

沼气发电在制浆造纸厂污水处理站的应用

王剑 赖芳

中国轻工业长沙工程有限公司

摘要: 制浆造纸污水具有水量大、COD高的特点,在制浆造纸污水厌氧处理过程中,有机物经厌氧发酵产生大量沼气。利用污水厌氧处理产生的沼气发电,不仅降低了对环境的污染,还可提高污水站的能耗自给率,降低运行成本。本文以某制浆造纸厂30000m³/d污水厌氧处理工程为例,介绍了污水厌氧处理系统沼气的产生原理、沼气特性及产生量、沼气发电系统的组成以及沼气发电的经济效益分析。

关键词: 制浆造纸污水; 厌氧处理; 沼气发电

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2021.20.175

随着社会的进步和工业的不断发展,世界范围内对能源的需求量日益增大。然而,常规能源煤、石油、天然气的储备量却在不断减少,其次,常规能源作为燃料使用给环境造成严重的污染,对此开发清洁的新能源已成为能源与环境领域的研究热点。由于国家对环境和清洁能源的重视,沼气工程得到迅速发展,沼气发电技术也得到广泛利用。

当前很多造纸厂污水处理站设厌氧处理系统,厌氧技术在造纸厂应用初期,沼气大多采用火炬燃烧放空,不仅浪费能量,而且沼气燃烧后产生的SO₂对空气也造成污染,沼气未得到资源化利用。沼气发电不仅充分利用了沼气中的生物质能,还可以减少沼气中硫化物等污染物的排放量,具有环境和经济双重效益。

一、厌氧处理工艺及沼气产生原理

制浆造纸厂最大的污染是污水排放,排水量大,污水成分复杂且COD浓度高。以废纸造纸为例,每生产一吨纸约排放10吨污水,污水中COD_{Cr}一般为1500~5000mg/L, BOD₅一般为550~1500mg/L,造纸污水具有较高的可生物降解性。目前,厌氧生物处理技术在造纸污水处理领域得到广泛应用。在处理过程中,绝大多数有机物在厌氧菌的作用下分解产生以CH₄为主要成分的沼气。

某大型造纸厂投产造纸项目,主要生产箱板纸,原料为废纸和商品浆,实际产能90万吨/年,污水处理规模30000m³/d。污水处理采用厌氧(IC)、好氧(SBR)、三级深度处理(Fenton)工艺。并利用厌氧处理系统产生的沼气发电。

(一) 制浆造纸污水厌氧处理工艺

该项目产生的污水中TCOD_{Cr}为4000~5000mg/L, BOD₅为1200~1500mg/L,污水经斜网、初沉池、调节预酸化池、厌氧反应器后水质可达到: COD_{Cr}: 1000mg/L, BOD₅: 300mg/L。该工艺在制浆造纸污水处理领域被广泛采用,工艺流程为:

制浆造纸污水→机械格栅→集水井→斜网→初沉池→调节池→预酸化池→IC厌氧反应器(产生沼气)→进

入后续好氧处理系统

车间产生的污水经地沟收集排入集水井,集水井的污水进入初沉池之前,先经斜网,大部分的SS经过滤网过滤后,回用至造纸工艺过程中。

污水经斜网处理后自流入初沉池,SS在初沉池中仅依靠重力下沉,成为污泥而去除。

中温厌氧菌的适宜温度是33~38℃。在夏季,为了保证污水在此温度范围内,污水经过冷却塔冷却;在冬季水温合适,冷却塔可不运行。

污水经预酸化后进入厌氧反应器,IC反应器有效容积为4186m³。设计COD负荷为90t/d。在处理30000m³/d污水情况下,沼气产量预计为25200m³/d,产气率为0.42m³/kgCOD_{Cr}。

(二) 沼气产生的原理

在厌氧生物处理过程中,复杂的有机物经大量微生物的共同作用,被最终转化为CH₄、CO₂、H₂O、H₂S等。不同的微生物的代谢过程相互影响,形成了复杂的生态系统。高分子有机物的厌氧降解过程,即沼气产生过程,分为以下三个阶段:

第一阶段:水解发酵阶段。在水解和发酵细菌的作用下,使碳水化合物、蛋白质、脂肪,被转化为单糖、氨基酸、脂肪酸、甘油、CO₂、氢等。

第二阶段:产氢和乙酸阶段。在产氢产乙酸菌和同型乙酸菌作用下将第一阶段的产物转化为H₂、CO₂和CH₃COOH。

第三阶段:产甲烷阶段。CO₂和H₂在一类产甲烷菌作用下转变为CH₄和H₂O,而CH₃COOH在另一类产甲烷菌作用下转变为CH₄和CO₂。由乙酸形成的CH₄约占总量的2/3,由CO₂和H₂形成的CH₄约占总量的1/3。

二、沼气的性质

在厌氧反应器内,通过厌氧微生物的作用,废水中有机物被降解转化为沼气和生物污泥。沼气中含有60~65%可燃烧的CH₄和30~35%的CO₂气体以及少量的H₂S气体和H₂O。沼气富含甲烷,热值为21.5~23.3MJ/m³,比城市煤气略高,是非常好的燃料,具有很好的利用价值。

同时沼气也是一种污染性气体,含有H₂S等恶臭气体,沼气中的CH₄和CO₂均是温室效应气体,且CH₄是强温室效应气体,其温室效应是CO₂的21倍,如果直接排放,将影响大气环境质量。

三、污水厌氧处理系统沼气产量计算

污水厌氧处理产生的沼气体积可以按照下式计算:

$$V=Q \times (S_o - S_e) \times \eta$$

式中: V——沼气产生量, Nm³/d;

Q——进入厌氧反应器的污水流量, m³/d;

