

航空技术装备 使用中零件的探伤

〔苏〕П.И. 别达等著



中国人民解放军空军第一研究所

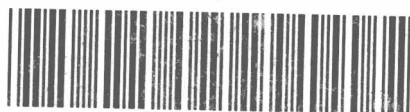
航空技术装备 使用中零件的探伤

〔苏〕П.И. 别达等 著

张德林 译

郑吉庆 王福令 校

李良岭 技术校对



30321865



一九八三年五月 北京

476830

ДЕФЕКТОСКОПИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Под редакцией канд. техн. наук
П. И. Беды



Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА — 1978

前 言

零、部件材料的探伤检验，对进一步提高产品质量和技术水平，起着极其重要的作用。不论是在技术装备的生产过程，还是在其使用阶段，没有高效能的无损探伤手段和方法，就不可能保证有高度的可靠性和很长的寿命。特别是在航空领域内，无损探伤的意义更为重大，它是确保飞行安全的重要因素之一。

在航空技术装备的使用过程中，利用各种无损探伤手段进行单次检验和定期检验的有涡轮喷气发动机涡轮和压气机叶片和转子盘，飞机和直升机的承力框架、桁条、大梁、螺旋桨（旋翼）、起落架支柱和机轮，以及机体和发动机的其它一些负荷较大的零、部件等。利用探伤手段便于评定零件材料的密实性，测试它的物理、机械性能以及表面保护层的厚度。对于不能直接看到的零件，探伤手段可以测出其大小。仪表和附件的内部结构情况，在不分解的条件下，借助探伤手段也能判别清楚。

本书主要介绍在航空技术装备使用维修中评定其零、部件材料的技术状况所采用的探伤方法。全书共分八章。

第一章是引言部分，阐述了探伤检验在航空技术装备不同发展阶段的航空工程机务工作中所处的地位和阐述了使用条件下的探伤方法与航空工业部门采用的探伤法的区别。本章还介绍了各种探伤检验方法的特性对比和探伤检验法的有效性问题。

接着的五章是按检验方法的复杂程度编排的，分别详细地介绍了光学一目视探伤法、着色探伤法、磁粉探伤法、涡流探伤法和超声波探伤法的物理实质、检验手段、操作方法和在检验过程中容易出现的主要差错，以及检验结果判读的方法。此外，还提出了有关安全技术方面的建议。

在外场条件下比其它探伤法使用少一些的 X—射线检查在第七章做了简要介绍。

第八章提出了根据零件材料的探伤特性选择检验方法的一般建议以及如何在航空技术装备使用单位组织检验、建立探伤实验室等方面的建议。

本书在材料编排上具有明确的实用特点，这对航空专业人员组织和直接实施探伤检验一定会有帮助。

本书是根据作者们对探伤法进行科学研究、研制探伤材料成分、研究探伤仪的构造和使用方法、以及实际使用探伤检验手段的经验编写的。

本书可供空军和民航的航空工程机务人员使用，空军和民航的中等技术学校和高等院校的师生在学习航空技术装备维护课时也可使用。各种工业部门、铁路运输部门、汽车运输部门以及水运部门的专业人员在研究解决如何保证产品质量和产品的使用可靠性问题时也可以使用此书。

本书各章的作者如下：第一章，技术科学副博士 П. И. 别达与 А. И. 乌加洛夫；第二章和第三章，Ю. А. 格拉兹科夫；第四章，技术科学副博士 Г. С. 舍里霍夫；第五章，技术科学副博士 П. И. 别达；第六章和第七章，С. П. 卢茨克。

