



总主编◎李朝东



修订版

教材

JIAOCAIJIEXI

解析

本册主编◎于海莹

江苏国标

化学反应原理

高中化学·选修4



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社



总主编◎李朝东

教材

JIAOCAIJIEXI

解析

本册主编：于海莹



江苏国标

化学反应原理

高中化学·选修 4



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

教材解析:江苏国标.高中化学.4:选修 / 李朝东主编.

—银川:宁夏人民教育出版社, 2011.5

ISBN 978-7-80764-468-2

I. ①教… II. ①李… III. ①中学化学课—高中—
教学参考资料 IV. ①G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 090380 号

教材解析——化学 选修4 化学反应原理(江苏国标)

李朝东 主编

责任编辑 柳毅伟 贾姗姗

封面设计 杭永鸿

责任印制 刘 丽



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

出版发行

地 址 银川市北京东路139号出版大厦(750001)

网 址 www.yrpubm.com

网上书店 www.hh-book.com

电子信箱 jiaoyushe@yrpubm.com

邮购电话 0951-5014294

经 销 全国新华书店

印刷装订 淄博恒业印务有限公司

开 本 880mm×1230mm 1/16 印 张 12.75

字 数 255 千 印 数 10000 册

版 次 2011 年 5 月第 1 版 印 次 2012 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-80764-468-2/G·1388

定 价 24.00 元

版权所有 翻印必究 04

宁夏出版传媒集团
宁夏人民教育出版社



当一道道疑似难题摆在你面前时，是胸有成竹，还是找不着头绪？如果是前者，那恭喜你，你已经跨越了教材与考试之间的差距；如果是后者，那你也别急，《经纶学典·教材解析》在教材与考试间为你搭建一个沟通平台。

不少同学有这样的感觉：教材都熟悉了，课堂上也听懂了，但考试却取不到好成绩。原因在于教材内容与考试要求有差距，课堂教学与选拔性考试有差别。这就需要在教材之上、课堂之外能够得到补充、提升，直至达到高考的选拔要求。本书就是从以下两个方面填补这种差距。

首先是对教材的深度挖掘。教材内容通俗易懂，但里面包含着丰富的信息，我们把教材所包含的信息挖掘出来，并进行系统整理，让知识内涵和外延、知识间的联系充分展现。

第二是对课堂教学的补充和拓展。本书不是对课堂教学的重复，而是在课堂教学基础上，对课堂教学进行补充、提高，挖掘那些学生难以理解、难以掌握的内容，进行归纳和总结，为学生串起一条规律性的“线”。化学注重知识与生活热点的联系，重要解题方法与技巧的整理，同一类知识的专题归纳，化学实验的探究等。这些由于课堂教学时间限制或教师水平发挥的问题，在课堂上并没有全部传授给学生，而这些恰恰就是考试中要考查的，学生拉开差距的所在。

正是本着上述编写理念，本丛书以学生为中心，用最易理解的表现形式呈现学习中难以理解的部分。希望本书为你的成长助力，有更好的想法和意见请登录：www.jing-lun.cn。

编者

目录

专题1 化学反应与能量变化

第一单元 化学反应中的热效应

1

第二单元 化学能与电能的转化

21

第三单元 金属的腐蚀与防护

47

专题总结

59

专题2 化学反应速率与化学平衡

第一单元 化学反应速率

67

第二单元 化学反应的方向和限度

85

第三单元 化学平衡的移动

100

专题总结

124

专题3 溶液中的离子反应

第一单元 弱电解质的电离平衡

136

第二单元 溶液的酸碱性

148

第三单元 盐类的水解

164

第四单元 难溶电解质的沉淀溶解平衡

180

专题总结

193

专题

1

化学反应与能量变化

第一单元 化学反应中的热效应

A

教材梳理

知识点一 探究化学反应的焓变

1. 反应热

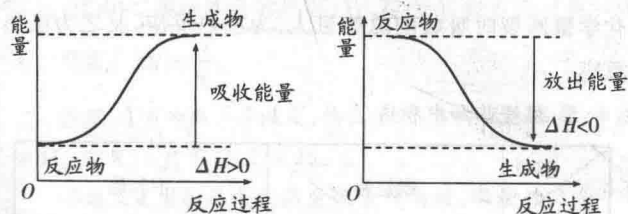
(1) 定义: 在化学反应过程中, 当反应物和生成物具有相同温度时, 所吸收或放出的热量称为化学反应的反应热。

注意: ①反应热描述的是相同温度下的热量变化。

②反应热描述的是化学反应前后的热量变化。

(2) 化学反应的物质变化与能量变化的关系

物质发生化学变化总是伴随着能量的变化, 一个化学反应是吸收能量还是放出能量, 取决于反应物总能量和生成物总能量的相对大小, 若反应物的总能量小于生成物的总能量, 则反应过程中吸收能量; 若反应物的总能量大于生成物的总能量, 则反应过程中放出能量。(如图)



注意: ①所说的能量变化, 包括热量、电能、光能等不同形式的能量转化。

②化学反应中能量通常以热量等形式表现出来。

③化学反应中能量变化的多少与反应物的多少以及反应物与生成物之间的温度、压强有关。

(3) 化学反应的焓变: 在恒温、恒压的条件下, 化学反应过程中吸收或释放的热量称为反应的焓变。用 ΔH 表示, 单位: $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

①焓: 物质所具有的能量称为焓。

注意: a. 符号为 H 。

b. 单位为 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

②焓变符号用 ΔH 表示, 单位为 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

③ $\Delta H > 0$, 反应产物的焓大于反应物的焓, 说明反应是吸收能量的, 为吸热反应; 若 $\Delta H < 0$, 即反应产物的焓小于反应物的焓, 说明反应是释放能量的, 为放热反应。如图所示。

2. 吸热反应与放热反应

化学反应中的能量变化, 通常表现为热量变化。对化学反应, 以反应过程中放热或吸热为标准划分, 分为放热反应和吸热反应两种类型, 有热量放出的反应叫放热反应, 需要吸收热量的化学反应叫吸热反应。

(1) 常见的放热反应:

①活泼金属与 H_2O 或酸的反应。如: $2\text{Al} + 6\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$

②酸碱中和反应。如: $\text{NaOH} + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

③燃烧反应。如: $\text{C} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} \text{CO}_2$

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

④多数化合反应。如: $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH}$

$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$

⑤铝热反应。如: $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$

(2) 常见的吸热反应:

①多数的分解反应。如 $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$

② $2\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) + \text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} \text{BaCl}_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow + 10\text{H}_2\text{O}$

③ $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightarrow{\text{高温}} \text{CO} + \text{H}_2$

$\text{CO}_2 + \text{C} \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{CO}$

注意: 一个反应为吸热反应还是放热反应与反应是否需要加热无关。需要加热的反应不一定为吸热反应, 如铝热反应; 放热反应在常温下也不一定容易发生。

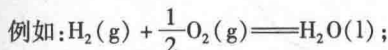
3. 热化学方程式

(1) 概念: 把一个化学反应中物质的变化和反应的焓变



同时表示出来的化学方程式。

(2)表示意义:不仅表明了化学反应中的物质变化,也表明了化学反应中的焓变。



$$\Delta H = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

表示 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 与 0.5 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成了 1 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 9844 放 285.8 kJ。

(3)热化学方程式与化学方程式的区别:

	化学方程式	热化学方程式
化学计量数	是整数,既表示微粒个数又表示该物质的物质的量	是整数也可以是分数,只表示物质的物质的量
状态	不要求注明	必须在分子式后注明
ΔH 正负号及单位	无	必须注明
意义	表明了化学反应中的物质变化	不仅表明了化学反应中的物质变化,也表明了化学反应中的能量变化

(4)规律总结:书写热化学方程式应注意的问题

① ΔH 只能写在标有反应产物和反应物聚集状态的化学方程式的右边。若为放热反应, ΔH 为“-”;若为吸热反应, ΔH 为“+”。 ΔH 的单位为 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 或 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

