

关于苯乙烯主冷器夏季高温运行的对策

曹振斌

陕西延长石油（集团）有限责任公司延安炼油厂，陕西 延安 727406

[摘要]空冷器作为石油化工装置的常见换热设备，其运行效能直接关乎整个系统的稳定与经济性，而苯乙烯装置 E-1305 主冷器在夏季高温天气时出现的冷却能力不足问题，导致工艺温度超出设计指标，使装置运行处于不良运行状态。通过系统分析发现，粉尘与杨柳絮在翅片管表面积聚形成的隔热层才是传热恶化的主因，这些沉积物的导热系数仅为铝材的 1/400，简直像给换热管裹了层棉被。当操作人员尝试调节风机参数时，被外层翅片遮挡的深层积灰依然阻碍传热，这种缺陷通过简单调整无法彻底解决。

[关键词]空冷器；翅片管；高于设计值

DOI: 10.33142/ect.v3i7.17197

中图分类号: TQ24

文献标识码: A

Countermeasures for High-temperature Operation of Styrene Main Cooler in Summer

CAO Zhenbin

Yan'an Refinery of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Yan'an, Shaanxi, 727406, China

Abstract: As a common heat exchange equipment in petrochemical plants, the operational efficiency of air coolers directly affects the stability and economy of the entire system. However, the cooling capacity of the E-1305 main cooler in the styrene plant is insufficient during high temperature weather in summer, resulting in process temperatures exceeding the design specifications and causing the plant to operate in a poor state. Through system analysis, it was found that the thermal insulation layer formed by the accumulation of dust and willow catkins on the surface area of the finned tube is the main cause of heat transfer deterioration. The thermal conductivity of these sediments is only 1/400 of that of aluminum, which is like wrapping a blanket around the heat exchange tube. When the operator attempts to adjust the parameters of the fan, the deep layer of dust covered by the outer fins still hinders heat transfer, and this defect cannot be completely solved by simple adjustments.

Keywords: air cooler; finned tube; exceeding the design value

1 绪论

空冷器主要由翅片管束构成，空气在风机驱动下，降低温度的低温空气流过翅片管的外侧，利用流动的低温空气将翅片管内的热量带出，从而达到降低介质温度的目的，空冷器的翅片管主要作用是：管内走需要冷却或冷凝的工艺流体，管外是空气流动通道，在风机作用下增强空气流动增加管外表面的温度下降，使翅片提高传热效率，使气相介质冷却、冷凝为液相介质，迅速促成气液相的转换。

2 论述背景

苯乙烯装置中关键冷设备 E-1305 主冷器，其核心工作原理在利用环境空气在风机的作用下为介质冷却，具体而言，就是依靠电机驱动庞大的风叶高速旋转，从而产生强劲的气流，这股持续不断的风被精准地导向并吹拂过翅片管束经过设计的、拥有巨大扩展表面积的外表面，通过这样一种方式，使得在翅片管内部封闭流动着的、来自上游脱氢反应环节的、温度极高的气态反应产物所含有的热量，能够被高效地、持续不断地传递出来并被流动的冷空气带走，最终实现该高温气态物料在设定温度指标这一目标温度之下成功完成冷凝相变，进而达成气态与液态组分明确分离这一目的冷却设备。然而，在每年夏季气温较高

月份的实际运行过程中，经常出现冷后温度超出设计指标的现象，即该主冷器出口物料的实际冷却温度，超出了其设计所规定的设计指标，在极端炎热天气条件下，其读数甚至能够攀升至高达 58℃这样一个显著偏离设计基准的水平^[1]。对于夏季高温，冷后温度超出设计指标，操作人员和技术人员也尝试了多种在常规认知中理应能够调节冷却效果的、针对空冷器本身的运行参数调整手段，其中就包括了调节那些巨大风叶的旋转角度或者改变其转速等直接作用于风量和风压的措施，但虽有效果但期望中的冷却温度有效降低这一目标却始终未能达成，冷却效果提升得并不明显或者说改善得极其有限。因此，夏季高温天气时段里，E-1305 主冷器冷却后温度超出设计指标已经实实在在地、不容置疑地构成了对苯乙烯装置达到规定生产负荷目标的一个显著且亟待解决的制约因素。

