

中国洁净煤技术发展现状、问题及对策分析

李雷

全国工商联新能源商会

摘要：本文简要分析了目前中国推广洁净煤技术的必要性，对洁净煤技术分类别的做了一个整体介绍，简单介绍了国内目前的洁净煤技术利用和产业发展现状，指出目前的发展障碍和不足，并提出了相应的对策，最后整体展望了中国的洁净煤技术发展方向。

关键词：洁净煤技术；必要性；现状；障碍；对策

The present Development Situation, Obstacles and Countermeasure of Clean Coal Technology in China

LEI LI

China New Energy Chamber of Commerce

Abstract: It was given a brief analysis that China's current necessity for the promotion of clean coal technology, the clean coal technology was classified in a whole, the domestic use of current clean coal technology and industrial development of the status quo were introduced, the the current obstacles and shortcomings in development was pointed as well as the countermeasure. and finally , the overall outlook on China's clean coal technology development was advanced.

Key words: Clean coal technology; Necessity; Present situation; Obstacles; Countermeasure

总述

1985 年，美国和加拿大关于解决两国边境酸雨问题谈判的特使德鲁·刘易斯(Drew Lewis, 美国) 和威廉姆·戴维斯(William Davis, 加拿大) 率先提出了洁净煤(Clean Coal)的概念。后来，人们将旨在减少污染和提高效率的煤炭加工、燃烧、转化和污染控制等的新技术总称为洁净煤技术(Clean Coal Technology, 简称CCT)。当前，CCT已成为世界各国解决环境问题主导技术之一，也是高技术国际竞争的一个重要领域^[1]。

1. 必要性分析

我国是世界上最大的产煤国和消费国，煤炭资源丰富，煤种齐全，查明煤炭储量 1.5 万

亿吨，长期以来，煤炭在一次能源生产和消费结构中占到 70%，然而，相对来说，我国是一个“缺油少气”的国家，从 1993 年开始，我国的石油就开始进口，近期以来，国民经济所消耗石油中，进口石油占据了 1/3 多，而且进口石油的所占的权重还在不断增大，严重影响我国的能源消费安全，加上现今新能源开发的成本还较高，竞争力还不是很明显，所以，有人^[2]估计，至少在今后 20 年内，煤炭作为主要能源的煤炭在中国能源中的主导地位不会改变。煤炭资源是我国的主导性能源，但是也是一种污染性极大的资源，如果不对其进行科学利用，其开采和燃烧过程中产生的矽石、烟尘等将严重污染环境，威胁人们身体健康，对我国走稳定、健康的可持续发展道路构成重大威胁。可以说，今后这二十年也是我们与环境污染、资源安全作斗争的二十年，困难是显然的。面对困难我们必须要有突破，将煤炭资源的进行科学规划和利用，采用洁净煤技术，提高煤炭资源能量利用效率，丰富能源利用形态，减少污染，降低对进口资源的依赖，走中国特色的中国洁净煤战略道路，是很好的破除困境的办法，也是必要性的选择。

2. 洁净煤技术介绍

1997 年，国务院批准了《中国洁净煤技术九五计划和 2010 年发展纲要》，其中规定，我国的洁净煤技术包括以下四个领域：煤炭加工、煤炭高效洁净燃烧、煤炭转化、污染排放控制和废弃物处理。

2.1 煤炭加工技术

煤炭加工技术主要包括洗选煤技术、型煤技术以及水煤浆技术等。

2.1.1 洗选煤技术

选煤是应用物理、物理化学、化学或微生物等方法将原煤脱灰、降硫并加工成质量均匀、用途不同的各品种煤的煤炭加工过程^[3]，其中选用的各种方法即为洗选煤技术，这是提高煤炭利用效率、减少污染物排放的最经济、有效的途径。目前，国内采用的选煤方法主要为重介、跳汰、浮选以及干法选煤。

2.1.2 型煤技术

型煤是用一种或一定比例的黏合剂或固硫剂在一定的压力下加工形成的、具有一定的形状和物理化学性能的煤炭产品。工业层燃锅炉和工业窑炉燃用型煤与燃用原煤相比，能显著提高热效率，减少燃煤污染物的排放^[4]。型煤技术又包括三项子技术，分别是：粘结剂技术，