②焓变 ΔH 与测定条件(温度、压强等)有关。因此书写热化学方程式时应注明 ΔH 的条件。绝大多数的 ΔH 是在 298 K、101 kPa 下测定的,可不注明温度和压强。

③热化学方程式中各物质化学式前面的化学计量数仅表示该物质的物质的量,并不表示物质的分子或原子数。因此化学方程式的计量数可以是整数,也可以是分数。

④反应物和反应产物的聚集状态不同,焓变 ΔH 不同。如:1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\frac{1}{2}$ mol $\text{O}_2(\text{g})$ 生成水和水蒸气的反应焓变(如表):

反应产物	焓变($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	
	25 °C	80 °C
$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	-285.8	-284.1
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-241.8	-242.4

因此,必须注明物质的聚集状态,才能完整地体现出热化学方程式的意义。气体用“g”,液体用“l”,固体用“s”,溶液用“aq”。热化学方程式中不用“↑”和“↓”,反应条件一般不

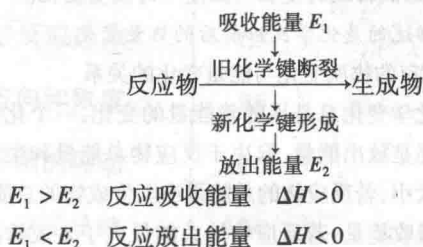
注明。

⑤热化学方程式前面的化学计量数必须与 ΔH 相对应,如果化学计量数加倍,则 ΔH 也要加倍。当反应向逆方向进行时,其焓变与正反应的焓变数值相等,符号相反。

例如:已知 $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则 $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}); \Delta H = +285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = -571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

4. 难点突破:焓变与键能的关系

当反应物分子间的化学键断裂时,需要克服原子间的相互作用,这需要吸收能量;当原子重新结合生成产物分子,即新键形成时,又要释放能量。由于吸收和放出的能量不同,导致了化学反应前后的能量变化。化学反应过程中能量守恒,热量变化是化学反应中能量变化的主要形式。化学键的断裂和形成是化学反应中能量变化的主要原因(如下图)。



即生成物分子化学键形成时释放的总能量比反应物分子化学键断裂时吸收的总能量大,为放热反应,反之为吸热反应。

5. 燃烧热和中和热

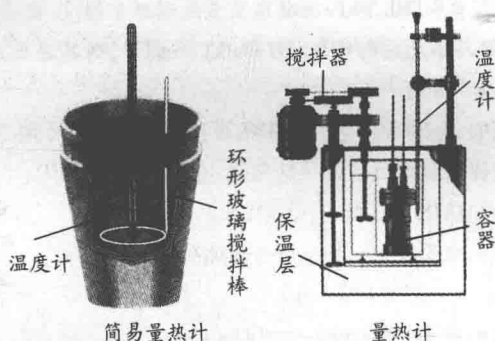
类型 比较	燃烧热	中和热
定义	在 101 kPa 时,1 mol 纯物质完全燃烧生成稳定的氧化物时所放出的热量,叫做该物质的燃烧热	在稀溶液中,酸跟碱发生中和反应而生成 1 mol H_2O ,这时的反应热叫做中和热
单位	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
标准	以 1 mol 可燃物	以生成 1 mol 水
注意事项	可燃物要完全燃烧生成稳定氧化物	强酸与强碱在稀溶液中反应时,1 mol H^+ 和 1 mol OH^- 生成 1 mol H_2O 都放出 57.3 kJ 热量

类型 比较	燃烧热	中和热
热化学 方程式	$\text{CO(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)};$ $\Delta H = -283.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\text{NaOH(aq)} + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\text{(aq)} \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{Na}_2\text{SO}_4\text{(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)};$ $\Delta H = -57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

知识点二 反应热的测量与计算

1. 实验探究:反应热的测定

(1)仪器:量热计。量热计由内、外两个筒组成,外筒的外壁覆盖有保温层(如图)。



(2)原理:将两种反应物加入内筒并使之迅速混合,测量反应前后溶液温度的变化值,即可根据溶液及量热计的热容 C ,利用下式计算出反应放出或吸收的热量 Q : $Q = -C(T_2 - T_1)$ 。式中: C 表示体系的热容; T_1 、 T_2 分别表示反应前后体系的温度。 $\Delta H = \frac{Q}{n}$ 。

注意:① T 为热力学温度,单位为K。 t 为摄氏温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。 $T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273.15$ 。

②热容是当物质吸收热量温度升高时,温度每升高1K所吸收的热量,用符号 C 表示,单位为 $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

③纯物质的热容与其质量成正比。

④单位质量的物质的热容称为该物质的比热容,简称比热,单位为 $\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。常温下,液态水的比热为 $4.18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(3)中和反应的反应热的测定

实验仪器:简易量热计、量筒、温度计

药品:0.50 mol $\cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸、0.50 mol $\cdot \text{L}^{-1}$ 的NaOH溶液

实验步骤:①用量筒量取50 mL 0.50 mol $\cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸,倒入简易量热计中,测量并记录盐酸的温度(t_1)。

②用另一个量筒量取50 mL 0.50 mol $\cdot \text{L}^{-1}$ NaOH溶液,测量并记录NaOH溶液的温度(t_2)。

③将量筒中的氢氧化钠溶液迅速倒入盛有盐酸的简易量热计中,立即盖上盖板,用环形玻璃搅拌棒不断搅拌,观察温度计的温度变化,准确读出并记录反应体系的最高温度(t_4)。

④假设溶液的比热与水的比热相等,溶液的密度与水的密度相等,忽略量热计的比热,根据溶液温度升高的数值,计算中和反应的反应热并写出该反应的热化学方程式。

⑤数据处理(如表)

HCl溶液的温度(t_1)/ $^{\circ}\text{C}$	17.4
NaOH溶液的温度(t_2)/ $^{\circ}\text{C}$	17.3
HCl溶液和NaOH溶液的平均温度[$t_3 = (t_1 + t_2)/2$]/ $^{\circ}\text{C}$	17.35
反应体系的最高温度(t_4)/ $^{\circ}\text{C}$	24.55
反应体系的温度变化($\Delta t = t_4 - t_3$)/ $^{\circ}\text{C}$	7.2
反应体系的热容计算公式 $C = \{V[\text{HCl(aq)}] \times \rho[\text{HCl(aq)}] + V[\text{NaOH(aq)}] \times \rho[\text{NaOH(aq)}]\} \times 4.18/\text{J} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$	1 421.15
中和反应的反应热 $\Delta H = (C \times \Delta t \times 10^{-3} \div 0.025)/\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	56.85

所以其热化学方程式: $\text{NaOH(aq)} + \text{HCl(aq)} \rightleftharpoons \text{NaCl(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)}; \Delta H = -56.85 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

注意:为了减小实验误差,可再重复实验1~2次,求 ΔH 的平均值。进行重复实验时,要用同样的实验用品和进行同样的实验步骤。实验仪器在重复使用前要洗干净。

⑥用同样的方法分别测定同浓度同体积的KOH溶液与盐酸反应、NaOH溶液与硝酸反应的反应热。

(4)实验结论:所测得的上述三个中和反应的反应热相同,即强酸、强碱反应的中和热是相同的。

原因:以上三个反应中所发生的反应均为 $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$,由于三次实验中所用溶液体积相同,溶液中的 H^+ 和 OH^- 的浓度相同,反应的温度又一样,因此三个反应的反应热也是相同的。

