



中华人民共和国国家标准

GB/T 4732.2—2024

压力容器分析设计 第2部分：材料



Pressure vessels design by analysis—
Part 2: Materials

2024-07-24 发布

2024-07-24 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总体要求	2
5 钢板	5
6 钢管.....	10
7 钢锻件.....	12
8 螺柱(含螺栓)和螺母用钢棒.....	14
9 焊接材料.....	18
附录 A (规范性) 钢材的补充规定	19
附录 B (规范性) 钢材的许用应力	21
附录 C (资料性) 钢材的高温屈服强度、高温持久强度极限平均值、弹性模量和平均线膨胀系数	42
附录 D (资料性) 高合金钢牌号近似对照表	56
参考文献	58

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 4732《压力容器分析设计》的第 2 部分。GB/T 4732 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：公式法；
- 第 4 部分：应力分类方法；
- 第 5 部分：弹塑性分析方法；
- 第 6 部分：制造、检验和验收。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位：合肥通用机械研究院有限公司、中国特种设备检测研究院、中国石化工程建设有限公司、中石化广州工程有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、南京钢铁股份有限公司、二重(德阳)重型装备有限公司。

本文件主要起草人：章小浒、杨国义、段瑞、张国信、常彦衍、缪春生、陈志伟、陆戴丁、孔韦海、霍松波、沈国劬。



引 言

GB/T 4732《压力容器分析设计》给出了压力容器按分析设计方法进行建造的要求,GB/T 150 基于规则设计理念提出了压力容器建造的要求。压力容器设计制造单位可依据设计具体条件选择两种建造标准之一实现压力容器的建造。

GB/T 4732 由 6 个部分构成。

- 第 1 部分:通用要求。目的在于给出按分析设计建造的压力容器的通用要求,包括相关管理要求、通用的术语和定义以及 GB/T 4732 其他部分共用的基础要求等。
- 第 2 部分:材料。目的在于给出按分析设计建造的压力容器中的钢制材料相关要求及材料性能数据等。
- 第 3 部分:公式法。目的在于给出按分析设计建造的压力容器的典型受压元件及结构设计要求。具体给出了常用容器部件按公式法设计的厚度计算公式。GB/T 4732.3 可作为 GB/T 4732.4、GB/T 4732.5 的设计基础,也可依据 GB/T 4732.3 自行完成简化的、完整的分析设计。
- 第 4 部分:应力分类方法。目的在于给出按分析设计建造的压力容器中采用应力分类法进行设计的相关规定。
- 第 5 部分:弹塑性分析方法。目的在于给出按分析设计建造的压力容器中采用弹塑性分析方法进行设计的相关规定。
- 第 6 部分:制造、检验和验收。目的在于给出按分析设计建造的压力容器中所涵盖结构形式容器的制造、检验和验收要求。

GB/T 4732 包括了基于分析设计方法的压力容器建造过程(即指材料、设计、制造、检验、试验和验收工作)中需要遵循的技术要求、特殊禁用规定。由于 GB/T 4732 没有必要,也不可能囊括适用范围内压力容器建造中的所有技术细节,因此,在满足安全技术规范所规定的基本安全要求的前提下,不限制 GB/T 4732 中没有特别提及的技术内容。GB/T 4732 不能作为具体压力容器建造的技术手册,也不能替代培训、工程经验和工程评价。工程评价是指由知识渊博、娴于规范应用的技术人员所作出针对具体产品的技术评价。工程评价需要符合 GB/T 4732 的相关技术要求。

GB/T 4732 不限制实际工程建造中采用其他先进的技术方法,但工程技术人员采用先进的技术方法时需要作出可靠的判断,确保其满足 GB/T 4732 的规定。

GB/T 4732 既不要求也不限制设计人员使用计算机程序实现压力容器的分析设计,但采用计算机程序进行分析设计时,除需要满足 GB/T 4732 的要求外,还要确认:

- 所采用程序中技术假定的合理性;
- 所采用程序对设计内容的适用性;
- 所采用程序输入参数及输出结果用于工程设计的正确性。

进行应力分析设计计算时可以选择或不选择以 GB/T 4732.3 作为设计基础,进而采用 GB/T 4732.4 或 GB/T 4732.5 进行具体设计计算以确定满足设计计算要求中防止结构失效所要求的元件厚度或局部结构尺寸。当独立采用 GB/T 4732.4 或 GB/T 4732.5 作为设计基础时,无需相互满足。

压力容器分析设计

第 2 部分：材料

1 范围

本文件规定了采用分析设计方法设计的钢制压力容器受压元件用钢材允许使用的牌号及其标准、钢材的附加技术要求、钢材的使用范围(温度和压力)、钢材的许用应力、焊接材料的基本要求。

本文件适用于设计温度 $-269\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、设计压力小于 100 MPa 的压力容器。

本文件不适用的范围为 GB/T 4732.1 规定的不适用范围。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 228.1 金属材料拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法
- GB/T 228.2 金属材料拉伸试验 第 2 部分:高温试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 713.2 承压设备用钢板和钢带 第 2 部分:规定温度性能的非合金钢和合金钢
- GB/T 713.3 承压设备用钢板和钢带 第 3 部分:规定低温性能的低合金钢
- GB/T 713.4 承压设备用钢板和钢带 第 4 部分:规定低温性能的镍合金钢
- GB/T 713.5 承压设备用钢板和钢带 第 5 部分:规定低温性能的高锰钢
- GB/T 713.6 承压设备用钢板和钢带 第 6 部分:调质高强度钢
- GB/T 713.7 承压设备用钢板和钢带 第 7 部分:不锈钢和耐热钢
- GB/T 1220 不锈钢棒
- GB/T 1221 耐热钢棒
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3965 熔敷金属中扩散氢测定方法
- GB/T 4226 不锈钢冷加工钢棒
- GB/T 4334 金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法
- GB/T 4732.1 压力容器分析设计 第 1 部分:通用要求
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 6479 高压化肥设备用无缝钢管
- GB/T 6803 铁素体钢的无塑性转变温度落锤试验方法
- GB/T 7735—2016 无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管缺欠的自动涡流检测
- GB/T 9948 石油裂化用无缝钢管
- GB/T 13305 不锈钢中 α -相面积含量金相测定法
- GB/T 20878 不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分
- GB/T 21433 不锈钢压力容器晶间腐蚀敏感性检验

- GB/T 31935 金属和合金的腐蚀 低铬铁素体不锈钢晶间腐蚀试验方法
GB/T 32571 金属和合金的腐蚀 高铬铁素体不锈钢晶间腐蚀试验方法
GB/T 34542.2 氢气储存输送系统 第2部分:金属材料与氢环境相容性试验方法
GB/T 39255 焊接与切割用保护气体
JB/T 4756 镍及镍合金制压力容器
NB/T 47002.1 压力容器用复合板 第1部分:不锈钢-钢复合板
NB/T 47002.2 压力容器用复合板 第2部分:镍-钢复合板
NB/T 47002.3 压力容器用复合板 第3部分:钛-钢复合板
NB/T 47002.4 压力容器用复合板 第4部分:铜-钢复合板
NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
NB/T 47009 低温承压设备用合金钢锻件
NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分:超声检测
NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测
NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分:渗透检测
NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
NB/T 47018.1 承压设备用焊接材料订货技术条件 第1部分:采购通则
NB/T 47018.2 承压设备用焊接材料订货技术条件 第2部分:钢焊条
NB/T 47018.3 承压设备用焊接材料订货技术条件 第3部分:气体保护电弧焊丝和填充丝
NB/T 47018.4 承压设备用焊接材料订货技术条件 第4部分:埋弧焊钢焊丝和焊剂
NB/T 47018.5 承压设备用焊接材料订货技术条件 第5部分:堆焊用不锈钢焊带和焊剂
NB/T 47019.1 锅炉、热交换器用管订货技术条件 第1部分:通则
NB/T 47019.4 锅炉、热交换器用管订货技术条件 第4部分:低温用低合金钢
TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 4732.1 界定的术语和定义适用于本文件。

4 总体要求

- 4.1 压力容器受压元件用钢板、钢管、钢锻件、螺柱(含螺栓)用钢材和焊接材料应符合 TSG 21 的规定。
- 4.2 压力容器受压元件用钢材应是焊接性良好的钢材。
- 4.3 采用未列入本文件但已列入 GB/T 20878 和 GB/T 713.7 中的奥氏体型不锈钢钢材,其磷、硫含量和强度指标应不低于本文件所列相应钢材标准中化学成分相近牌号钢材的规定。
- 4.4 除符合 4.3 规定的钢材外,采用其他未列入本文件的钢材,其技术要求应符合附录 A 的规定。
- 4.5 压力容器受压元件用钢材应附有钢材制造单位的钢材质量证明书,质量证明书的内容应齐全、清晰,并且印刷可追溯的信息化标识,加盖材料制造单位质量检验章。可追溯的信息包括钢材制造单位名称、钢材标准号、牌号、规格、炉批号、交货状态、热处理工艺参数(需要时)、质量证明书签发日期等内容。可追溯的信息化标记应为二维码或条码等。
- 4.6 容器制造单位应按质量证明书对钢材进行验收。如无钢材制造单位的钢材质量证明书原件时,应在钢材质量证明书原件的复印件上加盖材料经营单位公章和经办负责人签字(章)。

4.7 选择压力容器受压元件用钢材时应依据容器的使用条件(如设计温度、设计压力、介质特性和操作特点等)、钢材的化学成分、微观组织、性能(力学性能、工艺性能、化学性能和物理性能)、容器的制造工艺以及经济合理性来确定。

4.8 压力容器受压元件用钢应采用氧气转炉、电炉或电渣重熔法冶炼。对标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 的低合金钢钢板和低合金钢锻件、奥氏体-铁素体型不锈钢钢板,以及使用温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温钢钢板、低温钢锻件和低温钢钢管,还应采用炉外精炼并进行真空处理。

4.9 压力容器受压元件用钢材使用温度上限符合下列规定。

- a) 钢材使用温度上限为附录 B 中表 B.1~表 B.8 的各牌号钢材许用应力所对应的最高温度,表 B.1~表 B.8 中粗线右侧的许用应力由钢材的 10^5 h 高温持久强度极限平均值所确定。当因工艺过程要求,钢材需短时在高于使用温度上限操作时,应由设计文件规定。
- b) 非合金钢和碳锰钢钢材在高于 $425\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下长期使用时,应注意钢中碳化物相的石墨化倾向。
- c) 奥氏体型不锈钢钢材的使用温度高于 $525\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢中含碳量应不小于 0.04% 。

4.10 压力容器受压元件用钢材使用温度下限符合下列规定。

- a) 钢材使用温度下限应符合第 5 章~第 8 章的规定。
- b) 奥氏体型不锈钢钢材使用温度下限为 $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。使用温度高于或等于 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,可免做冲击试验。使用温度低于 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,应进行压力容器设计温度下的低温冲击试验,3 个标准试样冲击吸收能量平均值($\overline{KV_2}$)不小于 54 J,且侧膨胀值平均值(\overline{LE})不小于 0.53 mm。奥氏体-铁素体型不锈钢钢材可进行最低冲击试验温度为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冲击试验,3 个标准试样冲击吸收能量平均值($\overline{KV_2}$)不小于 47 J,且侧膨胀值平均值(\overline{LE})不小于 0.53 mm。冲击试验其他要求应符合 4.11b)、4.11c)的规定。
- c) 液氢压力容器用奥氏体型不锈钢钢材应进行 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冲击试验,液氢压力容器用奥氏体型不锈钢钢材应进行 $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冲击试验,冲击性能应符合 4.10b)的规定。

4.11 非合金钢和合金钢钢材冲击试验符合下列规定。

- a) 非合金钢和合金钢钢材(钢板、钢管、钢锻件)的冲击性能应符合表 1 的规定。

注 1: 当钢材的标准抗拉强度下限值随厚度增大而降低时,表 1 中的标准抗拉强度下限值指的是钢材在最小厚度时的标准抗拉强度下限值。

表 1 非合金钢和合金钢钢材的冲击性能

钢材标准抗拉强度下限值(R_m) MPa	3 个标准试样冲击吸收能量平均值($\overline{KV_2}$) J	3 个试样侧膨胀值平均值(\overline{LE}) mm
≤ 450	≥ 24	—
$> 450 \sim 510$	≥ 31	—
$> 510 \sim 570$	≥ 34	—
$> 570 \sim 630$	≥ 38	—
$> 630 \sim 690$	≥ 47	≥ 0.53
> 690	≥ 54	≥ 0.64

- b) 夏比 V 型缺口冲击试样的取样部位和试样方向应符合相应钢材标准的规定,应选择厚度为 10 mm 的标准试样。冲击试验每组取 3 个标准试样,允许 1 个标准试样的冲击吸收能量数值低于表 1 的规定值,但不应低于表 1 规定值的 70%。当冲击试验结果不符合上述规定时,应从钢材的同样部位和同样方向上再取 3 个标准试样进行复验,前后两组 6 个标准试样的冲击吸收能量平均值应不低于表 1 的规定值,允许有 2 个标准试样低于规定值,但低于规定值

70%的试样只准许有 1 个。

- c) 当钢材因厚度小于 11 mm 而无法制备标准试样时应依次制备厚度为 7.5 mm、5 mm 的小尺寸试样,其冲击吸收能量平均值应分别为标准试样冲击吸收能量平均值的 75%、50%。当钢材可制备标准试样而制备厚度为 7.5 mm 或 5 mm 的小尺寸试样时,其冲击试验温度应分别降低 5 °C 或 10 °C(冲击试验温度低于-100 °C 的钢材除外),冲击吸收能量平均值应分别为标准试样冲击吸收能量平均值的 75%或 50%。
- d) 钢材标准中,钢材的冲击吸收能量平均值和侧膨胀值平均值高于表 1 规定的还应符合相应钢材标准的规定。
- e) 夏比冲击试样侧膨胀值的测定应符合 GB/T 229 的规定。

