



北京师范大学国家基础教育
课程标准实验教材总编委会组编

普通高中课程标准实验教科书

经全国中小学教材审定
委员会 2004 年初审通过

化学

HUA XUE

化学反应原理
(选修)



山东科学技术出版社

普通高中课程标准实验教科书

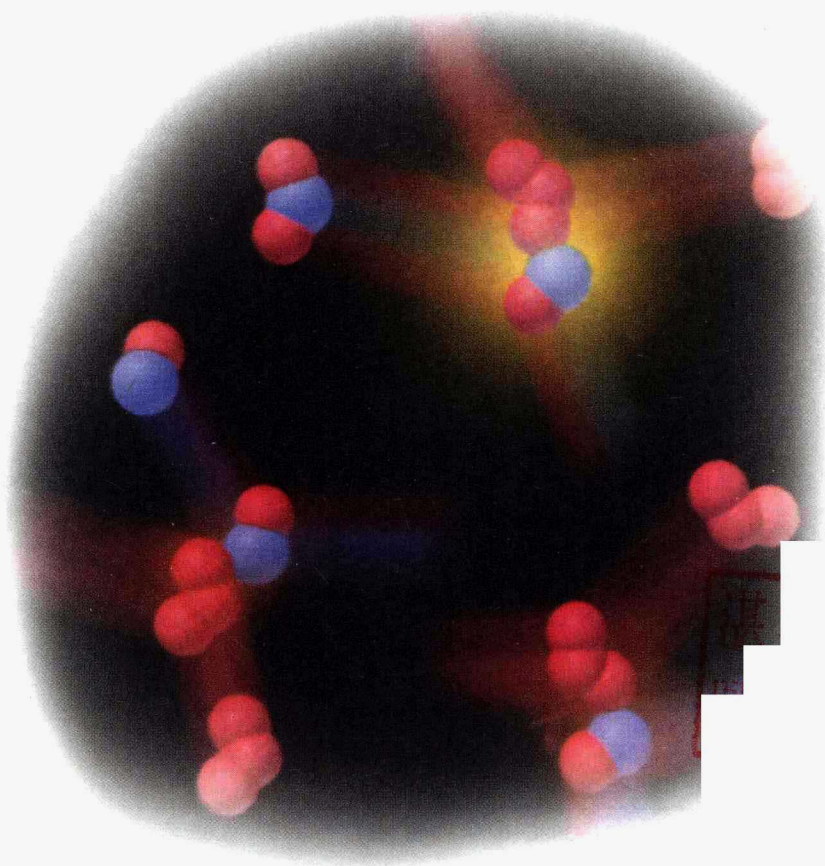
化 学

化学反应原理(选修)

北京师范大学国家基础教育课程标准实验教材总编委会组编

全套教材主编 王 磊 陈光巨

本册教材主编 王明召 高盘良 王 磊



 山东科学技术出版社

责任编辑 刘宗寅 郑淑娟 刘大诚
封面设计 史速建 董小眉

普通高中课程标准实验教科书

化 学

化学反应原理 (选修)

北京师范大学国家基础教育课程标准实验教材总编委会组编

全套教材主编 王 磊 陈光巨

本册教材主编 王明召 高盘良 王 磊

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路16号 邮编: 250002 电话: (0531) 82098082

代印者: 广东教材出版中心

地址: 广州市水荫路11号 邮编: 510075 电话: (020) 37606724

发行者: 广东省新华书店

地址: 广州市大沙头四马路12号 邮编: 510103 电话: (020) 83781036

印刷者: 揭阳市雅音图印刷有限公司

地址: 揭阳市区凤林凤东路东侧 邮编: 522000 电话: (0663) 8676168

开本: 880mm × 1230mm 1/16 印张: 7.75 字数: 180千

版次: 2006年7月第2版 2006年7月第1次印刷

印数: 0.001-7,500册

ISBN 7-5331-3996-8/G · 383 (课) 定价: 8.89元

著作权所有 · 请勿擅用本书制作各类出版物 · 违者必究
如有印装质量问题, 影响阅读, 请与教材中心(电话 020-37606563)联系调换。
批准文号: 粤价[2006]138号 举报电话: 12358

