

第二节 反应热的计算

[核心素养发展目标] 1.证据推理与模型认知：构建盖斯定律模型，理解盖斯定律的本质，形成运用盖斯定律进行相关判断或计算的思维模型。2.科学态度与社会责任：了解盖斯定律对反应热测定的重要意义，增强为人类科学发展而努力的意识与社会责任感。

一、盖斯定律

1. 盖斯定律的内容

大量实验证明，一个化学反应，不管是一步完成的还是分几步完成的，其反应热是相同的。换句话说，化学反应的反应热只与反应体系的始态和终态有关，而与反应的途径无关。

2. 盖斯定律的意义

应用盖斯定律可以间接计算以下情况(不能直接测定)的反应热：

- (1)有些反应进行得很慢。
- (2)有些反应不容易直接发生。
- (3)有些反应的生成物不纯(有副反应发生)。

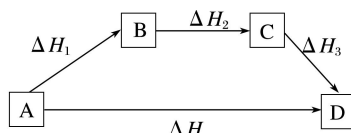
3. 应用盖斯定律的计算方法

(1) “虚拟路径”法

若反应物 A 变为生成物 D，可以有两个途径

- ①由 A 直接变成 D，反应热为 ΔH ；
- ②由 A 经过 B 变成 C，再由 C 变成 D，每步的反应热分别为 ΔH_1 、 ΔH_2 、 ΔH_3 。

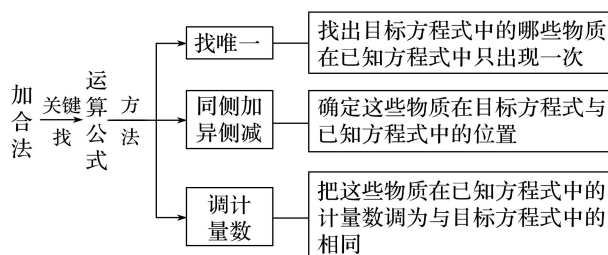
如图所示：



则有 $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ 。

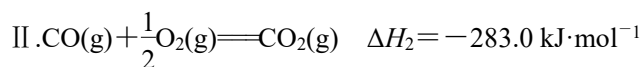
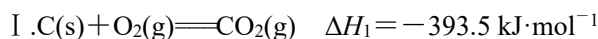
(2) 加合法

加合法就是运用所给热化学方程式通过加减乘除的方法得到所求的热化学方程式。



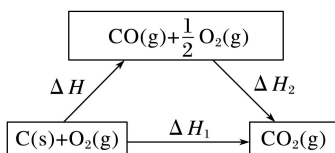
举例说明：

根据如下两个反应，选用上述两种方法，计算出 $\text{C(s)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CO(g)}$ 的反应热 ΔH 。



① “虚拟路径”法

反应 $\text{C(s)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)}$ 的途径可设计如下：



则 $\Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2 = -110.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

②加合法

分析：找唯一：C、CO 分别在 I、II 中出现一次

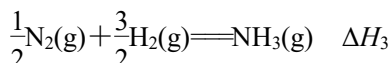
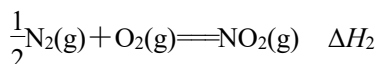
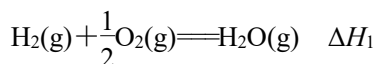
同侧加：C 是 I 中反应物，为同侧，则 “+ I”

异侧减：CO 是 II 中反应物，为异侧，则 “- II”

调计量数：化学计量数相同，不用调整，则 I - II 即为运算式。所以 $\Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2 = -110.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

【应用体验】

1. 已知反应：

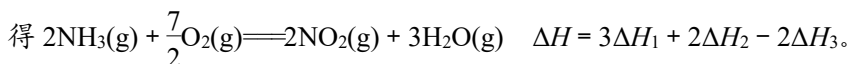


则反应 $2\text{NH}_3\text{(g)} + \frac{7}{2}\text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_2\text{(g)} + 3\text{H}_2\text{O(g)}$ 的 ΔH 为()

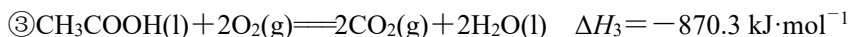
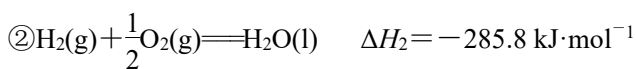
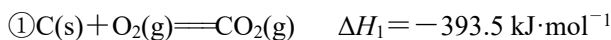
- A. $2\Delta H_1 + 2\Delta H_2 - 2\Delta H_3$
B. $\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3$
C. $3\Delta H_1 + 2\Delta H_2 + 2\Delta H_3$
D. $3\Delta H_1 + 2\Delta H_2 - 2\Delta H_3$

答案 D

解析 由题意把已知反应依次编号为①、②、③，根据盖斯定律将方程式①×3 + ②×2 - ③×2



2. 根据下列热化学方程式：



可以计算出 $2\text{C(s)} + 2\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH(l)}$ 的反应热为 _____ (写出计算过程)。

