



NANDTB-CN 认证专用资料

编号: NANDTB-CN-T01

版本: v3a-20251230

航空航天无损检测人员培训大纲

Training Line of Aerospace Nondestructive Testing Personnel

航空航天无损检测认证部

National Aerospace NDT Board of China

前 言

中国“航空航天无损检测认证部”(National Aerospace NDT Board of China, 英文缩写: NANDTB-CN) 成立于 2006 年 8 月 2 日, 是经国防科技工业政府主管部门批准, 国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证委员会发文授权, 按照 NAS410/EN4179 标准中 NANDTB 的要求开展无损检测人员资格鉴定与认证工作的第三方独立技术组织。航空航天无损检测认证部 (NANDTB-CN) 按照 NAS410/EN4179&GB/T 36439 标准制定了 NANDTB-CN-R01 认证准则做为认证依据, 为航空航天及国防系统的无损检测从业人员提供专业技术培训和资格鉴定考试服务, 助力国际转包、民机制造、商业航天、低空经济等产业高质量可持续发展。充分发挥专家资源优势, 为行业提供无损检测技术研讨交流与咨询培训服务, 搭建沟通桥梁与交流平台, 推动国际交流与合作, 促进行业技术进步, 已获得国内外主承包商及供应商的广泛支持和认可。

本文件适用于航空航天无损检测认证部 (NANDTB-CN) 依据 NANDTB-CN-R01《航空航天无损检测人员资格鉴定与认证准则》组织开展的 NAS410/EN4179 无损检测人员资格鉴定培训考试工作, 符合美宇航 NAS410, Rev6 和欧盟 EN4179, Edition7 标准的技术要求, 提供给各报考单位的责任 3 级人员进行认可。NANDTB-CN 秘书处联系方式如下:

联系电话: 010-68116803、010-68116801

电子邮箱: nandtb@163.com、office@nandtb.cn

官方网站: <http://www.nandtb.cn>

邮寄地址: 北京市海淀区知春路 61 号 523 室



本文件受版权保护!

本文件版权归 NANDTB-CN 所有。本文件的任何部分或全部内容未经事先书面许可, 不得以任何形式或任何手段 (包括拍照、扫描和复印等) 进行复制或利用, 不得通过互联网或内网传播。如有需要, 请联系航空航天无损检测认证部 (NANDTB-CN) 秘书处。

目 录

1. 范围	1
2. 目的	1
3. 基本目标	1
3.1.1 级人员	1
3.2.2 级人员	1
3.3.3 级人员	2
4. 培训内容	2
4.1. 基础知识 (限 3 级)	2
4.2. 通用理论	2
4.3. 专业规范	3
4.4. 检测工艺	3
4.5. 现场操作	3
5. 教学要求	3
5.1. 基础知识	3
5.1.1. 材料及性能	3
5.1.2. 工艺及加工	3
5.1.3. 缺陷来源和分类	4
5.2. 涡流检测 (ET)	4
5.2.1. 基本原理	4
5.2.2. 设备器材	5
5.2.3. 检测技术	5
5.2.4. 方法应用	5
5.2.5. 实际操作	5
5.3. 磁粉检测 (MT)	6
5.3.1. 物理原理	6
5.3.2. 设备和器材	7
5.3.3. 检测技术及应用	7
5.3.4. 实际操作	7
5.4. 渗透检测 (PT)	8
5.4.1. 物理原理	8
5.4.2. 设备和器材	8
5.4.3. 检测技术及应用	8
5.4.4. 实际操作	9

5.5. 射线照相检测 (RT: 胶片射线照相、非胶片射线照相)	10
5.5.1. 物理原理	10
5.5.2. 设备和器材	10
5.5.3. 检测技术	11
5.5.4. 实际应用和安全操作	11
5.5.5. 实际操作	12
5.6. 超声波检测 (UT)	13
5.6.1. 物理原理	13
5.6.2. 设备和器材	13
5.6.3. 检测技术及应用	13
5.6.4. 实际操作	13
5.7. 腐蚀检测 (EI)	14
5.7.1. 物理原理	14
5.7.2. 设备和器材	15
5.7.3. 检测技术及应用	15
5.7.4. 实际操作	15
6. 正式培训的学时分配	16



NANDTB-CN 培训大纲

1. 范围

本大纲适用于NANDTB-CN认证机构批准的培训考试中心对下列无损检测方法的人员进行集中培训，包括：涡流检测（ET）、磁粉检测（MT）、渗透检测（PT）、射线检测（RT：胶片射线照相、非胶片射线照相）、超声波检测（UT）、腐蚀检测（EI）、错位散斑检测（ST）等。

2. 目的

- 1) 航空航天产品的质量要求高，无损检测人员培训要求更高。
- 2) 培训是针对人员能力的全面培训，不是针对考试通过率的培训。
- 3) 培训目的是具备相应理论基础和实践经历的人员，进行集中的课题式培训，主要是为了掌握和规范检测正确要求和过程，拓宽理论和实际

3. 基本目标

按照 NAS410/EN4179 & GB/T 36439 航空航天无损检测人员的资格鉴定与认证标准，资格鉴定考试合格的人员应按其相应的能力水平认证为 1 级、2 级、3 级中的某一级别。

