



中华人民共和国国家标准

GB/T 38090—2019

电动汽车驱动电机用永磁材料技术要求

Technical requirements of permanent magnets for drive motor of electric vehicle

2019-10-18 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语及定义	1
4 牌号	1
5 要求	2
5.1 磁性能	2
5.2 温度系数	2
5.3 电阻率	4
5.4 抗弯强度	4
5.5 产品磁矩一致性	4
5.6 高温不可逆磁损	4
5.7 镀层(或涂层)厚度	4
5.8 耐腐蚀性	4
5.9 结合力	4
5.10 外观尺寸	4
6 试验方法	5
6.1 磁性能	5
6.2 温度系数	5
6.3 电阻率	5
6.4 抗弯强度	5
6.5 产品磁矩一致性	5
6.6 高温不可逆磁损	5
6.7 镀层(或涂层)厚度	5
6.8 耐腐蚀性	5
6.9 结合力	5
6.10 外观尺寸	6
7 检验规则	6
7.1 检验分类	6
7.2 检验项目	6
7.3 产品出厂检验抽样和组批规则	6
7.4 检验结果判定及复验规则	6
8 标志、包装、运输、贮存	6
8.1 标志	6
8.2 包装	7
8.3 运输、贮存	7

附录 A (资料性附录) 烧结钕铁硼永磁材料 CGS 与 SI 单位制牌号对照	8
附录 B (规范性附录) 烧结钕铁硼永磁材料电阻率测量方法	9
附录 C (资料性附录) 永磁材料高温不可逆磁损(磁衰减)测量方法	11
参考文献	13



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国电工合金标准化技术委员会(SAC/TC 228)归口。

本标准起草单位：上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、中国计量科学研究院、宁波韵升股份有限公司、上海大学、上海电驱动股份有限公司、中国计量大学、精进电动科技股份有限公司、上海大郡动力控制技术有限公司、桂林电器科学研究院有限公司、天津三环乐喜新材料有限公司、宁波科田磁业有限公司、宁波永久磁业有限公司、浙江鑫盛永磁科技有限公司、宁德市星宇科技有限公司、深圳市东升磁业有限公司、中国质量认证中心、广东省工业分析检测中心。

本标准主要起草人：曹海东、贺建、沈国迪、严瑾、舒康颖、缪文泉、黄苏融、蔡蔚、谢永忠、刘伍利、王育平、应红亮、郭建文、胡翠华、张民、任荷芬、林安利、侯瑞芬、鲍金胜、吕竹风、郑希东、张喆、梁鑫磊、贾爱萍、伍超群。

电动汽车驱动电机用永磁材料技术要求

1 范围

本标准规定了电动汽车驱动电机用烧结钕铁硼永磁材料的磁性能、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、标志、包装、运输、贮存等。

本标准适用于制造电动汽车驱动电机等用途的烧结钕铁硼永磁材料(以下简称永磁材料)。

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—2012 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—2002 电工术语 电磁学

GB/T 3217 永磁(硬磁)材料 磁性试验方法

GB/T 6461—2002 金属基体上金属和其他无机覆盖层 经腐蚀试验后的试样和试件的评级

GB/T 6462 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法

GB/T 9637—2001 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 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 31967.2 稀土永磁材料物理性能测试方法 第2部分:抗弯强度和断裂韧度的测定

GB/T 34491 烧结钕铁硼表面镀层

IEC 60404-14 磁性材料 第14部分:用抽拉或旋转方式测量铁磁材料试样磁偶极矩的方法

3 术语及定义

GB/T 2900.60—2002、GB/T 9637—2001 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

最高工作温度 maximum operating temperature

φ10 mm×7 mm 规格试样在恒温 3 h 开路磁通减少量为 5% 的极限温度。

4 牌号

永磁材料牌号由以下两部分组成:

- 类型代号 D-NdFeB,表示电动汽车驱动电机用烧结钕铁硼永磁材料;
- 磁性能数字代号,参照 GB/T 17951—2005,斜线前面的数字表示最大磁能积 $(BH)_{\max}$ (单位为 kJ/m^3),斜线后面的数字表示内禀矫顽力 H_{cj} (单位为 kA/m)的十分之一。

