

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2024.01.005

油罐挥发气在线密闭微压回收技术应用探讨

刘 桢 马 兵

(1. 胜利油田鲁胜石油开发有限责任公司; 2. 辽河油田安全环保技术监督中心)

摘 要 胜坨联合站通过建设油罐挥发气在线密闭微压回收系统,达到降低油气挥发损耗,实现油气密闭集输和回收轻烃资源的目的。通过对胜坨联合站5座储油罐呼吸损耗的计算,证明建设油罐挥发气在线密闭微压回收系统的必要性,介绍该系统的构成、原理、信息化构建、生产运行、保护系统及优点等,阐述其现场应用情况,进行效果效益分析。该系统具有工艺流程简单,操作维护方便,安全保护系统完善等特点,收气效率高,节能降耗,投资少,成本回收快,自动化程度高,适应范围大,安全可靠。

关键词 油罐; 挥发气; 微压; 密闭回收; 环保

中图分类号: X701.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3158(2024)01-0019-05

Application of On-line Airtight Micro-pressure Recovery Technology for Oil Tank Volatile Gas

Liu Zhen¹ Ma Bing²

(1. Shengli Oil Field Lusheng Petroleum Development Co., Ltd.;

2. Liaohe Oil Field Safety and Environmental Protection Technology Supervision Center)

ABSTRACT Through the construction of the on-line airtight micro-pressure recovery system of oil tank volatile gas, Shengtuo Union Station could reduce the oil and gas volatile loss and realize the airtight collection and transportation of oil and gas, and the recovery of light hydrocarbon resources. The calculation of respiratory losses for five crude oil tanks of Shengtuo Union Station proved that it was necessary to build an on-line airtight micro-pressure recovery system for volatile gas from oil tanks. The composition, principle, information construction, production operation, protection system and advantages of the system were introduced. The field application situation was described and the effect and benefit analysis were carried out. The system has the characteristics of simple process flow, convenient operation and maintenance, perfect safety protection system, high gas collection efficiency, energy saving and consumption reduction, less investment, fast cost recovery, high degree of automation, wide adaptability, safety and reliability.

KEYWORDS oil tank; volatile gas; micro-pressure; airtight recovery; environmental protection

0 引 言

为了解决罐区排放的大量挥发气带来的安全隐患、能源浪费及环境污染等问题,根据中国石油化工集团有限公司总经理1号令《臭氧污染防治专项防治方案》中“减少VOCs排放浓度与排放总量,‘应收尽收’原则,尽最大可能回收轻烃气”的要求,以及《关于加强储罐罐顶油气连通安全运行的通知》(中国石化安风〔2020〕1号)的规定,在胜坨联合站研发建设了油罐挥发气在线密闭微压回收系统,通过压差信号控制压缩机启、停,实现油罐挥发气在线密闭微压回收,

提高安全生产管理水平,达到节能增效、保护环境及VOCs治理的目标^[1]。

1 研究对象

1.1 基本信息

胜坨联合站位于东营市垦利区胜坨镇,与坨六联合站直线距离400 m,与坨二联合站直线距离1.2 km。站场周边人员活动非常密集,主要为当地村镇居民、厂矿企业人员以及生产、交通运输活动等。该联合站有5 000 m³ 沉降罐2座,2 000 m³ 好油罐2座,2 000 m³

应急罐 1 座,日处理原油 600 t,处理采出水 5 850 m³/d,是一座集油气分离、原油拉运、原油脱水、采出水处理及油、水外输多功能的联合集输泵站。

按照《中国石化国内上游甲烷控排行动指导意见》(股份工单油安〔2021〕452 号)和《胜利油田碳达峰碳中和行动方案》(胜油局发〔2022〕62 号)的要求,制定的《胜利油田甲烷有偿排放管理办法》(胜油公司工单〔2023〕6 号)中规定:罐顶仅安装呼吸阀,无大罐抽气装置或原油稳定装置等密闭措施,半密闭储油罐甲烷有偿排放收费 2.3 万元/(月·座)。胜坨联合站有 5 座半密闭储油罐,甲烷有偿排放收费为 138 万元/a。

1.2 排放现状

胜坨联合站外输原油物性为:密度 0.972 3 g/cm³, 50℃运动黏度 2 004 mm²/s,凝点 13℃。采用“三相分离+加热+重力沉降”的脱水工艺,三相分离器中未完全分离的挥发气经过升温后进入一次沉降罐,导致一次沉降罐原油在沉降过程中油气挥发严重,胜利

