



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

水工艺设备基础

(第三版)

黄廷林 主编
范瑾初 主审

中国建筑工业出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

水工艺设备基础

(第三版)

黄廷林 主编

范瑾初 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水工艺设备基础/黄廷林主编. —3 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016.5

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-19379-0

I. ①水… II. ①黄… III. ①汽水处理设备-高等学校-教材②水处理设施-高等学校-教材 IV. ①TU991.2
②X703.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 087051 号

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

水工艺设备基础

(第三版)

黄廷林 主编

范瑾初 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 21 $\frac{3}{4}$ 字数: 436 千字

2015 年 12 月第三版 2015 年 12 月第二十六次印刷

定价: 45.00 元 (含光盘)

ISBN 978-7-112-19379-0

(28592)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书是依据给排水科学与工程专业四年制本科课程教学大纲和教学基本要求修订的。

全书共 11 章，分为基础知识篇和水工艺设备篇，前 3 章为基础知识篇，主要讲述与水工艺设备的制造、设计、工艺特点、适用条件等相关的基础知识，包括水工艺设备常用材料的分类、性能，材料的腐蚀防护原理，材料的保温，以及容器应力基本理论、机械传动原理、机械制造加工及热量交换理论等；后 8 章为水工艺设备篇，以讲述水处理工艺中专用设备的分类、组成、特点及使用条件等方面的内容为主，包括容器（塔）设备、搅拌设备、曝气设备、换热设备、分离设备、污泥处置设备以及投药设备。

本书可作为高等工科院校给排水科学与工程专业的教材，也可供环境工程等相关专业的师生和工程技术人员参考。

责任编辑：王美玲

责任校对：陈晶晶 刘梦然

第三版前言

“水工艺设备基础”是给排水科学与工程专业根据学科发展需要设置的一门专业基础课程。

《水工艺设备基础》第一版教材于2002年6月出版，第二版教材于2009年4月出版。第二版教材作为高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材、普通高等教育“十一五”国家级规划教材，至今已使用6年时间。根据该教材在过去几年的教学实践情况，按照给排水科学与工程学科专业指导委员会通过的“水工艺设备基础”四年制本科课程教学大纲和教学基本要求，在《水工艺设备基础》（第二版）内容基础上进行了修订。

本次修订，一方面尽可能对各章节中的文字、图表错误进行了更正；另一方面，结合给排水科学与工程专业的最新发展，重视理论与实践紧密结合，进一步更新了《水工艺设备基础》教材的内容。

修订后的教材内容包括基础知识篇和水工艺设备篇两部分，基础知识篇主要讲述与水工艺设备的制造、设计、工艺特点、适用条件等相关的基础知识，包括水工艺设备常用材料的分类、性能，材料的腐蚀原理、腐蚀破坏的形态及常用的腐蚀防护方法，材料的保温，以及容器应力基本理论、机械传动理论、机械制造工艺及热量传递与交换理论等；水工艺设备篇则主要讲述水处理工艺中专用设备的分类、组成、特点及使用条件等，包括容器（塔）设备、搅拌设备、曝气设备、换热设备、分离设备、污泥处置设备以及计量与投药设备。

本书由西安建筑科技大学黄廷林主编，同济大学范瑾初教授主审。参加修订的人员有：黄廷林（第2章，第3章部分内容，第4章，第5章，第6章，第9章9.5节）、卢金锁（第7章7.4，第10章10.3节）、文刚（第1章，第2章2.1节，第6章、第9章、第11章）、熊家晴（第3章3.4节，第8章）。

因编写人员水平所限，缺点和不完善之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见，以使本书在使用中不断更新和完善。

编者
2015.10

第二版前言

《水工艺设备基础》(第一版)于2002年6月出版,作为高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材至今已使用7年。根据该教材在过去几年的教学实践情况,以及2008年7月在西安召开的全国“水工艺设备基础”课程研讨会上参会代表提出的意见和建议,按照专业指导委员会通过的“水工艺设备基础”四年制本科课程教学大纲和教学基本要求,在《水工艺设备基础》(第一版)教材内容基础上进行了改编和修订。