添加技术和成型技术。型煤过程中，我们需采用廉价高效型煤粘结剂、能加快燃烧反应速度，提高热能利用并减少有害气体排放的添加剂以及在 20~35 MPa 之间的成型压力。

2.1.3 水煤浆技术

水煤浆是 70 年代石油危机中发展起来的一种煤基流体燃料。它是用一系列技术将煤粉和水按照重量比 7:3 的比例混合再加入少量化学添加剂配合成的混合物，约 2 t 或 2.5 t 普通水煤浆可代替 1 t 重油。因水煤浆具有良好的流动性和稳定性，所以其可以象油一样实现全密封储运和高效率的雾化燃烧^[5]。总体上水浆煤属于一种见效快、节能和环保型的理想代油燃料。水煤浆技术应用具有燃烧效率高，大气污染控制效果明显，具有较强的工艺优越性等优点。

2.2 煤炭高效洁净燃烧技术

煤炭高效洁净燃烧包括整体煤气化联合循环发电技术，增压流化床联合循环发电技术等几个方面。

2.2.1 整体煤气化联合循环发电技术

整体煤气化联合循环发电(Intergrated Gasification Combined Cycle)技术，是一种新型的先进洁净煤燃烧发电技术。它的系统由三部分组成，一部分是煤的气化部分，一部分是煤气的净化部分(气化炉、空分装置、煤气净化设备)，另一部分是燃气-蒸汽联合循环发电部分(燃气轮机发电系统、余热锅炉、蒸汽轮机发电系统)。操作时，将为煤气化为中低热值煤气，再将煤气净化，除去其中的硫化物、氮化物、粉尘等污染物，变为清洁的气体燃料，然后进入燃气轮机的燃烧室燃烧，加热气体工质以驱动燃气轮机做功，燃气轮机排气进入余热锅炉加热给水，产生过热蒸汽驱动蒸汽轮机做功^[6]，整个过程是联合循环过程。

2.2.2 增压流化床联合循环发电技术

增压流化床联合循环(又称 PFBC)是以一项以增压的(1.0~1.6 MPa)流化床燃烧室为主体，以蒸汽、燃气联合循环为特征的热力发电技术。操作时，先将煤和脱硫剂制成水煤浆，用泵将其注入流化床燃烧室内(另一种方法是用压缩空气将破碎后的煤粒吹入流化床燃烧室内)，然后压缩空气，将压缩空气经床底部的压力风室和布风板吹入炉膛，使燃料流化、燃烧，在流化床燃烧室中部注入二次风使燃料燃尽。床内燃烧温度一般为 850~950 °C。炉膛出口的高温高压烟气经除尘后，驱动燃气轮机，燃气轮机一方面提供压缩空气的动力，另一方面带动发电机发电。同时锅炉产生的过热蒸汽进入汽轮机，带动发电机发电^[7]。

2.3 煤炭转化技术

煤炭转化技术指的是煤炭气化、液化以及与燃料电池联合利用等。

2.3.1 煤炭气化技术

煤炭气化技术是指在特定的设备内，在一定温度及压力下使煤中有机质与气化剂(如蒸汽/空气或氧气等)发生一系列化学反应，将固体煤转化为含有CO、H₂、CH₄等可燃气体和CO₂、N₂等非可燃气体的技术^[8]。煤炭气化技术包括完全气化技术、温和气化(低温热解)技术和地下气化技术。煤经气化后可以达到无烟、无硫、无灰的燃烧效果，大大减少环境污染，是实现煤炭洁净利用的先导技术和主要途径。

2.3.2 煤炭液化技术

煤炭与液体燃料相比，其不便于运输，且煤炭是一种碳含量高，氢含量只 5%的固体，其中的氢含量只有石油的 1/2，不能直接提供给内燃机和其他内燃设备从而成为车用燃料^[9]。如果要想使得煤炭可以用作车辆燃料，煤炭必须转化成类似氢含量的液体物质。将煤经化学加工转化成洁净的便于运输和使用的液体燃料、化学品或化工原料等的过程技术的合称即为煤炭液化技术。

