

唐山市畜禽粪便产沼气发电 生命周期评价

谈志伟 姬爱民

(华北理工大学冶金与能源学院, 河北 唐山 063210)

摘要: 为探究唐山市某畜禽粪便厌氧发酵沼气项目的减排潜力, 通过项目案例的实际生产数据, 运用生命周期评价方法分析唐山市某畜禽粪便产沼气发电项目和传统火力发电项目不同阶段的环境影响表现。结果表明: 火力发电各阶段的污染物排放差异较大, 主要集中在燃煤发电阶段; 沼气发电各阶段污染物排放量除 SO_2 、 CO_2 、 CH_4 外无明显差异。沼气发电全生命周期过程的环境表现均优于火力发电, 具有更高的减排能力, 其中沼气发电加权后的环境酸化潜势比火力发电低 96.64%, 其次分别是人体毒性潜势 (77.32%)、全球变暖潜势 (67.78%) 和富营养化潜势 (5.71%)。

关键词: 畜禽粪便; 沼气发电; 火力发电; 生命周期评价

中图分类号: TM61

文献标识码: B

文章编号: 1004-7948 (2022) 09-0061-03

doi: 10.3969/j.issn.1004-7948.2022.09.016

Life cycle assessment of biogas power generation from livestock and poultry manure in Tangshan City

TAN Zhi-wei JI Ai-min

Abstract: In order to explore the emission reduction potential of a livestock and poultry manure anaerobic fermentation biogas project in Tangshan City, through the actual production data of the case project, the life cycle assessment method was used to analyze the environmental impact performance of a livestock and poultry manure biogas power generation project and traditional thermal power generation project in different stages in Tangshan City. The results show that the pollutant emissions of thermal power generation vary greatly in each stage, mainly in coal-fired power generation stage, and there is no significant difference at each stage in biogas power generation except for SO_2 , CO_2 and CH_4 . The environmental performance of biogas power generation in the whole life cycle process is better than thermal power generation, with higher emission reduction capacity. The weighted environmental acidification potential of biogas power generation is lower than that of thermal power generation by 96.64%, followed by human toxicity potential (77.32%), global warming potential (67.78%) and eutrophication potential (5.71%).

Key words: livestock and poultry manure; biogas power generation; thermal power generation; life cycle assessment

引言

畜禽粪便属于典型固体废弃物, 如果不妥善处理, 会对大气、土壤和水体等生态环境造成危害^[1-3], 畜禽粪便处置利用的重要性不可忽视。目前, 较普遍与成熟的国内畜禽粪便处置利用方法是厌氧发酵和好氧堆肥^[4]。以厌氧发酵产沼气发电为代表的沼气工程项目能够改善随意处置畜禽粪便造成的环境问题, 从畜禽粪便中回收部分能量 (沼气燃烧产生电力) 和有机物 (氮、磷、钾及微量元素), 改善了传统火力发电过程中燃煤燃烧不充分带来的环境问题, 成为畜禽粪便资源化利用的热门技术。畜禽粪便发酵产生的沼气可代替化石能源作为燃料, 从而减缓环境影响, 但沼气生产过程需要外部热源给系统

增温保温^[5], 沼气燃烧发电具有不确定性^[6], 会对环境造成一些不利影响, 可以运用生命周期评价方法 (LCA) 评估畜禽粪便产沼气发电各个过程的环境表现。

20世纪60年代, 美国中西部资源研究所运用LCA评价方法分析一次性塑料瓶和可回收玻璃瓶两种饮料包装的环境影响表现^[7]。随着LCA框架、术语和方法的统一和LCA理论的发展, 生命周期评价在绿色建筑^[8]、城市垃圾^[9]、电子废弃物^[10]、生活污水^[11]、农业废弃物^[12]等领域被广泛应用。王火根^[13]等采用生命周期评价方法对比研究沼气发电、秸秆发电与常规煤炭发电3种方式在全生命周期过程中的环境影响和经济效益。李金平^[14]等基于生命周期评价方法, 分别从经济、能效和环境3个方

作者简介: 谈志伟 (1994—), 男, 硕士, 研究方向为固体废弃物资源化。

收稿日期: 2022-04-01

引用本文: 谈志伟, 姬爱民. 唐山市畜禽粪便产沼气发电生命周期评价[J]. 节能, 2022, 41(9): 61-63.

