

飞行器服役(作战)完整性对结构疲劳断裂设计分析的新要求



何宇廷

空军工程大学 航空工程学院, 陕西 西安 710038

摘要:飞行器在服役使用过程中,其服役完整性、服役适用性和服役效能(对于军用飞行器又可以称为作战完整性、作战适用性和作战效能)构成了其三个重要顶层基本属性,以反映飞行器在服役过程中是否“能用”“好用”“管用”的程度。飞行器服役(作战)完整性是飞行器在服役(作战)使用过程中保持完好(或可以正常使用)及功能未受到削弱的属性,是飞行器综合质量特性的反映,且由结构等各系统的服役(作战)完整性决定的。本文在介绍飞行器服役(作战)完整性、飞行器结构服役(作战)完整性的基础上,进一步介绍了飞行器结构静态服役(作战)完整性和动态服役(作战)完整性的概念和表征方法,明确了飞行器结构服役(作战)完整性符合“木桶原理”。从飞行器结构服役(作战)完整性的需要出发,阐述了飞行器结构设计分析方面需要加强的工作以及飞行器结构疲劳断裂设计、分析工作方面的新要求。最后,以示例形式对模块化新型结构的疲劳断裂设计/分析、意外损伤/战伤和修复后的结构传力分析和断裂强度评估以及战时军用飞行器最低放飞标准的制定等需要开展的工作进行了简要分析。本文得到的结论可以为飞行器结构的设计理念的更新及飞行器的服役(作战)使用提供有益的参考。

关键词:飞行器;服役(作战)完整性;结构;疲劳;断裂;设计分析

中图分类号:V215.

文献标识码:A

DOI:10.19452/j.issn1007-5453.2022.03.005

飞行器作为人类社会发展的重要装备,在服役使用过程中,其服役完整性、服役适用性和服役效能(对于军用飞行器又可以称为作战完整性、作战适用性和作战效能)构成了其三个重要的顶层基本属性^[1-2],以反映飞行器在服役(作战)使用过程中“能用”“好用”“管用”的程度。飞行器的服役(作战)完整性是飞行器在服役(作战)使用过程中保持完好及功能未受到削弱的属性,其反映的是飞行器在服役(作战)使用过程中的综合质量特性。

飞行器由结构系统、动力系统、飞控系统、环控系统、航空电子系统以及武器系统(对于军用飞行器)等组成。因此,飞行器的服役(作战)完整性也由结构系统、动力系统等各系统的服役(作战)完整性构成。在服役(作战)使用过程中,飞行器结构服役(作战)完整性的保持对于飞行器整机的服役(作战)完整性的保持具有重要作用。

在传统的飞行器结构设计中,以往都是依据单项性能

要求或者特性要求来进行的。如飞行器结构系统设计完成后必须要满足相应的重量要求、服役寿命要求以及通用质量特性(如可靠性、维修性等)要求。然而,仅从结构系统的质量特性来看,依据通用质量特性参数要求设计的结构系统不一定能够满足综合质量特性的要求。从结构系统的服役(作战)完整性的角度来看,要保证飞行器结构的长寿命以及较高的抗断裂能力,必须发展一些新的设计分析方法。本文试图从结构服役(作战)完整性的角度出发,对结构疲劳断裂设计分析方面一些新的需求作一个初步分析,以供参考。

1 飞行器服役(作战)完整性简介

1.1 飞行器服役(作战)完整性的概念

参考文献[3]中给出了军用飞机作战完整性的概念并对其进行了讨论。实际上,军用飞机作战完整性的概念是

收稿日期:2021-12-21;退修日期:2022-01-17;录用日期:2022-02-19

引用格式:He Yuting. New requirements of structural fatigue & fracture design and analysis based on aircraft operational integrity [J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33(03):31-38. 何宇廷. 飞行器服役(作战)完整性对结构疲劳断裂设计分析的新要求[J]. 航空科学技术, 2022, 33(03):31-38.

