

# 农村户用风/光/水互补发电与供电系统的可行性

井天军, 杨明皓\*

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 在分析中国农村用能和供能现状的基础上, 从农村经济可持续发展和国家中长期发展战略的角度论证了农村户用风/水/光互补发电技术研究的必要性。提出研究与开发农村户用风水光发电与供电系统, 并通过分析国内外现有技术基础论证了其可行性和技术关键, 最后分析和预测了该技术的产业前景。

**关键词:** 户用发电; 互补发电系统; 农村电力; 微型电网

**中图分类号:** TM61

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2008)-7-0178-04

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 Tianjun, Yang Minghao. Hybrid household generation and supply system with wind-solar-hydro power for rural areas[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7): 178-181.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

能源是经济和社会发展的重要物质基础。自工业革命以来, 世界石化能源资源日渐枯竭, 人类社会可持续发展受到严重威胁。全社会的用电量直接反映了一个国家社会经济发展的水平和相应的能源需求与消耗的水平。近几年, 中国用电量增长速度保持在 10% 以上, 农村用电量同样保持了 10% 左右的增长速度<sup>[1]</sup>。然而, 中国农村用电总量大, 传统发电资源有限, 新农村的建设和农村社会经济的进一步发展势必造成用电紧缺。

1998 年中国在全国范围内进行农村电网的改造<sup>[2,3]</sup>, 增强了农村电网的基础输电设施建设。但是大容量主力电力网的建设和大能量的电力输送首先面向城市电力负荷中心, 农村电力网处于电网的末端。加之, 中国农村电网具有负荷分散、负荷密度低、供电半径大等特点, 农村电力网供电损耗率高且可靠性较低<sup>[4-8]</sup>。到目前为止, 在全国偏远地区仍有约 1150 万人没有电力供应<sup>[9]</sup>。仅靠大型电力建设, 从数千公里以外输送电能来解决中国农村电力供应问题显然是不够, 也是不经济的。

进入新世纪以来, 受石油价格上涨和环境因素的影响, 可再生能源开发利用受到国际社会的重视, 包括中国在内的许多国家提出了明确的发展目标, 制定了支持可再生能源发展的法规和政策<sup>[10-13]</sup>, 使可再生能源发电技术水平不断提高, 产业规模逐渐扩大。

本文就是在小型风力、太阳能光伏和微型水力等可再生能源发电技术基本成熟的基础上, 根据中国广大农村地区低速风力资源、微水力资源和太阳能资源丰富, 且具有分布分散、供给不连续和随季节变化有互补性等特点, 对农村户用风/水/光互补型发电与供电系统展开研究。农村户用风/水/光互补型发电与供电系统的研究将多种村镇范围内易于获得的能源进行了综合利用, 在提高综合效益的同时, 为推动农村可再生能源建设提供了有效途径, 而农村可再生能源的发展对于解决农村电力供应问题具有重要意义。

## 1 农村用能与供能分析

### 1.1 农村居民生活用能与供能分析

农村居民主要生活用能可以分为炊事用能、洗浴用能、室温调节用能、照明用能、文化娱乐用能和制冷用能等, 农村居民生活能源的供给包括商品能和当地可再生能源两大类, 用能与供能系统如图 1 所示。

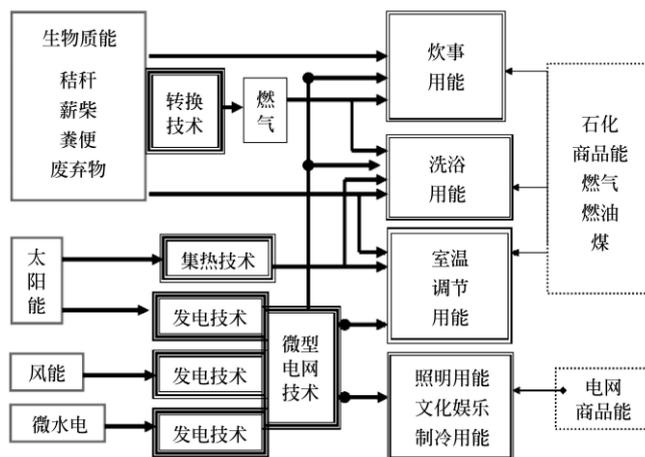


图 1 农村居民生活用能与供能系统图

Fig.1 Energy consumption and supply of rural residence

农村主要商品能为石化能（燃气、燃油和煤炭）和电网提供的电能。目前炊事用能、洗浴用能、室温调节用能主要由石化能源供给, 照明用能、文化娱乐用能和制冷用能主要靠电能供给<sup>[14]</sup>, 如图 1 右半部分所示。

