



航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 工艺检测 ·

航空工业出版社

9414652



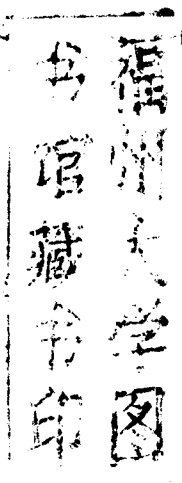
9414652

航空制造工程手册

工艺检测

《航空制造工程手册》总编委会 主编

V21-62
239



航空工业出版社

1 9 9 3

(京)新登字 161 号

内 容 提 要

本分册是我国第一部航空制造工艺检测技术工具书,它在汇集 40 年来航空工艺检测工作丰富经验的基础上,广泛搜集、消化、吸收了国外的先进技术,由几十名专家、学者和专业人员参与,较全面地介绍了航空工艺检测中的主要专业——无损检测技术和几种形位测量特殊方法的基本原理、检测方法和设备,并以实例说明了应用范围和效果。对军、民用飞机生产有指导作用和广泛的实用价值。

本书共分 4 篇计 24 章。第 1 篇简要介绍了工艺检测的基本概念。第 2 篇为各种无损检测方法,包括漏磁场、涡流、电位、微波与介电常数等电磁检测技术;超声、声发射、声-超声、声振、声全息等声学检测技术;X、 γ 和中子等射线检测技术;激光全息和其他光学检测技术;红外和其他热学检测技术;液体渗透检验和渗漏检验;对粉末冶金制件、复合材料结构、陶瓷结构件的无损检测也作了专题综合介绍。第 3 篇叙述了特殊形位测量技术,包括坐标测量、线值和角度的特种测量。第 4 篇介绍了工艺检测的可靠性和验收标准的制订与应用。

本分册可作为航空工艺检测专业人员的实用参考书,也可供其他制造业工艺检测人员、航空产品设计人员和工艺人员参考。本书有助于航空院校有关专业的师生掌握航空工艺检测的实践知识。

航空制造工程手册

工艺检测

《航空制造工程手册》总编委会 主编

责任编辑 郭 洪

©1993

航空工业出版社

(北京市安外小关东里 14 号)

— 邮政编码: 100029 —

全国各地新华书店经售

煤炭工业出版社印刷厂印刷

1993 年 12 月第 1 版 1993 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 51.375

印数: 1—2000 字数: 1346 千字

ISBN 7-80046-682-5/TH·028 (平装)

ISBN 7-80046-683-3/TH·029 (精装)

定价: 78.00 元 (平装) 95.00 元 (精装)

序

我国航空工业已走过了四十余年的历程,从飞机的修理、仿制到自行研制,航空制造工程得到很大的发展。在航空高科技产业的大系统中,航空制造工程是重要的组成部分之一。航空工业,就其行业性来讲,属于制造业范畴。航空制造工程的技术状况,是衡量一个国家科学技术发展综合水平的重要标志。航空制造工程的发展水平,对飞机的可靠性和使用寿命的提高、综合技术性能的改善、研制和生产成本的降低、甚至总体设计思想能否得到具体实现等均起着决定性作用。

航空制造工程已成为市场竞争的重要基础,要发展航空工业、并有效地占领市场,不仅要不断地更新设计,开发新产品,更重要的是要具备一个现代化的航空制造工程系统。在发达国家中,均优先发展航空制造工程,很多新工艺、新材料、新设备、新技术都是在航空制造工程中领先使用的,因此必须从战略高度予以重视,并采取实际而有效的措施加速它的发展。编写《航空制造工程手册》,就是为实现航空制造工程现代化的战略目标,在制造工程领域进行的基础性工作。

四十年来,我国航空工业积累了大量经验,取得了丰硕的成果,特别是改革开放以来,开扩了视野并有可能汲取更多的新科技信息。但是如何将这容量浩繁、层次复杂、学科众多的科学技术和经验汇集起来,使之成为我国航空工业、乃至国家的珍贵财富,是一项具有重大实用价值和长远意义的任务,为此航空航天部决定组织全行业的力量,统一计划、统一部署完成这项极其复杂的规模巨大的系统工程。大家本着继往开来的历史责任感和紧迫感,从1989年开始组织航空工业全行业制造工程方面造诣至深的专家、教授、学者,经过几年的努力陆续编写出版了这套基本覆盖航空制造工程各专业各学科的包括三十二个分册、几千万字的《航空制造

