

煤气化装置中黑水角阀典型问题分析及优化



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: GE 水煤浆气化装置中, 黑水角阀为必不可少的关键设备, 其应用环境极为苛刻和恶劣: 黑水流经阀体前后, 压差高达 3.1MPa(G); 黑水通过阀芯的瞬间闪蒸成为气液固三相, 组分复杂并且具有强腐蚀性; 黑水流过阀芯的速度非常高, 对阀芯及阀内件造成的冲刷磨损非常严重; 黑水在扩张喇叭口体积膨胀汽化、在筒体底部受阻及温降部分液化, 产生气蚀现象造成较大冲击; 黑水闪蒸使固含量浓缩, 固体灰渣颗粒直接造成设备和管线的强冲刷。黑水闪蒸过程, 产生的相变及流体的不稳定性, 都会给设备、管道带来较大的振动。煤气化装置闪蒸系统能否稳定运行, 黑水角阀起着关键性作用! 黑水角阀在运行过程的安全性、稳定性至关重要, 黑水闪蒸过程对设备、管道都会构成极大的运行风险。本文重点介绍煤制氢装置投入正常生产运行后, 在生产过程中出现的几起典型问题, 通过对筒体穿孔、执行机构卡涩、仪表风管及阀杆断裂等问题进行研究分析, 琢磨应对措施及解决办法, 不断进行工艺优化及技术改进, 提高黑水角阀的工作可靠性, 从而保障煤气化装置高效稳定运行。

关键词: 黑水角阀; 阀芯; 阀杆; 腐蚀; 冲刷; 筒体; 磨损; 断裂; 膨胀

DOI: [10.57237/j.cse.2024.02.001](https://doi.org/10.57237/j.cse.2024.02.001)

Analysis and Optimization of Black Water Angle Valve in Coal Gasification Unit

Pang Gang*

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

Abstract: In the GE coal water slurry gasification unit, the black water angle valve is an essential key equipment, and its application environment is extremely harsh and harsh: black water flows through the valve body before and after, with a pressure difference of up to 3.1 MPa (G); Black water undergoes instantaneous flash evaporation through the valve core to form a gas-liquid solid three-phase system, with complex components and strong corrosiveness; The speed of black water flowing through the valve core is very high, causing severe erosion and wear on the valve core and internal components; Black water expands and vaporizes at the expansion bell mouth, is obstructed at the bottom of the cylinder, and partially liquefies due to temperature drop, resulting in cavitation and causing significant impact; Black water flash evaporation concentrates the solid content, and solid ash particles directly cause strong flushing of equipment and pipelines. The phase transition and fluid instability generated during the flash evaporation process of black water can cause significant vibration to equipment and pipelines. The black water angle valve plays a crucial role in ensuring the stable operation of the flash evaporation system in coal gasification equipment! The safety and stability of the black water corner valve during operation are crucial, and the flash

*通信作者: 庞刚, pangg.jjsh@sinopec.com

evaporation process of black water poses great operational risks to equipment and pipelines. This article focuses on several typical problems that occur during the normal production and operation of the coal hydrogen production unit. Through research and analysis of problems such as cylinder perforation, actuator jamming, instrument air duct and valve stem fracture, countermeasures and solutions are proposed. Continuous process optimization and technical improvement are carried out to improve the reliability of the black water angle valve and ensure the efficient and stable operation of the coal gasification unit.

Keywords: Black Water Angle Valve; Valve Core; Valve Stem; Corrosion; Scour; Cylinder Body; Wear and Tear; Fracture; Expand

1 前言

煤制氢气化装置采用美国 GE 公司水煤浆“非催化部分氧化法”工艺技术，以原料煤为生产原料，通过磨煤机制成水煤浆后，由泵加压输送到气化炉与空分装置来的纯氧在 $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 4.0MPa(G) 下进行气化反应生成粗合成气。装置配置有三系列磨煤制浆系统、三系列水煤浆气化反应系统、三系列合成气洗涤和黑水闪蒸系统；公用系统包括：高压氮气系统、烧嘴冷却水系统、高压冷凝液系统、除氧器系统及灰水处理系统。

