

King of Dumbs

笨蛋之王

级别: ♠ 技术

焦耳、瓦特还是卡路里？ 轻松搞懂能量和功率

能量是“有多少”，功率是“有多快”。用一个浴缸讲清焦耳、瓦特、千卡和千瓦时，为什么快了就会烫，以及怎样比较不同量级，分三个层次。

中文 发布于 2026年10月13日



扫码打开可互动的课程

<https://kingofdumbs.com/zh/lessons/joules-watts-or-calories>

你将学到

- 能量及其单位：焦耳、千卡和千瓦时
- 功率和瓦特
- 能量和功率的区别
- 热量和温度的区别
- 用对数刻度比较功率

学这一课之前

如果有什么看不懂，这些课会从零讲起：

1. [7×10²⁷ 到底有多大？轻松搞懂超大数字](#)

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 (♠) · $\bar{x}$ 上横线：平均值 (♠) · $\approx$ 约等于 (♦♦) · $\equiv$ 定义为 (♠) · · 点：乘（或点积） (♠) · 10^{-3} 负指数：表示除 (♠) · e 数 e (≈ 2.718) (♠) · $\log$ 对数：要乘几次？ (♠) · σ sigma：含义因课而异 (♠) · τ tau：特征时间 (♠) · ϵ epsilon：很小的量 (♠) · dE/dt 导数：变化的快慢 (♠) · $\int$ 积分：把小块累加起来 (♠)

电水壶的铭牌上写着 **2000 W**。电费单上写着 **kW** 和 **kWh**。一盒酸奶上写着 **kcal** 和 **kJ**。这节课的笨问题是：**这些量的是同一个东西吗？**

差不多。这里其实藏着两个不同的问题：需要 **多少** 能量，以及能量以 **多快的速度** 送到。前一个用焦耳（或卡路里、千瓦时）来量，后一个用瓦特来量。把两者搞混太常见了，教育研究甚至在未来的物理老师身上都发现了这个问题。把它们分开，能解决的疑惑比你想象的多，尤其是“这真的做得到吗？”这一类。

选一张牌吧：♠ 适合从零开始，♦ 适合不怕简单公式的人，♠ 适合想看数学记法的人。随时可以换。

能量：有多少

♦→♠ 从进阶到技术

♦里的说法	♠里的写法
用一个力推动一米	$W = \int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{x}$
焦耳	$\text{J} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
守恒	孤立系统中 $\Delta E = 0$
千卡	$\text{kcal}_{\text{th}} \equiv 4184 \text{ J}$ ($\text{cal}_{\text{th}} \equiv 4.184 \text{ J}$)
电子伏特	$1 \text{ eV} \equiv 1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19} \text{ J}$
千瓦时	$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$

$$W = \int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{x}$$

$$[\text{J}] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$1 \text{ cal}_{\text{th}} \equiv 4.184 \text{ J} \quad \equiv \text{按定义精确}$$

$$1 \text{ eV} \equiv 1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

力沿一条路径所做的功是 $W = \int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{x}$ ，动能定理说它等于动能的变化， $W = \Delta E_{\text{k}}$ 。焦耳是国际单位制中能量、功和热量的导出单位： $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。孤立系统中能量守恒，源于物理定律不随时间改变（诺特定理）。

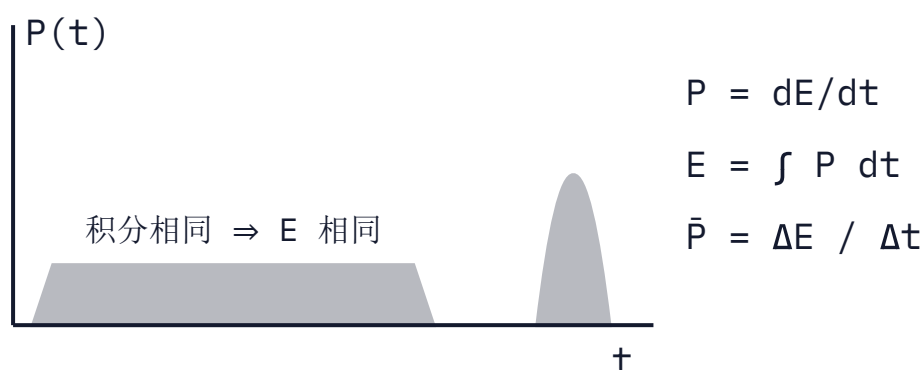
有几个换算是按定义精确的。自 2019 年国际单位制重新定义以来，元电荷固定为 $e = 1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，电子伏特也随之固定。热化学卡定义为 4.184 J。注意：国际蒸汽表卡是 4.1868 J，“平均”卡约为 4.190 J（NIST SP 811），所以精细计算时必须说明用的是哪一种。