S_o——厌氧反应器进水化学需氧量, gCOD_{Cr}/L;

Se——厌氧反应器出水化学需氧量, gCODcr/L;

η ——沼气产率, 一般为0.4-0.45 m³/kgCODcr。

该项目30000m³/d污水厌氧处理系统中, 进入IC反应器的COD约为3000mg/L, IC反应器出水COD约1000 mg/L, 沼气产率取0.42m³/kgCODcr, 则沼气产量为:

$$V = 30000 \times (3-1) \times 0.42 = 25200\text{m}^3/\text{d}$$

四、沼气发电系统

沼气发电机组对沼气提出要求: 1) 沼气应经过稳压及过滤装置; 2) 沼气中甲烷体积含量 $\geq 35\%$; 3) 硫化氢含量 $\leq 200\text{mg}/\text{Nm}^3$; 4) 沼气温度 $\leq 40^\circ\text{C}$, 相对湿度小于80%; 5) 最佳供气压力为8-20kPa; 6) 不含游离态的水分和油。沼气经过上述净化处理后均能满足该发电机组的要求。

厌氧反应器产生的沼气中, H₂S的含量约12000mg/Nm³ (质量分数约1%)。由于沼气中含有有害杂质 (如H₂S、H₂O、颗粒物等), 因此, 沼气必须要进行净化处理, 并经过升压以满足发电设备的要求。

沼气净化及发电的基本流程为:

沼气→沼气稳压柜→生物脱硫装置→沼气稳压柜→增压风机→冷干机→发电机组

厌氧反应器产生的沼气, 进入沼气稳压柜稳压及储存, 再经沼气脱硫系统脱硫。

沼气经生物脱硫处理后, H₂S的含量 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$, NH₃含量 $\leq 15\text{mg}/\text{Nm}^3$, 杂质含量 $\leq 20\text{mg}/\text{Nm}^3$, 杂质粒度 $\leq 5\mu\text{m}$, 沼气温度 $\leq 40^\circ\text{C}$ 。

沼气经洗涤脱硫后, 由增压风机增压、冷干机除水后, 进入燃气内燃发电机组发电。

正常运行时, 沼气经过预处理装置进入沼气发电机组发电; 发电机组停运或故障时, 沼气经燃烧器燃烧放空, 保障系统的安全。

该工程30000m³/d污水厌氧处理系统中, 沼气产量为25200m³/d, 沼气中甲烷含量取62%。

沼气热值: $35.9 \times 62\% = 22.258\text{MJ}/\text{Nm}^3$;

发电功率 (按照发电效率40%) 计算:

$$N = \frac{25200 \times 22.258}{24 \times 3.6} \times 40\% = 2597\text{kW}$$

按照最大发电功率选择机组, 该项目选择两台沼气内燃发电机组。额定电功率1480kW, 电效率42%。

则, 发电功率校正:

$$N = \frac{25200 \times 22.258}{24 \times 3.6} \times 42\% = 2726.6\text{kW};$$

单台发电机的最大发电量为1363.3kW;

日总发电量65438kWh;

年总发电量22249056kWh (按照发电设备年运行340天计)。

五、沼气发电系统效益分析

沼气发电系统主要技术经济指标, 见表2:

表2 沼气发电系统技术经济指标估算

序号	项目	单位	数值	备注
1	年发电量	kWh/a	22249056	年运行340天
2	沼气消耗量	万Nm ³	856.8	年运行340天
3	发电设备年运行小时数	h	8160	年运行340天
4	发电效率	%	42	
5	系统自用电率	%	约6	
6	系统年自消耗电量	kWh/a	1334943	
7	系统年净发电量	kWh/a	20914113	
8	系统日净发电量	kWh/d	61512	
9	每立方沼气净发电量	kWh/Nm ³	2.44	
10	年发电总收益	万元	1464	电价按0.7元/kWh计

该项目30000m³/d污水厌氧处理及沼气发电系统实施后, 沼气发电产生的电量可用于污水处理站, 耗电量与发电量比较见表3:

表3 污水处理站耗电量与沼气发电量比较

序号	项目	单位	数值	备注
1	污水处理系统日耗电量	kWh/d	71660	水量30000m ³ /d
2	每立方污水消耗的电量	kWh/m ³	2.372	
3	系统日净发电量	kWh/d	61512	
4	厌氧系统每立方污水产生电量	kWh/m ³	2.05	以净发电量计
5	电耗自给率	%	86.4	

六、结论

资源化利用沼气具有多重经济、社会和环保价值。从该厂沼气发电项目实施情况可以得出以下结论:

1、制浆造纸厂污水处理站利用沼气发电, 减少碳排放, 降低温室效应, 抵消了部分运行成本。不仅改善了排气质量, 还推动了企业实现节能减排及清洁生产;

2、制浆造纸厂污水处理站利用沼气发电产生的电量可用于污水站, 电耗自给率超过80%, 可保证污水处理站供电的稳定性, 可避免由于突发断电带来的一系列问题;

3、沼气发电规模小, 占地面积小, 布置灵活、建设周期短, 且受环境限制小, 非常适用于制浆造纸厂污水处理站;

4、制浆造纸企业污水排放量大, 且成分复杂, 污水处理站运行能耗高、污染物资源化和能源回收利用程度低。污水处理站实施沼气发电技术具有十分重要的意义。

参考文献

- [1] 沼气电站技术规范, NY/T 1704-2009.
- [2] 杨学富. 制浆造纸废水处理. 北京: 化学工业出版社, 环境科学与工程出版中心, 2001.
- [3] 杨晓秋, 蒋健翔, 万先凯, 次新波. 造纸废水厌氧处理产沼气发电研究. 环境污染与防治, 2010, 9: 46-49.