

# 石化企业储运过程 VOCs 回收装置运行情况及技术改造

龙泽霖（中国石化海南炼油化工有限公司，海南 洋浦 578101）

**摘要：**在石化企业的储运过程中挥发性有机化合物（VOCs）的排放一直是相关企业在环保治理的重点问题。VOCs 回收装置在减少排放和资源回收方面发挥重要作用。但仍面临着诸多挑战，需要通过技术优化改造来不断地提升其工作效能。本文分析了储运过程中挥发性有机化合物（VOCs）回收装置的运行状况及技术改造。通过对回收装置的运行原理、现状及存在问题进行深入分析，提出针对性的技术改造方案，提高回收装置的运行效率，减少 VOCs 排放，助力石化企业实现绿色发展。

**关键词：**石化企业；储运过程；VOCs 回收装置

中图分类号：X701 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 015-0093-03

## Operation and technical transformation of VOCs recovery equipment in the storage and transportation process of petrochemical enterprises

Long Zelin (Sinopec Hainan Refining and Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578101, China)

**Abstract:** The emission of volatile organic compounds (VOCs) during the storage and transportation process in petrochemical enterprises has always been a key issue in environmental protection management for related enterprises. VOCs recycling devices play an important role in reducing emissions and resource recovery. But it still faces many challenges and needs to continuously improve its work efficiency through technological optimization and transformation. This article analyzes the operation status and technical transformation of volatile organic compound (VOCs) recovery devices during storage and transportation processes. Through in-depth analysis of the operating principle, current situation, and existing problems of the recycling device, targeted technical transformation plans are proposed to improve the operating efficiency of the recycling device, reduce VOCs emissions, and help petrochemical enterprises achieve green development.

**Keywords:** petrochemical enterprises; Storage and transportation process; VOCs recycling device

随着环保要求的不断提高，石化企业在储运过程中对挥发性有机化合物（VOCs）的排放控制愈发重要。VOCs 回收装置不仅会对大气环境造成一定的污染，形成光化学烟雾、臭氧等一系列的危害，还对人体健康产生不良影响。深入的研究高效运行的 VOCs 回收装置对于石化企业是至关重要，VOCs 回收装置满足了环保法规要求，也实现了资源的回收利用效率，降低企业的生产成本。全面的了解回收装置的运行情况并适时进行技术改造，对石化企业的可持续发展起到重要的作用，是势在必行的。

### 1 VOCs 回收装置运行原理

#### 1.1 吸附法

VOCs 气体分子在通过吸附剂（如活性炭、分子筛等）时，由于吸附剂具有较大的比表面积和特定的微孔结构，VOCs 分子被吸附在吸附剂表面。这是由于分子间的范德华力，对于活性炭而言其丰富的微孔可以提供大量的吸附位点。当吸附剂吸附达到一定饱和度后，需要进行脱附再生。常用的脱附方法有升温脱附、减压脱附等。升温脱附是利用温度升高时，吸附剂与 VOCs 分子之间的吸附力减弱，VOCs 分子获得足够能量从吸附剂表面解吸出来，对已吸附饱和的活性炭用

热蒸汽或热空气进行加热，使甲苯、二甲苯等挥发性有机化合物分子从活性炭上解吸下来，形成高浓度的挥发性有机化合物气体，以便进行后续的回收或处理。减压解吸是指降低吸附系统的压力，使得挥发性有机化合物分子更容易从吸附剂表面脱离。解吸后得到的高浓度挥发性有机化合物气体通过冷凝等方式进行回收。例如，利用冷却器对解吸出的气体进行冷却，使挥发性有机化合物从气态转变为液态，从而实现对挥发性有机化合物的回收。回收得到的挥发性有机化合物可在生产过程中再次使用，或者进行其他处理。

#### 1.2 冷凝法

VOCs 回收装置利用 VOCs 在不同温度下饱和蒸气压的差异。当废气被冷却到一定温度时，VOCs 的饱和蒸气压降低，当废气中的 VOCs 分压高于其在该温度下的饱和蒸气压时，VOCs 就会从气态转变为液态或固态而被分离出来。对于一些高沸点的 VOCs，如重油分馏过程中产生的 VOCs，将废气冷却到较低温度（如-10℃到-30℃），VOCs 就会冷凝成液体，从而实现回收。为了提高冷凝回收的效率，常常采用多级冷凝的方式。不同的 VOCs 组分有不同的沸点，通过逐步降低温度进行多级冷凝，可以将不同沸点范

围的 VOCs 分别回收。例如,第一级冷凝在较高温度下回收高沸点的 VOCs 组分,然后将未冷凝的气体再送入下一级在更低温度下进行冷凝,回收中低沸点的 VOCs 组分<sup>[1]</sup>。

