

T/CIEP

中国工业环保促进会团体标准

T/CIEP 0201—2024

液氢储存输送一体化运行规范

Integrated operation specification for liquid hydrogen storage and transportation

2024 - 12 - 25 发布

2024 - 12 - 25 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 液氢储罐的设置	2
5 液氢罐车、罐式集装箱运输	3
6 液氢卸车和增压设施	3
7 液氢输送管道	3
8 氢气管道的连接	4
9 输送一体化相关要求	4
附录 A（规范性）液氢管道和低温氢气管道及其组成件的低温冲击试验	6

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。

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。

本文件由中国工业环保促进会提出并归口。

本文件起草单位：中山先进低温技术研究院、航天晨光股份有限公司、杭氧集团股份有限公司、浙江中达新材料股份有限公司、中国成达工程有限公司、福建久策气体股份有限公司、江苏常宝普莱森钢管有限公司、山东中杰特种装备股份有限公司、杭州新亚低温科技有限公司、江苏呈森嘉泽能源科技有限公司、苏州杜尔气体化工装备有限公司、陕西氢能研究院有限公司、甘肃酒钢集团宏兴钢铁股份有限公司、航天氢能科技有限公司、江苏圣泰能网科技有限公司、无锡市法兰锻造有限公司、张家港中集圣达因低温装备有限公司、四川蜀道装备科技股份有限公司、新疆化工设计研究院有限责任公司、北京航天试验技术研究所、聚光科技（杭州）股份有限公司、吴忠仪表有限责任公司、湖北迪峰换热器股份有限公司、南通中集能源装备有限公司、中石化（天津）石油化工有限公司装备研究院、天津海泰检测科技有限公司、浙江蓝能氢能科技股份有限公司、苏州市苏皇金属软管有限公司、上海能源建设工程设计研究有限公司、湖州三井低温设备有限公司、河北润丰低温设备有限公司、北京燃气绿源达清洁燃料有限公司、淄博博山绿源燃气设备有限公司、惠州市华达通气体制造股份有限公司、浙江紫明低温科技有限公司、浙江大学、重庆耐德能源装备股份有限公司、中石油华东设计院有限公司、成都兰石低温科技有限公司、成都硕屋科技有限公司、简阳市中原低温设备配套有限公司、上海电机学院、北京世联中科国际能源应用科学研究院、北京汇文育才标准化技术服务有限公司。

本文件主要起草人：王倩、王少刚、李岸然、易忠烈、毛长钧、刘海洋、韩一松、王佳伟、陈小福、李育亮、傅皓、王凯悦、殷玲、吴禹强、高梦涵、高佩、张劲松、李传杰、刘易、姜永亮、郁利嘉、郁印捷、梁文清、朱秋璟、蔡惠智、黄晔、郑化安、李桂荣、妙丛、杨昌乐、毛玉海、陈世福、潘徐杰、金晓飞、孙娟、曹卫华、黄波、王智颖、何瑛、赵耀中、李亚鹏、路兰卿、俞大海、周永峰、陆炎飞、赵文宝、梁有伟、伍文明、罗永欣、蒋平安、周小翔、海航、王强、高丽岩、陈勇、陈凡、夏明、邝周凌、徐炜、李继惠、孙永康、李涛、汪国洪、刘旭、王旭、李宏雷、李国良、孙磊、张锡恒、翟鲁涛、曾扬文、薛观强、孙大明、唐永东、胡术生、张金桥、陈维银、赵志、赵一泽、陈正军、陈德东、王莹、曾伟、张海、候申奥、衣殿霞、王路路。

液氢储存输送一体化运行规范

1 范围

本文件规定了液氢储存和输送一体化运行过程中储存和输送所需要的液氢储罐的设置、液氢罐车、罐式集装箱运输、液氢卸车和增压设施、液氢输送管道、氢气管道的连接和输送一体化相关要求。

