

物理实验



盘式磁流变液制动特性演示仪的设计*

李津宁 刘凤祥 李琪 陈文娟 袁顺东

[中国石油大学(华东)理学院 山东 青岛 266555]

(收稿日期:2016-06-30)

摘要:磁流变液是一种在磁场作用下其流变学性能可作出迅速响应,且易于控制的新型智能材料.为了演示磁流变液的制动特性,设计了一种盘式磁流变液制动特性演示装置,介绍了装置的设计原理和工作方法.该装置通过演示磁场、扭矩、转速之间的变化关系,对磁流变液的制动特性做了直观形象的展示.

关键词:磁流变液 制动特性 演示装置

磁流变液是一种新型智能材料,由美国人 Rabinow^[1] 在 1948 年率先发现.它在无外加磁场时,流变特性与普通牛顿流体类似;但在外加磁场作用下,其表观粘度可在毫秒级内增加几个数量级,并呈现类似固体的力学性质,可近似认为是 Bingham 流体^[2~5];一旦去掉磁场,又变成可以流动的液体.这种转变过程具有可逆性、连续可控性和响应快速性等特征,因此磁流变液被广泛应用于汽车、机械、航空等领域.

基于磁流变液这种特性,能用来制成电流控制制动程度的制动器,可以实现无级调节,而且便于用计算机加以控制.基于磁流变液设计的制动器作用平稳、均衡,结构紧凑,与目前的涡流和迟滞制动器相比,具有所需运行功率小,控制容易,作用平稳,能够在低速下进行高扭矩的制动等优点^[6~9].

1 实验原理

为了演示磁流变液的制动特性,本实验设计了一套磁流变液制动特性演示装置,该装置的原理图如图 1 所示.

当转动盘 Q 以角速度 ω 转动时,会受到固定盘 P 通过磁流变液传递给 Q 的扭矩.建立柱坐标系,取固定盘上表面与转轴交点为原点, z 轴沿竖直方向,

当磁流变液的厚度 H 较小时,可认为 ω 沿 z 轴线性分布^[10],即

$$\omega_z = \frac{z}{H}\omega \quad (1)$$

则 (z, r) 处磁流变液的剪切速率 $\dot{\gamma}$ 为

$$\dot{\gamma} = \frac{d(r\omega_z)}{dz} = \frac{r}{H}\omega \quad (2)$$

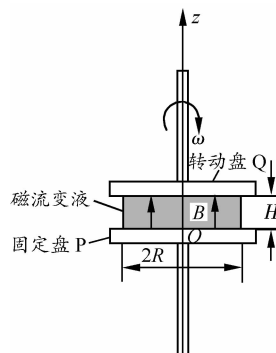


图 1 磁流变液制动特性演示装置实验原理图

在施加磁场时,磁流变液的行为可以用 Bingham 流体模型近似处理,在 (z, r) 处的剪切应力满足下列关系

$$\tau = \tau_z(B) + \eta\dot{\gamma} \quad (3)$$

其中, $\tau_z(B)$ 为与磁感应强度 B 有关的动态剪切应力; η 为流体的弹性粘度.由固定盘 P 通过磁流变液

* 山东省自然科学基金项目,项目编号:ZR2015AM023;中国石油大学(华东)校级重大教学研究与实践项目,项目编号:JY-A201402;中国石油大学(华东)大学生创新创业训练项目,项目编号:20151298;中央高校基本科研业务专项资金资助.

作者简介:李津宁(1996-),男,在读本科生,主要从事磁流变液制动特性的研究.

通讯作者:陈文娟(1969-),女,硕士,高级实验师,主要从事仪器管理与制作研究工作.

