

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

文明世界的动力

— 能源化学的故事



绿色，在烈火中永生——薪柴

读过安徒生童话的人都不会忘记那个穿着单衣，划着火柴取暖的卖火柴的小女孩，那绝望中的小小火光给了她一丝丝的温暖，却无法拯救她悲惨的命运。

可怜的小女孩，那小小的火柴所发出的一点点热量，怎能助你度过寒冷的冬天呢？

不过，人类以燃烧木材取暖的方法，早在几十万年以前就有了。

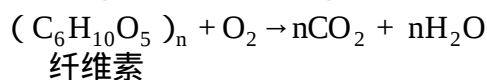
在使用煤炭以前，木头一直是人类最好的燃料。因为那时候地球上到处长着茂盛的森林，木头俯拾皆是。另外，只要木头干燥，它就很容易被点燃，而且能燃烧很长一段时间，发出的光和热也很可观。

你知道吗？原始人用来使木头着火的东西，其实还是木头。一开始，人们用带锯齿形的木棒摩擦木头起火；后来在木头上打个洞，把一根一端很尖的木棒在一个有沟的木板上用力来回划来取火；最后便是我们所熟悉的“钻木取火”方式，即用弓弦卷绕木锥，将木锥插入木板洞内，迅猛地旋转木锥取火。这种“钻木取火”的方式，是原始人用木头取火方式中最进步的一种。

草木作为人类的主要燃料，历史长达数十万年，一直延续到人类开化程度已十分高的 17 世纪。

从化学角度来看，木材主要是由一种叫“纤维素”的物质组成的。纤维素是一种有机物，其中主要是碳、氢、氧三种元素。木头能燃烧并发光、发热主要归功于纤维素。

当木头燃烧时，木头表层木料中的碳原子跟氢氧原子很容易和空气中的氧原子化合，火就烧得很旺，这个过程可以这样表示



但是，空气很难进入木头中心。木头的中间部分不断受热，它的纤维素大分子被分解为小分子的气体，从木头中跑出去，这些气体中可燃的跑出去后就燃烧掉了。由于缺少空气，在木头的中间部分没有足够的氧原子，有些通过重重阻力来到木头中心的氧原子，也很快与氢原子结合起来，因为碳原子比氢原子更难于和氧原子结合。

由于以上原因，在木头的中间部分，就会组成一些主要由碳原子构成的集合物。如果这时木头外面的火焰熄灭，这种黑色物质就能保存下来。这种被保存下来的黑色物质就是木炭，木炭即是被碳化了的木头。

因为木炭主要由碳原子组成，当你把它投入火中时，碳原子终于有了和氧原子结合的机会，就欢快地燃烧起来，但碳原子燃烧时并不放出气体，所以人们在烧炭时看不到跳跃的火苗，只看到木炭一片片发红、发热，然后化成灰烬，但并不会“灰飞烟灭”。这种燃烧方式很受人们欢迎，至今还有人用木炭取暖。

最早的木炭是人们在无意中获得的，到后来，人们就开始有意识的用木头制木炭。好的木炭是以较粗的树木枝干放在窑中封闭烧制而成的，其断面有光泽，敲击起来还会发出金属声，被称为“钢炭”。

然而木炭对人类最大的贡献并不是取暖，而是用它来冶炼金属。由于碳及碳部分氧化所生成的一氧化碳既可作燃料同时又是很好的还原剂，所以它很早就被人们用来冶炼金属：冶铜、冶铅、冶铁……中国人在汉朝以前，就

用木炭来冶炼金属。

木炭不仅仅是燃料。我国古代四大发明之一的火药，就是用硫磺、硝石和木炭制成的。

木头作为燃料，为人类服务了数十万年，但是到了 18 世纪，生产力发展程度越来越高，木头的需求量剧增，使得一些地方单靠树木的生长已供不应求。

能源不够了，怎么办？

岩层里的黑色来客——煤

神秘的黑石头

马可·波罗在《东方见闻记》一书中有这样一段文字：“中国的燃料不是木头，也不是干草，却是一种黑石头……在中国，到处都有黑色的石头。它们是从山上开采出来的，像矿石一样，它可以燃烧，燃起来火力比木头还要猛烈，能够连续烧一整夜，一直到第二天早晨。因此，居民就把黑石头当木头烧。它的价格比木头便宜，而且又能把树木保存了下来……”马可·波罗所说的可燃的“黑石头”，就是煤。其实，中国人开始用煤，大约是他见到之前 1000 多年前的事了。

在沈阳发掘的新石器末期的遗址中，曾出土过用“煤玉”（一种特殊的煤）雕琢成的圆环和造型生动的动物。这说明我们的祖先早在六七千年前就已发现了煤这种矿物。后来，在西安、宝鸡出土的西周墓葬里，在河南陕县的汉墓中，都发现过煤玉的雕刻制品，说明这一种矿物在各地均有发现，历代均有应用。实际上，现在我国北方的一些产煤区仍可见到这种煤雕工艺品，这几乎可称是我国传统工艺品中最为古老的一类了。

现在已知的最早用煤的文字记载是《汉书·地理志》：“豫章郡出石，可燃为薪。”豫章郡在现今江西南昌一带，那里至今还出产煤，在辽宁抚顺发掘出的汉代居住遗址中，也在煮饭的火坑内发现过烧过的煤炭。

在古代，煤的名称很多，有石炭、灰炆、石涅、乌金石、乌薪、墨金、樵石、燃石、墨脂石、矿炭等。“煤”字的本义是指烟尘凝在器具上的烟炆，制墨的烟炆也称煤，人们大约是看这种矿物漆黑，如同烟炆，所以才称它为“煤”吧。

煤比木炭的火力强而持久，可以得到更高的温度，炼出更好的铁来。煤的使用无疑会使铁的生产规模扩大，近代在山东平陵发掘汉初冶铁遗址时发现过煤炭，又在河南巩县铁生沟西汉末年的冶铁遗址中，发现了未烧完的煤炭和用煤粉、粘土制成的煤饼。后来，用煤冶铁的技术还从中原传到了西部边睡。北魏郦道元的《水经注》中说：“屈茨（今新疆库车）北二百里，有山，夜则火光，昼旦但烟。人取此山石炭，冶此山铁，恒充三十六国用。”看来，当时采煤冶铁的规模还很大哩。在唐朝许多诗人的诗句中，不时可见到“石炭”字样，可见那时煤炭已是人们常见的东西了。到北宋时代，陕西、山西、河南、河北、山东等地，煤的开采和使用更为广泛，煤已取代柴草成为一些城镇居民的主要燃料。元代以后，煤炭简直是人人知道，已成为“很值钱”的东西。

中国人不仅用煤最早，而且在技术上最早创造了竖井采煤的方法。明末著名学者宋应星在《天工开物》里就对古代采煤法作过详细的记载。

中国古代用煤史上的另一成就是焦炭的烧制。《天工开物》中曾提到过“铁炭”，有人考证即为焦炭。明末人的其他著作中更有明确提到焦炭的。实物的考证，更可证明焦炭的问世，远在明朝以前。1961 年，在广东新会发掘大约 1270 年前后的南宋末年炼铁遗址时，除找到炉渣、石灰石、铁矿石外，还找到了焦炭。就目前所知，这是世界上冶铁用焦炭的最早实例。

当中国人已在用煤的加工产品焦炭时，欧洲人尚不知煤为何物，英国宫廷大臣对煤的了解还不如中国的乡村妇孺。而今天，当欧洲人早已放弃传统

的燃煤方式，进行煤的深加工和综合利用时，中国大部分地方和 2000 年前一样在烧煤。历史与现实的这种对比固然有点滑稽，但更发人深思。

煤的形成与发现

在俄罗斯苏尔古特的煤炭博物馆里，你会看到一些奇异的煤块。有的外貌就像一段粗大的树干，只不过外面好像被涂上了墨汁而已；有的被截开的煤块，依稀可见树木年轮似的圆圈；个别的煤块中间还夹杂着金黄色的琥珀。这些煤块分明是在告诉我们：“我过去曾是树木，现在变成煤了。”

远古，在地球上低洼而潮湿的沼泽地带，生长着茂密的森林。高大的树木生长到一定年限就死了，或因衰老而枯死，或因雷电和风暴的袭击而倒下。通常情况下，这些树木会在微生物的作用下，在空气中逐渐烂掉。但是，如果它倒在了水里或干脆陷到地底的淤泥里去了，那么由于接触不到大量空气，缺乏氧原子，就不会完全腐烂，而会慢慢地碳化。这种情况，同大木头燃烧时中间部分的情形差不多，也就是说，一种外观和性质都与木炭十分相似的黑色物质会慢慢形成。在森林里还生长着灌木和草丛，在沼泽里还会有芦苇、蒲草等，这些植物的化学组成和树木相似。它们死去后，也沉积到了沼泽的淤泥里，发生着同树木一样的碳化过程。

树木和其他植物在不断地死去、倒下。刚倒下的压在以前倒下的上面，使它们陷得更深。日久天长，一层层地大量堆积起来，以至渐渐将沼泽填满。今天，人们有时可在一些洼地里挖掘出一些黑色的腐殖质物质，这种物质叫做泥炭。泥炭形成年代较短的只有数万年，有时用肉眼还可见到存在的藓类的蛛丝马迹。

泥炭中的碳原子比新鲜木材里的多，因为它里面的氢原子有一些已经被置换出去了。新鲜木材中有大约 50% 的碳，而泥炭中的碳可达 60% 左右。不过，泥炭燃烧时的热值太低，用途不大。

严格说来，泥炭还称不上是煤，只能说是植物变成煤的准备阶段。如果由于地壳运动，泥炭田被挤压到了下面，那么，在地层持以巨大压力和地下热量作用下，泥炭会继续发生变化。它变得越来越致密结实，原来所含的氧、氮及其他挥发性物质都慢慢地散去了，碳的份量逐渐增大。当含碳量增加到 70% 左右，泥炭终于变成为煤，这种煤叫褐煤。

由原始植物变为泥炭，由泥炭变为褐煤的过程少说也得进行几十万年。褐煤是煤的初级阶段，它略带些褐色，易碎而无光泽，燃烧时有些难闻的气味，产生的烟也比较多。

埋藏在地下深处的褐煤，受高温高压的影响，还会继续进行变化——不断脱去水分和挥发性成分，进一步增加含碳量。到含量高达 85% 左右时，人们就称它为“烟煤”了。

最成熟的煤是含碳量高达 95% 以上的无烟煤。这种煤热值高，燃烧时放出炽红的光，几乎不产生烟，而且最后可以全烧光，几乎没有煤渣，像木炭一样只留下白色的灰烬。为此，人们也叫它为“白煤”。自然，它最受人们欢迎。无烟煤只在那些压力很大的少数地区形成，它在全世界煤炭储量中的比例也很小。绝大多数的煤是烟煤，在地球上估计储藏着总数约 8 万亿吨的烟煤。

当地球表面的地层发生变化时，地下的岩层也随着被挤压或被挤得断裂

开来。一部分地面被挤压得隆起形成山脉；另一些地方却沉陷下去。与此同时，地表下的煤层也被挤得有高有低，有些煤层被埋藏到更深的地方；另一些却被挤得离地表更近。有些煤层已被挤得非常接近地表，一些煤块甚至都已露出地面了。这些煤便是最早被人们发现的。

煤对工业的贡献

根据史料记载，在欧洲，荷兰人是第一个用煤的。马可·波罗的《东方见闻记》在欧洲流传甚广，荷兰许多受过教育的人都读过这本书。英国大概是欧洲第二个开始用煤的国家，因为英国与荷兰隔海相望，它们之间有着大量的贸易往来。当英国人发觉荷兰人已找到中国人那种神奇的黑石头后，也慌忙开始在自己的海岛上寻找起来了。在英国找煤并不困难，因为实际上这是个煤的蕴藏量丰富的国家。很快地，采煤业快速发展起来。到 1660 年，英国的煤开采量达到 200 多万吨。这个数量占了当时全世界煤开采量的 80% 还多。

不久后，蒸汽机问世了，燃烧的煤把水变成蒸汽推动蒸汽机欢快地运转，奏响了工业革命的进行曲。英国之所以成为第一个实行工业革命的国家，与它那蕴藏丰富的煤是分不开的。美国和德国在 19 世纪末期也实现了工业化，原因之一也在于两国境内蕴藏着大量的煤。

从 20 世纪开始，俄国也开始了它的工业化进程。它的国土上也富含着煤。在俄罗斯，已探明的煤的总储量达 5700 亿吨。

遗憾的是，最早用煤的中国，此时煤的开采和应用却发展缓慢，成为影响工业化进程的原因之一。

煤的需求量增加了，开采技术也随之有很大改进。人类最初采煤时，都是先开采露在地面上的矿苗，然后一层层地往下挖，采出的煤用竹筐等容器往外搬运，或从斜井中拉出，或从竖井中用辘轳绞上去，劳动强度非常大。大约到 19 世纪中期，英国的矿井内开始使用一种装有 4 个小轮的矿车拉煤，1868 年，英日合办的日本高岛煤矿第一次在井下铺上铁轨，将矿车放在铁轨上面向前推，这使采掘工作间机械化迈出了一大步。现在，这些矿车已采用电动机车或绞车牵引了。最早，人们采煤是用铁镐、铁锹一点一点向下刨的。到 19 世纪 30 年代，开始用“炮采”的方式来采煤，即先在煤壁上打出一些深孔，然后装上火药放炮，将煤块崩落下来。以后，又出现了机械化采煤的先进方法。后来，还出现了一种高压水采煤的方法，叫水力采煤。与之相匹配，人们还发明了“管道运输法”。

煤气的制成和使用

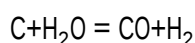
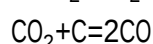
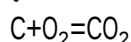
18 世纪下半叶，有一种新的燃料——煤气闯入了人们的生活中。煤气，顾名思义，自然来源于煤。将煤先变成煤气，再作为能源使用，实在是人类用煤方式上的重大进步。

据说，煤气最早是人们无意之中发现的。在 1667 年，英国一位乡村教师雪莱，在他任教处威甘，发现了一个奇怪的池塘。池水中常冒出气体，多的时候池水好似沸腾一样，晚间用火一点，竟会像油锅起火似的，在池面上掀起一阵蓝莹莹的火焰。雪莱发现池底有着厚厚的泥炭层，他猜测气体是泥炭

分解后放出来的。1670 年，雪莱的朋友克莱顿用实验证实了雪莱的想法。他挖了些泥炭来，放在密闭的容器中加热，得到了一些气体，并充进气囊里。他的小女儿好奇地用针将气囊刺了一个小孔，用蜡烛焰去接近逸出的气体。顿时，蓝色的火焰窜得高高的，一会儿把气囊里的气体烧得无影无踪了，这也许就是人类第一次制得和使用煤气吧。

后来，英国有人用泥炭的不完全燃烧，制得了发生炉煤气。这就是克莱顿方法的工业生产。不过，从真正的煤中获得煤气，是克莱顿以后 100 多年的另一个英国人默多克。默多克小时候很爱玩火，一次少年默多克把一块油页岩放在水壶里加热，壶嘴里冒出了气体，他划了根火柴去点，气体烧着了。1972 年，青年默多克用煤块代替了油页岩重复了儿时的游戏，他用一根 21 米长的镀锡铁管把气体引到自己的住室内，气体点燃后，将屋内照耀得如同白昼。这可以说是煤气第一次用于照明，也是煤气的第一次实际应用。后来，默多克成立了一家煤气公司，专门提供照明煤气。

现代人们使用的煤气，通常是利用煤的不完全燃烧得到的。煤气发生炉的种类很多。有一种鲁奇炉是座高大的直立钢筒，内壁砌着耐火砖。炉顶是煤的进口，炉身下部有鼓进空气和蒸汽的管道，炉渣从底部排出。点火后，下层的煤燃烧发出大量的热，使上面的煤层热到炽红的程度。燃烧产生的二氧化碳随热气上升，当它通过上部又厚又炽热的煤层时，就起反应生成了一氧化碳。通进去的蒸汽还会与炽热的煤发生另一种反应，生成一氧化碳和氢气。上述变化可概括成 3 个反应式：



制得后的煤气被引进煤气贮罐。这是一个完全用钢板焊接而成的庞然大物，远看上去像一座巨大的圆房子，有 20 层楼那么高。这个巨大的煤气贮罐会随着煤气存量的增减而升降，煤气多了，就把一层层的“房子”鼓得高高的，煤气少了，“房子”就会矮下去。煤气贮罐靠着钢筒的压力，将煤气压送出去。如果输送路程较远，人们还会在沿途装上压力调节器，以保证压力，使远近的用户都能正常使用。

煤焦油的利用

人们开采的煤绝大多数是烟煤。这种煤用来冶炼钢铁是不行的，因为温度不够高时它的燃烧情况就不理想。于是，人们要先将烟煤炼成焦炭后再使用。焦炭和木炭的结构差不多，在它里面布满了许多肉眼看得见和看不见的细密的小孔，空气可以进去，使它猛烈燃烧。

炼焦时，人们将煤装在一个密闭的大容器——焦炉里，隔绝空气加强热。当温度高到 600 时，煤就变成了“半焦”，还生成了煤焦油和煤气，如果将温度升到 1000 以上，这时煤就真正变成了焦炭。这时，人们打开炉门，用推焦机将烧成火红色的高温焦炭推出炉门，再进行炼焦的最后一道工序熄焦——用水或氮气使它降温熄火。

最初，人们炼焦采用的是露天烧炼方式。后来，中国人约在 13 世纪发明

了半密闭的方箱式炼焦炉，欧洲人则迟至 19 世纪初才应用焦炉炼焦。

可是，人们却厌恶焦炉留给我们的煤焦油。这种东西又黑又粘，毫无用处。一开始，人们把它抛到河里，结果使河水变黑了，鱼儿也纷纷死去，人们只好把它搬到那些沼泽地里去，或挖个大坑埋掉。后来，有人尝试利用这些废物，想出用它作道路的粘结料、涂在布上作雨具、用于木材的防腐等。再后来，化学家对煤焦油进行了分析，发现这里面有着不少有用的化学物质。以后，人们从煤焦油中分离出一批有用的东西来：1819 年，英国化学家基德分离出了萘，这东西可做成卫生丸放在衣箱里防蛀虫；1834 年，德国化学家龙格分离出了苯胺、喹啉和酚等。这些东西日后成为制取药物和塑料等的原料；1842 年，德国化学家霍夫曼分离出了苯，这是有机化学工业中一种非常重要的原料……

人们利用煤焦油分离物还合成了许多种有机染料。这些人工合成染料比天然染料的品种更多、更鲜艳、更持久、产量更大、价格更便宜，人类的生活变得更加多姿多彩了。

1879 年，俄国科学家法利德别尔格在美国巴尔的摩大学实验室工作，进行从煤焦油分离物合成芳香族磺酸化合物的实验。一天，他觉察到家里的菜肴都带上了甜味，他猜测可能是自己不小心将某些物质混入了菜肴中。后来，他终于发现，甜味来自一种叫邻磺苯酸亚胺钠的化学物质，这就是今天我们称之为“糖精”的东西。

燃烧的地下水——石油

地壳里的液体化石

石油，对我们来说是一个非常熟悉的字眼。它是人类生活离不开的一种非常重要的能源，没有它，汽车的车轮不能转动，工厂的机器会停止轰鸣……可是，石油到底是怎么形成的？是像空气和水一样一直就存在在地球上的吗？

一些地质学家在考察火山喷发时，从喷出的气体中发现有甲烷、乙烷等石油中的常见成分；在火山喷发而形成的黑曜岩、火山灰和浮石中观察到细微的分散沥青。一些化学家在实验室里发现，大多数金属碳化物与水作用后，能产生碳氢化合物，如电石（ CaC_2 ）与水反应就能生成可燃烧的简单的碳氢化合物乙炔。一些天文学家从光谱分析中发现，一些慧星的头部气圈中含有碳氢化合物；在木星、土星、天王星、海王星上，有较浓的甲烷聚集，从宇宙中陨落下来的流星里也发现有沥青。

根据这些发现和所做的实验，最早有人提出，石油产生于无机碳化物，是由没有生命的无机矿物合成的。

后来，有人提出了石油的有机成因假说，有许多事实支持了这种假说。如人们把石油放在偏光显微镜下观察，发现偏振光透过石油具有“旋光性”，而这一性质无机物是不具备的。如有人在石油中发现了一种独特的有机物叶琳，这是在叶绿素和其他天然色素中才有的物质，说明石油与有机物有天然的联系。

就目前人类手中积累的材料来分析判断，这一有机成因假说得到了绝大多数人的认可。根据这一假说，我们可以大致勾划出石油形成的场景。

海洋，是生命的摇篮。大约在 10 亿年以前，在广阔的海洋里出现了生命最低级的形式——单细胞生物，经过一段漫长的演化，单细胞生物进化为多细胞生物，为生物的不断演化发展打下了基础。

这些单细胞生物由碳、氢、氧三种原子组成。如果一个单细胞生物把另一个吃掉了，则被吃掉的一个就会被消化掉，组成原来生物的原子进入新的生物体内。如果单细胞生物死后未被吃掉，下沉到海底，而沙子、淤泥又及时覆盖了它的话，它就会被保存在那里。当然，留在那里的这类生物的遗体决不只一个两个，而是不计其数的团体。

