

第 8 题 2026 · 问题 II 盐的分类、实在气体与气体的状态方程

对应官方问题册：第 5-7 页 (PDF 页码)。请与原题对照阅读。

本题的三个小题依次考盐的分类、范德华方程与压缩因子、以及注射器与容器组成的两室气体问题。问 2(3) 只要注意到 $a = 0$ 即可迅速化简；问 3 是全卷唯一的多步定量题，关键在于分清“活塞被关闭时”与“打开旋塞后”两个体系的范围。

问 1 ア～エの语句

解答

盐是酸电离产生的阴离子与碱电离产生的阳离子结合而成的离子化合物，故ア为阴离子、イ为阳离子。分类只看化学式中是否残留可电离的 H 或 OH：NaHSO₄ 中残留 H，属酸式盐；Cu(NO₃)₂ 中既无 H 也无 OH，属正盐。

答 ア：(い) 阴离子 イ：(あ) 阳离子 ウ：(う) 酸式盐 エ：(お) 正盐

解说

ア与イ的方向不要弄反 酸给出 H⁺ 后剩下的是阴离子（酸根），碱给出 OH⁻ 后剩下的是阳离子。按“酸 → 阴、碱 → 阳”记忆。

分类与水溶液的酸碱性无关 NaHSO₄ 是酸式盐、水溶液呈酸性；但 NaHCO₃ 同为酸式盐、水溶液却呈碱性。分类只看化学式，判断酸碱性要看对应酸碱的强弱。

碱式盐的例子 CuCl(OH)、MgCl(OH) 等式中残留 OH 者为碱式盐。本题没有出现，但选项 (え) 正是为此设置的干扰项。

问 2(1) 最接近理想气体的物质

解答

理想气体的假设是分子本身没有体积、分子间没有相互作用。选项中氦是单原子分子、分子最小且为非极性，色散力在所有选项中最弱，因此最接近理想气体。

答 (お) 氦。因为分子最小且分子间力最弱。

解说

按分子间力从小到大排序 氦（单原子、最小）< 氩（单原子、较大）< 氧 < 二氧化碳 < 氯化氢（极性分子）。氯化氢有偶极相互作用，偏离最大。

字数限制 题目要求 30 字以内。写“分子间力极小、分子体积也小”即可，不必展开解释范德华方程。

与图 1 的一致 图中 H₂ 的 Z 大于 1，说明分子体积项占优；CH₄ 的 Z 小于 1，说明分子间力项占优。氦两项都极小，其曲线应最贴近 $Z = 1$ 的水平线。

问 2(2) CH_4 的 Z 小于 1 的理由

解答

压力增大时分子间的平均距离缩短，分子间的引力（范德华力）变得显著。引力把分子相互拉近，使气体对器壁的实际压力比无引力时小，等价于同一压力下的实际体积比理想气体小，故 $Z = PV/(nRT) < 1$ 。

答 因为压力增大使分子间距离变小，分子间引力显著，实际体积比理想气体小。

解说

两个修正项的竞争 范德华方程的 n^2a/V^2 项来自引力（使 Z 减小）， nb 项来自分子体积（使 Z 增大）。低压时前者占优，高压时后者占优，所以 Z - P 曲线一般先降后升。

H_2 为什么相反 氢分子极小、极性为零， a 几乎可忽略，只剩 b 的贡献，因此在图示压力范围内 Z 始终大于 1。

字数控制 题目限 50 字以内。写“距离变小 $\rightarrow$ 引力显著 $\rightarrow$ 体积（压力）比理想气体小”这一条因果链即可。

问 2(3) 氢的压缩因子

解答

在式②中令 $a = 0$ ：

$$P(V - nb) = nRT \implies PV = nRT + Pnb.$$

两边除以 nRT ：

$$Z = \frac{PV}{nRT} = 1 + \frac{Pb}{RT}.$$

代入 $P = 1.0 \times 10^7 \text{ Pa}$ 、 $b = 2.65 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ 、 $R = 8.31 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/(\text{K}\cdot\text{mol})$ 、 $T = 273 \text{ K}$ ：

