

# 雾霾产生的一种可能原因

——《穹顶之下》的思考

郭 敏

(东北师范大学物理学院 吉林 长春 130024)

王文涛

(东北师大附中 吉林 长春 130021)

王庆勇

(东北师范大学物理学院 吉林 长春 130024)

(收稿日期:2015-07-29)

**摘 要:**运用物理学知识,给出雾霾产生的一种可能原因.

**关键词:**终极速度 雾霾成因 讨论

在浓雾的笼罩下,整个城市都被一层白茫茫的面纱所遮掩,看不清它的真面目.几座巨大的建筑物若隐若现,远处的山峰在雾气中露出模糊的身影,显得那么的神秘,似乎隐藏着巨大的秘密.如今再次看到这样的景象,我们知道那不再是大雾的神奇景象,而更多是因为霾的存在.现在被热议的雾霾与雾有着极大的区别,雾霾天气不仅能见度低,给我们的生活带来不便,而且大量的尘埃颗粒还会对人们的健康造成危害.

在《穹顶之下》纪录片中,曾任中央电视台主持人的柴静以一个母亲的身份表达了她对雾霾天气的担心和愤怒.什么是雾霾?雾霾从哪儿来?我们该怎么做?一个个问号摆在大家的面前,不去考虑《穹顶之下》中的数据是否真实,但是雾霾确实会带给人们极大的危害,也确实需要人们给予足够的重视,不能等到无法挽回的时候再去想怎么做,更不应该将问题留给后人去解决.防治雾霾人人有责,下面笔者仅仅站在物理学的角度,从物体在流体中下落的终极速度出发,来分析雾霾产生的原因并寻找防止雾霾的方法.

## 1 对终极速度的讨论

物体不受空气阻力时,将做自由落体运动,当考虑空气阻力时,物体的运动将受到阻力的影响.假设以 $\theta$ 角度抛出小球,空气对小球的阻力与小球的速度成正比,即 $F = -kv$ ,其中 $k$ 为比例系数,小球的质量为 $m$ ,初速度为 $v_0$ ,建立如图1所示的平面直角坐标系.

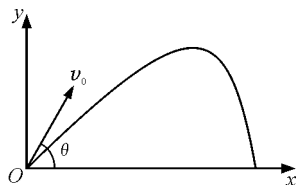


图1

小球运动的微分方程为

$$m \frac{dv_x}{dt} = -kv_x$$

$$m \frac{dv_y}{dt} = -mg - kv_y$$

初始条件为

$$v_{0,x} = v_0 \cos \theta$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta$$

解得

$$v_x = v_0 e^{-\frac{k}{m}t} \cos \theta$$

$$v_y = \left( v_0 + \frac{mg}{k} \right) e^{-\frac{k}{m}t} - \frac{mg}{k}$$

当  $t \rightarrow \infty$  时

$$v_x = 0$$

$$v_y = -\frac{mg}{k}$$

可见,在离地高度足够大的前提下,小球最终将沿着竖直方向做匀速直线运动,此时的速度为物体下落的终极速度.如果知道比例系数  $k$ ,便可以求出物体下落的终极速度.英国物理学家及数学家斯托克斯(G·G·Stokes)于1895年导出著名的斯托克斯公式,  $F = 6\pi\eta r v$ ,其中  $F$  为小球在流体中所受的粘滞阻力,  $\eta$  为流体的粘滞系数,  $r$  和  $v$  分别为小球的半径和速度.这个表达式只在小球相对于流体的速度较小时近似成立,对于较大的速度就需要采用别的表达式了,好在灰尘颗粒相对于流体的速度总是不大的,所以我们可以用它来近似.所以终极速度的大小为

$$v = \frac{mg}{k} = \frac{mg}{6\pi\eta r} = \frac{\rho_{\text{球}} \frac{4}{3}\pi r^3 g}{6\pi\eta r} = \frac{2}{9}\rho_{\text{球}} g \frac{r^2}{\eta} \quad (1)$$

## 2 对雾霾成因的讨论

雾霾是由雾和霾两部分组成的,大量小水滴或小冰晶以及尘埃长时间悬浮在空气中,形成雾霾,使大气混浊、能见度下降.那么尘埃是如何飞到空气中的,为何就能长时间的停留在空气中呢?下面我们就从伯努利方程和终极速度出发,来分析雾霾的成因.

尘埃通常贴附于地面,设  $\rho$  为流体的密度,根据流体压强与流速的关系有伯努利方程

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = \text{常量}$$

当风贴着地面刮过时,地上的尘埃上面的空气流速大,压强小,尘埃上下表面的压强差使尘埃整体受到一个向上的力,当这个力大于尘埃所受到的重力时,尘埃便随风而起,飘到空中了.风速不同,可以飞到空中的尘埃的大小就不同,当空气流动很小很小时,甚至仅仅有一点微小的扰动,细小的尘埃便会飞起.

尘埃飞起后,假设空气静止,那么尘埃在空气中的运动将可以大致简化成存在空气阻力情况下的抛体运动.造成雾霾的尘埃颗粒的直径都非常小,PM2.5情况下的雾霾是由直径小于  $2.5 \mu\text{m}$  的颗粒组成的.实际上PM2.5,也不是一个粒子,是一个粒子束,是由多个直径更小的颗粒构成的组合体.这些小颗粒中,直径为  $1.0 \sim 2.5 \mu\text{m}$  为非致霾颗粒,直径为  $0.4 \sim 1.0 \mu\text{m}$  为致霾颗粒,下面我们利用式(1)来估算直径  $0.7 \mu\text{m}$  致霾颗粒的终极速度及落地时间.

我们生活周围的空气在  $20^\circ\text{C}$  时的粘滞系数  $\eta = 1.820 \times 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ ,假设灰尘的颗粒密度是  $2.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,重力加速度为  $9.8 \text{ m/s}^2$ .根据终极速度公式,得

$$v = \frac{2}{9}\rho_{\text{球}} g \frac{r^2}{\eta} = \frac{2}{9} \times 2.0 \times 10^3 \times 9.8 \times \frac{\left(\frac{0.7}{2} \times 10^{-6}\right)^2}{1.820 \times 10^{-5}} \text{ m/s} = 2.93 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

若尘埃离地高度为  $10 \text{ m}$ ,则尘埃在空中运动的时间为

$$t = \frac{10}{2.93 \times 10^{-5}} \text{ s} = 3.41 \times 10^5 \text{ s} \approx 4 \text{ 天}$$

可见,尘埃易起不易息,所以要想防止雾霾天气的产生,必须从源头上制止,可以植树造林、增加地球的植物覆盖,来减少贴于地表的尘埃的数量,也可以减小风的流速,进而防止尘埃飞起,以达到防止雾霾的作用.如何减少人为排放到空气中的粉尘(汽车尾气,工厂废气等等),就不在此叙述了.