

ICS 23.020.40
CCS J 74

T/CATSI

团 体 标 准

T/CATSI 0500*—2022

移动式真空绝热液氢压力容器专项技术要求

**Special technical requirements for transportable vacuum-insulated liquid
hydrogen pressure vessels**

202*-**-**发布

202*-**-**实施

中国技术监督情报协会 发布

目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义和符号.....	3
4 通用要求.....	4
5 材料.....	4
6 设计.....	10
7 安全附件、仪表和装卸附件.....	18
8 制造.....	23
9 检验与试验.....	27
附录 A（资料性） 奥氏体稳定性及低温下马氏体自发转变温度计算.....	30
附录 B（资料性） 氢热力学数据.....	32
附录 C（规范性） 维持时间检测.....	33
附录 D（资料性） 运输压力控制阀使用要求.....	37

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国技术监督情报协会危化品储运装备技术与信息化工作委员会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件技术审查专家：

本文件为首次发布。

引 言

中国技术监督情报协会危化品储运装备技术与信息化工作委员会负责制定本文件。文件编制中遵循了 TSG R0005-2011《移动式压力容器安全技术监察规程》(含第 1、2、3 号修改单)的要求,并且参考了美国 DOT 49CFR《Transportation》、美国 CGA H-3《Standard for Cryogenic Hydrogen Storage》和 ASME BPVC. VIII.1《Rules for Construction of Pressure Vessels》等国内外标准的相关规定,以及国外相关工程应用经验,对移动式真空绝热液氢压力容器的材料、设计、制造、检验与试验等方面提出了专项技术要求。生产单位在执行本文件时,应根据不同产品的技术条件制定企业标准,用于指导移动式真空绝热液氢压力容器的生产。所制定企业标准的技术要求应不低于本文件的规定,同时应符合特种设备安全技术规范的要求及相应国家标准、行业标准的相关规定。

本文件没有必要、也不可能囊括适用范围内移动式真空绝热液氢压力容器所有的技术细节。在满足法规所规定安全要求的前提下,不禁止本文件中没有特别提及的技术内容。本文件不是技术手册,亦不能替代培训、工程经验和工程评价,因此提请本文件使用者注意:应由其对产品一切技术负责,且在应用本文件的过程中,产生了不可预见的问题,并造成了人身安全事故和经济损失,本协会及编制单位和个人不承担任何责任。

本文件规定的技术要求不涉及任何专利。但是,本文件的工程应用可能会涉及特定专利,本文件使用者应承担与专利权益相关的责任。

本文件未经本会书面授权或认可的其他机构对文件的宣贯或解释所产生的理解歧义和由此产生的任何后果,本会不承担任何责任。

本文件不包含移动式真空绝热液氢压力容器的生产许可、使用管理等内容,其生产许可、使用管理等应遵守国家颁布的相关法律、法规、以及主管部门的规章和相关技术规范、标准的规定。

移动式真空绝热液氢压力容器专项技术要求

1 范围

1.1 本文件规定了适用于液氢汽车罐车和道路运输罐式集装箱等移动式真空绝热液氢压力容器（以下简称“移动液氢容器”）的材料、设计、制造、检验与试验等方面的专项技术要求。

1.2 本文件适用于同时满足以下条件的移动液氢容器：

- a) 内容器设计压力不小于 1.0MPa，且不大于 1.2MPa；
- b) 几何容积不小于 15m³，且不大于 50m³；
- c) 绝热方式为高真空多层绝热；
- d) 储存介质为符合 GB/T 40045 规定的液氢（UN 编号 1966），且仲氢含量（体积分数）≥95%。

1.3 本文件不适用于下列范围的移动液氢容器：

- a) 内容器和外壳材料为有色金属或非金属的；
- b) 内容器采用应变强化技术的；
- c) 真空粉末绝热、堆积绝热形式的；
- d) 液氢铁路罐车；
- e) 设置卸液泵的；
- f) 多式联运的罐式集装箱。

2 规范性引用文件

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

GB/T 150—2011（所有部分） 压力容器

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 1447 纤维增强塑料拉伸性能试验方法

GB/T 1448 纤维增强塑料压缩性能试验方法

GB/T 1449 纤维增强塑料弯曲性能试验方法

GB/T 1450.1 纤维增强塑料层间剪切强度试验方法

- GB/T 1450.2 纤维增强塑料冲压式剪切强度试验方法
- GB/T 1451 纤维增强塑料简支梁式冲击韧性试验方法
- GB/T 1463 纤维增强塑料密度和相对密度试验方法
- GB/T 1954 铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法
- GB/T 2572 纤维增强塑料平均线膨胀系数试验方法
- GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- GB/T 3139 纤维增强塑料导热系数试验方法
- GB/T 13305 不锈钢中 α -相面积含量金相测定法
- GB/T 13550 5A 分子筛及其测定方法
- GB/T 14525 波纹金属软管通用技术条件
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 18443.1~5 真空绝热深冷设备性能试验方法
- GB/T 20801.3—2020 压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算
- GB/T 20801.5 压力管道规范 工业管道 第5部分：检验与试验
- GB/T 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带
- GB/T 25774.1 焊接材料的检验 第1部分：钢、镍及镍合金熔敷金属力学性能试样的制备及检验
- GB/T 31480 深冷容器用高真空多层绝热材料
- GB/T 31481 深冷容器用材料与气体的相容性判定导则
- GB/T 40045 氢能汽车用燃料 液氢
- HG/T 2690 13X 分子筛
- JB 4732—1995 钢制压力容器-分析设计标准（2005 确认）
- NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
- NB/T 47014—2011 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47016—2011 承压设备产品焊接试件的力学性能检验
- NB/T 47018 承压设备用焊接材料订货技术条件
- NB/T 47058 冷冻液化气体汽车罐车
- NB/T 47059 冷冻液化气体罐式集装箱
- T/CCGA 20001 低温波纹金属软管安全技术条件
- ISO 11114-1 气瓶-气瓶及瓶阀材料与盛装气体的相容性-第1部分：金属材料（Gas cylinders - Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents-Part 1: Metallic materials）
- ISO 11114-2 气瓶-气瓶及瓶阀材料与盛装气体的相容性-第2部分：非金属材料（Gas cylinders - Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents-Part 2: Non-metallic materials）

CGA S-1.2 压力泄放装置标准-第2部分-移动式压缩气体存储容器 (Pressure Relief Device Standards—Part 2—Portable Containers For Compressed Gases)

3 术语、定义和符号

GB/T 150、NB/T 47058、NB/T 47059 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

冷态几何容积 cold geometric volume

内容器处于液氢沸点温度下的内部容积 (扣除内件的体积)。

3.1.2

冷充试验 cold fill test

移动液氢容器在制造完成且内容器露点不高于 -40°C 的情况下,向其内部充注一定量的液氮,使其充分冷却,以检测容器承受低温的基本能力。

3.1.3

测试维持时间 tested holding time

移动液氢容器按照充装工艺充装液氢介质至额定充满率并达到热平衡,且内容器压力达到初始检测压力要求后,关闭所有阀门开口并开始计时,直至压力升高至初级运输压力控制阀的动作压力所经历的时间,单位为小时(h)。

3.1.4

维持时间 holding time

测试维持时间换算为标准大气压 ($1.013\ 25\times 10^5\text{Pa}$) 和设定环境温度 (20°C) 下的时间,单位为小时(h)。

3.1.5

单程运输时间 one-way transport time (OWTT)

移动液氢容器从初始运输状态至选定的运输压力控制阀动作,所允许采用的最长预计运输时间,单位为小时(h)。

3.1.6

运输压力控制阀 transportation pressure-control valve

在运输的过程中,防止内容器因压力升高后液体膨胀至超过最大允许充满率可能造成的风险而设置的控制阀门。

3.2 符号

GB/T 150和NB/T 47058、NB/T 47059界定的符号适用于本文件。

4 通用要求

4.1 移动液氢容器除应满足国家颁布的有关法律、规章、安全技术规范的要求，还应符合相关标准的规定。

4.2 本文件规定了移动液氢容器生产的专项技术要求。移动液氢容器的生产单位应制定液氢容器产品企业标准，明确适用范围以及材料、设计、制造、检验与试验、安全防护等方面的技术要求。企业标准的技术要求应不低于相关安全技术规范的要求和本文件的规定。

4.3 生产单位应按 TSG 07 的要求，取得国家有关主管机构颁发的相应资格证书。

4.4 移动液氢容器的设计委托方应以正式书面形式向生产单位提出液氢容器的设计条件。设计条件应至少包括以下内容：

- a) 设计和制造需遵循的安全技术规范和产品标准；
- b) 工作条件，包括使用环境温度、工作压力范围、工作温度范围、装卸条件及方式、装卸压力、充装量、附加载荷、路况等）；
- c) 充装介质，包括介质的编号、名称、组分、物理与化学性质、仲氢含量（体积分数）、危险特性、有害杂质含量及介质对罐体材料的腐蚀速率等；
- d) 内容器几何容积和有效容积；
- e) 预期的液氢容器使用年限和夹层真空使用年限；
- f) 所需维持时间；
- g) 对应波动压力的压力循环次数；
- h) 主要尺寸要求和管口方位；
- i) 定型底盘或牵引车的型号和必要技术参数或者罐箱的尺寸规格；
- j) 设计需要的其他必要条件。

5 材料

5.1 一般要求

5.1.1 材料的选择应考虑材料的力学性能、物理性能和工艺性能，以及与液氢的相容性。

5.1.2 罐体材料的使用应满足 TSG R0005 的要求、GB/T 150.2、NB/T 47058 和 NB/T 47059 等相应标准以及本文件的规定。

5.1.3 材料的性能、质量、规格与标志，应符合相应材料标准的规定。

5.1.4 受压元件材料制造单位应向材料使用单位提供质量证明书。材料质量证明书的内容应齐全、清晰并且印制可以追溯的信息化标识，加盖材料制造单位质量检验章；可追溯的信息包括材料制造单位名称、材料标准、材料牌号、规格、炉批号、交货状态、质量证明书签发日期等内容；可追溯的信息化标识包括二维码、条码等。

