

大型外浮顶原油储罐机械清洗作业要点及管理措施

付 闯 (中国石油辽河油田油气集输公司, 辽宁 盘锦 124000)

摘 要: 目前, 大型外浮顶原油储罐通常采用机械清洗的清罐方式。但行业内储罐机械清洗作业普遍存在机械清洗不彻底、施工风险不受控等问题, 极易导致安全生产事故的发生。本文通过介绍机械清洗的要点及对应的管控措施, 旨在提高机械清洗作业效率, 提高机械清洗质量, 最大程度确保防范生产安全事故发生。

关键词: 外浮顶储罐; 原油储罐; 清罐作业; 机械清洗; 安全质量管理

目前国家、行业对储罐开罐检验和储罐大修周期提出了明确的要求, 储罐清洗作业越来越普遍。近年来, 石油石化行业在油品储罐清洗过程中多次发生安全生产事故, 造成人员伤亡、财产损失和环境污染。因此, 多数石油石化行业企业已明确要求具备条件的油品储罐必须进行机械化清洗。本文通过分析大型外浮顶原油储罐机械清洗作业的要点和难点, 并从质量和安全两方面制定相应的管理措施, 旨在实现专业化、规范化、标准化的清洗工作, 防止安全生产事故的发生。

1 大型外浮顶原油储罐机械清洗作业

本文提到的大型外浮顶原油储罐指的是容量不小于 10 m^3 的储罐 (以下简称储罐)。目前, 石油石化行业通常采用机械清洗的作业方式, 清洗作业由清洗准备、机械清洗、人工最终清洗组成。

①清洗准备: 清洗队伍选择、现场勘察、方案编制、清洗设备安装;

②机械清洗: 油中搅拌、原油移送作业、同种油清洗、余油移送作业、温水清洗;

③人工最终清洗: 人工清渣、罐内附件清理。

2 清洗作业要点及管控措施

储罐机械清洗包括油中搅拌、同种油清洗、温水清洗、人工最终清洗等主要清洗方式, 每个清洗方式包含多个施工工序, 每一工序又都对下一道工序产生较大影响。因此, 在清洗过程中应从源头进行控制, 严把每一环节、每一道工序、每一施工步骤的质量, 确保质量安全受控。下面针对清洗作业中关键步骤、清洗要点进行说明, 并列出了主要管控措施。

2.1 清洗准备

2.1.1 清洗队伍选择

近年来, 由于清罐作业的兴起, 清罐作业队伍增多。由于目前国家尚未对清罐作业实行限制性资格准入制度, 因此清罐队伍素质参差不齐, 导致安全生产

事故和违约纠纷频发, 主要的问题表现在以下几个方面, 一是储罐机械清洗不彻底, 更多的依赖人工进罐清洗, 极大增加了清洗作业风险。二是清罐工期超过合同约定, 长期占用清洗储罐, 影响储罐的投入运行。三是清洗效率低, 罐内含油沉积物没能有效溶解并移送, 导致大量的油泥、淤渣通过装袋的方式被清出, 即浪费了油品资源, 又极大提高了企业危险废物处置成本。

管理措施: 一是企业应根据清洗队伍基本情况、人员职业技能等级、清洗设备完好率、清洗业绩等方面综合评定储罐清洗队伍能力。建议企业从中国工业清洗协会认定的具有储罐机械清洗 A 级能力的队伍中选择, 必要时也可以从取得了石油石化企业机械清洗准入资格的队伍中选择。二是在人员入场后对清洗单位和人员资质进行严格查验, 项目经理及主要操作人员必须持有工业清洗职业技能证书, 避免某石化公司由于清罐队伍转包分包发生的“6·29”储罐爆燃事故。

2.1.2 现场勘察

在清罐作业开始前, 清罐队伍往往忽视对现场的勘察, 由于油品物性、环境因素等关键信息的缺乏, 施工准备不充分, 严重影响清洗质量和作业安全。以某北方油库一座 10 万方外浮顶原油储罐清洗作业为例, 由于该清洗储罐在运行期间中接收了多座储罐的底油, 多年未进行收发油作业, 且清罐发生在较寒冷月份, 导致该清洗罐沉积物较多、油泥流动性较差, 清罐施工单位未能根据上述实际情况制定清洗方案, 导致机械清洗达不到预期效果, 最终只能通过人工的方式清洗, 即延长了施工工期, 又极大增加了施工风险。

管理措施: 一是作业前应对作业现场进行勘察, 确定清洗设备设施的布置位置、现场用水用电方式、危废临时存储地点等。二是作业前对作业环境、作业天气进行勘察, 针对雷雨天气、低温天气等恶劣天气

制定有效的防范措施。三是作业前对作业储罐运行情况及油品物性进行勘察,了解罐内油品液位、温度、凝固点、流动性等物性参数以及罐底沉积物厚度、分布,必要时应对罐底油泥、淤渣进行取样化验,根据上述信息确定清洗计划和清洗方案。四是在检测罐底沉积物高度时,宜使用量油尺,当沉积物较厚、较硬,量油尺无法打到罐底时,宜采用绝缘杆进行辅助测量,避免采用金属杆。

