

基于危化品物流罐箱环保清洁处置的设计

刘 佳（中石化国际事业天津有限公司，天津 300190）

摘 要：我国作为全球前三大市场，并没有成熟的危化品运输车辆洗消厂，仅有少量设置于港口的船运 ISO 标准集装箱罐洗消站，这对于国内这么庞大的危化品运输市场来说是极不合理的，与此同时不规范的洗消情况也非常严重。因此，本文设计一套中小型规模的高压洗消系统，具有安全、环保、便捷、高效的特点。本设计所构建的合规危化品运输车辆洗消装置，力求作为一种可靠的低污染清洗方式向全国推广，解决危化品运输罐体安全清洁的问题。

关键词：洗消；运输罐体洗消；自动洗消装置

0 引言

国内罐箱洗消面临的是环境污染和安全处置两大问题。危化品运输罐体洗消过程，无可避免会产生大量的三废污染，目前国内的洗消施工工艺比较落后，不能实现全程封闭的洗消，传统蒸罐工艺高温气化后产生的有毒有害气体、各种介质洗消后产生的废水，全部直排到周边，没有进行全程有效收集及后续处理，造成严重的环境污染。本文将研究国内外最先进的技术，并结合国内现有数据与经验进行研发改进，从工艺流程、设备优化、智能控制、生产制度上，根本性解决上述环境问题，并将安全风险降至最低。

1 总体设计

本系统以机械自动化洗消代替人工洗消，不需人工进罐作业，能够以高压水射流洗消为主，烘干辅助，自动完成整个洗消流程。通过合理设置洗消程序，使洗消效率得以准确的量化，从而提高效率、提升产能。同时，操作人员的职能由现场洗消转变为操作、监控和维护洗消设备，大大改善了工作环境，排除了操作人员主观因素影响，使洗消效果具有一致性和稳定性。罐体在洗消全程中保持封闭状态，避免挥发物散逸造成环境污染，系统设置废水、废气回收接口，接入用户废水废气管网，对废弃物进行集中处理和排放，提高了安全性，极大降低了由此产生的中毒、爆炸风险。同时，通过对系统流程的合理配置降低能耗，减少损失，使能源利用效率达到最大化。

1.1 总工艺流程与产品方案

1.1.1 高压洗消系统

高压洗消系统工作压力按洗消工艺从 30–200bar 择优选择，由一个自动化洗消喷头及其定位装置，一个高压洗消手持喷枪和一台高压泵组成。自动洗消喷头用于洗消罐内壁，手持喷枪用于洗消人孔盖

及罐外部。

1.1.2 阀门及管路附件洗消系统

专用部件洗消机或手动高压洗消喷枪及管道洗消附件用于洗消阀门及其他管路。

1.1.3 操作流程

罐箱进厂检查→洗消前排放收集残液（同时进行废气收集）→一次洗消（同时有机废气收集、废水收集）→二次洗消→罐外部洗消→底阀、垫片等拆洗检查→干燥→检验→净罐场站放置→出场

1.1.4 设备介绍及自动化

①控制系统采用 PLC+ 电脑上位机自动控制系统，并配备现场就地控制箱。PLC 中央控制柜安装于设备间内，用于系统内设备、阀门、传感器等的信号采集和控制。PLC 控制柜与 PC 上位机之间建立数据交换，实现系统的全自动化运行和监控。在洗消操作平台上设有防爆就地控制箱，采用按钮式操作。用户可通过控制箱，启动、停止自动洗消程序，或单独启动、停止任意洗消步骤。同时可根据控制箱的指示灯了解系统运行状态。②非核心及辅助设备将从国内厂商采购或研发，根据研发成果，全部替代并优于进口设备，最终将以全新的国产设备向行业推广。为方便操作及保证数据安全，控制系统软件将在国内重新编制。

1.2 工程建设规模

根据业主相关要求以及现场调研后确定工程规模，洗消站为单体结构，按危化品防爆等级设定为丙类库标准，洗消间与设备间设置防爆墙。洗消站设置两个或四个洗消工位。每天每个工位 8 小时标准洗消量为 8 个，单罐洗消根据化学品不同废水为 1–3 立方不等，废气为 1000 立方。四个洗消工位废水按 80T，加上生活废水 2T，废水总量 82T/D。废气按 4000 立方 / 小时设计。

1.3 洗消处理

1.3.1 洗消基本要素

影响洗消效果的基本要素主要包括：①洗消水流冲击力；②洗消介质；③洗消温度；④洗消时间。

1.3.2 罐体洗消系统工艺描述

1.3.2.1 内部洗消

罐箱内部采用高压水射流高效洗消，通过水力驱动三维旋转洗消喷头，在罐体内部自动旋转喷射，实现罐体内部全覆盖洗消。罐体内部洗消系统工作压力 30–200bar（需要按客户化学品洗消最佳工艺来制定，综合考虑可行性、安全性、经济性），每个三维旋转洗消喷头流量 50–150L/min（需要按客户罐箱最小及最大洗消舱体积制定）。

