

# 园区能源互联网 综合能量管理平台

张建华

日期：2016年5月10日



华北电力大学

# 1 能源互联网概述

---

1.1 能源互联网研究背景

1.2 园区能源互联网

1.3 能源互联网商业模式和服务业态

## 2 园区能源互联网综合能量管理系统

2.1 智能信息感知

2.2 智能通信与信息系统

2.3 能量及负荷预测

2.4 多能源优化调度

2.5 需求侧响应

2.6 高级应用服务

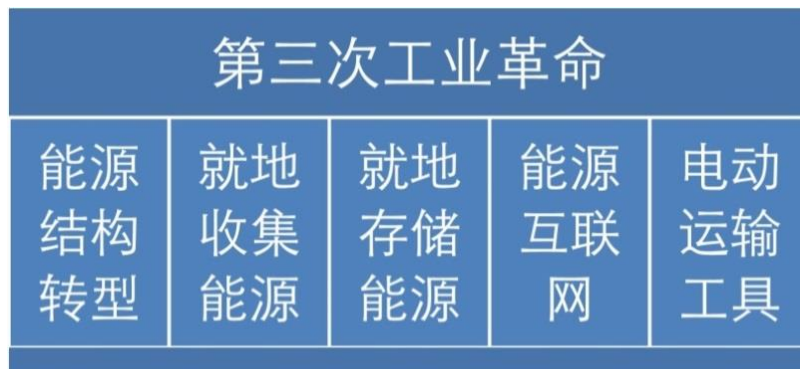
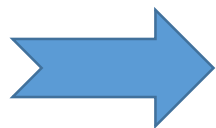
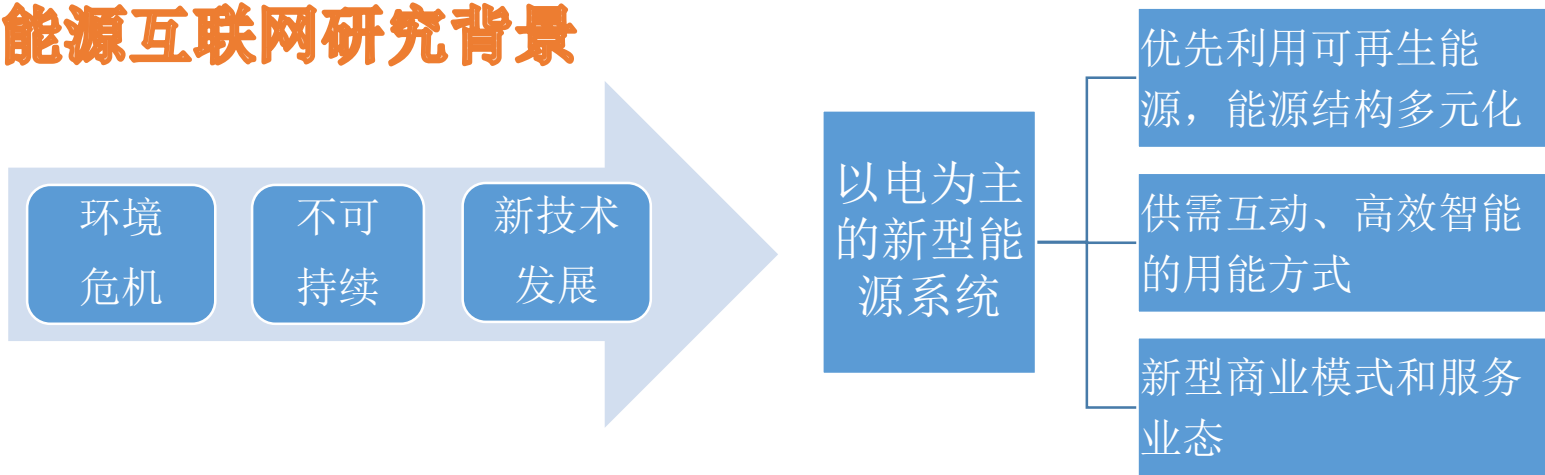
## 3 研究基础及关键创新点

3.1 研究基础与成果

3.2 关键创新点

# 1 能源互联网

## 1.1 能源互联网研究背景

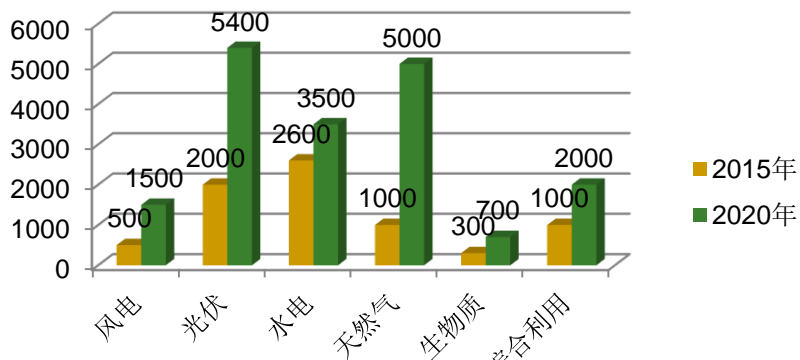


习近平主席在2015年11月巴黎气候大会上提出到2030年国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%-65%，非化石能源占一次能源消费比重达到20%的能源自主行动目标。

建设新一代能源系统是践行能源革命、确保能源安全、应对全球气候变化和兑现政府庄严承诺的重要举措。

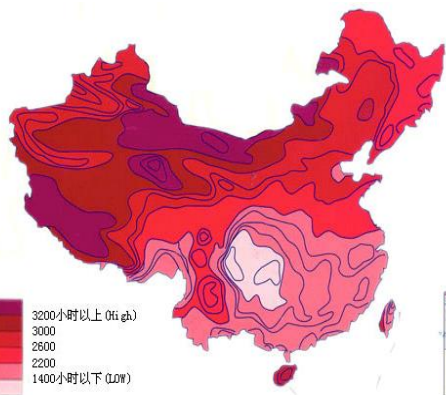
# 节能减排任务艰巨，环境污染治理压力大

## 出路：加快可再生能源建设，提高高效消纳比例



2015年：7400万千瓦，2020年：1.8亿千瓦

### 中国分布式电源发展趋势



我国太阳能资源分布图（年日照小时数）

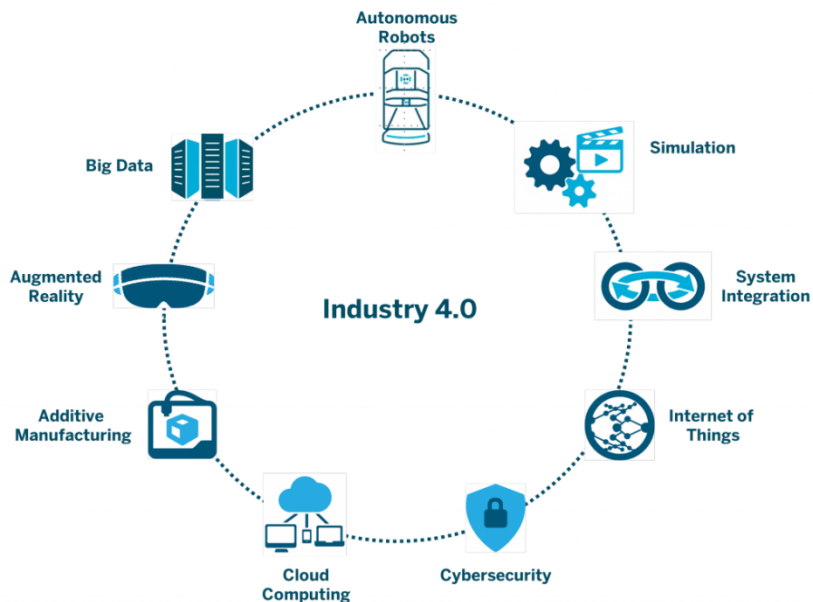


千万千瓦级风电基地



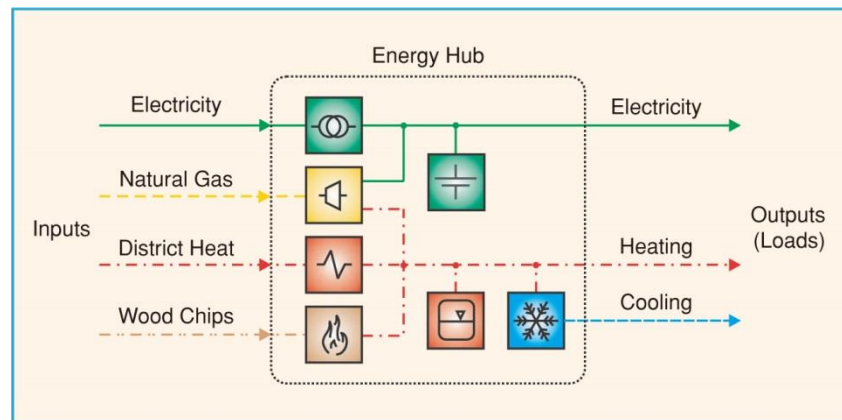


# 1.1 能源互联网研究背景



德国在《高技术战略2020》提出“工业4.0”。综合运用信息物理系统(CPS, Cyber Physical System)将资源、信息、物品和人进行互联,将这种服务模式用于工业领域,促进制造业智能化、网络化发展。其物联网、大数据、云计算、无线传感等关键技术将给能源互联网带来借鉴。

瑞士联邦理工学院开发的能量路由器 (Energy Hub), 由集线器的概念引申而来, 起到能源的转换、传递、存储等功能。  
“Energy Hub”上的端口分为输入和输出两种, 输入侧一部分为从配网流入Hub的电量及其它能源形式, 输出侧一部分为供给各种负荷(电、热、冷、气)用的不同形式的能量。



# 1.1 能源互联网研究背景

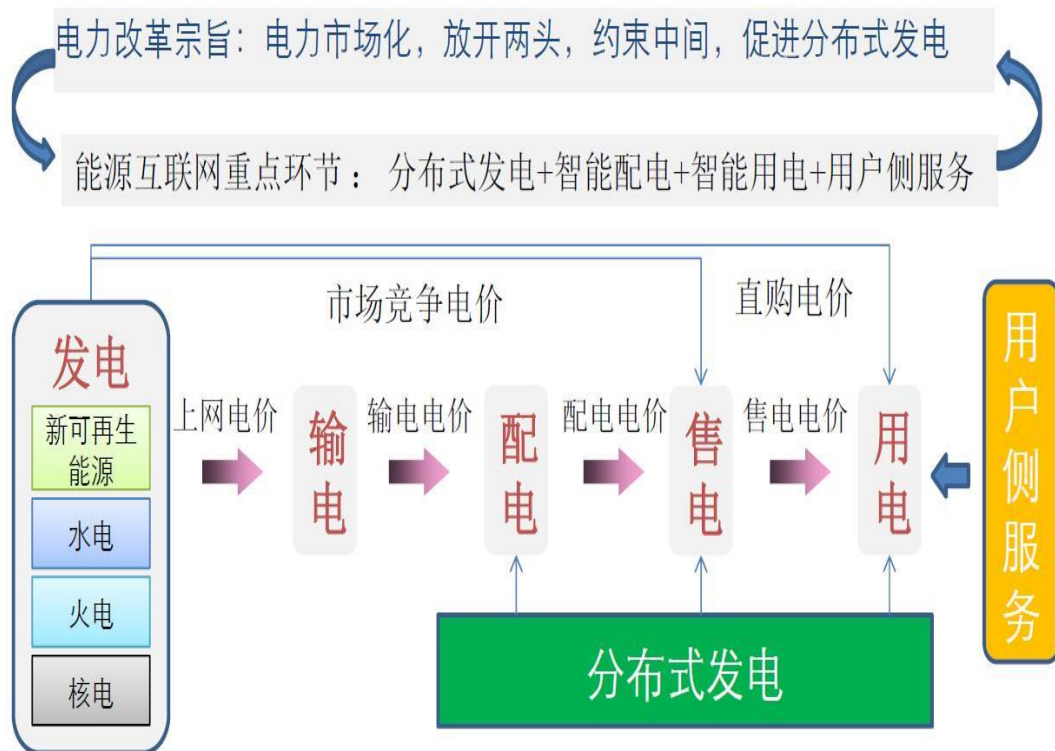
能源互联网是以电力系统为核心与纽带，构建的多种类型能源的互联网络，利用互联网思维与技术改造能源行业，实现横向多能互补，纵向源网荷储协调，能源与信息高度融合的新型（生态化）能源体系。

—2015年11月武汉，中国电机工程学会电力系统专委会

与传统能源系统比较，能源互联网主要特征为：

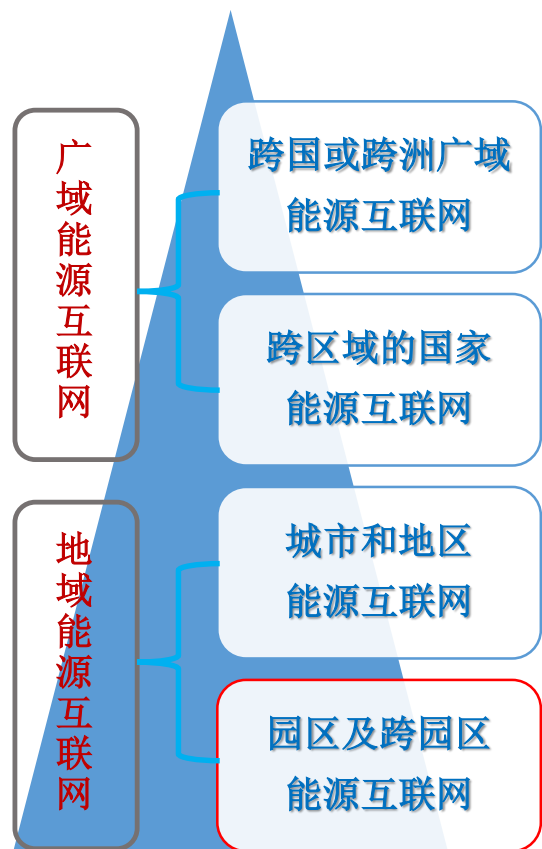
- (1) 实现可再生能源优先利用、因地制宜的多元能源结构；
- (2) 集中分布并举、相互协同的可靠能源生产和供应模式；
- (3) 各类能源综合利用，供需互动、节能高效的用能方式；
- (4) 与互联网技术广泛融合，面向社会的平台性、商业性和定制性的用户服务。

现有的能源互联网研究理论和成果，为发展和构建未来新一代能源系统、转变能源利用模式、持续满足能源用户需求提供了新的方法和思路。



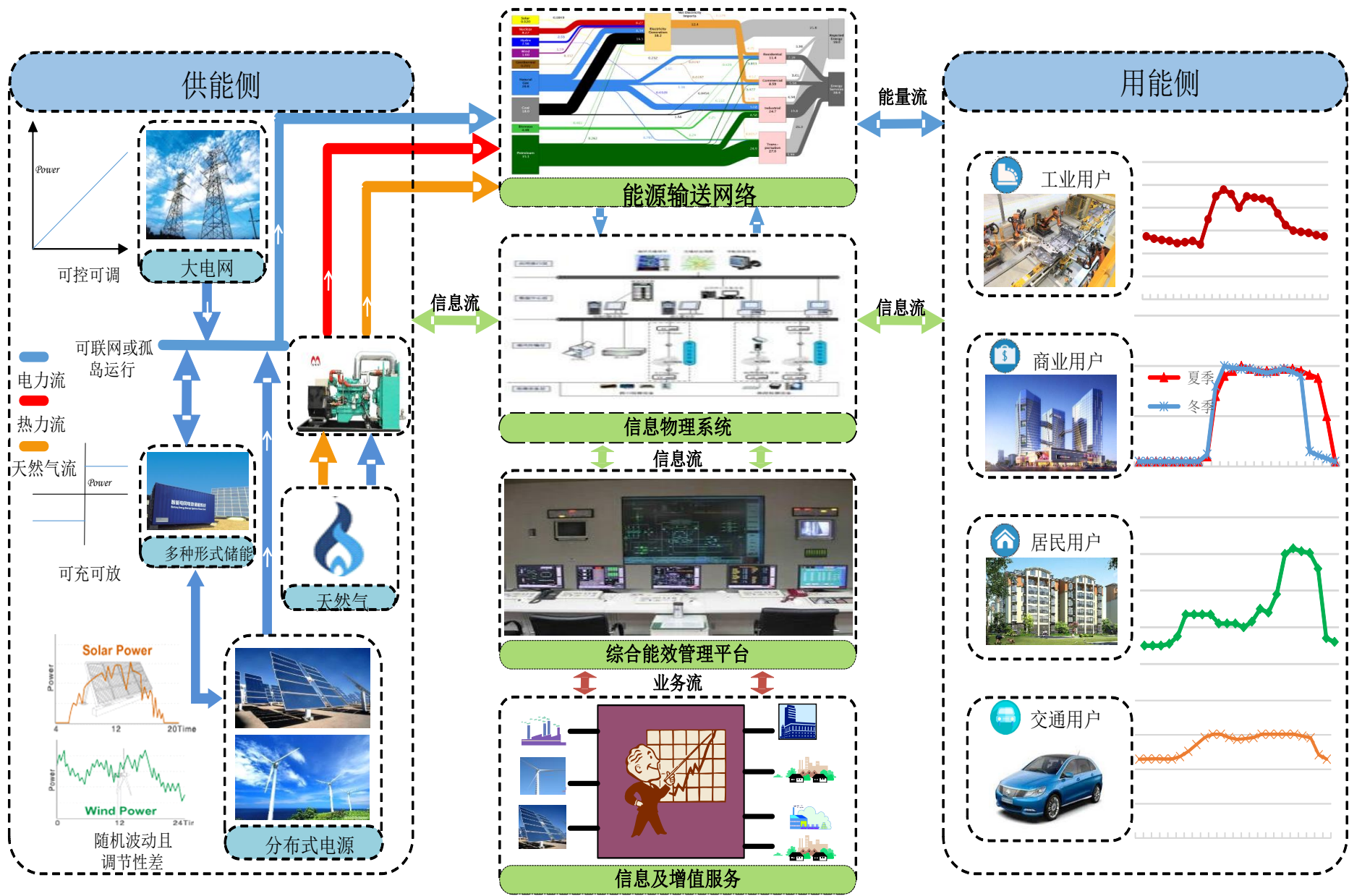
## 1.2 园区能源互联网

### 能源互联网按能源区域划分



**广域型能源互联网：**以跨国、跨区域高压骨干电网为核心与纽带，以大规模输送可再生能源为主要目的，可以实现跨国、跨洲或全国跨区域的大型能源基地的可再生能源生产、传输及交易，具有广域资源优化配置和需求调节能力，是解决可持续能源供应的重要手段。

