

空分设备贫氪氙提取逻辑控制的改进与实践

田兴兵

国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司, 宁夏 银川 750409

[摘要]煤化工企业利用空分设备提取氪氙气体, 关键在于保证提取气体的纯净度达标, 经过空分设备分离、提取得到的稀有气体可作为化工生产原料。目前随着人工智能技术的快速发展, 采用空分设备实施贫氪氙提取中的逻辑控制路径更加完善, 企业人员能够采用智能化、自动化的逻辑控制方法, 达到降低稀有气体提取成本以及提升气体纯度等效果。基于此, 本篇文章主要探讨空分设备贫氪氙提取过程中的逻辑控制技术原理, 结合煤化工企业的生产实践加以完善。

[关键词]空分设备; 贫氪氙提取; 逻辑控制

DOI: 10.33142/ect.v2i12.14788

中图分类号: TQ116.4

文献标识码: A

Improvement and Practice of Logic Control for Lean Krypton Xenon Extraction in Air Separation Equipment

TIAN Xingbing

Coal to Oil Branch of CHN Energy Ningxia Coal Industry Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750409, China

Abstract: Coal chemical enterprises use air separation equipment to extract krypton xenon gas, and the key is to ensure that the purity of the extracted gas meets the standard. The rare gases separated and extracted by the air separation equipment can be used as raw materials for chemical production. With the rapid development of artificial intelligence technology, the logical control path for lean krypton xenon extraction using air separation equipment has become more complete. Enterprise personnel can adopt intelligent and automated logical control methods to achieve the effects of reducing the cost of rare gas production and improving gas purity. Based on this, this article mainly explores the logic control technology principle in the lean krypton xenon extraction process of air separation equipment, and improves it by combining it with the production practice of coal chemical enterprises.

Keywords: air separation equipment; extraction of lean krypton xenon; logical control

引言

氪氙提取工艺在煤化工企业的生产过程中占据突出地位, 化工企业目前普遍采用空分设备完成稀有气体的提取、分离与转化操作。建立在人工智能原理基础上的空分设备逻辑控制, 主要依靠计算机软件进行自动编程, 企业人员能够按照逻辑控制的技术路径展开相关操作, 在保证提取气体纯度的同时还能降低工艺成本, 推动企业的经济效益提高。因此如何将逻辑控制技术应用于空分设备的贫氪氙提取操作, 应成为煤化工企业实现技术创新的关键所在。

1 空分设备贫氪氙提取的基本原理

贫氪氙属于典型的稀有气体, 其主要应用在集成电路生产、半导体配件加工、暗物质研究、医疗以及航天等领域。氪气与氙气都属于“不活泼”的惰性化学物质, 在空气中呈现无色无味的外观特征^[1]。贫氪氙大量存在于液态空气或者液氧介质中, 因此需要借助“深度冷凝法”等工艺形式, 并利用空分设备予以提取。

采用空分设备提取贫氪氙的基本流程包括如下步骤: 技术人员首先利用“出粗氩冷凝器”来分离液态空气介质, 经过分流后的一股液态空气将会进入精馏塔, 而另一股空气直接进入贫氪氙塔顶(即为“上塔”部分); 位于贫氪氙塔顶的液态空气蒸汽将会返回“上塔”, 并且在精馏塔

的底部经过提取得到贫氪氙与液氧的混合物。经过提取的液氧混合物将会进入贮存槽, 而塔底部分的低压空气能够再次转化为热源, 冷凝处理后的液态空气将会通过精馏塔的下部出口, 最终完成“贫氪氙提取”的整个分离转化过程。

如下图, 为空分设备贫氪氙提取的技术原理图: 该空分设备包括主塔、贫氪氙塔、粗氩塔、下塔、液氧装置组成, 可确保低压空气流入空分装置, 经提取的产物进入下塔, 最终得到纯度较高的贫氪氙液氧产物。

