



能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

能源物理

第四讲：各种能源

作者 马红孺

上海交通大学大学 机械与动力工程学院

October 11, 2016



目录

能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

- 1 化石能源
- 2 化石能源的危机
- 3 水能
- 4 太阳能
- 5 风能
- 6 核能



能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

作业：（二题选一）

1, 根据课程内容, 通过查找资料和可能的推断, 对于太阳能作为未来能源的优缺点, 可能地位进行论述。(不超过 1000 字)

2, 根据课程内容, 并结合查找资料和调研, 对核能的发展提出你的看法和观点并论证之。(不超过 1000 字)

请将作业直接交上课老师或通过 email 发送。

hrma@sjtu.edu.cn



化石能源

能源物理

第四讲：各种
能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

化石能源是数百万年或千万年以前的动植物尸体经过长期的物理和化学作用形成的产物。

煤，石油和天然气等。

本质上是遥远的过去的太阳能。



化石能源：煤

能源物理

第四讲：各种
能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

煤的成分主要是：碳、氢、氧、氮、硫、磷等。

探明的煤储量大约是 10^{12} 吨。

如果实际储量是探明储量的 5 倍，世界上总的煤储量为 5×10^{12} 吨。目前每年的开采量大约 50 亿吨，即 5×10^9 吨，已探明的煤还可以再开采 200 年，而估计的总储量还可以开采 1000 年。

从这个意义上来说，煤是可持续的能源。



化石能源：石油

能源物理

第四讲：各种
能源

马红福

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

石油主要是碳氢化合物。组成石油的化学元素主要是碳、氢。

探明的石油储量约为 (wiki) 1.3 万亿桶，即 1.3×10^{12} 桶，每桶大约 160 升，或 140kg，所以储量大约 1.8×10^{11} 吨 (1800 亿吨)。

目前的年开采量大约 300 亿桶，即 42 亿吨。探明的石油还能开采 40 年。

如果假定地球上的总储量是探明储量的 5 倍 (?)，那么，石油还能够维持 200 年?。

与煤相比，石油的可持续性要差的多。



化石能源：天然气

能源物理

第四讲：各种
能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

天然气主要成分是甲烷，是一种气态的化石燃料，主要存在于油田和天然气田。也有少量出于煤层。

2005 年，全球已探明的天然气总储量为 179 万亿立方米。

全球的天然气消费量约为 3 万亿立方米，探明的储量以目前的水平可以消费 60 年

如果总储量是探明储量的 5 倍，那么，**天然气以目前水平可以消费 300 年。**



化石能源：页岩气

能源物理

第四讲：各种
能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

页岩气因开采困难，长期以来没有受到重视，目前...



危机

能源物理

第四讲：各种
能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

由前面的大致估计可以看到，煤是一种可以持续的能源，它可以持续大致 1000 年的时间，从供应的角度讲，目前还不需要担心煤的危机。



危机

能源物理

第四讲：各种
能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

如果以目前的水平消费，石油和天然气分别能持续 200 年和 300 年。在得到这个结论的时候，我已经把探明的储量放大了 5 倍，如果仅仅以探明的储量计算，则分别是 40 年和 60 年。石油的消耗量实际上是逐年增加的，这就意味着，也许在更短的时间内，石油就会用完。

在过去半个世纪，石油危机一直是热门话题，在各种不同的层面有很多讨论，但是，随着探明的石油储量的不断增加，这样一个老生长谈的问题并没有真实发生。尽管石油的价格在上涨，但目前看来，石油仍然是最方便，最便宜的能源。



危机

能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

天然气也许是取代石油作为汽车燃料的最直接的能源，随着可能到来的石油开采量达到峰值，天然气的消费量可能有较大增长，这也就意味着天然气的危机也许更早的到来。

除了存量的因素之外，另一个重要的因素是开采成本。随着时间的推移，不论是煤，石油还是天然气，开采的难度和成本都会上升，这也是另一种意义上的危机。



温室气体

能源物理

第四讲：各种
能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

化石燃料 → 二氧化碳排放!!

二氧化碳排放 → 气候变暖???