油田技术检测中心提供的油罐挥发气组分检测结果见表 1。

表 1 油罐挥发气(VOCs)组分 %

甲烷	乙烷	丙烷	正丁烷	异、戊烷	二氧化碳	氮气	氧气
76.08	0.219	0.158	0.124	0	1.875	17.17	4.356

目前胜坨联合站的储油罐呼出挥发气回收利用率低。估算 5 座油罐呼出气量为 4 500 m³/d。根据油罐呼吸气组分和呼吸损耗统计(表 2),天然气 C₁~C₄ 为 3 370 m³/d,轻质油损耗量 74.83 t/a,远远超过 DB37/ 2801.7—2019《挥发性有机物排放标准 第 7 部分:其他行业》中“厂界监控点 VOCs 浓度限值 2.0 mg/m³”的要求。罐区内呼出挥发气与空气混合达到爆炸极限浓度时,遇到雷电或者静电火花的情况下,容易发生爆炸燃烧,存在安全隐患^[2]。综上,胜坨联合站储罐内天然气、原油轻烃组分的挥发严重。

表 2 胜坨联合站呼吸损耗统计

罐号	外输油量/ (t·d ⁻¹)	油气 温度/℃	油气压力/ MPa	呼出气 标体积/ (m ³ ·d ⁻¹)	折合损耗量/(t·d ⁻¹)			站库油气 损耗率/ %
					气量 (C ₁ ~C ₄)	油量(C ₅ 及以上)	油气 总量	
1# 一次沉降罐	6 300	25.7	0.101	4 081.3	2.266	0.189	2.455	2.672
2# 好油罐		22.1	0.061	165.1	0.091	0.008	0.099	
3# 好油罐		22.1	0.061	150.8	0.086	0.005	0.091	
4# 应急罐		20.5	0.054	61.5	0.023	0.002	0.025	
5# 二次沉降罐		23.8	0.101	41.3	0.001	0.001	0.002	
合计(5 座油罐估算)		/	/	4 500	2.467	0.205	2.672	

2 油罐挥发气在线密闭微压回收系统研发、建设

2.1 “互联网+”的信息化、智慧化构建

在满足微压安全回收挥发气工艺技术要求的前提下,按照“信息化、模块化、自动化”构建,采用 GIS、GPS、PLD 自动化等技术,通过攻关融合,优化选型,进行信息化集成化建设,实现三级联动,利用安全生产综合管理平台,建立在线监控系统(在线采集→SCADA 服务器→生产指挥中心→屏幕显示)(图 1)。该系统能存储运算各参数,进行诊断分析,优化方案,实现最大限度的安全回收油罐气,保证安全平稳生产;在线自控仪表监控装置工艺参数,通过压差信号控制压缩机启、停,实现油罐挥发气有效利用,节约能源,保护环境^[3]。



图 1 在线监控系统

2.2 规划设计

2021 年 6 月按照 GB 50183—2004《石油天然气工程设计防火规范》要求设计:在胜坨集输站西北侧约 150 m 处征地 22 m×30 m,布置油罐挥发气在线密闭微压回收系统。该系统距离燃气公司管网仅 1 km,距离近,投资少。该系统由回收挥发气管线、压缩机、分离器、远程智慧控制装置等设施组成,具体见表 3。

其中压缩机、输气管线、控制柜均布置在站外西北侧燃气公司天然气输气站内。

配电系统:附近建有变配电室 1 座,室外建有变压器 1 台,变压器容量为 630 kVA,目前已带负荷 150 kW。新增大罐抽气装置后,计算负荷为 200 kVA,已建变压器可以满足新增用电负荷需求。

表 3 在线密闭微压回收系统设施清单

序号	名称	规格型号	单位	数量
1	油罐挥发气在线密闭微压回收系统		套	1
1.1	活塞往复式压缩机(防爆)	0.3 MPa,2 880 m ³ /d	台	1
1.2	活塞往复式压缩机(防爆)	8.0 MPa,10 000 m ³ /d	台	1
1.3	进口挥发气缓冲罐	Φ1 800 mm,H=4 000 mm	台	1
1.4	出口挥发气分离器	Φ600 mm,H=2 200 mm	台	1
1.5	空冷器控制箱	2 500 mm×300 mm×500 mm	台	1
1.6	工艺管道系统(压缩机进气管线、出气管线、阀门等)		套	1
2	远程智慧防爆控制装置(一二次仪表、压力变送器、温度变送器、液位控制器、压力开关、电磁阀、调压阀、变频器、PLC、控制柜等)	Φ108 mm×4	套	1
3	油罐至压缩机进口分离器管线		m	500
4	出口分离器至已建燃气公司的气管网的输气管线	PE93	m	1 000

