

ICS xxx

CCS Y xx

团 体 标 准

T/EESxxxx-xxxx

电机用四极同极性混合磁轴承技术要求

Technical Requirement of Four Pole Homopolar Hybrid Magnetic
Bearings for Electric Machines

(征求意见稿)

2023-X-X 发布

2023-X-X 实施

中关村现代能源环境服务产业联盟 发布

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。

本文件由江苏嘉瑞丰机电设备有限公司提出，本文件由中关村现代能源环境服务产业联盟归口。

主要起草单位：淮阴工学院、江苏嘉瑞丰机电设备有限公司、安徽建筑大学。

主要起草人：张涛、叶小婷、朱庭楼、伍超。

电机用四极同极性混合磁轴承技术要求

1 范围

本文件规定了四极同极性混合磁轴承的术语、设计、检验方法等要求。

本文件适用于直流电机、异步电机和同步电机用极同极性混合磁轴承，可用于机械加工、涡轮机械、航空航天、真空技术、转子动力学特性辨识与测试等领域。

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/T191 包装储运图示标志

GB/T2423.1 电工电子产品环境试验第2部分：试验方法试验 A：低温

GB/T2423.2 电工电子产品环境试验第2部分：试验方法试验 B：高温

GB/T2423.3-2016 环境试验第2部分：试验方法试验 Cab：恒定湿热试验

GB/T2423.5-2019 环境试验第2部分：试验方法试验 Ea 和导则：冲击

GB/T2423.10-2019 环境试验第2部分：试验方法试验 Fc：振动(正弦)

3 术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

四极同极性混合磁轴承 Four poles homopolar hybrid magnetic bearing

四极同极性混合磁轴承包含四个磁极，采用永磁体励磁，且永磁体磁场在转子上产生的极性相同的磁轴承。

3.2

偏置磁通 Bias flux

由永磁体产生，经过定子铁心的四个磁极、气隙、转子铁心形成闭合路径的磁通。

3.3

悬浮绕组 Suspension winding

由漆包线绕制而成，连接开关功放通入电流，产生悬浮磁通的绕组。

3.4

悬浮磁通 Suspension flux

由悬浮绕组通电产生，经过定子铁心、气隙、转子铁心形成闭合路径的磁通。

3.5

悬浮力 levitation force

为控制绕组通电产生的与电流成正比的径向力。

3.6

承载力 bearing capacity

能正常悬浮的最大径向载荷。

4 型式、基本参数和技术要求

4.1 产品型号命名

四极同极性混合磁轴承命名参见附录 A，特殊情况下可由产品专用技术条件规定。

4.2 基本参数

四极同极性混合磁轴承的基本参数应符合附录 B，特殊情况下可由产品专用技术条件规定。

4.3 结构要求

四极同极性混合磁轴承基本结构参见附录 C。

4.4 设计要求

四极同极性混合磁轴承设计参数计算见附录 D。

4.5 安装形式

四极同极性混合磁轴承安装时套在电机转轴上。

4.6 使用环境条件

在以下规定的环境条件下，电机应能正常工作：

- a) 环境温度：-25℃~40℃；
- b) 相对湿度：45%~95%；
- c) 气压：86kPa~106kPa。

5 技术要求

5.1 一般要求

四极同极性混合磁轴承应按经规定程序批准的产品图样和技术文件制造，并符合本标准的规定。

5.2 外观

5.2.1 四极同极性混合磁轴承的外观应无明显的损伤、锈蚀和铭牌的标记应正确无误。

5.2.2 标记应不可消除。四极同极性混合磁轴承上的所用标志应采用打印、雕刻、压制或其他等效刻印方法，保证清晰、明了、耐用，在四极同极性混合磁轴承整个使用期限内不应磨灭。

