DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2023.04.004

基于“双碳目标”下养猪场多能互补系统设计与实现

王冉冉[1]，李寒晓[1]，齐凯[2]，陈怡卓[3]，张文娟[4]，申小冉[4]，张稳[1*]

（1. 山东农业大学机械与电子工程学院，山东泰安，271018；2. 山东五洲电气股份有限公司，山东潍坊，261000；
3. 山东农业大学国际交流学院，山东泰安，271018；4. 山东碧蓝生物科技有限公司，山东泰安，271000）

摘要：全世界温室气体很大部分来自畜禽的饲养和粪便等，联合国粮食及农业组织FAO的调查报告指出，畜牧业是所有产业中对温室效应“贡献”最大的产业。在当前“碳达峰、碳中和”目标背景下，针对规模化养猪场造成的能源浪费和环境污染问题，构建以清洁能源为主的养猪场多能互补系统，具有节能减排、提高能效水平的重要意义。结合多能互补与能源梯级利用的思想，根据养猪场自身条件，考虑到养猪场具备丰富的生物质能和太阳能，且日常用电量大，冬季热负荷高，构建了养猪场多能互补系统结构。基于某养猪场实际的规模概况和负荷需求选择合适的配套设备，基于PVsyst软件进行光伏发电的模拟计算。综合考虑系统的投资成本、设备运维成本、电热负荷需求、季节性需求，最终计算得到养猪场在行业基准收益率为8%的基础上仍可收益158.57万元，动态投资回收期约为7.3年，与传统养猪场从电网购电相比，每年可减少二氧化碳排放量204.29 t，表明该系统能为养猪场带来良好的经济效益，且具有显著的节能减排和绿色环保优势，能够为养鸡场、养牛场等其他养殖场提供新的经营思路。

关键词：养猪场；多能互补；太阳能；生物质能；经济效益

中图分类号：S24：TK6　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**2096-7217（2023）04-0026-07

王冉冉，李寒晓，齐凯，陈怡卓，张文娟，申小冉，张稳. 基于“双碳目标”下养猪场多能互补系统设计与实现[J]. 智能化农业装备学报(中英文)，2023，4(4)：26－32

WANG Ranran，LI Hanxiao，QI Kai，CHEN Yizhuo，ZHANG Wenjuan，SHEN Xiaoran，ZHANG Wen. Design and implementation of a multi energy complementary system for pig farms based on “dual carbon goals”[J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization，2023，4(4)：26－32

0 引言

近年来，煤炭、石油等一次能源已面临严重短缺，能源需求却在不断增长，新能源的开发和利用便得到了各方的重视[1-2]。《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》提出了“碳达峰，碳中和”的战略目标，这对我国绿色低碳、节能环保事业提出了更高的要求，多能互补系统能够实现风、光、水、气等多种能源的输入和冷、热、电、气等多种能量的输出，从而实现能源之间的梯级利用[3]，是提升能源利用效率、促进节能环保事业的一个重要措施。

多能互补系统在园区、矿井、河流、农村、建筑等方面的应用研究早已得到国内外的重点关注和快速发展[4-9]，但是，目前多能互补系统在养猪场中的应用研究还很少。随着农业科技的不断发展，生猪养殖方式逐渐由传统的分散养殖模式向现代化、规模化和集约化模式转型[10]。但规模化养殖场在高效生产过程中伴随着大量粪污排放，若不妥善处理，极易造成水体富营养化、土壤盐渍化、空气恶臭等污染问题，这将严重威胁生态环境安全[11-14]。

国内外已有不少文献针对养殖场资源利用问题提出了优化解决方法[15-18]，但大多数都集中在粪污处理上。养殖场通常选在地势高燥、平坦、向阳的地方，不仅具有充足的生物质能还具备丰富的太阳能，因此，本文将探索包含光伏与沼气发电的多能互补系统在养猪场中的应用研究，并对其综合效益进行分析，为多能互补在养殖场中的应用研究提供参考。

