

中国无损检测 2025 科技发展战略

沈功田 胡斌 徐永昌 季敬元◎编著



中国质检出版社
中国标准出版社

中国无损检测 2025 科技发展战略

沈功田 胡斌 徐永昌 季敬元 编著

中国质检出版社
中国标准出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

中国无损检测 2025 科技发展战略 / 沈功田等编著. —北京:

中国标准出版社, 2017. 3

ISBN 978-7-5066-8605-1

I. ①中… II. ①沈… III. ①无损检验—科技发展—发展战略—中国—2015 IV. ①TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 054937 号

内容简介

本书系统地论述了我国无损检测发展现状, 分析了我国无损检测总体发展趋势及科技需求, 提出了我国无损检测科技 2025 的总体发展战略和目标。第 1 章概述了无损检测的定义、方法分类、特点、国内外发展历程、作用和我国取得的科技成就; 第 2 章按技术方法分别研究了国内外无损检测发展现状和趋势, 并进行了技术水平的比对分析; 第 3 章研究了国内外无损检测仪器设备的现状, 并对典型仪器的性能参数进行了对比分析; 第 4 章分析了我国无损检测目前面临的形势和挑战, 并重点对国内 9 个行业进行了无损检测技术综述和科技需求分析; 第 5 章提出了我国无损检测 2025 的总体科技发展战略、指导方针、发展目标、重点领域和重点任务; 第 6 章给出了实施我国无损检测科技发展战略和目标的措施。

本书是作者组织和凝练了全国无损检测产、学、研、用各方面 120 余名专家共同研究成果的结晶, 可供无损检测相关科研、仪器开发和工程技术人员参考, 也可作为高级无损检测人员的培训和高等院校无损检测相关专业的参考教材。

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 68533533 发行中心: (010) 51780238

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 22.25 字数 528 千字

2017 年 3 月第一版 2017 年 3 月第一次印刷

*

定价 98.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

序

工欲善其事，必先利其器。无损检测是器物质量控制和安全保障的重要组成部分。无论在哪个时代，任何技术发展时期，无损检测都是一个国家工业和社会发展水平的标志之一，其技术水平体现了国民经济发展的水平，其应用水平和活跃度反映了国民经济发展态势。在我国由制造大国向制造强国发展的历史进程中，无损检测必须遵循国家发展战略，制定规划，自主创新，使我国在无损检测领域尽快赶超发达国家技术水平。

改革开放 40 年来，我国在无损检测的研究成果、应用对象、仪器销售额、标准数量、检测机构和人员规模上都是当之无愧的无损检测大国，但总体上大而不强，全而不精，原创和高端无损检测技术及设备与国际领先水平尚有较大差距。当前我国无损检测的发展模式简单，缺少规划引领，在人力成本、资源成本提高和国际竞争加大的环境下已难以维系快速发展。

《中国无损检测 2025 科技发展战略》一书的问世，为实现我国无损检测自主创新和跨越式发展提供重要指南。本书深入研究了国内外无损检测各专业技术的现状和发展趋势，分析了我国的成就和差距；调研了各行业的发展现状，分析了面临的形势和挑战，提出了各行业的无损检测科技需求；以科技创新发展为核心，制定了中国无损检测未来十年的科技发展战略、指导方针、发展目标、重点领域和重点任务。

本书的编写注重了时代性、可行性、科学性、引领性、创新性和前瞻性。时代性体现在以我国发展过程中的问题作为制定发展战略的依据，确定解决问题的办法和方向。可行性体现在发展目标和任务具备可操作性，通过努力可实现。科学性体现在力求符合科学规律和未来发展趋势。引领性体现在不仅为当前存在的问题提供解决方案，同时还提出了未来发展的重点和方向，引导产业优化升级。创新性体现在科技发展战略借鉴国外经验与自主创新并举，寻找出一条不同于发达国家又符合我国发展特点的道路。前瞻性体现在准确地判断出未来的发展趋势和方向，提前布局 and 规划。

《中国无损检测 2025 科技发展战略》对我国未来 5~10 年无损检测技术发展进行了规划，明确提出了无损检测技术发展的七大重点领域。这七大领域是：1) 检测机理与理论研究；2) 先进传感器的研发；3) 先进通用高端无损检测仪器研发；4) 智能化、自动化、专用化无损检测系统开发；5) 新技术、新方法的研究与应用；6) 基于物联网和大数据的无损检测监测技术行业性应用；7) 无损检测标准的自主化、体系化和国际化。这些都是从专业方向、行业需求、仪器开发等方面凝练出来的，是未来我