5.2 外形及尺寸

四极同极性混合磁轴承外形及尺寸应符合产品专用技术条件。外形及尺寸参照附录 B 和 C。

5.3 定子外径

四极同极性混合磁轴承的定子外径应符合附录 B 或产品专用技术条件的规定。

5.4 定子内径

四极同极性混合磁轴承的定子内径应符合附录 B 或产品专用技术条件的规定。

5.5 轴向厚度

四极同极性混合磁轴承的轴向厚度应符合附录 B 或产品专用技术条件的规定。

5.6 气隙长度

四极同极性混合磁轴承的气隙长度应符合附录 B 或产品专用技术条件的规定。

5.7 气隙饱和磁密

四极同极性混合磁轴承的气隙饱和磁密应符合附录 B 或产品专用技术条件的规定。

5.8 悬浮力

四极同极性混合磁轴承的悬浮力应符合附录 B 或产品专用技术条件的规定。

5.8 绕组安匝数

四极同极性混合磁轴承的绕组安匝数应符合附录 B 或产品专用技术条件的规定。

5.8 导线线径

四极同极性混合磁轴承的导线线径应符合附录 B 或产品专用技术条件的规定。

5.9 环境适用能力

5.9.1 低温贮存

四极同极性混合磁轴承应能在 $(-20\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下贮存,放置时间48h,试验后随箱恢复至常温,取出在常温常湿中放置30min后检查外观、定子外径、定子内径、轴向厚度、气隙长度、气隙饱和磁密、悬浮力、绕组安匝数和导线线径,测试结果应满足5.2、5.3、5.4、5.5、5.6、5.7及5.8的规定。

5.9.2 高温贮存

四极同极性混合磁轴承应能在温度 $(80\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度50%以下的环境内贮存,放置时间48h,取出在常温常湿中放置30min后检查外观、定子外径、定子内径、轴向厚度、气隙长度、气隙饱和磁密、悬浮力、绕组安匝数和导线线径,测试结果应满足5.2、5.3、5.4、5.5、5.6、5.7及5.8的规定。

5.9.3 温度变化

四极同极性混合磁轴承应能承受相关产品专用技术条件规定的温度变化试验,试验后,在常温常湿放置30min后检查外观、定子外径、定子内径、轴向厚度、气隙长度、气隙饱和磁密、悬浮力、绕组安匝数和导线线径,测试结果应满足5.2、5.3、5.4、5.5、5.6、5.7及5.8的规定。

5.9.4 恒定湿热

四极同极性混合磁轴承应能在温度 $40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度90%~95%的环境中放置,放置时间48h,取出在常温常湿中放置30min后检查外观、定子外径、定子内径、轴向厚度、气隙长度、气隙饱和磁密、悬浮力、绕组安匝数和导线线径,测试结果应满足5.2、5.3、5.4、5.5、5.6、5.7及5.8的规定。

5.9.5 振动

四极同极性混合磁轴承应能承受相关产品专用技术条件规定的振动试验,试验后,外观应无明显变化,检查定子外径、定子内径、轴向厚度、气隙长度、气隙饱和磁密、悬浮力、绕组安匝数和导线线径,测试结果应满足5.3、5.4、5.5、5.6、5.7及5.8的规定。

5.9.6 冲击

四极同极性混合磁轴承应能承受相关产品专用技术条件规定的冲击试验,试验后,外观应无明显变化,检查定子外径、定子内径、轴向厚度、气隙长度、气隙饱和磁密、悬浮力、绕组安匝数和导线线径,测试结果应满足5.3、5.4、5.5、5.6、5.7及5.8的规定。

