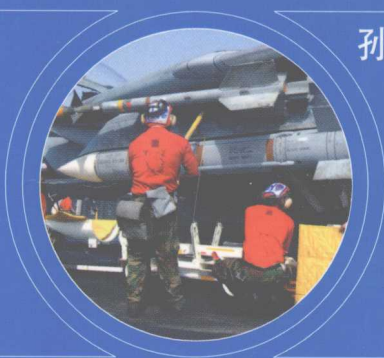




无损检测 及在航空维修中的应用

孙金立 主编 段成美 主审



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

内 容 简 介

无损检测技术是实现质量控制、保证设备安全运行的重要手段,随着航空维修手段的不断改革,无损检测在航空维修中越来越显示出它的重要性。本书是根据新装备发展的需要和部队无损检测人员的要求而编写的。书中主要内容有:无损检测概述、无损检测的发展、无损检测在航空维修中的重要性;无损检测五大常规技术,即超声、磁粉、涡流、射线、渗透检测的检测原理、检测方法和技术,以及在航空维修中的应用;也介绍了激光、声振、声发射、红外、微波等新技术的检测原理和方法,以及航空维修中的应用实例。

本书可作为探伤人员、航空维修等相关专业人员的参考用书,亦可作为航空机械专业本科、专科教材。

图书在版编目(CIP)数据

无损检测及在航空维修中的应用 / 孙金立主编. —北京:国防工业出版社,2004.7

ISBN 7-118-03476-2

I. 无... II. 孙... III. 航空器-无损检验 IV. V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 033194 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 462 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:50.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

序

随着我国国民经济的高速发展,对工业产品的质量要求在不断提高。无损检测作为产品内在质量检测的主要手段,受到各行各业的高度重视。从产品设计、加工制造、成品检验,到在役检测各阶段,无损检测技术都在发挥重要作用。尤其是中国进入 WTO 之后,工业产品的国际交流十分频繁,对无损检测的要求也就提高了。

计算机技术的飞速发展推动了无损检测技术向数字化、智能化技术发展。近年来数字超声仪、射线数字成像装置、相控阵技术得到了广泛应用。

无损检测技术的应用已经不局限于制造业,在航空维修业也得到了广泛的应用。我们欣喜地看到,航空维修的无损检测不仅是技术的应用,而且在人才的培养上也有着飞快的发展。

《无损检测及在航空维修中的应用》的出版对培养航空维修方面的无损检测高级人才有着重要意义,它填补了军队航空维修无损检测教科书的空白,也满足了人员培训的需求。

《无损检测及在航空维修中的应用》系统全面地阐述了常规无损检测技术的基本理论,用丰富生动的实例介绍了它在航空维修中的应用,展示了无损检测技术在航空维修中推广应用的丰硕成果。这是近年来不可多得的理论密切联系实际的优秀著作。

《无损检测及在航空维修中的应用》的出版使我们看到了年青一代无损检测工作者的茁壮成长。他们不仅具有扎实的理论基础,而在理论与实践结合上也做出了显著的成绩。作为长期工作在无损检测高等教育事业上的的一名教师,我十分高兴无损检测高等教育后继有人。

全国无损检测教育培训科普工作委员会主任

唐绍元

2003 年 11 月于上海

前 言

随着现代工业和科学技术的发展,人们对产品的质量要求越来越高。无损检测技术在很多行业得到了广泛的应用,对控制产品质量、保证设备和装备安全运行、提高生产率、降低成本等起着重要的作用。无损检测也因此形成一门独立的综合性应用技术学科。

无损检测作为航空维修的一种手段伴随着航空维修的发展而发展,已成为控制飞机、发动机零件的质量,保证飞机安全飞行的重要手段。不仅如此,它已从单纯的检测发展到对飞机、发动机零件的安全使用寿命进行评价。随着航空维修手段的不断改革,无损检测愈来愈得到重视,从一定程度上说,无损检测的发展水平反映了航空维修的发展水平。

根据新装备、新技术发展的需要,结合多年教学培训中的体会和部队机务人员的要求,我们编写了这本书。编写中我们注意了理论上的系统性、技术上的先进性、实用性。最突出的特点是理论联系实际,在系统地讲述检测理论和检测方法的同时,介绍了无损检测技术在航空维修中的实际应用。

从开始编写到脱稿,经历了一年多的时间,编者付出了艰辛的劳动。正因如此,也就更应该感谢对编写和出版给予关心和支持的各位领导、专家和同志们。本书在编写和出版过程中得到了上级首长和领导机关的关心支持,感谢海军装备部、航空装备科研订货部和航空技术保障部首长的关心支持,感谢海军航空工程学院青岛分院领导和机关给予的大力支持。由衷地感谢飞机定寿专家,博士生导师段成美教授、全国无损检测教育培训科普工作委员会主任屠耀元教授对本书的校审和提出的许多宝贵意见。感谢屠耀元教授在百忙中抽出时间为本书作序。

