

# Research on Line Traveling Wave Pump of Magnetic Fluid

Meng Zhao<sup>1</sup>, Ji-bin Zou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Electrical Engineer, Harbin Institute of Technology, Harbin, Chian, 150001

Email: zhaomeng@hit.edu.cn, zoujibin@hit.edu.cn

**Abstract:** The magnetic fluid traveling wave pump as the representative application of magnetic fluid produces the phenomenon of flowing. The key techniques of the research of the magnetic fluid traveling wave pump are the production of traveling wave magnetic field, the design of pump structure, and the dynamics characteristics of magnetic fluid, and so on. According to the form of the production of traveling wave magnetic field, the line magnetic fluid traveling wave pump has been designed. Under the effect of traveling wave magnetic field, the magnetic fluid flux has a direct relationship with the magnetic field. The bigger is the magnetic field, the more is the flux. The flux rate of the magnetic fluid will reduce with the increase of the magnetic field because of the increase of the viscosity of the magnetic fluid. The bigger is the saturation magnetization of the magnetic fluid, the more is the flux.

**Keywords:** magnetic fluid; line traveling wave pump; traveling wave magnetic field

## 磁性流体直线行波泵的研究

赵 猛<sup>1</sup>, 邹继斌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>哈尔滨工业大学电气工程系, 哈尔滨, 中国, 150001

Email: zhaomeng@hit.edu.cn, zoujibin@hit.edu.cn

**摘 要:** 磁性流体行波泵作为磁性流体的典型应用已经得到了普遍的关注。行波磁场的产生、泵体结构的设计、磁性流体的动力学特性等均为磁性流体行波泵研究的关键技术。根据行波磁场产生的形式设计了磁性流体直线行波泵。行波磁场作用下的磁性流体流量与磁场的强度有直接关系：磁场越强，其流量越大。随着磁场强度的不断增加，由于磁场对磁性流体粘度的影响其流量的变化率在减小。磁性流体的饱和磁化强度越大，其流量也越大。

**关键词:** 磁性流体；直线行波泵；行波磁场

### 1 引言

磁性流体行波泵作为磁性流体的典型应用已经得到了普遍的关注。行波磁场的产生、泵体结构的设计、磁性流体的动力学特性等均为磁性流体行波泵研究的关键技术。根据行波磁场产生的形式设计了磁性流体直线行波泵，采用解耦计算分析和求解了磁性流体内行波磁场和力场的耦合问题。通过仿真和实验研究验证了设计的合理性和可行性。

### 2 理论分析

假设磁性流体为无旋、不可压缩、均一，那么在磁场的作用下，可以得到其内的压强  $P$  的表达式<sup>[1]</sup>

资助信息：国家自然科学基金资助项目(50707005) Projects 50707005 supported by National Natural Science Foundation of China

$$P = \int_0^B MdB + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 + C \quad (1)$$

其中，

$M$  -磁场的磁化强度

$B$  -磁场的磁感应强度

$\rho$  -磁性流体的密度

$h$  -重力方向的距离

$v$  -速度

$C$  -积分常数，由边界条件确定

在磁性流体的边界面上，由于磁性流体的表面是自由运动到平衡状态，因此作用于磁性流体内外表面的力相等，于是<sup>[2-7]</sup>

$$P_0 = P + \int_0^B MdB + \frac{1}{2\mu_0} M_n^2 \quad (2)$$

其中  $M_n$ -法向磁场的磁化强度

根据公式(1)和(2), 可以得到

$$P_0 = 2 \int_0^B M dB - \frac{1}{2} \rho v^2 - \rho gh + \frac{1}{2\mu_0} M_n^2 + C \quad (3)$$

那么, 就可以得到积分常数的表达式:

$$C = P_0 - 2 \int_0^B M dB + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh - \frac{1}{2\mu_0} M_n^2 \quad (4)$$

从公式(4)可以看出, 其右侧分别为压强差、磁场能、动量能、势能和表面张力能。在磁性流体的表面, 积分常数值总是相等的。

### 3 仿真研究

图 1 所示为磁性流体直线行波泵结构示意图。其中图 a 所示为磁性流体直线行波泵剖面图。从图中可以看出其基本结构是由通电线圈、磁钢、泵体等组成。图 b 所示为磁性流体直线行波泵的结构示意图。

