

# 稀土永磁无刷电机转子磁钢尺寸及气隙 对输出转矩和效率的影响

钱坤喜,袁海宇,茹伟民,曾 培

(江苏大学,江苏镇江 212013)

## Influence of Rare - earth PM Brushless Motor Rotor Magnet Size and Airgap on the Output Torque and Efficiency

QIAN Kun - xi, YUAN Hai - yu, RU Wei - ming, ZENG Pei

(University of Jiangsu, Jiangsu Zhenjiang 212013, China)

**摘 要:**为满足人工心脏对驱动电机的特殊技术要求,用实验的方法,对小转子、大气隙和高效率微型稀土永磁无刷电机的可行性进行了研究。实验结果表明在一定范围内转子磁钢尺寸的减少以及电机定、转子之间气隙的加大对微型稀土电机的性能没有太大的影响,但是电机最高效率点所对应的输出转矩将随之减小。

**关键词:**稀土永磁无刷电机;转子磁钢尺寸及气隙;效率及扭矩

中图分类号:TM33 文献标识码:A

文章编号:1004 - 7018(2003)03 - 0017 - 02

**Abstract:** The possibility of a kind of small rotor, large air-gap and high efficiency micro - rare - earth permanent magnet brushless motor is now being studied in order to satisfy the special technology requirements for man - made heart to drive motor. The result shows that within a certain range, there's no much influence on the performance of rare - earth permanent magnet brushless motor when the rotor's magnet size is reduced and the increased airgap between the stator and rotor. However, the output torque will be reduced on the high efficiency point of the motor.

**Key words:** rare - earth permanent magnet brushless motor; rotor magnets size and air gap; torque and efficiency

## 1 前 言

人工心脏用驱动电机要求体积小、重量轻、效率高和耗能少,以便可以长期随同血泵一起植入试验动物或病人体内,且减少电池的体积、重量,增加供电时间。此外,由于电机转子一般都浸泡在血液中,气隙太小会引起血液成份的破坏,因而在电机设计中要求有较大的气隙。电机的重量和体积要小,效率要高,因此电机转子尺寸必须减小,小转子、大气隙及高效率,是人工心脏对驱动电机的特殊技术要求<sup>[1,2]</sup>。在技术上能否满足这些要求,作者用实验的方法,进行了可行性研究。

## 2 方 法

作者用稀土钕铁硼磁钢先后制作了七个电机转子,按照不同的轴向长度、径向厚度和圆周角度可以分别标记为:24mm(L24)、16mm(L16)、8mm(L8)(图1);3mm

(R3)、2mm(R2)、1mm(R1)(图2);

90°(A90)、60°(A60)、30°(A30)

(图3)。这样,轴向长度24mm,径向厚度

为3mm,圆周角为90°的磁钢转子可以标记为L24R3A90。用于实验的七个转子可以分别标记为L24R3A90, L16R3A90, L8R3A90, L24R3A60, L24R3A30, L24R2A90和L24R1A90。

如图2所示,转子磁钢的尺寸标

记成R2和R1表示

定子和转子之间的间隙与R3相比分别增大1mm和2mm。也就是说,这里同时考虑了转子磁钢的大小和定、转子之间的气隙对电机性能的影响。

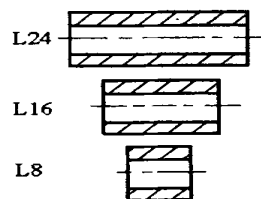


图1 不同轴向长度的转子磁钢示意图

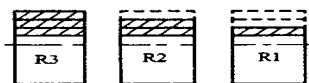


图2 不同径向厚度的转子磁钢示意图



图3 不同圆周角的转子磁钢示意图

将这七个转子先后用同一个电机定子做实验(电机定子结构见文献3,4),电机转速首先保持在3250r/min,然后以250r/min的变化率将转速从3000r/min调到3750r/min。电机的输入电压和电流由稳压直流电源直接数显,输出转矩用自制转矩仪测量,从而计算出电机的效率并作出输入功率-效率图。在转速为3250r/min的条件下,对上述三组转子分别做比较实验,即只改变某一参数(轴向长度、径向厚度、圆周角度),以研究改变这个参数对电机输出转矩和效率的影响。最后,对标记为

收稿日期:2002 - 06 - 03

基金项目:国家自然科学基金资助(39970736)

稀土永磁无刷电机转子磁钢尺寸及气隙对输出转矩和效率的影响

17

L8R6A90 的转子分别在 3000r/min、3250r/min、3500r/min 和 3750r/min 的条件下进行测试,以此研究转速的变化对电机效率的影响。

### 3 实验结果

图 4 表明转子磁钢轴向长度对电机输出转矩和效率的影响,横坐标以电机输入功率表示。输入功率  $P$  和输出转矩  $T$  之间有如下关系:  $P = T / \eta$ 。式中:  $\eta$  表示角速度,  $\eta$  表示电机效率。从图 4 可见,转子磁钢的轴向长度对电机的效率没有太大的影响,但是最高效率点对应的输出功率将会随着长度的减小而减小。同样的,磁钢的圆周角不同对电机的最高效率也没有显著的影响(图 5),但是最高效率对应的输出转矩也随着圆周角度的减小而减小。

