

张彩庆, 龚 运. 农村最优能源消费结构及测算方法研究——以京津冀地区为例[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(16): 359–362.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.16.082

农村最优能源消费结构及测算方法研究 ——以京津冀地区为例

张彩庆¹, 龚 运²

(华北电力大学经济管理学系, 河北保定 071000)

摘要:“三农”问题一直是我国的重大问题,而日益严重的环境问题成为制约农村经济发展的又一重大难题。首先提出优先清洁高效利用农村可再生能源,其次充分利用电能,最大限度减少煤炭和成品油消费的农村最优能源消费结构的概念;然后根据这一概念建立农村最优能源消费结构的测算方法,可以对一个地区的农村最优能源消费结构进行测算,为能源消费结构优化制定目标,指导农村能源发展战略规划;最后以京津冀地区为例,通过测算得到京津冀农村最优能源消费结构。结果表明,京津冀农村能源消费结构还有很大的优化空间,须要尽快制定可再生能源利用的措施和相关激励政策,加大能源结构优化的步伐。

关键词:京津冀地区;农村能源;最优能源消费结构;测算方法;沼气能源;分布式光伏能源;地热能源;电力能源

中图分类号: F323.24; F206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)16-0359-04

能源是社会发展的物质基础,农村能源的合理利用对农村经济发展和环境保护都有重要作用。但当前我国农村能源消费与可再生能源发展中存在一些问题^[1-2]。如传统能源(煤、秸秆、薪柴)直接燃烧占比过高、热效率低、污染严重,农村生物质资源丰富,但利用效果差,伴随生态农业的产业化而生的大量问题随之产生,尤其是农作物秸秆的焚烧和闲置、畜禽粪便的大量排放等^[3];国家为鼓励生物质资源利用,推动了农村户用沼气和集中化沼气工程及发电工程的建设,但利用率很低,远不能达到替代传统能源的要求。在农村分布式光伏发电方面,国家和电网公司都推出了相关的政策,但从目前来看发展很慢,主要受资金、维护、入网条件等的限制,现行政策对农村可再生能源的发展起到了一定的作用,但远远不够。我国农村地区能源资源十分丰富,加快农村可再生能源的发展有利于满足农村日益增长的能源需求,优化能源结构,改善农村的能源和环境问题^[4]。随着国家对农村能源和环境问题的重视,农村可再生能源的开发和利用是必然的研究方向。

本研究首先提出基于可再生能源利用的农村最优能源消费结构的概念,通过对可再生能源利用最大化,提高可再生能源消费的占比来实现最优能源消费结构。从最优能源消费结构的角度来研究农村能源消费的问题,填补农村能源消费结构研究体系中的空白。然后根据这一概念建立农村最优能源消费结构的测算方法,可以对一个地区或一个国家的农村最优能源消费结构进行测算,为能源消费结构优化制定目标,指导农村能源发展战略规划。

1 农村最优能源消费结构的概念

1.1 提出农村最优能源消费结构概念的基本思路

提出农村最优能源消费结构概念的目的是为农村能源消费结构优化设置一个明确的目标,指导农村能源的发展方向,在满足农村能源需求的同时,实现农村生态环境的良性发展。因此,确定以下思路。

(1) 优先发展农村范围内可再生能源的高效清洁利用,包括农作物秸秆、畜牧业粪便等生物质能源、太阳能资源(指分布式光伏)、地热以及其他可再生能源,实现可再生能源的最大化利用。

(2) 最大化利用电能。在可再生能源利用后,其余部分将最大化利用电能。随着农村社会和经济的发展,农村生活水平和电气化水平都将大幅提高。电能作为清洁、便利的能源,其消费占能源总消费的比例将呈上升趋势,同时由于电代煤、电代油等电能替代政策的实施,电能消费的比例将更大。

(3) 最大限度减少煤炭和成品油的消费。随着可再生能源利用和电能替代的实施,煤炭作为终端能源消费将逐步被替代,另外由于电动交通工具的发展,成品油消费的比例也将逐步减小,甚至最终也将被完全取代。因此,在农村最优能源消费结构中不考虑这部分能源消费。

