

Clean Application of Coal is the Kernel Strategy for Coal-Fired Electricity Development

Liming Tang, Wenjun Bi*

Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang, China

1.yjstliming@sina.com, 2.*Corresponding author: biwjy@163.com

Abstract: In this article, clean application of coal is the subject. Firstly, we analyse the status and existent problem of coal-fired electricity development in China, secondly, three kind of important technologies for clean application of coal are introduced, as (ultra)-super-critical (USC) unit, circulating fluidized-bed combustion (CFBC), CO₂ capture and storage(CCS), integrated gasification combined cycle (IGCC), at the same time, these technologies' application and foreground are narrated. Finally, we affirm that clean application of coal is the kernel of coal-fired electricity development.

Keywords: coal; clean application; coal-fired electricity; kernel strategy

煤炭清洁利用是煤电发展的核心战略

唐黎明, 毕文军*

沈阳化工大学机械工程学院, 沈阳, 中国, 110142

1.yjstliming@sina.com, 2.*通讯作者: biwjy@163.com

摘要: 本文的主题是: 煤炭在煤电工业中的清洁利用, 为此文章首先分析了我国煤电发展的现状与亟需解决的突出问题, 既而总结了煤炭清洁利用的三大核心技术, 即(超)超临界机组发电技术(USC)、循环流化床燃烧技术(CFBC)、二氧化碳捕捉与封存(CCS)和整体煤气化联合循环技术(IGCC), 以及它们在实际生产过程中的应用与前景。指出了推广普及煤炭清洁利用技术是煤电行业发展的必由之路。

关键词: 煤炭; 清洁利用; 煤电; 核心战略

1 引言

我国能源总量比较丰富, 煤炭占主导地位。2006年煤炭保有资源量 10345 亿吨, 剩余探明可采储量占世界 13%, 列第 3 位^[1]。我国是个一次能源以煤为主的国家, 从我国的能源资源及技术经济发展水平看煤炭在今后相当长的时期内仍将是我国的主要能源^[2]。我国的煤资源大多用来燃烧发电, 居民及工业用煤只占很少的一部分, 这就造成了空气污染严重等诸多环境问题。随着我国经济继续稳定增长, 国家对能源需求的不断扩大, 我国优质煤资源日渐减少和短缺, 煤的清洁、高效利用, 是我国经济社会可持续发展的战略抉择, 是保证我国能源稳定可靠供应以及可持续发展的关键所在, 因此, 发展高效、洁净煤发电技术至关重要^[3-4]。

2 我国煤电发展的现状与存在的问题

2.1 燃煤发电量所占总发电量比重偏高, 短期内难以改变

2007 年我国煤电比例为 78%, 估计 2050 年前我国煤电占发电量的比例将一直维持在 70% 以上, 这是由我国一次能源以煤炭为主的国情所决定的。截至 2008 年底, 我国发电装机容量达 79253 万千瓦, 同比增长 10.34%。其中火电装机为 60132 万千瓦, 约占总容量 75.87%, 同比增长 8.15%, 全国发电生产耗用原煤 13.4 亿吨, 同比增长 4.05%^[5]。预计 2010 年我国煤炭生产和发电用煤分别达到 26 亿吨和 16 亿吨^[6], 发电用煤的消耗占我国煤炭生产总量的 62%。我国火电长期以来使用煤炭作为燃料的发电模式不会短期内改变。

