

DINDT

# 目视检测

《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会 编

国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材

# 目 视 检 测

《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会 编

主 编 王跃辉

主 审 花家宏



机 械 工 业 出 版 社

目视检测是无损检测的一种常用方法。本书是国防工业无损检测 II、III 级人员培训教材。系统地介绍了目视检测的理论基础、设备与仪器及其使用、目视检测的实际操作、各种零部件和材料的目视检测技术、相关标准、检测规程和工艺卡、目视检测质量管理和安全防护等知识,使学员能够全面了解和掌握目视检测的各个环节。

本书可供参加无损检测资格鉴定与认证培训的教师、学员使用,也可供从事目视检测和质量管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

目视检测/《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会编. —北京:机械工业出版社,2006.1

国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材

ISBN 7-111-18439-4

I. 目 ... II. 国 ... III. 无损检测—目测法—技术培训—教材 IV. TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 007288 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:吕德齐 孔 劲

责任印制:李 妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2006 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1 092mm 1/16·8.75 印张·202 千字

0 001—4 000 册

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

编辑热线:(010) 88379771

封面无防伪标均为盗版

## 编审委员会

主 任 马恒儒

副主任 陶春虎 郑 鹏

成 员 （以姓氏笔画为序）

王自明 王任达 王跃辉 史亦韦 叶云长 叶代平 付 洋  
任学冬 吴东流 吴孝俭 何双起 苏李广 杨明纬 林猷文  
郑世才 徐可北 钱其林 郭广平 章引平

## 审定委员会

主 任 吴伟仁

副主任 徐思伟 耿荣生

成 员 （以姓氏笔画为序）

于 岗 王海岭 王晓雷 王 琳 史正乐 任吉林 朱宏斌  
朱春元 孙殿寿 刘战捷 吕 杰 花家宏 宋志哲 张京麒  
张 鹏 李劲松 李荣生 庞海涛 范岳明 赵起良 柯 松  
宫润理 徐国珍 徐春广 倪培君 贾慧明 景文信

## 编委会办公室

主 任 郭广平

成 员 （以姓氏笔画为序）

任学冬 朱军辉 李劲松 苏李广 徐可北 钱其林

## 序 言

无损检测技术是产品质量控制中不可缺少的基础技术。随着产品复杂程度的增加和对安全性保证的严格要求,无损检测技术在产品质量控制中发挥着越来越重要的作用,已成为保证军工产品质量的有力手段。无损检测应用的正确性和有效性,一方面取决于所采用的技术和设备的水平,另一方面在很大程度上取决于无损检测人员的经验和能力。无损检测人员的资格鉴定是指对报考人员正确履行特定级别无损检测任务所需知识、技能、培训和实践经历所作的验证;认证则是对报考人员能胜任某种无损检测方法的某一等级资格的批准并作出书面证明的程序。对无损检测人员进行资格鉴定是国际通行做法。美国、欧洲等发达国家都建立了有关无损检测人员资格鉴定与认证标准。国际标准化组织 1992 年 5 月制定了国际标准 ISO 9712,规定了人员取得等级资格与所能从事工作的对应关系,通过人员资格鉴定与认证对其能力进行确认。无损检测人员资格鉴定与认证对确保产品质量的重要性日益突出。

改革开放以来,船舶、核能、航天、航空、兵器、化工、煤炭、冶金、铁道等行业先后开展了无损检测人员资格鉴定与认证工作,对提高无损检测人员素质,确保产品质量发挥了重要作用。随着社会主义市场经济体制不断完善,国防科技工业管理体制逐步深化,技术进步日新月异,特别是高新技术武器装备的科研、生产对质量工作提出新的更高要求,现有的无损检测人员资格鉴定与认证工作已经不能适应形势发展的要求。未来十年是国防科技工业实现跨越发展的重要时期,做好无损检测人员资格鉴定与认证工作对确保高新技术武器装备研制、生产的质量具有极为重要的意义。

为进一步提高国防科技工业无损检测技术保障水平和能力,国防科工委《关于加强国防科技工业技术基础工作的若干意见》提出了要研究并建立与国际惯例接轨,适应新时期发展需要的国防科技工业合格评定制度。2002 年国防科技工业无损检测人员的资格鉴定与认证工作全面启动,各项工作稳步推进;2002 年 11 月正式颁布 GJB 9712—2002《无损检测人员的资格鉴定与认证》;2003 年 8 月出版了《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考试大纲》;2003 年 9 月国防科工委批准成立国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证委员会,授权其统一管理和实施承担武器装备科研生产的无损检测人员资格鉴定与认证工作,标志着国防科技工业合格评定制度的建立开始迈出了重要的一步。鉴于国内尚无一套能满足 GJB 9712 和《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考试大纲》要求的教材,为了做好国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考核工作,国防科工委科技与质量司组织有关专家编写了这套国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材。

