

工艺与设备

焦炉煤气利用项目的经济性评价

张学镭¹, 王松岭¹, 陈海平¹, 刘文字², 倪维斗²

(1. 华北电力大学能源与动力工程学院, 河北 保定 071003; 2. 清华大学热能工程系, 北京 100084)

摘要:综合考虑技术和经济等因素, 选取了合成甲醇、联合循环发电、热电联产和内燃机发电 4 种焦炉煤气利用项目。按照经济可行性分析的步骤, 对选取的 4 种焦炉煤气利用项目进行了经济性评价, 结果表明, 4 种焦炉煤气利用项目均可盈利, 并且合成甲醇项目的内部收益率最高。从原料价格、产品价格以及产品产量方面, 对 4 种项目进行了敏感性分析, 找出了影响各项目经济性的最敏感因素。

关键词:焦炉煤气; 技术经济性; 敏感性分析; 甲醇; 燃气轮机; 内燃机

中图分类号: F407.7

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2006)01-0047-04

Economic evaluation of coke oven gas utilization projects

ZHANG Xue-lei¹, WANG Song-ling¹, CHEN Hai-ping¹, LIU Wen-yu², NI Wei-dou²

(1. School of Energy Sources and Dynamic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Considering the technology and economy, the projects of methanol plant, gas turbine combined cycle power plant, gas turbine-HRSG cogeneration plant and gas engine single cycle power plant, all of which use coke oven gas (COG) as feedstock or fuel, and promised in China. The economic returns of the above four projects is analyzed in the paper, which shows that all the projects can make profits and the Internal Rate of Return (IRR) of methanol plant is the highest. An analysis on sensitivity was conducted and the sensitivity factors were found in order to evaluate the influencing degree in respect of raw material, product price and product output for the economic indexes of each project.

Key words: coke oven gas; techno-economy; sensitivity analysis; methanol; gas turbine; gas engine

焦炉煤气(COG)是在炼焦过程中, 在产出焦炭和焦油产品的同时所得到的可燃气体, 是炼焦过程的副产品。生产 1 t 焦炭可产生焦炉煤气约 425.6 m³。焦炉煤气(本文指净煤气)热值较高, 可达 17 598 kJ/m³, 主要成分为氢气、甲烷和一氧化碳等^[1]。我国焦炭产量居世界第 1 位, 据不完全统计, 每年可利用的焦炉煤气资源约有 290 亿 m³, 其中大部分经燃烧后直接排空, 不仅浪费了能源, 而且造成环境污染。因此, 不仅要研究如何利用焦炉煤气, 也要研究如何高效、合理地利用焦炉煤气, 最大限度地提高焦炉煤气资源的利用效率, 提高企业利用焦炉煤气的积极性。

笔者选取了 4 种有发展前景的焦炉煤气利用项目, 评价了项目的经济性, 分析了项目的敏感性, 并对不同生产规模的焦化厂, 选出了最佳的投资项目。

1 4 种焦炉煤气利用项目的系统配置

根据调研资料, 综合考虑技术和经济等因素, 选

取了以下 4 种焦炉煤气利用项目。

1.1 年产 10 万 t 甲醇合成项目

以焦炉煤气为原料合成甲醇(MeOH)的工艺流程如图 1 所示^[2]。

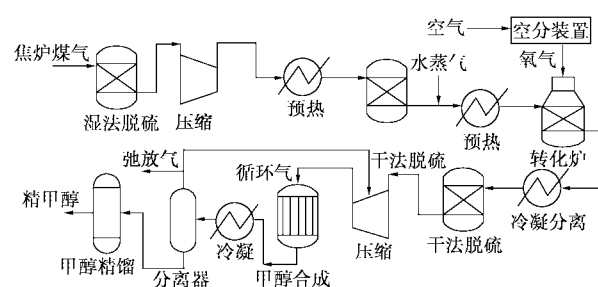


图 1 焦炉煤气合成甲醇的工艺流程

焦炉煤气经过湿法脱硫(NHD法)和干法脱硫(铁钼催化剂加氢转化, 氧化锰为脱硫剂), 与水蒸气均匀混合后经预热进入转化炉。转化炉采用化学工业第二设计院研制的催化部分氧化装置。从转化炉出来的合成气, 经冷凝分离出其中的水后, 再经过 1 次干法脱硫(氧化锌为脱硫剂), 进入合成塔。合成

