

中国农村分布式供能模式供需分析

张帆, 杨明皓

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 基于2006年1000份的调查问卷和国家统计年鉴近10年数据, 统计分析了我国家农村生活用能结构、用量及获取方式, 提出了一种适用于我国家农村的分布式供能模式, 并通过估算各地风能、太阳能储量和农村家庭用能量, 对这种农村分布式供能模式做了详细的供需分析。研究结果表明, 我国家农村生活用能结构主要包括炊事、热水、取暖、照明和文明生活用能, 生活用能总量和农村用电量分别保持了4.91%和11.12%的增长速度; 若分布式供能系统以每户安装1 kW风力发电机和1.2 m²太阳能集热来计算, 全国可有57%的省份可由当地可再生能源完全满足农村居民生活用能需求, 且有盈余, 由此论证了分布式供能具有广阔的应用前景。

关键词: 农村生活用能; 可再生能源; 能源消耗; 分布式供能

Supply and demand analysis of rural distributed energy supplying mode

ZHANG Fan, YANG Ming-hao

(Department of Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the investigation of rural household energy consumption among 1000 families by questionnaire meanwhile referring to lately 10 years data from statistical yearbook, the rural household energy consumption structure, amount as well as the obtaining ways are analyzed, and a more suitable energy supplying system for rural area is proposed. By estimating the wind power and solar power in every province, the supply and demand of this energy supplying mode is analyzed. Results show that rural household energy consumption consists of cooking, heating and electricity utilization, and the year's growth rate of total energy and electricity consumption are 4.91% and 11.12% respectively; if each family install 1 kW wind turbine and 1.2 m² solar energy collection, there are 57% rural families whose household energy demand can be met by local renewable energy sources even with surplus. Therefore, the rural distributed energy supplying mode is proved to have a wide application prospect.

Key words: rural household energy; renewable energy sources; energy consumption; distributed energy supply

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)23-0121-05

0 引言

能源是经济和社会发展的重要物质基础^[1]。进入21世纪, 随着我国经济迅猛发展, 工业化、城镇化进程加快, 能源需求快速增长, 农村生活能耗已占全国总能耗的30%以上, 能源供需矛盾日益突出^[2-3]。随着家庭收入的增长, 农村居民生活中商品能消费的比例还将不断攀升, 势必将给国家能源供给带来巨大压力^[4-10]。近年来, 农村用电量保持了10%以上的增长速度, 这种加速增长的势头在家电下乡拉动需求的政策鼓励下将更加显著。然而, 处于电网末端的许多农村电网很难承受如此重负, 农

村能源供给体系必将产生革命性变革。

我国家农村地区蕴藏着丰富的可再生能源, 全国76%的地区处于风能可利用地区, 全国2/3地区太阳能资源高于II类, 据农业部统计和估算, 全国广大农村地区的可再生能源每年可获得相当于73亿吨标准煤的能量, 相当于目前我国家农村能耗总量的12倍^[11]。利用农村的可再生能源开发分布式供能系统将是新农村能源供给体系中不可或缺的一部分。

本文根据1998年~2007年国家统计年鉴数据和2006年所做的农村家庭生活能源消费问卷调查, 分析了农村生活用能需求和结构, 提出了一种适用于我国家农村的分布式供能模式, 并以全国风、光资源分布为数据基础, 估算各省农村生活能源需求总量和风、光资源可利用储量, 论证了分布式供能模

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAJ04B03)

式的可行性。

1 农村生活能源消费现状

在国家统计年鉴的基础上,本文 2006 年对我国农村生活用能需求状况进行了抽样调查。本次调查共发放问卷 1 000 份,有效问卷 935 份,问卷覆盖除香港、西藏和台湾以外全国 30 个省、直辖市的农村家庭,统计了农村家庭生活能耗量、用能结构和能源获取方式。

1.1 能耗总量及用能结构

根据国家统计年鉴,1998~2007 年的 10 年时间,我国农村居民的生活能耗总量不断攀升,由 1998 年的 115.65 Mtce 上升到 2008 年的 177.46 Mtce,保持了平均 4.91% 的年增长速度,增长曲线如图 1 所示。在可预见的将来,农村能源消费总量将保持继续增长的趋势。

