

文章编号:1674-8190(2020)04-461-10

# HUMS 技术对民用直升机维修任务的影响研究

周岩<sup>1</sup>,任文明<sup>1</sup>,蒋庆喜<sup>1</sup>,赵亚军<sup>2</sup>

(1. 中国航空综合技术研究所 装备服务产品部, 北京 100028)

(2. 中国人民解放军 91515 部队, 三亚 572016)

**摘要:**传统基于 MSG-3 的民用直升机维修大纲分析方法未充分考虑健康与使用监测系统(HUMS)的影响,已在过程中暴露出不适应性等问题。本文在 MSG-3 的总体分析框架下,开展了 HUMS 技术对民用直升机维修任务的影响研究,全面分析了 HUMS 技术对系统/动力装置、结构、区域、闪电/高强度辐射场维修任务的影响,提出了一套考虑 HUMS 技术的 MSG-3 维修任务分析建议,可为我国新一代民用直升机维修大纲制定提供关键技术支持。

**关键词:** HUMS;民用直升机;维修任务;MSG-3

中图分类号: V267

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2020.04.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Research on the Impact of HUMS Technology on Civil Helicopter Maintenance Tasks

ZHOU Yan<sup>1</sup>, REN Wenming<sup>1</sup>, JIANG Qingxi<sup>1</sup>, ZHAO Yajun<sup>2</sup>

(1. Department of Equipment Service, China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China)

(2. Unit 91515 of the Chinese People's Liberation Army, Sanya 572016, China)

**Abstract:** In view of the impact of health and use monitoring system (HUMS) is not fully considered in the traditional MSG-3-based civil helicopter maintenance program analysis, as well as the problems of inadequacy and disadvantages exposed during operation. In this paper the influence of HUMS on the maintenance task of civil helicopter is innovatively studied, and the impact of HUMS on the maintenance tasks of systems/powerplant, structural, zonal and L/HIRF (lightning/high intense radiation field), under the overall analysis framework of MSG-3 are comprehensively analyzed. A set of MSG-3 maintenance task analysis suggestions considering HUMS technology are put forward, which can provide key technical support for the development of a new generation of civil helicopter maintenance program in China.

**Key words:** HUMS; civil helicopter; maintenance task; MSG-3

收稿日期:2020-03-29; 修回日期:2020-06-27

基金项目:装备综合保障技术重点实验室稳定支持项目(61420030104)

通信作者:周岩,zhouyan\_buaa@163.com

引用格式:周岩,任文明,蒋庆喜,等. HUMS 技术对民用直升机维修任务的影响研究[J]. 航空工程进展, 2020, 11(4): 461-470.

ZHOU Yan, REN Wenming, JIANG Qingxi, et al. Research on the impact of HUMS technology on civil helicopter maintenance tasks[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(4): 461-470. (in Chinese)

## 0 引言

民用飞机在使用过程中受到高、低周载荷和环境影响,其组成部分不可避免地会出现退化、故障或失效,为了恢复飞机及其组成部分的系统功能,保持其固有设计水平和可靠性,飞机制造商必须制定一套维修大纲,以确保飞机投入运行后持续的安全、可靠和适航。维修大纲是飞机计划维修要求的汇总文件,一般应包括计划维修项目、维修任务类型、间隔期及维修级别等<sup>[1]</sup>。

目前,国外主流的维修大纲分析标准包括:ATA MSG-3《运营商/制造商计划维修制定文件》、ASD S4000P《预防性维修制定与持续优化国际规范》、SAE JA 1011《以可靠性为中心的维修过程评价准则》、MIL-STD-3034A《以可靠性为中心的维修过程》、NAVAIR 00-25-403《海军航空装备以可靠性为中心的维修分析指南》等。国内则主要参考 GJB 1378A《装备以可靠性为中心的维修分析》。其中,MSG-3 在民航界取得了巨大成功,其作为制定民用运输类飞机维修大纲的指导性文件,有着相当的规范性和适用性。从 2013 年开始,A4A 将 MSG-3 分为两卷,第一卷适用于固定翼飞机,第二卷适用于旋翼飞机<sup>[2-6]</sup>。

使用当前最行之有效的 MSG-3 分析方法进行维修任务分析,创建民用直升机维修大纲,是各大民用飞机制造商的通用做法,并且它们在过去几十年的工程实践中也积累了大量经验。但随着健康与使用监测系统(Health and Use Monitoring System,简称 HUMS)技术的不断发展,直升机的状态监测与诊断能力大幅提升,其维修保障观念也在发生改变。传统基于 MSG-3 的民用直升机维修任务分析方法正在面临巨大的挑战:在 MSG-3 的分析框架下,HUMS 强大的使用与状态监测能力会催生一些新的维修任务类型,也会促使一部分维修任务由原来的定时维修向视情维修/基于状态的维修转变。但是,现有 MSG-3 分析流程和方法中尚未体现上述变化,导致传统基于 MSG-3 的维修任务制定方法暴露出各种各样的不适应性和弊端。

相比之下,其他国际主流的维修大纲分析标准均考虑了健康监测技术的影响,例如,S4000P 早在 2014 版中就正式考虑了健康监测技术对系统/动力装置计划维修要求分析的影响,并以紧耦合的方

式将健康监测技术的影响集成到第二层分析流程中,在 2018 版中针对这部分内容也进行了持续修订;NAVAIR 00-25-403 则在 2011 年的修订版中,于第 3.7 节“特殊考虑”中专门提出了在以可靠性为中心的维修分析(Reliability Centered Maintenance,简称 RCM)过程中如何考虑故障预测与健康管理(Prognostics and Health Management,简称 PHM),该手册认为,PHM 项目必须基于完善的 RCM 分析,但只有在安全性、环境适应性、操作或成本等方面表现出明显优势后,才会采用 PHM 任务取代传统的预防性维修任务;MIL-STD-3034A 认为 RCM 方法为实施增强型基于状态的维修(Condition Based Maintenance Plus,简称 CBM<sup>+</sup>)奠定了基础,并在其附录 F 中明确给出了 RCM 和 CBM<sup>+</sup> 技术之间的关系,附录 F 作为该标准的强制部分,描述了如何使用 CBM<sup>+</sup> 技术来预防或帮助预防故障。

