

WTW 车用煤基燃料的经济性与环保性研究

李 军 李 建 李 鹏 张文秀 王 良

(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院 北京 100083)

摘 要: 为了研究 WTW 车用燃料的经济性与环保性,利用 GREET 模型对煤间接液化合成油、煤直接液化合成油、煤制天然气和整体煤气化联合循环发电 IGCC 4 种煤基燃料进行 WTW 计算,并对比分析了 4 种燃料在 WTW 各个阶段的能耗和 CO₂ 排放量。结果表明:4 种煤基燃料的能耗由大到小为煤制天然气 > 煤间接液化合成油 > 煤直接液化合成油 > IGCC,其中煤间接液化合成油、煤直接液化合成油及煤制天然气的能耗都约为传统柴油或汽油的 2 倍,IGCC 的总能耗是传统汽油的 3/5 左右;CO₂ 排放排序为:煤间接液化合成油 > 煤制天然气 > 煤直接液化合成油 > IGCC,其中煤间接液化合成油、煤直接液化合成油和煤制天然气的 CO₂ 排放量都为传统柴油或汽油的 1.6 ~ 3.1 倍,IGCC 的 CO₂ 排放量是传统汽油的 7/10 左右;煤间接、直接液化合成油和煤制天然气都有一定的市场竞争力,IGCC 成本较高,且高于传统发电成本。

关键词: WTW 车用燃料;生命周期评价;能耗;CO₂ 排放;市场竞争力

中图分类号:TK019

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2014)05-0111-05

Economics and environmental protection of clean coal technology based on WTW vehicle fuel

LI Jun, LI Jian, LI Peng, ZHANG Wenxiu, WANG Liang

(School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Using GREET model, the life cycles of synthetic oil from indirect and direct coal liquefaction, synthetic natural gas and IGCC based on the WTW theory (from Well to Wheel) were calculated. The energy consumption and CO₂ emission at all stages of the four kinds of fuel in the WTW were analyzed. The results show that the total energy consumption from high to low is synthetic natural gas, indirect coal liquefaction synthetic oil, direct coal liquefaction synthetic oil, IGCC. The energy consumption of the first three is about two times of conventional diesel or gasoline, the total energy consumption of IGCC is about three-fifths of the traditional gasoline. The CO₂ emission amount decrease gradually from indirect coal liquefaction synthetic oil, synthetic natural gas, direct coal liquefaction synthetic oil to IGCC. The emission amount of the first three, which have a certain market competitiveness, is 1.6 to 3.1 times of diesel or gasoline. The CO₂ emissions of IGCC, which costs more than conventional one, is about seven-tenths of the CO₂ emissions from traditional gasoline.

Key words: WTW vehicle fuel; life cycle evaluation; energy consumption; CO₂ emission; market competitiveness

0 引 言

目前,中国机动车保有量剧增,对汽油、柴油的需求量增长很快。在庞大的石油消费中,汽车每年消耗汽油、柴油数量占总消费的 65% 左右,进口原油的 1/3 被汽车消耗,汽车成为石油消耗的第一大

户。中国是石油拥有量相对贫乏的国家,依据英国石油公司(BP) 2009 年公布的《世界能源统计回顾》2008 年中国的储采比约为 11,即剩余储量按当前生产水平尚可开采的年数仅为 11 a^[1],原油供需矛盾日益突出。中国原油的生产量和消费量的缺口越来越大,中国原油的对外依存度不断增加,到

收稿日期:2014-05-29;责任编辑:孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.05.028

作者简介:李 军(1963—),男,河北张家口人,高级工程师,硕士,主要从事煤炭洁净燃烧和煤炭成型方面的研究工作。E-mail: lijun19639008@163.com。通讯作者:李 建 E-mail: 1343028741@qq.com

引用格式:李 军,李 建,李 鹏,等. WTW 车用煤基燃料的经济性与环保性研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(5): 111-115.

LI Jun, LI Jian, LI Peng, ZHANG Wenxiu, et al. Economics and environmental protection of clean coal technology based on WTW vehicle fuel[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(5): 111-115.