从军用飞机整个作战流程来分析其在作战使用全过程中保持其完整性问题的。军用飞机作战使用全过程包括备战过程(也就是训练过程)和作战过程,即军用飞机的服役使用过程。因此,军用飞机的作战完整性也可以称为服役完整性。对于民用飞机,也要求其在整个服役使用过程中保持完整性。因此,服役完整性的概念也适用于民用飞机。同理,服役完整性的概念也适用于其他飞行器和装备。飞行器的服役完整性适用于所有飞行器,只不过对于军用飞行器常常又称飞行器作战完整性,而对于民用飞行器常常又可以称为飞行器使用完整性或者运行完整性^[2]。

飞行器的服役(作战)完整性可以表述为:飞行器在服役(作战)使用过程中保持完好及功能未受到削弱的属性。在考虑飞行器在服役(作战)使用过程中对质量特性的要求的情况下,飞行器服役(作战)完整性又可以表述为:飞行器在服役(作战)使用过程中,在要求的耐久性、保障性、安全性、承载能力、生存性(注:也有将 survivability 翻译为“生存力”的,严格来说“生存性”表示生存能力,“力”与“能力”是不同的概念)和修复性水平下,飞行器保持完好(或可以正常使用)及功能未受到削弱的属性。显然,飞行器的服役(作战)完整性反映的是飞行器在服役(作战)使用过程中的综合质量特性。

1.2 飞行器服役(作战)完整性与“六性”的关系

需要指出的是,飞行器的通用质量特性和飞行器服役(作战)完整性的关系可以简单分析如下:飞行器的通用质量特性“六性”是指可靠性、安全性、维修性、测试性、保障性和环境适应性,称为飞行器的通用质量特性,是围绕装备的故障问题逐步发展和完善起来的^[4],分别从不同的侧面反映了飞行器装备的基本特性,主要目的是保障装备在服役期内满足平时储备和实际使用要求,确保稳定的工作状态和技术性能、降低周期费用^[5-6]。总的来说,装备传统“六性”中的“五性”在飞行器服役(作战)完整性中的各影响参数中均有体现,而环境适应性本质上是属于飞行器服役(作战)适用性研究的范畴。两者相比,飞行器通用质量特性是以飞行器的通用质量需求为牵引,反映飞行器通用质量水平的一系列度量,每个度量表明飞行器某一个方面的质量特性。而飞行器服役(作战)完整性的应用特点更为鲜明,是以飞行器执行并完成服役(作战)任务的需求为牵引,增加了飞行器的生存性和修复性指标,反映飞行器能否顺利用于执行并完成服役(作战)任务的综合质量特性,是飞行器实际完好程度的一种度量。可以看出,飞行器服役(作战)完整性与“六性”等既相互联系,又有各自鲜

明的特点,不能互相代替。

飞行器的服役(作战)完整性是从飞行器执行完成任务的角度出发,综合反映飞行器在整个服役(作战)使用过程中的质量特性。譬如,对于军用飞行器,其实际作战使用过程既包括准备作战(训练)过程,也包括执行作战任务过程以及持续完成作战任务过程(即多次重复执行作战任务直至完成作战任务的过程)。如果军用飞行器的作战完整性差,也就是其综合质量特性差,具体表现在飞行器的耐久性、保障性、安全性、承载能力、生存性和修复性等较差,将直接导致飞行器不能有效地用于完成作战任务。对于民用飞行器,虽然没有训练阶段,但在服役使用过程中,如果其耐久性、保障性、安全性、承载能力、生存性和修复性等较差(例如,由于生存性差而导致飞行器在空中飞行时遭遇鸟撞、雷击、冰雹等意外损伤时难以安全返回,由于修复性差而导致飞行器在空中飞行遭遇意外损伤时难以快速修复等),也将直接导致其不能有效地用于完成运输任务,直接影响航空公司的经济效益。

1.3 飞行器服役(作战)完整性的组成

飞行器通常是由结构系统、动力系统等组成。所以,飞行器服役(作战)完整性也由结构系统、动力系统等系统的服役(作战)完整性构成和决定。显然,在服役使用过程中,飞行器结构服役(作战)完整性的保持对于飞行器整机的服役(作战)完整性的保持具有重要作用。

