

节能减排

蒙东褐煤“煤电化一体”梯级高效利用模式研究

颜爱华

(国家安全生产监督管理总局研究中心,北京 100013)

摘要: 针对中国蒙东地区褐煤资源丰富但开发利用方式单一、利用效率低的问题,以蒙东地区某露天煤矿为研究对象,基于循环经济理论、褐煤转化技术提出了一种褐煤“煤电化一体”梯级高效循环利用模式。即褐煤资源通过大型露天矿开采后,进行干燥及低温热解,产出高热值的半焦、煤焦油、天然气;进一步加氢液化产生汽油、柴油、石脑油等,半焦作为电厂燃料用于发电,并以此为基础构建循环经济产业体系。研究结果的成功实施将改变中国褐煤利用方式,为褐煤大规模综合高效开发提供理论基础和技术支撑。

关键词: 蒙东;褐煤;梯级;循环经济

中图分类号: TD849; TQ536.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2014)04-0090-04

Coal - electricity - chemical integration cascade efficient utilization of lignite in Eastern Inner Mongolia

YAN Aihua

(Research Center of State Administration of Work Safety P. R. C Beijing 100013, China)

Abstract: Eastern Inner Mongolia is abundant in lignite resources, while its utilization is quite simple and inefficient. Taking a surface coal mine in Eastern Inner Mongolia as research object, a new way of lignite coal - electricity - chemical integration cascade efficient circular utilization is proposed. Specifically, lignite is exploited by surface mining, then by drying and low temperature carbonization, high calorific value semi - coke, coal tar, natural gas are produced. Finally, gasoline, diesel, naphtha and other products are generated by liquefaction hydrogenation. Semi - coke is used for power generation. All of above are the basis for building a circular economy industrial system which achieves energy saving and environmental protection. The project has better economic benefits, its successful implementation can change the way of lignite utilization and provide theoretical basis for large - scale lignite integrated utilization.

Key words: Eastern Inner Mongolia; lignite; stage; circular economy

0 引言

蒙东地区褐煤资源丰富,占全国褐煤保有资源储量的75%左右,占内蒙古自治区煤炭储量的约40%^[1-2]。褐煤资源的利用有多种技术途径,包括直接燃烧发电、煤化工转化、褐煤提质、煤制活性炭以及提取腐植酸等^[3-7]。由于褐煤水分高、灰分高、热值低,远距离运输成本较高,世界各国褐煤资源主要采用坑口电站直接燃烧发电的方

式,将褐煤转化为电能再进行输送^[8-9]。但褐煤发电转化效率低(35%~38%),挥发分以低热值燃烧浪费,同时未回收褐煤中宝贵的水资源(占褐煤量的30%~40%)^[10-11]。在当前煤炭市场下行、雾霾等大气污染严重的情况下,如何高效、清洁利用褐煤资源,提高其附加值和实现环境保护是亟待解决的问题之一。笔者以蒙东某露天煤矿为对象,研究蒙东地区褐煤“煤电化一体”梯级高效循环利用模式,并通过这种模式的应用实施为中国

收稿日期: 2014-05-23; 责任编辑: 孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.04.026

作者简介: 颜爱华(1976—),男,山东曲阜人,高级工程师,博士,主要从事煤炭行业政策、战略规划研究,煤矿安全技术研究,现任国家安全生产监督管理总局研究中心副处长。E-mail: yahqf@126.com

引用格式: 颜爱华.蒙东褐煤“煤电化一体”梯级高效利用模式研究[J].洁净煤技术,2014,20(4):90-93.

YAN Aihua. Coal - electricity - chemical integration cascade efficient utilization of lignite in Eastern Inner Mongolia[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(4): 90 - 93.

