

# 自主创新干煤粉气化的理念与实践

杨文涛

国家能源集团宁夏煤业公司煤制油气化一厂 宁夏银川 750411

**摘要:** 我国的煤炭资源丰富,石油和天然气资源相对匮乏。煤炭资源在我国能源结构中占据着主导地位,在相当长的一段时间内也是我国战略上最安全和最可靠的能源。近二十年来煤化工行业发展迅速,最为关键和核心的是将煤炭洁净、高效地转化为合成气(CO+H<sub>2</sub>),即煤气化技术。先进高效成熟的煤气化技术不仅能使燃烧排放物对大气的污染减轻,而且能使煤炭利用率得到提高,是煤化工、煤炭直接/间接液化、IGCC技术等洁净煤利用技术的先导性技术和核心技术<sup>[1]</sup>。煤气化技术一般分为三种类型:移动床(或固定床)气化技术、流化床气化技术和气流床气化技术。典型的技术主要包括:美国GE公司的水煤浆加压气化技术、华东理工大学四喷嘴对置式水煤浆加压气化技术、荷兰壳牌公司的SCGP煤粉加压气化技术和德国西门子GSP干煤粉气化技术。

**关键词:** 煤化工;干煤粉气化;应用

## Independent innovation of the concept and practice of dry pulverized coal gasification

Wen-tao Yang

National Energy Group Ningxia Coal Industry Company Coal to Oil Gasification Plant 1 Ningxia Yinchuan 750411

**Abstract:** China is rich in coal resources, oil and natural gas resources are relatively scarce. Coal resources occupy a dominant position in China's energy structure, and they are also the strategic safest and most reliable energy in China for a long period of time. In the past two decades, the coal chemical industry has developed rapidly, and the most critical and core thing is to clean and efficiently transform coal into synthetic gas (CO + H<sub>2</sub>), namely coal gasification technology. Advanced, efficient and mature coal gasification technology can not only reduce the air pollution of combustion emissions, but also improve the utilization rate of coal. It is the leading technology and core technology of clean coal utilization technology of coal chemical industry, coal direct / indirect liquefaction, IGCC technology and other technologies, [1]. Coal gasification technology is generally divided into three types: mobile bed (or fixed bed) gasification technology, fluidized bed gasification technology and airflow bed gasification technology. Typical technologies mainly include: coal water slurry pressurized gasification technology of GE Company, East China University of Science and Technology four nozzle opposite coal water slurry pressurized gasification technology of technology, SCGP pulverized coal pressurized gasification technology of Dutch Shell and German Siemens GSP dry pulverized coal gasification technology.

**Keywords:** Coal chemical industry; Dry pulvercoal gasification; Application

干煤粉气化技术具有煤种适应性宽、技术指标优越、氧耗低、设备寿命长、开停车操作方便、自动化水平高等特点。但是,国内引进后普遍存在一些水土不服的情况,遇到诸多问题,使项目达产缺乏保障。因此自主开发出拥有自主知识产权、大型、高效、经济、智能的2000-3000吨级干煤粉气化技术势在必行,对煤化工企业具有十分重要意义。