目 录

第一章	探伤法在航空技术装备使用中的作用和地位 ···	5
§ 1.1	使用条件下的探伤法的任务和作用·····	5
§ 1.2	航空技术装备零件材料密实性的缺陷·····	8
§ 1.3	探伤法的比较特性和在使用中的应用范围·····	15
§ 1.4	航空技术装备探伤检验的有效性·····	20
第二章	光学一目视检验 ·····	24
§ 2.1	光学一目视检验的基本原理·····	24
§ 2.2	近距物体的检验·····	26
§ 2.3	远距物体的检验·····	31
§ 2.4	封闭结构内部零件的检验·····	35
§ 2.5	某些零件的光学一目视检验特点·····	45
第三章	着色探伤法 ·····	48
§ 3.1	在外场条件下着色探伤法的任务·····	48
§ 3.2	着色探伤法的物理基础与实质·····	50
§ 3.3	探伤剂·····	55
§ 3.4	探伤剂的保管特点与质量检验·····	57
§ 3.5	检验前零件的准备·····	61
§ 3.6	显现缺陷的操作工艺·····	64
§ 3.7	零件检查与缺陷显示图形的分析·····	69
§ 3.8	用着色探伤法检验时常见的一些典型差错·····	79
§ 3.9	某些零件的检验特点·····	81
§ 3.10	工作现场、所需配件与安全措施·····	84

第四章	磁粉探伤法	90
§ 4.1	磁粉检验的实质与任务.....	90
§ 4.2	材料磁化的物理基础.....	92
§ 4.3	磁粉探伤方法.....	95
§ 4.4	探伤前零件的准备.....	96
§ 4.5	磁化方法。所用电流的种类.....	97
§ 4.6	磁化电流大小的确定与用电缆检验时磁场强度的计算	109
§ 4.7	对磁粉探伤灵敏度有影响的因素	110
§ 4.8	焊接件的检验特点	116
§ 4.9	零件的退磁	118
§ 4.10	磁粉在缺陷上面聚积的动力学	123
§ 4.11	磁粉、磁膏与磁悬液	126
§ 4.12	检验用样件、缺陷标准显示图象的制作方法.....	128
§ 4.13	检验结果的判读。假缺陷	129
§ 4.14	磁力探伤机	136
§ 4.15	利用77ИМД-3М型与ИМД-70型磁力探伤机进行检验的顺序	144
第五章	涡流探伤法	159
§ 5.1	在外场条件下用涡流探伤法解决的问题	156
§ 5.2	涡流传感器	160
§ 5.3	受验件内涡流的激励与传播	162
§ 5.4	传感器信号的形成	167
§ 5.5	检验零件时的各种干扰因素	173
§ 5.6	ВДЦ-1М型涡流探伤仪	176
§ 5.7	ВДЦ-2М型、ВД-1ГА型、ППД-1型涡	

	流探伤仪	185
§ 5.8	ДНМ-15 型、ДНМ-500 型涡流探伤仪	189
§ 5.9	涡流探伤仪的使用方法	194
§ 5.10	航空技术装备某些零件的检验	201
第六章	声学探伤法	215
§ 6.1	声学探伤法在航空技术装备使用中的应用范围	215
§ 6.2	声波的性质与特性	216
§ 6.3	超声波的激发源	218
§ 6.4	超声波的传播	225
§ 6.5	声学探伤的几种方法	229
§ 6.6	超声探头	234
§ 6.7	脉冲式探伤仪和声阻抗探伤仪的主要技术性能和工作原理	237
§ 6.8	探伤仪的盲区和分辨力	249
§ 6.9	典型的超声波检验零件法	252
§ 6.10	航空技术装备某些零件的检验	262
第七章	X—射线探伤法	278
§ 7.1	x—射线探伤法的实质。X—射线装置	278
§ 7.2	X—射线探伤法的应用范围与技术能力	283
§ 7.3	安全技术方面的基本要求	290
第八章	航空技术装备探伤工作的组织	292
§ 8.1	零件探伤方法的选择	292
§ 8.2	探伤实验室与探伤工作的组织实施	296
	参考文献	304

