

中华人民共和国团体标准

T/CATSI 02 00×—202×

加氢站用高压储氢气瓶安全技术要求 Safety technical requirements for hydrogen storage gas cylinder used in hydrogen refueling station

(送审稿)

(本稿完成日期：2020-11-9)

202X- XX-XX 发布

202X- XX-XX 实施

中国技术监督情报协会发布

目 次

前言..... 错误！未定义书签。

1.总则..... 错误！未定义书签。

1.1 目的..... 错误！未定义书签。

1.2 适用范围..... 错误！未定义书签。

1.3 与技术标准、管理制度的关系..... 错误！未定义书签。

1.4 术语..... 错误！未定义书签。

1.5 符号..... 错误！未定义书签。

1.6 规范性引用文件..... 错误！未定义书签。

2.材料..... 错误！未定义书签。

3.设计要求..... 错误！未定义书签。

 3.1 术语和定义..... 错误！未定义书签。

4. 使用条件..... 8

 4.1 公称工作压力..... 10

 4.2 全幅压力循环寿命..... 错误！未定义书签。

 4.3 浅幅压力循环寿命..... 错误！未定义书签。

 4.4 附加使用条件..... 10

 4.5 使用寿命..... 10

5 原型气瓶用于站用储氢气瓶的流程..... 错误！未定义书签。

6 型式试验要求..... 错误！未定义书签。

 6.1 一般规定..... 错误！未定义书签。

 6.2 材料试验..... 错误！未定义书签。

 6.3 气瓶型式试验..... 错误！未定义书签。

 6.4 设计变更..... 错误！未定义书签。

附件 A.（规范性）..... 4

 A.1 氢相容性试验..... 4

 A.2 氢敏感性试验..... 4

 A.3 树脂性能试验..... 4

 A.4 水压爆破试验..... 4

 A.5 常温压力循环试验..... 4

 A.6 未爆先漏（LBB）试验..... 5

 A.7 加速应力破裂试验..... 错误！未定义书签。

 A.8 极端温度压力循环..... 5

 A.9 枪击试验..... 5

 A.10 跌落试验..... 6

 A.11 硬度试验..... 6

 A.12 水压试验..... 6

 A.13 泄漏试验..... 7

附件 B.循环寿命计算示例（资料性）8

附件 C.（资料性附录） 11

 C.1 目的..... 12

 C.2 制作 SN 图..... 12

 C.3 等效压力循环..... 13

 C.4 制作 Goodman 图..... 13

表 C.1-Goodman 图制作..... 13

图 C.2-Goodman 型恒定寿命图..... 14

表 C.4-寿命评价..... 15

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

为确保按气瓶标准设计制造的气瓶产品作为储氢气瓶用在加氢站上时的安全，本标准参考采用了EN17533-2020<Gaseous hydrogen— Cylinders and tubes for stationary storage>的部分内容，以及团体标准T/CATSI 05003-2020《加氢站储氢压力容器专项技术要求》中对材料的要求。

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。

本标准由中国技术监督情报协会气瓶安全标准化与信息工作委员会提出并归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

加氢站用高压储氢气瓶安全技术要求

1 总则

1.1 目的

为了保障按气瓶标准设计、制造的加氢站用高压储氢气瓶(以下简称站用储氢气瓶)安全使用,预防和减少事故,保护人民生命和财产安全,促进氢能产业健康发展,针对储氢气瓶用于加氢站提出安全技术要求。

1.2 适用范围

本标准适用于公称工作压力大于等于 35MPa 且不大于 87.5MPa、设计温度不低于 -50°C 且不高于 85°C、储存介质为车用氢气的加氢站用储氢气瓶(组)。

1.3 与技术标准、管理制度的关系

本标准规定了站用储氢气瓶的基本安全要求,站用储氢气瓶除应符合相应气瓶产品标准外,还应满足本标准中的相关规定。

1.4 术语

GB/T 13005确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

1.4.1 自紧

在金属内胆复合气瓶制造过程中,复合材料缠绕层固化后,对气瓶内部加压至大于水压试验 TP 的压力,使内胆应力超过其屈服点并出现塑性变形的工艺过程。当缠绕气瓶内部为零压力时,内胆承受压应力,纤维承受拉应力。

1.4.2 自紧压力

对金属内胆复合气瓶进行自紧处理时,在瓶内所施加的最大压力。水压试验压力 TP 应不大于自紧压力的 95%。

1.4.3 压力循环幅度

压力循环中压力上限与压力下限之差。

1.4.4 设计变更

变更站用储氢气瓶的结构、材料、公称工作压力或尺寸(变化超过设计图纸上的公差范围)。

1.4.5 全幅压力循环

循环压力上限在 50% P_A ~100% P_A 之间,下限不大于 2MPa 的压力循环。

全幅压力循环试验应按最大幅度进行，循环压力上限应不小于 P_A ，循环压力下限不大于 2MPa 。

1.4.6 浅幅压力循环

循环幅度小于等于 $30\%P_A$ （按公式换算法）或小于等于 $50\%P_A$ （按古德曼图法）浅幅压力循环试验的压力上限应大于 P_A ，下限不大于 $70\%P_A$ 。

