

园区能源互联网示范试点规划研究

赵盛杰¹, 宋鹏程¹, 马鸿娟¹, 梅建春¹, 徐晶¹, 孙子雯^{2*}, 钱君霞¹

¹江苏科能电力工程咨询有限公司, 江苏 南京

²南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京

Email: *sunziwen@stu.njnu.edu.cn

收稿日期: 2020年11月20日; 录用日期: 2020年12月21日; 发布日期: 2020年12月29日

摘要

为实现园区内冷、热、气电等多种能源的互补, 提高能源利用效率, 降低能源成本。计划利用互联网手段, 开展能源互联网技术应用、商用模式和政策创新试点, 本文介绍示范试点规划综合方案, 试点内容包括如下: 多能协同能源网络的优化建设与协同运行、绿色能源的多样化利用与互联网化交易、电动汽车与储能的互联网化运行、智慧用电及增值服务、需求侧相应及辅助服务等灵活性资源的市场化运营、基于互联网的第三方综合服务、能源大数据应用服务, 以及其他具有经济、环境和社会价值的各类场景。利用互联网理念, 探索能源互联网与农业、工业、交通、商业、体育、教育等不同行业融合发展的新途径。加强能源互联网基础设施建设, 建设能源生产消费的智能化体系、多能协同综合能源网络、与能源系统协同的信息通信基础设施。营造开放共享的能源互联网生态体系, 建立新型能源市场交易体系和商业运营平台, 发展分布式能源、储能和电动汽车应用、智慧用能和增值服务、绿色能源灵活交易、能源大数据服务应用等新模式和新业态。

关键词

能源互联网, 多能协同, 试点规划

Study on the Demonstration of Energy Internet in the Park

Shengjie Zhao¹, Pengcheng Song¹, Hongjuan Ma¹, Jianchun Mei¹, Jing Xu¹, Ziwen Sun^{2*}, Junxia Qian¹

¹Jiangsu Keneng Electric Power Engineering Consulting Co. LTD., Nanjing, Jiangsu

²School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu

Email: *sunziwen@stu.njnu.edu.cn

Received: Nov. 20th, 2020; accepted: Dec. 21st, 2020; published: Dec.29th, 2020

*通讯作者。

文章引用: 赵盛杰, 宋鹏程, 马鸿娟, 梅建春, 徐晶, 孙子雯, 钱君霞. 园区能源互联网示范试点规划研究[J]. 电力与能源进展, 2020, 8(6): 117-125. DOI: 10.12677/aepe.2020.86014

Abstract

To realize the complementation of multiple energy sources such as cold, heat, gas and electricity in the park, improve energy utilization efficiency and reduce energy costs. The Internet technology is used to carry out an innovation pilot of Internet applications, business models and policy. This paper introduces the comprehensive plan of demonstration pilot planning. The pilot contents include the following: multiple cooperative energy network construction and optimization, collaborative operation of green energy utilization and diversification of Internet transactions, electric vehicles and energy storage of the Internet operation, wisdom of electricity and value-added services, the demand side and auxiliary services flexibility resources market operation, based on the Internet third party energy services, big data application service, and other economic, environmental and social values of the various scenes. Using the concept of the Internet to explore new ways of integration of the Internet and the development of agriculture, industry, transportation, commerce, sport, education and other industries. We will strengthen the energy infrastructure of the Internet, build an intelligent system for energy production and consumption, a multi energy network, and an information communication infrastructure. Create energy Internet Ecosystem open sharing, the establishment of new energy market trading system and business operation platform, the development of distributed energy, new energy storage mode and the application of electric vehicles, smart energy and value-added services, green energy trading, flexible energy big data service applications and new formats.

Keywords

Energy, Internet, Multi-Energy Collaboration, Pilot Planning

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

能源互联网的概念最早出现在 2004 年《经济学人》杂志“Building the energy internet”一文。文章提出借鉴互联网的特点，通过分布式微电网等方式，将传统电网转变为智能化、具有快速响应和自愈能力的数字网络。我国对能源互联网概念的丰富和完善源自 2016 年《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》，当前业界普遍认为能源互联网是以清洁能源消纳为主导，将能源生产、输送、存储、消费以及市场运营等环节与信息通信技术深度融合，实现能源统筹优化配置、清洁、高效、经济的能源生态系统[1] [2] [3]。

