



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

无损检测原理及技术

陈文革 主编

赵 康 审稿



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

无损检测原理及技术

陈文革 主编

赵 康 审稿

北 京

冶金工业出版社

2019

内 容 提 要

本书共分8章,内容包括:绪论、缺陷分析、射线检测、超声波检测、磁粉检测、涡流检测、渗透检测和无损检测新技术等。

本书重点介绍了五大探伤方法的原理、检测技术方法、检测结果分析和应用特征。针对教学内容书后配有适量习题和答案。

本书可作为大专院校材料科学与工程专业教学用书,也可作为机械、检测等在职无损检测人员培训的教材,还可供从事工程设计、技术管理、安全防护管理人员和广大无损检测工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

无损检测原理及技术/陈文革主编. —北京:冶金工业出版社, 2019. 2

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-8025-7

I. ①无… II. ①陈… III. ①无损检验—高等学校—教材 IV. ①TG115. 28

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第015707号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 吕欣童 版式设计 禹蕊

责任校对 郭惠兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-8025-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安县京平诚乾印刷有限公司印刷
2019年2月第1版,2019年2月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 11.5印张; 276千字; 172页

28.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前言

随着科学技术的发展,人们对产品质量越来越重视,无损检测就是用来保证产品的使用寿命、工艺优化和可靠性的一门科学技术。在当今倡导工业 4.0 和人工智能的背景下,无损检测必将发挥重要的作用。

人们知道,机器零件或材料中有缺陷是不可避免的,能不能检测出来则取决于选用的方法和个人的技术水平。无损检测就是针对工业产品展开的非破坏性诊断,达到防患于未然、延长使用寿命的目的。本书不仅介绍了无损检测的概念、发展状况、应用特点和在国内外工业中的地位等,还介绍了各类缺陷的种类和形成原因,射线、超声、磁粉、涡流、渗透等常用的五大探伤原理和技术,也列举出近年来出现的诸如全息照相、磁记忆探伤、声发射探伤等新型探伤技术。最为重要的是本书把苦涩的原理和应用技术结合起来,可激发学生的探究欲望和学习兴趣,使其很快掌握一门学完马上就能用的专业技能。可以说,该书讲解全面、内容丰富、概括性强、适用范围广,易学好懂。

无损检测是大材料专业必修的一门专业课。不仅是对材料专业知识的拓宽,更使学生多掌握了一种工程技能,为今后毕业提供更多的就业机会和发展方向。目前,市面上的相关教材由于专业性质过于强,内容比较单一,很难适用于当前“宽口径,轻深度”的办学理念,也没有一本概括性强、内容系统完整的教材来满足在有限时间内对这一科目体系阐述的书籍。编者根据近 20 年的教学经验,分析目前所用参考教材内容的不足;针对该行业的需求以及学生应该掌握什么知识才能到该领域施展才华,组织编写了本教材。

本书由西安理工大学陈文革教授编写,赵康教授审核。编写过程中得到西安交通大学的张晖教授、西安建筑科技大学王发展教授、北方民族大学沈宏芳副教授、西安航空学院丁旭教授的大力支持,研究生周凯、冯涛协助校对整理,在此一并表示感谢。