传递给转动盘 Q 的扭矩可表示为

$$T = 2\pi \int_0^R \int_0^H r^2 dr dz \quad (4)$$

将式(2)、(3)代入式(4)积分并整理可得

$$T = \frac{2\pi}{3} H \tau_z(B) R^3 + \frac{\pi}{2} \eta \omega R^4 \quad (5)$$

当磁流变液中磁性颗粒未达到完全饱和时, $\tau_z(B)$ 可以近似表示为

$$\tau_z(B) = \alpha B^n \quad (6)$$

式中 α 为常量, n 的数值在 1 到 2 之间, 依赖于不同的流体材料. 将式(6)代入式(5)可得

$$T = \frac{2}{3} \pi H \alpha B^n R^3 + \frac{1}{2} \pi \eta R^4 \omega \quad (7)$$

式(7)中, T 为转动圆盘的阻力矩, 右边第一项为磁场阻力矩, 右边第二项为粘滞阻力矩. 由此可知, 当盘的半径 R , 磁流变液的厚度 H 一定时, 转动圆盘的阻力矩 T 与磁场阻力矩及粘滞阻力矩的关系可写成

$$T = AB^n + C\omega \quad (8)$$

其中

$$A = \frac{2}{3} \pi H \alpha R^3 \quad C = \frac{1}{2} \pi \eta R^4$$

分别为与装置及磁流变液有关的常量.

2 实验装置设计

本实验装置的模型图如图 2 所示, 圆柱筒外缠绕线圈与电源连接; 线圈上部挡板的另一侧粘合有支架, 其上安装滑轮. 在柱筒中部放置制动圆盘, 它固定在制动轴上, 制动轴穿过圆筒的封装顶盖及轴承与滑轮固定, 制动圆盘与滑轮固定在同一根连接轴上, 因此同步转动, 砝码用细线经过滑轮的凹槽连接在滑轮上. 在制动圆盘以下处, 粘合一底盖, 底盖与制动圆盘之间灌满磁流变液.

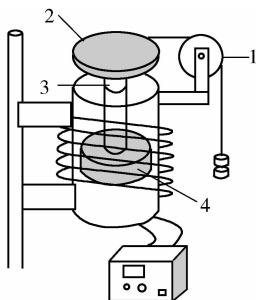


图 2 实验装置模型图

当砝码开始下落时, 细线会带动滑轮 1 以及滑轮 2 转动. 滑轮 2 通过制动轴 3 带动固定在另一端的

制动圆盘 4 开始旋转. 调节线圈中的电流可改变作用在磁流变液上的磁场强度, 从而改变制动圆盘 4 的阻力扭矩, 改变其转速.

3 实验操作及分析

3.1 扭矩与转速的关系实验

将线圈与直流稳压电源连接, 为了使得实验效果明显, 给线圈提供电压为 15 V 的稳定电压, 使磁场恒定. 调节砝码的重量为 10 g, 使其由静止开始下落, 在下落一定的高度后达到匀速, 使用光电门测速装置测得砝码的下落速度 $v_0 = 5.1$ cm/s. 保持磁场强度不变, 增加砝码的重量后, 采用同样的方法, 测得砝码匀速下落时的速度分别如表 1 所示. 根据表 1 数据, 绘制出砝码质量与砝码下落速度关系图, 如图 3 所示.

表 1 不同质量砝码匀速下降时的速度

砝码质量 / g	速度 / (cm · s ⁻¹)
10	5.1
20	6.5
30	8.1
40	9.3
50	10.7

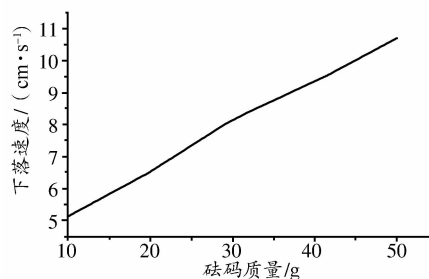


图 3 砝码质量与砝码下落速度的关系

由图 3 可知, 当砝码匀速下落时

$$T - AB^n - C\omega = 0$$

在磁场阻力矩不变的情况下, 动力矩与粘滞阻力矩成正比, 即砝码的重量越大, 转动圆盘的功率越大, 转动的角速度越大, 液体对转动圆盘的粘滞阻力矩也越大.

