

煤-天然气资源耦合利用技术经济分析研究

慕韩锋*

(陕西延长石油集团公司北京石油化工工程有限公司西安分公司, 陕西 西安 710075)

摘要:对以煤和天然气为原料的工艺路线中的煤/天然气配比以及各因素对经济性的影响进行了研究,分析了较优的煤/天然气配比值以及各因素对经济性影响的大小。结果表明,当天然气所产有效气量占总有效气量30%左右时,此方案经济性较好,原因除了装置配置导致的总投资差异外,煤/天然气协同生产合成气也会降低变换和净化单元的负荷;另外,天然气对方案的经济性影响超过了煤,是导致低煤/天然气配比经济性差的主要原因。实际方案比选过程中,方案的选取需要综合各种因素,而不应仅根据单一因素做出判断。

关键词:煤气化;天然气转化;方案经济性;耦合

中图分类号:F407.21

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2017)07-0156-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2017.07.037

Economic analysis on coupling utilization technology for coal and natural gas

MU Han-feng*

(Beijing Petrochemical Engineering Co., Ltd., Shaanxi Yanchang Petroleum Group, Xi'an 710075, China)

Abstract: Ratio of coal to natural gas and impacts of different factors on economic performance are studied in the process with both coal and natural gas as raw materials. The better ratio of coal to natural gas and influences level by different factors are analyzed. The results indicate that if the effective synthesis gas amount produced by natural gas accounts for 30% of the total, the scheme has a better economic performance. It is because different ratio needs different equipment and total investment, as well the coordination of coal and natural gas to make synthesis gas can cut down loading in the conversion unit and purification unit. In addition, the impact of natural gas on economic performance is bigger than that of coal, which is the main reason for lower ratio of coal to natural gas translating to worse economic performance. In practical comparison and selection of scheme, different factors need to be considered comprehensively, single factor can't be the accordance.

Key words: coal gasification; natural gas reforming; scheme economics; coupling

伴随着工业的飞速发展,我国的环境也在经受越来越严峻的考验。煤化工行业作为传统的耗煤行业,其清洁生产的应用将会影响到该行业的可持续发展能力。煤自身的特点导致其以单一原料生产下游产品时,具有污染较大、二氧化碳排放较多的缺陷^[1-2]。近来,将煤与其他原料进行综合利用生产下游产品的研究较多^[3-6]。天然气作为一类比较清洁的燃料,所产合成气的氢碳比远高于煤,因此与煤的互补性较好。当前,以煤和天然气为原料的相关研究较多^[7-10]。

目前,针对以煤和天然气为原料生产下游产品的多原料系统的研究主要从2个角度展开^[11]:①应用成熟的煤气化技术和天然气转化技术分别生产合成气,经处理后汇合,实现二者的“氢碳互补”的特性;该工艺路线较为成熟,易于工业化^[12-13];②将煤和天然气作为原料同时通入气化炉中,这又分为2种不同的形式,一种是混合进入气化炉^[14],另一种

是天然气通过气化炉内的盘管参与反应,利用气化产生的热量作为天然气转化所需的热量。不论是哪一种方法都能够实现煤和天然气资源的“氢碳互补”和“能量互补”^[15]。然而,这类技术目前并不成熟,无法在短期内实现工业应用。以煤和天然气为原料分别生产合成气的技术存在的难点在于如何在不同原料煤和原料天然气的配比中获得较优的配比值,使整个生产系统在投入较少的情况下能够获取更多的效益。本研究将通过不同的煤气配比值进行技术经济分析以获得较优的煤气配比值。此外,对影响这类煤/气系统的技术经济表现的影响因素进行了分析,以获得最敏感的因素,为今后以煤和天然气为原料综合利用项目的工业应用提供理论支持。

1 工艺描述与方案设计

1.1 工艺描述

本研究总体工艺路线为以煤和天然气为原料,

收稿日期:2017-03-30

基金项目:陕西延长石油(集团)有限责任公司技术开发项目(JT1014SKF0020)

作者简介:慕韩锋(1982-),男,博士,工程师,研究方向为煤-天然气资源耦合研究,通讯联系人, muhanfeng@bpdi.com.cn。

煤经气化装置生产粗合成气,进入变换装置,调整氢碳比后在净化装置脱除硫化氢和二氧化碳。天然气经天然气转化装置生产合成气后,进入净化装置,煤头和气头的净化气汇合后进入费托合成装置生产费托油品。装置规模为100万t/a,年操作时间8000h。气化装置采用粉煤气化技术,天然气转化装置采用自热转化技术。

1.2 方案设计

为了能够充分说明不同煤/天然气配比对系统经济性的影响,本研究选取4个方案作为研究对象,分别为纯煤方案(方案1)以及气基有效气/有效气为20%(方案2)、30%(方案3)和50%(方案4)。煤/天然气方案的工艺流程见图1,纯煤方案不考虑天然气转化及其配套的净化装置。

