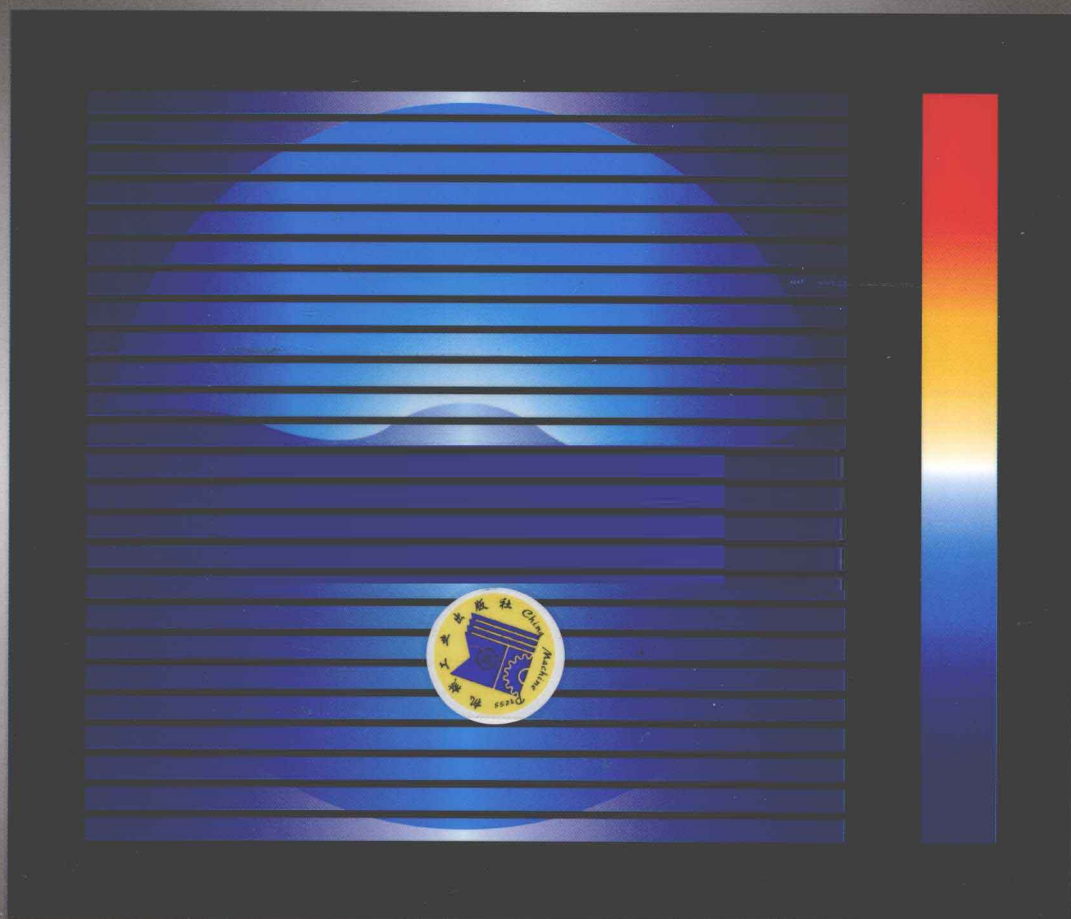


无损检测手册

第2版

李家伟 主编

主编单位：中航工业北京航空材料研究院



无损检测手册

第2版

李家伟 主 编

郭广平 副主编

主编单位 中航工业北京航空材料研究院



机械工业出版社

本手册是我国自行编写的较大型的一本无损检测专业工具书,共有四大部分。

第1部分对无损检测的内涵及其在质量控制中的作用作了简明扼要的说明。第2部分就八类四十余种无损检测法的基本原理及适用要点作了叙述。第3部分叙述在材料科学与工程领域中无损检测技术的应用,第4部分叙述在特定部门中无损检测技术的应用。

本手册可为从事无损检测领域某一方法的专业人员在工作中查阅某些参数及了解某些细节提供方便,并为其了解其他检测方法提供有用的参考。可作为高校无损检测专业师生的参考读物。也可供从事产品设计、研制、生产、使用的非无损检测专业科技人员、质量管理人员了解无损检测,有效运用无损检测技术时参考。

图书在版编目(CIP)数据

无损检测手册/李家伟主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2011.10
ISBN 978-7-111-35953-1

I. ①无… II. ①李… III. ①无损检验—技术手册 IV. ①TG115.28-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第194951号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:吕德齐 责任编辑:吕德齐 崔滋恩 王春雨 王治东 李建秀

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文 陈延翔

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm·71.5印张·10插页·2341千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-35953-1

定价:178.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010)88379733

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

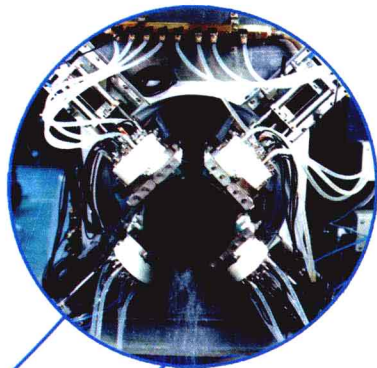
检测解决方案助您提高生产力

作为无损检测行业的全球领导厂商，GE检测科技以技术为先导，为客户提供高效、优质和安全的检测解决方案。我们设计、生产并维护超声波探伤仪、硬度计、测厚仪，涡流探伤仪，工业内窥镜，X射线、计算机射线成像(CR)检测设备，数字化射线成像(DR)检测设备，以及大型检测系统，为航空航天、电力、石油天然气、汽车和钢铁冶金等行业定制专业检测方案。

旗下品牌

Agfa NDT 工业胶片
Krautkramer 超声波产品
Seifert X射线机

Everest VIT 工业内窥镜
Hocking 涡流产品
Nutronik 超声波设备



UT: 相控阵探伤仪Phasor XS, 便携式超声波探伤仪USM GO

EC: 多通道/多频率涡流系统Apollo, 便携式涡流探伤仪Phasec 3D

X-Ray: 便携式X射线机ERESCO, 移动式X射线机TITAN E

R V I: 便携式工业内窥镜XLGO, 手持式工业内窥镜系统XLG3

数字化射线技术: 平板探测器检测DXR250, 计算机射线照相CRFlex

三维层析成像技术: 工业CT检测 vltomelx s, vltomelx 300, vltomelx L450

自动化检测系统: 超声, X-Ray, 涡流检测



GE梦想启动未来

中国客服中心电话: 800 915 9966

更多信息请访问: www.geinspectiontechnologies.cn



常州超声电子有限公司

CHANGZHOU ULTRASONIC ELECTRON CO., LTD.



