

不同介电常数悬浮颗粒的电流变液固态结构*

连东侠^a, 郭志荣^b, 倪勇^a, 石兵^c, 吴峰^{a**}

(a. 中国科技大学力学和机械工程系, 合肥 230026 ;

b. 廊坊师范学院物理系, 廊坊 065000 ; c. 中国科技大学能源与工程科学系, 合肥 230026)

摘要: 讨论了两种不同介电常数的固体颗粒不同配比时, 对电流变液固态结构的影响。计算结果表明, 颗粒的介电常数及配比变化时电流变液的固态结构没有变化, 只影响其能量大小, 而且发现在低介电常数颗粒的电流变液中加入少许高介电常数颗粒会引起体系能量的显著下降, 从而增加了电流变液的稳定性和剪切应力。

关键词: 电流变液(ER); 电流变液的固态结构

中图分类号: O373; O648.22 文献标识码: A

1 引言

ER 流体在外加电场的作用下, 其流变性能会发生快速的响应, 而且这种流变性能的响应是可逆的。故 ER 流体具有极广泛的工业应用前景。而 ER 流体的流变性能伴随着结构的变化而变化, 其微观结构的研究是机理研究的重点。近年来 Tao 等人已证明在只有一种悬浮颗粒时电流变液的理想结构为体心四方结构^[1]。本文试图讨论存在两种不同介电常数颗粒时, 对电流变液固态结构将产生何种影响。

2 能量的计算

为简单起见, 考虑两种不同介电常数的相等半径球体颗粒, 其半径为 a , 母液介电常数为 ϵ_f , 两种颗粒的介电常数分别为 ϵ_{p1} 、 ϵ_{p2} , 其粒子数比为 $n_2/n_1 = x$, 利用 Tao 的无穷链模型^[1], 分别对体心四方、面心立方、六角密堆结构计算其体系能量。链的组成情况可分为两类 (i) 纯链即链中全为粒子 1 或粒子 2 (ii) 均匀混合链即链中粒子 1、2 均匀交错分布。考虑形成单链时, 纯链上每个粒子的平均能量为:

$$U_{01} = \frac{-\nu_1}{4a^3} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{s^3} \frac{1}{1+x} + \frac{-\nu_2}{4a^3} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{s^3} \frac{x}{1+x} \quad (1)$$

均匀混合链上每个粒子的平均能量为:

$$U_{02} = \frac{1}{1+x} \left[\frac{-\nu_1}{4a^3} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{(2s)^3} + \frac{-\nu_{12}}{4a^3} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{(2s-1)^3} \right] + \frac{x}{1+x} \left[\frac{-\nu_2}{4a^3} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{(2s)^3} + \frac{-\nu_{12}}{4a^3} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{(2s-1)^3} \right] \quad (2)$$

* 国家自然科学基金资助项目(1983402)。

** 通讯联系人, Email: fwu@ustc.edu.cn

收稿日期: 2001-08-14; 修回日期: 2001-08-25。

其中, $\nu_i = \frac{p_i^2}{\epsilon_f}$, $\nu_{ij} = \frac{p_i p_j}{\epsilon_f}$, $p_i = \alpha_i \epsilon_f a^3 E_{ioc}$, $\alpha_i = \frac{\epsilon_{pi} - \epsilon_f}{\epsilon_{pi} + 2\epsilon_f}$
 p_i 为极化颗粒电偶极矩的大小。经过比较发现 U_{01} 始终低于 U_{02} , 即形成单链时纯链为较稳定的链。这是偶极子间相互作用能随 ϵ_p 变化的合理结果(见图 1、2)。

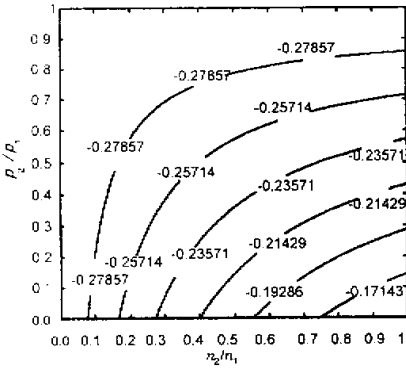


图 1 纯链上粒子的等能量曲线(单位: ν_1/a^3)

Fig.1 Equipotential lines for particles on pure chains (unit ν_1/a^3)

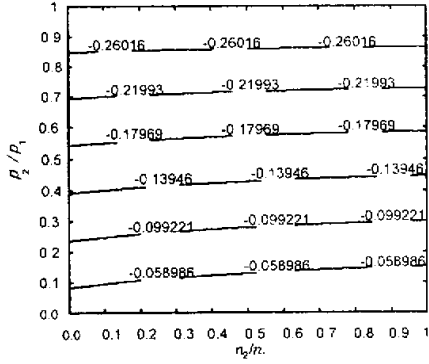


图 2 均匀混合链上粒子的等能量曲线(单位: ν_1/a^3)

Fig.2 Equipotential lines for particles on uniform mixed chains (unit ν_1/a^3)

下面我们仅计算了链为纯链时各种结构下每个粒子的平均能量。介电常数为 ϵ_{p1} 的颗粒形成 A_1 链占总链数百分比为 $\frac{1}{\chi(1+x)}$, B_1 链占总链数百分比为 $\frac{x}{\chi(1+x)}$, 介电常数为 ϵ_{p2} 的颗粒形成 A_2 链占总链数百分比为 $\frac{1}{\chi(1+x)}$, B_2 链占总链数百分比为 $\frac{x}{\chi(1+x)}$, 体系每个粒子平均能量为 $U = U_0 + U_{\text{相互}}$, $U_{\text{相互}}$ 是与其它链上粒子的相互作用能(仅考虑到第二、三近邻)。

