

经全国中小学教材审定委员会2005年初审通过
普通高中课程标准实验教科书·化学

化学反应原理

周期	族	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII	VIII	IX	X	XI	XII	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0											
1		1 H 氢 1.008																													
2		3 Li 锂 6.941	4 Be 铍 9.012																												
3		11 Na 钠 22.99	12 Mg 镁 24.31	13 Al 铝 26.98	14 Si 硅 28.09	15 P 磷 30.97	16 S 硫 32.06	17 Cl 氯 35.45	18 Ar 氩 39.95																						
4		19 K 钾 39.10	20 Ca 钙 40.08	21 Sc 钪 44.96	22 Ti 钛 47.88	23 V 钒 50.94	24 Cr 铬 52.00	25 Mn 锰 54.94	26 Fe 铁 55.85	27 Co 钴 58.93	28 Ni 镍 58.69	29 Cu 铜 63.55	30 Zn 锌 65.38	31 Ga 镓 69.72	32 Ge 锗 72.64	33 As 砷 74.92	34 Se 硒 78.96	35 Br 溴 79.90	36 Kr 氪 83.80												
5		37 Rb 铷 85.47	38 Sr 锶 87.62	39 Y 钇 88.91	40 Zr 锆 91.22	41 Nb 铌 92.91	42 Mo 钼 95.94	43 Tc 锝 98.91	44 Ru 钌 101.1	45 Rh 铑 102.9	46 Pd 钯 106.4	47 Ag 银 107.9	48 Cd 镉 112.4	49 In 铟 114.8	50 Sn 锡 118.7	51 Sb 锑 121.8	52 Te 碲 127.6	53 I 碘 126.9	54 Xe 氙 131.3												
6		55 Cs 铯 132.9	56 Ba 钡 137.3	57 La 镧 138.9	58 Ce 铈 140.1	59 Pr 镨 140.9	60 Nd 钕 144.2	61 Pm 钷 144.9	62 Sm 钐 150.4	63 Eu 铕 151.9	64 Gd 钆 157.3	65 Tb 铽 158.9	66 Dy 镝 162.5	67 Ho 铥 164.9	68 Er 铒 167.3	69 Tm 铥 168.9	70 Yb 镱 173.0	71 Lu 镥 175.0	72 Hf 铪 178.5	73 Ta 钽 180.9	74 W 钨 183.8	75 Re 铼 186.2	76 Os 锇 190.2	77 Ir 铱 192.2	78 Pt 铂 195.1	79 Au 金 197.0	80 Hg 汞 200.6	81 Tl 铊 204.4	82 Pb 铅 207.2	83 Bi 铋 209.0	
7		87 Fr 钫 [223]	88 Ra 镭 226.0	89-103 Ac-Lr 锕系	104 Rf 钨 [261]	105 Db [262]	106 Sg [266]	107 Bh [264]	108 Hs [269]	109 Mt [268]	110 [269]	111 [272]	112 [277]																		



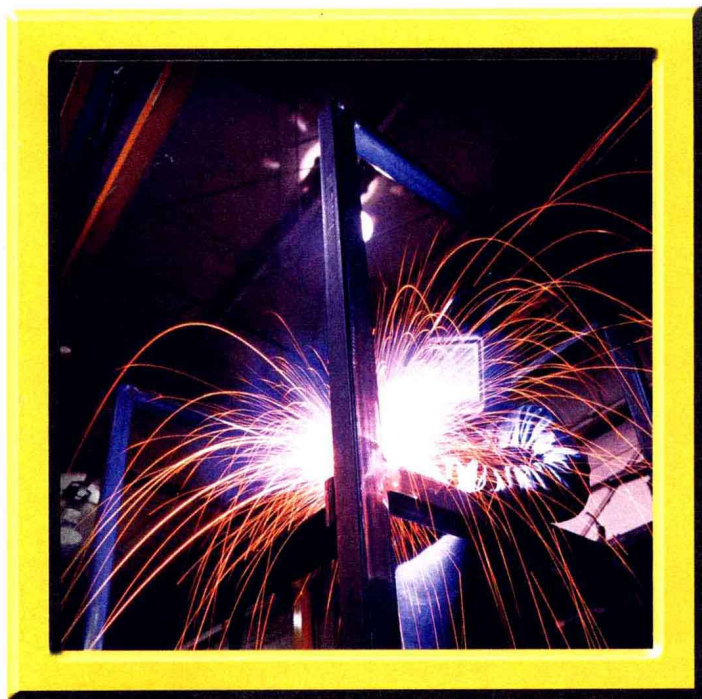
凤凰出版传媒集团
江苏教育出版社
JIANGSU EDUCATION PUBLISHING HOUSE