ISO9001 国际质量管理体系认证企业

自营进出口企业

CST 系列超声波探伤仪：



CST-7 型

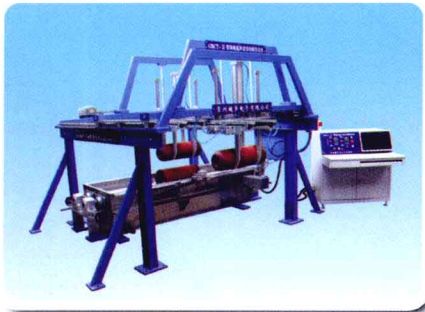


CST-2300 型



CST-2600 型

超声波自动探伤成套设备：



钢瓶超声波自动探伤设备



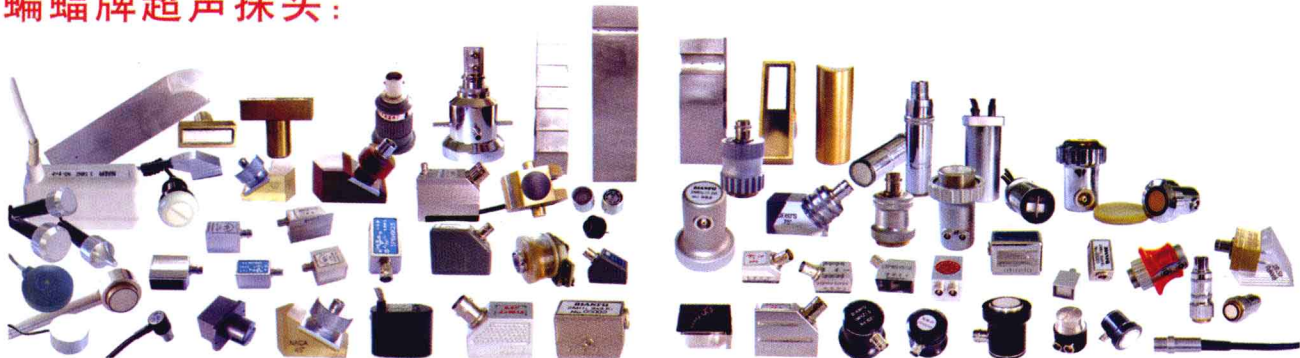
钢管超声波自动探伤设备



棒材超声波自动探伤设备

承接各种超声波自动探伤设备的制造

蝙蝠牌超声探头：



欢迎国内外嘉宾的光临。

所有资料索函即邮！

地址：江苏常州前黄镇工业区

http: //www.czcsdz.com

E-mail: WUC@pub.cz.jsinfo.net

电话：(0519) 86511239

传真：(0519) 86511239

服务热线：13806112517

86519108

86513953

86511395

86513953

邮编：213172

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com



理声知工(北京)科技有限责任公司



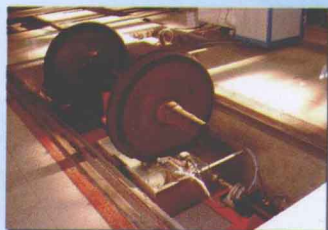
钢瓶、钢管水浸超声波C扫描自动化检测设备

自动化检测流水线、高精度、局部水浸耦合。
数字10通道探伤系统，数控机构，跟踪和监控功能。
C扫描成像，检测时间3min。全程扫描、存储、打印。
工件直径、长度范围： $\phi 200 \sim \phi 400\text{mm}$ ； $L2.2\text{m}$
检测内、外壁裂纹、分层、气孔夹渣、测厚等。
螺旋线方式扫描，上、下料机构，全自动和半自动运行模式。



多轴高精度水浸超声C扫描系统

研究和高精度检测场合，检测板、棒、管、锥和曲面构件。
X/Y轴：水平位移，精度 0.03mm ，范围可选。
Z：垂直位移，精度 0.03mm ，范围可选。
R：水平旋转，精度 0.2° ，范围 360° 。
 θ/δ ：垂直摆角，精度 0.2° ，范围 180° 。
C扫描、B超、3维数据存储及成像，全波数据存储，开放数据。



TLL-16型铁道车辆车轮轮辋超声数字成像探伤机

适用范围（客、货车轮径）： $\phi 760 \sim \phi 920\text{mm}$ 。
探伤速度： $\leq 3\text{min/轮对}$ ，超声波数字多通道探伤仪。
探伤灵敏度：轮辋部位 $\phi 3\text{mm}$ 平底孔，轮缘根部 0.5mm 深度人工锯口。
A扫、B超、3维成像功能。给出缺陷平面、立体图像。
水浸法耦合，不接触探头，耦合更稳定。用于车辆维修流水线。
轮辋和轮缘缺陷，准确定位、定量、定性，具有自检及报警功能。
每条轮对检测结果都存档，光盘保存，随时打印，网传，中文界面。



活塞检测：

检测内冷油道，镶环粘接、内部裂纹、呛气、焊接质量，C扫描、B超。
效率： $5 \sim 20\text{s}$ ，垂直旋转，局部水浸。直径： $70 \sim 200\text{mm}$ 。