1 系统设计流程

养猪场多能互补系统由燃气内燃机发电机组、光伏发电机组、燃气锅炉、余热锅炉、吸收式

收稿日期：2023-07-14　　修回日期：2023-09-22

基金项目：山东省重点研发计划（乡村振兴科技提振行动计划）（2022TZXD0041）

第一作者：王冉冉，男，1979年生，山东淄博人，博士，副教授；研究方向为农业机械化。E-mail：wranran@163.com

*通信作者：张稳，女，1988年生，山东泰安人，博士，副教授；研究方向为电力系统安全稳定运行、畜禽设施与智能化。E-mail：wenzhang098@sdau.edu.cn

制冷机、电制冷机以及蓄电池等设备组成，具体结构如图 1 所示。

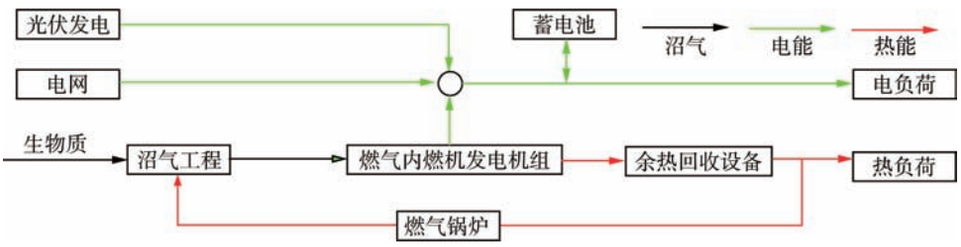


图 1　多能互补系统流程图

Figure 1　Multi energy complementary system structure

多能互补系统包含多种能源的输入和输出，养猪场多能互补系统包含光伏、生物质和电网电能的输入以及电能、热能的输出。在养猪场附近建设配套的沼气工程，对养猪场产生的粪污进行堆肥和厌氧发酵等专业技术的处理，可以得到沼气、沼渣和沼液。其中，一部分沼气可以通过燃气内燃机进行发电，为养猪场的夜晚提供电能；另一部分沼气则可以通入燃气锅炉燃烧产热，为沼气工程或养猪场提供热量；沼渣和沼液中含有丰富的氮、磷、钾等元素，可以制成有机肥料，用于农作物的生长。白天光照充足，利用光伏电池将光能转化为电能，为养猪场供电。余热锅炉可以回收利用燃气发电机的烟气和缸套水余热，提高能源利用率。

多能互补系统应用于养猪场中，避免了养殖场内粪污的乱排乱放，粪污通入沼气工程后，利用其产生的沼气进行供电、供暖，能够减少外部能源的购入，减少煤炭的燃烧。其次，沼渣和沼液经处理后作为有机肥料，投入农田中，可以提高土壤肥力，减少化肥购入的成本。此外，引入光伏发电，使光伏与沼气发电共用同一输电线路，减少系统建造成本，实现能量的互补利用。由此可见，基于多能互补策略，充分利用养猪场的废弃资源，实现了能源的高效利用，在降低环境污染的同时又减少了能源的购入成本，提高了养殖场的经济效益。

2　养猪场负荷需求计算及设备选择

2.1　养猪场规模概况

本文以山东省泰安市某养猪场为例，该养猪场内共计 10 个猪舍，猪舍坐北朝南，为双列式，跨度为 12m，长 100 m，檐高 2.6 m，屋顶为斜坡式，斜高 2 m。猪舍内配备智能检测、智能饲喂、智能繁育和智能环控等完善的智能化设备[19]，养猪场内工作人员充足，各环节均有专人负责，具有完整规范的管理系统。养猪场地势较高，周围没有建筑物遮挡，能得到充足的光照，且地理位置优越，交通便利，环境幽静，空气良好。养猪场内具体概况如表 1 所示。