1.2 农村最优能源消费结构的定义

根据上述思路,提出农村最优能源消费结构的定义,农村最优能源消费结构是在满足农村能源需求的基础上,按照优先充分高效清洁利用农村生物质能、太阳能、地热等可再生能源,其余部分优先利用电能,不足部分以少量其他能源消费作为补充,所形成的各种能源消费的构成比例。其中,生物质能源利用主要是农作物秸秆、畜牧业产生的粪便等,其他生物质能源利用量较少,因此,本研究主要针对农作物秸秆和粪便的能源化利用。同时,由于沼气工程是当前农村生物质能源利用的发展趋势,在本研究中将生物质能利用以沼气利用量为

收稿日期: 2017-03-20

基金项目: 河北省科技计划(编号:16454317D)。

作者简介: 张彩庆(1964—),男,河北保定人,博士,教授,主要从事农村能源研究。E-mail: hdzhangcaiying@126.com。

代表。因此,农村最优能源消费结构中将主要包括沼气、分布式光伏、地热、电力等。

1.3 农村最优能源消费结构的表示方法

农村最优能源消费结构由农村各种能源消费量占农村能源消费总量的比例构成,用向量形式表示。向量的各个元素为各种能源消费所占比例。将农村各种能源消费量经热值换算后,分别记为 E_i 。则各种能源消费所占比例为 $w_i = E_i / \sum_i E_i$,农村最优能源消费结构为 $W = (w_1, w_2, w_3, w_4)$,其中, w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 分别表示沼气、分布式光伏、地热、电力等能源占能源消费总量的比例。

2 农村最优能源消费结构的测算方法

2.1 农村能源需求测算

农村能源需求包括农村生活能源需求和生产能源需求。农村能源需求总量的相关变量包括农业产业发展、城镇化建议、人均收入水平、电器拥有量、能源消费政策等变量,研究能源需求总量与这些相关变量之间的联系,对农村能源需求进行测算。

2.2 农村可再生能源的最优化利用

根据各种可再生能源资源量和发展状况对各种农村可再生能源供应量进行计算。主要包括对秸秆和养殖场粪便等生物质能源、分布式光伏、地热等资源以及由此产生的能源供应量进行测算。

2.2.1 秸秆产量与能源化量测算 研究秸秆能源化的方式,依据农业产业规划和秸秆综合利用政策计算秸秆产量和能源化量。秸秆的产量主要受农作物产量的影响,通过农作物产量来测算秸秆的产量^[5]。秸秆能源化的比例主要受政策、秸秆利用技术的改进情况、煤炭价格波动造成的替代作用等因素影响。研究农村秸秆利用以及能源化利用方式,构建农村秸秆利用方式结构比例模型。秸秆产量的计算公式为

$$CR = \sum_{i=1}^n Q_c r_i \quad (1)$$

式中: CR 为农作物秸秆资源理论资源量; Q_c 为第 i 类农作物的产量; r_i 为第 i 类农作物的草谷比系数。

秸秆能源化利用量的计算公式为

$$CR_E = \sum_{i=1}^n Q_c r_i f_i e_i \quad (2)$$

式中: CR_E 为可能源化利用秸秆资源量; f_i 为第 i 类农作物可收集系数; e_i 为农作物 i 的可能源化利用秸秆比例,是扣除农村基本生活能源需求、秸秆直接还田、饲料化利用、工业原料以及食用菌基料等用途后所剩的占比。