2.2 燃煤发电效率不高, 资源浪费严重

我国火电厂大型发电机组的比重过小^[7], 虽然我

国火电厂单机容量已由十年前的 10 万千瓦、20 万千瓦为主, 上升到现在的 30 万千瓦、60 万千瓦, 但总体上讲大机组的比重偏小。2004 年全国 6000 千瓦及以上的火电机组 5295 台, 总容量为 30816.07 万千瓦, 30 万千瓦及以上机组占总容量 45.2%, 平均机组容量为 5.82 万千瓦。发电设备技术参数相对落后, 我国燃煤发电机组参数主要以亚临界为主, 近年来逐步向超(超) 临界方向发展, 超临界机组只占火电总装机容量的 4.3%, 而美国、日本、俄罗斯已占 50% 以上。煤炭利用效率不高, 火电机组平均效率约 33.8%, 民用燃煤综合效率一般仅 15%-16% 左右, 且仅利用了煤的部分热能, 几乎全部元素(如硫、碳) 转变为污染物排入环境。早期投运的机组自动化程度低, 在线监测手段落后, 运行控制人为因素大, 使机组热效率下降。提高自动控制程度能明显提高发电效率, 降低煤耗^[8]。虽然我国已经从 1998 年开始陆续关闭一些小火电^[9], 但由于多年来电力供应极度紧张, 导致小火电积少成多, 未能及时淘汰, 另一方面, 在电力装机容量大发展的同时, 100MW 以下的小火电仍以同样的比例在增长, 所以在今后的一段时间内, 我国大小火电并存的现状难以彻底改变, 小火电的存在在一定程度上也导致了我国燃煤发电平均原煤消耗偏高^[10]。

2.3 燃煤发电导致温室气体排放严重

全球气候变暖是当前人类社会所面临的最大挑战之一。根据联合国最新的全球气候变化科学评估报告, 气候变化所导致的总代价将引起全球 GDP 损失约 5%^[11], 而世界银行前首席经济学家斯特恩指出, 在考虑更广泛的风险和影响的情况下, 估计损失将上升到 GDP 的 20% 或者更多^[12]。

2008 年, 我国 CO₂ 的排放量占 13.2%, 仅次于美国, 居世界第 2 位^[13], 而且这一比例还在不断增加。中国能源结构以煤为主, 当前 CO₂ 的排放主要来自于能源部门, 而火电行业是总排放量的主体, 单位热量燃煤引起的 CO₂ 排放比使用石油、天然气分别高出约 36% 和 61%^[14]。在我国, 燃煤发电占到了 CO₂ 总排放量的 50% 左右^[15], 在温室气体引致的全球气候变暖效应中, CO₂ 的作用高达 77%。因此, 在提倡高碳能源低碳化利用理念的今天, 煤电行业势必成为 CO₂ 减排的主力军。实现我国煤电行业的低碳化发展, 是我国电力行业所面临的时代议题。

3 煤炭清洁利用技术研究进展及应用

深入研究我国煤炭高效洁净化利用, 开发高效、洁净的燃煤发电技术, 是保障国民经济持续健康快速发展和保护环境的迫切需要。目前, 煤的清洁利用的主要技术有: (超) 超临界机组发电技术(USC)、CO₂ 的捕获与封存(CCS), 循环流化床燃烧(CFBC) 技术, 整体煤气化联合循环(IGCC) 技术等。

3.1 循环流化床燃烧(CFBC) 技术

循环流化床燃烧技术系指小颗粒的煤与空气在炉膛内处于沸腾状态下, 即高速气流与所携带的稠密悬浮煤颗粒充分接触燃烧的技术^[16]。循环流化床机组(CFB) 具有效率高、污染低、煤种适应性好的环保特性, 不仅解决了 SO₂ 和 NO_x 的污染问题, 又能燃用高灰、高硫和低热值煤, 而且可以燃烧木材和固体废弃物, 还可实现液体燃料的混合燃烧, 是一项极为实用的技术, 基于循环流化床燃烧技术的循环流化床燃煤锅炉目前已能投入商业化燃煤发电运营, 由于其煤种适应性广, 燃烧效率高, 以及炉内脱硫脱硝等特点, 近二十年来, 大容量的循环流化床燃煤锅炉取得了迅速的发展。目前, 世界上单机最大容量循环流化床锅炉发电机组已达 600MW。我国建设的第一个国产化 300MW 大型循环流化床机组——开远电厂工程, 它的脱硫效率可达 95%; NO_x 最高排放质量浓度仅为标准限值的 1/2; 除尘效率达 99.6% 以上; 各种废水经多级处理后可实现“零排放”。到目前为止, 在我国云南、四川、河北等地的发电厂中, 已建成并投入运行的有 8 台 300MW 的大型循环流化床机组。

我国煤炭包括种类繁多的劣质煤, 还有大量的煤矸石和洗煤泥。要合理利用这些资源, 循环流化床锅炉是首选。未来, 我国将建设一批利用煤矸石资源和燃用普通动力煤的循环流化床锅炉机组。清华大学、西安热工研究院等单位, 在国家科技部支撑计划的支持下, 已经开展 600MW 超临界循环流化床锅炉的相关研究工作, 三大锅炉厂已分别提出了各自的 600MW 超临界循环流化床锅炉技术方案。600MW 超临界循环流化床锅炉的示范工程的启动, 标志着我国洁净煤发电技术步入了更高的台阶。