### 1.3 吸收法

吸收法是利用液体吸收剂对 VOCs 的溶解性,将其从气相转移到液相中。常用的吸收剂有水、有机溶剂等。含 VOCs 的气体与吸收剂在吸收塔内逆流接触,VOCs 被吸收剂吸收,净化后的气体排出。吸收了 VOCs 的富液经过解吸等处理,使 VOCs 从吸收剂中释放出来,实现吸收剂的再生和 VOCs 的回收。吸附法能够高效地去除低浓度的 VOCs,且吸附剂可以再生循环使用。不过吸附剂容易受到水汽、杂质等因素的影响,导致吸附性能下降,吸附剂再生过程需要消耗一定的能量,并且再生过程如果控制不当,可能会导致 VOCs 二次排放。

### 1.4 膜分离法

膜分离法利用特殊的高分子膜,这种膜对 VOCs、氮气与氧气等气体都具有不同的渗透性。VOCs 分子在膜两侧分压差的驱动下优先透过膜,而其他气体会直接被截留。在处理石化行业废气中的 VOCs 时,含 VOCs 的混合气体被送入膜分离装置,VOCs 分子会透过膜到达膜的另一侧,从而实现 VOCs 与其他气体的分离。透过膜的 VOCs 可以被收集起来进行回收利用,而被截留的气体如果达到排放标准就可以直接排放,否则需要进一步处理,才可以进行排放。在一些工艺中,为了提高 VOCs 的回收率,会采用多级膜分离或者将膜分离与其他回收方法(如吸附法)联合使用的方式。膜分离技术具有高效、节能、无相变等优点,但对膜材料的性能要求较高。

## 2 石化企业储运过程 VOCs 回收装置运行现状

### 2.1 运行效率与选型

在石化企业储运环节中 VOCs 回收装置的运行效率依然存在很多问题。部分企业的回收装置由于前期工艺设计存在不合理的地方,加上设备长期运行后出现老化现象,实际回收效率很难达到预期的设计效果。以吸附法回收装置为例,吸附剂在使用过程中吸附性能逐渐降低,同时吸附床层可能出现分布不均匀的状况,这些因素共同作用,致使其对低浓度 VOCs 的吸附效果大打折扣会影响整个回收流程的效率。在设备选型的关键环节上,不少企业存在考虑不周的情况,没有全方位地考量设备是否适用以及是否具备可靠性能。例如,吸附剂的选择中部分企业往往只看重价格因素,选择那些价格比较低廉的吸附剂,这些吸附剂的吸附性能差强人意,不能很好地满足企业在生产

或者其他相关流程中的吸附需求,使用寿命也短,需要持续更换,这不仅增加了频繁更换的人力成本,还可能影响到整个生产或者作业流程的连续性。在制冷设备的选用上有些企业不能根据实际需求准确确定设备的性能参数,导致使用的制冷设备性能参数与实际需求不匹配,从而使得制冷效果不能达到预期标准。另外,企业对设备的维护重视不够,有的企业尚未建立完善的设备维护管理制度,在这种情况下设备运行过程中缺乏维护,导致出现老化、损坏等各种问题,这不仅会缩短设备的正常使用寿命,增加设备更新成本,还可能导致企业生产运营因设备故障而遭受意外障碍和损失<sup>[2]</sup>。

### 2.2 较高的运行成本

VOCs 回收装置的运行过程运行成本主要体现在能耗与耗材方面。冷凝法回收装置依赖大量电能来实现制冷功能,吸附法回收装置在吸附剂再生环节需要消耗众多热能,这都导致出现高昂的能源成本。而吸收剂和吸附剂等材料需要定期更换,这些材料的成本相对较高,无疑进一步加重了石化企业的运行成本负担。

### 2.3 自动化运用率低

当前,部分石化企业的 VOCs 回收装置还存在自动化程度较低的情况,在很大程度上主要依赖于人工操作。例如,吸附法回收装置在吸附剂再生期间,温度、压力等参数需要人工频繁监测,并根据监测结果进行操作调整。这种方式不但增加了人力成本,还会由于人为操作出现难以避免的失误情况,也容易导致装置运行不稳定的情况发生。

### 2.4 人员技术水平不足

就操作人员而言技术水平在很大程度上左右着回收装置的运行效果。在一些石化企业中操作人员对 VOCs 回收装置相关知识的掌握程度差强人意。例如,对于回收装置的工作原理,会存在操作人员了解不透彻的问题。在操作规程上也存在不够熟练的情况,对于一些操作步骤的顺序、关键操作要点等未能牢记于心。这就导致在实际的操作过程中误操作的情况时有发生。例如,可能在应该进行某项参数调整的时候没有操作,或者错误地调整了不应该变动的参数,这都可能影响到回收装置的正常运行,降低其回收效率,甚至可能引发一些安全隐患。

### 2.5 管理体系不完善

废气回收装置的运行在企业自身的管理体系中起着至关重要的作用,一些企业尚未建立健全的环境管理体系,在 VOCs 回收的运行和管理方面缺乏有效的监督和评估机制。与此同时,在与其他生产环节的协

调配合方面也存在不足，导致废气回收装置的运行受到其他生产环节的影响。企业对操作人员的培训重视不够，在这方面的投入不足。除此之外，在技术不断发展的背景下，新技术和新设备层出不穷，相关知识体系也在不断更新，然而企业未能及时向操作人员传授新知识和新技能，使得操作人员的知识体系长期处于滞后状态。因此，操作人员无法满足新设备的新要求与操作规范，从而制约了 VOCs 回收装置的高效运行。