- 5.1.5 可能与氧气或富氧环境接触的材料应与氧相容，相容性试验方法与试验结果判定应符合 GB/T 31481 的规定。
- 5.1.6 内容器受压元件及与氢接触的受压管路（公称直径>15 mm）的材料应采用液氢容器专用奥氏体型不锈钢钢板、钢锻件、钢管。材料研制单位应制定企业标准并且按照相关规定向社会公示，提供必要的材料数据（包括化学成分、拉伸性能、冲击韧性以及其他满足该材料使用范围要求的性能参数）。材料应经过市场监管总局核准的压力容器型式试验机构的试验验证，并且出具型式试验报告，证明其各项性能指标能够满足 TSG R0005、相应产品标准、材料标准和本文件要求的，方可用于制造液氢容器。材料牌号应在原钢材数字代号后面加“-LH”，以标记为液氢容器专用钢材。
- 5.1.7 材料研制单位应对液氢容器专用奥氏体型不锈钢钢板、钢锻件、钢管的材料质量证明书上的化学成分的实测值进行奥氏体稳定性、低温下马氏体自发转变温度的计算，计算方法按附录 A 的规定，计算结果应满足奥氏体稳定性系数（ Δ ）不小于 0、低温下马氏体自发转变温度不高于内容器最低设计金属温度。
- 5.1.8 材料研制单位应对液氢容器专用奥氏体型不锈钢钢板、钢锻件、钢管按 GB/T 13305 进行铁素体含量测定，铁素体测量值应不大于 3%。
- 5.1.9 移动液氢容器生产单位应对内容器受压元件及与氢接触的受压管路（公称直径>15 mm）的液氢容器专用奥氏体型不锈钢钢板、钢锻件、钢管进行化学成分（按炉号）、力学性能（按炉批号）的验证性复验，复验结果经过监督检验机构确认合格后，可以投料使用，材料复验报告应纳入产品质量证明文件。
- 5.1.10 内容器承压焊缝及与氢接触的管路承压焊缝的焊接所用的焊接材料，液氢容器生产单位应对其进行复验，复验结果经过监督检验机构确认合格后，可以投料使用，焊接材料复验报告应纳入产品质量证明文件。

5.2 钢板

5.2.1 内容器用钢板

- 5.2.1.1 内容器受压元件用钢板应选用液氢容器专用奥氏体型不锈钢钢板，钢板应以固溶状态交货，热轧钢板表面加工类型不低于 1D 级，冷轧钢板表面加工类型不低于 2B 级。
- 5.2.1.2 内容器受压元件用钢板材料的化学成分及力学性能应符合材料研制单位公示的企业标准的规定，且符合表 1、表 2 和表 3 的规定，以及 TSG R0005 和相应标准要求。

表1 液氢容器专用不锈钢钢板、钢锻件、钢管化学成分

名称	材料标准	数字代号	化学成分（质量分数）									
			%									
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
钢板	GB/T 24511	S31608-LH	0.05~	0.75	2.00	0.030	0.015	16.00~	10.80~	2.00~	—	0.06~

	及 企业标准		0.08					18.00	14.00	3.00		0.10
钢锻件	NB/T 47010 及 企业标准	S31608-LH	0.05~ 0.08	0.75	2.00	0.030	0.015	16.00~ 18.00	10.80~ 14.00	2.00~ 3.00	—	0.06~ 0.10
钢管	GB/T 14976 及 企业标准	S31608-LH	0.05~ 0.08	0.75	2.00	0.030	0.015	16.00~ 18.00	10.80~ 14.00	2.00~ 3.00	—	0.06~ 0.10
注1：企业标准需满足5.1.6的要求。 注2：表中所列成分除标明范围外，其余均为最大值。												

表2 液氢容器专用不锈钢钢板、钢锻件、钢管力学性能指标

名称	材料标准	数字代号	交货状态	厚度 mm	室温强度指标 MPa			断后伸长率 A %
					$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	
钢板	GB/T 24511 及 企业标准	S31608-LH	固溶处理	3~30	≥ 220	≥ 250	≥ 520	≥ 40
钢锻件	NB/T 47010 及 企业标准	S31608-LH	固溶处理	—	≥ 220	≥ 250	≥ 520	≥ 40
钢管	GB/T 14976 及 企业标准	S31608-LH	固溶处理	—	≥ 220	≥ 250	≥ 520	≥ 40

表3 液氢容器专用不锈钢钢板、钢锻件、钢管冲击性能要求

数量	试验温度 ℃	3个标准试样冲击吸收能 量平均值 KV_2 J	侧膨胀值 LE mm	备注
1组(3个)	-196	≥ 70	≥ 0.76	标准试样尺寸：10 mm× 10 mm×55 mm
<p>注1：3个试样的冲击吸收能量平均值需满足规定值，至多允许有1个试样的冲击吸收能量低于规定值，但不应低于规定值的70%。</p> <p>注2：冲击试验标准试样尺寸为10 mm×10 mm×55 mm。当钢材尺寸无法制备标准试样时，则应依次制备宽度为7.5 mm、5 mm的小尺寸冲击试样，其冲击吸收能量指标分别为标准试样冲击吸收能量指标的75%、50%，侧膨胀值与标准试样侧膨胀值的指标相同。</p> <p>注3：当无法制备5 mm×10 mm×55 mm小尺寸冲击试样时，免做冲击试验。</p> <p>注4：与设计委托方特别约定时可以进行-269℃或最低设计金属温度下的冲击试验，试验指标按冲击吸收能量平均值 KV_2 不低于49 J、侧膨胀值 LE 不小于0.53 mm。</p>				

5.2.2 外壳用钢板

5.2.2.1 外壳用钢板应符合 NB/T 47058-2017 和 NB/T 47059-2017 中 5.2.5.2 的规定。

5.2.2.2 外壳用低合金钢板应进行-40℃冲击试验。

5.3 钢锻件

5.3.1 钢锻件应符合 NB/T 47058-2017 和 NB/T 47059-2017 中 5.2.6 的规定。

5.3.2 与氢接触的受压元件用不锈钢钢锻件还应满足以下要求：

- a) 应选用液氢容器专用奥氏体型不锈钢钢锻件，钢锻件级别应不低于Ⅲ级，交货状态固溶处理；
- b) 化学成分及力学性能应符合材料研制单位公示的企业标准的规定，且符合表 1、表 2 和表 3 的规定，以及 TSG R0005 和相应标准要求。

5.4 钢管

5.4.1 钢管应符合 NB/T 47058-2017 和 NB/T 47059-2017 中 5.2.7 的规定。

5.4.2 与氢接触的受压管路用不锈钢钢管（公称直径 $>15\text{ mm}$ ）还应满足以下要求：

- a) 应选用液氢容器专用奥氏体型不锈钢钢管，其化学成分、力学性能应符合材料研制单位公示的企业标准的规定，且符合表 1、表 2 和表 3 的规定，以及 TSG R0005 和相应标准要求；
- b) 钢管逐根进行探伤并经耐压试验合格，试验要求应满足 GB/T 14976 的相关要求。

5.4.3 与氢接触的受压管路用不锈钢钢管（公称直径 $\leq 15\text{ mm}$ ）应满足以下要求：

- a) 应充分考虑其使用工况，对钢管的材料质量证明书上的化学成分的实测值进行奥氏体稳定性、低温下马氏体自发转变温度的计算，计算方法按附录 A 中公式 A-1 及公式 A-2 进行。计算出的奥氏体稳定性系数 $\Delta \geq 0$ 、低温下马氏体自发转变温度应满足使用工况要求；
- b) 钢管逐根进行探伤并经耐压试验合格，试验要求应满足 GB/T 14976 的相关要求。

5.5 管件

5.5.1 受压元件用管件应符合相应标准的规定。

5.5.2 与氢接触的受压元件用管件，当采用不锈钢钢板制作时，材料应符合 5.2.1 的规定；采用不锈钢钢锻件制作时，材料应符合 5.3 的规定；采用不锈钢钢管制作时，材料应符合 5.4 的规定。

5.5.3 与氢接触的受压元件用管件，采用冷成型加工时，其成型后使用铁素体测量仪测得的铁素体测量值应不大于 5%，当超过 5%时应进行固溶处理。

5.6 焊接材料

5.6.1 焊接材料的选用应考虑焊接接头力学性能与罐体母材的匹配，且应符合 TSG R0005 及本文件的规定。

5.6.2 钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊所用的焊丝，其化学成分应符合 NB/T 47018 及其制造标准或供需双方约定的技术条件的相关规定；埋弧焊所用的焊丝-焊剂，其熔敷金属化学成分应符合 NB/T 47018

及其制造标准或供需双方约定的技术条件的相关规定；焊条电弧焊所用的焊条，其熔敷金属化学成分应符合 NB/T 47018 及其制造标准或供需双方约定的技术条件的相关规定。

5.6.3 焊接材料应按本文件及 NB/T 47014 的要求进行焊接工艺评定，评定合格后方可使用。内容器及与氢接触的管路进行焊接工艺评定时，还应对不同焊接方法所用焊接材料的熔敷金属进行拉伸、冲击试验和铁素体测量值检测，且需满足表 4 要求。

表4 熔敷金属试验要求

序号	试验项目	试样数量	试验温度 °C	合格指标	试验方法
1	铁素体测量值	1 块	室温	≤8%	GB/T 1954
2	全焊缝金属拉伸	1 个	室温	断后伸长率：≥30%	GB/T 228.1
3	冲击试验	1 组（3 个）	-196	标准试样冲击吸收能量 KV_2 ：≥47 J 侧膨胀值 LE ：≥0.53 mm	GB/T 229
		1 组（3 个）	-269	标准试样冲击吸收能量 KV_2 ：≥38 J 侧膨胀值 LE ：≥0.38 mm	
注 1：冲击试验标准试样尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm，当钢材尺寸无法制备标准试样时，则应依次制备宽度为 7.5 mm 或 5 mm 的小尺寸冲击试样，其冲击吸收能量指标，分别为标准试样冲击吸收能量指标的 75% 或 50%。冲击试验每个试样的冲击吸收能量和侧膨胀值均不低于规定值。 注 2：允许采用最低设计金属温度下的冲击试验代替 -269°C 的冲击试验，指标要求不变。					