答案 $\Delta H = -488.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

由 $\textcircled{1} \times 2 + \textcircled{2} \times 2 - \textcircled{3}$ 可得: $2\text{C(s)} + 2\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH(l)}$ $\Delta H = 2\Delta H_1 + 2\Delta H_2 - \Delta H_3$
 $= 2 \times (-393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) + 2 \times (-285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - (-870.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -488.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

■ 特别提醒 ■

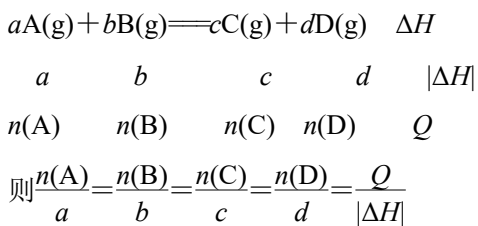
(1) 利用盖斯定律解题时注意热化学方程式中各物质的聚集状态。

(2) 运用盖斯定律求化学反应的反应热时, 常将多个反应变式加(减), 变式时常涉及热化学方程式化学计量数的扩大或缩小, 易忽视 ΔH 数值作同等倍数的改变。另外, ΔH 带 “+” “-” 号进行加(减)。

二、反应热的计算

1. 根据热化学方程式计算

热化学方程式中反应热数值与各物质的化学计量数成正比。例如,

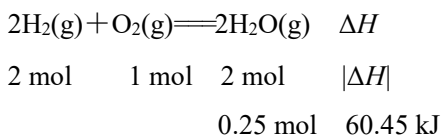


【例 1】 已知由氢气和氧气反应生成 4.5 g 水蒸气时放出 60.45 kJ 的热量。

(1) 写出 H_2 燃烧的热化学方程式。

(2) 计算该条件下 50 g H_2 燃烧放出的热量。

答案 (1) 已知生成 4.5 g 水蒸气(0.25 mol)放出 60.45 kJ 的热量



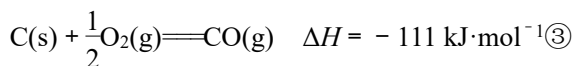
$$\text{则 } \frac{2}{0.25} = \frac{|\Delta H|}{60.45}$$

$$|\Delta H| = 483.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1},$$

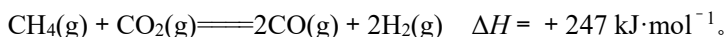
由于放热, 所以 $\Delta H = -483.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,

故热化学方程式为: $2\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O(g)} \quad \Delta H = -483.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 50 g H_2 的物质的量为: $\frac{50 \text{ g}}{2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 25 \text{ mol}$



根据盖斯定律，由③×2 - ① - ②可得



三、反应热(ΔH)的比较

1. ΔH 大小比较时注意事项

ΔH 是有符号“+”“-”的，比较时要带着符号比较。

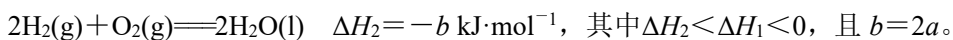
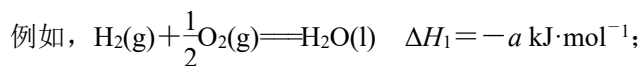
(1) 吸热反应的 ΔH 为“+”，放热反应的 ΔH 为“-”，

所以吸热反应的 ΔH 一定大于放热反应的 ΔH 。

(2) 放热反应的 ΔH 为“-”，所以放热越多， ΔH 越小。

2. 常见的几种 ΔH 大小比较方法

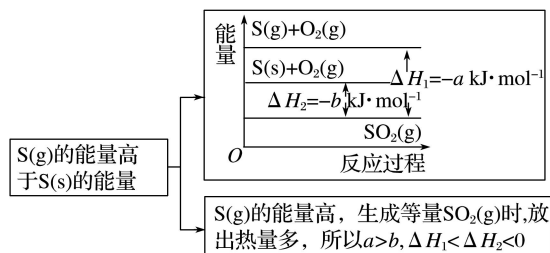
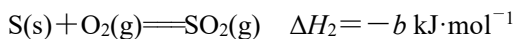
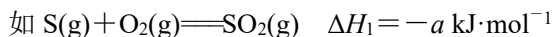
(1) 如果化学计量数加倍， ΔH 的绝对值也要加倍



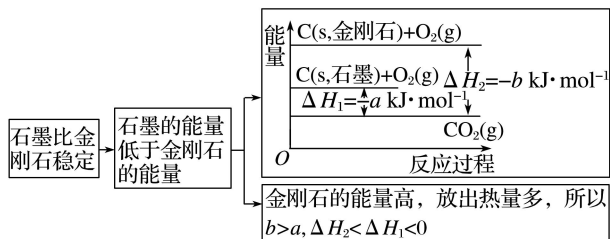
(2) 同一反应，反应物或生成物的状态不同，反应热不同

在同一反应里，反应物或生成物状态不同时，要考虑 $\text{A(g)} \xrightleftharpoons[\text{吸热}]{\text{放热}} \text{A(l)} \xrightleftharpoons[\text{吸热}]{\text{放热}} \text{A(s)}$ ，或者

