

Economic Evaluation on Process of Circulated Fluidized Bed Combustion Coupled with Lignite Pyrolysis

Lianguo Cai^{1*}, Xuanyou Li¹, Ning Zhang², Chengyun Wang¹, Fengjiao Yin¹, Gaiju Zhao¹

¹Industrial Energy Conservation Research Center, Shandong Academy of Sciences, Ji'nan
²College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Taian
Email: *lianguocai@126.com

Received: Jun. 7th, 2013; revised: Jun. 21st, 2013; accepted: Jun. 29th, 2013

Copyright © 2013 Lianguo Cai et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: The economic evaluation was undertaken for a lignite-fired 1025 t/h circulated fluidized bed (CFB) combustion coupled with 100 t/h lignite pyrolysis process. The results indicated that the static time period for recovery of investment was 3.9 years less than the criterion time period for recovery of investment for the coal industry; the profit rate of investment was 29.4% more than the average investment rate of return of coal industry; the net present value of 1025 t/h CFB coupled with 100 t/h lignite pyrolysis process was about 0.52 billion yuan when the criterion discount rate was 12%. The results showed that the CFB combustion coupled with coal pyrolysis technology was competitive in market.

Keywords: Combustion; Couple; Pyrolysis; Economic Evaluation

循环流化床燃烧耦合褐煤热解工艺经济评价

蔡连国^{1*}, 李选友¹, 张宁², 王成运¹, 尹凤交¹, 赵改菊¹

¹山东省科学院工业节能研究中心, 济南
²山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安
Email: *lianguocai@126.com

收稿日期: 2013年6月7日; 修回日期: 2013年6月21日; 录用日期: 2013年6月29日

摘要: 对 1025 t/h 循环流化床锅炉燃烧耦合 100 t/h 褐煤热解工艺进行经济评价。计算结果为: 静态投资回收期 3.9 年, 低于煤炭行业基准投资回收期; 投资利润率 29.4%, 大于煤炭行业平均投资收益率; 基准折现率取 12% 时, 对 1025 t/h 循环流化床锅炉燃烧耦合处理量 100 t/h 褐煤热解联产系统的净现值约为 5.2 亿元。以上数据说明循环流化床燃烧耦合热解工艺技术有较强的市场竞争力。

关键词: 燃烧; 耦合; 热解; 经济评价

1. 引言

煤炭热解与直接液化和间接液化相比具有工艺条件温和、能量利用效率高的特点, 从上世纪 80 年代以来成为人们的研究热点。而褐煤很难在煤粉炉中燃烧, 循环流化床(CFB)锅炉为褐煤的燃烧发电提供了一种技术途径。中国科学院过程工程研究所姚建中^{*}通讯作者。

等^[1]提出了“煤拔头”的概念, 认为 CFB 锅炉与热解器耦合系统可实现热、电、气和焦油多联产。另外, 许多研究者^[2-4]证明耦合系统相比原单个系统来说, 能同时提高能源效率和有效能效率。

但是一项有市场竞争力的技术除了工艺先进外, 还需有经济上的合理性。迄今为主, 还没有发现对 CFB 锅炉燃烧耦合热解系统进行技术评价的例子。本

文以前期研究^[5]为基础,对 1025 t/h CFB 锅炉燃烧耦合褐煤热解工艺的经济性进行了评价,为循环流化床锅炉燃烧耦合褐煤热解项目的决策提供基础数据。

2. 褐煤燃烧耦合热解工艺

煤拔头示意图见图 1。一部分煤进入 CFB 锅炉燃烧,其余的煤加入热解器的同时与来自 CFB 锅炉的热灰混合发生热解反应生成半焦、热解气和焦油。CFB 锅炉的热灰被旋风分离器分为两股,一股被直接送回 CFB 锅炉,另一股进入热解器为煤粉热解提供热量,热解生成的半焦与热灰一起被送入 CFB 锅炉燃烧。生成的焦油和热解气可进一步加工成化学品、燃料油和燃气。