2.3 工艺原理及流程

工艺原理:在原油沉降罐、净化油罐顶部引出抽气管路,将原油挥发出的、聚集在油罐顶部气体空间的烃类蒸气密闭回收,采用 PLD 自动化控制技术,使变频器控制压缩机的排量随油罐挥发气的压力而变化,密闭油罐始终保持在微正压下安全运行,收集的油罐气,经冷却、分离、压缩后,外输到燃气公司的用户管网^[4]。

工艺流程:油罐罐顶挥发气沿管道进入空冷器冷却至 40℃后,进入地下缓冲罐,分离出部分杂质和液相,然后进入抽气机增压至 0.3 MPa,进入空冷器冷却,冷却后的天然气与集输站内三相分离器分出的伴生气汇合进入天然气分离器,分离出液相后,进入用户管网。站内设置一路压缩机组旁通,当油罐内气压力达到回收预设置值时,可自动开启压缩机组将油罐罐顶挥发气打入用户管网内。

补气流程:由于油罐气气量随环境温度而变化,造成油罐挥发气量不稳定,在油罐压力较低、气源不足时,罐顶气回收抽气机需要停机。为了给抽气机进口提供稳定气源,需要对油罐进行补气。罐顶气回收系统设置自动补气管线和补气旁通。气源来自集输

站内伴生气,依靠自力式调节阀对大罐进行补气,设计为阀后控制,阀后压力低于 200 Pa 时自动补气。通过补气管线技术改造,使压缩机实现连续平稳运行,大大减少了压缩机的维修和更换费用^[5]。

2.4 生产运行

控制方式:采用多功能变频控制柜,PLC 全自动在线控制,运行压力设定为 150~600 Pa,回收气能力为 300~5 000 m³/d,安全可靠。压缩机为变频点击驱动,运转频率 10~50 Hz,进气温度≤95℃;压缩机排气压力为 3 500 Pa;压缩机排气温度≤110℃;用电负荷:26~30 kW。

随着油罐气量变化,自动闭环控制压缩机转速,来气压力和气量大小发生变化时,压力变送器输出电流信号大小也随着变化,经过油罐收气专用控制数学模型计算,PLC 输出相应的控制信号实时控制变频器,使压缩机的转速总是与油罐的来气量相匹配。根据油罐气量变化启、停压缩机,自动调节压缩机转速:当油罐气减少,油罐压力下降到 150 Pa 时,自动报警,自力式补气调节阀自动打开,进行补气;当气量继

续下降到 100 Pa 时,自动报警,停机;压力下降到 50 Pa 时,手动补气;当压力回升到 300 Pa 时,自动开启压缩机进行抽气回收,始终稳定油罐压力为 150~600 Pa,保证不超油罐压力上限(800 Pa)。实现全自动在线控制^[6]油罐上部空间挥发气的有效回收。

2.5 保护系统

油罐挥发气相空间通过抽气管线连成一个整体,存在重大群罐火灾风险。由 4 个保护装置组成,其中任何一个系统达不到要求时,该系统均不工作。

1)来气低压保护装置:配有智能电动机保护器,是由差压开关保护、差压变送器与 PID 自整定调节仪构成的保护系统。以差压变送器与 PID 自整定调节仪构成的保护系统为主,能对油罐气压缩机电动机运行过程中出现的启动超时、过载、断相、不平衡、欠载、接地/漏电、阻塞、短路、外部故障等多种情况进行保护,并设有 SOE 故障事件记录功能,方便现场维护人员查找故障原因。具有 RS485 远程通讯接口,DC 4~20 mA 模拟量输出,方便与 PLC、PC 等控制机组成网络系统,实现油罐气电动机运行的远程监控。

2)出口压力保护装置:因输气管道堵塞而引起出口压力超过限额时,自动远程停止整套系统工作。储罐设置呼吸阀及液压安全阀,其数量和排气能力满足 SY/T 0511.1—2010《石油储罐附件第 1 部分:呼吸阀》规范要求。对现有呼吸阀及液压安全阀的能力进行校核,防止储罐超压。呼吸阀压力设定:呼吸阀排气压力上限值不宜超过油罐试验压力的 80%。液压安全阀压力设定:液压安全阀的排气开启压力应介于呼吸阀工作压力与油罐试验压力之间,但完全开启压力不得高于储罐的设计压力及试验压力。

