



利用“分态式”方程解答有关气体变质量问题

李红伟

(广州市第五中学 广东 广州 510240)

(收稿日期:2018-03-30)

摘要:气体变质量问题是近年高考试题中的一个新亮点,这类试题相对来说难度较大,但能很好地考查学生学科核心素养中的物理观念与科学思维,因此必将成为高考命题的一个新的考查热点.这类试题利用质量守恒定律来处理,具有思路清晰、解答简单的优点.

关键词:变质量 质量守恒 分态式

质量守恒定律是指在一个孤立的物体系统内,不论发生何种变化,物体系统的总质量始终保持不变.质量守恒定律是自然界最基本最普遍的规律之一.气体变质量问题是近年高考试题呈现的一个新亮点,这类试题相对来说难度较大,但能很好地考查学生学科核心素养中的物理观念、科学思维,所以必将成为高考命题的一个新的考查热点.解答这类试

题的方法可以说多种多样,但只要仔细分析就会发现,气体变质量问题几乎都可以利用质量守恒定律来处理,且利用这种方法具有思路清晰、解答简单的优点.

理想气体在状态变化过程中,不同状态质量分别为 m_1, m_2, \dots 的同种理想气体混合,混合后气体分成质量分别为 m'_1, m'_2, \dots 的不同状态;则根据克拉

- 2 龚克.基于 Ansoft HFSS 的矩形波导可视化教学.电气电子教学学报,2012,34(3):118 ~ 120
- 3 雷前召.矩形波导中电磁场分布特性研究.电子设计工程,2011,19(19):162 ~ 164
- 4 田晓岑,张萍.波导管与谐振腔的边界条件.大学物理,

2001,20(5):10 ~ 13

- 5 张泽瑜.理论物理简明教程.电动力学(第二册).北京:高等教育出版社,1990.181 ~ 183
- 6 郭硕鸿.电动力学(3版).北京:高等教育出版社,2008

Visualization of Electromagnetic Waves in Rectangular Waveguides Based on Mathematica

Hou Yuefei Zhang Lirong Liu Junjie

(School of Physical Science and Technolog, Inner Mongolia University, Hohhot, Neimenggu 010021)

Abstract: Using the Mathematica software, the adjustable visualization of electromagnetic field vectors, energy density and energy flow density in an ideal rectangular waveguide is implemented. The distribution characteristics of field and energy are discussed according to the simulation results for the electromagnetic wave transmission or cut-off. The visual conclusions are consistent with the theoretical results. At last, the instruction of the project is introduced so that it is convenient for readers to obtain expected graphics.

Key words: Mathematica software; electromagnetic field; rectangular waveguide

珀龙方程得到气体混合前

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{m_1}{M} R \quad (1)$$

$$\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{m_2}{M} R \quad (2)$$

.....

$$\frac{p_n V_n}{T_n} = \frac{m_n}{M} R \quad (n)$$

由上面式(1)~(n)可得

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} + \dots + \frac{p_n V_n}{T_n} = \frac{(m_1 + m_2 + \dots + m_n) R}{M}$$

同理可得,气体混合后满足

$$\frac{p'_1 V'_1}{T'_1} + \frac{p'_2 V'_2}{T'_2} + \dots + \frac{p'_n V'_n}{T'_n} = \frac{(m'_1 + m'_2 + \dots + m'_n) R}{M}$$

根据质量守恒

$$m_1 + m_2 + \dots + m_n = m'_1 + m'_2 + \dots + m'_n$$

则

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} + \dots + \frac{p_n V_n}{T_n} = \frac{p'_1 V'_1}{T'_1} + \frac{p'_2 V'_2}{T'_2} + \dots + \frac{p'_n V'_n}{T'_n}$$

上式表示在总质量不变的前提下,同种理想气体进行混合前、后状态各参量之间的关系,可称之为理想气体“分态式”方程。

【例1】一氧气瓶的容积为 0.08 m^3 ,开始时瓶中氧气的压强为 20 atm .某实验室每天消耗 1 atm 的氧气 0.36 m^3 .当氧气瓶中的压强降低到 2 atm ,需重新充气.若氧气的温度保持不变,求这瓶氧气重新充气前可供该实验室使用多少天。

分析:实验室消耗氧气,瓶中氧气质量不断减少,试题是一个变质量问题;但如果选取瓶内剩余氧气与已经消耗氧气整体作为研究对象,则使用前后氧气的质量是不变的,这样就把变质量问题转化为气体总质量不变的状态变化问题,就可以利用理想气体“分态式”方程进行解答。

解答:设氧气瓶开始时的压强为 p ,体积为 V ,使用 N 天后需重新充气前的压强为 p_1 ;每天用去的氧气在 p_0 压强下的体积为 V_0 ,氧气温度不变,则根

据理想气体“分态式”方程得

$$pV = p_1 V + N p_0 V_0$$

代入数据得 $N = 4$ 天

点评:此题解题关键是选取瓶内剩余氧气与已经消耗氧气整体作为研究对象,化变质量问题为气体总质量不变问题,同时找到气体在使用前后不同状态下的状态参量,根据质量守恒列方程求解。

【例2】一热气球体积为 V ,内部充有温度为 T 的热空气,气球外冷空气的温度为 T_0 .已知空气在 1 atm ,温度为 T_0 时的密度为 ρ ,该气球内、外的气压始终都为 1 atm ,重力加速度大小为 g .设充气前热气球的质量为 m ,求热气球充气后能够吊起重物的最大质量。

分析:热气球温度升高,排出空气,空气质量减少,是一个变质量问题;但如果选择热气球内剩余的气体与排出的空气作为整体进行研究,那么前后状态的空气质量是不变的,这样就把变质量问题转化为气体总质量不变的状态变化问题,就可以利用理想气体“分态式”方程进行解答。