检测内冷油道：

检测项：端距、端偏，侧距、侧偏，断裂、缺陷，精度： 0.15mm 。自动判断。

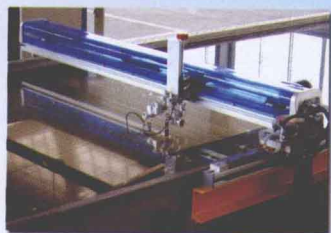
检测镶环粘接性能：

按国标，检粘接率、最大缺陷、重合，精度 0.5% ，插入式探头，自动判别。
检测裂纹、呛气、焊接质量：检测方法：C扫描断面成像。



通用超声C扫描装置

用于试验研究的小型超声扫描装置。用于检查大板的小型机器人扫描器。
水浸法试验，喷水法试验。
检测板、管、棒、盘类及3维构件，声场测试机构。
2维、3维、5维多轴扫描机构。
A扫描、C扫描、工业B超、导波试验、TOFD试验。
分层、裂纹、空隙率、厚度及均匀性检测。
全波数据存储，开放数据。



工业用大型板类超声C扫描装置

用于检查大板的扫描器。
水浸法、喷水法试验。
检测板类构件，厚度 $1 \sim 10\text{mm}$ 。
2维扫描机构，A扫描，C扫描，工业B超，导波试验。
分层、裂纹、空隙率、厚度、均匀性检测。
没有表面盲区，配有辊道输送机构，精密调角反射板。

质量保证体系通过美国船检局质量评估公司 (ABS QE) ISO9001:2008版质量体系认证



上海船牌助剂有限公司



HD系列标准G型着色探伤剂



H&Z-T特种着色探伤剂



HD-G-H核级着色探伤剂



HD-MPA 反差增强剂



HD-FM 荧光磁悬液



HD-YCY 黑油磁悬液



HD-FP 荧光渗透剂



HD-UG 超声波探伤耦合剂



HD-MBW 黑水磁悬液

上海船牌助剂有限公司(原上海沪船助剂厂)系沪东中华造船集团有限公司下属企业, 位于上海长兴海洋装备产业园区。产品以“船牌”为注册商标, 质量保证体系通过美国船检局质量评估公司 (ABS QE) ISO9001:2008版质量体系认证。主要生产HD系列着色渗透探伤剂HD-G、核工业级着色渗透探伤剂HD-G-H、液化天然气(LNG)船薄膜殷钢(INVAR)液货舱用特种着色探伤剂H&Z-T、荧光渗透探伤剂HD-FP、磁粉探伤磁悬液HD-YCY/HD-MBW、超声波探伤耦合剂HD-UG、反差增强剂HD-MPA、磁膏HD-MB等诸多品种。

经过多年的研发, 公司的十多项发明获国家专利保护。HD系列着色渗透探伤剂获国家发明三等奖。编制的上海市企业标准《特种着色渗透探伤剂》获中国标准创新贡献三等奖。HD标准G型核工业级着色渗透探伤剂通过部级鉴定, 以及法国法玛通公司和美国机械工程师学会 (ASME) 认可。2005年研制成功的特种着色渗透探伤剂, 经法国权威机构GTT公司、法国殷飞公司 (IMPHY ALLOYS Groupe Arcelor) 鉴定认可。在国内建造的液化天然气(LNG)船薄膜液货舱的着色渗透检测中替代法国进口产品使用。产品广泛应用于航空航天、船舶建造、钢结构工程、核动力设施、铁路运输、机械制造和国防军工等领域。

《无损检测手册》第2版编者名单

主 编

李家伟 北京航空材料研究院 研究员

副 主 编

郭广平 北京航空材料研究院 研究员

编 者

(以姓氏汉语拼音顺序排列)

白宝泉	上海材料研究所	教授级高工
陈戈林	清华大学	教授
陈积懋	北京航空制造工程研究所	研究员
陈建萍	北京第二外国语学院教育技术中心	副教授
陈 熙	首都经济贸易大学网络中心	工程师
段新芳	北京林业科学研究院木材工业研究所	研究员
郭广平	北京航空材料研究院	研究员
贾慧明	钢铁研究院分析测试研究所	教授级高工
黎连修	铁道科学研究院金属及化学研究所	研究员
李家伟	北京航空材料研究院	研究员
李路明	清华大学航天航空学院	教授
廖玉龄	北京航空材料研究院	高级工程师
林维正	同济大学声学所	教授
刘哲军	航天材料及工艺研究所	高级工程师
梅德松	上海核工程研究设计院	研究员级高工
穆向荣	北京科技大学	教授
任吉林	南昌航空工业学院	教授
尚大军	西安理工大学	硕士
沈功田	中国特种设备检测研究院	研究员
孙殿寿	北京航空材料研究院	高级工程师
田如均	电子部十一所	高级工程师
吴孝俭	航天一院二一一厂	高级工程师
肖蔚彬	首钢通用机械厂	高级工程师
徐可北	北京航空材料研究院	高级工程师
张朝宗	清华大学核能设计研究院	教授
张于北	北京航空材料研究院	高级工程师
赵起良	北京航空材料研究院	高级工程师
郑世才	北京航天二院 201 所	研究员

2 版前言

现今，无损检测技术在产品质量控制中所起的不可取代的重要作用已日益为更多的科技人员和企业所认同，无损检测技术的发展及其应用更是日新月异。本手册的第1版发行于2002年1月，距今已有9年时间，本手册第2版的编写正是在如此的历史背景下进行的。

