

## 石化生产全过程节能降耗与环境影响分析

武博

河北安科检测检验有限公司, 河北 石家庄 050200

**[摘要]** 石油化工行业是国家经济发展的重要力量, 生产和加工过程中存在着很大的能耗及环境负担。文章从化学化工工程领域角度出发, 在进行职业卫生检测工作中, 对整个石油化工生产各个阶段中的能源消耗情况以及特点进行了系统的梳理, 并研究了目前常用的节能降耗的方法手段, 然后分析石化产品生产中的废气、废水、固体废物以及其他污染物产生的种类、原因以及带来的环境污染程度、采取的一些治理方式的有效性, 最后针对节能降耗和环境保护之间的关系, 提出了在工艺设计、能源分层次使用、末端净化处理、循环经济等方面如何做到既保护环境又节约成本的方法途径。

**[关键词]** 石化生产; 节能降耗; 环境影响; 协同优化; 清洁生产

DOI: 10.33142/sca.v9i3.19360

中图分类号: TQ02

文献标识码: A

## Energy-saving and Environmental Impact Analysis of the Whole Process of Petrochemical Production

WU Bo

Hebei Anke Testing and Inspection Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050200, China

**Abstract:** The petrochemical industry is an important force in the development of the national economy, and there are significant energy consumption and environmental burdens in the production and processing processes. Starting from the perspective of chemical engineering, this article systematically reviews the energy consumption and characteristics in various stages of petrochemical production during occupational health testing, and studies the commonly used methods and means of energy-saving and consumption reduction. It then analyzes the types, causes, and environmental pollution levels of waste gas, wastewater, solid waste, and other pollutants generated in petrochemical product production, as well as the effectiveness of some treatment methods adopted. Finally, based on the relationship between energy-saving and consumption reduction and environmental protection, it proposes methods and approaches to protect the environment and save costs in process design, hierarchical use of energy, end of pipe purification treatment, circular economy, and other aspects.

**Keywords:** petrochemical production; energy-saving and consumption reduction; environmental impact; collaborative optimization; cleaner production

石化产业是技术和资本及能源集中的产业, 它包含着复杂的物理和化学变化过程, 在提供社会经济发展的基本能源和原料的同时又消耗了许多宝贵的物质并产生了各种各样的复杂污染因子。随着国际社会对气候变化和环境保护问题的重视程度不断提高, 以及我国“双碳”的深入实施, 石化产业面临前所未有的节能减排以及环境保护的压力<sup>[1]</sup>。原有的末端处理方式很难适应越来越苛刻的环境标准要求, 同时也不能从根本上解决资源浪费问题。所以在整个生产和制造过程中把节能减排同环境管理结合起来, 在两者之间找到一个最佳结合点, 使二者共同发展, 这已成为石化产业持续发展的必然选择。

### 1 石化生产过程概述

石油化工生产工艺是以原油、天然气为原料, 在一系列蒸馏分馏、裂解、催化裂化、催化重整、加氢裂化、异构化、烷基化等裂解转化过程中生产燃料油、润滑油、化工原料和化工产品的一种工艺生产方式。该工艺过程较为繁杂, 一般包括上游的常减压蒸馏、中游的催化裂化、催化重整、加氢裂化等二次加工装置, 下游的聚乙烯、聚丙烯、醇类等聚合、烷基化等化工生产装置, 见图 1。

从图 1 可以看出, 整个生产工艺流程不仅仅是单纯的化学反应及分离工序, 同时还高度依赖加热炉、锅炉、压缩机、机泵等公用设备系统提供的热能、电能、功等能源

支持。这样一个庞大复杂的体系，造就了石油加工业既是能源生产大户，也是能源消耗与污染排放大户的局面<sup>[2]</sup>。在实际巡检过程中，经常会对各类生产设备、储罐区、装卸区域等涉及放射源的重点部位进行取样监测，这也间接体现了石油加工生产环节繁多的特点。

## 2 石化生产节能降耗分析

### 2.1 能源消耗结构与特点

石油炼化公司的能源消耗具有量大、品种多、以热能为主的特点。通过对多个石油炼化公司生产能耗的数据汇总得出，在所有生产成本中，能源花费大约在 30%-60%，主要的能源消耗情况见表 1。

