

煤化工空分装置运行的安全性与经济性

高喜银 (河南神马氢化学有限责任公司, 河南 平顶山 467013)

摘要: 本文研究了煤化工空分装置中常见危险气体的危害及其对装置安全的影响, 通过对危险气体种类及特性的分析, 揭示了其对空分装置构成的物理和化学威胁, 包括物理堵塞、化学腐蚀、以及爆炸和火灾风险。针对煤化工空分装置的安全运行要求, 包括环境要求与布局考虑、关键工艺参数控制, 并详细阐述了常见危险源分析及注意事项, 特别是油分含量、总烃或总碳含量的监控与处理。本文强调了关键设备操作注意事项, 如精馏系统、换热系统与纯化系统、以及预冷系统的监控, 以确保空分装置的安全、高效、经济运行。

关键词: 煤化工空分装置; 常见危险气体危害; 安全运行; 经济性

0 引言

随着工业化的快速发展, 煤化工行业在国民经济中占据重要地位。然而, 煤化工空分装置在运行过程中常面临各种危险气体的威胁, 影响生产安全和经济效益, 也对环境造成潜在风险。因此, 研究煤化工空分装置中危险气体的危害及安全要求具有重要意义。通过分析常见危险气体的特性及其对空分装置的影响, 采取相应的安全策略和操作注意事项, 有效保障煤化工行业的安全生产和可持续发展。

1 常见危险气体危害

1.1 危险气体种类及特性

在煤化工空分装置中, 甲烷和乙炔作为典型的碳氢化合物, 具有易燃易爆的特性, 一旦在装置中积累到一定浓度, 极易引发火灾或爆炸, 对人员安全和设备完整性构成严重威胁。此外, 乙炔的不稳定性在高压或高温环境下尤为危险, 可能在没有明火的情况下自发分解。CO 和 CO₂ 虽然不具备易燃特性, 但在空分过程中的物理行为对设备运行安全同样构成威胁。CO 具有较强的还原性, 长期接触可以导致分子筛等吸附材料的性能退化, 影响空分效率。CO₂ 在低温环境下可直接从气态转变为固态“干冰”, 在分离过程中易造成换热器和管道的堵塞, 从而影响设备的正常运行和生产安全。氧化亚氮虽然化学性质相对稳定, 不容易与设备材料发生化学反应, 但其物理性质在空分装置中却可能导致问题。在液氧中, 氧化亚氮的积聚降低产品的纯度, 且在一定条件下, 氧化亚氮可从液态析出形成固态, 阻塞冷凝器和其他关键部件, 影响空分装置的效率和安全^[1]。

1.2 常见危险气体危害对空分装置安全的影响

常见危险气体在煤化工空分装置中的存在对设备安全运行构成显著威胁, 具体表现在物理堵塞、化学

腐蚀、以及爆炸和火灾风险上。例如氧化亚氮在液氧中的积聚会在冷凝器中析出, 形成固态物质阻塞关键部件, 会降低设备的操作效率, 还可能因为堵塞导致设备过载运行, 增加设备损坏的风险。在化学危害方面, CO 的强还原性能降低分子筛等吸附材料的性能, 影响空分过程中的气体纯化效率, 还会导致需要更频繁的维护和更早的设备更换, 增加运营成本。碳氢化合物如甲烷和乙炔的存在则带来易燃易爆的危险, 此类气体在设备中积累到一定浓度后, 极易在操作不当或设备故障的情况下引发火灾或爆炸, 对人员安全和设备安全构成直接威胁。

2 煤化工空分装置安全要求

2.1 环境要求与布局考虑

表 1 环境要求与布局考虑

类别	参数	标准或要求	备注
环境要求	氢硫化物 (H ₂ S)	$\leq 0.5 \times 10^{-6}$	确保原料气纯度
	甲烷 (CH ₄)	$\leq 3 \times 10^{-6}$	减少爆炸风险
	乙炔 (C ₂ H ₂)	$\leq 1 \times 10^{-6}$	控制易燃气体的浓度
	二氧化碳 (CO ₂)	$< 400 \times 10^{-6}$	防止设备堵塞
布局考虑	空压机吸气口位置	放置于污染源上风口	减少有害气体吸入
	与污染源距离	保持足够距离	降低污染物影响

环境要求对于空分装置的安全至关重要, 因为设备周围的空气质量直接影响到原料气的纯度。如对原料空气中的氢硫化物、甲烷、乙炔和二氧化碳等有害气体含量都有严格的限制, 其标准分别为 $w(\text{H}_2\text{S}) \leq 0.5 \times 10^{-6}$, $w(\text{CH}_4) \leq 3 \times 10^{-6}$, $w(\text{C}_2\text{H}_2) \leq 1 \times 10^{-6}$, $w(\text{CO}_2) < 400 \times 10^{-6}$ 。此类标准确保了进入空分装置的空气足够纯净, 减少了可能的安全风险。在布局考虑方面, 空分装置的位置选择需充分考

