中海油渤南终端热媒炉的防腐清洗系统维护工程

徐竹林

青岛新瑞洁清洗工程技术有限公司　青岛 266000

摘要：热媒炉换热器的管程和壳程经常会因导热油过热结焦形成堵塞或导热效率下降，采用物理清洗方法效果甚微而且拆洗过程费时费力。本文以中海油渤南终端热媒炉的防腐清洗系统维护工程为基础，研究了利用化学清洗剂进行清洗的工艺，达到清洗防腐的双重维护效果，流程简捷高效适用于生产应用，提高安全运行质量。

关键词：热媒炉 化学清洗剂 防腐清洗维护 工艺流程

通讯作者：

林世春 中海油(中国)有限公司天津分公司 渤南龙口终端处理厂 总监

Tele:0535-8858828

Fax:0535-8858823

E-mail:zdchangzj@cnooc.com.cn

地址：山东省龙口市龙港经济开发区（复发中记北）中海石油天然气

邮编：265700

0 引言

图 1 中海油渤南终端热媒炉及其结垢腐蚀状况

随着输油工艺技术的发展，热媒炉广泛应用于长输管线上各加热站的有机热载体加热系统中，其通过热油泵输送导热油实现液相强制循环供热。凡需均匀稳定且禁止火焰、工艺温度在 150℃-380℃的直接加热皆可适用。导热油即是在连续高温条件下（160℃-300℃）使用的用于传导热量的油，因此必须选择热稳定性好的介质，然而长期使用导热油会产生分解、变质，并在系统的表面结垢，降低传热效率，对热媒炉运行和输油生产埋下安全隐患。中海油有限公司天津分公司渤南作业区渤南终端热媒炉（型号：BBS3200），自投产 7 年以来未进行清洗，

造成设备热交换效率降低，影响了生产和设备的安全运行，所以，当导热油达到报废标准时或设备热交换效率降低时，要及时更换并对导热油系统进行彻底清洗，延长热媒的使用寿命。

1 导热油变质结垢的原因分析

1.1 过热产生的结垢

有机导热油的热分解是由于导热油温度超过其极限温度而引起的。如由于突然停电等原因，过大的热强度或流动受限制的地方，加热表面温度上升，高于热分解极限温度，会产生过热。导热油可分为饱和烷烃、芳烃和环烷烃三类，其中芳烃类导热油由于炭含量的较大，且分子链具有不饱和双键，高温易发生断链氧化反应形成结焦凝附于加热管壁，严重阻碍了热传递效率，造成管壁温度局部偏高进而引发结焦暗燃烧炭化，同时伴随系统酸值的快速上升。

1.2 系统污染产生的结垢

空气渗入系统会引起导热油氧化，致使导热油系统形成大量固体污垢。通常空气的渗入来自开口的膨胀罐。导热油氧化会以一定速度形成不溶物，形成速度取决于导热油在空气中暴露程度和油温。腐蚀产物和铁锈常常是由于氧化作用和从膨胀罐等部位进入的水分产生的弱酸造成的。腐蚀产物和被氧化的导热油不溶物的混合物会沉积在换热器表面，尤其是系统的死角和低部位置。壳程燃烧室烟气结焦，造成火管间堵塞，使管壁热阻增加影响了换热效果,生产过程能耗增加。