表 1　养猪场概况

Tabel 1　Overview of pig farms

类别	公猪	母猪	仔猪	育肥猪
存栏数/头	20	500	800	4 000
粪/(kg·头$^{-1}$·d^{-1})	6.42	5.55	0.82	2.17
尿/(kg·头$^{-1}$·d^{-1})	9.71	9.28	1.45	2.95

2.2　电负荷

各季节选取一典型日对养猪场用电量进行实时监测得到养猪场典型日电负荷如图 2 所示。

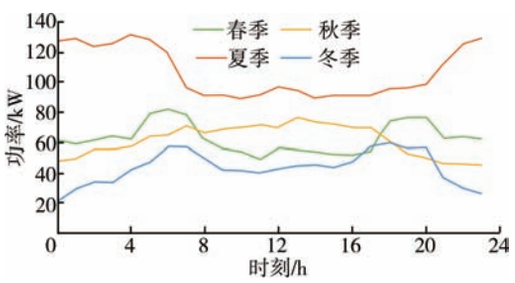


图 2　养猪场各季节典型日电负荷

Figure 2　Typical electricity load of pig farms in different seasons

对典型日电负荷进行简单计算，得到春季典型日电负荷为 1 520 kW·h，夏季典型日电负荷为 2 570 kW·h，秋季典型日电负荷为 1 490 kW·h，冬季典型日电负荷为 1 040 kW·h。

2.3　热负荷

由于夏季养猪场热负荷需求很少，在此忽略，冬季猪舍需维持温度在 15 ℃～25 ℃为宜，因此要考虑猪舍的供暖工作。选取冬季一典型日对养猪场热负荷进行实时监测结果如图 3 所示。

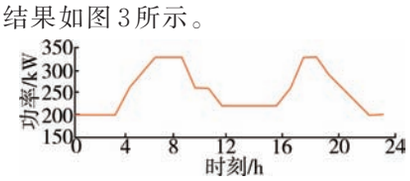


图 3　养猪场典型日热负荷

Figure 3　Typical daily heat load of pig farms

对冬季典型日热负荷进行计算，得到冬季典型日热负荷约为 6 000 kW·h，即养猪场冬季每日需热量为

21 600 MJ,相当于990 m^3的沼气热量。

2.4 多能互补系统设备选择

2.4.1 厌氧发酵罐

发酵罐是生产沼气的必要装置,完全混合厌氧发酵罐(continuous stirred-tank reactor,CSTR)能够使消化器内各类物料和温度均匀分布,增加底料与发酵物的接触机会,降低抑制物质的浓度,避免发酵不均匀,从而提高沼气产量。对猪场内粪便量进行计算得到养猪场内每天可以产生12.3 t左右的粪便,基于此系统选择1 000 m^3的全混合厌氧反应器。

2.4.2 燃气内燃机

内燃机常用于1 MW以下的发电系统,具有功率范围广,热能利用率高,启动速度快、非满负荷性能好、重量轻、体积小、价格相对较低以及燃料和水消耗少等优点。所以本系统选择80 kW的燃气内燃机。

2.4.3 光伏电池

光伏电池是通过光电效应或者光化学效应直接把光能转化成电能的装置。由于单晶硅电池的光电转换效率高、使用寿命长。本系统采用300 Wp单晶硅电池,电池板尺寸为1 640 mm×992 mm。

2.4.4 燃气锅炉

燃气锅炉可以通过燃烧沼气向用户进行供暖或提供生活热水,是一种高效、安全的节能设备。根据2.3节养猪场的热负荷曲线图,本系统选择300 kW的燃气锅炉。

2.4.5 余热回收设备

余热回收设备应用范围广泛,具有传热性能高、布置灵活、工作安全可靠等优点。其功率的选择需根据内燃发电机的产热率而定,燃气内燃机功率为80 kW,热效率为56%,余热锅炉的回收热效率按照90%计算,则在内燃机满负荷运行时,每小时消耗沼气量为50 m^3,余热锅炉可产生热量为549.86 MJ/h,转换为功率为152.74 kW。余热回收设备的运行功率范围为50%~110%,所以选择140 kW的余热回收设备。

