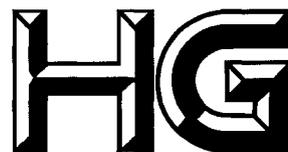


备案号：J1205—2021

中华人民共和国化工行业标准



HG/T 20581—2020

代替 HG/T 20581—2011

钢制化工容器材料选用规范

Standard for materials selected of steel chemical vessels

2020-12-09 发布

2021-04-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

中华人民共和国化工行业标准

钢制化工容器材料选用规范

Standard for materials selected of steel chemical vessels

HG/T 20581—2020

主编单位：中石化上海工程有限公司
批准部门：中华人民共和国工业和信息化部
实施日期：2021年4月1日

 北京科学技术出版社

中华人民共和国工业和信息化部

公告

2020年 第48号

工业和信息化部批准《霍尔元件 通用技术条件》等 669 项行业标准（标准编号、名称、主要内容及实施日期见附件 1），其中机械行业标准 62 项、化工行业标准 143 项、石化行业标准 22 项、冶金行业标准 100 项、有色金属行业标准 104 项、黄金行业标准 3 项、建材行业标准 25 项、稀土行业标准 19 项、汽车行业标准 8 项、船舶行业标准 4 项、航空行业标准 1 项、轻工行业标准 51 项、纺织行业标准 35 项、兵工民品（民爆）行业标准 1 项、电子行业标准 33 项、通信行业标准 58 项；批准《白云石标准样品 1#》等 76 项行业标准样品（标准样品目录及成分含量表见附件 2），其中冶金行业标准样品 75 项、有色金属行业标准样品 1 项；批准《高纯铝锭》等 23 项行业标准外文版（标准编号、名称、主要内容及实施日期见附件 3），其中有色金属行业标准外文版 7 项、稀土行业标准外文版 3 项、轻工行业标准外文版 3 项、通信行业标准外文版 10 项；批准《75℃热稳定性试验仪校准规范》等 94 项行业计量技术规范（技术规范编号、名称、主要内容及实施日期见附件 4），其中石化行业计量技术规范 11 项、有色金属行业计量技术规范 6 项、建材行业计量技术规范 13 项、机械行业计量技术规范 17 项、轻工行业计量技术规范 11 项、纺织行业计量技术规范 12 项、兵工民品行业计量技术规范 3 项、电子行业计量技术规范 11 项、通信行业计量技术规范 10 项，现予公布。行业标准样品自公布之日起实施。

以上机械行业标准由机械工业出版社出版，化工行业标准由化工出版社出版，化工行业标准（工程建设类）及汽车行业标准由北京科学技术出版社出版，石化行业标准由中国石化出版社出版，冶金行业标准、

有色金属行业标准、有色金属行业标准外文版、稀土行业标准及稀土行业标准外文版由冶金工业出版社出版,有色金属行业标准(工程建设类)由中国计划出版社出版,黄金行业标准及纺织行业标准由中国标准出版社出版,建材行业标准由中国建材工业出版社出版,船舶行业标准由中国船舶工业综合技术经济研究院组织出版,航空行业标准由中国航空综合技术研究所组织出版,轻工行业标准及轻工行业标准外文版由中国轻工业出版社出版,兵工民品行业标准由中国兵器工业标准化研究所组织出版,电子行业标准由中国电子技术标准化研究院组织出版,通信行业标准及通信行业标准外文版由人民邮电出版社出版。

以上石化、纺织行业计量技术规范由中国质检出版社出版,有色金属行业计量技术规范由冶金工业出版社出版,建材行业计量技术规范由中国建材工业出版社出版,机械行业计量技术规范由机械工业出版社出版,轻工行业计量技术规范由中国轻工业出版社出版,兵工民品行业计量技术规范由中国兵器工业标准化研究所组织出版,电子行业计量技术规范由中国电子技术标准化研究院组织出版,通信行业计量技术规范由中国信息通信研究院组织出版。

附件：10项化工行业工程建设标准编号、标准名称和实施日期

中华人民共和国工业和信息化部

二〇二〇年十二月九日

前 言

本规范是根据工业和信息化部《2017年第三批行业标准制修订计划》（工信厅科〔2017〕106号）的要求，由中国石油和化工勘察设计协会为主编部门，委托设备专业委员会/全国化工设备设计技术中心站负责组织，中石化上海工程有限公司为主编单位，会同参编单位，在原行业标准《钢制化工容器材料选用规定》HG/T 20581—2011的基础上修订完成。

本规范自实施之日起代替《钢制化工容器材料选用规定》HG/T 20581—2011。

本规范在修订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了《钢制化工容器材料选用规定》HG/T 20581—2011在多年实施中取得的经验，结合化工容器设计选材的具体实践经验，对《压力容器 第2部分：材料》GB/T 150.2做了补充和具体化，同时参考了国内外化工容器选材应用的大量资料，并广泛征求意见，最后经审查定稿。

本规范共分为8章和5个附录，其主要内容包括总则、术语、基本规定、选材原则、钢材的技术要求、钢材的使用限制和范围、焊接材料、钢材的代用等。

本规范与《钢制化工容器材料选用规定》HG/T 20581—2011相比，主要变化如下：

1. 对压力容器用碳素钢和低合金钢钢板的相关要求进行了修改、完善；
2. 对Cr-Mo钢回火脆化措施要求做了修改、完善；
3. 对钢板的无损检测要求做了修改、完善；
4. 精简了新材料的技术评审与使用要求、国外牌号钢材的使用要求；
5. 钢管的最小壁厚按不锈钢和碳钢分类；
6. 对使用介质的限制做了修改、完善；
7. 对NaOH溶液环境下材料的使用限制进行了修改、完善；
8. 对湿H₂S应力腐蚀环境分类进行了修改、完善；
9. 对I类湿H₂S应力腐蚀环境下的碳当量和硬度等要求进行了修改、完善；
10. 对氢腐蚀环境下的使用限制进行了修改、完善；
11. 增加了焊接材料的最新型号和牌号对照；
12. 增加了高强度钢、不锈钢、双相不锈钢、热交换器用换热管和复合钢板等的标准和技术要求；
13. 增加了“最大模拟焊后热处理”和“最小模拟焊后热处理”术语；
14. 增加了球罐用材料的要求；
15. 增加了紧固件使用温度的下限；
16. 增加了高强钢用焊条要求；
17. 增加了奥氏体-铁素体型双相不锈钢焊材；
18. 增加了焊接材料（不锈钢、铜及铜合金、镍及镍合金）的国标型号。

本规范由工业和信息化部负责管理，由中国石油和化工勘察设计协会负责日常管理。由中石化

上海工程有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请与中石化上海工程有限公司联系（联系地址：上海市浦东新区张杨路 769 号；邮编：200120；电话：021-58366600），以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：中石化上海工程有限公司

参 编 单 位：赛鼎工程有限公司

辽宁元创石化技术有限公司

主要起草人：杨 芳 李艳明 冯成红 高峥嵘 阮黎祥 王冀宁 周 军

赵建军 郝希晔

主要审查人：黄正林 刘 博 王 亮 赵世平 石怀兵 魏东波 陈仓社

杨俊岭 李建国 王 彬 王 巍 顾月章 谢智刚 万网胜

杨同莲 茅陆荣 郝文生 陈 旺 韩 冰 袁云中

目 次

1 总则	(71)
2 术语	(72)
3 基本规定	(74)
4 材料选用原则	(76)
5 钢材技术要求	(77)
5.1 通用技术要求	(77)
5.2 钢板	(80)
5.3 钢管	(81)
5.4 锻件	(84)
5.5 铸钢件	(84)
5.6 紧固件用钢材	(86)
6 钢材的使用限制和范围	(89)
6.1 化学成分	(89)
6.2 非锅炉和压力容器用钢板在压力容器中的使用	(89)
6.3 常压容器及非受压元件用 Q235 和 Q345 钢	(89)
6.4 钢管	(90)
6.5 复合板的使用温度范围	(91)
6.6 奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体型双相不锈钢的耐蚀性	(91)
6.7 紧固件的使用温度范围及限制	(92)
6.8 使用介质的限制	(93)
7 焊接材料	(99)
7.1 焊接材料质量证明书	(99)
7.2 焊接材料选用及标注	(99)
7.3 容器制造单位对设计选用焊接材料的修改	(100)
7.4 碳素钢及低合金钢组合的焊接材料选用	(100)
7.5 珠光体耐热钢之间的焊接材料选用	(104)
7.6 奥氏体不锈钢之间的焊接材料选用	(106)
7.7 异种金属材料的焊接材料选用	(110)
8 钢材的代用	(112)
附录 A (资料性) 商品紧固件力学性能	(113)
A.1 适用钢材	(113)

A.2 力学性能·····	(113)
附录 B (资料性) 部分特殊焊接材料的成分和性能·····	(115)
附录 C (资料性) 镍及镍合金焊接材料·····	(117)
附录 D (资料性) 碳钢、不锈钢、镍基合金异种金属焊接材料选用表·····	(119)
附录 E (资料性) 碳钢、不锈钢与铜及铜合金的异种金属焊接材料选用表·····	(121)
本规范用词说明·····	(122)
引用标准名录·····	(123)
附：条文说明·····	(127)

Content

1	General provision	(71)
2	Terms	(72)
3	Basic requirements	(74)
4	Principle for steels selection	(76)
5	Specification of steels	(77)
5.1	General specification	(77)
5.2	Steel plate	(80)
5.3	Steel pipe	(81)
5.4	Forging	(84)
5.5	Steel castings	(84)
5.6	Steel for bolt and nut	(86)
6	Applicable limit and scope of steels	(89)
6.1	Chemical composition	(89)
6.2	Steel plate use in pressure vessel	(89)
6.3	Q235 and Q345 for non-pressure vessel	(89)
6.4	Piping	(90)
6.5	Application temperature range of composite steel plate	(91)
6.6	Corrosion resistance of austenitic stainless steel and austenitic-ferritic duplex stainless steel	(91)
6.7	Temperature range and limitation of bolt and nut	(92)
6.8	Restrictions on the use of medium	(93)
7	Welding material	(99)
7.1	Welding material certificate of quality	(99)
7.2	Selection and marking of welding material	(99)
7.3	Modification of welding material used in design by pressure manufacturee	(100)
7.4	Selection of welding material for carbon steel and low alloy steel	(100)
7.5	Selection of welding material for pearlite heat resistant steel	(104)
7.6	Selection of welding material for austenitic stainless steel	(106)
7.7	Selection of welding material for dissimilar steel	(110)
8	Substitution of steel	(112)
Appendix A (Informative) Mechanical properties of commercial bolt and nut		(113)
A.1	Applicable steel	(113)

A.2 Mechanical properties	(113)
Appendix B (Informative) Composition and properties of some special welding materials	(115)
Appendix C (Informative) Nickel and nickel alloys welding materials	(117)
Appendix D (Informative) Welding materials for carbon steel, stainless steel with nickel alloys	(119)
Appendix E (Informative) Welding materials for carbon steel, stainless steel with copper alloy	(121)
Explanations of wording in this code	(122)
List of quoted standards	(123)
Addition: Explanation of the provisions	(127)

1 总 则

1.0.1 本规范规定了钢制化工容器用钢和焊接材料的选用、技术要求、使用限制和范围、新材料和按国外标准生产的钢材使用、钢材代用等要求。

1.0.2 本规范适用于设计压力不大于 35.0MPa，设计温度不低于-20℃的碳素钢、低合金钢、复合钢板、珠光体耐热钢及设计温度不低于-196℃的奥氏体不锈钢焊制化工容器材料的选用。材料的品种包括钢板、钢管、钢锻件、紧固件、钢铸件以及焊接材料。

1.0.3 钢制化工容器用钢和焊接材料的选用、技术要求、使用限制和范围、新材料和按国外标准生产的钢材的使用、代用等，除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

国家现行标准《压力容器 第2部分：材料》GB/T 150.2 和《钢制化工容器设计基础规范》HG/T 20580 确立的以及下列术语和定义适用于本规范。

2.0.1

碳素钢 carbon steel

含锰量小于等于 1.6% 且大于等于 0.25%，含碳量小于等于 2.0%，且无有意添加其他合金元素的铁碳合金（可为脱氧目的而加入 Si、Al 等元素）。低碳钢一般系指含碳量小于等于 0.25% 的碳素钢。

2.0.2

低合金钢 low alloy steel

以提高钢材强度和改善综合性能为主要目的，在碳素钢基础上加入少量合金元素，所有合金元素含量总和高于 2.0.1 中碳素钢的规定，但小于 5% 的合金钢，包括低合金结构钢、低合金高强度钢和珠光体耐热钢。化工容器中经常使用的是低碳、可焊的低合金钢。

2.0.3

珠光体耐热钢 pearlite heat resistant steel

以改善钢材的耐热及抗氢性能为主要目的，加入铬（ $\leq 10\%$ ）、钼等合金元素，室温下金相组织主要是珠光体的低碳耐热钢。

2.0.4

不锈钢 stainless steel

公称含铬量大于等于 10.5%，碳含量小于等于 1.2%，在大气中不锈的合金钢。根据钢在常温下的金相组织，又可分为铁素体不锈钢、奥氏体不锈钢、双相不锈钢、马氏体不锈钢等。

2.0.5

奥氏体不锈钢 austenitic stainless steel

室温下金相组织主要是奥氏体的不锈钢。

2.0.6

铁素体不锈钢 ferritic stainless steel

室温下金相组织主要是铁素体的不锈钢。

2.0.7

奥氏体-铁素体型双相不锈钢 austenitic-ferritic duplex stainless steel

室温下金相组织中兼有铁素体和奥氏体，且其中铁素体含量为 40%~60% 的不锈钢。

2.0.8

铁素体钢 ferritic steel

碳素钢、低合金钢、珠光体耐热钢、铁素体不锈钢的总称。

2.0.9

最大模拟焊后热处理 simulated maximum postweld heat treatment

最大模拟焊后热处理是设备制造及维修使用中可能达到的最大程度的焊后热处理，即模拟设备制造过程中材料恢复力学性能热处理、482℃以上的所有中间热处理、设备焊后热处理、制造厂内返修后焊后热处理和设备交货后现场返修后的焊后热处理。

2.0.10

最小模拟焊后热处理 simulated minimum postweld heat treatment

最小模拟焊后热处理是设备制造可能达到的最小程度的焊后热处理，即模拟设备制造过程中材料恢复性能热处理、超过 482℃的中间热处理和一次设备焊后热处理。

3 基本规定

3.0.1 化工容器钢材（钢板、钢管、型材、锻件、紧固件、铸件）的性能、质量、规格和标志应符合现行国家标准、行业标准或有关技术条件的规定。

3.0.2 压力容器用钢材应符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 的规定及现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB/T 150.2 的要求。

3.0.3 受压元件以及直接与受压元件焊接的非受压元件用钢材，应附有钢厂的钢材质量证明书，钢材质量证明书上应印制可以追溯的信息化标识。钢材质量证明书上应列有以下项目：

- 1 材料标准号、牌号；
- 2 材料生产单位名称（或厂标）及检验印鉴标志；
- 3 合同号；
- 4 需方名称；
- 5 炉（批）号；
- 6 规格；
- 7 标准规定的化学成分和化学成分的熔炼分析或成品分析结果；
- 8 钢材标准或技术条件保证的规定力学性能、工艺性能及其他性能要求和实测数据或合格情况；
- 9 供货状态；
- 10 供货合同或协议规定的其他项目。

其他非受压元件用钢材也应具有钢材质量证明书原件或复印件。

3.0.4 如钢材质量证明书数据不全或未全部包括第5章规定的技术要求，应由设备制造部门按钢材标准及本规范要求复验或补做，合格后方可投料应用。

3.0.5 除钢号和标准以外，设计单位应在图样或技术文件上注明钢材的级别及其他标志。图样及技术文件上还应注明以下内容：

- 1 钢材标准中根据需方要求而予保证的项目；
- 2 钢材标准中由供需双方协议商定的项目；
- 3 其他附加要求。

3.0.6 对于未列入本规范的钢材标准（国家标准、行业标准）及牌号，同时满足下列条件时也可作为设计选用：

1 根据用途，经评定认为材料性能和技术要求与本规范所列钢材标准相当或更高，且能满足本规范相应的技术要求；

2 压力容器用钢材应符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 的相应规定。

3.0.7 对于采用未列入本规范的新钢种、按国外标准生产的钢材、施工时的钢材代用等，应分别符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016、现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB/T 150.2 和本规范相应条款的规定。用于受压元件的标准抗拉强度下限值大于540MPa的低合金钢或用于压力容器设计温度低于-40℃的低合金钢，如钢材制造单位无该钢材在压力容器中使用业绩，则钢材制造单位仍应符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 和本规范相应条款的规定。其他超出本规范的情况应对其具体情况作具体分析，并辅以必要的试验或检验，按 3.0.6 的规定处理。

3.0.8 新材料的鉴定与使用应按现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 的规定执行。

3.0.9 压力容器受压元件采用国外牌号钢材时，应按现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 的规定执行。

4 材料选用原则

4.0.1 选择化工容器用钢材应考虑设备的操作条件（如设计压力、设计温度、流体速度、介质的特性）、材料的力学性能、耐腐蚀性能、焊接性能、冷热加工性能、热处理、容器的结构、容器的设计使用寿命和经济合理性等。

4.0.2 选择化工容器用钢材时，应在满足 4.0.1 的前提下，考虑经济合理性。一般情况下，下列规定是经济合理的：

1 所需钢板厚度小于 8mm 时，在碳素钢与低合金钢之间，宜采用碳素钢钢板（多层容器用材除外）；

2 在以刚度或结构设计为主的场合，宜选用碳素钢。在以强度设计为主的场合，应根据压力、温度、介质等使用限制，依次选用 Q235B、Q235C、Q245R、Q345R 等钢板；

3 所需不锈钢钢板厚度大于 16mm 时，宜采用衬里、复合、堆焊等结构形式；

4 设计温度小于等于 500℃ 时，不宜选用不锈钢；

5 设计温度小于等于 350℃ 时，不宜选用珠光体耐热钢；

6 应尽量减少、合并钢材的品种、规格。

4.0.3 下列各类钢材的选用原则是设计选材的指导准则：

1 碳素钢可用于介质腐蚀性不强的常压、低压容器，壁厚不大的中压容器，锻件、承压钢管、非受压元件以及其他由刚性或结构因素决定壁厚的场合。

2 低合金钢可用于介质腐蚀性不强、壁厚较大（ $\geq 8\text{mm}$ ）的压力容器。

3 珠光体耐热钢可用作抗高温氢、高温氢+硫化氢腐蚀，或设计温度为 350℃~575℃ 的压力容器用耐热钢。

4 奥氏体不锈钢可用于介质腐蚀性较强环境、防铁离子污染、设计温度高于 500℃ 或设计温度低于 -100℃ 的耐热或低温容器。晶间腐蚀环境下的奥氏体不锈钢制容器应考虑下列设计温度限制要求：

1) 低碳非稳定化奥氏体不锈钢 $\leq 300^\circ\text{C}$ ；

2) 钼含量不大于 3% 的超低碳奥氏体不锈钢 $\leq 350^\circ\text{C}$ ；

3) 钼含量大于 3% 的超低碳奥氏体不锈钢 $\leq 400^\circ\text{C}$ ；

4) 低碳稳定化奥氏体不锈钢 $\leq 400^\circ\text{C}$ 。

5 不含钛、铌等稳定化元素，且含碳量大于 0.03% 的奥氏体不锈钢，需经热成形、焊接等温度超过 300℃ 的热加工时，不应用于可能引起不锈钢晶间腐蚀的环境。

4.0.4 钢材除应符合有关标准的要求外，还应符合本规范对钢材的技术要求及使用限制和范围的规定。

4.0.5 用作容器法兰、管法兰、管件、人孔、手孔、液面计等化工容器标准零部件的钢材，应符合有关零部件的现行国家标准、现行行业标准对钢材的技术要求。

5 钢材技术要求

5.1 通用技术要求

5.1.1 压力容器及受压元件用钢材应采用电炉或氧气转炉冶炼加炉外精炼，有特殊要求时可增加真空处理。非受压元件用钢材可采用电炉或氧气转炉冶炼。

5.1.2 不锈钢用于可能引起晶间腐蚀的环境时，应按现行国家标准《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 4334 的规定进行晶间腐蚀敏感性试验。不锈钢的晶间腐蚀敏感性试验应符合下列规定。

1 可能引起不锈钢晶间腐蚀的环境必须是存在电解质的电化学腐蚀环境。下列介质在足够浓度和一定温度下的溶液属于具有对不锈钢产生晶间腐蚀能力的介质：

1) 无机酸——硝酸、硫酸、盐酸、磷酸、铬酸、亚硫酸、氢氟酸、氢溴酸、氢碘酸、氢氰酸、氯氰酸、氨基磺酸、次氯酸等；

2) 有机酸——工业乙酸、乙酸酐、甲酸、草酸、乳酸、乙二酸、丙二酸、苯二酸、环烷酸、水杨酸、脂肪酸、苹果酸、柠檬酸、马来酸、马来酐、富马酸等；

3) 盐类——硝酸铵、硝酸钙、硝酸银、硫酸铜、硫酸铁、硫酸钠、硫酸铝、硫酸氢钠、硫酸亚铁、亚硫酸铁、亚硫酸钙、氯化钠、氯化铁、氯化铬、次氯酸钠、氢氟酸钠等溶液；

4) 其他——氢氧化钠、硫化铁、硫化铝、硫化钠、湿二氧化硫、三氯化铁、尿素氨基甲酸铵溶液、亚硫酸纸浆、牛皮纸浆、亚硫酸蒸煮液、玉米淀粉浆（由盐酸或硫酸制）、石油原油、油田污水、海水、轻水堆高温水等。

