

浅谈光储充微电网系统在工业园区的应用

摘要：

以满足将来电网消纳规模化可再生能源的需求出发，研究适合工商业园区推广应用的光储充微电网系统关键技术。首先论述园区光储充微电网的必要性，然后搭建了园区光储充微电网的系统架构，以及各系统通信方式的说明。研究园区光储充微电网的顺序控制策略，包括并网模式和离网模式以及并离网切换技术。*后在园区光储充微电网的经济性，从直接体现和间接体现进行建模分析和论述。

关键词：园区光储充微电网，顺序控制、并离网切换、经济性

0引言

大力发展可再生能源已成为全球性的能源战略，微电网技术是提高可再生能源发电灵活性和可控性的有效途径，但微电网的技术复杂性和经济性一直制约其规模化推广使用。并且随着可再生能源的规模化发展，我国大电网存在着越来越严重的安全性和可靠性问题，目前微电网技术应用主要还是国家相关示范工程，技术商业应用尚未清晰，行业还处于系统关键技术研究阶段。文献[4]提出自适应下垂控制策略，有利于储能与负荷功率自动分配，但源荷功率易受母线电压影响而频繁切换。文献[5]采用电压滞环控制，但会造成控制延时导致并离网误切换事故发生。文献[6]采用分层协调控制策略，各单元变流器可依次对模型电压进行自动调节，但受到母线电压波动影响。文献[7]对农村地区多能源互补发电微电网进行研究，分析了微电网孤岛和并网两种运行方式的调度策略，但并未考虑微电网的经济性运行。文献[8]利用储能削峰填谷，使光储微电网系统的运行成本*低，但未能利用分布式光伏及负荷来实现*大化降低运行成本。本文从园区光储充微电网的必要性开始论述，搭建了园区光储充微电网的系统架构，以及各系统通信方式的说明。研究了园区光储充微电网的顺序控制策略，包括并网模式和离网模式以及并离网切换技术。从直接体现和间接体现进行建模分析和论述了园区光储充微电网的经济性。

1园区光储充微电网的必要性

随着近几年光伏及充电桩迅速发展，城市电气化的不断深入，规模化的光伏电站及充电站对城市电网的冲击尤为突出[9]。利用光储充微电网进行功率调整对区域性配电网显得越来越重要，本文针对工业园区光储充微电网进行分析，具体如下。

- 1) 光伏电站角度。当前很多公司建设光伏电站，却并未考虑到光伏电站对电网产生的影响，并且自给率很低。大规模应用对电网的稳定性产生较大冲击，使得国网公司对光伏并入电网进行一定的限制。
- 2) 充电站角度。充电站易出现集中性额定功率充电，产生用电高峰，对电网造成一定的波动，可通过增配储能来进行有效地。
- 3) 配电网角度。由于城市初期配电线路的容量规划并未考虑大规模充电桩的建设，充电桩对电网产生的负荷压力，使得变压器及配网线路不得不进行改造。故可增加储能及光伏使得充电站在用电高峰从电网侧需求功率大大减少，实现线路上的负荷平移，符合电网初期建设投入及稳定性。而且对于计划或非计划（包括突发灾害）而导致的停电，储能也可提供一定的后备保障，提高电网的健壮性。
- 4) 经济角度。园区用电和充电站的峰谷用电量及峰谷电价差距大。可通过园区加入储能，建设园区光储微电网来实现峰谷填移。投资者只需几年便可收回成本，取得收益。而且随着国家对储能补贴的制定及光伏平价上网，建设园区光储微电网的经济性更为明显。
- 5) 综合需求角度。随着近几年光伏、新能源汽车和储能的迅猛发展，各工业园都会选择在本园区投资建设光伏、充电桩亦或储能。但建设光伏、充电桩和储能的厂家大都是孤立的，没有进行各系统功率的协调。本系统解决的就是综合各系统功能，可自由组合，充分发挥光伏电站、充电站和储能的功能，能取得良好的经济效益和社会效益。

2园区光储充微电网系统

2.1园区光储充微电网系统架构

由于工业园区和充电站的占地面积比较大，无须考虑占地问题，是建设光储充微电网系统的良好条件。

本系统接入示意图如图1所示。采用三相交流母线的方式，将各光伏子系统、储能子系统及充电桩通过交流母线联络在一起，并于电网侧并网接入。微电网监控装置可对微电网进行实时的监测与控制，主要包括监测配电网功率和电能质量，对光伏电站数据采集和必要时的功率限制，通过对储能电站充放电控制进行峰谷填移，实现良好的经济效益，对充电站的数据采集并进行功率分配。而云平台管理则可通过微电网监控装置获取的信息进行数据存储、预测分析和优化调度，并且可对微电网监控装置的下发命令，实时控制各子系统。园区光储充微电网接入示意图如图1所示。

