

T/GDASE

团 体 标 准

T/GDASE 0033.1—2022

液 氢 气 瓶 第 1 部分：材料、设计、制造、检验 与 试 验

Liquid hydrogen cylinder
Part 1: Material, design, fabrication, inspection and testing

2022 - 12 - 15 发布

2023 - 01 - 01 实施

广东省特种设备行业协会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	5
4 符号	6
5 型号和基本参数	6
6 材料	7
7 设计	8
8 制造、试验和检验	11
9 标志、包装、运输和存放	20
10 出厂资料	21
11 资料保存	21
附 录 A （资料性）氢在饱和状态下的热力学数据	22
附 录 B （规范性）最大准许充装系数	23
附 录 C （规范性）阀门进口接头与出口接头	24
附 录 D （规范性）振动试验	27
附 录 E （规范性）跌落试验	28
附 录 F （规范性）安全泄放量和泄放面积	29

前 言

T/GDASE 0033《液氢气瓶》分为以下2部分：

——第1部分：材料、设计、制造、检验与试验

——第2部分：操作要求

本部分为T/GDASE 0033的第1部分。

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。

本文件由广东省特种设备行业协会提出并归口。

本文件起草单位：广东省特种设备检测研究院、北京天海工业有限公司、鸿达兴业集团、中国特种设备检测研究院、张家港中集圣达因低温装备有限公司、广东华南特种气体研究所有限公司、中科富海（中山）低温装备制造有限公司、成都兰石低温科技有限公司、浙江大学、华南理工大学

本文件主要起草人：郭晋、郑任重、夏莉、朱鸣、张耕、李兆亭、杨刚、姚欣、徐瑶、李天资、龚伟、周池楼、瞿全炎、胡华胜、李波、甄沛权、屈莎莎、胡昆、罗孝、谭粤、李蔚、熊伟明

本文件为首次发布。

引 言

本文件的编制遵循了TSG 23-2021《气瓶安全技术规程》的要求，并参考了GB/T 24159-2022《焊接绝热气瓶》、美国49CFR§178.57:2018《Specification 4L welded insulated cylinders》（DOT-4L:2018）、CGA S-1.2:2009《Pressure Relief Device Standards Part 2-Portable containers for compressed gases》和CGA H-3:2019《Standard for cryogenic hydrogen storage》及国际标准ISO 13985:2006《Liquid hydrogen-Land vehicle fuel tanks》的相关规定，对液氢气瓶的材料、设计、制造、检验与试验等方面提出了专项要求。制造单位在执行本文件时，应根据自身条件制定企业标准，用于指导液氢气瓶的生产，参考本文件制定的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、也不可能囊括范围规定的液氢气瓶的所有技术细节。在满足法规所规定的安全要求的前提下，不禁止本文件没有提及的技术内容。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：应对其对产品的一切负责，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，发布机构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。

本文件未经发布机构书面授权或认可的其他机构对本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，发布机构不承担任何责任。

本文件不包含液氢气瓶的生产许可，其生产许可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。

液氢气瓶

第1部分：材料、设计、制造、检验与试验

1 范围

T/GDASE 0033的本部分规定了液氢气瓶（以下简称“气瓶”）的术语和定义，符号，型号和基本参数，材料，设计，制造、检验和试验，标志、包装、运输和存放，出厂资料，资料保存等要求。

本部分适用于在正常环境温度（-40℃~60℃）下使用，贮存液氢（仲氢体积含量不低于95%，热力学数据见附录A），设计温度不高于-253℃，公称工作压力为0.2MPa~3.5MPa，公称容积为150L~450L，可重复充装的立式气瓶。

注：本文件凡未注明的压力均指表压。

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 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 1804 一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差
- GB/T 1954 铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法
- GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- GB 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求
- GB/T 7144 气瓶颜色标志
- GB/T 9251 气瓶水压试验方法
- GB/T 12137 气瓶气密性试验方法
- 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 13005 气瓶术语
- GB 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- GB/T 13305 不锈钢中 α -相面积含量金相测定法
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 16804 气瓶警示标签
- GB/T 17925 气瓶对接焊缝X射线数字成像检测
- GB/T 18442.1 固定式真空绝热深冷压力容器 第1部分：总则
- 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 18443.2 真空绝热深冷设备性能试验方法 第2部分：真空度测量
- GB/T 18443.3 真空绝热深冷设备性能试验方法 第3部分：漏率测量
- GB/T 18443.4 真空绝热深冷设备性能试验方法 第4部分：漏放气速率测量
- GB/T 18443.5 真空绝热深冷设备性能试验方法 第5部分：静态蒸发率测量
- GB/T 18443.8 真空绝热深冷设备性能试验方法 第8部分：容积测量
- GB/T 24499 氢气、氢能与氢能系统术语
- GB/T 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带
- GB/T 25198 压力容器封头

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 33209 焊接气瓶焊接工艺评定
 GB/T 33215 气瓶安全泄压装置
 JB 4732-1995 钢制压力容器—分析设计文件
 JB/T 6896 空气分离设备表面清洁度
 NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
 NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测
 NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
 NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
 NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测
 NB/T 47013.14 承压设备无损检测 第14部分：X射线计算机辅助成像检测
 NB/T 47018.1 承压设备用焊接材料订货技术条件 第1部分：采购通则
 NB/T 47018.3 承压设备用焊接材料订货技术条件 第3部分：气体保护电弧焊钢焊丝和填充丝

3 术语和定义

GB/T 12241、GB/T 13005、GB/T 18442.1、GB/T 18442.3、GB/T 18443.2、GB/T 24499、GB/T 26929及GB/T 33209界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

氢 hydrogen

最轻的化学元素，符号H，原子数1，原子量1.008，是地球的重要组成元素。

[来源：GB/T 24499-2009，2.1]

3.2

液氢 liquid hydrogen

液氢是一种无色、透明的低温液体，正常沸点为20.38K，沸点时密度为70.77kg/m³。

[来源：GB/T 24499-2009，2.18，有修改]

3.3

液氢气瓶 liquid hydrogen cylinder

盛装液氢的焊接绝热气瓶。

3.4

批量 lot/batch

以相同规则组成的一定数量的产品。

3.4.1

内胆批量 lot/batch of inner containment vessels

采用同一设计、同一牌号材料、同一工艺（主要指焊接工艺、无损检测工艺、压力试验工艺）连续生产的内胆所限定的数量。

3.4.2

产品批量 lot/batch of cylinders

采用同一设计、同一工艺、同一设备（主要指绝热工艺、抽真空工艺）连续生产的产品所限定的数量。

3.5

气瓶自重 tare of cylinder

满足充装、贮存、运输、使用及安全等基本功能的空瓶质量。

3.6

有效容积 effective volume

准许充装的最大液体体积。

3.7

低温点 cold spot

温度比周围阴凉处的空气低5K或更低的部位。

3.8

传热系数 coefficient of heat transfer

单位面积、单位温度差及单位时间内冷热流体之间所能传递的热量，表征传热过程强弱。

[来源：GB/T 18517-2012，2.6.2，有修改]

3.9

自由空气 free air

绝对压力 1.01325×10^5 Pa，15.6 °C下测定的空气。

4 符号

下列符号适用于本文件。

D_i : 封头或筒体的内直径，mm。

D_o : 封头或筒体的外直径，mm。

E_o : 材料的弹性模量，MPa。

g : 重力加速度， $g=9.81 \text{ m/s}^2$ 。

H_i : 封头内高度，等于封头内曲面深度与封头直边高度之和，mm。

h_i : 封头内曲面深度，mm。

h_o : 封头外曲面总高度， $h_o=h_i+S_n$ ；mm。

k_l : 由椭圆长短轴比值决定的系数。

L : 筒体长度与每个封头的直边高度、内曲面深度的1/3的总和，mm。

P : 公称工作压力，MPa。

P_{cr} : 临界压力，MPa。

P_d : 设计压力，MPa。

P_f : 安全泄压装置的排放压力，MPa。

P_t : 耐压试验压力，MPa。

P_z : 安全阀整定压力，MPa。

P_l : 外压力，MPa。

R : 碟形封头的球壳外半径及椭圆封头的当量球壳外半径，mm。

S : 设计壁厚，mm。

S_b : 筒体实测最小壁厚，mm。

S_e : 有效厚度，等于名义壁厚减去腐蚀裕量和钢材厚度负偏差，mm。

S_h : 封头成形后的最小壁厚，mm。

S_n : 名义壁厚，mm。

σ : 壁应力，MPa。

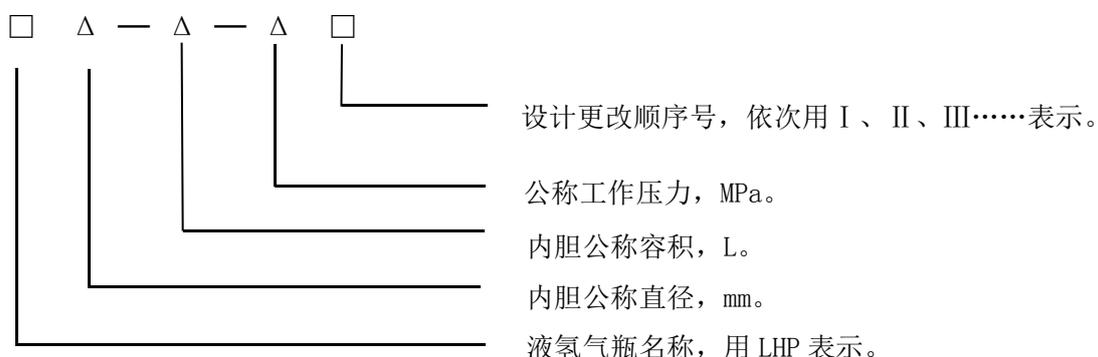
ΔH_i : 封头内高度公差，mm。

$\Delta \pi D_i$: 封头内圆周长公差，mm。

5 型号和基本参数

5.1 型号

气瓶型号按下列规定命名。



例: LHP450-175-0.7表示内胆内直径为450mm, 公称容积为175L, 工作压力为0.7MPa的液氢气瓶。

5.2 基本参数

5.2.1 公称容积和内胆内直径

公称容积和内胆内直径宜按照表1选取。公称容积宜取5的整数倍。

表1 公称容积和内胆内直径

公称容积 / L	150~200	200~450
内胆内直径 / mm	350~550	450~800

5.2.2 压力

5.2.2.1 内胆筒壁厚的内压计算所采用的压力为设计压力, 设计压力为内胆耐压试验压力。内胆耐压试验压力不应小于2倍公称工作压力 ($P_d = P_i \geq 2P$)。