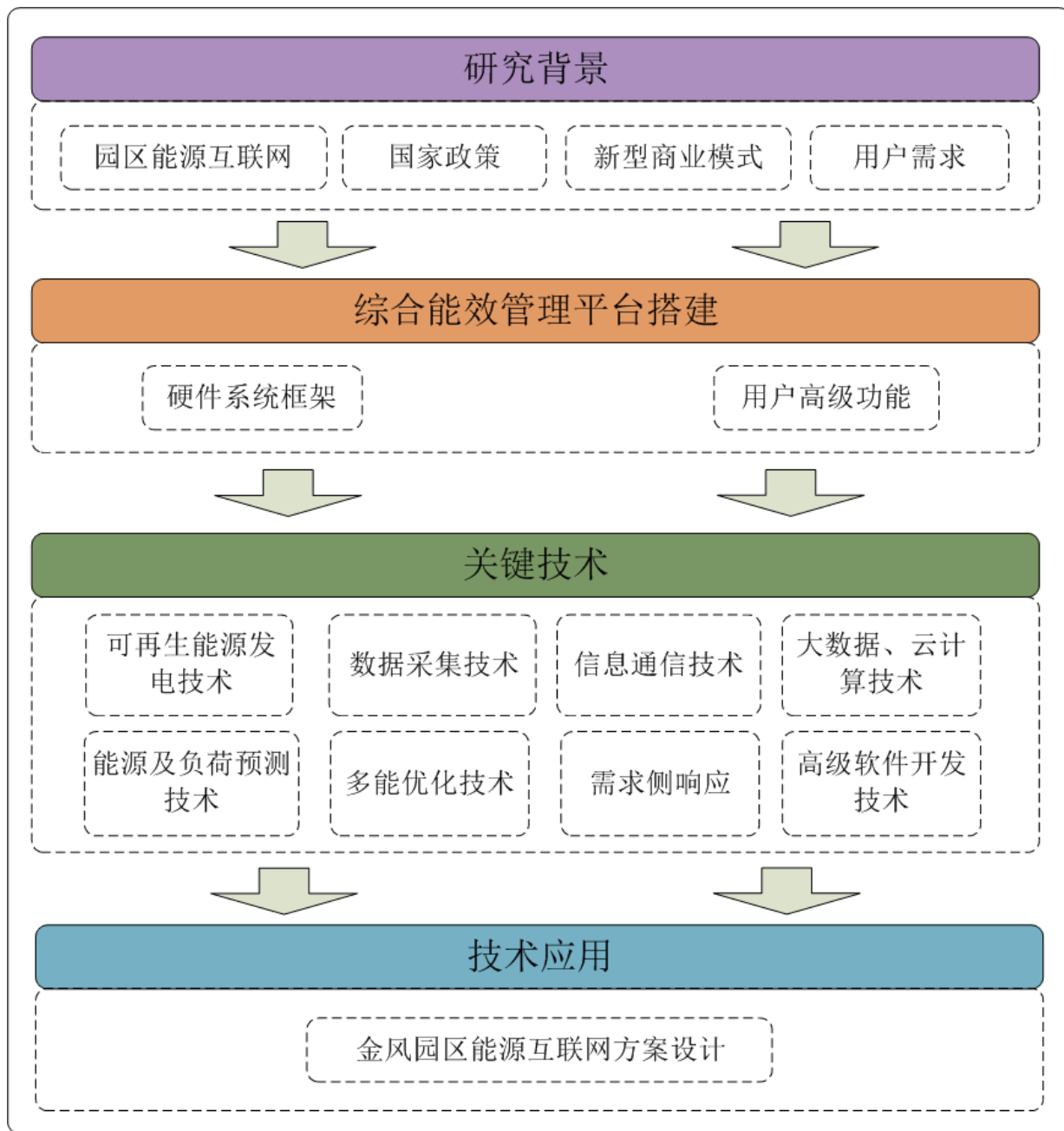
**地域型能源互联网：**以园区或跨园区配电网为核心与纽带，以高效消纳可再生能源为主要目的，由供电电源、分布式能源、储能元件、负荷等构成的微能源网。利用互联网思维及可再生能源技术、智能微电网技术、先进信息通讯技术，构建的多种类型能源高效利用和多元化主体参与的地域性能源互联网络。



园区能源互联网是由系统供能端、分布式能源、储能元件、能源配送网络、多种负荷等构成的微能源网。具有可利用多种可再生能源，拥有多元化的分散储能元件，用户侧负荷资源主动参与需求响应，各种负荷灵活可控；电力网、热力网、天然气网、信息通信网紧密耦合等特点。

对电网侧，园区能源互联网可实现主动电源支撑、移峰填谷、改善电能质量以及提供调压调频等辅助服务；对用户侧，可提供个性化、便捷化的综合能源利用、能源节约等服务。

# 园区能源互联网整体技术路线概述



# 1.3 园区能源互联网商业模式和服务业态

## 能源互联网时代的业态模式特点

### 消费者



- 碎片化
- 个性化
- 在线化
- 去中心化
- 社群化
- 去中介化

### 生产者

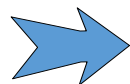


- 个性化定制
- 就地生产

### 组织结构



- 层级式
- 扁平式
- 合作性



## 商业模式创新

### 客户价值主张创新



- 促进节能增效
- 提高资产利效率
- 提高系统运行效益

### 关键资源创新



- 数据驱动服务
- 提供数据资源

### 盈利模式创新



- 产品销售
- 服务销售
- 信息交付

### 关键流程创新



- 能源期货
- 能源点评
- 能源托管

# 1 能源互联网概述

1.1 能源互联网研究背景

1.2 园区能源互联网

1.3 能源互联网商业模式和服务业态

## 2 园区能源互联网综合能量管理系统

---

2.1 智能信息感知

2.2 智能通信与信息系统

2.3 能量及负荷预测

2.4 多能源优化调度

2.5 需求侧响应

2.6 高级应用服务

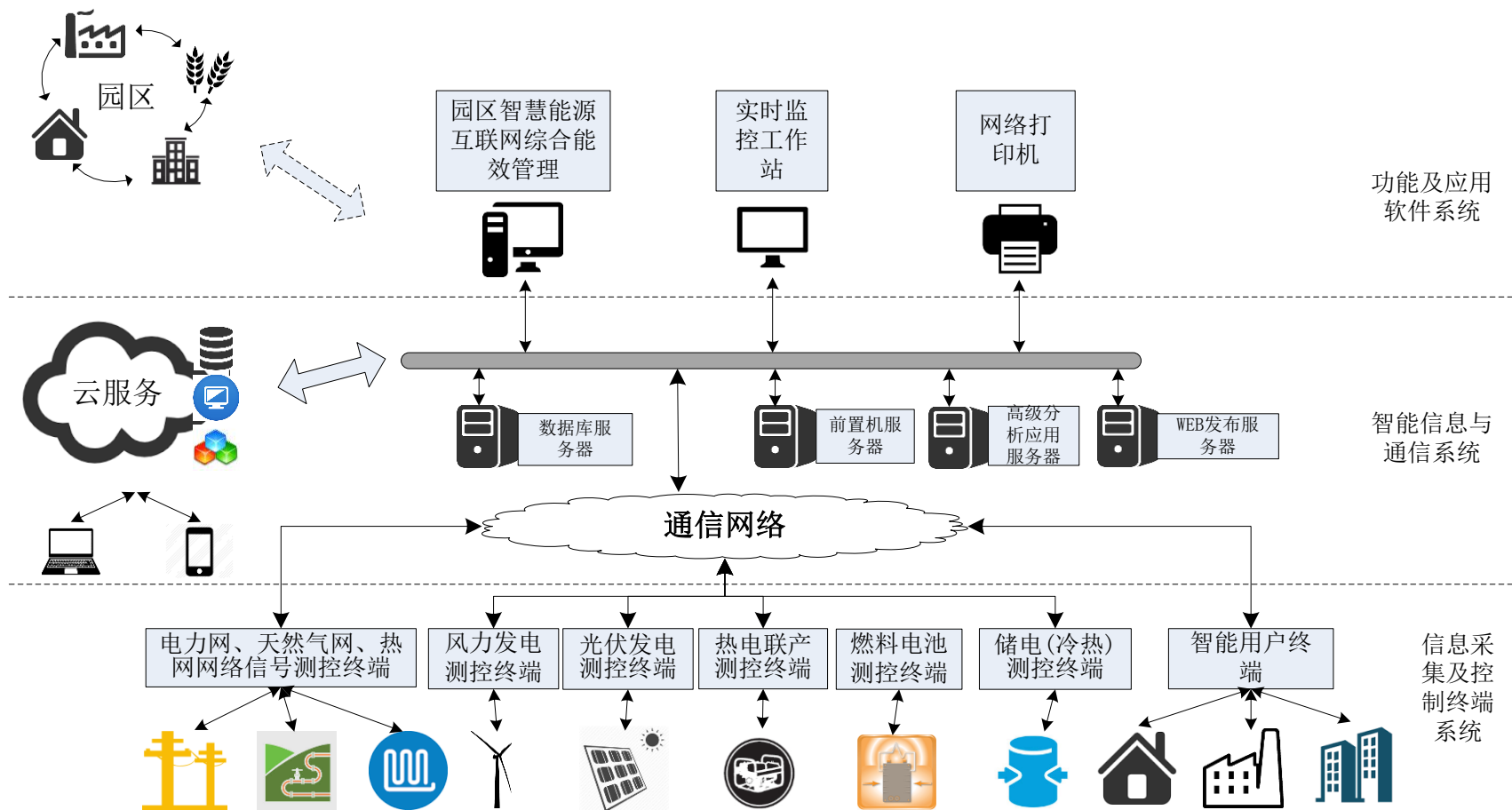
## 3 研究基础及关键创新点

3.1 研究基础与成果

3.2 关键创新点

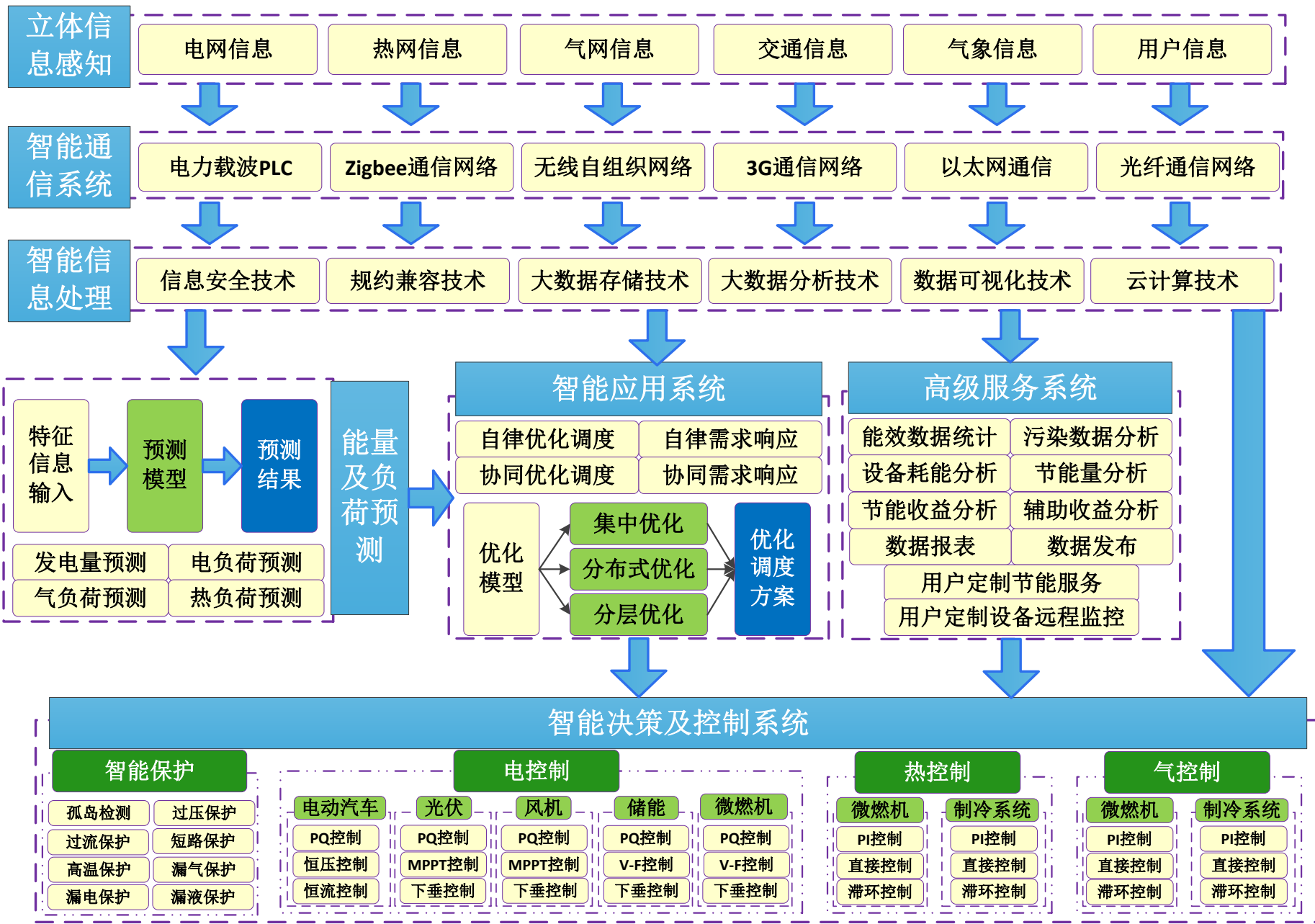
## 2 园区能源互联网综合能量管理平台

综合管控园区内能源端、负荷端的能源流、信息流、业务流，最大限度开发和利用可再生能源、提高能源综合利用效率，以及向用户提供经济最优、安全可靠、方便快捷的能源服务。



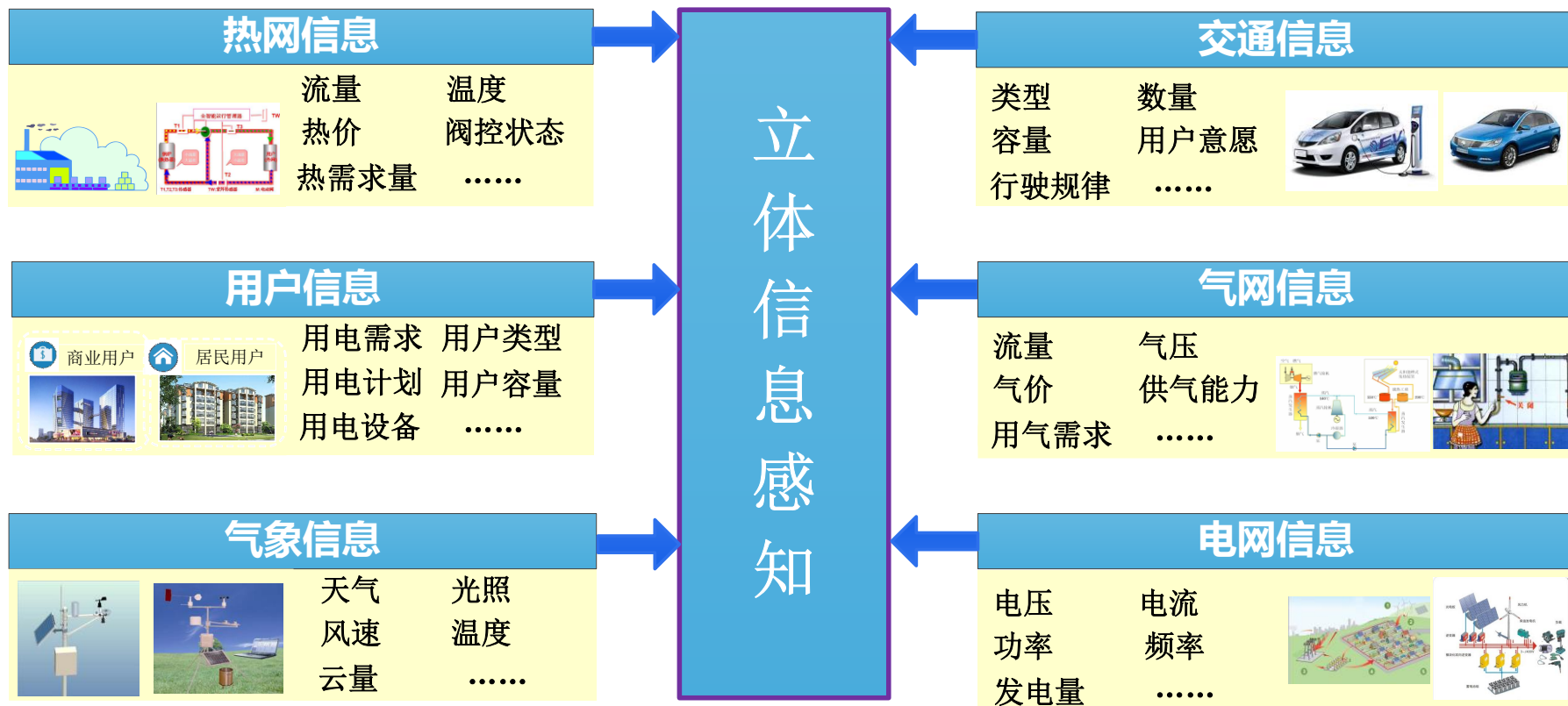
园区智慧能源互联网综合能量管理平台架构图

# 2 园区能源互联网综合能量管理平台



## 2.1 智能信息感知

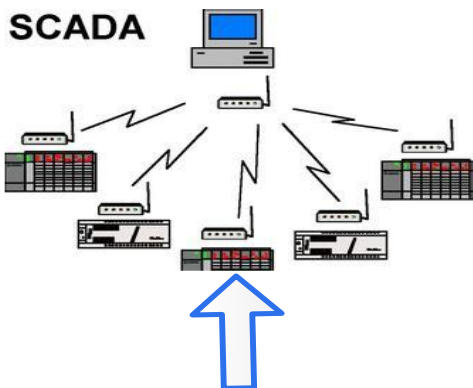
### 能源互联网立体信息感知结构



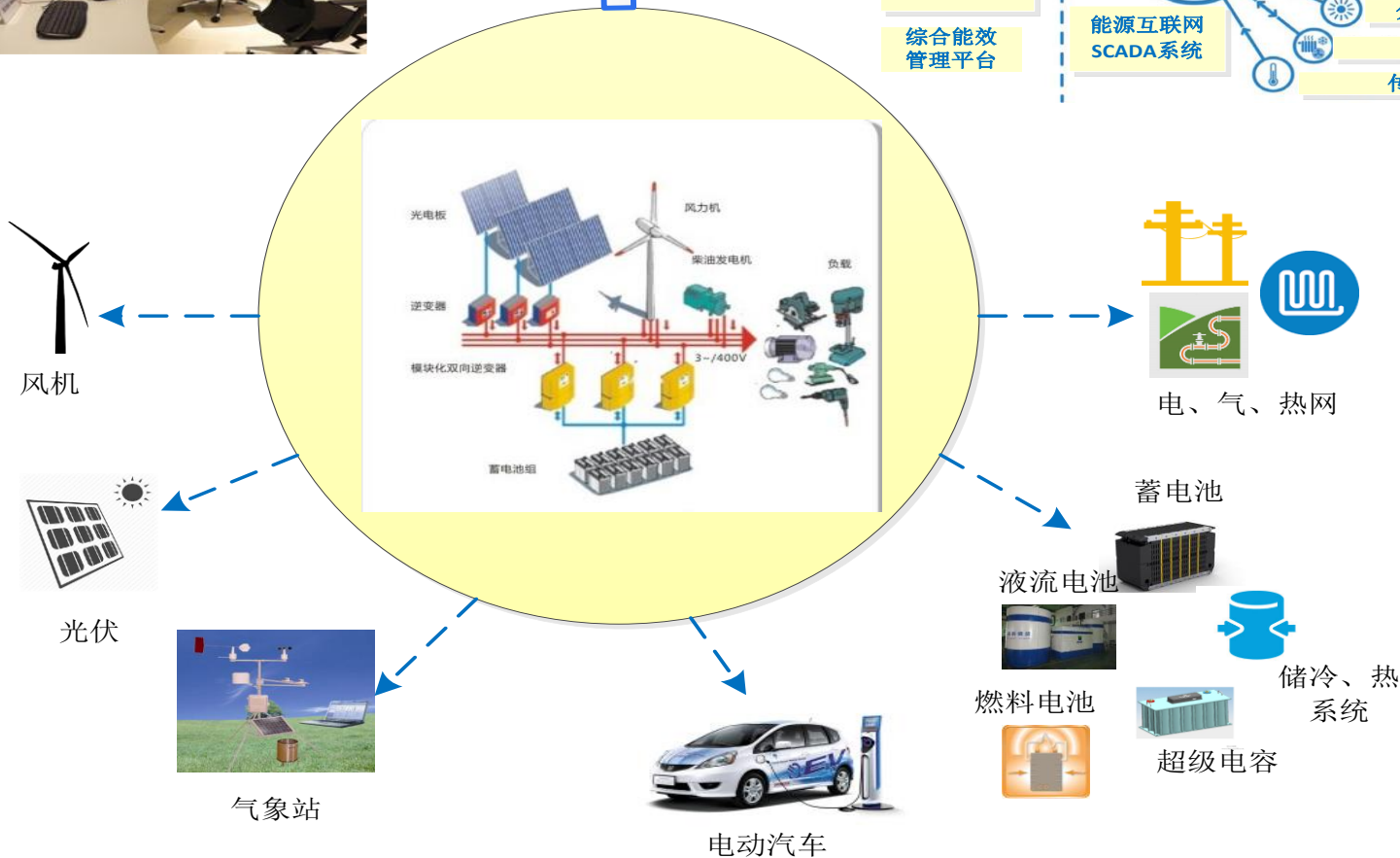
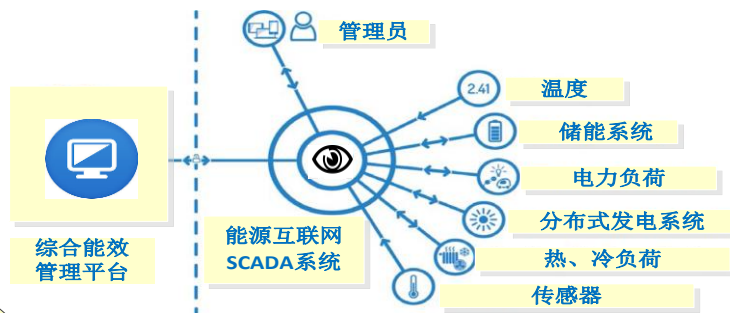
- 1、立体信息感知主要实现对电网、热网、气网、交通、用户和气象甚至生产调度等信息进行全方位监测采集，得到完整的园区数据信息。
- 2、信息感知信息的最终来源主要依靠园区能源互联网中的底层智能传感设备，包括各类智能量测表计、智能传感器以及负责信息汇总的集中器等。

