

浅谈原油（燃料油）罐机械清洗工艺及风险应对措施

孙华斌（青岛港国际油港有限公司，山东 青岛 266500）

摘要：本文重点介绍国内当前油罐机械清洗原理和工艺，并对清洗工艺中存在风险、应对措施以及优缺点和下一步展望进行阐述，为进一步提高油罐清洗安全提供借鉴。

关键词：机械清洗；工艺原理；风险；优缺点；安全

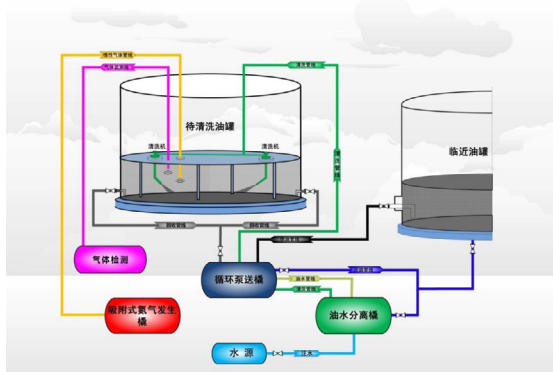
1 引言

油罐作为油品主要的储存容器，其安全状况极为重要。因原油（燃料油）中含有水及酸类物质对油罐腐蚀不可避免，如果不定期检测维护保养就会存在重大安全隐患。为保证油罐安全运行，就需要定期对油罐进行维修保养，作为油罐维修的前置条件，油罐清洗是十分必要了。

2 清洗原理和工艺

为了保证清洗过程安全，目前国内油罐清洗基本采用机械清洗，最大限度减少人工参与。机械清洗主要原理是将同种油（或理化性质更好的油品）和清水作为清洗介质，并加热到一定温度，对罐内油品进行冲刷和溶解，并回收清洗过程产生的油污水，以达到最好清洗效果。

储油罐机械清洗采用热源加热清洗介质，结合喷射式清洗机的压力和流量，对储油罐内的凝结物和淤渣进行冲击、破碎、溶解，并回收其中的烃类组分。清洗介质通常采用同种油或轻质油作为有机溶剂，抽吸出的残油和淤渣的混合物储存在与被清洗罐相邻的储油罐内。为了保证清洗作业的安全性和环境保护，清洗设备与被清洗罐之间需采用管线连接，清洗介质及回收的油渣在管线内输送，不会对环境产生污染。在清洗前和清洗过程中，需向清洗罐内注入惰气，控制油罐内的含氧量在 8% 以下，以满足防火、防爆的要求。主要原理和工艺如下图：



2.1 设备组装和调试

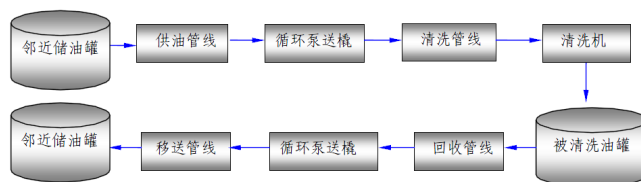
设备（空压机、制氮机、泵、分离撬、气体检测柜）、管线、清洗枪等设备设施安装、气密试验、系统联调等。

2.2 残油移送

将罐内残油移到回收罐（临近油罐），最终确保罐内液位低于罐壁人孔，即罐内液位为 400mm 时停止移送。

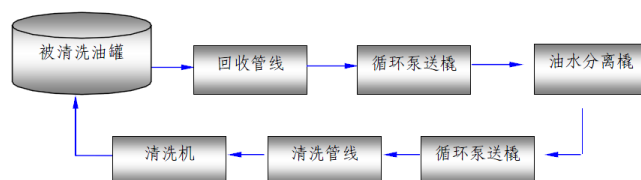
2.3 同种油清洗

从临近油罐提供同种油给清洗设备，通过清洗泵加压，经换热器将清洗油提温，输送至罐顶浮盘清洗机，对罐内沉积物进行压力冲击。击碎溶解的沉积物，再由回收设备进行回收，移送至回收油罐。



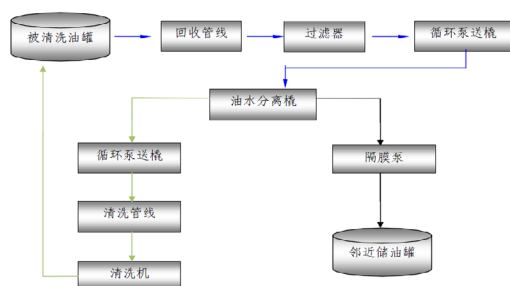
2.4 水清洗

将清水通入油水分离撬，通过蒸汽将油水分离撬内水加热，待加热到 60-70 度后通过清洗流程注入到被清洗罐，对该罐进行清洗，回收的介质通过循环泵送撬移到油水分离撬，温水循环使用，分离出的低硫燃料油通过移送管线移到回收油罐。



