指南编号/Guideline No.:B-07(202204)

B-07

氢气瓶

生效日期/Issued date:2022 年 4 月 14 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：

本版本主要修改内容：新编

目 录

1 适用范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 图纸资料 5

5 氢气瓶瓶体材料技术要求 6

6 产品设计和技术要求 7

7 型式试验 9

8 单件/单批检验 12

9 不合格项目处理 13

氢气瓶

1 适用范围

1.1 本指南适用于贮存压缩氢气的可重复充装的铝内胆碳纤维全缠绕型气瓶的工厂认可和认可后的单件/单批检验。气瓶的设计制造公称工作压力不超过70Mpa、公称水容积不大于450L、工作温度不低于-40℃且不高于85℃、固定在船舶和海上设施上作为燃料罐使用。气瓶分为A类气瓶和B类气瓶。 A类气瓶为公称工作压力小于或者等于 35MPa 、公称水容积不大于 450L 的气瓶；B 类气瓶为公称工作压力大于 35 MPa、公称水容积不大于 230L 的气瓶。

1.2 本指南所述氢气瓶在船舶和海上设施的建造中、建造后的检验，应符合国际公约、国家主管机关以及 CCS 的其他要求。

1.3 本指南所述氢气瓶适用于船长 20m 及以上的钢质船舶，海上浮式装置上安装的氢气瓶亦可参照本指南执行。

1.4 本指南原则上仅适用于氢气瓶本体的工厂认可和认可后的单件/单批检验，不包含瓶头阀。

2 规范性引用文件

2.1 CCS《船舶应用燃料电池发电装置指南》

2.2 TSG23《气瓶安全技术规程》

2.3 GB/T35544《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》

2.4 GB/T 3362《碳纤维复丝拉伸性能试验方法》

3 术语和定义

3.1 除本指南明确规定外，CCS《船舶应用燃料电池发电装置指南》的相关定义适用于本指南。

3.2 铝内胆：在外表面缠绕碳纤维增强层，用于密封气体且可承受或不承受部分压力载荷的无缝铝合金容器。

3.3 全缠绕：用浸渍树脂基体的碳纤维连续在铝内胆上进行螺旋和环向缠绕，使气瓶的环向和轴向都得到增强的缠绕方式。

3.4 全缠绕气瓶：在铝内胆外表面全缠绕碳纤维增强层，经加温固化成型的气瓶。

3.5 自紧：通过向气瓶施加内压使铝内胆产生塑性变性，从而使得气瓶在零压力下铝内胆承受压应力、碳纤维承受拉应力的加压过程。

3.6 自紧应力：自紧时施加在气瓶内的最高压力（表压）。

3.7 气瓶批量：采用同一设计条件，具有相同结构尺寸铝内胆、复合材料，

且用同一工艺进行缠绕、固化的气瓶的限定数量。

3.8 铝内胆批量：采用同一设计条件，具有相同的公称外直径、设计壁厚，用同一炉罐号材料，同一制造工艺制成，按同一热处理规范及相同的工艺参数进行热处理的铝内胆的限定数量。

3.9 设计使用年限：在规定使用条件下，气瓶允许使用的年限。

3.10 纤维应力比：气瓶在最小爆破压力下的碳纤维应力与公称工作压力下的碳纤维应力之比。

3.11 极限弹性膨胀量：在每种规格型号气瓶设计定型阶段，由制造单位规定的气瓶弹性膨胀量的许用上限值，单位为毫升。该数值不得超过设计定型批相同规格型号气瓶在水压试验压力下弹性膨胀量平均值的 1.1 倍。

4 图纸资料

4.1 下列图纸资料应提交 CCS 批准：

（1）氢气瓶设计图纸资料，图纸资料中应体现产品的结构型式、主要尺寸、材质及理化性能指标（包括铝内胆、碳纤维、玻璃纤维、环氧树脂）、制造及热处理方式、纤维缠绕方式、树脂加热固化温度及方式、公称工作压力、许用压力、自紧压力、水压试验压力、最小爆破压力、纤维应力比、公称水容积、铝内胆公称外直径、设计温度、设计循环次数、气瓶类别、型号及其他特殊技术要求（如防电偶腐蚀层、气瓶外表面保护层等）。