量纲分析：任何能量表达式的单位都必须是 $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。例如 $\text{m} \cdot \text{g} \cdot \text{h} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}$ 。如果一个公式单位对不上，还没代入数字它就已经错了。

功率：有多快

♦→♠ 从进阶到技术

♦里的说法	♠里的写法
能量除以时间	$P = dE/dt$ （瞬时）； $\bar{P} = \Delta E / \Delta t$ （平均）
功率乘以时间；面积	$E = \int P(t) dt$
瓦特	$W = J \cdot s^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
兆瓦；1 GW	$1 MW = 10^6 W$ ； $1 GW = 10^9 W$
用力时间越短，功率越高	功率-持续时间曲线 $P_{\max}(\Delta t)$ ，单调递减



瞬时功率是能量对时间的导数， $P = dE/dt$ ；一段时间内传递的能量是它的积分， $E = \int P(t) dt$ 。平均功率 $\bar{P} = \Delta E / \Delta t$ 是与真实曲线面积相同的矩形的高度。对作用在运动物体上的力， $P = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v}$ 。

电器铭牌上的功率是额定功率：在测试条件下的最大值或平均值。要算实际用电量，就得对 $P(t)$ 曲线积分，这正是电表做的事。

物理和工程中总要区分两种极限：**能量**（需要多少燃料或电池）和**功率**（电机、电缆或散热器能承受多少）。一个在能量上可行的问题，在功率上可能根本做不到。闪电就是例子：一次典型的四回击闪电约 $9.5 \times 10^8 J$ （Cooray, 1997；美国环保署收录的估计从 $10^8 J$ 起），只是家庭量级的能量，却在不到一秒内释放。

自行车手的功率-持续时间曲线是同一现象在人体上的表现：15 秒最佳平均 836–895 W，30 分钟则是 342–394 W（Vogt 等，2007）。可持续的最大功率随用力时间变长而下降。

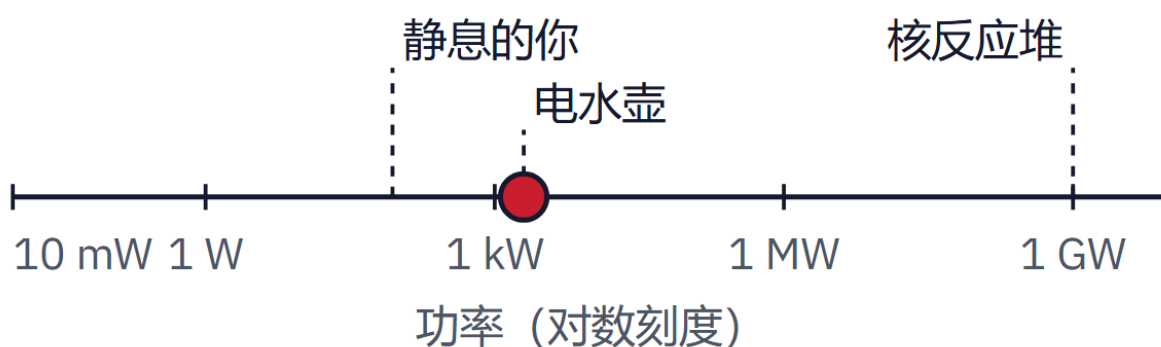
笨蛋之王说：

说电水壶“用了 2000 瓦”，就像说一辆车“用了 120 公里每小时”。那是它跑多快，不是它用了多少。



自己试试：同样的能量，不同的节奏

选一件想做的事和所用的时间。每件事的能量不变；看看缩短时间时功率怎样飙升，又相当于什么。



你想做什么

- ☒ 烧开 1 升水 (334 千焦)
- ☐ 消耗一天的食物 (2000 千卡)
- ☐ 放出一道典型的闪电 (9.5 亿焦耳)