# 2.1 智能信息感知

## SCADA



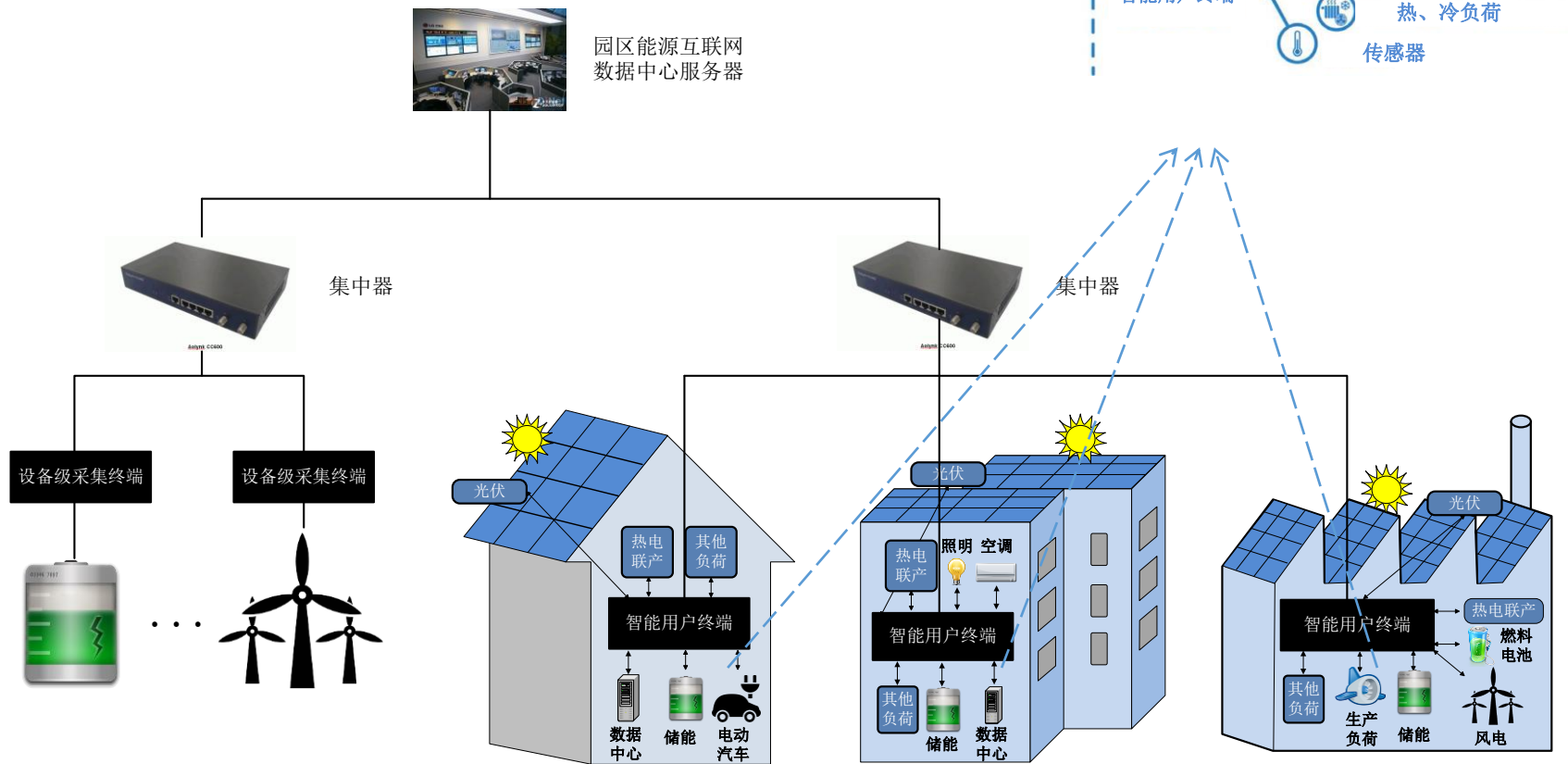
## 供能侧信息感知



供能侧信息感知主要实现园区内供电、供热、供气、交通和供水系统的设备状态信息和控制信息、线路、管道的流量信息和天气信息等进行采集，经过预处理后，通过信息通信网络上传至能源互联网的数据中心或云存储平台，供系统监视、预测和优化等功能模块调用。

## 2.1 智能信息感知

### 用能侧信息感知



用能侧信息主要对园区内电负荷、热负荷、气负荷、生产调度的状态信息、运行信息、线路、管道的流量信息和用户规律信息等进行采集，经过预处理后，通过信息通信网络上传至能源互联网的数据中心或云存储平台，供系统监视、预测和优化等功能模块调用。

## 2.1 数据采集终端

### 数据采集类型



#### 电工量采集模块：

采集电表及各类智能传感器原始数据以及预处理的设备。可以通过远程通信模块响应平台的指令对各采集设备进行实时数据的采集。通信方式：无线公网（GPRS/CDMA/3G）、光纤专网  
本地网络接口：RS485、ZEBBEE/nRF、CANBUS、1-wire



#### 热工量采集模块：

采集热量的传感终端，采用4/8通道“1-wire Bus”模拟量输入模块，可接入0~10V, 4~20mA 标准信号，分辨率为：10位（10mV）



#### 集中器：

采集电表及各类智能传感器原始数据以及预处理的设备。可以通过远程通信模块响应平台的指令对各采集设备进行实时数据的采集，**远程通信方式**：无线公网（GPRS/CDMA/3G）、光纤专网  
本地网络接口：RS485、ZEBBEE/nRF、CANBUS、1-wire



#### 用水RF采集终端：

采用SCJL—TT001型RF采集终端是微功率小无线模块、存储器研制的新型抄表终端。适用于与水表485接口(或M-Bus)通讯,读取仪表存储的仪表数据，可靠存储并可以通过微功率小无线方式上传。



#### 电能质量监测模块：

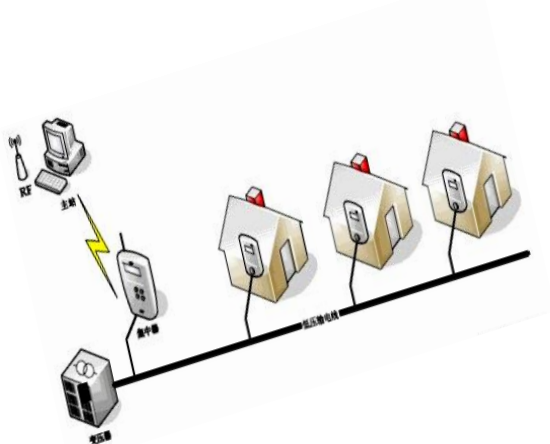
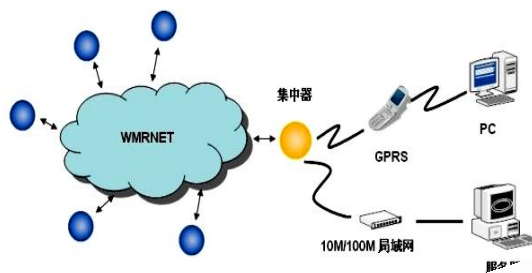
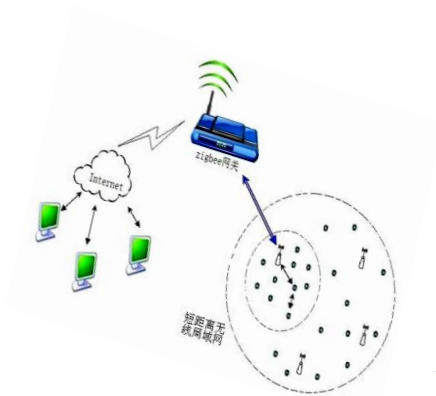
电能质量信息进行采集，包括电压、电流、功率、电量、功率因数、电压电流不平衡度、2~50次谐波、电网频率等数据。能够远方捕捉电网中的畸变量。本地网络接口：RS485、ZEBBEE、CANBUS、nRF



#### 用气GPRS采集终端：

采集用气量的新型抄表终端。适用于与气表485接口（或M-Bus接口）通讯,读取仪表存储的仪表数据，可靠存储并可以通过无线方式上传。终端上行通过无线公网GPRS/CDMA与主站软件通讯;下行可以直接与具备485接口（或M-Bus接口）的燃气仪表直接连接。

# 2.2 智能通信与信息系统



Zigbee通信网络

无线自组织网络

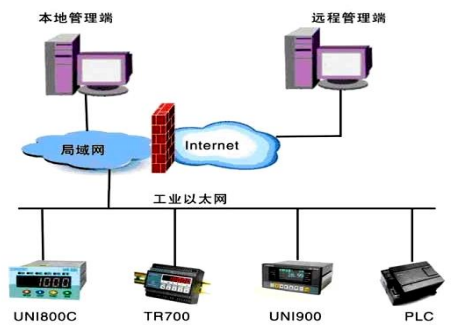
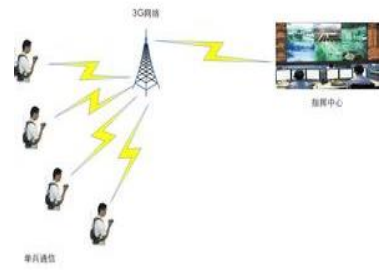
电力载波PLC

通信系统

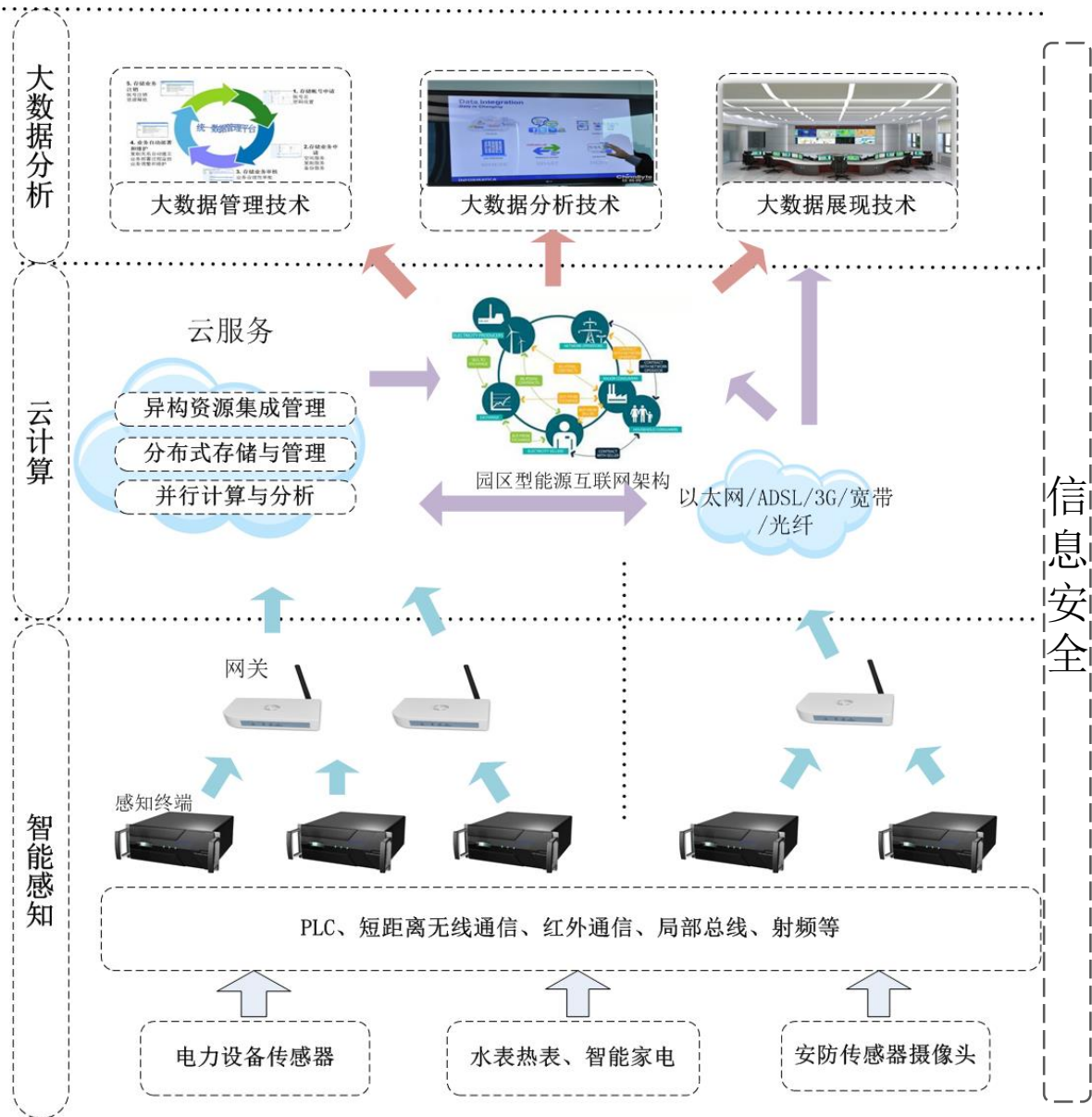
3G通信网络

以太网通信网络

光纤通信网络



## 2.2 智能通信与信息系统



1、除了选择合适的通信方式外，如何实现对大量异构数据的有效处理、高效利用和充分挖掘数据的潜在特征是一大难点

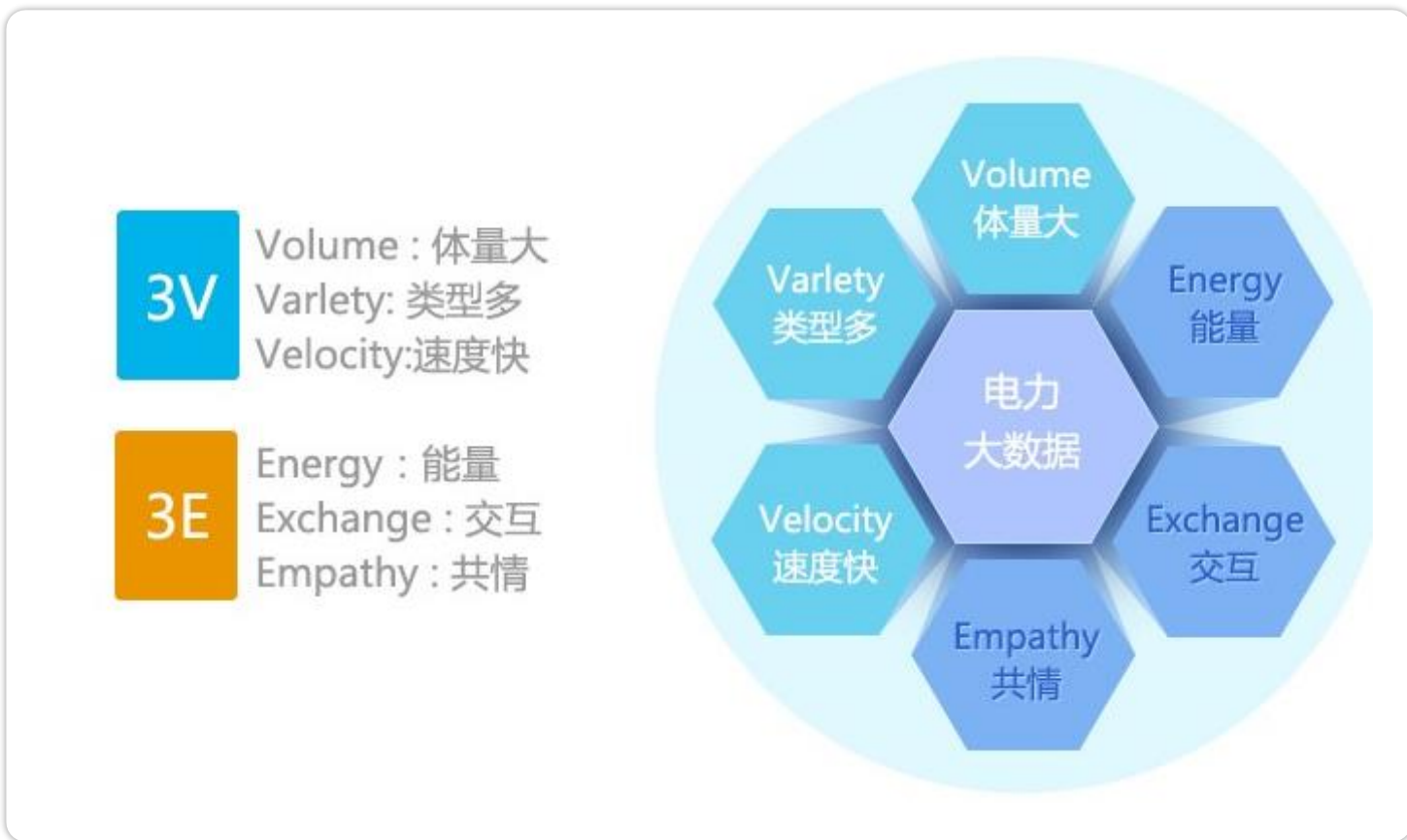
2、应用大数据挖掘分析技术和云计算技术，可以实现数据的深度挖掘和高效利用，为园区能源互联网能量管理平台的上层应用提供安全、全面、可靠的数据服务，以实现能源及负荷预测、多能源优化调度、智能需求响应、分布式电源及电动汽车充电设施监测与运维、节能服务、互动用电、电能交易、新能源配额交易等多种新型业务。

通信方式灵活可选：光纤，射频，GPRS，4G网络等。

通信标准：IEC61850，Modbus。

## 2.2 智能通信与信息系统

### 大数据分析技术



园区能源互联网中的大数据分析技术将管网安全监控、经济运行、能源交易和用户电能计量、燃气计量及分布式电源、电动汽车等新型负荷数据的接入能源互联网管理系统。将大数据分析、大数据处理、大数据存储及管理、大数据展现应用于能源系统管理分析。

