



船用液氢储供及加注系统

生效日期/Issued date:202X 年 XX 月 XX 日

©中国船级社 China Classification Society

目 录

1 适用范围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 术语及定义.....	4
4 图纸资料.....	4
5 技术要求.....	7
6 原材料及零部件.....	13
7 型式试验.....	14
8 单件/单批检验	17

船用液氢储供及加注系统

1 适用范围

1.1 本指南适用于储存液氢的仲氢含量（体积分数） $\geq 95\%$ 的绝热液态氢气储罐、供氢及加注系统，绝热系统可采用高真空多层绝热或其他满足绝热性能要求的绝热形式。

1.2 船用液氢储供及加注系统由液态氢气储罐、供氢模块及加注站等组成。

1.3 液态氢气储罐内容器设计压力应不小于 1.0MPa，且不大于 1.2MPa。

2 规范性引用文件

2.1 中华人民共和国船舶技术法规《氢燃料电池动力船技术与检验暂行规则》

2.2 经修订的 MSC.565(108)决议《经修订的散装运输液化氢临时建议书》

2.3 MSC.1/Circ.1647 关于使用燃料电池动力装置的船舶安全的临时指南

2.4 中国船级社《钢质海船入级规范》

2.5 中国船级社《材料与焊接规范》

2.6 中国船级社《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》

2.7 中国船级社《船舶应用氢燃料指南》

2.8 ISO 11326:2024 船舶及海洋技术：氢气船舶液氢储罐的试验程序

2.9 ISO TR 15916:2015 氢系统安全的基本考虑

2.10 ISO/IEC 80079-49:2024 阻火器-性能要求、试验方法及使用限制

2.11 GB/T 150.2-2024 压力容器 第 2 部分：材料

- 2.12 GB/T 29729-2022 氢系统安全的基本要求
- 2.13 GB 50156-2021 加氢站技术规范
- 2.14 GB/T 43674-2024 加氢站通用要求
- 2.15 GB/T 20801.5-2025 压力管道规范 第 5 部分：氢用管道
- 2.16 GB/T 13305-2024 不锈钢中 α -相含量测定法
- 2.17 NB/T 11745-2024 移动式真空绝热液氢压力容器

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。

3.1 仲氢：氢分子的一种同质异构体，分子中原子核的自旋方向是相反的（逆平行）。

3.2 液氢：以液态形式存在的氢气，是一种无色、透明的低温液体。正常沸点为 20.38K，沸点时密度为 70.77kg/m²。

3.3 液态储氢：将温度降至 20.43K 以下，使氢气转变为液态氢的储存方式。

3.4 液态氢气储罐：用于储存液态氢的低温容器，一般由内胆、外壳体、绝热结构及连接用机械构件、测量仪表、安全设施、液、气注入和排出配管、附件等组成。

3.5 供氢模块：供氢模块主要是安全地向用氢装置提供适用压力和流量的洁净氢气。主要包括液氢汽化器、泵、缓冲罐、相关阀件、过滤装置、仪表和控制系统等。

3.6 加注站：系指设有气体燃料加注系统，包括加注接头、回气接头（如设有）、相关阀件、仪表和控制系统等的位置或处所。

4 图纸资料

4.1 下列图纸资料应提交 CCS 审查：

4.1.1 液态氢气储罐

- (1) 液态氢气储罐总装配图；
- (2) 主要部件图：内胆及外壳体、封头、内胆及外壳体夹层支撑结构、加强/补强结构、制荡结构（适用时）、管路、吊耳等；
- (3) 主要受压件材料理化性能一览表：内胆及外壳体、封头、内胆及外壳体夹层支撑件材料、焊接材料、绝热材料等；
- (4) 设计计算书：容积计算、内胆及外壳体结构强度计算、夹层管路结构强度计算、外压稳定性计算、鞍座结构强度计算、内外支撑结构强度计算、绝热性能计算（适用时）、晃荡分析报告（适用时）、屈曲分析报告（适用时）、安全及超压泄放能力计算、吊耳强度计算、焊接接头强度计算；
- (5) 有限元分析报告：内胆、外壳体、夹层管路机械载荷和热应力载荷的应力分析、内胆及外壳体疲劳分析、绝热性能热力学分析（适用时）；
- (6) 绝热布置及说明，应匹配绝热性能计算或绝热性能热力学分析；
- (7) 焊接工艺及无损检测规程；
- (8) 风险分析报告；
- (9) 产品性能规格表；
- (10) 产品铭牌图；
- (11) 出厂试验大纲；

