

阿联酋15万方原油储罐机械清洗作业的工期优化研究

寇 准, 侯进才*, 田劲松, 王 伟

中国石油管道局工程有限公司国际事业部, 河北 廊坊
Email: kouzhun@cppmde.com, *houjincai@cppmde.com

收稿日期: 2021年5月27日; 录用日期: 2021年6月17日; 发布日期: 2021年6月24日

摘 要

本文通过运用QC理念以及QC统计工具, 分析和解决在阿联酋境内技术标准苛刻、HSE要求高的情况下, 大型(15万方)原油储罐清洗效率进而优化工期的问题, 15万方原油储罐的清洗周期由6.1个月压缩到3.9个月, 为项目工作范围内其他原油储罐的清洗以及类似工程提供了有力支持。

关键词

原油储罐, 机械清洗, 工期优化

*通信作者。

Study on Schedule Optimization of Mechanical Desludging of 150,000 Cubic Meter Crude Oil Storage Tank in UAE

Zhun Kou, Jincal Hou*, Jinsong Tian, Wei Wang

CPP International, China Petroleum Pipeline Engineering Company Limited, Langfang Hebei
Email: kouzhun@c ppmde.com, *houjincal@c ppmde.com

Received: May 27th, 2021; accepted: Jun. 17th, 2021; published: Jun. 24th, 2021

Abstract

By using QC concept and QC statistical tools, this paper analyzes and solves the difficulty of improving desludging efficiency of large crude oil storage tanks (150,000 cubic meters) and optimizing the desludging period under the conditions of harsh technical standards and high HSE requirements in the UAE. The desludging period of 150,000 cubic meters crude oil storage tanks has been reduced from 6.1 months to 3.9 months. It provides strong support for the other crude oil storage tanks desludging within the project scope and similar projects.

Keywords

Oil Storage Tank, No-Man Entry Desludging, Schedule Optimization

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

原油储罐建成投产运行一段时间后,原油中的重组分、泥沙等杂质就会受到重力的作用沉积在罐底,一方面,这些沉积的淤泥使得储罐有效容积减少,利用率降低;另一方面,还会加速腐蚀罐底板防腐层薄弱的地方,腐蚀严重时候可能会发生泄漏。因此,原油储罐需要定期进行罐内淤泥清理和检查翻新工作。根据原油组分、使用环境温度、储罐大小等因素不同,一般的检修周期是5~7年[1],储罐清洗是检修翻新的前提,目前,对于大容量储罐普遍采用机械清洗方法。与人工清洗相比,机械清洗具有施工周期短、人员投入少、自动化程度高、劳动强度小、安全性高、环境污染小等优点。

我公司在阿联酋境内某原油出口终端承揽了4座15万方和1座3万方原油储罐(内浮顶罐)清洗及翻新工作,合同规定,罐清洗作业不允许采用人工清洗,要求15万方储罐在12个月内完成清洗、检测、罐底板替换和防腐、水压试验等所有工作。按照项目实施方案,计划采用机械清洗方式进行罐内淤泥清洗;而清洗作业是第一项工作,是后续检测、维修和防腐工作的前提,它的工期占每座罐计划工期的33%。因此,为了项目按期完工,必须保证清洗作业按计划完成。

通过现场调研了解到,2016年3月份至2019年7月份,业主阿布扎比国家石油公司授标给巴基斯坦一家承包商,在该罐区完成了一座8万原油储罐和一座15万方原油储罐的清洗。该承包商采用的是机械清洗加人工清洗的方案,15万方储罐T1518的清洗周期为6.1个月,业主要求的工期是12个月内完成罐清洗、检测、维修和试压工作,如果清洗工作不优化,将无法满足业主的工期要求;此外,再加上合同中严格的技术指标、HSE要求,以及海外实施项目风险及不确定性较高,稍有不慎,则可能导致工期严重延误。为保证机械清洗效率,减少对后续环节的负影响,项目部于2020年初成立了QC小组,特围绕提高15万方储罐机械清洗效率展开小组活动,来保障项目的顺利实施。