从绘制理想蓝图愿景到逐步落地实施，能源互联网技术创新和突破在其建设发展过程中发挥着无可替代的重要作用，相关学者开展了大量研究。文献[4]基于分布式能源特性模型，开展能源资源耦合特性分析；考虑差异化供电方案，实现区域能源互补和梯级利用，实际案例分析，表明了提出的优化配置方法具有经济效益和社会效益优势，未充分考虑投入运行方案；文献[5]梳理了针对多供能网络联合规划的研究，指出当前规划中对于综合需求响应的策略制定和影响机理的考虑较为浅显；在多网联合规划基础上，进一步结合能量枢纽考虑“源-网-荷”协同规划的研究也有较为广阔的发展空间；文献[6]指出未来园区能源网络将成为能源互联网建设的主要形式，明确了多能源协同优化配置理论框架，并提出建设

思路和原则, 缺乏相关了实际工程案例支撑; 文献[7]通过我国北方某园区的规划实例, 结合多场景规划理念, 分析了区域能源需求精细化、综合能源子系统规划、区域能源系统建设时序及多能互补协同效益等规划环节, 强调需依据区域冷热电需求和资源禀赋。

目前结合实际工程设计, 同时考虑建设、运行规划的文献不多见, 本文面向示范智慧园区的能源互联网构建了一套完整的能源体系规划, 涵盖生产、输送、配给、转化和消化各个环节, 基于智慧园区的业务需求分析, 并结合能源互联技术架构, 对面向智慧园区的能源互联网总体架构进行设计, 通过平台建设, 实现能源供应、能源管理、能源运行维护和能源互联网完整产业链, 为实现各类服务的相互联动和高度集成奠定基础。

2. 能源互联网方案设计

2.1. 规划目标与方法

规划目标为根据园区产业布局、能源资源情况、用能需求及园区能源运营方案, 综合利用分布式光伏发电、分布式风力发电、燃气(冷、热、电)多联供、多种类型储能和分布式智能微网技术, 构建园区能源生产、传输、存储、调节、交易等能源互联网综合能量管理平台。

通过园区能源互联网综合能量管理平台, 对园区内所有能源进行智能分配调度, 建立园区各种能源开放、互动、协调、高效、经济运行的良好机制, 实现园区能源供应、管理、运行、维护和能源互联网完整产业链, 开启“能源互联网”的能源变革典范。根据园区建设用能需求和自然条件, 项目建设内容包括: 开展分布式冷热电三联供示范、高效 HIT 屋面光伏电站示范、低风速风力发电示范、分布式智能电网示范、智慧园区及智慧能源生活社区示范、源网荷储协调控制示范等。主要建设内容见表 1。

Table 1. Demonstration construction content of the park

表 1. 园区示范建设内容

建筑面积	总冷负荷	总热负荷	总用电负荷	冷热电三联供	高效 HIT 光伏	风电	充电桩
10.8 万 m ²	10,692 kW	7776 kW	9820 kW	8.8 MW	2.5 MW	9 MW	120 台

源网荷(储)协调控制系统是基于配电自动化系统的开发扩展, 位于园区生产控制大区, 主要起到辅助调度人员进行配网调控的目的, 进而实现配网的安全可靠运行。系统的总体架构如图 1 所示。

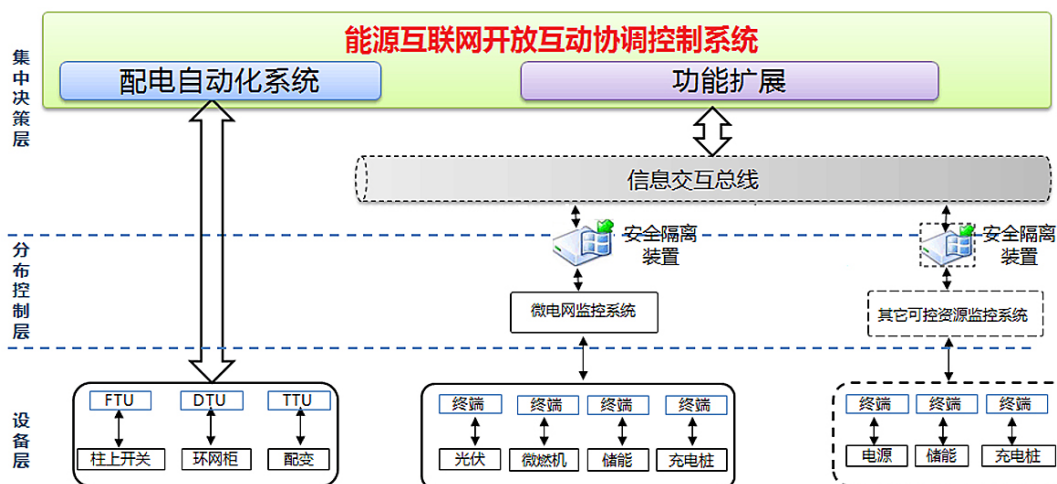


Figure 1. The overall framework of source network charge (storage) coordination control system

