

《PEM电解水制氢用催化剂性能及选型规范》 (征求意见稿)

编制说明

《PEM电解水制氢用催化剂性能及选型规范》编制组

二〇二五年六月

《PEM 电解水制氢用催化剂性能及选型规范》（征求意见稿）

团体标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

本标准由中国联合国采购促进会提出并归口。本标准规定了 PEM 电解水制氢用催化剂的性能要求和选型要求。本标准适用于 PEM 电解水制氢用催化剂（以下简称“催化剂”）的生产、检验和选型。

本标准 UNSPSC 代码为“12.16.16”，由 3 段组成。其中：第 1 段为大类，“12”表示“化学品，包括生物化学品和气体材料”，第 2 段为中类，“16”表示“添加剂”，第 3 段为小类，“16”表示“催化剂”。

（二）起草单位情况

本标准起草单位包括：。

（三）标准编制过程

（1）成立标准起草组，技术调研和资料收集

2025 年 3 月 1 日—3 月 8 日，为保证制订工作的顺利开展、提高标准的质量和可用性，由起草单位和相关技术专家共同组建了标准起草组，负责《PEM 电解水制氢用催化剂性能及选型规范》标准的编制。通过制订工作方案，标准起草组进一步明确了目标要求、工作思路、人员分工和工作进度等。

标准起草组对相关指标和要求进行了调研，搜集了众多压裂用支撑剂陶粒砂相关的标准、文献、成果案例等资料，着手标准制定。

（2）确定标准框架，形成标准草案

2025年3月8日—4月7日，起草小组结合前期的调研和资料，多次召开内部研讨会，形成标准大纲，并邀请了专家和相关企业对标准进行技术指导，对《PEM 电解水制氢用催化剂性能及选型规范》的标准编制工作重点、标准制定依据和编制原则等形成了共识，同时完成标准草案稿的撰写。

（3）形成标准征求意见稿，开展征求意见

2025年4月8日—2025年6月10日，标准起草组对标准草案进行修改完善，包括调整基本原则内容、修改错误用词和格式等，在反复讨论和论证的基础上，修改形成了标准征求意见稿。

二、标准制定的目的和意义

PEM 电解水制氢技术采用质子交换膜作为固体电解质，其核心催化剂体系为：阳极析氧反应（OER）主要依赖铱基材料（如 IrO_2 、 IrO_x ），因其在强酸性环境下兼具高活性与稳定性；阴极析氢反应（HER）则以铂基催化剂（如 Pt/C ）为主，依托其优异的催化动力学性能。目前，商业化 PEM 电解槽的阳极铱负载量普遍在 $2 - 4\text{mg}/\text{cm}^2$ ，但近年通过结构设计（如多孔四方氧化锆负载 IrO_x 、铱/钨嵌入式催化剂）和制备工艺优化，已实现低至 $0.1 - 0.4\text{mg}/\text{cm}^2$ 的负载量突破，同时保持高电流密度（如 $3\text{A}/\text{cm}^2$ ）和长期稳定性（超 1600 小时衰减率 $< 6.25\ \mu\text{V}/\text{h}$ ）。国际上，贺利氏等企业推出

的低铱催化剂(如 Actydon 系列)通过纳米结构调控,将铱用量减少 50 - 90%,而国内复旦大学团队研发的嵌入式催化剂更使成本降低 85%,能效提升 65%,并通过 6000 小时工况测试验证了 15 年以上的设备寿命。此外,非贵金属催化剂(如 γ - MnO_2 、 Ru-RuO_2 肖特基纳米结)在特定条件下展现出潜力,但尚未完全替代贵金属体系。

尽管技术进步显著,PEM 电解水催化剂仍面临多重挑战:其一,贵金属资源瓶颈,铱在地壳中储量仅约 6400 吨,价格高达 1300 元/克,且全球年产量不足 3 吨,严重制约大规模应用;其二,稳定性与耐久性难题,高电位、强酸环境下铱的溶解(如生成 VO-IrO_4^{2-} 中间体)、团聚及载体腐蚀(如碳载体氧化)导致性能衰减,即使低负载催化剂也需通过界面工程(如氧溢流机制、金属-载体强相互作用)维持长期活性;其三,成本与效率平衡,传统 Pt/C 催化剂虽活性优异,但高负载量推高成本,而新型低 Pt 负载催化剂(如 MXene 负载 Pt 纳米团簇)需兼顾活性位点暴露与结构稳定性。