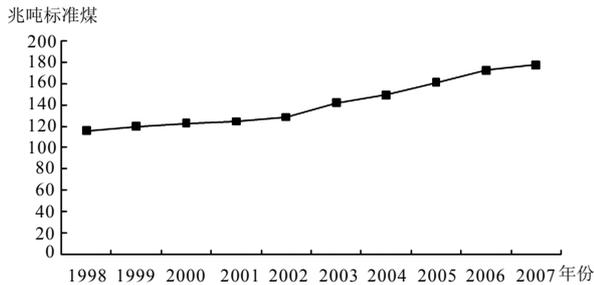


图 1 1998~2007 年我国农村年生活能耗总量

Fig.1 The household energy consumption of China from 1998 to 2007

农村生活用能分为基本生活用能和文明生活用能^[7-9,12]。其中,基本生活用能包括炊事、热水、取暖和照明等维持基本生活所需的能源;文明生活用能包括以使用电视机、电冰箱、洗衣机等家用电器为主的使生活更加舒适方便以及获取教育娱乐所需的能源。按照农村能源获取方式,可将炊事和热水归为一类,以电能为主的照明和文明生活用能归为一类,北方地区取暖用能为一类。

按照以上分类方法,2006 年我国农村生活用能结构的调查统计结果列于表 1。其中,第 1 行为全国农村年生活用能总量表示的用能结构,第 2 行为平均每户年生活用能量表示的用能结构。

表 1 2006 年农村生活用能结构

Tab.1 Rural household energy consumption in 2006

分类	炊事和热水	取暖	照明和文明生活用能	总量
全国/Mtce	104.96	10.48	50.71	166.14
每户/kgce	515.78	51.49	249.17	816.43
所占比例	63%	6%	31%	100%

注:2006 年全国农村家庭户数为 2.035 亿户^[4],

每千瓦小时折合 0.1229 千克标准煤^[4]。

由表 1 可见,农村炊事、热水、取暖和照明等基本生活用能仍为农村生活主要能耗,占到了总量的 70%以上,说明截止 2006 年我国农民生活仍处于较低水平。

1.2 获取方式

1) 炊事热水与取暖用能来源

根据调查问卷统计,2006 年在全国农村家庭中通过薪柴和秸秆直接燃烧获取炊事和热水用能的家庭占 52%、煤占 25%,其他依次为煤气 10%、电炊具 6%、沼气 2%,见图 2(a)。北方农村家庭取暖能源主要来源是煤、秸秆和薪柴,分别为 50%、23%和 19%,各取暖方式所占比例见图 2(b)。

由表 1 和图 2 给出的数据不难得到,在炊事、热水和取暖等农村基本生活用能的供给中,薪柴和秸秆等占 50.43%,可见生物质直燃仍为我国农村生活用能最重要的获取方式。

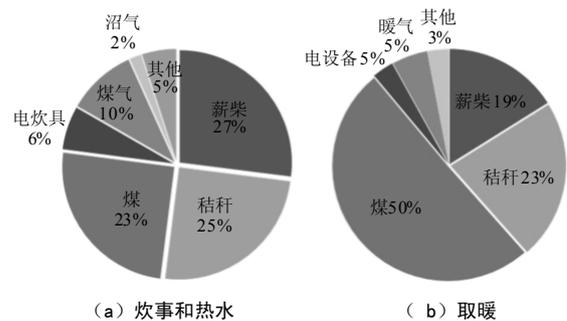


图 2 农村炊事热水用能和取暖用能获取方式

Fig.2 Sources of rural household cooking and heating energy

2) 照明及文明生活用能

所调查区域的统计显示,照明及文明生活用能全部使用电能。

根据国家统计年鉴数据,我国农村人均生活用电量从 1998 的 106.6 kWh 增加到 2007 年的 274.9 kWh,年均增长速度为 11.12%。与图 1 总能耗相比,用电量增长速度约为总能耗增长速度的 2.26 倍。由此可见,随着生活水平的提高,用电量增长的压力会更大。

2 农村分布式供能模式

由农村用能状况的分析可以看出,农村能源需求的增长特别是电能需求的增长对现有供能模式提出了极大的挑战。提高农村现有生物质能源的利用效率,开发新的可再生能源是农村能源问题极为重要的解决方案。为此,本文提出一种适用于我国农村的分布式供能模式,即因地制宜小规模地开发利用分布在用户周围的可再生能源,通过科学的转换