面分析沼气工程发酵出料中不同处理方式的差异性。宋晓勇^[5]等采用生命周期评价方法，以烟台市某奶牛场为例，分析好氧堆肥和黑膜沼气工艺两种粪便处理模式的潜在环境影响，计算处理过程的成本及产出，评价两种粪便处理模式的经济效益。

以唐山市某畜禽粪便处理沼气工程项目为案例，以项目正常运行时的生产数据和实际的能源消耗量作为基础数据，计算加权的环境影响潜能值，将项目中沼气发电各阶段的环境潜能值与传统的火力发电进行对比，以期为唐山市畜禽粪便厌氧发酵产沼气发电项目提供参考。

1 项目概况

根据项目的工艺流程划分系统边界，主要涵盖畜禽粪便收运、预处理、厌氧发酵产沼气、沼气脱硫、消化液还田、沼气发电等6个过程；运用LCA分析评估唐山市畜禽粪便产沼气发电项目与传统火力发电项目在各个阶段的环境表现。

本研究以唐山市某畜禽粪便资源化利用项目为研究对象，项目的畜禽粪便日处理量为940 t/d，日产沼气体积约50 000 m³；沼气发电效率与甲烷浓度有关，一般为1.4~2.0 kWh/m³，文中取1.8 kWh/m³。相关计算以项目每天的发电量为9 000 kWh作为功能单位，材料输入值、电力和柴油等能源消耗、产品（电力和肥料）输出值、各过程污染物排放值均为功能单位下的对应值；火力发电全周期过程的输入、输出及排放也使用该功能单位的对应值作为计算基准。

畜禽粪便产沼气发电的系统边界如图1所示。



图1 畜禽粪便产沼气发电的系统边界

2 评价方法

2.1 阶段划分

将唐山市畜禽粪便资源化利用项目分为4个阶段：

(1) 畜禽粪便收运阶段，污染物主要源自畜禽粪便运输过程的柴油消耗。

(2) 沼气生产阶段包含畜禽粪便预处理、厌氧发酵两个过程，主要污染物来自设备运行时的电力消耗和厌氧系统增温保温的化石能源消耗。

(3) 发酵产出物处理阶段主要包括沼气脱硫、消化液还田两个主要流程，主要污染物来自发酵产出物（沼气和消化液）的直接排放。

(4) 沼气发电阶段，污染物主要为沼气燃烧过程产生的CO₂、SO₂和NO_x。

此外，火力发电只考虑煤炭开采、原料运输和燃煤发电阶段3个阶段的物质投入、能源消耗和污染物排放，

火力发电的数据源自软件嵌入的中国生命周期基础数据库（CLCD）。为了便于比较两种发电方式的电力生产过程差异性，将沼气发电中的畜禽粪便收运阶段、沼气生产阶段和发酵产出物处理阶段设定为S11，沼气发电阶段设定为S12；将火力发电的煤炭开采、原料运输两个阶段设定为S21，燃煤发电阶段设定为S22。

2.2 环境影响评价

采用排放因子系数法^[6]，构建畜禽粪便产沼气发电的生命周期评价模型，根据清单的数据及文献[17]至文献[21]中的计算方法和当量因子、标准化基准值、权重因子。为了识别畜禽粪便产沼气发电过程中，排放二氧化硫（SO₂）、二氧化碳（CO₂）、一氧化碳（CO）、氮氧化物（NO_x）、甲烷（CH₄）和挥发性有机物（VOC）6类污染物对环境的影响，本研究选取全球变暖潜势（GWP）、环境酸化潜势（AP）、富营养化潜势（EP）和人体毒性潜势（HTP）4个环境影响类型进行评估。4类环境影响评价的参数值如表1所示。