### 一、干煤粉气化技术的研发理念

#### 1. 选用新型侧出料发送技术及点式流化器型式

煤粉给料罐底部流化盘通入定量流化气,底部煤粉形成流化态,通过四根在煤粉给料罐侧出的煤粉管线经主烧嘴进入气化炉燃烧室,且煤粉管线进口安装有小型过滤器。

煤粉给料罐锥部侧面通入疏松气(点式流化气)供罐内煤粉疏松用<sup>[2]</sup>,见图2。

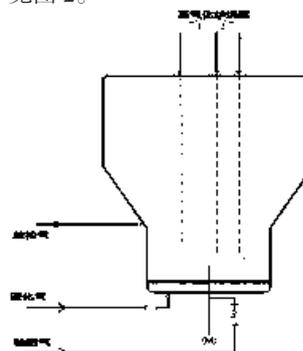


图1 上出料方式示意图

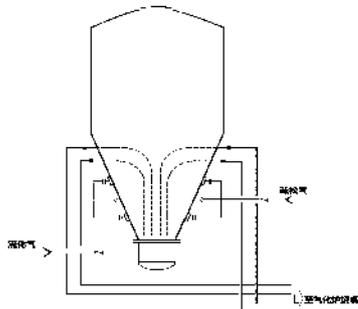


图2 侧出料方式示意图

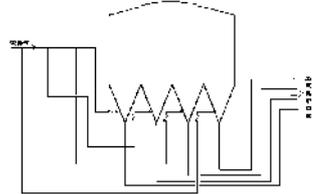


图3 下出料方式示意图



图4 侧出料煤粉管线实物图

煤粉上出料方式因煤粉管线的长度及支架问题, 极易容易发生煤粉架桥和管线晃动引发的煤粉输送系统波动。煤粉下出料方式对煤粉洁净度要求高, 若上游输送过来的煤粉含有杂物, 则煤粉管线角阀极易堵塞。综合考虑, 煤粉侧出料方式的煤粉输送波动虽然略高于下出料方式, 但侧出料方式的煤粉流量较下出料方式稳定, 且发生故障造成气化炉跳车的次数远低于下出料方式, 运行的长周期性最佳<sup>[2]</sup>。

## 2. 新型燃烧室

GSP 气化炉和神宁炉的相同点: 顶置组合式烧嘴, 燃烧室采用螺旋绕制的冷却屏结构。

神宁炉设计不同点:

(1) 将原有气化反应段外壳外部水夹套取消, 改为 CrMo 钢内覆耐热衬里, 以提高冷却屏或膜式壁出现开裂事故时壳体的应对能力。将原有喷水段外壳内壁水夹套取消改为现有水浴段复合板筒体<sup>[3]</sup>。

(2) 下渣口组件可以整体局部更换而无需拆卸设备法兰, 便于检修。

(3) 下渣口末端采用膜式壁结构传热效果好、抗高温、渣流出分布均匀、不易损坏<sup>[3]</sup>。

(4) 水冷壁循环冷却水系统分为烧嘴支撑、6 路主水冷壁、2 路下渣口、2 路热裙及 2 路激冷筒共计 13 路循环冷却水, 而西门子 GSP 气化炉只有烧嘴支撑、4 路主水冷

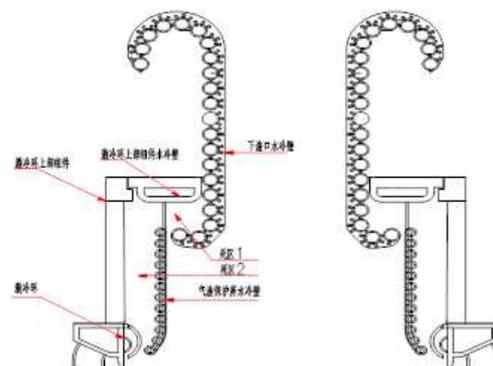
壁及下渣口共计 6 路循环冷却水。



气化炉下渣口

(5) 下渣装置主要由下渣口水冷壁和气渣保护屏水冷壁两部分组成, 高温气体先经过下渣口水冷壁, 然后经过气渣保护屏水冷壁, 避免因渣口的立即扩大造成散射及涡流, 保证气体及高温熔渣平缓的进入激冷室内部。气渣保护屏水冷壁及激冷环的安装高度, 此设计直接决定了气渣保护屏水冷壁与激冷环之间的间隙及激冷水膜的稳定运行, 确保激冷环不被烧损, 同时不会因为安装耐火纤维因间隙过大, 造成高温气体对激冷环上部降管造成高温热辐射。激冷环上部组件在下渣口及气渣保护屏水冷壁间隙处设计为水冷壁形式, 起到对该组件的二次保护。

