

T/CIEP

中国工业环保促进会团体标准

T/CIEP XXXX—XXXX

氢氦两用储运装备设计运维指南

Guidelines for design, operation and maintenance of hydrogen-helium dual-purpose
storage and transportation equipment

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业环保促进会 发布

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专利的责任。

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：

本文件主要起草人：

氢氦两用储运装备设计运维指南

1 范围

本文件规定了氢氦两用装备的材料评估与选择、容器设计、标识与说明、使用操作、安全保障、搬运及运输、维护和保养。

本文件适用于氢氦两用装备的设计、生产、操作、管理及维护保养

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 29729—2022 氢系统安全的基本要求
GB/T 16556 自给开路式压缩空气呼吸器
GB 6220 长管呼吸器
GB/T 42612—2023 车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶
GB/T 42536—2023 车用高压储氢气瓶组合阀门
GB/T 40060—2021 液氢储存和运输技术要求
GB/T 45161—2024 液氢容器用安全阀技术规范
ISO 9809 钢制气瓶的设计、制造与试验
ISO 13985 液态氢燃料罐的材料选择与结构设计
ISO 8302 绝热材料稳态热阻及相关特性的测定——热板法
ASME B31.12 氢气管线与管道系统的设计与安装
ASME STP/PT—005 高压复合氢气罐的设计与测试

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

氢氦两用设备 hydrogen and helium dual-use equipment

能够同时用于存储和运输氢气与氦气、液氢与液氦的设备，包括储罐、管道、气瓶等

3.2

夏比冲击功 charpy impact energy

一种用于测定材料冲击韧性的试验方法，通过测量试样在冲击载荷下的断裂能量来评估材料的韧性。

4 材料评估与选择

4.1 反应性

所选材料应符合ISO 13985标准，氦气是惰性气体，要求与氢气具有低反应性，材料在高压氢气环境中需保持化学惰性，避免与氢气发生反应或分解，避免发生化学反应导致材料性能下降，需通过高压氢气循环试验（如温度-压力交变试验）模拟实际工况，验证材料寿命。

4.2 强度与韧性

4.2.1 材料符合 GB/T 42612-2023 标准，具有足够的强度和韧性。

4.2.2 规定材料的抗拉强度（Rm）和屈服强度（Rp0.2）的限值，通常参考 GB/T 713（压力容器用钢板）或 GB/T 24511（不锈钢板）等标准。

- 4.2.3 设计应力取抗拉强度和屈服强度者两者中的较小值，并除以相应的安全系数。
- 4.2.4 对正火、调质（淬火+回火）等工艺有明确规定，以确保材料强度。
- 4.2.5 根据使用温度和材料厚度，要求夏比冲击功的最小值。对低温容器（如-40°C以下），可能采用更严格的韧性指标。
- 4.2.6 按化学成分和工艺对材料分组，不同组别的冲击试验要求不同。

4.3 耐腐蚀性

材料应符合GB/T 2536-2023标准，具有良好的耐腐蚀性，特别是在氢气和氦气的长期接触下不发生腐蚀。要通过盐雾试验（中性和酸性盐雾测试），湿热试验（模拟高温高湿环境），化学介质浸泡（在特定酸碱溶液中的耐蚀性评估），电化学测试（如极化曲线、电化学阻抗谱）等测试要求。

4.4 绝热性

绝热材料多层绝热和堆积绝热的热导率需满足多层绝热材料的有效热导率通常在高真空（小于1mTorr）条件下为0.010mW/m·K到2mW/m·K，堆积绝热材料的热导率应不大于0.67 W/(m·K)，测试标准应满足ISO 8302（热板法）。需验证材料在超低温环境下的热收缩率、结构稳定性。

5 容器设计

5.1 一般要求

- 5.1.1 形状与容积、壁厚、开口及接管部位、耐压性与密封性应严格按照 ISO 9809 进行设计。支撑与防护设计应符合 ASME STP/PT-005 标准。
- 5.1.2 轻质气体低位注入且障碍物存在时，模拟结果中三种相似方法预测结果氢气分布与氦气工况中氦气分布特征整体上基本一致，基于相似方法可将氦气流动分布实验成果推广应用于氢气分布研究^[1]。