本文件适用于加氢站、厂区液氢的储存、输送、装卸等操作流程及安全技术要求。

本文件不适用于军事、国防、航天等领域大型液氢储存输送。

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 压力容器（所有部分）
- GB/T 229 金属材料夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 3836.14 爆炸性环境 第14部分：场所分类 爆炸性气体环境
- GB 4387 工业企业厂内铁路、道路运输安全规程
- GB 4962 氢气使用安全技术规程
- GB/T 12241 安全阀 一般要求
- GB/T 12243 弹簧直接载荷式安全阀
- GB/T 12778 金属夏比冲击断口测定方法
- GB/T 13347 石油气体管道阻火器
- GB/T 18442.3 固定式真空绝热深冷压力容器 第3部分：设计
- GB/T 20801 压力管道规范（所有部分）
- GB 21668 危险货物运输车辆结构要求
- GB/T 24499 氢气、氢能与氢能系统术语
- GB/T 29729 氢系统安全的基本要求
- 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 34542.1 氢气储存输送系统 第1部分：通用要求
- GB/T 34542.2 氢气储存输送系统 第2部分：金属材料与氢环境相容性试验方法
- GB/T 34542.3 氢气储存输送系统 第3部分：金属材料氢脆敏感度试验方法
- GB/T 34583 加氢站用储氢装置安全技术要求
- GB/T 40060 液氢贮存和运输技术要求
- GB 50156—2021 汽车加油加气站设计与施工规范
- GB 50169 电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范
- GB 50251 输气管道工程设计规范
- NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测
- NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
- JT/T 617 危险货物道路运输规则
- TSG R0005 移动式压力容器安全技术监察规程
- TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 24499界定的术语和定义适用于本文件。

4 液氢储罐的设置

4.1 液氢储罐应满足以下条件：

- a) 储罐内容器的最低设计金属温度不应高于 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 储罐内容器的容积应不超过 500 m^3 ，其工作压力范围应符合 GB 50156 的规定，厚度设定应满足 GB/T 18442.3 的规定；
- c) 液氢储罐应采用高真空多层绝热，绝热材料应符合 GB/T 31480 的规定，且应满足 GB/T 31481 的规定。内外容器间的支撑件宜选用导热率低、具备真空下放气率低、有良好低温韧性等性能的材料；
- d) 应根据力学性能、物理性能和工艺性能，以及与液氢的相容性选择液氢储罐的材料，相关性能应符合 GB/T 150 的规定；
- e) 液氢储罐的内外容器间的夹层中与氢接触的管路不应有法兰连接接头、螺纹连接接头和膨胀节，以确保储罐的密封性和安全性，具体要求应满足 GB/T 34583 的规定；
- f) 储罐应设有压力和温度测量仪表、安全泄放装置、气泄漏报警装置、氮气吹扫置换接口等附件，应记录容器操作参数。具体要求应符合 GB/T 29729 的规定；
- g) 液氢储罐的设计寿命应不少于 15 年，检验的周期应严格按 TSG 21 的规定执行，在周期内需要对储罐进行全面检查，包括外观、内部结构、防腐涂层、防雷接地等方面，如检查不合格则需及时修理或更换。

4.2 液氢储罐的内容器应设置全启式安全阀，外容器应设置超压泄放装置，并应符合下列规定：

- a) 内容器安全阀不应少于 2 个（组），其中 1 个（组）应为备用，每个（组）安全阀的排放能力应满足储罐过度充装、环境影响、火灾时热量输入等工况产生的氢气排放需要。同时可应用爆破片与安全阀串联，串联时两者之间的腔体应设置压力表、排气口及报警指示器等，爆破片爆破时要保证不能留有碎片；
- b) 内容器安全阀的整定压力 P_0 不应超过液氢储罐设计压力的 1.08 倍，安全阀的最大泄放压力不应大于 $1.1 P_0$ ；
- c) 安全阀的设置应符合 TSG 21 的有关规定；
- d) 安全阀的性能和质量应符合 GB/T 12241 和 GB/T 12243 的规定；
- e) 外容器超压泄放装置的开启压力不应大于外容器的设计压力。

4.3 液氢储罐其他阀门的设置应符合下列规定：

- a) 安全阀与储罐之间应设切断阀，切断阀在正常操作时应处于铅封开启状态或在连接使用安全阀与备用安全阀的管道上设置三通切换阀，保证至少有 50%的安全阀始终处于使用状态；
- b) 安全阀的设定压力应满足 GB/T 150 的规定；
- c) 液氢储罐液相管道靠近储罐应设置一道可远程控制操作的紧急切断阀，该阀与液氢储罐之间所有管道的连接应采用焊接；
- d) 液氢储罐内容器应设置泄压管道，管道上应设可远程控制操作的阀门。