此次改编和修订,增加了第7章曝气设备,并对其他章节中的文字、图表及公式中的错误进行了更正,修改和规范了教材中的符号和专业术语;在相应章节中更新或补充了新的内容;对部分章节结构进行了调整。

修订后的教材内容包括基础知识篇和水工艺设备篇两部分,基础知识篇主要讲述与水工艺设备的制造、设计、工艺特点、适用条件等相关的基础知识,包括水工艺设备常用材料的分类、性能,材料的腐蚀防护原理,常用的腐蚀防护方法,材料的保温,以及容器应力基本理论、机械传动原理、机械制造加工、电动机与减速器及热量交换理论等;水工艺设备篇则以讲述水处理工艺中专用设备的分类、组成、特点及使用条件等方面的内容为主,包括容器(塔)设备、搅拌设备、曝气设备、换热设备、分离设备、污泥处置设备以及计量与投药设备,对水处理工程中涉及的通用设备,本书未作介绍。

这次改编和修订,尽可能结合给水排水工程专业的需要,力求做到重点突出,层次分明,便于阅读;重视理论与实践紧密结合,既努力反映现代科学技术的新成就,又考虑到能与我国给水排水事业的发展相适应,进一步完善给水排水工程(给水排水科学与工程)专业《水工艺设备基础》教材的内容与体系。

本书由西安建筑科技大学黄廷林主编,同济大学范瑾初教授主审。参加修订的人员有:黄廷林(第1章,第2章2.1节,第3章3.2和3.3节和第4章)、卢金锁(第2章部分内容,第3章3.4节,第5章,第7章和第10章10.2节)、熊家晴(第3章3.1节,第9章,第10章10.1节)、王俊萍(第2章2.2节,第6章、第8章、第11章)。

本书修订过程中兄弟院校也提出了许多修改意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

因编写人员水平所限,缺点和不完善之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见,以使本书在使用中不断更新和完善。

第一版前言

《水工艺设备基础》是给水排水工程专业根据学科发展需要新设置的一门专业基础课程。

本书是依据全国高等给水排水工程学科专业指导委员会 1999 年制订的专业目录调整后的新一轮教材编写计划,以及专业指导委员会 2000 年通过的《水工艺设备基础》四年制本科课程教学大纲和教学基本要求而编写的。

全书分为基础知识篇和水工艺设备篇,基础知识篇主要讲述与水工艺设备的制造、设计、工艺特点、适用条件等相关的基础知识,包括水工艺设备常用材料的分类、性能,材料的腐蚀防护原理,材料的保温,以及容器应力基本理论、机械传动原理、机械制造加工及热量交换理论等;水工艺设备篇则以讲述水处理工艺中专用设备的分类、组成、特点及使用条件等方面的内容为主,包括容器(塔)设备、搅拌设备、换热设备、分离设备、污泥处置设备以及投药设备,对水处理工程中涉及的通用设备及特殊设备,本书未作介绍。

本书由西安建筑科技大学主编,参加编写的人员有:黄廷林(第 1 章,第 2 章 2.1 节,第 3 章 3.2 和 3.3 节和第 4 章)、高羽飞(第 2 章 2.2 节,第 3 章 3.4 节,第 7 章和第 10 章,第 6 章和第 8 章部分内容)、卢四民(第 3 章 3.1 节和第 5 章)、熊家晴(第 6 章、第 8 章和第 9 章)。书中插图由史红星和熊家晴绘制。

本书由黄廷林主编,同济大学范瑾初教授主审。

本书编写提纲由重庆大学龙腾锐教授审阅,在审订会议上和编写过程中兄弟院校也提出了许多宝贵意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