注 2: 冲击试样的侧膨胀值与冲击试样尺寸无关。

- f) 冲击试验温度为-40 °C~-100 °C 的低合金钢板和锻件可按 GB/T 229 的规定测定转变温度 T_i (如:指定吸收能量值 47 J 确定的转变温度 T_{i47} 、指定吸收能量上平台的百分数 50% 确定的转变温度 $T_{i50\%US}$ 、指定侧膨胀值 0.53 mm 确定的转变温度 $T_{i0.53}$ 或指定剪切断面率 50% 确定的转变温度 $T_{i50\%SFA}$)。
- g) 钢板冲击试验应符合第 5 章和 GB/T 713.2、GB/T 713.3、GB/T 713.4、GB/T 713.5、GB/T 713.6、GB/T 713.7 的规定。对于 Q245R、Q345R 和 13MnNiMoR 钢板,如需进行-20 °C 冲击试验,应在设计文件中注明。如需提高钢板的冲击吸收能量和侧膨胀值,应在设计文件中规定。
- h) 钢管冲击试验应符合第 6 章的规定。
- i) 钢锻件冲击试验应符合第 7 章和 NB/T 47008、NB/T 47009 的规定。对于 20、16Mn、20MnMo 和 20MnMoNb 钢锻件,如需进行-20 °C 冲击试验,应在设计文件中注明。如需提高钢锻件的冲击吸收能量和侧膨胀值,应在设计文件中规定。
- j) 非合金钢、低合金钢和耐热钢钢棒的冲击试验应符合第 8 章的规定。
- k) 焊接材料的冲击试验应符合第 9 章的规定。

4.12 当钢材按 GB/T 4334 进行晶间腐蚀试验、按 GB/T 15970.1~GB/T 15970.9 或 GB/T 4157 进行应力腐蚀试验、按 GB/T 17897 进行点腐蚀试验时,应在设计文件中规定试验方法和合格指标。

4.13 对于设计温度低于 95 °C 且满足下列条件之一的储存氢气压力容器,其钢材应按 GB/T 34542.2 的规定进行氢环境相容性试验,试验内容和合格指标应在设计文件中规定:

- a) 氢分压大于 41 MPa 的非焊接压力容器;
- b) 氢分压大于 17 MPa 或氢分压大于 5.2 MPa 且钢材室温标准抗拉强度下限值大于 620 MPa 的焊接压力容器。

4.14 奥氏体-铁素体型不锈钢钢板、钢管和锻件应按 GB/T 13305 的规定进行相比例测定,金相组织应为奥氏体-铁素体,奥氏体含量应在 40%~60%。

4.15 当对钢材有特殊技术要求时(如要求特殊冶炼方法、严格的化学成分、较高的冲击吸收能量指标或侧膨胀值、附加保证高温屈服强度和抗拉强度、提高无损检测合格等级、增加力学性能检验率等),应在设计文件中规定。

4.16 主要受压元件使用的钢材中,未列入本文件,也未列入压力容器(承压设备)专用钢板国家标准、专用锻件行业标准、专用复合钢板行业标准的钢材,应按照 TSG 21 的规定进行技术评审后,可用于制造压力容器。

注:压力容器(承压设备)专用钢板国家标准是指 GB/T 713.1、GB/T 713.2、GB/T 713.3、GB/T 713.4、GB/T 713.5、GB/T 713.6 和 GB/T 713.7;专用锻件行业标准是指 NB/T 47008、NB/T 47009 和 NB/T 47010;专用复合钢板行业标准是指 NB/T 47002.1、NB/T 47002.2、NB/T 47002.3 和 NB/T 47002.4。

4.17 主要受压元件使用的钢材,未列入本文件,但已列入压力容器(承压设备)专用钢板国家标准、锻件行业标准、专用复合钢板行业标准的,钢材研制单位应进行钢材的研制,提供必要的材料数据(包括化

学成分、拉伸性能、疲劳试验数据、断裂韧性以及其他满足该材料使用范围要求的相应性能参数)。钢材应经压力容器用材料(钢板、锻件)型式试验机构的试验验证,证明其各项性能指标满足本文件要求的,可用于压力容器制造。

4.18 钢材制造单位首次制造本文件中标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 的合金钢钢板及锻件或用于设计温度低于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的合金钢钢板及锻件,应同时满足下列要求后,可用于压力容器制造。

- a) 钢材制造单位应向钢材使用单位提供钢材焊接性试验报告和焊后热处理工艺等技术资料,并根据设计文件提供钢材高温短时拉伸性能、疲劳试验数据、断裂韧性,以及落锤试验(DWT)、韧脆转变温度结果的系列试验数据。对于使用温度高于钢材蠕变温度的,钢材制造单位应提供钢材的高温性能试验数据,高温性能数据至少包括持久强度或者蠕变极限等。
- b) 钢材应经压力容器用材料(钢板、锻件)型式试验机构的试验验证。

4.19 选用已列入本文件的压力容器主要受压元件的钢板及锻件,但其板材厚度或者锻件公称厚度超出本文件厚度范围的,其各项性能应不低于本文件中已规定厚度范围内的最低要求。

4.20 设计单位在选用符合 4.16、4.17 和 4.19 规定的钢材时,应在设计文件中提供选材满足 TSG 21 基本安全要求的说明,包括材料的力学性能、物理性能、工艺性能和与介质相容性等,同时应提出材料订货技术条件,明确压力容器制造、使用、检验等相关技术要求,并且对设计选材负责。

4.21 选用符合 4.16、4.17 和 4.19 规定的钢材用于压力容器主要受压元件时,压力容器制造单位应按炉号进行化学成分分析、按批号进行力学性能的验证性复验,复验结果应经监督检验机构确认合格,材料复验报告应纳入产品质量证明文件。

4.22 主要受压元件采用的钢材,已列入本文件,但未列入压力容器(承压设备)专用钢板国家标准、专用锻件行业标准、专用复合钢板行业标准、钢管国家标准或者行业标准的钢材以及境外牌号钢材的使用,其技术要求应符合附录 A 的规定。

4.23 对受压元件用钢材的代用应事先取得原设计单位的书面批准,并在竣工图上做详细记录。

4.24 本文件中各钢材的许用应力应按 TSG 21 和 GB/T 4732.1 的规定确定,钢材的许用应力应符合表 B.1~表 B.8 的规定。各钢材许用应力表中间温度的许用应力采用内插法求得。

4.25 钢材的高温屈服强度见附录 C 中表 C.1~表 C.8,高温持久强度极限平均值见表 C.9~表 C.12,弹性模量见表 C.13,平均线膨胀系数参考值见表 C.14。

4.26 高合金钢牌号近似对照表见附录 D。

5 钢板

5.1 非合金钢和合金钢钢板

5.1.1 GB/T 713.2、GB/T 713.3、GB/T 713.4、GB/T 713.6 中钢板的使用状态、厚度、使用温度上限、许用应力应符合表 B.1 的规定。

5.1.2 表 B.1 中用连铸坯或钢锭轧制的钢板,压缩比应不小于 3.0;用电渣重熔钢锭轧制的钢板,压缩比应不小于 2.0;用定向凝固钢坯轧制的钢板,压缩比应不小于 2.4。

5.1.3 钢板制造单位交货的钢板应按表 B.1 中的使用状态进行供货。Q245R、GB/SA 516 Gr485 和 Q345R 钢板应为正火状态交货,厚度大于 50 mm 的 Q345R 也可正火加回火状态交货。

5.1.4 下列非合金钢和合金钢钢板应逐热处理张取样进行拉伸和 V 型缺口冲击试验,冲击试验温度按相应钢板标准的规定:

- a) 调质热处理钢板;
- b) 多层容器的内筒钢板;
- c) 壳体厚度大于 60 mm 的钢板。

5.1.5 厚度大于 36 mm 调质状态、厚度大于 80 mm 正火或正火加回火状态的壳体用钢板可增加一组

在厚度 1/2 处取样的冲击试验,冲击试验温度应按相应钢板标准的规定,冲击性能应符合表 1 的规定。当相应钢材标准中 1/2 处取样的冲击性能高于表 1 的规定时,应以相应钢材标准的规定为准。

5.1.6 厚度大于 50 mm 调质状态、厚度大于 100 mm 正火或正火加回火状态的壳体用钢板,应规定较严格的冲击试验要求,设计文件应选用下列方法之一:

- a) 冲击试验温度按照相应钢板标准的规定,冲击性能高于相应钢板标准的规定;
- b) 冲击试验温度低于相应钢板标准规定的试验温度,冲击性能符合相应钢板标准的规定。

5.1.7 设计温度低于 -20 °C 且厚度大于 36 mm 的调质状态的钢板、设计温度低于 -40 °C 且厚度大于 60 mm 的正火或正火加回火状态的钢板可增加落锤试验(DWT)。试验按 GB/T 6803 的规定进行,采用 P-2 型试样,其无塑性转变温度(NDTT)不高于相应钢板标准规定的冲击试验温度加 10 °C。

5.1.8 壳体用钢板(不包括多层压力容器的层板)应按表 2 的规定逐张进行超声检测,超声检测方法和质量等级应符合 NB/T 47013.3 的规定。

表 2 壳体用钢板超声检测

牌号	钢板厚度 mm	压力容器使用条件	质量等级
Q245R GB/SA 516 Gr485 Q345R GB/SA 537 Cl.1	>30	无限制条件	不低于 II 级
Q370R Q420R、Q460R Mn-Mo 系 Cr-Mo 系 (含 GB/SA 387 Gr12 Cl.2) Cr-Mo-V 系	>25 >5 >25 >25 >25	无限制条件	不低于 II 级
16MnDR 15MnNiNbDR Q420DR、Q460DR 13MnNiDR 09MnNiDR 11MnNiMoDR 08Ni3DR、07Ni5DR 06Ni7DR、06Ni9DR	>20 >20 >5 >20 >20 >12 ≥20 >12	无限制条件	不低于 I 级
Q490R、Q490DRL1 Q490DRL2 Q490RW Q580R、Q580DR	>16 >16 >12 >16	无限制条件	不低于 I 级
多层容器内筒钢板	≥12	无限制条件	不低于 I 级
所有牌号	≥12	盛装毒性危害程度为极度、高度危害介质的; 在湿 H ₂ S 腐蚀环境中使用(不包括多层压力容器的层板)	不低于 II 级

表 2 壳体用钢板超声检测 (续)

牌号	钢板厚度 mm	压力容器使用条件	质量等级
所有牌号	≥12	设计压力大于或等于 10 MPa(不包括多层压力容器的层板)	不低于 I 级

5.1.9 用于设计温度高于 350 °C 的 Q370R、18MnMoNbR、13MnNiMoR 和 12Cr2Mo1VR 钢板,应按批进行设计温度下的高温拉伸试验,测定屈服强度和抗拉强度,试验按 GB/T 228.2 的规定进行,其高温屈服强度值见表 C.1。

5.1.10 压力容器受压元件用钢板,其使用温度下限按表 3 的规定。

表 3 钢板的使用温度下限

牌号	钢板厚度 mm	使用状态	冲击试验要求	使用温度下限 °C
中常温用钢板				
Q245R	<6	正火	免冲击试验	-20
	6~12		0 °C 冲击	-20
	>12~16			-10
	>16~250			0
	>12~250		-20 °C 冲击 ^a	-20
GB/SA 516 Gr485	3~200	正火	0 °C 冲击	0
			-20 °C 冲击 ^a	-20
Q345R	<6	正火,正火加回火	免冲击试验	-20
	6~20		0 °C 冲击	-20
	>20~25			-10
	>25~250			0
	>20~250		-20 °C 冲击 ^a	-20
GB/SA 537 Cl.1	3~100	正火	0 °C 冲击	0
			-20 °C 冲击 ^a	-20
Q370R	6~100	正火	-20 °C 冲击	-20
Q420R	5~30	正火	-20 °C 冲击	-20
Q460R	5~20	正火	-20 °C 冲击	-20
18MnMoNbR	30~100	正火加回火	0 °C 冲击	0
13MnNiMoR	30~150	正火加回火	0 °C 冲击	0
			-20 °C 冲击 ^a	-20
15CrMoR	6~200	正火加回火	20 °C 冲击	20
GB/SA 387 Gr12 Cl.2	6~150	正火	20 °C 冲击	20
14Cr1MoR	6~200	正火加回火	20 °C 冲击	20

表 3 钢板的使用温度下限 (续)

牌号	钢板厚度 mm	使用状态	冲击试验要求	使用温度下限 ℃
12Cr2Mo1R	6~200	正火加回火	20℃冲击	20
12Cr2Mo1VR	6~200	正火加回火	-20℃冲击	-20
12CrMo1VR	6~100	正火加回火	20℃冲击	20
Q490R	10~60	调质	-20℃冲击	-20
Q490RW	10~60	调质	-20℃冲击	-20
Q580R	10~60	调质	-20℃冲击	-20
低温用钢板				
16MnDR	6~120	正火,正火加回火	-40℃冲击	-40
Q420DR	5~30	正火,正火加回火	-40℃冲击	-40
Q460DR	5~20	正火,正火加回火	-40℃冲击	-40
15MnNiNbDR	10~60	正火,正火加回火	-50℃冲击	-50
13MnNiDR	6~100	正火,正火加回火	-60℃冲击	-60
09MnNiDR	6~80	正火,正火加回火	-70℃冲击	-70
	>80~120		-60℃冲击	-60
11MnNiMoDR	6~100	调质	-70℃冲击	-70
08Ni3DR	6~100	正火,正火加回火,调质	-100℃冲击	-100
07Ni5DR	6~50	正火,正火加回火,调质	-120℃冲击	-120
06Ni7DR	5~12	正火、正火加回火,调质	-196℃冲击	-196
	>12~50	调质	-196℃冲击	-196
06Ni9DR	5~12	正火、正火加回火,调质	-196℃冲击	-196
	>12~50	调质	-196℃冲击	-196
Q490DRL1	10~60	调质	-40℃冲击	-40
Q490DRL2	10~60	调质	-50℃冲击	-50
Q580DR	10~50	调质	-50℃冲击	-50
a 按供需双方协议。				

5.1.11 ASME BPVC. II .A-2021 SA-516/SA-516M、SA-537/SA-537M、SA-387/SA-387M 中 SA-516 Gr485(GB/SA 516 Gr485)、SA-537 Cl.1(GB/SA 537 Cl.1)和 SA-387 Gr12 Cl.2(GB/SA 387 Gr12 Cl.2)钢板的使用状态、厚度范围、使用温度范围、许用应力应符合表 B.1 的规定,超声检测要求、使用温度下限应符合表 2、表 3 的规定,质量证明书中 C 含量、P 含量、S 含量,A 值、KV₂值等指标还应满足本文件对 Q345R、Q345R 和 15CrMoR 的相关要求。

5.2 高合金钢钢板

5.2.1 GB/T 713.5、GB/T 713.7 中钢板的厚度、使用温度上限及许用应力应符合表 B.2 的规定。

5.2.2 表 B.2 中钢板应由经炉外精炼的钢轧制而成。用连铸坯或钢锭轧制的钢板,压缩比不应小于 3.0。

5.2.3 钢板的交货状态应符合 GB/T 713.7 和 GB/T 713.5 的规定。铁素体型不锈钢钢板应以退火状态交货,奥氏体-铁素体型不锈钢钢板和奥氏体型不锈钢钢板应以固溶热处理状态交货。奥氏体高锰钢板应以热机械轧制(TMCP)状态交货。

