

中航工业检测及焊接人员资格鉴定与认证
系列培训教材

航空非金属材料性能测试技术

3 油料与涂料

航空非金属材料性能鉴委会
李凤兰 于 献 马永福

组织编写
编 著



化学工业出版社

中航工业检测及焊接人员资格鉴定与认证
系列培训教材

航空非金属材料性能测试技术

3 油料与涂料

航空非金属性能鉴委会 组织编写
李凤兰 于 献 马永福 编 著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书系统介绍了油料和涂料两类非金属材料的种类、结构、性能、制备、用途等基础知识,工艺特征与性能测试等专业知识。重点描述了材料的性能测试方法,包括试验原理、试验方法、操作步骤要求、数据处理、试验异常处理等。试验方法基本覆盖了航空、航天对该材料要求的各项性能,并与国外相应的试验方法进行了比较;性能测试从原理入手,对设备和试样要求、试验步骤、数据处理及影响因素进行阐述。本书是航空非金属材料性能测试技术培训教材,其知识结构和深度符合 HB7475 中 II 级资格证的要求,适用于油料、涂料技术人员及分析检测人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

航空非金属材料性能测试技术. 3. 油料与涂料/李凤兰,于献,马永福编著;航空非金属材料性能鉴委会组织编写. —北京:化学工业出版社,2014.11

ISBN 978-7-122-21889-6

I. ①航… II. ①李… ②于… ③马… ④航… III. ①航空材料-非金属材料-性能检测②航空油料-性能检测③航空材料-涂料-性能检测 IV. ①V250.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 220669 号

责任编辑:李晓红
责任校对:宋 夏

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张14¼ 字数262千字 2014年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-645198899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:58.00 元

版权所有 违者必究

编审委员会

主 任 李 伟

副主任 李 莉 陶春虎

成 员（以姓氏笔画为序）

于 浩	王 斌	王宇魁	尹泰伟	叶 勇
史亦韦	吕 健	刘 嘉	刘昌奎	刘晓燕
闫秀芬	李 伟	李 泽	李 剑	李 莉
李秀芬	杨国腾	杨春晟	杨胜春	何 军
何玉怀	张世林	张田仓	张学军	张银东
武振林	苗蓉丽	欧阳小琴	季 忠	金冬岩
胡成江	侯丽华	徐友良	郭广平	郭子静
陶春虎	黄玉光	章菊华	熊 瑛	

编审委员会秘书处

主 任 宋晓辉

成 员	马 瑞	马文利	任学冬	李 彦	李 轩
	宋晓辉	张文扬	周静怡	赵 梦	盖依冰
	焦泽辉	谢文博	程 琴		



公元前 2025 年的汉谟拉比法典，就提出了对制造有缺陷产品的工匠给予严厉的处罚，当然，在今天的以人为本的文明世界看来是不能予以实施的。即使在当时，汉谟拉比法典在总体上并没有得到真正有效的实施，其主要原因在于没有理化检测及评定的技术和方法用以评价产品的质量以及责任的归属。从公元前 2025 年到世界工业革命前，对产品质量问题处罚的重要特征是以产品质量造成的后果和负责人为对象的，而对产品制造过程和产品质量的辨识只能靠零星、分散、宏观的经验世代相传。由于理化检测和评估技术的极度落后，汉谟拉比法典并没有解决如何判别造成质量问题和失效的具体原因的问题。

近代工业革命给人类带来了巨大物质文明，也不可避免地给人类带来了前所未有的灾难。约在 160 多年前，人们首先遇到了越来越多的蒸汽锅炉爆炸事件。在分析这些失效事故的经验教训中，英国于 1862 年建立了世界上第一个蒸汽锅炉监察局，把理化检测和失效分析作为仲裁事故的法律手段和提高产品质量的技术手段。随后在工业化国家中，对产品进行检测和分析的机构相继出现。而材料和结构的检测开始受到重视则是近半个世纪的事情。第二次世界大战及后来的大量事故与故障，推动了力学、无损、物理、化学和失效分析的快速发展，如断裂力学、损伤力学等新兴学科的诞生以及扫描电镜、透射电镜、无损检测、化学分析等大量的先进分析设备等的应用。