3)对罐区储罐增设氮封设施,保证各罐区氮封系统的合理设置有效运行。压缩机保护装置:当燃气压压缩机出现故障时,自动报警,并停止工作。

4)可燃气体泄漏检测与报警装置:为了保障站场内安全,罐区和工艺设备区等可能有可燃气体泄漏的地方,设置可燃气体泄漏检测装置,报警信号上传至站内中控系统。在储罐油气出口安装氧气在线检测仪器,同时将氧气在线检测器与风机出口管道控制阀门连锁,当氧含量达到高浓度值时报警,连锁关闭风机,同时向系统补充氮气,直至监测达到设定要求;控制室设有氧含量超标报警仪,氧含量监测信号引入控制室,以便实时监测^[7-10]。

3 实施效果

3.1 效果分析

2021 年 11 月油罐挥发气在线密闭微压回收系

统在胜坨联合站投产,远程实时监控运行情况,实现了在线采集各项运行参数→SCADA 服务器→直观显示到屏幕上,诊断分析研判,实时优化油罐气回收利用方案,根据设定的罐内气压上、下界阈值,自动启、停活塞往复式压缩机,降低能耗,实现安全平稳回收油罐气、节能增效,取得很好的效果。

1)减少油气损耗情况分析

经估算 5 座油罐总呼出气量 4 500 m³/d,天然气损耗量 C₁~C₄ 为 3 370 m³/d。天然气价格按照 1.330 元/m³ 计算,天然气损耗费用为 3 370×365×1.330×0.000 1=163.6 万元/a。轻质油损耗量为 0.205×365=74.83 t/a,轻质油价格按照 4 000 元/t 计算,轻质油损耗费用为 29.83 万元/a。胜坨联合站减少油气损耗总费用约 163.6+29.83=193.43 万元/a。

2)耗电分析

两台 26 kW 活塞往复式压缩机(一备一用)可以实现各种故障报警、连锁保护,每年耗电 22.77×10⁴ kW·h,电价 0.61 元/(kW·h),电费 13.89×10⁴ 元/a。

3.2 优点

1)压缩机带压直接启动,减少卸荷环节,避免系统冲击;负压自动补气,避免空气进入天然气系统,避免油罐受负压损害。

2)对罐区储罐增设氮封设施,保证各罐区氮封系统的合理设置有效运行。压缩机采用水冷却方式,提供燃气压缩机所需冷却水,为防止冬天冻凝,配有循环加热装置,保证压缩机正常运行,提高工作效率,水冷却装置采用撬装结构,安装方便简单。

3)在储罐油气出口安装氧气在线检测仪器,实时监测,控制室设氧含量超标报警仪。

4)在生产运行中,为防止产生误操作,控制系统在软件、硬件方面设置了双保险,双重连锁保护压缩机等设备不至于损坏。设有独立的试机功能,在投运前和检修后,单独手动启停以验证压缩机是否完好。控制系统能在启动超时、过载、断相、不平衡、欠载、接地/漏电、阻塞、短路、外部故障等多种情况下实现保护功能,配有智能电动机保护器,以保证压缩机电机安全工作。

5)防止油罐负压,采用闭环控制使油罐压力保持恒定。利用 PID 调节仪实现闭环控制,自动控制压缩机转速,使罐顶压力与设定值一致。储罐油罐顶部抽气管线安装温压变送器,在线监测压力、温度,传入 PID 调节仪,调节仪进行比较、PID 运算,将运算后的结果输出给变频器,从而自动控制压缩机的转速。并设压力高低报警(低报 150 Pa、高报 900 Pa),始终稳

定油罐压力 150~800 Pa。

6)收集汇管安装补气流程和紧急切断阀。安装补气流程设自动、手动补气阀,将储罐压力与其联锁,当储罐的压力低于 150 Pa 时,自动补气阀开启,自动从管网引气给压缩机补气;补气阀设旁路可手动补气,防止油罐负压运行造成瘪罐;安装紧急切断阀,将罐顶压力、汇管压力与紧急切断阀、压缩机联锁控制,高于设定压力时,阀开,压缩机启动;低于设定压力时,紧急切断关,压缩机停机。收集汇管安装紧急切断阀流程,具有现场手动和遥控关断功能。

7)避免群罐火灾爆炸。储罐顶部抽气管线出口安装阻爆轰型阻火器,防止外部火焰进入罐内,并且阻火器前、后设手动切断阀,便于储罐隔离施工、爆轰型阻火器检定。抽气压缩机进、出口管线设置管道阻爆轰型阻火器。以上措施能有效避免群罐发生火灾爆炸。