黑水三级闪蒸处理流程是水煤浆气化装置连续安全运行的关键物料流程，闪蒸系统设计为三套（A、B、C），采用两开一备，与三系列气化相对应。黑水具有高温 $189\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、高压差 3.1MPa(G) 及黑水中固体悬浮渣颗粒较多的特性。黑水角阀便成为闪蒸系统稳定运行的重中之重！黑水角阀在正常运行过程中，阀门出现任何故障，都将威胁气化装置的长周期稳定运行。严重时，可导致气化装置被迫停工及安全事故的发生。

2 黑水工艺流程简介

来自气化炉激冷室的黑水与来自洗涤塔塔釜 4.0MPa(G) 的黑水减压至 0.9MPa(G) 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冷凝器冷却至 $173\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，再经高压闪蒸分离罐分离后，气相送至耐硫变换单元进一步处理，液相返回除氧器。

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。

低压闪蒸罐底部的黑水与渣池泵排出的黑水一同进入真空闪蒸罐，闪蒸压力控制在 -0.082MPa(G) ，闪蒸气经真空闪蒸罐顶冷凝器及真空闪蒸分离罐冷却分离后，气相经真空泵系统排放，液相经真空闪蒸罐顶分离器底泵送至除氧器。

黑水经过三级（高压闪蒸、低压闪蒸、真空闪蒸）闪蒸析出酸性组分、回收热量并浓缩固体后，经沉降槽给料泵送至沉降槽进行细渣的沉降分离。沉降槽上部清液溢流至灰水槽。

具体见下图 1：

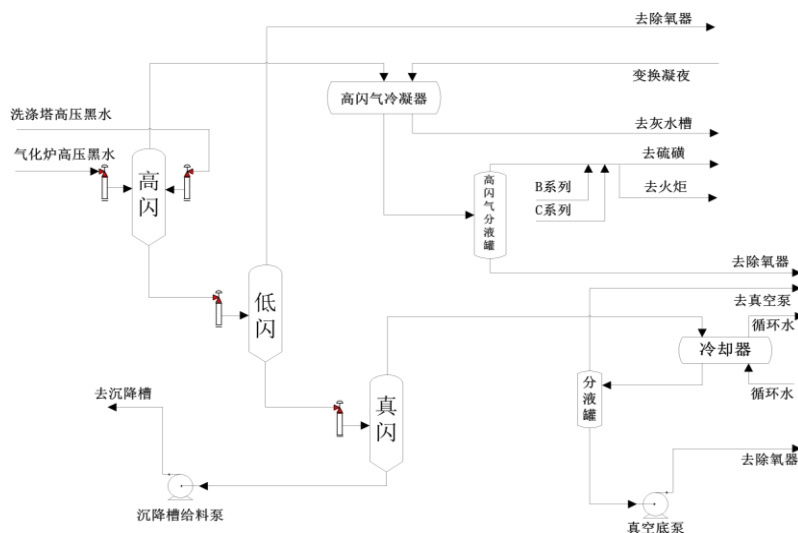


图 1 黑水工艺流程简图

3 黑水角阀应用说明及运行过程中极易出现的问题

GE 水煤浆气化装置黑水闪蒸流程中,黑水角阀是重要和关键的阀门。每套闪蒸系列都设计四个角阀:激冷室至高压闪蒸的黑水角阀、洗涤塔至高压闪蒸的黑水角阀、高压闪蒸罐至低压闪蒸的黑水角阀、低压闪蒸罐至真闪的黑水角阀。角阀应用在汽液固三相较为复杂的介质环境,黑水最高温度近 200℃,角阀前后物料形成的压力差较大,黑水中又悬浮夹带着大量的灰渣颗粒,流动过程中对管线、阀芯、筒体及底盖的冲刷相当剧烈[1]。同时,高压黑水在管道内部通过角阀扩散口时,释放降压又闪蒸大量酸性腐蚀气(CO 、 H_2S 等)。因此,角阀的材质选型要求相当严格和苛刻。考虑既要耐腐蚀,又要耐磨损[2]。在后期运行生产过程中,黑水角阀仍然可能导致各类异常状况出现:



图2 角阀筒体泄漏现场照片

3.2 黑水角阀阀芯及阀内件卡涩

角阀阀芯发生卡涩,瞬间导致闪蒸运行系列失控:黑水无法流动、物料中断、液位失调、压力失压,直接危及装置运行安全。角阀阀芯异常卡涩总共出现过两次,全部都发生在激冷室至高压闪蒸罐黑水角阀:

事件回顾:2021年6月18日,A系列高闪液位持续下降,气化炉激冷室液位缓慢上涨。现场操作人员立即检查黑水角阀开度并联系内操开关动作阀门,发现阀门开度指示与阀杆无动作。判断角阀阀芯及内件发生卡涩。黑水通过开工线循环维持运行,仪表维护

3.1 黑水角阀筒体穿孔泄漏

气化装置在黑水角阀筒体的材质选型上:进高压闪蒸罐的两个角阀筒体材质为 304 不锈钢;进低压闪蒸罐的角阀筒体材质选用 20#钢;进真空闪蒸罐的角阀筒体材质选用 20#钢。筒体发生穿孔泄漏,给装置安全生产带来严重影响[3]。低压闪蒸运行压力在 0.3MPa(G)左右,为保障装置稳定运行,采用带压注胶堵漏十分麻烦和不便,并且存在一定安全隐患。真闪角阀筒体多次冲刷减薄导致穿孔泄漏,严重破坏运行的真空度,负压减小、造成装置参数指标波动,影响装置正常运行[4]。关键真闪角阀筒体的穿孔点非常微小(细如发丝),难以判断和检测发现。通常靠单张卫生纸或超薄的薄膜,贴近筒身利用负压检测吸附情况,才能做出精准判断和发现泄漏点[5]。

人员多方努力,阀门打开后,装置恢复正常运行,高压黑水并入系统。(中控低限位 45% 阀位。)

2023 年 10 月 24 日,气化炉正常倒炉后,贯通高压黑水流程时,发现 B 系列高闪液位始终无上涨趋势。经过现场逐段管线进行排查,确认激冷室至高闪角阀处,管线温度异常低。初步判断阀芯与阀座卡死,黑水切出系统。利用气化炉激冷室与洗涤塔之间的开工线维持黑水循环。

3.3 黑水角阀仪表风管断裂

事件回顾:2022 年 4 月 21 日凌晨 4:32 分,当班

DCS 内操监盘发现闪蒸 C 系列高压闪蒸罐液位快速上涨，低压闪蒸罐液位下降，液位调节阀逐渐关小至 25% 低限位。经操作人员现场人员检查，角阀仪表风管接头位置，发生大量呲气。仪表风接口处几乎断开。

黑水角阀及管线一直出现较大的振动，仪表维护人员立即更换风管接头，紧急接管。快速恢复角阀仪表风供给，闪蒸工况运行逐渐正常。参数趋势见图 3：

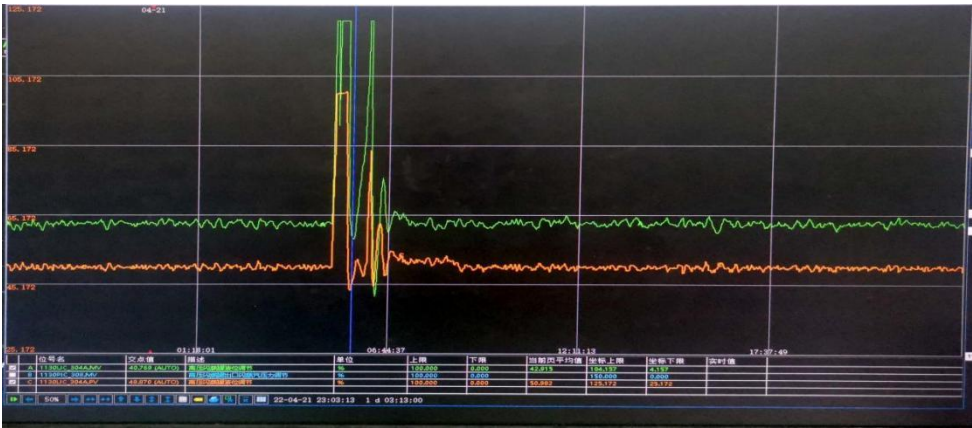


图 3 工况液位、角阀阀位开度趋势图

3.4 黑水角阀阀芯脱落

事件回顾：2019 年气化 B 系列投料后，洗涤塔至高闪黑水角阀脱落，根据中控流量判断为阀头脱落至阀腔内，未掉落至阀座，在该情况下，角阀在 0 至 100% 开度的流量均为 41 吨/小时（满量程）。由于洗涤塔至高闪流量的设计值为 19 吨/小时，故通过其前手阀将其流量节流控制在 21 吨/小时，维持工况运行。

