



指南编号/Guideline No.T-01(202502)

T-01

船用液化气体燃料 C 型独立舱

生效日期/Issued date:2025 年 2 月 1 日

©中国船级社 China Classification Society

前言

中国船级社（以下简称“本社”）产品检验指南规定了拟申请本社认可/检验的船舶入级产品、授权法定产品的适用技术要求及检验试验要求。

本指南并不限制用户采用其它试验方法和要求，但相关试验方法及要求应不低于本指南的要求。

本指南由本社编写和更新，通过网址 <http://www.ccs.org.cn> 发布，使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 mp@ccs.org.cn。

历史发布版本及发布时间：新编

本版本主要修改内容：无

目 录

1 适用范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语及定义.....	4
4 图纸资料.....	5
5 技术要求.....	7
6 原材料及零部件.....	12
7 型式试验.....	12
8 单件/单批检验.....	26

船用液化气体燃料 C 型独立舱

1 适用范围

1.1 本指南适用于：

1.1.1 安放在本社《船舶应用天然气燃料规范》、《船舶应用氨燃料指南》中规定的使用天然气、氨为燃料钢质船舶上的钢质焊接 C 型独立燃料舱；和

1.1.2 散装运输液化天然气和氨的 C 型独立液货舱。

1.2 本指南不适用于真空绝热式液化天然气储罐和液化天然气罐式集装箱。

2 规范性引用文件

- (1) 中国船级社《钢质海船入级规范》
- (2) 中国船级社《材料与焊接规范》
- (3) 中国船级社《船舶应用天然气燃料规范》
- (4) 中国船级社《船舶应用氨燃料指南》
- (5) 中国船级社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》
- (6) 中国船级社《液化气体运输船检验指南》

3 术语及定义

上述检验依据中所确定的术语及定义适用于本指南。为编写及使用方便，本指南直接引用或补充下列定义。

船用液化气体燃料 C 型独立舱（以下称 C 型舱）：船舶液化气体燃料围护系统的一种，系指自身支持的燃料舱，它不构成船体结构的一部分，且对于船体强度不是必需的。

δ_{PWHT} ：焊接接头厚度或焊后热处理厚度。

4 图纸资料

4.1 下列图纸资料应提交本社审查：

- (1) C 型舱总布置图；
- (2) 基本结构图：包括舱/罐体、固定/活动鞍座、吊耳、集液井、止浮装置等；主要部件图：如封头、气室、集液井/潜液泵（深井泵）座、加强/补强结构、制荡舱壁、真空环、人孔、管路、梯道等；
- (3) 计算书：承压部件强度计算、晃荡分析报告、屈曲分析报告、吊耳强度计算书、安全阀排量计算书、鞍座强度计算书、止移/止浮部件强度计算、热力计算书、与罐体连接的冷箱载荷计算等；
- (4) 主要受压件材料理化性能一览表：板材、管子及附件、锻件、绝热材料等；
- (5) 层压木布置图；
- (6) 疲劳应力分析报告（如适用）；
- (7) 罐体整体应力分析报告；
- (8) 其他需要文件（加注/供气系统图等）。
- (9) 《船舶应用氨燃料指南》第 1 章第 2 节第 1.2.1 条中第(3)条管系部分要求的图纸和资料。
- (10) 设计温度低于-110℃的管路热应力分析报告（如适用），温度场分析（如适用）；
- (11) 低温管系的隔热布置说明（如适用）；
- (12) 相关风险分析报告（如氨发动机风险分析（如 FMEA（故障模式与影响分析））报告等）。

4.2 拟取得本社初次工厂认可的单位，下列图纸资料应提交审查：

- (1) 工厂概况：工厂名称、地址、生产历史、生产能力、技术和检验

人员、主要产品、隶属关系、产品商标等。

- (2) 申请认可产品明细：现有生产产品的种类、规格、技术特性，申请认可产品的种类、规格、技术特性；
- (3) 主要生产设备、主要检测/试验设备：
 - ① 主要生产设备清单：成型设备、焊接设备、热处理设备、清洗钝化设备等；
 - ② 主要检测/试验设备清单：材料物理化学性能试验设备、无损检测设备、压力表等设备清单(包括名称、型号以及检定/校准有效期)；
 - ③ 用于液压试验的承重场地或平台。
- (4) 申请认可产品的主要生产工艺：
 - ① 生产工艺流程图(需标注质量控制点)或检验及试验计划；
 - ② 生产工艺流程图或检验及试验计划中各工序的作业指导书，包含材料验收、焊接、热处理（如有时）、无损探伤等主要工序；
 - ③ 工艺文件应包含：板材下料切割及吊装工艺、各类样板、样棒或样箱的制造、封头瓣片压制工艺、主要大构件建造工艺（封头，筒节）、焊接工艺规程或焊接指导书、无损检测计划、液压试验程序、密性试验程序、绝热施工手册。
- (5) 主要管理文件或质量体系证书；质量体系文件等管理文件，在文件中应清晰地表示出质量体系的组织机构和产品质量控制点；
- (6) 企业注册登记证明；
- (7) 资质证明和/或生产许可证，获得的特种设备制造许可证和其他认证资质证书情况等，如适用；
- (8) 试验、检验人员、焊工的资质证明；

- (9) 试验地点及实验室所具备的资质(如分包, 应说明分包方的资质及分包约定情况);
- (10) 材料和主要部件的供应商清单;
- (11) 产品质量证明书或合格证样本, 产品铭牌样式;
- (12) 认可型式试验大纲。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 C 型舱的设计和技术要求应符合本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》、《船舶应用氨燃料指南》以及本社接受的压力容器标准;

5.1.2 C 型舱应至少设置 2 个/组压力释放阀(PRVs), 其中一个 / 组压力释放阀可在发生故障或泄漏时断开。

5.1.3 C 型舱的装载极限不应超过 95%, 充装极限不应超过 98%。

5.1.4 除设计成在最高设计环境温度条件下能承受燃料的最大蒸气表压力的 C 型舱外, C 型舱的压力和温度应通过 CCS 接受的方法保持在设计范围内, 例如下列方法中的一种:

- (1) 蒸气的再液化;
- (2) 蒸气的热氧化;
- (3) 压力积聚;
- (4) 液化气体燃料冷却。

所选择的方法应能使燃料舱的压力在 C 型舱压力释放阀的设定压力以下维持 15 天, 并假定在正常工作压力下和船舶怠速工况下 (即仅提供生活负载用电) 燃料舱处于满载状态。

5.1.5 C 型舱的压力释放系统、燃料舱装载极限、燃料储存状态的维持应满足本社《船舶应用天然气燃料规范》第 4 章第 5、6 和 7 节或《船舶应用氨燃

料指南》第 4 章第 2、3 和 4 节的要求。

5.2 材料和管路设计、制造、连接细节

5.1.6 用于制造液化天然气 C 型舱的金属材料要求应符合本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 6 章的要求，非金属材料的指导见《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》附录 1 的要求。

5.1.7 与氨接触的管路、阀件、附件和其他设备不得使用铜、含铜合金、锌、含锌合金、含镉和含汞等易受氨腐蚀的材料。垫片和密封件应由与氨相容的金属、橡胶、聚合物等材料制成，如金属缠绕垫片、聚四氟乙烯。采用焊后热处理或采用硬度不大于 185HB 的焊接工艺施焊。含有高于 5% 镍的镍钢，不应将其作为制造载运此种货物的容器和管路系统的材料。当运载温度最好保持在接近货物的沸点-33℃，但不能高于-20℃时，可以使用含镍不超过 5% 的镍钢。

5.1.8 所有壳体纵缝、环缝均应为对接、全焊透、双面 V 型坡口或单面 V 型坡口形式，对于全焊透的对接焊缝，应采用双面焊或使用衬垫。若使用衬垫，焊后应除去衬垫。根据对焊接工艺认可试验的结果，亦可采用其他的坡口形式；以及对于液货舱本体和气室之间以及气室和有关的附件之间的连接接头的斜坡口，应按主管机关接受的标准进行设计。容器上连接管口、气室或其他贯通件的焊缝以及法兰与容器或管口连接的所有焊缝均应为全焊透型焊缝。经本社同意，全熔透的 T 型（十字形焊接接头）焊缝连接可用于双体罐和三体罐的壳体与纵舱壁（三体罐中还包括 2 个斜内舱壁）之间的 Y 型接头。

5.1.9 管路设计、制造和连接细节应满足本社《船舶应用天然气燃料规范》第 3 章或《船舶应用氨燃料指南》第 3 章的要求。

5.3 热处理

5.3.1 因设计、构造材料或盛装介质的原因，需对 C 型舱进行焊后热处理的，一般应优先采用整体热处理。若因条件限制，无法进行整体热处理时，可允许分段热处理，但应保证焊缝的全长均受到热处理。

5.3.2 热处理温度、保温时间、加热和冷却速度的选择应使受压壳体的残余应力得以消除，综合性能得到改善。

5.3.3 对碳钢或碳锰钢制造的 C 型独立舱，消除残余内应力热处理的温度和保温时间建议按表 5.3.3 的规定进行。对合金钢，热处理工艺应根据所选用的

材料确定，且应经本社同意。

表 5.3.3 消除残余应力热处理的温度与保温时间

钢级	温度 °C	时间 h
360、410、460、490	580~620	按每 25mm 厚度为 1h 计，但至少为 1h。

5.3.4 焊后炉内热处理操作可参照如下要求进行：

(1) 非合金钢、低合金钢的焊后热处理操作应符合如下规定：

- ① 焊件进炉时炉内温度不得高于 400°C；
- ② 焊件升温至 400°C 后，加热区升温速度不得超过 $5500/\delta_{PWHT}$ °C/h，且不得超过 220°C/h，最慢不应低于 15°C/h；
- ③ 升温时，加热区内任意 4600mm 长度内的温差不得大于 140°C；
- ④ 保温时，加热区内最高与最低温度之差不宜超过 80°C；
- ⑤ 炉温高于 400°C 时，加热区降温速度按 $7000/\delta_{PWHT}$ °C/h，且最快不应超过 280°C/h，最慢不应低于 15°C/h；
- ⑥ 焊件出炉时，炉温不得高于 400°C，出炉后应在空气中继续冷却；
- ⑦ 分段热处理时，其重复加热长度应不小于 1500mm，且相邻部分应采取保温、隔热措施，使温度梯度不致对工件消除残余应力效果、变形和性能产生有害影响。

(2) 其他材料的热处理操作应符合本社接受标准的要求。

5.3.5 液化天然气 C 型舱：

液化天然气 C 型舱应根据其所用材料决定是否需要进行焊后热处理，若需要进行焊后热处理，热处理工艺应经本社批准。

5.3.6 氨 C 型舱：

- (1) 如果使用我社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 17.12.2 规定的那些钢材以外的具有更高屈服性能的碳锰钢，则应对已完

工的液货舱和管路等进行焊后消除应力的热处理。

- (2) 对于碳钢或碳锰钢制成的钢管，其所有对接焊缝均应进行焊后热处理，且应满足本社《材料与焊接规范》的相关要求。本社根据相关管系的设计温度和设计压力，可免除对壁厚小于 10 mm 的管子进行消除热应力的要求。