4.4 液氢储罐应在控制室和就地分别设置指示压力和液位测量仪表，并应符合下列规定：

- a) 当压力达到 $0.95 P_0$ 时，应在控制室发出超压报警信号；
- b) 在控制室设置液位高报警、高高报警和液位低报警系统，液位高高报警时，应连锁关闭进液管道紧急切断阀。

4.5 液氢储罐额定充满率不应大于内容器几何容积的 90%，适用于常用的球形储罐和圆柱形储罐。

4.6 采用液氢增压泵输送液氢时，液氢泵的设置应符合下列规定：

- a) 应满足泵吸入压头要求；
- b) 泵的进、出口管道应设置防振（补偿）装置和全启封闭式安全阀；
- c) 在泵出口管道上应设置止回阀和压力检测仪表，并应在控制室和就地分别指示，达到压力高限值时应连锁停泵；
- d) 应设（进出口）温度检测仪表，并应在控制室和就地分别指示，超限时应报警；
- e) 应采取防噪声措施。

4.7 气化器的设置符合下列规定：

- a) 气化器的选用应符合当地冬季气温条件下的使用要求；

- b) 气化器的设计压力不应小于最大工作压力的 1.2 倍；
- c) 气化器出口气体温度应满足高压储氢设施使用温度要求；
- d) 气化器出口应设置温度和压力检测仪表，并应分别在现场及控制室指示温度和压力，同时参与液氢泵的联锁逻辑。

4.8 储罐的耐火极限及材料满足以下要求：

- a) 储罐基础的耐火极限不应低于 3.00 h，储罐支座的耐火极限不应低于 2.00 h；
- b) 储罐支座材料选取应符合 GB/T 150 的规定。

4.9 液氢储罐的设计单位应针对储罐制造阶段和使用阶段预期可能出现的所有工况编写风险评估报告。风险评估报告至少应包括下列内容：

- a) 液氢储罐的基本设计参数，包括工作条件、液氢危害特性、结构、材料、制造工艺；
- b) 描述所有可能出现的工况条件，主要包括内容器冷冲击试验、夹套抽空、运输、吊装、首次充液、正常充液、增压、对外供液等工况；
- c) 设计时，通过分析所有工况下可能发生的失效模式制定技术措施；
- d) 提出液氢少量泄漏、大量涌出、爆炸状况下的处置措施；
- e) 告知用户可能出现的破坏形式及破坏可能带来的危害性后果，提出防止容器出现破坏的措施；
- f) 提出一旦容器发生破坏时操作人员的防护装置、应采取的措施，便于用户制定合适的应急预案。

5 液氢罐车、罐式集装箱运输

5.1 液氢罐车、罐式集装箱的使用、运输、检修和管理应符合 GB 21668、JT/T 617、TSG R0005 的有关规定。

5.2 液氢罐车出发前，应确认罐车的运输时间和运输距离，并制定紧急情况排放措施，以确保运输过程中不在公路上排放液氢。罐车、罐式集装箱运输液氢时，要经常监视压力表的读数，不应超过压力规定值。当压力表读数异常升高时，罐车应开到人稀、空旷处，打开放空阀排气泄压，相关要求应满足 GB/T 3836.14 的规定。

5.3 液氢罐车压力接近安全阀起跳压力时，应将罐车行驶到空旷处排放，并设警戒线，应满足 GB/T 40060 的规定。

5.4 在工业企业厂区内，液氢的运输应按 GB 4387 的规定执行，液车或载有液氢罐式集装箱的车辆行驶速度不应超过 20 km/h，不应用手推行驶，禁止溜放。

5.5 装载液氢的液氢运输车应露天停放，切勿停放在靠近桥梁、隧道或地下通道的场所。

6 液氢卸车和增压设施

6.1 液氢罐车采用压差输送的卸车工艺或采用泵卸车工艺。卸车应尽量减少氢气排放。

6.2 连接液氢罐车的卸液管道上应设置切断阀和止回阀，气相管道上应设置切断阀。输送液氢的装卸阀门、软管和快速装卸接头应采用真空绝热或其他保温结构。

6.3 卸车软管应采用与液氢介质相容的材料，公称压力不得小于装卸系统工作压力的 2 倍，最小爆破压力不应小于公称压力的 4 倍。快速装卸接头应有良好的密封结构，装卸接头应带有防尘盖，具体要求应满足 GB/T 34542.2 的规定。

