

新型耐高温磁力联轴器的研制

马如宇, 蒋生发

(江苏理工大学机械工程学院)

摘要: 同步磁力联轴器已在化工、制药等部门得到广泛应用,但目前同步磁力联轴器一直存在内磁钢在高温下退磁而引起磁力联轴器不能正常工作的问題。该文运用鼠笼式异步电动机工作原理,设计了一种新型磁力联轴器,可有效解决这个问題。采用有限元方法分析了该新型磁力联轴器的内部磁场分布,计算了转矩和内外转子间的转速差并与实测值进行了比较。实验结果表明,该设计方案切实可行。

关键词: 稀土永磁材料 异步电动机 磁力联轴器

文献标识码: A **文章编号:** 1005-6254(2000)04-0004-04

1 引言

采用机械密封的泵总是不可避免地产生泄漏,因而,在传输易爆或有毒介质时,会产生安全和环境污染等方面的问题。近年来发展起来的磁力泵,以其固有的无泄漏、无轴封特点,解决了以往机械密封所无法解决的泵泄漏问题,因而正被越来越广泛地应用于化工、环保等部门。

磁力联轴器主要应用于磁力泵中。目前,使用最多的是同步磁力联轴器,其基本结构如图1所示。它主要由内磁转子、外磁转子和隔离套构成,内外转子上各固定有均匀排布的几对磁体,N极与S极交错排列,转子之间安装了一个隔离套,起密封作用^[1]。

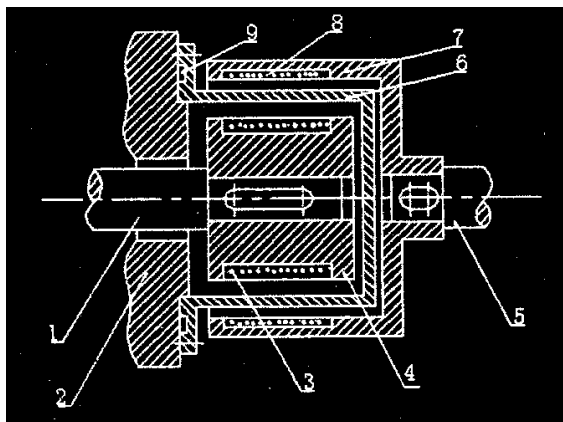


图1 同步磁力联轴器结构

1. 从动轴 2. 泵体 3. 内磁极 4. 内磁转子 5. 主动轴
6. 隔离套 7. 外磁转子 8. 外磁极 9. 密封圈

目前,磁力联轴器的磁体都采用稀土永磁材料。稀土永磁材料剩磁大、矫顽力高,这样可使联轴器结构小型化,工作平稳,在运行过程中磁能损失较小,效率高。但是,稀土永磁材料的居里点温度低,热稳定性差,而化工中许多要传输的介质温度很高;另外,磁力联轴器运行一段时间后,温度也会上升,这都会使内磁钢温度高于其居里点温度而发生退磁现象,使磁力联轴器不能正常工作。内磁钢一旦退磁,温度降低后磁性不会自动恢复,必须重新充磁才能恢复磁性。这一缺陷使同步磁力联轴器不能用于输送高温介质,限制了它的使用范围。

2 设计构思

为了解决因内磁钢在高温下退磁而引起的磁力联轴器失效问题,本文提出一种新型磁力联轴器的设计构想。我们知道,在一个装有手柄的蹄形磁铁的磁极之间,放置一个可以自由转动的由铜条组成的转子,铜条两端分别用铜环连接起来,形似鼠笼,磁极与转子之间没有任何机械联系,如图2所示。当转动磁极时,转子跟着磁极一起同向转动^[2]。