农村当地可再生能源主要有生物质能、太阳能、风能和微水力, 如图 1 左半部分所示。农村地区消耗最多的可再生能源是生物质能, 一种方式是通过直接燃烧用于炊事、洗浴和取暖, 这种方式能源利用效率低、对生态破坏性大。另一种是通过生物质能转换技术获得沼气或秸秆气, 燃烧后用于炊事、洗浴和取暖, 达到保护环境、提高能源利用效率和提高农民生活品质的目的。为洗浴和取暖提供热能的太阳能集热技术在农村也被广泛采用。太阳能光伏发电、小型风力发电和微水力发电及户用供电技术不仅可以为农村居民提供照明用能、文化娱乐用能和制冷用能, 在发电量充裕的地区可以满足其它所有形式的用能需求, 余电还可以售出<sup>[15]</sup>。由此可见, 电能是农村居民生活

收稿日期: 2007-10-11 修订日期: 2008-04-08

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAJ04B03)

作者简介: 井天军(1980-), 男, 博士生, 研究方向农村可再生能源发电与控制。北京市清华东路 17 号 中国农业大学信息与电气工程学院, 100083  
\*通讯作者: 杨明皓(1953-), 女, 教授, 研究领域农村电力网、农村可再生能源发电工程、电力系统自动化技术。北京市清华东路 17 号 中国农业大学信息与电气工程学院, 100083. Email: mhyang@cau.edu.cn

极为重要的物质基础<sup>[16]</sup>。随着农民生活水平提高和农村旅游业的发展,在洗浴、空调、娱乐、制冷等方面的用电需求将显著增加,电能在农村居民生活用能所占比重还会大幅度上升。

### 1.2 农村电能供给的现状

由于电能具有清洁、使用方便、易于转换成其它能源形式、易于输送、易于实现自动控制等优点,它成为农村建设、农民生活和农业发展最为重要的物质基础之一。从国家统计局 2005 年数据来看,中国农林牧渔水利业的能源消费总量为 7971.53 万吨标准煤,其中电能为 876.4 亿度,折合标准煤 3505.6 万吨,约占能源总消费的 44%。从农业部 2006 年所统计的农村居民主要耐用消费品来看,用电设备占 75%。

目前中国农村电力供应主要由国家电网提供,据国家电网公司统计,至 2005 年底,全国农村用电量已经占全社会总用电量的 51%。微水力和小型水力发电担负全国约三分之一县的供电任务,主要分布在西南地区。偏远地区有约 29 万台独立运行的小型风力发电机,总容量约 9 万 kW<sup>[17,18]</sup>。2002~2003 年实施的“送电到乡”工程光伏电池安装容量达到 1.9 万 kW,主要分布在内蒙、新疆和西藏等地。

农村电网供电存在的主要问题是电网电能损耗较大、建设和运行的成本/收益比过高、电网可靠性较低。农村中压和低压配电网的损耗率高达 18% 以上,是发达国家的 2 倍以上,农村电网中压用户可靠率仅达到 99.2% (相当于中压用户年均停电 70 h),低压用户则更低,每年造成经济损失逾千亿元。此外,仍有 100 万户居民<sup>[2]</sup>不能靠电网的延伸来解决电力供应的问题。

农村可再生能源发电存在的主要技术性问题有:①在全国农村除风力和微水力资源具有分布优势的地区分别开展了小型风力发电和微水力发电之外,其它大部分地区由于可再生能源资源分散和供给不连续而没有用于发电;②微水力发电、小型风能力发电和光伏发电的技术水平较低,缺乏技术开发能力与国外技术水平和生产水平差距较大;③包括多个户用发电单元和用电设备的户用微型电力系统设计、运行和控制技术是 21 世纪电力系统发展的新技术,急需提出设计方法、开发新型控制设备、制定设备生产和系统运行技术标准;④农村可再生能源发电资源评价体系、小型发电设备产品检验和认证体系不完善,水、机、电综合性技术人才培养不能满足快速发展的需求,还没有形成能够支撑产业发展的技术服务体系。

