

石油化工工艺管道化学清洗技术与实践

赵亚宁（海洋石油工程（青岛）有限公司，山东 青岛 266520）

摘要：石油化工工艺系统当中存在部分管段需要采用化学清洗的方式来满足设备对该段管道额外的更高的清洁度要求，本文旨在通过当前在制的大型 FPSO 上相关管道的成功化学清洗实践，详细介绍相关管道的成垢机理及清洗的必要性；化学清洗的清洗剂配方，清洗工艺，操作措施，监督措施以及清洗时需要注意的问题。

关键词：工艺管道；化学清洗

0 序言

在石油化工行业,特别是海上油气平台和FPSO(浮式生产储油卸油装置)等大型工程项目中,管道的清洁度直接影响到生产系统的安全性和稳定性。在管道建造和使用过程中,往往会积累油污、铁锈、氧化皮等杂质,如果不及时清理,不仅会影响管道内介质的流动性,而且会导致管道设备的损伤,甚至引发设备故障。因此,确保管道的清洁度,尤其是在大型油气生产平台的复杂环境中,是保障生产系统顺利运行的关键。化学清洗是有效的管道清洗技术,采用特定的清洗剂去除管道内的油污、铁锈等沉积物,能有效提升管道的运行效率,防止设备老化和故障的发生。因此,需深入分析清洗过程中的关键技术与操作要点,期望为石油化工行业的管道维护提供更加科学、有效的解决方案。

1 石油化工工艺管道化学清洗前准备

1.1 化学清洗范围确定

管道化学清洗的范围通常涵盖几个关键部分。首先是压缩机的上游工艺管段,在使用过程中容易积累油污和杂质,影响压缩机的正常运行,因此需要进行清洗。其次,换热器(包括板式或印刷电路板式)和控制阀等上游工艺管路也属于清洗范围,因设备易受水垢、油污和铁锈的污染,定期清洗能够确保设备的高效运行。另一个需要清洗的部分是燃油系统(如柴油管道),因燃油残留物和杂质的积聚影响燃油流动和燃烧效率。另外,根据实际情况,对于其他一些易受污染且对系统运行至关重要的管道段,也需要纳入清洗范围。

1.2 准备工作文档及资料

在海工项目中,涉及化学清洗的区域需按相关系统准备相应的化学清洗包。在清洗工作开始前,提供需要清洗的系统的最新版PID图,并标明需要清洗的管道范围。清洗包中应明确标出管段的端部接入点,

即管道与清洗设备连接的位置,指定放空及泄放的位置。若清洗过程中需要移除、旁接或替换某些管部件,在清洗包中列出所有部件。对于容易受到化学药剂损害的部件,应进行隔离,避免在清洗过程中受到腐蚀或损坏。另外,若需要,管道端部应安装盲板,确保清洗过程中的密封性和安全性。

1.3 安全管理与人员要求

参与化学清洗的所有人员必须经过专门的安全培训,培训内容包括化学清洗过程中的JSA风险评估等。作业过程中,人员必须佩戴必要的个人防护装备(PPE),这些装备包括化学防护服、胶皮手套、护目镜、面罩和口罩等。在作业开始前,所有工作人员还需根据JSA或其他等效文件,仔细检查和核对当天的作业风险以及可能出现的操作隐患。此外,作业场所应配备洗眼器和安全淋浴装置,以应对突发事故。为了确保作业安全,非化学清洗相关人员不得进入泵浦区域,避免干扰和减少不必要的安全隐患。

2 石油化工工艺管道化学清洗流程

化清的相关设备调试完成,同时需要清洗的管路相关可能的泄露修复完成之后,可以进入化学清洗的操作流程中,通常包括以下步骤:

2.1 阶段1-脱脂

化学清洗的首个阶段是脱脂,这是管道清洗过程中的基础环节。其主要任务是去除管道内的油污、有机物以及其他附着的污染物。常见的脱脂剂包括烧碱(NaOH)和表面活性剂的混合溶液。此脱脂液被加入到加热后的循环水中,并通过高流速的循环系统在管道内进行串洗。在此过程中,管道内的油污、油脂和有机物会被有效地溶解和清除。脱脂的清洗液必须保持在一个理想的温度范围内,充分发挥脱脂剂的效果。清洗过程中,串洗液经过管道内高温高流速的流动后,通过在线滤器进行过滤,以拦截不溶物,包括一些小颗粒的固体杂质,如灰尘、沉淀等。为了确保

