

污泥厌氧消化沼气优化利用成本分析

张利军 谢继荣 马文瑾 邹宝

(北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100176)

摘要 介绍了国内沼气利用的情况,特别是污泥厌氧消化系统的发展前景及产生沼气的各种利用方式。对污泥厌氧消化本体及四种常见的沼气综合利用方式的成本进行了比较及综合分析,所有的数据都来源于运行实践,对其他污泥厌氧消化系统的经济运行和沼气综合利用方式的选择具有一定借鉴作用。

关键词 污泥厌氧消化 沼气利用 沼气拖动鼓风机 沼气发电 沼气并网 沼气锅炉

1 国内沼气利用情况

目前,我国仅约 50 余座污水处理厂采用了污泥厌氧消化工艺,不到全国城市污水处理厂数量的 5%,其中大连夏家河和北京小红门的厌氧消化系统由于其运行稳定性在 2011 年被住建部评为污泥处理处置全国示范项目。厌氧消化系统生产出的沼气主要用于沼气拖动鼓风机、沼气发电、沼气并网、沼气锅炉等几种方式。其中,沼气拖动鼓风机是将沼气燃烧的热能直接转化为动能,同时输出余热;沼气发电将沼气燃烧的热能转化为电能和热能,生物质能发电并网在西欧一些国家占能源总量的 10% 左右;沼气并网是将提纯净化后的沼气并入市政管网,供生产生活使用;沼气锅炉是利用锅炉直接燃烧沼气,输出热能。

2 以某污水厂厌氧消化系统为例进行分析

2.1 目前某厂产气情况及趋势

某厂现有厌氧消化池 5 座,设计日进泥量 3 000 m³/d,日产沼气 30 000 m³/d。2011 年,5 座消化池先后大修。2012 年初,先后恢复运行,目前产气量在 15 000 m³/d。预计稳定运行后能达 25 000 m³/d。现有沼气利用方式沼气拖动鼓风机 3 台,沼气锅炉 3 台。沼气拖动鼓风机除输出动能之外,还给消化池提供热能,不足部分由沼气锅炉补充。另沼气锅炉在冬季为厂内生活供暖。

2.2 消化系统运行分析

2.2.1 消化系统的经济效益和环境效益

消化系统效益主要包括两块:一是产出沼气,二是污泥减量。依据目前情况,日进泥 3 000 m³,日产

沼气 15 000 m³。沼气的经济效益取决于后续的沼气利用方式。污泥减量的经济效益按如下方式计算。消化池进泥含水率为 96%,消化池排泥含水率为 97%,每天进泥 3 000 m³,干物质消减量为 30 t,也就是后续脱水少产泥饼(含水率 82%)约 167 t。按照当前平均泥饼处置费用 150 元/t 计算,全年可节约污泥处投入约 914 万元。

消化系统污泥减量的环境效益非常明显,可大量减少污泥处置所需的土地,同时,有机份降低也大大减轻了污泥对周围环境的污染。

2.2.2 消化系统成本

消化系统 2011 年运行总费用 1 040 万元,其中包含人工成本、设备大修及小修费用、设施大修及小修费用、消化系统电费、消化系统药剂费、物料费(劳保用品及油品类)、自来水费、资产折旧费。

消化系统主体设备设施投资总额为 7 500 万元(其中设备 2 000 万元,设施 5 500 万元),设备折旧 15 a,设施折旧 30 a,每年资产折旧费用为 316 万元,详见表 1。

表 1 某厌氧污泥消化系统成本统计

项目	金额/万元
人工成本	180
消化设备维修费	210
消化系统电费	170
消化系统药剂费	80
消化设施大修费	40
消化物料费	40
消化自来水费	4
资产折旧	316
总计	1 040

以日均产气 15 000 m³ 计算,消化系统年运行费用减去污泥减量效益为每年的纯投入,即 219 万元,可看作生产沼气的成本,则沼气生产单价为:0.4 元/m³。产气量越多,沼气生产成本越低。

2.3 各类沼气应用方式比较

下面将对各类沼气应用方式进行比较,沼气(甲烷 70%)产量按 15 000 m³/d 计算。各类沼气应用方式见表 2。

表 2 各类沼气应用方式及数据

序号	应用方式	单台单位时间 沼气体积/m ³ /h	设定沼气产量下需 设备数量/台(套)
1	沼气拖动鼓风机	220	3
2	沼气发电	214	3
3	沼气并网	700	1
4	沼气锅炉	260	3

