



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

化工设备机械基础

FUNDAMENTAL CHEMICAL PROCESS EQUIPMENT

喻健良 王立业 刁玉玮 编著

(第七版)



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

013067242



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

TQ050
05-7

第7版(710)目次附录等图

化工设备机械基础

FUNDAMENTAL CHEMICAL PROCESS EQUIPMENT

喻健良 王立业 刁玉玮 编著

(第七版)



宋, 叶勇面封

TQ 050 / 05-7



北航

C1674695



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

345780810

林達俊獻題索國粹本育達等高級普 “正二十”



图书在版编目(CIP)数据

化工设备机械基础 / 喻健良, 王立业, 刁玉玮编著.
— 7 版. — 大连: 大连理工大学出版社, 2013. 8
ISBN 978-7-5611-8092-1

I. ①化… II. ①喻… ②王… ③刁… III. ①化工设
备—高等学校—教学参考资料②化工机械—高等学校—教
学参考资料 IV. ①TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 175629 号

善藏 王立业王良勤

(赠书)

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 传真: 0411-84701466 邮购: 0411-84703636

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

丹东新东方彩色包装印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm
2013 年 8 月第 7 版

印张: 23 字数: 545 千字
2013 年 8 月第 23 次印刷

责任编辑: 刘新彦 于建辉

责任校对: 李 慧

封面设计: 宋 蕾

ISBN 978-7-5611-8092-1

定价: 39.80 元

大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



前言

本书自 1988 年 8 月出版以来,受到了广大读者,特别是相关高校师生的厚爱,许多高校从本书第 1 版就将之选做教材并沿用至今。

本书第 5 版于 2002 年入选教育部普通高等教育“十五”国家级规划教材,第 6 版于 2006 年入选教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材,第 7 版于 2013 年入选教育部“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书在编写及历次修订中注意保持及突出以下特色:

1. 加强基本知识、基本理论和基本概念,同时注重规范设计与实用方面的要求。

2. 体系完整。本书分为三篇:化工设备材料篇,包括化工设备材料及其选择;化工容器设计篇,包括容器设计的基本知识、内压薄壁容器的应力分析、内压薄壁圆筒与封头的强度设计、外压圆筒与封头的设计、容器零部件;典型化工设备的机械设计篇,包括管壳式换热器的机械设计、塔设备的机械设计、搅拌器的机械设计。基本概括了进行化工设备设计所必备的基础,为理解化工设备设计及进一步学习及应用提供了条件。

3. 本着服务教学、与时俱进的原则,根据国家及行业现行标准的更新进行及时修订。本次修订主要参考国家标准 GB 150.1~4—2011《压力容器》、GB 151—1999《管壳式换热器》,NB/T 47020~47027—2012《压力容器法兰、垫片、紧固件》、JB/T 4710—2005《钢制塔式容器》、HG/T 20592~20635—2009《钢制管法兰、垫片、紧固件》,以及 TSG R0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》等。

4. 对文字、图表等进行了全面修订,使其更规范、更完善。在参照相关国家标准对文字和图表作修订的同时,也根据教学过程中发现的问题以及读者提出的意见进行了适当更改。

5. 考虑到许多高校有学时数减少的趋势,加之本书的适用专业范围已经由传统的化工工艺拓展到环境、制药等相关专业,因此,本书内容叙述较为详尽,教师可根据具体情况进行删减,而且更适于自学。

6. 本书各章配有适量的例题和习题,将计算与设计所需的必要数据、标准纳入附录,使学生体验设计计算的全过程,尽快培养起工程观念。

本书1~5版第1~6章及附录由刁玉玮教授编写,第7~9章由王立业副教授编写。第6版第1~6章及附录由喻健良教授修订,第7~9章由王立业副教授修订,全书由刁玉玮教授统稿并定稿。第7版第1~6章及附录由喻健良教授、伊军高级工程师修订,第7~9章由王立业副教授修订,全书由喻健良教授统稿并定稿。

李荣华、李铭为本书的第1版及第2版描图,侯明参加了本书第3、4版的修订工作,伊军高级工程师对本书第5、6版修订提出了宝贵意见,常州大学高光藩教授审阅了第7版书稿,在此一并表示谢意!