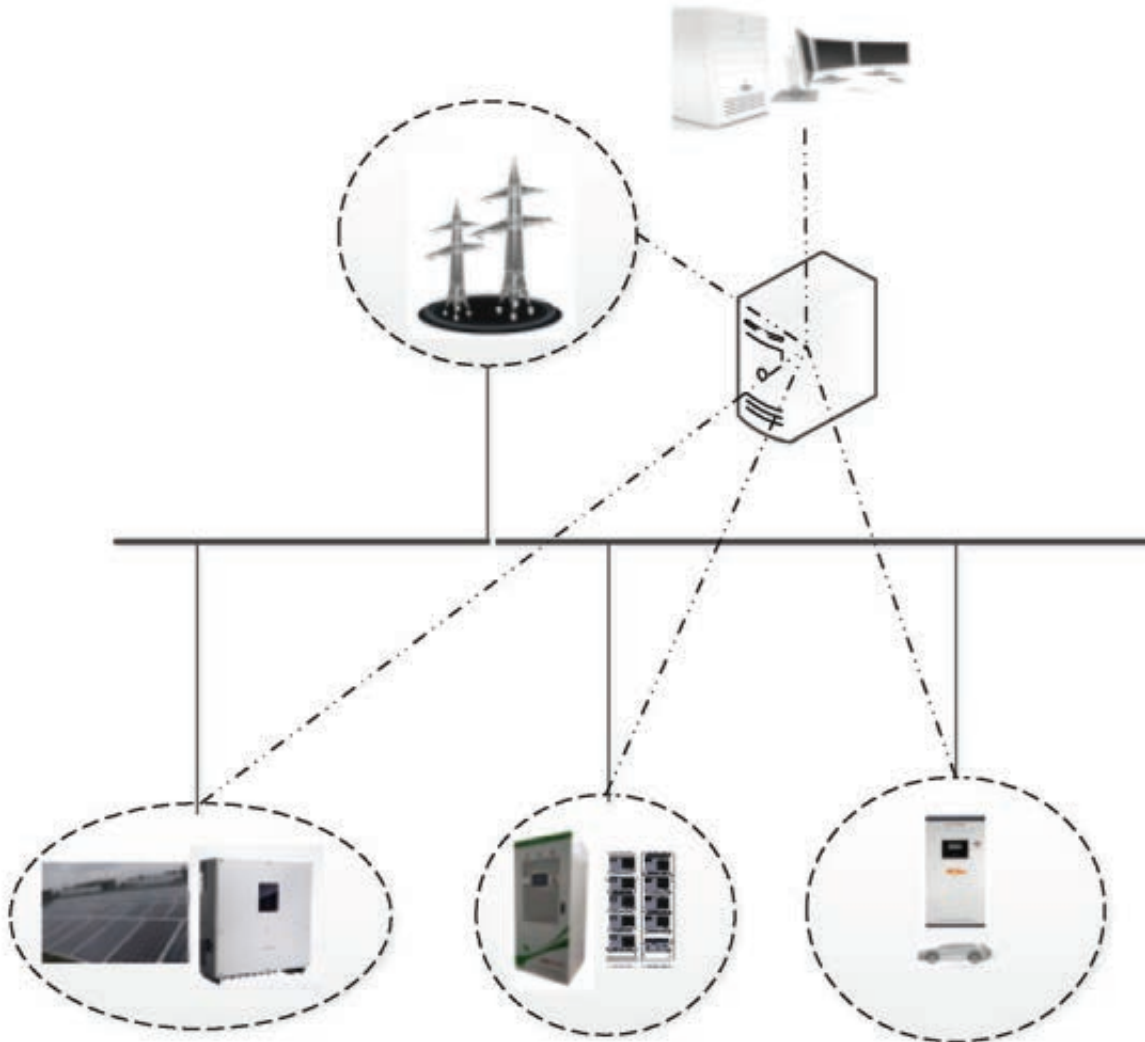


图1园区光储充微电网接入示意图

2.2通信方式

考虑建设成本及方便可靠性，云平台管理系统和微电网监控装置宜采用无线通信方式，可采用目前配用电通用的DL/T634.5104通信协议。而微电网监控装置对各子系统的实时监测与控制，则需要针对不同子系统来选择不同的通信方式。譬如对光伏电站，可通过RS485通信方式，采用光伏逆变器标准的Modbus通信协议。对于储能电站，可通过CAN通信方式，采用BMS和PCS通用的CAN2.0B协议。针对充电站，宜采用以太网通信或无线通信方式。