收稿日期: 2005-09-15; 修回日期: 2005-10-10

基金项目: 教育部重点实验室电站设备状态监测与控制项目资助

作者简介: 张学镭(1977-), 男, 博士生, 讲师, 从事煤基多联产系统方面的研究工作, 0312-7522376, xueleizh@163.com。

塔采用国产管壳式低压均温型甲醇合成装置。合成塔出口气体分离出粗甲醇,少部分弛放气排出系统外,大部分在系统内循环,粗甲醇精馏后即得到精甲醇。由于转化炉内压力和合成塔内压力的不同,故需采用 2 次压缩工序。生产 1 t 甲醇消耗 2 144 m³ 焦炉煤气。

1.2 燃气蒸汽联合循环发电项目

燃气蒸汽联合循环发电项目(GTCC)工艺流程如图 2 所示,经过净化的焦炉煤气与经过压缩的空气在燃烧室内混合燃烧,生成高温、高压的燃气,进入燃气轮机做功。燃气轮机乏气进入余热锅炉内,将水加热成过热蒸汽后排出。余热锅炉内产生的过热蒸汽进入蒸汽轮机内做功,乏气排入凝汽器。燃气轮机采用三菱(Mitsubishi)公司 MF111 型(14.57 MW),其余为国产设备。联合循环装机容量为 22.07 MW,联合循环发电效率取 51%,每 kWh 电消耗焦炉煤气 0.42 m³,厂用电率取 9.6%。

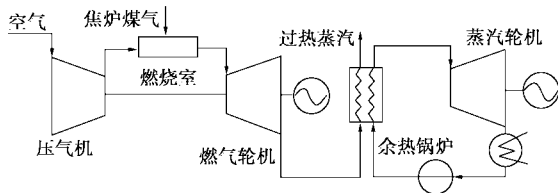


图 2 燃气蒸汽联合循环发电工艺流程

1.3 燃气轮机热电联产项目

燃气轮机热电联产项目(GTHR)与 GTCC 项目不同,该项目余热锅炉生产的蒸汽直接对外出售,如图 3 所示。燃气轮机采用南方航空动力公司生产的 QDR 20 型(2 000 kW)燃气轮机。发电总装机容量为 6 000 kW,GTHR 的发电效率取 23%,每 kWh 电消耗焦炉煤气 0.92 m³,厂用电率取 13.5%,副产蒸汽 19.5 t/h。

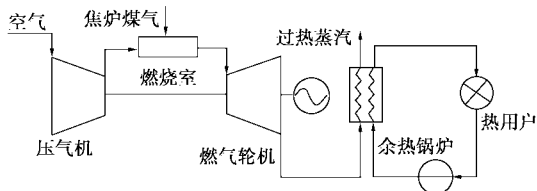


图 3 燃气轮机热电联产工艺流程

1.4 内燃机发电项目

焦炉煤气经脱焦油、脱硫、除尘和脱水净化后,进入内燃机发电(GESC)。该项目采用胜利油田动力机械厂生产的 12 台 500GF-RJ(500 kW)燃气发电机组。发电总装机容量为 6 000 kW,GESC 发电效率

取 32.7%,每 kWh 电消耗焦炉煤气 0.65 m³,厂用电率取 10%。

2 焦炉煤气利用项目的经济性评价

2.1 经济性评价指标

本文选取净现值(NPV)、内部收益率(IRR)和动态投资回收期作为经济性评价指标,对 4 种利用项目进行经济性评价^[3]。

2.1.1 假定条件及规定

假定所有项目建设年限为 1 年,寿命期和折旧年限都为 15 年,寿命期末的残值率取 4%,基准折现率取 12%,折旧和摊销均采用直线法,无形资产和递延资产的摊销年限分别为 10 年和 5 年。

