

文章编号 1000-5013(2003)03-0281-04

平行板电极间缝隙电流变传动性能

林建欢 黄宜坚

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362011)

摘要 介绍平行板电极间缝隙电流变传动的原理, 研究其主要结构尺寸的设计. 同时, 讨论平行板的结构尺寸、电流变液体的材料性能, 以及运行参数与平行板电流变传动装置的传递力、粘性功率损失、传动效率之间的关系. 研究结果表明, 机构传递力和粘性功率的损失与其间隙的平方成反比, 粘性功率损失与两极间电压的平方成正比; 而当极间电压较低时, 传动效率随间隙的增大而急剧下降.

关键词 电流变效应, 电流变液体, 平行板传动装置, 功率损耗

中图分类号 O 442 O 373 TH 132

文献标识码 A

电流变效应是指电流变液体(Electrorheological Fluids, 简称 ERF) 在电场作用或控制下, 流体的粘度. 它在一定的剪切速率下, 发生明显变化的现象, 而且这种变化是可逆的、连续无级的和可控的. 这种变化能够使液体变稠、变硬直至停止流动, 达到凝固. 当电场消失时, 电流变液体立即变稀, 恢复原来液体状态^[1]. 电流变效应的这些特征, 在机电传动与控制系统中有广泛应用前景. 电流变技术的工程应用是指充分利用电流变效应的特长和传统的机械设计方法, 去研制新装置和新产品. 电流变的装置常用的有平行板式、圆盘式和圆筒式. 本文将研究和讨论平行板电流变传动装置的性能.

1 传动原理

如图 1 所示, 平行板电极间缝隙电流变传动装置, 主要由两个平行板电极组成. 平行板中的上平板为主动, 下平板为从动. 当充满 ERF 的两平行板电极之间加高压电场时, 由于 ERF 的粘性产生剪切力 F , 带动下平板运动, 由于该机构是一种重要的理论模型. 它是对圆筒式电流变传动机构、测力机构和柱塞式阻尼器等装置的抽象, 所以研究此装置具有其理论和实际意义. 稳态时, 上板相对下板相对运动. 由于只有沿板平行方向有流动, 在稳态、等温条件下、对不可压缩电流变液体, 忽略重力. 从运动方程得

$$d\tau dy = 0, \quad (1)$$

其中 τ 为流体的剪切应力. 对式(1)积分, 得 $\tau = c_1$. 由于可近似采用 Bingham 流体模型作 ERF

收稿日期 2003-02-27

作者简介 林建欢(1971-), 男, 硕士研究生, E-mail: dylin@hqu.edu.cn

基金项目 福建省高新技术开发研究计划重点课题基金资助项目(2002H015) All rights reserved. <http://www.cnki.net>

的流变方程, 因而有^[2]

$$\tau_y + \mu_{pl} \frac{du}{dy} = c_1. \quad (2)$$

式(2)中 τ_y 为屈服应力, μ_{pl} 为无外加电场时流体动力粘度, u 为流体 x 方向流速, c_1 是定数. 由式(2)积分, 可得

$$\tau_y y + \mu_{pl} u = c_1 y + c_2, \quad h_0 \leq y \leq h, \quad (3)$$

其中 h_0 为边界条件. 当 $y = h_0$ 时, $u = 0$, c_2 是待定数; 当 $y = h$ 时, 设 $u = u_u$. 将它们代入式(3), 可得

$$c_1 = \tau_y + \mu_{pl} \frac{u_u}{h - h_0}, \quad c_2 = -\mu_{pl} \frac{u_u}{h - h_0} h_0.$$

将上述的 c_1 和 c_2 代入式(3), 就可得

$$u = \frac{y - h_0}{h - h_0} u_u. \quad (4)$$

由于

$$\tau_y + \mu_{pl} \frac{u_u}{h - h_0} = \tau, \quad (5)$$

故从式(5)可得

$$h_0 = h - \mu_{pl} \frac{u_u}{\tau - \tau_y}. \quad (6)$$

式(6)中 $\tau_y = k_U \frac{U^2}{h^2}$ ^[2], 比例系数 $k_U = 0.4667$

$\text{nN} \cdot \text{V}^{-2}$, U 为加在两平行板电极间的电压.

流体的剪切应力 τ 的大小, 可由测力传感器测

得. 由此可求得 h_0 . 将式(6)中的 h_0 代入式(4), 就可求得 u 的大小. 由式(5)可得到当 u_u

$\frac{\tau - \tau_y}{\mu_{pl}} h$ 时, $h_0 = 0$.

