



能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红孺

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

轴-235

vs 汽油

能源物理

第三讲：能源的消耗和能量单位

作者 马红孺

上海交通大学大学 机械与动力学院

September 27, 2016



目录

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红藕

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

铀-235

vs 汽油

- 1 能源：全球能源消耗
- 2 能量的单位
- 3 物质的能量
- 4 能量的比较
- 5 食物的能量
- 6 TNT vs 汽油
- 7 铀-235 vs 汽油



全球能源消耗:2005

能源物理

第三讲: 能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源: 全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

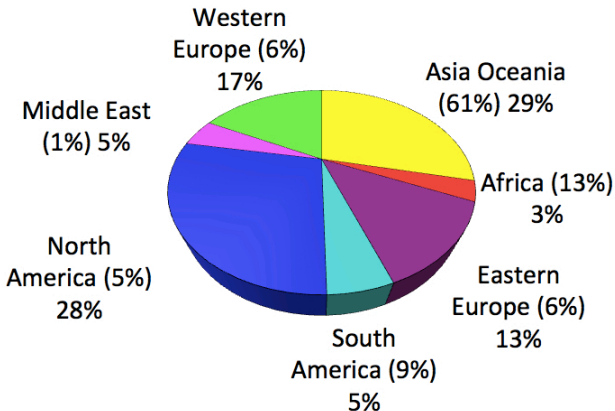
食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

全球各国的人口与耗能情况





能量消耗?

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红孺

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

轴-235

vs 汽油

热力学第一定律.
消耗的是



能量消耗?

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

热力学第一定律.
消耗的是

负熵!!

所谓消耗能量实际上是能量转化过程.



能量消耗的预计

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红菡

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

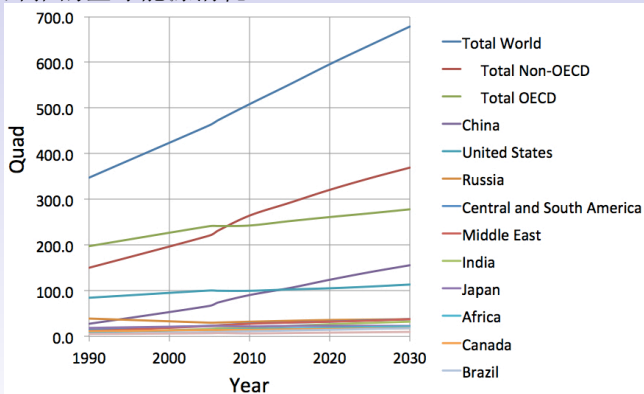
食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

外推的全球能源消耗



单位：quadrillion Btu $\approx 10^{18}$ J

经济合作与发展组织 Organization for Economic Co-operation and Development 简称经合组织 (OECD)



多大程度上是可靠的

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红藕

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

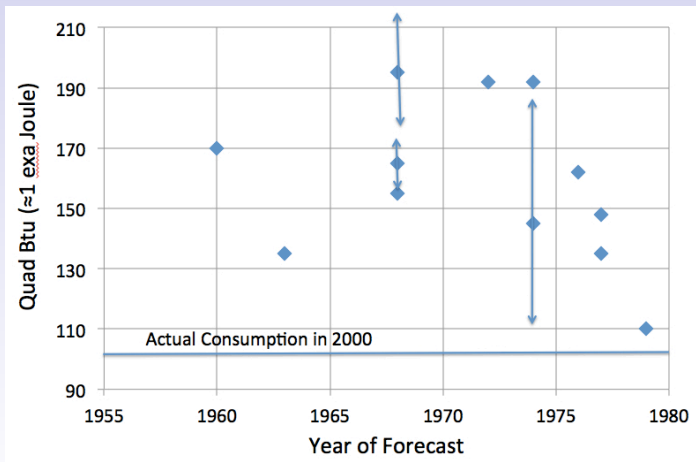
食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

这是 2000 年美国的能耗和历年的预报，大多数是高估





石油危机?!