（2）氢气瓶设计计算书，包括氢气瓶设计计算书，包括铝内胆、缠绕层的设计壁厚、容积、重量、最小爆破压力、瓶底、瓶口、缠绕层等处的强度计算。

（3）应力分析报告，应用有限元分析方法计算气瓶在自紧压力、公称工作压力、许用压力、水压试验压力和最小爆破压力下，铝内胆和缠绕层中的应力和应变。

（4）型式试验大纲。

4.2 申请初次工厂认可时，下列资料应提交备查：

（1）工厂概况：工厂名称、地址、生产历史，现有生产产品的种类、规格，申请认可产品的种类、规格、交货状态，获得其他认证资质证书情况等。

（2）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。

（3）主要生产设备清单： 内胆成型设备、缠绕设备、自紧设备、树脂加热固化设备、热处理炉型式及尺度、温度控制记录方法及测温点的布置。

（4）主要检测/试验设备清单： 化学分析、力学性能、金相、无损检测、水压试验、压力循环试验、氢气循环试验、环境试验等设备清单(包括名称、型号、制造厂以及法定检验单位和检定/校准有效期)。

（5）工艺文件：

① 生产工艺流程图（需标注质量控制点）。

② 生产工艺流程图中各工序的作业指导书，包含成型、内胆表面处理、热处理、无损探伤、缠绕、自紧、加热固化等主要工序。

（6）试验、检验人员的资质证明。

（7）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)。

（8）材料和主要部件的供应商清单。

（9）产品说明书、质量证明书（样本）。

5 氢气瓶瓶体材料技术要求

5.1 制造气瓶的材料，应有材料制造单位提供的质量证明书原件，或者加盖了材料经营单位公章且有经办人签字（章）的质量证明书复印件。

5.2 铝内胆

（1）铝内胆应采用 6061 铝合金，其化学成分应符合表 5.2 的规定：

化学成分表 **表** 5.2

元素		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Pb	Bi	其他		Al
												单项	总体	
质量分数/%	最小值	0.40	—	0.15	—	0.80	0.04	—	—	—	—	—		
	最大值	0.80	0.70	0.40	0.15	1.20	0.35	0.25	0.15	0.003	0.003	0.05	0.15	余量

（2）铝内胆材料应经气瓶制造单位复验合格后方可使用，气瓶制造单位应按材料炉罐号进行化学成分复验。

（3）铝内胆材料应满足相应标准的规定。铸锭应进行超声检测，超声检测按 ϕ2mm 当量平底孔进行，检验方法应符合相应标准的规定。

5.3 树脂

（1）浸渍材料应采用环氧树脂或改性环氧树脂等耐热性高且温度性好的热固性树脂。树脂的环氧当量和树脂材料的玻璃化转变温度应按相关标准进行测定，其值应不低于 105 ℃ 。

（2）浸渍材料的性能和技术指标应符合相应的国家标准或行业标准的规定。

5.4 碳纤维

（1）承载纤维应采用连续无捻碳纤维，不得采用混合纤维。

（2）每批碳纤维的拉伸断裂强度、断裂伸长率、拉伸模量等力学性能应符

合气瓶设计要求。

（3）气瓶制造单位应对碳纤维材料按批进行复验。

5.5 玻璃纤维

（1）玻璃纤维只允许用作气瓶外表面保护层或防电偶腐蚀层。

（2）应采用 S 型或 E 型玻璃纤维，其力学性能应符合气瓶设计要求。

（3）按批对玻璃纤维力学性能进行复验，纤维线密度纤维浸胶拉伸强度按相应的国家标准（GB/T 3362《碳纤维复丝拉伸性能试验方法》）进行测定。

6 产品设计和技术要求

6.1 设计一般规定

6.1.1 气瓶的设计应符合 CCS 接受的标准（如 TSG 23《气瓶安全技术规程》）及该规程相关协调标准如 GB/T35544《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》）的相关要求。

6.1.2 气瓶所采用的材料如拟采用上述第 5 条规定以外的材料时，应将材料的机械性能（包括计算许用应力用的各种机械性能数值）和化学成分等详细资料提交 CCS 审查。

