

缠绕管式换热器在裂解汽油加氢装置的应用

王 潇（中海沥青股份有限公司，山东 滨州 256600）

摘 要：近年来，国家对节能减排非常重视，要求企业全面构建节能减排降碳一体化体系，不断提高能源利用效率。某炼化分公司经过多方论证，决定将裂解汽油加氢装置的二段进出料换热器更换为新型高效的缠绕管式换热器，以实现节能环保、减少运行成本，进一步提高裂解汽油加氢装置的生产水平，增强市场竞争力。

关键词：缠绕管式换热器；裂解汽油；加氢装置

1 缠绕管式换热器

缠绕管式换热器作为一种新型高效节能设备，已广泛应用于炼油、化工装置。与传统的管壳式换热器相比，缠绕管式换热器具有如下优势：结构紧凑，换热管呈螺旋盘管状绕制，可以增加换热管长度，加大单位容积的传热面积；利用逆流换热的结构，换热系数较高，可强化传热效果；抗振动、耐高温差引起的热膨胀性能好；介质温度端差小，不可逆损失小；密封可靠性高、介质压力高；介质流畅、不存在换热死区；可多种介质同时参与换热、不同介质之间无压差要求；换热设备本身体积小，占用的空间小，而安全性能更强；换热器易实现大型化。

2 缠绕管式换热器应用流程

裂解汽油加氢装置的二段加氢反应为高温气相放热反应，气相物料在催化剂的作用下使得单烯烃加氢饱和，同时脱除硫、氮等杂质。二段反应出料经气液分离罐分离后，液相送入稳定塔脱除硫化氢，加氢汽油产品送芳烃抽提装置。

2.1 应用前流程

从一段加氢循环泵来的二段加氢冷物料，与二段加氢循环氢压缩机来的循环氢混合后，先经二段进料预热器（E-762）预热，再经二段进出料换热器（E-760A/B/C/D）加热，最后利用高压蒸汽加热器（E-764）加热至二段加氢反应器（R-760）入口所需要的温度，进入二段加氢反应器（R-760）的顶部。其中，高压蒸汽加热器（E-764）的蒸汽流量要根据加热后进料物流的温度进行调控。

2.2 应用后流程

从一段加氢循环泵来的二段加氢冷物料，与二段加氢循环氢压缩机来的循环氢混合后，先经二段进料预热器（E-762）预热，再经缠绕管式换热器（E-765）加热，即可满足二段加氢反应器（R-760）入口所需要的温度，直接进入二段加氢反应器（R-760）的顶部。

3 缠绕管式换热器选型

3.1 设备材质

裂解汽油加氢装置二段加氢反应工段的工艺冷物料含

烯烃、氢气和少量硫化物，反应器出口物料含硫化氢和氢气，缠绕管式换热器属于高压临氢压力容器。设备选材依据纳尔逊曲线，本次应用的缠绕管式换热器（E-765）管板，法兰选用 S32168 IV / III，筒体、封头、换热管选用 S32168。

3.2 结构设计

缠绕管换热器（E-765）取消了传统列管式换热器壳侧折流板结构，消除了折流板背面垢物积聚沉淀的死区。换热管采用层间反向螺旋缠绕的结构，在壳程侧形成规则不等距的层间及管间空间。介质流经此类通道时发生局部流速变化，这种变流速会对管外壁产生脉冲式流动，极大地改变了壳侧介质流动的方式，并使得缠绕管换热器壳程具备一定的自清洁能力。

相比于卧式安装的换热器，其管、壳程抵抗垢物沉积的能力均有较明显的提高。考虑到立式安装的换热器，底部存在死区，需要清洗排放，故在壳程设计有排净口。为了防止管板背部管子胀接不到位的地方存在缝隙腐蚀的可能性，在管板背部涂了一层高温防腐涂料。

