

贮运装置 VOCs 治理工艺的优化研究与经济效益分析

王 雨(扬子石油化工有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要:本文总结了当前芳烃厂贮运装置 VOCs 治理工艺存在的问题,综合考虑工艺设计、设备选型、日常操作等方面,提出了三个方面的优化措施;利用软件模拟了制冷机组在不同季节下的运行状况,优化后的冬季运行较于原来每年可节省电量为 12960kWh, 循环水量为 14904t。通过工艺优化, 贮运装置 VOCs 治理的年综合经济效益超过 326 万元, 投资回收期短, 兼具环保与经济效益, 为企业实现绿色低碳发展提供了有力支撑。

关键词: 储罐; VOCs 治理; 模拟; 优化; 经济效益

中图分类号: X511

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 023-0082-03

Optimization Research and Economic Benefit Analysis of VOCs Treatment Process in Storage and Transportation Facilities

Wang Yu (Yangzi Petrochemical Company., Nanjing Jiangsu 210000, China)

Abstract: The paper summarizes the current issues in VOCs treatment processes at the aromatics plant storage and transportation facilities. Considering process design, equipment selection, and daily operations, three optimization measures are proposed. Software simulation was used to analyze the performance of refrigeration units under different seasonal conditions. After optimization, the winter operation saves 12,960 kWh of electricity and 14,904 tons of circulating water annually. Through process optimization, the annual comprehensive economic benefits of VOCs treatment exceed 3.26 million yuan, with a short payback period. The improvements support both environmental protection and economic efficiency, providing strong support for the company's green and low-carbon development.

Keywords: Storage Tank; VOCs Treatment; Simulation; Optimization; Economic Benefits

随着我国经济不断发展、工业化进程不断加快, 大气污染问题随之出现, 促进臭氧和二次 PM2.5 形成的主要前体物之一就是挥发性有机物 (VOCs), 因此治理我国大气环境的关键是有效管控 VOCs 排放量^[1]。随着国内环保形势日益严峻, 政府相继出台了《大气污染防治行动计划》, 《石油化工行业中挥发性有机化合物综合控制项目》, 《石油炼制工业污染物排放标准》及征收 VOCs 排污费等标准规范及措施。2020 年中国石化发布《中国石油化工集团有限公司总经理 1 号令》, 规定了 2022 年重点企业 VOCs 浓度控制指标, 即焚烧处理后排放浓度不高于 20mg/m³、非焚烧处理后排放浓度不高于 60mg/m³^[2]。

1 装置简介

该厂贮运装置采用“低温柴油吸收 + 催化氧化”的 VOCs 治理工艺, 以治理储罐的尾气排放。高温尾气先经冷凝分液罐冷却分离预处理, 冷却后与常温尾气混合进入液环压缩机后进入柴油吸收塔。柴油经三组降温后进入吸收塔, 将油气中 95% 以上的油气吸收至粗柴油中, 尾气经过低温柴油吸收^[3]系统处理后, 由催化风机引入总烃浓度均化罐, 后与空气混合进入催化氧化组合反应器。在催化氧化反应器中, 废气中的有机物在催化氧化催化剂作用下, 与氧气发生反应生成 H₂O 和 CO₂, 并释放出反应热^[4]。处理后的气体

通过换热器将热量传给处理前的尾气, 换热后的气体经排气筒排放到大气中。其中排放气体的非甲烷总烃小于 20mg/m³, 苯小于 4mg/m³, 甲苯小于 15mg/m³, 二甲苯小于 20mg/m³。

2 装置存在问题分析

在装置运行过程中, 尾气处理装置排放尾气的非甲烷总烃浓度时常波动, 有时波动幅度较大, 与工艺设计、设备选型、日常操作等因素有关, 存在问题及原因分析总结如下。

2.1 柴油吸收效果不理想

2.1.1 吸收剂流量小

在实际生产过程中, 调度会根据生产实际情况调整柴油流量。柴油吸收的设计流量为 30~60t/h。柴油在吸收过程中, 流量越小吸收效果相对越差, 所以当吸收剂流量过低时, 油气排放的非甲烷总烃浓度接近控制指标。