因此，应对热媒炉盘管程和壳程分别采用动态正反向强制循环化学清洗和水射流在 60-120Mpa 的高压清洗。

2 热媒炉的防腐清洗系统维护

2.1 热媒炉管程垢和壳程垢的清洗方法

表 1 化学清洗用原材料明细表

清洗原料名称	级别型号	施工方式	备注
硝酸	工业级	酸洗	主剂
氢氟酸	工业级	酸洗	助剂

氢氧化钠	工业级	废液处理
磷酸	工业级	钝化
缓蚀剂	XRJ 系列	酸洗
表面活性清洗剂	XRJ 系列	脱脂

管程垢的主要成分为暗燃烧炭化的结焦与水和铁锈，表面活性清洗剂采用青岛新瑞洁清洗工程技术有限公司生产的 XRJ 系列除垢防锈剂，其通过亲油性长碳链的表面卷离胶溶吸附与积垢产生强烈的分子螯合作用，并削弱基质界面的黏附键，当液-液-固三相的界面形成接触角在平衡状态 180℃条件下时，在热流和布朗运动的影响下发生清离。此外，亲水性活性分子链端与金属基体发生氢键作用，由清洗剂-金属基体界面代替污垢-基质界面，已达到除垢清洗与防腐保护相结合的双重维护效果。