3园区光储充微电网控制技术

本系统分为两种模式：并网模式和离网模式。在并网模式下，云平台通过获取次日天气数据和光伏功率历史数据，预测出次日光伏功率曲线。并且云平台通过充电站的功率历史数据，预测出次日充电站的功率曲线。根据预测的次日光伏和充电站功率曲线，以及峰谷时间段，云平台经过优化分析，计算出次日*优的储能电站出力功率曲线。云平台下发调度曲线给微电网监控装置，由微电网监控装置对各子系统实时控制。当夏天光伏发电功率过大，微电网监控装置通过云平台下发的调度指令对光伏电站进行限功率运行。而当充电站在用电高峰用电过大，可对光伏电站*大功率运行，对储能电站进行放电，也可调节充电站的用电功率。这些方式都可用来平衡联络线功率。该光储充微电网从而保

证了电网电能质量和稳定性。

当电网由于自然灾害或者发电侧不能满足用电侧时，只好切断园区负荷用电，这时此园区光储充微电网进行离网模式下运行，为园区正常供电。

存在并网模式和离网模式便会涉及到并离网模式的切换，本系统采用顺序控制。当电网失电或孤岛保护，本系统便从并网模式切换到离网模式，主要包括并网停机，黑启动两个步骤，流程框图如图2所示。首先初始化，然后储能电站、光伏电站和充电站停机，并将并网点开关分闸，*后运行储能电站、充电站和光伏电站。通过调节充电站、储能电站和光伏电站功率进行平衡联络线功率。

当电网来电后，系统会由离网模式自动切换到并网模式，主要包括离网停机、并网启动两个步骤，流程框图如图3所示。首先初始化，然后储能电站、光伏电站和充电站停机，并将并网点合闸，*后运行充电站、光伏电站和储能电站。通过微电网监控装置获取云平台调度指令，对充电站、光伏电站和储能电站进行功率调节，获得各子系统*优的功率配置。

通过云平台管理系统和微电网监控装置的信息交互，可群管群控充电站、光伏电站和储能电站。

并且储能电站和光伏电站直接与充电站联络，能够解决充电站集中大功率充电所带来的馈线容量问题。同时有利于光伏电站的自发自用，就地消纳。储能电站不仅能进行削峰填谷，而且为用户提供用电的后备保障。

