

## 中国清洁煤技术发展中的若干问题

研究员、博导 林伟刚

(中国科学院化工冶金研究所, 北京100080)

摘要：本文根据目前我国能源的结构和煤炭在能源体系中的地位, 对我国的清洁煤技术发展战略中的若干问题进行了探讨。根据煤结构特性简述了洁净煤转化技术的发展方向并对若干技术的开发进行了分析。

### 一、煤炭在我国能源工业和环境保护中的地位

能源和环境是目前人类面临的重要问题, 处理好这些问题, 对于人类生存和社会的可持续发展有着重要的意义。

中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国, 图1给出了我国建国后一次能源消耗的结构变化。目前煤炭占我国能源需求总量的75%左右, 大大超出了27%的世界平均水平。由图2所示的世界一些主要国家中煤炭在能源结构中的比例可看到, 中国是世界上少数以煤为主要能源的国家之一。随着我国对核能、水、电和新能源的开发利用和发展, 能源结构会有些改变。但预计到本世纪中, 煤炭在能源中的比重仍将高于50%。

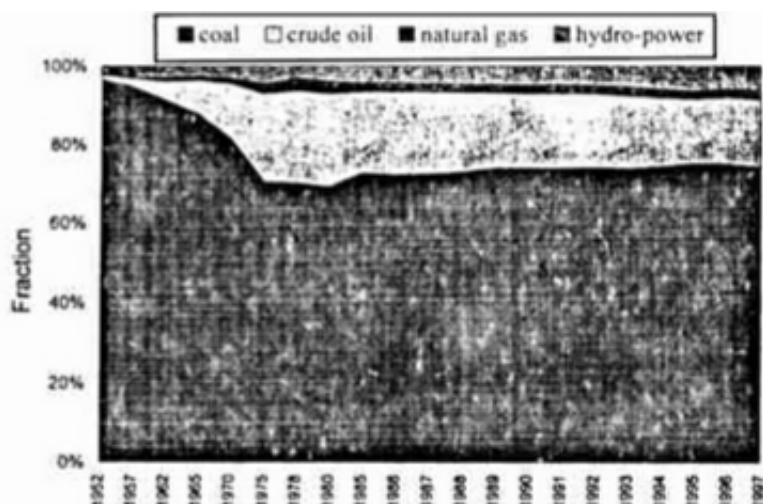


图1 我国建国后一次能源消耗的结构

与其他能源相比, 煤炭是一种低品位、高污染的能源, 在其开采、运输、转化和利用的各环节中都会对生态环境造成很大的危害, 是我国目前最大的污染源之一。我国在煤燃烧过程中所排放的主要大气污染物, 如二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳和粉尘等, 总量约占整个燃料燃烧的96%。随着我国经济的迅速发展, 煤炭消耗量不断增加, 污染物排放总量也随之增加, 如, 1998年全国的二氧化硫排放总量已达到2090万吨, 取代美国(1600万吨))而成为世界二氧化硫排放最高的国家。

### 二、煤的结构

煤是由远古死亡植物残骸没入水中经过生物化学作用, 然后被地层覆盖并经过地质化学作用形成的有机生物岩, 是有机与无机化合物的混合物。由于生成的地质年代不同, 造成了煤的组分也不同, 但其基本元素成份为碳、氢、氧、氮、硫。此外, 还包括一些成灰元素(如硅、铝、铁、钙、镁、碱金属)和一些微量重金属, 如汞、硒等。煤中的有机成份是以官能团的形式出现的, 包括羟基、羧基、羰基、甲氧基等。煤的化学结构模式可由图3的示意图来表示。

