

中国民航无损检测人员培训教材 **CANDTB**

(第二版)

航空器渗透检测

■ 民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会 编

Hangkongqi
Shentou Jiance



中国民航出版社

014059147

V267
35-2

中国民航无损检测人员培训教材

航空器渗透检测

(第二版)

民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会 编



V267
35-2

中国民航出版社



北航

C1746428

751020410

图书在版编目 (CIP) 数据

航空器渗透检测/民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会编. —2 版. —北京: 中国民航出版社, 2014. 3

中国民航无损检测人员培训教材
ISBN 978-7-5128-0173-8

I. ①航… II. ①民… III. ①航空器-渗透检验-技术培训-教材 IV. ①V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 028693 号

航空器渗透检测 (第二版)

民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会 编

责任编辑 马 瑞
出 版 中国民航出版社 (010) 64279457
地 址 北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)
排 版 中国民航出版社录排室
印 刷 北京金吉士印刷有限责任公司
发 行 中国民航出版社 (010) 64297307 64290477
开 本 787 × 1092 1/16
印 张 10.75
字 数 233 千字
版 印 次 2014 年 3 月第 2 版 2014 年 3 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5128-0173-8
定 价 38.00 元

官方微博: <http://weibo.com/phcaac>

淘宝网店: <http://shop106992650.taobao.com>

E-mail: phcaac@sina.com

再版说明

本书作为民航无损检测人员资格鉴定与认证的培训教材，自2009年4月出版发行以来，历经四年多的教学实践，在促进民航无损检测人员培训的系统性、规范性方面发挥了重要作用；在拓宽学员知识面、加深基本原理的理解、掌握专业检测技能方面收到了良好效果，促进了民航无损检测整体水平的进一步提高。

近年来，随着民航事业的迅速发展和国内外航空器无损检测技术的进步，与本书相关部分的标准、规章等相继发生了变化；一些新方法、新技术也陆续进入航空器无损检测实际应用阶段，为了满足人员培训的需要，急需对本书进行修订和增补。为此，民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会组织国内民航系统的无损检测专家、教员及相关专业工程技术人员对本书进行了第一次修订，同时增加编写了《航空器目视检测》和《航空器红外热像检测》两本教材，目前为止，中国民航无损检测人员培训教材一共有八本，即：《航空器无损检测综合知识》、《航空器磁粉检测》、《航空器渗透检测》、《航空器涡流检测》、《航空器超声检测》、《航空器射线检测》、《航空器目视检测》和《航空器红外热像检测》，今后将根据需要继续增加。

《航空器渗透检测》本次修订的主要内容有：

1. 部分章节增加了内容：

第4章4.2增加半自动及全自动荧光检验流水线图片；4.8.1增加LED紫外灯的使用；4.11增加静电喷涂原理及使用注意事项；

第5章5.2增加B型试片的尺寸测量；

第7章7.5增加粒子过滤法荧光检测。

2. 对第6章6.1的内容进行了修改并增加了特殊清洗方法。

3. 对本书第一版中出现的印刷错误进行了全文勘误。

参与本书修订的人员：郭平、韩京华、苏金波。

民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会

2013年12月

前 言

民用航空使用的航空器，是用当今世界最新技术制造的。随着我国改革开放和经济的繁荣，民用航空事业飞速发展，航空企业引进了大批新飞机，而原有的飞机逐步老龄化，这些变化促进了航空维修业迅速发展。航空维修/检查是航空器设计的延伸，在保持航空器固有安全性和可靠性水平等方面发挥着关键作用，是航空公司使用航空器不可缺少的行业，无损检测（NDT）是航空器维修、改装和保持持续适航的重要手段。