(5)经验总结:中和热测定应注意的问题

①实验操作时动作要快,装反应液的容器剩余空间要小,以尽量减少热量的散失。

②温度在反应热的测量中是最重要的参数,在测量时既要快又要准:

a. 应选择使用精密温度计,可精确到0.1 $^{\circ}\text{C}$ 。

b. 测量溶液的温度时应将温度计悬挂,使水银球处于溶液的中央位置,温度计不要靠在容器壁上或插在容器底部。

c. 不可将温度计当搅拌棒使用。

d. 在测量氢氧化钠溶液和稀盐酸温度时要稳定一段时

间后再读数。

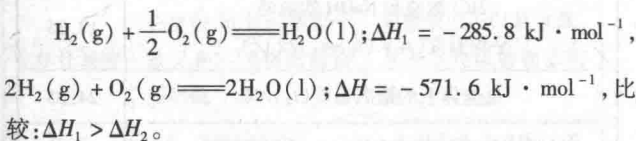
e. 在测量反应混合液的温度时要随时读取温度值,记录下最高温度值。

③所用盐酸和氢氧化钠溶液的浓度须准确,浓度宜小不宜大。

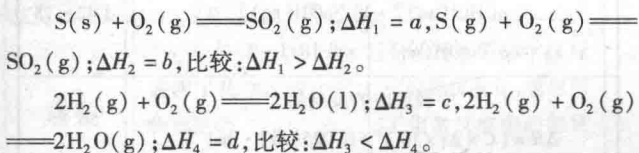
④如用保温瓶代替反应容器,效果更好。学生可以在老师的指导下进行尝试,并对结果进行讨论。

2. 反应热大小的比较

(1)对于放热反应,要注意 $\Delta H < 0$,绝对值大的反而小,例如:



(2)同种物质处于不同状态时,能量不同, $E(\text{气态}) > E(\text{液态}) > E(\text{固态})$,例如:



3. 有关反应热计算的探究

(1)根据热化学方程式计算

反应热与参加反应的各物质的物质的量成正比。

(2)根据化学键断裂和形成过程中的能量变化来计算

反应热等于破坏旧化学键吸收的能量与形成新化学键所放出的能量之差。

$\Delta H = E(\text{反应物的化学键断裂吸收的总能量}) - E(\text{生成物的化学键形成放出的总能量})$

(3)根据物质所具备的能量计算

$\Delta H = E(\text{反应产物的能量和}) - E(\text{反应物的能量和})$

(4)利用 $Q = -C(T_2 - T_1)$ 计算

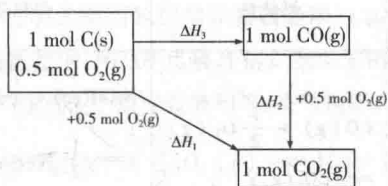
ΔH 的绝对值与 $\frac{Q}{n}$ 的绝对值相等进行计算。

(5)根据盖斯定律进行计算

①盖斯定律的内容:一定条件下,某化学反应无论是一步完成还是分几步完成,反应的总热效应相同。即反应热只与始态和终态有关,而与反应的途径无关。

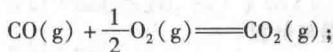
②注意事项:a. 首先要明确所求反应的始态和终态、各物质的化学计量数,判断该反应的吸、放热情况;b. 不同途径对应的最终结果一样;c. 叠加各反应方程式时,有的反应方程式要逆向写, ΔH 符号也相反,有的反应方程式要扩大或减小倍数,同时 ΔH 也相应扩大或减小倍数;d. 注意各分步反应方程式的 ΔH 的正负。

例如,

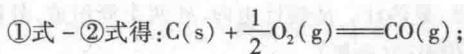


已知: $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g});$

$$\Delta H_1 = -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad ①$$



$$\Delta H_2 = -283.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad ②$$

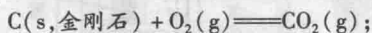


$$\Delta H_3 = -110.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

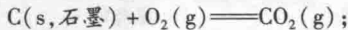
(若一个反应的焓变 $\Delta H = a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则其逆反应的焓变 $\Delta H' = -a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.)

例如,金刚石转化为石墨的反应很难实现,因此,需运用盖斯定律计算该反应的反应热。

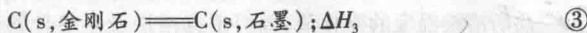
已知热化学方程式:



$$\Delta H_1 = -395.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad ①$$



$$\Delta H_2 = -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad ②$$



由于 $③ = ① - ②$, 所以

$$\begin{aligned} \Delta H_3 &= \Delta H_1 - \Delta H_2 \\ &= -395.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \\ &= -1.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

由此可见,金刚石转化为石墨的过程为一个放热过程,石墨的能量更低,比金刚石更稳定。

知识点三 能源的充分利用

1. 能源的分类

(1)一次能源:从自然界直接取得的天然能源,如:原煤、原油、流过水坝的水、天然气等。

二次能源:一次能源经过加工转换后获得的能源,如:各种石油制品、煤气、蒸气、电力、氢能等。

(2)常规能源:已被人们广泛使用的能源,如:煤、石油、天然气、水能、电能等。

新能源:随科技的不断发展,才开始被人类采用的能源,如:风能、太阳能、海洋能等。

(3)可再生能源:可持续再生、永久利用的能源,如:水能、风能等。

非再生能源:经过亿万年形成的、短期内无法恢复的能源,如:石油、煤、天然气等。

2. 提高燃料的燃烧效率可采取的措施

(1)通入足量空气,使燃料充分燃烧。空气足量但要适当,否则,过量的空气会带走部分的热量。

(2)增大燃料与空气的接触面积,通常将大块固体燃料粉碎、液体燃料雾化。

(3)将煤气化或液化。煤气化或液化后更容易增大燃料与空气的接触面积使燃烧更充分,同时又防止煤炭直接燃烧产生的 SO_2 和烟尘污染环境。

3. 标准燃烧热和热值

(1)标准燃烧热:在 101 kPa 下,1 mol 物质完全燃烧的反应热,叫做该物质的标准燃烧热。单位为 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

注意:①标准燃烧热是反应热的一种, ΔH 为负值。

②25 $^{\circ}\text{C}$ 、101 kPa 时,可燃物完全燃烧后,生成稳定的化合物。如氢元素转化为 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$;碳元素转化为 $\text{CO}_2(\text{g})$;氮元素转化为 $\text{N}_2(\text{g})$ 。

③不同的燃料燃烧热不同,如表。

一些物质的标准燃烧热(25 $^{\circ}\text{C}$)

名称	化学式	$\Delta H/\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
氢气	$\text{H}_2(\text{g})$	-285.8
一氧化碳	$\text{CO}(\text{g})$	-283.0
甲烷	$\text{CH}_4(\text{g})$	-890.3
甲醇	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	-726.5
乙醇	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	-1 366.8
乙烷	$\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$	-1 559.8
乙烯	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	-1 411.0
乙炔	$\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	-1 299.6
蔗糖	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{s})$	-5 640.9
苯	$\text{C}_6\text{H}_6(\text{l})$	-3 267.5

(2)热值:在 101 kPa 的压强下,1 g 物质完全燃烧的反应热叫做该物质的热值。热值的单位是 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。一些物质可以通过测量得到它的热值。

(3)标准燃烧热和热值的关系:它们都是衡量燃料燃烧放出热量多少的量,只是衡量时取用物质的量不同,适用的范围不同,并且忽略了声能和光能等。燃料燃烧的能量转化较复杂;燃烧释放出的总能量 = 热能(主要形式) + 声能 + 光能,但在实际的测量中都采取了近似处理。

B 教材拓展

拓展点一 书写热化学方程式的防错诀窍

热化学方程式往往是接受容易,书写易错。错误主要体

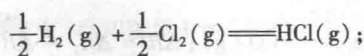
现在:

1. 漏写反应物、生成物的聚集状态。

2. 将 ΔH 的正负混淆,其关键是没有体会到“+”“-”分别表示吸收或放出热量后,使反应体系的能量升高或降低了。

3. 未注意到化学方程式的化学计量数不同,其反应热的数值也不相同。如: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) = 2\text{HCl}(\text{g})$;

$$\Delta H = -184.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad ①$$



$$\Delta H = -92.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad ②$$

4. 特殊的热化学方程式要根据定义去书写。

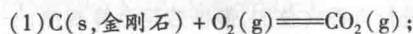
(1)标准燃烧热的热化学方程式:它要求可燃物的系数为 1 mol,生成稳定的化合物。如 C_8H_{18} 燃烧热的热化学方程式: $\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{l}) + \frac{25}{2}\text{O}_2(\text{g}) = 8\text{CO}_2(\text{g}) + 9\text{H}_2\text{O}(\text{l})$; $\Delta H = -5 518 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, C_8H_{18} 的系数只有为 1 才能达到题目要求。

(2)中和热的热化学方程式:要求中和反应生成的 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的系数只能为 1 才符合要求。如稀 H_2SO_4 和 KOH 中和反应的中和热的热化学方程式: $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{KOH}(\text{aq})$

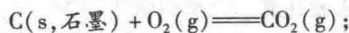
$= \frac{1}{2}\text{K}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$; $\Delta H = -57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。中和热不包括离子在水溶液中的生成热、溶解热、电解质电离吸热所伴随的热效应。若用弱酸代替强酸,或用弱碱代替强碱,因中和过程中电离吸热,会使测得的中和热的数值偏低;若用浓酸代替稀酸,如用浓 H_2SO_4 代替稀 H_2SO_4 ,则测得的中和热的数值偏高。

拓展点二 方法与规律——盖斯定律计算题总结

1. “盖斯定律”是热化学中一个相当有实用价值的定律。其内容是:不管化学反应过程是一步完成还是分几步完成,总过程的热效应是相同的。利用这一规律,可以从已经测定的反应的热效应来计算难于测定或不能测定的反应的热效应,它是间接求算反应热的常用方法。利用盖斯定律进行化学方程式叠加的例子有:

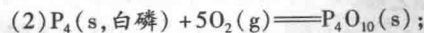


$$\Delta H_1 = -395.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

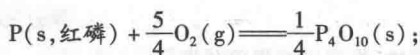


$$\Delta H_2 = -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{则 } \text{C}(\text{s}, \text{石墨}) = \text{C}(\text{s}, \text{金刚石}); \Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1 = +1.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

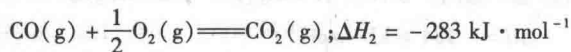
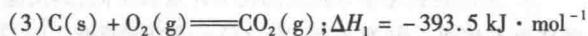


$$\Delta H_1 = -2 983.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

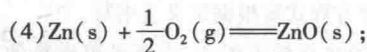


$$\Delta H_2 = -738.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

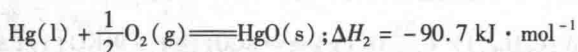
$$\text{则 } \text{P}_4(\text{s}, \text{白磷}) = 4\text{P}(\text{s}, \text{红磷}); \Delta H = \Delta H_1 - 4\Delta H_2 = -29.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



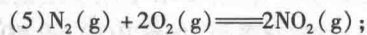
$$\text{则 } \text{C}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{CO}(\text{g}); \Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2 = -110.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta H_1 = -351.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\text{由此可知 } \text{Zn}(\text{s}) + \text{HgO}(\text{s}) = \text{ZnO}(\text{s}) + \text{Hg}(\text{l}); \Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2 = -260.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

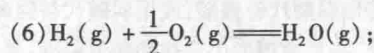


$$\Delta H_1 = +67.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta H_2 = -534 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

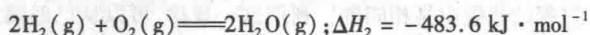
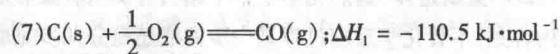
$$\text{则 } 2\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) = 3\text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}); \Delta H = 2\Delta H_2 - 4\Delta H_1 = -1338 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta H_1 = -241.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\text{则 } \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = -241.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 44.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

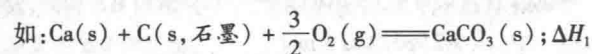


$$\text{则 } \text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}); \Delta H = \Delta H_1 - \frac{\Delta H_2}{2} = +131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

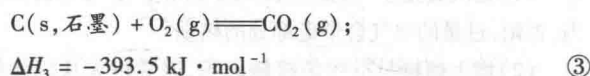
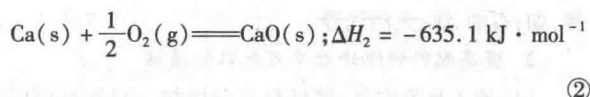
总之,合理进行方程式叠加,遵循数学运算规律,一定要注意符号的改变,即 ΔH 的运算包括数值和符号的双重运算。

2. 利用物质的生成焓计算

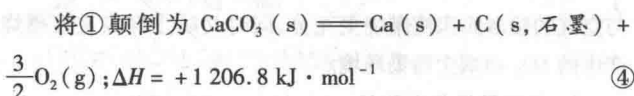
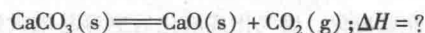
在指定温度和标准压强下,由最稳定单质生成 1 mol 化合物的反应焓变称为该物质在此温度下的标准摩尔生成焓,用 $\Delta_f H_m^\ominus$ 表示,则反应焓变等于反应产物的生成焓之和减去反应物的生成焓之和。



$$= -1206.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad ①$$



利用以上焓变数据,计算 CaCO_3 分解反应的焓变。



$$②③④ \text{ 相加得 } \text{CaCO}_3(\text{s}) = \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}); \Delta H = +178.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

3. 利用物质的燃烧焓计算

计算有机化合物之间的反应焓变,即焓变等于反应产物的燃烧焓之和减去反应物的燃烧焓之和。

例:已知 298 K 时各物质的燃烧焓,求反应 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) + \text{HCOOH}(\text{l}) \rightarrow \text{HCOOCH}_3(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的焓变。

	燃烧热
$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	$-726.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
$\text{HCOOH}(\text{l})$	$-254.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
$\text{HCOOCH}_3(\text{l})$	$-979.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$-285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\begin{aligned} \Delta H &= [(-979.5) + (-285.8)] \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &\quad - [(-726.5) + (-254.6)] \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -283.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

C 典型题解

例 1 下列变化中,属于吸热反应的是 (B)

- ①液态水汽化 ②将胆矾加热变为白色粉末 ③浓 H_2SO_4 稀释 ④ KClO_3 分解制 O_2 ⑤生石灰跟水反应生成熟石灰 ⑥ CaCO_3 高温分解 ⑦ $\text{CO}_2 + \text{C} \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{CO}$ ⑧ $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 与固体 NH_4Cl 混合 ⑨ $\text{C} + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightarrow{\text{高温}} \text{CO} + \text{H}_2$ ⑩ Al 与 HCl 反应

- A. ②③④⑥⑦⑧⑨ B. ②④⑥⑦⑧⑨
C. ②④⑥⑧ D. ②③④⑧⑨

【解析】 化学反应过程中伴随着能量的吸收或放出,清楚哪些反应放热,哪些吸热,知道归类。分解反应为吸热反应,②④⑥都是分解反应;①液态水汽化是物理变化,不是反应热;⑧为吸热反应;⑦⑨是在高温下进行,故吸热。

【答案】 B

[点评] 常见的吸热反应绝大多数为分解反应,再就是某些高温下的反应;对物理变化的放热、吸热不应归类为反应热。

例题 2 下列说法正确的是 ()

- A. 焓变是指 1 mol 物质参加反应时的能量变化
- B. 当反应放热时 $\Delta H > 0$, 反应吸热时 $\Delta H < 0$
- C. 在加热条件下发生的反应均为吸热反应
- D. 一个化学反应中, 当反应物能量大于生成物能量时, 反应放热, ΔH 为“-”

