

新一代煤化工和洁净煤技术利用 现状分析与对策建议

谢克昌

(太原理工大学 煤科学与技术教育部、山西省重点实验室, 太原 030024)

[摘要] 在论述煤炭的战略地位、利用现状和分析新一代煤化工技术与洁净煤技术利用现状的基础上, 以科学规划所应遵循的原则, 结合作者的科研实践, 提出了我国发展新一代煤化工和洁净煤利用技术的建议。

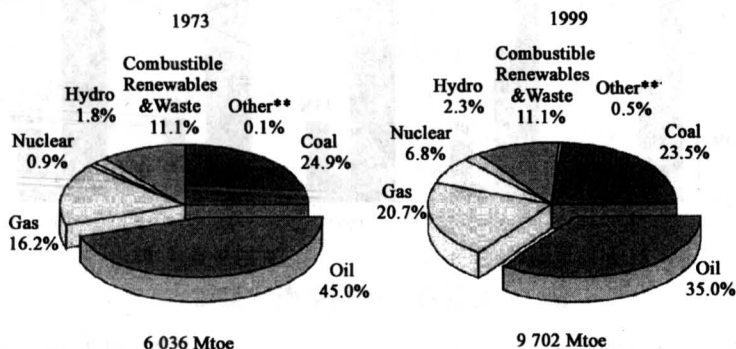
[关键词] 煤化工; 洁净煤技术; 对策

[中图分类号] TQ530 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)06-0015-10

1 煤炭的战略地位和利用现状

从全球范围来看, 煤炭在一次能源占有较大的比重。据国际能源机构 (IEA) 2001 年公布的统计

数据表明^[1]: 1999 年煤炭占总一次能源供给量 (total primary energy supply, TPES) 的 23.5%, 位居第二 (见图 1)。



* Excludes international marine bunkers and electricity trade.
** Other includes geothermal, solar, wind, heat, etc.

图 1 总一次能源供给比例结构^[1]

Fig.1 Ratio of total primary energy supply^[1]

从 1973 年到 1999 年的 20 多年中, 煤炭在总一次能源供给的比例中一直维持在 1/4~1/5 之间, 仅次于石油, 估计这种格局在短时间内不会被打破。

2000 年, 我国的煤炭产量 11.71×10^8 t, 占全球产量的 25.8%, 位居世界第一^[1]; 石油产量位居世界第七, 占全球总产量的 4.6%; 天然气产量

只占全球总产量的 1.2%。相对而言, 我国是一个“缺油少气”的国家。长期以来, 煤炭在能源消费结构中所占的比例一直维持在 70% 左右^[2]。

图 2 表明, 即使煤炭在能源总消费中呈下降的趋势, 其主导地位仍不可动摇。因此, 煤的高效、洁净利用仍然是我国能源和化工领域中的重大课题。

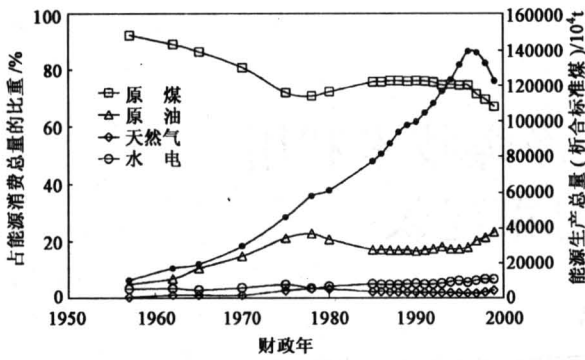


图2 我国历年的能源消费比例结构 (1957—1999年)^[2]

Fig.2 Proportion of energy consumption of China by different fiscal year^[2]

我国的煤炭绝大部分是直接或间接地用于燃烧, 历年的统计数据表明^[3], 煤炭的燃烧比例一直维持在85%以上, 其余部分主要用于炼焦。

图3、4中, 终端消费是指商业、餐饮、日常生活等活动过程中燃烧使用的煤。可以看出, 从生产规模上讲, 目前的煤化工还仅限于炼焦及焦化下游产品的深加工。

由于绝大多数的煤炭用于燃烧, 产生大量的SO₂和NO_x气体, 造成严重的大气污染和酸雨灾害。图5为我国历年SO₂的总排放量。在国务院批准的《中国洁净煤技术“九五”计划和2010年发展规划》中, 选煤和型煤被列为我国洁净煤技术的首选项目, 主要就是针对SO₂和NO_x的脱除。

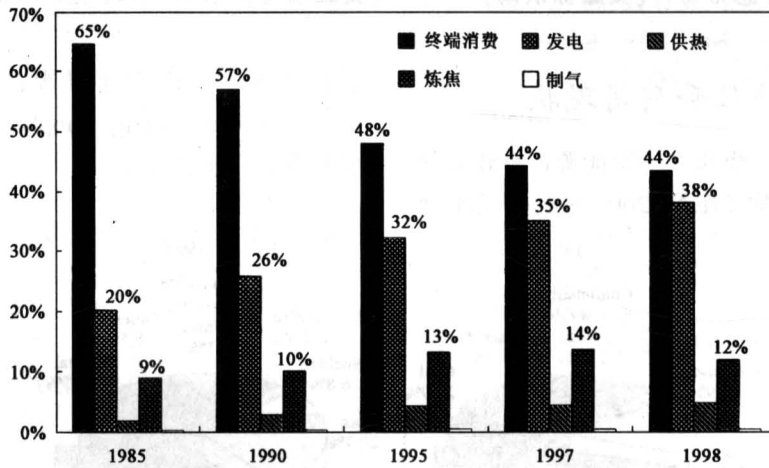


图3 我国历年煤炭平衡示意图^[3]