工程手册》。

编好这套手册是一项十分艰巨的工作。大家始终坚持求实、求新、求精、求是的原则,在确保鲜明航空特色的前提下,在总体内容上强调实用性、综合性、成套性;在表达形式上,以技术数据、图形表格、曲线公式为主;阐述扼要,结论严谨,力求使手册成为一部概念准确、数据可靠、文字简洁、编排合理、查阅方便,能为广大从事航空制造工程的科技人员提供有益指导和参考的工具书。

首次组织编纂大型手册,缺乏经验,还由于过去资料积累基础比较薄弱,新技术发展迅速和深度广度不断增加,使这项工作带有相当程度的探索性,因之错误与不足之处实为难免,恳切希望广大读者给予指正。对在这套手册编写过程中给予支持的单位和付出辛勤劳动,提供资料,参与编写,评审,出版的同志们表示衷心感谢。由于我国航空制造工程与世界水平尚存在较大差距,这套手册出版之后,还有不断求新、完善的必要,《航空制造工程手册》总编委会及其办公室是常设机构,将努力收集新的科技信息及这套工具书使用的情况和意见,为今后的修订提供依据,以求进一步完善和提高。

何文治

1992年8月28日

《航空制造工程手册》

各分册名称

- | | |
|-------------|---------------|
| 《通用基础》 | 《非金属结构件工艺》 |
| 《热处理》 | 《飞机结构工艺性指南》 |
| 《特种加工》 | 《发动机机械加工》 |
| 《表面处理》 | 《发动机装配与试车》 |
| 《焊接》 | 《发动机叶片工艺》 |
| 《特种铸造》 | 《燃油泵与调节器装配试验》 |
| 《金属材料切削加工》 | 《弹性元件工艺》 |
| 《齿轮工艺》 | 《电连接器工艺》 |
| 《工艺检测》 | 《机载设备精密加工》 |
| 《计算机辅助制造工程》 | 《光学元件工艺》 |
| 《飞机钣金工艺》 | 《框架壳体工艺》 |
| 《飞机机械加工》 | 《武器系统装配》 |
| 《飞机装配》 | 《电机电器工艺》 |
| 《飞机工艺装备》 | 《救生装备工艺》 |
| 《飞机模线样板》 | 《电子设备装配》 |
| 《金属结构件胶接》 | 《机载设备环境试验》 |

《航空制造工程手册》

总编委会、顾问及办公室组成名单

总编委会主任 何文治

总编委会副主任(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	王敬堂	方裕成	刘多朴
朱伯贤	任家耕	李成功	李哲浩	李章由
吴复兴	易志斌	郑作棣	杨彭基	张 彤
张士元	张钟林	周家骐	周砥中	周晓青
金德琨	姚克佩	顾元杰	徐秉铨	徐培麟
郭景山	程宝渠	屠德彰		

总编委会常务副主任 马业广

总编委会顾问(按姓氏笔划排列)

马世英	于 欣	于志耕	于剑辉	王英儒
冯 旭	杨 墉	杨光中	陆颂善	枉云汉
罗时大	荣 科	郦少安	董德馨	程华明
廖宗懋	颜鸣皋	戴世然		

总编委会委员(按姓氏笔划排列)

马业广	王广生	王云机	王国成	王喜力
王敬堂	方学龄	方裕成	刘多朴	刘树桓
刘盛东	刘瑞新	关 桥	朱伯贤	孙国壁
任家耕	严世能	何文治	何恽晋	李成功
李秋娥	李哲浩	李章由	李德澄	杜昌年
沈昌治	陈于乐	陈 进	陈积懋	陈德厚
余承业	杨彭基	吴志恩	吴复兴	张 彤
张 夏	张士元	张幼桢	张灵雨	张纯正
张钟林	张增模	周家骐	周砥中	周晓青

易志斌	郑作棣	林更元	林泽宽	林敦仪
金慧根	金德琨	国 岩	赵仲英	胡四新
胡建国	姜淑芳	姚永义	姚克佩	郝命麒
顾元杰	郭景山	晏海瑞	唐荣锡	唐瑞润
徐秉铨	徐培麟	常荣福	戚道纬	崔连信
屠德彰	程宝渠	熊敦礼	戴 鼎	

总编委会常委(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	何恽晋	李成功	李哲浩
吴复兴	郑作棣	周家骐	戚道纬	崔连信
屠德彰	戴 鼎			