2 飞行器结构服役(作战)完整性

2.1 飞行器结构服役(作战)完整性的提出

事实上,完整性的概念最早由美国空军于1954年提出,并伴随着美国空军出现的一系列事故而逐步发展完善,相应的标准——飞机结构完整性大纲(aircraft structural integrity program, ASIP)也随之进行了10余次补充与改版。美国最新的ASIP是2016年发布的MIL-STD-1530D^[7],与之相比,我国也发展了相应的飞机结构完整性大纲,如GJB775.A 2012^[8]。

“完整性”一词成为表征飞机质量特性的一个重要概念^[9]。最初被提出的是飞机结构完整性,而后又衍生发展出了发动机结构完整性^[10]、航空电子设备完整性^[11]和机械设备及子系统完整性^[12]等,在飞机功能系统级的完整性上,则有武器系统完整性^[13]和推进系统完整性^[14]的概念。在分析军用飞机执行并完成使命任务的基础上,笔者在参考文献[3]和文献[15]中提出军用飞机结构作战完整性的概念。再分析民用飞机的服役使用情况,采用飞机结构服

役(作战)完整性的概念更为合适。

2.2 飞行器结构服役(作战)完整性的概念与分类

飞行器结构服役(作战)完整性的概念如下,即飞行器结构在服役(作战)使用过程中保持完好(或可以正常使用)及功能未受到削弱的属性。服役(作战)完整性作为飞行器结构的一种属性,一般又可以分为静态属性和动态属性。静态属性反映结构所处的状态,而动态属性反映结构保持某状态的能力。

因此,进一步分析,可以将飞行器结构服役(作战)完整性划分为飞行器结构静态服役(作战)完整性飞行器结构动态服役(作战)完整性^[4]。

2.3 飞行器结构服役(作战)完整性的关键问题

事实上,研究飞行器结构的服役(作战)完整性问题,就必须研究结构在服役(作战)使用过程中的损伤/失效模式。如果已经服役的结构没有损伤也不发生失效,那么结构将一直可以正常服役使用。当结构有了损伤,往往随着服役时间的延长,结构的损伤会发展,最后导致结构失效的发生。当结构发生损伤及失效时,结构的性能会发生改变,同时也会影响结构的相关特性。飞行器结构是能够承受并传递载荷的由一组结构元件组成的系统。飞行器结构的基本性能可以概括为强度、刚度、稳定性、密封性和运动性等。飞行器结构的基本特性可以概括为耐久性、安全性、保障性、结构能力(用存活率表示)、生存性、修复性和环境适应性等。其中,耐久性综合反映了可靠性和经济性的影响,保障性包括了维修性与测试性的影响。飞行器结构环境适应性属于服役(适用性)的研究范畴。飞行器结构的损伤/失效模式对飞行器结构的性能和特性的影响以及一些标志性事件^[16-19]如图1所示。可以看出,人们对于飞行器结构的损伤/失效模式以及对飞行器结构的性能及特性的影响的认识是一个逐步发展、深入的过程。

因此,飞行器结构服役(作战)完整性就是在服役(作战)使用过程中,其保持完好且功能未受到削弱的属性。飞行器结构静态服役(作战)完整性就是飞行器结构在服役(作战)使用过程中保持完好且功能未受到削弱的状态。飞行器结构动态服役(作战)完整性就是飞行器结构在服役(作战)使用过程中其保持完好且功能未受到削弱的能力。在考虑飞行器结构在服役(作战)使用过程中的通用质量特性要求的情况下,飞行器结构动态服役(作战)完整性又可以表述为:飞行器结构在服役(作战)使用过程中,在要求的耐久性、保障性、安全性、承载能力、生存性和修复性水平下,飞行器结构保持完好及功能未受削弱的能