在 HUMS 技术不断发展并趋于成熟的背景下,其为传统计划维修任务提供了可替代的方法。例如,认证程序 FAA AC 29-2C Chg3 MG15《运输类旋翼机认证》和 EASA AMC 29.1465/CS-29《大型旋翼机认证规范》已允许在某些条件下从 HUMS 中获得信任;国际维修审查政策委员会于 2017 年批准同意了空客直升机公司提出的 IP 170《HUMS 信用认证》<sup>[7]</sup>,该提案针对当前 MSG-3 卷 2 未充分考虑 HUMS 技术,以及在重要维修项目的计划维修任务方面,不允许取信 HUMS 等问题,参照 MSG-3 结构分析中的计划结构健康监测(S-SHM),在系统和动力装置分析的下层预防性维修任务类型中,提出在“检查/功能检查”中新增一项计划健康和使用的监测(S-HUM)任务,但 IP 170 只提供了一个总体的修订思路,而诸多实际问题较为复杂,需要进行细致研究。

针对上述情况,本文在 MSG-3 的分析框架下,分别从系统/动力装置、结构、区域、闪电/高强度辐射场等方面,开展 HUMS 技术对民用直升机维修任务的影响研究。其中,HUMS 技术对系统/动力装置维修任务的影响是在 IP 170《HUMS 信用认证》基础上做的进一步分析;HUMS 技术对结构维修任务的影响则是在厘清面向结构损伤监测的 HUMS 与结构健康监测(SHM)关系的基础上,结合 S-SHM 任务进行分析。

# 1 HUMS 对系统/动力装置维修任务的影响

HUMS 是一个集航空电子设备、地面支持设备及机载计算机监视诊断产品于一体的复杂系统。它使用传感器和机载计算机与地面支持设备的计算机相连,以便连续观察、自动记录并分析飞行机载设备的性能特征,从而监测潜在失效,对早期故障做出诊断。HUMS 的主要监控对象为发动机、旋翼、传动系统等直升机动部件系统,通过将采集的振动、方位角转速、旋翼轨迹、飞行参数等数据进行分析处理,输出各被监测部件的状态参数,并反映部件的健康状态与使用情况<sup>[8-10]</sup>。

通过 HUMS 系统对直升机关键部件(传动系统、发动机、旋翼等)的使用状态及潜在的故障进行监测和报警,可实现直升机的状态管理和视情维护,对于保障直升机的飞行安全、降低维护费用、延长部件使用时间、缩短维护时间、降低对维护人员的技能要求具有重要意义。

## 1.1 S-HUM 任务的提出

按照维修工作费用或资源消耗、技术要求由低到高和工作保守程度由小到大的顺序排列,当前 MSG-3 中可供系统/动力装置选择的维修任务类型包括润滑/勤务、操作/目视检查、检查/功能检查、恢复和报废<sup>[11]</sup>。

由于 SHM 仅处理结构损伤,不捕获功能降级,并且不考虑使用数据,MSG-3 卷 2 目前仅在结构分析程序中对 SHM 及 S-SHM 给出了相应的说明,而在系统和动力装置中尚未针对 HUMS 技术以及与之相关的维修任务给出类似说明。针对这一问题,IP 170《HUMS 信用认证》正式提出在系统和动力装置分析的下层预防性维修任务类型中,新增一项 S-HUM 任务,S-HUM 属于“检查/功能检查”的范畴。IP 170 认为,S-HUM 可以作为功能检查的一种选择,前提是 HUMS 已经按照飞机认证规则通过了相关的可信性认证<sup>[7]</sup>。

## 1.2 HUMS 对传统维修任务的影响

HUMS 技术对传统系统/动力装置维修任务的影响主要体现在以下两个方面:

(1) HUMS 系统的应用,使得传统的操作/目视检查、检查/功能检查、恢复、报废任务可能被 S-

HUM 任务所替代:

①通过对 HUMS 系统的定期使用/运行/读出,可以快速确定产品的功能性能是否在规定的限度之内,即 S-HUM 任务有可能替代传统的检查/功能检查任务;

②HUMS 强大的状态监测能力可能会使某些隐蔽故障转变为明显故障,即 HUMS 的应用会取消原来某些用于检查隐蔽故障的操作/目视检查任务,使得这些传统的操作/目视检查任务被 S-HUM 任务替代;

③通过 HUMS 可以及时掌握产品的健康和使用寿命,当产品运行状态良好时,无需按固定维修间隔对其进行恢复或报废,即 S-HUM 任务还可能替代传统的恢复、报废任务,降低维修要求,提高产品的利用效率,进而提高经济性。

针对可替代传统维修任务的 S-HUM 任务,参考 IP 180《飞机健康监测在 MSG-3 中的整合》<sup>[12]</sup>,结合 HUMS 是否能完全满足传统维修任务的目的,将 S-HUM 任务进一步细分为 S-HUM 替代任务和 S-HUM 混合任务。

(2) 若传统的操作/目视检查、检查/功能检查、恢复、报废任务无法被 S-HUM 任务替代,HUMS 技术的应用也可以辅助延长维修任务检查间隔、简化检查程序、降低检查难度。

综上所述,HUMS 技术对系统/动力装置传统维修任务的影响体现为以下三种形式(如图 1 所示):①调整传统维修任务;②S-HUM 替代传统任务;③S-HUM 与传统任务混合。