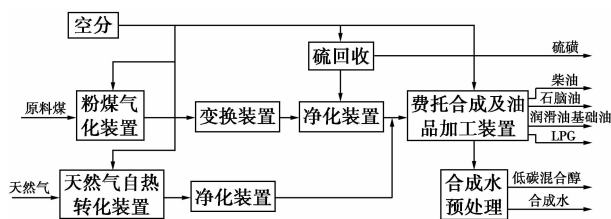


图1 煤/天然气方案工艺流程

2 技术经济参数

本研究对不同煤/天然气配比方案和纯煤方案进行了分析,基数经济参数如下。

项目建设期3年,生产期15年,计算期18年;建设期内,每年资金投放比例为20%、50%、30%;固定资产折旧年限为10年;人均年工资及福利费按10万元计;所得税以应纳税所得额为基数,税率25%;除LPG、蒸汽、新鲜水执行13%的增值税外,其余均为17%。

其余计算参数均以中石化项目可行性研究基数经济参数和数据为标准计取。

3 不同因素对项目效益影响

3.1 不同煤/天然气配比对项目效益影响

通过对本文中所列各方案进行技术经济分析能够比较系统地从业项目的角度考虑某一种方案的经济表现,是最终进行方案取舍的主要评价指标。原料煤价格取300元/t,燃料煤价格取270元/t,天然气价格取1.5元/m³,油品价格取80美元体系。各方案主要经济指标见表1。

通过表1可以看到,纯煤方案投资较高,且随着气头所产合成气逐渐增多,方案的投资呈递减趋势。

表1 各方案主要经济指标

项目	方案1	方案2	方案3	方案4
总投资/亿元	166.4	163.7	150.9	146.8
内部收益率(税后)/%	12.06	11.66	12.12	10.90
投资回收期(税后)/a	9.03	9.18	9.01	9.49

另外,方案2和方案3直接存在一个投资下降幅度较大的趋势。原因在于,相较于气头的天然气生产合成气路线,煤头的煤气化工艺路线较长,包含变换和净化单元,且粉煤气化装置本身投资较高,这都是导致纯煤方案投资较高的原因。方案3投资明显低于方案2投资的原因主要与装置配置有关。以2000t/d的粉煤气化炉为例,考虑到装置规模,方案2需5套气化装置、3套变换装置和3套净化装置,而方案3需要配置4套气化装置、2套变换装置和2套净化装置。

内部收益率与投资回收期一般表现为正相关,故在此仅分析内部收益率指标,可以看到,若将基准收益率定为12%,则仅方案1和方案3达到该基准收益率,且方案3略优于方案1。主要原因在于:①不同原料价格的差异性导致纯煤方案的内部收益率优于方案2和方案4;相对煤而言,天然气价格使得煤/天然气为原料的方案经济性指标降低。②方案3略优于方案1的原因在于受装置配置影响,方案3的投资远低于方案1,这导致其折旧费用远低于方案1,使得其内部收益率表现略好。以上分析证明了一点,那就是影响方案优劣的因素实际上是多方面的,不同原料的价格、总投资都将影响到方案的经济性,需要进行进一步地分析。

此外,通过以上指标看不到的隐含内容是方案1作为唯一的纯煤方案,其进反应器参与水煤气变换反应的一氧化碳量约为25万m³/h,而方案3仅为13万m³/h。这使得方案3不但降低了变换反应器的规模,同时每年能够减排180万t的二氧化碳。这表明在减排方面,煤/天然气方案能够实现“氢碳互补”,有效降低二氧化碳排放量。

3.2 不同因素对方案效益影响

为了说明煤价、天然气价和油品价格不同时对内部收益率的影响,故以方案3为研究对象,分别对这3种因素进行分析,以探讨出各因素对煤价的影响大小。当某一种因素的价格变动时,其他因素价格保持不变,以方便比较。

3.2.1 煤价对方案效益的影响

对煤价在100~600元/t,以50元为间隔取点计

算,可得如图 2 所示的煤价-内部收益率变化趋势。

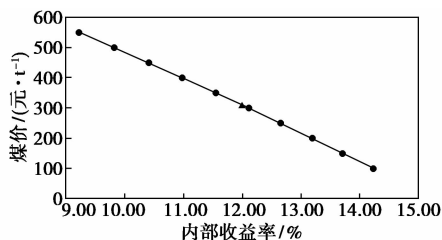


图 2 煤价-内部收益率变化趋势图

根据图 2 可以看到,随着煤价的升高,方案的内部收益率呈降低趋势。若以 12% 为基准内部收益率,则当天然气价为 1.5 元/m³,油品价格遵守 80 美元体系时,方案 3 的煤价临界点为 310.5 元/t。当煤价高于该值时,方案的经济效益表现不好。