5.2.4 厚度大于 6 mm 的奥氏体高锰 Q400GMDR 钢板应按 NB/T 47013.3 的规定进行超声检测,质量等级应不低于 I 级。

5.2.5 压力容器用钢板宜采用 GB/T 713.7 规定的厚度普通精度钢板,当采用 GB/T 713.7 规定的厚度较高精度钢板时,应在设计文件中注明。

注: GB/T 713.7 中热轧厚钢板、热轧钢板及钢带的尺寸精度分为厚度普通精度(代号 PT.A)和厚度较高精度(代号 PT.B)两个等级。

5.2.6 压力容器用钢板热轧产品宜采用 1 D,冷轧产品宜采用 2 B。设计文件中应注明定钢板的表面加工类型。

注: GB/T 713.7 中钢板的表面加工类型,热轧产品分为 1E(热轧、热处理、机械除氧化皮)和 1 D(热轧、热处理、酸洗),冷轧产品分为 2 D(冷轧、热处理、酸洗或除鳞)、2 B(冷轧、热处理、酸洗或除鳞、光亮加工)和 BA(冷轧、光亮退火)。

5.2.7 奥氏体型不锈钢钢板、奥氏体-铁素体型不锈钢钢板应按 GB/T 4334 或 GB/T 21433 的规定进行晶间腐蚀试验,铁素体型不锈钢钢板应按 GB/T 31935 或 GB/T 32571 的规定进行晶间腐蚀试验,试验方法和评定标准应在设计文件中规定。

5.2.8 当使用温度高于 600 °C 时,对统一数字代号为 S30409、S31609、S32169、S34779 的耐热钢钢板应按 GB/T 6394 的规定进行晶粒度检验,平均晶粒度级别应为 3 级~7 级。

5.2.9 奥氏体高锰 Q400GMDR 钢板应进行 -196 °C 冲击试验,冲击试验结果应符合 GB/T 713.5 的规定。奥氏体型不锈钢钢板的冲击试验结果应符合 GB/T 713.7、4.10b) 的规定。

5.2.10 用于壳体的钢板,使用温度下限应符合下列规定:

- a) 铁素体型不锈钢板为 0 °C;
- b) 奥氏体-铁素体型不锈钢板为 -40 °C;
- c) 奥氏体型不锈钢板为 -269 °C;
- d) 奥氏体高锰钢 Q400GMDR 钢板为 -196 °C。

5.2.11 设计文件可按 GB/T 713.7 提出对奥氏体型不锈钢钢板附加检验规定塑性延伸强度($R_{p1.0}$)的要求,并按标准规定的规定塑性延伸强度($R_{p1.0}$)和 GB/T 4732.1 的规定确定钢板的许用应力。

5.3 复合板

5.3.1 不锈钢-钢复合板符合下列规定:



- a) 不锈钢-钢复合板的技术要求应符合 NB/T 47002.1 的规定,不计入强度计算的奥氏体型不锈钢覆材可选用 GB/T 20878 中的钢材,其磷、硫含量,强度指标可低于 GB/T 713.7 中化学成分相近牌号的规定(耐腐蚀性能除外);
- b) 不锈钢-钢复合板的级别应不低于 2 级,未结合率不应大于 2%,设计文件中应注明不锈钢-钢复合板的级别;
- c) 不锈钢-钢复合板的使用温度范围应与基材和覆材使用温度范围相一致;
- d) 不锈钢-钢复合板复合界面的结合剪切强度不应小于 210 MPa。

5.3.2 镍-钢复合板符合下列规定:

- a) 镍-钢复合板的技术要求应符合 NB/T 47002.2 的规定;
- b) 镍-钢复合板的级别应不低于 2 级,未结合率不应大于 2%,设计文件中应注明镍-钢复合板的级别;

- c) 镍-钢复合板的使用温度范围应与基材和覆材使用温度范围的规定相一致,其中基材的使用温度范围应符合本文件的规定,覆材的使用温度范围应符合 JB/T 4756 的规定;
- d) 镍-钢复合板复合界面的结合剪切强度不应小于 210 MPa。

5.3.3 钛-钢复合板符合下列规定:

- a) 钛-钢复合板的技术要求应符合 NB/T 47002.3 的规定;
- b) 钛-钢复合板的级别应不低于 2 级,未结合率不应大于 2%,设计文件中应注明钛-钢复合板的级别;
- c) 钛-钢复合板的使用温度下限应与基材的规定相一致,使用温度上限为 350 °C;
- d) 钛-钢复合板复合界面的结合剪切强度不应小于 140 MPa。

5.3.4 铜-钢复合板符合下列规定:

- a) 铜-钢复合板的技术要求应符合 NB/T 47002.4 的规定;
- b) 铜-钢复合板的级别应不低于 2 级,未结合率不应大于 2%,设计文件中应注明铜-钢复合板的级别;
- c) 铜-钢复合板的使用温度下限应与基材的规定相一致,使用温度上限为 200 °C;
- d) 铜-钢复合板复合界面的结合剪切强度不应小于 100 MPa。

6 钢管

6.1 非合金钢和合金钢钢管

6.1.1 钢管的使用状态、壁厚、使用温度上限及许用应力应符合表 B.3 的规定。对壁厚大于 30 mm 的钢管、使用温度低于 -20 °C 的钢管,表中的正火不应用终轧温度符合正火温度的热轧来代替。

6.1.2 表 B.3 中用于设计温度低于 -20 °C 的钢管用钢应采用电弧炉加炉外精炼并经真空精炼处理,或氧气转炉加炉外精炼并经真空精炼处理,或采用电渣重熔法冶炼。

6.1.3 GB/T 8163 中 10、20 和 Q345D 钢管的使用符合下列规定:

- a) 钢管用钢应采用电弧炉加炉外精炼方法冶炼,或采用氧气转炉加炉外精炼方法冶炼;
- b) 不应用于管壳式换热器的换热管;
- c) 钢中硫含量应不大于 0.020%;
- d) 设计压力不应大于 4.0 MPa;
- e) 外径不小于 76 mm 且壁厚不小于 6.5 mm 的 10、20 和 Q345D 钢管,应进行纵向冲击试验,冲击试验温度分别为 -10 °C、0 °C 和 -20 °C,3 个标准试样的冲击吸收能量平均值分别不小于 34 J、34 J 和 41 J,1 个标准试样的最低值以及小尺寸试样的冲击吸收能量应符合 4.11b) 的规定,冲击试样应选用较大尺寸的试样;
- f) 10、20 和 Q345D 钢管的使用温度下限应分别为 -10 °C、0 °C 和 -20 °C;
- g) 10、20 钢管壁厚不大于 10 mm,Q345D 钢管壁厚不大于 16 mm;
- h) 不应用于输送毒性危害程度为极度、高度危害的介质;
- i) 钢管应逐根进行液压试验。也可按 GB/T 7735—2016 的规定以逐根钢管进行涡流检测替代液压试验,对比样管人工缺陷应符合 GB/T 7735—2016 中验收等级 E4H 或 E4、E5 的规定。

6.1.4 GB/T 6479 中各牌号钢管的使用应符合下列规定:

- a) 钢管用钢应采用电弧炉加炉外精炼并经真空精炼处理,或采用氧气转炉加炉外精炼并经真空精炼处理,或采用电渣重熔法冶炼;
- b) 外径不小于 76 mm 且壁厚不小于 6.5 mm 的 10、20、Q345D 和 Q345E 钢管,应分别进行 -10 °C、0 °C、-20 °C、和 -40 °C 的纵向冲击试验,3 个标准试样的冲击吸收能量平均值分别不小于 40 J、40 J、41 J 和 47 J,1 个标准试样的最低值以及小尺寸试样的冲击吸收能量指标按

4.11b)的规定,冲击试样应优先选用较大尺寸的试样;

- c) 10、20、Q345D 和 Q345E 钢管的使用温度下限分别为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- d) 外径不小于 76 mm 且壁厚不小于 6.5 mm 的 12CrMo、15CrMo、12Cr2Mo 和 12Cr5Mo 钢管,应进行 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的纵向冲击试验,3 个标准试样的冲击吸收能量平均值不小于 47 J、47 J、60 J 和 47 J,1 个标准试样的最低值以及小尺寸试样的冲击吸收能量应符合 4.11b)的规定,冲击试样应选用较大尺寸的试样;
- e) 钢管应逐根进行液压试验。也可按 GB/T 7735—2016 的规定以逐根钢管进行涡流检测替代液压试验,对比样管人工缺陷应符合 GB/T 7735—2016 中验收等级 E4H 或 E4、E5 的规定。

6.1.5 GB/T 9948 中各牌号钢管的使用符合下列规定:

- a) 钢管用钢均应采用电弧炉加炉外精炼并经真空精炼处理,或采用氧气转炉加炉外精炼并经真空精炼处理,或采用电渣重熔法冶炼;
- b) 外径不小于 76 mm 且壁厚不小于 6.5 mm 的 10 和 20 钢管,应进行纵向冲击试验,冲击试验温度分别为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,3 个标准试样的冲击吸收能量平均值不小于 40 J,1 个标准试样的最低值以及小尺寸试样的冲击吸收能量应符合 4.11b)的规定,冲击试样应选用较大尺寸的试样;
- c) 10 和 20 钢管的使用温度下限分别为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- d) 经供需双方协商,并在合同中注明,20 钢管可进行 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的纵向冲击试验,3 个标准试样的冲击吸收能量平均值不小于 40 J,此时 20 钢管的使用温度下限为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- e) 外径不小于 76 mm 且壁厚不小于 6.5 mm 的 12CrMo、15CrMo、12Cr1MoV、12Cr2Mo 和 12Cr5MoI(I 为完全退火或等温退火)钢管,应进行 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的纵向冲击试验,3 个标准试样的冲击吸收能量平均值分别不小于 47 J、47 J、47 J、60 J 和 47 J,1 个标准试样的最低值以及小尺寸试样的冲击吸收能量应符合 4.11b)的规定,冲击试样应选用较大尺寸的试样;
- f) 钢管应逐根进行液压试验。也可按 GB/T 7735—2016 以逐根进行涡流检测替代液压试验,对比样管人工缺陷应符合 GB/T 7735—2016 中验收等级 E4H 或 E4、E5 的规定。

6.1.6 GB/T 5310 中各牌号钢管的使用符合下列规定:

GB/T 5310 中的 20G、12CrMoG、15CrMoG 和 12Cr2MoG 钢管可分别代用 GB/T 6479 中的 20、12CrMo、15CrMo 和 12Cr2Mo 钢管,GB/T 5310 中的 20G、12CrMoG、15CrMoG、12Cr1MoVG 和 12Cr2MoG 钢管可分别代用 GB/T 9948 中的 20、12CrMo、15CrMo、12Cr1MoV 和 12Cr2Mo 钢管,但冲击试验要求应分别符合 6.1.4 和 6.1.5 的规定。

6.1.7 使用温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的钢管,其牌号、化学成分、交货状态和拉伸性能应分别符合 GB/T 6479 和 NB/T 47019.1、NB/T 47019.4 的规定,其钢管标准、使用状态、壁厚、冲击试验温度、冲击吸收能量平均值和使用温度下限应符合表 4 的规定,1 个标准试样的最低值以及小尺寸试样的冲击吸收能量指标应符合 4.11b)的规定。冲击试样应选用较大尺寸的试样。

表 4 钢管的壁厚、冲击试验和使用温度下限

牌号	钢管标准	使用状态	壁厚 mm	冲击试验温度 $^{\circ}\text{C}$	3 个试样冲击吸收 能量平均值($\overline{KV_2}$) J	使用温度下限 $^{\circ}\text{C}$
Q345E	GB/T 6479	正火	≤ 50	-40	≥ 47	-40
	NB/T 47019.4		≤ 16			
09MnD	NB/T 47019.4	正火	≤ 16	-50	≥ 60	-50

表 4 钢管的壁厚、冲击试验和使用温度下限 (续)

牌号	钢管标准	使用状态	壁厚 mm	冲击试验温度 ℃	3 个试样冲击吸收 能量平均值($\overline{KV_2}$) J	使用温度下限 ℃
09MnNiD	NB/T 47019.4	正火	≤16	-70	≥60	-70
08Ni3MoD	NB/T 47019.4	正火	≤16	-100	≥60	-100

6.2 高合金钢钢管

6.2.1 GB/T 13296、GB/T 14976、GB/T 21833.1 和 GB/T 21833.2 中钢管的壁厚、使用温度上限及许用应力应符合表 B.4 的规定。钢管的交货状态应符合表 B.4 中相应钢管标准的规定。

6.2.2 管壳式换热器的换热管不应采用 GB/T 14976、GB/T 21833.2 中规定的钢管。

6.2.3 GB/T 21833.1 中钢管应按 GB/T 13305 的规定进行相比例测定,金相组织应为奥氏体加铁素体,奥氏体含量应为 40%~60%。

6.2.4 钢管的使用温度下限应符合下列规定:

- a) GB/T 21833.1、GB/T 21833.2 各牌号钢管,使用温度下限为-40℃;
- b) GB/T 13296、GB/T 14976 各奥氏体型不锈钢牌号钢管,使用温度下限为-269℃。

6.2.5 选用 GB/T 1220 中直径不大于 50 mm 的 S30403、S30408、S32168、S31603、S31608、S31703 和 S31008 钢棒制造的钢管应符合下列规定:

- a) 厚度不大于 10 mm;
- b) 固溶或稳定化处理状态下使用;
- c) 许用应力选用表 B.4 中 GB/T 14976 规定的相应牌号许用应力;
- d) 使用温度下限为-269℃;
- e) 硬度(或拉伸)试验、无损检测要求在设计文件中规定。

7 钢锻件

7.1 非合金钢和合金钢锻件

7.1.1 钢锻件的使用状态、公称厚度、使用温度上限及许用应力应符合表 B.5 的规定。

7.1.2 20MnNiMo、12Cr2MoIV、12Cr3MoIV、35CrNi3MoV 和 36CrNi3MoV 钢锻件用钢以及 NB/T 47009 中所有低温钢锻件用钢,应采用炉外精炼加真空精炼处理。

7.1.3 钢锻件的类型和级别应由设计文件规定,并应在图样上注明,应以牌号后加级别符号表示(如 16Mn 级、09MnNiD 号)。下列钢锻件应选用Ⅲ级或Ⅳ级锻件:

- a) 用作容器筒体、封头的筒形、环形、碗形锻件;
- b) 公称厚度大于 200 mm 的合金钢锻件;
- c) 公称厚度大于 100 mm 且标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 的合金钢锻件;
- d) 公称厚度大于 100 mm 的低温钢锻件;
- e) 有疲劳工况的压力容器。