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红孺

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

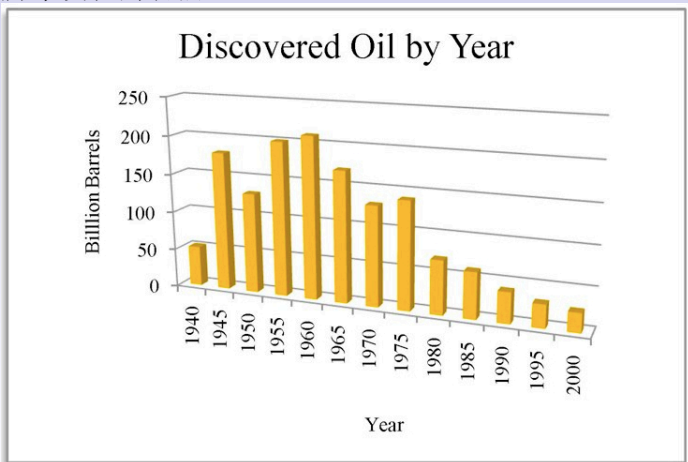
食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

历年发现的石油.





二氧化碳含量的变化

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

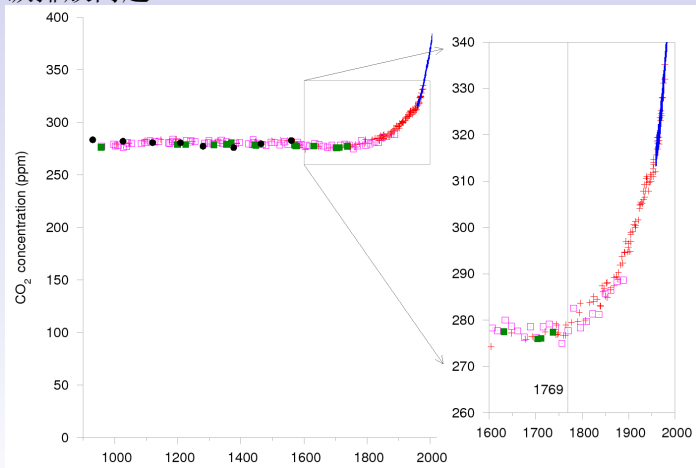
食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

碳排放问题.





能量的单位

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

轴-235

vs 汽油

国际单位制 (International System of Units, SI). **焦耳** (Joule).

定义: $1\text{J} = 1\text{Nm}$

1 千克的物体升高 10 厘米 (0.1 米),

0.24 克水的温度升高 1 度。

焦耳 很小的单位

为了方便各个不同领域的使用, 便出现了很多不同的能量单位, 对于非专业人员, 这些单位很难把握。



能量的单位：千瓦时

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

千瓦时，kWh，

定义：1 千瓦 (kW) 功率的任何设备在一小时消耗的能量。

家用电表：度 = 千瓦时

4W 的节能灯，每小时消耗 $4 \times 10^{-3} \text{kW} \times 1 \text{h} = 4 \times 10^{-3} \text{kWh}$

1kW 的电磁炉，每小时消耗 1kWh，为节能灯的 250 倍。

$$1\text{kWh} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J} = 3.6\text{MJ}(\text{兆焦耳})$$



能量的单位：千瓦时

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

在物理学和其它科学中，为了方便表示，通常用一些词头加在单位上，以表示很大或很小的量，常用的词头有

皮 (p) 10^{-12}

纳 (n) 10^{-9}

微 (μ) 10^{-6}

毫 (m) 10^{-3}

千 (k) 10^3

兆 (M) 10^6

吉 (G) 10^9

拍 (P) 10^{15}

艾 (E) 10^{18}

利用上述表示，我们看到：

$$1\text{kWh} = 3.6\text{MJ}$$

kWh 是大家比较熟悉的能量单位。



能量的单位：千卡

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

油-235
vs 汽油

“千卡 (kcal)”，或称为大卡（与卡区别）。

卡 (cal)：1克(g) 水的温度升高 1°C 度所需要的能量

$$1\text{cal} = 4.18\text{J}$$

$$1000\text{cal} = 1\text{kcal}$$

$$1\text{kcal} = 4.18\text{kJ}$$

一个馒头提供的能量大致为 $200\text{kcal} = 800\text{kJ} = 0.8\text{MJ}$ ，人所需要的能量大致为

$$\frac{1\text{kcal}}{\text{hr} \cdot \text{kg}}$$

一个 70kg 的人，每天需要的能量大约为

$$70\text{kg} \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr} \cdot \text{kg}} \times 24\text{hr} = 1680\text{kcal} = 7\text{MJ} = 2\text{kWh}$$

