

NDT 全国特种设备无损检测人员资格考核统编教材


承压类特种设备无损检测 相关知识

中国特种设备检验协会组织编写

■ 王晓雷 主编

第2版

QUANGUO
TEZHONG SHEBEI
WUSUN JIANCE RENYUAN
ZHIYUAN ZHONGYUAN
JI KAOHE TONGBIAN
JIAOCAI

 中国劳动社会保障出版社

全国特种设备无损检测人员资格考核统编教材

◆ 承压类特种设备无损检测相关知识

射线检测

磁粉检测

渗透检测

超声检测

责任编辑 / 高永新
责任校对 / 薛宝丽
封面设计 / 王利民
版式设计 / 朱 姝

ISBN 978-7-5045-6091-9



9 787504 560919 >

定价：65.00元

全国特种设备无损检测人员资格考核统编教材

承压类特种设备无损检测相关知识

(第二版)

中国特种设备检验协会组织编写

主编 王晓雷

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

承压类特种设备无损检测相关知识/王晓雷主编. —2版. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2007

全国特种设备无损检测人员资格考核统编教材

ISBN 978-7-5045-6091-9

I. 承… II. 王… III. 承压类特种设备-无损检测-技术培训-教材 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 050951 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

世界知识印刷厂印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 423千字

2007年4月第2版 2007年4月第1次印刷

定价:65.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64911344

《全国特种设备无损检测人员资格考核统编教材》

编审委员会名单

主任 宋继红

副主任 林树青、王晓雷、沈 钢、强天鹏

委员 郑世才、李 衍、顾阎如、姚志忠、宋志哲、
胡学知、李 伟、张 平、周志伟、邢兆辉、
郑 晖、张 明、阎建芳、解应龙、蒋仕良、
许遵言、袁 榕、侯少华、张志超、郭伟灿、
毛小虎、韩建荒、陈玉宝、邱 扬、高迎峰、
姚 力、夏福勇、张路根

目 录

第 1 篇 金属材料、热处理及焊接基本知识

第 1 章 金属材料及热处理基本知识	(2)
1.1 材料力学基本知识	(2)
1.1.1 应力与应变	(2)
1.1.2 强度	(3)
1.1.3 塑性	(4)
1.1.4 硬度	(5)
1.1.5 冲击韧度	(6)
1.1.6 有关材料的进一步知识	(6)
1.2 金属学与热处理基本知识	(12)
1.2.1 金属的晶体结构	(12)
1.2.2 铁碳合金的基本组织	(13)
1.2.3 热处理一般过程	(17)
1.2.4 承压类特种设备用钢常见金相组织和性能	(19)
1.2.5 承压类特种设备常用热处理工艺	(22)
1.3 承压类特种设备常用材料	(24)
1.3.1 钢的分类和命名方法	(25)
1.3.2 低碳钢	(27)
1.3.3 低合金钢	(28)
1.3.4 奥氏体不锈钢	(33)
第 2 章 焊接基本知识	(35)
2.1 承压类特种设备常用的焊接方法	(35)
2.1.1 手工电弧焊	(35)
2.1.2 埋弧自动焊	(40)
2.1.3 氩弧焊	(42)
2.1.4 二氧化碳气体保护焊	(43)
2.1.5 等离子弧焊	(44)
2.1.6 电渣焊	(45)
2.2 焊接接头	(46)

2.2.1	焊接接头形式	(46)
2.2.2	焊接接头的组成	(48)
2.2.3	焊接接头的组织和性能	(49)
2.3	焊接应力与变形	(51)
2.3.1	焊接应力及变形的概念	(52)
2.3.2	焊接变形和应力的形成	(53)
2.3.3	焊接应力的控制措施	(53)
2.3.4	消除焊接应力的方法	(54)
2.4	承压类特种设备常用钢材的焊接	(54)
2.4.1	钢材的焊接性	(54)
2.4.2	控制焊接质量的工艺措施	(56)
2.4.3	低碳钢的焊接	(59)
2.4.4	低合金钢的焊接	(60)
2.4.5	奥氏体不锈钢焊接	(65)