本套教材比较全面、系统地体现了 GJB 9712—2002《无损检测人员的资格鉴定与认

证》和《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考试大纲》的要求，包括了对无损检测 I、II、III 级人员的培训内容，以 II 级要求内容为主体，注重体现 III 级所要求的深度和广度，强调实际应用；同时教材体现了国防科技工业无损检测工作的特色，增加了典型应用实例、典型产品及事故案例的介绍，并力图反映无损检测专业技术发展的最新动态。全套教材共 11 册，包括《无损检测综合知识》、《涡流检测》、《渗透检测》、《磁粉检测》、《射线检测》、《超声检测》、《声发射检测》、《计算机层析成像检测》、《全息和散斑检测》、《泄漏检测》和《目视检测》。

由于无损检测技术涉及的基础科学知识及应用领域十分广泛，而且计算机、电子、信息等新技术在无损检测中的应用发展十分迅速，教材编写难度较大。加之成书比较仓促，难免存在疏漏和不足之处，恳请培训教师和学员以及读者不吝指正。愿本套教材能够为国防科技工业无损检测人员水平的提高和促进无损检测专业的发展起到积极的推动作用。

本套教材参考了国内同类教材和培训资料，编写过程中得到许多国内同行专家的指导和支持，谨此致谢。

“国防科技工业无损检测人员  
资格鉴定与认证培训教材”编审委员会  
2005 年 6 月

## 前 言

根据国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证考试培训教材编审委员会 2003 年 4 月召开的“国防科技工业无损检测人员培训教材编写”工作会议和培训教材编写大纲审定会议确定分工,我们承担了《目视检测》教材编写,并贯彻以下编制原则:一是紧密围绕考试大纲,强调解决实际问题;二是突出体现国防科技工业无损检测工作特色,适当增加典型应用及案例的介绍;三是教材内容编排按照基础理论、检测技术及应用、相关标准和编制检测工艺规程四大部分安排章节。教材中带“\*”的章节仅适用于Ⅲ级人员。

本教材共设 10 章。第 1 章概述,简单介绍目视检测定义与应用场合以及可能发现的缺陷;第 2 章目视检测的光学基础,描述目视检测所需的光学知识和人眼视力知识,为理解后几章关于设备器材和检测技术的基本原理提供一个理论基础;第 3 章设备与仪器及其使用,描述目视检测设备器材的基本结构、原理以及使用要求,为学员正确选择和使用检测设备器材提供一个知识基础;第 4 章目视检测操作,叙述试件的准备要求,检测方法和结果记录等内容;第 5 章零部件及原材料目视检测,介绍焊接件、铸件、锻件、板材、管材等的检测要求和验收准则;第 6 章内窥镜检测技术,重点讲解内窥镜检测技术和典型缺陷图像案例分析;第 7 章相关标准介绍,主要介绍目视检测标准(模拟)以及简单介绍国内外相关标准;第 8 章检测工艺规范的编写,介绍工艺规程和工艺卡的编写要求和常见形式,提供参考知识;第 9 章目视检测的质量管理,描述目视检测过程中的质量控制要求,使学员了解影响检测质量的各方面因素,并掌握质量控制要点;第 10 章安全,简单介绍目视检测过程中对安全的要求。

本教材第 1、2、4、5、8、9、10 章由王跃辉编写,第 3 章由王跃辉、孙强编写,第 6 章由赵长铸、姜海光编写,第 7 章由赵长铸、王跃辉编写,全书由王跃辉整理定稿。花家宏担任主审,梅德松、杨炯、朱伟青、金春玲参加了审查。

本教材在编写中,除了参考国内外公开的一些文献外,还参考了核工业无损检测中心编写的核工业内部目视检测培训讲义、航天工业有关内窥镜检测标准方面的资料,教材也写入了编者从事目视检测工作积累的经验和在培训教学中的一些体会。编写组对有关作者及参与本书讨论的专家表示衷心感谢。

目前,在国内无损检测界,目视检测人员资格认证及持证上岗制度尚处在开拓阶段,现今还没有正式出版的目视检测人员培训教材,本书是初次尝试。限于编者水平,错误和疏漏恐在所难免,热诚欢迎参加培训的师生及广大读者提出宝贵意见。

