

风光水互补发电概述

Overview of wind solar water complementary power generation

李红兵, 杨劲, 陈晖

广东大比特网络科技有限公司 广州 510660

摘要: 从目前可再生能源的资源状况和技术发展水平看, 利用水能、风能、太阳能发电, 最为现实, 前景广阔。三者互补结合是一条有效的途径。水电与风—光互补结合, 可对风—光并网发电和储能提供强有力的支撑, 水电的绿色环境效益和生态效益成为其开发追求的新目标。

关键词: 风力发电, 光伏发电, 水力发电, 互补结合

1 引言

能源和环境是当前人类生存和发展迫切需要解决的问题。常规化石能源如煤炭、石油、天然气等, 储量随利用时间的增长而日益减少, 且带来严重的环境污染问题, 大力发展可再生能源的任务愈发紧迫。从目前可再生能源的资源状况和技术发展水平看, 利用水能、风能、太阳能发电, 最为现实, 前景广阔。三者互补结合是一条有效的途径。但光伏发电的时间局限性和风能发电的不稳定性是这两种电源的固有缺陷, 必须具有相当规模和调节性能良好的备用电源, 风—光出力才能成为国民经济发展的依靠。水电是规模大、调节性能良好的电源, 可以利用水库的调节能力, 克服光伏和风能发电不连续、不稳定的缺点, 确保供电质量。

2 风光水互补发电

风电、光电主要由风力发电机组、太阳能光伏电池组、控制器、蓄电池、逆变器、交流直流负载等部分组成, 系统结构图 1。该系统是集风能、太阳能及蓄电池等多种能源发电技术及系统智能控制技术为一体的复合可再生能源发电系统。图 1 示出风光水互补发电系统结构示意图。

风力发电部分是利用风力机将风能转换为机械能, 通过风力发电机将机械能转换为电能, 再通过控制器对蓄电池充电, 经过逆变器对负载供电;

光伏发电部分利用太阳能电池板的光伏效应将光能转换为电能, 然后对蓄电池充电, 通过逆变器将直流电转换

为交流电对负载进行供电。

所谓的风、光、水互补, 就是把风力发电站、光伏电站和水电站组合成一个电源。风光发电站因为间歇性、波动性和随机性常被认为是“垃圾电”, 而水电站的水轮机组正好有快速调节能力, 如果用水轮机的功率调节风电、光伏发电的波动, 使得风光和水电站能稳定出力, 形成优质电源, 很好满足电网负荷稳定运行的要求。

但真正地将风光水互补实现不是那么容易的事, 世界公认的看法是: 间歇性的风光能源在常规电网中不得超过 20%, 否则会影响电网的运行困难甚至崩溃, 对于雅砻江特高压输送, 要求输出的稳定性更高, 因此风光水互补的应用主要基于以下几种基础和技术之上: 中央控制系统、实时监测网络与数据支撑平台, 联合功率预测及应用支持系统, 集群运行优化及安全稳定防线系统。

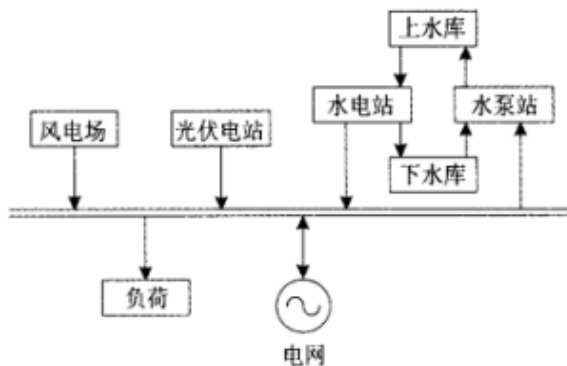


图 1 风光水互补发电系统结构示意图

3 风光可再生能源的发电前景

(1) 风能的发电前景

风力发电包括小型离网运行风力发电和大型并网风力发电，是继水电后技术最成熟、最具有大规模开发利用前景的可再生能源发电方式，具有清洁无污染、永不枯竭、基建周期短、装机灵活等优点。

