

浅谈高考物理试题中的气体实验定律图像问题

熊锦明

(广州市真光中学 广东 广州 500300)

(收稿日期:2018-07-12)

摘要:对于一定质量的理想气体状态方程式,只能表达某一状态下3个量之间的关系,状态的变化过程是无法表达.用图像则不仅可以表达任何一种状态,还可以表达变化的过程,而且既直观又形象,所以在研究气体实验定律时,通常用 $p-V$ 图像、 $p-T$ 图像、 $V-T$ 图像来表示,这样既开阔了思路,又提高了分析和解决问题的能力.

关键词: $p-V$ 图像 $p-T$ 图像 $V-T$ 图像

气体实验定律图像题在高考试题中出现的频率非常高.在研究气体实验定律时,往往用 $p-V$ 图像、 $p-T$ 图像、 $V-T$ 图像来表示.分析气体实验定律的图像,可以对各状态量的变化过程有更直观更形象的理解,从而开阔思路,提高学生分析问题的能力.

1 玻意耳-马略特定律与 $p-V$ 图像

玻意耳-马略特定律的内容:一定质量的某种气体,在温度不变的情况下,压强与体积成反比.数学表达式为 $pV = \text{常量}$,在 $p-V$ 图像上,等温过程表示为双曲线.

表达式 $pV = C$ (其中 C 为恒量),即 pV 值越大的等温线,温度越高,曲线离原点越远,如图 1 所示.

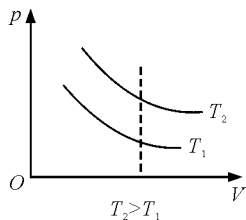


图1 温度不变时的 $p-V$ 图像

由于气体对外(或外界对气体)做功与体积变化有关,且 $W = p\Delta V$,则 $p-V$ 图像与 V 轴所围的“面积”表示气体做的功.

【例1】如图 2 所示,一定量的理想气体从状态 a 变化到状态 b ,其过程如 $p-V$ 图中从 a 到 b 的直线所示.在此过程中()

- A. 气体温度一直降低
- B. 气体内能一直增加
- C. 气体一直对外做功
- D. 气体一直从外界吸热
- E. 气体吸收的热量一直全部用于对外做功

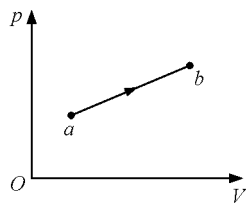


图2 例1题图

解析:一定质量的理想气体从 a 到 b 的过程,通过 a, b 两点大致作两条等温线,如图 3 所示,根据离原点的远近可知, $T_b > T_a$,即气体的温度一直升高,选项 A 错误;根据理想气体的内能只与温度有关,可知气体的内能一直增加,选项 B 正确;由于从 a 到 b 的过程中气体的体积增大,所以气体一直对外做功,选项 C 正确;根据热力学第一定律 $W + Q = \Delta E$,从 a 到 b 的过程中, $W < 0, \Delta E > 0$,则 $Q > 0$,气体一直从外界吸热,选项 D 正确;气体吸收的热量一部

分增加内能,一部分对外做功,选项 E 错误.

答案:B,C,D.

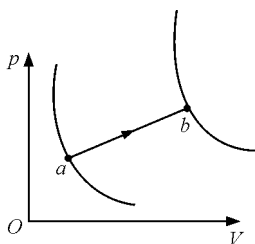


图3 例1解析图

2 查理定律与 $p-T$ 图像

查理定律的内容:一定质量的某种理想气体,在体积不变的情况下,压强与热力学温度成正比.数学表达式为 $\frac{p}{T} = \text{常量}$,在 $p-T$ 图像上,等容过程表示为通过坐标原点的倾斜直线.

由 $p = \frac{C}{V}T$ (其中 C 为恒量),斜率 $k = \frac{C}{V}$,即斜率越大,体积越小.如图4所示.

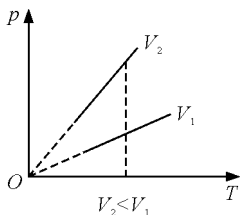


图4 体积不变时的 $p-T$ 图像

【例2】一定量的理想气体从状态 a 开始,经历等温或等压过程 ab, bc, cd, da 回到原状态,其 $p-T$ 图像如图5所示,其中对角线 ac 的延长线过原点 O . 下列判断正确的是()

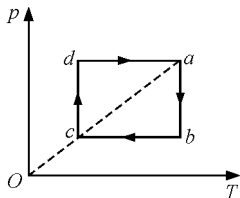


图5 例2题图

- A. 气体在 a, c 两状态的体积相等
- B. 气体在状态 a 时的内能大于它在状态 c 时的内能
- C. 在过程 cd 中气体向外界放出的热量大于外界对气体做的功