致同学们

欢迎同学们选修化学反应原理课程模块。化学科学的独特魅力和重要责任在于认识自然界里存在的各种各样的、奇妙的化学反应，探索纷繁的化学反应背后的本质和规律；化学科学的伟大价值在于使人类能够根据化学反应的规律控制和利用化学反应，获取生产和生活所需要的能量和物质，更加深入地了解、认识生命过程，提高生活质量，促进社会发展。

本教材从“化学反应与能量转化”“化学反应的方向、限度与速率”及“物质在水溶液中的行为”三个方面介绍有关化学反应的基本原理和研究方法。这些基本原理和研究方法对于深入了解化学反应的本质和规律是极为重要的，它们不仅具有理论意义，而且具有实用价值；它们不仅是核心的基础化学知识，而且对同学们今后从事科学研究与技术创新具有重要的指导作用。

随着现代化学的发展，一些经典化学反应原理得到了补充和完善，新的理论和方法不断涌现，因此，教材不仅注意内容的科学性和严谨性，而且注意体现学科发展的时代性。另外，教材还力求做到：在讲解基本概念和基本原理时，尽可能多地介绍一些学术思想和研究方法，引导同学们了解学术思想和研究方法的形成与发展过程；突出化学是一门实验科学的特点，多给同学们提供动手实验、探究思考的机会，使大家体会实验对于产生理论和检验理论的重要作用；体现化学正在逐步走向定量化的特征，引导同学们学会运用适当的数学方法，定量地分析和解决有关化学反应的问题。

教材分为3章，包含11节内容。

第1章在同学们已经了解化学键、化学反应的实质、化学反应的能量变化等知识的基础上，以“能量转化”为主线，引导大家在定量层次上讨论化学能转化为热能的有关问题——化学反应热效应的测定和定量计算，更深入地探究化学能与电能之间的相互转化——电池和电解的基本原理，使大家对化学反应与能量转化问题的认识产生质的飞跃。

第2章在同学们已经具有化学平衡和化学反应速率的初步概念并已经能够定量描述化学反应热效应的基础上，引导大家在更高层面上比较全面地认识化学反应的方向、限度和速率的有关规律，了解相应的理论及实验方法，学会定量描述反应限度和速率，能够综合分析各方面因素对实际化工生产的影响。具体内容包括如何从理论上



分析化学反应的可能性、计算反应的最大反应限度和使平衡按需要移动,如何通过实验获知化学反应的速率并改变反应速率,如何优化化学反应的条件等。

第3章重在引导同学们运用前两章学习的理论知识认识物质在水溶液中的行为及其规律。本章结合同学们已经接触过的一些化学反应,以最常见的反应体系——水溶液为例,向大家介绍溶液体系中化学平衡理论的一些重要应用及有关的研究方法。教材以溶剂——水为线索,引导同学们先了解溶剂自身的特性,然后认识溶质溶于水后可能发生的变化、可能与水发生的相互作用,再了解溶质之间可能发生的反应。具体内容包括水的电离,溶液 pH,弱酸弱碱电离平衡,盐类水解平衡和沉淀溶解平衡的分析,以及相关的简单定量计算。最后一节“离子反应”引导同学们全面地回顾、总结水溶液中的重要反应,综合运用并加深理解所学的化学反应原理。