[解析] 本题考查焓变与参加反应的物质的关系, 反应物物质的量越多, 则焓变值越大, 与反应条件是否加热没有直接关系。所以 A、C 均不正确。在反应中物质所具有的总能量减少, 反应就放热, 反之就吸热, 因此 D 正确, B 错误。

[答案] D

[点评] 焓变是指生成物所具有的焓与反应物所具有的焓之差, 与参加反应的物质有关。

例题 3 写出下列反应的热化学方程式:

(1) 1 mol $C_2H_5OH(l)$ 完全燃烧生成 $CO_2(g)$ 和 $H_2O(l)$, 放出 1366.8 kJ 热量: _____。

(2) 1 mol C(石墨) 与适量 $H_2O(g)$ 反应生成 $CO(g)$ 和 $H_2(g)$, 吸收 131.3 kJ 热量: _____。

(3) 1.7 g $NH_3(g)$ 发生催化氧化反应生成气态产物, 放出 22.67 kJ 的热量: _____。

[解析] 已知反应物的物质的量和放出或吸收的热量, 要写出热化学方程式, 关键是要确定与方程式中的化学计量数相对应的 ΔH 。

(1) C_2H_5OH 燃烧的化学方程式为 $C_2H_5OH + 3O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2CO_2 + 3H_2O$, 那么, 相应的热化学方程式为 $C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) = 2CO_2(g) + 3H_2O(l); \Delta H = -1366.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 1 mol C(石墨) 完全反应吸收 131.3 kJ 热量, 则相应的热化学方程式为 $C(\text{石墨}, s) + H_2O(g) = CO(g) + H_2(g); \Delta H = +131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(3) 1.7 g NH_3 的物质的量为 0.1 mol, 则 4 mol NH_3 发生反应放出的热量为 $22.67 \text{ kJ} \times 40 = 906.8 \text{ kJ}$, 1 mol NH_3 完全反应放出的热量为 226.7 kJ。那么相应的热化学方程式为 $4NH_3(g) + 5O_2(g) = 4NO(g) + 6H_2O(g); \Delta H = -906.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 或 $NH_3(g) + \frac{5}{4}O_2(g) = NO(g) + \frac{3}{2}H_2O(g); \Delta H = -226.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

[答案] (1) $C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) = 2CO_2(g) + 3H_2O(l); \Delta H = -1366.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(2) $C(\text{石墨}, s) + H_2O(g) = CO(g) + H_2(g); \Delta H = +131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(3) $NH_3(g) + \frac{5}{4}O_2(g) = NO(g) + \frac{3}{2}H_2O(g); \Delta H = -226.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

[点评] 热化学方程式正误的判断可从状态、 ΔH 正负号、物质的量的大小、单位等方面入手。

例题 4 已知破坏 1 mol $N \equiv N$ 、 $H-H$ 、 $N-H$ 分别吸收的能量为 946 kJ、436 kJ、391 kJ。计算 1 mol $N_2(g)$ 和 3 mol $H_2(g)$ 完全转化为 $NH_3(g)$ 的反应热理论值。

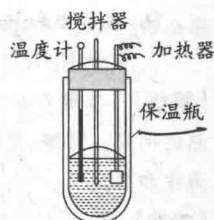
[解析] 本题考查键能与反应热的关系, 属拓展知识。 $N_2(g) + 3H_2(g) = 2NH_3(g)$, 1 mol $N \equiv N$ 键断裂共需吸收能量 946 kJ, 使 3 mol $H-H$ 键断裂共需吸收能量 $436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 3 \text{ mol} = 1308 \text{ kJ}$, 断键共需吸收能量 $946 \text{ kJ} + 1308 \text{ kJ} = 2254 \text{ kJ}$, 而生成 2 mol NH_3 形成 6 mol $N-H$ 键, 放出热量为 $391 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 6 \text{ mol} = 2346 \text{ kJ}$ 。根据 $Q = \text{生成物形成键释放能量} - \text{反应物断键吸收能量}$ 。则 $Q = 2346 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 2254 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 92 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 即 $\Delta H = -92 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

[答案] $-92 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

[点评] 该题是信息题, 键能已知, 求算反应焓变, 需加工好信息。

例题 5 在量热计中(如右图所示)

将 100 mL $0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CH_3COOH 溶液与 100 mL $0.55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $NaOH$ 溶液混合, 温度从 298.0 K 升高到 300.7 K。已知量热计的热容常数(量热计各部件温度每升高 1 K 所需要的热量)是 $150.5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, 溶液密度均为 $1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 充分混合后溶液的比热容 $c = 4.184 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。



(1) 试求 CH_3COOH 的中和热 ΔH 。

(2) CH_3COOH 的中和热的文献值为 $-56.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。你认为(1)中测得的实验值偏差可能的原因是 _____。

(3) 实验中 $NaOH$ 过量的目的是 _____。

(4) 你认为 CH_3COOH 的中和热与 HCl 的中和热值相比, _____ 较大, 其原因是 _____。

[解析] (1) 根据给出的酸和碱的物质的量, 酸为 0.050 mol , 碱为 0.055 mol , 碱是过量的, 应以酸的量计算, 算出生成 0.050 mol 水时放出的热量, 进而算出生成 1 mol 水时放出的热量, 即可得出两组实验测出的中和热为:

$\Delta H = -[150.5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} + 4.184 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (100 \text{ g} + 100 \text{ g})] \times (300.7 \text{ K} - 298.0 \text{ K}) / 0.050 \text{ mol}$



$$= -5.33 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} = -53.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

(2) 本实验方法测得的 CH_3COOH 的中和热的实验值小于文献值, 原因可能有以下三个方面 ①量热计的保温瓶绝热效果不好; ②酸碱溶液混合不迅速; ③温度计不够精确等。

(3) 因 NaOH 溶液容易吸收 CO_2 而使 NaOH 浓度下降, 过量的碱能保证 CH_3COOH 完全被中和, 从而提高实验准确度。

(4) CH_3COOH 是弱酸, 只是少部分电离, 发生电离时要吸热, 中和时放热较少。

[答案] (1) $\Delta H = -53.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

(2) ①量热计的保温瓶绝热效果不好, ②酸碱溶液混合不迅速, ③温度计不够精确等

(3) 保证 CH_3COOH 完全被中和, 从而提高实验准确度

(4) HCl 的中和热数值 CH_3COOH 是弱酸, 只是少部分电离, 发生电离时要吸热, 中和时放热较少

[点评] 测量中和反应的反应热时, 反应物应为强酸与强碱, 若用弱酸或弱碱, 中和时放热较少。

例 6 下列说法正确的是 ()

- A. 中和热一定是强酸跟强碱反应放出的热量
- B. 1 mol 酸与 1 mol 碱完全反应放出的热量是中和热
- C. 在稀溶液中, 酸与碱发生中和反应生成 1 mol $\text{H}_2\text{O}(l)$ 时的反应热叫做中和热
- D. 表示中和热的离子方程式为: $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) = \text{H}_2\text{O}(l); \Delta H = -57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

[解析] 本题考查的是中和热的概念, 关键记清楚有关中和热的问题。稀酸、稀碱生成 1 mol $\text{H}_2\text{O}(l)$ 所放出的热量, 故 C 为中和热定义。

[答案] C

[点评] 中和热的概念要求记住、理解透。

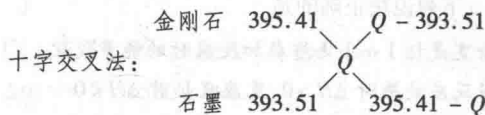
例 7 已知金刚石和石墨分别在氧气中完全燃烧的热化学方程式为 $\text{C}(\text{金刚石}, s) + \text{O}_2(g) = \text{CO}_2(g); \Delta H_1 = -395.41 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\text{C}(\text{石墨}, s) + \text{O}_2(g) = \text{CO}_2(g); \Delta H_2 = -393.51 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则金刚石转化为石墨时的热化学方程式为_____。由此看来更稳定的碳的同素异形体为_____。