图 1. 源网荷(储)协调控制系统总体框架

2.2. 设计方案

方案设计遵循的整体思路为：智慧城市公用交通系统和清洁能源互联网离不开电动车充电桩，充电桩将扮演能源互联网架构中的变现端口和流量入口的角色；无线网络全城覆盖几乎是多数地方建设智慧城市的首选；利用园区建筑屋顶建设分布式光伏电站、利用建筑周边空地建设风电；采用燃气冷热电三联供机组有效地缓解天然气冬夏季峰谷差，提高燃气设施的利用效率。整体规划 2 套设计方案。

建设方案一：1) 充电桩搭档 LED 屏、无线网络、PM2.5 监测、一键报警等在内的诸多功能。规划建设新能源充电站 3 座，充电桩 150 台，预计投资约 0.12 亿元，计划 2021 年底完成。

2) 利用新能源装备制造基地项目建筑屋顶建设分布式光伏电站 2 MW 以及能源大数据云平台等。项目计划投资 0.18 亿元，预计 2021 年 6 月完成。

3) 利用新能源装备制造基地项目建筑周边空地建设 4 台 1.8 MW 低风速风电以及能源大数据云平台等。项目计划投资 0.61 亿元，预计 2021 年 6 月完成。

4) 采用燃气冷热电三联供机组(6.8 MW)，可以有效地缓解天然气冬夏季峰谷差，提高燃气设施的利用效率，同时减少电力设备的峰值装机容量。项目计划投资 0.66 亿元，预计 2021 年 6 月完成。

建设方案二：1) 充电桩搭档 LED 屏、无线网络、PM2.5 监测、一键报警等在内的诸多功能，规划建设新能源充电站 2 座，充电桩 120 台，预计投资约 0.09 亿元，计划 2021 年 10 月完成。

2) 利用新能源装备制造基地项目建筑屋顶建设分布式光伏电站 2.5 MW 以及能源大数据云平台等。推出微网电力交易、节能服务、电力大数据运营、用电 APP 增值服务等商业模式。项目计划投资 0.22 亿元，预计 2021 年 6 月完成。

3) 利用新能源装备制造基地项目建筑周边空地建设 5 台 1.8 MW 低风速风电以及能源大数据云平台等。推出微网电力交易、节能服务、电力大数据运营、用电 APP 增值服务等商业模式。项目计划投资 0.87 亿元，预计 2021 年 6 月完成。

