

能 源 科 普 丛 书

煤炭科普手册



中国能源研究会

《神奇的煤炭——煤炭科普手册》

煤炭是宝贵的不可再生的化石能源，与人们的日常生活息息相关。但煤炭是怎么形成的？为什么能够发电？为什么能够生产化肥？为什么还神奇地转化成油品？等等，除了相关领域的专业人员外，社会上有很多人并不了解。为此，我们在这本《神奇的煤炭——煤炭科普手册》里分几个章节，把以上问题向您简要做个介绍，以期让您能够快速了解煤炭这个黑色精灵。

《煤炭科普手册》由应急管理部信息研究院应中国能源研究会要求，组织人员摘编自2018年1月煤炭工业出版社出版的《神奇的煤炭》科普图书，该书作者：王树民、徐会军、康淑云

目录

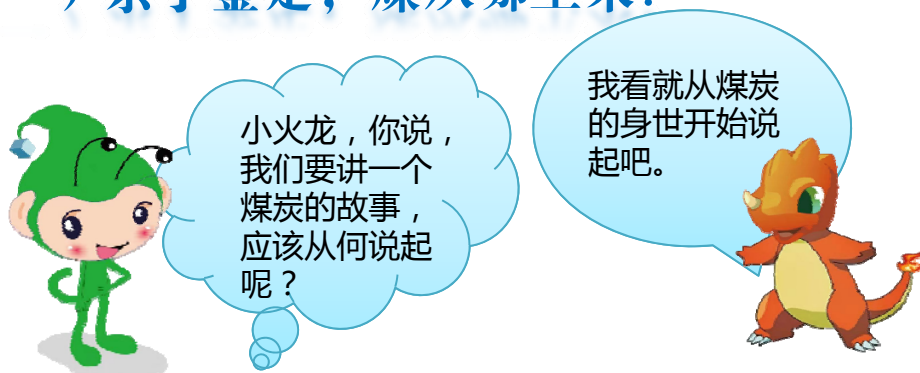
一、煤是怎样形成的？·····	1
（一）亲子鉴定，煤从哪里来？·····	1
（二）机缘巧合，植物成煤·····	2
二、煤炭的重大贡献·····	4
（一）煤炭引领人类进入工业化、电气化时代·····	4
（二）煤炭助推我国成为世界第二大经济体·····	5
三、我国煤炭资源的分类及其分布·····	7
（一）我国煤炭的分类·····	7
（二）我国煤炭资源的分布特点·····	9
四、多彩的生活，黑色的精灵·····	10
（一）燃烧自己温暖人间：煤炭燃烧·····	10

目录

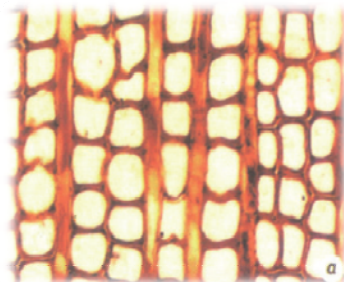
（二）光明的使者：燃煤发电·····	11
（三）炼就千年不坏之身：煤与钢铁·····	12
（四）粮食的粮食：煤与化肥·····	13
（五）石油的重要补充：煤变油·····	14
（六）天然气的重要补充：煤变气·····	16
（七）身边的“白色煤炭”：煤与塑料·····	18
（八）舒适靓丽的衣料：煤与化纤·····	20
五、创新发展，煤炭可以洁净燃烧·····	23
（一）燃煤发电，污染物排放可以和 燃气发电一样·····	23
（二）为现蓝天，打响非电燃煤攻坚战·····	25

一、煤是怎样形成的？

（一）亲子鉴定，煤从哪里来？

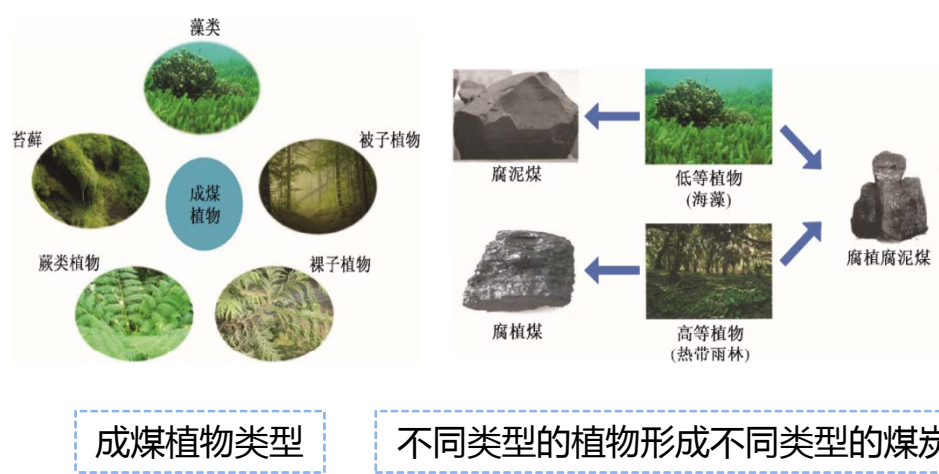


有科学依据显示，煤炭是远古时期的植物遗体经历了上亿年的种种磨难变成的。该结论已经得到大量佐证。有人通过对某煤块进行过仔细的观察，用肉眼看到了植物叶和根茎的痕迹，如果把煤切成薄片放到显微镜下观察，则可以清楚地发现植物组织和构造，而且有时在煤层里还保存着像树干一类的东西，有的煤层里还包裹着完整的昆虫化石。



煤中发现的植物化石以及显微镜下植物残骸的细胞结构

那么这些成煤植物都是哪些植物呢？成煤植物主要分为低等植物（菌类、藻类）和高等植物（苔藓植物、蕨类植物、裸子植物、被子植物）。低等植物形成的煤叫腐泥煤，高等植物形成的煤叫腐植煤，两种植物共同形成的煤叫腐植腐泥煤。