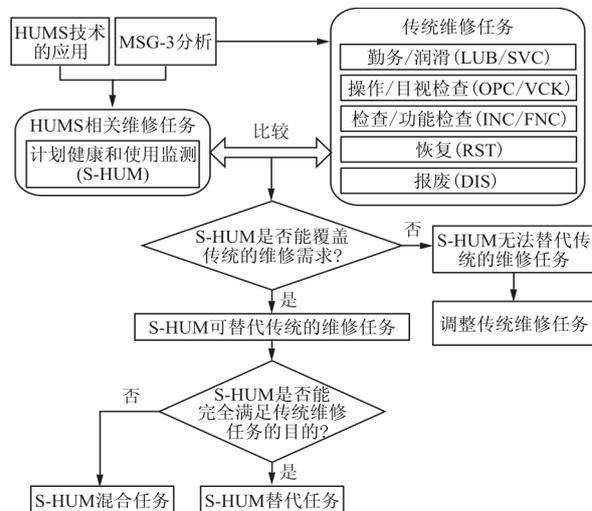


图 1 HUMS 对系统/动力装置维修任务的影响

Fig. 1 The influence of HUMS on system/powerplant maintenance task

### 1.3 考虑 HUMS 的维修任务分析流程

目前,国内外现有标准并未明确给出考虑 HUMS 的维修任务分析流程,但可参考状态监测技术在以下标准分析流程中的应用。

#### (1) IMRBPB IP 180

IP 180 在传统第一层分析和第二层分析的基础上,引入第三层分析,将 AHM 能力集成到系统/动力装置维修任务分析过程中<sup>[12]</sup>。考虑 AHM 的系统/动力装置维修任务分析流程如图 2 所示。

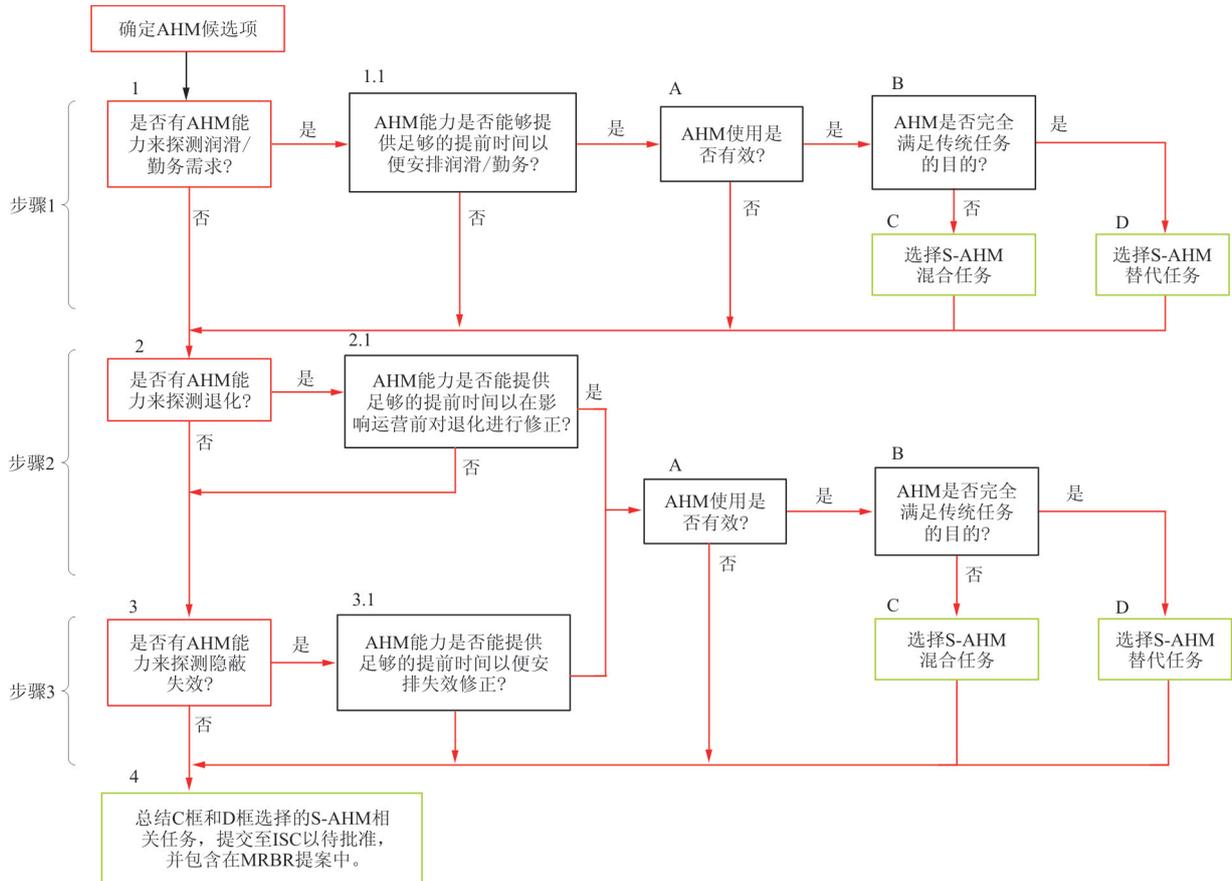


图 2 系统/动力装置 MSG-3 逻辑框图——第三层分析

Fig. 2 System/powerplant MSG-3 logic diagram—Level 3 analysis

在完成了传统的一、二层分析后,如果系统具备 AHM 能力,则可能需要应用第三层决断逻辑。该层级使工作组能够对被 AHM 能力所覆盖的,与润滑和勤务、检测退化、检测隐蔽失效相关的失效原因进行评估。

“确定 AHM 候选项”是第三层分析的起点,AHM 候选项由一系列失效原因构成,成为 AHM 候选项需要同时满足以下两个前提条件:

- ①该失效原因通过第二层分析确定了传统的维修任务;
- ②该失效原因能够被 AHM 能力覆盖。

在判断部件失效原因能否被 HUMS 能力覆盖时,需要注意其与 AHM 的差别:AHM 是基于

逻辑设计的,有明确的故障代码,通过飞机的故障现象能直接关联到失效原因;而 HUMS 主要监测振动参数,振动参数异常通常是由多个相互关联的部件在运动过程中共同造成的,即不同部件的不同失效原因,均有可能导致相同的(振动参数异常)故障现象。因此,在大多数情况下,即便 HUMS 监测到振动参数的异常,也无法准确告知具体的失效原因,只能将这一故障现象关联到某几个相关的部件失效上。

所有 AHM 候选项都要通过第三层分析的逻辑决断过程。逻辑决断分析活动共分三个步骤,每一个步骤开始前,针对 AHM 候选项都有一个开放性的问题来评估 AHM 的适用性。

AHM 能力覆盖的每一个失效原因都需要对以下方面进行评估:

是否有 AHM 能力探测润滑和(或)勤务需求(步骤 1);