2.1.3 方案编制

清罐作业涉及管线打开作业、受限空间作业、临时用电作业等多种高危、高风险作业。同时在清洗设备安装、原油移送过程、能量隔离过程中都需要施工方与建设单位的沟通协调、相互配合,因此应在清洗前明确建设单位、清罐队伍、属地单位各方职责界面及工作协调机制,有序开展清罐作业。

管理措施:作业前建设单位应组织施工单位编制施工组织设计,施工组织设计应包括工程概况、编制依据、施工组织机构及职责、施工部署、施工工序、清洗机运行计划、质量管理、HSE 管理、进度管理施工总平面布置等内容。二是方案中应重点明确油中搅拌、同种油清洗和温水清洗的分项验收标准。三是对于危险性较大的作业编制专项施工方案。

2.1.4 清洗设备安装

清洗设备、临时管线与清洗罐及旁接油罐连接,管路中的介质为污油或污水,在清罐过程中经常会出现油品的泄漏或油水分离槽的溢流,引发环境污染或火灾爆炸事故。

管理措施:一是临时管线与储罐本体及附件连接时,应使用挠性管进行连接,并留有一定的余量。二是临时管线涉及到穿越道路时,必须采取措施保证消防车辆的正常通行,且临时管线的法兰不宜布置在穿越道路上。三是临时管线连接完成后,应调试清洗装置,并进行严密性试验,管线试验压力应高于清洗作业工作压力,试压时间不少于 30min。四是所有清洗设备、临时管线区域必须进行防渗处理。五是所有临时管线应安装接地线,管线法兰安装跨接线^[1]。

2.2 机械清洗

2.2.1 油中搅拌

当罐底沉积物较多,沉积物阻挡清洗油直接打到罐底表面时,为降低淤渣高度应进行油搅拌作业。但在清洗作业中,通常不进行油中搅拌而直接进行同种油清洗或将油中搅拌代替同种油清洗,这两种做法对于罐底沉积物较少、油品物性较好的储罐清洗影响不

大,但对罐底沉积物较多、淤渣凝固点低、流动性差的储罐清洗影响很大。

管理措施:一是油中搅拌作业时,为确保搅拌效果,储罐的液位不应过高,宜将液位控制在储罐安全液位下限。二是根据罐内沉积物量和分布特点,合理选择循环方式或对流方式进行油中搅拌作业。三是油中搅拌效果不好时,在企业同意的情况下,可以启动储罐本体搅拌器,进行辅助搅拌,提高搅拌效果。四是应明确油中搅拌合格的判定标准,即罐内沉积物高度在 300mm 以下或沉积物高度已无法通过搅拌继续降低时,方可进行下步作业。

2.2.2 原油移送作业

油中搅拌结束后,应将罐内部分原油移送至回收储罐,为同种油清洗做准备。在原油移送作业过程中,由于浮盘下表面和液面的分离形成爆炸性混合气体气象空间,当储罐遇雷击、静电、杂散电流等点火源时,极易发生火灾爆炸事故,因此应重点对该环节的安全进行管控。

管理措施:一是在原油移送作业中,当储罐浮盘与液面间出现气象空间时,立即暂时停止油移送,人员上罐使用密封材料对导向柱与罐顶连通部位、自动通气阀等罐顶不严密部位进行封堵。二是封堵结束后人员下罐,向罐内注入惰性气体进行惰化保护,惰性气体的注入量应小于原油移送作业流量,保持罐内微正压。三是应控制原油移送过程中油品流速,管路中油品流速不应大于 1m/s。四是宜选用锅炉尾气作为惰化气体。当选用氮气时,因液氮汽化的氮气温度低,不利于后续清洗作业,因此宜使用吸附制氮机产生的氮气,避免使用液氮汽化方式产生的氮气。四是持续对罐内可燃气体和氧气浓度进行检测,氧气浓度应保持在 8% 以下,当氧气浓度超过 8% 时应立即停止移送作业,确认惰性气体浓度、气体注入流量、原油移送流量,排查气体分析仪器及气体管路的完好性,分析问题原因,直至氧气浓度下降到 8% 以下。五是原油移送作业期间,应每小时对清洗设备及管线进行检查。六是雷雨、大风等恶劣天气禁止原油移送作业。

2.2.3 同种油清洗

同种油清洗是指通过清洗设备对罐内进行喷射,稀释溶解淤渣、沉积物,并对溶解后的原油混合物回收的作业过程。同种油清洗是清洗作业中的关键环节,当同种油清洗效果不好,罐内淤渣无法清除时,温水清洗作业的质量也会收到严重影响。