从三状态自身的能量比较： $E(\text{g}) > E(\text{l}) > E(\text{s})$ ，可知反应热大小亦不相同。



(3) 晶体类型不同，产物相同的反应，反应热不同



(4)根据反应进行的程度比较反应热大小

①其他条件相同,燃烧越充分,放出热量越多, ΔH 越小,如 $\text{C(s)} + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO(g)} \quad \Delta H_1$;

$\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2$, 则 $\Delta H_1 > \Delta H_2$ 。

②对于可逆反应,由于反应物不可能完全转化为生成物,所以实际放出(或吸收)的热量小于相应的热化学方程式中的 ΔH 的绝对值。如: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -197 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,向密闭容器中通入 2 mol $\text{SO}_2(\text{g})$ 和 1 mol $\text{O}_2(\text{g})$,发生上述反应,达到平衡后,放出的热量小于 197 kJ,但 ΔH 仍为 $-197 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(5)中和反应中反应热的大小不同

①浓硫酸和氢氧化钠固体反应生成 1 mol 水时,放出的热量一定大于 57.3 kJ(浓硫酸稀释和氢氧化钠固体溶解时都会放出热量)。

②醋酸和 NaOH 溶液反应生成 1 mol 水时,放出的热量一定小于 57.3 kJ(醋酸电离会吸热)。

③稀硫酸和 Ba(OH)_2 溶液反应生成 1 mol 水时,反应放出的热量一定大于 57.3 kJ(SO_4^{2-} 和 Ba^{2+} 反应生成 BaSO_4 沉淀会放热)。

【应用体验】

1. 下列各组热化学方程式中, $\Delta H_1 < \Delta H_2$ 的是()

① $\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1$

$\text{C(s)} + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO(g)} \quad \Delta H_2$

② $\text{S(s)} + \text{O}_2(\text{g}) = \text{SO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1$

$\text{S(g)} + \text{O}_2(\text{g}) = \text{SO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2$

③ $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O(l)} \quad \Delta H_1$

$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O(l)} \quad \Delta H_2$

④ $\text{CaCO}_3(\text{s}) = \text{CaO(s)} + \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1$

$\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} = \text{Ca(OH)}_2(\text{s}) \quad \Delta H_2$

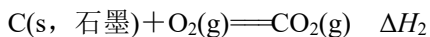
A. ① B. ②③④ C. ④ D. ①②③

答案 A

解析 碳不完全燃烧放热少,焓变比较大小时考虑负号,所以 $\Delta H_1 < \Delta H_2$,故①符合;固体硫变为气态硫需要吸收热量,焓变比较大小时考虑负号,所以 $\Delta H_1 > \Delta H_2$,故②不符合;相同条件下物质的量少的反应放热少,焓变比较大小时考虑负号,1 mol 氢气燃烧放热小于 2 mol 氢气燃烧放热,所以 $\Delta H_1 > \Delta H_2$,故③不符合;碳酸钙分解吸热,焓变为正值,氧化钙和水反应是化合反应,放热,焓变是负值,所以 $\Delta H_1 > \Delta H_2$,故④不符合;故选 A。

2. 已知: $\text{C(s, 金刚石)} = \text{C(s, 石墨)} \quad \Delta H = -1.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\text{C(s, 金刚石)} + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1$



根据上述反应所得出的结论正确的是()

A. $\Delta H_1 = \Delta H_2$

B. $\Delta H_1 > \Delta H_2$

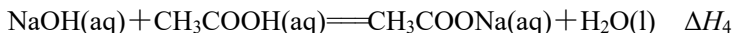
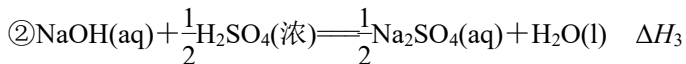
C. $\Delta H_1 < \Delta H_2$

D. 金刚石比石墨稳定

答案 C

解析 已知: $\text{C(s, 金刚石)} = \text{C(s, 石墨)} \quad \Delta H = -1.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则相同量的金刚石和石墨, 金刚石的能量高, 燃烧放出的热量多, 则 $\Delta H_1 < \Delta H_2 < 0$, 能量越高越不稳定, 则石墨比金刚石稳定, 故 C 正确, A、B、D 错误。

3. 下列两组热化学方程式中, 有关 ΔH 的比较正确的是()



A. $\Delta H_1 > \Delta H_2$; $\Delta H_3 > \Delta H_4$

B. $\Delta H_1 > \Delta H_2$; $\Delta H_3 < \Delta H_4$

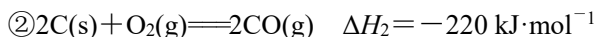
C. $\Delta H_1 = \Delta H_2$; $\Delta H_3 < \Delta H_4$

