

我国民机产业无损检测工作的探讨

程 胜¹, 冯剑飞², 邓发庆¹

(1. 中国商用飞机有限责任公司, 上海 200126; 2. 中国商飞上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要: 无损检测工作贯穿整个飞机的全寿命周期。从我国民机产业顶层策划的角度出发, 探讨整个产业无损检测工作的构架。其中, 界定了集团总部、设计研发、生产制造、客服维修和航空公司等职能机构的无损检测工作职责, 阐述了项目经理系统与专业技术总师系统在企业无损检测工作中的分工; 探讨了我国民机产业在项目实施阶段的无损检测重点工作内容, 如项目无损检测 IPT 团队、大型力学试验中的无损检测工作以及无损检测测量系统分析等; 为我国相关产业的无损检测体系建设提供了借鉴作用。

关键词: 民机; 无损检测; 管理; 航空

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2017)04-0076-04

A Summary of Nondestructive Testing Application in Chinese Civil Aircraft Industry

CHENG Sheng¹, FENG Jian-fei², DENG Fa-qing¹

(1. Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 200126, China;

2. Shanghai Aircraft Design and Research Institute of COMAC, Shanghai 201210, China)

Abstract: Nondestructive testing (NDT) program is required for the whole aircraft life. From the viewpoint of the top NDT organization, the NDT work-frame of civil aircraft industry is described. The tasks among the headquarters, research institutes, manufactory, customer service and maintainance, and airline have been divided. The operation duties between the program manager group and the technical engineer group have been described. The main items such as the NDT IPT Group, the NDT in the large loading test, the measurement system analysis of NDT are also presented. These achievements could be widely applied in the other industries.

Key words: Civil aircraft; Nondestructive testing; Management; Aviation

现代大型民用飞机是数百万零件级的超大规模集成创新工程^[1], 其中, 以波音 777 和空客 380 飞机为例, 结构件数量分别达到了 75 万件和 78 万件。飞机机体结构的安全决定着飞行的安全。民机产业中的无损检测工作是指在民机项目的研制、生产、试验、试飞和运营服务(含持续适航)等飞机全寿命过程中, 按照规定的程序, 对原材料、零部件、试验件、结构件、机体及其相关产品进行的无损测定与评价

的过程。实施无损检测可以预防飞机机体结构类零件的失效, 从而提升飞行安全^[2]。

美国航空航天总署总部安全与任务保障部, 将无损检测与评估列入其八大职能之一, 从顶层规划的角度, 引领着 NASA、波音、GE、洛克希德·马丁等航空航天机构和企业无损检测领域的发展。

近年来, 我国的无损检测工作日益受到重视, 无损检测技术正处于蓬勃发展时间^[3-4]。就我国民用航空领域而言, 无损检测设备或技术, 尤其在生产制造环节采用的无损检测技术, 在许多方面已处于国际先进甚至领先水平。但是, 对于从事高度复杂的大型民机研制的产业, 其管理的复杂程度远高于普通工业产品^[5]。无损检测决非仅仅是检查一下结构材料的损伤、裂纹、分层、脱粘等这些处于技术末端

收稿日期: 2017-01-18

基金项目: 国家中长期重大科学技术发展专项资助项目 (2006-2020 年)

作者简介: 程 胜(1977—), 博士, 高级工程师, 主要从事质量技术工作。

通信作者: 程 胜, E-mail: chengsheng@comac.cc.

的现象,而是应研究引起飞机结构材料特性的变化、疲劳的机理及其物理参数的变化过程;这些关键或核心技术必须从飞机结构设计的最初概念阶段就开展研究。我国民机产业无损检测顶层策划方面的研究鲜有报道,项目全寿命阶段无损检测工作缺乏统筹,导致上下游执行机构经常各自为政,无损检测工作难以形成一个相互支持的体系,已严重制约我国民机领域无损检测工作整体效能的发挥。

笔者从 C919 大型客机和 ARJ21 支线飞机两大项目的无损检测工作实践出发,总结了民机无损检测工作的经验,阐述了民用航空产业无损检测工作的主要内容,界定集团总部、设计研发、生产制造、客服维修和航空公司等机构和单位的无损检测工作职责,阐述了项目经理系统与专业技术总师系统在企业无损检测工作中的分工,并介绍了我国民机产业在项目实施阶段的无损检测重点工作内容,以为我国其他产业的无损检测体系建设提供借鉴。