总编委会办公室主任

戚道纬

总编委会办公室副主任(按姓氏笔划排列)

刘树桓 姜淑芳 崔连信

总编委会办公室成员(按姓氏笔划排列)

丁立铭	王偌鹏	刘树桓	刘瑞麟	邵 箭
陈 刚	陈振荣	宋占意	张士霖	林 森
段文斌	贺开运	姜淑芳	莫龙生	徐晓风
戚道纬	崔正山	崔连信		

《工艺检测》分编委会组成名单

主编 陈积懋

副主编(按姓氏笔划排列)

朱建堂 李家伟 何恽晋 余南廷

委员(按姓氏笔划排列)

王永保 王均强 朱建堂 孙德江 李家伟

何恽晋 余南廷 陆福一 陈积懋 周大应

俞康楨 姚培元 鞠复智

《工艺检测》其他编写和统稿人员名单

编写人员(按姓氏笔划排列)

刘慧罗 吴文炳 张志成 周在杞 袁振明

徐锦涛

统稿人员(按姓氏笔划排列)

朱建堂 李家伟 余南廷 陈积懋

《工艺检测》提供资料人员名单

王任达	王国志	王淑琴	王魁友	方建滨
田光义	白宝泉	包国光	吉瑞庆	朴英林
朱真木	刘坚伟	刘松平	刘炳熙	吴杰
吴前驱	吴善鹏	邹同春	余拱信	沈怀荣
宋志哲	宋秀荣	张振邦	张健庭	陈正发
陈兴民	陈声东	陈伯虎	陈金根	陈树荣
陈钟贤	郑忠正	胡和中	赵克玉	姜铃珍
顾三南	夏树森	侯善敬	郭海欧	郭新民
涂适存	陶旺斌	谢相森	葛方兴	谭玉山

目 录

第 1 篇 概 论

第 1 章 工艺检测的基本概念

1.1 工艺检测概述	1
1.1.1 定义	1
1.1.2 工艺检测的任务	1
1.1.3 适用范围	2
1.2 航空工艺检测的内容与特点	3
1.2.1 航空工艺检测的分类	3
1.2.2 无损检测与破坏检测	4
1.2.3 航空工艺检测的特点	5
1.3 航空工艺检测的发展趋势	6
1.4 工艺检测的应用	7
1.4.1 工艺检测方法的选择	7
1.4.2 工艺检测人员的任务	8

第 2 篇 无损检测

第 2 章 漏磁场检测

2.1 概述	9
2.2 磁粉检验	9
2.2.1 磁粉检验技术基础	9
2.2.1.1 钢铁材料的磁特性	9
2.2.1.2 通电导体磁场	11
2.2.2 磁粉检验原理	13
2.2.3 磁粉检验方法	15
2.2.3.1 预处理	15
2.2.3.2 磁化方法	16
2.2.3.3 磁化电流及规范	20
2.2.3.4 湿法与干法	24
2.2.3.5 磁痕分析	24
2.2.3.6 退磁	28
2.2.3.7 后处理	29
2.2.4 特殊磁粉检验法	29
2.2.4.1 磁橡胶法	29
2.2.4.2 磁复印法	30
2.2.4.3 磁性涂料法	31

2.2.5 磁粉检验设备、器材及标准试件

.....	31
2.2.5.1 设备	31
2.2.5.2 磁粉	33
2.2.5.3 磁悬液	34
2.2.5.4 紫外灯	34
2.2.5.5 标准试件	35
2.2.5.6 设备、器材的性能鉴定	37
2.2.6 磁粉检验应用	40
2.2.6.1 锻铸件、焊接件及维修件的检验	40
2.2.6.2 特殊零件的检验	44
2.3 其他漏磁检测法及应用	45
2.3.1 电磁感应法	45
2.3.2 磁电转换法	46
2.3.3 录磁法	48

附录 航空工业常用钢材磁特性参数

第 3 章 涡流检测

3.1 概述	53
3.2 涡流检测技术基础	53
3.2.1 电磁感应	53
3.2.2 金属的电导率、磁导率及其影响因素	54
3.2.2.1 金属的电导率	54
3.2.2.2 金属的磁导率	54
3.2.3 线圈的阻抗及影响因素	56
3.2.3.1 线圈的阻抗	56
3.2.3.2 放置式线圈的阻抗	57
3.2.3.3 穿过式线圈的阻抗	58
3.3 涡流检测原理	60
3.4 涡流检测方法	60
3.4.1 缺陷检验	60
3.4.1.1 穿过式线圈检验	60
3.4.1.2 放置式线圈检验	62
3.4.2 材料分选	62