示例: D-NdFeB 240/239 表示电动汽车驱动电机用烧结钕铁硼永磁材料公称最大磁能积 $(BH)_{\max}$ 为 $240 \text{ kJ}/\text{m}^3$ 、内

禀矫顽力 H_{cj} 为 2 388 kA/m。

附录 A 给出了 CGS 单位制分类牌号与 SI 单位制的分类牌号的对照。

5 要求

5.1 磁性能

永磁材料的牌号、主要磁性能(在 20 °C 时)和最高工作温度应符合表 1 的规定。

表 1 永磁材料牌号、主要磁性能和最高工作温度

牌号	主要磁性能				最高工作温度/°C 不低于
	B_r /T 范围值	H_{cj} /(kA/m) 不小于	H_{cB} /(kA/m) 不小于	$(BH)_{max}$ /(kJ/m ³) 范围值	
D-NdFeB 320/159	1.25~1.29	1 592	939	302~326	150
D-NdFeB 335/159	1.28~1.32	1 592	971	318~342	150
D-NdFeB 360/159	1.32~1.37	1 592	979	342~366	150
D-NdFeB 280/199	1.17~1.22	1 990	860	263~287	180
D-NdFeB 305/199	1.22~1.26	1 990	876	287~310	180
D-NdFeB 320/199	1.25~1.29	1 990	915	302~326	180
D-NdFeB 335/199	1.27~1.32	1 990	971	310~342	180
D-NdFeB 240/239	1.08~1.13	2 388	812	223~247	200
D-NdFeB 265/239	1.13~1.17	2 388	820	247~271	200
D-NdFeB 280/239	1.17~1.22	2 388	836	263~287	200
D-NdFeB 305/239	1.20~1.26	2 388	915	279~310	200
D-NdFeB 320/239	1.25~1.29	2 388	953	302~326	200
D-NdFeB 335/239	1.27~1.32	2 388	968	310~342	200
D-NdFeB 225/279	1.02~1.09	2 786	780	199~231	240
D-NdFeB 240/279	1.07~1.13	2 786	812	215~247	240
D-NdFeB 265/279	1.11~1.17	2 786	836	239~271	240
D-NdFeB 280/279	1.17~1.22	2 786	860	263~287	240

5.2 温度系数

永磁材料温度系数(α)应符合表 2 要求。永磁材料在温度变化的上限温度下的方形度 H_k/H_{cj} 应大于 90%。

表 2 永磁材料的温度系数

牌号	基础温度/°C	温度变化的上限 温度/°C	$\alpha(B_r)/(\%/K)$ 不小于	$\alpha(H_{cj})/(\%/K)$ 不小于
D-NdFeB 320/159	20	100	-0.110	-0.60
		150	-0.120	-0.55
D-NdFeB 335/159	20	100	-0.110	-0.60
		150	-0.120	-0.55
D-NdFeB 360/159	20	100	-0.110	-0.60
		150	-0.120	-0.55
D-NdFeB 280/199	20	100	-0.105	-0.58
		180	-0.115	-0.53
D-NdFeB 305/199	20	100	-0.105	-0.58
		180	-0.115	-0.53
D-NdFeB 320/199	20	100	-0.105	-0.58
		180	-0.115	-0.53
D-NdFeB 335/199	20	100	-0.105	-0.58
		180	-0.115	-0.53
D-NdFeB 240/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
D-NdFeB 265/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
D-NdFeB 280/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
D-NdFeB 305/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
D-NdFeB 320/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
D-NdFeB 335/239	20	100	-0.105	-0.55
		200	-0.115	-0.50
D-NdFeB 225/279	20	100	-0.105	-0.52
		200	-0.115	-0.48
D-NdFeB 240/279	20	100	-0.105	-0.52
		200	-0.115	-0.48
D-NdFeB 265/279	20	100	-0.105	-0.52
		200	-0.115	-0.48
D-NdFeB 280/279	20	100	-0.105	-0.52
		200	-0.115	-0.48

