

大型石油储罐的自动化机械清洗研究

党兴鹏（中国石油兰州石化公司炼油运行三部常减压区域，甘肃 兰州 730060）

摘要：在石化工业生产流程中，对于大型石油储罐的清洗始终是其中不可或缺的重要工序。现阶段，大型石油储罐的清洗正从传统方式逐步转向自动化机械方式。本文聚焦大型石油储罐的自动化机械清洗技术要点、技术分类研究和设备工艺改进提升等关键技术层面，详细阐述了油罐清洁技术原理、先进设备应用和技术优化方式等，对大型石油储罐的自动化机械清洗技术进行了简要探讨，希望对读者有所启示。

关键词：石油储罐；机械清洗；石化工业

0 引言

相较于传统人工清洗，自动化机械清洗具有效率较高的显著特点，且在进行操作时无需人员进入罐内，最大限度保证了操作人员安全。目前，自动化机械清洗技术已在较广范围内实现了充分应用，未来随着相关技术的进一步成熟，可逐步取代传统人工清洗，成为大型石油储罐清洗的主流技术手段。

1 石油储罐自动化机械清洗技术要点

1.1 当前常见石油储罐清洗情况

通常情况下，原油自地下开采出后含有一定比例的杂质，诸如机械杂质、泥土、砂石、石蜡、沥青和重金属盐类等。上述杂质会依比重差区别在油管底部大量沉淀堆积，形成黑色粘稠形态的胶状物质即油罐底泥。该物质体积较大时，其最高可占大型石油储罐容积的约 2%。

油罐底泥是石油储罐主要清洗对象。与常见含油污泥较为不同，油罐底泥碳氢化合物含量占比极高，其中水分约占 25%、泥沙等无机物约占 5%，碳氢化合物约占 70%。利用先进分离技术，可将油罐底泥中 98% 以上的碳氢化合物充分回收利用，使其作为优良资源。

1.2 石油储罐自动化清洗机械组成

现阶段，应用较为广泛的石油储罐自动化机械清洗技术，采用临时敷设管道法，利用管道连接清洗油罐、机械清洗装置和清洁油罐，而后使用部署在清洗油罐上的清洗机械，使用由清洁油罐提供的清洗油，实现对油渣的基本分解。分解过后，将生成物质回送进入清洁油罐中进行温水循环清洗，该步骤可实现对分解物质中残留原油的分离操作。完成这一步骤之后，油罐内剩余的残留油成分将被彻底清除干净。此时开启油罐入口，即可进行后续清洁。使用自动化机械清洗技术涉及到较多机械设备，包括抽吸设备、清洗设

备、AM 喷嘴、气体浓度安检设备和自动过滤器等。

抽吸设备主要负责将清洗油罐中残留的原油充分抽吸并进行输送，抽吸时，抽吸槽利用真空泵产生的真空状态，抽吸并得到清洗机内完成溶解的油渣和残油，同时将抽吸泵移送清洁油罐当中。同时，在真空抽吸泵中的可燃气体将被送回清洗油罐，以求维持油罐内部压力。清洗装置使用热交换器对油进行加热处理，依托清洁油罐将清洗油供给给清洗机械。

AM 喷嘴主要部署在清洗油罐的浮船顶部，使用时可喷射压力为 0.5MPa 的流体进入油罐内部，利用流体的压力将罐内残余淤渣分解殆尽。气体浓度安全检测装置包含检测装置和取样装置组成，依托顺序转换的基本原理，可准确得出油罐内部包括可燃气体和氧气在内的浓度，同时记录数值，便于技术人员选择合适的清洗时机。部署在抽吸装置与清洗油罐之间的自动过滤器，主要用于将原油中残留的泥沙和金属物等过滤出来，阻止其混入回收泵从而不利于清洗操作。

1.3 石油储罐自动化机械清洗装置现场操作工艺

石油储罐自动化机械清洗装置现场工艺涵盖临时工艺、移送工艺、温水清洗工艺、同种油清洗工艺、内部全面清扫工艺以及附带的收尾工作。

临时工艺要求技术人员在进行清洗操作时，依照临时管道敷设图纸进行部署。部署的同时，使用约 0.7MPa 的大气压强对其渗漏性进行测试，确保其具备良好的密封性。移送工艺要求技术人员在启动清洗机械前，将清洗油罐中储存的流动性油水输送至清洁油罐当中。油罐内部在填充入氮气后，因能够形成一定体积的气体空间，故而可提升操作安全系数。

同种油清洗工艺使用清洁油罐供给的清洗油，对罐内残留着的淤渣进行粉碎和溶解，促使其由凝固和固定状态转向分散与流动状态，最终使其回流进入清洁油罐。温水清洗工艺通过使用同种油进行清洗，能

够将绝大部分淤渣清除干净，而后，将适量水加入油罐，使循环、清洗和加热等操作步骤同时进行，在循环操作步骤中部署油水分离装置，依托隔膜泵实现油分回收，并通过温水清理实现淤渣的进一步脱油效果。完成淤渣等深度清理操作后，此时油罐内部残留物质相对较少，可使用全面清扫工艺，依靠相关设备的协助将未能被清除干净的固态物、铁锈和残土等清除出油罐。待清理完成后进行相关收尾工作，拆除临时管道，撤下清洁油罐和清洗油罐^[1]。

