

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.09.052

某国外污水处理厂污泥厌氧消化池工艺设计

洪思平¹, 苏庆郁²

(1.上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海市 200063; 2.中石化江苏油田分公司油气生产服务中心采油服务二公司, 江苏 淮安 211600)

摘要:“一带一路”沿线某南亚内陆国家排水基础设施落后,基本处于停滞状态,随着城市发展及人口的不断增长,城市水污染问题日益突显,为了缓解日益严峻的水污染现状,亚洲开发银行在加德满都谷地援建三座污水处理厂,处理出水排入当地河流,为了减少二次污染,设计采用污泥消化产沼气,沼气用于锅炉供热及发电,实现对污泥的减量化和资源化利用,消化段工艺设计是污泥资源化利用的关键节点。以D污水厂为例,对消化池的工艺设计进行探讨。

关键词:加德满都谷地;消化池工艺设计;池体结构;立体搅拌

中图分类号: TU992.9

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)09-0220-05

0 引言

“一带一路”沿线某南亚内陆国家基础设施落后,由于缺乏供水管网,目前大部分地区还是采用深井取水,用罐车运送清洁水至用户家中,用户大都用水窖贮水,整个供水模式导致用户用水极其不方便,人均用水量也偏低。另外,该国长期受到邻国印度在饮食习惯方面的影响,导致产生的生活污水中油脂、TN及有机物含量均偏高。

加德满都谷地在上世纪80年代建有两座自然渗滤池用以净化污水,现已废弃不用,目前除由WABAG公司承建的GUHESHWORI污水厂正在建设中,该地区尚无建成的污水收集管网及处理厂,城镇生活污水做排河处理。随着城市发展及人口的不断增长,不论是从河流的纳污自净能力还是城市卫生要求来看,都不能接纳日益增长的污染物排放,污水的收集及处理迫在眉睫。

亚洲开发银行(ADB)向尼泊尔政府提供贷款用于对点援建,在加德满都谷地拟新建三座污水处理厂以缓解该地区日益严峻的城镇水污染问题,三座污水厂污水处理量分别为3.7万m³/d、1.75万m³/d和1.42万m³,以其中处理量最大的D污水厂为例,工艺设计由污水、污泥处理及沼气利用环节组成。污水处理采用“格栅-曝气沉砂池-提升井-调节池-初沉池-好氧池-二沉池”工艺,处理出水要求达到当地排水标准(Nepal Gazette 2060/03/09),出水就

近排放附近自然水体。初沉池及二沉池产生的污泥分别经浓缩后进入消化段,消化产生的沼气经脱硫净化处理后用于锅炉及发电机组,而消化池是整个污泥处理并实现资源化利用的关键环节。

1 项目背景

1.1 自然条件

加德满都谷底当地受南亚热带季风影响很大,当地年平均气温20℃左右,最低大气温度:-3.3℃,最高大气温度:36℃,平均海拔高度1275.5m。气候基本上只有两季,每年的十月至次年的三月是干季(冬季),雨量极少,早晚温差较大,晨间10℃左右,中午会升至25℃;每年的4—9月是雨季(夏季),其中四、五月气候尤其闷热,最高温常达到36℃,全年90%的降雨量集中于雨季,五月起的降雨常作为雨季的前奏,一直持续到九月底,雨量丰沛,常泛滥成灾。

1.2 进水条件

(1)日处理量:3.7万t/d。

(2)进水水质(见表1)。

表1 进水水质表		单位:mg/L
项次	数值	
COD	≤800	
BOD	≤300	
TKN	≤79	
油类	≤120	
TSS	≤400	
TP	≤12	

(3)出水水质:满足当地污水排放标准(Nepal Gazette 2060/03/09),具体参数见表2。

收稿日期:2022-11-03

作者简介:洪思平(1982—),女,学士,高级工程师,从事给排水设计工作。

表 2 出水水质表

项次	允许值	参数
pH	6.5~8	5.5~9
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	<50	<50
TSS /(mg·L ⁻¹)	<50	<50
COD /(mg·L ⁻¹)	<250	<250
油类 /(mg·L ⁻¹)	<10	<10
氨氮 /(mg·L ⁻¹)	<50	<50
余氯 /(mg·L ⁻¹)	1	
大肠杆菌 /(MPN·100 mL ⁻¹)	<500	
粪大肠杆菌 /(MPN·100 mL ⁻¹)	<100	

1.3 消化池进泥说明

污水进行处理后产生大量的污泥，如将这些污泥直接送到垃圾场填埋，需要昂贵的运输费和处理费，还可能导致污泥中的致病微生物、虫卵等形成二次污染。利用消化池对污泥进行处理，提高污泥的卫生指标，还能减少细菌及臭气，避免对环境造成二次污染。

