

逆流连续重整工艺的反再系统工程技术分析

Analysis on Reverse System Engineering Technology of Countercurrent Continuous Reforming Process

黄峰

Feng Huang

中化泉州石化有限公司 中国·福建 泉州 362103

Sinochem Quanzhou Petrochemical Co., Ltd., Quanzhou, Fujian, 362103, China

摘要: 针对 ST 专利的逆流床连续重整工艺核心部位的反再系统, 阐明工艺、设备、管道、加热炉的特点, 对土建施工、钢结构模块化、加热炉模块化、反应器内件安装、转油线施工、催化剂管道安装、烘炉煮炉与热态考核等关键点进行工程技术分析, 并总结出出现的问题和提出建议, 为后续工程建设提供很好的借鉴意义。

Abstract: Aiming at the anti-regeneration system of the core part of the countercurrent bed continuous reforming process patented by ST, the characteristics of the process, equipment, pipelines and heating furnaces are clarified, oil transfer line construction, catalyst pipeline installation, oven boiling and thermal state assessment and other key points to carry out engineering technical analysis, and summarize the problems and put forward suggestions to provide a good reference for subsequent engineering construction.

关键词: 逆流床连续重整; 反再系统; 工程技术

Keywords: countercurrent bed continuous reforming; reverse regeneration system; engineering technology

DOI: 10.12346/etr.v4i6.6224

1 引言

连续重整工艺技术主要有美国 UOP 公司、法国 IFP 公司、中石化 ST 等, 其中 ST 的逆流床连续重整工艺技术由中石化开发研制成功, 中化泉州 260 万吨/年连续重整装置是运用该技术在國內建成、投用并完成性能考核的最大一套装置。

反再系统是连续重整装置的关键路线、工程重点和难点, 也是工艺专利的核心技术所在, 关系到装置的整体性能指标。论文以中化泉州连续重整装置为例, 对采用 ST 连续重整工艺的反再系统工程技术分析。

2 逆流床连续重整工艺的特点

2.1 工艺技术

ST 的连续重整工艺采用逆流床低压连续重整技术路线, 催化剂的流向与反应产物的流动方向相反, 四台反应器采用

并列布置, 采用 PS-VI 重整催化剂, 再生回路采用冷循环的流程, 再生放空气和再生循环气采用固体脱氯技术去除气体中的氯化物。工艺设计中考虑了优化换热、合理使用高温位热、充分利用低温位热, 以提高热能利用率, 降低装置单位能耗, 并减少环境污染。

重整反应器采取上进上出的物流方式, 反应进料经进料换热器换热后, 依次到加热炉加热到反应温度后, 再进入各反应器, 反应产物产出后进入后续流程。催化剂在各反应器之间采用自流和提升相结合方式输送, 每台反应器设有缓冲料斗、上下部料斗、下部提升器; 催化剂从四反逆流至一反, 再由一反底部提升至再生器上的分离料斗, 经再生器烧焦、脱氯、冷却后, 提升至四反顶部缓冲料斗, 自流到还原罐经还原后, 再自流入四反, 完成催化剂再生过程, 构成反应—再生循环。

