

校区智慧能源互联网系统

李贵存¹ 吕金壮² 农高海¹ 武桂红¹ 李德锦¹

(1. 百色学院, 广西 百色 533000

2. 南方电网超高压公司科技创新中心, 510000)

摘要: 以化石能源为主的传统能源消耗在不断压减, 以氢能为主的清洁能源需求产业在不断增长, 清洁能源充分消纳和高效利用将成为能源行业发展趋势。以智慧能源横向联合物理架构为基础的智慧能源互联网正在席卷全球, 利用智慧和绿色从根本上改变现有能源结构, 把以化石能源为主的结构调整到以清洁能源为主的新能源结构, 对未来中国实现能源转型升级意义非常深远。本文针对百色学院新建澄碧校区智慧能源互联网架设计思路, 结合错峰消谷、峰谷价差和光伏制氢技术平滑清洁能源出力的随机性, 实现含有分布式光伏发电和分散式风电的综合能源系统的稳定优化运行, 用“风电+光伏+储能+充电桩+制氢”形成一个校园智慧能源互联网系统。

关键词: 智慧能源互联网; 风电; 太阳能发电; 制氢

智慧能源互联网是利用信息化互联技术实现智慧清洁能源和互联网深度融合的新型能源利用方式, 智慧能源优化管理系统是能源互联网的重要表现形式, 校区多种能源横向互补管理系统和智能优化调度系统是建设与运行智慧能源互联网的重要且关键一环。未来的综合智慧能源管理系统是以 AI、区块链、大数据、物联网、移动互联网技术、清洁能源等为支撑的大型开放式能源服务平台, 采用分层分布式设计思路, 借助云数据计算中心, 对电、热(冷)、产、储、输、用等多种能源的生产、输运、协调、消费等各类信息进行智慧智能处理, 对整个能源系统的能源流进行监视、控制、优化和管理, 其主要特点包括探索清洁能源生产模式, 创新需求侧消费模式, 实现能源供需横向联合互动, 利用区块链技术实现分层分布模块化管理和控制。智慧能源管理系统由智慧能源管理平台、通信系统、采集终端三部分组成, 可实现能源横向联合、最优调度控制、市场主体之间的相互互动、智慧监视和控制、进行用户用能分析优化等多种功能, 如图 1 所示。



图 1. 智慧能源互联网框架原理示意图

智慧能源互联网系统作为一个把能源流和信息流优化互动的分布式互联系统, 分析和优化该系统的运行特征、探索处理技术是研究智慧能源互联网若干复杂性问题的基础, 智慧能源系统优化分析管理是能源互联网的重要表现形式, 本文以百色学院澄碧新校区建设为基础, 结合当地的风力资源、光照资源、地热、氢能及水等资源, 以提高澄碧新校区综合能效、降低用能成本、改善能源结构为最终目标, 进行新校区智慧能源互联网系统的设计和建设, 该项举措顺应了能源生产革命和能源消费革命新趋势, 使校区用能更加绿色环保低碳。

针对智慧能源互联网系统内部能源横向联合、多向流动的特点, 利用导动态实时调节和优化光伏电解制氢生产工艺, 平滑清洁能源(风、光等)输出难以精准预测的难题, 运行调度具有较强的关联性、混合性等特点, 同时结合清洁能源输出波动性的特点, 提出了以错峰填谷、峰谷价差为基础的太阳能光伏纯净水制氢技术, 解决了清洁能源发电的不稳定性和送出难问题, 建设智慧直流微电网的优化结构, 提高了光伏及风力发电的能效和性价比, 开拓了广西高校纯净水清洁能源制氢的新思路, 为百色学院筹建了清洁能源制氢新实验室。

一、总体设计方案

系统总体设计方案如图 2 所示, 主要有分散式风机发电系统、光伏发电系统、风电与光伏部分余电与交直流负荷组成的智慧能源配网子系统、光伏制氢智慧直流微网子系统、建筑区能耗优化调度监控子系统以及教室/宿舍楼宇自动化子系统、充电桩、交直流负荷等组成, 各个子系统之间实现各种能源横向联合, 优化互补, 经济调度等优点。以下章节将对主要部分进行详细论述。