5.7 夹层支撑材料

5.7.1 夹层支撑材料可以采用金属材料或非金属材料。

5.7.2 当采用非金属材料作支撑元件时，应符合 NB/T 47058-2017 和 NB/T 47059-2017 中 5.2.11 的规定。

5.7.3 可以使用环氧玻璃钢等非金属材料作为支撑材料。

5.7.4 当使用环氧玻璃钢支撑材料时，应满足以下要求：

- a) 其出厂文件中所包含的材料力学性能指标和物理性能指标应至少满足表 5 的要求；
- b) 材料制造单位应委托具有 CNAS 资质且具备相应材料试验项目资质的第三方试验机构进行材料性能测试，并取得试验机构出具的材料性能试验报告，试验数值应不低于表 5 的要求。检验项目、试样制备及试验方法应符合表 6 的规定。

5.7.5 当采用金属材料作为支撑元件时，应选用导热系数小、具有良好的低温冲击韧性的材料，且满足液氢条件下的使用要求。

表5 低温绝热用环氧玻璃钢力学性能与物理指标

加载方向	温度	密度	导热系数	平均线膨	拉伸	压缩	剪切	弯曲	冲击
------	----	----	------	------	----	----	----	----	----

	°C	g/cm ³	W/m·K	胀系数 10 ⁻⁶ /°C	强度 MPa	强度 MPa	强度 MPa	强度 MPa	韧性 J/cm ²
平行于布层方向	室温	1.70~1.90	≤0.50	≤16	≥210	≥250	≥30	—	—
平行于布层方向	-196		≤0.42		≥280	≥360	≥35	—	—
垂直于布层方向	室温		≤0.43	≤40	—	≥310	≥80	≥340	≥22
垂直于布层方向	-196		≤0.35		—	≥420	≥100	≥420	≥35

表 6 环氧玻璃钢检验项目、取样数量、试样制备和试验方法

序号	检验项目	取样数量	试样制备	试验方法
1	拉伸试验	每组不少于 5 个	GB/T 1447	GB/T 1447
2	压缩性能试验	每组不少于 5 个	GB/T 1448	GB/T 1448
3	弯曲性能试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1449
4	层间剪切强度试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1450.1
5	垂向剪切强度试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1450.2
6	冲击韧性试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1451
7	密度试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1463
8	导热系数试验	每组不少于 3 块	GB/T 1446	GB/T 3139
9	平均线膨胀系数试验	每组不少于 3 个	GB/T 1446	GB/T 2572

5.8 绝热材料

5.8.1 高真空多层绝热材料应符合 GB/T 31480 的规定，且应满足液氢条件下的使用要求。

5.8.2 采用超细玻璃纤维制品应符合 GB/T 18442.2—2019 中 5.5.4 的规定。

5.9 吸附剂材料

5.9.1 吸附剂材料应满足液氢条件下的使用要求，且满足氧相容要求。

5.9.2 5A 分子筛应符合 GB/T 13550 的规定，13X 分子筛应符合 HG/T 2690 的规定。

5.9.3 不应采用活性炭作为吸附剂材料。

5.9.4 采用其他吸附剂材料时，应符合相应产品标准的规定。

5.10 外购件

5.10.1 外购件应符合相应的国家标准或行业标准的规定，且有质量证明文件或产品合格证。

5.10.2 安全附件、仪表、阀门、装卸附件、密封垫片、密封材料等应满足液氢使用要求。

5.10.3 与液氢相接触的法兰用密封垫片应采用带内外环的不锈钢金属缠绕垫片或其他适合液氢介质使用要求的垫片，且垫片材料应满足 ISO 11114-1 或 ISO 11114-2 的相容性要求。

5.10.4 夹层抽真空和测真空接口的螺纹密封不应使用聚四氟乙烯胶带。

5.10.5 直接采购冷弯成型管子时，其成型后使用铁素体测量仪测得的铁素体测量值应不大于 5%，当超过 5%时应进行固溶处理。

5.11 其它

5.11.1 定型底盘应选用国务院汽车主管部门认可的定型产品，且有相应的技术资料和质量证明文件。当选用进口汽车底盘时，应符合国家主管部门的相关规定，且有相应的技术资料和质量证明书。移动液氢容器不应选用以液化天然气为燃料的定型底盘和牵引车，并应选用配备防侧翻稳定系统的定型底盘、半挂车行走机构及罐箱运输底盘。

5.11.2 定型底盘、牵引车及半挂车如配置有电气设备或电气控制元件，其安全防护和防爆设计、安装应满足国家相关规范、标准要求。

5.11.3 罐箱框架材料应符合 NB/T 47059-2017 中 5.2.12 的规定。

5.11.4 角件应符合 GB/T 1835 的规定，并满足-40℃的低温冲击试验要求，且有质量证明书。

6 设计

6.1 一般要求

6.1.1 移动液氢容器的设计除应符合本文件的规定外，还应符合 TSG R0005 的要求以及 GB/T 150.3、NB/T 47058 和 NB/T 47059 等标准的相关规定。

6.1.2 生产单位应严格依据设计委托方所提供的设计条件的相关要求，综合考虑所有相关因素、损伤模式、失效模式、风险状况和安全裕量，以保证液氢容器具有足够的强度、刚度、稳定性和耐腐蚀性。同时，还应考虑液氢容器夹层支撑、支座、吊耳及其他型式支承件与罐体的焊接接头的强度要求，确保液氢容器在设计使用年限内的安全。

6.1.3 生产单位应考虑确保产品的各项性能指标除满足本文件要求外，还应满足设计委托方所提各项要求，确保产品的真空性能、真空绝热性能以及其它性能指标的实现。

6.1.4 罐体、管路、安全附件、仪表及装卸附件的布置应满足使用和安全的要求。

6.1.5 液氢罐车应设置后下部防护装置，且符合 GB/T 11567 的规定。后下部防护装置外端面与罐体后封头及所有与罐体后部连接的附件外端面的垂直投影距离应不小于 300mm，其强度和性能应当不低于相关标准的规定。

6.1.6 液氢罐箱的运输底盘应设置后下部防护装置，且符合 GB/T 11567 的规定。后下部防护装置外端面与液氢罐箱端框外侧的垂直投影距离应不小于 300mm，其强度和性能应当不低于相关标准的规定。

6.1.7 当移动液氢容器的安全泄放装置、紧急切断装置、装卸附件等布置在罐体两侧时，应设置相应的防护装置，以防止车辆发生侧翻时对内部附件造成损坏。

6.1.8 氢热力学数据参见附录 B。

6.2 设计文件

移动液氢容器的设计文件应符合 NB/T 47058-2017 和 NB/T 47059-2017 中 6.2 的规定。

6.3 载荷

6.3.1 移动液氢容器的载荷应符合 NB/T 47058-2017 中 6.5.2 和 NB/T 47059-2017 中 6.4.2 的规定。

6.3.2 移动液氢容器的内容器与支撑结构的强度设计还应考虑用液氮进行冷充试验时的载荷。试验条件下液氮介质的最大充装量应在设计文件中加以规定。

6.4 温度

6.4.1 移动液氢容器的设计温度应符合 NB/T 47058-2017 中 6.5.3 和 NB/T 47059-2017 中 6.4.3 的规定。

6.4.2 内容器及管路的最低设计金属温度还应考虑正常工作条件下及检验、试验条件下介质最低工作温度对内容器金属温度的影响，且应不高于 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.5 压力

6.5.1 罐体设计压力、计算压力应符合 NB/T 47058-2017 中 6.5.5、6.5.6 和 NB/T 47059-2017 中 6.4.5、6.4.6 的规定。

6.5.2 内容器的工作压力还应满足液氢容器在装卸、储存及运输等各种工况下的要求。

6.6 焊接接头系数

6.6.1 内容器的焊接接头系数取 1.0。

6.6.2 外壳的焊接接头系数取 0.85。

6.7 许用应力

移动液氢容器的许用应力应符合 NB/T 47058-2017 中 6.5.8 和 NB/T 47059-2017 中 6.4.8 的规定，内容器应采用 $R_{p0.2}$ 来确定材料的许用应力值。

6.8 腐蚀裕量

移动液氢容器的腐蚀裕量应符合 NB/T 47058-2017 中 6.5.9 和 NB/T 47059-2017 中 6.4.9 的规定。

6.9 罐体厚度

6.9.1 移动液氢容器的罐体厚度应符合 NB/T 47058-2017 中 6.5.10 和 NB/T 47059-2017 中 6.4.10 的规定。

6.9.2 罐体封头最小成形厚度应不低于筒体最小成形厚度。

6.10 充满率

6.10.1 移动液氢容器额定充满率应不超过 90%，在任何情况下可能达到的最大充满率应不大于 95%。

6.10.2 在确定初始充满率时，应考虑移动液氢容器运输液氢预期所需要的维持时间（包括可能遇到的长时间延误）、用户要求等因素。初始充满率应不超过额定充满率。

6.10.3 移动液氢容器应根据额定充满率的要求设置溢流口。

6.10.4 移动液氢容器应设置不少于两个运输压力控制阀。运输压力控制阀的动作压力及最大初始充满率对应关系如表 7 所示。运输压力控制阀的最大动作压力应不超过罐体设计压力的 90%和工作压力两者的较小值。

表 7 运输压力控制阀动作压力与最大初始充满率对照表

动作压力/MPa	最大初始充满率/%
0.12	90%
0.28	85%
0.46	80%
0.64	75%
0.81	70%
0.95	65%
1.06	60%
注：中间值采用内插法确定。	

6.11 真空绝热性能指标

6.11.1 应考虑测试过程中液氢介质正仲氢转化的影响，确保液氢容器维持时间满足表 8 的要求。

6.11.2 移动液氢容器从初始压力到初级运输压力控制阀动作压力的维持时间应不小于 7 天。

6.11.3 移动液氢容器应在罐体或操作箱上标明单程运输时间的数值。从初始压力至初级运输压力控制阀动作的单程运输时间数值应不大于维持时间减去 48h 且不小于 5 天。