7.1.4 用于设计温度高于 350℃ 的 20MnMoNb、20MnNiMo、12Cr2MoIV 和 12Cr3MoIV 钢的Ⅲ级或Ⅳ级钢锻件,应按批(Ⅲ级)或逐件(Ⅳ级)进行设计温度下的高温拉伸试验,测定屈服强度和抗拉强度,屈服强度值见表 C.5。

7.1.5 对于 12Cr2Mo1、12Cr2Mo1V 和 12Cr3Mo1V 钢锻件,设计文件应规定其化学成分和力学性能(包括模拟焊后热处理之后的性能)的特殊要求。

7.1.6 对于外购的Ⅲ类压力容器用Ⅳ级锻件,应按相应的锻件标准进行复验。

7.1.7 钢锻件的使用温度下限应符合表 5 的规定。

表 5 钢锻件的使用温度下限

牌号	公称厚度 mm	冲击试验要求	使用温度下限 ℃
中常温用钢锻件			
20	≤300	0℃冲击	0
		-20℃冲击 ^a	-20
35	≤100	20℃冲击	0
	>100~300		20
16Mn	≤300	0℃冲击	0
		-20℃冲击 ^a	-20
08Cr2AlMo	≤200	20℃冲击	20
09CrCuSb	≤200	20℃冲击	20
20MnMo	≤850	0℃冲击	0
		-20℃冲击 ^a	-20
20MnMoNb	≤500	0℃冲击	0
		-20℃冲击 ^a	-20
20MnNiMo	≤500	-20℃冲击 ^a	-20
15NiCuMoNb	≤500	20℃冲击	20
12CrMo	≤100	20℃冲击	20
15CrMo	≤500	20℃冲击	20
14Cr1Mo	≤500	20℃冲击	20
12Cr2Mo1	≤500	20℃冲击	20
12Cr2Mo1V	≤500	-20℃冲击	-20
12Cr3Mo1V	≤500	-20℃冲击	-20
12Cr1MoV	≤500	20℃冲击	20
12Cr5Mo	≤300	20℃冲击	20
10Cr9Mo1VNbN	≤300	20℃冲击	20
10Cr9MoW2VNbBN	≤300	20℃冲击	20
30CrMo	≤300	0℃冲击	0
35CrMo	≤500	0℃冲击	0
35CrNi3MoV	≤300	-20℃冲击	-20
		-40℃冲击 ^a	-40

表 5 钢锻件的使用温度下限 (续)

牌号	公称厚度 mm	冲击试验要求	使用温度下限 ℃
36CrNi3MoV	≤300	−20 ℃ 冲击	−20
		−40 ℃ 冲击 ^a	−40
低温钢锻件			
16MnD	≤100	−45 ℃ 冲击	−45
	>100~300	−40 ℃ 冲击	−40
20MnMoD	≤300	−40 ℃ 冲击	−40
	>300~700	−30 ℃ 冲击	−30
08MnNiMoVD	≤300	−40 ℃ 冲击	−40
10Ni3MoVD	≤300	−50 ℃ 冲击	−50
09MnNiD	≤300	−70 ℃ 冲击	−70
08Ni3D	≤300	−100 ℃ 冲击	−100
06Ni9D	≤125	−196 ℃ 冲击	−196
^a 按照供需双方协议。			

7.2 高合金钢锻件

7.2.1 钢锻件的公称厚度、使用温度上限及许用应力应符合表 B.6 的规定。钢锻件的交货状态应符合 NB/T 47010 的规定。

7.2.2 高合金钢锻件用钢应采用炉外精炼处理。

7.2.3 钢锻件的类型和级别应由设计文件规定,并应在图样上注明,应以牌号后加级别符号表示(如 S30408 II)。用作容器筒体和封头的筒形、环形、碗形锻件应选用 III 级或 IV 级锻件。

7.2.4 钢锻件的使用温度下限应符合下列规定:

- a) 铁素体型不锈钢锻件,使用温度下限为 0 ℃;
- b) 奥氏体-铁素体型不锈钢锻件,使用温度下限为 −40 ℃;
- c) 奥氏体型不锈钢锻件,使用温度下限为 −269 ℃。

8 螺柱(含螺栓)和螺母用钢棒

8.1 非合金钢、低合金钢和耐热钢钢棒

8.1.1 钢棒的使用状态、螺柱规格、使用温度上限及许用应力应符合表 B.7 的规定。

8.1.2 非合金钢 20 钢、35 钢螺柱用钢棒应符合 GB/T 699 的规定,螺柱用毛坯应进行正火热处理。

8.1.3 低合金钢螺柱用钢棒应符合 GB/T 3077 的规定,选用 40MnB、40MnVB、40Cr、30CrMo、35CrMo、35CrMoV、25Cr2MoV 和 40CrNiMo 时,应选用高级优质钢(牌号后加“A”)或特级优质钢(牌号后加“E”),螺柱用毛坯应按表 6 的规定进行调质热处理。

表 6 非合金钢、低合金钢和耐热钢螺柱用钢棒的力学性能

牌号	热处理状态/ 调质状态的 回火温度 ℃	规格 mm	材料标准 抗拉强度 (R_m) MPa	材料标准 屈服强度 [R_{eL} ($R_{p0.2}$)] MPa	断后伸长 率(A) %	0℃冲击吸 收能量平均 值($\overline{KV_2}$) J
20	正火	≤M22	≥410	≥245	≥25	≥41
		M24~M48	≥410	≥245		
35	正火	≤M22	≥530	≥315	≥20	≥47
		M24~M48	≥530	≥315		
40MnB	≥550	≤M22	≥805	≥685	≥14	≥54
		M24~M48	≥765	≥635		
40MnVB	≥550	≤M22	≥835	≥735	≥13	≥54
		M24~M48	≥805	≥685		
40Cr	≥550	≤M22	≥805	≥685	≥14	≥54
		M24~M48	≥765	≥635		
30CrMo	≥600	≤M22	≥700	≥550	≥16	≥60
		M24~M80	≥660	≥500		
35CrMo	≥560	≤M22	≥835	≥735	≥14	≥54
		M24~M80	≥805	≥685		
		M85~M105	≥735	≥590		
35CrMoV	≥630	M52~M105	≥835	≥735	≥13	≥54
		M110~M180	≥785	≥665		
25Cr2MoV	≥640	≤M48	≥835	≥735	≥14	≥54
		M52~M105	≥805	≥685		
		M110~M180	≥735	≥590		
40CrNiMo	≥600	M52~M180	≥930	≥825	≥13	≥60
12Cr5Mo (S45110)	≥650	≤M48	≥590	≥390	≥18	≥54

括号中的统一数字代号应按 GB/T 20878 的规定

8.1.4 螺柱用耐热(合金)钢 12Cr5Mo(S45110)钢棒应符合 GB/T 1221 的规定,螺柱用毛坯应按表 6 的规定进行调质热处理。

8.1.5 正火热处理后的非合金钢、调质热处理后的低合金钢和耐热合金钢钢棒应进行拉伸试验和冲击试验。拉伸试验方法按 GB/T 228.1 的规定,拉伸试样采用 $d=10\text{ mm}$, $L_0=50\text{ mm}$ 的试样。拉伸试验和冲击试验结果应符合表 6 的规定,冲击试验 1 个标准试样的最低值以及小尺寸试样的冲击吸收能量应符合 4.11b) 的规定。

8.1.6 非合金钢、低合金钢螺柱的使用温度下限及化学成分符合下列规定。

- a) 20 钢螺柱的使用温度下限为 $-20\text{ }^\circ\text{C}$, 35、40MnB、40MnVB 和 40Cr 钢螺柱的使用温度下限为 $0\text{ }^\circ\text{C}$, 其他牌号螺柱的使用温度下限为 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 。

- b) 当使用温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 30CrMo 和 35CrMo 钢棒用钢, 其化学成分(熔炼分析)中, 磷含量应不大于 0.020%, 硫含量应不大于 0.010%; 当使用温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 40CrNiMo 钢棒用钢, 以及当使用温度为 $-70\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 30CrMo 钢棒用钢, 其化学成分(熔炼分析)中, 磷含量应不大于 0.015%, 硫含量应不大于 0.008%。
- c) 30CrMo、35CrMo 和 40CrNiMo 钢螺柱使用温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 应进行使用温度下的低温冲击试验, 此时表 6 中的冲击试验温度由 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 改为使用温度, 低温冲击吸收能量应符合表 7 的规定。

表 7 低温螺柱用钢棒的冲击吸收能量

牌号	螺柱规格 mm	最低冲击试验温度 $^{\circ}\text{C}$	冲击吸收能量平均值($\overline{KV_2}$) J
30CrMo	$\leq M80$	-100	≥ 54
35CrMo	$\leq M80$	-70	≥ 54
40CrNiMo	M52~M80	-50	≥ 54

8.1.7 与螺柱用钢组合使用的螺母用钢可按表 8 选取, 也可选用有使用经验的其他螺母用钢。调质状态使用的螺母用钢其回火温度应高于组合使用的螺柱用钢的回火温度。

表 8 螺母用非合金钢、低合金钢和耐热钢

螺柱用钢 牌号	螺母用钢			使用温度范围 $^{\circ}\text{C}$
	牌号	钢材标准	使用状态	
20	10、15	GB/T 699	正火	$-20 \sim 350$
35	20、25	GB/T 699	正火	$0 \sim 350$
40MnB	40Mn、45	GB/T 699	正火	$0 \sim 400$
40MnVB	40Mn、45	GB/T 699	正火	$0 \sim 400$
40Cr	40Mn、45	GB/T 699	正火	$0 \sim 400$
30CrMo	40Mn、45	GB/T 699	正火	$0 \sim 400$
	30CrMo	GB/T 3077	调质	$-100 \sim 500$
35CrMo	40Mn、45	GB/T 699	正火	$0 \sim 400$
	30CrMo、35CrMo	GB/T 3077	调质	$-70 \sim 500$
35CrMoV	35CrMo、35CrMoV	GB/T 3077	调质	$-20 \sim 425$
25Cr2MoV	30CrMo、35CrMo	GB/T 3077	调质	$-20 \sim 500$
	25Cr2MoV	GB/T 3077	调质	$-20 \sim 550$
40CrNiMo	35CrMo、40CrNiMo	GB/T 3077	调质	$-50 \sim 350$
12Cr5Mo (S45110)	12Cr5Mo (S45110)	GB/T 1221	调质	$-20 \sim 600$

括号中的统一数字代号应按 GB/T 20878 的规定

8.2 高合金钢钢棒

8.2.1 钢棒的使用状态、螺柱规格、使用温度上限及许用应力符合表 B.8 的规定。

8.2.2 各牌号螺柱用钢棒应按批进行拉伸试验,同一牌号、同一冶炼炉号、同一断面尺寸、同一热处理制度和同期制造的钢棒(螺柱用毛坯)组成一批,每批抽取一件进行试验。试验要求和结果应符合 GB/T 1220 的规定。

8.2.3 高合金钢螺柱的使用温度下限应符合下列规定:

- a) 马氏体型不锈钢 S42020 螺柱,使用温度下限为 0 °C;
- b) 奥氏体型不锈钢螺柱,使用温度下限为 -269 °C。

8.2.4 与螺柱用钢组合使用的螺母用钢可按表 9 选取,也可选用有使用经验的其他螺母用钢。调制状态使用的螺母用钢,其回火温度应高于组合使用的螺柱用钢的回火温度。

表 9 螺母用高合金钢

螺柱用钢统一数字代号	螺母用钢			
	统一数字代号	钢材标准	使用状态	使用温度范围 °C
S42020 (20Cr13)	S42020	GB/T 1220	调质	0~400
S30408	S30408	GB/T 1220	固溶	-269~700
S31008	S31008	GB/T 1220	固溶	-269~800
S31608	S31608	GB/T 1220	固溶	-269~700
S32168	S32168	GB/T 1220	固溶	-269~700

括号中的 20Cr13 为牌号

8.2.5 固溶处理后经应变强化处理的 S30408 螺柱用钢棒应符合 GB/T 4226 的规定。同一冶炼炉号、同一断面尺寸、同一固溶处理制度和同一应变强化工艺的钢棒(螺柱用毛坯)组成一批,每批抽取一件进行试验。每件毛坯上取 1 个拉伸试样,3 个冲击试样(当需要时)。试样取样方向为纵向,试样的纵轴应靠近螺柱毛坯半径的 1/2 处。螺柱毛坯的力学性能符合下列规定:

- a) 螺柱毛坯的拉伸性能和螺柱的许用应力符合表 10 的规定;

表 10 应变强化处理的螺柱用钢拉伸性能和许用应力

牌号	螺柱规格 mm	材料标准抗拉 强度下限值(R_m) MPa	规定塑性延伸 强度($R_{p0.2}$) MPa	断后伸长率 (A) %	≤100 °C 的 许用应力 MPa
S30408	≤M22	≥800	≥600	≥13	171
	M24~M80	≥750	≥510	≥15	170

- b) 使用温度低于 -100 °C 时,螺柱用钢棒应进行使用温度下的低温冲击试验,3 个标准试样冲击吸收能量平均值($\overline{KV_2}$)不小于 54 J,1 个标准试样的最低值以及小尺寸试样的冲击吸收能量指标符合 4.11b) 的规定。

8.3 螺柱无损检测要求

8.3.1 螺柱粗加工后(螺纹加工前),对规格不小于 M36 的螺柱应按 NB/T 47013.3 的规定进行 100% 的超声检测,质量等级为 I 级,同时应按 NB/T 47013.4 或 NB/T 47013.5 的规定进行表面检测,线性缺陷和圆形缺陷质量等级为 I 级。

8.3.2 螺柱的螺纹宜采用滚制方法加工。螺纹加工后应按 NB/T 47013.4 或 NB/T 47013.5 的规定进行表面检测,不应有任何裂纹显示和任何横向缺陷显示。

9 焊接材料

9.1 压力容器受压元件的焊接材料应符合 NB/T 47018.1~NB/T 47018.5 的规定。

9.2 压力容器受压元件的焊接材料,其熔敷金属拉伸抗拉强度宜不低于钢材标准规定的下限值。

9.3 压力容器受压元件的焊接材料,其熔敷金属冲击吸收能量不宜低于钢材标准的规定。当冲击吸收能量低于钢材标准规定的下限值时,应按 NB/T 47014 规定的方法制作焊接试件,其焊缝金属冲击吸收能量应符合表 1 的规定。