二、分散式风力发电

2017 年 5 月 27 日, 国家能源局发布国能发新能[2017]3 号《国家能源局关于加快推进分散式接入风电项目建设有关要求的通知》, 文件明确规定: 优化风电建设布局、加快推动分散式风电开发、大力推动风电就地就近利用, 是“十三五”时期风电开发的重要任务。分散式接入风电项目开发建设应按照“统筹规划、分步实施、本地平衡、就近消纳”的总体原则推进, 规范建设标准和明确接入电压等级、容量和接入方式等内容。随后, 国家和地方政府出台了一系列政策和规划来推动分散式风电发展, 2018 年 4 月, 国家能源局下发《分散式风电项目开发建设暂行办法》, 分散式风电终于迎来发展新纪元。2018-2020 年河南、河北、山西三省政府部门规划的分散式风电建设规模已超 7GW。兴业证

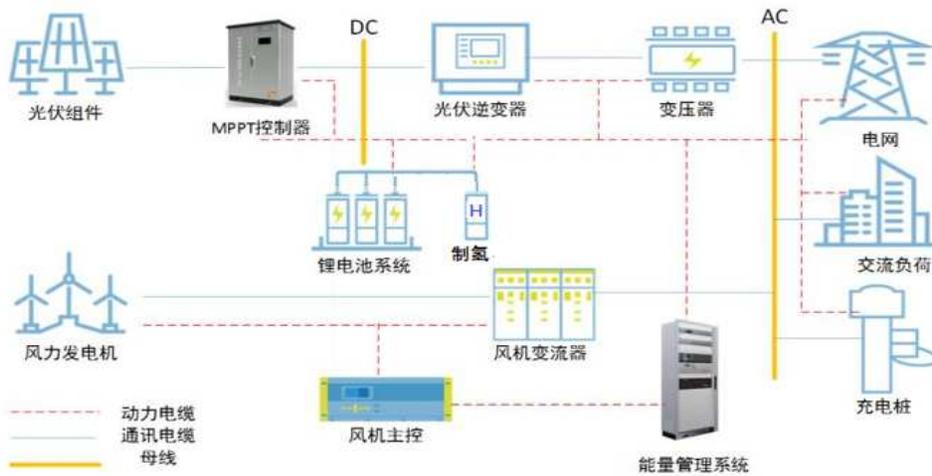


图 2 风光储输充制氢原理示意图

券预测，2020 年中国分散式风电装机将达到 20GW，每年新增分散式风电装机规模增速为 100% 以上。随着清洁能源技术的发展，单台装机容量和单板容量不断扩大，分散式风力发电和分布式光伏电源在电力系统中的渗透率不断提升，其产生的电能不仅缓解了变电站的电能供应压力，优化了配电系统中的电压分布和潮流流向。然而清洁能源发电的输出功率易受到天气条件特别是太阳辐照度、风速等的影响，当天气条件出现变化时清洁能源的输出功率可能产生较大的波动，容易造成系统过电压、设备切负荷等问题出现。因此，为了解决清洁能源利用过程中出现的各类情况，可以综合考量各类能源之间优缺点及其互补特性，统筹协调优化调度多种能源的生产、利用和消费方式，智慧能源互联微网的概念应运而生。其本质就是以电力能源系统为核心，包含电、热（冷）、气等在内的多种传统独立运行能源网络，以先进信息通信技术为桥梁，多种能源交易机制为纽带，耦合成为一种独具特色综合能源智慧互联网系统。

根据 NASI 提供的百色地区卫星云图，百色地区风资源分布情况如图 3 所示。图中三大块紫色区域为风资源优良的地区，由此图可以看出：百色学院澄碧校区位于中部大紫色区域左下角的边缘地带，距离澄碧水库大约 4.7 公里，校区西门核心风资源旺盛地区大概只有 10 公里，属于风资源和水资源优良地区的边缘地带。

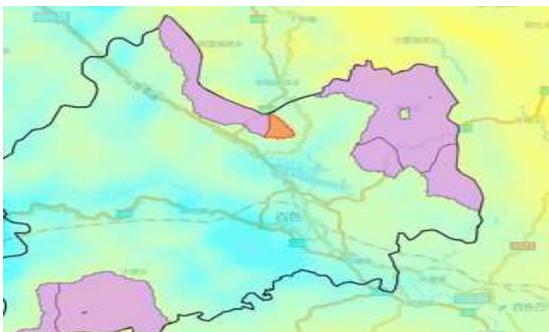


图 3 百色及周边地区风资源示意图

下图 4 是百色学院澄碧校区所在紫色区域多年平均统计风速数据绘制的风玫瑰图，该数据表明：绝大部分风资源旺盛地带风速都在 5 米 / 秒以上，年发电小时数在 2000 小时以上。

