

King of Dumbs

笨蛋之王

级别: ♠ 技术

钻石为什么不会变成石墨？

拆开化学键要花能量，形成化学键会放出能量，但几乎所有反应都得先翻过一座小山。钻石为什么能长存，水为什么能当电池，配互动小工具。

中文 发布于 2026年10月16日 更新于 2026年10月17日



扫码打开可互动的课程

<https://kingofdumbs.com/zh/lessons/chemical-reactions-energy>

你将学到

- 为什么有的反应放热、有的吸热：化学键里的能量
- 活化能：反应之前要翻过的小山
- 稳定不等于快：钻石为什么能长存
- 氧化和还原：拆开水再烧掉氢气，就是给电池充电和放电

学这一课之前

如果有什么看不懂，这些课会从零讲起：

1. [一堵墙是由什么构成的？轻松搞懂原子和元素](#)
2. [焦耳、瓦特还是卡路里？轻松搞懂能量和功率](#)

本课会出现的符号

Δ 变化量：变了多少 (♠) · E_a 下标：右下角的标签 (♦♠) · H° °表示标准状态，不是度 (♠) · Σ 求和：全部加起来 (♠) · $\approx$ 约等于 (♠) · $|x|$ 绝对值：去掉正负号 (♠) · $\cdot$ 点：乘（或点积） (♠) · $\rightarrow$ 箭头：变成 / 趋近于 (♦♠) · $J/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 复合单位 (♦♠) · e 数 e (≈ 2.718) (♠) · $\log$ 对数：要乘几次？ (♠) · ν ν ：系数或中微子 (♠)

一枚钻石戒指可以从奶奶传到孙女，传上几百年，还是老样子。可化学家会告诉你，钻石“本该”变成石墨，也就是铅笔芯里的那种东西，因为石墨更稳定。可它就是不变。

这一课的傻问题是：**钻石为什么不会变成石墨？** 答案和下面这几件事是同一个道理：灶上的燃气为什么不会自己烧起来，食物为什么放在冰箱里更耐放，氢气为什么能像电池一样存能量。每个反应都有一笔账，也就是它放出或需要的能量；还有一座开始之前必须翻过的小山。

选一张牌：♣ 从零开始，♦ 不怕简单的公式，♠ 想看符号。随时可以换。

拆开要花能量，连上会放出能量

♦→♠ 从进阶到技术

♦ 里的说法	♠ 里的写法
键能	$D(X-Y)$: 气相中化学键的解离焓, 单位 kJ/mol
反应热	反应焓 $\Delta_r H$ (恒压下的热); H 是状态函数
多出 486 kJ	$\Delta_r H \approx \sum D(\text{断开}) - \sum D(\text{形成}) = 1370 - 1856 = -486 \text{ kJ}$
放热反应	$\Delta_r H < 0$
吸热反应	$\Delta_r H > 0$
平均值	$\bar{D}$, 对很多分子取平均: 误差可达几十 kJ/mol
每种物质由单质生成时的能量	标准生成焓 $\Delta_f H^\circ$ (单质在最稳定形态下为 0)
就不用管化学键了	盖斯定律: $\Delta_r H^\circ = \sum \nu \Delta_f H^\circ(\text{产物}) - \sum \nu \Delta_f H^\circ(\text{反应物})$, ν 为计量系数

$$\Delta_r H \approx \sum D(\text{断开}) - \sum D(\text{形成})$$

$$2\text{H}_2 + \text{O}_2: 1370 - 1856 = -486 \text{ kJ}$$

$$\Delta_r H^\circ = \sum \nu \Delta_f H^\circ(\text{产物}) - \sum \nu \Delta_f H^\circ(\text{反应物})$$

$$D(\text{H-H}) = 2 \cdot \Delta_f H^\circ(\text{H}) = 436 \text{ kJ/mol}$$

$$D(\text{O=O}) = 498.3; \quad \bar{D}(\text{O-H}) = 463.5$$

反应焓可以用 $\Delta_r H \approx \sum D(\text{断开}) - \sum D(\text{形成})$ 来估算 (OpenStax, *Chemistry 2e*, 7.5)。表里的 D 是平均值, 估算通常会差几十 kJ: 在 OpenStax 的例子里, $\text{CO} + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 用键能算是 -107 kJ , 用生成焓算是 -90.5 kJ 。

