Experimental Study on Suspension Properties of Nanosized Magnetic Fluid

Qing-xin Yuan, Xue-hui Li
College of Physical Science and Technology, Dalian University, Dalian Liaoning, China
Email:lxh49dlu@163.com,wjsyddw@163.com

Abstract: Nanosized magnetic fluid is a new kind of functional materials which can be intertransformed between solid and liquid under the extra magnetic field, leading to the obvious suspension property. By using the self-produced magnetic fluid float-sink display and magnetic fluid suspension property measurement, this research is aimed to study the suspension properties of the magnetic fluid from the perspectives of direct observation and specific tests.

Keywords: magnetic fluid; suspension properties; measurement

纳米磁性液体悬浮性能的实验研究

袁青鑫，李学慧
大连大学，物理科学与技术学院，辽宁 大连，中国，116622
Email: lxh49dlu@163.com, wjsyddw@163.com

摘　要：纳米磁性液体是一种可以实现“固—液”两相转变的新型功能材料。在磁场下磁性液体的悬浮性能较为明显。通过自主研制的磁性液体沉浮演示仪与磁性液体悬浮性能测试仪分别定性观察和定量测试来研究磁性液体的悬浮性能。

关键词：磁性液体；悬浮性能；量度

1 引言

磁性液体是用表面活性剂将直径小于 10nm 的单磁畴纳米颗粒包覆并高度弥散于载液中形成的一种“固—液”两相胶体溶液，在磁场作用下不仅有液体的流动性还有固体材料的磁性，是一种新型的功能材料[1]。由于磁性液体的特殊结构，在磁场作用下具有奇异的性能，已广泛运用于机械、冶金、生物、医疗和环保等领域[2]。

在外磁场下磁性液体中纳米磁性颗粒被磁化，按照磁感线方向呈球簇链状排列[3-5]，不同液层的磁性颗粒分布不均是由于梯度磁场产生的，改变磁场可浮选非磁性的物质，宏观上呈现悬浮现象。基于磁性液体悬浮性能的宏观现象到定量测试磁性液体悬浮能力大小的这一构想而研制了磁性液体悬浮性能测试仪。

2 磁性液体悬浮性能的理论解释

通过磁性液体沉浮演示仪[6]（图 1），将不同密度的铅块、铜块、铝块等非磁性物体放入盛有磁性液体的玻璃皿中，调节电流值可观察到非磁性物体按密度值由小到大依次浮出液面，现象直观且明显。

油基的磁性液体固有密度通常在 1.160 g/cm^3 左右，而铅块的密度是 11.34 g/cm^3，两者间的密度相差较大，说明磁性液体在磁场下的悬浮能力是非常强的。磁性液体悬浮现象的本质可用修正的磁性液体伯努利方程进行解释[7]：

$$p+\frac{1}{2}\rho_f v^2+\rho_f gz-\mu_0\int_0^H MdH=Const \quad (1)$$

Figure 1. Magnetic fluid float-sink display

图 1. 磁性液体沉浮演示仪

基金项目：国家自然科学基金项目资助（50677005）

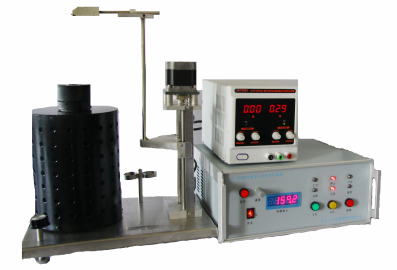

Figure 2. Magnetic fluid suspension performance tester

图 2. 磁性液体悬浮性能测试仪

对于静态磁性液体，方程可变为：

$$p = -\rho_f gz + \mu_0 \int_0^H MdH + Const \qquad (2)$$

外磁场方向 $H(z)$ 垂直于磁性液体表面，其表面受到磁化正压力的作用[8]：

$$p_n = \frac{1}{2}\mu_0 M_n^2 \qquad (3)$$

则总压力为：

$$p' = -\rho_f gz + \mu_0 \int_0^H MdH + \frac{1}{2}\mu_0 M_n^2 + Const \qquad (4)$$

方程两边对 Z 求偏微分，考虑恒温条下：

$$\frac{\partial}{\partial z}(\int_0^H MdH) = M\frac{\partial H}{\partial Z} + \frac{\partial}{\partial z}(\int_0^H \frac{\partial M}{\partial T}\nabla T dH) = M\frac{\partial H}{\partial z} \qquad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(\int_0^H \frac{\partial M}{\partial T}\nabla T dH) = 0 \qquad (6)$$

$$\frac{\partial p'}{\partial z} = -\rho_f g + \mu_0 M\frac{\partial H}{\partial z} + \mu_0 M_n \frac{\partial M_n}{\partial z} \qquad (7)$$