本书可作为高等学校化工、环境、生物、制药等相关专业学生学习化工容器与设备机械设计基础知识的教材,也可供有关工程技术人员参考。与本书配套的教学课件及《化工设备机械基础学习指导》(喻健良主编)均已出版。

读者在使用本书的过程中有任何意见和建议,请通过以下方式与我们联系:

电子邮箱 jcjf@dutp.cn

电话 0411-84707962 84708947

编著者

2013年8月

目 录

第1篇 化工设备材料

第1章 化工设备材料及其选择 /3

- 1.1 概 述 /3
- 1.2 材料的性能 /3
 - 1.2.1 力学性能 /4
 - 1.2.2 物理性能 /10
 - 1.2.3 化学性能 /10
 - 1.2.4 加工工艺性能 /11
- 1.3 金属材料的分类及牌号 /12
 - 1.3.1 分 类 /12
 - 1.3.2 钢铁牌号及表示方法 /14
- 1.4 碳钢与铸铁 /16
 - 1.4.1 铁碳合金的组织结构 /17
 - 1.4.2 铁碳合金状态图 /19
 - 1.4.3 碳钢中元素对其性能的影响 /21
 - 1.4.4 钢的热处理 /23
 - 1.4.5 铸 铁 /24
- 1.5 低合金钢 /25
 - 1.5.1 合金元素对钢性能的影响 /25
 - 1.5.2 低合金钢 /27
 - 1.5.3 不锈钢 /27

- 1.5.4 耐热钢 /29
- 1.5.5 低温用钢 /31
- 1.5.6 锅炉和压力容器用钢 /31
- 1.6 有色金属材料 /33
 - 1.6.1 铝及其合金 /33
 - 1.6.2 铜及其合金 /34
 - 1.6.3 铅及其合金 /35
 - 1.6.4 钛及其合金 /36
- 1.7 非金属材料 /36
 - 1.7.1 无机非金属材料 /36
 - 1.7.2 有机非金属材料 /37
- 1.8 化工设备的腐蚀及防腐措施 /39
 - 1.8.1 金属腐蚀 /39
 - 1.8.2 晶间腐蚀和应力腐蚀 /42
 - 1.8.3 金属腐蚀破坏的形式 /44
 - 1.8.4 金属设备的防腐措施 /45
- 1.9 化工设备材料的选择 /46
 - 1.9.1 选材的一般原则 /46
 - 1.9.2 选材举例 /47
- 习 题 /49

第2篇 化工容器设计

第2章 容器设计的基本知识 /53

- 2.1 容器的分类与结构 /53
 - 2.1.1 容器的分类 /53
 - 2.1.2 容器的结构 /55
 - 2.1.3 压力容器类别 /56
- 2.2 容器零部件的标准化 /58

- 2.2.1 标准化的意义 /58
- 2.2.2 标准化的基本参数 /58
- 2.3 特种设备安全监察 /60
- 2.4 固定式压力容器安全技术监察规程简介 /60
- 2.5 特种设备法规、安全技术

- 规范和标准 /61
- 2.6 容器机械设计的基本要求 /62
- 习 题 /63

第3章 内压薄壁容器的应力分析 /65

- 3.1 回转壳体的应力分析——薄膜理论 /65
 - 3.1.1 薄壁容器及其应力特点 /65
 - 3.1.2 基本概念与基本假设 /66
 - 3.1.3 经向应力计算公式——区域平衡方程式 /67
 - 3.1.4 环向应力计算公式——微体平衡方程式 /69
 - 3.1.5 轴对称回转壳体薄膜理论的应用范围 /70
- 3.2 薄膜理论的应用 /71
 - 3.2.1 受气体内压的圆筒壳 /71
 - 3.2.2 受气体内压的球壳 /72
 - 3.2.3 受气体内压的椭球壳(椭圆形封头) /73
 - 3.2.4 受气体内压的锥壳 /75
 - 3.2.5 受气体内压的碟形壳(碟形封头) /76
 - 3.2.6 例 题 /78
- 3.3 内压圆筒的边缘应力 /80
 - 3.3.1 边缘应力的概念 /80
 - 3.3.2 边缘应力的特点 /81
 - 3.3.3 对边缘应力的处理 /82
- 习 题 /83

第4章 内压薄壁圆筒与封头的强度设计/86

- 4.1 强度设计的基本知识 /86
 - 4.1.1 关于弹性失效的设计准则 /86
 - 4.1.2 强度理论及其相应的强度条件 /87
- 4.2 内压薄壁圆筒壳与球壳的强度设计 /88
 - 4.2.1 强度计算公式 /88
 - 4.2.2 设计参数的确定 /90
 - 4.2.3 容器的厚度和最小厚度 /96
 - 4.2.4 耐压试验 /97
 - 4.2.5 泄漏试验 /99