选修

经全国中小学教材审定委员会2005年初审通过
普通高中课程标准实验教科书·化学

化学反应原理

主编 王祖浩



凤凰出版传媒集团

● 江苏教育出版社

选修

主 编 王祖浩
副 主 编 吴 星 刘宝剑 王云生

本册主编 王祖浩
副 主 编 吴 星 马宏佳

普通高中课程标准实验教科书·化学
书 名 化学反应原理 选修
主 编 王祖浩
责任编辑 丁金芳
出 版 凤凰出版传媒集团
江苏教育出版社(南京市湖南路1号A楼 210009)
网 址 <http://www.1088.com.cn>
集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>
重 印 浙江省出版总社
经 销 浙江省新华书店
照 排 南京新华丰制版有限公司
印 刷 浙江新华数码印务有限公司
开 本 890×1240 毫米 1/16
印 张 6.75
版 次 2009年7月第4版
2011年6月浙江第6次印刷
书 号 ISBN 978-7-5343-7001-4
定 价 7.91 元

如发现印、装质量问题,请与本公司联系。电话: 0571-85155604

写给同学们的话

亲爱的同学们，首先欢迎你们进入高中化学选修课程学习阶段。回顾初中的化学学习经历，我们有过曲折，但更多的是快乐。虽然只是化学的启蒙，但已经初步了解了化学发展的历程，领略了化学科学的魅力，体验了科学探究的乐趣。通过高中必修课程《化学1》、《化学2》的学习，我们进一步领悟了化学博大精深的科学思想，理解了化学与人类文明的密切关系，学到了许多有用的化学知识。

化学是什么？著名科学家 R. 布里斯罗在就任美国化学会会长期间撰写了一部经典的著作，名为《化学的今天和明天》。在该书的副标题中，化学被神圣地定义为“一门中心的、实用的、创造性的科学”。

与人类已知的几百万种生物相比，已知的化合物已达数千万种，近来每年化学家创造的新化合物就达 100 万种以上。

物质的结构决定物质的性质，物质的性质关系到物质的用途。时至今日，化学家们积累起来的知识和技术虽能使人们根据需要来设计材料的结构，但难以全部如愿。

化学与制药、石油、橡胶、造纸、建材、钢铁、食品、纺织、皮革等与国民经济息息相关的产业衰荣与共。据统计，大约有50%的工业化学家活跃在这些行业中。

为了保卫地球、珍惜环境，化学家们开创了绿色时代。“绿色化学”正在努力并且已经能够做到：使天空更清洁，使化工厂排放的水与取用时一样干净。

.....

千姿百态的物质世界与高度发达的科学技术将一个飞速膨胀的知识系统呈现在我们眼前；而千变万化的自然现象诱发出无数充满好奇的中学生的思维火花。在这“多样”与“变化”的背后，同学们或许已隐隐发现，万物都有其变化的规律，这种规律就是通常所说的学问。高中化学课程将以一种新的方式来展现这些学问。

如果说在初中阶段，我们只是泛舟荡漾在化学的河川之上，为沿途的旖旎风景所倾倒，那么进入高中阶段，我们眼前的河面越加开阔，景色更加优美。扬起风帆，我们将遨游于神奇的化学海洋之中。

我细心观察过今天的高中学生，欣喜地发现，随着时代的进步，同学们的视野更为开阔，思维愈发活跃。教师们常常在为高中生各种新奇的创意与问题惊讶甚至烦恼的同时，不能不从内心叹服他们对化学内涵的深刻理解，以及表现出来的巨大思维潜力。有了如此乐观的基础，在高中化学必修和选修课程的学习过程中，同学们能体验到实验探究的乐趣，掌握科学研究的方法，感受化学在解决人类面临的重大挑战时所作出的贡献。总之，在学习化学基础知识、基本技能的同时，我们应从简单入手，逐步学会解决复杂的问题，学会用化学的眼光和思维去审视我们赖以生存的世界，为日后参与社会决策打下一定基础，从而获益终身。

《化学反应原理》作为继必修课程《化学1》、《化学2》之后的选修课程，她从化学反应与能量、化学反应速率与化学平衡以及溶液中的离子反应等方面入手，引导同学们研究化学反应现象，探索化学反应规律。在继承科学传统的基础上，本书更好地融合了学生的认知特征和化学学科发展的线索，建构了新的内容体系，介绍了化学反应中能量变化所遵循的基本原理，阐述了影响化学反应速率的因素和判断化学反应方向的依据，讨论了化学平衡的基本理论，分析了溶液中离子反应的有关规律，帮助同学们用变化、平衡的观点去分析化学问题。同时，教材结合一系列实际问题和探究活动，培养学生解决问题的能力。

