

有机液体储氢载体标准

编制说明

目 次

一、	编制背景.....	1
二、	编制工作组成员单位.....	2
三、	编制的主要原则.....	2
四、	与其他标准文件的关系.....	2
五、	主要工作过程.....	2
六、	条文说明.....	3

一、编制背景

氢能是一种绿色、高效的二次能源，是未来清洁能源的发展方向。国家能源局印发的《2020 年能源工作指导意见》提出，从改革创新和推动新技术产业化发展角度推动氢能产业发展。然而，氢气储运是一大难题，已成为制约氢能产业发展的瓶颈。氢气是体积密度最小（ 0.0899 kg/m^3 ）、质量能量密度极大（ 33 (kW h)/kg ）、体积能量密度较小（ 0.003 (kW h)/L ）的气体，这给氢气储运带来了巨大的技术和经济挑战。目前，常用储氢技术主要包括高压气态储氢、低温液态储氢、金属合金储氢、非金属材料储氢。高压气态储氢气体压缩耗能高、运输成本高、安全系数低；低温液态储氢气体液化耗能高、投资大、运输过程中存在蒸发损失；金属合金储氢易发生金属粉碎造成管路堵塞；非金属材料储氢的储氢性能与材料的微孔体积与孔形状密切相关，难以控制。因此，开发低能耗、低排放、变革性的储氢技术，实现温和条件下的高效储氢过程迫在眉睫，对于实现碳中和目标具有重要意义。

有机液态储氢技术作为一种新型、高储氢密度的储氢技术，有望在未来新型能源体系中扮演重要角色，尤其是在可再生能源、传统一次能源与二次能源之间的转化与储能中发挥重要枢纽作用，有望解决供需时间和空间不匹配的难题。有机液态氢化物储氢的基本原理是利用不饱和芳香族化合物的催化加氢与其对应氢化物的催化脱氢的可逆循环实现氢气的储存与释放，从而到达储存氢气的目的。氢气在产氢地通过与不饱和芳香族化合物发生加氢反应，不饱和芳香族化合物转变为其对应的氢化物；加氢反应后的液体产物便可以通过现有的管道、油罐车等运输到耗氢地；在耗氢地，不饱和芳香族化合物对应氢化物通过脱氢反应释放出纯度极高的氢气，同时，液相转化为不饱和芳香族化合物，以循环使用。有机液态储氢的重点在于有机物储氢介质的选择，储氢介质的性能指标包括储氢性能、常温下稳定为液态、不易挥发、脱氢环节不污染氢气、低毒或无毒、循环次数多、成本低等。具有不饱和键的烯烃、炔烃、芳香烃或某些可进行脱氢偶联酯化反应的物质，在理论上都存在成为液态储氢材料的潜力。

二、编制工作组成员单位

本标准根据中国电力企业联合会中电联标准[2020]273号文《关于印发2020年第三批中国电力企业联合会标准制修订计划的通知》中关于标准项目的制定任务安排，由云南电网有限公司电力科学研究院、西安交通大学、云南省产品质量监督检验研究院、陕西氢易能源科技有限公司等单位共同编写。

三、编制的主要原则

本标准编制的主要原则是遵守现有相关法律、条例、标准和导则等，兼顾参考电力储能对有机液体储氢系统的技术要求。

本标准以市场需求为导向，有利于科技成果推广应用，有利于资源节约与优化配置，有利于清洁能源的规模化使用。

四、与其他标准文件的关系

1、参考并引用了与氢相关的术语标准，包括 GB/T 24499《氢气、氢能与氢能系统术语》。

2、参考并引用了与氢气纯度相关的标准，包括 GB/T 3634.2《氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢》。

五、主要工作过程

2020年11月26日，中电联下达2020年第三批中国电力企业联合会标准制定计划（中电联标准[2020]273号），确定组织编写团体标准《有机液体储氢载体》（T/CEC 20203028）。

2021年1月，标准编写工作牵头单位云南电网有限责任公司电力科学研究院积极联系行业内相关单位，组成了标准编写工作组，优化和完善了工作组的成员构成。

2021年3月，编写组确立了标准编写的总体工作目标，开展了标准前期研究工作。

2021年5月，编写组通过查阅收集资料并进行针对性的调研，确定标准框

架结构和主要章节内容。

2021年7月，牵头单位完成了协调和对比试验样品制备，向云南省产品质量监督检验研究院、西安交通大学等单位发出了协调与方法比对试验样品。

2021年11月，各参与单位完成协调和比对试验。

2021年12月，编写组集中讨论了团体标准《有机液体储氢载体》中产品理化指标要求、检测方案和限值问题，以指标有效性、必要性、检测可实施性为衡量基础，确定了标准第5节的内容。