若取金刚石和石墨的混合晶体共 1 mol 在 O_2 中完全燃烧, 产生热量为 $Q \text{ kJ}$, 则金刚石和石墨的物质的量之比为_____ (用含 Q 的代数式表示)。

[解析] 由盖斯定律知, 要得到金刚石和石墨的转化关系, 可将两个热化学方程式相减: $\text{C}(\text{金刚石}, s) - \text{C}(\text{石墨}, s) = 0$; $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2 = -395.41 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 393.51 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -1.90 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 即 $\text{C}(\text{金刚石}, s) = \text{C}(\text{石墨}, s); \Delta H =$

$$-1.90 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

可见金刚石转化为石墨放出热量, 说明石墨的能量更低, 比金刚石稳定。



十字交叉法:

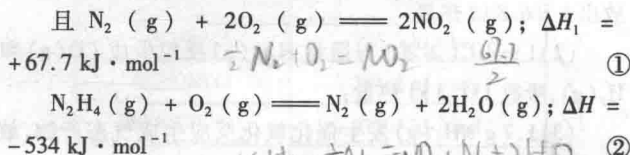
由此可得出二者物质的量之比。

[答案] $\text{C}(\text{金刚石}, s) = \text{C}(\text{石墨}, s); \Delta H = -1.90 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 石墨 $\frac{Q - 393.51}{395.41 - Q}$

[点评] 本题着重考查通过物质本身能量的大小来判断该物质的稳定性。物质的能量越小越稳定。

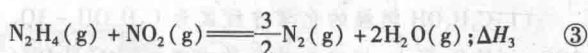
例 8 1840 年, 俄国化学家盖斯(G. H. Hess)指出, 一个化学反应的热效应仅与反应物的最初状态及生成物的最终状态有关, 而与中间步骤无关, 这就是著名的“盖斯定律”。按此规律回答下列问题。

已知火箭发射时可用肼(N_2H_4)作燃料。二氧化氮作氧化剂, 这两者反应生成氮气和水蒸气。



请计算 1 mol 气体肼和 NO_2 完全反应时放出的热量为_____ kJ。并写出肼与 NO_2 反应的热化学方程式。

[解析] 本题是一道信息题, 考查对“盖斯定律”的理解和应用。根据题意, 要求下列反应的反应热 ΔH 的值:



根据盖斯定律, 一个反应的反应热仅与其始态和终态有关, 而与其过程无关, 有

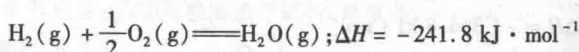
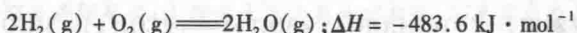
$$② - ① \div 2 = ③, \text{即 } \Delta H_2 - \Delta H_1 \div 2 = \Delta H_3.$$

$$\Delta H_3 = -534 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 67.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \div 2 = -567.85 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

[答案] 567.85 $\text{N}_2\text{H}_4(g) + \text{NO}_2(g) = \frac{3}{2}\text{N}_2(g) + 2\text{H}_2(g); \Delta H_3 = -567.85 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

[点评] 关键是设计合理的反应过程, 适当加减已知方程式, 去求题目所要解的问题。

例 9 已知下列热化学方程式:



$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = -571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
则氢气的标准燃烧热是 ()

- A. $-483.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ B. $-241.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
C. $-571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ D. $-285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

[解析] 本题通过方程式考查标准燃烧热的定义,即 298 K、101 kPa 时,1 mol 可燃物燃烧生成稳定的化合物放出的热量为标准燃烧热。 H_2 燃烧时生成稳定的化合物为液态水,所以由第三个方程式求燃烧热为: $\frac{1}{2} \times (-571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

[答案] D

[点评] 标准燃烧热定义说明,1 mol 可燃物燃烧生成稳定化合物时所放出的热量。

例 10 美国《科学美国人》杂志在 1971 年 7 月刊登的“地球的能量资源”一文中提供了下表的数据。

太阳辐射能的几条主要去路	功率
直接反射	$52\,000 \times 10^9 \text{ kJ} \cdot \text{s}^{-1}$
以热能方式离开地球	$81\,000 \times 10^9 \text{ kJ} \cdot \text{s}^{-1}$
水循环	$40\,000 \times 10^9 \text{ kJ} \cdot \text{s}^{-1}$
大气流动	$370 \times 10^9 \text{ kJ} \cdot \text{s}^{-1}$
光合作用	$40 \times 10^9 \text{ kJ} \cdot \text{s}^{-1}$

请选用以上数据计算:

(1) 地球对太阳能的利用率约为_____。

(2) 通过光合作用,每年有_____ kJ 的太阳能转化为化学能(每年按 365 天计)。

(3) 设每年由绿色植物通过光合作用($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$)为我们生存的环境除去二氧化碳的质量为 A。试根据能量关系列出 A 的计算式(列式中缺少的数据用符号 Q 表示)。A = _____ kg, 所缺数据的化学含义为_____。

[解析] 本题首先是考查阅读能力,太阳到达地球表面的辐射能分为两大类,一类离开地球,另一类被地球利用。地球对太阳能的利用率为:

$$\frac{(40 + 0.37 + 0.040) \times 10^{12} \text{ kJ}}{(52 + 81 + 40 + 0.37 + 0.040) \times 10^{12} \text{ kJ}} \times 100\% = 23.3\%$$

计算时,还应注意对数字的处理。

每秒钟地球吸收利用的热量为: $(40 + 0.37 + 0.040) \times 10^{12} \text{ kJ}$

每年利用的热量为: $365 \times 24 \times 3\,600 \times (40 + 0.37 + 0.040) \times 10^{12} \text{ kJ} = 1.27 \times 10^{21} \text{ kJ}$

每年通过光合作用转化为化学能的太阳能为: $365 \times 24 \times 3\,600 \times 40 \times 10^9 \text{ kJ} = 1.26 \times 10^{18} \text{ kJ}$

对于第(3)问,关键在于首先设计缺少的数据,其意义应同二氧化碳的质量有直接联系,设反应 $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ 的反应热 $\Delta H = Q \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, Q 的意义为吸收 6 mol CO_2 需要的太阳能。

$$A = 1.26 \times 10^{18} \text{ kJ} \div Q \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 6 \times 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{g}^{-1} = 3.33 \times 10^{17} / Q \text{ kg}$$

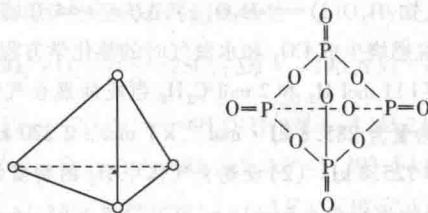
[答案] (1) 23.3% (2) $1.26 \times 10^{18} \text{ kJ}$ (3) $3.33 \times 10^{17} / Q$ 每生成 1 mol 葡萄糖所需要吸收的热量

[点评] 对地球对太阳能的利用没有把握,或把握不深刻(主要是综合知识不够)将造成利用率计算错误。反应热与物理学中的“热”、生物学中的“热量”、地理学中的“地表能”有密切的联系,这是一个跨学科的综合的命题。

例 11 化学反应可视为旧键断裂和新键形成的过程。化学键的键能是两种原子间形成 1 mol 化学键时释放的能量或断开 1 mol 化学键时所吸收的能量。现提供以下化学键的键能(下表)。试根据这些数据计算热化学方程式 $\text{P}_4(\text{白磷}, \text{s}) + 5\text{O}_2(\text{g}) = \text{P}_4\text{O}_{10}(\text{s}); \Delta H = -Q \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 中 Q 的值。

化学键	P—P	P—O	O=O	P=O
键能($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	198	360	498	585