2.3.3 燃料电池联合利用技术

燃料电池是在一定条件下使H₂、天然气或者煤炭等的催化重整气(主要是H₂)等与氧化剂(空气中的 O₂)发生化学反应，将化学能直接转换为电能和热能的一种装置。也是一种系统技术。从理论上讲，只要外部连续地供给燃料，燃料电池就可以不间断地输出电能^[10]。由于燃料电池的发电过程不经历燃烧过程(即燃料电池不是一种热机)，其运作过程不受卡诺循环的限制，因而具有很高的能量转换效率(理论上可大于 80%)，而且发电过程不会造成环境污染。

2.4 污染排放控制和废弃物处理

煤炭的污染排放控制和废弃物技术处理指的是烟气净化、煤层气利用和煤矸石综合利用等方面的技术综合。

2.4.1 烟气净化技术

烟气净化是清除燃烧产生的烟气中的有害物质如灰尘、SO₂、NO_x，它包括除尘、脱硝和脱硫等几个方面的内容。除尘方面，有电气除尘器，过滤器与湿式除尘器(包括洗涤塔与湿式电气除尘器)等几种技术除尘手段。脱硫方面，目前常用的技术手段分湿法、半干法和干法几种。其中湿法有石灰/石灰石法洗涤、氨法和Wellmand-Lord 法等，干法有活性碳法

和Desonox法等。脱硝方面，可以通过烟气回流降低燃烧区的局部温度以及采用分层供风两段燃烧等措施来降低含氮氧化物排放，目前主要的脱硝方法为SCR(选择性催化还原) 法^[11]。

2.4.2 煤层气利用技术

煤层气俗称“瓦斯”，是吸附在煤层中非常规天然气。长期以来，瓦斯作为煤矿“第一杀手”不仅对煤矿的生产安全和矿工的生命安全构成了最大的威胁，而且还是一种具有强烈温室效应的有害气体，其大量排空对全球环境变化有较大影响。然而瓦斯的成分与常规天然气大体相同，主要有 90%以上的甲烷组成。近年来，煤层气作为一种新型能源再度被人们认识和肯定。将其广泛用于煤层气发电、汽车燃料、锅炉改造、工业用气、煤化工项目、居民用气等领域的技术是为煤层气利用技术^[12]。目前主要的开采方法是地面钻井开采。

2.4.3 煤矸石综合利用技术

煤矸石是煤炭开采时的一种副产物，其主要矿物成分是粘土矿物和石英，另外还含有部分的碳组分。目前中国累计堆有煤矸石山 1 500 多座，约 42 亿t，占地 114 万hm²，而且每年约以 1 亿t 的速度递增，每年形成新增占地 400 多hm²。煤矸石的大量堆积废置，给环境带来了巨大的污染，如：侵占耕地，自燃所产生的有毒有害气体对大气的污染，风蚀扬尘及淋溶水污染等^[13]。因此必须对煤矸石进行合理的综合利用。煤矸石的综合利用包括：煤矸石发电、生产建筑材料、回收有益矿产品、制取化工产品、改良土壤、生产肥料、回填(包括建筑回填、填低洼地和荒地、充填矿井采空区、煤矿塌陷区复垦)、筑路等。其中运用的一些方法和技术手段即为煤矸石综合利用技术。

3. 我国洁净煤技术发展和应用现状及趋势

经过几十年的发展，通过引进、消化和自主开发，我国在洁净煤技术的研究开发、示范及推广应用三个方面上均取得了一定进展，在洁净煤技术领域同发达国家之间的距离正在缩小。在煤炭洗选、煤炭转化、洁净煤燃烧和污染物资源综合利用等方面也都作出了一些成绩。

3.1 在煤炭洗选和加工方面

中国的选煤技术自主设计能力近些年有大幅提高，年选煤量由上世纪 90 年代的 4.42 亿t提高至 2006 年的 7.86 亿t (2006 年全国原煤产量为 23.25 亿t，入选率 33.8%，其中，入选冶炼用炼焦煤 3.88 亿t，入选动力煤 3.98 亿t)。其中干法洗选、重介质旋流器、细粒煤分选等技术发展迅猛；水煤浆制浆生产能力先已近 300 万吨/年，而且在工业燃烧水煤浆取得

实质性进展；我国已建成较大规模的动力配煤生产线，配煤能力 5000 多万吨每年；型煤技术得到大力推广，建立起了自己的锅炉型煤、气化型煤、型焦及配型煤炼焦和生物质型煤生产线^[14]。