2. 工期优化方案

原油储罐机械清洗是用临时敷设的管道将机械清洗设备与被清洗的原油储罐、清洗油供给油罐及接收油罐连接在一起,先将被清洗油罐底部具有流动性的原油移送至其它油罐中,然后用设置在清洗油罐单盘上的清洗机,喷射轻质原油击碎溶解淤渣及凝油,进行油泥分离作业,并将处理后达标的原油移送至接收油罐中,作业期间,为了保证安全操作,需要连续不间断地向罐内注入氮气,使得罐内氧气浓度保持在8%以下;随后采取强制通风方式降低罐内可燃物浓度,待罐内气体检测合格后,人员进入储罐对内部壁板、支腿,边角进行彻底清扫,最终清除罐内所有油污,以达到罐内动火维修的条件。

原油储罐机械清洗的流程是:设备器材进场、卸车设备就位→竖管安装、罐顶吊装→铺设并连接电缆→临时管线安装→设备安装与调试→管线试压→油中搅拌→原油移送→氮气注入→罐进出油口安装盲板隔离→强制通风→淤积处理→罐内柴油清扫→罐内水清洗→施工场地恢复→临时管线拆卸打包、设备拆除→验收→装车回迁[2][3]。

2.1. 工期优化整体思路

为了保证项目实施过程中有的放矢,在项目实施前,项目部专门进行了现场调研。通过调研了解到,2016年3月份至2019年7月份,业主授标给巴基斯坦一家承包商在该区域完成了一座8万和一座15万方原油储罐的清洗。该承包商采用的是机械清洗加人工清洗的方案,15万方储罐清洗周期为6.1个月(详见图1),业主要求的工期是12个月内完成罐清洗、检测、维修、试压和防腐等所有工作,在现有资源的情况下,如果清洗工作不优化,将无法满足业主的工期要求。



Figure 1. Tank desludging schedule of previous contractor

图1. 上一承包商机械清洗工期计划

为了避免我方出现同样的问题,由我方建议、业主协调组织这家承包商开展了一次经验分享交流会。通过交流我了解到,这家承包商存在的主要问题是,循环清洗主要设备性能不够,工艺自动化程度低,由于现场严格的安全操作要求,人工清理效率极低,最终导致工期严重滞后。

整个清洗流程中,耗时最长的三个工序分别是油中搅拌与原油移送96天,占整个清洗周期的51.89%;淤泥处理41天,占整个清洗周期的22.16%;罐内最终人工清扫35天,占整个清洗周期的18.92%,三者合计92.97%。因此,要想保证按期完工,必须重点关注这三道工序。

罐内最终人工清扫周期的长短取决于两个方面：① 机械清洗后罐内剩余淤泥的数量；② 人工清理的效率。其中，机械清洗后罐内剩余淤泥的量，与油中搅拌与原油移送、淤泥处理这两道工序直接相关，这两道工序的优化调整后，将缩短清洗时间；提人工清理效率的方式有：增加进入罐内工人的数量、增加罐内工人作业时间、夜间加班。但由于储罐内此时仍有油泥混合物，加上是处于密闭空间作业，虽然有鼓风机连续不断送入新风，但安全风险仍然非常高，暂时不考虑压缩这条工序的作业时间。

通过借鉴国内外同类项目的实际经验，QC 小组认为，工期优化重点考虑油中搅拌与原油移送、淤泥处理这两道工序。现状调查显示，目前该罐区上一个承包商实施 15 万方储罐的清洗周期为 6.1 个月，通过与清洗分包商、维抢修公司技术人员多次探讨，QC 小组成员一致认为，虽然国内外清洗工艺不同、业主对安全操作、淤泥处理合格标准的要求不同，但如果借鉴国内同类项目成功实施经验，再通过适当的措施合理控制油中搅拌与原油移送和淤泥处理的时间，可以进一步优化清洗周期。通过与清洗分包商多次优化清洗流程，QC 小组又邀请管道局维抢修公司技术专家指导，并借鉴国内外成功实施的经验，在向业主多次汇报后，业主最终接受我们的方案，在保证满足业主所有安全要求的前提下，最终将清洗周期设定为四个月(120 天)，与项目实施方案保持一致。

2.2. 工期影响因素分析

经过现场测量和查看相关现场施工记录，QC 小组经过多次分析，从储罐清洗的设计理论论证，清洗设备以及淤泥处理设备来分析大型原油储罐(15 万方)影响清洗效率的因素，详见表 1 和图 2。