5.2 形状与容积

- 5.2.1 根据存储和运输需求进行设计，确保其结构稳定性和空间利用率。
- 5.2.2 气瓶必须为无缝圆柱形，两端采用半球形或碟形封头设计。直径与壁厚需符合强度计算要求，确保耐压性能。封头过渡区的曲率半径需平滑，避免应力集中。肩部与底部允许安装颈圈或底座，但不得影响气瓶整体结构强度。
- 5.2.3 实际容积与标称值的允许偏差通常为±5%。容积计算基于水容量测试，需排除阀门等附件的体积。

5.3 壁厚

- 5.3.1 壁厚应根据设计压力和材料强度进行计算，确保容器在高压下的安全性，同时避免过度设计导致不必要的重量增加。
- 5.3.2 气瓶的壁厚不得小于根据材料强度、气瓶直径和工作压力计算得出的最小值。
- 5.3.3 壁厚应尽可能均匀，避免局部过薄或过厚，以确保气瓶的整体强度和安全性。

5.4 开口及接管部位

- 5.4.1 开口及接管部位应进行加强设计，防止应力集中导致的破裂。通常采用圆弧过渡或锥形设计，以减少局部应力。
- 5.4.2 开口的尺寸（如直径、螺纹等）必须符合设计要求，并满足相关公差标准。
- 5.4.3 开口部位的壁厚应适当增加，以补偿因开口导致的强度损失。通常通过局部加厚或加强环实现。
- 5.4.4 接管材料应与气瓶主体材料相匹配，确保焊接或连接部位的强度和耐腐蚀性。
- 5.4.5 接管可以通过焊接、螺纹连接或其他可靠方式与气瓶主体连接。焊接接头必须符合相关焊接标准。
- 5.4.6 接管部位必须能够承受气瓶的工作压力、水压试验压力以及爆破压力，不得发生泄漏或失效。

5.5 支撑与防护设计

容器应配备适当的支撑和防护装置，防止在运输和使用过程中受到机械损伤。支撑和防护物应正确安装，确保与设备匹配并有效发挥作用。安装过程应遵循制造商的说明和行业最佳实践。安装后需进行检查和测试，确保符合设计要求。定期检查和维修，确保其长期有效性。设计和安装应符合 ASME STP/PT-005 标准。

5.6 耐压性与密封性

5.6.1 容器应通过 ISO 9809 标准的耐压试验和密封性试验，确保其在设计压力下的安全性和密封性。氦原子比氢分子更小，渗透性更强，储存容器需要更高的气密性，应符合氦气的储存要求。

5.6.2 每只气瓶需进行水压试验，压力至少为工作压力的 1.5 倍，持续时间不少于 30 秒，不得有泄漏或永久变形。气瓶的爆破压力应不低于工作压力的 2.25 倍，确保在极端情况下不会失效。

5.6.3 每只气瓶需进行气密性试验，通常使用空气或惰性气体，压力为工作压力的 1.1 倍，持续时间不少于 15 分钟，不得有泄漏。

5.6.4 气瓶的材料和制造工艺必须确保无缺陷，避免潜在的泄漏点。

5.7 附属设备

容器应按要求 ASME B31.12 配备必要的附属设备，如压力表、温度传感器、安全阀等。

6 标识与说明

6.1 气体标识

6.1.1 容器应按照标准明确标识所存储的气体种类（氢氦两用）。

6.1.2 应标识危险性说明：“易燃气体”、“高压气体”等。

6.1.3 应有安全警示：如“远离火源”、“保持通风”等。

6.1.4 在氢气设备、管道、阀门等关键部位设置标识。

6.1.5 在氢气储存区域入口及周边设置醒目标识。

6.1.6 使用标准安全色，如红色表示危险，黄色表示警告。

6.1.7 使用国际通用符号，如火焰符号表示易燃。

6.1.8 清晰、易读，使用中文，必要时可加英文。

6.1.9 定期检查，确保标识清晰、完好。

6.1.10 及时更换，如标识损坏或模糊，应立即更换。

6.1.11 标识应包含应急联系方式及处理措施。

6.2 安全标识

6.2.1 容器应标注安全警示标识，包括压力等级、操作温度范围等。

6.2.2 对安全标识的要求强调标识的醒目性、易理解性和合规性，确保用户能够快速识别潜在危险并采取正确措施。

6.2.3 制造商需严格按照标准设计、放置和维护安全标识，以保障用户安全。标识应符合 GB 2894 和 GB 191 的相应标准。

6.3 使用说明

容器应按照标准附带详细的使用说明书，涵盖操作步骤、安全注意事项、维护要求等。使用说明内容准确、清晰、完整，格式规范，并包含必要的安全警示和法律法规信息，以确保用户能够正确使用产品。使用说明标识应符合 GB 2894 和 GB 190 相关标准。

