

《金属氢化物储氢材料 第 1 部分:通用要求》 国家标准征求意见稿编制说明

2025 年 08 月 18 日

一、工作简况

1.1 任务来源

氢能是一种来源丰富、绿色低碳、应用广泛的二次能源，被认为是推动全球能源可持续发展，实现“碳中和”目标的终极能源。氢能不仅来源广泛，而且燃烧或发电后的唯一产物是水，具有绿色环保的特点。另外，氢气作为新能源具有可储存、可运输、可不经化学燃烧直接发电的独特优势。在氢能产业发展过程中，氢气的储存与运输是连接上游制氢和下游用氢的关键环节，目前较为成熟的储氢方式主要有三种：高压气态储氢、低温液态储氢、固态储氢技术。气态储氢的技术成熟，操作简便且放氢速度快，但存在体积密度较低和有泄露风险的问题。液态储氢具有较高的储氢密度，但是其液化过程能耗较大，易挥发难以长期储存。固态储氢在能源效率、氢的存储密度、安全性和可逆性等方面具有明显的优势，特别是其中的金属氢化物储氢材料，是极具发展前景的一类储氢方式。储氢材料的性能决定着金属氢化物储氢技术能否达到工业应用的标准。然而，目前针对金属氢化物储氢材料尚没有统一的国家标准，一定程度上制约了储氢行业的发展，所以有必要起草金属氢化物储氢材料的通用要求，规范金属氢化物储氢材料的通用技术要求、贮运要求、试验要求，促进金属氢化物储氢技术的发展，解决氢能产业高效高安全氢储运关键瓶颈。

由国家发展改革委、国家能源局印发《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》中指出氢能是未来国家能源体系的重要组成部分，要统筹全国氢能产业布局，加快构建安全、稳定、高效的氢能供应网络，需要稳步构建储运体系，探索固态储运方式应用。六部委联合印发的《氢能产业标准体系建设指南（2023版）》也提出了标准制修订工作的重点，其中氢储存和输运标准中明确提出了建立固态储氢标准。在多种固态储氢材料技术中，金属氢化物储氢材料具备高安全性、高体积储氢密度、快速充放氢、运输便捷等优势，因此通过制定金属氢化物储氢材料的通用要求，可以有利于金属氢化物储氢技术进步，补齐短板，推动各环节的协调有序发展，打通氢能上下游产业链。

1.2 制定背景

金属氢化物储氢技术应用前景广阔，可广泛应用于氢冶金、加氢站、季节性储能、交通运输、氢化工等领域。金属氢化物储氢材料标准的制定，有助于提高金属氢化物储氢材料的生产技术水平，规范生产流程，提高产品的质量和性能。标准的制定将加快金属氢化物储氢材料基础研究及应用研究技术突破，形成规模化发展，助力储氢产业降本增效，为氢能储运产业化起到关键性的支撑与促进作用，填补行业空白。本标准通过制定金属氢化物储氢材料 第1部分:通用要求，形成规范的储氢材料的分类和技术指标要求，填补国内无相关标准的空白，为各家企业提供统一的金属氢化物储氢材料使用规范，促进固体储氢装置的储运氢应用，为交通运输、化工、钢铁冶金、水泥建材和电力储能等领域提供高效高安全的规模储运氢装备。

1.3 起草过程（暂时不写）

2025年10月5日，国家标准化管理委员会下达了本标准制定计划，计划号：20255095-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。

202x年10月-12月，全国氢能标准化技术委员会通过国家标准信息公共服务平台、中国标准化研究院网站和微信公众号等平台对本标准公开征求意见。

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 标准编写格式按照 GB/T 1.1 的要求，引用标准采用最新版本。
- ② 制定标准的目的是规范金属氢化物储氢材料的通用要求，指导企业生产，标准必须适应氢能行业及企业的要求，满足行业、企业可持续发展的需要。
- ③ 标准的内容尽可能从材料实际应用出发，满足实际操作。

