系统、诊断系统、航空电子、电气系统、电磁环境效应、系统安全性、计算机资源、维修、武器/外挂综合、乘客安全性以及材料等,共约 800 项适航性审查条款。适航性审查条款的内容除含有条款要求外,还提供了 220 份执行条款的标准或指导性文件。

(2) 欧洲军用无人机系统适航审查标准。

2006 年 1 月 27 日,英国国防部颁布了 DEF STAN 00-970 PART 9“军用飞机设计和适航性要求:无人机系统”。主要内容为:通用要求、无人机系统的特征(含着色和标记、一般使用环境条件、可靠性和维修性、软件、电磁兼容性、设计与装配等 12 个方面)、无人机系统保障设备(含特种气象条件、发射和回收系统、控制站以及维修等)、无人机(含气候条件、飞行特性、结构强度要求、机体、动力装置、航电系统、有效载荷等 11 个方面)、设计鉴定(含设计鉴定原则、无人机系统的评估和鉴定、保障设施的评估和鉴定、无人机及有效载荷的评估与鉴定)。

(3) 北约无人机系统适航审查标准。

2007 年 3 月 22 日,北约(NATO)发布无人机系统适航条例 STANAG 4671“无人机系统适航性要求”,其目的是为了建立起一套关于军用无人驾驶航空器(UAV)设计和制造方面的基础性适航标准。该条例包含了一整套技术性适航条例,适用于起飞重量在 150~20000kg 的无人机系统,可用于在非隔离空域进行有规律运行的固定翼军用无人驾驶航空器系统(以下简

称为 UAV 或无人机)的适航取证。STANAG 4671 由相互联系的 9 个分部组成,包括:总则、无人机飞行、无人机结构、无人机的设计与建造、无人机动力系统、成品设备、使用限制和信息、无人机操纵工作站、指令及控制数据链通信系统。

1.1.2 国外民用无人机适航现状与发展趋势分析

自 1917 年英国研制出第一架无人机系统以来,世界上很多国家都在无人机系统上投入了大量人力和物力,经过几十年的研制和应用,已经具有一定规模。随着无人机系统的迅猛发展,国际组织和各国政府也都开始了对无人机系统的研究。2008 年,国际民航组织成立了无人机研究小组(USSAG),主要任务是加强无人机管理和运行方面的国际协调,支持无人机系统标准和建议措施的制定,成员主要包括美国、英国、加拿大、德国、新加坡等。2006 年,欧洲民航设备组织(EUROCAE)成立了 73 工作组(无人机工作组),目标是提出无人机发展需要,使无人机可以像其他航空器一样运行。美国也成立了无人机联合计划办公室(JPO),FAA 成立了无人机系统项目办公室,由适航、飞标、空管等部门组成,进行民用无人机适航取证和现有法规的修订完善,扩大无人机系统的商业应用。

目前,各国都尚未形成完整的无人机系统审定管理规章体系。EASA 对无人机系统的审定主要基于现有有人驾驶航空器的型号合格审定规章,从航空器对第三方造成的潜在危害出发,选择适当的适航规章作为审定标准,按现有的程序进行型号合格审定,可以颁发型号合格证(TC)和标准适航证。而 FAA 对无人机的审定政策是基于其使用用途制定的,由于航空器上不搭载人员,因此其安全监管的重点放在了空域使用和运行管理上,对无人驾驶航空器的审定也主要集中在能否满足运行标准,以及为航空颁发试验类的特殊适航证书。我国的无人机研究目前尚处于起步阶段,没有成熟的规章用于无人机的审定和运行管理。

(1) EASA 的无人机审定政策。

EASA 在 2009 年出台了无人机系统的适航审定政策,作为无人机系统审定的一项临时解决方案。该审定政策属于 EASA 安全监管范围内的无人机系统,因此,其合格审定仍然保留了现有的型号合格审定程序。因此,对于民用无人机系统常规的合格审定,仍然保留了现有的型号合格审定程序。基于申请人表明对确定的审定基础的符合性,EASA 颁发 TC,以及为符合经批准的型号设计的独立的无人机系统颁发适航证。另外,申请人也可以申请颁发限制 TC 及限制适航证,作为适航批准的一种选择。这是建立在确保无人机系统预期使用目的安全水平的基础上的,总体目标安全水平由局方

