

GSP煤制气技术水处理系统工艺操作及优化

柴晓霞

国能集团宁夏煤业集团烯烃一分公司 宁夏 银川 750411

摘要：本文聚焦GSP煤制气技术中的水处理系统，阐述其涵盖的废水收集分类、预处理、生化处理、深度处理及回用排放等工艺操作流程，分析了现存的水质波动影响处理效果、设备结垢腐蚀、微生物活性受抑制以及膜分离技术应用局限等问题。进而提出加强水质监测调控、优化防垢防腐措施、保障强化微生物活性、改进联合膜分离技术等优化策略，旨在提升该水处理系统的运行效能与稳定性，推动GSP煤制气项目可持续发展。

关键词：GSP煤制气技术；水处理系统；工艺操作；优化

引言：随着能源结构调整与清洁能源需求的增长，GSP煤制气技术应用日益广泛。然而煤制气过程会产生各类复杂废水，其妥善处理关乎项目的稳定运行与环境保护。GSP煤制气技术水处理系统承担着废水净化与资源回收重任，其工艺操作的合理性与高效性至关重要。但当前系统在实际运行中面临诸多挑战，影响处理效果与整体效益。

1 GSP 煤制气技术概述

GSP煤气化技术为德国西门子集团所拥有，起源于前东德燃料研究所（DBI）在20世纪70年代末的研究，并成功实现商业化应用。此技术属于全球领先的大型粉煤进料气流床加压气化技术，广泛应用于煤化工及煤制油行业。GSP煤气化技术以干粉进料、纯氧气流床气化、液态排渣以及粗合成气激冷工艺为核心流程。该技术具备较强的煤种适应性，技术性能指标突出，设备耐用性强、维护工作量低，且能实现长期连续运行。操作灵活性大，自动化程度高，是其实质性优势。GSP煤气化炉在高温条件下运行，温度范围在1350至1750℃之间，碳转化率高达99%，煤气中甲烷含量极低，无重烃，合成气中CO+H₂的含量超过90%，冷煤气效率超过80%。GSP气化炉采用水冷壁设计，无需耐火砖，预计水冷壁的使用寿命可达到25年。此外，该技术可根据用户需求进行定制化设计，并提供多种规模的气化炉选择^[1]。

2 水处理系统工艺操作流程

2.1 废水收集与分类

2.1.1 含尘废水收集

在GSP煤制气中，含尘废水产生于气化炉煤气冷却及除尘环节。粗煤气冷却时，煤炭颗粒、飞灰等杂质混入水中形成此类废水。通过特制管道收集，将其输送至初级沉淀池，利用重力沉降作用，让较大颗粒固体先沉淀下来，初步分离杂质，降低后续处理难度，保障后续工

艺能更高效地对废水进行净化处理，实现水资源的合理回用与达标排放。

2.1.2 粗合成气洗涤单元

（1）工艺流程优化：合成气的净化处理通过设置鼓风机、首级文丘里洗涤器和次级文丘里洗涤器进行，随后合成气被引导至配备六层泡罩的原料气分离塔中。在此环节，来自气化炉并经过水激冷及饱和处理的原合成气进一步通过水洗去除尘埃和卤素，经过净化的原料气最终作为成品气体输送至变换系统。

（2）在工艺技术方面，本系统利用鼓风机对气化炉排出的粗煤气进行初步“水浴”清洗，随后送入初级文丘里洗涤器进行深度处理。在初级文丘里洗涤器的处理后，气体被导入初级文丘里分离罐，以实现气液分离。分离出的粗煤气再被送入次级文丘里洗涤器，接受进一步的清洗，之后进入次级文丘里分离罐进行分离。在原料气分离罐中，粗煤气经过六层洗涤塔盘的净化，并经过除沫器处理，最终送入变换装置。该洗涤过程有效去除了粗合成气中的细微飞灰和卤化物。

（3）工艺流程：粗合成气洗涤系统主要设备有鼓风机D-25105、文丘里洗涤器及分离罐、原料气分离罐D-25103和鼓风机洗涤水泵P-25101A/B/C。气化炉激冷室出来的粗煤气，先经鼓风机洗涤水泵送出的洗涤水增湿，再进入鼓风机水浴洗涤。从鼓风机顶部出来的粗煤气进入一级文丘里T-25101，与150℃加热后的洗涤水混合，灰分等杂质被润湿、沉降和溶解，随后在一级文丘里分离罐D-25101气固分离。净化后的粗煤气进入二级文丘里洗涤器T-25102，再次与加热的高压循环水混合，进一步除去杂质。之后粗煤气经文丘里洗涤系统，进入原料气分离罐D-25103，经六层塔盘的洗涤水洗涤后，送往变换单元。分离出的冷凝液与变换装置送来的工艺冷凝液混合，由鼓风机洗涤水泵送回鼓风机作洗涤水。

2.1.3 黑水闪蒸单元

(1) 工艺技术路线:

黑水闪蒸过程涉及气化炉黑水闪蒸与鼓泡塔黑水闪蒸两种方式,这两种方法均采用双级闪蒸技术,对激冷室和鼓泡塔内的黑水进行处理。闪蒸完成后,黑水被输送至后续的黑水处理环节。

(2) 工艺技术特点:通过常压与真空双阶段闪蒸处理,将气化炉及鼓泡塔黑水中的 H_2S 、 NH_3 、 HCN 等有害气体分离出来,并引导至火炬进行焚烧处置,从而实现黑水中固体的进一步提浓。闪蒸后的气体经冷却,其冷凝液被导入沉降槽进行循环利用,有效降低了系统对外部水资源的依赖。

(3) 工艺流程:本工艺流程主要包括气化炉黑水闪蒸、鼓泡塔黑水闪蒸和酸性气处理系统。气化炉激冷室内产生的含固黑水(3.8MPa、180℃)进入闪蒸系统,先经一级闪蒸罐D-26101闪蒸,压力降至0.05-0.2MPa,温度约120℃,闪蒸气经冷却器E-26101冷却后高空排放。随后黑水进入二级闪蒸罐D-26102真空闪蒸,压力约0.05MPa,产生的酸性气体经冷却器E-26102冷却,由真空泵C-26102A/B抽出后高处排放,闪蒸后黑水送澄清槽。鼓泡塔D-25105来的黑水依次经D-26111、D-26112两段闪蒸,降温至60℃,冷却后黑水进澄清槽,沉降溢流水入循环水罐循环使用。闪蒸系统的放空气体分别从总管高处和沉降槽顶部高处排放。酸性气处理系统由多个冷却器和真空泵组成。

2.1.4 黑水处理单元

(1) 工艺技术路线:本模块的核心工艺流程是,首先,收集来自黑水闪蒸单元及除渣单元的废水,在澄清池内进行自然沉淀。随后,将含有较高固体浓度的污泥从澄清池中分离出来,并输送到真空压滤机进行进一步的固液分离处理。

(2) 工艺技术特点:本模块设计了五个处理系列,通过澄清和浓缩过程实现灰分与水分的分离。处理后的黑水在澄清池中澄清,大部分水分得到循环利用,以维持系统中盐分平衡,仅排放少量废水。澄清池底部的污泥通过真空压滤系统进行过滤,滤出液作为循环用水重新输入系统,而滤饼则装车外运。与传统的板框压滤机相比,真空压滤机在处理能力、效率、作业、清洁生产 and 降低工人劳动强度等方面具有明显优势,并在国内煤气化设备中得到了广泛应用。经过该设备过滤,滤液中固体粒子浓度降至0.01%以下,粒径小于5微米。

(3) 工艺流程:本单元设备主要有澄清槽TH-27601、循环水罐D-27603、废水罐D-27604、循环水升

压泵、循环水泵、废水泵、真空压滤机及絮凝剂制备单元等。来自不同设备的黑水流入澄清槽TH-27601,加入絮凝剂后,固体沉降,清水溢流至废水罐D-27604。浓缩污泥由泥浆泵抽出送真空压滤机过滤,滤饼送出装置,真空系统由气液分离器和真空泵维持负压,收集的滤液流入收集槽后再送沉降槽。循环水罐D-27603与废水罐D-27604连通,收集冷凝液、滤液和除盐水,混合后经增压泵和循环水泵增压分成五路:一路预热、加热后送激冷水罐;一路预热后作文丘里洗涤水;一路加热后送激冷水罐;一路加热后与高压循环水汇合送激冷水罐;一路去除渣单元。部分废水送废水汽提单元控盐浓度。

废水泵出来的废水,送往不同工艺设备或系统:

将废水处理输送到各类工艺设备或系统中,具体过程如下:

(1) 将废水传输至气化装置中的废水汽提塔,对废水中的硫化氢、氨等气体进行分离,在满足三级排放标准之后,再将其输送到工厂的污水处理系统中。

(2) 当黑水处理单元中的管道及泵类设施遭遇堵塞状况时,该系统用于实施管道清洗作业(具体应用于澄清槽出口的污泥管道以及滤液循环泵P-27609A/B的入口管道)。

(3) 针对输往闪蒸系统各闪蒸罐的进出口管道以及泵的进出口管道,在管道发生堵塞情况下,可用来进行清洗作业。

(4) 输往排渣系统,若渣水泵P-24101A/B的进出口管道发生堵塞,需执行冲洗操作。同时,对冲洗箱D-24103进行水源补充。

除了上述通过废水泵排放的废水,三条黑色水生产线产生的多数废水通过位于废水罐D-27604、D-27704及D-27804顶部的溢流管道,各自流入相应的循环水罐D-27603、D-27703和D-27803中。

