

团体标准

新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料

Rare earth permanent materials for drive motors of new energy vehicles

中国稀土行业协会
中国稀土学会

发布

2022年3月1日发布

2022年3月1日开始实施

前 言

标准提出单位:

精进电动科技股份有限公司、哈尔滨理工大学

标准起草单位:

哈尔滨理工大学、精进电动科技股份有限公司、钢铁研究总院、工信部
原材料司稀土处、三环乐喜、包头稀土研究院、绵阳恒信磁材、上海大学

标准主要起草人:

蔡 蔚（项目负责人、主编制）、张亮亮（副主编制）、冯春爽（执行编辑）、谢 颖、梁艳萍、陶大军、冯 猛、孙 旭、韩 瑞、李安华、董生智、朱明刚、邓国勇、高 兰、黄苏融、何叶青、刘国征、张利军、徐昕

目录

前言.....	I
目录.....	I
新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料.....	1
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语及定义.....	1
3.1 主要磁性能 principal magnetic properties.....	1
3.2 辅助磁性能 additional magnetic properties.....	1
3.3 最高工作温度 maximum operating temperature.....	1
4 要求.....	2
4.1 磁性能.....	2
4.2 产品磁矩一致性.....	2
4.3 涂/镀层厚度.....	3
4.4 耐腐蚀性.....	3
4.5 结合力.....	3
4.6 外观质量.....	3
4.7 温度系数.....	4
4.8 电阻率.....	5
4.9 力学性能.....	5
5 试验方法.....	5
5.1 磁性能.....	5
5.2 产品磁矩一致性.....	5
5.3 涂/镀层厚度.....	6
5.4 耐腐蚀性.....	6
5.5 结合力.....	7
5.6 外观质量.....	7
5.7 温度系数.....	7
5.8 电阻率.....	7
6 检验与验收.....	7
6.1 检验项目.....	7
6.2 取样规则.....	7
6.3 验收.....	8
7 标志、包装、运输、贮存及质量证明书.....	8
7.1 标志、包装.....	8
7.2 运输、贮存.....	8
7.3 质量证明书.....	9
附录 A（规范性附录） 稀土永磁材料电阻率测量方法.....	10
A.1 测量原理.....	10
A.2 测量步骤.....	10

新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料

1 适用范围

本标准规定了新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料（以下简称永磁材料）的磁性能、温度特性、磁性能允许偏差、尺寸允许偏差、耐腐蚀性能等技术要求，以及试验方法、检验规则、包装和标志等。

本标准适用于制造新能源汽车驱动电机等用途的钕铁硼永磁材料（可包含镧、铈、钇等稀土元素）、钐钴永磁材料。

本标准也可适用于混合动力汽车永磁电机用材料。

2 规范性引用文件

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅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 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 2900.60 电工术语 电磁学
- GB/T 3217 永磁（硬磁）材料磁性实验方法
- GB/T 4955 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 阳极溶解库仑法
- GB/T 6462 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法
- GB/T 9637 电工术语 磁性材料与元件
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 13452 色漆和清漆漆膜厚度的测定
- GB/T 13560 烧结钕铁硼永磁材料
- GB/T 16921 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 X射线光谱方法
- GB/T 17803 稀土产品牌号表示方法
- GB/T 24270 永磁材料磁性能温度系数测量方法
- GB/T 29628 永磁（硬磁）脉冲测量方法指南
- GB/T 34491 烧结钕铁硼表面镀层
- IEC 60404-14 磁性材料 用提拉或旋转法对铁磁材料试样的磁偶极矩的测量方法

3 术语及定义

GB/T 9637、GB/T 2900.60界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 主要磁性能 principal magnetic properties