力。飞行器结构服役(作战)完整性反映的是飞行器结构在作服役(作战)使用过程中的综合质量特性。

2.4 飞行器结构服役(作战)完整性与传统结构完整性的区别

飞机结构完整性^[7-8]的概念是指飞机结构在要求的安全性、结构能力、耐久性和保障性水平下保持完好及功能不受到削弱的状态。结构完整性包含影响飞机安全使用和成本费用的机体强度、刚度、耐久性、损伤容限和功能等所有飞机结构特性。显然,这一概念也可适用于其他飞行器结构的完整性。从字面上看,飞行器结构完整性的研究内涵应该更广。飞行器结构的全寿命周期可以划分为结构设计、结构制造、结构储存、结构使用等阶段。飞行器结构完整性是在设计中赋予、在制造中实现、在储存中维持、在使用中维持及增长。飞行器结构服役(作战)完整性是飞行器结构完整性在飞行器结构服役(作战)使用过程中的体现。相应地,飞行器结构完整性在结构制造阶段的体现可以称为飞行器结构制造完整性,是结构在制造过程中实现完整及规定功能特性的属性;飞行器结构完整性在结构储存阶段的体现可以称为飞行器结构储存完整性,是结构在储存过程中保持完好及功能不退化的属性。

另一方面,传统飞行器结构完整性的概念是从飞行器结构在正常使用情况下的失效故障中发展起来的,重点关注结构的安全性、结构能力、耐久性和保障性等通用质量特性问题,其没有考虑飞行器结构在使用中的意外损伤、战伤等情况。尽管现在结构耐久性在概念内涵上有所拓展,但从其度量参量——耐久性寿命就可以看出,它主要还是针对结构的正常使用情况。对于军用飞行器,可以认为传统的结构完整性仅能保证飞行器在执行任务开始时是完好的。而飞行器结构服役(作战)完整性是从飞行器结构在整个服役(作战)使用过程中执行并完成功能任务的角度来研究的。其不仅考虑了结构在正常使用情况下的失效故障问题,还考虑了结构在执行并完成任务过程中的意外损伤、战伤以及结构的快速、经济修复等问题。

显然,即使传统意义的结构完整性得到满足及维持,也不能保证飞行器结构在其服役(作战)使用过程中顺利执行并完成功能任务。飞行器结构服役(作战)完整性不论是从研究角度还是研究内涵上都要较传统的飞行器结构完整性要广泛,也更具有工程现实意义。

2.5 飞行器结构服役(作战)完整性的表征

关于飞行器结构服役(作战)完整性表征,可用在规定条件(包括使用环境、管理水平、保障条件等)下的结构完

看,结构服役(作战)完整性符合“木桶原理”,要提高结构服役(作战)完整性,必须从结构的耐久性、保障性、安全性、结构能力、生存性和修复性等这些方面开展综合、系统的研究提升,对结构耐久性、保障性、安全性、结构能力、生存性和修复性等进行综合权衡设计,才能使得结构作战完整度 I_s 最优。目前,针对飞行器的现有结构研究工作相对来说比较充分,但对于飞行器的意外损伤/战伤结构和新型结构研究较少。简单分析,需要开展的研究工作见表1。

疲劳断裂破坏是飞行器结构的常见破坏模式。从提升飞行器结构服役(作战)完整性的角度,必然对结构疲劳断裂设计、分析的方法提出了新要求。例如,意外损伤/战伤后和修复后的飞行器结构的传力分析和结构断裂强度的评估等用传统方法就不一定适用,必须发展精度更高的新方法。针对飞行器的现有结构、意外损伤/战伤结构和新型结构,在疲劳断裂设计分析方面需要开展的工作见表2。

4 飞行器结构疲劳断裂设计分析发展需求示例

上述从飞行器结构服役(作战)完整性的要求出发,对飞行器结构的疲劳断裂设计、分析工作的一些新需求进行了概要总结分析。

4.1 模块化新型结构的疲劳断裂设计、分析

在以前的飞行器结构设计中,由于可靠性、耐久性的要求,整体结构被大量采用。由于减少了连接部位,使得结构的疲劳危险部位大量减少,从而提高了结构的疲劳可靠性和使用耐久性水平。但是,整体结构也有明显的不足,即出现裂纹后的止裂性能不好。对于机翼等封闭部

件,整体结构的采用将使得结构的开敞性不好,一旦结构发生意外损伤或者战伤后,结构很难快速、经济修复,结构的修复性不好。

从修复性角度,模块化新型组合结构将是最好的选择。一旦结构发生意外损伤或者战伤,只需要更换损伤模块即可实现结构的快速修复。从飞行器结构服役(作战)完整性的要求出发,可靠性、修复性等结构特性应该综合权衡设计。