1 民机产业无损检测工作职能管理机构的职责划分

在以民机为代表的高度复杂产品的研制过程中,若要做到职责清晰、可操作性强,集团总部、设计研发、生产制造、客服维修和航空运营等机构和单位的无损检测工作需要依托职能管理,明确责任分工。

1.1 集团总部的职能

集团总部无损检测管理部门是无损检测工作的最高领导机构,除负责组织制定集团公司相关的规章制度和制定集团公司无损检测工作发展战略和规划外,还需要组织建立组织机构体系、技术体系、资质认定管理体系,并最终审定和发布集团公司的无损检测标准规范。

1.2 设计研发单位的职责

项目设计研发单位是项目无损检测工作的主要支撑机构,主要负责协助集团公司总部,建立无损检测技术体系,组织编制公司无损检测技术标准、规范和方法,负责编制民机无损检测通用要求,并及时完善。

根据型号项目研制目标,对预采用航空领域新材料、新工艺带来的无损检测技术难题,开展未来型号或改进型号的无损检测技术预先研究。

在项目研制过程中,对机体部段级和全机级的地面试验和试验试飞过程的疲劳损伤和意外损伤实施无损检测和监测,获取损伤的动态扩展信息,建立项目全机损伤检测基本数据库,为确定飞机寿命和

设计改进提供依据。

此外,项目设计研发单位需负责牵头编制飞机的《无损检测手册》(Nondestructive Testing Manual, NTM),明确飞机原位结构无损检测程序,检测程序中明确结构的损伤信息、检测器材、检测过程及损伤信号判读标准等内容,同时研制满足飞机工程设计结构安全要求的无损检测对比试块,用于指导飞机用户在飞机持续适航过程中实施无损检测。

1.3 生产制造单位的职责

生产制造单位在飞机制造过程中按照零件图纸的检测要求,依据民航局认可的项目无损检测工艺规范,对飞机零部件的生产过程实施无损检测,达到飞机零部件质量控制的目的。同时组织开展零部件和结构件制造阶段的无损检测技术支持和工程研究。

生产制造单位代表集团公司组织参加“国家航空航天和国防供应商授信项目”(National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program, NADCAP)无损检测工作组,参与制修订供应商无损检测特种工艺能力审核准则的编制工作。负责对集团公司所属单位无损检测操作人员提供培训和认证,并负责根据集团公司和相关国际航空行业能力审核准则对供应商进行无损检测能力和过程质量控制审核,评估供应商的无损检测能力和水平是否满足公司无损检测技术和型号设计要求。

同时,生产制造单位负责收集供应商在生产制造中实施无损检测过程中出现的各类问题,按照《国际航空航天无损检测人员资格鉴定与认证》(简称 NAS 410)的要求组织实施对集团外部无损检测人员培训机构的资质认定,承担供应商所属的二级、三级无损检测操作人员雇主要求的培训和认证。

1.4 客服维修单位的职责

客服维修单位负责归口管理飞机无损检测手册,并作为责任主体代表集团公司接受适航当局对手册的审查工作。负责组织开展飞机维护阶段的无损检测方法的工程研究,建立客户服务无损检测快速响应工作机制,并按照客户需求,协调生产制造单位为客户提供无损检测技术能力支持和驻场检测服务。负责代表集团公司为客户进行飞机无损检测手册的使用培训。负责收集飞机运营服务阶段的机体结构损伤的信息,建立飞机损伤信息数据库,并向设计研究单位无损检测主管部门备份,作为项目改进设计的依据。

1.5 航空公司的职责

航空公司根据飞机无损检测手册和 NADCAP 等供应商质量管理体系文件、标准,使用飞机制造商提供检测用对比试块,对飞机机体结构损伤开展无损检测,并及时向飞机制造商的客服维修机构反馈飞机运营服务阶段中机体结构损伤的信息,便于飞机制造商制定维修方案和设计优化。

2 项目经理系统与专业技术总师系统的职责

2.1 项目经理系统

主管材料工艺的项目经理是项目无损检测工作的负责人,负责项目全寿命周期的无损检测工作策划。其领导下的项目经理系统,如图 1 所示,在飞机总体方案定义、初步设计、详细设计、全面试制、试飞取证、批生产和持续适航各个阶段实施无损检测的相关工作。

