

北方地区万头奶牛养殖场粪污资源化 利用工程建设及运营实践

石云霞¹, 孙海龙^{1,2*}, 王佐^{1*}, 王鑫¹, 党成艺¹, 张瑞强², 周加栋², 鲁鑫¹, 武文强¹, 孙铭鸿¹
(1. 内蒙古华蒙科创环保科技工程有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010000; 2. 河北聚碳生物科技有限公司, 河北 衡水 053000)

摘要: 随着我国奶牛养殖业的快速发展,随之而来的是大量粪污的产生,严重威胁生态环境安全,制约奶牛养殖业的可持续发展,提高粪污资源化利用水平显得尤为迫切。以河北某公司建设和运营的《大型沼气综合利用循环经济示范项目》作为案例,介绍了我国北方地区万头奶牛养殖场粪污资源化利用工程建设及运营一体化模式,提供了运营过程中的关键技术参数和运营数据,分析了该模式的优劣势,以期为今后北方低温环境下超大规模牧场粪污资源化利用项目的建设和运营提供建议和经验。

关键词: 北方地区; 奶牛养殖; 粪污资源化利用; 运营实践

中图分类号: S216.4; X713 文献标志码: B 文章编号: 1000-1166(2023)03-0085-06

DOI: 10.20022/j.cnki.1000-1166.2023030085

Construction and Operation Practice of Feces Resource Utilization Project in 10000 Head Dairy Farms in Northern China / SHI Yunxia¹, SUN Hailong^{1,2*}, WANG Zuo^{1*}, WANG Xin¹, DANG Chengyi¹, ZHANG Ruiqiang², ZHOU Jiadong², LU Xin¹, WU Wenqiang¹, SUN Minghong¹ / (1. Inner Mongolia Huameng Kechuang Environmental Protection Technology Engineering Co Ltd, Hohhot 010000, China; 2. Hebei Polycarbon Biotechnology Co Ltd, Hengshui 053000, China)

Abstract: With the rapid development of dairy farming in China, a large number of feces are generated, which seriously threatens the ecological environment, restricts the sustainable development of dairy farming, and it is particularly urgent to improve the level of feces resource utilization. This article takes the "Large Scale Biogas Comprehensive Utilization Recycling Economy Demonstration Project" constructed and operated by a company in Hebei Province as an example, this paper introduces the construction and operation integration model of feces resource utilization project of 10000 head dairy farms in northern China, provides key technical parameters and operation data in the operation process, and analyzes the advantages and disadvantages of this model. It is expected to provide suggestions and experience for the construction and operation of the super large scale pasture manure resource utilization project under the northern low-temperature environment in the future.

Key words: northern region; cow farming; utilization of feces as resource; operation practice

随着我国奶牛养殖业的快速发展,规模化、集约化和产业化程度显著提高,随之而来的是大量粪污的产生,若得不到妥善处理,极易造成水、土、气等的污染问题,这将严重威胁生态环境安全,严重影响和制约奶牛养殖业的可持续发展,因此,提高粪污资源化的利用水平已成为现代养殖业中亟待解决的问题。目前常用的粪污处理模式有集中堆放还田处理、多级沉淀固液分离、厌氧发酵生产沼气工业化综

合处理、微生物发酵床处理等^[1]。各处理模式都有其优势,而处理模式的选择由养殖规模的大小所决定的,随着养殖规模数量的不断增加,要求粪污处理的水平及工业化水平越来越高,相应地对粪污资源化处理工程的规模和技术水平的要求也越来越高,以满足现代化规模化养殖场发展的要求。因此,笔者团队在此基础上建立了万头奶牛养殖场粪污资源化利用工程项目。