教材设置了丰富多彩的探究活动，帮助同学们学好化学反应原理。

不同功能的教材栏目体现了作者的编写理念，有助于同学们学习方式的多样化。

【你知道吗】引导同学们回顾已有知识，在新旧知识之间架起“桥梁”，联系自己原有的经验，激发探究的欲望。

【活动与探究】引领同学们积极投身实践活动，在“做中学”的自主探究中享受发现的快乐。

【交流与讨论】设置了一系列的问题情境，引导同学们展开讨论，为充分表现大家的聪明才智和丰富的想象力提供机会。

【观察与思考】展示的实验、模型、图表中蕴涵深刻的化学道理，帮助同学们开启化学思维。

【问题解决】在教材阐述的化学反应原理、规律之后插入相关的问题，考查同学们知识迁移和解决问题的能力。

【信息提示】以简捷的语言介绍化学的核心概念、基本原理、物质性质和技能方法等。

【拓展视野】提供更多、更生动的素材，使同学们在完成必要的学习任务之余开拓视野，进一步领略化学的奇妙和魅力。

【回顾与总结】提示同学们参照所给的问题或线索整理知识，以问题的形式联系本专题重点的知识、技能和方法，增加自我反思和评价的力度。

【练习与实践】帮助同学们巩固知识，应用知识解决某些实际问题。

化学，伴随我们一生的科学。在过去的岁月中，我们渴望了解化学，为此我们有过喜悦，也有过失望，但探索的步伐一直没有停息。今天，当我们以一种新的姿态来学习化学、理解化学时，你眼中的物质世界将会变得更加美好！让我们充满信心，用智慧和勤奋去努力地完成高中阶段化学课程的学习任务，登上更高的台阶。

王祖浩

2009年夏

元素周期表

族 周期	I A	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0 族
1	1 H 氢 1.008							0 18 2 He 氦 4.003
2	3 Li 锂 6.941	4 Be 铍 9.012	5 B 硼 10.81	6 C 碳 12.01	7 N 氮 14.01	8 O 氧 16.00	9 F 氟 19.00	10 Ne 氖 20.18
3	11 Na 钠 22.99	12 Mg 镁 24.31	13 Al 铝 26.98	14 Si 硅 28.09	15 P 磷 30.97	16 S 硫 32.07	17 Cl 氯 35.45	18 Ar 氩 39.95
4	19 K 钾 39.10	20 Ca 钙 40.08	21 Sc 钪 44.96	22 Ti 钛 47.87	23 V 钒 50.94	24 Cr 铬 52.00	25 Mn 锰 54.94	26 Fe 铁 55.85
5	37 Rb 铷 85.47	38 Sr 锶 87.62	39 Y 钇 88.91	40 Zr 锆 91.22	41 Nb 铌 92.91	42 Mo 钼 95.94	43 Tc 锝 [98]	44 Ru 钌 101.1
6	55 Cs 铯 132.9	56 Ba 钡 137.3	57-71 La~Lu 镧系	72 Hf 铪 178.5	73 Ta 钽 180.9	74 W 钨 183.8	75 Re 铼 186.2	76 Os 锇 190.2
7	87 Fr 钫 [223]	88 Ra 镭 [226]	89-103 Ac~Lr 锕系	104 Rf 𬬻 [261]	105 Db 𬬭 [262]	106 Sg 𬬮 [266]	107 Bh 𬬟 [264]	108 Hs 𬬪 [277]

原子序数 — 8 O — 元素符号, 红色
元素名称 — 氧 — 指放射性元素
注*的是 — 2s²2p⁴ — 外围电子层排布, 括号
人造元素 — 16.00 — 指可能的电子层排布
—— 相对原子质量

非金属

金属

过渡元素

注:

1. 相对原子质量录自2001年国际原子质量表, 并全部取4位有效数字。

2. 相对原子质量加括号的为放射性元素的半衰期最长的同位素的质量数。

镧系	57 La 镧 138.9	58 Ce 铈 140.1	59 Pr 镨 140.9	60 Nd 钕 144.2	61 Pm 钷 [145]	62 Sm 钐 150.4	63 Eu 铕 152.0	64 Gd 钆 157.3	65 Tb 铽 158.9	66 Dy 镝 162.5	67 Ho 钬 164.9	68 Er 铒 167.3	69 Tm 铥 168.9	70 Yb 镱 173.0	71 Lu 镥 175.0
锕系	89 Ac 锕 [227]	90 Th 钍 232.0	91 Pa 镤 231.0	92 U 铀 238.0	93 Np 镎 [237]	94 Pu 钚 [244]	95 Am 镅 [243]	96 Cm 锔 [247]	97 Bk 锫 [247]	98 Cf 锎 [251]	99 Es 锿 [252]	100 Fm 镆 [257]	101 Md 钅镆 [258]	102 No 钅诺 [259]	103 Lr 钅洛 [262]