本手册第2版由四大部分组成，第1部分（第1篇）对无损检测的内涵及其在产品质量控制中的作用和无损检测自身的质量控制问题作了简要的说明。第2部分（含第2~第9篇）就八类无损检测方法的基本原理及运用要点作了叙述，希望读者对每种方法能有更好的理解，只有理解了才能更好地掌握。例如，只有深刻地理解了信号的内涵，才能通过信号处理技术来获得有用的信息。第三部分（含第10~第15篇）就特种类型材料及其制件的无损检测作了叙述，这既有助于解决具体问题，也有助于对面临的新问题拓宽解决思路。第四部分（含第16~第18篇）就无损检测技术在特定领域中的应用作了叙述。但是，限于手册的性质，很多问题不能深入地展开论述，读者可从所列参考文献中得到进一步的信息。

由于我们水平有限、经验不足及种种其他原因，错误和不足之处实为难免，加之新技术发展迅速，深度和广度不断增加，恳切希望读者随时将意见函告我们，以便在今后各版次中不断丰富、更新、改进和完善，以更好地与时俱进，发挥其应有的作用。

在本手册的编写过程中曾得到很多同志的热情参与、支持和帮助，谨此表示衷心的感谢，对已故的廖玉龄同志致以深切的怀念。

编 者

1 版前言

现今，无损检测技术在产品质量控制中所起的不可取代的重要作用已为日益众多的科技人员和企业家所认同，无损检测技术的发展及其应用更是日新月异，客观的需要毕竟是事物发展的最大动力，本手册的编写正是在如此的历史背景下进行的，其意图如下：

1) 为从事产品设计、研制、生产、使用的非无损检测专业科技人员、质量管理人员提供一本了解无损检测、有效运用无损检测技术的参考资料。

2) 为从事无损检测领域某一方法的专业人员在工作中查阅某些参数及了解某些技术细节提供方便，并为其因工作需要而了解其他无损检测方法时提供有用的参考。

3) 为广大无损检测教学人员提供一参考读物。

本手册的第1篇对无损检测的内涵及其在质量控制中的作用及无损检测自身的质量控制问题作了一简明扼要的说明。第2篇为未涉及过材料科学与工程领域的人员提供了必要的有关材料学的基本知识，这有助于加深其对受检件的了解。第3~第11篇就四十余种方法的基本原理及运用要点和典型应用作了叙述，希望读者就每种方法能有较好的理解，我们深感只有理解了才能更好地掌握，例如，不深刻了解信号的内涵是难以通过信号处理技术来获得有用信息的。第12篇则是对不同类型的材料和某些特定类型制件所出现的问题，利用不同无损检测手段予以处理的一些示例，这既有助于我们对具体问题的解决，也有助于解决新问题时开拓思路。但是限于手册的性质，很多问题不能深入展开讨论，读者可从所列参考资料中得到进一步的信息。

关于电学方法、磁学方法的划分，本手册的做法是依据何种参量与受检件起作用从而得到所需信息来划分。例如，涡流法检测是通过涡流与材料的相互作用而获得所需信息的，乃将之列入电学方法篇，尽管涡流的产生和检测是利用电磁感应原理来完成的。

本手册的附录列出了国际标准化组织、世界各先进工业国家所发布的有关无损检测专业的标准、规范、实施方法等。不同于一般的参考资料，它们都是具有很强的针对性、实用性。对于无损检测的从业人员和技术管理人员来说是很有价值的参考资料，他山之石可以攻玉，准确予以运用当可收到事半功倍之效。

由于我们水平有限、经验不足及种种其他原因，作为本手册的第1版，错误和不足之处实为难免，加之新技术发展迅速，深度和广度不断增大，恳切希望读者随时将意见函告我们，以便在今后各版次中不断修正补充，使本手册能更好地发挥其应有的作用，毕竟我们的心愿是共同的——愿我们的祖国日益繁荣富强。

在本手册的编写过程中曾得到许多同志的热情支持和帮助，谨此致谢。

编者

目 录

2 版前言

1 版前言

第 1 篇 概 论

第 1 章 无损检测的内涵从探伤到评价的演变	1-2
第 2 章 无损检测与质量控制	1-4
2.1 质量与质量控制	1-4
2.1.1 质量的基本概念	1-4
2.1.2 质量控制	1-4
2.2 无损检测在全面质量控制中的作用	1-4
2.2.1 设计阶段	1-4
2.2.2 研制、生产阶段	1-4
2.2.3 使用阶段	1-5
2.2.4 无损检测——全领域的技术	1-5
2.3 无损检测作业的质量控制	1-6
2.3.1 法典、标准、标准样品、规范、规程	1-6
2.3.2 从业人员的资格鉴定与认证	1-6

2.3.3 仪器设备性能的测试与校准	1-7
2.3.4 消耗性材料的质量控制	1-7
2.3.5 作业的管理与监督	1-7
第 3 章 缺陷检出的可靠性	1-8
3.1 可靠性、缺陷检出概率和置信度	1-8
3.1.1 可靠性	1-8
3.1.2 宏观缺陷的检出概率 POD 与置信度 CL	1-8
3.2 从二项式分布法获得 $POD(a)$ 函数	1-9
3.3 从检出/漏检数据获得 $POD(a)$ 函数	1-9
3.4 从信号响应数据获得 $POD(a)$ 函数	1-10
参考文献	1-11

第 2 篇 射线法检测

第 1 章 导言	2-2
1.1 射线检测技术发展概况	2-2
1.2 射线检测技术的主要方法	2-2
1.3 射线检测技术的特点、适用性与局限性	2-3
第 2 章 X 射线法与 γ 射线法检测	2-4
2.1 检测技术的物理基础	2-4
2.1.1 X 射线	2-4
2.1.2 γ 射线	2-6
2.1.3 光子与物质的相互作用	2-7
2.1.4 X 射线与 γ 射线的衰减规律	2-10
2.2 射线源	2-12
2.2.1 X 射线机	2-12
2.2.2 γ 射线设备	2-20
2.2.3 高能 X 射线源	2-21
2.3 射线胶片	2-23
2.3.1 射线胶片的结构	2-23

