

《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》
(征求意见稿)
编制说明

起草组

二零一七年九月十九日

1. 工作简况

1.1 编写目的及任务来源

氢能具有来源多样、清洁环保、储运便捷、利用高效等优点，其开发和利用备受关注。近年来，日本、美国、德国等发达国家纷纷加大氢能技术研发的科技力量和资金投入，并将发展氢能作为国家能源战略。我国也十分重视氢能技术的开发和利用，《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020年）》、《中国制造2025（2015-2025）》、《能源技术革命创新行动计划（2016-2030）》、《“十三五”国家科技创新规划（2016-2020）》等均对氢能发展做出了部署。我国要重点研究高效低成本的化石能源和可再生能源制氢技术，经济高效氢储存和输配技术，燃料电池基础关键部件制备和电堆集成技术，燃料电池发电及车用动力系统集成技术，形成氢能和氢燃料电池技术规范与标准。大力发展氢能，是我国转变能源消费结构、保障能源安全、缓解雾霾、促进温室气体减排、使经济保持可持续发展的重要举措。

近年来，氢能在客车、轿车、物流车、邮政车、备用电源、分布式发电、热电联供等领域的应用中初见端倪。然而，氢气易泄漏扩散、可燃范围宽、燃烧热值高、爆炸能量大并对材料具有劣化作用，再加上氢气储存输送系统往往结构复杂且操作条件多样，使用风险高，标准规范的制定不能满足实际需要已成为氢能大规模推广应用的障碍之一。

氢气储存输送系统包括氢气储存系统、氢气压缩系统、氢气输送系统、氢气灌装系统及其组合系统，其工艺设计、材料选择、防火防爆等方面必须考虑氢气的特性。它既有共性技术，如抗氢材料筛选、氢气环境材料力学性能，以及防氢气泄漏、防氢气积聚、防氢气起火、降低氢气爆炸危害等方面的安全要求，又在氢气压缩、储存、灌注和输送方面有特殊技术要求。为规范氢气储存和运输，保障安全，有必要制订标准《氢气储存输送系统》。

标准《氢气储存输送系统》分为8个部分。《第1部分：通用要求》主要规定氢气储存输送系统总体设计、安全附件和仪表、安装调试、运行管理和风险评估的通用要求；《第2部分：金属材料与氢环境相容性试验方法》提供金属材料在氢气环境下的力学性能测量方法（慢应变速率拉伸试验、疲劳寿命试验、断裂韧性试验、疲劳裂纹扩展速率试验），主要规定试验的通用要求（包括试验设备、试验气体等）、试样要求、试验程序和试验报告；《第3部分：金属材料氢脆敏感度试验方法》提供抗氢脆材料快速筛选方法，主要规定金属材料氢脆敏感度试验的一般要求、试验设备、试样要求、试验程序和试验报告；《第4部分：氢气储存系统技术要求》主要规定固定式氢气储存系统、移动式氢气储存系统的技术要求；《第5部分：氢气输送系统技术要求》主要规定氢气管道输送系统、氢气长管拖车输送系统的技术要求；《第6部分：

氢气压缩系统技术要求》主要规定隔膜式压缩机、活塞式压缩机、离心式压缩机和气体增压器的技术要求；《第7部分：氢气灌装系统技术要求》主要规定工业气瓶灌装系统和车用气瓶充装系统的技术要求；《第8部分：氢气储存输送系统防火防爆技术》主要规定系统的报警、泄爆和阻火技术要求。

本标准制订项目由国家标准化管理委员会下达，项目编号为 20140620-T-469，项目名称为《氢气储存输送系统 第2部分：金属材料与压缩氢环境相容性试验方法》。

根据全国氢能标准化技术委员会下达的任务，本标准由浙江大学牵头，其他多家单位共同承担本标准的制定任务。

1.2 简要工作过程

（1）准备和启动阶段

本标准《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》由全国氢能标准化技术委员会提出，于2014年获国家标准化管理委员会批复立项，属于首次编写的推荐性国家标准。

（2）起草阶段

根据全国氢能标准化技术委员会下达的任务，在充分分析研究相关国际标准、国家标准、国内外资料的基础上，结合氢环境下材料性能试验的实践和科研成果，于2014年12月形成了本标准讨论稿。2015年9月，全国氢能标准化技术委员会在杭州组织召开了本标准的研讨会，重点研究了本标准的适用范围、编排结构和总体内容，并修改完善了本标准讨论稿。

2016年4月，全国氢能标准化技术委员会再次在杭州组织召开了本标准的研讨会。会议听取了本标准的编制工作进展情况，并对讨论稿进行了逐条研究讨论，形成了相应的修改意见。与会专家经讨论决定，将标准中所有的“压缩氢环境”全部改为“氢环境”，相应的本标准名称由《氢气储存输送系统 第2部分：金属材料与压缩氢环境相容性试验方法》改为《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》。会后，起草组多次召开讨论会，对本标准讨论稿进行了仔细修改和完善，最终形成了本标准的征求意见稿。