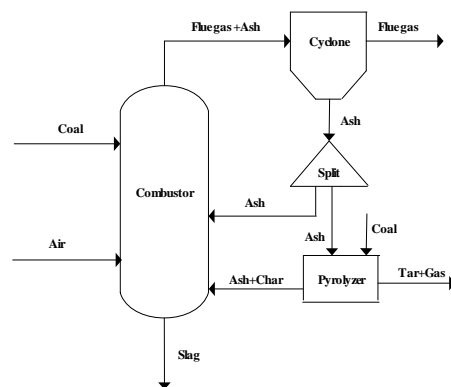


Figure 1. The schematic of CFB combustor coupled with pyrolyzer

图 1. CFB 燃烧器耦合热解器示意图

Table 1. The economic data of 75 t/h CFB combustor coupled with moving bed pyrolyzer

表 1. 75 t/h CFB 燃烧耦合移动床热解经济数据

序号	设备、设施	价格(万 RMB)
1	热解器	80
2	煤炭进料器	30
3	控制系统	60
4	分析仪器	30
5	辅助设施	60
6	分灰器	15
7	过滤系统	40
8	输送系统	150
9	总计	465

3. 经济评价假设

经济评价计算时需选用和所计算技术项目技术、规模相近的项目的投资作为参考。由于本文的计算项目较新,现在还没有与此相近的技术项目,因此参考某研究所开发的 75 t/h 锅炉燃烧耦合移动床热解设备投资数据作为计算参考,见表 1。该工业中试装置热解器的煤处理量为 5 t/h。

根据作者前期研究^[5]建立的 1025 t/h 循环流化床锅炉燃烧与流化床热解耦合系统的 ASPEN Plus 模拟计算流程,对煤气不返回燃烧时,不同热解煤量下燃烧煤量和总煤量的变化进行了计算,如表 2 和图 2 所示。随着热解煤量的增加,燃烧煤量逐渐减小,总煤量逐渐增加。当热解煤量为 0 时,燃煤量为 227.42 t/h;当热解煤量为 100 t/h 时,燃煤量为 148.31 t/h,总耗煤量为 248.31 t/h;当燃煤量为 0 时,完全靠热解煤提供热量时,所需煤量为 282.91 t/h。由于是现有锅炉的改造,取热解煤量为 100 t/h 进行了经济评价,计算假定见表 3。

Table 2. The combustion coal and total coal varied with pyrolysis coal when coal gas not recycled to combustion

表 2. 煤气不返回燃烧时燃煤量(t/h)和总煤量随热解煤量的变化表

热解	0	20	40	60	80	100	120	150	200	283
燃烧	227	212	196	180	164	148	132	109	69	0
总煤量	227.	232	236	240	244	248	252	259	269	283
烟气温度	149	150.1	150.2	149.8	150.0	149.9	150.1	150.3	149.7	150.3

4. 经济评价数据计算

按表 3 所示的计算假设,对蒸发量 1025 t/h 褐煤燃烧循环流化床锅炉耦合 100 t/h 的热解系统进行经济核算:

1) 热解系统的固定资产投资

用规模指数法

$$I_1 = I_2 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^n, \quad n \text{ 为规模指数, 取 } 0.7$$

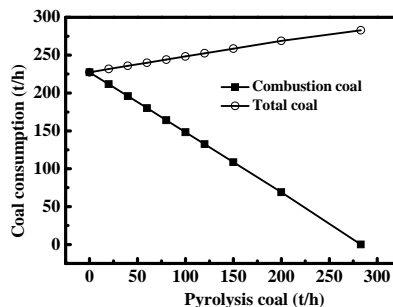


Figure 2. The combustion coal and total coal varied with pyrolysis coal when coal gas not recycled to combustion

图 2. 煤气不返回燃烧时燃煤量和总煤量随热解煤量的变化

Table 3. The hypothesis of economic calculation
表 3. 计算假设

建设期	投产期	建设负荷	工程寿命	总耗煤量	热解煤量	焦油产率(wt.)	气体产率(wt.)	操作时间
1年	1年	80%	20年	248.31 t/h	100 t/h	5.4%	6.8%	6000 h

式中, Q_1 为参考项目 75 t/h CFB 锅炉改造配套热解系统的热解煤量 5 t/h, Q_2 为 1025 t/h CFB 锅炉改造配套热解系统的热解煤量 100 t/h, I_2 为 75 t/h CFB 锅炉改造配套热解系统的设备投资。