7 使用操作

7.1 操作人员要求

操作人员应经过专业培训，熟悉氢气和氦气的特性及安全操作规程。应熟练掌握充装和卸气设备的使用方法，包括压力表、阀门、管道等。能够严格按照标准流程进行充装和卸气操作，确保操作过程安全、规范。具备基本的故障识别和处理能力，能够在设备异常时采取正确措施。

7.2 充装及卸气操作规范

充气及卸气按以下要求操作：

- a) 充装和卸气操作应严格按照规范进行，确保操作过程中无泄漏、无超压现象。
- b) 充装前核对介质与容器标识一致，禁止混装。
- c) 检查容器余压，防止残留物质引发反应。
- d) 控制充装速度，避免超压或超温。
- e) 液化气体充装需监控充装量（不超过容积的 85%~95%）。
- f) 实时监测压力、温度参数，异常时立即停止。
- g) 充装后检查关闭阀门，检查密封性，张贴充装合格标签。
- h) 记录充装时间、操作人员、充装量等信息。
- i) 卸气前确认卸气设备完好，管道连接正确。
- j) 检查气瓶或容器压力，确保在安全范围内。
- k) 卸气过程中控制卸气速度，避免压力骤降，实时监控压力和温度，防止异常。
- l) 卸气后关闭阀门，检查设备状态，记录卸气数据，包括时间、压力、温度等。

8 安全保障

8.1 压力监测与控制

- 8.1.1 容器应配备压力监测装置，实时监控内部压力。
- 8.1.2 设备应配备高精度、可靠的压力传感器，用于实时监控关键部位的压力。
- 8.1.3 压力监测范围应覆盖设备正常工作压力及可能出现的异常压力范围。
- 8.1.4 压力数据应实时显示，并具备清晰的可视化界面。
- 8.1.5 当压力超出设定范围时，系统应能触发声光报警或其他形式的报警，提醒操作人员及时处
- 8.1.6 设备应配备自动压力调节系统（如减压阀、压力控制器等），确保压力稳定在设定范围内。
- 8.1.7 压力控制系统应能快速响应压力变化，避免压力波动过大。
- 8.1.8 除自动控制外，系统应具备手动调节功能，以便在紧急情况下进行人工干预。
- 8.1.9 设备应配备超压保护装置（如安全阀、爆破片等），当压力超过安全限值时，自动释放压力，防止设备损坏或事故发生。
- 8.1.10 氢气和氦气容器的静电释放和火花限制。氢气管道、设备、储罐等应采取防静电措施，确保静电接地良好，氢气管道的法兰连接处应采用金属线跨接，跨接电阻应不大于 $0.03\ \Omega$ 。符合 GB/T 50177 相关标准。

8.2 温度监测与调节

容器应配备温度监测装置，确保在低温环境下气体不会发生液化或冻结。液氢（ -253°C ）与液氦（ -269°C ）的储存要求不同，后者需更极端的低温技术，前者需要温度不能过高，温度需要保存在合适的范围之内。液氢容器的温度监测部位主要包括液氢储罐的内部温度、储罐夹层真空空间的温度以及与液氢接触的管道和阀门；液氦容器的温度监测部位包括液氦储罐的内部温度、储罐夹层真空空间的温度以及与液氦接触的管道和阀门。设备需配备温度传感器，实时监控关键部位的温度。传感器应具备高精度和可靠性，确保数据准确。