事实：

工业革命以来，二氧化碳的排放显著增加

陆地生物圈排放二氧化碳大约**4400 亿吨**，海洋排放大约**3300 亿吨**，而人类通过化石燃料排放大约**290 亿吨**

地球自身大致保持二氧化碳的平衡，而化石燃料的排放则附加在这个总量上面，使得大气中的二氧化碳明显增加。



能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

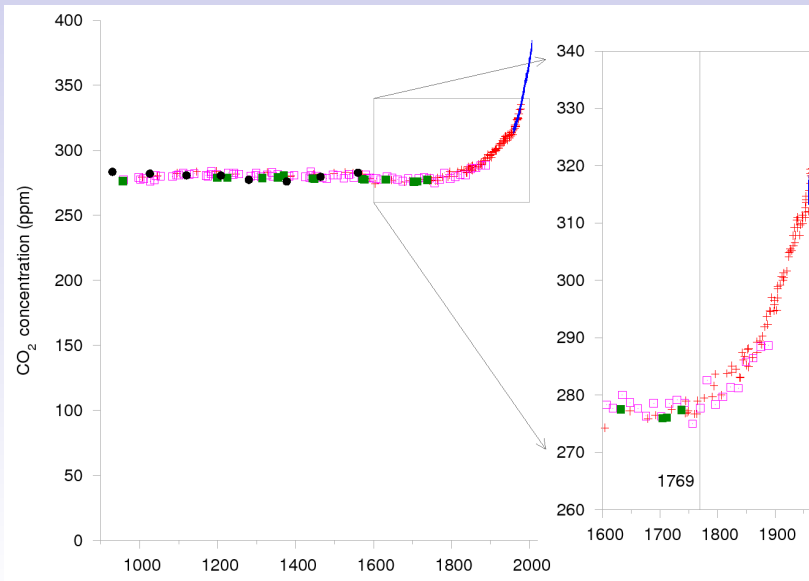
化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能



大气中二氧化碳含量的变化, (From SE, Chap. 1)



能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

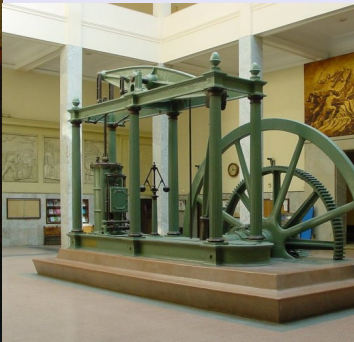
化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能



瓦特和他的蒸汽机，(from Wiki)



能源物理

第四讲：各种

能源

马红儒

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

尽管人工排放量相对与自然排放量只占很小的比例，但是，这一部分是附加在总的排放量中，无法平衡掉的部分，因此，随着时间的推移，这一部分附加的二氧化碳就会积累起来，明显增加大气中二氧化碳的含量。

大气中二氧化碳在过去二百年显著增加是一个事实。

这个增加是否影响了全球气候，导致了全球变暖？

这是一个非常复杂的问题，我个人认为目前还无法做出这个结论。



能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

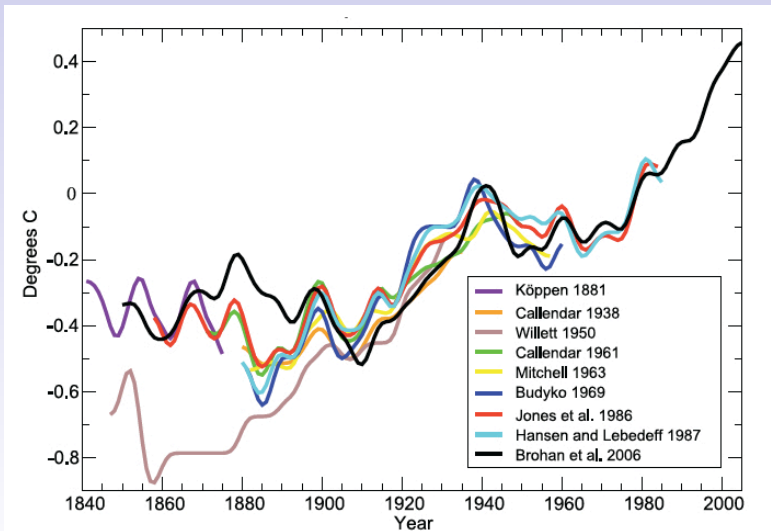
化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能



1840 年以来气温的变化。(from IPCC Ar4, Fig. 1.3)



能源物理

第四讲：各种

能源

马红福

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

根据 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 政府间气候变化专门委员会) 的研究, 全球温度在**过去 150 年**上升了大约 **0.7 度**。

这里存在二个**问题**:

首先, 早期的温度测量点比较少, 测量精度也不够高, 由此得到的全球平均温度的误差是比较大的;

其次, 地球的温度长期以来就有变高和变低, 且周期非常长, 100 多年的数据也许仅仅是长期气候变化过程中的涨落, 并不能得到气候变暖或变冷的结论。

从短期看, 过去 150 年全球气候变暖的趋势还是比较明显的??



