

空分装置主换热器堵塞防范措施及经济性分析

杜正富 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578001)

摘要: 堵塞故障是空分装置主换热器使用中的常见问题, 该问题将会导致装置停车、生产中断等, 这不仅会对企业生产连续性造成不利影响, 严重时甚至还会引发安全事故。基于此, 本文就空分装置主换热器堵塞问题产生原因展开探究, 分析主换热器堵塞防范措施, 同时就经济性做出分析, 研究中将从成本投入、生产经济效益等方面出发构建经济性分析框架, 实现防堵塞措施落实后投入产出比的量化, 旨在为主换热器的稳定运行提供技术支持。

关键词: 空分装置; 主换热器; 堵塞问题; 防范

中图分类号: TQ051.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2026) 009-0112-03

Prevention Measures and Economic Analysis of Main Heat Exchanger Blockage in Air Separation Units

Du Zhengfu (China Petrochemical Hainan Refining & Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578001, China)

Abstract: Blockage is a common issue in the operation of main heat exchangers in air separation units, which can lead to plant shutdowns and production interruptions. This not only adversely affects the continuity of enterprise production but may even trigger safety accidents in severe cases. Based on this, this paper explores the causes of main heat exchanger blockage in air separation units, analyzes preventive measures against blockage, and conducts an economic analysis. The study constructs an economic analysis framework from aspects such as cost input and production economic benefits, aiming to quantify the input-output ratio after implementing anti-blockage measures, thereby providing technical support for the stable operation of the main heat exchanger.

Keywords: Air separation unit; main heat exchanger; clogging issue; prevention

空分装置的主要作用是实现空气的深度分离与提纯。目前, 空分装置已经广泛应用到钢铁、化工以及电力等领域, 而主换热器作为空分装置的核心部件, 其运行状态将会对空分装置的整体性能与能耗水平造成一定的影响。例如, 受到原料空气杂质、工况波动等因素的影响, 在实际使用中空分装置主换热器非常容易出现堵塞情况, 且这已经成为制约空分装置高效运行的重要阻碍。目前, 企业针对主换热器堵塞问题多以事后检修为主, 这种理念易使堵塞问题反复出现。随着工业生产向绿色低碳方向转型升级, 提质增效已经成为诸多企业的重要发展目标, 而如何在主换热器堵塞问题中树立前瞻性理念, 从更为经济、高效的方向防控堵塞问题, 则成为企业空分装置管理中的重要课题。

1 空分装置主换热器工作原理

空分装置的主换热器是化工、电力等行业生产中常见的热量交换设备, 其工作原理以热力学中的热量传递定律为基础, 在主换热器中通常采用逆流换热方式, 这种换热方式能够使冷热流体在尽可能大的温差下进行热量交换, 由此不断提升换热效率。以板式主换热器为例, 该换热器的内部结构非常复杂, 大量的翅片与隔板组成了相互独立又紧密相关的通道, 工作中高压和低压空气经过净化后会从主换热器的一端

进入, 而液氧、液氮和污氮气等低温反流气体则会从另一端进入并与高压空气进行逆向流动。在这种情况下高压和低压空气中的热量会随着翅片等传递给低温反流气体, 并使高压和低压空气温度不断下降, 而反流气体则会被加热, 在回收冷量后以常温形式排出冷箱^[1]。

2 主换热器堵塞原因解析

2.1 杂质入侵

空气中存在杂质是导致主换热器堵塞的首要原因, 通常情况下空气中存在气体杂质以及灰尘等固体杂质, 这些杂质如果前端系统处理不到位会进入主换热器中, 杂质的不断累积后主换热器就会出现堵塞情况。虽然空气在进入空分装置前会经过过滤设备, 但是仅凭过滤设备很难完全过滤空气中的全部杂质, 灰尘等细小颗粒会随着空气进入主换热器中, 并在气流作用下沉积在翅片等部位, 杂质长时间堆积后将会减小通道截面积, 此时气流阻力将会变大, 进而对换热效率造成影响。

此外, 空分装置中的分子筛主要作用是吸附水分、二氧化碳等杂质, 但是在工作中如果分子筛受到磨损、破碎等影响会产生粉末, 而这些粉末会随着气流进入主换热器中, 且由于这些粉末的吸附性较强, 因此非常容易附着在换热器表面中, 由此引发堵塞情况^[2]。

在特定情况下空气中的水分和二氧化碳等杂质也会造成堵塞情况,当空气进入主换热器后,随着温度的降低,空气中的水分和二氧化碳会转化成冰和干冰,这些杂质会逐渐堆积到换热器的通道中并引发阻塞问题,在这种情况下设备的换热效果将会发生严重恶化。

2.2 操作不当

操作不当也是引起主换热器堵塞的重要原因。首先,在空分装置启动阶段的升降压速度控制不当将会导致主换热器内部气流冲击过大,如升压速度过快时高压空气将会瞬间进入主换热器,此时将会对换热器的翅片与通道造成冲击,严重时翅片将会出现变形、位移甚至损坏情况。相反在快速降压过程中将会产生负压,此时外部空气将会被倒吸到设备中并带来更多杂质,由此造成主换热器堵塞。

