

特殊压力容器

特殊压力容器

特殊压力容器

特殊 压力 容器

郑津洋 陈志平 编著

化学工业出版社

特殊压力容器

郑津洋 陈志平 编著

化学工业出版社

·北京·

455100

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

特殊压力容器/郑津洋,陈志平编著. — 北京:化学工业出版社,1997.7

ISBN 7-5025-1968-8

I. 特… I. ①郑… ②陈… III. 压力容器 N. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 11231 号

特 殊 压 力 容 器

郑津洋 陈志平 编著

责任编辑:周国庆

责任校对:崔世芳

封面设计:于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市振南印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 25½ 字数 640 千字

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月北京第 1 次印刷

印 数:1—4000

ISBN 7-5025-1968-8/TQ·983

定 价:41.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

内 容 提 要

本书较为系统地介绍了超高压容器、无缝气瓶、高温压力容器、低温压力容器、制冷用钢制压力容器、核承压设备、快速开关盖式压力容器、钢带错绕式压力容器、非圆形截面容器、移动式压力容器、液化气体储存压力容器、耐腐蚀压力容器的结构、材料、设计、制造技术、使用管理、近期研究进展及工程设计实例。

本书既给出了完整的设计计算公式,又附有大量实用的图表,可供食品、医药、化工、炼油、能源等领域从事与压力容器有关的工程技术人员和研究人员,以及大专院校师生参考。

TH49
8733

序 言

当前,压力容器技术的发展和用已经渗透到各个科学领域,出现了许多压力容器的新结构和新材料。越来越多的压力容器在高温、低温、高压(超高压)、强腐蚀、强辐照等苛刻条件下运行,例如人造水晶生产用的超高压水晶釜、频繁间歇操作的超临界流体萃取釜、天然气开采和贮运用的低温容器和核电装置中的压力壳等。遗憾的是,有关这些特殊压力容器的结构、材料、设计、制造技术,还缺少一本既有理论分析又有工程设计实例的著作。本书较为系统地介绍了超高压容器、无缝气瓶、高温压力容器、低温压力容器、制冷用钢制压力容器、核承压设备、快速开关盖式压力容器、钢带错绕式压力容器、非圆形截面容器、移动式压力容器、液化气体储存压力容器以及耐腐蚀压力容器的结构、材料、设计、制造技术、使用管理和近期研究进展,并给出了完整的工程设计实例,是一本学术水平高、技术先进、实用性强的参考书。

本书的作者郑津洋博士是中国机械工程学会压力容器分会理事、机械部化工机械与设备标准化技术委员会委员、浙江省压力容器学会常务理事兼副秘书长;陈志平硕士是浙江大学能源工程设计所压力容器设计技术负责人。他们和郑传祥博士、方启华研究员级高级工程师、相少云工程师多年来一直从事特殊压力容器的设计、教学和科研工作,取得了多项科研成果,具有丰富的工程设计经验。本书的内容多数取自作者的科研成果和工程设计资料,内容翔实,公式可靠,技术成熟,代表当代发展水平,并有已在工程上应用的工程设计实例,适合有关压力容器的教学、科研、设计、生产、建设和管理人员使用。因此该书的出版将对提高我国压力容器的技术水平起到促进作用。

朱国辉

1996年12月于求是园

前 言

随着科学技术的发展,压力容器的应用领域越来越广,出现了许多特殊结构的压力容器,例如人造水晶生产用的超高压水晶釜、钢带错绕式压力容器、频繁间歇操作的室温高压膨化釜、低温压力容器和核压力容器等。但是,有关这些特殊压力容器的结构、材料、设计、制造、使用和近期进展,迄今还没有一本既有设计理论又有工程设计实例的著作。有鉴于此,编者从大量中外文献中搜集有关材料,并结合编者多年来的研究心得和成果,撰写成书,以飨读者。

本书较为系统地介绍了超高压容器、无缝气瓶、高温压力容器、低温压力容器、制冷用钢制压力容器、核承压设备、快速开关式压力容器、钢带错绕式压力容器、非圆形截面容器、移动式压力容器、液化气体储存压力容器以及耐腐蚀压力容器的结构、材料、设计、制造技术、使用管理和近期研究进展,并附有详细的工程设计实例,既给出了完整的设计计算公式,又附有大量实用的图表。

