

原油油气超低排放工艺优化促进企业发展

陈刚峰（广东申菱环境系统股份有限公司，广东 佛山 528000）

摘要：本文针对原油油气执行超低排放的工艺优化进行分析，结合国内主流 VOCs 油气处理工艺技术的特点，通过对已投用原油油气处理装置常见问题进行总结分析，在分析原油油气组成和浓度的基础上，结合模拟软件和相关资料，对优化的“低温柴油吸收+吸附+催化氧化”组合工艺处理效果进行分析和评价，总结相关数据后，得出结论，“低温柴油吸收+吸附+催化氧化”组合工艺满足原油油气超低排放的处理要求，与以冷凝工艺为核心的处理工艺相比，以低温柴油吸收为核心的组合工艺整体运行能耗更低，为企业节省了大量运行成本和维护成本，促进了企业的可持续发展，提高了企业的综合竞争力。

关键词：低温柴油吸收、吸附；超低排放；运行成本；可持续发展；综合竞争力

1 原油油气超低排放工艺现状分析

2020 年 9 月 22 日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会上宣布，中国力争 2030 年前二氧化碳排放达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和目标。在碳达峰和碳中和工作陆续开展的背景下，国家对石化这一重点行业的油气 VOCs 治理和排放也有更详细要求。

伴随着《储油库大气污染物排放标准》和《码头油气回收设施建设技术规范》等排放规范的更新和修编，国家对石化行业 VOCs 治理逐渐走向程序化和规范化的道路。排放指标日益严格，原油作为石化行业的重要原材料，原油油气处理也就尤其重要。

我国油气处理行业虽起步较晚，但在借鉴国外先进工艺基础上，已逐步发展和壮大，目前已形成以回收技术、浓缩技术和焚烧技术为核心的主要油气处理工艺，以上技术大部分已实现国产化制造，对行业发展和油气治理起到举足轻重的作用。回收技术下分冷凝工艺和吸收工艺，浓缩技术下分吸附工艺和膜工艺，焚烧技术下分蓄热氧化工艺（简称 RTO）和催化氧化工艺（简称 CO）。不同处理工艺有不同的特点，针对 6 种工艺进行分析：

①冷凝工艺以制冷为核心原理，通过低温液化的形式回收油气，当常温油气进入到低温环境中时，油气组分在气相中的饱和蒸气压降低，气相组分会液化成液相组分，从而实现油气的回收和处理；

②吸收工艺以相似相溶为核心原理，通过油气与特定吸收剂具有良好的互相溶解性对油气进行处理，也为提高吸收效率，一般使用低温吸收和填料塔形式进行设计，从而实现油气的回收和处理；

③吸附工艺以活性炭的高比表面积和多孔特性为

核心原理，通过以上特性对油气分子进行物理捕捉，通过变压脱附来进行再生，再生后的活性炭继续投入使用；

④膜工艺以膜的选择透过性为核心原理，不同的膜对不同介质的透过速率存在差异，通过以上差异来过滤和处理油气，实现油气的浓缩和处理；

⑤蓄热氧化工艺以高温焚烧为核心原理，将油气通过稀释后送入装配有蓄热体的燃烧室内进行高温焚烧和热量回收，通过高温将油气组分彻底氧化为二氧化碳和水后对油气进行彻底处理，蓄热体在装置内主要作用为储存和释放热量，以此减少燃料消耗；

⑥催化氧化工艺以中低温焚烧为核心原理，通过催化剂降低燃烧所需的活化能，使用较低的温度来彻底氧化油气组分，在催化剂作用下，使用较低温度即可将油气组分彻底氧化为二氧化碳和水，对油气进行彻底处理。

2 原油油气处理常见问题

2.1 原油油气处理装置运行能耗高

经调查收集和反馈，目前原油油气处理装置多以冷凝为主要工艺，冷凝工艺的最低制冷温度一般设定在 -65°C 或更低，以常见 $800\text{Nm}^3/\text{h}$ 处理量的冷凝机组为例，制冷至 -65°C 的机组整体配电功率已达到 248kW ，如使用更低的制冷温度，冷凝机组的整体用电量会更大，这是导致原油油气处理装置能耗高的主要原因。

2.2 油气波动对设备影响大

油气的来气和浓度存在一定波动性，对于以冷凝工艺为主的原油处理装置，会出现制冷温度无法保持和冷凝出口油气浓度高于设计值的情况，制冷温度无法保持和油气出口浓度高都会直接影响到油气处理装

置的整体稳定运行，使装置出口的油气浓度超标，无法达到规范中排放浓度的要求。

2.3 运行成本高

油气处理装置后期的运行成本主要集中在电能上，以冷凝为主的原油油气处理装置因制冷的需要，整体机组配电功率高，导致机组的运行费用较高，长期运行会增大企业的运营成本，不利于企业发展，企业既需要保证油气排放达标，又需要支付高昂的设备运行费用，大大增加企业生产成本，使油气处理装置成为阻碍企业发展的绊脚石。

