

铁氧体多极磁环与磁瓦在永磁电机中的应用对比与分析

郭 强¹, 柴晓峰¹, 李 辉², 郭德森², 吕欢剑¹

(1. 杭州史宾纳科技有限公司, 浙江杭州 311305;
2. 中国电子科技集团公司第 28 研究所, 江苏南京 210007)

摘 要: 无刷直流电机是家用电器、汽车等领域替代传统的电励磁电机的典型节能环保产品, 发展前景广阔。通过对永磁铁氧体多极磁环转子和磁瓦组合转子的结构对比及磁化(取向)机制和磁性能的对比, 说明在某些微电机中采用多极磁环比用磁瓦具有显著优势: 机械精度高、运行稳定、噪声小, 磁化波形为正弦波, 且幅值高于磁瓦组合环。这些特点很好地满足了无刷直流电机需要。同时, 家用电器的发展促进了多极磁环取代磁瓦, 在某些微电机取代磁瓦已是必然趋势。

关键词: 永磁铁氧体; 多极磁环; 磁瓦; 家用电器; 永磁电机

中图分类号: TM273

文献标识码: A

文章编号: 1001-3830(2020)01-0054-03

DOI: 10.19594/j.cnki.09.19701.2020.01.013

Application contrast and analysis between ferrite multipole magnetic ring and tile in the permanent magnet motors

GUO Qiang¹, CHAI Xiao-feng¹, LI Hui², GUO De-sen², LV Huan-jian¹

1. Hangzhou Spanner Science and Technology Co, Ltd, Hangzhou 311305, China;

2. The 28th Research Institute of CETC, Nanjing 210007, China

Abstract: Brushless DC motor is a typical energy saving and environmental protection product that replaces traditional electric excitation motor in household appliances, automobile and other fields, so it has broad prospects for development. Comparing with magnetic tile combination rotor in structure, magnetization (orientation) mechanism and magnetic performance, it shows that in some micro-motors the ferrite multi-polar magnetic ring has some significant advantages, including high mechanical precision, stable running, low noise and sine wave distribution of the magnetization waveform. These characteristics of multi-pole magnetic ring meet requirements of brushless DC motor very well. At the same time, the development of household appliances has promoted the replacement of multipole magnetic ring for the magnetic tile, an inevitable trend in some micro-motors.

Key words: permanent ferrite; multi-polar ring; magnetic tile; household appliances; permanent magnet motor

1 引言

随着微电机制造技术的进步和永磁材料性能的提高, 具有显著节能效果的永磁电机发展迅速, 在电机领域的比重越来越大。

在永磁电机中, 作为励磁的永磁体, 目前以铁氧体永磁和钕铁硼永磁为主。而永磁铁氧体有更高的性价比, 因此在家用电器电机为代表的民用产品中, 又以采用铁氧体永磁为主。永磁铁氧体在电机中的应用多是采用瓦型磁体的形式, 由两片或多片磁瓦组成一个 N 极和 S 极交替的圆环作为电机的转子或定子。

永磁铁氧体磁瓦的快速发展起始于上世纪 80 年代, 在改革开放的政策指引下, 引进了先进的成型设备和相关技术, 对我国瓦型磁体制造技术的发展起到积极的推动作用。

在瓦型永磁体快速发展的同时, 于上世纪 90 年代初, 另一种新型磁性元件——永磁铁氧体多极磁环, 由中电集团南京 28 所的工程师们研发成功^[1-2]。起始阶段, 这种磁环主要用于微型电机、传感器及仪器仪表中。这种在圆周方向沿径向充以多对磁极的整体磁环, 比用多件磁瓦粘合的磁环有许多优点。经过近 30 年的发展, 多极磁环在电机中的应用越来越广, 在不少类型的电机中, 特别是功率不大的精