第2篇 承压类特种设备基本知识

第3章	锅炉基本知识	(71)
3.1	概述	(71)
3.1.1	锅炉的定义及用途	(71)
3.1.2	锅炉的特点	(71)
3.1.3	锅炉主要参数	(72)
3.1.4	饱和水和水蒸气性质	(73)
3.2	锅炉的分类及型号	(74)
3.2.1	锅炉的分类	(74)
3.2.2	锅炉的型号	(75)
3.3	锅炉结构	(77)
3.3.1	锅炉结构的基本要求	(77)
3.3.2	锅炉主要受压部件	(77)
3.3.3	锅炉安全附件	(78)
3.3.4	几种典型锅炉结构	(79)
3.4	锅炉的工作过程	(80)
3.4.1	锅炉汽水流程系统	(80)
3.4.2	锅炉水循环	(81)
3.4.3	锅炉工作过程简述	(81)
3.5	锅炉的无损检测要求	(82)



第4章 压力容器基本知识	(84)
4.1 概述	(84)
4.1.1 压力容器的定义及用途	(84)
4.1.2 容器的主要工艺参数	(85)
4.1.3 容器的分类	(86)
4.1.4 我国的压力容器法规和标准	(89)
4.2 容器的典型结构和特点	(90)
4.2.1 低、中压容器的筒体结构	(90)
4.2.2 高压容器的筒体结构	(91)
4.2.3 容器的封头	(92)
4.2.4 容器的开孔与接管	(95)
4.2.5 容器的焊接接头分类及设计的一般原则	(96)
4.3 容器制造的无损检测	(98)
4.3.1 容器用钢板无损检测要求	(98)
4.3.2 容器用锻件和无缝钢管的无损检测要求	(98)
4.3.3 容器焊接接头的无损检测	(99)
4.4 在用压力容器无损检测要求	(101)
4.4.1 在用压力容器检验一般要求	(101)
4.4.2 在用压力容器无损检测要求	(102)
第5章 压力管道基本知识	(103)
5.1 管道的定义与分类	(103)
5.1.1 管道的定义	(103)
5.1.2 管道的分类	(103)
5.1.3 管道的充装介质(流体)的分类	(107)
5.2 管道的用途及特点	(107)
5.2.1 管道的用途	(107)
5.2.2 管道的应用领域	(108)
5.2.3 管道的主要特点	(108)
5.3 管道的组成及结构	(109)
5.3.1 管道元件	(109)
5.3.2 管道附属设施	(109)
5.3.3 管道组成示例	(110)
5.3.4 管道管材简介	(110)
5.3.5 管道管件简介	(112)
5.4 管道检验与无损检测	(115)
5.4.1 管道检验分类和检验项目	(115)
5.4.2 管道检验标准	(115)

5.4.3 压力管道无损检测的基本内容 (116)

第3篇 无损检测基础知识

第6章 无损检测概论 (120)

6.1 无损检测的定义与分类 (120)

6.2 无损检测的目的 (121)

6.3 无损检测的应用特点 (122)

6.4 承压类特种设备无损检测标准 (123)

第7章 缺陷的种类及产生原因 (124)

7.1 钢焊缝中常见缺陷及产生原因 (124)

7.2 铸件中常见缺陷及其产生原因 (132)

7.3 锻件中常见缺陷及其产生原因 (133)

7.4 轧材中常见缺陷及其产生原因 (133)

7.5 使用中常见缺陷及其产生原因 (134)

第8章 射线检测基础知识 (136)

8.1 射线照相法的原理 (136)

8.2 射线检测设备 (139)

8.3 射线照相工艺要点 (140)

8.4 射线的安全防护 (143)

8.5 关于射线照相法特点的概括 (144)

第9章 超声波检测基础知识 (147)

9.1 超声波的发生及其性质 (147)

9.2 超声波检测的原理 (152)

9.3 试块 (154)

9.4 超声波检测工艺要点 (155)

9.5 关于超声波检测特点的概括 (157)