5.3 电阻率

永磁材料在垂直于易磁化方向的电阻率应不小于 $1.22 \mu\Omega \cdot m$, 平行于易磁化方向的电阻率应不小于 $1.38 \mu\Omega \cdot m$ 。

5.4 抗弯强度

永磁材料在垂直于易磁化方向的抗弯强度应不小于 220 MPa, 平行于易磁化方向的抗弯强度应不小于 180 MPa。

5.5 产品磁矩一致性

产品磁矩一致性(在 20 °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 4%, 质量在 5 g~10 g 永磁体的磁矩偏差应小于 6%, 质量在 5 g 以下永磁体的磁矩偏差应小于 8%。

5.6 高温不可逆磁损

永磁材料的高温不可逆磁损由供需双方商定。

5.7 镀层(或涂层)厚度

永磁体经表面处理后中心镀层(或涂层)厚度范围为 $3 \mu m \sim 70 \mu m$, 边角处的镀层(或涂层)厚度允许与磁体中心位置的厚度存在差异, 但该厚度差应不大于 $30 \mu m$ 。

5.8 耐腐蚀性

永磁体耐腐蚀性应满足表 3 规定的盐雾试验时间要求, 试验后应达到 GB/T 6461—2002 规定的保护评级与外观评级 10 级的要求。

表 3 永磁体中性盐雾试验时间

镀层	中性盐雾试验时间/h
镀蓝白锌层永磁体	24
镀彩锌层永磁体	48
镀镍层永磁体	72
镀铝层永磁体	48
环氧涂层永磁体	120

注: 表面未作防护处理的永磁体视情况可做表面磷化或钝化处理。

5.9 结合力

永磁体镀层(或涂层)与基体之间结合良好, 性能要求由供需双方商定。

5.10 外观尺寸

永磁体表面不应有影响使用的裂纹、沙眼、夹杂和边角脱落等缺陷, 尺寸偏差、形状和位置偏差应符合表 4 规定。外观缺陷的尺寸限制及其他特殊要求由供需双方共同商定。

表 4 永磁体尺寸及形位偏差

尺寸范围 mm	偏差值					
	方形			瓦形		
	平行度 mm	垂直度 mm	尺寸偏差 mm	内径、外径 mm	角度	弦长 mm
≤10	//0.03	⊥0.05	±0.03	±0.05	±1°	±0.05
>10~20	//0.03	⊥0.10	±0.05	±0.10	±30′	±0.10
>20~50	//0.05	⊥0.15	±0.10	±0.15	±30′	±0.15
>50~80	//0.10	⊥0.20	±0.15	±0.20	±20′	±0.20

