

炼化企业瓦斯系统减量化优化与节能效益分析

李学智

中国石油化工股份有限公司沧州分公司, 河北 沧州 061000

DOI:10.61369/ERA.2026090004

摘 要 : 针对炼化企业瓦斯产耗失衡及“干气不干”引发的能耗超标与轻烃流失问题, 本文结合现场实际运行工况, 开展了瓦斯减量化优化改造。通过理顺源头组分、实施重整无硫瓦斯改线、加氢低分气重组分提取以及焦化吸收稳定系统增设溴化锂制冷等现场技改措施, 改善了全厂瓦斯平衡。改造投用后, 每年多回收液化气7991吨, 增加效益1400余万元; 全厂炼油综合能耗降1.5千克标油/吨, 减少二氧化碳排放15457吨, 达到了节能降碳的预期目的。

关 键 词 : 瓦斯减量; 轻烃回收; 溴化锂制冷; 能效提升; 物料平衡

Research on Reductive Optimal Configuration and Implementation Effect of Gas System in Refineries

Li Xuezhi

Cangzhou Branch, China Petroleum & Chemical Corporation (SINOPEC), Cangzhou, Hebei 061000

Abstract : Aiming at the problems of excessive energy consumption and light hydrocarbon loss caused by fuel gas production-consumption imbalance and the "non-dry dry gas" phenomenon in refining and chemical enterprises, this paper carries out optimization and transformation for fuel gas reduction in combination with the actual on-site operating conditions. By implementing on-site technical transformation measures such as sorting out source components, rerouting sulfur-free fuel gas from the reforming unit, extracting heavy components from hydrogenation low-pressure gas, and adding a lithium bromide refrigeration system to the coking absorption-stabilization system, the whole plant's fuel gas balance has been improved. After the transformation was put into operation, an additional 7,991 tons of liquefied petroleum gas (LPG) are recovered annually, generating over 30 million RMB in additional benefits; the comprehensive energy consumption of oil refining in the whole plant has decreased by 1.5 kg of standard oil equivalent per ton, and carbon dioxide emissions have been reduced by 15,457 tons, achieving the expected goals of energy conservation and carbon reduction.

Keywords : fuel gas reduction; light hydrocarbon recovery; lithium bromide refrigeration; energy efficiency improvement; material balance

引言

近几年, 国家对炼油行业的能耗和碳排放指标卡得越来越严。按照河北省发改委下发的《河北省重点领域严格能效约束推进节能降碳实施方案》里的政策要求, 能效低于基准水平的产能全面退出。炼化企业属于高耗能、高排放行业, 面临着前所未有的绿色低碳转型压力, 需要深挖内部节能潜力。在原油加工过程中, 各套装置都会产出副产瓦斯。瓦斯管网把生产装置和动力站连在一起, 它的运行状况直接关系到全厂的炼油水平。

在实际生产运行中, 受限于历史设计的局限性、各装置工艺特性的差异, 再加上加工负荷和原油性质的变化, 厂里一直面临瓦斯产用不平衡的问题^[3,5]。我们通过对瓦斯管网的深度排查发现, 部分装置产出的干气中含有大量C₃以上的液化气(LPG)组分, 这些包含轻烃组分的“干气”最终被作为燃料烧掉, 不仅导致瓦斯管网热值波动, 而且造成资源浪费与经济效益损失。

因此, 如何从全厂系统层面出发, 减少系统过剩瓦斯, 实现轻烃资源的回收与瓦斯产耗的精准平衡, 是企业节能降碳、提质增效工作的重点^[2,6]。本文结合企业瓦斯减量化项目的具体改造实践, 剖析瓦斯系统运行痛点, 总结瓦斯系统优化经验, 并对其综合实施效果进行量化评估。

一、全厂瓦斯系统运行现状及存在的问题

（一）能源介质平衡

全厂使用的主要能源中电、燃料和催化烧焦的消耗占总能源消耗的90%以上。当前系统存在两个问题：一是瓦斯产用不平衡，二是蒸汽产用不平衡^[3,5]。目前全厂瓦斯主要靠气分干脱和制氢湿脱两个系统脱硫后供应。气分干脱原料主要为催化裂化装置干气和气柜气；制氢湿脱原料为焦化装置干气和加氢装置低分气。由于部分装置副产燃料气过剩，过剩瓦斯进入动力锅炉产蒸汽，优先供各炼油装置使用后，剩余的过剩蒸汽只能进入凝汽发电机组发电。此部分的能源利用效率很低，导致炼油综合能耗的增加。