以冷凝为主的原油油气处理工艺，因需要较低的制冷温度，导致装置整体功耗居高不下，但由于各地出台的地方排放标准日益严格，使得很多原油仓储企业和炼化企业不得不承受着高昂的设备运行费用，高昂的设备运行费用会直接导致企业整体收益下降，加重了企业的经济负担，同时企业为了保证盈利，不得不提高产品价格，产品价格的提高，会缩减企业原有的市场占有率，严重时可能导致企业产品因价格高昂而滞销。

可见，油气处理装置的运行费用高低，对企业盈利能力存在较大影响，而面对日益严格的排放指标，迫切需要对现有油气工艺进行优化，使得优化后的工艺从技术上满足排放指标要求，从经济上满足运行成本和维护成本均较低的要求，切实为企业降低环保支出，促进企业环保可持续发展。

3 工艺优化与节能降耗

通过分析原油油气组成，结合目前国内主流 VOCs 处理技术的特点和已投入使用的装置出现的问题，对原油油气的处理技术进行优化。由于原油油气的轻组分含量高，占油气组分总量的 24%，其余苯系物和硫化物的占比含量均较小，对油气总浓度和性质影响不大，因此原油油气组成总体性质以轻质烷烃为主。

轻质烷烃在常温状态下饱和蒸汽压高，通过安托因方程计算轻质烷烃在低温情况下（-65℃）的饱和蒸气压，数据显示戊烷在 -65℃时的饱和蒸气压为 4934Pa，饱和浓度为 176g/m³，整体压力和浓度均较高，由此可证明对于以轻质烷烃为主的原油油气，使用冷凝工艺并不是合适的工艺。

由于原油一般作为炼厂的核心原料生产成品油和其他石油产品，在炼厂内有很好的中间产品常压柴油可作为吸收剂进行使用，一般炼厂内的常压一线柴油馏程见表 1：

表 1 常压一线柴油物性一览表

序号	物性参数	数据	序号	物性参数	数据
1	密度	0.7901g/cm ³	6	馏点：10%	184.8℃
2	硫含量	0.179%	7	馏点：30%	191.1℃
3	氮含量	0.5μg/g	8	馏点：50%	200.1℃
4	十六烷指数	48.7	9	馏点：70%	210.9℃
5	馏点：0%	183.3℃	10	馏点：95%	228.6℃

根据以上吸收剂参数和进口原油油气组成，使用 Aspen HYSYS 软件进行低温柴油吸收工艺的模拟，将以上数据输入到软件内，假定处理风量按 100Nm³/h 进行模拟，具体模拟结果见图 1：

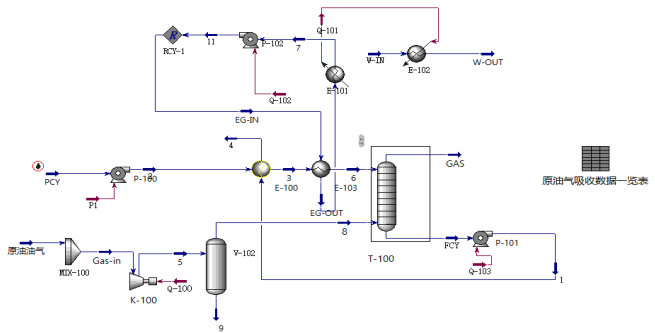


图 1 软件模拟截图

表 2 软件模拟结果一览表

	原油来气	油气吸收塔进口	油气吸收塔出口
气体流量	100Nm ³ /h	100Nm ³ /h	76.32Nm ³ /h
温度	30℃	40.7℃	8.23℃
压力	来气微正压	风机升压后 15kPa	13kPa
总质量流量	154.4kg/h	154.4kg/h	98.7kg/h
氮气质量流量	73.7382kg/h	73.7382kg/h	72.6491kg/h
氧气质量流量	23.5567kg/h	23.5567kg/h	22.8358kg/h
VOCs 质量流量	57.1051kg/h	57.1051kg/h	3.2151kg/h
油气组分浓度	571.05g/m ³	571.05g/m ³	42.12g/m ³

根据以上数据一览表可知，低温柴油吸收对于原油油气处理效果明显，原油油气进口浓度从 571.05g/m³ 降低至 42.12g/m³，处理效率 92.62%，原油油气经低温柴油吸收工艺初步处理是可行的。经低温柴油吸