我们都知道，细菌在有机物质的发酵和腐解的过程中，起着很大作用。当那些生物遗体被埋葬在泥沙中，就与氧气基本上隔绝了。这时厌氧细菌会过来帮助它们：将脂肪酸变成类似石油的烃类，把蛋白质变成芳香烃类。在分解过程中，一些气体和可溶于水的产物从堆积处散失，结果会形成富含相当有机物质的黑色半液体物质——有机淤泥，有机淤泥在细菌的进一步作用下，又转变为液态的分散石油。

一些放射性元素在石油的形成过程中也是功不可没的。在海洋底部的沉积物里，含有铀、钍等放射性元素，这些元素能放出 α 、 β 、 γ 三种放射线。有机物质在 α 射线的作用下，会分解成氢、二氧化碳、甲烷以及高分子化合物，使复杂的有机分子变成简单的烃。

另一位“功臣”是温度。地下的温度较高，有助于细菌的生长繁殖，也利于使有机物发生热分解产生较简单烃类，不过，在石油形成过程中，温度

也不可以太高，据学者测定，世界上许多含油气盆地的含油层及生油岩层的温度，大多数在 100℃ 以下，只有极少数在 100℃ 以上。

有机物质在细菌、放射性元素和温度等的帮助下，再加上埋在地下所承受的巨大的压力，经过数百万年或者更漫长的岁月，终于转化成了石油和天然气。在这一漫长变化的同时，泥沙受到上部堆积很厚的沉积物的积压，渐渐固结，最后形成了坚硬的沉积岩。生成的石油分布于这沉积岩之中，即所谓的生油岩层。

沉积岩是最受探矿者青睐的岩石，在世界矿产资源中，约有 75% 左右与沉积岩有关，石油的储藏更是与沉积岩密切相关，有资料表明，有 99.9% 的油田是在沉积岩中发现的。

沉积岩通常在海岸附近的浅海形成。随着岁月的流逝，地球上在发生沧海桑田的变化，有些地方海底慢慢升高，海水渐退，沉积岩变为陆地，石油也随之登陆；有些仍留在浅海的大陆架上，有些则可能推向海洋的更深处，藏在这些沉积岩中的石油就是我们所说的海底石油。

据科学家推测，石油刚形成时是呈现分散的油滴状态存在的。当地层发生变化时，在地下水流带动或地层压力的迫使下，分散的油滴便慢慢地向有空隙和裂缝的岩石层中流动、积聚，直到找到合适的储集场所——储油构造为止。

形成储油构造要有三个条件，一是要有能够储集油气的储集岩层；二是要有覆盖在储集岩层上的不渗透岩层，称为盖层，三是要有封闭条件，能够挡住油气，不让它们散逸。

沉积岩层本来是水平的，后来由于地壳运动而发生了褶皱，地层向上拱气的部分被称为“背斜构造”，“背斜构造”是典型的储油构造。在地壳运动时，石油被往上运移到背斜构造的顶部，被上面褶皱着的盖层围住再也出不去了，被迫就在这里定居。由于地壳的运动范围相当大，因而背斜构造往往不是孤零零的一个，而是成片出现，形成了构造带，这也是油田往往是成群成带发现的原因。

当然，石油的形成过程事实上并不如此简单，它是一个非常复杂和漫长的过程，还有许多奥秘等着我们去揭示。

泉水上燃起火焰

我国是世界上发现石油很早的国家。1800 多年前的《汉书·地理志》说：“高奴，有洧水，肥可燃。”高奴就在现在的延安附近，洧水是延河的一条支流。这里提到的可燃的液体就是石油。

比陕北石油发现稍晚，约在 1700 多年前，又在酒泉郡延寿县南山（今甘肃玉门东南）流出来的泉水中发现了石油，当地人称之为“石漆”。“石油”这个名称，是我国北宋时著名的科学家沈括起的。

沈括还发现了可以用石油来制墨，并组织老百姓生产这种墨，结果大受欢迎。

在古代中国，石油除被用来点灯、制墨外，人们还用它作润滑油，用来涂在牛皮囊上防水，还有人用石油作锻炼时的淬火剂，李时珍在《本草纲目》中还指出了石油在医疗上可用于治疗疮癣等等。到南北朝以后，人们因为石油具有“遇水不灭”的性能而把它广泛用于军事方面。

中国古代最早发现和利用的石油，都是那些大自然中露出来的石油，如从含油岩裂缝中流出的等。这种石油的量很少，所以，当人们认识到石油的用途之后，就积极地开始勘探和开发。据考证，我国最迟在 14 世纪以前就开始钻井采油了。中国古代还有很高明的勘探和凿井技术。

石油在地球上的分布是非常广泛的，从北极附近的阿拉斯加和西伯利亚，往南经过波斯湾、墨西哥湾、中国海，跨过中间的赤道地带，直达非洲和南美的最南端，在世界五大洲的辽阔地域上都有分布。除古代中国外，在巴比伦、印度、埃及、希腊和罗马等文明古国的历史中，也有许多关于石油早期应用的记载。不过，虽然人类使用石油的历史悠久，但它在古代的种种用途，以现代人的眼光看来，都是微不足道的。今天，石油的威力和作用才真正显示出来，它已是人类须臾不可离开的朋友了。

突破重围

19 世纪中叶，美国宾夕法尼亚州西北匹兹堡城北部约 145 公里处的小城梯尤菲尔，有一家“宾夕法尼亚石油公司。”这家“公司”仅有数十名雇员，他们从事的工作只是在梯尤菲尔附近收集渗出地表的石油。公司仅将石油用于医药，尽管渗出的石油极为有限，但供药用还是绰绰有余的。

这家公司的股东德雷克萌生了一个念头：既然石油源源不断地从地下渗出，那么地下深处肯定有大量石油存在，关键是如何把它们开采出来。他想起了地球那端的中国人，因为好学博闻的他知道古代中国人会打很深的“火井”和“盐井”，然后用从火井中引出的天然气去蒸发盐井中取出的盐水，生产固体盐。他也充分了解中国人的打井方法。于是，德雷克用坚硬的钢制成了钻凿，用缆索上下抽送破碎的岩石。1859 年 8 月 28 日，在洞钻了 21 米之后，一条碗口粗细的黑色石油柱从地下喷了出来，喷得高高的，又雨点般地洒向地面。德雷克他们在“油雨”中欢呼雀跃。德雷克取得成功的消息马上传开了，人们蜂拥而至。宾夕法尼亚州的西北部成了世界上第一个油田。

在石油开采的初期，人们都是根据地表有石油渗出这类“地面油气显示”来确定打井地点。地面油气显示往往与地下地层的断裂有关，含油层的石油沿着断层的裂缝运移到地表，会在一些凹地中汇集成油池。这给人们提供了明确的信息：“这里的地下有石油。”

可是，更多的时候却是石油在向上渗透时，会遇到没有孔隙的坚硬岩层，这时地面上就不会有油气显示了。那么，有没有办法知道地下有石油呢？人们发明了一种“人工地震勘探法”。

探测时，人们先在地下几十米深处放上炸药，然后引爆，利用这小规模爆炸制造出人工地震来。爆炸时产生的地震波向周围地层内传播。由于含有油气的地层结构与一般地层不同，因而对地震波的反射也不同。设在地面上的仪器将反射回来的地震波接收并用磁带录制下来，人们只要对录制下来的地震波进行分析研究，便可大致判断那里有没有油气，以及埋藏深度和储量多少。

人工地震勘探法是石油的物理勘探方法中最常用的一种，此外还有磁力测量法、电力勘探法等。

其实，细菌也可以帮助人们找到石油。不同的细菌由于特性不同所以吃的东西也不同。其中有一类细菌专门喜欢吃石油的分解成分。这一类最能代

表石油特征指示性细菌，因为在油气田范围之外很少见到它。人们只要在野外取得岩石、土壤、地下水样品，送到实验室去分析，如能见到它，则十有八九可以顺藤摸瓜，找到石油。

现在最先进的勘探方法，是用地球资源卫星进行探测。这种卫星不断向地面发射电磁波，不同岩石和矿石反射的电磁波的本领不同，卫星上的遥感器会把各种矿物反射的电磁波能量记录到高密度磁带上，再转换成不同色彩的照片，通过对这些照片的判读，就能找到包括石油在内的各种矿物。美国科罗拉多州西北部的油田就是这样发现的。

找到油田以后，人们就开始钻机打油井。钻机上大功率的柴油机带动钻盘转动，转盘再带动钻杆转动。岩石由于受到钻杆重量的压力，在钻头的高速旋转下破碎。破碎的岩屑被钻杆中压入的泥浆从钻杆与钻孔之间的环形空间带到地表的泥浆槽中。就这样钻孔越钻越深，一直打到含油气层为止。

石油在地底下埋藏很深，上面覆盖着很厚的地层，因此受到很大的压力。油层一旦被打穿，油层内的压力就会将石油自动压出地面，当油喷到一定程度时，地下油层的压力就会逐渐降低，渐渐的油就喷不出来了。这时人们再通过向油层内注水或者加气的方式，使油层的压力得到恢复，从而将剩余的油开采出来。

从 1859 年人类大规模开始采油以来，全世界已开采石油 640 亿吨，其中绝大部分采自陆上。60 年代以后，由于在陆上已很难发现大的新油田，人们将目光投向海上，于是海上油田数量猛增，1947 年，美国在墨西哥湾建造了第一座远离海岸的钢制平台，标志着海上石油的开采已经进入现代化阶段。

兵分几路

德雷尔钻井取油的成功，轰动了世界，发生了空前的世界性的石油勘探热、经营热。短时间内，石油公司如雨后春笋般地涌现出来。

但是，原油（没有加工过的石油）的用处并不太大，用它来点灯，黑烟太大，很快就会将房间熏黑，与当时的煤气灯相差很远。

1862 年，年轻的美国人洛克菲勒与石油技师安德留斯筹资建了一座炼油厂，开始进行石油的工业化加工。他们采用“蒸馏”的方法，加热使石油汽化，并首先收集那些较小的碳氢化合物分子，然后是稍大一些的碳氢化合物分子，这样依次收集下去，直到剩下的无法汽化的成分为止。那些很小的碳氢化合物就是“石油气”，可以像煤气一样用来点灯，并且有与煤气一样好的效果。稍小一些的分子是液体，接近于煤油，可以用来作润滑剂、用来点灯，还可以作燃料。剩下的无法汽化的碳氢化合物大分子就是可以用来铺路的“沥青”。

说来也不可相信，在初期的石油炼制中，人们丢弃的废物正是以后最有价值的部分。当时人们获得了一些小分子的石油产品，其分子大于石油气而小于煤油。由这些分子组成的物质是极易挥发的液体，因为它们汽化太快，会产生太多汽化气而引致爆炸，所以人们不敢用来燃烧，最后只有丢弃。直到好些年以后，人们才知道被自己丢弃的就是汽油。

原油中一般含有 10% 的汽油，这个数字远不能满足人类的需要。于是，人们开始用一种“裂化”的石油加工方法，即在高温、高压和催化剂的作用下，使含碳原子较多的碳氢化合物大分子裂开成小分子，也就是把煤油、柴

油等相对用途较小的产品变为汽油。通过这样的处理，人们从 1 吨原油中可以得到的汽油比原来提高了 7 倍多。

石油中含有一类叫芳香烃的物质可以加工制成苯和甲苯，而这是制造硝基苯和三硝基甲苯等烈性炸药的主要原料。现在人们在石油加工中采取“重整”的方法，让石油中的其他烃类改变组合方式变成芳香烃。在用催化剂进行处理后的重整产品中，芳香烃的含量可高达 50%。

人们要提高汽油内燃机的功率，很重要的一点是要把汽油和空气的混合物在汽缸内压缩得尽可能地紧密，然后再点火燃烧，使它产生更大的推力。但这样一来，由于气体被压缩到一定体积时会产生高温，这会使汽油燃烧起来，发生爆震。爆震会损坏汽缸，还使汽油的燃烧不完全，浪费汽油。70 多年前，有两位美国化学家密德烈和波义德开始了这方面的研究。经过多方研究，终于发现了一种叫甲基苯胺的物质可以提高汽油的抗爆震性能，用同样多的汽油，可以使汽车多跑一半的路程，但它排出的气体非常难闻。他们继续努力，到 1921 年，他俩终于发现了一种便宜的带有水果香味的抗爆震剂——四乙基铅，只要在 1 公升汽油中加入 1 克的这种物质，就可显著地提高汽油的抗爆震性。

19 世纪中后期，随着石油的大量开采和加工工艺的发展，石油制品在种类和数量上都变得越来越多了。经过很多人的共同努力，汽车和飞机相继被发明并用汽油内燃机作发动机，随着飞机的日益普遍化，需要的汽油量也越来越多了。

1892 年，德国工程师狄塞尔发明了另一种类型的内燃机，即柴油机。狄塞尔柴油内燃机比汽油内燃机重，功率也大，因此后来多被用于卡车、公共汽车、轮船那样的大型设备上。

至 20 世纪 30 年代，随着汽油内燃机和柴油机的推广使用，石油作为能源已变得比煤更重要，人类开始迈进了石油时代。

怒火冲天——天然气

天然气，顾名思义就是天然产生的气体。它是以甲烷为主要成分的分子量比较小的烃类。它和石油一样，也是埋藏在地下的古代生物经过长期高温、高压的作用而形成的，因此，常常伴随石油存在于地壳中，被称为石油的“孪生兄弟”。

早在 2200 多年前的战国时代，人们在现在的四川省双流县境内掘井取地下盐水时，就发现了天然气。现在，四川仍是我国天然气最大的产地。

天然气燃烧时能发出大量的热量，一立方米的热值一般在 8000 ~ 20000 千卡之间，大约是同等质量木材的 3 倍，是同等质量优质煤的 1.5 倍，这是因为在天然气分子中含有较多的氢原子。天然气有的是不断喷出，有的是间断喷出，有的点火才燃烧，有的自己就会燃烧，形成“怒火冲天”的自然景观。

我国大规模用天然气作燃料是在宋代。当时，我国古代人民已经掌握了深井钻凿技术，能钻出深达数十米的小口筒井，而且发现和利用天然气的地方也多了起来。到清朝时，钻天然气井的技术更高了。据记载，当时筒井钻凿的深度已达到 300 丈，一口火井出产的天然气最多可烧盐锅 700 口。这说明当时的钻井技术及每口井的天然气产量都已达到很可观的程度。

在国外，虽然也有较长的天然气发现史，可应用较晚，大约到 1820 年左右，才有意识地开采和使用天然气。现在，世界上天然气储藏量和开采量最大的是俄罗斯，占世界总量的 1/3 左右。

天然气和石油常常储藏在一起，有伴生气、含气田和纯气田的说法。目前，天然气、煤和石油并称为当今世界的三大矿物燃料，共同构成了整个工业的能源基础。

天然气的主要成分甲烷同水蒸气在催化剂的作用下，可以生成一氧化碳和氢气，氢气是合成氨工业制造氮肥的主要原料。所以，还可以利用天然气建立一批氮肥厂。用甲烷作原料，还可以生产粒子很细的炭黑，它可用作橡胶的补强剂，天然橡胶掺入炭黑以后，强度可增加一二倍。炭黑还可以用来制墨和墨汁。现在人们还发现，天然气里含有许多合成工业中不可缺少的重要原料，如果能充分利用的话，其价值远远超过作为燃料的价值。

天然气在生产和消费过程中，具有比其他矿物能源更多的优点：

一是纯净。天然气在燃烧过程中也要产生许多二氧化碳，但与石油相比，却少 50%，与煤炭相比要少 75%，基本不排放有毒气体。因此，天然气是矿物燃料中对环境污染最小的一种。

二是使用方便。既可液化，又可经管道直接输送，能作为任何大中小企业和电站的燃料。

三是经济。开采成本低，兴建天然气电站投资少，维修和防止污染所需设备费用也小。因此，这种石油的孪生兄弟，成为石油强有力的竞争对手，格外受人青睐。

所以，目前人们正在进行天然气利用的深层开发，以使这地下宝物能为人类创造更为美好的色彩斑斓的明天。

引人注目的能源——生物质能

生物质能是人类已利用很久的能源了。只是到了今天，随着科学技术的飞速发展，对地球上生物质有了新的认识，对开发利用这种能源的手段有了新的创造，才把它提上了新型能源技术领域。

生物质能来源于生物质。所谓生物质就是在有机物中除矿物燃料外，所有来源于植物、动物和微生物的可再生的物质。动物要以植物为生，而植物则通过光合作用把太阳能转变为生物质的化学能。因此，从根本上说，一切生物质能都是来源于太阳能。生物质也称为“生物量”，“生物量”是生态学中的一个术语，用以表示生物体及由于它的活动而生成的有机物总体。而这些有机物可以用作能源。

地球上的生物质资源极为丰富，是一种无害的能源。据估计，地球每年经光合作用所产生的干物质有 1730 亿吨，它所拥有的能量，相当于全世界能源总消耗量的 10~20 倍，但目前利用率很低，只有 1%~3%。全世界约有 25 亿人依靠生物质能取暖、烹饪和照明，这些人大多数居住在发展中国家的农村地区。

世界上生物质能源种类繁多，主要有农作物和农业有机残余物、林木和森林工业残余物，还有动物排泄物、江河和湖泊的沉积物以及农副产品加工后的有机废物、废水，城市生活有机废水和垃圾等，都可以成为生物质能的资源。此外，藻类、水生植物和可以进行光合作用的微生物等，也是可以开发利用的生物质能资源。所以说，生物质能源，就是通过种植能源作物和利用有机废料，经过加工，使之转变为生物燃料的一种能源。

当今世界，常规能源危机，生态环境惨遭破坏，客观环境迫使全球能源结构必须进行战略性改变，作为新型能源舞台上的一员，生物质能必将登台亮相，在现代高技术群体的支撑下，扮演一个重要角色。因此，各国在调整本国能源发展战略中，把高效利用生物质能摆在技术开发的一个重要地位，成为能源利用中的重要课题。人们预言，生物质能必将成为下一代的一种新能源。

绿色能源

太阳是地球上一切能量和生命的基本源泉。绿色植物本身不仅能吸收而且还能贮备太阳的能量，就是说，绿色植物具有“固定”太阳能的特性，也即它能利用太阳光能进行光合作用。把二氧化碳和水合成储藏能量的有机物（糖类），并释放出氧气来。利用这些物质就可以开发出能源，故人们称之为“绿色能源”。

地球上的绿色植物能“固定”多少太阳能呢？从热量上讲，以全球表面积 5.1 亿平方公里，其中陆地表面积为 1.49 亿平方公里，海洋为 3.61 亿平方公里计算，陆地植物每年可以“固定”的太阳能为 4.7×10^{17} 千卡，如果每千克绿色植物的发热量为 4 千卡，则可形成 1180 亿吨有机物；而海洋植物每年则可以“固定”太阳能为 2.2×10^{17} 千卡，其发热量也按 4 千卡计算，则可形成 550 亿吨有机物。从能量上进行估算，全球陆地绿色植物利用的太阳能，约占到达地面表面太阳能的 4%~5%，为 400 亿千瓦；而水下绿色植物所利用的太阳能，估计比陆地植物要多若干倍。从植物光合作用后产生有

机碳的角度进行估算，在 1.49 亿平方公里的陆地上，沙漠约占 33%左右，森林、草原和耕地实际上约为 1.02 亿平方公里。在这 1 亿多一点的“绿地”上，植物经光合作用而产生的有机碳数量，每平方公里平均是 159 吨。所以，人们设想，如果全球凡能种植的土地全都种上绿色植物的话，那么全球每年仅陆地生产的有机碳就可以达到 161 亿多吨。因此，人们都把植物称为“绿色能源”。

这些有机物充分合理地利用，就可以释放出数量极大的热能。绿色植物在全球的总生物量，几乎与保存在地下的矿物燃料的总量相当。经实验，一吨有机碳在燃烧过程中，可放出 4017 万千焦耳的热量。这样，地球上的植物，每年所产生的能量恰好是当今世界每年能源消耗量的 10~20 倍，完全可以满足到 2000 年时预测的人类的能源需求总量。

目前，地球上绿色植物的光合作用效率还比较低，仅为 1.5%左右，与正常应该达到的有效率 5%还有很大距离，说明利用植物生产物质能的潜力还是很大的。

人们现在通常把主要的生物质（生物量）资源划分为以下几大类：

一是农作物类，主要包括：产生淀粉的甘薯、玉米、番薯等；产生糖类的甘蔗、甜菜、果实和废液等。

二是林作物类，主要包括：树木类，指白杨、悬铃木、赤杨、枞树等；森林工业废物；以及苜蓿、象草、芦苇等草木类。

三是水生藻类，主要包括：海洋性的马尾藻、巨藻、石莼、海带等；淡水生的布袋草、浮萍等；微藻类的螺旋藻、小球藻等；蓝藻、绿藻等。

四是石油类，主要包括：橡胶树、蓝珊瑚、桉树、葡萄牙草等。

五是光合成微生物，主要包括：硫细菌、非硫细菌等。

六是未利用资源，主要包括：农产品废弃物（如稻秸、稻壳等）、城市垃圾（小枝、皮、叶、锯末、低浆渣等）、林业废弃物、畜业废弃物等。

上述种种，有些是本身就带有生物能源，有些则是作为底物经过其他中介生成生物能源。

利用现代技术，将生物质转化为能量的方法有直接燃烧，也可用生化学和热化学法转换成气体、液体和固体燃烧，例如木材、草类、农作物等。利用生物能可进行乙醇、甲醇、甲烷、植物油、汽油、氢等的工业生产。目前使用的转换技术主要是生物质厌氧消化生产沼气；生物质发酵制取酒精；生物质热分解气化等。