5.2.2.2 气瓶外壳承受的外压力不应小于0.21MPa。

5.2.2.3 气密性试验压力不应小于公称工作压力。

5.2.3 有效容积

有效容积不应大于公称容积的90%。

6 材料

6.1 一般要求

6.1.1 材料的选择应考虑其力学性能、物理性能和工艺性能以及与液氢的相容性。

6.1.2 受压元件和焊接材料从材料制造单位采购时, 应取得材料制造单位提供的材料质量证明书原件; 原件应盖有材料制造单位质量检验章和印有可追溯的信息化标志(二维码、条形码等), 可追溯信息化标志至少包括材料制造单位信息、材料牌号、规格、炉批号、交货状态、质量证明书签发日期等。从非材料制造单位采购时, 应取得材料制造单位提供的材料质量证明书原件或复印件, 复印件应加盖材料供应单位检验公章和经办人章。

6.2 内胆材料

6.2.1 内胆材料应采用固溶状态交货的奥氏体不锈钢。

6.2.2 内胆主体(筒体和封头)、管接头、管座或凸缘、夹层空间管道、补强板等与液氢或低温蒸汽接触的材料铁素体含量不大于7%。

6.2.3 内胆受压元件、焊接在内胆上的垫板等以及与液氢或低温蒸汽接触的材料除满足表2和表3要求外, 还应满足如下要求:

——内胆主体符合GB/T 24511的规定和设计文件要求;

- 管接头、管座或凸缘符合 NB/T 47010 的规定，等级不低于Ⅲ级；
- 夹层空间管道采用奥氏体不锈钢时符合 GB 13296 或 GB/T 14976 的规定；
- 焊接在内胆上的补强板、垫板等符合 GB/T 24511 的规定。

6.2.4 内胆材料的化学成分及允许偏差应符合表 2 的规定。

表 2 化学成分及允许偏差

化学成分	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	N
质量百分数	≤0.08	≤2.00	≤0.035	≤0.015	≤0.75	10.50~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00	≤0.1
允许偏差	±0.01	±0.04	+0.005	+0.005	±0.05	±0.10	±0.20	±0.01	±0.01

6.2.5 内胆材料的力学性能应符合表 3 和设计文件的要求。

表 3 力学性能

试验项目	抗拉强度 R_m MPa	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ MPa	断后伸长率 A %	冲击吸收能 KV_2 J	侧向膨胀量 LE mm
试验温度	室温			-196℃	
规定值	≥520	≥220	≥40	≥38	≥0.53
注1：冲击采用3个10mm×10mm×55mm的标准试样，冲击吸收能平均值应满足规定值，至多允许有1个试样的冲击吸收能低于规定值，但不应低于规定值的70%。 注2：当材料尺寸无法制备标准试样时，根据实际情况制备宽度为7.5mm、5mm、2.5mm的试样；其冲击吸收能分别为标准试样的75%、50%、25%。侧向膨胀量按照标准试样规定值。					

6.3 焊接材料

焊接材料应符合NB/T 47018.1及NB/T 47018.3的规定；内胆焊接材料的熔敷金属还应满足表4的要求。

表 4 熔敷金属试验

试验项目	试验数量	试验温度	合格指标	试验方法
铁素体含量测量	1块	室温	≤7%	GB/T 1954
拉伸	1个		抗拉强度： $R_m \geq 520 \text{MPa}$	GB/T 228.1
			规定塑性延伸强度 $R_{p0.2} \geq 220 \text{MPa}$	
冲击试验	1组（3个）	-196℃	冲击吸收能 $KV_2 \geq 38 \text{J}$	GB/T 229

6.4 附件材料

压力表的测压部件、管道阀门的阀座、真空隔离阀的阀座、真空规管的壳体、抽真空座及堵头宜采用奥氏体不锈钢。管道阀门的密封材料宜采用聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、聚全氟乙丙烯等非金属材料。

6.5 外壳材料

外壳应采用奥氏体不锈钢。

6.6 绝热材料

绝热材料性能应符合GB/T 31480规定，且不应与氧气或者富氧气氛发生危险性反应。

6.7 吸附材料

吸附材料应与所贮存的氢相容，还应满足氧相容，不应使用活性炭。

7 设计

7.1 一般要求

7.1.1 组成

气瓶主要由内胆、外壳、绝热系统、内胆与外壳之间的连接件、阀门管路系统、保护阀门管路系统的保护装置、底座等组成。阀门管路系统包括管路阀门、仪表、安全阀、管件、管道及其支撑件。保护装置宜是保护罩、保护圈（环）、框架等。

7.1.2 性能指标

静态蒸发率、内胆漏气速率、真空夹层漏气速率、真空夹层漏放气速率、真空夹层常温真空度按表5的规定。

表5 性能指标

公称容积/ (L)	150	175	200	300	450
静态蒸发率上限（液氮作为介质） η /（%/d）	3.0	2.6	2.3	1.5	1.0
内胆漏气速率（20℃）/（Pa·m ³ /s）	$\leq 6 \times 10^{-9}$				
真空夹层漏气速率（20℃）/（Pa·m ³ /s）	$\leq 6 \times 10^{-8}$				
真空夹层漏放气速率（20℃）/（Pa·m ³ /s）	$\leq 6 \times 10^{-7}$				
真空夹层常温真空度（绝对压力）/（Pa）	$\leq 2 \times 10^{-2}$				

7.1.3 最大充装体积与最大充装质量

7.1.3.1 任何情况下，压力达到主安全阀的整定压力时，液氢的液相体积不应超过公称容积的93%。

7.1.3.2 最大充装质量是公称容积与附录B规定的最大准许密度充装系数的乘积按照8.24规定的方法得出的质量。

7.1.4 设计使用年限

设计使用年限不应超过10年，且应在设计文件中注明并作为铭牌的内容。

7.1.5 静电

气瓶整体应设计为防静电结构，确保瓶体、阀门等任何与液氢接触部分具有导电连贯性，总接地电阻不大于10Ω。

7.1.6 阀门进口接头与出口接头

一端与阀门连接、另一端与软管等连接的进口接头与出口接头应符合附录C的规定，与阀门的连接应选用以下方式：

- 银钎焊、焊接或其他需通过破坏才可拆卸的方式；或
- 需采用专用工具才可拆卸的防拆卸装置。

7.1.7 仪表

7.1.7.1 需要用电的测量仪表，应符合GB 3836.1的规定，防爆等级应不低于II类，C级，T1组，精度不低于±2%FS。

7.1.7.2 机械压力表的测压元件应采用弹簧管式，量程宜为公称工作压力的1.5倍~3.0倍，精度不低于2.5级。

7.1.7.3 夹层空间宜设置便于直接检测真空的阀门、真空规管等部件。真空规管的可测范围不低于 2×10^{-2} Pa（绝压）。

7.2 内胆

7.2.1 内胆主体不应超过三部分，即纵焊缝不多于一条，环焊缝不多于两条。

7.2.2 内胆封头应凹面承受压力，形状为半球形或长短轴比为2:1的标准椭圆形，最小壁厚不应小于按照公式（1）计算所得的筒体设计壁厚值的0.9倍。

$$S = \frac{D_i}{2} \times \left(\sqrt{\frac{0.4P_d + \sigma}{\sigma - 1.3P_d}} - 1 \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中，壁应力 σ 取下列各项中的最小值：

- 310 MPa；
- 复验时测定的母材的最小抗拉强度 R_m 的50%；
- 复验时测定的母材的规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ ；
- 产品试件的最小抗拉强度 R_m 的50%；
- 对于有纵缝的内胆，壁应力不应超过上述各项中最小值的85%。

7.2.3 内胆筒体的内压设计壁厚不小于按照公式（1）计算的值，且名义厚度不应小于3mm。

7.2.4 只准许在封头上开孔，开孔应是圆形，且应焊装管接头、管座或凸缘等。开孔直径不应大于封头内直径的1/3，且不应大于76mm，开孔边缘应位于以封头中心为中心80%封头内直径的范围内。当开孔直径、开孔边缘超出本文件规定时，应按照JB 4732-1995的规定进行强度校核。