脱脂过程有效完成,可定期抽取串洗液进行化学成分分析,监测液体中油脂、有机物和其他污染物的浓度变化,检查脱脂效果。如果连续两次化学成分测试结果基本一致,说明脱脂过程已达到预期效果,可以进入下一个阶段。脱脂工作结束后,管道内的溶解油污和杂质会被有效去除,管道的清洁度得到初步保证。

2.2 阶段 2- 酸洗

酸洗是化学清洗中不可或缺的一个阶段,主要用于去除管道内的铁基氧化皮、铁锈及其他矿物沉积物。铁锈和氧化皮是管道长期使用过程中常见的污染物,如果不及时去除,将影响管道的通畅性和后续工艺的稳定性。在酸洗阶段,常用的酸洗药剂包括柠檬酸和硝酸。柠檬酸通常用于清洗碳钢管道,而硝酸则广泛应用于不锈钢或其他耐腐蚀合金钢的清洗。酸洗过程的关键在于酸洗药剂与脱脂溶液的有效融合。酸洗药剂与脱脂溶液混合后,会发生化学反应,生成能够溶解铁离子的化学物质,进而去除管道内的铁锈和氧化皮。为了确保酸洗的效果,酸洗过程通常需要持续 8 小时或更长时间。在此期间,酸洗液会不断循环流动,以确保充分接触管道内的所有表面,达到去除沉积物的效果。酸洗效果的评估通常通过分析溶液中铁离子的含量来判断。如果酸洗液中的铁离子浓度显著增加,说明铁锈和氧化皮已经被去除。如果工艺设计要求在添加酸洗药剂之前将脱脂溶液排放,则首先需要将脱脂液排放到专用的收纳桶中,经过水冲洗后,再注入酸洗药剂进行酸洗处理。

2.3 阶段 3- 中和及钝化

经过酸洗之后,管道内可能还会残留一些酸性物质,如果没有及时中和,则会导致管道发生二次腐蚀,因此中和和钝化是清洗过程中的重要步骤。中和阶段的主要任务是通过添加中和剂(如碳酸钠)将管道内的酸性物质中和,使管道内部的 pH 值恢复到碱性状态。通常,要求在 60℃ 的温度下进行至少 1 小时的串洗,彻底中和酸性物质。在中和过程结束后,即可进行钝化处理。钝化剂(如亚硝酸钠)被加入到管道中,继续进行串洗。这一过程的持续时间通常为 4 小时,钝化剂的作用是形成一层薄薄的氧化膜,阻止氧化皮的重新形成,并确保管道内壁不会发生浮锈现象。经过钝化处理后,管道表面会形成稳定的保护层,有效防止后续的腐蚀,延长管道的使用寿命。

2.4 阶段 4- 排液与冲洗

在完成脱脂、酸洗和钝化后,管道内会残留一定

量的化学清洗液,因此需要进行彻底的排液与冲洗,确保管道内不含任何有害的化学物质。首先,串洗液需要排放到指定的废液回收桶中。排放过程中,通常会使用干燥空气进行辅助排放,确保液体能够完全排出,避免残留在管道内。排液过程完成后,进入最终的冲洗阶段。最终冲洗的目的是去除管道内残余的酸洗液和钝化剂。常用的最终冲洗液是由苏打灰和亚硝酸钠混合而成的弱钝化剂,中和残留的酸性物质,并且继续钝化管道内壁。管道内的所有化学残留物将被完全清除,管道的内壁达到洁净状态,为后续的使用提供理想的基础。

2.5 阶段 5- 检查

化学清洗工作完成后,必须对管道进行彻底检查,以确保清洗效果符合要求。检查的重点包括管道内壁是否干净、是否有锈蚀、氧化皮或其他污染物残留。如果检查发现管道内仍有杂质或污染物,可能需要返回前几个阶段进行补充清洗,直到管道内壁达到理想的清洁标准。此检查阶段通常会采用内窥镜、视觉检查以及化学测试方法来确定管道内的清洁状况。

2.6 阶段 6- 干燥

清洗工作和检查完成后,管道需要进行干燥处理,防止潮湿环境导致腐蚀。管道的干燥通常要求将温度降至露点以下(-5 至 -10℃),确保管道内部完全干燥。如果工艺要求,还需要进行封存处理。常见的封存方式包括充氮封存和喷涂防锈剂等。充氮封存可以有效防止管道内部的氧化反应,而喷涂防锈剂则能够形成一层保护膜,避免管道在存放期间受到外界环境的侵害。