5.4 焊接工艺评定

5.4.1 C 型舱的对接缝和管系的焊接工艺应经本社认可，且应满足本社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 6 章的要求。

5.4.2 焊接试件应能代表：

- (1) 每种母材；
- (2) 每种焊接材料和焊接方法；
- (3) 每种焊接位置。

5.4.3 C 型舱的焊接工艺评定应进行如下试验：

- (1) 焊缝横向拉伸试验；
- (2) 纵向全焊缝拉伸试验，对于厚度小于 16mm 的钢板，可免做该试验；
- (3) 焊缝横向弯曲试验：可进行正弯、反弯或侧弯试验。若母材和焊缝金属具有不同的强度级，则可要求以纵向弯曲试验替代横向弯曲试验；
- (4) 一组 3 个的夏比 V 型缺口冲击试验，缺口位置分别位于：
 - ① 焊缝中心线；
 - ② 熔合线；
 - ③ 热影响区距熔合线 1mm；和

- ④ 热影响区距熔合线 3mm；和
- ⑤ 热影响区距熔合线 5mm；
- (5) 也可要求对焊缝做宏观断面、微观断面以及硬度进行检验；
- (6) 用于氨 C 型舱的焊接工艺试验还需在焊缝横截面上(距表面 1.5mm 处)按照《材料与焊接规范》第 3 篇第 1 章第 2 节第 1.2.4.3 条进行硬度检测。

5.4.4 焊接工艺试验应满足：

- (1) 焊缝横向拉伸试验：焊缝横向抗拉强度应不低于相应母材的最低抗拉强度；若焊缝金属的抗拉强度低于母材的抗拉强度，则与 CCS 签订协议后也可接受横向焊缝抗拉强度不低于熔敷金属规定的最小抗拉强度。在每种情况下，应提供试样破断位置报告以供备查。
- (2) 焊缝纵向拉伸试验：焊缝纵向拉伸试验，熔敷金属的屈服强度应不低于母材的规定最低屈服强度或设计时所考虑的最低屈服强度。
- (3) 弯曲试验：试样经直径为 4 倍试样厚度的弯芯弯曲 180°后，不应断裂，弯曲试验试样受拉表面不应出现 3mm 以上的张开型缺陷。
- (4) 冲击试验：应在对连接母材规定的温度下进行冲击试验。焊缝金属冲击试验的结果，其最小平均冲击能量 (KV) 应不低于 27J。焊缝金属小尺寸试样和单个冲击能量的要求应符合表 5.4.4 (4) 的规定。熔合线和热影响区的冲击试验结果的最小平均冲击能量 (KV) 应符合母材横向或纵向要求(视适用而定)，而小尺寸试样，最小平均冲击能量 (KV) 应符合表 5.4.4 (4) 的规定。如果材料的厚度不允许截取全尺寸试样或标准小尺寸试样，则试验方法和验收标准应符合公认标准。

表 5.4.4 (4) 小尺寸试样的最小平均值

夏比 V 型缺口试样尺寸 mm	3 个试样的最小平均冲击能量 J
10×10	KV
10×7.5	5/6KV
10×5	2/3KV

- (5) 全焊透“Y”型接头：按照角焊缝的工艺试验进行。
- (6) 氨 C 型舱焊接工艺试验的硬度检测结果应满足本社规范或本社接受标准的要求。
- (7) 板材的对接焊试验，试板的制备应使焊缝平行于板材轧制方向。每种焊接工艺试验所规定的材料厚度范围以及适用范围应符合本社《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章的要求。试件切割前应进行 100%外观检查、100%表面和内部无损检测。如果要求进行焊后热处理，则无损检测应在热处理后进行。对规定最小屈服强度大于或等于 420N/mm² 的焊接结构用高强度钢，除非焊后热处理已经完成，否则无损检测应延迟至少 48 小时。无损检测工艺应经本社认可。试件的外观和无损检测结果应满足 ISO 5817 的 B 级(焊缝超高、凸度过大和根部下塌可接受 C 级)或其他相当标准的要求。

5.4.5 氨 C 型舱的所有焊缝均应经过焊接工艺评定，包括对焊、补焊、管子与管板焊接、堆焊、角焊等；在满足强度的要求前提下，尽可能采用低强度焊接材料。

6 原材料及零部件

6.1 持证要求

用于制造C型舱的主要原材料及零部件：如板材、管子及附件、阀门、燃料管系用膨胀接头、封头、锻钢件应持有本社船用产品证书；焊接材料、绝热材料、层压木及胶水应持有本社认可证书。

6.2 复验要求

如上述主要原材料不能满足持证要求，则需验船师根据规范进行检验，检验项目根据产品要求包括：化学成分，力学性能，无损探伤等；验收要求见本指南第7.3条要求。焊材应按照本社《材料与焊接规范》第3篇第2章的要求进行认可试验。

7 型式试验

7.1 典型样品的选取

7.1.1 认可型式试验选取的典型样品特性、制造方式应能覆盖或代表制造厂申请认可的产品。典型样品的选择应考虑：主体材料、壁厚、设计压力、设计温度、适用介质、结构型式（双体罐/三体罐）等条件。结构型式一般不能互相覆盖，壁厚一般须选择最大规格。

7.2 主要原材料和零部件的检验

7.2.1 C 型舱构造材料要求：

- (1) 7.2.1 (1)：适用于设计温度不低于 0℃ 的 C 型舱所用的板材、管材（无缝管和焊接管）、型材和锻件。
- (2) 7.2.1 (2)：适用于设计温度低于 0℃ 和至 -55℃ 的 C 型舱所用板材、型材和锻件。
- (3) 7.2.1 (3)：适用于设计温度低于 -55℃ 至 -165℃ 的 C 型舱中所用的板材、型材和锻件。
- (4) 7.2.1 (4)：适用于设计温度低于 0℃ 至 -165℃ 的管系用管材（无缝管和焊接管）、型材和铸件。