4.1.2 供氢及加注系统：

- (1) 供氢及加注系统总图；
- (2) 主要部件图：液氢增压泵（适用时）、液氢汽化器（适用时）、缓冲罐、安保和控制设备、管路及附件、阀件、加氢口等；

- (3) 主要受压件材料理化性能一览表：液氢增压泵（适用时）、液氢汽化器（适用时）、管路、阀件等；
- (4) 设计计算书：液氢汽化器气化能力匹配计算（适用时）、绝热性能计算（适用时）、安全及超压泄放能力计算、管路结构强度计算；
- (5) 有限元分析报告：液氢罐整体应力分析、液氢罐疲劳应力分析、探测报警装置布局位置流体动力学分析（适用时）、绝热性能热力学分析（适用时）、管路机械载荷和低温管路热应力等应力分析；
- (6) 绝热布置及说明，应匹配绝热性能计算或绝热性能热力学分析；
- (7) 焊接工艺及无损检测规程；
- (8) 风险分析报告；
- (9) 产品性能规格表；
- (10) 产品铭牌图；
- (11) 报警与安全保护项目表；
- (12) 出厂试验大纲；

4.2 液态氢气储罐申请认可时，还应将以下资料提交 CCS 审查：

- (1) 企业基本情况介绍、拟认可产品的技术特性或基本情况描述；
- (2) 产品图纸（或图纸批准号，如需要时）及产品简明工艺流程；
- (3) 产品关键制造工艺技术文件或文件清单；
- (4) 主要产品生产设备和检验及试验设备清单；
- (5) 能表明客户具有认可范围的产品生产能力和质量水平的其他有效文件、报告和证明；
- (6) 企业注册登记证明或营业执照、质量体系证书或证明文件、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，如有时）；

- (7) 主要原材料及零部件供应商清单（如必要时）；
- (8) 产品质量证明书样本或合格证样本；
- (9) 试验人员、检验人员及焊工的资质证明；
- (10) 试验地点及实验室所具备的资质（如委外，应说明受委托方的资质及分包约定情况）；
- (11) 认可试验大纲。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 液态氢气储罐、供氢及加注系统的结构设计、强度计算、技术要求、制造工艺、安全装置布置等应符合 CCS 规范以及 CCS 接受的标准。

5.1.2 液态氢气储罐、供氢及加注系统设计应考虑船用环境下的适用性，包括但不限于环境因素、船舶振动和加速度、船舶纵摇、垂荡和横摇运动等。

5.1.3 液态氢气储罐内胆及外壳体、供氢及加注系统设计应考虑在制造和使用过程中因温度变化导致材料低温收缩和热膨胀而引起的温差应力，必要时应设置补偿装置。

5.1.4 液态氢气储罐的内胆、供氢及加注系统设计温度应与液氢介质相适应，外壳体最低设计温度应考虑液氢泄漏或绝热能力降低的情况。液态氢气储罐、供氢及加注系统所在区域氧气含量应低于 1%或区域内材料与高氧浓度兼容。

5.1.5 液态氢气储罐、供氢及加注系统所选用绝热方式应能满足所设计性能要求，并应适当考虑在液态氢预期载运温度下的绝热性能过早退化的可能性。如果单一损伤可能造成绝热能力降低，应虑及需采取适当的安全措施。

5.1.6 液态氢气储罐额定充满率应不超过 90%，充装极限不应超过 95%。应根据额定充满率的要求设置溢流口防止加注过量，并应配备防过充装置。

5.1.7 液态氢气储罐液相口、气相口及装卸口等管路应注明流动方向及用途，并分别配备减压装置。减压装置的额定值（设定压力）应基于液态氢气储罐内胆及外壳体的结构强度进行考虑，将内胆内的压力限制在内胆最大允许工作压力的120%以下。应充分考虑，如果绝热系统迅速恶化，液态氢气储罐温度将迅速上升，液氢气化速率可能超过压力控制系统/减压装置能力的情况。