1.4.7 全幅压力循环寿命

按相关气瓶产品标准及本标准规定的最大循环幅度经试验验证的全幅（常温）压力循环次数所对应的使用年限。

1.4.8 浅幅压力循环寿命

站用储氢气瓶在加氢站实际运行时所要求的浅幅压力循环最大次数。气瓶设计时应至少按每小时循环一次确定的最大浅幅压力循环次数所对应的使用年限。

1.4.9 使用寿命

站用储氢气瓶的设计使用年限（以年为单位）。

1.4.10 最高允许温度

站用储氢气瓶使用时在任何部位允许达到的最高温度，即 85°C 。

1.4.11 公称工作压力 P_W

在环境温度 20°C 正常工作条件下，原型气瓶所达到的压力。是气瓶设计时所依据的基础数据，站用储氢气瓶实际充装、使用过程中应当按此条件控制压力循环上限。

1.4.12 许用压力 P_A

站用储氢气瓶的许用压力 P_A 为公称工作压力 P_W 的 1.25 倍，仅用于气瓶设计和试验过程中确定相关压力参数。

1.4.13 本标准规定的站用储氢气瓶水压试验压力 TP

站用储氢气瓶水压试验压力 TP 为：许用压力的 1.25 倍。

1 型气瓶， $TP \leq 0.95 \cdot P_A / 0.77$

2 型和 3 型气瓶， $\leq 95\%$ 的自紧压力

1.4.14 承载内胆

内胆的爆破压力不低于全缠绕复合气瓶最小爆破压力的 5% 。

1.4.15 纤维应力比

最小爆破压力下纤维应力与公称工作压力下纤维应力的比值。

1.4.16 原型气瓶

符合 3.1 要求，按相应气瓶产品标准设计、制造，用于站用储氢气瓶的原型产品。

1.4.17 储氢气瓶结构型式

1 型气瓶：钢质气瓶，公称水容积不大于 1000L。

2 型气瓶：钢内胆碳纤维环向缠绕复合气瓶，公称水容积不大于 1000L。

3 型气瓶：金属内胆碳纤维全缠绕复合气瓶，公称水容积不大于 450L。

1.5 符号

ΔP_i :加氢站实际的浅幅压力循环幅（MPa）；

$\Delta P_{i\max}$:设计最大浅幅压力循环幅（MPa）；

$\Delta P_{\max}$:储氢气瓶全幅压力循环时的压力循环幅（MPa）；

F: 设计应力系数（按相关气瓶标准水压试验压力下等效壁应力与屈服强度保证值的比率）；

F_a : 氢加速因子；

F_{hs} : 氢敏感系数，是空气或惰性环境中与氢气环境中循环至失效的平均循环次数的比值；

n_{eq} :浅幅压力循环等效于全幅压力循环的循环次数（通过计算方法或实际循环试验方法进行确定）；

n_i :对应于 ΔP_i 的压力循环次数；

P_A : 许用压力（以 MPa 为单位）；

P_W : 气瓶公称工作压力（以 MPa 为单位）。

TP: 站用储氢气瓶水压试验压力（以 MPa 为单位）

1.6 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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/T231.1 金属材料布氏硬度试验第 1 部分:试验方法

GB/T1458 纤维缠绕增强塑料环形试样力学性能试验方法

GB/T19466.2 塑料差示扫描量热法(DSC) 第2部分:玻璃化转变温度的测定

GB/T33145 大容积钢质无缝气瓶

GB/T34583 加氢站用储氢装置安全技术要求

GB/T34542.2 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/T34542.3 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 35544 车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶

ISO11119-1 气瓶 - 可重复充装复合气瓶 - 设计，制造和试验 - 第1部分：容积不大于450升的环缠绕纤维增强复合气瓶

ISO11119-2 气瓶 - 可重复充装复合气瓶 - 设计，制造和试验 - 第2部分：容积不大于450升的可承载金属内胆全缠绕纤维增强复合气瓶

ISO11515 可重复充装的水容积为150~3000L 复合增强气瓶：设计、制造和试验

2 材料

2.1 基本要求

2.1.1 临氢材料选材应当综合考虑材料的微观组织、力学性能、使用条件(压力、温度、氢气组分)、应力水平、制造工艺对氢脆的影响。

2.1.2 储氢气瓶的临氢钢材宜选用4130X、30CrMo或S31603。除满足本标准要求外，30CrMo和4130X还应符合GB/T 33145的规定，S31603还应符合GB/T 24511的规定。临氢铝材一般可选择AA6061。

2.1.3 临氢受压元件用无缝钢管、锻件和钢板等材料，其材料制造单位应至少提供3个批次的材料在空气和氢气中的常温力学性能试验数据，包括屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、最大力总延伸率、断面收缩率等。氢相容性试验按A.1，氢敏感性试验按A.2。

2.1.4 储氢气瓶制造单位应对临氢受压元件的材料与材料质量证明书进行确认，并按炉号对材料化学成分进行复验，按批号对材料在空气中的力学性能进行复验，复验结果同时符合相关材料标准和本标准要求后，方可投料使用。

2.1.5 当材料制造单位未按2.1.3的规定提供相关材料试验数据时，应由储氢气瓶制造单位按2.1.3的规定完成相关材料的试验。

2.2 铬钼钢技术要求

2.2.1 化学成分

碳(C)含量不大于0.35%、磷(P)含量不大于0.015%、硫(S)含量不大于0.008%。

2.2.2 力学性能

经热处理后的力学性能应同时满足以下要求：

- a) 在空气中的抗拉强度 (R_m) 不超过880MPa, 屈强比不超过0.86, 断后伸长率 (A_{50}) 不小于20%; -40℃下3个试样冲击吸收能量平均值 (KV_2) 应不小于47J, 允许1个试样冲击吸收能量小于47J, 但不小于38J, 侧膨胀值 (LE) 不小于0.53mm, 横向取样;
- b) 在氢气和空气中的抗拉强度之比、最大力总延伸率之比均不小于0.9。

2.3 奥氏体不锈钢材料 (S31603/316L) 要求

2.3.1 化学成分

镍 (Ni) 含量大于 12%, 镍当量 ($Nieq$) 不小于 28.5%, 且在空气中的断面收缩率不小于 70%。镍当量按式 (1) 计算:

$$Nieq=12.6C+0.35Si+1.05Mn+Ni+0.65Cr+0.98Mo \quad (1)$$

2.3.2 力学性能

在氢气和空气中的断面收缩率之比不小于 0.9。

2.4 铝合金

内胆用铝合金应符合 GB/T35544 对材料的要求, 并符合相关标准的氢气相容性要求。

2.5 纤维材料

增强纤维材料类型应为碳纤维。

2.6 树脂

用于浸渍的材料应是热固性树脂。如环氧树脂、改性环氧树脂等。树脂材料的玻璃化转变温度应按 A.3 确定。玻璃化转变温度应至少高于最高允许温度 15℃。

3 设计要求

制造厂应针对每个加氢站的具体情况设计原型气瓶, 并出具专门的站用储氢气瓶设计文件。

3.1 原型气瓶设计计算

站用原型气瓶设计除应满足 3.1.1、3.1.2 所列标准要求外, 还应满足本标准要求。

3.1.1 对 1 型气瓶, 应按 GB/T33145 《大容积钢质无缝气瓶》进行设计计算。

3.1.2 对 2 型气瓶, 应参照 ISO11119 制订企业标准, 其安全技术要求不得低于本标准中的相关规定; 对 3 型气瓶, 应按 GB/T 35544 《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》进行设计或参照 ISO11119 制订企业标准, 其安全技术要求不得低于本标准中的相关规定。应采用应力分析方法计算缠绕层和自紧后内胆在零表压、工作压力、试

验压力和设计爆破压力下的应力。应计算和规定自紧压力的下限。

计算方法应包括：

- 非线性材料分析方法，如专用计算机程序或有限元分析程序；
- 适用于内胆材料的弹塑性应力-应变曲线建模；
- 适用于缠绕层力学性能建模；
- 在自紧压力、自紧后的零表压、工作压力和最小爆破压力下进行计算。

3.1.3 爆破压力和纤维应力比

3.1.3.1 气瓶

储氢气瓶实际水压爆破压力不应小于表 1 中给出的值。试验应按 A.4 中描述的程序进行。

对2型、3型储氢气瓶，复合缠绕层的应力比也应满足表1中的最小应力比的要求。

表 1 最小应力比和爆破压力系数

结构	最小应力比 (a)		最小爆破压力系数 (b)		
	2 型	3 型	1 型	2 型	3 型
全金属	-	-	2.5	-	-
碳纤维	2.81	2.81	-	2.81	2.81
(a) 最小爆破压力下的纤维应力除以公称工作压力 P_w 下的纤维应力					
(b) 爆破压力系数是指最小爆破压力与公称工作压力 P_w 的倍数					