一种新型的下渣装置



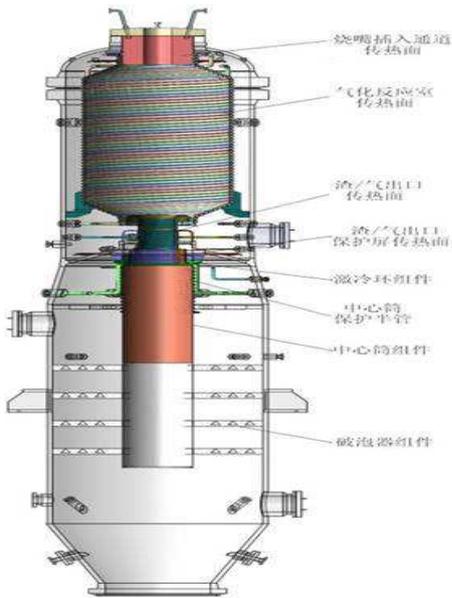
## 3. 高效洗涤的激冷室结构

神宁炉采用干煤粉加压气化、气化炉顶置单个下喷式组合烧嘴、水冷壁、渣气并流向下相向而行、降膜泡核蒸发激冷、水浴鼓泡和破泡方式除尘、液态排渣的结构。神宁炉由压力容器外壳和内件两大部分组成, 通过中间的隔离连接构件将气化炉分成气化反应室和水激冷室两个功能区。气化炉的内件结构设计包括气化反应室内件和激冷室内件两大部分, 其中气化反应室内件包括: 煤粉烧嘴插入通道、气化反应室冷却屏和渣 / 气出口传热面三大部分。

激冷室内件主要为激冷环、激冷筒及破泡器等三大部分。神宁炉其具有结构简单、尺寸紧凑、水冷壁简单、便于维修、设备总吨位低、合成气灰含量低等特点。



下降管和破泡器



神宁炉示意图

西门子 GSP 气化炉采用激冷喷头的激冷室结构，其高温合成气与液态熔渣一起离开燃烧室向下流动进入激冷室，被气化炉激冷室高压喷头雾化喷出的激冷水冷却。熔渣在进入激冷室后由于空间放大发生散射，雾化的高压激冷水与高温合成气接触直接汽化，造成大量熔渣未与激冷水直接接触凝结，故此激冷方式会使合成气中夹带大量细灰<sup>[4]</sup>。由于激冷室气、液、渣分离空间较小，大量细灰及少量细渣易夹带在合成气中进入下游洗涤系统。

因此，下降管激冷、水浴鼓泡和破泡方式除尘的激冷室结构洗涤效果更好，更能减轻下游洗涤系统的压力。

#### 4. 高效的粗煤气洗涤系统

神宁炉高温合成气和液态熔渣一起向下沿下渣口进入激冷室。进入激冷室的合成气及熔渣经过激冷环的激冷水

激冷，液态熔渣经冷却固化后与合成气一起沿激冷室的下降管进入激冷室水浴，灰渣落入激冷室底部进入除渣单元。合成气夹杂少量灰渣从激冷室水浴上升经过破泡器破泡后，进入一级管道式文丘里洗涤器与高压循环水泵打来的高压循环水混合除尘，在气液分离罐分离出合成气中大部分灰渣后，合成气进入二级可调式文丘里洗涤器与高压循环水泵打来的高压循环水混合，润湿的合成气进入洗涤塔，合成气进入洗涤塔后分别经过高压循环水、变换凝液充分洗涤后从洗涤塔顶部将灰含量降至  $0.5\text{mg}/\text{m}^3$  以下进入一氧化碳变换装置<sup>[5]</sup>。气液分离罐底部分离出的灰水进入洗涤塔与洗涤塔底部灰水一起经过激冷水泵打至气化炉激冷环作为激冷水。

