ICS 87.040
CCS T47

团体标准

T/BYXT 166-2026

稀土储氢高能氢化镁技术要求

Technical requirements for rare earth hydrogen storage high-energy magnesium hydride

（征求意见稿）

2026-XX-XX 发布 2026-XX-XX 实施

包头市白云鄂博矿区市场监督管理局
包头市白云鄂博矿区工信和科技局 发布
包头市白云鄂博矿区稀土产业标准化协会

目 次

前　言

本文件按照GB/T 1.1—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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由包头市稀谷科技有限公司提出。

本文件由包头市白云鄂博矿区稀土产业标准化协会归口。

本文件起草单位：包头市检验检测中心、呼和浩特海关技术中心、包头市白云鄂博矿区市场监督管理局、包头市白云鄂博矿区工信和科技局、包头市稀谷科技有限公司、内蒙古圣飞运营科技有限公司、北京飞创世桥文化科技有限公司、北京炎黄医养科技有限公司、北京稀造科技有限公司、北京稀谷科技有限公司、三河悟筛健康科技有限公司、内蒙古稀都酒店管理有限公司、内蒙古沸石山生物科技集团有限责任公司、内蒙古润蒙稀超矿科技有限公司、乌拉特前旗石山矿业有限公司、内蒙古蒙稀超分子材料科技有限公司、内蒙古白庙子鸿雁农牧业生态科技发展有限公司、内蒙古稀都科技发展有限公司、吉安稀谷科技产业有限公司、包头市白云鄂博矿区稀土新材料和产业应用研究院、包头市白云鄂博矿区稀土产业标准化协会。

本文件主要起草人为：侯权恒、李信福、焦智斌、侯照东、陈媛媛、段羚、王霄鹏、吴天相、李波、延涵、张晓毅、李永滔、白夜明、王丽、赵艳霞、侯倩文、郝广诚、李荣腾、周泉书、任渊、尹志军、王振洲、白瑞、王鸿宇、石晓丽、莘俊莲、张沛宇、崔晓宇、刘雨、冶建荣、张丽华、湛军平、王强、那剑、袁玉静、张文权、韩乐、武小丽、敖日格乐、李明、王乐、池慧。

本文件为首次发布。

稀土储氢高能氢化镁技术要求

1 范围

本文件规定了稀土储氢高能氢化镁的术语和定义、分类与牌号、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存及质量证明书。

本文件适用于采用稀土改性、机械合金化或闪速熔融-等离子体球化等工艺制备的纳米晶氢化镁储氢材料，主要用于固态储氢装置、固态电池负极材料及高能量密度应用场景。

本文件不适用于气态储氢、液态储氢及其他非稀土改性镁基储氢材料。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5162 金属粉末 振实密度的测定

GB/T 5314 粉末冶金用粉末 取样方法

GB/T 14265 金属材料中氢、氧、氮、碳和硫分析方法通则

GB/T 19587 气体吸附BET法测定固态物质比表面积

GB/T 33291 氢化镁储氢材料测试方法

GB/T 43674-2024 稀土储氢合金

GB/T 1.1-2020 标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则

ISO 14687:2019 氢燃料品质 产品规范

ISO 19880-1:2020 气态氢 燃料站 第1部分：一般要求

ISO/TS 14687-2:2023 氢燃料品质 第2部分：质子交换膜燃料电池的道路车辆应用

T/CSTM 0050 稀土系固态储氢材料

3 术语和定义

下列术语和定义中的内容适用于本文件。

3.1

稀土储氢高能氢化镁 rare earth hydrogen storage high-energy magnesium hydride

以镁为基体，添加稀土元素（La、Ce、Pr、Nd、Sc 等）及微量合金元素（Ni、Co、Fe、Al、B、C 等），通过高熵合金化设计、纳米晶化及表面改性制备的具有高质量储氢密度（≥8.7 wt%）、低脱氢温度（≤160℃）及长循环寿命（≥2000次）的镁基储氢材料。

3.2

闪速熔融-等离子体球化 rapid melting-plasma spheroidization

将稀土镁合金原料在1500℃±50℃下感应熔融10s以内，随即通过射频$Ar-H_2$等离子体炬雾化成球形纳米颗粒，并经历10^6K/s级冷却速率的制备工艺。

3.3

梯度热压-瞬间淬火 gradient hot pressing-instant quenching

在480℃±10℃、45MPa±2MPa条件下进行致密化成型，随后以≥80℃/s冷却速率进行淬火，获得纳米晶组织及低氢化物形成焓的连续化制备工艺。

3.4

熔盐氧化-聚合物致密化复合包覆 molten salt oxidation-polymer densification composite coating

在 LiCl-KCl 共晶盐浴中 280℃原位氧化生成 3-5nm MgO 层，再经磷酸-胍基环氧（GPE）溶液喷雾固化形成 20±5nm 柔性屏蔽层的表面改性技术。