本书第一章、第七章、第八章和第十二章由郑津洋编写;第四章、第五章、第九章、第十章、第十一章由陈志平编写;第二章由郑津洋、相少云编写;第三章由郑传祥编写;第六章由方启华编写。全书由郑津洋主持编写。第六章由左民审核,其余各章由郑津洋、陈志平审核。

本书的编著得到了浙江大学化工机械研究所朱国辉教授、黄载生教授、王宽福教授、蒋家羚教授,合肥通用机械研究所陈学东高级工程师,浙江省工业设备安装公司五分公司钱文竹经理,江西化工石油机械厂设计研究所危小庆副所长,浙江省磐安县粮油实业总公司应浩多经理等的支持和帮助。谢平、吴光英、艾护民、张建龙和穆运庆等也参与了本书的部分工作。特此表示感谢。

本书承蒙核工业第二研究设计院方启华研究员级高级工程师和左民副总工程师在百忙中抽空编审了“核承压设备”一章,为本书增色,特此表示谢意。

由于编者水平有限,欠妥、错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

1996年12月

目 录

第一章 超高压容器	1
第一节 超高压容器的应用和结构.....	1
一、应用场合	1
二、材料	2
三、结构	5
第二节 筒体和主要零部件设计	11
一、爆破压力计算	11
二、筒体壁厚计算	16
三、自增强筒体设计	17
四、疲劳设计	19
五、主要零部件强度计算	26
第三节 超高压容器典型事故案例及对策	28
一、典型事故案例	28
二、常见安全措施	30
三、安全运行的技术关键	31
四、自保护超高压容器	32
第四节 超高压水晶釜设计实例	34
一、设计条件	34
二、釜体设计	35
三、顶部密封结构设计计算	36
四、顶部螺纹连接强度校核	38
五、应力测试主要结果	40
六、有限元分析主要结果	41
参考文献	44
第二章 无缝气瓶	46
第一节 概述	46
一、基本结构	46
二、材料	48
三、制造工艺流程	50
四、检验	50
五、失效形式	55
第二节 设计计算	56
一、有关参数的确定	56
二、筒体壁厚计算	58
三、三心凹底气瓶瓶底设计	62
第三节 MT5 型手提式二氧化碳灭火器筒体设计实例.....	66
一、材料和设计参数	66

二、筒体壁厚计算	66
三、端部设计	66
四、容积计算	68
五、重量计算	68
参考文献	69
第三章 高温压力容器	70
第一节 概述	70
第二节 高温压力容器用材料	71
一、材料高温特性	71
二、材料基本判据	72
三、典型材料	75
第三节 设计计算	75
一、高温压力容器的常规设计	75
二、美国高温压力容器设计规范简介	77
第四节 设计实例	80
一、设计条件	80
二、壁厚计算	81
三、应力计算	81
四、应力强度评定	81
第五节 高温压力容器设计的最新研究趋势	81
参考文献	82
第四章 低温压力容器	83
第一节 各国规范评述	83
一、低温压力容器的低温界限	83
二、各国规范对钢材的韧性要求	84
三、各国规范对“低温低应力工况”的处理措施	84
第二节 材料	86
一、低应力脆断	86
二、低温压力容器用钢	89
三、低温压力容器用钢的焊接材料	95
第三节 结构设计	96
一、低温压力容器的结构设计特点	96
二、结构简介	97
三、焊接结构设计	98
四、低温下的密封结构	100
第四节 低温绝热结构设计	106
一、低温绝热的目的及方法	106
二、绝热材料	108
三、各种绝热结构的特点及计算	112
四、低温容器的支承系统设计	116