是否有 AHM 能力探测退化(步骤 2);

是否有 AHM 能力探测隐蔽失效(步骤 3)。

(2) ASD S4000P

在 2014 年发布的 S4000P 1.0 版中,初步考虑了机内 BIT 或健康监测系统对系统和动力装置维修要求分析流程的影响,如图 3 所示。在预防性维

修任务类型逻辑决断中,在判定润滑/勤务、操作检查/目视检查、检查/功能检查、修复、报废等预防性维修任务是否适用之前,首先安排了一个逻辑判断“该故障原因的状态或退化趋势是否能完全被机内 BIT 监测到或通过健康监测系统给出评估结论?”。若回答“是”,则执行基于状态的维修,不考虑定时维修;若回答“否”,则仍按原来的决断逻辑一步一步往下判定,确定出相应的预防性维修任务类型及其维修时机。

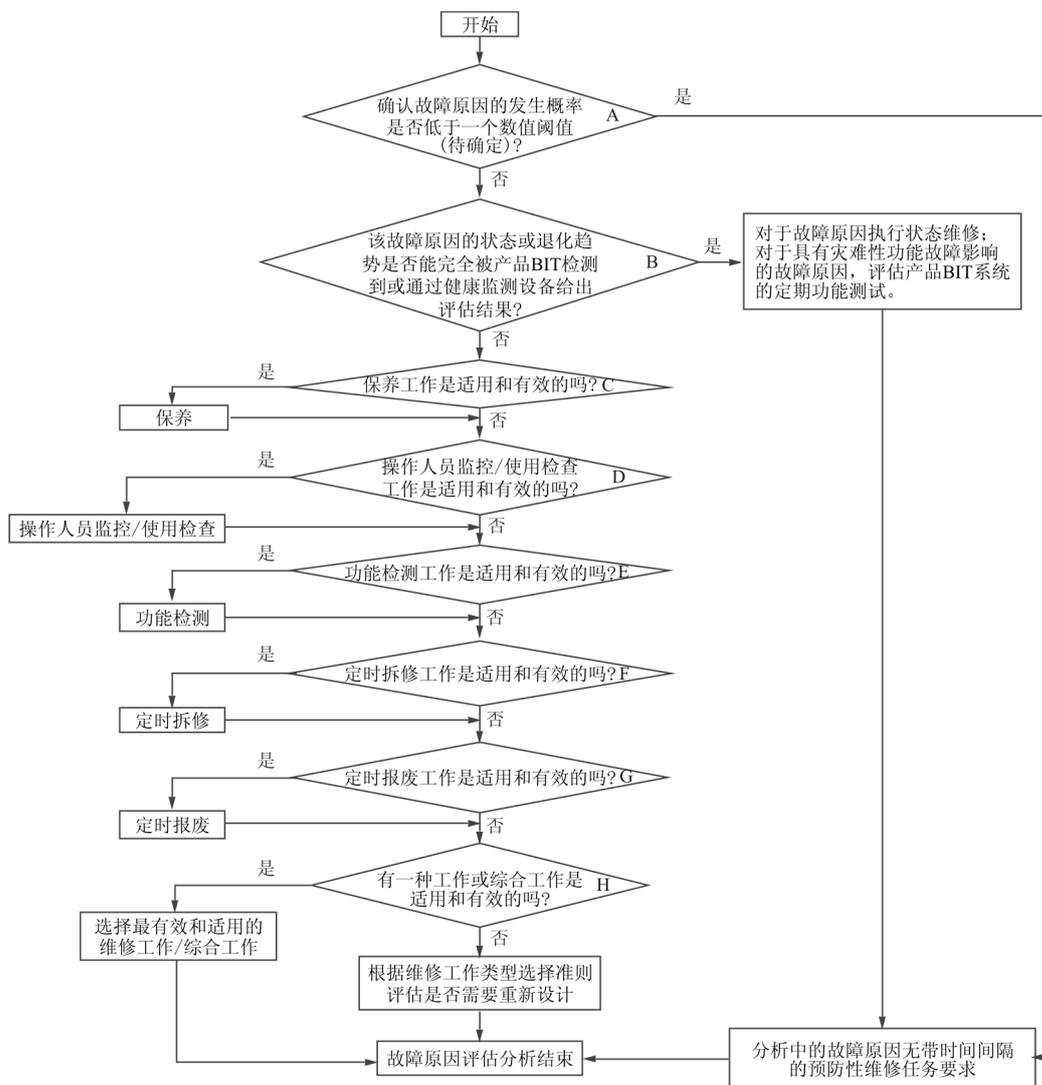


图 3 考虑状态监测技术的维修任务分析流程

Fig. 3 Maintenance task analysis process considering condition monitoring technology

(3) MIL-STD-3034A

MIL-STD-3034A 附录 F 提供了 RCM 分析和 CBM+ 技术之间的关系,如图 4 所示[5]。该标准认

为,对于 CBM+ 来说,最具成本效益的方法是从 RCM 分析开始,确定系统或设备的适用和有效维修任务,并对任务进行评估,以确定是否有 CBM+

技术可用于替换任务,然后执行业务案例分析以确定技术是否具有成本效益。此外,鉴于技术越复杂,可能会越昂贵,复杂程度的提高也可能导致可靠性降低。因此,在评估 CBM<sup>+</sup> 技术时还应综合权衡技术的可靠性及其成本。