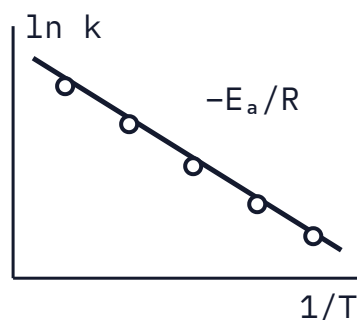
水的估算之所以准, 是因为 H-H 和 O=O 不是平均值: 它们各自就是一种具体的分子。用 298.15 K 的 NIST-JANAF 表, $D(\text{H-H}) = 2 \Delta_f H^\circ(\text{H}, \text{g}) = 2 \times 217.999 = 436.0 \text{ kJ/mol}$, $D(\text{O=O}) = 2 \Delta_f H^\circ(\text{O}, \text{g}) = 498.3 \text{ kJ/mol}$, 水中 O-H 的平均值是 $[2 \Delta_f H^\circ(\text{H}) + \Delta_f H^\circ(\text{O}) - \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{g})] / 2 = 463.5 \text{ kJ/mol}$ 。

用这些 D , 估算结果正好等于 $\Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = -241.826 \text{ kJ/mol}$: 同一笔账, 换了一条路算而已。这由盖斯定律保证: H 是状态函数, 所以 $\Delta_r H^\circ = \sum \nu \Delta_f H^\circ(\text{产物}) - \sum \nu \Delta_f H^\circ(\text{反应物})$ 与中间步骤无关 (OpenStax, 5.3)。

小山：为什么几乎什么反应都不会自己开始

♦→♠ 从进阶到技术

♦里的说法	♠里的写法
活化能	E_a , 单位 kJ/mol
能量曲线	能量对反应坐标作图；山顶是过渡态（‡）
能到达山顶的碰撞所占的比例	$e^{(-E_a/RT)}$, $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$, T 用开尔文
慢 4.6 倍	速率常数 $k = A \cdot e^{(-E_a/RT)}$ （阿伦尼乌斯公式）， A 为指前因子
随温度升高增加得惊人	$\ln k = \ln A - (E_a/R)(1/T)$ ：斜率为 $-E_a/R$ 的直线
每升高 10 度，速度翻一倍	$k_2/k_1 = \exp[(E_a/R)(1/T_1 - 1/T_2)]$ ； $E_a = 50 \text{ kJ/mol}$ ，从 298 K 到 308 K 为 1.92
催化剂	另一种反应机理， $E_a' < E_a$, $\Delta_r H$ 不变



$$k = A \cdot e^{(-E_a/RT)}$$

$$\ln k = \ln A - (E_a/R) \cdot (1/T)$$

$$k_2/k_1 = \exp[(E_a/R)(1/T_1 - 1/T_2)]$$

$$E_a = 50 \text{ kJ/mol}, 298 \rightarrow 308 \text{ K}: \times 1.92$$

阿伦尼乌斯公式是 $k = A \cdot e^{(-E_a/RT)}$ (OpenStax, 12.5)。因子 $e^{(-E_a/RT)}$ 衡量有多大比例的碰撞带着足够的能量； A 叫指前因子（频率因子），与碰撞的频率和分子的取向有关。两边取对数， $\ln k = \ln A - (E_a/R)(1/T)$ ：在几个温度下测出 k ，以 $\ln k$ 对 $1/T$ 作图，会得到一条直线，由斜率就能求出 E_a 。

OpenStax 用 $2 \text{ HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$ 做了这件事，得到 $E_a = 180 \text{ kJ/mol}$ 。

两个温度之间， $k_2/k_1 = \exp[(E_a/R)(1/T_1 - 1/T_2)]$ 。 $E_a = 50 \text{ kJ/mol}$ 时，从 298.15 K 到 308.15 K 得 1.92；100 kJ/mol 时得 3.70（自行计算，假设 A 不变）。“每 10 °C 翻一倍”不是定律，要看 E_a 。

催化剂提供另一种机理，过渡态更低。 H 是状态函数，所以起点和终点不动：在 OpenStax 有无催化剂的图里，两条曲线“起点和终点的能量相同”（12.7，自译）。