2022年3月，编写组提交标准初稿，进行第一次评审。

2022年10月，按照评审意见，组织编制单位对修改的检测项目条件进行了验证，完成初稿修改。

2023年4月，完成修改稿送审，根据评审意见，将检测方法和技术要求分节表述，对检测方法、条件进行细化。

2024年3月，完成送审稿评审，根据评审意见，修改工作温度、反应速率定义并补充测试方法，形成征求意见稿。

六、条文说明

1、前言

标准的前言规定了标准所依据的起草规则、提出和归口信息、起草单位和起草人。本标准依据 GB/T 1.1-2020 的要求进行编制，标准的结构框架、格式、表述均符合 GB/T 1.1-2020 的要求。

2、范围

本标准将适用范围限定在电力储能用有机液体储氢系统的有机液体储氢载体，包括氮杂环类、苯系物类和其他类型的有机液体储氢载体，均可参照本标准执行。

3、规范性引用文件

本标准在编写时参考了现行相关国家标准。对于与氢相关的术语，参考了 GB/T 24499《氢气、氢能与氢能系统术语》；对于氢气纯度，参考了 GB/T 3634.2《氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢》。

4、术语和定义

对“有机液体储氢载体”、“加氢液体”、“储氢密度”、“最高允许使用温度”、“载体加氢反应速率”、“载体脱氢反应速率”等术语进行了规定。

“最高允许使用温度”是指有机液体储氢载体反应温度范围的上限值，取脱氢反应产生氢气纯度不低于 99.5%时的反应温度，一般由生产厂商提供。而“储氢密度”、“载体加氢反应速率”以及“载体脱氢反应速率”需要通过规定的方法进行试验获得。

5、分类和标识

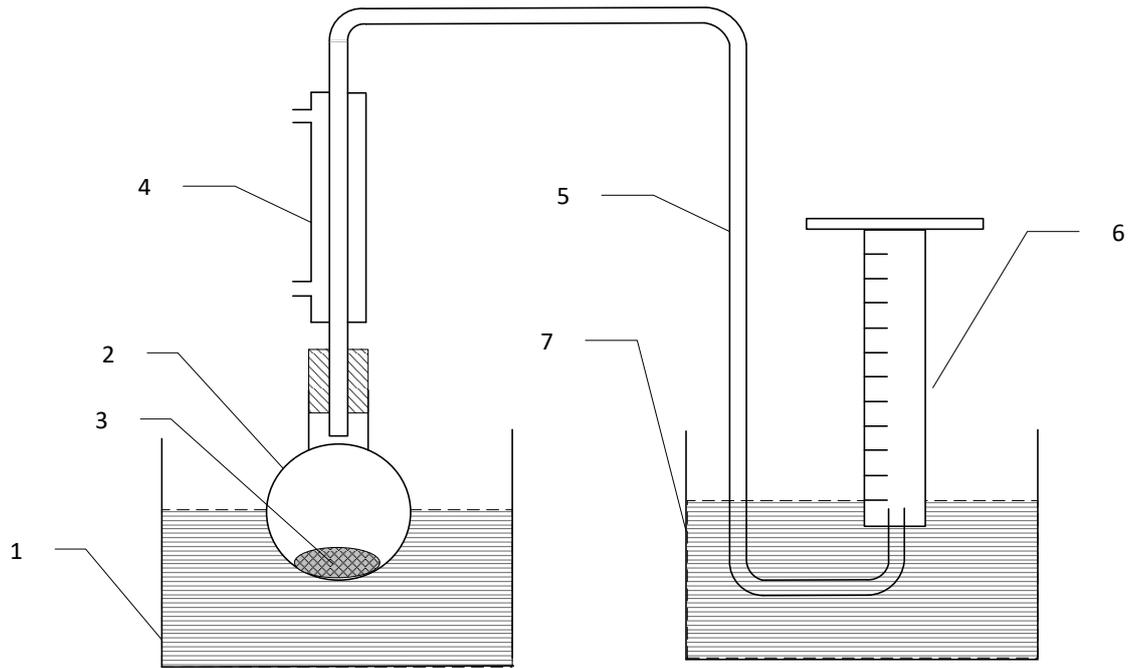
对有机液体储氢载体按照产品类型进行了分类，分为氮杂环类、苯系物类和其他类。对有机液体储氢载体产品编码方式进行了规定，须照规定方式对产品类型、储氢质量百分数、有效储氢成分含量（质量分数）、最高允许使用温度按进行编码标识。