国无损检测发展的关键领域。

《中国无损检测 2025 科技发展战略》(以下简称《科技发展战略》)将在今后一段时期作为我国无损检测科技工作的指南,是我国无损检测科技发展战略实施的第一步。但《科技发展战略》不是一成不变的,需要在实践中不断地补充和完善,不断地调整以符合我国无损检测发展的趋势和需求。本书提出的《科技发展战略》的实施,只有全行业、全社会共同努力,《科技发展战略》才能真正起到规划指引的作用。期望本书能为提升我国无损检测行业的国际竞争力和国际分工地位,指导我国无损检测行业未来的发展发挥重要作用。

《中国无损检测 2025 科技发展战略》是在集全国之力组织制定《中国无损检测发展路线图》基础上制定的,是我国无损检测领域科研院所、大专院校科技工作者和企业工程技术人员集体智慧的结晶,感谢他们为本书的编写付出的辛勤劳动。我坚信,在本书的指导帮助下,我国无损检测科技工作者和各个相关部门,能够准确地把握无损检测科技发展的方向,励精图治,自主创新,为大幅度提升我国无损检测的科技水平,实现质量强国和制造强国发挥更大作用。

北京化工大学教授
中国工程院院士
2017 年 3 月

前 言

2013 年中国机械工程学会决定统一组织制定中国机械工程和各分专业的路线图, 2014 年 3 月在无损检测分会理事扩大会上决定组织全行业制定《中国无损检测发展路线图》(以下简称《路线图》)。《路线图》的制定由无损检测分会理事会统一领导, 秘书处统筹安排, 并成立《中国无损检测发展路线图》编写委员会。编委会分设总体组、教育组、人员资格认证组、8 个专业组和 14 个行业组; 8 个专业组按无损检测方法设置, 分别为超声、射线、渗透、磁粉、电磁、声发射、新技术和应力测试组; 14 个行业组按我国目前主要的行业分类来设置, 分别为特种设备、水电、核电、铁路、船舶、航空、航天、石油、化工、兵器、冶金、建筑、海洋和汽车组。

为了全面反应我国无损检测的过去、现在和未来,《中国无损检测发展路线图》参加编写的专家较多, 涉及内容广泛。为保证工作质量,《路线图》编写时间持续了两年, 从 2014 年 7 月开始, 到 2016 年 6 月结束, 总体组共召开了 6 次研讨会, 各专业和行业组分别召开了数十次专题会议, 先后参加的专家有 300 多人, 120 多位参与起草的核心专家, 总共撰写了 1500 多页的分项研究报告。

鉴于无损检测事业的全面发展必须依靠科技创新, 我们在《中国无损检测发展路线图》研究报告的基础上, 以我国未来 5~10 年无损检测科技发展战略和目标为导向, 以各行各业的科技需求为牵引, 首先凝练编写了《中国无损检测 2025 科技发展战略》一书。无损检测仪器设备是无损检测技术发展和工程应用的关键, 但前期研究报告对国内外无损检测仪器设备现状研究不足, 所以我们又组织团队深入开展了国内外典型无损检测仪器设备的深度调研和比对分析, 明晰了我国无损检测仪器设备的现况、优势和不足, 弥补了前期路线图研究报告的不足, 并在本书第 3 章中加以全面体现。

“十三五”时期, 是我国全面建成小康社会和进入创新型国家行列的决胜阶段, 是深入实施创新驱动发展战略的关键时期, 未来 5~10 年, 也是我国全面落实《中国制造 2025》战略规划, 由制造大国向制造强国转变的关键时期。在这一史无前例的进程中, 无损检测科技工作也必将迎来重要的发展机遇, 实现我国无损检测技术的跨越式发展。因此, 深刻认识并准确把握国内外无损检测科技创新发展新态势, 科学制定未来 5~10 年的无损检测科技发展规划, 对于促进我国无损检测科技水平迈上新台阶, 具有重要意义。