### 1.3 研究和开发农村户用风/水/光发电与供电系统的必要性

从农村电力需求与供给的现状和农村社会经济可持续发展来看,研究和开发农村户用风/水/光发电与供电系统的必要性主要有以下几个方面:

1) 农村户用风/水/光发电对保证中国农村经济可持续发展和国家能源安全十分必要。至 2005 年底中国农村能耗量折合标准煤约 6 亿 t/a,占全国总能耗量 30% 以上,用电量已经超过全社会用电量的 50%。农村人均用电水平低,电力需求增长压力大,电力供应与经济矛盾的矛盾十分突出。另一方面,全国农村地区的可再生能源资源每年可获得相当于 73 亿吨标准煤的能量,如果户用发电系统仅利用其中 1%,可以获得的电量是目前全国农村用电量约 2.4 倍。

2) 在农村电网末端接入户用发电系统不仅能够提高农村供电的可靠性,而且还能极大地降低电能远距离输送带来的电能损耗。据统计,中国农村电网损耗率每降低 1%,每年可以节电 88 亿 kW·h,相当于节约 300 多万 t 标准煤。此外,农村户用风/水/光发电与供电系统能够解决大电网不能覆盖的 100 万无电户的电力供应问题。

3) 在可再生能源供给分散和不连续的大部分农村地区,采

用农村户用风/水/光互补发电系统可以充分利用风、水、光资源供给在时间上和地域上的互补特性,综合利用能源。这样既可以降低户用发电系统总体造价,又可以显著提高资源利用的综合效益<sup>[19]</sup>。

4) 人类进入 21 世纪以来,在不到 10 年的时间内太阳能电池<sup>[20]</sup>和燃料电池、沼气发电<sup>[21-22]</sup>、微型风力和水力发电<sup>[23]</sup>等发电技术的研究已经有了极大的进展,基本达到实用水平。然而,两个以上的小电源的互联技术、微型电力系统的安全与稳定问题、运行和控制问题、以及与公用电网的并网问题都是目前电力系统最前沿的研究课题。可以预言,在今后 5~10 年的时间内,微型电力系统理论和技术的研究成果将能够达到实用水平。因此,研究和开发农村户用风/水/光互补发电系统有利于形成中国自主知识产权、抢占户用发电的市场。

## 2 农村户用风水光发电与供电系统的关键技术

### 2.1 系统的组成

农村户用风/水/光发电系统如图 2 所示,由风、水、光 3 个发电单元、用电设备和系统控制器组成。按照能量转换/传输路径和传输控制,又分可以为主系统和控制系统。在电网延伸到的地方还可并网运行。



图 2 农村户用风/水/光发电与供电系统

Fig.2 Household wind/PV/micro hydro generation and delivery system for rural areas

### 2.2 户用发电与供电系统的关键技术

小型风力、水力发电和光伏发电技术比较成熟,基本达到实用水平<sup>[24-29]</sup>。构建农村户用风、水、光 3 个发电单元需要解决的关键问题是降低微型发电单元成本、提高能量转换效率。

农村户用互补成套发电系统的组建是充分利用农村低速风资源、微水力资源和太阳能资源的一个方向。确定户用风/水/光发电系统中各发电单元装机的合理容量和系统的最佳储能容量直接影响系统的总体成本和发电效率。因此,三种电源互补优化配置技术是农村户用互补成套发电系统的关键技术。

户用发电与供电系统是包括多个户用发电单元、储能单元和多种用电设备并与公用电网相联的微型电力系统。使微型电力系统能量转换效率最高、发电成本最低的经济运行调度与控制技术、并网技术、保护技术以及抑制发电单元随机特性对电网造成的功率扰动和电压波动的技术都是需要研究和发展的关键技术。

## 3 农村户用风水光发电与供电系统集成技术的产业前景

### 3.1 分布式可再生能源发电技术孕育着 21 世纪新的产业

分布式可再生能源发电与供电系统<sup>[30,31]</sup>具有以下优点:①没有输电损耗,无需建设配电变电站,可节约大量的输电建设投资和运行成本;②便于综合利用多种可再生能源,使可再生能源利用的效率最大化;③多个分布式电源联合供电,供电可靠性高。因此,分布式可再生能源发电与供电技术成为本世纪新的研究热点和一个新的经济增长点。