我们将看到，食物在一个人的能量消耗中只占很少的部分。



能量的单位：吨标准煤

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

铀-235

vs 汽油

各个国家所用的能量单位不同。

我国通常用吨标准煤作为单位。1克(g) 煤燃烧大约放出7kcal 的能量，所以，规定

$$1\text{g标准煤} = 7\text{kcal} = 29.3\text{kJ} \quad 1\text{kg标准煤} = 29.3\text{MJ}$$

1kg标准煤 的能量大约等于 35 个馒头的能量.

$$1\text{吨标准煤} = 29.3\text{GJ} = 2.93 \times 10^{10}\text{J}$$



能量的单位；吨标准煤

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

中国 2011 年消耗的能量为 34.8 亿吨标准煤，折合成焦耳，

$$34.8 \times 10^8 \times 2.93 \times 10^{10} = 102 \times 10^{18} \text{J} = 102 \text{EJ}$$

中国的人口大约为 15 亿，平均每人每年消耗能量

$$\frac{1.02 \times 10^{20} \text{J}}{1.5 \times 10^9} = 6.8 \times 10^{10} \text{J} = 68 \text{GJ}$$

$$= 2.3 \text{吨标准煤} = 19,000 \text{kWh}$$

平均每人每天消耗能量

$$\frac{19000 \text{kWh}}{365} = 52 \text{kWh} = 186 \text{MJ} = 6.3 \text{kg标准煤}$$

中国的能量消耗大约占全球的 15%，由此推算，2011 年全
球的能量消耗大约是 650EJ，或大约 230 吨标准煤。



能量的单位：吨标准油

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能

源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

铀-235

vs 汽油

吨油当量或吨标准油 (toe)

$\text{toe} = 42.62\text{GJ}$ 1 吨原油具有的能量

吨油当量 = 1.45吨标准煤

例如，中国 2011 年消耗的能量为 34.8 亿吨标准煤，等于 $34.8/1.45 = 24$ 亿吨油当量。



能量的单位；吨标准煤

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

中国 2012 年消耗的能量为 36.2 亿吨标准煤，折合成焦耳，

$$36.2 \times 10^8 \times 2.93 \times 10^{10} = 106 \times 10^{18} \text{J} = 106 \text{EJ}$$

中国的人口大约为 15 亿，平均每人每年消耗能量

$$\begin{aligned} \frac{1.06 \times 10^{20} \text{J}}{1.5 \times 10^9} &= 7.1 \times 10^{10} \text{J} = 7.1 \text{GJ} \\ &= 2.4 \text{吨标准煤} = 20,000 \text{kWh} \end{aligned}$$

平均每人每天消耗能量

$$\frac{20000 \text{kWh}}{365} = 54 \text{kWh} = 193 \text{MJ} = 6.6 \text{kg 标准煤}$$

中国的能量消耗大约占全球的 15%，由此推算，2012 年全
球的能量消耗大约是 707EJ，或大约 240 吨标准煤。

2013 年消耗的能量为 37.6 亿吨标准煤，增速 4%.



能量的单位: Btu

能源物理

第三讲: 能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源: 全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

Btu, British thermal unit, 是另一个能量单位, 虽然英国已经不用这个单位了, 但还有地方在用.