7.3 外壳

7.3.1 外壳筒体按照公式（2）得出的外压力 P_1 应满足5.2.2.2的要求。

$$P_1 = \frac{2.6E_0 \left(S_e/D_0 \right)^{2.5}}{\left[\left(L/D_0 \right) - 0.45 \left(S_e/D_0 \right)^{0.5} \right]} \dots\dots\dots (2)$$

7.3.2 外壳封头按照公式（3）得出的外压力 P_1 应满足5.2.2.2的要求。碟形封头的R是球壳外半径；椭圆形封头的R是当量球壳外半径， $R=K_1D_0$ ， K_1 按照表6选取：

$$P_1 = 0.25E_0 \left(S_f/R \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

表6 系数 K_1 值

$D_0/2h_0$	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
K_1	1.18	1.08	0.99	0.90	0.81	0.73	0.65	0.57	0.50
注1：中间值采用内插法求得； 注2： $K_1=0.9$ 为标准椭圆形封头。									

7.4 内胆与外壳之间的连接件

7.4.1 内胆与外壳之间的连接件计算时应认为在各方向的载荷是孤立作用的，且水平垂直于轴线方向的载荷不应低于最大质量与2g的乘积，垂直方向的载荷不应低于最大质量与3g的乘积。

注：“最大质量”是液氮质量（标准大气压下饱和液氮充装至50%有效容积）、内胆金属质量及绝热层质量之和。

7.4.2 内胆与外壳之间的连接件在7.4.1载荷情况下的应力不应大于材料常温屈服强度（或规定塑性延伸强度）的2/3。

7.4.3 内胆与外壳之间的连接件按照附录D和附录E的试验方法验证。

7.5 阀门管路系统

7.5.1 一般要求

7.5.1.1 外部管道、管道阀门宜采用真空绝热形式；采用非真空绝热形式时，绝热层的厚度应能防止最外层外形成低温点。

7.5.1.2 截止阀在低温条件下应满足外漏漏率不大于 $1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，内漏漏率不大于 $1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

7.5.1.3 用于液相或低温蒸汽的截止阀宜采用加长阀杆。

7.5.2 管路

7.5.2.1 内胆中应设有吹扫置换功能的管道，或者供抽空置换处理的接口。

7.5.2.2 夹层管道壁厚不应小于1.5mm，且结构能满足热胀冷缩引起的变形。

7.5.2.3 安全泄放管道截面积应不小于安全阀的进口面积总和，且能确保排放能力不低于所需的安全泄放量；进口管道应位于内胆顶部，其进口最低点应位于 98%公称容积的液面以上，且从内胆到安全阀进口的压降不应超过 3%。

7.6 保护装置及底座

7.6.1 保护装置应采用金属材料制成，与瓶体的连接应采用焊接方式；应适应运输、装载过程中的静态和动态载荷；应按附录 E 进行试验。

7.6.2 底座应保证气瓶的稳定性，且应适用于运输、装载过程中的静态和动态载荷。

7.7 压力泄放系统

7.7.1 一般要求

7.7.1.1 气瓶应配备安全阀、压力泄放阀等组成的保证气瓶安全的压力泄放系统。

7.7.1.2 安全泄放量及所需的泄放面积按照附录 F 的规定计算。

7.7.2 安全泄压装置

7.7.2.1 气瓶应并联设置主、副两级安全阀。

7.7.2.2 主安全阀的整定压力不应大于 1.1 倍公称工作压力 ($P_2 \leq 1.1P$)；副安全阀的整定压力应为 1.3 倍~1.5 倍公称工作压力 ($1.3P \leq P_2 \leq 1.5P$)。

7.7.2.3 主、副安全阀的排放压力都不应大于 1.1 倍整定压力。安全阀应满足 GB/T 12243 的规定，回座压力不低于 90%整定压力；安全阀应通过相关的型式试验验证。

7.8 外壳泄压装置

外壳应设置泄压装置，且应满足如下规定：

- 泄放压力不应大于 0.1 MPa；
- 最小泄放面积不应小于内胆公称容积与 0.34 mm²/L 的乘积，且最小直径不小于 6mm；
- 不应采用重闭式结构；
- 在泄放时如部件可能弹出伤人，应有防护措施。

7.9 绝热系统

绝热系统设计应满足外壳在 649℃ 的温度和经受 30 分钟的条件，绝热材料的保温性能不改变。

8 制造、试验和检验

8.1 单位职责

8.1.1 制造单位正式生产前，用于制造的文件应已通过鉴定批准，按照此文件生产的气瓶应已通过型式试验验证。

8.1.2 制造单位的检查部门应按照本文件及设计文件规定的要求进行检验和试验，出具相应的报告，并对报告的正确性和完整性负责。

8.2 组批

8.2.1 按照内胆组批进行制造，同一批内胆的筒节材料批号应相同。产品组批在内胆组批的基础上进行；同一内胆批量宜为一个产品批量，也可以组成多个产品批量。

8.2.2 一批内胆数量不应大于 100 只（不包括破坏性检验用瓶）。

8.3 材料复验

8.3.1 用于制造内胆的钢板、锻件按材料准和设计要求进行复验。按炉罐号复验化学成分，复验结果应符合 6.2.4 的要求；按照批号进行力学性能复验结果应符合 6.2.5 的要求；按批按照 GB/T 13305 规定的方法进行铁素体含量测量，结果应符合 6.2.2 的要求。

8.3.2 焊接材料按材料准和设计要求进行复验，结果应符合 6.3 的要求。

8.4 标志移植

受压元件的材料应有可追溯的标志。在制造过程中如果原标志被裁掉或材料被分成几块时，制造单位应规定标志的表达方式。在材料分割前用无氯无硫的记号笔或激光标志完成移植标记等，不应采用硬印标记。

8.5 筒体

8.5.1 筒体纵缝对口错边量 b_s [见图 1 (a)]不应大于 $0.1 S_n$ ；筒体纵缝形成的环向棱角高度 E_s （见图 2），宜用弦长等于 $D_i/2$ ，但不大于 300 mm 的内样板（或外样板）和直尺检测，其值不应大于 $0.1 S_n+2\text{mm}$ 。

8.5.2 筒体制作完成后，同一横截面最大最小内径差 e 不应大于 $0.01 D_i$ 。

8.5.3 筒体卷制完毕后，铁素体含量高于 7%时应进行固溶处理。

8.5.4 板材表面不应有影响正常使用的缺陷，对于尖锐划痕应进行修磨，修磨斜度最大为 1:3，修磨处应圆滑光洁，且厚度满足设计文件要求。

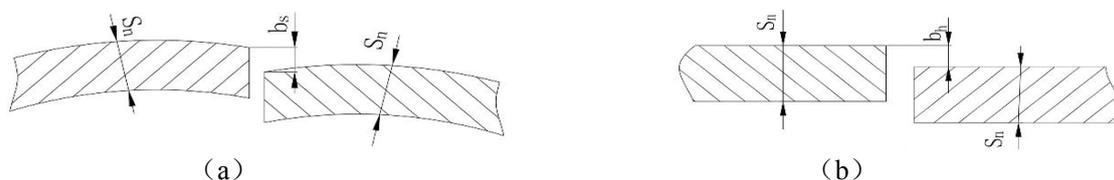


图 1 纵缝、环缝的对口错边量

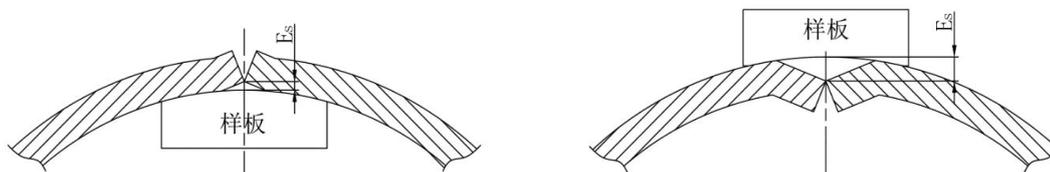


图 2 纵缝的环向棱角高度

8.6 封头

8.6.1 用于制造封头的板材不应拼接；表面不应有影响正常使用的缺陷，对于尖锐划痕按 8.5.4 处理。

8.6.2 封头外观不应有突变、裂纹、起皮、折皱等缺陷，成形后最小壁厚应符合设计文件要求。

8.6.3 内胆封头在以下情况时应进行固溶处理：

——采用复验的断后伸长率低于 50%的材料制作的；

——冷成型后铁素体含量高于 7%的。

8.6.4 阀门管路系统端的外壳封头应在便于观察的部位压制明显凸起的氢符号“LH₂”，字体的高度不宜小于 40mm。

8.6.5 封头形状与尺寸公差应满足表 7 的规定，其余应符合 GB/T 25198 规定。

表 7 封头形状与尺寸公差

单位为毫米

内直径 D_i	封头形状与尺寸公差						
	内圆周长公差 $\Delta\pi D_i$	曲面与样板间隙 a	表面凹凸量 c	最大最小直径差 e	直边倾斜度		封头内高度公差 ΔH_i
					外倾	内倾	
<400	± 4.0	≤ 2	≤ 1	≤ 2	≤ 1.5	≤ 1.0	+5
$\leq 400 \sim 800$	± 6.0	≤ 3	≤ 2	≤ 3			-3