表1 4类环境影响评价的参数值

环境影响类型	参照物	当量因子	标准化基准值	权重因子
GWP	CO ₂	1.00		
	CO	2.00	8 700	0.240
	CH ₄	21.00		
AP	SO ₂	1.00	35	0.159
	NO _x	0.70		
EP	NO ₃ ⁻	1.00	59	0.105
	NO _x	1.35		
HTP	CO	1.00		
	SO ₂	100.00	9 100	0.047
	NO _x	65.00		

3 评价结果分析

沼气发电与火力发电的不同阶段的染物排放量如表2所示。

表2 沼气发电与火力发电不同阶段的污染物排放量 / (g/kWh)

项目	阶段	SO ₂	CO ₂	CO	NO _x	CH ₄	VOC
沼气发电	阶段S11	25.02	2 133.12	3.51	3.42	2.52	3.59
	阶段S12	0.19	1 071.25	2.61	2.07	0.01	2.08
	全过程	25.21	3 204.37	6.12	5.49	2.53	5.67
火力发电	阶段S21	6.93	450.00	0.09	2.52	23.31	10.80
	全过程	82.44	9 180.00	13.86	55.62	0.09	17.01
	全过程	89.37	9 630.00	13.95	58.14	23.40	27.81

由表2可知，沼气发电全过程的SO₂排放主要源自阶段S11，该阶段SO₂排放量占全过程的99.25%，与厌氧系

统增温保温的能源消耗相关；火力发电的SO₂排放主要源自阶段S12，占全过程的92.24%，与燃煤的含硫量有关。沼气发电全过程的CO₂排放主要源自阶段S11，占全过程的66.57%，可能与柴油生产的能源消耗以及沼气生产的电力消耗具有直接联系；火力发电的CO₂排放主要集中在阶段S22，占全过程的95.33%，与沼气发电阶段S12相比，排放量高756.94%，主要与火力发电厂燃煤锅炉的热量利用效率较低相关。沼气发电两个阶段的CO排放量差值较小，分别占全过程的57.35%和42.65%；火力发电两个阶段的CO排放量差异性极大，几乎全部来自阶段S22，比阶段S21高98.71%，与燃煤的不充分燃烧有关。沼气发电的NO_x排放量远低于火力发电，尤其在阶段S12的排放量比火力发电少96.27%，与燃料的组成成分直接相关。两种发电方式的CH₄排放均集中于阶段1，分别占比全生命周期过程的99.60%和99.62%，与沼气生产过程及燃煤开采过程的直接排放有关。沼气发电全过程的VOC排放量比火力发电少79.61%，主要与原料运输的柴油消耗有关。

沼气发电与火力发电的不同阶段的环境影响潜能值如表3所示。

表3 沼气发电与火力发电不同阶段的环境影响潜能值

项目	阶段	GWP	AP	EP	HTP
沼气发电	阶段S11	6.05×10^{-2}	1.25×10^{-2}	8.22×10^{-3}	1.41×10^{-2}
	阶段S12	2.97×10^{-2}	7.45×10^{-3}	4.97×10^{-3}	8.07×10^{-4}
	全过程	9.02×10^{-2}	1.99×10^{-2}	1.32×10^{-2}	1.49×10^{-2}
火力发电	阶段S21	2.59×10^{-2}	3.95×10^{-2}	6.05×10^{-3}	4.43×10^{-3}
	阶段S22	2.54×10^{-1}	5.51×10^{-1}	1.34×10^{-2}	6.13×10^{-2}
	全过程	2.80×10^{-1}	5.91×10^{-1}	1.40×10^{-2}	6.57×10^{-2}

由表3可知，沼气发电全过程的GWP、AP、EP和HTP 4种环境影响类型的加权潜能值均小于火力发电。其中，沼气发电的AP潜能值为 1.99×10^{-2} ，火力发电为 5.91×10^{-1} ，两者相差96.64%，表明沼气发电对环境酸化的减排效益远大于火力发电；沼气发电的HTP减排效益为77.32%，GWP和EP分别减排67.78%和5.71%，表明畜禽粪便产沼气发电比火力发电更具减排潜力。