能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

然而，这种变暖，即便能确定为事实，我们也不能确切地把它归结为温室气体的排放所导致。

我们已经得到的结论是：

第一，第一次工业革命以来，大气中二氧化碳的含量显著增加，这种增加，是由于化石燃料的大量使用所导致的结果；

第二，过去 150 年来，地球表面的平均温度上升了大约 0.7 度，其原因可能是由于温室气体排放和在大气中的积累所致，但并不完全确定。



能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

尽管我们不能完全确定全球正在变暖，也不能确定即使全球变暖，这个变暖是否与二氧化碳的排放直接相关。

可以确定：

化石燃料的大量使用导致了大气中二氧化碳的增加；

如果全球的平均温度上升 2 度，可能导致灾难性的后果；

化石燃料特别是石油，是不可持续的，也许只能再开采 50 年。



能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

如果我们完全抛开上述理由不谈，把石油和煤仅仅作为能源烧掉也是非常可惜的，我们已经知道可以从石油和煤中获取非常多，非常有用的其它资源。

由于这些理由，发展可持续的，无害的新能源是人类面临的十分紧迫的任务。



水能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

水力能源没有有害的排放，是一种绿色能源。当水从高处流向低处时，其势能变小，释放出的势能可以用以发电，也可直接驱动机械做功。

水力能取决于两个因素，一个是落差，一个是流量。中国有 960 万平方公里的土地，如果平均海拔按照 1200 米计算，每年的平均降水量 600 毫米，水力资源可以估计出为

$$\begin{aligned} & 9.6 \times 10^{12} \text{m}^2 \times 0.6 \text{m} \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 1200 \text{m} \times 10 \text{m/s}^2 \\ & = 7 \times 10^{19} \text{J} = 70 \text{EJ} \end{aligned}$$



水能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

并非所有的水力资源都可使用.

渗入地下. 流动中因摩擦消耗能量 无法开发的
水力

估计水力资源的使用效率为 20%，我国的可用水力资源大致是

$$14\text{EJ} = 3.8 \times 10^{12}\text{kWh} = 3.8\text{万亿kWh}$$

网上查询，我国可利用的水力资源装机容量大约为 1.92 万亿 kWh，与我们的估计是相符的。



水能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

按照正确的数据，可以求出人均可利用水力资源为

$$\frac{1.92 \times 10^{12} \text{kWh}}{1.5 \times 10^9 \times 365 \text{d}} = 3.5 \text{kWh/d}$$

我国目前已经建成的水电站的装机容量大约 2.3 亿千瓦，年发电量约 7 千亿 kWh，人均开发的水力资源 1.3kWh/d.



水能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

我国水力资源的开发已经超过可开发量的三分之一以上，即便全部开发，也远远不能满足能源的需求，只能作为能源的一个比较小的部分。另外，水电开发对于环境以及社会的影响也是不能忽视的问题。

由于太阳的能量，水得以从海里转移到高空，运输到陆地上空并落下。从而水能本质上是太阳能。



太阳能

能源物理

第四讲：各种
能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

太阳是位于太阳系中心的恒星，是一个巨大的高温天体。其直径大约是 1.4×10^6 公里，相当于地球直径的 109 倍；质量大约是 2×10^{30} 千克（地球的 33 万倍），约占太阳系总质量的 99.86%。太阳质量的大约四分之三是氢，剩下的几乎都是氦，包括氧、碳、氦、铁和其他的重元素质量少于 2%。其表面温度大约 5500°C ，太阳的内部温度可以高达 1,360 万 K ($1.36 \times 10^7\text{K}$)