无损检测具有显著的行业特征，不同的行业根据其检测对象的不同而采用了不同的检测方法和技术。航空器无损检测侧重于在役航空器的原位检测，主要针对民用航空器使用过程中因疲劳、腐蚀、过载和意外损伤等原因造成的缺陷进行检测。为了有针对性地培训航空器无损检测人员，民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会先后选用过中国机械工程学会无损检测学会培训教材、航空航天无损检测人员资格鉴定培训教材、中国航空维修 NDT II 级教材和国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材。这些教材是由国内各行业无损检测知名专家学者编著，内容详尽，论述准确，具有很高的理论水平和很强的实用性，为民航无损检测人员培训提供了很好的指导。但是上述教材侧重于各自行业特点，很少涉及在役航空器，与民用航空器无损检测实际联系不紧密。

为了进一步提高民航无损检测人员培训质量，民航局飞行标准司要求民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会根据航空器维修无损检测的特点，编写一套具有本行业特色的无损检测人员技术资格培训教材。按照飞行标准司的要求，民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会组织了民航系统的专家和技术人员，在总结多年从事无损检测人员培训和实际检测工作经验的基础上，参考国内其他行业培训教材和主要机型的 NDT 手册等资料，完成了本套教材的编写。

本套教材作为民航无损检测 2、3 级人员培训和自学使用，其内容分为基本部分和扩展部分，扩展部分注有“*”号，不作为 2 级人员资格鉴定考试要求。教材内容翔实，篇幅较多，教员可根据培训学时和培训大纲的要求有所取舍。

本套教材参考了中国机械工程学会无损检测学会培训教材、航空航天无损检测人员资格鉴定培训教材、国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材，在此表示感谢！

本套教材包括《航空器无损检测综合知识》、《航空器磁粉检测》、《航空器渗透检测》、《航空器涡流检测》、《航空器超声检测》、《航空器射线检测》。

其他检测方法的教材将根据需要陆续增加。

本教材在基础理论方面与先前采用过的教材保持了一致性；在专业知识和实际应用方面加入了大量航空器维修无损检测的相关知识和实例，重点讲述在役民用航空器原位无损检测基本要求、规范和程序。体现民用航空器维修的特色，将民用航空器无损检测中的典型事例升华为教材，指导检测实践，是本套教材的创新。经过 2007 年 2 级和 3 级、2007 年 2 级两期培训班使用，又进行了补充修改，正式印刷出版。参与本套教材策划、编写、审核的人员有：徐超群、陈伦、许万忠、王学民、潘建华、聂有传、张晓、李光浩、侯树聪、常士基、李淑贤、刘兆江、付杭君、胡小虎、杨剑英、郑勇、苏金波、胡良进、刘仲文、张循等。

《航空器渗透检测》一书共分 13 章，由李淑贤、侯树聪、苏金波编写，全书由侯树聪组稿、修改，由付杭君主审。

由于编写、审核人员的水平有限和时间仓促，教材中难免存在缺陷和错误，欢迎指正。

民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会

2009 年 3 月

目 录

再版说明

前言

第1章 绪论	1
1.1 渗透检测的发展历史及现状	1
1.1.1 渗透检测的发展历史	1
1.1.2 国外渗透检测状况	2
1.1.3 国内渗透检测状况	2
1.2 渗透检测的理论基础	3
1.2.1 渗透检测的定义和原理	3
1.2.2 渗透检测的基本步骤	3
1.3 渗透检测的分类	4
1.3.1 按渗透剂所含染料分类	4
1.3.2 按去除剂种类分类	4
1.3.3 按显像剂种类分类	4
1.3.4 按灵敏度等级分类	4
1.3.5 按去除剂是否含卤素分类	4
1.4 渗透检测方法的代号	5
1.4.1 类型代号	5
1.4.2 方法代号	5
1.4.3 灵敏度等级代号	5
1.4.4 显像剂代号	5
1.4.5 溶剂去除剂代号	6
1.5 渗透检测的适用性和局限性	6
1.5.1 渗透检测的适用性	6
1.5.2 渗透检测的局限性	6