虑周围的工业环境和主导风向。此类布局策略关乎设备的效率，也关系到整个装置的安全运行和维护成本。详情见表 1。

2.2 关键工艺参数控制

在煤化工空分装置的运行中，温度的控制对空分装置至关重要，因为温度的异常波动不仅影响分离效率，还可能导致设备部件的损坏或安全事故。如二氧化碳在低温环境下可能会凝固成干冰，堵塞管道和换热器，故需通过温度控制系统来确保气体在安全的温度范围内运行，通常维持在 CO₂ 的凝结点以上，约 -78℃。压力控制同样关键，因为不当的压力设置可能引起设备结构的失稳或气体泄漏，特别是在处理高压气体如氧气和氮气时，适当的压力管理能够防止潜在的爆炸风险。对气体流速的监控也不能忽视，流速过快可能导致系统压力异常，流速过慢则会影响分离效率和生产效率^[2]。

3 常见危险源分析及注意事项

3.1 油分含量管理与控制

在煤化工生产基地，如果空气分离装置中的油脂隔离不受控制，不仅会减少气体纯度，更可能引发包括火灾和爆炸在内的安全隐患。在空分装置内部，污染物主要来自压缩空气循环过程，尤其是压缩机密封不良，使润滑油渗入装置。由于机械运行特性，润滑剂可能会在设备各部分积聚，特别是在制冷和较低温度的部分，要想精确地控制油量标准，需要严格控制操作流程，对机器排出气体温度和压缩装置的润滑油消耗精准控制。其中包括定期对压缩机内的油水分离部件进行检查，清理内部积存的液体，确保系统内无油渗入。

在油质管理过程，需要定时对空气分离设备进行仔细检查，以保障其正常运转，并实时跟踪设备运行过程中或出现的任何油液泄漏或油液积聚。在设备暂停运作或进行保养时段，务必要对膨胀机器的保护气体工作状态持续监测。一旦察觉到压缩气体压不足，需要立刻截断燃油泵电源，避免油气混合物渗入系统。在新搭建氧气提取设备之前，必须对所有机器部件执行严格的清洗去油步骤，特别是那些将要直接接触到液氧或氧气的关键部件，如显示屏、接合密封件以及流体调节阀，在充满氧气的状态中，任何燃油物品的存在时都可能导致严重的火灾与爆炸风险。

3.2 总烃或总碳含量监控与处理

在气态或液态物质的化学成分里，碳氢化合物种

的总体积度被称作碳氢化合物的汇总；而总碳量则是指包含了所有形态的碳原子，从二氧化碳气到一氧化碳气体的各类碳化合物。如果不对这些重要因素进行严格的把关，产品品质将严重下滑，而且可能因为设备的损坏或操作安全事故而带来严重的后果。凭借尖端技术可以精确测定原料气体和最终产品中的总烃含量，也能识别潜在有害气体成分。在煤化工行业中，特别是在空分装置的应用场景中，监控该类参数是为了满足安全生产的需要，也是为了保证最终产品的质量和符合环保要求。重点监测总烃类，主要是为了管控像天然气主要成分和电石气这样的易燃有害气体，这类气体的含量直接关联到生产安全，也可能对生态环境构成威胁，天然气若在气体浓度超出 5%（按体积计），便会触及爆炸极限的最低门槛，故其浓度必须被严苛地把控在安全范围内。乙炔作为极其活跃的烃类化合物，其监控标准通常更为严格，常常需要控制在低于 0.1%（体积比）。

在处理方式上，空气分离装置一般配备有层叠的净化系统，以清除原气体中的所有碳氢化合物或总碳量，此类系统可能由吸附单元、低温分离技术以及化学反应器等组成。尤其是采用分子筛或活性炭类吸附剂的系统，其吸附层效能显著，能有力清除碳氢化合物及其他有机污染物。利用低温差异法促使碳氢化合物固化，完成从气态到固态的转换的高科技方法。在特定情境中，通过催化氧化过程，可以将有害碳氢化合物转变成为环保的二氧化碳和水，有效降低环境污染释放。

4 关键设备操作注意事项

4.1 精馏系统操作

精馏系统是空分装置中负责气体的分离和纯化的，操作精馏系统需要严格遵守一系列的操作步骤以保证系统效率和安全。在执行系统操作之前，务必确保所有监控工具如温度计、压力表及流量计等控制装置运行无误。精确度达到规定标准，确认设备运作正常后，便可激活精馏塔加热系统，通常依靠蒸汽或电能来供应所需热量，以保持必要的操作温度。精确控制精馏装置气态物质的输入，将已经预处理的气体原始物质分阶段输送到塔中，在输送过程中需细心调整，保证气体流动的流速和压强都保持在事先设定的安全阈值内，防止由于速度过猛或压力过大而对系统造成过重的压力。在气体输入过程中，要持续监控精馏塔顶和底的温度和压力，因为此类参数直接影响分离效