鉴于编者水平有限和时间仓促，书中不妥之处在所难免。恳请同行和广大读者给予批评指正。

编者

2018年10月

目 录

1 绪论	1
1.1 无损检测的概念	1
1.2 无损检测的作用及特点	1
1.2.1 无损检测的作用	1
1.2.2 无损检测的特点	2
1.3 无损检测的基础	3
1.3.1 材料的物理性质	3
1.3.2 缺陷种类及产生原因	3
1.3.3 各种缺陷对材料强度（性能）的影响	4
1.4 无损检测技术人员的任务	4
1.5 无损检测的分类及选用	5
1.5.1 无损检测的分类	5
1.5.2 各种无损检测方法的选用	6
1.6 无损检测的地位、国内外现状和发展	6
1.6.1 无损检测在国民经济中的地位 and 意义	6
1.6.2 国外无损检测概况	7
1.6.3 中国无损检测的状况	9
1.6.4 无损检测的发展动向及未来预测	11
2 缺陷分析	13
2.1 缺陷概述	13
2.1.1 工艺缺陷的分类	13
2.1.2 工艺缺陷的危害性（定性分析）	14
2.1.3 工艺缺陷的辩证分析	15
2.2 典型工艺缺陷类别及原因	15
2.2.1 焊接缺陷及原因分析	15
2.2.2 铸造缺陷及其原因分析	17
2.2.3 锻造缺陷及原因分析	18
2.2.4 热处理缺陷及原因分析	20
2.2.5 其他缺陷及原因分析	22
3 射线检测	24
3.1 射线及射线检测的基础	24

3.1.1 射线检测的概念及分类	24
3.1.2 射线的基本性质	24
3.1.3 射线的产生	25
3.2 射线检测的基本原理	27
3.2.1 射线在物质中的衰减定律	27
3.2.2 射线检测的基本原理	28
3.3 射线检测装置及应用	29
3.3.1 X射线机	29
3.3.2 γ 射线源	31
3.3.3 高能射线探伤	31
3.4 射线检测技术	32
3.4.1 射线照相检测技术	32
3.4.2 射线探伤荧光屏观察法	39
3.4.3 工业X射线电视法	39
3.4.4 中子射线检测	40
3.4.5 电离法检测	40
3.5 射线的安全与防护	41
3.5.1 射线防护的基础知识	41
3.5.2 射线的防护措施	42
4 超声波检测	46
4.1 超声波探伤的物理基础	46
4.1.1 超声波和超声波探伤的概念	46
4.1.2 超声波的产生和接收	46
4.1.3 超声波的种类和特点	47
4.1.4 声场的形状和特征	50
4.1.5 超声波的基本性质	50
4.2 超声波探伤的基本原理	51
4.2.1 超声波在界面上的反射、折射和穿透现象	51
4.2.2 超声波的衰减现象和原因	53
4.2.3 超声波探伤原理	54
4.3 超声波探伤的技术	57
4.3.1 超声波探伤分类	57
4.3.2 超声波探伤步骤	58
4.3.3 超声波探伤探头	59
4.3.4 超声波探伤用试块	60
4.3.5 超声波探伤缺陷的评定技术	62
4.4 超声波探伤的影响因素	69
4.4.1 缺陷本身的影响	69

4.4.2	仪器的影响	70
4.4.3	被检材料显微组织的影响	71
4.5	超声波探伤的适用范围和特征	71
4.5.1	超声波探伤的适用范围	71
4.5.2	超声波探伤的特征	72
5	磁粉检测	74
5.1	磁粉检测的物理基础	74
5.1.1	磁粉检测的概念及过程	74
5.1.2	磁极的形成	74
5.1.3	钢铁材料的磁特性	75
5.2	磁粉检测的基本原理	76
5.2.1	磁粉检测的基本原理	76
5.2.2	漏磁与漏磁场	77
5.3	磁粉探伤设备	78
5.4	磁粉检测技术	79
5.4.1	磁粉的分类及性能	79
5.4.2	磁化方法	80
5.4.3	磁化电流值的确定	82
5.4.4	退磁和检验	83
5.5	磁粉探伤方法	83
5.5.1	磁粉探伤分类	83
5.5.2	磁粉探伤步骤	84
5.6	磁粉检测的适用范围与特征	85
6	电磁感应(涡流)检测	86
6.1	涡流检测的物理基础	86
6.1.1	涡流检测的概念	86
6.1.2	涡流的产生	86
6.2	涡流检测的基本原理	87
6.2.1	涡流检测的基本原理	87
6.2.2	集肤效应和渗透深度	88
6.3	涡流检测的技术	88
6.3.1	涡流检测装置	88
6.3.2	检测线圈的种类和使用	89
6.3.3	涡流检测用试块	91
6.3.4	涡流检测的方法	91
6.4	涡流检测的应用	92
6.4.1	材质检测	92