洗消所需高压水来自高压洗消泵。单个高压洗消泵采用工业高压曲轴柱塞泵。高压泵总输出流量工艺参数制定（例如 100L/min，压力 100bar，功率 22.5kW）。除基本功能模块外，高压泵还配备了低压端离心泵或高压端计量泵洗消剂注入模块、用于柔性启动的压力释放阀等。

高压泵洗消系统前端配备了高效能的蒸汽换热器，用于在需要时制备热水。换热器安装于缓冲水箱及高压泵组输入端。换热器工作压力（水侧）5bar，最大流量 5000–9000 L/h，最高换热功率 600–836kW，最大 $\Delta T=80^{\circ}\text{C}$ 。汽侧入口为 3bar 饱和蒸汽，在最高换热功率下蒸汽流量 1000–1400kg/h。换热器具有出口水温控制功能，可根据进水温度和设置的出水温度，自动调节蒸汽流量。

罐箱洗消系统配备洗消剂计量添加装置，可以按需求从一或两种洗消剂中选择一种定量加入洗消介质。计量加药装置按需要由高压直接虹吸或单独使用 4–7bar 压缩空气驱动，输出压力 4bar，输出流量 0–15 L/min。

罐箱及槽罐车内部洗消配备蒸汽加热装置，罐箱及槽罐车内部洗消配备热风烘干装置。洗消罐箱使用的三维旋转洗消喷头、蒸汽加热装置及废气排放接口集成为一体。罐体就位后，将集成式洗消装置放置在罐体人孔并进行固定后，蒸罐、冷热及药剂洗消、废气抽吸流程可连续完成，中途不需再次开启罐体或更换设备。热风烘干接口为单独管线设计，保证不同工位可以在洗消后同时实施烘干工艺。蒸罐接口也可做同样设计。

1.3.2.2 外部冲洗

外部冲洗系统包含高压水洗消系统和药剂洗消系

统。外部高压水洗消系统由 1 台单泵或多泵主机机组、多支手持高压洗消枪、多套管道洗消装置（可选）构成，泵组支持 1–6 个出水点同时操作。

手持高压洗消枪安装于各洗消工位的操作平台上、下方位置，用于罐体外部、罐体附件、人孔盖等部位的高压水及药剂洗消。单支手持高压洗消枪工作压力 100–150bar，流量 800–1260 L/h。手持洗消枪配备 10–20m 高压软管及自动卷管器，便于现场远距离操作及洗消后的收集。

外部高压水洗消系统前可选择冷热水进行洗消，可在现场操作面板上远程手动选择冷热水。外部药剂洗消系统由 1–2 套高压药剂装置构成，使用前手动转换成固定比例设定的药剂档位，使用时所有喷枪不能共同使用。手持药剂喷枪用于在需要时对人孔盖、阀门、接口等部位进行洗消剂喷淋。

1.3.2.3 电气及系统控制

控制系统采用 PLC+ 电脑上位机自动控制系统，并配备现场就地控制箱。PLC 中央控制柜安装于设备间内，用于系统内设备、阀门、传感器等的信号采集和控制。PLC 控制柜与 PC 上位机之间建立数据交换，实现系统的全自动化运行和监控。PC 上位机是控制系统的主要操作平台，用户操作人员通过 PC 上位机可完成自动洗消程序的编制、修改、加载、启动、停止等操作。在系统运行时，可通过操作界面读取系统内各设备的运行状况、报警信号、故障信号，用户可据此掌握系统运行状况。此外，操作系统还提供了丰富的数据采集、分析功能，用户可读取设备运行时间、温度、压力等参数，作为系统维护、流程改进的依据。

在洗消操作平台上设有防爆就地控制箱，采用按钮式操作。用户可通过控制箱，启动、停止自动洗消程序，或单独启动、停止任意洗消步骤。同时可根据控制箱的指示灯了解系统运行状态。

1.3.2.4 操作及安全防护

罐箱洗消工位的前段洗消装置由平衡器进行吊装。操作人员一定需要保证洗消法兰完全盖在罐箱人孔上后才能启动洗消头。在每个洗消工位配备有速差式自锁防坠保护装置，用于对在罐顶工作的人员进行防坠安全保护。操作手持超高压洗消枪的作业人员配备防水安全工作服、安全鞋、防护手套、一体式头盔 / 面屏 / 隔音耳罩等个人安全防护装备。其他操作人员配备安全防护眼罩及安全鞋。所有现场人员穿着防静电工作服。系统配有静电接地装置，待洗罐体就位后，将接地装置与罐箱接地点建立有效连接，洗消流程才