第10章 磁粉检测基础知识 (159)

10.1 磁粉检测原理 (159)

10.2 磁粉检测设备器材 (161)

10.3 磁粉检测工艺要点 (162)

10.4 关于磁粉检测特点的概括 (164)

第 11 章 渗透检测基础知识	(165)
11.1 渗透检测的基本原理	(165)
11.2 渗透检测的分类	(166)
11.3 渗透检测工艺要点	(167)
11.4 渗透检测的安全管理	(168)
11.5 关于渗透检测特点的概括	(169)
第 12 章 涡流检测基础知识	(170)
12.1 涡流检测的原理	(170)
12.2 涡流检测仪器、探头和对比试样	(171)
12.3 涡流检测工艺要点	(172)
12.4 关于涡流检测特点的概括	(173)
第 13 章 声发射检测基础知识	(174)
13.1 声发射检测原理	(174)
13.2 声发射检测仪器	(174)
13.3 压力容器的声发射检测	(176)
13.4 关于声发射检测特点的概括	(176)
第 14 章 无损检测方法的应用选择	(177)
14.1 承压类特种设备制造过程中无损检测方法的选择	(177)
14.2 检测方法对检测对象的适应性	(177)
附录 A1 《蒸汽锅炉安全技术监察规程》(1996) 有关无损检测的规定	(179)
附录 A2 《热水锅炉安全技术监察规程》(1997) 有关无损检测的规定	(184)
附录 A3 《有机热载体炉安全技术监察规程》(1993) 有关无损检测的规定	(186)
附录 A4 《压力容器安全技术监察规程》(1999) 有关无损检测的规定	(188)
附录 A5 GB 150—1998《钢制压力容器》有关无损检测的规定	(198)
附录 A6 GB 151—1999《管壳式换热器》有关无损检测的规定	(203)
附录 A7 《液化气体汽车罐车安全监察规程》(1994) 有关无损检测的规定	(206)
附录 A8 《液化气体铁路罐车安全管理规程》(1987) 有关无损检测的规定	(209)
附录 A9 GB 12337—1998《钢制球形储罐》有关无损检测的规定	(211)
附录 A10 GB 50094—1998《球形储罐施工及验收规范》有关无损检测的规定	(217)
附录 A11 DL 612—1996《电力工业锅炉压力容器安全监察规程》有关无损 检测的规定	(223)
附录 A12 DL 5007—1992《电力建设施工及验收技术规范·火力发电厂焊接篇》 有关无损检测的规定	(226)

附录 A13 《超高压容器安全技术监察规程》(TSG R0002—2005) 有关无损检测的规定 ... (230)

附录 A14 JB 4732—1995《钢制压力容器——分析设计标准》有关无损检测的规定 ... (235)

附录 A15 SH 3501—1997《石油化工剧毒、可燃介质管道工程施工及验收规范》有关无损检测的规定 ... (239)

附录 A16 GB 50236—1998《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》有关无损检测的规定 ... (244)

附录 A17 GB 50235—1997《工业金属管道工程施工及验收规范》有关无损检测的规定 ... (250)

附录 A18 《锅炉定期检验规则》(1999) 有关无损检测的规定 ... (253)

附录 A19 《在用工业管道定期检验规程》(2003) 有关无损检测的规定 ... (258)

附录 A20 《压力容器定期检验规则》(2004) 有关无损检测的规定 ... (263)

附录 B1 中国特种设备法规体系表 ... (269)

附录 B2 承压类特种设备法规目录 ... (270)

附录 C 压力容器类别划分 ... (272)

附录 D 承压类特种设备常用材料的化学成分和力学性能 ... (273)



第 1 篇

金属材料、热处理及焊接基本知识



第 1 章 金属材料及热处理基本知识

金属材料是现代工业、农业、国防以及科学技术各个领域应用最广泛的工程材料。这不仅是由于其来源丰富，生产工艺简单、成熟，而且还因为它们具有优良的性能。

通常所指的金属材料的性能包括以下两个方面：

1. 使用性能 即为了保证机械零件、设备、结构件等能正常工作，材料所应具备的性能，主要有力学性能（强度、硬度、刚度*、塑性、韧性等），物理性能（密度、熔点、导热性、热膨胀性等），化学性能（耐蚀性、热稳定性等）。使用性能决定了材料的应用范围，使用安全性和使用寿命。

