

# The Investigation of Cleanness-Utilization Technology of Coal Resource

Baoan Fan

Wuhan University of Science and Technology, Department of Chemical Engineering and Technology  
Research Center of Green Manufacturing and Energy-Saving & Emission Reduction Technology, Wuhan, China  
fanbaoan@yahoo.com.cn

**Abstract:** In this paper, various cleanness-utilization technologies of coal around home and abroad were reviewed and their limitations were analyzed. The evaluation criterion of cleanness-utilization technologies of coal was proposed. For the purpose of cleanness-utilization of coal resource authentically, the current clean coal technologies must be optimized and integrated together. At last, it can be concluded that increasing the utilization efficiency of coal is the essential approach to reducing carbon emissions.

**Keywords:** coal; cleanness-utilization; carbon emissions

## 煤炭资源清洁利用技术探讨

范宝安

武汉科技大学化学工程与技术学院 绿色制造与节能减排科技研究中心, 武汉, 中国, 430081  
fanbaoan@yahoo.com.cn

**【摘要】** 本文首先综述了目前国内外各种煤炭资源的清洁利用技术, 分析了其中存在的问题, 提出了煤炭清洁利用技术的评价指标, 指出了必须要将现有洁净煤技术进行优化整合才能真正实现煤炭资源的清洁利用。最后文章指出提高煤炭的利用率是减少碳排放的根本之道。

**【关键词】** 煤炭; 清洁利用; 碳排放

### 1 引言

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国, 煤炭生产量和消费量占世界总产量的 1/3 左右。2002~2004 年, 我国煤炭产量均居世界首位, 分别为 13.8 亿 t, 16.1 亿 t 和 19.5 亿 t; 内煤炭消费量相应为 13.7 亿 t, 15.9 亿 t 和 18 亿 t<sup>[1]</sup>。目前我国查明煤炭储量为 1.3 万亿吨, 预测煤炭总资源量为 5.57 万亿吨, 煤炭在我国一次能源的生产和消费总量中比例分别为 76% 和 69%<sup>[2]</sup>。常规能源的储量也以煤炭为主 (煤炭占 89.3%, 石油占 3.5%, 天然气占 1.3%, 水能占 5.9%<sup>[1]</sup>)。长期以来, 煤炭在我国能源结构中一直占有绝对主导地位。随着我国国民经济的快速发展, 对能源的需求量将不断提高, 而我国“富煤贫油少气”的能源结构特点决定了煤炭资源将在未来很长一段时期内继续作为能源主体被开发和利用。

不可否认, 煤炭作为重要的燃料和化工原料在我

国国民经济发展过程中发挥着极其重要的作用, 然而, 由于煤炭的结构和组成的复杂性, 在煤炭的利用过程中也同样带来诸多环境问题。组成煤炭的元素主要有碳、氢、氧、氮和硫, 同时还有极少量的磷、氟、氯和砷等元素, 煤炭组分中含有的硫、氯、氮等有害物质在直接燃烧后被排放到环境中, 会引起严重的环境污染。有关资料表明, 以煤为主的能源结构是形成以城市为中心的大气污染的重要原因, 排入大气中 90% 的 SO<sub>2</sub>、70% 的烟尘、85% 的 CO 来自于燃煤<sup>[2]</sup>。目前, 我国已成为世界上环境污染最严重的国家之一, 这不仅严重地威胁到我国的生态环境, 同时也会造成极大的经济损失。

过去煤炭的非高效、非清洁利用带来的诸多环境问题已经成为我国经济协调、可持续发展的制约因素, 从长远的发展观点来看, 我国以煤为主的能源消费结构正面临着严峻挑战, 如何解决燃煤引起的环境污染问题已迫在眉睫, 对煤炭资源的清洁利用势在必行。

煤炭资源的清洁利用包含两个方面的含义: 一是要减少在煤炭使用过程中产生的有毒、有害物质的排

基金项目: 武汉科技大学绿色制造与节能减排科技研究中心基金 (B0915)。

放(如  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、氯化物、氟化物和含重金属灰分等);另一方面是减少主体产物——二氧化碳的排放。

