

淤浆法聚乙烯装置排放气处理工艺选择分析

范梦笔

(中石化英力士(天津)石化有限公司, 天津 300450)

摘要 本文关注淤浆法聚乙烯装置排放气处理工艺相关内容。首先对聚乙烯的生产状况以及排放气的具体情况加以阐述, 同时深入分析排放气的来源、组分, 以及其理化参数所呈现出的特性和相应的处理需求。其次剖析主流的资源回收型工艺和末端治理型工艺的各自原理、特点以及适用场景, 并且构建一套评价体系, 以对各类工艺展开综合性的评价。最终提出工艺选择应当遵循的原则以及可采取的优化路径, 旨在为相关工艺的选择提供参考。

关键词 淤浆法聚乙烯; 排放气; 处理工艺

中图分类号: TQ32

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.11.038

0 引言

作为合成树脂家族中的重要一员, 聚乙烯不仅产量可观, 应用范围也极为广泛, 在包装、建筑、农业等领域都发挥着重要作用。淤浆法聚乙烯工艺有着技术较为成熟这一特点, 而且其产品所呈现出的密度范围也相对宽泛, 该工艺在分子量分布方面也较容易实现调控, 凭借这些优势, 其在高密度聚乙烯的生产环节中占据着极为关键的地位。但是, 聚乙烯在生产期间会产生数量颇多的排放气, 这些排放气主要源自聚合反应器所产生的尾气、闪蒸罐进行排气时的情况、脱气仓实施排气的相关环节以及溶剂回收单元出现的尾气等诸多方面。随着大气污染治理工作的不断向前推进, 石油化工行业针对挥发性有机物的排放管控举措日益严格, 这也对淤浆法聚乙烯装置排放气的处理工作提出了更高的要求。当下有一部分装置采取的是直接将其排放出去或者仅仅通过简单的焚烧等方式来处理, 如此一来便造成了资源的极大浪费并且还引发了大气污染问题。所以, 针对其排放气处理工艺展开更为细致的研究, 在理论层面以及工程实践层面都有着十分重要的意义。

1 淤浆法聚乙烯装置排放气特性分析

1.1 排放气来源

排放气在聚乙烯生产的诸多关键环节均有贯穿体现。就聚合反应器而言, 其尾气当中含有未充分完成反应的单体以及数量较少的副产物。闪蒸罐所排放的气体则是在物料进行闪蒸的时候, 其中部分轻组分发生气化而产生的。脱气仓排放出来的气体, 是聚乙烯

产品在脱气期间所释放出的吸附气体以及残留的单体。溶剂回收单元的尾气, 是溶剂回收过程中开展蒸馏、萃取等一系列操作时所产生的气体^[1]。各个不同环节所排放出的气体, 在组分方面以及工况上都存在较大的差异, 这无疑给后续处理工艺的选择带来了不小的挑战。

1.2 排放气组分特性

排放气所含组分颇为复杂, 其中包含了尚未发生反应的单体, 这些单体有着较高的回收利用价值; 另外还有惰性气体, 如氮气、甲烷等, 它们在相关操作中起到稀释以及保护的作用, 通常不会参与到化学反应当中; 溶剂蒸汽也在排放气里有所体现, 这些在生产环节会有一部分出现挥发的情况并进入排放气之中。

1.3 排放气理化参数特性

排放气的各项理化参数如压力、温度以及流量等因素, 会对处理工艺的选型产生影响。不同来源的排放气其压力存在较大差异, 其中聚合反应器尾气的压力有可能处于较高的状态, 而脱气仓排气的压力相对来说则比较低。温度一般是在 20 ~ 80 °C 这个区间范围之内, 并且会随着生产工况的不同而出现波动的情况。

1.4 排放气处理核心需求与约束

处理核心需求涵盖环保达标、资源回收、安全可靠以及节能高效等方面。环保达标意味着经处理后的排放气体污染物指标要契合环保标准, 以此来削减大气污染。资源回收在于回收那些具有价值的组分, 提升资源的利用率, 进而降低成本。安全可靠则要求处

作者简介: 范梦笔(1999-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 高密度聚乙烯。

理工艺不能对生产设备以及人员构成危害。节能高效是要降低能耗,提高能源的利用效率^[2]。

2 主流处理工艺分析

2.1 资源回收型工艺

2.1.1 压缩冷凝工艺

其原理在于借助气体组分所存在的饱和蒸汽压方面的差异,凭借压缩设备来提升排放气的压力,进而使得饱和蒸汽压得以降低,随后运用冷凝冷却装置促使可凝组分发生液化现象,如此便能够达成与惰性气体相分离的目的。此工艺自身较为成熟,操作起来也相对简单,而且所需的投资成本并不高,它能够适用于各种不同规模的装置,并且特别契合高浓度可凝组分排放气的处理需求。