2 符合下列情况下的不锈钢制容器可不要求进行晶间腐蚀敏感性试验：

1) 含铬量低于 16% 的 S11306 (06Cr13)、S11348 (06Cr13Al) 等非耐酸的不锈钢制容器；

2) 被用作耐热钢、抗氧化不起皮钢、低温钢、无磁钢、防止物料产生铁离子污染而采用不锈钢等非耐蚀目的的不锈钢制容器；

3) 被用作抗氢钢，抗氢、氮、氨钢，抗氧化不起皮钢等干燥气相或固相场合的不锈钢制容器；

4) 盛装非电解质液相，产生化学腐蚀而不产生电化学腐蚀介质的不锈钢制容器。如一般纯净的醇类、醛类，酮类、醚类、苯类、烷类、汽油等非电解质液体；

5) 盛装化学纯乙酸、常温稀硝酸（小于 50%）、不含硫酸的硫酸铵溶液、淡水、自来水、潮湿大气等介质的不锈钢制容器；

6) 有关验证试验或现场经验表明不会产生晶间腐蚀的环境。

3 不锈钢制容器晶间腐蚀试验方法的选择，受检试件状态、检验合格要求应满足现行国家标准《不锈钢压力容器晶间腐蚀敏感性检验》GB/T 21433 的相关规定。

5.1.3 当奥氏体不锈钢作为耐热钢且使用温度高于 500℃时，其含碳量应大于等于 0.04%，且钢材的晶粒度应为 6 级或更粗，可选用 S30409 等高温奥氏体不锈钢或 S30408/S30409 双牌号不锈钢。

5.1.4 高温高压氢腐蚀环境下厚壁压力容器用 12Cr2Mo1R、12Cr2Mo1 应采取下列措施防止回火脆化，其他含 Cr 量大于等于 2.25% 的 Cr-Mo 钢可参照执行：

1 应采用经真空处理的细晶粒钢。晶粒度应按现行国家标准《金属平均晶粒度测定方法》GB/T 6394 的规定进行测定，应具有 6 级或更细的晶粒度。

2 化学成分应符合式 (5.1.4-1)、式 (5.1.4-2) 和式 (5.1.4-3) 的要求：

$$1) \quad J \text{ 系数} = (\text{Si} + \text{Mn}) \times (\text{P} + \text{Sn}) \times 10^4 \leq 100 \quad (5.1.4-1)$$

式中：J 系数为钢材（母材）回火脆化敏感性系数。

式中元素以其质量百分含量代入，如 0.15% 以 0.15 代入。

另外，母材化学成分还应满足 $\text{Cu} \leq 0.20\%$ ， $\text{Ni} \leq 0.30\%$ （含 V 的 Cr-Mo 钢 $\text{Ni} \leq 0.25\%$ ）。

$$2) \quad X \text{ 系数} = (10\text{P} + 5\text{Sb} + 4\text{Sn} + \text{As}) \times 10^{-2} \leq 15 \quad (5.1.4-2)$$

式中：X 系数为焊缝金属回火脆化敏感性系数。

式中元素以 ppm 含量代入，如质量分数 0.01% 以 100 代入。

另外，焊缝金属化学成分还应满足 $\text{Cu} \leq 0.20\%$ ， $\text{Ni} \leq 0.30\%$ ；焊接材料熔敷金属中扩散氢的含量应小于 8mL/100g。

$$3) \quad \text{P}\% + \text{Sn}\% \leq 0.012 \quad (5.1.4-3)$$

3 钢材（母材）和焊缝金属的冲击韧性应满足式 (5.1.4-4)：

$$\text{VTr}55 + 2.5 \Delta \text{VTr}55 \leq 10^\circ\text{C} \quad (5.1.4-4)$$

式中：

VTr55——材料经最小模拟焊后热处理（用以模拟正火和回火热处理后所有制造过程热处理，包括 482℃ 以上的中间热处理和一次最终焊后热处理）后的夏比 V 型缺口冲击试样的冲击吸收能量为 55J 时的韧脆转变温度；

$\Delta \text{VTr}55$ ——材料经过最小模拟焊后热处理，并按图 5.1.4 所示步冷热处理后的夏比 V 型缺口冲击试样的冲击吸收能量为 55J 时韧脆转变温度的增量。

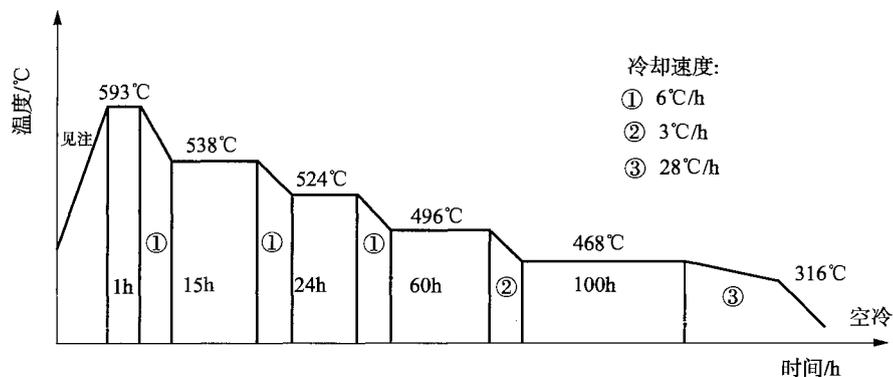


图 5.1.4 步冷热处理曲线图

注：从常温升温到 316℃时，升温速率没有要求；从 316℃升到 593℃时，加热速率应小于等于 56℃/h。

4 力学性能首先应满足相应的材料标准要求，另外还应按表 5.1.4 的规定，增加最小模拟焊后热处理和最大模拟焊后热处理状态下的力学性能试验。

表 5.1.4 模拟焊后热处理状态下力学性能试验

钢材	母材和焊接工艺评定 拉伸试验	母材、焊材和焊接工艺评定 冲击试验	焊材和焊接工艺评定 步冷试验
Cr 含量大于 2.25% 的 Cr-Mo 钢	最小模拟焊后热处理和最大模拟焊后热处理	最小模拟焊后热处理	最小模拟焊后热处理

5.1.5 温度低于 440℃ 的高压氢腐蚀环境用 14Cr1MoR、14Cr1Mo、15CrMoR 和 15CrMo 应符合下列要求：

1 应采用经真空处理的细晶粒钢。晶粒度应按现行国家标准《金属平均晶粒度测定方法》GB/T 6394 的规定进行测定，应具有 6 级或更细的晶粒度。

$$2 \quad X \text{ 系数} = (10P + 5Sb + 4Sn + As) \times 10^{-2} \leq 15 \quad (5.1.5)$$

式中：X 系数为焊缝金属回火脆化敏感性系数。

式中元素以 ppm 含量代入，如质量分数 0.01% 以 100 代入。

母材和焊缝金属化学成分均应满足以上 X 系数要求。

另外，母材化学成分还应满足 $C \leq 0.15\%$ ， $P \leq 0.007\%$ ， $S \leq 0.007\%$ ， $Cu \leq 0.20\%$ ， $Ni \leq 0.30\%$ ；焊缝金属化学成分还应满足 $C \leq 0.15\%$ ， $Cu \leq 0.20\%$ ， $Ni \leq 0.30\%$ 。焊接材料熔敷金属中扩散氢的含量应小于 8mL/100g。

3 力学性能首先应满足相应的材料标准。拉伸试验用试样应取自经最大模拟焊后热处理材料的 1/2 试样厚度位置。冲击试验试样应分别取自经最大模拟焊后热处理和最小模拟焊后热处理的材料，且应记录侧膨胀值 (LE)。

5.1.6 温度高于等于 440℃ 且低于 620℃ 的高温非临氢环境用 14Cr1MoR、14Cr1Mo、15CrMoR 和 15CrMo 应符合下列要求，防止产生再热裂纹和蠕变脆化：

1 应采用经真空处理的细晶粒钢。晶粒度应按现行国家标准《金属平均晶粒度测定方法》GB/T 6394 的规定进行检测，应具有 6 级或更细的晶粒度。

$$2 \quad \text{母材 } X \text{ 系数} = (10P + 5Sb + 4Sn + As) \times 10^{-2} \leq 15 \quad (5.1.6-1)$$

式中元素以 ppm 含量代入，如质量分数 0.01% 以 100 代入。

另外，母材化学成分还应满足 $C \leq 0.15\%$ ， $P \leq 0.012\%$ ， $S \leq 0.007\%$ ， $Cu \leq 0.20\%$ ， $Ni \leq 0.30\%$ ， $Nb \leq 0.004\%$ ， $V \leq 0.025\%$ ， $Ti \leq 0.02\%$ 。

$$3 \quad \text{焊缝金属 } X \text{ 系数} = (10P + 5Sb + 4Sn + As) \times 10^{-2} \leq 12 \quad (5.1.6-2)$$

式中元素以 ppm 含量代入，如质量分数 0.01% 以 100 代入。

另外，焊缝金属化学成分还应满足 $C \leq 0.15\%$ ， $Cu \leq 0.20\%$ ， $Ni \leq 0.30\%$ 。焊接材料熔敷金属中扩散氢的含量应小于 8mL/100g。

4 力学性能首先应满足相应的材料标准。拉伸试验用试样应取自经最大模拟焊后热处理材料的 1/2 试样厚度位置。除退火状态钢外，冲击试验试样应取自经最大模拟焊后热处理材料的 1/2 试

样厚度位置。

5.2 钢 板

5.2.1 无损检测

钢板的无损检测应符合下列规定：

1 压力容器主要受压元件用钢板，凡符合下列条件之一者，应按现行行业标准《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》NB/T 47013.3—2015 逐张进行超声检测：

- 1) 厚度大于 30mm 的 Q245R、Q345R 及强度级别、化学成分相近且强度级别不高于 Q345R 的其他低碳钢、低合金钢板；
- 2) 厚度大于 25mm 的 Q370R、Mn-Mo 系、Cr-Mo 系和 Cr-Mo-V 系钢板；
- 3) 厚度大于 20mm 的 16MnDR 和 Ni 系低温钢钢板（调质状态除外）；
- 4) 厚度大于 16mm 的调质状态供货的钢板；
- 5) 厚度大于等于 12mm 的多层容器内筒钢板；
- 6) 球形储罐中，与人孔、接管相焊接的球壳板和与支柱连接的赤道板用碳素钢和低合金钢钢板；
- 7) 设计压力大于等于 10.0MPa 容器用厚度大于等于 12mm 的钢板；
- 8) 盛装介质的毒性为极度或高度危害的容器用钢板；
- 9) 用于 I 类和 II 类湿 H₂S 腐蚀环境的碳素钢和低合金钢钢板。

2 下列为钢板超声检测的质量等级：

- 1) 钢板若符合本条第 1 款第 1) 项、第 2) 项、第 3) 项、第 7) 项、第 8) 项和第 9) 项：应不低于 II 级要求为合格；
- 2) 钢板若符合本条第 1 款第 4) 项和第 5) 项：应不低于 I 级要求为合格；
- 3) 钢板若符合本条第 1 款第 6) 项：应不低于相应类别钢板的合格级别。

3 复合钢板的基材，除按 5.2.1 中第 1 款与第 2 款执行外，凡符合下列条件之一者，应按现行行业标准《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》NB/T 47013.3—2015 进行超声检测，应不低于 I 级要求为合格。

- 1) 带内件塔式容器的主要受压元件；
- 2) 设计压力大于等于 1.6MPa 的压力容器主要受压元件；
- 3) 热交换器管板。

4 符合下列条件之一的复合钢板，应按现行行业标准《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》NB/T 47013.3—2015 进行超声检测，其结合状态不低于 I 级要求为合格。

- 1) 存在真空设计工况的压力容器主要受压元件；
- 2) 带内件塔式容器的主要受压元件；
- 3) 热交换器管板；
- 4) 热成形封头；

5) 设计压力大于等于 10MPa 的高压容器主要受压元件。

其他压力容器主要受压元件用复合板结合状态应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3—2015 进行超声检测，不低于 II 级要求为合格。

5 不在本条第 4 款范围内的壳体、封头用复合板应沿 200mm 间距的格子线、板边的 50mm 区域以及预定开孔边缘外侧的 25mm 区域内进行超声检测。

5.2.2 使用状态

钢板的使用状态应符合下列要求。

1 碳素钢和低合金钢：

- 1) 用于多层容器内筒的 Q245R 和 Q345R 钢板应在正火状态下使用；
- 2) 用于壳体时，厚度大于 36mm 的 Q245R 和 Q345R 钢板应在正火状态下使用；
- 3) 有-20℃冲击试验要求的厚度超过 12mm 的 Q245R 和厚度超过 20mm 的 Q345R 钢板应在正火状态下使用；
- 4) 用于壳体外其他受压元件时，厚度大于 50mm 的 Q245R、Q345R 钢板应在正火状态下使用；
- 5) 任意厚度的 Q370R 钢板应在正火状态下使用；
- 6) 受压元件的热成形不能代替原材料的正火。压力容器产品的焊后热处理不能代替原材料的正火处理。

2 珠光体耐热钢：珠光体耐热钢钢板应在正火+回火状态下使用。经热加工的珠光体耐热钢钢板应根据热加工工艺评定情况，考虑是否需重新热处理。

3 奥氏体不锈钢：奥氏体不锈钢应在固溶+酸洗或类似处理状态下使用，有需要时还可以在固溶处理后进行稳定化处理。经 600℃以上热加工的奥氏体不锈钢钢板，当使用于晶间腐蚀环境时，应重新进行固溶处理或稳定化处理。

4 复合钢板：不锈钢-钢、钛-钢、镍-钢和铜-钢复合板应在热处理后供货。

5 低合金高强度钢钢板：同时符合下列各条件的压力容器壳体用低合金高强度钢钢板，应检验钢板最大模拟焊后热处理和最小模拟焊后热处理状态下的力学性能，当设计有要求时，还应满足设计要求：

- 1) 设计压力大于等于 4.0MPa；
- 2) 板厚大于等于 40mm；
- 3) 焊后进行消除应力热处理。

6 球罐用高强钢钢板：球罐用高强钢钢板应在调质（淬火+回火）状态下使用，且回火温度不得低于 600℃。并应检验钢板最大模拟焊后热处理状态和最小模拟焊后热处理状态的力学性能，满足设计要求。

5.3 钢 管

5.3.1 受压元件用钢管可采用无缝或焊接工艺生产，宜优先选用无缝钢管。采用直缝电焊、直缝

埋弧焊和螺旋埋弧焊焊接等工艺生产的焊接钢管用于受压元件时，应符合 6.4.3 的相应规定。

5.3.2 压力容器的接管采用的钢管最小壁厚规格宜采用表 5.3.2 中的钢管规格，本表中碳素钢和低合金钢的最小厚度包含 1.5mm 的腐蚀裕量，如需考虑较高压力或较大的腐蚀裕量，可选用更高壁厚等级的钢管规格。

表 5.3.2 最小接管壁厚

单位：mm

公称直径 DN	接管外径		最小壁厚	
	国际通用系列 (英制管)	国内沿用系列 (公制管)	碳素钢和低合金钢	不锈钢
10	17.2	14	3.2	2.3
15	21.3	18	3.6	2.9
20	26.9	25	4.0	2.9
25	33.7	32	4.5	3.2
32	42.4	38	5.0	3.6
40	48.3	45	5.0	3.6
50	60.3	57	5.6	4.0
65	76.1	76	5.0	5.0
80	88.9	89	5.6	5.6
100	114.3	108	6.3	6.3
125	139.7	133	6.3	6.3
150	168.3	159	7.1	7.1
200	219.1	219	8.0	8.0
250	273.0	273	8.8	8.8
300	323.9	325	10.0	10.0
350	355.6	377	10.0	10.0
400	406.4	426	10.0	10.0
450	457.0	480	10.0	10.0
500	508.0	530	10.0	10.0
600	610.0	630	10.0	10.0

5.3.3 热交换器用冷拔无缝钢管常用规格如表 5.3.3 所示，设计中宜优选常用的钢管规格。

表 5.3.3 常用换热管规格

单位：mm

规格	1.2	1.5	2	2.5	3	3.5	4
14	√	√	√	√	√		
19	√	√	√	√	√		

表 5.3.3 (续)

规格	1.2	1.5	2	2.5	3	3.5	4
25	√	√	√	√	√		
32	√	√	√	√	√	√	√
38	√	√	√	√	√	√	√
45		√	√	√	√	√	√
51		√	√	√	√	√	√
57		√	√	√	√	√	√

5.3.4 换热管的直管段推荐定尺长度为 1 000mm、1 500mm、2 000mm、2 500mm、3 000mm、4 500mm、6 000mm、7 500mm、9 000mm、12 000mm。

5.3.5 钢管在制造过程中需要承受胀管或翻边加工者，应符合相应钢管标准中对扩口或卷边的附加保证要求。

5.3.6 设计压力大于等于 10.0MPa 的铁素体钢管应采用符合现行国家标准《高压化肥设备用无缝钢管》GB/T 6479 要求的钢管，并进行常温下的夏比 V 型缺口冲击韧性试验，3 个标准试样的冲击吸收能量平均值不应小于 40J，单个标准试样冲击吸收能量最低值不应小于 28J。

5.3.7 设计压力大于等于 10.0MPa 的钢管应逐根全长按现行国家标准《无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管纵向和/或横向缺欠的全圆周自动超声检测》GB/T 5777—2019 的要求进行超声波探伤检验，冷轧(拔)钢管对比试样的人工缺陷级别不得低于 U2 级，热轧(挤压)钢管对比试样的人工缺陷级别不得低于 U2.5 级。

5.3.8 承压钢管应保证符合水压试验要求。当设计未规定时，允许按现行国家标准《无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管纵向和/或横向缺欠的全圆周自动超声检测》GB/T 5777—2019 的 U4 级要求进行超声波检测代替水压试验；可按现行国家标准《无缝和焊接(埋弧焊除外)铁磁性钢管纵向和/或横向缺欠的全圆周自动漏磁检测》GB/T 12606—2016 的 F4 级要求进行漏磁检测代替水压试验；可按现行国家标准《无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管缺欠的自动涡流检测》GB/T 7735—2016 的 E4H 和 E4 级要求进行涡流探伤代替水压试验。

5.3.9 用作压力容器壳体的无缝钢管应符合下列要求：

1 采用钢管作为压力容器壳体时，设备制造单位应按表 5.3.9 的要求复验力学性能，并符合相应钢管标准的要求。奥氏体不锈钢钢管可免做冲击试验；

表 5.3.9 压力容器壳体用钢管复验要求

设计压力 p /MPa	拉伸试验	冲击试验	金相检验
$0.1 \leq p < 1.6$	每批取 2 根	—	—
$1.6 \leq p < 4.0$	每批取 2 根	每批取 2 根，每根取 1 组	—
$4.0 \leq p < 10.0$	每批取 10%，但不少于 2 根	每批取 10%，但不少于 2 根，每根取 1 组	—
$p \geq 10.0$	逐根	逐根，每根取 1 组	每批取 2 根
注： 1. 当钢管根数小于等于 2 根时，改为每批取 1 根或逐根； 2. 冲击试验的温度等于容器的最低设计金属温度。			

2 用作Ⅱ、Ⅲ类压力容器壳体的钢管,设备制造厂应逐根按容器液压试验压力进行液压试验。
Ⅰ类压力容器壳体用钢管,如钢厂已做液压试验,可不再复验。

5.4 锻 件

5.4.1 化工容器用锻件应符合现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008 和《承压设备用不锈钢和耐热钢锻件》NB/T 47010 的要求。

5.4.2 锻件的尺寸和重量符合下列条件之一者为中小型锻件,同时超过下列条件者为大型锻件:

- 1 规格不大于 PN2.5MPa、DN600 的法兰或相当于该尺寸的其他环形锻件;
- 2 重量不大于 800kg 的饼状、筒型和异型锻件(如三通、阀体等);
- 3 直径不大于 200mm 且重量不大于 1 500kg 的条形或轴类锻件。

5.4.3 压力容器用锻件应根据其使用条件及尺寸、重量大小,选用相应的锻件级别。锻件级别应符合下列规定:

- 1 设计压力小于 10.0MPa 的法兰以及几何尺寸类似的锻件应符合Ⅱ级或Ⅱ级以上要求;
 - 2 设计压力大于等于 1.6MPa 的非低温容器用锻件应符合Ⅱ级或Ⅱ级以上要求;
 - 3 设计压力大于等于 10.0MPa 的中小型锻件应符合Ⅲ级要求;
 - 4 大型锻件应符合Ⅲ级或Ⅳ级要求;
 - 5 使用介质的毒性为极度或高度危害性的锻件应符合Ⅲ级或Ⅳ级要求;
 - 6 标准抗拉强度下限值大于 540MPa,且公称厚度大于 200mm 的低合金锻件应符合Ⅲ级或Ⅳ级要求;
 - 7 公称厚度大于 300mm 的锻件应符合Ⅲ级或Ⅳ级要求;
 - 8 采用分析设计标准设计的设备用锻件应符合Ⅲ级或Ⅳ级要求;
 - 9 用作压力容器筒节和封头的筒形、环形和碗形锻件应符合Ⅲ级或Ⅳ级要求;
 - 10 公称直径大于等于 1 200mm 的热交换器管板或平盖锻件应符合Ⅲ级或Ⅳ级要求;
 - 11 球罐用人孔锻件应符合Ⅲ级或Ⅳ级要求。
- 5.4.4 非受压元件用中小型锻件应符合Ⅰ级或Ⅰ级以上要求。

5.5 铸 钢 件

5.5.1 化工容器用铸钢件应符合现行国家标准《通用耐蚀钢铸件》GB/T 2100、《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659、《一般用途耐热钢和合金铸件》GB/T 8492、《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352、《压力容器用碳钢铸件技术条件》HG/T 2741 的规定。

5.5.2 铸钢件应是采用电炉或氧气转炉冶炼的镇静钢,其化学成分(熔炼分析)中的 $P \leq 0.035\%$ 、 $S \leq 0.035\%$;可焊铸钢件化学成分中的 $C \leq 0.25\%$ 、 $P \leq 0.025\%$ 、 $S \leq 0.025\%$;耐蚀钢铸件还应采用炉外精炼工艺或电渣重熔,其化学成分中的 $P \leq 0.035\%$ 、 $S \leq 0.020\%$ 。