### 3 VOCs 回收装置技术改造方案

#### 3.1 工艺优化

①吸附法回收装置。在实际生产工作中管理人员应根据具体情况对回收工艺进行全面的优化和调整。例如，吸附法回收装置通过增加预处理工艺，对含有挥发性有机化合物的气体进行过滤、除湿等处理提高高吸附剂的吸附效率和使用寿命。同时，优化吸附床层结构采用多级吸附、变压吸附等技术提高对不同浓度挥发性有机化合物的吸附效果。无论是高浓度还是低浓度的挥发性有机化合物，经过优化的吸附装置都能够有效地进行吸附处理<sup>[3]</sup>。②冷凝法回收装置。冷凝回收装置对制冷系统的设计进行优化。在选择制冷机组和制冷剂的时候，要挑选那些高效的产品。这样做能够提高制冷效率，从而降低整个装置的能耗。这样保证了企业的成本控制和节能减排。当然还应增加气液分离设备来提高 VOCs 的回收纯度，使得回收后的 VOCs 能够更好地满足后续的使用需求或者达到更高的环保标准。③吸收法回收装置。对于吸收法回收装置，在企业生产中吸收剂的选择是关键，相关工作者要挑选合适吸收剂，提高吸收效率，并且让吸收过程更具选择性。同时，对吸收塔的内部结构进行优化也是非常必要的。比如，可以增加填料层的高度，改进分布器等。这些改进措施能够让气液接触效果得到改善，从而提高整个吸收法回收装置的回收效果，使得更多的 VOCs 能够被有效地吸收。

#### 3.2 设备升级

①及时更换升级设备。对于存在老化或者损坏的设备要及时进行更换或升级。在选择新设备的时候，要优先选用性能更加可靠、效率更高的产品。例如，可以采用新型的吸附剂，这种吸附剂可能具有更强的吸附能力和更好的稳定性以及高效的制冷设备能够更快速地制冷，降低能耗，而耐腐蚀的吸收塔则能够在复杂的环境下长时间都能够稳定运行。还要加强设备的日常维护保养工作，建立设备档案，定期对设备进行检查、维修和保养，确保设备始终处于稳定的运行状态，减少设备故障带来的生产中断和损失。②引进自动化系统。相关研究人员还应引入先进的自动化控

制系统，实现对回收装置的实时监控和自动控制。具体而言，安装各种传感器、控制器等设备。这些设备能够对温度、压力、流量、浓度等重要参数进行实时监测。一旦这些参数发生变化，系统就可以根据设定好的参数自动调整设备的运行状态。例如，当 VOCs 浓度超过设定值的时候，系统能够自动启动备用吸附床或者提高制冷功率。这样的自动化控制能够确保回收效果始终保持在一个较好的水平，提高整个回收装置的工作效率和稳定性。

#### 3.3 人员培训

加强对操作人员的技术培训，提高其业务水平，培训内容包括回收装置的工作原理、操作规程、常见故障诊断与处理等。邀请专业技术人员进行授课，同时组织操作人员到先进企业进行交流学习，拓宽其知识面和视野，把在外面学到的好经验带回自己的企业，应用到实际工作当中。还应定期对操作人员进行考核，将考核结果与绩效挂钩，激励操作人员不断提高自身技术水平，鼓励操作人员提出技术改进建议，对有价值的建议给予奖励。

#### 3.4 管理体系完善

建立健全环境管理体系，完善 VOCs 回收装置的运行管理制度。明确各部门和人员的职责，加强对回收装置运行过程的监督和考核。制定详细的操作规程、维护保养制度、安全管理制度等，并严格执行。加强与其他生产环节的协调配合，建立有效的沟通机制。例如，与储运部门及时沟通物料的进出情况，根据物料的特性和流量调整回收装置的运行参数。同时，与环保部门保持密切联系，及时了解环保政策的变化，确保回收装置的运行符合环保要求。

综上所述，石化企业在储存和运输环节中 VOCs 回收装置的运行状况直接影响着企业的环保效益和经济效益。本文对当前的运行状况及存在的问题进行分析，并提出一系列技术改造方案有助于提高回收装置的运行效率和稳定性、降低运行成本，并减少挥发性有机化合物的排放。石化企业必须高度重视挥发性有机化合物回收装置的运行和管理工作，并持续开展技术改造与创新。只有这样，企业才能满足日益严格的环保要求，确保实现企业的可持续发展目标。

#### 参考文献：

- [1] 张逸. 石化企业储运过程 VOCs 回收装置的运行问题研究 [J]. 生物化工, 2024, 10(06): 122-124+140.
- [2] 姚智. 石化企业储运过程 VOCs 回收装置运行情况及技术改造 [J]. 炼油技术与工程, 2022(12): 45-48.
- [3] 王昊, 郑成刚, 高景龙, 杜一非. VOCs 回收治理设施改造及应用 [J]. 石化技术, 2024(10): 136-138.