

颗粒物质中熵力和组态熵的共振吸收力学谱研究*

熊小敏, 王海燕, 张进修

(中山大学光电材料与技术国家重点实验室//物理科学与工程技术学院, 广东 广州 510275)

摘要: 利用研制的切变波共振吸收力学谱仪测量了颗粒物质(种子、不锈钢珠)的共振吸收力学谱, 发现系统的共振频率具有明显的切位移振幅效应, 同时颗粒物质存在特征共振吸收峰。从这些结果, 可以算出颗粒物质的熵力及熵能级差。

关键词: 颗粒物质; 共振吸收力学谱; 熵; 熵力

中图分类号: O482 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003) 02-0129-03

颗粒物质由分散的固态颗粒组成, 只有相互接触时才存在相互作用。颗粒物质聚集体是一个很复杂的多体动力学系统, 具有许多奇异特性^[1]: 例如, 巴西果效应(大果在运输过程中自动流向上层)、粮仓效应(粮仓底部承受的总压力不到粮食总重的一半)等。由于颗粒物质普遍存在于自然界, 例如: 沙漠中沙丘的运动, 泥石流的形成, 雪崩的产生, 矿物和粉体的分离与混合等都与颗粒物质的性质密切相关^[1,2]。上世纪90年代物理学家已开始系统地从物理学的角度研究颗粒物质, 提出了颗粒温度的概念等^[3]。由于颗粒物质的强烈的工程应用背景和很好的学术价值, 因此吸引了越来越多的科学家的兴趣, 在国外已经掀起了研究颗粒物质的热潮^[4-6]。

颗粒物质在运动和堆积过程中, 颗粒本身的内能被认为不发生变化^[1]; 所以, 颗粒系统只能应用动力学以及统计热力学中组态熵的方法来进行描述和研究。颗粒系统的组态熵对颗粒物质静态, 准静态的性质都起着重要和决定性的作用, 人们对此虽有共识, 并进行过一些颗粒物质组态熵的模拟计算^[7], 但由于国内外还没有能测量颗粒物质系统中熵力和熵变的仪器, 这方面的研究一直没有太多的进展。我们利用本课题组研制成功的共振吸收力学谱仪对颗粒物质进行了初步研究, 结果表明: 颗粒物质系统表现出很多奇异的力学响应。例如: 它具有强烈依赖于切位移振幅的回复力, 从而可使扭摆的共振频率升高; 出现共振吸收频率峰, 且峰位也强烈依赖于切位移振幅; 当切变振幅大到某一定值

时, 颗粒系统的回复力和共振吸收峰全部消失; 根据这些实验结果可计算出颗粒系统的熵力和熵变。

在室温下用转筒倒摆(图1)测得了颗粒物质(种子、不锈钢珠和钢珠等)的共振吸收谱(图2, 3)。图中的纵坐标 $\tan \phi$ 为振动能的损耗值, ϕ 为应变落后于应力的夹角; 当测量频率达到系统的共振频率时, $\tan \phi$ 值发散并变号。测量程序为: 先测量空载时的共振吸收频率谱; 加入颗粒物质(图1中13)后, 先弹击装盛颗粒物质的双层夹筒8, 再在系统的共振频率下用大位移振幅(mm量级)激发数分钟并逐渐衰减, 使颗粒物质处于一个相对稳定的组态; 频率的测量约为1~1600 Hz。由图

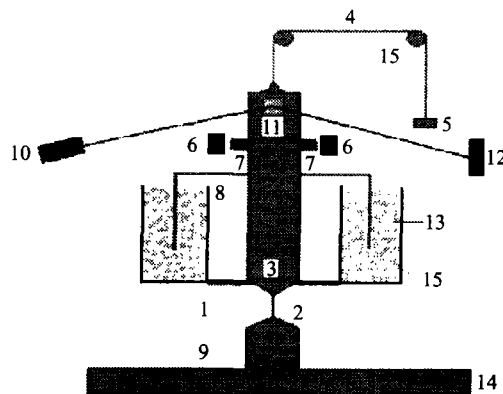


图1 转筒型倒扭摆

Fig.1 Rotating barrel-type inverted pendulum

2, 3可见, 系统的空载频率为88 Hz, 但颗粒物质(种子、不锈钢珠)加入后系统的共振频率大为升高, 且均存在共振吸收频率峰。在确定的堆积条件

* 收稿日期: 2003-02-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19974077, 10027001, 10004017); 教育部博士点基金资助项目(99095); 教育部重点资助项目(99055806); 广东省攻关资助项目(99M01107G, 2KM01101G); 广东省自然科学基金资助项目(001246); 广州市青年基金资助项目(2000-k-004-01)