收稿日期: 2023-01-29 修回日期: 2023-04-04

作者简介: 石云霞(1982-),女,高级工程师,主要从事有机固体废弃物资源化利用研究等工作, E-mail: syx999666@163.com

通信作者: 孙海龙, E-mail: 13948610807@163.com; 王佐, E-mail: wangzuo@hmkchb.com

目前万头奶牛养殖场粪污处理方式包括:采用分散的、小规模固液分离处理设备进行还田处理;采用好氧发酵生产有机肥方式处理;采用大型厌氧发酵沼气工程设施综合处理等。大型奶牛养殖场采用大型厌氧发酵沼气工程设施综合处理的优点在于能够实现中国乳业循环经济产业链建设,即实现了“养殖场环保—生物质能源—有机沼肥利用—有机饲料种植”的全产业链建设。厌氧发酵后的沼气用于供热、发电、提纯天然气或供蒸气;沼渣加工垫料、做有机肥、育苗基质或生物压块;沼液加工液态肥或者科学还田,全面实现牧场粪污资源价值的最大化利用,粪污变废为宝,产生良好的经济效益。而大型的沼气工程在行业中存在投资较大、核心技术缺乏、重建设轻运营、北方低温运行不稳定、整体盈利能力低等问题。存在的难点如:粪污收集不科学不分类,粪污中常含有大量沙子和杂物,粪污含水量大;粪污处理工艺选择不合理,系统运行效果差、成本过高;作业环境差,设备故障率高;种养结合不够,沼液消纳成为问题,缺少沼液高效利用的途径。

目前,我国奶牛养殖场粪污资源化利用工程常用的运营模式主要有4种:BOT项目融资模式^[2]、养殖场自主运营模式、能源工程托管运营模式^[3]和能源工程建设及运营一体化模式等。BOT项目融资模式是承包商在取得基础设施项目所在国政府或所属机构的特许经营权后,在特许经营期内负责项目设计、融资、建设和运营,并在一定的时间内回收成本、偿还债务、承担风险、赚取利润;特许经营期结束后,承包商根据协议将该项目的所有权无偿移交给项目所在国政府或所属机构。该模式的不足之处是融资成本高,要求项目投资回报高。养殖场自主运营模式,是养殖场通过第三方工程公司建设完成沼气系统后,自己组织人员进行生产运营。这种模式的优点是牧场方便统一管理,不足之处是牧场一般缺乏能源系统的生产运营经验,粪污资源化利用系统盈利能力较低,多适用于规模较小的养殖场。能源工程托管运营模式是客户委托节能服务公司进行能源系统的节能改造和运行管理,并按照合同约定支付能源托管费用,节能服务公司通过提高能源效率,降低能源成本,并按照合同约定拥有全部或部分节省的能源费用^[4]。该模式的特点是项目委托方具有零风险、零投资、收益增的特征,节能服务公司通常对客户的节能项目进行投资,并致力于为客户节省项目的成本,提高效益,不足之处是节能服务

公司承担了项目的大部分风险。能源工程建设及运营一体化模式,是养殖场把养殖后端粪污全部交给第三方能源工程建设及运营公司,由该公司投资,实现粪污资源化利用沼气项目的设计、施工、运营为一体,运营公司自主经营、独立核算。该模式的特点是沼气工程的设计、建设为运营管理奠定基础,往往是经验丰富的运营公司建设,这样在建设的过程中就规避了一些不利于运行的因素,使沼气工程运行各环节工艺优化,从而能够实现项目盈利^[5-7]。但该模式对项目的建设和运营的水平要求较高。

本文重点阐述某公司粪污资源化利用案例《大型沼气综合利用循环经济示范项目》,对该项目实施的工程建设及运营一体化模式进行介绍,从而为今后北方低温环境下超大规模牧场粪污资源化利用项目提供建议和经验,为推动我国北方寒冷地区奶牛养殖场粪污资源化利用的规模化,促进区域经济的进步做出贡献。

1 北方地区万头奶牛养殖场粪污资源化利用工程建设案例

1.1 项目简介

本项目遵循减量化、资源化、无害化、生态化的原则,全部采用国际国内先进设备,技术团队及工艺水平居行业前列,项目使用了本公司自主发明的相关技术专利45项;项目运行中制定了省级相关标准或规范文件4个。本项目可使牧场牛粪尿、生产污水以及周边农作物秸秆等固体废弃物得到环保处理和资源化利用,实现了大型畜牧养殖场循环经济产业链建设目标(见图1)。