《目视检测》编写组

2005 年 11 月

# 目 录

序言

前言

|                         |    |                          |    |
|-------------------------|----|--------------------------|----|
| 第1章 概述 .....            | 1  | 3.1.1 自然光源 .....         | 29 |
| 1.1 目视检测的定义 .....       | 1  | 3.1.2 人工光源 .....         | 29 |
| 1.2 目视检测的应用场合 .....     | 1  | *3.1.3 不可见光源 .....       | 30 |
| 1.3 目视检测可能发现的缺陷 .....   | 1  | 3.1.4 光源的选择 .....        | 30 |
| 1.3.1 原材料 .....         | 2  | 3.2 反光镜、放大镜、显微镜和         |    |
| 1.3.2 焊接件 .....         | 2  | 望远镜的构造与性能及使用 .....       | 30 |
| 1.3.3 压力容器 .....        | 2  | 3.2.1 反光镜 .....          | 30 |
| 复习题 .....               | 3  | 3.2.2 放大镜 .....          | 31 |
| 第2章 目视检测的光学基础 .....     | 4  | *3.2.3 显微镜 .....         | 31 |
| 2.1 光学基础 .....          | 4  | 3.2.4 望远镜 .....          | 31 |
| 2.1.1 光和光线 .....        | 4  | *3.3 管道镜的构造与性能及使用 .....  | 32 |
| 2.1.2 光的特性 .....        | 4  | 3.4 工业内窥镜的构造与性能及使用 ..... | 32 |
| 2.1.3 光学中的基本物理量 .....   | 5  | 3.4.1 直杆内窥镜 .....        | 32 |
| 2.1.4 光的反射 .....        | 9  | 3.4.2 光纤内窥镜 .....        | 33 |
| 2.1.5 光的折射 .....        | 13 | 3.4.3 视频内窥镜 .....        | 35 |
| 2.1.6 光的吸收和散射 .....     | 19 | 3.4.4 内窥镜的正确使用 .....     | 39 |
| 2.2 视力 .....            | 20 | *3.5 照度计及使用 .....        | 39 |
| 2.2.1 人眼解剖学与生理学         |    | 3.6 图像记录设备及其使用 .....     | 40 |
| 特点及图像形成 .....           | 20 | 3.6.1 照相机 .....          | 40 |
| 2.2.2 人眼看清物体的条件 .....   | 22 | 3.6.2 摄像机 .....          | 41 |
| *2.2.3 光强与颜色的观察         |    | 3.7 测量工具及其使用 .....       | 41 |
| 及其分辨力 .....             | 23 | 3.7.1 焊接检验尺 .....        | 41 |
| 2.3 目视检测人员的视力检查 .....   | 26 | 3.7.2 高度尺 .....          | 42 |
| 2.3.1 近视力检查和远视力检查 ..... | 26 | 3.8 设备的校验与周期 .....       | 43 |
| 2.3.2 色盲检查 .....        | 27 | 复习题 .....                | 43 |
| 2.3.3 夜盲和昼盲 .....       | 27 | 第4章 目视检测操作 .....         | 44 |
| 复习题 .....               | 28 | 4.1 试件的准备 .....          | 44 |
| 第3章 设备与仪器及其使用 .....     | 29 | 4.1.1 目视检测的必须条件 .....    | 44 |
| 3.1 光源的种类及其特点 .....     | 29 | 4.1.2 试件的准备 .....        | 44 |
|                         |    | 4.2 目视检测方法 .....         | 45 |