(提示:白磷是正四面体型的分子,如左下图。当与氧生成 P_4O_{10} 时,每两个磷原子之间插入一个氧原子,此外,每个磷原子又以双键结合一个氧原子)



[解析] 本题考查反应热与化学键能之间的关系。根据题意可以想像出 P_4O_{10} 中有 12 个 P—O 键,4 个 P=O 键,如右上图,由化学反应中拆键吸热,成键放热, $\Delta H = \text{反应物键能之和} - \text{生成物键能之和}$,得该反应的焓变为:

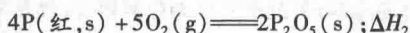
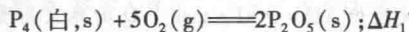
$$\begin{aligned} \Delta H &= 6 \times 198 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 5 \times 498 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &\quad - (12 \times 360 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 4 \times 585 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \\ &= -2\,982 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \text{即 } Q &= 2\,982. \end{aligned}$$

[答案] Q 的值为 2 982。

[点评] 此题关键是找出 1 mol P_4 中有 6 mol P—P 键,1 mol P_4O_{10} 中有 12 mol P—O 键和 4 mol P=O 键,这由几何图形不难看出。



例题 12 已知 1 mol 白磷(s) 转化为红磷(s) 时放出 18.39 kJ 的热量, 又知:



则 ΔH_1 和 ΔH_2 的关系正确的是 ()

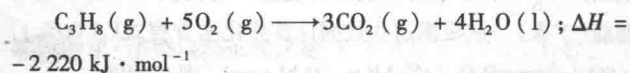
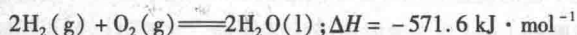
- A. $\Delta H_1 = \Delta H_2$ B. $\Delta H_1 > \Delta H_2$
C. $\Delta H_1 < \Delta H_2$ D. 无法确定

[解析] 将题给两热化学方程式相减。整理得 $P_4(\text{白}, s) = 4P(\text{红}, s); \Delta H_1 - \Delta H_2$ 。由题 1 mol 白磷(s) 转化为红磷(s) 时放出 18.39 kJ 的热量知, $\Delta H_1 - \Delta H_2 < 0$, 即 $\Delta H_1 < \Delta H_2$ 。

[答案] C

[点评] 对于放热反应, 在比较 ΔH 的大小时, 要注意 ΔH 的符号。

例题 13 已知下列两个热化学方程式:



根据上面两个热化学方程式, 试完成下列问题:

(1) 1 mol H_2 和 2 mol C_3H_8 组成的混合气体完全燃烧释放的热量为_____。

(2) 现有 H_2 和 C_3H_8 的混合气体共 5 mol, 完全燃烧时放热 3 847 kJ, 则在混合气体中 H_2 和 C_3H_8 的体积比是_____。

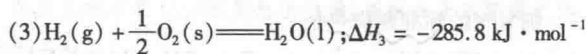
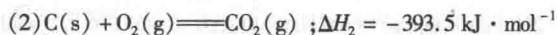
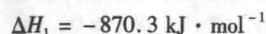
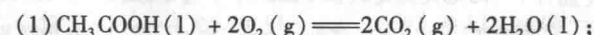
(3) 已知: $H_2O(l) = H_2O(g); \Delta H = +44.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 试写出丙烷燃烧生成 CO_2 和水蒸气时的热化学方程式。

[解析] (1) 1 mol H_2 和 2 mol C_3H_8 组成的混合气体完全燃烧释放的热量为 $285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1 \text{ mol} + 2220 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 2 \text{ mol} = 4725.8 \text{ kJ}$ 。(2) 设混合气体中 H_2 的物质的量为 x , 则 C_3H_8 的物质的量为 $5 \text{ mol} - x$, 所以: $285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times x + (5 \text{ mol} - x) \times 2220 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 3847 \text{ kJ}$, 解方程得 $x = 3.75 \text{ mol}$, 则 $5 \text{ mol} - x = 1.25 \text{ mol}$, 故 $V(H_2) : V(C_3H_8) = 3.75 \text{ mol} : 1.25 \text{ mol} = 3 : 1$ 。

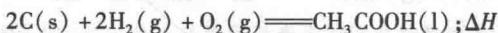
[答案] (1) 4 725.8 kJ (2) 3:1 (3) $C_3H_8(g) + 5O_2(g) = 3CO_2(g) + 4H_2O(g); \Delta H = -2044 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

[点评] 在有关反应热的简单计算时要牢记和充分理解反应热和热化学方程式的概念, 有时结合盖斯定律的应用, 就能顺利解决问题。

例题 14 已知在 298 K 时有下列反应:



试计算下述反应的反应热:



[解析] 本题考查焓变的其他计算方法, 利用物质的燃烧焓计算。

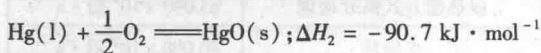
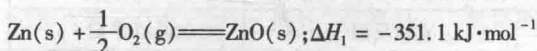
由公式知

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2\Delta H_2 + 2\Delta H_3 - \Delta H_1 \\ &= (-393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \times 2 + (-285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \times 2 - (-870.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \\ &= -488.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

[答案] $-488.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

[点评] 此类题目属于拓展知识, 有一定的难度, 让学生开阔视野, 学会新信息加工应用。

例题 15 已知下列热化学方程式:



由此可知 $Zn(s) + HgO(s) = ZnO(s) + Hg(l); \Delta H_3 = ?$ ΔH_3 的值是 ()

- A. $-441.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ B. $-254.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
C. $-438.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ D. $-260.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

[解析] 先将 $Hg(l) + \frac{1}{2}O_2(g) = HgO(s)$ 倒过来, 得 $HgO(s) = Hg(l) + \frac{1}{2}O_2(g); \Delta H'_2 = +90.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 再加上 $Zn(s) + \frac{1}{2}O_2(g) = ZnO(s); \Delta H_1 = -351.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 即得 $Zn(s) + HgO(s) = ZnO(s) + Hg(l); \Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H'_2 = -260.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

[答案] D

[点评] 一个化学反应不管分几步进行, 反应焓变是一样的, 焓变是各步反应焓变的代数和。

D 针对性练习

1. 下列说法不正确的是

- A. 化学反应除了生成新物质外, 还伴随着能量的变化
B. 放热反应都不需要加热就能发生
C. 吸热反应在一定条件下(如常温、加热等)也能发生
D. 化学反应是放热还是吸热, 取决于生成物具有的总能量和反应物具有的总能量

2. 下列各项与反应热的大小无关的是 (D)

- A. 反应物与生成物的状态
- B. 反应物量的多少
- C. 反应物的性质
- D. 反应的快慢

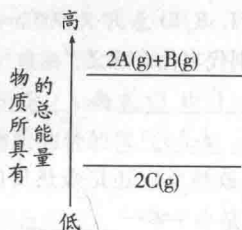
3. 下列反应属于放热反应的是 (D)

- A. $\text{Al} + \text{HCl}(\text{稀})$
- B. $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$
- C. KClO_3 受热分解
- D. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$

4. 下列说法正确的是 (C)

- A. 焓变单位中 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 是指 1 mol 物质参加反应时的能量变化
- B. 当反应放热时 $\Delta H > 0$, 反应吸热时 $\Delta H < 0$
- C. 一个化学反应中, 当反应物的总能量大于生成物的总能量时, 反应放热, ΔH 为 “-”
- D. 一个化学反应中, 生成物总键能大于反应物的总键能时, 反应吸热, ΔH 为 “+”

5. 分析下面的能量变化示意图, 下列热化学方程式正确的是 (B)



- A. $2\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g}); \Delta H = a (a > 0)$
- B. $2\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g}); \Delta H = a (a < 0)$
- C. $2\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons 2\text{C}; \Delta H = a (a < 0)$
- D. $2\text{C} \rightleftharpoons 2\text{A} + \text{B}; \Delta H = a (a > 0)$