由于编者水平有限,实践经验不足,书中难免有不当之处,敬请读者指正。

愿本书的出版,能对无损检测事业,特别是部队航空维修的无损检测工作有所帮助。

编 者

2003 年 12 月于海军航空工程学院青岛分院

目 录

第1章 总 论	1	2.3.4 仪器和探头性能及测试方法	42
1.1 概述	1	2.4 超声检测方法及技术	48
1.1.1 无损检测的定义	1	2.4.1 超声波检测方法概述	48
1.1.2 无损检测的方法	1	2.4.2 仪器与探头的选择	54
1.1.3 无损检测的特点	2	2.4.3 耦合与补偿	55
1.2 无损检测人员技术资格鉴定和认证	3	2.4.4 缺陷测定	58
1.2.1 无损检测人员技术资格鉴定和认证工作概况	3	2.5 典型材料的缺陷检测	74
1.2.2 无损检测人员技术资格鉴定通则	3	2.5.1 焊缝探伤	74
1.3 无损检测在航空维修中的应用	8	2.5.2 板材探伤	79
1.3.1 无损检测方法的选择和适用范围	8	2.5.3 管材探伤	81
1.3.2 航空维修无损检测技术发展状况	9	2.6 超声检测在航空维修中的应用	81
第2章 超声检测	12	2.6.1 纵波检测	81
2.1 概述	12	2.6.2 横波检测	86
2.2 超声检测的物理基础	12	2.6.3 表面波检测	88
2.2.1 振动与波	12	2.6.4 板波检测	92
2.2.2 超声场的特征量	16	第3章 涡流检测	94
2.2.3 超声波在异质界面的传播特性	21	3.1 概述	94
2.2.4 超声波的衰减	23	3.1.1 涡流检测的原理	94
2.2.5 超声波的声场特性	24	3.1.2 涡流检测的特点	95
2.3 超声检测设备	28	3.2 涡流检测的物理基础	96
2.3.1 超声探头	28	3.2.1 电磁感应	96
2.3.2 超声检测仪	30	3.2.2 涡流	99
2.3.3 试块	39	3.2.3 趋肤效应和渗透深度	100
		3.3 涡流阻抗分析法	101
		3.3.1 线圈的阻抗和阻抗归一化	102
		3.3.2 有效磁导率和特征频率	106
		3.3.3 涡流检测相似定律	109
		3.3.4 复阻抗平面图	110

3.3.5 含圆柱体穿过式线圈的 阻抗分析	112	4.5.2 磁粉检测工艺	200
3.3.6 放置式探头阻抗分析	116	4.5.3 磁痕分析	203
3.4 涡流检测设备	120	4.6 磁粉检测在航空维修中的 应用	206
3.4.1 涡流传感器	120	4.6.1 概况	206
3.4.2 涡流检测仪器	124	4.6.2 航空维修中磁粉检测的 特点	206
3.4.3 涡流检测参考试件	137	4.6.3 应用举例	207
3.4.4 涡流探伤仪综合指标的 测定	140		
3.5 涡流检测方法	143	第5章 射线检测	211
3.5.1 检测规范	143	5.1 概述	211
3.5.2 检测准备	143	5.1.1 射线的发现	211
3.5.3 检测条件的选择	144	5.1.2 射线检测的基本原理	211
3.5.4 检测结果及其处理	147	5.1.3 射线检测的特点	212
3.6 涡流检测在航空维修中的 应用	148	5.1.4 射线检测的适用性	212
第4章 磁粉检测	153	5.2 射线检测的物理基础	213
4.1 概述	153	5.2.1 X射线和 γ 射线	213
4.1.1 磁粉检测的基本原理	153	5.2.2 射线与物质的相互作用	217
4.1.2 磁粉检测的特点	153	5.2.3 射线穿过物质后的衰减	219
4.2 磁粉检测的物理基础	154	5.2.4 射线探伤的原理	220
4.2.1 磁场	154	5.3 射线检测设备和器材	221
4.2.2 电与磁	156	5.3.1 X射线机	221
4.2.3 材料的磁特性	160	5.3.2 γ 射线机	224
4.2.4 缺陷漏磁场	161	5.3.3 射线照相胶片	225
4.3 磁化与退磁	166	5.3.4 辅助设备	227
4.3.1 磁化电流	166	5.4 射线检测工艺	227
4.3.2 磁化方法	170	5.4.1 射线透照灵敏度	228
4.3.3 磁化规范	180	5.4.2 透照规范与曝光曲线	231
4.3.4 退磁	186	5.4.3 散射线的控制措施	240
4.4 磁粉检测设备	188	5.4.4 焊缝的射线照相工艺	241
4.4.1 磁粉检测设备的种类和 特点	188	5.5 暗室处理与影像分析	245
4.4.2 磁粉检测辅助器材	191	5.5.1 暗室处理技术	245
4.4.3 标准试片(块)	192	5.5.2 底片影像分析	249
4.4.4 磁粉和磁悬液	195	5.6 射线的防护与安全	253
4.5 磁粉检测工艺和磁痕分析	199	5.6.1 最大允许剂量	253
4.5.1 磁粉检测方法分类	199	5.6.2 射线防护	254
		5.6.3 对检测系统及操作的 要求	255
		5.7 射线检测在航空维修中的	