6.1.3 A 类气瓶的设计循环次数 N_d 为 11000 次，B 类气瓶的设计循环次数 N_d 为 7500 次。

6.1.4 A 类气瓶的设计使用年限为 15 年；B 类气瓶的设计使用年限为 10 年。当气瓶实际使用年限未达到设计使用年限，但充装次数达到设计循环次数时，气瓶应当报废。

6.1.5 气瓶的许用压力不得低于最高工作压力，其中许用压力为公称工作压力的 1. 25 倍。

6.1.6 在充装和使用过程中，气瓶的温度应不低于-40 ℃ 且不高于 85 ℃ 。

6.1.7 铝内胆底部设计要求

（1）铝内胆端部应采用凸形结构。

（2）铝内胆端部应采用渐变厚度设计,筒体与端部应圆滑过渡。

6.1.8 铝内胆最小设计壁厚应通过应力分析验证。

6.1.9 铝内胆瓶口设计要求

（1）气瓶瓶口应开在气瓶端部,且应与铝内胆同轴。

（2）瓶口的外径和厚度应满足瓶阀装配时的扭矩要求。必要时,瓶口可采用增强结构,如钢套等。

（3）瓶口螺纹应采用直螺纹,螺纹长度应大于气瓶阀门螺纹的有效长度,且

应符合公认标准的要求。

（4）瓶口螺纹在水压试验压力下的切应力安全系数应不小于 4。计算螺纹切应力安全系数时, 铝合金剪切强度取 0.6 倍的材料抗拉强度保证值。

6.1.10 气瓶设计要求

（1）气瓶水压试验压力应不低于 1.5 倍公称工作压力。

（2）纤维应力比应不低于 2.25。

（3）气瓶最小爆破压力应不低于 2.25 倍公称工作压力。

（4）气瓶外表面可以采用适当的保护层进行防护。如果保护层作为设计的一部分时, 应按公认标准进行环境试验并符合要求。

（5）气瓶使用条件中不包括因外力等引起的附加载荷。

6.1.11 应力分析

应采用有限元方法, 建立合适的气瓶分析模型, 计算气瓶在自紧压力、自紧后零压力、公称工作压力、许用压力、水压试验压力和最小爆破压力下, 铝内胆和缠绕层中的应力和应变。分析模型应考虑铝内胆的材料非线性、复合材料各向异性和结构的几何非线性。

6.2 制造一般要求

6.2.1 气瓶的制造应满足批准图纸和相关标准的要求。

6.2.2 气瓶的制造应分批管理，铝内胆成品和气瓶成品均以不大于 200 只加上破坏性试验用铝内胆或气瓶的数量为一个批次。

6.2.3 铝内胆不得进行焊接。

6.2.4 成形后的铝内胆应按评定合格的热处理工艺进行固溶时效热处理。

6.2.5 铝内胆热处理后应逐只进行硬度测定。

6.2.6 瓶口螺纹的螺纹和密封面应光滑平整, 不得许有倒牙、平牙、牙双线、牙底平、牙尖、牙阔以及螺纹表面上的明显 跳动波纹。螺纹轴线应与气瓶轴线同轴。

6.2.7 纤维缠绕

（1）缠绕碳纤维前, 铝内胆内外表面应清理干净, 不得有金属碎屑等杂物, 且应采取措施防止铝内胆外表面与碳纤维缠绕层之间发生电偶腐蚀。

（2）缠绕和固化应按评定合格的工艺进行。固化温度不得对铝内胆力学性能产生影响。

（3）水压试验前应按规定的自紧压力进行自紧处理, 并详细记录每只气瓶的

自紧压力、容积膨胀量等。

7 型式试验

7.1 用于型式试验的同批气瓶，数量不得少于 30 只。

（1）从中随机抽取进行拉伸试验、金相试验、冷弯或压扁试验的内胆数量为 1 只。

（2）从中随机抽取进行型式试验的气瓶数量为：

① 对于 A 类气瓶:水压爆破试验 3 只；常温压力循环试验 2 只；火烧试验 1 只；极限温度压力循环试验 1 只；加速应力破裂试验 1 只；裂纹容限试验 1 只；环境试验 1 只；跌落试验 1 只；氢气循环试验 1 只；枪击试验 1 只。

② 对于 B 类气瓶:水压爆破试验 3 只；常温压力循环试验 3 只；火烧试验 1 只；耐久性试验 1 只或 3 只；使用性能试验 1 只。

7.2 耐久性试验应按照 GB/T 35544 第 6.2.15 进行，耐久性试验应使用按照 GB/T 第 6.2.12.1 的规定完成跌落试验，并按 GB/T 35544 第 6.2.6 的规定进行常温压力循环试验合格后的气瓶。