6、技术要求

对“外观”、“运动粘度”、“密度”、“闭口闪点”、“燃点”、“凝点”、“总硫含量”、“氯含量”、“水分”、“水溶性酸碱”、“铜片腐蚀”、“脱氢气体氢气含量”、“最高允许使用温度”、“工作温度范围”“热稳定性”、“有效储氢成分含量”、“储氢密度”、“载体加氢反应速率”、“载体脱氢反应速率”共 19 个影响有机液体储氢载体性能指标的技术参数进行了限值规定。

7、储氢密度测试

有机液体储氢载体的储氢密度由最大放氢量和测试所用加氢液体的质量计算得出。最大放氢量由排水集气法测定，测试采用加氢有机液体在烧瓶内常压下加热催化脱氢，测定其排气体积以获得最大放氢量，装置如图 1 所示。



1-控温油浴槽，2-烧瓶，3-加氢液体及催化剂，4-冷凝管，5-导气管，6-量筒，7-水槽

图1 排水集气法测定有机液体储氢载体放氢量的装置

被测液体的储氢密度按照式（1）进行计算：

$$W = \frac{2 \times 273.15 \times PV}{1000 \times 22.4 \times 101.325 \times mT} \times 100\% \quad (1)$$

其中：

w ：被测材料的储氢质量密度，单位%；

V ：试验结束时读取的量筒内气体体积。单位mL；

m ：试验用的加氢液体质量，单位g；

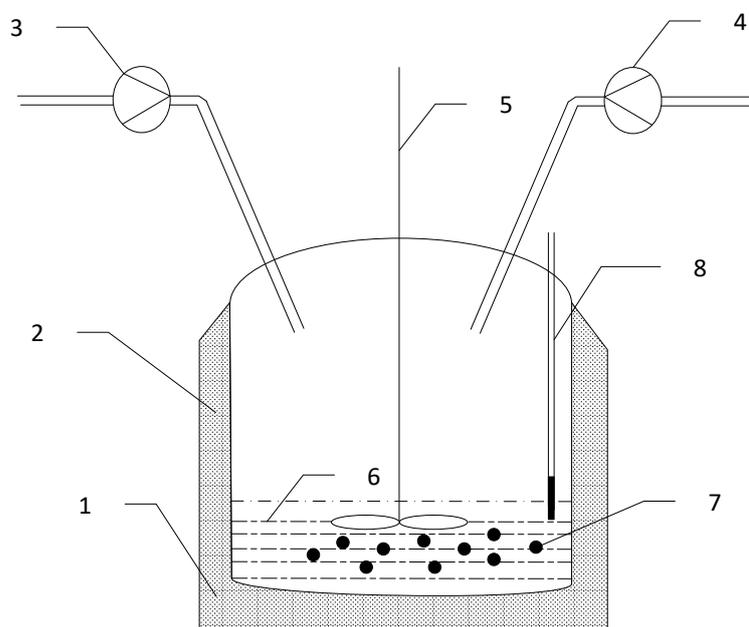
T ：读取量筒内气体体积时的环境温度，单位K；

P ：读取量筒内气体体积时的环境压力，单位kPa。

8、载体加氢反应速率测试

有机液体储氢载体的加氢反应速率，由有机液体储氢载体的理论最大储氢体积和有机液体储氢载体加氢反应实际吸收的氢气体积计算得出载体加氢反应完成率，并记录加氢反应完成率达到 85% 的时间为加氢反应速率。其中，有机液体储氢载体实际吸收的氢气体积由加氢过程的氢气流量测定。测试采用有机液体储