设位于 $Z_m = 2ma$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) 处为 A_k 链, $Z_m = (2m+1)a$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) 处为 B_k 链, $k = 1, 2$, 有^[1]:

$$U_{A_i A_j} = U_{B_i B_j} = \frac{\nu_{ij}}{a^3} \sum_{s=1}^{\infty} 2\pi^2 s^2 K_0 \left(\frac{s\pi \rho}{a} \right) \quad i, j = 1, 2 \quad (3)$$

$$U_{A_i B_j} = \frac{\nu_{ij}}{a^3} \sum_{s=1}^{\infty} 2\pi^2 s^2 K_0 \left(\frac{s\pi \rho}{a} \right) \cos(s\pi) \quad i, j = 1, 2 \quad (4)$$

则体系每个粒子平均能量为:

$$\begin{aligned} U = & \frac{1}{\chi(1+x)} \{ U_{A10} + U_{B10} \} + \frac{x}{\chi(1+x)} \{ U_{A20} + U_{B20} \} \\ & + \frac{1}{1+x} \left(\frac{1}{1+x} U_{A1B1} + \frac{x}{1+x} U_{A1B2} \right) + \frac{x}{1+x} \left(\frac{1}{1+x} U_{A2B1} + \frac{x}{1+x} U_{A2B2} \right) \\ & + \frac{1}{1+x} \left(\frac{1}{1+x} U_{A1A1} + \frac{x}{1+x} U_{A1A2} \right) + \frac{x}{1+x} \left(\frac{1}{1+x} U_{A2A1} + \frac{x}{1+x} U_{A2A2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

3 结 论

由式(1)(3)(4)(5)计算能量 U , 分析计算结果可知:

1. 体心四方、面心四方、六角密堆三种结构每个粒子平均能量 U 随 $\frac{p_2}{p_1}$ 、 $\frac{n_2}{n_1}$ 的变化趋势相同, 图 3 表示了这种趋势, 即颗粒的介电常数变化和配比变化不会引起电流变液的固态结构发生转变。

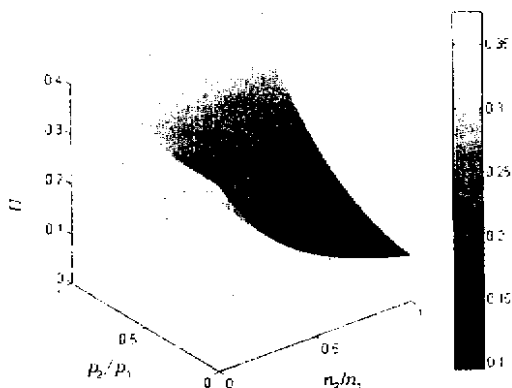
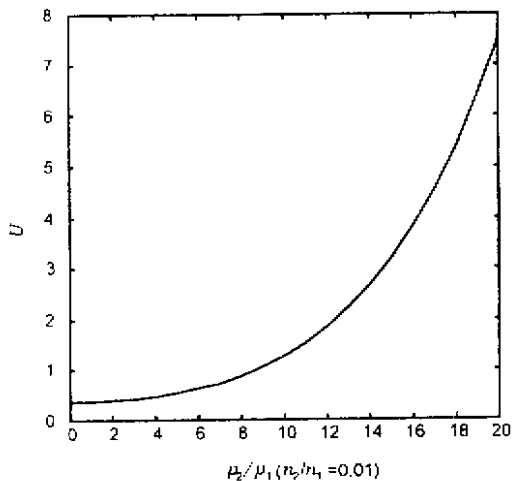


图3 三种结构的能量变化趋势(单位: $-\nu_1/a^3$)

Fig.3 Tend of energy change of three

图4 高介电常数颗粒加入引起的能量



变化(单位: $-\nu_1/a^3$)

Fig.4 Energy change created by high- ϵ particles (unit $-\nu_1/a^3$)

2. 粒子配比一定的情况下,介电常数比值越大,能量变化效应越显著。特别是在只有一种颗粒的电流变液中,加入少许高介电常数的颗粒,体系能量显著下降,这时的能量几乎是只有一种颗粒的电流变液中粒子能量的19倍,大大增强了系统的稳定性,也增加了电流变液的剪切应力(见图4)。

参 考 文 献

[1] Tao R. *International Journal of Modern Physics*, 1992, 6: 2635

Solid Structure of ER Containing Suspensions of Two Different Dielectric Constants *

Lian Dongxia^a, Guo Zhirong^b, Ni Yong^a, Shi Bing^c, Wu Feng^{a**}

(*a. Department of Mechanics and Mechanical Engineering,*

University of Science and Technology of China, Hefei 230036;

b. Department of Physics, Langfang Teachers' College, Langfang 065000;

c. Department of Thermology and Energy Engineering,

University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract The effect of particles having different dielectric constant on the solid structure of electrorheological fluids is discussed. The computation results showed that the system energy decreased greatly as a small amount of particles of high dielectric constant were put into the electrorheological fluids made of particles having low dielectric constant.

Key words Electrorheological Fluids, Solid Structure of Electrorheological Fluids.

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (1983402).

** To whom correspondence should be addressed, Email: fwu@ustc.edu.cn