7.3 所有进行型式试验的内胆和气瓶在试验后都应进行消除使用功能处理。

7.4 型式试验项目及要求。

型式试验项目及要求 **表** 7.3

试验项目		**试验数量**	**试验要求**
原材料	铝内胆	按炉罐号	1. 原材料持有质量证明书； 2. 内胆应采用 6061 铝合金，其化学成分满足 GB/T35544 的要求； 3.铝内胆材料应满足相应标准的规定，板材应符合 GB/T3880.1、GB/T3880.2、GB/T3880.3 的规定，管材应符合 GB/T4437.1 的规定，挤压棒材应符合 GB/T3191 的规定，铸锭应符合 YS/T 67 的规定。铸锭应进行超声检测，超声检测按 ϕ2 mm 当量平底孔进行，检验方法应符合 YS/T1188 的规定。
	树脂	按每批次	1.浸渍材料应采用环氧树脂或改性环氧树脂等耐热性高且稳定性好的热固性树脂； 2.树脂的环氧当量测定应按 GB/T4612 的规定执行； 3.树脂材料的玻璃化转变温度应按 GB/T 19466.2 的规定进行测定，且其值应不低于 105 ℃。
	碳纤维	按每批次	1.承载纤维应采用连续无捻碳纤维，不得许采用混合纤维； 2.每批碳纤维的力学性能应符合气瓶设计文件的规定； 3.纤维线密度(公制号数)应按 GB/T 3362 或

				GB/T30019 测定； 4.纤维浸胶拉伸强度应按 GB/T3362 或 GB/T26749 测定。
	玻璃纤维		按每批次	1.应采用 S 型或 E 型玻璃纤维，其力学性能应符合气瓶设计文件的规定； 2.采用 GB/T7690.3 规定的方法进行性能复验。
铝内胆	壁厚		逐只	符合 GB/T35544 第 6.1.1 条及批准图纸的要求。
	制造公差		逐只	符合 GB/T35544 第 6.1.1 条的要求。
	内外表面		逐只	符合 GB/T35544 第 6.1.2 条的要求。
	瓶口螺纹		逐只	符合 GB/T35544 第 6.1.3 条的要求。
	拉伸试验		随机抽取 1 只 3 件/只	符合 GB/T35544 第 6.1.4.2 条及批准图纸的要求。
	金相试验		随机抽取 1 只 1 件/只	符合 GB/T35544 第 6.1.4.3 条的要求。
	冷弯或压扁试验		随机抽取 1 只 弯曲 2 件/只；压扁 1 件/只	1. 选择其中一项进行； 2. 符合 GB/T35544 第 6.1.4.4 或 6.1.4.5 条的要求。
	硬度试验		逐只	符合 GB/T35544 第 6.1.5 条及批准图纸的要求。
	无损检测		逐只	符合 GB/T35544 第 6.1.6 条及批准图纸的要求。
气瓶	A 类和 B 类	缠绕层层间剪切试验	6 个/批	符合 GB/T35544 第 6.2.1.1 条的要求。
		缠绕层拉伸试验	6 个/批	符合 GB/T35544 第 6.2.1.2 条及批准图纸的要求。
		缠绕层外观	逐只	1. 目测检查； 2. 不得有纤维裸露、纤维断裂、树脂积瘤、分层及纤维未浸透等缺陷。
		水压试验	逐只	符合 GB/T35544 第 6.2.3 条的要求。
		气密性试验	逐只	符合 GB/T35544 第 6.2.4 条的要求。
		水压爆破试验	3 只	符合 GB/T35544 第 6.2.5 条的要求。
		火烧试验	1 只	符合 GB/T35544 第 6.2.7 条的要求。
	A 类	常温压力循环试验	2 只	符合 GB/T35544 第 6.2.6 条的要求。
		极限温度压力循环试验	1 只	符合 GB/T35544 第 6.2.8 条的要求。
		加速应力破裂试验	1 只	符合 GB/T35544 第 6.2.9 条的要求。
		裂纹容限试验	1 只	符合 GB/T35544 第 6. 2. 10 条的要求。
		环境试验	1 只	符合 GB/T35544 第 6.2.11 条的要求。
		跌落试验	1 只	符合 GB/T35544 第 6.2.12 条的要求。