6.12 罐体夹层的真空性能

6.12.1 罐体真空夹层的漏气速率应符合表 8 的规定。

6.12.2 罐体真空夹层的漏放气速率应符合表 9 的规定。

6.12.3 常温下罐体真空夹层的封结真空度应符合表 10 的规定。真空夹层的冷态真空度应不大于封结真空度的 0.1 倍。

6.12.4 罐体夹层真空性能 3 年内应不超过本文件要求的 120%。

表 8 罐体真空夹层漏气速率

几何容积 V m ³	漏气速率 Pa·m ³ /s
15≤V≤45	≤5×10 ⁻⁹

表9 罐体真空夹层漏放气速率

几何容积 V m ³	漏放气速率 Pa·m ³ /s
15≤V≤45	1×10 ⁻⁶

表10 罐体封结真空度

几何容积 V m ³	真空度 Pa
15≤V≤45	≤0.08

6.13 真空绝热管路夹层的真空性能

真空绝热管路夹层的真空性能应满足表 11 的要求。

表11 真空绝热管路夹层的真空性能

项目	指标
漏气速率 Pa·m ³ /s	≤1×10 ⁻¹⁰
漏放气速率 Pa·m ³ /s	≤1×10 ⁻⁸
封结真空度 Pa	≤0.05

6.14 耐压试验

移动液氢容器的耐压试验应符合 NB/T 47058-2017 中 6.5.15 和 NB/T 47059-2017 中 6.4.15 的规定。耐压试验压力应不低于液压试验压力的最低值。

6.15 泄漏试验

移动液氢容器的泄漏试验应符合 NB/T 47058-2017 中 6.5.16 和 NB/T 47059-2017 中 6.4.16 的规定。

6.16 结构设计

6.16.1 一般要求

移动液氢容器的结构设计总体应符合 NB/T 47058-2017 中 6.5.17 和 NB/T 47059-2017 中 6.4.17 的规定，其特殊结构要求还应满足本件以下条文的要求。

6.16.2 罐体设计

6.16.2.1 罐体进行强度计算和外压稳定性校核时，采用规则设计的应符合 GB/T 150.3 的规定，采用分析设计的应符合 JB 4732 的规定。

- 6.16.2.2 罐体总体按 GB/T 150.3 设计时，局部应力分析可按 JB 4732 的规定进行。
- 6.16.2.3 内容器的结构应尽量简单、避免结构形状的突然变化，以减少约束和局部应力集中。
- 6.16.2.4 应充分考虑罐体在制造、试验和正常工作过程中，因内容器、夹层管路、外壳之间的温度梯度以及其它因素而引起的载荷。夹层管路的应力分析应符合 GB/T 20801.3-2020 第 7 章的规定。
- 6.16.2.5 罐体应选择合适的支撑结构、夹层管路结构和绝热方式，减少传热及散热面积，确保容器满足真空绝热性能指标要求。
- 6.16.2.6 外壳用钢板的名义厚度应不低于 6mm。
- 6.16.2.7 外壳上主要管路引出位置的筒体和封头应采用奥氏体型不锈钢材料。当外壳为碳钢材料时，除仪表管线外的所有夹层管路穿过外壳处均应设置奥氏体型不锈钢材质的过渡连接结构。
- 6.16.2.8 罐体不宜设人孔或检查孔。
- 6.16.2.9 真空夹层应设置带真空隔离阀的真空封结装置。真空隔离阀的漏气速率应至少优于夹层漏气速率指标一个数量级。
- 6.16.2.10 罐体可不设置防波板。
- 6.16.3 装卸口的设置
 - 6.16.3.1 装卸用及连接外部增压器的液相口和气相口，应分别由三个相互独立并且串联在一起的关闭装置组成，第一个是尽可能靠近外壳的紧急切断阀或等效装置；第二个是截止阀；第三个是盲法兰或等效装置。
 - 6.16.3.2 装卸口应注明用途。
- 6.16.4 夹层支撑
 - 6.16.4.1 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。
 - 6.16.4.2 夹层支撑结构在压、弯组合载荷的作用下，应有足够的稳定性。
 - 6.16.4.3 夹层支撑结构应至少能承受 6.3 规定的惯性力载荷。
 - 6.16.4.4 夹层支撑结构的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。
- 6.16.5 绝热设计
 - 6.16.5.1 移动液氢容器应根据液氢的介质特性以及对真空绝热性能的要求进行绝热结构的选择和设计。
 - 6.16.5.2 应采用合适的方法进行绝热性能设计和计算。当夹层绝热材料的表观导热系数未知时，应采用试验方法确定。
 - 6.16.5.3 应使用具有阻燃性能的绝热材料。当液氢容器罐体处于 650 °C 的环境中时，夹层中绝热材料的绝热性能在 30 分钟内不应退化。

6.17 管路系统设计

6.17.1 管路系统

移动液氢容器一般应设置超压泄放管路、排气系统、底部进出液管路、增压管路、气体平衡管路、溢流管路、液位与压力测量等管路和附件，以满足泄压、放空、进出液、增压、回气、溢流、液位测量、压力测量等使用要求。

6.17.2 设计方法

管路系统的设计准则和设计计算方法按照 GB/T 20801.3 的规定，除了考虑 GB/T 20801.3-2020 中 4.1.1.1.3 规定的各种工况外，还需要考虑液氢移动容器的运输工况，并应充分考虑上述各种工况下可能出现的极端情况。真空绝热管路外管的稳定性校核应符合 GB/T 150.3 的规定。

6.17.3 管路内介质流速

管路系统的设计应控制氢的流速，使其满足安全及使用的要求。

6.17.4 内部管路和夹层管路

6.17.4.1 夹层管路的设计压力应不小于内容器的设计压力。

6.17.4.2 内部管路和夹层管路应进行柔性设计，其结构应避免因热胀冷缩、机械颤动或振动等所引起的损坏，必要时应设置补偿装置。

6.17.4.3 内部管路的管子与内容器管座、管子与管子、管子与管件之间的连接宜采用等壁厚、全截面焊透的对接焊接结构，且不应形成死区。

6.17.4.4 内部管路应设置紧固装置或采用等效结构，避免内部管路在装卸或运输过程中产生大的振动。

6.17.4.5 夹层管路的管子与内容器管座、管子与管子、管子与管件之间的连接应采用等壁厚、全截面焊透的对接焊接连接方式，且不应使用带永久性垫板的对接接头。夹层管路不应使用法兰、螺纹等可拆卸的连接方式以及金属膨胀节和金属软管。

6.17.4.6 夹层内的液相管路应设置液封结构，液封的高度一般不小于 3 倍管子的内径。

6.17.4.7 超压泄放管路应与内容器顶部气相空间直接相通，其入口应设置在内容器顶部气相空间不大于 2% 的位置，且尽可能靠近横向和纵向的中心。管路的流通面积应不小于超压泄放装置入口的流通面积，且满足内容器超压泄放的流量要求。

6.17.4.8 底部进出液管路的管径应满足进液和卸液流量的要求，其在内容器的出口端需设置防冲挡板。

6.17.4.9 自增压管路应符合下列要求：

- a) 增压回路的气相管路应与内容器顶部气相空间直接相通；
- b) 自增压器进液管路和气体回流管路应与自增压器增压能力和压力相匹配，且尽量减少其流通阻力。

6.17.4.10 溢流管路的入口高度应与额定充满率相匹配。

6.17.4.11 压力测量管路应符合 NB/T 47058-2017 中 6.8.11 或 NB/T 47059-2017 中 6.7.12 的规定。

6.17.4.12 液位测量管路应符合 NB/T 47058-2017 中 6.8.12 条或 NB/T 47059-2017 中 6.7.13 的规定。

6.17.5 外部管路

- 6.17.5.1 外部管路的阀门和装卸接口、安全泄放装置、紧急切断装置、仪表等装置应布局合理、相对集中，便于操作、检查和维护，且应能防止阀门被意外开启，在运输及装卸过程中不致脱卸或损坏。
- 6.17.5.2 外部管路系统设计压力的确定原则按照 GB/T 20801.3 的规定，并应满足下列要求：
- 管路的设计压力应不小于内容器的设计压力；
 - 两端均可关闭且有可能存留液氢或冷态氢气的管路，应设置管路超压泄放装置。
- 6.17.5.3 外部管路的结构应避免因热胀冷缩、机械颤动或振动等所引起的损坏，必要时应设置补偿装置和紧固装置。管路支架应能承受正常操作、运输产生的载荷。紧固装置宜采用管夹或奥氏体不锈钢 U 型螺栓，任何管夹部分不应采用碳钢材料。
- 6.17.5.4 当介质中的杂质可能会对阀门功能和性能产生影响时，应考虑在阀门前端或装卸接口设置过滤器。
- 6.17.5.5 管路上的阀门应注意安装方向。
- 6.17.5.6 所有阀门安装时阀杆宜垂直向上，除仪表阀外其余阀门的阀杆最大倾斜角度不大于 45°。
- 6.17.5.7 罐体与出液管路上的根部阀门之间的管路应尽可能短。
- 6.17.5.8 外部管路及夹层管路之间应采用焊接连接方式。
- 6.17.5.9 外部管路的管子之间、管子与管件之间应采用焊接连接方式，管路与阀门、仪表等元件的连接应优先采用焊接连接方式，采用其它连接方式的应确保可靠无泄漏。焊接结构宜采用等壁厚、全截面焊透的对接接头，不应使用带永久性垫板的结构。
- 6.17.5.10 所有裸露的管路应与罐体、车体或罐箱附件、定型底盘、行走机构或框架之间保留足够的间距。
- 6.17.5.11 超压泄放装置及其管路、测量仪表及其管路和溢流管路应与液相管路及在操作过程中可能变冷结霜的管路间保持足够的间距。
- 6.17.5.12 液氢或冷氢气的出口和排放方向，其周边及可能产生液化空气滴落的地方，应设有防护装置或警示标志。
- 6.17.5.13 底部进出液管路和气体平衡管路应满足以下要求：
- 底部进出液管路和气体平衡管路应采用真空绝热低温管道，管路上设置的阀门及接头应采用真空夹套结构，真空绝热阀门及与之相连的真空绝热管道应具有单独的真空系统，不得与罐体的真空腔连通；
 - 装卸接头应带有保护盖，所配的保护盖不得使用铝材。
- 6.17.5.14 自增压管路应满足以下要求：
- 自增压管路应符合 6.17.4.9 的规定；
 - 自增压器进液管路应采用真空绝热低温管路，并满足 6.17.5.16 的规定；
 - 自增压器换热管可采用光管；
 - 裸露的增压管路下方应设置盛液盘。