ST 逆流床连续重整工艺反再系统原理见图 1。

【作者简介】黄峰 (1975-), 男, 中国福建连城人, 本科, 高级工程师, 从事石油化工项目管理、大型设备吊装及焊接技术研究。

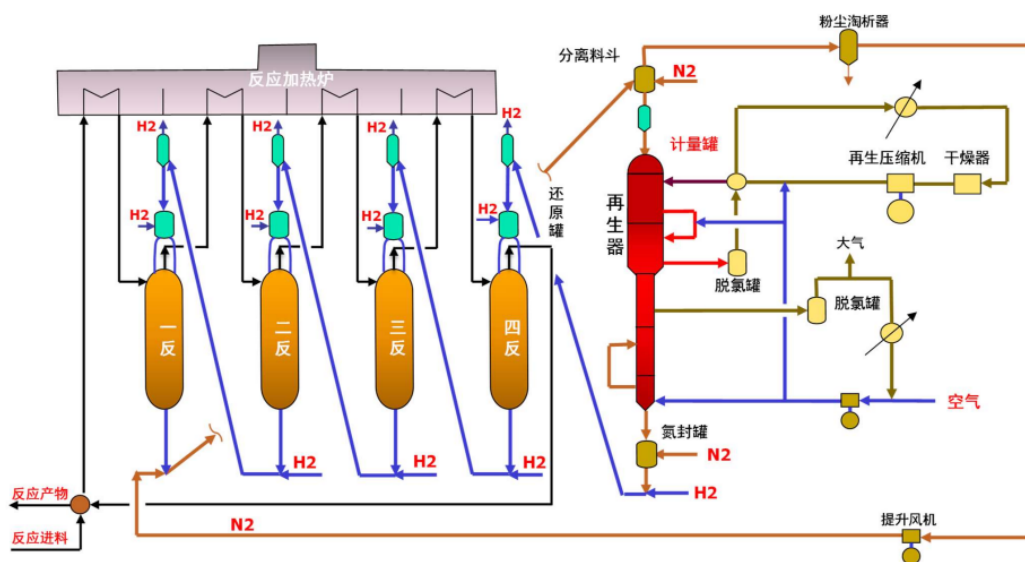


图1 ST逆流床连续重整工艺反再系统原理图

2.2 设备特点

在反应器布置上, ST连续重整技术的四台反应器采取独立、并列布置, 相比UOP技术的反应器采用四合一或二合一重叠布置, 降低了反再框架的整体高度, 有利于转油线的布置和应力计算, 降低了施工难度。中化泉州连续重整装置的反应器、再生器内件首次全部采用国产制造, 经装置运行实践检验, 达到设计预期效果。

重整反应进料换热器选用国产缠绕管式高效换热器, 相比进口板式换热器, 可以提高传热效率, 减小冷热端温差, 减少进料加热炉的热负荷, 降低装置的能耗, 节约投资, 缩短设备制造周期。

反再系统的部分设备需要使用弹簧支撑, 主要包括催化剂计量罐、缓冲料斗、上部料斗、下部料斗、电加热器、还原罐。

2.3 管道系统

重整反应器与加热炉之间的转油线采用1.25Cr0.5Mo材质的大口径焊接钢管和管件, 催化剂管道选用P11材质; 全部需要焊后热处理, 并进行100%的RT检测; 转油线和催化剂管道全部使用弹簧吊挂安装。

催化剂管道线路长、工作量大, 根据反应器、再生器独立布置的特点, 需要采取5次将催化剂从地面提升至最高点的输送方式, 其中从再生器出口到四反顶部缓冲料斗的管道采用大角度倾斜布置, 在管道的设计布置和应力计算、后续热态考核要作为重点关注。催化剂管道采用管道连接器进行连接(区别于UOP使用DUR-O-LOK联管器), 连接器需要按照设计图纸现场制作且工序复杂。

电加热器出口管道考虑到催化剂对温降的严格限制, 此处的保温层厚度为300~400mm。

2.4 进料和中间加热炉

加热炉采用多流路立式炉, 降低了重整临氢系统压

降, 包括进料加热炉(F-201), 1~3#中间加热炉(F-202/203/204); 加热炉为箱式炉, 每台箱式炉设有独立的辐射室炉膛, 每个炉膛内布置“倒U”型管排, 在辐射炉底通过进口、出口集合管与反应器的转油线相连。

F-201/202炉、F-203/204炉分别共用一个对流段, 对流段为一台强制循环余热锅炉, 利用辐射室烟气的余热加热对流段炉管产生3.7MPa蒸汽。

3 关键点的工程技术分析

3.1 土建施工

反再框架和加热炉的基础下部采用大型筏板式基础承台, 上部为基础短柱。反再框架的桩型采用方桩, 主要承受竖向抗压和抗拔荷载; 加热炉主要考虑竖向抗压承载, 采用预应力管桩。反再基础承台为50.3×17m、厚度1.8m, 下面以2.9×2.7m方格均布154根JZHb-250-1414CG型方桩。