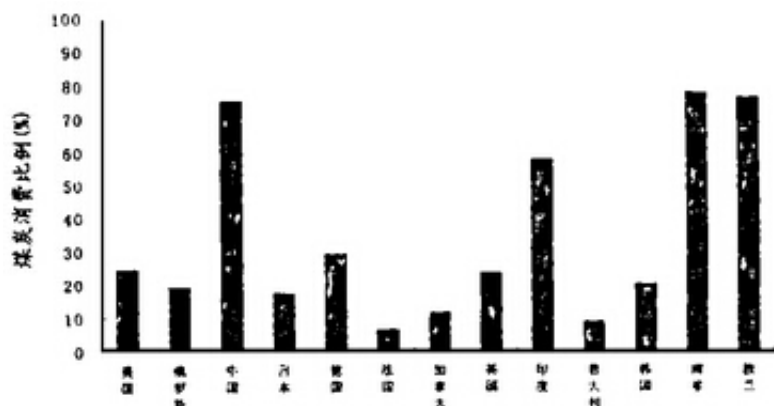


图2 几个主要国家中煤炭在能源结构中的比例

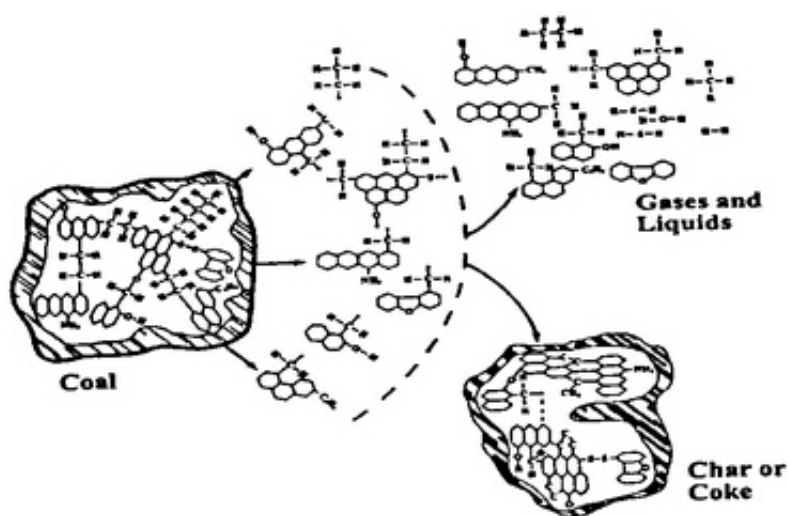


图3 煤的化学结构模式示意图

由图可知环烃和链烃为煤的主要组成部分。煤在热转换过程中，烃中的弱键断裂形成气体或液体逸出。如果能在煤的转化过程中提取部分液体环烃，则煤转化过程中产品的品位就会大大的提高。

### 三、现有煤炭转化技术及其问题

目前煤炭的转化主要有三种方式：直接燃烧、气化和液化。其过程简图如图4所示。

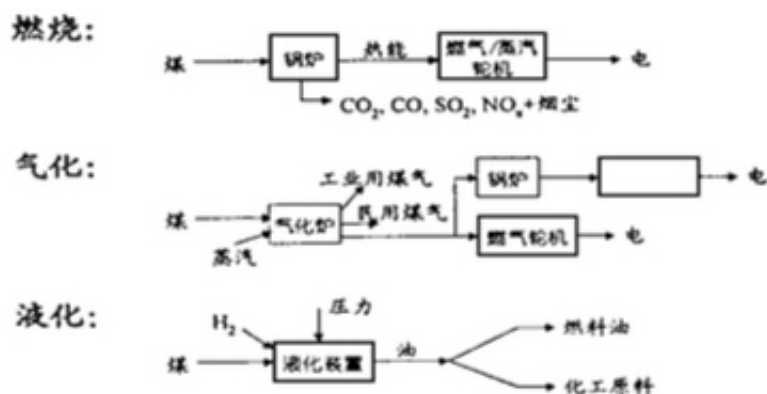


图4 煤炭的转化三种方式的过程简图

## 1. 煤炭燃烧

我国煤炭利用的主要形式为直接燃烧, 约占总用煤量的80%。而煤直接燃烧的一半左右用于中小燃煤设备, 其问题之一为热效率低, 如工业炉窑的热效率中有40%左右, 而工业及供暖锅炉的热效率也仅为60%左右。问题之二为对环境的污染极其严重。由于小型燃煤设备上没有污染物排放控制手段, 其排放量要比大型燃烧设备高得多。大型燃煤设备如电站锅炉的转换效率比小型设备高。目前发达国家煤发电的效率可达45%以上, 而我国的煤发电效率只有30%左右, 而且其污染物如 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$

