

煤化工精馏过程中热能回收技术优化分析

张汉青

内蒙古鑫元硅材料科技有限公司 内蒙古包头市 014000

DOI: 10.12238/jpm.v6i3.7822

[摘要] 为提升煤化工精馏过程的能源利用效率,减少能源浪费,本文分析了热能损失的主要来源,并探讨了传统热交换器、蒸汽回收系统和余热发电的不足。提出了优化热交换器设计、提高蒸汽回收系统效能、集成余热发电系统及智能化监控等优化措施。结果表明,优化后热能回收技术显著提升了能源利用率,减少了能源消耗,降低了生产成本,并具有良好的环保效应。建议煤化工企业加大技术改进力度,推动热能回收技术的应用,促进可持续发展。

[关键词] 煤化工;精馏过程;热能回收;技术优化

Optimization analysis of thermal energy recovery technology in coal chemical distillation process

Zhang Hanqing

Inner Mongolia Xinyuan Silicon Material Technology Co., LTD., Inner Mongolia Baotou City 014000

[Abstract] In order to improve the energy utilization efficiency of coal chemical distillation process and reduce energy waste, this paper analyzes the main sources of heat loss, and discusses the shortage of traditional heat exchanger, steam recovery system and waste heat power generation. The optimization measures such as optimizing heat exchanger design, improving the efficiency of steam recovery system, integrating waste heat power generation system and intelligent monitoring are put forward. The results show that the optimized heat energy recovery technology significantly improves the energy efficiency, reduces the energy consumption, reduces the production cost, and has a good environmental protection effect. It is suggested that coal chemical enterprises should strengthen technical improvement, promote the application of heat recovery technology and promote sustainable development.

[Key words] coal chemical industry; distillation process; thermal energy recovery; technology optimization

引言

煤化工精馏过程中的热能消耗较大,精确控制热能利用对提高生产效率和降低成本至关重要。随着能源危机和环保要求的加剧,煤化工亟需通过技术创新实现能源高效回收。现有精馏过程存在蒸汽供给过量、热交换器效率低和冷却水温差不合理等问题,导致热能浪费。本文分析了热能损失来源,探讨了热能回收技术,并提出了优化热交换器设计、提高蒸汽回收系统效能、集成余热发电系统等优化措施,以期煤化工行业提

供节能减排方案,推动技术应用与推广。

一、热能损失的主要来源

(一) 精馏塔的蒸汽供给

精馏塔的蒸汽供给是煤化工精馏过程中的核心部分,蒸汽作为加热源驱动分离过程。然而,精馏塔中蒸汽供给量过多时,会导致蒸汽浪费,增加能源消耗并提升设备负荷。根据相关研究,精馏塔中的蒸汽过量供给会导致约 10%-15% 的能源浪费,显著提高生产成本。因此,精确控制蒸汽供给量对提高能效至

关重要。

(二) 热交换器效率低下

传统热交换器在高温、高压环境下的热交换效率常常较低，尤其是在煤化工精馏过程中，热交换器面临较大负荷和复杂工况。研究表明，现有热交换器的热效率普遍低于 70%，导致大量热能无法有效回收，直接影响整体能源利用效率。通过改善热交换器的设计、材料选择及结构优化，能够显著提升热能传递效率。

(三) 冷却水温度差

冷却水温度差的不足或过大会导致热能回收效果不佳。研究显示，冷却水的温差一般应保持在 8°C 至 12°C 之间，若温差过小，热能回收效率降低，而温差过大则可能引发设备损坏或效率下降。现有煤化工精馏过程中，冷却水温差常常无法稳定控制，导致能源利用率低下。