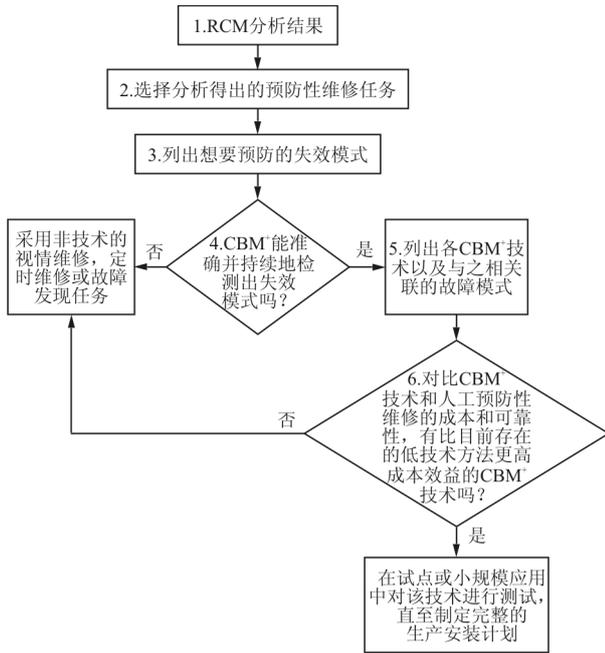


图 4 考虑 CBM<sup>+</sup> 技术的逻辑决断树

Fig. 4 Logical decision tree considering CBM<sup>+</sup> technology

## 2 HUMS 对结构维修任务的影响

HUMS 除了能监测直升机动部件系统之外,还可以通过振动数据间接监测磨损、疲劳、腐蚀等结构状态特征参数。通常,飞机结构项目的状态监测都统一归到 SHM 和 S-SHM 的范畴。为此,在开展 HUMS 技术对结构维修任务的影响研究之前,还需要结合直升机动部件系统的结构项目状态监测,对 HUMS 与 SHM 技术的监测能力范围与监测方式,以及 HUMS 与 SHM 之间的关系进行研究。

### 2.1 S-SHM 任务的提出

MSG-3 早在 2009 年的修订版中就在结构分析程序中引入了 SHM 的概念。MSG-3 第 2 卷修订版 2015.2 在第 2-4-2.1 节末尾指出:“如果证明适用和有效,SHM 等新兴技术有可能作为检查或观察偶然损伤、环境恶化和疲劳损伤的一种选择”<sup>[2]</sup>。同时,将 S-SHM 作为一项新增的预防性

维修任务,与一般目视检查(GVI)、详细目视检查(DET)、特殊详细检查(SDI)并列其中。

研究表明,S-SHM 在检查偶然损伤、环境恶化和疲劳损伤等方面的应用是适用和有效的。S-SHM 任务将传统的包括拆卸、接近、检查、恢复的结构检查工作转变为对数据的采集和分析工作,大幅减少了人力和时间的投入,积累的数据也可为后续任务优化提供有力支持<sup>[13]</sup>。

### 2.2 面向结构损伤监测的 HUMS 与 SHM 技术

面向结构损伤监测的 HUMS 与 SHM 的关系可从两个角度来分析:

(1) 从结构健康监测能力范围的角度来说,SHM 是狭义结构健康监测的概念。SHM 主要监测直升机机体本身的静态结构项目,其监测方式包括直接监测和间接监测两种。然而,除机体结构之外,直升机动部件系统的很多结构件也承受着高周疲劳的作用,寿命有限,这些动部件系统的有寿结构件则主要是由 HUMS 采用间接监测的方式,通过振动数据分析间接监测动部件结构的损伤情况。因此,从结构健康监测能力范围的角度来说,传统意义上的 SHM 技术与面向结构健康监测的 HUMS 技术是相对独立的,如图 5 所示。

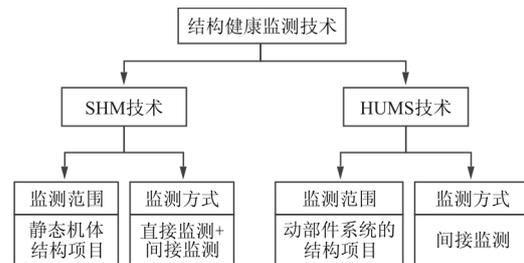


图 5 面向结构健康监测的 HUMS 与 SHM 技术

Fig. 5 HUMS and SHM technology for structural health monitoring

(2) 从维护的角度来说,SHM 是广义结构健康监测的概念。对 SHM 和 HUMS 系统/设备的使用/运行/读出进行结构损伤监测的任务,在 MSG-3 中都属于 S-SHM 范畴。

①MSG-3 中 SHM 的定义:“使用专为应用而设计的机械、光学或电子设备检查或观察特定结构项目、结构细节、安装或组装的概念。SHM 不指明任何具体的方法或技术”。

②MSG-3 中 S-SHM 的定义:“以一个固定的时间间隔使用/运行/读出 SHM 设备的行为”。

可以看出:SHM 并不针对某一具体的对象(静态结构或动部件结构),也不指定某一种特定的方法或技术(直接监测或间接监测),只要能对结构项目的健康状态进行监测,都属于 SHM 的范畴。因此,从维护的角度来说,对 SHM 和 HUMS 系统/设备的使用/运行/读出进行结构损伤监测的任务,在 MSG-3 中都属于 S-SHM 的范畴。

### 2.3 HUMS 对传统结构维修任务的影响

根据 HUMS 技术及其与 SHM 技术的关系研究可知,在 MSG-3 中 SHM 是广义结构健康监测的概念,以固定时间间隔使用/运行/读出 HUMS 系统/设备进行结构损伤监测的行为,在 MSG-3 中属于 S-SHM 的范畴。为此,本文在 S-SHM 的概念范畴下,探讨 HUMS 技术对结构维修任务的影响。

鉴于在当前的技术发展水平下,还无法通过 SHM 传感器直接监测动部件结构项目的结构损伤情况,只能通过 HUMS 采集振动数据并间接监测动部件结构项目的损伤情况。因此,HUMS 技术对传统结构维修任务的影响主要体现在直升机动部件系统的结构项目上。

(1) 在没有 HUMS 的情况下,对直升机动部件系统的结构项目开展结构分析时,只会产生 GVI、DET、SDI 三类维修任务;

(2) 应用 HUMS 技术后,通过定期读取 HUMS 的振动数据可以对动部件系统的结构项目进行结构损伤分析,该任务属于 S-SHM 的范畴。因此,在对直升机动部件系统的结构项目开展结构分析时,除了 GVI、DET 和 SDI 任务之外,还可以产生 S-SHM 任务。而且,产生的 S-SHM 任务有可能会取代或调整传统的结构计划维修任务,如图 6 所示。



图 6 HUMS 对传统结构维修任务的影响  
Fig. 6 The influence of HUMS on structure maintenance task