## 2.2 智能通信与信息系统

### 云计算



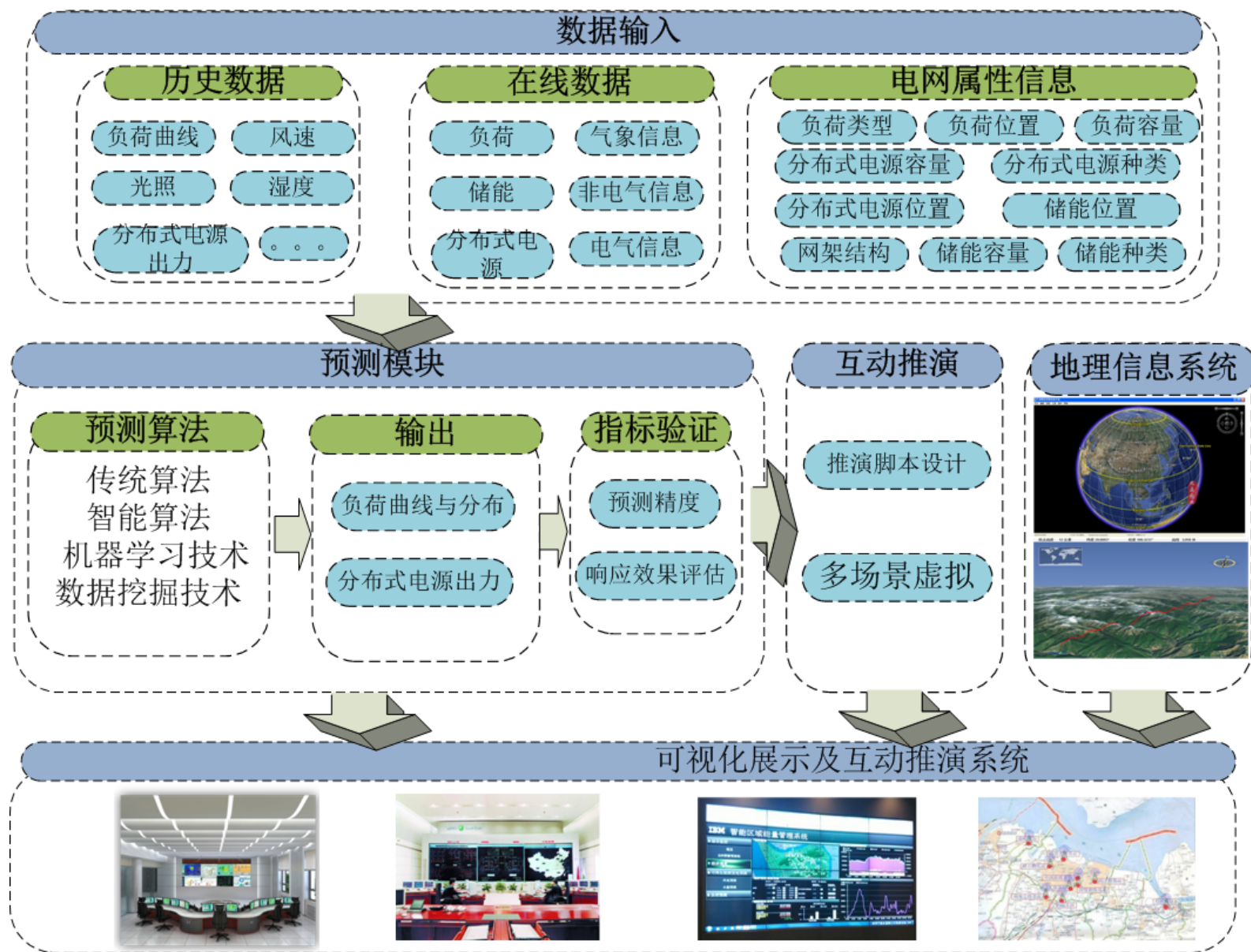
云计算能够通过网络随时随地、按需、便捷地获取计算资源(包括网络、服务器、存储、应用和服务等)并提高其可用性的模式。

在园区型能源互联网中能获得更广泛的应用，它将原本分散的资源聚集起来，再以服务的形式提供给受众，实现集团化运作、集约化发展、精益化管理、标准化建设。

- 1、异构资源的集成与管理；
- 2、海量数据的分布式存储与管理；
- 3、快速的多能源系统并行计算与分析。

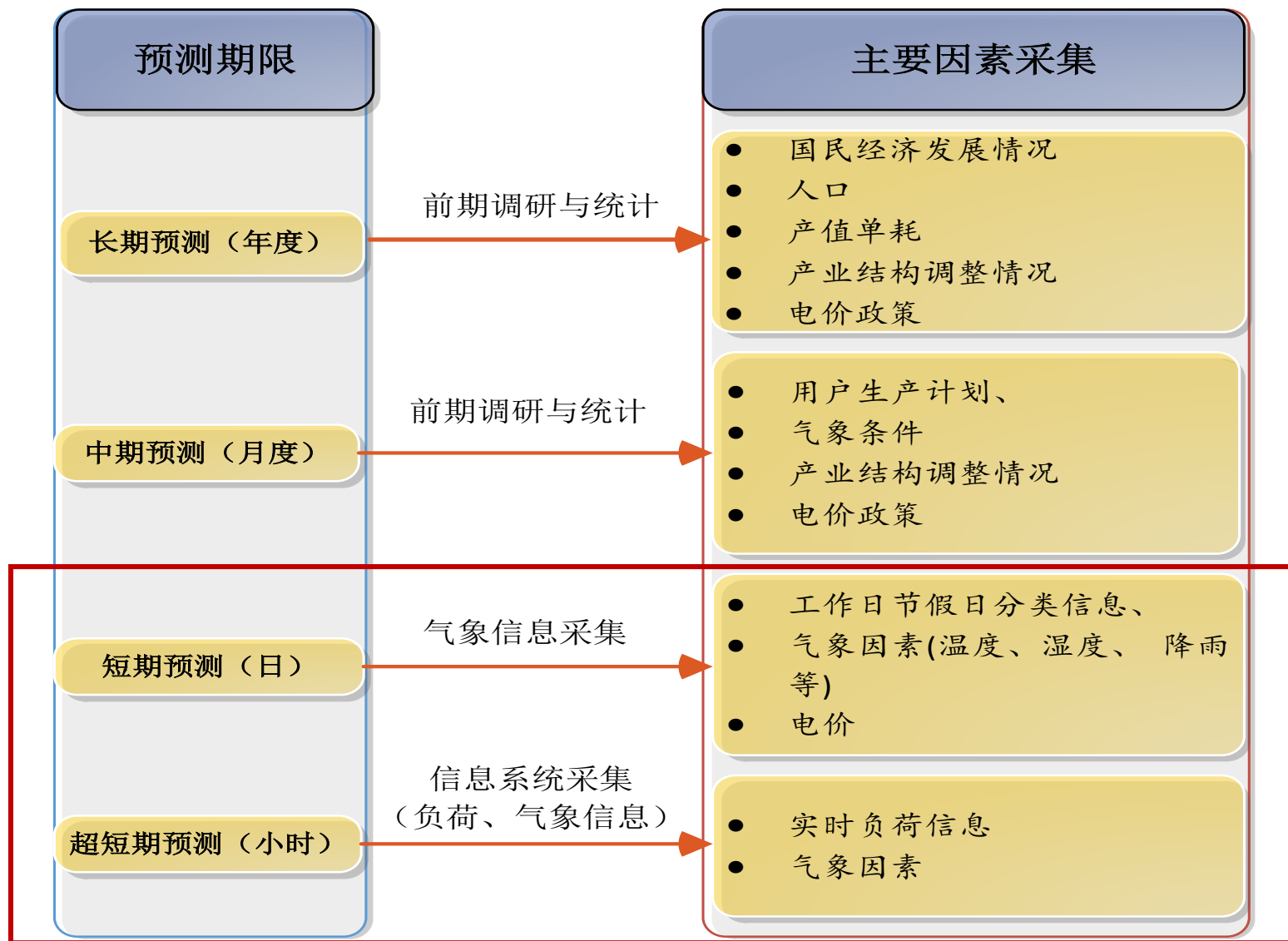
## 2.3 能量及负荷预测

历史数据-预测模型-预测算法-预测结果-预测精度指标验证



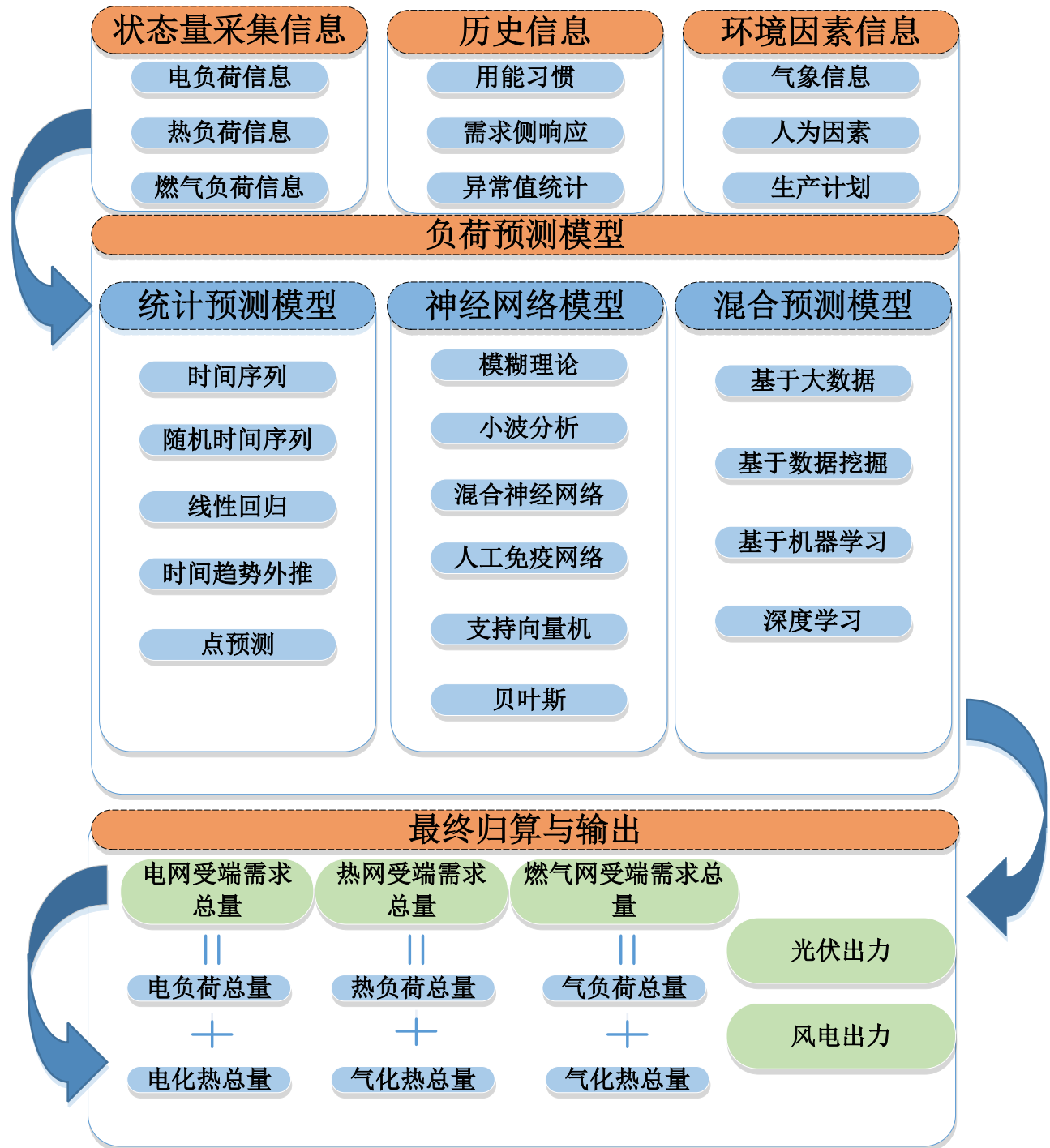
## 2.3 能量及负荷预测

按时间尺度分类预测



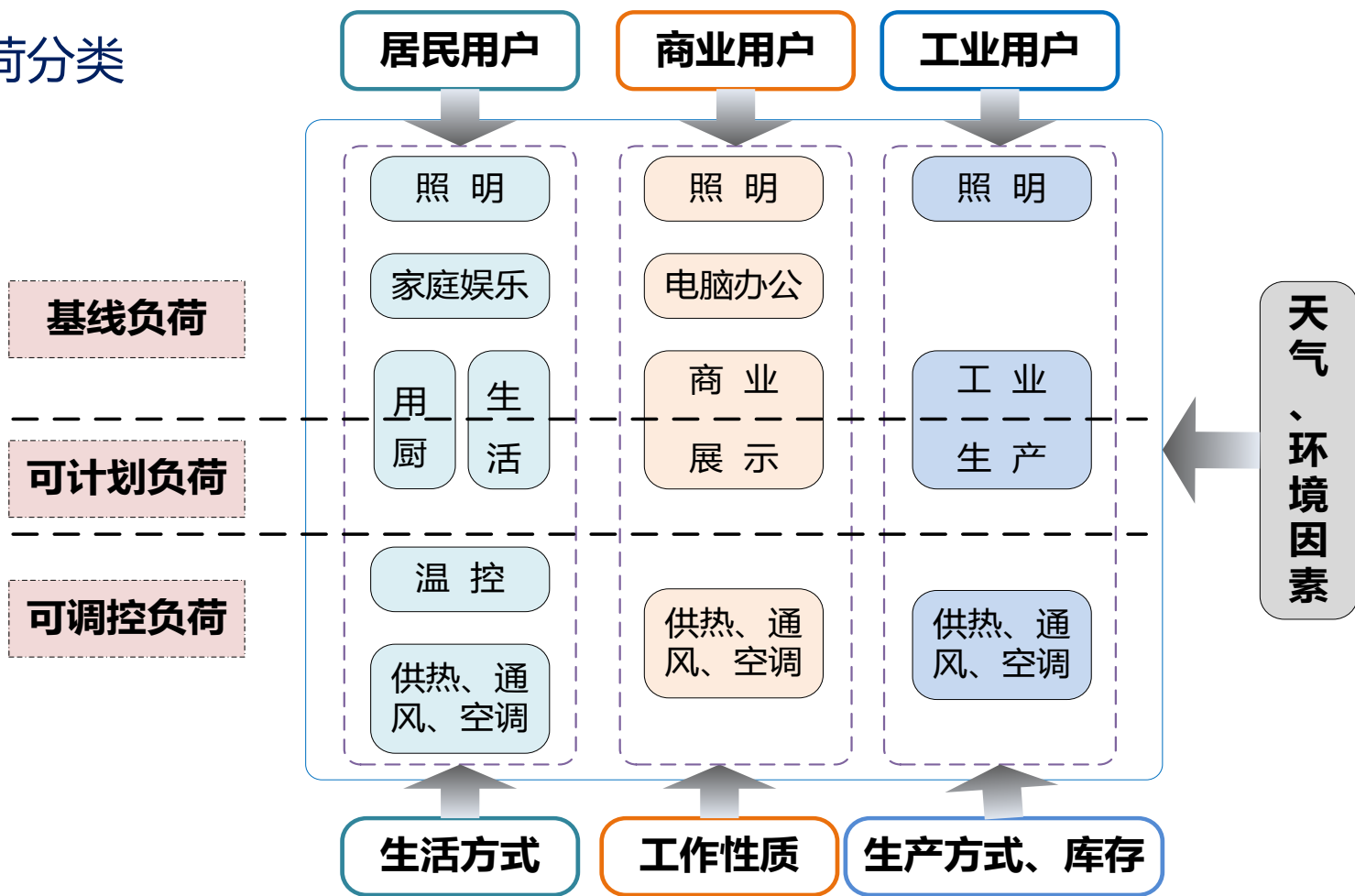
## 2.3 能量及负荷预测

### 预测模型搭建



## 2.3 需求侧响应

### 负荷分类



**基线负荷：**根据生活、工作方式的需求自然发生，具有强制性和随机性，且难以实施调控的负荷；

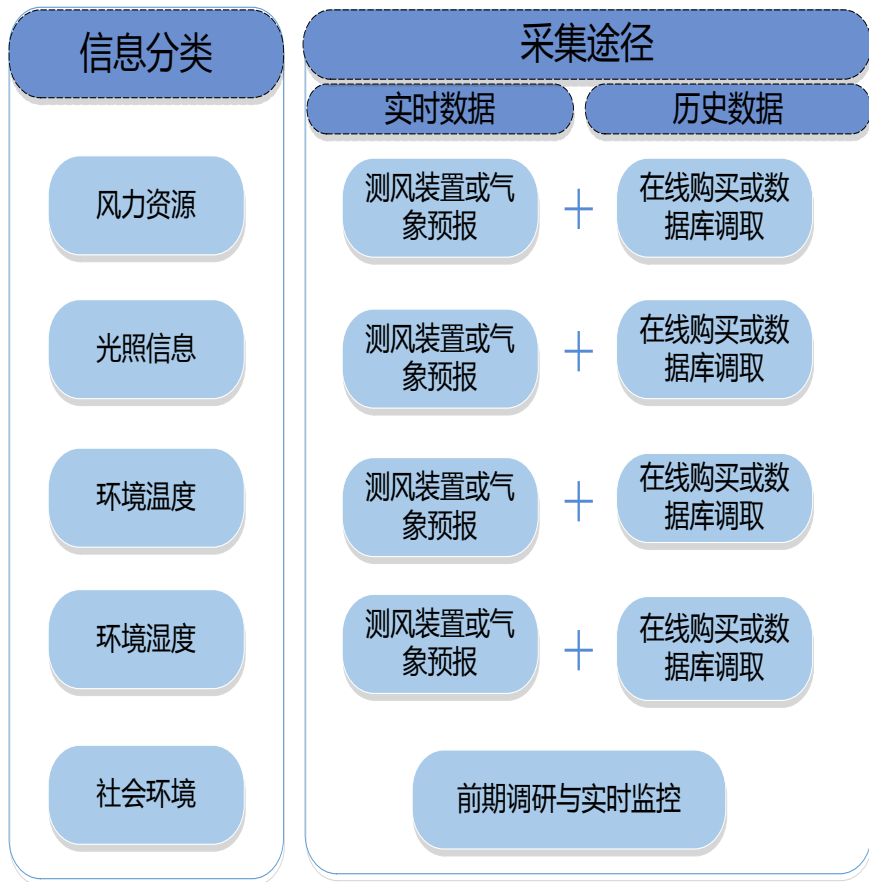
**可计划负荷：**具有相对固定的启停及运行持续时间的负荷，这类负荷功率不太方便调控，但运行时间可灵活安排；

**可调控负荷：**通常长时间运行，受温度及气候因素的影响，但功率可调整甚至被间歇性中断的负荷。

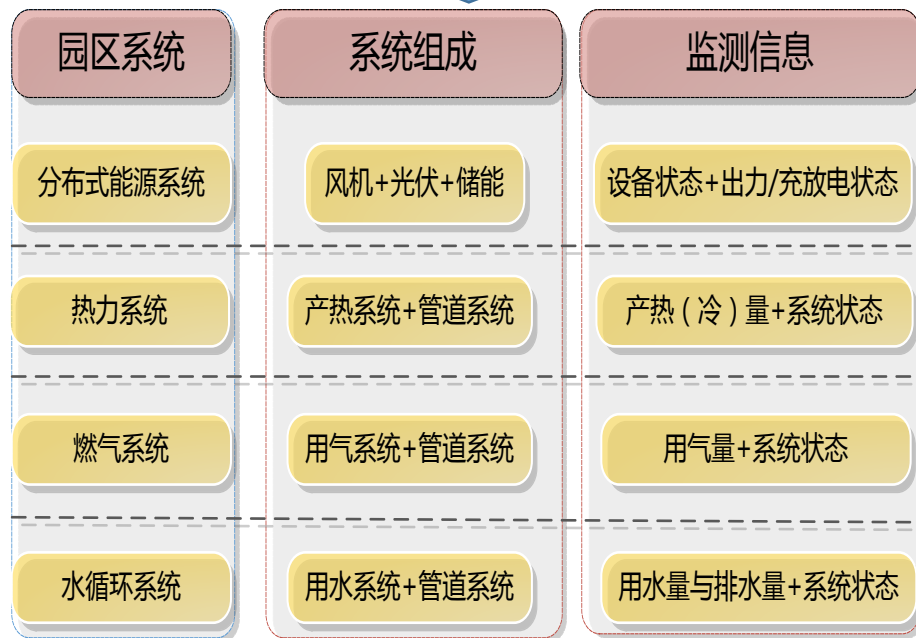
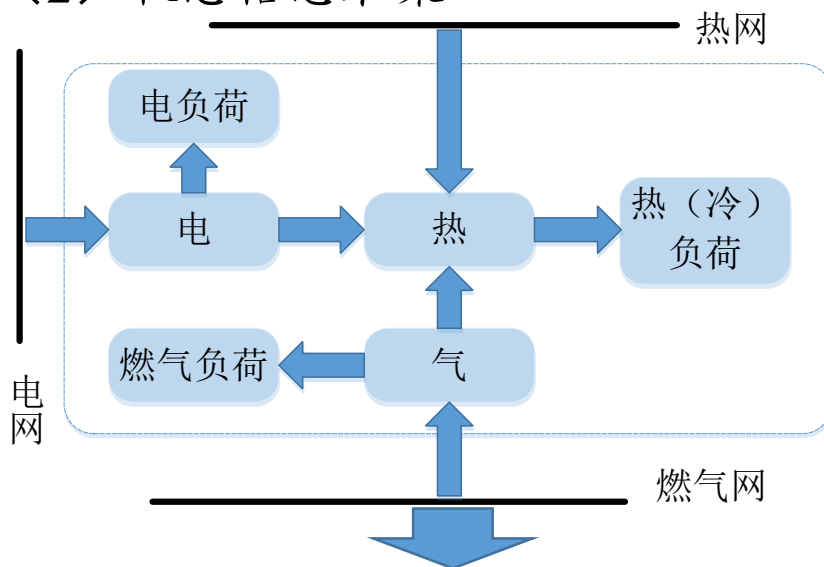
## 2.3 能量及负荷预测