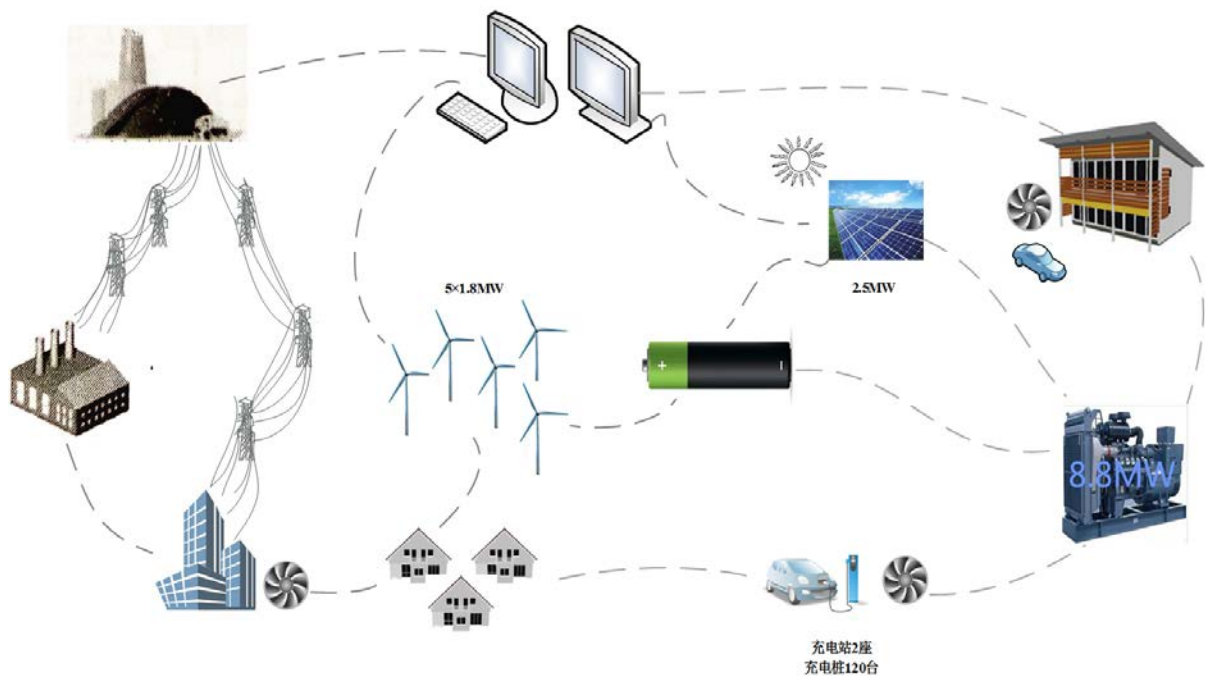


Figure 2. Schematic diagram of the park's overall plan for energy internet system
图 2. 园区能源互联网系统总体方案示意图

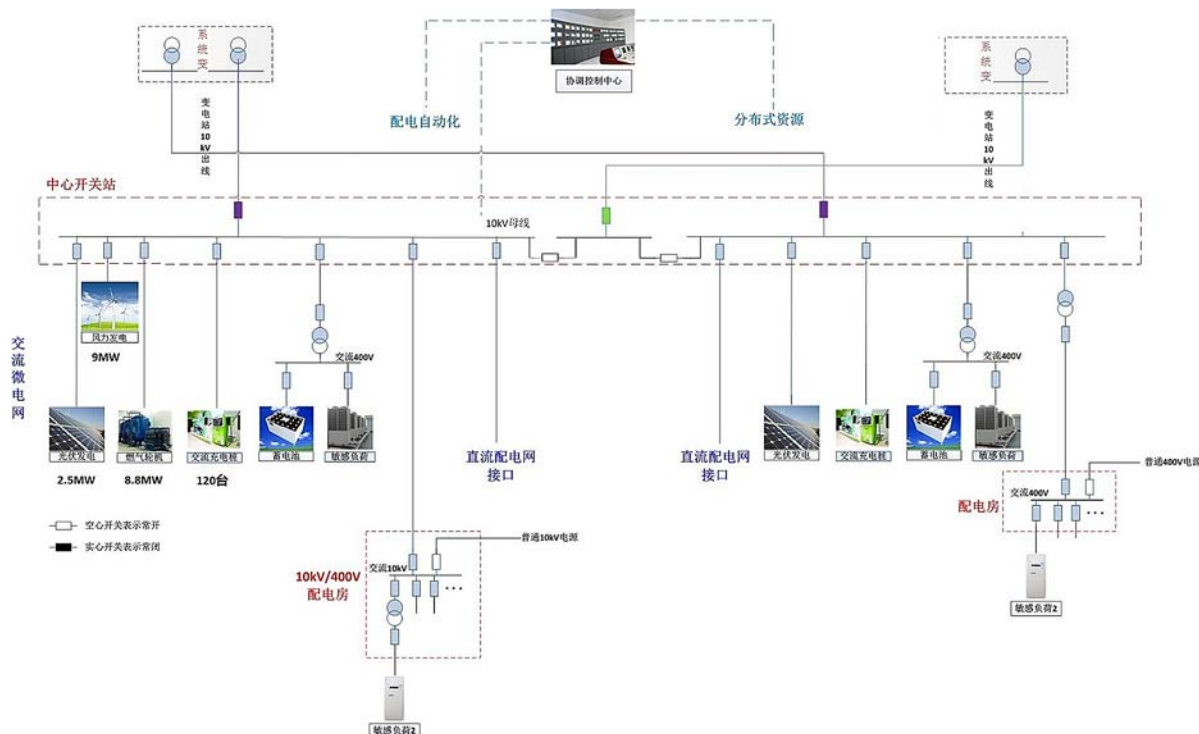


Figure 3. Main wiring diagram of energy internet system

图 3. 能源互联网系统主接线示意图

4) 采用燃气冷热电三联供机组(8.8 MW), 可以有效地缓解天然气冬夏季峰谷差, 提高燃气设施的利用效率, 同时减少电力设备的峰值装机容量, 具有很好的社会和经济效益。项目计划投资 0.75 亿元, 预计 2021 年 6 月完成。