因编写人员水平所限,加之本书又是首次编写,缺点和错误在所难免,恳请读者提出宝贵意见,以使本书在使用中不断更新和完善。

编 者
2001.07

目 录

第 1 篇 基础知识	1
第 1 章 水工艺设备常用材料	1
1.1 金属材料	1
1.2 无机非金属材料	18
1.3 高分子材料	24
1.4 复合材料	38
1.5 材料选取的基本原则	44
思考题	45
第 2 章 材料设备的腐蚀、防护与保温	46
2.1 材料设备的腐蚀与防护	46
2.2 设备的保温	83
思考题	87
第 3 章 水工艺设备理论基础	89
3.1 容器应力理论	89
3.2 机械传动理论	111
3.3 机械制造工艺	128
3.4 热量传递与交换理论	146
思考题	179
第 2 篇 水工艺设备	180
第 4 章 水工艺设备的分类	180
4.1 通用机械设备	180
4.2 专用设备	182
第 5 章 容器(塔)设备	187
5.1 压力容器法兰	187
5.2 管法兰	191
5.3 支座	193
5.4 安全泄放装置	198
5.5 填料及其支承装置	203
5.6 布水(气、汽)装置	207
思考题	211

第 6 章 搅拌设备	212
6.1 搅拌设备的用途及分类	212
6.2 机械搅拌设备结构及其工作原理	212
6.3 水处理工艺中常用的机械搅拌设备	224
思考题	227
第 7 章 曝气设备	228
7.1 曝气设备的用途及分类	228
7.2 表面曝气设备	229
7.3 空气压缩机与鼓风机	233
7.4 鼓风曝气设备	243
7.5 水下曝气设备	246
7.6 其他曝气方式	251
思考题	251
第 8 章 换热设备	253
8.1 换热设备的功能和分类	253
8.2 常用换热器的构造和特点	253
8.3 换热器的适用条件和选型	268
8.4 换热器计算	271
思考题	273
第 9 章 分离设备	274
9.1 分离设备的用途及分类	274
9.2 气浮分离设备	274
9.3 筛滤设备	281
9.4 膜分离设备	287
9.5 其他分离设备	298
思考题	303
第 10 章 污泥处置设备	304
10.1 排泥设备	304
10.2 污泥浓缩与脱水设备	309
10.3 污泥处置设备	319
思考题	322
第 11 章 计量与投药设备	323
11.1 计量设备	323
11.2 投加设备	331
思考题	334
主要参考文献	335

第 1 篇 基础知识

第 1 章 水工艺设备常用材料

正确地选择结构材料是保证水工艺设备和容器结构合理、使用安全及成本降低的首要前提。随着水工业的发展,水工艺设备与容器的种类越来越多,使用条件也更加复杂,温度从低温到高温;压力从真空到高压;物料具有易爆、剧毒及强腐蚀性等。在设计与选用水工艺设备与容器时,必须针对其具体的操作条件,正确地选用材料。对于设备设计人员而言,选取的材料在整个设备工作寿命期限内要满足工艺和机械两方面要求,即除了要保证所选材料对水质无污染或具有良好的耐腐蚀性能外,还必须保证所选材料具有足够的强度、良好的连接性能和其他加工性能。另外,所选用的材料还应该是考虑到维修、更新等因素在内的最经济的材料。

1.1 金属材料

金属材料是目前水工艺设备材料的主体。

金属晶体结合的特点是外层电子的共有化,即金属键结合。金属键结合的特点使得金属具有良好的塑性和变形能力。金属材料由于外层共有电子在晶体中可以自由地运动,因而一般具有良好的导电性和导热性,且电阻率的温度系数为正。绝大多数金属在冷却到某一特征温度以下时,可转变为超导体。另外,金属中自由电子浓度很高,它们对入射光的吸收掩盖了晶体中的其他光吸收过程,而晶体中吸收光能量后被激发的电子容易将其所吸收的能量以光发射的形式重新放出,因而金属对光具有良好的反射性能。

1.1.1 金属材料的分类

水工艺设备常用的金属材料主要有碳钢、铸铁、合金钢、不锈钢以及部分有色金属材料等。下面着重介绍钢的分类与编号。

钢的品种很多,为了便于生产管理及使用,必须将钢加以分类与编号。

1. 钢的分类

钢的分类方法很多,通常按照其化学成分、质量及用途来分类。

(1) 按化学成分分类

按照化学成分钢主要可分为碳钢和合金钢。钢在不同情况下有五种相： a 、液相 L ：为铁与碳的液体溶液。 b 、 δ 相：为碳在 δ -Fe中的固溶体，也叫高温铁素体。 c 、 γ 相：是碳在 γ -Fe中的固溶体，又称奥氏体。 d 、 α 相：是碳在 α -Fe中的固溶体，又称铁素体。 e 、 Fe_3C 相：又称渗碳体。

