

Optimization and Energy Efficiency Improvement of the Steam Generation System Utilizing Waste Heat from the Top of the Acetic Acid Distillation Column

Jiqiang Liang

Lu Zhishen New Materials (Shandong) Co., Ltd., Dezhou, Shandong, 253000, China

Abstract

To achieve effective recovery and utilization of the waste heat from the top of the acetic acid distillation column, this paper thoroughly analyzes the challenges currently faced in waste heat recovery for steam generation, such as medium corrosion and parameter fluctuations, and proposes comprehensive optimization measures including the adoption of corrosion-resistant materials and staged cascade heat exchange. Additionally, the study examines the waste heat utilization project at the main distillation column top implemented by Shandong Luzhishen New Materials Company, which employs a dual-supply system combining "Ehara low-temperature waste heat for steam generation and low-temperature waste heat for chilled water production" to enable hierarchical waste heat recovery. The research demonstrates that the proposed optimization strategies and the Ehara dual-supply system effectively address the corrosion and energy efficiency bottlenecks in acetic acid system waste heat recovery, significantly improving waste heat utilization efficiency while substantially reducing steam procurement costs and power consumption.

Keywords

acetic acid distillation; waste heat recovery; steam generation; energy efficiency improvement

醋酸精馏塔顶余热回收制取蒸汽系统优化与能效提升

梁吉强

鲁志伸新材料(山东)有限公司, 中国·山东德州253000

摘要

为实现对醋酸精馏塔顶余热的有效回收与利用。本文细致分析了当前余热回收制取蒸汽面临的介质腐蚀、参数波动等挑战,并提出升级耐腐蚀材料、分段梯级换热等综合优化措施。同时,针对主蒸塔塔顶余热利用项目,对其采用“溴化锂机组吸收低温余热制取蒸汽+低温余热制取低温冷冻水”双联供装置,实现对余热的梯级回收进行详尽探讨。研究表明,所提出的优化策略及双联供装置,可有效解决醋酸体系余热回收的腐蚀与能效瓶颈,在显著提升余热利用率的基础上,极大降低蒸汽外购与电力消耗。

关键词

醋酸精馏; 余热回收; 蒸汽制取; 能效提升

1 引言

醋酸作为重要的基础有机化工原料,其精馏过程通常会排出大量的气相余热,具备极高的回收价值^[1]。然而,当前工业现场多采用循环水或空冷器直接冷却,不仅白白浪费大量热量,而且还增加了冷却系统的负荷,即便部分企业尝试设置蒸汽发生器回收余热,长期运行也面临诸多瓶颈,比如产气压力不稳、出现锈蚀情况等。为改善这一状况,就要对醋酸精馏塔顶余热回收制取蒸汽展开深入研究,通过提出一套涵盖材料选择、热泵协同和分段换热的系统性优化路径

【作者简介】梁吉强(1987-),男,中国山东东平人,本科,工程师,从事醋酸、醋酐、醋酸纤维素生产与技术研究。

体系,为醋酸精馏系统的节能降碳改造提供有利参考。

2 当前醋酸精馏塔顶余热回收制取蒸汽面临的挑战

2.1 醋酸强腐蚀性

在醋酸精馏塔顶排出的气相物料中,醋酸、溶剂质量分数通常在70-95%之间,当换热器壁面温度低于醋酸-溶剂-水混合物的露点时,气相中的醋酸和水冷凝之后,就会在金属表面形成液膜。该液膜具有较强的酸性,极易在不锈钢表面引发点蚀和缝隙腐蚀,若选用钛材耐腐蚀材料,那么设备的一次性投资就会大幅度增加,这也成为制约余热回收系统长期稳定可靠运行的首要瓶颈。