假定 1 t 焦炭可产 425.6 m³ 焦炉煤气,热值取 17 000 kJ/m³,价格为 0.10 元/m³,其可利用率设为 50%。上网电价取 0.40 元/kWh,工业用电价格取 0.45 元/kWh,甲醇价格取 2 000 元/t。发电企业年满负荷发电 6 000 h。

2.1.2 项目投资估算

基于调研相关项目的投资比例,以主要设备购置费为基础,得到了项目总投资各部分费用之间的平均比例系数,如表 1 所示。

表 1 项目投资估算表

项 目	计算方法
固定资产(A)	$A_4 + A_5 + A_6$
主要设备购置费(A ₁)	按文献[4]中的方法计算,折算到 2004 年 10 月份价格
辅助设备购置费(A ₂)	
主要设备为国产	$A_1 \times 15\%$
主要设备为进口	$A_1 \times 10\%$
公用及服务性工程设备购置费(A ₃)	$A_1 \times 10\%$
设备购置费合计(A ₄)	$A_1 + A_2 + A_3$
安装费(A ₅)	$A_4 \times 10\%$
建筑费(A ₆)	$A_4 \times 10\%$
无形资产(B)	
土地征用及拆迁补偿费(B ₁)	征地数量(hm ²) × 价格(150 万元/hm ²)
递延资产(C)	$C_1 + C_2 + C_3 + C_4$
联合试运行费(C ₁)	$A \times 1\%$
职工培训费(C ₂)	$A \times 1\%$
勘察设计费(C ₃)	$A \times 1\%$
其他(C ₄)	$A \times 1\%$
流动资产(D)	$D_1 + D_2$
流动资金(D ₁)	分项详细估算
流动负债(D ₂)	分项详细估算
预备费(E)	$A \times 5\%$
工业项目总投资	$A + B + C + D$

2.1.3 总成本费用估算

总成本费用包括直接生产成本、制造费用、销售费用和管理费用。总成本费用又可分为固定成本和可变成本,其中原辅材料及动力消耗为可变成本,运行人员工资的70%为固定成本,另外30%为可变成本。制造费用、销售费用和管理费用中与销售收入有关的为可变成本,其余为固定成本。总成本费用除去折旧和摊销后为经营成本,如表2所示。

表2 成本费用估算表

项 目	计算方法
直接生产成本(A)	
原辅材料及动力消耗(A ₁)	列表详细计算
运行人员工资(A ₂)	人数×年收入(3万元)
制造费用(B)	
车间管理人员工资(B ₁)	运行人员工资的20%
折旧费(B ₂)	直线折旧
维修费(B ₃)	固定资产投资的3%
其他费用(B ₄)	销售收入的1%
销售费用(C)	销售收入的5%
管理费用(D)	
管理人员工资(D ₁)	运行人员工资的20%
无形资产摊销(D ₂)	直线摊销
递延资产摊销(D ₃)	直线摊销
其他费用(D ₄)	销售收入的1%
总成本费用(E)	$A + B + C + D$
经营成本(F)	$E - B_2 - D_2 - D_3$
固定成本(G)	$E - H$
可变成本(H)	$A_1 + A_2 \times 0.3 + C + B_4 + D_4$

2.1.4 净现金流量

每年的净现金流量为现金流入减去现金流出。现金流入包括:产品销售收入、寿命期末的固定资产余额回收和寿命期末的流动资金回收。现金流出包括项目建设初投资、流动资金、经营成本、销售税金及附加所得税和公益金。经过折现后的净现金流量累计到寿命期末的数值就是净现值(NPV)。根据每年的净现金流量可以计算出内部收益率(IRR)和动态投资回收期。