碳钢按其含碳量又可分为 低碳钢 ($C < 0.25\%$)

中碳钢 ($C = 0.3\% \sim 0.55\%$)

高碳钢 ($C > 0.6\%$)

合金钢按合金元素含量又可分为 低合金钢 (合金元素总量 $< 5\%$)

中合金钢 (合金元素总量 $5\% \sim 10\%$)

高合金钢 (合金元素总量 $> 10\%$)。

(2) 按质量分类

按照钢中硫(S)和磷(P)的含量可分为普通钢、优质钢和高级优质钢。

普通钢 $S \leq 0.055\%$; $P \leq 0.045\%$;

优质钢 S 、 P 均应 $\leq 0.040\%$;

高级优质钢 $S \leq 0.030\%$; $P \leq 0.035\%$

(3) 按用途分类

根据钢的用途主要可分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。

结构钢主要用于制造各种工程构件和机器零件。这类钢一般属于低碳或中碳的碳素钢或合金钢。

工具钢主要用于制造各种刀具、量具、模具。这类钢一般属于高碳钢或高碳合金钢。

特殊性能钢是具有特殊物理性能或化学性能的钢，如不锈钢、耐热钢、耐磨钢等，这类钢一般属于高合金钢。

2. 钢的编号

钢的品种繁多，为了便于选择和使用，必须制定科学的编号系统。编号的要求是用简明的符号将钢中所含元素的大致百分数表示出来。有时通过编号还能说明钢的性能特征。各国的钢材编号方法大致可分为两类：一类是采用字母和数字并列的系统（中国、德国、苏联、日本）；另一类则只采用数字系统（美国）。二者相比，前者表达清楚，容易记忆。

(1) 普通碳素结构钢

这类钢主要保证机械性能，故其牌号用Q+数字表示，其中“Q”为“屈”字的汉语拼音字头，数字表示屈服强度值，例如Q275表示屈服强度为275MPa的碳素结构钢。若牌号后面标注A、B、C、D，则表示钢材质量等级不同，其中A级最低，D级最高。若在牌号后标注字母“F”则为沸腾钢（脱氧不完全的钢），未加标

注的为镇静钢（完全脱氧的钢）。例如 Q235—A·F 表示屈服强度为 235MPa 的 A 级沸腾钢。这类钢按其屈服强度的大小有 Q195、Q215、Q255、Q275 等牌号。

(2) 优质碳素结构钢

这类钢的硫、磷含量都限制在 0.040% 以下。编号方法是采用两位数字表示钢中平均含碳量为万分之几。例如含碳为 0.45%（万分之四十五）左右的优质碳素结构钢编号为 45 钢；含碳 0.08% 左右的低碳钢称为 08 钢等。若钢中含锰较高则在钢号后面附以锰的元素符号 Mn，如 15Mn、45Mn 等。

优质碳素结构钢主要用于制造各种机器零件，这些零件一般都要经过热处理以提高其机械性能。

(3) 碳素工具钢

这类钢的含碳量较高，一般介于 0.65%~1.35% 之间。它的硫、磷含量限制得更严格些。一般的碳素工具钢均属于优质钢。当硫、磷含量分别限制在 0.030% 以下时则为高级优质工具钢。

碳素工具钢的编号是以“T”（碳的汉语拼音字头）开头，后面标以数字表示含碳量的千分之几。例如 T8 就是代表平均含碳量为 0.8% 的碳素工具钢；T13 则代表平均含碳量为 1.3% 的碳素工具钢。若为高级优质碳素工具钢，则在编号最后加以“A”，例如 T8A、T13A 等。