农村户用可分布式可再生能源发电与供电技术不仅能够将农村地区的一次可再生能源转化成电力这种商品能源来解决农村能源供给问题,而且能够利用当地人力资源,有效地拉动装备制造和相关产业的发展。“分布式可再生能源发电与供电系统”不是简单的家用电器或消费品,未来发展的趋势是成为发电专业户或企业集团所有的资产,由专业人员负责系统的设计、安装和运行维护。因此,该项技术的进步和发展将成为农村新的特色产业,对农业产业结构调整、扩大就业、改善农村环境、提高农村居民生活品质、推进农村经济和社会的可持续发展具有重要意义。

### 3.2 国家为促进“户用发电与供电”产业发展制定政策和法规

《国家中长期科学和技术发展规划纲要》中指出农村新能源开发与节能关键技术研究是发展的重点领域及其优先主题,是国家重大战略需求。国家《可再生能源发展中长期规划》中明确了中国可再生能源利用的具体发展目标是可再生能源在一次能源的比例由2005年的7.5%增长到2010年的10%,2020年达到15%。水电、风电和光伏发电都被列入了重点发展领域,并且给出了具体的发展目标,如表1所示。

表1 风/水/光伏发电的发展目标  
Table 1 Developing aim of wind PV hydro generation

|      | 2005年底                      | 2010年                                | 2020年                                   |
|------|-----------------------------|--------------------------------------|---|
| 水电   | 总装机1.17亿kW<br>其中:小水电3800万kW | 总装机1.9亿kW<br>其中:小水电5000万kW           | 总装机3亿kW<br>其中:小水电7500万kW                |
| 光伏发电 | 总装机7万kW<br>其中:农村偏远2万kW      | 总装机30万kW<br>其中:农村偏远15万kW<br>城市屋顶5万kW | 总装机180万kW<br>其中:农村偏远30万kW<br>城市屋顶100万kW |
| 风电   | 总装机131万kW                   | 总装机500万kW                            | 总装机3000万kW                              |

### 3.3 “户用发电与供电”产业的发展在中国将由农村推广到城市

“户用发电与供电”产业在中国将首先在农村得到发展主要有以下几个理由:

1) 农村相对城市而言具有可再生能源资源充沛、设备安装的空间有保证,更为重要的是农村户用微型发电系统对主力电网扰动较小。目前,分布式发电系统对电网带来能量随机冲击的问题还没有很好解决,对于负荷中心的城市电网而言这样的能量冲击有可能危及国家电网的安全。人类任何技术的进步都需要在工程应用的实践中检验和发展,在技术进步、产品质量保障体系健全完善等条件具备之后,户用发电与供电产业将会较大规模地向城市发展。

2) 从中国产业发展管理体制来看,农村户用可再生能源发电可以归属农业科技和产业部门管理,有利于市场的培育和新产业发展。户用可再生能源发电技术涉及到水力、机械、电力、电气装备制造等几个方面,是综合性极强的集成创新技术。在中国目前管理模式下,小水电归属水利部门、微水电主要归属农业部门、风轮机属机械机电部门、农村供电主要归属于电力部门、户用供电系统归属建设部门。因此,户用发电产业很有可能处于都管又都不管的尴尬境地。然而,农村户用可再生能

源发电是农村可再生能源开发利用优先发展的重点领域,属于“大农业”的范畴,相对城市而言具有农业科技和产业部门宏观管理和支持的优势。

3) 城市户用发电的主要一次可再生能源是太阳能,也就是屋顶光伏发电。由表1可见,在《可再生能源发展中长期规划》中明确了2010年和2020年光伏发电的发展目标是:农村15万kW和30万kW,城市屋顶分别为5万kW和100万kW,具有明显的由农村推广到城市的趋势。

## 4 结论

通过对农村供能与用能现状的分析,可以发现开发农村户用风水光伏发电资源具有十分的必要性,为此提出了一种实用的农村户用风水光伏发电系统,并阐述了其关键技术,在最后预测了户用风水光伏发电技术的产业前景。以中国广大农村地区存在的风、水、光伏发电资源为基础,以农村迫切的用电需求为前提,在国家政策的支持下,农村户用风水光伏发电系统将有力的推动农村新能源建设。