本文将就目前洁净煤技术研究现状探讨煤炭资源清洁利用的途径,并分析其可行性及其应用前景。

## 2 洁净煤技术研究现状

20 世纪 80 年代开始,发达国家从能源发展的长远利益考虑,相继开展洁净煤技术的研究工作,在一些主要领域已取得重大进展,许多科研成果已经进入商业化推广阶段,取得了巨大的经济效益。我国自 1985 年也开始了对洁净煤技术的开发和研究工作,经过广大科研工作者二十余年来的不懈努力,国内的洁净煤利用技术也取得的重大突破,在某些研究领域甚至达到了国际领先的水平。目前国内外的洁净煤技术的研究主要集中在燃烧前净化技术、燃烧中净化技术、燃烧后净化技术及煤转化技术等方面。

### 2.1 燃烧前净化技术<sup>[3]</sup>

燃烧前净化技术是通过煤炭进行预处理,在煤炭燃烧之前去除其中的杂质和有害元素,从而减少煤炭在燃烧过程中产生有毒、有害污染物的多种技术。其中包括煤炭洗选技术、型煤加工技术、动力配煤技术和水煤浆技术等。

#### 2.1.1 煤炭洗选技术<sup>[4]</sup>

煤炭洗选技术即选煤技术,它是利用煤和杂质的物理、化学性质的差异,通过物理、化学或微生物分选的方法除去或减少原煤中所含的灰分、矸石、硫等杂质,并按不同煤种、灰分、热值和粒度分成不同等级,加工成质量均匀、用途不同的煤炭产品。物理选煤和物理化学选煤技术是实际选煤生产中常用的技术,一般可有效脱除煤中矿物质和无机硫(黄铁矿硫),化学选煤和微生物还可脱除煤中的有机硫。目前,我国主要选煤方法以跳汰、重介质和浮选等三种工艺为主,其中跳汰生产工艺占的比重最大。

#### 2.1.2 型煤加工技术<sup>[5]</sup>

型煤加工即用机械方法将粉煤和低品味煤制成具有一定粒度和形状的煤制品,减少烟尘的排放量,高硫煤成型时可以加入适量的固硫剂或催化剂,以减少二氧化硫的排放。我国型煤主要包括工业型煤和民用型煤两大类。民用型煤配以先进的炉具,热效率比原煤高一倍,一般可节煤 20~30%,煤尘和  $\text{SO}_2$  减少 40

%~60%,应用广泛。但工业型煤价格高,销路不好,未能形成商业化生产规模;型煤厂生产规模小,装备水平低,生产工艺流程不规范,灵活性差,技术水平有待提高。

#### 2.1.3 动力配煤技术<sup>[6]</sup>

动力配煤技术是将不同类别,不同质量的单种煤通过筛选、破碎,按不同比例混合和配入添加剂等过程,以满足不同燃料设备要求的一种成本较低,易工业化实施的技术。在满足燃料设备对煤质要求的前提下,采用动力配煤技术可最大限度利用低值煤或充分利用当地现有煤炭资源,提高设备热效率,节约煤炭。统计表明锅炉采用配煤后,平均节煤可达 5%。

#### 2.1.4 水煤浆技术<sup>[7]</sup>

水煤浆是 20 世纪 70 年代兴起的一种以煤代油新燃料,由灰分很低而挥发分高的煤、添加剂和水组成,将煤炭、水、添加剂加入磨机中,经磨碎后成为一种类似于石油一样的可以流动的煤基流体燃料,该燃料具有较好的流动性和稳定性,可以像油一样泵送、雾化、储存和点火燃烧,是一种燃烧效率较高和低污染的廉价洁净燃料,其热值约为燃料油的一半,而成本不及石油价格的 1/3。

### 2.2 燃烧中净化技术<sup>[8]</sup>

煤炭燃烧过程中的净化燃烧技术,主要是改变煤的燃烧方式,包括先进燃烧器技术、流化床燃烧技术等。先进燃烧器技术是指改进锅炉、窑炉结构与燃烧技术,减少二氧化硫和氮氧化物排放的技术,包括空气分段、再燃烧等技术。流化床又叫沸腾床,该项技术由于燃烧温度低,可减少氮氧化物排放量,通过向煤中添加石灰可减少二氧化硫排放量,炉渣可以综合利用,能烧劣质煤等,目前已成为洁净燃煤的主要技术。

### 2.3 燃烧后净化技术<sup>[9]</sup>

煤炭燃烧后的净化处理技术,主要是指对尾部烟气的处理技术,包括除尘、脱硫和脱硝等。除尘技术很多,主要有静电除尘器和布袋除尘器,效率可达 99%以上。脱硫有干法和湿法两种,干法是用浆状石灰喷雾和烟气中的二氧化硫反应,生成干燥颗粒硫酸钙,用集尘器收集;湿法是用石灰水淋洗烟尘,生成浆状亚硫酸钙排放,脱硫效率达 90%以上。