3.2 清洁煤发电的 CCS 和 IGCC 联产技术

整体煤气化联合循环(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) 发电技术是新一代先进的燃煤发电技术, 它既提高了发电效率, 又提出了解决环境问题的途径, 为燃煤发电带来了光明。IGCC 发电技

术是煤的气化和蒸汽联合循环发电的结合, 它的原理是煤经气化和净化后, 除去煤气中以上的硫化氢和接近的粉尘, 将固体原料转化成燃气轮机能燃用的清洁气体燃料, 以驱动燃气轮机发电, 使燃气发电与蒸汽发电联合起来。与常规燃煤发电技术相比, IGCC 不仅可以明显提高整个发电系统的效率, 有利于节省能源, 而且能够极大减少煤燃烧污染物的排放, 有利于环境保护^[17]。因此 IGCC 作为一种非常有效的洁净煤发电技术, 受到世界各国的高度重视。自 20 世纪 80 年代中期开始运行第一台整体煤气化联合循环电站以来, 全世界已建、在建和拟建的 IGCC 电站近 30 套, 单机最大为美国的 440MW 机组, 计划中容量最大的为德国的 900MW 和前苏联 1000 MW 机组。2009 年 7 月 7 日, 我国首座自主开发、设计、制造并建设的 IGCC 示范工程——华能天津 IGCC 示范电站在天津临港工业区正式开工, 这标志着具有我国自主知识产权、代表世界清洁煤技术前沿水平的“绿色煤电”计划取得了实质性的进展, 开启了我国清洁煤发电技术的新纪元。

目前, 全球最公认的降低二氧化碳排放方法是碳捕捉及封存技术 (CCS)。二氧化碳捕获和封存 (CCS) 是指把二氧化碳从工业或相关能源的源分离出来, 输送到一个封存地点, 并且长期与大气隔绝的一个过程。科学家认为“碳捕捉与封存”技术有助于减少温室气体排放和控制全球变暖, 有广泛的应用前景。通过“碳捕捉与封存”技术可将液化 CO_2 填埋到地下深处, CO_2 会留在水中或在水中溶解, 也可能与煤或其他矿物质结合, 经数千年之后与其他岩石结合在一起, 形成稳定的碳酸盐。相关数据表明, CO_2 的捕集和封存可稳定大气中温室气体数量而减排量将在本世纪内达到 55%。

目前二氧化碳捕捉技术主要有 3 种: 燃烧前捕捉、富氧燃烧捕捉和燃烧后捕捉。燃烧后捕捉技术同现已大规模用于天然气分离二氧化碳的技术相似; 燃烧前捕捉技术现已大规模应用于生产氢气; 富氧燃烧捕捉收集二氧化碳的技术还处于示范阶段。其中燃烧前捕捉技术只能用于新建发电厂, 而后两种技术则可同时应用于新建和现有发电厂。法国阿尔斯通公司正专注于后两种技术的研发, 并已在德国、瑞典、美国等国家的 9 个试验工厂中测试新技术。目前燃烧后捕捉技术的潜在二氧化碳捕捉效率可达到 90%~96%^[14]。

碳捕捉及封存技术 (CCS) 和整体煤气化联合循环技术 (IGCC) 的结合被认为是最有潜力的清洁煤技术, 在 IGCC 技术中利用 CCS 方法, 对生产过程中的碳进

行捕捉和封存, 将能实现二氧化碳的零排放, 大大提高燃煤效率。目前美国等发达国家和地区在探索的清洁煤技术主要就是 CCS 和 IGCC 发电联产技术, 2009 年 11 月, 中美企业签署合作协议, 旨在共同推动和促进带有碳捕捉与封存 (CCS) 技术的 IGCC 商业应用项目。2010 年 4 月, 中国电力工程顾问集团公司 (CPECC) 分别同美国通用电气、美国贸易发展署签署了整体煤气化队伍联合循环发电和碳捕捉及封存技术协议, 中美双方政府及企业将共同肩负起这一重任, 加快实施商业化进程。