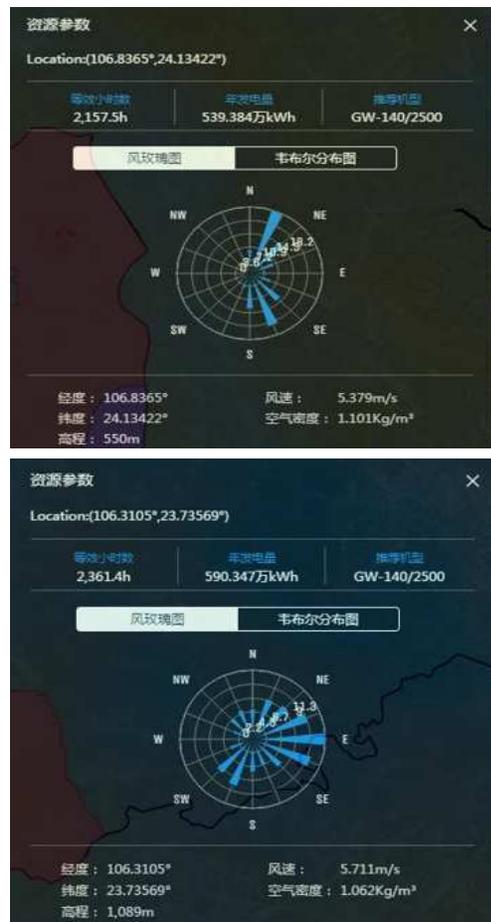


图 4 风电场风玫瑰图

澄碧校区所在区域风电场装机容量可达约 393Mw，按照 7500 元 /Kw 投资，约 30 亿。风资源最好区域装机约为 77Mw，估计可开发 50Mw，投资约为 3.75 亿人民币。

三、光伏发电与制氢技术

(一) 太阳能电解制氢基本原理和基本特征

太阳能电解水制氢是一种比较成熟且最具有应用前景的太阳能生产氢途径之一,实际上就是将太阳能转换成电能,而后用电能电解水制取氢气,用氢能的生产过程来平滑电网负荷波动和出力变化。目前,光伏太阳能发电和电解水这两项技术都比较成熟,容易构成产业生产线。特别是在一些弃风、弃光、弃水等造成弃电严重地区和上网电价较低的情况下,电解水制氢应用比较广泛,市场潜力比较巨大。

(二) 光伏发电的基本原理及工程实际

目前,光伏产业已经成为了清洁能源的代表之一,在国内和国际能源转型中扮演着举足轻重的角色。光伏发电也在经历了发展初期后,发电成本大幅降低,发电量巨大。仅我国2019年上半年的光伏发电量便达到1067.3亿千瓦时的规模。

光伏发电系统由太阳能电池组件、储能电池、逆变器或控制器和负载组成(见图2所示)。该分布式光伏发电系统安装在澄碧校区屋顶如图5所示,



图5 光伏电池板敷设楼顶示意图

屋顶光伏发电总面积3.2万 m^2 ,按照可利用面积50%计算(考虑维护空间、遮挡、倾角等因素),预计可以安装组件容量为:

320W单晶硅组件规格为:长 \times 宽=1.956米 \times 0.996米,1.956 \times 0.992=1.94 m^2 ,约为2 m^2 ,组件数量:3.2万 $\text{m}^2 \times 0.5/2 \text{m}^2 = 0.8$ 万块。组件容量:以晶科JKM355M-66H为例,0.355 \times 8000=2840kW;组件参数查阅厂家的技术资料。

通过HOME PRO仿真软件可得,百色地区光照资源如图6所示:

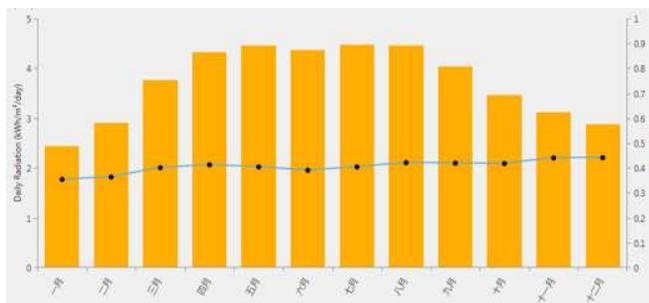


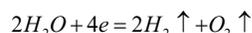
图6 百色地区光照强度示意图

根据HOME PRO软件仿真测试数据得百色地区全年有效光照小时数为:3.73 \times 360=1342.8h。2840kW组件年度发电量为:2840kW \times 1342.8 \times 0.85=324.2万度,0.85为光伏系统效率。