2.2.2 粪便量测算 养殖场粪便是农村沼气的重要原料。随着人们对畜禽需求量的增加,其养殖规模也在增加,规模化养殖畜禽粪便排放量呈逐年上涨趋势。畜禽粪便排放量的测算方法^[6]如下:

$$M = \sum_i N_i T_i E_i g_i \quad (3)$$

式中: M 为年粪便产生量; n 为畜禽种类数量; N_i 为饲养量; T_i 为饲养周期; E_i 为排泄系数; g_i 为第 i 类禽畜粪便的可收集系数。

2.2.3 沼气产量测算 农村沼气的产量主要通过秸秆和粪便的发酵产生,在现有技术条件下测算沼气产量须要研究秸

秆能源化量、粪便量、粪便和秸秆的配比、气候和温度状况、其他替代能源的价格波动、人均收入、农户受教育程度、相关政策等因素,选择合适的变量加入测算模型中进行研究。理论沼气产生量计算公式如下:

1 kg 原料的理论沼气产生量为

$$T = W_c T_c + W_p T_p + W_a T_a \quad (4)$$

沼气总产量为

$$E_1 = \sum_{i=1}^n T_i CR_{E_i} + \sum_{j=1}^m T_j M_j \quad (5)$$

式中: CR_{E_i} 为第 i 类秸秆能源化利用量, kg; M_j 为第 j 类粪便排泄量, kg; T_i 为 1 kg i 类秸秆产生沼气的量, m^2 ; T_j 为 1 kg j 类粪便产生沼气的量, m^2 ; W_c 为 1 kg 原料中碳水化合物的含量, kg; W_p 为 1 kg 原料中蛋白质的含量, kg; W_a 为 1 kg 原料中类脂化合物的含量, kg; T_c 为 1 kg 原料中碳水化合物的理论沼气转换率, m^2/kg ; T_p 为 1 kg 原料中蛋白质的理论沼气转换率, m^2/kg ; T_a 为 1 kg 原料中类脂化合物的理论沼气转换率, m^2/kg 。 T_c 、 T_p 、 T_a 分别取值为 0.75、0.98、1.44 m^2/kg 。

2.2.4 农村太阳能资源储量测算 农村太阳能储量可以通过对农村可用居民屋顶面积进行估算,进而得到分布式光伏的开发潜力。根据国家统计局公布农村人口数据,按照当年农村人口和人均住房建筑面积,得到农村屋顶总面积,从而得到可利用屋顶面积。按照每平方米可安装光伏的装机容量,可以推算出分布式光伏总装机容量,再根据各省(市、区)太阳辐照强度推算出满负荷利用小时数,最后得到各地区分布式光伏潜在发电量。随着农村种植、养殖规模化、现代化的发展,屋顶、舍顶、棚顶资源将大幅增加,太阳能利用量会逐步上升。

光伏发电量测算公式如下:

$$E_2 = GH\alpha Ph \quad (6)$$

式中: G 为某地区农村人口总量, 人; H 为该地区农村人均住宅面积, $m^2/人$; α 为住房总面积得到可安装光伏板面积的比例系数(包括住房面积与屋顶面积的系数和屋顶面积与可安装光伏板面积的系数), %; P 为单位面积装机容量, W/m^2 ; h 为满负荷利用小时数, h。

2.2.5 地热能消费测算 地热能是由地壳抽取的天然热能,是一种来自地球内部的熔岩,并以热能形式存在的能源。随着石油、天然气、煤炭资源可采储量的减少及价格的上涨,应该加强地热这一绿色可再生能源的利用。根据研究按地热资源的类型分别进行测算^[7]。

2.2.5.1 水热型地热资源的测算方法:

$$E_3 = Q_r + Q_w; \quad (7)$$

$$Q_r = Ad\rho_r C_r (1 - \varphi)(t_r - t_0); \quad (8)$$

$$Q_w = Q_L C_w \rho_w (t_r - t_0) \quad (9)$$

式中: E_3 为热储热量, J; Q_r 为岩石热量, J; Q_w 为水热量, J; A 为热储面积, m^2 ; C_r 、 C_w 分别为岩石、水的比热容, $J/(kg \cdot ^\circ C)$; d 为热储层砂岩厚度, m; ρ_r 、 ρ_w 分别为岩石、水的密度, kg/m^3 ; t_r 为热储层平均温度, $^\circ C$; t_0 为当地平均气温, $^\circ C$; Q_L 为热储存中储存的水量, m^3 ; φ 为岩石孔隙率。