6.17.5.15 溢流管路的设计应确保介质不会直接从溢流口喷出，不应通过直接观察溢流管线流出介质是气态还是液态的方法来判断是否充满。

6.17.5.16 真空绝热管路设计时应满足以下要求：

- e) 真空绝热管路内管的设计压力应不低于内容器设计压力；外管的设计压力应不小于外管防爆装置设定的排放压力，设计外压不小于 0.1 MPa；
- f) 真空绝热管路的设计应与液氢介质特性相适应，充分考虑内管热胀冷缩的影响，必要时应考虑设置补偿装置，内管应不使用膨胀节；
- g) 真空绝热管路焊接结构的设计应避免产生过大的应力集中和明显变形；
- h) 真空绝热管路的夹层空间形成独立封闭腔时应设置真空度测量接口和外管防爆装置；
- i) 应设置吹扫置换接口，其位置应满足各段管路内气体的充分吹扫、置换的要求。

6.17.5.17 排气系统的设计应满足以下要求：

- a) 排气系统一般包括排放管路、集中排放管、积水罐、排水管、支架等，其起始于所有可能排出氢气或液氢的装置出口，并终止于集中排放管的排气口；
- b) 排气系统应充分考虑排放时产生的背压，其应满足超压泄放装置的稳定性要求，避免引起超压泄放装置的频繁启闭；
- c) 排气系统的设计压力应不低于移动液氢容器管路系统设计压力；
- d) 排气系统应能承受自重、振动及排放气体的反作用力；
- e) 集中排放管和排放管路的管径应满足泄放量要求，其长度与内径之比应尽可能地小；
- f) 所有可能排出氢气或液氢的管路均应引至集中排放管，集中排放管可根据管路布置设置一根或多根；
- g) 当多个管路连接到集中排放管上时，应采取措施避免维修或更换阀门时发生氢气回流、泄漏等情况；
- h) 应防止冷凝水积聚在超压泄放装置、管路安全阀和手动排气阀等出口处，并应满足以下要求：
 - i. 超压泄放装置在集中排放管的入口位置应不影响相互的安全泄放；
 - ii. 爆破片装置与集中排放管之间保持足够的间距；
 - iii. 集中排放管排气出口的设计应能防止雨水或冷凝水从集中排放管自流回排放管路。
- i) 氢排气系统管路的连接接头设计应考虑密封性、机械强度和防火安全性；
- j) 氢排气系统的设计应防止将冷凝的空气液滴和低温引向无法承受低温的结构件上；
- k) 集中排放管应设计为垂直向上排放，其排气口高度应满足设计文件规定；
- l) 集中排放管的材料应能经受 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温，并可短时间耐受氢气燃烧，保持不破裂；
- m) 集中排放管不应设置阻火器或可能阻碍氢气流动的部件和任何可能引起冰堵、阻塞管路的装置；
- n) 排气口不应向下排放或向下引导排气，排气口的设计应能限制雨水、雪和碎屑进入排气口，排气口应避免朝向罐体、操作箱、车体或罐箱附件、定型底盘、行走机构或框架等部件；

- o) 集中排放管底部应设置积水罐和排水管，并定期排水，防止雨、雪等堵塞排水管出口，多根集中排放管可共用积水罐和排水管；
- p) 支架的设计应考虑由环境温度到液氢温度的温度急剧变化所引起的冷缩。

6.17.5.18 吹扫管路的设计应满足如下要求：

- a) 除溢流管路和与外部直接连通的管路之外，其余管路均应设置吹扫置换接口；
- b) 吹扫管路材料应选用奥氏体不锈钢材料；
- c) 吹扫接入口的位置应满足各段管路内气体的充分吹扫、置换的要求；
- d) 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。

6.17.5.19 紧急切断控制系统及其他气动阀门的仪表风管路设计应满足以下要求：

- a) 气动控制及仪表风管路应采用非金属材料，并满足相关标准要求；
- b) 气源应为干燥、洁净的压缩空气或氮气，并符合 GB/T 40061 的规定；
- c) 气源的压力应与紧急切断阀及气动阀的操作压力相匹配，且保持稳定；
- d) 仪表风管路的压力等级应能满足使用要求；
- e) 应采取适当措施，确保控制阀控制用气不被液化。

7 安全附件、仪表和装卸附件

7.1 基本要求

7.1.1 安全附件、仪表和装卸附件的设置，除应符合 TSG R0005 和本文件的规定外，还应满足设计文件的要求。

7.1.2 安全附件和装卸附件的制造许可和型式试验应符合相应安全技术规范的要求。

7.1.3 安全附件包括内容器超压泄放装置、外壳防爆装置、管路安全阀、紧急切断装置、运输压力控制阀及导静电接地装置等。

7.1.4 仪表包括压力测量装置、液位测量装置和真空度测量装置等。

7.1.5 装卸附件包括装卸阀门、装卸接头等。

7.1.6 安全附件、仪表和装卸附件与罐体或管路之间的连接可采用焊接连接、法兰连接或螺纹连接等方式。

7.1.7 移动液氢容器罐体、管路及操作箱内部不应采用带变送器或者电气控制元件。

7.2 内容器超压泄放装置

7.2.1 内容器超压泄放装置包括全启式安全阀、爆破片装置及组合泄放装置。组合泄放装置包括全启式安全阀与全启式安全阀的组合、全启式安全阀与爆破片装置的组合。

7.2.2 内容器超压泄放装置的设计应符合以下要求：

- a) 安全阀和爆破片装置应符合相应标准的规定；

- b) 超压泄放装置的入口管设计应满足本文件 6.17.4 的规定；
- c) 超压泄放装置的出口管应引至氢排气系统；
- d) 选用的爆破片在爆破时应不产生碎片、脱落和火花，应优先采用材质为 S31608 的反拱刻槽型爆破片，当选择其他材质时，应确保与氢相容并满足相应安全要求；
- e) 能承受容器内部的压力、可能出现的超压及包括液体冲击力在内的动载荷；
- f) 应考虑超压泄放装置的入口压降和出口背压的影响。

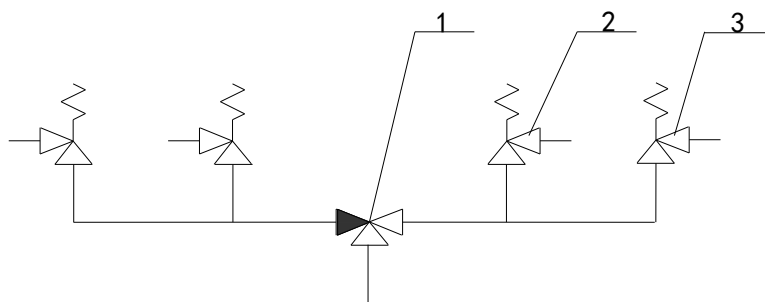
7.2.3 内容器超压泄放装置的安装和标记应分别符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 7.2.1.5 和 7.2.1.6 的要求。

7.2.4 为确保液氢容器安全运行或需要其在连续运行状态下维护或更换超压泄放装置，应设置至少两个及两个以上超压泄放装置。

7.2.5 超压泄放装置宜按图 1~图 2 所示设置快速切换装置，以确保任何情况下至少有两个超压泄放装置与内容器保持连通。

7.2.6 设置超压泄放装置时，应满足下列要求：

- a) 主安全阀的整定压力为内容器设计压力的 1.05 倍~1.10 倍，回座压力应不低于整定压力的 0.9 倍；
- b) 使用安全阀作为辅助泄放装置时，其动作压力应不小于主安全阀的整定压力，且不大于内容器设计压力的 1.16 倍；
- c) 使用爆破片装置作为辅助泄放装置时，其在 427 °C 时的设计爆破压力应不大于内容器设计压力的 1.16 倍，同时，其在 20 °C 下的设计爆破压力不大于内容器设计压力的 1.30 倍；
- d) 主安全阀的排放能力应保证内容器在非火灾条件下的超压限度不大于其设计压力的 16%，每个组合泄放装置的总排放能力应保证内容器在火灾条件下的超压限度不大于其设计压力的 20%；
- e) 每一个安全阀或爆破片装置的排放能力均应满足按非火灾条件考虑时内容器的安全泄放要求，每个组合泄放装置的排放能力均应满足按火灾条件考虑时内容器的安全泄放要求。

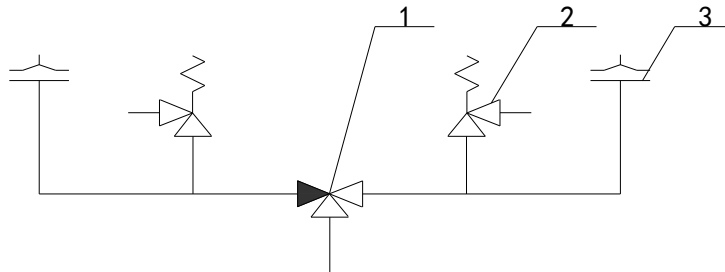


标引序号说明：

1——切换阀

- 2——安全阀
- 3——安全阀

图1 安全阀与安全阀组合设置示意



标引序号说明:

- 1——切换阀
- 2——安全阀
- 3——爆破片装置

图2 安全阀与爆破片装置组合设置示意

7.2.7 内容器需要的安全泄放量及超压泄放装置的排放能力计算方法按 CGA S-1.2 的规定。

7.2.8 进行内容器需要的安全泄放量计算时, 应按 CGA S-1.2 中的要求至少考虑到下列工况及可能的组合:

- a) 绝热系统结构完好且处于正常的真空状态下, 外部为环境温度, 内容器的温度为泄放压力下所储存介质的饱和温度, 且增压系统处于全开工作状态;
- b) 绝热系统结构完好, 但夹层已丧失真空状态下, 外部温度为环境温度, 内容器的温度为泄放压力下所储存介质的饱和温度;
- c) 绝热系统结构完好或部分完好, 但夹层充满氢, 真空已丧失, 且外部遭遇火灾或遭遇 650 °C 及以上高温;
- d) 绝热系统结构完好或部分完好, 真空已丧失, 夹层充满空气, 且夹层内发生空气或氮气冷凝;
- e) 绝热系统结构完好或部分完好, 真空已丧失, 夹层充满空气, 夹层内发生空气或氮气冷凝, 且外部遭遇火灾或遭遇 650 °C 及以上高温;
- f) 绝热系统完全损坏, 夹层真空已丧失, 且外部遭遇火灾或遭遇 650 °C 及以上高温。