2.3.2 射线胶片的感光特性	2-23
2.3.3 潜影与射线照相效应特点	2-25
2.3.4 射线胶片的分类与选用	2-25
2.4 射线照相的影像	2-26
2.4.1 影像质量的基本因素	2-26
2.4.2 射线照相灵敏度	2-28
2.4.3 影像细节的可识别性	2-32
2.5 射线照相检测的基本技术	2-34
2.5.1 概述	2-34
2.5.2 透照布置	2-35
2.5.3 基本透照参数	2-35
2.5.4 散射线控制	2-37
2.5.5 增感屏	2-38
2.5.6 曝光曲线	2-39
2.6 暗室处理	2-41
2.6.1 暗室处理概述	2-41
2.6.2 暗室处理过程	2-42

2.6.3 自动处理	2-43	3.7 中子激活问题	2-72
2.6.4 暗室处理质量控制	2-44	第4章 射线计算机层析法检测	2-73
2.7 评片	2-44	4.1 概述	2-73
2.7.1 评片概述	2-44	4.2 射线 CT 的基本原理	2-73
2.7.2 缺陷识别	2-44	4.3 射线 CT 系统的构成	2-74
2.7.3 质量评定概述	2-47	4.3.1 射线源	2-74
2.8 射线实时成像检测技术	2-47	4.3.2 机械扫描系统	2-74
2.8.1 概述	2-47	4.3.3 辐射探测系统	2-76
2.8.2 射线实时成像检测系统	2-48	4.3.4 计算机系统	2-77
2.8.3 射线探测器	2-50	4.4 射线 CT 检测	2-77
2.8.4 射线实时成像检测技术图像的 基本特性	2-54	4.4.1 训机	2-77
2.8.5 射线实时成像检测技术理论的 基本关系式	2-55	4.4.2 被检工件、最大穿透厚度	2-77
2.8.6 射线实时成像检测的基本 技术	2-56	4.4.3 半值层和质量衰减系数	2-78
2.9 CR 技术	2-57	4.4.4 射线源和扫描能量的选择	2-78
2.9.1 概述	2-57	4.4.5 准直器的选择	2-78
2.9.2 CR 系统	2-57	4.4.6 工业射线 CT 检测标准	2-78
2.9.3 CR 检测技术	2-58	4.5 工业射线 CT 的图像质量	2-79
第3章 中子射线法检测	2-62	4.5.1 空间分辨力	2-79
3.1 概述	2-62	4.5.2 密度分辨力	2-80
3.2 基本原理	2-62	4.5.3 伪像	2-80
3.3 用于中子射线检测的装置	2-65	4.6 工业射线 CT 系统性能的测量	2-81
3.3.1 中子按能量的分级	2-65	4.6.1 试样	2-81
3.3.2 中子源	2-65	4.6.2 空间分辨力的测量	2-81
3.3.3 准直器	2-65	4.6.3 密度分辨力(对比灵敏度)的 测量	2-82
3.4 热中子成像方法(热中子束的 探测)	2-66	4.6.4 对比度-细节-剂量(Contrast - Detail - Dose, CDD) 曲线	2-83
3.4.1 射线胶片成像法	2-66	4.6.5 某些工业射线 CT 设备的 性能	2-83
3.4.2 闪烁器和实时成像	2-67	4.7 工业射线 CT 应用示例	2-85
3.4.3 迹蚀探测器	2-67	4.7.1 BT-300(50)-1 型工业射线 CT 应用示例	2-85
3.4.4 中子射线照相图像质量的 确定	2-68	4.7.2 CD 系列工业射线 CT 应用 示例	2-87
3.5 其他能量中子的探测	2-69	4.7.3 ICT-F 系列和 225kV 显微 CT 应用 示例	2-87
3.5.1 冷中子	2-69	4.7.4 GY-6-ACT 型工业射线 CT 应用 示例	2-89
3.5.2 超热中子	2-69	4.7.5 其他工业射线 CT 应用示例	2-89
3.5.3 共振中子	2-69	4.8 射线 CT 二维检测的三维重建	2-91
3.5.4 快中子	2-69	4.8.1 三维重建软件的功能	2-91
3.6 中子射线检测法的应用示例	2-70	4.8.2 目前商业的三维重建软件	2-92
3.6.1 检测高密度容器中低密度元件和 低密度区	2-70	4.8.3 三维重建软件应用示例	2-92
3.6.2 检测密度相似但中子截面不同的 材料	2-70	4.9 双能射线 CT 技术	2-93
3.6.3 检测高放射性试件	2-71	4.9.1 基本原理	2-93

4.9.2 应用示例	2-93	6.1 质子射线照相	2-111
4.10 康普顿背散射层析技术	2-93	6.1.1 质子射线照相的基本原理	2-111
4.10.1 基本原理	2-93	6.1.2 质子源和探测器材	2-112
4.10.2 优点和局限性	2-94	6.1.3 应用	2-112
4.10.3 应用示例	2-94	6.2 正电子湮没检测	2-113
4.11 焦平面层析	2-95	6.2.1 基本概念	2-113
4.12 中子 CT 技术	2-96	6.2.2 应用	2-113
4.13 快速工业射线 CT	2-97	6.3 中子活化分析	2-114
第 5 章 β 射线与 γ 射线测厚技术 ..	2-98	6.3.1 基本概念	2-114
5.1 射线和物质的相互作用	2-98	6.3.2 优点与局限性	2-114
5.1.1 β 射线和物质的相互作用	2-98	6.3.3 应用示例	2-114
5.1.2 γ 射线与物质的相互作用	2-100	6.4 穆斯堡尔谱法	2-114
5.2 辐射源、探测器和防护	2-102	6.4.1 基本概念	2-114
5.2.1 常用测厚放射源	2-102	6.4.2 方法的优点和局限性	2-115
5.2.2 辐射探测器	2-103	6.4.3 应用	2-116
5.2.3 射线的防护	2-104	6.5 电子射线照相	2-116
5.3 测厚仪表	2-105	6.5.1 概述	2-116
5.3.1 透射式仪表	2-105	6.5.2 透射法	2-117
5.3.2 散射式仪表	2-108	6.5.3 发射法	2-117
5.3.3 测厚仪表的标定	2-109	参考文献	2-117
第 6 章 其他射线检测方法	2-111		