3.2.2 天然气价对方案效益的影响

对天然气价在 0.5~3.3 元/m³,以 0.4 元为间隔取点计算,可得如图 3 所示的煤价-内部收益率变化趋势。

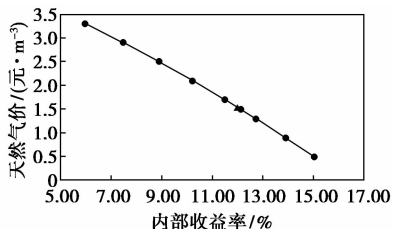


图 3 天然气价-内部收益率变化趋势图

根据图 3 可以看到,随着天然气价的升高,方案的内部收益率呈降低趋势。若以 12% 为基准内部收益率,则当煤价为 300 元/t,油品价格遵守 80 美元体系时,方案 3 的天然气价临界点为 1.54 元/m³。当天然气价高于该值时,方案的经济效益表现不好。

3.2.3 油价对方案效益的影响

为获取更多数据,将中石油和中石化的油价价格体系进行综合,分别为 60、70、80、100 美元的体系作为衡量油品的价格,得到图 4 所示的油价-内部收益率变化趋势。

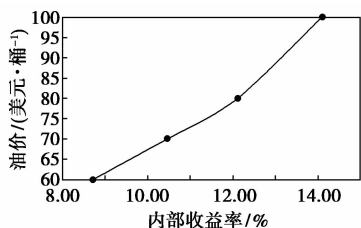


图 4 油价-内部收益率变化趋势图

根据图 4 可以看到,随着油价的降低,方案的内部收益率呈降低趋势。当油品价格低于 80 美元体

系时,该方案的经济效益表现不好。

4 经济效益分析

对煤价、天然气价以及油品价格做敏感性分析,见表 2 所示。

表 2 主要因素敏感性分析表

	-10.00%	-5.00%	0.00%	5.00%	10.00%
油品价格	9.53	10.85	12.12	13.33	14.50
天然气价格	12.57	12.34	12.12	11.89	11.65
煤价格	12.44	12.28	12.12	11.95	11.79

由表 2 可以看到,当不同影响因素增加 5% 时,对内部收益率影响最大的是油品价格,达到了 +1.21%,天然气价影响次之,为 -0.23%,煤价最低,是 -0.17%。可以看到,油价变动对这类煤制油项目的影 响非常巨大,但该价格一般较为稳定。对原料而言,天然气所产有效气仅占总有效气量的 30%,但其对内部收益率的影响高于煤炭,这更说明了天然气对方案的内部收益率影响很大。

5 结论

通过以上研究可以看到,针对不同配比的煤/天然气方案以及纯煤方案,考虑到装置配置等因素,天然气所产有效气占总有效气量为 30% 左右的时候,该方案最佳。

对煤、天然气以及油品价格等因素进行分析,结果表明,天然气对方案经济性的影响超过了煤。

不同煤/天然气配比方案以及纯煤方案的优劣受多重因素的影响,包括装置配置、煤/天然气配比,以及煤、天然气和产品的价格。因此,对这类问题需要进行全厂的系统性分析才能找到较优的结果,而不应仅仅局限于对某一因素的分析。

参考文献

[1] 刘超,李俊岭,许志宏,等.21 世纪能源、环境与过程工程探讨[J].化工进展,2002,21(1):13-16.

[2] Zhou L,Hu S Y,Li Y R,et al.Study on co-feed and co-production system based on coal and natural gas for producing DME and electricity[J].Chemical Engineering Journal,2008,136:31-40.

[3] Kiran L K.Microalgae production from power plant flue gas; Environmental implications on a life cycle basis,NREL/TP-510-29417 [R]. Golden, Colorado, US: National Renewable Energy Laboratory,2001.

器所产生的微气泡粒径分布进行了在线带压测量,以后利用这 3 种微气泡发生器为相同水质的含油污水气浮分离过程提供微气泡源,讨论了气浮分离过程中油水分离特性的变化趋势,以期进一步解释微孔介质发泡技术发泡机理以及微孔孔径对气浮分离过程的影响,从而推进微孔介质发泡技术以及气浮技术的应用和发展。

1 实验仪器与方法

1.1 微气泡发生器

本文中所示管式气泡发生器结构如图 1 所示,主要由外筒体、微孔材料管以及上下端盖等组成,其中微孔材料管将外筒体与上下端盖之间围成的内部空间分割为外部环形高压气腔和内部圆柱形水腔 2 部分。微气泡发生器在开启时,一般应首先供给高压气体使整个环形高压气腔维持较高的气压,然后再经微气泡发生器处理水入口通入液体,以避免处理水逆流通过微孔材料管而导致杂质堵塞材料内部微孔。工作过程中,微气泡的产生过程主要包括膨胀、分离和破碎 3 个阶段^[9]。发泡过程中,由于气液