3.3 密封性和热膨胀

缠绕管式换热器管箱与接管间的连接为焊接连接，因而不易发生泄漏问题。管束两端均有自由段，可自行膨胀，故不存在热膨胀应力。

4 缠绕管式换热器与传统管壳式换热器的比较

本次缠绕管式换热器（E-765）投用前，其炼化分公司的裂解汽油加氢装置二段进出料换热器采用浮头式换热器（E-760A/B/C/D）4 台串联操作，由于浮头易发生内漏，无法使冷、热物料在完全纯逆流的状态下进行热量交换，因此入口温度为 73℃ 的冷物料经过二段进出料换热器（E-760A/B/C/D）换热后只能加热到 230℃，仍需要引入高温热源，需通过 1 台双壳程 U 形管高压蒸汽加热器（E-764）加热进行温度补偿，来达到反应器入口温度 245℃ 的要求。

缠绕管式换热器与传统换热器参数比较（表 1）。从表 1 中可以看出：在满足工艺进出料温度要求的前提下，1

表 1 缠绕管式换热器与传统换热器参数比较

名称	应用后	应用前	
	缠绕管式换热器 E-765（1 台）	浮头式换热器 E-760 A/B/C/D（4 台）	双壳程 U 形管换热器 E-764（1 台）
介质	壳程：烃 + 氢气 + 硫化氢，管程：烃 + 氢气	壳程：烃 + 氢气，管程：烃 + 氢气 + 硫化氢	壳程：高压蒸汽，管程：烃 + 氢气
冷侧操作温度（进 / 出）/℃	73/245	73/230	230/245
冷侧压降 /kPa	135（含静液柱）	72	20
材质	S32168	E-760A/B：Q345R，E-760C/D：S32168	S32168
换热面积 /m ²	4000	3280	364
设备充水后总质量 /kg	125000	123150	18215
设备尺寸（直径 × 长度）/mm	φ 1800 × 23000	单台 φ 1100 × 9000	φ 1000 × 5000
高压蒸汽耗量 /（kg · h ⁻¹ ）	0	0	2000

台缠绕管式换热器的换热面积达到了 4000m^2 , 热端温差可以满足 20°C 的换热需求; 而 5 台传统管壳式换热器的换热面积为 3644m^2 , 热端温差为 40°C 。从设备材质和质量看, 缠绕管式换热器的设备成本接近于应用前的设备成本, 投资影响不大。缠绕管式换热器为立式, 高度达到 23m 。应用后, 缠绕管式换热器传热效率高, 表现优异, 实现了零的高压蒸汽消耗。

5 应用效果

缠绕管式换热器 (E-765) 应用后, 高压蒸汽加热器 (E-764) 已停用, 而且热侧的旁路阀门开度仅在 65% 左右, 换热余量充足, 说明缠绕管式换热器的换热效率非常高。

运行 7 个月以来, 高压蒸汽消耗量降为 0, 平均可节约 2000kg/h 。按年操作时间 8000h 、高压蒸汽单价 128.87元/t 、凝结水单价 10.62元/t 计算, 每年可节约运行成本 (含税) $=2 \times 8000 \times (128.87 - 10.62) \times 1.06 = 189\text{万元}$ 。

6 存在问题与建议

①缠绕管式换热器由于管束采用缠绕型式, 管程压降偏大, 如果管束内产生结垢, 传热系数下降后管束的清洗也比较困难, 无法采用机械清洗的方法及时处理; ②由于

(上接第 134 页) $d_2 \leq 2/3 \cdot A$, 压力低的 d_2 取较大值;

R4: 与 R2 同心, 是否加筋及加筋的宽度自定; 变形较大的隔膜室盖可以用平端面。

3 结论

以工作压力 10MPa 的隔膜室结构为原型, 通过一系列对比分析, 得出了以上的结构及尺寸优化结果。受分析软件及单元规模的限制, 应力结果不够准确, 仅能说明应力及位移变化趋势, 具体的隔膜室盖设计可以参考以上优化结果, 适当调整结构尺寸来满足设计要求。

