

空分设备氩系统工况不稳定问题及调整方案研究

杨巧珍

浙江巴陵恒逸己内酰胺有限责任公司 浙江 杭州 311228

摘要:空分装置氩系统工况波动涉及粗氩塔、精氩塔等多单元协同运行,组分偏移、传质失衡与负荷错配是主要表现。本文围绕氩馏分波动、塔内工况紊乱及系统负荷失配等问题展开分析,梳理主塔扰动、参数偏差、设备衰减与环境干扰等诱因,提出主次参数协同调控与扰动前置干预的调整逻辑,并从主塔联动、馏分修正、塔器平衡及负荷适配四个维度制定专项调整方案,为氩系统稳态运行提供技术参考。

关键词:空分设备;氩系统;工况调整;精馏平衡;动态调控

引言:氩系统作为空分装置的关键提纯单元,承担着将粗氩逐步精炼至高纯液氩的核心任务。该系统对上游主塔工况、工艺参数匹配及设备运行状态高度敏感,任一环节出现偏移都可能引发连锁波动。实际运行中,氩馏分组分漂移、粗氩塔与精氩塔传质失衡、系统负荷错配等问题反复出现,严重制约成品液氩品质的稳定性。围绕工况波动的表现形式与诱因开展系统分析,并提出针对性调整方案,对于保障氩系统长期平稳运行具有工程实用价。

1 空分设备氩系统工况不稳定的主要表现形式

1.1 氩馏分组分波动表现

氩馏分是空分氩系统原料供给的核心介质,组分状态直接决定系统运行状态。正常运行阶段的氩馏分内部各类气体组分保持固定的分布状态,组分占比维持平稳状态。系统出现运行异常时,氩馏分内部氧氮含量比例会出现持续性的动态变动,惰性杂质气体的含量也会出现无序变化^[1]。原料空气的精馏分离状态出现偏移后,馏分内部有效组分的富集程度会持续改变,造成进入粗氩精馏单元的原料介质品质无法保持统一。介质组分的持续变动会让后续精馏单元的物料输入状态处于无序状态,破坏氩系统精馏分离的持续平衡状态。

1.2 粗氩塔运行工况波动表现

粗氩塔承担液氩初步提纯分离的核心作用,塔内运行参数的平稳状态是保障提纯质量的基础。氩系统出现工况异常时,粗氩塔内部气相与液相介质的交换状态会出现紊乱,塔内压力分布状态出现持续性偏移。塔板区域的气液接触状态无法保持均衡,液相回流与气相上升的传递状态出现失衡,塔内换热传质过程无法稳定开展。塔内介质流量的动态变化会造成提纯作业的分离精

度持续改变,初步提纯后的粗氩介质纯度无法维持稳定标准,直接影响后续精氩提纯工序的作业基础条件。

1.3 精氩塔运行工况波动表现

精氩塔负责完成粗氩介质的深度提纯作业,是保障成品液氩品质的关键设备。精氩塔运行出现不稳定状态时,塔内传质换热体系会出现持续性紊乱,内部介质的提纯分离进程无法保持平稳推进。塔内不同层级的介质浓度分布状态持续变动,杂质气体的脱除程度出现动态变化,深度提纯的作业质量难以保持统一。提纯过程中介质的流动状态与换热状态的无序变动,会造成成品液氩的纯度指标出现浮动,无法维持工业生产所需的稳定品质标准。

1.4 氩系统整体负荷匹配异常表现

氩系统整体运行依托各单元工序的负荷适配实现平稳运转,各设备单元的运行负荷需要保持协调统一的状态。系统工况出现不稳定状态时,上下游设备单元的运行负荷无法形成合理适配,物料输送与处理能力出现失衡状态。前端精馏单元的物料输出状态与后端提纯单元的物料处理状态无法对应,系统整体的物料循环体系出现紊乱。各单元运行负荷的不协调状态会让整套氩系统的运行节奏持续偏移,设备运行状态无法保持平稳,系统整体运行工况持续偏离标准运行状态。

2 空分设备氩系统工况不稳定的诱因分析

2.1 上游主塔工况扰动诱因

空分装置主精馏塔承担空气初步分离与液氩原料富集的核心功能,运行状态对氩系统稳态运行存在直接影响。主塔内部气液传质平衡出现偏移后,精馏段与提馏段内部的物料分离效率会出现无序变化。精馏流程内部

物料分配比例产生变动,会直接改变馏分采集区域的气体组分结构,让输入氩系统的原料介质品质产生不规则波动^[2]。主塔内部操作压力与物料输送速率产生细微浮动,都会沿着成套物料输送链路传导至后端氩系统,破坏氩馏分生成过程中的动态平衡。精馏体系固有稳态结构出现失衡后,原料供给质量与输送状态无法保持恒定,逐级影响粗氩提纯与精氩提纯工序,造成氩系统整体运行工况出现紊乱。