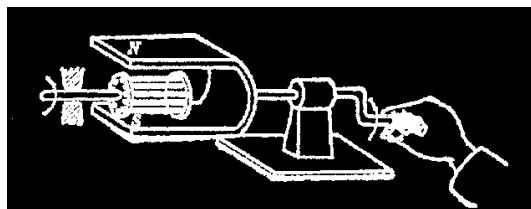


图2 鼠笼式电机基本原理

利用上述结构,将同步磁力联轴器的内磁转子改为类似于鼠笼式转子,外转子结构基本不变,如图 3 所示。这种磁力联轴器的工作原理与鼠笼式异步电机相同,当外转子在电机驱动下旋转产生旋转磁场时,内转子上铜条会因切割磁力线而产生感应电流,感应电流产生的磁场和外转子上永磁体产生的磁场相互作用,使内转子随外转子一起转动并传递转矩。这种磁力联轴器的内转子上不需要永磁材料,同时,隔离套密封了泵输送的介质,外磁转子与介质并不接触,因此,介质温度高低对这种磁力联轴器性能没有影响,它可用于输送较高温度介质的泵中。

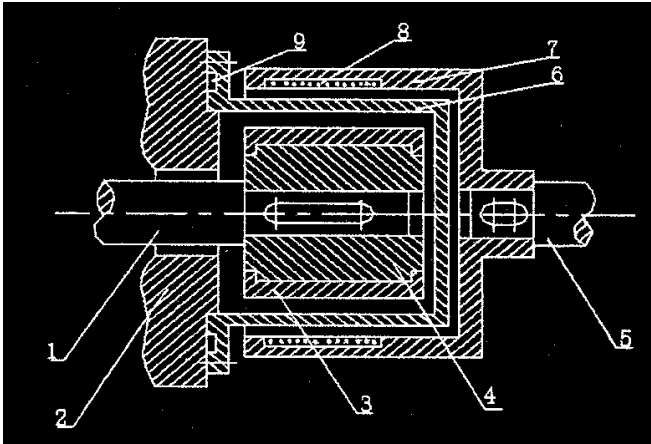


图 3 新型磁力联轴器结构
1. 从动轴 2. 泵体 3. 铜条 4. 内转子 5. 主动轴
6. 隔离套 7. 外磁转子 8. 外磁极 9. 密封圈

3 理论计算

3.1 磁场分析

联轴器磁场分析时采用了美国 Swanson Analysis Systems Inc. 公司的 ANSYS 有限元分析软件进行二维磁场的分析。其步骤如下^[3-6]。

(1) 前处理。输入要分析的磁场区域结构数据,建立磁场的计算模型,计算机自动生成有限元计算网格。

(2) 数值计算。输入边界条件和各部分材料参数等,运行软件,可得到矢量磁位、磁通密度、力密度等参数。

(3) 后处理。以图形的方式显示有限元计算结果。

考虑到磁力联轴器结构的对称性,取半圆几何结构作为求解区域。为了计算方便,不考虑磁场沿轴向的变化,不考虑隔离套对磁场的影响,仅将它看成气隙,建立二维场计算模型。图 4 为外

转子 14 极、内转子 24 槽的磁力联轴器的有限元求解区域。

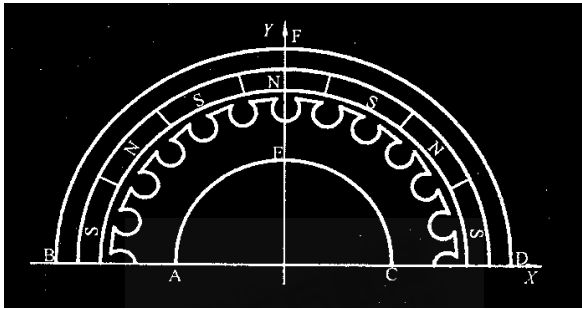


图 4 有限元求解区域

麦克斯韦二维场微分方程为:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{\mu}\frac{\partial A}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{\mu}\frac{\partial A}{\partial y}\right)=-J_e-\frac{1}{\mu}\frac{\partial M_y}{\partial x}+\frac{1}{\mu}\frac{\partial M_x}{\partial y}$$
 (1)

式中 M_x 、 M_y 是 X 方向和 Y 方向的磁化强度, μ 是磁导率 J_e 是内转子感应电流密度。

边界条件为:

$$A|_{AEC}=A|_{BFD}=0, A|_{AB}=-A|_{CD}$$
 (2)