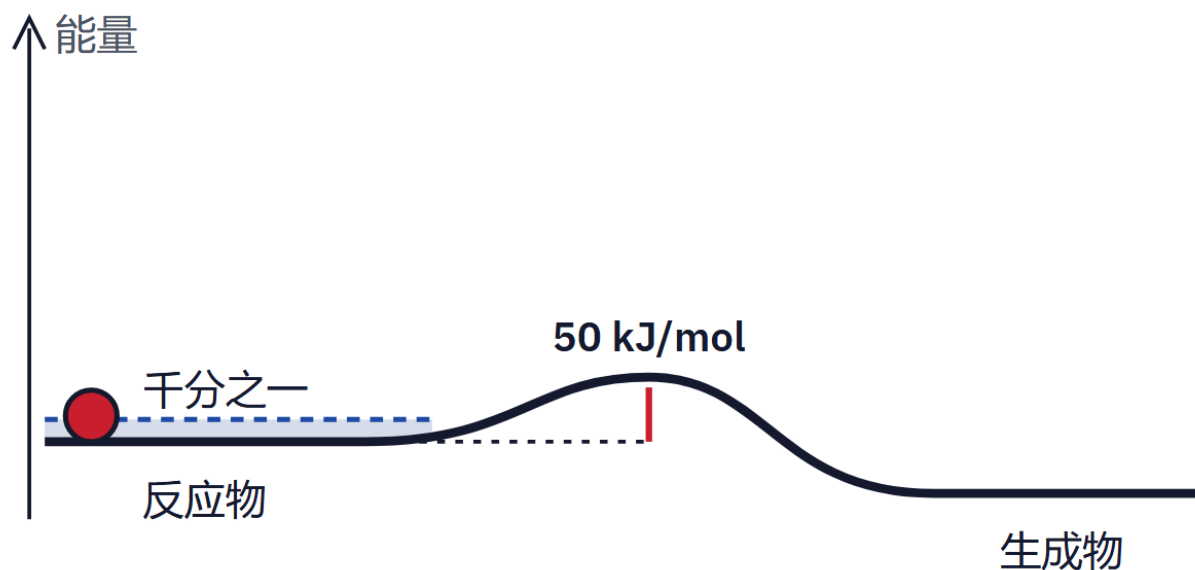
笨蛋之王说：

反应光是“划算”还不够：得先翻过小山。所以书架上的纸不会自己烧起来。



动手试试：翻过小山

调一调小山的高度和温度。蓝色阴影带标出每 1000 次碰撞中有 1 次能到达的高度：阴影带一越过山顶，反应就很快。试试 190 kJ/mol，它接近在钻石粉末里测到的那座小山，然后把温度调高：即使到 1500 °C，阴影带也到不了山顶，但看看反应快了多少。



小山的高度 50 kJ/mol

温度 25 °C (室温)

到达山顶的碰撞 每 5.7×10^8 次中有 1 次

与 25 °C 相比 一样

如果在 25 °C 要一分钟, 这里要 1 分钟

25 °C (室温) 下 50 kJ/mol 的小山: 到达山顶的碰撞是每 5.7×10^8 次中有 1 次。



互动小工具。在网站上试一试: <https://kingofdumbs.com/zh/lessons/chemical-reactions-energy>

钻石：稳定不等于快

♦ → ♠ 从进阶到技术

♦ 里的说法	♠ 里的写法
吉布斯自由能	$G = H - TS$; 恒温恒压下 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$
混乱程度	熵 S , 单位 $J/(K \cdot mol)$
如果吉布斯自由能下降, 反应就能自己进行	$\Delta_r G < 0$: 自发过程
下降 2.9 kJ/mol	$\Delta_r G^\circ = -2.90 \text{ kJ/mol}$ (标准状态, 298.15 K)
放出的热	$\Delta_r H^\circ = -1.89 \text{ kJ/mol}$: 因为 $\Delta_r S^\circ > 0$, $ \Delta_r H^\circ < \Delta_r G^\circ $
极细的金刚石粉末	超分散金刚石 (UDD): 纳米金刚石
一个晶面	$\{110\}$ 和 $\{111\}$ 晶面: 晶体的平面 (米勒指数)
金刚石和石墨之间的分界面	界面推进速度 $v = A \cdot e^{(-E/RT)}$ (Butenko 等)
在热力学上不稳定, 在动力学上却稳定	$\Delta_r G^\circ < 0$, 但 298 K 时 $k \approx 0$
亚稳态	G 的局部极小值, 与全局极小值之间隔着能垒

$$\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T\Delta_r S^\circ$$

$$= -1.89 - 298.15 \cdot 0.00336 = -2.89 \text{ kJ/mol}$$

$$v = A \cdot e^{(-E/RT)}, A = 74 \text{ nm/s}, E = 188 \text{ kJ/mol}$$

$$v(1873 \text{ K}) \approx 1.5 \text{ nm/h}$$

$$v(298 \text{ K}) \approx 1 \text{ nm} / 4 \times 10^{23} \text{ 年}$$

$$E_a\{110\} = 728 \text{ kJ/mol (Davies, Evans)}$$

根据 OpenStax 附录 G, 金刚石 $\rightarrow$ 石墨的 $\Delta_r H^\circ = -1.89 \text{ kJ/mol}$, $\Delta_r S^\circ = 5.740 - 2.38 = +3.36 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}$ 。于是 $\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T\Delta_r S^\circ = -1.89 - 298.15 \times 0.00336 = -2.89 \text{ kJ/mol}$, 和表里的 -2.90 一致。注意: 放出的热是 $\Delta_r H$, 即 -1.89 ; 决定方向的是 $\Delta_r G$ 。

