

换热器油溶性在线化学清洗技术

1. 技术原理

换热器油溶性在线化学清洗技术是针对石化行业换热设备油溶性污垢研制的一种高效节能环保的新型化学清洗技术，该技术基于相似相溶原理，以油性物质为清洗基液，添加定量的表面活性成分，使污垢被浸润、渗透、软化、分解，在清洗液的冲刷下被带离换热设备，从而达到清除污垢的目的。

(1) 污垢成分测定

采样并分析污垢成分是化学清洗的首要步骤。污垢成分的分析，首先根据设备工况和工作介质分析可能发生的结垢反应，初步估定污垢主要成分；其次借助红外光谱仪、色谱分析仪等确定污垢组分。如乙烯裂解装置换热器，管程介质为急冷油，壳程介质为工艺水，壳程温度为 170℃ 左右。工艺水中含有大量的芳烃物质，加之管程发生泄漏至壳程的急冷油，在高温下发生缩合反应，生成大量高聚物，初步估定污垢成分为聚苯乙烯。此外，为了精确判定污垢组分，对采样污垢做了热重分析、红外光谱分析(如图 1 所示)、裂解气质分析和能谱分析曲线。

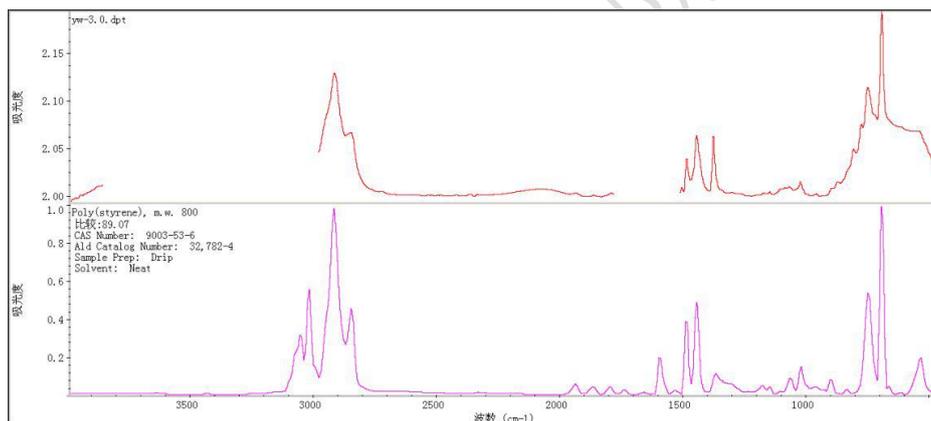


图 1 污垢样品红外光谱对比图

(2) 清洗剂配制原理

① 清洗基液的选择原理

清洗基液起到溶解污垢和利用流体的剪切力带离污垢的作用。如乙烯裂解装置换热器污垢主要成分为聚苯乙烯、甲苯、乙苯等有机物，基于相似相溶原理和其它综合考虑，清洗基液在柴油、汽油和急冷油中作选择。通过实验对它们的溶垢能力作了比较，结果如图 2 所示。实验表明，汽油的溶垢效果最好；柴油作用时间最短，效果次于汽油；急冷油溶垢效果最差。结合现场温度条件和安全性的考虑，最终选择柴油作为清洗基液。

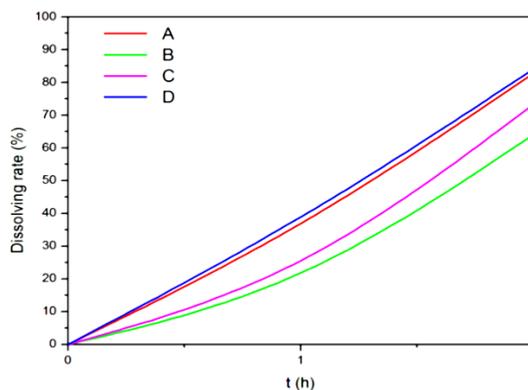
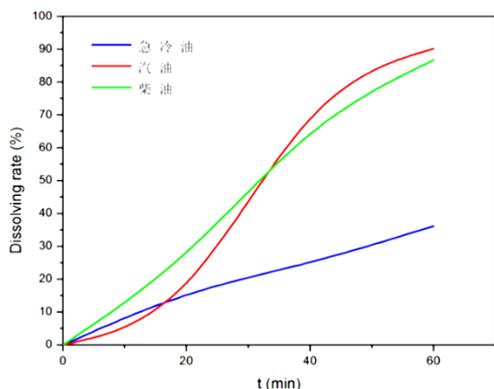