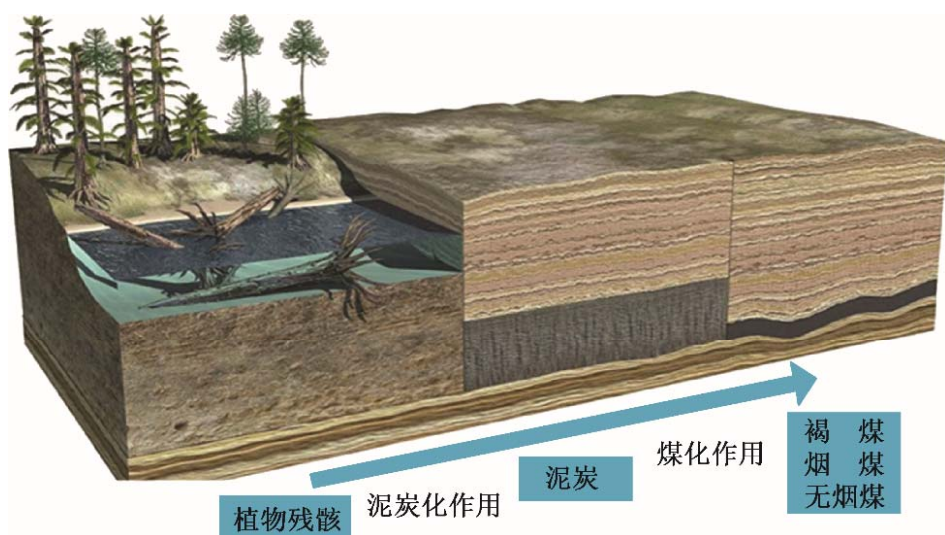


（二）机缘巧合，植物成煤

由植物转化为煤炭要经历复杂而漫长的过程。不仅要具备适宜的地理气候环境，还要经历地壳剧烈运动、高温高压、脱水、脱氧等过程。而这个过程可能需要几千年到几亿年。

在特定环境中，植物倒伏，被水淹没，与空气

隔绝，形成植物遗体堆积层，在微生物的作用下逐渐形成腐植酸含量相当高的泥炭层；随着地壳的剧烈运动，泥炭层不规则的下沉，并受到来自泥沙和岩石等沉积物的压力，同时受地热作用，导致泥炭层中水分被挤出，碳含量增加，氢和氧含量减少，腐植酸含量降低，泥炭变为褐煤；如果褐煤继续沉降到地壳较深处，顶部岩层压力不断增大，底部地温不断升高，碳含量进一步提高，氢、氧含量进一步降低，褐煤就逐渐变成烟煤或无烟煤。



植物遗体堆积形成泥炭并最终成煤示意图

二、煤炭的重大贡献



煤炭的形成真是一件不容易的事儿！那么，煤炭都有哪些用处呢？

煤炭的用处太大了！可以说人类历史的发展都有煤炭应用推动的功劳呢！



（一）煤炭引领人类进入工业化、电气化时代

16世纪的英国，煤炭得到广泛应用。到17世纪初，煤炭成为英国制造业的灵魂，英国的冶炼工人、染布工人、制砖者、啤酒制造者、煮盐者以及面包师都以煤取代木材作为燃料。18世纪，一个叫纽库曼的人为了更好地解决煤矿井下排水问题发明了蒸汽机。随后，詹姆斯·瓦特又对这种蒸汽机进行了改进，大大提高了蒸汽机的效率，使得越来越多的煤从井下被运送出来。而蒸汽机自身，也为新型的运输工具提供了动力之源。它让英国的工业替代了手工业，生产效率比农耕时代提高了好几个数量级，英国成为世界的

生产中心、制造中心。是煤炭引燃了人类历史上最重要的工业革命！

到了19世纪，人类发明了发电机，美国的爱迪生发明了白炽灯，并发现煤炭是最适合发电的燃料。1882年，爱迪生设计的世界上第一个燃煤电厂在美国纽约投入运行。从那时起，电灯走进了千家万户。至此，人类须臾不可或缺的电力和煤炭密不可分。煤炭又引领人类走进电气化时代！

（二）煤炭助推我国成为世界第二大经济体

有证据表明，我国是人类历史上最早发现和使用煤炭的国家。

1973年，在辽宁省沈阳市北陵附近的新乐遗址下层发现了新石器时期为数不少的煤精雕刻制品。与这些煤制品同时出土的还有碎煤精、煤精半成品和煤块97块。



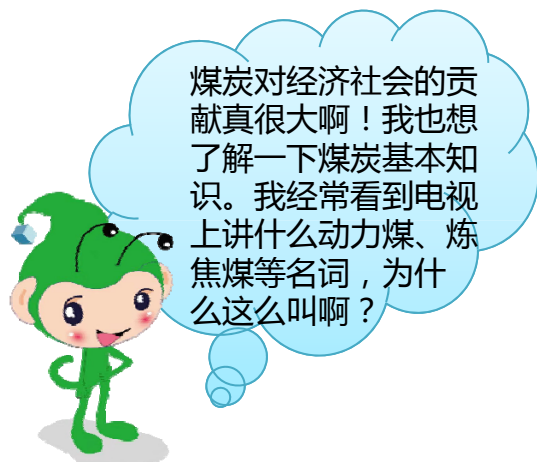
新乐遗址出土的煤精雕刻制品
和古时候人类生活示意图

我国煤炭工业起源于19世纪40年代。1875年，清政府福州船政局在台湾省基隆建成中国第一座采用机器生产的近代煤矿，日产煤炭300吨。1877年，清政府委派唐廷枢到唐山（现在的河北省唐山市）开办开平煤矿，当年最高日产可达500~600吨，这在当时是一个很高的产量。1937—1945年抗日战争时期，我国绝大部分煤矿被日军占领，并进行掠夺式开采，1942年全国煤炭产量达到5928万吨。

新中国成立后党和国家非常重视煤炭工业。1966年煤炭产量2.52亿吨，1976年已达4.84亿吨，那一时期煤炭消费量占全国能源消费量的90%以上。

改革开放后，我国经济社会持续高速发展，充足的、持续不断的煤炭供给是其坚强后盾。2011年我国超过日本，成为全球第二大经济体。2013年，我国原煤产量39.74亿吨，达历史峰值。2018年全国原煤产量36.8亿吨。