收稿日期: 2018-11-19 修回日期: 2019-04-18

通讯作者: 郭 强 E-mail: ca1-kzst@sina.com

密型的永磁电机中，大有取代磁瓦之势，成为微电机和磁材行业一个新的热点课题。

本文从多极磁环和瓦型磁体的对比分析及在微电机的应用进行比较、分析，为磁体制造和电机设计提供参考。

2 多极磁环与磁瓦组合转子对比与分析

2.1 结构形式及特点

多极磁环和磁瓦组合环，可以外圆充磁或者内圆充磁，可以作为转子或者定子，以下以外圆充磁作为电机转子的磁环为例进行分析。由多极磁环和磁瓦组成的电机转子，由磁体、轴和固定磁体和轴的材料组成，如图 1 所示。两者结构对比，多极磁环转子具有机械精度高、同心度好的优点。多极磁环可方便地由无心磨床加工，外圆精度可保证在 0.05 mm 之内，这对电机的效率和稳定性至关重要，而磁瓦则需要单件磨加工，再由多件组装，因而尺寸精度则低得多，公差往往会增加一倍以上。

此外，多极磁环转子的环心部分，不必用导磁材料，可选用塑料，因为在磁环壁内已形成了闭合磁路。而磁瓦组合转子这部分必须选用硅钢片类的导磁材料，否则会产生严重漏磁，磁通损失明显，导致转子表面磁通密度降低。

2.2 磁化(取向)机制及磁性能

制造高性能的永磁铁氧体多极磁环，在压制成

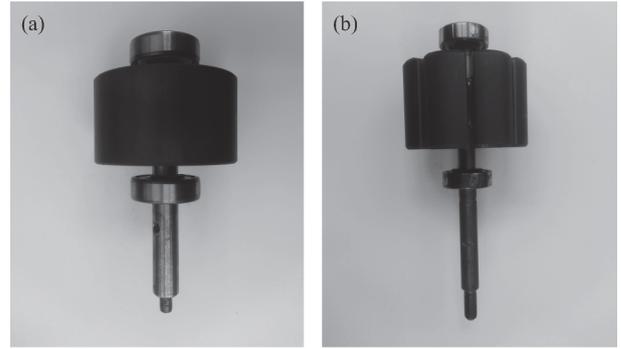


图 1 电机转子：(a) 多极磁环转子，(b) 磁瓦组合

型环节必须用径向多极磁场取向。多极取向磁场可由脉冲电流产生^[3-4]，也可由强磁体钕铁硼产生^[5]。经过严格设计的多极取向磁场，可以使磁环壁内的磁化形成 Halbach 阵列结构，这种结构的磁环及其表面磁通密度如图 2 所示。Halbach 阵列结构具有强烈的单边聚磁效应，即磁环的应用面磁通密度很强，另一面的磁通密度微弱^[6]。

具有这种结构磁环，还有一个显著特点，即磁环的表面磁通密度呈正弦波形(图 2b)，这对某些永磁电机来说是一种理想的波形。

本司通过多年的实验探索，采用独创的原料和取向方法制取的多极磁环，例如 $\varnothing 35.4-6$ (直径 35.4 mm, 6 极)和 $\varnothing 50.3-8$ (直径 50.4 mm, 8 极)。用国外著名公司仪器测试，表面磁通密度为正弦波，幅度可达 240 mT 左右，从目前可搜集到的国内外资料和