3.2 磁场与转速的关系实验

将线圈与直流稳压电源连接, 给线圈提供电压为 5 V 的稳定电压. 为方便测量调节砝码的重量为 10 g, 使其下落一段距离后, 采用光电门测速装置测得砝码匀速下落的速率, 随后保持砝码重量不变. 当砝码匀速下落时, 增大电源的电压, 即提高磁场强

度,砝码下落的速度减慢,继续增强磁场,砝码下落的速度进一步降低,当磁场强度达到一定程度,可观察到砝码停止下落.改变加载在线圈两端的电压,即改变磁场的强度,可观察到砝码从下降开始到停止的时间不同,如表2所示.根据表2数据,绘制出通入电压与砝码下落时间关系图,如图4所示.

表2 不同电压时砝码下落到停止的时间

电压 /V	时间 /s
5	2.5
7	3.2
9	3.9
11	4.5
15	5.3

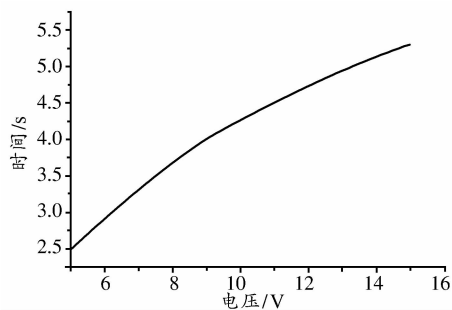


图4 通入电压与砝码下落时间关系

由图4可知,当砝码匀速下落时

$$T - AB^n - C\omega = 0$$

在 T 不变的情况下,磁场阻力矩与粘滞阻力矩成反比,即磁场强度增强,磁场阻力矩增大,砝码下落到停止的时间变长,即速度减慢,粘滞阻力矩减小,磁场强度与砝码下落的速度成反比.

4 结束语

通过设计制作的演示装置,可以形象地演示出磁流变液制动性质随外磁场、转速变化而变化的特点,直观演示了磁场、扭矩、转速之间的关系.本装置性能稳定,便于操作演示,并已经应用在大学物理演示教学中,在使用过程中大大提高了学生学习的积极性和兴趣,具有很高的推广价值.

参考文献

- 1 Rabinow J. The magnetic fluid clutch. AIEE Transactions, 1948, 67: 1 308 ~ 1 315
- 2 司鸽,彭向和.磁流变液的磁流变效应.重庆大学学报,2003,26(5):72 ~ 74
- 3 张进秋,张建,孔亚男,等.磁流变液及其应用研究综述.装甲兵工程学院学报,2010,24(2):2 ~ 5
- 4 宋宇.磁流变液制动器结构研究与性能仿真:[学位论文].哈尔滨:东北林业大学,2011
- 5 田祖织.磁流变液及其传动技术研究:[学位论文].徐州:中国矿业大学,2012
- 6 黎文峰,龚涛,黄宜坚.磁流变技术及应用.黑龙江工程学院学报(自然科学版),2007,21(3):41 ~ 61
- 7 王鸿云,郑慧强,李泳鲜.磁流变液的研究及应用.机械设计,2008,25(5):2 ~ 4
- 8 汪建晓,孟光.磁流变液研究进展.航空学报,2002,23(1):6 ~ 7
- 9 魏齐龙,王超,罗清,等.磁场作用下磁流变液的流变行为.磁性材料及器件,2013,44(1):6 ~ 8
- 10 刘成.磁流变液制动器的分析与设计:[学位论文].重庆:重庆理工大学重庆汽车学院,2010

Design on the Demonstration Instrument for Braking Characteristic of the Disc Type Magnetorheological Fluid

Li Jinning Liu Fengxiang Li Qi Chen Wenjuan Yuan Shundong

(Department of Physics, China University of Petroleum, Qingdao, ShanDong 266580)

Abstract: Magnetorheological fluid is an under magnetic field, its rheological properties can be responded rapidly, a new intelligent material and easy to control. In order to demonstrate the braking characteristics of magnetorheological fluid, a disk type magnetorheological fluid brake characteristic demonstration device design, introduces the design principle and working method of the device. The relationship between the device through the demonstration of changes between the magnetic field and torque, speed, braking characteristics of magnetorheological fluid for visual display.

Key words: magnetorheological fluid; braking characteristics; demonstration experiment