

揭秘平衡转化率的



的变化规律

北京 索金龙

可逆反应达平衡时,某反应物实际消耗量与起始量的比值称为该物质的转化率。转化率恒定是化学平衡状态的标志之一,改变温度或压强使平衡向正反应方向移动时,各反应物的转化率都增大。恒温改变反应物的用量时,反应物转化率变化情况则与各自的反应特征密切相关。

1 2种反应物的可逆化合反应类型

规律 $mX(g) + nY(g) \rightleftharpoons pZ(g)$, 达平衡后, 等温条件, 增大其中一种反应物的浓度, 平衡正向移动, 使另一种反应物的转化率提高, 自身的转化率下降。其他条件不变时, 同倍增大反应物浓度, 若 $m+n > p$, 则转化率都增大; 若 $m+n < p$, 则转化率均减小。

例 1 已知 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$; $\Delta H = -92.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。现将 1 mol N_2 和 4 mol H_2 加入一密闭容器中, 某温度在催化剂作用下充分反应。请回答下列问题:

(1) 反应达平衡后, N_2 和 H_2 的转化率比较, $\alpha(N_2)$ $\alpha(H_2)$ (填“>”“=”或“<”); 若升高温度 N_2 和 H_2 的转化率将 (填“增大”“减小”或“不变”)。

(2) 若将 1 mol N_2 和 3 mol H_2 加入密闭容器中, 在某温度下达到平衡, 此时 N_2 和 H_2 的转化率比较, $\alpha(N_2)$ $\alpha(H_2)$ (填“>”“=”或“<”); 保持温度和体积不变, 起始时加入 2 mol N_2 和 6 mol H_2 , 达到新的平衡后, N_2 和 H_2 的转化率将 (填“增大”“减小”或“不变”)。

解析 (1) H_2 过量, $\alpha(N_2) > \alpha(H_2)$, 升高温度, 平衡逆向移动, 转化率降低。

(2) 按计量系数比投料, 两者转化率相同; 将 N_2 、 H_2 的起始物质的量加倍相当于加压, 平衡逆向移动, 转化率降低。

2 一种反应物的可逆分解或多聚反应类型

规律 $mA(g) \rightleftharpoons nB(g) + pD(g)$, 增大反应物浓度, 平衡虽然向正反应方向移动, 但移动结果有 3 种情况。变通思维, 先扩大体积转化成体系浓度相同的

等效平衡, 再加压到真实体积, 这一过程相当增大压强, 平衡向气体体积减小的方向移动。1) $m < n+p$, 即 $\Delta V > 0$, 等效平衡后又“逆向”移动, $\alpha(A)$ 减小, A 的体积分数增大; 2) $m = n+p$, 即 $\Delta V = 0$, 加入 A 后, 正、逆反应速率同时同倍增大, 瞬间达到新的平衡, 相当于平衡不移动, 各物质的浓度均成倍增加, 但 $\alpha(A)$ 不变, A 的体积分数恒定; 3) $m > n+p$, 即 $\Delta V < 0$, 例如 $2A(g) \rightleftharpoons B(g)$, 等效平衡后又“正向”移动, $\alpha(A)$ 增大, A 的体积分数减小。

例 2 在密闭容器中将 PCl_5 加热气化, 发生反应: $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ 。达到平衡后, 保持温度不变进行如下操作, 请填写以下空白:

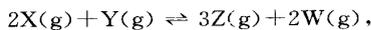
	压强变化	平衡移动方向	PCl_5 的分解率
(1) 缩小体积			
(2) 恒容充入 PCl_5			
(3) 恒容充入 Cl_2			
(4) 恒容充入 N_2			
(5) 恒压充入 N_2			

解析 (1) 缩小体积即增大压强, 逆向移动, 分解率降低。(2) 充入 PCl_5 , 压强增大, 平衡正向移动, 但平衡后 PCl_5 的分解率降低。(3) 增大生成物浓度, 压强增大, 逆向移动, 分解率降低。(4) 恒容充入无关气体 N_2 , 总压增大, 但反应物浓度不变, 平衡不移动, 分解率不变。(5) 恒压充入 N_2 , 必然引起体积增大, 相当减压, 平衡正向移动, 分解率增大。

3 多种反应物与多种生成物的可逆反应类型

规律 $mA(g) + nB(g) \rightleftharpoons pC(g) + qD(g)$ 类型的可逆反应, 等温条件下, 按计量系数比加入 A、B 时, 两者的转化率相同; 反应物用量不足的转化率高, 相对过量者转化率降低; 成倍增加物质的用量时, 相当增大压强, 平衡向气体体积减小方向移动。

例 3 相同容积的 4 个密闭容器中进行同样的可逆反应



起始时 4 个容器所装 X、Y 的量分别是: 甲: 2 mol X、1 mol Y; 乙: 1 mol X、1 mol Y; 丙: 2 mol X、2 mol Y; 丁: 1 mol X、2 mol Y。在相同温度下建立平衡后, X 或 Y 的转化率的大小关系为()。

- A X 的转化率: 甲 > 丙 > 乙 > 丁;
 B X 的转化率: 甲 > 乙 > 丙 > 丁;
 C Y 的转化率: 甲 > 丙 > 乙 > 丁;
 D Y 的转化率: 甲 > 乙 > 丙 > 丁

解析 分析 4 个容器内 X、Y 的用量: 甲: 2、1; 乙: 1、1; 丙: 2、2; 丁: 1、2。X 和 Y 的计量系数是 2:1, 显然对于 X 的转化率, 丁最大, 甲最小, 乙、丙介于中间, 而丙是乙加料的 2 倍, 增压逆向移动, 因此