3.1.3.2. 2 型气瓶内胆

对 2 型气瓶，金属内胆的最小爆破压力应不小于 1.69 倍的公称工作压力 P_w 。

3.1.4 水压试验

站用气瓶的水压试验应按 A.14 规定的试验程序进行。应注意站用气瓶的水压试验压力 TP 与气瓶标准规定的水压试验压力之间的区别，站用储氢气瓶应按 TP 进行水压试验。

3.1.5 自紧

自紧应在 3.1.4 水压试验之前进行。自紧压力应在 3.1.2 规定的范围内。应建立验证压力的方法，通过适当的测量技术监测自紧的有效性，例如体积膨胀试验。

4. 使用条件

4.1 公称工作压力

站用储氢气瓶的公称工作压力范围一般在 35~87.5MPa 之间。钢质气瓶及钢内胆碳纤维缠绕气瓶的公称工作压力不得大于 50MPa。

4.2 全幅压力循环寿命

全幅压力循环寿命应由气瓶制造单位按照相关气瓶标准确定，并按照 A.5.1 中描述的方法进行型式试验验证。

4.3 浅幅压力循环寿命

站用气瓶经常处于浅幅压力循环工况，制造单位应根据不同加氢站的运行条件明确浅幅压力循环下的最大幅和循环次数。

应使用公式换算法或古德曼图法来确定气瓶的压力循环寿命：

4.3.1 压力循环次数公式换算法

应当对浅幅压力循环次数进行换算，按照公式（2）计算出实际浅幅压力循环次数对应的等效全幅压力循环次数。公式（3）计算最大浅幅压力循环次数对应的等效全幅压力循环次数。

$$n_{eq}=n_i\left(\frac{\Delta P_i}{\Delta P_{max}}\right)^3 \quad (2)$$

$$n_{eq}=n_i\left(\frac{\Delta P_i \max}{\Delta P_{max}}\right)^3 \quad (3)$$

注：仅由环境温度变化引起的压力变化不计入压力循环。

对某些金属材料，氢会加速裂纹萌生和疲劳过程中的裂纹扩展。在计算循环寿命时需使用取决于材料的氢加速因子 Fa。

铝合金，Fa=1

Cr-Mo 调质钢，Fa=5

4.3.2 古德曼图法

对最大浅幅压力循环幅度 $\Delta P_{i \max}$ 超出 4.3.3 a) 规定的，应按附录 C 采用 S-N 曲线

和古德曼图来核算 $\Delta P_{i\max}$ 下的浅幅压力循环次数是否小于本标准及相关气瓶产品标准要求的全幅压力循环次数。

4.3.3

a)若采用公式 2 计算等效全幅压力循环次数，循环幅度大于 $30\% P_A$ 的，计入全幅压力循环次数。循环幅度在 $20\% \sim 30\% P_A$ 之间的，计入浅幅压力循环次数。最大浅幅压力循环幅度 $\Delta P_{i\max}$ 指气瓶压力波动的压力上限等于气瓶许用压力 P_A 且压力下限等于 $70\% P_A$ 的压力循环幅度。

b)若采用附录 C 计算等效全幅压力循环次数的，循环幅度大于 $50\% P_A$ 的，计入全幅压力循环次数。循环幅度在 $20\% \sim 50\% P_A$ 之间的，计入浅幅压力循环次数。最大浅幅压力循环幅度 $\Delta P_{i\max}$ 指气瓶压力波动的压力上限等于气瓶许用压力 P_A 且压力下限等于 $50\% P_A$ 的压力循环幅度。

c)小于 $20\% P_A$ 的压力波动，不计入压力循环次数。

4.3.4 最大浅幅压力循环试验

对新设计的气瓶，应按附录 A.5.2 的要求通过最大浅幅压力循环试验来验证设计确定的浅幅压力循环寿命。

4.4 附加使用条件

4.4.1 环境条件

制造厂应规定气瓶的设计环境条件以及在使用过程中需要提供的保护措施，例如加氢站应设置遮阳板保护气瓶免受阳光曝晒等。

瓶组制造与安装应为定期检验留下足够的空间。

这些要求应包含在制造厂的气瓶使用说明中。

4.5 使用寿命

站用气瓶使用寿命应由储氢气瓶制造单位结合加氢站设计工况确定。当站用气瓶实际压力循环计数达到设计规定的浅幅循环次数或全幅压力循环次数时，气瓶应停止使用。

5 原型气瓶用于站用储氢气瓶的流程

5.1 制造厂应按 3.1 的规定选定所用原型气瓶，由型式试验机构按条款 6 完成原型气瓶的设计文件鉴定和型式试验。

5.2 制造厂应根据每个加氢站的工艺条件确定站用储氢气瓶实际承受的压力波动范围，并由型式试验机构对原型气瓶补充进行如下验证试验。

5.2.1 对采用相同材料、相同压力、相同制造工艺制造的第一批产品，制造厂应抽取试样瓶按附录 A.5 的要求分别进行最大浅幅压力循环试验和全幅压力循环试验，用以验证试验结果是否满足 4.3.1 或 4.3.2 的计算。

通过验证试验得到的实际浅幅压力循环次数应至少是实际全幅压力循环次数的四倍。

5.2.2 对其后生产的具有相同材料、相同制造工艺的产品，若循环幅度在最大浅幅压力循环幅度范围内，可直接用 4.3.1 和 4.3.2 的方法核算与设计浅幅压力循环次数等效的全幅压力循环次数是否小于相关标准要求的全幅（常温）压力循环次数，并进行全幅（常温）压力循环试验即可。

5.3 制造厂应在站用储氢气瓶设计文件上明确注明经试验验证的使用寿命，以及允许的全幅压力循环次数和浅幅压力循环波动范围及次数、许用压力。

5.4 在每只储氢气瓶或相互连通的瓶组上应当加装压力循环计数装置，能够实时记录各个压力波动范围的累计循环次数，并在累计循环次数达到气瓶设计使用年限、气瓶允许的全幅压力循环次数或浅幅压力循环次数时，进行报警提示。

5.5 对符合 6.2.1 规定的站用储氢气瓶，应在瓶体上明显做出公称工作压力标志和压力波动范围。

6 型式试验要求

6.1 一般要求

原型气瓶除应满足 3.1.1、3.1.2 中相关产品标准中的型式试验要求，还应满足 6.2 和 6.3 中对型式试验的要求。已经按相关气瓶标准进行了的试验项目，如试验要求完全一样，则不需要重复试验，否则应按本标准要求完成试验。

6.2 材料试验

除非另有规定，1、2、3 型气瓶应进行表 2 所列的材料试验。

表 2 材料试验

试验		试验所需的气瓶数量	适用类型		
			1 型	2 型	3 型
6.2.1~ 6.2.3	金属气瓶和内胆的材料试验	1 个气瓶或内胆或代表性的试验环	✓	✓	✓

6.2.4	诺尔环试验	复合（缠绕层）样品		✓	✓
6.2.5	树脂性能	复合（缠绕层）样品		✓	✓

6.2.1 钢质气瓶、内胆的材料试验

钢与氢的相容性应按照 A.1 进行试验。对按公称工作压力 41MPa 设计的气瓶，或者按公称工作压力 50MPa 设计，但加氢站限定的工作压力不超过 41MPa，当材料为调质热处理铬钼钢或不锈钢时，可免除氢气相容性试验。