8.7 未注公差要求

未注公差尺寸的线性尺寸极限偏差按GB/T 1804规定：机械加工表面为中等m级；非机械加工表面为粗糙c级。

8.8 组装

8.8.1 元件组装前应检查合格，受压元件不准进行强力对中、找平。

8.8.2 封头与筒体对接环缝对口错边量 b_h [见图 1 (b)]不应大于 $0.25 S_n$ ；封头与筒体形成的轴向棱角高度 E_h （见图 3）不应大于 $0.1 S_n + 2 \text{ mm}$ ，检验尺的长度不应小于 150 mm。



图 3 环焊缝轴向棱角高度示意图

8.8.3 焊接在内筒体上的元件应避开内筒体的纵、环焊接接头。

8.9 焊接

8.9.1 焊前准备及施焊环境

8.9.1.1 焊接材料的贮存库应保持干燥，相对湿度不大于 60%。

8.9.1.2 焊接（包括焊接返修）应在清洁、干燥的室内专用场地上进行。当施焊环境出现下列任一情况，且无有效防护措施时，不应施焊：

- 气体保护焊时风速大于 2 m/s；
- 相对湿度大于 90%；
- 焊件温度低于 -20°C 。

8.9.1.3 焊件温度低于 0°C ，但不低于 -20°C 时，应在始焊处 100mm 范围内加热到 15°C 以上。

8.9.2 坡口要求

8.9.2.1 坡口的形状和尺寸，应符合设计文件规定。坡口表面不应有裂纹、分层、夹杂等缺陷。

8.9.2.2 施焊前，应清除坡口及两侧母材表面至少 20 mm 范围内（以坡口边缘计）的氧化物、油污等其他有害杂质。

8.9.3 连接接头

8.9.3.1 纵、环焊接接头应采用全焊透对接型式。纵向焊接接头不应有永久性垫板；环向焊接接头准许采用永久性垫板或锁底结构。

8.9.3.2 焊接到内胆封头或筒体上的元件应采用熔化焊的方法，管接头、管座或凸缘等与封头的焊接应采用全焊透接头。

8.9.3.3 钎焊和螺纹连接仅准许用于与内胆不直接连接的接头。

8.9.4 内胆焊接工艺评定

8.9.4.1 内胆的纵、环焊接接头以及所有元件与内胆的焊接接头均应进行焊接工艺评定。焊接工艺评定要求应符合本文件和 GB/T 33209 的规定。

8.9.4.2 内胆纵、环焊接接头焊接工艺评定试验结果要求如下：

- 拉伸试样无论断裂发生在任何位置，实测抗拉强度不应小于 6.2.5 的规定；
- 试样弯曲到 180° 后，其拉伸面上的焊缝和热影响区内，不应有开口缺陷，试样的棱角开口缺陷一般不计，但由未熔合、夹渣或其他内部缺欠引起的棱角开口缺陷长度应计入；
- 试样冲击结果符合 6.2.5 的规定。

8.9.5 内胆焊接

8.9.5.1 焊接设备、焊接标识

内胆的纵、环向焊接接头宜采用机械化气体保护焊。施焊后，焊接接头应有可跟踪的标识和记录。标识不应采用硬印标记。

8.9.5.2 引弧板和熄弧板

施焊时，环向焊接接头不应在非焊接处引弧，纵向焊接接头应有引弧板和熄弧板。去除引、熄弧板时，应采用切除的方法，并磨平切除处；严禁使用敲击的方法。

8.9.5.3 产品焊接试件

8.9.5.3.1 每批内胆应制作试样瓶或产品焊接试件进行力学性能试验和弯曲性能试验，试件的材料批号应与内胆的相同。采用同一焊接工艺连续焊接的 10 个试样瓶或产品焊接试件通过试验后，可将试验减少到每 100 个内胆用一个试样瓶或焊接试件。取样按照如下规定：

- a) 纵、环焊接接头焊接工艺不同时，纵、环焊接接头应分别取样；
- b) 纵、环焊接接头焊接工艺相同时，可只从纵向平板焊接试件取样。

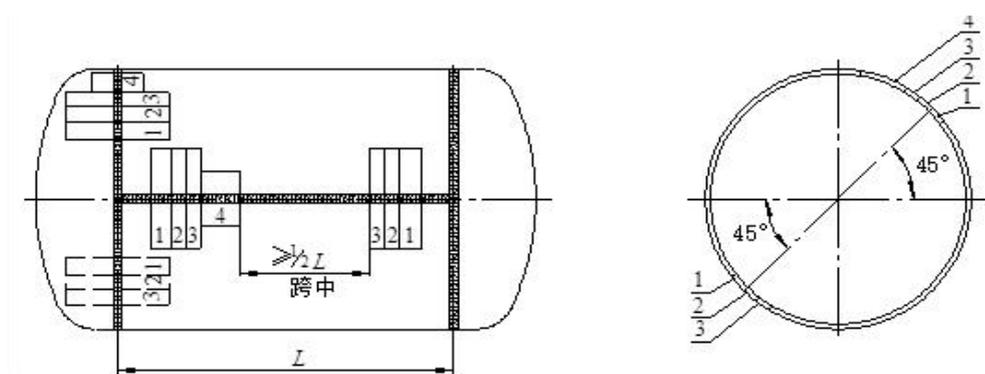
8.9.5.3.2 取样应在焊接接头的形状尺寸和外观符合 8.9.5.4 的规定及 100%无损检测符合 8.10.3 规定后进行。

8.9.5.3.3 制作试样瓶时，纵焊接接头与环焊接接头应分别取样，取样位置按照图 4 的规定。

8.9.5.3.4 制作产品焊接试件时，应采用与内胆筒体批号相同的材料。平板焊接试件可置于筒体焊缝延长部位与所代表的筒体一起施焊；圆筒形焊接试件的内直径不应大于在制品的内直径。圆筒形焊接试件取样位置按照图 4 的规定，平板焊接试件取样位置按照图 5 的规定。

8.9.5.3.5 符合 8.9.5.3.1a) 的情况时，纵焊接接头、环焊接接头制备拉伸试样各 1 件、横向面弯试样各 1 件、横向背弯试样各 1 件、冲击试样各 6 件(焊缝、热影响区各 3 件)。符合 8.9.5.3.1b) 采用平板焊接试件时，制备拉伸试样 1 件、横向面弯试样 1 件、横向背弯试样 1 件、冲击试样 6 件(焊缝、热影响区各 3 件)。

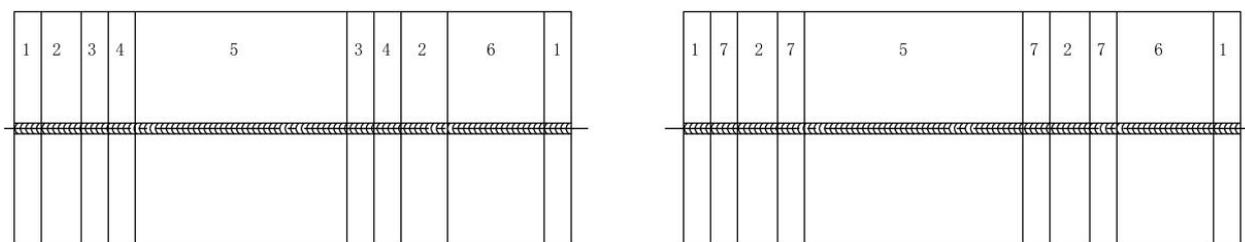
8.9.5.3.6 拉伸试验方法按照 GB/T 228.1 的规定、冲击试验方法按照 GB/T 229 的规定（冲击温度不高于-192℃）、弯曲试验方法按照 GB/T 2653 的规定。试验结果应符合 8.9.4.2 的规定。



标引序号说明：

- 1——拉伸试样；
- 2——面弯试样；
- 3——背弯试样；
- 4——冲击试样。

图 4 试样瓶上试样位置图



标引序号说明:

- 1——舍弃;
- 2——拉伸试样;
- 3——背弯试样;
- 4——面弯试样;
- 5——备用;
- 6——冲击试样;
- 7——侧弯试样。

注: 舍弃部分宽度至少为25 mm, 两端带引(熄)弧板时, 可不舍弃。

图5 板状对接焊接接头上试样位置图

8.9.5.4 焊接接头形状尺寸和外观

8.9.5.4.1 内胆对接焊缝宜打磨处理, 余高不应大于 $0.15S_n$, 同一焊缝最宽最窄处之差不大于 3mm。

8.9.5.4.2 焊缝与母材应圆滑过渡, 角焊缝的外形应凹形圆滑过渡。

8.9.5.4.3 焊接接头不准许有咬边、表面裂纹、未焊透、未熔合、表面气孔、弧坑、未填满、夹渣和飞溅物。

8.9.5.5 焊接返修

8.9.5.5.1 内胆焊接接头及产品焊接试件的返修应按返修工艺规程进行, 返修部位的形状尺寸和外观检测结果应符合 8.9.5.4 的规定, 返修部位无损检测的结果应符合 8.10.3 的规定。

8.9.5.5.2 内胆同一焊接接头部位的返修次数不宜超过两次, 如超过时, 返修前应该经单位技术负责人批准。返修次数和返修部位应记入产品生产检验记录, 并在产品合格证中注明。

8.10 无损检测

8.10.1 内胆纵、环焊接接头的无损检测应在形状尺寸和外观符合 8.9.5.4 后进行。

8.10.2 无损检测应采用射线检测方法(胶片感光、数字成像、计算机辅助成像), 采用胶片感光时应符合 NB/T 47013.2 的规定, 采用数字成像时应符合 GB/T 17925 或 NB/T 47013.11 的规定, 采用计算机辅助成像检测时应符合 NB/T 47013.14 的规定。