9.4 用于焊后热处理压力容器受压元件的焊接材料,其熔敷金属的焊后热处理保温温度宜与压力容器焊后热处理的保温温度相同,保温时间不少于压力容器制造过程中累计保温时间的 80%。

9.5 用于标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 合金钢钢材或用于使用温度低于 -40 °C 钢材的焊接材料熔敷金属化学成分中,磷含量应不大于 0.020%,硫含量应不大于 0.010%。

9.6 厚度大于 36 mm 且标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 合金钢钢材用焊接材料,其熔敷金属扩散氢含量不大于 5 mL/100 g,熔敷金属扩散氢含量的测量按照 GB/T 3965 的规定进行。

9.7 对设计温度低于 -20 °C 且厚度大于 36 mm 的调质状态的钢材和设计温度低于 -40 °C 且厚度大于 60 mm 的正火或正火加回火状态的钢材用焊接材料的熔敷金属可附加落锤试验。熔敷金属试板制备应符合 NB/T 47018.1~NB/T 47018.5 的规定,试验按 GB/T 6803 的规定进行,采用 P-2 型试样,无塑性转变温度(NDTT)的合格指标应在设计文件中规定。

9.8 对厚度大于 50 mm 调质状态、厚度大于 100 mm 正火或正火加回火状态的壳体用钢板,其产品焊接试件的焊接接头,应规定较严格的冲击试验要求,设计文件可选用下列方法之一:

- a) 焊接接头(包括焊缝和热影响区)冲击试验温度按设计温度,冲击性能指标高于表 1 规定的最低要求;
- b) 焊接接头(包括焊缝和热影响区)冲击试验温度低于设计温度,冲击性能指标符合表 1 的规定。

9.9 压力容器受压元件的焊接材料,其熔敷金属的高温拉伸性能、耐蚀(应力腐蚀)性能等不宜低于对钢材的相关规定。

9.10 焊接用气体应符合 GB/T 39255 的规定。

附录 A
(规范性)
钢材的补充规定

A.1 总体要求

A.1.1 本附录对下列钢材提出了要求：

- a) 已列入本文件但未列入压力容器(承压设备)专用钢板、专用锻件、钢管国家标准或者行业标准的钢材(5.1.11 中的钢材除外)；
- b) 未列入本文件的钢材。

A.1.2 选用已列入本文件,但未列入压力容器(承压设备)专用钢板、专用锻件、钢管国家标准或者行业标准的钢材(符合 4.3 规定的钢材除外),应符合本附录的规定。钢材研制单位应进行钢材的研制,提供必要的材料数据(包括化学成分、拉伸性能、疲劳试验数据、断裂韧性以及其他满足该材料使用范围要求的相应性能参数)。钢材应经压力容器用材料(钢板、锻件)型式试验机构的试验验证,证明其各项性能指标满足本文件要求的,可用于压力容器制造。

A.1.3 选用未列入本文件的钢材,应符合 4.17 和 4.18 的规定。

A.1.4 选用境外牌号的钢材,应符合 TSG 21 的规定。

A.2 低合金钢钢管

A.2.1 08Cr2AlMo 钢管的技术要求应符合下列规定：

- a) 钢的化学成分(熔炼分析)符合表 A.1 的规定；

表 A.1 08Cr2AlMo 钢的化学成分

化学成分							
%							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Mo
0.05~0.10	0.15~0.40	0.20~0.50	≤0.025	≤0.015	2.00~2.50	0.30~0.70	0.30~0.40

- b) 钢管以正火加回火热处理状态交货,回火温度不低于 680 ℃；
- c) 钢管的力学性能符合表 A.2 的规定；

表 A.2 08Cr2AlMo 钢管的力学性能

公称壁厚 mm	拉伸试验(纵向)		
	抗拉强度(R_m) MPa	下屈服强度(R_{eL}) MPa	断后伸长率(A) %
≤16	400~540	≥250	≥25

- d) 钢管的分类、代号、尺寸、外形、重量、试验方法、检验规则、包装、标志和质量证明书符合 GB/T 9948 的规定。

A.2.2 09CrCuSb 钢管的技术要求应符合下列规定。

a) 钢的化学成分(熔炼分析)符合表 A.3 的规定。

表 A.3 09CrCuSb 钢的化学成分

化学成分 %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Sb
≤0.12	0.20~0.40	0.35~0.65	≤0.025	≤0.015	0.70~1.10	0.25~0.45	0.04~0.10

b) 钢管以正火热处理状态交货。

c) 钢管的力学性能符合表 A.4 的规定。

表 A.4 09CrCuSb 钢管的力学性能

公称壁厚 mm	拉伸试验(纵向)		
	抗拉强度(R_m) MPa	下屈服强度(R_{el}) MPa	断后伸长率(A) %
≤16	390~550	≥245	≥25

- d) 钢管进行耐腐蚀性能试验,每批在 2 根钢管上各取 1 个试样,每个试样为长 10 mm 的管段。在质量分数为 50%的 H_2SO_4 溶液中,70 °C ± 2 °C 的恒温条件下浸泡 24 h。2 个试样腐蚀速率的平均值不大于 60 g/(m² × h) 或 100 g/(m² × h),具体指标在订货合同中注明。
- e) 钢管的分类、代号、尺寸、外形、重量、试验方法、检验规则、包装、标志和质量证明书符合 GB/T 9948 的规定。



表 B.1 非合金钢和合金钢板的许用应力 (续)

牌号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	室温强度指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa															
				R _m MPa	R _{el} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600
GB/SA 537 Cl.1	ASME BPVC, II.A SA-537M	正火	3~60	485	340	173	163	153	143	130	117	110									
			>60~100	450	310	158	150	140	131	119	107	101									
Q370R	GB/T 713.2	正火	10~16	530	370	221	221	213	200	190	180	170	160								
			>16~36	530	360	221	220	207	193	183	173	163	153								
			>36~60	520	340	217	207	193	183	173	167	157	147								
			>60~100	510	330	213	200	187	177	167	163	153	143								
Q420R	GB/T 713.2	正火	6~20	590	420	246	246	237	220	203	187	177	167								
			>20~30	570	400	238	238	227	210	193	180	170	160								
Q460R	GB/T 713.2	正火	6~20	630	460	263	263	260	237	217	200										
			30~60	570	400	238	238	238	238	237	233	227	207	195	177	117					
18MnMoNbR	GB/T 713.2	正火加回火	>60~100	570	390	238	238	238	237	233	230	223	203	192	177	117					
			30~100	570	390	238	238	238	237	233	230	223	203								
13MnNiMoR	GB/T 713.2	正火加回火	>100~150	570	380	238	238	238	230	227	223	217	200								
			6~60	450	295	188	180	170	160	150	140	133	126	123	119	118	88	58	37		
15CrMoR	GB/T 713.2	正火加回火	>60~100	450	275	183	167	157	147	140	131	124	117	115	111	110	88	58	37		
			>100~200	440	255	170	157	147	140	133	123	117	110	107	104	102	88	58	37		
GB/SA 387 Gr12 Cl.2	ASME BPVC, II.A SA-537M	正火加回火	6~150	450	275	170	157	147	140	133	123	117	110	107	104	102	88	58	37		
			6~100	520	310	207	187	180	170	163	153	147	140	135	130	124	80	54	33		
14Cr1MoR	GB/T 713.2	正火加回火	>100~200	510	300	200	180	173	163	157	147	140	133	130	127	121	80	54	33		
			6~100	510	300	200	180	173	163	157	147	140	133	130	127	121	80	54	33		

表 B.1 非合金钢和合金钢钢板的许用应力 (续)

牌号	钢板 标准	使用 状态	厚度 mm	室温强度 指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																	
				R_m MPa	R_{el} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600		
				12Cr2Mo1R	GB/T 713.2	正火加 回火	6~200	520	310	207	187	180	173	170	167	163	160	157	153	128	89	64	45
12Cr1MoVR	GB/T 713.2	正火加 回火	6~60	440	245	163	150	140	133	127	117	111	105	103	100	98	95	82	59	41			
			>60~100	430	235	157	147	140	133	127	117	111	105	103	100	98	95	82	59	41			
12Cr2Mo1VR	GB/T 713.2	正火加 回火	6~200	590	415	246	246	246	246	243	240	237	233	230	205	173	143	104	72				
16MnDR	GB/T 713.3	正火、正 火加回火	6~16	490	315	204	193	180	167	153	140	130											
			>16~36	470	295	196	180	167	157	143	130	120											
			>36~60	460	285	190	173	160	150	137	123	117											
			>60~100	450	275	183	167	157	147	133	120	113											
15MnNiNbDR	GB/T 713.3	正火、正 火加回火	>100~120	440	265	177	163	153	143	130	117	110											
			6~16	530	370	221	221	213	200	190	180												
			>16~36	530	360	221	220	207	193	183	173												
Q420DR	GB/T 713.3	正火、正 火加回火	>36~60	520	350	217	213	200	187	177	167												
			6~20	590	420	246	246	237	220	203	187												
Q460DR	GB/T 713.3	正火、正 火加回火	>20~30	570	400	238	238	227	210	193	180												
			6~20	630	460	263	263	260	237	217	200												
13MnNiDR	GB/T 713.3	正火、正 火加回火	5~36	490	345	204	204	200	187	173	160												
			>36~60	490	335	204	204	193	180	167	153												
			>60~100	490	325	204	200	187	173	160	147												

表 B.2 高合金钢板许用应力 (续)

统一数字代号	钢板标准	厚度 mm	室温强度指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																	其他					
			R _m MPa	R _{σ0.2} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	550	575	600	625	650	675		700	725	750	775	800
					MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa		MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
S30408	GB/T 713.7	1.5~100	520	230	153	140	130	122	114	111	107	103	100	98	95	67	62	52	42	32	27						
S30403	GB/T 713.7	1.5~100	500	220	147	132	118	110	103	98	94	91	88														
S30409	GB/T 713.7	1.5~100	520	220	147	147	140	130	122	114	111	107	103	100	98	95	67	62	52	42	32	27					
S30450	GB/T 713.7	1.5~100	600	290	193	180	167	149	144	135	131	125	122	117	115	113	111	108									
S30458	GB/T 713.7	1.5~100	550	240	193	133	123	110	107	100	97	93	90	87	85	83	82	80									
S30453	GB/T 713.7	1.5~100	515	205	160	129	115	105	97	93	89	87	83	80	77	73	71	69	52	42							
S30478	GB/T 713.7	1.5~100	585	275	137	137	137	130	122	116	111	106	103	99													
S30859	GB/T 713.7	1.5~100	600	310	183	183	158	141	131	125	121	117	113	108													
S30908	GB/T 713.7	1.5~100	515	205	183	137	117	105	97	93	89	87	83	80													
S31008	GB/T 713.7	1.5~100	520	205	207	207	185	167	158	153	149	144	140	135	133	131	129	126									
					207	153	137	123	117	113	110	107	103	100	99	97	95	93									
					137	137	137	137	135	131	127	124	121	117	85	59	44	32									
					137	119	111	105	100	97	94	92	89	87	85	59	44	32									
					137	137	137	137	134	130	125	122	119	115	114	112	109	61	43	31	23	19	15	12	10		
					137	121	111	105	99	96	93	90	88	85	84	83	81	61	43	31	23	19	15	12	10		

表 B.2 高合金钢板许用应力 (续)

统一数字代号	钢板标准	厚度 mm	室温强度 指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																				其他		
			R_m MPa	$R_{p0.2}$ MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750		775	800
					207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207		207	207
S31252	GB/T 713.7	1.5~100	655	310		147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147		
S31608	GB/T 713.7	1.5~100	520	220		147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147		
S31603	GB/T 713.7	1.5~100	520	210		140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140		
S31609	GB/T 713.7	1.5~100	515	220		147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147		
S31653	GB/T 713.7	1.5~100	515	205		137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137		
S31658	GB/T 713.7	1.5~100	550	240		160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160		
S31668	GB/T 713.7	1.5~100	520	205		137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137		
S31708	GB/T 713.7	1.5~100	520	205		137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137		
S31703	GB/T 713.7	1.5~100	520	205		137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137		
S32168	GB/T 713.7	1.5~100	520	205		137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137		

表 B.2 高合金钢板许用应力 (续)

统一数字代号	钢板标准	厚度 mm	室温强度指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																	其他					
			R _m MPa	R _{p0.2} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	550	575	600	625	650	675		700	725	750	775	800
					MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa		MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
S32169	GB/T 713.7	1.5~100	515	205	137	123	137	137	137	135	128	122	119	115	113	112	111	78	59	46	37	29	23				
S34778	GB/T 713.7	1.5~100	515	205	137	126	137	137	137	135	131	127	125	125	125	123	120	77	58	40	30	23	16				
S34779	GB/T 713.7	1.5~100	515	205	137	126	137	137	137	135	131	127	125	125	125	123	120	119	77	58	40	30	23	16			
S35656	GB/T 713.7	1.5~100	650	355	237	197	234	207	198	185	167																
S39042	GB/T 713.7	1.5~100	490	220	147	147	147	147	144	131	122																
Q400GMDR	GB/T 713.5	6~50	800	400	267	240	220																				●

对于奥氏体型不锈钢钢板,同一统一数字代号钢板第一行的许用应力仅适用于允许产生微量永久变形的元件,不适用于法兰、平盖或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场所

注 1: “●”代表该行的 Q400GMDR 为牌号。

注 2: 空白栏表示材料不适用于此温度或无备注。

表 B.3 非合金钢和合金钢管许用应力 (续)

牌号	钢管标准	使用状态	壁厚 mm	室温强度指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa															
				R _m MPa	R _{el} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600
						MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
12Cr1MoV	GB/T 9948	正火加回火	≤80	470	255	170	153	143	133	127	117	111	105	102	100	97	95	82	59	41	
12Cr2Mo	GB/T 6479	正火加回火	≤60	450	280	187	170	163	157	153	147	143	140	137	128	89	64	45	30		
	≤80																				
12Cr5Mo	GB/T 6479	退火	≤16	390	195	130	117	111	108	105	101	98	95	93	91	83	62	46	35	26	
			>16~40	390	185	123	111	105	101	98	95	91	88	86	85	82	62	46			
12Cr5MoI	GB/T 9948	退火	≤60	415	205	137	117	111	108	105	101	98	95	93	91	83	62	46	35	26	
08Cr2AlMo	附录 A	正火	≤16	400	250	167	150	140	130	123	117										
09CrCuSb	附录 A	正火	≤16	390	245	163	147	137	127	120	113										
16MnD	NB/T 47019.4	正火	≤16	490	325	204	197	183	170	153	140	130									
09MnD	NB/T 47019.4	正火	≤16	420	270	175	160	150	143	130	120	110									
09MnNiD	NB/T 47019.4	正火	≤16	440	280	183	170	157	150	143	137	127									
08Ni3MoD	NB/T 47019.4	正火	≤16	450	260	173	157	153	147	140	130										

