

# 芳烃装置低压蒸汽升压项目优化改造及经济效益分析

梁振源 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578001)

**摘要:** 在芳烃装置运行时, 如何实现能源高效使用是业内研究热点问题, 作为重要能源载体的蒸汽合理升高压力对提高能源利用率和减少生产成本有着十分重要的作用, 本文以某公司芳烃装置蒸汽升压节能技术为研究对象, 详细说明压缩机升压等部件工作原理, 并根据实际情况进行分析, 讨论优化改造带来的经济效果, 希望对有关公司选择和优化蒸汽升压技术起到一些有益的借鉴作用, 帮助促进整个芳烃产业向着更节能高效的领域迈进。

**关键词:** 蒸汽压缩; 蒸汽平衡优化; 节能技术; 经济性分析

中图分类号: TE624.9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2026) 011-0080-04

## Optimization and Economic Benefit Analysis of Low Pressure Steam Boosting Project for Aromatic Hydrocarbon Plant

Liang Zhenyuan (Sinopec Hainan Refining and Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578001, China)

**Abstract:** How to achieve efficient energy use during the operation of aromatic hydrocarbon plants is a hot research topic in the industry. The reasonable increase in pressure of steam, as an important energy carrier, plays a very important role in improving energy utilization and reducing production costs. This article takes the steam boosting energy-saving technology of a company's aromatic hydrocarbon plant as the research object, elaborates on the working principle of compressor boosting and other components, and analyzes the economic effects brought by optimization and transformation based on the actual situation. It is hoped that this will provide some useful reference for relevant companies to choose and optimize steam boosting technology, and help promote the entire aromatic hydrocarbon industry to move towards a more energy-saving and efficient field.

**Keywords:** steam compression; Steam balance optimization; Energy saving technology; Economic analysis

在全球范围内对能源的需求持续增长且环保意识不断增强的情况下, 芳烃行业承受着极大的节能减排压力, 在芳烃设备中蒸汽系统作为重点能耗环节之一, 众多工艺过程均需各种压力级别的蒸汽, 但是在实际制作时所生产的蒸汽压力通常无法直接达到工艺的要求, 这就不得不对其进行升压处理, 传统蒸汽升压方式有普遍存在能耗大、效率低下等现象。所以对高效蒸汽升压节能技术和应用进行研究与运用, 避免蒸汽热量浪费, 合理利用这部分多余饱和蒸汽的汽化潜热<sup>[1]</sup>, 在装置中设置蒸汽压缩机对芳烃企业在降低能耗的同时增加经济效益与环境效益有着十分重要意义。

### 1 项目概况分析

目前该公司第二套芳烃装置, 其生产能力为 100 万 t/a, 所产生的 0.45MPa 压力蒸汽主要被用来产生电力, 但是这种方法的能效相对不高, 同时在低温热量回收和资源使用效率上也存在一定的限制, 为了进一步优化 0.45MPa 蒸汽的使用效率并减少能量消耗, 公司采用了蒸汽加压技术, 将芳烃装置自产的 0.45MPa 蒸汽逐步加压到 1.95MPa, 这样不仅可以提高能源的使用效率还能有效降低能源浪费。

另外自产的低压力蒸汽经过加压可以替代芳烃抽提工段原有的 2.2MPa 蒸汽, 避免了 3.5MPa 蒸汽降至

2.2MPa 时的能量损失, 这种做法不仅提高了剩余热量生成蒸汽的使用效率, 而且显著地降低了整体能耗、增强了经济回报、改善了对环境的影响以及加强了行业的市场地位。

### 2 蒸汽升压改造前各低压蒸汽发生器流程分析

在改造之前这家公司的除盐水是先通过除氧器 (D-2753) 进行除氧处理, 再通过锅炉给水泵 (P-2751) 加压后向抽余液塔顶部蒸汽发生器 (E-2605A/B/C/D/E), 抽出液塔顶蒸汽发生器 (E-2608A/B)、甲苯塔顶蒸汽发生器 (E-2514A/B) 供应达标除氧水。蒸汽发生器将主设备工艺介质冷凝以生产出 0.45MPa 的蒸汽, 这些蒸汽被输送到二甲苯塔重沸炉, 在对流段中进一步加热后, 一部分蒸汽进入加氢裂化和轻烃回收装置 (在满足装置正常工况下), 一部分作为异构化循环氢压缩机透平的驱动蒸汽, 剩余的蒸汽与凝结水闪蒸蒸汽一起并入低压蒸汽发电机 (PA-2751) 中用于发电。