项目一期工程于2017年12月建设完成,全程采用PLC自动控制系统,可日处理牧场12000头奶牛粪水1200吨,包括6000 m³中温厌氧发酵罐2座、1.5 MW发电装置1套、牛床垫料生产系统1套、污水处理厂一座以及其配套设备。该项目在2017年12月31日正式并入国家电网,是河北省第一个规模化奶牛养殖业沼气发电并网工程。一期工程建成后可达到产能,年生产沼气600万 m³,年发电1200万度,年减排二氧化碳约4万吨,年处理奶牛粪尿30万吨以上、年处理生产污水约8万吨,年生产牛卧床垫料6万 m³、沼液28万吨。项目二期工程于2020年6月圆满竣工,主要建设6000 m³中温厌氧发酵罐两座、1.5 MW发电装置1套、SCR脱硝系统1套、生物脱硫系统1套、干法脱硫系统2套、

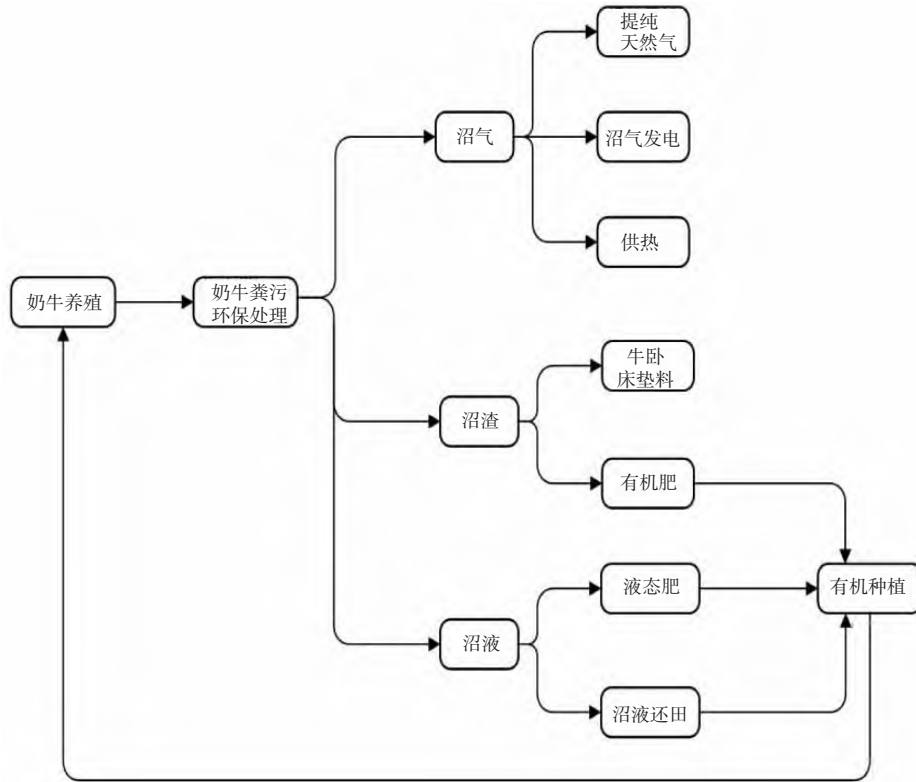


图1 大型畜牧养殖场循环经济产业链

预处理系统1座、固液分离和沼渣烘干系统1套等，整体项目设计年生产沼气1200万m³，年发电2400万度，年减排二氧化碳约8万吨，年处理奶牛粪尿40万吨以上、年处理生产污水约10万吨，年生产牛卧床垫料9万m³、沼液34万吨以上。目前二期工程因原料不足没有达到设计产能。

该项目先后获得“河北省农业部重点示范项目”、“河北省畜牧养殖业环保示范项目”及“河北省循环经济产业链项目”等荣誉称号，实现了河北省规模化奶牛养殖业沼气发电并网工程“0的突破”，为国家“无废城市”、“垃圾分类”和“碳中和”工作的推进起到了示范作用。