三、我国煤炭资源的分类及其分布

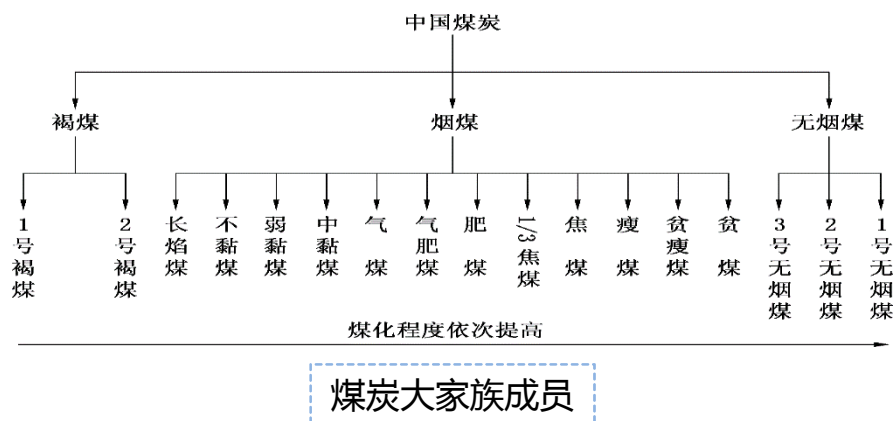


煤炭就像个大家族，家族里成员之间的长相和性格都不一样。所以根据成员的不同特点取了不同的名字，即对煤炭进行分类，从而便于人们使用。

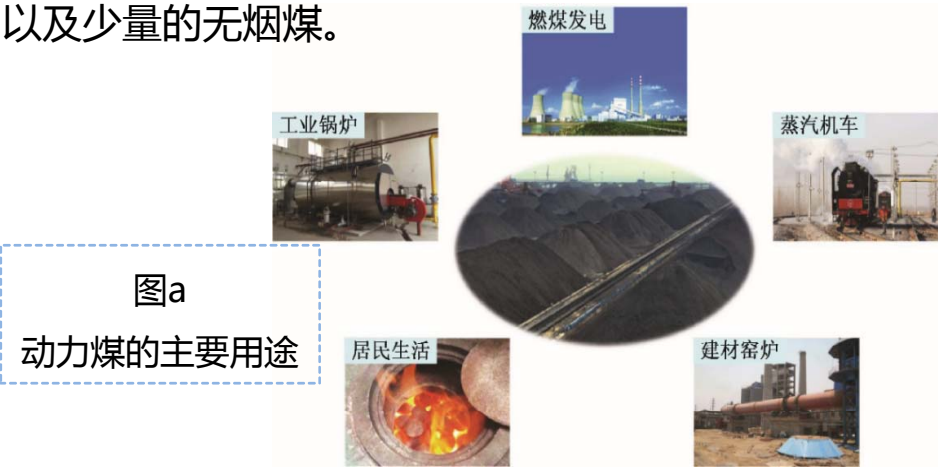


（一）我国煤炭的分类

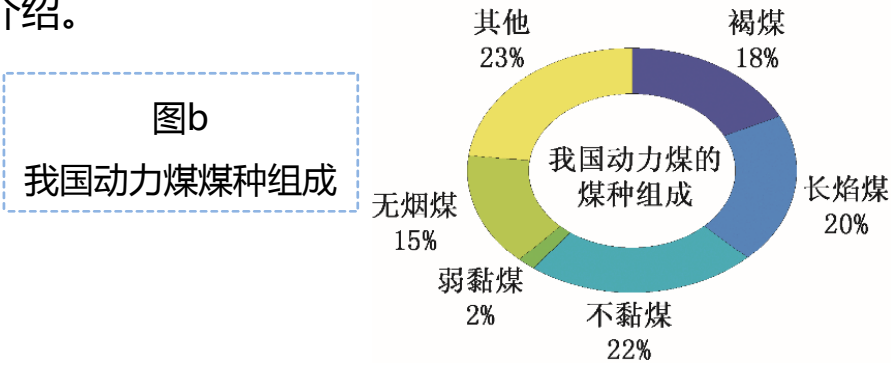
我国主要是根据煤化程度的高低来划分煤炭种类，总体分为褐煤、烟煤和无烟煤三大类，煤化程度依次升高。其中，褐煤又可细分为2个小类，烟煤可细分为12个小类，无烟煤可细分为3个小类。

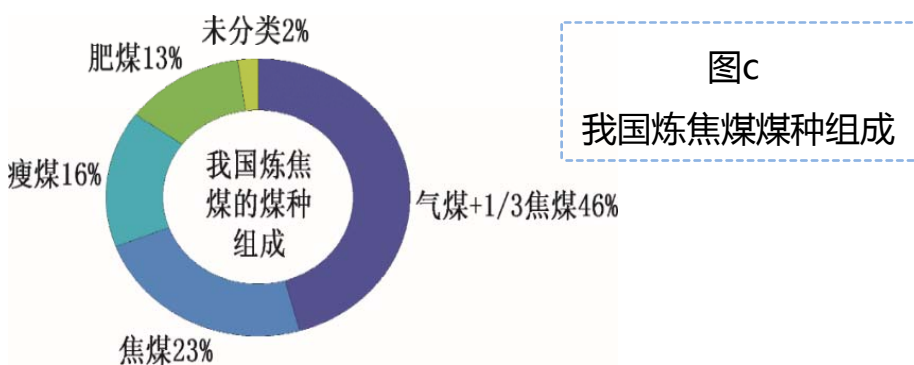


同时，按照煤的用途还可将煤分为动力煤和炼焦煤。凡是以发电、机车推进、锅炉燃烧等为目的，利用煤炭的热量产生动力的煤炭都属于动力煤，见图a，主要包含褐煤、长焰煤、不黏结煤、贫煤、气煤以及少量的无烟煤。



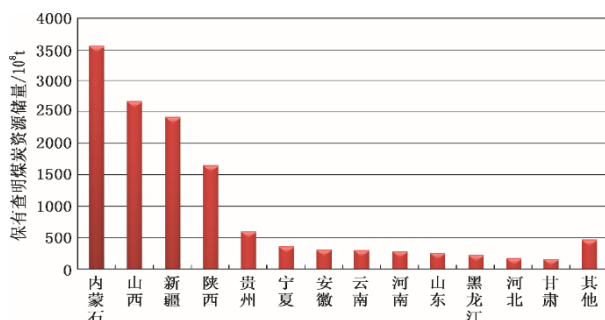
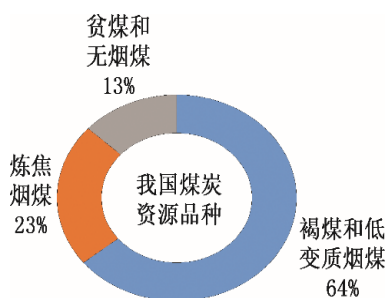
用于冶炼（或冶金）的煤一般称为炼焦煤，炼焦煤必须具有良好的结焦性，通常用具有黏结性的气煤、肥煤、焦煤和瘦煤按比例配成炼焦原料。要了解我国动力煤和炼焦煤主要煤种情况请看图b和图c的介绍。