6.4.2 厚度测量	93
6.5 电磁感应(涡流)检测的适用范围和特征	93
7 渗透检测	95
7.1 渗透检测的物理基础	95
7.1.1 渗透检测的概念	95
7.1.2 渗透剂的组成及作用	96
7.1.3 显像剂的组成及作用	97
7.2 渗透检测的基本原理	98
7.2.1 毛细现象和润湿	98
7.2.2 渗透检测的原理	99
7.3 渗透检测的技术	100
7.3.1 渗透探伤方法的分类及应用	100
7.3.2 渗透探伤用试块	101
7.3.3 渗透检测的步骤或方法	102
7.3.4 渗透探伤缺陷的显示与评定	103
7.4 渗透探伤设备	104
7.4.1 固定式渗透探伤设备	104
7.4.2 可移动或携带探伤设备	106
7.5 渗透检测的适用范围与特征	106
7.5.1 渗透检测的适用范围	106
7.5.2 渗透检测的特征	107
8 无损检测新技术	108
8.1 声发射检测	108
8.1.1 声发射检测技术及原理	108
8.1.2 声发射的产生与传播	109
8.1.3 声发射检测仪器	112
8.1.4 声发射检测技术特点	116
8.1.5 声发射检测的应用	117
8.1.6 影响材料声发射特性的因素	118
8.2 红外无损检测	119
8.2.1 红外无损检测技术的特点及存在问题	120
8.2.2 红外无损检测基础	120
8.2.3 红外无损检测方法	124
8.2.4 红外无损检测仪器	125
8.2.5 红外无损检测技术的应用	126
8.2.6 红外无损检测技术的发展	127
8.3 激光全息照相检测	127

8.3.1 激光全息检测的特点与原理	128
8.3.2 激光全息检测方法	129
8.3.3 激光全息检测的应用	131
8.4 微波无损检测	132
8.4.1 微波的性质及特点	132
8.4.2 微波的产生与传输	132
8.4.3 微波检测的基本原理	134
8.4.4 微波的检测方法	134
8.4.5 微波检测技术的应用	135
8.5 声振(声阻)检测	136
8.5.1 声振检测的原理及方法	136
8.5.2 声振检测的应用	138
8.5.3 声振检测的研究进展	139
8.6 金属磁记忆检测	140
8.6.1 磁记忆效应	140
8.6.2 检测原理	141
8.6.3 磁记忆检测特点	141
8.7 超声导波检测	142
8.8 超声波相控阵检测	144
8.8.1 超声波相控阵检测原理	144
8.8.2 超声波相控阵探头	144
8.8.3 相控阵波束	144
8.8.4 超声波相控检测原理	146
8.8.5 超声波相控阵检测应用	147
8.9 TOFD 检测	148
8.9.1 理论基础	148
8.9.2 检测的基本原理	148
8.9.3 TOFD 检测的特点	149
习题	151
答案	164
参考文献	171

1 绪 论

1.1 无损检测的概念

无损检测是什么？从字面上讲，就是无需经过破坏，就能检测出材料、设备或工件中存在的问题。正如我们熟悉的中医上的“望、闻、问、切”，西医的 B 超、透视，对陶器、瓜果，乃至列车车轮的敲击等，通过听音辨别是否存在成熟、裂纹或者缺陷等，都属于无损检测。

无损检测是在不损伤和破坏被检材料、工件或设备的情况下，探究其内部和表面有无缺陷的手段。也就是利用材料内部结构的异常或缺陷的存在所引起的对热、声、光、电、磁等反应的变化，评价结构异常和缺陷存在及危害程度。

