

Coupling Optimization of Intelligent Control and Integrated Steam Heat Exchange System in Steam Stripping Tower: Research on Technology Upgrade and System Energy Efficiency Leap

Tianlong Huang Hongbo Zhang Xingwen Li

Yunnan Yuntianhua Dawei Ammonia Co., Ltd., Qujing, Yunnan, 655338, China

Abstract

To address operational challenges at Yunnan Dawei Ammonia Co., Ltd., including suboptimal tower top temperature, inefficient stripping efficiency, excessive ammonia nitrogen concentration in condensate, and frequent instrument blockages in the conversion stripping tower, our company implemented a technical innovation solution integrating an integrated steam heat exchange system, intelligent reflux liquid control, and condensate recycling. This paper provides a comprehensive analysis of the retrofitting background, technical approach, implementation details, and post-retrofit operational outcomes. Post-retrofit, the ammonia nitrogen concentration in the stripping tower's condensate outlet was significantly reduced from 12,000 mg/L before retrofitting to below 4,000 mg/L, far below the preset target of 8,000 mg/L. The solution effectively resolved instrument clogging issues, enhanced overall plant stability and environmental compliance, and demonstrated significant engineering applicability and economic benefits.

Keywords

steam stripping tower; ammonia nitrogen purification; steam heat exchange technology; technology upgrade; operation optimization

变换汽提塔智能调控与集成蒸汽换热系统耦合优化—技术升级与系统能效跃升研究

皇天龙 张宏波 李兴文

云南云天化大为制氮有限公司, 中国·云南曲靖 655338

摘要

针对云南大为制氮有限公司变换汽提塔在运行过程中面临的塔顶温度偏低、汽提效率低下、冷凝液中氨氮浓度超标及仪表元件频繁堵塞等难题, 本公司实施了以“集成蒸汽换热系统+智能回流液调控+冷凝液循环利用”为核心的技术革新方案。本文全面剖析了改造背景、技术路径、实施细节及改造后的运行成效。改造后, 汽提塔出口冷凝液的氨氮浓度显著下降, 从改造前的12000 mg/L降至4000 mg/L以下, 远低于预设的8000 mg/L目标值, 有效解决了仪表堵塞问题, 提升了装置的整体运行稳定性和环保标准, 展现了显著的工程应用前景与经济效益。

关键词

变换汽提塔; 氨氮净化; 蒸汽换热技术; 技术升级; 运行优化

1 引言

变换装置作为合成氨生产流程中的核心环节, 其冷凝液中氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 含量较高, 若处理不当, 不仅会引发环境污染, 还会导致后续工艺中的仪表元件堵塞, 进而影响系统的安全稳定运行。云南大为制氮有限公司的变换汽提塔自投入使用以来, 长期存在塔顶温度偏低 (约 65°C)、汽提效率低下的问题, 出口冷凝液的氨氮浓度一度高达 28000 mg/L,

严重制约了装置的长期稳定运行。为此, 公司于 2022 年启动了变换汽提塔技术改造项目, 旨在通过工艺优化与设备升级, 实现氨氮的高效脱除与系统的稳定运行。

2 现状与挑战分析

汽提塔 (C04131) 承担着处理来自变换气分离器、原料气分离器及洗氨塔冷凝液的任务。原系统中, 冷凝液未经预热直接进入汽提塔, 导致塔顶温度不足, 汽提效果不佳。出口氨氮浓度长期维持在 12000 mg/L 以上, 引发了以下问题:

问题一仪表堵塞频发: 高氨氮浓度的冷凝液易结晶, 导致调节阀、液位计等仪表元件堵塞;

【作者简介】皇天龙 (1986—), 男, 中国云南曲靖人, 化工总控工高级技师, 从事煤制合成氨工艺研究。

问题二运行风险增加：仪表故障频发，对变换装置的安全运行构成威胁；

问题三环保压力增大：氨氮排放浓度超标，不符合绿色生产的要求。

3 技术升级方案

3.1 技术路线

项目提出了三项核心改造措施：

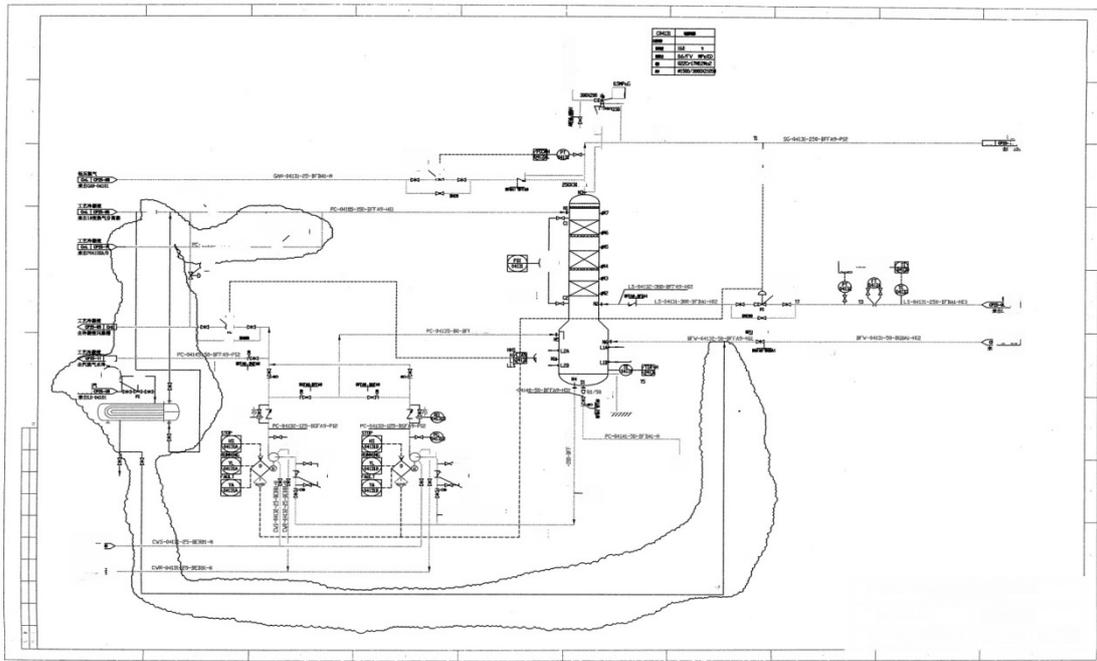
集成蒸汽换热系统：利用低压蒸汽对进入汽提塔的冷凝液进行预热，将温度提升至 60-70℃，以提高汽提效率；