然而,对于模块化新型组合结构,由于连接方式的不同,疲劳断裂的模式也会不同,其疲劳寿命的预测模型也会不同,含裂纹结构的剩余强度预测模型也不会相同。这些都是需要开展的新工作。

4.2 意外损伤/战伤后和修复后的结构传力分析和断裂强度评估

在服役(作战)使用过程中,飞行器结构的意外损伤/战伤是不可避免的。由于这些损伤往往存在损伤不规则、损伤部位不确定、损伤源广布等特点,使得意外损伤/战伤后和修复后的结构传力分析和断裂强度评估等都不能沿用现有的常规损伤结构的方法,必须发展满足精度要求的新评估分析模型与方法。

例如,战伤结构的断裂强度评估问题。通常,战伤结构的部位不确定,损伤形貌复杂。传统的结构断裂剩余强度评估方法与模型不一定适用。另外,在对损伤不严重的意外损伤/战伤结构进行修复时一般采用原位加强的方法。这种修理方法将使得结构的刚度特性以及传力路线发生变化,导致原来不危险的部位变化为危险部位,甚至增加一些新的危险部位。还有修复结构新旧不同部分的损伤分析等,这些都需要开展相应的工作。

表1 提升飞行器结构服役(作战)完整性需要加强的研究工作

Table 1 Research efforts needed to improve aircraft structural operational integrity

	耐久性	保障性	安全性	结构能力	生存力	修复性
现有结构	意外损伤/战时环境下的耐久性	意外损伤/战时环境下的保障性	意外损伤/战伤后和修复后结构的载荷谱编制; 意外损伤/战伤后和修复后的结构疲劳强度评估	意外损伤/战伤后和修复后结构的传力; 意外损伤/战伤后和修复后结构的静强度、动强度评估	抵抗冲击破坏的能力评估	意外损伤后结构修复能力评估; 修复方案的设计; 放飞的限制使用
意外损伤/战伤结构					战伤破坏后结构的能力评估	
新型结构					多余度设计结构的强度要求; 抗打击设计结构的强度要求	

表2 飞行器结构服役(作战)完整性对结构疲劳断裂设计分析工作的需求

Table 2 Requirements of structural fatigue & fracture design and analysis work according to aircraft structural operational integrity

	耐久性	保障性	安全性	结构能力	生存力	修复性
现有结构						
意外损伤/战伤结构	意外损伤/战时环境下的结构疲劳问题; 意外损伤/战伤后和修复后结构的疲劳寿命预测;		意外损伤/战伤后和修复后结构的载荷谱编制; 意外损伤/战伤后和修复后的结构疲劳强度评估	意外损伤/战伤后和修复后结构的传力分析; 意外损伤/战伤后和修复后结构的断裂强度评估	意外损伤/战伤破坏后结构的抗断裂能力评估	考虑疲劳断裂特性的修复方案优化设计; 考虑结构断裂特性的放飞和限制使用
新型结构	新型结构的疲劳寿命预测		新型结构的载荷谱编制; 新型结构的疲劳扩展和剩余强度评估	新型结构的传力分析; 新型结构的断裂强度评估	多余度设计结构的断裂分析; 抗打击设计结构的断裂分析	模块化设计结构(组合结构)的疲劳断裂强度分析; 结构意外损伤/战伤的监测与结构断裂智能评估

4.3 战时军用飞行器最低放飞标准的制定

在作战阶段,军用飞行器的结构难免会遭受战斗损伤。但由于战时时间的紧迫性以及战斗任务的需要,往往有些带伤的飞行器在得不到修复的情况下就要立即再次投入战斗。这时就有一个飞行器最低放飞标准的制定问题。什么样的结构损伤可以不修复或者简单修复就可以立即去执行某项作战任务?什么样的结构损伤必须修复或者修复到某种程度才可以去执行某项作战任务?这些都需要发展新的分析模型和方法来处理。