2020 年原油进口依存度有可能超过 60% 甚至 80%^[2-3]。然而,中国能源结构的特点是富煤、贫油、少气。从能源生产结构和能源消费结构来看,煤炭所占比例为 75% 左右,且短期内以煤为主的能源结构不会改变。与此同时,中国煤炭资源中又以高硫煤、高灰煤、褐煤所占比例较大(约占 40%)^[4-5]。由于煤炭的大量生产与消费,对中国的环境造成了一定污染。中国大气污染物中 90% 的 SO_2 , 71% 的 CO , 82.5% 的 CO_2 和 70% 的 NO_x 都是由燃煤造成的^[6-7]。因此,如何利用相对丰富的煤炭资源生产车用替代能源是应该深入研究的问题,这也是低碳经济大趋势下对煤转化技术的一次挑战。大力发展洁净煤转化技术,不仅可以实现煤的清洁利用,还可以在在一定程度上缓解中国石油危机,优化能源结构布局,实现能源、经济、环境协调发展,满足中国低碳经济发展对能源的需求^[8]。

从关注整个燃料循环(原材料开采—燃料生产—车辆使用)的视角出发,选择具有商业前景和代表性的 4 种洁净煤转化技术(煤直接液化合成油、煤间接液化合成油、煤制天然气和整体煤气化联合循环发电(IGCC)),对其能量消耗及 CO_2 排放量进行 WTW(Well-to-Wheels) 计算和分析。

1 WTW 分析理论及 GREET 模型

1.1 WTW 分析理论

生命周期评价在 20 世纪末开始被用于汽车替代燃料方面的研究。针对汽车燃料的生命周期特点,美国把汽车燃料生命周期评价称为从“井口”到“车轮”的 WTW 分析^[9],如图 1 所示。

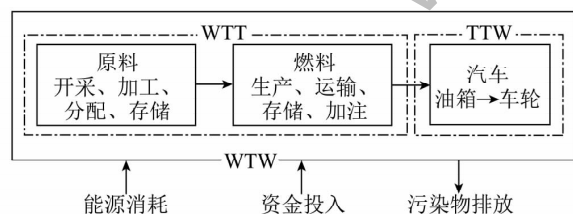


图 1 燃料生命周期示意

汽车燃料的生命周期由原料开采、运输、燃料的生产、运输与加注及使用 5 个环节组成。WTW 分析法将其分为油井到油箱(Well-to-Tank, 简称 WTT)和油箱到车轮(Tank-to-Wheel, 简称 TTW) 2 部分^[10],主要包括原料的开采、燃料的生产和车辆使用 3 个阶段。

WTT 包括原料的开采、燃料的生产。TTW 涉及

燃料的使用,主要由发动机运行和动力传动 2 部分组成^[11]。能源消耗、污染物排放以及资金投入发生于每个阶段,因此衡量一种车用能源“清洁”与否不能只关注使用环节,要对生命周期全过程进行研究,才能真正比较各种燃料用于汽车的经济性和环保性^[5]。

1.2 GREET 模型介绍

从 1995 年开始,美国 Argonne 国家实验室开发基于电子表格的模型,来评估替代燃料和先进车辆技术的整个燃料循环的能源效率和排放影响。该模型在北美广泛应用,现在已经从最初的 GREET1.0 版本发展到 GREET1_2011 版本^[4]。

针对不同的燃料类型和汽车技术,GREET 模型可以对汽车代用燃料进行从“井口”到“车轮”的全生命周期评价。对于所制定的燃料路径,在能耗方面,GREET1_2011 模型可对总能耗(所有能源)和化石能源消耗(石油、天然气和煤)进行分别统计;在污染物排放方面,可对 3 种温室气体(CO_2 、 CH_4 和 N_2O)和其他 6 种重要的车辆常规污染物(VOC、 CO 、 NO_x 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 及 SO_x)的总量进行分别统计。本文只对总能耗和 CO_2 进行统计。

2 中国煤基车用燃料的 WTW 分析

在 GREET1_2011 中,选用基本型乘用车(Passenger Car)为使用车辆。研究中煤制油各阶段以传统柴油车为基准车辆,基准的车辆配置是直接喷射压缩点火技术(CIDI),煤制天然气和 IGCC 各阶段以传统汽油车为基准车辆,基准的车辆配置是火花点火技术(SI)。本文仅对煤间接液化、煤直接液化、煤制天然气及 IGCC 发电得到的煤基车用燃料各阶段总能耗和 CO_2 排放进行研究。