3.3 超(超) 临界机组发电技术

目前我国火电厂煤粉锅炉燃烧主要存在锅炉燃烧不稳定、炉膛结渣、发电效率低和环境污染等问题, 解决的途径之一就是发展大型高效环保机组, 建设大型超(超)临界电站和加快淘汰落后的小火电机组。超临界压力机组已是世界上比较成熟的一项技术, 超超临界发电技术是在超临界技术的基础上, 通过进一步提高主蒸汽的温度和(或)压力等级来不断提高发电效率及相应的节能环保水平。超临界及超超临界机组的最大优势是能够大幅度提高循环热效率, 降低发电煤耗。一台 1000MW 的超临界参数燃煤机组比同容量亚临界参数机组每年可以节约标准煤 20 万吨以上。20 世纪 60 年代初, 美国、俄罗斯和日本就开始发展超临界大型机组。近 10 年来, 高效超临界技术在美国、日本和欧洲得到迅速发展, 投入运行的高效超临界机组取得了良好的运行业绩, 其经济性、可靠性和灵活性代表了当代火力发电技术的先进水平。在已投入运行的高效超临界机组中, 单机容量多在 700—1000MW 之间。随着材料技术的发展, 各国计划在未来 10—20 年间将开发蒸汽初参数更高的两次再热超临界机组。我国超临界发电技术从 2000 年起步, 到 2006 年底, 已有 40 余台、近 30000MW 超临界燃煤发电机组投产运行, 其中有 3 台 1000MW 超超临界机组投产发电。据不完全统计, 目前投产、建设和订货的 600MW、1000MW 超(超) 临界燃煤机组达 150 余台^[3]。

综上所述, 配备烟气脱硫和脱硝的超(超) 临界发电技术、循环流化床锅炉发电技术和整体煤气化联合循环发电及碳捕捉与封存联合技术都是可供选择的洁净煤发电技术, 它们都有各自的特点和适用范围。超(超) 临界发电技术是我国大容量燃煤发电技术的主要技术选择; 循环流化床锅炉发电技术是我国劣质煤和高硫煤发电的主要技术选择; 整体煤气化联合循

环发电及碳捕捉与封存联合技术是真正意义的可持续发展的洁净煤发电技术,将在我国中长期的燃煤发电中扮演重要角色,清洁煤发电的 CCS 和 IGCC 联产技术也是未来煤基能源多元化近零排放系统的核心技术及重要基础,势必将对提高我国煤炭利用率以及减少污染物排放做出应有的贡献。

4 结论

我国富煤缺油少气的能源资源特点决定了我国以煤为主的能源结构在未来几年内不会发生根本性改变,燃煤发电在我国未来一段时间内仍然是电力行业的主要发电方式,所占发电量比重仍然会在高位运行,因此唯有把煤的清洁利用理念作为我国煤电发展的核心战略,才能给予我国实现节能减排、实现经济社会发展与生态环境保护双赢以最有力的支持。

References (参考文献)

