

对能源之源的讨论

杜祥琬[†]

(中国工程物理研究院 北京 100088)

2023-08-01 收到

[†] email: duxw@cae.cn

DOI: 10.7693/wl20231011

化石能源和可再生能源的种类很多,但其中的多数都离不开核聚变,是太阳和地球合作的产物。

早期人类使用的是原始形态的可再生能源,太阳给人温暖和热,水和风给人以动力,水车和风车出现的较早。风是由于太阳照射到对流层的不均匀,例如云的作用,引起大气的温度、压力的不均导致的。除了光、风、水之外,人们经常使用的就是林、木、草,能源的形式是柴薪和木炭,木炭是木材经不完全燃烧热解的产物,炭是薪烧出来的,延续了几万年,是那时人类的基础燃料。也就有了白居易的“卖炭翁,伐薪烧炭南山中。”因此,当时人类依山林而居。太阳能主导的可再生能源是人类早期的主要能源,那时太阳上的核聚变就在为人类作贡献了。但有些能源是地球的禀赋,如水能、地热和一部分海洋能(如盐差能)。

煤炭的发现和利用是人类能源史上的一次飞跃。煤比木柴热值高,这是它的价值所在。且不说煤炭如何提高了人类的生产力,它首先结束了人类大量伐木的历史,保护了林木,所以它的头功是环保。有了煤炭,就有了煤矿,开始有了工业,比如说煤炼铁,从而有了聚集人类的能源、工业,导致了城市的出现。然后有了蒸汽机,有了火车,实现了热能变成动能这样的转换。煤炭时代,为近代工业焕发了生机,正像一位英国作家所说,“一些又小又破的村子转眼变成了大城

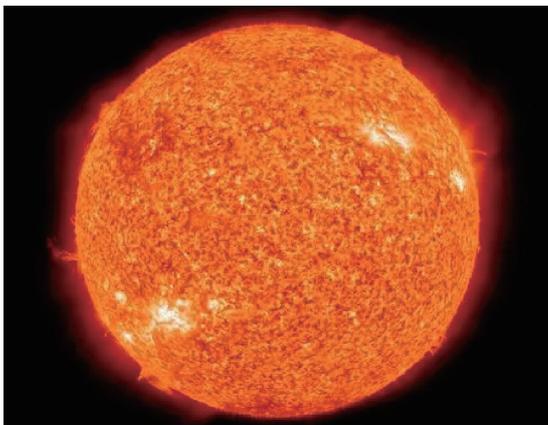
镇,无休止的火焰、浓烟长期漂浮在城市的上空。”人们后来认识到煤炭清洁、高效利用的重要性。之后有了石油,它被称为工业的血液,中国在20世纪初有了第一口油田(延长油田),新中国成立后有了克拉玛依、大庆油田。石油和内燃机的结合成就了现代交通,成为性价比最高的燃料。然后有了天然气,热值更高,非常规天然气(如页岩气、天然气水合物等)的加盟,是新的亮点。

作家笔下对煤炭时代有这样的描述:“有了煤,我们才有了光明,有了力量、动力、健康和文明,否则我们只有黑暗、贫穷和野蛮”。狄更斯也说过:“这是最好的时代,也是最坏的时代,是光明的时代,也是黑暗的时代,是希望的春季,也是悲伤的冬季。”总之,化石能源像双刃剑,为人类作出贡献的同时,也对生态环境和气候变化产生了负面的影响,提出了如何高效、清洁利用化石能源的挑战,甚至如何为低碳作出贡献。从长远看,化石能源的不可再生性是对它的根本制约。人类需早做准备,应对气候变化已经成了全球性的战略问题。

化石能源(煤、油、气)的物理本源是什么呢?它们是由昨天的生物变成的,是昨天的动物和植物在地下

经多年的化学、物理变化生成的,可以说是昨天的太阳能。被我们称为太阳能的就是太阳上的核聚变反应产生的能量。可以说,化石能源是太阳和地球合作的产物。后来,人们发明了电。应该说电不是能源,而是能源存在的一种形式,这种形式的发现使能源如虎添翼,极大地改变了人类社会的经济和生活。和早期人类不同,现代人对可再生能源的利用是用现代工业化的手段,如发电。而氢的利用,人们则往绿氢的方向努力。

太阳能、风能这些能源本身是可再生的,但是要通过发电利用它们,就需要相应的装备,如太阳能电池、风机等,这些装备需要材料,除基本材料外,还有一些矿物质。而这些材料并不是可再生的,所以要风电、光电可持续地被利用,就要做好对这些材料和矿产质的回收和循环利用,或材料学方面的发明、创新。

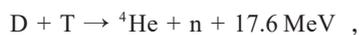


太阳辐射的能量来源于太阳内部的核聚变(图片来源于网络)

说到底，化石能源和多数可再生能源原本是一家。都与太阳能密切相关、与核聚变密切相关，可再生能源是比较直接地利用了太阳能，而化石能源则是经过较多的化学、物理变化成为供人们使用的能源，这个化学、物理过程提高了化石能源的热值和集中度，但也增加了使用它的复杂性，如化石能源使用时产生多种排放，包括污染物和温室气体。

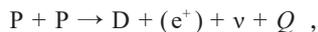
既然化石能源和可再生能源是一家，就应该完整准确地理解我国的能源资源禀赋，它不只是化石能源的“富煤缺油少气”，还有丰富的可再生能源资源。我国已开发的可再生能源不到技术可开发资源量的十分之一。这样的认识才能为我国能源安全和能源转型奠定准确的基础认知。