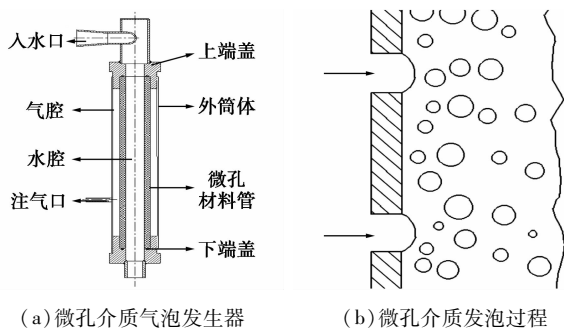


图 1 微孔发泡技术产生微气泡机理

接触面积较大,因此会有部分气体溶解入处理水,经减压释放后形成溶气释放过程,也有利于进一步强化气浮分离效果。本次实验过程中,分别针对微孔材料管孔径为 0.2、1.0、3.0 μm 的 3 个微气泡发生器进行了研究。

1.2 微气泡粒径在线测量方法

微气泡粒径测量方法采用激光衍射法,该方法测量速度快、误差较小、应用较为广泛^[10]。微气泡粒径在线测试系统主要借助日本岛津公司的 SALD2100 激光粒度仪,该设备主要包括样品池、激光光源及光学元件、检测器等。测试原理主要是利用微气泡、油滴或颗粒等对光的散射或衍射现象实现,粒径不同产生衍射现象也不同;衍射光信号经傅里叶透镜后聚焦到光电探测器上,以将光信号转换成电信号并传输至电脑上;利用相应的内部测量软件对这些信号进行处理解析,最终得到颗粒粒径分布数据。测量过程中,为避免微气泡黏附在样品池内表面而对下次测量结果产生影响,还自行配套了样品池清洗管线。

1.3 气浮柱处理含油污水实验方法

气浮柱处理含油污水实验的主要目的是对微气泡发生器所产生的微气泡质量进行间接评价,进而确定微孔孔径对于气浮油水分离性能的影响。气浮柱处理含油污水流程主要由进水系统、气浮分离、回流注气 3 部分组成。进水系统主要作用是泵送含油污水进入气浮柱内;气浮分离部分主要是指逆流式气浮柱,该气浮柱高 2.53 m,底部设有循环排出口,中部偏下设有循环入水口,气浮柱顶部设有集油槽以收集浮选后富集的油相;回流注气部分主要是气

(上接第 158 页)

- [4] Chmielniak T, Sciazko M. Co-gasification of biomass and coal for methanol synthesis[J]. *Applied Energy*, 2003, 74(3/4): 393-403.
- [5] Walter A, Lagostera J. Feasibility analysis of co-fired combined-cycles using biomass-derived gas and natural gas[J]. *Energy Conversion and Management*, 2007, 48(11): 2888-2896.
- [6] Adams II T A, Barton P I. Combining coal gasification, natural gas reforming, and solid oxide fuel cells for efficient polygeneration with CO₂ capture and sequestration[J]. *Fuel Processing Technology*, 2011, 92: 2105-2115.
- [7] Van Dijk C P, Rovner J M, Solbakken A, et al. Methanol from coal and natural gas: US, 4407973[P]. 1983-10-04.
- [8] 周齐宏, 胡山鹰, 陈定江, 等. 基于合成气的联供联产系统仿真[J]. *计算机与应用化学*, 2006, 23(2): 118-122.
- [9] 周齐宏, 胡山鹰, 陈定江, 等. 基于合成气的联供联产系统的 3E 分析[J]. *计算机与应用化学*, 2006, 23(3): 193-197.

- [10] Zhou L, Hu S Y, Chen D J, et al. Study on systems based on coal and natural gas for producing dimethyl ether[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, 48: 4101-4108.
- [11] 卞潮渊, 慕韩锋. 基于煤和天然气联合制取合成气工艺研究进展[J]. *化工进展*, 2016, 35(10): 3136-3141.
- [12] Salkuyeh Y K, Adams II T A. Combining coal gasification, natural gas reforming, and external carbonless heat for efficient production of gasoline and diesel with CO₂ capture and sequestration[J]. *Energy Conversion and Management*, 2013, 74: 492-504.
- [13] 刘敬尧, 何畅, 李璟. 以合成气为核心的多联供多联产集成能源化工系统[J]. *煤炭学报*, 2010, 35(2): 293-298.
- [14] Song X P, Guo Z C. A new process for synthesis gas by co-gasifying coal and natural gas[J]. *Fuel*, 2005, 84(5): 525-531.
- [15] Adams II T A, Barton P I. Combining coal gasification and natural gas reforming for efficient polygeneration[J]. *Fuel Processing Technology*, 2011, 92: 639-655. ■