8.10.3 内胆纵、环焊接接头检测比例为 100%, 射线检测技术等级为 AB 级, 按 NB/T 47013.2 进行评定和质量分级, 合格级别不低于 II 级。

8.11 内胆耐压

8.11.1 内胆耐压试验应在无损检测合格后逐只进行。

8.11.2 试验应有可靠的安全防护措施, 并经制造单位技术负责人或安全生产负责人确认和批准。

8.11.3 试验应使用两个量程相同的、并在检定有效期内的压力测试仪表, 量程为试验压力的 1.5 倍~3 倍(宜为试验压力的 2 倍), 精度不低于 1.6 级, 机械式的表盘直径不小于 100 mm。

8.11.4 液压试验按照如下要求:

- 采用氯离子含量不超过 25 mg/L 的清洁水;
- 试验程序和步骤按照 GB/T 9251 的规定进行;
- 保压检查期间压力不应下降, 不应有渗漏、可见的宏观变形和异常声响等现象;

——液压试验后应及时排尽内胆与接管中的水，并使其干燥；当水中的氯离子含量超过 1mg/L 时，不应使用热气体方法干燥。

8.11.5 气压试验按照如下要求：

- 采用干燥洁净的空气、氮气或其他惰性气体；
- 试验时先缓慢升压至试验压力的 10%，保压对所有焊接接头和连接部位进行初次检查；确认无泄漏后，再继续升压至试验压力的 50%；如无异常现象，其后按照试验压力的 10% 逐级升压，直到试验压力，保压时间至少 30s；后降至公称工作压力，保压进行检查；
- 保压检查期间压力不应下降，不应有泄漏、可见的宏观变形和异常声响等现象。

8.11.6 试验时焊接接头有泄漏的按照 8.9.5.5 的规定返修合格后，重新进行耐压试验。

8.12 内胆检漏

耐压试验后，按照 GB/T 18443.3 规定的方法和表 8 规定的频次进行内胆检漏，结果符合表 5 的要求。

8.13 表面清洁

8.13.1 形成（或处于）真空空间的零部件按 JB/T 6896 规定选取适合的方法按照表 8 规定的频次进行处理，处理完毕后应有良好的保护措施。

8.13.2 宜采用 JB/T 6896 规定的油分浓度测定法、质量法处理碳氢化合物（油、油脂等）处理与液氢直接接触的零部件、阀门、仪表等，处理后检测到的碳氢化合物的残余量不应超过 125 mg/m²。

8.14 绝热材料

绝热材料在使用前，按 GB/T 31481 规定的方法和表 8 规定的频次进行试验，结果符合 6.6 的要求。

8.15 分子筛、吸气剂

8.15.1 分子筛宜安装在靠近内胆长期处于低温的区域。

8.15.2 吸气剂宜附着在外壳的顶部的内表面。

8.16 真空夹层漏气速率

套装完毕后抽真空前，按 GB/T 18443.3 规定的方法和表 8 规定的频次进行真空夹层漏气速率检测，结果符合表 5 的要求。

8.17 真空夹层漏放气速率

抽空结束后，按 GB/T 18443.4 规定的方法和表 8 规定的频次进行真空夹层漏放气速率检测，结果符合表 5 的要求。

8.18 管道、阀门

8.18.1 阀门安装的位置应便于操作和维护。

8.18.2 安全阀安装方式应满足泄放出的液（气）体不影响外壳、阀门、阀门管路系统的保护装置等，且应满足排放时不会被堵塞（霜融化形成的水在低温下结成的冰或固氧、固氮等引起的）。

8.18.3 安装流通液氢或低温蒸汽的截止阀时，阀杆应处于阀座的上方。阀杆宜处于竖直方向；由于空间限制等原因，阀杆不能处于竖直方向的，阀杆与竖直方向的夹角不应大于 45°。

8.18.4 生料带或其他绝缘材料不应作为螺纹连接时的密封手段；如无法避免时，部件之间应跨接，且跨接电阻应小于 0.03Ω。

8.18.5 管道的焊接宜采用对接接头，应用氩气进行保护。焊接后的管道应进行无损检测；对接接头应按 NB/T 47013.3 规定的脉冲反射法的规定进行 100% 超声检测，I 级合格，承插接头应按照 NB/T 47013.5 的规定进行 100% 渗透检测，I 级合格。

8.18.6 夹层管道在无损检测合格后，还需按 GB/T 18443.3 规定的方法和表 8 规定的频次进行检漏，漏率应优于内胆漏气速率。

8.18.7 有毛刺、切屑、焊瘤、焊渣、飞溅物等的管道应进行处理。

8.19 气密性

阀门、仪表及安全阀等组装后，按GB/T 12137规定的方法和表8规定的频次进行管路气密性试验，保压时间应足够进行检查，不应泄漏。

8.20 露点

管路气密性试验合格后，按表8规定的频次进行露点检测，露点温度在大气压下不高于-40℃。

8.21 常温真空度

按照 GB/T 18443.2 规定的方法和表 8 规定的频次进行测量，结果符合表 5 的要求。

8.22 静态蒸发率

制造完毕后，按照 GB/T 18443.5 规定的方法和表 8 规定的频次进行静态蒸发率测试，结果符合表 5 的要求。

8.23 容积与质量

8.23.1 容积

内胆容积可按照GB/T 18443.8规定的方法和表8规定的频次进行测量，内胆水容积不应小于设计文件要求。

8.23.2 质量

制造完毕后应采用称量范围为实际质量的1.5倍~3倍、精度应满足最小称量误差的要求的衡器，按表8规定的频次测定气瓶自重。

8.24 取舍规则

对于测定的容积，个位小于5时应舍去，大于5时取5；对于气瓶自重和最大充装质量应舍弃小数点后的数字。保留有效数字至个位。取舍后的数据是铭牌上标示的容积、质量。

示例：

实测值	容积取值 (L)	质量取值 (kg)	
		气瓶自重	最大充装质量
10.67	10	10	10
104.45	100	104	104
177.78	175	177	177

8.25 检验规则

8.25.1 项目、频次及要求

产品检验的项目、检验频次及要求应按照表 8 的规定。

表 8 检验项目、频次和要求

序号	检验项目	检验频次			要求
		逐只检验	批量检验	型式试验	
1	内胆主体材料、焊接材料复验		Δ	Δ	8.3
2	内胆筒体及外壳筒体	纵缝对口错边量 b_s	Δ		8.5.1
3		纵缝环向棱角高度 E_s	Δ		8.5.1
4		同一截面最大最小直径差 e	Δ		8.5.2
5		实测最小厚度 S_b	Δ		设计文件
6		铁素体含量 ^a	Δ		8.5.3
7	表面质量	Δ		8.5.4	

表 8 (续)

序号	检验项目		检验频次			要求
			逐只检验	批量检验	型式试验	
8	内胆封头及 外壳封头 ^b	外观	Δ			8.6.2
9		铁素体含量 ^a	Δ			8.6.3
10		内圆周周长公差 πD_i		Δ		8.6.5
11		曲面与样板间隙 a		Δ		8.6.5
12		表面凹凸量 c		Δ		8.6.5
13		最大最小直径差 e		Δ		8.6.5
14		内高公差 ΔH_i		Δ		8.6.5
15		倾斜度		Δ		8.6.5
16		成形后最小厚度 S_b	Δ			设计文件
17	封头、筒体对接环缝对口错边量 b_h		Δ			8.8.2
18	轴向棱角高度 E_h		Δ			8.8.2
19	内胆产品焊接试样力学性能			Δ	Δ	8.9.5.3
20	焊接接头形状尺寸和外观		Δ			8.9.5.4
21	内胆焊接接头无损检测		Δ			8.10
22	内胆压力试验		Δ			8.11
23	内胆检漏		Δ			8.12
24	表面清洁		Δ			8.13
25	绝热材料 ^c				Δ	8.14
26	分子筛、吸气剂		Δ			8.15
27	真空夹层漏气速率				Δ	8.16
28	真空夹层漏放气速率				Δ	8.17
29	管道阀门	截止阀方位	Δ			8.18.3
30		跨接电阻	Δ			8.18.4
31		管道无损检测	Δ			8.18.5
32		夹层焊接管检漏	Δ			8.18.6
33	管路气密性		Δ			8.19
34	露点		Δ			8.20
35	常温真空度				Δ	8.21
36	静态蒸发率 ^d			Δ	Δ	8.22
37	公称容积		Δ			设计文件
38	气瓶自重		Δ			8.23.2
39	静电接地电阻		Δ			7.1.5
40	振动				Δ	附录 D
41	跌落				Δ	附录 E
注1: Δ表示检验项目;						
注2: 区分内胆壳时, 内丹下角标为1, 外壳下角标为2, 如: e_1 、 e_2 、 S_{b1} 、 S_{b2} 。						
a: 只检测内胆;						
b: 每批封头抽取的数量不少于6只;						
c: 定型试验, 变换型号、变换厂家宜进行试验;						
d: 每批产品抽检数量不少于3只, 型式试验抽取数量不少于1只。						