$$\frac{Pb}{RT} = \frac{1.0 \times 10^7 \times 2.65 \times 10^{-5}}{8.31 \times 273} = \frac{265}{2.27 \times 10^3} = 0.117,$$

$$Z = 1 + 0.117 = 1.1.$$

答 $Z = 1.1$

解说

n 在化简中约去 Z 是每摩尔的量，与物质的量无关。若把 n 留在式中会误以为条件不足。

单位的一致性 Pb 的单位是 $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ ， RT 的单位相同，比值无量纲，符合 Z 的定义。题目特意把 R 写成 $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/(\text{K}\cdot\text{mol})$ ，就是提示用 SI 单位。

与图 1 的对照 图中 H_2 在 $P = 10 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时 Z 略大于 1。本问的压力是它的 10 倍，偏离也约放大 10 倍，得到 1.1，量级一致。

$a = 0$ 的意义 它表示“忽略分子间引力，只保留分子自身体积”。在这一近似下 Z 必大于 1，与算得的结果符号一致。

问 3(1) 体积变为 r 倍时的压力

解答

操作 2 中旋塞关闭, 注射器内气体的物质的量与温度都不变, 故适用玻意耳定律 $PV = \text{常数}$ 。体积变为 r 倍时,

$$P' = \frac{1}{r}P.$$

答 压力变为 $\frac{1}{r}$ 倍

解说

三个前提缺一不可 物质的量不变 (旋塞关闭)、温度不变 (恒温槽)、气体为理想气体 (题干指定)。题干专门写明 “慢慢推动活塞”, 就是为了保证恒温。

为下一问铺路 本问的关系式 $1.00 \times 10^5 \times V_{\text{注}} = 1.50 \times 10^5 \times (V_{\text{注}} - 50.0)$ 将直接给出注射器的初始体积。

压缩后压力变为 1.5 倍 即 $1/r = 1.5$, $r = 2/3$, 体积减少了三分之一。这提示注射器的初始体积应是 50.0 cm^3 的 3 倍。

问 3(2) 容器 X 的容积

解答

设注射器在操作 1 时的体积为 V_S , 容器 X 的容积为 V_X 。

操作 2 (旋塞关闭, 只有注射器内的气体被压缩):

$$1.00 \times 10^5 \times V_S = 1.50 \times 10^5 \times (V_S - 50.0),$$

$$V_S = 1.5V_S - 75.0, \quad V_S = 150 \text{ cm}^3.$$

操作 3 (活塞固定后打开旋塞, 两室合并): 体系的总物质的量与操作 1 相同, 总体积变为 $(150 - 50.0) + V_X = 100 + V_X$ 。温度不变, 故

$$1.00 \times 10^5 \times (150 + V_X) = 1.10 \times 10^5 \times (100 + V_X),$$

$$150 + V_X = 110 + 1.10V_X, \quad 0.10V_X = 40,$$

$$V_X = 4.0 \times 10^2 \text{ cm}^3.$$

答 $V_X = 4.0 \times 10^2 \text{ cm}^3$

解说

两步的体系范围不同 操作 2 的体系只有注射器 (旋塞关闭); 操作 3 的体系是注射器加容器 X (旋塞打开)。把操作 2 直接写成含 V_X 的式子是典型错误。

操作 3 中气体总量守恒 装置整体密闭, 操作 2 只是把气体压缩、并未放出。因此可以用 “操作 1 的 PV 总和 = 操作 3 的 PV ” 这一形式, 省去物质的量的计算。

检算 操作 1: $1.00 \times 10^5 \times 550 = 5.50 \times 10^7$; 操作 3: $1.10 \times 10^5 \times 500 = 5.50 \times 10^7$ 。两者相等, 说

明 $V_X = 400$ 正确。

连接管的体积被忽略 题干写明忽略连接管与旋塞的容积，因此两室体积之和就是总体积。这一条件必须在列式时用到。

问 3(3) 气体 A 的分子量

解答

用操作 1 的状态计算物质的量。总体积为

$$V = V_S + V_X = 150 + 400 = 550 \text{ cm}^3 = 5.50 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