作者简介: 熊小敏(1970年生), 男, 副教授; E-mail: stdp18@zsu.edu.cn

下并经大振幅振荡和稳定后,在小振幅测量时,其共振峰有较好的重复性。颗粒物质的加入,使系统的共振频率升高,这说明颗粒物质的组态熵力起了回复力的作用。由于钢珠等在测量过程中的内能不变,因此,共振吸收峰表征的只能是组态熵的变化。当通过转筒传递给颗粒物质的能量密度流达到某一特定值时,颗粒物质的组态熵级可以产生跃迁。这是宏观系统的统计热力学行为,跃迁时的能流密度可以从共振吸收峰的出现条件给出为:

$$E_p = \omega_p \times A_e \times F_e = -T\Delta S = T(S_1 - S_2) \quad [JM^{-2} \cdot S^{-1}]$$

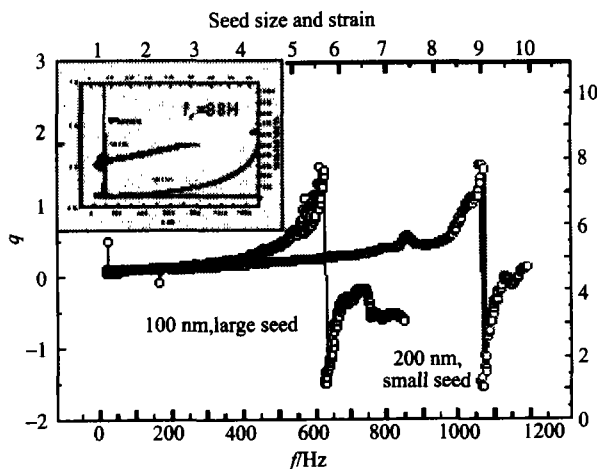


图 2 空载(左上角)和不同种子尺寸($\phi \geq 1$ mm, $\phi < 1$ mm)的共振吸收频率谱

Fig.2 Resonant absorption frequency spectra for the cases:

1) nothing in the container;

2) different size seeds filled in container

可见其系统的共振频率已由空载时 $f_s = 88$ Hz

移至有种子时的 $f_{s+G} = 620$ 和 1070 Hz

此处, ω_p : 共振吸收峰频率; A_e : 位移振幅; F_e : 单位面积的熵力。对于图 3 所给出的振幅为 50 nm 的共振吸收峰, 测量条件及结果如下: 固体起振元件: $G = 4.6 \times 10^2$ N/M² (多晶铜); $L = 0.025$ m; $d = 0.0008$ m; 系统共振和共振吸收峰: $f_{s+G} = 1470$ Hz; $f_s = 88$ Hz; $f_p = 1040$ Hz; 转筒: $R = 0.0175$ m; $A = 4\pi \times 0.015 \times 0.015$ m² (内外表面积); 测量时转筒表面的切位移振幅: $A_e = 5 \times 10^{-7}$ m。

计算时所用公式为:

空载时系统的共振频率为: $\omega_s = (J_s/I)^{1/2}$, I 为系统的转动惯量。

加入颗粒物质后系统的共振频率为: $\omega_{s+G} = \left(\frac{J_s + J_G}{M}\right)^{1/2}$, 可得:

$$J_G = J_s \frac{\omega_{s+G}^2}{\omega_s^2 - 1} \sim 280 J_s$$

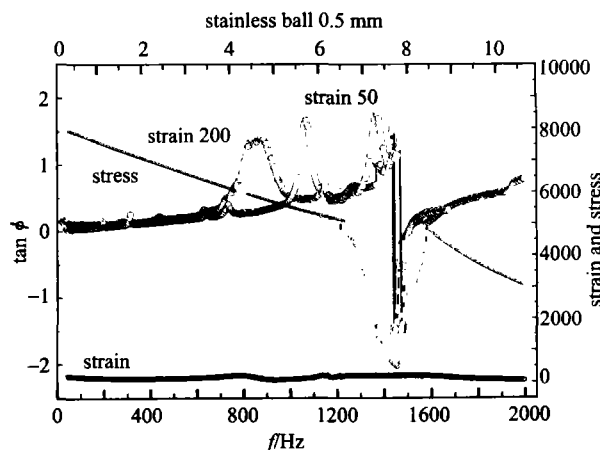


图 3 $\phi 0.5$ 的不锈钢珠 (30 万颗) 的共振吸收频率谱 (位移振幅为 200 和 50 nm)