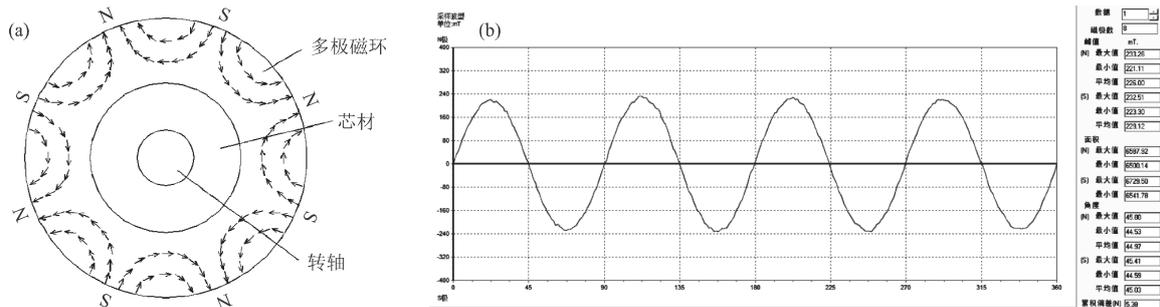


图 2 多极磁环的(a)磁极分布及(b)表面磁通密度

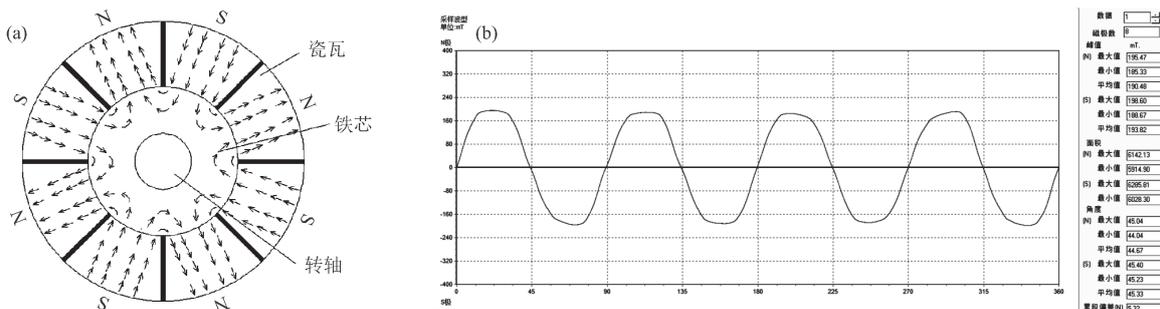


图 3 磁瓦组合转子的(a)磁极分布及(b)表面磁通密度

实物对比, 尚未见到如此高性能的产品。而目前国内市场上磁瓦和多极磁环其表面磁通密度一般都小于 200 mT。

传统的瓦型磁体, 在压制时采用直流磁场取向, 单件磁瓦内的磁矩为平行排列), 由磁瓦组合的多极磁环表面磁通密度分布为方波, 如图 3 所示。

若要人为地通过充磁方法使波形变为正弦波, 即把方波顶部两边的磁通“削除”了一部分, 可通过把磁瓦磨成两边薄中间厚的形式来达到。但不管采用何种方式, 磁瓦的内部磁定向未改变, 把表面磁通密度分布的方波变成正弦波也是以牺牲磁通量为代价的。

结合上述分析对比, 两种磁环转子的优缺点可以概括如下: 第一, 相同类别的材料、相同尺寸的两种转子对比, 由于多极磁环转子磁密波形幅度高, 即表面磁通密度高于磁瓦组合转子, 再则因尺寸精度高、同心度好, 定子和转子间隙可以更小, 这些因素可使电机的功率和效率更高。第二, 由于多极磁环转子表面磁通密度分布呈正弦波形以及机械精度高的优势, 电机运行稳定、噪音低。第三, 由于用整体多极磁环组装合成转子比用多件磁瓦组合成转子方便易行、工装简易; 若采用直接注塑的方法就更方便快捷, 因此有利于节省工时、降低成本。第四, 由于环心材料可以任选, 不必局限于用导磁材料, 这为电机设计师灵活设计提供了方便。

近几年来, 我们先后开发了系列多极磁环产品, 包括 $\varnothing 74-8$ 极、 $\varnothing 68-8$ 极、 $\varnothing 54-8$ 极、 $\varnothing 54-6$ 极、 $\varnothing 50.3-8$ 极、 $\varnothing 36.2-4$ 极, 取代对应规格的磁瓦转子, 取得了令用户满意的效果, 从输出功率、效率、运行稳定性、噪音等方面都优于磁瓦转子电机。