2.1 煤间接液化柴油车与煤直接液化柴油车

煤间接液化制油路径和煤直接液化制油路径分别选用费托柴油直喷压燃汽车(FTD-CIDI Vehicle)和直接液化柴油直喷压燃汽车(DLD-CIDI Vehicle)为研究模型。综合考虑煤炭开采阶段效率、煤间接液化和煤直接液化工艺效率、直喷压燃柴油车车辆使用阶段的能耗与排放、工艺燃料系统的开采与生产效率以及中国能源基础数据,得到了煤间接液化柴油车与煤直接液化柴油车全生命周期的能耗与 CO_2 排放,并与传统柴油车直喷压缩点火汽车(CD-CIDI Vehicle)进行了对比,如图 2 所示。

由图 2 可知,煤间接液化柴油车的总能耗是传

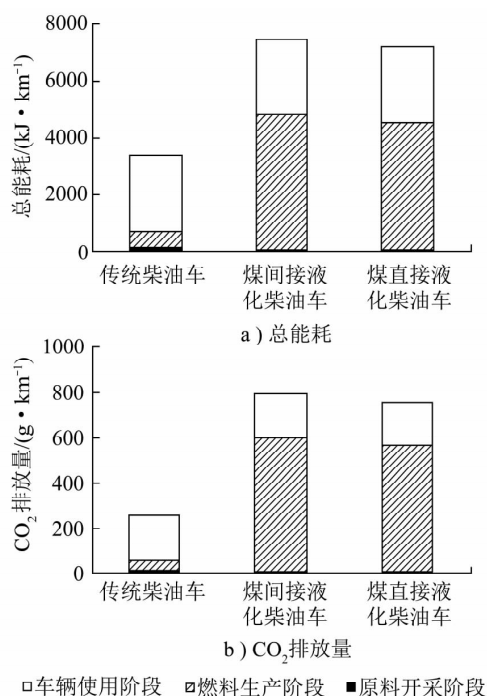


图2 传统柴油车煤间接液化柴油车和煤直接液化柴油车总能耗、CO₂排放量对比

统柴油车的 2.2 倍,CO₂排放量是传统柴油车的 3.1 倍。煤间接液化柴油车的总能耗和 CO₂排放主要集中在燃料生产阶段,分别为 WTW 的 64% 和 75.29%;由于煤间接液化合成油的效率仅为炼油厂的 2/5 左右,故在煤间接液化合成油项目上,应该加入碳捕获和封存(CCS)技术,否则会对环境造成很大的影响;煤直接液化柴油车的总能耗是传统柴油车的 2.1 倍,CO₂排放是传统柴油车的 3.0 倍;煤直接液化柴油车的总能耗和 CO₂排放量主要集中在燃料生产阶段,分别为 WTW 的 62.59% 和 74.14%;传统柴油车则在车辆使用阶段,分别为 WTW 的 79.87% 和 78.59%。在原料开采阶段,三者的能耗和 CO₂排放量均较低。煤直接液化柴油车各阶段的能耗和 CO₂排放量分配与煤间接液化柴油车相似。

2.2 压缩天然气汽车和纯电动车

煤制天然气路径和 IGCC 发电路径分别选用天然气火花点火汽车(CNG-SI Vehicle)和纯电动汽车(Electric Vehicle)为研究模型。综合考虑煤炭开采阶段效率、煤制天然气工艺效率和 IGCC 发电效率、火花点火汽车和纯电动汽车车辆使用阶段的能耗与排放、工艺燃料系统的开采与生产效率以及中国能源基础数据,得到了压缩天然气汽车和纯电动车全生命周期的能耗与排放,并与传统汽油火花点火汽车(CG-SI Vehicle)进行了对比,如图 3 所示。