### 2.4 煤转化技术

煤炭转化技术是指将煤转化为洁净燃料的技术。主要包括煤气化技术、煤液化技术、煤气化联合循环发电技术以及煤气化多联产技术。

#### 2.4.1 煤的气化技术<sup>[10]</sup>

有常压气化和加压气化两种，即在常压或加压条件下，保持一定温度，通入气化剂(空气、氧气和蒸汽)与煤炭反应生成煤气，煤气中主要成分是一氧化碳、氢气、甲烷等可燃气体。

#### 2.4.2 煤的液化技术<sup>[11]</sup>

有间接液化和直接液化两种。间接液化是先将煤气化，然后再把煤气液化，如由煤制甲醇作为汽油的代用品，目前该技术国内已投入生产。直接液化是把煤直接转化成液体燃料，比如直接加氢将煤转化成液体燃料，或煤炭与渣油混合成油煤浆反应生成液体燃料，该技术国内已进行的大量的研究，不久即将投入生产。

#### 2.4.3 煤气化联合循环发电技术<sup>[12]</sup>

即先把煤制成煤气，再用燃气轮机发电，排出高温废气烧锅炉，再用蒸汽轮机发电，整个发电效率可达45%，不仅可以提高系统热效率，还降低了SO<sub>2</sub>排放，除发电以外，还可副产煤气、蒸汽和热水。

#### 2.4.4 煤气化多联产技术<sup>[13]</sup>

将多种煤炭转化技术通过优化集成在一起，可实现煤炭能源价值的梯级利用，使煤炭利用效率和经济效益得到优化。在多联产系统中，煤炭通过气化把两大系统燃料(固体燃料和气体燃料)的生产过程联结起来进行物质与能量交换，生产出液体燃料、电和化工产品。通过联产系统可以把煤炭转化成具有高附加值、多样化的后续产品，同时在生产过程中避免的对环境的污染，实现了清洁生产。

### 3 洁净煤技术存在的问题及应用前景

目前开发的这些洁净煤利用技术大多都已经比较成熟，并且其中很大一部分都已经投入了实际生产，但其中仍然存在着各种各样的问题。其中一个最突出的普遍问题就是这些技术基本上都是着眼于去除煤炭中各种杂质和控制燃烧后污染物的排放，而没有将重点放在减少煤炭燃烧产生的碳排放上。这是因为煤炭在燃烧过程中必然会产生碳排放，不可避免，即便是减少，实现起来也相当困难。要想减少煤炭利用过程中的碳排放，唯一的途径就是提高煤炭的利用率。下面本文将根据目前的研究现状和笔者的研究经历探讨

提高煤炭利用率的一些有效途径。

#### 3.1 利用煤气化技术制氢

煤气化得到的煤气主要由H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、低碳不饱和烃和少量硫化物、氨等气体构成，由于成分相当复杂，一般只能通过燃烧的方法利用其中部分化学能。如果能够通过采用水煤气重整技术将其中的CO、CH<sub>4</sub>、低碳不饱和烃转变成CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>，然后再将氢分离出来，就可以得到高效、清洁的氢燃料。液氢能量是精煤的7倍<sup>[14]</sup>，更重要的是氢燃烧的产物是水，对环境没有任何污染。剩下的煤气尾气可继续将CO<sub>2</sub>分离出来，用于制干冰、碳酸饮料、释放于蔬菜大棚或采取适当的固碳技术将其深埋于海底或废弃的矿井里。去除了CO<sub>2</sub>的煤气尾气可继续分离出硫化物用于制硫酸，分离出氨气用于制氨水或硝酸。这样煤中的各种元素都得到了有效的分离和利用，同时避免了对环境造成的污染。