3.4.3 热处理状态检测	64	5.2.2 微波物理特性	109
3.4.4 测厚	66	5.3 微波检测原理	112
3.5 涡流检测设备	70	5.4 微波检测方法	112
3.5.1 缺陷检验设备、检验线圈及标准试件	70	5.4.1 微波穿透法	114
3.5.1.1 缺陷检验设备	70	5.4.2 微波反射法	115
3.5.1.2 检验线圈	71	5.4.3 微波散射法	118
3.5.1.3 机械传动机构	72	5.5 微波检测设备	118
3.5.1.4 标准试件	73	5.5.1 微波信号源及传输线	118
3.5.1.5 综合性能测定	75	5.5.1.1 微波信号源	118
3.5.2 分选设备及标准试件	77	5.5.1.2 微波传输线	121
3.5.2.1 分选设备	77	5.5.2 微波探伤仪	123
3.5.2.2 标准试件	77	5.5.3 微波测厚仪	124
3.5.3 涡流电导仪及标准试件	78	5.5.4 网络分析仪	125
3.5.3.1 涡流电导仪	78	5.5.5 时域反射计	125
3.5.3.2 标准试件	78	5.5.6 微波传感器测试	126
3.5.4 涡流测厚仪及标准试件	79	5.5.6.1 微波传感器辐射场区	126
3.5.4.1 涡流测厚仪	79	5.5.6.2 微波传感器阻抗测试	127
3.5.4.2 标准试件	79	5.5.6.3 微波传感器方向图测试	128
3.6 涡流检测应用	80	5.5.6.4 微波传感器增益测试	129
3.6.1 缺陷检验	80	5.6 微波检测应用	130
3.6.2 材料分选	88	5.6.1 不连续性检测	131
3.6.3 铝合金热处理状态检测	90	5.6.2 厚度测量	134
3.6.4 测厚	96	5.6.3 航空雷达罩检测	135
附录 金属的电阻率, 温度系数和电导率	99	5.6.4 微波湿度测量	137
第4章 电位检测		5.7 介电常数检测	139
4.1 概述	101	5.7.1 介电常数检测技术基础	139
4.2 原理	101	5.7.1.1 介电常数与介质极化	139
4.3 电位检测方法	101	5.7.1.2 介电常数与介质损耗角正切	140
4.3.1 裂纹电位检测法	101	5.7.2 介电常数检测原理	143
4.3.2 热电势分选法	103	5.7.3 介电常数测量方法	144
4.4 电位检测设备及标准试件	104	5.7.4 介电常数检测仪器	145
4.4.1 裂纹电位检测设备及标准试件	104	5.7.5 介电常数检测应用	147
4.4.1.1 设备	104	第6章 超声检测	
4.4.1.2 标准试件	105	6.1 概述	148
4.4.2 热电势分选设备及标准试件	105	6.2 超声检测的技术基础	149
4.4.2.1 设备	105	6.2.1 超声波的波型	149
4.4.2.2 标准试件	105	6.2.2 各种波型的波在介质中的传播速度	150
4.5 电位检测应用	105	6.2.3 波的形式	151
第5章 微波与介电常数检测		6.2.4 声的波动特性	151
5.1 微波检测概述	107	6.2.4.1 波的叠加和干涉	151
5.2 微波检测技术基础	107	6.2.4.2 驻波	151
5.2.1 微波	107	6.2.4.3 惠更斯原理	151
		6.2.5 声场及其特征量	152