3 原因分析

3.1 工艺过程与聚合物生成可能性的排除性论证

主冷器内部所处理的介质本质上属于负压绝热脱氢反应后产生的、经过多级换热系统深度降温的复杂气态混合物，具体而言，该混合物首先流经预热器（E-1301）进行初步冷却，紧接着进入低压蒸汽发生器（E-1302）和低

低压蒸汽发生器(E-1303)这两个关键换热设备,通过这样一系列连续而充分的换热过程,其温度已经从初始高温状态显著下降到大约 120℃这样一个相对较低的、但仍然高于许多有机物沸点的水平;此后,在急冷器环节中,温度被精确控制在 51℃左右的液态急冷水以雾化形态被高压喷入,与高温气流发生剧烈的、面对面的直接接触式换热,这种换热方式效率极高,使得反应产物气流的温度在极短时间内被急骤冷却到 69℃左右,虽然温度降低明显,但此时物料整体依然保持完全的气相状态,然后这股气态物流才会离开急冷器并最终进入主冷器(E-1305)的管程内部。需要特别指出的是,在 E-1305 内部维持着的负压操作环境、结合温度进一步降低至 60℃以下且介质流速极快这两大特征,以及一个不可忽视的观察事实——即在环境温度相对较低的夜晚时段和春秋季节,主冷器的出口温度完全能够稳定达到并满足生产工艺所规定的指标要求——基于所有这些工艺条件和实际运行表现,从物理化学基本原理出发进行审慎推断,在 E-1305 主冷器内部管道中发生聚合物生成、沉积并最终导致传热效率下降这种情况,其发生的理论可能性实际上是微乎其微或者说根本不具备成立条件的。

3.2 装置负荷与设计能力匹配度的评估结论

该套苯乙烯装置在其建成投产的初期运行阶段,未出现过类似当前所面临的夏季主冷器冷却能力不足的问题,这一历史运行情况是明确而有据可查的;更加具有说服力的是,当前装置的实际运行负荷仅仅维持在 45%这样一个远低于设计最大处理能力的水平,只达到设计负荷的小部分而非满负荷甚至过负荷运行。综合投产初期的良好表现与当前低负荷运行的现实,经过对比分析,我们可以相当有把握地得出结论:空冷器系统的原始设计规格和换热能力,在理论上和实践上都是完全能够满足甚至超出当前实际生产需求的,换句话说,设计能力存在缺陷或者设计余量不足这一可能性,可以被明确而彻底地排除在导致当前问题的主要原因之外。

3.3 空冷器本体环境积灰效应的实证性锁定

将分析焦点转向空冷器设备本身可能存在的缺陷或影响因素,通过组织多次深入而细致的现场检查、运行数据比对和设备状态分析,一个显著且具有明确地域相关性的问题被清晰地揭示出来:由于我厂的地理位置处于中国北方典型的多风沙、多飞絮的干旱半干旱区域,每年春季开始,周围环境中充斥着杨柳絮、细微尘埃颗粒、随风飘扬的泥沙以及各类小型昆虫等空气悬浮杂质,极易容易在空气流经空冷器翅片管束时,因为静电吸附、惯性撞击和表面黏附等多种物理机制的作用,持续而顽固地沉积并附着在那些由铝合金材料制成的、为了增大换热面积而设计的翅片管的最外层表面上;尤其需要强调的是,由于该空冷器采用的风机是向上吹风的独特设计布局,这种气流组织方式在长期运行过程中反而加剧了问题,使得那些从地面或低空被卷扬起来的、较重的灰尘颗粒和泥沙更容易在翅片管表面滞留和累积。随着时间的推移和设备不间断