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 试验的标准大气条件

除另有规定外，所有试验均应在下列试验的标准大气条件下进行：

- a) 温度：15℃ ~35℃；
- b) 相对湿度：45%~75%；
- c) 气压：86kPa~106kPa。

6.1.2 仲裁试验的标准大气条件

如果需要严格控制试验大气条件，以获得重现结果时,规定在下列仲裁试验标准大气条件下进行：

- a) 温度：(20±1)℃；
- b) 相对湿度：48%~52%；
- c) 气压：86kPa~106kPa。

6.2 试验四极同极性混合磁轴承的安装

如无特殊规定，试验时四极同极性混合磁轴承应轴向水平套在电机转轴上。

6.3 外观、外形及尺寸

用目测法、保证测量精度的量具检查四极同极性混合磁轴承外观、外形及尺寸。

6.4 定子外径

用游标卡尺测量四极同极性混合磁轴承定子外直径，外直径的一半即为定子外径。

6.5 定子内径

用游标卡尺测量四极同极性混合磁轴承定子内直径，内直径的一半即为定子内径。

6.6 轴向厚度

用游标卡尺测量四极同极性混合磁轴承的轴向厚度。

6.7 气隙长度

用游标卡尺分别测量四极同极性混合磁轴承两个相对磁极之间的距离和转子外直径，磁极间距离和转子外直径的差值的一半即为气隙长度。

6.8 气隙饱和磁密

用高斯计测量四极同极性混合磁轴承的气隙饱和磁密。

6.9 悬浮力

用拉压力称重传感器配合显示仪表测量四极同极性混合磁轴承的悬浮力。

6.10 绕组安匝数

四极同极性混合磁轴承的绕组匝数与通电电流的乘积即为绕组安匝数。

6.11 导线线径

用游标卡尺测量四极同极性混合磁轴承的导线线径。

6.12 低温贮存

按 GB/T2423.1 的规定进行试验。

6.13 高温贮存

按 GB/T2423.2 的规定进行试验。

6.14 温度变化

除另有规定外，四极同极性混合磁轴承在 $(-10\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 温度下，放置 2h，取出后在常温常湿中放置 30min，再在 $(60\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 中放置 2h，取出后在常温常湿中放置 30min 作为一个循环，共 5 个循环。

6.15 恒定湿热

按 GB/T2423.3-2016 中 4.4 的规定进行试验。

6.16 振动

除另有规定外，四极同极性混合磁轴承按 GB/T2423.10-2019 第 8 章的规定进行试验，振动频率 16.7Hz，双振幅 2mm，X、Y、Z 三个互相垂直轴线方向各振动 20min。

6.17 冲击

除另有规定外，四极同极性混合磁轴承按 GB/T2423.5-2019 第 8 章的规定进行试验，冲击加速度 588m/s^2 ，X、Y、Y 三个方向各冲击一次。

7 标志、包装、运输和储存

7.1 标志

每台四极同极性混合磁轴承应有铭牌标志，铭牌标志的字迹图形应清楚无误，并在使用期内不脱落，内容清晰可辨，铭牌位于四极同极性混合磁轴承的明显部位。

铭牌内容至少应包括：制造厂名或商标、四极同极性混合磁轴承型号、额定电压和生产日期。

7.2 包装

包装箱内四极同极性混合磁轴承应排列有序，相互间无摩擦现象，并附有产品测试报告。单元包装的四极同极性混合磁轴承应有产品合格证，包装应牢固可靠，保证在正常的储运条件下自发货日起一年时间内不因包装不善而造成四极同极性混合磁轴承受潮与损坏。

包装箱标识的文字和标志应清楚整齐，至少应包括以下内容：

- a) 制造厂名称；
- b) 四极同极性混合磁轴承型号及名称；
- c) 包装箱外形尺寸；
- d) 在箱外适当位置上标明“易碎物品”、“向上”、“防潮”等字样，其图形应符合 GB/T191 的规定。

出口四极同极性混合磁轴承的标志和包装由供需双方合同约定。

7.3 运输

四极同极性混合磁轴承的运输工具不受限制，但在运输过程中应小心轻放，避免碰撞和敲击，严禁与酸碱等腐蚀物质放在一起。

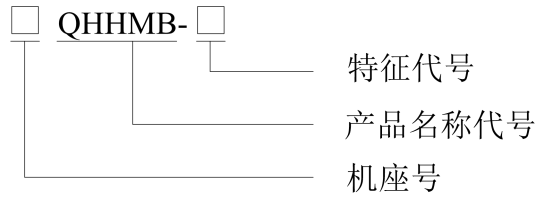
7.4 储存

四极同极性混合磁轴承的储存温度为 $-5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 75%，应放置于无凝露、清洁、通风良好的库房内，空气中无腐蚀性气体。