无损检测常有三种简称：

(1) NDT: Non-destructive Testing (无损检测)；

(2) NDI: Non-destructive Inspection (无损检查)；

(3) NDE: Non-destructive Evaluation (无损评价)。

1.2 无损检测的作用及特点

1.2.1 无损检测的作用

无损检测的作用或目的包括以下几个方面：

(1) 改进制造工艺。人们按规定的质量要求制造产品时，为了要知晓所采用的制造工艺是否适宜，可先根据预定的制造工艺制造试制品，并对其进行无损检测。在观察检测结果的同时改进制造工艺，并反复进行试验，最后确定满足质量要求的产品制造工艺。例如，为了确定焊接规范，可根据预定的焊接规范制成试样，进行射线照相，随后根据探伤结果，修正焊接规范，最后再确定能够达到质量要求的焊接规范。按照各种无损检测手段所具有的特征，并熟练地运用这些手段，就能很容易地改进制造工艺。

(2) 降低制造成本。进行无损检测，往往被认为要增加检查费用，从而使得制造成本也提高了。可是如果在制造过程中间的适当环节正确地进行无损检测，可防止无用的工序，从而降低制造成本。例如，如果在焊接完成后再检测发现有缺陷，需要返工修补。而返工需要许多工时或者很难修补，因此可以在焊接完工前的中间阶段先进行无损检测，确实证明没有缺陷后，再继续进行焊接，这样焊接后就可能不需要再进行修补了。这也是一个应用无损检测降低成本的例子。

如上所述，看起来进行无损检测要耗费一定的工时，似乎使制造成本提高了。但若考

虑由于不进行无损检测而造成修补和返工所需的工时,无损检测的费用就微不足道了,相反使产品的成本降低。

(3) 提高可靠性。可靠性的定义根据产品的种类、使用目的的不同而有所不同。就一般工业产品而言,可以理解为:在规定的使用条件下,在其使用寿命内,产品的部分或者整体都不发生破损,而且在满足所需的性能条件下,能够运转的时间与预期的使用寿命的比率(亦称利用度),这一概念就作为衡量可靠性好坏的大致尺度。这里,引起产品的部分或者整体破损而不能满足预期性能的原因,有设计方面的问题,有材料方面的问题,有加工方面的问题,也有完全意外的自然因素或者不能预计的灾害等问题;可以针对其发生的原因,采取措施,尽量降低它们的发生概率。

为此所采取的措施之一就是进行无损检测,即从原材料的无损检测开始,到最终成品的无损检测位置。通过一系列的检测,判定设计的好坏、原材料的好坏、周遭工艺的好坏,并找出可能引起破损的因素,随后加以改进,尽量减少其发生损坏的概率。

1.2.2 无损检测的特点

材料无损检测技术主要用于未知工艺缺陷的检验。它是对破坏性检验的补充和完善。其特点为:

(1) 非破坏性。指在获得检测结果的同时,除了剔除不合格品外,不损失零件。因此,检测规模不受零件多少的限制,既可抽样检验,又可在必要时采用普检。因而,更具有灵活性(普检、抽检均可)和可靠性。

无损检测是在不损伤和破坏材料、机器和结构的情况下,对它们化学性能、力学性能以及内部结构等进行评价的一种检测方法。为了评价它们的性质,作出一定的判断,必须事先对同样条件的试样进行无损检测,随后再进行破坏性检测,求出这两个检测结果之间的关系。无损检测是在大量破坏性检测的基础上总结归纳出来的规律。NDT的优点是可直接检测;既能抽检也能全检;可对正在使用的零件进行检测;可测量使用累积的影响;不必制样;可应用于现场;可重复试验,成本低。缺点是对操作人员要求高;检测结果因人可能不同,需进行大量证明,可靠性差;原始投资较大;检测结果是定性的。

(2) 可靠性。无损检测是把一定的物理能量加到被检物上,再使用特定的检测装置来检测这种物理能量穿透、吸收、反射、散射、漏泄、渗透等现象的变化,来检查被检物有没有异常,这与被检物的材质、组织成分、形状、表面状态、所采用的物理能量的性质,以及被检物异常部分的状态、形状、大小、方向性和检测装置的特性等有很大关系。一般来说,不管采用哪一种检测方法,要完全检测出异常部分是不可能的。故为了提高检测结果的可靠性,必须选择适合于异常部分性质的检测方法检测规范。

