

盘管式炼焦荒煤气换热器的研发及应用

邹骏¹ 武良辰² 常红兵²

(1. 柳州钢铁股份公司焦化厂, 柳州 545002; 2. 南京沪友冶金机械制造有限公司, 南京 211222)

摘要: 介绍了盘管式炼焦荒煤气换热器的工艺原理、设备的结构设计特点, 及在柳钢焦化荒煤气余热回收项目的运行效果, 总结了该工艺在节能减排等方面的优势和可靠性。

关键词: 焦炉; 盘管; 换热器; 荒煤气; 余热回收

中图分类号: TQ520.61 **文献标识码:** A **文章编号:**

Design and application of spiral tube exchanger for coke-oven-gas

Zou jun¹ Wu liangchen² Chang hongbing²

(1. Coking Plant of Liuzhou Iron & Steel Co.,Ltd., Liuzhou 545002,China;

(2. Nanjing HuYou Metallurgical Machinery Manufacturing Co.,Ltd., Nanjing 211222,China)

Abstract: This paper introduced the operation effect, process flow and technical features of waste heat recovery technology of tube exchanger for coke-oven-gas, and summarized advantages and reliabilities of this process in energy conservation and emission reduction.

Key words: Coke oven; spiral Tube; Exchanger; coke-oven-gas; Waste heat recovery

炼焦煤在焦炉中被隔绝空气加热干馏, 生成焦炭, 同时产生大量高温荒煤气。焦炭红焦显热占焦炉支出热的 37%; 荒煤气显热占焦炉支出热的 36%; 焦炉烟道废气显热占焦炉支出热的 17%; 炉体表面散热占焦炉支出热的 10%。对于焦炭带出的显热和焦炉烟道废气热能已有成熟可靠的干熄焦装置及焦炉烟气余热锅炉进行回收利用, 而对荒煤气带出的显热, 在上世纪 70 年代末期, 国内首钢焦化厂首创采用夹套汽化上升管在 4.3 米顶装焦炉回收荒煤气显热生产低压蒸汽供焦化厂自用, 后推广到多家钢铁企业的焦化厂应用, 但由于随结焦周期温度变化引起的结构应力变化, 造成夹套式上升管底部焊缝开裂, 容易出现漏水到炭化室破坏炉墙耐火砖的现象, 几年后相继停产。

2015 年以来, 柳钢焦化厂和南京沪友冶金机械有限公司开展合作工业试验研究, 通过分析焦炉上升管装置的温度场和应力场周期变化, 对材料、结构和换热工艺做系统性研发, 在高安全可靠、长寿命、高效率等方面取得了突破, 研制出新型的 HYWHR 型焦炉荒煤气换热器用于炼焦荒煤气余热回收, 将~800℃的荒煤气降低到~520℃, 回收荒煤气的 35%显热生产蒸汽供焦化厂自用。

一、工艺流程

HYWHR 炼焦荒煤气余热回收技术的工艺流程及相关工序节能效果如图 1 所示, 柳钢二焦车间荒煤气余热利用工程现场情况如图 2 所示, 工艺流程是: 给水泵将干熄焦除氧器送来的

除氧水送到汽包或循环泵入口，强制循环泵将水送到焦炉上升管荒煤气换热器的管程，在上升管荒煤气换热器里与荒煤气间接换热，被荒煤气加热后的水自流到汽包里分离出 0.6~1.6MPa 的蒸汽，此蒸汽送入焦化厂中低压蒸汽管道，供焦化厂生产自用。