|                                |           |                                          |    |
|--------------------------------|-----------|------------------------------------------|----|
| 4.2.1 直接目视检测 .....             | 46        | 6.2.3 通道 .....                           | 71 |
| 4.2.2 间接目视检测 .....             | 46        | 6.2.4 图像的畸变 .....                        | 71 |
| 4.3 图像记录 .....                 | 46        | 6.2.5 分辨率、放大倍数、可检测<br>最小缺陷 .....         | 71 |
| 4.3.1 记录介质的分类 .....            | 46        | 6.2.6 物体表面反射率 .....                      | 71 |
| 4.3.2 记录介质的应用 .....            | 46        | 6.3 内窥镜的使用 .....                         | 72 |
| 复习题 .....                      | 47        | 6.3.1 环境要求 .....                         | 72 |
| <b>第 5 章 零部件及原材料目视检测 .....</b> | <b>48</b> | 6.3.2 对内窥镜探头的要求 .....                    | 72 |
| 5.1 焊接件 .....                  | 48        | 6.3.3 对内窥镜的要求 .....                      | 73 |
| 5.1.1 焊接基本知识 .....             | 48        | 6.3.4 产品的准备 .....                        | 73 |
| 5.1.2 焊缝目视检测一般要求 .....         | 53        | 6.3.5 一般内窥镜检测程序 .....                    | 74 |
| 5.1.3 焊缝缺陷的目视检查 .....          | 54        | 6.3.6 安全防护 .....                         | 74 |
| 5.1.4 验收准则 .....               | 58        | 6.3.7 内窥镜检测工艺验证 .....                    | 75 |
| 5.1.5 结果记录和报告 .....            | 60        | 6.4 内窥镜检测的范围 .....                       | 75 |
| 5.2 铸件 .....                   | 60        | 6.4.1 管路 .....                           | 75 |
| 5.3 锻件 .....                   | 61        | 6.4.2 容器 .....                           | 75 |
| 5.3.1 钢锻件中常见的表面缺陷 .....        | 61        | 6.4.3 孔洞及深孔制件 .....                      | 75 |
| 5.3.2 铝合金锻件中常见的<br>表面缺陷 .....  | 61        | 6.4.4 焊缝 .....                           | 75 |
| 5.4 板材 .....                   | 61        | 6.4.5 内表面粗糙度 .....                       | 75 |
| 5.5 管材 .....                   | 62        | 6.4.6 产品状态检查 .....                       | 75 |
| 5.5.1 管材的分类 .....              | 62        | 6.5 内窥镜检测主要缺陷图像 .....                    | 76 |
| 5.5.2 管材中常见的表面缺陷 .....         | 62        | 6.5.1 多余物 .....                          | 76 |
| 5.6 检测要求 .....                 | 63        | 6.5.2 锈迹、腐蚀 .....                        | 76 |
| 5.6.1 铸件检测要求 .....             | 63        | 6.5.3 毛刺翻边 .....                         | 77 |
| 5.6.2 锻件检测要求 .....             | 63        | 6.5.4 起皮(翻皮) .....                       | 78 |
| 5.6.3 钢板检测要求 .....             | 63        | 6.5.5 划痕、拉伤(划伤) .....                    | 78 |
| 5.6.4 管材检测要求 .....             | 64        | 6.5.6 凸起、凹陷 .....                        | 78 |
| 5.7 其他目测检查 .....               | 64        | 6.5.7 异常斑点 .....                         | 79 |
| 5.7.1 螺栓检查 .....               | 65        | 6.5.8 焊接缺陷 .....                         | 80 |
| 5.7.2 设备支承检查 .....             | 66        | 6.5.9 颜色变化 .....                         | 80 |
| 5.7.3 系统的泄漏检查 .....            | 66        | 6.5.10 裂纹 .....                          | 80 |
| 复习题 .....                      | 66        | 6.5.11 镀(涂)层损伤、脱落 .....                  | 81 |
| <b>第 6 章 内窥镜检测技术 .....</b>     | <b>68</b> | 6.5.12 磨损 .....                          | 81 |
| 6.1 内窥镜选用 .....                | 68        | 6.5.13 烧蚀 .....                          | 81 |
| 6.2 影响内窥镜检测的主要因素 .....         | 69        | 6.6 内窥镜测量技术 .....                        | 82 |
| 6.2.1 照明条件 .....               | 69        | 6.6.1 内窥镜测量的特点 .....                     | 82 |
| 6.2.2 探头位置与角度 .....            | 70        | 6.6.2 阴影测量法: 利用阴影投射及<br>三角几何原理进行测量 ..... | 82 |