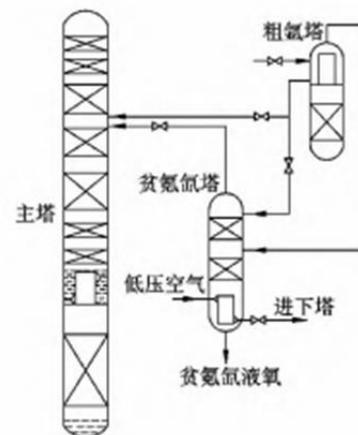


图1 空分设备贫氪氙提取的技术原理图

2 空分设备贫氦氙提取的系统设计要点

本次系统设计主要针对贫氦氙提取专用的空分设备,该空分设备属于贫氦氙液氧提取装置。系统设计的总体思路在于保证设备稳定运行,突出操作便捷、节约成本、改善效率等目标^[2]。贫氦氙液氧提取的空分设备应满足操作方便、运维成本较低、可靠性与安全性良好的要求,具体采用如下的系统设计方案:

2.1 系统参数

贫氦氙液氧空分设备处于常压运行环境,单套空分设备应包括Φ2900/4500mm的贫氦氙蒸发器、Φ1650/4800mm的贫氦氙塔、Φ3500/3100mm的真空储罐、BP-230型号的液氧充车泵(1用1备)。为确保液氧空分系统的稳定运行,拟采用独立冷箱的形式提取并保存贫氦氙。系统设计人员将专用的吸附剂加入纯化系统,吸附剂的主要成分为氧化亚氮^[3]。

此外,空分设备在提取贫氦氙的过程中需要用到输气管道及阀门设备。技术人员针对本次设计主要采取独立冷箱用于隔离贫氦氙塔及其他设备,并需要增加分子筛用于去除多余的氧化亚氮。通过布置分子筛的床层,达到控制系统运行能耗以及运行阻力的目标。贫氦氙提取的空分设备连接于膨胀机、空气压缩机等配套装置,在装置运行阶段采用自动调节的形式控制高压空气量。在此基础上,处于运行状态的空分设备平均每小时消耗0.8t左右的蒸汽能源。

如下表,为空分设备用于贫氦氙提取的参数设计:

表1 空分设备贫氦氙提取的系统参数设计

设备名称	尺寸规格
贫氦氙蒸发器	Φ2900/4500mm
贫氦氙塔	Φ1650/4800mm
贫氦氙液氧充车泵	BP-230 (1用1备)
贫氦氙真空储罐	Φ3550/3100mm

2.2 工艺流程

贫氦氙液氧空分设备的冷凝器可用于生成液态氧,其中一部分的液态氧(包含贫氦氙成分)被送入塔顶,另一部分被送入上塔。来自冷凝设备的液态蒸汽直接进入精馏塔,同时位于塔顶部分的液态空气混合物将会返回上塔。此外,空分设备的塔底经过化学反应生成贫氦氙与液氧的混合物,采用自动输送管道将其输入贮存槽。贫氦氙塔可以循环利用低压空气,经转化的低压空气可作为热源使用,而冷凝处理后的液态空气将会进入下塔^[4]。

企业技术人员需经过科学测试,才能确定空分设备的使用性能。空分设备的调试操作应包括如下步骤:同时打开贫氦氙塔的主冷箱设备、加温吹除设备,然后开启测满阀与排液阀,对于整个装置进行加温吹除操作。在加温调试的前期阶段,应首先关闭系统回流阀,等待蒸发器的低压空气管道达到一定温度之后再开启阀门。经过调试的

下塔、回流阀等设备如果达到露点合格的标准,则需要保持3小时的吹除操作,然后关闭系统调试阀门。

如下表,为空分设备提取得到的贫氦氙气体特性指标:

表2 空分设备提取贫氦氙的特性指标

稀有气体	氦气	氙气
沸点	-150.9℃	-110.3℃
分子量	35.4	129.5
气体密度	3.45kg/m ³	6.11kg/m ³
液体密度	2063kg/m ³	3030kg/m ³

2.3 安全保障

空分设备用于提取贫氦氙的操作过程存在较高的风险性,企业人员需采取行之有效的安全保障措施,在根本上防止空分设备发生自燃、爆炸等重大事故。本次空分设备设计中的安全保障措施体现为如下:利用“后壁设计”的技术原理,对于蒸发器的安全性能予以改进,保证蒸发器所在的运行环境平稳、安全。煤化工企业还要安排专业人员负责实时监测蒸发器中的碳氢化合物浓度,采用智能传感器实施动态监测。如果某一时刻的碳氢化合物浓度出现异常,企业人员需要立即采取相应的处置措施,妥善应对空分设备运行过程的突发情况。