2.2 氩系统工艺参数匹配异常诱因

氩系统完整工艺流程依靠各类工艺参数的精准适配与协同调控维持稳定运行状态。整套系统运行过程中各项控制参数均处于动态浮动区间,参数数值需要维持在合理适配范围,方可保障精馏作业有序推进。人工调控或自动调控环节出现参数设置偏差,脱离适配区间后,会直接改变塔内气液传质、热量交换的基础运行条件。塔内介质回流力度、介质输送流量等关键控制指标出现适配失衡,会打乱粗氩塔与精氩塔内部的精馏提纯节奏。各项工艺参数形成的联动调控体系出现紊乱后,精馏单元的组分分离效率会产生不规则浮动,引发系统内部物料处理节奏失衡,持续诱发各类工况波动问题。

2.3 设备本体运行异常诱因

塔器设备、介质输送构件与换热设备共同组成氩系统的硬件运行体系,设备整体工作状态直接决定工艺流程推进的稳定程度。设备长期连续运行后,内部核心构件会产生不可逆的性能衰减,塔板物料流通能力、换热构件热量传导能力均会出现逐步弱化。流体输送构件工作状态出现偏移,会降低系统内部介质输送的均匀程度,造成塔内介质分布状态失衡。设备密封结构长期服役后会出现密封性能弱化,引发内部微量介质外泄或外界空气渗入,改变塔内固有物料组分结构与压力环境。硬件设备产生的各类运行异常,会持续干扰塔内精馏作业环境,破坏氩系统维持稳态运行的基础条件。定期开展设备性能评估与预防性维护,是降低此类诱因发生频率的有效手段。

2.4 介质与环境条件干扰诱因

生产工况下原料空气的基础状态变化会对氩系统运行产生直接干扰,空气洁净程度、温度湿度条件的细微改变,都会干扰前置精馏单元的分离精度。原料介质内部杂质组分出现无序增减,会提升氩系统深度提纯的作业负荷,弱化组分分离的精准程度。装置所处外部环境的温度波动会直接作用于换热设备工作状态,环境温度出现大幅浮动时,系统换热体系的热量交换效率会产生

明显变化。外部环境产生的各类扰动因素会渗透至系统内部工艺流程,改变原有物料传质与热量交换平衡,持续干扰整套氩系统的稳定运行,成为诱发工况波动的重要源头。季节交替期间此类干扰尤为集中,是工况波动的高发时段。

3 空分设备氩系统工况动态调整原则与调控逻辑

3.1 工况调整的核心原则

空分氩系统的工况动态调整需要贴合精馏工艺的内在运行规律,建立科学的调控准则支撑系统长效稳定运行。调控操作开展过程中需要贴合装置整体运行特性,保持氩系统与上游主塔精馏体系的运行统一性。各类参数调整操作需要遵循小幅微调的操作思路,杜绝大幅度参数改动引发的工艺震荡。调控工作需要兼顾系统运行安全性与生产稳定性,所有操作动作均围绕维持气液传质平衡、稳定物料组分状态展开^[3]。工艺调控需要贴合设备固有运行性能,规避超出设备承载能力的操作行为,让每一项调控动作都可以适配当下装置运行状态,保障氩系统精馏提纯流程平稳推进。同时,调整操作应做好完整记录,便于后续复盘分析与参数优化。

3.2 主次参数协同调控逻辑

氩系统内部涵盖多项相互关联的工艺参数,不同参数对精馏工况的影响程度存在明显区分。工艺调控过程中需要区分参数影响层级,明确关键参数与辅助参数的调控优先级。压力流量等直接影响传质效果的核心参数,需要作为调控工作的重点管控对象,维持参数运行的平稳状态。组分温度等辅助参数需要配合核心参数完成联动调控,补齐单一参数调控存在的适配短板。依托参数间的内在联动关系搭建协同调控模式,弱化单一参数变动带来的工况波动,让整套系统的参数体系始终处于适配精馏作业的合理状态。

3.3 扰动前置干预调控逻辑

氩系统工况波动大多存在前期征兆,各类内外扰动因素会逐步改变系统运行的平衡状态。前置干预调控依托工艺运行状态变化规律,捕捉工况偏移的细微变化,提前开展调控修正工作。针对上游主塔工况波动、介质状态变化等常见扰动源头,建立针对性的预判调控模式。依托工艺运行的动态变化特征,提前修正相关工艺参数,抵消各类扰动因素对精馏体系造成的负面作用。前置干预模式可以改变传统滞后调控的运行弊端,持续维持氩系统内部传质换热体系的平衡状态。