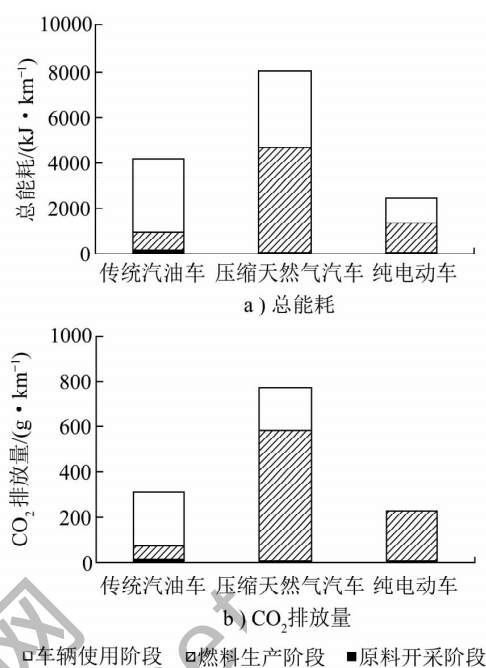


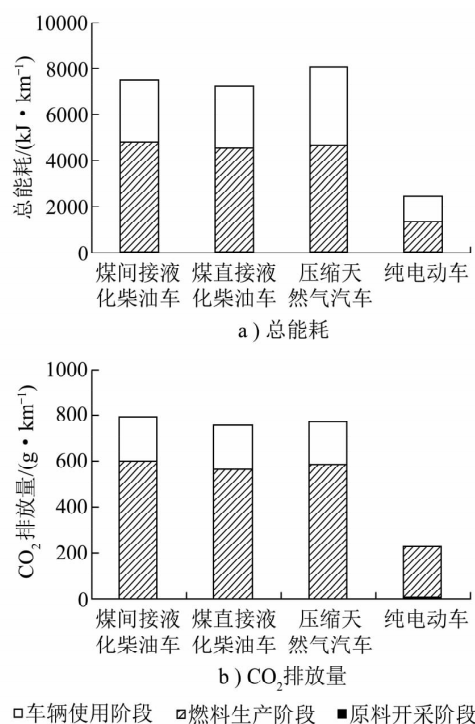
图3 传统汽油车压缩天然气汽车和纯电动车总能耗、CO₂排放量对比

由图 3 可知,压缩天然气汽车的总能耗是传统汽油车的 2.2 倍,CO₂排放量是传统汽油车的 1.6 倍。压缩天然气汽车的总能耗和 CO₂排放量主要集中在燃料生产阶段,分别为 WTW 的 63.58% 和 61.03%;与传统汽油相比,IGCC 发电的总能耗和 CO₂排放量均较低,分别是传统汽油的 3/5 和 7/10 左右。IGCC 总能耗和 CO₂排放量仍然集中在燃料生产阶段,分别为 WTW 的 52.81% 和 98.08%;传统汽油车则在车辆使用阶段,分别为 WTW 的 77.69% 和 76.20%。在原料开采阶段,三者的能耗和 CO₂排放量均较低。在车辆使用阶段纯电动车的 CO₂排放量为零。

2.3 煤基替代燃料的综合对比

与传统汽、柴油相比,煤基燃料的能耗和 CO₂排放量主要集中在燃料生产阶段,且占 WTW 的 50% ~ 70%。对 4 种煤基燃料各阶段的能耗和 CO₂排放进行比较,如图 4 所示。

由图 4a) 可知,煤基燃料在原料开采阶段的能耗均较低,能耗主要集中在燃料生产过程中。煤间接液化合成油、煤直接液化合成油和煤制天然气的各阶段的能耗分配基本一致,且在燃料生产阶段能耗约占 WTW 总能耗的 60%。IGCC 总能耗约为其他 3 种技术的 3/10。总能耗排序为:煤制天然气 > 煤间接液化合成油 > 煤直接液化合成油 > IGCC。

图 4 4 种替代燃料各阶段总能耗和 CO_2 排放对比

由图 4b) 可知,煤基燃料在原料开采阶段的 CO_2 排放量均较低, CO_2 排放量主要集中在燃料生产过程中。煤间接液化合成油、煤直接液化合成油和煤制天然气的各阶段的 CO_2 排放量分配基本一致,且在燃料生产阶段约占 WTW CO_2 排放量的 75%。IGCC 的 CO_2 排放约为其他 3 种技术的 3/10。 CO_2 排放量排序为:煤间接液化合成油 > 煤制天然气 > 煤直接液化合成油 > IGCC。

3 中国煤基车用燃料竞争力分析

3.1 煤制油项目

周建双等^[12]以 1986—2009 年的布伦特日油价的年平均油价(美元/桶)为因变量,以对应的每年世界石油消费量(亿吨)为自变量,得到供需结构油价预测模型: $y = 1285.116 - 76.0523x + 1.14029x^2 + 0.21589y_{t-1}$, 其中 y 为 t 期的油价,美元/桶, x 为 t 期的世界石油消费量。本文以此模型为基准,设定石油需求的年均增长率为 1.7%,预测到 2015 年的国际油价走势如图 5 所示。