（二）瓦斯管网“干气不干”现象分析

从全厂瓦斯产用平衡出发，梳理各个装置产用干气的物性与流量，发现部分装置存在严重的“干气不干”情况。装置所产干气中含有大量LPG组分，装置加热炉使用的燃料气也存在大量LPG组分，说明在整个瓦斯管网中存在大量LPG组分未能回收。这种情况主要有三方面影响，一是瓦斯管网产用严重失衡，瓦斯持续过剩，管网压力居高不下；二是瓦斯作为燃料气使用时热值波动较大，影响加热炉的燃烧效率与平稳运行，容易导致排烟温度升高和过剩空气系数增大，降低加热炉热效率；三是大量高价值LPG组分未能回收，导致显著的效益损失。这些含C₃及以上组分的干气最终进入锅炉产汽发电，造成了能源的降质使用^[1,4]。

（三）现场挖潜方向

根据化验数据和现场流程梳理，我们发现重整装置无硫瓦斯、加氢装置低分气、加氢装置分馏塔顶气、焦化装置吸收稳定系统干气中存在可回收的C₃及以上组分，明确了全厂瓦斯系统的优化改造方向，制定了下一步的优化方案。

二、瓦斯减量化多目标优化方案

针对上述问题，公司按照“源头控制C₃+组分-过程回收轻烃资源-系统平衡瓦斯产耗”的思路，对重整、焦化、加氢装置进行联合改造，设计并实施了以下综合优化方案。

（一）重整装置无硫瓦斯轻烃组分回收方案

1. 现状与瓶颈：重整装置无硫瓦斯主要来自脱戊烷塔C201塔顶和脱丁烷塔C203塔顶。组分分析显示，C201塔顶气中C₃+及以上组分体积分数高达80.2%，C203塔顶气中C₃及以上组分体积分数高达82.5%。优化前，这两股无硫瓦斯合计922 kg/h，直接进入重整加热炉当做燃料，造成了极大的轻烃资源浪费。

2. 流程调整方案：将重整无硫瓦斯送至焦化装置气压机二段入口，进入焦化吸收稳定系统，无硫瓦斯中的C₃及以上组分被高效吸收。经过水力学核算，合并后管线内介质流速为4.2 m/s，低于10 m/s的安全指标，满足输送需求。

3. 预期效果：优化改造后，无硫瓦斯经焦化吸收稳定处理，排出的干气量降至80 kg/h，其中C₃及以上组分体积分数为1.8%。全厂瓦斯管网干气量减少了830 kg/h，液化气产量增加842 kg/h，既实现了瓦斯减量，也实现了产品的增值。优化前后组成变化如表1所示。

表1优化前后重整装置无硫瓦斯组成变化

组分名称	优化前体积分数 /%		优化后体积分数 /%
	脱戊烷塔C201	脱丁烷塔C203	瓦斯
H ₂	7.85	1.34	17.6
N ₂ 、O ₂ 、CO ₂ 、H ₂ O	1.76	1.12	4.6
CH ₄	1.48	1.03	52.71
C ₂ H ₄ 、C ₂ H ₆	8.85	14.17	23.2
C ₃ H ₆ 、C ₃ H ₈	25.47	54.63	1.6
iC ₄ H ₁₀	20.28	19.47	0.09
nC ₄ H ₈ 、nC ₄ H ₁₀	20.76	7.71	0.15
nC ₅ H ₁₂	3.3	0.1	
C ₆ H ₆			0.05
iC ₅ H ₁₂ 、nC ₅ H ₁₀	10.25	0.43	

（二）加氢低分气及分馏塔顶气重组分回收

1. 加氢低分气回收：1#加氢低分气和2#加氢低分气原送至制氢湿脱系统。两股气体中C₃及以上组分体积分数为5.19%，但因为气体密度大，质量分数高达26.48%。改造方案为新增一条管线，将两套加氢低分气直接送至焦化吸收稳定系统回收LPG组分。实施后，低分气中LPG质量分数降至10.42%，折算回收LPG约163 kg/h，进入瓦斯管网的干气量减少163 kg/h。优化前后低分气组分变化如表2所示。

表2优化前后低分气组分

组分名称	优化前		优化后	
	体积分数 /%	质量分数 /%	体积分数 /%	质量分数 /%
H ₂	63.35	11.68	12.47	1.22
N ₂ 、O ₂ 、CO ₂ 、H ₂ O	3.03	7.91	2.76	3.72
H ₂ S	0.81	2.54	3.6	5.97
CH ₄	19.36	28.55	50.08	39.09
C ₂ H ₄ 、C ₂ H ₆	8.26	22.84	27.18	39.6
C ₃ H ₆ 、C ₃ H ₈	2.52	10.22	2.44	5.19
iC ₄ H ₁₀ 、iC ₄ H ₈ 、nC ₄ H ₈ 、nC ₄ H ₁₀	1.1	5.88	0.21	0.61
C5及以上组分	1.57	10.38	1.26	4.6
C3及以上组分	5.19	26.48	3.91	10.4