2.5 残油回收

通过油水分离撬进行油水分离，其中分离出的油品通过隔膜泵和管线回收至储油罐；油污水可通过外部油罐车拉运处理。



2.6 罐内通风

浮盘人孔、罐壁人孔全打开，采用防爆轴流风机进行通风，轴流风机使用排风管安装在人孔上，通风时间在 24h 左右。

2.7 人工清渣

组织人员进入罐内清理油品残渣和油泥。

3 风险应对

油罐清洗过程中主要存在油品泄漏、火灾、爆炸、窒息、中毒等风险，需要采取以下措施，以便消除隐患，确保风险可控。

3.1 安全培训

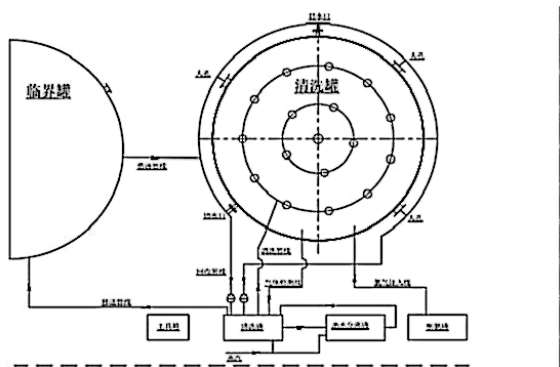
所有入场人员务必经过安全交底和安全培训，务必经过考试合格后上岗，严格遵守安全操作过程，熟悉现场风险和应急处置措施。掌握各人的健康状况，留意健康管理。

3.2 气密试验

所有连接管线进行气密试验，试验压力不低于 4kg，保压时间不少于 30min，气密试验合格后方可进行移油和清洗作业，确保不出现泄漏。

3.3 合理布局清洗枪

清洗枪均匀分布在浮顶周围，一是保证浮顶受力均匀；二是尽量保证清洗范围全覆盖。一般 5 万立方储罐设置 17 杆枪，10 万立方储罐设置 29 杆。下图为 5 万立方清洗枪布置图。



3.3.1 注入惰性气体（氮气）

向罐内注入氮气目的是为了降低罐内氧含量，氧

气作为燃烧三要素条件之一（可燃物、助燃物、点火源），氧含量过低使之达不到燃烧爆炸条件。一是把握注入氮气时机，罐内移油当液位低于罐顶板 20cm 左右时开始进行注氮，直到罐内清洗结束开始通风时停止注氮。二是注氮量要与移油量相匹配，即注氮速率要大于等于移油速率，保证罐内不能形成气相爆炸空间。

3.3.2 实时监测氧含量

清洗枪开始工作即进入正式清洗阶段，清洗的前置条件是罐内氧含量必须低于 8%，在清洗过程中一旦监测到氧含量高于 8% 要立即停枪同时继续保持注氮，分析原因排除故障，达到条件后方可继续开枪。

3.3.3 控制水清洗温度

水清洗温度越高清洗效果越好，但温度过高会造成油水混合液沸腾外溢，产生更多静电风险，通过实际操作摸索水温控制在 60 度左右效果佳。

3.3.4 严控进罐作业条件

人员进罐作业的条件：氧气浓度 19.5–23.5VOL%，可燃气体浓度 0.01VOL% 以下，硫化氢浓度 0ppm。人员首次进罐要佩戴正压式呼吸器，随身携带四合一（氧气、可燃气体、一氧化碳、硫化氢）检测仪沿罐内徒步检测合格后，人员方可正式进罐作业。人员集中进入罐内清渣作业前要将一二次密封拆除、所有人孔打开，确保罐内与外界有足够空气流通。

4 机械清洗优点

目前国内油罐机械清洗工艺应用越来越普遍，技术也越来越成熟，相比早期的人工清洗更加安全、可靠和环保，尤其是减少了人工参与度，最大限度保障了人身安全。传统的储罐人工清洗方式存在一定的安全隐患和环境污染风险，同时清洗时间也比较长。而机械清洗技术则能够实现储油罐全过程的封闭清洗，避免了工作人员因接触有害物质而产生的危险。此外，机械清洗技术能够高效地清洗储罐，从而缩短清洗时间，降低清洗成本。在清洗过程中，由于机械清洗技术采用了封闭式清洗，可以避免废水和废气的排放，从而减少了对环境的污染。同时，机械清洗技术还能够提高罐底油回收率，避免资源浪费。