收处理后的油气组分仅剩余甲烷 0.3%、乙烷 1.86% 和丙烷 0.69%，处理后的油气各组分浓度甲烷为 2.155g/m³、乙烷 24.92g/m³ 和丙烷 15.045g/m³。将吸收工艺和冷凝工艺的运行能耗对比分析结果见表 3：

表 3 吸收工艺和冷凝工艺运行能耗一览表

	吸收工艺	冷凝工艺	备注
电能消耗	81.68kW/h	248kW/h	以 800 方处理量计
仪表气消耗	10Nm ³ /h	20Nm ³ /h	/
进口油气浓度	571.05g/m ³	571.05g/m ³	/
出口油气浓度	42.12g/m ³	246.24g/m ³	/
总运行成本	669776 元	2033600	年运行时间按 8000h 计算
维护成本	4500 元 / 次	9000 元 / 次	每年维护 1 次
总成本	674276 元	2042600 元	/

根据以上数据可知，吸收年运行成本更低，比冷凝工艺的年运行成本节省 1368324 元。从处理效果来看，吸收工艺的出口油气浓度比冷凝工艺的出口油气浓度更低，由此可见，针对原油油气处理来说，低温柴油吸收工艺不管从技术上还是从经济上均优于冷凝工艺，经工艺优化后，可大幅降低装置运行成本，达到节能降耗的目的。

经低温柴油吸收处理后的原油油气通入到吸附模块中进行进一步降浓处理，利用活性炭的高比表面积和吸附能力对油气分子进行吸附处理，根据活性炭吸附模拟数据显示，甲烷在规定接触时间和特定环境下进行吸附，穿透时间为 3.1min，乙烷的穿透时间为 31.2min，丙烷的穿透时间为 57.3min。以此作为基础参数可知，活性炭吸附对于轻质烷烃具有一定吸附能力，随着分子量的增加，吸附效果会越来越好，穿透时间也会越来越长，但吸附碳的整体吸附能力是有限的，当混合油气组分进入吸附碳内进行吸附时，大分子的油气组分在活性炭内移动速度慢，接触时间长，很容易就会被活性炭所吸附下来，而小分子的油气组分在活性炭内移动速度快，接触时间短，即使被活性炭吸附后，由于分子量小，很容易就会被脱附出来，导致油气分子穿透活性炭。由此可知，使用活性炭吸附工艺可有效降低低温柴油吸收出口油气浓度，达到油气降浓的目的，但无法实现原油油气的超低浓度排放，目前国内各地方标准对油气排放浓度要求越来越

高，已逐步从克级排放过渡到毫克级排放，因此在吸附工艺后，需再增加处理工艺，才能满足超低排放要求。

经过低温柴油吸收 + 吸附的工艺处理后，原油油气浓度从 571.05g/m³ 降低至 ≤ 25g/m³，为实现原油油气的超低排放，经吸附处理后的原油油气将进入催化氧化处理装置中进行焚烧处理，利用催化剂降低活化能后，使油气分子在 400~500℃ 温度范围内进行彻底氧化分解，油气分子最终转变成二氧化碳和水，满足原油油气的末端治理和达标排放的要求。

根据国家相关规范的要求，对于进入焚烧工艺的油气，需要进行配风稀释，油气浓度需满足低于最低爆炸下限 25% 方可进入焚烧工艺中。经低温柴油吸收 + 吸附工艺处理后的油气，因油气浓度低，配风稀释的倍数也较少，催化氧化装置的整体处理风量也显著降低，处理风量降低后，可有效降低油气处理装置的整体投资成本，达到以较低的成本即可满足达标排放的环保治理要求。

4 总结

对于原油油气的处理，使用吸附作为降浓手段，可进一步降低油气浓度，从而降低后端催化氧化的处理风量，极大减少了催化氧化的能耗，使装置整体能耗进一步降低，利用较低的能耗即可达到原油油气的超低排放要求，满足国内油气排放的指标要求。可见，组合工艺“低温柴油吸收 + 吸附 + 催化氧化”可解决目前原油油气处理装置常见问题，实现原油油气超低排放目的，完成对原油油气的综合治理，为原油油气的超低排放提供一种可行且性价比更高的处理方案。企业使用“低温柴油吸收 + 吸附 + 催化氧化”组合工艺对原油油气进行处理，初期投资与以冷凝为主的处理工艺相比更低，后期运营和维护成本也大幅降低。经优化后的原油油气处理工艺降低了油企运营压力，提高了油企的综合竞争力，有效促进油企的全方位和可持续发展。

参考文献：

- [1] 黄维秋. 油气回收基础理论及其应用 [M]. 北京：中国石化出版社, 2011:8.
- [2] 刘会友. 原油码头油气催化燃烧处理方法研究 [D]. 舟山：浙江海洋大学, 2017.

作者简介：

陈刚峰（1993-），男，本科，助理工程师，研究方向：化工及石化行业油气处理技术。