5.5.3 铸钢件应以热处理状态使用。奥氏体钢铸件应在固溶状态下使用。

5.5.4 铸钢件化学成分应按熔炼炉炉次逐炉进行检验。铸钢件应以同一熔炼炉次、同一热处理炉号为一批，每批取 1 个拉伸试样和 3 个冲击试样。

5.5.5 单件重量大于 1 000kg 且壁厚大于 100mm 的铸钢件应逐件进行化学成分和力学性能试验。

5.5.6 铸件主要承载处壁厚小于等于 100mm 者，可采用相应铸件标准中规定的标准单铸试块；壁厚大于 100mm 者，应采用相应部位的本体附铸试块或模拟铸件壁厚情况的单铸试块进行力学性能试验。单铸试块应与其所代表的铸钢件同炉进行热处理。

5.5.7 化工容器受压元件用铸钢件，其室温下标准抗拉强度下限值不应大于 540MPa、断后延伸率应大于等于 17%，设计温度下的夏比 V 型缺口冲击韧性试验的冲击吸收能量应大于等于 27J。

5.5.8 单件重量大于 300kg 的承压法兰类铸钢件应按现行国家标准《铸件 射线照相检测》GB/T 5677—2018 进行射线检测，且不低于 3 级要求。

5.5.9 空心的承压铸钢件应在热处理后逐件进行液压试验。液压试验压力不应低于设计压力的 1.5 倍。

5.5.10 承压铸钢件的安全系数取值应符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 的规定，但应考虑铸造质量系数 (ϕ)。一般情况下， $\phi \leq 0.80$ 。当符合下列条件之一时，可采用 $\phi \leq 0.90$ 的铸造质量系数。

1 逐件对铸件受力较大部位、截面急剧变化部位及接合处、冒口等部位按现行国家标准《铸件 射线照相检测》GB/T 5677—2018 进行射线检测，且不低于 3 级要求；

2 逐件对铸件表面按现行国家标准《铸钢铸铁件 磁粉检测》GB/T 9444—2019 或《铸钢铸铁件 渗透检测》GB/T 9443—2019 进行磁粉或渗透检测，不得存在任何裂纹（含热裂纹）；其他线性缺陷应符合表 5.5.10 的要求；圆形缺陷应符合 2 级要求；在缺陷密集区域面积为 25cm^2 （矩形的一边长度最长为 15cm）的矩形内，分散性缺陷应符合 3 级要求；

3 首批制成的 5 个铸件中抽取 3 个，其后的产品中每 5 个抽取 1 个按本条第 1 款和第 2 款的要求进行检查，且应符合表 5.5.10 的要求。

表 5.5.10 铸钢件线性缺陷合格等级

检测部位厚度 t/mm	线性缺陷合格等级	磁痕长度/mm
$t \leq 20$	2 级	≤ 4
$20 < t \leq 60$	3 级	≤ 8
$t > 60$	4 级	≤ 16

5.5.11 需进行焊接或焊补加工的承压铸钢件应单独按现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014 的要求进行焊接工艺评定，不得套用相似化学成分的锻轧钢材的焊接工艺评定报告。

5.5.12 铸钢件的屈服强度应按表 5.5.12 选取。

表 5.5.12 铸钢件的屈服强度

单位: MPa

标准编号	牌号	温度							
		≤20℃	100℃	150℃	200℃	250℃	300℃	350℃	400℃
GB/T 11352	ZG200—400	200	180	175	170	160	150	145	140
HG/T 2741	ZG205—415R								
GB/T 7659	ZG200—400H								
GB/T 11352	ZG230—450	230	210	205	200	190	175	165	155
GB/T 7659	ZG230—450H								
GB/T 7659	ZG270—480H	270	250	245	237	227	209	200	192
HG/T 2741	ZG275—485R								
GB/T 2100	ZG03Cr19Ni10	185	161	147	137	128	121	117	113
	ZG03Cr19Ni11Mo2	195	166	152	142	132	126	120	114
	ZG07Cr19Ni10	175	149	129	117	110	103	101	98.7

5.6 紧固件用钢材

5.6.1 受压元件使用商品级紧固件应符合下列要求:

- 1 公称压力小于等于 PN16 (欧洲体系) /Class150 (美洲体系);
- 2 非剧烈循环;
- 3 配用非金属软垫片;
- 4 介质为非易爆, 毒性危害程度为轻度或无毒的场合。

5.6.2 受压元件用商品级紧固件应符合下列规定:

1 螺栓、双头螺柱的力学性能等级应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1—2010 的 4.6 级到 8.8 级要求; 螺母的力学性能等级应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺母》GB/T 3098.2—2015 的 5 级到 8 级要求; 奥氏体不锈钢紧固件牌号 S30408 应符合现行国家标准《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6—2014 的 A2 要求, 牌号 S31608 应符合现行国家标准《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6—2014 的 A4 要求。各种性能等级的力学性能保证值详见附录 A “商品紧固件力学性能”;

2 商品级紧固件的产品公差分 A、B、C 三个等级。各种产品等级紧固件的使用限制应符合表 5.6.2 的规定。

表 5.6.2 各种等级商品紧固件的使用限制

紧固件产品公差等级	螺栓、螺钉、螺柱力学性能等级	规格	使用压力/MPa	使用温度/℃	配用螺母力学性能等级
C	4.6	≤M39	≤0.6	>-20~+300	5
A 或 B	8.8	≤M39	≤4.0	>-20~+300	8
A 或 B	A2、A4	≤M39	不限	不限	A2、A4

5.6.3 常用商品级紧固件标准应符合表 5.6.3 的规定。

表 5.6.3 商品紧固件标准

标准编号	标准名称 (产品等级)	力学性能等级	商品规格范围
GB/T 5780	六角头螺栓 (C 级)	4.6	M5~M64
GB/T 5781	六角头螺栓 全螺纹 (C 级)	4.6	M5~M64
GB/T 5782	六角头螺栓 (A 和 B 级)	5.6、8.8、A2	M1.6~M64
GB/T 5783	六角头螺栓 全螺纹 (A 和 B 级)	5.6、8.8、A2	M1.6~M64
GB/T 5784	六角头螺栓 细杆 (B 级)	5.8、8.8、A2	M3~M20
GB/T 6170	1 型六角螺母 (A 和 B 级)	6、8、A2	M1.6~M64
GB/T 41	1 型六角螺母 (C 级)	5	M5~M64
GB/T 6175	2 型六角螺母 (A 和 B 级)	10	M5~M36

5.6.4 力学性能等级为 4.6 级和 8.8 级的商品级紧固件, 高温屈服强度值应符合表 5.6.4 的规定。

表 5.6.4 高温屈服强度

单位: MPa

力学性能等级	温度				
	≤50℃	100℃	200℃	250℃	300℃
4.6	240	210	190	170	140
8.8	640	590	540	510	480

5.6.5 不锈钢商品紧固件的高温许用应力应按现行国家标准《压力容器 第 2 部分: 材料》GB/T 150.2—2011 的 S30408 和 S31608 等螺栓性能选取。

5.6.6 螺栓或螺柱的许用应力可按表 5.6.4 所列的屈服强度值除以表 5.6.6 所对应的安全系数而得。

表 5.6.6 紧固件的屈服强度安全系数

力学性能等级	<M24	≥M24~M39
4.6	2.7	2.5
8.8	3.5	3.0
A2-50、A2-70、A4-50、A4-70	1.6	1.5

注: <M24 的 A2-70 的许用应力不低于 A2-50 的许用应力值。

5.6.7 受压元件不得使用镀锌、镀镉的螺栓、螺柱。

5.6.8 采用钢棒自行加工的紧固件应符合下列规定:

1 压力容器用碳素钢螺柱毛坯应进行正火处理, 低合金钢螺柱用毛坯应进行调质处理, 奥氏体不锈钢螺柱用毛坯应进行固溶处理。热处理后, 在钢棒上沿轧制方向切取力学性能试验用试样(拉伸和冲击), 试样切取的位置为:

1) 直径小于等于 40mm 者, 应在中心切取;

2) 直径大于 40mm 者, 应在直径的 1/4 处切取 (试样轴线与一个轧制面的距离)。

2 热处理后钢棒的力学性能应符合现行国家标准《压力容器 第 2 部分: 材料》GB/T 150.2 的规定。

3 设计压力大于等于 10.0MPa 的高压紧固件用直径大于 50mm 的锻轧钢棒应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分: 超声检测》NB/T 47013.3—2015 进行超声检测, 不低于Ⅲ级要求为合格。

4 高压紧固件应在热处理和机械加工后, 按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分: 磁粉检测》NB/T 47013.4—2015 进行磁粉检测, 不得存在任何裂纹、1.5mm 的非轴向线性缺陷以及大于 4mm 的圆形缺陷。

5 压力容器用公称直径大于 M36 的螺柱应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分: 磁粉检测》NB/T 47013.4—2015 进行 100%磁粉检测, I 级为合格, 不得有横向裂纹。

6 钢材的使用限制和范围

6.1 化学成分

- 6.1.1 焊接的受压元件用碳素钢、低合金钢、珠光体耐热钢和铸钢的含碳量、含磷量、含硫量（熔炼分析）应符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 和现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB/T 150.2 的规定。
- 6.1.2 非受压元件用钢，当与受压元件相焊时，也应使用焊接性能良好并与相焊接材料性能基本一致的钢材。

6.2 非锅炉和压力容器用钢板在压力容器中的使用

- 6.2.1 Q235B 的使用限制应符合下列要求：
- 1 设计压力小于 1.6MPa；
 - 2 使用温度 20℃～300℃；
 - 3 用于壳体时，钢板厚度小于等于 16mm，用于其他受压元件的钢板厚度小于等于 30mm；
 - 4 材料质量证明书中含磷量、含硫量应符合 $P \leq 0.035\%$ 、 $S \leq 0.035\%$ 的要求；
 - 5 不得用于盛装毒性程度为极度或高度危害介质的容器。
- 6.2.2 Q235C 的使用限制应符合下列要求：
- 1 设计压力小于等于 1.6MPa；
 - 2 使用温度为 0℃～300℃；
 - 3 用于壳体时，钢板厚度小于等于 16mm，用于其他受压元件的钢板厚度小于等于 40mm；
 - 4 材料质量证明书中含磷量、含硫量应符合 $P \leq 0.035\%$ 、 $S \leq 0.035\%$ 的要求；
 - 5 不得用于盛装毒性程度为极度或高度危害介质的容器。

6.3 常压容器及非受压元件用 Q235 和 Q345 钢

- 6.3.1 根据部件的使用温度下限、重要性以及应力水平大小，应按下列规定分别选取相应的系数 K_1 、 K_2 、 K_3 。
- 1 使用温度系数 K_1 ：
 - 1) 高于 0℃时 $K_1=1$ ；
 - 2) 高于等于-20℃且低于等于 0℃时 $K_1=2$ ；
 - 3) 低于-20℃时 $K_1=3$ 。
 - 2 部件重要性系数 K_2 ：
 - 1) 如有损坏，对设备仅局部有影响时 $K_2=1$ ；
 - 2) 如有损坏，对设备整体有影响时 $K_2=2$ 。

3 应力水平系数 K_3 :

- 1) 应力水平低, 不作计算时 $K_3=1$;
- 2) 应力水平较高 (不大于许用应力的 $2/3$) 时 $K_3=2$;
- 3) 应力水平高 (大于许用应力的 $2/3$) 时 $K_3=3$ 。

4 取 $K=K_1+K_2+K_3$ 。

6.3.2 根据 K 值及板厚, 应按表 6.3.2 确定相应的钢材质量要求。

表 6.3.2 结构钢材选用表

系数/ K	板厚/mm									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
7										
6										
5										
4										
3										
注: A 区: 镇静钢, 如 Q235A、Q345A; B 区: 镇静钢 (保证常温冲击吸收能量), 如 Q235B、Q345B; C 区: 镇静钢 (保证低温冲击吸收能量), 如 Q235C、Q235D、Q345C、Q345D。										

6.3.3 要求保证室温冲击吸收能量时, 应纵向取样, 夏比 V 型缺口一组 3 个标准试样的冲击吸收能量平均值 Q235B 不低于 27J、Q345B 不低于 34J 为合格。

6.3.4 要求保证低温冲击吸收能量时, 应在最低设计温度下进行低温冲击试验。应纵向取样, 夏比 V 型缺口一组 3 个标准试样的冲击吸收能量平均值为 Q235C (最低 0°C)、Q235D (最低 -20°C) 不低于 27J, Q345C (最低 0°C)、Q345D (最低 -20°C) 不低于 34J 为合格。

6.4 钢 管

6.4.1 按现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163 生产的碳素钢和低合金钢钢管用于受压元件时, 其设计压力应小于等于 4.0MPa; 按现行国家标准《低中压锅炉用无缝钢管》GB/T 3087 生产的碳素钢及低合金钢钢管用于受压元件时, 其设计压力应小于 10.0MPa。

6.4.2 设计压力大于等于 10.0MPa 受压元件用钢管, 应采用符合现行国家标准《石油裂化用无缝钢管》GB/T 9948、《高压化肥设备用无缝钢管》GB/T 6479 或《高压锅炉用无缝钢管》GB/T 5310、《流体输送用不锈钢无缝钢管》GB/T 14976 要求的无缝钢管。

6.4.3 按现行国家标准《低压流体输送用焊接钢管》GB/T 3091 生产的水、煤气输送用焊接钢管只能用于常压容器。

6.4.4 按现行行业标准《奥氏体不锈钢焊接钢管选用规定》HG/T 20537.1、《管壳式换热器用奥氏

体不锈钢焊接钢管技术要求》HG/T 20537.2、《化工装置用奥氏体不锈钢焊接钢管技术要求》HG/T 20537.3 生产的奥氏体不锈钢焊接钢管，其使用范围应符合该标准的相应规定。

6.4.5 按现行国家标准《流体输送用不锈钢焊接钢管》GB/T 12771 生产的奥氏体不锈钢焊接钢管，应按下列限制使用：

- 1 V类和Ⅵ类钢管不得用于压力容器；
- 2 I～Ⅳ类钢管不得用于热交换器换热管；
- 3 I～Ⅳ类钢管不得用于存在晶间腐蚀倾向的容器；
- 4 Ⅲ类、Ⅳ类钢管不得用于盛装毒性程度为极度、高度危害介质的容器；
- 5 Ⅲ类、Ⅳ类钢管不得用于设计压力大于等于 10.0MPa 的容器。

6.4.6 按现行国家标准《奥氏体-铁素体型双相不锈钢焊接钢管 第1部分：热交换器用管》GB/T 21832.1—2018 和《奥氏体-铁素体型双相不锈钢焊接钢管 第2部分：流体输送用管》GB/T 21832.2—2018 生产的奥氏体-铁素体型双相不锈钢焊接钢管，应按下列限制使用：

1 仅允许符合 GB/T 21832.1—2018 要求的焊接钢管用于热交换器换热管。适用的设计压力应小于 10MPa，且应逐根按现行国家标准《无缝和焊接（埋弧焊除外）钢管缺欠的自动涡流检测》GB/T 7735 进行涡流检测，验收等级不低于 E4H 为合格。但不得用于盛装毒性程度为极度、高度危害介质的容器；

2 仅允许符合 GB/T 21832.2—2018 中 5.2.2.1 的 a)和 b)要求的焊接接管可用于压力容器接管；

3 使用温度范围应为-20℃～300℃。

6.4.7 按现行国家标准《奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管》GB/T 21833 生产的奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管，其使用温度应为-20℃～300℃。

6.5 复合板的使用温度范围

6.5.1 复合板基材和覆材的使用温度范围应同时符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 和现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB/T 150.2 的使用规定。

6.5.2 复合板的技术要求应符合现行行业标准《压力容器用复合板》NB/T 47002（所有部分）的规定。

6.6 奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体型双相不锈钢的耐蚀性

6.6.1 耐点蚀当量数应符合下列规定：

1 耐点蚀当量数（PREN）与不锈钢耐局部腐蚀能力成正比；

2 耐点蚀当量数（PREN）按下式计算：

$$\text{PREN}=[\text{Cr}\%]+3.3[\text{Mo}\%]+16[\text{N}\%] \text{（质量分数）}$$

3 用于腐蚀介质环境时，部分奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体型双相不锈钢耐点蚀当量数参考价值见表 6.6.1。

表 6.6.1 耐点蚀当量数

不锈钢类型	GB/T 20878—2007 中序号	中国统一数字代号	GB/T 20878—2007 中牌号	耐点蚀当量数 (PREN)
奥氏体不锈钢	17	S30408	06Cr19Ni10	≥18
	39	S31603	022Cr17Ni12Mo2	≥24
	48	S31782	015Cr21Ni26Mo5Cu2	≥33
	50	S31703	022Cr19Ni13Mo3	≥28
奥氏体-铁素体 型双相不锈钢	68	S21953	022Cr19Ni5Mo3Si2N	≥29
	72	S23043	022Cr23Ni4MoCuN	≥26
	71	S22053	022Cr23Ni5Mo3N	≥35
	70	S22253	022Cr23Ni4Mo2N	≥31
	76	S25073	022Cr25Ni7Mo4N	≥40

6.6.2 化工容器用奥氏体-铁素体型双相不锈钢中铁素体相的比例应控制在 40%~60%，其焊接接头的铁素体相的比例宜控制在 35%~65%。

6.7 紧固件的使用温度范围及限制

6.7.1 紧固件的使用温度范围及其他限制应符合表 6.7.1 的规定。螺栓的硬度应比螺母稍高。

表 6.7.1 紧固件的使用温度范围

钢号	钢材标准	使用温度范围/°C	其他限制
20	GB/T 699	-20~350	适用于 $p \leq 10.0\text{MPa}$ 的容器。密封要求高时，使用温度宜小于等于 200°C
35	GB/T 699	0~350	适用于 $p \leq 10.0\text{MPa}$ 的容器。密封要求高时，使用温度宜小于等于 200°C
40Mn、40MnB、40MnVB、40Cr	GB/T 699、 GB/T 3077	0~400	适用于 $p \leq 10.0\text{MPa}$ 的容器。密封要求高时，使用温度宜小于等于 200°C
30CrMoA	GB/T 3077	-100~500	适用于 $p \geq 2.5\text{MPa}$ 的容器。密封要求高时，使用温度宜小于等于 400°C
35CrMoA	GB/T 3077	-70~500	适用于 $p \geq 2.5\text{MPa}$ 的容器。密封要求高时，使用温度宜小于等于 400°C
35CrMoVA	GB/T 3077	-20~425	—
40CrNiMoA	GB/T 3077	-50~350	—
25Cr2MoVA	GB/T 3077	-20~550	适用于 $p \geq 2.5\text{MPa}$ 的容器。密封要求高时，使用温度宜小于等于 500°C
S45110 (12Cr5Mo)	GB/T 1221	-20~600	适用于高温密封
S30408 (06Cr19Ni10)	GB/T 1220	-253~700	应变硬化状态的使用温度上限为小于等于 100°C
S31608 (06Cr17Ni12Mo2)	GB/T 1220	-253~700	
S31008 (06Cr25Ni20)	GB/T 1220	-253~800	适用于高温密封容器
S32168 (06Cr18Ni11Ti)	GB/T 1220	-253~700	适用于高温密封容器

6.7.2 I类和II类湿 H₂S 环境下的紧固件应符合现行行业标准《石油化工湿硫化氢环境设备设计导则》SH/T 3193 的规定。

6.8 使用介质的限制

6.8.1 使用介质为 NaOH 溶液时应符合下列规定：

1 NaOH 溶液温度超过 46℃到沸点时，碳素钢及低合金钢焊制化工容器易发生碱应力腐蚀开裂。在 NaOH 溶液腐蚀环境下的压力容器可按图 6.8.1 的要求选材；

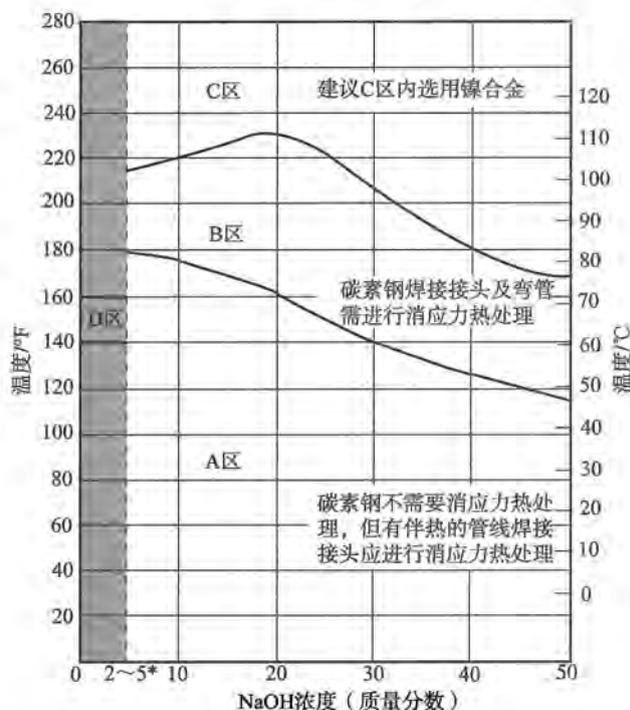


图 6.8.1 钢材在 NaOH 溶液中的使用限制

2 碳素钢及低合金钢焊制化工容器，在温度和 NaOH 溶液浓度（质量分数）位于图 6.8.1 的 A 区时，容器不需要进行消除应力热处理，但伴热管线的焊接接头应进行消除应力热处理；位于图 6.8.1 的 B 区时，碳素钢和低合金钢焊接接头及弯管应进行消除应力热处理；位于图 6.8.1 的 C 区时则应选用镍合金；位于图 6.8.1 的 D 区时，沸点以下不论温度为多少，碳素钢和低合金钢焊接接头均可不进行消除应力热处理；

3 盛装 NaOH 溶液介质的碳钢及低合金钢焊制化工容器壳体用钢板的腐蚀裕量不应小于 3mm；

4 盛装 KOH 溶液介质的碳钢及低合金钢焊制化工容器应参照本条第 2 款的规定。

6.8.2 使用介质为 I 类湿 H₂S 腐蚀环境时应符合下列规定：

当容器接触的介质中含有游离水，且 H₂S 浓度大于 50ppmw 时，称为湿 H₂S 腐蚀环境。

1 当化工容器接触的介质同时符合下列各项条件时，即为 I 类湿 H₂S 腐蚀环境：

- 1) 温度为室温到 150℃；
- 2) 液相中硫化物浓度 > 50ppmw；

- 3) 气相中 H₂S 分压大于等于 0.3kPa;
- 4) 液相中硫化物的浓度小于 2 000ppmw, 且 pH < 4; 或液相中硫化物的浓度小于 2 000ppmw, pH > 7.6, 且氰化物 (HCN) < 20ppmw。