D. $\Delta H_1 < \Delta H_2$; $\Delta H_3 > \Delta H_4$

答案 B

解析 ① $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H_1$ 、 $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_2$, 两个反应都是放热反应, 后者生成液态水, 所以放出的热量大于前者, 而放热反应 ΔH 小于 0, 放热越多, 焓变越小, 故 $\Delta H_1 > \Delta H_2$ 。② $\text{NaOH}(\text{aq}) + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) = \frac{1}{2}\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_3$ 、 $\text{NaOH}(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) = \text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_4$, 两个反应的实质是酸碱中和, 都是放热反应, 两个反应生成水的物质的量都是 1 mol, 但是 CH_3COOH 是弱电解质, 电离过程吸收一部分热量, 所以后者放出的热量小, 所以 $\Delta H_3 < \Delta H_4$, 故选 B。

随堂演练 知识落实

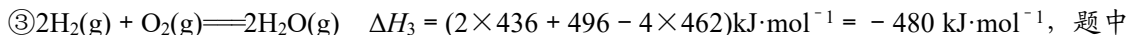


通常人们把拆开 1 mol 某化学键所消耗的能量看成该化学键的键能。已知 H—H 、 O=O 和 O—H 的键能分别为 $436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、 $496 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 和 $462 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则 a 为()

A. -332 B. -118 C. +350 D. +130

答案 D

解析 根据盖斯定律和焓变与键能的关系解答。根据题中给出的键能可得出热化学方程式:



② $2\text{C(s)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{CO(g)}$ $\Delta H_2 = -220 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 根据盖斯定律(② - ③) $\times \frac{1}{2}$ 得① $\text{C(s)} +$

$\text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO(g)} + \text{H}_2\text{(g)}$ $\Delta H_1 = (\Delta H_2 - \Delta H_3) \times \frac{1}{2}$, 即 $a = (-220 + 480) \times \frac{1}{2} = +130$, 选项 D 正

确。

2. 已知: $\text{CH}_4\text{(g)} + 2\text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + 2\text{H}_2\text{O(l)}$ $\Delta H_1 = -890.3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons$

$\text{H}_2\text{O(l)}$ $\Delta H_2 = -285.8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。 CO_2 气体与 H_2 气体反应生成甲烷气体与液态水的热化学方程式为 $\text{CO}_2\text{(g)} + 4\text{H}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_4\text{(g)} + 2\text{H}_2\text{O(l)}$ ΔH_3 , 其中 ΔH_3 为()

A. $-252.9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

B. $+252.9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

C. $-604.5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

D. $+604.5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

答案 A

解析 $\Delta H_3 = 4\Delta H_2 - \Delta H_1 = -252.9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

3. (2019·大连高二检测)已知 25°C 、 101 kPa 条件下:

① $4\text{Al(s)} + 3\text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{Al}_2\text{O}_3\text{(s)}$ $\Delta H = -2834.9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

② $4\text{Al(s)} + 2\text{O}_3\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{Al}_2\text{O}_3\text{(s)}$ $\Delta H = -3119.1 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

由此得出的正确结论是()

A. 等质量的 O_2 比 O_3 能量低, 由 O_2 变为 O_3 为吸热反应

B. 等质量的 O_2 比 O_3 能量高, 由 O_2 变为 O_3 为放热反应

C. O_3 比 O_2 稳定, 由 O_2 变为 O_3 为吸热反应

D. O_2 比 O_3 稳定, 由 O_2 变为 O_3 为放热反应

答案 A

解析 根据盖斯定律② - ①得 $2\text{O}_3\text{(g)} \rightleftharpoons 3\text{O}_2\text{(g)}$ $\Delta H = -284.2 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 等质量的 O_2 比 O_3 能量低, O_2 比 O_3 稳定。

4. [2019·全国卷Ⅲ, 28(2)]近年来, 随着聚酯工业的快速发展, 氯气的需求量和氯化氢的产出量也随之迅速增长。因此, 将氯化氢转化为氯气的技术成为科学研究的热点。回答下列问题:

Deacon 直接氧化法可按下列催化过程进行:

$\text{CuCl}_2\text{(s)} \rightleftharpoons \text{CuCl(s)} + \frac{1}{2}\text{Cl}_2\text{(g)}$ $\Delta H_1 = +83 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

$\text{CuCl(s)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CuO(s)} + \frac{1}{2}\text{Cl}_2\text{(g)}$ $\Delta H_2 = -20 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

$\text{CuO(s)} + 2\text{HCl(g)} \rightleftharpoons \text{CuCl}_2\text{(s)} + \text{H}_2\text{O(g)}$ $\Delta H_3 = -121 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

则 $4\text{HCl(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{Cl}_2\text{(g)} + 2\text{H}_2\text{O(g)}$ 的 $\Delta H =$ _____ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