4园区微电网光储充微电网经济性分析

建设光储充微电网相比较各独立系统的经济性主要可分为直接体现和间接体现。

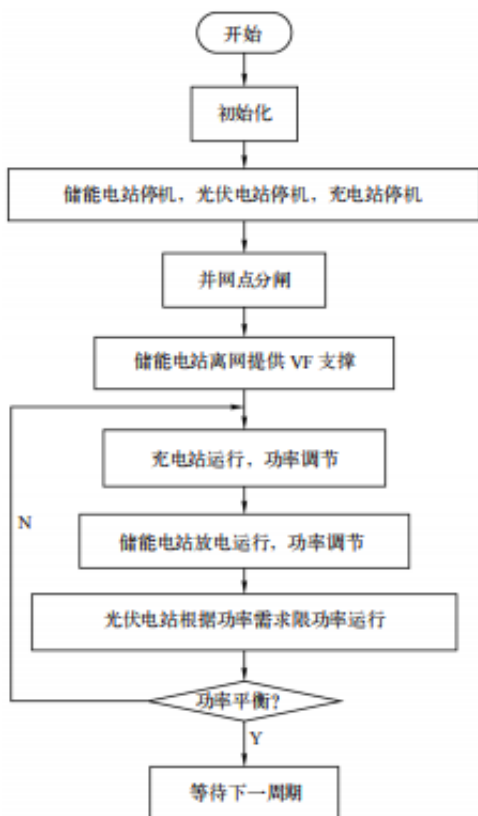


图2并网模式切换到离网模式流程框图

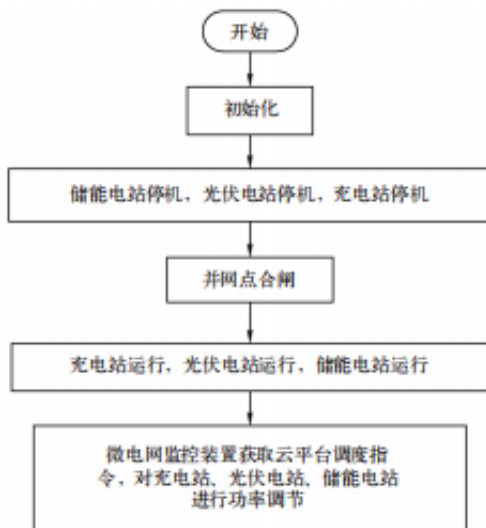


图3离网模式切换到并网模式流程图

(1) 直接体现

相对于独立的光伏系统，还有光储充微电网可以就地消纳，自发自用，通过买卖电成本差价的原理带来光伏收益*大化，其中光伏在此微电网1kW·h电带来的收益如EPVN公式（1）所示（由于光伏系统建设成本都是必要的，在此公式不考虑初期投资建设成本）。

$$E_{PVN} = E_{SUB} + E_{SELL} \quad (1)$$

式中，ESUB为1kW·h电量在光伏电站中补贴收益，不同区域补贴收益不同；ESELL为1kW·h电量在光伏电站中售电收益。

售电收益包括卖给电网的收益，自发自用的收益两部分，计算如公式（2）所示。

$$E_{SELL} = E_{USE} + E_{ONLINE} \quad (2)$$

式中，ESUB为园区光伏每发1kW·h电自发自用部分的收益，计算如式（3）所示。

$$E_{USE} = S_{USE} \times K_{USE} \quad (3)$$

式中，EONLIN为园区光伏每发1度电余电上网部分的收益，计算如式（4）所示。

$$E_{ONLINE} = S_{ONLINE} \times (1 - K_{USE}) \quad (4)$$

式中，EUSE为1kW·h电量在该时段的综合峰谷平电价；KUSE为自发自用的电量在光伏每发1kW·h电的占比；SONLIN为光伏卖给电网的电价。

储能电站主要通过峰谷差价实现经济化收益，其中储能在此微电网1kW·h电带来的收益计算公式为

$$E_{ESN} = (1 - K_{LOSS}) \times S_{TOU} - C_{EQ} \quad (5)$$

式中，KLOSS为1kW·h电在园区微电网储能电站中的损耗。STOU为峰谷差价；CEQ为1kW·h电在园区微电网储能电站中的成本，计算如式（6）所示。

$$C_{EQ} = C_{BAT} / N_{CYCLE} \quad (6)$$

式中，CBAT为电池1kW·h电成本，元；NCYCLE为电池的总循环充电次数。

(2) 间接体现

在此园区光储充微电网中储能电站主要间接经济体现在一方面是在提供后备保障性用电，同时通过和光伏电站的配合，有效利用停电时光伏不能离网发电的问题。一方面在光伏电站发电高峰时期，过多电量流入电网，可通过储能电站充电将多余电量尽量存储下来。在夜间光伏不可发电的用电高峰时，再通过储能电站放电实现储能更经济运行。另一方面在园区短时用电高峰，可通过储能电站大功率放电，减少园区需量超标而增加用电需量成本。在此园区光储充微电网中充电站主要间接经济体现在于可通过动态调节负荷，和其他电站配合，提高光伏电站发电利用率，充分利用储能电站峰谷时段差价，实现*优经济运行。在配电网层面，可有效降低配电网馈线建设和升级改造成本，通过云平台智能管理调度也可实现变压器和馈线的零升级，并且有效降低网损。

5安科瑞微电网能量管理系统

Acrel-2000MG微电网能量管理系统能够对微电网的源、网、荷、储能系统、充电负荷进行实时监控、诊断告警、全景分析、有序管理和控制，满足微电网运行监视化、安全分析智能化、调整控制前瞻化、全景分析动态化的需求，完成不同目标下光储充资源之间的灵活互动与经济优化运行，实现能源效益、经济效益和环境效益*大化。

5.1主要功能

- 实时监控；
- 能耗分析；
- 智能预测；
- 协调控制；
- 经济调度；
- 需求响应。

5.2系统特点

- 平滑功率输出，提升绿电使用率；
- 削峰填谷、谷电利用，提高经济性；
- 降低充电设备对局部电网的冲击；
- 降低站内配电变压器容量；
- 实现源荷*高匹配。

5.3相关控制策略

序号	系统组成	运行模式	控制逻辑

1	市电+负荷+储能	峰谷套利	根据分时电价，设置晚上低价时段充电、白天高价时段放电，根据峰谷价差进行套利

		以下，降低需量电费
2	需求控制	根据出现需量的容量设置值且 判断储能的使用寿命时，使得通 过控制量保持在设定容量值 部分的功率需求，

		、在电网出现用电低谷时进
		行充电；
5	需抑波动	根据电网调度需求变化在电
		网出现用电高峰时进行充电
		变化率大于某个设定值，进
		行放电，主要用于降低电网
		冲击

