



沙尘飞扬的力学分析

陈建

唐朝诗人杜甫在其名篇《兵车行》中以“车辚辚，马萧萧，行人弓箭各在腰。耶娘妻子走相送，尘埃不见咸阳桥。”描述了一幅灰尘弥漫、车马人流、令人目眩的战前送别图。其实，灰尘漫天飞舞的现象我们司空见惯，从日常生活中的尘土飞扬到自然现象中“朔风怒号、黄沙万丈”的“沙尘暴”都与沙尘的运动相关。下面从力学角度作简要分析。

物体在流体中运动时的阻力

当物体在粘滞性流体中运动时，物体将受到流体的阻力作用，在相对运动速率不大时，这种阻力主要来自于流体的粘滞力，并称为粘滞阻力。由于在流体中物体表面附着有一层流体，这层流体随物体一起运动，在物体表面周围的流体中必然形成一定的速度梯度，从而在各流层之间产生内摩擦力，阻碍物体的相对运动。英国力学家、数学家斯托克斯 (George Gabriel Stokes 1819~1903) 于 1851 年提出球形物体在粘性流体中作较慢运动时受到的粘滞阻力 F 的大小由下式决定 $F=6\pi\eta rv$ ，式中 η 为流体的粘滞系数，它与流体性质和温度有关， r 为球体的半径， v 为球体相对于流体的速度。(说明：表达式只对

球体相对于流体的速度较小时近似成立)

如果让质量为 m 、半径为 r 的小球在静止粘滞流体中受重力作用竖直下落，它将受到如图所示三个力的作用——重力 mg 、流体浮力 f 、粘滞阻力 F ，这三个力作用在同一直线上。起初，小球速度小，重力大于其余两个力的合力，小球向下作加速运动；随着速率的增加，粘滞阻力也相应增大，合力相应减小。当小球速率增大到一定数值时(极限速率)，小球作等速运动，此时作用于小球上的重力与浮力和粘



滞力相平衡。如果流体密度为 ρ ，小球密度为 ρ' ，小球速率为 v ，则有下列的关系：

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - 6\pi\eta rv = 0$$

由此可求得小球下落的极限速率为：

$$v = \frac{2}{9}(\rho' - \rho)g \frac{r^2}{\eta}$$

若流体为空气，它在标准状况下，粘性系数 $\eta = 1.80 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ，假设小球(沙尘)的密度是 $2.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (远大于空气密度 1.293 kg/m^3)，重力加速度为 9.8 m/s^2 。代入上式可得： $v = 2.4 \times 10^8 r^2 \text{ m/s}$

当小球的半径为 $1 \times 10^{-7} \text{ m}$ 时，小球下落的极限速率为 $2.4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ；小球的半径为 $1 \times 10^{-4} \text{ m}$ ，小球

总是重力势能的减小量大于动能的增加量，这时应引导学生分析其中的缘由。在用验电器验证电荷的种类时，如果遇到相异电荷，当检验棒快速地靠近验电器时，检验器锡箔的张角并不是一直变小，而是先变小，然后又有所增加。教师抓住疑点让学生思考，即所谓“悟物穷理”，促进学生的认知水平的提高。

确保演示实验的成功，紧紧抓住学生的“心”。演示实验事前应该有充足的准备，包括材料的选择、操作的步骤、操作的注意事项等。演示得成功能使学生尽快进入角色，演示得不成功，轻者使学生兴趣大大降低，重者使学生对实验的真实性产生怀疑。所以说，课堂演示实验要尽量保证一次成功、现象明显，这样才能给学生留下深刻的印象，达到演示实验教学的预期目的。

教师在演示实验时，要留出适当的时间给学生思考。演示实验的最终目的是要通过演示，引导学生思维、分析、总结规律；因此教师在演示实验教学中要留给学生足够的时间和空间，让学生思考、分析，提高学生的认识水平。例如在做“验证机械能守恒定律”的实验中，尽管实验的装置、操作无误，但实验的结果往往

(江苏苏州大学物理系 215006)

现代物理知识

下落的极限速率为 2.4m/s ；而当小球的半径为 $1 \times 10^{-3}\text{m}$ 时，小球下落的极限速率为 $2.4 \times 10^2\text{m/s}$ 。可见，小球下落的极限速率与其半径的平方成正比，半径越大，下落的极限速率就越大。从上面讨论还可看出极限速率与小球密度有关，密度大相应的极限速率也越大，这实际上就是为什么粉尘较沙粒易于被扬起的原因。