答案 -116

解析 将题给三个反应依次编号为: 反应 I、反应 II、反应 III, 根据盖斯定律知, (反应 I +

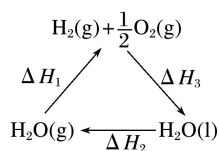
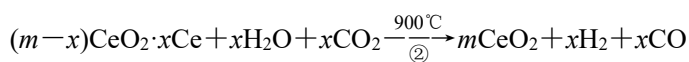
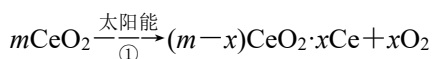
反应Ⅱ + 反应Ⅲ $\times 2$ 得 $4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H = (\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3) \times 2 = -116 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

课时对点练

☑对点训练

题组一 盖斯定律及其应用

1. (2019·安庆高二检测)某科学家利用二氧化铈(CeO_2)在太阳能作用下将 H_2O 、 CO_2 转变成 H_2 、 CO 。其过程如下:



下列说法不正确的是()

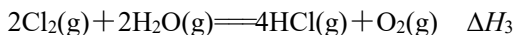
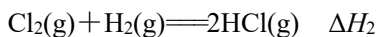
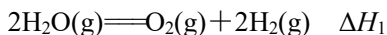
- A. 该过程中 CeO_2 没有消耗
- B. 该过程实现了太阳能向化学能的转化
- C. 图中 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$
- D. $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的反应热大于 ΔH_3

答案 C

解析 通过太阳能实现总反应 $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \xrightarrow{\text{太阳能}} \text{H}_2 + \text{CO} + \text{O}_2$ 可知: CeO_2 没有消耗, CeO_2 为催化剂, 故 A 正确; 该过程中在太阳能作用下将 H_2O 、 CO_2 转变为 H_2 、 CO , 所以把太阳能转变成化学能, 故 B 正确; 由图中转化关系及据盖斯定律可知: ΔH_1 为正值, $\Delta H_2 + \Delta H_3$ 为负值, 则 $-\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$, 故 C 错误; 气态水转化为液态水, 放出能量, 故 $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) =$

$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 放热更多, 焓变更小, 故 D 正确。

2. 已知 298 K、101 kPa 时:



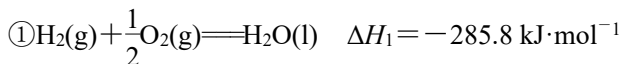
则 ΔH_3 与 ΔH_1 和 ΔH_2 间的关系正确的是()

- A. $\Delta H_3 = \Delta H_1 + 2\Delta H_2$
- B. $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$
- C. $\Delta H_3 = \Delta H_1 - 2\Delta H_2$
- D. $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$

答案 A

解析 应用盖斯定律,将第一个热化学方程式与第二个热化学方程式的2倍相加,即得 $2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ $\Delta H_1 + 2\Delta H_2$, 故 $\Delta H_3 = \Delta H_1 + 2\Delta H_2$, A 项正确。

3. 发射火箭时使用的燃料可以是液氢和液氧, 已知下列热化学方程式:



则反应 $\text{H}_2(\text{l}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{l}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的反应热 ΔH 为()

A. $+237.46 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

B. $-474.92 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

C. $-118.73 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

D. $-237.46 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

答案 D

解析 根据盖斯定律, 将反应 $\textcircled{1} - \textcircled{2} - \textcircled{3} \times \frac{1}{2} + \textcircled{4}$ 可得目标反应化学方程式, 其反应热 $\Delta H =$

$$\Delta H_1 - \Delta H_2 - \Delta H_3 \times \frac{1}{2} + \Delta H_4 = -237.46 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}。$$

4. 已知: $\textcircled{1} 2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H = -221.0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\textcircled{2} 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -483.6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。则制备水煤气的反应 $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 的 ΔH 为()

A. $+262.6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

B. $-131.3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

C. $-352.3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

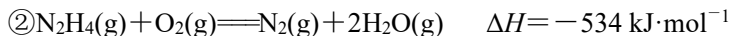
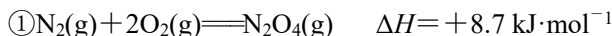
D. $+131.3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

答案 D

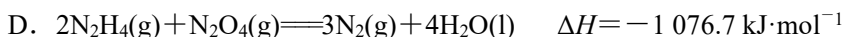
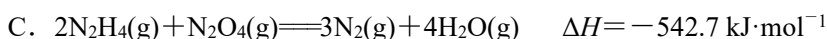
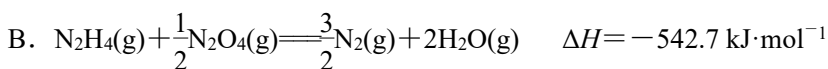
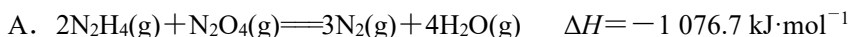
解析 根据盖斯定律, 将 $\textcircled{1} - \textcircled{2}$ 得 $2\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = 2\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H = -221.0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} - (-483.6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) = +262.6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 则 $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 的 $\Delta H = (+262.6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) \div 2 = +131.3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