Fig.3 Schematic of coal consumption of China at different fiscal year^[3]

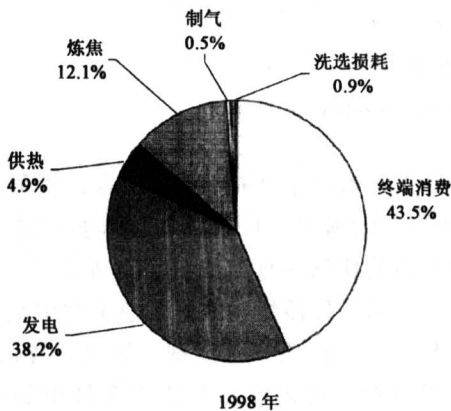
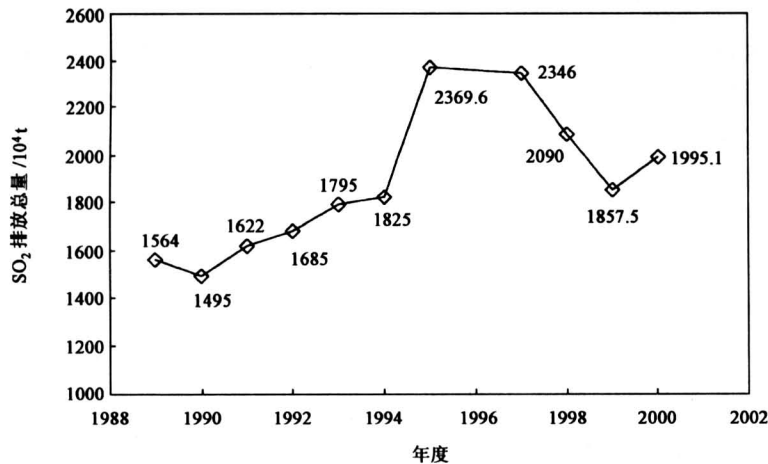


图4 1998年煤炭平衡示意图^[3]

Fig.4 Schematic of coal consumption of China in 1998^[3]

从燃烧比例上讲, 美国的情形与我国类似。1999年, 90.7%的煤炭被用于发电^[5], 其余用于炼焦。但实际上, 美国的煤炭消费方式与我国的消费方式有本质上的不同。尽管大多数的煤都被以燃烧方式消费, 美国的煤炭燃烧相对比较集中, 几乎没有小煤炉, 因而集中治理相对容易, 成本也低, 而我国有40%以上的煤被分散在各地燃烧, 脱除SO₂和NO_x的问题更显困难。

随着我国加入WTO, 经济全球化的发展趋势对我国经济发展将产生越来越大的影响, 能源和环境问题显得更为突出。但中国的能源状况决定了未来的选择, 一次能源以煤为主的格局在相当时期内难以改变, 发展新一代煤化工技术和开发适合我国国情的洁净煤技术势在必行。

图5 我国历年SO₂排放总量^[4]Fig.5 Emission of SO₂ in China at different fiscal year^[4]

2 煤化工及其特点

煤化工是指以煤为原料经化学加工转化成气体、液体和固体并进一步加工成一系列化工产品的工业过程。传统的煤化工泛指煤的气化、液化、焦化及焦油加工、电石乙炔化工等，也包括利用煤的性质通过氧化、溶剂处理制化学品以及以煤为原料制取碳素材料和煤基高分子材料等。

而新一代煤化工技术是指以煤气化为龙头，以一碳化学为基础，合成各种燃料油和化工产品的煤炭洁净利用技术^[6]。

由于成煤物质和成煤年代的差异所导致的煤的复杂性，煤化工具有以下特点：基础研究多学科（物理学、化学、生物学、地质学、岩石学等）；工程开发多技术（化工、热工、环工、材料等）；工业生产多投资（技术密集、经济生产规模大）。因此，以一碳化工为基础，集成能源优化和环境友好的“多联产”是新一代煤化工最显著的特征。如美国能源部提出的 Vision 21 能源系统（煤基合成气制氢用于高温燃料电池和联合循环发电）；Shell 公司提出的 Syngao Park（煤基合成气为原料的一碳化工与洁净循环发电相结合）；以及煤电冶、煤化工等多联产系统^[7]。

3 洁净煤技术及其范畴

洁净煤技术（clean coal technology, CCT）最早由美国学者于 1985 年提出^[8]，主要是为了解决美国和加拿大边境的酸雨问题。洁净煤技术是指在