(3) 无损检测方法和检测规范的选择。基于上述目的,必须预计被检物异常部分的性质,即预先分析被检物的材质、加工种类、加工过程或使用经过,必须预计缺陷可能是什么种类,什么形状,在什么部位,什么方向,确定它们的性质,随后再选择最适当的检测方法。

(4) 互容性指检验方法的互容性。指用不同的检测方法可检测同一零件。

(5) 动态性,这是说,无损探伤方法可对使用中的零件进行检验,而且能够适时考察产品运行期的累计影响。因而,可查明结构的失效机理。

(6) 严格性指无损检测技术的严格性。首先无损检测需要专用仪器、设备；同时也需要专门训练的检验人员，按照严格的规程和标准进行操作。

(7) 无损检测的实施时间。无损检测选择的时间必须是评定质量的最适当的时间。如焊接件的热处理，在热处理前检测就是针对焊接工艺产生的缺陷，而在热处理后检测则是针对热处理工艺产生的缺陷。检测次序的不同导致评定目的差异。再比如对一零件是在每道工序结束后检测还是最后检测目的完全不同，前者主要检测各个工序的合理与正确，而后者则是产品的质量。

(8) 无损检测结果的评定。

1) 无损检测的结果只应用来作为评定质量和寿命的依据之一，而不应仅仅根据它作出片面的结论，即同一零件可同时或依次采用不同的检验方法，而且又可重复地进行同一检验。这也是非破坏性带来的好处。

2) 利用无损检测以外的其他检测所得到的结果，使用有关材料的、焊接的、加工工艺的知识综合起来作出判断。

3) 要区别可以允许的缺陷和不可允许的缺陷，不要用无损检测去盲目追求要求过高的那种“高质量”。

4) 不同的检测人员对同一试件的检测结果可能有分歧。特别是在超声波检验时，同一检验项目要由两个检验人员来完成，需要“会诊”。

1.3 无损检测的基础

1.3.1 材料的物理性质

- (1) 在射线辐射下呈现的性质；
- (2) 在弹性波作用下呈现的性质；
- (3) 磁学性质、热学性质以及表面能量的性质。

1.3.2 缺陷种类及产生原因

不同加工方法所引起的缺陷种类及其产生原因

- | | | |
|---------|---|--|
| (1) 压延件 | { | 板材：分层裂纹、条状裂纹、夹杂物、皮下气孔、纵向裂纹、横向裂纹、龟裂、边缘裂纹、线状缺陷、鳞状折叠、耐火材料夹杂、龟壳状缺陷 |
| | | 棒材：纵向裂纹、线状缺陷、折叠、夹杂、横向裂纹、耐火材料夹杂、缩孔、皮下气孔、过烧、鳞状折叠、皱纹 |
| | | 管材：外壁折叠、横向裂纹、纵向裂纹、外壁划痕、热处理裂纹 |
- (2) 锻件：非金属夹杂物、夹砂、夹渣、外来金属夹杂物、缩孔、龟裂、过烧、烧裂、磨削裂纹、疏松、白点、皱纹。
 - (3) 铸件：针孔、气孔、夹砂、夹渣、密集气孔、冷隔、浇不足、裂纹、型芯撑、内冷铁。
 - (4) 焊缝：裂纹、未焊透、夹渣、气孔、未熔合、咬边。

(5) 维修检查中常见的缺陷：疲劳裂纹、应力腐蚀裂纹、摩擦腐蚀、空化侵蚀、热应力裂纹。

1.3.3 各种缺陷对材料强度（性能）的影响

各种缺陷对材料强度的影响可从以下几方面进行评定：

- (1) 原材料和焊缝所处的应力条件和环境条件；
- (2) 缺陷的位置和方向；
- (3) 材料有缺陷部位的厚度；
- (4) 原材料和焊缝的力学性能；
- (5) 有缺陷部位的残余应力情况；
- (6) 各种使用条件下的性质。包括：静态强度、蠕变断裂强度、疲劳强度（拉伸、扭转、弯曲等）、抗脆性断裂性能、耐腐蚀性（包括对应力腐蚀的敏感性）、耐泄露性。

