

一种基于逆卡诺循环原理的污泥干化技术的应用

梁 刚 (中化环境科技工程有限公司, 辽宁 沈阳 110033)

摘要: 炼化企业污水场已经形成了较为成熟的污泥处置工艺路线: 浓缩—脱水—干化, 可以使污泥含水率由 99% 以上降低至 30% 以下, 极大地降低污泥的重量, 减少企业污泥处置成本。传统的污泥间接干化系统的投资、运行成本相对较高, 占地面积也因此相对较大。本文介绍一种基于逆卡诺循环原理设计制造, 以电力作为驱动能源的污泥直接干化技术。与采用蒸汽作为热源的间接干化系统相比, 污泥直接干化技术在运行成本上具有明显的价格优势, 具有一定的推广意义。

关键词: 污水场; 污泥; 干化; 逆卡诺循环

本文着重论述一种新型的基于逆卡诺循环原理设计制造的污泥干化技术, 与传统的污泥干化技术相比, 该技术具有投资省、占地小, 更加安全的特点, 在炼化企业污水场污泥处置工艺选择时具有一定的推广意义。

1 石油炼化企业污水场污泥处置传统工艺路线

石油炼化企业的污泥来源主要是调节罐罐底排油泥、气浮排浮渣、生化池剩余活性污泥, 统称为炼化“三泥”, 这些污泥具有组分复杂, 不易脱水, 臭味较大, 含有易燃易爆气体的特点, 在《国家危险废物名录》中被归类为 HW08 废矿物油类危险废物。

危险废物处置的工艺复杂、难度大、投资高, 需要取得国家主管部门颁发的危险废物经营许可证才运行经营, 因此也间接导致了可以接收炼化三泥的危废处置单位收费居高不下。

鉴于此, 炼化企业在炼化三泥处置费用高企的态势下, 已经逐渐摸索出了通过减少污泥出厂量来降低处置成本的工艺路线。其工艺路线如下图所示:

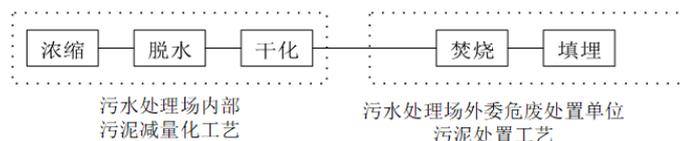


图 1 炼化企业污水场污泥处置工艺路线

危废处置项目的投资需要一定的规模效益, 一般炼化企业不会考虑为污水场单独投资建设危废处置设施。因此, 本文不再赘述危废处置单位的污泥焚烧、填埋处置工艺, 而是针对炼化企业污水场内部的污泥减量化处理工艺进行论述。

1.1 污泥浓缩工艺

污泥浓缩是利用重力沉降, 通过浓缩罐五级脱水阀分段脱水, 降低污泥含水量。进行重力浓缩脱水后, 污泥含水率从 99.0~99.5% 降至 98% 左右。

1.2 污泥脱水工艺

污泥脱水主要有板框压滤、带式压滤、叠式螺杆和离心脱水。其中, 板框压滤机、带式压滤机需要间歇运行, 在炼化企业污水场中很少选用。而叠式螺杆脱水与离心脱水相比, 虽然具有一定的价格优势, 但是其设备的密封性较差, 因炼油污水场污泥臭味大, 从环保和职业健康角度考虑, 一般炼化企业污水场均选择离心脱水机作为脱水设备的首选。经离心脱水机脱水后, 污泥含水率可降低至 80%~85%。

1.3 污泥干化工艺

通过热能对污泥进行水分去除的过程, 脱水污泥经干化, 含水率由 85% 左右降至 30% 以下, 在此过程中污泥逐步破碎, 变成小颗粒。

传统的污泥干化工艺技术有圆盘干化、薄层干化、浆叶式干化, 其区别主要是设备内部构造的不同, 但其本质均为间接式加热工艺。污泥与热源介质不直接接触, 将压力等级为 0.8MPa 左右的低压蒸汽注入设备内部, 蒸汽通过热传导将热量传递给污泥, 污泥升温后水分蒸发, 从而实现污泥的干化。传统污泥干化技术, 通过高温蒸汽加热可以确保污泥干化的效果, 污泥含水率可降低至 20% 甚至更低。