《中国无损检测发展路线图》是动员全国无损检测力量共同实现从无损检测大国到强国转变目标的总体规划, 这也是我国无损检测学会成立以来组织的最大、最全面、



最彻底、最深入的一次活动，得到全行业的广泛关注。编写工作之所以进展顺利，一方面是得到了无损检测分会秘书处在人员和经费方面的鼎力相助，另一方面也得到无损检测分会理事会、各专业委员会、各行业专家和整个无损检测学界的大力支持和无私奉献，在此对大家的支持表示衷心感谢！

由于时间仓促，有些方面调研还显不足，不能全面反映国内外无损检测研究成果和技术的进展；由于作者水平有限，不妥之处在所难免，请广大读者给予谅解，并批评指正。

作 者

2016 年 12 月于北京

目 录

第1章 概述	1
1.1 无损检测的定义	1
1.2 无损检测方法的分类	1
1.3 无损检测方法的特点	2
1.4 世界无损检测发展历程	5
1.5 中国无损检测发展历程	7
1.6 无损检测的重要作用	8
1.7 我国取得的无损检测成就	11
1.7.1 学科建设进步明显	11
1.7.2 人才队伍建设卓有成效	12
1.7.3 研究与应用取得诸多突破	13
第2章 国内外无损检测技术发展现状、趋势及比对分析	17
2.1 射线检测	17
2.1.1 概述	17
2.1.2 国外射线检测技术发展现状及趋势	18
2.1.3 国内射线检测技术发展现状及趋势	20
2.1.4 射线检测设备发展现状	23
2.1.5 射线检测标准发展现状	26
2.1.6 射线检测应用情况	27
2.1.7 国内外射线检测技术水平比对分析	27
2.2 超声检测	29
2.2.1 概述	29
2.2.2 国外超声检测技术发展现状及趋势	30
2.2.3 国内超声检测技术发展现状及趋势	38
2.2.4 超声检测仪器设备发展现状	46
2.2.5 超声检测标准发展现状	50
2.2.6 超声检测的应用情况	51
2.2.7 国内外超声检测技术水平对比分析	52
2.3 磁粉检测	57
2.3.1 概述	57
2.3.2 国内外磁粉检测技术发展现状及趋势	57



2.3.3	磁粉检测仪器设备发展现状	58
2.3.4	国内外磁粉检测标准发展现状	59
2.3.5	磁粉检测技术的应用状况	60
2.3.6	国内外磁粉检测技术水平比对分析	61
2.4	渗透检测	63
2.4.1	概述	63
2.4.2	国内外渗透检测技术发展现状及趋势	63
2.4.3	国内外渗透检测设备与器材发展现状	65
2.4.4	国内外渗透检测标准发展现状	66
2.4.5	渗透检测技术的应用状况	66
2.4.6	国内外渗透检测技术水平比对分析	66
2.5	电磁检测	68
2.5.1	概述	68
2.5.2	国外电磁检测技术发展现状及趋势	70
2.5.3	国内电磁检测技术发展现状及趋势	75
2.5.4	国内外电磁检测设备仪器发展现状	78
2.5.5	国内外电磁检测标准发展现状	79
2.5.6	电磁检测技术的应用状况	81
2.5.7	国内外电磁检测技术水平比对分析	82
2.6	声发射检测	83
2.6.1	概述	83
2.6.2	国外声发射检测技术发展现状及趋势	85
2.6.3	国内声发射检测技术发展现状与趋势	87
2.6.4	国内外声发射检测设备仪器发展现状	89
2.6.5	国内外声发射检测标准发展现状	90
2.6.6	声发射检测技术的应用状况	91
2.6.7	国内外声发射检测技术水平比对分析	92
2.7	红外检测	94
2.7.1	概述	94
2.7.2	国内外红外检测技术发展现状	94
2.7.3	国内红外检测技术发展现状	96
2.7.4	国内外红外检测仪器设备发展现状	98
2.7.5	国内外红外检测标准发展现状	98
2.7.6	红外检测技术的应用状况	99
2.8	激光检测技术	101
2.8.1	概述	101
2.8.2	国外激光检测技术发展现状与趋势	101
2.8.3	国内激光检测技术发展现状与趋势	103