2 传递的力

为了研究方便, 这里选取 ERF 性能参数、平行板结构参数和传动的运行参量的一些典型值. 其中平行板上下电极间距 h 为 15 mm, 平行板宽度为 B 为 100 mm, 平行板长度为 L 为 300 mm, 上平行板运动速度 u_u 为 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 零电场粘度 μ_{pl} 为 $0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, ERF 的屈服应力 $\tau_y = 4.2 \text{ kPa}$. 这里 $\tau_y = k_U \frac{U^2}{h^2}$, 其中比例系数 $k_U = 0.4667 \text{ nN} \cdot \text{V}^{-2}$, U 为加在两平行板电极间的电压. 以上参数作为设计与分析的基础数据.

在平行板传动装置中, 传递的力 F 出现下列情况. 当 $u_u < \frac{\tau - \tau_y}{\mu_{pl}} h$ 时, 有

$$F = \tau_y BL = \left(k_U \frac{U^2}{h^2} + \mu_{pl} \frac{u_u}{h} \right) BL. \quad (7)$$

而当 $u_u > \frac{\tau - \tau_y}{\mu_{pl}} h$ 时, 在 $h_0 < y < h$ 之间有

$$F = \tau_y BL = \left(k_U \frac{U^2}{h^2} + \mu_{pl} \frac{u_u}{h - h_0} \right) BL. \quad (8)$$

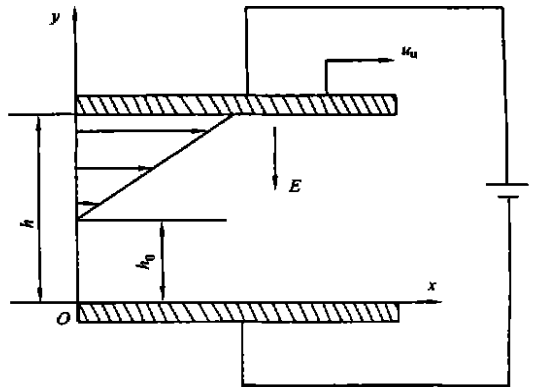


图 1 相对运动的两平行板间流动

当 $y = h_0$ 时, $\tau = \tau_y = k_U \frac{U^2}{h^2}$, 有

$$F = \tau BL = K_U \frac{U^2}{h^2} BL. \quad (9)$$

图2给出参数 $B, L, \mu_{pl}, \tau_y, k_U$ 采用典型数值时, 平行板传动装置传递的力 F 与间隙 h 和电压 U 的关系. 由式(8)和图2可得以下情况. (1) 传递的力 F 随外加电压 U 增大而增大, 随间隙 h 的增大而减小. 当 U 较大时, F 随 h 的增大而快速减小. (2) 传递的力随着上板速度 u 、平行板宽 B 、平板长度 L 的增大而线性增大. (3) 零电场粘度流体动力粘度 μ_{pl} 变大, 平行板机构所传递的力 F 变大.

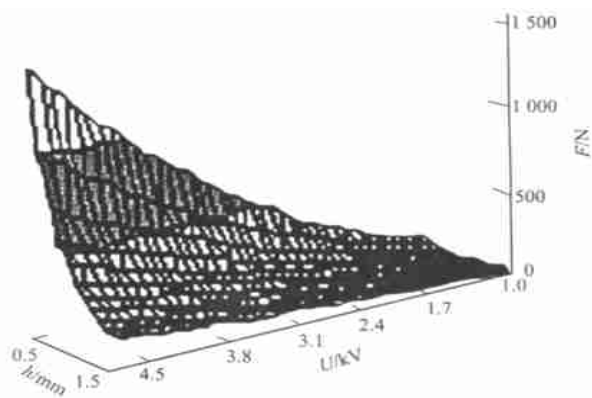


图2 F 与 h 和 U 的关系

3 粘性功率损失

电流变传动的优点之一就是功率损耗小. 电流变传动的功率损耗^[6], 主要是粘性阻力引起的损失. 由式(8)右边第2项, 可得传动装置的粘性阻力功率损失 W_v 为

$$W_v = \mu_{pl} \frac{u_0}{h - h_0} BLu = \frac{k_U^2 U^2 (\gamma - h_0)}{\mu_{pl} h^2} BL. \quad (10)$$

当参数 B, L, μ_{pl}, τ 和 k_U 采用上述典型值时, 让平行板两极间的电压 U 和间隙 h 变化, 就可得到传动装置的粘性功率损失 W_v 与电压 U 和间隙 h 的关系. 从式(10)和图3可得以下情况. (1) 粘性功率损失 W_v 随着间隙 h 的增大而急速减小, 随两极间电压 U 的增大而增大. 特别地, 当 h 较小时, W_v 随 U 的增大明显. (2) 粘性功率损失 W_v 随平行板宽 B 和长度 L 成线性增大, 随零电场粘度 η_{pl} 增大而变小.