据统计，我国陆地可利用风能资源 3 亿千瓦，加上近岸海域可利用风能资源，共计约 10 亿千瓦，比水力总蕴藏量 6.94 亿千瓦还多。风能资源主要分布两大风带：一是“三北地区”（东北、华北北部和西北地区）；二是东部沿海陆地、岛屿及近岸海域。《可再生能源中长期发展规划》指出，在具备规模化开发条件的地区，进行集中连片开发，建成若干个风电大省、数个百万千瓦级大型风电基地；到 2020 年全国风电总装机容量达到 3000 万千瓦。目前，我国规划在甘肃、新疆、河北、吉林、内蒙古、江苏 6 个省区建设 7 个千万千瓦级风电基地。

随着风电技术的进步和规模的扩大，风电成本已接近常规能源，是近期最有市场的非水可再生能源，在今后相当长的时期内将会保持较快发展。

到目前为止，我国已成为了全球排行第二的风力发电风电容量，在国内东北、华北和东南沿海地区都有大规模开发建设，国内风力发电站是实现集中连片式地开发建设，能够开发出百万千瓦的风电基地。随着国内风电技术的日益成熟，风电规模扩大，风电设施运行成本接近了常规性能源，而且在未来一段时间内，会保持着快速增长发展态势。

(2) 光伏发电的前景

光伏发电是根据光生伏特效应原理，利用太阳能电池将太阳光能直接转化为电能，具有许多优点，如无噪声、无污染、无燃料消耗，能量随处可得，维护简便等。光伏发电最初作为独立的分散电源使用，近年来规模逐渐增大，包括离、并网两种类型，其中并网光伏增长尤为迅速。

我国拥有太阳能资源丰富，每年日照强度达到 6000 兆焦耳每平方米，但是当前国内的光伏发电总体还处于起步阶段，整体发电成本比较高。国内光伏发电所产生电能与常规煤炭资源发电量不能够相比，如果太阳发电设施成本降下来，那么就会得到更广泛的应用。

一旦光伏发电的成本下降，将会得到大规模的应用。届时，光伏发电不但会替代部分常规能源，还将发挥出巨

大的环境效益。根据《可再生能源中长期发展规划》，在甘肃敦煌和西藏拉萨（或阿里）建设大型并网型太阳能电站示范项目；到 2020 年，我国大型太阳能并网光伏电站总容量将达到 20 万千瓦。

光伏发电产生电能是可以再生利用能源，太阳能也是取之不尽的。在社会上大力推广发展光伏发电，并大规模使用太阳能光板，能够逐步缓解社会上煤炭资源消耗，减少化石燃料燃烧带来的环境污染，光伏发电规模扩大，就会替代过去传统的化石燃料，还可以发挥出巨大环境效能。

4 风能和光伏发电的问题分析

(1) 大规模开发，占地面积较大

太阳光辐射在地面上最大功率会小于 1000 瓦每平方米。能量会小于 8 瓦每平方米。太阳能转换为电能，也会出现损耗能量的问题，在每平方米，有效功率约为 100 瓦，而全年发电量为 230 千瓦小时。

风电单机设备容量小，陆地风电场大多数风机单机容量为 1200 ~ 2000 千瓦，风机间距大，因此大规模风力发电和光伏电站要占有大量的面积。

(2) 供电的不连续性和不稳定性

太阳和风能发电，会受到外界风力、云层厚度、昼夜开关变化等因素的影响，因此发电具有间歇性、随机性的特征，随着国内能源产业结构调整、风力发电和太阳能供电比例在不断扩大，供电具有阶段性和不稳定性，给供电网络稳定运行带来比较大的影响。通过对美国电网运行进行估计分析，发现非水再生的能源发电量比例到 23%，要通过一定煤电来调节。当比例达到 35%，需要更大量的煤电来参与调峰。

(3) 电量储存的问题

对于小型离网运行的风电和光伏电系统，为了保证电力持续稳健的供电，还需要配备足额电力储能设备，比如各类型化学蓄电池设备、化学储能设施，但设备应用也受到一些限制，不能够为大中型风电光伏发电系统提供支持。相比常规的水电站、抽水蓄能电站技术相对比较成熟，要有相应的装机规模和调节库容的措施，可为风电和光伏发电提供支撑。