2.8.4 国内外激光检测仪器设备发展现状	105
2.8.5 国内外激光检测标准发展现状	106
2.8.6 激光检测技术的应用状况	106
2.9 微波检测技术	107
2.9.1 概述	107
2.9.2 国内外微波检测技术发展现状与趋势	108
2.9.3 国内外微波检测设备仪器发展现状	109
2.9.4 国内外微波检测标准发展现状	109
2.9.5 微波检测技术的应用状况	109
2.10 太赫兹检测技术	110
2.10.1 概述	110
2.10.2 国外太赫兹检测技术发展现状与趋势	110
2.10.3 国内太赫兹检测技术发展现状与趋势	112
2.10.4 国内外太赫兹检测仪器设备发展现状	112
2.10.5 太赫兹检测技术应用情况	113
2.11 国内外无损检测新技术水平综合比对分析	113
2.12 国内外无损检测技术整体水平综合比对分析	115
第3章 国内外无损检测仪器设备对比分析	117
3.1 概述	117
3.2 超声检测仪器	118
3.2.1 常规超声波探伤仪	118
3.2.2 超声成像检测仪器	119
3.2.3 电磁超声检测仪器	123
3.2.4 超声导波检测仪器	124
3.2.5 激光超声检测仪器	126
3.3 射线检测设备和器材	126
3.3.1 射线源及射线探伤机	127
3.3.2 工业射线胶片	132
3.3.3 计算机辅助成像检测系统	133
3.3.4 数字射线成像检测系统	135
3.3.5 计算机层析成像射线检测	136
3.4 磁粉检测设备	138
3.4.1 便携式磁粉探伤机	138
3.4.2 床式磁粉探伤设备	139
3.5 渗透检测设备	141
3.5.1 便携式渗透探伤器材	142
3.5.2 自动化渗透探伤设备	143
3.6 电磁检测仪器和设备	143



3.6.1	常规涡流检测仪器	144
3.6.2	涡流阵列检测仪器	145
3.6.3	扫频涡流检测仪器	145
3.6.4	多频涡流检测仪器	146
3.6.5	远场涡流检测仪器	147
3.6.6	脉冲涡流检测仪器	148
3.6.7	漏磁检测仪器和设备	150
3.6.8	金属磁记忆检测仪器	151
3.6.9	微波检测仪器	152
3.6.10	交流磁场检测仪器	153
3.6.11	电磁检测新技术	154
3.7	声发射检测仪器	154
3.7.1	多通道声发射检测仪	155
3.7.2	无线声发射检测仪	157
3.7.3	便携声发射仪	159
3.7.4	声发射泄漏检测仪	160
3.8	红外热成像检测仪	162
3.8.1	红外热像仪	162
3.8.2	主动式红外热成像检测系统	165
3.9	激光检测仪	166
3.10	工业内窥镜	167
3.11	钢板自动超声检测系统	169
3.12	钢管/钢棒在线检测系统	171
3.12.1	钢管超声在线检测系统	171
3.12.2	钢管漏磁检测系统	176
3.12.3	钢管涡流检测系统	177
3.13	轨道交通设备在线检测系统	178
3.13.1	钢轨在线检测系统	179
3.13.2	轮毂在线检测系统	180
3.13.3	车轴在线检测系统	181
3.14	在役长输管道内检测系统	182
3.14.1	发展趋势与现状	182
3.14.2	在役长输管道漏磁内检测系统	183
3.14.3	在役长输管道超声内检测系统	184
3.15	核岛在役检测系统	186
3.15.1	核岛在役涡流检测系统	186
3.15.2	核岛在役超声检测系统	191
3.15.3	核岛在役超声/涡流复合检测系统	193

3.15.4 核岛在役超声/涡流/视频复合检测系统	194
3.16 国内外无损检测仪器设备整体水平综合比对分析	194
第4章 国内各行业无损检测应用现状及科技需求分析	198
4.1 概述	198
4.2 我国无损检测总体面临的形势和挑战	198
4.3 特种设备	199
4.3.1 行业概述	199
4.3.2 无损检测发展现状	201
4.3.3 面临的问题和挑战	207
4.3.4 科技需求分析	210
4.3.5 2025 年的发展目标与主要任务	211
4.4 铁路	213
4.4.1 行业概述	213
4.4.2 无损检测发展现状	215
4.4.3 面临的问题和挑战	217
4.4.4 科技需求分析	218
4.5 核电	219
4.5.1 行业概述	219
4.5.2 无损检测发展现状	220
4.5.3 面临的问题和挑战	223
4.5.4 科技需求分析	224
4.6 冶金	225
4.6.1 行业概述	225
4.6.2 无损检测发展现状	227
4.6.3 面临的问题和挑战	229
4.6.4 科技需求分析	230
4.6.5 2025 年发展目标与主要任务	230
4.7 兵器	231
4.7.1 行业概述	231
4.7.2 无损检测发展现状	233
4.7.3 面临的问题和挑战	238
4.7.4 科技需求分析	238
4.7.5 2025 年的发展目标与主要任务	239
4.8 航空	240
4.8.1 行业概述	240
4.8.2 无损检测发展现状	242
4.8.3 面临的问题和挑战	245
4.8.4 科技需求分析	245