本大纲的基本目标是满足 NAS410/EN4179 & GB/T 36439 标准对各级人员能力要求。

3.1. 1 级人员

- 能够遵守工艺卡要求；
- 具备按照经批准的工艺卡处理零件、记录结果与标定设备的技能和知识；
- 具备按照经批准的工艺卡在检测前后对零件进行任何必要的准备工作的技能和知识；
- 具备按照适用工艺标准要求系统性能检查的技能和知识；
- 必要时，接受相同方法的 2 级或 3 级持证人员的指导或监督；
- 当程序文件中有规定并经责任 3 级人员批准后，可根据经批准的工艺卡对特定产品或产品形式进行解释和评定，以进行验收或拒收。

3.2. 2 级人员

- 具备设定和标定设备、处理零件、解释和评定、验收或拒收以及记录结果的技能和知识；
- 完全熟悉技术/方法的范围和局限性；
- 具备按照适用工艺标准要求系统性能检查的技能和知识；

- 能够为学员和 1 级人员提供必要的指导和/或监督；
- 熟悉控制雇主所用方法的法规、标准和其他合同文件；
- 当程序文件中有规定时，能够根据经批准的通用规程编制工艺卡。此类工艺卡应要求获得通过此方法认证的 3 级人员的最终批准；
- 具有相关产品制造和检验技术方面的基础知识；
- 当程序文件中有规定时，具备飞机或车辆维护方面的基础知识。

3.3. 3 级人员

- 具备解释控制无损检测方法的法规、标准和其他合同文件的技能和知识；
- 能够对无损检测机构和人员承担技术责任；
- 能够选择某项具体检测用的方法和技术；
- 能够编制和校核程序及工艺卡的充分性；
- 批准无损检测程序和工艺卡，以确保技术充分性；
- 对雇主所采用的其他无损检测方法、产品制造、相关工序和检测技术有一定的了解；
- 当程序文件中有规定时，具备飞机或车辆维护方面的基础知识。
- 能够提供或指导人员培训、考试和认证工作；
- 当实操考试中包含了零件验收和结果能力的熟练程度的证明要求时，通过进行无损检测来证明此能力；
- 当程序文件要求时，能够审核外部机构，以确保程序文件的要求得到满足。

4. 培训内容

培训内容主要包括通用理论、基础知识（3级）、专业规范、检测工艺（2、3级）和现场操作。

4.1. 基础知识（限 3 级）

- a) 无损检测人员从业职业道德及责任 3 级职责相关要求；
- b) 常用无损检测方法的 2 级通用理论知识；
- c) 与航空航天制造相关的材料、工艺及缺陷有关知识；
- d) 航空航天无损检测技术应用所需的设备器材及现场质量安全管理相关知识；
- e) 航空航天相关法律法规及航空航天无损检测人员资格管理。

4.2. 通用理论

基础理论培训内容为所报考方法的基本基础知识，包括物理原理、设备材料、检测技术、实际应用和安全防护等内容。

4.3. 专业规范

相关专业规范及标准包括报考人执行相关无损检测任务过程中主要使用的法规、技术标准、无损检测规程等。培训过程中以常用专业标准规范为主，主要目的是培训专业规范使用的方法、相关要求及注意事项。

4.4. 检测工艺

- a) 2 级人员按指定验收条件和方法标准，编制无损检测专用工艺卡，并简述工艺质量控制要求。
- b) 3 级人员按指定标准规范和验收条件，编制无损检测专用工艺规程。编制的工艺规程要求内容完整、技术正确、格式规范，符合有关标准要求，并要详细说明工艺质量控制要求。

4.5. 现场操作

- a) 报考 1 级的人员现场操作培训内容为按指定的无损检测规程及工艺卡完成试件的检测；
- b) 报考 2 级的人员现场操作培训内容为完成试件的检测，并对检测结果进行分析、解释和评定；
- c) 报考 3 级的人员现场操作培训内容为完成试件的检测，并对检测结果进行分析、解释和评定；（与 2 级人员要求一致）
- d) 报考射线检测 2 级和 3 级的人员，实际操作培训还应包括对至少 10 张相关试件的射线照相底片或成像图进行评判。

5. 教学要求

5.1. 基础知识

5.1.1. 材料及性能

航空航天金属材料知识：掌握非合金钢、低合金钢及合金钢、钢在航空航天中的应用；掌握高温合金以及高温合金热处理的相关知识及在航空航天中的应用，掌握钛及钛合金的相关知识及在航空航天中的应用；掌握镁及镁合金及其在航空航天中的应用。

航空航天非金属材料知识：理解非金属材料、聚合物基复合材料及其应用。

5.1.2. 工艺及加工

理解金属铸造工艺：砂型铸造、特种铸造、金属型铸造、熔模铸造、离心铸造、凝壳铸造；金属塑性加工：理解锻造加工方法及分类、轧制方法及分类，了解挤压、拉拔、冲压、冷弯、旋压及高能率加工工艺；了解粉末冶金工艺；掌握金属热处理工艺：钢的退火、正火、冷处理、固溶和时效处理，了解高温合金、钛合金及铝合金的热处理工艺；了解金属机械加工和特种加工知识；了解金属表面防护工艺；掌握金属焊接方法和焊接工艺：熔焊、压焊和钎焊；了解金属胶接结构；掌握非金属材料、金属基复合材料、聚合物基复合材料制作工艺。