(4) 合金结构钢

这类钢的编号是利用“两位数字+元素符号+数字”来表示。前面的两位数字代表钢中平均含碳量的万分之几，元素符号表示钢中所含的合金元素。元素后面的数字表示该元素的平均含量的百分之几。如果平均含量低于 1.5%，则不标明含量。如果平均含量大于 1.5%、2.5%、3.5%……，则相应地以 2、3、4……表示。例如 12CrNi3 钢，其平均含碳量为 0.12%，平均含铬量小于 1.5%，平均含镍量为 3%。又如 30CrMnSi 钢，其平均含碳量为 0.3%，铬、锰、硅三种合金元素的含量均小于 1.5%。若为高级优质合金结构钢，则在钢号的最后加“A”字，例如 20Cr12Ni14WA。

(5) 合金工具钢

编号与合金结构钢相似，仅含碳量的表示方法有所不同。当合金工具钢的平均含碳量大于或等于 1.00% 时，其含碳量不予标出。平均含碳量小于 1.00% 时，以千分之几表示。例如：9SiCr 钢，其平均含碳量为 0.9%，硅和铬的平均含量小于 1.5%。

1.1.2 金属材料的基本性能

金属材料的基本性能是指它的物理性能、机械性能、化学性能和工艺性能，但这些性能一般都受其化学成分的影响。

1. 化学成分

化学成分的变化对钢材的基本力学性能如强度及塑韧性等有较大影响, 对热处理效果也有较大影响。由于炼钢方法的限制, 钢中不可避免地总要含有硫、磷、锰、硅等杂质。常用的碳钢中, 含碳量一般约为 $0.08\% \sim 1.40\%$ 。下面简要说明这些化学成分对材料性能的影响。

(1) 碳 (C)

碳是钢中主要元素之一, 对钢的性能影响最大。一般随碳含量增加, 钢的强度和硬度将不断提高, 而塑性、韧性则会随之下降。当碳的含量超过 0.9% 时, 钢的强度反而降低。碳含量偏高也会对钢的焊接性能产生不利影响, 可导致焊接热影响区出现裂纹。

(2) 硫 (S)

硫是炼钢时由矿石与燃料带入钢中的杂质, 是一种有害元素, 钢中的硫含量必须严格控制。硫不溶于铁, 而以 FeS 形式存在。 FeS 与 Fe 形成低熔点的共晶体 (熔点只有 989°C), 分布于奥氏体的晶界上, 使钢材在热加工时容易开裂, 产生“热脆”现象。硫含量高还使材料的断裂韧性降低。

(3) 磷 (P)

一般而言, 磷在钢中也是一种有害元素, 是炼钢时由矿石带入钢中的。磷能全部溶于铁素体中, 虽能使钢的强度和硬度增加, 但同时会导致塑性和冲击韧性的显著降低, 特别是在低温时使钢材显著变脆, 产生“冷脆”现象。因此, 钢中的磷含量必须严格控制。但有时在某些特殊用途钢中, 磷又是有利元素, 例如含磷的铜钢, 可以提高在大气中的耐蚀性。

(4) 锰 (Mn)

锰是炼钢时作为脱氧剂和合金元素加入钢中的。由于锰可以和硫形成高熔点 (1600°C) 的硫化锰, 能减轻硫的有害作用, 并能提高钢的强度和硬度, 因此锰在钢中是一种有益的元素, 也是低合金钢中的常见元素。

(5) 硅 (Si)

硅是炼钢时作为脱氧剂和合金元素加入钢中的。硅与锰一样, 也是一种有益的元素, 能使钢的强度、硬度、弹性提高, 而塑性、韧性降低。硅作为合金元素, 可以提高钢的耐蚀性和耐热性, 但过量的硅会降低钢的热加工工艺性能。

2. 物理性能

物理性能主要指密度、熔点、热膨胀系数、导热性、导电性以及弹性模量等。弹性模量是材料在弹性极限内应力与应变的比值。例如换热设备的热交换会使材料产生温差, 从而引起热应力。因此在热交换设备的设计与选型中, 热应力作用下的热膨胀系数是一个重要的物理参数。