2 材料要求及限制:

在 I 类湿 H₂S 腐蚀环境中使用的碳素钢及低合金钢应符合下列要求:

- 1) 材料标准规定的屈服强度下限值 $R_{eL} \leq 355\text{MPa}$ 。
- 2) 材料实测的抗拉强度 $R_m \leq 630\text{MPa}$ 。
- 3) 材料使用状态应至少为正火、正火+回火或调质等。
- 4) 碳素钢的碳当量限制: $CE \leq 0.43$;
- 低合金钢的碳当量限制: $CE \leq 0.45$ 。

注:

- 1. $CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$;
- 2. 当碳当量限制超标时, 应加大硬度限制的监测频度。
- 5) 材料中不得添加铅、硒等元素。
- 6) 材料为非焊接件或经焊后热处理时, 硬度限制应符合表 6.8.2 的要求。

表 6.8.2 材料硬度限制表

组类别	硬度最大值
Fe-1	200HBW
Fe-3	225HBW
Fe-4	225HBW
Fe-5A	235HBW
Fe-5B	235HBW
Fe-5C	235HBW

7) 壳体用钢板厚度大于等于 12mm 时, 应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分: 超声检测》NB/T 47013.3—2015 进行超声检测, 质量等级不低于 II 级要求为合格。

8) 不应采用铜及各种铜合金。

9) 壳体用钢板的腐蚀裕量不应小于 3mm。

10) 为了防止应力腐蚀开裂, 母材不宜采用金属涂层 (电镀或化学镀)、转化涂层、塑料涂层等结构。

3 制造要求:

- 1) 冷成形的变形率小于等于 2% 可不处理; 大于 2% 至小于等于 5% 应做消除应力热处理; 大于 5% 应做恢复力学性能热处理;
- 2) 热处理后, 不得在接触介质一侧打钢印。

4 焊接：

- 1) 所有焊接接头均应经焊接工艺评定，包括对焊、补焊、管子与管板焊接、堆焊、角焊等；
- 2) 在满足强度要求的前提下，宜采用低强度焊接材料；
- 3) 焊接接头（包括焊缝、热影响区及母材）的硬度限制同 6.8.2 中第 2 款第 6) 项的要求；
- 4) 焊接工艺评定、焊接试板及每一种焊接工艺施焊的产品焊缝均应按本款第 3) 项要求进行硬度测定。产品上的硬度测定应在接触介质一侧的表面。工艺评定及试板上的硬度应在横截面上测定（距表面 1.5mm 处），维氏硬度检测具体取样位置可按图 6.8.2-1~图 6.8.2-3 的规定；

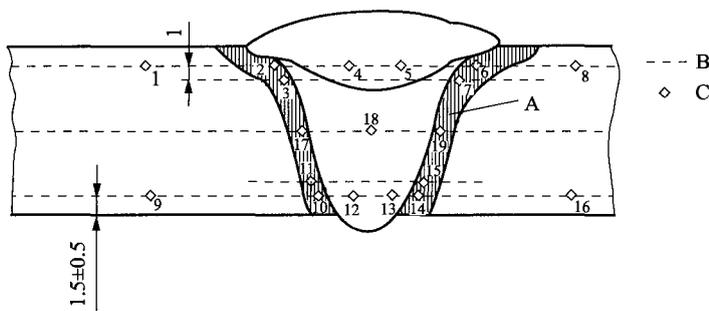


图 6.8.2-1 对接接头硬度检测要求

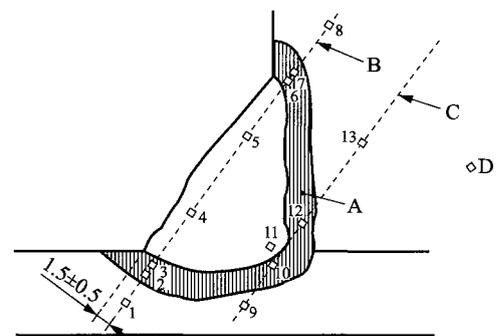


图 6.8.2-2 角接头硬度检测要求

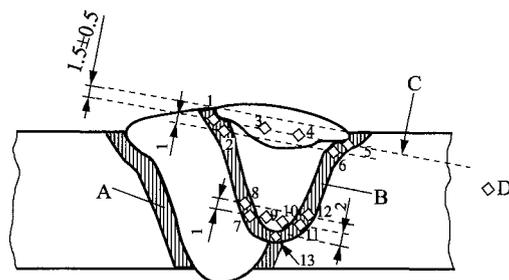


图 6.8.2-3 返修焊接接头硬度检测要求

- 5) 焊缝外的起弧、打弧点（包括临时焊缝处）均应在焊后热处理前打磨 0.3mm 以上，并作磁粉或渗透检测；
- 6) 所有焊接接头不应留下封闭的中间空隙（如衬板、加强板的四周填角焊后），如属不可避免时，应开设排气孔；
- 7) 当母材碳当量 CE 大于 0.40，或者 Nb+V 大于 0.01%（质量分数）时，焊前最低预热温度为 120℃~150℃；
- 8) 厚度超过 50mm 的壳体对接接头应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测》NB/T 47013.2 和《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3 分别进行 100% 射线检测和 100% 超声检测，或按现行行业标准《承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测》NB/T 47013.10、《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3、《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》NB/T 47013.4 或《承压设备无损检测 第 5 部分：渗透

检测》NB/T 47013.5 分别进行 100%TOFD 检测、100%超声检测和双面磁粉检测或渗透检测；

9) 接管与筒体间焊接接头应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3 进行 100%超声检测，当无法进行超声检测时，可以采用 100%磁粉检测或渗透检测；

10) 不允许存在铁素体钢或双相不锈钢与奥氏体钢之间的异种金属焊接接头。

5 焊后热处理：

1) 可能发生 I 类湿 H₂S 腐蚀环境的容器应进行焊后消除应力热处理，焊后热处理温度应按标准要求尽可能取上限。碳素钢焊后热处理的保温时间一般为 1h/25mm 且不低于 1h，推荐的热处理温度为 (607±14)℃～(635±14)℃；

2) 热处理宜采用炉内整体消除应力热处理。

6.8.3 使用介质为 II 类湿 H₂S 腐蚀环境时应符合下列规定。

1 容器工作条件同时符合下列条件时，为 II 类湿 H₂S 腐蚀环境：

1) 温度为室温到 150℃；

2) 液相中硫化物浓度 > 50ppmw；

3) 气相中 H₂S 分压大于等于 0.3kPa；

4) 液相中硫化物的浓度大于 2 000ppmw，且 pH < 4；或液相中硫化物的浓度大于 2 000ppmw，pH > 7.6，且氰化物 (HCN) ≥ 20ppmw；或液相中 NH₄HS 质量分数大于 2%。

2 当容器处于 II 类湿 H₂S 腐蚀环境时，除应符合 6.8.2 的技术要求外，还应符合下列技术要求：

1) 材料化学成分 (成品分析)：S ≤ 0.003%；P ≤ 0.010%；Ni < 1.0%；[O] ≤ 0.002 0%。

2) 板厚方向断面收缩率：

$\psi \geq 35\%$ (3 个试样平均值)；

$\psi \geq 25\%$ (单个试样最低值)。

3) 对于 HIC 钢板，钢板的抗氢致开裂 HIC 试验结果等级不应低于现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB/T 713—2014 中的 I 级要求。

4) 所有焊接接头均应进行焊后热处理。

6.8.4 使用介质为氢腐蚀环境时应符合下列规定。

1 腐蚀环境：

化工压力容器温度大于等于 204℃且与氢气接触时为氢腐蚀环境。氢腐蚀环境中如果同时存在高温硫腐蚀、高温蠕变、蠕变与氢腐蚀的倍增效应、回火脆性等其他因素时，还应当考虑这些因素对钢材高温力学性能的影响。

2 材料要求及限制：

1) 氢腐蚀环境下钢材的使用状态应符合相关标准的规定，碳钢根据温度和氢分压不同，可进行或不进行焊后消除应力热处理；

2) 铁素体钢在氢腐蚀环境中的使用温度界限按图 6.8.4 的规定，并应留有 20℃以上的温度安全裕度；

3) 奥氏体不锈钢在图 6.8.4 所示的温度及氢分压中使用不会引起氢腐蚀。

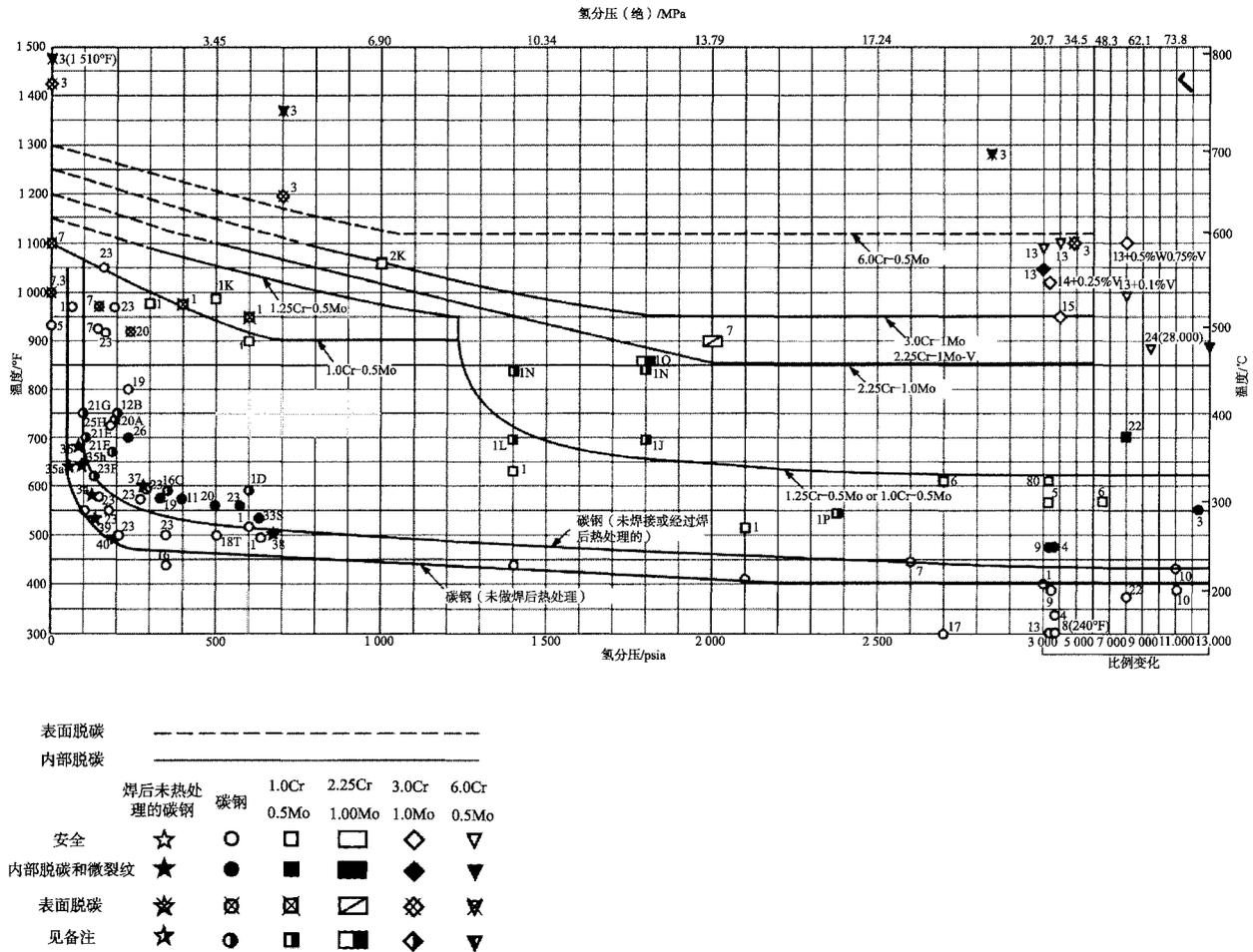


图 6.8.4 碳钢和珠光体耐热钢在氢气氛中的使用限制

注:

1. 1967 年, 版权属 G. A. Nelson, 再版权由作者授权于 API。本图由 API 于 1969 年、1977 年、1983 年、1990 年、1996 年和 2015 年修正;

2. 奥氏体不锈钢通常不会在任何温度或氢分压下被氢气脱碳;

3. 这些曲线所定义的限制基于铸造钢和退火和正火处理过钢材的使用经验;

4. 有几份报告称有在安全范围内的 1.25Cr1Mo 钢发生了断裂;

5. 2.25Cr1MoV 等级包括的钢材均经过实验室 10 000h 以上的实验, 其等级最低与 3Cr1Mo 相等;

6. 本版本添加了未经焊后热处理的碳钢曲线, 其原因是发生了多起在 1977 年曲线下方的钢材断裂的事故, 且大多为未经焊后热处理的钢材。因此, 原先的曲线被保留下来, 用作未焊接或焊接且进行焊后热处理的碳钢曲线; 新添加的曲线为未经焊后热处理的碳钢曲线。仍在使用的位于两曲线之间的钢材应该立即进行氢腐蚀的评估。

6.8.5 使用介质为液氨应力腐蚀环境时应符合下列规定:

1 腐蚀环境:

1) 介质为液态氨, 含水量 $\leq 0.2\%$, 且有可能受空气 (O_2 或 CO_2) 污染的场所;

2) 工作温度高于 $-5^\circ C$ 。

2 在液氨应力腐蚀环境中使用的碳素钢和低合金钢（包括焊接接头）应符合下列要求：

1) 材料要求及限制按 6.8.2 中第 2 款第 1) ~6) 项；

2) 焊接的要求按 6.8.2 中第 4 款第 1) ~5) 项；

3) 焊后热处理或采用硬度不大于 185HBW 的焊接工艺施焊。

6.8.6 高硫原油环境下的主要设备选材要求，应符合现行行业标准《高硫原油加工装置设备和管道设计选材导则》SH/T 3096 的规定。高酸原油环境下的主要设备选材要求，应符合现行行业标准《高酸原油加工装置设备和管道设计选材导则》SH/T 3129 的规定。

6.8.7 在选用化工容器材料时，尚应根据介质的状态、流速、流态以及是否处于相变部位等因素，对设备局部结构和材料采取加大流通面积、降低流速、增加壳体壁厚、增设挡板、局部材料升级等防止局部严重腐蚀的措施。

7 焊接材料

7.1 焊接材料质量证明书

7.1.1 焊接材料应附有焊接材料制造单位提供的质量证明书，质量证明书的内容符合相应标准的规定且齐全、清晰，并且盖有焊材制造单位质量检验章；使用单位按质量管理体系规定验收与复验，合格后方可使用。

7.1.2 国内焊接材料品种分为下列三种情况：

- 1 符合国家标准；
- 2 符合行业标准；
- 3 尚无国家标准、行业标准。

7.1.3 凡符合国家标准及行业标准的焊材，其质量证明书应包含相应标准中的规定和要求；尚无国家标准及行业标准的焊材，应按现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 中 1.9 进行批准。其质量证明书，除应符合相近国家标准及行业标准的一般要求和规定外，尚应符合该焊接材料产品样本中规定的性能和要求，详见附录 B “部分特殊焊接材料的成分和性能”。

7.2 焊接材料选用及标注

化工压力容器的设计对焊接材料的要求，一般按下列情况进行规定：

1 用于制造压力容器受压元件的焊接材料，应当保证焊缝的力学性能高于或等于母材规定的下限值，当需要时，其他性能不得低于母材的相应要求；

2 焊接材料应按现行行业标准《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018（所有部分）的要求标出清晰、牢固的标识；

3 焊条电弧焊按相应规定选取焊条，宜采用焊条型号进行标识，当需要时可采用焊条型号和焊条牌号双标识；

4 根据焊接接头的型式、材料以及质量要求，设计者可采用钨极气体保护焊或钨极气体保护焊打底焊条电弧焊盖面的焊接方法，但此时应在图样或技术文件中规定焊接方法并注明采用的钨极气体保护焊焊丝及焊条；

5 对于厚度较大的碳素钢、低合金钢、不锈钢的对接接头，设计者可根据具体情况规定采用埋弧焊或电渣焊，但此时应提出推荐或规定的焊丝和焊剂要求。

7.3 容器制造单位对设计选用焊接材料的修改

7.3.1 容器制造单位应按设计图样及技术文件的规定选用焊接材料，允许容器制造单位在满足 7.4~7.7 各项要求以及设计规定的其他技术要求的前提下，改变焊接方法及所采用的焊接材料，但应事先取得原设计单位的同意。

7.3.2 当设计图样及技术文件上未规定焊接材料时，容器制造厂在满足 7.4~7.7 各项要求的前提下，根据焊接工艺评定选取合适的焊接材料，无需取得原设计单位的同意。

7.4 碳素钢及低合金钢组合的焊接材料选用

焊缝金属的性能应高于或等于相应母材标准规定值的下限或满足图样规定的技术条件要求。各类钢的焊缝金属应符合下列要求：

1 碳素钢、低合金钢的焊接材料应按母材的力学性能等级选用相应强度级别的焊接材料，焊接接头的抗拉强度不应低于母材标准规定的抗拉强度下限值。

2 焊接接头的抗拉强度不仅取决于熔敷金属的抗拉强度，而且更大程度上受母材强度以及坡口截面尺寸的影响。因此为改善接头抗裂性能和焊接工艺性能允许在满足 7.4.1 中第 1 款的情况下，选用熔敷金属抗拉强度下限值比母材低 10MPa~30MPa 的焊条。

3 厚板多层多道焊或焊后进行消除应力热处理的容器，焊接接头经热处理后会出现强度降低的情况，选材时应考虑。

4 凡符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 规定的Ⅱ类和Ⅲ类的压力容器应采用低氢型焊条。按现行国家标准《钢制球形储罐》GB/T 12337 设计的球形储罐应选用低氢型焊条。按现行行业标准《钢制压力容器——分析设计标准》(2005 年确认) JB 4732 进行分析设计的容器应采用低氢型焊条。

5 非受压元件用铸钢和中碳钢的焊接，一般应选用低氢焊条，并采取缓冷处理。

6 管道、小直径容器、接管等单面焊双面成形的场合，可采用氩弧焊打底，也可采用专用的相应强度等级的专用焊条打底。

7 对焊接接头的韧性、抗裂性有较高或特殊要求时，应选用具有下列特性的低氢焊条：

1) 熔敷金属冲击吸收能量较高，或在较低温度下具有较高冲击吸收能量；

2) 焊条的药皮含水量或熔敷金属的扩散氢含量比一般标准要求更低的超低氢焊条。

8 各种强度级别钢材的焊条电弧焊焊条应根据接头的性能和工艺要求按表 7.4-1 推荐选用。焊前预热温度，一般情况下可按表 7.4-2 选取，没有规定的碳素钢和低合金钢的最低预热温度为室温（一般是 15℃）。一般焊材烘干温度应按焊接材料说明书执行，表 7.4-3 为推荐选用。

表 7.4-1 碳素钢、低合金钢推荐选用焊条

母材	焊条牌号	国标型号	相近标准型号	用途
Q245R	J427、 J426	E4315、 E4316		低氢碱性焊条,焊缝金属抗拉强度大于等于430MPa
	J420G	E4340		碳钢管道等全位置打底专用焊条,具有良好的背面成形性能,抗气孔性好
	J427Ni	E4315、附录B		低氢碱性焊条,含有一定量镍,药皮含水量及熔敷金属扩散氢含量低,因此低温韧性良好
Q345R、 20MnMo、 16MnDR	J507	E5015		低氢碱性焊条,焊缝金属抗拉强度大于等于490MPa
	J507R		E5015-G、附录B	低氢碱性焊条,焊后消除应力热处理后,熔敷金属抗拉强度大于等于490MPa
	J507NiTiB		E5015-G、附录B	超低氢焊条,-40℃低温韧性良好,抗裂性好
	J507RH	E5015-G		
	J506D	E5015		低氢碱性焊条,全位置打底专用,具有良好的背面成形,抗气孔及夹渣性能良好
	J506D	E5016		
Q370R、 20MnMo	J557	E5515-G		低氢碱性焊条,熔敷金属抗拉强度大于等于550MPa
	J557RH	E5515-G		低氢碱性焊条,抗裂性比J557显著改善,用于厚壁、现场焊接等场合
13MnNiMoR、 18MnMoNbR、 20MnMoNb	J607	E6215-3M2P		低氢碱性焊条,熔敷金属抗拉强度大于等于620MPa
	J607Ni	E6215-GP	E6015-G、附录B	低氢碱性焊条,低温韧性及抗裂纹性能比J607好
	J607RH	E6215-G		超低氢碱性焊条,具有良好的低温韧性和抗裂性能
12AlMoV	J507Mo		E5015-G、附录B	低氢焊条,高温抗S及H ₂ S腐蚀用12AlMoV钢专用焊条
10MoWVNb	J507MoW		E5015-G、附录B	低氢焊条,高温高压抗氢及氢、氮、氨腐蚀用10MoWVNb钢专用焊条
07MnMoVR	LB-62UL	E6216-N1M1U		超低氢焊条,具有良好的防潮和耐裂纹性
07MnNiVDR、 07MnNiMoDR	LB-65L	E6216-N5M1U		超低氢焊条,具有良好的防潮性
<p>注:</p> <p>1. E4340、E4315、E5015、E5016 为现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 所列型号; E5015-G、E5515-G、E6215-3M2P、E6215-G 为现行国家标准《热强钢焊条》GB/T 5118 所列型号; E6216-N1M1U、E6216-N5M1U 为现行国家标准《高强钢焊条》GB/T 32533 所列型号。符合上述国标型号的焊条应按相应国家标准验收;</p> <p>2. 属于只有相近国家标准的焊条应按附录 B 所列成分、性能及相近国家标准型号的其他规定验收。</p>				