第五节 50m ³ 液氧储槽设计实例	122
一、主要技术参数	122
二、强度设计	123
三、结构设计	123
参考文献	125
第五章 制冷装置用压力容器	127
第一节 制冷技术简介	127
一、制冷系统简介	127
二、制冷剂与吸收剂	128
第二节 材料	130
一、概述	130
二、常用材料	131
第三节 结构	133
一、结构特点	133
二、支承方式	134
三、薄管板结构	135
第四节 设计	138
一、低温低应力分析	138
二、设计参数	139
三、管壳式换热器设计	142
四、超压泄放装置的选用计算	147
第五节 氨蒸发器管板设计实例	149
一、氨蒸发器设计条件及结构参数	149
二、GB151 设计方法	149
三、薄管板结构设计方法	152
参考文献	153
第六章 核承压设备——乏燃料后处理厂放化设备设计	154
第一节 基本概念	154
第二节 乏燃料后处理	155
一、工艺流程	155
二、基本特点	155
第三节 放化设备设计	159
一、设计原则	159
二、放化设备分类及分级	160
三、设计通则	163
四、设计方法	166
五、结构设计特点	169
六、焊接接头	171
七、其他	172
第四节 放化设备的腐蚀	174

一、晶间腐蚀	174
二、过钝态腐蚀	180
三、缝隙腐蚀	180
四、进口管腐蚀	181
五、空泡腐蚀	182
第五节 放化设备的材料	183
一、选材原则	183
二、常用材料	183
第六节 后处理厂液体输送设备	185
一、液体输送设备的种类	185
二、液体输送设备的选择	185
三、常用的液体输送设备	185
第七节 后处理厂阀门	193
一、阀门的要求	193
二、主要专用阀门	194
附录	197
附录 6-1 放化容器系列表	197
附录 6-2 容器内管子支板长度尺寸系列表	201
附录 6-3 椭圆形封头接管的 Δh 值尺寸系列表	202
附录 6-4 鼓泡管支板尺寸系列表	203
附录 6-5 插入设备筒体或椭圆形封头上接管矢高尺寸系列表	204
参考文献	205
第七章 快速开关盖式压力容器	206
第一节 概述	206
一、应用领域	206
二、基本要求	206
三、材料	207
第二节 快速开关盖装置的结构	209
一、卡箍式快开装置	209
二、齿啮式快开装置	211
三、压紧式快开装置	214
四、剖分环式快开装置	215
五、移动式快开装置	216
第三节 快速开关盖的安全连锁装置	218
一、直接作用式安全连锁装置	218
二、间接作用式安全连锁装置	220
三、组合式安全连锁装置	221
第四节 快速开关盖装置的设计	223
一、齿啮式快开装置	223
二、剖分环式快开装置	234

第五节 室温高压膨化釜设计实例	237
一、设计条件	238
二、结构和材料	238
三、筒体和平封头设计	239
四、齿啮式快开装置设计	239
参考文献	246
第八章 扁平钢带倾角错绕式压力容器	247
第一节 概述	247
一、基本结构	247
二、制造技术	250
三、失效方式	253
四、在线安全状态监控	255
第二节 绕带筒体的应力和强度	256
一、钢带层间摩擦机理	256
二、内压引起的弹性应力计算	258
三、钢带缠绕引起的预应力计算	260
四、爆破压力计算	261
第三节 绕带筒体设计	265
一、常规设计	265
二、按爆破失效准则设计	268
三、优化设计	269
四、分析设计	270
第四节 氨冷凝器绕带筒体设计实例	272
一、设计条件	272
二、筒体壁厚计算	272
三、钢带缠绕参数计算	273
四、水压试验时的应力校核	275
参考文献	275
第九章 非圆形截面容器	276
第一节 设计规范简介	276
第二节 非圆形截面容器的结构	277
一、典型结构	277
二、焊接结构	280
第三节 非圆形截面容器的设计原理	281
一、应力计算原理	281
二、封头对侧板的加强作用	283
三、非圆形截面容器的加强问题	284
四、焊缝系数	285
五、开孔补强	285
六、应力校核条件	287

