

[通 讯]

重力对异向聚集过程影响的探讨*

孙祉伟 乔润龙

(中国科学院力学研究所, 国家微重力实验室, 北京 100080)

关键词: 分散体系, 异向聚集, 密度匹配, 自然对流, 微重力

学科代码: B0305

自 90 年代初, 分散体系聚集过程的微重力研究开始受到重视, 并有一系列论文发表^[1-4]. Folkersma^[3,4] 等人在最近发表的文章中, 公布了他们的最新研究结果. 在探空火箭实现的微重力条件下, 他们发现聚集速率要比地面实验快 11 倍多. 为了解释这一现象, 他们把重力的影响分为两部分, 即沉降和自然对流. 用密度匹配法, 检验了在无沉降时的聚集过程. 得到的结果是, 聚集速率在无重力沉降影响时会比有沉降时快 2.7 倍. 即便如此, 微重力实验的聚集速率仍高出 4.2 倍. 他们推断, 这一巨大差异是由在地面上无法避免的自然对流造成的. 但该说法并没有得到实验证实.

很久以来, 大多数理论工作^[5-9], 都认为重力对分散体系聚集过程的影响可以忽略. 或即便有影响, 一般也认为重力会对聚集过程有加速作用, 因为沉降会使不同大小的粒子相对于单是布朗运动本身有更多的碰撞机会. 因此关于重力会使聚集过程减慢一个数量级以上的发现十分新颖, 甚至难以置信. 然而真正的微重力实验是十分昂贵的. 本工作的目的是在地面实验中, 模拟无沉降、无对流的微重力条件, 探讨重力的影响方式.

1 实 验

如果能够实现无沉降、无对流, 即相当于微重力条件, 这应该是可以在地面做到的. 通过密度匹配法, 可以基本消除重力造成的沉降对聚集带来的影响; 通过控制自然对流的有无存在, 可以单因素地判断对流对聚集过程的影响. 为此, 我们特别设计了一套地面实验, 可以在测量聚集速率的同时, 观察粒子的运动.

我们采用浊度法测量聚集速率. 光源用的是稳频激光器, 长期稳定性优于 0.4%. 在样品池的前后各放置了光栏, 以阻止小角度散射光进入探测器. 样品池的侧面放置了长焦距显微镜, 通过 CCD 摄像, 计算机采集, 并将放大后的影像连续在显示器上显示. 整个系统的总放大率为 1200 倍以上, 可以显示小到 $1\mu\text{m}$ 的粒子及其运动. 通过精密恒温装置, 可以在样品池两侧施加稳定温差 (当温差为 0.2 时, 其温度波动幅度在 20min 内小于 0.02). 实验样品使用的是美国 DUKE 公司生产的直径为 $2\mu\text{m}$ 的胶乳球 ($2.013 \pm 0.025\mu\text{m}$), 分散在介质水中.

1999-10-22 收到初稿, 1999-12-16 收到修改稿. 联系人: 孙祉伟. * 国家自然科学基金 (19789201) 和攀登计划 (95-yw-34) 资助项目

按不同比例加入重水,即可调节分散介质的密度.当水和重水的体积各半时,其密度大致与胶乳球的匹配.为了提高效率,用二价电解质 $MgCl_2$ 触发快速聚集过程.当单分散体系无聚集发生时(不加电解质)相对浊度(I/I_0)不随时间变化.为了验证我们的实验测得的聚集速率是可信的.利用聚集速率与胶乳球起始的数浓度成正比的关系,测量在几种不同粒子数浓度的情况下的聚集速率,所得到的聚集速率确实与起始浓度成正比.证明这套测量聚集速率的方法是可行的^[10].

关键问题是,在地面条件下,自然对流到底是否可以避免.实验中的确发现,要想使对流停止是困难的.我们的放大系统可以有效地检测诸如布朗运动的微米级的运动.确实看到实验环境温度的微小变化即可引发对流,只是一般无法察觉而已.例如,当人走近样品池时,即可引发最大速度达 $10-15\mu m \cdot s^{-1}$ 的对流.为了使对流停息,实验前,样品、介质等要在相同环境中停放几小时,操作必须十分小心(不能用手接触样品池).实践证明这样是可以使样品池中对流停息的.在此基础上我们进行了下面两方面的实验.

(1)用密度匹配法,分别测量当胶乳球分散在匹配或不匹配的液体介质中的聚集速率,即可单因素地判断沉降对聚集速率的影响.

