

磁流体技术及发展方向综述^①

顾红¹, 王先逵², 祝琳华³, 宋鹏云³

(1. 昆明理工大学 机电学院, 云南 昆明 650093; 2. 清华大学 精仪系, 北京 100084;

3. 昆明理工大学 生物与化学工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要 本文综述了磁流体制备和应用技术的新进展, 并对现阶段我国磁流体制备和应用中存在的问题及将来的发展方向进行了探讨。

关键词: 磁流体; 磁流体技术; 制备; 应用

中图分类号: TM 937 文献标识码: A 文章编号: 1007- 855X(2002)01- 055- 03

0 引言

磁流体又称磁性液体、铁磁流体或磁液, 目前已广泛用在润滑、密封、碾磨、分选、换能、印刷、医药等许多领域. 它是由强磁性粒子、基液以及表面活性剂三者混合而成的一种稳定的胶状溶液. 该流体在静态时无磁吸引力, 当外加磁场作用时, 才表现出有磁性. 由于这种胶状液体既有固体磁性材料的强磁性, 又有液体的流动性, 以及许多其它固体磁性材料与液体物质所不具有的特殊性质, 因此自 60 年代初期美国 NASA 在宇宙飞船的活动仓和过渡仓密封中获得成功应用后发展迅猛, 并且开始转向民用. 人们对磁流体的基础理论、物理性质、制造工艺、磁性能, 以及开发应用都展开了多方面的研究, 研究成果不断出现, 应用也逐步扩展. 在国际上, 有关磁流体技术的学术交流相当频繁. 学术论文和专利纷纷问世, 致使磁流体跃入到功能材料的行列并成为功能材料中的一枝新秀. 本文旨在将磁流体制备和应用技术进行全面的介绍, 借以促进其在我国进一步的应用和发展.

1 磁流体及其制备的新进展

1.1 磁流体的组成及制备

磁流体的组分材料结构模型如左图所示. 磁流体组分材料的选取原则^[1~5]: 依磁流体的用途及价格选取. 磁性微粒 Fe_3O_4 、铁、钴、镍等磁性材料能使载液呈现磁性好、易于制取超细 ($d < 10\text{ nm}$) 微粒; 分散剂(表面活性剂)防止磁性微粒相互间的聚集或沉淀, 一般依载液性能选取; 载液的类型根据密封介质和工况选择.

评价磁流体的性能, 主要取决于磁性大小与稳定性(这里的稳定性定义为磁性微粒抗聚沉及被密封介质破坏的能力)的好坏^[6]. 因此在磁流体制取中要解决的主要问题是磁流体中磁性微粒的制取方法和稳定磁流体的获取. 而磁流体的稳定性主要和下列因素密切相关: 1、所制取的磁性微粒的粒度大小; 2、表面活性剂——表面活性剂的选择和用量是制备磁性流体的关键;

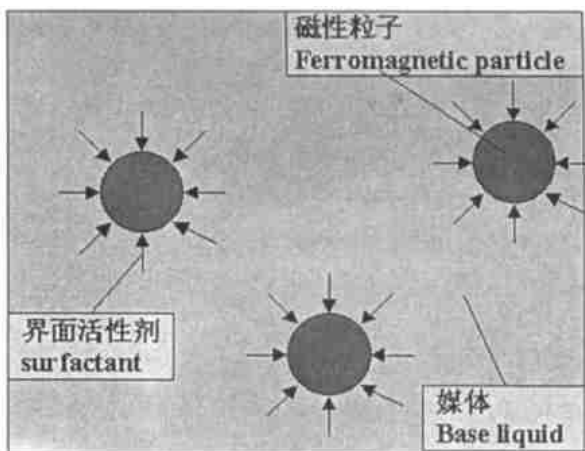


图 1 磁流体结构示意图

3、制备过程(其核心问题是保证磁性微粒能以单棵分散的状态存在于磁流体中), 这是磁流体制备研究

① 收稿日期: 2001- 04- 16;

基金项目: 云南省教委青年教师科研基金资助项目(9942079);

第一作者简介: 顾红, 女, 1967 年出生, 讲师, 主要研究方向: 磁流体密封和图学.

