

# 沼气原料收储运体系优化研究进展及其影响因素分析

成潇伟, 朱洪光\*, 吉进, 徐宇鹏 (同济大学新农村发展研究院生物质能源研究中心, 上海 201804)

**摘要** 结合调研结果分析了当前我国沼气与生物天然气产业发展的困境, 建议构建并优化沼气与生物天然气产业的原料收储运体系, 并对其中涉及的站点选址布局和运输路径的优化问题的国内外研究进展进行概述分析, 提出原料收储运体系的优化思路, 并分析了原料可供性的影响因素。

**关键词** 沼气; 生物天然气; 原料可供性; 路径优化; 站点选址布局

**中图分类号** S216 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)25-0077-03

Research Progress of Raw Material Storage and Transportation System Optimization of Biogas and Analysis of Its Influencing Factors

CHENG Xiao-wei, ZHU Hong-guang\*, JI Jin et al (Bio-Energy Research Center, Institute of New Rural Development, Tongji University, Shanghai 201804)

**Abstract** The dilemma of the development of biogas and bio-natural gas industry in China was analyzed. It was suggested to construct and optimize the raw material storage and transportation system of biogas and bio-natural gas industry. And the optimization problem which involved the site location and transportation route was analyzed. The optimization ideas of the raw material storage and transportation system were put forward, the influencing factors of the availability of raw materials were analyzed.

**Key words** Biogas; Bio-natural gas; Raw material availability; Path optimization; Site location layout

DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2017.25.025

能源是人类社会赖以生存和发展的物质基础, 是制约国民经济前进的首要因素, 经济的快速发展需要以较高的能源消耗为代价, 当前化石能源的大量使用导致“能源危机”、环境污染和气候变化等问题日益突出<sup>[1]</sup>。因此, 大力开发利用可再生能源和新能源, 是应对上述问题和保证经济快速可持续发展的必然选择。沼气是以有机废弃物为原料, 通过厌氧消化所获得的一种可再生能源<sup>[2]</sup>。我国沼气工程的发展开始于20世纪30年代, 截至2014年底我国有各类农业废弃物处理沼气工程102 693处, 各类大型沼气工程8 997处。2003—2014年国家投资近400亿, 助力农业领域沼气工程发展。由此可见, 国家大力支持沼气与生物天然气产业, 市场前景广阔<sup>[3]</sup>。

目前, 盲目建工程、原料供应不足、“三沼”难以得到合理的利用均严重限制了沼气与生物天然气产业的发展, 因此, 迫切需要构建一套能够长期高效运行的沼气与生物天然气产业发展体系。而原料的收储运作为沼气工程运行的基本保障, 直接影响了后续产业的发展, 科学合理的原料收储运体系构建可以规避当前产业发展所遇到的多数困境, 但是相关的优化方法在沼气与生物天然气产业中几乎很少应用。国内外对区域沼气与生物天然气产业的成功发展也鲜有报道, 因此在整个沼气工程转型升级的大背景下, 有必要对其原料的收储运体系优化方法进行深入研究。笔者从我国沼气发展的困境出发, 提出需要对沼气与生物天然气产业原料收储运体系进行优化, 对其涉及的站点选址布局优化和运输路径优化的国内外研究进展进行了概述, 并分析了原料收储运

体系中原料可供性的影响因素。

## 1 我国沼气发展的困境

2016年5—6月农业部组织专家在全国开展农村沼气调研, 认为当前我国沼气工程需求快速增长, 但闲置现象严重, 整体运行效果不佳。具体表现为多数亏损严重, 运行效率低, 部分地方仅有40%~50%的沼气工程能够正常运行; 部分沼气工程建设与运行脱节, 不少工程存在偷工减料、施工质量差等问题, 导致建成后难以运行; 沼渣沼液尚未得到有效利用, 工程效益不高, 甚至造成二次污染。造成以上问题的原因主要有沼气功能定位未能随着需求变化而调整; 沼气工程支持政策单一, 仅有建设投资补助缺少沼气沼肥等产品后端补贴政策; 忽视全程服务管理, 未重视原料收储运和“三沼”产品利用市场; 法规及政策落实到位。