6.2.2 铝合金内胆的材料试验

对 3 型气瓶铝合金内胆，应按照 GB/T35544 的要求进行相应的材料试验。

6.2.3 金属气瓶、内胆材料的氢敏系数

用于气瓶、内胆的金属材料应按照 A.2 进行试验，以确定在 A5 中应用的氢敏系数。对按公称工作压力 41MPa 设计的气瓶，或者按公称工作压力 50MPa 设计，但加氢站限定的工作压力不超过 41MPa，当材料为调质热处理铬钼钢或不锈钢时，可不考虑氢敏感系数。

6.2.4 诺尔环试验

用纤维和树脂体系制作诺尔环，按照 GB/T1450.1 进行层间剪切试验，验证复合材料的耐湿能力，以确定其使用寿命。经 24 小时沸水煮后，复合材料的最小剪切强度应为 13.8 MPa。

6.2.5 树脂性能试验

对 2 型、3 型气瓶，复合缠绕层的试样应按照 A.3 进行试验。树脂材料应符合其中的要求。

6.3 气瓶型式试验

1、2、3 型气瓶应进行表 3 所列的型式试验。

表 3 气瓶及内胆型式试验项目

试验项目		试验所需的气瓶数量	适用类型		
			1 型	2 型	3 型
6.3.2	水压爆破压力试验	3 加 1 个内胆	✓	✓	✓

6.3.3	常温压力循环试验（1）	3	✓	✓	✓
6.3.4	未爆先漏（LBB）试验	2		✓	✓
6.3.5	加速应力破裂试验	1		✓	✓
6.3.6	极端温度压力循环试验	1		✓	✓
6.3.7	枪击试验	1			✓
6.3.9	跌落试验	2			✓

（1）验证试验时抽取另外 3 个气瓶，根据 A.5.2 的规定，在环境温度下进行浅幅压力循环试验并满足其中的要求。

6.3.1 缩小比例样瓶、专用短瓶

在相关标准指定情况下，可以用长度缩短、直径不变的气瓶进行试验；但专用短瓶的 L/D 比应大于 2.5。如果全比例气瓶 L/D 比小于 2.5，则需要用全比例气瓶。专用短瓶的缠绕模式应与全比例气瓶相同。

6.3.2 水压爆破试验

对 2 型气瓶，应按照 A.4 对一只内胆进行水压爆破试验。爆破压力应达到或超过 1.69 倍的公称工作压力 P_w 。

对所有类型气瓶，抽取三个气瓶按照 A.4 进行水压爆破试验。对于每个气瓶，爆破压力应超过表 1 规定的最小爆破压力。在任何情况下，爆破压力均不得小于表 1 中应力比所要求的值。记录三个气瓶爆破压力的平均值和纤维应力比。

6.3.3 常温压力循环试验

对所有类型气瓶，抽取 3 个气瓶按照 A.5.1 的规定，在环境温度下进行全幅压力循环试验，并满足其中的要求。

6.3.4 未爆先漏（LBB）试验

抽取 2 个气瓶按照 A.6 进行试验，并应满足其中的要求。

6.3.5 加速应力破裂试验

对 2 型、3 型设计，抽取 1 个气瓶按照 A.7 进行试验并满足其中的要求。

6.3.6 极限温度压力循环试验

对 2 型、3 型气瓶，抽取 1 个气瓶按照 A.8 进行试验并满足其中的要求。
对内容积大于 450 l 的气瓶，可以按照 6.3.1 的规定使用专用短瓶进行本试验。

6.3.7 枪击试验

对 3 型气瓶，抽取一个气瓶按照 A.9 进行试验并满足其中的要求。

6.3.8 跌落试验

对内容量小于等于 150l 的 3 型气瓶，应按照 A.10 对 2 个成品气瓶进行试验并满足其中的要求。

6.4 设计变更

设计变更可通过表 4 中规定的简化试验程序进行。超出表 4 中定义的设计变更应按完整的试验程序进行。

当满足以下任何条件时，纤维应被视为新纤维类型：

- a) 不同类别的纤维；
- b) 纤维由不同的原始材料（初始材料）制成，例如聚丙烯腈（PAN）基纤维，沥青纤维；
- c) 由纤维制造商规定的公称纤维模量与原型试验设计中定义的相差超过 $\pm 5\%$ 。

通过简化试验批准的设计变更不得用作第二次设计变更。如果对设计变更（A）进行了试验，若该变更符合第二次设计变更（B）的试验要求，那么（A）的结果可以应用于新的设计变更（B）试验。

表 4 设计变更的试验项目

设计变更														
试验编号	试验项目	纤维 制造 商	材料			长度		直径 a)		水压试 验压力 ≤20% a)	瓶肩 形状	瓶底 形状	瓶口 尺寸	制造工 艺 c)
			纤 维	树 脂	金属气瓶、内 胆	≤50 %	>50 %	≤20 %	>20 %					
6.3.2	水压爆破试验	X	X		X	Xf)	X	X	X	X	X	X	X	X
6.3.3	常温压力循环 试验	X	X		X	Xf)	X f)	X	X	X	X	X		X
6.3.4	LBB 试验	X	X		X			X	X			X		
6.3.8	跌落试验		X	X	X			Xd)	X					
6.3.5	加速应力破裂 试验	X	X	X	X									
6.3.6	极限温度压力 循环试验	X	X	X	X			X	X					
6.3.7	枪击试验	X	X	X	X			X	X					
6.2.3	氢敏感性试验				X									

a) 仅当厚度与直径和/或压力变化成比例变化时，其他情况作为新设计。

b) 如果颈部的应力等于原始应力或通过设计变化减小（例如减小内螺纹直径或改变颈圈长度），则不需要进行试验。

c) 与制造参数的任何偏差都是制造过程中的变化。

- d) 如果直径减小，则需要。
- e) 如果用更多时间来泄放压力，则需要。
- f) 类型 1 和类型 2 不需要

6.5 制造过程检验和批量试验

6.5.1 过程检验

同批次生产的所有气瓶应进行如下项目的过程检验。所有目视检查应符合相应产品标准的要求。

每个气瓶应在制造期间或完成后进行以下验证：

- a)无损检测应符合相应标准要求，以确认最大缺陷尺寸不超过设计规定的缺陷尺寸。NDE 方法应能够检测出允许的最大缺陷尺寸。对铝合金内胆，应根据 GB/T35544 进行无损检测。
- b)确认瓶体或内胆表面的光洁度与设计规定的一致性，特别应注意拉深表面的划痕，以及在锻造或旋压收口时颈部或肩部产生的皱褶或折叠等缺陷；
- c)验证标记；
- d)金属气瓶和内胆，在最终热处理后，应按照 A11 进行性能试验或硬度试验。由此确定的值应在设计规定的范围内；
- e)按照 A12 标准对成品站用储氢气瓶进行水压试验：