的一个新领域, 因为随机因素较多, 目前尚无统一的定论, 有待各位有此志向的同仁倾力进行研究。

制取磁性微粒早期的方法有: 载液中放入分散剂用球磨法将磁石粒子的直径研磨到 10 nm 以下的球磨法; 这种方法可以制备各种磁流体, 然而由于这个研磨过程非常之缓慢, 所以这种胶体态的磁流体非常昂贵。另一种制备方法是加入过量的碱性氢氧化物使之以适当的比例混合铁与铁离子产生凝聚, 磁石粒子慢慢地从分子大小生长到直径 10 nm 大小。再一种方法是将非磁性方铁矿石碾细到胶体态离子大小, 然后用加热的方法使之转化成磁石离子。此外还有水溶液中进行的吸附法; 解胶法等。但是这些方法所制取的磁性微粒多为 Fe_3O_4 , 而且所得到的磁流体的饱和磁化强度最大也只能达到 600 Gs 左右。近年来在磁性微粒取材及制取方法上日益改进, 已经开始向磁性金属如铁、钴等方面发展。据资料介绍, 在无机溶质中加 Fe_3N 精细微粒所制取的新型磁流体的饱和磁化强度可达 2700 Gs。微粒 Fe_3N 的直径为 6 nm。这种超细微粒是由碳化铁在煤油中与氨气和氨起反应而制取的。东北大学研究用轧钢酸洗废液为原料, 采用部分氧化——铁氧体共沉——表面处理流程所制取的水基磁流体不但性能良好, 稳定性强, 而且可用轧钢酸洗废液取代化学药品, 从而使制作成本下降了许多。淮南矿院采用 Co^{2+} , Zn , Fe^{2+} , Fe^{3+} , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 经过氧化还原、分散处理、分离、混合后加入载液进行加热搅拌, 也成功的制取了 $\text{Co}-\text{Fe}_3\text{O}_4$ 磁流体。四川大学的赖琼珏等人采用改性共沉淀法制备出性能稳定的磁流体, 北京航空航天大学用吸附置换法成功的制备出硅油基磁流体, 其既有卓越的耐高温、低温性, 良好的抗辐射、耐老化性, 极低的挥发性等特殊性能。北京理工大学也成功研制出密封液体(水和煤油)的铁基磁流体, 株洲维格磁流体有限公司在这方面也取得了一些突破性进展, 尤其是在应用技术方面, 目前已生产出七种型号的磁流体, 并全获成功应用, 其实例之一是浙大半导体技术有限公司改造从美国进口的 860 D 单晶硅炉传动轴密封装置, 采用磁流体密封已经两年多无泄漏。磁流体复合材料的研究也有进展, 其中包括各种掺杂(如塑料微粒、金属或非金属磁性微粒)的磁流体, 超导磁流体复合材料以及磁流体液晶复合材料等。蓬勃发展中的制备技术为应用技术的进一步开发和应用提供了强有力技术支持和保证。

1.2 磁流体应用^[5-7-9]

由于磁流体是一种具有磁特性又具有液体特性的特殊材料, 人们根据这种材料的特性将其应用到不同工业领域中去是近年来在新技术开发方面的一种新的尝试。而且目前在密封、润滑等技术领域中得到了非常成功的应用, 其在轴承、研磨、传感元件减震器, 扬声器, 油墨, 调制用化妆品、医药等领域具有非常诱人的应用前景。根据磁流体不同特性而被应用的磁流体技术概况如下。①密封。利用磁流体在外加磁场作用下具有承受压力差的能力实现真空、气体、液体密封。具有不易泄漏、寿命长、转速高、无二次污染、密封结构简单不需维修的特点, 非常符合现代倡导的绿色生产口号。②定位。磁流体血管密封与药物在血管中的输送。利用磁流体在外加磁场作用下可以控制位置的原理来实现心血管手术中对血管中血液的阻封、以及脑血管治疗过程中的药物输送、简易可行不易损伤血管, 另外也用于 X-射线或 NMR 诊断中的不透光材料^[10]。③润滑。利用磁流体加入润滑油中在外加磁场作用下可使润滑油摩擦系数下降, 从而实现无磨损润滑, 而且由于磁场对润滑起控制作用, 从而可避免无润滑摩擦, 提高两接触件的寿命, 摩擦件寿命长, 载荷承受能力大, 速度快噪音低。④阻尼与减振。利用磁流体粘度随外加磁场变化而变化的原理实现最佳粘度的阻尼减振。与一般流体能起到减振作用相比较, 具有低频小幅以及通过电流改变磁场达到控制粘度而实现阻尼减振。⑤流量控制。利用磁流体在不同磁场强度下粘度不同的特性, 把电流信号转为磁流体压力差信号, 使滑阀产生位移来改变介质的流量, 达到控制流量的目的; 与传统伺服阀相比结构简单, 信号可靠, 适于实现小流量控制。⑥矿物筛选与物料分离。利用磁流体在不均匀外加磁场作用下, 磁流体被高磁场侧所吸引的特性使置于磁流体中的非磁性物质向低磁场侧漂浮的原理进行矿物筛选与物料分离; 方法简易可行、无噪音、无污染。实例如磁流体用于油水分离, 由于以烃类作分散剂的磁流体可与油而不与水混合, 在磁流体中加入油水混合液时, 其中油被磁流体吸附并停留在磁场区, 因此可利用磁流体进行油水分离。大型油轮失事造成海面严重污染的事故时有发生, 利用此原理可以回收泄漏在海面上的油及乳胶。这对国民经济和环境治理具有很大的应用价值。⑦能量转换。用磁流体在不外加磁场作用下产生作用力或磁压差来推动发电机或叶轮机发电, 效率高装置简单。目前正在实验研究阶段的燃煤磁流体发电技术就是一