线膨胀系数是指材料在温度变化 1°C 时单位长度的伸缩变化值, 其值可从机

械设计手册中查取。

导热系数是指当温度梯度（温度差与器壁厚度的比值）为 1K/m ，每小时通过每平方米传热面积传过的热量，单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。其值可从机械设计手册中查取。导热系数越大，表示材料的导热性能越好。换热器应选用导热系数大的材料，而作为设备保温用的材料，应选用具有较小导热系数的材料。

3. 机械性能

材料的机械性能主要是指材料的弹性、塑性、强度和韧性。材料的机械性能不仅取决于化学成分，还取决于材料热处理后的组织状态，往往有一定的分散性。对于循环载荷情况，通常将材料性能的特定表现称为材料在一定条件下的“机械行为”。

(1) 材料的弹性和塑性

材料在外力作用下产生变形，当外力去除后又能够恢复其原来形状的性能，称做材料的弹性。材料的弹性变形量有一定限度，超过这一限度，发生的变形就不能完全恢复，这种永久变形就是材料的塑性变形。在塑性变形阶段，当外力卸除后，弹性变形恢复，而塑性变形不可恢复。出现塑性变形后，继续加载超过塑性变形的限度后，就会出现裂纹或断裂。塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力。

由于容器制造中采用冷弯卷成型工艺，要求材料必须具备充分的塑性。通常用以衡量材料塑性的指标是断后伸长率（或称延伸率） δ 及断面收缩率 ψ ，它们都可在拉伸试验中同时测得。但更能直接反映钢板冷弯性能的则是冷弯试验，即对某一厚度的钢板采用某一直径的弯芯做常温下的弯曲试验，规定在冷弯 180° 之后不裂方可用于制造容器。用塑性良好的材料制造压力容器，可以承受局部高应力，并允许发生小量的局部塑性变形，同时又不使整个容器丧失承载能力。

(2) 材料的强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。工程上常用来表示金属材料强度的指标有抗拉强度和屈服强度。此外，根据不同的工况，金属材料的强度指标还有持久强度、蠕变强度和疲劳强度等。

1) 抗拉强度 抗拉强度是金属材料试样在拉断前所能承受的最大应力，以 σ_b 表示，单位为“MPa”。

2) 屈服极限 屈服极限是金属材料开始产生屈服现象时的应力，以 σ_s 表示，单位为“MPa”。对于没有明显屈服点的材料，规定以产生 0.2% 塑性变形时的应力作为屈服强度，以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

抗拉强度和屈服强度是压力容器设计中两个非常重要的强度指标。屈服强度和抗拉强度的比值称为屈强比。这个比值可反映材料屈服后强化能力的高低。屈强比小表示屈服后材料仍有较大的强度余量。一般高强度钢的屈强比数值较大，

低强度钢的屈服比较小。

3) 持久强度 持久强度是材料在某一温度下受恒定载荷作用时,在规定的持续时间内(如 10^5h)引起断裂时的应力。持久强度是高温元件设计选材的重要依据,也是高温条件下材料许用应力的强度指标之一。持久强度用 σ_t^T 表示,单位为“MPa”。例如 $\sigma_{10^5}^{550}=160\text{MPa}$ 表示材料在 550°C 时,经 10^5h 后发生断裂的应力为 160MPa 。

4) 蠕变强度 金属材料在高温与应力的共同作用下,会产生缓慢的不可回复的变形,称为蠕变变形,出现蠕变现象的温度,称为蠕变温度。一般金属材料的蠕变温度 $T_c > (0.25 \sim 0.35) T_m$ (K),式中 T_m 为金属材料的熔点 (K)。碳钢的蠕变温度 $T_c > 350^\circ\text{C}$,低合金钢 $T_c > 400^\circ\text{C}$,耐热合金钢 $T_c > 600^\circ\text{C}$,而铅在常温下即可出现蠕变。

蠕变强度是指在给定的温度下,在规定的时间内(如 10^5h),使试样产生的蠕变变形量不超过规定值(如 1%)时的最大应力,以 $\sigma_{\delta/t}^T$ 表示,单位为“MPa”。例如 $\sigma_{1/10^5}^{500}=100\text{MPa}$,表示材料在 500°C 温度下, 10^5h 后变形量为 1% 的应力值为 100MPa 。