2.2 余热品位波动大

醋酸精馏塔的操作工况会受到上游合成工段、进料组

成等多种因素影响,并且塔顶的温度也在 80-110°C 范围内波动,这一温度区间对应的饱和蒸汽压力仅为 0.05-0.15MPa,属于低压蒸汽范畴。然而,当塔顶温度降至 90°C 以下时,所产蒸汽压力可能低于 0.07MPa,难以直接并入厂区低压蒸汽管网,当塔顶温度升至 105°C 以上时,蒸汽压力又可能超出部分用汽设备的设计范围,这无疑会严重影响余热制取蒸汽系统的可靠性和经济性。

2.3 换热效率偏低

在传统塔顶余热回收方案中,更多是采用普通管壳式换热器作为蒸汽发生器,由于醋酸侧在冷凝过程中的传热系数较低,并且为了有效防止流速过高加剧冲刷腐蚀,实际操作就会采用限制管程流速的措施,这会极大降低传热效率。另外,工程设计上也会为了保护换热器不被酸液腐蚀,也会将塔顶气相冷却至远低于露点的温度,以确保换热壁面始终处于非冷凝的状态。这种做法虽能缓解腐蚀问题,却使大量中低品位热量被循环水或空冷器带走,无法转化为可以利用的蒸汽或热水。

3 醋酸精馏塔顶余热回收制取蒸汽系统优化与能效提升的策略

3.1 耐腐蚀材料与防露点设计

对醋酸精馏塔顶余热回收制取蒸汽系统进行优化,首先就要从材料升级和工况控制两个维度入手,既要提高换热管束自身的耐腐蚀能力,又要主动避免冷凝液膜形成。①选用高耐腐蚀合金材料。对于换热管的材质,应摒弃常规的不锈钢,优先选择钛钪合金。由于这些材料的点蚀当量大于 40,在醋酸、溶剂质量分数 70-95% 的工况下,可以将年腐蚀率控制在 0.05mm 以内。针对管板和壳体,可考虑采用碳钢衬聚四氟乙烯或搪瓷结构,这样可以避免异种金属接触产生的电偶腐蚀^[2]。②主动式壁温控制防露点。通过采用降膜式蒸汽发生器,实现对除盐水侧入口温度和流量的有效调节,确保换热管壁面温度始终高于醋酸-水混合物的露点。同时,还可在设备上安装在线露点仪,并与除盐水调节阀构成连锁回路,在监测到壁温接近露点时,就会自动增大除盐水流速或提高给水温度,保证气相醋酸不会在壁面上冷凝,以此从根本上解决酸液腐蚀的问题。

3.2 机械蒸汽再压缩与吸收式热泵协同

要使醋酸精馏塔顶余热回收制取蒸汽切实满足厂区的用汽需求,就要注意协同配置机械蒸汽再压缩和吸收式热泵,在解决产汽压力过低且不稳定问题的同时,切实提升余热的品位。①配置机械蒸汽再压缩系统。当塔顶温度稳定高于 95°C 时,就可启用单级离心压缩机,将塔顶气相直接压缩至 0.5-0.8MPa,压缩后的过热蒸汽直接作为精馏塔再沸器的热源,以实现热量自循环,并减少外供蒸汽。②配置吸收式热泵。当塔顶温度较低或厂区电力成本较高时,就可改用溴化锂吸收式热泵,通过将厂区内废蒸汽作为驱动热源,从

塔顶余热中提取热量,并实现对低压蒸汽的有效制取。③实行协同切换控制。通过设置智能控制器,并根据塔顶温度、电力价格、蒸汽管网压力等实时数据,自动决策机械蒸汽再压缩系统或吸收式热泵的启停与负荷分配,以此实现全工况范围内的最低运行成本。