用多长时间



1 秒

2.8 分钟

1 小时

1 天

2.8 分钟内：2 kW

正好一个电水壶。

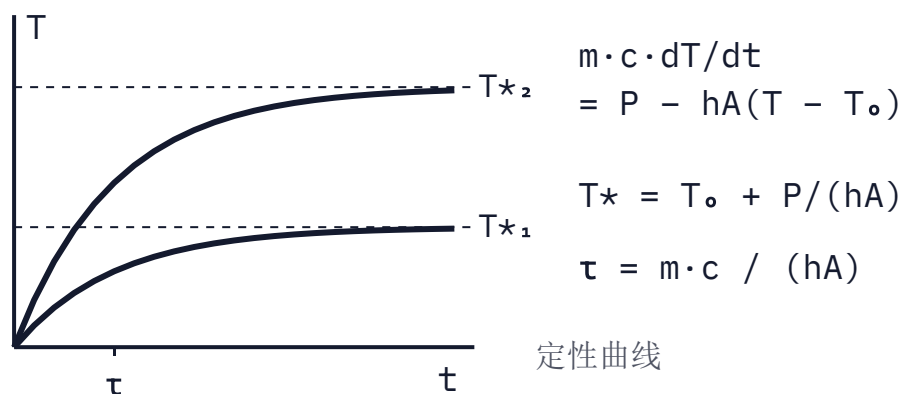


互动小工具。在网站上试一试：<https://kingofdumbs.com/zh/lessons/joules-watts-or-calories>

热量和温度：为什么快了就会烫

♦→♠ 从进阶到技术

♦里的说法	♠里的写法
粒子运动的剧烈程度	$k_B \cdot T$: 热能的量级 (每个二次型自由度 $\frac{1}{2}k_B T$)
开尔文	$k_B \equiv 1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ (定义 K)
比热容	$c = (1/m) \cdot dQ/dT$
进来的减去出去的	$m \cdot c \cdot dT/dt = P - P_{\text{out}}(T)$
传导和对流	$P_{\text{out}} \approx hA(T - T_o)$ (牛顿冷却定律)
辐射	$P_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A(T^4 - T_o^4)$



质量为 m 、比热容为 c 、接受功率 P 的物体，能量平衡为： $m \cdot c \cdot dT/dt = P - P_{\text{out}}(T)$ 。如果散热与和环境的温差成正比（牛顿冷却定律， $P_{\text{out}} = hA(T - T_o)$ ），解为 $T(t) = T_o + (P/hA)(1 - e^{-(t/\tau)})$ ，其中 $\tau = m \cdot c / (hA)$ 。平衡温度 $T^* = T_o + P/(hA)$ 随 P 线性增长。

辐射服从斯特藩-玻尔兹曼定律， $\varepsilon \sigma A(T^4 - T_o^4)$ 。温差小时可线性化为 $4\varepsilon \sigma T_o^3(T - T_o)$ ，并入 h ；在体温下，它是主要的散热途径，静息时约占 60%。

为什么速度是热的问题而不是能量的问题：固定的能量 E 在时间 t 内送入， $P = E/t$ 。若 $t \ll \tau$ ，系统近似绝热， $\Delta T \approx E/(m \cdot c)$ ：能量全部留下。若 $t \gg \tau$ ，温度跟随功率， $\Delta T \approx P/(hA) = E/(hA \cdot t)$ 。缩短 t 会把平衡温升推高，直到绝热上限。

自 2019 年起，开尔文通过固定 $k_B = 1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 来定义，把温度和能量联系在一起：在 300 K 时， $k_B \cdot T \approx 4.1 \times 10^{-21} \text{ J} \approx 0.026 \text{ eV}$ 。

从一个人到太阳：比较量级

♦→♠ 从进阶到技术

♦里的说法	♠里的写法
对数刻度	$x = \log_{10}(P / 1 \text{ W})$
千、兆、吉	$k = 10^3, M = 10^6, G = 10^9, T = 10^{12}$
“十倍”的步数	数量级: $\Delta \log_{10} P$
三步法	费米估算: $P \approx E/t$
太阳	$L_{\odot} = 3.828 \times 10^{26} \text{ W}$ (标称值, IAU 2015)

$$k = 10^3 \quad M = 10^6 \quad G = 10^9 \quad T = 10^{12}$$

$$\log_{10}(P_{\text{静息}} / \text{W}) \approx 1.9$$

$$\log_{10}(P_{\text{反应堆}} / \text{W}) = 9$$

$$\log_{10}(P_{\odot} / \text{W}) \approx 26.6$$

费米估算: $P \approx E / t \rightarrow$ 与表对比

在对数刻度上, 位置是 $x = \log_{10}(P/1 \text{ W})$, 所以固定的比值对应固定的距离。静息的人: $\log_{10} 87 \approx 1.9$ 。反应堆: 9。太阳, 取国际天文学联合会的标称光度 ($3.828 \times 10^{26} \text{ W}$): ≈ 26.6 。人和反应堆之间相差 7.1 个数量级, 也就是两者之比的对数。