2.2.5.2 干热岩地热资源的测算方法:

$$E_3 = \rho_r C_r V (T_r - T_0) \quad (10)$$

式中: C_r 为岩石比热, $J/(m^2 \cdot ^\circ C)$; T_r 为特定深度上的岩石温

度,℃; T_0 为地表平均温度或特定参考温度,℃; V 为岩石体体积, m^3 。

2.2.6 电力消费测算 电力消费是农村能源消费中的增长点。除常规电力需求外,电代煤、电代油等能源替代也会带来新的电力需求。因此,电力消费测算还须考虑电力替代的潜力,农村电力消费量为常规的电力消费测算值加上电力替代产生的增加值。

电力在农村终端能源中替代潜力的测算方法^[8]如下:

假定耗电设备的效率都是 100%,电能在农村终端能源的替代可以根据下式得出:

$$E_4 = \sum_f \sum_j E_f^a \alpha_f \beta_f^a N / \alpha_E \quad (11)$$

式中: E_4 为电力在农村终端能源中的替代潜力, $\text{kW} \cdot \text{h}$; f 为被替代能源种类,包括煤炭、汽油等,种; α 为耗能设备种类,种; E_f^a 为用户均耗能设备能源消费量,t 标准煤; β_f^a 为耗能设备 α 消耗能源 f 的效率,%; α_f 为被替代能源资源折算成标准煤的系数,%; α_E 为电能的折标系数,t 标准煤/($\text{kW} \cdot \text{h}$); N 为实际农村家庭户数与被调查的家庭户数的比例,%。

3 京津冀农村最优能源消费结构

京津冀农村最优能源消费结构是指在满足京津冀农村地区能源需求时,首先考虑京津冀地区各种可再生能源的充分有效利用,可再生能源包括生物质能、太阳能(指分布式光伏)、地热等,其次考虑电能消费形成的京津冀农村能源消费结构,电能消费包括常规电能消费和电能替代潜力。

3.1 京津冀农村能源需求测算

京津冀农村能源需求就是农村生活用能和生产用能之和。根据《全国农村可再生能源统计汇总表》中数据得到京津冀农村用能,由表 1 可知,京津冀农村能源总需求量约为 9 800.90 万 t 标准煤。

表 1 京津冀农村用能

地区	生活用能 (万 t 标准煤)	生产用能 (万 t 标准煤)
北京	583.8	188.8
天津	332.3	193.0
河北	5 919.5	2 583.5

3.2 京津冀农村可再生能源的最优化利用

根据京津冀农村各种可再生能源资源量和发展状况对各种农村可再生能源供应量进行计算。主要包括对秸秆、养殖场粪便等生物质能源、分布式光伏、地热等资源以及由此产生的能源供应量进行计算。

3.2.1 秸秆产量与能源化量测算 通过京津冀农作物产量和秸秆可能源化的比例来测算京津冀秸秆的产量和可能源化利用秸秆资源量。根据《中国农村统计年鉴》^[9] 中的数据得到京津冀主要农作物产量(表 2)。由农作物产量(表 2)、农作物系数(表 3)和公式(1)、公式(2)可以算出京津冀地区可能源化利用秸秆资源量为 3 572.30 万 t。

3.2.2 粪便量测算 京津冀地区养殖场粪便是农村沼气的重要原料。《中国农村统计年鉴》^[9] 中的数据只统计了家禽的出栏量,而未区分鸡鸭鹅种类,本研究将家禽数量计算为蛋鸡数量,以此作为家禽总数量,得到京津冀畜禽出栏量(表 4)。由表 4、表 5 和公式(3)以及相关系数,测算出京津

表 2 京津冀农作物产量

农作物	各地区产量(万 t)		
	北京	天津	河北
稻谷	0.1	12.9	58.8
小麦	18.7	57.3	1 387.2
玉米	75.2	102.1	1 703.9
豆类	0.9	0.9	30.0
薯类	0.8	0.3	112.4
花生	0.9	0.5	130.0

