

GE 水煤浆气化装置高压闪蒸系统存在的问题及优化措施



谢运旺^{*}, 庞刚

中国石油化工股份有限公司九江分公司, 江西九江 332004

摘要: 某企业 GE 水煤浆气化装置黑水闪蒸系统采用三级闪蒸流程, 将高压黑水中溶解的大量高闪气体解析出来, 经换热冷凝后送往下游装置。实际生产过程中, 闪蒸系统运行 60 天左右时, 高压闪蒸系统压力、温度逐渐升高并超出正常操作范围, 影响装置安全稳定连续运行, 严重时装置停工, 甚至造成环境污染事故。经过分析认为, 流程中高压闪蒸汽冷凝器未能有效降低将闪蒸气中的热量取走, 从而带来超压、超温的问题。围绕该理论, 在保持装置现有流程设计的基础上, 通过低成本投入, 增加低压灰水回用喷淋管线。实践运用后, 高压闪蒸系统运行周期由 60 天延长 181 天 (单系列气化炉最长运行周期)。此次优化, 高压闪蒸汽有效取热, 不仅达到高压闪蒸系统降温降压的目的, 也因凝液量的增加及温度的升高, 有效减少除氧器 0.45MPa 蒸汽的消耗量, 降低了装置能耗, 节约年生产成本 300 多万元。

关键词: 黑水闪蒸; 高压闪蒸气; 喷淋; 降温降压

DOI: [10.57237/j.cse.2023.03.005](https://doi.org/10.57237/j.cse.2023.03.005)

Problems and Optimization Measures of High Pressure Flash System in GE Coal Water Slurry Gasification Plant

Xie Yunwang^{*}, Pang Gang

China Petroleum and Chemical Corporation Jiujiang Branch, Jiujiang 332004, China

Abstract: The black water flash evaporation system of the GE coal water slurry gasification device of a certain enterprise adopts a three-stage flash evaporation process, which analyzes a large amount of high flash gas dissolved in high-pressure black water, and sends it to downstream devices after heat exchange and condensation. In the actual production process, when the flash evaporation system operates for about 60 days, the pressure and temperature of the high-pressure flash evaporation system gradually increase and exceed the normal operating range, affecting the safe and stable continuous operation of the device. In severe cases, the device may shut down, and even cause environmental pollution accidents. After analysis, it is believed that the high-pressure flash steam condenser in the process failed to effectively reduce the heat extracted from the flash steam, resulting in problems of overpressure and overheating. Based on this theory, while maintaining the existing process design of the device, low-cost investment is made to increase the low-pressure ash water reuse spray pipeline. After practical application, the operating cycle of the high-pressure flash

^{*}通信作者: 谢运旺, xieyw.jjsh@sinopec.com

evaporation system has been extended by 181 days from 60 days (the longest operating cycle of a single series of gasifiers). This optimization effectively takes heat from high-pressure flash steam, not only achieving the purpose of cooling and reducing pressure in the high-pressure flash steam system, but also reducing the consumption of 0.45MPa steam in the deaerator due to the increase in condensate volume and temperature, reducing device energy consumption and saving over 3 million yuan in annual production costs.

Keywords: Black Water Flash Evaporation; High-pressure Flash Steam; Spraying; Cooling and Depressurization

1 引言

高压黑水闪蒸系统是煤气化装置连续运行的关键流程[1]，系统换热效果下降会造成整个煤气化流程的持续恶化，严重时可导致装置全线停工。水煤浆气化流程闪蒸系统工艺流程通常采用：二级闪蒸（高压闪蒸和真空闪蒸）、三级闪蒸（高压闪蒸、低压闪蒸和真空闪蒸）和四级闪蒸（高压闪蒸、低压闪蒸、真空闪蒸1、真空闪蒸2）三种流程形式。通过不同的闪蒸级数流程设计要求，达到降低黑水温度、浓缩黑水固含量、解析黑水中酸性气体[2]和余热回收的目的。

本文针对高压闪蒸系统因压力和温度超标带来的运行周期短的问题进行分析，从流程设计的角度，创新性的提出了优化改进措施，该优化措施投资小、见效快，有效延长系统运行周期，确保煤气化装置安全稳定长周期运行。