2.2 标准主要内容及其确定依据

（1）范围

本文件规定了金属氢化物储氢材料的通用技术要求、贮运要求和基本安全要求。

本文件适用于可逆吸放氢的金属氢化物储氢材料，包括稀土系储氢合金、钛系储氢合金、钒系储氢合金、锆系储氢合金、高熵储氢合金、镁系储氢材料、金属配位氢化物、金属有机框架储氢材料等。

（2）确定标准主要内容的论据

本标准的主要内容中的相关参数论据说明如下：

1) 关于稀土系储氢合金的性能参数说明

典型的稀土合金如 AB₅ 型和稀土-镁系超晶格储氢合金具备平台压适中、易活化、吸脱氢速度快的特点。如表 1 所示，其理论吸氢容量通常超过 1.4wt%，考虑到常用的元素取代等方法会牺牲其储氢容量，为了保证材料在应用端满足实际操作，其储氢容量应不低于

1.4wt%，有效储氢容量不低于 1.3wt%，表观体积密度不低于 50g/L，2000 次循环容量保持率应高于 80%。

表 1 部分稀土合金储氢量参数

材料种类	wt%
LaY ₂ Ni ₉	1.51
LaNi ₄ Co	1.5
La _{0.9} Y _{0.1} Ni ₄ Co	1.54
La _{0.7} Mg _{0.3} Ni _{2.8} Co _{0.3}	1.8
LaNi ₅	1.49

2) 关于钛系储氢合金的性能参数说明

如表 2 所示，大多数 Ti 系储氢合金的理论储氢量大于 1.7wt%。在 Ti 基材料的实际应用中，由于合金间应力过大会导致材料粉化，储氢容量出现一定衰退，同时合金化过程会损失一部分容量。因此为了保证材料的稳定性使用，其储氢容量应不低于 1.7wt%，有效储氢容量不低于 1.5wt%，实际运用中循环 1500 次容量保持率应高于 80%，表观体积密度高于 45g/L。

表 2 部分钛系合金储氢量参数

材料种类	wt%
TiMn _{1.5}	1.86
TiCr ₂	2.3
TiMn _{1.25} Cr _{0.2}	1.85
Ti _{1.2} MnCr	2.1
TiMnCr	2.1

3) 关于钛系储氢合金的性能参数说明

如表 3 所示，大多数 Zr 系储氢合金的理论储氢量大于 1.5wt%。在 Zr 基材料的实际应用中，由于合金间应力过大会导致材料粉化，储氢容量出现一定衰退，同时合金化过程会损失一部分容量。因此为了保证材料的稳定性使用，其储氢容量应不低于 1.4wt%，有效储氢

容量不低于 1.3wt%，实际运用中循环 1500 次容量保持率应高于 80%，表观体积密度高于 45g/L。

表 3 部分锆系合金储氢量参数

材料种类	wt%
ZrMnFe _{0.5} Ni _{0.5}	1.57
ZrMnFe _{0.45} Co _{0.45} V _{0.1}	1.52
Zr _{1.05} Fe _{1.4} Mn _{0.6}	1.6
ZrMn ₂	1.64

4) 关于钒系储氢合金的性能参数说明

钒系储氢合金具有 BCC 结构，一般其理论吸氢量在 3.5wt%以上，常温附近放氢量可接近 3.0wt%。但是由于在吸放氢过程形成的 VH 相较难分解，会导致放氢量减少。如表 4 所示，大多数合金化后的钒系储氢合金具有超过 2.5wt%的理论贮氢量,但在室温附近一般不能完全放出。因此综合考虑其性能，在实际运用中钒基材料储氢容量应不低于 2.5wt%，有效质量储氢容量应不低于 1.8wt%，在可逆循环使用条件下 800 次储氢容量保持率应不低于 80%，表观体积密度均不低于 50g/L。

表 4 部分钒系储氢合金储氢量参数

材料种类	Wt. %
V _{0.49} Ti _{0.435} Fe _{0.075}	3.9
TiV _{1.5} Fe _{0.4} Mn _{0.1}	3.3
V _{0.68} Ti _{0.20} Fe _{0.12}	3.6
Ti-10Cr-18Mn-27V-5Fe	3.3
Ti _{0.98-x} V _x Fe _{0.02} (x=0.2-0.8)	3.8-4.1