(4) 并网问题

光伏发电和风力发电并网是未来新能源发展新趋势，社会企业也建设大规模的风光发电设施，过去风力发电光

能发电都有不连续性，而且供电的比重也会逐步上升，电网调峰、调频压力增大，这就给电力系统的可靠性、稳定性、电源和电网规划等方面带来一定的影响。

(5) 环境问题

光伏发电与风力发电也存在一定的环境问题，前者在生产太阳能电池板的过程中所耗电能的比率较大，后者风轮的旋转及噪声也对飞鸟和人群产生影响。

5 风—光—水协调发展互补优化

(1) 风光水互补发电

通过系统优化，可以做到风—光—水立体化的三元互补发电融合，即在某一发电方式欠缺不足时，由其他发电方式来补充。

风—光—水三者之间存在着一定程度的天然互补性。

(1) 从时间上讲，白天太阳光强，夜间风大；夏季阳光照射强度大，风力偏弱；冬春季节风力大，光照弱。(2) 从地域上讲，国内不同省份，风能分布状况如下，西部地区青海、西藏地区有着充足的太阳光照射，但是风能资源偏弱；在甘肃地区的光照资源虽逊于前二者，但风能资源储备量大；在西北、华北、东北等内陆区域风力资源多，在冬季、春季，风储能量大，然而夏季和秋季的风力偏小，但是在夏季、秋季，水能资源相对丰富，与冬春季枯水正好形成互补特性。这样就形成了风能、光能和水能之间的互补，构建起一个风—光—水互补系统，为其提供了必要自然条件。

(2) 水电站开发的新目标，对大型风光发电的调节支持

风能发电、光发电与水利发电相协调，可大规模地使用，但使用起来也有一定的缺点，水力发电就是在大型河流位置上建设水利工程，但是目前国内水利工程建设会影响到周边的生态环境。在风光电站建设初期要寻找标准支撑。在发电系统内，有一个对等水力发电系统，水电站发电目标与传统火电站发展发电目标不一样，水力发电成为了风—光能源发电的重要补充组成，它也成为了为新能源提供效益必备基础条件，而且新能源环境效益成为了水力发电的重要发展目的。

水电开发可对大型风光发电提供调节与支撑。百万千瓦级的风能和光伏发电站只能与水电协调发展，才能得以大规模应用，否则，其固有的缺点将制约其大力发展。

依照国外的相关经验，风、光电站在建设之初，就应

当寻找其支撑伙伴，如系统内需要一个对等规模的水力发电系统。尽管同样是供电，该水电站“发电”的开发目标就与传统“发电”的开发目标不一样了，它成为大型风（光）发电的调节、支撑条件，具有为新能源提供基础条件的效益。鉴于此，新能源的环境效益也应当为水力发电分一杯羹，尽管水力发电本身就是清洁可再生的。

此外，假如太阳能发电的夜间缺位是由水电来补足的，那么，夜间低谷时段的低电价将使得水电成为牺牲的对象，对此必须在政策层面予以研究解决。

根据 2003 年全国水力资源复查成果，我国水能资源可开发装机容量为 5.4 亿千瓦，年发电量 2.47 万亿千瓦时。计划到 2020 年，水电装机容量将达到 3.8 亿千瓦。我国丰富的水力资源为发展大型风电、光伏发电提供了条件，国家应结合地区的资源优势进行统筹规划。

我国有着丰富的水资源，也要给国内风电—光伏发电提供了条件支撑，国家政府统筹不同地区的资源，在青海内，就形成了水电和光伏发电的互补，将水电站建设与黄河装机容量达到了 1100 万千瓦，而且太阳光能资源比较丰富，有着大片荒漠土地。甘肃风电资源丰富，在河西走廊建设风电设施，打造路上的三峡工程，将其作为新能源开发的重要发展战略目标，在甘肃、青海等省份建立风—光—水的能源基地。

(3) 抽水蓄能可对风、光发电提供储能支撑

抽水蓄能可对风、光发电提供储能支撑。随着非水可再生能源的开发，风光互补抽水蓄能是一个发展趋势。实践表明，抽水蓄能电站是满足电力系统运行负荷剧烈变化的理想手段。研究认为，电力系统内最好有 10% 的抽水蓄能电站，这可以极大地提高电力系统的质量，目前我国抽水蓄能的装机比例尚很小。如果大力发展风光水互补，抽水蓄能的前景将更加广阔。