生物质能的转换技术，具体说，大致可分为以下三类：

一是直接燃烧。这是生物质能最简单、应用最广泛的转换技术。直接燃烧的主要目的是为了获取热量，而燃烧热值的多少首先是与有机质种类不同有直接关系，同时还与空气（氧气）的供给量有关系。有机物氧化越充分，产生的热量就越多。

普通炉灶直接燃烧生物质能的转换效率很低，一般不超过 20%。现在推广的节柴灶已可将效率提高到 30%以上。

二是生物转换技术。这是生物质能通过微生物发酵方法转换为液体燃料或气体燃料技术。一般糖分、淀粉、纤维素都可经微生物发酵生产酒精。利用这些原料在 28~30 的恒温条件下发酵 36~72 小时，可以转换成含 8%~12%乙醇的发酵醪液，经蒸馏后就可获得纯度为 96%的酒精，再经化学方法脱水，就可获得无水酒精。

用沼气发酵方法就可以获得气体燃料。

三是化学转换技术。这是生物质能通过化学方法转换为燃料物质技术。目前有三种基本方法。

有机溶剂提取法，这是将植物干燥切碎，再用丙酮、苯等化学溶剂，在通蒸汽的条件下进行分离提取；

气化法，这是将固体有机物燃料在高温下与气化剂作用中产生气体燃料的方法，根据气化剂不同，而得到不同气体燃料；

热分解法，这是将有机质隔绝空气后加热分解，可得到固体和液体燃料，木材干馏就是热分解法的一种。

此外，生物质还可通过多种煤气发生炉转化为可燃煤气。从长远看，绿色能源的开发利用，必将是跨世纪的大趋势，而且可以预见，21 世纪生物质能技术的发展，必将取得令人鼓舞的进步。

广泛应用

生物质能的最新应用，虽然历史短暂，但其应用范围甚广，尤其是在令人深感迷惑不解的微观世界中的应用，让人大开眼界。

“绿色石油”——酒精

绿色植物中作为燃料使用最有价值的是纤维类生物质，它包括纤维素、半纤维素、木质素三种成分。这是地球上分布最广的化合物。但纤维类的热值较低，每千克只有 4200 千卡，利用率不高。而可以高效利用生物质能的最佳途径是把生物质转化为液体燃料和气体燃料。为了提高其利用率，人们采取了多种措施，利用技术手段把它们加工成其他燃料形式，如固体燃料，典型的是木炭，其燃烧值可提高近 100%，达到每千克 8000 千卡；液体燃料，如甲醇，热值每千克为 4650 千卡，乙醇（酒精），热值提高到每千克 6400 ~ 7000 千卡；气体燃料，如氢，热值为每千克 28900 千卡，一下子提高了 7 倍，甲烷，热值为每千克 6200 千卡。

从上述实验数据可见，把植物纤维素进行一定加工改造后，可大大提高其效能，可以成为更为灵活方便而高效的燃料能源。

用植物造酒精是否可行呢？回答是肯定的。其实，用木材造酒精的技术并非新发明，早在二次大战之前，就已有“木材酒精”作为液体燃料供应汽车使用了。

现在人们把燃料酒精叫做“绿色石油”，就是由于这种燃料来源于绿色植物。各种水果、甜菜、甘蔗、甜高粱、粮食、木薯、玉米芯、秸秆、稻草、木片、锯屑、草类以及许多含纤维素的原料，都可提取乙醇（酒精）。酒精作为燃料，对环境的污染比汽油、柴油都小得多；生产成本与汽油差不多；用 20% 的酒精和汽油混合使用，汽车发动机可以不必改装。

随着现代生物技术的发展，酶制剂工业不断扩展，许多发达国家的酒精生产普遍采用淀粉酶代替麸曲和液体曲，用酶法糖化液生产酒精发酵率竟高达 93%，大大提高了出酒率。目前国外发酵生产酒精的淀粉出酒率一般约为 56.3%。

现在看来，有可能用乙醇（燃料酒精）作为矿物燃料的最佳替代能源。许多国家的经验表明，燃料酒精完全可以作为内燃机燃料替代石油，而且其

来源不会枯竭。酒精的热值虽比石油低 30%，但每千克也有 7000 千卡。专家们预测，由于乙醇成本低、能量高、污染少，其需求量将大幅度上升。

利用哪种纤维素提取燃料酒精，要根据各国的资源情况而定，各国酒精工业的生产各具特色，有的国家森林面积大，造纸工业发达，就采用亚硫酸盐纸浆废液发酵生产酒精，如北欧的瑞典、挪威、芬兰三国。而南美的巴西、古巴等国盛产甘蔗，则全都用甘蔗糖作原料生产酒精。

巴西是发展燃料酒精工业最快的国家之一。近些年来，巴西在推用酒精汽车燃料方面，已经取得很大成绩。在巴西全国已普遍使用酒精或使用 60% 的酒精和 33% 的甲醇、7% 的汽油混合液体燃料作为汽车用燃料。巴西进行了固定化酶利用技术的研究，以便更有效地利用木薯生产乙醇。巴西政府十分重视用乙醇取代石油的工作，现在巴西正在继续用发酵工艺从植物中获取酒精，生产水平稳步上升，1 吨甘蔗已可生产出 65 升纯度为 96% 的酒精。1 公顷土地种植甘蔗，可提取相当于 28 吨石油的酒精。

新西兰科学家对植物能源进行了深入研究，他们发现植物通过化学分解后，可以得到氢气、沼气和酒精。他们还认为，在这方面最有发展前途的是饲料甜菜、紫苜蓿和松树。这些专家预测，到 2000 年，仅从松树中提取的能源就可满足新西兰全国运输部门全部燃料的需要。

瑞典对植物能源抱有更大的期望，1980 年就制订了一项新的能源计划。计划规定，树木将成为瑞典的新能源。随即，在全国种植了 300 公顷“能源树”。这些树的主要用途就是研制酒精燃料。这样，瑞典每年可获得 300 万吨树汁，转变成酒精后，将相当于瑞典每年石油消耗量的 50%。在北部地区种植了大片柳树、赤杨，1~2 年就可快生成材。

美国是居世界第二位的酒精燃料生产国。1983 年生产总量就已达 3.75 亿加仑，占全国汽车总耗油量的 5%。早在 1977 年，美国能源部就制订了“国家酒精燃料计划”，其短期目标是用剩余农产品玉米进行发酵生产酒精，以代替汽油作为汽车燃料，其长远目标是实现纯酒精发动机的实用化，预计到 2000 年，将有相当一部分汽车实现纯酒精化。据报道，美国目前销售的汽车汽油中，实际上 70% 是“酒精汽油”，就是 1/10 酒精和 9/10 汽油的混合型燃料。

日本在 1979 年也制订了“石油代用品 16 年开发计划”，其中主要是以制取酒精作为研究课题，有 7 家私营公司参加，开发使用细菌的高速发酵设备，以加速酒精燃料的生产。

印度也很重视生物技术在酒精生产中的发展。1991 年印度罗迪加尔微生物研究所经过 4 年研究，研制出一种培养新酵母品系的方法，使酒精产量翻一番。这种新酵母品系以 92% 的效率把糖浆转化为酒精，在不到 48 小时内，可生产出浓度 12%~16% 的酒精发酵醪液。印度生物技术部已在各酒精厂推广这一新技术。

“植物发电”——甲醇

在用植物纤维素转化为绿色能源过程中，还有一种重要产品，那就是甲醇。甲醇也是一种可以燃烧而很少污染环境的液体燃料能源。甲醇的突出优点是，碳氢化合物、氧化氮和一氧化碳的排放量很低，而效率较高。比如用甲醇作燃料的汽车，发动机的输出功率可比汽油、柴油车高 17% 左右，而排出的氮化物只有汽油、柴油车的 50%，一氧比碳只有后者的 12%。

用甲醇作汽车燃料已引起一些国家的重视。最近,美国政府批准使用 100 万辆代用燃料汽车作为减少空气污染计划的一个组成部分。福特、通用和克莱斯等汽车公司正在加紧研制生产使用甲醇燃料的汽车,按要求到 1995 年,要有 50 万辆使用甲醇的载货车, 1996 达到 75 万辆, 1997 年达到 100 万辆。1990 年,纽约、华盛顿、洛杉矶和费城等一些大城市的政府和环保专家提出一个方案,就是要在 1991~1995 年期间,各大城市的汽车全部改成使用含 85% 甲醇的汽油混合燃料,1996~2000 年改成使用全甲醇的燃料。1991 年,日本甲醇汽车公司生产的首批甲醇汽车也在东京正式投入运营。

科学家们不仅使甲醇有可能最快地从实验室走向公路,而且还在扩展其应用范围,使甲醇进入发电站。80 年代末,日本通产省资源能源厅提出一项“利用甲醇作为发电燃料”的研究课题,并组织 23 家公司参加,进行工业性试验研究,开发分解纤维素的发酵技术。目前,日本已兴建了一座 1000 千瓦级的甲醇发电实验站,于 1990 年 6 月开始发电。甲醇如何发电呢?日本专家们的做法是:先将甲醇加热使其气化,气化的甲醇与水蒸汽发生反应产生氢气,然后以氢为燃料,在燃烧室中燃烧生成燃气,用以驱动燃气轮机带动发电机组发电。

利用甲醇作为发电能源,优越性也很大。比如,甲醇发电的成本,目前约为石油或天然气发电的 1.5 倍。但随着大面积种植高光效植物的发展和甲醇收成成本的降低,将会使发电成本逐步降下来,而石油和天然气的价格将有只涨不降的趋势,相比之下,甲醇发电将是便宜的;“植物甲醇”可以大面积种植再生,而不会面临枯竭的威胁;甲醇的低污染特性是化工燃料所不可比拟的;甲醇在常温下是液态,贮存和运输都很方便。因此,专家们认为,21 世纪初,甲醇很有希望成为常规矿物燃料的替代能源用于发电。

日本在用甲醇发电方面,将继续向前发展。他们下一步的试验机组容量是 1 万千瓦级,燃气进口采用 1150℃,发电效率可达 41.6%。按照理论计算,如把进口燃气温度提高到 1300℃时,其效率将可达到 45%。日本这家研究机构正在研究全系统的性能、可靠性和实用化中的技术难关问题。利用甲醇作燃料能源的大趋热已显露出来。

当然,使用甲醇燃料也不是没有问题,现在人们对它的认识还有分歧。有人认为甲醇在燃烧时产生的甲醛大约比石油多 5 倍,而甲醛被认为是一种致癌物质;还有人认为甲醇含毒,刺激眼睛。到底甲醇对环境和人体的危害有多大?还有待于进一步研究观察。这个问题,在巴西曾引起了一场风波。80 年代末,巴西由于酒精短缺,已不能满足酒精燃料汽车的需求量,就进口了 1300 万加仑甲醇,没想到由于上述可能的“有害性”问题,受到了环境部门的指责。里约热内卢州政府受到很大压力,被迫宣布了一道禁止在市场上销售甲醇用作汽车燃料的禁令。但巴西已经生产了众多的酒精燃料汽车,而酒精近年来一直处于短缺危机之中,许多酒精汽车面临停驶境地,使得社会上出现了尖锐的对立情况,以致诉诸法律解决。最后,巴西最高法院只能作出折衷裁决:除里约热内卢州以外,全国其他地区仍可继续使用甲醇作为汽车燃料。一场风波才算平息下来。1990 年,巴西国家石油公司也在技术上拿出折衷方案,宣布将使用 60% 酒精和 33% 甲醇、7% 汽油组成的一种汽车用混合燃料。

我国在这方面也取得长足发展,逐步接近世界先进水平。例如,1992 年初,一位教授,在“第九届国际醇类燃料会议”中宣读了一篇《低比例甲醇

汽油蒸发损失规律的研究》重要论文，透露了我国在低比例甲醇代用燃料方面的研究，已取得了重大突破，他主持研究的“薄膜蒸发器”属国内首创，并被权威人士誉为国际领先地位，这些都预示着甲醇必将是未来能源舞台上的一员骁将。

“石油植物”——石油树和石油草

前面谈到绿色植物中还有一种被称为“石油类”的生物质。早在 1977 年，美国科学家就已经发现，某些绿色植物能把太阳能迅速地转变成烃类，而烃类是石油的主要成分。就在那一年，美国科学家果然从一种叫“霍霍巴”的野生常绿灌木植物的乳汁中首次成功地提取出了一种宛如汽油的液体燃料。经试用表明，它完全可以作为石油的代用品。说来凑巧，在巴西也发现了一棵稀奇古怪的树，高 30 多米，树龄有 100 多岁了。只要在树干上挖上一个洞，一个小时内就能流出 5~10 升“柴油”；半年后又可进行第二次“开采”，每公顷可产“油”50 桶。而更令人不解的是这种“柴油”无需加工提炼，就能直接在柴油汽车上使用。实际上这种特殊的石油树叫三叶橡胶树，在其胶浆中有 1/3 的石油烃，而烃类的热值每千克竟有 10500 千卡。在马来西亚橡胶园中，也有这种三叶橡胶树，从其切口中流出的胶浆去掉水分后，最终物质就是一种油液。另外，在 80 年代初，美国一位植物科学家从藤本植物和灌木的树汁中提取“汽油”，也获得成功。科学家们栽种了大片美洲香槐，这种植物的白色汁液中含有油质，在它的其他部位也含有油质。为了获取大量石油，他们就先把整株美洲香槐研碎，然后用一种有机溶剂提纯。这些科学家认为，美洲香槐将是一种潜在的石油来源。在澳大利亚也发现了阔叶棉木，其枝、叶都可提炼油类，是目前世界上产油率最高的植物。

据调查，全球已发现了上千种可生产“绿色石油”的植物。加拿大正实验两年轮伐的杨树能源林，美国能源部建立了 5 个由三角叶杨、桤木、黑槐、糖槭树、桉树、牧豆等组成的能源试验林场；菲律宾种植了 1.2 万公顷银合欢；瑞士也制订了种植 10 万公顷“能源林”计划，可解决每年石油需求量的 50%。

在自然界生长的这类植物，能够生出“石油”，引起了科学家们的极大兴趣。这种“石油”实际上是一种低分子量的碳氢化合物，它的汁液含有的分子量在 1000~5000 之间，与矿物石油性质相近，科学家们把这类能产低分子量的植物美誉为“石油类”植物。近几年还发现了一年生的“千金子”以及“绿玉树”，它们也都含有类似的烃类混合物的油类。美国加利福尼亚大学一位化学家卡尔文根据这些植物的特性，1978 年专门研究了几种富含碳氢类化合物的大戟科属“石油植物”，在加利福尼亚州种植。这些“石油植物”的茎杆内含有的一种碳氢化合物的白色乳状液，割开它们的表皮，白色乳状液就会流出来，经提炼，每公顷竟能生产 14~16 立方米的“石油”。这种植物耐旱性强，成活率高，在贫瘠的干旱地区也能生长。而且，这些“石油”在燃烧时，不会产生一氧化碳和氧化硫等有害成分，因此，不会污染环境，确是一种理想的清洁的植物燃料。人们把这类植物称为“石油草”。由于卡尔文培育出的“石油草”为人类开辟了一个通过光合作用利用太阳能的新天地，从而获得了诺贝尔奖金。

科学家们近年特别强调应大力开发和利用“高光效植物”。所谓“高光效植物”，就是指那些光合作用效率高于 5% 的植物，例如甘蔗、玉米、甜

菜、甘薯等，它们具有更高的吸收二氧化碳的能力。选育和大面积种植高光效植物，已成为生物质能开发利用的重要途径，在林业方面研究和培育光合作用效率高、成长快、繁殖力强的树种，十分重要。新西兰用“无土栽培法”快速繁殖杨树，一个树芽在一年内就可繁殖出 100 万棵树苗，这种小树苗，3 个月内便可长成 1.5 米高的幼树。

为了快速、增量获得生物质能的原料，许多科学家在研究林木培育技术。美国宾夕法尼亚州大学培育出一种杂交白杨。这种白杨能使 6% 的太阳能转化为碳水化合物，生长得特别快，且可密植，每平方米平均可栽培 2~3 棵。成材砍伐后，留下的树桩还会长出新树。种植这种杂交白杨，生产、砍伐、管理都很简便。美国加利福尼亚大学还成功地用“无土栽培法”无性繁殖了一种红杉。采用这种方法，能使同一良种木材产量增加 50%。

“远古家族”——藻类

人们常常在潮湿的地表上看到泛起的蓝绿色、滑腻腻的“地皮”，这些东西的学名就叫“蓝藻”，有人也叫它“蓝细菌”、“蓝绿藻”、“粘藻”。这种藻类是地球最古老的生物，远在 30 亿年前的远古时代，地球刚刚诞生 17 亿年左右时，它就诞生了，据说生物界那时只有这类蓝藻。它在极为险恶的环境下，潜伏在水层里，依靠它所含有的叶绿素和藻蓝素成功地利用透射和散射的太阳光进行光合作用，成功地把二氧化碳和水合成碳水化合物。光合作用是生物转换过程。这一过程合成的碳水化合物便是太阳能的化身。蓝藻可以说是世界上最早的太阳能收集器、贮存器。它的出现意味着地球上以太阳能为动力的生命形式由低级走向高级，从简单走向复杂的开始。蓝藻是一个庞大的生物家庭。目前，已发现的蓝藻有 2000 多种，分隶于 140 属 20 科。

蓝藻与其他光合细菌最大的区别是，其他光合细菌在光合过程中不会放出氧气，而蓝藻却能源源不断地往空中输送氧气。经过长期不断地施放氧气，终于改变了大气的组成，进而在高空形成臭氧层，挡住了紫外线，为以后的需氧生物提供了有利的生存环境，并为海洋生物登陆提供了条件。因此，人们把蓝藻看成是植物界的先驱，进化长河的源流，地球上最早的拓荒者。

蓝藻还能把大气中的游离氮同氢合成氨，这就是蓝藻所进行的固氮作用。能进行固氮的蓝藻大多分化为两种细胞：营养细胞和异形胞。在光合过程中，营养细胞能制糖和发电，而异形胞在特定条件下，能催化放出理想的燃料——氢。

这样说来，蓝藻是一种既能光合，又能固氮，还能放氢的“综合工厂”，这不仅是植物界绝无仅有的，就是人类社会上也无法与之比拟。可见，蓝藻是一种贡献独特的微生物了。

人类认识和利用蓝藻的历史并不长。1889 年首先由弗兰克发现蓝藻能固氮，但当时未能确证，直到 1928 年才为德雷韦斯所证实。20 世纪 40 年代蓝藻开始在稻田里使用，它生长过程中分泌出的氮化合物和激素物质能大大帮助水稻生长，稻田养藻，水稻一般能增产 10%。

更令人感到惊异的是蓝藻竟能发电！揭开蓝藻光合、固氮、放氢的秘密，将使人们可以用太阳能为动力，以水、二氧化碳和氮气为原料，定向地进行发电，合成食物，生产氮肥，制造氢气。近年来，国外已经开始用蓝藻进行发电的试验，并已取得成功。科学家们对利用蓝藻制氢也极感兴趣。

作为生物质能源，水生植物的使用，除蓝藻外，其他许多藻类也具有很大潜力。专家们在进行海藻种植研究中发现，藻类生物质可厌氧发酵成甲醇，其转化率可达 50%~70%，因此证明，通过藻类可将太阳能转化成化学能。还有人在将海藻研碎后进行发酵过程中发现，这些藻类能释放出大量近似甲烷的可燃性气体。据估算，一公顷海藻，一年内可排出 4 万立方米的可燃性气体。还有一种海藻，它能在高盐碱的水中产生大量有价值的烃类（其中也含有甘油）。小球藻也能提供大量热能，每克可提供 22 千焦耳的能量。水风信子是沼气发酵的极好原料，它繁殖速度极快，一株水风信子经过 3 个月后可产生 248181 个后代。

令人更为惊异的是藻类还能回收石油。“红巨藻”（紫球藻属）能以相当其生物量生产速度的 50% 的速率合成分泌出一种磺化多糖。这种多糖的粘度和催化作用与角叉藻聚糖类似，可用于从地下的沙质形成物中回收石油。用其回收石油的数量等于或高于用商品聚合物得到的数量。