本文优化结果未考证是否适用于低压或高压隔膜泵产品。

(上接第 132 页) 提升, 同时降低了无功损失, 提高了电动机使用寿命。同时采用变频调速控制后可为后续矿井带式输送机运输系统智能化升级创造良好条件。

3.2 经济效益

1506 运输大巷内 3 台功率 160kW 电动机综合能耗降低幅度按照 15% 计算, 带式输送机每天运行时间为 22h , 则 3 台电动机可节省电能消耗为 47520度/月 , 电费按照 0.5元/度 计算, 则每月可节省电费约 2.4万元 , 年可节省电费约 28.5万元 。同时改造完成后带式输送机驱动装置结构更为简单, 选用的设备可靠性及安全性均较高, 可明显降低作业人员后续维护、保养劳动强度。

4 结束语

随着矿井综合机械化、自动化以及智能化水平的不断提升, 带式输送机原采用的电动机 + 液力耦合器 + 减速器组合驱动方式由于启动时会给供电电网、输送带较大冲击, 同时设备可靠性不强等问题, 已不能适应矿井现代化建设。为此, 提出采用变频调速控制系统对带式输送机进行改造。

改造完成后 1506 运输大巷内带式输送机可实现软启动, 不仅可降低输送机启动时给供电电网、电动机等设备

缠绕管式换热器是焊接结构, 壳体内部检查与检修作业比较困难; ③缠绕管式换热器在裂解汽油加氢装置上的应用还是第一次, 可能还有不可预见的问题, 需要在以后的操作中不断摸索与发现。

7 结论

①缠绕管式换热器在裂解汽油加氢装置上的应用, 使得二段加氢反应流程实现了一次变革, 不仅使传统的反应流程更加简捷, 而且减少了换热器的数量, 采用 1 台缠绕管式换热器的流程, 替代了原来 5 台传统管壳式换热器的流程; ②节能效果明显。对于 1 套 70万 t/a 的裂解汽油加氢装置, 每年可以减少 189万元 的运行成本; ③流程的简捷减少了设备的使用台数, 使装置的泄漏点减少, 装置的安全性和可靠性得到进一步提高。

参考文献:

- [1] 陈永东, 陈学东. 我国大型换热器的技术进展 [J]. 机械工程学, 2013, 49(10): 134-143.
- [2] 闵旻. 螺旋管缠绕式换热器的特点及在电厂中的应用 [J]. 化学工程与装备, 2017, (1): 157-158.
- [3] 何文丰. 缠绕管式换热器在加氢裂化装置的首次应用 [J]. 石油石化设备技术, 2008, 29(3): 14-17.

参考文献:

- [1] 《活塞式压缩机设计》编写组. 活塞式压缩机设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1974.
- [2] 郁永章. 容积式压缩机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 成大先. 机械设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

作者简介:

李文明 (1981-), 内蒙古通辽人, 工程师, 中国有色 (沈阳) 泵业有限公司副总经理。

通讯作者:

陈扬 (1986-), 辽宁沈阳人, 高级工程师, 研究方向: 为长距离管道输送隔膜泵的设计与研发。

冲击, 而且可延长电动机、输送带等实用寿命。同时由于采用的设备可靠性强, 技术成熟, 可明显降低后续带式输送机驱动系统维修、保养工作量及投入。

参考文献:

- [1] 蒿宇升. 变频调速节能技术在带式输送机上的应用 [J]. 机械工程与自动化, 2020(06): 200-201+204.
- [2] 宋涛. 变频调速节能控制技术在带式输送机上的应用 [J]. 机械管理开发, 2020, 35(10): 263-265.
- [3] 高鹏飞. 变频调速技术在带式输送机上的节能应用 [J]. 机电工程技术, 2019, 48(12): 209-210+247.
- [4] 苟学亮. 变频调速节能控制技术在带式输送机上的应用 [D]. 西安: 西安科技大学, 2019.
- [5] 刘夫军, 何磊. 变频驱动控制技术在煤矿井下带式输送机上的应用分析 [J]. 煤矿机电, 2018(05): 91-93+96.
- [6] 杨晋华. 变频调速技术在煤矿带式输送机中的应用及分析 [J]. 山东煤炭科技, 2017(12): 117-119.

作者简介:

刘文利 (1972-) 男, 汉族, 山西大同人, 副总工程师, 从事煤矿机电工作。