土建施工重点是反再框架, 基础开挖面积大、深, 对周边区域影响大, 要先安排施工。在桩基设计时可按均布方桩考虑, 并适当增加一定的裕量, 在优先进行基础筏板的施工后, 完成下部回填, 再进行上部施工。反再基础承台浇筑属于大体积混凝土, 需要按照相应作业要求进行管控。

3.2 反再系统钢结构模块化

重整的四台反应器采用独立、并列布置, 降低了框架的整体高度, 但占地面积增大。框架的钢结构采用工厂化预制, 现场地面模块化组装、吊装的安装形式。

模块化分段组装原则: 模块地面组装最大化, 减少高空作业量, 充分挖掘吊车的吊装能力, 可以由6个立柱组成大型钢结构模块吊装; 框架吊装与反应器、进料换热器吊装统筹考虑, 尽量安排吊车一次进场后, 完成全部吊装; 根据框架安装进度, 提前安排设备到场, 特别是反应器、再生器、

还原罐等较大的设备；就近进行地面组装，对非关键路线的框架进行预留；第一段分在反应器支座处上部，直接在基础上安装，其他各段在地面模块化组对。

3.3 加热炉模块化

加热炉采用分片 / 模块设计，工厂模块化预制、现场安装的模式。

辐射段由于炉膛尺寸较大，超出现场管廊的高度，因此采用分片预制，现场组装成整体的模式；对流段采取模块化到货，整体吊装的模式。

辐射炉管材质为 P9，集合管材质为 1.25Cr0.5Mo，属于铬钼钢的异种钢焊接，材料淬硬性高，易产生再热裂纹，对预热、层间温度、后热、热处理和无损检测有较高要求；现场焊接位置在集合管的拔口处，且炉管之间的焊接空间狭小，热处理保温难度大；焊接过程采取火焰加热方式进行焊口预热，焊接完成后立即进行热处理，适当提高焊后热处理温度和时间（恒温温度为 760℃，2.5 个小时），热处理后 24 小进行 100% 的 RT 检测和硬度检测。

3.4 反应器内件安装

本次根据反应器布置、反再框架和加热炉安装进度，现场平面布置特点，通过对方案的优化，采取内件安装与框架同步、大型吊车完成全部内件吊装，且四台反应器内件安装交叉进行，持续时间短。吊车站于加热炉与反再框架中间管廊位置，管廊基础施工完成后，钢结构预留到内件吊装完成。

整体工序安排：反应器就位→框架继续安装至反应器顶部法兰口位置→内件安装、钢结构同步进行地面预制→完成内件安装和初步调整→继续上部钢结构安装，预留管廊钢结构安装→继续内件的检查工作。

每台反应器安装程序：扇形筒 38 根安装、找正，间隙调整→中心管与膨胀节在地面组对焊接→中心管吊装、找正→出口弯管安装→催化剂输送管→密封盖板安装→顶部入口法兰弯管安装。

内件安装检查的技术要求：

反应器内壁表面（包括下部斜锥）无浮锈和氧化皮；反应器内部接触催化剂的焊接接头、接触催化剂的零部件表面打磨光滑、无尖角、毛刺；扇形筒筛网缝隙，筛网平均缝隙宽： $0.70 \pm 0.05 \text{ mm}$ （最大缝隙宽：0.9mm）；扇形筒与反应器器壁间隙均匀；扇形筒密封板与支持圈间隙 $\leq 0.9 \text{ mm}$ ；中心管顶部接管焊缝现场焊接完成后进行 100%PT 检测；中心管四个方向垂直度 $\leq 15 \text{ mm}$ ；中心管底板、中心管支撑环上表面与波形金属包垫片之间的间隙值 $\leq 0.9 \text{ mm}$ ；I 型和 II 型盖板安装完毕后间隙、盖板与膨胀节护筒上盖板支持圈之间的间隙、I 型和 II 型盖板与外支持圈之间的间隙 $\leq 0.9 \text{ mm}$ ；输送管特殊接头安装牢固。

