

《氢化物可逆吸放氢压力-组成-等温线
(P-C-T) 测试方法》国家标准征求意见稿
编制说明

2025 年 10 月 30 日

一、工作简况

1.1 任务来源

氢能作为实现"双碳"目标的核心清洁能源，其高效开发利用依赖于安全可靠的储运技术。金属氢化物储氢技术因无需高压设备、储氢密度高（如 Ti-Mn 系材料储氢密度达 1.8 wt.%以上），已成为交通、分布式能源等领域的关键解决方案。当前中国氢能产业规模预计 2030 年突破万亿元，而氢化物 P-C-T 测试作为材料性能评价的核心手段，现有标准 GB/T 33291-2016（发布于 2016 年）未对 P-C-T 曲线特征参数取值和计算作出规定，不同研究机构或企业可能采用各自的经验性方法，导致数据之间缺乏可比性，严重影响了测试数据在学术交流和产业应用中的价值，影响技术研发和产业化进程，亟需修订以支撑产业技术升级。

1.2 制定背景

国家《氢能产业发展中长期规划 2021-2035 年》明确要求“完善氢能标准体系”，此外，《国家标准化发展纲要》强调“新能源、新材料等领域需同步部署技术研发与标准研制”。本标准属于《氢能产业标准体系建设指南（2023 版）》（国标委联〔2023〕34 号）“3.1.4 固态储氢通用要求”。修订该标准将规范测试方法，提升储氢材料的安全性和可靠性，并可优化储氢技术，降低研发重复投入，提升数据可靠性与参考性，促进氢化物储氢技术在交通、分布式能源等领域的

应用研发和应用，推动氢能产业高质量发展，助力减排目标实现。

1.3 起草过程

2025 年 7 月 1 日，国家标准化管理委员会下达了本标准制定计划，计划号：20252600-T-469。

2025 年 10 月 17 日，全国氢能标准化技术委员会在北京组织召开了本标准启动会，有关单位介绍了标准制定背景、技术进展、标准内容，成立了标准起草组，确定标准制定工作计划。同时，对形成的标准草案内容进行交流讨论。

2025 年 10 月 30 日，起草组编制和完善了标准文本，形成了标准征求意见稿。

二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据，修订国家标准时，还包括修订前后技术内容的对比

2.1 标准编制原则

（1）符合性

1）在 GB/T 33291—2016《氢化物可逆吸放氢压力-组成-等温线（P-C-T）测试方法》的基础上，补充了 PCT 曲线特征参数取值的内容，保证了专业术语的规范性和一致性。

2）参照了 GB/T 29918-2023《稀土系储氢合金 压力-组成等温线（PCI）的测试方法》，避免了与相关现行标准体系的冲突或矛盾，便于标准的实施与应用。

3) 以满足氢化物可逆吸放氢压力-组成-等温线 (P-C-T) 测试的发展需要为原则, 丰富了标准的适用性, 提升了测试数据的可靠性与参考性。

(2) 先进性

本标准不仅涵盖了传统的储氢合金 (如 AB_5 型、 AB_2 型、AB 型等), 也适用于新型高容量储氢材料, 如钒基固溶体、镁基储氢材料、氢化铝钠等。

编制过程中参考并吸收了国内先进标准 (如 GB/T 29918-2023) 的合理内容, 并进行了修改和提升。如明确了材料热力学参数的取值与计算方法, 提升了测试的可靠性与参考性。

(3) 适用性

本标准采用体积法进行测试, 设备相对简单, 对测试环境要求虽高但更易实现和维护, 避免了重量法因气体浮力影响、样品量小易产生误差以及对杂质气体敏感等问题, 更适合在国内科研单位和企业中推广应用。新增采用体积标准罐进行系统体积标定的方法, 操作便捷, 准确度高。

新增的材料热力学参数的取值与计算方法基于物理化学中的范特霍夫方程, 相关基础理论扎实, 在研究中得到广泛认可与采用, 适用性强, 便于使用者理解和执行。新增吸放氢平台压力、斜率、滞后因子等特征参数的取值, 相比原标准更加规范, 适用性更强。