解答:设排出的空气等效在温度为 T 状态时对应体积为 ΔV ,根据理想气体“分态式”方程得

$$\frac{V}{T_0} = \frac{V}{T} + \frac{\Delta V}{T}$$

$$\Delta V = \frac{T}{T_0} V - V$$

设 F 表示热气球所受浮力, G 表示热气球内部热空气的重量,热气球充气后能够吊起重物的最大质量 M ,由受力分析得

$$Mg = F - G - mg =$$

$$\rho g V - \frac{V}{V + \Delta V} \rho g V - mg = \frac{T - T_0}{T} \rho g V - mg$$

$$M = \frac{T - T_0}{T} \rho V - m$$

点评:此题是热学问题与力学问题的结合题,也是一道气体变质量问题.解答要求理解阿基米德定律,能选择热气球内剩余的气体与排出的空气作为整体,知道同温度同压强同种气体的质量比等于体积比,能分析气球的受力情况列平衡方程求解。

【例3】圆柱形喷雾器高为 h ,内有高度为 $\frac{h}{2}$ 的水,上部封闭空气.将喷雾器喷雾阀门 K 打开,恰好

有水流出,已知水的密度为 ρ ,大气压强恒为 p_0 ,喷雾口与喷雾器等高.忽略喷雾管的体积,将空气看作理想气体,喷雾器内气体温度认为始终不变.用打气筒缓慢向喷雾器内充入空气,直到水完全流出,求充入空气与原有空气的质量比.

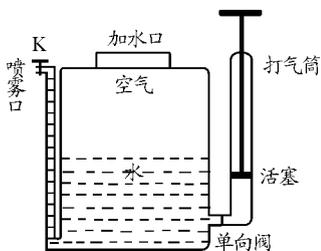


图1 例3题图

分析:用打气筒缓慢向喷雾器内充入空气,喷雾器中空气质量不断增加,是一个变质量问题;但如果选择喷雾器中原来的空气与充入空气作为整体进行研究,打气前后状态的空气质量是不变的,这样就把变质量问题转化为气体总质量不变的状态变化问题,就可以利用理想气体“分态式”方程进行解答.

解答:设喷雾器的截面积为 S ,初始时气体体积为 $V_0 = \frac{h}{2}S$,压强为 $p_1 = p_0 + \rho g \frac{h}{2}$;喷雾器中的水完全排出,气体体积为 $V_2 = hS$,压强为 $p_2 = p_0 + \rho gh$;打气筒向喷雾器内充入的空气等效为与喷雾器内气体温度、压强相同时的体积为 ΔV .则根据理想气体“分态式”方程得

$$p_1 V_0 + p_1 \Delta V = p_2 V_2$$

$$\Delta V = \frac{2p_0 + 3\rho gh}{2p_0 + \rho gh} V_0$$

同温度同压强同种气体的质量比等于体积比,若充入的空气质量为 Δm ,则

$$\frac{\Delta m}{m_0} = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{2p_0 + 3\rho gh}{2p_0 + \rho gh}$$

点评:本题为典型的变质量问题,解答关键是将喷雾器中原来的空气与充入空气作为整体,化变质量问题为气体总质量不变问题,同时运用等效替代法,同温度同压强同种气体的质量比等于体积比,从而使这道难度较大的试题非常简洁、方便地得到解决.

【例4】如图2所示,两个充有空气的容器A和B,以装有活塞栓的细管相连通,容器A浸在温度为

$t_1 = -23^\circ\text{C}$ 的恒温箱中,容器B浸在 $t_2 = 27^\circ\text{C}$ 的恒温箱中,彼此由活塞栓隔开.容器A的容积为 $V_1 = 1\text{ L}$,气体压强为 $p_1 = 1\text{ atm}$;容器B的容积为 $V_2 = 2\text{ L}$,气体压强为 $p_2 = 3\text{ atm}$,求活塞栓打开后,气体的稳定压强是多少?

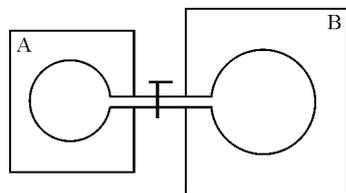


图2 例4题图

分析:由于A,B容器气体初始状态压强不同,活塞栓打开后,A,B容器的气体质量均发生变化,A,B容器内的气体分别都是一个变质量问题;但如果把A,B两容器的气体作为整体进行研究,前后状态的空气总质量是不变的,这样就把变质量问题转化为气体总质量不变的状态变化问题,就可以利用理想气体“分态式”方程进行解答.

解答:将A,B两容器中的气体看成整体,由理想气体“分态式”方程可得

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p' V_1'}{T_1'} + \frac{p' V_2'}{T_2'}$$

因末状态为A,B两部分气体混合后的平衡态,则气体的稳定压强为 $p' = p_1' = p_2'$,代入有关的数据得

$$p' = 2.25\text{ atm}$$

故活塞栓打开后,气体的稳定压强为 2.25 atm .

点评:此题解题关键是选取A,B容器的气体整体作为研究对象,化变质量问题为气体总质量不变问题,同时找到气体在混合前后不同状态下的状态参量,然后根据质量守恒列方程求解.

现行高中教材对克拉珀龙方程是不要求的,但在教学过程中,在理解和掌握理想气体状态方程的基础上,对状态方程进行适当的深化与拓展,将理想气体“分态式”方程作为二级结论传授给学生;这不仅能拓展学生视野,同时能让学生掌握一种解决理想气体变质量的简单方法,更重要地是促进了学生的物理学科核心素养的培养.