5.1.3. 缺陷来源和分类

掌握铸件的缺陷及分类以及主要铸造缺陷；掌握锻件缺陷、轧制产品缺陷的形成和特点；掌握粉末冶金制品的缺陷产生及特点；掌握金属热处理缺陷的形成及特点；掌握金属机械加工和特种加工工艺缺陷的形成和特点；掌握表面防护工艺缺陷的形成及特点；掌握金属焊接缺陷的形成和特点；掌握金属胶接结构缺陷的形成和特点；掌握聚合物基复合材料制件的成型工艺及特点；理解航空航天零部件在役缺陷的产生及特点。

5.2. 涡流检测 (ET)

5.2.1. 基本原理

掌握导体、绝缘体、半导体的概念；理解电流形成的条件；掌握影响材料导电性的因素；掌握金属的导电性、石墨的导电性及不同种类覆盖层的电特性。理解铁磁体、顺磁体、抗磁体的概念；掌握铁磁性材料的磁化规律；理解磁畴、居里温度的概念；理解磁场强度与磁感应强度的关系；掌握影响材料磁特性因素的作用规律；掌握材料的磁特性，如铁、钴、镍及其合金，铝、铜、钛及其合金，不同类型覆盖层的磁特性；掌握磁滞回线的意义。掌握直流电压、电流、电阻、电阻率、电导、电导率的概念和定义；掌握直流电阻、电阻率、电导、电导率的量纲和换算关系。掌握正弦交流电的基本概念；理解正弦交流电流和电压的函数表达、波形图；正弦交流电路中电信号的幅值、频率、相位及电阻、电感、电容和阻抗的概念。理解电磁感应原理；掌握与磁和磁场、材料磁特性有关的术语、量纲、表示公式，如磁通、磁感应强度、磁场强度、磁导率、矫顽力等；理解交变激励磁场方向、大小与感生涡流方向、大小之间的关系；理解涡流在不同形状工件（管、棒、板材）中的分布特点；掌握涡流再生磁场的特性（大小与方向）。掌握趋肤效应的定义；理解涡流标准透入深度的概念与有效透入深度的概念及计算公式。掌握线圈阻抗的组成、矢量表示方法和计算方法；理解线圈阻抗的因素及线圈阻抗的变化规律；理解阻抗平面和归一化阻抗平面的意义；理解含有金属棒材、管材线圈阻抗的变化规律；掌握填充系数的概念及计算方法；掌握归一化频率和界限频率的概念；掌握提离效应与边缘效应的概念。

5.2.2. 设备器材

掌握线圈的分类与线圈类型；掌握各类线圈结构特点、适用性及其使用方式；掌握线圈内涡流信号的形成与检出。掌握涡流检测仪器的分类；理解缺陷信号的形成、处理及检出的基本过程；理解不同类型涡流仪器的优缺点及适用性。理解传送装置、磁饱和装置和退磁装置及其他辅助装置；理解标记、分选和记录装置。理解标准试样、对比试样的概念、类型与用途；掌握对比试样的选择与使用方法；理解标准试样的（周期）检定要求。

5.2.3. 检测技术

掌握涡流检测探头的工作原理；掌握不同结构线圈对不同类型缺陷响应的特点；掌握探头设计与制作的有关知识。掌握涡流检测仪主要功能键，如：频率、相位、增益、提离补偿、报警域设定等；掌握涡流检测信号的处理方法及适用性，包括相位分析、频率分析、幅度鉴别、混频处理等技术。

5.2.4. 方法应用

掌握缺陷位置和取向的影响：涡流路径，透入深度，探头的作用区；掌握噪声及噪声处理技术，检测频率的选择，相位鉴别，滤波，磁饱和；掌握耦合的影响，减小和消除震动、中心对准、确定填充系数技术；理解频率、增益、相位调节之间的影响；掌握检测线圈、仪器及方法的选择要求；理解线圈与试件相对运动方式、特点与适用范围；掌握铁磁性材料检验后的退磁处理及其必要性。理解零部件制造和使用过程中常见缺陷的类型及探伤要求、特点；掌握零部件涡流检测仪、探头及其使用特点；掌握扫查方式和扫查速度要求。理解材质试验的特点与局限；理解涡流电导仪工作原理及试验注意事项；掌握铝合金电导率与合金状态、硬度之间的关系；掌握电导率的测量方法。理解电磁测厚的原理及适用性；理解涡流测厚的原理及适用性；理解电磁测厚与涡流测厚技术的区别与联系。

5.2.5. 实际操作

a) 质量控制

掌握仪器自检、缺陷信号同步显示、检验灵敏度、边缘效应、稳定性的定义及其对涡流检测的影响，能正确演示操作过程，并得到准确的结果。

b) 试验准备

掌握不同类型、型号涡流检测仪特性和适用范围，能够正确选择试验仪器。掌握根据检测要求，正确选择与选用仪器相匹配的探头。掌握根据检测要求或被检试件的实际情况，正确选择合适的对比试样。掌握根据检测要求，正确选择执行标准。

c) 仪器调整及操作

掌握仪器性能检查的内容和方法，能够正确判断仪器工作状态正常与否，能够将仪器调整到最佳工作状态。掌握根据检测要求，合理确定工作频率、增益范围、检测信号相位；掌握仪器提离抑制或平衡调节的方法，合理确定检测速度，能正确读取信号（数据），信号（数据）处理方法得当，原始记录必要充分。

d) 工艺规程和工艺卡

工艺规程、工艺卡的编写。依据方法标准、验收标准、技术文件进行编写。

e) 相关标准及技术规范

熟悉航空航天相关标准及技术规范要求，能够正确理解条款的规定；通过下列标准的能在实际工作中正确执行各项规定。

- 1) ASTM E215-2011
- 2) GJB 2908A-2020
- 3) HB 20193-2014

5.3. 磁粉检测 (MT)