3.2 在煤炭转化方面

我国的在煤炭转化方面进步也较大，通过引进和自主开发，目前已经掌握了多喷嘴水煤浆新型气化炉、加压粉煤流化床气化炉、灰熔聚常压流化床气化炉等新型煤炭气化技术，使得我国工业生产方面单位能耗降低。另外，煤炭液化也取得明显效果，如潞安煤基合成油示范厂已具备 160 kt/a 的柴油、石脑油、LPG 及少量混合醇燃料的生产能力。根据第五届中国国际煤炭大会消息，2008 年我国煤制油的产能为 14.32 万 t，而且这个能力还在不断扩大，目前有神华集团、神华宁煤集团、内蒙古伊泰集团、兖矿集团、山西潞安矿业集团等拟建和在建的 7 个煤制油项目，据估计，到 2020 年中国煤制油产业将形成 5 000 万 t 的产能规模^[15]。另外，我国已经成功研制了 kW 级燃料电池堆，煤炭气化和燃料电池联合的研究在开展。

3.3 在洁净煤燃烧与发电方面

我国从 20 世纪 80 年代开始跟踪 IGCC 技术的发展，有一批科研机构和企业从事这方面的研究。西安热工研究院是国内对 IGCC 技术掌握较好的单位，其以干煤粉加压气化技术为核心的“绿色煤电”第一阶段 IGCC 发电示范工程(250MW) 会在 2009 年内建成投运。另外国家对 IGCC 技术的运用比较重视，2007 年，东莞市、杭州市和天津市等三个自主开发技术的 IGCC 电站示范项目并列入“十一五”国家 863 “以煤气化为基础的多联产示范工程”重大项目^[6]。在增压流化床联合循环发电技术，我国也有一定研究进展，如东南大学热能工程研究所构建了 2MWt 的加压喷动流化床部分气化炉，形成了较完整的 PFBC-CC 系统，气化炉产生的煤气热值在 $4.2\text{MJ}/\text{Nm}^3$ 以上，系统碳利用效率在 99% 以上^[16]。目前，220t/h 以下的循环流化床锅炉我国已实现国产化，410t/h 循环流化床锅炉燃煤发电工程示范正在组织实施^[17]。

3.4 在污染物治理与资源综合利用方面

我国开发了一系列烟气脱硫、除尘新技术，完成了多套电站烟气脱硫工程，煤矸石和煤泥等废物再资源化已初步实现产业化。国内现有煤矸石电站 110 多座，装机容量超过 1300

兆瓦。近年来通过治理, 现有国有重点煤矿的矿井水外排达标率达到 85%以上^[18], 同时国有重点煤矿选煤厂通过对生产系统进行改造, 提高了煤泥回收率, 洗水基本实现了洗水闭路循环。脱硫方面, 我国烟气脱硫技术发展的重点方向是湿法脱硫。目前已竣工的湿法脱硫系统有珞璜电厂 2×360MW 全容量湿法脱硫装置、山东黄岛电厂 100MW 旋转喷雾干法脱硫装置、太原第一热电厂 200MW 高速平流式湿法脱硫装置等。

4. 问题与障碍

我国洁净煤技术的研究和利用有较大的成果, 但是也存在许多的问题, 这些问题严重限制了洁净煤技术的推广运用。

4.1 缺乏对洁净煤技术发展总体布局的政策和延续规划

《中国洁净煤技术“九五”计划和 2010 年发展规划》在 1997 年已被国务院批准, 但除此之外, 相关的配套细则规划却仍未出台, 全国洁净煤技术的推进工作整体上还是显得比较缓慢^[19]。

4.2 缺乏鼓励企业发展洁净煤技术产业的激励机制

洁净煤技术的推广一方面靠国家政府的强制性推广, 另一方面也需要企业自律和自动。目前, 企业不愿采用或者采用洁净煤技术不积极, 原因之一国家相关产业激励机制尚缺乏, 没有明显的鼓励政策和金融、税收优惠政策。对于企业来说, 费力而没有利润的事情是不愿意去做的。