无独有偶。同属微生物的一种细菌也能分解原油。据报道，1991 年，由日本大阪大学的今中忠行教授首次发现了在无氧环境中可以分解原油的细菌。据说，在日本静冈县中部山区，有一股自战前就一直向外涌流的原油，使周围环境受到严重污染。经对油流周围的土质勘察分析后找到一种以原油为食的新菌种。它与目前所掌握的分解原油的细菌同属假单胞菌，其棒状体形直径 0.5 微米，长 1.2~1.5 微米。科学家认为，迄今一直难以处理的沉积海底的原油，因这一新菌种的发现将可得到解决。更重要的是，如果用二氧化碳和氢就可以培养这一新的细菌，那么合成接近原油成分的碳氢化合物就将成为可能。

“海中勇士”——藻菌

浩瀚无边的海洋里，不仅蕴藏着巨大的海洋能资源，而且还具有丰富的生物质能源资源。科学家们测定，地球上生物资源的 80% 在海洋里，海洋里的生物质总量约有 1350 亿吨，比陆地上的生物质总量还多好几倍，开发利用海洋生物质能源，已成为当今世界科学家们所关心的一个重要课题。

海草，这是一种生长快、繁殖力强的海洋生物能植物。把它固定在海面下 20 米处的尼龙网上，就能够以惊人的速度生长，每天竟可增长 0.5~1 米。这些海草收割后，可作为沼气发酵原料，也可制取燃料油。美国近年已建成专门养殖海草的实验农场。

利用生物技术，从海洋中提取能源资源，也是海洋生物质发挥效益的重要方面。大家都知道，海带的含碘量比海水的含碘量高得多，这说明海带具有富集碘的能力。而某些海洋生物也能富集铀。现在科学家们正在培养一种单细胞绿藻，它具有很强的吸铀能力。这种藻菌需要一个培养过程，首先把这种藻类放到海水中，过一段时间捞出来，放到铀浓度较高的营养板上进行培养精选，经过反复循环“训练”，优胜劣汰，“体强”的被“训练”出来，这些藻菌不但能适应铀环境，而且要把铀作为它的体内不可缺少的“粮食”。一旦放回海水里，它们就能拼命地吸取海洋中的铀。这种海洋生物质能的应用，虽处于实验阶段，但却是很有前途的一种能源形式。

“枯木逢春”——节柴灶与“能源林”

要说薪柴作为能源使用，的确具有悠久的历史。人类祖先很早就学会烧柴取暖熟食，可以说薪柴是老资格的绿色能源了。但多少年来，柴草和农作

物秸秆直接燃烧的热效率很低，一般只有 10% ~ 15%，这种绿色能源被浪费的比例太大了。随着人们对这些物质认识的深化和科学技术的发展，尤其是在化石矿物燃料能源日趋紧张的形势下，薪柴这种生物质能源重新被人们重视，提到新能源的技术领域里加以开发利用。

薪柴生物质一般包括秸秆、树木等。这些绿色植物，既可作为纤维素用以转化为液态和气态燃料，也可直接燃烧。

稻壳、稻秸等作为农业废弃物，也是农作物通过光合作用而生成的生物质。农业作物的秸秆重量差不多与收获的粮食和经济作物的重量相当。其组成元素主要为碳、氧、氢，以及微量磷、氮、硫等。

在农村基本上都是把秸秆当作燃料烧掉，不仅热效率很低，能量浪费很大，而且严重影响秸秆还田，使耕地有机质大量损失。像我国农村能源消耗量有 50% 来源于生物质能源，而其中主要是柴草、秸秆的直接燃烧，每年总量竟有两亿多吨。为提高能源利用率，一是推广先进的节柴灶，热效率可提高到 30%；二是推广先进的农村沼气技术，把秸秆作为沼气发酵原料，既可获得优质气体燃料，又可使优质沼渣肥还田，一举两得，这是解决农村能源的重要途径。

要获得大量的薪柴燃料，就要依靠充足的林木资源。森林覆盖率的高低，既是决定农业生态优劣循环的关键之一，又是提供生物质固体燃料能力的重要标志。目前，我国的森林覆盖率仅为 12.7%，而且分布极不均匀。政府提出到本世纪末力争将我国的森林覆盖率提高到 20%。

专门用作薪柴的林种，称为“薪炭林”。目前，国际上普遍提倡营造“能源林”，就是要选择速生、密植、高产、高发热量、有固氮能力的具有多种用途的树种，以获取高产木质燃料。这样，不仅可以解决一般木炭燃料问题，而且还可获得高品位热值的发电燃料。菲律宾的新银合欢和桉树的产量每亩年产已达 1000 千克以上。现在又在发展“速生优质能源林”，就是为了将来可取代矿物燃料发电。瑞典采用优良树种和现代化的造林技术，使其“能源林”的薪柴产量每亩年产高达 2300 千克。我国现在薪柴林面积很小，仅有 367 万公顷，只占全国育林面积的 3%。因此，凡是适宜造林的地区都要大力发展植树造林，以扩大能源燃料来源。

“变废为宝”——沼气池

高效利用生物质能的另一最佳途径就是用生物质产生沼气。所谓“沼气”，就是一种可以燃烧的气体，在沼泽地、河流、湖泊、污水渠、下水道等地所冒出的气泡，就是沼气。沼气是一种高效的气体燃料，可以用于生活能源，也可以用于动力能源。沼气的主要成分是甲烷，其次是二氧化碳，还有少量的硫化氢、氢气、氨气、磷化三氢和水蒸气等。沼气的产生实质上就是微生物作用的结果。

甲烷是沼气的主要成分，它是一种无色无臭的气体，它的热值比较高，每立方米有 9350 千卡，沼气中的甲烷含量超过 50% 时就可以燃烧。甲烷在完全燃烧时，发出蓝色火焰，并放出大量热。为什么人们闻到沼气还有臭味呢？就是由于沼气中含有的少量硫化氢、氨和磷化三氢的缘故，这些气体是有毒气体。沼气因有这些杂质，使单位热值降低了，以只含 60% 甲烷的沼气论，其热值每立方米只有 5300 ~ 5800 千卡。为了确保使用安全，在使用沼气之前一定要经过净化处理，脱掉那些有毒气体。

说起沼气的发现，还要追溯到 18 世纪。1776 年，意大利物理学家伏尔泰首先发现，在厌氧状态下的有机物质变腐过程中能产生甲烷气体（即沼气）。差不多经过 100 年后，到 1881 年，欧洲第一个市政有机废水处理的厌氧消化工程在法国建成并投入运行。由于欧洲能源紧张，在第二次世界大战前后，生产沼气的发酵工艺迅速发展起来，从 1941 年到 1947 年间，法国、德国都兴建了一批小型沼气发酵工程。到五六十年代，由于矿石燃料价格便宜，“沼气热”被冷落了，一些沼气工程相继停产。那时的沼气发酵工艺已比较成熟，其中许多技术一直沿用至今。

到 1973 年发生了世界性石油危机后不久，沼气又被重新重视起来，许多人对“绿色革命”兴趣很浓，积极主张发展沼气能源。瑞士在蒙塞里特于 1976 年率先建成了一个 75 立方米容积处理牛粪的沼气发酵装置，随后一大批沼气发酵工程发展起来了。截至 1987 年底，10 年时间西欧各国就兴建起了 743 个沼气工程，其中大型工程有 71% 是农场沼气工程，29% 是工业沼气工程。发酵罐总容积最大的有 44.5 万立方米。沼气发酵罐的平均产气率，在一般情况下为每天每立方米罐容可造 1 立方米沼气，有的运用厌氧过滤器等新工艺，产量可达 4 立方米。其中 30% 用于自身能源消耗，70% 可作为能源输出。

沼气发酵原料十分广泛而丰富，目前，“未利用资源”中，可用于沼气发酵的种类甚多，仅西欧各国就有农业废弃物 37 种，包括圈养和放养的牲畜粪便以及农作物废物；工业废水有 21 种，多为农作物加工和食品工业废水；还有糖厂的废渣、屠宰场的废水等。充分利用这些“未利用资源”，开发沼气能源，这对解决农村能源和处理城市垃圾，都是一条变废为宝的现实途径，而且潜力甚大。据欧共体国家宣布，可供生产沼气的人畜粪便每年约有 1410 万吨，农作物秸秆等约 850 万吨，市政污物 890 万吨，这些总数达 3150 万吨的废弃物可产出相当欧共体 1985 年总能耗的 3% 左右的沼气。

我国沼气生产潜力也很大，据测算，我国全部农作物废弃物和人畜粪便等，如全部入池发酵，每年就可制取沼气 1000 多亿立方米。除可全部满足农村生活燃料需用外，还可供数百万个 5~8 千瓦的沼气动力站每天工作 6 小时。从 80 年代初以来，全国平均每年新建沼气池近 60 万个，产气水平也逐步上升，沼气的利用已从生活领域走向生产领域，并开始从农村走向城镇。

城市垃圾处理，同样可以提供大量生物质能，通过发酵沼气，转变为电能。一个垃圾处理厂，每天处理垃圾 1200 吨，从中汲取沼气，作为燃料能源，每天可获得电量 1.2 万千瓦。英国政府提出一份资源报告说，若能充分利用英国各地垃圾发电，发电量可占全英发电总量的 5%。1991 年，德国凯尔彭市垃圾场已成为欧洲最大的垃圾处理厂。这个工厂采用筛网和电磁铁等高技术机械设备，每年可处理 10 万吨城市垃圾，把其中的废纸、木料、有机物等运至发酵沼气厂转化为沼气。采用生物能技术处理城市垃圾、城市污泥等，既可提供能源，又可保护环境。加拿大按计划于 1992 年修建第一座把下水道淤泥变成燃料的工厂。它的工艺是把干燥了的淤泥在无氧条件下加热到 450℃，使 50% 的淤泥气化，再把这些蒸汽与炭残余物相混合。残余物能把淤泥中的有机物转变成饱和碳氢化合物，而碳氢化合物正是液体燃料的主要成分。用这种工艺能把淤泥变成类似柴油的燃料，可供低速发动机、锅炉，甚至发电厂使用。

沼气是怎样产生的呢？从根本上说，是一种“发酵”的结果，也就是说，

在极严格的厌氧条件下，即在没有氧气的情况下，复杂的有机物经多种微生物的分解与转化作用，特别是“产甲烷菌”的参与，使复杂有机物中的碳素化合物彻底氧化分解成二氧化碳，一部分碳素化合物彻底还原成甲烷的过程。在这种复杂的发酵过程中，二氧化碳是碳素氧化的最终产物，甲烷则是碳素还原的最终产物。被分解的有机碳化合物中的能量大部分转化储存在甲烷中；一小部分有机碳化合物被氧化成二氧化碳，所释放出的能量则用以满足微生物生命活动的需要。

沼气池中生存着许多微生物，这些微生物由于在发酵过程中的作用不同，产生的产品不同，各自发挥功能。根据它们的作用不同，分为纤维素分解菌、脂肪分解菌、果胶分解菌。按它们的代谢产物不同，分为产酸细菌、产氢细菌、产甲烷细菌。实际上，在发酵过程中，它们的确是在相互协调、分工合作中完成沼气发酵的。因此，“沼气发酵”是集纤维素发酵、果胶发酵、氢发酵、甲烷发酵等多种单一发酵于一“罐”的混合发酵过程。

沼气发酵过程好比作战，可分为“三大战役”：

第一战役

水解液化，这是发酵的第一阶段。参加这一战役时前面谈到的四大“菌种”全部出动，其任务是将复杂的有机物分解成为较小分子的化合物。它们各自使用自己的独特“攻击武器”——“胞外酶”，专攻击自己的猎物，使之能转化为可溶于水的物质。比如，纤维分解菌，它能专门分泌一种纤维素酶，用它就可使纤维素“土崩瓦解”而溶于水，变为双糖或单糖。蛋白质分解菌则可将蛋白质分解为氨基酸。脂肪分解菌则可将脂肪分解为甘油和脂肪酸。

对于用纤维素作主要发酵原料的沼气发酵，纤维分解菌就是这个战役中的主力军，它们的战斗力强弱，直接关系着沼气产量的多少。

第二战役

产酸，这是发酵的第二阶段。参加这一战役的包括细菌、真菌和原生动物，其“主力军”是产醋酸菌“兵团”，它们的任务就是使第一战役的“战俘”进一步转化为小分子化合物，同时还要产生二氧化碳和氢气。“生力军”是产氢细菌“兵团”，它们的任务就是使那些不能为产甲烷细菌所利用的中间产物进一步转化为乙酸、氢、二氧化碳等物质，以作为产甲烷菌用以生成甲烷的“军需品”，为产甲烷菌提供原料，准备下一阶段的最最后战役。

第一战役和第二战役是连续进行的，也统称为“不产甲烷阶段”，实际上这是一个甲烷原料的加工阶段。

第三战役

产甲烷，这是发酵的第三阶段。这一战役的“主力军”就是产甲烷菌“兵团”了。产甲烷菌是一类极其古老而又极其特殊的细菌，它们是沼气发酵过程中微生物食物链中最后一个战斗员，按它们的形态分为球菌、杆菌、八叠球菌和螺旋菌。它们分别把“不产甲烷阶段”的战利品——氢、二氧化碳、乙酸（醋酸）、甲酸盐、乙醇等，都统一生成甲烷和二氧化碳。它们的攻击目标——底物，虽不相同，但最终成果却都能改造成甲烷。

整个沼气发酵的“战争”就这样胜利结束了。在这里，立了最后奇功的是产甲烷菌。因此，人们把它誉为“核心中的核心”。

当然，真正的沼气发酵过程，比在纸上谈兵要复杂得多。为了能有效地控制发酵效果，就还需要一整套、一系列生产工艺。产生沼气的过程是有机

物在厌氧条件下被沼气微生物分解代谢，最后形成以甲烷和二氧化碳为主的混合气体的生物化学过程。尽管在自然界中，沼气微生物分解有机物产生沼气的现象十分普遍，但人们无法利用它们。为了能使这种宝贵资源为人类所用，经过近 100 多年的研究，特别是近二三十年的发展，人们逐步认识和掌握了沼气发酵工艺，就是从发酵原料到生产沼气整个过程所采用的技术和方法。主要掌握以下几点。

一是严格的厌氧环境

产甲烷菌是严格厌氧菌，对氧特别敏感，它们不能在有氧的环境中生存，哪怕是微量氧气也会使发酵受阻。因此，沼气池要严格密闭。

二是菌种的选择和数量的确定

粪便和发酵原料经过堆沤再添加活性污泥作为菌种（接种物）是最适宜使用，产甲烷速度极快的方法。一般加入污泥作为接种物时，接种量为发酵料液的 10% ~ 15%。

三是控制好发酵温度

沼气发酵，温度是关键。在一定范围内，温度越高，产气量越大。温度越高，原料消化速度越快。一个典型例子：当 15℃ 时，每吨原料发酵周期为 12 个月，而在 35℃ 时，发酵周期仅需一个月，就是说在 35℃ 时一个月的产气总量，相当于在 15℃ 时 12 个月的产气总量。

四是发酵液的酸碱值（pH 值）

沼气发酵的最适 pH 值为 6.8 ~ 7.5 之间。一般情况下，一个正常发酵的沼气池不需要人工调节 pH 值，而是靠其自动调节保持平衡。如 pH 值低于 6 或高于 8 时，就要人工调节。

目前，沼气的应用范围不断扩展，不仅能烧，还能作为汽车燃料使用。近年来，美国通用电气公司加拿大分公司为加拿大生产了一批名叫“吕米那”的以沼气为燃料的汽车，用 85% 的沼气、15% 的汽油混合燃料。已交付 10 辆；1992 年再交 100 辆；另生产 2300 辆运往美国市场。加拿大是沼气生产大国，产量居世界首位。

我国是世界上应用沼气较早的国家之一，已有 60 多年历史。20 世纪 20 年代初，台湾人罗国瑞就首先进行了人工制取沼气的研究。在 30 年代时，已有 10 多个省建立了沼气公司，仅上海、江苏就建造了 100 多个沼气池。有些池子保存完好，至今还可继续使用。目前，我国农村已有家用沼气池 500 多万个，约使 2000 万人口用上了沼气，年产沼气 10 多亿立方米，是世界上建造沼气发酵装置最多的国家。

我国在农村推广的沼气池，多为水压式沼气池。这种形式的沼气池又称“中国式沼气池”，已为第三世界各国采用。在我国南方这样一个池子正常情况下，一般可年产 250 ~ 300 立方米沼气，可提供一家 8 至 10 个月炊事燃料。

印度也在积极推广农村沼气池，印度的戈巴沼气装置也是一种典型的农村家用沼气池。它是以牛粪为原料的。印度已建成 80 多万个沼气池。

我国城镇生活污水净化沼气池的发展也很迅速，主要解决城镇生活污水和粪便问题，已有 10 多个省市修建了 9000 多处。还把产能和节能相结合，在一些农牧场、食品厂、酒厂、制药厂修建大中型沼气工程 1000 多处。年产沼气约 2.5 万立方米，既可解决生产补充用能，又能向 5.4 万户居民集中供气。

沼气作为生物质能源的一种重要组成部分，发挥着重要作用。人类的生产活动，从根本上说，就是能量的转换和物质的转换，农业生产实质上就是生物生产。现实生活迫使人们必须要建立以沼气为纽带，促进生物质良性循环，发展庭园经济，建立生态农业，维护生态平衡的大农业意识，要把能源、生态和生活环境纳入农业生产的总系统。在这方面我国农村已开始走出一条适合我国农村发展的生态农业的道路。

“自我开发”——人体生物发电

为开发新能源，一些科学家已把研究课题伸向人类自身的生物能，并已开始投入应用。据专家测算，人一生中所发出的生物能约有 50% 被浪费掉。

你大概从来没有想过，一个超级市场是怎样依靠顾客不知不觉的走路时所提供的能量发电以供使用。说来也真离奇：人体本身的生物能通过多种形式竟可以转变成电能。比如“重力能”——一个人坐着或站立时，就会造成持续重力能，采用特制的重力转换器就可以转换成电能。美国桑托斯公司的超级市场，在出入口处安装了旋转门，在地下室安装了一套发条式能量收集器和转换器、发电机、蓄电池等。每天数以万计的顾客进进出出，都要用手推动旋转门，还要在旋转路上停留 1~3 秒钟。人们发出的生物能就被能量收集器收集起来了，经过转换变成了电能。

还有一家公交公司将发电装置埋在行人拥挤的公共场所，上面有一排踏板。当行人踏上时，体重压在板上，使与踏板相连的摇杆从一个方向带动中心轴旋转，从而启动发电机发电。美国还在纽约一条繁华的马路上，铺设了 20 块金属板，在每块板下再放上一个储蓄循环水的橡皮容器。就利用汽车在金属板上压过时，使金属板将容器内的水高速压出，经地下管道通往路边的发电机房，推动水轮机发电。当汽车过后，橡皮容器又恢复到原状，水又返回容器内，准备再次受压。如此往复循环，就可源源不断地发电。据测量，一辆 5 吨重的汽车压在金属板上，就可产生 7 度电。

还有，就是人体生物能的“热能”，也可利用。人体每天都要散发大量的热量，通过辐射传播出来。据实测，一般一个 50 千克重的成年人一昼夜所消耗的热量约为 2500 千卡左右。这些热量若蓄集起来，可以将 50 千克的水，从 0 加热到 50 。利用人体的热能制成温差电池，就可以将人体热能转换成电能。这种温差电池，可以做得很精巧，放在衣服口袋里就可以工作。可用它当电源，给助听器、袖珍电视机、袖珍收音机、微型发报机等供电，自己发电自己使用。这种“自主式”人体热供电的微型发报机只有半个火柴盒大小，输出功率为 5 微瓦，作用距离可达 16 公里。美国新泽西州修建的电信电话公司总部大楼，利用全公司 2000 多名职员体温供暖，室温可保持在 18 以上，只有当室外气温下降到 -9 以下时，才需要通暖气来取暖。

专家们预言，随着科学技术的不断发展，人类开发利用自身的人体生物能，必将取得更大成果。

“生物冶金”——细菌采矿

今天，在传统的工业将被以新的生物学为基础的生物工程产业逐步取代的趋势下，人类利用生物技术创造了种种奇迹。除上面谈到的绿色植物转化成各种形式的新能源外，在矿业开采过程中，也能应用生物工程技术获取多种多样的资源，同时也能节省许多能源。

在这方面，一些国家摸索出了许多成功的经验。比较成熟的生物工程再

生能源技术有：常规的开采工艺对地下油层中 60% 左右粘滞性强的油束手无策，过去含有这种油的旧井常常被宣判为“废井”。现在采用生物工程新工艺，实现“微生物三级采油”，就可较彻底地开发这一宝贵资源。

利用两种真菌使煤降解为液体，实现煤液化技术突破。

利用“生物冶金技术”，就是利用微生物的特殊本领提取金属的方法。许多微生物具有吸收和富集重金属元素的能力，经过筛选、改良，就可以把这些微生物用于“采矿”，有的可节能、有的可产能。当前世界上正在大力推广“细菌浸矿”方法，约有 30 个国家开展了这一研究。至今，人们已发现了 20 多种回收金属的微生物，已有金、银、锰、锌、钛等 21 种金属可由微生物提取，其中，在低品位硫化铜矿和铀矿的浸出方面，已取得显著效果。美国用细菌浸矿所得的铜，已占全国铜产量的 10% 以上，加拿大历年来用细菌浸出的铀已达 230 吨。世界上 20 个大矿山每年用细菌浸出的铜约有 20 万吨之多。