### 【参考文献】

- [1] 中国国家统计局编. 中国统计年鉴——2006[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
- [2] 国家电力公司农电工作部编. 农村电网建设与改造工程规范管理文件汇编(2001年版)[M]. 北京: 经济管理出版社, 2001: 12—18.
- [3] 南方电网公司计划发展部编. 中国南方电网公司农电管理汇编[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 61—67.
- [4] 国家电网公司农电工作部编. 国家电网公司农电生产文件规定汇编[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 31—36.
- [5] 崔学志等编著. 10kV配电网工程标准设计(农村电网建设与改造)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [6] 国家电力公司农电工作部编. 农村电网技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000: 34—58.
- [7] 国家电力公司农电工作部编. 农村供电所标准规定汇编(2002年版)[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [8] 丁毓山, 杨勇. 农村电网规划与改造[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001: 107—150.
- [9] 国家发展与改革委员会编. 可再生能源发展中长期规划[Z]. 2007.
- [10] 何建坤. 国外可再生能源法律译编[M]. 北京: 人民法院出版社, 2004: 208—211.
- [11] 国务院机关事务管理局组织编写, 范学臣等主编. 节约能源资源政策法规汇编[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 10—15.
- [12] 国家经济委员会. 关于加强农村能源建设的意见的通知[Z]. 1985.
- [13] 法律出版社法规出版中心(编). 中华人民共和国法典(地方中小水电建设与管理暂行办法)[M]. 北京: 法律出版社, 2004.
- [14] 黄瑞梅, 许建安, 陈超扬. 农电电力市场[M]. 北京: 水利水电出版社, 2004: 81—83, 97—105.
- [15] 庄幸. 《可再生能源法》推动可再生能源电力发展[J]. 中国电力, 2007, 5: 85—88.
- [16] 崔德才, 刘钧. 农村电网改造与农村用能结构的改善[J]. 能源技术(上海), 2004, 24(2): 85—86.
- [17] 李德孚. 户用小型风力发电系统现状与发展(上)[J]. 节能与环保, 2005, 6: 14—16.
- [18] 李德孚. 户用小型风力发电系统现状与发展(下)[J]. 节能与环保, 2005, 7: 18—20.
- [19] 陈慧玲. 50kW风光互补电站设计[J]. 青海电力, 2005, 24(4): 17—19.
- [20] 赵晶, 赵争鸣, 周德佳. 太阳能光伏发电技术现状及其发展[J]. 电气应用, 2007, 26(10): 6—10.
- [21] 冉国伟, 张汝坤, 冯爱国. 沼气发电技术现状分析及发展方向的探讨[J]. 农机化研究, 2006, 3: 189—191, 194.
- [22] 刘振波, 徐广印, 杨群发, 等. 户用沼气发电装置的设计与研究[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(3): 333—337.
- [23] 刘燕. 我国微水电行业的现状与对策[J]. 农村能源, 2000, (5): 26

- 28.
- [24] 王长贵, 崔容强, 周 篁, 等. 新能源发电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003: 1—9.
- [25] 苏亚欣, 毛玉如, 赵敬德. 新能源与可再生能源概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 1—25.
- [26] 北京市建设委员会. 新能源与可再生能源利用技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 91—111, 207—210.
- [27] 张希良. 风能开发利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 1—11.
- [28] (日) 太阳能发电协会编; 刘树民, 宏伟 译. 太阳能发电系统的设计与施工[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 180—192.
- [29] 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: 244—258.
- [30] 钱科军, 袁 越. 分布式发电技术及其对电力系统的影响[J]. 继电器, 2007, 35 (13): 25—29.
- [31] 鲁宗相, 王彩霞, 等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (19): 100—107.

## Hybrid household generation and supply system with wind-solar-hydro power for rural areas

Jing Tianjun, Yang Minghao<sup>\*</sup>

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on analysis of energy supply and consumption in rural areas, it is necessary to develop household wind-hydro-solar hybrid system in view of sustainable development of rural economy and the strategy of medium-range and long-term development. The household wind-hydro-solar hybrid system for rural areas was proposed in this paper, and the feasibility of the system was demonstrated according to the technical foundation at home and abroad. The industrial prospect was analyzed and predicted at last.

**Key words:** household generation; hybrid generation system; rural electric power; micro grid