6.2.5.1 声压	152	6.5.1.1 对受检件的了解和要求	181
6.2.5.2 声强	152	6.5.1.2 声束入射方向的选择	182
6.2.5.3 声阻抗和声特性阻抗	152	6.5.1.3 频率的选择	182
6.2.6 超声波在大平界面上的垂直入射	152	6.5.1.4 耦合剂的选择	182
6.2.7 超声波在大平界面上的斜入射	152	6.5.1.5 试块	183
6.2.7.1 反射、折射和波型转换	152	6.5.1.6 扫查	186
6.2.7.2 斜入射时的反射系数和透射系数	154	6.5.1.7 实际缺陷的定量评定方法	186
6.2.8 声波在曲面上的反射和透射	156	6.5.2 纵波检测	187
6.2.8.1 声波在曲界面处的反射	156	6.5.2.1 检测的覆盖	187
6.2.8.2 声波在曲界面处的透射	156	6.5.2.2 试块	187
6.2.8.3 声透镜	157	6.5.2.3 探头	189
6.2.9 超声场的特性	157	6.5.2.4 仪器灵敏度的调整	190
6.2.9.1 圆形纵波声源的声场	157	6.5.2.5 传输修正	190
6.2.9.2 超声波的衍射、吸收、散射和 衰减	159	6.5.2.6 水浸法检测时水程的选定	190
6.2.9.3 超声场中规则反射体的反射声压	160	6.5.2.7 扫查间距的确定	190
6.2.9.4 脉冲波及脉冲声场	162	6.5.2.8 不连续性位置的确定	190
6.3 超声检测方法	162	6.5.2.9 不连续性埋深的确定	191
6.3.1 工作原理	162	6.5.2.10 不连续性当量尺寸的评估	191
6.3.1.1 穿透法	162	6.5.2.11 不连续性长度的评定	191
6.3.1.2 脉冲反射法	162	6.5.2.12 背反射损失的评定	191
6.3.1.3 共振法	163	6.5.2.13 受检件的质量验收等级	192
6.3.2 三种检测方法的比较	163	6.5.2.14 水浸聚焦探头的运用	192
6.4 超声波检测设备	164	6.5.2.15 双晶纵波探头的运用	195
6.4.1 超声波换能器	164	6.5.2.16 纵波检测时侧边界面的影响	196
6.4.1.1 压电式超声探头	164	6.5.3 横波检测	198
6.4.1.2 电磁-声换能器	169	6.5.3.1 试块	198
6.4.1.3 激光器件	170	6.5.3.2 探头	200
6.4.2 超声检测仪	170	6.5.3.3 检测	201
6.4.2.1 A型显示超声检测仪的工作	171	6.5.3.4 评定	206
6.4.2.2 B型、C型和三维显示	171	6.5.4 瑞利波检测	206
6.4.2.3 智能超声检测仪	172	6.5.4.1 瑞利波的产生	206
6.4.2.4 超声检测仪电性能测试	173	6.5.4.2 斜楔瑞利波探头性能测试	207
6.4.3 压电探头与超声检测仪的连接	177	6.5.4.3 时间基线的标定及检测灵 敏度的调整	209
6.4.3.1 电缆	177	6.5.4.4 缺陷的检测	209
6.4.3.2 超声检测系统使用性能测试	177	6.5.5 兰姆波检测	210
6.4.4 超声检测系统的选择	180	6.5.5.1 兰姆波的相速度曲线	210
6.5 常规超声检测方法	181	6.5.5.2 兰姆波的群速度曲线	211
6.5.1 一般要求	181	6.5.5.3 兰姆波在板中的激励	212
		6.5.5.4 兰姆波检验时模式的选择	213
		6.5.5.5 薄板分层的兰姆波检测	215
		6.5.6 用表面下纵波进行检测	216
		6.6 微细缺陷的超声检测	217