沙尘飞扬的原因

现在在上述分析的基础上讨论地面上沙尘是怎样被扬起成为风沙的。由于沙尘在风力作用下运动时，颗粒的浓度较稀，且颗粒所受约束较少，所以，可忽略颗粒与颗粒之间的相互作用，可以用单颗粒的运动模型来描述沙尘颗粒的有关运动特性，即将沙尘颗粒视为“小球”。上面讨论了物体在静止流体中运动时的阻力，而风沙的形成则必须考虑当流体(空气)处于流动状态时的情形，因此上面计算得到的极限速率应理解为沙尘相对于流动空气的极限速率，沙尘相对空气的速率只能小于或等于极限速率，即使给沙尘一个大于极限速率的初速度，在阻力作用下沙尘的速度将迅速减小为极限速率 v 。

如果空气的流动是水平的，当沙尘与空气的相对速度不是零时，小球就要受到与相对速度方向相反的“阻力”，这时小球就要沿空气流动方向加速，经过一定时间 t (加速时间)和一定距离 L (加速长度)后，颗粒的水平速度和空气的水平速度一样，运动趋于稳定，沙尘就随风飘扬。如果空气流动具有上升的速度 v' ，当 v' 大于极限速率 v 时，地表附近沙尘将被掀起，加速上升，最终达到 $v'-v$ 的速度。当然，这一讨论还限于已处在空气中的尘埃如何随风飞扬。对于一粒落在地面上的沙粒，它随风飞扬可理解为，当有风贴着地面刮时，一般来说空气在沙粒的上表面流速大，从流体力学的伯努利定律可知尘埃受到一个向上的力，一旦这个力超过它的重力和地面对其吸附力，尘埃就可能被吹向空中了。

前面分析已知，对于粒径不同的沙尘，极限速率 v 差异很大。对粒径很小的尘埃， v 也很小，易被加速，空气的任何轻微流动，上升气流的速度分量都可以超过它的极限速率，导致其随风起动，甚至人在屋里走动所带动的空气扰动，也会使它飞扬起来。这就是“为什么风一刮，总是有一批细小的尘埃随风起舞，飞扬起来”的原因。而且，这样的尘埃一旦处于空中，靠其自然降落到地面需要相当长的时间，“2001

年9月美国的世贸大厦双子楼被恐怖分子劫机撞毁后，过了半个月，在纽约的上空还弥漫着灰尘”就是一个很好的例证。对粒径较大的沙粒，则不容易被风加速，颗粒很难随风起动。这表明沙尘是否起动，风速的大小是一个主要因素，而且风速越大，沙粒随风起动的可能性就越大。沙尘物理学中，把干燥沙尘临界起动风速定义为起沙风速。在我国，根据主要沙区的观测和统计分析，起沙风速被确定为 5m/s 。气象中把浮尘、扬沙与沙尘暴统称沙尘天气。浮尘天气是由于高空中的风力较大，从其他地方携带来颗粒较细小的细沙、粉尘等物质所形成，相当于大气中尘埃的影响，其能见度通常大于 10km ；扬沙与沙尘暴都是由于本地或附近尘沙被风吹起而造成的，特点是天空混浊，能见度明显下降，沙尘暴天气能见度甚至小于 1km 。由于极限速率与颗粒大小密切相关，风小，飞起来的尘埃颗粒就小；而风大时，除了小颗粒尘埃飞起外，还有颗粒大的尘埃飞起。一次“沙尘暴”会有成千吨的沙尘被吹到天空，真可谓“狂风肆虐、飞沙走石”。

当然，沙尘天气的形成是一个多因素问题，它不仅仅依赖于风速，还与风向、离地高度、地质地貌、沙尘含水量等许多因素相关。本文只是对沙尘飞扬的机理作了粗浅探讨。改善生态环境、防风固沙、遏制沙尘颗粒被风蚀起动才是减少沙尘天气、防治沙尘暴的关键。
(江苏南通师范学校 226006)

科苑快讯

加热时凝固和冷却时流动的特殊物质

法国傅立叶大学和劳厄-朗之万研究所，以马里·普拉扎纳为首的科学家制取一种能在加热时凝固和在冷却时变成液体的特殊物质。科学家早已知道提高温度时能凝固的物质成分，其中包括在聚合作用时观察到的这类现象，但是相反的冷却时能变成液体是首次成功实现。在实验过程中利用了 α 环化糊精和四甲基吡啶水溶液。

在室温条件下该物质是一种透明匀质液体，但是在加热到 $45-75^\circ\text{C}$ 时，溶液会转变成白色凝胶体，值得注意的是，它的凝固温度比高浓缩 α 环化糊精还低。这样的奇特性能研究人员解释为溶液组分之间氢键在降温或升温时发生改变，可是这种新物质将能在哪些科学或技术领域中获得应用并带来怎样的实际利益，暂时还不清楚。

(周道其译自俄《计算机在线》2004/10/12)