表 7.2.1(1) 设计温度不低于 0℃的 C 型舱所用板材、管材（无缝管和焊接管）^{注 1 和 2}、型材和锻件

化学成分和热处理	
碳锰钢	
全镇静细晶粒钢	
经 CCS 同意可添加少量的合金元素	
化学成分的范围应经 CCS 认可	
正火或淬火加回火 ^{注 4}	
强度和韧性（冲击）试验要求	
取样频率	
板材	按“轧制件”试验
型材和锻件	按批试验
力学性能	
抗拉性能	规定的最小屈服强度不超过 410N/mm ^{2注 5}
韧性（夏比 V 型缺口冲击试验）	
板材	横向试样，最小平均冲击能量值（KV）为 27J
型材和锻件	纵向试样，最小平均冲击能量值（KV）为 41J
试验温度	
厚度 t（mm）	试验温度（℃）
t ≤ 20	0
20 < t ≤ 40	-20
40 < t ≤ 50 ^{见注 3}	-20 ^{见注 6}
注：	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 无缝管和附件，采用正常的制造工艺即可。焊接压力管应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 4 章的要求。 2. 管材不要求进行夏比 V 型缺口冲击试验。 3. 本表一般适用于厚度不超过 50 mm 的材料。如使用更大厚度的材料应经本社评估。除 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 2 节和第 3 节规定的轧制钢外，对于厚度 > 40mm 的产品，还需要增加一组厚度中心的冲击试验。 4. 可用控制轧制工艺或温度-形变控制轧制（TMCP）代替。 5. 规定的最小屈服强度超过 410 N/mm² 的材料应经本社认可。这些材料的焊缝和热影响区的硬度应予以特别注意。若载运的货品有可能造成 C 型舱产生应力腐蚀裂缝时，建议对整个 C 型舱进行适当的消除残余应力的热处理。以使焊接金属和热影响区的硬度不超过 250HV。 6. 这种情况下，还应进行焊后消除应力热处理。如使用替代方法（如工程临界评估）免除焊后消除应力热处理，应经 CCS 认可或符合本社接受的标准。 	

表 7.2.1(2) 设计温度低于 0℃和至-55℃的 C 型舱所用板材、型材和锻件^{注1}
最大厚度为 25mm^{注2}

化学成分和热处理					
碳锰钢					
全镇静、铝处理的细晶粒钢					
化学成分（炉罐分析）					
C	Mn	Si	S	P	
≤0.16% ^{注3}	0.7~1.60%	0.1~0.50%	≤0.025%	≤0.025%	
选择的添加元素：合金化元素和晶粒细化元素一般按下列要求：					
Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	V
≤0.8%	≤0.25%	≤0.08%	≤0.35%	≤0.05%	≤0.1%
Al总含量最少0.02%（酸溶性最少0.015%）					
正火或淬火加回火 ^{见注4}					
强度和韧性（冲击）试验要求					
取样频率					
板材		按“轧制件”试验			
型材和锻件		按批试验			
力学性能					
抗拉性能		规定的最小屈服强度不超过410N/mm ^{2注5}			
韧性（夏比 V 型缺口冲击试验）					
板材		横向试样，最小平均冲击能量值（KV）为 27J			
型材和锻件		纵向试样，最小平均冲击能量值（KV）为 41J			
试验温度		比设计温度低 5℃，或-20℃，取其低者			
厚度 t（mm）		试验温度（℃）			
注：					
1. 对锻件的夏比 V 型缺口冲击试验和化学成分的要求，可由 CCS 予以特别考虑。					
2. 对厚度超过 25 mm 的材料，夏比 V 型缺口冲击试验应按下列要求进行：					
材料厚度（mm）		试验温度（℃）			
25 < t ≤ 30		比设计温度低 10℃，或-20℃，取其低者			
30 < t ≤ 35		比设计温度低 15℃，或-20℃，取其低者			
35 < t ≤ 40		比设计温度低 20℃			
40 < t		经CCS认可的温度 ^{注6}			
冲击能量值应按所用试样种类符合表列的要求。					
用于液货舱和液货舱部件的材料，如焊后热应力完全消除，可在比设计温度低5℃或-20℃(取其低者)的温度进行试验。					
对于已消除热应力的加强构件和其他构件，其试验温度应与邻接液货舱壳体厚度所要求的试验温度相同。					
3. 如设计温度不低于-40℃，经CCS特别同意，材料的含碳量最大可增至0.18%。					
4. 用控制轧制工艺或 TMCP 代替。					
5. 规定的最小屈服强度超过 410 N/mm ² 的材料应经本社认可。这些材料的焊缝和热影响区					

的硬度应予以特别注意。若载运的货品有可能造成 C 型舱产生应力腐蚀裂缝时, 建议对整个 C 型舱进行适当的消除残余应力的热处理。以使焊接金属和热影响区的硬度不超过 250HV。厚度超过 25 mm 的材料, 若其试验温度为 -60℃ 或更低者, 宜采用符合本指南 7.2.1(3)规定的钢材或经特殊处理的钢材。

6. 对于 $-55^{\circ}\text{C} \leq \text{设计温度} < 0^{\circ}\text{C}$ 的液货舱, $40\text{mm} < \text{厚度} \leq 50\text{mm}$ 材料的夏比 V 型缺口冲击试验应按下列要求进行:

夏比 V 型缺口冲击试验要求	
厚度 mm	试验温度 $^{\circ}\text{C}$
$40 < t \leq 50$ ^{注7}	比设计温度低 5°C 或 -20°C , 取低者 ^{注8}

7. 除 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 2 节和第 3 节规定的轧制钢外, 对于 $t > 40\text{mm}$ 的产品, 还需要增加一组厚度中心的冲击试验。
8. 当设计温度低于 0°C 至 -10°C 时, 应进行焊后消除应力热处理。当设计温度低于 -10°C 至 -55°C 时, 对于用碳锰钢制造的 C 型燃料舱, 则应进行焊后热处理。如使用替代方法 (如工程临界评估) 免除焊后消除应力热处理, 应经 CCS 认可或符合本社接受的标准。