### 预测信息采集

#### (1) 环境信息采集



#### (2) 状态信息采集



园区能源互联网负荷具有多能源与多形式的特点，主要分为电、冷、热、水及燃气负荷，各种负荷性质不同，所需的输入数据不同，可归纳为环境信息和状态信息两类。

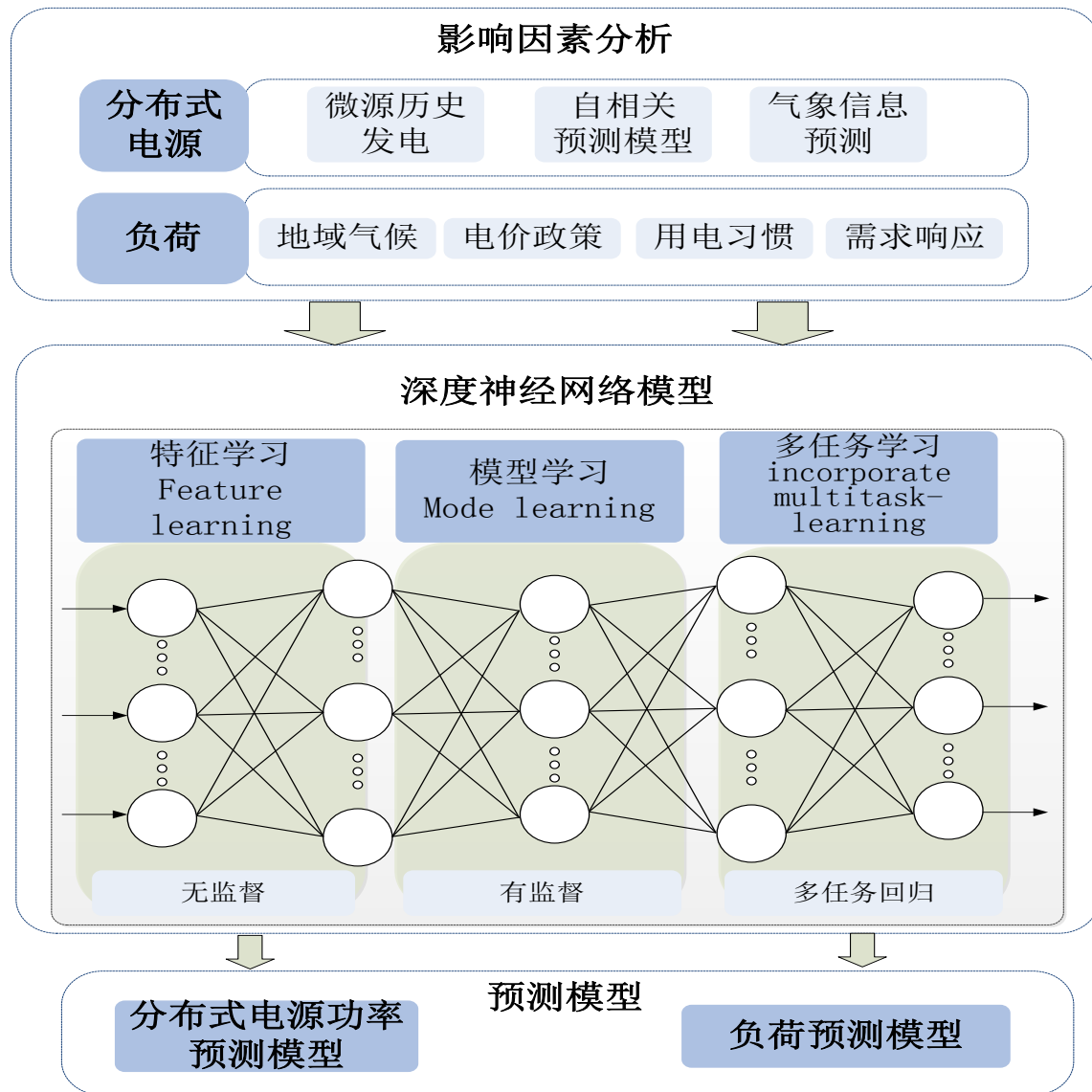
## 2.3 能量及负荷预测

### 基于机器学习及数据挖掘理论的先进预测算法

#### (1) 基于深度神经网络 的预测

分析园区型能源互联网中各分布式电源的历史数据，建立具有自相关性的分布式能源功率预测模型，结合气象信息预测结果，实现分布式能源的功率预测。

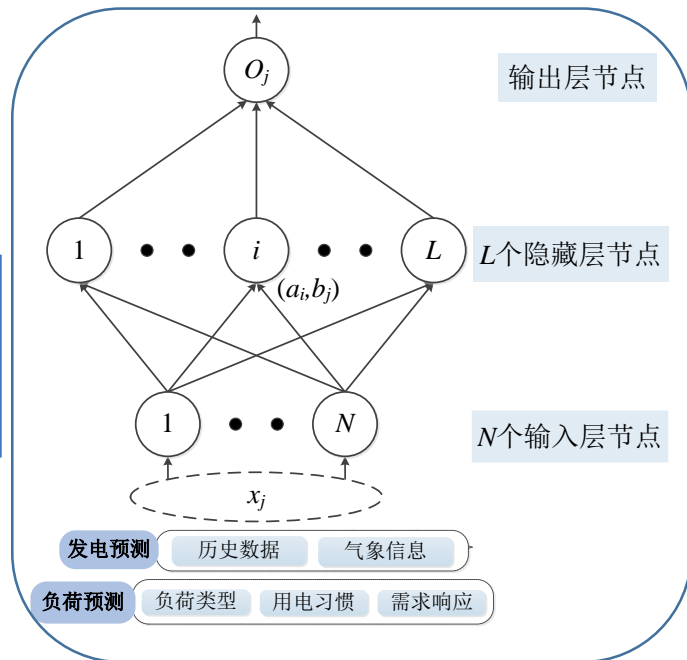
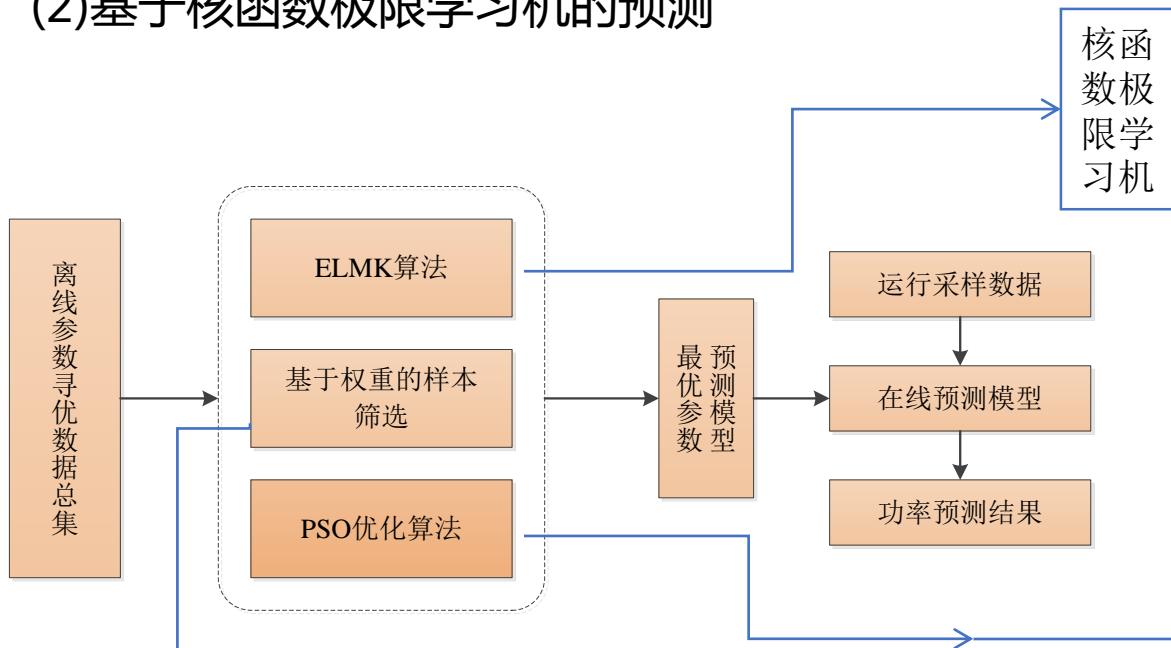
考虑地域气候因素，结合历史数据研究用户的用能用电习惯，量化分析能源价格，特别是电价政策与需求侧响应措施对用户负荷特征的影响，从而建立负荷预测模型。



## 2.3 能量及负荷预测

### 基于机器学习及数据挖掘理论的先进预测算法

#### (2) 基于核函数极限学习机的预测



核函数极限学习机是一种单层前馈神经网络算法，在解决回归预测问题上具有良好的表现；相对于支持向量机算法，具有相似或更好的预测精度，且计算速度更快。

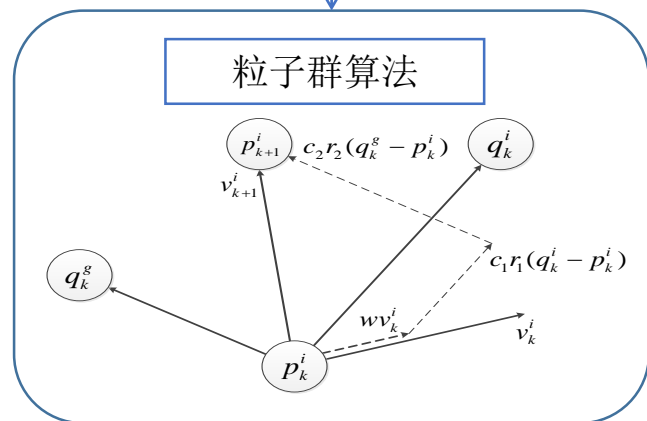
基于权重向量  $W$ ，计算训练样本与验证样本集的平均相似度：

$$P_j = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v \left\| \{t_j, A_j\} - \{t_i, A_i\} \right\| \cdot W; j = 1 \cdots m$$

使用比例系数  $TH$  筛选出高相似度样本：

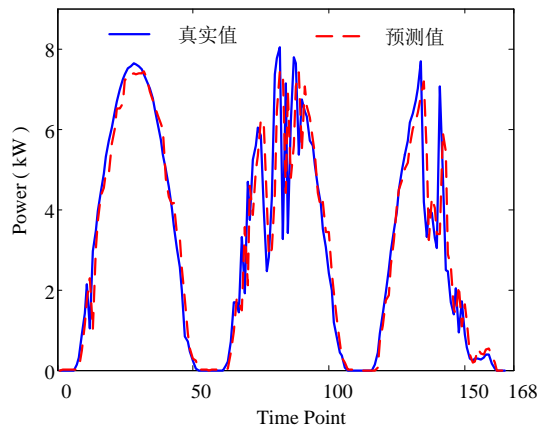
$$\begin{cases} MC = S_j; j = 1 \cdots m \times TH \\ \max(P_j) < \min(P_g); g > m \times TH \end{cases}$$