氢载体在反应釜内加压下催化加氢，测定反应过程中氢气的速率和时间以得到其吸收的氢气体积，装置如图 2 所示。



1-加热套，2-间歇式反应釜，3-进氢气流量计，4-出氢气流量计，5-搅拌构件，6-有机液体储氢载体，7-加氢催化剂，8-温度探测器

图2测定有机液体储氢载体加氢量的装置

按照所测试的有机液体储氢载体的理论储氢密度，根据式（2）计算理论最大氢气吸收体积 V_{H0} 。

$$V_{H0} = \frac{1000mw_H\rho}{0.0899} \quad (2)$$

其中：

V_{H0} ：理论最大放氢体积，单位mL；

m ：测试用有机液体储氢载体的质量，单位g；

ρ ：有机液体密度，单位g/mL；

w_H ：有机液体理论质量储氢密度，单位%。

试验时向间歇式反应釜中通入氢气，并使得间歇式反应釜内保持 8MPa 压力。反应釜内压力达到 8MPa 后，启动反应器中的搅拌构件，保持转速 100r/min。开启加热套加热，使得反应釜内温度达到反应温度。采用流量计监测通入反应器中的氢气体积 V_H ，并开始计时。当 V_H 达到 85% V_{H0} 时，记录消耗时间 t 作为试验

结果。重复测试 3 次，测试结果记为 t_1 、 t_2 、 t_3 。有机液体储氢载体的加氢反应速率按照式（3）进行计算：

$$Q = \frac{t_1+t_2+t_3}{3} \quad (3)$$

其中：

t_1 :一次试验加氢反应完成率达到85%时，所需的时间；

t_2 :二次试验加氢反应完成率达到85%时，所需的时间；

t_3 :三次试验加氢反应完成率达到85%时，所需的时间；

Q:加氢反应完成率达到85%时，所需的平均时间。

9、载体放氢反应速率测试

有机液体储氢载体的放氢反应速率，由加氢液体的理论最大放氢体积和加氢液体放氢反应实际释放的氢气体积计算得出放氢反应完成率，并记录放氢反应完成率达到 85%的时间为放氢反应速率。加氢液体实际释放的氢气体积由排水集气法测定。放氢反应完成率测试装置和图一一致。

按照所测试的有机液体储氢载体的理论储氢密度，根据式（4）计算理论最大氢气吸收体积 V_{D0} 。

$$V_{D0} = \frac{1000w_H\rho}{0.0899} \times \frac{T + 273.15}{273.15} \quad (4)$$

其中：

V_{D0} : 理论最大放氢体积，单位mL；

ρ : 有机液体密度，单位g/mL；

w_H :有机液体理论质量储氢密度，单位%；

T: 由温度计测得的室温，单位℃。

试验时常压下，启动搅拌转速保持在 100r/min，并且加热套加热三颈烧瓶至反应温度；采用排水集气法，利用导气管、量筒和水槽监测释放的氢气体积 V_D ，并开始计时。当 V_D 达到 85% V_{D0} 时，记录消耗时间 t 作为试验结果。

重复测试 3 次，测试结果记为 t_1 、 t_2 、 t_3 。

加氢液体的放氢反应速率按照式（5）进行计算：

$$Q = \frac{t_1+t_2+t_3}{3} \quad (5)$$

其中：

t1:一次试验放氢反应完成率达到85%时,所需的时间;

t2:二次试验放氢反应完成率达到85%时,所需的时间;

t3:三次试验放氢反应完成率达到85%时,所需的时间;

Q:放氢反应完成率达到85%时,所需的平均时间。

10、最高允许使用温度

按照储氢密度所示方法进行加氢液体的脱氢测试,工作温度范围上限作为起始实验温度,10℃为间隔提高试验温度,在每个试验温度按照脱氢气体氢气含量的检测方法收集并检测氢气含量,当脱氢气体氢气含量首次低于99.5%时,记录当前试验温度作为最高允许使用温度。

11、工作温度范围

11.1 工作温度范围的上限温度

按照载体放氢反应速率测试方法进行放氢速率测试,以180℃为起始实验温度,10℃为间隔提高试验温度。在每个试验温度按照放氢气体氢气含量的检测方法收集并检测氢气含量,当放氢气体氢气含量首次低于99.9%时,记录当前试验温度,低于最大允许工作温度10℃的,以当前试验温度作为工作温度范围的上限;与最大允许工作温度之差小于10℃的,以最大工作温度降低10℃作为工作温度上限。

11.2 工作温度范围的下限温度

按照载体加氢反应速率测试方法进行加氢反应完成率测试,自140℃起,10℃为间隔提高试验温度,以1h加氢反应完成率首次高于70%时的试验温度作为工作温度范围下限。

云南电网有限责任公司电力科学研究院

2024年05月15日