其次,空分装置停车阶段升降压速度控制不当同样会引发堵塞问题,如在降压速度过快的情况下主换热器内的反流气体无法排出,这些气体便会在设备内产生高压区域并形成较大热应力,这种情况下将会对换热器的密封件、管道连接等造成影响,同时灰尘等杂质会进入主换热器中,由此引发堵塞问题。

最后,空分装置运行阶段负荷调整幅度过大也会引发堵塞问题,负荷突然增加情况下进入主换热器的空气量将会大幅提升,因此进入设备的杂质质量可能也将增加,并且负荷突然变化是引发热应力变化的重要原因,长时间的热应力变化将会对换热材料的稳定性与强度造成影响,进而加大造成堵塞的可能性。相反负荷突然降低也容易引起堵塞,这主要是因为负荷下降后主换热器内的气流速度减少,杂质更容易积聚在换热器表面,在这种情况下主换热器也会出现堵塞风险^[3]。

2.3 设备老化与维护缺失

空分装置在经过长时间运行后会出现老化情况,而设备密封件老化、管道磨损等均会引发堵塞问题,此外,部分空分装置的使用环境较为复杂,因此在使用过程中必须要做好维护管理工作,而维护不当同样会引发堵塞问题。

首先,设备密封件老化将会对设备密封性造成影响,此时大量外部杂质将会进入设备内部并造成堵塞,如主换热器与管道连接处的密封圈老化后将会出现缝隙,此时空气、水分中的杂质将会随着缝隙进入主换热器中,经过长时间的累积后便会引发堵塞问题。

其次,管道在使用过程中会出现磨损情况,长期的磨损将导致管道内壁变薄,当杂质进入设备后将会吸附在磨损部位内并引发堵塞^[4]。

最后,维护不当是导致主换热器堵塞的常见原因,通过定期清理主换热器能够有效清除杂质,相反若清

理不及时,那么换热器中的杂质便会长期积聚并导致堵塞。

3 空分装置主换热器堵塞防范措施

3.1 优化预处理系统

预处理系统优化是控制杂质进入主换热器,进而避免换热器堵塞的重要途径。首先,需要做好空气过滤器优化管理,空气中含有灰尘、粉尘等大量杂质,而这些杂质又是造成主换热器堵塞的首要原因,传统空气过滤装置在过滤精度上存在局限性,因此需在过滤装置中采用高效过滤材料,如由纳米纤维材料为主的过滤器,这种材料的孔径较小且比表面积较大,能够高效过滤空气中的灰尘等各类杂质,且过滤效率要明显优于传统空气过滤装置。此外,可通过多级过滤也能够提升过滤效果,如可设置初级、中级与高级三级过滤层,初级过滤层负责过滤颗粒较大的杂质,中级过滤层则负责过滤粒径中等的杂质,高级过滤层则负责过滤空气中的细小颗粒。在预处理系统优化中通过采取多级过滤方式能够有效提升过滤效果,由此降低灰尘等杂质对主换热器的影响。

其次,优化分子筛纯化系统能够防止因气体杂质而引起的堵塞问题。研究表明吸附温度与压力将会直接影响分子筛的吸附效果,因此需要通过科学控制吸附温度与压力以不断提升分子筛的吸附容量与吸附效率。此外,需要做好分子筛活化,经过长时间的使用后分子筛的吸附性能将会大幅下降,这是因为分子筛中的吸附点会被杂质占据,因此通过定期清理分子筛杂质能够有效确保其吸附力。分子筛常见活化方式为加热再生,即在将分子筛加热到一定温度后其吸附的杂质将会自动脱落,通常情况下分子筛的活化周期为3—6个月,一方面需要充分保证活化时间,另一方面还需要严格控制加热温度,也要保证分子筛的冷吹峰值,防止因温度过高而损坏分子筛^[5]。

3.2 规范操作流程

操作方式不当是导致主换热器堵塞的重要原因,为此,需要从设备启动、停车、负荷调整等方面入手做好操作规范,同时明确各操作环节的要点,避免因操作不当而造成主换热器堵塞。首先,在空分装置启动阶段需严格控制好升降压速度,通常情况下设备升压速度要维持在0.05MPa/min—0.1MPa/min,而降压速度则需要控制在0.03MPa/min—0.05MPa/min,通过保持这一速度能够有效避免因压力变化而造成气流冲击。其次,在停车前首先需要控制好装置负荷,确保主换热器内的气流速度与温度处于平稳状态,在确保平稳后进行降压操作,降压过程中需要关注主换热器的密封状况,避免因降压过快而对密封件性能造成影响。

在停车后检查主换热器的密封情况,防止密封件因老化、损坏等原因而使杂质进入设备。最后,在负荷调整阶段需要严格按照缓慢、平稳原则进行调整,通常情况下单次调整幅度不能超过装置额定负荷,且在调整操作过程中需切实关注设备的温度、压力以及流量等参数,以此确保设备运行稳定性。