2.2 经济性评价结果

按照上述步骤,对4种项目的经济性进行了评价,经济性评价结果见表3。

从单位总成本中减去副产品的收益,即为主产品成本。从表3可以看出,对GTHR项目,如果蒸汽价格比较高,将使得发电成本很低,甚至有可能出现负值。

表3 经济性评价结果

项目	MeOH	GTCC	GTHR	GFSC
焦炭产量/万 t	100.00	25.84	15.58	10.96
COG可利用量/ 万 m ³ ·a ⁻¹	21280	5498.39	3314.57	2331.35
年产量/万 kWh	10 万 t	11970	3114	3240
实际 COG 消耗量/ 万 m ³ ·a ⁻¹	21440	5498.41	3314.58	2331.35
总投资/万元	25367.28	12235.71	2875.10	2279.36
单位总成本/ 元·kWh ⁻¹	891.91	0.18	0.313	0.201
副产品成本	50.8		0.301	
	元/t ^①		元/kWh ^②	
主产品成本/ 元·kWh ⁻¹	841.11	0.18	0.012	0.201
动态投资回收期/a	4.83	9.53	5.21	7.34
NPV/万元	29453.09	3521.12	2933.02	1204.64
IRR/%	33.89	17.75	31.20	22.33

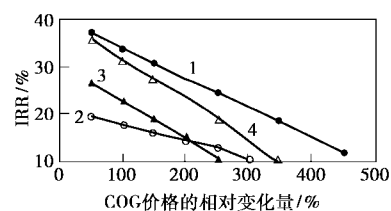
注:①1 t 甲醇的副产品弛放气、杂醇油产量分别为 880 m³ 和 0.0068 t,其单价分别以 0.05 元/m³ 和 1 000 元/t 计,则副产品成本为 50.8 元/t;②GTHR 项目每产 1 kWh 电,副产蒸汽 0.00376 t,1 t 蒸汽以 80 元计,则副产蒸汽成本 0.0301 元/t。

从表3还可以看出,4种项目的内部收益率都大于基准折现率(12%),说明它们都可以盈利。其中以MeOH项目内部收益率最大,动态投资回收期最短。GTCC内部收益率最小,动态投资回收期最长,主要是因为该项目燃气轮机为进口机组,初投资比较大。虽然GTHR的发电效率比较低,但由于采用热电联产,使其内部收益率仅次于MeOH。

3 项目的敏感性分析

3.1 原料(燃料)价格对项目内部收益率的影响

从图4可以看出,GTHR项目和GFSC项目的内部收益率受焦炉煤气价格的影响最大;GTCC项目的内部收益率受焦炉煤气价格的影响最小。

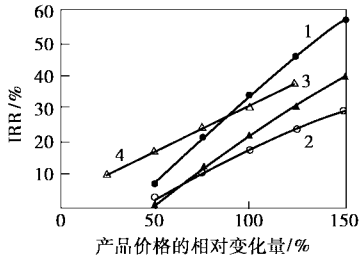


1—MeOH;2—GTCC;3—GTHR;4—GFSC

图4 原料(燃料)价格对项目IRR的影响

3.2 产品价格对项目内部收益率的影响

从图 5 可以看出, MeOH 项目的内部收益率受产品价格的影响最大; GESC 项目和 GTCC 项目的内部收益率受产品价格的影响最小。

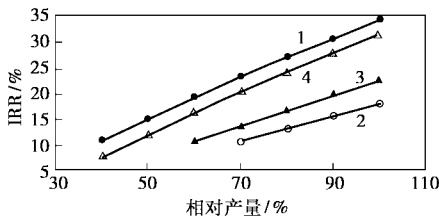


1—MeOH; 2—GTCC; 3—GTHR; 4—GESC

图 5 产品价格对项目 IRR 的影响

3.3 产品产量对项目内部收益率的影响

从图 6 可以看出, MeOH 项目和 GESC 项目的内部收益率受产品产量的影响最大; GTCC 项目的内部收益率受产品产量的影响最小。



1—MeOH; 2—GTCC; 3—GTHR; 4—GESC

图 6 产品产量对项目 IRR 的影响

3.4 原料价格、产品价格和产品产量的临界值

分别使项目的内部收益率等于基准收益率(本文取 12%)时的原料价格、产品价格和产品产量称为原料价格、产品价格和产品产量的临界值。表 4 列出了各项目能够达到预期收益率的最高原料价格、最低产品价格和最低产品产量。