#### 3.2 利用煤液化技术制取燃料油和多种化工原料

煤液化技术有直接液化和间接液化之分。直接液化是将煤在高温高压下进行催化加氢，使煤中的有机物直接转化为液体燃料。煤直接液化所得的产品中，50%~60%为中油、10%~20%为重油，另有约7%是芳烃<sup>[15]</sup>，其中的中油和重油将催化裂解可进一步加工精制成汽油、柴油等燃料油，芳烃则可从分离提取出苯、甲苯、二甲苯、萘、蒽、噻吩、吡啶、喹啉等多种化工原料。煤间接液化是先将煤气化，然后使煤气中的H<sub>2</sub>和CO在催化剂的作用下制甲醇或二甲醚。甲醇可直接代替汽油为机动车辆提供动力(目前国内已经开发出了已甲醇作为燃料的汽车)，或利用甲醇燃料电池发电。另外，甲醇本身也是一种重要的化工基本有机原料，可用于生产甲醛、甲酸、氯甲烷、甲氨、硫酸二甲酯等多种有机产品，用于塑料、医药、农药、染料、合成纤维、合成蛋白质等工业。

#### 3.3 利用燃料电池发电技术提高煤炭的发电效率

将煤炭燃烧以后利用其燃烧热进行火力发电不仅效率低下(<40%)，而且污染严重(会排放出大量的SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和粉尘)。而燃料电池发电具有高效、清洁两大特点，发电效率可高达40%~60%<sup>[16]</sup>，如果能够实现热电联产，燃料电池的综合发电效率可达到80%<sup>[17]</sup>。研究表明发电效率每提高1%就可以减少2%的碳排放

[18]。另外，由于燃料电池内部燃料没有被燃烧，因此燃料电池排出的废气中不含有  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和粉尘。同时由于燃料电池没有运动部件，运行安静、无噪音。因此，如果首先采用煤气化技术将煤变成水煤气，然后采用燃料电池发电，不仅可以提高发电效率，而且也避免了对环境的污染，同时减少了碳排放。

### 3.4 利用煤焦化技术制焦炭、制氢同时进行煤气—蒸汽联合发电

焦化是指煤在隔绝空气条件下，在  $900\text{--}1000^\circ\text{C}$  干馏，产物为焦炭，副产物为焦炉煤气。焦炉煤气中含氢气  $55\text{--}60\%$ （体积）、甲烷  $23\text{--}27\%$ 、一氧化碳  $6\text{--}8\%$  等<sup>[19]</sup>。焦炭可以作为合成氨工业和钢铁工业的原料，也可以利用直接碳燃料电池发电。焦炉煤气可制备甲烷、甲醇或重整后制氢。焦炉煤气也可以直接进行煤气—蒸汽联合发电，煤气燃烧后产生的高温废气首先带动燃气轮机发电，发电后的废气再通过锅炉回收其中的热量带动蒸汽轮机发电，最后的废气还可以供暖，废蒸汽可产生热水，从而实现热电联产，提高煤气的综合发电效率。

## 4. 结束语

煤炭资源清洁利用包含了两个方面的含义，一是在煤炭的使用过程中无污染物排放，二是在煤炭燃烧过程中尽可能减少碳排放。目前国内外已经开发出了众多的洁净煤利用技术，但任何一项单一的技术都无法同时实现上述两个目标，因此需要将现有的技术进行优化整合，充分利用各种技术的优缺点，取长补短。开发利用洁净煤技术的基本思想是将煤首先转变成清洁的气体或液体燃料然后加以利用以减少煤炭在燃烧过程中产生的污染物；尽可能选择发电效率高的能量转换技术以减少燃煤发电产生的碳排放。另外，还应该更多地将煤转变成各种化工原料，如焦炭、氢、芳香烃等，即将煤炭作为一种资源而不仅仅是一种能源加以综合利用。总之，煤炭作为一种高碳资源，只有通过提高其利用率才能有效地减少碳排放。

## References (参考文献)

- [1] HAN Janguang, ZHU Guanghui, HAN Zhen. New Clean Coal Technology[J]. *Coal Mine Modernization*, 2009(1), P38-40(Ch). 韩建光, 朱广辉, 韩臻. 洁净煤新工艺技术[J], 煤矿现代化, 2009(1), P38-40.
- [2] ZHANG Haibin. The Superficial Analysis of the Necessity and Venture of Developing Natural Gas made by Coal[J], *Chinese*