6.6.1 光—声显微镜检测	217	超声检测	236
6.6.2 激光扫描声显微镜检测	217	6.12 固态连接件的超声检测	238
6.6.3 机械扫描声显微镜	218	6.13 超声测厚	238
6.7 微观组织的超声表征方法	219	6.13.1 调频超声测厚	238
6.7.1 声速的测量	220	6.13.1.1 基本原理	238
6.7.2 声衰减的测量	221	6.13.1.2 调频超声测厚的应用	239
6.7.2.1 窄带脉冲反射法	221	6.13.2 脉冲超声测厚	240
6.7.2.2 宽带脉冲频谱分析法	222	6.13.2.1 基本原理	240
6.7.3 速度与衰减的非接触测量	222	6.13.2.2 仪器类型	240
6.7.4 材料性能超声无损评价的能力	224	6.13.2.3 脉冲超声测厚的应用	241
6.8 铝合金制件的超声检测	224	附录 常用材料的声速	242
6.8.1 检测对象	224	第7章 声发射检测	
6.8.2 变形铝合金制件中氧化膜的超声检测	225	7.1 概述	243
6.8.2.1 氧化膜的形成及特性	225	7.2 声发射检测基础	243
6.8.2.2 氧化膜的超声检测	225	7.2.1 声发射源	243
6.8.3 Ae-Zn-Mg-Cu 系变形铝合金制件	225	7.2.2 声发射信号	245
超声检测	225	7.2.2.1 声发射波的传播	245
6.8.4 变形铝合金制件超声检测验收准则	225	7.2.2.2 声发射信号类型	245
6.8.5 不同超声波检测验收等级的适用范围	226	7.2.2.3 不可逆效应	246
6.8.6 铝合金沉淀硬化的超声表征	226	7.2.3 声发射信号的表征	246
6.9 变形钛合金制件的超声检测	228	7.2.3.1 事件计数和振铃计数	246
6.9.1 不连续性的类型	228	7.2.3.2 幅度和幅度分布	247
6.9.2 超声波检测方法	228	7.2.3.3 能量	247
6.9.3 超声响应	228	7.2.4 影响声发射信号幅度的因素	247
6.9.4 变形钛合金制件超声检测标准示例	232	7.2.5 声发射源定位	248
6.10 结构钢制件的超声检测	233	7.2.5.1 线定位	248
6.11 变形高温合金制件的超声检测	234	7.2.5.2 正三角形面定位	248
6.11.1 高温合金的分类	234	7.2.5.3 正方形面定位	249
6.11.2 高温合金制件的超声检测	234	7.2.5.4 任意三角形面定位	249
6.11.2.1 棒材	234	7.2.5.5 单传感器定位	250
6.11.2.2 圆饼	235	7.3 声发射检测方法	250
6.11.2.3 盘件	235	7.3.1 检测步骤	250
6.11.3 铁基高温合金 GH761 盘件的超声	236	7.3.2 加载装置的选择	250
检测	236	7.3.3 噪声来源和排除方法	251
6.11.4 变形高温合金 GH169 制件的超声	236	7.3.3.1 噪声来源	251
6.11.4.1 变形高温合金 GH169 中的不	236	7.3.3.2 排除噪声的方法	252
连续性	236	7.3.4 缺陷危险性评价方法	254
6.11.4.2 变形高温合金 GH169 制件的	236	7.4 声发射检测仪器	256
		7.4.1 仪器的分类	256
		7.4.2 仪器的基本组成及要求	257
		7.4.2.1 声发射传感器	257
		7.4.2.2 单通道声发射仪	259
		7.4.2.3 双通道声发射仪	259
		7.4.2.4 多通道声发射仪	260

7.5 声发射检测应用	260	9.2.2 多点激振与多点测量	285
7.5.1 评价承压构件的结构完整性	260	9.2.2.1 复合材料网格结构的检测	285
7.5.1.1 适用范围	260	9.2.2.2 复合材料板件检测	290
7.5.1.2 应用实例	260	9.3 局部振动检测	295
7.5.2 航宇金属结构检测	263	9.3.1 声阻法检测	295
7.5.2.1 应用概况	263	9.3.1.1 检测原理	295
7.5.2.2 应用实例	263	9.3.1.2 检测方法	296
7.5.3 航宇非金属构件检测	264	9.3.1.3 检测设备	298
7.5.3.1 应用概况	264	9.3.1.4 声阻检测的应用	301
7.5.3.2 应用实例	264	9.3.1.5 标准试块	303
7.5.4 监视工艺过程	267	9.3.2 声谐振检测	303
7.5.4.1 应用概况	267	9.3.2.1 检测原理	303
7.5.4.2 应用实例	267	9.3.2.2 声谐振检测方法	305
第8章 声—超声检测		9.3.2.3 声谐振检测设备	309
8.1 概述	268	9.3.2.4 声谐振检测的应用	313
8.2 声—超声检测的技术基础	268	9.3.3 涡流—声检测	315
8.2.1 声—超声技术的特点	268	9.3.3.1 涡流—声检测的原理和特点	315
8.2.2 应力波传播的应力波因子表征	269	9.3.3.2 电磁激振器	316
8.2.3 表征应力波传递的其他参数	270	9.3.3.3 接收装置	317
8.3 声—超声检测方法	271	9.3.3.4 涡流—声检测仪	317
8.3.1 耦合剂	271	9.3.3.5 涡流—声检测的应用	318
8.3.2 换能器的接触压力	271	9.3.4 几种常用声振检测仪器比较	320
8.3.3 换能器的间隔	271	第10章 声全息检测	
8.3.4 SWF的典型波形	272	10.1 概述	323
8.3.5 仪器的设定	272	10.2 光学模拟声全息	324
8.3.6 应力波因子的量化	274	10.2.1 液面声全息	324
8.4 声—超声检测设备	275	10.2.1.1 声学系统	324
8.5 声—超声检测技术应用举例	276	10.2.1.2 光学系统	325
8.5.1 胶接结构检测	276	10.2.1.3 声和光的相互作用	326
8.5.1.1 胶接结构检测用夹具	276	10.2.1.4 对被检物的限制	327
8.5.1.2 AUP值与剪切强度的相互关系	277	10.2.1.5 灵敏度与分辨力	328
8.5.1.3 热环境的影响	277	10.2.1.6 液面声全息装置	328
8.5.2 复合材料的非均质性检测	278	10.2.2 其他光学模拟装置	331
8.5.2.1 检测方法	279	10.2.2.1 其他可动界面	331
8.5.2.2 检测参数	279	10.2.2.2 粒子室	332
8.5.3 复合材料的强度检测	280	10.2.2.3 超声摄像装置	332
8.5.3.1 复合材料试件的拉伸试验	280	10.2.2.4 照相底片法	333
8.5.3.2 应力波因子与复合材料强度的关系	281	10.3 扫描声全息	333
第9章 声振检测		10.3.1 扫描声全息原理	333
9.1 概述	282	10.3.2 扫描系统	334
9.2 整体振动检测	283	10.3.3 重建装置	335
9.2.1 单点激振与单点测量	283	10.3.4 扫描声全息设备	336
		10.4 声全息系统的比较	337