2 高压闪蒸工艺流程简介

GE 水煤浆气化工艺为回收高压闪蒸气的热量，在高压闪蒸气相流程设置有高压闪蒸汽冷凝器[3]，利用系统内高压灰水与高闪汽换热，进行高压闪蒸汽余热回收利用。

来自气化炉激冷室的黑水与来自洗涤塔塔釜的黑水减压至 0.9MPa (G)、180 ℃ 后进入高压闪蒸罐，闪蒸出的水汽以及大部分溶解的酸性气组分经高压闪蒸汽冷凝器冷至 0.9MPa (G)、173 ℃，再经高压闪蒸分离罐分离后，气相送至后工序耐硫变换单元进一步处理，液相凝液返回除氧器。

高压闪蒸罐底含固液体减压至 0.24MPa (G)后进入低压闪蒸罐，闪蒸出的气相进入除氧器作为汽提用汽。简易流程见图 1。

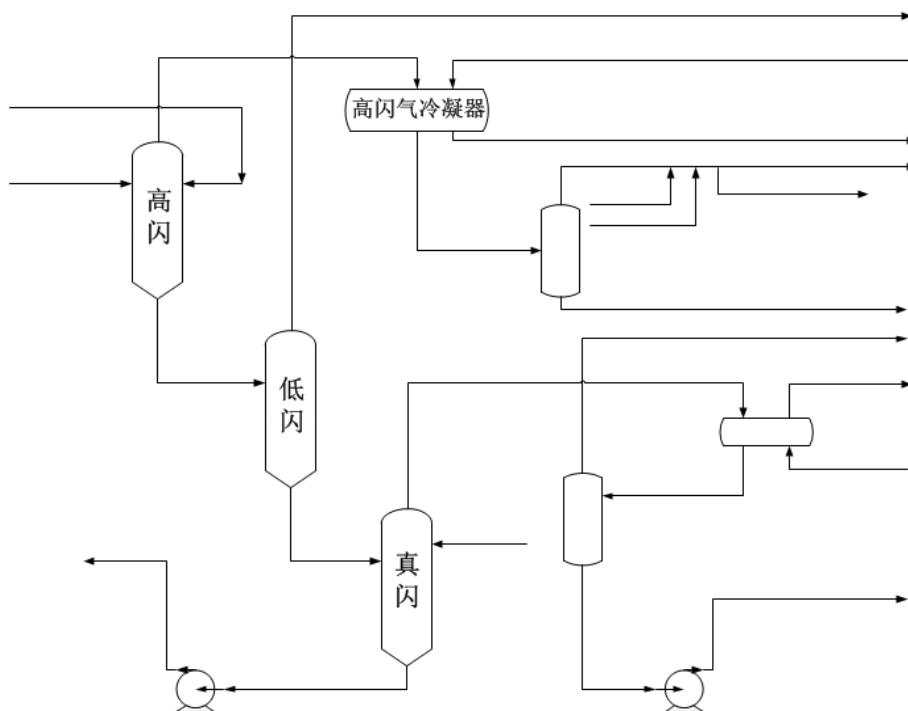


图 1 GE 水煤浆闪蒸流程简图

3 存在问题及原因分析

气化炉和洗涤塔的高压黑水中溶解有大量的酸性气体,当黑水经过高压闪蒸角阀[4]后,由于其阀后压力突然降低,各组分在气相中的分压迅速降低,在一定温度下,黑水大量汽化,溶解在水中的酸性气体逸出水面。气液两相在分离器中分开,气相为顶部产物,其中易挥发组分较为富集;液相为底部产物,其中的难挥发组分获得增浓。

气化炉激冷室和洗涤塔排水量所处的状态并不够稳定,闪蒸气中含有一定的灰分,长时间运行会使闪蒸效果大打折扣,不仅降低了闪蒸汽换热之后的冷凝液量,也会使系统超压、超温。此时若采取闪蒸汽经火炬放空,会损失掉更多的热量,给运行过程带来安全环保的隐患,甚至导致气化炉停止运行。

根据亨利定律 $P=EX$,不同温度与分压下气相溶质在液相溶剂中溶解度不同。当溶剂压力降低时,溶剂中的溶质就会迅速地解吸而自动放出,形成闪蒸。闪蒸的能量由溶剂本身提供,故闪蒸过程中溶剂温度有所下降。因此,闪蒸不仅能降低流体温度、解析出气体,而且能浓缩流体中的固含量。从较高的一定压力到较低的一定压力,达到解吸平衡时解吸的溶质量是一定的,对应溶剂中剩余的溶质量也是一定的。所以在装置运行过程中主要控制闪蒸系统的压力[5]。但在实际运行中,高压闪蒸系统往往处于超负荷状态,给生产操作带来很大的困扰。