5.3.1. 物理原理

掌握磁粉检测的原理、适用范围和优缺点；了解漏磁场检测方法的分类和主要区别；掌握磁粉检测的基本步骤；理解磁粉检测常用单位和换算关系。了解磁粉检测、渗透检测和涡流检测的方法原理、适用范围、检测对象及主要的优缺点。掌握磁场的描述和磁力线的特征；理解磁场强度、磁通量、磁感应强度和磁通密度的定义、表示符号、单位及其换算关系；了解磁性、磁体、磁极和磁化的概念。理解磁介质的分类、磁导率 μ 、真空磁导率 μ_0 和相对磁导率 μ_r 定义及单位；掌握磁畴和居里点的概念；了解铁磁性材料的磁化过程；理解磁化曲线、磁化曲线与选择磁化规范的关系、磁滞回线、矫顽力 H_c 和剩磁 B_r 的概念、铁磁性材料的特性、软磁材料和硬磁材料的主要区别、不同钢铁材料的磁性区别和影响材料磁性的因素。理解通电圆柱导体磁场方向和确定好磁场强度的计算，通电线圈的分类、磁场方向的确定和空载线圈中心磁场强度的计算，短螺线管线圈、有限长及无限长螺线管线圈内部磁场的分布规律，钢棒通电法和钢管通电法及中心导体法磁化时的磁场强度与磁感应强度的分布。理解退磁场、有效磁场和退磁因子的概念，退磁场的产生原因、长径比的计算和影响工件退磁场大小的因素。了解磁路、磁路定理及影响磁路的因素、异质界面上磁感应线的折射。理解漏磁场的概念及形成原因、漏磁场的分布规律；掌握影响漏磁场大小的因素；了解磁粉的受力分析。理解电流、电路、欧姆定律和不同电路中的负载；理解磁化电流的分类和电流波形图；掌握交流电有效值和

峰值的关系、趋肤效应、电流频率和断定相位的影响；掌握单相半波、三相全波整流电的平均值与峰值的关系；理解三种常用磁化电流的适用范围和优缺点。

5.3.2. 设备和器材

理解检测设备的分类方法和特点，掌握固定式通用设备的主要组成部分及其作用。理解紫外线的分类、波长范围和适用范围；理解黑光灯的结构与使用注意事项；了解照度、辐照度和亮度的定义及单位，掌握毫特斯拉计、袖珍式磁强计、照度计、黑光辐照计的用途。掌握磁粉的分类、性能；理解磁粉的验收试验；理解油基载液和水载液的技术要求、磁悬液浓度及配置方法；理解标准试片的类型、用途和使用注意事项，标准试块的类型、用途和使用注意事项。

5.3.3. 检测技术及应用

掌握磁化方法选择的重要性；掌握常用磁化方法的分类及特点，各种周向磁化方法的磁场分布、适用范围和优缺点，线圈法磁化的有效磁化区和优缺点，磁轭法磁化的磁场分布及影响因素；掌握多向磁化磁场的形成条件、磁场方向，合成磁场的轨迹；理解制定磁化规范的方法；掌握通电法、中心导体法、偏置芯棒法、线圈法的磁化规范；理解触头法、感应电流法和环形件绕电缆法、磁轭法、永久磁铁法、交叉磁轭等多项磁化方法的磁化规范。理解磁粉检测预处理的内容和要求；理解磁粉检测工序应如何安排；理解连续法与剩磁法、湿法与干法、磁粉探伤一橡胶铸型法的应用范围、操作要点和优缺点。理解退磁的定义，退磁的目的、原理、方法、设备和退磁后的剩磁测量要求；理解磁痕观察的条件和记录磁痕的方法。理解磁痕分析的意义和磁痕显示的分类，表面缺陷和近表面缺陷、发纹和裂纹缺陷磁痕显示的产生原因、磁痕特征及鉴别方法；掌握各种伪显示、不相关显示和相关显示的产生原因、磁痕特征及鉴别方法。理解工件的验收标准，并能对检测结果进行正确评定。能够对一般工件、异形工件、军工专用工件和对在役工件进行磁粉检测。

5.3.4. 实际操作

a) 质量控制

掌握综合灵敏度、黑光强度、白光照度、室温、磁悬液浓度、水断试验定义及其对磁粉检测的影响，能规范进行以上试验操作，并获得准确的结果。

b) 检测操作

掌握采用正确的方法对零件进行预处理，准确判断预处理是否符合要求；正确判断设备状态正常与否，并能将设备调整到最佳状态；按检测工艺进行正确的磁化，包括磁化顺序、磁化方向等；掌握磁悬液浇注的时机、磁悬液压力大小、磁悬液在工件表面停