4.1 安全性高

机械清洗过程中采用封闭式清洗，减少了工作人员与有害物质接触的风险，避免了人身安全隐患。

4.2 清洗效率高

机械清洗可以全面而迅速地清洗储油罐，缩短了

清洗时间,降低了清洗成本。同时,机械清洗还能够清洗罐体和罐底,保证清洗效果。

4.3 无环境污染

机械清洗采用封闭式清洗,减少了废水和废气的排放,从而减少了对环境的污染,符合环保要求。

4.4 回收率高

机械清洗技术可以提高罐底油的回收率,减少了资源浪费,具有经济效益。

4.5 适用性广

机械清洗可以适用于各种类型的储油罐,无论是大型还是小型的储油罐都可以进行清洗,具有广泛的适用性。

5 机械清洗缺点

实际操作中发现因油罐长时间运转(尤其十年以上油罐),经同种油和水清洗后罐底仍然存留较多油泥和残渣,必须依靠人工进罐清渣。5万方油罐20人同时进罐作业一般7-10天左右才能清理完毕,在这期间风险仍然较高,进罐作业人员随时面临着窒息和中毒的风险。

6 储罐机械清洗技术的发展分析

6.1 实现机械清罐自动化

储罐机械清洗设备是一种半自动化设备,通常需要进行大量的操作。然而,在油田生产中,越来越多的领域已经开始朝着无人值守的方式进行发展。因此,实现储罐机械清洗设备的自动化运行已成为我们当前研究的重点方向。为了实现机械清罐设备的自动化运行,研发团队正在开展一系列的研究工作。首先,技术人员正在寻求先进的机械技术,以提高设备的自动化程度和效率。其次,团队正在研究各种自动控制系统,以确保设备可以准确地执行任务,并及时进行故障诊断和维修。在此基础上,还将结合大数据、云计算、物联网等技术手段,建立起完整的智能化管理体系。这将使得机械清罐设备可以实现远程监控和控制,进一步提高设备的自动化程度和工作效率。

6.2 规模化、集中化的探讨

近年来,随着石化行业的快速发展,储罐维修、罐底油再分离、油泥处理、水处理等相关业务变得越来越重要。这些业务在油罐维检修全过程中扮演着关键的角色,确保储罐能够安全高效地运行。然而,由于这些业务通常由不同的供应商承担,这给属地管理方带来了一定的管理成本和沟通成本。为了优化这一过程,可以考虑将储罐维修、罐底油再分离、油泥处

理、水处理等相关业务与机械清罐工作整合起来。将所有的维检修业务整合在一起,从而降低属地管理方的管理成本,提高机械清罐施工方的业务范围。同时,通过整合后的业务范围,机械清罐施工方可以为客户提供更加全面的维检修服务,从而提高产值。

6.3 小型化的研究方向

机械清罐设备的小型化研究是当前的热点方向之一。传统的机械清罐设备体积庞大、重量沉重,难以适应一些狭小空间和特殊环境的作业需求,且在油田现场经常把吊装作为高风险作业进行管控。因此,将机械清罐设备进行小型化研究,可以使其更加灵活、便携、高效地执行清罐任务。小型化研究的方向主要包括以下几个方面:研究并采用新型的轻质材料和紧凑型设计方案,减小设备的体积和重量。例如,采用新型合金材料或者高强度轻质材料制作设备外壳和部件,采用模块化设计方案,使得设备可以快速拆卸和组装,提高设备的灵活性和便携性。研究并采用新型的驱动和控制技术,提高设备的精度和自动化程度。例如,采用微型电机和智能控制芯片,实现设备的精准控制和定位;采用传感器和反馈控制技术,实现设备的自适应调节和故障自诊断等。减少油田现场的工程量,降低风险因素。

7 结束语

目前随着国内AI技术和智能制造技术兴起,如采用智能机器人代替人工进罐清渣作业,能够将机械清洗最后一个环节风险彻底消除,整个作业流程无人直接参与,真正实现机械清洗的本质安全。

参考文献:

- [1] 宫晓伟. 浅谈储油罐机械清洗用机械密封失效因素及使用要点[J]. 清洗世界, 2023, 39(02): 4-6+9.
- [2] 仇军华, 范海明. 减压渣油罐机械清洗工艺优化[J]. 设备管理与维修, 2022(07): 81-82.
- [3] 吴骞. 大型立式储油罐机械清洗技术及应用[J]. 清洗世界, 2021, 37(08): 133-134.
- [4] 张映天. 储油罐机械清洗技术在加油站的应用研究[J]. 清洗世界, 2020, 36(11): 1-2.
- [5] 郑君. 储油罐机械清洗技术的探讨与分析[J]. 石化技术, 2020, 27(11): 62-63.
- [6] 车军权. 埋地油罐一体化机械清洗设备分析[J]. 化工管理, 2020(21): 157-158.
- [7] 宫晓伟, 何茂金, 喻学孔. 储油罐机械清洗技术研究及应用分析[J]. 清洗世界, 2020, 36(04): 1-3.