(2)在显微放大系统的监视下,控制样品池两侧温差.分别测量在有对流和无对流条件下的聚集速率.加以微小温差即可产生对流.0.1℃温差足以产生最大速度为 $20\mu m \cdot s^{-1}$ 的对流.在不同对流速度下测量聚集速率,即可判断对流对聚集速率的影响.

2 结果与讨论

通过以上两方面的实验,我们得到如下结果.

(1)在无沉降时,聚集过程确实比有沉降时略快,但差别不超过 10%,而不是象 Folkersma 等人实验得到的 220% 的差异.

(2)弱对流($< 150\mu m \cdot s^{-1}$)对聚集速率的影响在我们的实验误差(5%)内可忽略.由于更强的对流在地面上不难消除,不属于无法避免之列,何况更强的对流已改变了聚集性质,不再是简单的扩散诱导的异向聚集,因而我们的研究只限于微弱对流.事实上,当我们把最大对流速度提高到 $150\mu m \cdot s^{-1}$ 时,在聚集开始 40 min 后,已观察到(与无对流实验相比)聚集速率略显加快的趋势.这可能是由于经过一段时间后,已形成了一些较大的粒子.其受对流引起剪切的影响更大,造成了更多的碰撞机会.

显然,我们的实验不支持 Folkersma 等人的看法.至少,Folkersma 等人的结论没有一般性.而且他们关于对流的影响只是推测,并没有实验证据.我们的结论则是建立在直接观察对流存在与否的基础上得出的.粒子相互作用势的区别可能是造成这一差异的原因.正如他们文章中所提到的,粒子由于粗糙度较高可能形成势能面上的次极小.而发生在次极小的聚集是可逆的,聚集后很容易拆散.对于这种不稳定的聚集,重力才可能显示出可观的影响.

参 考 文 献

- 1 Krutzer L L M, Folkersma R, van Diemen A J V, et al. *Adv. in Colloid and Interface Sci.*, **1993**, **46**:59
- 2 Folkersma R. *Centrifugal Materials Processing*. Edited by Regel and Wilcox, New York: Plenum Press, 1997. 261p
- 3 Folkersma R, van Diemen A J V, Stein H N. *J. Colloid Interface Sci.*, **1998**, **206**:482
- 4 Folkersma R, Stein H N. *J. Colloid Interface Sci.*, **1998**, **206**:494

- 5 Melik D H, Fogler H S. *J. Colloid Interface Sci.*, **1984**, **101**:84
- 6 Wang Y G, Wen C S. *J. Fluid Mech.*, **1990**, **214**:599
- 7 Zinchenko A Z, Davis R H. *J. Fluid Mech.*, **1994**, **280**:119
- 8 Logtenberg E H P, Stein H N. *J. Colloid Interface Sci.*, **1984**, **104**:258
- 9 Qiao R L, Wen C S. *J. Colloid Interface Sci.*, **1996**, **178**:364
- 10 Sun Z W, Qiao R L. *J. Colloid Interface Sci.*, accepted

Gravitational Influence on the Perikinetic Coagulation Process *

Sun Zhiwei Qiao Runlong

(National Microgravity Laboratory, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract An experimental set-up was designed to separately test how sedimentation and convection-driven flows affect the perikinetic coagulation process in a ground-based experiment. The experiment showed that the sedimentation slightly accelerates the coagulation process and weak free convection-driven flows do not noticeably contribute to coagulation for 2 μm particles' dispersion.

Key words: Dispersions, Perikinetic coagulation, Density match, Free convection, Microgravity

Received 1999-10-22, revised 1999-12-16. Correspondent: Sun Zhiwei. * The Project Supported by NSFC and Zhe Climbing Program

我刊网页正式开通

我刊网页经过几个月的筹划,在北京大学化学学院网络室的协助下,将于2000年2月正式与广大读者见面。网址:
<http://www.chem.pku.edu.cn/APCS/>

我刊网页初步设“本刊简介”、“中文目录”、“英文目录”、“读者园地”、“广告天地”几个栏目。我们的宗旨是:为广大读者、作者服务,拉近读者、作者、编者之间的距离,及时与大家进行对话、交流。

“本刊简介”栏包括编委会、编辑部两个小栏目,简要介绍编委会、编辑部成员的背景材料;“中、英文目录”将预告近两、三期的目录,并保留近一、两年的目录,以便查阅;“读者园地”将刊登读者、作者的信函,为大家提供一个互相交流、对话的园地,同时也刊登大家对编辑部的意见、建议;“广告天地”除刊登有关仪器、试剂广告外,还可刊登会议简讯、招生信息等。

希望广大读者、作者积极支持我们的工作,踊跃来信、来函,为办好《物理化学学报》而共同努力。