3 系统能量计算及运行策略

3.1 系统输出能量计算

3.1.1 沼气产量

1 000 m^3厌氧发酵罐,采用最为经济的中温发酵方式,需使发酵罐常年保持温度为35 ℃左右,容积产气率按照1 m^3/(m^3·d)计算,系统每天可以产生1 000 m^3沼气。按照标准沼气中的甲烷含量为60%计算,1 m^3沼气热值为21 820 kJ/m^3。

3.1.2 产电量

燃气内燃机功率为80 kW,发电效率为30%,则每立方米的沼气可发出电量1.8 kW·h,若将产生的沼气全部用于发电,则每天沼气发电量可达1 800 kW。

根据养猪场的地理位置,利用PVsyst软件进行仿真得知该地区采光面倾角为30°时,太阳辐射量转化系数最高,损失最少。通过对几种不同规格的电池板进行仿真得到,在选择300 Wp的单晶硅电池板时,系统单位发电量最大,电池板转化效率最高。所选电池板的尺寸为1 640 mm×992 mm,猪舍长100 m,屋顶斜面长约6.3 m,考虑到冬季太阳光照时间短、强度弱,设计光伏发电量要比实际用电负荷多,所以在每个猪舍屋顶安装三排电池板,每排装设60块,如图4所示。

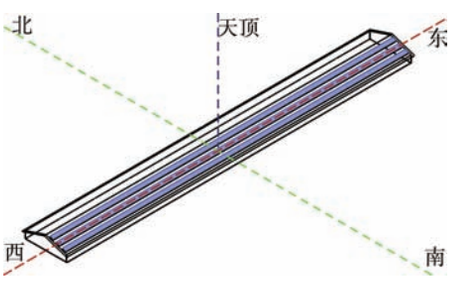


图4 电池板安装示意图

Figure 4 Installation diagram of battery board

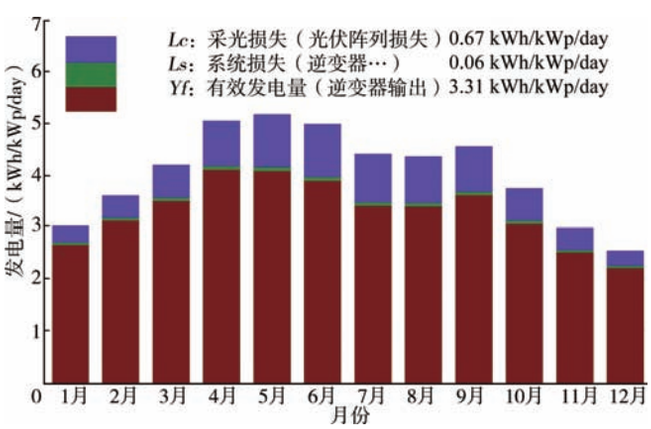


图5 发电量仿真结果

Figure 5 Power generation simulation results

由图 5 仿真结果知，光伏单位发电量为 3.31 kWh/kWp/day，阵列损失为 0.67 kWh/kWp/day，系统损失为 0.06 kWh/kWp/day。计算得到系统光伏日发电量平均值为 1 787.4 kW·h。

3.1.3　产热量

余热回收设备的运行功率范围为 50%～110%，即为 70～152.74 kW。

燃气锅炉的运行功率范围为 60%～100%，即为 180～300 kW。

3.2　系统运行策略

在夏季以及过渡季，多能互补系统无须向养猪场供应热能，故沼气工程中产生的沼气将全部用于内燃机发电。

白天主要以光伏发电为主，内燃发电机辅助供电；夜晚光伏发电停止，以内燃发电机发电为主，蓄电池辅助供电，保证电能的充足供应。

同时在内燃发电机工作时，余热回收设备为厌氧发酵池进行供热，多余热能可为养猪场提供生活热水。

在冬季，多能互补系统需向养猪场进行供暖。

沼气工程产生的沼气应当优先用于燃气锅炉为猪舍进行供暖，基于前面章节的分析，沼气工程产生的沼气刚好满足为猪舍供暖所消耗的沼气量，所以冬季猪场的供电来源主要依靠光伏发电。