6 试验方法

6.1 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。

6.2 温度系数

永磁材料温度系数的测试按 GB/T 24270 的规定进行。

6.3 电阻率

永磁材料电阻率测量方法按附录 B 的规定进行。

6.4 抗弯强度

永磁材料抗弯强度的测试按 GB/T 31967.2 的规定进行。

6.5 产品磁矩一致性

永磁体磁矩的测量按 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。

6.6 高温不可逆磁损

永磁材料高温不可逆磁损测量参照附录 C 描述的方法进行。

6.7 镀层(或涂层)厚度

永磁体镀层(或涂层)厚度测量按 GB/T 6462 的规定进行。
如有多种金属镀层,则测量镀层总厚度。

6.8 耐腐蚀性

永磁体耐腐蚀试验按 GB/T 10125 的规定进行。

6.9 结合力

永磁体镀层(或涂层)结合力的测试按 GB/T 34491 的规定进行。

6.10 外观尺寸

采用目测的方式检测永磁体的外观。尺寸测量应采用和 5.10 要求相适应的量具。

7 检验规则

7.1 检验分类

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。

7.2 检验项目

产品出厂检验项目应含 5.1、5.2、5.5、5.6、5.7、5.8 和 5.10 规定的各项。

7.3 产品出厂检验抽样和组批规则

产品出厂检验抽样规则按表 5。每批产品应由同一牌号、同一炉次制成的同一规格的产品组成。

表 5 产品出厂检验抽样规则

序号	检验项目	抽样方法	检验要求	检验方法
1	常温 B-H 曲线	GB/T 2828.1—2012 特殊检验水平 S-2, 正常检验一次抽样方案	5.1(表 1)	GB/T 3217 或 GB/T 29628
2	温度系数	1 件/批	5.2(表 2)	GB/T 24270
3	磁矩	GB/T 2828.1—2012 特殊检验水平 S-2, 正常检验一次抽样方案	5.5	IEC 60404-14
4	高温不可逆磁损	3 件/批	5.6	参照附录 C
5	镀层(或涂层)厚度	3 件/批	5.7	GB/T 6462
6	耐腐蚀性	3 件/批	5.8	GB/T 10125
7	外观尺寸	GB/T 2828.1—2012 一般检验水平 I, 正常检验一次抽样方案	5.10	6.10

7.4 检验结果判定及复验规则

产品检验中的每项均合格时,则该批产品为合格;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,复验时,所有复验项合格,则该批产品合格;若复验时仍存在不合格项,则判定该批产品为不合格。

型式检验的结果判定及复验规则由供需双方协商。



8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

8.1.1 每批产品应附有产品合格证及产品质量保证书,并盖有检验员和质量检验部门印鉴。

8.1.2 产品合格证应标明:

- 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) 制造商名称及地址；
- e) 检验员代号和检验部门印鉴；
- f) 产品执行标准编号。

8.1.3 如适用,产品质量保证书应包括:

- a) 供货产品名称(或代表符号)；
- b) 产品执行标准编号；
- c) 规格尺寸；
- d) 数量；
- e) 批号；
- f) 出厂日期；
- g) 制造商名称；
- h) 产品性能测定结果。

8.2 包装

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。

包装箱应附装箱清单,内容包括:

- a) 供方名称；
- b) 产品名称；
- c) 牌号；
- d) 规格尺寸；
- e) 批号；
- f) 件数；
- g) 净质量；
- h) 出厂日期。

8.3 运输、贮存

产品在运输过程中应小心轻放,应避免剧烈震动造成机械损伤。产品应存放于室温、通风干燥、无腐蚀气体的场所。



附录 A
(资料性附录)

烧结钕铁硼永磁材料 CGS 与 SI 单位制牌号对照

CGS 单位制分类牌号与 SI 单位制的分类牌号的对照见表 A.1。

表 A.1 CGS 与 SI 单位制的分类牌号对照表

序号	CGS 单位制牌号	SI 单位制牌号
1	D40SH	D-NdFeB 320/159
2	D42SH	D-NdFeB 335/159
3	D45SH	D-NdFeB 360/159
4	D35UH	D-NdFeB 280/199
5	D38UH	D-NdFeB 305/199
6	D40UH	D-NdFeB 320/199
7	D42UH	D-NdFeB 335/199
8	D30EH	D-NdFeB 240/239
9	D33EH	D-NdFeB 265/239
10	D35EH	D-NdFeB 280/239
11	D38EH	D-NdFeB 305/239
12	D40EH	D-NdFeB 320/239
13	D42EH	D-NdFeB 335/239
14	D28AH	D-NdFeB 225/279
15	D30AH	D-NdFeB 240/279
16	D33AH	D-NdFeB 265/279
17	D35AH	D-NdFeB 280/279

附 录 B
(规范性附录)

烧结钕铁硼永磁材料电阻率测量方法

B.1 测量原理

永磁材料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 B.1 所示。

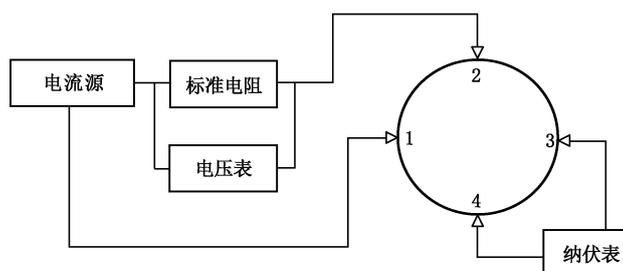


图 B.1 烧结钕铁硼永磁材料电阻率测量电路示意图

B.2 仪器设备

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。

B.3 试样

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。

B.4 测量步骤

测量步骤为:

- a) 如图 B.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) 按式(B.1)计算电阻率:

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

式中：

ρ ——电阻率,单位为微姆欧米($\mu\Omega \cdot \text{m}$);

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)。

附录 C

(资料性附录)

永磁材料高温不可逆磁损(磁衰减)测量方法

C.1 高温不可逆磁损(磁衰减)的计算

永磁体在高温下保温,冷却后与原始室温磁偶极矩(磁通)比较,按式(C.1)计算磁衰减率:

$$\eta = \frac{\Phi_0 - \Phi_t}{\Phi_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

η —— 永磁材料高温不可逆磁损率(磁衰减率);

Φ_0 —— 原始状态室温下($^{\circ}\text{C}$)测得的磁偶极矩(磁通),单位为韦伯米(韦伯), $[\text{Wb} \cdot \text{m}(\text{Wb})]$;

Φ_t —— 在高温 t ($^{\circ}\text{C}$)下保温,冷却后在室温下测得的磁偶极矩(磁通),单位为韦伯米(韦伯), $[\text{Wb} \cdot \text{m}(\text{Wb})]$ 。

C.2 测量方法 1

C.2.1 测量环境温度为 20°C 。测量前,为使试样温度与环境温度保持一致,试样应在室温环境中放置不少于 30 min。

C.2.2 将试样磁化至饱和。

C.2.3 按 IEC 60404-14 使用磁通计配合亥姆霍兹线圈测量磁通量 Φ_0 。

C.2.4 试样摆放在厚度为 $3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 、材质为 Q235 铁板上,极性朝向一致,且垂直于铁板平面;试样间隔至少为 50 mm,距铁板边缘 50 mm 以上。将试样连同铁板放入高温箱中,待高温箱达到设定的测量温度后,保温 2 h,高温箱温度波动应控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内。

C.2.5 保温结束后,将试连同铁板从高温箱中取出,自然冷却至室温。

C.2.6 测量试验后的磁通量 Φ_t 。按式(C.1)计算磁衰减率。

C.2.7 按上述方法测得牌号为 D42UH,规格为 $22.5 \times 13.7 \times 5$,经 $150^{\circ}\text{C} \times 2 \text{ h}$ 后磁衰减率平均值 0.68%、最大值 0.85%;经 $180^{\circ}\text{C} \times 2 \text{ h}$ 后磁衰减率平均值 2.57%、最大值 4.20%。此值可供供需双方签订协议时参考。

C.3 测量方法 2

C.3.1 测量环境温度为 20°C 。测量前,为使试样温度与环境温度保持一致,试样应在室温环境中放置不少于 30 min。

C.3.2 将试样磁化至饱和。

C.3.3 使用磁通计配合亥姆霍兹线圈按 IEC 60404-14 测量磁通量 Φ_0 。

C.3.4 试样摆放在厚度为 $3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 、材质为 Q235 铁板上,每块磁钢的 N 极与 S 极交错放置,其间距为磁钢最长边距离,且磁极方向垂直于铁板平面。将试样连同铁板放入高温箱中,待高温箱达到设定的测量温度 180°C 后,保温 2 h,高温箱温度波动应控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内。

C.3.5 保温结束后,将试样连同铁板从高温箱中取出,自然冷却至室温。

C.3.6 测量试验后的磁通量 Φ_t 。按式(C.1)计算磁衰减率。

C.3.7 重复 C.3.4~C.3.6 共 4 次。

C.3.8 按上述方法测得 5 次高温循环后,试样的不可逆磁损(磁衰减)平均值 $<0.5\%$,单块试样不可逆磁损(磁衰减) $<1\%$ 。此值可供供需双方在签订协议时参考。



参 考 文 献

- [1] GB/T 17951—2005 硬磁材料一般技术条件
-