包括剩磁 B_r 、磁极化强度矫顽力（内禀矫顽力） H_{cJ} 、磁感应强度矫顽力 H_{cB} 、最大磁能积 $(BH)_{max}$ 。

3.2 辅助磁性能 additional magnetic properties

包括相对回复磁导率 μ_r 、剩磁温度系数 $\alpha(B_r)$ 、磁极化强度矫顽力（内禀矫顽力）温度系数 $\alpha(H_{cJ})$ 。

3.3 最高工作温度 maximum operating temperature

规格为 $\phi 10 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ 的永磁圆柱试样在恒温3小时，开路磁通减少量为5%的极限温度。

4 要求

4.1 磁性能

永磁材料的牌号、主要磁性能（ $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）和最高工作温度见表1。

牌号中的化学符号表示主要组分，牌号中斜线前面的数字表示最大磁能积 $(BH)_{\text{max}}$ 的标称值（单位 kJ/m^3 ），斜线后面的数字表示内禀矫顽力 H_{cJ} （单位 kA/m ）最小值的十分之一，牌号命名规则依据 GB/T 17803，此命名规则适用于全文。

表中牌号命名仅供参考，主要以性能指标为选择依据，同时不限定永磁材料所含元素种类及工艺方法（烧结、铸造和热压）。

表1 永磁材料牌号、主要磁性能（ $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）和最高工作温度

牌号	主要磁性能				最高工作温度/ $^{\circ}\text{C}$ 不低于
	B_r/T 范围值	$H_{\text{cJ}}/(\text{kA}/\text{m})$ 不小于	$H_{\text{cB}}/(\text{kA}/\text{m})$ 不小于	$(BH)_{\text{max}}/(\text{kJ}/\text{m}^3)$ 范围值	
NdFeB 320/159	1.25 ~ 1.29	1592	939	302 ~ 326	150
NdFeB 335/159	1.28 ~ 1.32	1592	971	318 ~ 342	150
NdFeB 360/159	1.32 ~ 1.37	1592	979	342 ~ 366	150
NdFeB 280/199	1.17 ~ 1.22	1990	860	263 ~ 287	180
NdFeB 305/199	1.22 ~ 1.26	1990	876	287 ~ 310	180
NdFeB 320/199	1.25 ~ 1.29	1990	915	302 ~ 326	180
NdFeB 335/199	1.27 ~ 1.32	1990	971	310 ~ 342	180
NdFeCoB 264/199	1.13 ~ 1.17	1990	860	239 ~ 271	220
NdFeCoB 280/199	1.17 ~ 1.22	1990	876	263 ~ 287	220
NdFeB 280/239	1.17 ~ 1.22	2388	836	263 ~ 287	200
NdFeB 305/239	1.20 ~ 1.26	2388	915	279 ~ 310	200
NdFeB 320/239	1.25 ~ 1.29	2388	953	302 ~ 326	200
NdFeB 335/239	1.27 ~ 1.32	2388	968	310 ~ 342	200
SmCo 223/159	1.05 ~ 1.07	1592	756	207 ~ 223	350
SmCo 231/159	1.07 ~ 1.10	1592	796	215 ~ 231	350
SmCo 243/159	1.09 ~ 1.15	1592	820	226 ~ 243	350
CeM 240/199	1.09 ~ 1.13	1990	830	227 ~ 251	180
CeM 260/199	1.13 ~ 1.17	1990	899	243 ~ 271	180
CeM 200/239	1.02 ~ 1.05	2388	812	192 ~ 214	200
CeM 224/239	1.05 ~ 1.09	2388	812	215 ~ 232	200

注：SmCo 代表钐钴永磁材料，CeM 代表含有铈元素的钕铁硼永磁材料，NdFeCoB 代表铁钴基永磁材料。

4.2 产品磁矩一致性

产品磁矩一致性（在 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 温度条件下）应满足以下要求：质量在10 g以上永磁体的磁矩偏差应小于2%，质量在5 g~10 g永磁体的磁矩偏差应小于4%，质量在5 g以下永磁体的磁矩偏差应小于6%。如因应用需求对磁矩一致性有更高要求，可考虑对磁钢产品按不同磁矩范围进行分档供货，具体由供需双方协商确定。