能开启。

1.3.3 洗消程序控制

罐箱内部高压洗消系统使用前定制好控制参数。用户可根据待洗消的化学产品,预先编制并储存多套不同的洗消程序。在日常洗消作业中,只需根据化学品类型使用相应流程设置,洗消系统在操作人员执行标准流程后完成洗消流程。系统预置了基本洗消参数,洗消时间及温度控制,可通过控制系统组合为不同化学品及洗消难度的洗消程序,也可通过现场操作盘随时启动、停止任意步骤。基本洗消步骤包括:①蒸罐;②冷水洗消;③热水洗消;④冷水+洗消剂洗消;⑤热水+洗消剂洗消。以上两步骤均可选择不同种类的洗消剂;⑥烘干。流程总耗时约60分钟。除洗消流程的流程参数设定外,控制系统还具备以下功能:①系统运行状态监测;②故障/报警信息读取;③异常状况下的紧急停机与复位。

1.4 废水处理工艺

①废水收集与预处理系统:洗消废水首先收集于洗消车间内的收集池,然后通过泵输送至废水站的隔油池,池中配置有刮油机,然后废水通过泵输送到气浮池中,气浮池去除部分COD、浮油和SS,之后经缓冲池进入物化处理系统。②物化处理系统:经预处理的废水通过提升泵输送至铁碳微电解反应器,通过加药剂反应完成后,泥水混合物流至一次沉淀池,通过重力沉降实现泥水分离,沉淀的过程中COD、SS等污染物转移到沉淀污泥内,上清液流至缓冲池,由提升泵提升至生化处理系统。③生化处理系统:废水在水解酸化池中,在厌氧的条件下,进一步提高废水可生化性,去除COD,厌氧出水流至缺氧池,池中反硝化细菌将硝酸盐转化为 N_2 ,实现脱氮,之后经过两级好氧反应,好氧池出水流至二沉池,进行泥水分离。④污泥处理系统:收集于污泥池的污泥经泵输送至高压水压榨板框压滤机中进行污泥压滤,干污泥外运处置,滤液收集于滤液收集池,再经泵输送至废水调节池进一步处理。

1.5 废气处理

1.5.1 废气处理能力

待处理废气为生产过程中产生的有害气体,根据数据,洗消过程废气的量为4~8万立方/天。(4万立方/天为2工位,8万立方/天为4工位)

在清洗作业同时,将使用惰性气体发生器,如制氮机组,向罐箱内注入惰性气体,使得罐内氧气浓度保持在8% VOL以下,或者可燃气体浓度控制在50%

LEL以下,并在排出口回收废气进行净化处理。此方法可以大幅度降低罐箱清洗作业中的消防风险,并提高废气排出效率。设计处理规模按总共4个工位8000立方/小时设计。

1.5.2 废气处理指标

废气成分比较复杂,难以测量,不同化学品洗消前必须提前做好安全评估。

1.5.3 废气处理工艺

实际工艺按化学品种类及能力设计确定。系统产生的废气通过单独的废气处理系统收集后进行处理后排放。拟采用两级喷淋洗涤塔+UV光催化氧化+活性炭吸附法进行处理。

①蒸汽烘干废气中含有一定的温度、粉尘、水蒸汽和VOCs,因此在处理系统前首先设置两级喷淋洗涤塔,起到降温、除尘和消除水蒸汽的目的,可去除百分之九十九的10micro以上水滴,以免影响下道工序活性炭层,增加活性炭的使用寿命。②UV光催化设备是目前工业废气处理技术中最先进的技术之一,UV光催化设备的开发充分考虑了工业废气性质的不确定性和复杂性,从工程的设计、配套、安装、调试、维护等方面提供了很大的可行性、可靠性、灵活性、有效性。③在废气净化装置后部装填活性炭,用以吸附废气中的有机污染物。净化后的废气经风管高空达标排放。活性炭吸附饱和后,请专业厂家再生后回用或更换新的活性炭。

2 结束语

本文设计基于引进国外新技术,展现了先进的处理工艺和方法,结合国情,对技术进行分析并推广使用,将极大推动国内化工洗消行业的技术水平。槽罐洗消及废水处理厂建成后,将显著减轻对环境的污染,改善人民的生活环境,符合可持续发展的战略思想,具有显著的环境效益、经济效益和社会效益,是建设和谐社会和发展循环经济的具体体现,对环境水质的改善将起到积极的作用。

参考文献:

- [1]薛露露,靳雅娜,禹如杰,刘勇,任焕焕.中国道路交通2050年“净零”排放路径研究[C].世界资源研究所,2019.
- [2]卢奇秀.交通运输业节能减排刻不容缓[N].中国能源报,2020.
- [3]苏健,梁英波,丁麟,张国生,刘合.碳中和目标下我国能源发展战略探讨[J].中国科学院院刊,2021,36(9):1001-1009.