只考虑 Z 方向，Z 方向的质量力为-g，得：

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \qquad (8)$$

将（8）式代入（7）式得：

$$\rho_s = \rho_f - \mu_0 M\frac{\partial H}{\partial Z}/g - \mu_0 M_n \frac{\partial M_n}{\partial z}/g \qquad (9)$$

ρ_s 为磁性液体的表观密度。

若所测的点在中心的轴线上，$M_n = M$，$M = \chi H$，方程可变为：

$$\rho_s = \rho_f - \mu M\frac{\partial H}{\partial z}/g \qquad (10)$$

磁性液体沉浮演仪的磁场设计是在负梯度磁场和闭合回路的条件下，通过改变励磁电流，引起磁性液体颗粒空间分布不均匀，从而将不同密度的非磁性物体浮起[9]。在已知磁性液体固有密度的条件下，可以求出 μ、M、$\partial H/\partial Z$ 便可得到磁性液体不同液层悬浮能力的大小。由于此计算方法繁琐，基于流体静力称衡法的测量原理研制出磁性液体悬浮性能测试仪（图 2），能定量研究磁性液体悬浮性能的量度 ρ_S。

3 磁性液体悬浮性能的测试原理

磁性液体悬浮性能测试仪是纳米液体功能材料处于磁场中悬浮能力大小的测试仪器，该仪器主要由四部分组成：励磁电源、磁性液体悬浮性能测试仪控制器、磁路和升降部分。

1.电磁线圈 2.铜锤 3.玻璃试管 4.力敏传感器 5.升降架 6.励磁电源 7.磁性液体悬浮性能测试仪控制器

磁性液体悬浮性能测试仪是为了定量研究磁性液体悬浮性能的量度 ρ_s，在磁场设计上要求存在负梯度磁场且在纵轴方向上的梯度磁场变化均匀且分布尽量长，与磁性液体沉浮演示仪不同的是磁场没有设计闭合回路。

实验时，将铜锤悬吊在力敏传感器的挂钩上，测出铜锤在空气中的电压 U，再将铜锤吊入密度为 ρ_w 的蒸馏水中，测出平衡锤在蒸馏水中的电压 U_w，由力敏传感器灵敏度的定义式：$B = U/F$，得到铜锤在蒸馏水中的浮力：

$$\frac{U}{B} - \frac{U_w}{B} = \rho_w vg \qquad (11)$$

将平衡锤吊入盛有磁性液体的玻璃试管中，测出它在磁性液体中的电压 U_s，得到铜锤在磁性液体中的浮力：

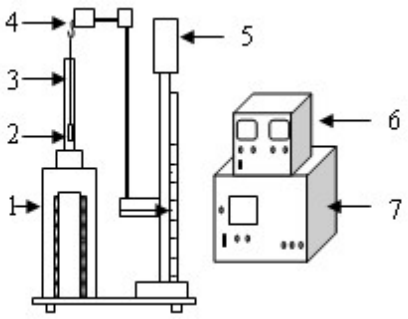

Figure 3. Structure of magnetic liquid suspension performance tester

图 3. 磁性液体悬浮性能测试仪结构图

978-1-935068-41-9 © 2010 SciRes.

$$\frac{U}{B} - \frac{U_s}{B} = \rho_s V g \qquad (12)$$

V 是铜锤的体积，ρ_w 是蒸馏水的密度，ρ_s 是磁性液体的固有密度。

由式（10）、（11）得：

$$\rho_s = \frac{U - U_s}{U - U_s}\rho_s \qquad (13)$$

因此，只要测出铜锤在空气中的电压U，以及它在蒸馏水中的电压U_w和在磁性液体中的电压值U_s，便可求出磁性液体悬浮性能的量度ρ_s。

4 实验结果及分析

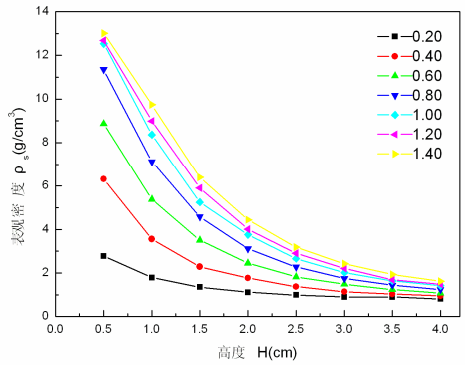

Figure 4. Properties of magnetic fluid suspension changes with the magnetic field strength