Fig.3 Resonant absorption spectra of $\phi 0.5$ stainless steel beads, the amplitudes of shear displacement are 200 nm and 500 nm
可见振幅为 50 nm 有 2 个明显的共振峰,
且 $f_{s+G} = 1470$ Hz

J_s 为固体起振元件的回复力矩; I 为扭摆系统的转矩; J_G 为颗粒物质组态熵产生的回复力矩。

这一结果说明, 颗粒物质的加入, 使系统的起振回复力大为增加 (可增大几百倍), 这一回复力的直接来源就是颗粒物质组态变化需要回复时产生的熵力。这是软物质中存在起源于组态变化熵力的直接证明。

进一步计算可得, 固体起振元件的恢复力矩为:

$$J_s = \frac{\pi d^4 G}{32L} = 8.9 \times 10^{-10} \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

组态熵产生的总回复力矩为:

$$J_G = 2.5 \times 10^{-8} \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

单位面积的熵力为:

$$F_e = \frac{J_G}{RA} = \frac{J_s}{RA} \left(\frac{\omega_{s+G}^2}{\omega_s^2} - 1 \right) = 5 \times 10^{-3} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

单位体积的熵流密度为:

$$\Delta S = S_1 - S_2 = \frac{\omega_p A_e F_e}{T} = 5.5 \times 10^{-8} \text{ (JK}^{-1} \text{m}^{-3} \text{s}^{-1}\text{)}$$

可见共振吸收时系统的组态熵减小, 相应于能级的升高, 是共振吸收跃迁。

以上计算表明, 颗粒物质共振吸收力学谱所表征的是系统的熵力和组态熵变化, 由此可求得熵力和熵流密度。这是目前其它任何仪器所不能表征的大粒子数系统和复杂系统的特征, 特别适用颗粒物质中熵力、能量输入和熵流产生的研究。

(下转第 132 页)

DCC[J]. J Org Chem, 1999, 64: 6984 – 6988.

The Synthesis of (–)-Menthyl 3-Phenoxyacrylate

SONG Xiao-hong¹, LIU Xiao-hong¹, CHAN Win-lai², LIN Yong-cheng¹

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2. Department of Applied Biology and Chemical Technology,
The HongKong Polytechnic University, HongKong)

Abstract: (–)-Menthyl β -phenoxyacrylate was synthesized by addition of phenol to ethyl propiolate and then hydrolyzed to respond acid. The acid condensed with (–)-menthol by DCC to reach the title compound. This compound hasn't been prepared before.

Key words: DCC; (–)-menthyl β -phenoxyacrylate; synthesis

(上接第 130 页)

参考文献:

- | | |
|--|---|
| <p>[1] JAEGER H M. Physics of granular media[M]. Kluwer: Academic Publishers, 1998.</p> <p>[2] ALONSO J J, HERRMANN H J. Shape of the tail of a two-dimensional sandpile[J]. Phys Rev Lett, 1996, 76: 4911.</p> <p>[3] HONG D C, QUINN Q S, LUDING S. Reverse brazil N2ot problem: competition between percolation and condensation [J]. Phys Rev Lett, 2001, 86: 3423 – 3426.</p> | <p>[4] GOLDFARB D J, GLASSER B J, SHINBROT T. Shear instabilities in granular flows[J]. Nature, 2002, 415: 302.</p> <p>[5] Da SILVA M, RAJCHENBACH J. Stress transmission through a model system of cohesionless elastic grains [J]. Nature, 2000, 406: 708.</p> <p>[6] BURTALLY N, KING P J, SWIFT M R. Spontaneous air-driven separation in vertically vibrated fine granular mixtures[J]. Science, 2002, 295: 1877.</p> <p>[7] CAGLIOTI E. Cooperative length approach for granular media[J]. Physica (A), 1999, 265: 311 – 318.</p> |
|--|---|

Study on the Entropy and Entropy Force of Granular Materials... by Resonant Absorption Mechanical Spectrometer

XIONG Xiao-min, WANG Hai-yan, ZHANG Jin-xiu

(School of Physics & Engineering//

The State Key Laboratory of Opto-electronic Materials and Technologies,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Using our home made Resonant absorption mechanical spectrometer, the resonant absorption mechanical spectrums of granular material (seeds, stainless steel beads) are obtained. It is found that the resonant frequency of the apparatus system displays the strong dependence of shear displacement amplitude. At the same time, granular material has its own inherent resonant absorption peaks in the mechanical spectrum. From the above results, the entropy force and the difference of the entropy levels belonging to the granular material is calculated and discussed.

Key words: granular material; resonant absorption mechanical spectrum; entropy; entropy force