10.4.1 液面声全息和扫描声全息比较	337	11.5.1 层析 X 射线照相法	375
10.4.2 声全息检测器的性能比较	337	11.5.2 干板射线照相法	377
10.5 声全息应用概况	338	11.5.2.1 原理	377
第 11 章 射线检测		11.5.2.2 干板照相感光板的结构	377
11.1 概述	340	11.5.2.3 干板照相显像粉	377
11.2 X 射线检测技术基础	341	11.5.2.4 干板射线照相法的工艺过程	377
11.2.1 X 射线的产生与特性	341	11.5.2.5 干板射线照相法的特点及应用	378
11.2.1.1 X 射线的产生	341	11.5.3 荧光屏观察法	378
11.2.1.2 X 射线特性	342	11.5.3.1 原理	378
11.2.2 X 射线与物质的相互作用	343	11.5.3.2 工艺过程和特点	378
11.2.2.1 光电效应	343	11.5.3.3 设备	379
11.2.2.2 康普顿—吴有训效应	343	11.5.4 电离检测法	379
11.2.2.3 电子对效应	343	11.5.4.1 原理	379
11.2.2.4 汤姆逊散射	344	11.5.4.2 工艺过程与应用	379
11.2.3 射线的衰减	344	11.5.5 显微射线照相法	380
11.2.3.1 射线的衰减规律	344	11.5.5.1 原理	380
11.2.3.2 吸收系数	345	11.5.5.2 用途	380
11.2.4 常用辐射量	345	11.5.6 实时成像法	380
11.2.5 底片光学密度(黑度)	347	11.5.6.1 原理	380
11.2.6 胶片的特性曲线	348	11.5.6.2 实时成像系统类型及其特点	380
11.2.7 底片衬度与清晰度	349	11.5.6.3 设备	380
11.2.7.1 底片衬度	349	11.5.7 高能 X 射线检测	382
11.2.7.2 清晰度	350	11.5.7.1 原理	382
11.2.8 正确曝光范围	351	11.5.7.2 加速器	382
11.2.9 显影时间对特性曲线的影响	352	11.5.7.3 高能 X 射线的特性	384
11.3 X 射线检测的基本原理	353	11.6 X 射线检测设备	386
11.4 X 射线照相检测法	353	11.6.1 X 射线机分类与典型结构	386
11.4.1 射线照片的拍摄与处理	353	11.6.2 X 射线管和特殊 X 射线管	387
11.4.1.1 胶片与检测对象的位置	353	11.6.2.1 靶的材料和性能	390
11.4.1.2 检测参数的选择	353	11.6.2.2 焦点	390
11.4.1.3 曝光曲线及其制作	355	11.6.3 操纵控制柜	391
11.4.1.4 X 射线照相法的工艺过程	357	11.6.4 高压整流线路及高压发生装置	392
11.4.1.5 胶片处理	359	11.6.5 国内外主要 X 射线检测设备	393
11.4.1.6 散射线的产生与控制	363	11.6.6 设备的选用与安装调试	396
11.4.2 射线底片的观察与评定	365	11.7 X 射线检测器材	398
11.4.2.1 射线底片缺陷影像及影像质量的 评定	365	11.7.1 记录介质	398
11.4.2.2 铸件(X)射线底片中的常见缺陷图像	366	11.7.1.1 X 射线胶片	398
11.4.2.3 焊接件 X 射线底片中的常见缺陷 图像	368	11.7.2 X 射线照相增感屏	399
11.4.2.4 评片	374	11.7.3 像质指示器	401
11.4.2.5 结果解释和检测报告	375	11.7.3.1 丝型像质指示器	401
11.5 X 射线其他检测法	375	11.7.3.2 平板孔型像质指示器	402