产品磁矩一致性为抽样产品磁矩极差（最大值与最小值之差）与平均值的比值，抽检样品需在同一台测试设备检测磁矩。

4.3 涂/镀层厚度

新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料宜采用绝缘涂/镀层, 永磁材料经表面处理后涂/镀层厚度应满足表 2 要求。需方如有特殊要求, 由供需双方协商确定。

表 2 永磁材料涂/镀层要求

涂/镀层类型	典型厚度范围
真空镀铝+环氧	铝层厚度: 1-5 μm ; 环氧层厚度: 10-25 μm .
环氧	15-40 μm
镍铜+环氧	协商确定

4.4 耐腐蚀性

永磁材料耐腐蚀性应满足表 3 和表 4 的时间要求, 并无肉眼可见的红色锈蚀、起泡、脱落等腐蚀缺陷。特殊要求可由供需双方协商确定。

表 3 永磁材料中性盐雾试验时间

涂/镀层	中性盐雾试验时间/h
镀铝层永磁材料	48
环氧层永磁材料	120

表 4 PCT (饱和湿度) 和 HAST (不饱和湿度) 试验时间

试验名称	试验时间/h
PCT (饱和湿度)	150
HAST (不饱和湿度)	240

4.5 结合力

永磁材料涂/镀层与基体之间, 不应出现任何形式的分离, 性能要求由供需双方商定。

4.6 外观质量

产品表面不得有影响使用的裂纹、砂眼、夹杂和边、角脱落等缺陷, 尺寸偏差、形状和位置偏差参照表 5 规定, 由供需双方共同商定。

表 5 永磁材料尺寸及形位偏差

尺寸范围 mm	偏差值							
	方形				瓦形			
	平行度	垂直度	尺寸偏差	圆角	内径/外径	角度	弦长	圆角

	mm	mm	mm	mm	mm	'	mm	mm
≤10	//0.03	±0.05	±0.03	R0.25~0.50	±0.05	±60	±0.05	R0.25~0.50
>10~20	//0.03	±0.10	±0.05	R0.25~0.50	±0.10	±30	±0.10	R0.25~0.50
>20~50	//0.05	±0.15	±0.10	R0.25~0.50	±0.15	±30	±0.15	R0.25~0.50
>50~80	//0.10	±0.20	±0.15	R0.25~0.50	±0.20	±20	±0.20	R0.25~0.50

4.7 温度系数

永磁材料温度系数应满足表 6 要求。

表 6 永磁材料材料温度系数

牌号	基础温度 ℃	温度变化的上限温度 ℃	$\alpha (B_r) / (\%/^{\circ}\text{C})$ 不小于	$\alpha (H_{c1}) / (\%/^{\circ}\text{C})$ 不小于
NdFeB 320/159	20	100	-0.110	-0.60
		150	-0.120	-0.55
NdFeB 335/159	20	100	-0.110	-0.60
		150	-0.120	-0.55
NdFeB 360/159	20	100	-0.110	-0.60
		150	-0.120	-0.55
NdFeB 280/199	20	100	-0.105	-0.58
		180	-0.115	-0.53
NdFeB 305/199	20	100	-0.105	-0.58
		180	-0.115	-0.53
NdFeB 320/199	20	100	-0.105	-0.58
		180	-0.115	-0.53
NdFeB 335/199	20	100	-0.105	-0.58
		180	-0.115	-0.53
NdFeCoB 264/199	20	100	-0.04	-0.47
		220	-0.07	-0.42
NdFeCoB 280/199	20	100	-0.05	-0.47
		220	-0.08	-0.42
NdFeB 280/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
NdFeB 305/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
NdFeB 320/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
NdFeB 335/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
SmCo 223/159	20	100	-0.03	-0.18
		350	-0.035	-0.19
SmCo 231/159	20	100	-0.03	-0.18
		350	-0.035	-0.19
SmCo 243/159	20	100	-0.03	-0.18