8.25.2 复测规则

8.25.2.1 批量检验中，不合格项目以及复测仍有不合格项目的处理应按表9规定。

表9 复测及复测不合格处理规则

检验项目	内胆材料	内胆焊接材料	封头形状外观等	内胆产品焊接试样力学性能	静态蒸发率
复测数量	8.25.2.2	8.25.2.2	8.25.2.3	8.25.2.4	8.25.2.5
复测后不合格处理	逐张检验	该批不合格	逐只检验	该批产品不合格	逐只检测

8.25.2.2 内胆材料的化学成分、力学性能及内胆焊接材料的化学成分、熔敷金属有不合格，复测试样的数量、取样位置、试样制备、试验方法按照材料标准规定。化学成分复测时，只针对不合格的元素含量进行；力学性能复测时，只针对不合格项目进行。

8.25.2.3 封头检测有不合格，制造单位根据实际情况确定复测数量。

8.25.2.4 内胆产品焊接试样力学性能和弯曲试验有不合格，准许从原试样瓶或原产品焊接试件上取样对不合格项目复测。复测试样的取样位置、取样数量、试样制备、试验方法按照8.9.5.3的规定。拉伸试验、弯曲试验及前后两组冲击试样的平均值的试验结果应符合8.9.4.2的规定。

8.25.2.5 静态蒸发率检测不合格，再抽取不少于6只进行复测。

8.25.2.6 如有证据证明是操作失误或试验设备失灵，可以进行第二次试验。第二次试验合格，则第一次试验结果可以不计；第二次试验不合格，按照8.25.2.1的规定进行复测。

8.26 型式试验

8.26.1 有以下情况之一的，需要进行型式试验：

- 新开发的气瓶；
- 制造单位首次制造的气瓶；
- 制造中断12个月，又重新投入制造的首批气瓶；
- 变更符合8.26.3规定的气瓶。

8.26.2 型式试验的项目按照表8规定；应从同一批气瓶（内胆）抽样，基数按以下规定：

- 首次制造的不少于15只气瓶；
- 非首次制造的气瓶基数一般不少于15只，经型式试验机构同意后可减少，但不少于试验用样瓶数量的3倍；
- 采用试样瓶取样的应提供至少3只内胆。

8.26.3 当设计有变更时制造单位应向设计文件鉴定机构提供变更内容，当变更项目有表10规定之一时，应按照表10规定的型式试验项目进行相关试验。

表10 需做型式试验的变更项目表

型式试验项目	变更项目					
	绝热系统	内胆外壳的连接件	内胆主体材料类型	内胆筒体厚度	内胆容积 ^a	保护装置
材料化学成分			Δ	Δ		
材料力学性能			Δ	Δ		
产品焊接试样力学性能			Δ	Δ ^b		
真空夹层漏气速率					Δ	
真空夹层漏放气速率	Δ				Δ	
常温真空度					Δ	
静态蒸发率	Δ	Δ ^c		Δ ^d	Δ	
振动		Δ ^e		Δ	Δ ^f	
跌落		Δ ^e			Δ ^f	Δ

注：Δ表示检验该项目。

^a 仅因长度变化引起的容积变化率不超过已通过试验的受试瓶容积的50%时可免做除振动、跌落外的试验；

^b 壁厚变化按照GB/T 33209-2016表2的规定需要做焊接工艺评定的；

^c 连接件截面积变化率不超过20%可免做；

^d 仅因工作压力变小引起壁厚变薄，且公称直径和公称容积相同、厚壁的气瓶已通过试验的可免做；

^e 连接件截面积变大可以免做；

型式试验项目	变更项目					
	绝热系统	内胆外壳的连接件	内胆主体材料类型	内胆筒体厚度	内胆容积 ^a	保护装置
^a 仅因长度变化引起的容积变小不超过已通过试验的受试瓶容积的 100%和容积变大不超过已通过试验的受试瓶容积的 20%时可免做。						

9 标志、包装、运输和存放

9.1 铭牌、阀门及仪表的标牌应采用铜合金或不锈钢材质，应采用机械打印、激光打印、蚀刻、镭刻等能够形成永久性标记的方法。

9.2 铭牌应当牢固地焊接或铆接在部件或不可拆卸的附件上。铭牌至少包含以下内容：

- 制造单位名称；
- 制造单位代号；
- 气瓶型号；
- 气瓶编号；
- 产品标准号；
- 充装介质：液氢；
- 公称容积；
- 公称工作压力；
- 内胆试验压力；
- 气瓶自重；
- 最大充装质量；
- 制造许可证编号；
- 制造日期；
- 检验和监检钢印；
- 设计寿命。

9.3 标牌应标明阀门、仪表的功能（或用途）。标牌不应附着在手轮等易拆卸的部件上，可用不锈钢丝、铆钉或螺钉永久附着。

9.4 标签应不易撕毁，底色和字色按 GB/T 7144 的规定，布局合理。标签主要包括主标签、产品识别标签、管口名称标签、警告标签等。

9.4.1 主标签尺寸不小于 300mm×300mm，至少应包含以下内容：

- “液氢气瓶”字样；
- 气瓶型号；
- 公称工作压力；
- 内胆试验压力；
- 介质：液氢；
- 氢的主要特性（应该有但不限于，如低温性、氢的易燃特性等）；
- 最大充装质量；
- 警示标签（按 GB/T 16804 规定）；
- 急救措施（如低温灼伤的处理、易燃特性的急救等）；
- 必要的警告内容（应该有但不限于，如应有“密闭或通风不良空间禁止使用”、“远离点火源”，“应保持直立”、“每两年应恢复常温置换处理”等）。

9.4.2 产品识别标签（如 360°环绕式胶带）应从各个方向可见，且可以从 2m 以外的距离轻松识别。

9.4.3 管口名称标签，如充装口、出液口、放空口、气体使用口等应牢固地粘贴。

9.4.4 警告标签，如在出口接头连接处应贴有“严禁改变接头”字样；在抽空口出应贴有“请勿擅动”字样等。

9.5 气瓶出厂前应设置永久性电子识读标志。该识读标志应当能够通过手机扫描方式链接到制造单位建立的产品公示平台，直接获取每只产品的产品信息数据。气瓶的永久性电子识读标志应在使用年限内不可更换并能有效识读。

- 9.6 出厂时内胆应充有不大于 0.1MPa 的干燥氮气。
- 9.7 包装应根据设计文件规定或用户要求。
- 9.8 在运输和装卸过程中，要防止碰撞、受潮和损坏附件。

10 出厂资料

10.1 产品合格证

每只气瓶应有产品合格证。

10.2 批量检验质量证明书

每批应有批量检验质量证明书。提供给用户的批量检验质量证明书是复印件时应盖有制造单位检验公章。

10.3 产品使用说明书

应向用户提供产品使用说明书。使用说明书至少应包含产品简介、设计标准、结构和性能、产品使用指南（气体性质、充装、运输、储存、定期检验、颜色标志以及需要用户遵守的安全基本要求等）、急救措施等内容。

11 资料保存

11.1 设计鉴定文件资料、型式试验报告、各种工艺评定报告、工艺文件等技术资料，应当作为存档资料长期保存。

11.2 产品档案包括材料质量证明书、材料复验报告、施焊记录、无损检测、耐压试验等制造和检验过程的各种质量和记录报告，产品批量检验质量证明书，产品监督检验证书保存时间不应少于 10 年。产品档案可以是纸质或者电子文档。

附录 A
(资料性)
氢在饱和状态下的热力学数据

表 A.1 100%仲氢在饱和状态下的热力学数据

温度 K	绝对压力 MPa	蒸汽比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸汽比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/kg·K	蒸汽比熵 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	-52.360	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	438.40	-0.59881	23.118
20	0.093414	0.80385	71.137	-2.6915	444.53	-0.12813	22.233
20.369 ^b	0.101325	0.75065	70.848	1.09228	446.65	0.051443	21.914
21	0.12496	0.61773	69.979	7.4687	449.82	0.34566	21.410
22	0.16350	0.48290	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	42.370	459.70	1.8045	19.193
25	0.32917	0.24889	64.487	55.760	460.60	2.3107	18.504
26	0.40384	0.20310	62.829	70.228	460.02	2.8320	17.824
27	0.48965	0.16658	61.008	85.958	457.72	3.3732	17.142
28	0.58750	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	170.120	419.50	5.9711	14.016
32	1.12027	0.05717	45.902	204.073	392.25	6.9450	12.826
32.938 ^c	1.28580	0.0319977	31.361	295.380	295.94	9.6179	9.6439
注1：以上数据摘自 National Institute of Standards and Technology 数据库；							
注2：比焓与比熵的基准点是标准沸点（Normal Boiling Point 缩写 NBP）。							
^a 三相点，							
^b 沸点，							
^c 临界点。							

附录 B (规范性)

最大准许充装系数

B.1 概述

由于外部热量的传入会导致液化气体膨胀，直至充满气瓶而引发危险；因此本附录对充装进行限制以避免这种状况的发生。

B.2 说明

B.2.1 液氢的最大准许体积充装系数按照公式 (B.1) 计算，最大准许密度充装系数按照公式 (B.2) 计算。常用数据见表B.1。

$$F_V = \frac{0.93\rho'_L + 0.07\rho'_G - \rho_G}{\rho_L - \rho_G} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$F_m = 0.93\rho_L + 0.07\rho_G \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

