

“气缸类型”在气体实验定律中的应用

李健华

(深圳市布吉高级中学 广东 深圳 518114)

(收稿日期:2018-11-10)

摘要:活塞封闭气缸里一定质量的理想气体,一般考查有:一个气室即单缸单室类型、两个气室即单缸双室类型和两个气缸两个气室即双缸双室类型,主要利用气体实验定律或理想气体状态方程进行求解,涉及到力的平衡问题、牛顿第二定律等.

关键词:气缸 单缸单室 单缸双室 双缸双室 气体实验定律

气体实验定律的应用是热学的重点和难点,气体实验定律与牛顿定律、力的平衡问题有机地结合起来,形成综合性较强的力学问题,有利于考查综合分析能力及对物理过程的分析推理能力.在新高考

要求中属于 II 级要求,新课改以来作为选修 3-3 计算题部分,分值在 10 分左右,较好地考查了学生的核心素养.在 2018 年全国高考的 7 套物理试题中,其中涉及气体实验定律计算题部分的有全国 I,

$$v = \frac{FR}{B^2 l^2}$$

线框进入磁场的过程,安培力冲量

$$I_1 = - \sum_i BI_i l \Delta t_i = - \sum_i \frac{B^2 l^2 v_i \Delta t_i}{R} = - \frac{B^2 l^3}{R}$$

线框通过 CD 分界线的过程,安培力的冲量

$$I_2 = - \sum_i 2BI_i l \Delta t_i = - \sum_i 2B \cdot \frac{2Blv_i}{R} \cdot l \Delta t_i = - \frac{4B^2 l^2}{R} \sum_i v_i \Delta t_i = - \frac{4B^2 l^3}{R}$$

同理可得线框出磁场的过程,安培力的冲量

$$I_3 = I_1 = - \frac{B^2 l^3}{R}$$

全过程,由动量定理有

$$Ft + I_1 + I_2 + I_3 = mv$$

联立上式解得

$$t = \frac{mR}{B^2 l^2} + \frac{6B^2 l^3}{FR}$$

利用动量定理和微元求和的思想可巧妙求解电磁感应中做变加速运动的导棒的速度、位移和时间,此方法也可推广到一般;当物体受一与其速度大小成正比的力(如阻力 $f = kv$ 等)和其他恒力共同作用下做变加速直线运动时,对任一过程,只要已知该过程的初速 v_1 、末速 v_2 、位移 x 、时间 t 中任意 3 个,便可用动量定理和微元法求解第 4 个物理量.

Magical Effect on Momentum Theorem and Micro Element Method

Peng Aiguo

(Wuhan No. 3 Middle School, Wuhan, Hubei 430050)

Abstract: For cutting in the magnetic field of magnetic induction line movement conductor, the ampere force is used as the variable accelerated motion, in high school can't solve it directly with Newton's second law and the kinematics formula, velocity, displacement, and the motion time, but based on the idea of the momentum theorem and micro element method can be clever quantitative solving variational acceleration movement velocity, displacement, and the movement of the time.

Key words: variable accelerated motion; momentum theorem; micro element method

II, III 卷与海南卷共 4 套卷, 并且其中就有 3 套试卷考查了“气缸模型类型”, 可见研究好这一模型的规律, 对今后的高考备考会有所裨益.

1 模型的特点

气缸类型的特点是通过活塞来将一定质量的理想气体封闭在缸内, 主要有单缸单室类型、单缸双室类型和双缸双室类型等. 这类问题中对力学压强求解是一个难点, 对于力学研究对象一般取气缸、活塞或活塞上的物体, 然后根据平衡状态或牛顿第二定律列方程求解. 需要注意的是: 首先, 此类问题中压强的单位要用 Pa 便于计算, 在实际教学中学生对面积单位的换算经常出错, 要特别注意强调. 其次, 有两个或多个气缸时, 要综合应用气体之间相互关联的问题, 解题应分别研究各部分气体, 找出它们各自的规律以及它们之间的相互联系来列方程. 近几年高考中此类题出现概率较大, 几乎年年有, 如图 1 所示.