表 4 原料价格、产品价格和产品产量的临界值

项目	IRR > 12% (达到预期的收益率)		
	焦炉煤气价格/元·m ⁻³	产品价格	产品产量/%
GTCC	< 0.27	> 0.33 元/kWh	> 77
GTHR	< 0.32	> 0.13 元/kWh	> 50
GESC	< 0.23	> 0.28 元/kWh	> 67
MeOH	< 0.44	> 1200 元/t	> 45

注: 产品产量指达到预期收益率时所占设计产量的百分比。

4 项目的规模效益评价

前述 4 种项目焦炉煤气的利用规模是不同的。

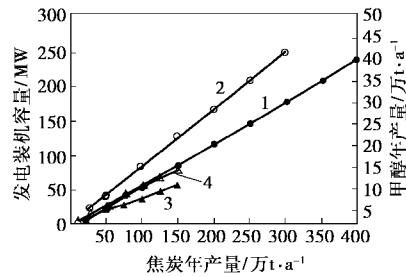
为了评价规模扩大对项目经济性的影响, 以前述 4 种项目为基础, 计算了规模扩大以后各个项目的经济性。这样针对不同规模的焦化厂, 就可从中选出最佳的投资项目。计算过程中假设:

①规模扩大后, 系统的效率(能耗率)不变; ②所有焦化企业的焦炉煤气的可利用率为 50%; ③主要设备购置费按下式计算:

$$C_1 = C_0(S_1/S_0)^n$$

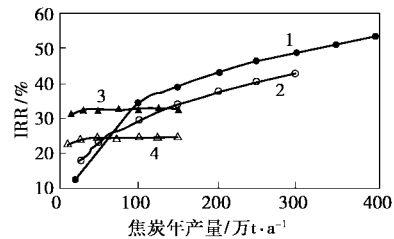
式中: C_1 和 C_0 分别为研究设备和参考设备的购置费; S_1 和 S_0 分别为研究设备和参考设备的规模参数; n 为规模缩放指数, 可以取文献[5]中推荐的平均值 0.67; ④原材料及公用工程的消耗量与规模成正比变化; ⑤主产品及副产品产量与规模成正比变化; ⑥由于国产小规模燃气轮机的功率为 2 000 kW, 国产燃气发动机的成熟机型功率为 500 kW, 所以 GTHR 项目和 GESC 项目规模的扩大是靠机组台数的增加, 而单机容量并没有改变。

将项目规模效益评价结果汇总, 得到图 7 和图 8。



1—MeOH; 2—GTCC; 3—GTHR; 4—GESC

图 7 焦炭产量与焦炉煤气利用项目规模的关系



1—MeOH; 2—GTCC; 3—GTHR; 4—GESC

图 8 各项目规模效益对 IRR 的影响

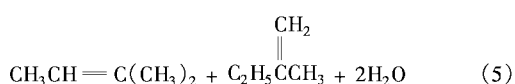
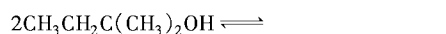
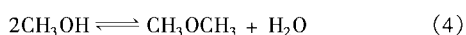
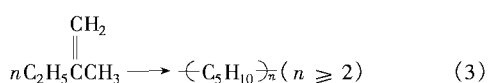
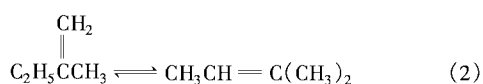
从图 7 和图 8 可以得出以下结论:

(1) 焦炭产量一定时, 焦炉煤气发电可装机容量 GTCC 最大, GESC 次之, GTHR 最小。

(2) 随着生产规模的扩大, 4 种投资项目的 IRR 都增大。

(3) 随着生产规模的扩大, GTHR 和 GESC 的

(下转第 52 页)



1.2 装置运行分析

精制后所得异戊烯产品规格如表 1 所示。

表 1 异戊烯产品规格

项目	指标
外观	无色透明
色度(Pt-Co 比色法)	≤30
异戊烯质量分数/%	≥99.0
异戊烯中 2-甲基-2-丁烯质量分数/%	≥86.0
甲醇质量分数/%	≤0.05
二甲醚质量分数/%	≤0.05
水质量分数/%	≤0.04