3.5 转油线施工

3.5.1 预制

转油线采用分管段在工厂预制、进炉整体热处理后，运

输到现场安装，整体水压试验的方案；预制阶段，转油线上的正式支架垫板和临时吊耳应全部焊接完成，并随炉进行热处理。

3.5.2 安装

使用 400 吨吊车站于加热炉一侧，跨越加热炉进行吊装；应从反应器一侧开始安装；吊挂弹簧应在管道安装前临时就位；弹簧支吊架的槽钢支座必须在吊杆正上方，焊接槽钢时应考虑弹簧、吊杆、连接件的安装空间要求，宜在弹簧就位后正式焊接；管道上正式的吊挂支耳宜在管线临时就位后焊接，以保证管道顺利吊装和弹簧吊杆受力垂直。

3.5.3 冷拉

管道整体完成后，在自由状态下按设计规定的冷紧位置和冷紧量，固定加热炉集合管，切割转油线后对管道向设计方向冷拉，组对焊接完成后进行 100% 的 RT 检测。

3.5.4 试压

转油线与加热炉辐射炉管、集合管联合进行整体水压试验，共分为四个系统独立进行，即以每台加热炉进出口对应的转油线、直到设备法兰口，组成一个试压系统。在设计阶段应计算一个系统满水时的载荷对附属钢结构的影响，并采取必要加固措施。

3.6 催化剂管道安装

第一，输送催化剂的管道内壁必须光滑以减少催化剂的磨损，可采用细砂对管道内壁进行喷砂处理；内壁处理前，应多次试验，最终确定合适的砂砾大小，喷头在内壁的移动速度，达到无锈、内壁光滑的良好效果。

第二，管道所有的连接焊缝内壁必须打磨光滑、平整，不允许有焊缝余高、毛刺、凹凸，因结构过长的管子、管件、阀组之间焊缝无法打磨的，采用管道连接器进行连接以确保全部焊缝都可以打磨到；对于现场打磨不到的焊缝，应结合单线图，作为特殊件进行处理。

第三，施工前检查催化剂流向的下游方向的法兰、8 字盲板及垫片内径是否与管子内径匹配，且不能小于管子内径。

第四，缓冲料斗、上部料斗、反应器、下部料斗安装时，应保证设备的中心位置在一个中心竖直位置，以有利于催化剂管道的垂直安装，以保证该催化剂自流顺畅。

第五，需要提升的催化剂管道在安装时，应通过导向支架的安装、调整，保证垂直度，减少催化剂提升的磨损。

第六，地面 L 阀组至缓冲料斗的催化剂管道，由于有一定的特殊安装角度，应按照由上到下的顺序施工，穿平台位置处留出热态考核的位移量；特别是从地面 L 阀组至四反缓冲料斗的大角度倾斜安装管线。

第七，催化剂管道安装前，应逐根检查内部洁净度；在整根管线完成闭合前，应做通球试验。

第八，特殊弯管和管件作为重点进行催交；特殊阀门在系统试压、吹扫合格后安装。

第九, 催化剂管道之间的连接法兰, 管道与设备、阀门、管道部件之间的法兰应做防静电跨接, 且管道与接地网做可靠连接。

第十, 催化剂管道宜采用气体进行压力试验, 当使用水压试验时, 试压完成后应立即将管道内的水吹扫干净, 并防止水进入设备。

3.7 烘炉、煮炉与热态考核

加热炉烘炉、余热锅炉煮炉、反再系统热态考核应同步进行, 并按照设计、厂家要求制定相应的方案。

加热炉: 集合管的位移符合要求, 上下滑板无卡涩; 炉内衬里完好, 检查是否有脱落和裂纹。

钢结构: 升温 and 降温过程中影响热膨胀的部位及时处理。

管道: 弹簧支吊架的受力、行程符合设计要求, 无异常变形情况。

反应器热态考核检查要求: 扇形筒、中心管筛网缝隙检查, 筛网平均缝隙宽: $0.70 \pm 0.05\text{mm}$; 扇形筒、中心管无异常变形; 扇形筒与反应器器壁间隙 $< 10\text{mm}$; 扇形筒密封板与升气筒间隙 $0.74 \pm 0.10\text{mm}$; 升气筒无卡死; 扇形筒、输送管密封板四角焊接接头完好; 中心管底板、支撑环上表面与波形金属包垫片之间的间隙值, 盖板与膨胀节护筒上盖板支持圈间隙, 盖板与外支持圈的间隙 $\leq 0.9\text{mm}$; 油气出口弯管两法兰螺柱两端双螺母、膨胀节护筒上螺栓。