2 石油储罐自动化机械清洗设备技术分类研究

2.1 COWS 油罐清理系统

COWS 油罐清理系统，始于上世纪 70 年代，80 年代中期引入我国，现今已在我国部分石油生产区域得到了高效应用。COWS 油罐清理系统的基本原理为，通过在全程封闭的状态下，使用同种油清洗工艺实现对油罐的自动化机械清洗，同时实现油罐罐底残余全部原油的高效利用。COWS 系统全程封闭流程处理的特点，使其具有显著的低污染和高安全系数等优点。

COWS 系统的主要组成部分包括回收设备、清洗机械、换热清洗系统、氮气发生装置和气体监测装置等。换热清洗系统通过持续加温清洗的方式，提升自动清洗整体效果。油分回收系统使用压力为 0.6—0.65MPa 之间的输送压力，将清洗油泵送进入清洗机械当中。清洗机械接收到清洗油后即可开始进行喷射清洗作业。

COWS 系统主要采用 AM 式气驱动清洗机械等液压式清洗机械进行操作。该机械主要包括罐顶部的清洗喷射枪、气体驱动单元和二者之间的传动结构等部件。当清洗机械进入运转后，气体驱动单元中的马达将为清洗喷射枪的伞状齿轮结构提供运转动力，推动齿轮进行三维运动，同时转变阀门态势，通过转变旋转角度和喷射角度，在水平方向和垂直方向实现大幅度动作，以利于油罐罐顶、罐底和罐壁等各部位的全方位无死角清洗。COWS 系统的清洗流程较为简单，当清洗开始时，技术人员首先将诸如氮气等惰性气体注入油罐，同时，清洗机械接收由泵输送而来的清洗油，并将其采用适当压力喷射罐内淤渣。当确认罐内淤渣初步溶解完成后，将生成的混合物输送进入分离装置。分离得到的原油回收利用，同时产生的污水可经后续相关处理后循环使用。

2.2 BLABO 油罐清理系统

BLABO 系统出现于上世纪 90 年代初，21 世纪初

引入我国并投入应用。BLABO 系统相较于 COWS 系统而言具备更优良的油罐清洗效果，因其全部设备可统一部署在集装箱内，因而便于运输，机动性能较强。BLABO 系统主要由油泥抽吸装置、喷射装置、分离循环装置和撇油系统等组成，具备同 COWS 系统较为类似的淤渣清洗过程。但与 COWS 系统不同的是，BLABO 系统主要使用液压驱动的清洗机械，相较于气驱动具有更强大的清洁能力和更高效的混合残留物回收处理能力。

BLABO 系统的主要特点在于，其在进行油罐内部固体残渣分离操作时，通过在油水分离装置中部署水力旋流机、碟式分离机和卧式螺旋沉降离心机等进行操作，并在撇油环节使用特殊两级的多层孔板状聚结器进行进一步固液分离操作，在较为顺利的情况下，油渣分离效果能够接近 100%。

同 COWS 系统相比，BLABO 系统使用的液压驱动喷射设备具有更好的清洁效果，同时，其油水分离操作能够在撇油模块特殊聚结器的使用下更加彻底，避免了原油浪费。此外，BLABO 系统相较于 COWS 系统具有更小的占地面积和更短的操作准备时间。不过，BLABO 造价相对较高，且设备运行维护费用亦相对较高，部分重要部件，诸如油水分离聚结器因使用寿命较短的缘故，需经常更换。就使用情况而言，COWS 系统适用于面积大于 100000 m² 的大型、特大型油罐清洗作业，而 BLABO 系统适用于原油油罐、重质燃油油罐等容积较大、操作难度较高的油罐清洗作业^[2]。

3 石油储罐自动化机械清洗设备工艺改进与提升

3.1 石油储罐自动化机械清洗操作分析

现阶段，我国油罐储存中高硫原油占比逐年增加。油罐在进行清洗操作时，含有硫化氢的混合气体将从油罐内部排出进入空气。技术人员在进行自动化机械清洗作业时，应首先将经过加压操作的轻质、中质原油经清洗机械的喷射枪口射出，使油罐内的淤渣被充分击碎并进一步溶解。在这一过程中，清洗介质将与油罐内的空气发生摩擦，进而产生静电。静电在原油对罐底、罐壁和罐顶的冲刷过程中会形成充电电雾，不利于清洗操作，同时会产生一定程度上的安全隐患。

因此，为确保清洗作业能够在安全条件下进行，技术人员应将油罐进行静电接地处理，同时将氮气等惰性气体填充进去，将油罐内部氧气浓度降低到约 8%vol 以下，使其符合非爆气体条件。需要注意的是，这一步骤会导致油罐内含有硫化氢的混合气体被置换

到罐外。由于硫化氢对人体毒性极大，若其在空气中大量积聚、含量达到 10PPm 以上，会对操作人员生命安全造成严重威胁，同时对周边环境造成污染。因此，对于经置换而排出油罐的硫化氢混合气体，技术人员需在清洗操作开始前即准备好相关的收集设备，待气体置换完成后即将其收集完毕，避免作业事故的发生^[3]。