2. 国家标准编制依据及标准主要内容说明

2.1 国家标准编制依据

本标准编制过程中，参考的国内外相关标准主要有：

（1）ANSI/CSA CHMC 1-2014 《Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications - Metals 》

(2) ASTM G142-98 (Reapproved 2011) 《Standard Test Method for Determination of Susceptibility of Metals to Embrittlement in Hydrogen Containing Environments at High Pressure, High Temperature, or Both》

(3) BS EN ISO 11114-4:2005 《Transportable gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 4: Test methods for selecting metallic materials resistant to hydrogen embrittlement》

(4) GB/T 228.1 《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温拉伸试验方法》

(5) GB/T 3075 《金属材料 疲劳试验 轴向力控制方法》

(6) GB/T 6398 《金属材料疲劳裂纹扩展速率试验方法》

(7) GB/T 15248 《金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法》

(8) GB/T 21143 《金属材料准静态断裂韧度的统一试验方法》

2.2 标准主要内容说明

本标准主要包括：

- (1) 范围
- (2) 规范性引用文件
- (3) 术语和定义
- (4) 符号
- (5) 通用要求
- (6) 试验方法

附录 A (资料性附录) 试验设备主体的基本结构

2.2.1 适用范围

本标准适用于金属材料在氢环境中的拉伸性能、疲劳性能以及断裂力学性能的测定。

金属材料应用于氢环境，可能会发生力学性能的劣化，这种劣化主要体现在拉伸性能、疲劳性能、断裂力学性能方面，因此拉伸性能参数、疲劳性能参数、断裂力学性能参数是评价金属材料与氢环境相容性的重要指标，故本标准规定了对拉伸性能、疲劳性能以及断裂力学性能的测定。

2.2.3 术语和定义

收录了本标准中涉及的 5 条术语和定义，包括环境箱、内部测量装置、外部测量装置、排放管、对比环境试验。

2.2.4 通用要求

（1）一般要求

为了保证氢环境试验的安全性及试验结果的可靠性，对试验设备主体的基本结构、试验设备的检漏、试样的加工及保存提出了基本要求。

（2）试验设备

规定了试验设备的一般要求，同时对环境箱、测量装置（包括内部测量装置和外部测量装置）提出了设计要求。

试验设备需满足氢系统安全的基本要求，GB/T 29729 对此做了规定，本标准中实验系统的设计应满足其相关要求。考虑到在一定的温度和压力条件下设备部件材料本身会产生氢脆，规定在试验压力和试验温度范围内，试验设备中与氢直接接触部件所选用的材料应经验证与氢具有良好的相容性。考虑到作用在加载杆上因环境箱内部压力产生的轴向力会对试验结果产生影响，因此推荐使用适当的装置平衡此力。考虑到氢气易爆的特性，规定试验系统中应包含防静电接地装置、超压泄放装置、阻火器、远程监测系统等，同时应具备事故发生时及时报警和处理的能力。

环境箱属于固定式压力容器，因此其材料、设计、制造、使用管理、定期检验等应符合 TSG 21 的相关规定。考虑到环境箱在充放气体的过程中承受疲劳载荷，规定其设计应考虑疲劳载荷及氢气对材料性能劣化的影响，且设计寿命（循环次数）应大于或等于预期使用年限内的压力循环次数。

外部载荷测量装置的测量值受到因环境箱内部压力所产生的作用在加载杆上的轴向力以及加载杆与环境箱之间动密封处的摩擦力等因素的影响，因此需要对其进行修正。

（3）试验气体

规定了气源的纯度、置换过程的相关操作及要求及环境箱内的气体纯度。

气源是指用于充注环境箱的气体，其纯度和杂质含量对后续的置换过程以及试验结果具有重要影响，本标准参考 ANSI/CSA CHMC 1-2014 中 4.1.2 的内容，规定了气源的氢气纯度以及杂质含量。

置换过程决定试验时环境箱内气体纯度是否达标。置换过程的采样气体可通过采样容器或实时采样装置获得，当采用采样容器时，为了保证采样气体与环境箱内气体成分一致，规定采样容器及其与环境箱间的连接管路与环境箱同时进行置换。为了保证置换过程的安全性，规定先采用惰性气体进行初次置换，之后再使用氢气置换，同时规定置换时气体压力不超过之后的试验压力。置换过程可按照试验系统和试验类型来制定，但均应使得环境箱内的气体纯度满足要求。