6.4 液氢管道应设置吹扫置换系统。液氢的装卸设施在装配前后均应进行充分的吹扫置换。

6.5 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，应设有积液盘、保护装置或警告标识。

7 液氢输送管道

7.1 管道系统的设计压力应不小于最大工作压力的 1.1 倍，且应不小于所连接设备（或容器）的设计压力与静压头之和，应满足 GB/T 20801 的规定。

7.2 管道的设计温度不应高于 -253 ℃，同时使用聚氨酯泡沫或高效隔热材料来确保管道的保温效果。

- 7.3 管道及其组成件应采用奥氏体不锈钢，并应进行低温冲击试验，低温冲击试验应符合附录 A 的有关规定。
- 7.4 管道材料氢脆敏感度应按照 GB/T 34542.3 的规定进行测试。
- 7.5 液氢管路的真空度应维持在 10^{-3} 到 10^{-5} Pa 之间，具体要求根据不同的设计标准和应用情况有所不同。
- 7.6 两端关闭且有可能存留液氢或低温氢气的管道，应设置安全阀或其他泄压装置，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，泄压排放的气体应接入放空管。
- 7.7 在操作过程中可能变冷结霜的管道应与常温构件保持 300 mm 及以上的间距，对于低温介质的出口和排放方向，周边及可能产生液化空气滴落的下方应设置积液盘。
- 7.8 阀门的选用和安装应符合下列规定：
- 液氢阀门与管道的连接应采用焊接连接，其中焊接接头应采用不带垫板的全焊透对接焊接接头。真空绝热阀门及与之相连的真空绝热管道应具有独立的真空腔，且不能与罐体的真空腔连通。增压泵后应采用卡套连接；
 - 远程控制的阀门均应具有手动操作功能。
- 7.9 氢气管道上应设有放空管、分析取样口和吹扫置换口，其位置应能满足管道内气体排放、取样、吹扫和置换要求。
- 7.10 放空管的设置，应符合下列规定：
- 氢气放空管管口处应设阻火器。阻火器的类型应根据放空管的排放流量、火源与阻火器的距离以及可能存在的爆轰风险来确定。对于小流量排放且火源与阻火器距离较远的情况，可以选用高性能网式阻火器。对于高流量排放或存在爆轰风险的情况，应使用防爆阻火器。通常情况下，火源与阻火器的距离应为管道直径的 50 倍至 100 倍。选用的阻火器应符合 GB/T 13347 的规定；
 - 应有防雨雪侵入和杂物堵塞的措施；
 - 压力大于 0.1 MPa 时，阻火器后的管材，应采用不锈钢，具体要求应满足 GB/T 34542.1 的规定；
 - 放空管管口应高出液氢储罐及以管口为中心半径 20 m 范围内的建筑物顶或设备平台 3.5 m 及以上，且距地面不应小于 5 m，位于排放口水平 20 m 以外斜上 45° 的范围不宜布置平台或建筑物；
 - 放空管应垂直设置，排放管口不能使氢气燃烧的辐射热和喷射火焰冲击到人或设备而发生人员伤害或设备性能损伤；
 - 氢气放空管高度应符合 GB 4962 的有关规定。

8 氢气管道的连接

- 8.1 外径小于或等于 26.4 mm，且设计压力大于或等于 20 MPa 的高压氢气管道应采用焊接方式连接。
- 8.2 氢气管道与设备的连接，根据需要宜采用焊接连接。
- 8.3 由于振动、压力脉动及温度变化等可能产生交变荷载的部位，不宜采用螺纹连接。
- 8.4 设计压力小于 20 MPa 的氢气管道的连接可采用焊接或法兰连接。
- 8.5 除非经过泄漏试验验证，螺纹连接不宜用于设计压力大于 48 MPa 的系统。
- 8.6 外螺纹组成件的壁厚不应小于 Sch160，对小于 DN15 的外螺纹组成件，螺纹部分的最小壁厚应满足其受到的应力小于管道屈服应力 50% 的要求。
- 8.7 液氢管道之间的连接宜采用焊接连接、卡套连接或真空法兰连接，焊接接头应采用不带垫板的全焊透对接焊接接头，增压泵后宜采用卡套连接：
- 焊接接头应进行冲击试验，且冲击性能达到母材要求；
 - 焊接接头应按 NB/T 47013.2 进行渗透试验，合格级别 I 级；
 - 焊接接头应按 NB/T 47013.5 进行渗透试验，合格级别 I 级。