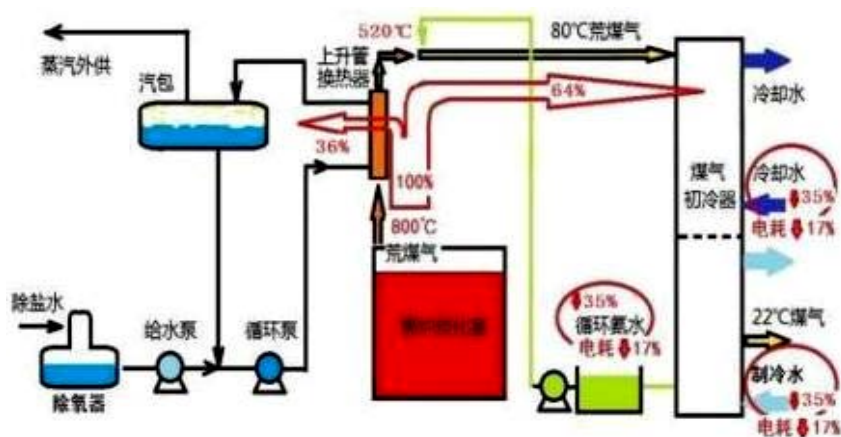


图 1 工艺流程及相关工序节能图



图 2 柳钢二焦车间荒煤气余热利用工程现场

二、HYWHR 焦炉荒煤气换热器结构设计特点

HYWHR 焦炉荒煤气换热器是核心专利设备，不同于其它工艺的水夹套、导热油、热管的传热形式，在低热应力的换热结构设计方面取得了一系列技术突破，其结构设计示意如图 3 所示，换热过程是：高温荒煤气从焦炉炭化室进入换热器内筒，荒煤气的显热传递给内筒，内

筒的热量传递给导热材料，再传递到盘管，通过盘管内壁将热量传递给盘管内的循环水，受热后的循环水从换热器出口流到系统的汽包里分离出饱和蒸汽输出给焦化厂蒸汽管网。

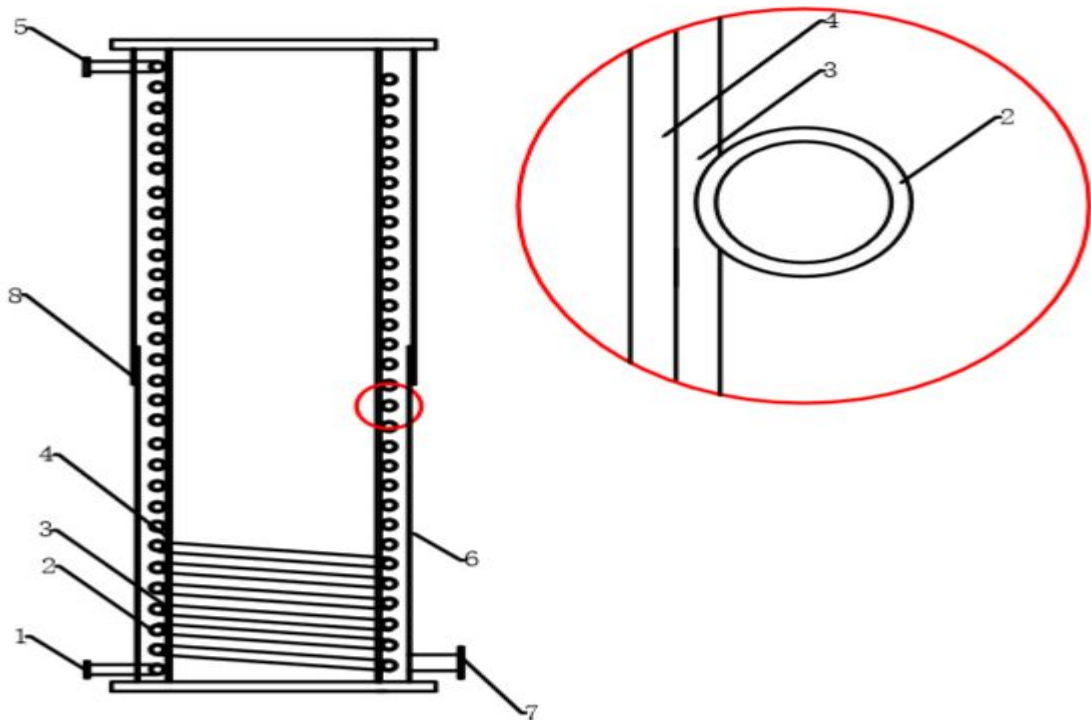


图 3 HYWHR 型荒煤气换热器结构示意图

1—进水口；2—盘管；3—导热介质；4—内筒；5—出水口；6—外壳；7—排水口；8—外壳承插口

这种结构使荒煤气的热量间接传递给循环水，适应整个结焦周期的温度场、应力场周期变化，使剧烈变化的荒煤气温度场变为稳定的温度场，将荒煤气温度剧烈变化的区间转变为缓慢变化的区间，换热盘管工作在一个温度变化很小的区间，盘管不易破坏，其各部位温度分布见图 4 所示。