第 3 篇 声学方法检测

第 1 章 声发射法检测	3-2	1.4.3 传感器的安装	3-27
1.1 概述	3-2	1.4.4 加载程序	3-27
1.1.1 声发射检测技术的概念	3-2	1.4.5 声发射噪声	3-28
1.1.2 声发射检测技术的特点	3-2	1.4.6 数据解释与评价	3-29
1.1.3 声发射技术的发展史	3-4	1.4.7 声发射检测标准与规范	3-34
1.2 声发射技术基础	3-5	1.4.8 安全防护	3-36
1.2.1 声发射源	3-5	1.5 声发射检测的应用	3-36
1.2.2 波的传播	3-5	1.5.1 材料表征	3-36
1.2.3 影响声发射特性的因素	3-8	1.5.2 结构件完整性评价	3-37
1.2.4 凯赛效应和费利西蒂效应	3-9	第 2 章 声-超声波检测	3-45
1.3 检测设备与信号处理	3-9	2.1 概述	3-45
1.3.1 声发射传感器	3-9	2.2 声-超声波检测的技术基础	3-46
1.3.2 电缆	3-11	2.2.1 检测原理	3-46
1.3.3 门槛比较器	3-12	2.2.2 信号表征	3-47
1.3.4 信号调节	3-12	2.3 声-超声波检测方法	3-49
1.3.5 信号处理	3-13	2.3.1 工作频率	3-50
1.3.6 声发射源定位	3-17	2.3.2 接收换能器	3-50
1.3.7 数据显示	3-20	2.3.3 两换能器的间距	3-50
1.3.8 声发射检测系统	3-22	2.3.4 换能器的接触压力	3-50
1.4 声发射检测技术	3-25	2.3.5 耦合剂	3-50
1.4.1 压力容器声发射检测程序	3-25	2.4 声-超声波检测的信号处理	3-50
1.4.2 设置与校准	3-26	2.4.1 声-超声波检测信号的特征 ..	3-50

2.4.2 小波变换方法	3-50	5.3.1 超声波检测仪	3-149
2.4.3 小波变换的应用实例	3-51	5.3.2 探头	3-151
2.5 声-超声波检测装置	3-53	5.3.3 超声波检测仪、压电换能器探头 及两者组合的性能测试	3-156
2.6 声-超声波检测技术应用示例	3-53	5.3.4 试块	3-156
2.6.1 胶接结构检测	3-53	5.4 超声波检测中的共性问题	3-157
2.6.2 监测材料各向异性	3-58	5.4.1 超声波检测系统的配置	3-157
第3章 声振检测	3-64	5.4.2 对受检件的要求	3-158
3.1 概述	3-64	5.4.3 耦合	3-158
3.1.1 检测的技术基础	3-64	5.4.4 关于频率的选择	3-160
3.1.2 声振检测的分类	3-65	5.4.5 对比试块	3-161
3.2 整体振动检测	3-66	5.4.6 扫查	3-161
3.2.1 整体人工敲击检测	3-66	5.4.7 影响缺陷回波幅度的因素	3-162
3.2.2 单点激振单点测量	3-66	5.4.8 实际缺陷的定量评定方法	3-162
3.2.3 多点激振多点测量	3-68	5.4.9 检测规程的编制和检测结果的 记录	3-163
3.2.4 振动分析	3-77	5.5 纵波检测	3-164
3.3 局部振动检测	3-90	5.5.1 设备性能要求	3-164
3.3.1 局部人工敲击检测	3-90	5.5.2 扫查前的准备	3-164
3.3.2 声阻法检测	3-94	5.5.3 缺陷位置的确定	3-165
3.3.3 声谐振检测	3-101	5.5.4 用 AVG 图法确定缺陷的当 量值	3-165
3.3.4 定距发送/接收检测	3-109	5.5.5 用对比试件法确定缺陷的当 量值	3-165
3.3.5 综合声学检测技术	3-112	5.5.6 缺陷长度的测量	3-167
3.3.6 局部振动检测技术小结	3-115	5.5.7 背表面反射损失的评定	3-168
第4章 声全息与声成像检测	3-117	5.5.8 受检件纵波检测的质量等级 划分	3-168
4.1 声全息检测	3-117	5.5.9 双晶片纵波探头的运用	3-168
4.1.1 光学模拟声全息	3-117	5.5.10 纵波检测时试件侧边界的 影响	3-168
4.1.2 扫查声全息	3-125	5.5.11 水浸法检测	3-169
4.1.3 声全息系统比较	3-127	5.5.12 缺陷埋深和自身高度的测量——衍射 传播时间 (TOFD) 技术	3-172
4.1.4 声全息应用概况	3-128	5.5.13 头波和爬波	3-174
4.2 声成像检测	3-129	5.6 横波检测	3-175
4.2.1 声成像基本原理	3-129	5.6.1 用斜探头发射的 SV 横波声场 检测	3-175
4.2.2 无损检测应用	3-132	5.6.2 SV 横波检测的基本工作 方式	3-176
4.3 换能器阵列扫查声成像	3-133	5.6.3 SV 波检测条件选择的考虑	3-176
4.3.1 检测原理	3-135	5.6.4 SV 波检测前的准备	3-176
4.3.2 相控阵列性能指标	3-136	5.6.5 SV 波检测时缺陷位置的 确定	3-178
4.3.3 应用概况	3-137	5.6.6 SV 波检测时缺陷的定量	3-179
第5章 超声波法检测	3-139		
5.1 概述	3-139		
5.2 超声波法检测基础知识	3-139		
5.2.1 振动与波	3-139		
5.2.2 超声平面波在大平界面上垂 直入射时的行为	3-142		
5.2.3 超声平面波在大平界面上斜 入射时的行为	3-142		
5.2.4 圆盘声源的声场	3-146		
5.3 超声波检测仪、探头和试块	3-149		