2. 分馏塔顶气回收：1#加氢分馏塔顶气C₃及以上组分质量分数达38.5%。由于其压力低，无法直接送入催化吸收稳定系统，因此将其并入常减压装置的“三顶气”系统，送至常压塔塔顶瓦斯回流罐，利用常压塔顶螺杆压缩机增压至0.21 MPa，然后送入催化装置回收轻烃。同时对常压塔顶压缩机进行扩能改造，将吸气量由44 m³/min提升至70 m³/min，配套电机功率由200kW增至315kW。改造后，进入瓦斯管网的干气量减少368 kg/h。加氢装置分顶气体积组成和质量组成如表3所示。

表3加氢装置分顶气体积组成和质量组成

组分名称	分顶气（642.5 m ³ /h，850 kg/h）	
	体积分数 /%	质量分数 /%
CH ₄	31.63	17.1
C ₂ H ₆	43.8	44.4
C ₃ H ₈	20.43	30.4
C ₄ H ₁₀	4.14	8.1
C ₃ 及以上组分	24.57	38.5

（三）焦化装置吸收稳定系统增设溴化锂制冷系统

1. 热力学分析与瓶颈：焦化装置吸收稳定系统是回收轻烃的核心单元。优化前，吸收塔 C201 塔顶温度为 42.8℃ 左右，塔顶压力控制 1.08 MPa，粗汽油及补充吸收剂进塔温度控制在 32℃ – 33℃ 上下，中段循环油返塔温度 31.2℃。原工况下，系统总进料为 10500 m³/h。全厂瓦斯系统优化后，重整无硫瓦斯 430 m³/h 及加氢低分气 2100 m³/h 进入焦化吸收稳定，系统总进料量增加，加上夏季循环水温度偏高，冷却能力受限，导致干气中的 C₃ 及以上组分的体积分数升至 3.91%，吸收效果很不理想。

2. 为强化吸收效果，在不改变操作压力（受气压机限制）的前提下，采用降低吸收温度的方式提高吸收率。增上一套制冷量为 1300 kW 的热水型溴化锂制冷机组，利用低温余热热水作为驱动热源，产出 8℃ 的冷冻水替代原有循环水。新增 3 台冷却器，分别是粗汽油冷却器，流量 13.6 t/h，介质由 32.7℃ 冷却至 13℃，需要冷量 152.6 kW，耗冷冻水 15 t/h；补充吸收剂冷却器，流量 33 t/h，介质由 33℃ 冷却至 13℃，需冷量 375.5 kW，耗冷冻水 35 t/h；中段循环油冷却器，流量 49.7 t/h，介质由 24.9℃ 冷却至 13℃，需冷量 339.8 kW，耗冷冻水 35 t/h。累计提供冷量 867.9 kW，需冷冻水 85 t/h。同时，针对溴化锂机组制定了严格的防冻防结晶运行管理措施，确保系统长周期稳定运行^[8,9,10]。

3. 系统效能提升：引入冷冻水后，吸收塔内气液相平衡更有利于吸收重组分，气液传质效率大幅提升。经过核算，焦化干气中 C₃ 及以上组分的体积分数由 3.91% 降低至 1.73%，降低了 2.18%；干气总体积流量减少 291 m³/h，总质量流量减少 424 kg/h，实现了瓦斯的减量与 LPG 的深度回收^[7]。焦化装置吸收系统吸收塔引入冷冻水前后干气组成如表 4 所示。

表4焦化装置吸收系统吸收塔引入冷冻水前后干气组成

组分名称	引入前		引入后	
	体积分数 /%	质量分数 /%	体积分数 /%	质量分数 /%
H ₂	12.47	1.22	12.84	1.31
N ₂ 、O ₂ 、CO ₂ 、H ₂ O	2.76	3.72	2.83	3.97
H ₂ S	3.6	5.97	3.19	5.5
CH ₄	50.07	39.05	51.55	41.8
C ₂ H ₄ 、C ₂ H ₆	27.18	39.6	27.86	42.21
C ₃ H ₆ 、C ₃ H ₈	2.44	5.19	0.8	1.76
iC ₄ H ₁₀ 、iC ₄ H ₈ 、nC ₄ H ₈ 、nC ₄ H ₁₀	0.22	0.65	0.12	0.31
C ₅ 及以上组分	1.26	4.6	0.81	3.14
C ₃ 及以上组分	3.92	10.44	1.73	5.21