技术为农村生活用能提供能源并以外界供给的商品能体系作为备用的供能模式。

在分布式供能模式中,基本生活用能的炊事和热水以及取暖用能可以通过以下4种途径供给:①经过转换技术将当地丰富的生物质能源(如薪柴和秸秆等)转换为燃气供给;②通过太阳能集热技术直接供给;③由分布式可再生能源的发电技术形成微型电力系统,通过家用电器来供给;④社会商品能供给体系如煤、燃气、电作为备用,以保证基本生活用能的稳定供给。照明和文明生活用能,通过可再生能源发电技术形成的微型电力系统和公用电网同时供给。分布式供能结构如图3所示。

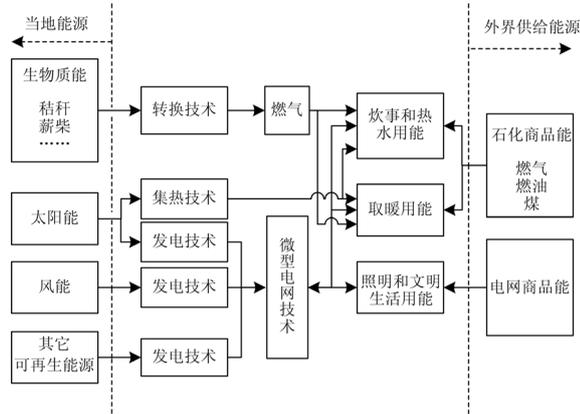


图3 农村分布式供能模式结构图

Fig.3 Rural distributed energy supplying system

由图3可以看出,农村分布式供能模式与农村传统供能模式相比有很大不同。从可供给的能源种类上,除了已有的当地生物质能源和外界商品能,还加入了更加清洁环保高效的太阳能、风能等可再生资源,增加了能源供给量。从能源供给的技术上,采用了转换技术、集热技术和发电技术三大技术。摒弃了传统的生物质能源直燃形式,通过发展转换技术获得沼气或秸秆气,在大幅提高资源利用效率^[15]的同时也改善了农村环境;通过集热技术最有效地利用了太阳能;小型风力发电和其他可再生能源发电技术构建的微型电力系统为农户提供生活用能,盈余电能还可馈回电网,获得经济收益。

可见,在农村地区小规模地开发和利用可再生能源构建分布式供能系统,其经济效益和可操作性远高于城市。

3 供需分析

为了论证图3所示分布式供能模式的可行性,本文对全国各地风力发电和太阳能集热供能进行了估算并结合家庭用能抽样调查结果做了供需

分析。

根据全国各省的风能有效功率密度^[16-18]、可利用小时^[16-18]和太阳能辐射量^[19-21],按每个农户安装1台1kW风力发电机、1.2m²太阳能集热来计算年可供的能量(均折算为标准煤)。风力发电年供能量 E_w 和太阳能集热的年供能量 E_s 的计算公式分别为

$$E_w = \varpi \times \eta_w \times A_w \times T_w \times N \quad (1)$$

式中: ϖ 为风能有效功率密度(W/m²); η_w 为风能转换为电能的效率(一般取0.4); A_w 为风机叶片扫过的面积; T_w 为风能的年可利用小时数; N 为农户数。

$$E_s = R \times \eta_s \times A_s \times N \quad (2)$$

式中: R 为年辐射量(MJ/m²); η_s 为太阳能转换为热能的效率(一般取0.0672); A_s 为太阳能集热的面积。

可以用能源供给满足度 M 作为供需的评价指标

$$M = \frac{(E_w + E_s)}{D} \times 100\% \quad (3)$$

式中, D 为年生活用能总量。

分布式供能模式供需分析结果列于表2中。从表2计算结果可以看出,按照这种分布式供能模式,全国平均的供能满足度为117.81%,内蒙古、广东等7省的供能满足度大于150%,满足度在150%与100%之间的地区有江西、甘肃等10个省份,供能总量富余的地区占全国的57%,这些地区的风能和太阳能资源不仅能够满足生活用能总需求而且还能作为其他需求如农副业生产、公共事业和乡镇企业供能。表中满足度低于50%的陕西、贵州、广西三省风光资源比较匮乏,但是小水电资源非常丰富,按照地区差异,因地制宜的构建分布式供能系统可以很好地满足农户的用能需求。

4 结论

1)截止2006年,我国农村炊事、取热、取暖和照明等基本生活用能仍为农村生活主要能耗,占到了总量的70%以上;生物质直接燃烧仍为农村生活用能最重要获取方式,占生活用能供给方式的50.43%。这些数据说明,我国农村居民生活仍处于较低水平,传统生物质能源利用方式效率低、污染重的现状亟待改善。