2.1.2 柴油杂质影响

吸收塔使用的柴油是炼油厂罐区来的粗柴, 在装置运行一段时间后, 贫柴含杂质较多, 过滤器前后压差逐渐增大, 从 0MPa 到 0.2MPa, 在柴油入口阀门开度不变的情况下, 柴油流量降低 5m³/h。

2.2 设备选型不适应特殊工况

VOCs 治理装置采用液环压缩机增压, 当需要处

理的尾气量增大，提升压缩机负荷时，若提升负荷幅度大，会使得吸收塔压力快速上升，对吸收塔塔顶的除沫器有冲击，尾气出吸收塔易带液，从而导致均化罐带液，影响均化罐吸附效果。严重时会损坏吸收塔塔顶的除沫器滤芯。

2.3 装置负荷与工况匹配性不足

2.3.1 上游油气量波动

储罐尾气量大小受环境温度或物料收付状态的影响很大，储罐来路中任何一路的尾气流量发生剧烈波动均会影响治理装置。当环境温度上升或者储罐收料较多时，管线内油气量增大，不及时调整负荷会导致排放的非甲烷总烃浓度上升；当突然下雨或者储罐付料较多时，管线内油气量突然降低，压缩机入口压力降低，吸收塔压力下降，导致装置运行不稳定。

2.3.2 季节变化

环境温度变化主要对贫油温度和循环水温度有影响，即对制冷机组运行影响较大。冬季制冷机组循环水用量与夏季基本相同，尽管都能满足贫油吸收温度稳定在5℃~15℃的工艺要求，但冬季会造成循环水的浪费。

3 优化后的工艺装置

3.1 柴油流量的优化

柴油流量大能保证吸收效果，但是流量大意味着更高的能耗。在尾气流量250m³/h，柴油温度15℃条件下，柴油流量为25t/h时，吸收塔总烃吸收率95.27%。不断增大柴油流量，发现吸收塔总烃吸收率逐渐增大，但是在流量提高至40t/h后，吸收塔总烃吸收率上升幅度有限，因此为了保证尾气中非甲烷总烃的吸收效果，同时节约柴油输送耗能，将吸收剂流量控制在30~35t/h。

3.2 严格管控工艺标准

3.2.1 加强对过滤器压差的监控

车间制定了压差管理制度，巡检时记录贫油过滤器前后压差，同时监控好贫油流量，一旦发现过滤器压差超过0.1MPa，立即汇报车间和调度，做好切换过滤器的准备，同时联系作业人员清理过滤器。

3.2.2 严格控制参数调整幅度

对装置参数调整制定严格的操作要求，除特殊情况，明确要求压缩机负荷调整幅度为每次0.25%，吸收塔压力调整为每次1kPa，待系统稳定后再调整，避免尾气出吸收塔带液影响均化罐。

3.3 工艺操作的优化

3.3.1 针对上游油气量波动的参数优化

当环境温度上升或者储罐收料较多时，管线内油气量很大；当突然下雨或者储罐付料较多时，管线内

油气量突然降低，这都容易对装置造成冲击。为了能够更有效的应对上游油气量的变化，需要研究关键参数对系统的影响，从而明确不同情况下的应对措施。对于VOCs治理装置而言，最重要的是非甲烷总烃浓度，所以这里着重研究关键参数对非甲烷总烃浓度影响。

在工艺操作中，可调整的参数包括液环压缩机负荷、吸收塔塔压、风机负荷、风机补空气阀门开度、反应器入口温度。在研究关键点参数的影响时，主要采用单一变量法，分析非甲烷总烃浓度随该参数的变化情况，发现各关键参数变化对系统总烃浓度影响程度各不相同。其中效果最显著的方法是降低压缩机负荷和调整吸收塔塔压，其次是调整风机频率和风机补空气阀门，调整反应器温度的影响最小。