第2章 渗透检测的物理化学基础	7
2.1 分子运动论和物体的内能*	7
2.1.1 分子的运动论	7
2.1.2 物体的内能	7
2.2 表面张力和表面张力系数	8
2.2.1 表面张力的形成原理*	8
2.2.2 表面张力系数	9
2.3 润湿和不润湿	11
2.3.1 润湿和不润湿现象	11
2.3.2 接触角	12
2.4 附加压强*	13
2.4.1 球形液面的附加压强	14
2.4.2 柱形液面的附加压强	15
2.5 毛细管与毛细现象	16
2.5.1 毛细现象	16
2.5.2 液体在毛细管中的高度	17
2.5.3 液体在平行板中的高度	18
2.5.4 缺陷内液面的高度*	19
2.6 表面活性和表面活性物质	20
2.6.1 表面活性	20
2.6.2 表面活性剂	21
2.6.3 表面活性物质的种类和乳化现象	21
2.6.4 胶团作用*	22
2.6.5 表面活性剂的亲水性	24
2.7 乳化作用	25
2.7.1 乳化现象和乳化作用	25
2.7.2 凝胶现象*	26
2.8 相似相溶原理	26
2.9 渗透检测中的光学基础知识	27
2.9.1 可见光和紫外线	27
2.9.2 光致发光	27
2.9.3 对比度	28
2.9.4 可见度	29

第3章 渗透检测材料	31
3.1 渗透剂	31
3.1.1 渗透剂的物理化学性能	32
3.1.2 渗透剂的主要成分	36
3.1.3 渗透剂的种类	37
3.2 去除剂	41
3.2.1 乳化剂	41
3.2.2 溶剂去除剂	44
3.3 显像剂	44
3.3.1 显像剂的作用	44
3.3.2 显像剂的综合性能	44
3.3.3 显像剂的物理性能	45
3.3.4 显像剂的化学性能	45
3.3.5 显像剂的种类、组分及特点	46
3.3.6 显像剂的灵敏度	47
3.3.7 塑料膜显像剂*	48
3.3.8 各种显像剂的优缺点比较	48
3.4 渗透检测系统的选择原则	49
3.5 国内外渗透检测材料简介*	50
3.5.1 国内渗透检测材料	50
3.5.2 国外渗透检测材料	52
第4章 渗透检测装置	55
4.1 预清洗装置	56
4.1.1 三氯乙烯蒸气除油装置*	56
4.1.2 超声波清洗	57
4.2 渗透剂施加装置	58
4.3 乳化剂施加装置	59
4.4 水洗装置	59
4.5 干燥装置	61
4.6 显像装置	61
4.7 检测场地	62

4.8	辅助设备	63
4.8.1	黑光灯	63
4.8.2	黑光强度检测仪	65
4.8.3	浓度测试仪	66
4.9	后清洗装置	67
4.10	渗透检测装置的布局*	67
4.11	静电喷涂装置	68
4.12	便携式渗透检测装置	70
第5章	渗透检测试块	72
5.1	铝合金淬火裂纹试块	72
5.2	不锈钢镀铬裂纹试块	73
5.3	黄铜板镀镍铬层裂纹试块	74
5.4	钛合金应力腐蚀裂纹试块*	76
5.5	试块的清洗和保存	76
第6章	渗透检测的基本步骤	77
6.1	表面准备或预清洗	77
6.1.1	化学方法	78
6.1.2	机械方法	79
6.1.3	特殊清洗方法	79
6.2	渗透	82
6.2.1	施加渗透剂的方法	82
6.2.2	渗透时间及温度	82
6.3	表面多余渗透剂的去除	84
6.3.1	水洗型渗透剂的去除	84
6.3.2	后乳化型渗透剂的去除	85
6.3.3	溶剂去除型渗透剂的去除	86
6.4	干燥	86
6.5	显像	87
6.6	检测	89
6.7	后清洗	91