1025 t/h 锅炉耦合热解系统固定资产投资额 = $465 \times (100/5)^{0.7} = 3786$ 万元

2) 流动资金投资估算

按建设投资估算(国内外化工项目的固定资产投资流动资金率为 12%~20%), 按 20% 计算

流动资金额 = 固定资产投资流动资金率 \times 固定资产投资 = $3786 \times 20\% = 757.2$ 万元, 取 760 万元

3) 销售收入

焦油年产量: 32,400 t/a

煤焦油价格: 2000 元/t

焦油年收入: 6480 万元

煤气产量: 4580 万 Nm^3/a

煤气价格: 0.7 元/t

煤气年收入: 3206 万元

销售总收入: $6480 + 3206 = 9686$ 万元

4) 总成本费用

总成本费用 = 制造成本 + 总费用

制造成本(生产成本) = 原材料① + 燃料动力费② + 工资及福利③ + 制造费用 - 副产品收入④

制造费用 = 基本折旧费⑤ + 维修费⑥ + 其他费用⑦

总费用 = 管理费用⑧ + 财务费用⑨ + 销售费用⑩

① 原材料

热解煤量 100 t/h, 燃烧煤量 148.306 t/h, 总煤量:

248.306 t/h。

锅炉原燃煤量: 227.42 t/h。

增加燃煤量 = $248.306 - 227.42 = 20.886$ t/h

煤炭价格: 500 元/t

耗煤年费用: 6265.8 万元, 取 6266 万元

② 燃料动力费

给煤机、风机等耗电总功率取 500 kw

$500 \text{ kw} \times 6000 \text{ hr} \times 0.65 \text{ 元/度电} = 195$ 万元

③ 工资及福利

直接工资, 人员设置 8 人, 费用: 10 万元/年,

共计 $10 \times 8 = 80$ 万元

福利费, 按直接工资总额的 14% 计取, $80 \times 14\% = 11.2$ 万元

工资及福利合计: 91.2 万元, 取 92 万元

④ 副产品收入取 0

⑤ 基本折旧费

按固定资产折旧费计算

固定资产残值比例: 5%。

折旧年限: 20 年

残值 = $3786 \times 0.05 = 189.3$ 万元, 取 189 万元

折旧额 = $(3786 - 189.3)/20 = 179.8$ 万元, 取 180 万元

⑥ 维修费

维修费按折旧费的 50% 计取, 即 90 万元/年

⑦ 其他费用

按基本折旧费的 10% 计取, 18 万元

⑧ 管理费用

制造费用 = 基本折旧费 5) + 维修费 6) + 其他费用 7) = $180 + 90 + 18 = 288$ 万元

管理费用 = 制造费用 \times (6%~9%) = $288 \times 7.5\% = 21.6$ 万元, 取 22 万元

⑨ 财务费用

主要是贷款利息

贷款利率在 3~5 年时, 取年利率 5.76%, 按 3 年贷款计算, 利息 = 本金 \times (1 + 利率)ⁿ - 本金 = $3786 \times (1 + 0.0576)^3 - 3786 = 4479 - 3786 = 693$ 万元

(式中 n 为计息周期数)

⑩ 销售费用

销售费用 = 销售收入 \times (1%~3%) = $9686 \times 2\% = 194$ 万元/年

总成本费用 = 原材料① + 燃料动力费② + 工资及福利③ - 副产品收入④ + 基本折旧费⑤ + 维修费⑥ + 其他费用⑦ + 管理费用⑧ + 财务费用⑨ + 销售费用⑩ = $6266 + 195 + 92 - 0 + 180 + 90 + 18 + 22 + 693 + 194 = 7750$ 万元

5) 税金

a) 增值税, 税率取 17%(大多数化工企业适用)

$$\text{销项税额} = \text{税率} \times \text{含税销售收入} / (1 + \text{税率}) = 0.17 \times 9686 / (1 + 0.17) = 1407$$

$$\text{进项税额} = \text{税率} \times \text{购入品的外购含税成本} / (1 + \text{税率}) = 0.17 \times 6266 / (1 + 0.17) = 910$$

$$\text{增值税额} = \text{销项税额} - \text{进项税额} = 1407 - 910 = 497 \text{ 万元}$$

b) 城市维护建设税, 对生产企业

$$\text{城市维护建设税额} = \text{增值税额} \times \text{城建税率} = 497 \times 0.05 = 25 \text{ 万元}$$