第四节 非圆形截面容器的应力计算式.....	287
一、无加强的非圆形截面容器.....	289
二、外加强的非圆形截面容器.....	291
三、拉撑加强的非圆形截面容器.....	294
四、焊接接头位置应力计算.....	296
第五节 回转半径的计算.....	297
一、一般非圆形截面容器的应力解.....	297
二、几种典型非圆形截面容器的回转半径计算式.....	299
三、一般非圆形截面容器的回转半径计算式.....	300
第六节 设计实例——带阶梯孔带的对称矩形截面容器设计.....	300
参考文献.....	303
第十章 移动式压力容器	304
第一节 液化气体罐车的基本结构.....	304
一、液化气体汽车罐车.....	304
二、液化气体铁路罐车.....	308
三、低温型罐车.....	310
第二节 应力分析与强度计算.....	313
一、运行中承受的各种载荷及所产生的应力.....	313
二、材料.....	314
三、设计参数的确定.....	315
四、罐体强度计算.....	316
五、罐体的充装量.....	319
第三节 结构与稳定性设计.....	319
一、罐体的基本结构和要求.....	319
二、汽车罐车底盘的改装.....	323
三、汽车罐车行车稳定性设计.....	324
第四节 罐车的安全附件及颜色标志.....	327
一、安全阀.....	327
二、爆破片装置.....	327
三、紧急切断装置.....	327
四、液面计.....	328
五、其他附件.....	329
六、颜色标志.....	330
第五节 5t 液化石油气汽车罐车设计实例.....	331
一、强度设计.....	331
二、罐体外压稳定性校核.....	332
三、罐车稳定性计算.....	332
参考文献.....	335
第十一章 液化气体储存压力容器	336
第一节 液化气体的性质.....	336

一、液化气体的定义及应用现状	336
二、液化气体的性质	336
第二节 结构与材料	340
一、结构	340
二、材料	350
第三节 设计	352
一、强度设计	352
二、安全阀的安全排放面积计算	356
三、储罐装量系数计算	357
第四节 液化石油气卧式储罐	359
一、主要技术参数	359
二、型式、规格系列和尺寸	359
三、结构	362
四、技术要求	362
五、安全附件	363
六、标志、包装、运输	363
七、卧式液化石油气储罐的最大储液高度	363
参考文献	364

第十二章 耐腐蚀压力容器

第一节 压力容器的腐蚀	365
一、腐蚀类型	365
二、腐蚀的全面控制	370
三、腐蚀监测	372
第二节 耐腐蚀压力容器用特种金属材料	374
一、高合金不锈钢、耐热钢	374
二、钛和钛合金	377
三、镍和镍合金	378
四、铜和铜合金	379
五、铅和铅合金	379
六、锆和锆合金	379
第三节 耐腐蚀压力容器的结构和强度计算	381
一、强度计算	381
二、管法兰和接管连接结构	381
三、衬里结构	383
四、检漏系统	388
第四节 层板-绕带组合式耐腐蚀高压容器	391
一、基本结构	391
二、制造技术	392
三、设计方法	392
参考文献	392

第一章 超高压容器

超高压容器是指设计压力大于或等于 100MPa 的容器。随着科学技术的进步,超高压技术在科学研究和工业生产方面的应用日益广泛,其要求也越来越高,因此如何设计安全、可靠、经济的超高压容器的问题,也越见其重要。本章在介绍超高压容器应用场合、材料、结构和设计方法的基础上,分析典型的超高压容器事故案例,并给出超高压水晶釜的设计实例。

第一节 超高压容器的应用和结构

一、应用场合

超高压容器的应用领域极为广泛,下面列举一些应用场合。

1. 乙烯的聚合

1933 年以前,聚乙烯是在不到 10MPa 的压力下聚合的,由于聚合压力较低,产品质量较差,用途受到限制。1933 年英国提出低密度超高压聚合。后经德国的努力,解决了超高压容器的材料、设计、制造和控制等问题,在 1939 年建成了第一个操作压力为 150MPa 的乙烯超高压聚合工厂。超高压聚合得到的聚乙烯产品,具有优良的电绝缘性能和耐化学药品性能,有很好的柔软性、耐冲击性和很高的透明度、伸长率,因此广泛用作包装用的薄膜、薄板、管道和电缆绝缘。工业上生产低密度聚乙烯是采用压力为 140~310MPa 的超高压流程,在带有搅拌器的釜式反应器或管式反应器中进行。