综合考虑投资成本、时效因素和经济效益, 选择方案二, 即在园区建设一座 10 kV 的变电所, 主变容量 31.5 MVA, 变比 10 kV/380 V, 从而将园区储能型高效 HIT 光伏 2.5 MW、低风速风力发电 9 MW、冷热电三联供系统 8.8 MW、充电桩 2 座接入变电所, 实现能源的供给, 能够解决新能源创新园供电、供热、供冷以及电动汽车充电等问题, 图 2 所示为总体方案示意图。具体包括: 规划建设新能源充电桩 2 座, 充电桩 120 台; 屋顶建设分布式光伏电站 2.5 MW, 采用 265 Wp 异质结(HIT)组件, 合计 9460 块, 计容量约为 2.5 MWp, 1250 kW 箱变 2 台, 16 回路交流汇流箱 14 台 50 kW 的组串式逆变器 54 台, 支架个数 430; 周边空地建设 5 台 1.8 MW 低风速风电, 单台机组上网电量 607 万 kWh, 总共上网电量 3035 万 kWh; 燃气发电机组装机功率 8.8 MW, 选用 1 台 4000 kW + 1 台 2000 kW + 4 台 700 kW 燃气发电机组, 配套 1 台 4650 kW + 3 台 2330 kW 烟气热水补燃型溴化锂机组, 组成一套天然气冷热电联供系统, 供电以及制冷和供热。系统主接线示意图如图 3 所示。

3. 工程运行方案

3.1. 各阶段调试、试运行方案

图 4 示出了能源互联网管理系统平台, 利用先进的通信、信息和控制技术, 构建以开放、互联、对等和共享为特征的园区型能源互联网管理系统平台。运行平台主要包括六部分: 园区型能源互联网监控系统、园区型能源互联网调度系统、园区型能源互联网交易系统、园区型能源互联网信息发布系统、园区型能源互联网展示系统、园区型能源互联网能量管理系统。图 5 示出了在信息与能源融合下的能源互

