

「电网」

农村地区多能源互补发电微电网的研究与设计

文/云南农业大学机电工程学院 阮解琼 杨彦鑫 施 杰 李 欢 邹 欢
昆明铁路局 李春稳

开发利用农村丰富的风能、水能、太阳能和生物质能资源是解决农村地区用电量快速增加和偏远山区通电问题的有效途径。分析了四种可再生能源联合发电在多方面的互补性，提出了一种新型的农村“风光水生”多能源互补发电的微电网供电系统，在该系统中因地制宜地采用天然蓄水库来代替传统蓄电池设备，并设计了有蓄水库的小水电与风光生互补发电系统的农村微电网结构模型，对该微电网孤岛和并网两种运行方式的调度策略进行了分析。

随着我国大力推进新农村建设，现有供电能力已远远不能满足农村用电负荷的快速增长，根据预测到2020年全国农村总用电量达到10 706亿kW·h，到2050年全国农村总用电量达到30 761亿kW·h，农村地区用电量的快速增长，必将给我国严峻的能源形势增加更大的压力，仅依靠传统的一次能源发电来解决农村用电快速增长问题，既不经济也不现实。

对于广大经济欠发达的农村地区来说，特别是偏远山区和农牧地区，用电负荷较小而且分散，要形成一定规模的、强大的集中式供配电网需要巨额的投资和较长的时间周期，部分偏远山区由于自然条件太恶劣，现有电力系统到用户的输电线路根本无法架设，或建成后会经常出现故障，导致大电网对偏远地区供电费用高、输电损耗大。因此，从经济和技术角度分析，将大电网延伸到偏远山区农村往往是不合适的。

以云南省西部农村地区和偏远山区为例，有部分较偏远、山高路陡并且只有几户人家的地区还未通电，但是通过大电网延伸来供电，架设线路成本很高、难度也很大。如临沧的耿马县

由于高山地区较多，农户居住零散，有少数自然村农户都少于10户，距离主干线路较远，采用电网延伸方式解决用电户均投资较大，最高达到12万元/户。但是这些地区往往太阳能资源、风力资源、生物质能资源和小水电资源较丰富，就可以考虑采取可再生能源互补发电的方式解决这部分地区的通电问题，可以取得较好的经济效益和社会效益。

微电网是可再生能源利用的一种新途径，以其安全性能好，自发自用，减轻电网负担的优势，对可再生能源利用将起到很大的促进作用。因此，根据自然资源条件，合理选择开发利用多种可再生能源，在负荷中心就地安装建设基于多种可再生能源联合发电的分布式发电系统，将就地电源和负荷结合起来构成微电网，进行协调控制，实现独立或者并网运行，是今后可再生能源发电高效利用的重要方向。

采用多种可再生能源组合供电，不仅充分利用了农村的各种清洁能源，提高了农村微电网的供电能力，而且利用不同类型可再生能源出力的互补特性来匹配农村微电网的负荷特性，有利于维持农村微电网的平稳、安全运行，提高供电可靠性。

云南省教育厅科学研究基金项目（2015Y195）。

风、光、水和生物质能的多能源互补发电技术

所谓的互补发电，就是指多种变化规律不同的电源联合运行，各种发电方式在一个系统内互为补充，通过其协调配合来提供稳定、可靠、质量合格的电能。

表1示出了中国可再生能源发展办公室对我国可再生能源的装机容量进行的预测，其中不包含大水电。我国对可再生能源的利用将进入快速发展期，未来可再生能源发电的装机容量将十分可观。

风能、太阳能、水能和生物质能是国际公认的清洁可再生能源，我国的这些能源十分丰富。风能和太阳能发电是近年来发展较快的可再生能源绿色电力，利用夜晚风速大且无日照，而白天日照强风速小的特点，以及受天气季节影响风力发电和太阳能发电能力不同，在时间和空间尺度上将太阳能和风能进行互补，实现风光互补，但是由于太阳能、风能发电具有随机性与间歇性的特点，使风力发电和太阳能光伏发电的独立运行供电系统较难全天候地提供连续稳定的电能输出，具有随机性强、不稳定以及难控制等特点，所以独立的风光发电系统对储能系统容量的要求较高，而蓄电池设备的价格较昂贵。

