

浙江省特种设备无损检测Ⅰ级检测人员培训教材

磁粉渗透检测

金 英 © 主编



浙江工商大学出版社
ZHEJIANG GONGSHANG UNIVERSITY PRESS

浙江省特种设备无损检测Ⅰ级检测人员培训教材

磁粉渗透检测

主 编：金 英

副 主 编：叶宇峰 傅军平 虞雪芬

编 委(按姓氏拼音排序)：

蔡刚毅 陈兴阳 陈大伟 董吉原 梁国荣

宋刚兴 陶建平 滕 霞 王锋准 王仁荣

魏 薇 项 智 谢浩平 余 兵 姚国平

杨红斌 杨文俊 张学锋 周 宇 朱宇龙

主 审：叶宇峰 黄 群

审稿人员：叶宇峰 滕 霞 谢浩平 陈兴阳



浙江工商大学出版社
ZHEJIANG GONGSHANG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

磁粉渗透检测 / 金英主编. — 杭州: 浙江工商大学出版社, 2018.11

浙江省特种设备无损检测 I 级检测人员培训教材
ISBN 978-7-5178-2016-1

I. ①磁… II. ①金… III. ①磁粉检验-技术培训-教材 IV. ①TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 232988 号

浙江省特种设备无损检测 I 级检测人员培训教材
——磁粉渗透检测

金 英 主编

责任编辑 杨 戈

封面设计 胡赣昌

责任印制 包建辉

出版发行 浙江工商大学出版社

(杭州市教工路 198 号 邮政编码 310012)

(E-mail: zjgsupress@163.com)

电话: 0571-88904980, 88831806 (传真)

印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 15

字 数 370 千

版 次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5178-2016-1

定 价 30.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江工商大学出版社营销部邮购电话 0571-88904970

前言

随着科技水平的提高，国内外表面检测技术迅猛发展，新老标准更替，新技术、新材料、新工艺不断涌现，表面检测方法日臻完善。为了防止事故和保障安全，特种设备的无损检测得到了广泛的运用。本书按照全国特种设备无损检测人员资格考核大纲编写，旨在提高特种设备无损检测初级检测人员的基础理论知识水平。

本书共分三个部分，内容包括：无损检测基本知识、磁粉检测和渗透检测。本书具体介绍了无损检测、磁粉检测和渗透检测的基础知识，以及磁粉检测和渗透检测的工艺。本书以培养初级无损检测人员为目标，结合初级无损检测岗位的特点，注重基础理论知识和实践操作经验，旨在让初学者掌握表面无损检测的基础知识与检测技能。

本书可作为高职和高专等无损检测类专业教材或培训用书，也可供有关技术人员参考。限于编者水平，本书不足之处不可避免，恳请广大读者批评指正。

编者

2018年10月18日

目 录

第一部分 无损检测基本知识.....	1
第 1 章 材料基本知识	2
1.1 材料力学基本知识	2
1.1.1 应力和应力集中	2
1.1.2 力学性能指标	4
1.2 金属材料热处理基本知识	7
1.2.1 钢热处理的一般过程	7
1.2.2 特种设备常用的热处理种类、工艺及其应用	8
1.2.3 消除应力退火的处理目的和方法	9
1.3 特种设备常用材料	9
1.3.1 低碳钢、低合金钢定义	10
1.3.2 低碳钢中碳和杂质元素对钢性能的影响	12
1.3.3 奥氏体不锈钢种类、特点、腐蚀破坏形式	12
第 2 章 焊接基本知识	14
2.1 特种设备常用焊接方法	14
2.1.1 熔焊	14
2.1.2 压焊与钎焊	14
2.2 焊接接头	15
2.2.1 常见焊接接头形式、分类及特点	15
2.2.2 焊接接头组成	16
2.2.3 焊接接头的性能	16
2.2.4 焊接应力与变形的不利影响	17
2.3 特种设备常用钢材的焊接	17
2.3.1 钢材的焊接性	17
2.3.2 焊前预热与后热的作用	17
2.3.3 低碳钢的焊接性	19

