

粉粒体物理简介

杨世荣

(空军高炮学院 桂林 541003)

物理学是一门内容十分丰富的学科.微观领域,目前探讨的对象已经达到 10^{-17}m 数量级的空间尺度和 10^{-23}s 的时间尺度;宇观领域,其空间距离达到 10^{26}m 以上,时间数量级是 10^{10} 年.物理世界微观和宇观二极一直是物理学研究的前沿,另一方面,我们通常熟悉的不大不小的尺度内,由于物质结构的多样性和复杂性,也形成了物理学研究的前沿,这就是以复杂体系为对象的研究领域,粉粒体就是其中之一,一个物理学研究的新领域——粉粒体物理正在诞生.

一、物理学中的粉粒体

粉粒体是像沙、食盐之类大量粒子的集合体.粉粒体粒子大小从 10nm 的烟雾粒子到数米之大的熔岩碎片.粒子数目典型数量级是 10^9 ,因为边长为 10cm 的正方体容器可容纳 10^9 个直径为 0.1mm 的沙粒.粉粒体有如下特征:

1.粉粒体粒子质量和分子质量相比大得多,因此温度波动对粉粒体运动的影响可以不计,热平衡状态在粉粒体物理中是不存在的;

2.粒子之间的相互作用限于碰撞、摩擦,碰撞为非弹性碰撞,摩擦包括动摩擦和静摩擦.

二、粉粒体的运动

粉粒体像固体又不是固体.譬如它可以克服重力而处于准稳定状态,像固体那样有固定的形,沙场上的沙山就是一例,沙山和水平面具有固定的倾斜角——安息角,这是粉粒体工程中一个很重要的物理量.但固体是由于引力而形成的凝聚态,而粉粒体的“固态”是由于静摩擦和重力共同作用形成的.粉粒体像流体又不是流体.在雪崩、火山熔岩流中,粉粒体会发生流动,但又不遵守纳维-斯托克斯方程.粉粒体的运动是多彩的,也是奇异的.

1.对流——因振动而产生

将粉粒体装入容器,置于振动器(通常用扬

声器)之上,让容器上下振动,则上部粒子沿容器侧壁下降到底部,再转至中央,再上升到表面,再转至侧壁……这和盛有液体的容器从底部加热,被加热的液体受热膨胀,密度变小,由于浮力上升,而上面较冷的液体向下,从而形成对流非常相似,因此借用“对流”这一名称.法拉第早就发现了这一现象,但一直搁置到现在,随着粉粒体研究的重新兴起,人们对这一现象又重新进行了实验,并应用计算机数值模拟使这一现象再现,但至今物理学不理解粉粒体为什么会发生对流.

2.疏密波——交通堵塞模型

将直径数倍或 10 倍于粉粒体大小的玻璃管竖立,让粉粒体从中流下.则玻璃管中一些地方粒子密集,一些地方粒子稀疏,粉粒体成团流动,出现粉粒体密度的疏密波.各粉粒体团以不同的速度运动,有的甚至向上,和重力方向相反(其实不应该向上,只是因为从粉粒体团上方落下而堆集的粒子比从粉粒体团下方掉下的粒子块,看起来好像向上).粉粒体中的疏密波和车辆的自然堵塞很相似,即使不发生交通事故,也未进行道路施工,当车辆数目超过某个正常值时会发生堵塞.粒子密集处相当于堵塞状态,粒子稀疏处相当于非堵塞状态,车辆流和粉粒体流本质上截然不同,但却有相似的、不可思议的性质.粉粒体的疏密波也可以用数值模拟再现.

3.起泡——沸腾的粉粒体

从装满粉粒体容器下方吹入空气,空气速度不很大时,空气挤进粉粒体间隙流出.这时由于粉粒体不再彼此接触,没有摩擦,可以像液体一样自由流动.更令人惊异的是液体化了的粉粒体还能“沸腾”,随着空气流量的增加,空气挤进粉粒体之间并将其推开形成“气泡”迅速上升.气泡在上升过程中不断胀大,这一点酷似液

体沸腾,粉粒体“沸腾”现象也可以用数值模拟再现,但粉粒体和沸腾应该没有关系,这确实令人惊异.