煤炭开发和利用过程中，旨在减少污染和提高效率的煤炭加工、燃烧、转化和污染控制等一系列新技术的总称，是使煤作为一种能源应达到最大限度潜能的利用而释放的污染控制在最低水平，达到煤的高效、洁净利用的目的的技术^[9]。按照美国能源部化石能源办公室的定义^[10]：洁净煤技术属于技术创新家族，比现今使用的技术更具环保性。为使洁净煤技术的应用具有可操作性，作者^[11]根据国内外多数同行的共识曾将洁净煤技术进行了分类，主要包括：煤的洁净开采技术（地质灾害防治、矿区和周边环境保护等）；煤利用前的预处理技术（选煤、型煤和水煤浆等）；煤利用的环境控制技术（脱硫、脱氮、除尘等）；先进的煤炭发电技术（IGCC、PFBC 等）；提高煤利用效率技术（先进燃烧方式、能源新材料等）；煤炭转化技术（先进的热解气化技术、直接和间接液化技术、煤基含氧燃料、燃料电池等）；煤系废弃物处理和利用技术（煤矸石、煤泥、煤粉、炉渣等）。此外，煤层气的开发及利用和 CO₂ 的固定及利用技术亦可归入洁净煤技术。

实际上，洁净煤技术涵盖了煤炭从开采到终结的洁净生产和洁净消费的全过程，所以，以英国为首的一些学者更喜欢使用 Cleaner Coal Technology 一词来表达洁净煤技术^[12,13]。作者认为，“新一代煤化工技术和洁净煤利用技术”是“洁净煤技术”的外延，包含在“洁净煤技术”的范畴中。

美国率先提出 CCT 后，1986 年正式推行“洁净煤技术示范计划”。日本早在 1980 年就成立了

“新能源工业技术综合开发机构”(NEDO),从事洁净煤技术和新能源的研究开发。1993年,日本在该机构中组建了“洁净煤技术中心”(CCTC)^[14],推出了“新阳光计划”^[15],1999年又制定了“21世纪煤炭技术战略”,计划在2030年前实现煤作为燃料的完全洁净化^[16]。1990年,欧盟的前身欧共体也制定了“热计划”或“兆卡计划”(Thermic Program),而欧盟则将洁净煤技术列为未来能源计划的重要内容^[16]。

4 新一代煤化工技术和洁净煤利用技术的现状

4.1 国外现状

以一碳化学为基础的新一代煤化工的标志是Halcon科学设计公司开发成功并在1983年建成 22.5×10^4 t/a生产装置的甲醇羰基化制醋酐工艺。此后,工业意义上的新一代煤化工再无重大发展。而开发和推广煤的洁净和高效利用技术成为当今世界煤化工发展的主流方向。如前所述,这些技术的核心内容是通过以化学化工为主的工程科学与技术解决燃煤污染并实现电力、冶金、化工生产相结合^[17]。

美国从1986年开始启动的洁净煤技术计划(Clean Coal Technology Program, CCTP),在能源部的主持下,共进行了5轮优选,选定45个项目,计划投资70亿美元^[18]。截至2001年底,淘汰了7项,选定并实施了38项^[19],共投资52亿美元。其中有18项属环境控制设备研究(其中有5项SO₂排放控制技术、7项NO_x排放控制技术、6项SO₂和NO_x共脱除技术),占总投资的12%;11项属先进发电技术,占总投资的55%;4项煤的洁净燃料加工技术,占总投资的8%;5项工业应用技术(其中4项煤燃烧技术、1项除尘技术),占总投资的25%。截至2001年,已完成25项,其进展及投资情况见图6。

4项煤的洁净燃料加工技术,分别为:

1) 配煤燃烧专家系统(Development of the Coal Quality ExpertTM)^[20,21]

该项目由ABB燃烧工程公司(ABB Combustion Engineering, Inc)负责,总投资2174.6万美元,能源部资助50%,生产能力250~880 MW。该项目的目的是优化燃烧配煤,通过计算机仿真软件实现锅炉燃烧的低排污、低成本、

高效率运作,工作流程见图7。

2) 先进煤精制过程(Advanced Coal Conversion Process Demonstration)^[22,23]

该项目由Western SynCoal LLC公司负责,总投资1.057亿美元,能源部资助41%。该项目的目的是生产“精制煤”(SynCoal*),生产能力为45 US ton/h (40.8 t/h)。工艺过程见图8。

该工艺是配有物理清洁工艺的热煤转化过程,可生产高热值、低硫、低灰分的优质煤。原煤为半烟煤和褐煤,其中硫的质量分数, $w(S)$ 为0.5%~1.5%。筛分后的原煤送入两级振动流化床反应器,流化气体为燃烧废气。第一级流化床内温度略高于水蒸气挥发温度,可除去外在水分;第二级流化气体温度为600 F (315 °C),可除去结晶水、羧基和挥发性硫化物,同时还有少量焦油。之后,煤再被送入下一级振动流化床冷却,流化气体为惰性气体,床温为150 F (65 °C);冷却后的煤再被送入分层器,除去矿物质(包括大部分硫铁矿);再经流化床分选,将低比重的煤与高比重的灰分分离,得到精制煤。精制煤中水的质量分数低于1%, $w(S)$ 为0.3%左右,热值可达12 000 Btu/lb (6 667 kcal/kg)。

3) 温和煤气化项目(ENCOAL* Mild Coal Gasification Project)^[24~26]

该项目由ENCOAL公司负责,总投资9 066.4万美元,DOE资助50%,该项目的目的是通过温和气化过程由低硫半烟煤生产两种高附加值燃料:“加工衍生燃料”(process-derived fuel, PDF)和“煤衍生液体燃料”(coal-derived liquid, CDL)。每天可转化1 000 US ton (907 t)半烟煤。

