

煤气化发展趋势及经济效益

高华伟 盛强男 (兖矿鲁南化工有限公司, 山东 滕州 277500)

摘要: 作为煤炭清洁高效利用的重要组成部分, 现代煤气化技术发展迅速, 气化工艺呈现多样性发展态势, 即煤气化工艺具有多样性和适应性, 通过对固定床、流化床、气流床等主流煤气化技术的工艺特点、应用范围、应用推广情况进行对比和论述分析, 并从煤种适应性、气化过程热量回收、低压中小规模制燃气、数值模拟方法、气化灰渣综合利用等方面分析了技术应用现状和发展趋势, 以期为现代煤化工技术的发展仅供参考。气化工艺的选择应根据煤质条件、应用场景、工艺需求等方面综合考虑选取; 煤种适应性方面应重点研究灰分和灰熔融温度及硫含量均高的煤、高碱煤、有机固废等含碳能源的气化技术应用; 气化过程实现全热量回收、副产蒸汽, 可提高系统热效率和运行经济性; 工业燃气市场广阔, 系统具有低压、中小规模、工艺简单、灵活操作等特点; 气化炉技术开发和优化应综合使用计算流体力学、有限元、流固耦合等先进数值模拟方法以提高开发效率; 气化灰渣应通过分离等方法实现资源化、减量化应用。需重视煤气化制取化工原料气和燃料气的市场, 煤制取燃料气行业主要以中等规模、低压系统、灵活操作、低投资和运行成本为目标。煤气化技术发展需在拓展煤种适应性、提高系统余热利用效率、促进灰渣及废水等的资源化处置与利用、使用先进数值模拟方法系统优化设计开发等方面不断开拓和持续进步, 以最终形成高效、环保、经济和安全的先进气化系统。

关键词: 煤气化; 发展趋势; 经济效益

1 以气、煤为原料的合成氨生产

煤气化技术是实现煤炭综合利用和洁净煤技术的重要手段, 是发展现代化煤化工、煤造油、燃料煤气等重要工业化生产的龙头。目前, 煤炭在中国一次能源消费中占 75% 左右。而我国煤气化技术在绝大多数企业仍使用落后的固定床间歇式煤气化技术, 不仅能耗高、效率低, 原料要用块装焦炭或无烟煤, 而且还会排放大量烟尘和污水, 对环境污染严重。

煤气化技术主要有粉煤加压气化和水煤浆气化技术等, 粉煤加压气化技术是适合我国国情的煤洁净、高效利用技术, 与水煤浆气化相比, 粉煤气化具有较明显的节氧、节煤、有效气成分高等优势。该技术广泛应用于化工产品的生产、煤间接液化、氢能源、燃料电池等诸多领域。国际上有代表性的主要是德士古、壳牌和鲁奇公司的技术。

1.1 以煤为原料的合成气生产

我国是世界煤炭生产大国, 煤炭资源约为 7650 亿 t。由于资源结构的原因, 我国以油、气为原料制氨, 其原料成本较高, 且供应往往难以保证。以煤为原料则成本较低, 且资源丰富, 供应充足。目前世界上技术成熟的煤气化工艺主要有德士古水煤浆气化、壳牌干煤粉气化和朝鲜恩德粉煤气化。世界现代煤炭气化技术的特点及发展趋势是: 气化压力向高压发展。气

化压由常压、低压向高压气化发展, 从而提高气化效率、碳转化率和气化炉能力, 实现气化装置大型化和能量高效回收利用。降低合成气的压缩能耗或实现等压合成, 降低生产成本。气化炉能力向大型化发展。大型化便于实现自动控制和优化操作, 降低能耗和操作费用。气化温度向高温发展。气化温度高, 煤中有机物质分解气化, 消除或减少环境污染, 对煤种适应性广。不断开发新的气化技术和新型气化炉, 提高碳转化率和煤气质量, 降低建设投资, 目前碳转化率达 98%–99%, 煤气中含 $\text{CO}+\text{H}_2$ 达到 80%–90%。现代化煤气化技术与其他先进技术联合应用。如与燃气轮机发电组合的 IGCC 发电技术; 高压气化与低压合成甲醇、二甲醚技术联合实现等压合成, 省去合成气压缩机使生产过程简化, 总能耗降低。煤气化技术与先进脱硫、除尘技术相结合, 实现环境友好, 减少污染如在气化炉内加入脱硫剂, 脱硫效率可达 80%–90%; 采用高效除尘器使煤气中含尘降到最低 $1\text{--}2\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