2)在近10年内,我国农村生活能耗量的平均增长速度为4.91%,其中用电量增长速度11.12%,是生活总能耗增长速度的2.26倍。在可以预见的未来,我国农村能源供给将面临更为严峻的挑战,同时也

将推动村镇能源事业进入一个高速发展的阶段。

表 2 分布式供能模式供能满足度分析

Tab.2 Adequacy analysis of distributed energy supplying system

省/市	风电供能总量/Mtce	太阳能集热供能总量/Mtce	生活用能总量/Mtce	能源供给满足度	省/市	风电供能总量/Mtce	太阳能集热供能总量/Mtce	生活用能总量/Mtce	能源供给满足度
内蒙古	6.95	0.58	2.62	287.29%	河北	12.33	1.79	13.22	106.81%
广东	3.86	1.02	2.05	238.08%	黑龙江	6.88	0.66	7.15	105.50%
辽宁	7.31	0.68	3.95	202.36%	宁夏	0.8	0.16	0.98	97.90%
青海	1.16	0.15	0.66	198.12%	浙江	3.66	0.63	4.52	94.93%
山东	13.61	1.87	7.92	195.46%	河南	15.06	2.15	20.72	83.05%
天津	0.76	0.1	0.52	164.98%	云南	3.11	1.12	5.12	82.57%
吉林	4.69	0.51	3.16	164.55%	山西	5.13	0.78	7.72	76.54%
江西	5.04	0.85	4.04	145.68%	海南	0.88	0.14	1.43	71.16%
甘肃	5.44	0.66	4.42	138.03%	重庆	1.2	0.36	2.28	68.60%
江苏	8.43	1.21	7.04	136.93%	湖北	3.54	1.02	8.1	56.30%
安徽	7.66	1.19	6.6	134.02%	四川	4.32	1.29	10.73	52.26%
上海	0.48	0.07	0.41	133.13%	湖南	4.72	1.05	11.49	50.19%
新疆	2.82	0.49	2.95	112.24%	陕西	2.9	0.69	7.81	45.94%
北京	0.72	0.1	0.75	109.35%	贵州	1.67	0.65	6.09	38.04%
福建	2.19	0.54	2.5	109.04%	广西	2.33	0.92	9.19	35.36%
					总量	139.65	23.43	166.14	117.81%

3) 为应对农村能源供给体系变革提出的分布式供能模式, 以小规模的方式开发利用农户周围的再生资源提供生活用能, 具有较高的经济效益和可操作性。仅以构建每户安装 1 台 1 kW 风机和 1.2 m² 太阳能集热的分布式供能系统计算, 完全可以解决生活用能需求的省份有 57%。可见, 分布式供能模式可以极大地缓解农村能源供需矛盾, 具有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 国家发展与改革委员会. 可再生能源中长期发展规划[R]. 2007.

[2] 国家发展与改革委员会. 可再生能源发展“十一五”规划[R]. 2008.

[3] 国家发展与改革委员会. 能源发展“十一五”规划[R]. 2007.

[4] 中国国家统计局. 中国统计年鉴—1998—2007[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999-2008.

[5] 王庆一. 中国与世界能源数据(3)[J]. 煤炭经济研究, 2004, 274: 73-79.

[6] 中华人民共和国农业部. 2005 年农村能源统计资料[S]. 2006.

[7] 周中仁, 王效华, 陈群, 等. 北方小康农村家庭能源消费结构演变研究—以山东省桓台县为例[J]. 农业工

程学报, 2007, 23 (3): 192-197.

ZHOU Zhong-ren, WANG Xiao-hua, CHEN Qun, et al. Evolvement of well-off rural household energy consumption structure in Northern China: a case study in Huantai County of Shangdong Province[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23 (3): 192-197.

[8] 王效华, 冯祯民. 中国发达地区农村家庭能源消费调查[J]. 能源, 1997, 22 (5): 511-514.

WANG Xiao-hua, FENG Zhen-min. A survey of rural energy consumption in the developed region of China[J]. Energy, 1997, 22 (5): 511-514.

[9] 王效华, 王正宽, 冯祯民. 中国小康农村家庭能源消费基本特征及其评价指标体系研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16 (2): 97-100.

WANG Xiao-hua, WANG Zheng-kuan, FENG Zhen-min. General features and its appraised index system on comparatively well-off rural household energy consumption in China[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16 (2): 97-100.