应用	255	6.5.5 渗透检验时的保护措施 ...	281
5.7.1 检测飞机发动机焊缝内部的 缺陷	255	6.5.6 渗透检验作业中的辐射 安全	282
5.7.2 检验飞机蒙皮下框架桁条的 裂纹与腐蚀	256	6.6 渗透检测在航空维修中的 应用	282
5.7.3 射线检测在航空维修中的 一些特殊应用	259	第7章 无损检测新技术	285
第6章 渗透检测	261	7.1 激光全息照相检测	285
6.1 概述	261	7.1.1 激光全息照相检测的 原理	285
6.1.1 渗透检测的原理	261	7.1.2 激光全息照相检测的 方法	287
6.1.2 渗透检测的特点及适用 范围	262	7.1.3 激光全息照相检测在 航空维修中的应用	289
6.2 渗透检测的物理基础	262	7.2 红外检测	291
6.2.1 物质的分子运动	262	7.2.1 红外检测的原理	291
6.2.2 液体的表面张力	263	7.2.2 红外检测的方法	292
6.2.3 液体的润湿与展铺	263	7.2.3 红外检测在航空维修中的 应用	293
6.2.4 液体的毛细管现象	264	7.3 声振检测	294
6.2.5 表面活性剂及其特性	266	7.3.1 声振检测的原理	294
6.2.6 光激发光	268	7.3.2 声振检测的方法	295
6.3 渗透检测方法	269	7.3.3 声振检测在航空维修中的 应用	298
6.3.1 渗透检测法分类	269	7.4 声发射检测	299
6.3.2 渗透检测方法的选择	270	7.4.1 声发射检测的基本原理 ...	300
6.3.3 渗透检测工艺	271	7.4.2 声发射检测的方法	301
6.3.4 几种特殊的渗透检测 方法	273	7.4.3 声发射检测在航空维修中的 应用	307
6.3.5 缺陷显像判别	274	7.5 微波检测	308
6.4 渗透检测剂及装置	274	7.5.1 微波检测的基本原理	308
6.4.1 渗透检测剂	274	7.5.2 微波检测的方法	309
6.4.2 渗透检测装置	276	7.5.3 微波检测在航空维修中的 应用	311
6.5 渗透检测的安全与防护	279	参考文献	312
6.5.1 使用非水显像剂的危险 ...	279		
6.5.2 黑光的生理效应	280		
6.5.3 渗透材料废液污染的 控制	280		
6.5.4 液体渗透材料的毒性 及闪点	280		

第 1 章 总 论

1.1 概 述

1.1.1 无损检测的定义

无损检测(Non-Destructive Testing, 简称 NDT)是一门新兴的综合性应用科学。它以不改变被检测对象的状态和使用性能为前提,应用物理和化学理论,对各种工程材料、零部件和产品进行有效的检验和测试,借以评价它们的完整性、连续性、安全可靠性及力学、物理性能等。由于无损检测具有不破坏就可以对试件进行百分之百的检测等优点,因而在工业生产、物理研究和生物工程等领域得到重视并迅速发展。目前,无损检测技术已在机械制造、冶金、石油化工、航空航天、核能电力、交通等行业获得广泛应用,成为控制产品质量、保证设备安全运行的重要技术手段。

现代工业和科学技术的发展,为无损检测技术的发展提供了更加完善的理论和新的物质基础,也进一步推动了无损检测技术的应用,并使无损检测从单纯的质量检验发展为多用途的一门技术。无损检测主要包括三个内容:

(1) 无损探伤。发现材料或工件中的缺陷,确定缺陷的位置、数量、大小、形状及性质。以便对设备的安全运行、对产品质量做出评价,并为产品设计、制定(或修改)工艺提供重要依据。

(2) 测试。测定材料的机械或物理性能(如裂纹扩展速率、机械强度、硬度、电导率、磁性等),检查产品的性质和状态(如热处理状态、应力应变特性、硬化层深度、应力腐蚀等),以及进行产品的几何度量(如产品的几何尺寸,涂层、镀层或板厚的测量)等。

(3) 监控。对正在运行的设备中的重要部件进行现场或动态检测,将部件中产生缺陷的变化信息连续地提供给检测者,从而实行现场监控,保障设备的运行安全。

目前,以无损检测为基础的无损评价(Non-Destructive Evaluation, 简称 NDE)技术应运而生。其主要内容是,利用无损检测手段,对构件的完整性、可靠性及使用性能进行综合评价。因此,无损评价技术的出现促进无损检测向更高层次发展。

1.1.2 无损检测的方法

无损检测技术是应用物理、电子技术与材料学等各门学科相互渗透和结合的产物。随着无损检测技术应用的日益广泛和伴随着其他基础科学的综合应用,已发展了几十种无损检测方法。如按检测原理来分类,常用的方法见表 1-1。