1.2 以天然气为原料的合成气生产

天然气是当今世界公认的洁净、优质能源, 其开采量逐年增大。我国天然气地质资源量估计超过 38 万亿 m^3 , 目前年产量 250 亿 m^3 。

目前已实现工业化的以天然气为原料生产合成技

术有部分氧化法和蒸汽转换法。部分氧化需要使用纯氧为气化剂。蒸汽转化法又有一段蒸汽转化法，加热型两段蒸汽转化法和换热式两段转化法之分。一段转化法由于流程短，投资省，应用最广泛。加热型两段转化法第一段用于蒸汽转化，第二段用纯氧或富氧作气化剂，同时又可减少一段炉的负荷，节省高镍合金钢，故广泛用于制氨。换热式两段转化工艺最有发展前途，其二段转化炉出口高温气体热量供一段炉所需的热量，故可大幅度减少燃料天然气的热用量，存在的问题是副产蒸汽量减少。但从节能的角度来看，这种方法最有竞争能力，是今后大型装置的主要发展方向。

用天然气两段转化制合成气，含氢量高但碳量不足，因此一段转化炉采用副产的二氧化碳作为气化剂来增碳，不仅可改善合成氨的氢碳比，同时减少了工厂二氧化碳的排放，因此也是值得推广的一种工艺技术。

2 煤炭直接液化

美国和德国目前在煤炭直接液化方面处于领先地位。由于煤炭含氢量严重不足，因此需要在高压下进行加氢液化。液化需要消耗大量氢气，因此制氢的成本在一定程度上决定着煤炭液化在经济上是否可行。该工程投资巨大，按目前的油价，前景并不明朗。但从战略需要出发，很有必要对煤炭液化进行积极探索，以便在条件成熟时为建设工业规模示范装置打好基础。

3 煤头企业的尿素价值

目前国内气头尿素企业普遍享受着计划内的优惠气价，因此上涨压力较大，如气价优惠取消，这种气价上调风险对相关企业的压力就要增大，相对而言，煤头尿素企业来自原料成本的压力要轻松一些。气价的上调无疑将增加气头类氮肥企业的原料企业，为此，天然气的涨价压力渐高，涨价最大可能采取由支农用气向工业用气靠拢。由于煤头类尿素企业的原料煤炭以相对市场化，因此其原料成本的变化将反应市场的供求情况。假定需求不变条件下煤炭的价格上涨必将推动尿素价格的上涨，而煤炭的价格下跌也会一定程度带来尿素价格的回调。煤头企业的利润空间一定程度上代表了整个尿素行业的基准水平，从这一点上说，煤头尿素企业相对而言不会有来自原料成本的压力。

预期尿素价格继续上涨和天然气可能涨价，使煤头尿素生产企业的投资价值凸现了出来。虽然天然气

和煤炭都是生产尿素的主要原料，但国家只是对生产尿素的天然气实行计划价格，而煤炭价格却是市场化的，目前预计今年煤炭价格上涨的空间已不大，因此煤头尿素企业原料涨价的风险要远远小于气头企业。煤头尿素生产企业中也存在较大差异。从煤种看，块煤的价格要远高于粉煤，因此一些以粉煤为原料的大型企业则享受到了尿素价格上涨带来的业绩增长。

4 煤气化技术的工业选择及发展趋势

煤炭在我国能源生产与消费结构中一直占主导地位，近几年，我国大规模的煤化工项目相继开工建设并投产运行，作为煤化工的核心和关键技术的煤气化技术主要用于以下几个方面：

①生产燃料煤气，通过选用不同的气化方法，可以制得低、中、高三种热值燃气，以满足钢铁工业、化学工业、联合循环发电和民用等不同对象的要求；

②生产合成气，用于合成氨、合成甲醇和甲醚以及合成油的原料气；

③生产氢，煤气化制氢将是未来氢能经济的主要技术路线。

德士古水煤浆加压气化技术、壳牌干粉煤加压气化和新型水煤浆加压气化技术在国内都已得到了规模化应用，其应用效果均已得到工业化验证，GSP技术在我国也开始建设。因此煤气化技术的选择应根据煤种的变化选择合适气化技术，如果气化煤熔点较低且成浆性能较好，则可以选择水煤浆气化，也可以选择干粉煤气化，水煤浆技术应为优选；气化煤灰熔点较高时则只能选择干粉煤气化；气化工艺的选择要使产品和需求保持一致，与煤气化后续流程相结合；同时还要考虑装备运行的可靠性、投资与成本的经济性以及环境可接受性等。

煤炭的开发和加工利用已经成为我国环境污染排放的主要来源，因此发展洁净煤气化技术，提高煤炭利用率是我国煤炭发展战略的必然选择，作为高洁净、高效利用煤炭的先进技术之一的煤炭气化技术是我国能源领域的重点发展对象。从当前煤气化技术的发展趋势看，有以下特点：提高对多煤种的适应性，能气化任意煤种；大型化，提高气化能力和气化效率；采用加压气化工工艺，提高气化强度，节约压缩能耗或实现等压合成，减少出带物损失；环境友好，环保问题少，污染小；研制和简化新工艺和新型气化炉结构，降低基本建设投资和操作费用，并与其他技术联合应用等。

