

论空分装置爆炸危险性分析与安全技术措施

毛建武

国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司, 宁夏 银川 750000

[摘要]空分装置属于化工生产必不可少的基础设备,空分装置的安全性能将会显著影响到企业的人员安全以及财产完整。近些年来,高效化、自动化、大型化的空分装置转型趋势更加突出,空分装置由于不慎操作、维护与管理而导致的爆炸风险等级也在持续提升。因此如何采用积极、有效的措施预防空分装置的爆炸事故,应当成为化工生产工艺获得可持续发展的关键所在。

[关键词]空分装置;爆炸危险性;安全技术措施

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17612

中图分类号: X913

文献标识码: A

Discussion on Analysis of Explosion Hazards and Safety Technical Measures for Air Separation Plants

MAO Jianwu

Coal to Oil Branch of CHN Energy Ningxia Coal Industry Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750000, China

Abstract: Air separation units are essential basic equipment in chemical production, and their safety performance will significantly affect the safety of personnel and the integrity of property in enterprises. In recent years, the trend of efficient, automated, and large-scale transformation of air separation units has become more prominent, and the explosion risk level caused by careless operation, maintenance, and management of air separation units is also continuously increasing. Therefore, how to adopt active and effective measures to prevent explosion accidents in air separation units should become the key to achieving sustainable development of chemical production processes.

Keywords: air separation device; explosion hazard; safety technical measures

引言

空分装置即为“空气分离装置”,其基本作用就是实现空气分离。随着化工生产工艺的加快转型,化工领域的空分装置型号与功能更加多样化,企业人员应结合化工生产的实际需求进行合理的选取。为保证化工生产的稳定开展,企业人员还需要深入分析空分装置发生爆炸事故的风险等级,采用因地制宜的风险防控方案,将空分装置爆炸的发生率降低至最小程度。

1 空分装置的基本运行原理

空分装置的作用在于空气分离,化工生产中常用的空分装置应包括空气冷却设备、空压机、膨胀机、净化设备、液体贮存设备、产物压缩设备、精馏设备等,以上部分共同组成了完整的空分装置。具体在空分装置的运行过程中,空气压缩机首先需要压缩空气原料,并且对于空气进行净化;然后在空冷设备的辅助下,经压缩的空气产物将会迅速降低原有温度,还需要经过精馏器与换热器的气体分离、转化^[1]。

经过机械自动分离得出的液态氮、液态氧等成分将会输入到存储装置,通常设计为液态产品的压缩存储机,从而得

出最终的空气分离产物。在目前的化工生产发展趋势下,空分装置正在被广泛应用于化工、环保、医疗等生产实践领域,体现出空分装置在化工生产方面的良好适用性^[2]。

如下图1,为空分装置的基本运行原理图:

2 空分装置的爆炸危险性分析

2.1 硬件设计存在缺陷

一些空分装置在系统硬件的设计方面存在固有缺陷,由此埋下空分装置发生燃爆事故的重大隐患。多数情况下,易造成空分装置发生爆炸的硬件缺陷主要为分馏塔的冷箱系统、活塞式氧压机的气缸部位、管路堵塞等因素。例如在碳氢化合物的总量超出系统最大的承受限度时,那么空分装置的输送管路就会呈现出运行不畅的特点,进一步影响到系统局部区域的液氧流量指标,甚至直接引发制冷设备的爆炸;活塞式的氧压机如果存在气缸温度超标的现象,则会造成皮套、活塞环、密封件等结构件发生剥落,由此造成氧气与易燃物充分混合。如果此时的气筒空间不慎落入了金属碎片,则会在碎片撞击或者相互摩擦的作用下形成大量的电火花,从而引发气封渗漏或者密封圈失效的严重后果^[3]。



图1 空分装置的运行原理图

除了以上的硬件设计缺陷问题之外,容易造成空分装置出现爆炸的常见隐患还集中于分馏塔的冷却系统、氧气涡轮的压缩机组、增压涡轮的膨胀机组、氮气的涡轮机组部位。以上机组的设备运行压力一旦超出了规定限度,则通常容易造成空分装置的关键节点发生损坏。出现断裂情况的空分装置连接处就会引发易燃气体的泄漏,从而威胁到操作人员的人身安全。

2.2 易燃易爆物的聚集

易燃易爆的化工气体或者生产原料如果在短时间内快速积聚,那么液态氧中溶解的易燃易爆物就会达到“爆炸下限”。现阶段的调查统计数据显示,能够被液态氧溶解的“最危险可燃物与爆炸物”即为丙烯,其次为乙炔、甲烷等气体,而丁烷等气体混合物也存在一定程度的爆炸风险^[4]。能够快速溶解于液态氧的乙炔气体混合物本身具有不稳定的溶解度指标,并且属于“不饱和烃”的范畴,由此决定了该气体混合物具备相对较差的稳定性。在此前提下,如果空分装置所承载的乙炔等气体达到了“爆炸下限”的指标,那么无法经过沉积而转化为固态形式的易燃物就会迅速引发爆炸。尤其是在摩擦、碰撞、净电荷等外界作用的辅助下,空分装置发生爆炸的概率将会更高。