## 3 HUMS 对区域分析任务的影响

### 3.1 HUMS 对标准区域分析任务的影响

标准区域分析是针对整个区域确定 GVI 任务,以发现区域内结构和系统项目的退化情况,其任务类型固定。HUMS 技术的应用,不会改变标准区域分析得到的任务类型。分析过程中,在区域描述工作表中需补充 HUMS 的相关内容,且其描述属于系统及设备安装部分。

标准区域分析的另一个目的是合并来自系统/动力装置分析、结构分析、增强区域分析、闪电/高强度辐射场分析中的 GVI 或目视检查(VCK)任务。将接近方式相同或相近,且间隔相等或更短的 GVI 或 VCK 任务合并至区域 GVI。HUMS 技术的应用将会对上述其他分析产生影响,其任务类型可能发生改变。原则上,区域 GVI 仍然只合并 GVI 或 VCK 任务。

### 3.2 HUMS 对增强区域分析任务的影响

增强区域分析是针对电气线路互联系统(EWIS)确定的检查任务,目的是将可燃材料的污染减到最小,并排除标准区域分析不能可靠探测的重要线路的安装偏差<sup>[14]</sup>。

由于 HUMS 技术的应用,在机体和设备上加装了不同的传感器和支架,这些传感器的数据传输采用有线形式传播,满足 EWIS 的定义。HUMS 系统本身属于增强分析的对象,其线路部分需要在增强区域分析工作表中进行描述,并且评估 HUMS 系统 EWIS 的偶然损伤、环境损伤及设备密度,用以确定 EWIS 检查任务及其间隔。

HUMS 对区域维修任务的影响如图 7 所示。

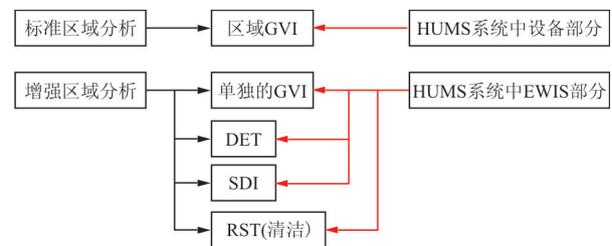


图 7 HUMS 对区域维修任务的影响

Fig. 7 The influence of HUMS on zonal maintenance task

## 4 HUMS 对 L/HIRF 任务的影响

闪电/高强度辐射场(L/HIRF)分析的目的是得

到针对 L/HIRF 保护部件的退化模式,及时发现损伤而进行的检查任务<sup>[15]</sup>。HUMS 应用时,对其系统本身如果考虑了 L/HIRF 防护,则 HUMS 系统中 L/HIRF 防护部件将作为分析对象,通过评估其偶然损伤和环境恶化影响得到维修任务及其间隔。

在 L/HIRF 分析逻辑中,对于是否需在拆解情况下才能进行维修需要进行判断,这会影响到维修任务的选择。在不拆解情况下,L/HIRF 选择的任务是 GVI、DET、SDI、功能检查(FNC);在拆解情况下,L/HIRF 选择的任务是 GVI、DET、SDI、FNC、恢复(RST)、报废(DIS)。HUMS 本身在机体和系统中存在可拆部分和不可拆部分,因此,对 HUMS 相关的 L/HIRF 分析时要重点考虑是否拆解。HUMS 对 L/HIRF 维修任务的影响如图 8 所示。

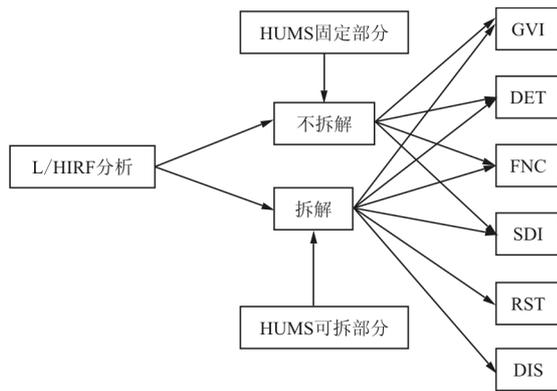


图 8 HUMS 对 L/HIRF 维修任务的影响

Fig. 8 The influence of HUMS on L/HIRF maintenance task

## 5 考虑 HUMS 的维修任务转移

### 5.1 系统工作组之间分析任务转移

HUMS 涉及的系统分布于飞行记录系统、动力系统、传动系统、旋翼系统。与其他系统之间通过传感器和总线连接,有输入输出关系。根据 MSG-3 系统分析总体原则,各 MSI 的功能、功能故障、故障影响和故障原因分析中,故障原因部分承担转移记录。涉及 HUMS 故障原因将集中保留在 HUMS 系统的 MSI 中进行统一分析。

### 5.2 各工作组向区域的任务转移

区域分析可能的结果包括标准区域分析得出整个区域的 GVI、增强区域分析得出的清洁任务、对整个区域导线的 GVI、对特定线缆或线缆特定部位的 GVI、对特定线缆或线缆特定部位的 DET。区域检查大纲只包含 GVI 任务,增强区域分析得出的清洁

任务、对特定线缆或线缆特定部位的 GVI、对特定线缆或线缆特定部位的 DET 这三种任务通常归入系统和动力装置检查大纲的 ATA 20 部分。增强区域分析得出的对整个区域导线的 GVI 需要进入任务整合流程,与系统工作组、结构工作组和 L/HIRF 工作组转移的 GVI 和 VCK 任务一起,考虑与标准区域分析的 GVI 进行整合<sup>[16]</sup>。

MSG-3 分析中各工作组的分析结果向区域进行转移如图 9 所示。

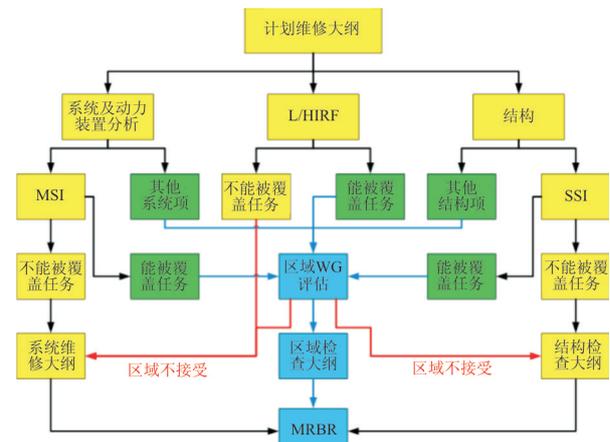


图 9 各工作组向区域的任务转移

Fig. 9 Maintenance task transfer from other working groups to zonal

转移规则如下:

①系统工作组、结构工作组和 L/HIRF 工作组转移的区域候选任务和增强区域分析的 GVI 任务的转移,主要是判断标准区域分析的 GVI 任务是否能有效满足转移候选任务的检查要求,如接近方式相同/相近,且标准区域分析的 GVI 任务检查频度更高。否则转移候选任务仍回归到产生该任务的重要维修项目分析,增强区域分析的 GVI 则需要作为独立 GVI(Stand-alone GVI)与其他增强区域分析的任务一同归入 ATA 20;

②对于系统的 VCK 候选任务,由于 VCK 任务用于识别相应重要维修项目的功能失效,转移还需要考虑区域 GVI 任务是否可以达成 VCK 的效果,即明确识别这种隐蔽功能失效;

③所有转移任务需记录,确保后续可追溯。

对于未加装 HUMS 系统的直升机按照 MSG-3 分析得到的维修大纲,必须重新还原已经被区域检查覆盖的任务,与加装 HUMS 后的分析结果进行对比。原来是 GVI 任务或 VCK 任务可能被 HUMS 的检查任务所取代,因此,这些任务将不能

向区域转移。

### 5.3 与审定接口的任务协调

#### (1) 与 CCMR 的任务协调

MSG-3 任务与审定维修要求候选项目 (CCMR) 协调的过程涉及审定维修协调委员会 (CMCC), CMCC 可能会根据流程图影响工作组的决定。如果有等效的 MSG-3 任务来适应 CCMR, 此过程提供了一种可接受的方法来识别何时可能不需要制定审定维修要求 (CMR)<sup>[17]</sup>。

MSG-3 任务与 CCMR 任务协调程序的步骤如图 10 所示。

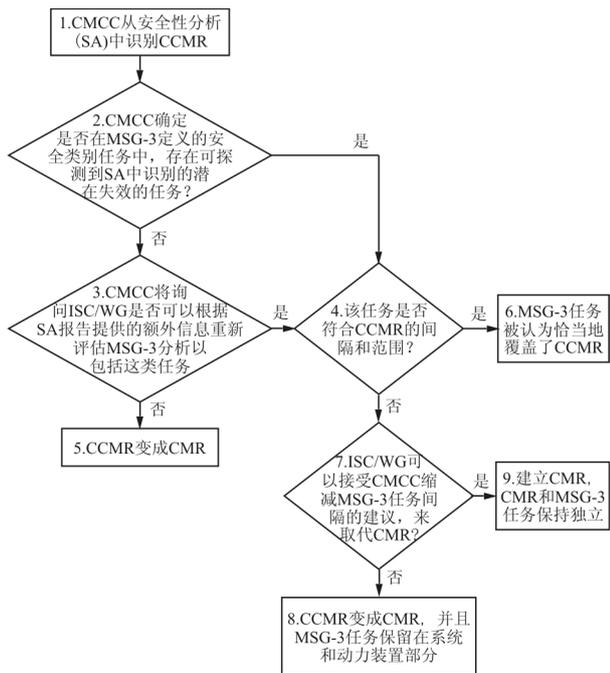


图 10 MSG-3 任务与 CCMR 的任务协调程序

Fig. 10 Coordination procedure of MSG-3 task and CCMR task

HUMS 在很大程度上提高了 MSG-3 中隐蔽功能故障的探测能力, 因此, 可能存在部分隐蔽功能影响类别的减少; 同时, 经过系统安全性评估后的 CCMR 项目也可能减少。但是总体协调原则保持不变。

#### (2) 与 ALI 的任务协调

根据结构 MSG-3 分析流程可知, 所有安全寿命项目和经过损伤容限分析的关键结构项目 (PSE) 都属于适航限制项目 (ALI), 并作为维修大纲的附录; 其他重要结构项目经疲劳和损伤容限分析形成的任务作为飞机结构的疲劳检查要求, 列入维修大纲的结构检查部分。

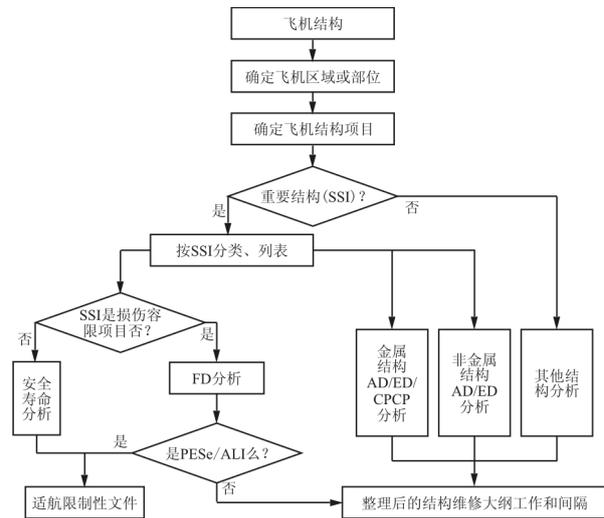


图 11 结构 MSG-3 分析流程

Fig. 11 MSG-3 structural analysis procedure

考虑 HUMS 后, 机体结构及旋翼部分的安全寿命件将由 HUMS 进行剩余寿命监控, 可能减少部分安全寿命件的寿命限制, 只要能由 MSG-3 任务覆盖其疲劳相关检查任务目的, 则可由 MSG-3 覆盖。

## 6 考虑 HUMS 的维修任务合并

### 6.1 原则一: 任务间隔相近或相同

计划维修任务最终将以打包形式进行合并执行。合并原则之一是选择任务间隔相近或相同的候选合并任务。合并后的间隔将以 A, 多重 A、C, 多重 C、D 等主要间隔进行分布。在各主要间隔时间点附近的任务间隔, 如果为安全性影响, 合并原则是允许时间缩短、或保持不变, 但不可以延长; 如果为非安全性影响, 可以考虑延长/缩短时间间隔。