2.3.1 沼气拖动鼓风机

2.3.1.1 收益计算

3 台沼气拖动鼓风机输出功率为 491 kW·h,全年运行台时为 26 280 h,暂定有效系数为 0.65,实际可节约电能为 8 387 262 k·h。按照现行电价 0.766 元/(kW·h)计算,可产生经济效益 642 万元。

根据实际运行经验总结,进入沼气拖动鼓风机的沼气热值主要转化为四种形式:约 32.03% 用于拖动鼓风机,约 30% 热值可用于加热消化污泥,剩余热量以热辐射的方式散失到大气中。沼气发动机每小时燃烧沼气 220 m³,本身发热,经过换热器换热后输出热能,换热效率为 0.75,3 台沼拖开启,夏天可供 5 座消化池加热。每台相当于燃烧天然气 162 m³/h,按照天然气单价 2.28 元/m³ 计算,全年可节约消化池加热费用约 218 万元。沼拖总经济效益为 860 万元。

2.3.1.2 成本计算

3 台沼气拖动鼓风机运行费用主要包含人工成本、备件费用、润滑油费用、设备大保养、资产折旧四部分,其中备件及润滑油费用属于日常维保过程中产生的必要消耗,大保养为按照设备随机维护手册开展的周期性大型保养项目。根据历年统计,沼气拖动鼓风机运行费用共计 369 万元。其中人工成本 40 万元,备件费用 20 万元,润滑油 15 万元,设备大保养 80 万元,资产折旧 214 万元。

2.3.1.3 小结

根据以上计算,项目利润为 491 万元。固定资产回收期约 6.5 a。项目利润与运行费用的比值为 1.331。该阶段沼气使用成本为 0.638 元/m³。

2.3.2 沼气发电

2.3.2.1 收益计算

以 500GJZ1-PWZ-ESM1 型沼气发电机组进行说明。单台持续运行消耗的沼气体积约为 2.5 m³/min(100% 甲烷)。计算应按照 3 台机组运行,每台机组长期稳定运行平均功率 420 kW,年运行时间 365 d 计算,则:

年发电量为 420 kW × 24 h × 365 d × 3 = 1 103.7 万 kW·h,按年发电 1 100 万 kW·h 计算。年发电收益为:1 100 × 0.766 ÷ 1.17 = 720(万元)。

为了充分利用发电机组排气余热,在每台机组排烟管上配套安装 1 台余热锅炉。发电机组排烟温度为 550 °C 左右,经余热锅炉换热后排烟温度约为 170 °C。余热锅炉的进水通过余热锅炉与机组烟气换热,产生 95 °C 热水用于厂内使用。

发电机每小时燃烧沼气 214 m³,本身发热,经过余热锅炉换热后输出热能,换热效率为 0.75,3 台开启,夏天可供 5 座消化池加热。每台相当于燃烧天然气 157 m³/h,按照天然气单价 2.28 元/m³ 计算,全年可节约消化池加热费用约 211 万元。

根据以上计算,该项目年总收益约 931 万元。

2.3.2.2 成本计算

3 台沼气发电机的运行费用主要包括:人工成本 40 万、备件费 30 万元、辅料费 15 万元、润滑油费 25 万元、设备大保养费 85 万元及资产折旧 80.5 万元等几项,合计 275.5 万元。

2.3.2.3 小结

根据以上计算,项目利润为 931 - 275.5 = 655.5(万元)。固定资产回收期约 1.3 a。项目利润与运行费用的比值为 2.379。该阶段沼气使用成本为 0.503 元/m³。

2.3.3 沼气并网

2.3.3.1 收益计算

以水吸收脱碳和固碱及分子筛干燥脱水沼气净化装置为例。沼气经过净化并入天然气或煤气管网,15 000 m³ 的沼气(甲烷 70%)可以变成 11 000

m^3 的天然气(甲烷 95%)。按照 1.5 元/ m^3 的价格,全年可实现收益 602 万元。

2.3.3.2 成本计算

该沼气净化装置运行费用主要包括人工成本 20 万元、运行电费 87.7 万元、药剂费 23.99 万元、资产折旧 29.3 万元等。

2.3.3.3 小结

根据以上计算,项目利润为 $602 - 160.99 = 441.01$ (万元)。固定资产回收期约 1 a。项目利润与运行费用的比值为 2.739。该阶段沼气使用成本为 0.294 元/ m^3 。