4 结语

(1) 分析两种发电方式的污染物排放量发现，沼气发电的污染物排放主要集中于上游的粪便运输及沼气生产阶段，尤其是SO₂和CO₂的排放量，贡献率分别为99.25%和66.57%，火力发电污染物排放除CH₄外，主要集中于燃煤发电阶段。

(2) 基于LCA分析，畜禽粪便厌氧发酵产沼气发电全生命周期产生污染物对环境的影响均明显小于火力发电；其中，环境酸化（AP）的减排能力最显著，沼气发电比火力发电高96.64%。

参考文献

- [1] 马健, 洪文娟, 张文杰, 等. 畜禽粪便的危害及处理技术[J]. 畜牧与兽医, 2019, 51(2): 135-140.
- [2] 费云涛, 吴雪岩. 畜禽粪便危害及资源化利用措施[J]. 畜牧兽医学报: 电子版, 2019(24): 79-80.
- [3] 张家才, 胡荣桂, 雷明刚, 等. 畜禽粪便无害化处理技术研究进展[J]. 家畜生态学报, 2017, 38(1): 85-90.
- [4] 邵蕾, 孔凡克, 杨守军, 等. 规模化养猪场粪污处理与资源化利用的主要模式[J]. 猪业科学, 2017, 34(3): 38-40.
- [5] 焦静, 郑勇, 李尊香, 等. 厌氧发酵在线监控技术研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(9): 87-95.
- [6] 张怀文, 姚义清, 谢昌文. 不同联合预处理对褐煤厌氧发酵产甲烷的影响[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(4): 162-169.
- [7] 佚名. 生命周期评价对可持续包装的影响[J]. 绿色包装, 2016(6): 65-67.
- [8] 朱昭, 李艳蓉, 陈辰. 绿色建筑全生命周期节能增量成本与增量效益分析评价[J]. 建筑经济, 2018, 39(4): 113-116.
- [9] 操家顺, 赵嘉楠, 操乾, 等. 基于生命周期评价的两种城市生活垃圾处理模式对比[J]. 环境保护科学, 2019, 45(6): 92-100.
- [10] 宋小龙, 李博, 吕彬, 等. 废弃手机回收处理系统生命周期能耗与碳足迹分析[J]. 中国环境科学, 2017, 37(6): 2393-2400.
- [11] 吕慧瑜, 高生旺, 黄秋霖, 等. 地下土壤渗滤系统处理农村生活污水的生命周期评价[J]. 安全与环境工程, 2019, 26(6): 122-127.
- [12] 霍丽丽, 赵立欣, 姚宗路, 等. 农业生物质能温室气体减排潜力[J]. 农业工程学报, 2021, 37(22): 179-187.
- [13] 王火根, 王可奕. 基于生命周期评价的生物质与煤炭发电综合成本核算[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(6): 56-61.
- [14] 李金平, 吴文君, 张涵, 等. 基于生命周期分析的禽畜养殖场沼气工程性能评价[J]. 中国沼气, 2018, 36(5): 93-99.
- [15] 宋晓勇, 高文君, 田航飞, 等. 不同粪污处理模式的潜在环境影响和经济效益评价[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021(24): 8-14, 19.
- [16] 杨新明, 庄涛, 周伟, 等. 山东省农业源氨排放清单研究[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(6): 568-574.
- [17] 陈豫, 胡伟, 杨政河, 等. 户用沼气池生命周期环境影响及经济效益评价[J]. 农机化研究, 2012, 34(9): 227-232.
- [18] 吴媛媛, 常旭宁, 张佳维. 基于LCA方法的秸秆沼气发电和制备生物天然气的环境排放评价[J]. 中国沼气, 2020, 38(1): 59-65.
- [19] 沈园, 王海候, 陶玥玥, 等. 基于生命周期评价的现代“草-羊-田”农牧循环系统调控[J]. 农业工程学报, 2021, 37(24): 266-274.
- [20] 王明新, 夏训峰, 柴育红, 等. 农村户用沼气工程生命周期节能减排效益[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 245-250.
- [21] 赵兰, 冷云伟, 任恒星, 等. 大型秸秆沼气集中供气工程生命周期评价[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(34): 19462-19464, 19495.