附录 A
产品型号命名
(规范性)

A.1 型号命名

四极同极性混合磁轴承的产品型号由机座号、产品名称代号和特征代号组成。型号组成如下：



A.2 机座号

机座号用四极同极性混合磁轴承定子外径的毫米数以阿拉伯数字表示。

示例1：48QHHMB-250，表示定子外径为48mm，悬浮力250N 的四极同极性混合磁轴承。

示例2：118QHHMB-500，表示定子外径为118mm，悬浮力500N 的四极同极性混合磁轴承。

A.3 产品名称代号

产品名称代号用四极同极性混合磁轴承五个英文单词开头的三个字母表示。

QHHMB（Q-四极；H-同极性；MB-磁轴承；H-混合）表示四极同极性混合磁轴承。

A.4 特征代号

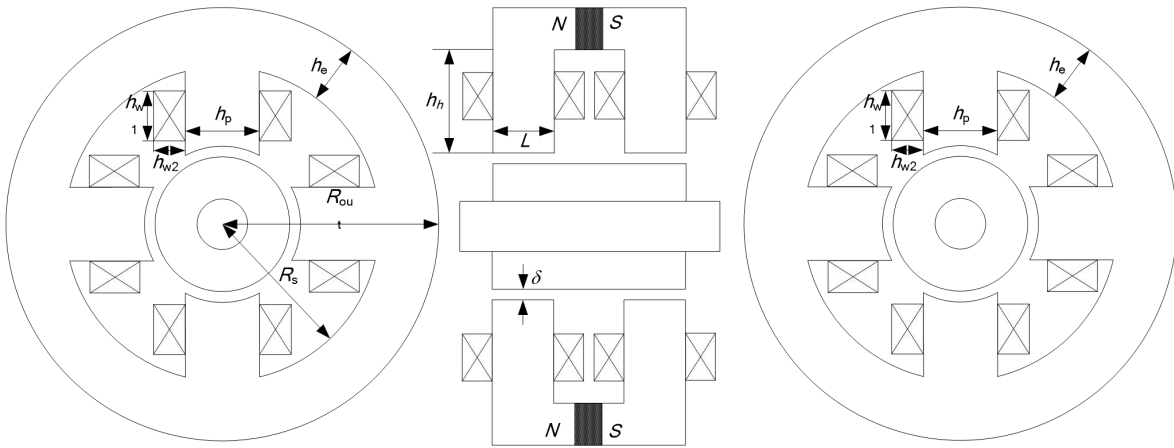
特征代号用四极同极性混合磁轴承悬浮力的牛顿数以阿拉伯数字表示。

附录 B
基本参数
(规范性)