6. 下列说法正确的是 (D)

- A. 反应热就是反应中放出的能量
- B. 在 101 kPa 时, 1 mol 碳燃烧所放出的热量为碳的燃烧热
- C. 由 $\text{C}(\text{石墨}) \rightarrow \text{C}(\text{金刚石}); \Delta H = +1.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 可知, 金刚石比石墨稳定
- D. 等量的硫蒸气和硫固体分别完全燃烧, 前者放出的热量多

7. 在 25 °C、101 kPa 时, 1 g 甲醇完全燃烧生成 CO_2 和液态水, 同时放出 22.68 kJ 热量。下列表示该反应的热化学方程式中正确的是 (B)

- A. $\text{CH}_3\text{O}(\text{l}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H =$

$$-725.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{B. } 2\text{CH}_3\text{O}(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = +1451.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{C. } 2\text{CH}_3\text{O} + 3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = -22.68 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{D. } \text{CH}_3\text{O} + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = -725.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

8. 温家宝总理指出“优化结构、提高效益和降低消耗、保护环境”, 这是我国国民经济和社会发展的基础性要求。你认为下列行为不符合这个要求的是 (D)

- A. 大力发展农村沼气, 将废弃的秸秆转化为清洁高效的能源
- B. 加快太阳能、风能、生物质能、海洋能等清洁能源的开发利用
- C. 研制开发以水代替有机溶剂的化工涂料
- D. 将煤转化成气态燃料可以有效地减少“温室效应”的气体产生

9. 已知在 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、298 K 条件下, 2 mol 氢气燃烧生成水蒸气放出 484 kJ 能量, 下列热化学方程式正确的是 (A)

$$\text{A. } \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}); \Delta H = +242 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{B. } 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = -484 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{C. } \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g}); \Delta H = +242 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{D. } 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}); \Delta H = +484 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

10. 下列热化学方程式书写正确的是 (C)

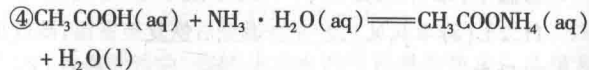
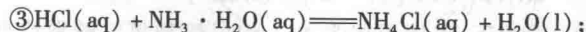
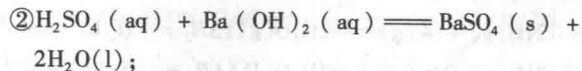
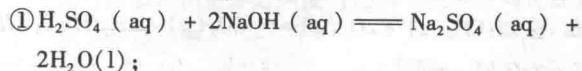
$$\text{A. } 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow[\text{V}_2\text{O}_5]{500^\circ\text{C}} 2\text{SO}_3; \Delta H = -196.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{B. } 4\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = -1143.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{C. } \text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}); \Delta H = -393.5 \text{ kJ}$$

$$\text{D. } \text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}); \Delta H = +393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

11. 已知 $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = 57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。以下四个化学反应方程式:



其中, 反应热为 $57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 的是 (D)

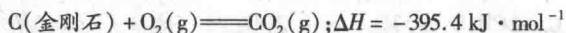
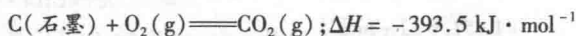
A. ①和②

B. ③

C. ④

D. 以上都不对

12. 已知 25 °C、101 kPa 下,石墨、金刚石燃烧的热化学方程式分别为:



据此判断,下列说法中正确的是 (D)

- A. 由石墨制备金刚石是吸热反应,石墨的能量比金刚石的低
B. 由石墨制备金刚石是吸热反应,石墨的能量比金刚石的高
C. 由石墨制备金刚石是放热反应,石墨的能量比金刚石的低
D. 由石墨制备金刚石是放热反应,石墨的能量比金刚石的高
13. 氢气在氯气中燃烧时产生苍白色火焰。在反应过程中,破坏 1 mol 氢气中的化学键消耗的能量为 Q_1 kJ,破坏 1 mol 氯气中的化学键消耗的能量为 Q_2 kJ,形成 1 mol 氯化氢中的化学键释放的能量为 Q_3 kJ。下列关系中,正确的是 (D)

- A. $Q_1 + Q_2 > Q_3$ B. $Q_1 + Q_2 > 2Q_3$
C. $Q_1 + Q_2 < Q_3$ D. $Q_1 + Q_2 < 2Q_3$

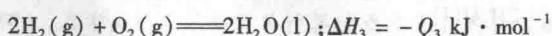
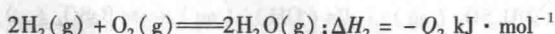
14. 燃烧热是指 1 mol 可燃物充分燃烧生成稳定氧化物时放出的热量。已知 $\text{H}_2(\text{g})$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 和 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 的燃烧热分别是 $-285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、 $-1411.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 和 $-1366.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,则由 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 反应生成 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 的 ΔH 为 (D)

- A. $-44.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ B. $+44.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
C. $-330 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ D. $+330 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

15. 一定条件下,充分燃烧一定量的丁烷放出热量 Q kJ ($Q > 0$),经测定完全吸收生成的 CO_2 需消耗 $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KOH 溶液 100 mL,恰好生成正盐,则此条件下丁烷的标准燃烧热为 (D)

- A. $+8Q \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ B. $+16Q \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
C. $-8Q \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ D. $-16Q \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

16. 已知: $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H_1 = -Q_1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$



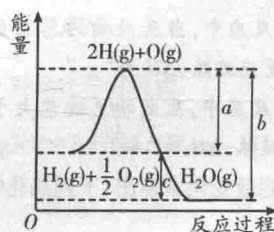
常温下,取体积比为 4:1 的甲烷和氢气的混合气体 11.2 L (标准状况),经完全燃烧后恢复至室温,则放出的热量为 (D)

- A. $0.4Q_1 + 0.05Q_3$ B. $0.4Q_1 + 0.05Q_2$
C. $0.4Q_1 + 0.1Q_3$ D. $0.4Q_1 + 0.2Q_2$

17. 下列有关热化学方程式的叙述中,正确的是 (D)

- A. 含 20.0 g NaOH 的稀溶液与稀盐酸完全中和,放出 28.7 kJ 的热量,则表示该反应中和热的热化学方程式为 $\text{NaOH}(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) = \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = +57.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
B. 已知 $\text{C(石墨,s)} = \text{C(金刚石,s)}; \Delta H > 0$,则金刚石比石墨稳定
C. 已知 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}); \Delta H = -483.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,则 H_2 的燃烧热为 $241.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
D. 已知 $2\text{C(s)} + 2\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g}); \Delta H_1$, $2\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO(g)}; \Delta H_2$,则 $\Delta H_1 < \Delta H_2$

18. 已知: $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O(g)}$,反应过程中能量变化如图所示。



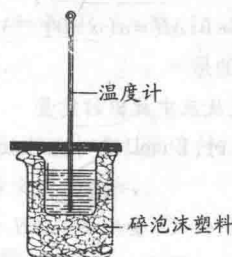
问:

(1) a, b, c 分别代表什么意义?

a . _____; b . _____;
 c . _____。

(2) 该反应是放热反应还是吸热反应? _____。 ΔH 大于零还是小于零? _____。

19. 50 mL 0.50 mol · L⁻¹ 盐酸与 50 mL 0.55 mol · L⁻¹ NaOH 溶液在如图所示的装置中进行中和反应。通过测定反应过程中所放出的热量可计算中和热。回答下列问题:



- (1) 从实验装置上看,图中尚缺少的一种玻璃用品是 _____。
(2) 烧杯间填满碎纸条的作用是 _____。
(3) 大烧杯上如不盖硬纸板,求得的中和热值 _____ (填“偏大”“偏小”或“无影响”)。
(4) 该实验常用 0.50 mol · L⁻¹ HCl 和 0.55 mol · L⁻¹ 的 NaOH 溶液各 50 mL。NaOH 的浓度大于 HCl 的浓度