与 HUMS 相关的任务在间隔上是可变更的, 因此, 在任务合并时, 可以考虑将确定的 HUMS 检查任务调整至主要间隔点。

### 6.2 原则二: 接近方式相近或相同

在以主要间隔分布为主分配各维修任务后, 考虑各维修任务的接近方式是否相近或相同。相同或相近的接近方式是指执行过程在同一区域, 且打开的口盖、面板、门相同, 拆除的内衬、内饰相同, 或者某一任务已经完成了维修通路的开敞, 则利用已有开敞性完成本区域内的任务。

HUMS 通常以检查为主, 不需要特殊的接近方式, 但是要注意其他任务在接近过程中对 HUMS 系统的连带损伤。

## 7 结束语

(1) HUMS 技术对民用直升机各部分的维修任务都会造成一定程度的影响,其中,以对系统/动力装置维修任务的影响最为突出。具体体现为:在“检查/功能检查”类别下新增了一项 S-HUM 任务,该任务既可以替代传统维修任务、也可以与传统维修任务混合。此外,HUMS 技术还可以辅助调整传统维修任务,延长检查间隔、简化检查程序、降低检查难度。

(2) HUMS 的应用可以促进民用直升机由当前定时维修向视情维修转变。一方面,通过 HUMS 系统进行状态监控并实行视情维修,可以大幅减少由定期维修带来的维修人力、物力和财力的高昂耗费;另一方面,通过 HUMS 系统进行快速故障定位并采取准确的维修活动,可以大幅缩短维修停机时间,提高维修效率,从而有效保障民用直升机的签派可靠性和出勤率,实现经济效益的最大化。

### 参考文献

- [1] 柏文华. 民用飞机维修大纲制定的关键技术及方法研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2014.  
BAI Wenhua. Research on major technology and method for civil aircraft MRBR development[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014. (in Chinese)
- [2] ATA. Operator/manufacturer scheduled maintenance (Volume 2)—rotorcraft: MSG-3[S]. USA: ATA, 2015.
- [3] ASD. International specification for developing and continuously improving preventive maintenance: S4000P[S]. Europe: ASD, 2018.
- [4] SAE. Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) process: JA 1011[S]. USA: SAE, 2009.
- [5] DoD. Reliability-centered maintenance (RCM) process: MIL-STD-3034A[S]. USA: DoD, 2014.
- [6] Direction of Commander, Naval Air Systems Command. Management manual guidelines for the naval aviation reliability-centered maintenance process: NAVAIR 00-25-403 [S]. USA: Direction of Commander, Naval Air Systems Command, 2011.
- [7] Airbus Helicopters, HAI. HUMS for credit[R]. Europe: International Maintenance Review Board Policy Board (IMRBPB), 2017: 170.
- [8] CAA. Helicopter vibration health monitoring (VHM)—guidance material for operators utilising VHM in rotor and rotor drive systems of helicopters: CAP 753 [S]. USA: Civil Aviation Authority, 2018.
- [9] 朱桂芳. 直升机振动健康监测指南——CAP753[J]. 直升机技术, 2015(2): 63-66,71.  
ZHU Guifang. The guidance material of helicopter vibration health monitoring — CAP753 [J]. Helicopter Technique, 2015(2): 63-66,71. (in Chinese)
- [10] 沈勇,李兴旺,付海燕. 直升机完好性与使用监测系统设计与实现[J]. 测控技术, 2016(35): 8-11.  
SHEN Yong, LI Xingwang, FU Haiyan. Design and implementation of HUMS on helicopter [J]. Measurement & Control Technology, 2016(35): 8-11. (in Chinese)
- [11] 靳勇,蒋庆喜. 直升机旋翼系统的 MSG-3 方法研究[J]. 航空维修与工程, 2017(6): 55-57.  
JIN Yong, JIANG Qingxi. Research on MSG-3 for helicopter rotor system [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2017(6): 55-57. (in Chinese)
- [12] MPIG. Aircraft health monitoring (AHM) integration in MSG-3 [R]. Europe: International Maintenance Review Board Policy Board (IMRBPB), 2018: 180.
- [13] 蔡禹舜,朱昊,卿新林. 基于结构健康监测的飞机结构 MSG-3 分析[J]. 宇航材料工艺, 2015, 45(6): 71-74.  
CAI Yushun, ZHU Hao, QING Xinlin. Aircraft structure MSG-3 analysis based on structural health monitoring [J]. Aerospace Materials & Technology, 2015, 45(6): 71-74. (in Chinese)
- [14] 曲建东,汪柳毅,苏林. 直升机 MSG-3 区域分析方法研究[J]. 直升机技术, 2013(2): 52-58.  
QU Jiandong, WANG Liuyi, SU Lin. Research of helicopter MSG-3 zonal analysis method [J]. Helicopter Technique, 2013(2): 52-58. (in Chinese)
- [15] 尚桂娥,苏茂根. 民用飞机闪电和高强度辐射场维修大纲的制定[J]. 航空维修与工程, 2015(3): 42-45.  
SHANG Guie, SU Maogen. Development of lightning and high intensity radiated field maintenance program for civil aircraft [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2015 (3): 42-45. (in Chinese)
- [16] 中国民用航空局. 航空器计划维修要求的编制: AC-91-26 [S]. 北京:中国民用航空局,2015.  
Civil Aviation Administration of China. Compile of aircraft scheduled maintenance requirements: AC-91-26 [S]. Beijing: CAAC, 2015. (in Chinese)
- [17] 孙铁源. MSG-3 分析任务与 CCMR 项目兼容性研究[J]. 航空维修与工程, 2017(1): 77-79.  
SUN Tiejuan. Compatibility research on MSG-3 analysis tasks and CCMR items [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2017(1): 77-79. (in Chinese)

### 作者简介:

周岩(1988—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:维修工程分析。

任文明(1984—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:装备接口。

蒋庆喜(1985—),男,硕士,工程师。主要研究方向:维修工程分析。

赵亚军(1983—),男,硕士,工程师。主要研究方向:维修保障。

(编辑:马文静)