表 7.2.1(3) 设计温度低于 -55°C 至 -165°C ^{注2} 的 C 型舱所有板材、型材和锻件 ^{注1}
最大厚度为 25mm ^{注3,4}

最低设计温度 $^{\circ}\text{C}$	化学成分 ^{注5} 和热处理	冲击试验温度 $^{\circ}\text{C}$
-60	1.5% 镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火或 TMCP ^{注6}	-65
-65	2.25% 镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火或 TMCP ^{注6, 7}	-70
-90	3.5% 镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火或 TMCP ^{注6, 7}	-95
-105	5% 镍钢—正火或正火加回火或淬火加回火 ^{注6, 7, 8}	-110
-165	9% 镍钢—二次正火加回火或淬火加回火 ^{注6}	-196
-165	奥氏体钢, 如 304、304L、316、316L、321 和 347 等, 固溶处理 ^{注9}	-196
-165	高锰奥氏体钢—热轧加控冷 ^{注10和注11}	-196
-165	铝合金, 如 5083, 退火	不要求
-165	奥氏体铁—镍合金 (含 36% Ni), 按经同意的热处理方法	不要求
拉伸和韧性 (冲击) 试验要求		
取样频率		
板材	按“轧制件”试验	
型材和锻件	按批试验	
韧性 (夏比 V 型缺口冲击试验)		
板材	横向试样, 最小平均冲击能量值 (KV) 为 27J	
型材和锻件	纵向试样, 最小平均冲击能量值 (KV) 为 41J	

注:

1. 在临界条件下使用的锻件的冲击试验要求, 应由 CCS 予以特别考虑。
2. 设计温度低于 -165°C 时的要求, 应经 CCS 特别同意。
3. 含 1.5%Ni、2.25%Ni、3.5%Ni 和 5%Ni 的材料, 厚度超过 25 mm 时, 应按下述要求进行冲击试验:

材料厚度 mm	试验温度
$25 < t \leq 30$	比设计温度低 10°C
$30 < t \leq 35$	比设计温度低 15°C
$35 < t \leq 40$	比设计温度低 20°C

冲击能量值, 应根据所用试样型式按照表列值。厚度超过40mm的材料, 其夏比V型缺口冲击能量值应予以特别考虑 (见注12)。

4. 可采用厚度超过 25 mm 的 9%Ni 钢、奥氏体不锈钢和铝合金。
5. 化学成分的范围应符合公认标准。
6. TMCP 镍钢应经 CCS 接受。
7. 淬火加回火的钢材, 经 CCS 特别考虑, 可用于较低的最低设计温度。
8. 经特殊热处理的 5%镍钢, 例如经三次热处理的 5%镍钢, 可被用于最低温度为 -165°C 的场合, 但应在 -196°C 下对其进行冲击试验。
9. 经 CCS 同意, 可免除冲击试验。
10. 对于 2026 年 1 月 1 日或以后建造的船舶, 材料的使用应满足 IMO 通函“经修订的用于低温环境的高锰奥氏体钢应用指南”(MSC.1/Circ.1599/Rev.2 及其修订案)或 CCS《高锰奥氏体低温钢应用指南》的相关要求。
11. 对于高锰奥氏体钢, 不可免除冲击试验。
12. 对于 $40\text{mm} < \text{厚度} \leq 50\text{mm}$ 的材料, 夏比 V 型缺口冲击试验应按下列要求进行:

韧性 (夏比 V 型缺口冲击试验)	
厚度 t mm	试验温度
$40 < t \leq 45$ ^{注13}	比设计温度低 25°C
$45 < t \leq 50$ ^{注13}	比设计温度低 30°C

13. 除 CCS《材料与焊接规范》第1篇第3章第2节和第3节规定的轧制钢外, 对于 $t > 40\text{mm}$ 的产品, 还需要增加一组厚度中心的冲击试验。

表 7.2.1(4)设计温度低于 0℃至-165℃^{注3}的燃料管路和处理用管路所用的管子（无缝管和焊接管）^{注1}、锻件^{注2}和铸件^{注2}
最大厚度为 25mm

最低设计温度 ℃	化学成分 ^{注5} 和热处理	冲击试验	
		试验温度 ℃	最小平均冲击能量 KV
-55	碳锰钢：应为全镇静细晶粒，正火或经同意的热处理方法 ^{注6}	注 4	27
-65	2.25%镍钢，正火，正火加回火或淬火加回火 ^{注6}	-70	34
-90	3.5%镍钢，正火或正火加回火或淬火加回火 ^{注6}	-95	34
-165	9%镍钢 ^{注7} ，二次正火加回火或淬火加回火	-196	41
	奥氏体钢，如304、304L、316、316L、321和347等，固溶处理 ^{注8}	-196	41
	铝合金，如5083，退火		不要求
拉伸和韧性（冲击）试验要求			
取样频率			
应按批试验。			
韧性（夏比 V 型缺口冲击试验）			
冲击试验：纵向试样			
注：			
1. 如使用纵向焊接和螺旋焊接的管子，应经CCS特别认可。			
2. 对锻件和铸件的要求可由CCS予以特别考虑。			
3. 设计温度低于-165℃的要求应经CCS特别同意。			
4. 试验温度应比设计温度低5℃，或为-20℃，取其低者。			
5. 化学成分的范围应符合公认标准。			
6. 对于经淬火加回火的材料，经CCS特别同意，可采用较低的设计温度。			
7. 化学成分不适用于铸件。			
8. 经CCS同意，可免除冲击试验。			

7.2.2 氨：当燃料舱、燃料管路和容纳燃料或氨水的其它舱/柜使用碳锰钢时，应采用细晶粒钢。其标定最低屈服强度不应超过 355 N/mm²，实际屈服强度不超过 440 N/mm²。如钢号为 CL-II-2、CL-III-2 需进行焊后消除应力热处理的碳锰钢。还应采取下列结构或操作方面的措施之一：

- (1) 使用标定的最低抗拉强度不超过 410 N/mm² 的较低强度材料；
- (2) 燃料舱等应进行焊后消除应力的热处理；
- (3) 应保持氨的温度，最好保持在其沸点的温度-33℃，但不能超过-20℃；