5) 疲劳强度 零件或构件在工作过程中受到方向、大小反复变化的交变应力的长期作用下,会在应力远小于该材料的屈服强度情况下,突然发生脆性断裂,这种现象称为疲劳破坏。

疲劳强度是指材料在经受 N 次应力循环而不断裂时的最大应力,以 σ_{-1} (纯弯曲疲劳)、 τ_{-1} (扭转疲劳)表示,单位为“MPa”。 N 为 $10^2 \sim 10^5$ 次发生破坏的为低循环疲劳破坏,多发生在容器构件上, N 超过 10^5 次的为高循环疲劳破坏,多用于一般机械零件,钢铁材料 N 为 10^7 ,有色金属和某些超高强度钢 N 为 10^8 。

6) 硬度 硬度是材料抵抗其他物体刻划或压入其表面的能力。用标准试验方法测得的表面硬度是材料耐磨能力的重要指标。如果容器是用于处理有摩擦性的固体或含有可能引起磨蚀的悬浮固体的液体物料时,则应考虑材料的表面硬度。根据试验方法的不同,有不同的量值表示硬度。在压力容器行业中,多采用布氏硬度。其他硬度表示方法还有洛氏硬度、维氏硬度和肖氏硬度等。布氏硬度的测定是用一直径为 D 的标准钢球(压陷器),以一定的压力将球压在被测金属材料的表面上,经过 t 秒后,撤去压力,由于塑性变形,在材料表面形成一个凹印。用这个凹印的球面面积除以压力,由所得的数值来表示材料的硬度,这就是布氏硬度,用 HB 表示。凹印愈小,硬度值愈高,说明材料愈硬。

(3) 材料的韧性

韧性是材料对缺口或裂纹敏感程度的反映,用来衡量材料的抗裂纹扩展能力。韧性好的材料即使存在宏观缺口或裂纹而造成应力集中时,也有相当好的防止发生脆性和裂纹快速失稳扩展的能力。韧性对压力容器材料是十分重要的,是

压力容器用钢的必检项目。塑性好的材料一般韧性也好，但塑性并不等于韧性。描述韧性的指标有冲击韧性、断裂韧性和无塑性转变温度。

1) 冲击韧性 这是衡量材料韧性的指标之一。可用带缺口的冲击试样在冲击试验中所吸收的冲击功数值作为冲击韧性值。我国近年来采用与国外相同的夏比(Charpy) V形缺口冲击功指标 $A_{kv}(J)$ 作韧性值，它能更好地反映材料的韧性，而且对温度变化也很敏感。

2) 断裂韧性 材料的冲击韧性可指导选材，但冲击功不能直接用于设计计算，而且许多压力容器由于裂纹的存在也可以在塑性与冲击韧性值足够大的情况下发生脆性断裂事故。为了能更科学地判断容器是否存在较大宏观缺陷，特别是裂纹性缺陷时是否会发生低应力脆断，近年来已把断裂力学中的断裂韧性指标用于压力容器的防脆断设计或安全评定。这些断裂韧性值可以衡量材料的韧性情况，即通过断裂韧性值可看出存在裂纹时材料所具有的防断能力。

3) 无塑性转变温度(NDT) 在不同的温度下测定出一系列的冲击韧性值，可以发现材料在某一温度区间随温度降低韧性值突然下降。由此可得出该材料的无塑性转变温度，以便确定材料的最低使用温度。

(4) 温度对材料机械性能的影响

一般金属材料的机械性能，随温度的升高会发生显著的变化。

材料在高温下承受高的应力，因而材料的抗蠕变性能是关键性指标。有时零部件的总变形不能改变，但因蠕变形随时间减小，导致应力随时间降低，这种现象称应力松弛，蒸汽管道上的法兰螺栓，常因应力松弛，使其拉应力随时间增长而降低，最后引起法兰漏气。