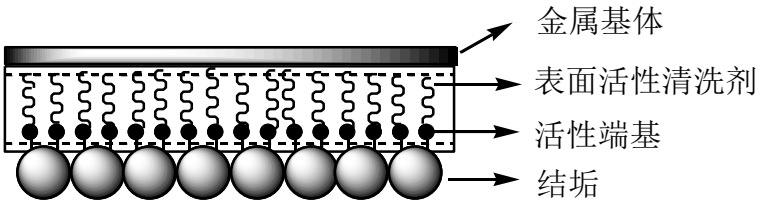

图 1 表面活性清洗剂的除垢防锈机理

（1）清洗步骤如下：

- 对热媒炉体盘管程进行动态正反向强制循环化学清洗。
- 壳程采用高压射流清洗机在 60-120Mpa 压力范围内进行水射流清洗。

（2）清洗范围：中海油有限公司天津分公司渤南终端热媒炉盘管（型号：BBS3200）

（3）清洗指标：

除垢率在 98.7%以上，设备在清洗过程中不发生任何腐蚀及不良影响。

2.2 清洗系统的设计

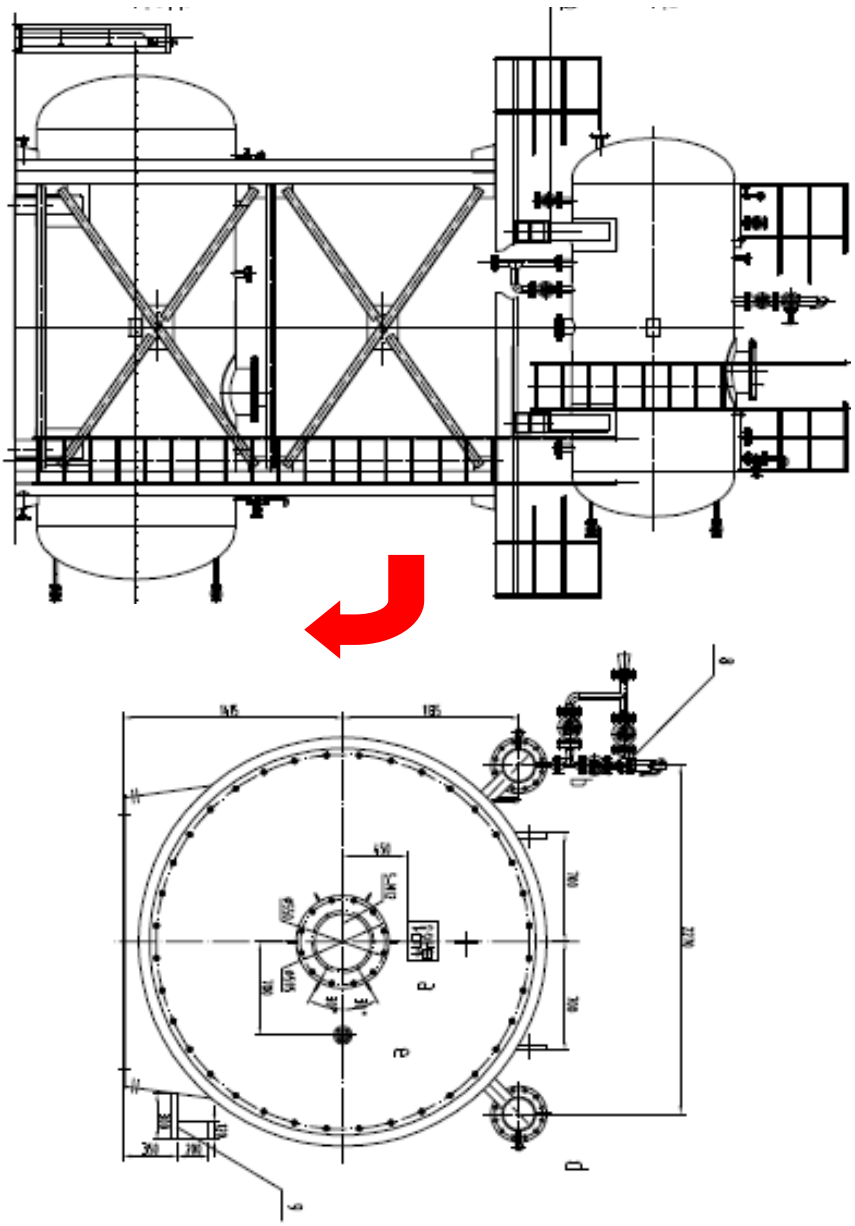

图 2 渤南终端热媒炉加热系统总图

（1）清洗工艺流程：

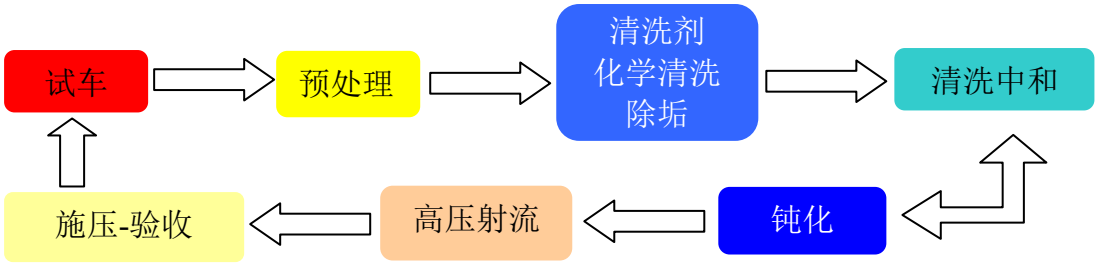

图 3 清洗工艺流程

利用原有系统进出口连接到临时外加清洗泵站，或利用原有系统循环泵进行

强制化学清洗液内部流通。

（2）系统设计标准

- HG/T 2387-2007《工业设备化学清洗质量标准》;
- DL/T 794-2001《火力发电厂锅炉化学清洗导则》;
- SH/T3538-2005《石油化工机械设备安装施工及验收通用规范》;
- SH/T3541-2007《石油化工泵组施工及验收规范》;
- SH3505-1999《石油化工施工安全技术规程》;
- GB 8978-1996《污水综合排放标准》;
- HG 20202-2000 《脱脂工程施工及验收规范》
- TSG G5003-2008《锅炉化学清洗规则》
- DL 5009.1-2002《电力建设安全化学清洗重量标准》

2.3 热媒炉清洗防腐系统维护作业流程

2.3.1 试车

（1）启动清洗设备试运行。开启水源阀，向清洗设备内注入清水，试车检查有无堵塞和泄漏，泵的出口扬程是否达到 0.8Mpa.

（2）开启回水阀，并向系统注入清水，检查压力、温度是否需要流量调整。

（3）读出并记录流量计始读数 V_1，开启水源阀，让清水通过流量计进入系统，直至回流口出水为止。读出并记录流量计终读数 V_2.