2. 工艺性能 即材料在被制成机械零件、设备、结构件的过程中适应各种冷、热加工的性能，例如铸造、焊接、热处理、压力加工、切削加工等方面的性能。工艺性能对制造成本、生产效率、产品质量有重要影响。

金属材料是制造承压类特种设备最常用的材料，其性能介绍是本章的主要内容。作为承压类特种设备无损检测人员，应了解材料方面的有关知识。

1.1 材料力学基本知识

金属材料在加工和使用过程中都要承受不同形式外力的作用。当外力达到或超过某一限度时，材料就会发生变形甚至断裂。材料在外力作用下所表现的一些性能称为材料的力学性能。承压类特种设备材料的力学性能指标主要有强度、硬度、塑性、韧性等。这些性能指标可以通过力学性能试验测定。

1.1.1 应力与应变

内力是指材料内部各部分之间相互作用的力。材料在未受外力作用时，其内部各质点之间本来就有相互平衡的力在相互作用，以保持其固有的形状。当受到外力时，原来的平衡被破坏，材料发生变形，其内部各质点的相对位置发生变化，各质点之间的相互作用力也有所变化。这种内力的改变，是材料在外力作用下产生的附加内力。通常简称它为内力。

考虑一个最简单的情况，如图 1-1 所示的杆，当受到外力 P 的作用，杆将发生变形，如 P 为拉力，杆将伸长；如 P 为压力，杆将缩短。在变形的同时杆内部将产生内力，可以

* 工程上把材料的弹性模量称为它的刚度。

假想将杆截断，则截面上存在内力 N ，且在数值上有以下关系： $N=P$ 。

物体在外力作用下，其形状尺寸所发生的相对改变称为应变，物体内某处的线段在变形后长度的改变值与线段原长之比称为线应变。图 1—1 中，设杆的原长为 L ，受拉力 P 作用而伸长后，其长度为 L_1 ，则杆的纵向伸长量为 $\Delta L=L_1-L$ ，每单位长度的伸长为 $\Delta L/L$ ，则线应变 $\epsilon=\Delta L/L$ 。物体在外力作用下而变形时，其内部任一截面单位面积上的内力大小通常称为应力；方向垂直于截面的应力称为正应力。

正应力可分为拉应力和压应力两种。如果应力是由于试件在工作中受到外加载荷作用而产生的，则该应力称为工作应力。图 1—1 中，已知截面上存在内力 N ，设杆的截面面积为 A ，则杆横截面上正应力 $\sigma=N/A$ 。

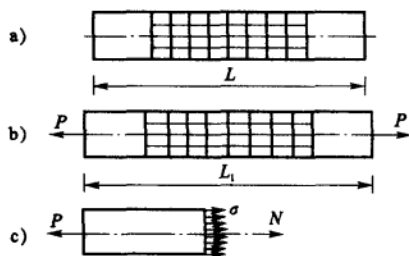


图 1—1 内力的概念

1.1.2 强度

金属的强度是指金属抵抗永久变形和断裂的能力。材料强度指标可以通过拉伸试验测出。把一定尺寸和形状的金属试样（见图 1—2）装夹在试验机上，然后对试样逐渐施加拉伸载荷，直至把试样拉断为止。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量之间的关系，可绘出该金属的拉伸曲线（见图 1—3）。在拉伸曲线上可以得到该材料强度性能的一些数据。图 1—3 所示的曲线，其纵坐标是载荷 P （也可换算为应力 σ ），横坐标是伸长量 ΔL （也可换算为应变 ϵ ）。所以曲线称为 $P-\Delta L$ 曲线或 $\sigma-\epsilon$ 曲线。图中曲线 A 是低碳钢的拉伸曲线，分析曲线 A。