磁通密度 B 用矢量磁位 A 求出:

$$B=rotA$$
 (3)

磁通密度在 X 和 Y 方向的分量分别表示为:

$$B_x=\frac{\partial A}{\partial y}, B_y=-\frac{\partial A}{\partial x}$$
 (4)

磁通密度化为径向和切向的分量为:

$$B_r=B_x\cos\theta+B_y\sin\theta$$
$$B_\theta=-B_x\sin\theta+B_y\cos\theta$$
 (5)

3.2 转矩计算

电磁转矩是新型磁力联轴器设计的一个重要指标,本文采用的计算电磁转矩的方法为麦克斯韦张量法。麦克斯韦张量法是由力学理论推导出来的转矩计算方法。在联轴器中切向电磁力密度为^[3]:

$$f_\theta=\frac{1}{\mu_0}B_rB_\theta$$
 (6)

式中 μ_0 是空气磁导率。

电磁转矩由切向力产生,如果沿半径为 r 的圆周积分,则电磁转矩的表达式为:

$$T_{em}=\frac{2L_{ef}}{\mu_0}\int_0^\pi r^2B_rB_\theta d\theta$$
 (7)

式中 L_{ef} 为内转子轴向等效长度; r 为气隙中任意半径,可放到积分号外; B_r 、 B_θ 分别为半径 r 处

气隙磁密的径向和切向分量。

3.3 内外转子的转速差计算

转速差也是这种新型磁性联轴器的一个重要性能指标。内外转子有一个转速差,内转子上铜条切割磁力线产生感应电动势,铜条和端环形成闭合回路产生了感应电流,感应电流的密度即为电流密度 J_e 。在磁场计算过程中,假设电流密度 J_e 值已知,通过磁场分析,计算出所传递的电磁转矩,然后计算需要多大的转速差才能产生事先假设的电流密度 J_e 。这可用下面的公式进行近似计算。

$$U = B_{r0} \cdot L_{ef} \cdot V \quad (8)$$

$$I = U/R \quad (9)$$

$$V = (\omega_1 - \omega_2) r_2 \quad (10)$$

上面3式中, U 是感应电压, B_{r0} 是 J_e 为零时,铜条切割的磁力线径向磁通密度; V 是内外转子相对线速度; I 是感应电流; R 为电流回路等效电阻; ω_1, ω_2 分别为外转子和内转子的角速度; r 是内转子半径。

通过这几个方程式可以求出内外转子的转速差 $\omega_1 - \omega_2$ 。

4 实验验证

试验用的磁力联轴器磁体材料为钕铁硼,磁体厚度6 mm,有效长度仅为24 mm;外转子采用2极、4极、14极3种排布,内转子有12槽、24槽2种结构。在实验中,通过转矩和转速传感器分别测出所传递的转矩和转子转速信号,传给计算机,经计算机处理后可直接读出所测定的数值。图5和图6是外转子14极,内转子分别为24槽、12槽的2个实验用联轴器传递的转矩和内外转子转速差之间的关系。

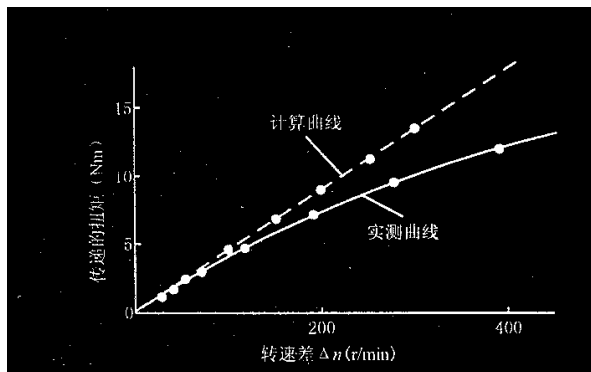


图5 内转子24槽转差扭矩关系

从图5和图6可以看出：

(1)在转速差相同时,联轴器所传递的扭矩与内转子的槽数接近成正比的关系。这是因为永磁体产生的磁场基本相同,在相同的转差下,不同联轴器单个铜条上的电磁力相差很小,联轴器所传递的扭矩主要由铜条上的电磁力提供,所以在相同的转差下,传递的扭矩与内转子上铜条数(槽数)接近成正比。