表 1-1 无损检测方法分类

类 别	主 要 方 法
射线法	X 射线透照法、中子射线照相法、 γ 射线照相法、X 射线光谱法、正电子湮没法、X 射线衍射法
声学法	超声法、声发射法、声振法、电磁超声法、涡流声法
电磁法	涡流法、漏磁法(磁粉法、磁场测定法、录磁法)、微波法、电阻法、电位法、巴克豪森效应法、磁记忆法
化学、分析法	渗透法(荧光法、着色法)、点滴法、化学定位法、俄歇分析法、电解检测法
机械、光学、热学法	机械测试法、激光全息照相干涉法、光弹法、红外法、接触测温法、热电势法

表 1-1 中,较为成熟并在工程技术中得到广泛应用的检测方法有:射线、超声、涡流、磁粉、渗透五种常规检测方法。此外,激光全息照相干涉、声发射、声振、微波、红外等无损检测技术也已得到日益广泛的应用。

20 世纪 60 年代—70 年代是无损检测技术发展的兴旺时期,各种无损检测的新方法和新技术不断出现。80 年代—90 年代,在无损检测仪器的研制和改进方面得到了迅速发展和提高,并迅速走向工业现场和向实用化发展。

目前,无损检测技术正向快速化、标准化、数字化、程序化和规范化的方向发展。其中包括高灵敏度、高可靠性、高效率的无损检测仪器和无损检测方法,无损检测方法和验收标准的制定,无损检测操作步骤的程序化、实施方法的规范化、缺陷判伤和评价的标准化等。另外,还要进行全国统一的人员资格培训、考核和认证。可以预见,无损检测在工业生产等各领域实现质量控制、过程监控、改进工艺和提高劳动生产率等方面都将发挥重要作用。

1.1.3 无损检测的特点

无损检测的特点有:

(1) 无损检测不会对构件造成任何损伤。无损检测是一种在不破坏构件的前提下,利用材料物理性质因有缺陷而发生变化的现象,来判断构件内部和表面是否存在缺陷,而不会对材料、工件和设备造成任何损伤。

(2) 无损检测为查找缺陷提供了一种有效方法。任何结构、部件或设备在加工和使用过程中,由于其内外部各种因素的影响和条件变化,不可避免地会产生缺陷。操作使用人员不但要知道是否有缺陷,还要查找缺陷的位置、大小及其危害程度,并要对缺陷的发展进行预测和预报。无损检测为此提供了一种有效方法。

(3) 无损检测能够对产品质量实现监控。产品在加工和成形过程中,如何保证产品质量及其可靠性是提高效率的关键。无损检测能够在铸造、锻造、冲压、焊接、切削加工等每道工序中,检查该工件是否符合要求,可避免徒劳无益的加工。从而降低了产品成本,提高了产品质量和可靠性,实现了对产品质量的监控。

(4) 无损检测能够防止因产品失效引起的灾难性后果。机械零部件、装置或系统,在制造或服役过程中丧失其规定功能而不能工作,或不能继续可靠地完成其预定功能称为

失效。失效是一种不可接受的故障。1986年1月28日,美国“挑战者”号航天飞机升空后70s发生爆炸,7名宇航员全部遇难,直接经济损失12亿美元,究其原因是由于固体火箭助推器尾部连接处的O形密封圈失效使燃料泄漏所致。如果用无损检测技术提前或及时检测出失效部位和原因,并采取有效措施,就可以避免灾难性事故的发生。

(5) 无损检测具有广阔的应用范围。无损检测技术可适用于各种设备、压力容器、机械零件等缺陷的检测。例如金属材料(磁性和非磁性,放射性和非放射性)、非金属材料、锻件、铸件、焊件、板材、棒材、管材以及多种产品内部和表面缺陷的检测。因此,无损检测技术受到工业界的普遍重视。

1.2 无损检测人员技术资格鉴定和认证

无损检测人员资格鉴定和认证是保证无损检测工作正确和顺利进行的一项有效措施。下面对无损检测人员技术资格等级的划分,报考人员应具备的条件,各级等级考试的内容,技术资格的鉴定和认证等作简要介绍。

1.2.1 无损检测人员技术资格鉴定和认证工作概况

我国于20世纪50年代初已开始发展和应用无损检测技术。20世纪70年代前无损检测人员的培训主要通过培训班和现场实习等方式进行,在相当长一段时间内没有正规的培训教材和教学大纲。20世纪80年代初,参照工业先进国家无损检测人员培训和资格鉴定的经验,建立了无损检测人员培训和资格鉴定委员会,制定了关于无损检测技术等级划分和资格鉴定的试行规定。人员等级划分为三级:Ⅰ级为初级,Ⅱ级为中级,Ⅲ级为高级。

为使无损检测人员技术资格认证制度进一步规范化、标准化,根据国际动向,我国于1988正式颁布了GB9445-1988《无损检测人员技术资格鉴定通则》,对无损检测人员的培训和资格鉴定制度的实施起到了积极作用。但与国际标准化的要求相比还存在相当的差距。为了尽快与国际接轨和推进我国无损检测技术的发展,必须进一步加强无损检测人员资格鉴定和认证工作。