6		备用	当电网出现故障时，启动储能系统，对重要负荷进行供电，保证生产用电
7	市电+负荷+光伏	自发自用、余电上网	光伏发电优先供自己负荷使用，多余的电进行上网，不足的由市电补充

			一个防逆流控制，调节光伏 逆变器的功率输出，让变压 器的输出功率接近为0
8		自发自用	主要针对光伏多发时，存在

即：

1) 当分布式电源输出功率大

于负载功率时，不能完全被

负载消耗时，增加负载或储

能系统充电。

			2) 当分布式电源输出功率小 于负载功率时，不够负载消 耗时，减少负载（或者调节 充电功率）或者储能系统对 负载放电。
9	市电+负荷+光伏+储能	自发自用	通过设置PCC点的功率值，

于峰值时，储能系统放电，

以此来降低负荷高峰；当电

网功率小于谷值时，储能系

统充电，以此来填补负荷低

谷，使发电、用电趋于平衡

。

2)根据分布式电源发电规律

，设置峰值和谷值，当电网

功率大于峰值时，储能系统

充电，以此来降低发电高峰

；当电网功率小于谷值时，

储能系统放电，以此来填补

发电低谷，使发电、用电趋

		于平衡。
10	削峰填谷	在光储系统用电侧使用的时候，根据系统的峰值和谷值负荷率来设定设置的需量功率，则控制储能系统出力，平抑超出需量部分的功率，增加系统的经济性。

12	动态扩容	对于出现高负荷时，优先利 用光储系统对负荷进行供电 ，保证变压器不超载

页面 17 / 37

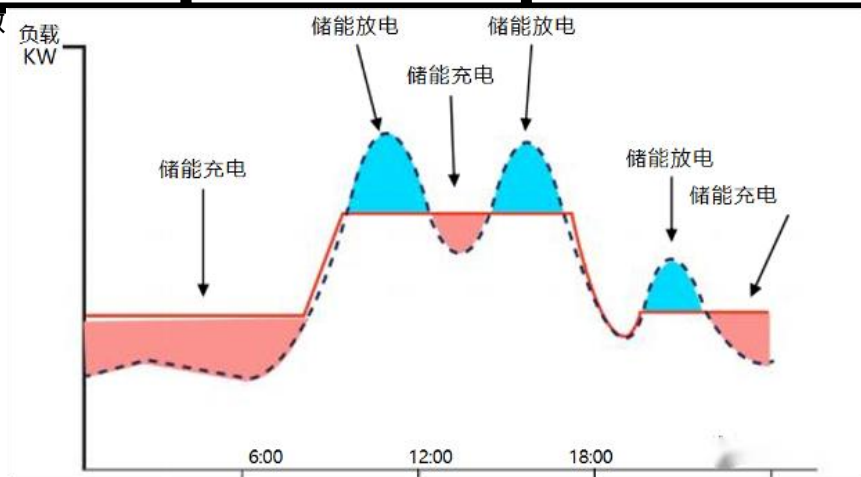
切除部分充电桩（改变充电行为），对于充电桩的切除按照后充先切，先来后切的方式进行有序的充电。（有些是以充电时间与充电功率为控制变量，以充电费用或者峰谷差*小为目标）