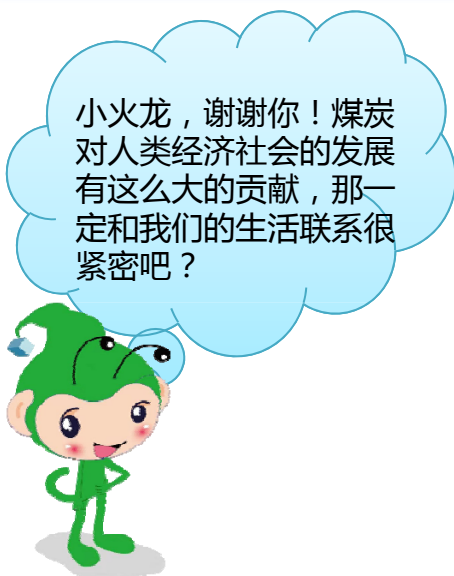
（二）我国煤炭资源的分布特点

我国煤炭资源总量59000亿吨，位居世界第3，煤种齐全。具体见图d和图e。

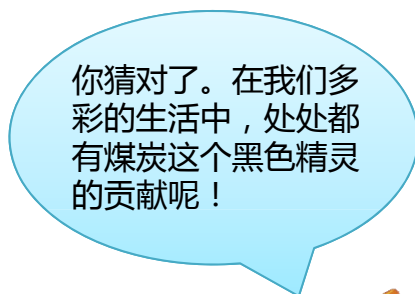


我国煤炭资源分布很不均衡，目前保有查明资源储量大体呈“西富东贫，北多南少”状态，87%的储量分布在内蒙古、山西、陕西、宁夏、新疆五省。然而，华东、中南广大区域又为主要煤炭消费地区，所以形成了“北煤南运，西煤东调”的格局。

四、多彩的生活，黑色的精灵



小火龙，谢谢你！煤炭对人类经济社会的发展有这么大的贡献，那一定和我们的生活联系很紧密吧？



你猜对了。在我们多彩的生活中，处处都有煤炭这个黑色精灵的贡献呢！

（一）燃烧自己温暖人间：煤炭燃烧

1. 替代薪柴，取暖做饭

煤炭是一种化石燃料，人们可以通过燃烧煤炭获得热量，用于燃烧的煤炭占其总量的80%以上。煤炭不仅可用来烧火做饭，还用来冬季取暖。

19世纪末，欧洲出现了暖气片的雏形，并可以实现“人火分离”。20世纪50年代末，北京建立了我国第一座燃煤热电厂，1959年沿长安街建成了“长安线”供热重点工程。1968年东北地区的沈阳市也开始发展集中供热。逐渐地我国东北、西北和华

北地区冬季以煤为燃料的集中采暖已成常态。目前我国居民冬季采暖的方式更加丰富，有的已采用天然气集中采暖。

2. 供热供气的工业燃料

煤炭燃烧在工业生产中的应用，主要是通过燃煤工业锅炉为工业生产供热供气。据不完全统计，我国60%以上的工业锅炉都是燃煤的。除了大型工业园区，我国还有众多的平板玻璃加工厂、水泥厂和陶瓷生产等建材企业，这些工厂有60%以上的供热也是燃煤工业锅炉提供的。另外，一些农作物大棚、养殖、烤烟、制茶等产业也都是燃煤供热的。一些商业及公共机构的供热也采用燃煤。

（二）光明的使者：燃煤发电

电作为人类光明的使者，在现代社会已经须臾不能离开。世界上第一台工业化电厂用的发电机是由燃煤带动的。



电送万家，万家灯火

1882年，美国著名发明家爱迪生在纽约创建了世界上第一个火力发电站（燃煤电站）。

由我国国情和资源禀赋条件决定，燃煤发电一直是我国电力的绝对主体，长期以来，燃煤发电占全国发电量的60%以上。而且燃煤发电机组运转不受自然条件影响，具备安全稳定供应的强大优势。

（三）炼就千年不坏之身：煤与钢铁

我国早在西汉时期就开始用煤来冶铁了，是世界上最早发明炼焦技术和使用焦炭的国家。而焦炭作为还原剂大规模用于冶炼钢铁是18世纪后期从英国开始的。

从1993年起，我国焦炭产量和出口量已跃居世界第一。2014年我国粗钢产量达8.23亿吨的历史峰值。炼焦的主要设备是焦炉（煤在焦炉中进行干馏制得焦炭），现代化的焦炉见右图。炼焦产业的快速发展与我国国民经济持续快速增长



我国国产大型现代化焦炉

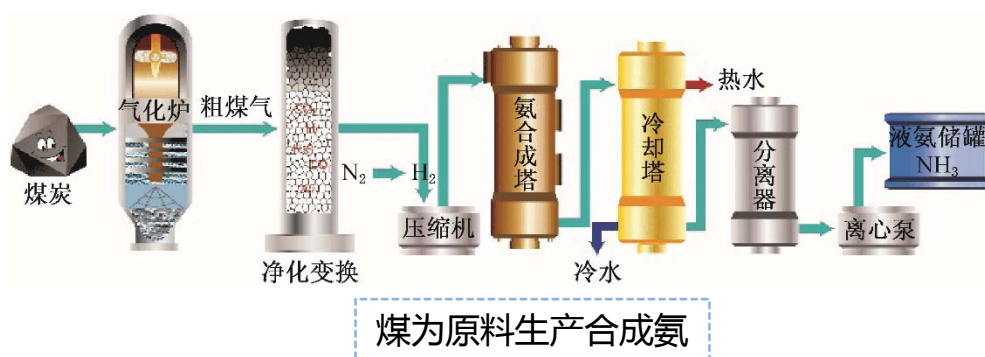
和人民住房不断改善直接相关。现在不论你走到哪座城市或乡村，到处都是一片片新建的住宅小区。而钢铁就是座座房屋不可或缺的骨架支撑。当然，这其中有煤炭间接的巨大贡献。

（四）粮食的粮食：煤与化肥

氮肥是目前对农作物作用最大、产量最大、应用最广的化肥，而制造氮肥的关键就是合成氨。

目前以煤为原料生产合成氨的比例近80%，所以称煤炭为化肥主要的粮食也不为过。但合成氨的分子式为氮元素和氢元素组成的 NH_3 ，而煤炭中绝大部分为碳元素，含氢、氮元素都很少。煤炭如何转化为合成氨？这其中的科学原理是煤炭先与水、氧气发生气化反应制取氢气，再和氮气合成氨气。

工业生产中，将煤与水导入气化炉，煤、水和氧气在炉中发生化学反应产生粗煤气（一氧化碳 CO 、二氧化碳 CO_2 、氢气 H_2 ）为主，含氮 N 、硫 S 杂质），然后净化粗煤气，得到合成气（俗称水煤气，以 CO 、 H_2 为主），同时将多余的 CO 转化为 H_2 来进一步提高 H_2 含量。最后将这部分 H_2 再与 N_2 合成，煤炭就华丽变身为合成氨了。