7.2.9 设计人员应根据实际条件判明可能发生的各种工况及可能的组合工况, 内容器超压泄放装置的排放能力应能满足 7.2.8 中各工况发生时的安全泄放要求。

7.3 外壳防爆装置

7.3.1 外壳防爆装置的泄放压力应不大于 0.05 MPa, 其排放能力足以使夹层的压力限制在不超过 0.1 MPa。

7.3.2 外壳防爆装置的设计与布置应尽量避免其动作时大量空气进入夹层空间。

7.3.3 外壳防爆装置的总排放面积应不小于内容器几何容积 (m^3) 与 $341 \text{ mm}^2/\text{m}^3$ 的乘积。

7.4 管路安全阀

7.4.1 管路安全阀整定压力不超过管路设计压力的 1.5 倍。

7.4.2 管路安全阀与管路之间用引出管连接，引出管长度不小于 150 mm 或按照管路安全阀制造单位的要求执行。

7.4.3 管路安全阀的出口应装设排放管，并接入氢排气系统。

7.4.4 管路安全阀的设计应考虑入口压降和出口背压的影响。

7.4.5 管路安全阀的排放能力应保证管路在非火灾条件下的压力不超过管路设计压力的 1.65 倍。

7.4.6 封闭段管路需要的安全泄放量及管路安全阀的排放能力计算方法按 CGA S-1.2 的规定。

7.4.7 进行封闭段管路需要的安全泄放量计算时，应按 CGA S-1.2 中的要求考虑以下工况：

- a) 对于非绝热管路，外部温度为环境温度，封闭段管路的温度为泄放压力下液氢的饱和温度；
- b) 对于真空绝热管路，绝热系统结构完好且处于正常的真空状态下，外部温度为环境温度，封闭段管路的温度为泄放压力下液氢的饱和温度。

7.5 紧急切断装置

7.5.1 液氢容器应按如下要求设置紧急切断装置：

- a) 紧急切断装置应在液相、气相进出管线上尽量靠近容器的位置设置；
- b) 紧急切断装置一般由紧急切断阀、远程控制系统以及易熔塞或等效装置组成。紧急切断装置应动作灵活、性能可靠、便于检修；
- c) 紧急切断阀应符合相应标准的规定。阀门中与氢接触的元件，其材质需能满足液氢的使用条件。紧急切断阀可使用截止阀或球阀，不允许使用闸阀；
- d) 紧急切断阀宜采用气动控制的型式，上阀杆不允许安装手轮；
- e) 紧急切断阀阀体如带真空绝热夹套，其真空性能应能满足液氢容器的使用要求；
- f) 紧急切断装置应留有远程控制接口；
- g) 易熔塞可选用易熔合金材料或尼龙等，选用易熔合金材料时，其应在 $120 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 时熔融；

7.5.2 在遭遇火灾或充装、排液过程中发生意外泄漏时，紧急切断装置应能自动关闭，且该装置应能进行远程控制。

7.5.3 紧急切断阀与液氢容器液相口、气相口、增压器口的连接可以采用焊接的连接方式。

7.6 运输压力控制阀

7.6.1 移动液氢容器应根据运输和卸液工况，设置相应动作压力的运输压力控制阀，以控制移动液氢容器最大充满率不超过 95% 以及防止残液气化等工况导致罐体主安全阀的非预期动作。

7.6.2 运输压力控制阀可采用调压阀等。

7.6.3 在正常运输过程中，选定的运输压力控制阀应处于开启状态。

7.7 导静电接地装置

7.7.1 移动液氢容器的罐体、管路、阀门和车架或框架等连接处的导电性应良好，并设置可靠的导静电连接端子。

7.7.2 氢排气系统还应单独设置导静电连接端子。

7.7.3 移动液氢容器的罐体及管路系统金属与接地体末端之间的电阻值应不大于 $4\ \Omega$ 。

7.8 压力及液位测量装置

7.8.1 压力及液位测量装置应与液氢相适应，且满足使用工况要求。

7.8.2 罐体应设置至少三个压力测量装置，如机械指针式压力表（以下简称“压力表”），用以显示罐体内的工作压力。压力测量装置的选用和设置应符合以下规定：

- a) 压力表应符合相应国家标准或者行业标准规定；
- b) 应采用波登管式压力表，不允许采用隔膜式压力表；
- c) 压力表表盘直径不小于 100 mm、精度等级不低于 1.6 级、表盘刻度极限值应为工作压力的 1.5 倍~3.0 倍；
- d) 应至少设置罐体前端压力表、操作箱前端压力表以及操作箱后端压力表，罐体前端压力表应方便司机随时观察罐内压力，操作箱的两块压力表应方便从操作箱前部与后部直接观察到罐内压力；
- e) 安装位置应便于操作人员观察和清洗，且应避免受到辐射热、冻结或者震动等不利因素的影响；
- f) 安装结构应牢固可靠，防止其脱落。

7.8.3 液位测量装置应采用机械指针式差压液位计，其他要求应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 7.6.3 的规定。

7.8.4 压力及液位测量装置与罐体之间应装设隔膜阀。隔膜阀上应有开启标记和锁紧装置，并且不应连接其他用途的配件或者接管。

7.8.5 压力测量装置检定应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 7.6.2 的规定。

7.9 真空度测量装置

真空度测量装置应符合 NB/T 47058 中 6.9、NB/T 47059 中 6.8 的规定。

7.10 装卸附件

7.10.1 装卸阀门、装卸接头等与氢接触的元件，其材质应能满足液氢的使用条件，其形式的选择应考虑漏热量的影响。

7.10.2 装卸阀门阀体应采用真空夹套结构，其真空性能应能满足液氢容器的使用要求。

- 7.10.3 装卸阀门的公称压力应不低于管路的设计压力。
- 7.10.4 装卸接头可按用户的要求配置防错装的快速连接接头。
- 7.10.5 装卸接头应具有良好的密封性，密封填料应采用氧相容材料并适应液氢的使用条件。
- 7.10.6 装卸软管应满足 GB/T 14525 以及 T/CCGA 20001 的相关要求，所用奥氏体不锈钢材料成型后应进行退火处理。

8 制造

8.1 一般要求

移动液氢容器制造的一般要求应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 第 8 章的规定。

8.2 材料复验、分割与标志移植

8.2.1 对于下列材料应进行复验：

- a) 用于制造内容器受压元件及与氢接触的受压管路（公称直径 $>15\text{ mm}$ ）的液氢容器专用奥氏体型不锈钢钢板、钢锻件、钢管；
- b) 与氢接触的受压管件；
- c) 用于制造与氢接触的焊接接头的焊接材料；
- d) 不能确定质量证明书的真实性或者对性能、化学成分和铁素体测量值有怀疑的受压元件材料；
- e) 设计文件要求进行复验的材料。

8.2.2 钢板的复验应满足以下要求：

- a) 逐张检查钢板表面质量和标记；
- b) 按炉号复验化学成分；
- c) 按批号复验力学性能；
- d) 按批号进行冲击试验；
- e) 奥氏体型不锈钢开平板整卷使用时，应在开平操作后，分别在板卷的头部、中部和尾部所对应的开平板上各截取一组复验试样；
- f) 奥氏体型不锈钢开平板非整卷使用时，应在开平板的端部截取一组复验试样；
- g) 化学成分、力学性能和冲击试验的复验结果应满足表 1、表 2、表 3 和材料研制单位公示的企业标准的要求。

8.2.3 钢锻件的复验应满足以下要求：

- a) 按炉号复验化学成分；
- b) 按批号复验力学性能；
- c) 按批号进行冲击试验；

- d) 化学成分、力学性能和冲击试验的复验结果应满足表 1、表 2、表 3 和材料研制单位公示的企业标准的要求。

8.2.4 钢管的复验应满足以下要求：

- a) 按炉号复验化学成分；
- b) 按批号复验力学性能；
- c) 按批号进行冲击试验；
- d) 化学成分、力学性能和冲击试验的复验结果满足表 1、表 2、表 3 和材料研制单位公示的企业标准的要求。

8.2.5 管件的复验应满足以下要求：

- a) 审查原厂材料质量证明书；
- b) 使用铁素体测量仪测得的铁素体测量值不大于 5%。

8.2.6 焊接材料的复验应满足以下要求：

- a) 钨极氩弧焊和熔化极气体保护焊焊丝：按批进行化学成分复验，其结果应满足本文件 5.6.2 的要求；按批进行熔敷金属力学性能和低温冲击性能试验，试验要求应满足表 4 的规定。熔敷金属试件的制备按照 GB/T 25774.1 中的 1.2 型或 1.3 型的要求进行；
- b) 埋弧焊焊丝-焊剂的熔敷金属：需对焊丝、焊剂采用交叉组合批次匹配焊接获得熔敷金属，对其进行化学成分复验，并进行熔敷金属力学性能和低温冲击性能试验。化学成分的复验结果应满足本文件 5.6.2 的要求，力学性能和低温冲击性能试验要求应满足表 4 的规定。熔敷金属试件的制备按照 GB/T 25774.1 中的 1.6 型要求进行；
- c) 焊条电弧焊所用焊条的熔敷金属：按批进行熔敷金属的化学成分复验、力学性能和低温冲击性能试验。化学成分的复验结果应满足本文件 5.6.2 的要求，力学性能和低温冲击性能试验要求应满足表 4 的规定。熔敷金属试件的制备按照 GB/T 25774.1 中的 1.3 型要求进行；
- d) 使用铁素体测量仪测得的熔敷金属铁素体测量值应满足表 4 的要求。

8.2.7 对于本文件 8.2.1 中 d)、e) 要求复验的情况，应按炉号复验化学成分，按批号复验力学性能。材料复验结果应符合相应材料标准的规定或设计文件的要求。

8.2.8 材料的分割和标志移植应符合 NB/T 47058 中 8.4.2、NB/T 47059 中 8.2.2 的规定。

8.3 冷、热加工成型

8.3.1 移动液氢容器的冷、热加工成型应符合 NB/T 47058 中 8.4.3、NB/T 47059 中 8.2.3 的规定外，还应满足本文件 8.3.2~8.3.4 的要求。