当前沼气发展的困境使得生物天然气作为一种清洁的可再生能源难以得到很好的应用, 难以形成一个完善的规模化产业, 难以实现产业化可持续发展, 整体表现为基础薄弱、规模散小的特征。区域内沼气与生物天然气产业的发展应该包括产业规划与设计、工程兴建、工程与产业管理、产品高附加值利用与开发、产品销售与售后等方面。目前各大高校与科研机构对沼气发酵过程、加温保温以及“三沼”的利用均有较深入的研究, 许多技术难题先后被克服, 沼气工程的产气效率得到很大提升。然而, 产业依旧发展不理想, 除了上述原因外, 更主要的还在于新建沼气工程之前, 未进行合理的规划与设计, 盲目建池、建工程, 导致大多数工程在投入使用后出现各种问题, 最终被荒废, 或者是区域内工程无法联动, 所产资源难以得到有效利用与调度, 导致资源被浪费甚至会对环境造成二次污染。

规划与设计是沼气与生物天然气产业发展的重中之重, 作为前行的第1步, 如果未进行合理规划设计, 后续进程会受到限制, 难以得到良好的发展, 更难以形成区域内的沼气与生物天然气产业。一套系统、科学的沼气与生物天然气规

基金项目 国家科技支撑计划项目(2015BAD21B04)。  
作者简介 成潇伟(1993—), 男, 安徽绩溪人, 硕士研究生, 研究方向: 生物质能源工程。\* 通讯作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事生物质能源工程研究。

收稿日期 2017-07-21

划应当包括产业发展模式的选择,发展影响因素的确定,产业现状的分析,原料分布及产能潜力分析,站点设施及相关配套设备规划,产品利用与高附加值开发,相关安全措施及应急方案,产业规模与投资估算、效益分析、实施方案等内容。目前,国内各地在发展沼气与生物天然气产业时几乎没有较系统的规划,整个产业发展较为缓慢、散乱。

2014 年,国家发改委和农业部提出把农村沼气作为国家能源战略和新农村建设的重要内容,推动农村沼气工程转型升级。2015 年发布的《2015 年农村沼气工程转型升级工作方案》要求沼气工程在具有公益性的同时,也要具有一定的经营性,向综合利用、规模发展、多种模式、重视效益的方向转型升级。要想实现沼气工程的顺利转型升级,相关产业规划必不可少,而原料的可靠供给直接关系沼气工程能否运行,因此在发展区域沼气与生物天然气时,原料收储运体系的构建与优化是极为重要的一步,这其中主要涉及的优化问题有工程站点及原料收集转运点的选址布局优化和原料的运输路径优化。关于沼气与生物天然气领域这类问题的研究鲜有报道,但是在进行原料收储运体系优化研究时,可借鉴相关优化方法在果蔬、冷链、物流等领域的应用与研究。

## 2 原料收储运体系优化相关研究进展

2.1 站点选址布局优化 在站点选址布局优化方面,Höhn 等<sup>[4]</sup>基于 GIS 的方法,在考虑现有道路网络和空间变化的运输优化后,通过计算核密度(KD)图以精确定位具有高生物资源浓度的区域,进而识别确定生物燃气工厂的最合适位置,该方法可进一步用于环境影响评估及成本分析。Yeo 等<sup>[5]</sup>利用环境与能源地理信息系统数据库和人工神经网络,提出了城市能源供应厂站点位置潜力模型,可以综合管理影响供应厂址的因素,进而确定供应厂的位置或对现有工厂位置的适宜性及地区可再生能源潜力进行评估。

梁会民等<sup>[6]</sup>对影响快递网点布局的因素进行了分析,提出了基于 GIS 网络分析模型的快递网点布局优化策略,在对交通、人口与业务量、网点建设成本等影响因素进行综合考虑后,建立了快递网点布局优化的动态系统,根据需求动态调整优化快递网络系统。唐秀英等<sup>[7]</sup>针对生鲜冷链物流网点布局优化问题,以总体运输成本最小为目标,提出了一种定性和定量分析相结合的网点布局优化方法,收集产品供应情况后,使用该方法确定网点的覆盖范围,并进一步确定网点位置与网点总容量。兰鑫<sup>[8]</sup>针对银行网点布局问题,对影响网点选址的因素进行了系统分析,引入 GIS 和空间决策支持系统,利用基于 IBM 的网点布局模型,提出银行业的网点布局及优化方案,并建立了区位评价模型,可以定量分析选址过程中的影响因素。

综上所述,工程站点布局选址优化问题已被广泛运用于各行各业的网点规划中,主要采用的方法是先确定并分析影响布局的因素,然后可以选择建立模型求解、基于 GIS 进行位置识别、定性定量分析等方法进行网点位置确定、布局优化以及布局适宜性评估等操作,可以很好地解决设施设备布局优化问题。在求解过程中,前期对影响因素的分析至关重