为了使同学们更有效地学习,本教材设置了“联想·质疑”“活动·探究”“交流·研讨”“观察·思考”等活动性栏目。这些栏目的内容属于基本要求。

“联想·质疑”联想已有经验,提出新的问题。

“活动·探究”亲自动手实践,探索解决问题。

“交流·研讨”人人参与讨论,分析归纳总结。

“观察·思考”老师演示实验,大家分析思考。

此外,本教材在基本要求的基础上还设置了其他栏目,编排有关的提高内容。

“方法导引”对学习某一具体内容给予方法和思路上的引导,所介绍的方法是科学研究中常用的。

“历史回眸”“资料在线”“身体内的化学”“化学与技术”和“化学前沿”等栏目从多个角度开拓同学们的视野,启迪大家的思维,使大家体会化学反应原理在生产、生活和科学研究中的广泛应用。

“追根寻源”对某一方面的问题进行深入分析,以帮助同学们获得更深层次的认识。“拓展视野”则针对相关知识进行更全面的介绍,拓宽同学们的视野。

“学海无涯”是从学科角度对有关知识进行的更本质的分析和介绍,供感兴趣的同学们选择学习,不是高中阶段的基本要求。

通过本模块的学习,同学们可以比较深刻地理解化学科学的精髓,为自己科学素养的提高搭建更高的平台,提供更广的空间。我们希望本教材能成为同学们学习化学反应原理的良师益友,激发大家学习化学的浓厚兴趣,吸引喜欢化学的同学踏上化学研究之路。



目录 CONTENTS

第1章 化学反应与能量转化

第1节 化学反应的热效应	2
第2节 电能转化为化学能——电解	11
第3节 化学能转化为电能——电池	20
本章自我评价	33

第2章 化学反应的方向、限度与速率

第1节 化学反应的方向	36
第2节 化学反应的限度	42
第3节 化学反应的速率	55
第4节 化学反应条件的优化——工业合成氨	66
本章自我评价	72

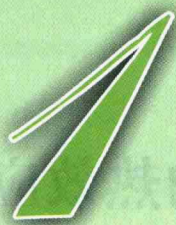
第3章 物质在水溶液中的行为

第1节 水溶液	75
第2节 弱电解质的电离 盐类的水解	82
第3节 沉淀溶解平衡	94
第4节 离子反应	102
本章自我评价	111

附录

1. 一些化合物在水中的电离常数 K_a 和 K_b	113
2. 部分难溶电解质的溶度积 K_{sp}	114
3. 各章节的主要术语	115
元素周期表	

第



章

化学反应与能量转化



化学反应的实质是旧化学键断裂和新化学键生成。几乎所有的化学反应都伴随着能量的释放或吸收。从煤、石油、天然气燃烧时产生的热能到各种化学电源产生的电能，化学反应产生的各种形式的能量，是人类社会所需能量的重要来源。同时，通过各种化学反应将其他形式的能量转化为化学能，化学又为人类创造了一个五彩缤纷的物质世界。

当今，能源的开发、利用与人类社会的可持续发展息息相关。一方面，现在人们使用的煤、石油、天然气等主要能源面临着日渐枯竭的危险；另一方面，这些能源的大量使用又带来严重的环境污染问题。提高现有能源的利用率，不断开发新的清洁能源，是摆在人类面前的重大课题。因此，研究化学，不仅要研究化学反应中的物质变化，还要研究伴随着物质变化而发生的能量转化。

第 1 节 化学反应的热效应

第 2 节 电能转化为化学能

—— 电解

第 3 节 化学能转化为电能

—— 电池

本章自我评价

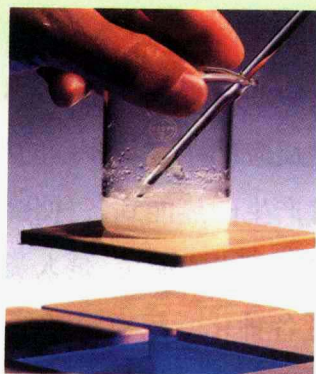


第 1 节 化学反应的热效应

联想·质疑



铝粉与氧化铁的反应——铝热反应（放热）



硝酸铵与氢氧化钡晶体
[Ba(OH)₂ · 8H₂O] 的反应
（吸热）

图 1-1-1 化学反应的放热与吸热

通常情况下，化学反应中能量的转化主要是化学能和热能之间的转化，几乎所有化学反应都伴随着热量的释放或吸收。在生产和生活中，人们广泛利用着化学反应释放的热量。为了有效地利用一些化学反应释放的热量或通过提供热量来维持有关化学反应的正常进行，人们对化学反应释放或吸收的热量有定量的了解。