5.1.8 液态氢气储罐夹层管路的设计压力应不小于内胆的设计压力，应进行柔性设计，结构应避免因热胀冷缩、机械颤动或振动等所引起的疲劳开裂和损坏，必要时应设置补偿装置或紧固装置。其连接应采用等壁厚、全焊透的对接焊接结构，且不应使用带永久性垫板的对接接头。夹层支撑结构固定端应尽量设置在管路集中布置的一侧，移动端需有足够的冷收缩位移量，且应具有良好的绝热性能。

5.1.9 液态氢气储罐底部进液管路可在内胆的出口端可设置防冲挡板，顶部进液管路应在内胆的出口端应设置喷淋装置，喷淋管应至少延伸至内胆长度的80%，且喷淋孔截面积总和不少于喷淋管的内截面积。喷淋管路出口端应尽量减少进液时液氢喷入临近的其他气相管路，以及直接喷射到封头和筒体内壁。

5.1.10 液态氢气储罐出液管宜从内胆底部引出，内胆引出的液相管路应设置气封液结构。液态氢气储罐应设置排尽口，应能使内胆中液体及可能存在于液氢中的固体颗粒杂物完全排尽。

5.1.11 应设置氢气放空管、吹扫口。液态氢气储罐放空管应设计于顶部，管口设置防空气倒流、雨雪侵入以及防凝结体和外来物堵塞的装置，并宜控制排放氢气的速度，以防发生火灾和爆炸等事故。液态氢气储罐、供氢及加注系统放空管应设有坡度。若放空管路设置阻火器，则应提交防止阻火器堵塞对排放的影响分析报告并提交 CCS 审核，且应设置在连接至有明火的用氢设备的管道及氢气集中放散管上，并符合 ISO 16852 的要求。

5.1.12 液态氢气储罐应设置安全泄放装置、压力和液位仪表，满足使用和安全的要求，内胆应设置不少于 2 个（组）全启式安全阀，其中 1 个（组）为备用，每个（组）安全阀的排放能力应满足安全及超压泄放能力计算的要求，并且应符合液氢绝热、密封及介质相容等性能要求。

5.1.13 外壳体安全泄放装置的泄放压力应不大于 0.05MPa，其排放能力足以使夹层的压力限制在不超过 0.1MPa，且其总排放面积应不小于内容器几何容积（ m^3 ）与 $341mm^2/m^3$ 的乘积，设计与布置应尽量避免其动作时大量空气进入夹层空间，同时防止绝热材料的堵塞，并设有适当的固定措施。

5.1.14 液态氢气储罐可采用 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 7 章的方法实现压力及温度的控制，并应满足规范中的相关要求。

5.1.15 有可能存留液氢的管道应设置安全阀或其他泄放装置，整定压力应大于内容器安全泄放装置的整定压力，但不应高于管道的设计压力。

5.1.16 安全阀或其他泄放装置和被保护的液态氢气储罐、供氢及加注系统之间不应安装截止阀。

5.1.17 液态氢气储罐与供氢及加注系统之间，应在尽可能靠近液态氢气储罐位置安装截止阀，截止阀与液态氢气储罐之间的管道中不应有其他附件。

5.1.18 供氢及加注系统应配备手动关闭阀和故障关闭型紧急切断阀，或具备手动关闭功能的故障关闭型紧急切断阀，以及自动切断氢供应的主燃料关断阀，手动阀应安装在便于操作的位置。

5.1.19 供氢及加注系统中 90k (-183℃) 以下管路，应采用有效绝热措施，防止富氧产生。

5.1.20 供氢及加注系统中管路系统的设计应控制氢饱和蒸汽的流速，不应超过 16m/s，使其满足安全及使用的要求。

5.1.21 除与外部直接连通的管路之外，供氢及加注系统应设置其余管路应设置吹扫置换接口，接口的位置应满足各段管路内气体的充分吹扫、置换（氮气或惰性气体）的要求，各吹扫管路上应分别设置截止阀或带自闭接口，避免出现吹扫气体倒流或氢介质泄漏。