要,只有全面考虑可能的影响因素后才能做出最合理的优化设计,否则结果必然难以投入实际应用中。

2.2 运输路径优化 在路径优化寻找最佳路径方面,Abou-saeidi 等<sup>[9]</sup>为了确定吉隆坡地区新鲜蔬菜交付的最快路径,基于地理信息系统,同时应用回归模型来确定影响最快递送路线选择的参数,采用具有网络分析器扩展的 ArcGIS 软件来解决复杂网络的问题,最终输出基于所有变量的具有最佳交货时间的最快路线地图,该研究表明,居民区、人口是影响运输时间和路径的有效参数。Kanchanabhan 等<sup>[10]</sup>使用人口密度、废弃物产生能力、道路网络、储存箱和收集车辆等参数,基于 GIS 的最优路由模型开发了城市固体废弃物高效运输系统,确定最佳路线图,用于追踪最小距离以及确定从收集点到转运站到最终处置场的最佳有效收集路径,可为市政当局提供参考性意见。Khan 等<sup>[11]</sup>提出了一种在合适的地方布置固体废弃物收集箱的办法,使得收集车路线最优,该方法将 ArcGIS 所提供的网络分析工具用于查找固体废弃物收集的优化路线,同时考虑了有效收集过程中所有必要参数,该研究所得的 ArcGIS 路径问题求解工具可以用于识别废物收集的成本效益方案,估算运行成本并考虑行程时间、距离来模拟其应用。

石兆等<sup>[12]</sup>为解决食品冷链配送系统优化问题,针对易腐品特性,结合配送网络时变特征进行行程时间分析,根据服务时间窗设计满意度函数,建立时变条件下的仿真模型;采用“预优化阶段+实时优化阶段”2 阶段求解策略,利用分解法进行问题分解,设计最小包络聚类分析方法与混合遗传算法求解,在最大化客户满意度的基础上完成了车辆路径优化。查伟雄等<sup>[13]</sup>在对危险货物道路运输进行系统分析的基础上,根据危险货物运输的特点和广义阻抗函数的定义,建立了危险货物道路运输路段阻抗函数模型,根据 Wardrop 平衡原理,建立了以 UE 模型为下层模型的危险货物道路运输路径优化的双层规划模型,通过模拟退火算法和对双层规划模型进行求解,完成危险货物的运输路径优化。

综上所述,路径优化主要被应用于特殊物品的运输规划中,如新鲜果蔬、冷链食品、危险货物、废弃物、应急救援物资等,主要采用的方法为确定影响参数后建立具有针对性的模型,对相关算法优化后进行模型求解,在结合地理信息系统技术后,可以更加高效地解决相关问题,并且输出可视化的最佳路径优化结果。

综上所述,原料收储运体系优化问题所涉及的研究方法中,无论是站点布局选址问题,还是运输路径优化问题,概括起来,可以先确定影响结果的参数,然后建立或者选择相关的模型,对算法优化后进行求解得到最优结果。如果在优化的过程中引入地理信息系统技术,将便于问题的求解,得到可视化的结果,有利于结果的信息转化与应用。

## 3 区域沼气与生物天然气产业原料可供性影响因素分析

区域沼气与生物天然气发展的前提是要保障原料的长期稳定供给,这样沼气工程才能够持续运行,原料的保障不仅要考虑区域内可利用原料的总量,更要关心区域内原料的

可供性。影响原料可供性的因素包括 4 个方面:

3.1 环境敏感区 即影响原料收集可通达性规划的重要障碍。由于发酵的原料往往是畜禽粪污和农作物秸秆,其在运输过程中易产生恶臭或者粉尘污染,因此其运输过程中需要尽量减少对道路周边环境的影响,在运输路径的规划上需要尽量避开居民区、水源地等环境敏感区。

3.2 乡村道路的完善程度 即交通的可达性。无论是原料的产地还是沼气工程点,往往都是选址在远离居民点的乡间地区,因此原料的运输往往需要经过大量乡村公路,此时乡村道路的完善程度对原料的运输起到至关重要的影响,具体包括多点之间道路是否通畅,道路的路况是否便于运输车辆的行驶。

3.3 原料的收集成本 由于原料来源复杂、季节变化大,因此在收集时往往采用分散收集,此时需要考虑单个收集点原料可供量与收集成本之间的平衡,对于路途较远或者原料可供量较少而导致收集成本过高的收集点往往不予考虑,一般只考虑实际运距在 10 km 以内且达到一定规模的收集点。

3.4 原料收集的技术水平和工具配套情况 原料的收储运体系需要一定的收集技术,并配到相应的工具设备,如秸秆的收集中就需配套秸秆打捆设备,工具的应用可以节约收集和转运的时间,进而提高收集效率,能够在有限的时间内完成更多原料的收集与运输。