消化池的进泥由初沉池污泥和二沉池污泥分别经过浓缩后混合而成，其中，初沉污泥经过重力浓缩池进行浓缩处理，浓缩后污泥浓度 5%，污泥量 142 m³/d；二沉污泥经机械浓缩机浓缩，浓缩后污泥浓度 5%，污泥量 122 m³/d。两种浓缩污泥分别经螺杆泵提升后进入污泥混合池混合，混合池设置两座，通过池顶机械搅拌方式来均质均量污泥。

消化池采用中温消化，罐内污泥适宜的温度需维持在 35±1℃，混合污泥池泵送的污泥需进行升温换热，换热后的污泥进入到消化池，进泥含固率 5%，其中挥发性有机物含量占污泥量 60%，有机质在消化池内进行分解产生沼气，挥发性有机质分解率 50%，沼气产量按 0.9 m³/kg VS 计，罐体设置温度、pH 等仪表来监测系统的稳定运行。消化池设计参数见表 3。

表 3 消化池设计参数

项次	单位	数值
进泥量	m ³ /d	266
TSS	13 637 kg/d	51 500 mg/L
进泥含固率	5.0	%
污泥中挥发性有机物含量	—	60%
挥发性有机质分解率	—	50%
沼气产量	m ³ /kg VS	0.9
沼气产量	Nm ³ /d	3 966

2 消化池工艺设计

下面就消化池体结构、材质、立式搅拌系统、管路、安全保护设置、换热系统及消化系统整体布置等方面的设计进行说明，着重对池体材质的确定和立式搅拌系统的优化设计进行探讨。

2.1 池体结构

国内外大多数污泥厌氧消化池一般是圆柱形和蛋形，蛋形消化池外形似蛋，对基础设计要求高，贮存气体容积小，建设费用高，广泛用于欧洲、美国^[1]。圆柱形消化池又分为柱锥式和平底式（见图 1、图 2），平底式结构相对简单、上部有比较大的贮气容积，并且建设费用相对较低^[4]，但是搅拌效果相对较差，容易导致泥沙等沉积物积聚；柱锥式即采用上下带有坡度的圆柱形池型，相比于平底式圆柱池，可减少泥沙积聚的问题，本工程从建设费用、沉积物积聚等方面进行综合考虑，选用柱锥式池体。

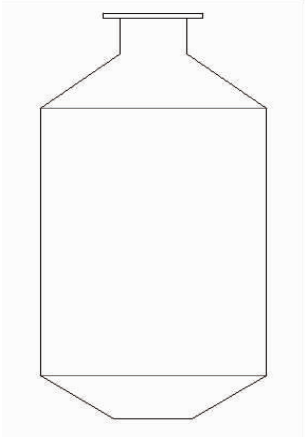


图 1 柱锥式

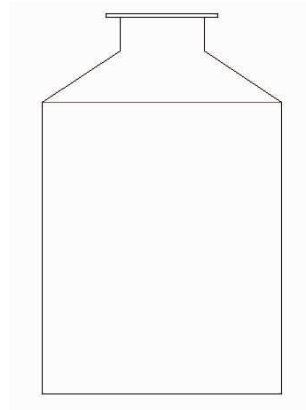


图 2 平底式

2.2 池体材质

消化池体有钢制和混凝土两种材质，现将上述两种材质做如下比较：

(1)消化池体直径 15 m，采用钢制罐体会存在钢罐壁厚较薄，罐体焊接加工时容易变形的问

凝土池体与钢制罐施工工艺不同,不存在上述问题。

(2)消化池的进泥不可避免的含有泥沙,若采用钢制罐,混有泥砂的污泥在搅拌作用下对池壁层产生磨耗,内防腐层易剥落,罐内介质进而对罐体产生磨耗及腐蚀;混凝土池体壁厚较厚,受泥沙磨耗的影响较小。

(3)加德满都谷底所在地每年的 4—9 月是雨季,持续时间长,并且暴雨瞬时强度大,降雨历时长,若采用钢制罐体,长时间收到雨水侵蚀,罐体外壁防腐层容易剥落产生锈蚀。另一方面,对于污泥消化,很重要的控制参数就是消化温度,要求温度控制在 $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内,钢罐壁厚较薄,受周围环境影响大。混凝土罐壁厚较厚,降雨等带来的腐蚀及池内泥温受外界环境影响较小。