- 4.2.6 例 题 /99
- 4.3 封头的设计 /101
 - 4.3.1 半球形封头 /102
 - 4.3.2 椭圆形封头 /102
 - 4.3.3 碟形封头 /103
 - 4.3.4 球冠形封头 /104
 - 4.3.5 锥形封头 /106
 - 4.3.6 平板封头 /112
 - 4.3.7 例 题 /117
 - 4.3.8 封头的选择 /118
- 习 题 /122

第5章 外压圆筒与封头的设计 /125

- 5.1 概 述 /125
 - 5.1.1 外压容器的失稳 /125
 - 5.1.2 容器失稳形式的分类 /125
- 5.2 临界压力 /126
 - 5.2.1 概 念 /126
 - 5.2.2 影响临界压力的因素 /126
 - 5.2.3 长圆筒、短圆筒和刚性圆筒 /128
 - 5.2.4 临界压力的理论计算公式 /129
 - 5.2.5 临界长度 /130
- 5.3 外压圆筒的工程设计 /130
 - 5.3.1 设计准则 /130
 - 5.3.2 外压圆筒壁厚设计的图算法 /131
 - 5.3.3 例 题 /139
- 5.4 外压球壳与凸形封头的设计 /140
 - 5.4.1 外压球壳和球形封头的设计 /140
 - 5.4.2 凸面受压封头的设计 /141
 - 5.4.3 例 题 /142
- 5.5 外压圆筒加强圈的设计 /142
 - 5.5.1 加强圈的作用与结构 /142
 - 5.5.2 加强圈的间距 /143
 - 5.5.3 加强圈的尺寸设计 /143
 - 5.5.4 加强圈与圆筒间的连接 /144
 - 5.5.5 例 题 /145
- 习 题 /146

第6章 容器零部件 /149

- 6.1 法兰联接 /149
 - 6.1.1 法兰联接结构与密封原理 /149
 - 6.1.2 法兰的结构与分类 /150
 - 6.1.3 影响法兰密封的因素 /152
 - 6.1.4 法兰标准及选用 /156
- 6.2 容器支座 /169
 - 6.2.1 卧式容器支座 /169
 - 6.2.2 立式容器支座 /176
- 6.3 容器的开孔补强 /178
 - 6.3.1 开孔应力集中现象及其原因 /178
 - 6.3.2 开孔补强设计原则、形式与结构 /180
 - 6.3.3 等面积补强设计方法 /184

- 6.3.4 例 题 /187
- 6.4 容器附件 /188
 - 6.4.1 接 管 /188
 - 6.4.2 凸 缘 /189
 - 6.4.3 手孔与人孔 /189
 - 6.4.4 视 镜 /190
- 6.5 容器设计举例 /190
 - 6.5.1 罐体壁厚设计 /190
 - 6.5.2 封头厚度设计 /191
 - 6.5.3 鞍 座 /192
 - 6.5.4 人 孔 /193
 - 6.5.5 人孔补强 /194
 - 6.5.6 接 管 /194
 - 6.5.7 设备总装配图 /195
- 习 题 /197

第3篇 典型化工设备的机械设计**第7章 管壳式换热器的机械设计 /203**

- 7.1 概 述 /203
 - 7.1.1 管壳式换热器的结构及主要零部件 /203
 - 7.1.2 管壳式换热器的分类 /204
 - 7.1.3 管壳式换热器的机械设计内容 /205
- 7.2 管子的选用及其与管板的连接 /205
 - 7.2.1 管子的选用 /205
 - 7.2.2 管子与管板的连接 /206
- 7.3 管板结构 /209
 - 7.3.1 换热管的排列形式 /209
 - 7.3.2 管间距 /210
 - 7.3.3 管板受力及其设计方法简介 /210
 - 7.3.4 管程的分程及管板与隔板的连接 /211
 - 7.3.5 管板与壳体的连接结构 /213
- 7.4 折流板、支承板、旁路挡板及拦液板的作用与结构 /214
 - 7.4.1 折流板与支承板 /214

- 7.4.2 旁路挡板 /217
- 7.4.3 拦液板 /217
- 7.5 温差应力 /218
 - 7.5.1 管壁与壳壁温差引起的温差应力 /218
 - 7.5.2 管子拉脱力的计算 /219
 - 7.5.3 温差应力的补偿 /221
 - 7.5.4 膨胀节的结构及设置 /223
- 7.6 管箱与壳程接管 /225
 - 7.6.1 管 箱 /225
 - 7.6.2 壳程接管 /225
- 7.7 管壳式换热器的机械设计举例 /226
- 习 题 /234