5) 关于高熵储氢合金的性能参数说明

高熵储氢合金是由五种或五种以上等量或大约等量金属形成的具有单一固溶体和高混合熵的储氢合金。如表 5 所示，主要的高熵储氢合金储氢容量基本在 3wt%以上。考虑到高熵合金的实际应用，储

氢容量应不低于 3wt%，有效质量储氢容量应不低于 2wt%，在可逆循环使用条件下 500 次储氢容量保持率应不低于 80%，表观体积密度均不低于 50g/L。

表 5 高熵储氢合金的储氢量参数

材料种类	wt%
(VFe) ₆₀ (TiCrCo) _{40-x} Zr _x	3.5
V ₃₅ Ti ₃₀ Cr ₂₅ Fe ₅ Mn ₅	3.41
(Ti _{32.5} V _{27.5} Zr _{7.5} Nb _{32.5}) _{0.94} Fe _{0.06}	3.19

6) 关于镁系储氢材料的性能参数说明

如表 6 所示，镁系储氢材料中的 Mg/MgH₂ 的理论储氢质量密度最高可达为 7.6wt%，较高的生成焓导致其在常温常压下特别稳定，特别适合用于氢气储运。此外，对 Mg 进行合金化后，绝大多数的镁系合金储氢量都在 4.5wt%以上。因此，考虑到合金化后的容量损失及其经济性，在后端储运场景其质量储氢容量应至少在 4.5 wt%以上，用于有效储氢的镁基材料质量储氢容量应不低于 4 wt%，1500 次循环储氢容量保持率应不低于 80%，表观体积密度均应高于 45g/L。

表 6 镁系储氢材料的储氢量参数

材料种类	ΔH (kJ·mol ⁻¹ H ₂)	wt%
Mg ₂ Ni	64.5	3.6
Mg ₂ Fe(H ₆)	87.0	5.5
Mg ₂ Si	36.4	5.0
Mg _{0.95} In _{0.05}	68.1	5.3
Mg/MgH ₂	75	7.6
Mg ₂ CoH ₅	79.0	4.5

7) 关于金属配位氢化物的性能参数说明

复杂金属氢化物主要包括金属铝氢化物、硼氢化物、金属氮氢化物等。如图1所示，与其他金属氢化物相比，其具有更低的形成能和

更高质量储氢密度及体积储氢密度。大多数的复杂氢化物储氢量在6wt%以上，因此综合考虑其应用场景，未来的复杂氢化物类储氢材料的质量储氢容量应不低于6 wt%，有效质量储氢容量应不低于4.5 wt%，200次循环储氢容量保持率应不低于80%，表观体积密度应高于45g/L。

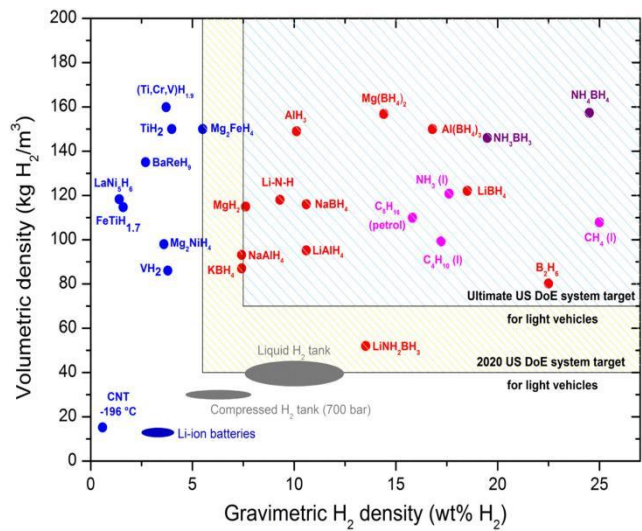


图1 多种金属氢化储氢材料及其体积/重量氢密度

8) 关于金属有机框架储氢材料的性能参数说明

金属有机框架储氢材料主要基于偏物理吸附方式储存氢气。在液氮温度（77K 或-196℃）~室温进行氢气储存与供给。一般来说，在液氮温度下具有较高的储氢容量且随着温度的升高储氢容量快速下降。图2给出了部分MOF储氢材料的液氮温度和常温的储氢密度。综合考虑其应用场景，MOF在液氮温度下的质量储氢容量应不低于5 wt%，有效质量储氢容量应不低于4.5 wt%，1000次循环储氢容量保持率应不低于80%，表观体积密度应高于35g/L。