(纳税者所在地是城市市区的城建税率为 7%, 县城、镇为 5%)

c) 教育费附加

$$\text{教育费附加} = \text{增值税额} \times 3\% = 497 \times 0.03 = 15 \text{ 万元}$$

$$\text{税金总额} = \text{增值税} + \text{城市维护建设税} + \text{教育费附加} = 497 + 25 + 15 = 537 \text{ 万元/年}$$

6) 年经营成本

$$\text{年经营成本} = \text{总成本费用} - \text{折旧费} - \text{摊销费} - \text{贷款利息} = 7750 - 180 - 0 - 693 = 6877 \text{ 万元/年}$$

根据上述的经济评价数据的计算, 总结得到为蒸发量 1025 t/h 褐煤燃烧 CFB 锅炉增加热解煤量 100 t/h 热解系统的收入支出表, 如表 4 所示。表中收入部分主要包括热解产生的焦油、煤气的销售收入, 支出部分包括 CFB 锅炉燃烧系统耦合热解系统后多消耗的煤量, 固定资产、流动资金投资及经营成本和税金支出。

图 3 为根据收入支出表计算的现金流量图。向上的箭头为现金流入, 向下的箭头为现金流出, 横线为技术项目的寿命周期, 现金流入减去现金流出即为净现金流量。

5. 经济评价

5.1. 静态投资回收期

静态投资回收期是指技术方案实施后的净收益或净利润抵偿全部投资额所需的时间, 一般以年表示^[6]。其计算方法有 2 种, 本文选用财务现金流量表中累计净现金流量计算。

静态投资回收期 = (累计净现金流量开始出现正值年份数) - 1 + (上年累计净现金流量绝对值/当年净现金流量) = 4 - 1 + (1939)/2272 = 3.9 年煤炭行业的基准投资回收期为 8~13 年^[6], CFB 燃烧耦合热解技术的静态投资回收期远小于行业基准投资回收期, 为经济上可取的技术方案。

Table 4. Income and outcome
表 4. 收入与支出表

项目	多耗煤量	焦油	热解气	固定 资金	流动 资金	年运行 费用	残值
规模	125316 (t/a)	32400 (t/a)	45.80 (百万 Nm ³ /a)				
价格	500 (元/t)	2000 (元/t)	0.7 (元/Nm ³)				
费用 (百万元/a)	6266	64.80	32.06	37.86	7.60	74.14	1.89