、CO等的治理措施还有待解决。由此可见, 解决煤炭直接燃烧的问题是煤洁净高效转换的首要问题。从理论上讲, 将煤炭直接燃烧产生热能来利用的最大缺陷在于该过程将高品位能降至极低品位的热能来利用。如同用高温高压蒸汽来供暖。而目前煤炭利用的现状即在近期内以燃烧为主的局面不可能有大的变化, 因此, 现有燃烧设备的改进是提高效率、降低污染的一个方向。同时, 对于新设备应采用新的转化技术, 逐渐改变煤炭利用的现有格局。

## 2. 气化

煤炭气化是利用固体煤来产生气体燃料或产品的过程, 与煤的直接燃烧相比, 气化具有较大的优越性。首先, 在转化过程中燃料的品位不仅没有降低, 而且略有升高。所产生的气体不仅可以作为燃料还可以作为化工原料。其次, 与固体煤相比, 气体燃料在燃烧过程中其燃烧效率高, 污染低, 可作为民用燃料。然而, 完全气化过程需要较苛刻的条件, 即较高的温度, 同时半焦的完全气化需要较长的时间, 加上在高温气氛下半焦的失活, 造成不完全气化。其结果是气化炉的结构复杂、造价高。

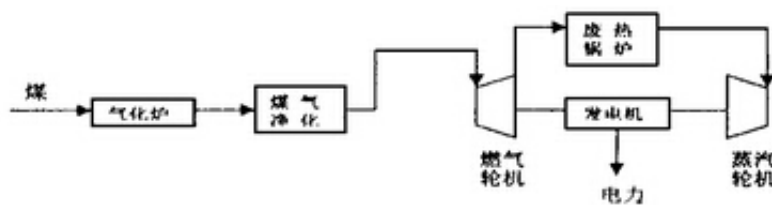


图5 整体煤气化联合循环(IGCC)发电系统示意图

为解决这些问题, 目前各国正在对整体煤气化联合循环(IGCC)发电技术进行深入的研究(如5所示)。该技术的商业化可望提高煤炭的转化效率。但目前煤气的高温净化这一关键技术问题还没有得到完全解决。同时, 我国目前的燃气轮机还需要依赖进口。因此, 该项技术不能完全符合我国的基本国情。

## 3. 液化

煤炭液化是通过化学加工转化为液体产品, 包括液体燃料和化工原料的过程。煤炭液化可以通过二种方法来实现: 直接液化和间接液化。

煤炭的直接液化是使煤在高压、高温条件下, 通过加氢使煤中的有机成份直接转化为液体燃料和化工原料(如图4中所示)。直接液化具有液体转化率高的优点, 但由于其产率依赖于煤的结构, 煤种适应性较差。同时, 其过程在高压、高温条件下加氢进行, 苛刻的总体操作条件使产品的成本提高。目前还无法与相似石油化工产品相竞争。

煤炭间接液化是将煤气化后, 再经过催化合成为液体产品。煤炭的间接液化的优点在于其煤种适应性较宽, 操作条件较温和, 同时, 硫、氮和灰等污染先驱物可在气化过程中脱除。但该过程包括气化和合成二个过程, 即先将煤中的高碳成分降成一碳, 然后再合成为高碳液体。故其总效率低、产品的选择性差。

由以上分析可以看出, 对于作为混合体的煤进行单一转化方法处理具有如下问题:

- 转化效率低
- 转化后产品品位下降
- 污染物治理量大
- 工艺条件苛刻

- 相对投资高

因此，应根据煤炭的结构来开发煤的洁净高效转化新技术。

#### 四、我国洁净煤技术发展方向

煤是有机物与无机物的混合物。由图3中所示的煤结构简图及其在热解过程中结构变化，我们可看到，固体煤在加热后可同时产生气、液及固体产品。因此，采用单一的转化方式不符合煤的热转换特性。所以，洁净煤技术发展的趋势将是综合利用。通过综合利用达到提高转化效率、减少污染物的生成，提高产品的品位，对产品进行分级利用，提高经济效益的综合目的。如前所述，我国目前煤炭利用以燃烧为主的格局，在近期内不可能有较大的变化。因此，洁净煤技术的发展应包括两个方面，即新技术的开发和现有技术的改进。在此，作者将从过程分析的角度出发，重点讨论新技术的开发同时也对现有技术的改造进行简略的讨论。

