

关于空分设备热虹吸蒸发器的讨论

刘代勇, 李凯菊, 冷全起

(河南开元空分集团有限公司技术部, 河南省开封市宋城大道 15 号 475004)

摘要: 介绍热虹吸蒸发器的发展及 3 种形式, 分析热虹吸蒸发器在提高空分设备运行安全性和改善精馏工况等方面的作用, 阐述消除干式热虹吸蒸发器潜在危险的措施。针对现今空分技术的发展, 对热虹吸蒸发器的取舍加以分析。

关键词: 空分设备; 热虹吸蒸发器; 膨胀后换热器; 膨胀空气; 过热度

中图分类号: TB657.5 **文献标识码:** B

Discussion on thermal siphon evaporator of air separation plant

Liu Daiyong, Li Kaiju, Leng Quanqi

(Technical Department, Henan Kaiyuan Air Separation Group Co., Ltd., 15[#] Songcheng Road, Kaifeng 475004, Henan, P. R of China)

Abstract: The development and three types of thermal siphon evaporator are briefed, the role of themal siphon evaporator in improving safety of run of air separation plant and conditions of rectification is analyzed, and the measures to eliminate the potential risk of dry type thermal siphon evaporator are described. On basis of the current technical development of air separation, the selection of thermal siphon evaporator is analyzed.

Keywords: Air separation plant; Thermal siphon evaporator; Post-expansion heat exchanger; Expanded air; Degree of superheat

1 热虹吸蒸发器的发展

在以往的中压小型空分设备中, 空气净化采用干燥器除水、碱塔清除二氧化碳, 而清除乙炔则需要设置液空吸附器及液氧吸附器。

在最初的第二代空分设备中采用循环液氧泵和液氧吸附器组成的强制循环, 以清除液氧中的乙炔等碳氢化合物。当循环液氧泵工作不正常时, 冷损大, 安全性也差, 因此出现了液氧自循环吸附流程, 并被国内外空分设备制造商广泛采用。

热虹吸蒸发器源于液氧自循环吸附流程。自循环是指液体在不消耗外功 (即不靠泵推动) 的情况下形成自然流动。液氧依靠循环回路中局部受热, 内部产生密度差而流动, 也可称为热虹吸作用或气

泡泵作用。液氧自循环原理如图 1 所示。

发展到第四代全低压常温分子筛吸附净化空分流程时, 分子筛在常温下吸附空气中水分、二氧化碳及碳氢化合物, 将切换式换热器的传热传质和换热两种功能“分家”, 在冷箱外用分子筛吸附器清除空气中的水分、二氧化碳和乙炔等碳氢化合物, 在冷箱内的换热器仅起换热作用, 这样不仅使进冷箱的空气较纯净, 而且延长了换热器的使用寿命。冷箱内不再需要设置自动阀箱、液空/液氧吸附器、循环液氧泵及相应的切换阀门和管道等, 使空分流程简化, 冷箱内设备减少, 操作维护方便。但从液氧防爆的观点出发, 考虑到设置比不设置更安全, 在一部分采用分子筛吸附净化流程的空分设备中仍设置了液氧自循环吸附系统。