芳烃生产工艺特性决定了其工艺物料循环量特别大, 造成设备大型化, 特别是塔器大型化, 使精馏塔负荷增大, 塔顶存在大量的低温余热, 蒸汽发电技术能有效利用低压蒸汽, 大幅降低装置能耗, 提升了装置竞争力<sup>[2]</sup>。

### 3 芳烃蒸汽升压项目实施

#### 3.1 改造主要内容

该项目的核心是新增一台 0.45MPa 蒸汽升压机 (K-901N) 及一座 6kV 变电所, 其次是与升压机组相连接的蒸汽及凝结水线流量、压力及温度仪表。具体的设计细节都是根据蒸汽升压机组的实际操作需要进行的, 并在原有设施得到充分利用的基础上考虑了新增的需要, 从而保证了改造后的系统能够与机组的运行保持稳定和协调<sup>[3]</sup>。具体如下:

配套安装与蒸汽升压机组相连的蒸汽和除氧水线流量、压力和温度仪表对机组的主要介质参数进行了综合监控, 对机组的安全平稳运行提供了数据支持, 保证了各参数在可控范围内。

蒸汽升压机组要求现场仪表均为机组供应商随机配套供应, 覆盖螺杆机, 电驱动系统、蒸汽及除氧水系统和密封系统的有关仪表, 各类型仪表的信号根据其种类分别接入到不同的接线箱内, 保证了信号的有序传递且相互之间没有影响, 为以后的维修和故障排除提供了方便。

新增电缆是通过现有的电缆槽进行路由敷设的, 这最大程度地利用了现有的基础设施从而减少了改造所需的工程量, 在现有的电缆槽中剩余的空间不够的情况下在它们附近或者上部增加了新的电缆槽, 电缆槽均采用铝合金材料, 具有耐腐蚀、轻量化、高强度等特点, 与工业现场的运行环境兼容。

#### 3.2 控制系统改造

为了精确地监测并确保蒸汽升压机组的联锁安全, 该项目采用了 DCS 和 SIS 的协同工作方式实现监控和联锁保护, 不需要构建一个新的独立控制系统就可以完成, 直接将芳烃联合装置中已有的 DCS, SIS 系统进行扩容, 减少了系统冗余度, 降低了系统调试和维护工作的复杂程度, 同时保证了与原设备控制系统之间良好的相容性, 新增加的控制系统的机柜被放置在原芳烃联合装置机柜室的空置位置, 这样可以更有效地利用现有的机柜空间, 并且不需要进一步扩大机房规模。为了使操作人员便于进行蒸汽升压机组的常规运行和各种参数的监测, 芳烃中心控制室新增设了一个 DCS 操作站, 这个平台是专门为蒸汽升压机组的设计提供启动和停止控制, 以及调整各种参数, 检查故障警报等功能而设计的, 该平台的操作界面也与目前所使用的 DCS 系统是一致的, 从而降低了操作员的培训费用。

#### 3.3 新增主要设备

该项目新添了一台电驱蒸汽升压机组, 被安置在原装置界区外西北角新增占地, 并且没有加热系统,

非常适合当前的安装环境。具体如下:

蒸汽升压机具有垂直剖分的构造, 其进出方式是上进下出, 其型号是 SSHP630S, 该设备的质量和性能达到工业级别的操作规范, 能够满足该项目对蒸汽升压的具体要求。采用碳环密封加干气密封相结合的螺杆机轴封系统具有优良的密封性能, 能有效地阻止了介质的泄漏, 密封系统采用氮气为主密封气及隔离气体进一步提高了密封可靠性, 碳环密封配有汽封冷却器和汽封射汽器并与汽轮机密封系统分离避免互相干扰, 汽封抽气使用 0.8MPa 的引射推动保证了密封系统的平稳工作。

主电动机为异步变频电动机, 高压变频器采用空水冷却方式。电机型号为 YKS710-2, 属高压三相异步电机。本方案新增用电负荷较大, 原有变电所已无法满足改造需求, 需新建一座 6kV 变电所。新建变电所为两层结构, 一层主要为电缆夹层和一个 35kV 油浸变压器室, 二层主要为配电室<sup>[4]</sup>。