率和产品纯度。

4.2 换热系统与纯化系统

在煤炭化学工业的分离过程中，降温与热能交换系统以及气体净化装置的顺利运行，是保持整个生产过程安全稳定与提高工作效率的关键环节。在空气分离过程中，热交换机制扮演着调控温度的关键角色，其能够高效从原始气体中搜集热量，并确保各分离物质经历恰当的降温或升温过程。在进行热传递时，所有换热器的流体进出口必须保持温差在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内，同时压差需控制在 $\pm 0.1\text{MPa}$ 以内，才能确保体系的正常运作。而定期对换热器内腔进行清洗和隐患排查，是确保其热交换效果的重要措施，有效避免设备提前报废。

纯化系统则负责去除进料气中的杂质，如水蒸气、二氧化碳和微量碳氢化合物。操作纯化系统时，吸附剂的选择和更换频率是关键因素，通常使用活性炭或分子筛作为吸附剂，其更换周期通常不超过 5000 运行小时。操作人员应密切监控吸附系统的压力降和吸附剂饱和状态，一旦达到吸附容量的 80%，即应启动再生程序，该程序包括加热至 150°C 和减压至大气压的步骤，以恢复吸附剂的活性^[3]。

4.3 预冷系统监控

预冷系统在空分装置中的作用是通过冷却压缩空气，以准备其进入蒸馏塔前的液化或冷凝过程，因此其稳定运行对整个空分过程至关重要。预冷系统的监控主要包括检查系统的温度、压力、流量和冷却效率。操作预冷系统时需要确保所有冷却介质（通常为冷水或制冷剂）的供应系统工作正常，冷却介质的温度和流量必须符合操作要求。如进入换热器的冷却水温度通常需要维持在 5°C 以下，以保证足够的冷却能力。在预冷系统的日常操作中，监控压缩空气的入口和出口温度是至关重要的，可以通过温度传感器来实现。入口温度通常应控制在环境温度范围内，而出口温度则应达到设计参数，如常见的出口目标温度可能设置为 10°C 。

5 煤化工空分装置运行的经济性

在煤炭化工行业的分离设备运作中，经济效益是衡量工作效能与成本管理重要性能指标的标准。装置的设计和操作需要精心规划，以确保在确保安全的同时，也能达到最佳的经济效益。在进行空分过程中关键在于如何有效控制运行成本，包括能源消耗、维护费用以及原材料的利用效率。在空气分离装置中，大

部分能源消耗是用电量大户，主要被用于压缩气体、温度调节等步骤，以此来分离出必需的气体成分。使用高效率节能压缩机及热交换技术，改进流程能源利用效率，有效降低能源消耗量。此外，通过实施能源回收系统，如将分馏过程中释放的热能回收用于加热或产生电力，可以进一步降低外部能源的需求。

定期维护设备是降低长期运营成本的重要手段，如空气分离装置中的关键组件如压缩装置、热交换设备和分离机制，都需要按时进行详细审查与必要的维护，此基础上才可以防止意外的故障发生，减少因停机带来的损失。频繁出现故障常常导致高额维修费用和重大的生产损失，实施预测性维修策略，借助实时信息严格追踪设备表现，及时识别并处理故障，以此减少非计划停机次数，并提高设备运行效率。

在煤炭化工行业的空气分离装置中，提高原料气质量，能够明显减少能耗和物料损耗，进而提升资源运用的经济回报，精确定制进气成分比例，降低有害物质含量，不仅提升气体产品质量，还减少吸附和催化材料的损耗，进而增加使用寿命并降低更换频率。借助自动化的力量，对控制系统进行细致调整，以此提高执行的精确性和持续稳定性，降低人为错误，从而显著提高系统整体运行的高效性，在保障生产过程无虞的前提下，自动化机械能够精确调控诸如温度值、压力值、流速指标等工作参数，使其恒久维持在最优工作状态，其不仅使产品维持高规格与高品质，同时通过减少损失和提升原料使用效率来提高成本效益比。

6 结语

本研究深入探讨煤化工空分装置中危险气体的危害及安全要求，通过详细分析危险气体的种类、特性及其对装置安全的影响，提出针对性的安全要求和操作注意事项，此类研究成果对于保障煤化工行业安全生产、减少环境风险具有重要价值。未来，将持续关注煤化工行业的最新发展，不断完善和优化安全要求，为行业的可持续发展贡献力量。

参考文献：

- [1] 卞广涛, 张伟, 付志强. 便携式危险气体取样分析数据实时打印的研究 [J]. 劳动保护, 2024, (04): 104-106.
- [2] 程玉超. 危险作业场所气体泄漏数值模拟分析 [J]. 中国公共安全 (学术版), 2013, (01): 61-65.
- [3] 袁立志. 常见危险气体危害及对煤化工空分装置安全的影响 [J]. 石化技术, 2017, 24(08): 34+56.