管理措施:一是合理选择清洗油,清洗油应选择

与清洗储罐粘度相同或粘度较低的油。二是根据淤渣的凝固点、密度、黏度、流动性确定清洗油温度，清洗油温度应高于淤泥凝固点 20℃ 以上；三是应根据清洗设备、罐底淤渣分步制定清洗设备运行计划；四是同种油清洗时，应优先清洗抽吸口位置的沉积物，直到抽吸口的沉积物完全融化再清洗罐内其他区域。五是明确结束同种油清洗合格的判定标准，即通过检测点对淤渣进行检测，当罐底无淤渣后，方可进行下步作业。

2.2.4 余油移送作业

余油移送作业指的同种油清洗结束后，将罐内多余的原油移送至回收罐的过程。当罐内余油液位低无法继续抽吸时，需打开罐壁人孔，安装临时抽吸口，进一步移送罐底余油。由于罐壁人孔的打开，如不采取措施，罐内将会进入空气，形成爆炸性混合气体空间，遇静电、雷击、明火极易发生火灾爆炸事故。

管理措施：一是制作临时抽吸口预制件，该预制件与储罐人孔等径法兰连接，实现对罐壁人孔的有效密封。二是尽可能将罐内余油全部移送完毕，提高后续温水清洗作业的效率。

2.2.5 温水清洗

温水清洗作业是指利用油水的不可混溶性，通过油水分离装置，循环使油水分离的作业。温水清洗作业的关键在于控制水温，目前行业内推荐温水清洗的温度宜在 70℃ 左右，但结合某油库清罐作业历史数据，针对不同种油品，70℃ 的通常不是最优温度，当温度在 60℃ 以上时，某些原油会因为温度的升高而产生明显的乳化现象，形成油包水（W/O）或水包油（O/W）的乳化液，油水分离槽难以将油水的进一步分离。

管理措施：一是根据油品性质，确定合适的清洗水温，既要避免水温低影响沉积物溶解，也要避免水温高造成原油的乳化。二是明确温水清洗合格的判定标准，即油水分离槽的浮油明显减少，仅有少量零星浮油，且清洗储罐内已无明显浮油，方可进行后续作业。三是严格控制回收装置及清洗装置温水流量，使油水分离槽进出温水量相对平衡，防止溢油现象的发生。四是温水清洗后，为防止部分浮油直接粘贴在罐底板上，不便于人工清理作业，也可在罐内留有少量底水，但底水高度不得大于 20mm。

2.3 人工最终清理

人工最终清理指的使用机械清洗完成后，人员进罐对罐内剩余的油泥、油渣、铁锈、杂物进行的清理，也包括对量油孔、导向柱、浮盘支柱、牺牲阳极块、

中央排水管等罐内附件上的油污清理。在清理过程中应重点关注两个方面：一方面是死角的清理，例如浮盘支柱的泄油口容易被油渣堵塞，泄油口会有原油持续渗出。再例如浮盘底板，通常浮盘底板的下表面是断续焊，因此相邻两块浮盘底板之间会持续渗出原油。另一方面是罐内含有硫化亚铁的铁锈与空气中的氧气接触发生氧化反应，当热量聚集达到自燃点时，容易发生火灾事故，特别是对于长期存储高含硫原油的储罐风险更大。

管理措施：一是进罐前再次确认能量隔离完成情况，包括工艺隔离和电气隔离。二是具备条件时，进罐前宜完成一二次密封的拆除工作。三是作业前应采用罐顶引风、罐底通风等方式，按照先罐顶、在罐底下风向、最后罐底上风向的顺序打开人孔通风。四是首次进罐，检测人员应佩戴正压式空气呼吸器进行有毒有害、可燃气体检测，当罐内氧气浓度为 19.5%—21%，可燃气体浓度小于 10%LEL，有毒气体浓度满足 GBZ2.1 要求时，方可进行人工清理作业。五是作业人员应正确佩戴劳动防护用品，包括佩戴防面具、安全帽、护目镜、防静电工服、工鞋、手套等，作业现场配备充足的正压式空气呼吸器。六是现场使用防爆工具及防爆照明设备，防爆照明电压不大于 12V。七是作业期间，应持续进行强制通风，换气量每小时不小于 5 次，当浓度发生变化，人员立即撤出，分析浓度变化原因并采取有效控制措施。八是严格控制罐内人数不应超过 9 人，每 30min 进行人员轮换。九是应及时将罐内铁锈完全清除，并制定有效管控措施，防止硫化亚铁自燃。十是为确保罐内达到动火条件，应重点对支柱、支柱垫板、浮盘底板等死角进行清理，必要时进行反复、多次的清理。

3 结论

清罐作业涉及受限空间、管线打开、临时用电等多种特殊作业。清罐作业属于高危、高风险作业，近年来，清罐安全生产事故频发。同时，清罐的质量直接影响施工过程安全，企业应按照事前控制和主动控制的原则，重点从清洗质量和施工安全两方面严格管理，精心准备，严密组织，科学制定施工组织设计及专项方案，落实国家及行业相关要求，确保作业全过程平稳受控。

参考文献：

- [1] 王世明. 浅析港口外浮顶原油储罐机械清洗作业安全风险[J]. 化工安全与环境, 2022(13).