待优选参数

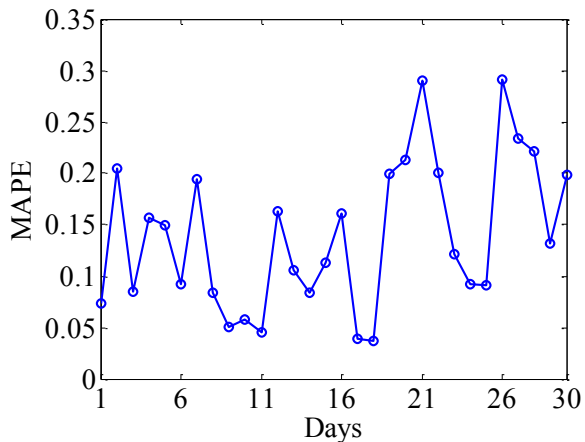


## 2.3 能量及负荷预测

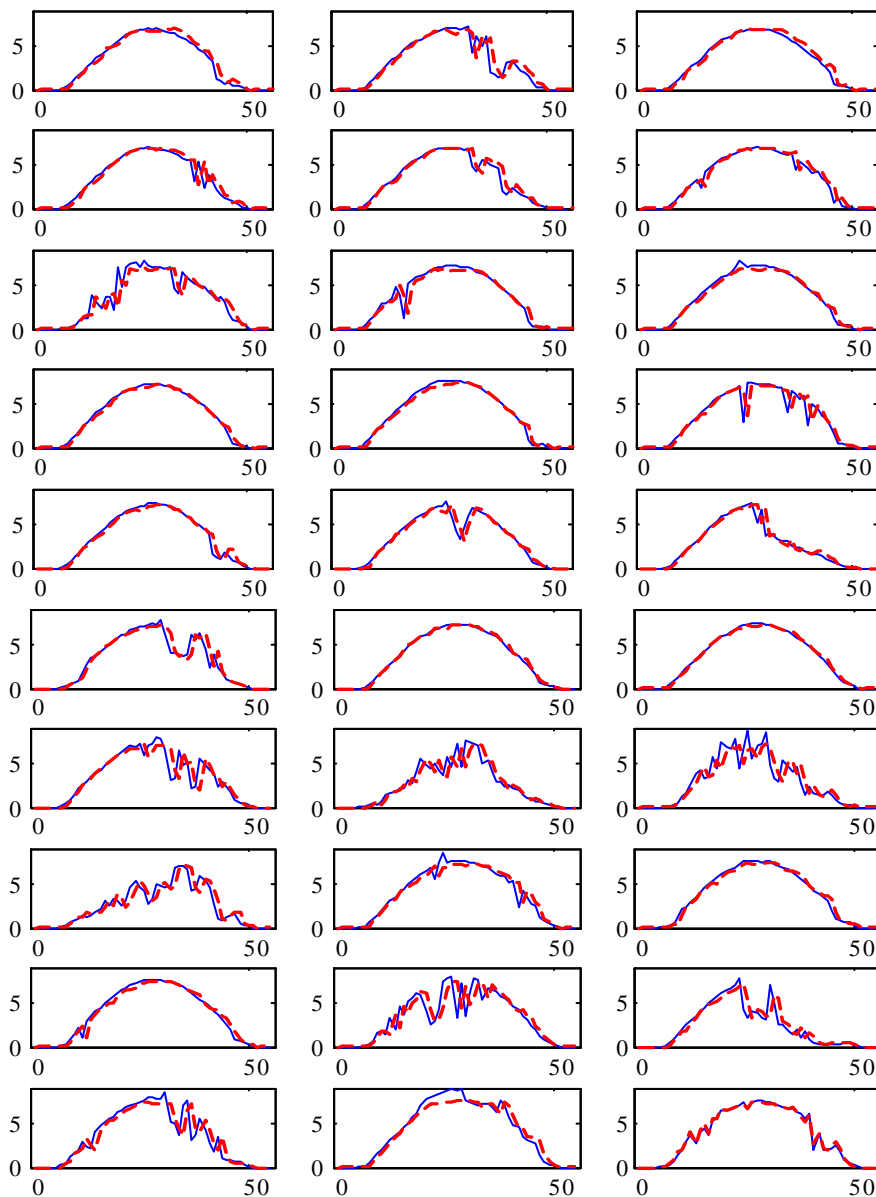
### (1) 光伏功率预测



连续3天不同出力特征的光伏功率预测值与实际值对比况



连续一个月光伏功率预测的日平均预测误差

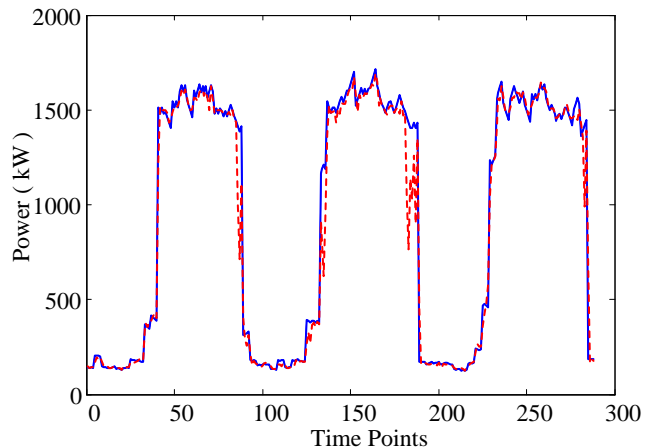


连续一个月光伏功率预测值与实际值对比情况

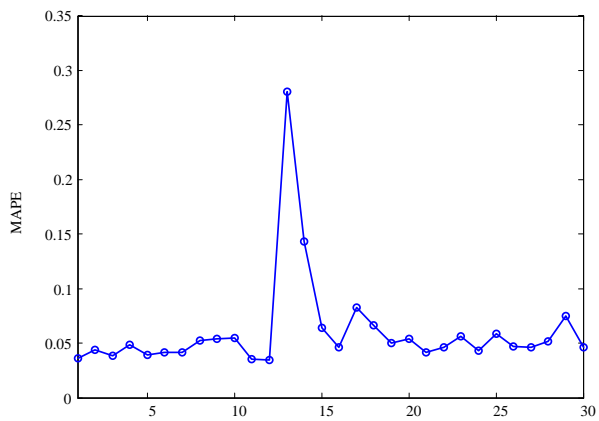
云南某地区连续一个月的实际光伏数据对算法进行测试

## 2.3 能量及负荷预测

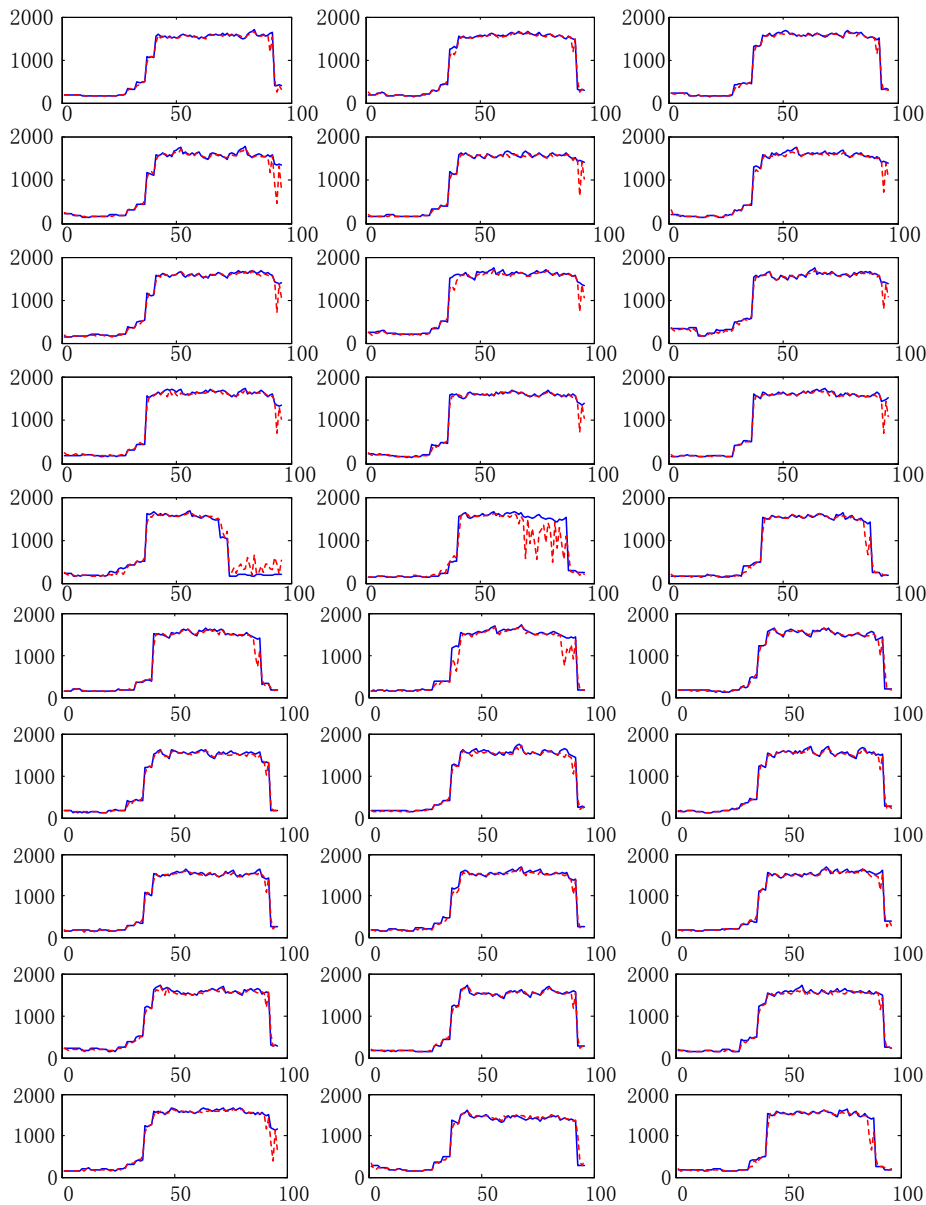
### (2) 负荷预测



连续3天负荷预测值与实际值对比情况



连续一个月负荷预测的日平均预测误差

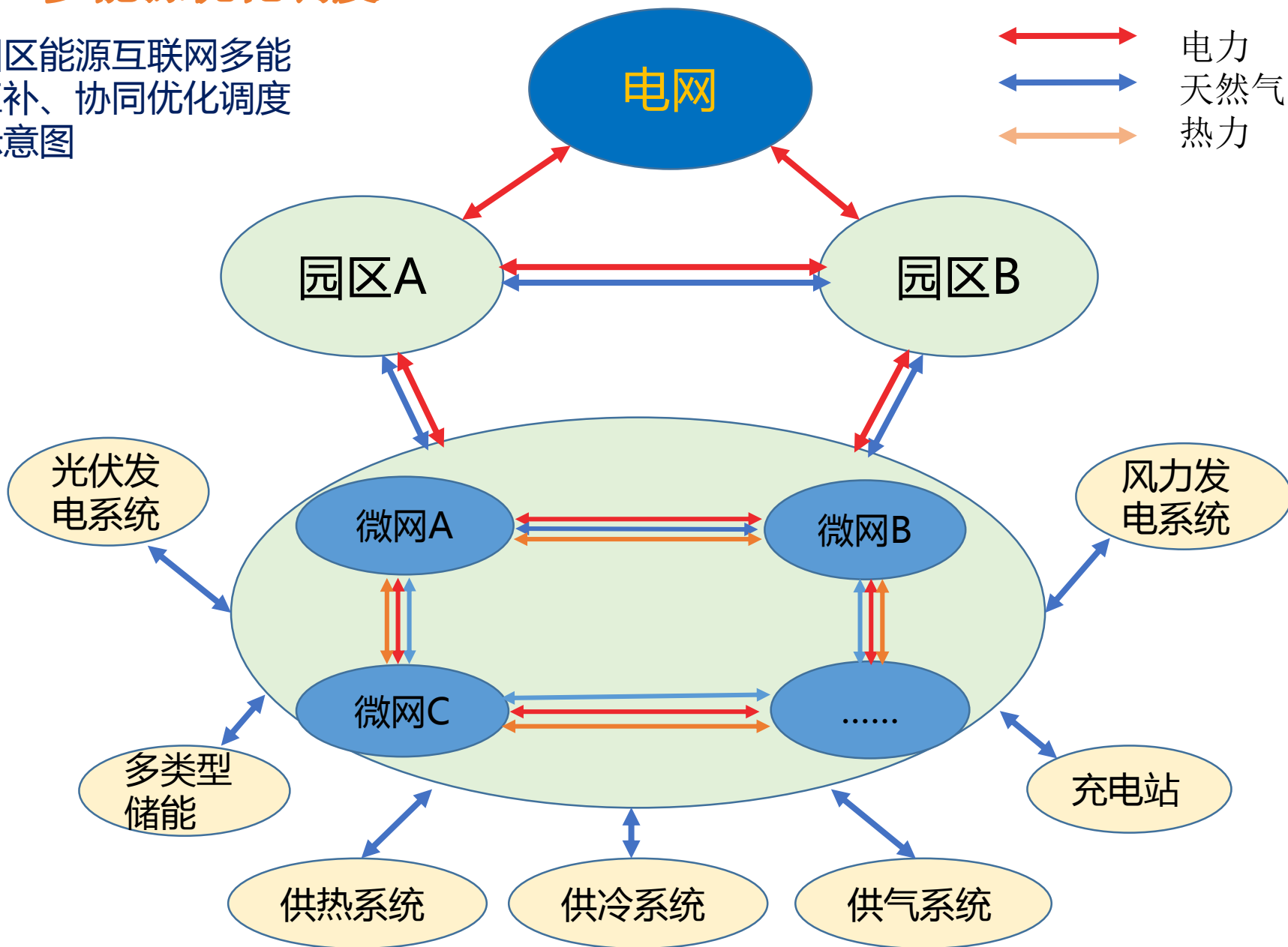


连续一个月负荷预测值与实际值对比情况

某地区商业型微电网连续一个月的实际负荷数据与预测结果的对比测试

## 2.4 多能源优化调度

园区能源互联网多能  
互补、协同优化调度  
示意图



## 2.4 多能源优化调度

### 储能分类及应用：机械储能、电磁储能和化学储能

#### 机械储能

##### 抽水蓄能

大容量、寿命长

运行费用低

选址受限

建设周期长



##### 应用场景

调峰填谷

调频调相

系统备用

事故黑启动

##### 压缩空气

容量功率范围灵活

寿命长

选址受限

化石燃料



##### 应用场景

分布式电网  
储能

调峰填谷

UPS黑启动

##### 飞轮储能

高效、响应快

寿命长

成本高

噪声大



##### 应用场景

调峰调频

UPS

改善电能质量

#### 电磁储能

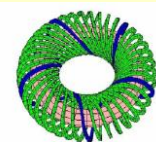
##### 超导储能

响应快

比功率高

成本高

维护困难



##### 应用场景

动态稳定

功率补偿

电压支撑

抑制振荡

##### 高能电容

响应快

比功率高

比能量低



##### 应用场景

有利于输配  
电系统稳定

改善电能质量

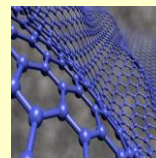
##### 超级电容

比功率大

响应快

成本高

比能量低



##### 应用场景

定制电力

FACTS

大功率负载  
平衡

## 2.4 多能源优化调度

### 储能分类及应用

#### 电化学储能

##### 液流电池

寿命长、可深放

易组合、效率高

能量密度稍低

环保性好

##### 应用场景

改善电能质量

备用电源, EPS

可再生储能

调峰填谷, 能量管理

##### 锂电池

比能高

无污染

成本高

维护困难

##### 应用场景

改善电能质量

备用电源

UPS等小容量场合

##### 钠硫电池

比能量、比功率较高

高温环境下, 运行安全问题有待改进

维护费用高

##### 应用场景

平滑负荷

可靠性

调峰填谷

能量管理

##### 铅酸电池

成本低

寿命短

安全稳定

环保性低

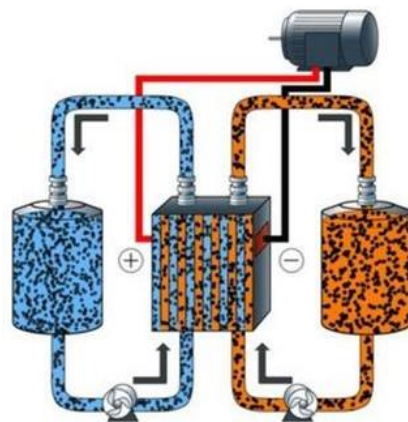
##### 应用场景

改善电能质量

电站备用

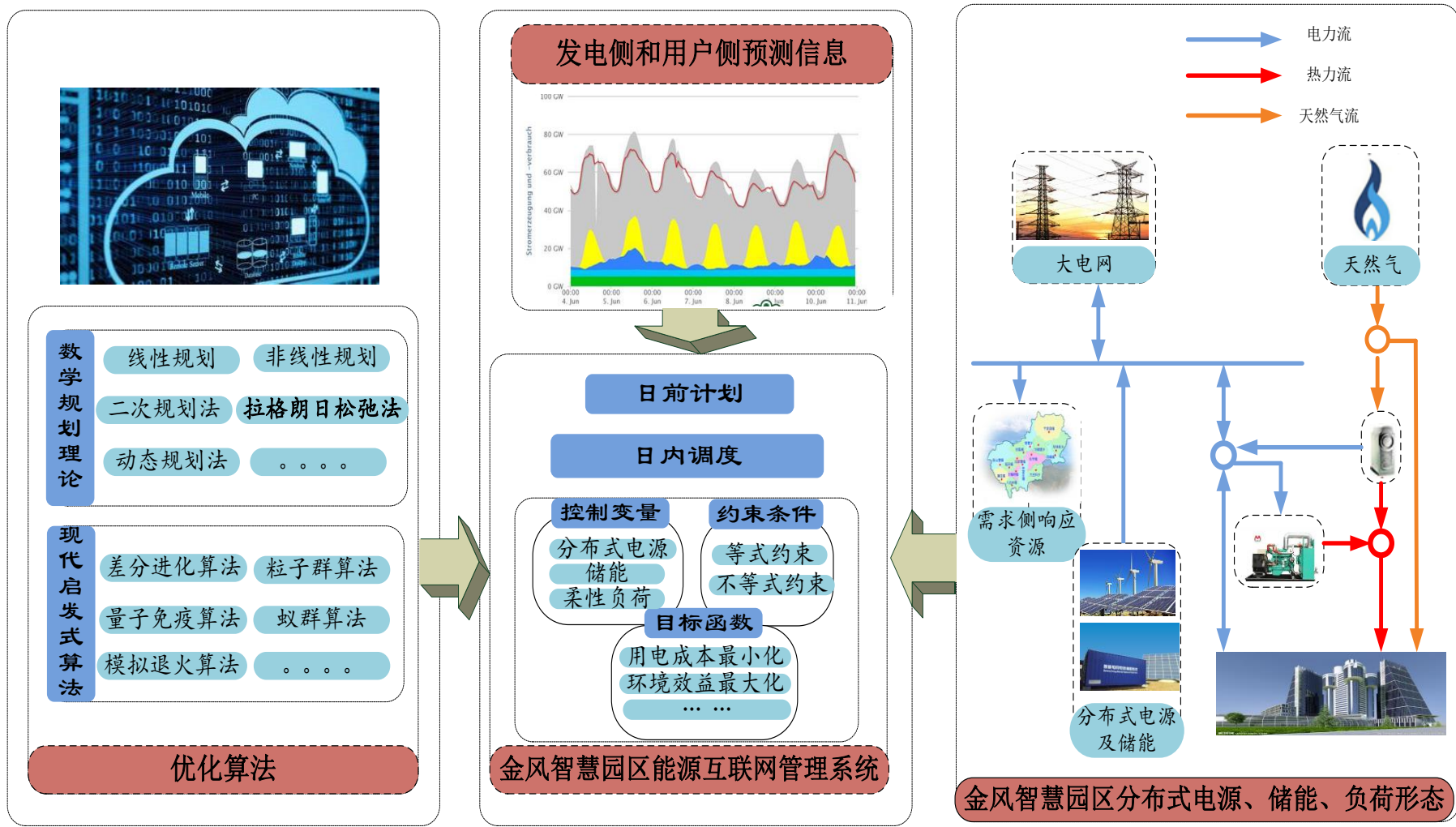
黑启动

调频



## 2.4 多能源优化调度

### 园区能源互联网协同优化调度框架

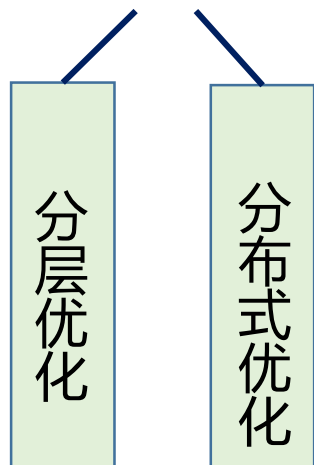


1、多能源优化调度模块负责对园区型能源互联网中的多种能源进行综合优化调度。

2、以能量及负荷预测信息和设备运行状态作为输入数据，根据用户的需求或能源互联网的系统优化目的构造相应的目标函数，选择适当的优化算法进行求解，生成多能源的优化控制策略，完成对能源互联网内供能、储能和负荷设备的最优控制。

## 2.4 多能源优化调度

### 新型能量管理模式



### 分层式优化管理模式

- 园区与配电网集中管理
- 多微网协同优化调度
- 单微网自律优化调度
- 分布式电源就地控制

### 园区能源互联网分层式优化管理模式

#### 多主体协同

多微网之间

多微网与  
园区之间

数学模型

博弈论

多代理

强化学习

求解算法

完备性

高效性

#### 单区域自治

单个微  
网内部

控制变量

供电

储能

柔性负荷

约束条件

等式约束

不等式约束

目标函数

用能成本最小

环境效益最大

.....