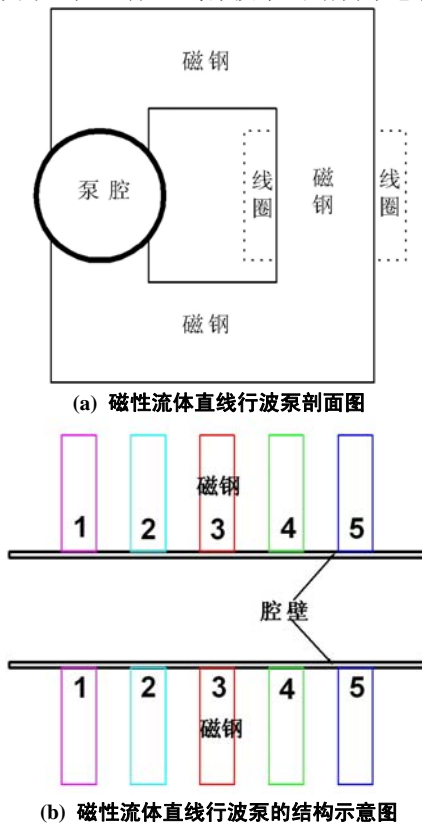


Figure 1. Distribution of traveling wave pump  
图 1. 磁性流体直线行波泵的结构示意图

该结构的磁性流体行波泵的通电方式可以根据需要自行选定。通常情况下, 在某一时间间隔内, 编号为奇数的磁极产生磁场, 在下一个时间间隔内, 编号

为偶数的磁极产生磁场; 这样就可以在泵腔内形成行波磁场。另一种常用的通电方式为在一个通电周期内根据磁极的编号顺序依次通电产生磁场, 同样也可以在泵腔内形成行波磁场。当磁性流体直线行波泵腔内磁性流体的量较少时, 在泵腔内的横截面上就无法形成连续分布, 此时只是在磁钢附近有少量磁性流体的分布, 在忽略重力作用的条件下, 该分布是对称的, 按等磁感应强度线进行分布。当磁性流体量较多时, 在泵腔内的横截面上就形成连续分布。在忽略重力作用下, 按等磁感应强度线进行分布。

图 2 所示为磁性流体行波泵内, 横截面上磁感应强度分布曲线。图中绿色曲线所代表为磁极中线位置上横截面上磁感应强度分布曲线, 红色曲线所代表为磁极边缘位置上横截面上磁感应强度分布曲线。从图中可以看出, 由磁极边缘向泵腔内中心线位置, 磁感应强度逐渐变小。但是, 两个横截面线上的磁感应强度差却是逐渐增大的。以泵腔中心线为对称线的话, 泵腔中心线处的磁感应强度差值最大, 越接近磁极处, 磁感应强度差值就越小。

根据图 2 的分布情况, 可以得出泵腔内两横截面线上压强差也是中心线处差值大, 越接近磁极边缘处, 差值越小, 如图 3 所示。忽略磁场对磁性流体密度和粘度特性的影响, 忽略重力作用, 泵腔内中心线处的速度变化率最大, 两侧处的速度变化率最小。单位时间内, 泵腔内中心线处的速度最大, 两侧处的速度最小。

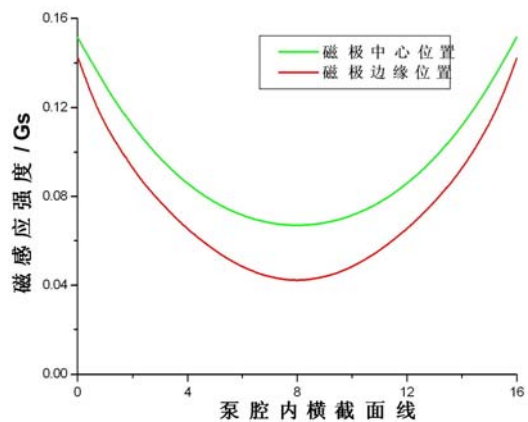


Figure 2. Distribution of magnetic flux of line  
图 2. 泵腔内横截面上磁感应强度分布图

### 4 实验研究

从文献[8]中可知磁性流体在受到磁场作用时, 其粘度要大于未受到磁场作用时的粘度; 在温度相同时, 其粘度随着磁场强度的增加而加大, 但是当磁性流体达到饱和状态以后, 其粘度随磁场强度变化的趋势减