2021 年 2 月 28 日，煤制氢装置气化 B 系列高闪液位调节阀阀芯脱落，阀杆动作、阀芯不动作，黑水无

法通过，高压闪蒸罐液位无法调节。由于现场截止阀不能完全隔离物料，气化 B 系列被迫停工。

3.5 黑水角阀阀杆断裂

事件回顾：2023 年 6 月 28 日 13: 45 分，高闪角阀显示阀门全开，液位快速上涨现象。操作人员立即现场排查，检查确认阀门阀杆与阀芯连接断开。进一步检查确认，气化装置 B 系列高闪液位调节阀阀杆断、阀芯脱落，阀杆上下动作（阀门开关）液位调节无变化，高闪液位无法调节，闪蒸 B 系列安全切出，紧急更换备用角阀。

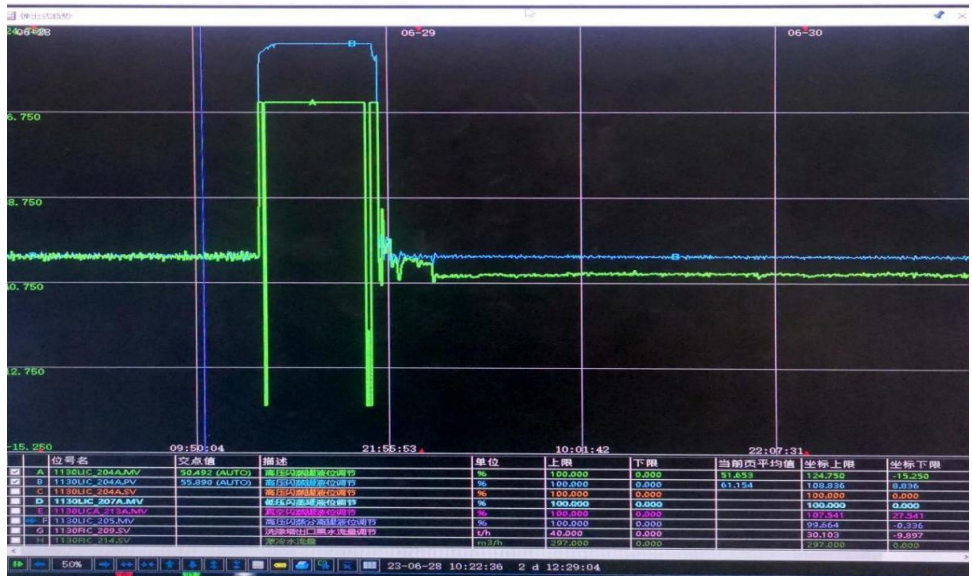


图 4 工况变化趋势图

4 原因分析及优化

黑水闪蒸系统是煤气化装置的配套物料流程单元,一旦闪蒸系统、特别是黑水角阀出现故障及异常。会直接导致工况大幅波动,甚至影响到气化装置的安全运行。通过对黑水角阀以往运行中发生的不同异常事件,总结分析内在原因,对角阀筒体及阀芯内件进行优化改进;创新管控异常状况下的处置措施;可以为气化装置的安、稳、长、满、优运行提供有力保障[6]。

4.1 黑水角阀筒体穿孔的原因分析及优化

黑水角阀筒体穿孔发生泄漏,非常普遍多发,这

与角阀的恶劣运行环境相关。高压黑水以水平角在角阀阀芯处变径节流并以向下垂直 90° 高速流过,在扩张口闪蒸体积膨胀进入角阀筒体。黑水汽化对筒体内壁及管线具有强气蚀冲击,设计之初,考虑材质的耐磨性、耐冲刷性,对角阀筒体采用 20#钢加厚。有些厂家甚至进行内衬、喷涂耐磨材料。黑水在进高压闪蒸罐之前经过角阀高压差的减压,必然发生闪蒸。黑水不仅具有严重的磨蚀性(悬浮固体灰渣颗粒),同时还具有一定的腐蚀性(闪蒸汽中含有 H_2S 、 Cl_2 等)[7]。