与太阳能光伏发电、风力发电相比较，生物质能能够以有形的方式有效存储，生物质能发电采用燃料发动机或燃气发动机以生物质能或沼气作为燃料产生动力来驱动发电机产生电能，其输出可靠性高、稳定性好、电能质量好，可以做到发电无间歇性，并具有很好的可控性，可较好地弥补太阳能、风能发电随机性强的缺点。水电站可以快速地调节发电机的出力，对系统进行调峰

填谷和短期事故备用，尤其是带蓄水库小水电还具有储能的作用，在风光发电出力负荷消耗不完时，剩余的电力可以用于抽水蓄能。

所以在我国农村风能、太阳能、水能和生物质能资源丰富的地区，利用风光在时间上的互补性、小水电出力的快速调节性和生物质能发电的稳定性，建成“风光水生”联合发电系统。该发电系统中利用河流建成小水电站，并在水电站取水口上游水库加装可逆式机组，利用带蓄水库小水电的启停灵活性以及短期调节性，为该互补发电系统调峰填谷，提高电力输出的平稳性和可靠性。利用天然的河流和水库建成的储能调节系统，比起加装蓄电池设备，具有明显的经济优势。生物质能发电具有输出电能稳定，具有良好的调峰性能，在风光水发电出力不足时，可以由生物质能发电满足负荷电力需求。从生态效益上讲，将小水电、生物质能、风能和太阳能进行联合开发，在时间、空间维度上具有较好的互补特性，不仅能增强系统电力容量，也在一定程度上克服了单一能源可靠性差等问题，并且对保护农村地区生态环境非常有益。表2从发电的波动性、可预测性和运行特性方面综合说明了风光水生联合发电的互补性。

农村风光水生多能源互补发电的微电网设计

1. 微电网

微电网是指由分布式电源、储能装置、能量转换装置、相关负荷和监控、保护装置汇集而成的小型发配电系统，是一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统，既可与外部电网并网运行，也可以孤立运行。因此微电网的设计需要考

表1 我国可再生能源的装机容量预测

年份	小水电/万kW	风电/万kW	生物质发电/万kW	光伏发电/万kW	可再生能源在电力系统装机中的比率/(%)
2020	7 500	3 000	2 000	180	16
2030	10 000	10 000	5 000	30 000	20
2050	20 000	10 000	10 000	60 000	30

表2 风光水生四种可再生能源发电的互补性

能源类型	波动性		发电可预测性		运行特性		
	长期	短期	长期	短期	可储存性	容量价值	电量价值
风力发电	小	大	大	小	无	较小	较大
太阳能光伏发电	大	小	较小	较大	无	较小	较大
小水电	大	小	小	大	与容量有关		较小
生物质能发电	小	小	大	大	有	较小	较大

虑分布式电源类型与容量、负荷情况、储能装置容量与类型以及微电网结构,而且还要考虑合适的运行控制策略,确保微电网安全稳定地自主运行。图1为风光水生互补发电系统微电网结构总图。

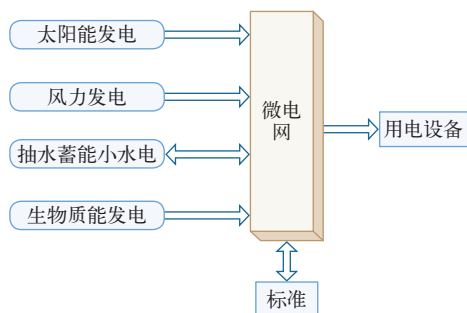


图1 风光水生互补发电系统微电网结构总图

2. 农村微电网结构设计

微电网中,大部分的分布式电源都是直接或间接产生直流能量,然后通过电力电子变换装置将直流转换为交流并网或供应负载。因此,微电网的结构可以采取前级直流并网结构,也可以采用后级交流并网结构,或者交直流混合并网结构。