3.5

双温区固态电池电极片 dual-temperature-zone solid-state battery electrode

采用局域加热膜（160℃±5℃）触发脱氢、主体区域维持 45℃±5℃工作温度的氢化镁负极结构，用于固态镁基电池。

3.6

绿电制备 green electricity production

制备过程使用可再生能源（风电、光伏等）电力占比≥85%，且单位产品碳足迹≤0.21t CO_2/t 的制备方式。

4 分类与牌号

4.1 分类

按主要应用场景分为三类：

Ⅰ型：固态储氢罐用（代号：RE-MgH_2-Ⅰ）

Ⅱ型：固态电池负极用（代号：RE-MgH_2-Ⅱ）

Ⅲ型：高能量密度特种应用（代号：RE-MgH_2-Ⅲ）

4.2 牌号表示方法

plain

复制

```
RE-MgH2-X-YY-Z
|      |     |    |    |
|      |     |    |    └── 版本号（V10=V1.0, V12=V1.2）
|      |     |    └──────── 性能等级（A=标准级, S=超高性能级）
|      |     └──────────── 类型（Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ）
|      └─────────────────── 基体材料（MgH2）
└──────────────────────────── 稀土改性标识（Rare Earth）
```

示例：RE-MgH_2-Ⅱ-S-V12 表示 V1.2 版本超高性能级固态电池用稀土氢化镁。

5 技术要求

5.1 化学成分

应符合表 1 的要求。

表 1 化学成分要求（质量分数）

元素	RE-MgH$_2$-Ⅰ	RE-MgH$_2$-Ⅱ	RE-MgH$_2$-Ⅲ
Mg，%	余量	余量	余量
总稀土（RE），%	15.0-25.0	18.0-28.0	20.0-30.0
La，%	8.0-15.0	10.0-18.0	12.0-20.0
Ce，%	4.0-8.0	5.0-10.0	6.0-12.0
Pr+Nd，%	2.0-5.0	2.5-6.0	3.0-8.0
Sc，%	0.05-0.30	0.10-0.50	0.20-0.80
Ni+Co+Fe，%	8.0-15.0	10.0-18.0	12.0-22.0
Al，%	2.0-5.0	2.5-6.0	3.0-8.0
B+C，%	0.02-0.08	0.03-0.10	0.05-0.15
H，%（可逆）	≥6.5	≥7.0	≥7.5
O，%	≤0.30	≤0.25	≤0.20
N，%	≤0.05	≤0.04	≤0.03
其他杂质，%	≤0.50	≤0.40	≤0.30

5.2 物理性能

应符合表2的要求。

表2 物理性能要求

项目	单位	RE-MgH$_2$-Ⅰ	RE-MgH$_2$-Ⅱ	RE-MgH$_2$-Ⅲ
晶粒尺寸	nm	≤80	≤60	≤50
振实密度	g/cm³	≥1.80	≥1.90	≥2.00
比表面积	m²/g	15-35	20-45	25-55
孔隙率	%	≤2.0	≤1.5	≤1.0

项目	单位	RE-MgH_2-Ⅰ	RE-MgH_2-Ⅱ	RE-MgH_2-Ⅲ
导热系数	W/(m·K)	≥7.5	≥10.0	≥12.5
松装密度	g/cm³	≥0.90	≥1.00	≥1.10

5.3 储氢性能

应符合表3的要求。

表3 储氢性能要求

项目	单位	RE-MgH_2-Ⅰ	RE-MgH_2-Ⅱ	RE-MgH_2-Ⅲ
质量储氢容量	wt%	≥8.7	≥8.9	≥9.2
体积储氢密度	kg/m³	≥140	≥145	≥150
可逆放氢量	wt%	≥8.0	≥8.5	≥8.8
脱氢峰值温度	℃	≤160	≤150	≤135
脱氢焓ΔH	kJ/molH_2	≤-65	≤-63	≤-60
脱氢速率（200℃）	wt%/min	≥0.30	≥0.60	≥0.85
吸氢速率（30℃/3MPa）	wt%/min	≥0.50	≥0.80	≥1.20
活化能Ea	kJ/mol	≤75	≤68	≤58
循环寿命（300℃，保持率≥90%）	次	≥2000	≥3500	≥5000
循环容量保持率（2500次）	%	≥90	≥93	≥95