4.3 缺乏统一领导机构

国家煤炭工业部撤销以后, 相关职能并入了多个部门。这样造成洁净煤技术推广利用缺乏一个统一的领导机构和核心。各自为政的局面容易造成一些洁净煤技术项目重复建设、引进技术消化吸收差、一些需合作的技术或项目又不能很好发展等问题。

4.4 企业对发展洁净煤技术的重大战略意义认识不够, 自律不足

洁净煤技术相对投资高、回收期长, 不少企业尤其是中小企业难以接受。而一些有能力

的企业，在高层对洁净煤技术推广和应用却还未形成一种共识，同期，国家相关职能部门和相关研究机构的宣传推广也没有到位，这些一定程度上影响了洁净煤技术的推广发展。

4.5 洁净煤技术的市场还不规范，统一的标准体系有待完善

目前，洁净煤技术涉及到多个方面，多项技术，每种技术都应该有相关的标准体系和市场准入规范，然而，遗憾的是，目前，由于资金和人员的问题，这一部分工作还没有完全开展起来，缺乏统一的标准和规范，同时，国家在立法监督和评价体系建设方面也远未完善，造成洁净煤市场管理紊乱，竞争力不强。

4.6 一些先进技术吸收和自主化未完成

一些急需的技术，如先进的烟气脱硫技术、大型循环流化床技术、PFBC、IGCC、大型气化、煤炭液化等，目前还是处于引进和部分吸收状态，技术的完整吸收和自主化创新设计还未做起来，某些核心技术受制于发达国家。

4.7 净煤技术的资金融资渠道不是很通畅

一般工业化技术的推广应用都要经过研究开发、工业示范和推广应用 3 个阶段。洁净煤技术投入高、回收期长、重在环境效益。目前国家对这一块市场的融资需求还没有重视起来，多种形式的资金还未进入，筹集资金，促进洁净煤技术产业化成为困扰企业发展的大难题。

5. 对策分析

针对上述问题，我个人认为可以从以下几方面入手去进行解决。第一，国家加大对洁净煤技术利用和推广的支持力度，最好能在近期出台一些相关的产业政策和规划细则，增强可操作性，毕竟 1997 年出台的《中国洁净煤技术“九五”计划和 2010 年发展规划》已时至今日，国家和产业的大形势很多方面发生了变化，国家的规划应该做相应的调整和补充。第二，国家在财税政策方面对采用洁净煤技术的企业应给与一定的优惠，还可以参照新能源产业某些补贴标准制定相应的补贴标准，帮助企业建设和运行相应的设施，另外，对于那些积极采用洁净煤技术的企业，且作出明显环保和能效成果的，可以给与奖励。第三，由于在煤炭工

业部撤消后，洁净煤技术的推广利用涉及到多个主管单位，多龙治水的状态使得下属有些企业有些无所适从，个人认为，国家可以在相关职能部门抽调人员组成一个统一的技术推广和督导委员会，形成一个洁净煤技术利用和推广的领导核心。第四，新闻媒体、研究单位和主管部门做好洁净煤技术的宣传和推介工作，同时相关行业组织还可以组织一些研讨会、交流会等形式的交流平台，可以组织相关企业和政府的领导参观学习，做好思想扭转和视野开阔方面的工作。当然，在企业内部，也要组织类似的宣传活动，使得洁净煤概念深入人心。条件可以的话，相关的社会相关团体也可以做好在社会大众中的宣传和思想发动工作，形成采用洁净煤技术的社会共识。第五，国家相关职能部门应该联合起来，组织人员制定统一的技术和市场准入标准，同时，各级人大也应开展相关监督法案的制定工作，适时出台相关的管理法案，使得行业发展做到有法可依，有规可循。第六，高校和研究机构做好相关研究人才的培养工作，集合优势研究人力资源，做好重点、关键技术的科研攻关，加快国外先进技术的引进和吸收工作，同时尽量开展自主化设计，提高自身的技术参与能力，为我国洁净煤技术推广运用做好人力资源和技术资源的储备和支撑。第七，各金融机构，特别是国有的几大银行，应该对企业在洁净煤技术利用和推广方面的借贷给与支持，同时做好引导和资金去向的监管工作。在证券市场，可以允许一部企业发行技术股，把企业融资渠道多面化，广泛化和持久化。同时还可以把洁净煤技术的利用建设和 CDM 项目的申报结合起来，获取西方减排资金的支持。