5.1.22 液态氢气储罐鞍座结构强度应满足设计要求，并应考虑及由于绝热损失导致的冷却。

5.1.23 为匹配气态供氢需求，供氢及加注系统可配备液氢汽化器、单级或多级液氢增压泵以及其他辅助配套设备。

5.1.24 液氢汽化器不应采用空温式汽化器，液氢汽化器的设计压力不应小于最大工作压力的 1.5 倍，气化能力应满足液氢增压泵最大流量的要求，上下游管线安装防止高压氢气倒流入液氢管路内的装置，液氢汽化器出口应设置温度和压力监测装置，并安装自动或手动截止阀，当检测到液氢汽化器下游温度较低时，安全控制系统应能切断液氢供应。

5.1.25 液氢增压泵进液口前应设置方便拆卸的过滤装置，过滤精度为 $\leq 5 \mu\text{m}$ ，且两端应设置检修阀门。

5.1.26 液氢增压泵应单独设置安全泄放装置和放空管路，防止泵壳超压。出口管道上应设置止回阀和全启封闭式安全阀，出口应设置温度和压力监测装置，当超限时，安全控制系统应立即报警并连锁停泵。

5.1.27 液态氢气储罐与供氢及加注系统应采用适当的方法（例如 HAZID，HAZOP，FMEA/FMECA，what-if 分析等）进行风险评估，并虑及 IEC/ISO 31010:2019 和 SAE ARP 5580-2001 的相关要求。

5.1.28 应根据风险分析报告设计液态氢气储罐、供氢及加注系统的安全控制系统，应可由手动和自动触发，电气、仪表等附件不应低于氢气爆炸混合物的级别 IIC。可根据风险分析报告配备氢气及火焰探测报警装置，也可单独配备，应根据流体动力学分析等方式确定探测报警装置布局位置，探测报警装置应可实现液态氢气储罐、供氢及加注系统连锁停机。

5.1.29 供氢及加注系统可视液氢汽化器、液氢增压泵布置情况，根据温度和压力分为低温低压段、低温高压段、高温高压段，高低压管段交汇处可设置分隔阀。连接位置应尽可能缩短长度，减少死区，连接处亦应做好绝热处理。

5.1.30 氢气软管（适用时）应具有导静电性能，在使用过程中应防止过度扭曲，两头均应安装防用绳/防崩脱链，并针对性设置保护措施（如安全拉断阀）。软管不应有割伤、裂缝、凸起或起泡、扭曲，一旦发现，应立即停止使用。设计压力应为公称工作压力的 1.3 倍，且不得低于安全阀的整定压力，最小爆破压力应为公称工作压力的 4.0 倍。

5.1.31 液态氢气储罐、供氢及加注系统与液氢接触零部件表面应进行脱脂与清洁处理，目测无可见固体颗粒物，表面油脂残留量应不大于 $125\text{mg}/\text{m}^2$ ，其他零部件表面应进行脱脂、除锈、干燥等处理，并应符合设计文件的规定。

5.1.32 液态氢气储罐与供氢及加注系统的仪表和自动化系统、人员保护应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 13 章、第 14 章的相关要求。液态氢气储罐与供氢及加注系统的控制、监测和安全系统应满足 CCS《船舶应用氢燃料指南》第 1 篇第 12 章的相关要求。

5.1.33 液态氢气储罐与供氢及加注系统所配备电子电气零部件防爆等级须与安装区域防爆要求相匹配。

5.1.34 供氢模块及加注站外观和结构

- (1) 供氢模块及加注站的管路，应满足 CCS《船舶应用氢燃料规范》要求。
- (2) 整机外表面涂层应光泽、均匀，无剥落、开裂等缺陷，镀铬件及标牌等外露件不应有漆污，表面涂层、镀层不应有明显的机械损伤；
- (3) 整机内零件与零件之间的同形状结合面的边缘、侧板及顶盖之间的结合面边缘应整齐、匀称，不应有明显的错位。外露件、装饰件不应有损伤、剥落、锈蚀等缺陷；
- (4) 各滑动、转动部件运动应轻便、灵活、平稳，无阻滞现象；
- (5) 紧固件应连接牢靠，无松动。连接导线应压接或焊接良好。各电气设备外壳接地线与整机接地线应连接良好，牢固。接插件应接触良好，应有防误插的互联结构，并有防脱拔措施。