(4)钢制罐体材料需要运抵施工现场进行焊接组装,组装完成需对罐体进行无损探伤检查,钢结构池体的拼焊施工对设备设施、操作人员的要求均高,现场施工不确定因素多,有可能导致工期延误等。而混凝土结构池体与本工程其他混凝土单体构筑物施工步续一致,规避了对设备设施及其人员的依赖。

通过上面的对比分析,本工程消化池体采用混凝土结构,见图 3。依据进泥参数,对消化池进行工艺设计,具体池体参数见表 4。

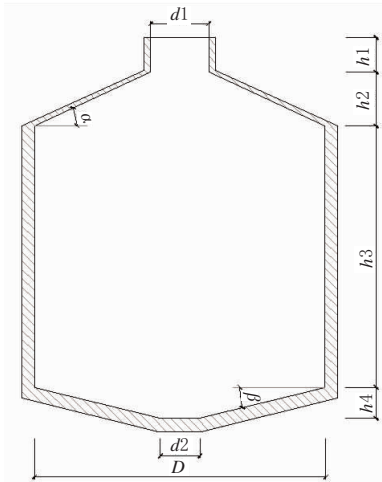


图 3 池体结构图

2.3 立体搅拌

为了提高池内污泥与消化池内菌落的混合均质性,通常在消化池内设置搅拌系统,对污泥进行适当搅拌,最终目的是提高消化池内污泥的消化反应速率,加速污泥的消化分解。常见的搅拌形式分为以下三种,外置泵式循环系统、机械搅拌、沼气搅拌,通常是单独一种或是两种组合使用。沼气搅拌是将消化池顶部的部分沼气抽出经沼气压缩机后通回池内对

表 4 消化池池体参数

项次	单位	数值
进泥量	m^3/d	266
TSS	13 637 kg/d	51 500 mg/L
固体停留时间	d	20
消化池数量	套	2
设计温度	$^{\circ}\text{C}$	35
进泥含固率		%
单罐设计容积	m^3	2 648
单罐直径 D	m	15
直筒体高度 h_3	m	14
顶部直径 d_1	m	3
顶部高度 h_1	m	1.5
顶部椎体夹角 α	$^{\circ}$	25
底部椎体夹角 β	$^{\circ}$	25
底部椎体高度 h_4	m	1.08

消化污泥进行搅拌;外置泵式循环系统是在消化池外设置循环泵,将污泥进行抽吸并泵回消化池内部来实现池内污泥的循环,一般适用于较小的、带漏斗底的消化池。机械搅拌是在消化池顶部或是侧壁设置搅拌机械,罐内连接搅拌电机的搅拌轴上设置单排或多排桨叶,通过轴的旋转带动桨叶旋转,对消化污泥进行混合。

现对三种搅拌形式进行优缺点分析比较(见表 5):

表 5 三种搅拌系统优缺点对比表

项次	外置泵式循环	机械搅拌	沼气搅拌
优点	可将顶部浮渣、底部泥沙一起提升循环,形成全池搅拌	搅拌效率高	需要的动力较小
缺点	1. 泥沙对泵的叶轮等磨损严重; 2. 污泥经泵抽提至外部循环,不可避免的有热量损失; 3. 叶轮和泵体过流部件及管道长期受到腐蚀; 4. 外置泵搅拌能耗高	1. 不能形成全池搅拌; 2. 轴封处容易漏气; 3. 不适用大型污泥搅拌罐	1. 产出沼气中含有一定量的含硫气体,容易腐蚀管路和设备; 2. 气体搅拌容易产生浮渣、泡沫,且不能有效去除; 3. 压缩机维护难度高; 4. 不能形成全池搅拌; 5. 搅拌能耗高; 6. 接口密封困难。(卵形污泥消化池及其搅拌系统的选择)

三种搅拌方式均有应用,很难说哪种优势更为显著,具体选择时还是要贴合工程的实际情况,如池体大小、池形、污水预处理泥沙处理效果等,本工程消化池体较小,且为柱锥池形,搅拌系统的选择范围较宽,从搅拌效率、维护工作量、机械及循环设备磨损腐蚀情况来看,选择机械搅拌较为合适。

消化池现行常见的机械搅拌一般有两种,立轴式(见图 4)和侧进式(见图 5),立轴式搅拌是在消化罐顶部设置一台低速搅拌器,侧进式搅拌一般是在罐壁中部、底部设置两层搅拌器,每层对称设置 4 台搅拌器。这两种搅拌形式各有利弊,立轴式应用较为广泛,技术较成熟,因为是单台电机,一旦设备有问题,消化池的搅拌只能暂停;侧进式搅拌的特点是轴向流大、适用于悬浮颗粒介质的搅拌,但是动力设备增多,运行成本及维护工作也相应增加。两种搅拌系统有利有弊,但是立轴式搅拌系统的优势还是较为明显,鉴于此,本工程确定采用立式机械搅拌。