毋庸置疑，产品的质量可靠性要从设计入手。但就设计而言，损伤容限设计思想的实施就需要由无损检测和设计用力学性能作为保证，产品从设计开始就应考虑结构和产品的可检性，需要大量的材料性能数据作为设计输入的重要依据。

就材料的研制而言，首先要检测材料的化学成分和微观组织是否符合材料的设计要求，性能是否达到最初的基本设想。而化学成分、组织结构与性能之间的协调关系更是研制高性能材料的基础，对于材料中可能存在的缺陷，更需要无损检测的识别并通过力学损伤的研究提供判别标准。

就构件制造而言，一个复杂或大型结构需要通过焊接来实现，要求在结构设计时就对材料可焊性和工艺可实施性进行评估，使选材具有可焊性，焊接结构具有可实施性，焊接接头缺陷具有可检测性，焊接操作者具有相应的技能水平，这样才能获得性能可靠的构件。

检测和焊接技术在材料的工程应用中的作用更加重要。失效分析作为服役行为

和对材料研制的反馈作用已被广泛认识，材料成熟度中也已经考虑了材料失效模式是否明确；完善的力学性能是损伤容限设计的基础，材料的可焊性、无损检测和失效模式不仅是损伤容限设计的保证，也是产品安全和可靠使用的保证。

因此，理化检测作为对材料的物理化学特性进行测量和表征的科学，焊接作为构件制造的重要方法，在现代军工产品质量控制中具有非常重要的地位和作用，是武器装备发展的重要基础技术。理化检测和焊接技术涉及的范围极其广泛，理论性与实践性并重，在军工产品制造和质量控制中发挥着越来越重要的作用。近年来，随着国防工业的快速发展，材料和产品的复杂程度日益提高，对产品安全性的保证要求越来越严格；同时，理化检测和焊接新技术日新月异，先进的检测和焊接设备大量应用，对理化检测和焊接从业人员的知识、技能水平和实践经验都提出了更高的要求。

为贯彻《军工产品质量管理条例》和 GJB《理化试验质量控制规范》，提高理化检测及焊接人员的技术水平，加强理化实验室的科学管理和航空产品及科研质量控制，中国航空工业集团公司成立了“中国航空工业集团公司检测及焊接人员资格认证管理中心”，下设物理冶金、分析化学、材料力学性能、非金属材料性能、无损检测、失效分析和焊工七个专业人员资格鉴定委员会，负责组织中航工业理化检测和焊接人员的专业培训、考核与资格证的发放工作。为指导培训和考核工作的开展，中国航空工业集团公司检测及焊接人员资格认证管理中心组织有关专家编写了“中航工业检测及焊接人员资格鉴定与认证系列培训教材”。

这套教材由长期从事该项工作的专家结合航空工业的理化检测和焊接技术的需求和特点精心编写而成，包括了上述七个专业的培训内容。教材全面、系统地体现了航空工业对各级理化检测和焊接人员的要求，力求重点突出，强调实用性而又注意保持教材的系统性。