5.2 设计计算要求

5.2.1 液态氢气储罐内胆、外壳体、夹层管路、供氢及加注系统管路应符合 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 篇第 4 章 B 部分的相关要求，能承受在正常装卸和运输过程中可能出现的各种工况条件下的机械载荷（包括内压、外压、内外压力差等压力载荷、重力载荷、惯性力载荷、动载荷）和热应力载荷等，并考虑这些载荷可能发生的最苛刻组合。液态氢气储罐夹层管路、供氢及加注系统管路应力分析还应符合 CCS《低温管路应力分析指南》的相关要求。

5.2.2 液态氢气储罐内胆及外壳体应按预期的内胆及外壳体设计使用年限和液氢对材料的腐蚀速率及磨蚀速率，确定腐蚀裕量，并考虑由于反复施加 5.2.1 所述载荷而造成的疲劳失效，应满足设计使用年限的要求。

5.2.3 液态氢气储罐的夹层支撑结构及受其反作用力的壳体局部应有足够的强度和刚度。在压、弯组合载荷的作用下，应有足够的稳定性。

5.2.4 应采用合适的方法进行液态氢气储罐绝热性能设计计算（绝热性能计算或绝热性能热力学分析）。当绝热性能无法进行有效设计计算时，可采用试验方法确定，试验方法应提交 CCS 批准同意。

5.2.5 液态氢气储罐的鞍座应根据最大预期静态和动态倾角以及最大的加速

度预期值进行设计计算，并考虑船舶特性和液态氢气储罐位置。

5.3 材料要求

5.3.1 与液氢接触应使用适当的材料，应与氢相容以防止由于持续暴露于液氢环境造成的氢脆、强度和疲劳性能退化而引起的结构损坏，应与氧相容以预防液氢泄漏或绝热能力降低形成富氧环境的潜在风险，应考虑与相邻材料的兼容性，应具有足够的延展性和强度。

5.3.2 液态氢气储罐如采用钢材，需满足 GB/T 150.2 的相关要求，并可参考 NB/T 11745 的相关要求，按照 GB/T 13305 的规定进行铁素体含量测定，内胆及与氢接触的受压管路用不锈钢钢板、钢锻件、钢管铁素体含量应不大于 3%，与氢接触的管件、封头、弯制管路成形后铁素体含量应不大于 5%；如采用其他（如铝和铝合金、铜合金、钛合金等）与液氢接触部分的材料时，应将材料的详细资料（包括化学成分、拉伸性能、冲击韧性等性能参数以及该材料相容性说明）提交 CCS 批准同意。

5.3.3 内胆及外壳体间的支撑件材料可选用金属材料或非金属材料，需满足液氢条件下使用及性能要求。若选用金属材料，则宜选用导热系数小、具有良好低温冲击韧性的材料；若选用非金属材料，则宜选用导热系数小、使用温度在材料允许使用温度范围内、具有良好的低温冲击韧性的材料，需满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》附录 1 的相关要求。可使用环氧玻璃钢等非金属材料作为支撑材料，检验项目及试验数值应满足 NB/T 11745 的相关要求。

5.3.4 液态氢气储罐底座或支架应选用不燃材料，应满足设计所要求的耐火性能，并应满足强度要求。

5.3.5 螺纹密封、供氢及加注系统软管（适用时）不应使用聚四氟乙烯胶带。

5.3.6 焊接材料的选用应考虑焊接接头力学性能与液态氢气储罐母材的匹配。与受压元件相焊的非受压元件用材料应具有良好的韧性及焊接性，且与相焊的受压元件相匹配。

5.4 制造要求

5.4.1 液态氢气储罐、供氢及加注系统表面应平整美观，无压伤、裂纹、焊渣或漆层脱落等缺陷，安全装置、压力和液位仪表应布局合理、标识清晰。

5.4.2 外壳的所有接头均应焊接并且为全焊透类型。外壳的所有接头应尽可能采用平面对接焊。由于外壳建造工艺和结构使得平面对接焊不可行时，根据焊接程序认可时进行的试验结果，可使用全焊透型 T 型焊接。

5.5 焊接工艺评定及缺陷修补

5.5.1 液态氢气储罐、供氢及加注系统在首次制造或使用新的焊接工艺时，应在 CCS 验船师的监督下进行焊接工艺评定。

5.5.2 焊接工艺、焊补工艺均应经 CCS 认可批准，且应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 6 章的要求。