压缩机选用双螺杆式压缩机, 双螺杆式压缩机相较于离心式压缩机展现出多方面的优越特性。作为容积式压缩机, 其采用强制排气设计, 能够应对带液介质的压缩, 并可实现排气处于饱和或过热状态。该机型在压缩过程中通过喷入液体进行冷却, 使压缩趋近于等温过程, 从而提升了运行效率; 同时喷入的液体汽化后可副产蒸汽, 进一步提高了系统的经济性。此外, 双螺杆压缩机运行转速较低, 始终维持在临界转速以下, 避免了喘振现象, 并具备宽广的工况调节范围, 表现出良好的运行适应性与稳定性, 具体情况如表 1 所示。

表 1 K-901N 主要操作参数表

项目	数值		
型号	630 转子		
介质	水蒸汽		
工况参数	入口	流量 (t/h)	52.4
		压力 (kPa)	500
		温度 (°C)	155
	出口	喷液量 (t/h)	7.6
		流量 (t/h)	60
		压力 (kPa)	2050
		温度 (°C)	212
		轴功率 (kW)	6100
		电机功率 (kW)	7000

### 3.4 改造后蒸汽使用及公用工程能源分析

新增加的螺杆升压机能够将芳烃联合装置的 0.45MPa 蒸汽提升到 1.95MPa，从而为芳烃抽提装置重沸器提供能源，这样可以取代原有的 3.5MPa 管网蒸汽，从而降低装置能耗，芳烃联合装置产生的 0.45MPa 蒸汽大约有 243t/h，129t/h 被用于蒸汽发电机以实现能量的回收与发电。改造后，0.45MPa 蒸汽仅有 100t/h 被用于蒸汽发电机，29t/h 的蒸汽用于螺杆升压机，并注入 7t/h 的除氧水后对蒸汽进行了冷却，经过增压处理的蒸汽具有 1.95MPa 的压力，215℃ 的温度以及 36t/h 的流量，所有的 1.95MPa 蒸汽都充当了芳烃抽提装置的热能源。螺杆升压机制动时公用工程消耗主要为电机耗电、冷却升压蒸汽进行的除氧水、机组循环水和用于螺杆机密封的 0.85MPa 氮气等同时蒸汽发电机减少了电量。

## 4 改造后的蒸汽升压节能技术应用经济效益分析

### 4.1 经济效益分析

对蒸汽升压工程的经济效益进行了详细计算，具体如表 2 所示，这一计算是基于标定时 36t/h 的 1.95MPa 蒸汽产量来进行的。项目的经济效益主要来源于三个方面，一是取代了 3.5MPa 蒸汽的生产成本，二是 3.5MPa 蒸汽降至 2.2MPa 时的能量损失，三是 0.45MPa 蒸汽用于蒸汽发电的能量损失。同时还要考虑到蒸汽发电量降低带来的额外支出。

表 2 蒸汽升压项目经济分析表

序号	项目	单位	数量	单价
1	替代 3.5MPa 蒸汽量	t/h	33	262
2	蒸汽升压项目循环水消耗量	t/h	-190	0.2
3	蒸汽升压项目除盐水消耗量	t/h	-9	11.68
4	蒸汽升压项目 0.85 氮气消耗量	Nm <sup>3</sup> /h	-115	0.83
5	蒸汽升压项目 1.0MPa 蒸汽消耗量	t/h	-0.5	220
6	滑油泵、凝结水泵、螺杆机电机消耗和蒸汽发电机组减少的发电量	kWh	-8100	0.67

蒸汽升压项目投用后的效益 = 替代 3.5MPa 蒸汽成本 - 循环水消耗成本 - 除盐水消耗成本 - 氮气消耗成本 - 蒸汽升压机组耗电成本 - 1# 蒸汽升压发电量减少的费用，按当前工况（替代 3.5MPa 蒸汽量 33t/h），以每年运行 8000h 统计，项目经济效益为：(33\*262-190\*0.2-9\*11.68-115\*0.83-0.5\*220-8100\*0.67)\*8000=2296.3 万元。