三个循环水箱将来自不同系统的水混合,之后通过各自底部的出口管道汇集至一根总的循环水管路。该管路连通至一系列串联布置的循环水增压泵P-27005A/B/C/D/E/F/G/H/I以及循环水泵P-27003A/B/C/D/E/F/G/H/I,这些泵将水压提升至大约5.2MPa。经过加压后的水流向激冷水箱,用作气化炉的激冷水;同时,也供应至排渣系统中的渣锁斗D-24102,用于升压和降温。此外,这些水还用于渣水循环泵P-24102A/B检修时的冲洗作业,以及渣锁斗进料前用于疏松煤渣颗粒。

2.2 预处理工艺操作

2.2.1 调节水质水量

在GSP煤制气水处理系统里,调节水质水量是关键预

处理步骤。因生产各环节产生的废水，水质与水量波动大。废水汇集到所有调节池改成沉降槽后，借助搅拌设备让其充分混合，使水质均匀，酸碱度、污染物浓度等趋于稳定。同时，调节进水流量，避免后续处理单元受水量冲击。如此，能为后续的混凝沉淀等工艺创造稳定的进水条件，保障整体处理效果。

2.2.2 混凝沉淀

混凝沉淀在预处理中至关重要。将调节好的废水加入所有混凝剂改成絮凝剂，如聚丙烯酰胺等，通过快速搅拌，让混凝剂与水中细小悬浮物、胶体充分反应，聚结成絮体。随后，在沉淀池中，絮体依靠重力沉降到底部，实现固液分离。精准控制混凝剂投加量、反应及沉淀时间，能有效去除悬浮物，减轻后续处理负担，提升处理效率。

2.3 回用与排放

2.3.1 中水回用

经过一系列处理达标的中水，可在GSP煤制气项目中实现回用。比如可将其回用于煤炭洗选环节，既能减少新鲜水取用，又能对煤炭起到良好的清洁作用；还可作为循环冷却水补充水，维持冷却系统稳定运行。不过，回用过程中要严格监测水质，使其符合相应回用标准，避免因水质问题损坏设备等，通过中水回用实现水资源循环利用，提升整体经济效益与环保效益。

2.3.2 达标排放

对于无法回用且经过处理后符合国家或地方排放标准的废水，需按规定渠道进行达标排放。排放时要做好详细的监测记录，包括化学需氧量、氨氮等各项指标数据，确保排放的废水不会对周边水环境造成污染，严格遵循环保要求，守护生态环境，实现GSP煤制气项目与周边环境的和谐共生。

3 GSP 煤制气技术水处理系统现存问题

3.1 水质波动影响处理效果

在GSP煤制气过程中，因原料煤品质变化、气化炉工况波动等，废水水质成分、浓度常大幅变动。悬浮物、酚类、盐分等指标不稳定，使得预处理、生化处理等各环节难以维持最佳参数，如混凝沉淀时难以精准投加药剂，生化处理中微生物也难适应，易导致处理不达标，严重影响整个水处理系统稳定且高效地运行^[2]。

3.2 设备结垢与腐蚀问题

水处理时，尤其高盐废水处理及加热蒸发环节，设备易出现结垢与腐蚀情况。水中钙、镁等离子在高温高浓条件下析出形成水垢，附着内壁影响传热与运行。同时，废水中酸性物质、盐分等会腐蚀设备，缩短设备使用寿命，增加维修成本与运行风险，对系统稳定运行构成较大威胁。

4 水处理系统工艺操作优化策略

4.1 加强水质监测与调控

4.1.1 实时监测

在GSP煤制气水处理系统里，实时监测至关重要。于废水产生源头、各处理单元的进水口及出水口安装在线水质监测设备，像能精准检测pH值、化学需氧量、悬浮物含量等关键指标的传感器。如此一来，便可随时掌握水质的细微变化情况，无论是水质成分的改变，还是浓度的波动，都能第一时间知晓。

4.1.2 动态调控

基于实时监测所获取的数据，建立智能调控系统来实现动态调控。依据不同处理环节对水质的要求，当监测到水质指标出现波动时，系统能迅速做出反应，自动调整各环节工艺参数。例如，若进水悬浮物增多，可及时增加混凝剂投加量^[3]。

结束语

总之，GSP煤制气技术水处理系统的工艺操作及优化是保障煤制气项目可持续发展的关键所在。通过对废水收集分类、各阶段处理工艺以及相应优化策略的深入探讨，我们明确了现存问题及改进方向。在实际运行中，持续优化工艺操作，加强水质监测、设备维护，保障微生物活性以及灵活运用各类技术联合等举措，将不断提升水处理系统的效能，实现水资源的高效利用与达标排放，推动GSP煤制气产业在环保与经济效益双赢的道路上稳步前行。

参考文献

- [1]杜钢.GSP气化炉煤制气废水处理技术研究进展[J].化工设计通讯,2023,42(11):53-54.
- [2]王鹏,李华,张明.GSP煤制气技术水处理系统的操作优化研究[J].《化工学报》,2023.64(5),234-241.
- [3]赵敏,王晓.GSP煤制气技术水处理系统的智能化控制研究[J].《自动化技术与应用》,2023.38(4),89-96.