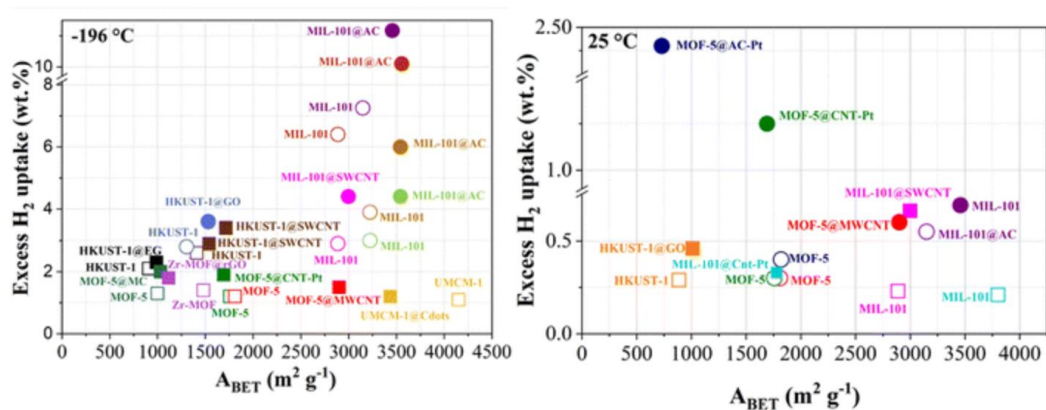


图2 MOF材料的储氢密度

9) 关于金属氢化物储氢材料命名的说明

HSM是储氢材料(hydrogen storage materials)的英文首字母缩写，代表其是储氢材料。在实际使用过程中，应用单位更关注储氢材料体系、有效储氢量、材料形状、循环寿命等参数。储氢材料体系直接决定了使用的温度和应用场景能否适用，有效储氢量和循环寿命是应用场景主要关注的材料性能；材料形状直接影响了储氢材料如何装填、储运氢容器如何设计。因此，本标准在材料命名时，要求写出这些关键参数，以HSM-XX-XX-XX-XX的形式给出。

10) 关于金属氢化物储氢材料的通用技术要求-其他要求的说明

在现有金属氢化物储氢材料的技术路线中，有以粉体装填的（如小型车载钛基/稀土储氢瓶等），也有以多孔块体随机堆积装填的（如氢枫和交大的吨级镁基固态储运氢车、交大小型车载储氢瓶、交大MOF块体储氢罐等），也有以圆柱状多孔块体规则装填的（如有研的车载钛基储氢装置等），因此规定储氢材料应为粉体和块体。同时，

工业应用时，储氢材料的性能需要均一，因此对各批次的储氢材料的成分、尺寸和性能均一做出规定，并要求储氢密度偏差 $\leq 5\%$ 。而块体填充时，需要要求块体不能发生明显破碎，且不产生杂质；服役过程中也不能释放除氢气以外的气体，与容器及内部附件的材料要具有相容性且不发生化学反应。

11) 关于金属氢化物储氢材料贮运要求的说明

金属氢化物储氢材料是微米级粉体或粉体压制成型的块体，因此需要密封隔氧隔水保存。因此，参考《GB 39176 稀土产品的包装、标志、运输和贮存》，根据储氢材料特性，提出对储氢材料的包装、贮存、运输、质量证明书和产品使用说明书做出规定。