太阳能电池产生的电能随光照强度实时变化较大,电池输出的电压也不稳定,需要储能电池(或具有滤波、稳压功能的直流屏)来起到滤波和稳压的作用,将太阳能电池产生的电压稳定在制氢需要的电压值范围内,从另外一种意义上讲,用电池也有储能的作用,可以将过剩的电能储存起来在负荷用电高峰时候使用。太阳能光伏直流输出制氢,直流控制管理系统以及其他直流负荷等组成智慧直流微电网管理控制子系统,在此基础上筹建百色学院新能源制氢实验室,拟申请自治区级或国家级重点实验室。

(三) 电解水制氢基本原理

在充满水或其他介质的电解槽中接入直流电(从图2储能电池部位取出),水分子在阴阳电极上发生电化学反应,分解成氢气和氧气。其化学方程式为:



在标准大气压和温度下,热力学决定的电解水的电压一般在3伏左右即可。

基于对能斯特方程的认识,电解水的理论电压不受电解液酸碱度(pH)影响,电解液中离子浓度的变化和改变影响只对氧化还原反应的方向以及电极电势的变化。法拉第电解定律及能斯特方程基本上奠定了电解水制氢的理论基础。

(四) 电解水制氢生产过程

目前,PEM(Proton Exchange Membrane,质子交换膜)纯水电解制氢是一种比较常用水电解制氢技术之一,其主要优缺点如下:

PEM纯水电解制氢技术最早是由美国核潜艇的氧气发生器原理得来的,因为采用的是质子膜电解槽,通过电解纯水可物理分离高纯氢气和氧气,目前该设备在国内应用比较广泛,包括电厂、化工、冶金、玻璃、医疗、高端实验室等,逐步有取代碱液电解制氢的趋势。且该技术设备体积较小,制取氢气纯度高,大于等于99.9995%,整个运行过程无污染,操作简单,并可实现整个生产过程远程无人值守。安全性能高,运行时间长,电解槽寿命一般在15年左右。缺点是设备成本与碱液电解制氢相比成本较贵,主要来源于铂金催化剂,目前各个国家正在研究突破质子膜上铂金催化剂的替代材料,未来发展可期。

基于上述认识,本方案中采用PEM纯水电解制氢,整个制氢过程简述如下:通过直流电解纯水产生高纯氢气(不加碱),通电后,电解槽中的阴极产氢气,阳极产氧气,氧气上升至顶部并流入氧气干燥器,氧气收集后可用于理疗场所。水的电阻率时时测量和监控,这是通过将水运送至排放收集处来实现的,同时也可以向气水分离器中加入更多的自来水。氢气进入干燥器除湿后,经稳压阀、调节阀调整到额定压力由出口输出。电解槽中的产氢压力由传感器控制在设定值,达到时电解槽电源自动切断供应;压

力下降, 低于设定值时电源恢复供电, 恢复制氢过程。

和传统的制氢方式相比, 清洁能源(光伏和风电)制氢有几个突出优点。生产的原材料是“绿色的”, 不论水还是用来发电的可再生能源, 对环境友好电解水制氢只会生成氢气和氧气, 也不会产生碳氧化合物对环境造成污染可以解决可能生能源发电过剩、发电间歇性的困境制氢用的原料水, 可以说是“无穷无尽”的。业内人士普遍认为, 氢气作为重要的工业原料以及清洁燃料, 在未来几十年里将得到巨大发展。中国工程院院士、中国工程院原副院长杜祥琬近期在接受专访时表示发展氢能, 就是要发展绿氢, 也就是可再生能源制氢。作为二次能源, 氢的产生离不开一次能源, 要发展好氢能就要利用可再生能源。离开一次能源, 氢能是无源之水。要发展氢能, 产业链要从可再生能源制氢着眼, 搞清楚源头。