工艺过程是:首先,煤被送入旋转炉排干燥器以脱除水分,温度控制在只允许有少量的CH₄, CO₂或CO析出;然后再将干燥后的煤送入1 000 F (538 °C)的热解器内,得到挥发分,并将固体残渣在热解器内冷却,以防止热解继续进行,得到固体“加工衍生燃料”(process-derived fuel, PDF*)。

热解气体在旋风分离器中除去固体颗粒后进入冷却塔,得到液体产品“煤衍生液体”(CDL*)。

4) 煤制液体甲醇/二甲醚工艺(Commercial-Scale Demonstration of the Liquid Phase Methanol (LPMEOHTM) Process)^[27,28]

该项目由空气产品公司(Air Products Liquid

Phase Conversion Company) 负责, 总投资 2.137 亿美元, DOE 资助 43%。采用 LPMEOH™ 工艺生产甲醇, 日产量为 80 000 gal (303 m³), 使用的原料为东部高硫烟煤, $w(S)$ 为 3%~5%。

项目的目的是采用 LPMEOH™ 工艺, 由煤合成气进行商业化示范生产液体甲醇, 同时还试生产二甲醚 (DME) 和甲醇的混合物。

氧气和水煤浆在气化炉内气化, 生成 CO 和 H₂, 在 LPMEOH™ 反应器内合成甲醇和二甲醚, 过程比较复杂, 详见文献 [28, 29]。

以上列举了美国新一代煤化工技术及煤洁净利

用技术情况。通过分析不难发现, 新一代煤化工技术及煤洁净利用技术在整个洁净煤技术中所占的份额不大, 只选中了 4 个项目, 且只占总投资的 8.3%; 从另一个角度来看, 38 个项目中每个项目的平均投资为 1.37 亿美元, 这 4 个项目的总投资为 4.318 1 亿美元, 平均每个项目的投资为 1.08 亿美元, 说明对这些项目的资助力度也不是很大。38 个项目中, 发电技术占总投资的 55.0%, 主要原因可能还是与美国的高能耗有关, 并且电能是洁净能源, 一次污染可在电厂集中处理, 成本相对低廉。