3.1 高压闪蒸压力超高

水煤浆气化工艺中,气化炉激冷室与洗涤塔排出黑水量设计值分别为53 t/h、18 t/h,经减压阀减压后进入高压闪蒸罐(0.9 MPa、180 °C)中,闪蒸出的大量闪蒸气经冷却及气液分离后的流量为46 m³/h(设计值)。实际生产中,为降低系统结垢[6]、满足工艺运行指标,均采取加大了系统的水循环量[7]。其中气化炉激冷室黑水排放量增加至89 t/h、洗涤塔黑水排量增加至36 t/h,因此,高压闪蒸气达到了1200~1800 Nm³/h左右,从而容易造成高压闪蒸系统超压。黑水闪蒸系统运行过程中,因工艺介质的特殊性,介质中的灰分极容易在高压闪蒸汽冷凝器在管束内集聚结垢,使换热效果变差并

不断恶化,更是加快了高压闪蒸压力上涨。

由于闪蒸系统负荷高,运行60天左右时系统压力逐渐升高至0.95 MPa以上,超出操作控制范围,通过大幅降低激冷室和洗涤塔的排放黑水量也难以降低系统压力。为保持装置连续运行,不得不将大量闪蒸气通过火炬放空,致使高闪汽无法有效回收且影响周边环境,严重时造成装置停工。

3.2 高压闪蒸温度升高

因高压闪蒸系统超负荷,加之高压闪蒸汽冷凝器换热效果变差,高闪汽不能得到有效冷却换热,造成热量积聚,使得出口高闪汽温度由173 °C上升到179 °C。也造成了高闪汽分离罐顶部排出的酸性气温度过高,容易出现带液现象,影响后续装置稳定运行。同时,酸性气在管道内流动过程中,极易析出凝液,形成硫化物结晶[8],造成管线堵塞憋压现象。

4 优化措施

针对高压黑水闪蒸系统高负荷运行下,运行周期短、高压闪蒸汽冷凝器换热效果变差导致的超温和超压问题,主要从高闪气能量回收[9]的角度采取优化措施,不仅能够改善高压闪蒸系统运行状态,也能达到高闪气深度的回收利用,实现一定的经济效益。

4.1 增设高闪汽循环水冷却器

同类型装置为进一步降低高闪汽温度,控制高闪汽压力。采用高压闪蒸汽冷凝器后增设循环水冷却器[10]流程,使用大量的循环水换热达到降温降压的目的。流程示意图见图2。

该方法能够有效降低高闪汽温度,控制高闪汽压力,但存在以下不足:

- (1) 高闪汽的大部分热量被循环水带走,无法有效利用,高闪汽热量损失较多。
- (2) 增加装置的循环水消耗,装置的能耗有所升高。
- (3) 对于在运的生产装置,若现场没有足够的空间,难以实现此流程的改进。

