

T/CATSI 02 0××—20××
《加氢站用高压储氢气瓶安全技术要求》
编制说明

标准起草组

2020.10

一、工作简况

1. 任务来源

本项目是中国技术监督情报协会制定的团体标准，项目名称为“加氢站用高压储氢气瓶安全技术要求”，任务立项日期2020年10月，项目周期12个月。

2. 起草单位

主要起草单位：大连锅炉压力容器检验检测研究院有限公司、北京天海工业有限公司、国家市场监督管理总局特种设备局、中国特种设备检测研究院、北京科泰克科技有限责任公司、中材科技（成都）有限公司、沈阳斯林达安科新技术有限公司。

3. 主要修订过程

我国加氢站发展迅速，对站用储氢设备的需求旺盛，但目前因储氢设备品种少、价格高、供货周期长等原因，一定程度上制约了加氢站的发展。如果气瓶能够用于加氢站储氢，无疑会给用户一个新的选择。EN17533 的颁布为我们提供了这种可能性。本标准的目的就是希望通过参照 EN17533，提出我国自己的气瓶站用解决方案。

标准编写组早成立于2019年，2020年6月形成了标准草案，随即申请了本标准的立项。

标准立项后标准编写组形成了标准征求意见稿。

二、标准编制原则与主要内容

1. 标准编制原则

本标准参考采用EN17533的部分技术内容，结合我国的应用实际，提出我国自己的按照气瓶设计制造的气瓶产品应用到加氢站作为站用储氢气瓶的技术要求。考虑到方便程度和准确性，本标准采用压力循环次数换算法为主，S-N曲线和古德曼图法为辅，试验法通过一次性取得浅幅压力循环试验循环次数进行验证来提高储氢气瓶使用过程中的安全性。

2. 标准主要内容说明

本标准适用于公称工作压力大于等于35MPa且不大于110MPa、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)。主要技术内容包括材料、设计、使用条件、原型气瓶用于站用储氢气瓶的流程、型式试验要求等。

本标准的主要技术内容如下：

2.1 关于重要术语的定义

2.1.1 全幅压力循环

循环压力上限在 $50\%P_A \sim 100\%P_A$ 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。P_A为许用压力。

EN17533 规定：全幅压力循环的幅度在不小于 MAWP 和不超过 MAWP 的 10% 之间。EN17533 使用固定压力容器中的最大许用工作压力 (MAWP) 概念，MAWP 可以作为设计压力，但也规定 MAWP 不大于气瓶标准规定的水压试验压力 P_h。本标准规定全幅压力循环上限取许用压力。

2.2.2 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。P_A 为许用压力。

EN17533 规定：浅幅压力循环的幅度从不低于 MAWP 的 70% 到 MAWP，即可以使用压力循环次数换算公式的最大浅幅压力循环幅度只能是在这个范围内。

$$n_{eq} = n_i \left(\frac{\Delta p_i \max}{\Delta p_{max}} \right)^3$$

只要浅幅压力循环幅度在最大浅幅压力循环幅度范围内，都可以使用这个公式计算等效循环次数。超出这个范围 EN17533 的换算公式是否可用不确定，但采用附录 C 的 S-N 曲线和古德曼图应该是可以的。即使采用古德曼图来换算，对循环幅度也应该有个限制。因此本标准规定，循环幅度大于全幅压力循环幅度 50% 的，都应当视为全幅压力循环，计入全幅压力循环次数。

2.2.3 公称工作压力 P_w

在环境温度 20℃ 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。

EN17533 规定：压力循环的上限可以按压力容器的设计理念，达到 MAWP。

2.2.4 气瓶标准规定的水压试验压力 P_h

气瓶标准规定的水压试验压力 P_h 一般为公称工作压力 P_w 的 1.5 倍。

2.2.5 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≤0.95*P_A/0.77

2 型和 3 型气瓶，≤95% 的自紧压力

EN17533 规定：站用储氢气瓶水压试验压力 TP 为：

1 型气瓶，TP≤0.95*P_h/F

2 型和 3 型气瓶，95% 的自紧压力

2.2.6 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。

EN17533 规定：应力比为最小爆破压力下纤维应力与 MAWP 下纤维应力的比值，本标准规定，应力比为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。

2.2.7 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。

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。

EN17533 规定，站用储氢气瓶可以直接按 EN17533 设计制造，也可以选用各种气瓶产品通过附加试验的方法制造。本标准采用使用原型气瓶+附加试验的方法。

2.3 材料要求与压力容器一致

考虑的气瓶材料有关氢相容性的要求应与对压力容器材料的要求一致，本标准对材料氢相容性的要求采用团标 T/CATSI 05003-2020《加氢站储氢压力容器专项技术要求》中的规定。

EN17533 按 ISO11114，与 T/CATSI 05003-2020 基本一致。

2.4 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。

2.4.1 原型气瓶设计计算

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

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。

EN17533 采用的气瓶标准范围很宽, 包括 ISO11120、ISO11439、ISO11119、ISO9809 等。本标准以 GB/T33145 和 GB/T35544 为基础, 也可以根据我们国标和团标的发展适当扩展。