图2 三种待选清洗基液溶垢率曲线 图3 表面活性剂A、B、C、D的溶垢率曲线

②表面活性剂作用原理

表面活性剂透过污垢表面的微小缝隙进入到污垢内部，在固液界面对污垢产生吸附作用，削弱了污垢间及污垢在换热面上的附着能力，加速了污垢的浸润和剥落；当吸附达到饱和时，表面活性分子在溶液内部发生自聚产生胶团，胶团将污垢带到溶液中，使污垢溶解度大大增加，促使污垢溶解分散。

③清洗浓度和温度的影响机制

清洗剂浓度的变化和温度的控制会对清洗效果产生很大的影响。为此首先研究了A、C、D单种试剂浓度改变时，清洗效果的变化，结果如图4所示。实验表明，在一定浓度范围内，随着浓度升高，溶垢率也相应升高，直至达到一个峰值；超过这一范围后浓度再升高，溶垢率会迅速下降直至达到相对平衡状态。当然，要得到最终的清洗配方，还需要知道A、C、D的复配浓度和适宜的清洗温度。温度对清洗效果的影响如图5所示。

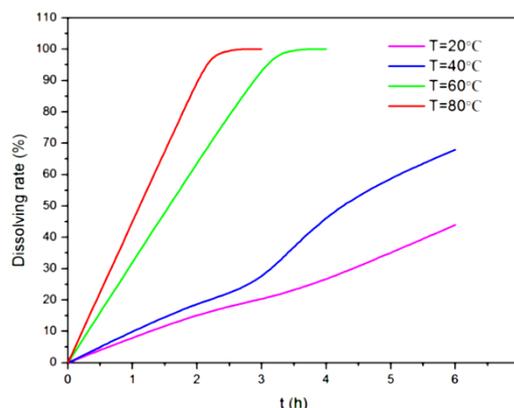
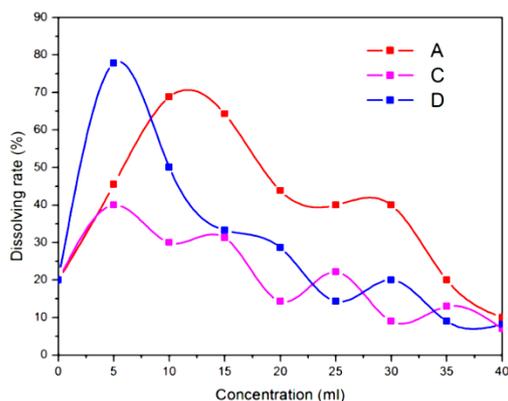


图4 A、C、D单剂不同浓度下的溶垢率曲线

图5 不同温度下的溶垢率曲线

(3) 清洗装置工作原理

结构复杂的换热器在化学清洗过程中，由于换热管间距小加之折流挡板的阻隔，往往会出现污垢碎块堵塞无法排出换热器的现象。针对这种现象设计了正反洗流程的自动加热清洗装置，工作原理如图6所示。整个装置运行分三个循环：管程加热循环、大循