那么，应如何定量地描述一个化学反应释放或吸收的热量呢？用什么方法可以准确地测量这些热量呢？通过理论方法能够计算出这些热量吗？

一、化学反应的反应热

为了定量描述化学反应释放或吸收的热量，化学上规定，当化学反应在一定的温度下进行，反应所释放或吸收的热量称为该反应在此温度下的热效应，简称为**反应热**（heat of reaction），通常用符号 Q 表示。反应吸热时， Q 为正值；反应放热时， Q 为负值。反应热的数据可以通过实验测得，也可以运用理论计算求得。用实验方法和理论方法研究反应热的化学分支称为热化学。

用于测定反应热的仪器称为量热计。图 1-1-2 是一种简易量热计的示意图。量热计由内、外两个筒组成，内筒是反应容器，外筒起保温作用。将两种反应物的溶液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释放或吸收的热量。

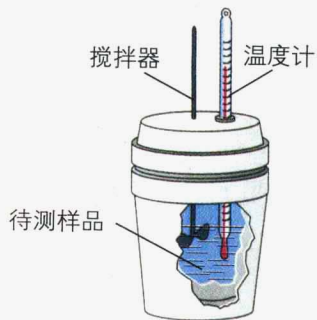


图 1-1-2 简易量热计示意图

$$Q = -C(T_2 - T_1)$$

式中： C 表示体系的热容； T_1 、 T_2 分别表示反应前和反应后体系的温度。

资料在线

热容和比热

当物质吸收热量温度升高时，温度每升高 1 K 所吸收的热量，称为该物质的热容，用符号 C 表示。热容的单位是 $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

纯物质的热容与其质量成正比。单位质量的物质的热容称为该物质的比热容，简称比热。比热的单位是 $\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。常温下，液态水的比热为 $4.18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

活动·探究

测定中和反应的反应热

利用简易量热计按照以下步骤可测得室温下中和反应的反应热。

1. 向量热计内筒中加入 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸 100 mL，盖上杯盖，插入温度计，匀速搅拌后记录初始温度 T_1 。

2. 向 250 mL 的烧杯中加入 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液 100 mL，调节其温度，使之与量热计中盐酸的温度相同。（为使中和反应充分进行，实验时酸或碱应略过量。）