收稿日期: 2011-03-29

作者简介: 刘代勇, 男, 1983 年生, 2005 年毕业于河南科技大学制冷与低温专业, 现在河南开元空分集团有限公司从事工艺流程的设计与开发工作。

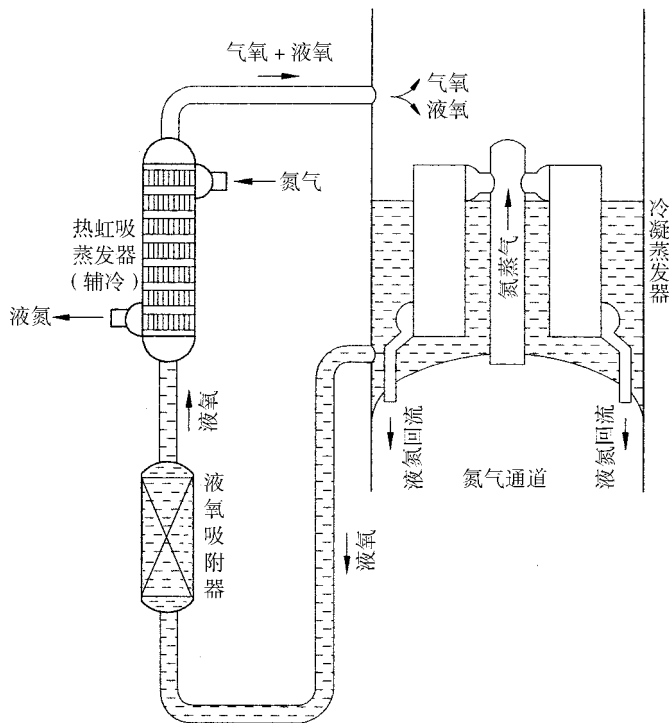


图 1 液氧自循环原理

目前,国内常温分子筛吸附净化流程均已取消液空、液氧吸附器。但是,热虹吸蒸发器技术在各空分设备制造厂家均有保留,部分用户也要求制造厂家在流程设置中保留热虹吸蒸发器。

2 热虹吸蒸发器的形式

热虹吸蒸发器按照热源的不同可分为 3 种类型:

(1) 用下塔的气氮作为热源。由于气氮冷凝放热使热虹吸蒸发器(板式或管式)中的液氧部分蒸发,形成液氧自循环。据相关资料介绍,液氧的循环倍率可达 6 倍以上,使液氧中的乙炔等碳氢化合物含量能满足防爆的要求。冷凝的液氮可以回流入下塔,也可以经节流后进入上塔顶部。采用这种形式的热虹吸蒸发器的优点是可作为辅助冷凝蒸发器(辅冷),对塔的精馏工况没有影响,并且传热系数较高。为克服循环回路的阻力,其所设位置要比主冷低一些。缺点是因传热温差小,所需传热面积较大,约为主冷总面积的 10% 以上。这种形式的热虹吸蒸发器在国内外均有应用。

(2) 以来自切换式换热器的饱和空气作为热源。空气放热冷凝后回下塔底部。采用这种热源的热虹吸蒸发器的优点是传热温差较大,在液氧的循

环倍率同样为 6 的条件下,所需的传热面积可小几倍。缺点是液空回下塔会使底部液空的纯度下降,对塔的精馏工况有一些影响。

(3) 用膨胀后的过热空气作为热源。采用这种热源使热虹吸蒸发器中的液氧部分蒸发,形成液氧自循环吸附,其循环倍率也能满足要求。其优点是传热温差大,经热虹吸蒸发器后的膨胀空气以接近饱和的状态进入上塔,对精馏有利。缺点是热虹吸蒸发器的空气侧没有相变,传热系数小,所需的传热面积较大;此外,使膨胀机机后压力提高,减小了膨胀机的焓降,对于相同的制冷量,膨胀量要增加。

3 热虹吸蒸发器的应用

热虹吸蒸发器应用至今,在流程组织上大多采用膨胀后的过热空气作为热源。主要原因是:一方面液氧自循环使热虹吸蒸发器出口有一定数量的液氧返回主冷,能够加强主冷内部液氧的流动性,防止碳氢化合物聚集引起主冷爆炸;另一方面就是能够降低膨胀空气进上塔的过热度,有利于改善上塔精馏工况,更有利于氩馏分的聚集。

膨胀空气存在过热度会使上塔膨胀空气进口以上几块塔板中的下流液体部分蒸发。就 12000 m³/h

空分设备而言, 在采用膨胀后换热器时, 膨胀空气进口以上第一块塔板持液量要比不采用膨胀后换热器多 $370 \text{ m}^3/\text{h}$ (如图 2 所示), 也就是说膨胀空气