利用厌氧细菌提硒技术，是美国于 1985 年研究出来的，用一种厌氧细菌从铀矿废水中回收硒的技术，已取得明显成效。

我国从 1965 年以来，已先后进行了铜、铀、锰等金属的细菌浸出实验，并已取得一定成绩。

发展势头

由于上述生物质能开发应用的种种成果和前景，加上近几年来石油价格不断上涨和石油资源日益减少以及矿物燃料对环境污染所造成的巨大社会压力，世界各国都很重视生物能源的进一步研究与开发。

欧共体国家

为大力开发生物能源，1985 年 3 月，制订了“1985~1989 年生物技术开发计划”，投入资金 2000 万美元。其中强调了要包括研制把纤维素废料转化为酒精的反应器。1986 年又采取了一项重大步骤，决定在意大利的阿布鲁佐地区建立一个生产生物燃料的工厂，总投资 2.27 亿美元，于 1990 年建成投产。按此计划，到本世纪末，欧共体将生产出相当于 1 亿吨石油的生物燃料，折合约 143 亿美元。可满足欧洲国家能源需求的 7%。这个工厂用 9.8 万公顷土地种植生物植物。其中 7.8 万公顷为森林，以提供有机废物，2 万公顷种植能源作物，主要是甜高粱。这样就可为这座生物燃料工厂每年提供 40 万吨的生物原料，生产出来的燃料就可作为石油的添加剂，以替代纯石油，供给当地一座 2.7 千瓦的电站使用。并可作为汽车用的汽油添加剂，以提高汽油的辛烷值，这样也就和意大利推行的“无铅汽油全国计划”结合起来，更好地落实节能措施。

日本

把生物技术列为国家发展战略的重点。各省厅分别制订的从 1980 年开始执行的 5 年、10 年生物计划竟达 12 个，其中不少计划都涉及到生物能源的应用项目。像农林水产省 1981 年制订的“绿色能源 10 年计划”、“生物能转换计划”，都明确提出要加紧实施生物能源的开发研究。1987 年，日本通产省工业技术院也开始专门研究生物能源，计划在“新燃油的制造”、“氢生产系统”等 4 个重点研究课题上取得成效。其中，微生物研究所计划要以提高光合作用的微生物增加氢的生产效率为目标，选择能够高效率生产氢的

微生物，揭示氢产生的机制，并预定以此为基础，进行重组基因，改良微生物。公害资源研究所，将开发制造生物液体燃料的技术。化学研究所将选择、改良能有效地生产油脂成分的线状菌，实现培养、控制、分解、提炼菌体产生油脂技术的系统化。纤维高分子材料研究所还将研制微生物电池。美国

各大学、科研机构几乎都已开始进行有关生物能的研究工作，工业部门的大型石化公司也都在开展这项研究。美国在七八十年代兴起的生物工程热，促进了一大批生物技术公司的诞生，到 1983 年时就有 200 多家，注册资本已达 50 亿美元。到 80 年代末，已有 484 家。生物公司的重点目标之一就是，瞄准生物能源的开发，着重发展植物能源，用木质素和纤维素生产乙醇、乙酸和丁醇等。还研究每英亩年产 10 桶石油的植物，和可提取石油的海藻等。1980 年，美国还将全部锅炉的 50% 设计成能燃木炭的锅炉，以更高效地利用树木能源。美国能源部建立了 360 多个林木实验场，发展绿色能源。在发展生物质气体方面，加紧研制各种气体设备，已有 40 多家厂商专门提供气化设备。1978 年，美国就开始研究海洋生物量的生产，并把海洋净化开发生物能源与海洋生物量的生产结合起来，并拟通过巨型海藻进行甲烷生产，以解决石油替代能源问题。

世界上其他许多国家，德、英、法、意、比、瑞典、瑞士等国，也都十分重视开发生物质能源，在这些国家里发展起来的 400 多家生物技术公司中，差不多也都把生物质能的研究开发放在十分重要的位置。许多发展中国家，凡有条件的也都在认真开展这项高新技术的开发工作，印度、印尼、巴基斯坦、菲律宾、巴西、新加坡、朝鲜以及非洲、南美一些国家，也都在制订发展生物质能的计划，推广在经济上、技术上能接受的一些生物质能开发项目。这在现代农业发展中是一种十分奇特的现象，充分反映了各国都对开发生物能源，对解决人类面临的能源危机寄予极大希望。

现代生物技术的发展历史仅仅 20 年，就总体上看，仍处于开创初期，在生物质能开发上也是如此。但它有着远大的前程，且对人类社会生活有着至关重要的影响，对解决世界能源危机，无疑是一个重要的新战场。

无尽的“能源之母”——太阳能

太阳给人类带来了光明和温暖，并给人类以生命，以及维持生命活动的各种能源。可以说，没有太阳便没有人类；没有太阳，也不会有今天物质世界的一切。

太阳以她那巨大的光和热，给地球上的万物带来了生机。她一刻不停地向宇宙空间发送着大量的能量。据计算，仅每秒钟发出的能量就约相当于 1.3 亿亿吨标准煤燃烧时所放出的全部热量。太阳发送到地球上的能量虽然也很多，但只占她向外辐射量的 22 亿分之一。仅就这些能源来说，如果除去地球表面大气层的反射和吸收的能量，那么真正到达地球表面的太阳能，约相当于目前全世界所有发电能力总和的 20 万倍。地球每天接收的太阳能，相当于全球一年所消耗的总能量的 200 倍。太阳发光放热的历史已达 40 多亿年以上。据科学家们预计，太阳释放巨大能量的时间还将持续几十亿年。因此，太阳真可谓人类取之不尽、用之不竭的能源大宝库。

太阳实际上是一个熊熊燃烧着的炽热的巨大球体，其表面温度约为 6000 摄氏度，而内部温度高达 2000 万摄氏度。这个无与伦比的大火球具有如此惊人的高温，正是她能发射出巨量光和本领所在。

那么，浩瀚无比的太阳能量又是从哪里来的呢？科学家经过长期研究，才逐渐揭开了这个秘密。原来，在太阳内部每时每刻都在进行着原子核聚变反应。形象地说，太阳就像一座以核能为动力、以氢作燃料的极其巨大的能源工厂。在高温的作用下，太阳里的轻核元素——氢发生聚合反应，即每个氢原子核聚合成氦原子核，同时释放出大量的光和热。这就是通常所说的热核聚变反应。而核聚变反应所放出来的能量要比一般的化学反应（如煤或天然气的燃烧）释放出来的能量高 100 万倍。而太阳这个大气体球主要是由氢气组成的，其体积又特别巨大，在她的肚子里可以容纳 130 万个地球。由此可知，在太阳里蕴藏着多么丰富的能量，这也正是她能经久不衰地发光放热的原因所在。

对人类来说，太阳释放的能量还包括地球上的各种能源，诸如煤炭、石油、风能、海洋能、地热能等等。它们都是由太阳能转化而成的。

同时，太阳能比其它能源具有独特的优点：一是她没有一般煤炭、石油等矿物燃料产生的有害气体和废渣，因而不污染环境，被称做“干净能源”；二是到处都可以得到太阳能，使用方便、安全；三是成本低廉，还可以再生。

回顾往事，人类对太阳能的利用已经有悠久的历史。我国早在 2000 多年前的战国时期，就已经懂得用金属做成的凹面镜聚焦太阳光来点火，以后又有了放大镜，就利用玻璃凸凹镜来聚光取火。近代人们对太阳能的利用逐步前进了。早在 1837 年，英国天文学家赫胥在去非洲好望角的探险途中，就首先使用太阳炉烧饭，他用一个黑箱埋入沙土中，箱上用双层玻璃保温，箱内温度可达 116℃。1860 年出现了用抛面反射太阳光的装置，会聚的阳光可使聚集面温度达 500℃ 左右。1875 年时又有人制造了太阳能集能器，但效率很低，在近 10 平方米的集能器上，只能获得 1 马力的功率。由于采集太阳能存在许多技术问题，不像挖煤、钻取石油那样相对来说比较简便和立见成效，因此，太阳能技术一直发展不快，只是作为一种辅助能源使用，如太阳灶、太阳能热水器等。

如今，世界各国都面临着能源的日益紧缺这一状况，所以太阳能的开发

利用引起了人们的重视。人们把太阳能作为开发利用的现代主要新能源之一，并将利用太阳能作为人类历史上第三次能源变革的开始，即由有限的矿物燃料（如石油、煤炭等）向无限的可再生能源（如太阳能、海洋能、生物质能等）以及核能转变。因此，向太阳——人类用之不尽的能源宝库索取能量，实现人类历史上这次重要的能源变革，已成为今后能源发展的主要趋向。

优质干净的能源——氢能

很久以前，法国科幻作家凡尔纳曾经说过一句话：“总有一天水会被用作燃料。”今天，凡尔纳的科学预言已经成真有望，人类大规模地用水制氢的日子已日益接近了。用水提炼出的氢，将会为人类提供无穷无尽的光和热。

位居“门氏元素周期表”首位的是氢——H，而氢是自然界存在的最普遍的元素，它至少构成了宇宙质量的 75%，真不愧为“百素之首”。

现代能源专家们把地球上现有的“二次能源”分为“过程性能源”和“含能体能源”两大类。当今应用最广泛的“过程性能源”是电能，应用最广泛的“含能体能源”是汽油和柴油。而电能无法直接贮存，因此，像汽车、轮船、飞机等机动性强的耗能动力设备，就无法直接使用，而只能继续耗费汽油、柴油等能源。即使蓄电池也是间接的储能设备，而且也尚未能成为主能源。人们急需一种含能体能源。在竭力寻索中，终于发现了氢，这个肉眼看不见的宠儿可以充当这个角色，科学家们甚至预言，氢能将要成为 21 世纪替代矿物燃料的理想能源。

虽然氢几乎存在于世界各地，处处皆有，但如何提取出来，确是世界级的一大难题。尽管已有一些办法，但这些技术仍要消耗大量常规能源。因此，研究一种经济、便捷的制氢技术就是新能源领域里的一项重要课题了。氢，是元素中最轻的物质，而且又易燃烧。有了氢，如何储运，保证使用安全，就成了另一个大问题。还有就是如何应用这个干净优质的新能源？也提上了人们的议事日程。令人欣慰的是，在氢能的研究应用领域不断取得的成功，已为 21 世纪的世界能源描绘出了一幅诱人的前景。

氢的制取

当今，全球人类使用的主要能源都是以碳氢化合物为基础的能源。早在 40 多年前，一些科学家就研究实验了氢在石油化工、合成氨及其他领域里的广泛应用的可能性。

随着常规能源的一再告急，生态环境保护的呼声日益高涨，形势迫使人们要采取以开发新能源为主，坚持多种能源并存的总体策略，又把氢燃料的开发应用放在了一个重要的战略地位上，并在制取氢的工艺技术方面作了深入探索。氢的应用方面也作了许多大胆的尝试，特别是在航空器、航天器、导弹、火箭、汽车等方面的试用，证明氢作为能源，是完全可以胜任的。

独特优点

氢，在常温常压下是气体状态，在超低温高压下又可成为液态。作为能源，氢有七大特点：

一是重量最轻，在所有元素中，它的原子序数为 1，就是说其余元素都比它重；

二是热值高，除核燃料外，它的燃烧热值，在所有的矿物燃料、生物燃料、化工燃料中名居榜首，每千克高达 28900 千卡，是汽油热值的 3 倍；

三是“爆发力”强，它非常易于燃烧，且燃烧速度非常快；

四是来源广，除空气中含有的氢气外，它主要是以化合物的形态贮存于水中，在水分子中，氢的重量占 11%，而地球是“二山七水一分田”，水是大量存在的。据推算，如把海水中的氢全部提取出来，它所产生的总热量

比世界上所有矿物燃料放出的热量还要大 9000 倍；

五是品质最纯洁，氢本身无色、无臭、无毒，十分纯净，它自身燃烧后只生成水和少量的氮化氢，而不会产生一氧化碳、二氧化碳、碳氢化合物、铅化物和颗粒尘粉等对人体有害的污染物质，少量的氮化氢稍加处理后也不会污染环境，而且它燃烧后所生成的水，还可继续制氢，反复循环使用；

六是能量形式多，氢通过燃烧可以产生热能，再转换成机械能，也可以通过燃料电池和燃气——蒸汽涡轮发电机转换成电能，还可以转换成固态氢，用作结构材料；

七是储运很便捷，氢可以用气态、液态或固态的金属氢化物形态加以运输和贮存。

氢能的诸多优点，赢得了人们的青睐。一致认为，用氢能取代碳氢化合物能源，将是一个重要的发展趋势。这种新能源已开始逐步形成，通过太阳能制得的氢，将成为普遍使用的一种高级能源，二三十年后，氢，必将是众多领域的重要能源。

陈旧手段

氢作为能源，尽管优点很多，但要真正能够大量地而又廉价地获取它，需要些什么技术呢？这是要解决的关键问题。

氢是通过科学方法，利用其他能源来制取的。因此，氢属于“二次能源”。目前，制氢的原料，是天然气、石油和煤，其中天然气占了 96%。人们都知道，天然气是宝贵的燃料和化工原料，用它来制氢，显然仍是摆脱不了过分依赖矿物燃料的被动局面，而且很不经济。要大量制氢，从根本上说，只有用水做原料才是稳妥可靠的。

多年来，人们已研究出多种“用水制氢”的方法。但从本质上说，并非真正用水作原料，而仅是把它当介质，由“一次能源”转换而已。比如，在实验室里常用的方法是用某些金属（如镁）和蒸馏水“混合法”或用酸、碱反应制氢。这只是证明氢是如何提取出来的化学反应；“铁蒸汽法”，就是将水蒸气通过灼热的铁屑，生成四氧化三铁放出氢；“转化法”，就是将水蒸气通过灼热的煤层，生成氢气和一氧化碳的混合物，也就是长期以来常用的用煤来分解水，即“水煤气”，然后将水煤气再和水蒸气一起通过灼热的氧化铁，转化成二氧化碳和氢气，二者再分离，从而获得纯氢；“电解水法”，就是用纯水通电的方法，提取氢气，这种方法的效率仅有 36%，而且，需要大量的纯水和大量的电能；“燃烧法”，就是用煤、石油、天然气燃烧所产生的热去分解制氢。

从上述这种种方法中，人们可以明显地看到，水在制氢过程中，只是一种原料，实际上都要依靠其他物质和大量的热能、电能，才可以真正获得宝贵的氢气，它的致命弱点是成本高，效率低。因此，从根本上说，这种制氢的方法仍是没有发展前途的。

“水作燃料”

近些年来，各国科学家普遍关注摸索新的科学制氢的途径问题，对用氢作燃料抱有极大的期望，都有设法寻求彻底摆脱长期以来用常规能源制氢这种得不偿失的陈旧办法，真正实现用水作原料制氢的愿望。

科学家经过潜心的钻研，终于设想利用太阳能制氢将是最佳选择。因为太阳能无穷无尽，到处都有；用水作为制氢原料，水是普遍存在的。把两者巧妙结合，就可将太阳能转变为氢能。

当前，一些国家已经初步摸索出的可行的太阳能制氢高新技术有以下 8 种。

太阳能热分解水制氢法 热分解水制氢，现有两种方法，即直接热分解和热化学分解。太阳能直接热分解水，需要把水或蒸汽加热到 3000K 以上的温度时，水中的氢和氧才开始分解。其优点是热效率高，无污染，无需催化剂；缺点是所需分解水温度很高，制造太阳能聚光器太昂贵、不经济。太阳能热化学分解水制氢，可以降低对温度的要求，但在反应过程中，要在水中加进化学元素或化合物等催化剂，然后加热到 900 ~ 1200K 的温度，使水产生反应，生成氢和氧。而催化剂只是起到加速水分解的催化作用，它们可在整个过程中，不断地再生和循环，基本上是消耗或消耗很少的。这种方法的制氢效率已可达到 50%。

太阳能电解水制氢 与常规的用直流电电解池电解水制氢的原理相似，太阳能电解水制氢就是利用太阳能分解水制氢，首先要将太阳能转换成电能，转换的方法可以采用热发电、光伏发电等不同途径。

这种电解水制氢的关键问题是只要将太阳能发电成本降低，就可以广泛应用了。

太阳能光化学分解水制氢 这种方法与热化学分解水制氢过程很相似，也是要在加入添加剂，这种添加剂是光敏物质，如碘，用它帮助水吸收阳光中的长波光能，以保证高效连续利用太阳能制氢。

将水直接分解为氢和氧是很困难的，但把水分解为氢离子 (H^+) 和氢氧离子 (OH^-)，再生成氢和氧，就容易得多了。根据这个理论，有的科学家设计了综合制氢工艺流程。

就是说，第一步先进行光化学反应，即：使硫酸亚铁、碘与硫酸的水剂混合液在太阳光照射下，生成硫酸铁和碘化氢；同时，在太阳光紫外线作用下，或利用太阳热能加温到 400℃ 以上时，碘化氢再分解为氢和碘。这种混合液进行第二步热化学反应，即：硫酸铁与水，在加热条件下，还原为硫酸亚铁、硫酸和氧。然后进行第三步电化学反应，即：这种溶液，通过较小功率的电解，生成氢和氧。实际操作中，这三个步骤是连续进行的，可以看到最终的结果是水分解为氢和氧的反应。

特别值得提到的是，我国北京大学两位教授领导的科研小组，在 1991 年太阳光分解水制氢过程中，利用他们研究的催化剂，具有光解效率高、性能稳定、制备重复性好、成本低廉、制备工艺简单等优点，使我国在这一领域的研究达到国际先进水平，大大推进了光解水制氢的研究过程。

太阳能光电化学电池分解水制氢 1972 年，日本东京大学一些科学家首创用 N 型半导体二氧化钛 (TiO_2) 作阳极浸入氢氧化钠的水溶液中，而以铂 (Pt) 作阴极浸入硫酸水溶液中，这两种溶液用多孔杯隔开，构成一个化学电池，在太阳光照射下，就能维持恒定电流。阳极被太阳光照射后，就处于激发状态，激发出电子、空穴对，空穴扩散到阳极表面，和水相互作用而生成氧气；电子则转移到铂阴极，在阴极表面和氢离子相互作用而生成氢气。

利用二氧化钛作电极的太阳能制氢方法，虽然十分简单，但效率很低，以后又研制成功用钛酸锶作阳极，最大效率可达 20%；近几年又采用氧化钨晶体作阳极试验，效率已可达 40%。光电化学电池分解水制氢中，关键问题还是电极的材料选择问题。

模拟植物光合作用分解水制氢 植物的光合作用，是在叶绿素上进行

的。1968 年，有的科学家发现了“叶绿素脂双层膜”的光电效应，从而证明了光合作用过程的半导体电化学机理。我国年轻的科学家近年制成了“半导体隔片光电化学电池（SC—SEPS）”，从而实现了利用可见光直接电解水制氢的目标。

当然，人们对植物光合作用分解水制氢的机理过程，还了解得不够深入，真正实现大规模实用化生产氢气，还有一系列技术上和理论上的难题需要逐步解决。

太阳光络合催化分解水制氢 20 世纪 70 年代，有的科学家提出利用“三联吡啶钌络合物”催化电荷转移反应的过程，进行太阳光分解水制氢。这种过程实质上也是类似于植物光合作用的一种过程。其效率不高，不超过 20%。目前仍在研究阶段。

微生物发酵制氢 人们很早就发现了甲烷发酵过程的产酸阶段也产生氢，说明发酵原料中的微生物也有制氢的能力。现在已有人鉴别出一种厌氧细菌，能把葡萄糖分解成醋酸和氢。但这种制氢过程很不稳定，距实用相差甚远；目前只能在实验室内研究寻找产氢能力更强的菌种和高效连续产氢工艺。

光合微生物制氢 人们还发现在江河湖海里的藻类低等植物，有几种也具有用水制氢的能力。这些藻类实质上也是在光和菌的作用下，通过光合作用制氢的。小球藻、固氮蓝藻、柱泡鱼腥藻和它的共生植物红萍等，就能用太阳光作动力，用水作原料，源源不断地放出氢来。有人还做过实验，用既有叶绿素又有氢化酶的蓝绿藻通过光合作用制氢，甚至一次反应时间能持续 20 天。

利用生物制氢，有的国家已进行了大量研究工作，并取得许多研究成果。日本通产省于 1991 年开始实施高效率生产氢的为期 8 年的国际研究开发计划，主要是研究生产氢的光合细菌和藻类，查明其生产机理，准备利用这些生物生产氢气。

上述种种制氢高技术，绝大部分仍处于理论研究和实验室阶段，距离大规模工业实用化，还有一个相当大的距离，大约还需要二三十年的时间才能获得可以实用的系统。特别值得重视的是，在 80 年代末，前苏联科学家提出利用硫化氢分解法可比较经济地生产出氢来，而地下储藏的许多资源中，都含有相当丰富的硫化氢。这是很值得重视的一种制氢技术。