2. 生长人工晶体

人造水晶是采用水热合成法,模拟天然水晶生长时的高温高压条件下生长的人工晶体。由于它具有优良的物理、光学和电学特性,被广泛地用于电子工业、航空航天工业,以及光学和通讯等设备上。1958 年美国建成世界上第一座采用水热合成法生产人造水晶的工厂。人造水晶的生产工艺为:先在装有石英砂(SiO_2)的超高压人造水晶釜中,加入一定浓度的氢氧化钠(NaOH)碱溶液,然后加热至 360~400℃,釜内由于溶液膨胀压力增至 150~200MPa,以便溶解釜中的石英砂,同时由于釜体轴向存在温差,底部高顶部低,使溶解了的石英砂通过溶液对流在釜体顶部晶种上再结晶。

3. 等静压成形

用均匀的压力同时作用在粉末体的外表面的粉末成型法称为等静压成形。其工艺通常是将粉末装在一个柔性模型中,然后将其浸入盛装液体的压力容器中,并施加合适的压力,压实后再在一定温度下进行烧结。一般情况下所施加的压力小于 300MPa。为将等静压成形和烧结合为一道工序,在本世纪 50 年代末和 60 年代初出现了热等静压成型技术,即在超高压和高温下同时实现压实和烧结。热等静压成型所用的是带内加热炉的冷壁大型超高压容器,容器内的介质为氩气或氮气。

4. 射流切割

利用通过喷嘴的高压力降所产生的脉冲和高速射流可进行射流切割、破碎脆性材料。连续射流切割的压力高达 1.4GPa,脉冲射流切割的压力达 7.0GPa。射流切割与机械切割器相结

合,可用于采煤、采矿及开凿隧道、岩石钻孔,具有无粉尘、无污染的优点。

5. 静液挤压

静液挤压是一种新型的变形工艺方法。工作时,被挤压料置于周围充满介质的挤压缸内,通过挤压杆压缩介质,产生极高的液体挤压压力(一般大于 1.0GPa)。当挤压压力大于挤压模对被挤压料的支承力和摩擦力时,被挤压料将沿挤压模向外运动,直到全部挤出为止。通过一次静液挤压可使材料的强度提高 50%~80%,且保持足够的韧性。

6. 超高压加工食品

超高压加工食品,是先将食品原料充填到柔软的塑料容器中,再放到超高压容器中加压处理。在超高压作用下,蛋白质、淀粉原来的构造被破坏,酶失去机能,细菌也被杀死。经超高压加工过的食品,不会象加热杀菌处理那样导致食品成分的劣化,风味和营养的破坏及产生异臭物等,保持与新鲜食品近似的色香味和组织状态。用于食品加工的超高压容器的工作压力一般为 150~700MPa。根据所处理食品的不同,有连续操作和间歇操作两种生产方式。

二、材料

(一) 选材原则

超高压容器的器壁较厚,工作条件苛刻,合理选材尤为必要。除应满足一般压力容器选材的要求外,还要求材料具有一些特殊性能,如横向力学性能好,断裂韧性高,回火脆性低,低周疲劳性能好和一定的抗应力腐蚀及腐蚀疲劳性能。在选择超高压容器用钢时还应特别注意以下几点。

1. 强度和塑性的合理匹配

对于超高压容器用钢,应在满足强度要求的前提下,尽可能提高材料的塑性和韧性。这是因为塑性、韧性好的高强钢,在相同的应力水平下具有较大的临界裂纹扩展尺寸,能降低脆性破坏的概率,甚至有可能使裂纹一直稳定地扩展到穿透壁厚,安全地泄漏,实现未爆先漏。

我国《超高压容器安全监察规程》(试行)规定:超高压容器用钢的断后伸长率应大于等于 12%;断面收缩率应大于等于 35%;夏比(V 缺口)冲击功应大于等于 34J;断裂韧性 K_{IC} 应大于等于 $120\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