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

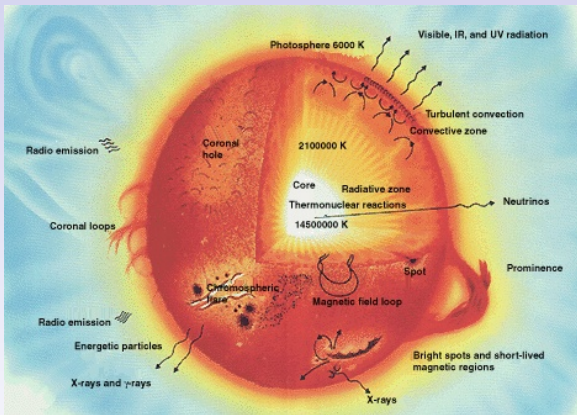
化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能





太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红璜

目录

化石能源

化石能源的危

机

水能

太阳能

风能

核能

太阳的核心是指距离太阳的中心不超过太阳半径的五分之一或四分之一的区域，核心内部的物质密度高达 150 克/立方厘米，大约是水密度的 150 倍，温度接近 1,360 万 K。太阳形成后的大部分的时间里，核聚变的能量是经过一系列被称为质子-质子链反应的过程产生的；这个过程将氢变成氦。

核心是太阳内唯一能经由核聚变产生大量热能的区域，99% 的能量产生在太阳半径的 24% 以内，而在 30% 半径处，聚变反应几乎完全停止。太阳的外层只是被从核心传出的能量加热。在核心经由核聚变产生的能量首先需穿过由内到外接连的多层区域，才能到达光球层，然后化为光波或粒子的动能，散逸到外层的宇宙空间去。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红福

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

太阳核心每秒大约进行着 9.2×10^{37} 次质子-质子链反应。这个反应是将 4 个自由的质子（氢原子核）融合成氦原子核（ α 粒子），每秒大约有 3.7×10^{38} 个质子成为 α 粒子（太阳拥有的自由质子大约有 8.9×10^{56} 个），相当于大约每秒 6.2×10^{11} 千克。

每次氢原子核聚合成氦时，大约会有 0.7% 的质量转化成能量。因此，太阳的质能转换速率为每秒钟 426 万吨，释放出 384.6 佑瓦特（ $3.846 \times 10^{26} \text{W}$ ）的能量，这相当于每秒钟产生 10^{17} 吨 TNT 炸药爆炸的能量。

地球上每人可分到： 10^7 吨 = 1000万吨TNT 爆炸的能量。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

太阳核心的核聚变是在自我修正下达到平衡：

速率只要略微提升，就会造成核心的温度上升，压强增大，更能抵抗外围物质的压力，因此核心会膨胀，从而降低核聚变速率，修正之前核聚变速率增加所造成的扰动；

而如果反应速率稍微下降，就会导致温度略微下降，压强降低，从而核心会收缩，使核聚变的速率又再提高，回复到它之前的水平。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

核聚变产生的 γ 射线（高能量的光子流）从太阳核心释放出来后，只要经过几微米就会被太阳中的等离子体吸收，然后再以较低的能量随机地辐射向各个方向。

在不断反复的吸收和再辐射中，光子流要经过漫长的时间才能到达太阳表面。估计每个光子抵达太阳表面需要 10,000 年至 170,000 年的时间。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

在穿过对流带，进入透明的光球表面时，光子就以可见光的型态散逸。

每一在核心产生的 γ 射线在逃逸入太空之前，都已经转化成数百万个可见光频率的光子。

核心的核聚变时也释放出中微子，但是与光子不同的是它很难与其它的物质相互作用，因此几乎是立刻就从太阳表面逃逸出去。多年来，测量到来自太阳的中微子数量都只有理论数值的三分之一，因而产生了太阳中微子问题。这个差异直到 2001 年发现中微子振荡才获得解决：太阳发出的中微子数量一如理论的预测，但是中微子探测器侦测到的少了 $2/3$ ，这是因为在被侦测时中微子改变了它们的味。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

太阳能一般是指太阳光的辐射能量，在现代一般用作发电。

自地球形成生物就主要以太阳提供的热和光生存，而自古人类也懂得以阳光晒干物件，并作为保存食物的方法，如制盐和晒咸鱼等。但在化石燃料减少下，才有意把太阳能进一步发展。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红福

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

太阳能技术分为有源（主动式）及无源（被动式）两种，有源的例子有太阳能光伏及光热转换，使用电力或机械设备作太阳能收集，而这些设备是依靠外部能源运作的，因此称为有源。