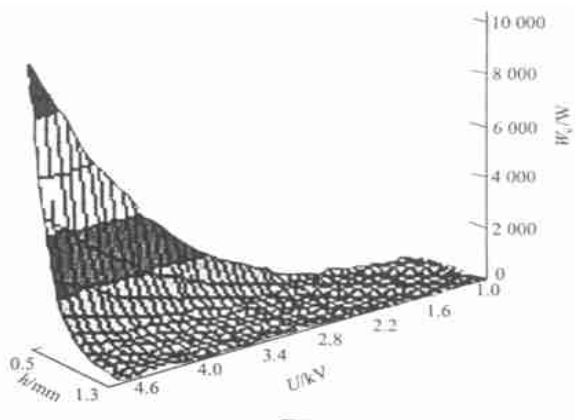


图3 W_v 与 h 和 U 的关系

4 流体传动效率

式(8)右边由两部分组成. 第1部分是克服剪切屈服应力的力, 这部分用来做有用功. 第2部分是克服粘性阻力的力, 这部分是无用功. 所以, 传动机构的效率 η 可表示为

$$\eta = \frac{\tau_y BLu}{(\tau_y + \mu_{pl} \frac{u_0}{h - h_0}) BLu} = \frac{k_U u^2}{k_U u^2 + \mu_{pl} \frac{u_0 h^2}{h - h_0}}. \quad (11)$$

同样, 把参数 B, L, μ_{pl}, τ 和 k_U 取为上述典型值. 那么当让电极间电压 U 和间隙 h 发生变化时, 可得到无量纲粘性功率损失 η 随电压 U 和间隙 h 的变化规律, 如图4所示. 从式(11)和图

4 可以得以下情况。(1) 当两级板间隙 h 增大、电压 U 减小时, 传动效率 η 降低。特别地, 当 U 较低时, 传动效率 η 随 h 的增大而急剧降低。(2) 当零电场粘度流体动力粘度 μ_{pl} 变大时, 传动效率 η 降低。

5 结束语

(1) 两平行板电流变传动机构传递的力 F 和粘性功率损失 W_v , 它们随外加两极板间的电压 U 增大而增大、随间隙 h 的增大而减小。当 U 较大时, F 和粘性功率损失 W_v 随 h 的增大反而快速减小。 F 和 W_v 与 ERF 性能参数、运行参数和装置的结构参数的关系, 如式 (7) ~ (10)。(2) 当两平行极板间隙 h 变大、电压 U 变小时, 传动效率 η 降低。特别当电压 U 较低时, 传动效率 η 随 h 的增大而急剧降低。(3) 两平行板的间隙 h 主要影响到传动装置的功率损失, 如式 (10) 所示。但对传递的力和传动效率仍有影响。

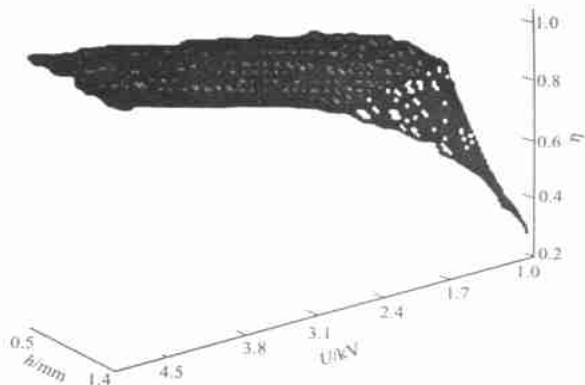


图 4 η 与 h 和 U 的关系

参 考 文 献

- 1 魏宸官. 电流变技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2000. 1 ~ 2
- 2 黄宜坚, 朱石沙, 李元达等. 电流变学[M]. 长沙: 湖南师范大学出版社, 1996. 21 ~ 23
- 3 Yang G, Spencer Jr B F, Carlson J D, et al. Large-scale MR fluid dampers: Modeling and dynamic performance considerations[J]. Engineering Structures, 2002, (24): 309 ~ 323

Performance of Electrorheological Transmission across the Gap between Parallel-Plate Electrodes

Lin Jianhuan Huang Yijian

(College of Electromech. Eng. & Auto., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou, China)

Abstract Starting from a survey of the principle of electrorheological transmission across the gap between parallel-plate electrodes, the authors make a study on the dimensional design of its main structure; and have an extensive discussion about relevant details. The discussion includes structural dimension of parallel plates, material behaviour of electrorheological fluid as well as the relation of working parameters with transitive force of parallel-plate electrorheological actuator, loss of power against viscous resistance and transmission efficiency. As indicated by the results, transitive force of actuator and viscous power loss vary in inverse proportion to the square of the gap, viscous power loss varies in proportion to the square of interelectrode voltage; in case interelectrode voltage is low, the transmission efficiency will drop abruptly with the increase of the gap.

Keywords electrorheological effect, electrorheological fluid, parallel-plate actuator, power loss