1.2.2 无损检测人员技术资格鉴定通则

本通则规定了超声(UT)、射线照相(RT)、磁粉(MT)、渗透(PT)、涡流(ET)五种无损检测人员等级的划分、职责、技术资格鉴定以及证书颁发的一般原则和方法。

1.2.2.1 无损检测人员技术资格等级的划分及职责

1. 技术资格等级的划分

无损检测人员的技术资格分为三个等级:Ⅰ级为最低级,Ⅱ级为中级,Ⅲ级为最高级。资格鉴定应按不同的等级和方法分别进行。

2. 各级无损检测人员的技术职责

(1) Ⅰ级无损检测人员在Ⅱ级或Ⅲ级人员监督、指导下,根据技术说明书应具有进行无损检测的能力;应能调正和使用仪器设备进行检测操作,记录检测结果;应根据标准对检测结果进行初步等级评定。

(2) II级检测人员应能根据确定的工艺,编制技术说明书;能安装和校准仪器、设备;能具体实施无损检测工作;能根据法规、标准和规范,解释和评定检测结果;能撰写、签发检测结果报告;熟悉无损检测方法的适用范围和局限性;培训和指导I级人员和尚未取证的学员。

(3) III级无损检测人员应对确定的无损检测技术和工艺、贯彻法规、标准、规范等负全部责任;全面监督和管理无损检测工作的进行;根据法规、标准和规范,解释和评定检测结果;应能设计特殊的无损检测方法、技术和工艺;在没有验收标准可供引用时,协助有关部门制定验收标准;应具备材料、结构和生产工艺方面的实际知识;应熟悉其他无损检测方法;应能培训I级和II级人员。

1.2.2.2 报考人员的资格

1. 一般要求

报考人员应具备一定的学历、培训经历和实践经历,以保证他们对所报考的无损检测方法的原理、技术、工艺能充分地理解和熟练地应用。

2. 培训

① I级和II级人员的培训。应按照考试委员会公布的培训大纲进行培训。报考人员在报考时应提供相应课程的结业证书,以备考试组织审定报考人员的培训经历。

② III级人员的培训。鉴于III级人员资格鉴定的技术要求,对他们培训经历的审查可以采用不同方法。如参加培训班的情况,参加学会或各工业系统学术交流或专题研究的情况,自学各种专业书籍、刊物和技术文献、资料的情况等。

3. 实践经历

报考人员对所鉴定的检测方法的实践经历累计时间,对不同文化程度者,至少应达到表1-2和表1-3所规定的时间。

表 1-2 I级、II级人员的实践经历

(单位:年)

鉴定的检测方法	UT、RT、ET		MT、PT	
技术等级	I	II	I	II
理工科大学及大专毕业生	0.50	1.00	0.25	0.50
高中、中专毕业生	1.00	2.00	0.50	1.00
初中毕业或有熟练操作证明者	2.00	3.00	1.00	1.50
注:申请报考II级的人员应具有I级人员的技术资格证书。若没有I级人员资格证书而直接报考II级者,则实践经历时间应为表1-2中I级和II级人员经历时间的总和。				

表 1-3 III级人员的实践经历

(单位:年)

理工科本科大学毕业生	具有II级证书者	没有II级证书者
	1	2.5
理工科大学专科毕业生	2	3.5
其他文化程度具有I级证书者	4	—
注:如果是理工科大学的无损检测专业毕业生,则实践经历时间可缩短50%。		

4. 视力要求

报考人员应提供医院出具的视力证明。其视力要求如下:

(1) 经过矫正或未经矫正的近视视力,要求能读出 Jaeger2 号或当量的型式、尺寸的字母,距离标准 Jaeger 检验表的距离不得小于 30cm。

(2) 应考人员的辨色视力应达到能区分与无损检测方法有关的颜色对比度。

1.2.2.3 考试

1. 考试内容

每一种无损检测方法的考试内容都包括:基础知识、方法知识及实践能力三个方面,并分通用考试和工业部门考试两个系列。通用考试的水准在各工业部门之间应一致。

2. I 级和 II 级人员的考试

1) 通用考试内容

I 级和 II 级人员通用考试内容包括:考查报考人员对无损检测的基础知识,对所报考的无损检测方法的基本原理、应用技术,对一般检测对象的实际检测能力,对常用无损检测方法、质量等级分类与评定标准以及安全防护的理解和熟悉程度等。

通用考试中的笔试部分,即基础知识与方法知识的考试深度和广度,不应超出考试委员会颁发的、供考试参考用的《通用考试题集》的程度。考试题数至少应达到表 1-4 所规定的数量。

表 1-4 通用考试的考题数量

无损检测方法	I 级	II 级
超声(UT)检测	40	40
射线照相(RT)检测	40	40
磁粉(MT)检测	30	30
渗透(PT)检测	30	30
涡流(ET)检测	30	30

通用考试中的实践能力部分包括:考查报考人员对仪器设备的操作能力、分析所得到的检测信息以及正确解释检测结果的能力;考查报考人员对保证检测结果可靠性及有效性的能力(如熟悉并应用校正试块,磁粉及渗透检测中的灵敏度试片、对比试块等);考查报考人员对一般检测对象,如一般铸件、锻件、轧制件、焊接件等的检测及质量等级评定的能力。