2.1.2 膜分离工艺

依靠不同气体组分在膜材料中的渗透速率存在差异这一特性来达成选择性的分离效果。该方法有着分离效率颇为可观、能耗相对较低、设备所占的地面面积不大、操作起来较为灵活以及能够较好地抵御各种波动等诸多优点,可有效地将有价值的组分分离出来,实现资源的回收与再利用,并且其对环境所产生的影响也相对较小。但是它也有着投资成本偏高的缺点,而且膜材料很容易受到污染,对于高浓度溶剂蒸汽的耐受能力也比较差,所以更适宜在大型装置当中用于开展深度回收方面的处理工作,尤其适合用来处理那种低浓度且处于低压力状态下的排放气体^[3]。

2.1.3 深冷分离工艺

利用深度冷却的方式把排放气的温度降到非常低的水平,如此一来,其中的可凝组分便会液化,进而和惰性气体实现分离,其分离的效率相当高,能够实现单体的深度回收,并且所回收的单体纯度也很高。然而,它的投资成本极其高昂,需配备复杂的制冷设备以及低温储存设施,能耗颇高,运行成本也很大,操作起来难度颇大,对操作人员的技术要求很高,抗气量波动的能力较差。

2.1.4 吸附分离工艺

利用吸附剂针对排放气中可凝组分所具备的选择性吸附特性,实现和惰性气体的分离效果。其投资成本处于中等水平,设备结构相对简单,操作起来也比较灵活,能够对低浓度以及低压力的排放气加以处理。但是吸附剂存在吸附容量方面的限制,这就需要频繁地去切换吸附以及脱附工序,如此一来,运行成本就会比较高。

2.2 末端治理型工艺

2.2.1 焚烧处理工艺

把排放气送进焚烧炉,在高温条件下让其中的可燃组分和氧气能够充分地燃烧起来,进而分解成没有危害的物质,如二氧化碳以及水这类物质。这种工艺是比较成熟的,其处理效果也比较稳定,可以将可燃组分以及有害杂质分解掉,而且环保方面的达标率是比较高的^[4]。但是它无法实现资源的回收,这就造成了资源的浪费情况。另外,它的能耗是比较高的,需要耗费大量的燃料来维持高温焚烧的状态。

2.2.2 催化氧化工艺

借助催化剂的作用,能够使排放气中可燃组分的燃烧温度得以降低,进而让其可以和氧气充分地发生氧化分解反应,最终转化为无害物质。相比于焚烧处理工艺来讲,它在能耗方面表现得比较低,处理效率也相对较高,燃烧过程较为平稳,所面临的安全风险也比较低,而且产生的二次污染物数量较少。

3 评价体系构建

3.1 评价体系构建原则

遵循全面性、针对性、可操作性和动态性原则。其中,全面性这一原则要求将处理工艺的各个方面都涵盖进去,如处理效率、环保性能、能耗成本、资源回收、操作安全以及设备寿命这些核心维度都要涉及;针对性则是要依据排放气的特点以及处理需求来设计,把重点指标凸显出来;可操作性要求评价指标能够比较容易地被量化,而且相关数据也比较容易获取到,同时评价方法得是简单的且易于施行的;动态性是考虑到处理工艺会随着技术不断进步、环保政策发生变化等诸多因素而不断发展改进,所以评价体系也应当灵活地做出调整和完善。

3.2 评价指标与权重确定

评价体系涵盖了处理效率、环保性能、能耗成本、资源回收、操作安全以及设备寿命这六大核心维度。运用层次分析法来确定各个指标所对应的权重,具体是借助专家打分这一方式,同时通过建立判断矩阵等手段,全面且综合地考量各项指标彼此之间相对的重要程度,进而对权重值展开相应的计算。其中,处理效率指标对有价值组分的回收率以及污染物去除率加以考察;环保性能指标主要关注经过处理之后排放的气体是否能够契合环保标准的相关要求。另外,还要留意其对于环境所产生的影响程度。能耗成本指标包含了能源方面的消耗情况以及运行时的各项成本开支;