动力学是 Davies 和 Evans 测的 (*Proc. R. Soc. Lond. A* 328, 413, 1972) , 温度 1850–2000 °C, 零压力: 110 晶面的 $E_a = 728 \pm 50 \text{ kJ/mol}$ 。对 111 晶面, 他们的摘要给了两个彼此对不上的数: 253 kcal/mol 和 1159 kJ/mol, 而 253 kcal 是 1059 kJ。他们认为最慢的一步是从表面拉下单个原子: 110 晶面上是有两个键的原子, 111 晶面上是有三个键的原子。

Butenko 等 (*J. Appl. Phys.* 88, 4380, 2000) 用纳米金刚石在 1370–1870 K 之间测量, 拟合出 $v = A \cdot e^{(-E/RT)}$, $E = 45 \pm 4 \text{ kcal/mol}$ (188 kJ/mol) , $A = 74 \text{ nm/s}$ 。他们说这个公式适用于”所测温度范围内及其附近”(自译) , 并把与 Davies 和 Evans 的差别归因于较低温度下的另一种机理。

把他们的公式外推, $v(298 \text{ K}) \approx 8 \times 10^{-32} \text{ nm/s}$: 前进 1 纳米大约要 4×10^{23} 年, 考虑 $\pm 4 \text{ kcal/mol}$ 的误差, 在 5×10^{20} 到 4×10^{26} 年之间。用 Davies 和 Evans 的 E_a , 25 °C 时的指数因子比 1900 °C 时小 10^{110} 倍。这些外推远远超出了测量范围, 只有数量级有意义。在常压下, 金刚石是 G 的一个局部极小值, 与石墨之间隔着能垒; 在极高的压力下, 稳定的反而是金刚石 (OpenStax, 16.1) 。



氧化和还原：把水当电池

◆→♠ 从进阶到技术

◆里的说法	♠里的写法
氧化	失去 e^- : 氧化数升高
还原	得到 e^- : 氧化数降低
电解	电解池: 外加 $ E > E^\circ_{\text{池}} $, 驱动 $\Delta_r G > 0$ 的反应
至少要加 1.23 伏	$E^\circ = \Delta_r G^\circ / (nF) = 1.229 \text{ V}$, 每个 H_2O 对应 $n = 2$ 个 e^- , $F = 96485 \text{ C/mol}$ (法拉第常数)
每摩尔 285.8 kJ	$\Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -285.83 \text{ kJ/mol}$; $\Delta_r H / (nF) = 1.481 \text{ V}$, 热中性电压
其余的是从环境吸收的热	$T\Delta_r S^\circ = \Delta_r H^\circ - \Delta_r G^\circ = 285.8 - 237.1 = 48.7 \text{ kJ/mol}$
燃料电池	原电池: 阳极 $2 \text{ H}_2 \rightarrow 4 \text{ H}^+ + 4 \text{ e}^-$; 阴极 $\text{O}_2 + 4 \text{ H}^+ + 4 \text{ e}^- \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$
效率	最大电功为 $-\Delta_r G$; 其余部分 $T\Delta_r S$ 以热的形式放出

阳极: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (氧化)

阴极: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ (还原)

$$E^\circ = \Delta_r G^\circ / (nF) = 237.1 \text{ kJ} / (2F) = 1.229 \text{ V}$$

$$\Delta_r H / (nF) = 1.481 \text{ V}; \quad T\Delta_r S = 48.7 \text{ kJ/mol}$$

$$-\Delta_r G / -\Delta_r H = 83 \% \quad (\text{燃料电池})$$

电解时 (OpenStax, 17.7), 阳极把水氧化: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$, 氧从 -2 价变成 0 价; 阴极发生还原: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$, 氢从 +1 价变成 0 价。 $E^\circ_{\text{池}} = -1.229 \text{ V}$: 外加电压必须比它大。