应在试验压力下测定同批次气瓶的弹性膨胀量，并确定其极限弹性膨胀量，但在任何情况下，每只气瓶的弹性膨胀量都不得超过批次平均值的 10%；

检查复合材料表面是否符合要求。
- g)按照 A13 逐只对成品气瓶进行泄漏试验。

6.5.2 批量试验

6.5.2.1 一般要求

批量试验应在正常生产的成品内胆和气瓶上进行，并有识别标记。对于容积不大于 450L 的气瓶，试验样瓶应在同批产品中随机抽取；对于容积大于 450L 的气瓶，可以选择第一个批次的气瓶和内胆进行试验。通过满足 6.5.2.2 规定的批量试验的要求，证明气瓶满足预期的使用要求。气瓶制造厂应在气瓶预期寿命内保存批量检验报告和每批次的相关质量记录。

6.5.2.2 批量要求

3 型气瓶的批量应限制在采用同一规格内胆、相同的缠绕材料、相同的制造设备、相同的制造工艺的不多于 200 个成品气瓶（不含试验用瓶）为一批。

容积大于 450L 的 1 型和 2 型气瓶批量应限制在采用同一规格内胆、相同的材料、相同的制造设备、相同的制造工艺的不多于 50 个成品气瓶（不含试验用瓶）。≤

容积小于等于 450 升的 1 型和 2 型气瓶的一批应限制在采用同一规格内胆、相同的材料、相同的制造设备、相同的制造工艺的不多于 200 个成品气瓶（不含试验用瓶）。

同批气瓶的生产可能是不连续的，即中间穿插生产其他产品或停产，但只要控制措施到位，以确保一旦重新开始生产，能保持不连续生产的气瓶的制造和性能的一致性，仍可组成一批产品。

同批产品中的气瓶应具有相同的公称直径、厚度、设计和固化或热处理规范；并且除了下段情况之外，具有相同的公称长度。

同批 1 型金属气瓶和 2 型缠绕气瓶可包括不同长度的气瓶，前提条件是控制措施到位以确保同批气瓶的制造和性能保持一致，并且不会受长度差异的影响。

6.5.2.3 产品制造过程试验要求

6.5.2.3.1 水压爆破试验

抽取 1 只气瓶按照 A4 进行水压爆破试验。气瓶爆破压力应超过表 1 规定的最小爆破压力和应力比要求。

抽取 1 只气瓶按 6.5.2.4 的要求进行压力循环试验。用于 6.5.2.4 压力循环试验的气瓶也可用于爆破压力试验。

对于 1 型、2 型和 3 型气瓶，需另抽取 1 只气瓶或内胆，或者代表成品气瓶或内胆的样品进行下列试验：

- a)验证设计的关键尺寸；
- b)钢质气瓶或内胆的拉伸试验应符合相应标准要求。铝合金气瓶或内胆的拉伸试验，应符合相应标准要求。
- c)钢质气瓶或内胆的冲击试验应符合相应标准的要求。

对于批量试验不符合规定要求的气瓶和内胆，应按照 6.5.3 规定的程序进行复验。

6.5.2.3.2 常温压力循环试验

除按照 4.3.4 的设计外，每批成品气瓶取一个气瓶按 A5 的要求进行疲劳试验。

6.5.4 出厂文件

6.5.4.1 原型气瓶文件

6.5.4.2 站用储氢气瓶文件

7 使用管理

7.1 通过本标准规定型式试验的气瓶可以作为站用储氢气瓶使用，实际使用的最大压力循环上限不得大于公称工作压力，压力波动范围不得超过由 4.3.1 或 4.3.2 确定的范围。

7.2 操作参数监测

加氢站使用单位应当严格按站用储氢气瓶设计运行参数控制各瓶组压力波动范围，应当建立各站用储氢气瓶相关运行参数（压力、温度等）的实时监测和自动记录系统。该系统应当具备数据统计分析（全幅循环次数、浅幅循环次数）、数据安全保护等功能，确保系统数据真实、准确、完整、可追溯、可交换、可查询和防篡改。使用单位应当及时总结产品使用安全情况，并将系统记录的相关数据与气瓶生产单位共享。

使用单位应保证记录装置完好并长期保存上述所有的记录。

7.3 定期检验

储氢瓶组应于投用后 1 年内进行首次安全状况评估。运行正常时一般每 3 年按相关标准检验一次。

定期检验机构应检查站用储氢气瓶运行参数记录，确认加氢站实际运行过程中，站用储氢气瓶按设计参数运行，应保证全幅压力循环次数或由最大浅幅压力循环次数换算得到的等效全幅压力循环次数不得超过相关气瓶产品标准及本标准规定并经试验验证的全幅压力循环次数。

附件 A（规范性）

试验方法和验收标准

A.1 氢相容性试验

储氢气瓶临氢金属材料在氢气中的力学性能试验应按照 GB/T 34542.2 中相关条款的要求。

A.2 氢敏感性试验

氢脆敏感度试验应满足 GB/T 34542.3 的要求。

A.3 树脂性能试验

对于 2 型、3 型气瓶，按 GB/T 1458 规定，制作具有代表性的缠绕层试样，有效试样数应不少于 6 个。将试样在沸水煮 24h 后，再按 GB/T 1458 规定的方法进行试验。复合材料的层间剪切强度应不低于 13.8MPa。

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℃。

A.4 水压爆破试验

气瓶（或金属内胆）以水为加压介质，逐渐增压至气瓶失效。应确保压力测量装置监测真实的气瓶内压力，特别是当加压速率超过 0.35MPa/s 时。否则，应在最小设计爆破压力下保压 5s。

应记录爆破压力。爆破压力应符合表 1 的规定。对 1 型和 2 型气瓶，破口应发生在气瓶的筒体部位。对 3 型气瓶泄漏或破裂可以发生在气瓶的筒体部位或封头部位。

A.5 常温压力循环试验

A.5.1 全幅压力循环试验

应按照以下程序进行：

用非腐蚀性液体如油，水或乙二醇作为试验介质，循环压力上限不小于 P_A ，循环压力下限不大于 2MPa，循环频率不大于 10 次/分，试验期间气瓶外表面的温度不得超过 50℃。

在达到如下计算的循环 N_1 次前气瓶不允许失效。之后继续试验至额外的 N_1 次循环或至气

瓶失效，气瓶的失效方式不应是爆破。

$$N_1 = T_{CL} * F_{hs}$$

T_{CL} ——相关气瓶产品标准中规定的液压常温压力循环试验的次数；

F_{hs} ——根据 6.2.3 按 A2 规定的方式确定的氢气环境中气瓶金属材料的最大氢敏感系数。

A.5.2 浅幅压力循环试验

根据 3.3 规定的浅幅压力循环寿命，在相同条件下对一组新的气瓶进行压力循环试验，循环压力上限不小于 P_A ，循环压力下限不大于 $70\%P_A$ ，循环频率不大于 50 次/分，试验期间气瓶外表面的温度不得超过 50°C 。