白天多余的电量存储于蓄电池中，到了夜晚蓄电池放电满足养猪场用电。

4　综合效益分析

4.1　经济性分析

系统成本包括设备投入成本和系统运维成本，设备投入成本如表 2 所示。

表 2　各设备投入成本

Table 2　Input costs of each equipment

设备	投资成本/万元
燃气内燃机	10
光伏设备	92
余热回收设备	8
燃气锅炉	14
搅拌机	4
蓄电池	30.6
储气设备	36.4
厌氧发酵罐	86
其他	12
合计	293

4.1.1　运维成本 OC

$$OC=\zeta_i\sum_{i=1}^{k}C_i\cdot P_i+\sum_{t=1}^{360}\left[\mu_p P(t)-\mu_{PV}E_{PV}(t)-\mu_{gas}E_{gas}(t)\right] \quad (1)$$

式中：k——设备数量；

ζ_i——设备 i 的维护系数，取 5%；

C_i——设备 i 的初始投资成本，元/kW；

P_i——设备 i 的额定功率，kW；

μ_p——工作人员工资，元/天；

P——工作人员个数；

μ_{PV}——光伏发电补贴，元/(kW·h)，取 0.05；

E_{PV}——光伏发电量，kW·h；

μ_{gas}——沼气发电补贴，元/(kW·h)，取 0.199 1；

E_{gas}——沼气发电量，kW·h。

春夏秋冬四季各按照 90 d 进行计算，系统内工作人员取 4 人，按照 150 元/d 的工资计算；光伏每天发电 1 787.4 kW·h，发电时长为 360 d；沼气每天发电 1 800 kW·h，发电时长为 270 d；系统每天产生沼气量为 1 000 m^3，按照 360 d 计算。综上可计算得到，系统每年的运维成本为 20.63 万元。

4.1.2　系统收入

考虑到系统以节能环保为前提，优先使用光伏发电，根据山东省发展和改革委员会下发的《关于 2020 年光伏发电上网电价政策有关事项的通知》(鲁发改价格〔2020〕584 号)和《关于积极运用价格政策支持生物质发电平稳健康发展的通知》(鲁发改价格〔2021〕234 号)文件，光伏发电上网价格为 0.49 元/(kW·h)，沼气发电上网价格为 0.75 元/(kW·h)。12.3 t 粪污发酵后可产生 2.3 t 沼渣和 7 t 沼液，沼液沼渣按照 100 元/t 计算。收入明细如表 3 所示。