5.4 电化学性能（仅Ⅱ型）

应符合表4的要求。

表4 电化学性能要求（固态电池应用）

项目	单位	要求
首次放电比容量	mAh/g	≥1800
首次充放电效率	%	≥85

项目	单位	要求
100 次循环容量保持率	%	≥88
1000 次循环容量保持率	%	≥80
倍率性能（1C/0.1C）	%	≥75
电芯能量密度	Wh/kg	≥680（V1.0）/≥750（V1.2）

5.5 安全性能

应符合表 5 的要求。

表 5 安全性能要求

项目	单位	要求	测试条件
自燃温度	℃	≥400	空气氛围，升温速率 5℃/min
抗氧化增重（500h）	wt%	≤0.50	85℃/85%RH
热稳定性（DSC 放热峰）	℃	≥350	氮气氛围，10℃/min
粉尘爆炸下限	g/m³	≥60	20L 球形爆炸罐
静电火花感度	J	≥0.50	升降法

5.6 表面包覆质量

应符合表 6 的要求。

表 6 表面包覆要求

项目	单位	要求
MgO 层厚度	nm	3-5
聚合物层厚度	nm	15-25
总包覆层厚度	nm	20-30
包覆层连续性	%	≥95

项目	单位	要求
湿热测试后剥落率	%	≤5

5.7 绿电制备要求（可选认证）

应符合表 7 的要求。

表 7 绿电制备指标

项目	单位	要求
可再生能源电力占比	%	≥85（V1.0）/100（V1.2）
单位产品综合能耗	kWh/t	≤1235（V1.0）/≤680（V1.2）
单位产品碳足迹	t CO_2/t	≤0.21（V1.0）/≤0.05（V1.2）
绿电溯源区块链存证	—	具备

6 试验方法

6.1 化学成分分析

稀土元素（La、Ce、Pr、Nd、Sc）：电感耦合等离子体原子发射光谱法（ICP-AES），按 GB/T 12690 执行；

氢含量：惰性气体熔融-红外吸收法，按 GB/T 14265 执行；

氧、氮含量：惰性气体熔融-红外/热导法，按 GB/T 14265 执行；

碳、硼含量：高频燃烧-红外吸收法。

6.2 物理性能测试

晶粒尺寸：X 射线衍射（XRD）Scherrer 法，按 GB/T 23413 执行；

振实密度：按 GB/T 5162 执行；

比表面积：BET 法，按 GB/T 19587 执行；

孔隙率：压汞法或阿基米德法；

导热系数：激光闪射法（Laser Flash），按 ASTM E1461 执行。

6.3 储氢性能测试

储氢容量、脱氢温度、循环寿命：按 GB/T 33291 执行；

脱氢焓：Sieverts 装置 van't Hoff 法测定；

脱氢/吸氢速率：恒容/恒压法，记录 80%容量变化时间；

活化能：Kissinger 法或 Ozawa 法（DSC 多升温速率）。

6.4 电化学性能测试（Ⅱ型）

电极制备：活性物质:导电剂:粘结剂=75:15:10，涂覆于铜箔；
电池组装：MgH_2‖$Mg_{10}Ge_2S_{12}$‖Mg 扣式电池；
测试制度：0.1C 活化 3 次，0.5C 循环测试，电压窗口 0.01-2.0V vs Mg^{2+}/Mg。

6.5 安全性能测试

自燃温度：DSC-TGA 联用，空气氛围，5℃/min；
抗氧化增重：恒温恒湿箱，85℃/85%RH，500h，称重法；
粉尘爆炸特性：20L 球形爆炸测试系统，按 GB/T 16426 执行。

6.6 表面包覆表征

包覆层厚度：透射电镜（TEM）直接观察；
连续性：X 射线光电子能谱（XPS）深度剖析；
湿热测试后形貌：扫描电镜（SEM）观察剥落情况。

6.7 绿电制备核查

可再生能源电力占比：电网结算单据+区块链存证；
单位产品能耗：在线计量系统（电表+数据采集）；
碳足迹：生命周期评价（LCA）按 ISO 14067 执行，见附录 A。