3.2 原油清洗工艺改进

第一，建立碱液泡沫洗涤吸附塔。这一装置应部署在油罐罐顶平台上，并加装有碱液循环泵。其主要作用即泵吸位于地面碱液槽内的碱液，使其进入吸附塔内自上而下进行喷淋，利用碱液的吸附原理，充分收集并吸收油罐清理过程中产生的各类有害气体。具体为：碱液使用浓度约为 9% 左右的氢氧化钠溶液，利用油罐清洗作业中产生的各类有害气体大多可溶于水的基本特点，使碱液与此类气体溶于水后形成的酸性溶液发生中和反应，生成对人体和周围环境无害的盐和水，从而达到吸附的目的。此外，氢氧化钠不会在常温下与铁等金属发生反应，不会有损油罐罐体，故而使用碱液可确保安全。

第二，自动化机械清洗工艺的改进。对此方面的改进主要涵盖机械清洗工艺和热水清洗工艺两大主要方面。

清洗工艺的改进基于碱液泡沫吸附技术进行。首先应在碱液循环槽中配比好浓度约为 9% 的氢氧化钠溶液，并启动碱液循环泵等设备。待泡沫吸附塔能够正常运转后，使用 PSA 制氮机开始置换操作，同时使用机械清洗设备，利用其真空回收装置将油罐中的残油抽吸干净，使用喷射枪和离心泵清洗储油罐，直至油泥被击碎、溶解成为流体油后，送入移送工序反复清洗，直至罐底油泥全部移送完成^[4]。

热水清洗工艺的改进需要技术人员将传统水洗工艺转变为碱液水洗。技术人员将配制完毕的碱水利用清洗泵、真空罐和喷射枪发送至油罐，使其与罐底油泥充分混合后，罐底油泥内部含有的有害物质，将与碱水中的氢氧化钠进行充分反应，便于后续进一步清理。

3.3 自动化机械清洗设备改进与工期缩短

第一，对惰性气体的改进。过去制备油罐清洗所需惰性气体时，通常使用现场配制方法，通过惰性气体发生器进行操作。设备产生的烟气在完成降压和降温操作后，即可将产生的惰性气体用于油罐清洗工作。产生的惰性气体进入油罐后，技术人员将罐内氧气浓度降低，利用换热器使产生的蒸汽对清洗油进行加热。

现阶段，惰性气体的制备可选用 PSA 制氮机进行，该设备可将清洗区域或油罐附近空气作为制备原料，将空气通过变压吸附、净化和升压等操作后得到氮气。通过 PSA 制氮机得到的氮气纯度较旧式方法更高。将制备得到的氮气进行置换以降低罐内氧气浓度后，使用“一边移油、一边向罐内填充氮气”的操作工艺，不但为原油移送出去后留下了充足的气体空间，而且可缩短注气时间。在常温条件下进行油洗或水洗操作，省去了加热处理这一步骤，进而防止原油在加热过程中出现轻质成分大量挥发现象，减少资源浪费。

第二，油罐内部液体位置调控与真空抽吸改进。传统油罐清洗操作中，技术人员通常将待清洗油罐移送至相关抽送泵设备附近，当泵无法再吸走罐内残油时，将油罐交由机械清洗。现阶段，经充分研究，这一步骤可改进为将待清洗油罐内的原油液面维持在约 2m 左右，当其中的浮盘支撑柱未与底板相触碰时，再将油罐交付清洗作业。

改进后，抽吸泵抽吸残油和淤渣时，罐壁距离回收装置的抽吸口较远，技术人员除使用离心泵自身进口处具有的负压进行抽吸外，亦可通过借助真空泵产生的极限负压进行辅助。油罐清理作业中的各类泵设备通常在连续作业一段时间后，机体温度即升高至 70℃ 左右，此时只能暂停作业。通过应用泵机同轴、液环式自动连补冷却液等技术手段，可帮助泵机将连续作业时长延长至一天左右，大大提高了清洗作业效率。

4 结论

综上所述，自动化机械清洗相较于传统人工清洗方式，具有更高效、更清洁和更快速的优点，在石化工业规模不断扩大、原油产量逐年提升的当下，自动化机械清洗对大型油罐的高效应用具有显著增益效果。技术人员应积极引进先进设备、努力尝试改进相关操作，从而推动石化工业发展迈上新台阶。

参考文献：

- [1] 赵九洲. 大型原油储罐机械清洗工艺和装备研究与应用 [J]. 石化技术, 2021, 28(12): 180-182.
- [2] 郑子元, 王昌诩. 石油储罐机械清洗及罐底油泥减量处理技术与应用 [J]. 石油石化物资采购, 2022(21): 97-99.
- [3] 徐洪文. 高粘度稠油泵在重污油储罐机械清洗系统中的应用 [J]. 清洗世界, 2022, 38(10): 11-13.
- [4] 费铁成. 原油储罐机械清洗技术的应用与优化 [J]. 清洗世界, 2023, 39(10): 77-79.