2.2 标准主要内容及其确定依据

(1) 主要内容

本文件正文内容 10 部分。

第 1 部分为前言与范围，规定了材料类型与测试条件。

第 2 部分为引用标准，将涉及到的相关标准进行说明。

第 3 部分为术语定义，统一测试过程中的关键指标定义，避免歧义。

第 4 部分为符号标记，汇总了出现的符号标记。

第 5 部分为测试原理，基于理想气体状态方程，通过恒温下压力变化和气体体积变化计算氢容量。

第 6 部分为测试装置，总结了装置组成部分和相关技术要求。

第 7 部分为测试准备，规定了样品处理、样品量、体积标定、活化要求。

第 8 部分为测试过程，交代了温度控制、平衡判定和结果处理等要求。

第 9 部分为容量计算，给出了单步与累积容量计算公式。

第 10 部分为 PCT 曲线特征参数取值，为新补充内容，规定了最大吸氢量、平台压力、滞后系数、斜率因子和反应焓变及熵变的取值、计算方法。

(2) 确定依据

修订版本标准是在原有标准 GB/T 33291—2016《氢化物可逆吸放氢压力-组成-等温线（P-C-T）测试方法》的基础上，补充了 PCT

曲线特征参数取值/计算的内容，保证了专业术语的规范性和一致性。

另外新增的 PCT 曲线特征参数取值部分参照了 GB/T 29918-2023 《稀土系储氢合金 压力-组成等温线（PCI）的测试方法》，避免了与相关现行标准体系的冲突或矛盾，便于标准的实施与应用。还结合了近几年的相关权威科技文献，咨询了领域内专家学者，保证了特征参数取值的科学性和规范性。

2.3 修订前后技术内容的对比

在第 10 部分新增了 PCT 曲线特征参数取值或计算部分，对 PCT 曲线结果分析做出了标准参照，规定了最大吸氢量、平台压力、滞后系数、斜率因子和反应焓熵变的取值与计算方法，提升了测试方法的可靠性与参考性。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

3.1 试验验证

（试验验证情况：试验组织，参与单位，试验内容，试验数据分析等）

1) 试验组织与参与单位

试验组织：

参与单位：有研工程技术研究院有限公司

2) 试验内容（TiMn₂基储氢合金 PCT 曲线测试、特征参数取值

和计算。)

实验参数:

按照修订后标准要求，取 2g 颗粒尺度为 0.5—1.0mm 的 TiMn_2 基储氢合金，放入样品室，进行设备检漏与样品室体积的标定。并在 200℃与 5MPa 的氢气压力下活化 5 次。随后进行分别进行 20℃、40℃、60℃、80℃条件下的吸放氢 PCT 测试、数据计算与处理。

PCT 曲线如下图所示。

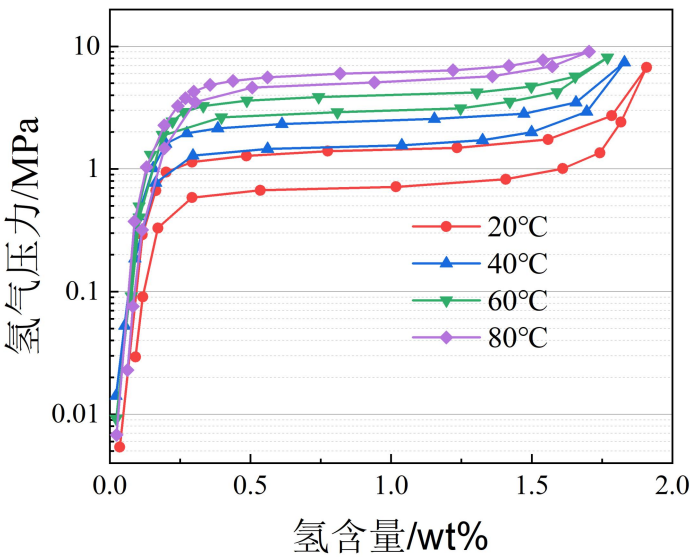


图 1 TiMn_2 基储氢合金 PCT 曲线

实验结论:

1. 最大吸氢量

经过图 2 的分析后，分析出吸氢曲线上试样在设定的最大测试压力下吸入氢气的最大质量分数，得出该样品在 20℃、40℃、60℃、80℃条件下，最大吸氢量分别为 1.91 wt%、1.83 wt%、1.77 wt%、1.70 wt%。