1.2 主要技术

1.2.1 厌氧发酵技术

畜禽粪污是作为一种有价值的资源，其中含有高浓度的生物资源，经厌氧发酵后可以产生优质清洁能源—沼气。沼气可用于发电、供热等，可节约大量能源，获得可观的经济效益和环境效益。沼气发酵的控制关键点主要有以下方面：发酵原料、温度、pH值、负荷、碳氮比、营养元素及微量元素、有毒物质和搅拌。在万头奶牛场养殖场粪污资源化利用工程中，发酵原料主要由总固体、挥发性固体、生化需

氧量组成，其中总固体约为8%~12%，挥发性固体约占总固体的68%~76%，BOD约为28500mg·L⁻¹；最佳发酵温度为32℃~42℃。在我国绝大部分地区，尤其是北方地区，要使发酵工艺常年稳定运行必须采用增温保温措施。pH值为6.5~7.8（最佳范围：6.8~7.2）；通过负荷计算进行厌氧容积、反应器停留时间；C/N不应大于30:1；采用机械搅拌（工艺流程见图2）。

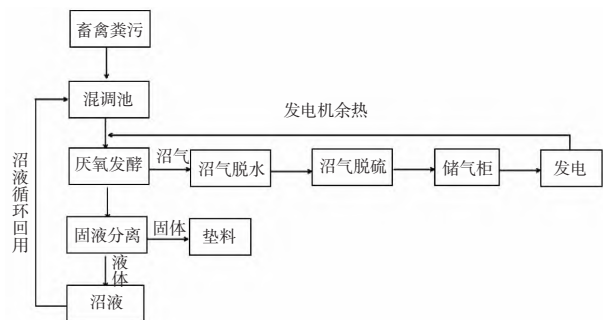


图2 厌氧发酵工艺流程图

1.2.2 粪污分类处理技术

奶牛养殖场污水类别较多，一般包括牛粪、牛尿、夏季热应激喷淋用水、清洗牛饮水槽水、生活污水、CIP清洗用水、站台冲洗水等，其中牛粪和牛尿有机质含量较高，占总污水量55%~65%（包含夏

季热应激用水) 这部分物料适宜厌氧处理且容积产气率高约 $1.4 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