15	经济优化调度	对发电用进行预测，结合分 时电价，以用电成本*少为目 标进行策略制定

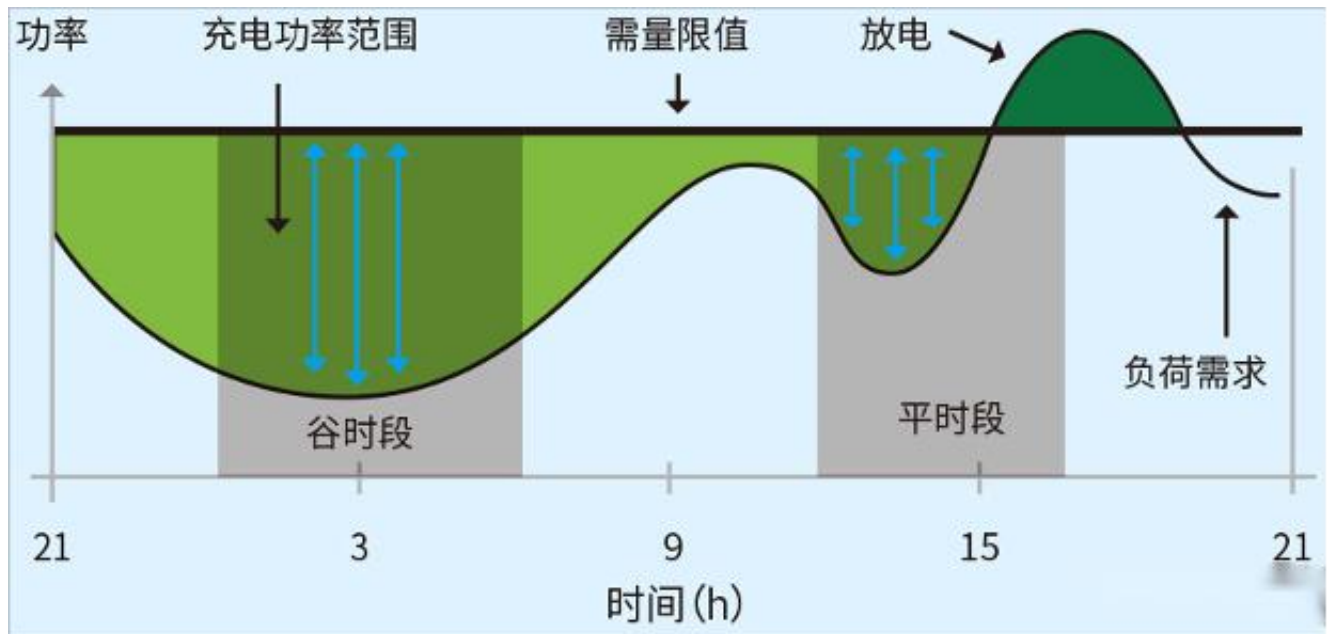
			冲击
16	弃拥波制	根据负荷应用困难率控制储能	
		能充放电调节无功功率输出	
		变化率大于某个设定值，进	
		行放电，主要用于降低电网	

			DOD充放，系统按照正常调
			度策略运行
19	电池健康策略	基期电池进行温度控制多	D深充深放的储能系统下

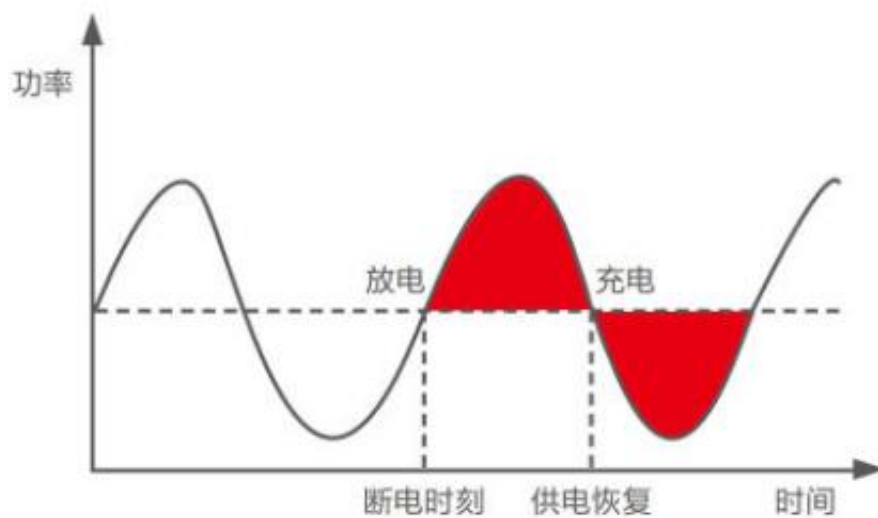
削峰填谷：配合储能设备、低充高放



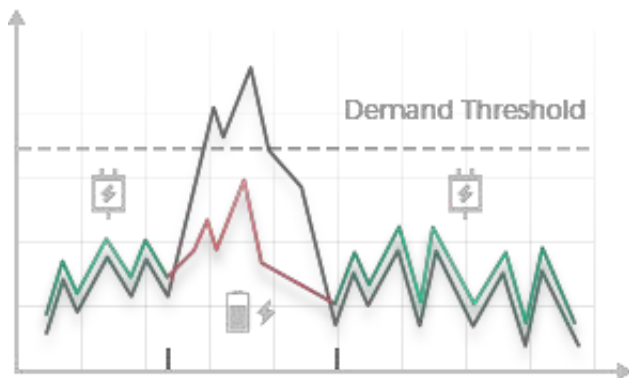
需量控制：能量储存、充放电功率跟踪



备用电源



柔性扩容：短期用电功率大于变压器容量时，储能放电，满足负载用能要求



5.4核心功能

1) 多种协议

支持多种规约协议，包括：ModbusTCP/RTU、DL/T645-07/97、IEC60870-5-101/103/104、MQTT、CDT、第三方协议定制等。