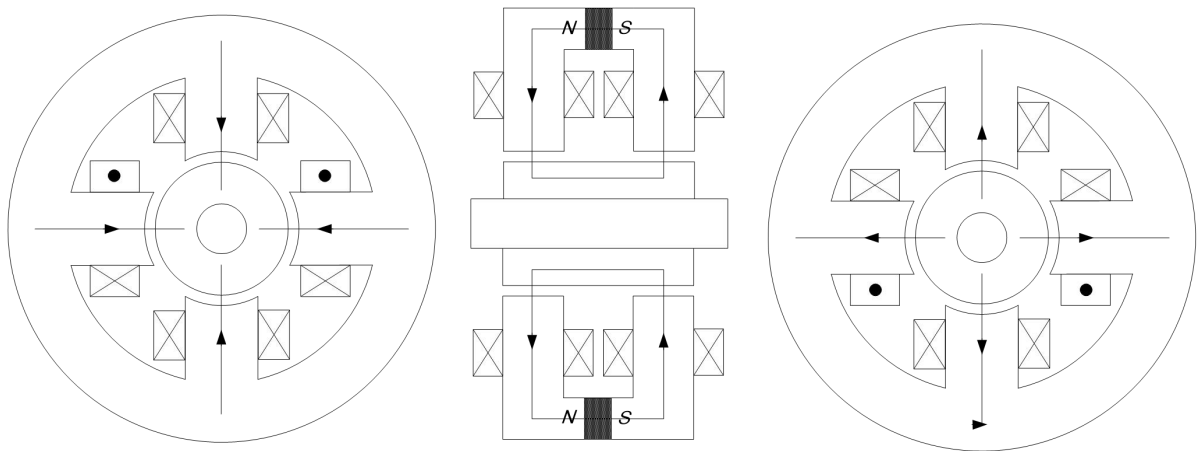
表B.1 基本参数

型号	定子外径 R_{out} ($\times 10^{-3}m$)	定子内径 R_s ($\times 10^{-3}m$)	轴向厚度L ($\times 10^{-3}m$)	气隙长度 δ ($\times 10^{-3}m$)	气隙饱和磁密 (T)	悬浮力F (N)	绕组安匝数 (AT)	导线线径D ($\times 10^{-3}m$)
48QHHMB-250	48	28	20	0.6	1.2	250	150	1
118QHHMB-500	118	56	20	0.6	1.2	500	150	1
166QHHMB-750	166	94	20	0.6	1.2	750	150	1
213QHHMB-1000	213	111	20	0.6	1.2	1000	150	1
260QHHMB-1250	260	139	20	0.6	1.2	1250	150	1
307QHHMB-1500	307	167	20	0.6	1.2	1500	150	1
355QHHMB-1750	355	195	20	0.6	1.2	1750	150	1
402QHHMB-2000	402	223	20	0.6	1.2	2000	150	1

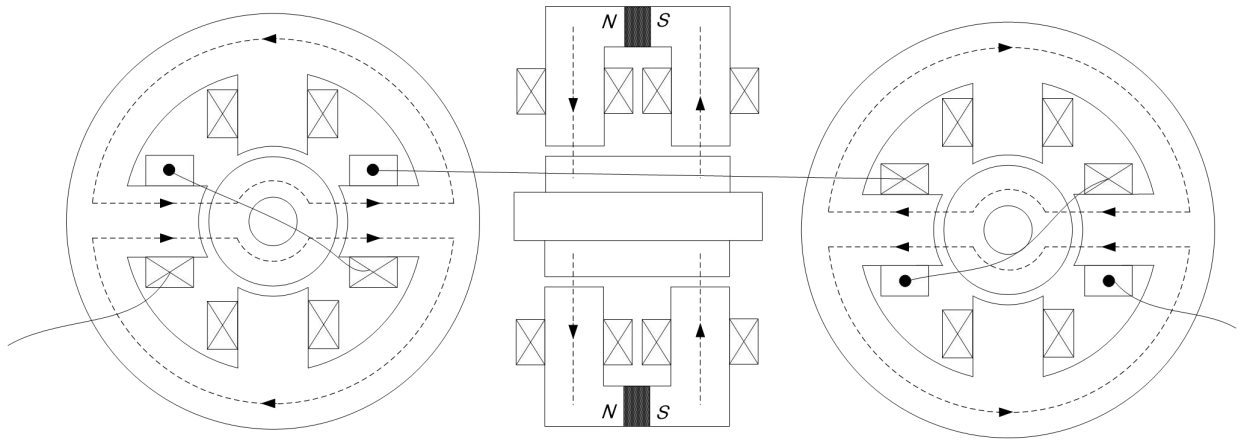
附录 C
基本结构
(规范性)