- a) 设备应配备自动温度调节系统，确保温度稳定在设定范围内。
- b) 调节系统应能快速响应温度变化，具备自动和手动调节功能。
- c) 系统应具备超温保护功能，防止温度过高引发危险。
- d) 系统应能记录温度数据，并生成报告供分析和审查。
- e) 记录数据应保存一定时间，便于追溯和审查。
- f) 定期维护和校准温度监测与调节系统，确保其长期稳定运行。

g) 维护和校准应按照标准要求进行，并记录相关操作。

8.3 泄漏检测与报警

8.3.1 容器应配备氢气泄漏检测装置，并在检测到泄漏时自动报警。泄漏检测装置需具备高灵敏度和快速响应能力，确保及时发现泄漏。

8.3.2 液氮属于超低温液体，有严重冻伤的危险，因此在装卸或处理液氮时，为预防可能产生的液氮喷射或飞溅，操作人员须依照安全要求戴上防护面罩和长臂的绝热手套。

8.3.3 氮气是惰性气体，高浓度时可使氧分压降低有窒息性危险，所以在密闭空间处理大规模液氮泄露时，泄露区人员应立即撤离至上风处。执行应急处理的操作人员，应穿上防护鞋，按照佩戴符合 GB/T16556 规定的自给开路式压缩气体呼吸器或者符合 GB6220 规定的长管呼吸器，同时应有安全监护人员在场情况下进行操作。在非密闭空间，在开放空间中，应尽快采取措施控制泄漏源，如关闭阀门、堵塞泄漏点等，使用适当的围栏或警示标志，防止无关人员进入泄漏区域。

8.3.4 操作人员的皮肤因接触液氮而冻伤时，应及时把受伤部位放入流动的温水冲洗，不应干加热，严重的冻伤应迅速至医院治疗。

9 搬运及运输

9.1 基本要求

氢氮两用装备的运输应符合标准，确保运输过程中的安全性。搬运和运输过程中应确保气体容器的安全，防止泄漏、碰撞或其他可能导致危险的情况。

9.2 运输方式

9.2.1 运输车辆应符合相关法规和标准，具备必要的安全设施，如防火、防爆装置。

9.2.2 气体容器在运输过程中应固定牢固，防止移动或倾倒。

9.2.3 车辆应配备灭火器和警示标志。

9.2.4 运输过程中应避免高温、明火或其他可能引发危险的环境，应当处于安全距离之外，参考附录 A。

9.3 搬运要求

使用适当的搬运工具和设备，如叉车、手推车等，确保容器稳固。避免粗暴操作，防止容器跌落或受到剧烈震动。搬运时应采取额外的防护措施。

10 维护和保养

10.1 定期检查

规定设备检查的时间间隔，如每月、每季度或每年。检查包括外观检查、压力测试、密封性测试等。检查结果需详细记录并存档。

10.2 维护措施

发现容器有损伤或性能下降时，应及时进行维护或更换。

a) 日常维护：清洁、润滑、紧固等常规操作。

b) 预防性维护：定期更换易损件，防止设备故障。

c) 应急维护：针对突发故障的应急处理措施。

10.3 部件更换

10.3.1 容器附属设备如压力表、安全阀等应定期更换，确保其正常工作。更换标准、更换流程、质量要求应按照标准严格执行。

10.3.2 更换过程中需遵守安全操作规程，防止气体泄漏等风险。更换工作需在符合安全要求的环境中进行，必要时采取防护措施。使用合适的工具和设备，确保更换过程顺利进行。

10.3.3 新部件需与原设备兼容，符合设计要求。更换部件需符合相关质量标准，必要时提供合格证明

10.3.4 制定应急预案，处理更换过程中可能出现的突发情况。确保安装正确，进行必要的测试。更换后需进行功能测试，确保设备正常运行。

附 录 A
(规范性)
安全距离参照表

暴露类型安全距离可参照表A.1。

表 A.1 安全距离参照表

暴露类型	安全距离 (m)
场地边缘、车辆停放区、公路/铁路线	3
允许有明火、吸烟或火种的区域	50
固体可燃材料的堆场，如木材，包括木材建筑及结构	3
地坑、下水道、地面排水管、地面以下系统的开口	3
办公室、餐厅等员工 或访客可能聚集的场所	3
压缩机或通风设备的进风口，燃料气体的排放口	3
大量的可燃性介质	3

参 考 文 献

- [1] 王田林, 曹学武. 空间中氦气与氢气分布相似性分析[J]. 核科学与工程, 2021, 41(03): 561-568.
-