定义为 1 磅水的温度升高 1 华氏度所需要的能量.

$$1\text{Btu} = 252\text{cal} \approx 1\text{kJ} \approx \frac{1}{3}\text{Wh}$$

中国在 2011 年总能耗超过美国, 成为世界第一。



每千克的能量值

物体	能量 (千焦耳)	与等量 TNT 比较
以声速飞行的物体 (340m/s)	58	0.021
电池 (汽车)	120	0.044
计算机电池	400	0.15
碱性电池	600	0.23
TNT (三硝基甲苯)	2700	1
巧克力饼干	21000	7.8
煤	27000	10
黄油	29000	11
酒精	27000	10
汽油	42000	15
天然气 (methane, CH ₄ , 甲烷)	54000	20
氢	110000	40
铀-235 (Uranium-235)	8.2×10^{10}	3×10^7

能源物理
第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红藕

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

铀-235

vs 汽油



能量的比较

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能

源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

- 电池的能量很低，只有汽油的 $\frac{1}{340}$ ，电动汽车瓶颈
- 电：非常优越的能量。电动汽车效率可以达到 85%。
汽油的效率大致是 20%。
- 电动汽车与汽油车的单位质量的实际能量差为 $\frac{1}{340} \times \frac{85}{20} = \frac{1}{80}$ 。
- 轿车油箱容量 50kg，相同的能量对应的电池的重量是 $80 \times 50 = 4000\text{kg}$ 。400kg 是一个比较合适的重量。
- 这意味着，如果使用电动汽车，则需要以 10 倍的频度去更换电池，这自然是一个不太愉快的事情。对于日常的上下班，大约 10 天加一次油，如果改用电动汽车，则可能每天需要充电或换电池。



计算机电池 → 汽车

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

油-235

vs 汽油

- 计算机电池的容量是汽车电池的近 4 倍，但其价格则大约是汽车电池的 100 倍。
- 在堵车非常严重的城市，由于电动汽车在停车时不需要耗费能量，而汽油发动机则处于空转状态，在刹车时，刹车的能量也可以以某种方式回收一部分为电池充电，因此，电动车的效率因子还可以进一步提高。
- 电动汽车的合适推广的场所也应该是交通拥堵的大城市。混合动力汽车可能是更好的方向。



食物的能量

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

轴-235

vs 汽油

从表中我们发现，巧克力饼干的能量很高，是 TNT 的大约 8 倍。只要注意到人每天的工作，运动等所消耗的能量全部来自食物，就能够理解这个数字了。



TNT vs 汽油

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

轴-235

vs 汽油

- 汽油的能量非常高，是 TNT 的 15 倍。
- TNT 具有很强的威力。 能量释放的时间 功率问题。
- TNT 可以自己通过化学反应释放能量，能量可以在极短的时间内放出
- 汽油是通过燃烧放出能量的，燃烧必须要有氧气，能量释放的速度比较慢。



911

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

铀-235

vs 汽油

顺便指出，911 事件中，恐怖分子用飞机撞世贸大楼，其实是选定了最好的攻击性武器。

事实上，飞机的撞击对于大楼的损害其实是很小的，除了被撞的一小部分外，不会对大楼造成损坏。但是，飞机上携带的大量汽油的燃烧，才是大楼倒塌的关键因素。

其实，恐怖组织未必清楚这一点，他们的目的，或许只是通过撞击世贸大楼来造成轰动效应，但实际的结果大大出乎了他们的预料。



我们可以估计飞机撞击大楼的能量和汽油的能量。一架飞机的质量大约是 200 吨，其速度大致 200m/s，于是，其动能为

$$10^5 \times 200^2 = 4 \times 10^9 \text{J} = 4\text{GJ}$$

另一方面，飞机起飞不久，油箱应该是满的，设为 20 吨汽油，根据前面的介绍，一顿汽油相当于 1.5 吨标准煤，于是，这些汽油燃烧后放出的能量为

$$20 \times 1.5 \times 30\text{GJ} = 900\text{GJ}$$

汽油燃烧的能量使得大楼内部的钢筋严重变软，失去对大楼的支撑，导致倒楼。



铀-235 vs 汽油

能源物理

第三讲：能源
的消耗和能量
单位

马红儒

目录

能源：全球能
源消耗

能量的单位

物质的能量

能量的比较

食物的能量

TNT vs 汽油

铀-235
vs 汽油

最后，我们发现，铀-235 提供的能量是汽油的 2 百万倍。

这是一个非常大的变化，其意义在于，1kg 的铀-235 产生的能量就相当于二百万千克汽油产生的能量，或三百万千克煤产生的能量。

而且，铀-235 在放出能量时，不产生任何温室气体的排放。