根据目前的发展趋势, 我国新产的空调全部为变频空调已为期不远, 届时室内风机和室外风机所需要的直流无刷电机将达每年 4 亿台左右。

永磁体多极磁环转子是直流无刷电机的核心部件, 目前, 空调风机电机使用的多极磁环, 有烧结铁氧体多极磁环、铁氧体磁瓦粘接的多极磁环, 还有粘结 NaFeB 多极磁环及注塑铁氧体多极磁环。上述多极磁体虽各有其特点, 但综合考虑, 并经实验验证, 铁氧体多极磁环相比其他类型的多极磁环优势更为明显: 磁性能高, 表面磁通密度可分别控制在 190 mT 和 220 mT 左右, 磁通密度分布为正弦波, 使电机运行稳定、噪音小; 环境适应性强, 不怕酸

碱盐雾, 具有成本低, 性价比高、节能、环保等综合优势。

对照我国空调电机的技术条件, 近几年我们通过实验, 采用直径 50~80 mm 的铁氧体多极磁环转子则可满足空调电机技术要求。

3 铁氧体多极磁环的应用

随着人们生活水平的提高, 家用电器发展十分迅速, 对微电机的需求量迅猛增长, 对其节能指标以及其他技术性能要求越来越高, 微电机永磁化已成为必然发展趋势, 瓦型磁体及多极磁环的应用前景令人鼓舞。

在家用电器中, 空调是一个重要分支, 在我国已成为世界空调生产基地, 据中国产业信息网提供的数据, 2017 年 1 月至 11 月家用空调产量达 1.75 亿台。家用空调中, 室内外风机是重要组成部分, 依此计算, 相应的室内外风扇电机的年需求量应为 3.5 亿台左右。

我国前期的空调是所谓定频空调, 输入电压和频率不变, 通过电源的通与断调节室温, 现在欧美日等技术先进的国家, 已基本淘汰了定频空调, 改用变频空调, 通过控制压缩机电机的输入电压和转速保持室温恒定。相对于前者, 变频空调具有节能效果明显、温度稳定性更好等优点。目前我国变频空调的发展趋势锐不可挡, 一则是因为变频空调技术先进性, 另则是我国相关的政策给予大力支持。据 2017 年中国空调产业报告称, 变频空调普及率已达 60% 左右。

变频空调又有多种类型, 即交流变频空调、直流变频空调、全直流变频空调。全直流变频空调是最先进的一种, 压缩机电机、室内外风扇电机均采用直流无刷电机。

在家用电器中还值得一提是洗碗机, 美日欧等国家, 洗碗机家庭普及率已达 60~70%, 而我国还不到 3%, 据有关报导, 从 2016 年起, 洗碗机产量迅猛增长。洗碗机电机使用的转子磁体为两极或多极环形磁体, 其市场需求的苗头不可忽视。在抽油烟机电机方面, 日本已有的制造公司用多极磁环取代磁瓦, 效果令人满意。其他方面, 如在汽车、纺织等方面的应用不再赘述了。总之, 铁氧体多极磁环的应用量不断扩大, 在不同领域取代磁瓦的趋势

(下转 72 页)

结晶质的第 1 氧化物层和含 Si 的非晶质的第 2 氧化物层。本发明的一个方式的磁性材料的制造方法，包括在含 Fe 的软磁性金属颗粒的表面形成非晶质的硅氧化膜的步骤。将上述软磁性金属颗粒在还原性气氛下以 900 °C 以下的第 1 温度加热。

一种新型铁基非晶纳米晶软磁合金及其制备方法

公开号: CN109112434A 公开日: 2019.01.01

申请人: 广东工业大学

本发明属于软磁合金技术领域，尤其涉及一种新型铁基非晶纳米晶软磁合金及其制备方法。本发明提供了一种新型铁基非晶纳米晶软磁合金，其化学式为 $Fe_aSi_bB_cP_dCu_eC_fM_g$ 。本发明还提供了上述合金的制备方法，包括以下步骤：步骤 1：将铁、硅、硼铁、磷铁、铜、碳铁和 M 金属熔炼成合金锭；步骤 2：将所述合金锭破碎得到破碎的合金锭、清洗；步骤 3：将所述破碎的合金锭通过单辊急冷法制得合金薄带；步骤 4：将所述合金薄带放入热处理炉中，以 10~20 °C/min 的升温速率将温度升高至 410~450 °C，冷却至室温得到新型铁基非晶纳米晶软磁合金。本发明提供了一种新型铁基非晶纳米晶软磁合金及其制备方法，解决了现有技术中铁基非晶纳米晶合金的大规模应用受到严重限制的技术问题。