2.3.4	低合金钢的焊接	19
2.3.5	奥氏体不锈钢的焊接	19
第 3 章	无损检测基本知识	21
3.1	无损检测概论	21
3.1.1	无损检测的定义与技术发展阶段	21
3.1.2	无损检测的目的和应用特点	21
3.2	焊接缺陷种类及产生原因	23
3.2.1	外观缺陷	23
3.2.2	气孔	25
3.2.3	夹渣	25
3.2.4	裂纹	26
3.2.5	未焊透	27
3.2.6	未熔合	28
3.3	设备及零部件在使用中常见缺陷及产生原因	28
3.3.1	疲劳裂纹	28
3.3.2	应力腐蚀裂纹	29
3.3.3	氢损伤	29
3.3.4	晶间腐蚀	29
3.3.5	各种局部腐蚀	29
第二部分	磁粉检测	31
第 1 章	基本知识	32
1.1	漏磁场检测与磁粉检测	32
1.1.1	磁粉检测原理	33
1.1.2	磁粉检测适用范围	33
1.1.3	磁粉检测优点与局限性	33
1.1.4	磁粉检测技术国内、外发展现状	34
第 2 章	磁粉检测物理基础	35
2.1	磁现象和磁场	35
2.1.1	磁的基本现象	35
2.1.2	磁场的定义、特性	36
2.1.3	磁感应(力)线	36
2.1.4	圆周磁场和纵向磁场	36
2.1.5	磁感应强度	37

2.1.6	磁通量	38
2.1.7	安培环路定律	38
2.1.8	磁介质	38
2.1.9	磁场强度	39
2.2	铁磁性材料	39
2.2.1	磁畴	39
2.2.2	磁滞回线定义	40
2.2.3	铁磁性材料磁滞回线的特性	40
2.2.4	软磁材料、硬磁材料磁滞回线的特征	40
2.3	电流与磁场	41
2.3.1	通电圆柱导体的磁场	41
2.3.2	通电线圈的磁场	44
2.3.3	感应电流和感应磁场	45
2.4	磁场的合成	46
2.4.1	交叉磁轭的磁场合成	46
2.4.2	摆动磁轭的磁场合成	47
2.5	退磁场	47
2.5.1	退磁场概念	47
2.5.2	影响退磁场大小的因素	47
2.6	漏磁场	48
2.6.1	漏磁场的形成	48
2.6.2	缺陷的漏磁场分布	48
2.6.3	影响漏磁场的因素	49
2.7	磁粉检测的光学基础	51
2.7.1	紫外线	51
2.7.2	黑光灯	52
第 3 章	磁化电流、磁化方法和磁化规范	53
3.1	磁化电流	53
3.1.1	交流电的定义、物理量、优点和局限性	54
3.1.2	整流电的分类、物理量、优点和局限性	56
3.1.3	直流电优点和局限性	57
3.1.4	冲击电流	58
3.1.5	如何选用磁化电流	58
3.2	磁化方法	58
3.2.1	磁场方向与发现缺陷的关系	58
3.2.2	磁化方法的分类	59

3.2.3 轴向通电法的特点、 优缺点和适用范围	60
3.2.4 中心导体法的特点、优缺点和适用范围	61
3.2.5 偏置芯棒法的特点、适用范围	62
3.2.6 触头法的特点、优缺点和适用范围	62
3.2.7 线圈法的特点、优缺点和适用范围	63
3.2.8 磁轭法的特点、优缺点和适用范围	64
3.2.9 交叉磁轭法的特点、优缺点和适用范围	65
3.3 磁化规范	66
3.3.1 磁化规范及其制定	66
3.3.2 轴向通电法和中心导体法磁化规范	68
3.3.3 偏置芯棒法磁化规范	69
3.3.4 触头法磁化规范	70
3.3.5 线圈法磁化规范	70
3.3.6 磁轭法的提升力	72
第 4 章 磁粉检测器材与设备	73
4.1 磁粉	73
4.1.1 荧光磁粉和非荧光磁粉（特性、要求和应用）	73
4.1.2 磁粉的性能，磁特性、粒度、形状、流动性和密度、识别度	74
4.1.3 磁粉的验收试验，污染、颜色、粒度、灵敏度、悬浮性和耐用性	75
4.2 载液	77
4.2.1 油基载液	77
4.2.2 水载液	78
4.3 磁悬液	78
4.3.1 磁悬液浓度	78
4.3.2 磁悬液配制（配制方法和要求）	79
4.4 反差增强剂	80
4.4.1 应用、配方、施加及清除	80
4.4.2 反差增强剂喷罐	81
4.5 标准试片和标准试块	81
4.5.1 标准试片	81
4.5.2 标准试块（用途、分类）	82
4.5.3 自然缺陷试块	85
4.6 磁粉检测设备	85
4.6.1 磁粉检测设备的命名方法和分类	85
4.6.2 磁粉检测设备的组成部分	88