资源回收指标用来衡量哪些有价值资源得以回收并加以利用的具体程度^[5]。

3.3 各类工艺综合评价

将 6 类工艺予以综合评分,依据各个评价指标所具有的权重以及各类工艺在每个指标上所获得的得分来计算综合得分,最终得出的结果显示,膜分离工艺的综合得分是最高的,其拥有的高效、节能、环保等诸多优势让它成为对于资源回收有着较高要求且环保标准极为严格的大型装置的首选工艺。深冷分离工艺在处理效率以及资源回收效果方面表现得最为出色,然而它的能耗以及投资成本都相对较高,所以比较适合那种对于单体纯度要求极其严格的大型装置。吸附分离工艺的操作较为灵活,投资额度处于中等水平,能够作为中小型装置对微量可凝组分进行回收的工艺,或者作为大型装置末端的深度处理工艺。

4 工艺选择原则与优化路径

4.1 工艺选择原则

遵循与排放气工况相契合的原则,把环保达标放在首位来考量,力求资源回收能够达到最大化的程度,确保投资以及运行成本相互匹配,并且保证安全可靠以及操作是可行的等一系列原则。其中,贴合排放气工况这一原则,需要依据排放气的来源情况、所含组分状况以及理化参数等相关特性来挑选适宜的处理工艺。环保达标优先这一原则在于优先思考经过处理之后的排放气是否能够符合环保方面的标准要求。资源回收最大化原则,要求尽最大可能地去回收那些具有价值的组分。

4.2 工艺优化路径

4.2.1 采用联合工艺

采用“压缩冷凝+膜分离”以及“膜分离+深冷分离”这类联合工艺,以此来充分发挥各种不同工艺所具备的优势,同时在效率方面和成本方面都予以兼顾。例如:“压缩冷凝+膜分离”这种联合工艺,其先是针对排放气展开初步的处理工作,借此去除掉其中大部分属于高沸点的组分,进而使得后续的处理负荷得以降低,之后再进一步开展深度回收方面的处理操作,从而促使资源回收率以及处理效率都能够得到提升。

4.2.2 优化工艺参数

通过优化压缩机压力、冷凝温度、操作压力以及温度等一系列关键的操作参数,进而促使处理效率得以提升,并且节能效果也能获得改善。例如:对压缩

机压力加以调整,能够使冷凝效果得以提高,同时让可凝组分的回收率有所增加。对冷凝温度予以优化处理,能够在一定程度上降低能耗,而且还能确保可凝组分实现较为充分的液化状态。

4.2.3 研发与应用新型技术

研发具备高性能且成本较低的膜材料、高效能的吸附剂以及新型的催化氧化催化剂等,以此来促使投资成本以及运行成本得以降低。例如:研发具有高选择性并且渗透性好的膜材料,能够提升膜分离工艺在分离方面的效率,同时也能让资源回收率有所提高,进而使得膜材料的成本得以降低。又如:开发高效的吸附剂,能让吸附分离工艺在吸附容量方面以及处理效率上都得到提升,同时也能够减少吸附剂的使用量,并且降低其更换的频次。

4.2.4 加强工艺集成与资源循环利用

把排放气处理方面的相关工艺同装置生产工艺加以深度融合,可实现资源循环利用以及能量梯级利用,促使装置的整体能效以及经济效益都得以提升。

5 结束语

本文依据淤浆法聚乙烯装置排放气的来源状况、组分构成以及理化特性等相关情况,全面且细致地剖析了主流处理工艺的各项技术特点及其适用的具体场景,并在此基础上构建一套较为科学合理的评价体系,进而提出了有关工艺选择的原则以及优化的相关路径。经过研究可以发现,膜分离工艺凭借其高效性、节能性以及环保性等诸多优势,已成为大型装置在处理排放气方面的优选工艺。

参考文献:

- [1] 李泽博,曹云峰,王鹏,等. Hostalen 工艺淤浆法高密度聚乙烯装置己烷精制系统堵塞原因分析[J]. 石油化工, 2021, 50(08):802-807.
- [2] 贺林博,廖祖维,黄正梁,等. 双膨胀自深冷分离技术在环管淤浆法聚乙烯装置尾气回收中的应用[J]. 化学反应工程与工艺, 2020, 36(04):379-384.
- [3] 罗睿,陈永强. 膜分离和深冷分离组合技术在高密度聚乙烯装置的应用及优化[J]. 广州化工, 2018, 46(17):114-117.
- [4] 杨味. 淤浆法聚乙烯聚合系统堵塞分析及措施[J]. 石化技术, 2025, 32(11):53-55.
- [5] 张勇,柴立平. 聚乙烯淤浆输送泵流场数值模拟研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2025, 43(09):54-57.