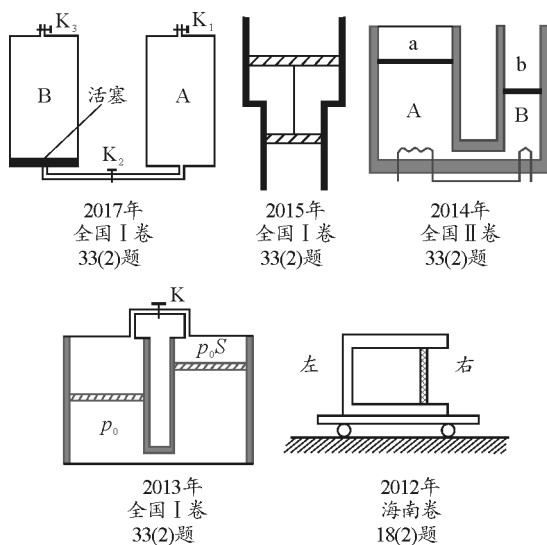


图 1 近几年高中考中气缸气体考题

2 模型的应用

2.1 单缸单室

【例 1】(2018 年高考理综全国 II 卷) 如图 2 所示, 一竖直放置的气缸上端开口, 气缸壁内有卡口 a 和 b , a, b 间距为 h , a 距缸底的高度为 H ; 活塞只能在 a, b 间移动, 其下方密封有一定质量的理想气体. 已知活塞质量为 m , 面积为 S , 厚度可忽略; 活塞和气缸壁均绝热, 不计它们之间的摩擦. 开始时活塞处

于静止状态, 上、下方气体压强均为 p_0 , 温度均为 T_0 . 现用电热丝缓慢加热气缸中的气体, 直至活塞刚好到达 b 处. 求此时气缸内气体的温度以及在此过程中气体对外所做的功. 重力加速度大小为 g .

解析: 由题意可知, 对缸内气体进行加热后, 气缸中的气体体积不变, 发生等容变化, 直至活塞开始运动. 然后活塞缓慢上升, 缸内气体的压强不变, 发生等压变化直到刚好接触到 b 处. 设活塞到达 b 处时缸内中气体的压强为 p_1 , 体积为 V_1 , 温度为 T_1 , 根据理想气体状态方程有

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1} \quad (1)$$

以活塞为研究对象, 由力的平衡得

$$p_1 S = p_0 S + mg \quad (2)$$

由几何关系有

$$V_0 = SH \quad (3)$$

$$V_1 = S(H + h) \quad (4)$$

联立式(1)~(4)解得

$$T_1 = \left(1 + \frac{h}{H}\right) \left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right) T_0 \quad (5)$$

而整个过程中气体对外所做的功为

$$W = (p_0 S + mg)h \quad (6)$$

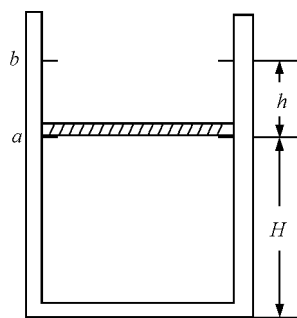


图 2 例 1 题图

点评: 本题气缸内只有一个气室, 属于“单缸单室”类型问题. 解答本题的关键是要能够分析出不同的物理过程, 实际过程中热学状态经过等容变化与等压变化. 但此题只要抓住关键的初、末状态, 不必理会变化时的中间过程, 然后利用理想气体的状态方程来求解, 简洁又能迅速求解, 事半功倍.

2.2 单缸双室

【例 2】(2018 年高考理综全国 I 卷) 如图 3 所示, 容积为 V 的气缸由导热材料制成, 面积为 S 的活塞将气缸分成容积相等的上下两部分, 气缸上部通过细管与装有某种液体的容器相连, 细管上有一阀

门 K. 开始时, K 关闭, 气缸内上下两部分气体的压强均为 p_0 . 现将 K 打开, 容器内的液体缓慢地流入气缸, 当流入的液体体积为 $\frac{V}{8}$ 时, 将 K 关闭, 活塞平衡时其下方气体的体积减小了 $\frac{V}{6}$, 不计活塞的质量和体积, 外界温度保持不变, 重力加速度大小为 g . 求流入气缸内液体的质量.