材料在低温下，机械强度往往升高，而它的冲击韧性值则会陡降，材料由塑性转变为脆性，这种现象称为材料的冷脆性。材料的冷脆性使得设备在低温下操作时，产生脆性破裂。材料脆性破裂之前往往不产生明显的塑性变形。对于某些低温设备的设计和使用，应对冷脆现象引起重视。

4. 材料的工艺性能

材料要经过各种加工后，才能做成设备或机器的零件。材料在加工方面的物理、化学和机械性能的综合表现构成了材料的工艺性能，又叫加工性能。选材时必须同时考虑材料的使用与加工两方面的性能。从使用角度来看，即使材料的物理、化学和机械性能比较合适，但若在加工制造过程中，材料缺乏某一必备的工艺性能，那么这种材料也是不能采用的。

水工艺设备主要零部件的制造工艺过程主要是焊接、锻造、切削、冲压、弯曲和热处理。了解材料的这些加工工艺性能，对正确选材是十分必要的。

1) 可焊性 金属材料的可焊性，是指被焊金属在采用一定的焊接方法、焊接材料、工艺参数及结构形式的条件下，获得优质焊接接头的难易程度。

可焊性包括两个方面：一是工艺可焊性，主要是指焊接接头产生工艺缺陷的倾向，尤其是出现各种裂缝的可能性；二是焊接接头在使用中的可靠性，包括焊接接头的机械性能及其他特殊性能（如耐热、耐蚀性能等）。

2) 可锻性 金属承受压力加工的能力叫金属的可锻性。金属的可锻性决定于材料的化学组成与组织结构，同时也与加工条件有关。

3) 切削加工性 材料被切削加工的难易程度。它具有一定的相对性。当刀具耐用度一定时（硬质合金车刀为60min），切削某种材料所允许的切削速度越高，加工的表面质量越好，切削容易控制或易于断屑，所需切削力越小，则切削加工性越好。与45钢相比较，常用金属材料的相对加工性可分为8级，一般有色金属为很容易切削的材料，易切削钢为容易切削的材料，而一般经热处理调质后的中碳合金钢为较难切削的材料，高碳合金钢为难切削的材料，某些钛合金、镍基高温合金为很难切削的材料。

4) 成型工艺性 成型就是金属在热态或冷态下，经外力作用产生塑性变形而成为所需形状的过程。在容器和设备的制造过程中，封头的冲压、筒体的弯卷和管子的弯曲都属成型工艺。良好的成型工艺性能要求材料具有较高的塑性。

5) 热处理性能 热处理是以改善钢材的某些性能为目的，将钢材加热到一定的温度，在此温度下保持一定的时间，然后以不同的速度冷却下来的一种操作。材料采用哪种热处理操作，主要取决于材料的化学组成和所要达到的目的。

1.1.3 耐蚀金属材料及性能

金属材料的化学性能最主要的是指它的耐腐蚀性。材料抵抗周围介质对其腐蚀破坏的能力称为材料的耐腐蚀性能。耐蚀性不是材料固有不变的特性，它随材料的工作条件而改变。铁在干燥空气中的耐蚀性优于在潮湿空气中；碳钢在浓硫酸中耐蚀，而在稀硫酸中则不耐蚀；不锈钢总的来讲有较高的耐蚀性，而在盐酸中耐蚀性就差。材料抗蚀能力的这种相对性与多变性，增加了选材的复杂性。

1. 碳钢和普通铸铁的耐蚀性

(1) 耐蚀性能

碳钢和铸铁虽然在淡水、大气、土壤、海水等中性介质中都不耐蚀，但是在各类干燥气体和有机溶剂等介质中耐蚀性良好；在低浓度碱溶液及浓硫酸、浓氢氟酸等介质中，碳钢和普通铸铁表面能生成稳定的膜，因而是耐蚀的。表1.1给出了几种金属（因铸铁耐蚀性与碳钢相近，故表中只列出碳钢）在几种典型介质中的耐蚀性。从表中可以看出，碳钢的耐蚀性能是较差的。

(2) 影响耐蚀性的因素

在淡水、海水、大气或极弱酸性溶液中，钢铁腐蚀的阴极过程主要是氧去极