缓；当磁场强度梯度存在变化时，沿着磁场强度梯度变化的方向上，磁性流体的粘度均发生变化；当磁场梯度为常数时，磁性流体的粘度在整个区域均相同。图 4 所示为磁性流体直线行波泵实验装置。该实验装置由电源、泵腔、导管、数字电路、磁钢、线圈等组成。

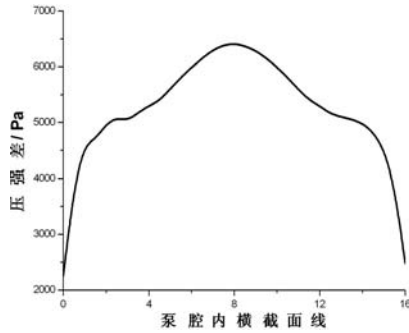


Figure 3 Curve of pressure differential of line  
图 3.泵腔内横加断面线上压强差分布

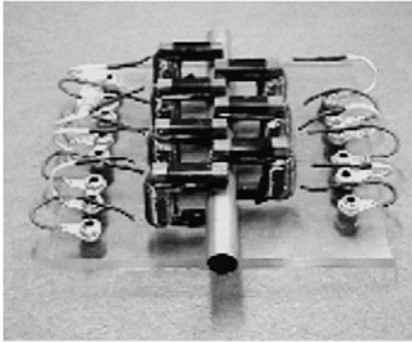


Figure 4 Device of traveling wave pump  
图 4. 行波泵实验装置

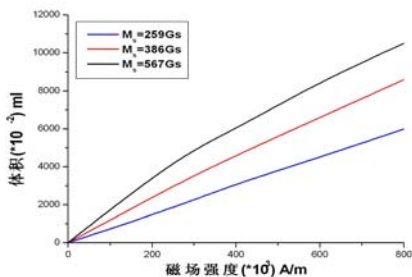


Figure 5 Curve of volume on magnetic fluid and magnetic field  
图 5. 磁场强度和流量关系

## 5 结论

以设计的磁性流体直线行波泵为研究对象，分析了行波磁场作用磁性流体的特性，可以得出：

- (1)行波磁场作用下的磁性流体流量与磁场的强度有直接关系，磁场越强，其流量也越多；
- (2)随着磁场强度的不断增加，由于磁场对磁性流体粘度的影响其流量的变化率在减小；
- (3)磁性流体的饱和磁化强度越大，其流量也越大。

## References (参考文献)

- [1] Zou Jibin, Lu Yongping. Fundamentals and Design Method of Magnetic Fluid Seals. Beijing: National Defense Industry Press. 2000. (Ch).  
邹继斌, 陆永平. 磁性流体密封原理与设计. 过刚工业出版社. 2000..
- [2] Gwan Soo Park, Sang Ho Park. New structure of the magnetic fluid linear pump. IEEE Transactions on Magnetics. 2000, 5(36): 3709-3711
- [3] Gwan Soo Park, Sang Ho Park. New structure of the magnetic fluid linear pump. IEEE Transactions on Magnetics. 2000, 5(36): 3709-3711.
- [4] Gwan Soo Park, Sang Ho Park. Design of magnetic fluid linear pump. IEEE Transactions on Magnetics. 1999, 5(35): 4058-4060.
- [5] Gwan Soo Park, Kang, Seo. A Study on the pumping forces of the magnetic fluid linear pump. IEEE Transactions on Magnetics. 2003, 3(39): 1468-1471.
- [6] Gwan Soo Park, Kang Seo. New design of the magnetic fluid linear pump to reduce the discontinuities of the pumping forces. IEEE Transactions on Magnetics. 2004, 2(40): 916-919.
- [7] Kang Seo, Gwan Soo Park. A research on the pumping forces in the magnetic fluid linear pump. IEEE Transactions on Magnetics. 2005, 5(41): 1580-1583.
- [8] Zhao Meng, Zou Jibin, Hu Jianhui. Viscosity of magnetic fluid in magnetic field. Materials for Mechanical Engineering. 2006, 8(30): 64-64. (Ch).  
赵猛, 邹继斌, 胡建辉. 磁场作用下磁性流体粘度特性的研究. 机械工程材料. 2006, 8(30): 64-65..