5.6.7 SV 波检测时侧壁的影响	3-179	5.8.4 薄板分层的兰姆波检测	3-189
5.6.8 SV 波检测时缺陷埋深及自身高度的测量	3-179	5.8.5 板与固体或液体接触时的情况	3-189
5.6.9 用 SV 波探头对圆弧面试件作直接接触法检测	3-180	5.8.6 泄漏兰姆波检测	3-190
5.6.10 水平偏振横波 (SH 波) 的应用	3-181	5.9 相控阵扫查法检测	3-191
5.7 瑞利波法检测	3-181	5.10 超声波测厚	3-192
5.7.1 声表面波	3-181	5.10.1 共振法	3-192
5.7.2 瑞利波	3-181	5.10.2 脉冲反射法	3-192
5.7.3 瑞利波的产生	3-182	5.11 不同材质中的声速	3-196
5.7.4 斜楔瑞利波探头性能的测试	3-182	第 6 章 声显微镜检测	3-202
5.7.5 时间基线的标定及检测灵敏度的调整	3-183	6.1 概述	3-202
5.7.6 缺陷的检测	3-183	6.2 激光扫描声显微镜检测	3-202
5.8 兰姆波法检测	3-184	6.2.1 工作原理	3-202
5.8.1 兰姆波方程、相速度、群速度和质点振动的位移	3-184	6.2.2 检测前的考虑	3-202
5.8.2 在薄板中兰姆波的激励	3-186	6.2.3 应用示例	3-203
5.8.3 兰姆波检测薄板时模式的选择	3-187	6.3 扫描声显微镜	3-206
		6.3.1 工作方式和基本原理	3-206
		6.3.2 扫描声显微镜的构成	3-210
		6.3.3 应用示例	3-210
		参考文献	3-214

第 4 篇 电学方法检测

第 1 章 涡流法检测	4-2	状态的确认	4-12
1.1 概述	4-2	1.5.2 缺陷的探测示例	4-17
1.2 涡流检测的物理基础	4-2	1.5.3 厚度的测定	4-20
1.2.1 金属的导电性	4-2	1.5.4 薄材的涡流检测——涡流检测的一个重要应用	4-21
1.2.2 金属的磁性	4-4	1.6 棒材的穿过式线圈检测	4-24
1.2.3 电磁感应	4-4	1.6.1 分选	4-24
1.2.4 趋肤效应	4-4	1.6.2 缺陷的检测	4-24
1.3 涡流检测中线圈的阻抗分析	4-5	1.6.3 钛合金小直径棒材的检测	4-26
1.3.1 线圈的阻抗和归一化	4-5	1.7 非磁性管材的穿过式线圈及内通过式线圈检测	4-27
1.3.2 放置式线圈的阻抗	4-6	1.7.1 薄壁管的检测	4-27
1.3.3 带无限长导电圆棒的穿过式线圈的阻抗	4-7	1.7.2 厚壁管的检测	4-27
1.3.4 带管材的穿过式线圈和内通过式线圈的情况	4-8	1.7.3 换热器传热管的在役检测	4-27
1.4 用于涡流检测的主要电路	4-10	1.8 远场涡流检测	4-29
1.4.1 振荡器	4-10	1.8.1 远场涡流检测的基本原理及其局限性	4-29
1.4.2 放大器	4-10	1.8.2 激励/检测线圈的几种典型配置方式	4-30
1.4.3 抑制电路	4-11	1.9 多频涡流检测	4-31
1.4.4 检出电路	4-11	1.9.1 多频涡流检测的基本原理	4-32
1.4.5 信号显示	4-11	1.9.2 换热器管道的多频涡流检测	4-33
1.5 放置线圈涡流检测的应用	4-12		
1.5.1 分选 (混料的识辨) 和热处理			