4.1.3　经济分析指标

1)净现值

$$NPV=\sum_{n=0}^{N}\left[\frac{CI-CO}{(1+r)^n}\right] \quad (2)$$

式中：CI——现金流入；

CO——现金流出；

r——行业基准收益率，取 8%；

N——项目的运行年限，取 15；

n——项目运行的第 n 年。

根据式(4)计算得，该项目净现值为 158.57 万元，净现值大于零且数值较高，表示该项目经济效益较好。

2)动态投资回收期

$$\sum_{n=0}^{pt}\left[\frac{CI-CO}{(1+r)^n}\right]=0 \quad (3)$$

式中:pt——动态投资回收期,年。

解方程计算可得,动态投资回收期约为7.3年,即该项目能在规定时间内收回投资,且回收速度较快,偿还能力好。

表3 系统收益明细

Table 3 System revenue details

类别	产量	消耗量	销售量	时间/d	收益/万元
春季	光伏:1 787 kW·h 沼气:1 800 kW·h	1 520 kW·h	光伏:267 kW·h 沼气:1 800 kW·h	90	13.33
夏季	光伏:1 787 kW·h 沼气:1 800 kW·h	2 570 kW·h	沼气:1 017 kW·h	90	6.86
秋季	光伏:1 787 kW·h 沼气:1 800 kW·h	1 490 kW·h	光伏:297 kW·h 沼气:1 800 kW·h	90	13.46
冬季	光伏:1 787 kW·h	1 040 kW·h	光伏:747 kW·h	90	3.29
沼渣沼液	9.3 t	0	9.3 t	360	33.48
总计					70.42

4.2 环保性分析

多能互补系统的环保性主要从碳排放角度来分析,养猪场多能互补系统的碳排放量主要就是沼气利用的碳排放量。通过计算传统养猪场从电网购电的碳排放量与具有多能互补系统养猪场的碳排放量进行比较,得出系统的减排量。

4.2.1 传统养猪场购电碳排放计算

$$E_{CO_2}=Q_E EF_{grid,OM} \tag{4}$$

式中:E_{CO_2}——传统养猪场购电的碳排放量,kg;

Q_E——电网购电量,kWh;

$EF_{grid,OM}$——电网购电的碳排放因子。

根据中华人民共和国生态环境部发布的《2019年度减排项目中国区域电网基准线排放因子》,华东地区电网碳排放因子$EF_{grid,OM}$为0.792 1 kg/(kW·h)。

4.2.2 多能互补系统碳排放计算

$$E_{GE,CO_2}=Q_{gas,GE}EF_{GE,OM} \tag{5}$$

$$E_{GB,CO_2}=Q_{gas,GB}EF_{GB,OM} \tag{6}$$

式中:E_{GE,CO_2}——内燃机发电的碳排放量,kg;

EF_{GB,CO_2}——燃气锅炉供暖的碳排放量,kg;

$Q_{gas,GE}$——内燃机发电的沼气消耗量,m^3;

$Q_{gas,GB}$——燃气锅炉供暖的沼气消耗量,m^3;

$EF_{GE,OM}$——内燃机发电的沼气碳排放因子,取1.97 kg/m^3;

$EF_{GB,OM}$——燃气锅炉供暖中的沼气碳排放因子,取1.86 kg/m^3[20]。

随着全球气候变暖带来的挑战越来越严重,二氧化碳的排放问题是当前解决全球气候问题的重要关键。为此,本文对多能互补系统的二氧化碳减排量进行分析计算,由表4可知,多能互补系统每年可减少二氧化碳排放量204.29 t,减幅为22.61%,进一步证明了多能互补系统对社会经济和环境保护的优势。

表4 系统二氧化碳减排量

Table 4 System carbon dioxide reduction

项目	二氧化碳量/(t·年$^{-1}$)
传统养猪场电网购电碳排放量	903.59
具有多能互补系统的养猪场碳排放量	699.3
二氧化碳减排量	204.29

5 结论

本文对养猪场多能互补系统进行了设计,基于养猪场的电、热负荷进行了设备选择,计算了系统的能源消耗量与能源输出量,并进行了经济性和环保性分析,由此得出了以下结论。

1)养猪场多能互补系统将太阳能与生物质能相结合,合理利用了养猪场的屋顶空间与粪污,既实现了能量的高效、梯级利用,又降低了粪污排放对环境造成的污染。

2)在经济性分析上,养猪场的净现值为158.57万元,动态投资回收期为7.3年,表明了该系统在经济上的可行性,不仅减少了养猪场的购电成本和供暖成本,还可以为养猪场带来一份额外的收益。

3)在环保性分析上,系统每年可为养猪场减少二氧化碳排放量204.29 t,相比于原来的养猪场降低了22.61%,表明了养猪场多能互补系统在减少碳排放方面也具有巨大的优势,能够为我国的节能环保事业献出一份力。

4)该多能互补系统在养猪场中的成功设计可以为养鸡场、养牛场等其他养殖场的经营模式提供新的思路并起到示范作用。

参 考 文 献

[1] YANG J, WANG L Y, HU P D, et al. Economic dispatching of CCHP microgrid considering grid-connected revenue [C] // 2019 4th International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG). IEEE, 2019: 657－660.