二、热能回收技术

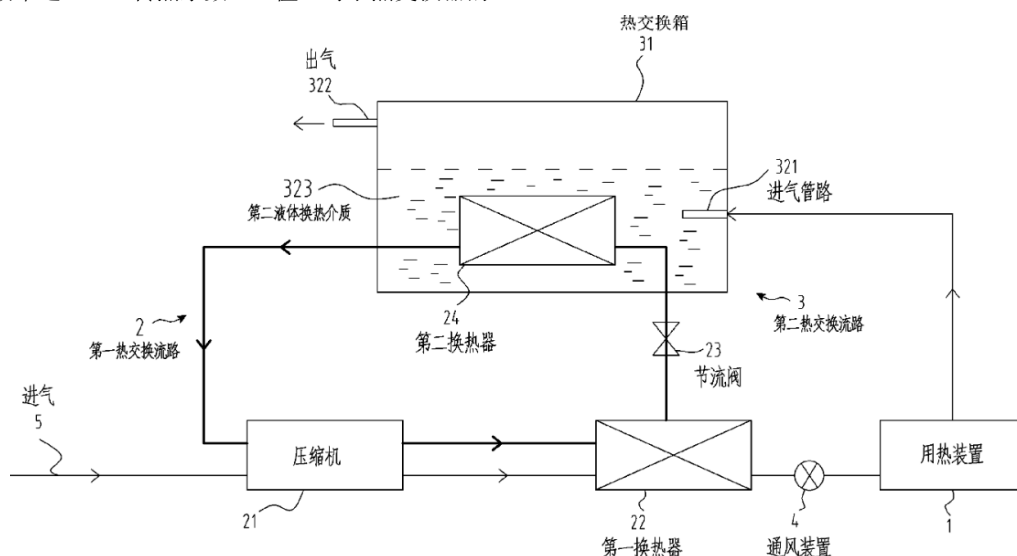
(一) 传统热交换器

在煤化工精馏环节，传统热交换器通过热流体与冷流体的直接或间接接触实施热量交换，然而其设计及运用领域存在诸多难题，在热交换器领域，热传递面积不足是常见问题之一，这一缺陷直接影响了热量交换的效率，在常规设计下，壳管式热交换器的平均换热面积为 200 至 300 平方米，然而，根据研究数据，若对设计进行优化，仅将换热面积提升 10%，即可显著提升热传递效率达 12%。传热系数 (U 值) 对于热交换器的

热传递效率至关重要，传统热交换器的 U 值普遍在 300 至 600 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 区间波动，而理想的换热 U 值则预期达到 800 至 1000 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ，热交换器因低 U 值限制，其热能回收效率受限于设计及材料选型，在众多换热器中，不锈钢换热器尤为常见，其导热系数约 15 $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ，与铜的 380 $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ 相较之下，显得略逊一筹，若选用铜或高导热合金等更佳导热材料，则能显著提高热交换的效能。在热交换器结构设计中，对流体动力学原理的运用往往不够充分，导致流体湍流状态未能达到理想优化，从而进一步影响了热交换效率^[1]。

(二) 蒸汽回收系统

该系统依托于精馏塔产生的蒸汽，旨在为后续工艺步骤提供所需能量，蒸汽回收系统的效能通常介于 60%–80%，其具体效能受制于回收装置的构造与工艺参数的设定，甲醇精馏塔内，蒸汽回收的温度范围多在 180°C 至 220°C ，蒸汽压力介于 1.5 至 3.5 MPa，而冷凝温度通常处于 140°C 至 160°C 的区间。对回收系统设计进行优化，其回收效率得以提升至 10%–15%，精馏塔蒸汽流量与热损失，是影响蒸汽回收系统效率的关键因素，并非所有情况下均能确保其高效运作，在实施蒸汽回收环节，若精馏塔操作出现波动，系统可能遭遇蒸汽过量或缺乏现象，进而对整体效能造成影响，尽管回收系统具备显著潜能，然因工艺条件波动，其性能稳定性不足，进而对整体节能效能构成影响^[2]。如图 1 所示。



图热回收系统

(三) 余热发电

在精馏工序中回收的废热，经废热锅炉转换成蒸汽，进而推动蒸汽轮机进行发电，此技术即余热发电，在煤化工精馏环节，废热锅炉的热转换率普遍介于 70% 至 85% 之间，然而，其废热回收成效却受限于废热温度，尤其是当废热温度降至 150°C 以下时，其回收成效常常不足 10%，在追求余热发电效能

提升的过程中，部分煤化工企业采纳了热电联产技术 (CHP)，此技术得以同步捕捉热能及电能，其热能回收比率可达 50%–70%，而电能回收比率则介于 15%–30% 之间。初期投资较高的余热发电系统，其回收成本通常需耗时 5 至 8 年，尽管初期需投入较大设备投资成本，但余热发电系统在煤化工精馏流程中仍能高效地回收废弃热量，不仅为生产活动供应电能，而且

显著减少对外部电力的依赖，进而达成能源的高效应用，设备技术的持续进步与优化，使得余热发电的回收效能有望显著提高，进而为煤化工产业带来显著的经济与环境收益^[3]。

三、热能回收技术优化措施

（一）优化热交换器设计

煤化工精馏环节，对热交换器设计的优化成为提高热能回收效率的至关重要的手段之一，在传统热交换器中，热传递面积常常不足，这一现象直接制约了热量交换的效能，拓展热交换面积并优化设计结构，能够极大地增强热能传输的效能，运用铜合金等高导热性能材料于热交换器，相较传统不锈钢（导热系数为 15-25 W/m·K），可显著提升热能传递效率达 15%-20%。对多级热交换器进行精心设计，旨在显著提升热能传递的效率，在煤化工的精馏环节，运用串联或并联的多级热交换器，能在不同温度梯度上实现热能交换的优化，并实现热能的最大化回收，采用先进的分级热交换技术，有效提升了热能转换的效能，实现了效率的 20%-30% 的飞跃，经过精心设计优化，热能的利用效率显著提升，此举措有助于降低能量损耗，进而大幅增强整体工艺的能源效率^[4]。