气瓶在达到循环 N_2 次前不允许失效。之后继续试验至额外的 N_2 次循环前不应破裂。其中 N_2 计算如下：

$$N_2 = T_{SCL} * F_{hs}$$

T_{SCL} ——按公式（3）确定的设计最大浅幅压力循环次数；

F_{hs} ——根据 6.2.3 按 A2 规定的方式确定的氢气环境中气瓶金属材料的最大氢敏感系数。

A.5.5 要监视和记录的参数

应监测和记录以下参数：

- 气瓶温度；
- 达到循环压力上限的循环次数；
- 最小和最大循环压力；
- 循环频率；
- 试验介质；
- 失效描述和失效起始位置。

A.6 未爆先漏（LBB）试验

应用非腐蚀性流体，例如油，水或乙二醇进行试验，循环压力上限不小于 1.25 倍的 P_A ，循环压力下限不大于 2MPa ，循环频率不大于 10 次/分。气瓶应通过泄漏而失效。

A.7 加速应力破裂试验

气瓶应在 85°C 时静压加压至 1.25 倍的 P_A 。气瓶应在此压力和温度下保持 2000 小时。然

后按照 A.4 规定的程序对气瓶进行爆破试验，并满足表 1 的规定。

A.8 极端温度压力循环试验

完成的气瓶，复合缠绕层没有任何保护涂层，应按照以下程序进行循环试验：

- a) 介质非腐蚀性液体，例如油，抑制水或乙二醇，并在低于 2MPa，不低于 85℃ 和相对湿度不低于 95% 的环境中 48 小时。通过在 85℃ 的室内喷洒水雾，可以认为满足本要求的目的。
- b) 在气瓶表面温度为不低于 85℃，相对湿度不低于 95% 的条件下进行压力循环试验，试验压力上下限分别为不小于 P_A 和不大于 2MPa，压力循环次数为 3.2 条规定循环寿命的 0.5 倍。
- c) 通过测量试验介质和气瓶表面温度，将气瓶和试验介质的温度调整为不高于 -50℃。
- d) 在 (c) 的条件下进行压力上下限分别为不小于 P_A 和不大于 2MPa 的压力循环试验，压力循环次数为 3.2 条规定循环寿命的 0.5 倍。

b) 的压力循环速率不得超过每分钟 10 次循环。除非压力传感器直接安装在气瓶内，否则，d) 的压力循环速率不得超过每分钟 2 次循环。

在此压力循环期间，气瓶不应有破裂，泄漏或纤维散开的迹象。在极端温度下进行压力循环后，气瓶应按照 A4 进行爆破试验，并满足表 1 的规定。

A.9 枪击试验

用氮气或氢气将气瓶加压至 $P_A \pm 1\%$ ，采用直径为 7.62 毫米的穿甲弹以至少为 850 米/秒的速度射击气瓶。子弹应以与气瓶中心线成 45° 的角度射击侧壁，气瓶不应破裂。

A.10 跌落试验

应用 3 个成品气瓶在环境温度下进行跌落试验，无需内部加压或连接阀门。可以将堵头拧入螺纹端口中以防止损坏螺纹和密封表面。

气瓶跌落表面应为水平、光滑水泥地面或类似的刚性表面。试验步骤如下：

- a) 水平跌落一次，其底部下表面距跌落表面 1.8m；
- b) 垂直跌落，两端分别接触跌落面 1 次。跌落高度应使气瓶具有不小于 488J 的势能，但在任何情况下，下端距跌落面的高度都不应大于 1.8m；
- c) 以 45° 角跌落一次（对于非对称和非圆柱形气瓶，应沿其纵轴旋转 90°，再以 45° 跌落一次），其重心高于跌落面 1.8m。但是，如果底部距跌落面小于 0.6m，则应改变下降角度以保持最小高度为 0.6m。

不应试图阻止气瓶的弹跳，但可以防止气瓶在 b) 中描述的垂直跌落试验期间翻倒。在跌落冲击之后，气瓶应在 2MPa 和 P_A 之间进行常温压力循环试验，循环次数为气瓶产品规定的全幅常温压力循环试验次数。气瓶在相当于两年使用寿命的循环次数内不应泄漏或破裂，但在剩余的压力循环次数内可以只因泄漏而发生的失效。

A.11 硬度试验

硬度试验应在瓶体中心部位进行，并按照相关气瓶标准规定的方法进行。对于标准中未作规定的，按 GB/T231.1 在每个气瓶或内胆的一个圆顶端（肩部）进行，或使用等效方法进行。试验应在最终热处理后进行，由此确定的硬度值应在设计规定的范围内。

A.12 水压试验

站用气瓶的水压试验应按照以下程序进行：

气瓶应进行水压试验，水压试验压力 TP 按 1.4.13 规定。在任何情况下，试验压力都不得超过自紧压力；压力应保持 30 秒或足够长，以确保完全膨胀。如果由于试验装置的失效而无法保持试验压力，试验应在增加 0.7MPa 的压力下重复进行。不得进行两次以上的重复试验。

A.13 泄漏试验

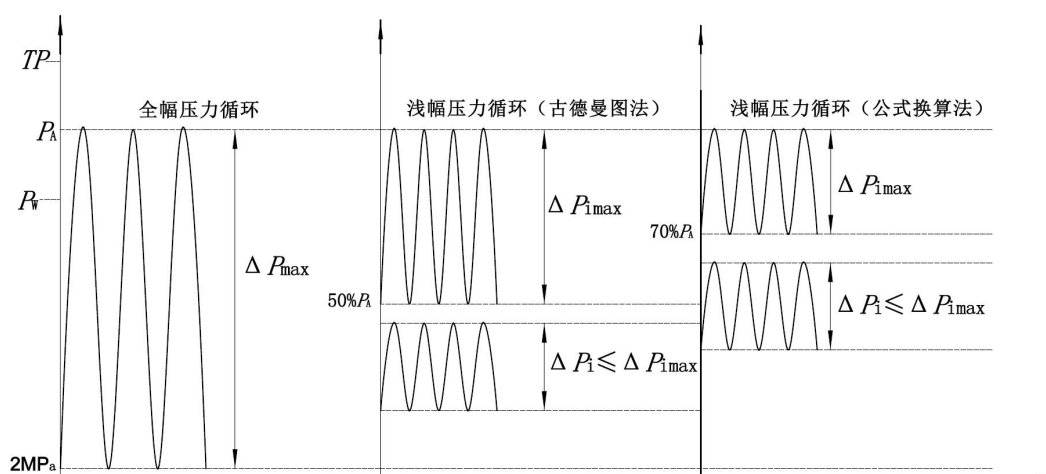
应按照以下程序进行泄漏试验：

- 彻底干燥气瓶
- 按 T/CATSI 02 010 进行气瓶气密性氦泄漏检测
- 氢气漏率不得超过 6 NmL/(h·L)。

附件 B（资料性）

循环压力关系图及循环次数换算算例

B.1 循环压力关系图



B.1 图循环压力关系图

B.2 换算算例

算例 1:

3 型铝合金内胆储氢气瓶, $P_W=52\text{MPa}$, $P_A=65\text{MPa}$ 。按浅幅压力循环在 $70\% P_A=45.5$ 到 65MPa 之间计算（实际使用压力上限不大于 52MPa 的任何波动幅度在 19.5MPa 内, 设计使用年限 15 年, 每年循环不大于 10000 次的工况）。