陈显伦^[13]通过分析原油与煤炭价格的关系,推导出项目达到基准收益率(12%)时原油价格和煤炭价格的关系: $Y = 0.0470X + 49.1866$, 其中 Y 为布伦特原油价格,美元/桶; X 为煤炭价格,元/t。本文在此模型的基础上,假设中国煤炭坑口价每年以

5% 的幅度上涨,估算煤制油项目的成本。

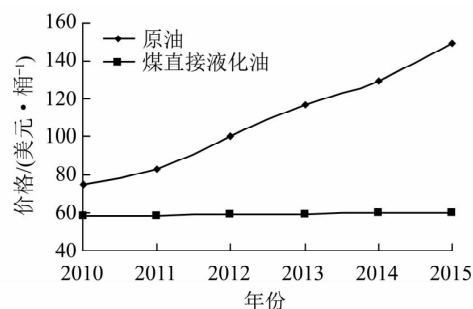


图 5 2010—2015 年原油及煤直接液化制油价格预测

由图 5 可知,在目前国际油价持续上涨的情况下,煤直接液化油在未来有很大竞争力。而煤间接液化油一般比直接液化的成本高 10 美元/桶以内,所以煤制油的市场竞争力非常明显。

3.2 煤制天然气

自 2006 年以来,中国天然气井口基准价保持了相对稳步上升的趋势。自 2005 年 12 月 31 日天然气调价以来,中国天然气价格共调整过 2 次,第 1 次是 2007 年 7 月 31 日,工业用气价格由 0.98 元/ m^3 提高到 1.38 元/ m^3 ;第 2 次是 2010 年 5 月 31 日,各类天然气价格普遍上调 0.23 元/ m^3 ,从而使以具有代表性的“其他油田”的“化肥”用气和“城市燃气(除工业)”达到 1.21 元/ m^3 。而“直供工业”气和“城市燃气(工业)”则达到了 1.610 元/ m^3 ^[14]。中国天然气价格上涨的主要原因就是天然气供需缺口的增大,所以天然气价格上涨趋势近几年不会改变。通常煤制天然气项目大多是建在煤炭丰富的地区,所以煤炭价格的涨幅较小,即使煤炭坑口价涨到 500 元/t,此项目仍有一定的竞争力。

3.3 IGCC

IGCC 是令人瞩目的最先进的燃煤发电技术之一,能大幅度提高燃煤电站的供电效率,并较好的控制燃烧污染。但是,IGCC 也是一项未完善的新技术,除了供电效率未达到 45% 的预定目标外,电站运行的可用率为 80% 左右。另外,投资费用较高,超过 1500 元/kW,发电成本也较高,目前仍不能与超临界法相比^[15]。

4 结 论

1) 煤基燃料的总能耗和 CO_2 排放量均比传统汽、柴油的高;煤基燃料的总能耗和 CO_2 排放量主要集中在燃料生产阶段,而传统汽、柴油则集中在车辆使用阶段,这是由于目前煤基燃料的生产效率较

传统汽、柴油的炼制效率低 30% ~ 40%; 煤基燃料和传统燃料在原料开采阶段的能耗和碳排放均较低, 仅占 WTW 的 3% ~ 5%。

2) 结合各路径的燃料属性及工艺流程, 对原料开采、燃料生产和车辆使用 3 个阶段进行 WTW 计算分析, 得出总能耗排序: 煤制天然气 > 煤间接液化合成油 > 煤直接液化合成油 > IGCC, CO_2 排放量排序: 煤间接液化合成油 > 煤制天然气 > 煤直接液化合成油 > IGCC。

3) 煤液化合成油的市场竞争力非常明显, 其中煤直接液化合成油比煤间接液化合成油的成本低; 煤制天然气也有一定的市场竞争力; IGCC 成本较高, 且高于传统发电成本。

参考文献:

- [1] 段丰元. 煤基车用燃料生命周期分析[D]. 北京: 清华大学, 2010.
- [2] 张阿玲. 车用替代燃料生命周期分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 2-3.
- [3] 许 邦, 初 荣, 张慧慧, 等. 煤直接液化残渣热解研究现状[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(4): 81-84.
- [4] 宋 雯, 郭家强, 王 成. 基于 WTW 燃料循环分析的中国煤基

车用燃料能量消耗和二氧化碳排放研究[J]. 汽车技术, 2008(1): 11-15.