5 煤气化技术经济分析

无烟煤作为气化原料,主要呈现“五高”“四低”的特点,即抗碎强度高、热稳定性好、固定碳含量高、灰分高、灰熔融性温度高及可磨性指数差、内水含量低、反应活性底和黏温特性差。由于固定碳含量高、热稳定性好、灰熔融性温度高,无烟煤可满足固定床气化技术对煤种的要求是该气化技术最佳原料。无烟煤可磨性差,较难获得合格粒径的粉煤;灰熔融性温度高,不利于液态排渣;反应活性差,碳转化率低;黏温特性差,气化的操作空间窄。因此无烟煤应用于气流床气化技术存在一定弊端,需进行针对性的改进优化。

按煤在气化炉内的流动状态,国内外气化技术主要分为固定床气化技术、流动床气化技术和气流床气化技术3大类。其中,固定床技术主要有UGI、鲁奇炉、晋航炉和BGL等技术;流化床气化技术主要有灰熔聚、U-GAS、高温温克勒、黄台炉等技术;气流床气化技术主要有德士古、多喷嘴、晋华炉、GSP、航天炉、神宁炉、东方炉、科林炉、壳牌炉、晋煤炉等技术。固定床气化技术对无烟煤的适应性。鲁奇炉的煤种适应性广,除黏结性很强的烟煤外,均可采用该技术。而且该技术是固态排渣,连续气化,技术成熟度高。无烟煤的挥发分低、灰熔融性温度高等特性,决定了其是鲁奇炉气化的最佳原料。为了更好的发挥无烟煤的优势,在鲁奇炉的基础上开发了JC炉。JC炉利用气化炉温度高的特点,增加中压废锅,副产高品位蒸汽,提高能量利用效率;同时,结合无烟煤气化废水量少且易于处理的优势,简化煤气水处理流程,降低投资。BGL炉采用熔渣技术进行排渣,其气化效率和气化强度优于鲁奇炉。该技术通过增加废锅,提高热效率。该技术可以实现高灰熔融性温度煤的熔渣气化,合成气中甲烷含量低,适用于煤化工。

流化床气化技术对无烟煤的适应性。流化床气化技术目前多为常、低压技术,且处理能力小,多用于燃料气行业。该技术属于低温气化,碳转化率低,存在“上吐下泻”的问题,即粗合成气和灰渣都存在未反应的原料。气化压力和规模难以放大,合成气处理复杂。处理无烟煤时,单炉运行周期短,部分关键设备缺乏长时间的工程化验证。

气流床气化技术对无烟煤的适应性。水煤浆气化技术对无烟煤的适应性。无烟煤密度大、灰高,不易获得性能优良的水煤浆;煤质偏硬,不易获得合理粒

径,且对耐火砖的冲刷严重;灰熔融性温度高,使耐火砖的承重温度有限;实现液态排渣较为困难。目前,主流的德士古、四喷嘴和晋华炉技术,均未有采用高灰熔融性温度煤为原料进行单烧的业绩。

干粉煤气化技术对无烟煤的适应性。目前投运的干粉煤气化装置主要有SE-东方炉、航天炉、晋煤炉、科林炉和壳牌炉,以下主要对这些气化装置的适应性进行分析。SE-东方炉采用单喷嘴顶置结构,无旋流。其气化室内近壁面高温区位于渣口附近,可有效实现高温排渣。激冷采用华东理工大学的喷淋床+鼓泡床专利技术,可有效解决粗合成气的带水带灰问题。在无烟煤适应方面,该技术有掺烧50%高平煤的成功业绩,相比较其他技术,对无烟煤适应性较强。航天炉技术采用单喷嘴顶置结构,带旋流。其高温区位于气化室的上部,渣口温度较低。激冷采用双套筒技术。在无烟煤适应方面,该技术需要通过加入石灰石/铁粉,来降低无烟煤的灰熔融性温度,实现顺利的液态排渣,不但增加能耗,而且激冷室积灰严重;该技术以无烟煤为原料的煤耗、氧耗高,增加成本;炉型放大需要进一步优化。

煤气化技术的发展一定以煤资源的高效利用、环境和生态友善为前提。所以,高效和干净的煤气化技术是此刻煤气化技术发展的主流。气流床技术拥有大型化、干净、高效、煤种适应性强等特色,是此刻煤气化发展的主要方向。环绕气流床气化技术,应经过气化炉内多相反响过程调控、优化高温合成气冷却,优化气化工工艺,完美重点实施,实现能量的高效转变与合理回收,扩大煤种的适应性,并提升气化装置的靠谱性。

参考文献:

- [1] 祝魏玮,文永红.石油峰值论下的中国新能源未来[N].科学时报,2007-1105.
- [2] 付贵祥,李新元.开滦煤液化技术的研究与应用[J].水力采煤与管道运输,2000(4):4.
- [3] 朱继升,杨建丽,刘振宇等.先锋煤直接液化催化剂的研制及液化性能评价[J].燃料化学学报,1999,27(S1).

作者简介:

高华伟(1986-),男,汉族,山东日照人,本科学历,工程师,研究方向:煤化工。

盛强男(1988-),女,汉族,山东济宁人,本科学历,工程师,研究方向:煤化工。