- hi-tech enterprise*, 2009(6), P92-93 (Ch). 张海滨. 浅析我国发展煤制天然气的必要性及其风险[J], 中国高新技术企业, 2009(6), P92-93.
- [3] YANG Yufen. New Purification Technology before Burning is the Way to Control Coal Combustion Pollution[J], *Jiangsu Coal*, 1999(4), P36-38. 杨玉芬. 燃前净化新技术是治理煤烟型污染的途径[J], 江苏煤炭, 1999(4), P36-38.
- [4] SHAN Zhongjian. Coal washing and Selecting Environmental Engineering[M]. Beijing: Coal Industry Press, 986, P75-78. 单忠健. 煤炭洗选环境工程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986, P75-78.
- [5] HAO Linshan. Clean Coal Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005, P35-36. 郝临山. 洁净煤技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005, P35-36.
- [6] YAO Qiang, CHEN Chao. Clean Coal Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005, P106-107. 姚强, 陈超. 洁净煤技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005, P106-107.
- [7] YU Zhufeng. The Development and Application of Clean Coal Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004, P125-129. 俞珠峰. 洁净煤技术发展及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004, P125-129.
- [8] CHEN Wenmin, LI Wenhua, XU Zhengang. The basis of Clean Coal Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004, 1997, P228-232. 陈文敏, 李文华, 徐振刚. 洁净煤技术基础[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997, P228-232.
- [9] JIANG Wenju. The Removal of Sulfide and Nitride from Flue Gas[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007, P108-126. 蒋文举. 烟气脱硫脱硝技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007, P108-126.
- [10] SHEN Ganglun, SONG Shiquan. Present Situation and Expectation of Coal Gasification Technology[J], *Shanghai Gas*, 2009(1), P1-5,18(Ch). 沈纲轮, 宋世权. 煤气化技术现状和展望[J], 上海煤气, 2009(1), P1-5,18.
- [11] HAO Xuemin, ZHANG Haoqin. Prospect of the Coal Liquefaction Technology[J], *Coal Chemical Industry*, 2008(4), P28-32(Ch). 郝学民, 张浩勤. 煤液化技术进展及展望[J], 煤化工, 2008(4), P28-32.
- [12] ZHU Guangsheng, ZENG Chong. Estimate of Intergrated Gasification Combined Cycle[J], *Applied Energy Technology*, 2009(4), P30-33 (Ch). 朱广胜, 曾冲. 煤气化联合循环发电工艺评价[J], 应用能源技术, 2009(4), P30-33.
- [13] LENG Xuefeng, PAN Weiguo, WANG Wenhuan, et al. Status Quo of the Development of Integrated Gasification Combined Cycle[J], *Journal of Shanghai University of Electric Power*, 2009,25(2), P117-121(Ch). 冷雪峰, 潘卫国, 王文欢, 等. 煤气化及其多联产系统技术的发展现状[J], 上海电力学院学报, 2009,25(2), P117-121.
- [14] JIN Xiaozhao. The Technology of Cleanness-utilization of Coal and the Energy Recourse Development of Central and West of China[J], *Construction of Energy Resource Base*, 2000(1), P15-17(Ch). 靳小钊. 煤炭清洁利用技术与中国中西部能源开发[J], 能源基地建设, 2000(1), P15-17.
- [15] LI Zhigan. The Review of Development of making oil by coal[J], *High-tech Enterprise in China*, 2008(23), P103-104 (Ch). 李志光. 煤制油技术发展综述[J], 中国高新技术企业, 2008(23), P103-104.
- [16] A. Kirubakaran, Shailendra Jain, R.K. Nema. A review on fuel

- cell technologies and power electronic interface[J], *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009,13(9), P2430-2440.
- [17] CHI Kebin, LI Fangwei, LI Yinghui, et al. Progress in solid oxide fuel cell[J], *Natural Gas Chemical Industry*, 2002,27(4), P37-44(Ch).  
迟克彬, 李方伟, 李影辉, 等. 固体氧化物燃料电池研究进展[J], *天然气化工: C1 化学与化工*, 2002,27(4), P37-44.
- [18] ZHAO Bin, LI Hanying, DONG Zhijing. The efficient and clean utilization of coal and generating electricity[J]. *Energy Conservation and Environment Protection*, 2003(12), P24-27(Ch).  
赵斌, 李海英, 董志敬. 煤炭资源的高效、清洁利用与发电[J], *节能与环保*, 2003(12), P24-27.
- [19] YANG Meiting. The Discussion of Comprehensive Utilization of Coke Oven Gas[J], *Sichuan Metallurgy*, 2003, 25(3), P13-14,5(Ch).  
杨眉亭. 焦炉煤气综合利用的探讨[J], *四川冶金*, 2003, 25(3), P13-14,5.