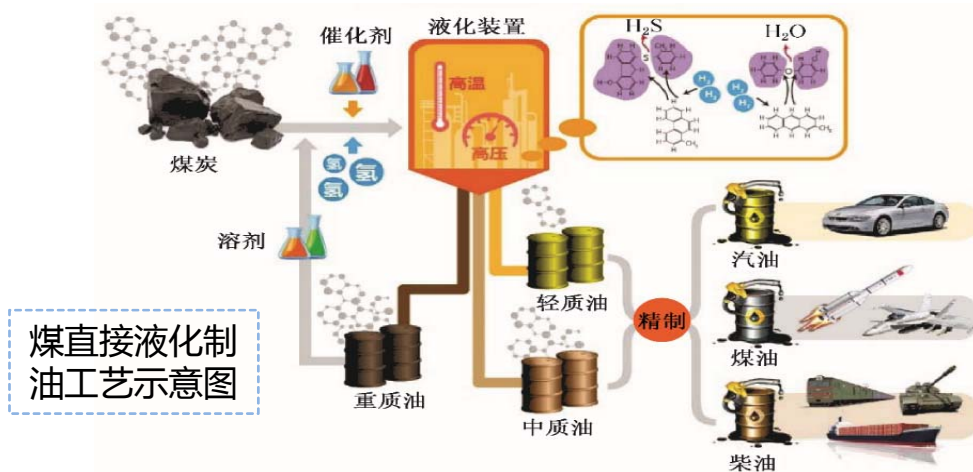
所以煤炭和我们的一日三餐还发生了联系。2013年我国合成氨产量达5545.3万吨，居世界第一位。

（五）石油的重要补充：煤变油

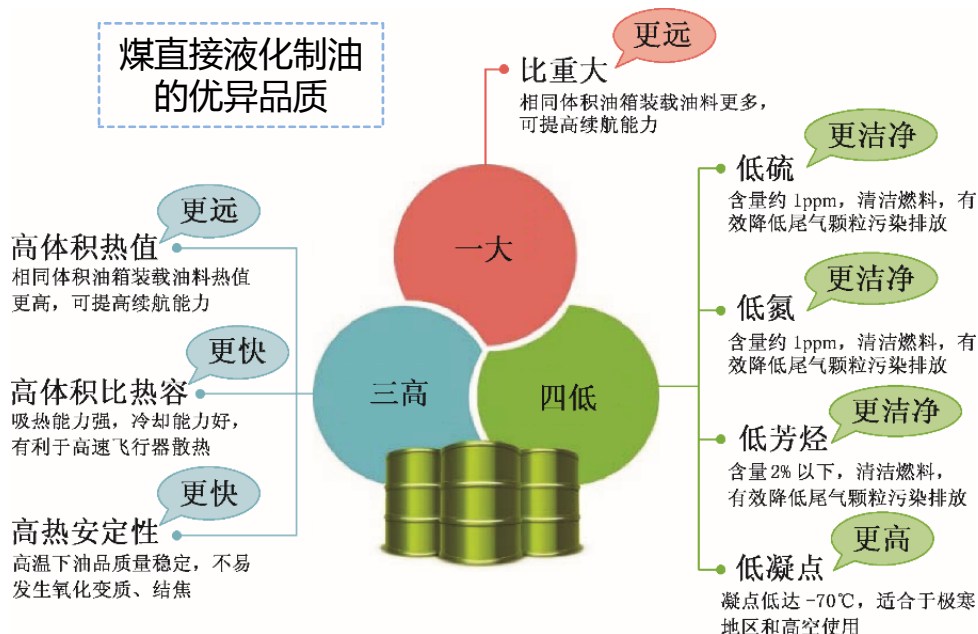
煤变油也叫煤制油。煤制油技术是以煤炭为原料，在一定条件下将煤进行化学加工，生产清洁油品和煤基化学品的一项技术，主要有煤直接液化和煤间接液化两种主要工艺。

1.煤直接液化

煤直接液化是将煤炭在高温、高压、催化剂的作用下与氢气反应，直接生产出液体燃料，并脱除硫、氮、氧等杂原子的工艺过程。固体煤经过加氢改质，转化为液体的石脑油、煤油和柴油等产品，石脑油经深加工后可生产汽油。

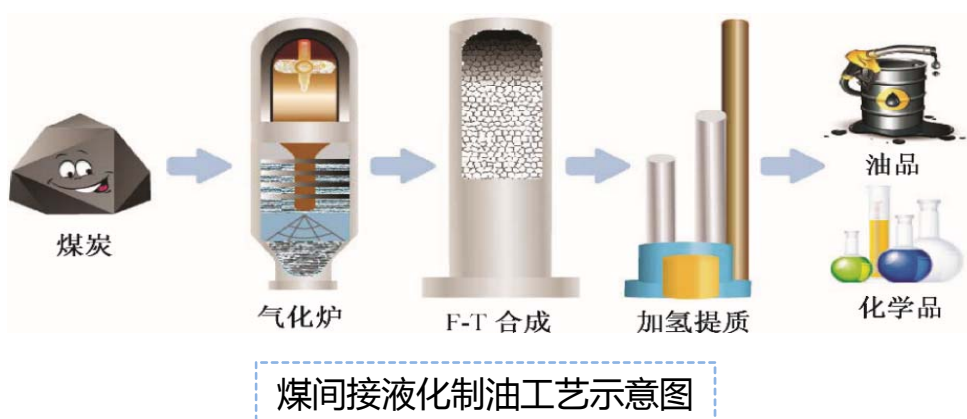


煤直接液化油品具有“一大、三高、四低”的特点，非常清洁，还是军用及航空航天领域的优质燃油。目前，只有我国实现了煤直接液化的工业化，在内蒙古鄂尔多斯建成了全球首套百万吨煤直接液化工厂。



2.煤间接液化

煤间接液化：首先，利用氧气将煤进行不完全燃烧，即进行煤的气化，把煤的大分子完全打破，转化为由简单分子（CO和H₂）组成的合成气；再以合成气为原料进行合成反应（由低碳分子合成较多碳的有机分子）生产出油品，这一反应过程称为费托（F-T）合成。



煤间接液化油品也非常清洁，芳香烃含量很低，远低于最新环保要求的芳香烃含量，可降低机动车尾气排放中的颗粒物排放，得到的柴油十六烷值很高，远高于最新环保要求，并且燃烧效果好。目前，我国拥有全球最大规模的年产400万吨煤间接液化制油厂——我国在宁夏宁东化工基地建成全球最大规模的年产400万吨的煤间接液化制油厂。