（4）计算出系统容积 $V=(V_2-V_1)$立方米。

（5）分别正反加压循环冲洗各清洗系统至出水清澈透明。

（6）测定项目：pH；测定时间间隔：1 次/0.5hr

2.3.2 系统预处理

（1）送入蒸汽将管道内热介质油吹扫出来，收集到废液罐。

（2）循环水温升至 90°C 以上，然后加入 XRJ-3 碱性强力除垢剂，它通过强力渗透、剥离和溶解作用，将油垢及其它矿物质的沉积物剥离疏松和溶解，使之悬浮于药液中而被排出。并可将混在油垢中的炭化物结焦颗粒一同清洗掉。以达到将系统内油污全部除净确保酸洗质量的目的。

（3）确保除垢率在 60%以上，设备在清洗过程中不发生任何腐蚀不良影响。

（4）水冲洗至各部位清澈透明，且 PH<8.5。

（5）测定项目：pH；测定时间间隔：1 次/0.5hr

2.3.3 清洗剂化学清洗除垢

（1）一边循环一边向系统加入 XRJ872 电站锅炉酸洗缓蚀剂，并循环均匀。

（2）在回水口处加入清洗系统所需的清洗剂至规定值。

（3）在回水口加入助溶剂铁离子还原剂、渗氢抑制剂等添加剂。

（4）正向循环和反向循环交替进行。

（5）在清洗槽中放入六片由监理和业主代表事先在万分之一天平上称好质量 W_1（精确到 0.1mg）的腐蚀检测标准试片，同时放入监视管（板）。

（6）.分析化验清洗液中酸浓度，分析频率为 1 次/h，2 次/h，且不断补加药剂，当最后三个样趋于一致时再循环 2h 结束。

（7）测定项目：

项目	测定时间间隔	项目	测定时间间隔
总铁(Fe^{2+}、Fe^{3+})	1 次 / 0.5h	酸浓度	1 次 / 0.5h
pH	1 次 / 0.5h	温度	1 次 / 0.5h

2.3.4 冲洗

用清水快速冲洗清洗系统，取出腐蚀检测标准试片，称出腐蚀后的试片质量 W_2。计算出本次清洗对设备的最大腐蚀率：

$$K = {W_1 - W_2}/{F \cdot 0.002T}$$

式中 W_1 、W_2 分别为标准试片清洗前后的质量；T 为清洗时间；F 为标准试片表面积 $0.002m^2$。

最大腐蚀减薄量：

$$\delta = {W_1 - W_2}/{F \cdot \rho} = {W_1 - W}/{0.002 \times 7.85 \times 1000}\,(\mathrm{mm})$$

式中 ρ 为金属（碳钢）密度 $7.85T/m^3$。

2.3.5 中和

清洗后的系统在任何地方不允许存在哪怕是微量的残留酸，加入纯碱、氨水等，将系统 pH 值调到 10±1，维持 PH=9-11 为钝化做准备。要特别进行盲肠部位的检测，以 PH>8 为合格，排污清澈透明为结束。

测定项目：pH；测定时间间隔：1 次/0.5hr

2.3.6 钝化

（1）边加入钝化剂，对整个系统进行钝化处理 24h。使处于活性状态下的金属表面生成保护膜。钝化采用氨水加亚硝酸钠进行 6h 的循环钝化。

（2）放净钝化液，用含 0.1%亚硝酸钠并通入氨气的水冲净系统。

2.3.7 高压水射流清洗

（1）设备启动：只有得到喷枪操作者的指令，泵的操作者方可启动清洗设备。设备升压前，泵的操作者要确认：喷头与工件的相对位置正确；喷头的操作者处于安全位置并已控制喷头；其他队员也已就位。

（2）作业过程中的检查：升压前后，泵的操作者必须检查软管及各接头，以便及时发现任何泄漏故障或其他异常情况。

（3）紧固与调节：当水射流设备处于带压工作状态时，零部件都应处于正常工作状态，不得在设备工作时对紧固件、连接件进行紧固与调节，需要维修或调节时，必须停机使设备卸压。