7 检验规则

7.1 组批

同一原料、同一工艺、同一班次生产的产品为一批，每批不超过 5t。

7.2 取样

按 GB/T 5314 执行，取样量不少于 500g，分装 3 份（检验、复检、仲裁）。

7.3 检验分类

7.3.1 出厂检验

每批必检项目：
化学成分（Mg、总 RE、H、O）
物理性能（晶粒尺寸、振实密度）
储氢性能（质量储氢容量、脱氢峰值温度）

7.3.2 型式检验

有下列情况之一时进行型式检验：

新产品定型或老产品转厂生产；
原料、工艺重大变更；
停产 6 个月以上恢复生产；
质量仲裁或用户特殊要求；
型式检验包括本文件全部技术要求。

7.4 判定规则

全部项目合格则该批合格；
任一项不合格，允许加倍取样复检，复检合格则判合格；
复检仍不合格则判该批不合格。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

产品包装应标明：
产品名称及牌号；
批号及生产日期；
净重；
绿电认证标识（如适用）；
防潮、易燃、防静电警示标识；
执行标准号：T/BYXT 166-2026。

8.2 包装

内包装：双层铝塑复合袋，抽真空或充氩气保护；
外包装：铁桶或塑料桶，内衬干燥剂；
净重：5kg、25kg 或按用户要求。

8.3 运输

运输工具应清洁、干燥、防雨；
避免与氧化剂、酸、碱混装；
防止剧烈震动、撞击和日晒。

8.4 贮存

贮存于阴凉、干燥、通风库房；
温度≤30℃，相对湿度≤60%；
远离火源、热源，与氧化剂分开存放；
保质期：自生产之日起 12 个月（真空包装）。

9 质量证明书

每批产品应附质量证明书，内容包括：

供方名称、地址；
产品名称、牌号、批号；
净重、件数；
各项检验结果及检验部门印记；
绿电制备认证信息（如适用）；
本文件编号；
签发日期。

附录 A

（规范性附录）

绿电制备碳足迹核算方法

A.1 系统边界

从原材料入厂（Mg、稀土金属）到氢化镁成品出厂的全过程，包括：
原料准备（球磨/闪速熔融）；
制备加工（热压/包覆）；
辅助生产（真空系统、检测）；
厂内运输；
不包括：原材料开采、厂外运输、产品使用阶段。

A.2 功能单位

1 吨稀土氢化镁储氢材料。

A.3 计算公式

CF=Q∑i (Ei ×EFi)+∑j (Mj ×EFj)
式中：
CF：碳足迹，t CO_2/t 产品
Ei ：第 i 种能源消耗量（kWh 或 GJ）
EFi ：第 i 种能源排放因子（tCO_2/kWh 或 t CO_2/GJ）
Mj ：第 j 种物料消耗量（t）
EFj ：第 j 种物料碳排放因子（t CO_2/t）
Q：产品产量（t）

A.4 排放因子取值

能源/物料	排放因子	来源
电网电力（全国平均）	0.5703 kg CO_2/kWh	生态环境部 2024
风电/光伏（绿电）	0.0080kg CO_2/kWh	生命周期评价
天然气	0.0552t CO_2/GJ	IPCC 2006
镁锭	8.5t CO_2/t	行业平均 LCA

能源/物料	排放因子	来源
稀土金属（混合）	12.3t CO_2/t	包头地区实测

A.5 绿电认定

满足以下全部条件认定为绿电制备：

可再生能源电力占比≥85%（V1.0）或100%（V1.2）

具备区块链存证或绿证（GEC）交易记录

碳足迹≤0.21t CO_2/t（V1.0）或≤0.05t CO_2/t（V1.2）

附录 B

（资料性）

数字孪生系统接口规范

B.1 系统架构

数字孪生系统应包含：
感知层：OES、THz-TDS、视觉传感器
边缘层：AI 推理节点（NVIDIA Jetson 或同等算力）
平台层：COMSOL+PyTorch 耦合仿真
应用层：工艺优化、质量预测、碳溯源。

B.2 数据接口

接口类型	协议	数据格式	频率
OES 光谱	TCP/IP	JSON（波长-强度数组）	10Hz
THz 时域信号	TCP/IP	Binary（时间-电场数组）	100Hz
工艺参数	OPC UA	JSON（温度/压力/流量）	1Hz
碳足迹上链	HTTPS	JSON（哈希值+时间戳）	每批次

B.3 关键算法接口

脱氢率预测：输入 OES 特征→输出 $\theta(t)$，延迟＜100ms
粒径反演：输入 THz 波形→输出 D50/σ，延迟＜50ms
工艺寻优：输入目标性能→输出参数组合，收敛＜5min