[2] 王红岩，李景明，赵群，等. 中国新能源资源基础及发展前景展望[J]. 石油学报，2009，30(3)：469－474.
WANG Hongyan, LI Jingming, ZHAO Qun, et al. Resources and development of new energy in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 469－474.

[3] 吴笑民，郭雨，郑景文，等. 多能互补智慧园区能源系统优化运行方法[J]. 高电压技术，2022，48(7)：2545－2553.
WU Xiaomin, GUO Yu, ZHENG Jingwen, et al. Optimal operation method for power system of multi-energy complement smart park [J]. High Voltage Engineering, 2022, 48(7): 2545－2553.

[4] 程林，张靖，黄仁乐，等. 基于多能互补的综合能源系统多场景规划案例分析[J]. 电力自动化设备，2017，37(6)：282－287.
CHEN Lin, ZHANG Jing, HUANG Renle, et al. Case analysis of multi-scenario planning based on multi-energy complementation for integrated energy system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(6): 282－287.

[5] 袁亮，张通，张庆贺，等. 双碳目标下废弃矿井绿色低碳多能互补体系建设思考[J]. 煤炭学报，2022，47(6)：2131－2139.
YUAN Liang, ZHANG Tong, ZHANG Qinghe, et al. Construction of green, low-carbon and multi-energy complementary system for abandoned mines under global carbon neutrality [J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(6): 2131－2139.

[6] ZHANG X P, BAI Y K, ZHANG Y Z. Collaborative optimization for a multi-energy system considering carbon capture system and power to gas technology [J]. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2022, 49: 101765.

[7] LU D, LIU Z J, BAI Y, et al. Study on the multi-energy complementary absorption system applied for combined cooling and heating in cold winter and hot summer areas [J]. Applied Energy, 2022, 312: 118746.

[8] LUO X J, FONG K F. Development of integrated demand and supply side management strategy of multi-energy system for residential building application [J]. Applied Energy, 2019, 242: 570－587.

[9] LUO X J, OYEDELE L O, AKINADE O O, et al. Two-stage capacity optimization approach of multi-energy system considering its optimal operation [J]. Energy and AI, 2020, 1: 100005.

[10] 郭冬生，王文龙，龚群辉，等. 我国畜牧业发展现状及发展趋势[J]. 江苏农业科学，2014，42(2)：18－21.

[11] 彭思毅，蒲施桦，简悦，等. 规模养殖场粪污资源化利用技术研究进展[J]. 中国畜牧杂志，2022，58(12)：47－54.
PENG Siyi, PU Shihua, JIAN Yue, et al. Research progress on utilization technology of manure in large-scale livestock and poultry farms [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022, 58(12): 47－54.

[12] 王军霞，徐菲，刘瑞民，等. 我国畜禽养殖总量空间热点分析及主要污染物核算[J]. 农业环境科学学报，2017，36(7)：1316－1322.
WANG Junxia, XU Fei, LIU Ruimin, et al. Hotspot analysis and estimation of the main pollutants from livestock in China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(7): 1316－1322.

[13] GAN L, HU X S. The pollutants from livestock and poultry farming in China—geographic distribution and drivers [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23: 8470－8483.

[14] 张园园，李敏，徐宣国. 生猪养殖规模化、集约化与环境污染[J]. 统计与决策，2021，37(14)：80－83.

[15] 陈廷贵，赵梓程. 规模养猪场沼气工程清洁发展机制的温室气体减排效益[J]. 农业工程学报，2018，34(10)：210－215.
CHEN Tinggui, ZHAO Zicheng. Benefit on emission reduction of greenhouse gas in biogas digester on scale swine farm based on clean development mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(10): 210－215.