目 录

第一章	探伤法在航空技术装备使用中的作用和地位 ···	5
§ 1.1	使用条件下的探伤法的任务和作用·····	5
§ 1.2	航空技术装备零件材料密实性的缺陷·····	8
§ 1.3	探伤法的比较特性和在使用中的应用范围·····	15
§ 1.4	航空技术装备探伤检验的有效性·····	20
第二章	光学一目视检验 ·····	24
§ 2.1	光学一目视检验的基本原理·····	24
§ 2.2	近距物体的检验·····	26
§ 2.3	远距物体的检验·····	31
§ 2.4	封闭结构内部零件的检验·····	35
§ 2.5	某些零件的光学一目视检验特点·····	45
第三章	着色探伤法 ·····	48
§ 3.1	在外场条件下着色探伤法的任务·····	48
§ 3.2	着色探伤法的物理基础与实质·····	50
§ 3.3	探伤剂·····	55
§ 3.4	探伤剂的保管特点与质量检验·····	57
§ 3.5	检验前零件的准备·····	61
§ 3.6	显现缺陷的操作工艺·····	64
§ 3.7	零件检查与缺陷显示图形的分析·····	69
§ 3.8	用着色探伤法检验时常见的一些典型差错·····	79
§ 3.9	某些零件的检验特点·····	81
§ 3.10	工作现场、所需配件与安全措施·····	84

第四章	磁粉探伤法	90
§ 4.1	磁粉检验的实质与任务.....	90
§ 4.2	材料磁化的物理基础.....	92
§ 4.3	磁粉探伤方法.....	95
§ 4.4	探伤前零件的准备.....	96
§ 4.5	磁化方法。所用电流的种类.....	97
§ 4.6	磁化电流大小的确定与用电缆检验时磁场强度的计算	109
§ 4.7	对磁粉探伤灵敏度有影响的因素	110
§ 4.8	焊接件的检验特点	116
§ 4.9	零件的退磁	118
§ 4.10	磁粉在缺陷上面聚积的动力学	123
§ 4.11	磁粉、磁膏与磁悬液	126
§ 4.12	检验用样件、缺陷标准显示图象的制作方法.....	128
§ 4.13	检验结果的判读。假缺陷	129
§ 4.14	磁力探伤机	136
§ 4.15	利用77ИМД-3М型与ИМД-70型磁力探伤机进行检验的顺序	144
第五章	涡流探伤法	159
§ 5.1	在外场条件下用涡流探伤法解决的问题	156
§ 5.2	涡流传感器	160
§ 5.3	受验件内涡流的激励与传播	162
§ 5.4	传感器信号的形成	167
§ 5.5	检验零件时的各种干扰因素	173
§ 5.6	ВДЦ-1М型涡流探伤仪	176
§ 5.7	ВДЦ-2М型、ВД-1ГА型、ППД-1型涡	

	流探伤仪	185
§ 5.8	ДНМ-15 型、ДНМ-500 型涡流探伤仪	189
§ 5.9	涡流探伤仪的使用方法	194
§ 5.10	航空技术装备某些零件的检验	201
第六章	声学探伤法	215
§ 6.1	声学探伤法在航空技术装备使用中的应用范围	215
§ 6.2	声波的性质与特性	216
§ 6.3	超声波的激发源	218
§ 6.4	超声波的传播	225
§ 6.5	声学探伤的几种方法	229
§ 6.6	超声探头	234
§ 6.7	脉冲式探伤仪和声阻抗探伤仪的主要技术性能和工作原理	237
§ 6.8	探伤仪的盲区和分辨力	249
§ 6.9	典型的超声波检验零件法	252
§ 6.10	航空技术装备某些零件的检验	262
第七章	X—射线探伤法	278
§ 7.1	x—射线探伤法的实质。X—射线装置	278
§ 7.2	X—射线探伤法的应用范围与技术能力	283
§ 7.3	安全技术方面的基本要求	290
第八章	航空技术装备探伤工作的组织	292
§ 8.1	零件探伤方法的选择	292
§ 8.2	探伤实验室与探伤工作的组织实施	296
	参考文献	304