另一部分水包括夏季热应激喷淋用水、清洗牛饮水槽水、生活污水、CIP 清洗用水、站台冲洗水等

这部分水有机含量低,若这部分污水进入厌氧后,产气率低且占据厌氧反应器容积,并消耗一部分热量。

分类处理就是将这部分水分离出进行污水处理,处理费用较低,处理后的水达到农灌标准(见图3)。

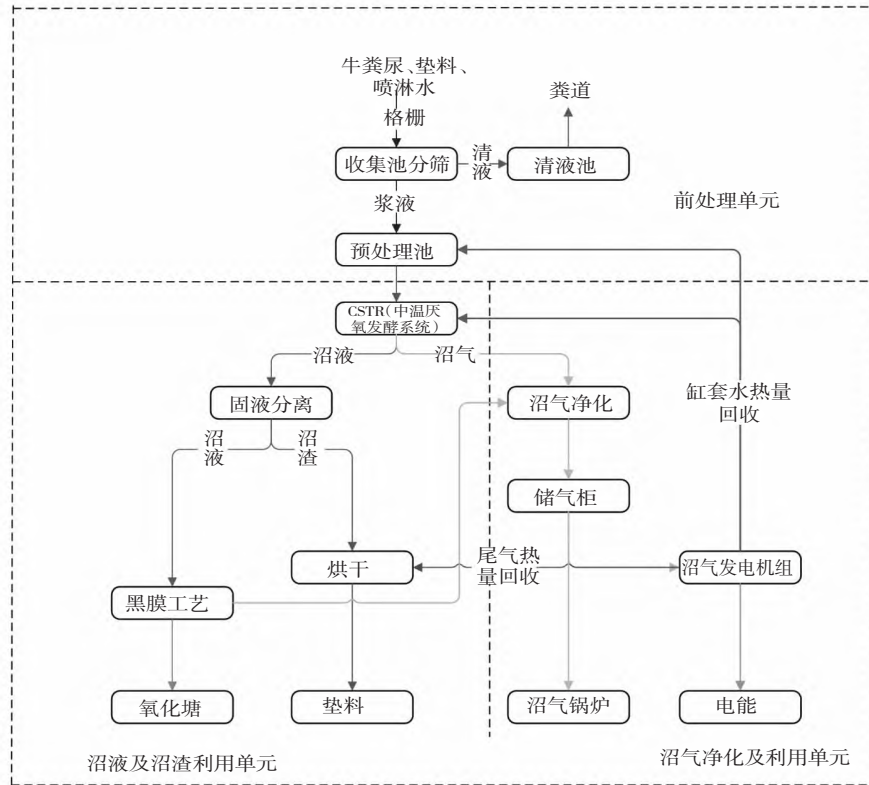


图3 大型沼气热电联产工艺流程图

1.2.3 沼渣加工牛卧床垫料技术

牛床垫料再生系统生产过程主要分为以下两步: 第一步从厌氧发酵后的料液中分离出粗干物质。通过专用的螺旋挤压式分离机将粗干物质分离出来。粗干物质主要是沼渣中未消化的粗纤维残留物,如青贮饲料或干草中的纤维等。分离机分离出固体物质,将液体量降至最低。由螺旋输送机连续给滚筒干燥器输送固体物质。第二步通过强制的物理烘干 420°C 彻底杀灭沼渣微生物,第二步在烘干

设备滚筒中进行,固体物质在沼气燃烧温度下进行高强度干燥,减少细菌数量,降低含水量,增强舒适度(见图4和图5)。

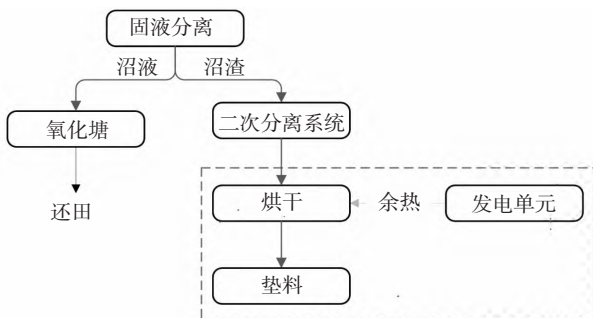


图4 牛卧床垫料加工工艺流程图

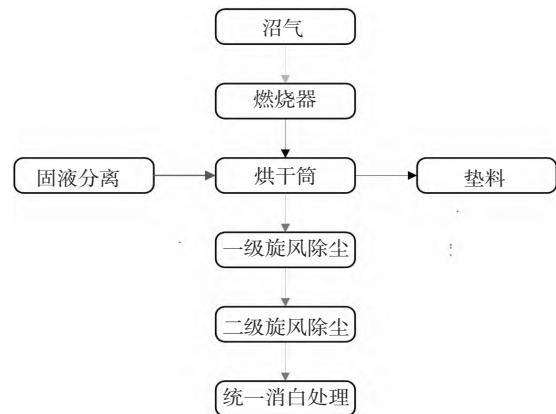


图5 烘干工艺流程图

1.2.4 沼液深度净化技术

固液分离机分离后的粪水提升至超滤一体机,被处理的清液沿轴向进入微滤机鼓内,以径向辐射

状经筛网流出,粪水中固体即被截留于超滤机鼓筒上滤网内面。截留在滤网上的固体经皮带输送至有机肥生产车间,液体进入暂存池后输送至氧化塘,经过氧化周期后进行农业还田灌溉使用,超滤后固体含水率为 55% 可作为有机肥原料进行加工或外售(见图 6)。