(上接 56 页)

已很明显，从技术和经济效益上都是值得电机和磁材行业的人士注意的一个新问题。

4 结语

根据我们的实验和分析，铁氧体多极磁环转子和磁瓦组合转子，各有其特点，各有其相对应的适用范围，但又有交叉区——两者竞争的区域。对于小规格的转子磁体，例如 $\varnothing 40$ mm 以下，尤其磁极数较多的情况，合理的方案是采用多极磁环，目前国内外的实际情况也是如此。对于功率要求大，需要的转子尺寸大，例如 $\varnothing 100$ mm 以上，目前还是磁瓦拼接更为合理，因为这种大规格的多极磁环对设备的要求更为特殊，制造成本大幅增加，性能优势消失。

在上述范围的交叉区，所需要的转子磁环的尺寸大致为 $\varnothing 50 \sim 80$ mm 之间，从现实的条件及发展前景来看，多极磁环比磁瓦更有优势。从电机的效率、小型化、节能、成本诸多方面考虑，使用多极磁环

一种永磁铁氧体材料的制备方法

公开号: CN109111219A 公开日: 2019.01.01

申请人: 上海梅山钢铁股份有限公司

本发明公开了一种永磁铁氧体材料的制备方法，主要解决现有永磁铁氧体材料在成型时料浆脱水困难、成型难度大、容易发生粘模的技术问题。本发明方法包括以下步骤：湿法混料；一次预烧；粗粉碎；湿磨制浆；湿压磁场成型；二次烧结；熟坯打磨。本发明通过控制主原料中 Fe_2O_3 和 $SrCO_3$ 的摩尔比为 6.2~6.5 和预烧料粗粉的 pH 值为 7~9，降低了永磁铁氧体材料的制备成本，制得永磁铁氧体材料的剩余磁感应强度 B_r 为 420 ± 10 mT，矫顽力 H_{cb} 为 266 ± 12 kA/m，内禀矫顽力 $H_{cj} \geq 305$ kA/m。

一种高磁导率软磁铁氧体的制备方法

公开号: CN109133905A 公开日: 2019.01.04

申请人: 肇庆冠磁科技有限公司

一种高磁导率软磁铁氧体的制备方法，采用 Mn、Mg、Fe、Zn 元素为主成分，不含贵金属元素 Ni，先按 MnZn 铁氧体配方，配制合成 MnZn 铁氧体预烧料，再在二次配料中加入适量 MgO、ZnO 和 Fe_2O_3 以及改性微量元素 Cu、Bi、Si、Ti 等进行掺杂改性，合成具有高磁导率的 MnMgZn 复合铁氧体。

(电专供稿)

更合理。

目前在永磁电机中，大量使用的瓦型磁体技术也比较成熟，在一定的范围内以多极磁环代替磁瓦，从认知上、设计上都要有所改变，会遇到一些新问题，需要不断地探索。

参考文献:

- [1] ?. 超级铁氧体多极磁环问世[Z]. 磁性行业技术经济信息快报, 1994, (6): 24-25.
- [2] 郭德森. ?[A]. 磁性材料在微特电机中应用技术与市场信息会议录(二)[C]. 宁波, 1990.
- [3] (日)特开昭 62-134915.
- [4] Nakata T.et.al. ? [J]. IEEE Trans Magn, 1986, 22(5):1072.
- [5] (日)特公平 2-11006.
- [6] 陈殷, 张昆仑. Halbach 永磁阵列空间磁场的解析计算[J]. 磁性材料及器件, 2014, 45(1): 1-4.

作者简介: 郭 强(1969—), 男, 汉族, 江苏南京人, 从事永磁铁氧体材料产品设计、开发及量产工作。