2. 严格控制硫、磷含量

由于非金属夹杂物在超高强钢中的破坏影响类似缺口的作用,会导致应力集中,且夹杂物越多,经锻造后钢的各向异性程度加剧,而硫和磷能促进非金属夹杂物的形成,降低高强钢的冲击韧性和断面收缩率,故冶炼时应严格控制硫、磷含量。一般要求硫、磷含量小于 0.015%。

3. 选择合适的锻造比

用于超高压容器的锻件,如有局部缺陷,不得采取补焊,但允许切除缺陷部分后进行锻造。锻造比一般应不小于 3,以保证锻件芯部被锻透。但锻造比过大,则锻件的横向力学性能变差,因此锻造比也不应取得过高。

(二) 常用材料

由于中碳镍铬钼(钒)钢具有良好的淬透性和强度韧性匹配,在超高压容器制造中得到广泛采用,如美国的 AISI4340、AISI4330,英国的 En25、En26,德国的 34CrNiMo8,我国的 PCrNi3MoV、30CrNi5MoV 等。近年来有发展较低碳含量较高镍含量的高韧性钢的趋势,如美国的 HY130 和我国的 30CrNi5MoV。表 1-1 和表 1-2 分别列出了国内外常用的超高压容器用钢的化学成分和力学性能。

表 1-1 常用超高压容器用钢的化学成分

钢 号	使用 国家	化 学 成 分 , %									用 途
		C	Cr	Ni	Mo	V	Si	Mn	P	S	
3%Ni-Cr-Mo-V	美国	0.25~ 0.40	0.8~ 1.5	2.5~ 3.75	0.3~ 0.7	0.05~ 0.15	≤0.45	0.20~ 0.90	≤0.015	≤0.015	乙烯釜
AISI4340H	美国	0.38~ 0.43	0.65~ 0.95	1.55~ 2.0	0.20~ 0.3		0.20~ 0.35	0.6~ 0.95	≤0.025	≤0.02	等静压釜 乙烯釜
HY130	美国	0.08~ 0.13	0.45~ 0.65	4.8~ 5.3	0.47~ 0.62	0.04~ 0.07					各类超高压 容器
En25	英国	0.27~ 0.35	0.50~ 0.80	2.3~ 2.8	0.4~ 0.7		0.10~ 0.35	0.50~ 0.70	≤0.05	≤0.05	等静压釜 乙烯釜
30CrNiMo8	德国	0.26~ 0.33	1.80~ 2.20	1.80~ 2.20	0.3~ 0.5		0.15~ 0.40	0.30~ 0.60	≤0.025	≤0.025	管式聚乙烯 反应釜
22Cr2Ni4MoV	中国	0.16~ 0.25	1.40~ 2.00	3.25~ 4.00	0.40~ 0.60	0.04~ 0.08	0.15~ 0.35	0.20~ 0.50	≤0.015	≤0.015	超高压人造 水晶釜
32CrNi3MoV	中国	0.28~ 0.38	0.8~ 1.50	3.00~ 3.50	0.45~ 0.55	0.05~ 0.15	≤0.30	0.30~ 0.60	≤0.015	≤0.015	超高压人造 水晶釜
33CrNi3MoV	中国	0.30~ 0.38	1.20~ 1.50	3.00~ 3.50	0.35~ 0.45	0.10~ 0.20	0.17~ 0.37	0.50~ 0.80	≤0.015	≤0.015	超高压人造 水晶釜
PCrNi3MoVA	中国	0.32~ 0.42	1.20~ 1.50	3.00~ 3.50	0.35~ 0.45	0.10~ 0.25	0.10~ 0.35	0.20~ 0.80	≤0.015	≤0.015	超高压人造 水晶釜 炮管
30CrNi5MoV	中国	0.27~ 0.34	0.5~ 0.8	5.0~ 5.5	0.5~ 0.6	0.05~ 0.12	≤0.40	0.20~ 0.50	≤0.015	≤0.015	等静压釜 炮管
43CrNi2MoV	中国	0.38~ 0.48	0.9~ 1.20	1.50~ 1.80	0.90~ 1.10	0.15~ 0.35	0.2~ 0.40	0.60~ 0.90	≤0.015	≤0.015	超高压人造 水晶釜
16Cr2Ni3Mo	中国	0.12~ 0.20	1.0~ 1.80	2.25~ 3.50	0.20~ 0.40		0.15~ 0.35	0.10~ 0.40	≤0.015	≤0.015	超高压人造 水晶釜
CrMoV	日本	0.25~ 0.35	0.85~ 1.25	≤0.50	1.0~ 1.5	≤0.30	0.15~ 0.35	0.60~ 0.90	≤0.035	≤0.035	超高压人造 水晶釜