本文在常规直流并网结构基础上进一步优化改进,设计了针对农村地区的带蓄水库的小水电和风光生联合发电的微电网的网络结构,如图2所示。

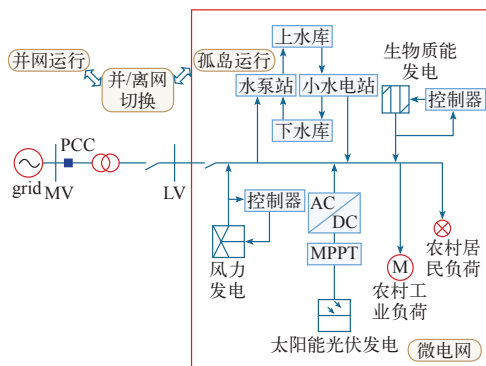


图2 “风光水生”农村微电网结构

“风光水生”农村微电网是由风力发电、光伏发电、抽水蓄能小水电和生物质能互补发电对农村用户进行供电。系统主要组成部分包括风机、光伏阵列、水轮机、水泵站、整流器、逆变器、直流母线、负荷单元和电网等。该微电网供电模式通常是在并网情况下由主网和分布式电源共同供电;而在主网故障情况下微电网进入孤岛运行模式。利用农村微电网的两种运行模式,并网运行模式和孤岛运行模式,为农村各类负荷安

全供电提供支撑。在并网运行模式下,微电网与主网部分或全部连接,能与主网之间实现功率的双向流通。当主网有扰动异常时,微电网都能及时切换到孤岛运行模式,并能继续对重要负荷供电。

(1) 孤岛运行的调度策略

孤岛运行时,通过风光水生互补进行供电,光伏电站和风电场输出功率优先供给负荷,不足部分由水电站补足,当水电站仍不能满足负荷需求时,启动生物质能发电系统供电。当风电场和光伏电站输出功率大于系统负荷时,剩余功率用于水泵站抽水。所以该供电系统能量的产生环节主要是太阳能发电和风力发电,当电力不足或者需要更大功率输出时再起动水电站和生物质能发电系统。但是在孤岛运行时,功率波动主要通过水力发电和生物质能发电进行补偿,由于受到蓄水量和装机容量的约束,这种补偿效果是有限的,不仅降低了供电可靠性,还影响了经济性。

(2) 并网运行的调度策略

在并网运行时,微电网系统可以首先通过内部调节来满足负荷需求,将电网作为备用电源和负荷,进一步提高了供电可靠性和灵活性。

1) 当调节水库蓄水量达到上限 $Q_{\max}$ 时,光伏电站和风电场输出功率的剩余部分用于并网,避免了弃用风光资源。

2) 当调节水库蓄水量低于下限 $Q_{\min}$ 时,光伏发电和风电输出功率不足由生物质能发电优先补充,如还不能满足负荷需求再由电网补充,较大地提高了互补发电系统的供电可靠性。

3) 当互补发电系统的功率缺额大于生物质能和水电站发电的额定功率时,由电网补足。

4) 当互补发电系统的剩余功率大于水泵站的额定功率时,则给电网反向供电。

结束语

风能、水能、太阳能和生物质能发电在波动性、发电可预测性和运行特性等多方面具有互补性,所以多种可再生能源互补发电是比单一发电更有效的方式。本文针对农村供电系统中的风光水生互补供电技术进行研究,建立了适用于农村地区的风光水生互补发电的微电网系统结构,并提出了该微电网在孤岛和并网运行时的调度策略,为解决农村地区供电问题提出了一些有益的探讨。EA

(收稿日期:2017.02.12)

(编辑:朱金凤)