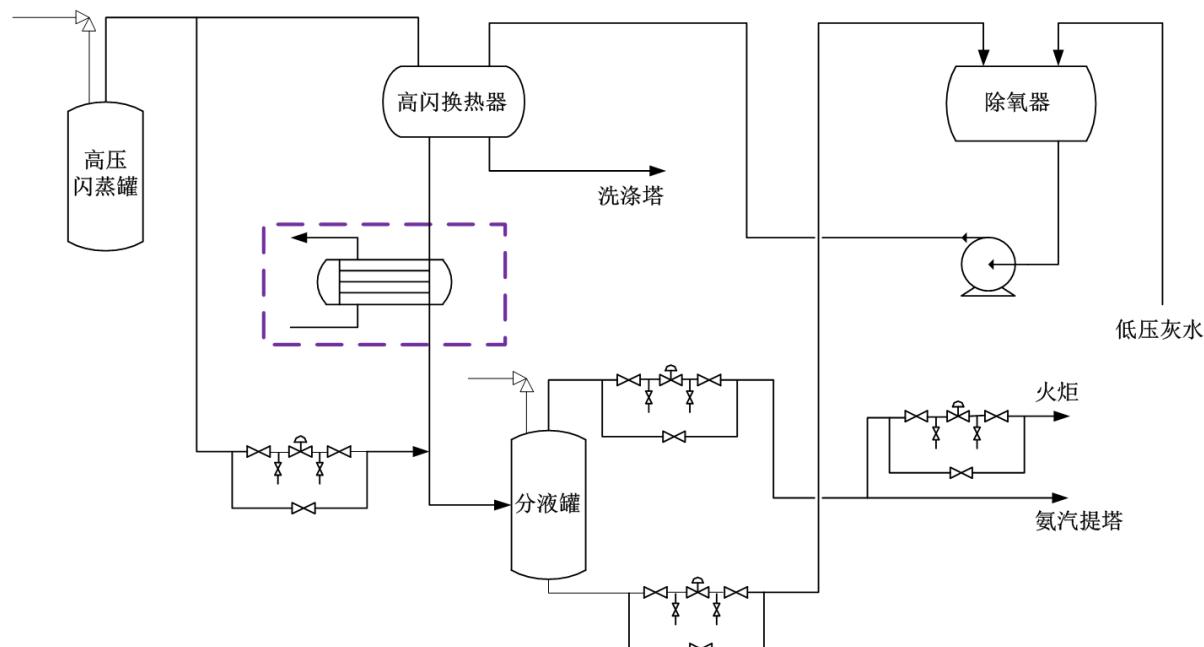


图 2 增设循环水冷却器流程示意图

4.2 高闪汽余热发电

部分企业设置余热发电机组，回收高压闪蒸汽的热量发电，不仅使高闪汽降温降压还能提升装置经济效益。利用高闪汽进入有机工质[11]发电机组的蒸发器

和预热器，与有机工质进行热交换，带动涡轮发电机发电。换热后的高闪汽送入后续处理系统。

据估算发电机组使用高闪汽流量 10t/h, 每小时发电量能达到 900kw, 全年可创造综合效益 400 万元左右。

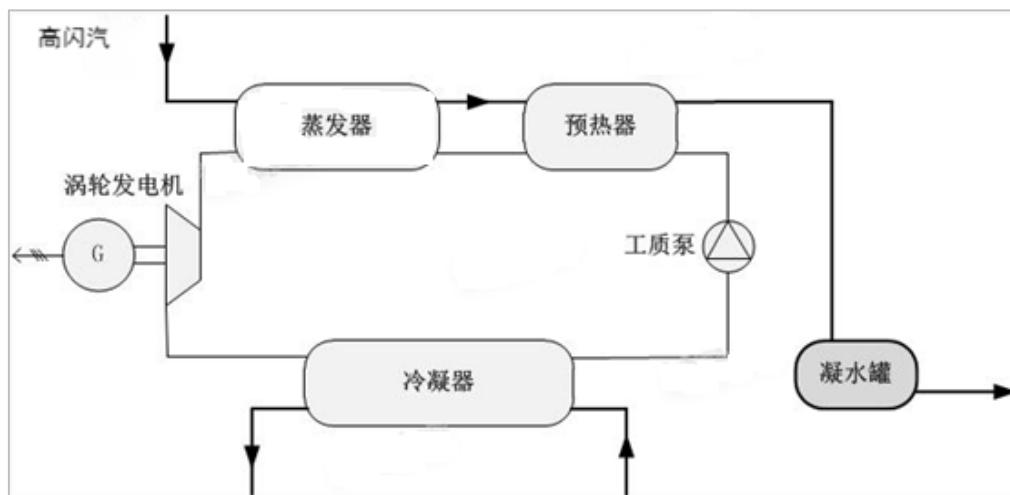


图 3 高闪汽余热发电系统工艺方案

利用高闪汽余热发电要根据装置实际流程设计，针对本企业装置特点存在以下不足：

- (1) 装置运行负荷偏低，高闪汽流量低。
 - (2) 发电机组占地面积较大，涉及流程动改较多。
 - (3) 高闪汽富含酸性气腐蚀性[12]介质，对发电机

组材质有一定的要求。

4.3 高闪汽余热产蒸汽

部分新建煤气化装置为最大程度实现闪蒸热量的回收利用,引入废热锅炉[13]替代高压闪蒸冷凝器,并

增设低温热水换热器和脱盐水预热器进行后续处理流程，副产蒸汽满足装置需求，也可外送蒸汽。

高闪汽余热产蒸汽虽效益可观，对已建成装置而言流程改动复杂，投资较大，还需统一综合考虑全厂蒸汽系统的优化。

5 创新闪蒸系统流程

根据本企业实际运行状况及流程配置，主要解决高压闪蒸系统因压力和温度超标带来的运行周期短的问题。因此从流程设计[14]的角度，创新性的提出了优化改进措施，利用装置现有流程，将来自灰水槽的低