地连续运转,在翅片管与空气接触的所有外表面上,无可避免地形成了一层由多种杂质混合构成的、厚度不均的覆盖层^[2]。特别关键的是,构成这层覆盖物的主要成分是灰尘和泥沙,它们固有的、极低的导热系数,通常仅在 0.1~0.5W/m·K 范围内,而铝材高达 200W/m·K,就像给翅片管包裹上了一层厚厚的隔热保温棉被,从根本上严重阻隔了热量从管内高温介质向管外流动空气的正常传递过程,说白了就是,最终导致空冷器翅片管散热性能出现大幅度的、灾难性的下降,这才是夏季冷却效果恶化的根本性原因。

4 解决对策

4.1 工业风初步吹扫的有限性实践验证

基于前期分析中明确锁定的翅片管表面沙尘堆积是导致散热降低的这一结论,车间技术人员决定首先采取操作最为简便快捷的、使用 0.6MPa 压力工业压缩空气进行逐片机械吹扫的初级干预手段。具体实施过程表现为:操作人员在空冷器顶部平台,手持特制的、带有细长金属喷管的吹扫装置,针对每一片翅片管束的上部可见表面,以倾斜 45° 角的姿态和约 20cm 的近距离,实施高强度定点喷吹作业。这种直接作用于表层的物理清理方式,的确取得了立竿见影的、值得记录的效果——主冷器出口温度从原先的 58℃高位显著回落到 51.4℃这一接近设计值的水平。然而,这样的吹扫智能吹扫空冷管束的上表面,由于空冷器内部多层翅片管束紧密排列所形成的复杂空间结构特性,那些位于内层深部的、被外层翅片遮挡的顽固积灰区域,工业风的气流根本无法有效触及和清除;更麻烦的是,在向上吹扫的半密闭环境中,被短暂吹离表面的粉尘颗粒,实际上会在气流扰动结束后重新沉降并再次附着到翅片表面。因此,尽管吹扫作业暂时性缓解了温度超标这一表象问题,但本质上只是将深层积灰的影响部分延迟和转移了,未达到根除效果。

4.2 清洗

当装置尝试提升生产负荷至 60%时,工业风吹扫后短暂稳定的冷却温度再次出现反弹升高趋势,这一现象强有力地证明了表面处理措施的局限性。通过更细致的现场观察发现,E-1305 翅片管表面积灰主要由松散附着的浮尘和泥沙构成,未见化学黏结或者其现象微弱。因此,车间采用分区分时段作业模式,使用高压清水对翅片管实施多轮冲洗:第一阶段:自上而下冲洗外层翅片;第二阶段:侧向斜射冲洗中层间隙;第三阶段:底部逆向冲洗内层管束;冲洗后温度变化数据呈现出明显改善(如图 1-4 所示):上午 11:00 平均温度从 56.2℃降至 49.1℃,中午 1:00 平均温度从 58.0℃降至 50.3℃,下午 3:00 平均温度从 57.5℃降至 50.8℃。

但随后发现新问题:在连续三次冲洗后,翅片管表面出现白色物质。经分析,当用普通清水冲洗运行中的设备时,管内 60℃以上的介质会使翅片表面水温迅速升高,导致水中钙镁离子析出形成水垢,这种导热系数仅 1.1W/m·K 的沉积物,比粉尘的隔热效果更可怕。因此总结出经验,清洗时必须切换除盐水,否则随短时效温