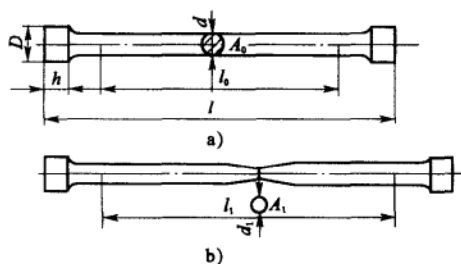


图 1—2 钢的标准拉伸试样
a) 拉断前 b) 拉断后

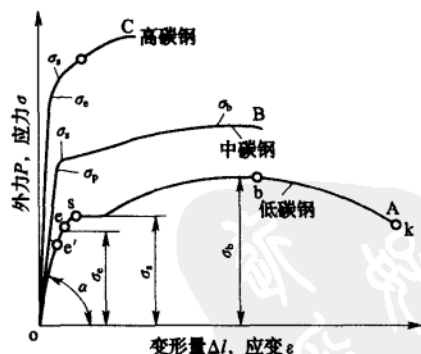


图 1—3 退火低碳、中碳和高碳钢的拉伸曲线

可以将拉伸过程分为四个阶段：

1. 弹性阶段

即曲线的 $o\sim e$ 段。在此段若加载不超过 e 点的应力值，卸载后试件的变形可全部消失，

故 e 点的应力值为材料只产生弹性变形时应力的最高限,称为弹性极限,用 σ_e 表示。曲线的 o~e' 段为直线,在此段内应力与应变成正比,即材料符合虎克定律,该段称为线弹性阶段。该段中应力的最高值,即 e' 对应的应力值,称为比例极限,用 σ_p 表示。

2. 屈服阶段

此段又称为流动阶段,即曲线的 s 点及其后的一段,有微小颤动的水平线, s 点称作屈服点。s 点之后的一段水平线表明应力不再增加,但应变却继续增大,材料已失去抵抗继续变形的能力。这一阶段里材料的变形主要是塑性变形,此时的应力称为屈服点或屈服强度,用 σ_s 表示,单位为 MPa。设 s 点所对应的拉力为 P_s , 试样的横截面面积为 A_0 , 则有 $\sigma_s = P_s/A_0$ 。在屈服阶段,材料内部晶格间发生滑移,滑移线大致与轴线成 45° 角。

3. 强化阶段

即曲线的 s~b 段。当变形超过屈服阶段后,材料又恢复了对继续变形的抵抗能力,即欲使试件继续变形,必须增加应力值,这种现象称为加工硬化现象,材料因此得到强化,曲线的最高点 b 点所对应的拉力 P_b 是拉伸过程中试样承受的最大载荷值,相应的应力即为材料的抗拉强度,用 σ_b 表示,单位为 MPa, 已知试样的横截面面积为 A_0 , 则有 $\sigma_b = P_b/A_0$ 。

4. 颈缩阶段

即曲线的 b~k 段。应力达到抗拉强度 σ_b 后,试件的某一局部开始变细,出现所谓颈缩现象。由于颈缩部分的横截面急剧减小,因而使试件继续变形所需的载荷也减小了,曲线明显下降,到达 k 点时试件被拉断。

抗拉强度 σ_b 、屈服强度 σ_s 是评价材料强度性能的两个主要指标。一般金属材料构件都是在弹性状态下工作的,不允许发生塑性变形,所以机械设计中应采用 σ_s 作为强度指标,并加上适当的安全系数。但由于抗拉强度 σ_b 测定较方便,数据也较准确,所以机械设计中也经常采用 σ_b , 但需使用较大的安全系数。一般机械设计中,以 σ_s 作为强度指标时,安全系数 $n_s = 1.5 \sim 2.0$; 采用 σ_b 作为强度指标时,安全系数 $n_b = 2.0 \sim 5.0$ 。例如,我国现行锅炉规范强度设计中,取 $n_s = 1.5$, $n_b = 2.7$; 压力容器规范强度设计中,取 $n_s = 1.6$, $n_b = 3$ 。