4.8.5	2025 年的发展目标与主要任务	246
4.9	汽车	247
4.9.1	行业概述	247
4.9.2	无损检测发展现状	248
4.9.3	面临的问题和挑战	251
4.9.4	科技需求分析	252
4.9.5	2025 年的发展目标与主要任务	252
4.10	水利水电	253
4.10.1	行业概述	253
4.10.2	无损检测发展现状	254
4.10.3	面临的问题和挑战	256
4.10.4	科技需求分析	256
4.10.5	2025 年的发展目标与主要任务	257
4.11	船舶	257
4.11.1	行业概述	257
4.11.2	无损检测发展现状	258
4.11.3	面临的问题和挑战	260
4.11.4	科技需求分析	262
4.11.5	2025 年的发展目标与主要任务	263
第 5 章	我国无损检测 2025 年科技发展战略	264
5.1	发展战略	264
5.2	指导方针	265
5.3	发展目标	265
5.4	重点领域	265
5.5	重点任务	266
第 6 章	实施我国无损检测科技发展战略的措施建议	269
6.1	政府层面的措施	269
6.2	学会、协会等社会组织的措施	270
6.3	大专院校、科研院所方面的措施	271
6.4	无损检测仪器设备制造企业的措施	272
6.5	无损检测机构的措施	273
参考文献		275
附录 1	《中国无损检测发展路线图》编辑委员会	293
附录 2	国内外无损检测标准目录	295

第 1 章 概 述

1.1 无损检测的定义

无损检测是指对材料或结构件实施一种不损害或不影响其未来使用性能或用途的检查和测量的方法，英文缩写是 NDT (non - destructive testing)。无损检测技术是指与每一种无损检测手段有关的专门的工艺规程、方法和仪器设备的主体；通常每项技术涉及许多方法和工艺规程。开展无损检测的目的包括 3 个方面：1) 发现材料或工件表面和内部所存在的缺陷；2) 测定材料或工件的内部组成或组织、结构、物理性能和状态等；3) 测量工件的几何特征和尺寸。对一个产品、设备或设施，需要进行无损检测的时机包括 3 个阶段：原材料的选择阶段；加工制造阶段；使用阶段。对产品、设备或设施实施无损检测的意义在于：1) 监督和改进铸造、锻造、焊接、加工成型等制造工艺，从而保证产品质量；2) 通过及时发现不合格的原材料或半成品，减少返工、降低废品率，从而降低制造成本；3) 通过进行定期检测或监测，及时发现由于使用过程中产生的腐蚀和疲劳而引起的缺陷及材料产生的劣化，保障使用安全。

无损检测是建立在现代科学技术基础上的一门综合性、应用性学科，无损检测原理和方法来自于热学、力学、声学、光学、和电磁学等物理学科，其检测应用对象涉及材料、材料加工工程和机械工程等学科，其检测仪器依赖计算机、电子仪器和信息等学科应用。无损检测是理论研究与实验科学相结合的产物，既具有高度的综合交叉性和复杂性，又具有工程性、实用性、先进性和先导性，不断随着相关学科科学技术的进步而发展。