表 1 典型石化企业能源消耗结构统计表

能源类型	主要用途	消耗占比 (%)	特点分析
燃料气/燃料油	加热炉、锅炉	50~65	直接燃烧提供工艺热，是能耗主体
电力	压缩机、机泵、电仪	20~30	驱动大型动力设备，负荷波动大
蒸汽	重沸器、汽提、伴热	10~20	不同压力等级蒸汽需求，管网复杂
水	循环冷却、锅炉给水	3~5	作为传热介质，消耗量大

由表 1 可知，燃料、蒸汽两项热耗能占到了全部能耗的绝大部分。在现场的职业卫生检测中得知，加热炉、反应器这些高温装置不仅是最主要的能量消耗设备，也是高

温热传导以及废气扩散的最大来源，所以提升加热炉热效率、改进换热系统、梯次使用蒸汽就成了节能的核心问题。

### 2.2 节能降耗技术路径

为满足以上能耗结构特征需要，石油化工行业也已经有较为成熟的一些节能降耗的技术，其使用情况见表 2。

表 2 主要节能降耗技术路径与应用效果

技术路径	关键技术	节能率 (%)
工艺优化	高效催化剂、反应器强化、优化操作参数	5~15
能量系统集成	夹点技术、换热网络优化、蒸汽动力系统优化	10~20
设备能效提升	变频调速、高效机泵、低功耗变压器	10~15
余热余压利用	烟气余热回收、低温热利用、压差发电	5~10

在工业卫生现场监测中，经常可以看到由于机器陈旧、保温损坏造成的热耗散现象，这不仅造成能量损失，还产生大量热量，对工作场所构成危害。提高机械设备及管线的保温效果是经济效益最好的一种节能方式，可以节省掉 30%~40% 的热量损耗。

## 3 石化生产环境影响分析

### 3.1 主要污染物类型与来源

石油加工带来的环境问题，在原料输送、储存、加工转化以及产品运输等各个环节中都有所体现。主要污染物种类及常见排放源如下表 3 所示：

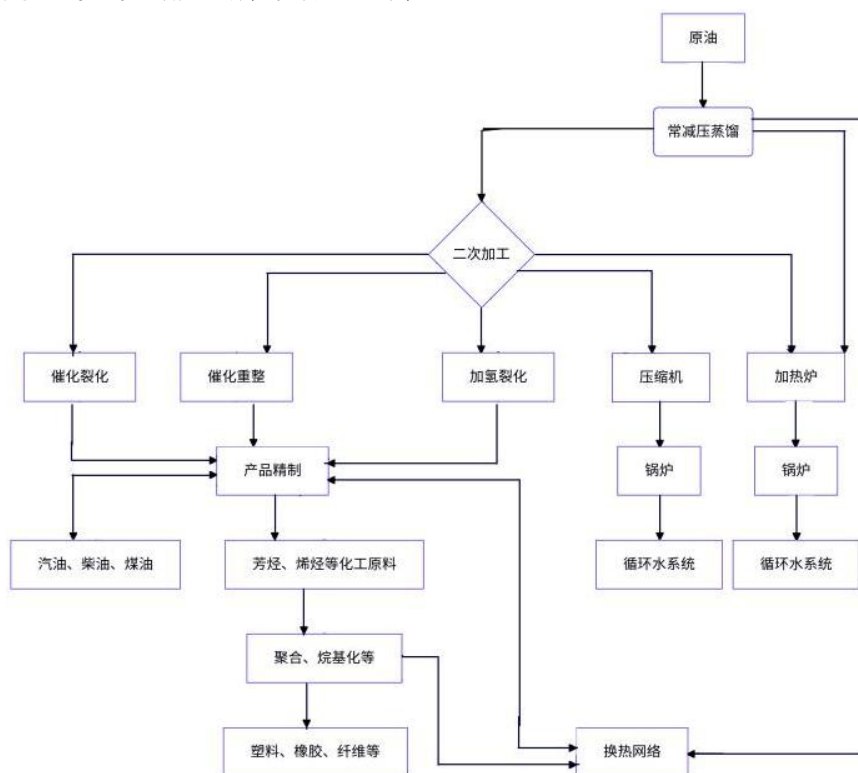


图 1 典型石化生产工艺流程与主要用能单元示意图

**表 3 石化生产主要污染物类型与来源**

类别	主要污染物
废气	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )、氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )、颗粒物 (PM)、挥发性有机物 (VOCs)、硫化氢 (H <sub>2</sub> S)
废水	石油类、化学需氧量(COD)、氨氮 (NH <sub>3</sub> -N)、硫化物、挥发酚
固体废物	废催化剂、油泥、废溶剂、废包装物