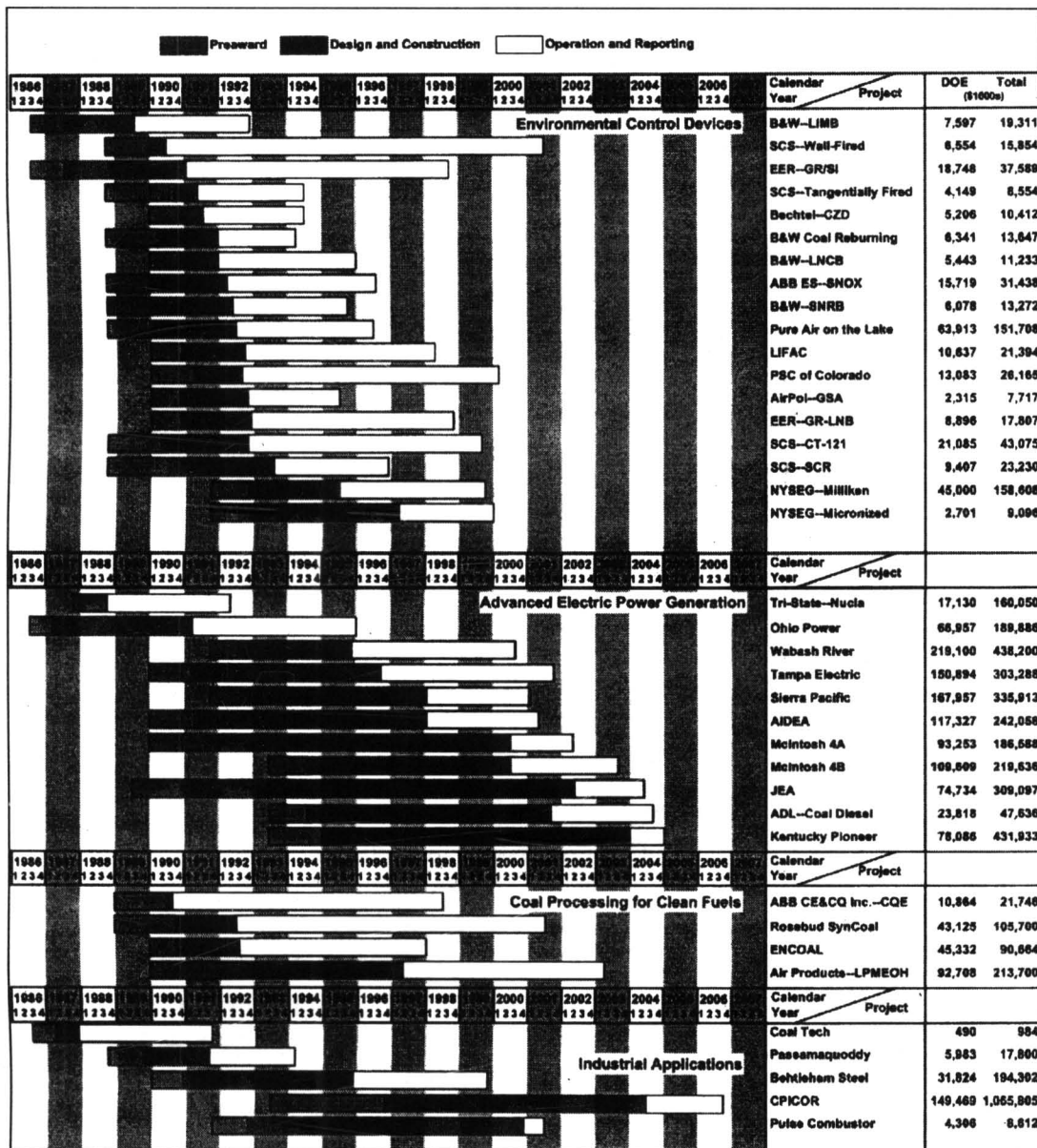


图 6 美国洁净煤计划项目进展状况及投入资金情况^[19]

Fig.6 Current status of CCTP in USA^[19]

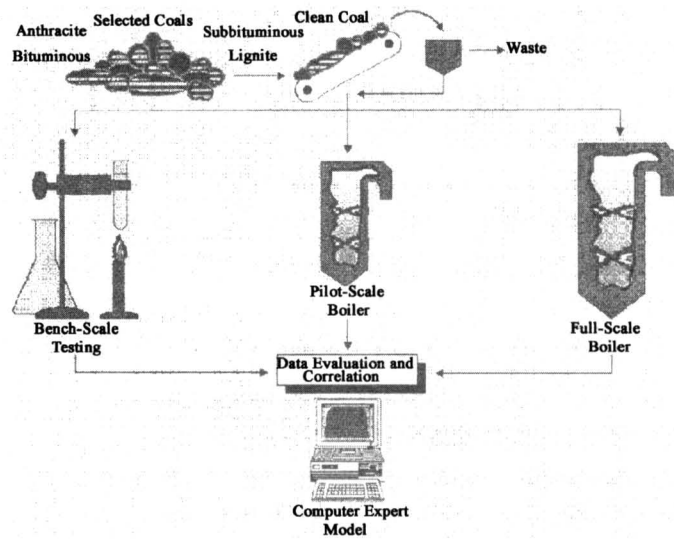


图 7 ABB 燃烧工程公司的燃烧配煤专家系统^[20]

Fig.7 ABB/CQ Coal Quality ExpertTM Process flow diagram^[20]

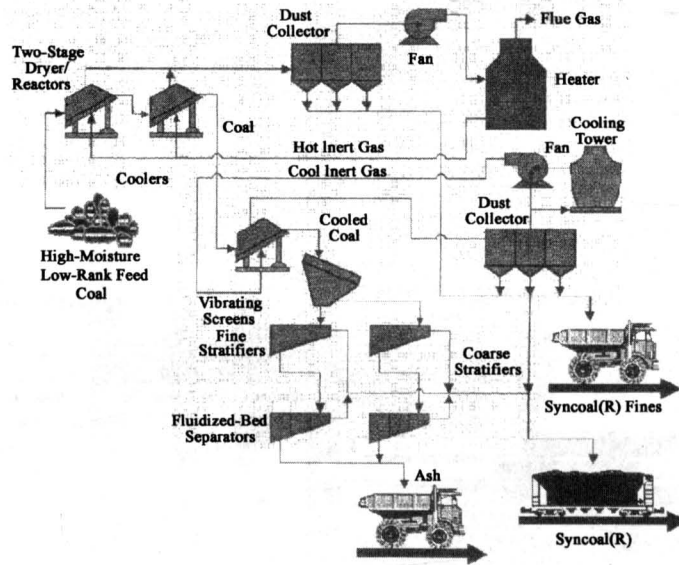


图 8 SynCoal[®] 合成煤工艺流程图^[22]

Fig.8 Advanced Coal Conversion Process flow diagram^[22]

作者认为，主要原因是这些技术的经济性前景不很乐观，在不能解决成本高昂的氢源的前提下，以上工艺无论如何难以与石油化工竞争。但是，从国家安全角度考虑，作为战略技术储备，我国需要发展新一代煤化工事业。我国的资源情况决定了我们在引进、消化和吸收国外先进技术的同时必须开发有自主知识产权的技术。

欧盟的主要目标是减少 CO₂ 的排放量，投入较大的精力研究煤与生物质的流化床混烧研究^[30]，

相关文献报道不多。

日本的能源消费总量居世界第四，能源进口居世界第二，仅次于美国。多年来，隶属 NEDO 的洁净煤技术中心（CCTC）一直致力于煤的气化、液化技术方面的研究^[31,32]。

日本煤利用中心（CCUJ）在 NEDO 的指导下，最近几年作了以下主要工作^[33]：

1) 煤炭质量对煤利用过程的影响评估，共研究了 40 个煤种；

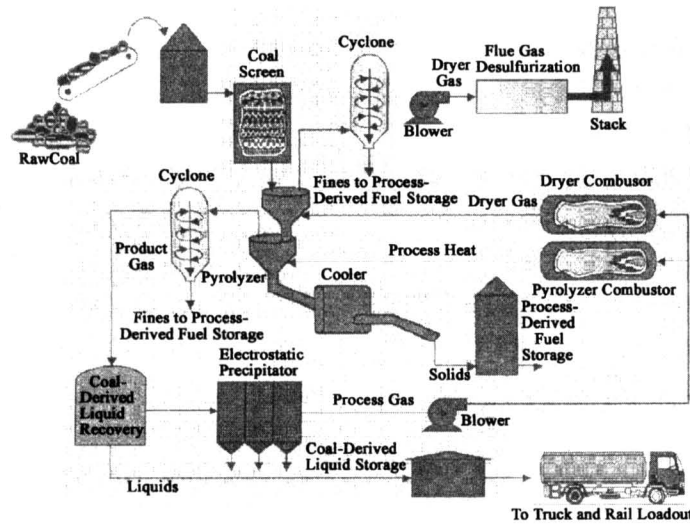


图 9 温和煤气化工艺流程图^[24]