下面说一下核聚变。太阳上的和地球上人们正在努力实现的“人造太阳”都是核聚变，但反应道有些差别。在受控热核聚变(人造太阳)中，首先可能实现的是氘氚反应：



其中释放中子(n)的能量是14.1 MeV。在更高的反应条件(温度、压力)下，才可能实现氘氘(D+D)反应^[1]。

而太阳上的核聚变已经存在了几十亿年，现在还在发光、发热。太阳能量的99%来自PP反应链(P代表质子)^[2]，1%来自碳氮循环。PP反应链有多个反应道，例如：



其中 ν 代表中微子，核反应产生的能量 $Q = Q'$ (电磁辐射能)+ Q_ν (中微子能量)=1.192 MeV+0.250 MeV。

为了维持太阳目前的光度，每秒钟大约消耗 5×10^{12} g氢燃料，太阳的氢若全部燃烧，需时大约 10^{11} 年，远远超过太阳的年龄。

太阳上的核聚变为人类提供了能源。人们自然会问，太阳又是从何而来呢？这个充满了原子核聚变反应的宏大的宇宙天体是怎么产生的呢？回答这个问题是核天体物理学的任务，它是核物理学和天体物理学交叉形成的前沿科学，萌芽于20世纪初。它的几个里程碑式的进展是^[3]：(1)美国科学家汉斯·贝特在1938年指出：核反应为太阳提供了持续不断的能量，他因此获得了1967年的诺贝尔物理学奖；(2)美籍俄裔物理学家乔治·伽莫夫在1948年提出了宇宙大爆炸模型，大爆炸过程产生了物质世界最基础的元素——氢、氦、锂；(3)1957年，

英国著名天文学家弗雷德·霍伊尔、伯比奇夫妇、美国物理学家威廉·福勒四人一起发表了著名论文《恒星中的元素合成》，威廉·福勒因在元素起源研究中的贡献获得1983年的诺贝尔物理学奖。后来发现的宇宙微波背景辐射是宇宙大爆炸理论的证据。20世纪发射的哈勃望远镜、21世纪发射的开普勒号太空望远镜和韦布望远镜让人们看到了宇宙早期的模样。

所以，粗略地说，宇宙是大爆炸“炸”出来的，太阳也是“炸”出来的！实际上，人类对古老而神秘的宇宙的认识还非常有限，宇宙之源、太阳之源、能源之源还都在探索之中。

这篇短文，如果需要一个结语的话，最好是请意大利的男高音歌唱家帕瓦罗蒂高歌一首：

“呵，我的太阳！”

参考文献

- [1] Федоров Н Д. 工程物理手册(俄文). 莫斯科:原子科学与技术文献国家出版社,1961
- [2] 林元章. 太阳物理导论. 北京:科学出版社,2000
- [3] 侯素青. 宇宙是“炸”出来的吗? 光明日报,2023年7月6日

读者和编者

《物理》有奖征集封面素材

为充分体现物理科学的独特之美，本刊编辑部欢迎广大读者和作者踊跃投寄与物理学相关的封面素材。要求图片清晰，色泽饱满，富有较强的视觉冲击力和很好的物理科学内涵。

一经选用，均有稿酬并赠阅该年度《物理》杂志。

请将封面素材以附件形式发至：physics@iphy.ac.cn；联系电话：010-82649029。

《物理》编辑部

- ▶ 新型高效热交换器结合超绝热轻质柔性液氦传输管线，超低液氦消耗率，最低温度 <1.8K (备注：S-600 JT 插件最低温度 <1.3K)
- ▶ Scryo-S-200/300 和 500 采用特殊温度漂移补偿设计和优化的超绝热支撑设计
- ▶ 可升级为无液氦闭环系统,并保持低震动和漂移特性



Scryo-S-100
通用型低温恒温器



Scryo-S-200
超高真空低温恒温器



Scryo-S-300
紧凑微型低温恒温器



Scryo-S-400
超高真空低温插件



Scryo-S-500
显微型低温恒温器



Scryo-S-600
JT插件

Scryo® 系列低温恒温器典型特性

类型	S-100	S-200	S-300	S-400	S-500	S-600
典型特性	低温恒温器	低温恒温器	低温恒温器	低温插件	低温恒温器	JT插件
样品环境	真空	超高真空	真空	超高真空	真空	超高真空
温度范围	<1.8K-500K	<2.5K-420K	<1.8K-420K	<1.8K-500K	<1.8K-420K	<1.3K-500K
震动水平	-	<5nm	<10nm	-	<5nm	-
漂移水平	-	<2nm/min	<3nm/min	-	<2nm/min	-
温度稳定	<25mK	<10mK	<10mK	<25mK	<10mK	<10mK
典型应用	紫外 / 可见光 / 红外 THz, 基质隔离, 穆斯堡尔谱, 高压 / 高能物理等	STM、AFM、离子阱、原子 / 分子冷阱、近场光学椭圆仪和高能物理等	显微 / 近场光学、低维材料、磁光、拉曼 / 红外光谱、高压、X-ray 和高能物理等	STM、AFM、ARPES、椭圆仪、红外、超快、X-ray 和高能物理等	显微(磁光)、低维材料、拉曼/傅里叶/布里渊散射、高压和高能物理等	STM、AFM、ARPES、椭圆仪、红外、超快、X-ray 和高能物理等