对于职业卫生现场检测来说, 有机物 (VOCs)、硫化氢等有毒有害物质检测是最主要的工作, 装置区巡检过程中, 用便携式检测仪经常会碰到泵、阀门、法兰这些密封点处有泄漏情况出现, 这类非正常工艺操作预期、因设备密封失效等原因造成的无组织泄漏或释放, 为环境带来了污染的同时也成为了对员工们的职业危害因素之一。

### 3.2 废气排放及控制

工业废气是石化装置对环境最直接的影响因素, 特别是燃烧产生的烟气以及未经过处理就直接排出的 VOCs。企业装置区有组织与无组织废气排放监测结果如下图 2 所示:

由图 2 可知, 有组织排放源主要以改进燃烧及末端治理措施来进行管控。比如加热炉使用低氮燃烧器可使 NO<sub>x</sub> 排放浓度达到 80mg/m<sup>3</sup> 以下, 在此基础上再结合选择性催化还原 (SCR) 工艺可以使 NO<sub>x</sub> 排放浓度控制到 30mg/m<sup>3</sup> 以下。而无组织排放源主要是依靠泄漏检测和修复技术进行治理, 这是迄今为止最为有效的控制方式<sup>[3]</sup>。以某石化企业为例, 实施 LDAR 前后的分析表明, 在制定合理的检测与修复规程后, 设备密封点泄漏率可降至 1.5% 以下, VOCs 年排放量减少 200t 以上。

### 3.3 废水排放及处理

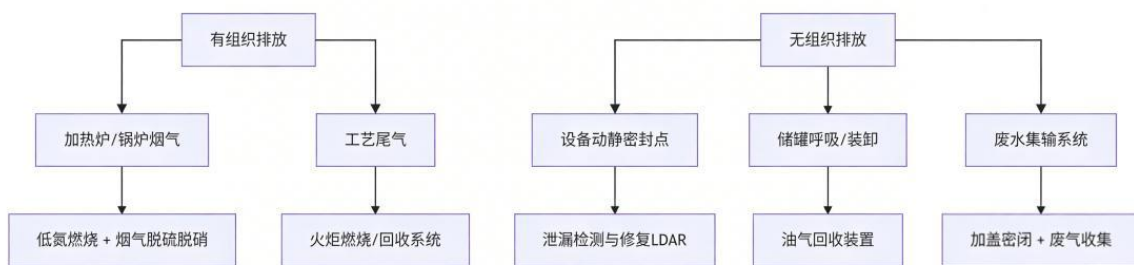
石化污水水质复杂、有毒, 难处理。典型的石化污水

治理工艺一般采取“隔油-气浮-生化”三级处置方法, 并且一些单位设有深度处理设施进行回收利用。某公司污水处理站各处理段运行状况如下表 4:

由表 4 可知, 废水生化处理是脱除 COD 及石油类的主要环节, 因此生化系统的正常运转对于出水达标十分重要, 在日常监测过程中, 应不定时采集各设施的水样进行化验, 观测处理情况并适时调节操作条件。