[16] CHEN Y, WANG S J, TSAI C C, et al. Assessment of subsidies to minimize environmental pollution by Intensive Hog Feeding Operation (IHFO) [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112: 2529－2535.

[17] 周海宾，丁京涛，孟海波，等. 中国畜禽粪污资源化利用技术应用调研与发展分析[J]. 农业工程学报，2022，38(9)：237－246.
ZHOU Haibin, DING Jingtao, MENG Haibo, et al. Survey and development analysis of resource utilization technology of livestock and poultry wastes in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(9): 237－246.

[18] 陈菲菲，张崇尚，王艺诺，等. 规模化生猪养殖粪便处理与成本收益分析[J]. 中国环境科学，2017，37(9)：3455－3463.
CHEN Feifei, ZHANG Chongshang, WANG Yinuo, et al. Patterns and cost-benefit analysis of manure disposal of scale pig production in China [J]. China Environmental

Science, 2017, 37(9): 3455－3463.

[19] 沈明霞, 陈金鑫, 丁奇安, 等. 生猪自动化养殖装备与技术研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2022, 53(12): 1－19.
SHEN Mingxia, CHEN Jinxin, DING Qi'an, et al. Current situation and development trend of pig automated farming equipment application [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(12): 1－19.

[20] 刘殊嘉. 静脉产业园沼气利用方式的碳减排分析[J]. 中国沼气, 2023, 41(2): 17－22.
LIU Shujia. Carbon emission reduction analysis of biogas utilization method in Vein Industrial Park [J]. China Biogas, 2023, 41(2): 17－22.

Design and implementation of a multi energy complementary system for pig farms based on "dual carbon goals"

WANG Ranran[1], LI Hanxiao[1], QI Kai[2], CHEN Yizhuo[3], ZHANG Wenjuan[4], SHEN Xiaoran[4], ZHANG Wen[1*]

(1. *College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*; 2. *Wuzhou Electric Co., Ltd., Weifang* 261000, *China*; 3. *School of International Exchange, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*; 4. *Shandong Greenblue Biotechnology Co., Ltd., Tai'an* 271000, *China*)

Abstract: A large part of the world's greenhouse gases comes from livestock and poultry breeding and manure. A survey report by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) pointed out that animal husbandry is the industry that contributes the most to the greenhouse effect among all industries. Against the backdrop of the current goal of achieving "carbon peak and carbon neutrality", in order to address the energy waste and environmental pollution caused by large-scale pig farms, building a multi energy complementary system for pig farms with clean energy as the main focus is of great significance in energy conservation, emission reduction, and improving energy efficiency. Inthelight of multi-energy complementation and energy cascade utilization, a multi-energy complementary system in pig farm has been constructed based on the pig farm's own conditions that the pig farm has abundant biomass energy and solar energy, and it also has large daily electricity consumption and high heat load in winter. Based on the scale overview and load demand of the pig farm, appropriate supporting equipment was selected, the simulation calculation of photovoltaic power generation was conducted using PVsyst software. Taking into account the investment cost, equipment operation and maintenance cost, electric heating load demand, and seasonal demand of the system. Taking into account the system investment cost, equipment operation and maintenance cost, electric heating load demand, and seasonal demand, the final calculation showed that the pig farm can still earn 1.585 7 million yuan based on the industry benchmark return rate of 8%, and the dynamic investment recovery period is approximately 7.3 years. Compared with traditional pig farms purchasing electricity from the grid, it can reduce carbon dioxide emissions by 204.29 tons per year, indicating that the system can bring good economic benefits to pig farms and has significant energy-saving, emission reduction, and green environmental protection advantages. It can provide new business ideas for other farms such as chicken farms and cattle farms.

Keywords: pig farm; multi energy complementary; solar energy; biomass energy; economic benefits