由 $PV = nRT$:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.00 \times 10^5 \times 5.50 \times 10^{-4}}{8.31 \times 300} = \frac{55.0}{2.49 \times 10^3} = 2.21 \times 10^{-2} \text{ mol}.$$

质量为 0.62 g, 故

$$M = \frac{0.62}{2.21 \times 10^{-2}} = 28.$$

答 气体 A 的分子量为 28

解说

单位换算是最大的陷阱 R 以 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3$ 为单位, 故体积必须换成 m^3 : $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$ 。忘记换算会使分子量差 10^6 倍。

用哪个状态都可以 也可用操作 3 的状态: $1.10 \times 10^5 \times 5.00 \times 10^{-4} / (8.31 \times 300)$, 得到同样的 $2.21 \times 10^{-2} \text{ mol}$ 。这本身就是一次检算。

结果的化学含义 分子量 28 的纯物质气体有 N_2 、 CO 、 C_2H_4 。题目只问分子量, 不必指定物质; 但算出整数 28 可作为计算无误的旁证。

有效数字 0.62 为两位, 故答 28。若写 28.1 则超出题目要求的位数。

第9题 2026 · 问题 III 酯的结构决定、乙酸乙烯酯与维尼纶

对应官方问题册：第8-9页（PDF页码）。请与原题对照阅读。

本题前半是标准的结构决定：由元素分析定出分子式，再用碘仿反应与氧化产物的银镜反应把两个同分异构体区分开。后半沿着“乙炔 → 乙酸乙烯酯 → 聚乙酸乙烯酯 → 聚乙烯醇 → 维尼纶”一路走到高分子。问2要求写出全部含酯键的异构体，问8的缩醛化计算要注意质量的增加量。

问1 化合物A、B的分子式

解答

氧的质量百分率为 $100 - 54.5 - 9.1 = 36.4\%$ 。设样品 100 g，各元素的物质的量为

$$\text{C} : \frac{54.5}{12.0} = 4.54, \quad \text{H} : \frac{9.1}{1.00} = 9.1, \quad \text{O} : \frac{36.4}{16.0} = 2.275.$$

同除以最小值 2.275，得 $\text{C} : \text{H} : \text{O} = 2.00 : 4.00 : 1$ ，故最简式为 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ （式量 44）。分子式为 $(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$ ，分子量 $44n \leq 100$ 给出 $n \leq 2$ 。含酯基 $-\text{COO}-$ 至少需要 2 个氧，故 $n = 2$ 。

答 A、B 都是 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ （分子量 88）

解说

两个条件一起用 只有“分子量 100 以下”会同时允许 $n = 1$ 与 $n = 2$ ；加上“含酯键”才能排除 $n = 1$ 。两个条件缺一不可。

氧的百分率要自己补出 题目只给碳和氢，氧由差值求得。这是元素分析题的固定套路，也是本问的第一个得分点。

不饱和度 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ 的不饱和度为 $(2 \times 4 + 2 - 8)/2 = 1$ ，恰好对应酯基中的一个 $\text{C}=\text{O}$ ，说明分子中没有环或碳碳双键。

A 与 B 同分子式 两者的元素百分率完全相同，且分子量都在 100 以下，故必为同分异构体。问2就是要将这一族异构体全部列出。

问2 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ 中含酯键的结构异构体

解答

把 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ 写成 $\text{R}-\text{COO}-\text{R}'$ ，酰基与烃氧基的碳数之和为 4，且 R 可以是 H。按酸的碳数从小到大排列：

- 甲酸丙酯 $\text{HCOOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
- 甲酸异丙酯 $\text{HCOOCH}(\text{CH}_3)_2$
- 乙酸乙酯 $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$
- 丙酸甲酯 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3$

答 上列 4 种： $\text{HCOOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 、 $\text{HCOOCH}(\text{CH}_3)_2$ 、 $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3$