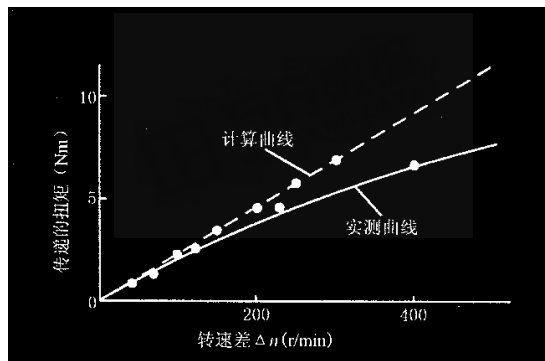


图6 内转子12槽转差扭矩关系

(2)在内外转子转速差不是很大的情况下,实验测试和计算分析出的结果非常接近,但在转速差较大的情况下,随着转速差的不断增大,实验测试出的扭矩值比计算出的扭矩越来越小。造成这种现象的原因主要有两个方面:首先,实验中磁力联轴器漏阻抗随着转速差增大而增加;其次,磁力联轴器在负载运行中的内转子反应去磁作用,这两个方面都会使内转子上受到的电磁力相对减小,实际传递的扭矩随着转速差的增大比理论计算出的扭矩值越来越小^[7]。

5 结论

实验测试和磁场分析结果表明,这种新型磁力联轴器的设计方案是完全可行的,可彻底解决同步磁力联轴器内磁钢高温失效引起的问题。在具体设计过程中,还要考虑一些问题,例如,优化转子槽形结构,使之在任何旋转位置上,磁力联轴器的内外转子间磁场作用力基本相等,从而尽量减小磁力联轴器中由齿槽效应引起的转速波动性和脉动力矩,进一步提高磁力联轴器的效率,等等,使这种新型磁力联轴器运行更加平稳可靠,生产成本进一步降低,维修更方便,经济效益更好。一旦这种磁力联轴器投入使用,将会使磁力泵的应用范围得到进一步的扩大,市场潜力很大。

参考文献

- 1 蒋生发. 磁力驱动泵. 排灌机械, 1993, 11(1): 9~10

- 2 秦曾煌. 电工学(修订本,下册). 北京:高等教育出版,1981:2~3
- 3 唐任远. 现代永磁电机理论与设计. 北京:机械工业出版社,1997:63~83
- 4 胡之光主编. 电机电磁场的分析与计算(修订本). 北京:机械工业出版社,1984:204~209
- 5 王群京. 稀土钕铁硼同步电动机的设计理论及计算机仿真. 合肥:中国科学技术大学出版社,1997:40~41
- 6 林亨澍, 干金云, 汪信尧. 新型外转子永磁电机的研制. 中小型电机,1996(2)(4):8~12
- 7 李钟明, 刘卫国. 稀土永磁电机. 北京:国防工业出版社,1999:295~297

Research of a New-type Resisting High Temperature Magnetic Coupling

MA Ru-yu, JIANG Sheng-fa

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: Synchronous magnetic couplings have been widely used in chemical industry, pharmacy and etc. If the working temperature is high, a synchronous magnetic coupling may not operate in normal state because of the demagnetization of magnets on its internal rotor. This problem has been a trouble for a long time. A new-type magnetic coupling which works according to the operating principles of squirrel cage asynchronous motors can solve this problem effectively. Finite element method is used to determine the magnetic field distribution of this new-type magnetic coupling. The calculated results of torque and the difference between the rotation speeds of internal rotor and external rotor are compared with the experimental results. The experimental results indicate that this design is practicable.

Key words: Rare earth permanent-magnetic materials, Asynchronous motors, Magnetic couplings