目 录



专题 1

化学反应与能量变化

1

- 第一单元 化学反应中的热效应 2
- 第二单元 化学能与电能的转化 13
- 第三单元 金属的腐蚀与防护 23



专题 2

化学反应速率与化学平衡

31

- 第一单元 化学反应速率 32
- 第二单元 化学反应的方向和限度 42
- 第三单元 化学平衡的移动 52



专题 3

溶液中的离子反应

61

- 第一单元 弱电解质的电离平衡 62
- 第二单元 溶液的酸碱性 71
- 第三单元 盐类的水解 79
- 第四单元 难溶电解质的沉淀溶解平衡 87

- 附录 I 中英文名词对照表 97
- 附录 II 常见酸、碱和盐的溶解性表 (20 ℃) 98
- 附录 III 难溶电解质的溶度积常数 (25 ℃) 99
- 附录 IV 弱电解质在水中的电离平衡常数 (25 ℃) 100
- 元素周期表

1 专题

化学反应与能量变化



- **第一单元**
化学反应中的热效应
- **第二单元**
化学能与电能的转化
- **第三单元**
金属的腐蚀与防护

第一单元 化学反应中的热效应

早在 50 万年以前，人类就开始使用火，这是科学技术史上的一次伟大创举。有了火，人们不仅可以获取热能，改变生活方式，而且也促进了对化学反应本质的进一步认识。

化学反应过程中既有物质变化，又有能量变化。释放或吸收热量是化学反应中能量变化的主要形式之一。人们广泛利用化学反应中释放或吸收的热量为生产生活服务，如生命体中糖类与氧气的反应、生产生活中燃料的燃烧等都是化学反应热效应的重要应用。

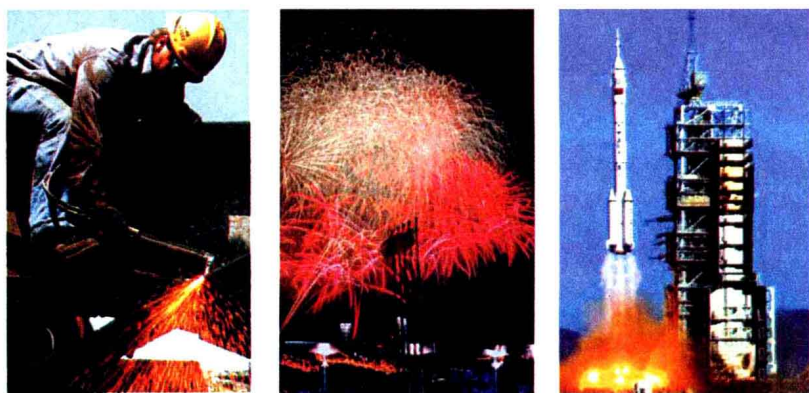


图 1-1 化学反应中能量变化的应用

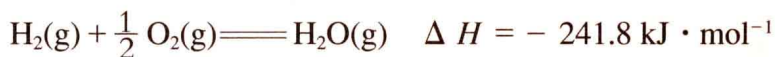
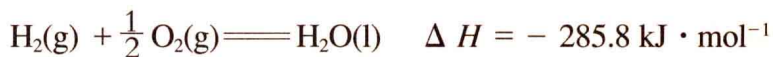
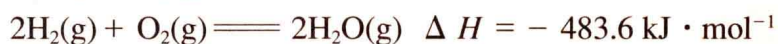
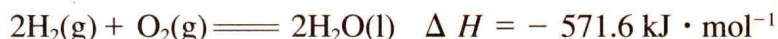
化学反应的焓变

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**（heat of reaction）。在化工生产和科学实验中，化学反应通常是在敞口容器中进行的，反应体系的压强与外界压强相等，即反应是在恒压下进行的。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**（enthalpy change）^①，用 ΔH 表示，单位常采用 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。



交流与讨论

请观察下列表示氢气在氧气中燃烧生成水的反应热效应的化学方程式，分析其在书写上与化学方程式有何不同。



^① 严格地讲，焓变是指在恒温、恒压的条件下，体系仅做体积功、不做其他功（如电功等）的变化过程的热效应。如不特别说明，化学反应的反应热就是该反应的焓变。

一个化学反应是吸收能量还是放出能量,取决于反应物的总能量和生成物的总能量的相对大小。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。