表 1-2 常用超高压容器用钢的力学性能

钢 号	试验温度 C	σ_s MPa	σ_b MPa	δ %	ψ %	夏比冲击功 J	K_{IC} MPa·m ^{1/2}	备 注
3%Ni-Cr-Mo-V		≥900	≥1000	≥14	≥35	≥59		
AISI4340H	常温	≥883	≥981	≥15	≥45	≥42		
En25		700~ 730	860~ 880	22~ 24	47~ 52	69~73		实测数据
30CrNiMo8	常温	≥900	1110~ 1300	≥10	≥45	≥35		
22Cr2Ni4MoV	常 温	≥880	≥900	≥12	≥45	≥41	≥124	
	425	≥745	≥850	≥12	≥45	单个最小 34		

续表

钢 号	试验温度 C	σ_s MPa	σ_b MPa	δ %	ψ %	夏比冲击功 J	K_{IC} MPa $\cdot m^{1/2}$	备 注
32CrNi3MoV	常 温	≥ 835	≥ 935	≥ 12	≥ 36	≥ 41	≥ 129	
	400	≥ 685	≥ 790	≥ 12	≥ 36	单个最小 34		
33CrNi3MoV	常 温	≥ 835	≥ 930	≥ 12	≥ 35	≥ 41	≥ 146	
	400	≥ 685	≥ 785	≥ 12	≥ 35	单个最小 34		
PCrNi3MoV(2 级)	常 温	≥ 820	≥ 930	≥ 12	≥ 40	≥ 47.4	≥ 115	
PCrNi3MoV(3 级)	常 温	≥ 890	≥ 1000	≥ 11	≥ 35	≥ 40.0		
30CrNi5MoV	常 温	1090	1160	15	52	67		实测数据
CrMoV		745	894	20.6	54			实测数据
43CrNi2MoV	380	≥ 750	≥ 850	≥ 12	≥ 35			
	450	≥ 700	≥ 800	≥ 12	≥ 35			
16Cr2Ni3Mo	常 温	≥ 950	≥ 1050	≥ 12	≥ 45			
	400	≥ 770	≥ 900	≥ 12	≥ 45			
KMS18-17	常 温	1687	1726		59.8			实测数据
SKD61	常 温	1500	1804		41.6			实测数据

厚壁超高压容器用 CrNiMoV 钢通常在 350℃ 以下使用, 350℃ 左右的瞬时高温强度可作为容器设计的强度依据。而对于设计温度大于 400℃ 的压力容器, 因为钢已近蠕变温度, 设计时必须考虑钢的持久强度和蠕变极限。表 1-3 和表 1-4 为一些超高压容器用钢的高温性能。

表 1-3 35CrNi3MoV 钢的高温瞬时力学性能

试验温度 C	σ_b MPa	σ_s MPa	δ_5 %	ψ %
19.5	1267	1201	9.4	54
200	1165	1109	14.3	60
400	1047	926	17.8	71
600	582	546	28.9	89

表 1-4 几种钢的持久强度和蠕变极限

钢 号	试验温度 C	持久强度 MPa	蠕变极限 MPa
1%Cr-Mo-V(美)	540	100~130	65~100
	595	60~80	30~50
25CrMoV	525	180~220	125
	550	150	95
	570	100~120	
34CrNi3Mo	450	230	160
	500	60~78	35

对承受交变载荷或开停车次数频繁的超高压容器用钢, 还应考虑其低周疲劳性能和疲劳裂纹扩展特性。表 1-5 给出了几种超高压容器用钢的疲劳裂纹扩展速率。