Fig.9 ENCOAL* Mild Gasification Process flow diagram^[24]

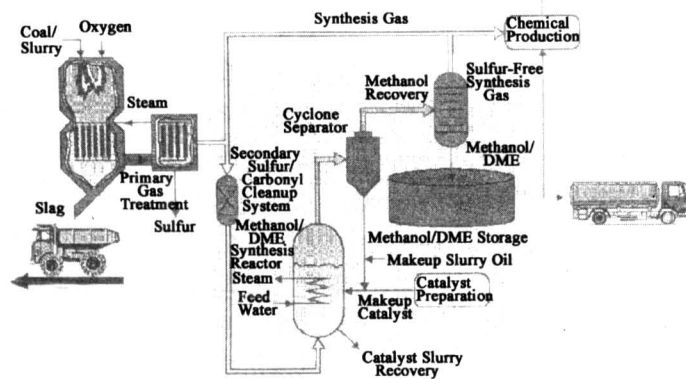


图 10 煤制甲醇的 LPMEOH™ 工艺示意图^[27]

Fig.10 Air Products LPMEOH™ Process flow diagram^[27]

2) 加压流化床锅炉的开发。电力输出功率 71 MW，蒸发量 147 t/h， $w(SO_x) = 10 \times 10^{-6}$ ， $w(NO_x) = 100 \times 10^{-6}$ ，燃烧效率 99%；

3) 开发加压内循环流化床锅炉，电力输出功率 4 MW，蒸发量 5 t/h；

4) 煤炭炼钢技术；

5) 煤合成气燃料电池（筹划中）；

6) 快速热解（flash pyrolysis）。

4.2 国内现状

4.2.1 成就

1) 传统煤化工稳中有进，量有增加，质有提高：以引进煤气化技术为主的合成氨、甲醇等产量逐年增加；大型焦炉的焦炭比例逐年升高等。

2) 煤基一碳化工技术的引进和开发有重要进展：甲醇制醋酸（或联产醋酐、醋酸纤维素）的计划规模和生产能力加大，自行研发的煤基合成气制低碳醇（包括新法合成甲醇）、乙二醇、低碳烯烃（经二甲醚）、燃料油等，以及从甲醇出发制取烯烃和乙酸、乙醛等含氧化合物的技术取得阶段成果。另外，煤基高分子材料、碳素材料以及等离子煤化工和甲烷（包括天然气和煤层气）的优化利用等新产品和技术的研发工作也有较大进展。

3) 引进和开发了一些新的煤炭热解和气化技术：“六五”期间试制的类 Texaco、Lurgi 炉，“七五”以后开发的褐煤固体热载体新法干馏和灰熔聚气化技术以及相继引进的 Lurgi、Texaco 和 U-gas

气化技术等。

4) 发展洁净煤技术是解决我国能源与经济、环境协调发展问题的根本出路, 已形成共识, 其总体思路已被列入国家当前优先发展的高技术产业化重点领域指南。重大研究开发计划已经启动, 基础研究已有不少积累, 部分项目已取得重要成果: 明确提出了中国洁净煤技术是以煤炭洗选为源头, 煤炭气化为先导, 煤炭洁净燃烧和发电为核心的技术体系; 有关洁净煤技术的“八六三”、“九七三”项目相继启动; 煤热解、气化、高温净化等方面的基础研究取得进展。

5) 建立了一批省部级以上的重点实验室和工程中心, 培养出一支以高等学校和科研院所为主的煤化工新技术队伍, 形成了一些各具特色的研究开发基地, 目前应注意稳定这支队伍。

6) 开发和应用了一些新的煤化工发展规划、方法和技术: PDAS 模型^[34]; 3E 生命周期模型^[35]。

4.2.2 不足

- 1) 规划多落实少, 且政出多门, 力量不集中。
- 2) 引进技术多, 创新技术少且成熟程度不高。
- 3) 科研成果多, 转化项目少且规模均不大。

5 发展新一代煤化工和洁净煤利用技术的建议

5.1 形势分析

看清形势, 总结经验, 吸取教训, 切实有效地以原料资源为基础, 以市场效益为前提, 生产技术为关键应该是科学制定我国新一代煤化工和洁净煤利用技术发展规划所遵循的原则, 其决策依据和内容包括以几方面:

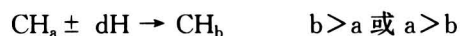
1) 技术评估与优化选择

根据煤化工的技术水平现状和我国的实际情况, 应选择已工业化的、先进、适用、成熟、可行的产品和工艺, 同时充分考虑到那些近期可望工业化的, 正在开发的技术。不考虑现有的消耗高, 经济效益差的落后技术, 尤其要摒弃那些虽然国家政策允许, 但不符合科技进步和科学规划的浪费资源、污染环境的技术。技术选择要密切结合可利用的资源、各种形式的限制条件和我国整体工业技术基础。