确定。

(2) 美国无人机审定政策。

目前,FAA 要求在未取得批准前,不允许无人机在国家空域系统 NAS 中运行。2005 年,FAA 的 AIR-200 第一次接受无人机系统试验类适航证的申请。2006 年,FAA 成立了无人机项目办公室 AIR-160,关注所有无人机的航空安全活动,与审定中心一起负责无人机项目的审定。2007 年,FAA 颁布了无人机在 NAS 内的运行指南材料,澄清了 FAA 关于无人机在国家空域系统内运行的有关政策。公共用途的无人机可获得 COA(授权证书或豁免证书),民用无人机可以获得试验类适航证进行研发、训练和飞行演示活动,模型航空器则可按照 AC91-57 政策要求执行。

为应对无人机公共用途的增长需求,FAA 在“无人机在美国国家空域系统内的运营——暂行指南”备忘录中建立了无人机使用指南。在这份文件中,FAA 通过制定评估无人机使用用途和 COA 的批准程序,给出了公共用途无人机在 NAS 中的运行指南。该指南关注的重点不仅是无人机的运营是否会干扰商业和通航飞机的运营,还关注无人机是否对其他空中运行的无人机以及地面的人员和财产造成安全问题。FAA 的运行指南支持无人机在可接受的安全水平内从事飞行活动。

2011 年,FAA 发布了新的无人机航空立法委员会宪章,其中提到同意将无人机系统的运营纳入下一代航空运输系统。为完成这一承诺,FAA 需要解决新技术、新类型/能力/构型的飞机,以及目前的运营、空域使用、机场、基础设施和环境等问题。这些复杂问题要求对现有规章标准以及指导材料进行非常详细的评估,建立和不断完善新的规章标准。FAA 希望在允许无人机系统进入 NAS 开展定期运营前,建立适当的运营程序和规章标准。

同时,FAA 要求航空无线电技术委员会(RTCA)与工业界一起建立无人机系统的标准。RTCA 的技术小组将解决涉及无人机的通信、指令、操纵以及无人机系统如何“感知和避让”其他飞机问题。

1.2 国内现状与发展趋势分析

自 2000 年以来,随着军方对于无人机系统需求的明显提升,除了西北工业大学、北京航空航天大学 and 南京航空航天大学这 3 所长期从事无人机研究的高校外,多家军工企业以及许多民营企业也都纷纷涉足这一领域,使当前我国无人机发展呈现出百花竞放的局面。从 2005 年开始,HW-200 II 型无人机就一直为神舟飞船的发射和回收提供气象服务,并在汶川地震、舟曲泥石流等重大自然灾害中发挥了重大作用,还成功参与了电力巡线、暴雨抢险救灾任务。2012 年 9 月,国家海洋局

宣布,将使用无人机全面加强对包括黄岩岛、钓鱼岛、苏岩礁以及西沙、中沙和南沙群岛附近海域在内的我国全部管辖海域的监测。

1.2.1 国内军用无人机系统适航现状

国内军用适航性工作始于2008年,在此之前只开展过民用航空产品的适航性工作。2008年后随着某型军用运输类飞机和某型军用战斗机的研制,国内才开展军用适航性工作,但目前国内还没有军用无人机适航性方面的技术标准。

1.2.2 国内民用无人机系统适航现状及发展趋势

就国内目前的规章而言,中国民航适航管理对于无人机系统没有明确的审定政策和适航标准。

2007年4月15日第三次修订的《民用航空产品和零部件合格审定规定》(CCAR-21-R3)^[1]第21.17条“适用规章的确定”(二)规定:特殊类别航空器指局方指定的尚未颁布适航规章的某些种类航空器,如滑翔机、飞艇和其他非常规航空器。对于特殊类别航空器,包括安装其上的发动机、螺旋桨,其型号设计应当符合CCAR-23、25、27、29、31、33、35中适用的要求或民航总局适航审定职能部门认为适用于该具体设计和预期用途且具有等效安全水平的其他适航要求。

2009年6月4日民航局颁发了《关于民用无人机管理有关问题的暂行规定》(ALD2009022)。作为对民用无人机的过渡性管理办法,要求民用无人机申请人办理临时国籍登记证和I类特许飞行证;要求结合实际机型特点,按照现行有效的规章和程序的适用部分对民用无人机进行评审。