11.7.3.3 沟槽型像质指示器	403	12.4.1 全息干涉计量术	430
11.7.4 摄片标志器	404	12.4.2 全息等高线术	435
11.7.5 暗室器材及观片设备	404	12.4.3 全息显微术	435
11.8 X射线检测在航空制造工程中的 应用	405	12.4.4 全息照相相关术	436
11.8.1 铸件检测	406	12.4.5 脉冲全息干涉计量术	436
11.8.2 焊接件检测	407	12.5 全息检测设备	437
11.8.2.1 不同类型接头焊缝的检测	407	12.5.1 光源	437
11.8.2.2 管状焊接件的检测	408	12.5.1.1 连续波光源	438
11.8.2.3 飞机起落架检测	409	12.5.1.2 脉冲光源	439
11.8.3 叶片检测	410	12.5.2 全息检测工作台	440
11.8.4 钛合金零件检测	411	12.5.3 光学元件系统	440
11.9 γ 射线检测	412	12.5.4 记录和再现像读出系统	443
11.9.1 γ 射线检测技术基础	412	12.5.4.1 记录介质	443
11.9.1.1 γ 射线的产生	412	12.5.4.2 记录介质的主要特性	444
11.9.1.2 γ 射线的特性	413	12.5.4.3 记录支架及在位处理器	446
11.9.2 γ 射线照相检测法	413	12.5.4.4 再现像的读出系统	446
11.9.3 γ 射线检测设备	414	12.5.5 加载系统与夹具	447
11.9.4 γ 射线检测的应用	415	12.5.5.1 加载系统	447
11.10 中子射线检测	415	12.5.5.2 夹具	448
11.10.1 中子射线检测的技术基础	415	12.5.6 典型全息无损检测装置	448
11.10.2 中子射线照相检测方法	418	12.5.7 影响全息检测质量的因素	451
11.10.3 中子射线检测设备	419	12.5.7.1 光路	451
11.10.4 中子射线检测的应用	419	12.5.7.2 光源质量	451
11.11 射线的防护与安全	420	12.5.7.3 物光和参考光束的光强比	452
11.11.1 最大允许剂量	420	12.5.7.4 曝光时间	453
11.11.2 射线防护	420	12.5.7.5 物、参光束间夹角	453
11.11.2.1 屏蔽防护	421	12.5.7.6 环境振动	453
11.11.2.2 距离防护	421	12.5.7.7 环境照明	454
11.11.2.3 时间防护	421	12.5.7.8 被检物体的表面状态	454
11.11.3 对检测系统及操作的要求	422	12.5.7.9 被检物体的加载条件	454
第12章 激光全息检测		12.5.7.10 记录介质和暗室处理	455
12.1 概述	423	12.6 全息检测技术的应用	456
12.2 激光全息检测技术基础	424	12.6.1 全息检测技术的适用范围	456
12.2.1 激光全息照相	424	12.6.2 参考试块	457
12.2.1.1 波前记录	424	12.6.3 金属蜂窝胶接结构的检测	458
12.2.1.2 波前再现	424	12.6.3.1 热加载法检测金属蜂窝胶接 结构	458
12.2.1.3 定性说明	424	12.6.3.2 局部压差加载法检测金属蜂窝 胶接结构	459
12.2.1.4 全息照相法的数学定量分析	425	12.6.3.3 缺陷特征条纹分析	461
12.2.2 全息图类型	425	12.6.4 玻璃钢蜂窝胶接结构的检测	461
12.2.3 激光全息照相的工艺流程	430	12.6.4.1 雷达罩结构及质量标准	461
12.3 激光全息检测原理	430	12.6.4.2 检测系统	462
12.4 激光全息检测方法	430	12.6.4.3 参考试块及人工伤全息图	462