表 1 间接式污泥干化技术蒸汽消耗量计算表

	含水率 85%	含水率 30%	含水率 20%
污泥重量 (kg)	1000.00	214.29	187.50
蒸发水量	—	785.71	812.50
污泥中固形物重量 (kg)	150.00	—	—
污泥中可蒸发物重量 (kg)	850.00	—	—
固形物升温到 100℃ 吸热量 (10 ⁴ kJ)	2.01	2.01	2.01
水分升温到 100℃ 吸热量 (10 ⁴ kJ)	28.42	28.42	28.42
水分成为饱和蒸汽时的吸热量 (10 ⁴ kJ)	—	177.38	183.42
合计需要吸热量 (10 ⁴ kJ)	—	207.81	213.85
饱和蒸汽消耗量 (kg)	—	1022.79	1052.55

如上表所示, 1t 含水率 85% 的污泥采用传统干化工艺干化至含水率 25%~30% 时, 需消耗蒸汽量为 1t 左右。

由于低压蒸汽加热后污泥的温度可达 200℃ 以上, 水分蒸发的同时, 污泥中的有机物也会大量挥发, 同时产生大量的粉尘, 存在一定的爆炸风险, 因此, 间接式干化技术需要配套建设除尘、除臭和安全保护设施, 整个系统的投资、占地面积也因此相对较大。

2 基于逆卡诺循环原理设计的污泥干化新工艺

鉴于以上传统污泥干化工艺对蒸汽的依赖和在安全、环保方面存在的劣势, 笔者现阐述一种基于逆卡诺循环原理设计制造, 单纯以电力作为驱动能源的污泥直接干化技术。

逆卡诺循环的工作原理: 工作介质从低温热源吸收热量后, 以气态形式进入压缩机, 被压缩成高温高压状态; 被压缩后的高温高压工作介质进入高温热源中, 将其所含热量释放; 释放热量后的介质以低温高压液态经绝热膨胀后变为低温低压的液态, 再进入低温热源中吸收热量。

依据逆卡诺循环原理设计制造的污泥 (下转第 157 页)

- 市黑臭水体治理思路初探——以昆明市滇池流域为例[J]. 环境科学导刊, 2020,39(05):38-42.
- [3] 王凯, 王延华, 朱国伟, 屈森虎. 南京建邺区城市黑臭水体特征及其影响评价[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2020,20(03):71-80.
- [4] 叶维丽, 刘雅玲, 王强, 刘晨峰. 城市黑臭水体治理思路初探——以山东省胶州市跃进河—如意湖流域为例[J]. 环境污染与防治, 2016,38(07):88-92.
- [5] 孙菲, 高书连, 袁鹏, 张晓峰, 张英杰. 青岛市李村河黑臭水体整治案例分析[J]. 环境工程技术学报, 2020,10(05):740-745.
- [6] 邢梦雅, 陈星, 周锴, 向龙, 金辉, 朱丽丽. 基于生态补水的水环境改善效果评价体系[J]. 水资源保护, 2016,32(01):64-66+85.
- [7] 仇付国, 王晓昌. 城市回用污水中病毒对人体健康风险的评价[J]. 环境与健康杂志, 2003(04):197-199.
- [8] 杨智敏, 黄奕龙, 刘雪朋. 污水厂尾水回补城市河流的健康风险评价[J]. 人民珠江, 2016,37(04):89-92.

作者简介:

彭玮(1981-), 女, 汉族, 湖南衡阳人, 助理工程师, 本科。主要研究方向: 水质检测。

(上接第 155 页) 低温干化机组系统工艺流程: 经脱水后含水率约 85% 左右的污泥进入湿泥料仓, 通过干化机自带的造粒成型机将污泥造粒成直径 6-8mm, 长度 3-5cm 圆柱状泥条, 依靠重力落入缓慢行走的网带上, 空气经干化机逆卡诺循环系统中的冷凝器从工质中吸热后成为干燥的热干风, 经风机由网带底部与污泥进行强制对流, 与污泥接触的过程中将污泥干化。热干风吸收污泥中的水分成为湿空气降温后, 然后进入干化机逆卡诺循环系统中的蒸发器对工质进行放热(蒸发器内的制冷工质温度一般为 5℃), 湿空气降温后水分大部分凝结, 进入冷凝器从工质中吸热(冷凝器中的工质温度可达 75℃), 使得“脱水”后的空气升温变为热干空气, 再送入网带干化系统继续干化污泥, 不断进行循环。全过程中空气循环利用, 热干风温度不超过 75℃, 污泥中的有机物挥发量较小, VOCs 爆炸风险大幅度减少。

