

不同密度流体中颗粒物质的隆起运动实验

屠娟, 陈伟中, 魏荣爵

(南京大学近代声学国家重点实验室, 声学研究所, 南京 210093)

中图分类号: O424

文献标识码: A

The heaping of granule in the liquid with different density

TU Juan, CHEN Weizhong, WEI Rongjue

(State Key Lab of Modern Acoustics, Institute of Acoustics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

1 引言

颗粒物质普遍存在于自然界之中,它与工业、农业、医学以及环境科学密切相关,还与沙丘形成、陆地侵蚀和滑坡等环境科学有直接的关系。它具有既不同于流体物质也不同于固体物质的独特物理性质。但是长久以来,人们对于颗粒物质的了解并不多,直到 80 年代末期才引起人们的高度重视。尽管如此,由于对颗粒物质的研究起步较晚,加上其独特性,目前描述解释颗粒物质行为的成熟的系统理论还没有完全形成,也就是说,对颗粒物质,人们还不能像对流体、气体一样,用十分完备的流体动力学、能量方程等比较深入的加以描述解释。为了尽可能精确地反映其物理本质,南京大学孤子与混沌小组在颗粒物质的理论和实验方面做了大量的研究工作,他们发现在垂直激励下的颗粒物质会出现许多新的现象,如隆起和对流等等^[1]。而关于含有固体粒子的流体流动的研究一直是科学和工程研究的重要课题,许多化学处理过程、流体中特定物质的分离、水和空气中沉积物的输送等工程问题都与流体中的固体粒子的运动有关。因此我们在研究真空和空气中垂直激励下的颗粒物质的基础上^[2],对垂直激励下流体中的颗粒物质的运动进行了实验研究。在实验中我们发现,颗粒物质及液体的物理性质,如颗粒的形状、大小、粒子之间的相对位置等,而影响颗粒在流体中的运动的诸多要素中最重要的是颗粒与其

运动时的流体介质的相对密度。本文就着重报道了颗粒与所处流体的相对密度及颗粒堆积现象的临界激励加速度之间的关系。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。激励控制器(B&K 1050)产生一个激励信号,经功率放大器(B&K 2707)放大后推动激振器(B&K 4812)振动。平台的运动学量如位移、速度、加速度等由加速度计(B&K 4321)采集信号,直接馈入激励控制器(B&K 1050)进行控制和数值显示。测量温度约为 20 (误差不超过 ± 1)。实验所用颗粒为化学纯的二氧化硅,平均密度 $\rho_g = 2.3\text{g/cm}^3$ 。在 $20\text{cm} \times 1\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的上端封闭的玻璃槽中放入厚度为 1cm 的颗粒,再将槽中注满无水乙二醇和四氯化碳(均为化学纯)的混合液体,通过调节二者体积比来改变混合液体的密度 ρ_l 。

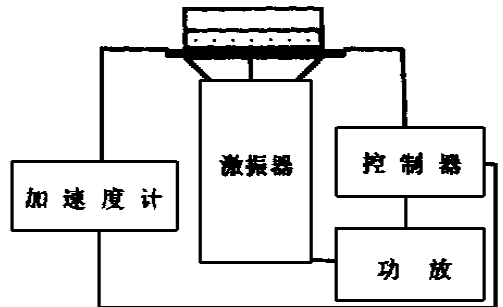


图 1 实验装置框图

3 实验结果与讨论

当激励加速度很小时,颗粒物质保持静止,增大加速度到某一临界值 a 时,原先均匀分布的颗粒开

收稿日期: 2000-01-21; 修订日期: 2000-05-15
 本文是国家重点基础研究专项经费(973)资助项目
 作者简介: 屠娟(1976-),女,硕士研究生。

始形成多个小隆起,随着运动时间增长,小隆起不断地运动、变化,最终形成大的形状基本稳定的大的隆起。为了研究液体与颗粒相对密度对颗粒堆积运动的影响,我们设计了两组实验:

(1) 改变混合液体的密度,在 15Hz 到 25Hz 之间改变振动台的振动频率,测量液体与颗粒不同的相对密度下,能够使颗粒隆起的加速度临界值。图 2 显示了频率分别为 15Hz, 20Hz, 25Hz 的三组实验结果。我们发现三条曲线非常吻合,因此可以断定振动频率对液体中颗粒的隆起运动几乎没有影响。图中显示当液体与颗粒相对密度 ρ_l/ρ_s 在 0.5 附近时,颗粒产生隆起所需要的起始激励加速度取得最小值。相对密度由 0.5 向 0 和 1 变化时(相对密度为 0 对应颗粒处于真空容器中,为 1 对应颗粒的悬浮状态),临界激励加速度增大。