同时，随着家用汽车的增长，我国石油消费持续增长，石油对外依存度逐年攀升，2017年已达67.4%。因此发展煤制油可以很好地保障我国能源安全。

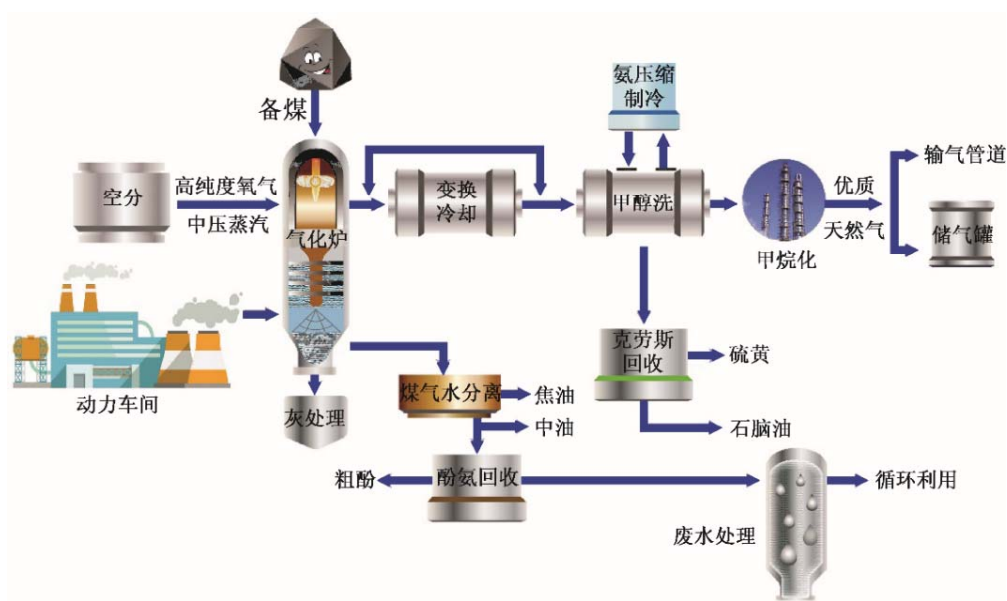
（六）天然气的重要补充：煤变气

煤变气通常被称为煤制合成天然气、煤制天然气或煤制气，是以煤炭为原料，制取的以甲烷为主要成分、符合天然气热值标准的气体的工艺过程。煤变气

可分为直接法“煤变气”和间接法“煤变气”，到目前为止，现实中的工厂均采用间接法。

间接法“煤变气”生产工艺流程可简述为：原料煤在煤气化装置中与空分装置来的高纯度氧气和蒸汽进行反应制得粗煤气，粗煤气经耐硫耐油变换冷却装置和低温甲醇洗装置脱硫脱碳后，制成所需的净煤气；从净化装置产生富含硫化氢的酸性气体送至硫回收装置生产出硫磺；净煤气进入甲烷化装置合成甲烷，生产出优质的人工天然气；废水通过一系列处理后回收利用。

煤制气工艺流程示意图

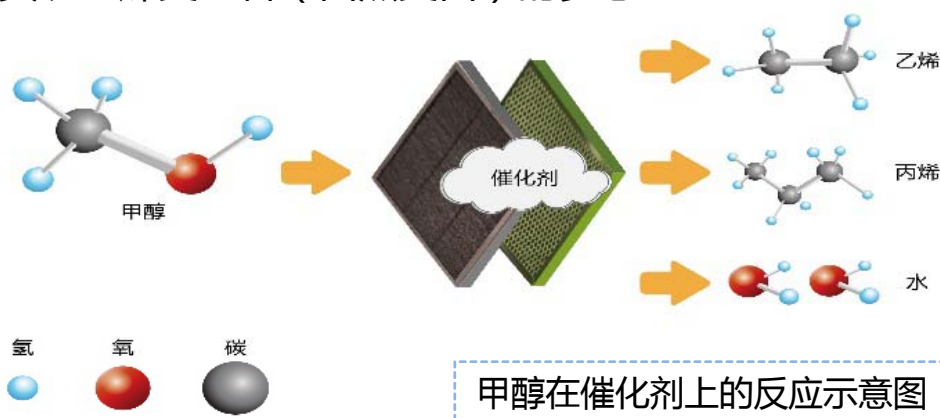


“煤变气”产品中贡献热值的主要是甲烷(CH_4)和少量 H_2 ，其热值要求高于 $31.4 \text{ 兆焦} / \text{m}^3$ ，且生成过程中增设了合成气净化过程，使得煤制气中含硫组分的含量很低，所以“煤变气”可以替代常规天然气做饭、取暖和机动车燃气，并且由于其低硫的优点，污染物排放比燃用常规天然气还要干净。

（七）身边的“白色煤炭”：煤与塑料

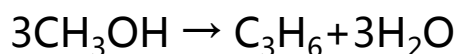
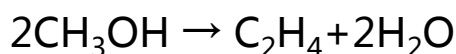
塑料大家都很熟悉。但煤炭也可以变身为塑料。

目前，我国是塑料生产、消费和进出口大国。塑料是一种人工合成的高分子化学材料，其中，烯烃，尤其是乙烯、丙烯是合成塑料的重要单体，目前每年都需要大量进口。现在用煤作原料也可以生产出烯烃，实现了煤变塑料（由黑变白）的梦想。



由于煤制烯烃技术工艺主要是煤气化先生成甲醇，再由甲醇催化转化为烯烃。其中最重要的催化剂选择性技术已被我国科学家成功攻克，所以我国现在已拥有好几条煤制烯烃工业化生产线。