气化装置黑水角阀技术参数表 1 如下:

表 1 黑水角阀参数表

黑水角阀数据表						
位号	名称	型号规格	进口尺寸	出口尺寸	数量	筒体材质
I130LV102/202/302	激冷室至高闪角阀	SSCA-600#K-6"x12"	6"	12"	3	304 不锈钢
I130FV109/209/309	洗涤塔至高闪角阀	SSCA-600#K-4"x12"	4"	12"	3	304 不锈钢
I130LV104/204/304	高闪至低闪角阀	SSCA-300#K-8"x12"	8"	20"	3	20#钢
I130LV107/207/307	低闪至真闪角阀	SSCA-300#K-8"x12"	8"	24"	3	20#钢

4.1.1 角阀运行状况分析

装置自 2015 年投用至今,黑水闪蒸系统运行期间,先后多次出现角阀筒体穿孔泄漏。据统计(三个系列):6 台进高闪角阀,未发生穿孔现象;3 台进低闪角阀,只有 B 系列发生一次穿孔泄漏;3 台进真闪角阀,三个系列都多次发生穿孔泄漏。煤制氢装置在基础设计时,对业内多家企业充分论证比较,听取合理建议,角阀筒体提前从以下几点做了设计改动:

- (1) 适度延长角阀筒体长度。黑水高速流过阀芯后,体积膨胀需要较大筒体空间释放,满足高温黑水闪蒸减压需要。建议筒体长度为入口管线直径的 6 倍[8]。
- (2) 角阀筒体直径与进口的尺寸选择,筒体的直径为进口管线的 3 倍(综合考虑黑水压力、扩张口角度、筒体长度等因素)。
- (3) 角阀筒体底盖内面贴附耐冲刷衬板。黑水闪蒸向下喷射冲刷长度不确定,底部加厚内衬[9]。

从表 1 可以看出,6 台进高闪角阀筒体都是 304 不锈钢材质。3 台进真闪角阀筒体和 1 台进低闪角阀筒体发生穿孔泄漏,材质都是 20#钢。运行实践证明,304

不锈钢在角阀筒体应用,只要筒体选型满足要求,冲刷磨损现象将明显降低[10]。

4.1.2 黑水角阀进一步优化措施

- (1) 加强巡回检查和定期对筒体各部位测厚检测。
- (2) 利用单系列检修期间,对发生泄漏的角阀筒体,全部进行材质升级,更新 304 不锈钢筒身[11]。





图 5 筒体更新前后照片

4.2 黑水角阀阀芯及阀内件卡涩的原因分析及优化

阀芯是阀体借助它的移动来实现方向控制、压力控制或流量控制的基本功能的阀零件。借助阀芯将高压黑水进行节流减压，通过扩散喇叭口进入角阀筒体汽化[12]。灰渣含量高、流道容易被固体杂质卡涩，导致阀芯无法调节动作。

4.2.1 原因分析介绍

闪蒸系统工况波动大，黑水角阀在使用过程中，存在部分胶制物附着在阀座上，一旦角阀开度过小，阀芯和阀座间形成胶合，在执行机构选型偏小的情况下，极易卡涩，导致阀芯卡死在阀座上。为避免阀芯及阀内件卡涩，必须对角阀设置低限位开度[13]。

4.2.2 优化措施

1、对气化系统自动控制的黑水角阀进行限位，防止发生低阀位阀芯卡涩。具体限位如下表：

阀门位号	阀门名称	正常开度/%	限位开度/%
1120LV102/202/302	气化炉黑水角阀	40	23
1130LV104/204/304	高闪黑水角阀	45	20
1130LV107/207/307	低闪黑水角阀	33	5
1130FV109/209/309	洗涤塔黑水角阀	40	5