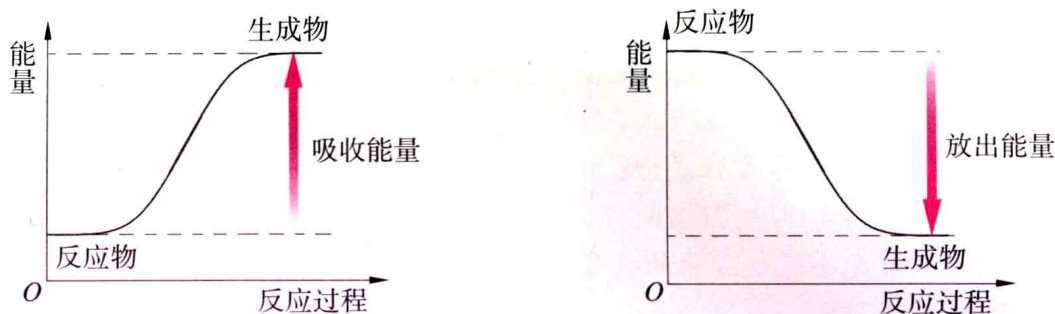


图 1-2 化学反应过程中的能量变化

在化学反应中能量的变化通常以热量等形式表现出来。吸收热量的反应称为**吸热反应**(endothermic reaction), 吸热反应的 $\Delta H > 0$; 放出热量的反应称为**放热反应**(exothermic reaction), 放热反应的 $\Delta H < 0$ 。能够表示反应热的化学方程式叫做**热化学方程式**(thermochemical equation)。

发射卫星时可用肼(N_2H_4)作燃料, 已知在 298 K 时 1 g 肼气体燃烧生成氮气和水蒸气, 放出 16.7 kJ 的热量。请观察并判断下列肼燃烧反应的热化学方程式是否正确。总结书写热化学方程式的原则, 将你的思考结果与同学交流讨论。

交流与讨论



- (1) $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
 $\Delta H = 534.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- (2) $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
 $\Delta H = -534.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- (3) $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = -534.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- (4) $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
 $\Delta H = -534.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- (5) $\frac{1}{2}\text{N}_2\text{H}_4(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
 $\Delta H = -267.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

由于反应热与温度、压强、反应物及生成物的状态等因素有关, 在书写热化学方程式时应标明反应物及生成物的状态、反应温度和压强。若不标明温度和压强, 则表示是在 25 °C (即 298 K)、101 kPa 条件下的反应热。在热化学方程式中, 反应物和生成物的聚集状态是用英文小写字母在其化学式的后面标注的, 一般用“g”表示气体(gas), “l”表示液体(liquid),

“s”表示固体(solid)，“aq”表示水溶液(aqueous)。在热化学方程式中，物质化学式前面的化学计量数表示物质的量，可以用整数或简单分数表示。同一化学反应，热化学方程式中物质的化学计量数不同，反应的 ΔH 也不同。

【例1】25℃时，1 g 甲烷气体完全燃烧生成二氧化碳气体和液态水，放出 55.64 kJ 热量，写出该反应的热化学方程式。

解：甲烷燃烧的化学方程式为：



设 1 mol 甲烷完全燃烧放出的热量为 x ，则有：

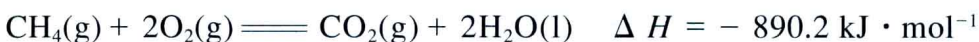
$$1 \text{ g} : (1 \text{ mol} \times 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}) = 55.64 \text{ kJ} : x$$

$$\text{解得 } x = 890.2 \text{ kJ}$$

则该反应的热化学方程式为：



答：甲烷气体完全燃烧生成二氧化碳气体和液态水的热化学方程式为：



问题 解决

写出下列反应的热化学方程式。

(1) $\text{N}_2(\text{g})$ 与 $\text{H}_2(\text{g})$ 反应生成 17 g $\text{NH}_3(\text{g})$ ，放出 46.1 kJ 热量。

(2) 1 mol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 完全燃烧生成 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，放出 1 366.8 kJ 热量。

(3) 标准状况下，44.8 L $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 在 $\text{O}_2(\text{g})$ 中完全燃烧生成 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，放出 2 598.8 kJ 热量。

(4) 24 g C(石墨)与足量 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 反应生成 $\text{CO}(\text{g})$ 和 $\text{H}_2(\text{g})$ ，吸收 262.6 kJ 热量。

化学反应过程中为什么会伴随能量变化呢？我们以氮气与氧气反应生成一氧化氮的反应为例讨论这一问题。

实验测得，1 mol $\text{N}_2(\text{g})$ 与 1 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 2 mol $\text{NO}(\text{g})$ 时吸收 182.6 kJ 的热量。化学反应中的能量变化，是由化学反应中反应物中化学键断裂时吸收的能量与生成物中化学键形成时放出的能量不同所导致的。如图 1-3 所示，当 1 mol $\text{N}_2(\text{g})$ 与 1 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 在一定条件下

反应生成 2 mol NO(g) 时, 1 mol N_2 分子中的化学键断裂时需要吸收 946 kJ 的能量, 1 mol O_2 分子中的化学键断裂时需吸收 498 kJ 的能量, 而 2 mol NO 分子中的化学键形成时可释放 $632 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 2 \text{ mol} = 1\,264 \text{ kJ}$ 的能量。