|                                                |     |                                     |     |
|------------------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 6.6.3 双物镜测量法: 利用三角<br>几何原理 .....               | 84  | 7.6.1 美国 ASME 规范 .....              | 100 |
| 6.6.4 比较测量法: 利用同一观察<br>面上已知尺寸进行比较测量 .....      | 86  | 7.6.2 法国 RCC—M 标准 .....             | 105 |
| 6.6.5 测量试块的要求 .....                            | 87  | 复习题 .....                           | 108 |
| 6.6.6 测量精度 (只考虑阴影测量和<br>双物镜测量) .....           | 87  | <b>第 8 章 检测工艺规范的编写</b> .....        | 109 |
| 6.6.7 与测量精度有关的<br>因素的影响 .....                  | 87  | 8.1 目视检测工艺规程 .....                  | 109 |
| 复习题 .....                                      | 88  | 8.1.1 管理性规定 .....                   | 109 |
| <b>第 7 章 相关标准介绍</b> .....                      | 89  | 8.1.2 技术性规定 .....                   | 109 |
| 7.1 国内目视检测标准现状 .....                           | 89  | 8.2 检测工艺卡 .....                     | 119 |
| 7.2 目视检测方法标准 (模拟) .....                        | 89  | 复习题 .....                           | 121 |
| 7.2.1 适用范围 .....                               | 89  | <b>第 9 章 目视检测的质量管理</b> .....        | 122 |
| 7.2.2 规范性引用文件 .....                            | 89  | 9.1 人员要求 .....                      | 122 |
| 7.2.3 术语和定义 .....                              | 90  | 9.2 仪器设备和环境控制 .....                 | 122 |
| 7.2.4 目视检测分类 .....                             | 90  | 9.3 检验文件 .....                      | 123 |
| 7.2.5 一般要求 .....                               | 90  | 9.3.1 检测工艺规程 .....                  | 123 |
| 7.2.6 检测文件 .....                               | 91  | 9.3.2 质量计划 .....                    | 124 |
| 7.2.7 检测要求 .....                               | 91  | 9.3.3 文件的有效性 .....                  | 124 |
| 7.2.8 评判记录 .....                               | 92  | 9.4 检测实施控制 .....                    | 124 |
| 7.2.9 检测报告 .....                               | 92  | 复习题 .....                           | 124 |
| 7.3 目视检测验收标准 (模拟) .....                        | 92  | <b>第 10 章 安全</b> .....              | 126 |
| 7.3.1 适用范围 .....                               | 93  | 10.1 目视检测的安全要求 .....                | 126 |
| 7.3.2 规范性引用文件 .....                            | 93  | 10.1.1 “安全”“健康”的定义以及<br>危害和风险 ..... | 126 |
| 7.3.3 验收细则 .....                               | 93  | 10.1.2 “安全第一”的工作方针 .....            | 126 |
| 7.3.4 结果处理 .....                               | 93  | 10.2 目视检测工作中存在的<br>危险 .....         | 126 |
| 7.4 内窥检测标准介绍 .....                             | 93  | 10.2.1 造成事故的基本原因 .....              | 126 |
| 7.4.1 QJ 2859—1996《工业内窥镜<br>操作使用方法与判定规则》 ..... | 93  | 10.2.2 有害和易燃化学品的<br>污染危害 .....      | 127 |
| 7.4.2 内窥检测规范 .....                             | 95  | 10.2.3 危险化学品对健康的<br>影响 .....        | 127 |
| 7.5 内窥检测验收标准 (模拟) .....                        | 99  | 10.3 预防措施 .....                     | 127 |
| 7.5.1 适用范围 .....                               | 99  | 10.3.1 集体预防措施 .....                 | 127 |
| 7.5.2 验收细则 .....                               | 99  | 10.3.2 个人基本防护要求 .....               | 128 |
| 7.5.3 结果处理 .....                               | 99  | 10.4 眼睛的防护 .....                    | 128 |
| 7.6 国外目视检测标准情况 .....                           | 100 | 复习题 .....                           | 129 |

# 第1章 概述

随着现代工业的发展,对产品质量和结构的安全性,使用的可靠性提出了越来越高的要求。由于无损检测技术具有不破坏工件、检测灵敏度高、可靠性好等优点,所以被广泛地应用于各种行业。国防科学技术工业承担着国家航天、航空、船舶、兵器、核工业等重大国防和民用建设任务,其生产制造的产品关系着国家的和平与安定,关系着人民健康安全等重要领域,无损检测技术的应用显得尤为重要。其目的主要是为了保证产品质量、保障使用安全、改进生产工艺、降低生产成本。

## 1.1 目视检测的定义

人类的视觉功能是一种本能,因此目视检测可以说是有人类以来就有的最为古老的方法,从广义上说只要人们用视觉所进行的检查都称为目视检查。现代目视检测是指用观察评价物品(诸如容器和金属结构和加工用材料、零件和部件的正确装配、表面状态或清洁度等)的一种无损检测方法,它仅指用人的眼睛或借助于光学仪器对工业产品表面作观察或测量的一种检测方法,典型的是将目视检测限制在电磁谱的可见光范围之内。

## 1.2 目视检测的应用场合

目视检测是无损检测的重要方法之一。由于原理简单,易于理解和掌握,不受或很少受被检产品的材质、结构、形状、位置、尺寸等因素的影响,一般情况下,无须复杂的检测设备器材,检测结果具有直观、真实、可靠、重复性好等优点,被广泛应用于产品制造、安装、使用的各个阶段。它不仅可应用于原材料的检查,例如铸件、锻件、坯料、棒材、丝材、管件、粉末冶金、非金属材料等,也可应用于产品检查,例如焊接件、设备支撑、螺栓、螺母、减振器、限位、压力容器等,同时也可应用于产品使用过程中的定期和非定期检查。

## 1.3 目视检测可能发现的缺陷

目视检测是一种表面检测方法,其应用范围相当广泛,不但能检测工件的几何尺寸、结构完整性、形状缺陷等,而且还能检测工件表面上的缺陷和其他细节。由于受到人眼分辨能力和仪器设备分辨率的限制,目视检测不能发现表面上非常细微的缺陷。在观察过程中由于受到表面照度、颜色的影响容易发生漏检现象。

### 1.3.1 原材料

#### 1. 铸件

铸件是金属液体注入铸模中冷却凝固而形成的产品。铸件目视检测一般都是在铸件清砂或出胚切掉冒口后进行。铸件中常见的缺陷有：几何尺寸不符合要求和铸造缺陷，例如，粘砂、夹砂、裂纹（冷、热裂纹）、缩孔、疏松、气孔等。