5.5.3 焊缝无损检测发现有超标缺陷时，应确定缺陷的范围，超标缺陷应予以清除，必要时可采用无损检测方法进行检查。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。通常同一部位缺陷修补应不超过 2 次。

6 原材料及零部件

6.1 持证要求

用于制造液态氢气储罐的钢板、锻件、封头应持有 CCS 船用产品证书或等效证明文件；内胆及外壳体间支撑件材料应持有 CCS 认可证书。

用于制造供氢及加注系统的液氢汽化器、液氢增压泵应持有 CCS 船用产品证书或等效证明文件。

管子及附件、阀门、安全装置等应持有 CCS 船用产品证书或等效证明文件。焊接材料、绝热材料、温度、压力及液位显示仪表等应持有 CCS 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至少应包括：化学成分分析、力学性能检测、无损检测等，材料复验应满足 CCS 的相关要求。

7 型式试验

7.1 典型样品的选取

7.1.1 申请产品认可时，应按7.2~7.15项目及要求进行型式试验。用于型式试验的产品必须是在验船师监督下，按照CCS认可的焊接工艺及CCS批准图纸完成的，且在特性、制造质量上应能代表或覆盖工厂申请认可范围（可根据主体材料、设计压力、设计温度、壁厚、外径、容积等选取）。

7.2 主要原材料和零部件的检验

7.2.1 应核查主要材料和零部件的持证情况能否满足本指南、CCS批准图纸及CCS的相关要求，并核查证书与材料的一致性。如对原材料进行复验，原材料试验项目和结果应满足本指南及CCS的相关要求。

7.3 焊接检验

7.3.1 为确保外壳体的密性，应尽可能将内胆的等效焊接要求适用于外壳体。外壳体的所有接头均应焊接并且为全焊透类型。外壳体的所有接头应尽可能采用平面对接焊。由于外壳体建造工艺和结构使得平面对接焊不可行时，根据焊接工艺评定时进行的试验结果，可使用全焊透型T型焊接。

7.3.2 焊接检验应至少覆盖内胆、外壳体、供氢及加注系统管路的主对接焊缝、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CCS批准的焊接工艺规程或工艺文件。焊前检查、焊接、焊后检查应满足本指南、CCS批准图纸及CCS的相关要求。

7.4 产品焊缝试验及无损检测

7.4.1 液态氢气储罐、供氢及加注系统在生产过程中应进行产品焊接试验，应满足CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第3篇第5章、第6章的相关要求。

7.4.2 产品焊接试验的试验项目主要包括焊缝横向拉伸试验、焊缝纵向拉伸试验、弯曲试验、冲击试验、焊缝断面宏观检查（有必要时）。试样取样位置、试验要求和结果应满足CCS的相关要求。

7.4.3 液态氢气储罐、供氢及加注系统的焊缝应进行无损检测，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。无损检测程序和验收标准应提交CCS予以批准。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。

7.5 外观及尺寸检查

7.5.1 液态氢气储罐、供氢及加注系统在制造完工后，应检查表面质量，表面不应有伤痕。

7.5.2 液态氢气储罐的主要尺寸如内胆及外壳体不圆度、主尺寸等应满足CCS批准图纸、CCS的相关要求及相关标准的要求。

7.6 内胆、外壳体及夹层管耐压试验

7.6.1 应对液态氢气储罐的内胆、外壳体及夹层管分别进行耐压试验，耐压试验一般采用液压试验，应控制试验用水中的氯离子含量不超过15mg/L，试验时压力应不小于1.5倍设计压力，保压时间不少于30min。液压试验完毕后，应将液体排尽并将内胆及夹层管内部吹干，清除杂物。

7.6.2 允许液态氢气储罐的外壳体进行气压试验。试验时压力应缓慢上升，至1.5倍设计压力的10%时保压5min，并对所有焊接接头和连接部位进行泄漏检查，确认无泄漏后再继续升至1.5倍设计压力的50%，如无异常现象，其后按每级为1.5倍设计压力的10%，逐级升至1.5倍设计压力的，并保压10min，然后将压力降至设计压力，保压时间不少于30min。