费米估算用已知量确定数量级。只要 E 和 t 与真实值相差不超过 2 到 3 倍, $P \approx E/t$ 就足以给一个过程归类, 因为表中的参考值彼此相差好几个数量级。

再举一个例子: 日地距离处的太阳总辐照度是 1361 W/m^2 (IAU 2015)。要达到 1 GW , 需要收集 $10^9/1361 \approx 7.3 \times 10^5 \text{ m}^2$, 在大气层外、没有损耗、没有黑夜的条件下约 0.73 平方公里。每一项现实修正 (大气、角度、黑夜、效率) 都会让这个面积成倍增加。



最后的挑战

1. 电水壶的铭牌上写着 2000 W。这个数字告诉你什么？

- a. 它里面储存了多少能量
- b. 它把电变成热的速度有多快
- c. 你每个月要付多少钱

2. 你用 1000 W 的电水壶烧开一升水，再用 2000 W 的烧开另一升，都没有损耗。有什么不同？

- a. 2000 W 的那个用掉两倍的能量
- b. 用掉的能量一样；2000 W 的只要一半时间
- c. 1000 W 的烧不开

3. 篝火溅出的火星非常烫，可落在手上你几乎感觉不到。为什么？

- a. 它太小了，带的能量很少，虽然温度很高
- b. 火星里面是冷的
- c. 皮肤感觉不到温度



三句话总结

- 1. 能量是“有多少”（焦耳、千卡和千瓦时是同一种东西，只是杯子不同），功率是“有多快”（瓦特，即每秒多少焦耳）。
- 2. 同样的能量用更短的时间送达，就需要更大的功率，而且几乎全部会变成热：进来的比出去的快，温度就会上升。
- 3. 要判断一件事是否可能，先算能量，再除以时间，然后和参考值对比：一个人（约 80 W）、一个电水壶（2000 W）和一座反应堆（1 GW）。

资料来源

- 单位换算（卡路里、千瓦时、吨 TNT、马力）：[NIST SP 811, 附录 B.8](#)。电子伏特：[NIST CODATA](#)。国际单位制中的焦耳和瓦特：[BIPM, 国际单位制手册](#)。
- 开尔文与玻尔兹曼常数：[IUPAC 金皮书](#) 和 [BIPM, 开尔文附录](#)。
- 食品标签同时标 kJ 和 kcal：[欧盟第 1169/2011 号条例](#)，附件十五。西班牙电费单的功率费和电能费：[IIT Comillas](#)（西班牙语）。超过合同功率时自动断电：[第 1955/2000 号王室法令第 92 条](#)（西班牙语）。
- 液态水的比热容：[NIST WebBook](#)（25 °C 时 $C_p \approx 75.4 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ，除以 18.015 g/mol）和 [OpenStax《College Physics 2e》表 14.1](#)（4186 J/(kg·°C)）。
- 基础代谢（68 W 和 87 W）：[Harrison, 多伦多大学](#)，并与 [OpenStax《College Physics 2e》表 7.4](#)（85 W）对照。人体散热途径：[OpenStax《Anatomy and Physiology 2e》24.6](#) 和 [OpenAnesthesia](#)。
- 环法自行车手的功率：Vogt 等，*Int J Sports Med* 28, 756 (2007), [doi:10.1055/s-2007-964982](#)。
- 典型核反应堆的功率：[美国能源部](#)。闪电的能量：Cooray, *J. Geophys. Res.* 102 (1997), [doi:10.1029/96JD01917](#)，以及 [美国环保署 AP-42 第 14.3 章](#)。
- 太阳标称光度与太阳总辐照度：IAU 2015 第 B3 号决议，[arXiv:1510.07674](#)。
- 未来物理教师混淆能量、功率和力：Sağlam-Arslan 与 Kurnaz, *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching* 10(1), 2009, [结论](#)。热量与温度：[IOP Spark](#)。

这节课是怎么写成的： 由 Claude 协助根据上面的资料调研和撰写，所有资料于 2026 年 10 月 13 日核对，并用第二个来源交叉验证，再由 Claude 从西班牙语翻译，正式发布前会经过人工审校。没有单独链接的数字是据此计算的结果。插图均为原创。

答案

1. **b)** 它把电变成热的速度有多快. 对: 瓦特是速度。用掉多少, 取决于你开多久。
2. **b)** 用掉的能量一样; 2000 W 的只要一半时间. 没错: 同样的水, 水龙头大了一倍。
3. **a)** 它太小了, 带的能量很少, 虽然温度很高. 很好。温度说的是有多热, 能量说的是有多少。火星前者很多, 后者很少。

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/joules-watts-or-calories>

更新于 2026年10月13日.