F_V ——最大准许体积充装系数；

F_m ——最大准许密度充装系数，单位千克每升 (kg/L)；

ρ_L ——充装时的液体密度，单位千克每升 (kg/L)；

ρ_G ——充装时的蒸汽密度，单位千克每升 (kg/L)；

ρ'_L ——主安全阀整定压力时的液体密度，单位千克每升 (kg/L)；

ρ'_G ——主安全阀整定压力时的蒸汽密度，单位千克每升 (kg/L)。

B.2.2 当整定压力大于等于临界压力时，最大准许密度充装系数为临界密度。表B1是常用数据，供读者方便使用。

表 B.1 常用最大准许充装系数

主安全阀整定压力 (kPa)	最大准许体积充装 系数	最大准许密度充装 系数/(kg/L)	主安全阀整定压力 (kPa)	最大准许体积充装 系数	最大准许密度充装 系数/(kg/L)
220	0.850	0.0605	715	0.718	0.0513
275	0.834	0.0594	770	0.702	0.0502
330	0.819	0.0583	825	0.686	0.0490
385	0.804	0.0573	880	0.669	0.0478
440	0.790	0.0563	935	0.650	0.0465
495	0.776	0.0553	990	0.630	0.0451
550	0.761	0.0543	1045	0.605	0.0434
605	0.747	0.0533	1100	0.576	0.0414
660	0.733	0.0523	1155	0.532	0.0383

注：中间值采用内插法。

附录 C (规范性) 阀门进口接头与出口接头

C.1 基本要求

- C.1.1 工作压力不应低于1.6 MPa，爆破压力不应低于6.4 MPa。
- C.1.2 材质应与盛装介质相容，应满足强度要求及与相配阀门、外部接管的适应性，且应取得材料质量证明书。
- C.1.3 接头为左旋螺纹。
- C.1.4 在不影响密封性能和整体强度的情况下，准许适当压平（钝化处理）引导螺纹的外螺纹牙顶。
- C.1.5 未注线性尺寸公差的等级按照GB/T 1804的中等m级，密封面的表面粗糙度应为 $R_a3.2$ 或更优。
- C.1.6 在接头体的棱柱的六个面中任意面的明显位置刻印或用钢印打“WP 1.6 MPa”（WP指工作压力）、“CGA 795”字样，字体高度不应小于3.5 mm。
- C.1.7 组批的数量不应大于材料的批号。

C.2 试验方法

C.2.1 试验条件

试验应在下列条件下进行：

- 试验环境条件为环境大气压和环境温度；
- 试验装置应使用两个量程相同的、并在检定有效期内的压力测试仪表，量程为试验压力的1.5倍~3倍（宜为试验压力的2倍），精度不低于1.6级，机械式的表盘直径不应小于100 mm。

C.2.2 漏率测试

漏率测试按照以下要求进行和验收：

- a) 每批选取不少于5个样品与测试工装（如配套的螺母、垫片、接头、管道等）及试验装置相连接并拧紧；
- b) 充入洁净的惰性气体至1.6 MPa；
- c) 将样品与测试工装没入水中，保压不少于5 min；
- d) 5个样品总的泄漏率不应大于 $1.67 \text{ mm}^3/\text{s}$ 。

C.2.3 循环测试

循环测试按照以下要求进行和验收：

- a) 每批选取不少于5个样品测量，并记录数据（如螺纹、孔径及其他因反复拧紧可能发生变化的尺寸）；
- b) 在1.6 MPa压力下，测定并记录样品与测试工装密封时的力矩；
- c) 继续拧紧至C.2.3b)测定力矩的两倍，然后做好样品与测试工装的相对位置记号；
- d) 松开至手可以拧动的程度，然后拧紧至C.2.3c)中的记号位置为一个循环；
- e) 每进行100次循环操作后，测量并记录C.2.3a)的数据；
- f) 每个样品共进行不少于500次循环操作；
- g) 循环测试后，再按照C.2.2进行漏率测试，结果满足C.2.2的要求。

C.2.4 强度测试

强度测试按照以下要求进行和验收：

- a) 每批选取5不少于个样品进行强度测试；
- b) 每个样品进行不低于6.4 MPa的压力试验，保压不少于5 min；

c) 强度测试后无永久变形及破裂现象为合格。

C.3 接头图纸

C.3.1 接头应按照CGA V-1:2013提供的代号为CGA 795的图纸制造。图C.1至图C.3推荐了一种大口径接头。

C.3.2 制造的总体要求如下：

- 接头抽真空，夹层常温真空度（绝对压力）不高于 $2.0 \times 10^{-2} \text{Pa}$ ；
- 未注线性公差为 $\pm 0.15 \text{mm}$ ；
- 未注角度公差为 $\pm 0.5^\circ$ ；
- O形圈接触的面，表面粗糙度值应为 $R_a 3.2$ 或更优。

C.3.3 大口径接头推荐图图纸尺寸单位为毫米（mm），如下：

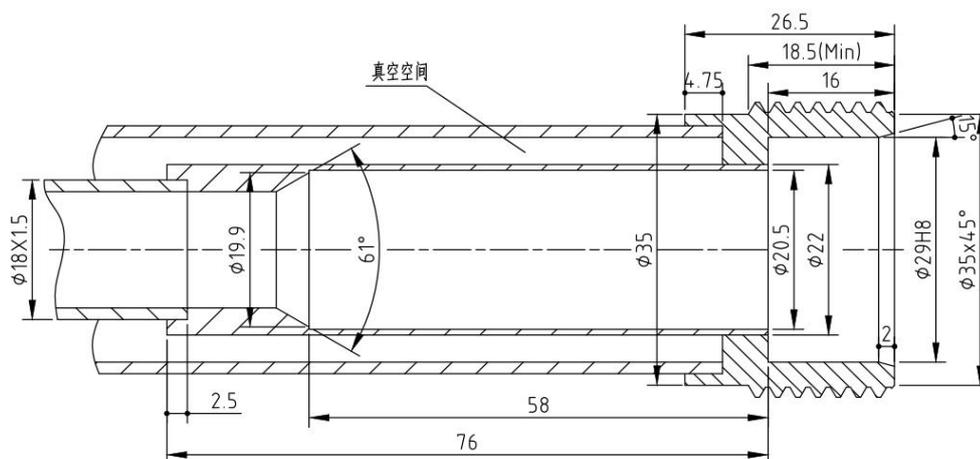


图 C.1 连接阀门出口端

——螺纹代号：1.500-12UNF-2A-LH-EXT

——螺纹大径： $\phi 37.615$ - $\phi 38.051$

——螺纹中径： $\phi 36.516$ - $\phi 36.677$

——螺纹小径： $\phi 35.455$ 最大值

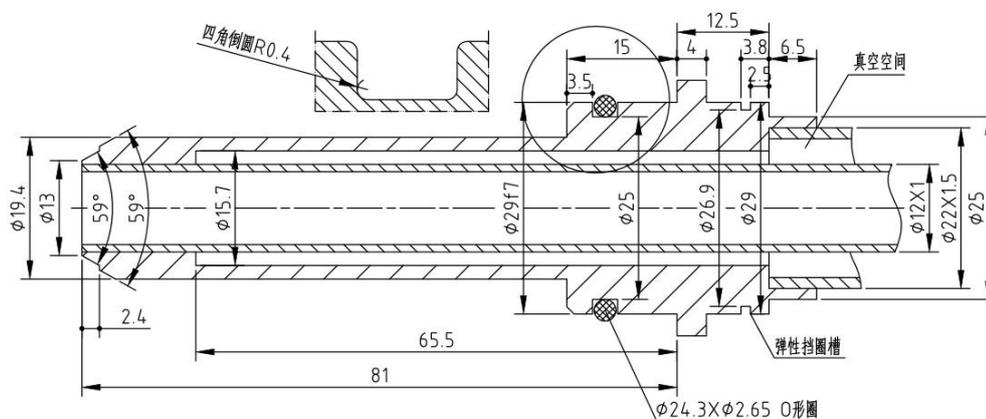


图 C.2 连接软管等部件端

——O形圈标准代号：GB/T 3452.1

——O 形圈尺寸: $\phi 24.3 \times \phi 2.65$

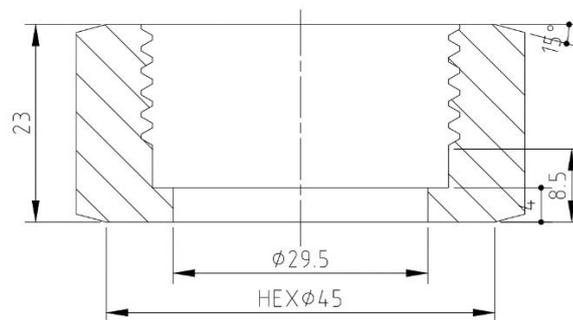


图 C.3 螺母

——螺纹代号: 1.500-12UNF-2B-LH-INT (MOD.)