留的时间；准确判别相关显示、非相关显示及假显示，对如裂纹之类的典型缺陷做出定性的评价，检查区的环境控制合理；掌握必要的退磁方法（直流方向退磁、交流远离退磁、交流衰减退磁）和技巧（如旋转退磁），工件剩磁测试方法正确；退磁完的零件清洗干净，无磁粉残留；检测报告基本内容填写正确，磁痕显示位置、形状、大小描述准确，报告格式设计合理，卷面整齐、干净，划改符合要求。

c) 工艺规程和工艺卡

工艺规程、工艺卡的编写。依据方法标准、验收标准、技术文件进行编写。

d) 相关标准

熟悉标准，能够理解条款的规定；通过下列标准的能在实际工作中正确执行各项规定。

- 1) ASTM E 1444-2025
- 2) GJB 2028A-2019
- 3) MIL-STD-1907:2019

5.4. 渗透检测 (PT)

5.4.1. 物理原理

掌握渗透检测原理、适用范围及局限性。掌握渗透检测的分类。了解渗透检测与磁粉检测、涡流检测各自的适用范围。掌握毛细作用中润湿能力和接触角的关系，表面张力和表面张力系数物理意义，毛细现象和毛细作用力的产生过程，润湿液体在毛细管中的上升高度。理解乳化作用中表面活性剂亲水性；理解表面活性剂的作用；掌握亲水和亲油型乳化剂各自的特点。掌握显像剂的显像原理；掌握光致发光原理，荧光下渗透液为何会发光；掌握荧光检测所用黑光的波长范围。掌握对比度和可见度。理解渗透剂的静态渗透特性和动态渗透特性。

5.4.2. 设备和器材

掌握各类渗透剂的特点、性能（粘度、颜色、荧光亮度、灵敏度、闪点、去除能力、含水量、腐蚀性、槽液寿命、安全）及组份。掌握去除剂与乳化剂的种类、性能（乳化效果、抗污染能力、粘度和浓度、稳定性、颜色、安全等）及特点。掌握显像剂的种类、性能（显像剂密度、沉降率、分散性、润湿能力、腐蚀性等）及特点。了解渗透检测的各类装置（预清洗装置、渗透剂槽、乳化剂槽、水洗槽、显像装置、黑光灯、白光灯、烘箱等）及装置各自功能。

5.4.3. 检测技术及应用

掌握表面污染的种类、影响；掌握缺陷中污染的影响；渗透检测表面准备和预清洗方法。掌握施加渗透剂的各种方法及时间控制。掌握水洗温度、水洗压力、乳化时间（停留时间、滴落时间）、离工件的距离、乳化剂的浓度控制、溶剂去除方法及注意事项。掌握烘箱的干燥方式（热空气循环干燥）、干燥时间的控制。掌握显像方法、时间的控制。掌握着色检验白光照度的要求；掌握荧光检验暗室环境的要求和黑光辐照度的要求；掌握暗室适应时间要求。掌握后清洗方法及重要性。掌握水洗型渗透检测方法的工艺流程；掌握后乳化型渗透检测方法的工艺流程；掌握溶剂去除型渗透检测方法的工艺流程；掌握各种渗透检测方法的优缺点；理解渗透检测方法的选择原则；理解渗透检测工序安排原则。理解工艺规程包括的基本内容。掌握不相关显示、相关显示、虚假显示、不连续性、缺陷的概念；掌握不连续性显示的记录方式。掌握铝合金淬火试块（A型）、不锈钢镀铬辐射状裂纹试块（B型）、黄铜镀镍铬裂纹试块（C型）的用途、特点、制作过程及依据的标准。掌握渗透检测工艺性能的控制校验。掌握渗透检测的安全防护措施、渗透检测材料对操作者的影响、黑光灯紫外线的防护；理解渗透检测产生的污水、废弃溶剂等对环境的危害。

5.4.4. 实际操作

a) 质量控制

掌握系统灵敏度、黑光灯强度、室温、暗室白光照度、显像剂、白光照度的定义及其对磁粉检测的影响，能规范进行以上试验操作，并获得准确的结果。

b) 检测操作

掌握预清洗参数应符合清洗剂说明书或工艺文件要求，合理控制清洗后的干燥程度；渗透技术选择合理，渗透液灵敏度等级选择合适，浸泡时间、滴落时间控制合理；渗透液去除工艺参数合理；干燥方式、温度、压力、时间等参数控制合理，去除效果控制良好；显像时间控制合理；准确判别相关显示、非相关显示及假显示，对如裂纹之类的典型缺陷做出定性的评价，检查区的环境控制合理；渗透完的零件清洗干净，无渗透材料残留；检测报告基本内容填写正确，缺陷显示位置、形状、大小描述准确，报告格式设计合理，卷面整齐、干净，划改符合要求。

c) 工艺规程和工艺卡

教学内容：工艺规程、工艺卡的编写。

教学要求：依据方法标准、验收标准、技术文件进行编写。

d) 相关标准

熟悉标准，能够理解条款的规定；通过下列标准的能在实际工作中正确执行各项规定。

- 1) ASTM E1417-2021

2) GJB 2367A-2005

3) MIL-STD-1907:2019

5.5. 射线照相检测 (RT: 胶片射线照相、非胶片射线照相)