D. 在过程 da 中气体从外界吸收的热量小于气体对外界做的功

E. 在过程 bc 中外界对气体做的功等于在过程 da 中气体对外界做的功

解析: $p-T$ 图像通过原点的直线,则为等容线,有气体在 a, c 两状态的体积相等,选项 A 正确. 由于理想气体的内能是由温度决定的,从图像知 $T_a > T_c$,所以气体在状态 a 时的内能大于它在状态 c 时的内能,选项 B 正确. 根据热力学第一定律 $W + Q = \Delta E$, cd 过程中,温度不变,则 $\Delta E = 0, Q = -W$,选项 C 错误. da 过程温度升高,即内能增大, $\Delta W > 0$, 体积增大,对外做功, $W < 0$, 则 $Q = |W| + \Delta E > |W|$,选项 D 错误. bc 过程中外界对气体做的功 $W_{bc} = p_c(V_b - V_c)$, da 过程中气体对外界做的功 $W_{da} = p_a(V_a - V_d)$, 对两个等温变化过程有 $p_a V_a = p_c V_b, p_c V_c = p_a V_d$, 联立解得 $W_{bc} = p_a V_a - p_c V_c, W_{da} = p_a V_a - p_c V_c$, 选项 E 正确.

答案:A,B,E.

3 盖·吕萨克定律与 $V-T$ 图像

盖·吕萨克定律的内容:一定质量的某种气体,在压强不变的情况下,体积与热力学温度成正比.数学表达式为 $\frac{V}{T} = \text{常量}$. 在 $V-T$ 图像上,等压过程表示为通过坐标原点的倾斜直线.

由 $V = \frac{C}{p}T$ (其中 C 为恒量),斜率 $k = \frac{C}{p}$,即斜率越大,压强越小,如图6所示.

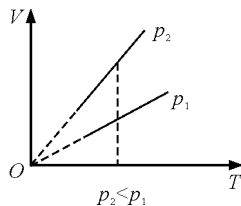


图6 压强不变时的 $V-T$ 图像

【例3】如图7所示,一定质量的理想气体从状态 a 开始,经历过程①、②、③、④到达状态 e ,对此气体,下列说法正确的是()

- A. 过程①中气体的压强逐渐减小
- B. 过程②中气体对外界做正功
- C. 过程④中气体从外界吸收了热量
- D. 状态 c, d 的内能相等

E. 状态 d 的压强比状态 b 的压强小

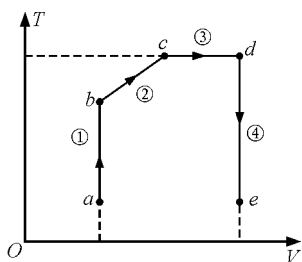


图7 例3题图

解析: 过程①为等容过程, 由 $\frac{p_a}{T_a} = \frac{p_b}{T_b}$ 可知, $p_b > p_a$, 选项 A 错误; 由于过程②中气体体积增大, 所以气体对外做功, 选项 B 正确; 过程④中气体体积不变, 对外做功为零, 温度降低, 内能减小, $\Delta E < 0$, 根据热力学第一定律 $W + Q = \Delta E$, $Q = \Delta E$, 所以过程④中气体放出热量, 选项 C 错误; 由于状态 c, d 的温度相等, 根据理想气体的内能只与温度有关, 可知状态 c, d 的内能相等, 选项 D 正确; 对于选项 E, 我们分别过 b, d 两点作两条通过原点的等压直线, 如图 8 所示, 根据 $T = \frac{p}{C}V$, 斜率越大, 压强也越大, 易得 $p_b > p_d$, 状态 d 的压强比状态 b 的压强小, 选项 E 正确.

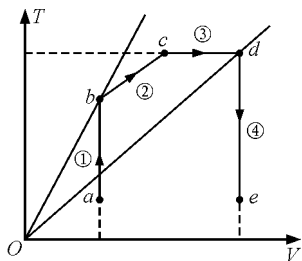


图8 例3解析图

答案: B, D, E.

4 运用气体实验定律图像解题

对于一定质量的理想气体状态方程式, 只能表达某一状态下 3 个量之间的关系, 状态的变化过程却无法表达. 用图像则不仅可以表达任何一种状态, 还可以表达变化的过程, 而且既直观又形象, 对解题有很大的帮助.

【例 4】(2018 年高考全国卷 II 第 33 题) 如图 9 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, 不计他们之间的摩擦. 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 .

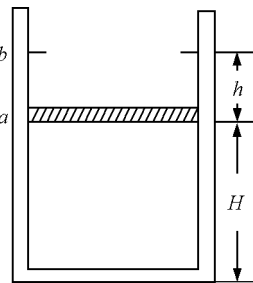


图9 例4题图

解析: (1) 开始时活塞位于 a 处, 加热后, 气缸中的气体先经历等容过程, 直至活塞开始运动. 设此时气缸中气体的温度为 T_1 , 压强为 p_1 , 根据力的平衡条件有 $p_1 S = p_0 S + mg$, 解得

$$p_1 = p_0 + \frac{mg}{S}$$

此后, 气缸中的气体经历等压过程, 直至活塞刚好到达 b 处, 设此时气缸中气体的温度为 T_2 ; 活塞位于 a 处和 b 处时气体的体积分别为 $V_1 = HS$ 和 $V_2 = (H + h)S$. 作出 $p-T$ 图像如图 10 所示.