4. 稀薄流动层——燃烧的火焰

在上述实验中,当空气流量非常大,粉粒体密度和空气密度几乎相当时,这时发生的现象可视化程度不高.最近有人用红色激光照射粉粒体,提高了可视化程度,发现稀薄流动层十分像锅炉中燃烧的火焰.在燃烧中,由于燃烧成份比率各处不同,因此各处温度不同,温度高的地方明亮,温度低的地方较暗,又由于各处燃烧成份比率不断变化,形成火焰的舞动.在粉粒体稀薄流动层中,由于粒子密度各处不同,密度大的地方对激光反射强而明亮,密度小的地方对激光反射弱而较暗,各处密度不断变化,因此形成像火焰那样的舞动.但粉粒体稀薄流动层中真实的火焰也是有的,如锅炉中燃烧的煤粉就是一例.粉粒体稀薄流动层的流动也可以用数值模拟法成功地再现.

5. 风纹和沙丘

粉粒体产生的最令人神往的现象莫过于风纹和沙丘.在刮风的日子漫步在沙滩,可以看到随时间和空间变化的像丝绸褶皱那样美丽、多彩的花纹,其空间尺寸从数十厘米到数米,而时间尺度是数小时,这是外力—风在沙表面上产生的一种耗散结构.而沙丘尺寸从数十米到数千米,也是由风形成的一种耗散结构,比风纹更多彩,除丝绸褶皱状外,有星形、三日月形等.

沙不仅有这样温柔、美丽的一面,有时也像野兽那样袭击人类.沙漠风暴令人恐惧是尽人皆知的,其次像山体滑坡、尘暴、地震、雪崩、火山熔岩流,其运动都是不遵守纳维—斯托克斯方程的粉粒体流动,它们不知吞噬了多少人的生命.美国内华达州有一个新月型沙丘,可以保持其型态,以孤立子的形式向下风方向运动,给经过的道路和村庄带来巨大的灾难.

贝格罗得很早就研究过沙粒在沙表面上运动的基本过程.他将这种运动分为三种:1.表面爬行,沙粒在沙表面上滚动爬行;2.跳跃,表面

爬行的粒子和表面障碍物碰撞被弹向空中,由于风的作用,下风方向动量增加,在重新着陆时,又使其它沙粒弹向空中;3.飘游,沙粒在强风的作用下,长时间受到持续举力,在空中持续飘游.第3种运动形式的空间尺度比风纹、沙丘大得多,和风纹、沙丘的形成无直接关系,第1、第2种运动形式形成了风纹和沙丘.用数值模拟可以使风纹和沙丘再现,但物理学不能理解风纹和沙丘的形成机理以及风纹和沙丘的多样性.

三、粉粒体物理研究的现状

最早进行粉粒体研究的是电磁学始祖法拉第,见于1831年他发表的论文,至今已有160余年.但电磁学已经得到高度发展,而粉粒体物理的研究几乎是零.其所以有如此大的反差,是由于粉粒体的非平衡、非线性性质.从麦克斯韦完善经典电磁理论到近代,线性方程(麦克斯韦方程、薛定谔方程)、线性数学对象(矢量空间、希尔伯特空间)和线性方法(付里叶变换、微扰法、线性理论)几乎无例外地支配着整个物理学.物理学传统的方法是应用微分方程对现象进行描述,然后进行解析处理,但这样的方法对粉粒体是无能为力的,粉粒体物理必须有新的概念、新的方法、新的数学工具,因此粉粒体物理的研究至今几乎是零,而这也正是粉粒体物理的魅力所在.在欧洲,特别是英国和法国,物理学家对粉粒体的研究热情特别高,1993年夏初在伯明翰举行的“粉末与颗粒93”会议上,参加者有一半以上是物理学家.

实际上与粉粒体有关的化学工程、机械工程、地震、土壤等领域对粉粒体都有一定研究,但物理学家研究粉粒体和工程师不同,不仅仅停留在对现象的再现和控制,而是要建立粉粒体集团的统计力学或流体力学,要抽出多彩、粉繁现象背后隐藏的数学构造.现在对粉粒体许多现象都可以应用计算机数值模拟很好再现,但是由于缺乏合适的模型,缺乏准确的概念,如对流、燃烧等仅仅是借用,因此物理学至今不能理解粉粒体,能计算不能理解,这就是粉粒体物理的研究现状.