5.5.1. 物理原理

了解质子、电子、中子的性质；了解行星模型、外层电子壳层结构、电子轨道概念、能级、电离、激发、跃迁；理解原子的核电荷数、原子序数、原子量。了解放射性基本概念、放射性同位素。理解放射性衰变概念（衰变、半衰期、衰变常数）、主要衰变方式（ α 衰变、 β 衰变、 γ 跃迁）、基本规律、简单计算；了解放射性同位素源活度概念、活度单位、比活度；了解射线的概念、分类（粒子辐射、电磁辐射）、主要射线；理解X射线和 γ 射线的本质、基本性质、产生基本过程、光子。理解X射线和 γ 射线与物质的主要作用（光电效应、康普顿效应、电子对效应、瑞利散射）、作用基本过程、主要特点。掌握窄束单色射线的衰减规律、基本概念（散射、吸收、衰减、窄束射线、单色射线、线衰减系数、半值层）、公式、计算；了解宽束连续谱射线的衰减规律、基本概念（宽束射线、散射比）、公式、简单理解；了解中子与物质的基本作用与吸收特点。理解射线照相检测的基本原理及主因对比度公式；理解影像形成原理、影像特点（叠加、放大、畸变）。了解感光（潜影形成）基本过程、射线照相效应特点；理解影像质量的概念、基本因素（对比度、清晰度、颗粒度）、主要影响因素。掌握射线照相对比度的分类（主因对比度、胶片对比度）、基本公式、影响因素、计算；理解射线照相不清晰度的类型（几何不清晰度、固有模糊度、总的模糊度）、公式、影响因素、计算；掌握射线照相灵敏度的概念、测定器件、测定方法。

5.5.2. 设备和器材

了解X射线机的基本构成、各部分作用、原理电路、类型（固定式、移动式、便携式；定向机、周向机；大焦点、小焦点、微焦点）、各类型特点与适用范围；理解X射线机的主要技术性能（辐射强度、辐射角、有效焦点、管电压范围、管电流范围）、工作过程、老化训练、性能测定；了解X射线管的基本结构、基本功能、主要类型（玻璃管、波纹陶瓷管、金属陶瓷管）；理解X射线产生的基本过程、条件、X射线谱、线质、平方反比定律。了解 γ 射线机的基本结构，包含放射性同位素源、源容器、输源导管、驱动与安全连锁机构；理解常用 γ 射线源（钴-60、铯-137、铱-192、镅-241、钚-238）的主要特性（能量、半衰期、照射率常数）、适用范围（钢、不同级别技术）。了解工业射线胶片的结构、特点、分类（G1、G2、G3、G4）、使用和保管。掌握照相黑（密）度概念；曝光量概念；理解射线胶片的主要感光特性（感光速度、梯度、灰雾度、宽容度）、特点及与胶片感光乳剂粒度的关系；理解感光特性曲线的概念、黑度与感光特性关系、胶片与影像质量关系、感光特性曲线简单计算；了解胶片系的概念。了解增感、增感系数

概念；理解增感屏的类型（金属增感屏、荧光增感屏、复合增感屏）、结构、增感基本机理、主要特点；掌握铅箔增感屏使用。理解像质计的作用、基本要求、基本结构；了解丝（线）型像质计的结构、要求、使用；了解其他类型像质计结构与特点，包括阶梯孔型像质计、槽型像质计、平板型像质计。了解观片灯的主要性能；了解黑度（光学密度）计的基本原理；理解滤波片的构成、作用；掌握标记的分类、构成与作用；了解自动洗片机的基本结构。

5.5.3. 检测技术

了解检测的基本过程，如准备、透照、暗室处理、评片、报告；掌握透照布置考虑的因素，包括方式、方向、有效透照区、散射线屏蔽、简单透照布置计算；理解主要透照布置及其特点，包括单壁透照、双壁双影透照、椭圆成像透照、周向透照；掌握透照参数（透照电压、焦距、曝光量）的选取、与影像质量的关系、曝光因子、曝光量简单计算、最小焦距计算；掌握散射线产生、对影像质量的影像、主要控制方法；理解X射线曝光曲线的类型（ $\lg E - (kV) - T$ 、 $kV - (E) - T$ ）、制作和使用；了解其他技术，如多胶片技术、补偿技术、缺陷定位技术。了解暗室的条件要求、安全红灯检验；了解显影液与定影液的组成部分、各组分作用、失效原因；停影液的作用与组成；了解显影与定影的基本机理、基本过程；理解暗室处理的过程、主要控制因素（温度、时间、操作、溶液有效性、系统稳定性）、与影像质量的关系、常见问题。了解评片基本要求，包括工作内容、环境、观片灯、暗适应规定；理解底片质量的指标、影响因素、质量问题（黑度不符、灵敏度低）初步分析与解决；掌握缺陷识别的基本方法、熔焊常见缺陷、铸造常见缺陷；理解质量级别评定、验收条件和参考射线照片的理解和使用；了解衍射斑纹与静电斑纹的常见形态和识别；了解常见伪缺陷影像的形态、产生原因、消除方法。了解射线实时成像检测系统的基本构成与基本检测技术；了解中子射线照相检测的基本技术与主要应用。

5.5.4. 实际应用和安全操作

掌握铸件检测技术。掌握熔化焊（电弧熔焊、电子束焊、电阻焊）接头（对接、角接、搭接）、检测技术。了解电子元器件检测技术。了解（致）电离辐射、非（致）电离辐射的概念；掌握主要辐射量（照射量、吸收剂量、剂量当量）的概念、单位；了解辐射生物效应的概念、分类（躯体效应、遗传效应；近期效应、远期效应；随机效应、非随机效应）、特点；了解辐射损伤的概念、分类（急性损伤、慢性损伤）、特点、相关因素。了解辐射防护基本原则的（实践）正当化原则、最优化原则、限值化原则；理解辐射防护的外照射限值（随机效应、非随机效应）规定；了解外照射辐射防护的基本方法（距离、时间、屏蔽）；了解辐射监测仪器的类型与主要特点，包括电离室、闪烁计数器；笔式剂量仪、胶片剂量徽章；了解辐射防护管理的主要规定，包括放射工作人员健康、事故。了解国务院第44号《放射性同位素与射线装置放射防护条例》的主要规