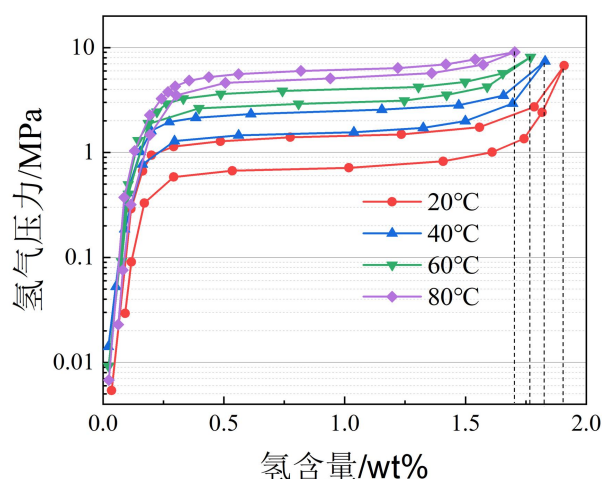


图 2 TiMn₂ 基储氢合金的最大吸氢量

2. 斜率因子

经过图 3 的分析后, 20°C 时放氢曲线平台起点与终点对应的平衡压力分别为 0.42 MPa 和 1.21 MPa, 氢含量分别为 0.25 wt% 和 1.67 wt%。40°C 时平台起点与终点对应的平衡压力分别为 1.02 MPa 和 2.52 MPa, 氢含量分别为 0.28 wt% 和 1.61 wt%。60°C 时平台起点与终点对应的平衡压力分别为 1.92 MPa 和 3.96 MPa, 氢含量分别为 0.21 wt% 和 1.53 wt%。80°C 时平台起点与终点对应的平衡压力分别为 2.72 MPa 和 6.68 MPa, 氢含量分别为 0.23 wt% 和 1.58 wt%。

由此可以根据公式计算出该样品在 20°C、40°C、60°C、80°C 条件下, 斜率因子 H_f 分别为 0.55、1.12、1.54、2.93。

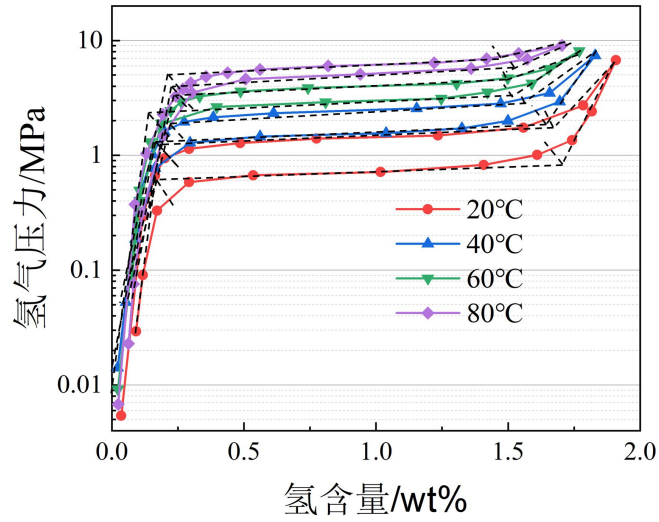


图 3 TiMn₂ 基储氢合金的平台起点与终点

3. 吸/放氢平台压力

经过图 3 的分析后, 20°C 时吸氢曲线平台起点与终点对应的平衡压力分别为 1.02 MPa 和 2.02 MPa, 氢含量分别为 0.24 wt% 和 1.71 wt%。40°C 时平台起点与终点对应的平衡压力分别为 1.72 MPa 和 3.10 MPa, 氢含量分别为 0.29 wt% 和 1.56 wt%。60°C 时平台起点与终点对应的平衡压力分别为 2.92 MPa 和 4.12 MPa, 氢含量分别为 0.24 wt% 和 1.43 wt%。80°C 时平台起点与终点对应的平衡压力分别为 5.10 MPa 和 7.04 MPa, 氢含量分别为 0.23 wt% 和 1.40 wt%。