表 7.4-2 常用钢号推荐的预热温度

母材	厚度/mm	预热温度/°C
Q245R	30~50	≥ 50
	> 50~100	≥ 80
	> 100	≥ 80
16MnDR、09MnNiDR、15MnNiDR	≥ 25	≥ 50
16Mn、Q345R	25~50	≥ 80
	> 50	≥ 100
20MnMo	任意厚度	≥ 100
13MnNiMoR	任意厚度	≥ 150
18MnMoNbR	任意厚度	≥ 180
20MnMoNb	任意厚度	≥ 200
12CrMo、15CrMoR、15CrMoG、15CrMo、 14Cr1MoR、14Cr1Mo、12Cr1MoV、 12Cr1MoVG	> 13	≥ 150
12Cr2Mo、12Cr2Mo1R、12Cr2MoG、 12Cr2Mo1	任意厚度	≥ 200
1Cr5Mo	任意厚度	≥ 150
07MnMoVR、07MnNiVDR、07MnNiMoDR	任意厚度	≥ 100
<p>注：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 表中所列温度是推荐值，拘束程度高的部位（如人孔、接管与筒体连接部位）以及冬季气温低于 5℃ 时，应根据情况，采用比表中所列值高的预热温度，扩大预热区域，延长预热时间； 2. 不同强度级别的钢材焊接时，应按强度较高侧母材，选用预热温度； 3. 埋弧焊等焊接线能量大的场合，可不受此限制； 4. 采用钨极气体保护焊打底的工艺时，经焊接工艺评定，可采用比表中所列值更低的预热温度； 5. 碳素钢和低合金钢的最高预热温度与道间温度不宜大于 300℃，奥氏体不锈钢最高道间温度不宜大于 150℃。 		

表 7.4-3 常用焊材烘干温度及保持时间

类别	牌号	温度/°C	时间 T/h
碳素钢和低合金钢焊条	J422	150	1
	J426	300~350	1
	J427	350	1
	J502	150	1
	J506、J507	350	1
	J506RH、J507RH	350~430	1
	J507MoW	350	1
	J557	350	1
	J556RH	400	1
	J606、J607	350	1
	J607RH	350~430	1
	J707	350	1
	J707RH	400	2
钼和铬钼耐热钢焊条	R207、R307	350	1
	R307H	400	1
	R317、R407、R507	350	1
铬镍不锈钢焊条	A102	150~200	1
	A107	250	1
	A132	150~200	1
	A137	250	1
	A202	150~200	1
	A207	250	1
	A002、A022、A212、A242	150~200	1
熔炼焊剂	HJ431	250	2
	HJ350、HJ260	300~400	2
	HJ250	300~350	2
烧结焊剂	SJ101、SJ601、SJ603	300~350	2

9 碳素钢、低合金高强度钢的埋弧焊焊丝和焊剂应满足现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293 的要求。碳素钢、低合金高强度钢的埋弧焊焊丝和焊剂可根据母材的抗拉强度级别、焊接接头性能要求，按表 7.4-4 推荐选用。

表 7.4-4 碳素钢、低合金高强度钢埋弧焊的推荐焊丝和焊剂

母材类别	焊丝型号/牌号	焊剂牌号	焊丝-焊剂组合
Q235B、Q235C、Q245R	SU08A/H08A	HJ431	S43×0MS-SU08A
	SU26/H08Mn		S43×0MS-SU26
Q345R	SU34/H10Mn2	HJ431、HJ350、SJ101	S49×0MS-SU34、 S49×0FB-SU34
	SU28/H10MnSi		S49×0MS-SU28、 S49×0FB-SU28
20MnMo	SU43/H13Mn2	HJ431、HJ350	S49×0UMS-SU43
	SUM3/H08MnMo		S49×0UFB-SUM3
13MnNiMoR、 18MnMoNbR、 20MnMoNbR	SUM31/H08Mn2Mo	HJ431、HJ350、SJ101	S55×0UMS-SUM31、 S55×0U××-SUM31、 S55×0UFB-SUM31
注：焊丝-焊剂组合中的第 4 位“×”是“A”或“P”，“A”是指在焊态条件下测试的力学性能；“P”是指在焊后热处理条件下测试的力学性能。			

10 不同强度级别的低碳钢、低合金钢之间的异种钢焊接，其焊接材料选用原则是低匹配原则，即选择与母材中抗拉强度较低侧材料相匹配的焊接材料，应按表 7.4-5 推荐选用，预热温度见表 7.4-2 的规定。

表 7.4-5 不同强度级别的低碳钢、低合金钢异种钢焊接的推荐选用焊条

母材	另一侧母材			
	抗拉强度 430MPa 级低碳钢	抗拉强度 490MPa 级低合金钢	抗拉强度 550MPa 级低合金钢	抗拉强度 590MPa 级低合金钢
抗拉强度 490MPa 级碳锰钢	J427	J507	J507	J507
抗拉强度 550MPa 级低合金钢	J427	J507	J557	J607
抗拉强度 590MPa 级低合金钢	J427	J507	J557	J607
抗拉强度 620MPa 级低合金钢	J427	J507	J557	J607

7.5 珠光体耐热钢之间的焊接材料选用

7.5.1 焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于相应母材标准规定的下限值，且应保证焊缝金属中的 Cr、Mo 等主要合金元素的含量不低于母材标准规定的下限值。经焊后热处理的焊缝金属，其力学性能不得低于母材标准规定的下限值。

7.5.2 为了提高焊接接头的抗裂性能，化工压力容器用珠光体耐热钢焊接宜选用低氢碱性焊条。焊条应满足现行国家标准《热强钢焊条》GB/T 5118—2012 的规定，其选用按表 7.5.2 的规定。

表 7.5.2 珠光体耐热钢推荐选用焊条

母材类别	焊条牌号	符合国标型号
12CrMo、12CrMoG	R207	E5515-CM
15CrMo、15CrMoG、15CrMoR	R307	E5515-1CM
14Cr1MoR、14Cr1Mo	R307H	E5515-1CM
12Cr1MoV、12Cr1MoVG	R317	E5515-1CMV
12Cr2Mo、12Cr2Mo1、12Cr2MoG、12Cr2Mo1R	R407	E6215-2C1M
1Cr5Mo	R507	E5MoV-15

7.5.3 珠光体耐热钢的焊接一般需进行焊前预热和焊后消除应力热处理。当采用低碳焊丝选配的方法，控制熔敷金属的含碳量小于等于 0.05%，R307、R407、R507 焊条用于表 7.5.3 所列场合时，经焊接工艺评定合格，可免做焊后消除应力热处理。

表 7.5.3 低碳焊条用于珠光体耐热钢免除焊后热处理

母材类别	焊条牌号	适用范围	预热温度/℃
15CrMo、14Cr1MoR	R307 (C≤0.05%)	壁厚≤15mm 的管子、接管	≥150
2.25Cr-1Mo	R407 (C≤0.05%)	外径 φ≤114mm 且壁厚≤12mm	≥150
5Cr-0.5Mo	R507 (C≤0.05%)	壁厚≤7.5mm 的管子、接管	≥150

7.5.4 珠光体耐热钢的埋弧焊焊丝和焊剂应根据母材的合金组分可按表 7.5.4 选用。

表 7.5.4 珠光体耐热钢埋弧焊推荐选用焊丝和焊剂

母材类别	焊丝型号/牌号	焊剂牌号	焊丝-焊剂组合
15CrMoR、14Cr1MoR	SU1CM2/H08CrMo、 SU1CM3/H13CrMo	HJ350、HJ250、SJ101、SJ603	S49YFB-SU1CM2、 S49YFB-SU1CM3
12Cr1MoV、12Cr1MoG	SU1CMV/H08CrMoV	HJ350、HJ250、SJ101	S49YFB-SU1CMV
注：焊丝型号和牌号、焊剂类型应符合现行国家标准《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470 的规定。			

7.5.5 珠光体耐热钢管道、换热管等的焊条电弧焊焊条宜按表 7.5.3 选用 Cr-Mo 系珠光体耐热钢焊条。但当焊后无法进行消除应力热处理或要求降低预热温度时，也可按 7.7.1 的要求选用奥氏体钢或镍基合金焊条。

7.5.6 不同合金成分的珠光体耐热钢之间以及珠光体耐热钢与低碳钢、碳锰钢之间的异种钢焊接用焊条可按表 7.5.6 选用。一般采用中间合金成分的低氢碱性焊条，并根据其中焊接性能较差的一侧材料确定预热温度。

表 7.5.6 珠光体耐热钢之间的异种钢焊接推荐选用焊条

母材	另一侧母材		
	15CrMoR	14Cr1MoR	12Cr2Mo1R
Q245R	J427	J427	J427
Q345R	J506、J507	J507	J506、J507
20MnMo	J556、J557	J507、R307H	J556、J557、R407
S30408	A302、A307 (E309-16)	A302、A307	A302、A307
S30403	A062 (E309L-16)	A062	A062
S31603	A312、A042 (E309Mo-16)	A312、A042	A312、A042

注：表中 A302 和 A307 对应的焊条型号为 E309-16；A062 对应的焊条型号为 E309L-16；A312 和 A042 对应的焊条型号为 E309Mo-16；E309-16、E309L-16 和 E309Mo-16 应符合现行国家标准《不锈钢焊条》GB/T 983 的规定。

7.6 奥氏体不锈钢之间的焊接材料选用

- 7.6.1 选用焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于相应母材标准规定的下限值,且应保证铬、镍、钼或铜等主要合金元素的含量不低于母材标准规定的下限值,并满足图样规定的要求。
- 7.6.2 对于有防止晶间腐蚀要求的焊接接头,应采用熔敷金属中含有稳定化元素钛、铌的焊接材料,或采用保证熔敷金属含碳量小于等于0.04%的焊接材料。
- 7.6.3 奥氏体不锈钢焊条电弧焊焊条可按表 7.6.3 选用。

表 7.6.3 奥氏体不锈钢推荐选用焊条

母材数字代号	母材牌号	焊条牌号	焊条国标型号
S30408	06Cr19Ni10	A102、A107	E308-16、E308-15
S30403	022Cr19Ni10	A002	E308L-16
S32168	06Cr18Ni11Ti	A132、A137	E347-16、E347-15
S31608	06Cr17Ni12Mo2	A202	E316-16
S31603	022Cr17Ni12Mo2	A022	E316L-16
S31688	06Cr18Ni12Mo2Cu2	A222	E317MoCu-16
S31683	022Cr18Ni14Mo2Cu2	A032	E317MoCuL-16
S31708	06Cr19Ni13Mo3	A242	E317-16
S31703	022Cr19Ni13Mo3	A032Mo	E317L-16
S30908	06Cr23Ni13	A302	E309-16
S31008	06Cr25Ni20	A402	E310-16
	4Cr25Ni20	A432	E310H-16

注：表中焊条牌号,均为符合现行国家标准《不锈钢焊条》GB/T 983 相应型号的焊条。

7.6.4 为提高焊缝金属的抗热裂性能和抗晶间腐蚀能力，奥氏体焊接材料的熔敷金属内铁素体数为3FN~10FN。

7.6.5 奥氏体不锈钢钨极气体保护焊（GTAW）用焊丝应符合现行行业标准《惰性气体保护焊用不锈钢丝》YB/T 5091 的要求，可按表 7.6.5 选用。

表 7.6.5 不锈钢 TIG 焊用推荐选用焊丝

钢材类别	S30408	S30403	S32168	S31608	S31603
焊丝	H06Cr21Ni10	H022Cr21Ni10	H06Cr9Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr19Ni12Mo2	H022Cr19Ni12Mo2
钢材类别	S31688	S31708	S30908	S31008	
焊丝	H022Cr19Ni12Mo2Cu2	H06Cr19Ni14Mo3	H10Cr24Ni13	H06Cr26Ni21	

7.6.6 奥氏体不锈钢的埋弧焊焊丝和焊剂可按表 7.6.6 选用。焊丝型号应符合现行国家标准《不锈钢焊丝和焊带》GB/T 29713 的规定，焊丝牌号应符合现行行业标准《焊接用不锈钢丝》YB/T 5092 的规定，焊丝-焊剂组合应符合现行国家标准《埋弧焊用不锈钢焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 17854 的要求。

表 7.6.6 不锈钢埋弧焊焊丝和焊剂推荐选用

钢材类别	焊丝型号/牌号	焊剂牌号	焊丝-焊剂组合
S30408	S308/H06Cr21Ni10	SJ601、HJ260	SF308FB-S308
S30403	S308L/H022Cr21Ni10	SJ601、HJ260	SF308LFB-S308L
S32168	S347/H06Cr20Ni10Nb	SJ641、HJ260	SF347FB-S347
S31608	S316/H06Cr19Ni12Mo2	SJ601、HJ260	SF316FB-S316
S31603	S316L/H022Cr19Ni12Mo2	SJ601、HJ260	SF316LFB-S316L
S31708	S317/H06Cr19Ni14Mo3	SJ601、HJ260	SF317FB-S317

7.6.7 奥氏体不锈钢之间异种钢焊接用焊条应符合现行国家标准《不锈钢焊条》GB/T 983 的规定，可按表 7.6.7-1 选用。如采用钨极气体保护焊，焊丝应符合现行行业标准《焊接用不锈钢丝》YB/T 5092 的规定，可按表 7.6.7-2 选用。

表 7.6.7-1 奥氏体不锈钢之间的异种钢焊接推荐选用焊条型号/牌号

母材	另一侧母材							
	S30403 (304L)	S30908 (309S)	S31008 (310S)	S31608 (316)	S31603 (316L)	S31708 (317)	S32168 (321)	
S30408 (304)	E308L-16/A002	E308-16/A102、 E309-16A302	E308-16/A102、 E309-16/A302、 E310-16/A402、 E309MoL-16	E308-16/A102、 E316-16/A202	E308-16/A102、 E316-16/A202	E308-16/A102、 E309-16/A302、 E317-16/A242	E308-16/A102	
S30403 (304L)		E308-16/A102、 E309-16A302	E308-16/A102、 E309-16/A302、 E310-16/A402、 E309MoL-16	E308-16/A102、 E316-16/A202	E308L-16/A002、 E316L-16/A022	E308-16/A102、 E316-16/A202、 E317-16/A242	E308L-16/A002、 E347-16/A132	
S30908 (309S)			E309-16/A302、 E310-16/A402、 E309MoL-16	E309-16/A302、 E316-16/A202	E309-16/A302、 E316L-16/A022	E309-16/A302、 E316-16/A202	E309-16/A302、 E347-16/A132	
S31008 (310S)				E316-16/A202	E316-16/A202	E317-16/A242	E309-16/A302、 E310-16/A402	
S31608 (316)					E316-16/A202	E316-16/A202、 E317-16/A242	E308-16/A102、 E316-16/A202	
S31603 (316L)						E317-16/A242、 E316L-16/A022	E316-16/A202	
S31708 (317)							E317-16/A242、 E347-16/A132	

表 7.6.7-2 奥氏体不锈钢之间的异种钢 TIG 焊接推荐选用焊丝牌号

母材		另一侧母材										
		S30403 (304L)	S30908 (309S)	S31008 (310S)	S31608 (316)	S31603 (316L)	S31708 (317)	S32168 (321)				
S30408 (304)	H06Cr21Ni10 H10Cr24Ni13	H06Cr21Ni10、 H10Cr24Ni13	H06Cr21Ni10、 H06Cr26Ni21	H06Cr21Ni10、 H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni14Mo3	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb
S30403 (304L)	H06Cr21Ni10、 H10Cr24Ni13	H06Cr21Ni10、 H10Cr24Ni13	H06Cr21Ni10、 H10Cr24Ni13、 H06Cr26Ni21	H06Cr21Ni10、 H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni14Mo3	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb
S30908 (309S)	H06Cr21Ni10、 H10Cr24Ni13	H06Cr21Ni10、 H10Cr24Ni13	H06Cr21Ni10、 H10Cr24Ni13、 H06Cr26Ni21	H06Cr21Ni10、 H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni14Mo3	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb	H06Cr21Ni10、 H022Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni10Ti、 H06Cr20Ni10Nb
S31008 (310S)				H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr19Ni14Mo3	H06Cr21Ni10、 H06Cr26Ni21	H06Cr21Ni10、 H06Cr26Ni21	H06Cr21Ni10、 H06Cr26Ni21	H06Cr21Ni10、 H06Cr26Ni21	H06Cr21Ni10、 H06Cr26Ni21
S31608 (316)					H0Cr19Ni12Mo2	H0Cr19Ni12Mo2	H06Cr19Ni12Mo2、 H06Cr19Ni14Mo3	H06Cr21Ni10、 H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr21Ni10、 H06Cr19Ni12Mo2
S31603 (316L)												
S31708 (317)												

7.6.8 化工容器中常用的镍基耐热、耐蚀合金 Incolloy 800、Inconel 600 的焊接材料选用应符合表 7.6.8 的规定。

表 7.6.8 Incolloy 800 和 Inconel 600 推荐选用焊接材料

钢材类别	焊条电弧焊焊条	钨极气体保护焊焊丝 (GTAW)
Incolloy 800	ENiCrFe-3/ENi6182 (Inconel 182)、 ENiCrFe-2/ ENi6133 (Inco-weld A)	ERNiCr-3/SNi6082 (Inconel 82)
Inconel 600	ENiCrFe-1/ ENi6062 (Inconel 132)、 ENiCrFe-3/ ENi6182 (Inconel 182)	ERNiCrFe-5/SNi6062 (Inconel 62)、 ERNiCr-3/SNi6082 (Inconel 82)
<p>注:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ENi6062、ENi6133、ENi6182 为现行国家标准《镍及镍合金焊条》GB/T 13814 所列型号, ENiCrFe-1、ENiCrFe-2、ENiCrFe-3 为美国焊接学会 SFA-5.11 “镍及镍合金药皮焊条”所列型号, 详见附录 C “镍及镍合金焊接材料”; 2. SNi6082、SNi6062 为现行国家标准《镍及镍合金焊丝》GB/T 15620 所列型号, ERNiCr-3、ERNiCrFe-5 为美国焊接学会 SFA-5.14 “镍及镍合金焊丝”所列型号, 详见附录 C “镍及镍合金焊接材料”; 3. ENiCrFe-3、ENiCrFe-2、ENiCrFe-1 高温强度依次提高, 但 ENiCrFe-3 的焊缝金属抗裂性能相比之下为其中最好, ENiCrFe-3、ENiCrFe-2 还经常用于异种金属的焊条电弧焊焊接; 4. ERNiCr-3/SNi6082 和 ERNiCrFe-6/SNi7092 经常用于异种金属的钨极气体保护焊; 5. 括号内为国际镍公司的商品牌号。 		

7.7 异种金属材料的焊接材料选用

7.7.1 奥氏体不锈钢与铁素体钢的焊接应符合下列要求:

1 铁素体钢之间的焊接宜采用同种组织、成分的焊接材料。当因免除焊后消除应力热处理或改善焊接工艺等因素而采用奥氏体型焊接材料时, 焊接材料选用应符合下列要求:

1) 奥氏体钢与铁素体钢的线膨胀系数差别较大, 在高温或温度频繁变化场合, 会产生热应力;

2) 熔焊过程中, 奥氏体焊缝金属与铁素体钢母材一侧的熔合线处发生的碳迁移而产生的脱碳层 (铁素体钢母材侧) 和渗碳层 (奥氏体熔敷金属侧) 将导致高温强度和塑性的下降。

2 采用奥氏体型焊接材料焊接铁素体钢母材时, 预热温度可比采用相似合金成分焊接材料焊接铁素体钢时的预热温度相应下降 100℃左右, 焊后热处理一般可免除。

3 奥氏体不锈钢与铁素体钢的焊接材料的选择应符合下列要求:

1) 温度因素。当设计温度不高于 315℃时, 可选用 A302 焊条或 H1Cr24Ni13 焊丝 (TIG 或 MIG 焊接)。当设计温度高于 315℃时, 宜选用镍基焊接材料。焊条电弧焊可选用符合 SFA-5.11 的 ENiCrFe-3、ENiCrFe-2 或现行国家标准《镍及镍合金焊条》GB/T 13814 的 ENi6182、ENi6133; 钨极气体保护焊可选用符合 SFA-5.14 的 ERNiCr-3、ERNiCrFe-6 或现行国家标准《镍及镍合金焊丝》GB/T 15620 的 SNi6082、SNi6062。上述焊接材料标准可参见附录 C “镍及镍合金焊接材料”;

2) 可焊性因素。超低碳奥氏体不锈钢与铁素体钢焊接时应采用超低碳高铬镍奥氏体不锈钢焊接材料,含钼的奥氏体不锈钢与铁素体钢焊接时应采用含钼的高铬镍奥氏体不锈钢焊接材料。截面尺寸较大的情况下可采用镍合金焊接材料。

4 现行国家标准《镍及镍合金焊条》GB/T 13814 与 SFA-5.11 中有关型号的对应情况如表 7.7.1-1 所示。

表 7.7.1-1 国产镍基焊条与 SFA-5.11 的对应情况

GB/T 13814 焊条型号	SFA-5.11 焊条型号
ENi2061	ENi-1
Ni6062	ENiCrFe-1
ENi6182	ENiCrFe-3
ENi6133	ENiCrF-2

5 奥氏体不锈钢在铁素体钢表面复合、衬里、堆焊的材料可按表 7.7.1-2 选用。

表 7.7.1-2 复合板、衬里以及不锈钢堆焊推荐选用焊条

覆层、衬里层、堆焊层的类别	过渡层焊条型号/牌号	盖面层焊条型号/牌号
S30408 (06Cr19Ni10)	E309-16/A302	E308-16/A102
S30403 (022Cr19Ni10)	E309L-16/A062	E308L-16/A002、 E308L-17/A002A
S32168 (06Cr18Ni11Ti)	E309-16/A302	E347-16/A132
S31608 (06Cr17Ni12Mo2)	E309Mo-16/A312	E316-16/A202
S31603 (022Cr17Ni12Mo2)	E309LMo-16/A042	E316L-16/A022