- 2、操作过程不可太快，需要及时调整激冷水量，防止系统波动过大。
- 3、定期在停车后对角阀内衬及罐体进行检查，发现隐患及时处理。

4.3 黑水角阀仪表风管断裂的原因分析及优化

4.3.1 原因分析

黑水管线位差大，框架高低跨度近 30 米。黑水流程较长，前后压差大。闪蒸过程激烈，管线支撑及吊架多，存在振动大问题。角阀仪表风管断裂与阀门及管线振动有直接关系[14]。

4.3.2 优化措施

- 为减小管线振动，严格管控运行参数，杜绝系统物料大幅波动。同时，增加以下改进：
- (1) 角阀筒体底部安装可调式减震装置，减轻振动。
 - (2) 对原有吊架前后，增加固定支撑。
 - (3) 强化巡回检查，及时发现解决振动问题。

4.4 黑水角阀阀芯脱落的原因分析及优化

第一次角阀阀芯脱落阀头未脱落至阀腔内，没有封堵阀体内黑水流道。通过现场截止阀控制满足运行流量，故障角阀运行至检修处理。以下重点对第二次阀芯脱落进行分析。

故障角阀参数如表 2：

表 2 角阀参数

设备名称	高闪液位调节阀	设备位号	1130LV204
设备基础数据			
型号	SSCA-300#K8X20	结构形式	Sweep Angle（侧进底出）
介质温度	178℃	介质	黑水
执行机构形式	单作用气动活塞	阀体材质	A351-CF3
阀芯材质	Tungsten Carbide	阀前/阀后（设计）压力	0.8MPa/0.3MPa
最大流量	90000KG/H	投用时间	2015.10

设备运行数据			
作用简述	高压闪蒸罐底部黑水经此阀进入低压闪蒸罐根据阀位调节高闪液位		
额定流量	90000KG/H		

4.4.1 原因分析介绍

气化B系列高闪液位调节阀无法调节,切出检修,检查发现阀芯、阀杆无磨损变形,阀芯密封性完好,阀芯与阀杆断开,阀杆螺纹连接处螺纹未见明显损坏,但阀杆旋入阀芯后连接不可靠,有一定晃动,安排更换新阀杆与阀芯,并在阀杆与阀芯螺纹连接处点焊一圈,加强连接的可靠性[15]。阀门回装后运行正常。见下图:



螺纹连接松动但完好



阀芯正常(无插销)

图6 角阀内件拆检照片

发生故障原因分析:

- (1) 角阀振动大,导致阀芯与阀杆连接松动。
- (2) 阀芯与阀杆连接定位不合理,仅仅采用螺纹连接,容易断开。

(3) 角阀支撑效果一般,无法很好地减少角阀振动。

4.4.2 优化应对措施

- (1) 将阀芯与阀杆组装完成后采用电焊定位,加固阀芯与阀杆连接部位。
- (2) 及时发现处理支撑、仪表等问题。
- (3) 增加角阀的阀杆直径,加大阀杆与阀芯的连接面积,提高连接强度。

4.5 黑水角阀阀芯杆断裂的原因分析及优化

4.5.1 原因分析

黑水角阀阀芯杆断裂为首次出现,断裂后角阀无法调节,严重影响装置生产。通过拆检并解体阀门,查看阀门内件损坏情况,判断管道振动大,导致阀杆发生断裂。

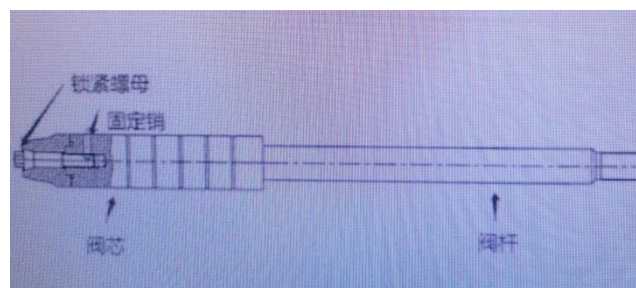


图7 阀杆结构照片

4.5.2 优化改进措施

与角阀厂家沟通决定优化改造:更换加粗阀芯杆;更换阀芯形式;更换内件上阀盖与连接块。阀内件改造如下表3:

表3 阀内件改造前后数据表

改造项	改造前	改造后
阀杆尺寸	24mm	50mm
阀芯材质	316SS	316L
阀杆材质	316SS	316L
内件阀芯头连接方式	销键固定	埋头螺栓

5 结束语

通过对黑水角阀在生产实际中的常见故障进行分析研究,针对具体问题提出相应的改进措施:如筒体磨损既可从材质升级提升筒体抗腐蚀能力来考虑,亦可合理设计筒体直径与进口管线比例来降低黑水闪蒸造成的冲击,同时还需依据实际使用情况来决定检修频次及检修深度,不断调整每一次的检修策略;如阀门卡涩需要摸索每套装置的运行情况,根据物料粘度、组分及阀门常用开度来合理设置阀门下限及PID响应时间,在满足生产运行的情况下避免阀门频繁动作及开度过小,降低阀门发生粘结、工况不稳定的可能性;如黑水系统设备、管道振动大可从支撑选型改型、支撑设置布局、优化管路流程等方面进行考虑,以此来降低黑水系统的振动,提高相关设备、管道的可靠性;如阀芯脱落、阀杆断裂可要求阀门厂家进行强度计算,对原有阀芯、阀杆的连接方式进行加固改造,如增加满焊连接,加大阀杆直径,升级阀芯、阀杆材质,或是改为其他更为牢固的连接方式,尽一切可能提高阀芯、阀杆的耐用度[16]。煤制氢气化装置在一次次摸索中创新改进,通过实践得出了一些应对黑水角阀故障的解决办法,部分办法或不成熟或有很大的改进提升空间,后期将结合生产需求继续钻研探索,为装置的安稳长满优运行提供助力。

参考文献

- [1] 邹殿超. 煤气化黑水角阀损坏原因与优化方案 [J]. 石油化工自动化. 2018(6): 82-85.
- [2] 明赐东. 调节阀计算、选型、使用 [M]. 成都: 科技大学出版社, 2011.
- [3] 曹辉, 杨胜, 钱威. 黑水闪蒸系统角阀损坏原因及处理 [J]. 阀门. 2014(02): 41-42.
- [4] 张欢园, 王成, 韩波浪. 煤气化装置黑水系统改进与优化 [J]. 化工管理. 2017, 9: 7-8.

- [5] 何奖爱. 材料磨损与耐磨材料 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2001.
- [6] 王勇. 水煤浆气化装置运行中的问题探讨 [J]. 大氮肥. 2011, 34(4): 284-285.
- [7] 许祥静. 煤气化生产技术 [M]. 2 版, 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [8] 王永洲. 煤气化装置中黑水角阀内部流场优化研究 [J]. 煤化工. 2015, 43(2): 24-26.
- [9] 宁哲. 五环炉煤气化装置黑水处理系统问题分析 [J]. 化肥设计. 2016, 54(4): 55-57.
- [10] 白挥侠. 黑水角阀在煤气化工艺中的选型与应用 [J]. 仪器仪表用户. 2023, 30(1): 50-54.
- [11] 梁安, 陈翠. 水煤浆气化装置中黑水调节阀损坏原因分析与改进方案 [J]. 工业仪表与自动化装置. 2020(04): 96-99.
- [12] 刘建兵. 黑水调节阀选型与计算的探讨 [J]. 石油化工自动化. 2014, 50(04): 24-27, 30.
- [13] 祁晓辉. 气化炉黑水排放管线结垢分析与处理 [J]. 煤化工. 2010. 38(3): 53-55.
- [14] 李波. 气化装置激冷流程黑灰水处理常见问题及处理措施 [J]. 氮肥与合成气. 2019, 47(7): 22-23, 26.
- [15] 李云峰, 李亚辉. 煤化工装置黑水角阀磨损原因分析及处理措施 [J]. 化肥工业. 2011, 7(07): 33-34.
- [16] 田进虎. 德士古水煤浆气化流程技术新进展 [J]. 中国石油和化工标准与质量. 2013(21): 268.

作者简介

庞刚

1975 年生, 九江石化公司煤制气首席技师. 研究方向为煤制氢生产运行及维护工作.

E-mail: pangg.jjsh@sinopec.com