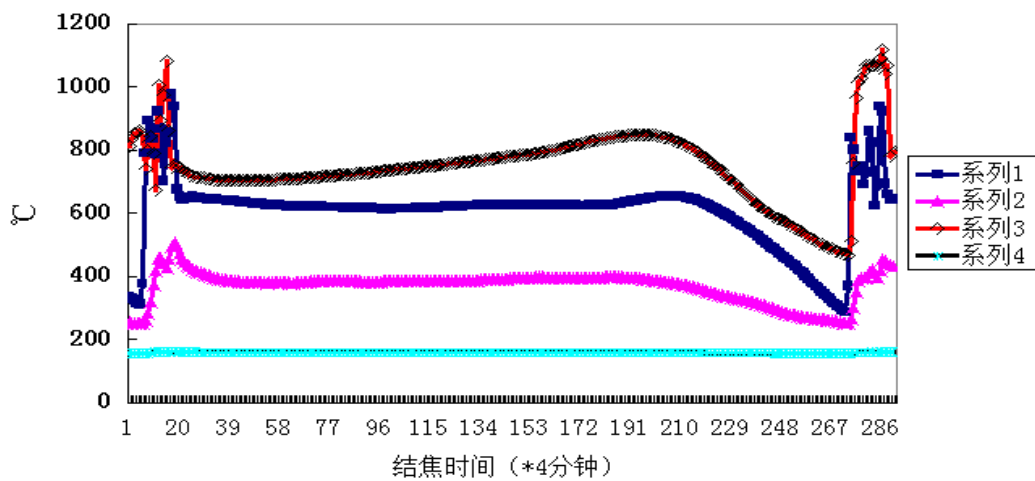


图 4 6 米顶装焦炉上升管换热器各部位温度分布曲线

HYWHR 型荒煤气换热器内筒采用专门定制的耐高温耐荒煤气腐蚀的合金无缝管制造，外壳采用上下两节承插结构，与大气相通的空腔内布置高压合金无缝换热盘管，盘管与内筒采

用高导热薄片导热，使盘管的水与炭化室之间有 3 层隔离，而且空腔与大气相通，始终保持常压状态，使换热盘管工作在 160~200℃ 稳定的温度之下，温度应力小，不易出现裂纹；另外，换热器还设置有排水装置，即使盘管出现漏水，周围是 0 压状态，上升管内筒内是正 150Pa 状态，水从排水口排到下水道，就不会漏水到焦炉炭化室，本质化上确保了不对现有焦炉生产造成任何不利影响，从而解决了“怕漏水”问题。

HYWHR 型荒煤气换热器内筒壁在制造过程中经过了表面光洁化处理，合金的高耐腐蚀性，使换热器在使用过程中内壁始终为光洁的金属表面；合理的换热效率设计，又使荒煤气出口温度自装煤开始到火落时刻期间始终保持在 480℃~530℃ 之间（如图 7 所示），内筒壁面没有焦油冷凝，避免了夹套式上升管在结焦时间的第 1~3 小时期间温度低于 450℃ 而出现焦油冷凝，内壁面形成大量沥青焦，焦炉出炉打开上升管盖时冒黑烟的现象。柳钢二焦车间上升管换热器打开上升管盖时没有冒黑烟的现象，如图 2 所示。

在每个结焦周期的出炉期间，上升管内经过的气体温度巨变，内表面沉积的薄游离碳层由于与合金筒体膨胀率的不同而自然脱落，从而使这种结构的上升管换热器不需要人工清扫，彻底解决了“怕结焦堵上升管”问题，图 5 所示是柳钢二焦车间工程中已经在焦炉上运行 1 年以后的内筒内部照片，基本没有石墨沉积，图 6 为上升管换热器隔热罩外表面温度小于 60℃，有效地改善了炉顶作业环境。



图 5 柳钢二焦运行 1 年的荒煤气换热器内部照片



图 6 外壳温度小于 60℃

HYWHR 型荒煤气换热器内筒采用耐温 1200℃ 的特种合金材料，外壳采用承插断开结构，外壳上下端法兰之间没有应力，只有内筒上下垂直应力，而没有侧向应力，避免了夹套式换热器由于同时受两个方向的应力而易在底部内圈出现裂纹的现象；内筒外侧的高压合金盘管与内筒、外壳之间没有焊接点，盘管采用滑动悬挂结构，这种设计消除了结焦周期性应力场变化对结构的破坏，使其可以在 0~1200℃ 周期温度变化下正常工作，也可以长期干烧和反复通断水，在柳钢焦化厂的一焦车间工业性试验中干烧 1200 余天完好无损，二焦车间工程中，

采用先安装上升管换热器干烧半年，再通水投产，充分证明了已经彻底解决一般荒煤气换热器“怕干烧、怕反复通断水”的问题，这种结构也使其具有比较好的稳定性和长寿命性。

从其结构可以看出，整个换热器只有换热盘管内部有压力，其他部位都是常压非封闭结构，所以按照国家的压力容器管理规范，HYWHR 换热器不属于压力容器，不需要进行监制和年检，为使用企业降低了管理费用和安全风险，而且盘管采用小管径的高温高压无缝合金锅炉管，耐压 6MPa 以上，在生产 1.0~4.0MPa 压力蒸汽时，上升管换热器备件通用。