第7章 渗透检测方法	92
7.1 水洗型渗透检测方法	92
7.2 后乳化型渗透检测法	93
7.3 溶剂去除型渗透检测方法	95
7.4 渗透泄漏检测方法*	97
7.5 几种特殊的渗透检测方法*	98
7.5.1 加载法	98
7.5.2 渗透剂与显像剂相互作用法	98
7.5.3 逆荧光法	98
7.5.4 酸洗显示的染色法	98
7.5.5 消色法	99
7.5.6 气体渗透技术	99
7.5.7 铬酸阳极化法	99
7.5.8 粒子过滤法	99
7.6 渗透检测方法的选择	99
7.6.1 渗透检测方法选择的原则	99
7.6.2 显像剂的选择	100
7.6.3 渗透检测工序安排的原则	100
第8章 渗透检测的质量控制	102
8.1 人员的资格要求	102
8.2 设备、仪器和试块的质量控制	102
8.2.1 黑光灯的质量控制	103
8.2.2 光学设备	104
8.2.3 烘箱温度控制设备	104
8.2.4 压力表、温度计	104
8.2.5 其他设备的质量控制	104
8.3 渗透检测材料的质量控制	105
8.3.1 渗透剂污染度	106
8.3.2 荧光亮度的检查	106
8.3.3 水洗型渗透剂含水量	106
8.3.4 灵敏度和去除性	107
8.3.5 乳化剂浓度	107

8.3.6 乳化剂去除性检查	107
8.3.7 显像剂的污染度	107
8.3.8 水湿型显像剂浓度	108
8.3.9 系统性能检查	108
8.4 标准、工艺或参考资料的质量控制	108
8.5 检测环境的质量控制	109
8.5.1 温度表和压力表的检查	109
8.5.2 计时器的检查	109
8.5.3 检测场所	109
8.6 MH/T3007—2004 规定的质量控制项目和周期	110
第9章 显示的解释和缺陷的评定	111
9.1 显示的分类	111
9.1.1 相关显示	111
9.1.2 非相关显示	111
9.1.3 虚假显示	112
9.2 解释和评定的要求	112
9.3 显示的解释和评价	113
9.3.1 显示的解释	113
9.3.2 显示的评价	115
9.3.3 评定等级和验收标准	116
9.3.4 缺陷的记录	116
9.3.5 渗透检测报告	117
9.4 零件的标识和标记	118
第10章 渗透检测工艺规范与技术标准	119
10.1 渗透检测工艺规范	119
10.1.1 通用工艺规范	119
10.1.2 工艺卡	119
10.1.3 工艺规范的编写	120
10.2 国内外渗透检测技术标准*	122
10.2.1 国内渗透检测标准	123
10.2.2 国外渗透检测标准	125
10.3 渗透检测规范介绍*	129

10.3.1 波音规范	129
10.3.2 空客规范	129
10.3.3 其他厂家规范	130
第11章 渗透检测的应用	132
11.1 渗透检测在制造业的应用	132
11.1.1 铸件的渗透检测	132
11.1.2 锻件的渗透检测	133
11.1.3 焊接件的渗透检测	133
11.1.4 机加工件的渗透检测	134
11.1.5 非金属件的渗透检测	135
11.1.6 外场及使用中零件的渗透检测	135
11.2 渗透检测在航空器维修领域的应用	135
11.2.1 渗透检测在飞机上原位检测的应用	136
11.2.2 渗透检测在部件大修(翻修)中的应用	139
第12章 防护与安全	145
12.1 卫生安全	145
12.1.1 渗透检测材料对人体健康的危害	145
12.1.2 黑光的生理效应	147
12.2 渗透材料废液污染的控制	148
12.3 防火安全	149
第13章 渗透检测实验	151
13.1 黑光灯强度的测量方法	151
13.2 荧光渗透剂荧光亮度的测量	151
13.3 亲水型乳化剂浓度的测量	152
13.4 水洗型渗透剂的去除性能测定	153
13.5 渗透检测综合性能控制	153
参考文献	156