度超出设计指标问题,但是如果长期清洗会造成结垢,降低传热效果,更可怕的是可能出现设备的损坏。

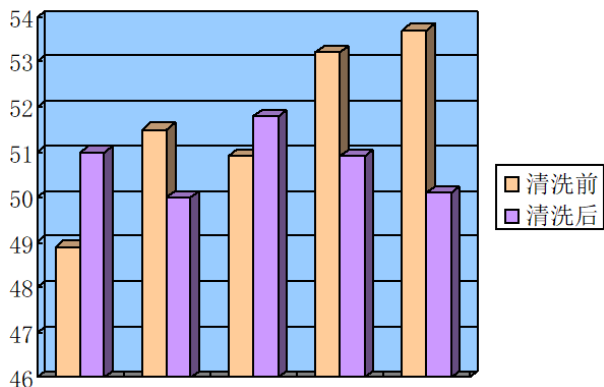


图1 连续五天清洗前后上午 11:00 温度对比

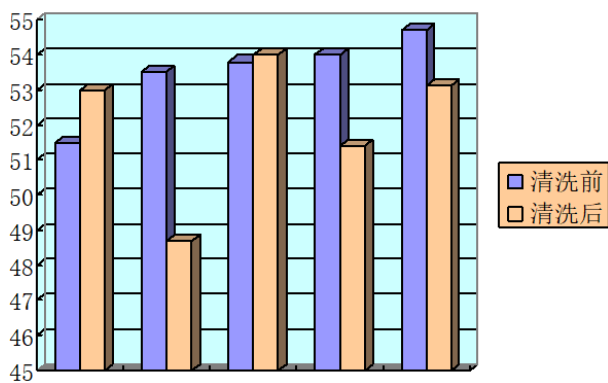


图2 连续五天清洗前后中午 13:00 温度对比

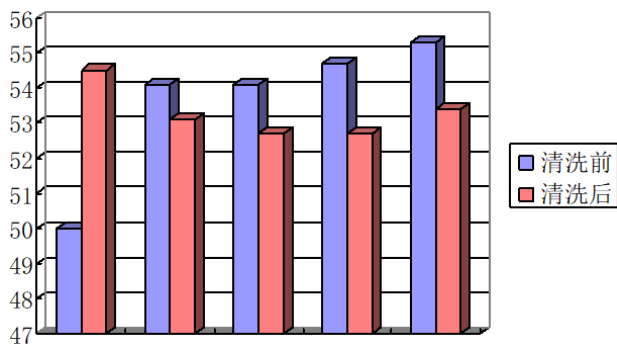


图3 连续五天清洗前后下午 15:00 温度对比

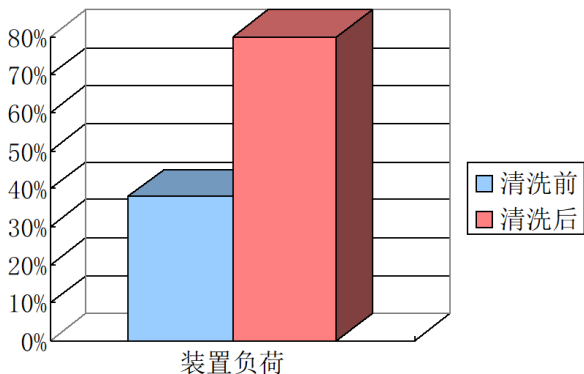


图4 加工负荷对比

4.3 关键操作要点的经验固化

通过实践总结出两条经验:但凡涉及可能产生温度梯度的在线清洗,必须采用电导率 $<10 \mu\text{S/cm}$ 的除盐水,这是防止二次结垢的底线要求,普通清水仅允许在停机检修,温度较低时使用。使用清水清洗作业,冲洗水压力不能过高,防止水压对铝制翅片的冲压变形,也防止损坏管束。

5 长效保障方案

长效应对方案

5.1 挡风板防热风回流的物理隔离策略

当基础清洗手段以外,在极端高温天气条件下还可以在空冷器翅片管束散热区域的正上方两侧钢结构框架处,加装由较轻但坚实的材质制成的、高度和长度覆盖整个管束区域的垂直挡风板这一看似简单的改造措施,可以作为降低主冷器温度的辅助效果。具体安装位置及结构示意图详见图5。其作用是由于空冷风机持续向上吹送冷却气流,被翅片管加热至 70°C 左右的高温空气,在无遮挡情况下会自然上升并扩散至周边环境;然而,在夏季无风或微风的特定气象条件下,这些密度较低的热空气团,极有可能在空冷器设备本体周围形成局部热循环流场,最终导致部分高温空气被底部进风口重新吸入。通过设置挡风板这样物理屏障,能够有效阻隔热废气在设备顶部空间的水平扩散路径,强制改变其运动方向使之垂直向上快速排离,这个简单的装置就是要切断热风回流这条恶性循环链,防止已经带走过热量的高温空气回头再次参与冷却过程,因为用热风来冷却热管,效果必然变差。