对于上升管换热器运行状态的可监控方面，其在底部腔体中设计有检测热电偶，用于检测盘管漏水情况；在中部外壳上设计有壳温检测热电偶，用于检测上升管换热器壳体温度，一旦盘管运行水量过小，壳体温度将上升，在上升管换热器荒煤气出口后方的桥管处，也设有荒煤气出口温度检测热电偶，这样整个换热过程的温度情况都在中控系统中实时记录和异常报警，方便系统自动运行和智能故障判断。图 7 是柳钢二焦工程中控系统中自动记录的上升管荒煤气出口温度曲线，从图中可以看出，荒煤气温度已经由 700~800℃通过换热降低到 500~520℃。

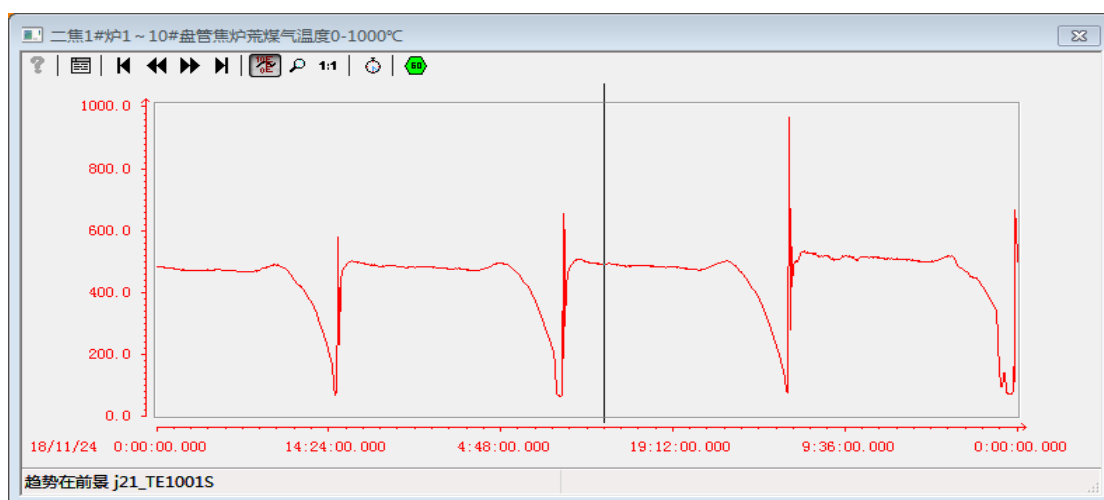


图 7 中控系统中自动记录的荒煤气出口温度曲线

结构上，HYWHR 型荒煤气换热器从内壁到换热水之间是一定厚度的内筒和高导热介质层以及盘管，明显小于夹套式上升管换热器的换热壁厚；同时采用盘管走水程进行换热，这样水在盘管内处于强制高雷诺数的紊流状态，换热系数优于其他结构的稳流（或层流）状态；高导热介质层不仅导热效率高，而且吸收应力变化，使换热器在周期温度变化的情况下始终保持高的换热效率，故其换热效率比较高。柳钢二焦工程中汽包运行压力 0.96MPa 时，蒸汽输出达到 15 吨/小时。

三、结论

炼焦炉的能耗是炼焦工序总能耗的 70%以上，能源成本已达炼焦工序成本的 53%以上，其中的 23%是蒸汽成本，所以利用炼焦炉高温荒煤气显热生产中压或低压蒸汽自用是炼焦炉

绿色持续发展、节能减排、降低生产成本、提高经济效益、改善劳动条件的主要发展方向之一。

焦炉荒煤气在结焦过程中温度周期变化，造成了荒煤气换热器在结构设计中的难度，在荒煤气余热回收利用技术中，荒煤气换热器首先必须在材料和结构设计上减少应力破坏，保证焦炉炉体的安全，再考虑换热效率的合理性，控制荒煤气出口温度，消除焦油冷凝和开盖冒烟现象，确保化产品收益和焦炉环保性；在这些方面，HYWHR 型荒煤气换热器在结构设计和用材上已经具有比夹套式荒煤气换热器好的安全性、抗干烧性、合理的换热效率以及各种可监测措施，值得大力推广应用。