7.7.2 碳钢、不锈钢、镍基合金之间的异种金属焊接材料可按附录 D 选取。

7.7.3 碳钢、不锈钢与铜合金之间的异种金属焊接材料可按附录 E 选取。

8 钢材的代用

8.0.1 由于设计以外的原因造成的主要受压元件钢材代用，应事先征得原设计单位的书面同意。标准零部件或通用设计的钢材代用，应事先征得选用的原设计单位的书面同意。

8.0.2 钢材代用时应核查下列要素：

1 代用钢材的强度、塑性、韧性、化学成分、导热系数、线膨胀系数对设计条件（温度、压力、介质、结构）的适应性；

2 代用钢材对制造加工工艺的适应性（尤其要注意焊接工艺、焊接材料、焊后热处理等）；

3 代用钢材对均匀腐蚀和各种局部腐蚀（应力腐蚀、晶间腐蚀、电偶腐蚀、冲刷腐蚀等）的适用性；

4 代用钢材与原设计钢材的钢材标准差异（如化学成分、检验项目、检验率）。中外材料标准中，代用钢材牌号与原设计钢材牌号的对照关系、相近关系、不同类型关系的区别；

5 两种不同组织（铁素体、奥氏体）的钢材互相代用所引起的热应力、异种钢焊接问题；

6 代用钢材的经济性。

8.0.3 凡本规范列入的钢材（钢材标准及其钢号）同时符合下列各项条件者，可互相代用：

1 代用钢材符合第 6 章的有关技术要求；

2 代用钢材符合第 7 章的有关使用限制和范围；

3 原设计单位已符合 8.0.2 中各要素的要求，并认为可以代用。

8.0.4 除现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2—2011 附录 A 以外的无标准的钢材不得作为受压元件的代用钢材。

8.0.5 其他情况的钢材代用可按本规范处理。

附录 A (资料性) 商品紧固件力学性能

A.1 适用钢材

商品级紧固件(4.6级和8.8级螺栓、螺钉、螺柱)的钢材化学成分和热处理要求应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 钢材的化学成分和热处理

力学性能等级	材料类别	热处理	化学成分(百分比)			一般采用材料
			C	P	S	
4.6	低碳钢或中碳钢	热轧或退火、回火处理	≤0.55	≤0.050	≤0.060	35号钢或普碳钢回火处理
8.8	低碳合金钢(如硼或锰或铬)	淬火+回火,最低回火温度 425℃	0.15~0.40	≤0.025	≤0.025	20MnTiB 调质(用于 M20 以上的紧固件)
	中碳钢	淬火+回火,最低回火温度 425℃	0.25~0.55	≤0.025	≤0.025	35号钢调质
	合金钢	淬火+回火,最低回火温度 425℃	0.20~0.55	≤0.025	≤0.025	

A.2 力学性能

商品级紧固件(4.6级和8.8级螺栓、螺钉、螺柱)的力学性能应符合表 A.2-1 的规定。5级和8级粗牙螺母的力学性能应符合表 A.2-2 的规定,5级和8级细牙螺母的力学性能应符合表 A.2-3 的规定。

表 A.2-1 力学性能(螺栓、螺柱、螺钉)

力学性能等级	规格	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	A(百分比)	KV_2 /J	HBW
4.6	≤M39	≥400	≥240	≥22	—	114~209
5.6	≤M39	≥500	≥300	≥20	≥27	147~209
8.8	≤M16	≥800	≥640	≥12	≥27	245~316
	M16~M39	≥830	≥660	≥12	≥27	250~331

表 A.2-2 力学性能(粗牙螺母)

力学性能等级	规格	保证载荷/N	HV
5	≤M16	8 250~95 800	130~302
	M16~M39	121 000~614 900	146~302
8	≤M16	12 140~138 200	200~302
	M16~M39	176 600~897 900	233~353

表 A.2-3 力学性能（细牙螺母）

力学性能等级	规格	保证载荷/N	HV
5	≤M16	27 000~115 200	175~302
	M16~M39	146 900~741 600	190~302
8	≤M16	37 400~159 500	250~353
	M16~M39	210 100~1 123 000	295~353

附录 B (资料性) 部分特殊焊接材料的成分和性能

部分碳素钢和低合金钢用特殊焊接材料的化学成分可参考表 B.1 的规定, 其力学性能可参考表 B.2 的规定。部分奥氏体用特殊焊接材料的化学成分和力学性能可参考表 B.3 的规定。

表 B.1 特殊电焊条成分 (熔敷金属)

焊条牌号	熔敷金属化学成分 (百分比)							其他
	C	Mn	Si	S	P	Ni	Mo	
J427Ni	≤0.12	≤1.20	≤1.00	≤0.015	≤0.025	≤0.70	—	—
J507R	≤0.12	≤1.60	≤0.90	≤0.015	≤0.025	≤0.30	—	—
J507NiTiB	≤0.12	≤1.60	≤0.60	≤0.015	≤0.025	0.35~0.65	—	Ti: 0.02~0.04、 B: 0.002~0.005
J507RH	≤0.12	≤1.60	≤0.70	≤0.015	≤0.025	0.35~0.80	≤0.30	—
J505MoD	≤0.20	0.40~0.70	≤0.20	≤0.015	≤0.025	—	0.20~0.60	—
J557	≤0.12	≥1.00	0.30~0.70	≤0.015	≤0.025	—	—	—
J557MoV	≤0.12	0.80~1.30	≤0.25	≤0.015	≤0.025	—	0.20~0.35	V: 0.03~0.05
J556RH	≤0.12	≥1.00	0.30~0.70	≤0.015	≤0.025	≤0.85	—	—
J607Ni	≤0.10	0.70~1.50	≤0.80	≤0.015	≤0.025	0.80~1.50	0.10~0.40	—
J607RH	≤0.10	≥1.00	≤0.60	≤0.015	≤0.025	0.60~1.20	0.10~0.30	—
J707Ni	≤0.10	≥1.00	≤0.80	≤0.015	≤0.025	1.80~2.20	0.40~0.60	Cr≤0.30
J707RH	≤0.10	1.20~1.60	0.30~0.60	≤0.015	≤0.025	1.40~2.00	0.25~0.50	Cr: 0.08~0.20
J507Mo	≤0.12	≤0.90	≤0.60	≤0.015	≤0.025	—	0.40~0.65	V≤0.20
J507MoW	≤0.10	≤0.80	≤0.50	≤0.015	≤0.025	—	0.50~0.90	W: 0.5~0.90、 V≤0.20、Nb≤0.12

表 B.2 特殊电焊条性能

焊条牌号	焊缝金属力学性能				熔敷金属扩散氢含量/(mL/100g)		药皮含水量(百分比)
	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{eL} /MPa	断后伸长率 A (百分比)	冲击吸收能量 KV_2 /J	水银法	甘油法	
J427Ni	≥420	≥330	≥22	-20℃时, ≥54	≤7.0	≤4.0	≤0.25
J507R	≥490	≥400	≥20	-30℃时, ≥54	≤7.0	≤4.0	≤0.25
J507NiTiB	≥490	≥410	≥24	-40℃时, ≥54	≤7.0	≤4.0	≤0.25
J505RH	≥490	≥390	≥20	-40℃时, ≥54	≤7.0	≤4.0	≤0.25
J505MoD	≥490	≥400	≥20	-30℃时, ≥54	—		—
J557	≥540	≥440	≥17	-30℃时, ≥54	≤6.0	≤3.0	≤0.20
J557MoV	≥550	≥460	≥17	-40℃时, ≥54	≤6.0	≤3.0	≤0.20
J556RH	≥540	≥440	≥17	-40℃时, ≥54	≤6.0	≤3.0	≤0.10
J607Ni	≥590	≥490	≥16	-20℃时, ≥54	≤5.0	≤2.5	≤0.15
J607RH	≥590	≥490	≥16	-40℃时, ≥54	≤5.0	≤2.5	≤0.10
J707Ni	≥690	≥600	≥15	-40℃时, ≥54	≤5.0	≤2.5	≤0.15
J707RH	≥690	≥600	≥15	-40℃时, ≥54	≤5.0	≤2.5	≤0.10
J507Mo	≥490	≥390	≥22	-30℃时, ≥47	≤7.0	≤4.0	≤0.25
J507MoW	≥490	≥390	≥22	-30℃时, ≥27	≤7.0	≤4.0	≤0.25

注: J557、J557MoV、J556RH、J607Ni、J607RH、J707Ni、J707RH 的力学性能为热处理后性能, 热处理规范为605℃~635℃保温 1h。J507MoW 为焊后 740℃热处理后的性能。

表 B.3 特殊奥氏体钢焊条化学成分和熔敷金属力学性能

焊条牌号	焊缝金属化学成分(百分比)									熔敷金属力学性能	
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (百分比)
A052	≤0.04	≤2.0	≤1.0	17.0~22.0	22.0~27.0	4.0~5.5	≤2.0	≤0.030	≤0.035	≥490	≥25
A462	0.15~0.35	1.5~3.0	0.90~1.30	25~28	30~35	0.4~0.6	—	≤0.03	≤0.035	≥630	≥15

附录 C (资料性) 镍及镍合金焊接材料

镍及镍合金焊条熔敷金属的化学成分及力学性能应符合现行国家标准《镍及镍合金焊条》GB/T 13814 和 SFA-5.11 的规定, 详见表 C.1 和表 C.2。镍及镍合金焊丝的化学成分及力学性能应符合现行国家标准《镍及镍合金焊丝》GB/T 15620 和 SFA-5.14 的规定, 详见表 C.3。

表 C.1 镍及镍合金熔敷金属化学成分 (百分比)

GB/T 13814 规定型号	AWS 规定型号	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni	Co	Al	Ti	Cr	Nb+Ta ^b	Mo	V	W	其他总量
ENi2061	ENi-1	0.10	0.7	0.7	0.020	0.015	1.2	0.2	≥92.0		1.0	1.0 ~ 4.0						0.50
ENi4060	ENiCu-7	0.15	4.0	2.5	0.020	0.015	1.5	27.0 ~ 34.0	62.0 ~ 68		1.0	1.0						0.50
ENi6062	ENiCrFe-1	0.08	3.5	11.0	0.020	0.015	0.8	0.50	≥62.0				13.0 ~ 17.0	0.5~4				0.50
ENi6133	ENiCrFe-2	0.10	1.0 ~ 3.5	12	0.020	0.015	0.8	0.50	≥62.0	^a			13.0 ~ 17.0	0.5 ~ 3.0	0.5 ~ 2.5			0.50
ENi6182	ENiCrFe-3	0.10	5.0 ~ 10.0	10.0	0.020	0.015	1.0	0.50	≥60.0	^a		1.0	13.0 ~ 17.0	1.0 ~ 3.5				0.50
ENi1001	ENiMo-1	0.07	1.0	4.0 ~ 7.0	0.020	0.015	1.0	0.50	≥55.0	2.5			1.0		26.0 ~ 30.0	0.6	1.0	0.50
ENi1004	ENiMo-3	0.12	1.0	4.0 ~ 7.0	0.020	0.015	1.0	0.50	≥60.0				2.5~5.5		23.0 ~ 27.0	0.6	1.0	0.50

注: 表中所列化学成分除已规定外, 单个值均指最大值。

^a 当规定时, Co≤0.12%。
^b 当规定时, Ta≤0.30%。

表 C.2 镍及镍合金焊条熔敷金属力学性能

GB/T 13814 规定型号	AWS 规定型号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (百分比)
ENi2061	ENi-1	≥410	≥18
ENi4060	ENiCu-7	≥480	≥27
ENi6062、ENi6133、ENi6182	ENiCrFe-1、ENiCrFe-2、ENiCrFe-3	≥550	≥27
ENi1001、ENi1004	ENiMo-1、ENiMo-3	≥690	≥22

表 C.3 镍及镍合金钨极气体保护焊 (GTAW) 用焊丝化学成分 (百分比)

GB/T 15620 规定型号	AWS 规定 型号	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni	Co	Al	Ti	Cr	Nb+Ta ^b	Mo	V	W	其他 总量
SNi2061	ERNi-1	0.15	1.0	1.0	0.020	0.015	0.7	0.2	≥92.0		1.5	2.0 ~ 3.5						0.50
SNi4060	ERNiCu-7	0.15	2.0 ~ 4.0	2.5	0.020	0.015	1.2	28.0 ~ 32.0	62.0 ~ 69.0		1.2	1.5 ~ 3.0						0.50
SNi6082	ENiCr-3	0.10	2.5 ~ 3.5	3.0	0.020	0.015	0.50	0.50	≥67.0	^a		0.7	18.0 ~ 22.0	2.0~3.0				0.50
SNi6062	ERNiCrFe-5	0.08	1.0	6.0 ~ 10.0	0.020	0.015	0.3	0.50	≥70.0	^a			14.0 ~ 17.0	1.5~3.0				0.50
SNi7092	ERNiCrFe-6	0.08	2.0 ~ 2.7	8.0	0.020	0.015	0.3	0.50	≥67.0			2.5 ~ 3.5	14.0 ~ 17.0					0.50
SNi1001	ERNiMo-1	0.08	1.0	4.0 ~ 7.0	0.020	0.015	1.0	0.50	≥55.0	2.5			1.0		26.0 ~ 30.0	0.2 ~ 0.4	1.0	0.50
SNi1004	ERNiMo-3	0.12	1.0	4.0 ~ 7.0	0.020	0.015	1.0	0.50	≥62.0	2.5			4.0 ~ 6.0		23.0 ~ 26.0	0.6	1.0	0.50
注：表中所列化学成分除已规定外，单个值均指最大值。																		
^a 当规定时，Co≤0.12%。																		
^b 当规定时，Ta≤0.30%。																		

附录 D (资料性) 碳钢、不锈钢、镍基合金 异种金属焊接材料选用表

D.0.1 碳钢、不锈钢及镍基合金的异种金属的焊接材料选用可参考表 D.0.1。

表 D.0.1 碳钢、不锈钢及镍基合金异种金属焊接材料选用表

材料	纯镍	蒙乃尔 400	蒙乃尔 K500	Inconel 600	Incolloy 800	不锈钢	碳钢	70/30 铜镍合金	海氏合金 B	海氏合金 C	备注
纯镍	ERNi-1	ERNi-1	ERNi-1	ERNi-1	ERNi-1	ERNi-1	ERNi-1	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCr-3	ENiCr-3	ENiCr-3	ENiCr-3 ENiCrFe-6	ERCuNi	ERCuNi	ENiCrFe-6	ENiCrFe-6	
蒙乃尔 400	ENi-1	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCr-3	ENiCr-3	ERNi-1	ERNi-1	ERNiCu-7	ERNiCu-7	ERNiCr-3	
	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCrFe-6	ENiCrFe-6	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCu-7	ERNiCu-7	ENiCrFe-6	
蒙乃尔 K500	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCr-3	ENiCr-3	ERNi-1	ERNi-1	ERNiCu-7	ERNiCu-7	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ENiCrFe-6	ENiCrFe-6	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCu-7	ERNiCu-7	ENiCrFe-6	
	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-6	ENiCrFe-6	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCu-7	ERNiCu-7	ENiCrFe-6	
Inconel 600	ENi-1	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ENiCr-3	ENiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-2	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCr-3	ENiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCr-3	ENiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
Incolloy 800	ENi-1	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ENiCr-3	ENiCr-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-2	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-6	ENiCrFe-6	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-6	ENiCrFe-6	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
不锈钢	ENi-1	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-2	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
碳钢	ENi-1	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-2	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
70/30 铜镍合金	ENi-1	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-2	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
海氏合金 B	ENiCrFe-2	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-3	ENiCu-7	ENiCu-7	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
海氏合金 C	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	
	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ENiCrFe-3	ERNiCr-3	ERNiCr-3	ERNi-1	ERNiCr-3	ERNiCr-3	

注:

- 表中所示的右上角为惰性气体保护焊用焊丝 AWS A5.14 所列的焊丝型号, 详细的化学成分见附录 C 的表 C.3。
- 表中所示的左下角为焊条电弧焊用焊条 AWS A5.11 所列的焊条型号, 详细的化学成分见附录 C 的表 C.1。

D.0.2 ECuNiB 和 SCu7158 为现行国家标准《铜和铜合金焊条》GB/T 3670 和《铜和铜合金焊丝》GB/T 9460 所列型号, ECuNi 和 ERCuNi 为 ASME SFA-5.6 “铜及铜合金药皮焊条” 和 ASME SFA-5.7 “铜及铜合金填丝和焊丝” 所列的型号。以上焊条和焊丝的熔敷金属化学成分见表 D.0.2。

表 D.0.2 ECuNiB 和 SCu7158 熔敷金属化学成分

中国国标 规定型号	AWS 规 定型号	Cu	Zn	Sn	Mn	Fe	Si	Ni	P	S	Pb	Ti	其他 总量
ECuNiB	ECuNi	余量	*	*	1.0~ 2.5	2.5	0.5	29.0~ 33.0	0.020	0.015	0.02*	0.5	0.50
SCu7158	ERCuNi	余量	*	*	0.5~ 1.5	0.4~0.7	0.25	29.0~ 32.0	0.020	0.010	0.02*	—	0.40
注： 1. 包括带*的元素在内的其他元素总含量，不应超过规定的 0.5%。 2. 表中所列数值除已规定者外，单个值系指最大值。													

附录 E (资料性) 碳钢、不锈钢与铜及铜合金的 异种金属焊接材料选用表

碳钢、不锈钢与铜及铜合金的异种金属焊接材料的选用可参考表 E.1。

表 E.1 碳钢、不锈钢与铜及铜合金的异种金属焊接材料选用表

母材	另一侧母材					
	纯铜	黄铜	磷青铜	铝青铜	硅青铜	铜镍合金
低碳钢	SCu1898、SCu6100、ERNi-1 (预热 205℃~540℃)	SCu6810A (预热 400℃~500℃)	SCu5210 (预热 200℃)	SCu6180 (预热 150℃)	SCu6328 (预热 < 60℃)	SCu7158 (预热 < 60℃)
中碳钢	SCu1898、SCu6100、ERNi-1 (预热 205℃~540℃)	SCu6810A (预热 400℃~500℃)	SCu5210 (预热 200℃)	SCu6180 (预热 200℃)	SCu6328 (预热 < 60℃)	SCu7158、ERNi-1 (预热 < 60℃)
高碳钢	SCu1898、SCu6100、ERNi-1 (预热 205℃~540℃)	SCu6810A (预热 400℃~500℃)	SCu5210 (预热 260℃)	SCu6180 (预热 260℃)	SCu6328 (预热 200℃)	SCu7158、ERNi-1 (预热 < 60℃)
低合金钢	SCu-2、SCu6100、ERNi-1 (预热 205℃~540℃)	SCu6810A (预热 400℃~500℃)	SCu5210 (预热 260℃)	SCu6180 (预热 260℃)	SCu6328 (预热 200℃)	SCu7158、ERNi-1 (预热 < 60℃)
不锈钢	SCu-2、SCu6100、ERNi-1 (预热 205℃~540℃)	SCu6810 (预热 400℃~500℃)	SCu5210 (预热 200℃)	SCu6180 (预热 < 60℃)	SCu6328 (预热 < 60℃)	SCu7158、ERNi-1 (预热 < 60℃)

注：

1. 表中所列的铜合金与碳钢、不锈钢的异种金属焊接材料是指采用惰性气体保护焊用焊丝。熔化极惰性气体保护焊 (MIG) 适用于表列的各种异种金属焊接, 但钨极氩弧焊 (TIG) 一般不适用于黄铜与铜的焊接。
2. 表中所列的铜合金与钢的异种金属焊接用惰性气体保护焊焊丝为符合现行国家标准《铜和铜合金焊丝》GB/T 9460 的焊丝。
3. 施焊时, 焊接电弧应指向两种金属中导热系数较高的一侧母材。
4. 施焊前, 应将焊接坡口预热到表列的温度, 并控制道间温度不得超过表列温度范围, 以避免热脆性。
5. 硅青铜与钢的异种金属焊接时, 经常采用铝青铜焊丝 (SCu6100) 在铜合金的表面预先堆焊一层过渡层, 然后进行焊接。当使用镍基焊条 (ERNi-1) 焊接纯铜与钢、铜镍合金与钢, 或使用铝青铜焊丝 (SCu6100) 焊接铝青铜与钢时, 一般不需要堆焊过渡层。但必须把钢焊透, 才能保证焊接接头获得较大的抗拉强度。
6. 铜合金与钢钎焊时, 应注意防止对钢的过加热, 并应注意在钢的一侧产生晶间钎焊裂纹的倾向。

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
 - 2) 表示严格，在正常情况下均这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
- 2 规范中指定应按其他有关标准、规定执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- [1] 《1型六角螺母 C级》GB/T 41
- [2] 《压力容器 第2部分 材料》GB/T 150.2
- [3] 《优质碳素结构钢》GB/T 699
- [4] 《锅炉和压力容器用钢板》GB/T 713
- [5] 《不锈钢焊条》GB/T 983
- [6] 《不锈钢棒》GB/T 1220
- [7] 《耐热钢棒》GB/T 1221
- [8] 《通用耐蚀钢铸件》GB/T 2100
- [9] 《合金结构钢》GB/T 3077
- [10] 《低中压锅炉用无缝钢管》GB/T 3087
- [11] 《低压流体输送用焊接钢管》GB/T 3091
- [12] 《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺性》GB/T 3098.1
- [13] 《紧固件机械性能 螺母》GB/T 3098.2
- [14] 《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6
- [15] 《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274
- [16] 《铜和铜合金焊条》GB/T 3670
- [17] 《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 4334
- [18] 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- [19] 《热强钢焊条》GB/T 5118
- [20] 《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293
- [21] 《高压锅炉用无缝钢管》GB/T 5310
- [22] 《铸件 射线照相检测》GB/T 5677
- [23] 《无缝和焊接（埋弧焊除外）钢管纵向和/或横向缺欠的全圆周自动超声检测》GB/T 5777
- [24] 《六角头螺栓 C级》GB/T 5780
- [25] 《六角头螺栓 全螺纹 C级》GB/T 5781
- [26] 《六角头螺栓》GB/T 5782
- [27] 《六角头螺栓 全螺纹》GB/T 5783
- [28] 《六角头螺栓 细杆 B级》GB/T 5784
- [29] 《1型六角螺母》GB/T 6170
- [30] 《2型六角螺母》GB/T 6175