4.6.3 常用典型磁粉检测设备	90
第 5 章 磁粉检测工艺	91
5.1 预处理	91
5.1.1 预处理要求和注意事项	91
5.1.2 磁粉检测时机（工序安排）	92
5.2 磁化、施加磁粉或磁悬液	92
5.2.1 连续法操作要点和优缺点	92
5.2.2 剩磁法操作要点和优缺点	93
5.2.3 湿法操作要点和优缺点	94
5.2.4 干法操作要点和优缺点	95
5.3 磁痕观察、记录与缺陷评级	95
5.3.1 磁痕观察方法、显示记录方法和缺陷评级	95
5.4 退磁	96
5.4.1 剩磁的产生与影响	96
5.4.2 退磁的原理	97
5.4.3 退磁方法和退磁设备	98
5.4.4 退磁注意事项	99
5.4.5 剩磁测量	100
5.5 后处理与合格工件的标记	100
5.5.1 后处理	100
5.5.2 合格工件的标记	100
5.6 超标缺陷磁痕显示的处理和复验	100
5.6.1 超标缺陷磁痕显示的处理	100
5.6.2 复验	101
5.7 影响磁粉检测灵敏度的主要因素	101
5.8 磁粉检测工艺文件编制	101
第 6 章 磁痕分析与质量分级	103
6.1 磁痕分析的意义	103
6.1.1 磁痕产生原因、磁痕分析的意义	103
6.2 伪显示	103
6.2.1 产生原因、磁痕特征和鉴别方法	103
6.3 非相关显示	104
6.3.1 产生原因、磁痕特征和鉴别方法	104
6.4 相关显示	106
6.4.1 原材料缺陷磁痕显示	106
6.4.2 热加工产生的缺陷磁痕显示	107

6.4.3	冷加工产生的缺陷磁痕显示	111
6.4.4	使用后产生的缺陷磁痕显示	112
6.4.5	电镀产生的缺陷磁痕显示	113
6.4.6	常见缺陷磁痕显示比较	113
6.5	NB/T 47013.4-2015磁粉检测质量分级	114
6.5.1	磁痕分类	114
6.5.2	磁粉检测质量分级	114
第 7 章	磁粉检测应用	115
7.1	焊接件磁粉检测	115
7.1.1	焊接件检测的内容与范围	115
7.1.2	检测方法选择	116
7.1.3	焊接件检测实例	119
7.2	锻钢件磁粉检测	119
7.2.1	锻钢件检测的特点	119
7.2.2	锻钢件检测方法选择	120
7.2.3	锻钢件检测实例	120
7.3	在用与维修件磁粉检测	122
7.3.1	在用与维修件磁粉检测的要求	122
7.3.2	在用与维修件磁粉检测的特点	122
7.3.3	在用与维修件磁粉检测实例	122
7.3.4	铸钢件磁粉检测	123
第 8 章	磁粉检测安全防护	126
8.1	紫外线对人员危害	126
8.2	电气与机械安全	126
8.3	材料的潜在危险	126
8.4	磁粉检测系统的潜在危险	127
8.5	检测场所的潜在危险	127
8.6	磁粉检测系统与检测环境相互作用的潜在危险	127
第三部分	渗透检测	129
第 1 章	渗透检测的基础知识	130
1.1	渗透检测的定义和作用	130
1.2	渗透检测工作原理	130
1.3	渗透检测方法的分类	130