第8章 塔设备的机械设计 /236

- 8.1 塔体与裙座的机械设计 /237
 - 8.1.1 塔体厚度的计算 /237
 - 8.1.2 裙座设计 /247
- 8.2 塔体与裙座的机械设计举例 /254
 - 8.2.1 设计条件 /254
 - 8.2.2 按计算压力计算塔体和封头厚度 /256

- 8.2.3 塔设备质量载荷计算 /256
 - 8.2.4 风载荷与风弯矩计算 /258
 - 8.2.5 地震弯矩计算 /260
 - 8.2.6 偏心弯矩计算 /261
 - 8.2.7 各种载荷引起的轴向应力 /261
 - 8.2.8 塔体和裙座危险截面的强度与稳定校核 /262
 - 8.2.9 塔体水压试验和吊装时的应力校核 /264
 - 8.2.10 基础环设计 /265
 - 8.2.11 地脚螺栓计算 /266
 - 8.3 板式塔结构 /266
 - 8.3.1 总体结构 /266
 - 8.3.2 塔盘结构 /268
 - 8.3.3 塔盘的支承 /272
 - 8.4 填料塔结构 /274
 - 8.4.1 喷淋装置 /274
 - 8.4.2 液体再分布器 /276
 - 8.4.3 支承结构 /277
- 习 题 /278

第9章 搅拌器的机械设计 /282

- 9.1 概 述 /282
- 9.2 搅拌器的型式及选型 /284
- 9.3 搅拌器的功率 /285
 - 9.3.1 搅拌器功率和搅拌作业功率 /285
 - 9.3.2 影响搅拌器功率的因素 /286
 - 9.3.3 从搅拌作业功率的观点确定搅拌过程的功率 /286
- 9.4 搅拌罐结构设计 /287

- 9.4.1 罐体的尺寸确定 /287
- 9.4.2 顶盖的结构 /289
- 9.5 传动装置及搅拌轴 /291
 - 9.5.1 传动装置 /291
 - 9.5.2 轴的计算 /293
- 9.6 轴 封 /294
 - 9.6.1 填料密封 /294
 - 9.6.2 机械密封 /295

附 录 /296

- 附录 1 常用金属材料的物理性能 /296
- 附录 2 锅炉和压力容器用钢板的化学成分和力学性能 /297
- 附录 3 钢板、钢管、锻件和螺栓的高温力学性能 /299
- 附录 4 无缝钢管的尺寸范围及常用系列 /304
- 附录 5 螺栓、螺母材料组合及适用温度范围 /305
- 附录 6 钢板、钢管、锻件和螺栓的许用应力 /306
- 附录 7 图 5-5 和图 5-7~图 5-15 的曲线数据表(GB 150.3—2011) /317
- 附录 8 压力容器用钢制法兰 /324
- 附录 9 钢制管法兰标注(HG/T 20592—2009) /331
- 附录 10 鞍式支座标准(JB/T 4712.1—2007) /343
- 附录 11 耳式支座标准(JB/T 4712.3—2007) /354
- 附录 12 裙座参数 /356

参考文献 /360

第 1 篇

化工设备材料

正确选择和使用材料是化工容器与设备机械设计的重要环节。

1. 本篇主要介绍化工设备用材料的基础知识,其主脉络是讲述材料的性能,包括力学性能、物理性能、化学性能及加工工艺性能;影响材料性能的因素,主要是金属材料的组织、结构、化学成分等;以及通过改变金属材料的化学成分、进行热处理等方法 and 途径达到获得理想材料的目的。

2. 较为详细地介绍了按照我国最新标准对金属材料的分类及牌号;详细介绍普通碳素钢、优质碳素钢和铸铁的牌号、性能及选用;化工设备应用最广泛的低合金钢和化工设备用的特种钢,如锅炉钢、不锈钢、耐热钢、低温用钢等。

3. 简要介绍铝、铜、铅、钛及其合金,无机、有机非金属材料的种类及应用。

4. 简要讲述化工设备的腐蚀与防护措施,着重介绍氢腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀的机理及防止这些腐蚀的措施。

通过本篇内容的学习,可以使大家学会初步正确合理地选用中、低压化工容器和设备材料。

第1章

化工设备材料及其选择

1.1 概 述

化学工业是多品种的基础工业,为了适应化工生产的多种需要,化工设备的种类很多,设备的操作条件也比较复杂。按操作压力来说,有真空、常压、低压、中压、高压和超高压;按操作温度来说,有低温、常温、中温和高温;处理的介质大多数有腐蚀性,或为易燃、易爆、有毒、剧毒等。有时对于某种具体设备来说,既有温度、压力要求,又有耐腐蚀要求,而且这些要求有时还互相制约,有时某些条件又经常变化。