联网运行架构图。

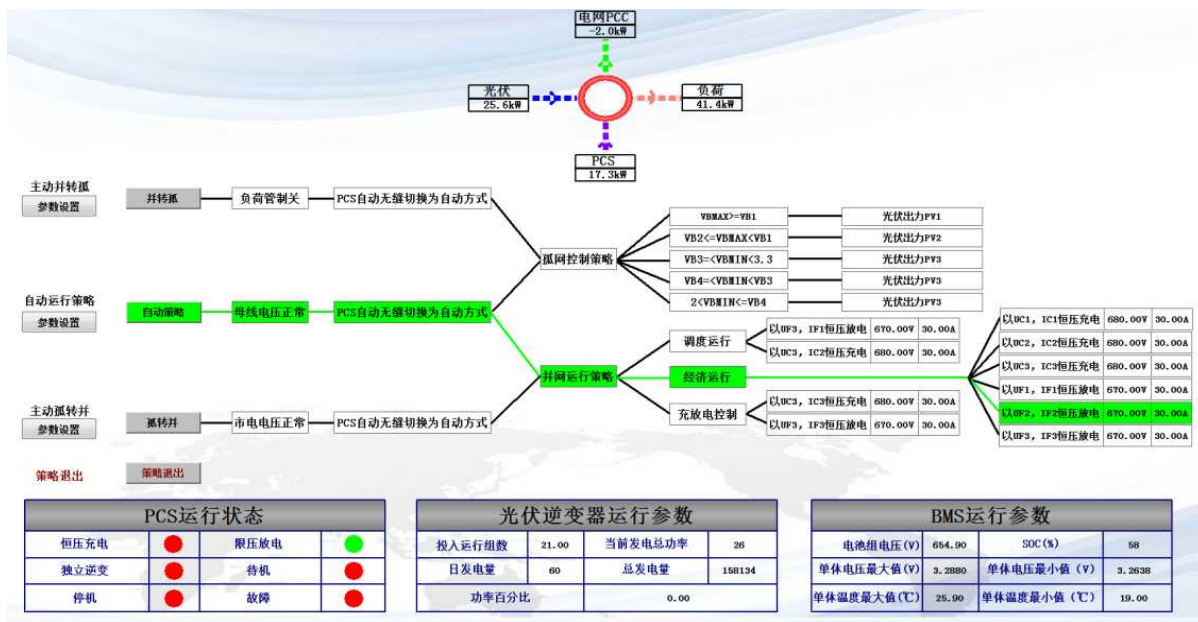


Figure 4. Energy internet management system platform

图 4. 能源互联网管理系统平台

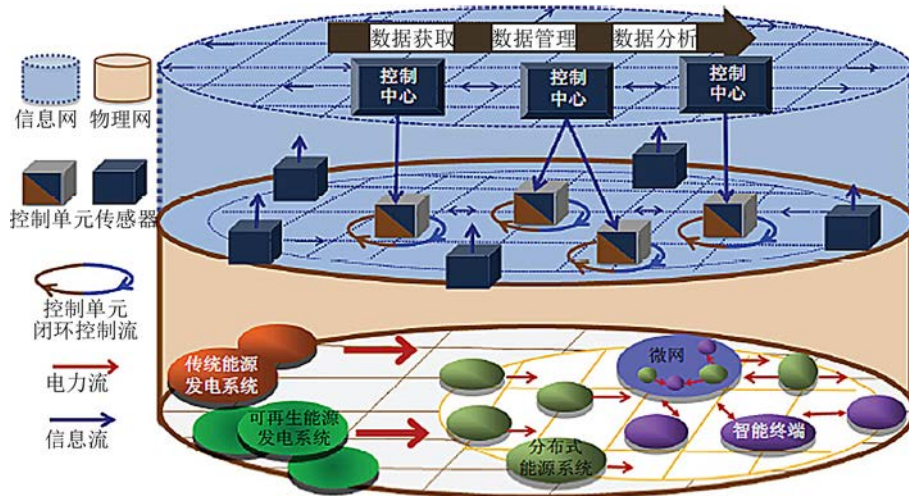


Figure 5. Energy internet operation architecture diagram under information and energy fusion

图 5. 信息与能源融合下能源互联网运行架构图

3.2. 工程运行期运行方案

根据各种形式分布式电源、多样性负荷的特点，结合既定的目标函数，在考虑当地分布式电源发电和多样性负荷特点的基础上，以储能系统作为动态调节单元，采用多能互补方法制定能量管理策略。

园区微电网协调调度和能量管理分为并网运行情况和离网运行情况：并网运行情况下，微电网调度控制器按照既定的目标函数(分布式电源最大化利用/峰谷电价策略/储能最优化利用等)，结合超短期分布式发电预测、负荷预测，中长期分布式发电预测、负荷预测，制定能量管理策略，实现不同时间尺度的微电网能量管理和与配电网的协调运行。图 6 示出了微电网并网运行情况下，微电网调度控制器分别以

分布式电源最大化利用和储能优化利用为目标函数时的调节情况。

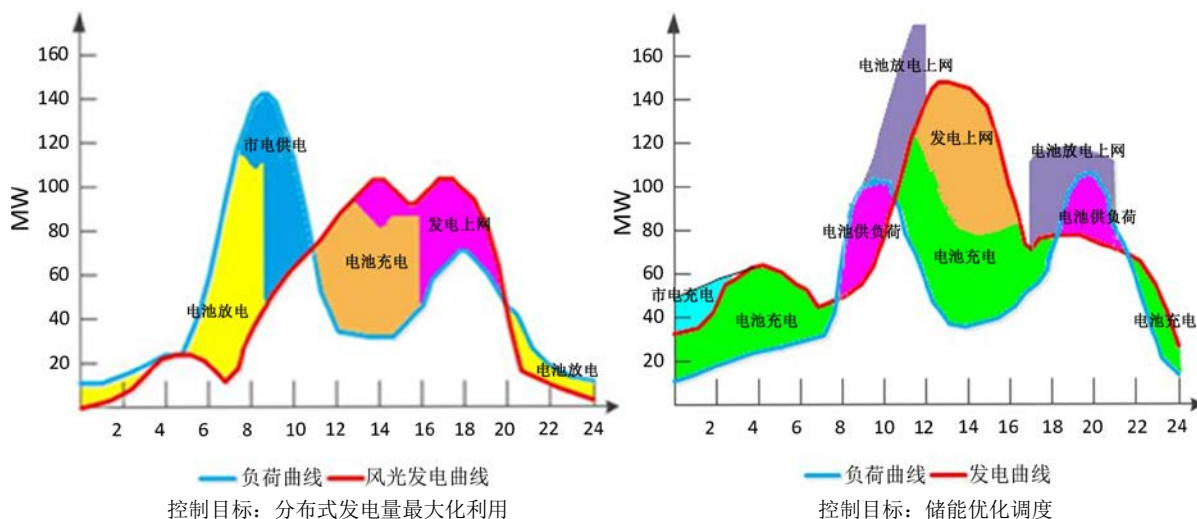


Figure 6. Implementation effect of grid-connected strategy of microgrid dispatching controller