3. 快速将烧杯中的碱液倒入量热计中，盖好杯盖，匀速搅拌，记录体系达到的最高温度 T_2 。

4. 假设溶液的比热等于水的比热并忽略量热计的热容，根据溶液温度升高的数值，计算此中和反应的反应热。

用同样的方法分别测定 KOH 溶液与盐酸反应、NaOH 溶液与硝酸反应的反应热。

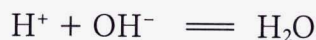
所测得的上述三个中和反应的反应热相同吗？你能说出其中的原因吗？

实 验	溶液温度 /K		反应热 / J
	T_1	T_2	
NaOH 溶液 与盐酸			
KOH 溶液 与盐酸			
NaOH 溶液 与硝酸			

T 为热力学温度，单位为 K。 t 为摄氏温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

在上述实验中，参加反应的物质都是强酸或强碱，它们在水中是完全电离的，因此所发生的反应都是溶液中的 H^+ 和 OH^- 结合生成水的反应。



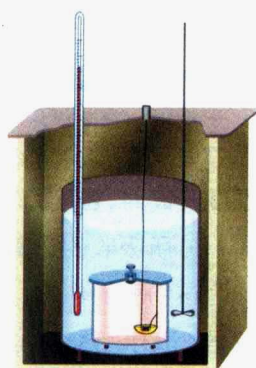


图 1-1-3 弹式量热计剖面示意图



图 1-1-4 微量热计

由于三个实验中所用溶液的体积是相同的, 溶液中 H^+ 和 OH^- 的浓度也是相同的, 反应温度又一样, 因此三个反应的反应热也是相同的。

拓展视野

量热计

用于测定反应热的量热计有很多种, 大致可分为定压式量热计和定容式量热计两类。前者用于测定在一定压强下进行的反应的反应热, 后者则用于测定在反应体系体积不变的条件下进行的反应的反应热。图1-1-3所示的是实验室里常用的弹式量热计, 主要用于测定在定容条件下物质燃烧的反应热。将待测物质放在一个充满氧气的密封金属容器(称为氧弹)内, 再将此容器置于盛有一定量水的量热计内筒中, 通过电点火装置使氧弹中的物质燃烧, 反应放出的热量会使氧弹外面的水温升高。用温度计测量水温的变化, 即可计算出此反应放出的热量。随着科学技术的进步, 人们对反应热的测定精度越来越高。近年研制成功的微量热计, 可用于测量某些生物化学反应释放或吸收的极少的热量。

方法导引

物理量的变化

—— ΔX

化学中经常用 ΔX 代表体系经过一个物理变化或化学反应过程后, 某物理量 X 的变化。通常规定, 物理量的变化要用变化后的该物理量减去变化前的该物理量来表示。例如, 若一定量的气体在一定的压强下受热膨胀, 气体体积的改变可表示为:

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

式中: V_1 、 V_2 分别表示气体初态和终态的体积。

二、化学反应的焓变

化学反应的反应热是由于反应前后物质所具有的能量不同而产生的。物质所具有的能量是物质固有的性质, 可以用一个物理量来描述。科学家们定义了一个称为“焓”的物理量, 符号为 H , 用它的变化来描述与反应热有关的能量变化。

在实验室里或在生产中, 化学反应大多是在敞口容器中进行的。由于大气压强通常变化很小, 因此在反应中反应体系的压强可以近似看做不变, 这时所发生的反应称为等压反应。热化学研究表明, 对于等压条件下进行的化学反应, 除去伴随着反应体系体积改变做功所消耗的能量, 如果反应中物质的能量变化全部转化为热能, 而没有转化为电能、光能等其他形式的能, 则反应前后物质的焓的改变就等于该反应的反应热, 其数学表达式为:

$$\Delta H = Q_p$$

式中: Q_p 表示在压强不变条件下化学反应的反应热。

$$\Delta H = H(\text{反应产物}) - H(\text{反应物})$$

ΔH 为反应产物的总焓与反应物的总焓之差, 称为反应焓变 (enthalpy change of reaction)。如果 $\Delta H > 0$, 即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 1-1-5 所示。

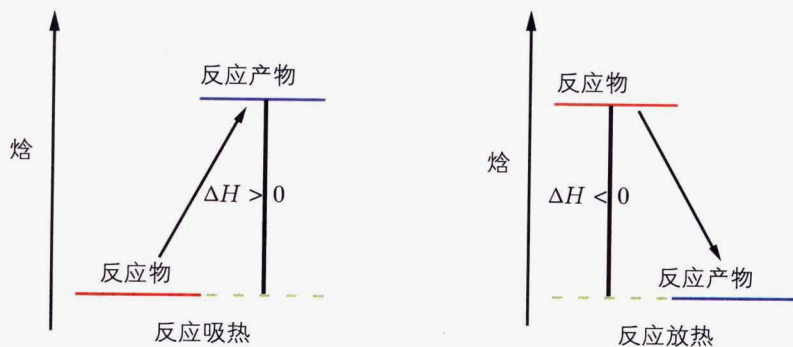


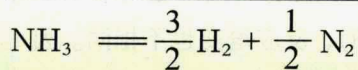
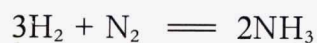
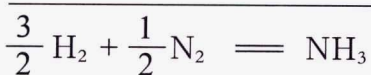
图 1-1-5 化学反应的焓变示意图