#### 设备级控制

设备层

供电设备

分布式电源

传统电源

储能设备

储电能设备

储气设备

负荷

电负荷

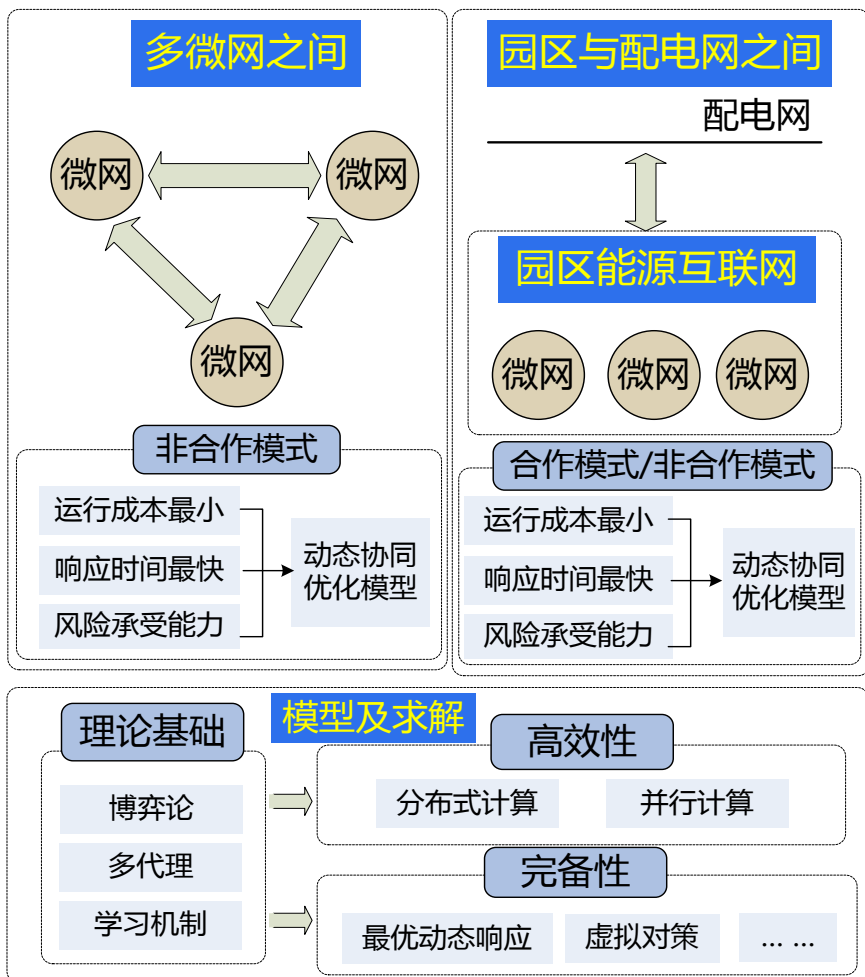
热负荷

高维非线性优化模型--“分层优化”和“分布式优化”策略

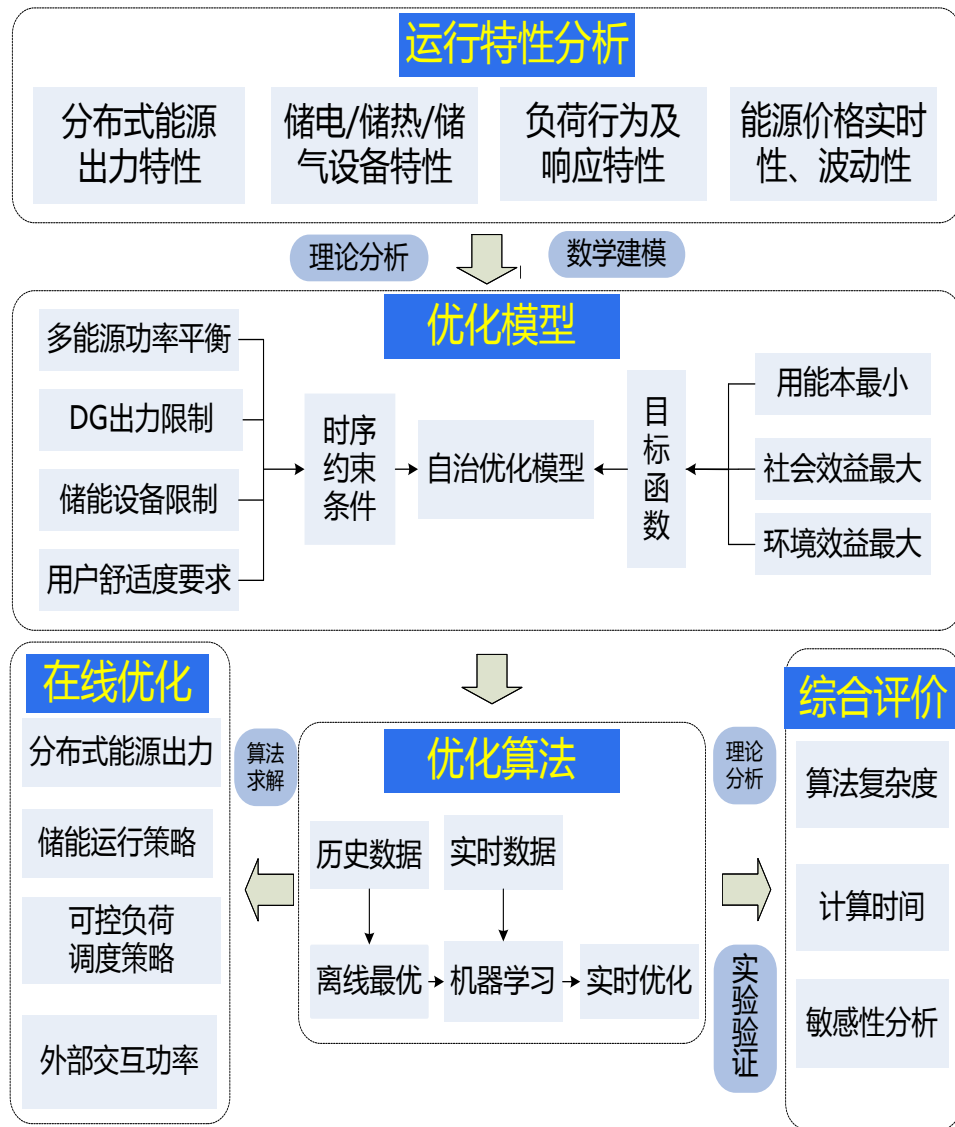
# 2.4 多能源优化调度

## 分层式优化管理模式

### (1) 园区层优化调度



### (2) 单微网层优化调度

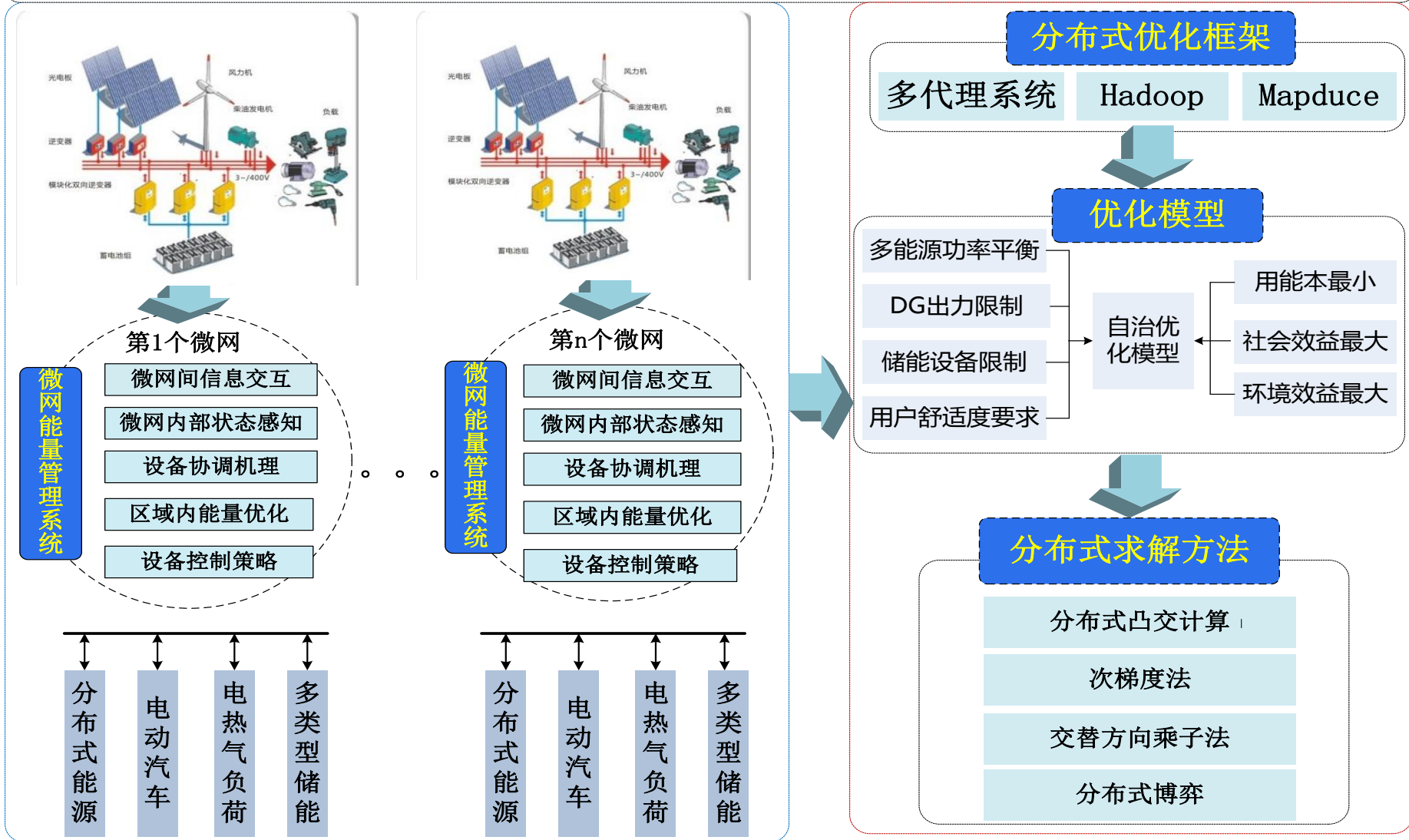


园区级优化管理：从园区层面协调园区内多个微网间的优化问题以及能源互联网与配电网间的问题

单区域自治管理：实现单个微网内部的分布式电源、负荷、储能等设备的能量优化控制

# 分布式自律优化管理模式

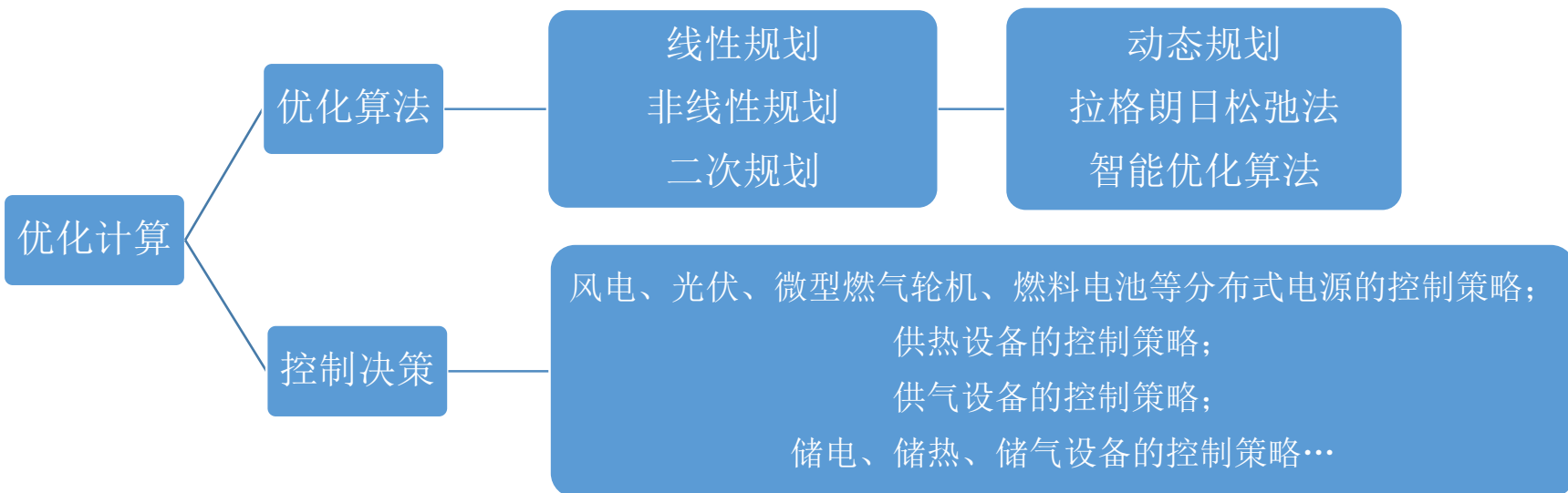
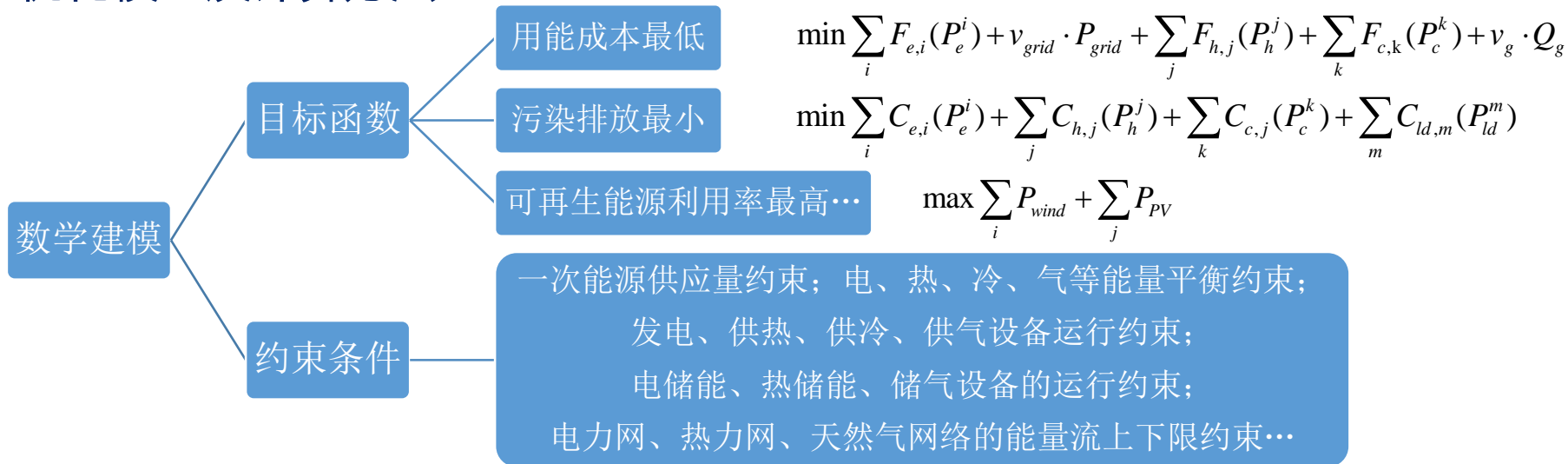
## 园区能源互联网分布式优化模式



- 1、集中式优化调度模式难以为继，分散式优化调度应运而生，它具有即插即用和自愈的特性，是多设备优化调度的理想方式。
- 2、多个微网进行对等的信息交互，且具有自治运行的能力，基于博弈论的思想，实现园区能源互联网的最优运行。

## 2.4 多能源优化调度

### 优化模型及计算方法

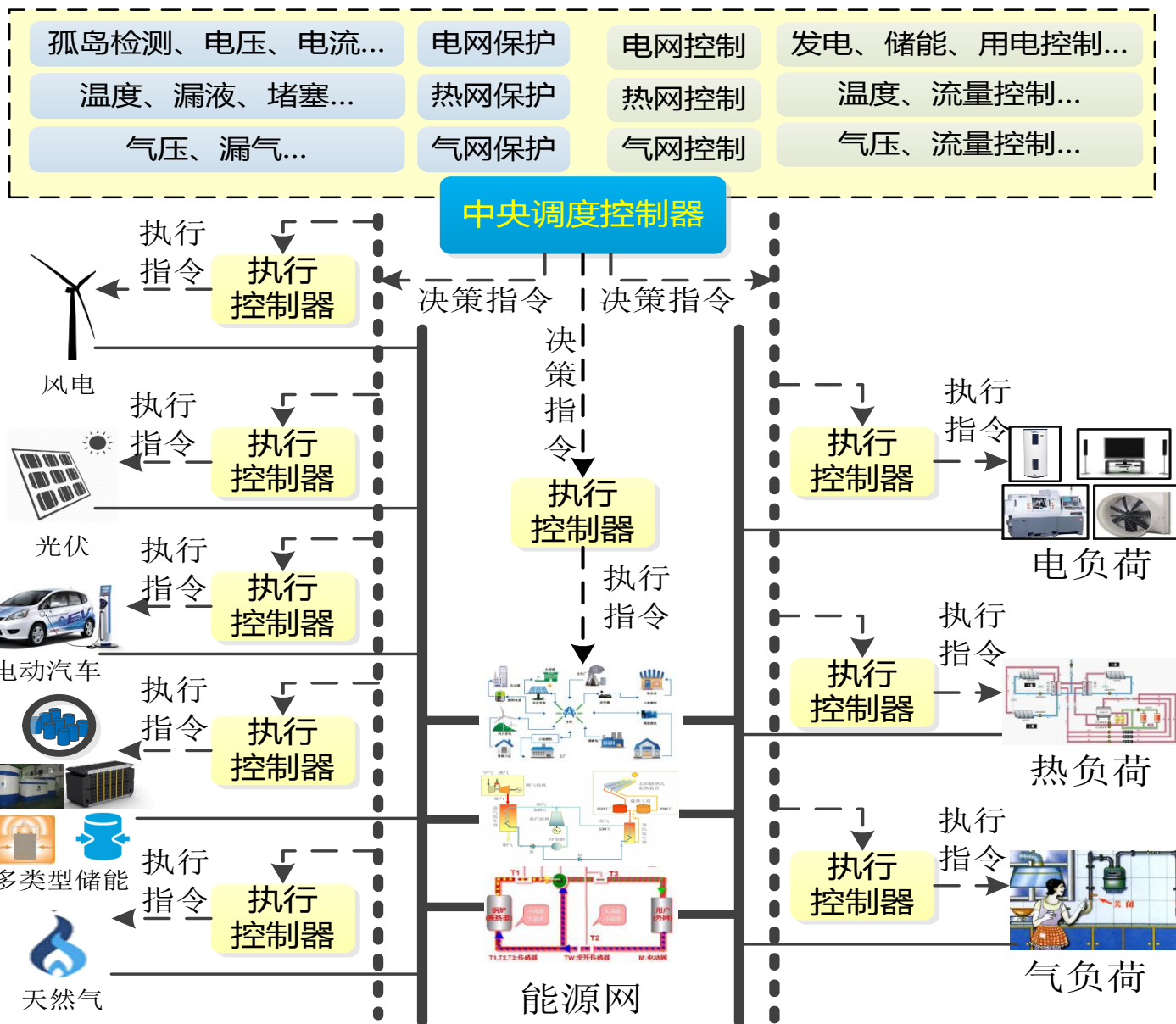


## 2.4 多能源优化调度

### 智能保护控制

中央调度控制器根据优化调度方案或智能决策对电、热、气网发出决策指令，执行控制器对底层设备发出执行指令，以改变系统运行状态。

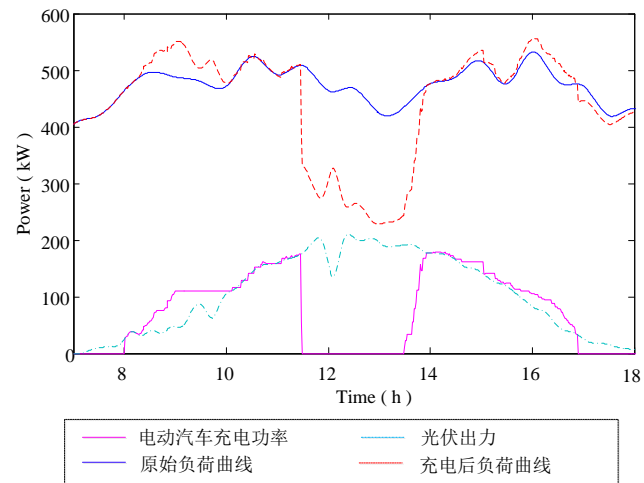
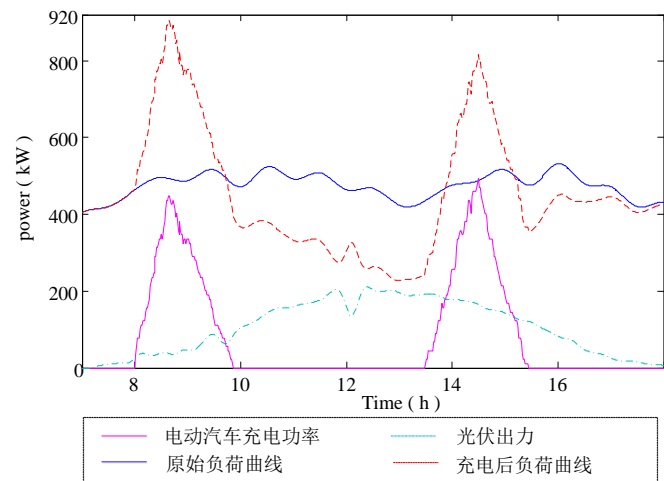
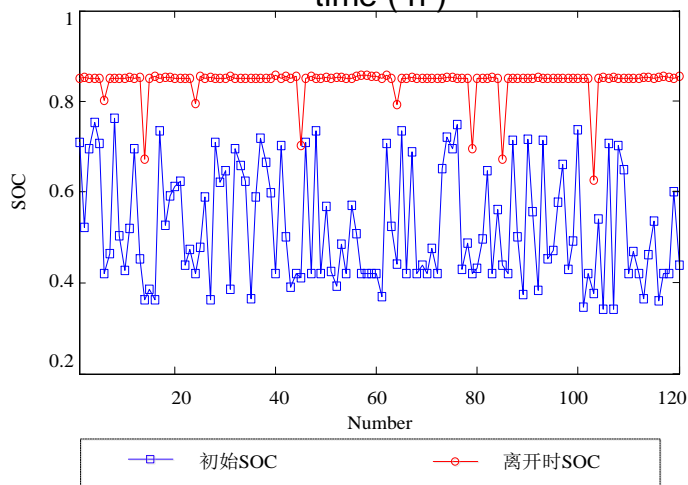
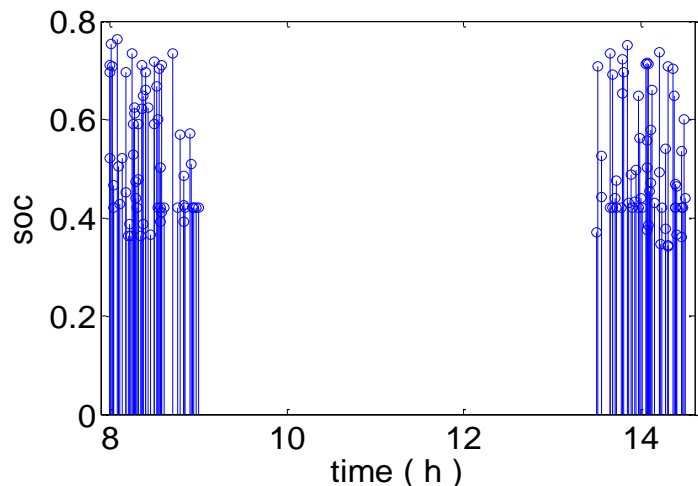
1. 电网中的孤岛检测、过压、过流、短路等保护，多种发电、储电和用电设备的控制；
2. 热网中的温度超限、漏液、堵塞等保护，温度、流量的控制；
3. 气网中的气压超限、漏气等保护，气压和流量的控制。



## 2.4 多能源优化调度

### 包含电动汽车、光伏的商业楼宇型微电网优化调度算例分析

国家自然科学基金 (51277067)：微电网环境下电动汽车与可再生能源的协同增效机理与优化方法



商业楼宇微电网实时运行策略效果

通过优化调度策略，既满足了电动汽车的充电需求，又合理的调整了充电时间，使尖峰负荷得到了有效的抑制，光伏得到了最大化就地消纳。验证了负荷与可再生能源协同优化的可行性。

# 优化调度算例分析

针对商业楼宇单微电网，提出基于离线优化与在线决策相结合的能量管理算法

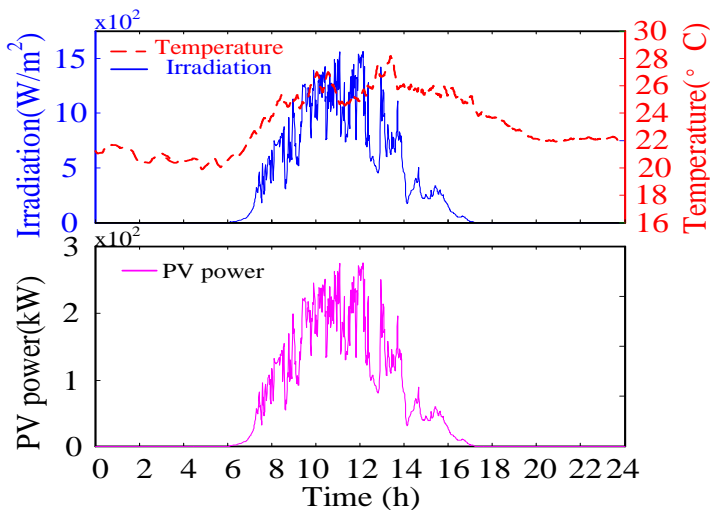
项目	值	
光伏智能楼宇	光伏系统容量	200kW
	负荷最大值	177.6kW
	可平移负荷比例	11.4%
	最大服务电动汽车数量	120
	充电桩额定充电功率	10kW
动力电池	额定容量	70Ah
	额定电压	320V
	最大充电倍率	0.5C

电气基础数据

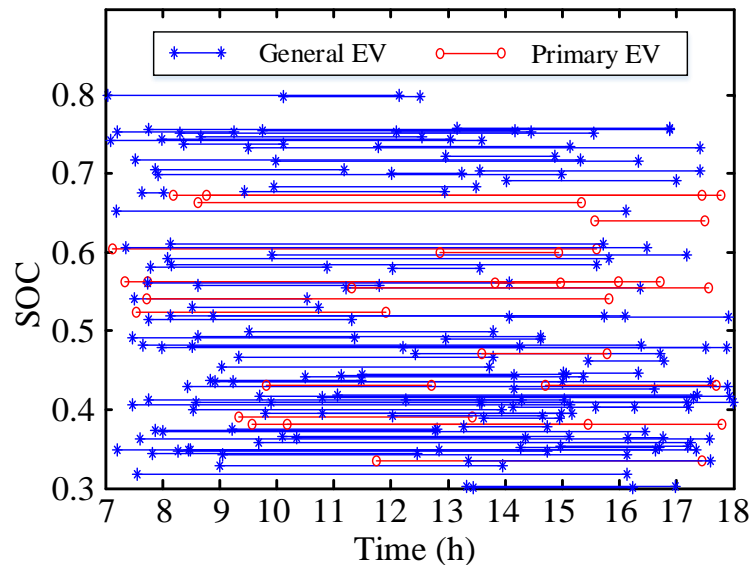
电价基础数据

项目		电价 (RMB/kWh)
光伏智能楼宇从电网购电的分时电价	10: 00~15: 00	1.37
	18: 00~21: 00	
	07: 00~10: 00	0.8
	15: 00~18: 00	
	21: 00~23: 00	
电动汽车充电服务费	优先充电	2.8
	常规充电	2
光伏上网		0.38
光伏的政府补贴		0.42