12) 关于金属氢化物储氢材料的基本安全要求说明

根据金属氢化物储氢材料的性质，编制组给出了金属氢化物储氢材料及其在贮存、运输、装填、服役过程可能发生的危险。基于可能的危险，提出基本的安全使用要求。

2.3 修订前后技术内容的对比（如适用）

不适用。

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

(1) 镁系储氢材料试验数据

基于上海交通大学开发的镁系储氢材料块体，装填在大容量储氢容器中并进行吸放氢性能测试。氢气流量从 2.4 kg/h 缓慢衰减至接近于零，这个过程持续了将近 8 小时。吸氢过程结束后，整个储氢容器的总吸氢量达到了 66.98 kg。按照公式可以得出本次试验镁合金储氢材料的储氢质量密度达到了 6.28 wt.%。公式：储氢质量密度 = 氢气质量 / (氢气质量+镁合金材料质量) * 100%。

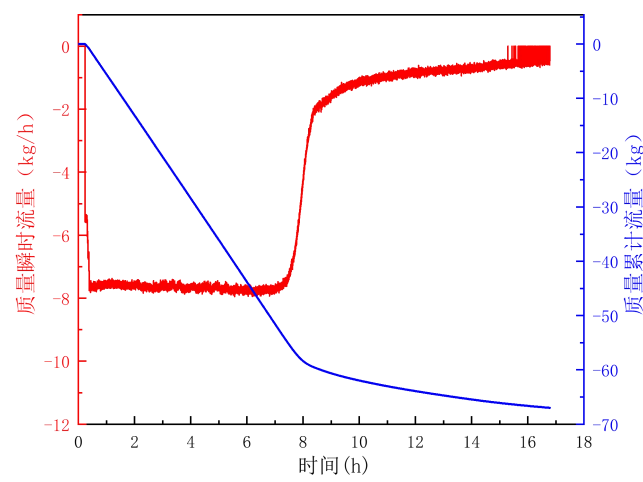


图 3 镁合金储氢材料吸氢动力学曲线

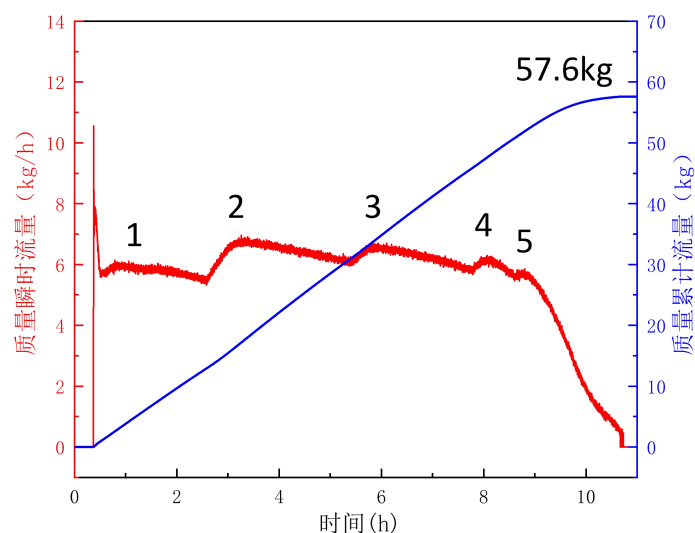
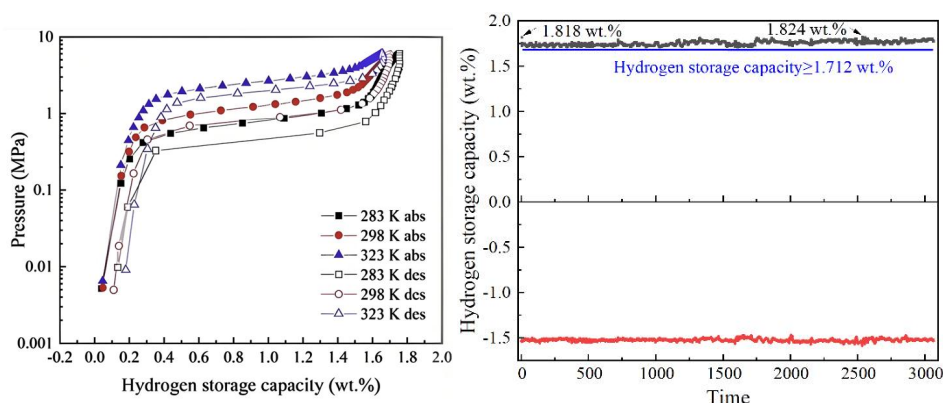