由于缺陷与材料强度的关系极为重要，只靠试样来进行的各种试验研究的结果是不能解决问题的。如果将强度试验结果作为重要的判断基础的话，则应将试样各方面的条件做得尽可能地接近于实物。

1.4 无损检测技术人员的任务

(1) 预防机器和结构物在使用中由于损坏而影响到人身安全的大事故。即无损检测技术人员的责任极为重大。如果做了错误的检测和判断，则危及许多人的生命安全，并造成很大的经济损失。

(2) 无损检测技术人员在自己的职责范围内，进行正确的检测和判断。而且，在相同的标准和规范下进行的无损检测，不论由哪个技术人员检测，都必须取得相同的评定结果。

(3) 对无损检测技术人员的技术，需要经常保持一定水平，避免用拙劣的检测技术而做出错误的评定，使得无损检测的可靠性更加降低。为了达到这种要求，世界各国都实行无损检测技术人员的资格鉴定制度，以使无损检测技术水平稳定上升，检测结果的可靠性不断提高。

(4) 不可为了重视无损检测，而采用过高的检测标准和判断标准，造成经济上的极大浪费。

上面已经反复讲了无损检测技术易受各种条件的影响，即使使用最高级的技术迄今还不能完全把缺陷检测出来。如再由于技术上不熟练或者进行检测时粗心大意，其结果就非常不可靠。用这种不可靠的结果来判定牢固程度，则其可靠性恐怕就更低了。无损检测技术人员必须充分理解这一点，充分认识到所担负的工作的责任重大，并努力去完成它。即从事实际检测的技术人员要正确使用锁定的无损检测方法，尽可能正确地查清缺陷，努力获得能做出正确判断的检测结果；而从事判断的技术人员必须以测得的检测结果为基础，按照关于应用标准和有关项目的工程知识，既不过严也不过宽，坚持做到稳当的评定和判断。对同一部位使用同一方法检测时，不论是谁在何时何地进行，其检测结果都应该一致。应该避免不当地强调工艺顺序、强调经济性而忽视无损检测。如果在这样的思想支配

下进行检测和判断，而机器和结构物仍然安全可靠的话，则只能认为所应用的检验标准和判断标准对质量要求来说都是过高了。

今后对无损检测的要求将越来越多，越来越严格，因此应该认识无损检测的任务，并努力提高技术水平。日本无损检测协会规定的无损监测等级技术人员的专业类别和资格水平，分别见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 无损检测技术人员的专业类别

1 级	2 级
射线照相法探伤	射线照相法探伤
超声波探伤	超声波探伤
磁粉探伤	磁粉探伤
渗透探伤	渗透探伤
电磁感应检测	电磁感应探伤
应变测试	电阻法应变测试

表 1-2 无损检测技术人员的资格和水平

等级	资 格	技 术 水 平
特级	无损检测的计划和实施，决定执行标准，进行判断	对于全部无损检测方法具有充分的知识和经验
1 级	对所定专业的无损检测方法（以下简称本专业方法）做检测计划并加以实施，对装置的使用作必要的校正，做检测结果的解释和判断，做有关标准的解释，以及在检测时编写操作规程和撰写检测报告	对本专业方法具有充分知识和经验
2 级	对本专业方法的装置进行操作，在 1 级技术人员的指导下进行检测操作，但没有资格确定试验方法和判定是否合格	对本专业方法的装置和操作方法具有一般知识和经验