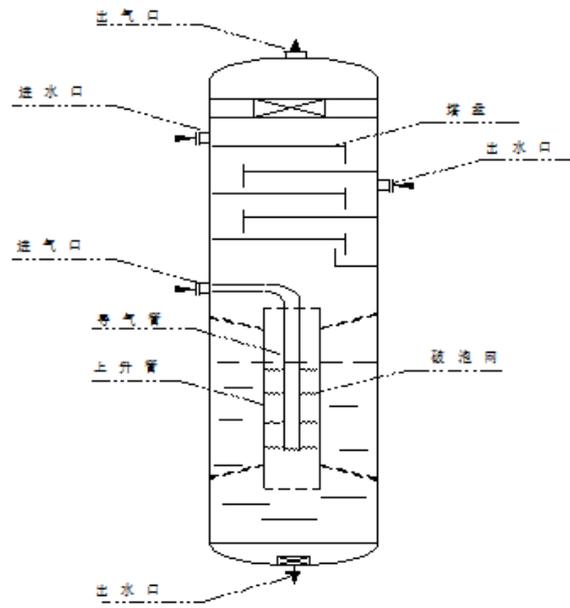
神宁炉这种激冷室水浴+一级文丘里+分液罐+二级文丘里+洗涤塔的粗煤气洗涤系统在工艺流程上更优化，既保证了技术性能的稳定，也满足了生产工艺的要求。

与 GSP 气化装置相比，神宁炉取消了鼓泡塔，在气化炉内增加了下降管，同时取消了二级文丘里气液分离罐和部分冷凝器，节省了设备的布置空间和成本。

#### 5. 设置合理的合成气洗涤塔

合成气洗涤塔作为精洗装置，充分考虑下部液位与塔盘之间的间隙，保证合成气夹杂的液滴有充分的分离空间；破泡器的设计充分考虑合成气组成  $\text{CO}_2$  的含量，防止因水酸碱度的不同造成破泡器的堵塞；导气管的设计充分考虑最低液位防止合成气未经过水浴洗涤直接进入塔盘，造成合成气含灰量大。

神宁炉合成气洗涤塔塔盘分为六层，下三层为筛板结构，塔釜液位与塔盘之间的间隙  $2000\text{mm}-6000\text{mm}$ ，上三层为泡罩结构，有效降低了合成气含灰量，也未出现塔盘堵塞的情况。



洗涤塔示意图



运行4个月后的塔盘照片

与GSP的洗涤塔构造(下四层层为固阀,上两层为筛板)相比,神宁炉合成气洗涤塔构造简单,塔盘设置合理,有效避免了塔盘堵塞的情况。



GSP炉塔盘堵塞

#### 6. 高效节能的闪蒸工艺系统

采用二级闪蒸工艺闪蒸气与循环灰水间接换热的热回收工艺方案处理干粉煤气化工艺的黑水,有以下缺点:①大量细灰易带出,掺杂于水中,经过间接换热器,易结垢的同时造成换热效率下降,导致闪蒸压力难以控制,且细灰随黑水不断磨蚀换热器的内部构件,对换热器造成了严重的损害。②由于高压灰水与闪蒸气的操作压差较大,换热管对材料要求较高,造成设备造价昂贵。

采用三级闪蒸工艺闪蒸气与循环灰水直接换热的热回收工艺方案处理干粉煤气化工艺的黑水,用增湿塔代替原来的高压灰水换热器,该技术与华东理工大学四喷嘴水煤浆气化中采用蒸发热水塔直接换热类似。此种工艺最大限度地回收系统余热,提高换热效率,降低设备造价。

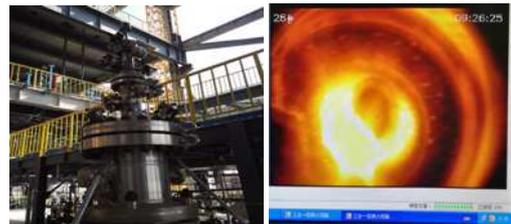
因此,神宁炉气化装置黑水闪蒸系统采用三级闪蒸工艺设置,一级闪蒸采用闪蒸增湿装置即闪蒸塔和增湿塔的组合来处理中压闪蒸的酸性气并回收热量。在闪蒸塔中,闪蒸气经过洗涤降低灰含量然后送入增湿塔。在增湿塔内,闪蒸气与循环灰水直接换热回收热量。与间接换热流程相比此流程最大限度地回收系统热量,提高换热效率,降低设备造价,大大节约了装置的运行成本<sup>[3]</sup>。二/三级闪蒸分别采用了传统的低压闪蒸与真空闪蒸工艺技术。