这套教材的编写得到了中航工业质量安全部领导的大力支持和帮助，也得到了行业内多家单位的支持和协助，在此一并表示感谢。

中国航空工业集团公司
检测及焊接人员资格认证管理中心



以高分子为基础的非金属材料,包括复合材料、橡胶、密封剂、塑料、纺织材料、胶黏剂、油料、涂料 8 类材料,由于具有密度小、重量轻等优点,在飞机、火箭等航空、航天器上的应用日益广泛和重要。以复合材料为例,在 B787 的飞机结构重量中占 50% 以上,在 A380 飞机上占 25% 以上,且应用于机翼、机身、垂尾、平尾、地板梁、整流罩、部分舱门、发动机机匣等重要部位。橡胶密封件用于飞机、航天器的液压系统、滑油系统、燃油系统、环境控制系统等,需在使用温度、系统压力等作用下具有良好的密封稳定性,否则影响飞行器的可靠性,甚至发生重大飞行事故,如美国挑战者号航天飞机就因密封圈失效造成了空中爆炸。密封剂是飞机整体油箱的关键材料,燃料性能更是飞机飞行安全的保证……。总之,非金属材料作为重要功能材料或结构材料,其性能直接决定了飞行器的飞行安全性和经济性。

航空非金属材料的性能测试,作为航空工业的重要技术基础,是确保装机产品质量,实施产品质量控制的重要手段。

中航工业非金属性能鉴定委员会(以下简称鉴委会)是“中国航空工业集团公司检测及焊接人员资格认证管理中心”下属的 7 个专业人员资格鉴定委员会之一,其主要任务是依据 HB7475《航空非金属性能检测人员的资格鉴定》对从事航空非金属材料性能测试的人员进行技术培训和资格考核。鉴委会成立于 1989 年,25 年来为国内航空工业培训并考核了数千名非金属材料性能检测人员,同时也有来自包括航天、兵器、核工业、空军修理厂、汽车制造业等行业的检测人员。

为配合培训和考核工作的开展,20 世纪 90 年代初,鉴委会的张向宇、杨力东、邵毓俊、杜灵玄、周以珪、陈慧敏等同志编写了《非金属性能检测丛书》,包括《复合材料测试》、《塑料测试》、《胶黏剂测试》、《橡胶测试》、《密封剂测试》、《特种纺织品及性能检测》、《涂料测试》、《油料测试》8 册,在对检测人员的培训和资格鉴定过程中发挥了重要作用。随着航空工业的发展,新材料、新技术、新设备的不断涌现,需要重新编写培训教材。从 2002 年开始,鉴委会编制了新的培训教材,并随后逐年进行修订、更新。在此基础上,2011 年对教材再次进行全面更新,经 3 年来的试用和完善,完成了这套《航空非金属材料性能测试技术》的编著。

《航空非金属材料性能测试技术》按材料分为 5 个分册,包括《橡胶与密封剂》、《塑料与纺织材料》、《胶黏剂》、《油料与涂料》和《复合材料》,与新修订的 HB7475《航空非金属性能检测人员的资格鉴定》的专业划分相适宜,也与各航空企业内测试

专业的设置相符合。各分册的章节设置大致相同，简要介绍了材料的结构、组成等基础知识，工艺特征、性能测试等专业知识。重点阐述了材料的性能测试方法，包括试验原理、试验方法、操作步骤要求、数据处理、试验异常处理和案例分析等，旨在提高检测人员的检测水平和对实验数据处理、分析能力，其知识结构和深度符合 HB7475 的要求。

《航空非金属材料性能测试技术》是为中航工业航空非金属材料性能检测人员技术培训、考核和资格鉴定工作编写的，也可供其他从事非金属材料性能检测的专业人员学习和参考。编著者均为中航工业科研院所及飞机、发动机厂的专业人员，有着 20 多年从事航空非金属材料性能测试的技术、学术实践和培训教学经验。其中，《油料与涂料》由李凤兰、于献、马永福编著，全书由章菊华统稿。

《油料与涂料》分为油料、涂料两部分。油料部分介绍了当前航空上使用的油料的基础知识、物理性能测试、化学性能测试、试验室常用物品及安全知识等。涂料部分对基础知识、施工工艺和物理、化学性能测试等均进行了介绍。本分册重点描述了两种材料的性能测试方法，包括试验原理、试验方法、操作步骤要求、数据处理、影响因素等。试验方法基本覆盖了航空、航天对该材料要求的各项性能，并与国外相应的试验方法进行了比较。