图 4 镁合金储氢材料放氢动力学曲线

(2) 钛锰系储氢材料试验数据

对块状钛系储氢合金块体的 PCT、循环性能进行测试，材料储氢容量 $\geq 1.8\text{wt.}\%$ ，材料热导率 $\geq 11\text{W/m/K}$ ，循环 3200 次后无明显衰减。其 1.4L 铝瓶单体在 50°C 水浴条件下，在 0.91 小时释放 56g 以上，材料的平均有效储氢容量为 1.59 wt%。



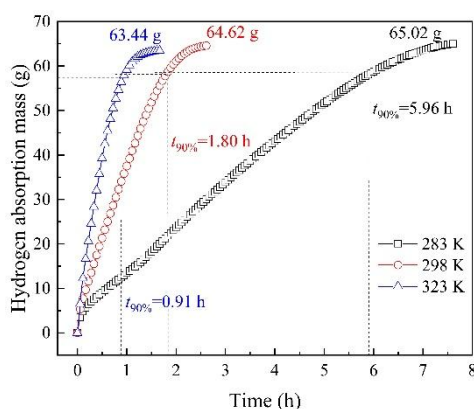


图 5 钛锰基储氢合金及其储氢单元放氢性能

3.2 综述报告

由国家发展改革委、国家能源局印发《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》中指出氢能是未来国家能源体系的重要组成部分，要统筹全国氢能产业布局，加快构建安全、稳定、高效的氢能供应网络，需要稳步构建储运体系，探索固态储运方式应用。六部委联合印发的《氢能产业标准体系建设指南（2023 版）》也提出了了标准制修订工作的重点，其中氢储存和输运标准中明确提出了固态储氢标准。

本标准与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。本标准适用于氢气可逆储存与运输用金属氢化物储氢材料，包括稀土系储氢合金、钛系储氢合金、钒系储氢材料、锆系储氢合金、高熵储氢合金、镁系储氢材料、金属配位氢化物、金属有机框架储氢材料等，其储氢容量分别一般应不低于 1.4wt%、1.7wt%、1.4wt%， 2.5wt%、3wt%、4.5wt%、6wt%和 5wt%，在用于可逆储氢时循环一定的次数后储氢容量保持率均应不低于 80%。本标准基于起草小组调研以及分

析不同金属氢化物储氢材料的基本特性和相关性能数据，规定了金属氢化物储氢材料的通用技术要求、贮运要求和基本安全要求，适用于可逆吸放氢的金属氢化物储氢材料。该标准的实施旨在规范金属氢化物储氢材料的通用要求，指导企业生产。

3.3 技术经济论证

在金属氢化物储氢材料理论研究方面，自 20 世纪 70 年代起，金属氢化物储氢材料开始被广泛关注和研究。1964 年，美国布鲁克海文国家实验室 Reilly 等合成了 Mg_2Ni 合金，这是历史上最早的金属储氢合金。1967 年，Pebler 等研究了 ZrCr_2 、 ZrV_2 和 ZrMo_2 的储氢性能，发现这类合金可以在 0.1MPa 的氢压下吸氢。1968 年，荷兰飞利浦实验室 Zijlstra 等在研究 SmCo_5 合金时意外发现该合金具有较好的可逆吸/放氢性能，在 2 MPa 下吸氢，而减压时又可放出 H_2 ，进一步研究发现， LaNi_5 合金具有更好的储放氢性能。1970 年，Reilly 等发现了金属钒（V）能够在室温下储存大量 H_2 ，但只能释放一半，而且吸氢动力学性能较差、活化比较困难。1974 年，Reilly 等发现了钛铁储氢合金（TiFe），其储氢量可达 1.86%，但初期活化困难，1977 年又发现了 $\text{TiMn}_{1.5}$ 。1999 年，Zaluska 等发现在催化剂的作用下，具有纳米结构的 Mg 基储氢合金具有良好的吸/放氢动力学性能，从而引发了人们对轻质储氢合金的广泛兴趣。1997 年，Bogdanović 等发现在 $\text{Ti}(\text{OBu})_4$ 的催化下， NaAlH_4 在中温（100~200℃）范围内可实现可逆吸/放氢反应，其理论可逆储氢容量达 5.6%。由此将铝氢化物和硼氢化