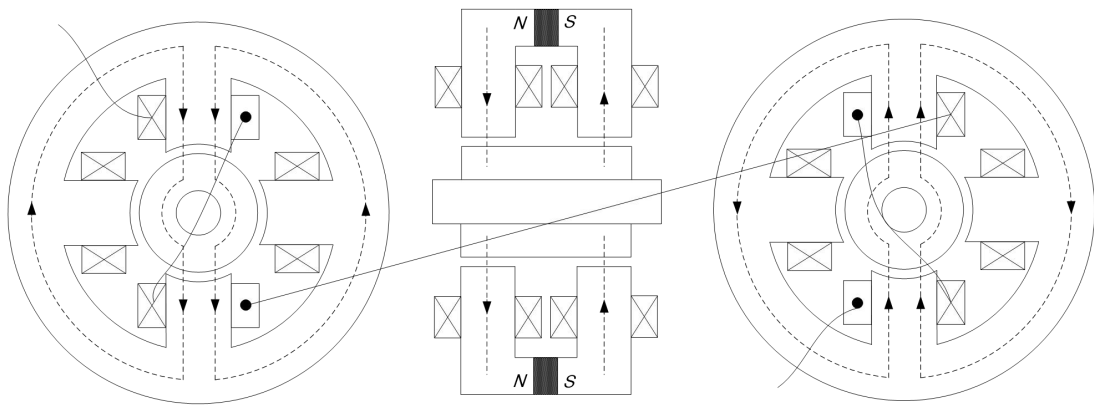
图C.1 四极同极性混合磁轴承结构图



图C.2 偏置磁通图



图C.3 产生X方向悬浮力的悬浮磁通图



图C.4 产生Y方向悬浮力的悬浮磁通图

附录 D
参数计算
(规范性)

D.1 选定气隙长度 δ ，参考范围为0.15mm~1.5mm，给定承载力需求 F ，单位为：牛顿（N）。

D.2 确定气隙饱和磁密 B_s ，单位为：特斯拉（T），其取值范围一般为1.2T~1.6T。

D.3 选择偏置磁密 B_g ，为气隙饱和磁密的一半，单位为：特斯拉（T）。

D.4 磁极弧面积 S_g 。

$$S_g = \frac{2\mu_0 F}{B_s^2} \quad (1)$$

μ_0 为真空磁导率，单位为亨利/米（H/m）；

D.5 轴向长度

$$L = \frac{4S_g}{\eta\pi R_s} \quad (2)$$

R_s 为定子内径，单位为：米（m）， η 为极弧率。

D.6 极弧率

$$\eta = \frac{\pi R_s - 8}{\pi R_s} \quad (3)$$

D.7 磁极面积 S_p

磁极面积 S_p 的单位为：平方米（m²），一般按照0.5倍的 S_g 进行取值。

D.8 磁极厚度 h_p 可表示为：

$$h_p = \frac{S_p}{L} \quad (4)$$

单位为：米（mm）。

D.9 磁轭高 h_e

$$h_e = \frac{S_p}{L} \quad (5)$$

单位为：米（mm）。

D.10 绕组安匝数计算

$$NI = \frac{B_g g}{2\mu_0} \quad (6)$$

N 为匝数。

D.11 根据安匝数，选择导线线径与最大悬浮电流。单根导线截面积计算

$$S_w = N\pi \frac{D^2}{4} \quad (7)$$

D 为所选导线的直径。

D.12 绕组取矩形排列来计算极高

$$NS_w = h_{w1} h_{w2} \quad (8)$$

h_{w1} 为绕组高度， h_{w2} 为绕组宽度，单位为米（m），两者比值取值范围为1.5~2.5。

D.13 磁极高度 h_h

单位为米（m），取值为（1.2~2） h_{w1}

D.14 定子外径 R_{out} 计算

$$R_{out} = R_s + 2h_{w1} + 2h_e \quad (9)$$

单位为米 (m)。