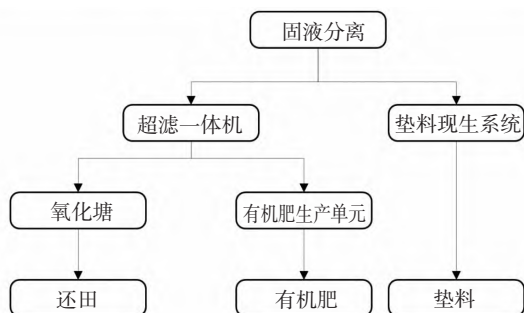


图 6 沼液深度处理工艺流程图

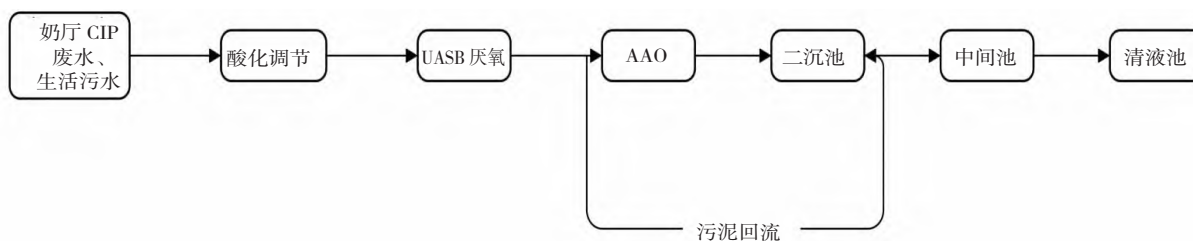


图 7 污水处理工艺流程图

1.2.5 污水处理技术

对规模化奶牛养殖场大量的 CIP 清洗用水和生活污水单独分离出来进行污水达标处理,可以减轻粪污厌氧发酵系统中的水量,减少沼液还田的压力。

进入该系统的 CIP 清洗用水和生活污水,首先经过分筛机将其中的大块杂质去除,之后进入集水井缓冲后送入调节酸化池,在此池中主要对挤奶厅污水的水质和水量进行调节,使其水质、水量都稳定,并且满足 UASB 进水指标。UASB 污染物去除率可达 70% ~ 90%,产生的沼气进入厌氧后端储气罐进行合理利用。污水经 UASB 三相分离后溢流进入 AAO 好氧反应池,上清液进入砂滤罐,在清水池中暂存后达标排放。部分污泥排入污泥均质池进入压滤机压缩后通过污泥泵打入厌氧发酵系统(见图 7)。

2 北方地区万头奶牛养殖场粪污资源化利用运营实践

2.1 运营模式

某公司粪污资源化利用案例《大型沼气综合利用循环经济示范项目》,采用的大型沼气综合利用工程建设及运营一体化模式,以大型养殖场粪污处理及资源化利用为目的,以粪污的厌氧消化为主要技术环节,以粪污的资源化综合利用为效益保障,集环保、能源、资源再利用为一体,将农、林、牧、工业有机地结合在生态农业的良性循环体系中,提高生态及经济效益,并达到节能减排的目标。项目为了保证沼气工程较高的容积产气率以及冬季的稳定运行,采用了热电沼肥联产的沼气利用模式,沼气发电上网,发电余热为沼气发酵装置增温、保温,从而保证了沼气发酵可以在中寒冷环境下稳定进行。发电机余热还可以烘干沼渣加工牛卧床垫料,多余的沼渣还用来加工牛卧床垫料,沼液加工液态肥和科学还田,肥料用于有机农业,形成种养结合。此外,将养殖场挤奶厅的 CIP 清洗水和生活污水等含有化学药剂的废水,进行污水达标处理,达标后的水用于绿

化浇灌,使牧场全年沼液总量减少了 25% ~ 40%。从而实现了“养殖场粪污环保—生物质能源—有机沼肥利用—有机种植”的全产业链建设目标,取得了粪污资源价值的最大化利用和良好的经济效益。

2.2 运营现状分析

2.2.1 3 年运营数据分析

某公司案例项目 2020 ~ 2021 年的月均沼气产量,见表 1。

2020 年	2021 年	2022 年
537500	585000	655833

从上表中可看出月均产气量逐年增长,这是因为在厌氧发酵过程中应用了菌种优选技术,提高了沼气产气率,年平均增长率在 8% ~ 12%。(以上数据来源于案例公司生产记录)。

某公司沼气案例项目 2020 ~ 2021 年的月均发电量,见表 2。

2020 年	2021 年	2022 年
1083333	1191666	1333333

从上表中可看出,随着月均产气量的逐年增加,月均发电量也逐年增长,增长率在 9% ~ 12%。(以上数据来源于案例公司生产记录)。

案例公司沼气项目 2020 ~ 2021 年的月均年卧床垫料生产量,见表 3。

表 3 2020 ~ 2022 年月均生产牛卧床垫料量 (m³)