2) 工业部门考试内容

I 级和 II 级人员工业部门考试包括:补充考查报考人员对特殊要求的工业产品与对象的无损检测知识和技能;考查特殊要求的无损检测的基础知识和应用技术;考查特殊产品和对象的实际检测能力以及专用标准、规范和等级评定方法等。

工业部门考试中的笔试部分,即基础知识与方法知识的考试深度和广度,不应超过考试委员会颁发的、供考试参考用的《工业部门考试题集》中的程度。考试题数至少应达到表 1-5 所规定的数量。

表 1-5 工业部门考试的考题数量

无损检测方法	I 级	II 级
超声(UT)检测	20	20
射线照相(RT)检测	20	20
磁粉(MT)检测	20	15
渗透(PT)检测	20	15
涡流(ET)检测	15	15

工业部门考试中的实践能力考试包括:考查报考人员对有特殊要求检测的专用仪器的操作能力;根据专用标准、技术和工艺要求进行检测的能力;按照专用的验收标准,评定检测结果和进行质量等级分类的能力等。

3) 总评

通用考试和工业部门考试的总评应分开进行。若通用考试成绩合格并取得证书,则在其他工业部门应给予承认,免于对通用知识和技能的重复考试。

报考人员的每一门考试成绩均应按百分制进行评分。笔试和操作考试的成绩均应在 70 分以上。

各种考试成绩总评,应由各方面的权重系数的总和来确定。I 级和 II 级人员评时的权重系数可按表 1-6 确定。

表 1-6 对 I 级和 II 级人员总评时的权重系数

等级	通用考试		工业部门考试	
	笔试	实践考试	笔试	实践考试
I	0.4	0.6	0.4	0.6
II	0.5	0.5	0.5	0.5

权重系数的总和,在通用考试和工业部门考试中必须分别等于 1.0。总评时报考人员的得分至少应在 80 分以上,才能定为合格。

3. III 级人员的考试

III 级报考人员的考试主要采用笔试形式,此外还要对报考人员进行技术资格验证和技术能力口试。

1) 通用考试内容

(1) 基础知识(当鉴定几种方法时,只需要考一次):

① 有关本规则的试题 5 道。

② 有关常用材料、材料强度、产品制造工艺及缺陷的性质和产生机理等知识题 15 道。

③ 与颁发的其他四种无损检测方法《III 级人员通用考试参考题集》水准相当的试题 20 题。

(2) 方法知识:

① 与颁发所考核的无损检测方法《Ⅲ级人员通用考试参考题集》水准相当的试题 30 道。

② 对该种无损检测方法的有关法规标准和技术规范解释能力的试题 10 道。

(3) 实践能力。要求能对一般的检测对象编制无损检测工艺及技术说明书。对尚未取得Ⅱ级资格证书的报考人员,尚需增加对该种无损检测方法的实践操作技能的考试。

2) 工业部门考试内容

(1) 由考试委员会颁发的、对该工业部门所要求的Ⅱ级人员基础知识以及与无损检测《方法知识考试参考题集》水准相当的试题(包括该工业部门所应用的特殊材料和特殊产品的制造工艺,缺陷的性质和产生机理,所报考的无损检测方法对该工业部门检测对象的专用规范、标准、法规和专用检测仪器、方法、技术和工艺等)20 道。

(2) 工业部门考试中,对Ⅲ级人员的实践能力考试,要求对该工业部门的特殊检测对象能编制无损检测工艺和技术说明书;对尚未取得该工业部门Ⅰ级技术资格证书的人员,尚需增加对该种无损检测方法实践操作技能的考试。

3) 总评

通用考试和工业部门考试的总评应分开进行。若通用考试成绩合格并取得证书,则在其他工业部门应给予承认,免于对通用知识和技能的重复考试。

报考人员的每一门考试成绩均应按百分制进行评分。笔试成绩均应在 70 分以上。没有Ⅱ级证书者的操作技能考试不合格时,则该报考人员的实践能力考试成绩按不合格(即 70 分以下)处理。

各种考试成绩的总评,应由各方面的权重系数的总和来确定。

Ⅲ级人员总评时的权重系数,可按表 1-7 确定。

表 1-7 Ⅲ级人员总评时的权重系数

通用考试			工业部门考试	
基础知识	方法知识	实践能力	基础及方法知识	实践能力
0.35	0.35	0.30	0.60	0.40

权重系数的总和在通用考试和工业部门考试中必须分别等于 1.0。总评时,报考人员的评分至少应在 80 分以上,才能作为合格。口试中若发现报考人员的技术资格和技术能力有疑问,由考试委员会评议后提出书面处理意见。

4. 补考和重考

在通用考试和工业部门考试的二门或三门考试(指Ⅰ级、Ⅱ级人员的“基础知识及方法知识”和“实践能力”二门考试,Ⅲ级人员通用考试中的“基础知识”、“方法知识”和“实践能力”三门考试;Ⅲ级人员工业部门考试中的“基础知识及方法知识”和“实践能力”二门考试)中,成绩均在 70 分以上,而总评成绩达不到 80 分(不合格)时,则对成绩低于 80 分的部分,在 1 年内允许补考。若补考后仍达不到总评合格成绩,则全部考试项目均需重考。