在此背景下,编写《PEM 电解水制氢用催化剂性能及选型规范》具有战略意义:目的在于建立统一的性能评估体系,明确催化剂活性(如质量活性、过电位)、稳定性(如衰减率、S 数)、贵金属负载量等关键指标的测试方法与判定标准,并规范选型流程(如载体匹配、制备工艺优化、工况适配性),以解决行业内技术参数不统一、测试方法差异大等问题;意义则体现在:

推动标准化与产业化:通过规范贵金属用量、活性衰减阈值等核心参数,降低技术迭代成本,加速国产催化剂替代进口产品,支撑绿氢项目规

模化落地；

促进技术创新与降本：为低铈/非贵金属催化剂研发提供方向指引，例如通过载体设计（如氧化铈、MXene）和界面调控（如肖特基结、梯度化膜电极）提升原子利用率，同时减少资源依赖；

保障系统可靠性：明确催化剂与电解槽其他组件（如质子膜、流场板）的兼容性要求，避免因材料匹配不当导致的性能损失或安全风险，助力 PEM 电解槽在可再生能源波动输入下的稳定运行；

支撑政策与市场机制：为政府制定补贴标准、行业建立碳足迹核算体系提供科学依据，推动绿氢认证与交易市场发展，助力全球“双碳”目标实现。

三、标准编制原则

本标准在编制的过程中遵循“先进性、科学性、可操作性”的原则，按照 GB/T1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

四、标准主要内容说明

1、标准主要内容

本标准规定了 PEM 电解水制氢用催化剂的性能要求和选型要求。

2、规范性引用文件

GB/T13566.1 肥料堆密度的测定 第 1 部分：疏松堆密度

GB/T17418.4 地球化学样品中贵金属分析方法 第4部分：铈量的测定硫脲富集—催化分光光度法

GB/T19077 粒度分析激光衍射法

GB/T19587 气体吸附 BET 法测定固态物质比表面积

GB/T20042.3 质子交换膜燃料电池第3部分：质子交换膜测试方法

GB/T34499.1 铈化合物化学分析方法第1部分：铈量的测定硫酸亚铁电流滴定法

JY/T0567 电感耦合等离子体发射光谱分析方法通则

3、术语和定义

统一行业术语，明确 PEM 及电解水专用膜的概念，避免歧义。引用 GB/T20042.1 中“质子交换膜”定义，结合 PEM 电解水场景新增专用术语。

4、性能要求

性能要求中，基本要求参考质子交换膜行业标准，结合电解槽工况对膜强度、溶胀率等提出指标；催化性能基于商业化铈基催化剂技术水平，设定析氧电流密度及过电位参数以优化能效；环境适应性指标依据电解槽内强酸、高压差工况，保障载体稳定性；使用寿命要求对标工业级电解槽15年以上寿命，以特定电流密度下长期稳定性为基准；抗中毒性指标应对电解液中 H_2S 等杂质影响；电子导电性参数参考金属氧化物及碳基载体性能，降低欧姆损耗。

5、选型要求

选型要求里，载体耐腐蚀性指标适配 0 - 14pH 范围强酸环境，导电性要求优选 TiN、SiC 等材料，分散性通过纳米级粒径提升贵金属利用率；外观要求确保催化剂粉末无杂质、团聚，膜电极表面质量达标以保障界面接触；技术指标响应低铈化趋势，控制铈含量、粒径、比表面积及杂质含量，优化活性位点利用并避免催化中毒，膜电极性能指标结合 Nafion®115 膜等测试条件，保障实际工况适用性。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准起草过程中无重大分歧。

六、贯彻标准的措施建议

标准只有通过实施才能起作用，如果不能实施，再好的标准也是“一纸空文”，更无法体现它的作用。贯彻实施标准要做好宣传教育工作、有良好的实施方法和检查监督机制。具体来说：（1）加大宣贯力度。利用报纸、电视、电台及微信、微博等各种新媒体，大力宣传，为标准的实施营造良好的社会氛围。（2）加强标准实施反馈。对在标准实施过程中发现的问题及提出的意见，要进行深入探讨和研究，做好标准的修订和完善工作。

七、废止现行有关标准的建议

本标准不涉及现行标准的废止。

八、其他应予说明的事项

无。

《PEM 电解水制氢用催化剂性能及选型规范》编制组

2025 年 6 月