本分册在编写过程中参考了国内外的相关著作、文章和标准，从中得到了许多启发和帮助。需要特别说明的是，油料部分是在西安航空动力股份有限公司苏成桂高工编写的 2002 版培训教材的基础上完成的，在此对苏成桂高工表示特别感谢。全书得到了北京航空材料研究院橡胶与密封研究所所长刘嘉研究员的大力支持，同时北京化工大学的何立凡、西安航空动力股份有限公司的李航等也参与了审校工作，在此一并表示感谢。

由于水平有限，书中难免有疏漏和错误之处，敬请读者批评指正。

编著者
2014 年 9 月

第一篇 油 料

1 基础知识	002
1.1 概述	002
1.2 分类与组成	002
1.2.1 分类	002
1.2.2 组成	004
1.3 性能与用途	008
1.3.1 航空汽油的性能和用途	008
1.3.2 喷气燃料的性能和用途	010
1.3.3 航空液压油的性能和用途	011
1.3.4 航空润滑油的性能和用途	012
1.3.5 航空润滑脂的性能和用途	014
1.3.6 固体润滑剂	015
1.4 常用油料	015
1.4.1 航空燃料	015
1.4.2 航空润滑油	016
1.4.3 航空液压油	018
1.4.4 航空润滑脂	019
1.4.5 固体润滑剂	025
2 物理性能的测定	029
2.1 密度的测定	029
2.1.1 定义及原理	029
2.1.2 仪器、设备	029
2.1.3 操作要点	030
2.1.4 结果评定	031
2.1.5 讨论	031
2.2 黏度及锥入度的测定	032
2.2.1 石油产品黏度的测定	032
2.2.2 润滑脂锥入度的测定	034
2.3 馏程的测定	036

2.3.1	概述	036
2.3.2	馏程测定法	037
2.4	冰点与凝点的测定	039
2.4.1	概述	039
2.4.2	冰点测定法	040
2.4.3	凝点的测定	040
2.4.4	倾点的测定	042
2.5	杂质分析	043
2.5.1	润滑脂的检验	043
2.5.2	油中杂质的检验	049
2.6	安定性的测定	056
2.6.1	润滑脂滴点的测定	056
2.6.2	润滑脂胶体安定性的测定	059
3	化学性能试验	062
3.1	水溶性酸或碱及酸值的测定	062
3.1.1	水溶性酸或碱	062
3.1.2	润滑油酸值的测定	063
3.2	闪点及燃点的测定	068
3.2.1	开口闪点及燃点	068
3.2.2	闭口闪点的测定	069
3.3	化学安定性的测定	070
3.3.1	实际胶质测定法	070
3.3.2	氧化腐蚀测定	072
3.3.3	润滑油氧化安定性的测定	075
3.3.4	润滑脂化学安定性试验	078
3.4	腐蚀性试验	081
3.4.1	润滑油 232℃ 腐蚀测定法	081
3.4.2	石油产品铜片腐蚀试验法	082
3.4.3	润滑脂腐蚀试验法	083
3.4.4	润滑脂防护性能测定	084
4	防锈油脂的防锈性试验方法	086
4.1	防锈油脂湿热试验方法	086
4.1.1	测定湿热试验用湿热箱设备	086
4.1.2	结果评级	087
4.2	防锈油脂盐雾试验方法	087

4.2.1	测定盐雾试验用的标准盐雾箱	087
4.2.2	结果评定	087
4.3	防锈油脂的防护性能试验	087
4.4	湿热试验和盐雾试验测定过程注意事项	088
5	航空油料及润滑脂国内外常用试验方法	089
6	试验室常用物品及安全知识	092
6.1	化学试剂	092
6.1.1	化学试剂的等级	092
6.1.2	试剂的取用方法	092
6.1.3	使用试剂注意事项	093
6.2	玻璃仪器	093
6.2.1	常用玻璃仪器	093
6.2.2	玻璃仪器的洗涤	096
6.2.3	玻璃仪器的干燥	096
6.3	加热仪器	096
6.3.1	电热恒温水浴锅	096
6.3.2	电热恒温干燥箱	097
6.3.3	高温炉	097
6.4	零星常用物品	098
6.4.1	常用干燥剂	098
6.4.2	常用制冷剂	098
6.4.3	其他常用物品	098
6.5	试验室安全知识	099
6.5.1	油料试验室人员遵守规则	100
6.5.2	一般伤害的救护	100
6.5.3	试剂的使用与保管	101
6.5.4	试验室灭火常识	102
参考文献		103