解说

按“酸的碳数”系统枚举 酸为甲酸时，醇部分为 C_3H_7^- ，有正丙基与异丙基 2 种；酸为乙酸时，醇部分为 C_2H_5^- ，只有 1 种；酸为丙酸时，醇部分为 CH_3^- ，只有 1 种。合计 4 种，不会重复也不会遗漏。

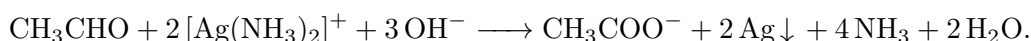
丁酸不成立 若酸为丁酸，醇部分的碳数为 0，即不存在烃氧基，就不再是酯。所以枚举到丙酸为止。

羧酸不在答案内 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ 还有丁酸与 2-甲基丙酸等羧酸异构体，但题目限定“具有酯键的结构异构体”，不应写入。

与后续小问的衔接 下面用碘仿反应与氧化产物把这 4 个候选缩小到 2 个：A 为乙酸乙酯、B 为甲酸异丙酯。

问 3 化合物 G 的银镜反应**解答**

A 水解得羧酸 C 与醇 D，D 显碘仿反应且氧化后的 G 显银镜反应，故 D 为乙醇、G 为乙醛。（若 D 为 2-丙醇，氧化产物为丙酮，不显银镜反应，与题意矛盾。）银镜反应中乙醛被氨性硝酸银溶液氧化为乙酸根，银离子被还原为银：



答 $\text{CH}_3\text{CHO} + 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + 3\text{OH}^- \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{Ag} + 4\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

解说

碱性条件下产物是羧酸根 氨性硝酸银溶液呈碱性，生成的乙酸立即被中和，故写 CH_3COO^- 而不是 CH_3COOH 。

电子与电荷的核对 醛 $\rightarrow$ 羧酸根失 2 个电子，2 个 Ag^+ 各得 1 个电子，合计 2 个，平衡。电荷：左边 $2(+1) + 3(-1) = -1$ ，右边 -1 ，一致。

银离子以络离子形式存在 在氨性溶液中 Ag^+ 以 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 存在，还原后放出 NH_3 。题目要求“含离子的化学反应式”，就是指用这一形式书写。

问 4 化合物 H 的结构式**解答**

B 水解得羧酸 E 与醇 F。F 显碘仿反应而氧化产物 H 不显银镜反应，故 F 是仲醇 2-丙醇，H 是丙酮：



答 CH_3COCH_3 （丙酮）

解说

“不显银镜反应”定为酮 伯醇氧化生成醛（显银镜反应），仲醇氧化生成酮（不显）。本条件把 F 锁定为仲醇。

碘仿反应的适用范围 具有 $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-$ 或 $\text{CH}_3-\text{CO}-$ 结构的化合物显碘仿反应。乙醇与 2-丙醇都

符合, 所以 D 与 F 都显阳性; 1-丙醇与甲醇则不显, 这正是问 2 中另外两个候选被排除的理由。

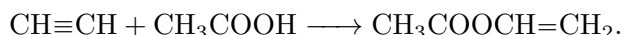
B 的结构随之确定 F 为 2-丙醇, 故 B 为甲酸异丙酯 $\text{HCOOCH}(\text{CH}_3)_2$, E 为甲酸 HCOOH 。

甲酸的特殊性 E (甲酸) 分子中含有醛基, 本身也显银镜反应。题目只说 “G 显、H 不显”, 没有涉及 E, 但这一点在相关题型中常被追问。

问 5 乙炔与化合物 C 的加成

解答

由问 3, A 为乙酸乙酯, 故 C 为乙酸 CH_3COOH 。乙酸的 O-H 按马氏取向加成到乙炔的三键上, 生成乙酸乙酯:



答 $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{CH}_3\text{COOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOCH}=\text{CH}_2$