智能回流液调控：在塔顶回流管线上增设调节阀（DN200、DN25），实现液位的远程精准控制；

冷凝液循环利用：将换热器产生的蒸汽冷凝液输送至汽提塔低压锅炉给水系统，实现资源的循环利用。

表 1 原冷凝液中氨氮含量

时间	10:00 氨氮含量 mg/L	16:00 氨氮含量 mg/L	22:00 氨氮含量 mg/L	平均
2023 年 9 月 12 日	12049.91	12118.47	11981.48	12049.95
2023 年 9 月 13 日	11189.90	10841.78	10981.48	11004.38
2023 年 9 月 14 日	11968.85	11797.90	11691.8	11819.51
2023 年 9 月 15 日	10970.36	11213.41	11402.68	11195.48
2023 年 9 月 16 日	11068.38	10666.41	10981.88	10905.55
2023 年 9 月 17 日	12089.90	11995.51	12192.28	12092.56
2024 年 1 月 3 日	11122.37	10855.29	10771.47	10916.37
2024 年 9 月 4 日	11473.11	11666.01	11613.08	11584.06
2024 年 9 月 5 日	11982.07	11876.33	12089.99	11982.79



3.2 主要设备与材料配置

序号	设备名称	规格	数量	单位
1	蒸汽加热器	-	1	台
2	调节阀	DN200	1	只
3	调节阀	DN25	1	只
4	闸阀	DN150	3	只
5	管道	DN150	12	米

3.3 技术亮点

资源高效复用：充分利用原变换煤气换热器，降低设备投资成本；

系统集成优化：将蒸汽冷凝液回收至锅炉给水系统，实现能源的梯级利用；

控制智能化提升：通过远程调节阀提高系统的自动化控制水平。

4 项目实施与进度管理

项目于 2023 年 12 月启动可行性调研，2024 年 1 月完成方案编制与立项，2 月通过专家评审。在 2024 年的大修期间，完成了设备安装与系统集成，并于 9 月随装置开车同步投运。具体实施进度如下：

2023年12月：开展可行性研究；
 2024年1月至3月：进行方案设计、评审与立项；
 2024年4月至8月：进行设备采购、基础施工与安装；
 2024年9月：进行系统调试与投运；
 2024年10月至12月：进行效果验证。
 2025年1月至3月：优化调整。

5 实施效果与深度分析

5.1 氨氮去除效果显著

改造后，汽提塔出口冷凝液的氨氮浓度从 12000 mg/L 大幅降至 4000 mg/L 以下，远低于 8000 mg/L 的设计目标值，去除率达到 66.7% 以上。

表 2 原冷凝液中氨氮含量

改造前氨氮含量 mg/L	改造后氨氮含量 mg/L	优化调整氨氮含量 mg/L
12049.95	3914.26	2380.75
11004.38	3577.55	2118.47
11819.51	3496.96	1968.85
11195.48	3717.11	1813.41
10905.55	3652.41	1753.08
12092.56	3851.21	1827.88
10916.37	3445.08	1902.68
11584.06	3442.41	1833.41
11982.79	3345.08	1773.11

5.2 系统运行全面改善

仪表堵塞问题得到有效解决，维护频次显著降低；
 汽提塔运行稳定性大幅提升，塔顶温度稳定在工艺要求范围内；
 能耗与排放双双下降，蒸汽冷凝液的循环利用降低了新鲜水的消耗。

5.3 经济效益突出

项目总投资为 34 万元，全部由企业自筹。改造后：
 减少了因仪表堵塞导致的停车损失；
 降低了维护成本与环保处理费用；
 提升了系统运行效率，间接增加了产能效益。

6 风险管理与控制措施

在改造过程中，项目组对置换、动火、登高、用电等作业环节进行了全面的风险识别，并制定了针对性的控制措施，如作业前隔离置换、设置警戒线、专业人员监护等，确保了施工安全零事故。

7 结语

本次变换汽提塔技术升级通过“预热+智能调控+循环利用”三位一体的技术路径，成功解决了汽提效率低、氨氮超标、仪表堵塞等问题，实现了环保、安全与经济性的有机统一。项目技术方案成熟可靠、实施路径清晰明确、改造效果显著，可为同类型化工装置的改造提供有益的参考。

未来，建议进一步优化系统控制策略，探索与全厂能量管理系统的深度集成，推动装置向智能化、绿色化方向迈进。

参考文献

- [1] 云南云天化大为制氮有限公司. 变换汽提改造方案[R]. 2023.
- [2] 变换汽提改造项目专家评审意见[R]. 2024.
- [3] 变换汽提改造项目技术总结报告[R]. 2024.
- [4] 吴欣妍. 合成氨变换过程的节能措施与经济效益分析 [D]. 聊城：聊城大学，2025.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. GB 21344-2015 合成氨单位产品能源消耗限额 [S]. 北京：中国标准出版社，2015.