- [31] 《金属平均晶粒度测定方法》GB/T 6394
- [32] 《高压化肥设备用无缝钢管》GB/T 6479
- [33] 《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659
- [34] 《无缝和焊接（埋弧焊除外）钢管缺欠的自动涡流检测》GB/T 7735
- [35] 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110
- [36] 《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163
- [37] 《一般用途耐热钢和合金铸件》GB/T 8492
- [38] 《铸钢铸铁件 渗透检测》GB/T 9443
- [39] 《铸钢铸铁件 磁粉检测》GB/T 9444
- [40] 《铜和铜合金焊丝》GB/T 9460
- [41] 《石油裂化用无缝钢管》GB/T 9948
- [42] 《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352
- [43] 《钢制球形储罐》GB/T 12337
- [44] 《无缝和焊接（埋弧焊除外）铁磁性钢管纵向和/或横向缺欠的全圆周自动漏磁检测》
GB/T 12606
- [45] 《流体输送用不锈钢焊接钢管》GB/T 12771
- [46] 《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470
- [47] 《镍及镍合金焊条》GB/T 13814
- [48] 《流体输送用不锈钢无缝钢管》GB/T 14976
- [49] 《镍及镍合金焊丝》GB/T 15620
- [50] 《埋弧焊用不锈钢焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 17854
- [51] 《压力容器用调质高强度钢板》GB/T 19189
- [52] 《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878
- [53] 《不锈钢压力容器晶间腐蚀敏感性检验》GB/T 21433
- [54] 《奥氏体-铁素体型双相不锈钢焊接钢管 第1部分：热交换器用管》GB/T 21832.1
- [55] 《奥氏体-铁素体型双相不锈钢焊接钢管 第2部分：流体输送用管》GB/T 21832.2
- [56] 《奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管》GB/T 21833
- [57] 《不锈钢焊丝和焊带》GB/T 29713
- [58] 《承压设备焊后热处理规程》GB/T 30583
- [59] 《高强钢焊条》GB/T 32533
- [60] 《压力容器用碳钢铸件技术条件》HG/T 2741
- [61] 《奥氏体不锈钢焊接钢管选用规定》HG/T 20537.1
- [62] 《管壳式换热器用奥氏体不锈钢焊接钢管技术要求》HG/T 20537.2
- [63] 《化工装置用奥氏体不锈钢焊接钢管技术要求》HG/T 20537.3
- [64] 《钢制化工容器设计基础规范》HG/T 20580

- [65] 《钢制压力容器——分析设计标准》JB 4732（2005 年确认）
- [66] 《压力容器用复合板》NB/T 47002（所有部分）
- [67] 《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008
- [68] 《承压设备用不锈钢和耐热钢锻件》NB/T 47010
- [69] 《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3
- [70] 《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》NB/T 47013.4
- [71] 《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014
- [72] 《压力容器焊接规程》NB/T 47015
- [73] 《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018（所有部分）
- [74] 《高硫原油加工装置设备和管道设计选材导则》SH/T 3096
- [75] 《高酸原油加工装置设备和管道设计选材导则》SH/T 3129
- [76] 《石油化工湿硫化氢环境设备设计导则》SH/T 3193
- [77] 《惰性气体保护焊用不锈钢丝》YB/T 5091
- [78] 《焊接用不锈钢丝》YB/T 5092
- [79] 《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016

中华人民共和国化工行业标准

钢制化工容器材料选用规范

HG/T 20581—2020

条文说明

目 次

修订说明	(129)
1 总则	(130)
2 术语	(131)
3 基本规定	(132)
4 材料选用原则	(133)
5 钢材技术要求	(134)
5.1 通用技术要求	(134)
5.2 钢板	(136)
5.3 钢管	(137)
5.4 锻件	(137)
5.5 铸钢件	(138)
5.6 紧固件用钢材	(138)
6 钢材的使用限制和范围	(139)
6.3 常压容器及非受压元件用 Q235 和 Q345 钢	(139)
6.4 钢管	(139)
6.6 奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体型双相不锈钢的耐蚀性	(140)
6.7 紧固件的使用温度范围及限制	(140)
6.8 使用介质的限制	(140)
7 焊接材料	(143)
7.2 焊接材料选用及标注	(143)
7.7 异种金属材料的焊接材料选用	(143)
8 钢材的代用	(144)

修 订 说 明

《钢制化工容器材料选用规范》HG/T 20581—2020，经工业和信息化部 2020 年 12 月 9 日以第 48 号公告批准发布。

本规范是在《钢制化工容器材料选用规定》HG/T 20581—2011 的基础上修订而成，HG/T 20581—2011 的主编单位是北京冠天能工程科技有限公司，主要起草人员是王非、陈朝晖、陈泽溥、阮黎祥、郝文生、王玉梅、安丰华、乔海星、陆宏玮、赵世平。

本次修订的主要技术内容是：

1. 术语；
2. 选材的原则；
3. 钢材的技术要求；
4. 钢材的使用限制和范围；
5. 焊接材料；
6. 商品紧固件力学性能；
7. 镍及镍合金焊接材料。

本规范修订过程中，编制组进行了广泛的调查研究和深入的交流讨论，认真总结了我国钢制化工容器选材的实践经验，同时参考了国外先进的技术标准和工程资料（API RP 934A、API RP 934C、API RP 571、API RP 581、API RP 582、NACE 8X194、NACE 2X94、NACE MR 0103、NACE MR 0175、NACE SP 0430 等）。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《钢制化工容器材料选用规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

本规范的历次版本发布情况为：

- HG/T 20581—2011；
- HG 20581—1998（2004）；
- HG 20581—1998；
- HGJ 15—1989。

1 总 则

1.0.2 本规范适用于设计压力不大于 35.0MPa，设计温度不低于-20℃的碳素钢、低合金钢、复合钢板（包括不锈钢-钢、钛-钢、镍-钢和铜-钢复合板）、珠光体耐热钢，设计温度不低于-196℃的奥氏体不锈钢焊制化工容器材料选用。设计温度低于或等于-20℃的碳素钢、低合金钢、复合钢板（包括不锈钢-钢、钛-钢、镍-钢和铜-钢复合板）、珠光体耐热钢，以及设计温度低于或等于-196℃的奥氏体不锈钢焊制化工容器材料选用应符合现行行业标准《钢制低温压力容器技术规范》HG/T 20585 的规定。钢铸件应符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 的要求。

2 术 语

现行行业标准《钢制化工容器设计基础规范》HG/T 20580 中已有的术语定义,本规范不再说明。故本规范删除了受压元件和非受压元件的术语和定义。

2.0.1 碳素钢

化工行业用的碳素钢的含碳量一般小于 0.8%。化工行业用碳素钢举例:现行国家标准《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274 中的 Q235B 和 Q235C,现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB/T 713 中的 Q245R,现行国家标准《高压化肥设备用无缝钢管》GB/T6479、《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163 和《石油裂化用无缝钢管》GB/T 9948 中的 10 和 20,现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008 和《优质碳素结构钢》GB/T 699 中的 20 和 35 等。

2.0.2 低合金钢

低合金高强度钢的碳含量(熔炼分析)一般不大于 0.20%,合金元素含量总和一般不大于 2.5%,抗拉强度下限值大于 540MPa,具有较好的冲击韧性和焊接性。

化工行业用低合金钢举例:现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB/T 713 中的 Q345R 和 Q370R,现行国家标准《高压化肥设备用无缝钢管》GB/T 6479 中的 Q345B、Q345C、Q345D 和 Q345E,现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163 中的 Q345D,现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008 中的 16Mn 等。

低合金高强度钢举例:现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB/T 713 中的 18MnMoNiR 和 13MnNiMoR,现行国家标准《压力容器用调质高强度钢板》GB/T 19189 中的所有牌号,现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008 中的 20MnMo、20MnMoNb 和 20MnNiMo,现行国家标准《合金结构钢》GB/T 3077 中的 40MnB、40MnVB、40Cr、30CrMoA、35CrMoA、35CrMoVA、25Cr2MoVA 和 40CrNiMoA。

2.0.7 奥氏体-铁素体型双相不锈钢

HG/T 20581—2011 中的定义要求铁素体相和奥氏体各占一半,比较难以实现。本规范一方面是基于化工行业的使用经验和国内现行压力容器用奥氏体-铁素体型双相不锈钢钢管的标准;另一方面是基于目前的检测方法以检测铁素体含量为主,故确定了“其中铁素体含量为 40%~60%”的定义。

2.0.9 最大模拟焊后热处理

对于 Cr 含量大于等于 2.25%的珠光体耐热钢及高温用珠光体耐热钢,最大模拟焊后热处理包含 482℃ 以上的所有中间热处理。材料的最大模拟焊后热处理的温度和时间可参照现行国家、行业标准《压力容器 第 4 部分:制造、检验和验收》GB/T 150.4—2011、《压力容器焊接规程》NB/T 47015—2011 和《承压设备焊后热处理规程》GB/T 30583—2014 来确定,热处理时间是根据厚度按照标准(如 NB/T 47015—2011, GB/T 35083—2014 等)折算出的时间乘以需要考虑的相应的循环次数。

2.0.10 最小模拟焊后热处理

对于 Cr 含量大于等于 2.25%的珠光体耐热钢及高温用珠光体耐热钢,最小模拟焊后热处理包含 482℃ 以上的所有中间热处理。

3 基本规定

3.0.2 铸钢件应符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 和相应的材料标准（如 HG/T 2741—95、GB/T 2100—2017、GB/T 7659—2010、GB/T 8492—2014、GB/T 11352—2009）的规定。

3.0.3 按照现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 中 2.1.1 的要求，本规范强调了质量证明书中应印制可以追溯的信息化标识的要求。

3.0.6、3.0.7 按照现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 中 2.1.3.2 的要求，对于受压元件用材料（包括境外材料），其标准抗拉强度下限值大于 540MPa 的低合金钢或用于压力容器设计温度低于-40℃的低合金钢，如钢材制造单位无该钢材在压力容器中使用业绩，应按 TSG 21—2016 的规定进行新材料技术评审。

化工容器的设计条件十分繁杂，标准中只能把经常使用的钢号及标准列入。同时，我国钢材标准还不完善，品种、规格方面缺口较多。因此在化工容器设计和施工时，将不可避免地遇到使用压力容器标准以外的钢材标准及代用问题。3.0.6 和 3.0.7 的作用就在于对使用标准外的钢材进行必要的规定和说明。

4 材料选用原则

4.0.1 选材需要综合考虑压力容器建造和使用对材料性能造成不利影响的因素，以保证材料最终使用状态符合设计选材要求。要考虑各种冷热加工的作用，并具有符合性，在化工容器日益大型化的条件下充分考虑加工因素，特别是多次热加工的累积效应具有实际意义；要考虑内部介质和外部环境的作用，并具有相容性。在化工容器工况越来越复杂的情况下综合考虑操作条件，特别是介质的腐蚀问题具有现实意义。

4.0.2 因目前压力容器、常压容器、储罐等类型化工容器中均不再使用 Q235A，故在第 2 款中不再区分受压元件和非受压元件的选材优先顺序。

综合考虑经济性和近些年的工程经验，将第 3 款中的 12mm 调整为 16mm。主要考察的因素包括较薄复合板与纯不锈钢钢板的经济性比对、复合板的制造难度和使用风险、爆炸复合对环境因素的影响等。

碳素钢和碳锰钢长期在 425℃ 温度下使用时，应考虑钢中碳化物的石墨化倾向。工作温度高于 350℃ 的压力容器壳体用含铬 12% 以上的铁素体不锈钢和马氏体不锈钢，应考虑 475℃ 脆化倾向（400℃~550℃ 长期加热后发生的脆化，475℃ 时最为显著）。奥氏体不锈钢的使用温度高于 525℃ 时，钢中碳含量不应小于 0.04%。

4.0.3 奥氏体不锈钢既可作为耐酸不锈钢使用，又可作为耐热不锈钢和低温钢使用。考虑到一些化工容器制造单位对加工珠光体耐热钢缺乏经验，对单台、小批量高温设备，在设计温度低于 500℃ 工况下选用高碳含钛、铌稳定化元素的奥氏体不锈钢用作耐热用钢也是合理的；

鉴于现行国家标准《压力容器》GB/T 150.2—2011 已经将 08Ni3DR 列入标准，该钢板可以用到 -100℃，故本规范将第 4 款中奥氏体不锈钢用于设计温度低于 -70℃ 的低温用钢调整为奥氏体不锈钢用于设计温度低于 -100℃ 的低温用钢。08Ni3DR 目前还没有相应的材料标准，使用业绩较少，对焊接要求较高，易发生磁偏吹问题，故在低温材料选用时需要谨慎。

设计温度低于 -100℃ 的低温设备推荐选用含 Ni 量较高的奥氏体不锈钢或低碳/超低碳奥氏体不锈钢。低温工况和制造中的冷变形都会诱发部分奥氏体转变为马氏体使钢材低温脆性倾向增加。

晶间腐蚀环境下奥氏体不锈钢制容器设计温度的限制要求是考虑到晶间腐蚀的不利影响，将不锈钢制容器设计温度在材料正常允许使用温度基础上有所降低，引自现行国家标准《不锈钢压力容器晶间腐蚀敏感性检验》GB/T 21433。当存在冲刷腐蚀和腐蚀疲劳等不利因素时，还应在材料正常允许使用温度基础上适当降低容器设计温度。

5 钢材技术要求

5.1 通用技术要求

5.1.1 随着炼钢技术的发展，平炉在钢材冶炼中基本被淘汰，压力容器用材料标准中均要求钢材冶炼方法应经电炉或氧气转炉冶炼并应经炉外精炼，特殊的钢材如调质钢、珠光体耐热钢等还需进行真空处理。结构钢标准中钢材冶炼方法至少为电炉或氧气转炉冶炼。

选材不但要确定钢材牌号及其相应标准，必要时还应补充钢材采购技术要求的一些项目，如敏感元素的控制，较高性能的要求，由供需双方商议的检测、检验项目的确定等一系列附加保证要求。当前我国一些钢材标准尚不能适应化工压力容器用钢的专门要求，为此，有些现行钢材标准被采用时，设计者须根据容器设计条件，参考本章的要求提出必要的协议项目及其他附加保证项目。3.0.4 和 3.0.5 与本章相呼应。

5.1.2 奥氏体不锈钢依赖其钝化膜而耐蚀，主要用于氧化性或弱氧化性介质中。在还原性或强氧化性介质中，绝大多数不锈钢腐蚀严重，不能使用。不锈钢产生晶间腐蚀需要满足两个必要条件：一是不锈钢具有一定程度的晶间腐蚀倾向，二是介质具有足够的晶间腐蚀能力。具有晶间腐蚀倾向的不锈钢如果用于没有晶间腐蚀能力的介质中也不会产生晶间腐蚀。因此，要有针对性地对奥氏体不锈钢制压力容器提出晶间腐蚀检验要求。

不锈钢晶间腐蚀试验是检验不锈钢在可能具有晶间腐蚀的场合下使用时，有无可能发生晶间腐蚀的一种试验方法，每一种试验方法对其适用的钢号、介质有一定对应性、代表性，对材料提出晶间腐蚀试验要求要兼顾以下几个方面：

- (1) 使用场合是否可能导致材料发生晶间腐蚀；
- (2) 试验方法是否与材料牌号及使用介质对应；
- (3) 试样状态的影响；
- (4) 试验合格判据。

根据上述要求，并参照现行国家标准《不锈钢压力容器晶间腐蚀敏感性检验》GB/T 21433 编写而成。

现行国家标准《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 4334—2020 中 A 法（10%草酸浸蚀试验方法）对应 ASTM A262 中 A 法，试验时间为 1.5min，是一种电化学方法（其余的不锈钢晶间腐蚀试验方法均为化学方法），主要用作筛选试验。用于检测奥氏体不锈钢因碳化铬沉淀引起的晶间腐蚀敏感性。此法不能检测 σ 相引起的晶间腐蚀敏感性，也不适用于检验铁素体不锈钢。

试验结果判断：试样在 10%草酸溶液中电解浸蚀后，在显微镜下观察被浸蚀表面的金相组织，与标准的浸蚀组织相对照，判断是否通过。如通过，则表明被筛选的热酸检验方法检验通过；如不

通过，则表明还要进行被筛选的热酸检验方法检验，以判明是否合格。在确定以 10%草酸法作为独立检验的方法时，则以草酸法是否通过作为检验是否合格的依据。

现行国家标准《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 4334—2020 中 B 法（硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法）对应 ASTM A262 中 B 法，试验时间为 120h，可选择性地腐蚀晶界贫铬区，但不溶解碳化铬；可以检测 SS321 和 SS347 型稳定化奥氏体不锈钢中 σ 相引起的晶间腐蚀，但不能检测含钼奥氏体不锈钢中 σ 相引起的晶间腐蚀；可用于检测铁素体型及双相不锈钢中的贫铬敏化作用，特别适于评定高铬不锈钢；该法也适用于 Ni-Cr-Mo 合金（Hastelloy）和高镍合金（Inconel），如果这些合金中存在晶界贫铬区或贫钼区，或者晶界有 σ 相存在时，可检测出晶间腐蚀敏感性。

试验结果判断：以腐蚀率判定或以弯曲法（管试样可为压扁法）判定。当以腐蚀率断定时，一般按腐蚀率不高于 1.2mm/a 为合格，允许设计者根据具体情况规定其他腐蚀率合格指标。当用弯曲法或压扁法判定时，以试样弯曲外侧面不出现晶间腐蚀裂纹为合格。

现行国家标准《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 4334—2020 中 C 法（65%硝酸腐蚀试验方法，又称休氏（huey）试验）对应 ASTM A262 中 C 法，试验时间为 5×48h，是一种定量评定晶间腐蚀敏感性的试验方法。该方法条件严苛，试验溶液不仅能侵蚀晶界贫铬区、 σ 相、碳化铬和碳化钛，甚至对非金属夹杂物等也具有择优腐蚀倾向。如果它们在晶界聚集并呈网状连续分布，则会在沸腾硝酸中表现出晶间腐蚀倾向，用于检验硝酸或其他强氧化性溶液中合金的晶间腐蚀倾向。这一方法在美国被广泛采用。

试验结果判断：以 5 个周期的平均腐蚀率或 3 个周期的最大腐蚀率来判断。一般情况下以腐蚀率不超过 0.6mm/a 为合格指标，要求较高时也可定为不超过 0.46mm/a 或 0.30mm/a 为合格指标。当为焊接接头试样时，要求熔合线不出现刀状腐蚀为合格。

现行国家标准《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 4334—2020 中 D 法（硝酸-氢氟酸腐蚀试验方法）对应 ASTM A262 中 D 法，试验时间为 2×2h，适用于检验含钼奥氏体不锈钢由于晶界贫铬所引起的晶间腐蚀倾向，是一种定量试验方法。

试验结果判断：以腐蚀率的比值来判断。

对于低碳不锈钢：

$$\text{腐蚀率的比值} = \frac{\text{交货状态试样的腐蚀率}}{\text{再固溶处理后试样的腐蚀率}}$$

对于超低碳不锈钢（也用于要焊接的非超低碳不锈钢）：

$$\text{腐蚀率的比值} = \frac{\text{敏化处理后的试样的腐蚀率}}{\text{交货状态试样的腐蚀率}}$$

一般以腐蚀率的比值不大于 1.5 为合格（主要用于对钢材的检验）。

现行国家标准《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 4334—2020 中 E 法（硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法）对应 ASTM A262 中 E 法，试验时间为 16（24）h，适用于检验奥氏体或双相不锈钢因晶界贫铬引起的晶间腐蚀。未加铜屑的酸性硫酸铜溶液灵敏度不够高。添加铜屑使试验条件更为苛刻，提高了试验的灵敏度。

试验结果判断：用弯曲法辅以金相法判断弯曲试样外侧面不产生晶间腐蚀裂纹作为合格指标。

上述 5 种方法都是检验不锈钢的晶间腐蚀倾向。国内一般只对氧化性较强的介质条件如浓硝酸、高温稀硝酸、尿素合成介质等采用 65% 硝酸法（GB/T 4334—2020 中 C 法），其他绝大部分场合多采用硫酸-硫酸铜法检验（GB/T 4334—2020 中 E 法）。

现行国家标准《不锈钢 5%硫酸腐蚀试验方法》GB/T 4334.6 专用于检验含钼奥氏体不锈钢耐均匀腐蚀性能。我国的不锈钢材标准中并没有规定按 5% 硫酸法进行均匀腐蚀试验的合格指标值。5% 硫酸法均匀腐蚀试验在日本用得较多，对于 SUS316 和 SUS316L 为 $5.5\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；对于 SUS316J1 和 SUS316J1L 为 $4.5\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；对于 SUS317 和 SUS317L 为 $6.0\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

5.1.3 现行国家标准《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878 中新增高温奥氏体不锈钢 S30409(304H)，含碳量为 0.04%~0.10%。可以采购双牌号不锈钢，如 S30408(304)/S30409(304H)，既能满足对材料高温性能的特殊要求 6，又能满足对普通不锈钢耐蚀性能的基本要求。同样，低碳奥氏体不锈钢 S30408(304) 最大含碳量为 0.08%，超低碳奥氏体不锈钢 S30403(304L) 最大含碳量为 0.030%，双牌号不锈钢 S30408(304)/S30403(304L) 既能满足超低碳不锈钢的最大含碳量限制，又能达到低碳不锈钢的强度要求。

5.1.4 高温高压氢腐蚀环境下用 2.25Cr-1.0Mo（12Cr2Mo1 钢板、12Cr1Mo 接管和锻件）材料的要求参照 API RP 934-A—2019 中的规定。对于加 V 的高级钢（如 2.25Cr1.0Mo0.25V、3Cr1Mo0.25VTiB、3Cr1.0Mo0.25VCbCa 等），母材的 Ni 元素含量的质量分数不应大于 0.25%。

5.1.5 温度低于 440℃ 的高压氢腐蚀环境用 1.25Cr0.5Mo（14Cr1MoR 板材、14Cr1Mo 接管和锻件）和 1.0Cr0.5Mo（15CrMoR 板材、15CrMo 接管和锻件）材料的技术要求参照 API RP 934-C-2010 中的规定。本条的要求不适用于发生蠕变的环境。