技术进步依赖于基础理论研究成果。根据洁净煤转化技术发展方向，以下方面的基础理论研究应得到加强：

- 煤热解、气化和燃烧的机理
- 煤的催化转化机理
- 煤转化过程中污染物的生成机理
- 煤转化系统集成
- 放大技术

#### 五、洁净煤转化新技术

##### 1. 多联供

多联供是在燃料过程中，产生不同的产品，根据其品位进行分级利用，提高整体转换效率。最简单的多联供为热电联供，与单纯发电相比，其总体效率有明显的提高。再如IGCC采用燃气轮机和蒸汽机联合循环的方法提高整体发电效率。

选择适合于我国的多联供系统首先要从我国一次能源的现状入手。我国是一个富煤、少油、贫气的国家，同时也是一个发展中国家。如前所述，大量的煤用于家庭采暖和炊用，效率低、污染高。如将煤改为气体燃料，可大大减小环境污染问题。目前中央和地方政府已开始在城市实施家用能源结构的调整，这一结构调整需要充足的城市煤气。从这一角度考虑，用煤转化产生的煤气作为民用燃料比用于燃气轮机发电更适于中国国情。而煤在热解时将产生部分液体产品，如果能利用这些产品，可以部分缓解我国石油供需矛盾问题。因此，发展煤转化的气、油、热、电四联供技术将更符合于中国的国情。中国科学院化工冶金研究所郭慕孙院士提出的煤炭拔头新工艺将为煤炭转化的四联供提供了一条可行的途径<sup>[1]</sup>

其工艺思路由图6所示。煤经过快速热解产生的油气经过快速冷却将油、气分离。由于快速热解、快速冷却，避免了热解产品的二次裂解和二次聚合反应，提高了油产率，同时降低重焦油量。

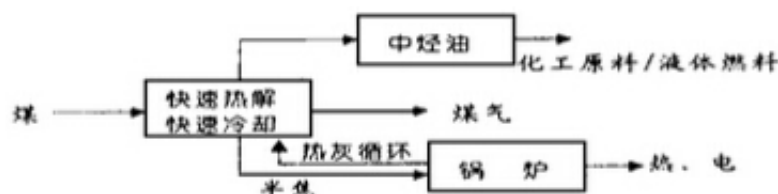


图6 拔头工艺示意图

如前所述，传统的煤转化过程，如气化，将煤中的碳氢化合物组分降至一碳。这样就使得一些高品位的环烃如苯、甲苯、酚等降级。而拔头工艺的创新点在于它创造了一个能直接提取高品位碳氢化合物的工艺，分离后的煤气可作为城市煤气，而剩余的半焦可作为燃料发电、供热。

拔头工艺可利用流态化技术实现。这样可以达到煤的四联供集成。由于该工艺可以在较低的温度下实现，反应条件温和，较容易实现在不同阶段对S、N等污染物的先驱物进行处理，节省一次投资和运行费用。

## 2.混烧技术

混烧技术指将不同种类的燃料共同转换的技术。它源于为改善煤的燃烧特性的配煤技术。在此将讨论煤与生物质和垃圾的混烧技术。

我国是一个农业大国，生物质资源丰富，农作物秸秆年产量约6亿吨，其中60%被弃置。在收割后，大量秸秆被就地燃烧，浪费能源、污染环境，同时所产生的烟尘还影响正常的交通运输(机场停飞、高速公路关闭)。而生物质本身是一种可再生的能源，由于其生长过程吸收的二氧化碳与其燃烧过程中生成的二氧化碳相等，故其净二氧化碳排放量为零。生物质作为能源可减少二氧化碳的排放总量，然而，由于一年生的植物秸秆中含有大量的氯和碱金属，所以直接燃烧会引起一系列的运行问题，如高温腐蚀、结渣、粘灰等。生物质与煤的混烧技术可望解决这些问题。