第一章 探伤法在航空技术装备 使用中的作用和地位

§ 1.1 使用条件下的探伤法的任务和作用

为了能够顺利地完苏联空军和民航面临的一系列重要任务，不仅要求飞行员、领航员、工程师、机械师和机械员具备高超的技能，而且还要有精良的航空技术准备。目前有各种型号的新飞机与直升机投入使用。它们充分体现了苏联科学和工业的最新成就，在飞行—战术性能上比发达的资本主义国家最好的型号还要优越。这可以用如下事实证明：最大速度、载重量、爬升率、飞行高度等许多世界纪录都是苏联创造的。

国产的航空技术装备具有高度的使用可靠性，从而保证昼、夜间复杂气象条件下的飞行安全。但与此同时，由于飞机与直升机承受巨大的载荷，由于许多部件在腐蚀性介质中工作，以及由于使用期限较长，某些关键部件的使用性能就可能下降，形成缺陷和破损。零件的破损，也可能是由于制造厂未曾发现的加工缺陷造成的。

航空工程机务部门保持飞行器处于良好状态的措施之一，就是对承受高负荷的零、部件进行探伤检验。这种检验的目的，就是及时发现材料的裂纹、腐蚀、机械性能超差等变化，以及部件、附件和仪表的正常位置受到破坏或内部零件损坏，以便采取措施，加以排除。

在不同的使用阶段采用探伤手段来保证：

——充分使用航空技术装备的规定寿命和修理间隔寿命，并在保持固有可靠性水平的条件下作出有根据的延长寿命的决定；

——提高确定高负荷零件技术状况的可靠性；

——降低故障率，防止飞行事故；

——监视飞行器材料容许缺陷在使用过程中的发展情况，并据此预测出零、部件的工作性能。

——节约器材，缩短飞行器停用时间，采用防止零件破损和减少与其有关的修理工作的办法，提高单位时间内的飞机出动架次。

在航空事业发展的每个阶段中，各种探伤方法与手段的采用，取决于科学技术的发展水平，国家的经济状况和航空工程机务部门根据航空技术装备发生故障情况提出的要求，取决于航空材料的物理机械特性、零件和不可分解的部件的结构，还取决于这些零、部件所承受的机械负荷和温度负荷的大小。

五十年代以前，在装有活塞式发动机的飞机上，负荷零件上的裂纹主要是靠目视法发现。对于喷气式飞机上的零件，单纯靠目视法来检验已经是不够的。需要采用无损检验方法，即着色、磁粉、超声波、涡流等探伤法。利用这些方法可以发现用肉眼看不见的，处于早期发展阶段中的疲劳裂纹。为了查明蒙皮与蜂窝结构填料是否开胶，已采用声阻抗探伤法，而为了测定出内部零件的状况，则采用了X—射线探伤法。随着喷气式飞机使用期限的不断延长和各种型号新飞行器的研制成功，航空领域内所使用的探伤方法和探伤手段日益增多（图1.1）。

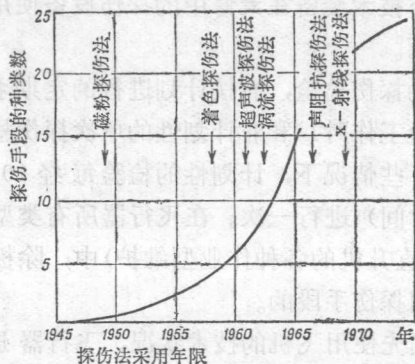


图1.1 探伤方法与探伤手段推广使用的历史年表

在使用中，探伤检验的对象是机翼、中翼、机身和尾翼的对接接点、框架、梁和大梁；操纵系统某些零件；操纵面和旋翼的胶接处；螺旋桨轴、桨套和桨叶；起落架支柱、机轮、升降机构的零件和起落架悬挂接头；航空发动机涡轮叶片、压气机叶片和转子盘等。各型飞行器都有自己特定的检验对象。