Table 1. Factor of tank desludging productive
表 1. 清洗效率影响因素分析表

序号	影响因素	确认方法	确认标准	确认内容	要因判断过程	结论
1	真空抽吸清洗罐	现场测量	清洗泵参数和压力满足清洗循环的要求	清洗泵参数和压力是否能够满足清洗循环的要求并建立起循环	小组成员通过查看现场清洗设备的参数和实际效果，发现上一个承包商清洗作业中，实现原油搅拌循环的 2 台离心泵的流量为 100 m ³ /h，扬程为 60 m，导致清洗枪出口的原油射流压力不到 4 bar，不满足现场循环要求。	要因
2	清洗枪布局	现场测量	清洗枪布局需要按照淤泥的分布进行布置	根据罐内淤泥测量的分部，是否合理布置清洗枪的位置	小组成员通过查看上一个承包商清洗枪的布局图，发现清洗枪的布局没有按照罐内淤泥的分布来布置，而是均匀的分布在浮舱上。从而导致罐内部分淤泥没有在循环过程打碎，造成了工期延误。	要因
3	化学药剂	市场调研 样品测试	提到淤泥中原油的回收率	类似项目中化学药剂的使用效果	小组成员经现场提取淤泥样品并送到第三方实验室进行成分及粘度测试，维抢修公司技术专家和机械清洗分包商查看了样品分析报告，一致认为如果选用合适的化学药剂后，可以大大提到了淤泥处理的效率和原油回收率。然而根据合同，明确提出在淤泥处理过程中不允许使用化学药剂。	要因
4	原油搅拌的初始量	现场测量	满足清洗循环的情况下，保证淤积搅拌效率	引入罐内的原油初始量是否满足清洗泵的要求和清洗循环过程要求	小组成员通过查看上一承包商清洗记录，在业主转完油和完淤积测量后，发现在第一遍清洗循环之前，要求业主进入了 1500 方的原油来展开清洗循环过程，与我方 T1519 清洗前计划引入的原油量基本一致。	非要因
5	离心分离处理装置	现场测量	淤泥中的原油回收率达到 95%	将处理完后的淤泥送到业主实验室进行分析，业主同意后 进行淤泥转移	小组成员经现场查看离心分离处理装置，发现它主要由两相离心机、双腔式过滤器、换热器、螺旋输送机、输送泵及自动控制系统等组成。该装置的自动化程序非常高，处理能力：10~15 m ³ /h，可根据由调质罐提供的物料组分及相关参数进行自动调节，保证离心机的平稳运行。	非要因

Continued

6	操作工的熟练程度	现场测量	对清洗工艺流程熟悉并成功15万方原油储罐的经验(至少5年)	是否对清洗工艺流程熟悉和5年的类似工作经验	小组成员通过与技术人员沟通,发现现场3名清洗工程师对机械清洗工艺流程非常熟悉,有的还参与了清洗设备的研发,并在国内有着多年(5年以上)大型原油储罐(10万方和15万方)的经验,可以胜任现场工作。	非要因
7	开展机械清洗作业时的所处的季节	现场观察	季节温度的变化对淤泥流动性的影响	分析季节温度对罐内淤泥的循环是否有影响	小组成员通过调查和阿布扎比常年的温度发现,阿布扎比的夏季温度在40度左右,冬季温度25度左右,根据淤泥的化学成分分析,只有温度达到65度之后,淤泥的流动性才可以缓慢增加,从而可见,在阿布扎比季节温度的变化对机械清洗影响不大。	非要因
8	罐内淤积数量和性质	现场测量 样品测试	15万方的储罐淤泥量和成分	确定罐内的淤积数量和成分变化在合理的误差范围内	小组成员通过与业主工程师调查发现,根据阿布扎比原油的油品,一个15万方的储罐在运行10年后,罐内的淤泥量大约在3000-3500方左右,而T1519的清洗之前的淤泥检测量为3200方,在合理的淤泥量范围内。 通过提取T1519和上一承包商罐内淤积样品,送至第三方实验室进行分析,将报告进行对比后,发现淤积中重油、蜡、沥青、水及其他杂质的占比基本一致。	非要因
9	机械清洗工艺流程	市场调研	国际通用的机械清洗流程	检查现场的设备及参数是否满足国际通用的流程	小组成员通过充分的市场调研与技术交流,在对比了5种机械清洗工艺后,我方选择了罐顶清洗枪清洗工艺,与上一承包商的主要工艺流程一致。	非要因
10	原油和淤积处理的技术标准	现场检查	转油前取样,要求含油量95%以上;淤积处理后,含油率不超过5%	检查现场转油和淤积处理数据,查看是否满足标准	小组成员通过合同的研读,合同明确的规定:转油前取样,要求含油量95%以上;淤积处理后,含油率不超过5%,再经过查看现场记录,每次循环转油和处理转油之前,原油样品都要送到业主实验室进行分析,只有达到合同规定的要求后,方可进行转油。	非要因