- (4) 氨中应含有不少于 0.1%w/w 的水。

如果氨 C 型舱使用超过上述规定屈服性能的碳锰钢，则燃料舱、管路等应进行焊后消除应力的热处理。用于氨 C 型舱、氨燃料管路焊接材料的抗拉和屈服性能应超过燃料舱或管路材料的抗拉和屈服性能中一个最小的实际数值。

7.2.3 如 C 型舱设计或要求需进行焊后消除应力热处理，需对母材热处理后性能进行验证。其母材性能（拉伸和冲击）应在热处理条件下按照本条适用的表列要求予以确定。一般应在建造前选择较小厚度或计算中表明应力较大位置厚度的钢板和较小壁厚的钢管制取足够尺寸的试件，与焊接完成的 C 型舱同时进行热处理后加工成试样进行试验。

7.3 焊接检验

7.3.1 焊接检验应至少覆盖压力容器的主对接焊缝、全焊透 T 形接头等主要焊缝，包括焊前检查、焊接、焊后检查。焊前预热、焊后保温的方式、时间、温度应满足批准的焊接工艺规程或工艺文件。

7.3.2 焊前检查。

- (1) 施焊前，应清除焊件坡口和焊接边缘至少为 25mm 区域内的表面上的氧化物、潮湿、油污等影响焊接质量的污物。影响焊接质量的定位焊和边沿缺陷应在施焊前清除。
- (2) 坡口角度、尺寸、削斜长度、对接间隙及清洁度等应符合本社批准图纸、认可的焊接工艺规程及本社规范要求。
- (3) 柱形受压壳体对接焊缝的两板面之间，于任何一点上的错边应不大于板厚的 10%，且对纵缝应不超过 3mm，对环缝应不超过 4mm；球形受压壳体和柱形受压壳体封头接头处对接焊缝的两板面之间，于任何一点上的错边应不大于板厚的 10%，且应不超过 3mm。
- (4) 如壳体系由不同厚度的板(管板及包板)制成时，则应使其在某一面形成一个连续的圆。具体要求如下：
 - ① 对于纵向焊缝，较厚板的边缘应以机加工内/外面削斜，在环向方向上斜边的宽度应不小于厚度差的四倍，使两板边沿在焊缝处具有相等的厚度。对于环缝，也应以类似的方法对厚板进行

削斜，在纵向方向上斜边的宽度与上述要求相同；

- ② 对于环缝，如整个周向板厚的厚度差是相等的，则较厚板的边缘应以机加工削斜，斜边的宽度不小于厚度差的 4 倍，使两板边缘在环缝处具有相等的厚度；
- ③ 当焊缝宽度足以使焊缝表面形成上述(1)和(2)规定的斜面过渡时，母材表面允许不进行削斜处理。
- (5) 在焊接接头环向形成的棱角 E，用弦长等于 $1/6 D_i$ (总长不超过 1200mm)，且不小于 300mm 的内样板或外样板检查(见图 7.3.2(5))，其 E 值不得大于 $(\delta s/10+2)$ mm，且不大于 5mm。

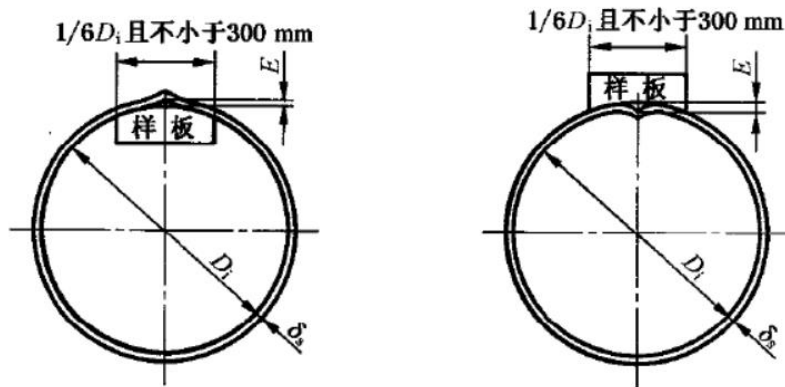


图 7.3.2(5) 焊接接头处的环向棱角

7.3.3 焊接：焊接操作应在具有防雨、雪的遮蔽，并考虑避风的条件下进行。当环境温度较低或湿度较高时，应具有可靠的预热或去潮措施可供使用。制造厂应按照批准的焊接工艺规程或工艺文件进行焊接，焊缝编号、焊接的主要参数应进行记录；

7.3.4 焊后检查：焊后应检验焊缝的外观质量，焊缝表面应均匀、致密，不应有裂纹、焊瘤、气孔、夹渣、咬边、弧坑和未填满等缺陷。如有上述缺陷，应在无损检测之前清除。焊缝外表面可以和壳体板表面齐平，也可以做成使焊缝中心的总厚度稍大于板厚，但焊缝余高的截面变化应逐渐过渡。对接焊缝的余高、角焊缝的焊脚应符合图纸要求或本社接受标准的要求。

7.4 产品焊缝试验

7.4.1 通常按每 50 m 左右的对接焊缝和全焊透“Y”型接头进行一次产品焊缝试验，并应能代表各个焊接位置。产品焊接试验试板的材料级别和厚度应与壳体材料相同，每副试板共 2 块，每块试板宽度不小于 150mm，长度足以提供本节所规定的一整套试样和所需的复试试样。试板的坡口应与筒体焊缝的坡口相同。试板应用定位焊与筒体壳体相连接，使两试板间的焊缝成为筒体壳体纵向焊缝的延续和模拟。球形舱或环焊缝应焊制环缝模拟试件，其试件应能提供本节所规定的一整套试样和所需的复试试样。