本课题组与国内知名 PEM 纯水电解制氢生产厂家合作结合广西电力市场提供的全天电价变化曲线, 优化制氢生产工艺, 共同开发基于光伏发电预测、风力发电预测等控制监控管理软件指导、监视、控制和优化管理全自动化无人值守制氢生产工艺, 实时达到动态控制制氢的整个生产流程, 把光伏制氢的纯绿色氢气的生产过程与广西壮族自治区火水发电出力的实际情况, 统筹规划多种能源的利用方式, 糅合各类能源之间优缺点及其互补特性, 努力达到整个综合能源系统性价比最优。

四、结论

随着能源转型和电力体制改革的进一步深化, 智慧能源互联网系统将迎来巨大的发展空间。本文所提出的“风电+光伏+储能+充电桩+制氢”智慧能源互联网系统在百色学院新建澄碧校区做到初步尝试, 创新了“互联网+”智慧能源的概念和内涵, 对中国经济新常态发展具有一定的推动作用, 在清洁能源横向联合和应用领域创造出了一种新生态, 在以后的长期运行实践中将不断地修正、完善、发展和推广。

参考文献

- [1] 张丹, 沙志成, 赵龙, 等 (Zhang Dan, Sha Zhicheng, Zhao Long). 综合智慧能源管理系统架构分析与研究 (Analysis and Study on Architecture of Integrated Smarter Energy Management System) [J]. 中外能源 (Sinoglobal Energy), 2017, 22 (4), 7-12.
- [2] 周晓兰 (Zhou Xiaolan). 下一个十年, 风电将迈向何方?, 能源 (Energy), 2018 (Z1): 142-145.
- [3] 孔德政 (Kong Dezheng). 光伏分布式发电中的逆变系统设计 (Design of distributed generation in the photovoltaic inverter system). 电子测试 (Electronic Test), 2013, 7 (14): 1-3.
- [4] 席菁华 (Xi Jinghua). 分散式风电破“局”. 能源 (Energy), 2018-06-05.
- [5] 张艳宇. 高校绿色校园文化的内涵及培育对策解析 [J]. 住宅与房地产, 2019 (30).

[6] 车晓彦, 李苗, 王廷中. 刍议如何全力打造“绿色校园” [J]. 才智, 2015 (18).

[7] 刘志欣, 程林, 周章, 万宇翔, 胡雨时, 董禹泽等, (Liu Zhixin, Cheng Lin, Zhou Zhang, Wan Yuxiang, Hu Yushi, Dong Yuze, et al.) 基于场景聚类分析的综合能源系统鲁棒运行策略 (Robust operation strategy of multi-energy system based on scenario clustering analysis), 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2019, 10 月第 38 卷 第 10 期 (Oct.2019.Vol.38, No.10), 9-19.

[8] 程林, 刘琛, 朱守真, 等 (Cheng Lin, Liu Chen, Zhu Shouzhen, et al.). 基于多能协同策略的能源互联微网研究 (Study of micro Energy Internet based on multi-en-ergy interconnected strategy) [J]. 电网技术 (PowerSystem Technology), 2016, 40 (1): 132-138.

[9] 王可, 刘壮, 高长水, 徐国忠 (Wang Ke, Liu Zhuang, Gao Changshui, Xu Guozhong). 磨料电化学射流加工的材料去除模型研究 (Study of Material Removal Model of Electrochemical Abrasive Jet Machining) [J]. 机械制造与自动化 (Machine Building & Automation), 2018 (3).

[10] 李伟锋, 李晶. 浅谈低碳社会中的绿色校园建设 [J]. 高校后勤研究, 2012 (03).

[11] 徐俊龙, 吴文中, 张晓刚等, 法拉第电解定律在电化学计算中的应用 [J]. 实验教学与仪器, 2015 (12).

[12] 李舟, 分散式风电的发展及现状分析 [J]. 电力勘测设计, 2018 (11).

本课题获得百色学院 2020 度大学生创新创业训练计划项目“百色学院澄碧校区综合能源管理系统设计方案”(项目编号: 202010609036) 资助。

作者简介:

李贵存 (1972-), 男, 山东新泰人, 高级工程师, 研究方向为电力系统微机保护、清洁能源及氢能。

吕金壮 (1974-), 男, 河南民权人, 教授级高级工程师, 研究方向为高电压及绝缘技术。

农高海 (1973-), 男, 广西崇左人, 高级工程师, 研究方向为电路设计和实现。

武桂红 (1978-), 女, 山东肥城人, 工程师, 研究方向为高电压及绝缘技术。

李德锦 (1997-), 男, 广西贵港人, 在校学生。