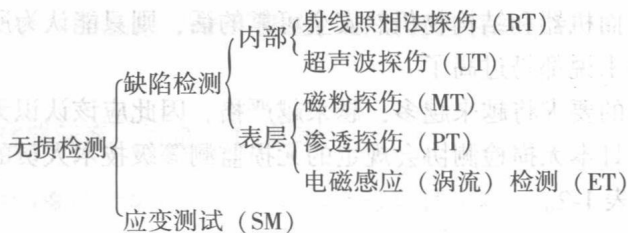
1.5 无损检测的分类及选用

1.5.1 无损检测的分类

无损检测主要可分为两大类：一类为缺陷检测，另一类为应变测试。

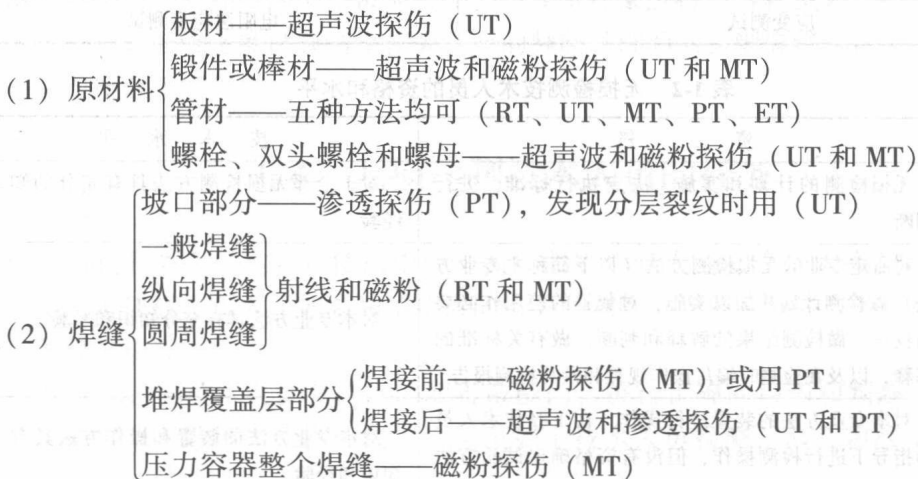
在缺陷检测中分为两类：第一类为内部缺陷检测；第二类为表层缺陷。内部缺陷检测方法主要有：射线照相法探伤（Radiography Testing，简称 RT）、超声波探伤（Ultrasonic Testing，简称 UT）。表层缺陷检测方法主要有：磁粉探伤（Magnetic Testing，简称 MT）、渗透探伤（Penetrant Testing，简称 PT）、电磁感应（涡流）检测（Eddy current Testing，简称 ET）和超声波探伤。

其他检测方法有：目视检测（Visual and Optical Testing，简称 VT）；声发射检测（Acoustic emission，简称 AE）；泄露检测（Leak Testing，简称 LT）；激光全息照相（Optical Holography）；红外热成像（Infrared Thermography）；微波检测（Microwave Testing）。



1.5.2 各种无损检测方法的选用

无损检测以不损害被检验对象的使用性能为前提,应用多种物理原理和化学现象,对各种工程材料、零部件、结构件进行有效的检验和测试,借以评价它们的连续性、完整性、安全可靠性及某些物理性能。包括探测材料或构件中是否有缺陷,并对缺陷的形状、大小、方位、取向、分布和内含物等情况进行判断;还能提供组织分布、应力状态以及某些机械和物理量等信息。各种无损检测方法的适用范围如下:



1.6 无损检测的地位、国内外现状和发展

1.6.1 无损检测在国民经济中的地位和意义

无损检测技术是现代技术科学的一个组成部分。随着现代科学技术的发展,它在国民经济各部门的应用越来越广泛,所起的作用也越来越大。现代工业部门对各种产品的质量、可靠性和安全性的要求也越来越高,如机械制造业、铁路和高速地面运输业、飞机制造业、造船工业、管道工业等等。由于无损检测技术的进步,使之产品质量提高,少出废品,对减少现场事故起着积极的作用。同样,通用电器工业、建筑工业、家具工业及食品工业等,由于采用无损检测技术而获得了好处。在宇航工业中,现代宇宙飞船制造的效率和可靠性在很大程度上已经实现了。这是由于有系统的精密的“可靠性和质量保险”的检查程序来保证。在这些检查程序中,虽然有多种检查方法,但无损检测法却是一个很重要的方面。在国防工业中,战斗机的零部件,武器及炸药的检验等都要应用无损检测。据记载,国际上许多重大事故的发生,如飞机坠毁、船舶沉没、锅炉爆炸和石油管道破坏等,