无源的例子有在建筑物引入太阳光作照明等，利用建筑物的设计、选择所使用物料等达至利用太阳能的目的，由于运作无需由外部提供能源，因此称为无源。

而太阳能发电是一种新兴的可再生能源。广义上的太阳能是地球上许多能量的来源，如风能，化学能，水的势能，化石燃料可以称为远古的太阳能。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能



美国加州阳光充沛，适合利用太阳能发电。图中乃美国加州一座于楼顶安装了太阳能电池板用作供电的洗衣房。Wiki



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

在地球表面，太阳直射时每平方米辐射功率约为 1400W，假设每天太阳的照射时间为 8 小时，则每平方米每天可以得到

$$1400\text{W} \times 8 \times 3600 = 4 \times 10^7\text{J} = 40\text{MJ} = 11\text{kWh}$$

每年的能量是 $11 \times 365 = 4000\text{kWh}$ 。太阳能的应用有两个方面，一是直接应用，例如，太阳能热水器，二是转变为电能。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

考虑到太阳实际上与地面有一个角度，每年有阴天，再考虑到转换效率等因素（太阳能电池的转换效率大约是 15%）

我们假定太阳能的使用效率是 2.5%，

每平方米每天可以提供太阳能 0.28kWh，每年可提供太阳能**100kWh**。

这其实是一个很大的能量。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

如果按照目前每人每天消耗 52kWh 能量计算，每人需要的太阳能提供面积是**200m²**。全国 15 亿人口，所需提供太阳能的面积是

$$1.5 \times 10^9 \times 200 = 3 \times 10^{11} \text{m}^2 = 3 \times 10^5 (\text{km})^2$$

中国有九百六十万平方公里土地，如果全部使用太阳能，所需面积占总面积

$$\frac{3 \times 10^5}{9.6 \times 10^6} = 0.03 = 3\%$$

也就是说，只要**3%**的国土面积收集的太阳能就可以提供国民目前的能量需求。



太阳能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

太阳能本身是一种绿色，可持续的能源，不会带来温室气体的排放。从理论上讲，太阳能作为未来的可持续能源是非常有希望的。

目前，太阳能应用还存在技术上的问题，如太阳能电池生产过程中的耗能和污染，排放问题，太阳能发电的成本偏高，能量的输出不稳定等等。

硅之外的太阳能光伏材料的基础研究

高分子

其它？



风能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红福

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

风能 (wind energy) 地球表面大量空气流动所产生的动能。由于地面各处受太阳辐照后气温变化不同和空气中水蒸气的含量不同，因而引起各地气压的差异，在水平方向高压空气向低压地区流动，即形成风。

据估算，全世界的风能总量约 1300 亿千瓦，中国的风能总量约 16 亿千瓦。如果可开发风能占 10%，即可以开发 1.6 亿千瓦。平均每人 0.1kW 或每天 2.4kWh 的能量。由此可见，**风能只能起到补充作用，不可能解决未来的能量需求。**

但是，考虑到风力资源主要在相对偏远的地区，如内陆的高原地带，海岛等，因此，在这些地方大力发展风能是合适的。



核能：裂变能

能源物理

第四讲：各种
能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

重原子核铀-235 等可以发生裂变，在裂变过程中放出能量。核反应过程的能量变化通常是每原子核兆电子伏的数量级，而燃烧过程是化学反应过程，其能量变化是电子伏的数量级。

因此，单位质量核能源的能量是化石能源的百万倍。



核能：裂变能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

自然界的铀有三种同位素，铀 234，铀 235 和铀 238，其中，主要的是铀 238，大约占 99.27%，其次是铀 235，占 0.72%。

铀是第 92 号元素，包含 92 个质子，铀 238 包含 $238 - 92 = 146$ 个中子，铀 235 包含 143 个中子，铀 234 包含 142 个中子。

铀 235 是自然界唯一可以发生裂变的原子核。铀 235 的衰变寿命很长，大约为 7 亿年。铀 235 可以吸收一个中子成为铀 236，并在约千万分之一秒裂变为两个轻原子核，并放出 2-3 个中子，在此过程中可以放出大约 200MeV 的能量。