注：空白栏表示材料不适用于此温度。

表 B.4 高合金钢管许用应力

统一数字代号	钢管标准	壁厚 mm	室温强度指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																			其他			
			R _m MPa	R _{p0.2} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725		750	775	800
S11348	GB/T 14976	≤30	415	205	137	104	101	100	99	97	95	90															
					173	159	149	142	136	131	125	119															
S11972	GB/T 14976	≤30	415	275	140	126	123	120	119	117	112	109															
					137	137	137	130	122	114	111	107	103	100	98	95	67	62	52	42	32	27					
S30408	GB/T 14976	≤30	520	205	137	114	103	96	90	85	82	79	76	74	73	71	67	62	52	42	32	27					
					117	117	117	110	103	98	94	91	88														
S30403	GB/T 14976	≤30	480	175	117	98	87	81	76	73	69	67	65														
					137	137	137	130	122	114	111	107	103	100	98	95	67	62	52	42	32	27					
S30409	GB/T 14976	≤40	520	205	137	114	103	96	90	85	82	79	76	74	73	71	67	62	52	42	32	27					
					160	160	155	141	131	125	121	117	113	108	104	98	71	69	52	42							
S30458	GB/T 14976	≤30	550	240	160	129	115	105	97	93	89	87	83	80	77	73	71	69	52	42							
					137	137	137	130	121	116	111	106	103	99													
S30453	GB/T 14976	≤30	515	205	137	113	103	96	90	86	82	79	76	73													
					183	183	158	141	131	125	121	117	113	108													
S30478	GB/T 14976	≤30	585	275	183	137	117	105	97	93	89	87	83	80													
					137	137	137	137	135	131	127	124	121	117	79	59	44	32									
S30908	GB/T 14976	≤30	520	205	137	119	111	105	100	97	94	92	89	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
					137	137	137	137	134	130	125	122	119	115	114	112	109	61	43	31	23	19	15	12	10	8	
S31008	GB/T 14976	≤30	520	205	137	121	111	105	99	96	93	90	88	85	84	83	81	61	43	31	23	19	15	12	10	8	
					137	137	137	137	134	130	125	122	119	115	114	112	109	61	43	31	23	19	15	12	10	8	

表 B.5 非合金钢和合金钢锻件许用应力 (续)

牌号	钢锻件标准	使用状态	公称厚度/mm	室温强度指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa													其他				
				R _m MPa	R _{el} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525		550	575	600	
35CrNi3MoV	NB/T 47008	正火加回火,调质	≤300	1 070	960	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	●		
36CrNi3MoV	NB/T 47008	正火加回火,调质	≤300	1 000	895	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	417	●		
16MnD	NB/T 47009	调质	≤100	480	305	200	183	167	150	137	123	117											
			>100~200	470	295	196	177	163	147	133	120	113											
			>200~300	450	275	183	167	157	143	130	117	110											
20MnMoD	NB/T 47009	调质	≤300	530	370	221	221	213	203	197	190	183											
			>300~500	510	350	213	213	203	193	187	180	173											
			>500~700	490	330	204	204	197	187	180	173	167											
08MnNiMoVD	NB/T 47009	调质	600	480	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250				
10Ni3MoVD	NB/T 47009	调质	600	480	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250				
09MnNiD	NB/T 47009	调质	≤200	440	280	183	170	157	150	143	137	127											
			>200~300	430	270	179	163	150	143	137	130	120											
08Ni3D	NB/T 47009	调质	≤300	460	260	173	157	153	147	140	130	120											
06Ni9D	NB/T 47009	调质	≤125	680	550	283	283	283	283	283	267												

注 1: “●”代表该类钢锻件不用于焊接结构。

注 2: 空白栏表示材料不适用于此温度或无备注。

表 B.6 高合金钢锻件许用应力 (续)

统一数字代号	锻件标准	公称厚度 mm	室温强度 指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																					
			R _m MPa	R _{ps,2} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800
S31609	NB/T 47010	≤150	520	220	147	147	145	134	125	118	113	111	109	107	106	105	77	75	66	50	39	30				
		>150~300	500	147	117	107	99	93	87	84	82	81	79	79	78	77	75	66	50	39	30					
S31653	NB/T 47010	≤150	520	210	140	140	140	131	122	115	110	104	100	97												
		>150~300	500	140	116	105	97	91	85	81	77	74	72													
S31658	NB/T 47010	≤150	550	240	160	160	160	160	155	148	140	135	131	126	124	122	84	80	65	51						
		>150~300	500	160	141	131	122	115	109	104	100	97	93	92	91	84	80	65	51							
S31668	NB/T 47010	≤150	520	210	140	140	140	134	125	118	113	111	109	107	106	105	76	73	65	50	38	32				
		>150~300	500	140	117	107	99	93	87	84	82	81	79	79	78	76	73	65	50	38	32					
S31703	NB/T 47010	≤150	480	195	130	130	130	130	125	118	113	111	109													
		>150~300	460	130	117	107	99	93	87	84	82	81														
S32168	NB/T 47010	≤150	520	205	137	137	137	130	122	114	111	108	105	103	102	100	58	44	33	25	18	13				
		>150~300	500	137	114	103	96	90	85	82	80	78	76	75	74	58	44	33	25	18	13					
S32169	NB/T 47010	≤150	520	205	137	137	137	137	135	128	122	119	115	113	112	111	78	59	46	37	29	23				
		>150~300	500	137	123	114	107	100	95	91	88	85	84	83	82	78	59	46	37	29	23					
S34778	NB/T 47010	≤150	520	205	137	137	137	137	137	135	131	127	125	125	123	120	77	58	40	30	23	16				
		>150~300	500	137	126	118	111	105	100	97	94	93	93	91	89	77	58	40	30	23	16					
S34779	NB/T 47010	≤150	520	205	137	137	137	137	137	135	131	127	125	125	123	120	119	77	70	54	42	32				
		>150~300	500	137	126	118	111	105	100	97	94	93	93	91	89	88	77	70	54	42	32					
S39042	NB/T 47010	≤300	490	220	147	147	147	147	144	144	131	122														
		>300	490	147	137	127	117	107	97	90																

表 B.6 高合金钢锻件许用应力 (续)

统一数字代号	钢锻件标准	公称厚度 mm	室温强度 指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																					
			R_m MPa	$R_{p0.2}$ MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800
S21953	NB/T 47010	≤150	590	390	246	210	200	193	187	180																
S22253	NB/T 47010	≤150	620	450	258	258	247	233	223	217	210															
S22053	NB/T 47010	≤150	620	450	258	258	247	233	223	217	210															
S25554	NB/T 47010	≤150	760	550	317	317	293	277	270	267	267															
S23043	NB/T 47010	≤150	600	400	250	227	210	203	200	197	187															
S25073	NB/T 47010	≤150	800	550	333	320	297	280	267	263	260															
S51740	NB/T 47010	≤100	930	725	388	388	388	388	388	388	383															

对于奥氏体型不锈钢锻件,同一统一数字代号锻件第一行的许用应力仅适用于允许产生微量永久变形的元件,不适用于法兰、平盖或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场所

注:空白栏表示材料不适用于此温度。

表 B.7 非合金钢、低合金钢和耐热钢螺栓许用应力

牌号	钢棒标准	使用状态	螺栓规格 mm	室温强度 指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																				
				R_m MPa	R_{eL} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600					
20	GB/T 699	正火	≤M22	410	245	91	81	78	73	65	60	54														
			M24~M36			98	88	84	78	70	65	58														
35	GB/T 699	正火	≤M22	530	315	117	105	98	91	81	74	69														
			M24~M36			126	114	106	98	88	80	75														

表 B.7 非合金钢、低合金钢和耐热钢螺栓许用应力 (续)

牌号	钢棒标准	使用状态	螺栓规格 mm	室温强度 指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																
				R _m MPa	R _{el} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600	
40MnB	GB/T 3077	调质	≤M22	805	685	196	176	171	165	163	154	143	126									
			M24~M36	765	635	212	189	183	180	177	167	154	137									
40MnVB	GB/T 3077	调质	≤M22	835	735	210	190	185	179	176	168	157	140									
			M24~M36	805	685	228	206	199	196	193	183	170	154									
40Cr	GB/T 3077	调质	≤M22	805	685	196	176	171	165	162	157	148	134									
			M24~M36	765	635	212	189	183	180	176	170	160	147									
30CrMo	GB/T 3077	调质	≤M22	700	550	157	141	137	134	131	129	124	116	111	107	103	79					
			M24~M48	660	500	167	150	145	142	140	137	132	123	118	113	108	79					
			M52~M80			185	167	161	157	156	152	146	137	131	126	111	79					
35CrMo	GB/T 3077	调质	≤M22	835	735	210	190	185	179	176	174	165	154	147	140	111	79					
			M24~M48	805	685	228	206	199	196	193	189	180	170	162	150	111	79					
			M52~M80			254	229	221	218	214	210	200	189	180	150	111	79					
			M85~M105	735	590	219	196	189	185	181	178	171	160	153	145	111	79					
35CrMoV	GB/T 3077	调质	M52~M105	835	735	272	247	240	232	229	225	218	207	201								
			M110~M180	785	665	246	221	214	210	207	203	196	189	183								
25Cr2MoV	GB/T 3077	调质	≤M22	835	735	210	190	185	179	176	174	168	160	156	151	141	131	72	39			
			M24~M48			245	222	216	209	206	203	196	186	181	176	168	131	72	39			
			M52~M105	805	685	254	229	221	218	214	210	203	196	191	185	176	131	72	39			
40CrNiMo	GB/T 3077	调质	M110~M180	735	590	219	196	189	185	181	178	174	167	164	153	131	72	39				
			M52~M180	930	825	306	291	281	274	267	257	244										

表 B.7 非合金钢、低合金钢和耐热钢螺栓许用应力 (续)

牌号	钢棒标准	使用状态	螺栓规格 mm	室温强度 指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa															
				R_m MPa	R_{eL} MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600
12Cr5Mo (S45110)	GB/T 1221	调质	≤M22	590	390	111	101	97	94	92	91	90	87	84	81	77	62	46	35	26	18
			M24~M48			130	118	113	109	108	106	105	101	98	95	83	62	46	35	26	18

注：空白栏表示材料不适用于此温度。

表 B.8 高合金钢螺栓许用应力

统一数字代号	钢棒标准	使用状态	螺栓规格 mm	室温强度 指标下限值		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																
				R_m MPa	$R_{p0.2}$ MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	
S42020	GB/T 1220	调质	≤M22	640	440	126	117	111	106	103	100	97	91									
			M24~M48			147	137	130	123	120	117	113	107									
S30408	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	107	97	90	84	79	77	74	71	69	66	62	42	27			
			M24~M48			137	114	103	96	90	85	82	79	76	74	71	62	42	27			
S31008	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	113	104	98	93	90	87	84	83	80	78	61	31	19	12	8	
			M24~M48			137	121	111	105	99	96	93	90	88	85	83	61	31	19	12	8	
S31608	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	109	101	93	87	82	79	77	76	75	73	68	50	30			
			M24~M48			137	117	107	99	93	87	84	82	81	79	78	73	50	30			
S32168	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	107	97	90	84	79	77	75	73	71	69	44	25	13			
			M24~M48			137	114	103	96	90	85	82	80	78	76	74	44	25	13			

注：空白栏表示材料不适用于此温度。

附 录 C

(资料性)

钢材的高温屈服强度、高温持久强度极限平均值、弹性模量和平均线膨胀系数

表 C.1~表 C.8、表 C.9~表 C.12、表 C.13、表 C.14 分别给出了钢材的高温屈服强度、高温持久强度极限平均值、弹性模量和平均线膨胀系数。

表 C.1 非合金钢和合金钢板屈服强度

牌号	板厚 mm	在下列温度(°C)下的钢板屈服强度 $R_{eL}(R_{p0.2})$, 不小于 MPa									
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Q245R	3~16	245	220	210	196	176	162	147	137	127	
	>16~36	235	210	200	186	167	153	139	129	121	
	>36~60	225	200	191	178	161	147	133	123	116	
	>60~100	205	184	176	164	147	135	123	113	106	
	>100~150	185	168	160	150	135	120	110	105	95	
	>150~250	175	160	150	145	130	115	105	100	90	
Q345R	3~16	345	315	295	275	250	230	215	200	190	
	>16~36	325	295	275	255	235	215	200	190	180	
	>36~60	315	285	260	240	220	200	185	175	165	
	>60~100	305	275	250	225	205	185	175	165	155	
	>100~150	285	260	240	220	200	180	170	160	150	
	>150~250	265	245	230	215	195	175	165	155	145	
Q370R	10~16	370	340	320	300	285	270	255	240		
	>16~36	360	330	310	290	275	260	245	230		
	>36~60	340	310	290	275	260	250	235	220		
	>60~100	330	300	280	265	250	245	230	215		
Q420R	6~20	420	380	355	330	305	280	265	250		
	>20~30	400	365	340	315	290	270	255	240		
Q460R	6~20	460	420	390	355	325	300				
18MnMoNbR	30~60	400	375	365	360	355	350	340	310	275	
	>60~100	390	370	360	355	350	345	335	305	270	
13MnNiMoR	30~100	390	370	360	355	350	345	335	305		
	>100~150	380	360	350	345	340	335	325	300		
15CrMoR	6~60	295	270	255	240	225	210	200	189	179	174
	>60~100	275	250	235	220	210	196	186	176	167	162
	>100~200	255	235	220	210	199	185	175	165	156	150

表 C.1 非合金钢和合金钢钢板屈服强度 (续)