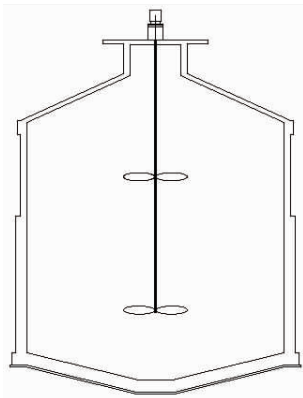


图 4 立轴式机械搅拌

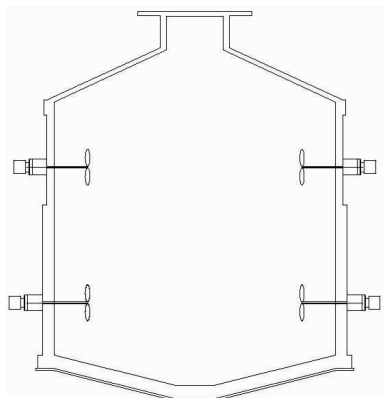


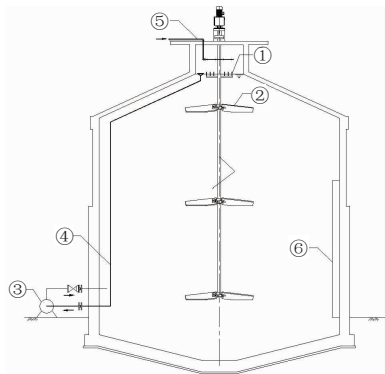
图 5 侧进式机械搅拌

浮渣问题是消化池设计不可逾越的关键问题,有的建成厂卵形池的浮渣达 15 cm 高,平底式浮渣厚度达到 1 m^[2],现有破除浮渣的方式跟选用池形、搅拌方式密切相关,一般有沼气搅拌、池顶喷淋工艺水、外置泵抽取循环等破除,单一的浮渣破除方式不能有效避免浮渣结盖。

常规立式机械搅拌系统,采用双层或三层桨叶搅拌,上部对浮渣层没有扰动,浮渣层越积越厚,产生板结,直接影响沼气的释放,池体有效容积不断减小,如此恶性循环,消化池的搅拌效果和使用寿命都得不到保障。

本次对原有常规立轴式搅拌进行优化设计,采

用立体搅拌设计(见图 6)来保证浮渣的破除和池内污泥的混合搅拌,以此来提高消化池的容积利用率以及加速污泥的厌氧分解。



1—耙齿桨叶;2—高效轴流桨叶;3—浮渣循环泵
4—浮渣循环管路;5—顶部喷淋系统;6—推流挡板

图 6 立式搅拌系统图

立式搅拌系统设计:

(1)采用上、中、下共三组桨叶,单组采用高效轴流桨叶,电机输出转速 20 rpm,电机功率 22 kW 且电机防爆,桨叶直径 3 800 mm,触液材质 SS304。搅拌轴没有采用下轴承式固定设计,主要防止泥沙与下轴承的长期接触产生磨损进而影响搅拌轴的平衡。

(2)在三桨叶搅拌轴设计基础上,考虑浮渣结盖的问题,另行在气、液界面增设齿耙状桨叶一组。

(3)在池壁设置挡板,实现桨叶的推流效果,挡板呈 120°分布,宽度 400 mm,高度 10 m。

在立式搅拌设计基础上,增设浮渣破除及循环系统,形成立体搅拌:

a. 在消化池顶部设置喷淋装置,接一路清洁水,布置一组环状喷淋管路,孔眼呈 45°斜向下开设,孔眼直径 5 mm,孔眼流速 30 m/s,消化池形成的浮渣在齿耙桨叶和上部喷淋水的作用下被打碎。

b. 在池体内部一侧设置一根钢管,作为浮渣的循环推流管路,池底部外侧设置一台浮渣泵,已被耙齿桨叶打碎的浮渣通过管顶部溢流口溢流至管内,推流管延伸至池底并接至池体外侧浮渣泵入口,泵出口管路再回接至池内,如此循环,实现了浮渣的破除。

2.4 换热设计

为了使消化池保持中温高效稳定运行,对污泥换热方式进行考察,一种是在罐内安装加热盘管,另一种是罐外设置换热器。罐内安装加热盘管在钢制罐中较为常见,但是弊端较多:(1)管道容易腐蚀且不易维护;(2)盘管一般沿着罐壁安装,导致罐内污