物等高容量配位氢化物纳入了可逆储氢材料范畴。2002 年，陈萍等开发出金属氨基物 Li-N-H 储氢材料，其可逆吸/放氢容量达到 6.5%，引起人们对金属氮氢化物储氢材料的极大关注。随后又进一步延伸到 NH_3BH_3 等高容量氨基硼烷化合物储氢材料中，储氢容量进一步得到提升，拓展了高容量储氢材料体系。

在金属氢化物储氢材料生产制备方面，上海交通大学与上海氢枫能源技术有限公司深度合作，共同研发镁基金属氢化物固态储氢技术，分别在河南新乡和江苏宜兴两地投资建设生产工厂，正在与宝武镁业合作建设千吨级镁合金材料自动化生产线。包头稀土研究院开发的新一代高容量 La-Y-Ni 系储氢合金材料已进入中试阶段，已建成年产 300 吨储氢合金材料的工业性试验生产线。安泰创明开发出稀土系 AB_5 型储氢合金及相关衍生合金，吸放氢动力学优异、近室温放氢温度、良好的循环稳定及其批量化制备技术，拥有年产能 500 吨规模化生产 AB_5 型、 AB_2 型储氢合金的生产线。

综上，金属氢化物储氢材料在理论研究及生产制备方面均具有深厚基础，能够保障标准的科学性、合理性、适用性、规范性。

3.4 预期效益

（1）经济效益

产业升级与就业机会：该镁基固态储氢技术应用到氢能产业，有利于社会事业的发展与进步。产品标准落地，有助于产品规模化应用，将助力当地产业结构升级，这将对区域的产业升级起到带头示范作用。

产业结构的不断优化将进一步影响到社会结构的优化，社会结构的不断优化将有利于社会发展过程中各种问题与矛盾的解决，从而进一步促进社会事业的进步与社会的稳定发展。

交通便利与服务民生：随着镁基和钛锰基固态储氢装置的示范推广，可为长三角地区的交通提供了快速、高效的能源补给方式，作为新能源汽车的重要配套设施，将成为城市交通和能源领域的重要组成部分，为人们的生活和出行带来更加便捷、高效、环保的体验。

（2）社会效益

技术引领与示范效应：本标准产品是基于大规模可再生能源制氢场景下解决对于高效、高安全和大规模储运需求而研发的技术成果，镁基固态储氢装置对替换现有高压长管拖车及高压氢气球罐运行模式做出示范性作用，为未来氢气安全规模储运提供参考，推动氢能产业进一步的发展，同时也推动氢能产业链在双碳环境下的技术进步和标准化建设。

公共安全与能源安全：高压气态储氢是将气态的氢压缩至高压状态（150-1000 个大气压）而储存在高压气罐中，存在氢气泄漏、容器破裂等安全隐患；液态储氢是通过不断降温至-253℃使氢气液化，进一步罐装至低温绝热容器中，但由于操作条件苛刻、成本较高、安全性低等问题；固态储氢技术是通过化学反应的方式将氢气储存在固体材料中，相对于气态和液态储氢，固态储氢具有体积密度高、安全性高、运输方便等优势，尤其在人口密集、使用面积小的情况下可以降低不确定因素带来的安全隐患，是在常温环境下极具应用前景的一种

氢气储运方式。

（3）生态效益

低碳减排：氢能作为一种零碳排放的清洁能源，广泛应用于储能、交通运输、氢化工、氢冶金等领域，可显著减少化石燃料消耗，减少温室气体排放，符合全球节能减排和应对气候变化的目标。

环境友好：固态储氢技术相比于传统的高压气态或低温液态储氢方式，减少了对制冷剂的需求，降低了在生产和储存过程中对环境的影响。

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

目前同类国内外标准。

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，XXX 等单位依据本标准 XXXX，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。

如果，请详细说明，例如：延期等情况。

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