氢的储运

氢在一般条件下，是以气体形态存在的，这就为贮存和运输带来很大困难。目前，氢的储运主要采取：一是气态储存和运输。氢气可储存在地下库里，也可以装入钢瓶中。二是高压低温的液态氢。就是把氢气冷却至 -253 时，即可呈液态，储存在大型罐里，或装罐运输。三是用金属氢化物储存。就是用一种具有能捕获氢的能力的所谓“贮氢材料”来储存氢。这些材料有的是合金材料，最多的由 6 种元素组成。

目前世界上已研究成功多种贮氢合金，大致可分四大系列：一是稀土镧镍等，每千克镧镍合金能储氢 153 升。后来又有多重改型，其特点是贮氢量较大和易活化；二是铁-钛系，是目前使用最多的合金，它储氢量大，比前者多 4 倍，价格低、活性高，且可在常温常压下释放氢，给使用带来极大方便；

三是镁系，这是吸氢量最大的金属元素，它在 300 ~ 400 、4.0 帕压力下可吸收 7.6% 的氢，但释放氢时也需要在 287 下进行，且吸放氢十分缓慢，因而使用受到了限制；四是钒、铌、锆等多元素系，该系有许多稀贵金属元素，只可少量用于特殊的要求中。上述这些贮氢合金，最有实用价值的是前两种。尽管各国最近对贮氢合金的应用开发取得重大进展，但仍存在贮氢量低、成本高、释氢温度高等问题。

专家们认为，开发氢能和开发贮氢材料，具有同等重要意义，甚至贮氢更为重要。

氢在使用和储运中，是否安全可靠，是人们普遍关注的安全问题。80 年代末，德国、法国和日本三国的三个大汽车公司，对氢能汽车对于氢燃料的使用作过试验，并有一定的评价。德国默谢台斯——奔驰的原型车已试运行 80 万公里以上；英国汽车公司的“735”模型车在慕尼黑进行了液氢燃料试验；日本马自达公司也进行了氢能原型轿车试行。三家公司一致认为，氢能燃料和汽油一样安全。即使撞车起火燃烧，至多也不过发出一阵冲天大火，很快就烧完火灭。但也存在三个问题：一是由于氢气太轻，单位能量体积太大，达 390 升/千卡，是石油的 4000 倍，即使用液态氢，体积仍然很大，占车内空间太多。二是氢燃料“逃逸”率高，即使是真空密封燃料箱，也以每 24 小时 2% 的速率“逃逸”；而汽油的一般是每个月才 1%。三是加氢燃料既危险，又费时，一般需要 1 个小时，而且液氢温度太低，只要一滴掉在手上就会发生严重冻伤。

当然，上述这些问题，也只是在氢能试用阶段出现的，而且是可以逐步得到解决的。比如，今后加氢燃料时，将使用“加氢机器人”来完成。科学家们对氢能广泛使用还是充满信心的。

氢的应用

近些年来，氢能作为特殊的用途，已显露出它的独特风韵，特别是氢用作燃料能源的优点，在对重量十分敏感的航天、航空领域，显得格外突出，在汽车、轮船和机车使用方面，也已初显锋芒。

首先，在航天方面，对于航天飞机来说，减轻燃料自重，增加有效载荷极为重要，而氢的能量密度很高，每千克氢为 1.8 万瓦，是普通汽油的 3 倍，也就是说，只要用 1/3 重量的氢燃料，就可以代替汽油燃料，这对航天飞机无疑是极为有利的。以氢作为发动机的推进剂、以氧作为氧化剂组成化学燃料，把液氢装在外围推进剂桶内，每次发射需用 1450 立方米，约 100 吨，这样就可以节省 2/3 的起飞重量，从而也就满足了航天飞机起飞时所必需的基本燃料的需求了。

氢作为航天动力燃料，可追溯到 1960 年，液氢首次成为太空火箭的燃料，到 70 年代，美国发射的：“阿波罗”登月飞船使用的起飞火箭燃料也是液态氢。美国和前苏联等航天大国，还将氢氧燃料电池作为空间轨道站的电源广泛应用。今后，氢将更是航天飞机必不可少的动力燃料。美国国家航空航天局计划在 1994 年发射一架以氢作为燃料的混合型航空航天飞机。氢还可以作为普通火箭的燃料使用，日本的下一代主火箭 H-1、H-2 型的第二级也将采用氢作燃料。

科学家们正在研究设计一种“固态氢”宇宙飞船，这种飞船由直径为 3.6

米的“氢冰球”簇制成，这是用小型助推火箭发射的氢冰球在地球轨道上组装起来的，固态氢既作为飞船的结构材料，又作为飞船的动力燃料，在飞行期间，飞船上的所有非重要零件都可以“消耗掉”。预计这种飞船在地球轨道附近可维持运行 24 年；如在离太阳较远的深层宇宙飞行，这种氢冰球体，则可维持更长的时间。这种科学预想预计 2020 年就可实现。

其次，在航空方面，氢作为动力燃料也已经开始飞上飞机试飞航线。1989 年 4 月，前苏联用一架图-155 运输客机改装的氢能燃料实验飞机，开始试飞了，这架飞机用图-154 原型机尾部一台右侧发动机改装成液态氢燃料发动机，试飞成功，它为人类应用氢能源迈出了成功的一步。

再次，在汽车应用方面，成效更加显著。如前面讲到的德国奔驰汽车已有 10 辆进行了试用；1990 年，德国还展出了一种用氢能运转的 5 升 BMW7 系列汽车，这标志着利用氢能有了良好的开端。日本马自达公司也试制了氢能汽车，它利用计算机控制氢泵和管道阀门，使液氢的温度在发动机点火之前始终保持在 -253℃，行驶时，时速可达 125 公里；英国汽车公司已投资 1100 万英镑，开发氢能汽车。日本在研制氢燃料汽车的新型火花点火式发动机上取得成功，使氢燃料消耗量降低，保证每升液氢可行驶 3 公里，每一次充填液氢燃料，可连续行驶 300 公里。为氢燃料汽车向实用化迈出第一步提供了重要的物质基础。储氢合金技术本来是由美国率先倡导的，然而日本却捷足先登并应用在汽车领域里处于世界领先地位。

此外，氢气还可以用来制成燃料电池直接发电。燃料电池和氢气——蒸汽联合循环发电，能量转换效率比火力发电站最大热效率要高近一倍，可达 70%~80%。这无疑也是非常诱人的一个重要用途。

在日常生活中，也已开始应用氢能。80 年代末，日本科学家开发了一种“贮氢合金”冰箱，这是利用贮氢材料能吸附为本身体积约 1000 倍的氢气，在放氢时能吸收热的原理制成。这种冰箱已能使冰冻室的温度降低到 -10℃了。

发展计划

氢能的独特优点和实践应用的结果，吸引着各国科学家，不少国家都在加强这种新能源的开发和应用研究，并相应的制订了发展计划。

美国认为制取氢能最好的资源是太阳能，其次是风能、海洋能等新能源，充分利用这些能源进行热化学分解水制氢、电解水制氢，必将获得重大突破。夏威夷大学自然能源研究所正在开始设想建立一种以开发太阳能为中心的“氢能岛”，专门生产氢能和应用氢能作为主要能源。

美国太平洋能源公司，于 1990 年发明了生产廉价氢气燃料的新技术，获得专利。其突出优点是生产成本低，相当于 1 加仑柴油热量的氢气，成本仅为 41 美分，使氢燃料成为世界上最便宜的燃料能源；另一特点是设备简单，便于移动运输，克服了氢燃料储运费用昂贵的缺点，这种生产氢气的新装置只有两个容器，上容器内是水和化学物质的溶合液，下容器内是另一种化学物质。当打开两个容器的连接阀门时，上容器的溶液滴入下容器，进行化学反应同时开始产生氢气。这项技术的关键是在化学反应物质中加添了一种催化剂，大大节省了化学物质。这种技术可以保证任何水都可以取用，甚至海水也能使用，试验结果良好。所用化学物质各地都有，且很便宜，为大规模

生产氢能提供了重要经验。

德国 巴伐利亚汽车厂与德国航空及宇航研究所制订了一项投资 4300 万美元的计划，共同研制以液氢为燃料的内燃机，戴姆勒和奔驰汽车厂也在利用政府的拨款进行类似的研究工作。德国的巴伐利亚电力公司和一些基金会组织了目前世界上最大的太阳能制氢厂，是在巴伐利亚州纽伦堡以东 100 公里的诺因堡地区，投资 5000 万马克，经过 3 年时间，建造成一座实验性 500 千瓦级（年发电 30 万千瓦时）的太阳能氢发电厂，到 1990 年夏季正式投入使用。它使用 2 万平方米太阳能电池板电解水制氢，年产汽车用氢燃料 5 万立方米。此外，德国还与沙特阿拉伯在利雅得市合建一座 350 千瓦级的太阳能发电站，为水电解制氢提供动力。

日本 政府十分重视开发氢能，通产省已把氢能开发应用列入其“阳光计划”；文部省也把氢能研究作为重点研究课题。日本马自达汽车公司积极发展氢能汽车，计划在 90 年代末将向美国加州出售小批量的氢能汽车。

加拿大 政府和欧共体已拨款 430 万美元作为科研费研究氢能，利用加拿大的水力发电资源生产氢，然后以液氢形式运往欧洲。据报道，联合建立一座制氢实验工厂将要花费 4.2 亿美元。

前苏联 除已发展的氢能燃料飞机外，还在积极推广用氢燃料来作为汽车、货车、拖拉机和火车等的动力能源。

世界氢能的开发使用，已经历了一段艰难曲折的历程，正在蓬勃发展着。当今的主要问题是制氢技术尚待进一步摸索提高，储运手段也需改善，应用中的许多技术问题还要努力攻关，特别是制氢成本还太高等等。因此，大规模实用化至少还需要 20 年以上。然而，作为一种优质清洁的新型能源，同样要经历一个发生、发展、改进、推广、完善的过程。完全可以相信，再过 20~40 年，氢能必将成为世界能源舞台上的一个新秀而大展风采。

亦功亦过——核能

核能的发现

第二次世界大战末期，美国使用的绰号叫“小男孩”、“胖子”的两颗原子弹在日本广岛、长崎造成了人间灾难；以及 1986 年前苏联切尔诺贝利、1979 年美国三里岛核电站事故连续发生，使人们一提起核能就谈虎色变。因而核能长期以来成为举世瞩目的争议问题。

那么“核能”到底是什么？

人类对客观世界的认识有个逐步加深的过程。从宏观上讲，宇宙浩瀚无穷，从微观上讲，又存在着一个肉眼看不见而又难以捉摸的无限渺小的世界。对这个无限小的世界，今天人们能认识到的只是原子世界，其中包括电子、质子、中子……它是一个奥妙无穷，无限可分的微观世界。

原子核的直径很小，只有 $10^{-13} \sim 10^{-12}$ 厘米。在原子核内的质子之间存在着巨大的电磁力。但它们并不相互排斥，这是由于他们之间还存在着另一种比电磁力强 100 倍的吸引力——核力，科学家们把这种使核子凝聚在一起的能量叫“结合能”，原子只有在受到外力作用时，才能释放出能量来。

早在 1899 年 12 月，波兰科学家居里夫人在发现镭的同时，就发现了镭在蜕变时伴随着能量的释放。1 克镭蜕变后能释放出 34 亿卡的热能，这些热能足以融化 42 吨冰块。镭同所有放射性元素一样，在其不断蜕变的过程中，其质量逐步转化为能量，这时，它的放射性原子数也随之衰减。当它减到 $1/2$ 时，就叫它“半衰期”。这种“半衰期”是按几何级数变化的。各种元素的半衰期各不相同。例如，镭的“半衰期”是 1602 年，而铀 238 的“半衰期”是 45 亿年。

后来人们又发现用高速运动的带电粒子或用不带电的中子去轰击带正电的原子核则可能使能量释放出来，但命中率都太低。直到 1938 年科学家才初步确认，铀核在中子的轰击下分裂成了质量相近的两块碎片，他们还计算出一个铀核分裂时可以释放出 2 亿电子伏特的能量！

与此同时，居里夫人的女儿伊伦·约里奥·居里和费米等人发现用一个中子去轰击原子核时，除产生两个裂变原子核并释放出能量外，还会产生出两三个新的中子来，这两三个新中子又去轰击两三个铀核，再分裂出更多的“中子炮弹”来。如此这般地按几何级数陡然增加的中子就可以使铀核在瞬间全部分裂，在这种“链式反应”过程中，失去的质量就转变为释放出的巨大能量，这就是原子能，更确切地说应称之为“核能”。这种“链锁反应”的发现，为人类利用核能打开了迷宫的大门，开辟了通路，使人类逐步认识并掌握了核裂变放出的核能和核聚变放出核能这两种新型能源的科学技术。

这一重大科学发现使人类找到了巨大的能源。一个普通的碳原子燃烧时放出的能量只有 4.1 电子伏特；而一个铀原子核的裂变却可以释放出大约 2 亿电子伏特。1 克铀 235 含有 2.6×10^{21} 个原子，即像火柴盒那么大小的 1 千克铀 235 由于核裂变所产生的能量相当于 2 万吨 TNT 炸药的爆炸力。而且，核裂变的再分裂时间是非常短促的。只需亿分之一秒，所以 1 千克铀 235 完全裂变只是瞬间发生的事。

科学技术的发展，使人们认识了原子核能的巨大作用，到 1942 年，原子能在发展史上进入了一个新阶段，也正是此时，第二次世界大战进入了白热

化阶段。

当科学家们在为接二连三的发现激动不已时，却有一个人在为这些发现而担忧，他就是匈牙利科学家西拉德。西拉德有着远比一般人更丰富的想象力。所以，他很早就警告过周围的同事们，他们正在从事的核裂变研究，对人类的生存可能会产生难以预料的恶果。西拉德担心，原子核里蕴藏的能量一旦被人类释放出来，就要掉过头来将人类吃掉。

不久，从欧洲大陆传来消息，说纳粹德国已开始注意铀核裂变应用于军事的问题了。再也不能等下去了！爱因斯坦出面给美国总统罗斯福写信，要求美国政府立即组织力量进行原子弹研制。在罗斯福密友萨克斯的再三说服下，罗斯福接受了爱因斯坦的建议，同时揭开了美国制造原子弹的第一页，这也是人类跨进原子时代的第一步。

1939年10月19日，罗斯福下令成立了一个以“S-11”为代号的特别委员会，立即开始进行原子弹的研制。

随着第二次世界大战的激烈进行，美国对研制原子弹的工作也越来越重视。1940年美国政府的经费，到1941年12月便提高到20亿美元。

1942年8月，美国正式制定了研制原子弹的计划，即著名的“曼哈顿计划”。

经过费米等的不懈努力，1945年7月16日，第一颗原子弹，（代号“瘦子”）在新墨西哥州阿拉默多尔空军基地的沙漠里试爆成功，爆炸时飞砂走石，震天撼地。住在离爆炸地点200公里以内的居民，几乎都听见了这声巨响，感到了大地的震撼，也看到了当时空中强烈的闪光。

原子弹的巨大威力，给在场的每一个人都留下了极其深刻的印象，即使像费米那样冷静而理智的科学家也不例外。

原子弹制造的悲剧

早在1945年的春天，曼哈顿计划的科学家就接到了选择投掷一颗原子弹目标的任务。最后确定了日本的4个城市：广岛、新潟、小仓以及京都。后来，由于日本问题专家赖肖尔教授涕泪交加的请求，陆军部长史汀生才将日本的古都京都从死神判决书中勾掉了。对这个城市，美军将不予轰炸，这丝毫不意味着他们的慈悲，而是为了更清楚地了解新式炸弹的破坏力。

从7月26日到8月1日，美国飞机在日本各地散发了300万张敦促日本投降的《波茨坦公告》，还散发了150万张传单，警告日本将受到猛烈的空中轰炸。但日本政府没有要投降的任何迹象，于是美国政府便按原定计划，准备对日本使用原子弹了。

7月16日，“小男孩”的各部件被装上“印第安纳波利斯号”巡洋舰，由它在7月26日运到太平洋提尼安岛的一个空军基地里，在那里被组装成了原子弹。它长3.02米、直径0.74米、重4.4吨，核装料是60千克铀²³⁵，TNT当量约1.4万吨。“印第安纳波利斯号”巡洋舰卸完货后即离去，驶向菲律宾。但在7月30日，它遇到一艘日本潜艇的袭击，结果十分悲惨，巡洋舰连同它上面的900名船员一起沉入海底。此时美国人才发现，这艘可怜的军舰其实是很不适合承担运输原子弹这样的重要任务的，因为它没有声纳装置，并且设计落后，仅一发鱼雷就能将它迅速击沉。

8月5日，由于预报第二天将是个晴天，“小男孩”被吊装上了一架B-29飞机。半夜里，发出了飞行指示，飞机飞上了夜空。

1945年8月6日清晨，日本广岛天气晴朗、气候闷热，居民仍和往日一样生活着。9点钟，一阵空袭警报声过后，3架美国飞机飞入市区上空。由于市民对战争期间的空袭警报已习以为常，也由于这天8点钟，已有过数架美国飞机来过广岛，并未投弹，所以，大部分市民并没有及时进入防空洞躲避，甚至还有人驻足仰望美机在天空飞翔。绝对没有人想到，其中一架飞机上竟装有一颗可怕的新式武器。

9时15分B-29轰炸机的投弹手费雷比少校将视准仪对准了市中心的一座桥正中，并按下了自动装置，带着降落伞的“小男孩”从打开的舱门落入了空中。随即，驾驶员提贝茨上校操纵飞机用了一个155°的急弯，迅速逃离即将发生爆炸的地点。

45秒钟之后，当系在降落伞下的“小男孩”慢慢落到离地面还有600米时，爆炸发生了。先是耀眼的强光一闪，随即是震耳欲聋的爆炸声。紧接着出现一个粗大的尘柱，并急速追赶上升的烟气团，最后两者会合成一股高大的蘑菇云。顷刻之间，广岛市便接着竖起几百根火柱，全市马上沦为炽热的火海。

由于爆炸之后广岛对外界的一切通讯、交通都告中断，所以迟至第二天，日本政府才接到设在广岛的第三军司令部的报告：“敌人使用了具有从未见过的破坏力的炸弹。6日上午9时15分，广岛市在一刹那间，被一颗挂在降落伞下的炸弹全部毁灭了。”

日本军方感到莫名其妙：一颗炸弹怎么能毁掉一座城市呢？真是太不可思议了。于是，有人想到那或许就是原子弹，已有传闻说美国正在研制一种威力强大的新式炸弹，看来这种说法并非无稽之谈。

8月7日上午9时，一位日本军官敲响了西名吉尾教授实验室的门。西名在20年代曾在丹麦原子物理学家玻尔的指导下工作过，他回到日本之后曾建立了一个原子物理学派，是这一领域无可争议的权威。在接到军方的紧急通知后，西名来到劫后的广岛，参加一个调查委员会的工作。

一位在场的军官指着自己半个烧伤的脸说：“炸弹爆炸时，向四面八方射出强烈的闪光，就像太阳落下来一样。接着听见山崩地裂般的震天巨响。再下去就像刮龙卷风一样，所有的房屋都被推倒了。可怕的是，所有露出在外的东西，一刹那间都被那强烈的闪光烧坏了。

我的左脸正好对着那道闪光，当时就感到开水烫在脸上似的剧痛……”

西名看一位受伤的妇女，爆炸时身穿白底黑格子浴衣，背朝爆炸中心，结果，在她背上黑格子下面的皮肤都烫焦了，只有白底下的那部分还有些皮肤，整个背部就像被一块巨大的方格烙铁烫过一样。

西名来到距爆炸中心约200米的地方，捡起一些碎瓦片。量了量它们表面被烧熔的那一薄层的厚度，约在0.1毫米左右。他立即估算出这个地方的温度大约在一千多度，也就是说，爆炸中心的温度应当高达上万度。毫无疑问，毁灭广岛的确是原子弹。只有原子弹爆炸时释放的能量，才能造成如此巨大的破坏。

参与调查的日军参谋本部河边副总参谋长问西名：“你能否提出一个防御新式炸弹的有效方案。”“你们把出现在日本上空的每一架飞机都击落下来就可以了。”学者只能这样回答。

8月9日破晓前，装载有原子弹“胖子”的B-29轰炸机仍在两架观察机的陪同下，从提尼安岛空军基地起飞，“胖子”长3.25米、直径1.52米、重4.5吨，核装料为8千克钚-239，TNT当量约2.2万吨。这次的目标是小仓，可在飞抵小仓上空时，发现根据天气情况目视轰炸不可能进行。于是朝第二目标长崎飞去，飞到长崎时最初发现云雾很重，但后来在云雾中发现了一个窟窿，获得了目视轰炸的机会，从而在长崎演出了广岛之后的又一幕悲剧。

一个月之后，两个遭受原子弹轰炸的城市的伤亡数统计出来了：广岛死伤306545人，长崎死伤138905人！这可说是能源史上最大的悲剧了——人类开发了核能，又利用核能来杀死自己的同类。能源啊能源，什么时候你才能只为人类创造更美好的生活，而不被用于战争杀戮呢？

原子核能的和平利用

1992年11月8日，日本货轮“拂晓丸”离开了法国瑟堡军港码头，缓缓驶向风浪莫测的大西洋深处。伴随在它身边的是一艘武装巡逻艇，上面配备有高射机枪及两架直升飞机。此外，美国的军用卫星对它的航行过程进行同步跟踪，并不时向各地的美国军事基地发出讯号，报告“拂晓丸”的方位。