		350	-0.035	-0.19
CeM 240/199	20	100	-0.1	-0.55
CeM 260/199	20	100	-0.1	-0.55
CeM 224/239	20	100	-0.1	-0.55
CeM 200/239	20	100	-0.1	-0.55

4.8 电阻率

永磁材料在垂直于易磁化方向的电阻率应不小于 $1.18\mu\Omega\cdot m$ ，平行于易磁化方向的电阻率应不小于 $1.33\mu\Omega\cdot m$ 。对于钕钴永磁材料，电阻率应不小于 $0.75\mu\Omega\cdot m$ 。

4.9 力学性能

永磁材料力学性能指标如：膨胀系数、抗弯、抗压强度等参照GB/T 13560，特殊要求，由供需双方商定。

5 试验方法

5.1 磁性能

永磁材料主要磁性能的测试按GB/T 3217或GB/T 29628的规定进行。
热减磁特性检测方法如下表：

表 7 热减磁实验

试样	10 块初始饱和充磁的样品
测试设备	高温试验箱
测试过程	温度按相应磁钢性能设定，测试 2 小时为一个循环，测试共 5 个循环
检测操作要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以半开路方式测量； 2. 每件样品磁矩需测量 3 次取平均值作为最终数据； 3. 分别测量样品试验前和每个循环冷却后在室温下的磁矩并记录数据； 4. 铁板厚度 3mm； 5. 每块磁钢 N 极、S 极交错放置，其间距为磁钢最长边距离。
合格标准	5 次高温循环后，样品的磁矩损失平均值 $<0.5\%$ ，单块样品磁矩损失 $<1\%$ ，此值可供供需双方签订协议时参考

5.2 产品磁矩一致性

产品磁矩的测量方法按照IEC 60404-14的规定进行。产品磁矩一致性为抽样产品磁矩极差（最大值与最小值之差）与平均值的比值。

5.3 涂/镀层厚度

选取 10 块有涂/镀层、未充磁的样品进行涂/镀层厚度测试，产品涂/镀层厚度测量方法按照 GB/T 6462、GB/T 13452、GB/T 16921 或 GB/T 4955 的规定进行，涂/镀层厚度满足表 2 要求。

5.4 耐腐蚀性

永磁材料耐腐蚀试验按 GB/T 10125 的规定进行。

涂/镀层盐雾试验见表 8。

表 8 涂/镀层盐雾试验

试样	5 块有涂/镀层的成品
测试设备	盐雾试验箱
测试条件	环境温度 35℃，中性盐雾（5%NaCl）
参照标准	GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

PCT 测试（饱和湿度）要求见表 9，HAST 测试（不饱和湿度）见表 10。

表 9 涂/镀层 PCT（饱和湿度）测试

试样	5 块有涂/镀层的成品
测试设备	PCT 试验箱
测试条件	温度 120℃，相对湿度 100%，压力 2.0bar
参照标准	GB/T 34491 烧结钕铁硼表面镀层

表 10 涂/镀层 HAST（不饱和湿度）测试

试样	5 块有涂/镀层的成品
测试设备	HAST 试验箱
测试条件	温度 130℃，相对湿度 95%，压力 2.7bar

如果电机采用油冷，或永磁体会接触到油，其永磁体涂/镀层要进行耐油测试，如表 11。

表 11 涂/镀层耐油测试（常温、高低温循环）

试样	有涂/镀层成品	
测试油品	指定油品 99.5%+水 0.5% (99.5%、0.5%为油、水体积比例)	
测试条件	常温耐油试验: 油温 25℃浸泡 240 小时	高低温循环耐油试验: 油温 155℃保持 40 小时, -40℃保持 8 小时, 为 1 个循环, 测试 8 个循环。要求温度变化 率: 2℃/分钟。
操作要求	待测样品需完全浸泡在指定的油品中	
技术要求	涂/镀层表面无起皱、起泡、红锈以及爆皮	