3.3 分段换热与能量梯级利用

考虑到传统余热回收系统换热效率偏低,有大量中低品位热量会被循环水给带走,未能实现能量的分质分级利用,这时就可采取分段换热的策略,实现对蒸汽的依次制取,以提升综合能效。①高温段制取低压蒸汽。让塔顶气相首先进入降膜式蒸汽发生器,然后利用 100-115°C 的高温段热量,产制 0.15-0.3MPa 的饱和蒸汽,使这部分蒸汽直接并入厂区低压蒸汽管网,主要用于工艺加热或罐区保温。②中温段预热锅炉给水。对于经过高温段换热后的气相,可使其温度降低至 100°C 左右以后,再进入到钛材板式换热器中,使之与自除盐车站的常温补水进行换热,待预热至 80-90°C 后,将预热后的给水送入蒸汽发生器,形成热量闭环,并减少蒸汽发生器所需的额外加热量。③低温段驱动吸收式制冷。塔顶气相经过中温段后,温度通常会降低至 70-85°C 左右,这时已经不具备直接产汽的经济性,就可将该部分余热直接用于驱动溴化锂吸收式制冷剂,实现对冷冻水的有效制取,直接供厂区夏季冷却或工艺吸收降温使用^[3]。

4 实际案例分析

4.1 项目概况

鲁志伸新材料(山东)有限公司位于德州市临邑县林子镇龙岗大街东段路北,主营业务为醋酸酯类及醋酸下游精细化学品的生产与销售。厂区实际生产运营时,所设有的醋酸精馏塔会持续排出温度在 80-100°C 之间的气相物料,主要成分是醋酸和水,流量较为稳定。在改造之前,这部分高温气相是直接进入循环水冷凝器冷却,大量余热被循环水带走并散失在环境中,不仅造成能源浪费,还加重了冷却水系统的负荷。与此同时,厂区多个工段需要低压蒸汽用于再沸器升温、罐区保温和冬季采暖,夏季吸收工段还需要低温冷冻水进行降温。为降低外购蒸汽和电力成本,提高能源利用率,公司决定对主蒸塔塔顶余热进行回收改造,制取生产所需的蒸汽和冷冻水,最终采用的是溴化锂冷热系统低温余热综合利用方案。

4.2 装置介绍

溴化锂冷热低温余热制取蒸汽、低温余热制取低温冷冻水装置包含溴化锂冷热低温余热制取蒸汽系统(见图 1)和蒸汽喷射压缩器两方面内容。前者主要是利用中、低温热能驱动,在采用低温冷却水的条件下,制取热量少于但温度高于中、低温热源的热量,通过将部分中热能转移到更高温度,从而提高热源的利用品位。后者则是使高压蒸汽通过喷嘴加速形成高速射流,在喷嘴出口产生低压区,然后对低压