第1章 绪论

1.1 渗透检测的发展历史及现状

1.1.1 渗透检测的发展历史

人们在长期生产实践中发现户外存放的钢板、铁路轨道上的铁轨表面如果存在裂纹，经过长期风吹雨淋，水会渗入到裂纹中，导致这些位置形成的铁锈氧化物比其他表面多，因此可以利用铁锈的位置及分布状态来粗略判断裂纹的位置和分布状态。

“油一白”方法是被公认为最早的一种渗透检测方法，这种方法是将重滑油稀释在煤油中作为渗透剂，将这种渗透剂施加在零件上一定时间后，用浸有煤油的布把零件表面擦净，再涂上白粉和酒精混合的悬浮液，待酒精挥发后，如果表面存在开口缺陷，缺陷中的渗透剂会被吸出并在均匀白色背景的零件表面上呈现深黑色的裂纹显示。虽然当时只有粗裂纹或表面孔洞可以通过“油一白”方法检测，但这种方法能够发现一些目视难以发现的缺陷，在铁道、焊接等领域开始应用。

20世纪30年代，对于铁磁体材料，磁粉检测技术开始代替渗透检测并在工业领域广泛应用。由于磁粉检测不仅能够发现表面开口缺陷，也可以发现近表面缺陷，特别适用于表面开口被堵塞或被污染的缺陷检测，同时磁粉检测比当时渗透检测工艺的灵敏度高，在铁磁体材料检测的方面已经完全代替了渗透检测。随着工业的发展，特别是航空、航天业的发展，越来越多的有色金属和非铁磁体材料（铝、镁、钛及合金等）被广泛应用，对于这些材料，磁粉检测表现无能为力，重新促进了渗透检测的发展。

20世纪40年代初期，美国斯威策（R. C. Switzer）等人对渗透剂进行了大量的测试研究，并最先把荧光染料加到渗透剂中增强显示的对比度。将荧光染料加入到渗透剂中，在黑光灯的照射下，荧光染料发出的荧光更容易被观察到，从而大大提高了检测灵敏度，使渗透检测进入到了一个新的阶段，也使渗透检测与其他无损检测方法一样发展成为一种广泛应用的无损检测方法。

渗透检测是检测非多孔性材料表面开口缺陷的一种无损检测方法，它具有以下优点：不受被检零件形状、大小、组织结构、化学成分和缺陷方位的限制；操作简单，可

以不需特别复杂的检测设备；缺陷显示直观，灵敏度高，一次操作能检测出各种方向的缺陷，因而，它成为检测表面缺陷的三种常用无损检测（磁粉检测、渗透检测和涡流检测）方法之一。

随着现代科学技术的不断发展，对渗透检测的要求也越来越高，促使更高灵敏度渗透剂相继问世，渗透检测的灵敏度也达到微米级。渗透检测材料也逐渐形成系列化及商品化，检测方法及检测手段日益趋于完善，已经实现了标准化，在提高产品检测的可靠性、提高检测速度及降低成本方面，均取得了新的成果。

1.1.2 国外渗透检测状况

20世纪50年代前后，美国军方相继制定了渗透检测工艺规范及渗透检测材料规范，这些规范代表了当时渗透检测方法的国际工艺水平，被世界公认为渗透检测的权威性规范，英国、法国、日本等国也有反映本国渗透检测水平的规范。

20世纪60年代以后，国外渗透检测发展很快，美、英、日等国渗透检测已完全标准化和系列化。渗透检测材料种类齐全，能满足各种不同渗透检测的要求，其中具有良好水洗性的渗透剂用于粗糙表面的检测；限制氯、氟、硫含量的渗透剂用于航空航天工业及核工业的钛合金、镍基合金及奥氏体不锈钢材料检测；用于检测塑料而不会引起塑料溶解或变色的渗透材料；适用于50℃~125℃高温检测的材料，能确保高温渗透检测的灵敏度和可靠性。