与此同时，大西洋、太平洋一些沿岸国家，对这艘拒不透露确切航线的货轮未来的行踪深表关注。巴拿马禁止它通过巴拿马运河，马来西亚不准它经过马六甲海峡，智利、南非、印尼、澳大利亚、新西兰命令它远离本国海域……

原来，“拂晓丸”在瑟堡装上了1.5吨具有强烈放射性的钚。这是迄今为止世界上最大的一次放射性物质运输行动。这批钚运回日本后将被用作新一代核反应堆的动力。

大家知道，小小的原子核能释放出无与伦比的巨大能量，核能的威力我们早从原子弹在广岛、长崎的爆炸中就已领教过了。很自然地，第二次世界大战结束之后，一些国家积极开展了原子核能的和平利用。

战后核能的和平利用，主要是在发电上。核能发电的原理，同普通火力发电一样，都是利用热产生蒸汽，再由蒸汽轮机带动发电机旋转，发出电来。所不同只是把锅炉换成“原子炉”，把煤炭或石油换成核燃料，利用核裂变产生热。要将核能转变成电能，关键在于核反应堆，它实际上就是使核裂变的链式反应可以持续进行并为人们控制的一种装置，也就是核发电厂的“原子锅炉”。

1954年6月27日，在莫斯科附近的奥布宁斯克原子能发电站投入运行，标志着人类和平利用核能时代的到来。

奥布宁斯克核电站采用的是热中子反应堆（简称热堆）。这类反应堆是依靠速度大为减慢了的，而又处在热运动情况下的中子轰击铀²³⁵原子核，使其发生链式的裂变反应的。热堆的技术比较成熟，现在世界上的几百座核电站大都采用这种反应堆。我国已在1991年底建成发电的第一座核电站——秦山核电站，采用的也是热堆。

在热堆的炉膛里燃烧的铀燃料，其中只含有百分之几的铀²³⁵，而剩余的百分之九十几是铀²³⁸。这种铀²³⁸就像煤矸石一样，是不能燃烧的“废料”。这么多剩余的铀²³⁸越积越多，最后成了沉重的负担。目前世界各国的核燃

料库房里堆放的铀 238 达几十万吨，仅美国就积存了 20 多万吨。这些既无法利用，又不能丢弃的“废料”可使人伤透了脑筋。

有没有在燃烧过程中不产生“废料”的核技术呢？有。它就是快中子增殖反应堆（简称快堆）技术。在快堆炉膛里烧的燃料是钚 239，也有铀 235，它燃烧后变成钚 239。钚 239 有个奇特的本领，就是每烧掉一个钚 239 原子，便能新生出 1.4 个钚 239 原子。也就是说，快堆运转后经过一段时间，就可以提取出比投进去的还要多的钚 239。

40 年来，美、法、苏、日等国都花费大量人力物力来建造快堆核电站。其中以法国步伐最快。1973 年，法国建成了 25 万千瓦的“凤凰”快堆，至今运行良好。1984 年，法国又建成了 120 万千瓦的“超凤凰”快堆，由于它的外形像个拱顶的教堂，有人戏谑地称之它为“核教堂”。日本对快堆的热情也很高，“拂晓剂”装载的钚燃料正是供快堆使用的。

由于快堆在技术上要比热堆复杂得多，所以仅凭目前人们掌握的技术，要建造容量大的快堆是有一定困难的。估计到下一世纪，快堆的技术将趋于成熟，人们满怀希望地将它称为“明天的核电站锅炉”。

世界核电工业自 60 年代后期进入了快速发展阶段。1970 年，核电还只占世界发电总量的 1.5%。至 80 年代末猛增到 17%。至 1990 年底，世界核电反应堆有 432 座，总装机容量为 32600 万千瓦。有些国家的核发电占发电总量的比例很高，如匈牙利、比利时分别为 51% 和 60%，法国竟达 75%。

科学界对核能发电推崇备至。一是燃料轻便，利于运输。拿我国华东地区来讲吧，目前有 58% 的火车车皮用来装煤。1 座 100 万千瓦的火电站，每天要燃煤 1 万吨，而同样发电量的核电站每年仅需 30 多吨核燃料，不到一个车皮就可装走。二是它还是最干净的能源。它既不产生烟尘，又不产生废气。人们担心的放射性问题上并不存在，一般人从大自然中每年至少要接受大约 100 毫雷姆的辐射剂量，而核电站周围居民，从核电站接受的放射性剂量每人每年仅 1~2 毫雷姆，对人体不存在什么危害。尽管如此，核电站在人们心目中的形象，却是不怎么美好的。

1979 年 3 月 28 日，美国的三里岛核电站，由于操作失误和设备失灵发生了严重的事故。但是由于核反应堆的停堆系统、应急冷却系统和安全保护壳等安全措施发挥了作用，并没有对环境和居民造成危害和伤亡。这恰恰说明了，现代科技有能力防止核事故的发生。

1986 年 4 月 26 日，苏联切尔诺贝利核电站发生了严重的爆炸事故，致使厂房破坏，巨量的放射性物质随着气浪抛向天空，向周围扩散蔓延，附近的居民受到核辐射的伤害，有 237 人伤势严重，28 人很快死亡，24 人严重残废。这使它成为当代能源史上的重大事件。

尽管事后的调查表明，切尔诺贝利灾难的发生，除设计上的原因外，主要是由于管理混乱。可它对人们心理上的冲击还是巨大的，以至时隔 6 年半之后，人们还将“拂晓丸”称为“飘浮的切尔诺贝利”，为之惊惶失措。今天，切尔诺贝利灾难已成了世界核安全研究的教科书，它提醒人们：在开发、利用新能源的同时，千万别忽略了安全。

“热核反应”的探索

1927 年的一个夏日，在德国的小城哥廷根的恩塔河畔浓郁的林荫下，奥

古斯塔大学的两位学生——奥地利人豪特曼斯和英国人阿特金逊，正在讨论一个问题：高悬在头顶上的太阳为什么亿万年来发光不息？

其实，关于这个问题，早就有许多人探讨过。有人曾假设太阳是一只硕大无比的煤炉，在它上面进行着燃烧的化学反应：碳和氧化合生成二氧化碳，并放出热量。如果真是这样的话，整个太阳全部烧完也只能烧几千年。可是根据天文学家估计，太阳的年龄已有 50 亿岁左右。显然，这种假设是站不住脚的。

这两位大学生都是学原子物理的，这使他们能从一个崭新的角度去认识太阳发光的老问题。他们认为，太阳中含有大量氢，还有不少氦，要解开太阳能长期发光之谜，还要从这两种元素身上打主意。

太阳的表面温度有 6000℃，在它的中心处，温度更高达 2000 万摄氏度；太阳上的压力也高达 80 万大气压，连气体也被压缩成 7 倍于铅密度。两位大学生认为，在这种情况下，氢、氦和其他较轻的元素的原子中的电子，早就脱离了原子核的束缚，跑到原子外面去了。

赤裸裸的原子核在如此高的温度和压力下狂飞乱舞，彼此的碰撞势必十分激烈。这些较轻的原子核通过碰撞，会聚合成较重的原子核，在这过程中，发生质量亏损，即聚合成的中等质量的原子核质量稍小于参加聚合的两个轻原子核的质量之和，这少掉的一点点质量转化成能量，以辐射的形式释放出去。

这“一点点”实在不能小看。

根据爱因斯坦关于质量能量转化的公式计算，这种能量大得惊人。

由于这种较轻原子核聚合成较重原子核的反应，是在高温条件下进行的，两位大学生把它称为“热核反应”，又称作“聚变反应”。他们认为，正是这种热核反应，才使太阳发出经久不息的热量。

10 年之后，由于原子核研究的飞速发展，他们的理论已经获得了公认。1937 年，已加入了美国籍的德国物理学家贝特提出，太阳上的热核反应是氢聚合成氦。根据估计，太阳上的热核反应还能维持 50 亿年左右。

在太阳系的另外一个星球——地球上能不能发生这样的热核反应呢？

在地球上能够产生聚变反应的较轻的元素有好多种，其中最主要的是氢的同位素重氢。虽然重氢在氢元素中只占六千分之一，可地球上到处都有水和空气，尤其是水中有大量的氢元素，因此，重氢并不缺乏。

尽管这样，地球不可能像太阳那样成为一个火球，因为聚变反应需要上千万度的高温，地球上不可能有这样的高温。

德国物理学家、诺贝尔奖获得者尼恩斯特松了一口气：“可以说，我们是生活在用火棉做成的岛上。但是，感谢上帝，我们现在还没有找到能够点燃它的火柴。”

如果人类造出了这样一根火柴，情况又会怎么样呢？这个问题在 1942 年，被匈牙利物理学家特勒提了出来。

1942 年的夏天，美国的“原子弹之父”奥本海默组织了一个专门小组，探索制造原子弹的各种途径。该小组在伯克利的加利福尼亚大学里进行讨论，此时大学生正在进行休假或军训，因此，参加讨论的 7 名科学家实际上占用了整个大学校园。

一次，特勒提出一个可怕的问题：当原子弹爆炸时，它的中心温度极高。这么高的温度会不会使周围空气和水中包含的氢发生聚变反应？如果这种反

应能发生，而且也是一种链式反应的话，那么，地球上的空气和水岂不是都要发生聚变反应，把整个地球变成一个燃烧着的星球了吗？

特勒的想法真是骇人听闻，震惊了科学精英们。“不大可能吧？不过，这问题得慎重研究一下。”于是，为慎重起见，特勒的想法被作为一个专门问题，交给一些物理学家去研究。研究结果表明，这样的可能性是不存在的。

不过，此后在特勒的脑中却滋生了一个想法：利用原子弹爆炸所产生的高温，制造一种“热核炸弹”。在这里，原子弹将起一“火柴”的作用，不过点燃的不是地球这个“火棉岛”，而是一种威力比它更大的超级炸弹。

7年后，特勒开始将他的想法变成现实。1949年11月，在美国西部的小城利弗莫尔，建立起了原子能委员会的热核实验室。特勒被任命为这个实验室的主任，这使他日后获得了“氢弹之父”的称呼。

新型氢弹试验

在浩瀚的太平洋西部，有着一个由1190个大大小小的珊瑚礁组成的链岛——马绍尔群岛。这不为人瞩目的群岛命运多舛，四度易主。而最后一次的易主，使马绍尔群岛声名大振。

1952年10月份，几千名美国科学家、工程师、机械师、陆海军官兵、政府官员陆续来到了马绍尔群岛的恩托威克岛，他们不是到这些迷人的珊瑚礁上来领略海风、接受阳光的，而是要来目睹一场毁灭生灵的试验——美国的第一次氢弹试验将在这里进行。

在离恩托威克岛75公里的艾路基拉伯小岛上，建立了一座庞大的防护建筑物。刚出世的“麦克”——这是那颗氢弹的绰号，静静地躺在那里。这初生的“婴孩”重达62吨，非常笨重。实际上，它是由3种炸弹组合而成的。外面是氢弹，填装的是热核炸药重氢；里面是原子弹，装的是核炸药钚²³⁵；还有一颗是装有TNT的普通炸弹。

爆炸时，先引爆普通炸弹，用以引发原子弹爆炸。当原子弹爆炸时，产生几千万度的高温，这就引起重氢的聚变反应，造成氢弹爆炸。

11月1日清晨，“麦克”猛烈地爆炸了，所有不祥的预言也都应验了：火球腾空升到了10000米的高空，巨大的火球直径达6500米。当火球刚刚消失，巨大的蘑菇状烟云急速翻卷着直冲九霄的时候，在远处观察飞机上的科学家发现艾路基拉伯岛消失了。岂止这样，以后的检查证明，在原来的小岛位置的海下，形成了一个约2000米直径、50米深的大坑。爆炸的力量也很快测算出来了，相当于约1000万吨TNT爆炸时的能量。这一数字是投在广岛那颗原子弹的数百倍。这完全是出乎意料之外的。

默默无闻的马绍尔群岛一下子出了名，但人们被告知，请您在地图上永远抹去艾路基拉伯岛。以后，它就只留在了人们的记忆中。

氢弹刚问世时，是一个令人望而生畏的巨物，连当时最巨型的轰炸机也无法运载，这使它失去了实践意义。后来经过努力，才实现了氢弹的小型化。1966年1月15日，美国的一架B-52战略轰炸机在西班牙上空与加油机相撞坠毁，机载的4颗氢弹中，有1颗掉进海里，另3颗失落在山地上。一位农民发现了一个外壳在燃烧的银白色雪茄形物体，不知它是什么东西，勇敢地上去踹了几脚，用土将火盖灭了。事后他才知道，他踹的这个怪东西是一颗当量为2000万吨TNT的氢弹！可是，虽说这东西的爆炸力比“麦克”要大上

一倍，但仅有 1270 千克重，只是“麦克”的 1/50。

马绍尔群岛上空的蘑菇云消失后不过一年半，另一次氢弹试验又将开始。这是颗新式的“三级效应炸弹”，当量约 2000 万吨 TNT。

炸掉艾路基拉伯岛的氢弹可以称为“二级效应炸弹”，即最初是原子燃料爆炸，再加上由它所引起的周围热核燃料的爆炸，这就能够大大地加强爆炸的效应。如果这样的炸弹外面再加上一层原子燃料，则会再增加一级效应而成为三级效应炸弹。这种“裂变—聚变—裂变”型的炸弹可视作为一种改进后的新型氢弹。

中国人有“后羿射日”的神话，说那时天上 10 个太阳一齐升起，照遍大地的每一个角落，整个大地一片光亮，绝没有阴影。希腊人有“太阳神出巡”的神话，说阿波罗驾着他的金马车出外时，金灿灿的光芒从天顶直射下来，使人无法逼视。如果这些神话的作者能在公元 1954 年 3 月 1 日的马绍尔群岛去看一看的话，就会感到自己的想象力是如何的贫乏了。

3 月 1 日上午 8 时，已升到半空的太阳将灿烂的光芒洒向广漠的太平洋，洒在马绍尔群岛比基尼珊瑚礁群上，使之蒙上了一层瑰丽的金色。

似乎是要与太阳媲美，比基尼上空腾升起了更为灿烂的火球。火球翻滚直上数十公里的高空，发出的光芒压过了太阳光，俨然是一个人造太阳，不，简直是一个比太阳亮上 10000 倍的人造太阳！

新型氢弹试验那天，日本的“幸福龙 5 号”正在邻近海域捕鱼。他们没有接到任何警告。这不是试验者的疏忽，因为此地离爆炸地点有 220 公里之遥，且处于天气预报中的上风位置。

“天有不测风云”，虽然天气预报反复验证过，但实际风向完全相反。日本渔船上被覆盖了一层从晴朗的天空突然落下的“大雪”，船上的 23 名渔民马上就感受到了这“大雪”的危害。等他们在 3 月 14 日回到自己的港口烧津港时都已病倒并被痛苦折磨得奄奄一息。在被送到医院后，渔民才知道这场突如其来的风雪实际上是放射性微尘的雨。

渔船报务员久保山在几个月后死去了，其他的渔民也将在以后的岁月中一个个死去。继广岛之后，美国人又在日本人身上创造了一项第一——氢弹的第一批牺牲者。

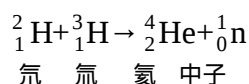
1961 年 10 月 30 日，苏联在北冰洋的新地岛上进行了世界上最大的热核试验，其爆炸威力相当于 6000 万吨 TNT，它所产生的冲击波绕地球转了 3 圈。还有更厉害的，苏联人还宣布他们已能生产 1 亿吨级的氢弹，它落地后能炸出一个直径 30 公里的弹坑，使方圆 60 公里之内片瓦无存。好家伙，胆小的人听了这话恐怕会吓得晕死过去。

取之不尽的“海水燃料”

如果说原子弹是通过重核裂变形成较轻的原子核而释放出核能，那么氢弹则是利用轻的原子核聚变，形成重核而释放出核能。核聚变反应释放出来的能量要比核裂变的更大。

选择什么原料来进行核聚变反应，这一点目前已不成问题。我们知道，原子核之间的静电斥力大小与它们所带电荷的乘积成正比，因此原子核的原子序数愈小，将它们进行聚变时所需要的功能就愈小。所需的温度也就越低。考虑到这一点，人们毫不犹豫地选中了氢为核聚变材料。氢有 3 种同位素，人们发现，氘（重氢）要比普通氢容易进行聚变；氚（超重氢）比氘更容易进行聚变。在这种情况下，用氘和氚作为核燃料进行聚合反应是最容易实现

的一种热核反应。



人们之所以将核聚变炸弹叫做“氢弹”，原因就在于这些炸弹中的核装填原料都是氘和氚。

可惜的是，氢弹中的核聚变反应释放的巨大能量，是在几百万分之一秒的瞬间发生的。

这样快速的能量释放，除了用于爆炸外，毫无其他用途。能不能像费米当年控制核裂变反应那样，设计一种反应堆，使聚变反应的能量也可以一点一点释放出来，而不是一下子释放出来呢？

要想实现核聚变，首先必须使原子核之间的距离缩小到 10^{-15} 米，就是说，使原子核接近到核力能够发生作用的范围内。但是，由于原子核都带正电，原子核之间存在着很大的静电斥力，要使它们接近到这种程度，就必须让参加聚变反应的原子核先获得足够的动能，这才能克服其间的静电斥力，使它们相互接近到可以发生反应的程度。

可是，要使这些很轻的原子核获得很大动能，就要施加极高的温度。1944年，费米曾估算出，要使氘和氚的混合气体实施聚变反应，其点火温度至少要达到五千万度，而如纯粹由氘来实现聚变反应，点火所需温度则高达四五亿度。

在如此高的温度作用下，氘会被电离。原来在氘核外运转的电子已经完全脱离了原子核的束缚，原来中性的氘，现在分离成了带正电和带负电的粒子组成的特殊气体，人们把这样的东西叫“等离子体”。它是除气态、液态、固态之外的物质的第四态。

那么，怎样防止这种处于“等离子体”状态的带电粒子四处飞散开来呢？人们利用带电粒子在磁场中运动时，会受到磁场力的作用而绕着磁感线作螺旋式运动这一点，设计了一个特殊的磁瓶。它的轴向有一个强大的均匀磁场，它的磁感线都与轴平行，带电粒子在这个磁场里运动时，都绕着磁感线沿螺旋线形状的轨道运动，带正电的沿顺时针方向转，带负电的沿逆时针方向转。

由于带电粒子运动速度非常快，为防止它们从管子两端溜出来，人们又在管子两端各加上一个线圈，使两端的磁场大大加强。带电粒子走到那里就会被强大的磁场反射回来。这样，等离子体就被“关”在磁瓶里了，以便按需要进行核聚变反应。

怎样才能实现受控核聚变呢？科学家总结出需要3个条件：一是要把氘和氚加热到上亿度的高温，使核聚变燃料呈等离子体状态，也就是说燃料全部变成电离了的气体；二是等离子体粒子（包括离子、电子和中性粒子）密度达到每立方厘米100万亿个之多；三是能量约束时间，即将等离子体强行“关押”在磁瓶中的时间超过1秒。有了这3个条件，点火后，只需补充少量的，如1克的燃料，反应即可继续进行下去。

50年代以来，科学家们为创造这样的条件做了大量工作。1969年，苏联使用“托卡马克3号”环流器，把密度只有空气百万分之一的氘在几千万度的高温下保持了0.01秒。别看这个时间很短，对核聚变反应来说，已经是相当长了。1978年，美国普林斯顿大学等离子体物理实验室的大型环流器，用注入高能中性粒子束的方法加热等离子体，大大提高了等离子体的温度，使很多研究者受到极大的鼓舞。1984年9月，中国建在四川乐山的“中国环流

器 1 号 ” 实验装置顺利启动，也说明了中国对这一研究的关注。

1991 年 11 月 9 日，一条喜讯传到了世界各个实验室：这天，在英国牛津附近的欧洲联合核聚变实验室，在人类历史上第一次实现了受控核聚变。他们用的燃料是氘和氚的混合物，其中氘占 84%，氚占 14%。这次试验用环形装置磁场约束等离子体的时间持续了 2 秒钟，等离子体的温度已达 2.38 亿摄氏度，相当于太阳中心温度的 20 倍，产生了约 1.7 兆瓦的电能。

3 年后，1993 年 12 月 10 日，一条短短的消息，又使国际科学界欢欣鼓舞：美国普林斯顿大学等离子体物理实验室的科学家从 12 月 9 日深夜至 10 日下午的短短十几个小时内，连续两次打破了受控核聚变反应产生能量的世界记录。美国科学家重复进行了 4 次实验，数据表明，第一和第四次实验产生的电能分别达到了 3 兆瓦和 5.6 兆瓦。

中国权威的新闻机构新华社在播发这条消息时，还用了“两破核聚变能量记录，和平利用核能大突破”的醒目标题。

虽然“突破”不等于“完全胜利”，但受控核聚变终于显露出了希望的曙光。已有人在迫不及待地扳指头算帐了：世界上所有的天然水里都有氘，但用它来发生核聚变反应可放出的能量达 10^{10} 焦耳，竟和 300 升汽油燃烧产生的能量相同！