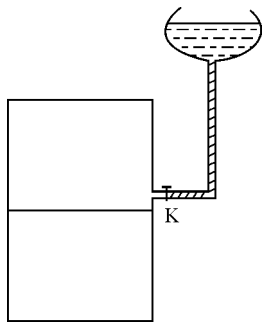


图3 例2题图

解析:以活塞上部分气体为研究对象, 设其压强为 p_1 , 体积为 V_1 ; 对活塞下部分气体, 设其压强为 p_2 , 体积为 V_2 . 由于液体慢慢地流入气缸中, 缸内气体上下两部分气体温度不变, 由玻意耳定律得

$$p_0 \frac{V}{2} = p_1 V_1 \quad (7)$$

$$p_0 \frac{V}{2} = p_2 V_2 \quad (8)$$

根据题意由几何关系可知

$$V_1 = \frac{V}{2} + \frac{V}{6} - \frac{V}{8} = \frac{13V}{24} \quad (9)$$

$$V_2 = \frac{V}{2} - \frac{V}{6} = \frac{V}{3} \quad (10)$$

若液体的质量设为 m , 根据力的平衡得

$$p_2 S = p_1 S + mg \quad (11)$$

联立解式(7)~(11)解得

$$m = \frac{15p_0 S}{26g} \quad (12)$$

点评:本题是属于典型的“单缸双室”类问题, 气缸内分为上下两部分气体, 解答此类问题的关键是: 首先, 明确研究对象, 分别对上下两部分气体进行研究, 找不同状态的状态参量. 然后根据状态方程列方程求解. 其次, 根据缸内上下两部分气体的体积关系, 以及对活塞进行力的平衡关系列出方程, 然后进行求解.

【例3】(2018年高考海南卷)一储存氮气的容器

被一绝热轻活塞分隔成两个气室 A 和 B, 活塞可无摩擦地滑动. 开始时用销钉固定活塞, A 中气体体积为 $2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, 温度为 27°C , 压强为 $6.0 \times 10^4 \text{ Pa}$; B 中气体体积为 $4.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, 温度为 -17°C , 压强为 $2.0 \times 10^4 \text{ Pa}$. 现将 A 中气体的温度降至 -17°C , 然后拔掉销钉, 并保持 A, B 中气体温度不变, 求稳定后 A 和 B 中气体的压强.

解析:温度降低, 然后拔掉销钉后, 则活塞一定从压强大的一侧向压强小的一侧移动, 直至 A, B 气缸里的压强相等, 设 A, B 气缸中气体最终压强为 p .

对 A 气室由状态方程

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p V'_A}{T_A} \quad (13)$$

对 B 气室由状态方程

$$p_B V_B = p V'_B \quad (14)$$

又由几何关系可得

$$V_A + V_B = V'_A + V'_B \quad (15)$$

联立式(13)~(15)解得稳定后 A 和 B 中气体的压强为

$$p = 3.2 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (16)$$

点评:此题有两部分气体, 属于“单缸双室”类型, 解答本题的难点在于 A 中气体经过两个不同的物理过程, 但只要抓住初、末状态, 然后利用状态方程就能方便直接求解. 另一难点是本题有两部分气体, 所以对两部分气体要分别研究其各自的变化过程, 关键是抓住它们之间的联系, 即压强相等. 还有就是体积的几何关系要把握好, 弄清楚这些关系本题就能迎刃而解.