据调查发现，除常规机组外，抽水蓄能是现阶段储蓄风光出力的最现实的方式。抽水蓄能电站的建设需要地形条件和水源条件，但对水量的要求并不大，只要水源足以补给因蒸发渗漏所导致的损耗即可。抽水蓄能的规模未必需要做得很大，只要能够同风光电站配合就可以了。考虑到与离网光伏、风电站配合，要重视小型抽水蓄能电站的建设。

6 结束语

国内水利发电、光伏发电和风能发电，三种发电方式

相互并行运行，能够集成不同发电的优势，形成了一体化的多能互补能源开发新模式，调整国内能源结构，大力发展光伏发电和风能发电，连传统的水利发电，与之形成了水电与光伏发电、风能发电的互补，也为风—光并网发电储能，提供了强有力的保障支持。水电本身也是可再生的，也是对非水可再生清洁能源的有效支撑，能够突出展现出双重的绿色可再生的效应，也是一类重要生态能源。抽水蓄能电站在平衡非水可再生资源的供电稳定方面，有着更好的储能效果，而且是新能源发展的一个新方向。

上接53页

虽然相移 PWM 可获得足够的电流采样时间窗口，而且维持整体电压矢量不变，但是可能会在同一个 PWM 周期中，输出相反电压矢量，而造成电流纹波，如图 16 所示在静止输出零电压时，由于相移时间可限制于 2s 以内，故 U 相电流在 16kHz PWM 频率下仅产生峰对峰 0.2A 的电流纹波，因此在实务应用上须尽可能缩小电流采样时间窗口。

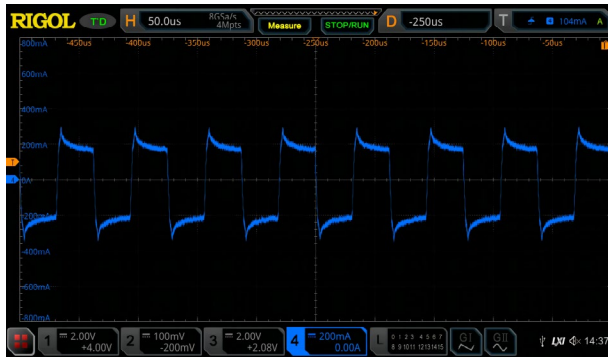


图 16 零电压输出时的 U 相电流波形

六、结语

单电阻电流采样具有电路结构简单系统成本低廉的

参考文献

- 1 吴万禄, 韦钢, 谢丽蓉, 朱昊. 风光水互补发电系统的优化配置. 电力与能源, 第35卷第1期, 2014年2月, 88~92
- 2 马吉明, 郑双凌, 陈浩波. 可再生能源的协调发展 风光水互补发电. Conference on China Technological Development of Renewable Energy Source, 2010, 2477~2482

优点，所以受到厂家广泛的应用，但是需要小心处理因矢量区间太小而需要位移 PWM 的问题，以及位移 PWM 后所产生的电流纹波问题。解决的方法除了获得快速稳定的电流反馈信号外，最重要的是搭配一个具有快速转换 ADC 的 MCU，以便能缩短采样与转换时间，尽可能减少 PWM 的位移量以减少电机电流纹波，使单电阻电流感测控制器具有和一般控制器相同的响应性能，雅特力 AT32 MCU 的性能优势在此得到充分发挥，助力客户快速解决难题。

雅特力 AT32 全系列采用 ARM® Cortex®-M4/MO+ 32-bit MCU，出色的运算效能和核心技术，超越市场同级芯片，提供多种封装尺寸及不同容量 Flash 和 SRAM 选择，复杂外设优势满足各类市场应用需求，芯片可运行于工业级温度范围 -40~105°C。从 2018 年对外销售至今已累积超 2 亿颗，并取得多项产品优质奖项，同时兼具高性能、高可靠度和良好的服务质量，每颗产品皆通过测试，提供在地化技术支持，目前已广泛应用至各类市场，如物联网、工业控制、电机、新能源、汽车电子、消费电子等等。