蒸发器属于空分设备中的核心装置,确保蒸发器平稳运行的重点即为排液冲洗:每隔一定时间,相关负责人员需要采用排液冲洗的形式,尽可能去除蒸发器底部残留的杂质、金属碎屑等,防止蒸发器在运行阶段发生堵塞。企业人员如果发现系统液位计的显示数据存在异常,则需要开启测满阀来确认液位计的显示数值是否精确,并且及时反馈空分设备的安全隐患^[5]。

3 空分设备贫氦氙提取的逻辑控制路径

3.1 外部增压空气分离

依靠外部压力或者增压空气分离的形式提取氦气与氙气,主要采用人工智能控制的逻辑控制路径予以实现。来自外部压力或者装置自身的压力能够促使液态氧的结构发生改变,然后利用液态氧作为流动相的提取稀有气体原料。液态氧混合物的温度较低,处于液态的氧气作为载体,能够分离得到较高纯度的氦气与氙气。上述逻辑控制路径的重要优势即为氦气与氙气的萃取率相对较高,最高时可达90%左右。采用氦气与氙气的塔底进料形式,并且借助填料塔共同发挥作用,整个空分装置的构造比较简单,非常方便制作与使用。

包含氦气与氙气成分的液氧混合物经过抽取操作,在上塔底部的板处抽出,该处氦氙的浓度相比来讲较小,因此能够明显减少液氧产品携带氦氙气体的比例,确保更多的氦氙得以在系统主冷设备的附近聚集。同时,从空分设备处抽取少量的液氧原料,进入粗氦氙塔的自动调节控制器,以此实现自动控制粗氦氙产品中氦气含量的效果。在此过程中,技术人员需要从空分设备的主冷凝蒸发器范围

内抽取较多高浓度的氮氩原料,确保粗氮氩产品的提取率实现显著增加。粗氮氩塔的蒸发器热源来自下塔顶部的氮气,因此相比于空气作为热源的上塔氧、氮、氩的提取比率有所提高,尤其是氩的提取比率可以高达2%左右。

3.2 内部压缩空气分离

采用“内压缩流程”用于提取氮气与氩气,此种逻辑控制模式适用于混合物氧气压力较大的情况。具体需要准备热冷芯盒以及冷凝器等装置,将液态的富氧空气送入塔底的蒸发器,作为整个系统运行中的热源。经过内部压缩空气分离得到的氮气与氩气具有较高的气体纯度,内部压缩空气分离的逻辑路径比较简单,且能够节约空分设备的制造成本。但是采用上述的逻辑控制路径,通常存在稀有气体的提取成功率较低缺陷,氮气与氩气的提取率通常低于70%。在气体传热、上升等阶段,位于蒸发器底部的热源还可能会损耗一部分的能量,导致空分设备的能耗指标大幅提升^[6]。

通过设置辅助形式的冷凝蒸发器,并且配备空分设备的冷氮侧阀门,能够实现粗氮氩塔的灵活投运效果:空分装置的氮气与氩气生成设备在正常运行的状态下,基本不影响主塔的工况稳定性,并且对空分装置是否设置制氮系统及制氩系统也不会产生任何的影响。煤化工企业的技术人员采取以上的工艺改造形式,确保空分装置的操作程序更加简便,并能够提供给用户更加多样的工艺模式选择。企业技术人员还要重视人工智能模型的建构,采用立体化、多维度的空分设备运行模型,准确反映空分设备在不同时段的工况改变。

3.3 贫氮氩液体的净化

贫氮氩液体中包含较多杂质,只有经过提纯与净化的氮气与氩气才能作为煤化工的化工原料。净化贫氮氩液体的逻辑控制方案需要结合企业的实际工况进行确定,重点在于配置水浴式的汽化器、液氧泵等装置。在电加热器的辅助下,经过预热处理的液态氧混合物能够进入催化反应设备,然后在甲烷、催化剂与碳氢化合物的共同作用下产生化学反应,以此实现混合物净化的目标。近些年来,技术人员正在探索采用一氧化碳作为催化反应的重要原料,经过分解后的一氧化碳将会形成氧气与氮气等成分。在分子筛的再生阶段,通常会有一部分的氮气残留在吸附器中,那么技术人员需要重视定期清理空分设备的管道装置,并采用逻辑优化的做法降低能源消耗。