取之不尽的“海水燃料”比核裂变更加可靠、污染危险小，可以使这个世界变得更加洁净、明亮。

核电池的应用

在茫茫宇宙深处，“旅行者 1 号”、“旅行者 2 号”飞船就像汪洋中两条孤独的小船，悠悠飘荡。这两艘无人飞船是美国于 1972 年发射的星际探测船，它们先后飞掠过木星、土星，于 1990 年飞出太阳系，进入宇宙深处，继续它们无尽头的旅行。据计算，到公元 4000 年时，“旅行者 1 号”将从鹿豹座一颗恒星旁掠过；公元 3580 年时，“旅行者 2 号”将接近到距天狼星仅 0.8 亿光年处。

这两艘飞船的外表是个 10 棱柱体，顶部有一个直径为 3.7 米的圆形抛物面天线，还有两根鞭状天线。在它们的舱内有一张直径为 30.5 厘米的镀金铜唱片，它能在宇宙中保存 10 亿年。

这张唱片是一张向陌生的外星人作介绍的“地球名片”，整张唱片可播放约 1.5 个小时，除了开头一小段是美国总统卡特代表“地球人”给“外星人”的致词外，还有包括我国南方 3 种方言在内的 60 多种语言的问候词，还有地球上的各种自然声响及包括中国古筝名曲《高山流水》在内的一些世界名曲。

目前宇宙载人航行通常采用氢-氧燃料电池为能源，它除了能得到需要的电能外，还可以得到供人饮用的水，这对航天旅行来说，是一种宝贵的副产品。但是，燃料电池的自重偏大，使用寿命相对短，不能想象它们可用上几十、几百年。

航天器上采用比较多的能源还有太阳能电池。然而，当航天器运行到地球背面，或在月球上漫长的黑夜（一个“月夜”相当于地球上的 14 个昼夜），或在向远离太阳的其他星球飞行中，太阳能电池根本就无法工作。

人毕竟是一种高度发达的、聪明的生灵。“旅行者号”飞船用的都是“核

电池”，也被人叫做“放射性同位素温差发电器”或“原子能电池”。这种温差发电器是由一些性能优异的半导体材料，如碲化铋、碲化铅、锗硅合金和硒族化合物等，把许多材料串联起来组成。另外还得有一个合适的热源和换能器，在热源和换能器之间形成温差才可发电。

核电池的热源就是钚²³⁸、铯⁹⁰、钴⁶⁰等放射性同位素。它们在蜕变过程中会不断以具有热能的射线的形式，向外放出比一般物质大得多的能量。这种很大的能量有两个令人喜爱的特点。一是蜕变时放出的能量大小、速度，不受外界环境中的温度、化学反应、压力、电磁场的影响，因此，核电池以抗干扰性强和工作准确可靠而著称。另一个特点是蜕变时间很长，这决定了核电池可长期使用。

核电池的核心是换能器。目前常用的换能器叫静态热电换能器，它利用热电偶的原理在不同的金属中产生电位差，从而发电。它的优点是可以做得很小，只是效率颇低，目前热利用率只有10%~20%，大部分热能被浪费掉。

在外形上，核电池虽有多种形状，但最外部分都由合金制成，起保护电池和散热的作用；次外层是辐射屏蔽层，防止辐射线泄漏出来；第三层就是换能器了，在这里热能被转换成电能；最后是电池的“心脏”部分，放射性同位素原子在这里不断地发生蜕变并放出热量。

第一个核电池是在1959年1月16日由美国人制成的，它重1800克，在280天内可发出11.6度电。在此之后，核电池的发展颇快。1961年美国发射的第一颗人造卫星“探险者1号”，上面的无线电发报机就是由核电池供电的。1976年，美国的“海盗1号”、“海盗2号”两艘宇宙飞船先后在火星上着陆，在短短5个月中得到的火星情况，比以往人类历史上所积累的全部情况还要多，它们的工作电源也是核电池。因为火星表面温度的昼夜差超过100℃，如此巨大的温差，一般化学电池是无法工作的。

大海的深处，也是核电池的“用武之地”。在深海里，太阳能电池根本派不上用场，燃料电池和其他化学电池的使用寿命又太短，所以只得派核电池去了。例如，现在已用它作海底潜艇导航信标，能保证航标每隔几秒钟闪光一次，几十年内可以不用换电池。人们还将核电池用作水下监听器的电源，用来监听敌方潜水艇的活动。还有的将核电池用作海底电缆的中继站电源，它既能耐五六千米深海的高压，安全可靠地工作，又少花费成本，令人十分称心。

在医学上，核电池已用于心脏起搏器和人工心脏。它们的能源要求精细可靠，以便能放入患者胸腔内长期使用。以前在无法解决能源问题时，人们只能把能源放在体外，但连结体外到体内的管线却成了重要的感染渠道，很是使人头疼。现在可好了，眼下植入人体内的微型核电池以钽铂合金作外壳，内装150毫克钚²³⁸，整个电池只有160克重，体积仅18立方毫米。它可以连续使用10年以上，如换用产生同样功率的化学电池，则重量几乎与成人的体重一样。

你完全不必担心埋植在体内的核电池影响身体健康。国际放射防护委员会规定的允许辐射剂量为每人每年500毫雷姆。带夜光手表一年接受的辐射剂量为1毫雷姆；进行一次心肺透视为40毫雷姆。植入核电池的人体一年内所接受的辐射总剂量只相当于进行一次胸部X光透视的剂量，这当然是十分安全的。

燃料电池

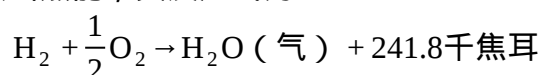
燃料电池虽然是电池家族的成员，然而它与干电池、蓄电池都不同。它的化学燃料不是装在电池的內部，而是储存在电池的外部，可以按电池的需要，源源不断地提供化学燃料，就像往炉膛里添加煤和油一样，所以人们将它称为燃料电池。

实际上，燃料电池能把燃料所具有的化学能连续而直接地转变成电能，其发电效率比现在应用的火力发电还高。因此，将它称为“新型发电机”似乎更合适些。但它又比一般的发电机优越，在发电的同时还可获得质量优良的水蒸气。也就是说，燃料电池既能发电，又可供热，因而其总的热效率可望达到 80%。

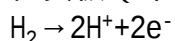
燃料电池的原理早在 100 多年前就被人们发现了。后来到 1932 年，科学家在理论上进行了论证，为研制现代燃料电池打下了基础。1958 年，燃料电池便正式问世了。它的输出功率为 5 千瓦，工作温度为 200℃，所产生的电力足以开动风钻和电车。60 年代，燃料电池作为“阿波罗”等宇宙飞船的电源，为宇宙开发立下汗马功劳。近年来，能输出直流电 4.8 兆瓦的燃料电池发电厂的试验已获成功，人们正在进一步设计 11 兆瓦的燃料电池发电厂。

燃料电池在结构上与蓄电池相似，也是由正极、负极和电解质组成。正极和负极大都是用铁和镍等惰性、微孔材料制成。从电池的正极把空气或者氧气输送进去，而从负极将氢气、碳氢化合物、甲醇、甲烷、天然气、煤气和一氧化碳等气体燃料输送进去。这时，在电池内部气体燃料和氧发生电化学反应，于是，燃料的化学能便直接转变成了电能。

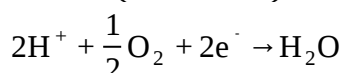
燃料电池的电化学反应原理是，氢气与氧在 25℃ 发生氧化反应，生成水并放出热能，其反应式为：



在负极（即氢电极）上：



在正极（即氧电极）上：



作为燃料的氢在负极上与电解质一起进行氧化反应，生成带正电的离子（ H^+ ）和带负电的电子（ e^- ）；而电子通过外电路跑到正极上，与作为氧化剂的氧和电解质一起进行还原反应，最后生成带负电的离子。带电正离子和负离子在电解质中结合而生成水蒸气。因此，只要不断地把燃料供给电池，并及时把电极上的反应产物和废电解质排走，就能源源不断地提取电能和水蒸气。

燃料电池与一般的火力发电相比，具有以下优点：

一、发电效率高，而且稳定。一般的火力发电的能源转换效率只有 30% ~ 40%，而燃料电池在所有发电装置中转换效率是最高的，目前已达到 50% ~ 70%，预计将来可达到 80%。

二、工作可靠，也不产生污染和噪音。燃料电池在反应过程中只产生水蒸气，所以不会污染环境。由于它没有运动部件，自然不会产生噪音。

三、使用方便，电损耗低。燃料电池可以安装在用户跟前，既简化了输

电设备，又降低了输电线路的电损耗。

四、建发电站用的时间短，而且还可根据需要随时扩大规模。燃料电池本身是由模式组合件构成的，几百千瓦的发电部件可以预先在工厂里做好，然后再把它运到燃料电池发电站去进行组装。因此，可大大缩短建站时间，而且电站规模可随着电力需求量的增加而不断扩大。

五、它的体积小、重量轻、使用寿命长，单位体积输出的功率大，可以实现大功率供电。

目前，燃料电池主要在宇航工业、海洋开发和电气货车、通讯电源等方面得到实际应用。例如，美国的一艘潜艇用肼燃料电池代替铅蓄电池后，潜水时间增加了 3 倍。

美国在 70 年代初期，建成了一座 1000 千瓦的燃料电池发电装置。随后，这套发电装置并入电网运行，成功地运行了 1000 多个小时。目前，美国的一些住宅区和商业区已开始用上 40 千瓦的燃料电池。这种电源装置结构简单，使用维修方便，又不污染环境，因而很受用户欢迎。日本也在研制燃料电池，并在 80 年代初研制成功 0.48 万千瓦的磷酸电解质电池。

现在已研制出一种新型高效能燃料电池，不仅价钱便宜，而且体积小，重量轻，污染少。这种由片状陶瓷制成的新型燃料电池，它的每个陶瓷片都由几层陶瓷组成。在陶瓷层间有许多微小的小三角形通道，燃料和空气分别从这些通道中流过，并穿过陶瓷薄壁而相互进行电化学反应。这种燃料电池的工作温度高达 $800 \sim 1000$ ，足以将所有的轻质碳氢燃料分解成有用的氢和一氧化碳。这样，像汽油、酒精、煤气等都可作为这种燃料电池的燃料，从而扩大了它使用燃料的范围。

目前，这种高效能的燃料电池还处在研制阶段。人们预计，用来推动汽车的小型陶瓷燃料电池将会在 21 世纪初得到实际应用。它的大小与现在汽车上的大蓄电池相似，可以输出 50 千瓦电力，供开动车辆使用。预计，这种新颖的陶瓷燃料电池还将在许多方面发挥作用。

前途广阔的人造能源

1988年初，北京煤炭利用研究所研制的易燃煤饼，已跨洋过海，远销美国等一些国家。这种煤饼用一根火柴即可点燃，而且无烟、无味、燃烧时间长，热量大，因而受到用户的欢迎。易燃煤饼实际上是一种用化学合成方法生产的人造能源。这种人造能源是继初级能源、第二能源之后出现的第三能源。

近年来，由于煤、石油等常规能源的供应日趋紧张，因而使人造能源得到了迅速的发展。现在，它已成为能源大家庭中的一位新成员。

有一种叫做“六甲四固体燃料”，就是用化学合成方法制成的一种人造能源。它的主要原料是六亚甲基四胺和液氨，所以简称“六甲四固体燃料”。这种燃料一般压成块状使用。它在燃烧时所产生的热值比一般煤炭几乎高出1倍，火焰温度可达730℃，而且燃烧时不产生烟灰，不放出有毒气体，不污染环境，燃烧后也不留灰渣，可以说是一种清洁而又效能高的燃料。然而，它最使人感兴趣的是耗用量小。例如，一个三口人的小家庭，每天三顿饭只需用200克的六甲四固体燃料，1个月所用的燃料，相当于几包盒装饼干那样大，搬运、使用非常方便。

工业下脚料如锯末、麦糠、酒渣和农作物收获后剩下的秸秆、稻草等，都是生产人造能源的好原料，而且来源很广。通常，将它们炭化或粉碎后，加入少量的六亚甲基四胺，就可制成块状、球状或蜂窝状的秸秆固体燃料。它燃烧时放出的热量与煤相当。但它使用方便，用火柴就可点燃，而且燃烧时无烟，无味，燃烧后留下的残渣也很少。

我国西北农业大学研制成一种将作物秸秆加工成固体燃料的成型机。这种机器能把麦草、玉米秆等加工成蜂窝煤状、球状、棒状等各种固体燃料，可大大提高燃料的热效率，比一般木材耐烧。一些专家认为，这种作物秸秆固化成型机能改变农村生活用能方式，有着广阔的发展前景和重要的推广价值。由这种机器加工成固体燃料，实际上是一种生产方法较简单的人造能源。

六甲四固体燃料和秸秆固体燃料，是崭露头角的两种新型燃料。在不远的将来，它们将会成为广泛使用的一种现代化燃料。点燃这两种固体燃料，需要使用专门制造的固体燃料灶具。这种灶具，容易点燃和熄火，而且起火快，火力旺，火焰能随时调大调小，还不产生烟和气味。在火力大小、使用方便和清洁卫生方面，它可以和现代的电灶、微波灶、红外灶媲美。

这种固体燃料灶具，制造方便，成本较低，仅为石油液化气灶成本的1/10。它的体积小，容易搬运，也是野炊用的理想灶具。

制造固体燃料用的六亚甲基四胺，一般中小型化工厂都可生产，原料来源也比较丰富。它是采用甲醇、水、空气和氨合成的。有些生产合成氨的氮肥厂，将设备改造一下，就可生产甲醇和氨，再增加些简单设备，就能生产六亚甲基四胺和固体燃料了。由此可见，将来氮肥厂兼营固体燃料或者转产固体燃料，当是一条前途光明的捷径。

现在，人们的生活越来越丰富多采，然而每天消耗在演奏“锅、碗、瓢、盆交响曲”的时间却有点过长了。有了这种使用简便、清洁卫生的人造能源，就能将人们从繁忙的家务劳动中解放出来，特别是生活在广大农村的人们，都盼望着这一天早日到来。

海洋能的利用

辽阔而浩瀚的海洋，不仅使人心旷神怡，而且使人迷恋和陶醉。然而，大海最诱人的地方，还在于它蕴藏着极为丰富的自然资源和巨大的可再生能源。那波涛汹涌的海浪，一涨一落的潮汐，循环不息的海流，不同深度的水温，河海水交汇处的盐度差……都具有可以利用的巨大能量。另外，从占地球表面积约 70% 的海水中，还可以取得丰富的热核燃料和氢。

海洋能主要来源于太阳能，其他则是由于地球与别的天体相互作用而产生的。它的分布地域广阔，能量比较稳定，而且变化有一定规律，可以准确预测。例如，潮汐的变化有一定的周期性，海水温差和海流随季节而变化。

目前，世界各国有关海洋能源的研究和利用还处于初始阶段，因而海洋能属于有待开发利用的新能源行列。其中，对于潮汐能的开发技术较成熟，已进入技术经济评价和工程规划阶段；波浪能的利用处于试验研究阶段；海洋热能的利用正在进行工程性研究；海流和盐度差能的利用，仅处于原理研究阶段。

我国海洋能资源非常丰富，而且开发利用的前景广阔，如果将我国的海洋能资源转换为有用的动力值，至少可达 1.5 亿千瓦，相当于我国目前电力总装机容量的 2 倍多。在海洋能的开发利用方面，当前我国还仅仅处于起步阶段，一些沿海地区先后研制成了各种试验性的发电装置，并建成了试验性的潮汐电站等，为今后进一步开发利用海洋能源打下了基础。

全世界海洋能的总储量，约为全球每年耗电量的几百倍甚至几千倍。这种海洋能是取之不尽、用之不竭的新能源，它将在造福于人类方面，发挥重要的作用。

海洋潮汐发电

一望无际，水天相连的海面总是会波涛汹涌、巨浪此起彼伏。奔波不停的海水，时进时退。海水这种按一定时间作的有规律的涨落运动有些像人类进行的呼吸。这就是人们常说的潮汐现象。

海洋的潮汐，是由于月亮、太阳对地球上海水的吸引力和地球自转而共同引起的海水周期性、有节奏的垂直涨落现象。通常，将海水白天涨落叫“潮”，晚上涨落叫“汐”，合称为“潮汐”。由于月亮离地球较近，它对海水的吸引力约为太阳的 2.17 倍，因此，月亮对海水的吸引力是产生潮汐的主要原因。潮汐每天发生，循环不已，永不停息。

潮汐中隐藏着巨大的能量。在涨潮的过程中，汹涌而来的海水具有很大的动能，随着水位的上升，动能转化为势能；在落潮的过程中，海水奔腾而去，水位渐低，大量的势能又转化为动能。海水在涨落运动中所包含的大量动能和势能被称为潮汐能。

海水的潮汐能是非常大的。潮汐涨落形成的水位差一般仅几十厘米，但在喇叭状海岸或河口的地区，潮差就比较大。例如，加拿大的芬地湾、法国的塞纳河口，我国的钱塘江口，英国的泰晤士河口、巴西的亚马孙河口、印度和孟加拉国的恒河口等，都是世界上潮差较大的地区。其中芬地湾的潮差最高达 18 米，是世界上潮差最大的地方。

海水潮汐能的大小随潮差而变，潮差越大，潮汐能也越大。据初步估计，

全世界海洋蕴藏的潮汐能约有 27 亿千瓦，每年的发电量可达 33480 万亿度。所以，人们将潮汐能称为“蓝色的煤海”。目前，世界上许多国家都建造了潮汐发电站，如法国、英国、美国、加拿大等，其中以法国的朗斯潮汐电站为最大，它的总装机容量达 24 万千瓦。

潮汐发电的主要优点是：“首先，它不用占耕地，也不用淹没大量良田；其次，它不受气候条件影响，又不会造成环境污染；再次，潮汐电站的堤坝较低，容易建造，投资也较少。

潮汐能是一种非常丰富的天然能源，有待于我们的进一步开发利用。相信不久，潮汐电站会像明珠一样镶嵌在世界各地的河口和海湾上，点缀着美丽的大海，同时又为人类造福。

海浪发电技术

如果说潮汐象征着海洋在不停地进行“呼吸”，那么海浪应该是海洋时刻跳动不息的强劲的脉搏。大海从未有过片刻的平静，无风时微波荡漾，有风时巨浪拍岸。

海浪的高度一般虽然超不过 20 米，可是它冲击海岸时却能激起六七十米高的浪花。这浪花曾将斯里兰卡海岸上一个 60 米高处的灯塔击碎，也曾把法国契波格海港的 3 吨半重物抛过 60 米的高墙——海浪蕴藏着巨大的能量。据测试，海浪对海岸的冲击力每平方米达 20 吨~30 吨，最大甚至达 60 吨。因此，人们早在几十年前就开始研究海浪能的利用了。全世界所具有的海浪能高达 25 亿千瓦，与潮汐能相近。

1964 年，日本制成了世界上第一个海浪发电装置——航标灯。虽然这台发电机发电的能力仅 60 瓦，只够一盏灯使用，它却开创了人类利用海浪发电的新纪元。

利用海浪发电，既不消耗任何燃料和资源，又不会产生任何污染，因而是一种干净的发电技术。目前，世界上已有几百台海浪发电装置投入运行，但它们的发电功率都较小，需要进一步开发利用。海浪能是人们可以从海洋中获得的重要能源，也是一种急待开发利用的现代新型能源。

海水盐差发电

我们都知道，海水里面溶化了不少矿物盐。因此，有一种苦咸味，这给海上生活的人们用水带来了一定的困难。然而，这苦咸的海水可以用来发电，你知道吗？

在大江大河的入海口，即江河水（淡水）和海水（咸水）相交融的地方，淡水和咸水就会自发地扩散、混合，直到两者含盐浓度相等为止。在混合过程中。含盐浓度高的海水以较大的渗透压力向淡水扩散，而淡水也以较小的渗透力向咸水扩散。这种渗透压力差将产生能量，称为海水盐浓度差能，或者叫做海水盐差能。

实验表明，许多江河入海口处的海水渗透压力差相当于 240 米高的水位落差。在约旦河流入死海的汇合处，海水盐差更为可观。

海水盐差能是由于太阳辐射热使海水蒸发后浓度增加而产生的。被蒸发出来的大量水蒸气在水循环过程中，又变成云和雨，重新回到海洋，同时放

出能量。据计算，全世界的海洋盐差能资源高达 30 亿千瓦。

如何利用如此丰富的海水盐差能呢？人们设想了利用化学中浓差电池的原理，以电化学的方法把盐差能转换成电能的办法。根据这种电池的原理，只要有大量浓度不同的海水和淡水相混合，就可以释放出巨大的能量来。但是，这种方案实现起来有许多技术问题，一时还难以解决。所以，这种发电办法目前在实际中还未得到应用。

由于海水盐差能的蕴藏量十分巨大，世界上许多国家，如日本、美国、瑞典等，都正在积极开展这方面的研究和开发利用工作，我国也很重视。据估计，我国在河口地区的盐差能约有 1.6 亿千瓦。