在热化学中, 常用热化学方程式 (thermochemical equation) 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。例如, 在 298 K 时, 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 和 0.5 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 1 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 放热 285.8 kJ, 此反应的热化学方程式可写为:



交流·研讨

已知在 298 K 时, 由氢气和氮气反应生成 1 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ 放热 46.11 kJ, 将下列化学方程式写成熟化学方程式。



讨论: 书写热化学方程式时应注意什么问题?

资料在线

ΔH 的单位中 mol^{-1} 的含义

反应焓变单位中的“ mol^{-1} ”表明参加反应的各种物质的物质的量与化学方程式中各物质的化学式的系数相同。例如, $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H(298 \text{ K}) = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 表示 298 K 时, 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 与 0.5 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 1 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 放热 285.8 kJ。若将化学方程式写成 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H(298 \text{ K}) = -571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则表示 298 K 时, 2 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 与 1 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 2 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 放热 571.6 kJ。

书写热化学方程式时, 要注意以下几点:

(1) 要在物质的化学式后面用括号注明参加反应的物质的聚集状态。一般用英文字母 g、l 和 s 分别表示气态、液态和固态, 水溶液中的溶质则用 aq 表示。

(2) 在 ΔH 后要注明反应温度, 因为同一反应在不同温度下进行其焓变是不同的。对于 298 K 时进行的反应, 可以不注明温度。

(3) ΔH 的单位是 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ 或 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(4) 根据焓的性质, 若化学方程式中各物质的系数加倍, 则 ΔH 的数值也加倍; 若反应逆向进行, 则 ΔH 改变符号, 但绝对值不变。

追根寻源

反应焓变与反应条件有关

焓是科学家们为了便于计算反应热而定义的一个物理量, 它的数值与物质具有的能量有关。对于一定量的纯净物质, 在一定的状态 (如温度、压强) 下, 焓有确定的数值。在同样的条件下, 不同的物质具有的能量不同, 焓的数值也就不同; 同一物质所处的环境条件 (如温度、压强) 不同, 以及物质的聚集状态不同, 焓的数值也不同。焓的数值的大小与物质的物质的量有关; 在相同的条件下, 当物质的物质的量增加一倍时, 焓的数值也增加一倍。

因此, 当一个化学反应在不同的条件 (如温度、压强、溶液的浓度等) 下进行, 尤其是物质的聚集状态不同时, 反应焓变是不同的。表 1-1-1 给出的是 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 和 0.5 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 在不同的温度下反应生成水或水蒸气的反应焓变。

表 1-1-1 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 和 0.5 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 生成水或水蒸气的反应焓变

产物	25 °C	80 °C
$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	-285.8 kJ	-284.1 kJ
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-241.8 kJ	-242.4 kJ

在书写热化学方程式时, 必须注明反应体系中所有物质的聚集状态和反应条件 (由于压强对反应焓变影响很小, 所以一般只标明温度)。溶质在溶液中进行反应, 当溶剂不同或溶剂相同但溶质的浓度不同时, 反应焓变也不相同。因此对在溶液中进行反应, 应标明溶剂种类和溶质的浓度。

三、反应焓变的计算

联想·质疑

目前人们已知的化学反应数以千万计,而每一个反应在不同温度下的反应焓变又不尽相同,如果反应焓变都要通过实验测定,工作量之大可想而知。另外,由于反应条件的限制,有些反应焓变很难直接测定。例如,碳单质在氧气中充分燃烧的产物是二氧化碳气体,而由碳单质与氧气反应生成一氧化碳气体这个反应必然伴随有二氧化碳气体产生。那么,如何得到碳单质与氧气反应生成一氧化碳的反应焓变呢?能否利用一些已知的反应焓变计算其他反应的反应焓变呢?