2012年1月13日,适航审定司颁发了适航管理文件《民用无人机适航管理工作会议纪要》(编号为ALD-UAV-01),进一步做出了补充:单机检查是以AP-21-AA-2008-05程序为基础,制定具体检查单和检测方法,以具体使用环境下能安全飞行为标准,以制定使用限制为重点,颁发I类特许飞行证;已经受理的民用无人机项目,在审查过程中进行试验和验证飞行时,按照AP-21-AA-2008-05程序第8.2.1条款办理相应用途类的特许飞行证^[2]。

1.2.3 国内民用无人机取证情况

2009年以前,无人机系统在民用方面的适航是不需要得到民航局的审查及批准的,目前国内共有4家无人机系统研制厂家向局方提交了申请。截至2013年5月1日,只有东北安华农业保险的AH-3N无人机系统已取得特许飞行证,其他都还在审查过程中。国内民用无人机取证情况如下:

- 东北地区:安华农业保险股份有限公司的AH-3N,已取得特许飞行证;

- 华东地区:潍坊天翔航空工业有限公司的V750,目前还在审查中;

- 中南地区:深圳市中孚动力科技有限公司的AC-Z20和AC-G500A,目前还在审查中;

- 西北地区:中航工业西安飞行自动控制研究所的AF811无人直升机,目前还在审查中。

1.3 国内外差距

中国的无人机起步于20世纪50年代末,但在相当长的一段时间内,由于技术及需求等方面的原因,发展的步伐一直较为缓慢,主要是一些院校和民企开展相关研究,航空工业主力介入较晚,且目前研制的产品性能和技术水平相对不高,缺乏无人机适航标准,没有无人机适航取证经验。与国外民机发达国家及我国无人机发展对适航取证的要求相比,还存在很大差距,具体表现在:

- 研制单位多,产品技术水平低,型号立项研制少;
- 关键技术尚未完全掌握,技术体系不健全;
- 基础薄弱,投入不足,需求牵引力度不够;
- 军、民用均缺乏系统的设计标准和适航规章;
- 使用和运行处于无序的混乱状态。

2 国内无人机适航技术研究建议

2.1 深入研究国外无人机适航审定规章

在军用无人机系统方面,跟踪研究美国、英国、北约等的军用无人机系统适航性规章,并对其中引用的标准进行收集整理;在民用无人机方面,跟踪研究美国、欧洲以及澳大利亚的无人机系统适航性管理规章及管理文件。此外,还需要分析国外无人机规章体系的总体思路和考虑,形成我国军、民用无人机系统适航审定要求制定的思路和建议。

2.2 建设无人机适航技术体系

建设军、民用无人机适航技术体系,确立军、民用无人机适航标准,开展军、民用无人机发展的关键适航验证技术攻关,掌握无人机适航取证全过程和相应的符合性验证技术,为无人机的适航性水平基本上与国际接轨,产品取得民机发达国家适航证书并进入国内外市场打下切实基础。

2.3 开展无人机适航关键技术研究

结合国际军标、航标、国外协会标准以及美军用标准规范等工业标准、设计手册、技术指南、工程资料和使用说明等技术资料及国内外型号工程案例,开展无人机适航验证关键技术研究。针对无人机应急回收能力、通信数据链的安全可靠、飞控系统的导航定位和传感技术、地面控制站技术等更高的要求,开展验证方法、验证

(下转第145页)