第二篇 涂 料

7	基础知识	106
7.1	涂料的作用和基本特性	106
7.1.1	涂料的作用	106
7.1.2	涂料的基本特性	107

7.2	涂料的组成和分类	109
7.2.1	涂料的组成	109
7.2.2	涂料的分类	110
7.3	涂料的命名与型号	112
7.3.1	涂料的命名	112
7.3.2	涂料型号	112
7.4	涂料施工	114
7.4.1	涂料的成膜过程	114
7.4.2	涂料的成膜方式	115
7.4.3	涂层系统的选择	117
7.4.4	涂料的施工方法	118
7.4.5	涂装的施工程序	120
7.4.6	涂层的病态及其原因	122
7.5	航空涂料的主要品种	123
7.5.1	醇酸树脂涂料	123
7.5.2	氨基涂料	124
7.5.3	硝基涂料	125
7.5.4	过氯乙烯涂料	127
7.5.5	丙烯酸涂料	128
7.5.6	环氧涂料	129
7.5.7	聚氨酯涂料	130
7.5.8	有机硅涂料	132
7.5.9	特种涂料	133
8	涂料的物理和化学性能测试	134
8.1	涂料产品取样	134
8.1.1	产品类型	134
8.1.2	取样数目	134
8.1.3	盛样容器和取样器械	135
8.1.4	待取样产品的初检	135
8.1.5	取样	136
8.2	密度的测定	137
8.2.1	原理	137
8.2.2	仪器设备	137
8.2.3	试验步骤	138
8.2.4	结果评定	138

8.2.5	讨论	139
8.3	固体含量及挥发物和不挥发物的测定	139
8.3.1	固体含量的测定	139
8.3.2	挥发物和不挥发物的测定	141
8.4	黏度和细度的测定	142
8.4.1	黏度的测定	142
8.4.2	细度的测定	146
8.5	酸值、酸价和皂化值的测定	148
8.5.1	酸值的测定	148
8.5.2	酸价的测定	150
8.5.3	皂化值的测定	152
9	涂膜施工及表现性能的测定	154
9.1	涂膜制备及状态调节	154
9.1.1	涂膜一般制备法	154
9.1.2	测定耐湿热、耐盐雾、耐候性(人工加速)的漆膜制备法	156
9.1.3	绝缘漆漆膜制备法	157
9.1.4	涂料试样状态调节和试验的温湿度	158
9.2	光泽、颜色及外观的测定	158
9.2.1	光泽的测定	158
9.2.2	颜色及外观的测定	160
9.3	涂膜干燥性能的测定	161
9.3.1	表面干燥试验方法	162
9.3.2	漆膜、腻子膜干燥时间测定	162
9.4	涂膜的流平性及流挂性测定	164
9.4.1	流平性的测定	164
9.4.2	流挂性的测定	165
9.5	涂膜厚度与遮盖力的测定	166
9.5.1	厚度的测定	166
9.5.2	遮盖力的测定	168
10	涂膜力学性能的测定	171
10.1	柔韧性与冲击强度的测定	171
10.1.1	柔韧性的测定	171
10.1.2	弯曲试验	172
10.1.3	冲击强度的测定	174
10.2	硬度的测定	176