环、小循环。

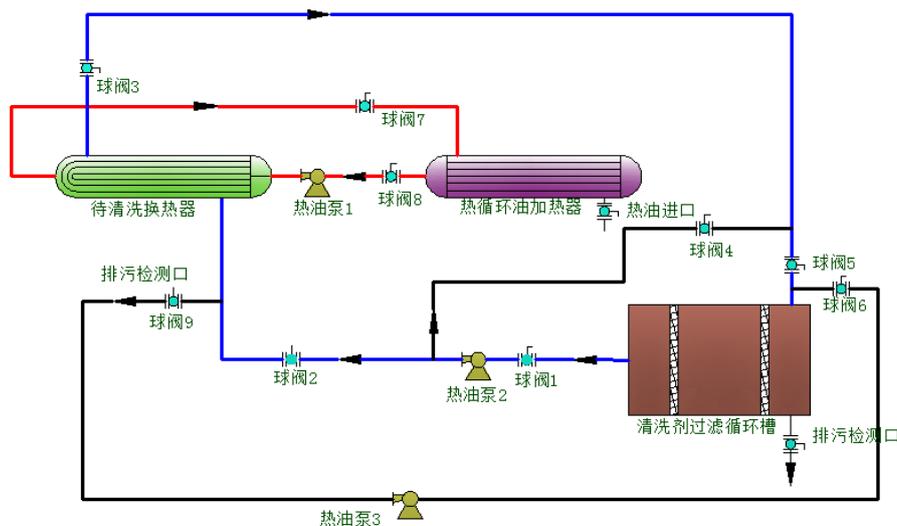


图6 清洗装置流程示意图

①将清洗剂倒入过滤循环槽中，开启阀门7、8，启动管程加热循环（图示红色），热油泵1将热油从加热器中抽出，送入待清洗换热器管程，用以加热壳程流入的清洗剂。

②开启阀门1、2、3、5，启动大循环（图示蓝色），热油泵2将清洗剂从过滤循环槽中抽出，从下侧进入待清洗换热器壳程，被管程循环的热油加热，之后流回槽中经过滤沉淀后再次进入循环。

③大循环一定时间后，关闭阀门2、5，开启阀门4、6、9，启动小循环（图示黑色），热油泵2将清洗剂从过滤循环槽中抽出，从上侧进入待清洗换热器壳程，被管程循环的热油加热，之后流回槽中经过滤沉淀后再次进入循环。

④大循环使得换热器顶部也能与清洗剂有充分接触，使换热器清洗不留死角；小循环借助重力，使流体冲击力大大增加，有助于分解剥落下来的污垢碎块顺利排出，有效解决了污垢堵塞无法排污的现象。

2. 技术特点与主要技术指标

（1）技术特点

清洗剂的研制和装置每一部分的选用都有充分的理论依据和实验验证，充分考虑了可操作性、安全性和适用性，实现了时间短、效果好、费用低的油溶性在线化学清洗，其主要技术特点如下：

- ✓ **节能环保：**清洗剂为有机溶剂，且清洗剂可以过滤后循环利用，节能效果显著，清洗完成后经有效过滤后可回收至装置回炼，清洗过程无废液产生，不存在废液处理问题。
- ✓ **运行成本低：**由于节能效果显著，使运行成本大大降低。此外，装置清洗过程，无需拆卸，开泵后只需按时切换阀门即可，大大减少了人工费用支出。
- ✓ **清洗时间短：**清洗过程无需拆卸设备，可以实现工作时间循环、非工作时间浸

泡的 24 小时不间断作业，还可一次性串联清洗多台设备，大大缩短了清洗时间

- ✓ **清洗效果好：**清洗剂有针对性专一配置，清洗剂过滤储槽采用双层过滤隔板，可以根据污垢颗粒大小更换不同缜密的金属丝网，确保污垢不再回流至被清洗设备，外加正反洗相结合的多次循环，确保清洗效果。
- ✓ **操作简便：**增压软管接口处采用法兰连接，连接简便；运行过程只需定时切换阀门，操作简单。
- ✓ **安全性好：**装置采用不易堵塞的球阀，避免了杂质存在可能出现的堵塞现象；增压软管接口处采用法兰连接，密封性好；装置选用防爆热油泵，可耐 350℃ 高温；清洗剂均采用无腐蚀无毒害的安全清洗剂。