褐煤的开发利用提供科学的借鉴和指导。

1 “煤电化一体”梯级循环利用模式的构建

国外对煤炭行业循环经济的研究较少且此类研究大多数是基于技术层面上进行的。国内学者针对煤炭行业循环经济进行的研究基本上集中在以下方面: ①对煤炭行业推行循环经济的必要性的研究; ②对煤炭行业循环经济的发展模式的研究; ③煤炭行业生态园区建设方面的研究; ④对煤炭行业发展循环经济相关政策体系以及各项法律保障方面的研究。关于褐煤开发循环产业链的研究在煤炭开发领域尤其是褐煤开发循环经济领域尚未起步。本文主要通过构建“煤矿开发—低温热解—电厂”一体化循环利用产业链, 将低热值的褐煤转化为优质、高附加值的半焦、柴油、石脑油、液化天然气和电力产品, 实现褐煤梯级高效综合利用。

“煤电化一体”梯级高效循环利用模式的主体

包括一个1500万t/a的露天煤矿、一个1200万t/a褐煤低温热解厂和一个安装2×1000MW超超临界机组的发电厂。褐煤热解是褐煤转化的主要工艺, 褐煤热解厂的工艺包括褐煤干燥、褐煤热解、煤焦油加氢和液化天然气生产等系统。“煤电化一体”梯级高效循环利用模式的主要工艺流程为: 煤矿生产的煤炭通过带式输送机送至低温热解工艺, 利用低温热解技术生产高附加值焦油、粗煤气和半焦, 焦油、粗煤气深加工成汽油、柴油和液化天然气, 满足市场需求; 半焦除直接满足2×1000MW电厂使用外, 剩余部分可供其他用户; 露天矿废弃土壤、矸石等运输至排土场统一堆放并及时复垦; 褐煤干燥凝结水经净化后供应给电厂和褐煤热解厂; 褐煤干燥用热由2×50MW热电机组提供; 电厂产出的灰渣供给当地建材企业生产水泥。“煤电化一体”梯级高效循环利用模式的产业系统框架如图1所示。

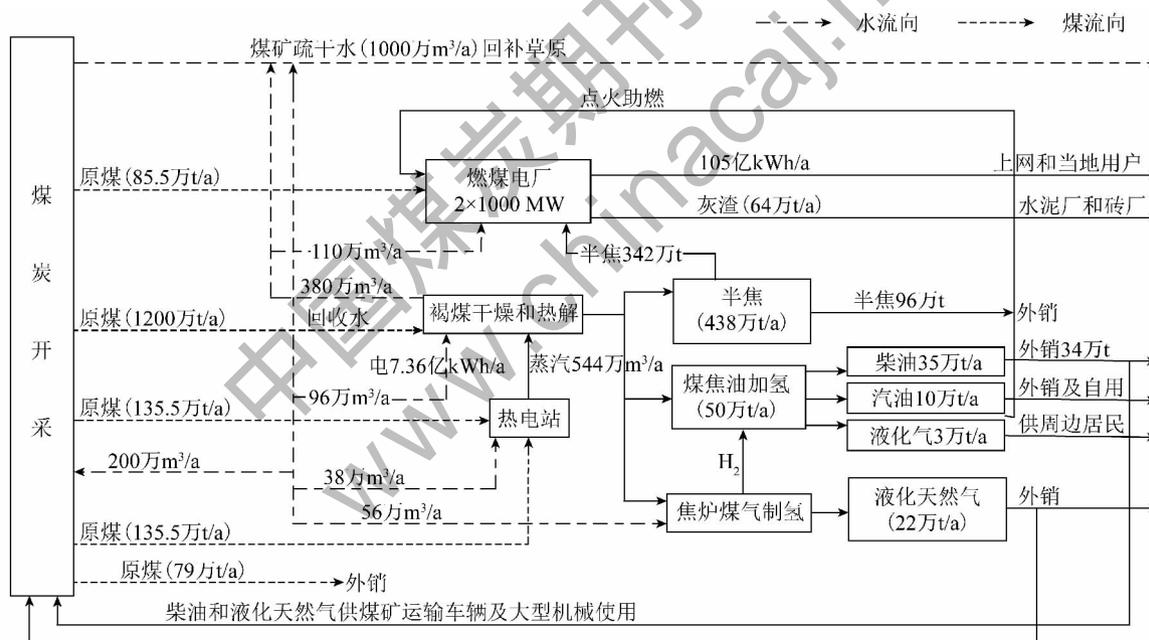


图1 “煤电化一体”循环经济产业系统框架

2 “煤电化一体”梯级循环利用模式的特点

“煤电化一体”梯级高效循环利用模式构建了完整的循环经济产业体系, 实现了褐煤资源梯级高效循环利用, 其主要特点有:

1) 露天矿疏干水年均约1000万t, 除煤矿本身用水200万t外, 其余就地回补草原, 最大限度保护当地生态环境。建设公用供排水系统, 年回收生产水380万t, 能够满足电厂110万t、热解152万t, 污

水统一处理, 降低了水耗。

2) 褐煤干燥热解阶段能源转换效率为77.88%, 综合能源转化效率为72%, 远高于煤炭直接液化制油、煤炭间接液化制油、煤制甲醇和煤制天然气等转化方式; 褐煤低温热解后, 煤热值从13.92MJ/kg提高至25.12MJ/kg, 柴油热值43.96MJ/kg, 液化天然气热值35.59MJ/kg, 热解析出硫1.3万t, 进入电厂锅炉的半焦含硫量减少28%; 采用1000MW机组, 电厂点火和稳燃使用褐煤热解产

生的液化气或柴油,比660 MW机组能源效率提高1.39%,降低耗煤约8 g/kWh,厂用电率降低0.4%,耗水指标降低25%。

3) 目前,世界上没有直接燃烧褐煤原煤的1000 MW单机,但褐煤热解所产半焦的燃烧特性接近国内典型烟煤,其着火稳定性、燃尽性能、燃烧温度与结渣性、掺烧特性等均满足现有100万kW锅炉要求,项目的实施将开创褐煤矿区单机1000 MW坑口电厂先河。

4) 建设公用自备背压机热电站(2×50 MW),自发自用,不足部分从电网购买。热电站为干燥、热解提供680 t/h、0.8 MPa低参数蒸汽,百万千瓦机组锅炉供应部分高参数(2.8~3.8 MPa)蒸汽,并作为备用汽源。

5) 活性焦干法脱硫技术可使电厂烟气的脱硫效率达到95%,褐煤低温热解项目的热解煤气脱硫生产硫磺,电厂通过活性焦脱硫生产硫酸产品,不仅减排了SO₂,而且变废为宝。

3 褐煤低温热解及焦油加氢工艺

3.1 产品方案

褐煤低温热解项目年处理褐煤1200万t,产干燥回收水374万t/a,半焦438万t/a,柴油馏分34.75万t/a,汽油馏分9.63万t/a,液化气3.01万t/a,液化天然气21.69万t/a,副产粗苯3.12万t/a,硫磺1.31万t/a。

3.2 褐煤干燥工业技术方案

褐煤干燥工艺采用山东天力干燥设备有限公司的内加热流化床过热蒸汽干燥工艺。该工艺在消化吸收德国RWE技术的基础上,采用2~3层内置换热器,褐煤原煤通过密封加料装置进入到内加热流化床干燥机内,饱和蒸汽通入内加热流化床干燥机的内置换热器,褐煤在流化床内与内置换热器内的蒸汽进行充分热交换得以干燥。采用超滤膜组、反渗透处理工艺进行废水的净化回用,净化后出水达到锅炉补给水标准,按回收率90%计算,可回收374万m³/a。褐煤干燥回收水流程如图2所示。

3.3 褐煤低温热解技术方案

褐煤低温热解技术方案选用大连理工大学开发的煤固体热载体法热解技术(也称为煤固体热载体干馏新技术,DG Coal Process)。在煤固体热载体法热解技术工业试验的基础上,大连理工大学、中国化学工程集团公司和神木富油能源科技有限公司合作