低温热发电方案工艺技术路线较为复杂，通过改造单套装置、回收有限的低温热源来发电，其投资回报不具备优势；低温热产蒸汽方案工艺技术路线相对简单，利用螺杆压缩机对低压蒸汽进行升压、过热，替代原蒸汽发生器生产节能效果好<sup>[5]</sup>。就经济效益而言采用蒸汽升压节能技术给企业提供了一笔相当大的效益，能耗下降直接降低企业能源采购成本、装置改造过程简单、投资成本小，在原有蒸汽管线甩头中完成工程的执行利旧，经济性指标已经达到了标准并且投资回报率很高。

### 4.2 能耗分析

表 3 蒸汽升压项目能耗计算表

分类	标定值			
	公用工程增减		折标系数	综合能耗
名称	单位	数量		吨标油 / 年
循环水	t/h	-190	0.06	-91.2
电	kWh	-8100	0.23	-14904
除盐水	t/h	-9	1	-72
3.5MPa 蒸汽	t/h	33	88	23232
1.0MPa 蒸汽	t/h	-0.5	76	-304
0.85MPa 氮气	Nm <sup>3</sup> /h	-115	0.15	-138
合计				7722.8

对使用蒸汽升压节能技术对芳烃装置实施监控与分析发现，如表 3 所示：本来要利用减温减压来利用高品位蒸汽的过程，如今经过回收低压蒸汽提升压力达到过程要求，降低高品位蒸汽浪费程度，应用螺杆式压缩机升压技术之后，该的芳烃联合装置综合能耗比改造之前下降了 7.72kg 标油 / t 对二甲苯，单位 PX 生产能耗降低 5.4%。

### 4.3 环保分析

利用蒸汽升压节能技术产生了明显的环境效益，降低能耗就意味着减少化石能源的耗用，进而减少二氧化碳这类温室气体的排放量，这对于减缓全球气候变化有积极的意义。与此同时，蒸汽放空的减少又减轻了周围环境中热污染与噪声污染的程度，企业周围生态环境的质量得到了提高，企业社会形象得到了提升，环保竞争力增强。

## 5 结论与展望

### 5.1 操作情况

后续的生产运行中可根据芳烃抽提装置的运行情况,在不对芳烃抽提装置再沸器进行改造的前提下适当降低升压蒸汽的压力和温度,有助于降低螺杆机负荷,降低蒸汽升压机组耗电量,也能减缓芳烃抽提装置环丁砜热分解情况。

### 5.2 重整油塔再沸器使用升压蒸汽

以连续重整装置产出的 C6+ 重整生成油为原料的重整油塔,因其塔底温度控制范围为 173℃ ~ 185℃,故需要用减温减压后的 3.5MPa 蒸汽作为热源。白土进料加热器温度 ≤ 180℃,也适用于升压蒸汽加热。在设计阶段可将此部分纳入,对芳烃联合装置节能降耗有积极意义。

### 5.3 运行结论

芳烃蒸汽升压工程投入使用并运行以来,在优化运作和节能环保方面都取得了较好的应用效果,所有设备整体运行情况稳定,各项环保数据无异常,达到

年度预期效益。促进了蒸汽升压节能技术的大规模应用与不断发展,为芳烃行业向绿色高效可持续发展方向迈进提供了帮助。

#### 参考文献:

- [1] 张海波. 低压饱和蒸汽升压在芳烃联合装置蒸汽系统优化中的应用 [J]. 石油化工设计, 2022, 39(03): 9.
- [2] 秦文戈. 低温余热回收发电技术在芳烃联合装置中的应用 [J]. 石油化工腐蚀与防护, 2023, 40(05): 40-45.
- [3] 李振权. 徐丙楠. 低压饱和蒸汽节能回收利用研究与应用 [J]. 化肥设计, 2021(04): 37-39.
- [4] 王婷. 蔡达理. 某芳烃联合装置低温余热利用方案研究 [J]. 炼油技术与工程, 2023(06): 60-62.
- [5] 赖樊容. 芳烃装置低温热利用技术方案选择与实践 [J]. 炼油技术与工程, 2024, 54(02): 41-43.

#### 作者简介:

梁振源 (1999- ), 男, 四川合江人, 毕业于中国石油大学 (华东), 本科, 助理工程师, 从事石油化工艺管理工作。