需要注意的是：

①在调整压缩机负荷时，要关注其入口压力。在某些情况下若是非甲烷总烃浓度大，采用降低压缩机频率的方法就不可取。比如，天亮时气温渐渐回升或者储罐收料，储罐气压逐渐升高，这个时候就必须增加压缩机频率来降低总管压力，防止气体从储罐呼吸阀呼出。

②当处理尾气量大时，可以适当增大风机负荷来降低排气的总烃浓度；若是处理尾气量小，我们可以适当降低风机负荷，减少能源消耗。

③本装置运行以来数据显示，进入催化氧化的有机物浓度较低，反应器出口温度低于入口温度，催化氧化反应释放的反应热不足以维持催化氧化入口温度，需要增加电加热器负荷以维持入口温度^[5-7]。所以冬季调整风机频率大小时需要注意电加热器负荷。

④在增大吸收塔压力时要注意不能让压缩机分液罐压力达到联锁值。当处理尾气量不大时，可以适当的减小吸收塔塔压，为可能会出现的尾气量突然增大的情况做好准备，也就是做好压力储存的准备。

各参数调整的注意事项，主要考虑系统各气相空间的关联，如压缩机入口与储罐压力，吸收塔压力与液环压缩机压力，均化罐和风机的关联等。同时这些方法在实际操作时需要控制调整幅度和频率，减少调整幅度过大影响装置平稳运行。

3.3.2 不同季节下制冷机组的参数优化

制冷机组在实际运行中，由于环境温度的变化，工艺参数会发生变化，如贫油温度和循环水温度。为了能够判断在冬季循环水温度和贫油温度低时，多少流量的循环水就可以满足制冷需求，利用软件模拟，分析不同时间段内的循环水温度和贫油温度，得到循环水流量的变化。

设计规定的柴油吸收温度为5℃~15℃。结合实

际生产,设定贫油流量 $35\text{m}^3/\text{h}$,载冷剂组成为乙二醇和水,按质量分数1:2配比,载冷剂流量为 $34\text{t}/\text{h}$,循环水压力 0.3MPa ,进出口温度差为 6°C 。假设螺杆压缩机的绝热效率和泵的效率分别为85%和90%,忽略换热器压差和热损失,压缩机入口压力 500kPa ,氟利昂经冷凝器冷凝成饱和液体,经蒸发器蒸发成饱和气体。

利用软件模拟发现,在保证压缩机负荷和冷凝器冷量一定时,冬季贫油吸收温度为 10.7°C ,而实际生产经验数据表明柴油吸收温度控制在 15°C 时,吸收效果就已经能够满足吸收要求^[8],所以冬季可以调整的空间很大,可以适当降低压缩机负荷或者循环水流量来控制贫油吸收温度为 15°C 。同样的用软件模拟后得到冬季运行工况可以发现冬季可以适当降低压缩机负荷和减少循环水量,模拟得降低 6kW 功率,减少 $6.9\text{t}/\text{h}$ 循环水量依然可以保持柴油吸收温度稳定在 15°C ,较于原来只用一套方案,冬季每年可节省电量为 12960kWh ,循环水量为 14904t 。

4 经济效益分析

4.1 直接经济效益

4.1.1 能耗节约

通过优化柴油流量和制冷机组运行参数,装置在冬季运行时每年可节省电量 12960kWh ,循环水量 14904t 。按工业用电价格 $0.6\text{元}/\text{kWh}$ 和循环水处理成本 $0.3\text{元}/\text{吨}$ 计算,每年可节约的直接成本为 12247元 。

4.1.2 吸收剂利用率提升

优化后的柴油流量控制在 $30\text{--}35\text{m}^3/\text{h}$,既保证了95%以上的VOCs吸收率,又避免了过量柴油消耗。与原设计流量上限 $60\text{m}^3/\text{h}$ 相比,按柴油价格 $5000\text{元}/\text{吨}$ 计算,每年可节约柴油成本约 $1000000\text{元}/\text{年}$ 。