项目经理系统负责确定产品图样和有关技术文件上标注的零件类别、允许缺陷类型和尺寸、关键部位,建立无损检测方法和规范、验收标准,评估使用维护中需要无损检测的项目、原位无损检测的项目及原

位无损检测可达性等是否满足飞机完整性要求,确保无损检测技术水平与产品质量要求相一致。

在项目转阶段评审期间,项目经理系统应组织专项的无损检测评审工作,确保产品的检测可行性和可靠性。项目经理系统应组织编制项目结构适航限制类专用无损检测方法,组织开展验证工作,并作为《飞机无损检测手册》的重要内容之一,用于确保项目在试飞和运营服务阶段,原位无损检测方法的有效性和适用性。

2.2 专业技术总师系统

无损检测主任设计师是集团公司无损检测工作的技术负责人,负责集团公司无损检测工作的策划。在不承担具体项目任务时,其隶属于集团公司材料工艺专业技术总师。其主要负责在飞机设计、制造、试验、试飞和运营服务各个阶段,组织实施无损检测的技术工作,特别是无损检测技术的预先研究、工程化应用研究,以及新材料和新结构的无损检测方法研究;组织建立并完善无损检测新技术标准、规范和方法体系,并组织跟踪主流民机主制造商无损检测技术的最新应用进展。

3 项目实施阶段无损检测的重点工作

3.1 项目无损检测 IPT 团队工作

在大型项目立项初期,以集成项目团队(IPT)的形式,组建跨单位和职能的项目无损检测 IPT 团队。该团队成员由设计研发、生产制造和客服等单位组成,作为项目结构工艺团队下的二级团队,并由项目管理部门归口管理。该 IPT 团队负责人由设计研发单位无损检测主任设计师兼任,直接向项目主管材料工艺的副总经理汇报,并由生产制造背景的无损检测三级人员资质的主任工程师或副主任工程师至少 1 名作为副手,团队成员还有强度、结构、材料、工艺、制造、维修、适航等专业人员,并实施独立的绩效考核和工时管理机制。

项目无损检测 IPT 团队根据《民机无损检测通用要求》和项目的实际需求,在飞机结构设计的最初概念阶段,编制《项目无损检测大纲》(见图 1),指导项目各阶段无损检测工作,从而将项目无损检测工作贯穿到整个项目研制的流程中。其具体开展结构设计过程中,涉及可检测性、检测成本、检测时间消耗及可移除性等内容的文件编制和具体实施工作。

3.2 大型力学试验中的无损检测工作

在民机研制过程中,通过声发射等无损检测获

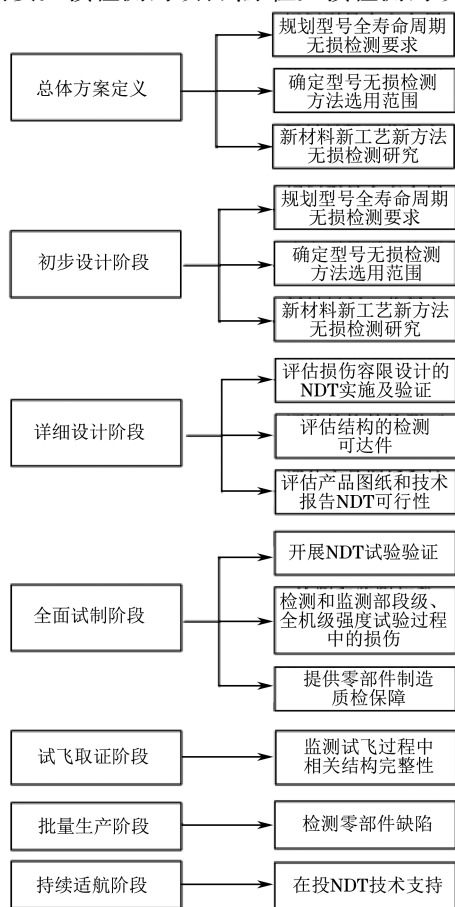


图 1 民用飞机全寿命过程无损检测工作流程

得大型力学试验的数据是编制《飞机无损检测手册》的主要依据。在试验规划阶段,项目管理部门委托项目无损检测 IPT 团队编制《大型力学试验专项无损检测工作方案》并组织实施。《大型力学试验专项无损检测工作方案》应由分管该试验任务的结构工艺总师负责审批。