5.1.6 温度高于 440℃ 且小于 620℃ 的高温非临氢环境用 1.25Cr0.5Mo（14Cr1MoR 板材、14Cr1Mo 接管和锻件）和 1.0Cr0.5Mo（15CrMoR 板材、15CrMo 接管和锻件）材料的技术要求参照 API RP 934-E-2018 中的规定。用于控制铬含量大于等于 2.25% 的珠光体耐热钢回火脆性的 J 系数，不适用于 1.25Cr0.5Mo 和 1.0Cr0.5Mo 钢。但 X 系数可以控制回火脆性、再热裂纹和 LCD 裂纹等。

5.2 钢 板

5.2.1 无损检测

按照现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016、现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2—2011 和《钢制球形储罐》GB/T 12337—2014 进行了修订。参照现行国家标准《钢制球形储罐》GB/T 12337—2014，增加了球形容器上下极板和支柱连接的赤道板的无损检测要求。

第 3 款规定了复合板基材的无损检测要求，第 4 款和第 5 款规定了复合板的基材和覆层的结合率的无损检测要求。根据工程经验整合了复合钢板无损检测的要求。

现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3—2015 的 1 号修改通知单，于 2018 年 5 月 14 日以第 7 号公告批准，自 2018 年 7 月 1 日起实施，本修改单中将表 6 和

表 7 做了更改，将钢板的超声检测质量等级更改为 T I 级、I 级、II 级、III 级和 IV 级。经与现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2—2011 的编制沟通，明确本修改单不影响现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2—2011 中对于钢板超声检测的质量等级要求，不需要更改。

5.2.2 使用状态

必要时受压元件的正火要与其原材料的正火分别进行，除非最终热成形温度处于正火温度范围内（如封头、锥体等的热成形），否则不得将部件的热成形与原材料的正火合并进行。同时，不得将压力容器产品的热处理与原材料的正火合并进行。这是确保碳钢和低合金钢钢板在正火状态下使用的措施，这里的正火温度范围为 850℃~960℃。

本条按照现行国家标准《钢制球形储罐》GB/T 12337—2014 的规定，第 6 款新增了球罐用高强钢钢板的使用状态要求。

5.3 钢 管

5.3.2 从标准化以及采用的角度出发，很有必要提出精简的常用钢材规格。表 5.3.2 和表 5.3.3 就是以此为目的归纳提出的。常用不等于限制采用，设计者也可根据各自设计的特点，采用常用规格以外的钢材规格。

5.3.4 本条中列举的是比较常见且运输不受限的换热管的长度，随着装置的大型化和材料技术的发展，实际目前换热管长度已经有用到 14 000mm、15 000mm、16 000mm、17 000mm 和 18 000mm 甚至更长。

5.3.8 压力容器用钢管标准中均有超声检测可以代替水压试验的规定。但是，钢管的材料制造单位水平参差不齐，近几年的工程经验显示，多次出现不合规的超声检测，从而达不到水压试验的效果，故增加了“当设计未规定时”。特别是重要的换热管和关键设备的接管，宜规定进行水压试验。

现行国家标准《无缝和焊接（埋弧焊除外）钢管缺欠的自动涡流检测》GB/T 7735—2016 中将原有的 A 级基本等效为 E4H 级，且现行国家标准《无缝和焊接（埋弧焊除外）钢管缺欠的自动涡流检测》GB/T 7735—2016 正文中 6.5.1 和 6.5.2.2 中 b) 的注中，明确验收等级 E4H 和 E4 可作为替代水压试验的涡流检测的验收等级。

5.4 锻 件

5.4.1 根据多年的工程经验和中国材料的发展，常压容器和储罐中如使用锻件，也均是选用现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008—2017 和《承压设备用不锈钢和耐热钢锻件》NB/T 47010—2017 规定的材料，故本条取消了 JB/T 4385。

5.4.3 参照现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2—2011 的规定，新增了第 6 款和第 9 款的要求；参照现行国家标准《钢制球形储罐》GB/T 12337—2014 的规定，新增了第 10 款的要求；根据多年的工程经验，新增了第 8 款和第 10 款的要求。

5.5 铸 钢 件

现行国家标准《压力容器》GB/T 150—2011（所有部分）中不包含铸钢件，但现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 中新增了铸钢件。铸钢是化工容器设计中经常遇到的材料品种。原标准是参照日本 JIS B 8270 和美国 ASME BPVC 第Ⅷ卷编制了本节，对压力容器用铸钢材料标准、铸造系数、无损检测做了规定。本规范以不违反现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 为原则。参照现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016，新增 5.5.2 关于铸钢件冶炼方法和化学成分的要求，新增 5.5.7 关于铸钢件力学性能的要求，新增 5.5.10 安全系数的要求，即安全系数和铸造质量系数均应考虑。铸钢材料的使用限制和铸钢容器的设计压力和温度按照现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 中的规定。

铸钢（碳钢和不锈钢）高温性能系参考 DIN、JIS 和 ASTM 有关性能值换算确定。

5.6 紧固件用钢材

受压容器用紧固件有两类。一类是制造厂采用钢棒自行加工而成；另一类为商品紧固件。前者在现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2—2011 中已有规定，但对商品紧固件目前尚未有其他标准的规定，而商品紧固件又是不可缺少的承载零件。近年来，中国紧固件标准在参照 ISO 标准的前提下做了大幅度的修订，为此，在本规范中选择了一些常用商品紧固件标准及级别，规定了适用范围及配合要求。表 5.6.2 的使用范围为参考德国 AD 压力容器规范而确定的，表 5.6.4 的高温屈服强度也为参照德国 DIN 有关标准而得出的。

5.6.1 受压元件用商品级紧固件不能用在存在应力交变和温度交变的场合，即现行行业标准《钢制压力容器——分析设计标准》（2005 年确认）JB 4732 中判定为应进行疲劳设计的设备。

5.6.3 表 5.6.3 中商品规格范围指的是相应标准中的紧固件规格范围，受压元件用紧固件的使用范围首先应满足表 5.6.2 中的规定。

5.6.6 表 5.6.6 级紧固件的安全系数来源于现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016 表 3-5。4.8 级和 8.8 级的材料许用应力是按表 5.6.4 所列屈服强度除以表 5.6.6 的安全系数，其他材料的许用应力在现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2—2011 中均可以查到。

6 钢材的使用限制和范围

6.3 常压容器及非受压元件用 Q235 和 Q345 钢

6.3.1 对于受压容器用钢防止脆断的问题已引起设备设计的高度重视，但对于压力容器之外的焊接钢结构的脆断问题，虽然其实质是相同的，但至今未引起重视。标准、规范中对此的规定很少。

本规范在制定中考虑了上述意见，并参考了德国 DSA T 009“焊接钢结构钢材质量等级的选择方法”，对此做了规定。

钢材的质量等级的选择要考虑应力大小、重要程度、温度、板厚 4 个因素。由于化工容器中涉及的钢结构都为焊接结构，所以，焊接与否这个因素就一并计入了。关于冷变形率，由于一般冷变形率不大，在 2% 以下，所以，就未列入必须考虑的因素，但若冷变形率有可能大于 2% 时，应予以考虑。

6.4 钢 管

6.4.3 国外压力容器及管道用钢材标准和设计规范中往往把有缝钢管与无缝钢管相提并论，并已在工程项目中广泛使用。但国内碳素钢焊接钢管只能适应低压的水、煤气管的使用要求。有缝钢管作为锅炉和压力容器用钢管尚需在产品质量上作较大的提高。

6.4.5 由于现行国家标准《流体输送用不锈钢焊接钢管》GB/T 12771—2008 水平低于国际上通用的化工装置的不锈钢焊管标准，代表了国内一般焊管生产厂的较低质量水平，不能符合化工、石化装置设计的要求，但尚可符合一些介质无毒、无爆炸危险、无腐蚀性、对连续长周期运行要求较低的场合。故本规范参照现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2—2011 规定的现行国家标准《流体输送用不锈钢焊接钢管》GB/T 12771—2008 中各类焊接钢管的使用限制和范围。

6.4.6 由于国内化工装置中设计使用焊管较少，特别是换热管焊管就更少，国内高质量焊管的生产尚需一段考核和成熟阶段，因此，规定相应来说要严格一些，范围小一些，要求高一些。今后随着使用、设计经验的积累和生产水平的稳定及提高，将逐步放宽限制。

本规范的修订原则是用于压力容器和换热器的焊管，符合我国现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21—2016、现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2—2011 和《热交换器》GB/T 151—2014 的有关规定。

焊接钢管是一种有别于奥氏体不锈钢无缝钢管的制造工艺，而不是新钢种、新材料。就其焊接特点来看，与压力容器的焊接是同一范畴的，但由于其连续、自动、大批量生产的特点，因此，又与容器的焊接有区别。随着标准的批准和颁布，为化工行业中广泛使用不锈钢焊接钢管起到了有章可循、有法可依的作用。

6.6 奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体型双相不锈钢的耐蚀性

6.6.1 奥氏体-铁素体型双相不锈钢是在其固淬组织中铁素体相与奥氏体相共存的不锈钢，兼有铁素体不锈钢的强度与耐氯化物应力腐蚀能力和奥氏体不锈钢的塑性、韧性与焊接性特点。“固淬”与“固溶”都用以描述工件在高温条件下快速冷却的热处理过程，但固淬伴有相变，固溶不伴有相变。双相不锈钢具有 475℃脆性、 σ 相脆化及因碳、氮析出迅速引起的高温脆性等问题。与奥氏体不锈钢相比，双相不锈钢线膨胀系数小（与碳钢的线膨胀系数相近），热导率高，加工硬化效应大。双相不锈钢适合用作设备衬里和生产复合板，也适合用于制作热交换器的管束。

国外工程公司及国外标准对一些双相不锈钢的最低使用温度限制在-50℃，按现行国家标准《压力容器 第2部分：材料》GB/T 150.2—2011的规定及国内目前双相不锈钢的普遍质量水平，受压元件用双相不锈钢板最低使用温度不应低于-20℃。

由于耐点蚀当量数（PRE）与不锈钢的临界点蚀温度（CPT）和临界缝隙腐蚀温度（CCT）存在正比关系，而这两个临界温度常被用来衡量不锈钢耐局部腐蚀的能力，所以不锈钢耐点蚀当量数（PRE）与其耐局部腐蚀能力成正比，是在局部腐蚀环境下选用不锈钢及双相不锈钢的参考数值，不锈钢实际耐局部腐蚀性能还与其热处理过程有关。表 6.6.1 给出了国内外钢材生产商的部分奥氏体不锈钢、双相不锈钢耐点蚀当量数据可供比较选材方案时参考，表中双相钢的数字代号参照《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878—2007，与国外标准的牌号及数字代号对比可在《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878—2007 的附录 B 中找到。选用奥氏体-铁素体双相不锈钢不是因为其耐腐蚀性，如换热管选用利用其热膨胀系数接近于碳钢，或避免铁离子污染等原因，可降低其耐点蚀当量数要求。

耐点蚀当量数（PRE）达到 40 的不锈钢称为超级不锈钢。

6.7 紧固件的使用温度范围及限制

6.7.1 表 6.7.1 是综合现行国家和行业标准《压力容器 第2部分：材料》GB/T 150.2—2011、HG/T 20634—2009 及 NB/T 47020—2012 对紧固件的使用温度限制规定。

6.8 使用介质的限制

6.8.1 对 NaOH 溶液中使用温度的限制是根据美国 NACE 调查报告 NACE SP 0403—2015 和有关单位工程设计标准制定的。温度在 46℃到沸腾温度之间时，碳钢设备中 NaOH 浓度大于 5%时就可能会发生应力腐蚀开裂。无论温度是多少，当浓度低于 2%（质量分数）时，可以选择不对碳钢进行焊后热处理，也有一些人在低于浓度 5%（质量分数）的时候都不进行处理。但是，当整体浓度不高，但有局部浓缩情况下（如在停工期间直接进行蒸汽吹扫），整体的浓度在 $(50\sim 100)\times 10^{-6}$ 时，浓缩区域也会发生 NaOH 溶液应力腐蚀。避免局部浓度过高导致腐蚀的方法是避免偏离泡核沸腾（departure from nucleate boiling, DNB），保证内表面与腐蚀性物质的隔离。

碳钢所有的焊接接头、冷成形的弯管和热交换器的弯管段如果工作环境在 B 区，则需要消除应力热处理。

即使整体环境在 A 区，但一些有伴热设备中的局部位置的温度可能会达到 B 区温度。如果不能做好严格的温度控制，碳钢焊接接头和弯管也需要进行消除应力热处理。

NaOH 溶液腐蚀环境下，不提前做水洗的出蒸汽的设备和管道也需要做消除应力热处理。一些报告中认为提前做水洗能够有效防止 NaOH 应力腐蚀开裂。

300 奥氏体不锈钢的 NaOH 应力腐蚀开裂可参考图 1。

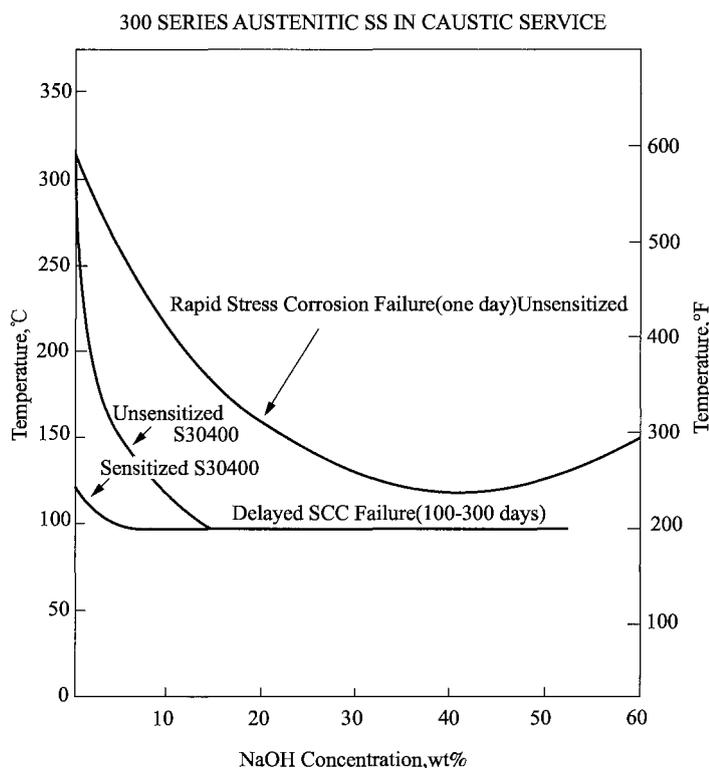


图 1 300 奥氏体不锈钢在 NaOH 溶液中腐蚀

6.8.2 本条中 I 类湿 H₂S 腐蚀环境来源于 NACE 8X194 中的 II 类湿 H₂S 腐蚀环境，同时考虑了 SH/T 3193—2017 中的 I 类湿 H₂S 腐蚀环境。湿 H₂S 应力腐蚀环境与温度、介质和浓度等均有关系。

对材料和制造工艺的要求主要依据美国 API 和 NACE 对碳钢、碳锰钢焊接容器在湿 H₂S 应力腐蚀环境中防止发生破裂的规定以及日本高压协会“高强度使用标准”等国外规范，以及美国壳牌公司、德国鲁奇、林德等工程公司对 H₂S/HCN 介质设备的工程规定而提出的。同时参考了 SH/T 3193—2017 中的相关规定。湿 H₂S 应力腐蚀环境下造成碳钢和低合金钢设备产生应力腐蚀破裂因环境差异，可产生不同的应力腐蚀开裂现象，如氢致开裂（HIC, hydrogen induced cracking）、硫化物应力开裂（SSC, sulphide stress cracking）、氢鼓泡（HB, hydrogen blistering）和应力导向氢致开裂（SOHIC, stress-oriented hydrogen induced cracking）等，应根据设计需要和工程实施的可能性采取有针对性的预防应力腐蚀破裂措施。

材料的供货状态综合考虑了 NACE MR 0103—2015 及目前国内材料的供货状态，根据具体情况，允许采用正火+奥氏体化+淬火+回火、奥氏体化+淬火+回火等供货状态。

为了防止应力腐蚀开裂，母材不宜采用金属涂层（电镀或化学镀）、转化涂层、塑料涂层等结构。但是出于耐磨或者耐腐蚀性考虑，当必须增加涂层时也是允许的。

碳素钢的焊后热处理温度推荐来源于 NACE 8X194，制造厂可根据经验进行微调。

6.8.4 高温氢腐蚀环境中选材的限制是按纳尔逊曲线（API RP 941—2016）制定的。考虑到焊接和焊后热处理对合金钢抗氢腐蚀性能的影响，条款中又特别强调了焊后充分消除应力热处理的必要性。

奥氏体不锈钢在图 6.8.4 所示的温度及氢分压中使用不会引起氢腐蚀，因此不需要进行焊后消除应力热处理。图 6.8.4 及本条第 2 款中“碳钢”特指碳素钢和低合金钢。

6.8.5 液氨储罐应力腐蚀破裂问题在国内外引起普遍重视，本条对该介质的定义和对策作出了原则性的规定。考虑到目前液氨的纯度已到 99.9%数量级以上，故本规范取消了 0.2%的水缓蚀剂的辅助措施。

6.8.7 限制介质成分是腐蚀环境下完善化工设备设计的必要措施，如同时实施本条所提示的措施，对完善设计可起到事半功倍的效果。

7 焊接材料

7.2 焊接材料选用及标注

焊接材料选用的编制主要依据：在原化工行业标准《钢制化工容器材料选用规定》HG/T 20581—2011 的基础上，根据近年实施取得的经验，并依据现行行业标准《压力容器焊接规程》NB/T 47015 和《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018 的内容，近几年焊接材料标准的大量升版内容，以及国内外工程公司的标准规范，进行补充和具体化。

焊接材料选择原则：

1. 钢制化工容器焊接材料选用原则应根据母材的化学成分、力学性能、焊接性能，并结合钢制化工容器的结构特点、使用条件及焊接方法综合考虑选用焊接材料，必要时通过试验确定。
2. 焊接材料技术类别与型号选用应与钢制化工容器用母材相匹配。
3. 焊接材料技术要求与钢制化工容器设备产品焊接接头相适应。熔敷金属性能不低于母材焊后性能标准规定的最低值，并留有足够的裕量。
4. 焊接材料熔敷金属中有害含量不超出相应母材规定的限值。

7.7 异种金属材料的焊接材料选用

7.7.1 奥氏体不锈钢与铁素体钢之间的异种钢焊接接头焊接材料选用原则来源于 API RP582。当温度超过 315℃ 时，镍基焊接材料的选用可参照下表。

焊接材料	最大设计温度（非硫化环境）/℃	最大设计温度（硫化环境）/℃
ENiCrFe-3	540	370
ERNiCr-3、ENiCrFe-2	760	400
ERNiCrMo-3、ENiCrMo-3	590	480

注：这里的非硫化环境的定义按照 API 939-C 的规定。

8 钢材的代用

8.0.2 钢材代用是目前化工容器制造中经常遇到的问题。为此,第8章专门对代用原则做了规定,并强调代用钢材与原设计钢材间导热系数、线膨胀系数的对应,强调考虑抗应力腐蚀、晶间腐蚀、电偶腐蚀、冲刷腐蚀等局部腐蚀性能。

(1) 钢材代用条件

- a) 不得变更原有设计,不得变更原设计规定的结构尺寸和规格,不得变更图纸,代用钢材要满足原设计条件和要求;
- b) 代用钢材性能优于原始设计钢材时,不得减少代用钢材的厚度,代用钢材性能略差于原始设计钢材时,也不得增加代用材料的厚度,并应重新进行强度或刚度校核;
- c) 钢材代用应考虑与相邻钢材的相容性,还要考虑由此引发的制造、检验等变化。

(2) 中外钢材标准中,代用钢材牌号与原设计钢材牌号的对照关系、相近关系、不同类型关系

a) 对照关系是指不同国家之间的相应牌号具有如下关系:

- 同为压力加工材料牌号或铸件材料牌号;
- 具有很接近的标准化学成分范围,或相同的标准化学成分范围;
- 具有很接近的性能,或相同的性能。

采用与原设计钢材对照牌号的钢材代用,可以使代材问题较为简单,在钢材代用中经常采用。采用与原设计钢材对照牌号的钢材代用也要注意因某些关键化学成分差别导致的特定敏感性能差异。

b) 相近关系是指不同国家之间的相应牌号具有如下关系:

- 同为压力加工材料牌号或铸件材料牌号;
- 具有接近的标准化学成分范围;
- 具有接近的性能。

采用与原设计材料牌号相近牌号的钢材代用,需要注意虽然化学成分和性能接近,但在某些情况下使用性能的差异,如稳定化奥氏体不锈钢与非稳定化奥氏体不锈钢耐晶间腐蚀性能的差异;含钼的奥氏体不锈钢和不含钼的奥氏体不锈钢在还原性介质中耐蚀性能和耐点蚀、耐缝隙腐蚀性能的差异;不同含碳量的奥氏体不锈钢除耐蚀性的差别外还应注意其高温和低温工况下力学性能的差异。20管比10管许用应力高、塑性低,但仍在可用范围内,因而10管及其国外对照牌号与20管及其国外对照牌号可以互代,10管和20管不是对照牌号而是相近牌号。

c) 不同类型的钢材也可代用,如采用奥氏体不锈钢代用碳素钢或低合金钢,应以优代劣,不宜以劣代优。不同类型的钢材代用除需要校核强度、稳定性外,还应考虑异种材料焊接等制造工艺性能。应考虑代用钢材与相邻钢材的相容性,如热膨胀系数的差异引起的热应力,电负性差异较大时可能引起的电偶腐蚀,碳素钢、低合金钢抗氯离子应力腐蚀性能较好而奥氏体不锈钢对氯离子引起的应力腐蚀较为敏感等。经济合理性也是不同类型的钢材代用需要考虑的问题。不同类型的钢材代用需要考虑的问题较多,工程中较少采用。