1.2 无损检测方法的分类

无损检测方法的分类方式很多。最传统的方式分为常规无损检测方法和非常规无损检测方法。常规无损检测方法包括磁粉检测、渗透检测、射线检测、超声检测和涡流检测方法，其他的均为非常规无损检测方法。按照发现材料或构件上缺陷的位置可分为表面检测方法和内部检测方法。适用于表面缺陷检测的方法有：磁粉、渗透、涡流、漏磁、红外、激光等检测方法；适用于内部埋藏缺陷检测的方法有：超声、射线、漏磁、声发射等检测方法。美国国家资料咨询委员会无损检测评价委员会提出了按照 6 种基本物理原理进行分类的方式，表 1-1 给出了按照这种方式对各种成熟的现有无损检测方法的分类结果，这些无损检测方法均需要物质转换和/或与被检对象作能量转换；另外，根据信息的传递和积累过程，以及对无损检测方法的原始信号和图像进行评价又增加两类方法（见表 1-2）。

表 1-1 基于基本物理原理的无损检测方法分类表

类别	主要方法
机械-光学	目视光学法、激光散斑法、光弹层法、应变计法、液体渗透法、泄漏检测法
射线透照	X 射线透照法、 γ 射线透照法、中子射线透照法
电磁-电子	磁粉法、涡流法、漏磁法、电流法、微波辐射法、磁记忆法
声-超声	超声反射法、超声透射法、超声衍射法、声发射法、声冲击法、声振动法、声脉冲回波法、超声共振法
热学	热电探测法、红外线辐射测量法、红外热成像法
成分-分析	激光探测法、荧光 X 射线法、X 射线衍射法

表 1-2 基于原始信号和图像进行评价的无损检测方法分类表

类别	检测目的	主要方法
成像	尺寸变化、动态性能、缺陷特征、缺陷定性、缺陷分布、缺陷扩展、磁场结构	X 射线全息照相法、胶片照相法、干片射线照相法、荧光屏（透视）法、电视射线成像法、液浸超声法、超声电视成像法、红外成像法
信号-图像分析	数据选择、数据处理、数据显示、缺陷示图、相关性、相关性鉴别、图像增强、可变的 多重层析、图像分析	各种无损检测数字信号和/或数字图像处理和分析方法

按国家标准 GB/T 5616《无损检测 应用导则》分类如下：

- 1) 辐射方法：X 和 γ 射线照相检测、计算机辅助成像检测（CR）、射线实时成像检测（DR）、计算机层析照相检测（CT）、中子辐射照相检测；
- 2) 声学方法：超声检测、声发射检测、电磁超声检测、激光超声检测、超声导波检测、磁致伸缩超声导波检测；
- 3) 电磁方法：涡流检测、脉冲涡流检测、漏磁检测、金属磁记忆检测；
- 4) 表面方法：磁粉检测、渗透检测、目视检测；
- 5) 泄漏方法：气泡泄漏检测、氨泄漏检测、示踪气体泄漏检测、卤素气体泄漏检测、核质谱泄漏检测、超声泄漏检测、声发射泄漏检测；
- 6) 红外方法：红外热成像检测。

1.3 无损检测方法的特点

与破坏性检测相比，无损检测有 3 个主要的特点：一是具有非破坏性，因为它在做检测时不会损害被检测对象的使用性能；二是具有全面性，由于检测是非破坏性，因此必要

时可对被检测对象进行 100% 的全面检测, 这是破坏性检测办不到的; 三是具有全程性。破坏性检测一般只适用于对原材料进行检测, 如机械工程中普遍采用的拉伸、压缩、弯曲等, 但对于批量生产的标准化产品, 也可采用抽查进行破坏检测的方法进行, 以 1 个产品的破坏性实验结果来代表一批产品的性能; 而无损检测因不损坏被检测对象的使用性能, 它不仅可对原材料进行 100% 检测, 也可对产品制造过程的各个环节进行检测, 直至对成品进行全面检测, 而且可对服役中的设备进行检测。

另外, 无损检测的概念和作用并不是一成不变的, 是随着应用对象的需求和所依托的科学技术进步而不断发展的。无损检测最初只是作为一种宏观缺陷的确定手段, 直接应用目的是挑选出有缺陷的零部件和原材料; 随着疲劳寿命和断裂力学的概念引入, 无损检测被赋予了微细缺陷检测和定量测量的要求; 所有结构完整性的评价方法都假设材料的力学性能是均衡的, 但材料的性能随时间、温度等工况的改变使得这一假设已不再适用, 这一改变要求无损检测的对象由对宏观缺陷的发现延伸到对材料的微观组织结构和性能进行评价; 而近年来, 大型成套装置和设施的长周期安全运行要求使得无损检测的概念由单一时间点和位置的检测扩展到长期和全局或局部的动态监测及寿命评估, 即由无损检测向无损评价的方向发展。