#### 7. 核心设备国产化

包括气化炉和组合烧嘴在内的设备全部实现国产化,可有效节约投资,缩短制造及检维修时间;气化炉在国内生产12个月即可满足货到现场具备吊装条件,检维修时间

短。

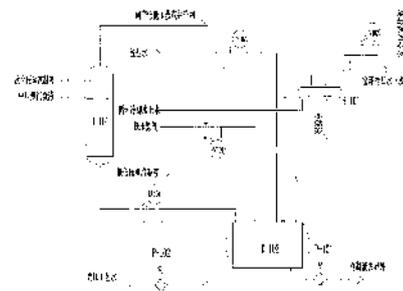
新型组合烧嘴解决了点火不稳定,可靠性低的技术难题,该烧嘴有效规避了煤粉波动带来的火焰流程波动,保护膜式水冷壁不烧损。新型三合一火焰检测(火焰视频、火焰温度、火检信号)系统,具有对气化炉反应室进行火检、测温、成像的功能,为气化炉实时操作提供可靠的视频化检测手段。该配置可以实现快速的开停车过程,当煤粉烧嘴停运时,点火烧嘴还可独立运行,从而实现快速排障,快速启停,保证装置在线率。组合烧嘴组织烧嘴制造周期仅为4个月,且该烧嘴已在宁煤集团烯烃项目的气化炉上进行试烧使用。使用结果表明,出界区的有效气体含量增加,碳转化率提高,炉渣量提高滤饼量降低,气化炉水冷壁热负荷更稳定,使水冷壁寿命得到保障。由于新型组合烧嘴具有显著的优越性能,目前该烧嘴已经在宁煤集团烯烃项目大量应用。



#### 8. 凝液回收利用率高

神宁炉中来自次高压蒸汽凝液总管和中压饱和蒸汽凝液总管的蒸汽凝液进入冷凝液闪蒸罐闪蒸后,顶部副产低压蒸汽送往低低压蒸汽管网,底部低低压蒸汽凝液送至冷凝液缓冲罐<sup>[6]</sup>。

同时来自低低压蒸汽凝液总管的低低压蒸汽凝液亦进入冷凝液缓冲罐。冷凝液缓冲罐产生的水汽经冷却器冷却后,凝液重新回流至冷凝液缓冲罐,不凝气进行放空。当冷凝液缓冲罐的液位不足时,自动开启脱盐水调节阀进行补液;当冷凝液缓冲罐液位高时,启动冷凝液泵进行外送,以保证液位正常。冷凝液缓冲罐的工艺水经高压工艺水泵升压后作为洗涤塔精洗段的洗涤水<sup>[6]</sup>,见图。



神宁炉凝液收集系统示意图

西门子GSP气化炉所采用的凝液收集系统独立于脱盐水系统,收集的凝液不能做为脱盐水的后备水源,且低低压蒸汽凝液闪蒸罐的蒸汽现场放空,既造成了资源的浪费,又因放空蒸汽的冷凝造成设备管线的腐蚀以及冬季凝液结

冰带来了安全隐患<sup>[6]</sup>。

与西门子 GSP 气化装置相比,神宁炉各等级蒸汽所产生的凝液回收利用,减少了脱盐水的消耗量,降低了运行成本。同时凝液收集系统在流程上更优化,既保证了技术性能的稳定,也满足了生产工艺的要求。

## 二、自主创新干煤粉气化技术的应用

截止目前为止,自主创新研发的干煤粉气化炉有航天炉、神宁炉、晋华炉、五环炉、东方炉等。现以神宁炉为例说明其实际应用情况。

### 1. 神宁炉的应用情况及前景

“神宁炉”气化技术是原神华宁夏煤业集团开发的具有自主知识产权的干煤粉气化技术,且已通过美国专利知识产权评估。申报并获得了“一体气化炉带压点火装置”等多项专利授权,其中《一种旋流干煤粉气化炉》荣获第十九届中国专利金奖。