定。了解GB4792-1984《放射卫生防护基本标准》主要规定，包括外照射限值、放射工作条件分类；了解X射线设备安全操作要求、辐射防护、联锁机构、报警指示、安全用电；了解限制射线设备照射区的基本方法；了解操作事故的紧急处理。

5.5.5. 实际操作

a) 质量控制

掌握底片黑度、工作密度计、暗室温度、透照场照度定义及其对磁粉检测的影响，能规范进行以上试验操作，并获得准确的结果。

b) 检测操作

掌握常用工业X射线机、像质计、铅箔增感屏、观片灯、黑度计、标记、屏蔽铅板、自动洗片机的使用。掌握探伤方案、技术级别和参数的确定。掌握透照布置的选取、实施（透照方式和方向、设备调整、试件布置、胶片布置、散射线防护、标记布置、像质计布置、工装、环境）。掌握切装胶片、配制显、定影液、手工暗室处理胶片操作。准确判别相关显示、非相关显示及假显示，对如裂纹之类的典型缺陷做出定性的评价，检查区的环境控制合理；掌握曝光曲线的制作，主要技术性能测定（辐射场强度分布、辐射角、焦点位置、有效焦点）。检测报告基本内容填写正确，缺陷显示位置、形状、大小描述准确，报告格式设计合理，卷面整齐、干净，划改符合要求。

c) 工艺规程和工艺卡

工艺规程、工艺卡的编写。依据方法标准、验收标准、技术文件进行编写。

d) 相关标准

熟悉标准，能够理解条款的规定；通过下列标准的能在实际工作中正确执行各项规定。

- 1) ASTM E1742-2023
- 2) GJB 1187A-2019
- 3) GB 18871-2002
- 4) ASTM E2698-2018
- 5) ASTM E2033-2024
- 6) GB/T 35388-2017
- 7) ASTM E1695-2020
- 8) ASTM E1570-2019
- 9) GB/T 29069-2012
- 10) GB/T 29070-2012
- 11) T/NAB042-2025

5.6. 超声波检测 (UT)

5.6.1. 物理原理

理解机械振动和机械波的概念、分类、产生条件；理解机械振动周期、机械振动频率的定义及其相互关系。掌握超声波的定义，理解超声波的分类，理解超声波声压、声强、质点振动速度的定义，理解声阻抗的定义和一般表达式、各参数的物理意义，理解分贝的声压表达式及声强表达式，掌握常用分贝数值与声压比值的关系。理解超声波的传播机理、几何传播方式；了解惠更斯原理、波的叠加、干涉、衍射；掌握超声波的传播波长、声速、频率的定义及其相互关系；理解超声波在介质中的传播声速、传播衰减；理解超声波垂直入射到平界面上、曲界面上时的反射和透射及超声波倾斜入射到平界面上时的反射和折射。理解声轴的概念及圆盘声源声轴上的声压分布规律；掌握近场、远场、非扩散区和扩散区的概念及近场长度的计算，理解声束的概念及声束指向角的计算；理解声压的简化公式及其适用条件。理解平底孔回波、大平底回波声压的简化公式；理解长横孔回波声压与距离、尺寸的关系。

5.6.2. 设备和器材

理解超声波检测仪的基本构成、各单元作用及工作原理；理解超声波检测仪的分类、主要性能、旋钮的作用；理解探头的基本结构、工作原理、分类及主要性能；理解探头电缆线的基本结构和作用；理解检测系统组合性能；掌握检验场所环境的要求。掌握耦合剂的作用，理解常用耦合剂的类型。理解试块的分类；掌握标准试块和对比试块的定义及用途、使用和维护；了解标准试块的使用；理解常用标准试块的材质、规格、用途、制作和检验要求。

5.6.3. 检测技术及应用

理解超声波检验方法的分类（包括脉冲反射法、穿透法、接触法、水浸法和纵波、横波、瑞利波、兰姆波）；理解各种方法的基本原理、方法特点与适用范围。掌握试块准备、水平基线调整、灵敏度调整。理解扫查方式、非缺陷回波判定。理解缺陷评定参数、缺陷当量评定方法、指示长度测量的基本方法、缺陷位置测定方法。掌握影响检测结果的因素。了解超声相控阵扫描检测技术、泄露兰姆波检测技术、电磁声检测技术、超声波背散射检测技术、超声显微镜技术。理解锻件、焊缝、复合材料、管材、板材、棒材检验技术；了解铸件、胶接结构检测技术。