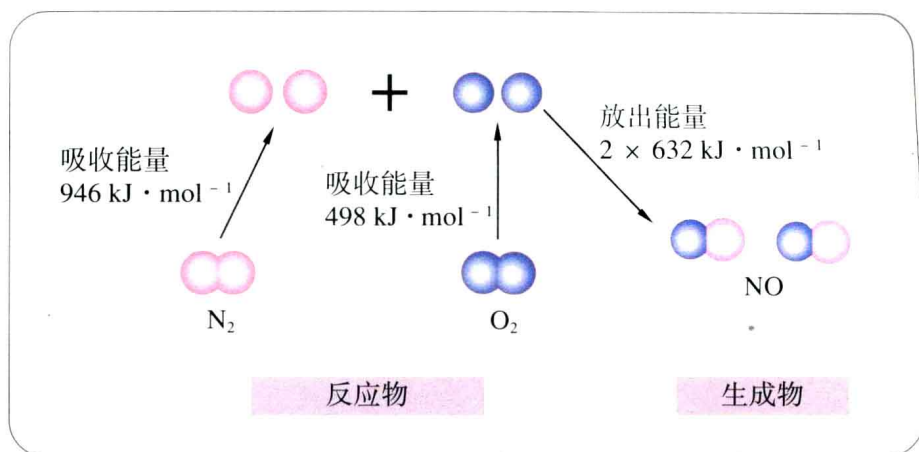


图 1-3 $\text{N}_2(\text{g})$ 与 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 $\text{NO}(\text{g})$ 过程中的能量变化

反应 $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{NO}(\text{g})$ 的反应热应等于断裂反应物分子中的化学键吸收的总能量 ($946 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 498 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 1\,444 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) 与形成生成物分子中的化学键放出的总能量 ($1\,264 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) 之差, 即吸热 $180 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。分析结果与实验测定结果很接近, 这说明化学反应中化学键的断裂和形成是反应过程中有能量变化的本质原因。

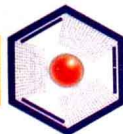
问题解决



已知断裂 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 中的 H—H 键需要吸收 436 kJ 的能量, 断裂 1 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 中的共价键需要吸收 498 kJ 的能量, 生成 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 中的 1 mol H—O 键能放出 463 kJ 的能量。试写出 $\text{O}_2(\text{g})$ 与 $\text{H}_2(\text{g})$ 反应生成 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的热化学方程式。

提供能量的食品

拓展视野



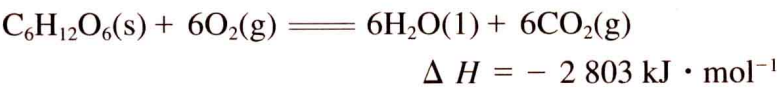
人的生命活动需要能量, 成年男性平均每天约需要 12 000 kJ 的能量, 成年女性平均每天约需要 9 000 kJ 的能量。人体所需的能量主要依靠三大营养物质——糖类、脂肪、蛋白质来提供。



表 1-1 三大营养物质的热值

物质	糖类	脂肪	蛋白质
热值 /kJ · g ⁻¹	约 17	约 38	约 17

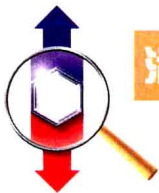
糖类中只有单糖能直接给人体提供热量，淀粉等多糖进入人体之后，首先在酶的作用下发生水解，生成葡萄糖。葡萄糖在人体内与氧气作用，发生如下反应：



糖氧化产生能量的速率很快，因此人体内糖类储存很少。当我们摄入的能量满足人体日常的需要之后，剩余的能量就会以脂肪的形式储存下来。

反应热的测量与计算

不同的化学反应具有不同的反应热，人们可以通过多种方法获得反应热的数据，其中最直接的方法是通过实验进行测定。



活动与探究

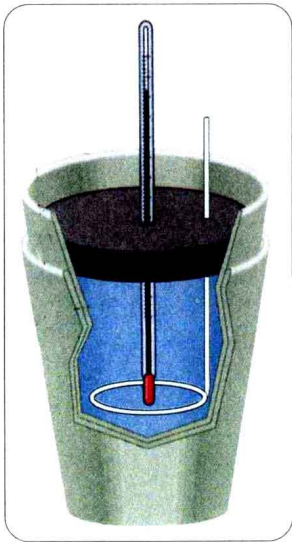


图 1-4 简易量热计

请按照下列操作步骤用简易量热计测定盐酸与氢氧化钠溶液反应的反应热。

- (1) 用量筒量取 50 mL 0.50 mol · L⁻¹ 盐酸，倒入简易量热计中，测量并记录盐酸的温度 (t₁)。
- (2) 用另一量筒量取 50 mL 0.50 mol · L⁻¹ 氢氧化钠溶液，测量并记录氢氧化钠溶液的温度 (t₂)。
- (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 (t₃)。
- (4) 假设溶液的比热容与水的比热容相等，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，计算该反应的反应热并写出热化学方程式。