进口以下段的回流液会增多、回流比增大, 有利于改善该段的精馏工况。

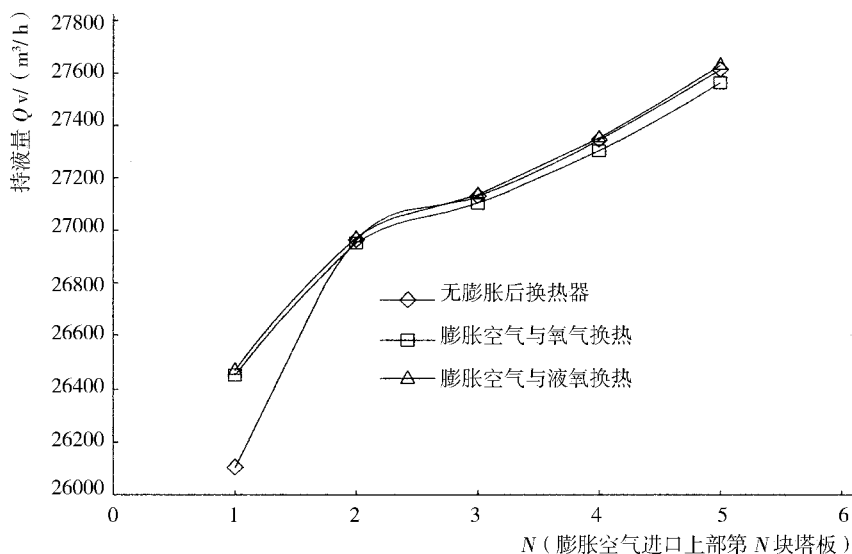


图 2 膨胀空气过热度对上塔膨胀空气进口以上塔板持液量的影响

另外, 由于膨胀空气存在过热度使这几块塔板因传热导致传质作用下降, 因而该段塔板效率就会降低。在设计上塔时, 只能通过增加膨胀空气进口以上段的实际填料盘数来弥补。而且, 过热度越大引起的液体蒸发量越大, 对精馏的干涉也越大, 塔板效率则越低。所以减小膨胀空气过热度可以提高膨胀空气进口上部塔板的精馏效率, 降低填料盘数。同时, 液体蒸发量增大也使带氩空分设备的上塔氩馏分抽口以上段精馏工况变差。针对 $12000 \text{ m}^3/\text{h}$ 空分设备, 对膨胀空气过热度对氩馏分组成的影响作了比较, 结果见表 1。从表 1 可以看出, 较之膨胀空气直接进上塔, 采用热虹吸蒸发器或用氧气冷却膨胀空气的膨胀后换热器都能降低氩馏分中的氧、氮含量。

表 1 膨胀空气过热度对上塔氩馏分的影响

氩馏分组成及摩尔含量 流程形式	氧	氮	氩
无膨胀后换热器	0.91185026	0.00015265	0.08799708
膨胀空气与氧气换热	0.90767318	0.00005364	0.09227318
膨胀空气与液氧换热	0.90901249	0.00006325	0.09092425

4 热虹吸蒸发器的存留

2010 年, 几家化工和钢铁企业的空分设备干

式热虹吸蒸发器发生不同程度的微爆, 部分空分设备冷箱局部损坏。这几起偶然的爆炸事故中, 原来作为液氧防爆手段的干式热虹吸蒸发器已经是一把双刃剑。分析其可能引起爆炸的原因有以下几点:

(1) 空压机吸入口碳氢化合物尤其是重烃 (分子式中碳原子数量大于 1 的烃类物质, 如乙炔、乙烷等) 含量骤然升高, 净化不彻底引起液氧中碳氢化合物超标。

(2) 主冷液氧液位如果一直处于高位运行, 将热虹吸蒸发器出口淹没, 从而引起循环倍率降低, 导致热虹吸蒸发器内部液氧流动性变差, 碳氢化合物聚集。

(3) 干式热虹吸蒸发器可能因制造缺陷使局部液氧流动受阻, 碳氢化合物聚集引起微爆。

既然干式热虹吸蒸发器存在这些潜在危险, 应当酌情取消。对于设计时已考虑采用干式热虹吸蒸发器流程的空分设备, 可以采用以下措施加以解决和防止事故发生。

(1) 对于经常排放重烃的化工产品生产单位、空压机吸入重烃含量经常超标以及液氧中总碳或总碳氢化合物的含量 (具体指标及检测频率见表 2, 详细内容也可参阅文献 [1]) 经常超标的空分设备, 建议在空压机吸入口增设吸风井, 以减少重烃吸入量。