(4)作为示例,对模块化新型结构的疲劳断裂设计/分析、意外损伤/战伤和修复后的结构传力分析和断裂强度评估以及战时军用飞行器最低放飞标准的制定等需要开展的工作进行了分析。

本文涉及的只是初步的工作,这方面的细致工作还有待在未来开展。本文得到的一些有益的结论可以为飞行器结构设计理念的更新及飞行器服役(作战)使用策略的制定提供有益的参考。同时,相关结论对于其他装备及结构的设计分析也具有一定的参考价值。 **AST**

5 结论

通过研究分析,本文可以得到以下几点结论。

(1)飞行器在服役使用过程中,其服役(作战)完整性、服役(作战)适用性和服役(作战)效能构成了飞行器三个重要的顶层基本属性,以反映飞行器在服役过程中是否“能用”“好用”“管用”的程度。飞行器服役(作战)完整性是飞行器在服役(作战)使用过程中保持完好(或可以正常使用)及功能未受到削弱的属性,是飞行器综合质量特性的反映,又是由结构等各系统的服役(作战)完整性决定的。

(2)在介绍飞行器服役(作战)完整性、飞行器结构服役(作战)完整性的基础上,进一步介绍了飞行器结构静态服役(作战)完整性和动态服役(作战)完整性的概念和表征方法,明确了飞行器结构服役(作战)完整性符合“木桶原理”。

(3)从飞行器结构服役(作战)完整性的需要出发,初步阐述了飞行器结构设计分析需要加强的工作以及飞行器结构疲劳断裂设计、分析方面的新要求。

参考文献

- [1] 何宇廷. 装备的作战完整性初探[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2020,21(1):1-8.
He Yuting. A study of equipment operational integrity[J]. Journal of Air Force Engineering University(Natural Science Edition), 2020,21(1):1-8. (in Chinese)
- [2] He Yuting. On aircraft operational integrity[C]// 32nd Congress of the International Council on the Aeronautical Sciences, 2021.
- [3] 何宇廷,张腾,马斌麟. 军用飞机结构作战完整性的基本内涵与评估[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2019,20(4): 433-439.
He Yuting, Zhang Teng, Ma Binlin. Basic connotation and evaluation of military aircraft structural operational integrity [J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition),2019, 20(4): 433-439. (in Chinese)
- [4] He Yuting. Aircraft structural operational integrity-the comprehensive quality characteristic of aircraft structure[C]//