表 3 农作物系数

农作物	草谷比系数	可收集系数
稻谷	0.90	0.75
小麦	1.16	0.74
玉米	1.75	0.95
豆类	1.54	0.88
薯类	0.70	0.80
花生	1.94	0.88

表 4 京津冀畜禽出栏量

地区	出栏量(万只或万头)				
	生猪	奶牛	肉牛	羊	鸡
北京	314.4	14.4	5.9	71.0	8 530.0
天津	382.0	15.1	13.1	65.0	8 017.0
河北	3 452.0	191.0	150.0	2 105.0	58 573.0

表 5 京津冀畜禽粪排泄系数和饲养周期

禽畜	日排泄系数 (kg/头)	饲养周期 (d)
生猪	3.50	110
奶牛	45.00	365
肉牛	23.00	365
羊	2.00	365
鸡	0.12	365

冀地区畜禽粪便排放量为 11 563.80 t。

3.2.3 沼气产量测算 农村沼气的产量主要通过秸秆和粪便的发酵产生,在现有技术条件下沼气产量是通过秸秆能源化量、粪便量来测算的。由各种秸秆可能源化量、粪便量、相关系数及公式(4)、公式(5)可以算出沼气产量约为 5 082.90 万 t 标准煤,即 E_1 为 5 082.90 万 t 标准煤。

3.2.4 农村太阳能资源储量测算 农村太阳能储量与农村屋顶面积之间存在联系,通过对京津冀农村可用居民屋顶面积进行估算,进而得到分布式光伏的开发潜力。人均住宅建筑面积数据取自《中国统计年鉴》^[10],从人均住宅面积得到可安装光伏板面积时,考虑到京津冀农村住房可能有二三层小楼。本研究作简化处理,假设农村 50% 的住宅面积为屋顶面积,从而估算出京津冀农村居民建筑分布式光伏发电潜力。根据表 5、公式(6)测算出京津冀地区分布式光伏发电量约为 291.00 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,折算为标准煤后约为 1 788.20 万 t 标准煤,即 E_2 为 1 788.20 万 t 标准煤。

3.2.5 地热能消费测算 京津冀地区地热资源比较丰富。其中,河北怀来后郝窑、熊县牛驼镇,北京昌平小汤山、东南城区,天津王兰庄、滨海等地区都有大中型地热田。根据地质矿

表 5 京津冀农村居民建筑分布式光伏发电潜力估算结果

地区	农村人口 (万人)	人均住房面积 (m ² /人)	安装面积 (亿 m ²)	太阳能年辐射总量 (kW·h/m ²)	装机潜力 (万 kW)	发电量潜力 (亿 kW·h)
北京	286.00	38.17	2.75	1 600.00	820.00	105.00
天津	261.00	30.26	1.95	1 450.00~1 500.00	590.00	68.50~71.00
河北	3 877.00	35.01	33.95	1 450.00~1 700.00	10 180.00	1 180.00~1 385.00

产部《中国矿产资源报告》^[11]中的数据可以得到京津冀探明地热资源量。由表 6 可知,京津冀地区地热能年可开采量为 75.06 万 t 标准煤,即 E_3 为 75.06 万 t 标准煤。

表 6 京津冀探明地热资源量

地区	年可开采量(万 t/d)
北京	7.67
天津	29.73
河北	37.66

3.2.6 电力消费测算 电力消费是农村能源消费中的增长点。除常规电力需求外,电代煤、电代油等能源替代也会带来新的电力需求。因此,京津冀电力消费测算还须考虑电力替代的潜力,农村电力消费量为常规的电力消费测算值加上电力替代产生的增加值。京津冀常规电力消费总额为 766.90 万 t 标准煤,电力替代的增加值包括电代煤和电代油,由于现在消费结构中煤炭需求很大,因此电代煤后电能可以满足剩余能源的需求,在京津冀农村最优能源消费结构中,电能总消费量为农村能源消费需求总量减去沼气、分布式光伏、地热能剩余的部分,则京津冀农村电能总消费量约为 2 854.80 万 t 标准煤,即 E_4 为 2 854.80 万 t 标准煤。