2) 经济评估与科学规划

根据碳转化的科学原理对煤转化过程进行经济

评估。煤化工的实质是碳加工, 碳加工的实质是改变原料(煤、石油、天然气等)中的 H/C 比。改变 H/C 比的途径有, 也只有以下 4 条:



上述 4 条途径可用于确定碳转化效率的极限, 如果与 4 种制氢的办法相结合还可用于指导开发新的碳加工工艺。当然, 在实施这种指导时还需从能量学角度判断含碳物质是作为原料有利还是燃料有利。数据表明, 煤和石油作为燃料的能量保持率相近; 作为原料用以生产合成气和甲醇, 煤的能量保持率低于石油, 若用于生产乙烯则低得多。就 3 种生产乙烯的具体工艺途径分析, 甲烷氧化偶联法步骤最少, 但 CH_4 转化太低; 由合成气先制甲醇然后生产乙烯的流程最长, 但甲醇转化率和过程能量效率都较高, 工业化希望最大。因此, 选择煤制甲醇发展煤化工具有重要前景, 况且煤化工的优势在于生产有机含氧化合物。当前, 通过煤化工合成煤基含氧燃料应成为首选。

应用决策支持系统对煤化工产品进行科学规划, 将决策者的目的和期望、部门专家的知识经验、各种资源和限制条件以数据、知识模型方法和人机交互工具的形式集约到一个系统整体, 用计算机给出决策支持结果的方法已被证明是制定煤化工发展规划的一种新的科学方法。这种方法可以用来分析某一地区或某一工业领域以至某一项目的产品结构并使其最佳化, 即在一定的限制因素和最小投资、成本以及最大收益的条件下获得一系列产品的最佳分布。用这种方法还可得到下述结论:

煤化工的发展必须以优先发展煤的洁净能源化学加工为基础, 形成既能保证全国范围内的能源供应又可通过能源供应和化工生产调节及适当的净化过程保证对环境的低冲击, 这样的综合网络才能体现煤化工发展的最佳经济、社会和环境效益。

3) 坚持技术开发与基础研究并重的措施

由于煤化工基础研究的多学科性和开发研究的多技术性, 必须采取技术开发与基础研究并重的方针并制定实现这一方针的相应措施, 如队伍组织、投资分配、项目选择、目标管理等。众所周知, 煤气化是煤化工中最重要和最关键的一个过程, 技术难度大, 投资比例高。国外不断有新的气化工艺出

现就是因为侧重于工程应用的技术开发和致力于机理探讨的基础性研究同时得到重视的缘故, 而我国在这方面的落后也正是两者关系处理不当和均欠重视造成的。值得欣慰的是从 1998 年开始启动的《国家重点基础研究发展规划(九七三)》已重视到这一点, 仅直接与洁净煤技术有关的基础性研究项目就批准了 2 个。

5.2 发展重点

根据以上分析和已基本取得共识的适合我国国情的未来能源技术发展方向(高效洁净、多样化、分散化和简单可靠、条件温和、投资节省、易于国产化), 我国新一代煤化工和洁净煤利用技术开发和基础研究的重点为:

1) 以提高用煤效率、减轻环境污染为目的的煤炭清洁利用, 其中包括新型燃烧技术、净化技术、气化技术、以煤代油的优质燃料制备技术等, 其中气化技术尤应作为重点发展对象。