除了易燃物可能会造成空分装置的爆炸后果之外,化工生产中常见的某些“助燃物”同样容易引发重大的爆炸灾害,最为典型的就是“液态氧”或者纯氧的助燃物。具有很强氧化性的液态氧或者纯氧一旦遇到可燃化工原料,那么氧化反应的进程就会明显加快,还会在很短的时间里释放出大量的反应热。由于以上因素导致的不利影响,空分装置的输送管道就会被引燃,导致空间狭窄的装置管道内部发生剧烈的爆炸^[5]。

如下表 1,为爆炸混合物的类型及其“爆炸下限”: (其中,统计爆炸混合物“爆炸下限”的主要依据为液态氧内的爆炸物体积占比)

表 1 引发空分装置爆炸的爆炸混合物的类型及其“爆炸下限”

易爆物类型	溶解状态	爆炸下限 (%)
乙炔	悬浮	2.79
丙烷	分层	1.48
甲烷	溶解	19.90
乙烯	悬浮	4.28
丁烷	悬浮	1.42
丙烯	分层	0.36

2.3 可燃性的气体泄漏

造成空分装置爆炸的因素不仅在于可燃物或者助燃物、管道等硬件设计不当,而且还体现在气体泄漏的潜在威胁。处在运行过程中的空分装置如果遇到高压、高温或者明火等外部条件,那么经由管道而缓慢溢出的易燃易爆气体将会触发火源而导致燃爆事故。空分装置在缓慢泄漏

可燃性气体的状态下,装置的内部压力就会失去良好的平衡性,以上因素就会造成装置内部空间呈现快速的压力下降趋势,并导致气流冲击引发管道破裂、剧烈振动等后果^[6]。

例如在空分装置中的煤气缓慢溢出影响下,处于管道狭小空间内的可燃气体密度将会达到“顶点”。逐渐溢出管道的煤气还会与空气中的氧气充分混合,从而在很短的时间里发生爆炸,直接威胁到附近人员的人身安全。尤其是在化工企业车间明火掉落的状态下,触及火源的可燃性气体就会迅速发生燃烧,位于附近区域的人员甚至无法进行有效的躲避。例如与液体气体比较,乙炔更易溶于液态氧,此类物质的溶解度将会随着温度降低而降低。乙炔的化学活性高而且稳定性差。当空气降温到-173℃时,乙炔并不能以固体状态沉淀下来,而是随着空气被带到塔中;其在液相中的溶解度相对较高,通常不在液相中沉淀,而是随着液空流入上部分的馏柱,然后以液氧形式进行沉淀。近些年来,化工生产车间由于乙炔等物质燃烧或爆炸而导致的重大伤亡事故时有发生。

3 空分装置的爆炸风险防范以及安全保障措施

空分装置一旦存在爆炸物或者易燃物超标的风险,则化工企业人员需对此采取行之有效的整改解决方案,旨在最大程度上降低空分装置的安全隐患等级,切实保障企业人员以及财产的完整性。但是在目前看来,一部分化工企业人员仍缺乏对于设备运行隐患的监测预警意识,某些化工企业还缺少物联网的自动感测仪器作为支持,总体上呈现出较低的信息化监测预警水平。基于以上的因素考虑,全面防范空分装置的爆炸灾害事故应体现为如下的技术优化措施:

3.1 加强密封,严防管线渗漏

加强对于空分装置的管线接头等部位密封,可以有效降低装置发生燃爆事故的几率。相关负责人员应定期排查空分设备的管线连接处,一旦察觉到空分设备的管线接头存在磨损、严重腐蚀、连接松动等问题,那么立即着手进行修复或者更换结构件。企业应安排各车间、各班组人员负责定期查看管线的细微渗漏点,借助自动传感监测设备,对于隐蔽性、潜在性的空分装置运行隐患实施全方位的排查解决。化工厂空分装置的爆炸故障只有实现了精准的定位,则企业人员才能够对其实施有效的处理,从而在最短的时间里恢复装置的稳定运行。

当前背景下的化工厂人员应重视人工智能技术在设备故障定位方面的采用,主要在于物联网自动传感技术的应用。化工企业的设备检修人员需要通过实施全方位的故障点排查来明确空分系统的故障形成位置,使得企业人员能够在精准定位故障的前提下予以及时、妥善的处置。例如,某化工企业主要借助分子筛的净化装置来吸附乙炔成分,并且将空气吸收器(具备气体与液体吸收功能)连接于上部塔顶以及下部塔底等重点部位。由于空气吸收器的长期作用影响,

易燃易爆性的烃类物质、乙炔成分都能够得到大幅度的吸收。该化工企业经过一体化的分子筛净化设备改造,目前投入使用的净化设备已经能够持续抽出液态乙炔物质,然后将其排放至塔外予以汽化处理。一旦空气中的乙炔浓度达到了“燃烧或者爆炸下限”,则可以立即将其排放至空分装置的外部空间,同时还可以有效预防液态氧的剧烈燃烧事故。