		氢气循环试验	1 只	符合 GB/T35544 第 6.2.13 条的要求。
		枪击试验	1 只	符合 GB/T35544 第 6.2.14 条的要求。
	B 类	跌落试验	1 只或 3 只	符合 GB/T35544 第 6.2.12 条的要求
		常温压力循环试验	3 只	符合 GB/T35544 第 6.2.6 条的要求。
		耐久性试验	1 只或 3 只	符合 GB/T35544 第 6.2.15 条的要求。
		使用性能试验	1 只	符合 GB/T35544 第 6.2.16 条的要求。

7.5 设计变更

7.5.1 设计变更允许减少型式试验项目，需根据变更情况按表 7. 4 规定的项目重新进行型式试验。

设计变更需重新进行型式试验的项目 **表** 7.4

设计变更	试验项目													
	A 类和 B 类					A 类							B 类	
	层间剪切试验	缠绕层拉伸试验	水压爆破试验	常温压力循环试验	火烧试验	极限温度压力循环试验	加速应力破裂试验	裂纹容限试验	环境试验	跌落试验	氢气循环试验	枪击试验	耐久性试验	使用性能试验
纤维制造单位	√	√	√	√		√	√			√		√	√	
新纤维材料	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
等效纤维材料	√	√	√	√										
新树脂材料	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
等效树脂材料	√	√	√	√										
内胆外直径变化≤20%			√	√	√					√		√	√	
内胆外直径变化>20%			√	√	√	√				√		√	√	
长度变化≤50%			√	√	√[a]							√		
长度变化>50%			√	√	√[a]	√				√			√	
公称工作压力变化			√	√										

≤20%[b]														
内胆壁厚减薄			√	√						√			√	
内胆成型工艺			√	√										
端部结构			√	√										
瓶口螺纹			√	√										
保护层[c]									√			√	√	
a 仅在长度增加时要求进行试验； b 仅适用于壁厚变化与压力变化成比例时； c 指作为设计部分的保护层。														

8 单件/单批检验

8.1 签发船用压缩氢气铝合金内胆全缠绕气瓶产品证书的单件/单批检验应在制造厂经过工厂认可后进行，除非给予特别考虑。船用压缩氢气铝合金内胆全缠绕气瓶应进行单件/单批检验，未经认可的船用压缩氢气铝合金内胆全缠绕气瓶的单件/单批检验应按型式试验要求进行。

8.2 对 CCS 认可后的船用压缩氢气铝合金内胆全缠绕气瓶单件/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：

单件/单批出厂检验项目 **表** 8.2

检验项目			**检验数量**		**检验方式**
原材料	铝内胆		按炉罐号		审核报告
	树脂		按每批次		审核报告
	碳纤维		按每批次		审核报告
	玻璃纤维		按每批次		审核报告
铝内胆	壁厚		抽查		抽检+报告审核
	制造公差		抽查		抽检+报告审核
	内外表面		抽查		抽检+报告审核
	瓶口螺纹		抽查		抽检+报告审核
	拉伸试验		随机抽取1只	3件/只	见证试验
	金相试验			1件/只	见证试验
	冷弯或压扁试验			弯曲2件/只；压扁1件/只	见证试验
	硬度试验		逐只		报告审核
	无损检测		逐只		报告审核
气瓶	A类和	缠绕层外观	抽查		抽检+报告审核
		水压试验	抽查		抽检+报告审核

	B类	气密性试验	抽查	抽检+报告审核
		水压爆破试验	抽查	抽检+报告审核
		常温压力循环试验	抽查	抽检+报告审核
		常温压力循环试验	抽查	抽检+报告审核

9 不合格项目处理

如果型式试验和批量检验中发现有不合格项目，按下列规定进行处理：

9.1 铝内胆

（1）如果不合格是由于试验操作异常或测量误差造成，应重新试验；如重新试验结果合格，则首次试验无效。

（2）如果试验操作和测量正确，应先查明试验不合格原因，再按以下规则处理：

①如确认铝内胆不合格是由于热处理不当造成的，允许对该批铝内胆重新热处理，但热处理次数不得超过 2 次。经重新热处理的该批铝内胆应作为新批重新进行批量检验；

②如果铝内胆不合格是由于其他原因造成的，则整批铝内胆报废。

9.2 气瓶

如果型式试验、批量检验时有不合格项目，允许再随机抽取 5 只气瓶进行该项试验。5 只气瓶全部通过试验，则本批气瓶合格；如果其中有一只未通过试验，则整批气瓶判废。