牌号	板厚 mm	在下列温度(°C)下的钢板屈服强度 R_{eL} ($R_{p0.2}$), 不小于 MPa									
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500
14Cr1MoR	6~100	310	280	270	255	245	230	220	210	195	176
	>100~200	300	270	260	245	235	220	210	200	190	172
12Cr2Mo1R	6~200	310	280	270	260	255	250	245	240	230	215
12Cr1MoVR	6~60	245	225	210	200	190	176	167	157	150	142
	>60~100	235	220	210	200	190	176	167	157	150	142
12Cr2Mo1VR	6~200	415	395	380	370	365	360	355	350	340	325
16MnDR	6~16	315	290	270	250	230	210	195			
	>16~36	295	270	250	235	215	195	180			
	>36~60	285	260	240	225	205	185	175			
	>60~100	275	250	235	220	200	180	170			
	>100~120	265	245	230	215	195	175	165			
15MnNiDR	6~16	325	300	280	260	240	220				
	>16~36	315	290	270	250	230	210				
	>36~60	305	280	260	240	220	200				
15MnNiNbDR	10~16	370	340	320	300	285	270				
	>16~36	360	330	310	290	275	260				
	>36~60	350	320	300	280	265	250				
Q420DR	6~20	420	380	355	330	305	280				
	>20~30	400	365	340	315	290	270				
Q460DR	6~20	460	420	390	355	325	300				
13MnNiDR	5~36	345	320	300	280	260	240				
	>36~60	335	310	290	270	250	230				
	>60~100	325	300	280	260	240	220				
09MnNiDR	6~16	300	275	255	240	230	220	205			
	>16~36	280	255	235	225	215	205	190			
	>36~60	270	245	225	215	205	195	180			
	>60~120	260	240	220	210	200	190	175			
11MnNiMoDR	5~60	420	405	390	375	360	345				
	>60~80	400	385	370	355	340	325				
	>80~100	380	365	350	335	320	305				
08Ni3DR	6~60	320	295	290	280	270	250				
	>60~100	300	275	270	260	250	235				

表 C.1 非合金钢和合金钢板屈服强度 (续)

牌号	板厚 mm	在下列温度(°C)下的钢板屈服强度 R_{eL} ($R_{p0.2}$), 不小于 MPa									
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500
07Ni5DR	5~30	370	340	320	300	280	260				
	>30~50	360	330	310	290	270	250				
06Ni7DR	5~30	560	530	500	470						
	>30~50	550	520	490	460						
06Ni9DR	5~30	560	530	500	470						
	>30~50	550	520	490	460						
Q490R	10~60	490	465	450	435	420	400				
Q490DRL1	10~60	490	465	450	435	420	400				
Q490DRL2	10~60	490	465	450	435	420	400				
Q490RE	10~60	490	465	450	435	420	400				
Q580R	10~60	580	550	530	510	490	470				
Q580DR	10~50	580	550	530	510	490	470				

注：空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.2 高合金钢板规定塑性延伸强度

统一数字代号	板厚 mm	在下列温度(°C)下的 $R_{p0.2}$, 不小于 MPa											
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
S11306	1.5~30	205	189	184	180	178	175	168	163				
S11348	1.5~30	170	156	152	150	149	146	142	135				
S11972	1.5~12	275	238	223	213	204	196	187	178				
S30408	1.5~100	230	171	155	144	135	127	123	119	114	111	106	
S30403	1.5~100	220	147	131	122	114	109	104	101	98			
S30409	1.5~100	220	171	155	144	135	127	123	119	114	111	106	101
S30450	1.5~100	290	200	185	170	160	150	145	140	135	130	125	120
S30458	1.5~100	240	194	172	157	146	139	134	130	125	120	109	
S30453	1.5~100	205	170	154	144	135	129	123	118	114	110		
S30478	1.5~100	275	205	175	157	146	139	134	130	125	120		
S30859	1.5~100	310	230	205	185	175	170	165	160	155	150	145	140
S30908	1.5~100	205	179	167	157	150	145	141	138	134	130		
S31008	1.5~100	205	181	167	157	149	144	139	135	132	128	124	118
S31252	1.5~100	310	250	226	211	199	191	186	183	181			

表 C.2 高合金钢板规定塑性延伸强度 (续)

统一数字代号	板厚 mm	在下列温度(°C)下的 $R_{p0.2}$, 不小于 MPa											
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
S31608	1.5~100	220	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31603	1.5~100	210	147	130	120	111	105	100	96	93			
S31609	1.5~100	220	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31658	1.5~100	240	212	196	183	172	164	156	150	145	140	136	
S31668	1.5~100	205	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31653	1.5~100	205	174	158	146	136	128	122	116	111	108		
S31708	1.5~100	205	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31703	1.5~100	205	175	161	149	139	131	126	123	121			
S32168	1.5~100	205	171	155	144	135	127	123	120	117	114	111	
S32169	1.5~100	205	184	171	160	150	142	136	132	128	126	123	122
S34778	1.5~100	205	189	177	166	157	150	145	141	139	139	133	
S34779	1.5~100	205	189	177	166	158	150	145	141	139	139	133	130
S35656	1.5~100	355	295	260	230	220	205	185					
S39042	1.5~100	220	205	190	175	160	145	135					
S21953	1.5~100	440	355	335	325	315	305	295					
S22153	>5~100	450	385	357	316	310	305						
S22253	1.5~100	450	395	370	350	335	325	315					
S22053	1.5~100	450	395	370	350	335	325	315					
S22294	>5~100	450	400	355	340	335	325	315					
S23043	1.5~100	400	340	315	305	300	295	280					
S25554	1.5~100	550	475	440	415	405	400	400					
S25073	1.5~100	550	480	445	420	400	395	390					
Q400GMDR	5~50	400	360	330									

注：空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.3 非合金钢和合金钢管屈服强度

牌号	壁厚 mm	在下列温度(°C)下的 R_{eL} ($R_{p0.2}$), 不小于 MPa									
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500
10	≤16	205	181	172	162	147	133	123	113	98	
	>16~40	195	176	167	157	142	128	118	108	93	

表 C.3 非合金钢和合金钢管屈服强度 (续)

牌号	壁厚 mm	在下列温度(°C)下的 R_{el} ($R_{p0.2}$), 不小于 MPa									
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500
20	≤16	245	220	210	196	176	162	147	132	117	
	>16~40	235	210	200	186	167	153	139	124	110	
	>40~80	225	200	190	176	158	145	132	118	105	
Q345D Q345E	≤16	345	315	295	275	250	230	215	200	190	
	>16~40	335	305	285	265	240	220	205	190	180	
	>40~80	325	295	275	255	230	210	195	180	170	
12CrMo	≤16	205	181	172	162	152	142	132	123	118	113
	>16~40	195	176	167	157	147	137	127	118	113	108
15CrMo	≤16	235	210	196	186	176	162	152	142	137	132
	>16~40	225	200	186	176	167	154	145	136	131	127
	>40~60	215	190	176	167	158	146	138	130	126	122
12Cr2Mo	≤40	280	255	245	235	230	225	220	215	205	194
12Cr5MoI	≤16	205	176	167	162	157	152	147	142	137	127
	>16~40	195	167	157	152	147	142	137	132	127	118
12Cr1MoV	≤40	255	230	215	200	190	176	167	157	150	142
08Cr2AlMo	≤16	250	225	210	195	185	175				
09CrCuSb	≤16	245	220	205	190	180	170				
16MnD	≤16	325	295	275	255	230	210	195	180	170	
09MnD	≤16	270	240	225	215	195	180	165			
09MnNiD	≤16	280	255	235	225	215	205	195			
08Ni3MoD	≤16	260	235	230	220	210	195				

注：空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.4 高合金钢管规定塑性延伸强度

统一数字代号	在下列温度(°C)下的 $R_{p0.2}$, 不小于 MPa											
	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
S11348	170	156	152	150	149	146	142	135				
S11972	275	238	223	213	204	196	187	178				
S41008	210	189	184	180	178	175	168	163				
S30408	220	171	155	144	135	127	123	119	114	111	106	
S30403	175	147	131	122	114	109	104	101	98			

表 C.4 高合金钢管规定塑性延伸强度 (续)

统一数字代号	在下列温度(°C)下的 $R_{p0.2}$, 不小于 MPa											
	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
S30409	220	171	155	144	135	127	123	119	114	111	106	101
S30458	240	194	172	157	146	139	134	130	125	120	109	
S30453	205	170	154	144	135	129	123	118	114	110		
S30478	275	205	175	157	146	139	134	130	125	120		
S30908	205	179	167	157	150	145	141	138	134	130		
S31008	205	181	167	157	149	144	139	135	132	128	124	118
S31608	220	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31603	210	147	130	120	111	105	100	96	93			
S31609	220	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31658	240	212	196	183	172	164	156	150	145	140	136	
S31668	210	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31653	205	174	158	146	136	128	122	116	111	108		
S31708	205	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31703	205	175	161	149	139	131	126	123	121			
S32168	205	171	155	144	135	127	123	120	117	114	111	
S32169	205	184	171	160	150	142	136	132	128	126	123	122
S34778	205	189	177	166	157	150	145	141	139	139	133	
S34779	205	189	177	166	158	150	145	141	139	139	133	130
S39042	220	205	190	175	160	145	135					
S21953	440	355	335	325	315	305	295					
S22253	450	395	370	350	335	325	315					
S22053	450	395	370	350	335	325	315					
S23043	400	340	315	305	300	295	280					
S25554	550	475	440	415	405	400	400					
S25073	550	480	445	420	400	395	390					

注：空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.5 非合金钢和合金钢锻件屈服强度

牌号	公称厚度 mm	在下列温度(°C)下的 R_{eL} ($R_{p0.2}$), 不小于											
		MPa											
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
20	≤100	235	210	200	186	167	153	139	129	121			
	>100~200	225	200	191	178	161	147	133	123	116			
	>200~300	205	184	176	164	147	135	123	113	106			
35	≤100	265	235	225	205	186	172	157	147	137			
	>100~300	245	225	215	200	181	167	152	142	132			
16Mn	≤100	305	275	250	225	205	185	175	165	155			
	>100~200	295	265	245	220	200	180	170	160	150			
	>200~300	275	250	235	215	195	175	165	155	145			
08Cr2AlMo	≤200	250	225	210	195	185	175						
09CrCuSb	≤200	245	220	205	190	180	170						
20MnMo	≤300	370	340	320	305	295	285	275	260	240			
	>300~500	350	325	305	290	280	270	260	245	225			
	>500~850	330	310	295	280	270	260	250	235	215			
20MnMoNb	≤300	470	435	420	405	395	385	370	355	335			
	>300~500	460	430	415	405	395	385	370	355	335			
20MnNiMo	≤500	450	420	405	395	385	380	370	355	335			
15NiCuMoNb	≤500	440	422	412	402	392	382	373	343	304			
12CrMo	≤100	255	193	187	181	175	170	165	159	150	140		
15CrMo	≤300	280	255	240	225	215	200	190	180	170	160		
	>300~500	270	245	230	215	205	190	180	170	160	150		
14Cr1Mo	≤300	290	270	255	240	230	220	210	200	190	175		
	>300~500	280	260	245	230	220	210	200	190	180	170		
12Cr2Mo1	≤300	310	280	270	260	255	250	245	240	230	215		
	>300~500	300	275	265	255	250	245	240	235	225	215		
12Cr1MoV	≤300	280	255	240	230	220	210	200	190	180	170		
	>300~500	270	245	230	220	210	200	190	180	170	160		
12Cr2Mo1V	≤300	420	395	380	370	365	360	355	350	340	325		
	>300~500	410	390	375	365	360	355	350	345	335	320		
12Cr3Mo1V	≤300	420	395	380	370	365	360	355	350	340	325		
	>300~500	410	390	375	365	360	355	350	345	335	320		
12Cr5Mo	≤500	390	355	340	330	325	320	315	305	285	255		
10Cr9MoVNbN	≤300	415	384	378	377	377	376	371	358	337	306	260	198

表 C.5 非合金钢和合金钢锻件屈服强度 (续)

牌号	公称厚度 mm	在下列温度(°C)下的 R_{eL} ($R_{p0.2}$), 不小于 MPa											
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
10Cr9MoW2VNbBN	≤300	440	420	412	405	400	392	382	372	360	340	300	248
30CrMo	≤300	440	400	380	370	360	350	335	320	295			
35CrMo	≤300	440	400	380	370	360	350	335	320	295			
	>300~500	430	395	380	370	360	350	335	320	295			
35CrNi3MoV	≤300	960	876	857	843	799	777	758	720				
36CrNi3MoV	≤300	895	814	796	783	774	761	742	714				
16MnD	≤100	305	275	250	225	205	185	175					
	>100~200	295	265	245	220	200	180	170					
	>200~300	275	250	235	215	195	175	165					
20MnMoD	≤300	370	340	320	305	295	285	275					
	>300~500	350	325	305	290	280	270	260					
	>500~700	330	310	295	280	270	260	250					
08MnNiMoVD	≤300	480	455	440	425	410	390						
10Ni3MoVD	≤300	480	455	440	425	410	390						
09MnNiD	≤200	280	255	235	225	215	205	190					
	>200~300	270	245	225	215	205	195	180					
08Ni3D	≤300	260	235	230	220	210	195	180					
06Ni9D	≤300	580	525	490	460	430	400						

注：空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.6 高合金钢锻件规定塑性延伸强度

统一数字代号	公称厚度 mm	在下列温度(°C)下的 $R_{p0.2}$, 不小于 MPa											
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
S11306	≤150	205	189	184	180	178	175	168	163				
S11348	≤150	170	158	153	150	149	146	142	135				
S30408	≤300	220	171	155	144	135	127	123	119	114	111	106	
S30403	≤300	210	147	131	122	114	109	104	101	98			
S30409	≤300	220	171	155	144	135	127	123	119	114	111	106	101
S30453	≤150	205	170	154	144	135	129	123	118	114	110		

表 C.6 高合金钢锻件规定塑性延伸强度 (续)

统一数字代号	公称厚度 mm	在下列温度(°C)下的 $R_{p0.2}$, 不小于											
		MPa											
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
S30458	≤150	240	194	172	157	146	139	132	130	125	120	109	
S31008	≤300	205	181	167	157	149	144	139	135	132	128	124	118
S31252	≤300	300	244	221	206	195	187	182	179	177			
S31609	≤300	220	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31608	≤300	220	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31603	≤300	210	147	130	120	111	105	100	96	93			
S31653	≤150	210	174	158	146	136	128	122	116	111	108		
S31658	≤150	240	212	196	183	172	164	156	150	145	140	136	
S31668	≤300	205	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117	
S31703	≤300	195	175	161	149	139	131	126	123	121			
S32168	≤300	205	171	155	144	135	127	123	120	117	114	111	
S32169	≤150	205	184	171	160	150	142	136	132	128	126	123	122
S34778	≤150	205	189	177	166	157	150	145	141	139	139	133	
S34779	≤300	205	189	177	166	157	150	145	141	139	139	133	130
S39042	≤300	220	205	190	175	160	145	135					
S21953	≤150	390	315	300	290	280	270						
S22253	≤150	450	395	370	350	335	325	315					
S22053	≤150	450	395	370	350	335	325	315					
S25554	≤150	550	479	443	419	406	403	400					
S23043	≤150	400	340	319	308	301	293	283					
S25073	≤150	550	481	445	420	404	396	393					
S51740	≤100	725	666	641	620	603	588	575					

注：空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.7 非合金钢、低合金钢和耐热钢螺柱用钢棒屈服强度