例如,某煤化工企业在制取氮氩的工艺中,结合实际情况设置氮氩塔的加温装置;在装置不停车的情况下,企业人员可对于氮氩塔进行单独的加温操作。具体对于氮氩塔单独设置小型的冷箱,将氮氩塔的物料进出口予以人工切断,并通过单独设置的加温装置,对于氮氩塔进行加温、清除杂质等操作,此时氧氮氩的产品量不会受到任何的影响。

4 空分设备贫氮氩提取逻辑控制的改进方案

4.1 自动控制与手动控制实现有机结合

近些年来的煤化工企业提取贫氮氩的产量持续增长,多数企业需要应对空分设备的技术改造任务。提升空分设备的逻辑控制效率,关键就是要结合采用自动控制与手动控制的两种模式,经过改进的空分设备更具可靠性与安全性。例如,煤化工企业人员通过改造均压阀、泄压阀等系统阀门设备,实现自动控制、手动控制模式的有机结合,使得系统灵敏度更高,从根本上优化并完善空分设备的逻辑控制形式。

4.2 定期开展系统维护及检测工作

空分设备的逻辑控制效率关键取决于系统可靠程度,企业人员只有定期维护空分设备,才能够将空分设备的能耗指标控制在最小范围,在降低企业投资的同时改善系统性能,保证企业操作人员的人身安全。煤化工企业目前有必要完善相关的规章制度,明确企业人员在空分设备运维中的权限与责任,采取积极有效的举措增进企业人员的相互配合。加强针对空分设备的安全监测工作,还要体现于人工智能技术的广泛应用。例如自动传感器可以连接于空分设备,使得企业人员了解空分设备的运行动态情况。

4.3 结合实际情况优化逻辑路径

空分设备在贫氮氩提取的过程中发挥重要作用,然而目前很多化工企业的空分设备已经无法适应企业扩大生产规模的需求,因此技术人员需采用积极措施对其进行改造。优化空分设备的逻辑路径,主要利用计算机软件建构空分设备的运行模型,方便技术人员察觉空分设备的指标异常,采取更有针对性的解决方案。例如,分子筛在空分设备的泄压、升压阶段容易受到气流压力的冲击而导致损坏。为延长分子筛的设备使用寿命,关键就是要利用空压机与放空阀来调节气流压力,避免分子筛的床层受到过大压力而出现损坏。化工企业人员还要充分利用计算机软件实现系统自动调节,结合贫氮氩提取的基本需求来改进系统逻辑设计。

5 结束语

综上所述,空分设备贫氮氩提取的逻辑控制模式需要得到改进,煤化工企业人员应积极引进并采用计算机软件实现自动化的系统控制目标。当前时期的国内化工产业若要实现平稳、健康发展,则不能缺少氮氩稀有气体作为工业原料,因此体现出空分设备贫氮氩提取技术创新的紧迫性。未来在空分设备贫氮氩提取的逻辑控制模式完善进程中,最为根本的就是调整煤化工企业的传统加工工艺。企业技术人员应当将精细化理念融入空分设备的逻辑控制改造,推动氮氩提取产业的可持续发展。

项目名称:《特大型空分装置贫氮氩提取关键技术开发及工程示范》项目编号:GJNY-23-54。

[参考文献]

- [1]党伟. 空分装置贫氩液氧系统工艺流程简述及调试总结[J]. 低温与特气, 2024, 42(5): 41-42.
- [2]王立军, 卢振宇, 王鸣宇. 空分装置循环水系统冷却塔选型对比分析[J]. 中氮肥, 2024(5): 34-37.
- [3]付永兴, 谢华丽. 空分装置提氩改造方案的研究[J]. 低温与特气, 2024, 42(4): 28-31.
- [4]吴波. 10000m³/h 空分装置氧气透平压缩机优化改进总结[J]. 中氮肥, 2024(4): 60-63.
- [5]焦松涛. 空分装置安全风险管控与事故预防措施[J]. 中氮肥, 2024(4): 64-67.
- [6]李潇, 乔舰, 刘岩等. 煤化工空分装置汽轮机组高压蒸汽管线应力分析[J]. 盐科学与化工, 2024, 53(5): 43-46.

作者简介: 田兴兵(1987.8—), 男, 西北民族大学, 化学工程与工艺专业, 就职单位国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司, 职称工程师。