解说

是加成而非酯化 乙炔没有羟基, 反应不生成水; 乙酸整体加到三键上, 原子全部保留。两边的原子数各自相等即可验证。

产物必须是可聚合的单体 生成物保留一个 $\text{C}=\text{C}$, 才可能在下一步加成聚合。若写成饱和的产物, 与题干 “I 可加成聚合” 矛盾。

工业上的现行路线 现在多用乙烯与乙酸、氧在钯催化下直接合成乙酸乙酯, 但由乙炔出发的这条路线仍是教科书的标准反应。

问 6 高分子 J 的聚合度

解答

I 为乙酸乙酯, 加成聚合得聚乙酸乙酯 J, 其重复单元为 $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OCOCH}_3)-]$, 式量为

$$4 \times 12.0 + 6 \times 1.00 + 2 \times 16.0 = 48 + 6 + 32 = 86.$$

故聚合度为

$$n = \frac{8.6 \times 10^4}{86} = 1.0 \times 10^3.$$

答 聚合度 $n = 1.0 \times 10^3$

解说

单体与重复单元的式量相同 加成聚合不脱去任何小分子, 所以单体的分子量就是重复单元的式量。缩聚 (如尼龙、聚酯) 则要减去脱去的水, 这里不必。

检算 $86 \times 1000 = 8.6 \times 10^4$, 与题给平均分子量一致。

“平均”分子量的含义 高分子的链长参差不齐, 8.6×10^4 是平均值, 因此聚合度也是平均聚合度, 取两位有效数字即可。

问7 下划线(c)反应的名称

解答

聚乙酸乙烯酯与氢氧化钠水溶液作用，酯键被碱水解，乙酰基以乙酸钠的形式脱去，侧链变为羟基而得到聚乙烯醇。酯在碱性条件下的水解称为皂化（碱性水解）。

答 皂化（酯的碱性水解）

解说

为什么必须经由乙酸乙烯酯 乙烯醇 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{OH}$ 不稳定，会立即互变为乙醛，无法直接聚合。先做成稳定的酯再聚合、最后水解，是合成聚乙烯醇的唯一实用路线。

皂化是不可逆的 碱把生成的乙酸转变为乙酸钠，使平衡完全右移。用酸催化水解则是可逆的，转化不完全。

产物的性质 聚乙烯醇侧链全是羟基，能与水形成氢键而水溶，故需要下一步的缩醛化把一部分羟基封住。

问8 所得维尼纶的质量

解答

聚乙烯醇的重复单元为 $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-]$ ，式量 $2 \times 12.0 + 4 \times 1.00 + 16.0 = 44$ 。44 g 相当于

$$\frac{44}{44} = 1.00 \text{ mol 的单元，即 } 1.00 \text{ mol 的羟基。}$$

缩醛化时每 2 个羟基与 1 分子甲醛反应，脱去 1 分子水生成一个 $-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-$ ：



羟基的 30% 参与反应，即 $1.00 \times 0.30 = 0.30 \text{ mol}$ 的羟基，形成 $0.30/2 = 0.15 \text{ mol}$ 的缩醛环。每形成 1 mol 缩醛环，质量变化为

$$+\text{HCHO}(30) - \text{H}_2\text{O}(18) = +12 \text{ g/mol}.$$

故

$$44 + 0.15 \times 12 = 44 + 1.8 = 45.8 \text{ g}.$$

答 约 46 g

解说

“2 个羟基对 1 个甲醛”是全题的关键 甲醛的羰基碳同时与两个羟基氧成键，架起六元环。若按 1 对 1 计算会得到 $0.30 \times 12 = 3.6$ ，质量偏大一倍。

只算增量最省事 不必分别写出反应前后的完整分子式，只要抓住“每个缩醛环净增 12”，一步即可得到答案。

检算 缩醛化后的单元组成：未反应单元 $0.70 \text{ mol} \times 44 = 30.8 \text{ g}$ ，缩醛部分 $0.15 \text{ mol} \times 100 = 15.0 \text{ g}$ （单元 $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$ ，式量 100），合计 45.8 g，与上式一致。

为什么只缩醛化一部分 全部羟基被封住会失去吸湿性，纤维手感变差；保留约七成羟基，既不溶于水又保持接近棉的吸湿性，这正是维尼纶的设计要点。