(2) 针对不同的液—固相对密度,测量当振动频率为 20Hz,激励加速度不同时,从颗粒产生小隆起到聚集成的隆起并保持形状稳定所需要的时间,所得结果如图 3 所示。可以看出,当加速度一定时,与实验(1)相同,液体与颗粒相对密度在 0.5 附近时,颗粒完成其堆积运动所需要的时间最短,而相对密度由 0.5 向 0 和 1 变化时,所需时间逐渐变长,意味着颗粒运动变得困难。加速度越小,相对密度的不同对颗粒隆起运动造成的影响越发明显,对应的时间差距越大。

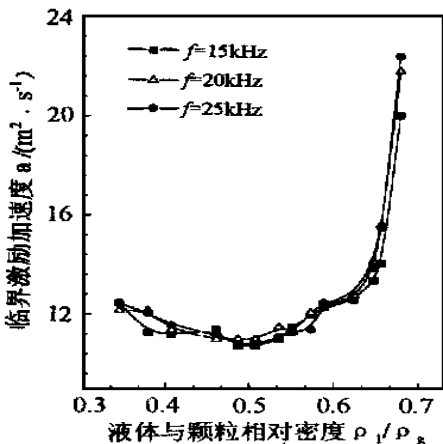


图 2 不同液体与颗粒相对密度时临界激励加速度

我们对实验(2)得到的结果进行数据拟合,发现在液体与颗粒相对密度一定时,随着激励加速度的减小,颗粒完成堆积过程所需要的时间呈指数增长。因此可以断定当激励加速度逼近临界值时,

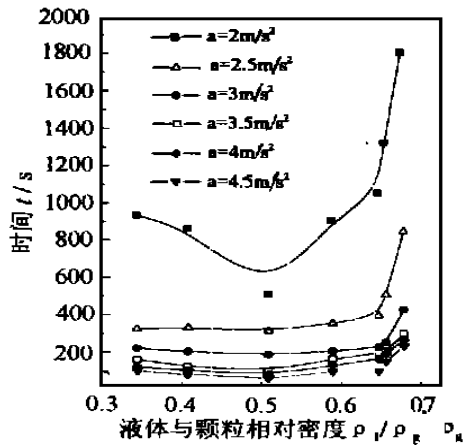


图 3 不同液体与颗粒相对密度时完成颗粒堆积运动所需时间

完成堆积所需要的时间将趋近无穷大,将拟合曲线外延,就可以得到当时时间趋近无穷大时的临界激励加速度。表 1 对拟合所得临界加速度与实验(1)的结果进行了比较:

表 1 不同的液体与颗粒相对密度下颗粒堆积运动的临界激励加速度

液体与颗粒相对密度 ρ_l/ρ_s	0.34	0.41	0.51	0.59	0.65	0.66	0.68
实验 1 所测临界加速度 m/s^2	1.26	1.16	1.11	1.25	1.43	1.55	2.27
实验 2 拟合临界加速度 m/s^2	1.43	1.28	0.99	1.35	1.46	1.55	1.62

比较的结果可以看出,实验(1)测量得到的临界加速度与实验(2)拟合得到的临界加速度基本上是吻合的。从实验中我们可以得到如下结论:液体与颗粒的相对密度在 0.5 附近时,颗粒最容易形成堆积现象,而相对密度趋向与 0 和 1 时,颗粒隆起运动越来越难,处于真空容器中或悬浮状态下的颗粒都无法产生隆起。因此,在生产实践中需要对液体中的颗粒物质进行运输、分离等操作时,我们可以利用这一结果通过调节液体与颗粒的相对密度来帮助或防止颗粒发生堆积现象。当然,液体中的颗粒运动还与颗粒的大小、形状等诸多因素影响,这些都是我们下一步的研究目标。

致谢:感谢南京大学声学所缪国庆副教授的有益讨论。

参考文献:

[1] 陈伟中,魏荣爵,王本仁. 孤子形隆起的形成机制的实验研究[J],科学通报,1996,41(9):980-982.
 [2] Chen Weizhong, Wei Rongjue, Wang Benren. Formation mechanism of the solitonshape heap and convection in granular materials under vibration[J]. Phys. Lett. A, 1997, 228: 321-328.