煤制烯烃主要包括煤气化、合成气净化、甲醇合成、甲醇制烯烃、烯烃聚合5项核心技术，见图f。甲醇制乙烯（MTO）及甲醇制丙烯（MTG）的催化反应的主要反应式如下：



图f 煤气化得到甲醇，再由甲醇制烯烃的工艺示意图

我国内蒙古包头煤制烯烃工厂是全球首个由煤基甲醇生产烯烃的工业项目，见图g。

通过煤制烯烃工艺，黑色的煤炭就可成功地变身为白色的塑料。我们每天在菜市场用的塑料袋说不定就是用煤炭生产出来的呢！

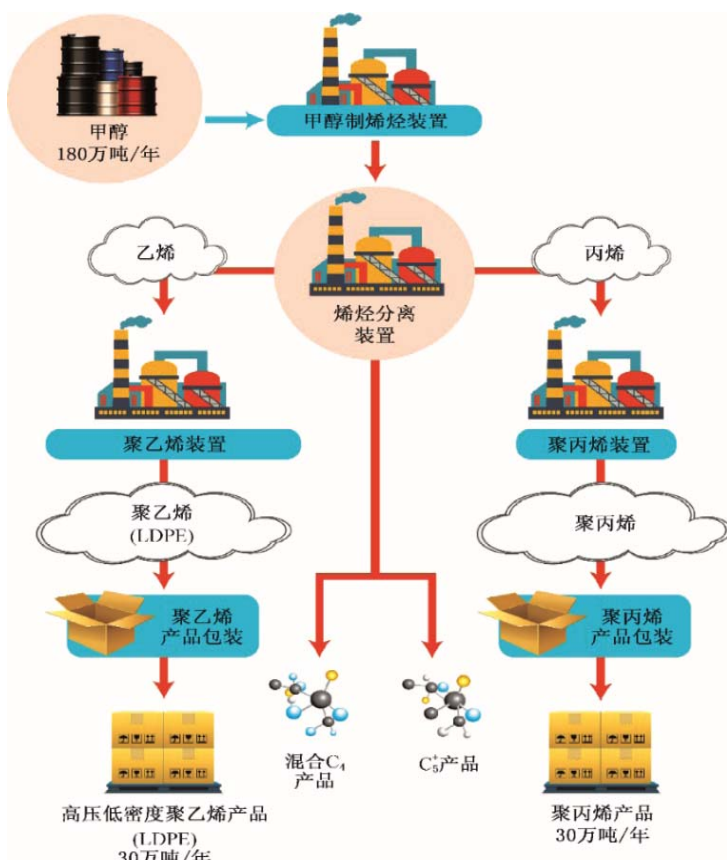


图 9 包头煤制烯烃生产工艺示意图

（八）舒适靓丽的衣料：煤与化纤

一般来说人们不会把舒适靓丽的衣料和煤炭联系起来，但通过下面的介绍，你就会发现煤还可以是漂亮衣服的原始原料。

2014年我国聚酯纤维产量达2500万吨以上，占化学纤维（化纤）总量的80%以上，俗称涤纶或化纤。这些聚酯纤维颜色鲜艳、外观挺括、热稳定性好，适用于服装、室内装饰织物和地毯等，用途十分广泛。

那么用什么原料可以生产出具有广泛用途的聚酯纤维呢？一种基础化工原料乙二醇是生产聚酯纤维的主要原料。



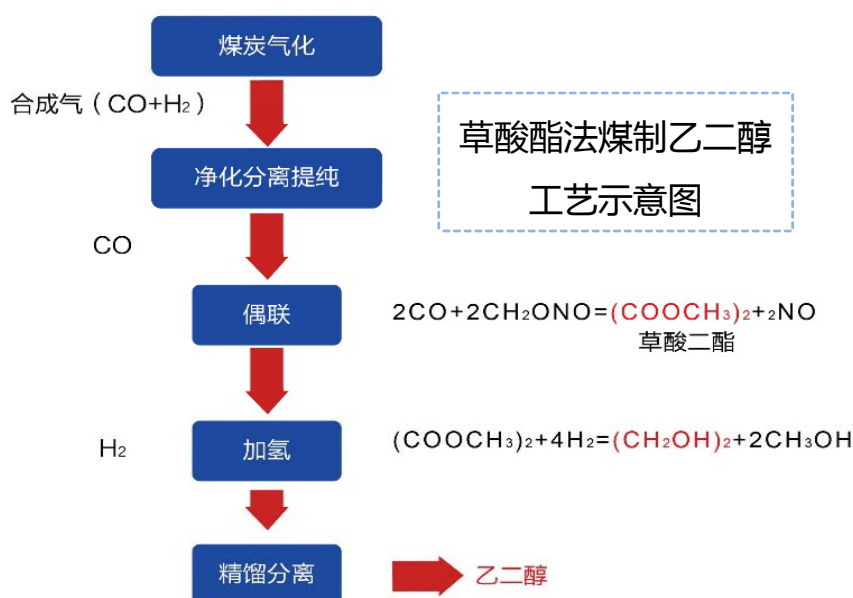
五彩缤纷的涤纶线

乙二醇（Ethylene Glycol，EG）又称“甘醇”，是一种无色、无臭、有甜味的黏稠液体，沸点为197.85℃。乙二醇是一种非常重要的有机原料和战略物资，主要用于生产聚酯纤维。近10年来，我国乙二醇消费保持约9%的稳定增长率，但自给率仅40%左右，仍存在巨大的市场缺口。

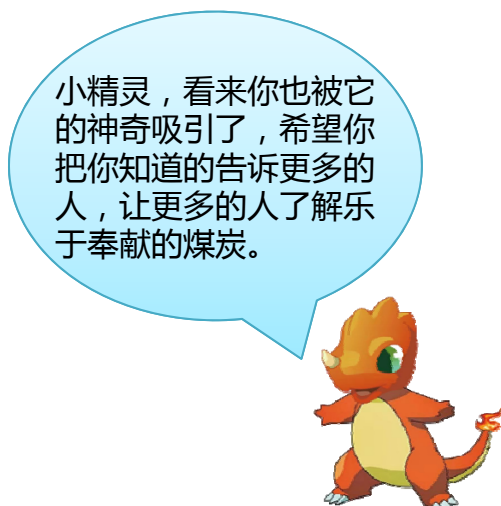
那么乙二醇是如何生产出来的？目前主要有石油天然气路线和非石油天然气路线两种途径。非石油路线主要是指煤制乙二醇的技术工艺。

目前国内以煤为原料制备乙二醇，主要有烯烃法、直接法和草酸酯法3种方法。草酸酯法因为其工艺流程短、成本低，成为目前国内关注最高的煤制乙二醇技术，通常所说的“煤制乙二醇”就是特指该工艺。

（附配图：草酸酯法煤制乙二醇工艺示意图）



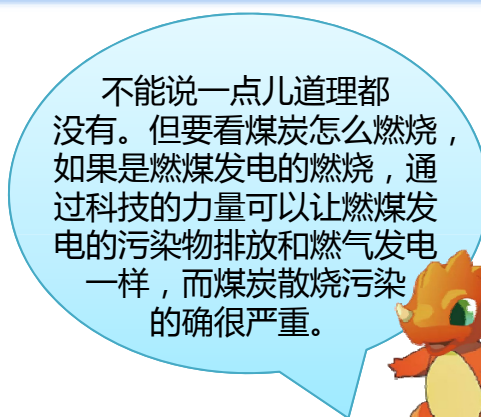
截至2017年2月，国内投产和试车成功的煤制乙二醇共12个，年产能达到212万吨，说明煤经合成气制草酸酯合成乙二醇的路线已经安全、长周期、高负荷运行，有些企业最高负荷达到110%。用草酸酯法生产出的乙二醇品质符合聚酯行业要求，并在聚酯长丝行业得到了稳定应用。