通过以上10个影响因素的调查验证,小组最终确定导致大型原油储罐储罐(15万方)循环和清洗不达标的3项要因为清洗枪布局、化学药剂、真空抽吸撬。

2.3. 工期优化方案

针对这三项要因,为了提高清洗效率,制定了如下三项提高清洗效率对策。

2.3.1. 对策一

- 要因: 真空抽吸清洗撬
- 对策: 对真空抽吸清洗撬进行技术升级
- 措施: 升级真空抽吸清洗撬的核心设备,包括真空泵、离心泵及自控系统。
- 主要参数:
 - 1) 真空抽吸具有从待洗油罐抽吸能力,清洗泵能够使介质输送并给清洗机提供动力,采用立式双泵串、并联设计结构,在移送、搅拌、清洗过程中对于大型储罐可根据要求启动双泵并联运行,提高移送、搅拌、清洗效率。
 - 2) 两台离心泵采用瑞士苏尔寿泵,流量: 180 m³/h; 扬程 H = 80 m, 电机功率: 75 KW; 泵密封为机械密封,冷却系统采用 API53 方案。
 - 3) 真空泵采用日本尼可尼水环式真空泵,流量: 4 m³/min, 电机功率为 11 KW, ABB 电机, 隔爆型。
 - 4) 控制柜: 材质为 304SS 以上, 电气元件为 ABB 件, 采用 PLC 控制, PLC 采用美国 OPTO22 系统。

2.3.2. 对策二

- 要因：清洗枪的数量和布局
- 对策：增加清洗枪的数量、进行合理布局
- 措施：

1) 进行淤积测量时，掌握淤积的分布情况和淤积的物理性。在进行淤积测量时，除在合同技术文件规定的 15 处量油点测量外，通过其他位置如呼吸阀、浮顶人孔、溢流口等增加 15 个测量点，从而更加准确的掌握淤积在储罐底部的分布情况并在测量时利用取样工具提取淤积样品，从而了解淤积的成分和流动性。

2) 针对淤积量大而且流动性差的区域，加密清洗枪的布置。在掌握罐底淤积分布情况及流动性后，在淤积量大、流动性差的区域，共增加 5 杆清洗枪，保证原油搅拌时，从清洗枪喷出的高压原油射流能够将淤积充分扰动、溶解、从而具备流动性。

2.3.3. 对策三

- 要因：化学药剂
- 对策：通过使用絮凝剂与破乳剂，促进原油中悬浮杂质的絮凝和沉降和油水分离，提高分离处理系统的效率。
- 措施：

将化学药剂的 MSDS (安全数据单)、药剂注入操作程序以及加药撬 PID 图纸等资料提交业主，向业主说明药剂的作用和在类似项目上的使用效果。同时，向业主说明加入药剂后不会产生挥发、发泡膨胀、腐蚀、污染等问题，保证作业的安全性。按照正确的配比，通过加药撬将化学药剂混入淤泥调制罐，经过 3 小时的混合调制后，再送入分离装置进行处理，从而缩短淤积处理中固液分离与油水分离的时间。

3. 方案实施

通过升级真空抽吸清洗撬的离心泵，清洗枪出口的原油射流压力到达 6 bar，而且整个原油搅拌期间，通过使用自动化系统，大大减少了人工操作的启泵、停泵次数，外加上优化、调整清洗枪的布置，浮顶罐 T-1519 的原油搅拌时间为 65 天，相对浮顶罐 T-1518 原油搅拌的 96 天，缩短了 31 天。