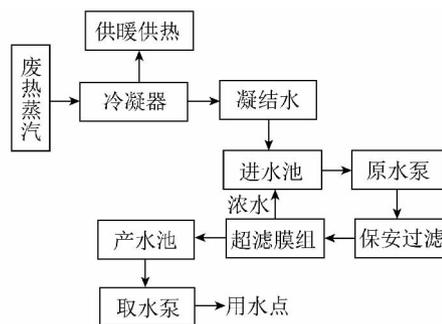


图2 褐煤干燥回收水流程

进行了“煤固体热载体热解制取煤焦油、煤气和半焦成套技术”开发,提升了该技术工程化水平。年加工2×60万t神木煤生产低温煤焦油、半焦和煤气配套12万t/a中低温煤焦油综合利用示范工程装置设备于2010年10月安装完成并开始调试,于2011年1月煤热解系统打通流程,调试运行正常。

3.4 制氢及液化天然气相关技术方案

氢分离装置采用变压吸附法,脱硫脱碳采用甲基二乙醇胺(MDEA)工艺,MDEA吸收CO₂等酸性气体为物理化学吸收,使用活化剂后可对酸性气体进行选择吸收。天然气液化工艺采用混合制冷剂制冷循环MRC(Mixed-Refrigerant Cycle)工艺,以C1~C5碳氢化合物及N₂等5种以上多组分混合制冷剂为工质,进行逐级冷凝、蒸发、节流膨胀得到不同温度水平的制冷量,以达到逐步冷却和液化天然气的目的,主要优点是系统简单,管理方便;混合制冷剂组分可以部分或全部从天然气本身提取与补充;液化能耗较低。

3.5 煤焦油加氢工艺

煤焦油加氢工艺采用美国KBR公司的VCC(Veba-Combi-Cracking)悬浮床加氢裂化技术,是一次通过的悬浮床反应系统。原料油与细粉状添加剂形成悬浮液,再与氢气一同进入反应器自下而上流动,在高温、高压和高空速下进行的重油加氢裂化技术。该技术不受进料残炭及沥青质含量影响。悬浮床加氢裂化装置主要产品为石脑油和柴油组分,石脑油组分芳潜含量高,作为石脑油外售;柴油组分硫含量低,十六烷值在45左右,可作为欧IV柴油调和组分。加氢裂化干气经脱硫后作为燃料气使用,酸性气送工厂硫磺回收装置处理。

4 2×1000 MW 燃用半焦超临界坑口发电

4.1 燃料供应及输送

坑口电厂燃料主要依靠露天矿1200万t/a褐

煤低温热解项目最终副产品之一的半焦,半焦通过带式输送机直接运进电厂,点火和稳燃采用煤热解产生的柴油或天然气。热解后的半焦 $Q_{\text{net,ar}}$ 为 24.93 MJ/kg,设备年利用小时数为 5500 h,本期工程年耗半焦煤为 388.3 万 t/a,相当于消耗 $Q_{\text{net,ar}}$ 为 12.77 MJ/kg 原煤量 711 万 t/a。若按半焦与褐煤掺烧比 8:2 计算,则需要半焦 341.7 万 t/a,褐煤 85.5 万 t/a。

4.2 主机参数

电厂装机容量为 4×1000 MW,一期工程安装 2×1000 MW。锅炉采用 II 型、超超临界、变压运行、一次中间再热、单炉膛、前后墙对冲燃烧方式、平衡通风、固态排渣、钢炉架、紧身封闭燃煤直流锅炉。汽轮机采用超超临界、一次中间再热、单轴、四缸四排汽、直接空冷凝汽式汽轮机。发电机励磁型式为自并励静止励磁或无刷励磁系统,冷却方式为水冷和氢冷,电厂使用的水源为褐煤干燥的回收水或贺斯格乌拉露天矿疏干水。

4.3 空冷系统

主机采用直接空冷系统和辅机采用机械通风间接空冷系统。直接空冷系统采用单排管空冷凝汽器进行布置,空冷单元平面尺寸 12.08 m \times 11.25 m,2 台 1000 MW 汽轮机组共配置 2×80 个单排管空冷凝汽器单元,布置在主厂房排外的空冷平台上。辅机冷却水系统采用机械通风间接空冷系统方案,采用单元制式,每台机组配置 32 个冷却单元,每台机组配置六格机械通风间冷塔,1 条供、回水管,3 台供水循环泵,同时配有膨胀水箱和集水箱。