- 2021 International Symposium on Structural Integrity, 2021.
- [5] 强宝平. 飞机结构强度地面试验[M]. 北京: 航空工业出版社, 2014.
- Qiang Baoping. Aircraft structure strength ground test[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2014. (in Chinese)
- [6] 刘文斑, 李玉海, 陈群志, 等. 飞机结构腐蚀部位涂层加速试验环境谱研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2002(1): 109-112.
- Liu Wenting, Li Yuhai, Chen Qunzhi, et al. Accelerated corrosion environmental spectrums for testing surface coatings of critical areas of flight aircraft structures[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2002(1): 109-112. (in Chinese)
- [7] USA Department of Defense. Aircraft structural integrity program (ASIP) [S]. Department of Defense Standard MIL-STD-1530D(USFA), 2016.
- [8] 中国人民解放军总飞行师部. GJB775.A—2012 军用飞机结构完整性大纲[S]. 中华人民共和国国家军用标准, 2012.
- The General Armaments Department of PLA. GJB775.A—2012 Structural integrity program of military aircraft[S]. The People's Republic of China Military Standard, 2012. (in Chinese)
- [9] 王立群. 航空飞行器的完整性[J]. 航空学报, 1988, 9(10): 433-439.
- Wang Liqun. Aircraft equipment integrity[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1988, 9(10): 433-439. (in Chinese)
- [10] USA Department of Defense. MIL-STD-1783 Engine structural integrity program (ENSIP) [S]. Department of Defense Standard(USFA), 1984.
- [11] USA Department of Defense. MIL-STD-1796A Avionic integrity program (AVIP)[S]. Department of Defense Standard (USFA), 2011.
- [12] USA Department of Defense. MIL-STD-1798C Mechanical equipment and subsystems integrity program[S]. Department of Defense Standard(USFA), 2013.
- [13] USA Department of Defense. MIL-HDBK-515 Weapon system integrity program[S]. Department of Defense Standard (USFA), 2013.
- [14] USA Department of Defense. MIL-STD-3024 Propulsion system integrity program[S]. Department of Defense Standard (USFA), 2008.
- [15] He Yuting, Zhang Teng, Ma Binlin, et al. Structural integrity control technology based on structural damage monitoring[C]// 36th Conference and 30th Symposium of the International Committee on Aeronautical Fatigue and Structural Integrity, 2019.
- [16] 孙侠生, 肖迎春, 白生宝, 等. 民用飞机复合材料结构健康监测技术研究[J]. 航空科学技术, 2020, 31(7): 12.
- Sun Xiasheng, Xiao Yingchun, Bai Shengbao, et al. Research on structural health monitoring technology of civil aircraft composites[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(7): 12.
- [17] 黄友军. 波音 737CL 飞机后下部机身蒙皮广布疲劳裂纹损伤处理[J]. 航空维修与工程, 2015, 7(4):52-55.
- Huang Youjun. Damage treatment of extensive fatigue cracks on the rear lower fuselage skin of Boeing 737CL aircraft[J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2015, 7(4): 52-55. (in Chinese)
- [18] 李玉海, 石峰. 波音 747 飞机襟翼传动系统扭力管微动损伤失效分析[C]// 中国航空学会机械微动损伤研讨会, 1994.
- Li Yuhai, Shi Feng. Failure analysis of fretting damage to the torsion tube of the flap drive system of Boeing 747[C]// Chinese Society of Aeronautics and Astronautics Symposium on Mechanical Fretting Damage, 1994. (in Chinese)
- [19] 陈跃良, 卞贵学, 胡建军. 基于材料初始不连续状态的飞机结构腐蚀管理全寿命模型研究[J]. 航空科学技术, 2011, 22(2): 68-72.
- Chen Yueliang, Bian Guixue, Hu Jianjun. Study on holistic life assessment model on corrosion management of aircraft structure based on material initial discontinuity state[J]. Aeronautical Science & Technology, 2011, 22(2): 68-72.
- [20] 何宇廷. 飞行器健康状态的表征及应用[J]. 航空工程进展, 2021, 12(3):1-8.
- He Yuting. Study on characterization method of aircraft health status[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(3):1-8. (in Chinese)
- [21] He Yuting. On the evaluation and design methods of structural recoverability[C]//Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, 2021.

New Requirements of Structural Fatigue & Fracture Design and Analysis Based on Aircraft Operational Integrity

He Yuting

Aeronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China

Abstract: The operational integrity, operational suitability and operational effectiveness of aircraft constitute the three top basic attributes of aircraft. And they are used to respectively reflect the levels of "integrity", "suitability" and "effectiveness" of aircraft in the operational processes. Aircraft operational integrity is the attribute which exists when aircraft is sound (or work normally) and unimpaired in its operational processes. It is the reflection of the comprehensive quality characteristics of aircraft, and it is determined by the operational integrity of various systems such as structure system, propulsion system, flight control system and so on. This paper introduces aircraft operational integrity and aircraft structural operational integrity firstly. Based on that, this paper further introduces the concepts and characterization methods of aircraft structural static operational integrity and aircraft structural dynamic operational integrity. Also, it is clear that aircraft structural operational integrity complies with the "cask principle". According to the requirements of aircraft structural operational integrity, the work to be strengthened in aircraft structure design as well as the new requirements in the design and analysis of fatigue & fracture of aircraft structures are discussed. Finally, as examples, the requirements of fatigue & fracture design as well as analysis methods of some new modular structures, the force transferring route analyses and fracture strength assessment as well as repair methods of aircraft structures with accidental damages or battle damages, and the formulation of the lowest flight standards for military aircraft in wartime are briefly analyzed. Some useful conclusions obtained in this paper, which provide useful references for updating the design concepts of aircraft structures and the operations of aircraft in the field.

Key Words: aircraft; operational integrity; structure; fatigue; fracture; design and analysis