压灰水分为两股。一股按原流程进除氧器作为除氧器补水；另一股低压灰水管线在图 4 混合处，均匀注入高压闪蒸汽管线内。低压灰水与高压闪蒸汽直接混合接触交换热量。低压灰水在高温高压下形成雾化蒸汽，带走闪蒸汽中的热量，进入高压闪蒸分离罐。分离罐的凝液在高闪压力下，送入除氧器回用。

图 4 红色部分为改进后的（高闪汽）工艺流程管线。借助原有流程中阀组导淋，将去除氧器的补水（系统低压灰水），喷入混合处，与高闪汽混合，达到高闪系统降温降压的效果。

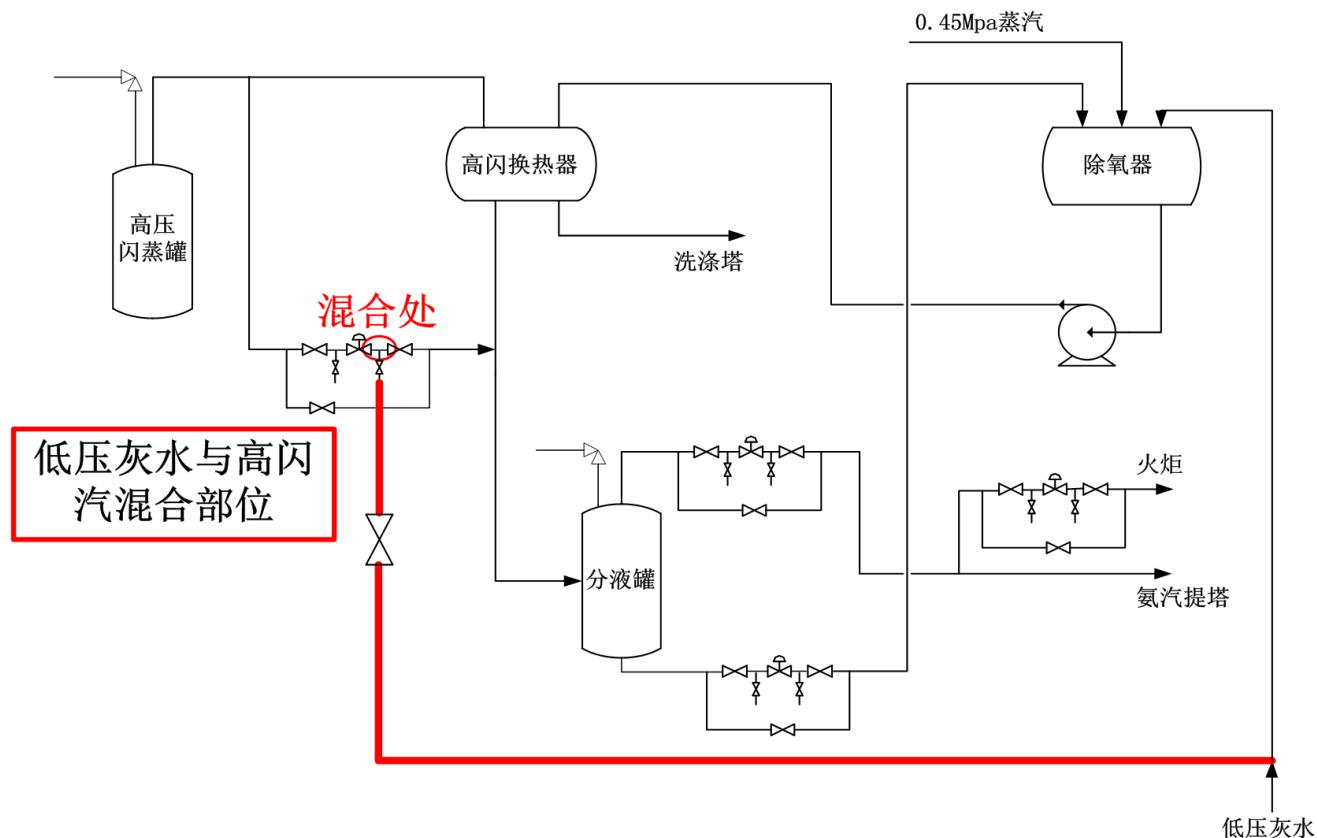


图 4 创新改进高闪流程示意图

水煤浆气化装置高压黑水闪蒸流程优化实施后，出高压闪蒸冷凝器高闪汽温度从 178 ℃ 降到 173 ℃，高闪汽压力由 0.95MPa (G) 降低至 0.89MPa (G)，均达到设计运行要求。气化装置除氧器 0.45MPa (G) 蒸汽使用量由 4t/h 降低至 0.5t/h，降温降压、余热回收效果显著。创新改进后的闪蒸系统流程[15]，具备以下优点：