2) 化工发展的基础——甲醇化工, 重点是大型化, 并在此基础上积极推进甲醇和二甲醚作为燃料的研究开发和推广。

3) 有机含氧化合物产品, 如醇、醛、酸、酮、醚及这些产品所使用的催化剂。

4) 提高传统煤化工的技术水平, 继续发展电石乙炔化工和焦油加工, 特别是与之有关的精细化学品、煤基材料等。以制备乙炔类为主的等离子煤化工也应引起重视。

5) 具有综合效益的煤化工多联产项目。

6) 满足高温高强、抗蠕变、抗疲劳、耐蚀和长期工作的能源材料研究和开发。

参考文献

- [1] International Energy Agency. Key World Energy Statistics [M]. 2001 Edition
- [2] G 能源生产和消费, 7-2 能源消费总量及构成. 见: 中国统计年鉴-2000 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000 年 9 月
- [3] G 能源生产和消费, 7-5 煤炭平衡表. 见: 中国统计年鉴-2000 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000 年 9 月
- [4] 国家环境保护总局. 中国环境状况公报 [R]. 1990~2001 年.
- [5] Energy Information Administration, U. S. Department of Energy [EB/OL]. <http://www.eia.doe.gov/neic/quickfacts/quickcoal.htm>, /2002
- [6] 中国煤炭工业网 [EB/OL] <http://www.chinacoal.gov.cn/coal/jscx/jscx5.htm>
- [7] 方德巍. 国内外新一代煤化工技术的发展及展望 [A]. 21 世纪新一代煤化工技术发展研讨会 [C]. 北京, 2000
- [8] The Office of Fossil Energy, U. S. Department of Energy [EB/OL]. http://www.fe.doe.gov/coal_power/cct/cct_original.shtml
- [9] 范维唐. 发展具有中国特色的洁净煤技术 [J]. 中国煤炭, 1995, 1 (1): 11~15
- [10] The Office of Fossil Energy, U. S. Department of Energy. What are clean coal technologies? [EB/OL]. http://www.fe.doe.gov/coal_power/cct
- [11] 谢克昌. 煤的优化利用技术及其开发中的科学问题 [J]. 煤炭转化, 1994, 17 (3): 1~8
- [12] The UK Department of Trade and Industry's. Cleaner coal technologies and the clean development mechanism [EB/OL]. http://www.carnot-online.org/Document_Library
- [13] IEA Coal Research-The Clean Coal Centre. Guide To Cleaner Coal Technology Related Websites [EB/OL]. <http://www.dti.gov.uk/cct/pub/ps282.pdf>, March 2001
- [14] 马治斌, 秦爱新, 付增祥, 等. 洁净煤技术发展动向 [J]. 煤, 1996, 6 (5): 12~15
- [15] 孙孝仁. 洁净煤技术发展概述 [J]. 科技情报开发与经济, 1997, (3): 12~14
- [16] 史斗, 郑华卫. 21 世纪的能源科技 [J]. 科学新闻, 2002, (3): 25
- [17] 谢克昌. 以求是的态度和有效的措施发展新一代煤化工 [A]. 21 世纪新一代煤化工技术发展研讨会 [C], 北京, 2000
- [18] 徐振刚. 美国洁净煤技术示范项目 [J]. 中国煤炭, 1996, (1): 68~71
- [19] The Office of Fossil Energy, U. S. Department of Energy. The clean coal technology [EB/OL]. http://www.fe.doe.gov/coal_power/cct/cctp.shtml
- [20] Los Alamos National Laboratory. Development of the Coal Quality Expert™ [EB/OL]. <http://www.lanl.gov/projects/cctc/factsheets/cqe/devqualitydemo.html>
- [21] US Department of Energy & National Energy Technology Laboratory. Development of a Coal Quality Expert™ [R]. A DOE Assessment, 2000.
- [22] Los Alamos National Laboratory. Advanced coal conversion process demonstration [EB/OL]. <http://www.lanl.gov/projects/cctc/factsheets/rsbud/adconvdemo.html>

- [23] Western SynCoal LLC, Advanced Coal Conversion Process (ACCP) Demonstration Project, Final Technical Progress Report [R]. DOE Contract No. : DE-FC22-90PC89664, April 2001
- [24] Los Alamos National Laboratory. ENCOAL® Mild Coal Gasification Project [EB/OL]. <http://www.lanl.gov/projects/cctc/factsheets/encol/encoaldemo.html>
- [25] The United States Department Of Energy, ENCOAL Mild Coal Gasification Project: ENCOAL Project Final Report [R]. DOE/MC/27339 - 5798 (DE98002007), September 1997.
- [26] The U. S. Department of Energy & ENCOAL Corporation & Rosebud SynCoal Partnership, Upgrading of Low-Rank Coals [R]. Topical Report, No. 10, August 1997.
- [27] Los Alamos National Laboratory, Commercial-Scale Demonstration of the Liquid-Phase Methanol (LPMEOH™) Process [EB/OL]. <http://www.lanl.gov/projects/cctc/factsheets/estmn/cslquiddemo.html>
- [28] Air Products and Chemicals, Inc. & Eastman Chemical Company, Commercial Scale Demonstration Of The Liquid Phase Methanol (LPMEOH™ Process) [R]. Final Report, Volume 1: Public Design, DOE Contract No. DE-FC22-92PC90543, January 2000
- [29] Air Products and Chemicals, Inc. & Eastman Chemical Company. Commercial Scale Demonstration Of The Liquid Phase Methanol (LPMEOH™ Process) [R]. Technical Progress Report, from No. 1 ~ 29, No. DE-FC22-92PC90543DOE, September 2001
- [30] K. R. G. Hein, J. M. Berntgen, EU clean coal technology—co-combustion of coal and biomass [J]. Fuel Processing Technology, 1998, 54: 159 - 169
- [31] 冈本秀树. 日本 NEDO 洁净煤技术的进展 [J]. 中国煤炭, 1995, (2): 51~54
- [32] 冈本秀树. 日本的洁净煤技术现状 [J]. 中国煤炭, 1995, (9/10): 92~93
- [33] Ebara N. R&D of coal utilization technology in Japan [J]. Fuel Processing Technology, 2000, 62: 143 - 151
- [34] 谢克昌. PDAS 模型应用于煤化工发展规划的实例分析研究 [J]. 煤化工, 1989, (1): 1~8
- [35] 中美合作研究组 (朱起明执笔). 中国山西和其它富煤地区把煤转成汽车燃料及其应用的经济环境和能源利用的生命周期评估总结报告 [R]. 北京: 清华大学, 1997

Status and Suggestion for Modern Coal Chemical Industry and Clean Coal Technology

Xie Kechang

(Shanxi province and Ministry of Education key Laboratory of Coal Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

[Abstract] The important role of coal played in TPES was described, and the status of modern coal chemical industry and clean coal technologies was analyzed. Based on the scientific research experiences of the author, strategy and suggestion for the development of coal chemical industry and clean coal technology in China were proposed.

[Key words] coal chemical industry; clean coal technology; strategy