### 3.4 固体废物处理与资源化

化工产业在生产中产生大量的固体废弃物, 产生的原因包括炼油、化工装置的运转、维护保养、污水处理等各个环节, 品种繁多, 性质各异, 其中有大量易燃、有害、有毒或含重金属的危险废物, 一旦处置不当就会造成严重的土壤、水源污染及安全隐患, 所以目前石化固废处理正从传统的填埋方式过渡到减量化、无害化和资源化等处理手段上来, 目前最常见的方法便是资源化再利用, 如石化废催化剂往往富集有铂、钯等贵金属, 有着较高的回收价值, 可以委托专门的企业采取湿法冶金或者火法冶金的方法对其进行分离提纯, 从而完成贵金属的回收循环再利用; 而含油污泥这类高污染的固体废弃物大多采取高温分解与燃烧相结合的方式或者是溶剂萃取、离心分离等工艺来处理, 从而达到将其中油、水、固体颗粒分离的目的, 进而实现对固体废物的无害化处理并获取可二次利用的资源。例如某炼油厂就使用热解法对含油污泥进行处理, 不但使含油污泥的体积减少了 90% 以上, 而且还得到了一部分的燃料油, 节约了处理资金的同时也减少了环境污染问题的发生, 既有着可观的经济效益也有着很好的生态效益, 代表了石油行业固废资源化的处理趋势。


**图 2 石化企业废气来源与控制技术框架**
**表 4 某石化企业废水处理单元处理效果数据**

处理单元	进口 COD (mg/L)	出口 COD (mg/L)	去除率 (%)	进口石油类 (mg/L)	出口石油类 (mg/L)	去除率 (%)
隔油池	1500~2000	800~1200	40~50	200~300	50~80	70~80
气浮池	800~1200	400~600	50~60	50~80	10~20	70~80
生化系统	400~600	60~100	80~90	10~20	3~5	70~80
排放标准	-	≤60	-	-	≤5	-

#### 4 节能降耗与环境影响的协同优化

节能与减排不是截然分开的两个目标,它们是工业生产中紧密联系、互相推动的整体。从源头上来说,节能减排的根本就是节约能源消费总量,特别是要削减煤炭、石油、天然气等化石燃料的燃烧数量,而化石燃料燃烧恰恰就是产生二氧化硫、氮氧化物、颗粒物和温室气体等最主要的途径之一,所以节能减排本身就可以发挥非常明显的减排作用。而且,污染防治过程中也会消耗大量能源,比如脱硫脱硝、废气吸附、污水治理、危废焚烧等都需要用电、蒸汽或燃料的支持,如果治理的技术手段选择错误或各类污染末端治理设施在实际运行中效果不佳的话,可能会变成越治理能源消耗越高、越治理经济负担越大,出现了“以能易污”的逆反局面。所以在工作中,我们必须同步做到节能减排,综合考虑生产工艺和设备参数,达到最优效果。在职业卫生检测以及生产车间管理中能看到,很多高能耗的环节同时也是污染物泄漏风险较大的部位,如加热炉燃烧不足不但造成了燃料不必要的损失与热效率降低,还使得烟气中的CO浓度提高,同时也加大了VOCs和烟尘的排放量,恶化了工作场所空气环境。由此可见,加强燃烧管理,提高能效利用率,既可以节约能源开支也可以减少污染物排放,在一定程度上实现了绿色生产和可持续发展的双赢模式。

##### 4.1 工艺优化与清洁生产

清洁生产是最直接从源头上减少污染及能源消耗的方法。它的主要思想就是把环境保护和节能因素考虑进去。比如使用加氢精制代替酸洗法,不但得到了更高的产品收率以及更优质的成品,而且也杜绝了有害废弃物酸渣、碱渣的产生。有炼油厂对催化汽油用加氢脱硫处理后使汽油中的硫含量由原来的150ppm降低到了10ppm以下且省去了传统的脱硫过程产生的大量废碱液,达到了既环保又经济的效果<sup>[4]</sup>。另外对工艺过程参数进行精确化的调整也可以带来良好的协同效应。通过对反应温度、压力以及投料比例这三大重要变量进行动态调整,可以在提升产品质量的同时降低次级反应的发生概率,进而减少废液中未参与反应的原料及生成的杂质含量。

##### 4.2 能源梯级利用与系统集成

能源递阶应用是能量集成系统的精髓,它在于根据能量品位不同,将其应用于不同生产工艺过程,实现“优质优用、劣质劣用”;同时,通过对整个装置的能量系统进行换热网络的设计优化,可以将工艺中的副产余热用来加热原料、制造蒸汽乃至发电,比如,某一石油化工企业将催化裂化装置再生烟气的高温余热用于制备中低压蒸汽,