2020 年	2021 年	2022 年
3750	4500	5416

从上表中可看出月均生产牛卧床量逐年增长,年增长速率约 20%。(以上数据来源于案例公司生产记录)

案例公司沼气项目 2020 ~ 2021 年的净利润,见表 4。

表 4 2020 ~ 2022 年净利润 (元)

2020 年	2021 年	2022 年
4526577	5050968	5604094

注:利润构成为发电收入占比 63%,垫料收入占比 37%。

从上表中可看出经过提升改造和系统优化年利润逐年增长,增长率在 10% ~ 12%。(以上数据来源于案例公司财务报表)

2.2.2 社会效益

本项目的建设和运营,合理有效地解决了养殖粪污污染及资源化利用问题,带动了区域农业产业结构调整,促进了“以种带养、以养促种”的种养结合循环发展理念,形成新的经济发展优势领域。同时可向周边地区和农户的技术推广及辐射,可带动全域养殖规模化、标准化水平提升,推动产业兴旺、生态宜居、乡风文明,实现乡村振兴,增加就业、促进脱贫攻坚。周围辐射到的街关镇 14 个村,带动农户 2000 户,其中建档立卡贫困户数 1000 户实现部分脱贫。单位招聘职工 90% 以上聘用本地人员,提高了本地就业机会。有机肥科学还田,改良土壤;有机饲草种植,促进种养结合,增加了农业收入。

2.2.3 环境效益

项目实施后有效地解决牧场养殖粪污污染问题,将之变废为宝,极大地改善环境卫生状况,提高空气质量,节能降碳,改善生态环境,实现了畜禽养

殖与资源环境和谐共生。项目促进种养结合,进一步减少环境污染,降低动物疫情传播风险;通过沼渣沼液的广泛施用,减少农药和化肥的使用量,切断有害菌的生长和传播,增加土壤肥力,改良土壤,形成良性生态循环,产生了良好的环境效益。

2.2.4 经济效益

此项目在 3 年运行中,实现生产供应稳定,收入利润稳步增长,经过不断的系统优化,开源节流,精细化管理。销售环节中的电能直接收入国家电网,垫料每月对牧场进行结算。整体生产产能呈现逐年递增,年利润每年达 10% 以上的增长速度。

3 结论

案例中项目的建设,对促进当地畜牧业可持续发展具有重要意义,对治理畜禽养殖污染具有重大意义。畜禽粪便的科学处置和资源化利用,符合循环经济“无害化、减量化、资源化”的原则。项目采用能源工程建设及运营一体化模式,在北方地区万头奶牛养殖场粪污资源化利用工程建设及运营实践中应用该模式,体现出建设与运营和谐一体、建设工艺精细、运营持续稳定、经济效益良好等优势。该模式的经验可以作为重要的借鉴,值得在北方地区乃至全国的大型奶牛养殖场中进行推广应用。

参考文献:

- [1] 薛秀忠. 当前畜禽养殖业粪污处理的几种方式 [J]. 中国畜禽种业, 2012, 8(9): 165 - 172.
- [2] 王火根, 李娜. 沼气工程企业效益分析及政策建议 [J]. 可再生能源, 2018(06): 1671 - 5292.
- [3] 叶金龙, 周颖, 王应武, 等. BOT 项目融资模式在规模化养殖场沼气工程建设项目中的应用分析 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41(25): 10470 - 10471, 10476.
- [4] 潘亚男. 大中型沼气工程托管运行概况 [D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [5] 倪建辉, 黄丽婧, 施永军. 江苏启东市沼气安全运营长效管理机制 [J]. 农业工程技术, 2017, 37(11): 38 - 39.
- [6] 张辉文, 左军平, 蔡晓勇. 湖北省现代乳业大型沼气工程建设及运营调研 [J]. 农业工程技术, 新能源产业, 2014, 07: 13 - 16.