用 $\Delta_r G^\circ = -nFE^\circ$ 检验: $\Delta_f G^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -237.141 \text{ kJ/mol}$ (NIST-JANAF), $n = 2$, 所以 $E^\circ = 237141 / (2 \times 96485.332) = 1.2289 \text{ V}$ 。用 $\Delta_r H$ 代替 $\Delta_r G$, 得 1.481 V , 即热中性电压: 高于它, 电解池就不需要外界供热。两个电压之差, 就是电解池能从环境吸收的热, $T\Delta_r S = 48.7 \text{ kJ/mol}$, 与附录 G 的 $\Delta_r S^\circ = 163.3 \text{ J/(K}\cdot\text{mol)}$ 一致。

反过来, 在燃料电池里, 最大电功是 $-\Delta_r G = 237.1 \text{ kJ/mol}$, 相当于把氢气烧掉所得热量的 83% (自行计算)。OpenStax 给出每个电池约 1.2 V , 实际效率 50–75%。得到的能量永远不会超过拆开水所花的能量: 这是化学电池, 不是能源。

笨蛋之王说:

氢气不是能量矿, 是电池。烧它得到的能量, 都是之前拆开水时放进去的。



最后挑战

1. 灶上的燃气和空气里的氧气待在一起, 你不点火它们就不烧。为什么?

- a. 因为燃气燃烧不放出能量
- b. 因为得先翻过一座小山: 需要推一把, 比如一个火花
- c. 因为燃气不加热就没有能量

2. 石墨比钻石更稳定。为什么钻石戒指不会变成石墨？

- a. 因为其实钻石才是最稳定的
- b. 因为两者之间的山太高了，室温下几乎没有原子能翻过去
- c. 因为钻石和石墨是不同的元素

3. 你先用电把水拆开，再把得到的氢气烧掉。能得到多少能量？

- a. 比花掉的多：氢气是能源
- b. 最多和花掉的一样多：水就像一块电池
- c. 什么也得不到，因为水不会燃烧



三句话总结

- 1. 反应会拆开化学键（要花能量），再形成新的化学键（放出能量）：有多余就以热的形式放出（放热反应），不够就得往里加（吸热反应）。
- 2. 几乎没有反应会自己开始，因为得先翻过一座小山，也就是活化能：升高温度和催化剂都能帮忙翻过去。
- 3. 所以石墨虽然更稳定，钻石却能长存；也所以拆开水再烧掉氢气，就是给电池充电再放电，永远不会多出能量。



参考资料

- 键能与 ΔH 的估算：OpenStax, *Chemistry 2e*, [7.5](#)。焓、放热与吸热、盖斯定律和生成焓：[5.3](#) 和 [附录 G](#)。298.15 K 下的 NIST-JANAF 表：[H](#)、[O](#)、[水蒸气](#)和[液态水](#)。
- 温度与反应速率（冰箱）：[OpenStax, 12.2](#)。活化能与阿伦尼乌斯公式：[12.5](#)。催化剂：[12.7](#)。气体常数和法拉第常数（CODATA 2022）：[NIST, R](#)和[F](#)。
- 自发性与吉布斯自由能：OpenStax, [16.1](#)和[16.4](#)。亚稳态的金刚石：[UW-Madison, Chem 109, D26.1](#)。

- 金刚石的动力学：G. Davies 和 T. Evans, *Proc. R. Soc. Lond. A* 328, 413 (1972) , [doi:10.1098/rspa.1972.0086](https://doi.org/10.1098/rspa.1972.0086); Yu. V. Butenko 等, *J. Appl. Phys.* 88, 4380 (2000) , [doi:10.1063/1.1289791](https://doi.org/10.1063/1.1289791); O. V. Sedelnikova 等, *Beilstein J. Nanotechnol.* 16, 887 (2025) , [doi:10.3762/bjnano.16.67](https://doi.org/10.3762/bjnano.16.67)。
- 氧化与还原: [OpenStax, 4.2](#)。水的电解: [17.7](#)。燃料电池: [17.5](#)。

****这一课是怎么做的:****在 Claude 的帮助下, 根据上面的资料调研和撰写, 2026 年 10 月 16 日核对过, 并用第二个来源交叉验证, 10 月 17 日又复核了一遍。没有单独链接的数字, 是根据这些资料以及原子和能量两课算出来的。插图都是原创的。

答案

1. **b)** 因为得先翻过一座小山：需要推一把，比如一个火花. 对。先推一把；之后火焰会自己推下去。
2. **b)** 因为两者之间的山太高了，室温下几乎没有原子能翻过去. 答对了。稳定不等于快。
3. **b)** 最多和花掉的一样多：水就像一块电池. 没错。爬坡花多少，下坡就还多少。

King of Dumbs 的课程，kingofdumbs.com。这是离线版；可以动手玩的原版在：

<https://kingofdumbs.com/zh/lessons/chemical-reactions-energy>

更新于 2026年10月17日.