5. 肼(N_2H_4)是火箭发动机的一种燃料, 反应时 N_2O_4 为氧化剂, 反应生成 N_2 和水蒸气。

已知:



下列表示 N_2H_4 和 N_2O_4 反应的热化学方程式, 正确的是()



答案 A

解析 根据盖斯定律, 将② $\times 2$ - ①得 $2\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) = 3\text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H = -1076.7 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

题组二 ΔH 大小比较

6. 已知: ① $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H_1 = a \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

② $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H_2 = b \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

③ $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H_3 = c \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

④ $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H_4 = d \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

下列关系中正确的是()

A. $a < c < 0$

B. $b > d > 0$

C. $2a = b < 0$

D. $2c = d > 0$

答案 C

解析 热化学方程式中化学计量数表示物质的量, 水从气态变为液态, 放热, 所以①与③比较, ③放出的热量多, 焓变小于零的反应是放热的, 所以 $0 > a > c$, ②与④比较, ④放出的热量多, 所以 $0 > b > d$, 热化学方程式反应计量数变化, 焓变随之变化, 所以 $b = 2a < 0$, $d = 2c < 0$, 故选 C。

7. 已知强酸与强碱的稀溶液发生中和反应的热化学方程式用离子方程式可表示为 $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = -57.3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 又知电解质的电离是吸热过程。向 1 L $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液中分别加入下列物质: ①稀醋酸、②浓硫酸、③稀硝酸, 恰好完全反应时的焓变分别为 ΔH_1 、 ΔH_2 、 ΔH_3 , 则 ΔH_1 、 ΔH_2 、 ΔH_3 的关系是()

A. $\Delta H_1 > \Delta H_2 > \Delta H_3$

B. $\Delta H_1 < \Delta H_3 < \Delta H_2$

C. $\Delta H_1 = \Delta H_3 > \Delta H_2$

D. $\Delta H_1 > \Delta H_3 > \Delta H_2$

答案 D

解析 因为稀醋酸是弱酸, 电离时吸热, 浓硫酸溶于水时会放出较多热量, 故中和反应时放出的热量 $Q(\text{浓硫酸}) > Q(\text{稀硝酸}) > Q(\text{稀醋酸})$, 又因放热反应中焓变为负值, 则 $\Delta H_2 < \Delta H_3 < \Delta H_1$, 因而选 D。

题组三 反应热的计算

8. 通常人们把拆开 1 mol 某化学键所消耗的能量看成该化学键的键能。键能的大小可以衡量化学键的强弱, 也可用于估算化学反应的反应热。已知: 1 mol Si(s) 含 2 mol Si—Si

化学键	Si—O	Si—Cl	H—H	H—Cl	Si—Si	Si—C
键能/ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	460	360	436	431	176	347

工业上高纯硅可通过下列反应制取: $\text{SiCl}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si}(\text{s}) + 4\text{HCl}(\text{g})$, 该反应的 ΔH 为

()

- A. $+236 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ B. $-236 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
C. $+412 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ D. $-412 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

答案 A

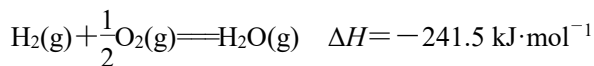
解析 反应热 = 反应物的键能之和 - 生成物的键能之和, 即 $\Delta H = 360 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \times 4 + 436 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \times 2 - 176 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \times 2 - 431 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \times 4 = +236 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

9. 已知葡萄糖的燃烧热是 $2804 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 当它氧化生成 1 g 水时放出的热量是()
A. 26.0 kJ B. 51.9 kJ C. 155.8 kJ D. 467.3 kJ

答案 A

解析 葡萄糖燃烧热的热化学方程式: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) + 6\text{O}_2(\text{g}) = 6\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -2804 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 由此可知, 生成 $6 \text{ mol} \times 18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 108 \text{ g}$ 水放出 2804 kJ 热量, 则生成 1 g 水时放出的热量为 $2804 \text{ kJ} \div 108 \approx 26.0 \text{ kJ}$ 。

10. (2019·石家庄高二检测)已知 $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -393.5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$



欲得到相同热量, 需充分燃烧 C 和 H_2 的质量比约为()

- A. $12:3.25$ B. $3.25:12$
C. $1:1$ D. $6:1$

答案 A

解析 设需要碳和氢气的质量分别是 x 、 y , 则 $\frac{x}{12} \times 393.5 = \frac{y}{2} \times 241.5$, 解得 $x:y \approx 12:3.25$ 。

11. (2020·合肥一中模拟)已知: $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -571.6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -890 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。现有 H_2 与 CH_4 的混合气体 112 L (标准状况下), 使其完全燃烧生成 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 若实验测得反应放热 3845.8 kJ , 则原混合气体中 H_2 与 CH_4 的物质的量之比是()