5.6.4. 实际操作

a) 质量控制

掌握灵敏度余量、垂直线性误差、水平线性误差的定义及其对超声波检测的影响，能规范进行以上试验操作，并获得准确的结果。

b) 检测操作

掌握超声波检测仪各旋钮的功能，并按需要能正确调节，能够判断仪器的故障与异常。通过目视检查正确确定试件表面状态是否满足规定的要求。掌握根据有关标准和受检件的要求，选择适当的超声波检测方法和技术，确定所需仪器、探头、试块的参数及扫查参数。掌握仪器水平基线调整、灵敏度调整、仪器状态的设置、实用AVG曲线的制作、横波探头K值和入射点的确定、材质衰减和表面损失的补偿、检测分辨率的校验。掌握水浸法探头操纵装置的调整和水距的调整；掌握手持探头，按检测工艺规程规定的探测面、扫查方式、扫查速度及扫查间距地进行扫查。掌握检测后零件的清洗、干燥，以及仪器、探头、试块的清洁和整理。掌握不连续性当量尺寸、位置、长度、面积、间距等的评定，能根据验收标准与不连续性的评定结果，对材料与零件作出合格与否的正确判定。检测报告基本内容填写正确，缺陷显示位置、形状、大小描述准确，报告格式设计合理，卷面整齐、干净，划改符合要求。

c) 工艺规程和工艺卡

教学内容：工艺规程、工艺卡的编写。

教学要求：依据方法标准、验收标准、技术文件进行编写。

d) 标准规范

熟悉标准，能够理解条款规定；通过下列标准的能在实际工作中正确执行各项规定。

- 1) AMS-STD-2154:2025
- 2) GJB 1580A-2004
- 3) BAC 5980-2024
- 4) GJB1038.1A-2004
- 5) T/NAB041-2025

5.7. 腐蚀检测 (EI)

5.7.1. 物理原理

金属基本知识 Basic knowledge of metal, 8h

a) 原子和键基本原理 Fundamental principle of atoms and bonds

b) 金属的晶体结构 Crystal structure of metal

c) 钢的基本知识 Basic knowledge of steel

1) 钢的构成 Composition of steel

2) 钢的牌号 Steel grade

- 3) 钢的晶粒结构 The grain structure of steel
- d) 相图及显微结构 Phase diagram and microstructure
- e) 铁碳相图和热处理加工基本知识 Iron-carbon diagram and HT process
- f) 冶金表面状态基本知识 Basic knowledge of metallurgical surface condition
- g) 侵蚀结构基本知识 Basic knowledge of erosion structure

腐蚀检测知识 EI process, 8h

- a) 腐蚀性钢 Corrosive steel
- b) 硝酸腐蚀检验及适用性 Nitric acid corrosion test and its applicability
- c) 设备及材料 Equipment and material
- d) 腐蚀程序及方式举例 EI procedure and examples
- e) 含酒精的硝酸浸蚀液注意事项及步骤 Cautions and steps of Nitric acid corrosion test
- f) 腐蚀设备及过程要求 EI equipment and process requirement
- g) 应遵守的安全措施 Cautions and safety
- h) 局部酸蚀及中间检验酸蚀操作及遵守程序 Local EI and in-process inspection
- i) 无水抗渣剂酸蚀步骤 Steps of anhydrous anti-sludge agent EI
- j) 酸蚀程序的擦拭方式及检查注意事项 Cautions for cleaning and inspection
- k) 不锈钢零件酸蚀程序及检查注意事项 Cleaning and inspection of stainless steel (SST) parts
- l) 典型酸蚀检验溶液的检查周期 Periodic test of typical EI solutions
- m) 氢脆化基本知识 Basic knowledge of Hydrogen embrittlement

5.7.2. 设备和器材

5.7.3. 检测技术及应用

溶液和过程的控制 Solution and process control, 4h

- 溶液的制备 Preparation of solutions
- 溶液控制 Control of solution
- 系统控制 System control
- 腐蚀性钢的检验和判读 Inspection and evaluation of corrosive steel
- 完全硬化零件的检查处理 Disposition of Fully hardened parts

5.7.4. 实际操作

检验程序和标准 Inspection standard, 12h

- 标准 MIL-STD-867 Standard MIL-STD-867
 - 标准 HB-7717 Standard HB-7717
 - 客户标准 Customer standards
 - 检测工艺卡编制 Preparation of testing process cards
- 实际操作培训 Practical operation training, 8h

6. 正式培训的学时分配

以下为正式培训的学时，根据培训实际情况可适当增加培训学时，但原则上不会少于以下培训学时。

正式培训课时安排表

无损检测方法		最低正式培训课时 (h)				
		通用理论	基础知识	专业规范	检测工艺	现场操作
腐蚀检测 (EI)	1 级	16	—	8	—	16
	2 级	24	—	16	8	16
	3 级	32	16	16	16	16
涡流检测 (ET)	1 级	16	—	8	—	16
	2 级	24	—	16	8	16
	3 级	32	16	16	16	16
磁粉检测 (MT)	1 级	8	—	8	—	8
	2 级	16	—	8	8	16
	3 级	16	16	8	8	16
渗透检测 (PT)	1 级	8	—	8	—	8
	2 级	16	—	8	8	16
	3 级	16	16	8	8	16
射线检测 (RT) 胶片射线照相 非胶片射线照相	1 级	16	—	8	—	16
	2 级	24	—	16	8	16
	3 级	32	16	16	16	16
超声检测 (UT)	1 级	16	—	8	—	16
	2 级	24	—	16	8	16
	3 级	32	16	16	16	16

无损检测方法		最低正式培训课时 (h)				
		通用理论	基础知识	专业规范	检测工艺	现场操作
激光散斑检测 (ST)	1 级	16	—	8	—	16
	2 级	24	—	16	8	16
	3 级	32	16	16	16	16
红外成像检测 (IRT)	1 级	16	—	8	—	16
	2 级	24	—	16	8	16
	3 级	32	16	16	16	16