2) 多种通讯方式

支持多种通信方式：串口、网口、WIFI、4G。

3) 通信管理

提供通信通道配置、通信参数设定、通信运行监视和管理等。提供规约调试的工具，可监视收发原码、报文解析、通道状态等。

4) 智能策略

系统支持自定义控制策略，如削峰填谷、需量控制、动态扩容、后备电源、平抑波动、有序充电、逆功率保护等策略，保障用户的经济性与安全性。

5) 全量监控

覆盖传统EMS盲区，可接入多种协议和不同厂家设备实现统一监制，实现环境、安防、消防、视频监控、电能质量、计量、继电保护等多系统和设备的全量接入。

5.5系统功能

系统主界面，包含微电网光伏、风电、储能、充电桩及总体负荷情况，体现系统主接线图、光伏信息、风电信息、储能信息、充电桩信息、告警信息、收益、环境等。



储能监控



系统综合数据：电参量数据、充放电电量数据、节能减排数据；

运行模式：峰谷模式、计划曲线、需量控制等；

统计电量、收益等数据；

储能系统功率曲线、充放电电量对比图，实时掌握储能系统的整体运行水平。

光伏监控



光伏系统总出力情况

逆变器直流侧、交流侧运行状态监测及报警

逆变器及电站发电量统计及分析

并网柜电力监测及发电量统计

电站发电量年有效利用小时数统计，识别低效发电电站；

发电收益统计(补贴收益、并网收益)