例. 它亦称为等离子体发电, 是使极高温并高度电离的气体高速流经强磁场直接发电的技术. 当燃煤得到的 $2.6 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上的高温等离子气体以高速流过强磁场时, 气体中的电子受磁力作用, 沿着与磁力线垂直的方向各自流向电极, 发出直流电, 经直流逆变为交流送入交流电网. 从磁流体排出的气体可送往一般锅炉继续燃烧变成蒸汽, 驱动汽轮机发电, 组成高效的联合循环发电, 总的热效率可达 $50\% \sim 60\%$, 同样, 它可有效地脱硫, 有效地控制 NO 的产生, 也是一种低污染的煤气化联合循环发电技术. ⑧磁控比例放大器. 利用外加磁场对磁流体的控制使磁流体喷射流产生偏转, 达到比例放大作用. ⑨水银开关. 置于不导电容器中的不导电的磁流体, 在无外加磁场作用时能使注入到水银中的磁流体上浮于水银面之上, 加入外加磁场后由于磁流体比重增加而下浮迫使水银上升而接通导电电极使电路开启, 开启时磨损小, 可长期工作. 寿命长且开启电流大时不易放电. ⑩热传导散热. 利用磁流体导热系数远大于空气导热系数的特性改善导热性能, 可提高扬声器输入功率, 导热性能好、节能效果明显. 还有磨削、倾角仪等, 这里不在一一列举.

2 结 论

综上所述, 虽然近年来磁流体制备和应用技术的发展十分迅速, 其应用领域不断拓宽, 我国在这一领域中也取得了很大的进展; 但是与发达国家相比较还有一定差距. 为了缩短同发达国家的差距, 发展我国的磁流体技术, 加快磁流体技术的商业化, 有必要作好以下工作: 开发饱和磁化强度更高, 磁性微粒材料选择面更宽, 制备方法简单, 稳定性更好, 成本低廉的高性能磁流体及各种磁流体复合材料; 拓宽磁流体应用领域, 加快在具有潜力和可行性的新的应用技术领域的实用化步伐, 如磁流体发电 (MHD); 加快磁流体在密封、润滑及相关技术领域中的商用化; 加强磁流体基础理论的研究工作, 以尽快推广磁流体技术.

参考文献:

- [1] W. OCHONSKI, "DYNAMIC SEALING WITH MAGNETIC FLUID" [J]. 1989, 130. (1): 261~ 268.
- [2] 陈宗淇, 戴闽光编. 胶体化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1984: 114~ 115.
- [3] 赵国玺. 表面活性剂物理化学. 北京: 北京大学出版社, 1984: 185~ 192
- [4] G. J. Moridis etc, "Theoretical and Experimental Investigations of Ferrofluids for Guiding and Detecting Liquids in the Subsurface", London: Earth Sciences Division, March 1998. 14~ 16.
- [5] K. Raj and R. MOSKOWITZ. COMMERCIAL APPLICATION OF FERROFLUIDS [J]. M M M, 1990, 85 (1): 233~ 245.
- [6] 刘颖, 王建华, 张葆等. 磁流体的稳定性和制备过程 [J]. 润滑与密封. 1997 (6): 52~ 53
- [7] 李云奇, 张世伟等. 磁流体技术的发展及其应用 [J]. 真空应用. 1986, (2):
- [8] 侯鹤岚, 张世伟, 杨乃恒等. 磁流体技术的发展及其应用 [J]. 真空. 1999, (5): 8~ 12.
- [9] 赖琼钰, 卢集政, 赵叶治等. 铁磁流体的制备和稳定性研究 [J]. 化学通报网页文件. 1999.

The Review of Magnetic Ferrofluid Technology Development and Its Application

GU Hong¹, WANG Xian- kui², ZHU Lin- hua³, SONG Peng- yun³

(1. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming Polytechnic University, Kunming 650093, China; 2. Department of PIM, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Faculty of Biological and Chemical Engineering, Kunming Polytechnic University, Kunming 650224, China)

Abstract The new development on the magnetic ferrofluid and its production technology, performance as well as application are reviewed. Some problems and development trends to develop the magnetic ferrofluid technology are also studied.

Key words: magnetic ferrofluid; magnetic ferrofluid technology; preparation; application.