图 6. 微电网调度控制器并网策略执行效果

离网运行情况下，微电网调度控制器将以微电网的电压频率稳定为基础，在此基础上以微电网的长期运行为目标函数，最大时间、最大程度的支撑负荷。微电网调度控制器在离网情况下的策略执行效果如图 7 所示。

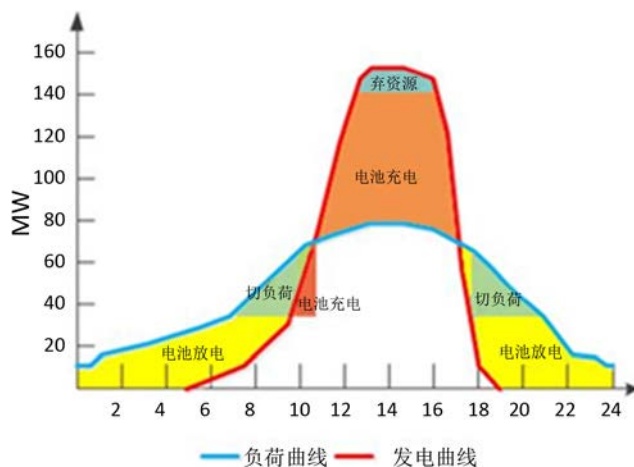


Figure 7. Implementation effect of off-grid strategy of microgrid dispatching controller

图 7. 微电网调度控制器离网策略执行效果

实现对示范园区能源等的集中统一管理，提高电站的管理和运维效率，提升发电量，降低管理成本，分析全年和各月发电计划完成情况、运维投入情况，辅助决策分析。

提供电子化、移动化的生产运行管理和办公功能，提高电站管理、运行效率；提供完善的光伏电站汇集站和光伏发电侧设备实时监控和管理，及时发现并精确定位故障，提升电站运维效率。

3.3. 能源互联网实施机制

能源互联网是能源与信息深度融合的产物，是推动能源革命的重要支点，也是未来一段时间我国能

源领域工作的重点。能源互联网在商业模式上将与现有模式有较大不同[8]。

1) 能源互联网交易机制特点和需求, 能源互联网商业模式由集中向分散转变的过程中, 其交易机制具有交易主体多元化、交易商品多样化、交易决策分散化、交易信息透明化、交易时间即时化、交易管理市场化和交易约束层次化的特点和需求。

2) 能源互联网的新型商业模式, 园区采取自建自营, 集中管理的模式, 因此, 园区推出能源互联网电力交易、用能服务、电力大数据运营、用能 APP 增值服务等商业模式, 实现能源供应、能源管理、能源运行维护和能源互联网完整产业链。

3) 加大能源互联网示范推广力度, 该类型试点示范项目的有效实施率先在各园区及同类型大学科技园复制推广; 其次可在全国高校推广; 再者可在省级开发区复制推广, 推动多能互补、智慧用能、互动服务和智慧城市建设。

4. 规划效果分析

首先进行投资估算, 包括购置设备、新建配套建筑物、工程建设其他费用、建设期利息等。编制依据及原则如下: 1) 本投资估算静态投资水平年为 2015 年。2) 工程量, 工程量由设计人员根据工艺系统设计方案提供, 不足部分参照同类型光伏电站的工程量。3) 定额、取费及项目划分, 定额执行《电力工程建设概算定额》(2013 年版), 项目划分及取费标准执行 2013 年版《火力发电工程建设预算编制与计算标准》。4) 设备价格及运杂费, 太阳能电池组件按 3.5 元/瓦, 风机按 6.5 元/瓦计算。其他设备价参照同类型工程设备价计列。设备运杂费按 2013 年版《火力发电工程建设预算编制与计算标准》中的运杂费率计列。5) 人工费, 建筑普通工人人工费 34 元/工日, 建筑技术工人人工费 48 元/日, 安装普通工人人工费 34 元/工日, 安装技术工人人工费 53 元/工日。并根据电定[2015] 44 号文规定, 调整人工工日单价。6) 材料费、机械费, 安装工程计价材料采用执行华东地区 2013 版装材价, 根据地方建委或建行近期公布的工程造价信息进行土建材料价差的编制。建筑工程施工机械按定额[2015] 44 号文提供的机械台班价格计算价差, 安装工程材机调整按照定额(2015) 44 号文的规定进行。7) 其他费用, 本工程其它费用参照《火力发电工程建设预算编制与计算标准》计算。建设场地征用及清理费不计。8) 其他, 建设期贷款利率按 2015 年 10 月中国人民银行颁发的固定资产 5 年期以上贷款年利率 4.9%(按季结息)计算。