根据污泥直接干化技术原理, 对干化机的电能消耗进行计算, 如下表所示:

表 2 直接式污泥干化技术耗电量计算表

湿物料重量 (kg)	1000
湿物料含水率 (%)	85%
干物料含水率 (%)	30%
蒸发水量 W (kg)	785.71
热风进干化机前温度 (°C)	75
热风进干化机前含湿量 H ₁ (kg/kg 干空气)	0.00763189
热风进干化机前的焓 (kJ/kg 绝干气)	100.9512434
热风出干化机温度 (°C)	50
热风出干化机水汽压力 / 饱和 (kPa)	12.35127
热风出干化机含湿量 H ₂ (kg/kg 干空气)	0.086345598
干空气消耗量 L (kg)	9981.924468
假定: 出蒸发器后热风温度 (°C)	10°C
出蒸发器热风含湿量 H ₀ (kg/kg 干空气)	0.00763189
热风进冷凝器时的焓 (kJ/kg 绝干气)	312.4725449
热风出冷凝器时的焓 (kJ/kg 绝干气)	29.24688664
热风升温至 80°C 时的吸热量 (kJ)	715747.4734
冷凝器需经风机散热量 (MJ)	2896.705524
热风经蒸发器时释放热量 (kJ)	2827137.128
制冷系统 cop 为 3.5 时, 产生相同冷量时的耗电量 (换热效率 90%) (kWh)	249.31
注: 1、焓值计算: $I = (1.01 + 1.88H) * t + 2490 * H$; 2、含湿量计算: $H = 0.622PS / (P - PS)$; 3、干空气消耗量: $L = W / (H_2 - H_1)$	

如上表所示, 在理论状态下, 将 1t 含水率 85% 的污泥干化至含水率 30% 时, 理论耗电量 249.31kWh。按照电价

0.6 元 / kWh 测算, 吨污泥干化成本约为 150 元。与间接干化系统, 采用蒸汽作为热源进行污泥干化的系统相比(采用蒸汽作为热源吨污泥干化需耗蒸汽约 1t, 1t 蒸汽成本约 160-200 元不等), 直接干化在运行成本上具有明显的价格优势。

3 基于逆卡诺循环原理污泥干化工艺技术的应用

某炼化企业目前为 1200 万 t/a 炼油能力, 现有污水场装置设计规模 800t/h, 年接收污水 360 万 t, 该企业现有浓缩、离心脱水设施, 其污水场每年产生的经浓缩罐浓缩后的含水率 98% 的污泥约 30000t/a, 经离心脱水后污泥含水率降低至 85% 左右后, 委托第三方危废处置单位进行无害化处置, 污泥处置成本已达到污水场总成本费用的 15% 以上。

为进一步降低污泥处置费用, 该企业计划完善污泥减量化工艺流程, 在千万吨炼油企业中首次采用了污泥直接干化工艺, 投资新建了污泥干化装置。

考虑到该企业新建 100 万 t/a 乙烯及 300 万 t/a 炼油改扩建项目即将投产, 新建污泥干化设施的设计规模在考虑原有污泥处置规模的基础上, 按照新增含水率 98% 的污泥约 30000t/a 考虑, 对浓缩、离心脱水设备进行扩建。该企业浓缩-脱水-干化污泥减量化工艺路线设备配置: 离心脱水机组 (15t/h) 4 台, 污泥干化 (1t/h) 一套, 配套附属设备传输设备及安全附件等, 整个系统采用 PLC 控制。

经性能考核测试, 截至目前, 污泥干化机组运行稳定、可靠, 耗电量 270.84kW/h, 经污泥干化机干化后干污泥含水率可稳定保持 < 30%。

4 结语

该套污泥减量化工艺装置总投资不足 2000 万元, 将污泥经离心脱水后含水率 85% 的污泥干化至含水率 30% 以下, 该企业企业炼油改扩建及新建乙烯项目投运后, 需要外委第三方危废处置单位处置的污泥从 8000t/a 可以降至 1714t/a, 干化系统年耗电量约 200 万 kWh, 装置投入运行 1 年即可收回投资, 该污泥干化工艺具有一定的推广意义。

参考文献:

- [1] HJ298-2019. 危险废物鉴别技术规范[S]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2019.
- [2] HJ/T176-2005. 危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范[S]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2019.