

化工空分工艺中氧氮分离的安全操作与控制

于 洋

河南开祥精细化工有限公司 河南 三门峡 472300

摘 要: 本文围绕化工空分工艺中氧氮分离环节,深入剖析了低温、压力与温度控制、气体特性、杂质与介质等多方面的安全风险,阐述了设备操作规范、气体处理规范、人员防护与培训等安全操作要点,并从压力与温度控制、气体浓度监测、杂质控制与排放、自动化与联锁保护等维度提出了安全控制措施,为化工空分工艺中氧氮分离的安全运行提供理论支持与实践指导。

关键词: 化工空分工艺; 氧氮分离; 安全操作; 安全控制

引言: 化工空分工艺中,氧氮分离是核心环节,其安全稳定运行至关重要。然而,在实际生产过程中,氧氮分离面临诸多安全风险,如低温环境带来的冻伤与设备脆性断裂风险、压力温度控制不当引发的设备损坏与产品质量问题、气体特性导致的燃烧爆炸与窒息风险,以及杂质对设备和产品的危害等。为确保氧氮分离过程的安全高效,深入探讨其安全操作要点与控制措施十分必要。

1 氧氮分离过程中的安全风险分析

1.1 低温相关风险

氧氮分离常借助低温精馏等技术,在此过程中,低温环境带来诸多风险。一方面,低温冻伤风险显著。设备表面温度极低,若操作人员不慎接触,低温会迅速从设备表面传递至人体皮肤,致使皮肤组织内的水分冻结,进而造成细胞损伤,引发低温冻伤。另一方面,设备低温脆性问题不容忽视。低温会改变金属材料的物理性能,降低其韧性,使设备在承受正常工作压力或轻微外力冲击时,更易出现脆性断裂。一旦设备发生脆性断裂,内部低温液体或气体泄漏,不仅会干扰氧氮分离工艺的正常进行,还可能引发更严重的二次事故。冷箱内碳氢化合物积聚也会引发爆炸风险。在原料空气中,往往含有一定量的碳氢化合物,如甲烷、乙烷等。在低温环境下,这些碳氢化合物可能会在冷箱内逐渐积聚。当积聚浓度达到爆炸极限,遇到合适的点火源,如静电火花、设备内部的摩擦火花等,就可能引发剧烈爆炸,对冷箱及周边设备造成毁灭性破坏。

1.2 压力与温度控制风险

压力和温度的精准控制对于氧氮分离至关重要。超压情况会对设备完整性造成严重威胁。当系统压力超过设备设计压力,设备的密封结构可能会被破坏,导致气体泄漏。过高的压力会使设备壳体承受过大应力,长期

处于超压状态,设备易出现疲劳裂纹,甚至发生破裂。负压同样危险,当系统内压力低于外界大气压,空气可能会倒灌进入系统,引入杂质,干扰氧氮分离过程,严重时可能导致设备变形损坏。温度波动对分子筛吸附性能也有显著影响。分子筛在特定温度范围内对水分、二氧化碳等杂质具有良好的吸附能力。若温度出现较大波动,超出分子筛的适宜工作温度范围,其吸附性能会下降。例如温度过高,分子筛对杂质的吸附容量降低,大量杂质进入后续分离工序,会影响氧氮产品的纯度,甚至可能导致设备堵塞。

1.3 气体特性风险

富氧环境下存在严重的燃烧与爆炸风险。在氧氮分离过程中,会产生高浓度的氧气。氧气是一种强氧化剂,当周围环境中氧气浓度升高时,普通可燃物的燃烧反应会变得更加剧烈。哪怕是一些在正常空气环境中不易燃烧的物质,在富氧环境下也可能被点燃,且燃烧速度极快,容易引发爆炸,对生产设施和人员安全构成极大威胁^[1]。氮气泄漏则会导致窒息与缺氧环境。氮气无色无味,化学性质稳定。一旦发生氮气泄漏,泄漏区域的氮气会逐渐积聚,排挤空气中的氧气,使该区域氧含量降低。当氧含量低于人体正常生理需求时,进入该区域的人员会因缺氧而窒息,严重时可能危及生命。

1.4 杂质与介质风险

水分、二氧化碳、乙炔等杂质会对精馏塔造成污染。在氧氮分离过程中,若原料气中的水分未被有效去除,在低温环境下,水分会结冰,堵塞精馏塔的管道和塔板,影响精馏塔内气液传质过程,降低分离效率。二氧化碳同样会在低温下固化,对设备造成损害。乙炔等不饱和碳氢化合物,在液氧环境中具有较高的化学活性,一旦积聚,可能引发爆炸。液氧中碳氢化合物浓度超标是极为危险的。液氧是氧氮分离的中间产物,若液