2.3 双缸双室

【例4】(2017年高考理综全国 I 卷)如图4所示, 容积均为 V 的气缸 A, B 下端有细管(容积可忽略)连通, 阀门 K_2 位于细管的中部, A, B 的顶部各有一阀门 K_1, K_3 , B 中有一可自由滑动的活塞(质量、体积均可忽略). 初始时, 3 个阀门均打开, 活塞在 B 的底部; 关闭 K_2, K_3 , 通过 K_1 给气缸充气, 使 A 中气体的压强达到大气压 p_0 的 3 倍后关闭 K_1 . 已知室温为 27°C , 气缸导热.

(1) 打开 K_2 , 求稳定时活塞上方气体的体积和压强;

(2) 接着打开 K_3 , 求稳定时活塞的位置;

(3) 再缓慢加热气缸内气体使其温度升高 20

℃,求此时活塞下方气体的压强.

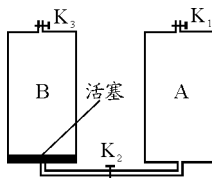


图4 例4题图

解析:(1) K_2 打开后,由于A中气体压强大于B中气体压强,则活塞一定上升,稳定时A,B中气体压强相等,设此时的压强为 p_1 ,B中气体的体积为 V_1 ,由玻意耳定律得

对A中气体有

$$3p_0V = p_1(2V - V_1) \quad (17)$$

对B中气体有

$$p_0V = p_1V_1 \quad (18)$$

解得

$$V_1 = \frac{V}{2} \quad p_1 = 2p_0 \quad (19)$$

(2) K_3 打开,则B与外界大气相连,故其压强为 p_0 ,而A中气体的压强为 $2p_0$,则活塞一定上升.若B气缸体积足够大,则A中气体的最终压强为 p_0 ,设此时A中气体的体积为 V_2 ,对一定质量的A中气体由玻意耳定律有

$$3p_0V = p_0V_2 \quad (20)$$

解得

$$V_2 = 3V \quad (21)$$

而此时 $V_2 > 2V$,可见稳定时活塞最多上升到B的顶部位置.

(3)对A中气体分析可知,在升高温度时活塞静止不动,压强增大,设最终压强为 p_2 ,则A中气体压强由 $3p_0$ 到 p_2 过程中,根据气体状态方程得

$$\frac{3p_0V}{T_0} = \frac{p_2 2V}{T_1} \quad (22)$$

将数据 $T_0 = 300 \text{ K}$, $T_1 = 320 \text{ K}$ 代入式(22)解得

$$p_2 = 1.6p_0 \quad (23)$$

点评:该题有两个气缸,每个气缸只有一个气室,属于典型的“双缸双室”类型.由于此类型有两个缸两部分气体,因此变化过程复杂,需要用力学的观点来准确无误地分析各处压强之间的相互关系.在分析过程中,特别要清楚在研究相应的变化过程中,哪些量是不变的,哪些量是变化的,以及它们之间的相互关系.然后选择相应的气体实验定律进行求解,本题第3问选A中气体整个变化过程来研究,应用理想气体状态方程进行求解简洁快速.

3 结束语

围绕“气缸类型”设置的气体实验定律试题,由于这类问题涉及到力的平衡、牛顿第二定律和热学等相关的知识,这就要求具有良好的综合分析和思维能力,以及灵活运用知识解决问题的能力.因此,在考试复习时,如果学生能够全面地理解本文所总结的问题类型,掌握解决问题的方法,就能提高自己解决问题和分析问题的能力.当他们在高考中遇到类似这种类型的问题时,能够达到“手中有粮,心中不慌”的目标.

Application on Cylinder Type in Gas Experiment Law

Li Jianhua

(Shenzhen Buji Senior High School, Shenzhen, Guangdong 518114)

Abstract: The piston seal cylinder in a certain quality of ideal gas, general examination has: a single chamber is a single chamber type, two air chamber is a single cylinder double chamber type and two cylinders two air chamber is a double cylinder double chamber type. It mainly uses the gas experiment law or the ideal gas state equation to solve, involves the force balance problem, Newton's second law and so on.

Key words: cylinder; single cylinder single chamber; single cylinder and double chamber; double cylinder and double chamber; experimental law of gas