通过使用了化学药剂，储罐 T-1519 的淤积处理时间为 23 天，与浮顶罐 T-1518 的淤积处理天数 41 天相比，缩短了 18 天。

通过采取工艺、技术措施，项目实施的第一座储罐 T1519 各个阶段所需时间如图 2 所示，整个清洗工期为 3.9 个月(118 天)，与目标清洗工期 4 个月相比，工期节约 0.1 个月(2 天)，工期优化实现预期目标，详见表 2。

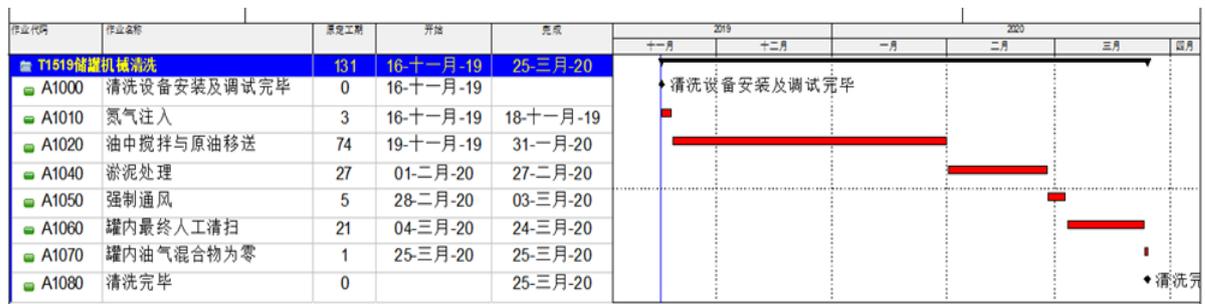


Figure 2. Tank desludging schedule after optimization

图 2. 工期优化后清洗计划

Table 2. Schedule comparison of 15 m³ tank desludging activities
表 2. 方案实施前后 15 万方储罐清洗周期对照表

工艺流程	实施前(上一承包商)			实施后(第一座储罐 T1519)			实施效果
	开始时间	完成时间	工期	开始时间	完成时间	工期	工期优化
清洗设备安装及调试完毕	2018-04-03		0	2019-11-16		0	0
氮气注入	2018-04-03	2018-04-07	5	2019-11-16	2019-11-18	3	2
油中搅拌与原油移送	2018-04-08	2018-07-12	96	2019-11-19	2020-01-22	65	31
淤泥处理	2018-07-13	2018-08-22	41	2020-01-23	2020-02-14	23	18
强制通风	2018-08-23	2018-08-29	7	2020-02-15	2020-02-19	5	2
罐内最终人工清扫	2018-08-30	2018-10-03	35	2020-02-20	2020-03-11	21	14
罐内油气混合物为零	2018-10-04	2018-10-04	1	2020-03-12	2020-03-12	1	0
清洗完毕		2018-10-04	0		2020-03-12	0	0
合计			185			118	67

4. 结束语

通过本次 QC 活动,成功地将清洗工期优化为 3.9 个月,为按照合同规定工期完成后续检测、维修提供了保障,同时,由于工期缩短,节约了为分包商提供食宿费用、其他车辆和设备等配合费用,第一座罐共计节省人民币 32.66 万元。

与其他承包商相比,在同一个罐区,业主要求和外部环境完全一致的情况下,15 万方原油储罐的清洗周期从 6.1 个月,优化为现在的 3.9 个月,业主对我方表现非常满意,计划新增其他储罐由我方来负责清洗。

参考文献

- [1] 苏吉鑫,王永强,陈正文,庞雷,等. 储罐机械清洗设备的工艺改进[J]. 流体机械, 2014, 42(11): 47-48.
- [2] 王安军,袁浩. COWS 原油储罐清洗技术在吐哈油库的应用[J]. 管道技术与设备, 2012(5): 46-49.
- [3] 刘建强,李双林. 储油罐机械清洗技术在油田的应用推广[J]. 清洗世界, 2009, 25(12): 3-6.