辐照度/风力/环境温湿度监测

并网电能质量监测及分析

光伏预测



以海量发电和环境数据为根源，以高精度数值气象预报为基础，采用多维度同构异质BP、LSTM神经网络光功率预测方法。

时间分辨率：15min

超短期未来4h预测精度 > 90%

短期未来72h预测精度 > 80%

短期光伏功率预测

超短期光伏功率预测

数值天气预报管理

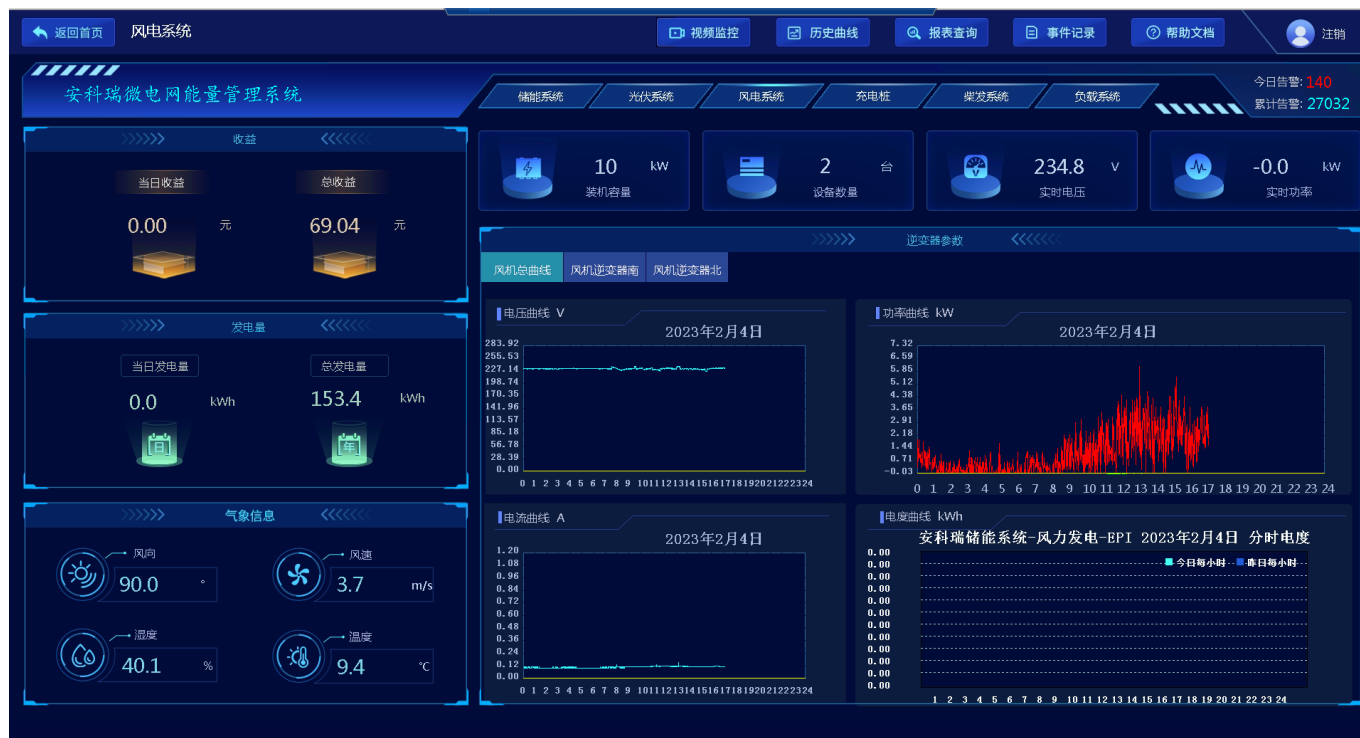
误差统计计算

实时数据管理

历史数据管理

光伏功率预测数据人机界面

风电监控



风力发电系统总出力情况

逆变器直流侧、交流侧运行状态监测及报警

逆变器及电站发电量统计及分析

并网柜电力监测及发电量统计

电站发电量年有效利用小时数统计，识别低效发电电站；

发电收益统计(补贴收益、并网收益)

风力/风速/气压/环境温湿度监测

并网电能质量监测及分析

充电桩系统



实时监测充电系统的充电电压、电流、功率及各充电桩运行状态；

统计各充电桩充电量、电费等；

针对异常信息进行故障告警；

根据用电负荷柔性调节充电功率。

电能质量



对整个系统范围内的电能质量和电能可靠性状况进行持续性的监测。如电压谐波、电压闪变、电压不平衡等稳态数据和电压暂升/暂降、电压中断暂态数据进行监测分析及录波展示，并对电压、电流瞬变进行监测。

5.6设备选型

序号	名称	图片	型号	功能说明	使用场景
1	微机保护装置		AM6、AM5SE	110kv及以下电压等 级线路、主变、电 动机、电容器、母 联等回路保护、测 控装置	110kV、35kV、10k V

	装置		样/电压闪变监测/	V、0.4kV
2	电能质量在线监测		APView500	集谐波分析/不平衡/三相不平衡/电压暂降/暂升/短时中断等暂态监测、事件记录、测量控制等功能为一体，满足A级电能

					质量评估标准，能
					够满足110kv及以下
					供电系统电能质量
					监测的要求
3	防孤岛保护装置		AM5SE-IS	防止分布式电源并	110kV、35kV、10k
				网发电系统非计划	V、0.4kV
				持续孤岛运行的继	

电保护措施，防止

电网出现孤岛效应

。装置具有低电压

保护、过电压保护

、高频保护、低频

保护、逆功率保护

、检同期、有压合

				闸等保护功能	
4	多功能仪表		APM520	全电力参数测量、 复费率电能计量、 四象限电能计量、 谐波分析以及电能 监测和考核管理。	并网柜、进线柜、 母联柜以及重要回 路

				接口功能：带有RS	
				485/MODBUS协议	
5	多功能仪表		AEM96	具有全电量测量， 谐波畸变率、分时 电能统计，开关量 输入输出，模拟量 输入输出。	主要用于电能计量 和监测

6	电动汽车充电桩		AEV200-DC60S	输出功率160/120/80	充电桩运营和充电
				/60kW直流充电桩	控制
			AEV200-DC80D	，满足充电的需要	
			AEV200-DC120S		
			AEV200-DC160S		

7	输入输出模块		ARTU100-KJ8	可采集8路开关量信号，提供8路继电器输出	信号采集和控制输出
8	智能网关		ANet-2E4SM	边缘计算网关，嵌入式linux系统，网络通讯方式具有Socket方式，支持XML	电能、环境等数据采集、转换和逻辑判断

格式压缩上传，提

供AES加密及MD5

身份认证等安全需

求，支持断点续传

，支持Modbus、M

odbusTCP、DL/T64

5-1997、DL/T645-2

007、101、103、10

4协议

6结束语

本文针对园区光储充微电网系统进行研究，分析了其必要性，研究了园区光储充微电网系统架构，通信技术，提出了一种并离网模式及切换的方案，基于此方案提出了顺序控制策略。*后分析园区光储充微电网的经济性，为将来园区光储充微电网商业化发展提供技术基础。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/news/229478.html>