图 4.磁性液体悬浮性能的量度随磁场强度的变化

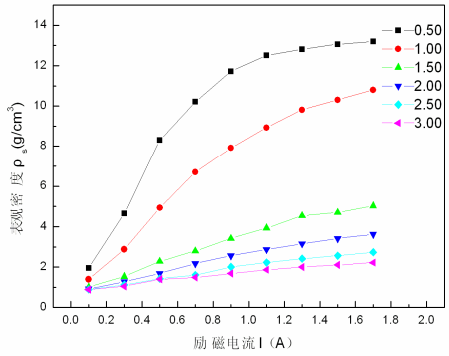

Figure 5. Properties of magnetic fluid suspension changes with height

图 5. 磁性液体悬浮性能的量度随高度的变化

通过改变磁场强度和铜锤所处的位置，分别得到两组不同的数据图。根据图 4 知，在励磁电流一定的条件下，磁性液体悬浮能力随高度的增加而逐渐减小，在电磁线圈顶端 0.50-2.00cm 间，磁性液体的悬浮性能减小的较快，在 2.00-4.00cm 间变化缓慢；根据图 5 知，在高度一定的条件下，磁性液体的悬浮能力随电流的增加而增大，在电磁线圈顶端 0.50-1.00cm 间，磁性液体的悬浮性能变化较大，而电流达到 1.20A 左右时，磁性液体悬浮能力达到一个平稳值，高度在 1.50-3.00cm 间，磁性液体的悬浮能力较小，且随电流的增加成线性变化。

5 结论

磁性液体悬浮性能的宏观现象可利用磁性液体沉浮演示仪观察到，悬浮现象的本质用修正的磁性液体伯努利方程能很好的解释，悬浮能力的大小可采用磁性液体悬浮性能测试仪进行定量的研究。实验研究表明在磁场梯度大的区域磁性液体的悬浮能力较强，当磁场强度达到磁性液体磁饱和磁化强度时，磁性液体的悬浮能力将达到最大值。

References(参考文献)

[1]Xuehui Li. The Preparation Methods,Characreristic and Application of Nano-magnetic fluid[M].Beijing:Science Press,2009.1-2.
李学慧.纳米磁性液体——制备、性能及其应用[M].北京：科学出版社,2009.1-2.

[2]Yuxin Wang,Shenqiang Zhao,Chuifeng Du,et al. Preparation Methods of Nanosized Magnetic Fluids[J].Metallic Functional Materials,2010,17(1):62-65.
王宇鑫,赵慎强,杜春风等.纳米磁性液体的制备方法[J].金属功能材料,2010,17(1):62-65.

[3]Qiang Li,Yimin Xuan,Bin Li. The Simulation and Control Method of Microscopic Structure of Magnetic fluid[J].Science in China Series E: Technological Sciences,2007,37(5):707-715.
李强,宣益民,李斌.磁流体微观结构的模拟与控制方法研究[J].中国科学 E 辑：技术科学,2007,37(5):707-715.

[4]Hui Shen,Xueqing Xu. Electron Microscopy Observation Surface Morphology and Particle Arrangement Structure of Magnetic Fluid[J]. Science in China Series E,2003,33(1):25-28.
沈辉,徐雪青.磁性液体表面形貌与颗粒排列结构的电子显微镜观察[J].中国科学 E 辑,2003,33(1):25-28.

[5]Sihai Zhao,Jiali Fang.Theoretics Study on the Model of Magnetic Flocculation of Magneto-rheological Fluid[J].Lubrication engineering,2006,(11):108-110.
赵四海,方佳丽.一种磁流变流体链化模型的研究[J].润滑与密封,2006,(11):108-110.

[6]Xuehui Li， et al. Float-sink display device of magnetic fluid[P].China Patent:ZL2007200119177.2008-5-14.
李学慧等.磁性液体沉浮演示仪[P].中国专利：ZL2007200119177.2008-5-14.

[7]R.E.Rosensweig.Ferrohydrodynamics[M].NewYork:DOVERPUBLICATIONS,1997.124-126.

[8]Changqing Chi.Ferromagnetic hydrodynamics[M].Beijing: Beijing

University of Aeronautics and Astronautics Press，1993.140-175.
池长青.铁磁流体力学[M].北京：北京航空航天大学出版社，1993.140-175.
[9]Hongfang Meng.Applied Research of Magnetic Fluid in the Specific Gravity Test of Objects[D].Hebei:Hebei University of Technology.2006.
孟红芳.磁性液体在物体比重测试技术中的应用研究[D].河北:河北工业大学,2006.

978-1-935068-41-9 © 2010 SciRes.