氧中碳氢化合物浓度不断升高,达到一定程度后,在液氧的强氧化性环境下,稍有激发能量,就可能引发爆炸,严重威胁整个氧氮分离装置的安全运行。

2 氧氮分离的安全操作要点

2.1 设备操作规范

氧氮分离设备安全操作,启动前检查是关键。要检查设备各连接部位密封性,像管道焊接处、阀门密封垫、人孔及手孔等。细微泄漏会致气体逸出,影响生产,还可能引发事故,比如低温气体泄漏带来冻伤风险,易燃易爆气体泄漏遇火源会爆炸。润滑系统也需检查,电机、压缩机、膨胀机等关键部件润滑不足,会过度磨损,缩短设备寿命,甚至造成故障停机,影响氧氮分离流程。同时要校准温度、压力、流量等仪表,不准数据易误导操作,引发设备超压爆炸等失误。运行监控中,实时记录温度、压力、流量、液位很重要。温度波动可能暗示设备故障,影响氧氮分离效果与产品纯度。压力监控能及时发现超压或负压,超压使设备承受过大应力,负压易引发空气倒灌形成爆炸混合气体。流量监测可保证气体合理流动,流量异常可能是管道堵塞或阀门故障信号。液位实时记录关乎储存液体设备,液位过高会溢出,过低影响正常运行。凭借持续准确记录,操作人员能及时察觉异常并调整。停车操作有严格规范。先缓慢降压,防止压力骤降致使设备,尤其是低温环境下的设备发生脆性断裂。接着排液,彻底清除设备内残留液体,避免其冻结、腐蚀设备或在后续操作引发意外。然后用惰性或干净空气吹扫设备内部,清除残留杂质和气体,减少安全隐患。最后关闭相关阀门,隔离设备,切断与系统其他部分连接,防止误操作造成气体或液体倒流。

2.2 气体处理规范

氧气充装时,压力控制极为重要。充装压力需严格控制在规定范围内,过高的充装压力可能使气瓶承受过大压力,增加气瓶破裂的风险。必须采取防静电措施。氧气是强氧化剂,在充装过程中,气体与管道、气瓶内壁摩擦易产生静电。若静电无法及时导除,积累到一定程度可能引发静电放电,点燃周围的可燃物质,在富氧环境下,极易引发剧烈燃烧甚至爆炸。充装速率也需限制,过快的充装速率会导致气瓶温度迅速升高,同样增加安全风险。氮气排放时,要避免高浓度氮气聚集。氮气无色无味,泄漏后不易察觉。若在有限空间内大量排放氮气,氮气会排挤周围空气,使该区域氧气含量降低,形成缺氧环境。人员一旦进入这种环境,会因缺氧而窒息。氮气排放区域必须保证良好的通风,通过通风

设备将排放的氮气及时稀释并排出,确保工作环境的氧气含量维持在安全水平。

2.3 人员防护与培训

个人防护装备(PPE)是保障操作人员安全的重要防线。在氧氮分离工作环境中,低温防护服必不可少。操作人员可能接触到低温设备或低温气体,低温防护服能有效阻挡低温对人体的伤害,防止低温冻伤^[2]。防毒面具用于防护可能泄漏的有毒气体,虽然氧氮分离过程中主要涉及氧气和氮气,但在某些情况下,如设备内残留的杂质气体泄漏,可能会产生有毒气体,此时防毒面具能保护操作人员的呼吸系统。安全鞋则可防止脚部受到重物砸伤以及静电危害。操作人员资质方面,必须持证上岗。相关操作人员需经过专业培训,掌握氧氮分离设备的操作原理、安全操作规程以及应急处理方法,通过考核获得相应资质证书后,方可进行操作。定期复训能确保操作人员不断更新知识,适应设备的技术改进和安全标准的变化。应急演练则是提升操作人员在突发情况下应急处置能力的有效手段。通过模拟火灾、气体泄漏等事故场景,让操作人员熟悉应急流程,提高其应对突发事件的反应速度和处理能力,最大程度减少事故造成的损失。

3 氧氮分离的安全控制措施

3.1 压力与温度控制

安全阀与爆破片作为超压保护的关键装置,在氧氮分离系统中起着至关重要的作用。安全阀经过精确调校,当系统压力上升至设定的开启压力时,阀门自动打开,将系统内的部分气体排出,以此降低系统压力,确保压力始终处于安全范围之内。而爆破片则是一种一次性的超压保护装置,当系统压力迅速上升且超过爆破片的爆破压力时,爆破片即刻破裂,形成泄压路径,快速释放系统内过高的压力,防止设备因超压而损坏。两者相互配合,为系统压力安全提供双重保障。温度传感器与加热/冷却系统的联动机制,对于防止液氧冻结意义重大。温度传感器实时监测系统内关键部位的温度,尤其是液氧所处环境的温度。一旦温度接近液氧的冻结温度,传感器会迅速将信号传递给加热/冷却系统。若温度过低,加热系统自动启动,通过加热元件对设备或管道进行加热,提升温度,避免液氧冻结;若温度过高,冷却系统则开始工作,利用冷却液或冷却风降低温度,确保系统在适宜的温度区间内运行,维持氧氮分离过程的稳定性。