表 2 空气和液氧中有害杂质的检测

检测内容	建议指标及频率
检测液氧中的总碳或总碳氢化合物含量。至于确定含量多少为正常值、报警值和停车值以及检测频率,需要每个生产单位根据具体情况来确定。	总碳氢化合物含量的报警值为 70×10^{-6} , 停车值为 233×10^{-6} 。
	大气情况正常时, 检测频率最低为每 4 小时 1 次, 最好是每 2 小时 1 次; 大气情况异常时, 需根据具体情况增大检测频率。
检测液氧中各种碳氢化合物的含量。至于确定哪些碳氢化合物需要检测, 它们的含量多少为正常值、报警值和停车值以及检测频率, 需要具体生产单位根据具体情况来确定。	乙炔为必检成分, 其含量正常值为 10×10^{-9} , 报警值为 100×10^{-9} 、停车值为 1000×10^{-9} 即 1×10^{-6} (检测仪器的灵敏度必须高于 10×10^{-9})。
	大气情况正常时, 检测频率最低为每 8 小时 1 次, 最好是每 4 小时 1 次; 在大气情况出现异常时, 需根据具体情况增大检测频率。
检测大气中氮氧化合物含量。虽然有关氮氧化合物的具体检测项目即成分、含量和检测频率目前尚未形成统一的标准, 不过应作周全考虑。	氧化亚氮为必检成分。
	大气情况正常时, 检测频率最低为每 8 小时 1 次, 最好是每 4 小时 1 次; 在大气情况出现异常时, 需根据具体情况增大检测频率。

(2) 采用新型、高效或专用分子筛, 提高分子筛对烃类物质或氮氧化合物的吸附率。

(3) 对于主冷液氧中碳氢化合物含量突然升高的空分设备, 可采取紧急停车排放液体后再重新积液开车, 开车时可采用贮槽液氧返灌主冷的方式以缩短开车时间。

(4) 对于已设有干式热虹吸蒸发器的空分设备, 应经常检测主冷液氧中碳氢化合物含量, 并保持主冷液位稳定 (85%~100% 之间)、连续提取液态氧产品的方式, 避免热虹吸蒸发器出口被淹没。

(5) 采用浴式热虹吸蒸发器, 液氧全浸操作, 定期检测热虹吸蒸发器液氧中碳氢化合物浓度, 并定期排放液氧。

(6) 若需要加设干式热虹吸蒸发器, 可在液氧入口同时加装液氧吸附器, 一是以液相吸附的方式清除各种碳氢化合物; 二是考虑到大气环境突然变化, 分子筛纯化系统也会有工作不正常的时候, 有了自循环吸附系统则可更安全。

(7) 采用复合冷凝蒸发器, 该冷凝蒸发器由膨胀空气通道、下塔压力氮气通道及液氧通道组成, 是一种改进型浴式热虹吸蒸发器。

(8) 采用改进后的干式热虹吸蒸发器, 即进一步拉大翅片距离 (一般为 6 mm), 并且严格控制加工质量。

(9) 若膨胀空气过热度小, 可以考虑取消热虹吸蒸发器, 即膨胀空气直接进上塔, 同时增加上塔膨胀空气进口以上填料盘数。

(10) 在全精馏无氢制氩流程中, 采用膨胀后

换热器利用低温产品氧气减小膨胀空气过热度, 消除对上塔工况影响, 有利于氩的提取。同时, 在保证热端温差及膨胀机进口温度不变时, 可以降低主换热器冷端温差, 减少冷端不可逆损失, 改善下塔精馏工况 (进塔空气含湿量降低)、减少膨胀空气量, 理论上可以提高氧气提取率。但是由于采用低压氧气冷却膨胀空气, 增加了氧气流路阻力, 使氧压机进口压力降低, 压氧能耗增加。

5 结束语

在分子筛吸附净化流程中, 因分子筛对水分、二氧化碳、乙炔及其他碳氢化合物的共吸附作用, 经理论及实践证明, 已经没有必要再设置液空吸附器及液氧吸附器。而干式热虹吸蒸发器作为降低安全风险的设备, 其自身在诸多因素影响下反而成了安全隐患, 应该酌情取消。对于带氩空分设备, 从减小膨胀空气过热度、改善上塔精馏工况来看, 建议采用膨胀后换热器用氧气冷却膨胀空气; 对于仅制取氧、氮产品的空分设备, 则采用膨胀空气直接进入上塔流程。☎

参考文献:

- [1] 肖家立. 有关空分防爆的几个问题 [J]. 深冷技术, 1981 (1): 55-61.
- [2] 李化治. 制氧新工艺与制氧设备安装调试、操作维护及故障处理和安全生产技术实用手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [3] 赵德全. 全低压空分设备设膨胀后换热器流程方案分析 [J]. 深冷技术, 1995 (1): 1-7.