泥加热受热不均匀,局部加热温度过高,超过微生物的耐受温度,出现局部微生物死亡的现象。

本工程采用罐外换热方式,具体是管套式换热器,管壳材质 SS304,换热面积 8.5 m²,在污泥循环管路上设置了压力、温度检测仪表(见表 6)。

表 6 换热器

项目	单位	数值
生污泥流量(自混合池)	m ³ /h	5.52
生污泥进泥温度(自混合池)	℃	12
循环污泥/生污泥体积比	-	3:1
循环污泥量	m ³ /h	16.56
循环污泥温度	℃	35
混合污泥温度(进换热器)	℃	29.36
混合污泥量(进换热器)	m ³ /h	22.52
热水进水温度	℃	90
热水出水温度	℃	70
热水循环量	m ³ /h	16

2.5 管路设计

消化池采用下进上溢流的进出料方式,混合污泥池污泥与消化池内抽出的污泥一同进入管式换热器,与热水进行热交换后的污泥自消化池底部进入池内,在搅拌桨叶的作用下与池内污泥进行充分混合。

(1)从消化池内抽出污泥的抽出点设置在池体中下部,而非在池底部,可以减少由于抽吸池底积聚的泥沙所带来的热交换循环管路及设备的磨损问题。

(2)消化池的出泥是采用溢流方式出泥,出泥口设置溢流堰,为了防止产生的沼气在上升的过程中从出泥口漏溢,溢流槽液位设置比池内液位高出 350 mm,兼做水封保护。

(3)消化池的排泥管沿着底部坡度敷设,与上部溢流槽内污泥一同排至消化后污泥池至后续脱水处理。

(4)考虑到消化池在竖向各段的生物相组成不一样,污泥浓度由上至下呈一定的浓度梯度[3],在消化池的上、中、下部均设置采样管,便于实际运行时分析消化池的实际工况。

(5)采用多点进泥,在罐壁设置 4 处进泥点,呈 90°分布,使污泥在消化池均匀分配。

2.6 安全保护措施

消化池内沼气压力一般在 3 kPa,将消化池顶部沼气出口连接至正、负压保护器,当气体压力低于或高于大气压力一定值时,进气口、出气口连通,从而实现保护池体的功能。在每座消化池的沼气管路上

设置阻火器,防止非正常情况下火焰于管道中的逆向传播,用于阻断火源。

2.7 整体布置

(1)平面布置

消化池的平面布置应结合总平面布置图考虑,消化系统距离周边构筑物的有效防护距离 30 m 以上,两座消化池呈对称布置,换热间位于两消化池中间,换热设备及循环泵放置于换热间内,主要是考虑进行泥水热交换的管线距离最短,保证输送过程热损失最低。

消化池的取样槽、消化后污泥阀门井及平台均对称布置在两座消化罐中间,便于取样及其他操作。

(2)竖向布置

消化池检修平台设置上、中、下三层,中、下两层分别对应消化池的检测仪表,供常规检测仪表的巡查,上层可连接至消化池顶部,作为顶部沼气收集管路和出料口的巡查和维护。

3 结 语

本文对加德满都谷底 D 污水厂污泥消化池的池体结构、搅拌系统、换热系统、管路、安全保护措施及消化池的布置进行了较为详细的工艺设计,并着重对池体结构的确定和搅拌系统优化设计进行了相关探讨。

(1)相比于钢制罐体,混凝土结构消化池在受外界自然条件变化、内部搅拌磨耗及腐蚀、池体施工及检验等方面的影响较小,更适用于当地的气候。另外,针对消化池普遍存在的浮渣易结盖及难以破除的问题,对消化池的搅拌系统进行优化设计,在常规三桨叶立式轴式搅拌装置的基础上增设浮渣耙齿搅拌器、浮渣推流筒,形成一套立体搅拌系统,使浮渣破碎、循环,提高了池体容积利用率的同时,也提高了池内污泥降解率,进而实现污泥的资源化利用。

(2)加德满都谷底污水处理厂的新建,可以改善该地区的排水现状,也可为“一带一路”沿线国家其他类似项目的设计提供参考。

参考文献:

[1] [美]梅特卡夫和埃迪公司.废水工程处理及回用[M].北京:化学工业出版社,2004.
[2] 牛学义.卵形污泥消化池及其搅拌系统的选择[J].中国给水排水,1999(11):59-61.
[3] 战树峰,杨少厚.一种污泥厌氧消化池搅拌器.中国[P].201411224.
[4] 魏炎光.污泥消化罐的选型及搅拌系统的配置[J].中国给水排水,2002(8):74-75.