4 效益分析

4.1 经济效益

1)胜坨联合站有 2 座 5 000 m³ 沉降罐、2 座 2 000 m³ 好油罐和 1 座 2 000 m³ 应急罐相连通,原油储罐充装系数 0.85。按照 2022 年 7 月胜利油田的油价 60 美元/桶(0.137 t)、汇率为 7 计算,单罐发生火灾时,财产损失约 1 125 万元;群罐发生火灾时,财产损失约 9 000 万元。

2)由上统计分析计算,年获经济效益=减少油罐气损耗总费用+减少有偿排放费-运行电费=193.43+165.6-13.89=345.14 万元。项目投资 293.54 万元,经计算 11 个月收回投资。

4.2 社会效益

该系统实现远程监控、在线采集工艺参数数据,根据挥发气量的大小,自动调节压缩机运转速度,实现油气回收在线连续运行。系统自动化程度高,各种故障报警、连锁保护、保护措施完善,实现无人值守运行,大幅减轻工作量,减少用工,提高工作效率,改善工作环境。

4.3 生态效益

该系统全程进行油气密闭集输,避免油罐气从安全阀、呼吸阀等处外溢直接排放到大气中污染环境,达到大气排放环境保护的要求,杜绝有毒、有害气体对站内人员健康造成伤害。节省甲烷有偿排放收费 138 万元/a,回收油罐呼出的天然气 123×10^4 m³/a,(在标准状况下,1 m³ 天然气(甲烷)的物质的量 1 000/22.4=44.64 mol,产生二氧化碳 $44.64 \times 44=1 964.28$ g),减

少碳排= $123 \times 10^4 \times 1 964.28=2 416$ t/a,避免罐区周围溢出的挥发气遇到雷电、静电火花情况而引发燃烧爆炸;压缩机半封闭机身结构,对室内零泄漏,机房强制通风,消除安全隐患。

5 结 论

油罐挥发气在线密闭微压回收系统在胜坨联合站的成功应用,验证其适用于老油田联合站改造。在线监测采集回收数据参数,生产过程远程自动控制,采用先进的 PLD 自动控制系统,远程控制压缩机启停,确保油罐在线微压密闭回收挥发气系统处于安全可靠的工况运行,保证外输挥发气质量,实现油罐挥发气在线全过程密闭回收,是在线自动回收罐顶烃蒸气、降低油气损耗的一种措施,是实现密闭储存、减少环境污染的一种手段。

该系统由组成撬装配,运输、装配方便,操作简单,气量适应范围大,收气效率高,能耗低,安全可靠,投资少,回收成本快。目前国家和地方政府环保处罚力度加大,促使油田企业逐步增强安全环保意识,该系统具有广阔推广应用前景。

参 考 文 献

- [1] 王书平.油罐气微压自控回收装置的研发和应用[J].仪器仪表用户,2016,23(2):38-40.
- [2] 李武平,崔艳丽,李渊,等.基于绿色低碳的伴生气回收与利用技术[J].石油石化节能,2023,13(4):23-28.
- [3] 徐进.引射抽气技术在油气回收系统中的应用[J].油气田地面工程,2015,34(10):62-63.
- [4] 姜淑君,宫春美,牛元慧,等.常压重油罐顶气(VOCs)治理新思路[J].石油石化绿色低碳,2021,6(2):39-42.
- [5] 贾志中.油田储油罐伴生气回收再利用的可行性研究[J].河北企业,2022(7):74-77.
- [6] 马龙娜,刘宏云,王革.油罐挥发气回收工艺技术探讨[J].石油和化工设备,2020,23(1):61-63.
- [7] 黄海,张旭,王刚,等.油田联合站储油罐罐顶气及码头油气回收系统[J].化工管理,2019(10):52-53.
- [8] 陈自振,赵滢,刘宗耀.撬装式原油罐挥发气回收工艺及应用[J].石油石化节能,2016,6(6):26-28.
- [9] 陈丽丽,路遥军,钱洪霞.油田大罐抽气装置设备选型计算方法简析[J].油气田地面工程,2023,42(2):85-91.
- [10] 姜丽娜,姜志刚.撬装技术在油罐烃蒸汽回收工艺中的应用[J].石油工业技术监督,2019,35(6):52-53.

(修回日期 2023-09-11)

(录用日期 2023-11-15)

(编辑 刘晓辉)