1.4 渗透检测的基本步骤	132
1.5 渗透检测的优点和局限性	132
第 2 章 渗透检测的物理化学基础	134
2.1 表面张力和表面张力系数	134
2.2 润湿现象	134
2.3 毛细现象	135
2.4 吸附现象	136
2.5 表面活性与表面活性剂	137
第 3 章 渗透检测的光学基础	138
3.1 发光及光致发光	138
3.2 渗透检测用光	138
3.3 对比度和可见度	139
3.4 缺陷显示及裂纹检出能力	139
第 4 章 渗透检测剂	141
4.1 渗透剂	141
4.1.1 渗透剂的分类	141
4.1.2 渗透剂的组分	141
4.1.3 渗透液的性能	143
4.1.4 着色渗透剂	144
4.1.5 荧光渗透剂	145
4.2 去除剂	145
4.2.1 去除剂	145
4.2.2 乳化剂	145
4.3 显像剂	146
4.3.1 显像剂的种类	146
4.3.2 显像剂的性能	147
4.3.3 显像剂的显像特性	147
4.4 渗透检测剂系统	148
4.4.1 渗透检测剂系统	148
4.4.2 渗透检测系统同族组	148
4.4.3 渗透检测剂系统的选择原则	148
第 5 章 渗透检测设备及试块	149
5.1 渗透检测设备	149
5.2 渗透检测试块	149

5.2.1	铝合金试块 (A型试块)	149
5.2.2	不锈钢镀铬辐射状裂纹试块 (B型试块)	150
5.2.3	黄铜板镀铬裂纹试块 (C型试块)	150
5.2.4	缺陷试块和选择原则	150
5.3	检测光源	151
5.3.1	白光灯	151
5.3.2	黑光灯	151
第 6 章	渗透检测方法	153
6.1	水洗型渗透检测法	153
6.2	后乳化型渗透检测法	155
6.3	溶剂去除型渗透检测法	156
6.4	渗透检测方法的选用	157
第 7 章	渗透检测工艺	160
7.1	施加渗透剂	160
7.2	去除多余的渗透剂	161
7.3	干燥	163
7.4	显像	164
7.5	观察和评定	166
7.6	后清洗及复验	167
7.7	复验	168
第 8 章	显示的解释和缺陷的评定	169
8.1	显示的解释和分类	169
8.1.1	相关显示	169
8.1.2	非相关显示	169
8.1.3	虚假显示	170
8.1.4	不同显示的区别	171
8.2	缺陷的评定	171
8.2.1	缺陷显示的分类	171
8.2.2	缺陷的分类	172
8.2.3	常见缺陷及其显示特征	172
8.2.4	缺陷显示的评定	176
第 9 章	质量控制与安全防护	177
9.1	质量控制	177
9.1.1	影响渗透检验质量的因素	177

9.1.2 渗透检测工艺操作的质量控制	178
9.2 渗透检测的安全防护	179
第 10 章 渗透检测应用	182
10.1 焊接件的渗透检测方法选择和质量控制	182
10.1.1 焊缝的渗透检测	182
10.1.2 坡口的渗透检测	182
10.1.3 焊接过程中的渗透检测	183
10.2 铸件、锻件的渗透检验特点、检测程序和质量控制	183
10.2.1 铸件渗透检测程序	184
10.2.2 锻件的渗透检测	185
10.3 在用设备渗透检测方法选择、预处理和质量控制	187
习 题	188
答 案	224

第一部分

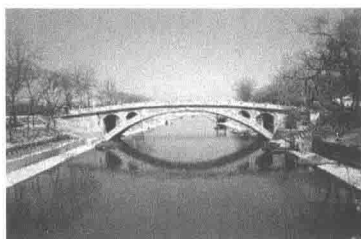
无损检测基本知识

第 1 章 材料基本知识

在人类文明发展进程中，人类天生就会利用自然界中的各种材料来为自己服务，用以改善自己的生活。始祖类人猿会利用天然树木、石块制造简单工具。现代人更是将各种材料进行加工、组合，研制成各种复杂结构件，成为我们生活中不可或缺的工具、器械和设备。