5.5 结合力

产品涂/镀层结合力的试验方法根据需要可按照下表标准规定进行。
试验如下:

表 12 涂/镀层附着力测试 (百格试验)

试样尺寸	5 块有涂/镀层的成品
合格标准	等级 0-1
参照标准	GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验

5.6 外观质量

采用目测或自动化检测设备的方式检测永磁材料的外观。尺寸测量应采用和 4.6 要求相适应的量具。

5.7 温度系数

永磁材料温度系数的测试按 GB/T 24270 的规定进行。

5.8 电阻率

永磁体电阻率测量方法按附录 A 的规定进行。

6 检验与验收

6.1 检验项目

检验分出厂检验和型式检验, 本标准只规定出厂检验的检验规则, 型式检验规则由供需双方商定
产品检验项目应含 4.1、4.2、4.5、4.6、4.7 规定的各项。

6.2 取样规则

检验样品抽样规则参考 GB/T 2828.1 规定, 由供需双方协商确定。

6.3 验收

供方提交的每批产品应附有该批永磁材料所检验的性能符合本技术要求及订货合同的质量证明书。

产品检验中的每项都应合格。如有不合格项，则从该批产品中取双倍试样对不合格项目进行复验，仍存在不合格，则判定该批产品为不合格。在收到产品之日起1个月内向供方提出，由供需双方协商解决。

7 标志、包装、运输、贮存及质量证明书

7.1 标志、包装

7.1.1 产品可以磁化或不磁化交货，并可以组装在磁路中交货。永磁体应采用合适材质进行包装，应避免因松动造成碰撞损坏。磁化交货产品的包装应采取磁屏蔽措施，符合国家相关规定。

7.1.2 产品用箱（盒）包装，并保证在运输和贮存过程中不损坏。充磁产品的包装要求应符合相应运输和贮存方式的相应规定（如7.2要求）。每个包装箱（盒）应附标签，注明：

- a) 供货产品名称(或代表符号)、尺寸规格及批号；
- b) 数量；
- c) 检验日期；
- d) 生产厂名称及地址；

7.1.3 由于永磁体具有易碎、易腐蚀以及超强磁性的特点，因此包装需要做到以下几点：

- a) 为了方便，一般采用中性包装，即内外包装无固定或专用标识；
- b) 产品内包装结构设计上应满足防震、防潮、防尘、防污染、防磁、易于检查和拆箱的需求；
- c) 产品间采用1~10mm的隔离片进行隔离，对于预充磁产品，产品包装应做好磁屏蔽，磁屏蔽材料要清洁，且不会造成二次污染，磁屏蔽材料一般为导磁良好的清洁钢板、镀锌钢板、硅钢，如选择无磁化交货形式，则不需采用此项措施；

d) 包装材料应符合国际环保要求，一般外包装可采用瓦楞纸箱、钙塑箱，运输时，一般采用托盘堆码打托形式。

7.2 运输、贮存

由于产品的特殊性，在运输过程中应小心轻放，应避免剧烈震动造成机械损伤，对不同的运输方式也提出了很高的要求。

7.2.1 航空运输方式

航空运输对包装方式要求极严，需要经过严格的磁屏蔽及漏磁场检验，机场采用高斯计检验，外磁场不得高于50高斯，应满足航空运输要求。磁屏蔽最主要方法是用密闭的导磁纯铁板屏蔽，如果磁场较强，则采用二至三层，且层间采用PS硬泡板隔开；其次，磁屏蔽可采取加大外包装尺寸的方法，利用空间距离阻隔磁场来减小包装外表面的漏磁；另外，可设计包装箱内的磁回路进行磁屏蔽，采用导磁条将磁极之间构成封闭的回路，漏磁大幅度降低。