3.2 消除静电, 定期润滑维护

空分装置所在的运行环境比较复杂,由于人为操作不慎或者静电影响都有可能造成爆炸。基于此,化工企业需要安排专门人员负责检查空分设备的运行环境,并采取有力措施消除“摩擦起火”造成的潜在威胁。企业人员还需要将防火门与防火墙布置在空分装置的周围区域,并且针对空分装置的管道连接部位采取润滑养护的改进方法。遵循因地制宜的指导思想,进一步加强针对操作人员的安全宣传与培训,敦促化工生产车间的一线作业人员牢固树立安全警惕意识。化工生产车间应当严格采取禁止明火的措施,企业各班组的管理人员应督促一线作业人员严格遵守规章制度,在维护人员安全的基础上降低企业的事故处置成本。化工生产车间的设备维护人员应具备强烈的责任心,能够运用专业知识来妥善处理空分装置的运行隐患。对于经过长期运行而存在老化、腐蚀、接头脱落等风险的设备管道接头需采用必要的加固以及润滑处理措施,确保改进后的空分装置在输送气体时更加顺畅,从而有效避免了管路严重堵塞的后果。

定期润滑存在老化或者异常的设备结构部件,化工企业的各班组人员之间应当加强协作,充分利用物联网传感器检测水泵设备老化构件。具体可以利用梅花垫来加固水泵的本体结构,对于水泵与换热器等关键部分的管线渗漏风险应保持高度的警惕性。化工厂空分装置中的换热设备具有较高的故障发生率,由此决定了企业人员应采取定期检测与更换老化结构件的措施,避免换热设备呈现出带病运行。空分装置水泵结构中的过滤器、止回阀、出口阀在液体的长期侵蚀下容易发生损坏,因此企业人员应密切重视水泵的使用异常情况,做到定期加固水泵的支撑基座及其连接管线。

3.3 在线监测, 优化预警机制

预防空分装置爆炸事故的有效方式就是建构动态的预警监测体系,化工企业应充分利用物联网、云计算、大数据等技术辅助工具,打造全员参与的空分装置安全预警管理模式。具体应明确空分装置在线监测的基本参数指标,此类指标至少需要包含乙炔、丙烯、甲烷、丁烷等可燃性气体。健全一体化、多层次的动态预警响应机制,企业人员需要结合科学监测得出的结果数据,启动某一级别的应急预案来进行处理。除此以外,化工企业还应当进一步完善自动化的紧急停车系统,充分利用紧急停车设备来切断设备电源或者动力源,从而达到防止损失扩大的目的。自

动传感器在检测到装置爆炸的高风险信号基础上,则应当立即触发与之相连的紧急停车按钮,立即中止空分装置的运行。并需要等待技术人员准确排查并消除了空分装置的爆炸隐患,才能够恢复该设备的正常使用。

化工企业人员对于可能大量生成爆炸性气体的区域空间,应使用防爆设备作为安全保障,并确保设备符合防爆等级的相关要求。企业应安排各班组的专门负责人员,确保其能够及时对于空分设备进行表面清洁处理。根据空分设备的生产厂家规定,空分装置在使用一个循环后需要停止运转一次,然后安排相关负责人员对于装置进行一次的全面加热,使得装置中的烃类及油脂得以完全排出。企业人员还应采取定期的防爆检查措施,及时发现并消除潜在的装置爆炸危险。在装置设备的停机状态下,为避免乙炔与碳氢化合物在自然挥发的过程中出现浓缩与沉淀,则需要首先将装置中的液空液进行彻底排出。企业负责人员还应当保证液体氧气的液位稳定,避免液氧液位在规定的水位以下。

4 结束语

综上所述,空分装置的爆炸危险形成根源较为复杂,集中体现在净电荷聚集、易燃易爆气体泄漏等方面。在目前的现状下,化工企业正在致力于采取有力措施来避免空分装置发生大规模的燃爆事故,但是仍存在一些化工企业人员具有麻痹大意的心理情绪,易导致空分装置常见的安全隐患遭受忽视。因此为了妥善解决空分装置在全寿命周期内的爆炸隐患问题,最关键的就是要健全企业的隐患监测预警机制,以期在根源上降低空分装置爆炸的事故率。现阶段的化工企业人员还需要掌握空分装置防爆、可燃气体泄漏监测等操作流程,充分利用信息化、数字化的仪器设备辅助,打造更加安全高效的化工生产运行空间。

[参考文献]

- [1]季云海,黄康.空分装置爆炸危险性分析与安全技术措施[J].化工设计通讯,2024,50(4):98-100.
- [2]王永健,陆君君.空分装置危险点分析及处理措施[J].化学工程与装备,2022(7):218-220.
- [3]陆君君,王永健.空分装置爆炸原因分析及其防范措施[J].化学工程与装备,2022(6):245-247.
- [4]傅吉品,何俊霖.空分装置危险性分析及处置注意事项[J].化工管理,2021(25):141-142.
- [5]陈慧慧,张神钊,王利聪,等.双重预防机制在大型空分装置中的建设与应用[J].河南化工,2021,38(7):59-62.
- [6]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.

作者简介:毛建武(1984.12—),男,毕业于湖南科技大学,化学工程与工艺专业,就职于国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司空分厂,中级职称。