往往是由于材料本身具有缺陷或零件在加工过程中（如铸造、焊接、热处理和机械加工等）产生缺陷造成的。或者说，设备在运行中的事故，多是由于小缺陷发展成为危险缺陷而没有得到及时发现所造成的。

如美国 1968 年和 1970 年发生的石油输送管道事故分别为 499 次和 347 次，其中由于管体本身存在缺陷所引起的事故分别占 10.6% 和 9.3%，又如 1972 年至 1973 年日本的石油化工厂发生的 13 起爆炸事故中，由于机械或管道本身而造成的占 80% 等等。可见，无损检测对于检测和监控一些材料、重要部件或组件的缺陷，防止重大事故的发生起着越来越大的作用。

工业发达国家，对无损检测很重视。一个国家的工业发展水平，不仅体现在生产规模和产品种类上，同时也体现在产品质量指标上。高质量的原材料和产品，可节省大量的人力和物力，避免许多不必要的浪费。据第十五届欧洲经济共同体组织质量检测会议指出，各国由于某些材料和部件的质量低劣，而使社会产品损失约占 50%。无损检测就是同这种浪费作斗争的强有力的手段。对它的重视和发展，不仅可使许多制造部件的部门生产过程完全自动化，以提高产品质量和劳动生产率，从而获得许多经济利益，而且也影响到科学技术进一步发展。如奔驰（Benz）汽车厂，汽车操纵部分的零件和所有安全件都经过 100% 的无损检验，他们的产品在国际市场上就以高价出售；如果一个钢厂装备一台年处理能力为五十万吨的钢坯裂纹自动检查装置，用于生产工艺控制，根据检测结果自动控制缺陷磨削量，仅此一项一年就可节省二百多万马克。在美国的传统工业部门，用于质量检测的费用平均占出厂产品价值的 1%~3%。而在国防，原子及宇航等工业部门，其费用增至 12%~18%。用在造船业焊接检测上占部件和原料的检测总价值的 5%；用在火箭制造上的焊接检测占总价值的 20%；用在住宅和工业多层建筑（摩天楼）的占 1%~1.5%，用于远距离铺设大口径管道中占 1%~1.5%；用于锅炉生产制造占 1%~2%。上述费用，由于在各生产和验收的各阶段采用了无损检测，从根本上提高了产品质量和可靠性，很快就得到了补偿。例如，用于电子技术产品上的无损检测费用的回收期限短于生产设备回收期限五至十倍。目前，在世界范围内，无损检测技术用于钢铁半成品的检验越来越广泛，其经济效果也十分明显。上述事实告诉我们，无损检测在工业各部门的应用，具有巨大的经济效果，而且在先进科学技术中所占的比重也越来越大。

高温、高压、高速度、高效率是现代工业的标志，而这是建立在高质量的基础之上的。现在，在工业发达国家，无损检测技术在产品的设计、研制生产、使用部门已被卓有成效地运用。有人说，现代工业是建立在无损检测基础之上的，此并非言过其实之词，美国前总统里根在给美国无损检测学会成立 40 周年大会的贺信中就说过：“你们能够给飞机和空间飞行器、发电厂、船舶、汽车和建筑物等带来更大程度的可靠性。没有无损检测我们就不可能享有目前在这些领域和其他领域的领先地位。”诚然，我们还难以找到其他任何一个学科分支其涵盖技术知识之渊博，覆盖基础研究领域之众多，涉及应用领域之广泛能与无损检测相比。

1.6.2 国外无损检测概况

美国具有非常强大的无损检测技术队伍，实施范围广泛而多样化的研究计划，如国家科学基金会、国防部、能源部、国家标准局等，都通过拨款和签订合同等形式促进无损检