在一次宴会上, 一位女士坐在爱迪生身边, 询问了一个又一个问题。她无比惊喜地说: “先生, 真是令人惊叹, 你居然发明了一种会说话的机器!” 爱迪生说: “其实, 会说话的机器是上帝早就用适当的肋骨在伊甸园制造出来的, 我发明的只是一种可以在合适的时候关掉的话机器而已。”

乙的转化率大于丙。X 的转化率顺序是：丁 > 乙 > 丙 > 甲。同理分析 Y，转化率的顺序是：甲 > 乙 > 丙 > 丁。选 D。

4 等量反应物在不同压强下的可逆反应类型

规律 等量反应物分别在等温、等容或等温、等压下达到平衡时的转化率，一律转化为压强问题进行讨论。关键是确定反应初始时的压强大小，若开始时压强相同，根据反应的 Δn 情况确定等容变化的压强大小。若 $\Delta n < 0$ ，则压强变小，与等压情况相比，转化率降低。若 $\Delta n > 0$ ，则压强增大，与等压情况相比，平衡逆向移动，转化率也降低。若开始时压强不等，同样要分析等容变化中压强的改变情况。

例 4 将等质量的 NO_2 和 N_2O_4 分别充入容积为 1 L 的容器甲和乙中，在同一温度下甲容器发生 NO_2 生成 N_2O_4 的反应，乙容器发生 N_2O_4 分解生成 NO_2 的反应。若反应过程中甲始终保持容积恒定、乙始终保持压强恒定，则反应在相同温度下达平衡时，下列结果中正确的是()。

- A NO_2 的质量分数甲小于乙；
 B 混合气体的平均相对分子质量甲小于乙；
 C 平衡后压强甲小于乙；
 D 气体密度甲小于乙

解析 设气体质量为 92 g，则甲容器中有 2 mol NO_2 ，乙容器中有 1 mol N_2O_4 ，显然反应起始 $p(\text{甲}) = 2p(\text{乙})$ 。甲等容变化，乙等压变化，甲虽压强减小，但 $p(\text{甲})$ 始终大于 $p(\text{乙})$ 。为便于比较，可将乙容器等效为 2 mol NO_2 （因各元素的原子守恒时，相同条件下从正、逆反应达到平衡是相同的）。显然甲的压强大， NO_2 转化率高，平衡后 NO_2 的质量分数小于乙。甲转化为 N_2O_4 的多，气体物质的量 $n(\text{总})$ 小，混合气体的 \bar{M} 甲大于乙。甲等容 $V = 1 \text{ L}$ ，而乙等压， N_2O_4 分解使体积增大，因此气体密度甲大于乙。A 正确。

5 涉及反应热的可逆反应类型

规律 可逆反应中的反应热数值是按完全反应计算出的理论值。增大反应物的量，平衡虽然向正向移动，实际的反应热改变，但 ΔH 不变。可以根据实际反应热与理论值的比值计算某物质的转化率。

例 5 已知： $\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g})$ ； $\Delta H = -98.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。若 2 mol SO_2 与 1 mol O_2 在此条件下发生反应，达到平衡时放出的热量是 176.4 kJ，则 SO_2 的转化率为_____。

解析 1 mol SO_2 实际放热为 88.2 kJ，与理论值之比即为 SO_2 的转化率， $\alpha = 90\%$ 。

链接练习

- $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ ； $\Delta H < 0$ 。达到化学平衡后，下列措施中不能提高 SO_2 转化率的是()。
 A 增大 SO_2 的浓度； B 通入过量空气；
 C 降低温度；
 D 同倍增大 SO_2 和 O_2 的浓度
- 在恒温、恒容密闭容器中，增大下列反应物的起始浓度，转化率不变的是()。
 A $2\text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ ；
 B $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ ；
 C $2\text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ ；
 D $2\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$
- 体积相同的甲、乙 2 个容器中，分别都充有等物质的量的 SO_2 和 O_2 ，在相同温度下发生反应： $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ ，并达到平衡。在此过程中，甲容器保持体积不变，乙容器保持压强不变，若甲容器中 SO_2 的转化率为 $p\%$ ，则乙容器中 SO_2 的转化率()。
 A 等于 $p\%$ ； B 大于 $p\%$ ；
 C 小于 $p\%$ ； D 无法判断
- 下列说法正确的是()。
 A $\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g})$ ； $\Delta H = -98.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。1 mol SO_2 与 1 mol O_2 充分反应放出热量为 98.0 kJ；
 B $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ ； $\Delta H_1 > \Delta H$ 。（ ΔH 数值 A 项给出）；
 C $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Z}(\text{g}) + \text{W}(\text{s})$ ； $\Delta H_2 > 0$ 。平衡后加入 X， ΔH 增大；
 D $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Z}(\text{g}) + \text{W}(\text{s})$ ；平衡后加入少量 W，X 的转化率不变

链接练习参考答案

1. A. 2. C. 3. B. 4. D



幽默
化学

搞化学的人对爱情的认识

爱情开始时，如做无机化学实验，原理大家都知道，只是从前没有机会试，且操作简单，现象明显，结论易得；

爱情发展时，如做分析化学实验，要的是大家专心致志，小心翼翼，而且还要会编排数据；

进入热恋阶段后，如做有机实验，每次要搭一个漂漂亮亮的实验台，一大堆乱七八糟一锅煮，现象既热烈又复杂，结果就是成，不成就是不成，连数据都没得到；

到了准备结婚时，如做物理化学实验，仪器一大堆，规矩一大套，而且必须两人一起，一个人怎么也完不成；

结婚一段时间后，如做生物化学实验，对物质条件要求也高了，结论却不怎么样，凑合着成了。最可怕的是时间太长，让人一点激情都没有了。