7.4.2 7.4.2 所有焊接试板的焊缝在进行产品焊缝试验前，应进行 100% 表面和射线检查，检测和验收应不低于对应焊缝的检测要求。

7.4.3 产品对接焊缝试验的试验项目：

- (1) 焊缝横向拉伸试验：见 5.4.4(1)条要求；
- (2) 焊缝纵向拉伸试验：见 5.4.4(2)条要求；
- (3) 弯曲试验：见 5.4.4(3)条要求；
- (4) 冲击试验：夏比 V 型缺口冲击试验试样的缺口应交替位于焊缝中心或热影响区（根据焊接工艺试验的结果来确定的最危险的位置）。对于奥氏体不锈钢或奥氏体钢，所有的缺口应位于焊缝的中心处。应在对连接母材规定的温度下进行冲击试验。焊缝金属冲击试验的结果，其最小平均冲击能量（KV）应不低于 27J。焊缝金属小尺寸试样和单个冲击能量的要求应符合表 5.4.4(4)的规定。熔合线和热影响区的冲击试验结果的最小平均冲击能量（KV）应符合母材横向或纵向要求（视适用而定），而小尺寸试样，最小平均冲击能量（KV）应符合表 5.4.4（4）的规定。如果材料的厚度不允许截取全尺寸试样或标准小尺寸试样，则试验方法和验收标准应符合公认标准。
- (5) 全焊透“Y”型接头：按照角焊缝的工艺试验进行；
- (6) 氨 C 型舱产品焊缝试验的硬度检测结果应满足本社规范或本社接受的标准要求。

7.5 外观及尺寸检查

7.5.1 焊接完成的 C 型舱应进行整体的内、外部外观检查，表面不应有伤痕。罐体上的焊疤等均应铲除或在距筒体表面 3~5mm 处割除，然后打磨平整。

7.5.2 受压壳体在制造完工、最终热处理前及后应检查其筒体不圆度和外形尺寸等局部偏差。筒体不圆度是指在同一截面上所测得的最大和最小的内径相差值。应符合本社《材料与焊接规范》第 3 篇第 7 章、批准图纸以及本社接受标准的要求。

7.5.3 除图纸另有规定外，壳体直线度允许偏差应不大于壳体长度的 5‰。壳体直线度检查是通过中心线的水平和垂直面，即沿圆周 0°、90°、180°、270° 四个部位测量。测量位置离 A 类接头焊缝中心线(不含球形封头与圆筒连接以及嵌入式接管与壳体对接连接的接头)的距离不小于 100mm。当壳体厚度不同时，计算直线度时应减去厚度差。

7.6 焊缝的无损检测

7.6.1 无损检测应在焊缝冷却至环境温度后进行。如适用，应在焊后热处理后进行。焊缝检测工艺和接受标准应提交本社予以认可。如在设计中假定更高的标准或公差，其也应能满足。原则上应使用射线检查发现内部缺陷。但是，认可的超声波检查可替代射线检查，但应增选部分位置进行射线检查以验证结果。应保存射线和超声波检查结果。

7.6.2 对于 C 型独立液货舱，无损探伤的范围应按公认标准定其为全部的或部分的，但检验范围应不少于如下的规定：

- (1) 计算中所用的焊接有效系数为 0.95，若考虑了其他因素，诸如所使用的材料、接头型式、焊接方法以及载荷类型等，则焊接有效系数可以增大到 1 的焊缝的全部无损探伤：
 - ① 射线检查： 整个长度范围内的所有对接焊缝；
 - ② 用于表面裂纹检查的无损探伤：
 - (a) 10%长度范围内的所有焊缝；
 - (b) 整个长度范围内的开孔和喷管等周围的加强环。
 - ③ 原则上应使用射线检查发现内部缺陷。但是，认可的超声波检查

可替代射线检查。此外，主管机关可要求对开孔周围的加强环和管口焊缝进行全部超声波检查。

(2) 计算中所用的焊接有效系数为 0.95，若考虑了其他因素，诸如所使用的材料、接头型式、焊接方法以及载荷类型等，则焊接有效系数可以增大到 1 的焊缝的部分无损探伤：

① 射线检查：所有对接焊交叉处的接头和对接焊缝全部长度上均匀选取至少 10% 的长度；

② 用于表面裂纹检查的无损探伤：

(a) 整个长度范围内的开孔和喷管等周围的加强环；

③ 超声波检查：

(b) 主管机关可根据每一具体情况提出要求。

(3) 具体检测方式和范围可参见下表：

表 7.6.2(3) C 型舱及管系无损检测位置和要求

序号	焊缝位置	检验方法			
		RT	UT	PT/MT	VT
1	壳体（包括封头）全焊透对接焊	100%		10%	100%
2	气室、集液井、人孔纵向全焊透对接焊	100%		10%	100%
3	泵管对接焊缝	100%		10%	100%
4	舱外管系的对接焊缝	100%		10%	100%
5	纵隔舱与壳体的“Y”型全熔透焊缝		100%	100%	100%
6	纵隔舱壁板的对接焊缝		10%	10%	100%
7	气室、集液井与筒体的“T”型焊缝；人孔，泵管与气室的“T”型焊缝		100%	100%	100%
8	甲板罐接管和壳体之间的“T”型焊缝		100%	100%	100%
9	气室接管和封头之间的“T”型焊缝		100%	100%	100%
10	加强环面板、腹板对接焊缝		10%	10%	100%
11	泵法兰与泵管、人孔法兰与筒节的“T”型焊缝		100%	100%	100%
12	吊马及补强板与壳体的角焊缝			100%	100%
13	补焊返修、临时卡具马脚的焊缝或其他误操作产生焊缝			100%	100%
14	开孔或接管处补强板的角焊缝			100%	100%
15	上述之外的角焊缝			10%	100%