4.4 烟气脱硫脱硝

采用活性焦干法烟气脱硫工艺,烟气自引风机出口烟道引出,进入石灰石-石膏湿法烟气脱硫(FGD)系统,经增压风机进入吸附塔,在塔内活性焦吸收硫氧化物(SO_x),净化后的烟气通过烟囱排入大气。吸附 SO_2 后的活性焦通过活性焦输送系统进入再生塔,低温热解工艺产生的煤气或液化天然气(LNG)将再生塔内的活性焦加热到 400 $^{\circ}\text{C}$ 左右完成再生。再生塔排出的活性焦经筛分后,由斗式提升机提升回吸附塔,脱硫获得的高浓度 SO_2 气体由高温离心风机抽出,送入副产品加工系统。采用 1 炉 1 套脱硫装置的配置。烟气脱硝选择性催化还原法(SCR)作为烟气脱硝的主要工艺,脱硝装置的设计效率为 80%,煤化工低温热解工艺中年产生液氨 495 t,可用于脱硝。

5 结论及展望

1) 蒙东褐煤实现“露天开采—低温热解多联产—发电”模式开发利用符合国家产业政策,在技术、经济上是基本可行的;以“煤电化一体化”产业模式为基础,可以构建完整的循环经济产业链体系,实现资源的集约高效利用。

2) 以低温热解为基础生产多种清洁高附加值产品,开拓了一条低成本、高效率和环境友好的煤制清洁能源的新途径;采用褐煤低温热解产品半焦为燃料,提高了燃料热值,为建设单机容量 1000 MW 燃煤超超临界发电机组创造了条件,突破了褐煤电厂的单机组发电规模。

3) 采用高度节水和褐煤干燥回收水工艺技术,实现了高度节水和废水零排放,具有较好的示范意义;采用烟气活性焦干法脱硫和催化还原法脱硝技术,并进一步生产硫磺等产品,减少污染的同时变废为宝,实现了循环经济和节能减排。

4) 褐煤煤固体热载体法热解技术目前不成熟,1000 MW 机组干法脱硫和掺烧半焦技术在国内外尚无先例,具有一定技术风险,均需进一步研究和工业化验证。

参考文献:

- [1] 尹立群. 我国褐煤资源及其利用前景[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(8): 12-14, 23.
- [2] 傅雪海, 路露. 我国褐煤资源及其物性特征[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(10): 104-107.
- [3] 黄建潮, 李明, 袁翠翠, 等. 褐煤煤化工利用现状及前景[J]. 广州化工, 2011, 39(21): 34-36.
- [4] 陈冰冰, 池海. 浅谈对褐煤的加工利用[J]. 煤炭技术, 2005, 24(11): 117-118.
- [5] 屈进州, 陶秀祥. 褐煤提质技术研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(11): 121-125.
- [6] 沈国娟, 张明旭, 王龙贵. 浅谈褐煤的利用途径[J]. 煤炭加工与综合利用, 2005(6): 25-27.
- [7] 邵俊杰. 褐煤提质技术现状及我国褐煤提质技术发展趋势初探[J]. 神华科技, 2009, 7(2): 17-22.
- [8] 冯蕾, 武俊平. 我国电力行业褐煤利用探讨[J]. 应用能源技术, 2010(10): 4-8.
- [9] 赵振新, 朱书全, 马名杰, 等. 中国褐煤的综合优化利用[J]. 洁净煤技术, 2008, 14(1): 28-31.
- [10] 刘立志, 孙启明, 孙勇智. 内蒙古褐煤分级综合利用[J]. 技术经济, 2012, 31(11): 86-89.
- [11] 胡昕. 煤炭分级利用与富氧燃烧技术机理及应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.