3.3 做好设备维护

针对因设备老化、维护缺失而引发的堵塞问题,首先需要做好定期巡检制度,主换热器的巡检周期需严格按照空分装置的运行情况等决定,如针对运行较为稳定的主换热器,需做到每天巡检一次,而针对运行环境较为复杂、故障风险概率较高的主换热器则需要适当增加巡检次数。在巡检过程中需要重点做好外观检查,尤其是要检查外观是否存在变形等情况,同时做好连接处检查,查看螺栓、螺母等是否存在松动等情况。此外,需要设定合理的温度、压力监测参数,一旦主换热器工作参数超出正常范围,应当及时分析异常原因并排查故障。

其次,通过定期清洗主换热器也能够避免堵塞问题,为此需要依照空分装置的实际运行状态、杂质累积等情况科学确定设备清洗频率,通常情况下建议每6—12月全面清洗一次,清洗阶段可采用物理清洗与化学清洗相结合的方式,但是在清洗过程中需要依据杂质成分以及主换热器的材质确定化学清洗剂,同时避免清洗剂腐蚀设备。

最后,针对密封件等关键部件,也需要制定合理的更换计划,如需要依据使用年限、使用环境等因素定期更换密封件,通常情况下橡胶材质密封件需间隔2年更换一次,而金属类密封件则需要间隔3—5年更换一次,由此避免因密封件密封性能下降而造成堵塞^[6]。

4 主换热器堵塞防范的经济性分析

4.1 成本投入分析

主换热器堵塞防范需要一定成本投入,这些成本主要包括设备采购以及人工技术成本,从经济性方面来看,企业首先需要应用高效过滤器,该设备在市场上的平均售价约为50000元,而一套中等规模空分装置需要配备3—5台高效过滤器,在这种情况下该设备的采购成本约为150000—250000元^[7]。此外,在主换热器防堵塞管理中还需要布置传感器系统,该系统能够监控主换热器的工作温度以及压力等参数,因此对防堵塞有着重要作用。此外还需要拿出额外资金用于空分装置智能化改造以及分子筛纯化系统改造等。

4.2 收益评估

虽然需要拿出一笔资金用于主换热器防堵塞,但是这一举措同样会为带来可观的经济收益,这些收益

主要集中在控制停车损失以及提高生产效率等方面,如化工企业空分装置的氧气产量能够达到5000m³/h,氮气产量可达8000m³/h,按照氧气(0.8元/m³)与氮气(0.3元/m³)市场价计算,若因堵塞问题而导致停工停产,那么其一天的损失就高达15万元左右。在生产率提高方面,主换热器的运行状态将会直接影响到空分装置的生产效率,所以通过做好防堵塞能够有效确保设备的生产效率,以上述企业为例,若通过做好设备维护能够使生产效率提高8%,那么其每小时多生产氧气量为400m³,每日可多生产9600m³,按照市场价0.8元/m³的价格计算,其每日收益可增加7680元,而每年收益可增加280余万元。因此在实践中企业应充分认识到做好主换热器防堵塞工作的重要性与经济性,积极投入物力、人力资源以做好防堵塞工作,以此获取更大的经济效益^[8]。

5 结语

综上所述,本文就主换热器堵塞问题的产生原因与解决方法作出分析,造成换热器堵塞的原因包括杂质入侵、操作不当以及设备老化与维护缺失。为此,需要从优化预处理系统、规范操作流程等方面入手做好设备防堵塞。同时,还需要充分认识到主换热器正常工作对确保顺利生产、提高工作效率的重要意义,加大对防堵塞技术的资金投入力度,以此确保能够发挥主换热器的最佳工作性能。

参考文献:

- [1] 周旭阳. 污水汽提装置重沸器堵塞原因与解决措施[J]. 石化技术, 2025, 32(12): 258-260.
- [2] 龚恒强, 王新花. 空分装置主换热器堵塞原因分析及防范措施[J]. 石油和化工设备, 2024, 27(11): 138-141+150.
- [3] 张庆行. 空分装置主换热器热端温差过大的原因分析[J]. 科技风, 2021(18): 185-186.
- [4] 程建军. 安化公司8000空分装置空气预冷系统优化节能技术[J]. 河南化工, 2021, 38(02): 39-41.
- [5] 赵信义. 空分装置主换热器冰堵故障分析及处理[J]. 清洗世界, 2020, 36(09): 1-2.
- [6] 李芳芳, 王丽平. 空分装置主换热器热端温差过大的原因分析[J]. 山西化工, 2020, 40(03): 62-64.
- [7] 康庆元. 空分装置冷箱泄漏的原因与处理措施[J]. 化工管理, 2020(22): 145-146.
- [8] 沈丹桐. 空分装置节能增效优化分析[J]. 当代化工研究, 2025(11): 150-153.

作者简介:

杜正富(1996-),男,海南海口人,本科,助理工程师,从事公用工程相关工作(空分空压等装置)。