这种多样性的操作特点,给化工设备选用材料带来了复杂性,因此合理选用化工设备材料是设计化工设备的重要环节。在选择材料时,必须根据材料的各种性能及其适用范围,综合考虑具体的操作条件,抓住主要矛盾,遵循适用、安全和经济的原则。

选用材料的一般要求是:

- (1)材料品种应符合我国资源和供应情况;
- (2)材质可靠,能保证使用寿命;
- (3)要有足够的强度,良好的塑性和韧性;
- (4)对腐蚀性介质具有良好的耐蚀性;
- (5)便于制造加工,焊接性能良好;
- (6)经济上合算。

例如,对于压力容器用材料来说,中、低压和高压容器,经常在有腐蚀性介质的条件下工作,除了承受较高的介质内压力(或外压力)以外,有时还会受到冲击和疲劳载荷的作用;在制造过程中,材料还要经历各种冷、热加工(如下料、卷板、焊接、热处理等)使之成型,因此,对压力容器用材料有较高的要求。除随介质的不同要有耐腐蚀要求以外,还应有较高的强度,良好的塑性、韧性和冷弯性能,缺口敏感性低,加工和焊接性能良好。对低合金钢板材要注意是否有分层、夹渣、白点和裂纹等缺陷,白点和裂纹是绝对不允许存在的。对中、高温容器,由于钢材在中、高温的长期作用下,金相组织和力学性能等将发生明显的变化,又由于化工用的中、高温容器往往都要承受一定的介质压力,选择中、高温容器用钢时,还必须考虑材料的组织稳定性和中、高温的力学性能。对于低温容器用钢,还要着重考虑材料在低温下的脆性破坏问题。

1.2 材料的性能

材料的性能包括力学性能、物理性能、化学性能和加工工艺性能等。

1.2.1 力学性能

构件在使用过程中受力(载荷)超过某一限度时,就会发生变形,甚至断裂失效。我们把材料在外力(或外加能量)的作用下抵抗外力所表现的行为,包括变形和抗力,即在外力作用下不产生超过允许的变形或不被破坏的能力,叫做材料的力学性能。通常用材料在外力作用下表现出来的弹性、塑性、强度、硬度和韧性等特征指标来衡量。

金属材料在外力作用下所引起的变形和破坏过程,大致可分为三个阶段:

- (1)弹性变形阶段;
- (2)弹-塑性变形阶段;
- (3)断裂阶段。

一般的断裂有两种形式:断裂之前没有明显塑性变形阶段,称为脆性断裂;经过大量塑性变形之后才发生断裂,称为韧性断裂。

1. 强度

强度是固体材料在外力作用下抵抗产生塑性变形和断裂的特性。常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度等。

(1)屈服强度(R_{el})

金属材料承受载荷作用,当载荷不再增加或缓慢增加时,金属材料仍继续发生明显的塑性变形,这种现象习惯上称为“屈服”。发生屈服现象时,材料达到塑性变形而力不增加的应力点,称为“屈服点”,也称为屈服强度,用 R_{el} (MPa) 表示。它代表金属材料抵抗产生塑性变形的能力。

$$R_{el} = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-1)$$

式中 F_s ——载荷不再增加,甚至有所降低时,试件还继续伸长的最小载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, m^2 。

除退火或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有明显的屈服强度外,大多数金属合金没有明显的屈服强度。因此,工程中规定发生 0.2% 残余伸长时的应力为“条件屈服点”,称为名义屈服强度,以 $R_{p0.2}$ (MPa) 表示。

$$R_{p0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 $F_{0.2}$ ——产生 0.2% 残余伸长的载荷, N。

R_{el} ($R_{p0.2}$) 是公认的评定工程材料的重要力学性能指标。

在材料标准中用 R_{el} ($R_{p0.2}$, $R_{p1.0}$) 表示材料标准室温屈服强度(0.2%、1.0% 非比例延伸强度)。

(2)抗拉强度(R_m)

金属材料在拉伸条件下,从开始加载到发生断裂所能承受的最大应力值,叫做抗拉强度。由于外力形式的不同,有抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪切强度等。抗拉强度是压力容器设计常用的性能指标,是试件拉断前最大载荷下的应力,以 R_m (MPa) 表示。