- [1] WU Chenbin, Enhancing Energy Saving and Emission Decreasing the Kernel Strategy for Electric Science Development[J], Hubei Water Power, 2009, (5), P41-44 (Ch).
吴晨滨, 强化节能减排是电力科学发展的核心战略[J], 湖北水力发电, 2009, (5), P41-44.
- [2] XU Shisen, IGCC and Future Coal-Fired Electric Power[J], Electric Power, 2005, 38 (2), P13-17 (Ch).
许世森, IGCC 与未来煤电[J], 中国电力, 2005, 38 (2), P13-17.
- [3] CHEN Changhe, WANG Shujuan, ZHUO Yuqun, ZHAO Bo, LI Yan, XU Xuchang, The Present and Future of Clean Coal Technology[J], Wu Li, 2010, 39(5), P301-306(Ch).
陈昌和, 王淑娟, 嵇玉群, 赵博等, 煤的清洁利用技术的现状与发展[J], 物理, 2010, 39(5), P301-306.
- [4] QU Weiping, Clean Coal Power Generation, CCS and IGCC Coal Power Technology[J], Chemical Equipment Technology, 2010, 31(3), P57-63(Ch).
屈伟平, 清洁煤发电的 CCS 和 IGCC 联产技术[J], 化工装备技术, 2010, 31(3), P57-63.
- [5] Yan W P. Clean Coal Power Generation Technology. Beijing :China Electric Power Press ,2008 (Ch).
阎维平. 洁净煤发电技术. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [6] Huang Q L. The Now and Future of Coal-Fired Electricity Generation Technology in China. The Workshop of Clean Fossil Fuel Energy. Xi'an , Oct . 2007 (Ch).
黄其励. 中国燃煤发电技术现状和发展. 清洁化石能源研讨会, 西安, 2007, 10.
- [7] MI Jianhua, WANG Zhuokun, Energy Saving Status in quo and Measures of Electricity Power Industry [J], China Venture Capital, 2006, (9), P29-31 (Ch).
米建华, 王卓昆, 电力行业节能现状与举措[J], 中国科技投资, 2006, (9), P29-31.
- [8] LI Dongxiong, YANG Bozhi, HOU Qingzhuo, CHEN Changhe, CO₂ Emission Status and Emission Reduction Ways of Coal-Fired Power Stations[J], Electric Power Environmental Protection, 2000, 16 (2), P13-15 (Ch).
李东雄, 杨博智, 侯清濯, 陈昌和, 燃煤电站 CO₂ 排放状况及减排对策[J], 电力环境保护, 2000, 16 (2), P13-15.
- [9] JIANG Zhesheng, Implement the Policy of Optimizing Thermal Power Mix, Promote Sustainable Power Development[J], China Electric Power, 1999, 32(10), P15-20(Ch).
江哲生, 优化火电结构, 促进电力可持续发展[J], 中国电力, 1999, 32(10), P15-20.
- [10] YANG Zhuo, MAO Yinghui, Thinking of Energy-Saving and Emission Reduction in Electric Power Industry and Low Carbon Economy[J], Journal of Emcc, 2010, 20(1), P1-4(Ch).
杨卓, 毛应淮, 电力行业的节能减排与低碳经济[J], 中国环境管理干部学院学报, 2010, 20(1), P1-4.
- [11] IPCC. Intergovernmental panel for climate change fourth assessment report [M]. Cambridge University Press ,2007.
- [12] Stern N. The economics of climate change : The stern review[M]. Cambridge University Press ,2007.
- [13] LI Jie, Cao Zidong, Duan Bin, Ge Xueli, Plain Talking on IGCC-Type Clean-Coal Generation Technology in China[J], Energy Conversation, 2008, (11), P10-13(Ch).
李洁, 曹子栋, 段宾, 葛学利, 浅谈我国的 IGCC 型洁净煤发电技术[J], 节能, 2008, (11), P10-13.
- [14] GUO Jun, ZHAO Lianchen, JIA Hongri, LI Jixiang, ZHANG Dalei, Current Status of CO₂ Emission and its Controlling Methods in Liaoning Province[J], Renewable Energy Resources, 2008, 26(2), P110-113 (Ch).
郭军, 赵连臣, 贾红日, 李继祥, 张大雷, 辽宁省温室气体排放现状及减排措施分析[J], 可再生能源, 2008, 26(2), P110-113.
- [15] HUANG Bin, LIU Lianbo, XU Shisen, FENG Zhenping, The Current Situation and Development of CO₂ Trapping and Treatment Technique in Coal-Fired Power Station[J], Electrical Equipment, 2008, 9(5), P3-6(Ch).
黄斌, 刘练波, 许世森, 丰镇平, 燃煤电站 CO₂ 捕集与处理技术的现状与发展[J], 电力设备, 2008, 9(5), P3-6.
- [16] WU Dongyin, MA Yufeng, LI Zhongshu, Current Status of Application to Clean Coal Technology[J], Power Station Auxiliary Equipment, 2007, 101 (2), P19-21(Ch).
吴东垠, 马玉峰, 李中树, 洁净煤技术应用的现状[J], 电站辅机, 2007, 101 (2), P19-21.
- [17] YU Yuefeng, International Study on Status and Development Trends of Clean Energy Technologies[J], Clean Energy, 2008, (3), P17-23(Ch).
余岳峰, 国际清洁能源技术现状与发展趋势[J], 清洁能源, 2008, (3), P17-23.