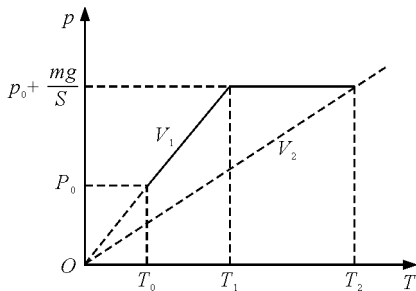


图10 例4的 $p-T$ 分析

由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$ 可知, $p-T$ 图像通过原点的直线表示这一过程为等容过程, 其斜率为 $\frac{C}{V}$. 则根据其两条通过原点的直线分别表示体积为 V_1 和 V_2 , 可得

$$\frac{C}{V_1} = \frac{p_0}{T_0}$$

$$\frac{C}{V_2} = \frac{p_0 + \frac{mg}{S}}{T_2}$$

两式相除即得

$$\frac{H+h}{H} = \frac{T_2 p_0}{T_0 \left(p_0 + \frac{mg}{S} \right)}$$

$$\text{解得 } T_2 = \left(1 + \frac{h}{H} \right) \left(1 + \frac{mg}{p_0 S} \right) T_0$$

(2) 作出 $p-V$ 图像如图 11 所示. 因为体积增大, 故气体对外做功, 由 $W = p\Delta V$ 可知, 此过程中气体对外所做的功即为图像所围的阴影部分的“面积”, 如图 12 所示.

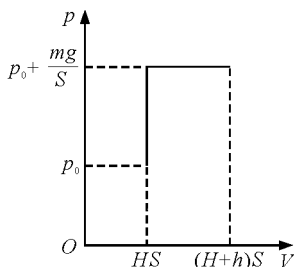


图 11 例 4 的 $p-V$ 分析图

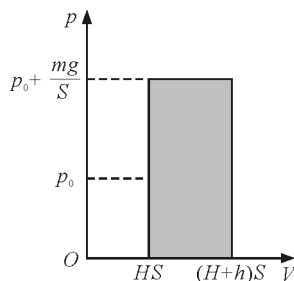


图 12 $p-V$ 图像所围面积与功的对应

即可得

$$W = \left(p_0 + \frac{mg}{S} \right) hS = (p_0 S + mg) h$$

5 结束语

运用图像来解题, 除了图像本身所表达的物理意义外, 还要借助理想气体的变化规律、热力学定律等. 如理想气体的内能只与温度有关, 气体对外做功或外界对气体做功与体积变化有关. 对绝热过程 $Q=0$. 根据热力学第一定律 $W+Q=\Delta E$ 来判断做功、吸(放)热及内能变化间的关系.

(上接第 82 页)

动了学生的学习积极性, 培养了学生自主学习的能力. 目前仅在小范围实行, 条件成熟后有望推广.

我们的在线开放课程将面对社会开放, 按照这个思路推广应用, 精心设计好每个实验项目, 相信我们的实验课教学效果会大幅提高, 学生自主学习的能力会大大增强.

如何兼顾校内校外的不同? 如何把物理实验和仿真实验有机地结合? 如何使翻转课堂教学引向深入? 这是一个系统工程, 对任课教师提出更高的要求, 要想全面实施, 还需进一步的探讨和实践. 有了

前期积累的经验, 我们有信心做得更好.

参考文献

- 1 蒋逢春, 卢雪艳, 吴杰, 等. 混合式教学在大学物理实验中的应用分析. 物理通报, 2018(1): 2~7
- 2 张新明, 何文涛. 支持翻转课堂的网络教学系统模型探究. 现代教育技术, 2013(8): 21~25
- 3 蒋逢春, 吴杰, 石开, 等. 大学物理实验及仿真在线课程建设的实践. 物理与工程, 2017(增刊 1): 150~153
- 4 蒋逢春, 吴杰, 冯学超, 等. 大学物理实验网络学习空间建设的实践. 物理通报, 2017(4): 9~12
- 5 李海龙, 邓敏杰, 梁存良. 基于任务的翻转课堂教学模式设计与应用. 现代教育技术, 2013(9): 46~12

Practice on University Physics Experiment and Simulation Flipped Classroom

Jiang Fengchun Wu Jie Wang Haiyan Li Junyu

(College of Physics and Electronic Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract: "College Physics Experiment and Simulation" has been running online for one year in spoc. How can students be guided to complete the experiment independently and realize the true meaning of the flipped classroom? In this paper, the design plan is given through specific experimental cases, which has guiding and promotional value.

Key words: university physics experiment and simulation; icourses.com; online opening; flipped classroom