- A. $1:1$ B. $1:3$ C. $1:4$ D. $2:3$

答案 C

解析 设混合气体中含有 $x \text{ mol H}_2$, 则 CH_4 的物质的量为 $(5-x) \text{ mol}$, 则 $285.8x + 890 \times (5-x) = 3845.8$, 得 $x = 1$, C 项正确。

12. 依据题意, 写出下列反应的热化学方程式。

(1)若适量的 N_2 和 O_2 完全反应生成 NO_2 , 每生成 23 g NO_2 需要吸收 16.95 kJ 热量。则该反应的热化学方程式为_____。

(2)用 N_A 表示阿伏加德罗常数的值, 在 C_2H_2 (气态) 完全燃烧生成 CO_2 和液态水的反应中, 每有 $5N_A$ 个电子转移时, 放出 650 kJ 的热量。则该反应的热化学方程式为_____。

(3)已知拆开 1 mol H—H、1 mol N—H、1 mol N≡N 分别需要的能量是 436 kJ、391 kJ、946 kJ, 则 N₂ 与 H₂ 反应生成 NH₃ 的热化学方程式为_____。

答案 (1)N₂(g)+2O₂(g)===2NO₂(g) ΔH=+67.8 kJ·mol⁻¹

(2)C₂H₂(g)+ $\frac{5}{2}$ O₂(g)===2CO₂(g)+H₂O(l) ΔH=-1 300 kJ·mol⁻¹

(3)N₂(g)+3H₂(g) 2NH₃(g) ΔH=-92 kJ·mol⁻¹

☑综合强化

13. (1)工业上常用磷精矿[Ca₅(PO₄)₃F]和硫酸反应制备磷酸。已知 25 ℃, 101 kPa 时:

CaO(s)+H₂SO₄(l)===CaSO₄(s)+H₂O(l) ΔH=-271 kJ·mol⁻¹

5CaO(s)+3H₃PO₄(l)+HF(g)===Ca₅(PO₄)₃F(s)+5H₂O(l) ΔH=-937 kJ·mol⁻¹

则 Ca₅(PO₄)₃F 和硫酸反应生成磷酸的热化学方程式是_____。

(2)已知:

Al₂O₃(s)+3C(s)===2Al(s)+3CO(g) ΔH₁=+1 344.1 kJ·mol⁻¹

2AlCl₃(g)===2Al(s)+3Cl₂(g) ΔH₂=+1 169.2 kJ·mol⁻¹

由 Al₂O₃、C 和 Cl₂ 反应生成 AlCl₃ 的热化学方程式为_____。

答案 (1)Ca₅(PO₄)₃F(s)+5H₂SO₄(l)===5CaSO₄(s)+HF(g)+3H₃PO₄(l) ΔH=-418 kJ·mol⁻¹

(2)Al₂O₃(s)+3C(s)+3Cl₂(g)===2AlCl₃(g)+3CO(g) ΔH=+174.9 kJ·mol⁻¹

解析 (1)已知: ①CaO(s)+H₂SO₄(l)===CaSO₄(s)+H₂O(l) ΔH=-271 kJ·mol⁻¹

②5CaO(s)+3H₃PO₄(l)+HF(g)===Ca₅(PO₄)₃F(s)+5H₂O(l) ΔH=-937 kJ·mol⁻¹

则根据盖斯定律可知①×5-②即得到 Ca₅(PO₄)₃F 和硫酸反应生成磷酸的热化学方程式是

Ca₅(PO₄)₃F(s)+5H₂SO₄(l)===5CaSO₄(s)+HF(g)+3H₃PO₄(l) ΔH=-418 kJ·mol⁻¹。

(2)已知: ①Al₂O₃(s)+3C(s)===2Al(s)+3CO(g) ΔH₁=+1 344.1 kJ·mol⁻¹

②2AlCl₃(g)===2Al(s)+3Cl₂(g) ΔH₂=+1 169.2 kJ·mol⁻¹

则根据盖斯定律可知①-②即得到由 Al₂O₃、C 和 Cl₂ 反应生成 AlCl₃ 的热化学方程式为 Al₂O₃(s)+3C(s)+3Cl₂(g)===2AlCl₃(g)+3CO(g) ΔH=+174.9 kJ·mol⁻¹。

14. (2020·大连调研)为了合理利用化学能,确保安全生产,进行化工设计时需要充分考虑化学反应的反应热,并采取相应措施。化学反应的反应热通常可以通过实验进行测定,也可通过理论进行推算。

(1)实验测得,5 g 甲醇(CH₃OH)液体在氧气中充分燃烧生成二氧化碳气体和液态水时释放出 113.5 kJ 的热量,则表示甲醇燃烧热的热化学方程式为_____。

(2)现有以下两个热化学方程式:

2H₂(g)+O₂(g)===2H₂O(g) ΔH₁=a kJ·mol⁻¹

2H₂(g)+O₂(g)===2H₂O(l) ΔH₂=b kJ·mol⁻¹

则 a_____ (填“>”“=”或“<”)b。

(3)已知 $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = -x \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。蒸发 $1 \text{ mol H}_2\text{O}(\text{l})$ 需要吸收的能量为 44 kJ ，其他相关数据如表：

	$\text{NH}_3(\text{g})$	$\text{O}_2(\text{g})$	$\text{NO}(\text{g})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
1 mol 分子中的化学键断裂时需要吸收的能量/kJ	a	b	z	d

则表中 z (用 x 、 a 、 b 、 d 表示) 的大小为_____。

答案 (1) $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = -726.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (2) >

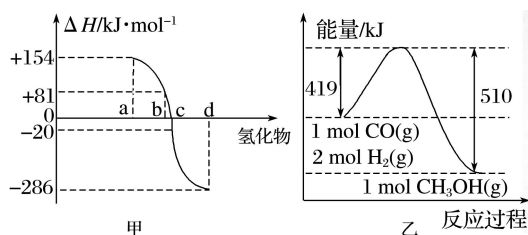
(3) $\frac{x+4a+5b-6d-264}{4}$

解析 (1) 5 g 液态 CH_3OH 在氧气中充分燃烧生成 CO_2 气体和液态水时放出 113.5 kJ 热量，故 32 g 即 1 mol 液态 CH_3OH 在氧气中充分燃烧生成 CO_2 气体和液态水时放出 $\frac{32}{5} \times 113.5 \text{ kJ} =$

726.4 kJ 热量，则表示甲醇燃烧热的热化学方程式为 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

$\Delta H = -726.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。(2)将两个热化学方程式进行比较，由于 H_2O 由气态变成液态放出热量，故 $\Delta H_1 > \Delta H_2$ ，则 $a > b$ 。(3)根据题意可知蒸发 $1 \text{ mol H}_2\text{O}(\text{l})$ 需要吸收的能量为 44 kJ ，因此 $6 \text{ mol H}_2\text{O}(\text{g})$ 变成液态水需要放出的能量为 $6 \times 44 \text{ kJ}$ 。根据 $\Delta H = \text{反应物的总键能} - \text{生成物的总键能}$ 可知，在反应 $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = -x \text{ kJ} = 4a \text{ kJ} + 5b \text{ kJ} - 4z \text{ kJ} - 6d \text{ kJ} - 6 \times 44 \text{ kJ}$ ，解得 $z = \frac{x+4a+5b-6d-264}{4}$ 。

15. 热力学标准态(298.15 K、101 kPa)下，由稳定单质发生反应生成 1 mol 化合物的反应热叫该化合物的生成热(ΔH)。图甲为VIA族元素氢化物a、b、c、d的生成热数据示意图。试完成下列问题。



(1)①请你归纳非金属元素氢化物的稳定性与氢化物的生成热 ΔH 的关系：_____。

②硒化氢在上述条件下发生分解反应的热化学方程式为_____。

(2)在 25°C 、 101 kPa 下，已知 SiH_4 气体在氧气中完全燃烧后恢复至原状态，平均每转移 1 mol 电子放热 190.0 kJ ，该反应的热化学方程式是_____。

(3)根据图乙写出反应 $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 的热化学方程式：_____。

(4)由金红石(TiO_2)制取单质 Ti 的步骤为



已知: I. $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -393.5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

II. $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -566 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

III. $\text{TiO}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g}) = \text{TiCl}_4(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +141 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

① $\text{TiO}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{C}(\text{s}) = \text{TiCl}_4(\text{s}) + 2\text{CO}(\text{g})$ 的 $\Delta H =$ _____。

② 反应 $\text{TiCl}_4 + 2\text{Mg} \xrightarrow{800\text{ }^\circ\text{C}} 2\text{MgCl}_2 + \text{Ti}$ 在 Ar 气氛中进行的理由是_____。

答案 (1)①非金属元素氢化物越稳定, ΔH 越小

② $\text{H}_2\text{Se}(\text{g}) = \text{Se}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -81 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

(2) $\text{SiH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{SiO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1\,520.0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

(3) $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) = \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \quad \Delta H = -91 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

(4)① $-80 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ②防止高温下 Mg、Ti 与空气中的 O_2 (或 CO_2 、 N_2)作用

解析 (2) SiH_4 气体在氧气中完全燃烧的化学方程式为 $\text{SiH}_4 + 2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, 由化学方程式可知, 1 mol SiH_4 完全燃烧转移 8 mol 电子, 故热化学方程式为 $\text{SiH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{SiO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1\,520.0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。(3) $\Delta H = 419 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} - 510 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} = -91 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 故该反应的热化学方程式为 $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) = \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \quad \Delta H = -91 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

(4)①根据盖斯定律, 由 $2 \times \text{I} - \text{II} + \text{III}$ 可得: $\text{TiO}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{C}(\text{s}) = \text{TiCl}_4(\text{s}) + 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H = -80 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。