3.3 京津冀农村最优能源消费结构

通过对京津冀农村不同能源最优消费量的测算,由表 7 可知,沼气、分布式光伏、地热、电力能源占能源消费总量的比例分别为 51.9%、18.2%、0.8%、29.1%,即京津冀农村最优能源消费结构 $W=(51.9\%,18.2\%,0.8\%,29.1\%)$ 。京津冀农村最优能源消费结构中沼气能源的消费量最高,电力能源的比例也较大,这些能源都是可再生的清洁能源,因此京津冀农村最优能源消费结构是一个合理、绿色的消费结构。而目前京津冀农村能源消费结构中沼气消费量极低,大部分秸秆资源直接燃烧甚至废弃成为污染物,只有少部分秸秆能源化为沼气,而且煤炭这类污染大、不可再生的能源比例过大,因此现在京津冀农村能源消费结构与最优能源消费结构存在很大的差距,须要通过相关政策引导,改善各种可再生能源资源利用的方式以及从农业产业规划等方面来实现最优能源消费结构的途径。

表 7 京津冀农村最优能源消费结构

能源类型	消费量(万 t 标准煤)	占比(%)
沼气	5 082.9	51.9
分布式光伏	1 788.2	18.2
地热	75.1	0.8
电力	2 854.8	29.1
总计	9 801.0	100.0

4 结论

本研究探明了农村能源消费结构,通过农村可再生能源最优化利用,得到农村最优能源消费结构。农村最优能源消费结构是在满足农村能源需求的基础上,按照优先充分高效清洁利用农村生物质能、太阳能、地热等可再生能源,其余部分优先利用电能,不足部分以少量其他能源消费作为补充,所形成的各种能源消费的构成比例。然后根据这一概念建立了农村最优能源消费结构的测算方法,可以对一个地区或一个国家的农村最优能源消费结构进行测算,为能源消费结构优化制定目标,指导农村能源发展战略规划。最后测算了京津冀农村最优能源消费结构,该结构中可再生能源消费比例超过 70%,说明当前的能源消费结构还有很大的优化空间。

本研究初步提出了基于可再生能源的农村最优能源消费结构的概念及测算方法,还须要进行更加深入的研究,须要考虑新农村建设、现代生态农业、城镇化建设、农村人文因素、可再生能源供应与利用中的技术、政策等众多因素,还须要针对现行农村能源消费结构和最优能源消费结构的差距,研究各种可再生能源资源生产与利用的方式、措施以及农业产业规划等实现最优能源消费结构的途径和相关政策。

参考文献:

[1]张 霞,蔡宗寿,李 欢. 我国农业生产能源消费现状分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):441-443.

[2]张彩庆,郑金成,臧鹏飞,等. 京津冀农村生活能源消费结构及影响因素研究[J]. 中国农学通报,2015,31(19):258-262.

[3]陈明江,高庆生,曲浩丽,等. 县域秸秆燃料化利用模式分析与发展建议[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):318-320.

[4]张红宇. 关于深化农村改革的四个问题[J]. 农业经济问题,2016(7):4-11.

[5]蔡亚庆,仇焕广,徐志刚. 中国各区域秸秆资源可能资源化利用的潜力分析[J]. 自然资源学报,2011,26(10):1637-1646.

[6]田宜水. 中国规模化养殖场畜禽粪便资源沼气生产潜力评价[J]. 农业工程学报,2012,28(8):230-234.

[7]蔺文静,刘志明,王婉丽,等. 中国地热资源及其潜力评估[J]. 中国地质,2013,40(1):312-321.

[8]闫庆友,朱明亮,汤新发. 基于成本效用分析的电能替代实证研究[J]. 运筹与管理,2015,24(6):176-183.

[9]中华人民共和国国家统计局. 中国农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2012.

[10]中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2014.

[11]中华人民共和国国土资源部. 中国矿产资源报告[M]. 北京:地质出版社,2013.