鉴于无损检测的方法众多, 要学习、了解和使用任何一种无损检测方法, 都应从检测原理、检测目的与对象、适用范围和局限性 4 个主要方面进行考虑, 而且不同缺陷适用的无损检测方法也不同, 表 1-3 给出了常用金属材料典型缺陷适用的无损检测方法。

(1) 检测原理

检测原理主要包括如下 5 个要素:

- 1) 检测使用的能量源或介质: 如 X 射线、超声波、热辐射等;
- 2) 与被检对象相互作用产生的信号、图像和/或标记的特性: 如 X 射线的衰减、超声波反射、红外线辐射等;
- 3) 检测或合成信号的传感方法: 如照相乳胶、压电晶片、半导体晶片等;
- 4) 指示和/或记录信号的方法: 如照相胶片、显示器、硬盘等;
- 5) 检测结果: 直接的或间接的指示, 定位、定性和定量的情况。

(2) 检测目的与对象

检测目的与对象主要包括如下 7 种:

- 1) 不连续和分离: 表面缺陷、表层缺陷、内部缺陷;
- 2) 结构: 显微结构、基体结构、微结构缺陷、粗结构缺陷;
- 3) 尺寸和量度: 位移和/或定位、尺寸变化、厚度、密度;
- 4) 物理和力学性能: 电性能、磁性能、热性能、力学性能、表面性能;
- 5) 化学成分和分析: 元素分析、杂质浓度、冶金参量、物理化学状态;
- 6) 应力和动态响应: 应力应变和/或疲劳、机械损伤、化学损伤、其他损伤、动态变形;
- 7) 图像分析: 电磁场、热场、声像、辐射像、信号或图像分析。



(3) 适用范围

适用范围应考虑如下 3 个要素：

- 1) 适用的材料：金属、非金属、复合材料、混合材料等；
- 2) 适用的结构和形态：整个部件或构件，一定范围的形状和尺寸；
- 3) 适用的过程控制：焊接、热处理的质量控制，在用拆卸检测，在用原场检测，在线监测；

(4) 局限性

局限性应考虑如下 4 个要素：

- 1) 接近、接触和/或制备：接近一侧和需对被检件施加耦合剂；
- 2) 探测和对象的限制：特殊的探头、耦合和探头进行移动；
- 3) 灵敏度和/或分辨力：尺寸为 1mm 的缺陷；
- 4) 限制条件：①由于散射效应，多次反射和复杂的几何形状，可导致模棱两可的信号；②对小的或薄的部件检测困难。

表 1-3 常用金属材料典型缺陷的适用无损检测方法推荐表

		表面缺陷注【1】			近表面缺陷注【2】			所有位置的缺陷注【3】					
		VT	PT	GWT	MT	ET	MFL	RT	UTA	UTS	AE	UTT	MMM
原材料和零件缺陷	迸裂（锻件）	○	●		●	◐		◐	◐	◐	●		○
	冷夹（铸件）	○	●		●	○		●	◐	◐	○		
	裂纹（所有材料）	○	●		●	◐	◐	◐	◐	○	●		◐
	夹杂（所有材料）				◐	◐		●	◐	○	○		
	夹层（板材，管材）	○	◐	◐	◐				○	●	○	●	
	重皮（锻件）	○	●		●	○		◐		○	○		
	气孔（铸件）	●	●		○			●	○	○	○		
	裂缝（板材、管材）	○	●		●	●	◐	○	◐	◐	○		○
焊接缺陷	烧穿	●						●	◐			○	
	裂纹	○	●		●	●	◐	◐	●	○	●		◐
	余高过高/过低	●						●	◐	○		○	
	夹杂（夹渣/夹钨）				◐	◐		●	◐	○	○		
	未熔合	◐			◐	◐		◐	●	◐	◐		○
	未焊透	◐	●		●	◐		●	●	◐	◐		
	错边	●						●	◐				
	折叠	◐	●		●	○							
	气孔	●	●		○			●	◐	○	○		
	根部凹陷	●						●	◐	○	○	○	
	咬边	●	◐		◐	○		●	◐	○	○		
	应力集中区					○					◐		●