可以得出, 该样品在 20°C、40°C、60°C、80°C 条件下, P_d 分别为 0.70 MPa、1.51 MPa、3.12 MPa、4.70 MPa, P_a 分别为 1.52 MPa、2.41 MPa、3.82 MPa、6.07 MPa。

5. 滞后系数

根据样品的平台压力, 可以计算出该样品在 20°C、40°C、60°C、80°C 条件下, 滞后系数 H_f 分别为 0.777、0.46、0.12、0.25。

4 反应焓/熵变

根据图 4 的 TiMn₂ 基储氢合金的 Van' t Hoff 方程的拟合直线，得出放氢与吸氢曲线的斜率与截距分别为-3344.57、11.08 和-2380.75、8.51，则放氢的焓变为 27.81 kJ/mol，熵变为 92.11J/K/mol，吸氢的焓变为-19.79 kJ/mol，熵变为 70.75 J/K/mol。

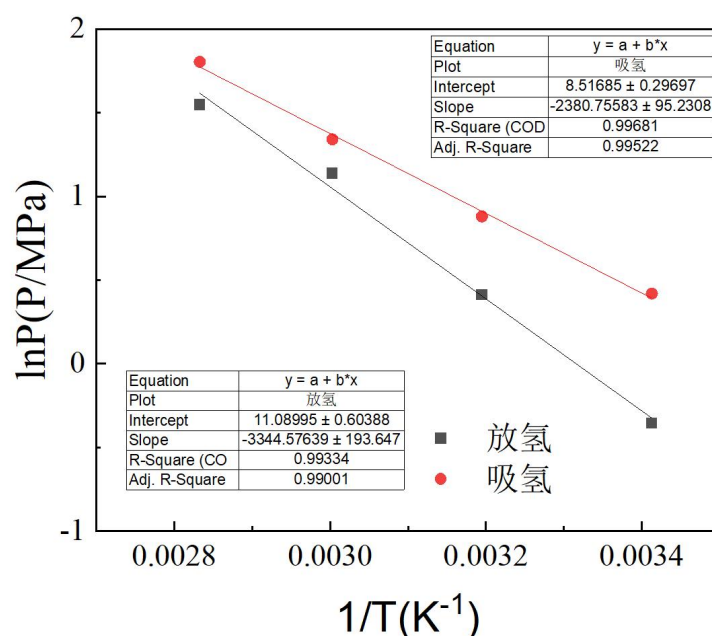


图 5 TiMn₂ 基储氢合金的 Van't Hoff 方程的拟合直线

5. 滞后系数

根据样品的平台压力，可以计算出该样品在 20℃、40℃、60℃、80℃条件下，滞后系数分别为 0.777、0.46、0.12、0.25。

3.2 综述报告

随着固态储氢材料与技术 在氢能交通、绿氢工业等领域的推广应用，稀土系、钛系、镁基等储氢合金已实现工业化量产。其储氢性能及 PCT 检测设备均取得显著提升，工业化应用也对材料吸放氢性能

提出了更为全面的标准化需求，有必要对试验评估方法标准进行修订。我国已实施发布的储氢材料相关国家标准有 4 项：《稀土系贮氢合金压力-组成等温线（PCI）的测试方法》（GB/T 29918-2023）适用于稀土系储氢合金的压力-组成等温线测试，压力范围 0.001MPa-10MPa，《稀土系储氢合金吸放氢反应动力学性能测试方法》（GB/T 42656-2023）适用于稀土系储氢合金的吸氢和放氢反应动力学测试，测试温度范围：25~300℃，测试压力范围：0.001~5MPa，上述两项标准仅针对稀土系储氢合金的测试，未涵盖钛系、轻质高容量储氢材料（如镁基、MOFs）等的测试需求。《移动式金属氢化物可逆储氢系统》（GB/T 44399-2024）涉及储氢系统设计，但未直接覆盖储氢材料 P-C-T 测试方法。《氢化物可逆吸放氢压力-组成-等温线（P-C-T）测试方法》（GB/T 33291-2016）是国内核心标准，规定了金属氢化物、络合氢化物等材料的 P-C-T 测试方法，适用于温度 77K-873K、压力 0-75MPa 范围，覆盖面广，但现行 GB/T 33291-2016 在内容范围方面存在滞后，需整合其他标准，进一步提升标准适用性和一致性。