图 1—3 中曲线 B 为中碳钢的拉伸曲线,曲线 C 为高碳钢的拉伸曲线。可以看出,随着含碳量的增加,材料抗拉强度增大。有些材料,例如高碳钢、铸铁,以及大多数合金钢,屈服现象不明显。对这些材料,工程上规定试件发生某一微量塑性变形时的应力作为该材料的屈服点,例如以材料塑性伸长 0.2% 作为屈服点,其屈服强度用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

1.1.3 塑性

塑性是指材料在载荷作用下断裂前发生不可逆永久变形的能力。评定材料塑性的指标通常用伸长率和断面收缩率。

伸长率 δ 可用下式确定: $\delta = [(L_1 - L_0) / L_0] \times 100\%$

式中 L_0 ——试件原标距长度;

L_1 ——拉断后试件的标距长度。

在材料手册中常常看到 δ_5 和 δ_{10} 两种符号,它们分别表示用 $L_0 = 5d$ 和 $L_0 = 10d$ (d 为试件直径) 两种不同长度试件测定的伸长率。同一材料的 δ_5 和 δ_{10} 是不同的, δ_5 值较大而 δ_{10}

值较小，所以相同符号的伸长率才能互相比较。

断面收缩率 ϕ 可用下式求得： $\phi = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100\%$

式中 A_0 ——试件原来的截面积；

A_1 ——试件拉断后颈缩处的截面积。

断面收缩率不受试件标距长度的影响，因此能更可靠地反映材料的塑性。

对必须承受强烈变形的材料，塑性指标具有重要意义。塑性优良的材料冷压成型的性能好。此外，重要的受力元件要求具有一定塑性，因为塑性指标较高的材料制成的元件不容易发生脆性破坏，在破坏前元件将出现较大的塑性变形，与脆性材料相比有较大的安全性。塑性良好的低碳钢和低合金钢的 δ_5 值在25%以上。国内锅炉压力容器材料的伸长率，一般至少要求达10%以上。

伸长率和断面收缩率还表明材料在静载和缓慢拉伸状态下的韧性。在很多情况下，收缩率高的材料可承受较大的冲击吸收功。

对材料塑性的要求有一定限度，并不是越大越好。单纯追求塑性，会限制材料强度使用水平的提高，造成产品粗大笨重，浪费材料和使用寿命不长。

1.1.4 硬度

硬度是材料抵抗局部塑性变形或表面损伤的能力。硬度与强度有一定关系。一般情况下，硬度较高的材料其强度也较高，所以可以通过测试硬度来估算材料强度。此外，硬度较高的材料耐磨性较好。

工程上常用的硬度试验方法有：布氏硬度 HB、洛氏硬度 HR、维氏硬度 HV、里氏硬度 HL。

1. 布氏硬度 HB

布氏硬度试验方法是把规定直径的淬火钢球（或硬质合金球）以一定的试验力 F 压入所测材料表面，保持规定时间后，测量表面压痕直径 d 。由 d 计算出压痕表面积 A 。然后，计算出布氏硬度值 $HB = F/A$ 。按照压头种类，布氏硬度值有两种不同表示符号。淬火钢球作压头测得的硬度值用 HBS 表示，硬质合金作压头测得的硬度值用 HBW 表示。

布氏硬度试验方法主要用于硬度较低的一些材料，例如经退火，正火，调质处理的钢材，以及铸铁，非铁金属等。

2. 洛氏硬度 HR

洛氏硬度是采用测量压痕深度来确定硬度值的试验方法。

为了满足从软到硬各种材料的硬度测定，按照压头种类和总试验力的大小组成三种洛氏硬度标度，分别用 HRA，HRB，HRC 表示。其中 HRB 使用的是钢球压头，用于测量非铁金属，退火或正火钢等；HRA 和 HRC 使用 120° 金刚石圆锥体压头，用于测量淬火钢，硬质合金，渗碳层等。

洛氏硬度试验适用范围广，操作简便迅速，而且压痕较小，故在钢铁热处理质量检查中应用最多。