表 1-2 测定反应热的实验记录

盐酸的温度 (t_1) / $^{\circ}\text{C}$	
氢氧化钠溶液的温度 (t_2) / $^{\circ}\text{C}$	
反应体系的最高温度 (t_3) / $^{\circ}\text{C}$	
反应体系的温度变化 ($\Delta t = t_3 - \frac{t_1+t_2}{2}$) / $^{\circ}\text{C}$	
反应后溶液的质量 ($m = \rho_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} + \rho_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}$) / g	
反应热 ^① ($\Delta H = -\frac{c \times m \times \Delta t \times 10^{-3}}{0.025}$) / $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	

(5) 如果用同样的方法测定氢氧化钾溶液与盐酸反应、氢氧化钠溶液与硝酸反应的反应热, 请预测其反应热是否相同, 并设计实验方案加以验证。

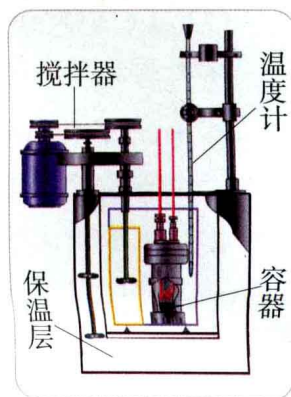


图 1-5 量热计

在科学研究中, 科学家常用量热计(见图1-5)来测量反应热。在实验过程中, 尽可能保证反应物能充分反应, 同时减少与外界的热交换, 以减小实验误差。目前, 科学家已经用实验方法精确测定了许多反应的反应热。

但是, 并不是所有反应的反应热均可通过实验直接测定。如反应 $\text{C}(\text{石墨}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g})$ 的反应热就不能由实验直接测得, 因为在反应中总会有 $\text{CO}_2(\text{g})$ 生成。可见, 获取那些不易直接测定的反应的反应热, 是一项很有意义的研究工作。

1840年, 俄国化学家盖斯在分析了许多化学反应的热效应的基础上, 总结出—条规律: “一个化学反应, 不论是一步完成, 还是分几步完成, 其总的热效应是完全相同的。”这个规律被称为**盖斯定律**(Hess's law)。

盖斯定律表明, 一个化学反应的焓变(ΔH)仅与反应的起始状态和反应的最终状态有关, 而与反应的途径无关。这就好比登泰山, 可经历不同的途径和采用不同的方式, 无论你是拾级而上, 还是乘坐索道缆车, 当你站在泰山之巅时, 与你站在山脚下相比, 两种方式所发生的势能变化是相同的。

在众多的化学反应中, 有些反应的反应速率很慢, 有些反应同时有副反应发生, 还有些反应在通常条件下不易直接进行, 因而测定这些反应的热效应就很困难, 运用盖斯定律可方便地计算出它们的反应热。



图 1-6 俄国化学家盖斯
(G. H. Hess, 1802~1850)

① 式中 c 表示反应溶液的比热容。单位质量的某种物质温度升高 1°C 所吸收的热量称为比热容。在本实验中, 反应溶液的比热容近似等于水的比热容, 为 $4.18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

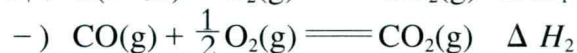
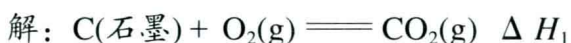
【例2】已知在 298 K 时, C(石墨)、CO(g)完全燃烧的热化学方程式如下:



请运用盖斯定律计算反应 $\text{C(石墨)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO(g)}$ 的焓变 ΔH_3 。

分析: C(石墨)与 $\text{O}_2(\text{g})$ 生成 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的反应可以一步完成 (反应焓变为 ΔH_1), 也可以分两步完成, 即先生成 CO(g) (反应焓变为 ΔH_3), CO(g) 再与 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 $\text{CO}_2(\text{g})$ (反应焓变为 ΔH_2)。根据盖斯定律可以得到 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ (如图 1-7), 则反应 $\text{C(石墨)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO(g)}$ 的焓变 $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$ 。

根据盖斯定律, 直接将热化学方程式①、②左右两边分别相减, 也可以求得 C(石墨)与 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 CO(g) 的焓变。



$$\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$$

$$= -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-283.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$$

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

答: 反应 $\text{C(石墨)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO(g)}$ 的焓变

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

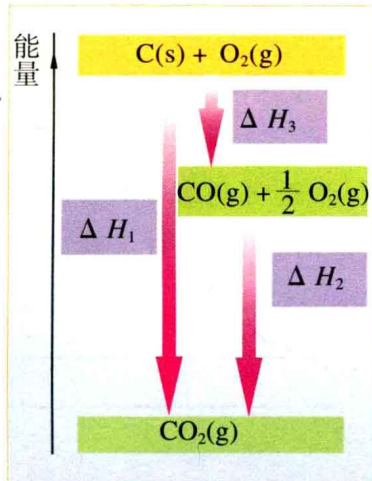
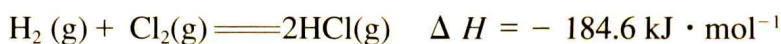