每种材料都有其特性，如果对其有了透彻的认识，并且加以充分利用，制成的工具、器械和设备就能有较强的抵抗破坏的能力，能够稳定地发挥其功效，为人们的生活带来便利，为经济的腾飞提供动力。

如图1-1所示，河北赵县的赵州桥（石拱桥），已经有1 400多年的历史，历经8次地震不倒；山西大同应县佛宫寺释迦塔（木塔），建成已经900余年，历经数次地震不倒；如今对国民经济发展举足轻重的石油化工系统生产装置，更是各种结构件的大集成。



赵州桥



释迦塔



石油化工系统生产装置

图1-1

我们将组成各种简单或者复杂结构件（工具、器械和设备）的最基本组成部分称为构件。构件能否为人类进行持久、安全、稳定的服役，由构件之间相互作用力以及构件自身性质共同作用决定。了解材料力学的基本知识，有助于我们研究各种构件的性能和寿命。

1.1 材料力学基本知识

构件是组成结构件的最基本组成部分，结构件的安全、稳定与寿命，与构件的受力状况以及构件的受力之后的性能密切相关。

1.1.1 应力和应力集中

(1) 应力

构件在工作过程中，受到的来自外部作用的力，称之为外力。外力包括载荷和约束

力。外力的作用形式可分为体积力、表面力。

苹果之所以能够砸到牛顿的头上，没有漂浮在空中，是因为苹果受到了地球施加的引力。引力只和物体的质量有关，与物体的形状、大小没有关系。而质量是连续分布于物体内部各点的，因此，物体所受的引力是连续分布于物体内部各点的。

像引力这样，连续分布于物体内部各点的力，称为体积力。

表面力根据受力面积不同，又分为分布力和集中力两种。连续分布于物体表面的力，称为分布力，如水坝受到的水压力；若外力作用面积远小于物体表面的尺寸，可将其看作作用于一点的集中力，如火车车轮对钢轨的压力。如图1-2所示：

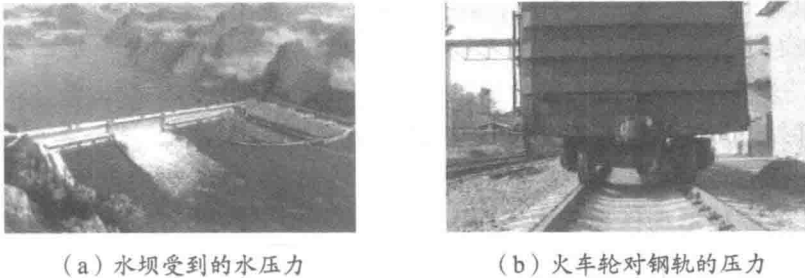


图1-2

构件由于受到外力作用，在其内部会发生微弱或者较大的变形，从而在内部形成附加作用力，称之为内力。

常用截面法分析构件的内力情况。如图1-3所示：取 F_1, F_2, F_3, F_4 四个力作用下的平衡圆柱体中部任一截面，将圆柱体分为两个部分。对于弹性平衡状态的物体，其所受的外力是相互平衡的，并且内力与外力平衡，内力与内力也平衡。

圆柱体截面两侧的两个部分仍然是平衡状态，则截面上必然存在内力 F_N, F_{QY} 或 F_{QZ} ，扭矩 M_x ，弯矩 M_Y 或 M_Z 。

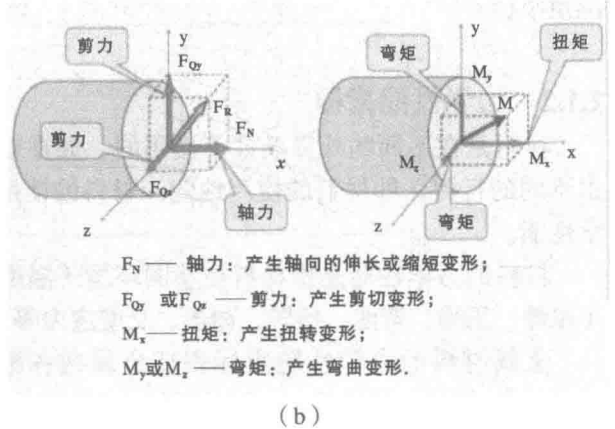
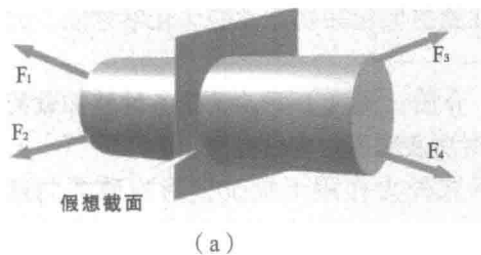