10.2.1	摆杆阻尼硬度的测定	176
10.2.2	铅笔硬度的测定	178
10.2.3	划痕硬度的测定	179
10.2.4	压痕试验	180
10.3	涂膜附着力的测定	181
10.3.1	画圈法附着力测定	182
10.3.2	划格法附着力的测定	183
10.3.3	拉开法附着力测定	185
10.3.4	附着力测定结果讨论	186
11	涂膜的耐介质和耐环境性能的测定	188
11.1	耐介质性测定	188
11.1.1	耐水性的测定	188
11.1.2	耐汽油性测定	189
11.1.3	耐化学试剂性测定	190
11.1.4	耐盐雾测定	191
11.2	耐环境性测定	192
11.2.1	耐热性测定	192
11.2.2	耐湿热测定	193
11.2.3	耐霉菌测定	194
11.2.4	漆膜的人工气候老化和人工辐射暴露测定	196
12	涂膜的其他物理性能测定	198
12.1	耐磨性的测定	198
12.1.1	原理	198
12.1.2	材料和仪器设备	198
12.1.3	试验步骤	199
12.1.4	讨论	199
12.2	磨光性的测定	199
12.2.1	原理	199
12.2.2	材料及仪器设备	199
12.2.3	试验步骤	200
12.2.4	试验结果评定	200
12.3	耐码垛性试验	200
12.3.1	原理	200
12.3.2	仪器设备及材料	200
12.3.3	试验步骤	201

12.3.4	结果评定	201
12.4	杯突试验	202
12.4.1	原理	202
12.4.2	设备及材料	202
12.4.3	试验步骤及结果判定	202
12.5	无印痕试验	203
12.5.1	原理	203
12.5.2	材料及设备	203
12.5.3	试验步骤及评定结果	204
12.5.4	讨论	204
13	绝缘漆漆膜特殊性能测定	205
13.1	绝缘漆漆膜吸水率和耐油性的测定	205
13.1.1	绝缘漆漆膜吸水率的测定	205
13.1.2	绝缘漆漆膜耐油性的测定	206
13.2	绝缘漆的体积电阻和表面电阻	206
13.2.1	原理	206
13.2.2	材料和仪器设备	206
13.2.3	测定方法	207
13.2.4	结果评定	208
13.3	绝缘漆耐击穿强度的测定	208
13.3.1	原理	208
13.3.2	材料和仪器设备	208
13.3.3	测试方法	209
13.3.4	结果评定	209
13.4	绝缘漆耐电弧性的测定	210
13.4.1	原理	210
13.4.2	材料和仪器设备	210
13.4.3	试验步骤	210
13.4.4	结果评定	211
13.4.5	讨论	211
14	国内外涂料试验方法	212
	参考文献	214

第一篇 油料

航空非金属材料性能测试技术

3

油料与涂料

1

基础知识

1.1 概述

航空油料是航空燃料、液压油、航空特种仪表油和航空润滑材料的总称。

航空燃料是飞机的动力源，同时还是润滑系统、液压系统及许多部件、设备的优良冷却剂，并兼作燃油系统摩擦部件的润滑剂。现代大型远程飞机中，燃油质量超过飞机总质量的 50%，燃油消耗费用也占飞机材料直接费用的一半以上。

多种形态的润滑材料是飞机、发动机及机载设备上各系统不可缺少的功能材料。因使用部位和工作条件截然不同，润滑材料的作用、状态和性能要求差别很大。正确合理的选用润滑材料对保障飞机、发动机及各机载设备的正常工作和飞机飞行安全起着非常重要的作用，它们虽然不是结构材料，但在航空材料中却占有特别重要的地位。

1.2 分类与组成

1.2.1 分类

航空油料按功能可分为：燃料、润滑油、液压油、特种仪表油、润滑脂及固体润滑剂等几大类材料，每一类材料按其组成，或特性，或用途的不同而进行分类。其中固体润滑剂是近些年发展起来的一种新型润滑材料，从形态上、组成上区别于传统的润滑油和润滑脂，已越来越多的应用于飞机、发动机和机载设备的需要特殊部位。