[10] 邓可蕴, 贺亮. 我国农村地区能源形势分析[J]. 中国工程科学, 2000, 2 (6): 52-58.

DENG Ke-yun, HE Liang. An analysis of energy condition in rural area of China[J]. Engineering Science, 2000, 2 (6): 52-58.

- [11] 井天军, 杨明皓. 农村户用风/光/水互补发电与供电系统的可行性[J]. 农业工程学报, 2008, 24 (7): 178-181.
JING Tian-jun, YANG Ming-hao. Hybrid household generation and supply system with wind-solar-hydro power for rural areas[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24 (7): 178-181.
- [12] YANG Ji-tao, YANG Shi-guan, MU Jin-hua. Actuality and prediction of rural household energy consumption in Laojunshan area of Northwest Yunnan[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2008, 29 (5): 624-629.
- [13] 王成山, 王守相. 分布式发电供能系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (20): 1-4.
WANG Cheng-shan, WANG Shou-xiang. Study on some key problems related to distributed generation systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (20): 1-4.
- [14] 雷金勇, 谢俊, 甘德强. 分布式发电供能系统能量优化及节能减排效益分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (23): 29-36.
LEI Jin-yong, XIE Jun, GAN De-qiang. Optimization of distributed energy system and benefit analysis of energy saving and emission reduction[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(23): 29-36.
- [15] 王志红, 刘守华. 沼气发酵能量转换效率的研究[J]. 辽宁师专学报: 自然科学版, 2002, 4 (3): 84-87.
- [16] 苏亚欣, 毛玉如, 赵敬德. 新能源与可再生能源概率[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [17] 王承熙, 张源. 风力发电[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [18] 薛桁, 朱瑞兆, 杨振斌, 等. 中国风能资源贮量估算[J]. 太阳能学报, 2001, 22 (2): 169-170.
XUE Heng, ZHU Rui-zhao, YANG Zhen-bin, et al. Assessment of wind energy reserves in China[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2001, 22 (2): 169-170.
- [19] 赵争鸣, 刘建政, 孙晓瑛, 等. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [20] 王长贵, 王斯成. 太阳能光伏发电实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [21] 车孝轩. 太阳能光伏系统概论[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006.

收稿日期: 2009-11-19; 修回日期: 2010-02-05

作者简介:

张帆(1982-), 女, 博士, 研究方向为农村可再生能源发电与控制; E-mail: zhangfan1@cau.edu.cn

杨明皓(1953-), 女, 教授, 研究领域为农村电力网、农村可再生能源发电工程、电力系统自动化技术。

(上接第 116 页 continued from page 116)

- [9] 张学广, 徐殿国, 李伟伟. 双馈风力发电机三相短路电流分析[J]. 电机与控制学报, 2008, 12(5): 493-497.
ZHANG Xue-guang, XU Dian-guo, LI Wei-wei. Analysis of three-phase short circuit current of doubly fed induction generator[J]. Electric Machines and Control, 2008, 12 (5): 493-497.
- [10] Niiranen J. Voltage dip ride through of doubly-fed generator equipped with Aaive crowbar[C]. //Nordic Wind Power Conference. 2004.
- [11] Dittrich A, Stoev A. Comparison of fault ride-through strategies for wind turbines with DFIM generators[C]. //11th Europe Power Electronics and Applications Conference. 2005.
- [12] 姚俊, 廖勇. 基于 Crowbar 保护控制的交流励磁风电系统运行分析[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (23): 79-83.
YAO Jun, LIAO Yong. Analysis on the operations of an AC excited wind energy conversion system with Crowbar protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (23): 79-83.
- [13] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 三版. 北京: 中国电力出版社, 2007.
LI Guang-qi. Power system transient analysis[M]. 3rd edition. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [14] 汤蕴缪, 张奕黄, 范瑜. 交流电机动态分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
TANG Yun-qiu, ZHANG Yi-huang, FAN Yu. AC machine dynamic analysis[M]. Beijing: China Machine Press, 2004.

收稿日期: 2009-12-03; 修回日期: 2010-02-20

作者简介:

吕志强(1983-), 男, 工程师, 工学硕士, 主要研究方向为电力电子与并网技术; E-mail: lvzq@chinawindec.com

许国东(1979-), 男, 工程师, 硕士研究生, 主要研究方向为并网型风力发电机组的控制技术。