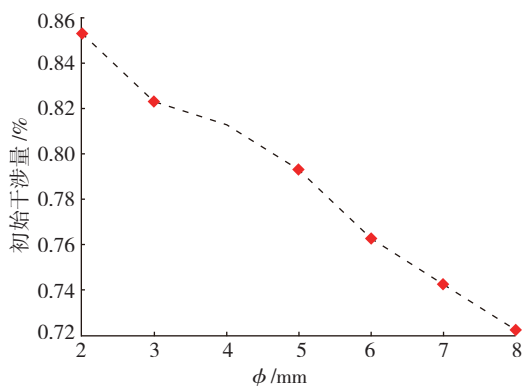


图6 孔径与初始干涉量的关系

Fig.6 Relation between initiation interference and hole diameter

整个结果所造成的影响。

4 结论

对于复合材料干涉连接接头而言,损伤的存在是整个结构件的不稳定因素,而复合材料的破坏过程主要分为损伤萌生、损伤扩展、结构破坏失效,因此研究复合材料干涉连接接头承载过程中的损伤扩展对于复合材料接头强度和破坏形式具有一定的帮助和参考。本文主要以 CFRP 材料干涉连接过程为研究对象,在总结国内外学者相关研究的基础上,对干涉连接过程损伤萌生和扩展进行了深入研究,所获得的理论及仿真模型可应用于复合材料干涉连接结构设计方法中,改善连接结构的承载能力,对损伤所造成的隐患进行了一定程度的预防。本文主要进行了以下工作:

(1)分析了干涉连接过程的受力形式,以干涉连接过程中的工艺参数干涉量为基础,建立了基于干涉量的孔边应力分布模型,并结合 Yamada 准则建立了干涉连接过程损伤萌生模型;

(2)针对损伤扩展所引起的材料属性退化的现象,采用特征曲线法界定了损伤传递的极限位置;

(3)针对 CFRP 材料的特点,利用 ABAQUS 软件对干涉连接过程进行仿真模拟,并与本文的损伤萌生扩展模型进行对比分析。

本文所建立的损伤萌生扩展模型为干涉连接过程干涉量的选取提供了理论依据,并从理论层面上解释了干涉连接过程损伤萌生以及扩展的机理。通过对不同孔径的叠层结构的干涉连接过程的计算分析发现,小孔对于损伤的容忍程度较高,初始损伤产生所需要的干涉量相对较大,损伤产生后损伤区域的扩展速率也较为温和,因此小孔有利于提高干涉连接的连接质量。

参考文献

- [1] Pradhan B, Babu P R. Assessment of beneficial effects of

interference-fit in pin-loaded cross-ply FGRP laminate. J Reinf Plast Composite, 2007,26:771-788.

[2] Seike S, Takao Y, Wang W X. Bearing damage evolution of a pinned joint in CFRP laminates under repeated tensile loading. Int Fatigue, 2010(32): 72-81.

[3] Kim S Y, Hennigan D J, Kim D, et al. Fatigue enhancement by interference-fit in a pin-loaded glass fiber reinforced plastics laminate. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2012(6):1437-1446.

[4] Camanho P P, Matthews F L. A progressive damage model for mechanically fastened joints in composites. J Compos Mater, 1999(33):2248-2280.

[5] Chang F K, Scott R A, George S. Springer strength of mechanically fastened composite joint. Journal of Composite Materials, 1982,16(6):470-494.

[6] Kim S Y, He B, Shim C S, et al. An experimental and numerical study on the interference-fit pin installation process for cross-ply glass fiber reinforced plastics (GFRP). Composites Part B: Engineering, 2013(54): 153-162.

[7] 沃洛别依 B B, 西洛特金 O C. 复合材料结构连接技术. 张国梁, 译. 北京: 国防工业出版社, 1991.

[8] Kweon J H, Ahn H S, Choi J H. A new method to determine the characteristic lengths of composite joints without testing. Composite Structures, 2004,66(1-4):305-315.

(责编 深蓝)

(上接第 140 页)

技术的研究。

2.4 开展无人机安全性分析方法研究

针对无人机系统安全性需求,考虑到无人机系统包括无人机和综合保障设备,存在“人机分离”的特点,以及无人机系统本身受起飞质量等影响,根据载人航空器适航审定规范及安全性评估依据,提出无人机系统适航安全性评估方法。

3 结束语

无人机在军、民用领域的需求和应用前景十分广阔,必将得到高速发展。但从目前零星的使用到将来大量应用,还需要在适航管理规章、适航安全要求方面做大量的研究,以确保无人机的运行安全、空防安全和防空安全,加快无人机管理向标准化和规范发展,推进无人机研制向标准化和产业化发展。

参考文献

[1] 中国民用航空局. CCAR-21-R3 民用航空产品和零部件合格审定规定. 北京: 中国民用航空局, 2007.

[2] 中国民用航空局. AP-21-AA-2008-05R2 民用航空器及其相关产品适航审定程序. 北京: 中国民用航空局, 2008.

(责编 谷雨)