9 输送一体化相关要求

- 9.1 一体化所需设备主要包括液氢容器、泵和阀门、输送管路和运输设备。

- 9.2 液氢罐车、罐式集装箱只有在得到有关人员同意后方可进入充灌场所进行充灌。充灌前，应对充灌的连接管道进行清管操作，直至管道内气体中杂质含量符合液氢容器的置换指标要求，清管要求应符合 GB 50251 的规定，充灌时要求有自动定量充装系统，充灌过程中操作人员尽量远离工作区。充灌操作应按操作规程进行，并应防止低温液体外溢。
- 9.3 进行充灌操作时必须控制输送压力和流量，确保受液罐不能因为上游压力或流量超标而产生超压风险，充灌容量应保持在内容器几何容积的 90%。
- 9.4 液氢罐车及罐式集装箱应有导静电接地装置，接地装置应符合 GB 50169 的规定。
- 9.5 任何需要人工操作的环节，操作人员必须进行释放静电和防静电操作，操作过程中不得用产生火花的金属工具敲击，摩擦生热等。

附录 A (规范性)

液氢管道和低温氢气管道及其组成件的低温冲击试验

- A.1 冲击试验方法应符合 GB/T 229 和 GB/T 12778 的规定。
- A.2 标准冲击试样应为 10 mm×10 mm×55 mm 夏比缺口冲击试样。
- A.3 若因截面尺寸限制无法制备标准试样时，也可采用厚度为 7.5 mm、5.0 mm、2.5 mm 的小尺寸试样或尽可能宽的小尺寸试样。小尺寸试样的缺口宽度不宜小于材料厚度的 80%。
- A.4 试样缺口应沿厚度方向切取，三个试样为一组。
- A.5 表 A.1 给出了使用温度低于 -196 °C 的冲击试验吸收能量和侧向膨胀量要求。参考 GB 50156—2021 的附录规定。

注1：采用小尺寸试样时，侧向膨胀量合格标准与标准试样相同，且三个试样均应合格。

注2：对于无法加工小试样的管材，经协商可在同炉号与成品管同热处理工艺且壁厚≥5 mm 的中间管上进行。

表 A.1 冲击试验的吸收能量和侧向膨胀量合格标准（母材、焊缝金属）

试样规格 (mm)	最低使用温度 (°C)	冲击试验温度 (°C)	冲击吸收能量 KV ₂ (J)	侧向膨胀量 LE (mm)
标准试样尺寸	<-196	-196	≥70	≥0.76
7.5×10×55	<-196	-196	≥52.5	≥0.76
5×10×55	<-196	-196	≥35	≥0.76
2.5×10×55	<-196	-196	≥12	≥0.76

- A.6 对于液氢压力容器用奥氏体型不锈钢钢材应更进一步进行 -253 °C（冲击试验温度）的冲击试验，液氢压力容器用奥氏体型不锈钢钢材应进行 -269 °C（冲击试验温度）的冲击试验，冲击性能指标应符合表 A.2 规定，具体要求应符合 GB/T 150 规定。

表 A.2 液氢、液氮冲击试验合格要求

试样规格 (mm)	最低使用温度 (°C)	冲击试验温度 (°C)	冲击吸收能量 KV ₂ (J)	侧向膨胀量 LE (mm)
标准试样尺寸（液氢）	<-196	-253	≥47	≥0.53
标准试样尺寸（液氮）	<-196	-269	≥47	≥0.53

- A.7 焊接接头的冲击试验应在焊接工艺评定中进行。
- A.8 表 A.3 为焊接接头冲击试验的试件制备、试样位置及数量要求。

表 A.3 试件制备、试样位置及数量要求

制备冲击试样的试件	试验的覆盖范围	试样位置及数量	冲击试验进行者
每一种焊接工艺 (WPQ)、每种焊接材料型号、每种焊剂均要进行一套冲击试验。试样的热处理状态与完工管道相同（包括热处理温度、保温时间、冷却速度）	试件厚度为 T，则可覆盖的厚度范围为 T/2 至 T+6 mm	焊缝金属（三个一组）： 试样横贯焊缝；缺口位于焊缝金属并垂直于接头表面；试样的一个表面尽可能接近接头表面热影响区（如需要三个一组）；缺口根部及其后的断口尽可能多地位于焊接接头的热影响区	制作、安装