8.3.2 内容器和与氢接触的管路在制造过程中应避免材料表面的机械损伤。

8.3.3 封头成型后应进行固溶处理，使用铁素体测量仪测得的铁素体测量值应不大于 5%。

8.3.4 管路采用冷弯成型时，使用铁素体测量仪测得的铁素体测量值应不大于 5%，当超过 5%时应进行固溶处理。

8.4 焊接

8.4.1 焊前准备和施焊环境

焊前准备和施焊环境应符合 GB/T 150.4—2011 中 7.1 的规定。

8.4.2 焊接工艺

8.4.2.1 移动液氢容器按本文件及 NB/T 47014 进行焊接工艺评定，且符合 TSG R0005、GB/T 150.4 的规定及设计文件要求。

8.4.2.2 内容器和与氢接触的管路焊接工艺评定测试按表 12 的要求。表 12 未列的按 NB/T 47014 的要求。外壳焊接工艺评定应满足 NB/T 47014 的要求。

表12 内容器及管路焊接工艺评定试验要求

序号	试验项目	试样数量	试验温度	合格指标	试验方法	备注
1	横向拉伸	焊接接头：2 个	室温	强度：NB/T 47014—2011 中 6.4.1.5.4	GB/T 228.1	—
2	横向弯曲	面弯+背弯：2 个+2 个 或侧弯：4 个	室温	NB/T 47014—2011 中 6.4.1.6.4	GB/T 2653	当板厚小于 10 mm，采用面弯和背弯试验；当板厚大于等于 10 mm，可以采用侧弯代替面弯和背弯。
3	冲击试验	焊缝区：1 组（3 个） 热影响区：1 组（3 个）	-196 ℃	标准试样冲击吸收能量 KV_2 ：≥47J 侧膨胀值 LE ：≥0.53mm	GB/T 229	—
4	冲击试验	焊缝区：1 组（3 个） 热影响区：1 组（3 个）	-269 ℃	标准试样冲击吸收能量 KV_2 ：≥38J 侧膨胀值 LE ：≥0.38mm	GB/T 229	—
<p>注 1：冲击试验标准试样尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm。当无法制备标准试样时，则应依次制备宽度为 7.5 mm 或 5 mm 的小尺寸冲击试样，其冲击吸收能量指标分别为标准试样冲击吸收能量指标的 75%或 50%。冲击试验每个试样的冲击吸收能量均不低于规定值。当无法制备 5 mm×10 mm×55 mm 小尺寸冲击试样时，免做冲击试验。</p> <p>注 2：取样方法按 NB/T 47014 进行。</p> <p>注 3：允许采用最低设计金属温度下的冲击试验代替-269℃的冲击试验，指标要求不变。</p>						

8.4.2.3 内容器及管路的焊接应严格控制线能量。在焊接工艺评定所确认的范围内，应选用较小的焊接线能量，以多道施焊为宜。

8.4.2.4 内容器纵、环焊接接头和管路环向焊接接头、管座与内容器之间的焊接接头在焊接完成后使用铁素体测量仪测得的铁素体测量值应不大于 8%。

8.4.3 产品焊接试件

8.4.3.1 内容器应逐台制备产品焊接试件。

8.4.3.2 制备产品焊接试件与试样，应符合 NB/T 47058 中 8.4.6、NB/T 47059 中 8.2.6 的规定，且试件应随内容器或部件一起热处理。

8.4.3.3 试件的力学性能检验试验方法、合格指标及试验要求，应符合表 13 的规定。

表13 产品焊接试件力学性能检验的试验方法、合格指标及试验要求

序号	试验项目	试样数量	试验温度	合格指标	试验方法	备注
1	横向拉伸	焊接接头：1 个	室温	NB/T47016—2011 中 6.1.4.1	GB/T 228.1	—
2	横向弯曲	面弯+背弯：1 个+1 个 或侧弯：2 个	室温	NB/T47016—2011 中 6.2.4	GB/T 2653	当板厚小于 10 mm，采用面弯和背弯试验；当板厚大于等于 10 mm，可以采用侧弯代替面弯和背弯。
3	冲击试验	焊缝区：1 组（3 个） 热影响区：1 组（3 个）	-196 °C	标准试样冲击吸收能量 KV_2 ：≥47J 侧膨胀值 LE ：≥ 0.53mm	GB/T 229	—
<p>注 1：冲击试验标准试样为 10 mm×10 mm×55 mm。当无法制备标准试样时，则应依次制备宽度为 7.5 mm 或 5 mm 的小尺寸冲击试样，其冲击吸收能量指标分别为标准试样冲击吸收能量指标的 75%或 50%。冲击试验每个试样的冲击吸收能量均不低于规定值。当无法制备 5 mm×10 mm×55 mm 小尺寸冲击试样时，免做冲击试验。</p> <p>注 2：取样方法按 NB/T 47016 进行。</p> <p>注 3：与设计委托方特别约定时，可以进行 -269 °C 或最低设计金属温度下的冲击试验，试验指标按冲击吸收能量平均值 KV_2 不低于 38 J、侧膨胀值 LE 不小于 0.38mm。</p>						

8.4.4 其他焊接要求

移动液氢容器其他焊接要求应满足 NB/T 47058 中 8.4.5、NB/T 47059 中 8.2.5 的规定。

8.5 无损检测

移动液氢容器的无损检测应符合 NB/T 47058 中 8.4.7、NB/T 47059 中 8.2.7 的规定。

8.6 热处理

移动液氢容器的热处理应符合 NB/T 47058 中 8.4.8、NB/T 47059 中 8.2.8 的规定。

8.7 清洁要求

移动液氢容器的清洁要求应符合 NB/T 47058 中 8.4.9、NB/T 47059 中 8.2.9 的规定。与介质接触的所有零部件表面，还应进行脱脂与清洁处理，表面油脂残留量≤125mg/m²，且符合设计文件的规定。

8.8 组装要求

移动液氢容器的组装应符合 NB/T 47058 中 8.4.10、NB/T 47059 中 8.2.10 的规定。

8.9 管路制造

8.9.1 移动液氢容器的管路制造应符合 NB/T 47058 中 8.5、NB/T 47059 中 8.3 的规定，且应满足以下要求：

- a) 对接环焊缝的对口错边量 ≤ 0.25 倍壁厚，且 ≤ 1 mm；
- b) 钢管壁厚 ≤ 6 mm 时，对接焊缝余高 ≤ 1.5 mm；钢管壁厚 > 6 mm 且 ≤ 13 mm 时，对接焊缝余高 ≤ 3 mm；
- c) 与氢接触的焊缝内表面应光滑，不应出现尖角、凸起和内凹；
- d) 焊缝与母材应圆滑过渡，且角焊缝的外形应凹形圆滑过渡。

8.9.2 真空绝热管路制造时还需满足以下要求：

- a) 制造时应采取措施防止绝热层破损，并避免内外管壁直接接触；
- b) 夹层空间应清洗干净，除去污物油脂，脱脂处理后表面油脂残留量 ≤ 125 mg/m²；
- c) 缠绕前绝热材料应保持干燥洁净，绝热层应在清洁、干燥的专用场地进行缠绕；
- d) 真空绝热管路装配焊接完成后进行抽真空，真空性能应满足表 12 的要求。

8.10 氦质谱检漏

移动液氢容器真空夹层氦质谱检漏应符合 NB/T 47058 中 8.6、NB/T 47059 中 8.5 的规定。

8.11 罐体涂敷

罐体的涂敷应符合 NB/T 47058 中 8.7、NB/T 47059 中 8.6 的规定。

9 检验与试验

9.1 试验顺序

9.1.1 试验顺序应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 9.1 的规定。

9.1.2 当需要进行冷充试验时，应在夹层真空性能测试完成后进行。

9.1.3 维持时间测试应在夹层真空性能测试完成后进行。

9.2 耐压试验

9.2.1 内容器耐压试验

9.2.1.1 耐压试验基本要求

内容器耐压试验基本要求应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 9.2.5 的规定。

9.2.1.2 液压试验

液压试验应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 9.2.6 的规定。液压试验应控制试验用水中的氯离子含量不超过 15 mg/L 或试验后用去离子水对容器内表面进行清洗,清洗后清洗用水的氯离子含量不超过 15mg/L。

9.2.1.3 气压试验

气压试验应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 9.2.7 的规定。

9.2.2 管路耐压试验

9.2.2.1 管路耐压试验宜采用气压试验。

9.2.2.2 夹层管路可与内容器一起做耐压试验,也可单独试验。

9.2.2.3 外部管路应经无损检测合格后,按图样的规定进行耐压试验。

9.2.2.4 管路耐压试验要求和试验程序按 GB/T 20801.5 的规定,并符合图样的要求。

9.3 气密性试验

气密性试验应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 9.3 的规定。

9.4 冷冲击试验

冷冲击试验应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 9.4 的规定。

9.5 清洁度测量

清洁度检测应符合 NB/T 47058、NB/T 47059 中 9.5 的规定。

9.6 容积测量

内容器用几何尺寸测量法计算的容积代替实测容积。

9.8 真空度检测

罐体夹层及真空绝热管路夹层的真空度检测方法按 NB/T 47058 中 9.8、NB/T 47059 中 9.7 的规定。

9.9 真空夹层漏气速率检测

罐体夹层及真空绝热管路夹层的漏气速率检测方法按 NB/T 47058 中 9.9、NB/T 47059 中 9.8 的规定。

9.10 真空夹层漏放气速率检测

真空夹层漏放气速率的检测方法按 NB/T 47058 中 9.10、NB/T 47059 中 9.9 的规定。

9.11 冷充试验

9.11.1 当低温性能型式试验在使用现场进行时,生产单位应先做冷充试验。其它情形下,生产单位可根据用户要求决定是否做冷充试验。冷充试验试验前应编制试验大纲。

9.11.2 冷充试验通常采用液氮作为试验介质，其充装量应不超过内容器支撑结构允许的载荷，且应使容器与液氢接触部位能够充分冷却。

9.11.3 充液完成后应至少静置 48 小时。

9.11.4 介质充装时及静置期内应注意观察支撑结构连接处、外部管路等各处有无漏冷、结霜、明显变形、断裂等情况。

9.11.5 罐体外壳表面相邻区域内温差应不超过 5℃，但管路穿出外壳处以及太阳直射处除外。

9.12 低温性能型式试验

9.12.1 一般要求

9.12.1.1 移动液氢容器的低温性能型式试验要求应符合 TSG R0005 及 NB/T 47058、NB/T 47059 中第 9 章的规定。

9.12.1.2 移动液氢容器应使用液氢进行维持时间检测。

9.12.2 维持时间检测

9.12.2.1 维持时间检测介质为液氢，检测时液氢初始充满率应为罐体额定充满率。

9.12.2.2 维持时间检测方法按附录 C 执行。

9.13 其他检验与试验

其他检验与试验要求参照 NB/T 47058、NB/T 47059 中第 9 章的规定执行。

附录 A

(资料性)

奥氏体稳定性及低温下马氏体自发转变温度计算

A.1 总则

本附录规定了移动式真空绝热液氢压力容器专用奥氏体型不锈钢钢材的奥氏体稳定性计算及低温下马氏体自发转变温度计算的方法及对计算结果的分析。

A.2 奥氏体稳定性计算

A.2.1 奥氏体稳定性按公式 (A-1) 计算:

$$\Delta = Ni + 0.5Mn + 35C - 0.0833(Cr + 1.5Mo - 20)^2 - 12 \dots \dots \dots (A-1)$$

式中:

Δ ——奥氏体稳定性系数;

Ni ——镍含量, 质量分数 (%);

Mn ——锰含量, 质量分数 (%);

C ——碳含量, 质量分数 (%);

Cr ——铬含量, 质量分数 (%);

Mo ——钼含量, 质量分数 (%).