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (1-3)$$

式中 F_m ——拉断前试件所承受的最大载荷, N。

在材料标准中用 R_m 表示其抗拉强度下限值。 R_m 是评定工程材料的重要力学性能指标。

工程上所用的金属材料, 不仅希望具有高的 R_{eL} 值, 而且还希望具有一定的屈强比 (R_{eL}/R_m)。屈强比愈小, 材料的塑性储备就愈大, 愈不容易发生危险的脆性破坏。但是, 屈强比太小, 材料的强度水平就不能充分发挥。反之, 屈强比愈大, 材料的强度水平就愈能得到充分发挥, 但塑性储备愈小。实际上, 一般还是希望屈强比大一些。

(3) 蠕变极限 (R'_n) 高温下材料的屈服强度、抗拉强度、塑性及弹性模量等性能均发生显著的变化。通常是随着温度的升高, 金属材料的强度降低, 塑性提高。除此之外, 金属材料在高温下还有一个重要特性, 即“蠕变”。所谓蠕变, 是指在高温时, 在一定的应力下, 应变随时间而增加的现象, 或者金属在高温和存在内应力的情况下逐渐产生塑性变形的现象。

对某些金属, 如铅、锡等, 在室温下也有蠕变现象。钢铁和许多有色金属, 只有当温度超过一定值以后才会发生蠕变。例如, 碳素钢和普通低合金钢在温度超过 $350\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 低合金铬钼钢在温度超过 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 高合金钢在温度超过 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 才发生蠕变。而轻合金在温度超过 $50\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时就发生蠕变。

在生产实际中, 由于金属材料的蠕变而造成的破坏实例并不少见。例如, 由于存在蠕变, 高温高压的蒸汽管道的管径随时间的增加而不断增大, 厚度随之减薄, 最后可能导致管道破裂。

材料在高温条件下抵抗发生缓慢塑性变形的能力, 用蠕变极限 R'_n (MPa) 表示。常用的蠕变极限有两种: 一种是在工作温度下引起规定变形速度 [如 $v=1\times 10^{-5}\text{ mm}/(\text{mm}\cdot\text{h})$ 或 $v=1\times 10^{-4}\text{ mm}/(\text{mm}\cdot\text{h})$] 的应力值; 另一种是在一定工作温度下, 在规定的使用时间内, 使试件发生一定量的总变形的应力值。如在某一温度下, 在 1 万小时或 10 万小时内产生的总变形量为 1% 时的最大应力。在材料标准中用 R'_n 表示材料在设计温度下经 10 万小时蠕变率为 1% 的蠕变极限平均值。

材料的蠕变极限与温度、蠕变速度有关。表 1-1 给出了不锈钢耐酸钢 (S32168) 在不同温度及不同蠕变速度下的蠕变极限。

表 1-1 S32168 的蠕变极限

蠕变速度 mm/(mm·h)	蠕变极限/MPa			
	425 °C	475 °C	520 °C	560 °C
10^{-6}	176	91	33	6
10^{-7}	—	88	19	—

(4) 持久强度 (R'_D)

在给定的温度下, 促使试样或工件经过一定时间发生断裂的应力叫做持久强度, 以 R'_D (MPa) 表示。在化工容器用钢中, 设备的设计寿命一般为 10 万小时, 以 R'_D 表示材料在设计温度下经 10 万小时断裂的持久强度的平均值。

持久强度是一定温度和应力下材料抵抗断裂的能力。在相同条件下,持续的时间越久,则该材料抵抗断裂的能力越强。

(5) 疲劳强度(R_{-1})

很多构件与零件,经常受到大小及方向变化的交变载荷,这种交变载荷,使金属材料在应力远低于屈服强度时就发生断裂,这种现象称为“疲劳”。金属在无数次交变载荷作用下,不致引起断裂的最大应力,称为“疲劳极限”。

实际上不可能进行无数次试验,而是把经 $10^6 \sim 10^8$ 次循环试验不发生断裂的最大应力作为疲劳极限,又称疲劳强度。如钢在纯弯曲交变载荷下循环试验 5×10^6 次时,所测得不发生断裂的最大应力,即算作它的弯曲疲劳强度,用 R_{-1} (MPa) 表示。一般钢铁的弯曲疲劳强度只是抗拉强度的一半,甚至还低一些。

金属的疲劳强度与很多因素有关,如合金成分、表面状态、组织结构、夹杂物的多少与分布状况以及应力集中情况等。

2. 塑性

塑性是金属材料在断裂前发生不可逆永久变形的能力。塑性指标是指金属在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。常用的塑性指标有断后伸长率(A)和断面收缩率(Z)。