牌号	螺栓规格 mm	在下列温度(°C)下的 R_{el} ($R_{p0.2}$), 不小于										
		MPa										
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
20	≤M22	245	220	210	196	176	162	147				
	M24~M36	245	220	210	196	176	162	147				
35	≤M22	315	285	265	245	220	200	186				
	M24~M36	315	285	265	245	220	200	186				

表 C.7 非合金钢、低合金钢和耐热钢螺柱用钢棒屈服强度 (续)

牌号	螺栓规格 mm	在下列温度(°C)下的 $R_{eL}(R_{p0.2})$, 不小于 MPa									
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500
40MnB	≤M22	685	620	600	580	570	540	500	440		
	M24~M36	635	570	550	540	530	500	460	410		
40MnVB	≤M22	735	665	645	625	615	590	550	490		
	M24~M36	685	615	600	585	575	550	510	460		
40Cr	≤M22	685	620	600	580	570	550	520	470		
	M24~M48	635	570	550	540	530	510	480	440		
30CrMo	≤M22	550	495	480	470	460	450	435	405	375	
	M24~M80	500	450	435	425	420	410	395	370	340	
35CrMo	≤M22	735	665	645	625	615	605	580	540	490	
	M24~M80	685	620	600	585	575	565	540	510	460	
	M85~M105	590	530	510	500	490	480	460	430	390	
35CrMoV	M52~M105	735	665	645	625	615	605	590	560	530	
	M110~M180	665	600	580	570	560	550	535	510	480	
25Cr2MoV	≤M48	735	665	645	625	615	605	590	560	530	480
	M52~M105	685	620	600	590	580	570	555	530	500	450
	M110~M180	590	530	510	500	490	480	470	450	430	390
40CrNiMo	M52~M180	825	785	760	740	720	695	660			
12Cr5Mo(S45110)	≤M48	390	355	340	330	325	320	315	305	285	255

注 1: 括号中的数字代号是按照 GB/T 20878 的规定。
注 2: 空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.8 高合金钢螺柱用钢棒规定塑性延伸强度

统一数字代号	螺柱规格 mm	在下列温度(°C)下的 $R_{p0.2}$, 不小于 MPa										
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
S42020	≤M48	400	410	390	370	360	350	340	320			
S30408	≤M48	205	171	155	144	135	127	123	119	114	111	106
S31008	≤M48	205	181	167	157	149	144	139	135	132	128	124
S31608	≤M48	205	175	161	149	139	131	126	123	121	119	117
S32168	≤M48	205	171	155	144	135	127	123	120	117	114	111

注: 空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.9 非合金钢和低合金钢钢板高温持久强度极限平均值

牌号	在下列温度(°C)下的 10 万小时 R_D , 不小于								
	MPa								
	400	425	450	475	500	525	550	575	600
Q245R	—	127	91	61					
Q345R	188	140	99	64					
18MnMoNbR	—	—	265	176					
15CrMoR	—	—	—	—	132	87	56		
14Cr1MoR	—	—	—	—	120	81	49		
12Cr2Mo1R	—	—	—	192	133	96	68	45	
12Cr1MoVR	—	—	—	—	—	123	88	62	
12Cr2Mo1VR	—	—	308	260	215	156	108		

注 1: “—”表示在此温度下材料的许用应力不受高温持久强度极限平均值控制。
注 2: 空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.10 非合金钢和合金钢钢管高温持久强度极限平均值

牌号	在下列温度(°C)下的 10 万小时 R_D , 不小于								
	MPa								
	400	425	450	475	500	525	550	575	600
10	—	—	91	61					
20	—	—	91	61					
Q345D、Q345E	188	140	99	64					
12CrMo	—	—	—	—	111	75			
15CrMo	—	—	—	—	—	87	56		
12Cr2Mo	—	—	—	192	133	96	68	45	
12Cr5Mo	—	—	—	125	93	69	53	39	27
12Cr1MoV	—	—	—	—	—	123	88	62	

注 1: “—”表示在此温度下材料的许用应力不受高温持久强度极限平均值控制。
注 2: 空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.11 非合金钢和合金钢锻件高温持久强度极限平均值

牌号	在下列温度(°C)下的 10 万小时 R_D , 不小于								
	MPa								
	400	425	450	475	500	525	550	575	600
20	—	—	91	61					
35	—	127	91	61					

表 C.11 非合金钢和合金钢锻件高温持久强度极限平均值 (续)

牌号	在下列温度(°C)下的 10 万小时 R_D , 不小于 MPa								
	400	425	450	475	500	525	550	575	600
16Mn	—	140	99	64					
20MnMo	—	—	196	126	74				
20MnMoNb	—	—	265	176					
35CrMo	—	295	225	167	118	75			
12CrMo	—	—	—	—	116				
14Cr1Mo	—	—	—	—	120	81	50		
15CrMo	—	—	—	—	132	87	56		
12Cr2Mo1	—	—	220	192	133	96	68	45	
12Cr1MoV	—	—	—	—	—	123	89	61	
12Cr2Mo1V	—	—	308	260	215	156	108		
12Cr3Mo1V	—	—	308						
12Cr5Mo	285	204	160	125	93	69	53	39	27
10Cr9Mo1VNbN	—	—	—	—	—	230	153	121	93
10Cr9MoW2VNbBN	—	—	—	—	—	266	191	160	132

注 1: “—”表示在此温度下材料的许用应力不受高温持久强度极限平均值控制。
注 2: 空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.12 低合金钢和耐热钢螺柱用钢棒高温持久强度极限平均值

牌号	在下列温度(°C)下的 10 万小时 R_D , 不小于 MPa								
	400	425	450	475	500	525	550	575	600
30CrMo	—	—	—	167	118				
35CrMo	—	—	225	167	118				
25Cr2MoV	—	—	—	—	196	108	59		
12Cr5Mo(S45110)	—	—	—	125	93	69	53	39	27

注 1: “—”表示在此温度下材料的许用应力不受高温持久强度极限平均值控制。
注 2: 空白栏表示材料不适用于此温度。

表 C.13 钢材弹性模量

钢类	在下列温度(°C)下的弹性模量(E) 10 ³ MPa																
	-196	-100	-40	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
非合金钢、碳锰钢			205	201	197	194	191	188	183	178	170	160	149				
锰钼钢、镍钢	214	209	205	200	196	193	190	187	183	178	170	160	149				
铬(0.5%~2%) 钼(0.2%~0.5%)钢			208	204	200	197	193	190	186	183	179	174	169	164			
铬(2.25%~3%) 钼(1.0%)钢			215	210	206	202	199	196	192	188	184	180	175	169	162		
铬(5%~9%) 钼(0.5%~1.0%)钢			218	213	208	205	201	198	195	191	187	183	179	174	168	161	
铬钢(12%~17%)			206	201	195	192	189	186	182	178	173	166	157	145	131		
奥氏体钢(Cr18Ni8~Cr25Ni20)	209	203	199	195	189	186	183	179	176	172	169	165	160	156	151	146	140
奥氏体-铁素体钢 (Cr18Ni5~Cr25Ni7) (18Ni8~Cr25Ni20) (Cr18Ni5~Cr25Ni7)				200	194	190	186	183	180								

注：空白栏表示材料弹性模量在此温度下无数据资料。

表 C.14 钢材平均线膨胀系数

钢类	在下列温度与 20 °C 之间的平均线膨胀系数(α) 10^{-6} mm/mm·°C																	
	-196	-100	-50	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
非合金钢、碳锰钢、锰钼钢、低铬钼钢		9.89	10.39	10.76	11.12	11.53	11.88	12.25	12.56	12.90	13.24	13.58	13.93	14.22	14.42	14.62		
中铬钼钢(Cr5Mo~Cr9Mo)			9.77	10.16	10.52	10.91	11.15	11.39	11.66	11.90	12.15	12.38	12.63	12.86	13.05	13.18		
高铬钢(Cr12~Cr17)			8.95	9.29	9.59	9.94	10.20	10.45	10.67	10.96	11.19	11.41	11.61	11.81	11.97	12.11		
奥氏体钢(Cr18Ni8~Cr19Ni14)	14.67	15.45	15.97	16.28	16.54	16.84	17.06	17.25	17.42	17.61	17.79	17.99	18.19	18.34	18.58	18.71	18.87	18.97
奥氏体钢(Cr25Ni20)						15.84	15.98	16.05	16.06	16.07	16.11	16.13	16.17	16.33	16.56	16.66	16.91	17.14
奥氏体-铁素体钢 (Cr18Ni5~Cr25Ni7)						13.10	13.40	13.70	13.90	14.10								

注：空白栏表示材料平均线膨胀系数在此温度下无数据资料。

附 录 D

(资料性)

高合金钢牌号近似对照表

表 D.1 给出了高合金钢牌号近似对照。

表 D.1 高合金钢牌号近似对照表

序号	GB/T 713.7—2023		ASME BPVC. II .A SA 240-2021		EN 10028-7:2017	
	统一数字代号	牌号	UNS 代号	型号	数字代号	牌号
1	S11306	06Cr13	S41008	410S	1.4000	X6Cr13
2	S11348	06Cr13Al	S40500	405	1.4002	X6CrAl13
3	S11972	019Cr19Mo2NbTi	S44400	444	1.4521	X2CrMoTi18-2
4	S30408	06Cr19Ni10	S30400	304	1.4301	X5CrNi18-10
5	S30403	022Cr19Ni10	S30403	304L	1.4306	X2CrNi19-11
6	S30409	07Cr19Ni10	S30409	304H	1.4948	X6CrNi18-10
7	S30450	05Cr19Ni10Si2CeN	S30415	—	1.4818	—
8	S30458	06Cr19Ni10N	S30451	304N	1.4315	X5CrNiN19-9
9	S30453	022Cr19Ni10N	S30453	304LN	1.4311	X2CrNi18-10
10	S30478	06Cr19Ni9NbN	S30452	XM-21	—	—
11	S30859	08Cr21Ni11Si2CeN	S30815	—	1.4835	—
12	S30908	06Cr23Ni13	S30908	309S	1.4950	X6CrNi23-13
13	S31008	06Cr25Ni20	S31008	310S	1.4951	X6CrNi25-20
14	S31252	015Cr20Ni18Mo6CuN	S31254	—	1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7
15	S31608	06Cr17Ni12Mo2	S31600	316	1.4401	X5CrNiMo17-12-2
16	S31603	022Cr17Ni12Mo2	S31603	316L	1.4404	X2CrNiMo17-12-2
17	S31609	07Cr17Ni12Mo2	S31609	316H	—	—
18	S31658	06Cr17Ni12Mo2N	S31651	316N	—	—
19	S31668	06Cr17Ni12Mo2Ti	S31635	316Ti	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2
20	S31653	022Cr17Ni12Mo2N	S31653	316LN	1.4429	X2CrNiMo17-13-3
21	S31708	06Cr19Ni13Mo3	S31700	317	—	—
22	S31703	022Cr19Ni13Mo3	S31703	317L	1.4438	X2CrNiMo18-15-4
23	S32168	06Cr18Ni11Ti	S32100	321	1.4541	X6CrNiTi18-10
24	S32169	07Cr19Ni11Ti	S32109	321H	1.4541	X6CrNiTi18-10
25	S34778	06Cr18Ni11Nb	S34700	347	1.4550	X6CrNiNb18-10
26	S34779	07Cr18Ni11Nb	S34709	347H	1.4912	X7CrNiNb18-10

表 D.1 高合金钢牌号近似对照表 (续)

序号	GB/T 713.7—2023		ASME BPVC. II .A SA 240-2021		EN 10028-7:2017	
	统一数字代号	牌号	UNS 代号	型号	数字代号	牌号
27	S35656	05Cr19Mn6Ni5Cu2N	—	—	1.4372	X12CrMnNiN17-7-5
28	S39042	015Cr21Ni26Mo5Cu2	N08904	904L	1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5
29	S21953	022Cr19Ni5Mo3Si2N	S31500	—	—	—
30	S22153	022Cr21Ni3Mo2N	S32003	—	—	—
31	S22253	022Cr22Ni5Mo3N	S31803	—	1.4462	X2CrNiMoN22-5-3
32	S22053	022Cr23Ni5Mo3N	S32205	2205	—	—
33	S22294	03Cr22Mn5Ni2MoCuN	S32101	—	1.4162	X2CrMnNiN21-5-1
34	S23043	022Cr23Ni4MoCuN	S32301	2304	1.4362	X2CrNiN23-4
35	S25554	03Cr25Ni6Mo3Cu2N	S32550	255	1.4507	X3CrNiMoCuN26-6-3-2
36	S25073	022Cr25Ni7Mo4N	S32750	2507	1.4410	X2CrNiMoN25-7-4
注：空白栏表示无对应的 UNS 代号、型号、数字代号及牌号。						

参 考 文 献

- [1] GB/T 713.1 承压设备用钢板和钢带 第1部分:一般要求
- [2] GB/T 4157 金属在硫化氢环境中抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂的实验室试验方法
- [3] GB/T 5310 高压锅炉用无缝钢管
- [4] GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
- [5] GB/T 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- [6] GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- [7] GB/T 15970.1 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第1部分:试验方法总则
- [8] GB/T 15970.2 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第2部分:弯梁试样的制备和应用
- [9] GB/T 15970.3 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第3部分:U型弯曲试样的制备和应用
- [10] GB/T 15970.4 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第4部分:单轴加载拉伸试样的制备和应用
- [11] GB/T 15970.5 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第5部分:C型环试样的制备和应用
- [12] GB/T 15970.6 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第6部分:恒载荷或恒位移下的预裂纹试样的制备和应用
- [13] GB/T 15970.7 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第7部分:慢应变速率试验
- [14] GB/T 15970.8 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第8部分:焊接试样的制备和应用
- [15] GB/T 15970.9 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第9部分:渐增式载荷或渐增式位移下的预裂纹试样的制备和应用
- [16] GB/T 17897 金属和合金的腐蚀 不锈钢三氯化铁点腐蚀试验方法
- [17] GB/T 21833.1 奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管 第1部分:热交换器用管
- [18] GB/T 21833.2 奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管 第2部分:流体输送用管
- [19] ASME BPVC. II. A-2021 SA-387/SA-387M Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum
- [20] ASME BPVC. II. A-2021 SA-516/SA-516M Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate and Lower-Temperature Service
- [21] ASME BPVC. II. A-2021 SA-537/SA-537M Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Heat-Treated, Carbon-Manganese-Silicon Steel
- [22] ASME BPVC. II. A-2021 SA-240/SA-240M Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications
- [23] EN 10028-7:2017 Flat products made of steels for pressure purposes—Part 7:Stainless steels