3.2 气体浓度监测

氧浓度报警仪在实时监测作业区氧气浓度方面发挥

着核心作用。该仪器被合理安置在氧氮分离作业区域的各个关键位置,持续对周围环境中的氧气浓度进行检测。一旦氧气浓度超出预设的安全范围,无论是过高还是过低,报警仪都会立即发出声光报警信号,提醒作业人员及时采取相应措施。比如当氧气浓度过高时,可通过加强通风等方式降低浓度,避免因富氧环境引发燃烧或爆炸风险;若氧气浓度过低,则需排查是否存在氮气泄漏等情况,防止人员因缺氧而窒息。氮气泄漏检测借助红外成像仪与气体检测管两种手段。红外成像仪利用氮气与周围环境气体对红外线吸收和反射特性的差异,能够远距离、大面积地检测是否存在氮气泄漏。当发现泄漏点时,仪器会在成像画面上清晰地显示出来,方便作业人员快速定位。气体检测管则是一种更为便捷、精准的现场检测工具。作业人员将气体检测管插入可能存在氮气泄漏的区域,抽取一定量的气体,管内的化学试剂会与氮气发生反应,通过颜色变化来准确判断氮气的浓度,从而确定泄漏情况的严重程度,以便及时采取修复措施,防止因氮气泄漏导致缺氧环境的形成。

3.3 杂质控制与排放

分子筛再生周期的合理设定是确保吸附剂活性的关键环节。分子筛在氧氮分离过程中负责吸附原料气中的水分、二氧化碳等杂质。随着使用时间的增加,分子筛的吸附位点会逐渐被杂质占据,吸附性能下降^[1]。需要按照预先设定的再生周期,对分子筛进行再生处理。一般采用加热解析的方式,将吸附在分子筛上的杂质脱附出来,恢复分子筛的吸附活性,使其能够持续有效地去除原料气中的杂质,保障氧氮分离过程不受杂质干扰,维持产品的纯度和设备的正常运行。液氧排放采用连续排放与定期吹扫相结合的方式。连续排放能够及时将液氧中可能积聚的碳氢化合物等杂质排出系统,避免杂质浓度超标引发爆炸风险。定期吹扫则是利用高压气体对储存液氧的设备和管道进行全面吹扫,清除在连续排放过程中可能残留的杂质,进一步降低杂质在系统内的含量,确保液氧的安全性和系统的稳定运行。

3.4 自动化与联锁保护

分布式控制系统(DCS)实现了对氧氮分离过程的远程监控与参数调节。通过在系统各个关键部位安装的传感器,DCS能够实时采集压力、温度、流量等多种运行参数,并将这些数据传输至控制中心。操作人员在控制中心的监控画面上,可直观地了解系统的运行状态。一旦发现某个参数偏离正常范围,操作人员可通过DCS系统远程调节相关设备,如调节阀开度来控制流量、调整加热/冷却系统功率来控制温度等,实现对整个氧氮分离过程的精准控制,提高生产效率和安全性。紧急停车系统(ESD)在异常工况下发挥着快速切断的关键作用。当系统出现诸如超压、温度异常、气体浓度严重超标等紧急情况时,ESD系统会自动触发。能够迅速切断系统内的关键阀门和设备电源,停止氧氮分离过程,防止事故的进一步扩大。例如,当检测到液氧中碳氢化合物浓度超标且达到危险值时,ESD系统会立即关闭液氧输送管道上的阀门,停止液氧的流动,并关停相关设备,避免因液氧中杂质引发爆炸,为整个氧氮分离装置提供了一道可靠的安全屏障。

结束语

化工空分工艺中氧氮分离的安全操作与控制,是保障生产安全与产品质量的关键。通过全面分析氧氮分离过程中的各类安全风险,明确了设备操作、气体处理、人员防护与培训等安全操作要点,并提出了压力温度控制、气体浓度监测、杂质控制排放及自动化联锁保护等一系列有效的安全控制措施。在实际生产中,应严格遵循这些要点与措施,不断提升安全管理水平,确保氧氮分离过程的安全稳定运行,为化工行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]李珊,盛国莉.化工厂周边空气中氮氧化物对环境的影响[J].沙洲职业工学院学报,2021,24(2):6-11.
- [2]张晓燕.高参锅炉氮氧化物排放影响因素分析[J].皮革制作与环保科技,2021,2(18):74-75.
- [3]杨蒙,曹海涛,赵婷婷.烧成系统氮氧化物超低排放改造实践[J].新世纪水泥导报,2021,27(02):36-37.