使用条件下的探伤检验范围逐年增大。通常，使用时间长的飞行器与新的飞行器相比，前者的探伤范围要大一些。利用探伤手段在一部分飞行器上检验有无裂纹的零件数量，可能是在另一部分飞行器上要检验的数十倍。为了便于比较，可以指出，在大修当中用探伤方法在一个机体或一台发动机上检验的零件就有几百种型号。

在使用条件下进行的检验（使用检验），应理解为在机场进行的拆卸部件或不拆卸部件的检验，或者理解为在修理企业或修理基地按维修文件进行的检验。

有关航空技术装备在大修中的探伤设备使用特点，这里不准备介绍。

使用中的探伤检验，有按计划进行的定期探伤检验（在进行定检工作时）和非计划性的单次探伤检验（特定检验）。在某些情况下，计划性的检验每经 10~25 飞行小时（工作时间）进行一次。在飞行器所有类型的飞行前准备（飞机和直升机的各种作业型维护）中，除极少数情况外，是不使用探伤手段的。

在研究领先使用飞机的技术状况，飞行器进行持久性试验以及在确定航空技术装备的故障原因时，探伤检验起着很大的作用。在这些情况下，受检零件的数量和检验深度要比定期检验时大得多，并由专用大纲作出规定。

在航空事业发展的现阶段，使用条件下的探伤法的作用日益增大已经成为客观规律。这是由以下因素决定的：

——航空技术装备日趋复杂，飞行器本身的作战和运输能力不断扩大，它的价格要比首批喷气式飞机贵几十倍；这就导致在完成同样任务时所需要的飞机数量大为减少，而对飞行器可靠性的要求却显著提高；

——飞行器的视情维修日益发展；实行这种维修方式，要求在使用中对机体和发动机高负荷零件进行探伤检验的范围与深度，都显著地增大了。

§ 1.2 航空技术装备零件材料密实性的缺陷

在使用过程中应用无损探伤法的主要目的是检测材料的不密实性（非金属杂质、微裂纹等）。不密实性通常在任何一种材料中都会有的，然而并不是所有的不密实性都

是缺陷。零件有了缺陷，有的应该报废，有的尚可继续使用，但须在缺陷发展到临界尺寸之前注意观察。

根据苏联国家标准ГОСТ 17102-71规定，产品只要有一条不符合标准文件的要求，就叫做缺陷。缺陷按一系列特征进行分类，如按所局限的范围、按相对于零件表面的位置、按产生的时间、按相对于有效应力的取向、按危险程度等。

按缺陷所局限的范围，可分为局部缺陷和整个零件或零件的绝大部分都有缺陷。

按相对于零件表面的位置，可分为表面缺陷、近表面（离表层小于一毫米处）缺陷与内部缺陷。

按产生的时间，可分为生产工艺缺陷和使用缺陷。按此特征以及按缺陷种类进行的近似分类如表1所示。

按相对于有效应力的取向，可分为横向缺陷和纵向缺陷。

按危险程度（根据苏联国家标准ГОСТ17102-71，为了选择检验方法与检验手段），缺陷可分为临介缺陷、有较大影响的缺陷和无较大影响的缺陷。这种划分考虑了缺陷的性质、尺寸及其在零件上的位置，材料对应力集中的敏感性，零件结构特点和用途，零件加载的性质（静力加载、重复静力加载、动力加载），温度，介质的腐蚀性等等。

临介缺陷，是指那些导致零件从飞行安全考虑不允许再继续使用或者使零件实际已不可能再继续使用的缺陷。比如，应力集中处所产生的任意尺寸的裂纹（转角处、螺纹处和零件的振动波节处所产生的裂纹），起落架支柱、