核能：裂变能

能源物理

第四讲：各种
能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

铀 235 的分裂方式大约有 40 多种，通常是一个稍重的核（140 左右）和一个稍轻的核（95 左右）。

放出的中子可以继续触发裂变，如果放出的中子全部触发新的裂变，那么，裂变的核数目非常快的增加，并在很短的时间内放出大量的能量，这对应于原子弹爆炸的情形。

如果平均只有一个中子触发进一步的裂变，那么，裂变过程将维持并持续放出能量。



核能：裂变能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红福

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

- 核裂变的能量的 80% 以上碎片动能放出，由于碎片带电，与周围物质有很强的相互作用，在很短的飞行距离内将把动能传递给周围物质，成为热能。
- 其余为中子的动能， γ 光子的能量以及中微子的能量。
- γ 与物质也有很强的作用，其能量也将变为物质的热能。
- 中子可以飞行较长的距离，部分将触发下一步的裂变，其余将最终通过与物质的相互作用而被原子核吸收。
- 大约有 8% 的能量是裂变碎片的衰变能，最终也会以热能的形式转到物质内部。
- 只有中微子会不受阻碍的飞出并带走一小部分能量。
- 核裂变放出的热能通过水的循环可以用来带动发电机发电。



核能：裂变能

能源物理

第四讲：各种
能源

马红韬

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

为了能够维持裂变，铀 235 必须达到一定的浓度，这就需要对自然界的铀进行浓缩。

我们暂时不考虑这些细节，先估算一下相关的能量，每摩尔铀的质量是 238g，其中铀 235 占 0.7%，每个铀 235 裂变放出的能量是 200MeV，于是，一摩尔铀放出的能量

$$6 \times 10^{23} \times \frac{0.7}{100} \times 200 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.3 \times 10^{11} \text{J} \approx 1.3 \times 10^5 \text{MJ}$$

每千克铀可放出大约 $5 \times 10^5 \text{MJ}$ ，即 50 万兆焦耳的能量。



核能：裂变能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红福

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

一个 1000 兆瓦的电厂，每年发电 8000 小时，可输出能量
 $8 \times 10^6 \text{MWh} = 8 \times 10^9 \text{kWh} = 80 \text{亿千瓦时} = 2.9 \times 10^{10} \text{MJ}$

需要消耗铀

$$\frac{2.9 \times 10^{10} \text{MJ}}{5 \times 10^5 \text{MJ/kg}} = 60000 \text{kg} = 60 \text{吨}$$

考虑到转换效率等因素，一个 1000 兆瓦的电厂一年大概需
要 150 吨铀。

如果考虑到核电站实际使用的是 3% 的浓缩铀，所以每年需
要给核电站加铀燃料大约 40 吨就可以了。



核能：裂变能

能源物理

第四讲：各种能源

马红福

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

核电站没有二氧化碳排放，所需燃料很少。与燃煤电厂比较，我们做一个简单的计算，一顿标准煤的能量是 29.3GJ，于是， 2.9×10^{10} MJ 的能量对应于

$$\frac{2.9 \times 10^{10} \text{MJ}}{2.93 \times 10^4 \text{MJ/t}} = 10^6 \text{t}$$

即一百万吨标准煤，考虑到发电效率，实际煤与标准煤的能量比值等，实际使用的煤应该是上述值的 3-4 倍，分配到每一天，即除以 365 天，得到**每天的烧煤量为 1 万吨。大约相当于 150 车皮的煤。**而 1 万吨煤燃烧后，会排出**大约 4 万吨的二氧化碳**，以及其它如二氧化硫等有害气体。



核能：裂变能

能源物理

第四讲：各种
能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

核能是清洁，高效的能源。但是，核能也有若干严重问题。

目前，全球探明的铀的储量大致为 500 万吨，全球的核电站有 400 多座，按照每座每年 150 吨计算，每年消耗 6 万吨铀，铀的总储量可以使用大约 80 年。

这里，我们仅就铀 235 进行了估计，实际上，经过合适的设计，把裂变时的中子都利用起来，则可以把不能裂变的铀 238 转变成可以裂变的材料，从而使铀的使用从 0.7% 增加到 30%-40%，提高 60 倍左右，那么，现有的铀资源的使用年限也可以增加这个倍数，或者，可以建造更多的核电站。