4.1.3 设备维护成本降低

通过严格管控过滤器压差和压缩机负荷调整幅度,减少了设备故障率和维护频率。预计每年可减少过滤器更换和压缩机维修费用约 50000元 。

4.2 间接经济效益

4.2.1 环保合规收益

优化后的工艺使非甲烷总烃排放浓度稳定低于 $60\text{mg}/\text{m}^3$,符合国家排放标准,避免了因超标排放可能面临的罚款。按《VOCs 排污费征收标准》计算,每年可减少排污费支出 200000元 。

4.2.2 生产效率提升

装置运行稳定性增强后,因波动导致的停产时间减少,年产能利用率提升约2%。

4.3 长期效益展望

优化后的工艺不仅降低了运行成本,还提升了装

置的可持续性。未来通过进一步优化均化罐操作压力和催化氧化配风量,预计可再降低能耗10%,年收益可增加约 300000 元。此外,该技术方案可推广至同类装置,潜在经济效益显著。

5 结语

本文针对贮运装置 VOCs 治理工艺存在的问题,提出了三个方面的优化措施:一是柴油流量的优化,优选后的柴油流量为 $30\text{--}35\text{m}^3/\text{h}$ 。二是严格管控工艺标准,明确监控重点参数—贫油过滤器压差,确保柴油流量稳定,使柴油吸收效果符合要求;明确参数调整幅度,尤其是压缩机负荷和吸收塔塔压调整幅度,减轻对吸收塔除沫器的影响,防止尾气进入均化罐带液。三是工艺操作的优化,分析了系统关键参数对 VOCs 排放浓度的影响,结果表明效果最显著的方法是降低压缩机频率和调整吸收塔塔压。其次是调整风机频率和风机补空气阀门,调整反应器温度的影响最小,并给出了上游油气量波动的几种情况,包括气温上升或储罐总收料量增加、突下暴雨、气温下降或储罐总付料量增加等情况下的工艺调整措施;利用软件模拟了制冷机组在冬季降低压缩机负荷 6kW 和减少循环水量 $6.9\text{t}/\text{h}$ 的情况下依然可以保持柴油吸收温度稳定在 15°C ,优化后的制冷机组冬季运行能耗,较于原来每年可节省电量为 12960kWh ,循环水量为 14904t 。通过工艺优化,贮运装置 VOCs 治理的年综合经济效益超过 326 万元,投资回收期短,兼具环保与经济效益,为企业实现绿色低碳发展提供了有力支撑。

参考文献:

- [1] 刘华欣. 石化行业储罐 VOCs 管控及热力焚烧法治理技术研究 [D]. 中国石油大学(华东), 2020.
- [2] 刘洋, 王新, 等. 炼油厂 VOCs 吸收 - 吸附耦合工艺研究 [J]. 炼油技术与工程, 2022, 52(5): 6-10.
- [3] 高春华.“低温柴油吸收 + 催化氧化”技术在挥发性有机物治理中的应用 [J]. 化学工程与装备, 2020, 5: 268-269.
- [4] 邢思远. 储罐 VOCs 来源及治理措施 [J]. 炼油与化工, 2021, 1(32): 71-72.
- [5] 曲迪, 孙秀慧, 等. 如何提高固定污染源 VOCs 废气治理 [J]. 清洗世界, 2020, 36(10): 44-45.
- [6] 何代宏. 化工料罐区尾气回收处理技术应用 [J]. 安徽化工, 2020, 3(46): 93-104.
- [7] 陈小燕. 低温柴油吸收 + 催化氧化技术在 VOCs 治理中的优化研究 [J]. 科学管理, 2023, 7: 228-229.
- [8] 张志方. 低温柴油吸收技术在 VOCs 治理中的优化研究 [J]. 环境保护与治理, 2022, 22(3): 19-21.