蒸汽进行抽吸，并在混合后经扩压器降速升压，最终输出所需压力的流体。

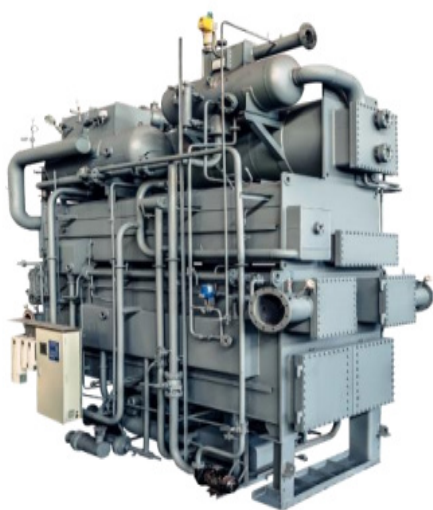


图1 溴化锂冷热低温余热制取蒸汽系统

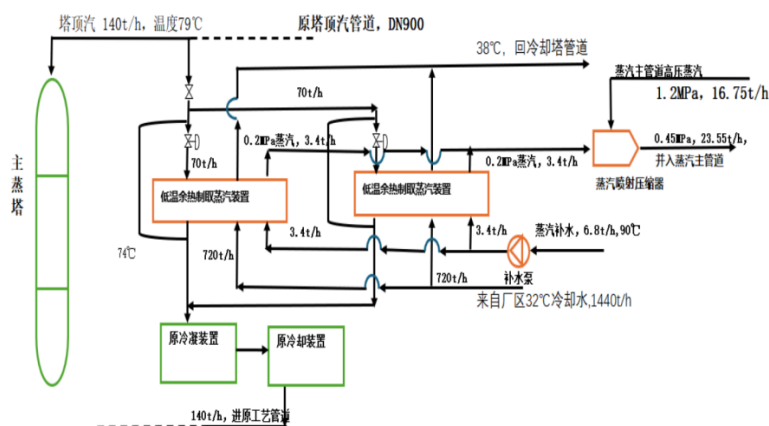


图2 制取蒸汽系统运行流程图

4.4 取得效果

该项目自投入运行以来，取得了较好的效果。①蒸汽自产。一台低温余热制取蒸汽装置产汽量为3.4t/h，蒸汽价格为165元/t，运行时间为8000h/年，节省蒸汽费用按2台机组全部运行计算，节省蒸汽费用达到897.6万元，满足了全厂低压蒸汽需求的一部分。②余热回收效率。在利用低温余热制取蒸汽系统和蒸汽喷射压缩机制取饱和蒸汽后，厂区精馏塔塔顶余热综合利用率由原本的52%提升至86%，实现了蒸汽、预热给水和冷冻水的梯级利用。③综合经济效益。用计算出的节省蒸汽费用减去制取蒸汽耗电费和冷却水补水费用，方案年节省运行费用达到694.05万元。同时，该方案的实施还减少了循环水系统的热负荷和厂区的碳排放，具有良好的环保效益。

5 结语

醋酸精馏塔顶余热回收制取蒸汽是实现化工行业节能

4.3 工作流程

在利用低温余热制取蒸汽系统和蒸汽喷射压缩机制取饱和蒸汽时，其实际工作流程见图2，具体包括：①塔顶汽管道。通过在塔顶汽原主管道上开口，将其均分为两路，让其分别进入到2台低温余热制取蒸汽装置中，单台流量控制为70t/h。在塔顶汽经过制取蒸汽系统被吸收热量后，就会被冷凝为液态，温度也降低至74℃左右，分为两路液体进入原冷凝、冷却装置。②冷却水管道。来自厂区的32℃左右的冷却水，依然分成两路分别进入到低温余热制取蒸汽装置中，待升温至38℃并流后，直接返回厂区冷却水回水管道。③蒸汽补水管。直接通过补水泵，将90℃的蒸汽凝水分别补至2台低温余热制取蒸汽装置中，完成对0.2MPa负压蒸汽的有效制取。④蒸汽喷射压缩机。来自厂区的高压蒸汽，直接通过蒸汽喷射压缩机抽取低温余热制取蒸汽装置的0.2MPa蒸汽，并在进行混合以后，对压力0.45MPa饱和蒸汽的有效制取，这部分蒸汽则直接并入厂区原来的蒸汽管道，实现循环利用。

降碳的重要途径，实践中应该从工程实际情况出发，在系统把握当前余热回收制取蒸汽所面临挑战的基础上，灵活采用涵盖了耐腐蚀材料选与防露点设计、分段换热与能量梯级利用等措施进行优化改进。所引入的实际案例也验证了，根据自身情况搭建利用低温余热制取蒸汽系统+蒸汽喷射压缩机方案，不仅取得了每台低温余热制取蒸汽装置产汽量3.4t/h的应用效果，还极大提升了厂区余热综合利用率，为化工行业绿色低碳转型提供了强有力的支撑。

参考文献

- [1] 司泽华.新型蒸汽驱动热泵精馏过程强化研究与应用[D].天津大学,2023.
- [2] 陈颖.精馏系统能量集成与太阳能利用协同优化研究[D].天津大学,2022.
- [3] 王传成.精馏塔顶高温气体综合利用与过程控制[J].氮肥技术,2021,07(22): 27-29.