最大允许的浅幅压力循环波动范围为 $65-45.5=19.5\text{MPa}$

$$\Delta P_{1\max}=19.5\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\max}=65-2=63\text{MPa}$$

如果按 $n_i=10000$ 次循环/年。对于 15 年的预期寿命, $n_i=150000$ 次循环

$$n_{eq}=150000 \times (19.5/63)^3=4448$$

考虑到加速因子 $F_a=1$, 则等效循环次数为 4448 次, 小于标准规定的 11000 次循环。

算例 2:

3 型铝合金内胆储氢气瓶, $P_W=87.5\text{MPa}$, $P_A=109.38\text{MPa}$ 。按浅幅压力循环在 $70\% P_A=76.6$ 到 109.38MPa 之间计算 (实际使用压力上限不大于 87.5MPa 的任何波动幅度在 32.78MPa 内, 设计使用年限 15 年, 每年循环不大于 10000 次的工况)。

最大允许的浅幅压力循环波动范围为 $109.38-76.6=32.78\text{MPa}$

$$\Delta P_{\text{imax}}=32.78\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{max}}=109.38-2=107.38\text{MPa}$$

如果按 $n_i=10000$ 次循环/年。对于 15 年的预期寿命, $n_i=150000$ 次循环

$$n_{\text{eq}}=150000 \times (32.78/109.38)^3=4037$$

考虑到加速因子 $F_a=1$, 则等效循环次数为 4037 次, 小于标准规定的 11000 次循环。

算例 3:

某加氢站: 1 型储氢气瓶, $P_W=45\text{MPa}$, $P_A=56.25\text{MPa}$ 。

储氢气瓶: 4130X 钢质气瓶

单瓶容积: 0.895m^3

数量: 18 (高中低个数比: 2: 3: 4)

使用方式: 高中低分三级加注

高压瓶组压力范围为 $35-45\text{MPa}$

中压瓶组压力范围为 $20-45\text{MPa}$

低压瓶组压力范围为 $10-45\text{MPa}$

按储氢气瓶浅幅压力循环在 39.375MPa 到 56.25MPa 之间计算 (实际使用压力上限不大于 45MPa 的任何波动幅度在 16.875MPa 内, 每年循环不大于 10000 次的工况)。

$$\Delta P_{\text{imax}}=56.25-45=16.875\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{max}}=56.25-2=54.25\text{MPa}$$

1、低压储氢气瓶压力循环在 10 到 45MPa 之间

$$\Delta P_{\text{imax}}=16.875\text{MPa}$$

$\Delta P_i=45-10=35\text{MPa} > 16.875\text{MPa}$ (不能用公式计算, 且超出 $53.25 \times 50\% = 26.625\text{MPa}$, 按全幅计算)

按每天全幅循环充装 10 次, $n_i=3650$ 次循环/年。

10 年的预期寿命, $n_i=36500$ 次循环, 大于标准规定的 15000 次循环。

5 年的预期寿命, $n_i=18250$ 次循环, 大于标准规定的 15000 次循环。

4 年的预期寿命, $n_i=14600$ 次循环, 小于标准规定的 15000 次循环。

结论: 按此参数运行的瓶组只能使用 4 年。

2、储氢气瓶压力循环在 20 到 45MPa 之间

$$\Delta P_{\max}=16.875\text{MPa}$$

$$\Delta P_i=45-20=25\text{MPa}>16.875\text{MPa}, \text{但没超出 } 53.25*50\%=26.625\text{MPa}$$

结论: 不能用公式计算, 可按附录 C 采用 S-N 曲线和古德曼图来核算。

如果将储氢气瓶压力循环调整为 30 到 45MPa 之间。

$$\Delta P_{\max}=16.875\text{MPa}$$

$$\Delta P_i=45-30=15\text{MPa}<16.875\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\max}=54.25\text{MPa}$$

按本标准规定按每天充装 24 次计算, $n_i=8760$ 次循环/年。

10 年的预期寿命, $n_i=87600$ 次循环

按实际压力循环幅度计算: $n_{eq}=87600*(15/54.25)^3=1852$ 次

考虑到加速因子 $F_a=5$, 则等效循环次数为 9260 次, 小于标准规定的 15000 次循环。

按最大浅幅压力循环幅度计算: $n_{eq}=87600*(16.875/54.25)^3=2637$ 次

考虑到加速因子 $F_a=5$, 则等效循环次数为 13185 次, 小于标准规定的 15000 次循环。

结论: 以调整后的浅幅压力循环幅度运行的瓶组可以安全使用 10 年。

3、储氢气瓶压力循环在 35 到 45MPa 之间

$$\Delta P_{\max}=16.875\text{MPa}$$

$$\Delta P_i=45-35=10\text{MPa}$$

$$\Delta P_{\max}=54.25\text{MPa}$$

每天充装 24 次, $n_i=8760$ 次循环/年。

10 年的预期寿命, $n_i=87600$ 次循环

按实际压力循环幅度计算: $n_{eq}=87600*(10/54.25)^3=549$ 次

考虑到加速因子 $F_a=5$ ，则等效循环次数为 2745 次，小于标准规定的 15000 次循环。

按最大浅幅压力循环幅度计算： $n_{eq}=87600 \times (16.875/54.25)^3=2637$ 次

考虑到加速因子 $F_a=5$ ，则等效循环次数为 13185 次，小于标准规定的 15000 次循环。

结论：在此浅幅压力循环内的瓶组可以安全使用 10 年。

附件 C

（资料性附录）

使用古德曼图进行的疲劳寿命评估

C.1 目的

本附录包含有关 S-N 图和古德曼图的开发背景信息，用于评估高压下的等效全压（满）循环，从而减少试验循环的总数，同时保证压力容器可满足寿命高可靠性要求。

C.2 制作 S-N 图

气瓶制造商负责基于使用与待开发的气瓶相同的材料和制造方法来制作 S-N 图。由于这是评估复合材料疲劳特性的 S-N 图，失效必须是复合材料的失效，例如爆破，而不是内胆泄漏。以下步骤是必要的：

1. 确定用于制作 S-N 图的气瓶的平均爆破压力。至少需要 10 只。将此点在 S-N 图上绘制为 100% 应力，1 个循环。
2. 将至少 4 个气瓶从不超过公称工作压力的 10% 循环到第一个指定的具有已知应力的压力水平。在 S-N 图上绘制这一点。S 值将是相对于平均爆破的应力，N 值将是第一次失效时的循环次数，或者未出现失效而停止循环的次数。
3. 将至少 4 个气瓶从不超过公称工作压力的 10% 循环到第二个指定的具有已知应力的压力水平。在 S-N 图上绘制这一点，方法同第 2 步。
4. 从 100%-1 点（爆破）连接下游疲劳点，画出一条线。这将是特征线。建议图中两个疲劳点至少相隔十年。