- (1) 不受装置内场地、管线布置的限制，便捷实用，可实施性强，且装置在线运行过程中即可完成

系列施工。

- (2) 高闪流程创新改进未增加任何设备投资费用。
- (3) 未增加装置水、电、气、风等消耗，利用系统内低压灰水进行混合换热，最终回到除氧器后再次供装置使用，实现了低压灰水循环的利用。相比增加水冷器流程，单系列装置节约循环水 20t/h 左右。
- (4) 有效地确保了高闪汽温度、压力处于正常操作

范围内,消除了闪蒸汽火炬排放对环境的影响,保证了装置安全稳定长周期运行。

(5) 进除氧器的凝液量增加,进而减少除氧器0.45MPa (G) 蒸汽使用量 3.5t/h。

6 结束语

通过对原有的高压黑水闪蒸流程进行创新改进,能够解决高压闪蒸汽冷凝器换热效果变差后带来的超温、超压问题,不仅确保了水煤浆气化装置安全稳定长周期运行,降低装置能耗,还节约年生产成本 300多万元。该流程创新因投资小、实施难度小且流程无改动,已在多个同类型装置实施,取得良好的效果,具有较大的借鉴意义。

参考文献

- [1] 李自恩. 褐煤水煤浆气化装置运行存在的问题及技改措施 [J]. 煤化工, 2016, 44 (1): 47-49.
- [2] 唐宏青. 现代煤化工新技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [3] 孔德升, 马小刚, 郑成群. 真空闪蒸系统真空度低的原因分析 [J]. 化肥工业, 2016, 43 (6): 59-61.
- [4] 马廷卫, 孔德升. 水煤浆气化装置闪蒸热量回收技术的应用 [J]. 化肥设计, 2021, 59 (6): 49-51, 62.
- [5] 李志祥, 刘泽. 气化闪蒸系统关键问题的研究与优化创新 [J]. 天然气化工 (C1 化学与化工), 2017, 42 (6): 103-107.
- [6] 张海龙. 水煤浆气化装置闪蒸系统高闪气回收利用探讨 [J]. 中氮肥, 2020, 212 (2): 13-15.
- [7] 王永胜, 张士祥, 赵振新, 赵军杰, 党厦. 航天煤气化工艺高闪废蒸汽的优化利用 [J]. 河南化工, 2010, 27 (16): 83-85.
- [8] 何大雄, 姜晓霞, 李诗卓, 等. 不锈钢在液固双相流中的冲蚀腐蚀行为 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2000, 12 (5): 264-268.
- [9] 代厚鑫. 水煤浆气化系统结垢探讨及应对措施 [J]. 山东化工, 2021, 18 (5): 147-149.
- [10] 贺飞. 水煤浆气化化工工艺水系统运行中结垢机制探讨与煤质、工艺优化 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017.
- [11] LIANG C, GRACE J R, SHEN L G, et al. Experimental investigation of pressure letdown flow characteristics in dense - phase pneumatic conveying at high pressure [J]. Powder Technology, 2015, 277: 171-180.
- [12] 黄永顺, 张勇, 刘树辉. 一种气化黑水闪蒸系统 [P]. 中国专利: CN207391048U, 2022-12-27.
- [13] 废热锅炉流程气化工艺黑水闪蒸系统的优化研究 [J]. 大氮肥. 2022 (02).
- [14] 李泰山, 张来, 张培忠. 一种黑水闪蒸系统 [P]. 中国专利: CN214141664U, 2021-09-07.
- [15] 庞刚, 谢运旺, 詹晓青. 水煤浆气化流程高压黑水闪蒸系统 [P]. 中国专利: CN218145930U, 2022-12-27.

作者简介

谢运旺

1986 年生, 运行四部工艺副总师、煤制氢装置主任. 研究方向为焦化、气分溶脱、煤制氢生产运行及维护.

E-mail: xieyw.jjsh@sinopec.com

庞刚

1975 年生, 煤制气首席技师. 研究方向为煤制氢生产运行及维护.

E-mail: pangg.jjsh@sinopec.com