再生器热态考核检查要求: 输送管特殊接头无松动、无存在卡涩现象; 输送管密封板与盖板的间隙、盖板无翘曲, 与支持圈间隙 $\leq 1\text{mm}$; 一段、二段烧焦区中心管下方螺栓无松动和螺母脱落; 一段烧焦区外筛网底板无明显变形; 输送管密封板与盖板的间隙 $\leq 1\text{mm}$; 二段烧焦区中心管下方螺栓无松动和螺母脱落。

4 出现的问题和改进建议

第一, 反再框架布置在装置的中间位置, 影响检修期间大型吊车站位, 与周边框架、塔检修场地冲突, 且无预留增加电梯的空间;

改进建议: 将反再框架和加热炉布置在装置边上, 正对压缩机厂房位置, 并考虑后续电梯需求。

第二, 反再框架上部的缓冲料斗、上部料斗、反应器在一条直线上布置, 虽有利于催化剂的自流, 但影响后续内件的更换, 且上部的电动葫芦受到催化剂管道布置影响, 无法正常使用; 钢结构未设计可拆卸结构且上部空间不足, 还原罐、还原电加热器、还原气换热器等在反应器上部, 结构上

未设置独立的支撑梁, 对内件的检修都影响。

改进建议: 反应器布置在框架中间, 缓冲料斗、上部料斗布置在考进加热炉一侧, 中心距离 1.5 米以满足中心管吊装空间要求; 电动葫芦提升空间满足中心管长度要求; 钢结构设置可拆卸横梁; 设备采取独立大梁支撑。

第三, 电加热器出口管道保温超厚, 设计没有考虑对周边管道、结构影响, 管道自身的仪表件也不便操作; 改进建议: 在三维模型阶段, 增加该部分管道的保温厚度因素。

第四, 催化剂循环管道的连接形式复杂, 不利于现场施工。

使用 ST 要求的管道连接器: 需要现场在制作, 包括管道预组装, 焊接和定位, 切割管段制作连接器, 拆除管道后将连接器与管道焊接、并对焊缝进行打磨, 再次组对管道连接器, 对管道连接器外部采用连接套管进行焊接; 工序复杂, 增加焊口数量; 催化剂管道是 P11 材质, 还需完成 100% 的热处理和 RT 检测。

使用 Dur-O-Lok 联管器: 材质为 316, 体积小, 内壁光滑, 无结垢, 减少了催化剂的磨损; 在地面可以完成焊接和内部焊缝打磨, 安装简单、快捷, 便于拆卸; 不会由于热胀冷缩而导致松动, 密封性能随着压力的升高而增强, 可靠性高。

改进建议: 使用 Dur-O-Lok 联管器进行催化剂管道的连接, 虽然会增加采购成本, 但减少了施工工序、缩短时间, 降低施工成本, 有利于质量控制。

5 结语

ST 专利的连续重整工艺技术是国内芳烃成套技术不可缺少的一环, 中化泉州 260 万吨 / 年连续重整装置的建设、投用和性能考核成功, 实现了芳烃技术国产化的全流程、大规模贯通。通过对重整装置核心部位反再系统工程技术的分析总结, 为后续更好的推广、建设、运营国产芳烃技术提供了借鉴。

参考文献

- [1] 黄峰. 连续重整装置中反再系统钢结构框架和设备的施工[J]. 石油建设, 2009, 31(6): 46-50.
- [2] 刘方. 连续重整反再框架设计安全要点分析[J]. 石油化工安全技术, 2002(3): 27-28.
- [3] 陈杰. 连续重整装置平面布置及管道设计[J]. 化工设计, 2012, 22(4): 17-21.