A.2.2 计算结果: 当奥氏体稳定性系数 $\Delta < 0$ 时, 说明材料在载荷作用下随着内应力的加大有从奥氏体向马氏体转变的趋势; 当奥氏体稳定性系数 $\Delta \geq 0$ 时, 说明材料稳定性较好。

A.3 低温下马氏体自发转变温度计算

A.3.1 低温下马氏体自发转变温度按公式 (A-2) 计算:

$$Ms(^{\circ}F) = 75(14.6 - Cr) + 110(8.9 - Ni) + 60(1.33 - Mn) + 50(0.47 - Si) + 3000[0.068 - (C + N)] \dots \dots \dots (A-2)$$

式中:

$Ms(^{\circ}F)$ ——奥氏体开始向马氏体转变的温度, 单位为华氏度 ($^{\circ}F$);

Cr ——铬含量, 质量分数 (%);

Ni ——镍含量, 质量分数 (%);

Mn ——锰含量, 质量分数 (%);

Si ——硅含量, 质量分数 (%);

C ——碳含量, 质量分数 (%);

N ——氮含量, 质量分数 (%).

A.3.2 华氏度转变为摄氏度按公式 (A-3) 计算:

$$C=(F-32) \times 5/9 \quad \dots\dots\dots (A-3)$$

式中:

C——摄氏温度, 单位为摄氏度 (°C);

F——华氏温度, 单位为华氏度 (°F)。

A.3.3 计算出的摄氏温度(C)为奥氏体开始向马氏体转变的温度。

附 录 B
(资料性)
氢热力学数据

表 B.1 (100%仲氢) 在饱和状态下热力学数据

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/kg·K	蒸气比熵 kJ/kg·K
13.957 ^a	0.007693	7.3632	76.856	-52.665	397.73	-3.0071	29.263
14	0.007884	7.2053	76.821	-52.36	398.12	-2.9856	29.192
15	0.013434	4.4963	75.998	-45.165	407.18	-2.4942	27.662
16	0.021548	2.9615	75.135	-37.602	415.82	-2.0132	26.325
17	0.032886	2.0379	74.222	-29.625	423.95	-1.5389	25.142
18	0.048148	1.4534	73.254	-21.183	431.51	-1.0683	24.081
19	0.068071	1.0677	72.227	-12.224	438.4	-0.59881	23.118
20	0.093414	0.80385	71.137	-2.6915	444.53	-0.12813	22.233
20.38 ^b	0.104628	0.72568	70.706	1.09228	446.65	0.051443	21.914
21	0.12496	0.61773	69.979	7.4687	449.82	0.34566	21.41
22	0.1635	0.4829	68.745	18.317	454.19	0.82438	20.637
23	0.20983	0.38293	67.427	29.924	457.52	1.3099	19.901
24	0.26478	0.30725	66.012	42.37	459.7	1.8045	19.193
25	0.32917	0.24889	64.487	55.76	460.6	2.3107	18.504
26	0.40384	0.2031	62.829	70.228	460.02	2.832	17.824
27	0.48965	0.16658	61.008	85.958	457.72	3.3732	17.142
28	0.5875	0.13699	58.981	103.216	453.34	3.9413	16.446
29	0.69833	0.11257	56.679	122.409	446.32	4.5474	15.717
30	0.82319	0.09198	53.978	144.238	435.69	5.2107	14.926
31	0.96329	0.07403	50.627	170.12	419.5	5.9711	14.016
32	1.12027	0.05717	45.902	204.073	392.25	6.945	12.826
32.938 ^c	1.2858	0.031977	31.361	295.38	295.94	9.6179	9.6349

注：以上数据摘自 National Institute of Standards and Technology 数据库。

a 三相点。

b 沸点。

c 临界点。

附 录 C

（规范性）

维持时间检测

C.1 总则

本附录规定了移动液氢容器维持时间检测的试验原理与方法、试验装置、设备和仪器、试验条件与试验准备、试验步骤、数据处理和试验记录与试验报告等要求。

本附录规定了从初始压力到初级运输压力控制阀动作压力的维持时间检测方法。

C.2 检测原理与方法

移动液氢容器维持时间采用闭式系统检测。

C.3 检测装置、设备与仪器

检测装置、设备和仪器基本要求应符合 GB/T 18443.1—2010 中 4.2 的规定，并应满足下列要求：

- a) 维持时间检测时，应完成初级运输压力控制阀的安装，并与内容器保持正常连通状态；
- b) 初级运输压力控制阀的开启压力为维持时间检测的结束压力；
- c) 压力表的精度不低于 2.5 级，表盘直径不小于 100mm，量程宜为最大测量压力的 2 倍。可采用相同精度等级和量程的其他压力检测装置。

C.4 检测条件与检测准备

C.4.1 检测条件与检测准备应符合 GB/T 18443.1 的规定。

C.4.2 被检件完成充装并静置足够时间，当内容器压力降至 10kPa 以下，并保持不少于 48 小时，方能开始检测。

C.4.3 被检件的检测介质为符合 GB/T 40045 规定的液氢。

C.4.4 维持时间开始检测时，液氢介质的充满率应为移动液氢容器的额定充满率。充满率与运输压力控制阀的动作压力应符合表 7 的规定。

C.5 检测步骤

C.5.1 被检件内容器的全容积测定可按 GB/T 18443.8 进行，或采用液氢移动容器设计文件中注明的内容器全容积。

C.5.2 初始充满率应符合 C.4.4 的规定。

C.5.3 待测系统放空静置不少于 7 天，被检件内容器的内压力达到 C.4.2 的规定后，打开溢流阀，排出多余的液体，然后关闭被检件管路上连通大气的阀门，开始以时间间隔不大于 1h 采集或记录设备内压力、环境压力与环境温度随时间的过程，记录格式按表 C.1。

C.5.4 当内容器压力升高到初级运输压力控制阀动作压力时，停止计时。

C.5.5 从关闭所有阀门开始计时，直到停止计时，全过程经历的时间，以小时及分钟数进行记录，作为“测试维持时间”。

C.6 数据处理

标态（标准环境状态）下高真空多层绝热维持时间 H_{20}

$$H_{20} = H_0 \left(0.7 \times \frac{T_1 - T_2}{293.15 - T_s} + 0.3 \times \frac{T_1^4 - T_2^4}{293.15^4 - T_s^4} \right)$$

式中：

H_{20} ——标态下的维持时间，单位为小时（h）；

H_0 ——测试维持时间，单位为小时（h）；

T_1 ——试验时平均环境温度，单位为开尔文（K）；

T_2 ——试验时被检件内平均压力对应的液氢的饱和温度，单位为开尔文（K）；

T_s ——标准大气压（101.325kPa）下液氢的饱和温度，单位为开尔文（K）。

C.7 试验记录和试验报告

C.7.1 检测记录格式按表 C.1。

C.7.2 检测报告格式按表 C.2。

表 C.2 维持时间检测报告

试验前仪器情况		试验介质	
充液结束时间		初始充装质量 kg	
试验开始时间		试验结束时间	
平均环境温度 ℃		平均大气压 kPa	
内容器有效容积 m ³		检测后仪器情况	
标态下的维持时间 h			
备注			

编制：

核对：

审核：

附 录 D

(资料性)

运输压力控制阀的使用要求

D.1 总则

本附录规定了液氢移动容器运输压力控制阀的使用要求。

D.2 使用要求

D.2.1 制造单位应根据使用单位提供的设计条件书中给出的初始压力、充满率等使用工况，完成各运输压力控制阀对应的单程运输时间的计算，并在移动液氢容器罐体上明确标示各运输压力控制阀对应的单程运输时间。

示例：

_____MPa 至 _____MPa，充满率_____%，单程运输时间：_____小时。

D.2.2 各运输压力控制阀上应标示动作压力等信息，防止误操作。

D.2.3 移动液氢容器启运前，应根据罐内初始压力、充满率、预计运输时间等因素选定开启的运输压力控制阀。移动液氢容器卸液后，应根据上述因素，重新选定开启的运输压力控制阀。

D.2.4 移动液氢容器实际运输时间应控制在单程运输时间范围之内。

D.2.5 使用单位应定期对运输压力控制阀进行校定。

D.2.6 运输过程中，所选定的运输压力控制阀应处于开启状态。装卸过程中，所有运输压力控制阀应处于关闭状态。

D.2.7 当液氢移动容器进行长途运输时，应每隔 2 小时或 150 公里停车一次，读取并记录内容器的压力。

D.2.8 移动液氢容器每次运输后，均应记录实际维持时间，并及时记录和汇报运输压力控制阀的异常动作。

D.2.9 当运输压力控制阀可能发生意外的超压动作，且在附近没有可用的卸液站点时，应将车辆尽快驶离车辆和人员聚集的区域，并在偏僻、安全的区域进行手动排气操作，确保泄放、操作的安全。

D.2.10 当换算到标准环境状态下的实际维持时间小于维持时间的 90%时，应对液氢移动容器进行恢复性能处理，否则不应再次充装液氢介质。

D.2.11 使用单位编制的应急预案应包含运输压力控制阀使用安全相关要求。