2018年5月27日,中国石油和化学工业联合会组织专家在北京召开了“神宁炉干煤粉气化技术”鉴定会,由中国工程院谢克昌院士领衔的专家组给予了“神宁炉”极高的评价,鉴定委员会认为“神宁炉”在3000吨级单喷嘴干煤粉气化技术领域“填补了国际空白,处于世界领先水平”。

截止目前,神宁炉在世界单体规模最大的煤制油项目已示范运行28台。同时已与国内外7个项目共计17台气化炉签订技术许可,为“神宁炉”走向世界筑牢了基石。

未来,在中国大规模工业示范装置上得到验证并趋于成熟的现代煤化工技术,很可能将成功走向海外,在“一带一路”沿线煤资源丰富的国家,参与建设煤化工产业。

### 2. 神宁炉运行中存在的问题及解决措施

(1) 低压煤粉质量不合格,易堵塞煤粉管线。备煤装置纤维分离器筛网改造后,过滤了煤粉中的大部分杂质和纤维物,保证了煤粉质量,防止了气化炉因为煤粉质量问题而堵塞煤粉管线角阀而造成气化炉跳车。

(2) 煤锁斗泄压盘阀在高压差下无法正常开关问题。正常运行时,泄压盘阀前后压差高达5.0MPa,造成泄压盘阀无法正常开关,造成气化炉无法投料试车,为此泄压盘阀技改增加了旁路阀,泄压时先打开旁路均压,解决了泄压盘阀无法正常开关的问题。

(3) 激冷水泵进口滤网频繁堵塞的问题。在合成气洗涤塔底部引一路管线至中压闪蒸罐,激冷水泵进口由洗涤塔底部改至下部,运行时将垢片和灰渣排放至闪蒸罐,清水进入激冷水泵,避免了泵滤网的频发清理。

(4) 系统水质差问题。装置运行一段时间后,系统循环水中PH偏低,部分换热器被腐蚀。在经过多方分析后,通过药剂配方的变更和闪蒸系统压力的调整,最终系统循环水的PH逐渐归于正常。

(5) 点火烧嘴寿命短。装置投产至今,烧嘴先后暴露出了点不着火、点火氧喷头和点火枪尖容易烧损、火焰形态烧损水冷壁等问题,通过几年的技术攻关与自主研发,烧嘴已完成6轮次改造升级,成功破解了点不着火和窑火烧损的难题,也使烧嘴完全实现国产化。截止目前,全部气化炉已使用综合性能稳定的第4代烧嘴,平均使用寿命从60天延长至150天,最长197天,完全可以满足气化炉计划运行周期

## 三、总结

神宁炉干煤粉加压气化技术是国家大力实施创新驱动发展战略的典范,拥有自主知识产权、设备全部国产化、投资运行成本低、能耗低且环境友好等技术优势。同时开停车效率极高,开发的智能操控系统,实现投料条件自动确认、投料过程一键启动、运行过程自动调整、异常情况自动保护,气化炉运行更加安全可靠。

### 参考文献:

- [1] 张云,杨倩鹏.煤气化技术发展现状及趋势[J].洁净煤技术,2019,25(S2):7-13.
- [2] 王国梁,马钊.某煤化工基地3种煤粉给料罐出料方式对比[J].煤炭技术,2018,37(10):342-344.
- [3] 王国梁.神宁炉和GSP煤气化技术对比[J].现代化工,2017,37(11):154-157.
- [4] 马银剑,石立军.宁东两种激冷流程煤气化技术的比较与选择[J].广州化工,2013,41(13):3-5.
- [5] 王国梁,张镓铄,陈鹏程,李红娣.浅析神宁炉合成气洗涤系统优化过程[J].山东工业技术,2017(01):39-40.
- [6] 王国梁.神宁炉凝液收集系统探讨[J].工程技术研究,2016(08):107-108.