2.4.2 爆破压力和纤维应力比

表 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

2.4.3 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。

2.5 使用条件

2.5.1 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。

考虑到缺少在氢能领域的使用经验和试验数据, 本标准将钢质气瓶站用的压力范围限制在公称工作压力不得大于 50MPa。

2.5.2 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。

2.5.3 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。

同时规定了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。

压力循环次数换算

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。

古德曼图

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。

EN17533 给出了压力循环次数换算法、S-N 曲线和古德曼图、断裂力学方法三种方法计算气瓶浅幅循环疲劳寿命，或用试验方法确定疲劳寿命。考虑到方便程度和准确性，本标准采用压力循环次数换算法为主，S-N 曲线和古德曼图法为辅，试验法通过一次性取得浅幅压力循环试验循环次数进行验证来提高储氢气瓶使用过程中的安全性。

2.5.6 浅幅压力循环试验

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

为了验证制造厂气瓶产品用于加氢站时计算寿命的可靠性，本标准规定对制造厂新设计用于加氢站的气瓶，应通过试验来验证设计确定的浅幅压力循环寿命。这也是 EN17533 规定的可以采用的验证方法之一。

2.5.7 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。

与 EN17533 的要求一致。为实现这个要求，加氢站应当有很好的管理，能够可靠地记录和保存循环次数、压力幅、最高运行压力等数据。

2.6 原型气瓶用于站用储氢气瓶的流程

2.6.1 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。

2.6.2 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。

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。

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。

该条款可以帮助制造厂减少需要进行浅幅压力循环试验的产品型号，降低生产成本。

2.6.3 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。

2.6.4 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。

2.6.5 对符合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。

2.7 型式试验要求

2.7.1 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。

本条款进一步明确气瓶用于加氢站储氢的条件是按相关气瓶产品标准设计、制造的气瓶应先按产品标准完成全部型式试验并合格，然后按本标准进行补充试验合格后才能作为储氢气瓶用在加氢站上。

2.7.2 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		✓	✓
-------	------	-----------	--	---	---

2.7.3 钢质气瓶、内胆的材料试验

钢与氢的相容性应按照 A1 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。

2.7.4 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 A2 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。

针对钢质气瓶、内胆的材料调质热处理铬钼钢或不锈钢，其氢气相容性试验、氢敏感系数试验的免除，参考了 ASME VIII 3 的 KD10。

2.7.5 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			✓

验证试验时抽取另外 3 个气瓶，根据 A5.2 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。

本标准规定了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。同时也规定了设计变更的有关规定。

型式试验项目的设置与 ISO17533 基本相同，参考团标《加氢站储氢压力容器专项技术要求》，取消了火烧试验。但气瓶标准要求火烧试验时，应按气瓶标准要求。

2.7.6 制造过程检验和批量试验

本标准规定了过程检验和批量试验的有关要求。

2.8 使用管理

对操作参数监测和定期检验提出了有关要求。

2.9 本标准的安全性评估

按 EN17533，压力循环的上限应达到气瓶标准规定的水压试验压力 Ph 。本标准将用在加氢站的储氢气瓶实际使用的上限压力仍规定为公称工作压力。但要求设计和试验按 EN17533 的规定，压力循环试验上限压力不小于 Ph ，产品实际水压试验压力为 $1.25Ph$ 。因此本标准允许的实际运行压力循环上限低于 EN17533 规定值的 1.5 倍。

EN17533 规定设计浅幅压力循环次数至少应为全幅压力循环次数的 3 倍。根据实际试验数据，本标准规定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，高于 EN17533 的规定。

考虑到缺少在氢能领域的使用经验和试验数据，本标准还规定钢质气瓶站用的压力范围限制在公称工作压力不得大于 52.5MPa ，同时规定水容积大于 450L 的钢内胆碳纤维缠绕气瓶的公称工作压力不得大于 52.5MPa ，即只能用于 35MPa 加氢站。目的也是降低材料氢相容性方面的安全风险。

与 EN17533 相比，本标准有足够的安全裕度，能够保证气瓶用于站用储氢的安全。站用储氢气瓶应用的关键还在于加氢站应当有很好的管理，能够可靠地记录和保存循环次数、压力幅、最高运行压力等数据。

三、主要试验（或验证）情况

按照本标准草案计划对产品进行全幅压力循环和浅幅压力循环试验，以验证本标准规定的浅幅压力循环寿命的换算方法是否准确。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况

本标准修改采用了 EN17533-2010《站用储氢气瓶和长管》中部分技术内容。

五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准是在满足《特种设备安全法》、《气瓶安全技术监察规程》的有关规定基础上起草的。该标准与法律、法规及相关标准等是协调一致的。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准的修订无重大分歧意见。

七、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

根据特种设备领域强制性标准精整合结论要求，本部分的标准属性为推荐性。

八、知识产权状况声明

本标准的起草严格按照GB/T 20003.1-2014《标准制定的特殊程序 第1部分：涉及专利的标准》的规定执行。截止目前，本标准未接到任何涉及相关专利或知识产权争议的信息、文件。

九、其他应予说明的事项

无。