7.2.2 海运方式

海运时间比较长，长时间接触潮湿的空气，特别容易受到腐蚀，因此海运要求包装需要特殊处理，要求包装箱内放置干燥剂，防止海水或潮湿空气侵入包装箱内，将包装箱摆放堆码在免熏蒸托盘或熏蒸托盘上打托，并罩上防潮袋密封。

7.2.3 陆运方式

国内运输一般采用陆运方式，运输时间较短，对包装的要求重点体现在防震、防压、防污染、防尘和防潮上，一般在包装箱内套上PE袋和干燥剂密闭，然后将包装箱摆放堆码在托盘上。

7.2.4 贮存环境

产品应存放于室温、通风干燥、无腐蚀气体的场所。

7.3 质量证明书

每批产品应附质量证明书，注明：

- a) 供货产品名称(或代表符号)；
- b) 产品标准编号；
- c) 规格尺寸；
- d) 数量；
- e) 批号；
- f) 出厂日期；
- g) 制造厂名称；
- h) 各项检测结果和供方质量技术检验部门印记。

附 录 A
(规范性附录)
稀土永磁材料电阻率测量方法

A.1 测量原理

产品电阻率的试验方法参照范德堡(Van Der Pauw)法, 具体的测量原理(示意图)如图A.1所示。测量时, 需要以下主要仪器设备:

- 最大允许误差为±0.1%的采样电阻;
- 稳定度高于0.01%的直流电流源, 可提供1 A~10 A范围的电流;
- 最大允许误差为±0.02%的数字电压表, 用于确定输出电流的大小;
- 最大允许误差为±0.02%的高精度纳伏电压表, 用于测量接触端之间的电压;
- 能够给被测圆柱形试样的4个对称边缘提供线接触的基座。

被测试样应为圆柱形, 为保证电压信号足够大, 被测试样的厚度应不大于10 mm。4个接触端的位置应沿圆周对称分布, 且保证能与被测试样良好接触。触头圆角半径应不大于2 mm。

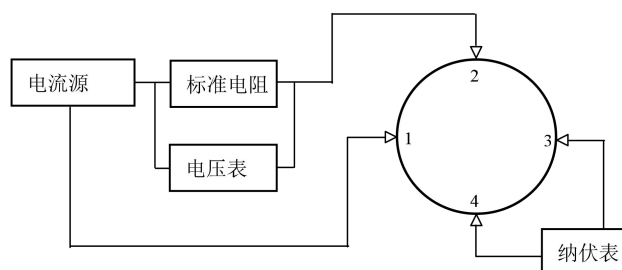


图 A.1 稀土永磁材料电阻率测量电路示意图

A.2 测量步骤

测量步骤为:

- a) 如图 A.1 所示, 将 1、2 接触端与电流源连接, 3、4 接触端与纳伏表连接, 根据试样的厚度设置电流源的输出电流为 I_{12} , 同时读取纳伏表的读数 U_{43} ;
- b) 同理, 将 2、3 接触端与电流源连接, 1、4 接触端与纳伏表连接, 重新设置电流源的输出电流为 I_{23} , I_{23} 应等于 I_{12} , 同时读取纳伏表的读数 U_{14} ;
- c) 按公式 A.1 计算电阻率:

$$\rho = \frac{\pi d}{2 \ln 2} \left(\frac{U_{43}}{I_{12}} + \frac{U_{14}}{I_{23}} \right) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- ρ ——电阻率, 单位为微姆欧米 ($\Omega \cdot \text{m}$);
- d ——试样厚度, 单位为毫米 (mm)。
- U_{43} ——接触端4、3之间的电压, 单位为毫伏 (mV);
- U_{14} ——接触端1、4之间的电压, 单位为毫伏 (mV);
- I_{12} ——接触端1、2之间的电流, 单位为安培 (A);
- I_{23} ——接触端2、3之间的电流, 单位为安培 (A)。