（二）提高蒸汽回收系统的效能

在煤化工精馏流程中，提升蒸汽回收系统的功能表现，是关键的热能回收策略之一，精馏塔产出之蒸汽，其温度与压力均颇高，然而，传统回收系统设计往往未能充分挖掘其潜能，优化设计后的蒸汽回收系统，显著提升了回收效率，在精馏塔中，蒸汽的温度常规保持在 200° C 至 250° C 区间，压力介于 1.5 至 3.0 MPa，经回收系统降温至 150° C 至 180° C 后，此热能得以优化分配，为其他工艺流程提供有效支持。采用智能控制系统对蒸汽回收流程中的温度、压力及时间实施精确调控，显著增强回收系统的运行效率，在生产过程中，智能控制系统依托大数据分析与时反馈机制，对蒸汽回收策略进行动态优化，力求实现蒸汽利用率的最大化，蒸汽回收系统通过采纳基于机器学习的策略，其效能得以显著提升，增幅高达 15%-20%。此等改进手段不仅显著降低了蒸汽损耗，而且大幅削减了生产开销，并促进了能源使用效率的整体提升。

（三）集成余热发电系统

一项技术即集成余热发电系统，通过废热回收手段，实现了能源的再次利用，在煤化工领域，精馏环节中，废热多以低温蒸汽形式存在，回收此类余热不仅有助于提高热能的利用效率，亦能助力部分电力供应，热电联产技术将废弃热能转化为高温蒸汽，进而驱动蒸汽轮机实现发电，在废热锅炉的运用中，其热效率普遍介于 75%至 85%之间；然而，若引入热电联产系统，余热发电的回收效率则可望提升至 20%-30%。在精馏作业中，废热温度普遍介于 150 至 180 摄氏度，而对余热发电系统进行优化设计，有助于显著提升废热利用效率，优化后的热电联产系统通过改进废热回收装置中的热交换器设计，显著提高

了余热利用率，其提升幅度可达 30%-40%，实施余热发电虽需初期大量资金投入，然而其长远利益不仅局限于满足电力供应的自给自足，更可大幅降低对外部能源的依赖性，进而显著提升经济效益。如表 1 所示。

表 1 煤化工精馏过程余热发电系统关键技术指标与优化效果

技术/指标	数值范围
废热锅炉热效率	75%-85%
余热发电电力回收效率	20%-30%
废热温度范围	150° C-180° C
余热利用率提升	30%-40%

（四）智能化监控与优化

采用智能化监控与优化系统，显著提高了煤化工精馏环节的热能回收效能，实施智能化监控，实时监控精馏流程的热能使用状况，有效识别能耗浪费的关键节点，进而通过调整生产参数实现能源损失的降低，依托大数据分析及机器学习技术，本系统对热能回收系统的运作状况实施了优化与调整，运用智能调控技术，系统对热交换器、蒸汽回收装置及废热锅炉的工作状态进行实时调整，以实现热能回收率和利用率的最大化。智能化监控系统可根据生产环节中的温度波动及压力波动，自主调整热交换器流速与冷却水温度，从而显著提高热交换效率，提升幅度可达 12%-18%，运用机器学习算法对过往数据实施深入分析，系统得以对未来热能需求进行精确预判，进而显著提升其能源利用效率，实施这些技术手段，显著提高了煤化工精馏环节的热能利用率，进而大幅优化了生产效能与生态环境效益。

结论

本文分析了煤化工精馏过程中的热能回收技术现状，发现蒸汽供给过量、热交换器效率低、冷却水温差不合理等问题导致热能浪费。为此，提出了优化热交换器设计、提高蒸汽回收系统效能、集成余热发电系统及智能化监控与优化等技术措施。这些优化措施有效提升了热能回收效率，减少了能源消耗，降低了生产成本，并促进了环保效益的提高。未来，随着技术的持续发展，热能回收技术将在煤化工行业中发挥重要作用，推动其可持续发展。

[参考文献]

- [1]孙正东.硫酸工业热能的充分回收和高效利用[J].硫酸工业, 2024, (04): 7-19.
- [2]叶露阳, 董梁.热泵技术在化工生产低位热能回收中的研究应用[J].化工设计通讯, 2024, 50(02): 99-100+106.
- [3]袁东, 邢小勇, 范全城, 等.印染高温废水热能回收利用现状及应用前景[J].染整技术, 2023, 45(10): 10-12.
- [4]张骏驰, 吴洋.煤化工行业甲醇精馏流程冷凝设备优化[J].化学工业, 2022, 40(03): 59-64.