6. 展望

中国是世界上最大的煤炭资源消费国家，煤炭资源在国民经济发展中占得比重很大，当然我们也是煤炭燃烧污染和浪费的大国，所以在中国发展洁净煤技术是很必要的，也是很紧迫的。目前，我们国家在洁净煤技术利用和推广方面已经取得了一定的进展和突破，对改变能源利用方式和保护环境作出了接触贡献。然而，与一些发达国家相比，我国的洁净煤技术大范围推广运用还有较长的路要走。当然，目前，我们国家仅是一个发展中大国，我们不能照搬西方国家洁净煤技术的利用模式。根据我国国情，我们未来应该走一条高效洁净、简单可靠、条件温和、投资节省、易于国产化的能源利用方式。综合而言，我国洁净煤技术研究开发的重点应集中在以下几个方面：能在较短时间内显著提高煤炭利用效率，有效控制污染物排放的技术，能对当前和未来优化能源结构发挥作用，有利于解决石油供需矛盾，保障能源安全并有产业化发展前景^[20]。相信我们在认识自身的同时，做好在政策、组织、标准、

人员、资金和技术等几个方面的工作，我国的洁净煤技术推广道路会越来越宽。

参考文献

-
- [1] 张世诚, 孙庶. 大力发展洁净煤技术, 创建环境友好型社会[J]. 煤炭技术, 2008, 27 (11): 164-165.
 - [2] 陈清如. 发展洁净煤技术, 推动节能减排[J]. 中国高校科技与产业化, 2008, 3: 65-67.
 - [3] 武乐鹏, 杨立忠, 解国辉. 选煤技术的发展[J]. 科技情报开发与经济, 2009, 19 (14): 121-123.
 - [4] 郭陶明. 国内外型煤技术现状分析与展望[J]. 煤炭技术, 2007, 26 (11): 3-5.
 - [5] 刘志群. 水煤浆技术应用现状及对策分析[J]. 环境保护科学, 32 (5): 11-13.
 - [6] 纪云锋, 张平. 21 世纪新洁净煤发电技术-IGCC[J]. 能源环境保护, 2008, 22 (1): 9-10, 25.
 - [7] 周一工. 大型增压流化床联合循环发电技术的发展[J]. 电力建设, 2000, 5: 38-40.
 - [8] 俞珠峰. 洁净煤技术发展及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004, 123.
 - [9] 贾明生, 陈恩鉴, 赵黛青. 煤炭液化技术的开发现状与前景分析[J]. 中国能源, 2003, 3: 13-17.
 - [10] 李雷. DMFC用增强型质子交换膜的制备研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009, 1-2.
 - [11] 陈奕善. 国外火电厂烟气净化技术的发展[J]. 1997, 6: 46-49.
 - [12] 师琼. 洁净煤技术的发展简史[D]. 太原: 山西大学, 2007, 24.
 - [13] 关杰, 李英顺. 煤矸石综合利用现状及前景[J]. 环境与可持续发展, 2008, 1: 34-36.
 - [14] 李海华, 徐志强. 我国型煤技术现状分析[J]. 煤炭加工与综合利用, 2008, 3: 30-32.
 - [15] 王光彬. 煤间接液化技术及发展前景[J]. 当代化工, 2009, 38 (1): 69-71.
 - [16] 肖睿, 金保升, 熊源泉. 中试规模的第二代增压流化床联合循环发电技术研究与应用[J]. 2006, 27 (3): 537-539.
 - [17] 唐庆杰, 王育华, 吴文荣. 洁净煤技术, 中国能源发展的必然选择[J]. 中国矿业, 2007, 11 (6): 24-26.
 - [18] 朱书全, 戚家伟, 崔广文. 我国洁净煤技术发展现状及其发展意义[J]. 选煤技术, 2003, 6: 47-51.
 - [19] 俞珠峰, 陈贵峰, 秦俊杰. 中国洁净煤技术发展现状和前景[J]. 中国煤炭学会第六届青年科技学术研讨会论文集, 2000, 337-343.
 - [20] 王爱华, 蔡九菊, 王连勇. 洁净煤技术进展与展望[J]. 节能, 2004, 5: 6-9.