2.3.4 沼气锅炉

2.3.4.1 收益计算

某沼气锅炉每小时每台耗气 260 m^3 ,全天共需沼气 $18\,720 \text{ m}^3$,考虑到回水温度过高之后的自动停机等情况, $15\,000 \text{ m}^3$ 基本可以满足 3 台沼气锅炉使用。按照天然气与沼气热值比为 1.53 计算,等量热值天然气为 $9\,804 \text{ m}^3$,天然气价格按 2.28 元/ m^3 计算,每天经济效益 22 353 元,约 2.3 万元,全年 839.5 万元。

2.3.4.2 成本计算

3 台沼气锅炉运行成本主要包括人工成本 30 万元、维护维修费用 10 万元、备件费用 6 万元、运行电费 22 万元、药剂费用 3 万元、资产折旧 30 万元等几个方面,合计 101 万元。

2.3.4.3 小结

根据以上计算,项目利润为 $839.5 - 101 = 738.5$ (万元)。固定资产回收期约 0.7 a。项目利润与运行费用的比值为 7.31。该阶段沼气使用成本为 0.184 元/ m^3 。

2.4 能源综合利用率比较

如果不考虑后续情况,沼气并网对于消化系统来说实现了能源的 100% 的利用。根据设备提供的

资料以及行业内的经验,沼气锅炉的热效率在 80%~90%。沼气拖动鼓风机和沼气发电都实现了初步热电联产(35% 的能量用于发电),效率基本一致,但是沼气拖动鼓风机后边带动鼓风机运行,要损失部分能量;热能部分也存在换热效率高低不同的情况;一般沼气拖动鼓风机的综合能源利用率为 55%~65%,沼气发电的综合能源利用率为 60%~70%。

2.5 综合分析(见表 3)

对于沼气综合利用项目来说,固定资产投资越少越好,固定资产回收期越短越好,利润与费用比值越高越好,沼气综合成本越低越好,能源综合利用效率越高越好,维修维保份额越低越好。从上表可以看出,沼气拖动鼓风机五项指标最差,沼气发电一项指标最差,沼气锅炉三项指标最优,沼气并网三项指标最优。

从投资角度看,沼气锅炉和沼气并网具备投资少、回收快的优点。从运行效益看,沼气锅炉利润与运行费用比值为 7.310,具备高回报的特点。

从市场角度看,沼气综合成本(沼气生产成本+沼气使用成本)越低,越有利于项目的顺利开展乃至于生存。

从能源角度看,沼气发电和沼气锅炉实现了能源较为充分的利用。而热电联产在环境保护的大背景下,优势明显。

从维修维保费用看,沼气拖动鼓风机和沼气发电的设备大保养费用都很高,而且每年都发生,不利于连续运行,会导致利润明显减少。

3 结语

根据文中分析,结合案例的实际情况,单纯使用沼气锅炉并不现实,对热的需求仅限于厂内,冬季较多,夏季较少;沼气拖动鼓风机各项指标均不良,但已建成,在沼气并网和沼气发电未立项之前,可以使用富余气量。沼气并网面向厂外,需求无限,顺应时

表 3 沼气综合利用成本分析

沼气应用方式	固定资产投资/万元	固定资产回收期/a	利润与运行费用比值	沼气综合成本/元/ m^3	能源量综合利用效率/%	维修维保在运行费中的份额/%
沼气拖动鼓风机	3 200	6.5	1.331	1.038	55~65	22
沼气发电	805	1.3	2.739	0.503	60~70	31
沼气并网	440	1	2.739	0.794	100	0
沼气锅炉	450	0.7	7.310	0.584	80~90	10

次氯酸钠消毒再生水的效果和副产物生成量研究

厉智成 吴 珊 靳伟伟

(北京工业大学建筑工程学院 北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100124)