图 C.1 示出了基于上述制作方法的 S-N 图。

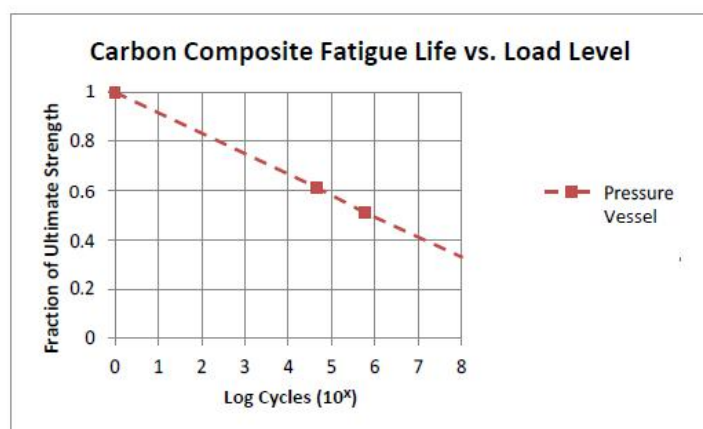


图 C.1-碳复合材料疲劳寿命与载荷水平

C.3 等效压力循环

S-N 图（图 C.1）可用于指定替代压力以证明抗疲劳性能。例如：

- 假设完整循环的要求是 10^7 个全压（满）循环（10,000,000）。气瓶的设计必须使全压应力不超过平均爆破压力的 40%。
- 可以预期同一气瓶在平均爆破压力的约 80% 下承受约 10^2 个全压循环（100）。如果在 80% 压力下压力循环超过 100 次而没有失效，则认为设计合格。
- 如果某些气瓶在所需的循环次数之前失效，则必须相应地降低失效曲线，并且气瓶将需要在相应较低的应力水平下操作以进行认证。

C.4 制作古德曼图

古德曼图，见图 C.1，根据 SN 图（图 C.1）制作如下，如表 C.1 所示：

1. 从古德曼图中使用的 S-N 图中识别疲劳等级（第 1 列）
2. 从 S-N 图中确定与疲劳水平相对应的应力水平（如，在较高的循环压力下）（第 2 列）；注意：应力水平以极限强度的一部分给出。
3. 从 S-N 图中确定与疲劳水平相关的较低应力水平（即在较低的循环压力下）（第 3 列）注意：某些疲劳试验的下限高达最大工作压力的 10%，但可能接近于零。考虑到这种情况，较低的循环压力设定为零。
4. 计算压力循环的平均应力水平（第 4 列）注意：这等于“上限”的一半加“下限”。
5. 计算压力循环的幅度（第 5 列）注意：这等于平均应力水平减去较低的应力水平（等于上限的一半减去下限）
6. 输入每行第二个点的坐标（第 6 列，第 7 列）。由于这表示拉伸强度，例如在爆破试验中，这些坐标对于所有疲劳线将是相同的，并且对于上限将具有 1.0 的标准值，且振幅为 0.0。
7. 从两组（X，Y）坐标中，计算合成线（第 8 列）的斜率和 Y 轴（第 9 列）的截距。

表 C.1-古德曼图制作

Col.1	Col.2	Col.3	Col.4	Col.5	Col.6	Col.7	Col.8	Col.9
疲劳水平	循环上限	循环下限	平均应力 (X2)	应力幅 (Y2)	抗拉强度 (X1)	应力幅 (Y1)	斜率 (m)	截距 (b)
1×10^1	0.92	0.0	0.460	0.460	1.0	0.0	-0.8518	0.85
1×10^2	0.83	0.0	0.415	0.415	1.0	0.0	-0.7094	0.71
1×10^3	0.74	0.0	0.370	0.370	1.0	0.0	-0.5873	0.59
1×10^4	0.66	0.0	0.330	0.330	1.0	0.0	-0.4925	0.49
1×10^5	0.60	0.0	0.300	0.300	1.0	0.0	-0.4286	0.43
1×10^6	0.50	0.0	0.250	0.250	1.0	0.0	-0.3333	0.33
1×10^7	0.40	0.0	0.200	0.200	1.0	0.0	-0.2500	0.25
1×10^8	0.31	0.0	0.155	0.155	1.0	0.0	-0.1834	0.18

表 C.1 的底部四行显示在下面的图 C.2 中。如果需要，可以绘制更多的线。

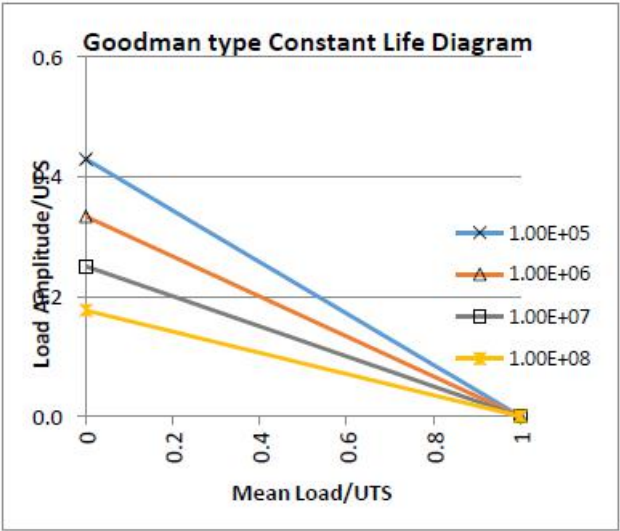


图 C.2-Goodman 型恒定寿命图

作为 4.5.1 方法的替代方案，制造厂可以指定压力范围，以及预期在气瓶寿命期间可见的每个压力范围内的循环，并显示疲劳寿命有余量。如果合适，分析可以使用将压力范围等同于公共参考数据的手段，例如 Goodman 型恒定寿命图，并且应评估每个压力范围中使用的寿命部分以及随后的预期寿命总和，例如使用密纳法则。必须对气瓶的复合材料和金属部件进行分析。

表 C.2 给出了样品压力循环规范的示例。在这个例子中，爆破压力是最大上限压力的 2.25 倍($100 \times 2.25 = 225$)。使用上述方法，根据表 C.3 中给出的这些数据可以放入无量纲项绘制 Goodman 图。

表 C.2-样品压力循环规范

组号	下限压力	上限压力	R	循环次数
1	0	100	0	100000
2	30	70	0.429	400000
3	70	100	0.7	500000

表 C.3-标准化样本项

组号		下限比率	上限比率
1		0.222	0.222
2		0.222	0.0889
773		0.3778	0.0667

可以在 Goodman 图上绘制点，图 C.2 绘制的线与前面的线类似。通过起点 (0,0) 斜率为 1 的“可靠性”线相交，获得压力下限为 0 的等效循环范围。可以看出组号 1 位于 1×10^6 和 1×10^7 线之间，而其他两点位于 1×10^8 线以下。根据这些信息，可以估算使用寿命的总分数，如表 C.4 寿命评价所示。由此产生的安全系数可以计算为 $FS > 1/0.109 = 9.2$ 。

表 C.4-寿命评价

设置号	循环次数	寿命分数	=LF
1	100000	<100,000/1E6	<0.100
2	400000	<400,000/1E8	<0.004
3	500000	<500,000/1E8	<0.005
总和-密纳法则			<0.109