——螺纹大径: $\phi 38.100$ 最小值

——螺纹中径: $\phi 36.726$ - $\phi 36.936$

——螺纹小径: $\phi 35.82$ - $\phi 36.06$

附录 D (规范性)

振动试验

D.1 试验目的

实施振动试验是模拟气瓶在运输条件下，内胆与外壳之间的连接件、阀门管路系统附件的耐久性。

D.2 试验条件

D.2.1 充装介质和充装体积

振动试验前，气瓶应充装液氮，当达到热平衡时，液氮的体积约为50%有效容积。

D.2.2 气瓶状态

振动试验前，气瓶应处于热平衡、内胆压力为0 MPa、所有阀门处于关闭状态。

D.2.3 受试瓶数量

所有振动项目应在同一只气瓶上进行。

D.3 试验规程

试验应按照以下步骤进行：

- a) 首先在 8Hz~40Hz 范围内扫频确定共振频率，如果共振频率在表 D.1 范围内，应当修正设计避开共振频率；
- b) 然后振动加速度、振动时间按照表 D.1 的规定，垂直于气瓶轴线方向加载 2g，气瓶轴线方向加载 3g。

表 D.1 振动加速度及加振时间

振动频率/ (Hz)	8	11	15	20	25	30	35	40
2g 加振时间/ (min)	57	41	40	22	18	15	13	11
3g 加振时间/ (min)	113	81	59	45	36	30	25	23

D.4 试验评定

振动完毕后，对气瓶加压至公称工作压力，试验结果应同时满足以下要求：

- 任何部位不应出现泄漏；
- 静置 12h 以上，气瓶的外壳不应有结露或结霜现象（除内胆与外壳连接部位外）。

附录 E (规范性)

跌落试验

E.1 试验目的

模拟气瓶在受到冲击条件下，外壳、保护装置对气瓶的保护能力以及内胆与外壳之间的连接件的抗冲击能力。

E.2 试验条件

E.2.1 冲击面

冲击面应为厚度不小于100 mm的混凝土地面（或厚度不小于10 mm的钢板），且应坚硬、平坦、光滑和水平，冲击面的各边应至少比气瓶最大投影面宽200 mm。

E.2.2 充装介质和充装质量

跌落试验前，气瓶应充装至少与设计文件要求等重的液氮。

E.2.3 跌落高度

气瓶的最低点距离冲击面的高度不应低于1.5 m。

E.2.4 气瓶状态

跌落试验前，气瓶应处于热平衡、内胆压力为公称工作压力的90%、夹层处于真空、所有阀门处于关闭状态。

E.2.5 气瓶受冲击面

试验时，气瓶的受冲击面按照以下要求：

- 阀门端朝下，气瓶轴线与地面夹角60°；
- 底部朝下，气瓶轴线垂直于地面；
- 气瓶轴线平行于地面。

E.2.6 受试瓶数量

上一个项目的跌落试验合格后，经型式试验机构判断不影响下一个项目试验的结果时可以在同一只气瓶上进行下一个项目试验，否则下个项目应提供相应数量的气瓶。

E.3 试验规程

试验应按照以下步骤进行：

- a) 气瓶升高前，测定的总质量、环境温度、风速；
- b) 用防冻液清除待受冲击部位的霜和水；
- c) 将气瓶升高到不低于规定的高度，释放气瓶，让气瓶做自由落体运动；在释放气瓶时，要求所有固定点应同时释放；
- d) 待气瓶落地后，用照相机将气瓶的落点、在冲击面上的方向、位置等信息记录下来。

E.4 试验评定

跌落时，外壳变形是允许的；但跌落后1h内，任何部位不应出现泄漏，气瓶外壳不应有大面积的结露或结霜现象（内胆与外壳之间的连接支撑、受冲击部位除外）。

附录 F
(规范性)
安全泄放量和泄放面积

F.1 安全泄放量

F.1.1 气瓶绝热层完好或者劣化，夹层空间处于大气压力下充满氢气或空气，外部环境温度为328K（55℃）时，安全泄放量按照公式（F.1）计算：

$$Q_{a1} = \frac{0.383(328 - T) G_i U_1 A_r}{922 - T} \dots\dots\dots (F.1)$$

$$U_1 = \frac{\lambda_1}{\delta}$$

式中：

A_r ——受热面积，绝热层内外表面积的算术平均值，单位为平方米（ m^2 ）；

G_i —— P_f 压力下氢气的气体系数；

Q_{a1} ——折合成自由空气的安全泄放量（体积流量），单位为立方米每小时（ m^3/h ）；

T —— P_f 压力下安全阀进口处液氢的温度，单位为开尔文（K）；

U_1 ——绝热系统在外部温度为328 K（55℃），内部温度为 P_f 压力下液氢的饱和温度时的传热系数，单位为千焦每小时每平方米每摄氏度[$kJ/(h \cdot m^2 \cdot ^\circ C)$]；

λ_1 ——液氢沸点时的饱和温度和328 K下的平均热导率，宜由制造单位实际测出，没数据时可以取 $\lambda_1=0.4176 kJ/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$ ，单位为千焦每小时每米每摄氏度[$kJ/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$]；

δ ——绝热层厚度，不包括真空空间、劣化绝热层所占空间，单位为米（m）。

F.1.2 气瓶绝热层完好或者劣化，夹层空间处于大气压力下充满氢气或空气，同时外部处于火灾或922 K（649℃）高温条件下，安全泄放量按照公式（F.2）计算：

$$Q_{a2} = G_i U_2 A_r^{0.82} \dots\dots\dots (F.2)$$

$$U_2 = \frac{\lambda_2}{\delta}$$

式中：

Q_{a2} ——折合成自由空气的安全泄放量（体积流量），单位为立方米每小时（ m^3/h ）；

U_2 ——绝热系统在外部温度为922 K（649℃），内部温度为 P_f 压力下液氢的饱和温度时的传热系数，单位为千焦每小时每平方米每摄氏度[$kJ/(h \cdot m^2 \cdot ^\circ C)$]；

λ_2 ——液氢沸点时的饱和温度与922 K下的平均热导率，宜由制造单位实际测出，没数据时可以取 $\lambda_2=0.7812 kJ/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$ ，单位为千焦每小时每米每摄氏度[$kJ/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$]。

F.2 流量换算

质量流量与体积流量的换算按照公式（F.3）规定。

$$W_s = 3.866 \times Q_a \sqrt{\frac{M}{ZT}} \dots\dots\dots (F.3)$$

式中:

M ——液氢的摩尔质量, 单位为千克每千摩尔 (kg/kmol);

Q_a —— Q_{a1} 、 Q_{a2} 的统称;

W_s ——安全泄放量(质量流量), 单位为千克每小时 (kg/h);

Z ——气体压缩系数。

F.3 泄放面积

泄放面积按照公式 (F.4) 计算:

$$A_0 \geq \frac{0.1425Q_a}{KP_f} \dots\dots\dots (F.4)$$

式中:

A_0 ——泄放面积, 单位为平方毫米 (mm²);

K ——安全阀的泄放系, 与安全阀的类型、结构有关, 由安全阀制造单位实测确定。

F.4 气体压缩系数 Z

气体压缩系数应按照表F.2或GB/T 33215-2016附录A选取。当压力不在表F.1范围内时, Z 值可以按照公式 (F.5) 计算。气体压缩系数不能确定时, 选取 $Z=1$ 。

$$Z = \frac{10^6 MP_f}{RT\rho_g} \dots\dots\dots (F.5)$$

式中:

R ——通用气体常数, $R=8314\text{ N}\cdot\text{m}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$;

ρ_g —— P_f 压力下液氢饱和蒸汽密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³)。

表 F.1 气体压缩系数 Z

安全阀排放压力 P_f (kPa) (绝压)	气体压缩系数 Z	安全阀排放压力 P_f (kPa) (绝压)	气体压缩系数 Z
342	0.791 0	826	0.614 5
430	0.757 0	925	0.577 1
463	0.744 7	947	0.568 4
584	0.700 9	1068	0.516 6
595	0.697 0	1090	0.506 1
705	0.658 0	1189	0.450 5
760	0.638 4	1255	0.395 9

F.5 气体系数 G_i

F.5.1 当 $P_f < P_{cr}$ 时, 气体系数 G_i 采用公式 (F.6) 计算, 常用数据见表F.2:

$$G_i = \frac{241 \times (922 - T)}{qC} \sqrt{\frac{ZT}{M}} \dots\dots\dots (F.6)$$

式中:

q —— P_f 压力下液氢的汽化潜热, 单位为千焦每千克 (kJ/kg)。

F.5.2 当 $P_f \geq P_{cr}$ 时, 采用公式 (F.7) 计算, 见示例:

$$G_i = \frac{241 \times (922 - T)}{\theta C} \sqrt{\frac{ZT}{M}} \dots\dots\dots (F.7)$$

$$\theta = v \left[\frac{\partial h}{\partial v} \right]_P$$

式中:

θ ——比热输入，在 P_f 压力和温度 $\frac{\sqrt{v}}{v \left[\frac{\partial h}{\partial v} \right]_P}$ 下取得最大值时的值，单位为千克每千焦（kg/kJ）；

v ——液氢在 P_f 压力和操作温度范围内任一温度下的体积质量，单位为立方米每千克（m³/kg）。

表 F.2 常用气体系数 G_i

安全阀排放压力 P_f (kPa) (绝压)	气体系数 G_i	安全阀排放压力 P_f (kPa) (绝压)	气体系数 G_i
342	4.710	826	6.188
430	4.918	925	6.713
463	5.000	947	6.854
584	5.323	1068	7.911
595	5.355	1090	8.185
705	5.705	1189	10.231
760	5.826	1255	14.455

示例：安全阀排放压力为 1.38 MPa 时的数据

温度 (K)	33.3	34.7	34.8	34.9	38.9	44.4
v (m ³ /kg)	0.027 16	0.058 30	0.058 85	0.059 35	0.085 54	0.110 97
θ	214.09	236.56	237.49	238.65	304.53	384.77
\sqrt{v}/θ	0.000 769 7	0.001 102 06	0.001 0214max	0.001 020 8	0.000 960 3	0.000 8657