1.10 磁光涡流检测	4-34	2.5.1 单探头的情况	4-54
1.10.1 原理	4-34	2.5.2 阵列探头的应用	4-54
1.10.2 优点	4-35	第3章 电流微扰检测	4-55
1.10.3 应用示例	4-35	3.1 概述	4-55
1.11 脉冲涡流检测	4-36	3.2 检测系统	4-55
1.11.1 脉冲涡流检测的基本原理	4-36	3.2.1 交流检测系统	4-55
1.11.2 脉冲涡流传感器的设计与制作	4-37	3.2.2 直流检测系统	4-56
1.11.3 脉冲涡流检测参数的优化	4-38	3.3 信号特征	4-56
1.11.4 脉冲涡流检测技术的应用	4-38	3.4 应用示例	4-56
1.12 阵列涡流检测	4-39	3.4.1 双层构件紧固件孔中底层孔边裂纹的探测	4-56
1.12.1 阵列涡流检测的原理	4-39	3.4.2 钛合金空心主轴螺纹根部疲劳裂纹的探测	4-58
1.12.2 阵列涡流检测技术的优点及应用	4-40	3.4.3 叶片榫槽表面裂纹的检查	4-59
第2章 电位差和交流场检测	4-42	第4章 微波法检测	4-61
2.1 概述	4-42	4.1 概述	4-61
2.2 直流电位差法测量裂纹深度	4-42	4.1.1 微波	4-61
2.2.1 基本原理	4-42	4.1.2 微波法检测技术的发展	4-63
2.2.2 单条、开裂面垂直于有限厚试件表面的无限长裂纹深度测量	4-42	4.1.3 微波法检测技术的特点	4-64
2.2.3 单条、开裂面垂直于无限厚试件表面的有限长裂纹深度测量	4-43	4.1.4 微波的物理特性	4-64
2.2.4 倾斜裂纹的深度测量	4-44	4.2 微波检测机理	4-65
2.2.5 多条裂纹的深度测量	4-45	4.2.1 微波检测的物理基础	4-65
2.2.6 直流电位差法的优缺点	4-46	4.2.2 微波在介质界面的反射与折射	4-66
2.3 交流电位差法测量裂纹深度	4-46	4.2.3 微波在介质中的衰减与频散	4-67
2.3.1 交流电位差法的特点	4-46	4.2.4 驻波	4-67
2.3.2 电流趋肤深度小、裂纹长而深的情况	4-47	4.2.5 散射	4-67
2.3.3 电流趋肤深度小、裂纹短而深的情况	4-47	4.2.6 各种微波检测原理比较	4-67
2.3.4 电流趋肤深度大、裂纹长深比不同的情况	4-47	4.3 微波法检测主要方法	4-68
2.3.5 裂纹倾斜的情况	4-48	4.3.1 透射技术	4-68
2.3.6 附加信号	4-49	4.3.2 反射技术	4-69
2.3.7 交流电位差法的优缺点	4-50	4.3.3 驻波技术	4-69
2.4 应用示例	4-51	4.3.4 腔体微扰法	4-69
2.4.1 大直径管内壁周向裂纹深度的直流电位差法测量	4-51	4.4 微波法检测装置	4-69
2.4.2 结构钢表面硬化层深度的直流电位差法测量	4-51	4.4.1 微波法检测装置基本构成	4-69
2.4.3 铝合金试件电位差法测量系统的选择	4-53	4.4.2 微波检测装置的主要部件	4-70
2.4.4 螺纹件的交流电位差法检测	4-53	4.4.3 微波法检测仪器的类型	4-71
2.5 交流场测量 (ACFM) 技术	4-53	4.5 微波涡流检测技术	4-71
		4.5.1 电磁共振涡流探头	4-71
		4.5.2 铁磁共振涡流探头	4-74
		4.5.3 涡流用于检测小半径的孔和区域	4-77
		4.6 微波全息照相技术	4-78
		4.6.1 光全息照相	4-78
		4.6.2 微波全息照相	4-78

4.6.3 应用示例	4-80	射计	4-93
4.7 微波法检测的主要应用	4-81	4.7.16 隧道盾构非开挖技术的微波 “导引”	4-94
4.7.1 湿度的微波测量	4-81	4.7.17 等离子体的微波“诊断” ...	4-94
4.7.2 悬浮体浓度的微波测量	4-81	4.7.18 微波法检测技术的其他 应用	4-94
4.7.3 厚度的微波检测	4-82	第5章 其他电学检测方法	4-95
4.7.4 固体火箭壳体完整性的检测 ...	4-83	5.1 带电粒子检测	4-95
4.7.5 粘接结构脱粘的微波检测	4-84	5.1.1 带金属背衬的非导电材料	4-95
4.7.6 金属表面裂纹的微波检测	4-84	5.1.2 不带金属背衬的非导电材料 ...	4-95
4.7.7 探地雷达技术	4-85	5.1.3 粉末特性和试验装置	4-96
4.7.8 集成电路内部剥离的微波无损 检测	4-88	5.2 电晕放电检测	4-96
4.7.9 用微波源加热的热成像无损 检测	4-88	5.2.1 基本概念	4-96
4.7.10 桥梁附近河床冲刷的微波 探测	4-89	5.2.2 检测技术	4-96
4.7.11 汽车防撞雷达	4-90	5.2.3 作业	4-96
4.7.12 毫米波焦平面成像系统	4-91	5.3 外激电子发射	4-96
4.7.13 微波波谱学应用	4-91	5.4 介电测量检测	4-96
4.7.14 飞机构件涂层下腐蚀的微波 检测	4-92	5.4.1 检测原理	4-97
4.7.15 用于温度控制的微波辐		5.4.2 检测方法	4-98
		5.4.3 介电测量固化监测	4-99
		参考文献	4-101

第5篇 磁学方法检测

第1章 磁粉法检测	5-2	1.6 磁粉和磁悬液	5-11
1.1 概述	5-2	1.6.1 磁粉	5-11
1.2 磁粉法检测基础知识	5-2	1.6.2 磁悬液	5-12
1.2.1 磁场	5-2	1.6.3 磁粉的施加	5-13
1.2.2 磁感应强度	5-2	1.7 磁痕的判别和记录	5-14
1.2.3 磁导率	5-2	1.7.1 磁痕的判别	5-14
1.2.4 磁性材料的分类	5-3	1.7.2 磁痕的记录	5-15
1.2.5 漏磁场与反磁场	5-3	1.8 检测后的退磁和清理	5-15
1.3 试件的准备	5-4	1.8.1 退磁	5-15
1.3.1 总的要求	5-4	1.8.2 清理	5-16
1.3.2 非导电覆层	5-4	1.9 系统性能及作业质量的控制	5-16
1.3.3 导电覆层	5-4	1.9.1 带缺陷试验件的利用	5-16
1.3.4 剩余磁场	5-4	1.9.2 磁粉法检测装置的查核	5-18
1.3.5 检测面的清理	5-4	1.9.3 磁粉性能的检定	5-18
1.4 磁化方法	5-4	1.10 安全	5-19
1.4.1 电流法	5-4	1.11 应用示例	5-20
1.4.2 磁轭法	5-8	1.11.1 锻、铸件的检测	5-20
1.4.3 复合磁化法	5-8	1.11.2 焊缝的检测	5-21
1.5 对磁场强度的要求	5-9	1.11.3 疲劳裂纹扩展的监测	5-21
1.5.1 确定所需磁场强度时的考虑	5-9	1.12 常用钢种磁特性参数	5-21
1.5.2 电流法	5-9	第2章 漏磁场检测	5-27
1.5.3 磁轭法	5-11	2.1 概述	5-27