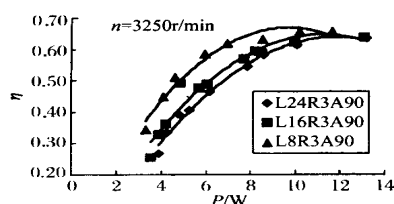


图 4 转子磁钢轴向长度对电机输出转矩和效率的影响

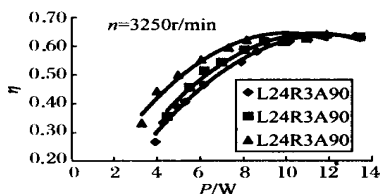


图 5 转子磁钢圆周角对电机输出转矩和效率的影响

如图 6 所示,从 L24R3A90 和 L24R2A90 的两条曲线来看,转子磁钢的径向厚度对电机最高效率的影响也不显著,但是 L24R1A90 的效率曲线下降得很大,表明转子磁钢不能太薄,定转子之间的气隙不能取得太大。

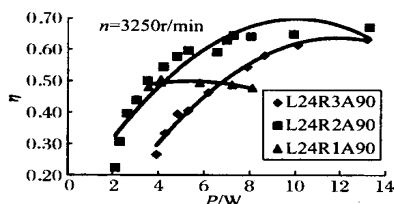


图 6 转子磁钢径向厚度对电机输出转矩和效率的影响

从图 7 可见,电机转速的变化对电机最高效率的影响并不大,只是随着转速的增加,最高效率对应的功率也相应增大。

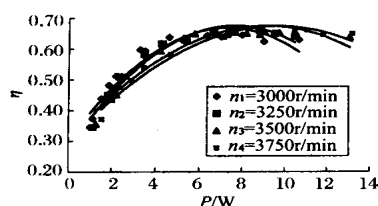


图 7 电机转速对电机输出转矩和效率的影响

### 4 讨论

本文采用实验的方法来阐明血泵驱动用微型稀土无刷电机转子磁钢尺寸(轴向长度、径向厚度、圆周角度)以及定转子之间气隙的变化对电机输出转矩和效率的影响。结果表明电机转子尺寸和定转子之间的气隙的变化对电机效率没有太大的影响,但是电机最高效率点对应的输出转矩将随着磁钢尺寸的加大而增大,随着气隙的减小而增大。这就意味着,采用较小的电机转子和较大的气隙也能获得较高效率,但是最高效率区域的相应输出转矩将减少。这个不足可以通过增加电机的转速来弥补,因为转速的增加可以使输出功率相应增加。因此,只要转速足够高,采用较小的转子、较大气隙同时实现高效率和较大的输出功率是可能的。电机转速对于血泵设计是一个很重要的因素,电机的设计应该同血泵的研究结合起来。应用以上结果,作者研制成叶轮式双心室辅助血泵,即叶轮全人工心脏(图 8),正在实验室进行试验,并将应用于动物试验<sup>[5]</sup>。本文实验结果同 DeBakey 轴流泵 Jarvik2000 轴流泵等<sup>[6-8]</sup>情况吻合,即转子设计采用较少的磁钢,转子定子间隙较大的情况下,设计转速一般都比较高(15 000 ~ 20 000r/min 甚至更高)。



图 8 全人工心脏在模拟循环回路中用生理盐水做实验

### 参考文献:

- [1] Henning E. Mechanical Circulatory system 1995 - New devices under investigation. In Mechanical Circulatory Support [M]. Springer Verlag Damstadt, 1997:155 - 184.
- [2] Qlsen DB. The history of continous flow blood pumps[J]. Artificial Heart, 2000, 24(6):401 - 404.
- [3] Qian KX, Zheng P, Ru WM et al. A durable impeller pump with rolling bearing and purge system[J]. J. Med. Eng. Tech., 2001, 25(6):273 - 275.
- [4] Qian KX, Zeng P, Ru WM et al. A novel left ventricular assist device with impeller pump and brushless motor compacted in one unit [J]. Progress in Natural Science, 2001, 11(3):231 - 234.
- [5] Michael E, DeBakey, Robert Benkowski. The deBakey/ NASA Axial Flow Ventricular Assist Device [M]. Heart Replacement. Artificial Heart 6. Springer - Verlag Tokyo, 1998:407 - 413.
- [6] Jarvik RK. System consideration favoring rotary artificial hearts with blood - immersed bearings[J]. Artif. Organs, 1995, 19(7):565 - 570.
- [7] Chang - Hee Park, Kazunobu Nishimura. In Vitro and Preliminary In vivo Assessment of a New Centrifugal Pump: the Magnetically Suspended Centrifugal Pump [M]. Heart Replacement. Artificial Heart 5. Springer - Verlag Tokyo, 1996:225 - 228.