核能：裂变能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红福

目录

化石能源

化石能源的危

机

水能

太阳能

风能

核能

核电的另一个问题是安全问题，这其实是反核电的人反核电的唯一理由，毕竟，在全球运行的 400 多座核电站中，发生过三次严重的核事故，**事故率接近 1%**。

发生在美国的三里岛事故，虽然没有造成严重后果，但导致了严重的核恐慌；

发生在苏联切尔诺贝利核电站的事故，导致了严重的后果；

而发生在福岛的核事故，尽管后果不算严重，但传达了一个信息，那就是核电似乎并不是安全的，因为千年一遇的灾难并非要等千年才碰得上。

关于核安全的问题，我们在后面将详细讨论。



核能：聚变能

能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

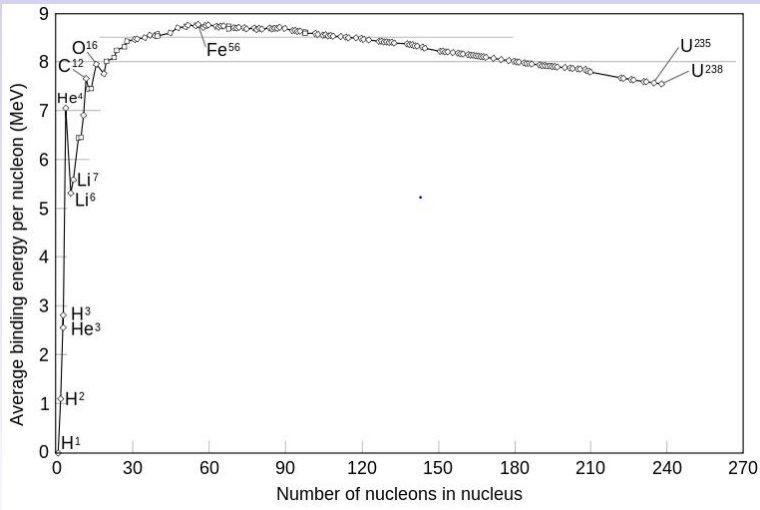
化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能





核能：聚变能

能源物理

第四讲：各种
能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

原子核由中子和质子构成，轻核中，氦核具有最大的结合能，由氘，锂原子核反应生成氦原子核时，可以放出大量的能量。聚变所需要的原料基本上是无限制的，如果实现了受控核聚变，那么能源的问题将一劳永逸的获得解决。



核能：聚变能

能源物理

第四讲：各种
能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

太阳能

风能

核能

核聚变的条件非常苛刻，由于原子核带电，当两个核非常靠近时，其静电斥力将非常的大，为了克服这个非常大的斥力，实现聚变，核子应该具有非常高的动能，这个动能基本上只能来源于热能，也就是说需要非常高的温度才能实现聚变。

这个高温下，任何材料都将气化，因此，没有任何材料可以把聚变的核装起来。



核能：聚变能

能源物理

第四讲：各种
能源

马红瑞

目录

化石能源

化石能源的危
机

水能

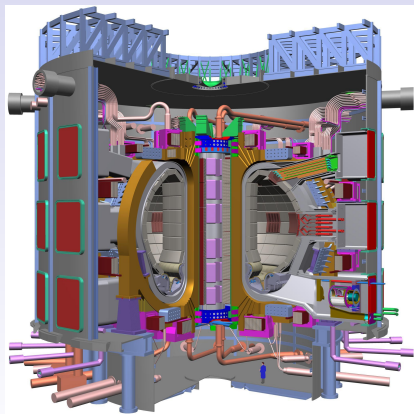
太阳能

风能

核能

考虑到高温的物质是以等离子体的方式存在，因此，可以用磁场来约束聚变反应。

基于这种思路的受控核聚变研究是过去几十年来一直在进行的研究课题，目前一个国际合作的项目，ITER 项目正在进行，我们期望在未来的 50 年或更长一段时间，或许可以解决这个问题。





能源物理

第四讲：各种

能源

马红孺

目录

化石能源

化石能源的危机

水能

太阳能

风能

核能

作业：（二题选一）

1, 根据课程内容, 通过查找资料和可能的推断, 对于太阳能作为未来能源的优缺点, 可能地位进行论述。(不超过 1000 字)

2, 根据课程内容, 并结合查找资料和调研, 对核能的发展提出你的看法和观点并论证之。(不超过 1000 字)

请将作业直接交上课老师或通过 email 发送。

hrma@sjtu.edu.cn