五、创新发展，煤炭可以洁净燃烧



小火龙，我有一个问题，就是现在大家都说雾霾天气是煤炭燃烧造成的，你说有道理吗？



不能说一点儿道理都没有。但要看煤炭怎么燃烧，如果是燃煤发电的燃烧，通过科技的力量可以让燃煤发电的污染物排放和燃气发电一样，而煤炭散烧污染的确很严重。

（一）燃煤发电，污染物排放可以和燃气发电一样

1. 燃煤电厂可以实现污染物的超低排放

2014年6月25日上午9时，浙江舟山电厂4号 35×10^4 千瓦燃煤机组顺利完成168小时试运行，正式移交生产，投入商业运营。同时，168小时试运行结果显示，该燃煤机组各项主要环保排放指标（烟尘、二氧化硫、氮氧化物）全部达到天然气排放指标，标志着国内首台



近零排放的三河电厂

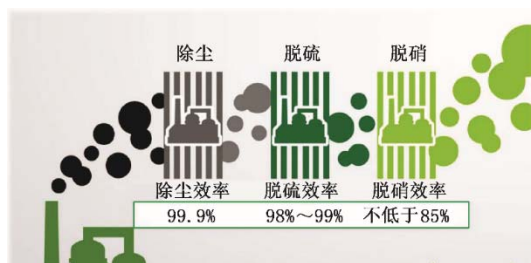
新建超低排放燃煤机组诞生。

截至2018年9月底，我国煤电机组累计完成超低排放改造7亿千瓦以上，提前超额完成5.8亿千瓦的总量改造目标，加上新建的超低排放煤电机组，我国达到超低排放限值的煤电机组已达7.5亿千瓦以上。因此，我国已建成全球最大的清洁煤电供应体系，提前两年完成煤电超低排放和节能改造总量目标任务。

2.超低排放的“黑科技”

要使燃煤电厂达到污染物超低排放，必须从煤燃烧的原理这个根儿上进行分析，然后各个击破才能达到目的。燃煤电厂必须依靠一系列先进的科技手段对燃烧前、燃烧中和燃烧后全过程的污染物进行系统脱除，才能达到超低排放的标准。

燃烧前主要是对原煤进行分选，大大降低煤炭灰分，同时降低部分硫分，从而降低烟尘和二氧化硫的排放；燃烧中主要是利用低氮燃烧进行脱硝。燃烧后主要针对燃烧后烟气进行除尘、脱硫及脱硝。脱除装置包括SCR脱硝装置、电除尘器、脱硫塔等，如右图所示。



超低排放的除尘、脱硫、脱硝效率

同时，还有燃煤电厂高效多相流分离技术，可以对电厂尾气进行深度净化。因此，依靠科技可以将燃煤发电的污染物排放降到很低很低，大大改善空气质量。

（二）为现蓝天，打响非电燃煤攻坚战

燃煤主要有3个领域：一是燃煤发电；二是中小工业锅炉燃烧的供热供气燃煤；三是民用散烧燃煤。我国燃煤电厂的超低排放技术已居世界先进水平。而非电燃煤领域的污染治理仍任重而道远。

我国相当一部分的中小工业锅炉、窑炉燃煤，以及点多面广的煤炭散烧，这些才是燃煤污染最重要也是最大的源头。相比过去，这些污染的治理工作有了很大进步，工业锅炉烟气排放更加洁净，散煤燃烧的治理也日趋严格。

1.治理工业小锅炉污染：高效煤粉工业锅炉

以燃煤比例估算，全国燃煤造成的PM2.5，工业锅炉约占17%，是雾霾的重要成因之一。目前我国燃煤工业锅炉数量多，有近60万台，是仅次于电站锅炉的耗煤大户。由于这些中小型锅炉炉膛空间较小，燃烧方式以层燃为主，燃烧条件较差。

我国相关科技研发人员，经过长时间持续攻关，开发了能洁净燃烧的煤粉工业锅炉。检测结果表明，

煤粉工业锅炉系统烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放指标均优于国家标准，达到了洁净燃烧，见图h。



图h 高效煤粉工业锅炉洁净燃烧示意图

2.治理民用散煤污染：洁净型煤与兰炭

据有关资料显示，目前民用散煤消费总量每年在2亿吨左右，燃煤产生的废气低空直排，是主要的燃煤面源污染源，也是散煤污染最难治理的领域。

为了减少散煤燃烧造成的危害，国家和地方都出台了一系列政策。其中就倡导使用清洁煤炭制品，主要包括低硫无烟煤、洁净型煤（见右图）以及兰炭等，用以替代劣质烟煤。



洁净型煤

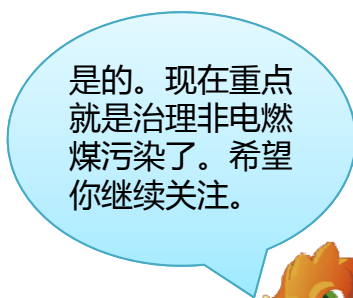
洁净型煤以低硫、低灰、高热值的优质无烟煤为主要原料，加入固硫、黏合、助燃等有机添加剂加工而成，具有清洁环保、燃烧高效、使用方便、安全无毒等特点。

研发人员还对清洁型煤应该配套的炉具进行了持续研发。新型节能炉具与传统土炉子相比，具有热效率高、燃料燃烧充分、烟气中污染物浓度低等特点。专业机构检测结果表明，在保证煤炭质量的前提下，配套专用清洁燃烧技术的炉具，热性能和污染物排放指标均能达到国家标准。

总的来说，民用散煤治理过程是民用洁净煤和型煤逐步替代烟煤的过程，从优质洁净煤源选择、洁净型煤厂建设、型煤产品配送、型煤推广到居民普遍使用，是一个循序渐进的过程，需要一定的推广时间。同时，在洁净型煤推广过程中还需要转变居民的燃煤习惯并增强环保意识。另外，有些地区已开始以气代煤、以电代煤。



小火龙，非常感谢你的介绍！看来只要加强科技创新燃煤发电可以很干净啊。



是的。现在重点就是治理非电燃煤污染了。希望你继续关注。



| 能 | 源 | 科 | 普 | 丛 | 书 |

煤炭科普手册



中国能源研究会编著