国际上，关于储氢材料与装置的标准包括：《可移动气体储存装置—可逆金属氢化物中吸收的氢气》（ISO/TS 16111:2006）涉及储氢系统性能要求，但未涉及储氢材料 P-C-T 测试方法细节，本标准详细规定了装置组成、体积标定、平衡判定、特征参数取值与计算等。

日本于 1995-2007 年之间，先后制修订了系列储氢材料相关工业标准，包括 JIS H 7003:2007 储氢合金术语词汇表，JIS H 7201:2007 储氢合金压力-成分-温度(PCT)关系测量方法，JIS H 7202:2007 储氢合金吸/

放氢反应速率测量方法，JIS H 7203:2007 储氢合金吸/放氢循环特性测量方法，JIS H 7204:1995 储氢合金水合反应热测量方法。上述标准对储氢合金储氢性能测量方法做了较为全面的规定，本标准的修订参考了上述标准，并在测量范围、特征参量的取值/计算等方面作了完善。

3.3 技术经济论证

通过本修订标准，建立方法统一化、操作规范化和数据可比化的规范，实现氢化物可逆吸放氢压力-组成-等温线（P-C-T）测试的精确化、标准化及特征数据的准确化，直接技术经济效益是统一测试方法减少重复实验，研发成本降低，材料开发加速，间接技术经济是加速数据互认体系，促进检测业务发展。

3.4 预期效益

（1）经济效益

统一了测试方法与取值计算方法后，将提升测试的可靠性与参考性，降低研发成本；提升数据可比性，实现不同机构数据互认，促进材料供应商与氢能设备厂商的技术对接。

（2）社会效益

实验测试操作的统一可以降低压氢气存储风险，提升操作安全；降低技术门槛，助力中小企业和科研机构开展自主测试；规范人才技能，为行业培训提供权威依据。

（3）生态效益

有益于材料性能优化研究，指导开发高密度储氢材料，减少运输能耗，促进绿氢储运技术发展。

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

本标准与日本工业标准 JIS H 7201:2007 储氢合金压力-成分-温度(PCT)关系测量方法相比，在测量范围、特征参量的取值/计算等方面作了完善，更加适应我国固态储氢技术产业化发展需要。

五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

本标准为制定项目，不涉及国际标准转化。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准与现行法律、法规及相关标准协调一致。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准遵循了各方参与原则，制定时充分吸收了相关领域专家的意见和建议，无重大分歧。

八、涉及专利的有关说明

本标准不涉及专利。

九、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

本标准建议自发布起 3 个月实施，标准实施后，储氢材料研制及生产单位和企业依据本标准规定的氢化物吸放氢性能测试方法，及时组织人员培训，按照本标准提出的技术性能要求贯彻落实，严格认真遵守本标准规定。

十、其他应当说明的事项。

无。

十一、其他应当说明的事项。

本标准不含影响公平竞争的有关内容。本标准不适用《公平竞争审查条例》第十二条的规定。

本标准不限制或者变相限制市场准入和退出。不含有对市场准入负面清单以外的行业、领域、业务等违法设置审批程序的内容。不含有有限定经营、购买或者使用特定经营者提供的商品或者服务（以下统称商品）。没有设置不合理或者歧视性的准入、退出条件的内容。不含有其他限制或者变相限制市场准入和退出的内容。

本标准不限制或者变相限制商品要素自由流动。不含有限制外地或者进口商品、要素进入本地市场，或者阻碍本地经营者迁出，商品、要素输出的内容。不含有排斥、限制、强制或者变相强制外地经营者在本地投资经营或者设立分支机构的内容。不含有其他限制商品、要

素自由流动的内容。

本标准不影响经营者生产经营成本。不含有给予特定经营者选择性、差异化的财政奖励或者补贴的内容。不含有其他影响生产经营成本的内容。

本标准不影响经营者生产经营行为。不含有强制或者变相强制经营者实施垄断行为，或者为经营者实施垄断行为提供便利条件的内容。不含有其他影响生产经营行为的内容。

标准起草组

2025 年 10 月