- [5] 郭成义. 中国煤化工的现状 & 展望[J]. 煤炭技术, 2013(11): 18-19.
- [6] 步学朋, 徐振刚, 李文华, 等. 中国活性焦烟气净化研究分析[J]. 洁净煤技术, 2010, 16(2): 67-71.
- [7] 刘立麟. 中国洁净煤发展战略探究[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(2): 1-5.
- [8] 吕向前, 孙林兵, 张 敏, 等. 洁净煤技术在防治燃煤污染中的应用[J]. 煤炭技术, 2003(8): 5-7.
- [9] 张 亮, 黄 震. 煤基车用燃料的生命周期能源消耗与温室气体排放分析[J]. 煤炭学报, 2006, 31(5): 662-665.
- [10] 张礼贤, 薛传亮, 赵蒙生, 等. 车用燃料生命周期评估[J]. 能源工程, 2009(3): 19-21.
- [11] 周 苏, 江 艳, 陈 翌, 等. 中国车用燃料 WTW 分析及电动车发展模式思考[J]. 交通科学与工程, 2010, 21(6): 65-73.
- [12] 周建双, 李丽宁. 基于供需结构模型的中长期国际油价趋势预测[J]. 中国投资, 2010(9): 104-107.
- [13] 陈显伦. 煤炭直接液化项目经济效益临界点分析[J]. 化学工业, 2009(11): 42-43.
- [14] 张爱国, 郝 珺, 赵思功, 等. 中美天然气现行价格水平及走势比较分析[J]. 天然气技术与经济, 2011(5): 56-59.
- [15] 李 默. IGCC 及多联产技术的发展现状及发展趋势[J]. 电站系统工程, 2010, 26(2): 70-72.

(上接第 110 页)

分离器不能够满足除尘要求^[9]。但为解决荒煤气溢出和冒黑烟的现象而增大了风机, 导致气液分离器处理负荷增大, 原设计已不能满足要求。改造气液分离器中的折流板结构是解决问题的关键。经过多次改造试验对比, 最终采用间距为 500 mm, 角度互相垂直的折流板结构, 2 组折流板底部各增加 1 组旋向相反的螺旋喷淋器的折流板装置结构^[10]。现烟气排放已达到环保标准, 烟尘排放量低于国家标准, 减排效果显著。

3 结 论

1) 第一次增加风机风量及一系列相应改造, 解决了装煤时机侧荒煤气溢出的现象。

2) 第二次对气液分离器的改造采用间距为 500 mm, 互相垂直的 2 组折流板结构, 2 组折流板底部各增加 1 组旋向相反的螺旋喷淋器, 洗涤折流板, 解决了消烟除尘车的烟囱烟尘和颗粒物的排放。

3) 焦炉消烟除尘车改造后, 实际烟尘排量为 1.94 kg/h, 低于 85 kg/h 标准排量, 减排率为 97.7%, 2013 年减排烟尘 927.6 t。

参考文献:

- [1] 李应超, 邵中跃, 赵文恺. 捣固焦炉加热制度及生产操作[J]. 燃料与化工, 2010, 41(3): 17-19.
- [2] 郝来春. 5.5m 双集气管捣固焦炉的特点[J]. 燃料与化工, 2009, 40(1): 21-13.
- [3] 冯金龙. 捣固焦炉生产煅烧石油焦炉温控制措施[J]. 现代冶金, 2011(2): 7-9.
- [4] 田锁根. 捣固炼焦的生产实践探讨[J]. 燃料与化工, 2011, 42(1): 8-10.
- [5] 成耀武, 杨邵鸿. 浅谈顶装焦炉的改造[J]. 煤质技术, 2010(6): 3-5.
- [6] 苗 钧. 火落管理在捣固焦炉中的应用[J]. 燃料与化工, 2010, 41(1): 5-7.
- [7] 闫鹏飞. 捣固焦炉除尘系统的选择[J]. 科学之友, 2012(5): 123-124.
- [8] LIANG Shu-rong. Programmable logical control system of the 5.5 m tamping coke oven[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2009(3): 69-71.
- [9] SONG Ming-ming. Discussion on furnace temperature adjustment measures of tamping coke oven after briquette collapse[J]. Industrial Furnace, 2012, 34(5): 8-12.
- [10] YANG Shi-jie. The information automatic construction of the re-heat tamping coke-oven[J]. Sci-tech Information Development & Economy, 2006, 16(15): 18-21.