本标准参考 ANSI/CSA CHMC 1-2014 中 4.1.4.1 的内容,规定了试样加载前以及试验结束时氢气中氧气和水的体积分数应分别小于或等于 2×10^{-6} 和 10×10^{-6} 。

(4) 试验温度

对试验温度的选取原则、推荐值、变化范围等进行了规定。

(5) 试验压力

对试验压力的选取原则、变化范围进行了规定。

本标准参考 ANSI/CSA CHMC 1-2014 中 4.4.1 的内容,规定了试验过程中环境箱内的压力应保持在 $(1 \pm 0.05) P$ 的范围内。

考虑到环境箱内部测量装置在初始阶段信号的波动性,规定当环境箱内氢气加压至试验压力后,保压至少 10 min,然后再进行试验。

考虑到试验过程中环境箱内氢气的压力有可能会降低,规定试验过程中可启动增压装置对环境箱内的氢气进行补压。

2.2.5 试验方法

对慢应变速率拉伸试验、疲劳寿命试验、断裂韧性试验以及疲劳裂纹扩展速率试验的相关内容进行了规定。

(1) 慢应变速率拉伸试验

通过慢应变速率拉伸试验可获得材料在氢环境下的屈服强度、抗拉强度、伸长率、断面收缩率等基本力学性能参数。

GB/T228.1 规定了慢应变速率拉伸试验的试验设备、圆棒试样的结构尺寸以及试验程序,本标准中的相关内容应满足其要求。

本标准参考 ASTM142-98 中 10.2 以及 10.3 的内容,规定了缺口试样的规格。

本标准参考 ANSI/CSA CHMC 1-2014 中 5.4.3 的内容,规定对于光滑圆棒试样,其标距段的应变速率应不超过 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;对于带缺口试样,其以缺口为中心的 25mm 试样段的平均应变速率应不超过 $2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。

(2) 疲劳寿命试验

通过疲劳寿命试验可获得材料在氢环境下的 S-N 曲线等疲劳性能数据。

GB/T3075 和 GB/T15248 规定了疲劳寿命试验的试验设备、试样的结构尺寸以及试验程序,本标准中的相关内容应满足其要求。

本标准参考 ANSI/CSA CHMC 1-2014 中 5.7.4.1 的内容,规定采用力控制时,试验过程中试样的应力幅应保持恒定,带缺口试样的 R 值取 0.1,光滑圆棒试样的 R 值取 0.1 或 -1。参考

ANSI/CSA CHMC 1-2014 中 5.7.4.2 的内容,规定采用应变控制时,试验过程中试样的总轴向应变幅或塑性轴向应变幅应保持恒定。对于试验频率的要求参考 ANSI/CSA CHMC 1-2014 中 5.7.4.1 和 5.7.4.2 的要求确定。

(3) 断裂韧度试验

通过断裂韧度试验可获得材料在氢环境下断裂韧度的特征值等断裂力学性能参数。

GB/T21143 规定了断裂韧度试验的试验设备、试样的结构尺寸、试验程序以及试验报告内容,本标准中的相关内容应满足其要求。

考虑到本标准中的断裂韧度试验是在氢气环境下进行的,规定试验报告的内容除了应满足 GB/T 21143 的要求以外,还应包含试验压力、气体纯度及杂质含量等内容。

(4) 疲劳裂纹扩展速率试验

通过疲劳裂纹扩展速率试验可获得材料在氢环境下的疲劳裂纹扩展速率。

GB/T 6398 规定了疲劳裂纹扩展速率试验的试验设备、试样的结构尺寸以及试验程序,本标准中的相关内容应满足其要求。

本标准参考 ANSI/CSA CHMC 1-2014 中 5.6.3.3 的内容,规定应在试样的最终热处理状态下对其进行裂纹的预制,并且预制可在空气中进行,预制时所采用的波形和频率可与疲劳裂纹扩展速率测试时所采用的波形和频率不同。

本标准参考 ANSI/CSA CHMC 1-2014 中 5.6.4.2 的内容,规定试验中 R 值应为 0.1 ± 0.01 ,试验频率应为 1Hz,加载波形应采用三角波或正弦波,并且试验中应力强度因子的范围宜为 $8 \sim 20 \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

3. 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

本标准是在理论和试验研究的基础上,结合 ANSI/CSA CHMC 1-2014 《Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications – Metals》与 ASTM G142 《Standard Test Method for Determination of Susceptibility of Metals to Embrittlement in Hydrogen Containing Environments at High Pressure, High Temperature, or Both》等标准制定的,技术指标与国际先进标准相当,处于国际先进水平。

4. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与《特种设备安全法》、TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》等法律、法规及相关标准协调一致。

5. 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准的制定无重大分歧意见。

6. 国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议将本标准作为推荐性国家标准。

7. 知识产权状况声明

截止本标准征求意见，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。

8. 贯彻国家标准的要求和措施建议