在大量实验的基础上,瑞士科学家盖斯(G.H.Hess)总结出如下规律:对于一个化学反应,无论是一步完成还是分几步完成,其反应焓变是一样的。这一规律称为**盖斯定律**(Hess's law)。盖斯定律的提出,为计算反应焓变奠定了理论基础,因此人们称盖斯为“热化学之父”。

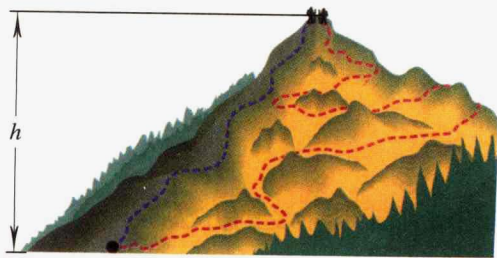


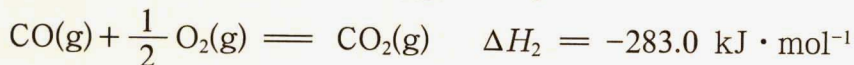
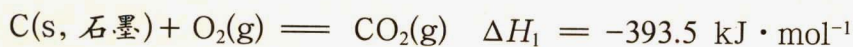
图 1-1-7 山的高度与登山路径无关

由于在指定的状态下各种物质的焓值都是确定且惟一的,因此无论经过哪些步骤从反应物变成反应产物,它们的差值是不会改变的,也就是说,反应焓变是一样的。这就好比人们在登山时,往往有多条路径可以选择,但不论选择哪条路径,从山脚爬到山顶,总的上升高度是相同的。

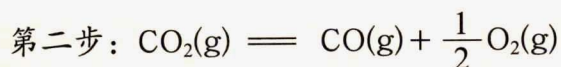
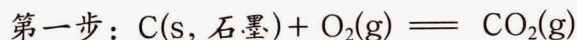


图 1-1-6 瑞士科学家 盖斯
(G.H.Hess, 1802-1850)

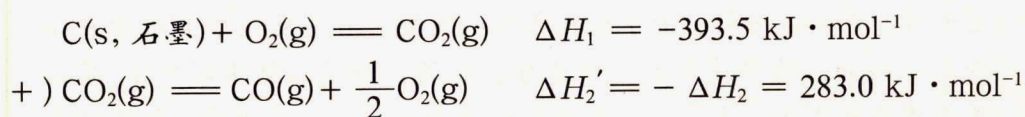
【例】 试利用 298 K 时下述反应焓变的实验数据,计算在此温度下 $\text{C(s, 石墨)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO(g)}$ 的反应焓变。



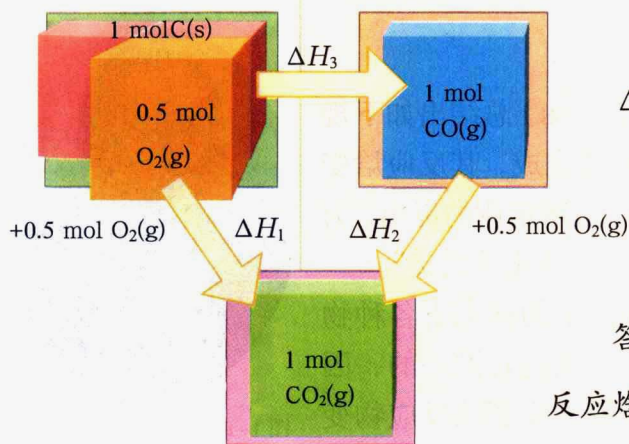
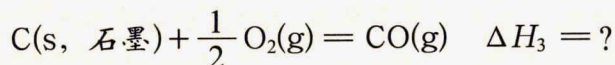
解：设此反应分两步进行：