7.6.3 内胆、外壳体及夹层管在耐压试验过程中，应无泄漏、无可见的变形。耐压试验后，除还需进行外观检查外，对重要部位应进行无损检测。检测的部位及数量应经验船师认可。

7.6.4 当计算表明主膜应力超过材料屈服强度的75%时，应进行应变测量，液压试验前，在罐体内外指定部位贴应变片，在整个试验过程中检测应变应力，验证计算结果。应变测量通常对相继建造的一系列同样液罐中的第一个液罐进行。

7.7 密性试验

7.7.1 内胆、外壳体及夹层管耐压试验后，应对其进行密性试验，以验证密

封良好。

7.7.2 密性试验应以氦气或者5%氢气和95%氮气的混合物作为密性试验的介质，密性试验压力应为设计压力，保压时间不少于30min。试验过程中，泄漏量不能超过CCS批准图纸及相关标准的要求。

7.7.3 若耐压试验与密性试验选取相同试验介质，则密性试验可与本指南7.6中所述的耐压试验共同进行。

7.8 清洁检验

7.8.1 内胆、外壳体及夹层管清洁检验应满足本指南5.1.26要求、CCS批准图纸及相关标准的要求。

7.9 真空度及氦质谱检测（适用时）

7.9.1 若采用高真空多层绝热方式，内胆及外壳体组装后应对真空夹层应进行真空度及氦质谱检测。

7.9.2 真空度及氦质谱检测漏气速率指标应满足CCS批准图纸及相关标准的要求。泄漏处应按CCS批准的焊补工艺进行修补，按本指南无损检测要求检测合格后，再重新进行检测。

7.10 真空夹层漏气速率检测（适用时）

7.10.1 罐体夹层及真空绝热管路夹层的漏气速率检测方法按GB/T 18443.3的规定。

7.11 真空夹层漏放气速率检测（适用时）

7.11.1 真空夹层漏放气速率的检测方法按 GB/T 18443.4 的规定。

7.12 绝热施工检查（适用时）

7.12.1 绝热施工检查可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。

7.12.2 绝热施工检查通常在制造厂进行，应按照绝热方式设计方或绝热材料

制造厂提供的绝热施工手册进行施工。检验项目可由各方协商。

7.13 维持时间检测

7.13.1 维持时间检测应按NB/T 11745相关要求开展，维持时间应能使液态氢气储罐的压力在安全泄放装置的设定压力以下维持144h，维持时间尚需根据船舶航期的要求予以延长。

7.14 冷充试验

7.14.1 冷充试验应单独编制试验大纲并经CCS批准。

7.14.2 冷充试验通常采用液氮作为试验介质，其充装量应不超过额定充满率，且应使液态氢气储罐与液氢接触部位能够充分冷却。充液完成后应至少静置48小时。

7.14.3 介质充装时及静置期内应注意观察液态氢气储罐各部位有无漏冷、结霜、明显变形、断裂等情况。

7.15 供氢及加注系统试验（适用时）

7.15.1 供氢及加注系统管道系统安装完成后应进行压力试验、气密性试验、泄漏量试验，应满足CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第3篇第5章及GB/T 20801.5的相关要求。

8 单件/单批检验

8.1 签发液态氢气储罐产品证书的单件/单批检验应在制造厂经过认可后进行，除非给予特别考虑。每台/套液态氢气储罐、供氢及加注系统应进行单件/单批检验。

8.2 对CCS认可后的液态氢气储罐单件/单批检验，按认可时批准的产品检验计划进行。具体应包括以下试验项目：

(1) 主要原材料和零部件的检验；

(2) 焊接检验；

- (3) 产品焊缝试验及无损检测；
 - (4) 外观及尺寸检查；
 - (5) 内胆、外壳体及夹层管耐压试验；
 - (6) 密性试验；
 - (7) 清洁检验；
 - (8) 真空度及氦质谱检测（适用时）；
 - (9) 真空夹层漏气速率检测（适用时）；
 - (10)真空夹层漏放气速率检测（适用时）；
 - (11)绝热施工检查（适用时）；
 - (12)维持时间检测。
- 8.3 对液态氢气储罐、供氢及加注系统单件/单批检验，按批准的试验大纲进行。除包括 8.2 的试验内容外，还应开展液氢供氢及加注系统试验。