摘要 采用次氯酸钠在实验室对配制再生水进行消毒试验研究,同时考察次氯酸钠对粪大肠菌群灭活效果和消毒副产物(三卤甲烷)的生成量。研究表明,微生物的灭活率随着次氯酸钠的浓度和接触时间的增加而增大,当次氯酸钠浓度为 8 mg/L 且接触时间为 20 min 以上时,水样中粪大肠菌群的灭活率可达 6 lg 以上;同时得到,消毒副产物三卤甲烷的含量虽然随次氯酸钠浓度和接触时间的增大而增加,但是即使次氯酸钠浓度达到 20 mg/L,且接触时间达 3 h 时,产生的三氯甲烷最大量为 27.6 $\mu\text{g/L}$,也是低于我国生活饮用水卫生标准中对三氯甲烷含量的限值(60 $\mu\text{g/L}$)要求,因此,对再生水采用次氯酸钠消毒在能满足水质微生物安全性的 CT 值下,产生消毒副产物三氯甲烷的风险是可以接受的。

关键词 再生水 消毒 次氯酸钠 粪大肠菌群 三卤甲烷

0 前言

“再生水”是污水(废水)经过适当的处理,达到要求的水质标准,在一定范围内能够再次被有益利用的水。再生水的使用一方面可以减少污水排放量,减轻对水体的污染,有利于水环境状况的改善;另一方面,可以缓解水资源得短缺,减少开发新水源的投资,具有明显的经济效益,因此,城市污水回用符合可持续发展战略^[1]。再生水利用过程中,虽然不像饮用水那样直接跟人体接触,但是,当用于城市杂用,景观水体补水等场合时,会有可能通过皮肤接触、呼吸吸入等途径与人体发生关系,所以,如何有效的控制再生水水质,特别是卫生学安全性,是保障再生水的安全性的重中之重^[2~4]。

消毒工艺是再生水处理的重要环节,而氯消毒是比较常见的消毒工艺。由于再生水中有机物的含量较饮用水标准要高,作为以污水为水源的再生水中微生物浓度也比较高,需要投加的消毒剂剂量相

代要求;沼气发电能明显节约运行电费,但后续运作相对复杂。

参考文献

- 王洪臣.城市污水处理厂运行控制与维护管理.科学出版社,1997:201~237
- 宋晓雅,杨向平,王东生.大型污泥厌氧消化系统的启动与运行调

应也较高,因此,氯消毒过程中产生以三氯甲烷为代表的有毒有害消毒副产物是不可避免的,也是被关注的再生水利用的水质风险之一。如何解决病原微生物灭活和消毒副产物生成的矛盾,是再生水消毒技术选择面临的重要问题。本试验通过模拟再生水水质,采用次氯酸钠消毒的方式,同时考察了采用次氯酸钠消毒再生水的效果,以及在满足对粪大肠菌群的灭活率标准的消毒 CT 值下,三卤甲烷的生成量的情况。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

菌悬液制备:取校区生活污水,用涂布棒将生活污水均匀涂抹到营养琼脂培养基上,放入到培养箱中经 37 $^{\circ}\text{C}$ 培养 24 h。再用涂布棒将营养琼脂培养基的细菌慢慢刮下,并用超纯水将细菌冲入到装有少许超纯水的烧杯中,制成具有一定细菌浓度的菌悬液。试验时,根据试验需要将菌悬液稀释到水样中。

控.给水排水,2011,12(3):1~3

& 通讯处:100176 北京市南四环东路 86 号小红门污水处理厂 张利军

E-mail:zhlj@bdc.cn

收稿日期:2013-02-18

污泥厌氧消化沼气优化利用成本分析

作者: [张利军](#), [谢继荣](#), [马文瑾](#), [邹宝](#)
作者单位: [北京城市排水集团有限责任公司, 北京, 100176](#)
刊名: [给水排水](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [Water & Wastewater Engineering](#)
年, 卷(期): 2014(z1)

参考文献(2条)

1. [王洪臣](#) [城市污水处理厂运行控制与维护管理](#) 1997
2. [宋晓雅](#); [杨向平](#); [王东生](#) [大型污泥厌氧消化系统的启动与运行调控](#) 2011 (03)

引用本文格式: [张利军](#), [谢继荣](#), [马文瑾](#), [邹宝](#) [污泥厌氧消化沼气优化利用成本分析](#) [期刊论文]-[给水排水](#) 2014(z1)