三、项目实施效果与综合能效评估

瓦斯减量化项目的实施，不仅解决了全厂瓦斯过剩的痛点，更在能效提升、经济效益、降低碳排放方面取得了显著成效，充分验证了优化方案的科学性与可行性。

（一）能效提升与碳排放削减效果

项目实施后，全厂能源利用效率得到实质性提升。通过减少过剩瓦斯进入动力站锅炉燃烧，从源头切断了“高能低用”的能量降级利用，大幅减少了过剩蒸汽产量及凝汽发电量^[1,9]。通过测算，2025 年全厂电的实际折标系数降低了 0.02 千克标油 / 千瓦时，炼油综合能耗降低了 1.5 千克标油 / 吨。在碳排放方面，由于瓦斯燃烧量的显著减少，项目合计减少二氧化碳排放量约 15457 吨，为企业的绿色低碳转型提供助力。

（二）经济效益与资源综合利用评估

这次改造最直接的收益是成功回收了高价值 LPG 组分并转化为了产品。通过重整无硫瓦斯回收、加氢低分气及分顶气重组分提取、焦化制冷强化吸收等一系列“组合拳”，全厂瓦斯管网中的 C₃+ 组分被回收利用。经过测算，项目实施后，全厂液化气产量全年增加了 7991 吨。按照当前市场价格计算，考虑项目增加的电耗以及减少的发电量，每年可为企业增效 1400 多万元，项目总投资约为 2000 万元，投资回收期仅为 1.4 年，达到了预期目标。

（三）系统运行稳定性与安全性

除了量化的经济与环保指标，瓦斯减量化还带来了隐性的运行效益。随着大量 LPG 组分从瓦斯管网中剥离，全厂瓦斯管网的热值波动大幅减小，提升了各装置加热炉的燃烧效率与温度控制精度，减少了因热值波动导致的炉管结焦、熄火等安全隐患，延长了设备使用寿命，保障了全厂生产的长周期平稳运行。此外，溴化锂机组的投用有效利用了全厂低温热资源，进一步优化了公用工程系统的冷热平衡，降低了循环水系统的冷却负荷。

四、结束语与展望

在“双碳”战略目标引领下，炼油企业的节能降碳已从单一设备的局部改造，转向全厂系统级的能源介质网络优化。炼油企业的节能降碳不能只盯着单台设备，必须从全厂管网系统去统筹。这次瓦斯减量化改造，通过“源头控制 – 过程回收 – 系统平衡”的三级优化路线，结合管线利旧、流程重构与溴化锂制冷强化等实用手段，把重整、加氢和焦化装置串联起来，解决了企业瓦斯产耗失衡、“干气不干”的痛点。

瓦斯减量化并非单一的技术优化，而是涵盖工艺优化、技术改造、管理机制的综合优化。下一步企业应持续深化全厂瓦斯系统乃至全要素公用工程的智能化改造。一方面，聚焦燃料气中微量高价值组分的产品化转化，探索膜分离、变压吸附（PSA）等先进分离技术在瓦斯提纯中的应用；另一方面，在全厂瓦斯管网

关键节点引入先进过程控制（APC）技术，建立全厂瓦斯管网的动态实时优化模型，实现瓦斯产耗的预测性调度与智能平衡，让瓦斯调配从“人工经验”向“自动优化”转变。进一步落实国家

关于“推动产业绿色低碳转型、提高资源综合利用水平”的政策要求，以更扎实的技术创新和管理升级，在绿色、低碳、高质量的可持续发展道路上稳步前行。

参考文献

- [1] 胡军. 炼厂瓦斯系统优化调整及运行问题应对 [J]. 当代化工, 2025(12).
- [2] 魏世强, 江洪波, 双秀芝, 侯立新. 炼油厂燃气瓦斯系统优化调度及应用 [J]. 石油学报 (石油加工), 2024(11).
- [3] 田玉宝. 炼化企业瓦斯平衡与管理 [J]. 石油石化绿色低碳, 2020(12).
- [4] 黄志博. 浅析镇海炼化瓦斯系统优化 [J]. 石油石化绿色低碳, 2017(10).
- [5] 伦晓伟, 刘新月, 王言言. 炼厂瓦斯系统平衡及优化分析 [J]. 石油石化节能与减排, 2014(12).
- [6] 苏宏业, 侯卫锋. 瓦斯平衡与优化调度技术及其在炼化企业节能减排上的应用 [J]. 自动化博览, 2010(10).
- [7] 吴欣雨. 某石化企业热水型溴化锂冷冻站工程实例 [J]. 石油化工设计, 2023(08).
- [8] 李国君, 汤建锋. 溴化锂吸收式制冷机运行问题分析及应对措施 [J]. 化肥设计, 2023(06).
- [9] 焦程子明. 化工厂溴化锂制冷机组改造 [J]. 燃料与化工, 2023(01).
- [10] 朱慧. 溴化锂机组冷凝热回收利用可行性分析 [J]. 上海节能 2024(02).