对项目进行财务评价, 计算期为 26 年。其中, 建设期 1 年, 生产期为 25 年。财务评价依据执行国家发改委和建设部联合颁发的《建设项目经济评价方法与参数(第三版)》, 以及现行的有关财务、税收政策等。园区建设总投资为 19.8 亿元, 其中自有资金占比 30%, 投资分 5 年进行, 总投资收益率(ROI) 6.62%、资本金净利润率(ROE) 19.97%; 假设该项目静态投资的 80%申请银行贷款, 贷款金额为 15,822.17 万元, 建设资金贷款利率按照 4.9%计算, 以该项目的折旧摊销费和未分配利润偿还; 预定还款期 15 年, 平均利息备付率: 2.98。经测算, 项目投资财务内部收益率所得税后为 9.75%, 高于基准收益率; 项目所得税后投资回收期为 9.52 年(含建设期 1 年), 项目能较快收回投资; 总投资收益率为 7.07%, 体现了较好的盈利能力。如表 2 所示。

Table 2. Project profitability indicator table
表 2. 项目盈利能力指标表

指标名称	税前	税后
项目投资财务内部收益率(FIRR)	10.73	9.48
项目投资回收期(Pt)	9.21	9.71
总投资收益率(ROI)	6.84	6.84

园区能源互联网项目具有较好的清偿能力和一定的盈利能力,抗风险能力较强,各项效益指标合理,在财务上是可行的。根据能源互联网规划,园区能源互联网建成后各项技术指标均达到国内领先和国际先进水平,如表3所示。

Table 3. Main technical indexes of the park%

表3. 园区主要技术指标%

技术指标	指标值
节能率	40.6
二氧化碳减排率	57.0
清洁能源利用率	76.0
可再生能源利用率	20.7
能源综合利用率	80.8

通过园区的实施,对推动全社会节能减排和能源高效利用具有积极的示范和引领作用,同时只有大力推进能源、资源、智能的融合利用,才能根本解决中国能源低效利用的现实问题,提升能源综合利用效率。

5. 结论

本文拟建立多种能量需求的能源互联网试点示范园区,实现多能流协同能量管理,探索多种能源形势灵活交易与需求响应模式,提高清洁能源利用效率和终端能效,从技术方案、运行方案和项目评价三个方面详细阐述了规划思路。规划结果表明,园区充分利用可再生能源,实现园区多能互补,年发电量1.132亿kWh,带来经济效益的同时,促进了园区节能减排,能够实现能源的高效梯级利用、低碳循环,符合国家能源发展政策,领先于国际能源利用方式,满足园区发展需求。

基金项目

本文研究获得江苏省研究生实践创新项目“基于多能互补的综合能源利用技术及建模仿真研究,SJ CX20_0440”、企业横向项目“基于多能互补的综合能源利用技术,科技开发19-037”资助。

参考文献

- [1] 刘振亚. 构建全球能源互联网推动能源与环境协调发展[J]. 中国电力企业管理, 2014(12): 14-17.
- [2] 白建华, 辛颂旭, 刘俊, 等. 中国实现高比例可再生能源发展路径研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3699-3705.
- [3] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015: 200-204.
- [4] 李阳, 曹华珍, 吴亚雄, 等. 考虑能源互联网耦合特性的智慧工业园区协同规划研究[J]. 智慧电力, 2018, 46(12): 15-22.
- [5] 郭创新, 王惠如, 张伊宁, 何宇斌. 面向区域能源互联网的“源-网-荷”协同规划综述[J]. 电网技术, 2019, 43(09): 3071-3080.
- [6] 吴志力, 杨卫红, 原凯, 等. 园区能源互联网多能源协同优化配置发展构想[J]. 中国电力, 2018, 51(08): 99-105.
- [7] 程林, 张靖, 黄仁乐, 等. 基于多能互补的综合能源系统多场景规划案例分析[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(6): 282-287.
- [8] 刘振亚. 智能电网承载第三次工业革命[J]. 国家电网, 2014(1): 30-35.