重考人员应按报考顺序,重新申请报考。

报考人员若在资格鉴定考试中不合格,必须经过 2 个月后才可参加重考。报考人员中若发现有舞弊行为者,则在 2 年内没有重考资格。

1.3 无损检测在航空维修中的应用

无损检测作为航空维修的一种手段伴随着航空维修的发展而发展,已成为控制飞机、发动机零件的质量,保证飞机安全飞行的重要技术手段。不仅如此,它已从单纯的检测发展到对飞机、发动机零件的安全使用寿命进行评价。随着航空维修手段的不断提高,无损检测愈来愈得到重视,从一定程度上说,无损检测的发展水平反映了航空维修的发展水平。

1.3.1 无损检测方法的选择和适用范围

1. 无损检测方法的选择

航空维修中常用的方法有超声检测法、涡流检测法、磁粉检测法、射线检测法、渗透检测法。由于近年来有些飞机机体的一些部件采用蜂窝结构制作,声阻检测法开始了应用。以上方法各有其特点,在后面的内容中将逐步涉及到。这些方法也是现代工业生产中应用最普遍、最成熟的检测方法。由于每种方法的检测原理各不相同,因此每种方法都具有自己独特的效果。都有其最适合的探测对象。航空维修中一般根据被检工件的特点,选择其中一种或两种方法进行检测,就能获得良好的检测结果。在进行无损检测方法的选择时,一般说来,应充分了解被检工件的下列情况:

(1) 在飞机上进行原位无损检测,检测方法的选择必须首先考虑被检工件在装配条件下,安装部位空间的大小,可达性如何。如果可达性好,可根据各种方法的特点(如灵敏度、操作复杂程度、现有设备状况等),选择一种或两种检测方法就可以了。假若被检工件安装部位空间很小,可达性差,应先确定探测面,再考虑设计专用探头和专用夹具等。

(2) 材料的性质。材料的性质不同决定采用的方法可能有所不同。如被检工件是铁磁材料还是非铁磁材料,或是粗大晶粒的奥氏体材料,等等。

(3) 工件的几何外形尺寸。要充分考虑工件尺寸的大小,外形状态等,使选择的方法能有效地发现缺陷。

(4) 工件在使用中的受力状态。工件在使用时承受周期载荷状态下,所受拉压、弯曲、疲劳应力以及高温燃气腐蚀情况,应力集中的部位,易裂部位,裂纹的方向等。

(5) 工件的表面状况。主要考虑表面热处理状况、表面粗糙度状况、表面漆层的状况等。

2. 常用检测方法的适用范围

航空维修中所使用的每种方法,对飞机、发动机上的零件来说,都不是万能的。各有各的使用范围。因此,没有理由认为某种方法比另一种方法好,或者说不如另一种方法等。只能根据被检零件的实际情况和特点作最佳的选择。表 1-8 给出了维修中常用无损检测方法的适用范围。

表 1-8 常用检测方法的适用范围

检测方法	适用范围
超声检测	适用于飞机、发动机上 <u>主要承力构件</u> 的 <u>表面和内部裂纹</u> 等缺陷故障的检查,也可用于测量材料的 <u>厚度</u>
涡流检测	适用于导电材料的表面裂纹、凹坑、腐蚀的检查
磁粉检测	适用于飞机、发动机上 <u>铁磁性材料零件</u> 的 <u>表面或近表面裂纹</u> 等缺陷的检测
射线检测	适用于飞机、发动机上 <u>承力件焊缝内部焊接质量</u> 的检查;飞机蒙皮、桁条、肋条间的裂纹、腐蚀、以及外来物;检查蜂窝结构内部是否有水
渗透检测	适用于飞机、发动机承力件和零备件 <u>表面开口缺陷</u> 的检测

1.3.2 航空维修无损检测技术发展状况

在飞机使用过程中,无损检测的主要任务是保证飞机的结构完整性。除按无损检测手册规定的内容对指定区域进行检测外,有时还要在特殊情况下对飞机的一些特殊部位和区域进行检测。日常大量的检测工作是由受过培训并取得资格认证的技术人员来执行,这些人一般属于熟练操作人员,而不是无损检测专家。因此,所制定的检测程序、工艺及判据标准都应简单、明确。

1. 老旧飞机的无损检测

外场无损检测目前有几类问题最引入关注,首先是老龄飞机的无损检测。如何改进检测能力,支持老龄飞机延寿(在超过原先设计的使用寿命后仍能安全飞行)是一个十分重要的问题。通常把日历寿命超过 20 年的飞机都作为老龄飞机来对待,而不少飞机,特别是民用飞机的预期使用寿命可高达 40 年~50 年,可见,延寿工作对飞机有多么重要。由于腐蚀损伤和积累疲劳损伤的作用,老龄飞机发生故障的概率明显增加。因此,对老龄飞机应当执行与过去不同的维修和检测方案,着重解决腐蚀控制和腐蚀监测问题。一般使用低频涡流技术检测诸如桁条下方或铆接件下层板的腐蚀,而大多数表面腐蚀可用目视观察。