#### 4 结语

我国沼气与生物天然气经历了多年的探索与发展,当前正处于转型升级的阶段,产业化与区域化发展是其必然的选择,而科学、合理的规划对区域内整个产业的发展将起到至关重要的作用。通过建立相关模型,对算法优化后进行求解并引入地理信息系统技术,可以得到可视化的原料收储运体系

优化结果。做好原料收储运体系的构建与优化可以降低原料的收集成本,并有效保障沼气管道的长期稳定运行。

#### 参考文献

- [1] 成瀟伟,朱洪光,徐宇鹏,等. 沼气与生物天然气产业发展模式比较分析[J]. 安徽农业科学,2017,45(18):48-50.
- [2] CHENG X W,ZHU H G,ZHANG T L,et al. Biogas production from anaerobic digestion of high oil waste[J]. Meteorological and environmental research,2017(2):54-58.
- [3] 李秀金. 生物质天然气市场前景可期[J]. 化工管理,2016(16):54.
- [4] HÖHN J,LEHTONEN E,RASI S,et al. A geographical information system (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland[J]. Applied energy,2014,113(1):1-10.
- [5] YEO I A,YEE J J. A proposal for a site location planning model of environmentally friendly urban energy supply plants using an environment and energy geographical information system(E-GIS) database(DB) and an artificial neural network(ANN)[J]. Applied energy,2014,119(3):99-117.
- [6] 梁会民,陈文月,殷洁,等. 基于网络分析的快递网点布局优化研究[J]. 物流科技,2015,38(4):37-40.
- [7] 唐秀英,杨琳琳,施杰,等. 生鲜农产品冷链物流系统网点布局优化[J]. 物流技术,2015,34(5):134-136.
- [8] 兰鑫. 银行网点布局优化系统的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2012.
- [9] ABOUSAEIDI M,FAUZI R,MUHAMAD R. Geographic information system (GIS) modeling approach to determine the fastest delivery routes[J]. Saudi journal of biological sciences,2016,23(5):555-564.
- [10] KANCHANABHAN T E,ABBAS M J,SRINIVASAN S,et al. Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality[J]. Waste management & research: the journal of the international solid wastes & public cleansing association,2011,29(3):323-339.
- [11] KHAN D,SAMADDER S R. Allocation of solid waste collection bins and route optimisation using geographical information system: A case study of Dhanbad City,India[J]. Waste management & research,2016,34(7):666-676.
- [12] 石兆,符卓. 时变网络条件下带时间窗的食品冷链配送定位—运输路径优化问题[J]. 计算机应用研究,2013,30(1):183-188.
- [13] 查伟雄,孙敬. 基于模拟退火算法的危险货物道路运输路径优化双层规划模型[J]. 公路交通科技,2012,29(4):101-106.

(上接第 71 页)

谱间关系可以在不同程度上进行修正,该研究采用的几种方法多是几个光谱之间简单的加减,采用一些较复杂的数学方法的可行性也有待进一步研究。综上所述可得出以下结论:

①基于 TM 影像 6 波段的单波段阈值提取方法,可以获得较清晰的河网信息,主支流河网连续性较好,河流脉络明显,但是由于遥感影像上阴影的影像,单波段改变提取阈值难以把阴影与水体进行有效区分,提取效果仅能作为参考。②利用谱间关系法和 IHS 颜色模型提取的河网,主干道提取效果明显,大面积的水体也可以很好的表现,支流河网只能表现大致的轮廓,存在许多严重的断流现象。

#### 参考文献

- [1] 李栋梁. 基于 TM 影像的水系信息提取及变化制图研究[D]. 南京: 河海大学,2006.
- [2] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社,2013.
- [3] 杨晓平. 基于 TM 遥感图像的流域地貌研究[J]. 科技通报,2003,19(2):150-153.
- [4] 孙家柄. 遥感原理、方法和应用[M]. 测绘出版社,1997.
- [5] 陆家驹. 多种遥感资料河网水体的有效解译[J]. 水利学报,1993(1):43-47,52.
- [6] 王刚,李小曼,田杰. 几种 TM 影像的水体自动提取方法比较[J]. 测绘科学,2008,33(3):141-142.
- [7] 周成虎,骆剑承,杨晓梅,等. 遥感影像地理解与分析[M]. 北京: 科学出版社,1999.
- [8] 刘学军,徐鹏. 交通地理信息系统[M]. 北京: 科学出版社,2006.
- [9] 李军利,查良松,王中. 动态分段思想在公路地理信息系统中的实现[J]. 测绘与空间地理信息,2006,29(1):67-70.