与此同时，随着经济的高速发展，城市化水平和人民生活水平的不断提高，中国的城市垃圾产量与日俱增。由此引起的环境污染问题日趋严重，城市垃圾的处理已成为直接影响城市经济建设，人民生活质量的重要因素。据统计，1995年城市生活垃圾清运总量已达1.08亿吨，工业固体废物生产量为6.45亿吨。而高消费产生的生活垃圾越来越多，成分日益复杂而难于处理。为实现城市垃圾的资源化、能源化利用，发展垃圾焚烧技术势在必行。

垃圾具有成份复杂、灰分大、燃烧难等问题。此外，由于其中的高氯含量和重金属含量，在焚烧过程中会产生高温氯腐蚀的二噁英排放高的问题。分级转化技术是解决这些问题的途径<sup>[2]</sup>，同时采用与煤混烧的方法可望彻底解决垃圾焚烧中的这些问题。

图7给出了煤与生物质和垃圾混烧的方案示意图。由于上述的生物质和垃圾燃烧时所具有的问题，生物质和垃圾不能与煤直接混合来燃烧。首先将生物质或垃圾加入热解室，热解后的气体经过脱氯净化处理加入燃煤锅炉的上方作为再燃燃料。这样解决了生物质或垃圾在燃烧过程中产生的腐蚀问题，同时还可以还原燃煤过程利用生长中产生的氮氧化合物，而剩余的对生物质半焦可经处理制做活性炭，对剩余的垃圾焦、灰混合物可经处理制做保温材料，这样就可以达到综合利用的目的。

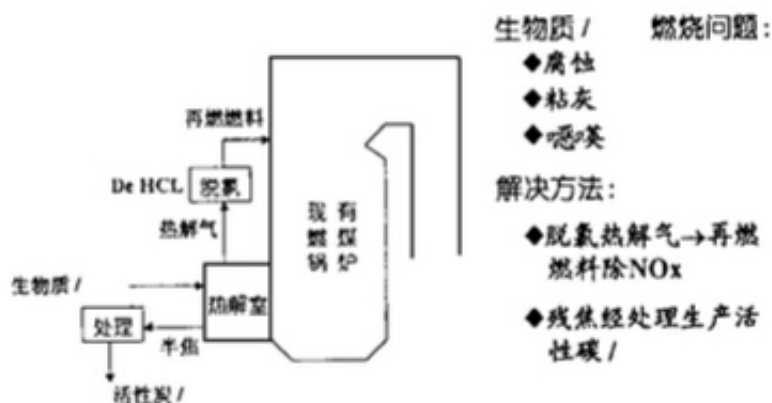


图7 煤与生物质/垃圾混烧方案示意图

## 六、现有设备的改造

现有设备的改造包括以下几个方面：

### 1.适应中国国情的脱硫脱硝技术

- 无水污染的湿法脱硫技术
- 再燃法降低氮氧化合物
- 流化床技术燃用高硫煤及其他高硫燃料

- 低成本可再生脱硫剂

2. 燃煤及混烧过程中微量重金属的治理

3. 现有煤粉锅炉中飞灰的综合利用：用于建筑材料

4. 现有工业窑炉的改造：主要致力于提高效率、降低污染。

5. 小型燃煤设备的改造：致力于提高效率降低污染，同时加强新型设备的研究，进行更新换代。

## 七、结论

1. 清洁煤转化应根据煤的结构特点，遵循综合利用、分级转化、污染治理、品位提高的原则。

2. 在发展洁净煤新技术的同时，应开展相应的基础理论研究。

3. 新技术开发应与现有技术设备的改进相结合。

## 参考文献

[1] 郭慕孙. 煤的拔头工艺. 中国科学院第九次院士大会学术报告摘要汇编, 1998. 202-204

[2] 林伟刚. 双级料腿循环床垃圾焚烧锅炉. 中国专利申请, 9921654213, 1999

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/98324.html>