3.4 多工况适配调控逻辑

空分装置实际运行过程中会面临多样化的运行工

况,不同运行负荷与外界环境会形成差异化的工艺运行条件。多工况适配调控需要结合装置运行的动态状态,灵活调整调控策略与参数区间。系统高负荷低负荷的切换阶段,需要适配工况变化调整精馏单元的运行参数,匹配当下物料处理强度。外界环境以及原料介质状态出现变动时,调控模式需要同步完成适配调整,保障精馏分离精度不受工况切换影响。柔性化的调控模式可以适配复杂多变的生产工况,提升氩系统对各类生产条件的适应能力,维持提纯作业的连续性与稳定性。这一逻辑尤其适用于变负荷运行场景,是保障系统弹性的重要调控思路。

4 空分设备氩系统工况不稳定专项调整方案

4.1 主塔工况扰动对应的氩系统调整方案

主塔工况波动会改变原料气源的输送状态与组分结构,是引发氩系统工况偏移的核心外因。针对主塔精馏状态变动带来的工况干扰,需要建立联动式工艺调整方式,弱化前端扰动对后端提纯单元的影响^[4]。紧盯主塔内部精馏负荷与物料分配状态的动态变化,对氩馏分抽取强度进行精细化微调,匹配主塔实时物料产出状态。结合主塔压力与气流输送状态的变动规律,适度优化粗氩塔进料状态,保障进入氩系统的物料流量保持平稳。依托主塔精馏运行的动态变化节奏,微调氩系统内部换热与传质条件,让氩系统精馏环境适配前端物料供给的变动状态,维持提纯流程的平稳推进。

4.2 氩馏分异常波动调整方案

氩馏分组分与流量的无序波动会直接破坏各级氩塔的精馏平衡,造成提纯精度持续偏移。应对馏分异常波动需要从物料源头与系统适配两个维度开展工艺调整。对馏分采集区域的物料富集状态进行动态把控,修正采集参数以稳定原料组分构成。针对馏分流量出现的浮动变化,逐步优化系统进料管控模式,弱化流量波动对塔内传质体系的冲击。结合馏分内部杂质含量的变动情况,微调粗氩塔回流运行状态,强化杂质分离处理能力。持续稳定原料介质的输入品质,让氩系统精馏作业始终处于可控的运行环境,规避组分波动引发的工况紊乱。

4.3 粗氩、精氩塔工况失衡调整方案

粗氩塔与精氩塔作为液氩提纯的核心单元,工况失衡会直接影响整套系统的运行稳定性。针对粗氩塔内部气液传质失衡的问题,可通过微调塔内回流力度与介质输送速率,重塑塔内稳定的传质换热体系,恢复初步提

纯作业的平衡状态。根据塔内压力分布与介质分离状态的变动,修正设备运行参数,改善塔板气液接触效果,提升初级提纯作业的均匀性。精氩塔出现工况偏移时,针对性调整深度提纯阶段的运行参数,优化杂质脱除的作业条件。协调两级塔器的运行节奏,保持粗提纯与深度提纯工序的工艺适配性,消除单塔工况异常带来的连锁干扰。

4.4 系统负荷异常与设备扰动调整方案

系统负荷失衡与设备运行异常会从硬件运行与工艺匹配层面,干扰氩系统稳态运行。处理负荷异常问题需要梳理各单元物料处理能力,逐步调节系统整体运行负荷,平衡上下游物料输送与处理节奏,消除负荷错位引发的工艺波动^[5]。针对输送设备换热设备运行状态偏移带来的扰动,微调工艺运行参数适配设备实时运行性能,弥补设备性能波动造成的工艺偏差。结合设备长期运行产生的性能变化,优化系统参数调控区间,提升工艺体系对设备运行波动的包容能力。规整整套系统的负荷适配结构,弱化设备运行偏差与负荷变动带来的负面干扰,维持氩系统全流程的稳定运行。

结束语

氩系统工况调整是一项涉及多单元协同、多参数联动的系统性技术工作。从主塔扰动的源头管控到氩馏分波动的中段修正,从双塔传质失衡的局部调控到系统负荷异常的全局协调,各环节的参数微调相互关联、彼此制约。将小幅微调原则贯穿调整全过程,依托主次参数协同与扰动前置干预的调控逻辑,能够有效抑制工况波动的逐级传导。工艺调控与设备维护的同步推进,构成氩系统维持长期稳定运行的技术基础,也是空分装置提升产品品质与运行可靠性的关键路径。

参考文献

- [1] 徐宪章,王利荣.提升内压缩空分设备变负荷制氩系统稳定性的研究及应用[J].云南冶金,2025,54(5):154-157.
- [2] 王利荣.空分制氩系统操作优化研究及应用[J].云南冶金,2023,52(2):177-183.
- [3] 王倩.空分岗位粗氩塔氮塞的原因及处理方法[J].氮肥与合成气,2026,54(4):58-60.
- [4] 周金城,刘江淮,王胜利.空分设备国产化技术改造总结[J].低温与特气,2024,42(5):37-40.
- [5] 贾丹.空分装置预冷系统冷冻水流量下降原因及对策[J].河南化工,2022,39(1):39-40.