(1) 断后伸长率(A)

试样受拉力断裂后,断后标距的残余伸长($L_u - L_0$)与原始长度 L_0 之比的百分率,称为断后伸长率,以 $A(\%)$ 表示。

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 L_u ——室温下将断后的两部分试样紧密地对接在一起,保证两部分的轴线位于同一条直线上,测量试样断裂后的标距,mm;

L_0 ——室温下施力前的试样标距,mm;

$L_u - L_0$ ——试样断后标距的残余伸长,即断后试件的绝对伸长,mm。它是在试件整个拉伸至断裂时所产生的塑性变形量。

A 的大小与试样尺寸有关。对于比例试样,若原始标距不为 $5.65 \sqrt{S_0}$ (S_0 为平行长度的原始横截面积),符号 A 应附以下脚注说明所使用的比例系数,例如, $A_{11.3}$ 表示原始标距为 $11.3 \sqrt{S_0}$ 的断后伸长率。对于非比例试样,符号 A 应附以下脚注说明所使用的原始标距,以毫米(mm)表示,例如, $A_{80 \text{ mm}}$ 表示原始标距为 80 mm 的断后伸长率。

(2) 断面收缩率(Z)

试样断裂后,横截面积的最大缩减量($S_0 - S_u$)与原始横截面积(S_0)之比的百分率,称为断面收缩率,以 Z 表示。

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 S_u ——试样断裂后的最小横截面积,mm²;

S_0 ——试样的原始横截面积,mm²。

断面收缩率 Z 与试样尺寸无关,它能更可靠、更灵敏地反映材料塑性的变化。

断后伸长率和断面收缩率都是用来衡量金属材料塑性大小的,断后伸长率和断面收缩

率愈大,表示金属材料的塑性愈好。如纯铁的断后伸长率几乎为50%,而普通铸铁的断后伸长率还不到1%,因此,纯铁的塑性远比普通铸铁好。

焊接结构用碳素钢、低合金高强度钢和低合金低温钢板其断后伸长率(A)指标应符合表1-2的规定。

表 1-2 钢板断后伸长率指标

钢板标准抗拉强度下限值 R_m/MPa	断后伸长率 $A/\%$
≤ 420	≥ 23
$> 420 \sim 550$	≥ 20
$> 550 \sim 680$	≥ 17

(3) 冷弯

冷弯也是衡量金属材料和焊缝塑性的指标之一,它是由冷弯试验测定的。金属材料和焊接接头在室温下以一定的内半径进行弯曲,在试样被弯曲受拉面出现第一条裂纹前,金属材料的变形越大,其塑性就越好。焊接接头的冷弯试验常以一定的弯曲角度($\alpha=120^\circ$ 或 180°)下是否出现裂纹为评定标准。

冷弯试验不但是对压力容器用材的一项验收指标,而且在容器制造过程中,对焊接工艺试板和产品试板均需做冷弯试验。(对不锈钢冲击试验可以不做,但冷弯试验必须做。)

上述塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。首先,良好的塑性可顺利地进行某些成型工艺,如弯卷、锻压、冷冲、焊接等。其次,良好的塑性使零件在使用中能由于塑性变形而避免突然断裂,故在静载荷下使用的容器和零件,都需要具有一定的塑性。当然,塑性过高,材料的强度必然很低,这是不利的。

3. 硬度

硬度是指金属材料表面上不大的体积内抵抗其他更硬物体压入表面发生变形或破裂的能力;或称在外力作用下,材料抵抗局部变形,尤其是抵抗塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是衡量材料软硬的指标,它不是一个单纯的物理量,而是反映材料弹性、强度、塑性和韧性等的综合性能指标。

常用的硬度测量方法是用一定的载荷(压力)把一定的压头压入金属表面,然后测定压痕的面积或深度。当压头和压力一定时,压痕愈深或面积愈大,硬度就愈低。根据压头和压力的不同,常用的硬度指标可分为布氏硬度(HBW)、洛氏硬度(HRA、HRB、HRC)、维氏硬度(HV)和肖氏硬度(HS)等。

布氏硬度测量方法是以直径为 D 的硬质合金球,在载荷 $F(\text{N})$ 下压入金属表面,如图1-1所示。经规定保压时间卸载后,根据试件表面压痕直径 d ,按式(1-6)计算材料的布氏硬度。

$$\text{HBW} = 0.102 \frac{F}{A} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-6)$$