#### 2. 锻件

锻件是由热态金属经施加外力产生塑性形变而形成的产品。锻件目视检测一般在锻件热处理后进行。锻件中常见的缺陷可分为铸造缺陷、锻造缺陷和热处理缺陷。铸造缺陷主要有：缩孔残余、疏松、夹杂物、裂纹等。锻造缺陷主要有：折叠、白点、裂纹等。热处理缺陷主要有：裂纹等。

#### 3. 管材

管材种类很多，按其材料可分为黑色金属管、有色金属管、非金属管等；按其制造方法可分为锻制管、铸造管、热轧管、冷轧管、热拔管、冷拔管、热挤压管、冷挤压管、焊接管、复合管等。管材中常见缺陷由于管材的制法不同，出现的缺陷种类亦有所不同。

##### （1）铸造管

1) 表面气孔。其表现特征为半球形，椭球形或蝌形等空腔，呈单个分散、密集或链状分布。

2) 残余缩孔。常呈漏斗状空洞。

3) 裂纹。热裂纹往往成群出现且略有曲折；而冷裂纹则较为平直，且缝隙较小。

##### （2）锻、轧、拉和挤压管

1) 起皮。管壁内孔穴中气体因膨胀而在管表面上造成的凸起。

2) 管端分层。位于管坯端头的缺陷在制造过程中被压扁和延伸至端面与管表面平行将金属分离。

3) 折叠。轧制或使用其他方法进行加工时管坯局部金属被叠压在管表面。

4) 划痕。

5) 鳞皮。过热氧化皮引起的鳞皮。

6) 裂纹。

7) 其他缺陷。

##### （3）焊接管

焊接件表面存在的缺陷在焊接管中都可能出现（见 1.3.2 焊接件）。

### 1.3.2 焊接件

焊接结构在焊制过程中因焊接工艺与设备条件的偏差、残余应力状态和冶金因素变化的影响，往往会在焊缝中产生各种各样的缺陷，常见的缺陷有气孔、裂纹、未熔合、未焊透、夹渣、形状缺陷等。

### 1.3.3 压力容器

压力容器的类型类别很多，其基本构成可分解为筒体、端盖（封头）、法兰、接管、

支座等几部分，通常用焊接的方法制造。所以压力容器的目视检测主要是对各种焊缝的检测，同时也包括压力容器的泄漏检查、外观质量检查、内部质量检查等。

## 复 习 题

1. 简述无损检测在现代化工业生产中使用的目的。
2. 目视检测的定义与应用场合。
3. 目视检测可以发现的缺陷类型。
4. 原材料中存在的主要表面缺陷。
5. 焊接件中常见的表面缺陷。

## 第2章 目视检测的光学基础

### 2.1 光学基础

#### 2.1.1 光和光线

光和人类的生产生活有着十分密切的关系，人的视觉要依靠光，人类的一切活动几乎都离不开光，人们常说“耳听为虚，眼见为实”正反映了人对光的重要作用的认识。人类通过实践积累了有关光的丰富的感性知识，很早就开始研究光。对光的本性的认识从牛顿的微粒说，发展到惠更斯的波动说，麦克斯韦根据电磁波的性质证明，光实际上是电磁波。从此人类对光的本性有了比较正确和全面的认识。现代物理认为，光是一种具有波粒二像性的物质，即光既具有“波动性”又具有“粒子性”。只是在一定的条件下某种性质显得更为突出。

光波是电磁波的一种，波长在  $400\sim 760\text{nm}$  ( $1\text{nm}=10^{-6}\text{mm}=10\text{\AA}$ ) 的电磁波能够被人眼感觉，称为“可见光”，超出这个范围人眼就无法感觉得到。不同波长的光产生不同的颜色感觉。同一波长的光，具有相同的颜色，称为“单色光”。由不同波长的光混合而成的光称为“复色光”，不同颜色光的波长范围如图 2-1 所示。白光是由各种不同波长的光混合而成的一种复色光。

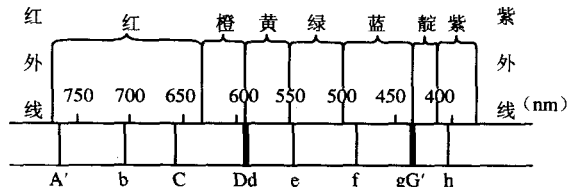


图2-1 不同颜色的波长范围

把光的概念和几何中的点、线、面有机地联系起来，就形成了几何光学的几个基本概念。光源是一个光的辐射体，当光源的大小和其辐射能的作用距离相比可以忽略不计，就称之为发光点，发光点被认为是一个既无体积又无大小的几何点。任何被成像的物体都是由无数发光点所组成的。用一条表示光传播的线来代表光，称之为光线，光线是一条携带能量的几何线。这种发光点和光线实际上是不存在的，因为它们的能量密度为无限大，但是，发光点和光线概念的几何化可以使人们处理问题大为简化，使人们用简单的数学方法和图解法就可以解决十分复杂的光能传播和成像问题。