随着渗透检测技术的不断发展，国外也相继出现了一些专门供应渗透检测设备和渗透检测材料的公司。最出名的有美国磁通（MAGNAFLUX）、英国阿觉克斯（ARDROX）、日本美科达（MARKTEC）、德国蒂尔德（TIEDE）、Met-L-Chek、Sherwin、Ely Chemicals 等公司。

1.1.3 国内渗透检测状况

20世纪50年代初期，我国国内所用的荧光渗透剂配方来自前苏联，由煤油和MK-22滑油组成，在黑光灯照射下发浅兰色荧光，亮度很低，灵敏度也不高，检测工艺也很落后，使用木屑干燥，反复使用容易受到污染。

20世纪50年代后期至60年代初期，中苏关系恶化后，无法进口MK-22滑油，国内生产的MC-20滑油在作用上虽然相当于MK-22，但发光亮度更低，灵敏度更差，所以在85%煤油加15%MC-20滑油的渗透剂中添加了荧光剂，增强了荧光渗透剂的发光强度，使灵敏度得到提高，但稳定性低，清洗效果差。有的单位在渗透剂中加入荧蒽，虽然提高了发光强度，但蒽油是煤焦油的副产品，对人体有害。在这一时期，具有较高检测灵敏度的着色渗透剂也研制出来。

20世纪70年代，上海材料研究所、北京航空材料研究所、西安飞机制造公司等单位协作研制出新的荧光水洗型和后乳化型渗透剂，其某些性能已达到国外同类产品水平。国内渗透检测材料虽有较大的发展，但品种上仍不齐全，没有达到系列化和标准化，与国外的产品仍有一定的差距。

目前渗透检测已在我国国内各工业部门广泛应用,并在不断发展和提高中,但渗透检测设备及渗透剂的制造和定期检测仍存在不少问题,主要集中在灵敏度、清洗性和润湿性,酸度(pH)值,闭口闪点,对铝、镁合金锻件的腐蚀性,氟、氯、硫杂质含量,毒性及黏度等方面。荧光渗透剂的性能不够稳定,存放时间长了会产生分层及沉淀;荧光渗透剂中的硫、氯、氟等微量有害元素的测定及控制还不能达到要求;松散状态的干粉显像剂的密度偏大;水溶和水悬浮型显像剂的国内技术比较低;渗透检测的工艺、方法及标准的质量水平也有待提高。

1.2 渗透检测的理论基础

1.2.1 渗透检测的定义和原理

渗透检测是一种以毛细作用为理论基础的用于检测非多孔性金属或非金属材料中开口到表面的不连续性的一种无损检测方法。

其原理是将含有染料的渗透剂施加到被检测物体表面上,如果存在开口到表面的不连续,渗透剂在毛细作用下会进入到不连续性中,去除表面多余的渗透剂并施加显像剂,不连续性中的渗透剂会被吸出形成显示,如图1.1所示。



图 1.1 渗透检测的基本原理

1.2.2 渗透检测的基本步骤

一般来说,渗透检测有6个基本步骤:表面预处理、施加渗透剂、去除多余的渗透剂、显像、检测、后处理,如图1.2所示。

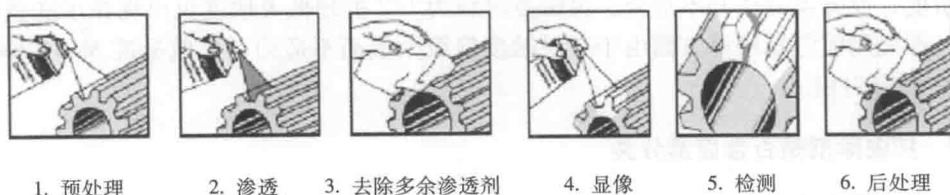


图 1.2 渗透检测的6个基本步骤