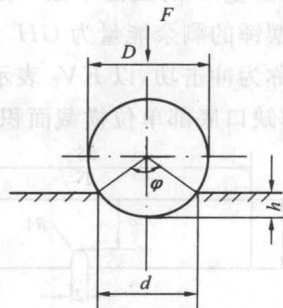


图 1-1 布氏硬度试验示意图

式中 F ——载荷, N;

D ——硬质合金球直径, mm;

A ——压痕表面积, mm^2 , $A = \frac{1}{2}\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})$;

d ——压痕直径, mm。

布氏硬度测量误差小, 数据稳定, 由于压痕大, 不能用于太薄件、成品件和硬度大于 650 HBW 的材料。

硬度是材料的重要性能指标之一。一般说来, 硬度高强度也高, 耐磨性较好。大部分金属硬度和强度之间有一定的关系, 因而可用硬度近似地估计抗拉强度。根据经验, 它们的关系为(应力均以 MPa 计):

对于碳钢及低合金钢, 当 $450 < \text{HBW} \leq 650$ 时, $R_m \approx (3.36 \sim 4.08) \text{HBW}$ 。

4. 冲击功

冲击功是衡量材料韧性的一个指标, 是材料在冲击载荷作用下吸收塑性变形功和断裂功的能力, 常以标准试样的冲击功 KV_2 表示。目前工程技术上常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属承受冲击载荷的能力。其试验方法和原理如图 1-2 和图 1-3 所示。

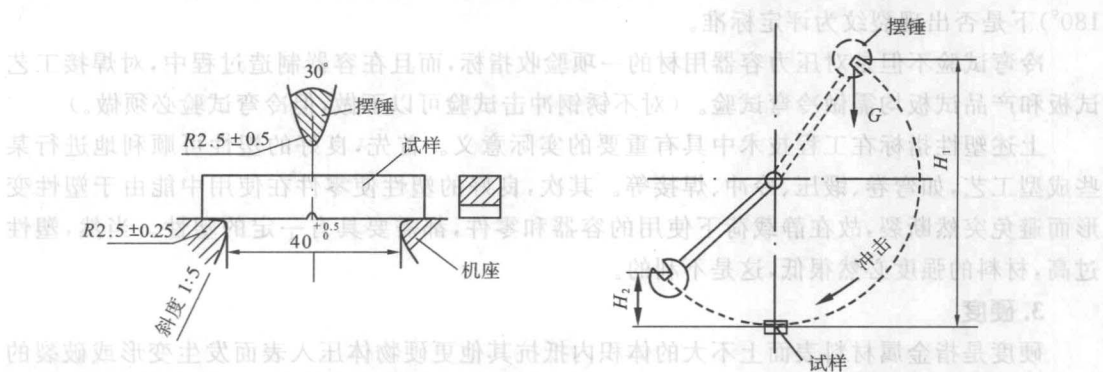
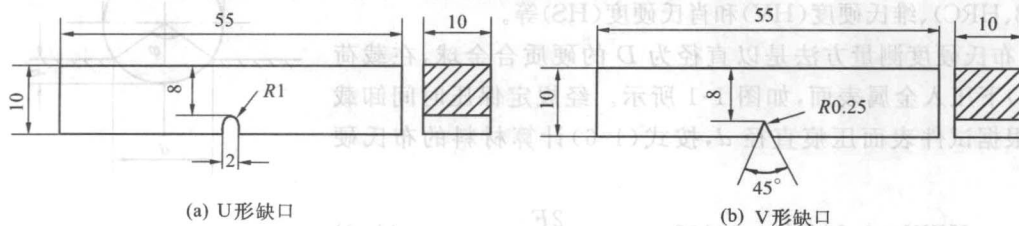


图 1-2 冲击试样的安放

图 1-3 冲击试验原理

将欲测定的材料先加工成标准试样, 如图 1-4 所示。然后放在试验机的机座上, 将具有一定重量 G 的摆锤举至一定的高度 H_1 , 使其获得一定的位能(GH_1), 再将其释放, 冲断试样, 摆锤的剩余能量为 GH_2 。摆锤冲断试样所失去的位能, 即冲击负荷使试样断裂所做的功, 称为冲击功, 以 KV_2 表示, 即 $KV_2 = GH_1 - GH_2 = G(H_1 - H_2)$, 单位是 $\text{N} \cdot \text{m}(\text{J})$ 。冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功, 称为冲击韧度(α_K)。



(a) U形缺口

(b) V形缺口

图 1-4 冲击试验的标准试样