（4）设备故障：作业前试车时，如果卸荷阀或安全阀失灵，不能正常工作，必须立即停机检修，在故障零部件修复或更换前，设备不得再启动。

（5）压力控制：泵的操作者，在升压时应分段缓慢调节，使喷头的操作者，适应射流反冲力的变化，一旦达到工作压力，没有调压指令，则不应再做大幅度调节；设备停机降压时，也应缓慢动作，以防反冲力突然消失，而使喷头的操作者失去平衡。同时，喷头操作者的站立姿势，也应适应反冲力的变化。

（6）喷嘴：喷嘴与设备工作压力的匹配，应确保符合初始工况的要求；清洗汽机叶片表面时，射流方向与喷嘴体往往有一定角度，为减少操作者所承受的反冲力，需在气动旋转喷头上安装两个以上喷嘴，以使偏向反冲力得以平衡，提高清洗效率。因此作业前应对这些喷嘴做特别检查，防止某个喷嘴损坏或堵塞。采用这种平衡式喷嘴，喷枪压力应缓慢上升，确保喷头射流各方向的反冲力相等。同时，操作者也应持好喷枪，防止万一喷嘴瞬间堵塞，而引起喷头突然偏向抖动。

（7）升压检查：在检查设备泄漏情况或故障零部件时，应缓慢升压，发现泄漏或故障件，应立即在完全卸压条件下修复或更换。

（8）喷枪作业：喷枪上装有控制开关，由喷枪操作者直接控制。设备在清

洗操作中必须有人现场值班，喷枪不能接触地面或对准鞋面，避免发生伤害事故。

（9）柔性喷枪作业：清洗管道时通常使用柔性枪和脚踏阀，脚踏阀应由操作者控制，并采取有效措施防止喷头从被清洗管道中滑脱，偏向其他方向，造成伤害事故。退出管道时要关掉脚踏阀，不准带压操作。

（10）反冲力的应用：清洗作业时，如果没有良好的屏障保护装置，喷头的进给装置不能利用射流的反冲力来推进。

（11）排渣间隙：软管、喷头外壁与清洗管道内壁之间应有足够的间隙，使废水、废渣能够顺利排出。

（12）末端标志：在距离喷头 50cm 长度的软枪外壁上，即射流可能伤及操作者的长度范围内，必须做上明显标记。

（13）升压降压：清洗作业时，喷头在升压前应伸进被清洗管件中，长度将要到达标记处时，开始升压，以免射流反射伤及操作者；相应，在喷头从管件退出前必须降压。

（14）钢性枪操作：由两人以上操作，应接好脚踏阀由喷头操作者直接控制。枪杆及其连接管道长度不应超出操作者能够控制的范围。如果必须超出时，则必须配备辅助操作者控制喷杆。

（15）防护罩：使用钢性枪杆作业时，应在喷杆上安装防护罩；以防止喷头意外损坏时，或废渣清理后，高速向后喷出对操作者造成伤害。

2.3.8 废液处理

（1）清洗的废液处理：在中和处理槽中用 NaOH 或 $Ca(OH)_2$ 进行中和处理，pH 值达到 6-9 时，暂时排至当地具有污水处理资质的污水处理厂进一步加药加氧、絮凝处理后，按要求排放《污水综合排放标准(GB8978-99)》、《工业污水排放标准(GB-2)》。

（2）.酸洗液的废液处理：将废液集中到中和槽中用 NaOH 或 $Ca(OH)_2$ 溶液中和，pH 值达到 7-8 时，暂时排至当地具有污水处理资质污水处理厂进一步加药、加氧处理后，按要求排放《污水综合排放标准(GB8978-99)》、《工业污水排放标准(GB-2)》。

（3）钝化液的废液处理：钝化废液进行回收后用 NaOH 中和处理，按要求排放《污水综合排放标准(GB8978-99)》、《工业污水排放标准(GB-2)》。

表 2 检测结果符合国家规定排放标准

项　目	标　　准
pH	6-9
COD	100（mg/L）
氟化物	20（mg/L）

2.3.9 试压复位

根据提供的指标，由高压清洗机进行 1.6Mpa 水压试验。