在老龄飞机无损检测方面,应注意:

- (1) 飞机所有区域都需检测。
- (2) 检测以日历间隔为基础。
- (3) 检测间隔分为初始和重复检测间隔。
- (4) 腐蚀分为轻微、严重和最严重三类,确认后应采取不同措施。

虽然上述各项已为航空界广泛接受,但腐蚀监测问题至今并未真正解决,因此,老旧飞机无损检测向我们提出的第一个挑战是发展一种行之有效的腐蚀监控方法。

其次,由于老龄飞机一般都已有的探伤工艺,关键在于应对每一机型重新制定一个“附加检测文件”,在原有探伤工艺中补充一些检测项目,以发现一些不可预见的疲劳损伤。这就要求我们能确认每种飞机的主要结构件(其失效会导致灾难性事故),然后再确认其检测方法和步骤。确认检测方法时要求能使用最灵敏的检测技术并能确定探测到容限长度裂纹的可靠性。我国在某些机种上已开展了这方面的工作。

2. 新机新材料的无损检测

各种新型飞机都大量使用新材料,特别是铸钛合金和复合材料。如民用波音 777 飞机的尾翼和主梁部分,军用飞机(如美国的 F-15)和我国的一些直升机等都大量使用复合材料;苏-27 飞机的机尾罩轮孔和起落架轮叉使用了钛合金材料。对这两类材料用通常的检测方法,特别是常规超声波探伤方法都不很适合。对复合材料,基本要求是能大面积检测其脱粘、分层及性能退化等。因此,非接触式检测技术更能发挥作用。目前,空气耦合超声波检测、激光超声和红外热成像等技术在航空工业特别是现(外)场检测中已广泛采用。

随着不少新型飞机的引入,研制出能在交货和将来维修时都能有效实施大面积检测的无损检测方法,是另一应当重视的任务,这对民用飞机和军用飞机都同样成立。阵列涡流技术或相控超声检测技术对新机的检测都可以发挥重要作用,特别是阵列涡流技术对于检测涡轮叶片根部裂纹具有极佳应用前景。全波形记录也是一种重要方法,存储的超声波波形可以用于扫查后分析,它对飞机重要部件的全寿命监测也可起到重要作用。

3. 无损检测在飞机日历寿命研究中的作用

日历寿命研究是另一值得重视的课题,问题的关键在于如何利用无损检测技术帮助确定日历损伤、提出腐蚀控制方案并科学地决定日历寿命。

飞机的寿命分飞行小时寿命、起落次数和日历寿命。由于飞机结构受环境腐蚀的问题日益严重,不少飞机往往在其飞行小时寿命远未达到的情况下,因关键结构腐蚀而提前退役或引起严重事故。因此,日历寿命一直是人们极为关心的问题,这方面的研究资料也十分丰富,主要包括加速腐蚀试验技术、建立腐蚀当量关系以及研究在腐蚀环境下飞机结构腐蚀损伤和疲劳寿命变化规律等。总之,人们常常根据结构腐蚀的变化规律和腐蚀速率等数据来推断其日历寿命,或提出腐蚀控制方案以延长飞机的日历寿命。如同疲劳寿命与疲劳损伤有关一样,日历寿命也同日历损伤有关。因此,为研究日历寿命,首先必须研究日历损伤。人们对腐蚀程度的检测通常是利用超声或涡流测厚的原理,根据材料厚度的变化来确定腐蚀的严重程度和量级,但这些方法对早期腐蚀几乎无能为力。声发射技术在腐蚀早期预报方面可以发挥作用。有报道说,已经利用声发射的波形识别技术有效识别了腐蚀萌生阶段产生的声发射信号。但总体上讲,迄今为止人们仍没有建立一套比较系统的确定日历损伤的方法,因而也就缺少有效的确定日历寿命的科学依据。科学地确定日历寿命,对腐蚀状况进行监测、对结构的日历损伤程度进行检测至关重要,它能对腐蚀程度、腐蚀损伤及发展趋势进行监测,从而为确定日历寿命提供科学依据。从目前发展情况看,除超声和涡流检测方法外,红外热成像技术和声发射监测技术都有可能在这一领域发挥重要作用。因此,加强该领域无损检测技术的研究十分重要。

4. 无损检测在飞机疲劳裂纹扩展监测中的作用

除腐蚀外,老旧飞机面临的另一主要问题是疲劳裂纹,这里有一个如何检测和监测的问题。疲劳裂纹扩展是一个动态过程,能对这一过程进行监测的有声发射等技术。国外,特别是美国航空部门及空军都在加紧研制机载声发射监测系统。问题在于飞行过程中的高背景噪声使现有技术很难实用化。美国 Dunegan 工程咨询公司研制了一种能在高背景噪声下检测疲劳裂纹扩展声发射信号的仪器 AESMART2001,已为美国洛克希德·马丁公司用在 P-30RION 飞机上。其基本设想是,由于疲劳裂纹的扩展发生在板平面内,它产