3 石油化工工艺管道化学清洗过程常见问题与解决策略

3.1 存在未溶的异物

未溶的异物如图 1 所示,在石油化工工艺管道的化学清洗过程中,常常会遇到未溶解的异物问题,包括管道内部积累的垢污、铁锈、油污等固体杂质。大多数轻微的垢污可以通过脱脂剂和酸洗剂在串洗过程中溶解并去除,对于难以溶解的异物,传统的化学清洗方法往往不足以完全清除。针对这一问题,建议在进行化学清洗之前,先对管道进行机械预处理,例如使用高压水枪、刷子或振动设备等方式去除表面和较大块的异物,清除大部分不易溶解的杂质,为后续的化学清洗步骤奠定基础。在机械清除后,再进行钝化剂的灌注和串洗,彻底清洗管道内壁,并形成稳定的

钝化层,防止腐蚀的进一步发生。



图 1- 未溶的异物

3.2 浮锈

浮锈(管道上部)如图 2 所示,浮锈的出现主要与两方面的因素密切相关:首先,阻垢剂的作用是防止金属表面产生铁锈和垢物。在清洗过程中,若阻垢剂的投放量不足或分布不均,没有有效的阻垢剂屏障,水分和氧气就会在管道表面直接作用,容易导致局部区域的腐蚀加剧,形成浮锈。其次,在化学清洗完成后,管道内部的表面仍处于潮湿状态,尤其是管道的上部,由于重力作用,水分较难完全排除。如果此时没有及时使用干燥空气将管道内部吹干,湿润的空气会与管道表面接触,进而破坏管道上部尚未完全形成的耐腐蚀钝化层,导致浮锈生成。针对这一问题,在清洗过程中,需投放充足的阻垢剂,全面处理管道上半部区域。此外,在串洗结束后,增加干燥空气的辅助排液,防止湿气对管道表面产生负面影响。对于已经形成浮锈的情况,应及时添加适合的钝化液,再进行至少 1 小时的串洗,以恢复管道表面的保护层,防止锈蚀进一步蔓延。



图 2- 浮锈(管道上部)

3.3 串洗剂残留

串洗剂残留如图 3 所示,串洗剂残留通常发生在排液后的冲洗过程中,在反冲洗不充分或未安排最后一次彻底冲洗的情况下,化学残液可能会留存在管道内部,对管道内的介质产生不良影响,甚至对后续的工艺流程造成污染,导致设备腐蚀或性能下降。串洗剂的残留问题往往发生在清洗过程的最后阶段,尤其是当清洗液体与管道内部积累的杂质和沉积物反应后,残液的处理不彻底时,化学药剂和溶解物可能滞

留在管道内。不仅会影响管道的清洁度,而且会对管道的腐蚀行为产生不利影响,甚至对之后的生产流程造成潜在的风险。为了解决这一问题,需要在清洗过程中安排充分的冲洗和反冲洗,确保清洗液体能够完全流出,避免化学药剂残留。在最后冲洗阶段,采用专门的冲洗剂进行彻底清洗,冲走所有化学药剂,并且管道内部不留任何残液。此外,严格控制冲洗过程中的水流量、流速和时间,保证每个管段都能够经过充分清洗。若条件允许,可以采用高压水枪或其他清洗设备辅助冲洗,提高残留物去除效率。



图 3- 串洗剂残留

在对管道进行全面清晰后,合格情况如图 4 所示。



图 4- 合格的内部表面

4 结束语

有效的化学清洗,是严格按照工艺设定的步骤,以及过程中的严格监控来得以实现,同时经过有效的化清处理的管段,能够有效的延长在线设备的连续服役时长。

参考文献:

- [1] 高胜利,惠琰.大型煤化工项目开工前化学清洗实践总结[J].清洗世界,2022,38(03):17-19.
- [2] 章琴.石油化工管道 PIG 清洗技术及运用研究[J].云南化工,2021,48(07):154-156.
- [3] 何娜娜.油气运输管道智能清洗管理研究[J].石油工业技术监督,2020,36(06):6-9+14.
- [4] 王雄飞.石油化工管道 PIG 清洗技术研究与应用[J].云南化工,2020,47(04):138-140.

作者简介:

赵亚宁(1988.12-)男,汉族,籍贯:山东枣庄,职称:中级工程师,学历:大学本科,研究方向:海洋工程加工设计。