将上述两步反应相加：



总反应为：



根据盖斯定律，总反应的 ΔH_3 为两步反应的 ΔH 之和，即：

$$\begin{aligned} \Delta H_3 &= \Delta H_1 + \Delta H_2' \\ &= -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 283.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -110.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

答：298 K 时， $\text{C(s, 石墨)} + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}(\text{g})$ 的反应焓变为 $-110.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

图 1-1-8 反应焓变与反应路径间关系示意图

由以上例题可以总结出利用已知焓变求未知焓变的方法：若一个化学方程式可由另外几个化学方程式相加减而得到，则该化学反应的焓变即为这几个化学反应焓变的代数和。

精要概括

1. 当一个化学反应在一定温度下进行，反应释放或吸收的热量称为此反应在该温度下的反应热。
2. 反应热可以用量热计测量。在测定反应热的实验中，反应释放或吸收的热量可通过反应前后体系温度的变化来计算。

$$Q = -C(T_2 - T_1)$$

3. 对于等压条件下进行的化学反应, 除去伴随着反应体系体积改变做功所消耗的能量, 如果化学反应过程中体系的压强不变(此时发生的反应称为等压反应), 且反应中物质的能量变化全部转化为热能, 而没有转化为电能、光能等其他形式的能, 则反应热即反应焓变等于反应产物的焓与反应物的焓之差:

$$Q_p = H(\text{反应产物}) - H(\text{反应物}) = \Delta H$$

4. 热化学方程式可用于定量描述化学反应的焓变。书写热化学方程式时要注意反应物和反应产物的聚集状态及反应温度。

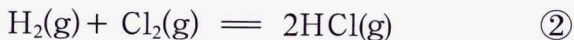
5. 反应焓变可以通过盖斯定律计算。

如果一个化学方程式可以通过其他几个化学方程式相加减而得到, 则该反应的焓变为相关化学反应的焓变的代数和。

迁移应用

1. 回答下列问题:

(1) 在相同温度下, 反应①比反应②释放的热量多, 为什么?



(2) 在相同条件下, 反应③和反应④释放的热量几乎相等, 从化学键的角度分析, 是什么原因?



(注: C_2H_4 为 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, C_2H_6 为 CH_3-CH_3 , C_3H_6 为 $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$, C_3H_8 为 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$)

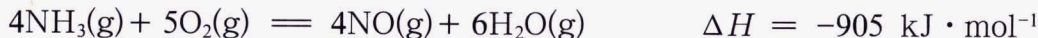
2. 写出 298 K 时, 下列反应的热化学方程式:

(1) 3 mol $\text{NO}_2(\text{g})$ 与 1 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 反应生成 $\text{HNO}_3(\text{aq})$ 和 $\text{NO}(\text{g})$, 放热 138 kJ。

(2) 用 $\text{CO}(\text{g})$ 还原 1 mol $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$, 放热 24.8 kJ。

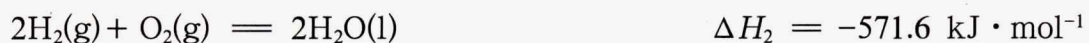
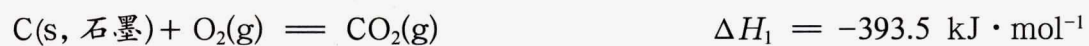
(3) 1 mol $\text{HgO}(\text{s})$ 分解为液态汞和氧气, 吸热 90.7 kJ。

3. 请解释下述热化学方程式表示的含义:



若将此化学方程式中各物质的系数均乘以 2, 应如何书写热化学方程式?

4. 在 298 K、100 kPa 时, 已知:



根据盖斯定律, 计算 298 K 时由 C(s, 石墨) 和 $\text{H}_2(\text{g})$ 生成 1 mol $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 反应的焓变。