在开展大型力学试验(含外协试验)任务时,项目无损检测 IPT 团队应提前规划无损检测能力的建设,确保试验过程中无损检测设备的监测能力,监督相关无损检测制度、标准和规范的落实,加强相关试验数据的采集、存储和备份,所有数据应同时备份至集团公司试验验证工作的技术支撑机构。

3.3 无损检测测量系统分析

无损检测测量系统分析(MSA)系统的建立应当充分评估以识别所有可能影响结果的因素。在民机产业常常采用三层树状图分析相关因素,如图2所示。其中,需要重点考虑影响样本选择的因素包括:大部件的临界尺寸、被测对象的构型、航空公司的特殊需求,样本应该覆盖整个产品使用范围和理论允许公差范围。所使用的分析技术假定单

个数据点的统计独立性,必须进行随机测量以确保操作者无法识别该零件。

测量系统受人为影响的过程,需要每名测量人员进行大量的重复测量。每个测量人员须测量每个样本三次或者更多次。当样本能表现出很好的控制水平时,单人测量单个样本的最低要求是两次。需要考虑的重要因素还包括:最多和最少的有经验人员、工作在不同位置的人员、工作在不同班次的人员、任何可能影响测量过程的生理因素等,不同层次的视觉敏锐度、身高等人为因素。所有测量研究的参与者应受过足够的培训。在使用自动测量系统(如大型超声 C 扫设备等)时人为因素才可以忽略不计。

4 结语

长期以来,我国民用航空产业,虽然大量引进了国外先进无损检测设备,并培训了一批拥有 NAS410 或等同资质的人员,但就整体效能和发展上,并非处于有序发展中。笔者从我国主要民机产品无损检测工作的实践出发,阐述了民机产业无损检测工作的主要内容,界定集团总部、设计研发、生产制造、客服维修和航空公司等机构和单位的无损检测工作职责;阐述了民机产品项目研制阶段无损检测保证与监督工作,并介绍了项目无损检测 IPT 团队、大型力学试验中的无损检测工作以及无损检测测量系统分析等内容;为我国相关产业的无损检测体系建设提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 程胜,盛承勋,徐建华,等.高度复杂产品研制阶段中的计量保证工作[J].中国计量,2015,236(7):49-50.
- [2] 马保全,周正干.航空航天复合材料结构非接触无损检测技术的进展及发展趋势[J].航空学报,2014,35(7):1787-1803.
- [3] 王少萍.大型飞机机载系统预测与健康管理关键技术[J].航空学报,2014,35(6):1459-1472.
- [4] 冯剑飞,耿荣生,郭冠华,等.机体飞行载荷疲劳试验中的声发射特性分析[J].机械工程学报,2010,46(8):6-11.
- [5] MIL-HDBK-6870B Nondestructive inspection program requirements for aircraft and missile materials and parts[S].

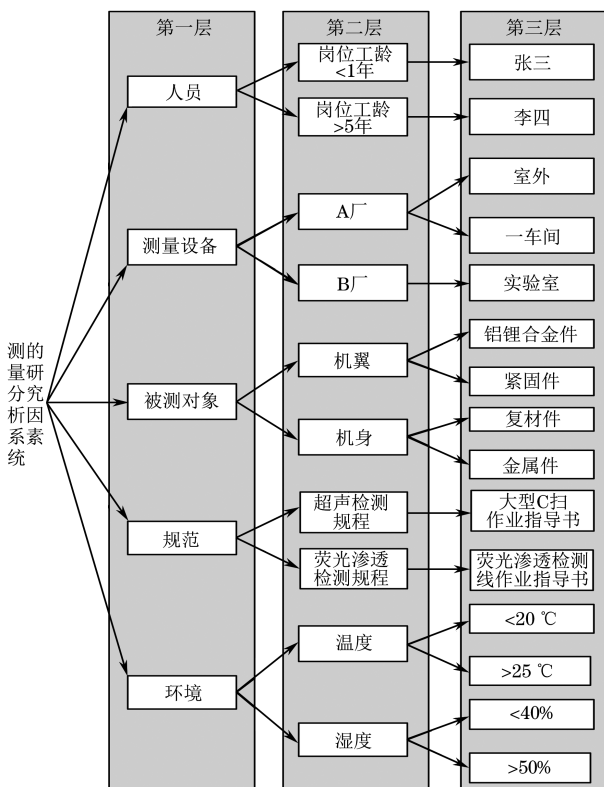


图2 民机产业无损检测测量系统分析研究因素树状图示例