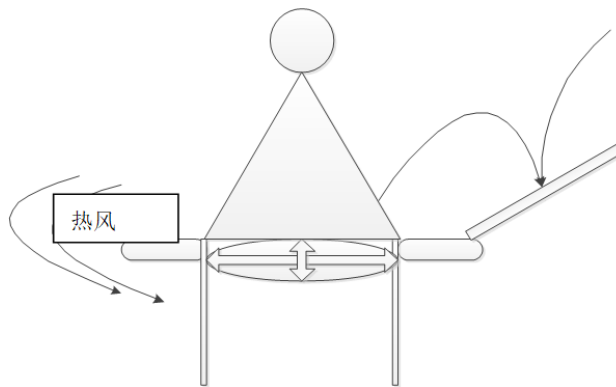


图5 安装位置示意

5.2 并联水冷系统扩容的工程冗余设计

针对空冷器固有换热能力在夏季高温高负荷工况下存在刚性不足这一深层次矛盾,在挡风板改造基础上同步推进的、在脱氢反应产物总管关键节点处增设旁路水冷器的保障方案,则代表着更为彻底的系统性解决思路。具体实施流程是:首先需要全面收集装置在近三年夏季运行期间所有相关温度、流量、压力等历史操作数据;然后委托具有甲级资质的化工设计院,基于这些真实运行参数进行严谨的热力学计算和换热面积校核,准确量化出现有空冷器管束在极端工况下的换热能力缺口^[3];最后根据该缺口

值量身定制设计一台管壳式换热器,以并联方式接入现有工艺流程,并在其进出口管线上配置双切断阀及调节阀组以实现灵活控制。这套系统最巧妙的地方在于,在春秋季节温和气候时段,水冷器可以完全隔离退出运行,这时候空冷器单独承担冷却任务;但是一旦进入夏季高温季节或者装置需要提升负荷至80%以上时,只需打开阀门让部分反应产物分流至水冷器,用循环水带走那部分多余的热负荷,空冷器的负荷降低,温度可以控制在设计指标范围内。

6 结论

通过实施高压除盐水清洗、挡风板防热风回流以及并联水冷器扩容等系列改造措施,苯乙烯装置将E-1305主冷器的夏季出口温度稳定控制在51℃以下,这验证了积灰导致传热恶化的初始判断,更标志着装置彻底摆脱了季节性负荷限制的困境。在改造过程中发现的清水冲洗导致二次结垢这一现象,也明确了化工设备高温运行清洗中水质控制的重要性,那些看似微不足道的钙镁离子,

在60℃以上介质加热作用下形成的隔热层,其危害甚至远超原始粉尘污染。值得反思的是,该案例暴露出传统设计规范对多风沙地区空冷器防污设计的考虑不足,那些按照标准工况计算的换热余量,在实际运行中可能被环境因素轻易吞噬。

[参考文献]

- [1]张健,赵广明,李凤奇,等.苯乙烯管道冷循环热力特性研究[J].石油化工设计,2019,36(4):58-63.
- [2]陈腾龙.废塑料纤维增强聚苯乙烯轻质混凝土干缩性能研究[J].广东建材,2025,41(6):17-20.
- [3]王志,孙海东,严雄仲,等.电活性SPS/CNTs/PVA/LMO渗透膜的构筑及锂离子选择性分离[J].水处理技术,2025,6(24):1-7.

作者简介:曹振斌(1981.9—),男,毕业院校:西安石油大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,当前就职单位:陕西延长石油(集团)有限责任公司延安炼油厂,职务:设备工程师,职称级别:中级。