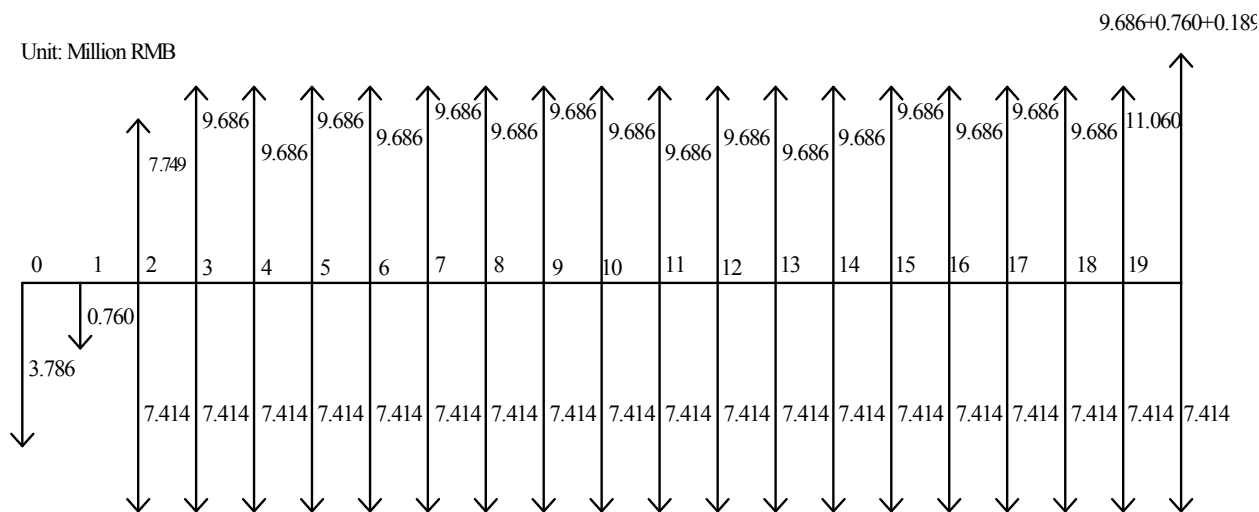


Figure 3. The cash flow diagram
图 3. 现金流量图

5.2. 投资利润率

投资利润率指项目达到设计能力后的一个正常年份的年利润总额或生产期年平均利润总额与项目总投资额的比率,该指标表示项目正常年份中单位投资每年所创造的利润。计算过程如下:

投资利润率 = 年利润总额或年平均利润总额/总投资

年利润总额 = 年产品销售收入 - 年总成本费用 - 年销售税及附加 = 9686 - 7750 - 537 = 1399 万元

总投资 = 固定资产投资 + 建设期借款利息 + 流动资金 + 固定资产投资方向调节税

建设期借款利息按利率 5.76% 计算,建设期为一年,固定投资为 3786 万元,

建设期借款利息 = 本金 × 利率 = 3786 × 0.0576 = 218 万元

总投资 = 3786 + 218 + 760 + 0 = 4764 万元

投资利润率 = 1399/4764 = 29.4%。煤炭行业的平均投资收益率为 14%~18%,该技术项目的投资利润率远大于行业平均投资收益率,说明该技术项目创造利润能力较强,有强大的市场竞争能力。

5.3. 净现值

净现值(NPV)考虑了资金的时间价值,也考虑了技术项目在整个寿命周期内收回投资后的经济效益状况,可以弥补静态投资回收期的缺陷。

净现值的计算是对技术方案在整个寿命周期内,对每年发生的净现金流量,用规定的基准折现率,折算为基准时刻的现值。我国的折现率一般取 12%^[6]。

计算公式为

$$NPV = \sum_{t=0}^n (CI - CO)_t (1 + i_0)^{-t} = \sum_{t=0}^n CF_t (1 + i_0)^{-t}$$

式中, i_0 为基准折现率; CI 为现金流入; CO 为现金流出; CF_t 为 t 年净现金流量; n 为技术方案的生命周期。

取基准折现率为 12%, 计算得热解煤量为 100 t/h 的热解系统的净现值约为 5.2 亿元, 说明该技术有良好的经济效益。

6. 结论

对燃烧褐煤的 1025 t/h CFB 锅炉耦合煤处理量 100 t/h 的热解系统进行经济评价, 得到的静态投资回收期为 3.9 年, 小于煤炭行业基准投资回收期; 投资利润率为 29.4%, 大于煤炭行业的平均投资收益率; 基准折现率取 12% 时, 与 1025 t/h CFB 锅炉耦合煤处理量 100 t/h 热解的联产系统的净现值约为 5.2 亿元。这些结果表明, CFB 锅炉燃烧耦合热解技术具有良好的经济性。

参考文献 (References)

- [1] 姚建中, 郭慕孙. 煤炭拔头提取液体燃料新工艺[J]. 化学进展, 1995, 7(3): 205-208.
- [2] L. Gao, H. G. Jin, Z. L. Liu and D. X. Zheng. Exergy analysis of coal-based polygeneration system for power and chemical production. Energy, 2004, 29(1215): 2359-2371.
- [3] H. G. Jin, H. B. Zhao, Z. L. Liu and R. X. Cai. A novel EFHAT system and exergy analysis with energy utilization diagram. Energy, 2004, 29(1215): 1983-1991.
- [4] W. Han, H. G. Jin and R. M. Lin. A novel power generation system based on moderate conversion of chemical energy of coal and natural gas. Fuel, 2011, 90(1): 263-271.
- [5] L. G. Cai, Y. M. Zhang, S. Q. Gao, X. Xiao, J. W. Zhang, G. W. Xu and L. J. Cui. Process simulation of a lignite-fired circulating fluidized bed boiler integrated with a dryer and a pyrolyzer. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2011, in press.
- [6] 宋航, 付超. 化工技术经济[M]. 北京: 化学工业出版社, 53-55, 60-61, 67-68.