图 1-7 C(石墨)与 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 CO(g) 、 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的能量变化图



问题 解决

1. 已知:



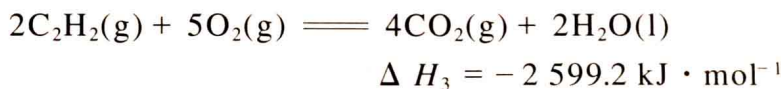
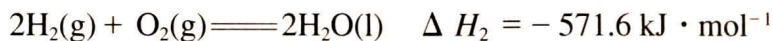
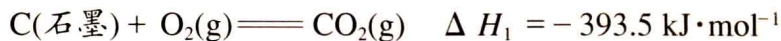
请计算下列反应的焓变。

(1) 氢气与氯气反应生成 1 mol 氯化氢气体。

(2) 氯化氢气体分解生成 1 mol 氢气和 1 mol 氯气。



2. 根据下列反应的焓变, 计算 C(石墨)与 $\text{H}_2(\text{g})$ 反应生成 1 mol $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 的焓变。



根据盖斯定律, 我们可以利用已知反应的焓变去求未知反应的焓变:

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 $\Delta H' = -a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;

若一个反应的化学方程式可由另外几个反应的化学方程式相加减而得到, 则该反应的焓变亦可以由这几个反应的焓变相加减而得到。

能源的充分利用

能源是可以提供能量的自然资源, 包括化石燃料、阳光、风力、流水、潮汐等。能源是国民经济和社会发展的物质基础。我国目前使用的主要能源是化石燃料, 但化石燃料的蕴藏量有限, 而且不可再生, 最终将会枯竭。通常我们使用的能量的主要形式是电能和热能, 热能主要通过燃烧煤、石油、天然气、植物秸秆等物质而获得。因此, 提高这些物质的燃烧效率对于节约能源十分重要。

燃料燃烧过程中放出的热能是人类生活和生产所需能量的重要来源。质量相同、组成不同的燃料, 完全燃烧后放出的热量也不相等。人们通常用标准燃烧热或热值来衡量燃料燃烧放出热量的大小。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, 1 g 物质完全燃烧所放出的热量叫做该物质的热值。物质完全燃烧是指物质中含有的氮元素转化为 $\text{N}_2(\text{g})$, 氢元素转化为 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 碳元素转化为 $\text{CO}_2(\text{g})$ 。

表 1-3 一些物质的标准燃烧热 (25 ℃)

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

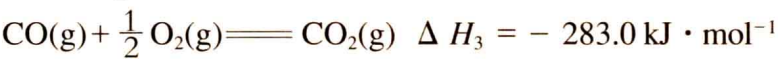
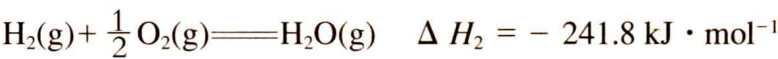


交流与讨论

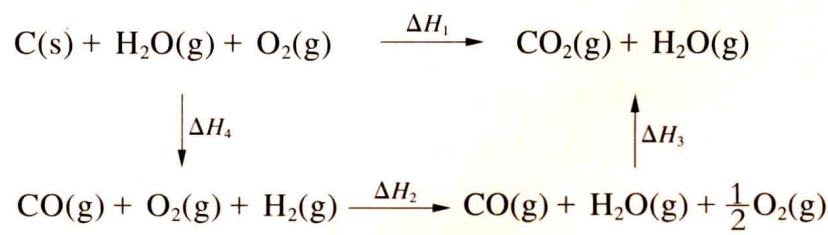
将煤转化为水煤气是通过化学方法将煤转化为洁净燃料的方法之一。煤转化为水煤气的主要化学反应为：



$\text{C}(\text{s})$ 、 $\text{CO}(\text{g})$ 和 $\text{H}_2(\text{g})$ 完全燃烧的热化学方程式分别为：



甲同学根据 1 mol $\text{CO}(\text{g})$ 和 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 燃烧放出的热量总和比 1 mol $\text{C}(\text{s})$ 燃烧放出的热量多，认为：“煤炭燃烧时加少量的水，可以使煤炭燃烧放出更多的热量。”乙同学根据盖斯定律作出了下列循环图：



乙同学认为：“将煤转化为水煤气再燃烧放出的热量与直接燃烧煤放出的热量一样，而将煤转化为水煤气会增加消耗，因此，将煤转化为水煤气得不偿失。”

你认为他们的观点对吗？将你的想法与同学交流讨论。