#### 2.1.2 光的特性

##### 1. 光源

眼睛所以能看见物体，是由于物体对我们的眼睛引起光的感觉。像太阳、电灯等能

够发光的物体,叫做光源或发光体。太阳是最大的光源。不发光的物体,只要受到发光体的照射,能反射出光来引起眼睛的感觉,我们同样可以看见。物体所以能发光,多半是由于物体的温度很高,就是所谓的热发光。金属和碳热到  $500^{\circ}\text{C}$  时发出可见的暗红色的光,温度再升高光色就变黄,热到  $1500^{\circ}\text{C}$  时成白炽。太阳表面的温度大约是  $6000^{\circ}\text{C}$ ,内部温度大约是  $20000000^{\circ}\text{C}$ ,所以发光极强。大多数发热的化学反应也同时发光,但是化学发光不一定是热发光。其他像生物发光、稀薄气体放电时的发光以及荧光和磷光等都不是热发光。

## 2. 光的传播

光在各向同性的均匀介质中是沿着直线方向传播的,这就是光的直线传播定律,这一定律是大量宏观现象的总结。一切精密的天文测量、大地测量和其他许多测量中,都把这一定律看成是精确的。针孔所造的像上下倒置,左右对调,就是光线沿直线传播所造成的现象。针孔越小,所造成的像越清楚。但是,当针孔直径小到  $1/100\text{mm}$  时,所造的像又模糊不清了,这是由于孔的大小接近于光的波长发生衍射现象,也就是说光在这种情况下不再是直线传播的。

## 3. 光的速度

各色光在真空中具有完全相同的传播速度,  $C \approx 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。光在空气中的传播速度略小于真空中的速度,但相差无几也可当作是  $C \approx 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。光在其他物质中传播的速度都小于在真空中的传播速度,例如光在水中的传播速度大约是在真空中的  $3/4$ ,在水晶中光速大约是其真空中的  $2/3$ 。

$$C = f\lambda$$

式中  $C$  —— 光速 ( $\text{m/s}$ );

$\lambda$  —— 波长 ( $\text{m}$ );

$f$  —— 频率 ( $1/\text{s}$ )。

光在透明介质中传播时频率不变。光速随波长而变化。

在透明介质中光的波长和速度同时改变,但是频率不变。

### 2.1.3 光学中的基本物理量

发光体实际上是一个电磁波辐射源。波长在  $400 \sim 760\text{nm}$  之间的电磁波称为“可见光”。研究电磁波辐射的学科称为“辐射度学”,研究可见光的学科称为“光度学”。

#### 1. 光通量

光的传播过程也是能量的传递过程,发光体在发光时失去能量,而吸收到光的物质就增加能量。光源发出的光能向周围的所有方向辐射,在单位时间里通过某一面积的光能,叫做通过这个面积的辐射通量。各色光的频率不同,眼睛对各色光的敏感度也有所不同,即使各色光的辐射通量相等,在视觉上并不能产生相同的明亮程度。在七色光中,黄绿光有最大激起明亮感觉的本领。按照产生明亮程度来估计辐射通量的物理量叫做光通量。光通量的国际单位是流明 ( $\text{lm}$ )。

一个辐射体或光源发出的总光通量与总辐射能通量之比称为光源的发光效率。它表示每瓦辐射通量所产生的光通量。对于用电能点燃的光源，用每瓦耗电功率所产生的流明数作为其发光效率。例如，一个 100W 的钨丝灯泡所发出的总光通量为 1400 lm，则其发光效率为 14 lm/W。表 2-1 列出了一些光源的发光效率。

表 2-1 常用光源的发光效率 (单位: lm/W)

| 光源名称 | 钨丝灯   | 卤素钨灯 | 荧光灯   | 氙灯    | 碳弧灯   | 钠光灯 | 高压汞灯  | 镝灯 |
|------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-------|----|
| 发光效率 | 10~20 | 30   | 30~60 | 40~60 | 40~60 | 60  | 60~70 | 80 |