进而带动汽轮发电,每年发发电量达上亿度,既节省了煤炭消耗,又减少了烟气排放。从系统的层面讲,构建一个完整的装置内公用工程和工艺装置一体化的联合调控模式是极其重要的。采用蒸汽动力系统的分层应用,在将优质蒸汽优先用于透平发电之后,再将劣质蒸汽应用于工艺加热,能大幅提高能源利用率。某石化园区在进行蒸汽管网压力等级提升改造的基础上,把多余的副产蒸汽导入到管网,每年节省标准煤约2.5万t,减少排放造成的噪音及蒸汽流失。

##### 4.3 末端治理与循环经济

末端治理是保证环境达标的最后一道屏障,但它也是一个耗能高、耗材大的过程。把末端治理与循环经济结合起来,则可以把废物变成资源<sup>[5]</sup>。比如,污水处理站产生的沼气用来烧锅炉作燃料替代部分的天然气;循环水排出的废水通过反渗透技术处理后,可作为锅炉补水或用于冷凝水回收利用,进而达到“近零排放”。某公司建设了中水重复利用装置使得污水处理利用率达到了75%以上,每年节约用水量在500万t左右,同时减少了同等量的废水排放。

##### 4.4 环境效益与经济效益评估

协同优化的目标就是实现环境效益与经济效益的最大化,并将二者结合。协同优化的一个典型效果如表5所示。

表5 某石化企业节能与减排协同优化项目效益评估

评估指标	实施前	实施后	变化量	效益分析
综合能耗(kg标油/t原料)	85.6	72.4	-13.2	年节约能源成本约2800万元
SO <sub>2</sub> 排放量(t/a)	120	85	-35	环保税减免,区域环境质量改善
NO <sub>x</sub> 排放量(t/a)	200	150	-50	避免超标风险,社会效益显著
VOCs减排量(t/a)	-	80	+80	LDAR项目收益,减少物料损失
废水回用率(%)	30	70	+40	降低水费及排污费,缓解水资源压力

从表5可以看出,在采取系统的节电减污、清洁生产的措施下,企业不但获得了显著的节能降耗收益,也创造了良好的经济效益,说明协同改进是切实可行也是必不可少的。

#### 5 结束语

石化行业生产的复杂性,使得它的能耗和环保问题紧密相连,本文在化学工程和工艺学的角度,并根据职业卫生现场测试工作经验,对石化产品的生产工艺全过程的节能减排以及环境保护做了综合性的探讨;在能耗方面主要

是指燃料和蒸汽,在排污方面主要是指 VOCs、COD、石油类、危废等。

石化行业的绿色发展要破解长期以来存在的末端治理困境,在同一个平台内统筹兼顾节能降耗以及环保措施,采取一系列如工艺改造,能级利用、清洁生产和循环经济发展模式的技术措施及其管理模式,从而彻底提高能源利用率,从根源处减轻污染排放量,减轻末端治理的压力和费用负担,具有很好的经济和环境价值,当数字智能技术和石油化工产业深度融合,“智慧能源与环境管理系统”会成为新的趋势,给石化行业的进一步节能降尘和减排控污带来更加坚实有力的支持。作为一名化学工程技术人才,在从事工业卫生检测工作的过程中,更应该加深对工艺、耗能与排放之间联系的认识,为公司进行过程优化提供更多参考指标和参考信息。

#### [参考文献]

- [1]《中国石化报》报社.福建联合石化优化生产运行实现节能降耗[J].乙烯工业,2024,36(4):5.
  - [2]郑雅琼.石化粉尘治理系统能耗分析与节能优化策略[J].石化技术,2026,33(1):179-181.
  - [3]王海臻,陈海龙,王昆.石化企业电气节能关键技术及应用的研制[J].石化技术,2025,32(4):376-378.
  - [4]耿丹,蒋波,耿琳.石化厂污水达标排放改造项目的节能措施分析[J].中国资源综合利用,2024,42(7):256-258.
  - [5]万荣欢.基于能源统计的石化企业节能降碳智能优化方法[J].中国石油和化工,2026(1):79-81.
- 作者简介:武博(1992.8—),男,本科,毕业于燕山大学,化学工程与工艺专业,现就职于河北安科检测检验有限公司,职称级别:助理工程师。