图1-3

外力有大小之分，必然导致内力也有强弱之分。常用内力集度，即应力来表示内力的强度。所谓应力，就是截面上单位面积上的内力：方向平行于轴向的应力称为正应力。正应力可分为拉应力和压应力两种，圆柱截面上的正应力为 $\sigma = N/A$ ，方向垂直于轴向的应

力为剪应力。

拉应力是能够使材料伸长的应力，压应力是能够使材料缩短的应力，剪应力是能够使材料沿应力平行方向产生位移的应力。所有的应力，不论有多复杂，都可以描述成两个或多个基本应力的组合。如图1-4所示：

(2) 应力集中

为什么食品或药品包装袋上都有锯齿？为什么售货员在卖布时，先剪一个小口，再用力撕开？切割玻璃时，为什么要先用金刚石划痕，再轻敲？其实，这都是应用了应力集中的原理。研究发现，构件外形尺寸发生突然变化时会引起构件局部应力急剧增大的现象，称之为应力集中。

中间开孔的圆柱形构件在外力 F 作用下，其空边缘（尺寸变化处）出现应力集中，截面中最大应力 σ_{\max} 就发生在尺寸突变的空边缘处。如图1-5所示：

研究和实践表示，构件上的角越尖、孔越小，尺寸变化越急剧，应力集中程度越严重；在构件上开孔、开槽时，应采用圆形、椭圆形或带圆角的，避免或禁止开方形及带尖角的孔槽，在截面改变处采用圆弧光滑过渡，且尽量增大圆弧倒角半径。

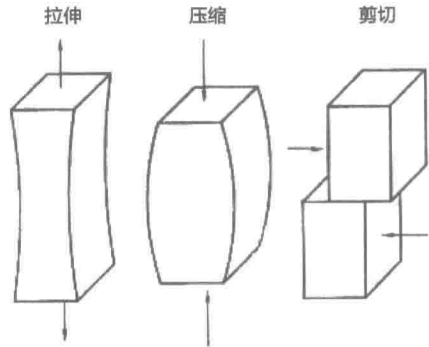


图1-4

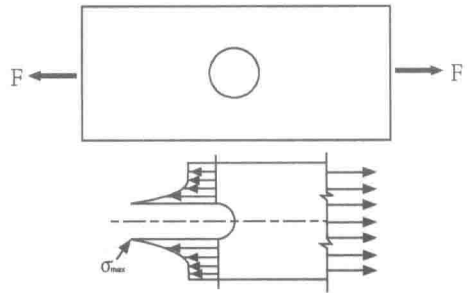


图1-5

1.1.2 力学性能指标

材料是在不同的外界条件下使用的，如在载荷、温度、介质、电场等作用下将表现出不同的行为，即材料的使用性能。材料的使用性能主要包括物理性能、化学性能、力学性能。

材料的力学性能是指材料在不同环境（温度、介质、湿度）下，承受各种外加载荷（拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等）时所表现出的力学特征。

金属材料的力学性能指标表征金属在各种形式外力作用下抵抗变形或破坏的能力。它是评定材料质量、判定材料使用性能的依据，也是设计选材和进行强度计算的主要依据。

金属材料的力学性能包括常温下的强度、塑性、硬度、韧性，以及特定条件下的力学性能，例如高温强度、低温冲击韧度、疲劳极限、断裂力学性能等。

可以通过金属力学性能试验来测定金属力学性能指标。常见的金属力学性能试验包括