2. 发光强度

光源发光的强弱，用发光强度来描述，发光强度简称光度。点光源向各个方向发出光能（见图 2-2），在某一方向上划出一个微小的立体角  $d\omega$ ，则在此立体角的范围内光源发出的光通量  $d\Phi$  与  $d\omega$  的比值称为点光源的发光强度，即

$$I=d\Phi/d\omega$$

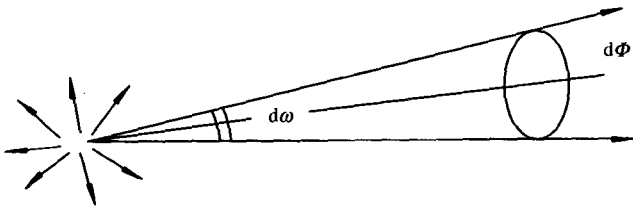


图2-2 电光源发光强度定义示意图

对于均匀发光的光源其  $I$  为常数，此时有

$$I=\Phi/\omega$$

式中  $I$  —— 发光强度 (cd);

$\Phi$  —— 光通量 (lm);

$\omega$  —— 立体角。

由于点光源周围整个空间的总立体角为  $4\pi$ ，故这种点光源向四周发出的总光通量为  $\Phi=4\pi I$ 。发光强度的单位是基本计量单位之一，用坎德拉 (cd) 表示。1979 年第十六届国际度量衡会议规定，1 坎德拉是光源在给定方向上，在每球面立体角内发出  $1/683=0.00145W$  频率为  $540\times 10^{12}Hz$  的单色辐射（即波长为 555nm 的单色光）通量时的发光强度。

3. 照度

照射到物体表面上的光通量，也就是照明物体的光通量，我们可利用它来观察物体表面，所以照度在目视检测中是个非常重要的概念。物体单位面积上所得到的光通量称为物体表面上的光照度，简称照度，定义示意图 2-3。在均匀照明情况下，可用公式表示为：

$$E=\Phi/S$$

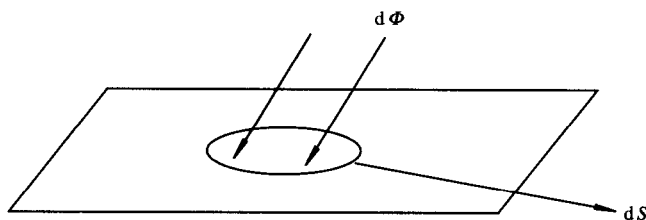


图2-3 照度定义示意图

式中  $E$  —— 照度 ( $\text{lx}$ );  
 $\Phi$  —— 光通量 ( $\text{lm}$ );  
 $S$  —— 面积 ( $\text{m}^2$ ).

照度的单位是勒克斯, 国际代号为  $\text{lx}$ , 1 勒克斯等于  $1 \text{ m}^2$  面积上得到  $1 \text{ lm}$  的光通量。即  $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ 。表 2-2 列出了一些情况下所达到或所需要的光照度。

表 2-2 有关情况下的光照度 (单位:  $\text{lx}$ )

|             |                    |              |                    |
|-------------|--------------------|--------------|--------------------|
| 晚间无月光时的光照度  | $3 \times 10^{-4}$ | 读书必须的光照度     | 50                 |
| 月光下的光照度     | 0.2                | 精细工作时间所需的光照度 | 100~200            |
| 明朗夏天室内的光照度  | 100~500            | 摄影棚内所需的光照度   | 10, 000            |
| 没有阳光时室外的光照度 | 1000~5000          | 判别方向必须的光照度   | 1                  |
| 阳光直射时室外的光照度 | 100, 000           | 眼睛能感受的最低光照度  | $1 \times 10^{-9}$ |

某一发光体表面上微小面积范围内所发出的光通量与这一面积之比称为这一微小面积上的光出射度。若为均匀发光表面发出的光通量为  $\Phi$ , 则

$$M = \Phi / S$$

式中  $M$  —— 发光体的光出射度 ( $\text{lx}$ );  
 $S$  —— 发光体的表面积 ( $\text{m}^2$ );  
 $\Phi$  —— 发光体发出的光通量 ( $\text{lm}$ ).

可见, 光出射度与光照度有相同的形式。这表示两者有相同的含义, 其差别仅在于光照度公式中的  $\Phi$  是表面接收的光通量, 而光出射度公式中的  $\Phi$  是从表面发出的光通量。因此, 光出射度的单位与光照度的单位一样, 也为勒克斯。

除自身发光的光源之外, 被照明的表面会反射或散射出入射在其表面上的光通量, 称之为二次光源。二次光源的光出射度与受照的光照度之比称为表面的反射率。可表示为

$$\rho = M / E$$

式中  $\rho$  —— 反射率;  
 $M$  —— 二次光源的光出射度 ( $\text{lx}$ );  
 $E$  —— 光照度 ( $\text{lx}$ ).

大部分物体对光的反射都具有选择性, 也就是说不同的色光具有不同的反射率。当