(2) 主要技术指标

- ✓ 清洗剂常温溶垢率 60%以上；
- ✓ 清洗工作温度 40-60° ；
- ✓ 清洗剂清洗前后粘度值有明显变化

3. 工程案例

适用于污垢为油溶性污垢的换热设备，如石化行业的急冷油蒸汽发生器、原油预热换热器、废热锅炉等。

(1) 燕山石化常减压蒸馏装置换热器 412/1B 清洗

2010 年 9 月，研制的清洗剂在燕山石化常减压蒸馏车间吊装离线的换热器 412/1B 进行了现场试验，清洗完成后，如图 7 所示，发现换热器 412/1B 上出口裸露管线基本比较干净，验证了清洗配方的可行性。



图 7 常减压装置 412/1B 清洗前后管束对比

(2) 燕山石化乙烯裂解车间第二废热锅炉（EA-140）清洗

2013 年 9 月，所研制在线清洗技术成功应用于乙烯裂解车间换热器(EA-140)清洗，如图 8 所示。清洗后，通过采样清洗液与清洗前的进行比对，如图 9 所示，清洗后的油液颜色变为黄褐色，浊度明显增大，证明大量污垢已溶解于清洗液，清洗槽底部也沉淀了大量污垢。据厂家反馈：清洗前，EA-140 换热器工艺水流量为 1500kg/h，清洗后，流量上升到 4000kg/h，提升了近 2.67 倍；工艺上用于调节 EA-140 出口油温的旁通阀，清

洗前最大开度，油温也没有变化，清洗后反应非常灵敏，1/6 开度就能达到工艺需求。



清洗溶剂 在线清洗装置 待清洗换热器

图 8 EA-140 清洗现场

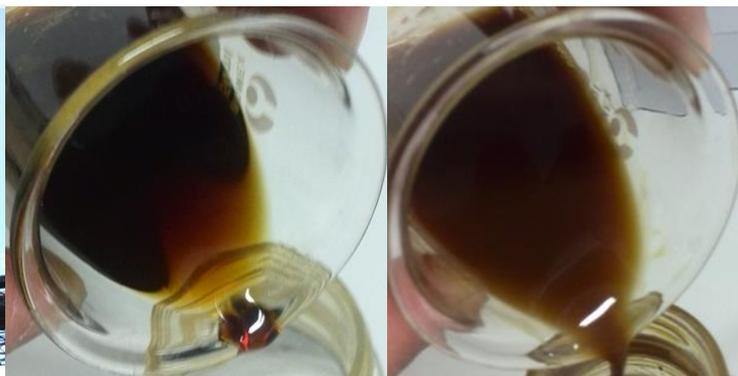


图 9 EA-140 清洗前后清洗液对比图

此次成功应用取得了燕山石化乙烯裂解车间的认可，并签订了 EA-124 系列换热器 9 台的清洗合同。

(3) 燕山石化乙烯裂解车间 EA-124-A 清洗

2014 年 4 月，所研制的在线清洗技术成功应用于乙烯裂解车间 EA-124-A 清洗。该换热器结构非常复杂，管束密集，折流管板多，清洗前有一处拆卸的管壳，如图 10 所示，可以看到结垢现象非常严重。这些因素都造成了清洗难度的增大，为此，在清洗过程中增加了气泵，清洗过程中持续通入氮气，促使污垢悬浮起来以顺利排出换热器。



图 10 EA-124 清洗前后污垢对比图



图 11 EA-124 清洗前后清洗液对比图

如图 11 所示，通过清洗液采样对比，清洗前后清洗液颜色和浊度发生了明显变化。此外测定了清洗前后清洗液的粘度，清洗前清洗液粘度为 15mPa.s，清洗后清洗液粘度为 7mPa.s，变化明显。清洗后据厂家反映，整个 9 台串联换热器组的温度变化明显，换热效果明显改善。

4. 对接联系

项目联系人：蔡晓君（北京石油化工学院机械工程学院教授）

联系电话：13611057250

电子邮箱：caixiaojun@bipt.edu.cn