16	所有全熔透焊缝背面清根后			100%	100%
17	液压试验之后所有壳体板全焊透对接焊缝		10%		100%
<p>注：</p> <p>(1) RT- 射线探伤 UT- 超声波探伤 MT-磁粉探伤 PT- 着色 VT- 目检</p> <p>(2) 无损探伤试验标准及焊缝质量评定标准：</p> <p style="padding-left: 2em;">① 执行标准和检测技术等级</p> <p>(a) RT: EN 1435 Class B、NB/T47013.2 AB级；</p> <p>(b) UT: ISO 17640 Class B、NB/T47013.3 B级；</p> <p>(c) PT/MT: ISO17638、ISO9934 、NB/T47013.4~5。</p> <p style="padding-left: 2em;">② 评定标准</p> <p>(a) RT: ISO5817-B、NB/T47013.2 II级，另要求不允许存在裂纹、未熔合、未焊透等缺陷；</p> <p>(b) UT: A、B类焊缝：检测要求为全部的：ISO5817-B 级、NB/T47013.3 I级；检测要求为局部的：NB/T47013.3 II级,另要求不允许存在裂纹、未熔合、未焊透等缺陷；</p> <p>(c) PT/MT: ASME-V 第6、7章、NB/T47013.4~5 I级。</p> <p>(3) 可选择等效或不低于上述标准的检测技术等级和验收等级进行检测。</p>					

7.6.3 焊缝的无损检测应考虑延迟裂纹的影响因素，对于规定最小屈服强度范围为 420 N/mm 至 690 N/mm 的焊接结构用高强度钢，在焊接完成后 48 小时内不得进行无损检测。对于规定最小屈服强度大于 690 N/mm 的钢，在焊接完成后 72 小时之内不得进行无损检测。无论屈服强度大小，若在焊接中观察到延迟开裂的迹象，应考虑延迟检测。

7.6.4 若采用相控阵超声检测（PAUT）、衍射时差技术检测（TOFD）等其他先进无损检测方法代替射线检查，在检测前，应根据本社《材料与焊接规范》第 3 篇附录 2 的要求，提交检测工艺文件，进行工艺验证试验以及现场审查，经本社同意后进行。

7.6.5 焊缝缺陷的修补

- (1) 应向本社提交焊缝缺陷修复工艺，工艺应包括：缺陷消除方式，缺陷消除后必要的无损检测，重新焊接后的无损检测方法和范围等，经本社批准后进行。焊补后重新检验的结果应使 CCS 验船师满意。
- (2) 焊缝无损检测发现有不允许存在的缺陷时，应确定缺陷的范围。超标缺陷应予以清除，必要时可采用磁粉或渗透检测方法进行检查。在确认缺陷完全清除后，再进行焊补。缺陷的修整和焊补应在焊后热处理之前完成。通常耐压壳体的同一部位焊缝缺陷修补应不超过 2 次。

(3) 在抽查的焊缝中发现有不允许存在的缺陷时，应在该被检焊缝所代表的焊缝长度上任选 2 处进行复查。如复查合格，则将原焊缝中的缺陷剔除，重新焊补。如复查仍不合格，则应采取下列之一的措施：

- ① 将该被检焊缝所代表焊缝的全部长度铲除干净，重新焊接。然后作为新的焊缝提交进行焊缝抽查，同时与此焊缝有关的试件也应进行类似的处理；
- ② 对所代表焊缝的整个长度进行检查，凡有缺陷之处均应进行修补，然后对所有修补处重新进行检查。

7.7 内部结构及装配检查

应对制造完工的内部结构及安装位置进行检查；应对舱内管路尺寸、安装位置、高度等进行检查，上述检查结果应满足批准图纸的要求。

7.8 水压试验、密性试验

7.8.1 所有 C 型舱制造完成以后，应对其进行静水压试验，试验时在 C 型舱顶测得的压力应不小于 $1.5P$ (P 为设计压力)。但在压力试验期间的任何情况下，对任意点计算所得的主膜应力应不超过试验温度下材料屈服应力的 90%。为了确保满足上述条件，若计算表明主膜应力超过屈服强度的 75%，则在型式试验时，应采用应变仪或其他合适的设备加以监测，但对于简单的圆柱型或球型压力容器，可予以除外。试验时所采用的水温至少应比制造材料的零韧性转变温度高出 30°C 。水压试验的保持时间为：每 25mm 板厚，压力应保持为 2 小时，但在任何情况下不得少于 2 小时。若需要，可进行水压-气动压力试验。

7.8.2 在装配和完工后，应对每一 C 型舱进行适当的密性试验，该试验可与 7.8.1 条的压力试验一起进行。试验压力值应遵循产品标准及设计图纸要求。采用其他密性试验方法，应符合本社接受的标准。

7.9 绝热施工检查（如有时）

7.9.1 绝热施工检查不作为认可的型式试验项目，是否作为产品出厂检验项目，应由各方协商确定。

7.9.2 绝热施工通常在 C 型舱制造厂进行，应按照绝热材料制造厂提供的

绝热施工手册进行施工。

7.9.3 检验项目可由各方协商，包括：绝热材料进厂后的检查、喷涂前施工场所温度、湿度及罐体表面检查、聚氨酯试板或罐体粘接度检查、罐体聚氨酯取样检查、固定螺栓焊接测试（如有时）、完工检查。

7.9.4 应对绝热层厚度和结构型式进行检查，罐体、气室、鞍座支撑、止浮装置等处的主绝热材料厚度应不低于绝热计算书或批准图纸中的要求，结构型式应和认可时保持一致。

8 单件/单批检验

8.1 制造厂在认可后的单件/单批产品检验时应提交检验试验大纲、检验试验计划（ITP）、焊接工艺规程、无损检测规程、水压/密性试验规程，经本社批准后进行检验。

8.2 C 型舱应由本社认可的工厂进行制造。认可后的 C 型舱的单件/单批检验项目具体应包括：

- (1) 主要原材料检验或复验；
- (2) 焊接检验：焊缝的焊前检查、焊接检查、焊后检查；
- (3) 产品焊缝试验；
- (4) 外观及尺寸检查；
- (5) 焊缝的无损检测；
- (6) 水压试验、密性试验；
- (7) 内部结构及装配检查；
- (8) 绝热施工检查（如有时）。