TAME 裂解为吸热反应,反应使用列管式反应

器,共装填催化剂 600 kg,列管间通入热媒介来提供反应吸收的热量。催化剂活性组分为杂多酸,载体为 SiO₂。来源于粗异戊烯醚化反应器并经提纯后质量分数 ≥95% 的 TAME,在裂解温度为 180 ~ 300℃,液空速为 0.3 ~ 0.7 h⁻¹,压力为 0.2 ~ 0.3 MPa 的条件下裂解成异戊烯。

表 2 是 TAME 裂解装置从 2002 年 11 月至 2004 年 7 月的反应器进口压力、反应温度等操作参数和裂解反应结果。从表 2 可见,2003 年 8 月装置改造以前,反应器进口压力维持在 0.22 MPa 左右,进口温度约在 200℃ 的条件下,TAME 转化率大于 99%,异戊烯选择性为 93.05% ~ 99.67%。改造后,虽然液空速比改造前提高了 80%,但相应提高温度后,TAME 转化率仍约为 100%。3 年的运行结果表明,SPC-01 型催化剂对 TAME 裂解具有很好的催化性能和稳定性,此次工业应用获得成功。该批催化剂在 2004 年 7 月装置再次扩大产能(扩至 3 000 t/a)时进行了更换,此次催化剂更换并非是其已经失活而无法使用,主要是为了保障装置生产的可靠性。表 2 中有部分异戊烯选择性超过 100%,主要是由于原料中含有的叔戊醇脱水所致。

(上接第 50 页)

IRR 增长平缓。这是因为 2 个项目规模的扩大是靠增加燃气轮机或燃气发动机的并联台数,而单机容量没有变化,没有体现出规模生产的优势。

(4)对于 GTCC 和 MeOH,随着规模的增加,IRR 先是迅速上升,到达一定规模时,增长趋势变慢。规模效应在小规模阶段很显著。

(5)焦炭产量小于 60 万 t/a 的小规模焦化企业,GTHR 项目的 IRR 最大,GESC 项目次之。这表明小规模焦化企业投资 GTHR 项目经济效益最好,不仅有发电的收益,而且有副产蒸汽的收益。如果蒸汽没有销路,选择 GESC 应该是最理想的方式,因为 GESC 的发电效率高于 GTHR,并且 GESC 占地少、易于维护。目前,阻碍 GESC 应用的主要是技术因素。国产可烧焦炉煤气的 2 000 kW 燃气发动机组仍然需要进一步完善。如果这一型号技术成熟,并有效利用燃气发动机余热,GESC 项目将会体现更大的优势。

(6)焦炭产量在 60 万 ~ 90 万 t/a 的中等规模焦化企业,GTHR 项目的 IRR 最大,MeOH 项目次之。

类似于第 5 条的分析,主要是由于 GTHR 副产蒸汽的收益较大。如果在蒸汽没有出路的情况下,合成甲醇将是最理想的项目。

(7)焦炭产量大于 90 万 t/a 的大型焦化企业,MeOH 项目的 IRR 最大,GTCC 项目次之。这表明甲醇合成项目和燃气-蒸汽联合循环项目适用于大规模的焦炉煤气利用。GTCC 项目小规模时的 IRR 比较低,这主要是因为燃气轮机必须依赖进口,导致项目总投资太高。

参考文献

- [1] 于振东,蔡承佑.焦炉生产技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2003.
- [2] 山西天浩化工有限公司.用焦炉气年产十万吨甲醇项目[J].山西汽车,2002(4):28-38.
- [3] 傅家骥,全允恒.工业技术经济学[M].第 3 版.北京:清华大学出版社,1996.
- [4] 张斌,倪维斗,李政.考虑减排 CO₂ 的几种大规模制氢系统技术经济评价(下)[J].天然气工业,2004,24(2):104-108.
- [5] Brown T R. Capital Cost Estimating[J].Hydrocarbon Processing,2000,79(10):93-100. ■