光伏功率及温度数据



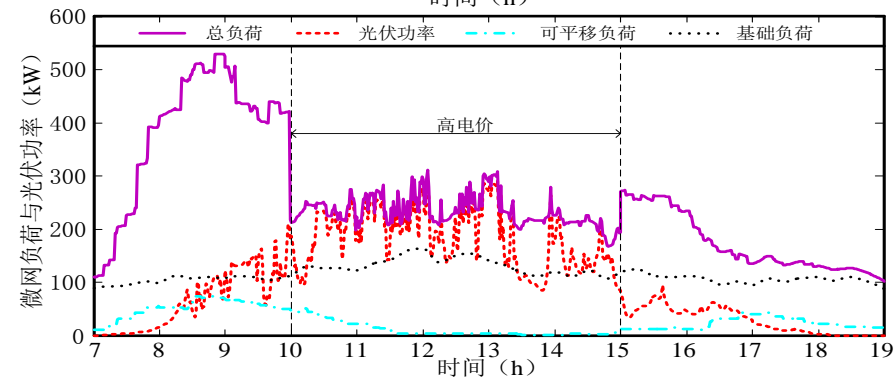
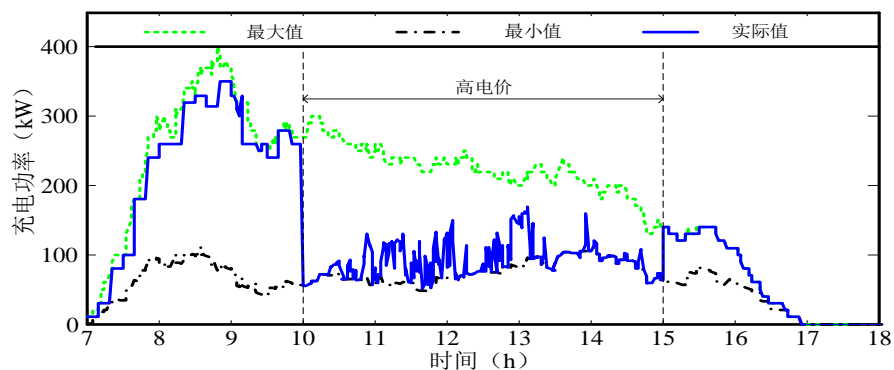
电动汽车行驶规律



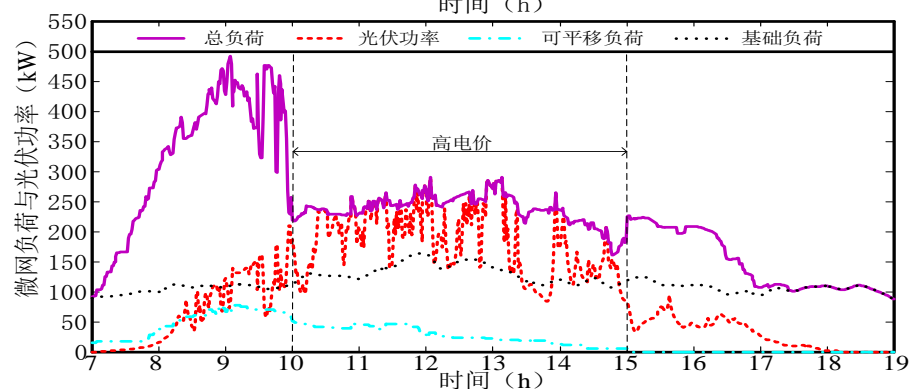
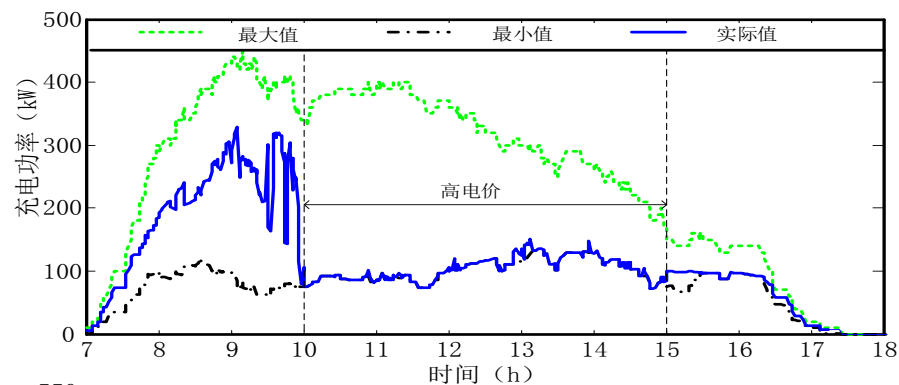
# 优化调度算例分析

## 运行收益与充电完成度

运行天	离线优化		在线决策	
	运行收益	充电完成度	运行收益	充电完成度
(a)	2551.5	98.06%	2414.4	96.40%
(b)	1887.3	99.59%	1736.9	96.53%



离线优化时序仿真结果

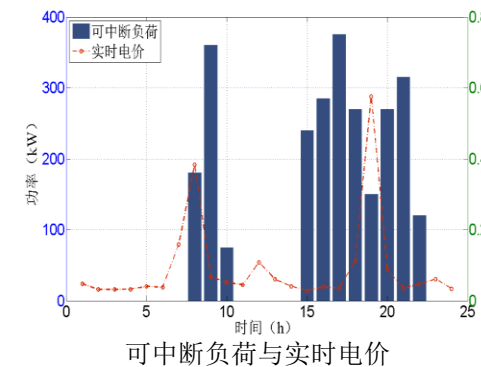
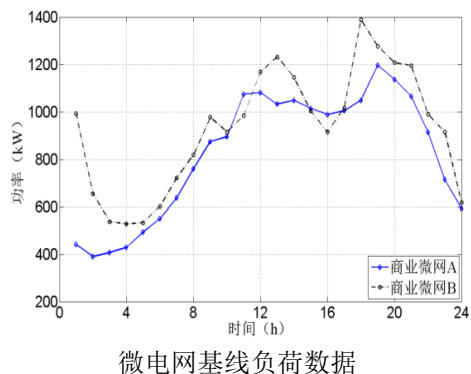
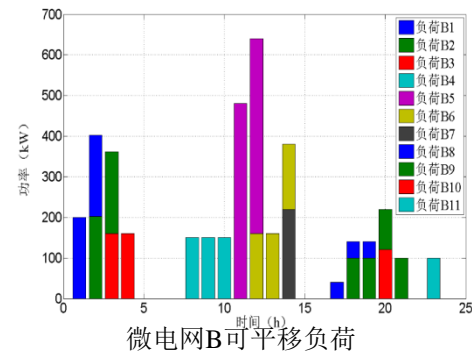
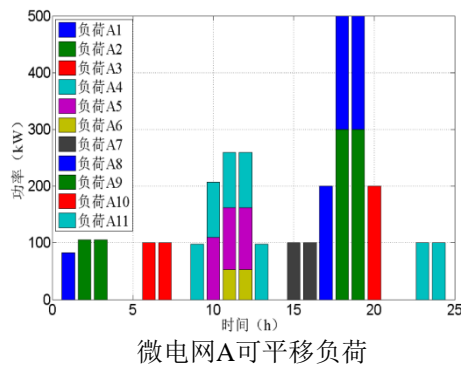
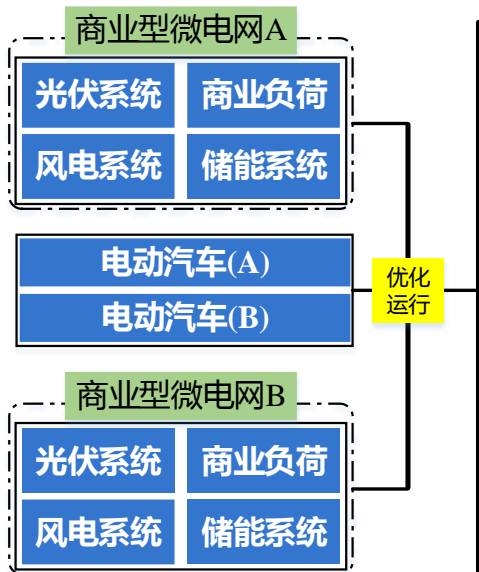


在线决策时序仿真结果

采用20天的数据用于离线优化，建立知识库；另外2天用于在线决策算法的测试；在线决策算法的时间步长为1分钟。

通过用电策略的调整，使光伏智能楼宇运行收益达到最大化。在低电价阶段从电网购入足够的电量，以确保随后的高电价阶段充分利用光伏功率，尽量少从电网购电。在高电价阶段，楼宇总负荷与光伏功率非常接近，最大化地利用光伏。

# 优化调度算例分析



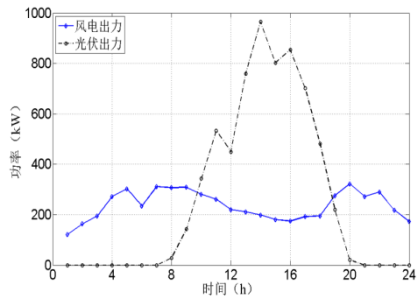
A、B两个商业微电网间的电能交互通过合同容量形式进行，由于微电网的规模不同、用电特性不同，可以实现不同时间段的功率互供互用。

储能系统参数

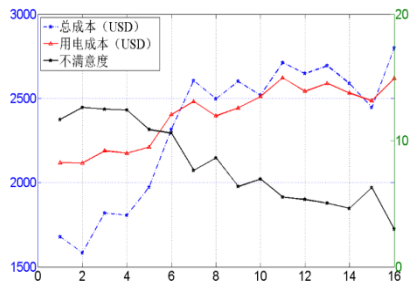
	储能系统容量 (kWh)	SOC Min/max	电量成本 (USD/kWh)	运行成本 (USD/kWh)	最大充放电功率 (kW)
商业微网A	300	0.3/1	0.05	0.0974	100
商业微网B	400	0.3/1		0.1333	150

电动汽车参数

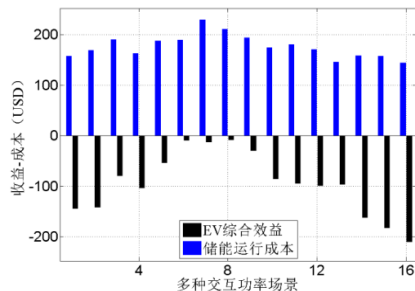
系统容量 (kWh)	SOC Min/max	租赁费用 (USD/kWh)	充放电损耗 (USD/kWh)	充放电损失 (USD/kWh)	最大充放电功率 (kW)
800	0.4/0.9	0.0143	0.0095	0.1	200



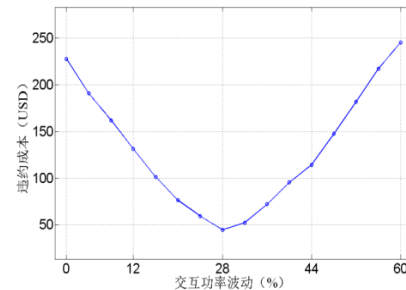
1、风电与光伏出力预测值



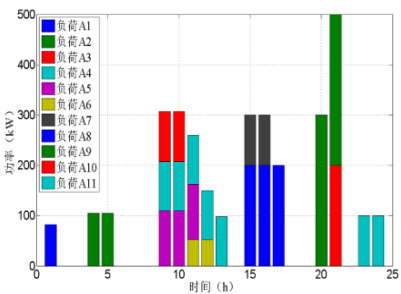
2、16种交互功率情景下成本与不满意度平均值



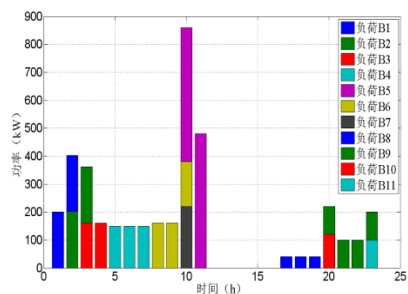
3、16种交互功率场景下储能系统成本与EV综合效益



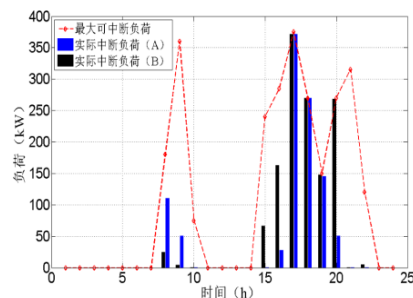
4、交互功率违约成本



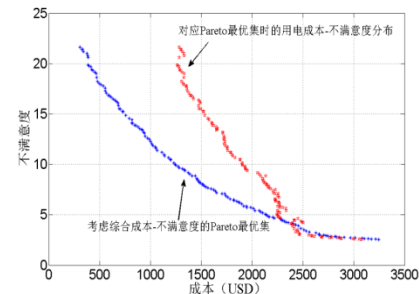
5、可平移负荷运行状态 (A)



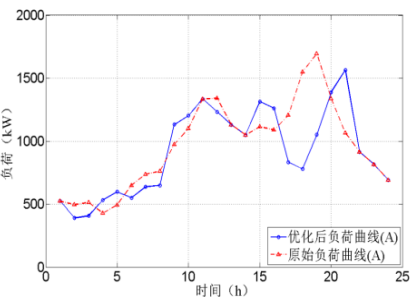
6、可平移负荷运行状态 (B)



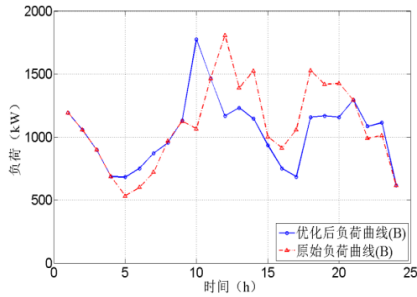
7、可中断负荷运行状态



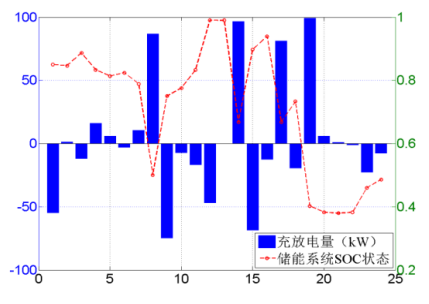
8、商业微网协同优化的Pareto前沿



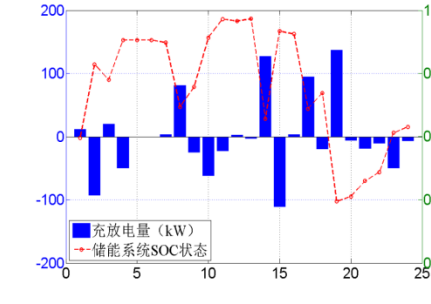
9、微网A负荷曲线



10、微网B负荷曲线



11、储能系统工作情况 (A)



12、储能系统工作情况 (B)

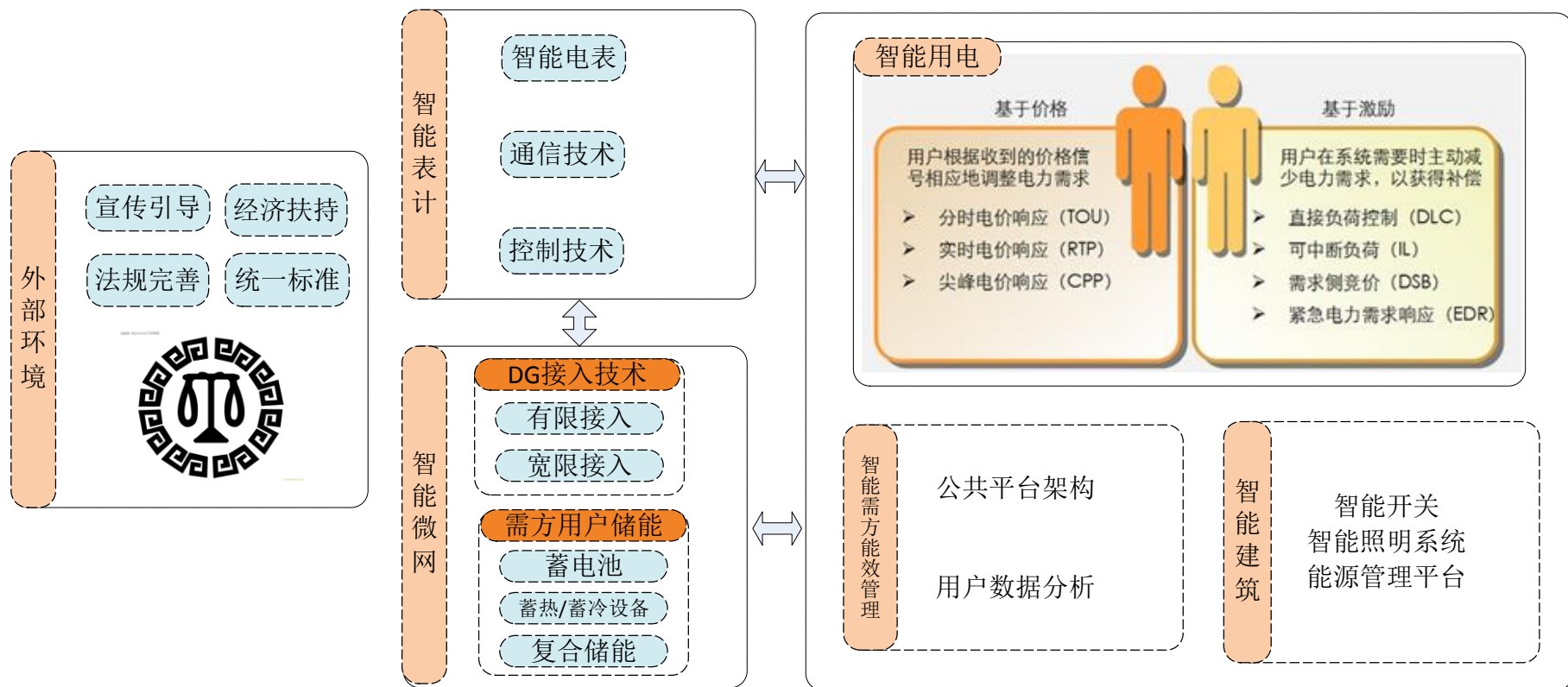
设置16组最大交互功率与微网额定容量比值，通过多目标非支配排序遗传算法求解，得到最优发电功率与用电功率调节方案。

要提高运行收益，需要平移负荷、中断负荷，但是会增加不满意度；要降低用户的不满意度，需在高电价买电，提高微电网的运行成本。因此，研究多微电网互联协同优化调度方法有重要的应用价值。

## 2.5 需求侧响应

需求侧管理基本目标: ① 通过推行高效设备改造或节能建筑减少总能源的使用;  
② 通过改变用电方式进行负荷整型, 移峰填谷。

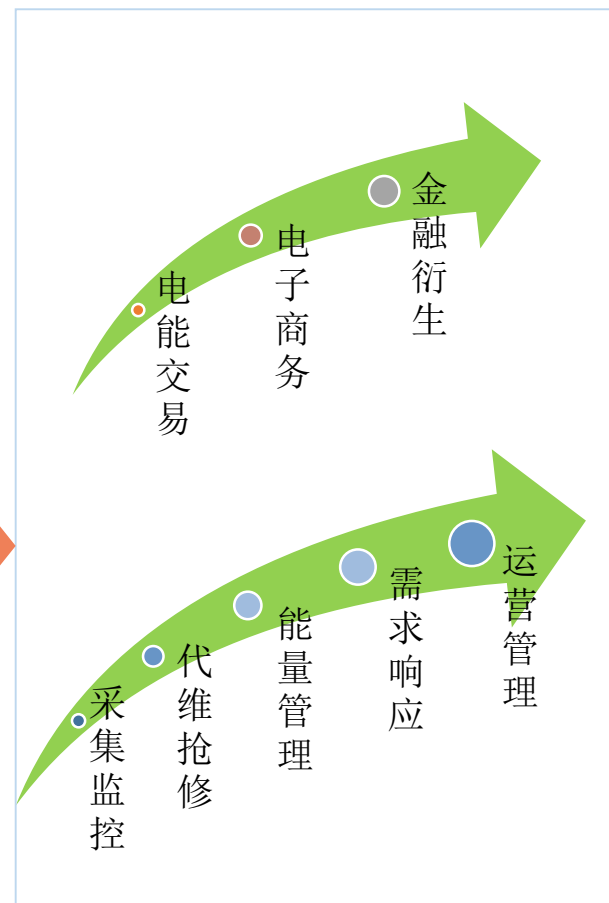
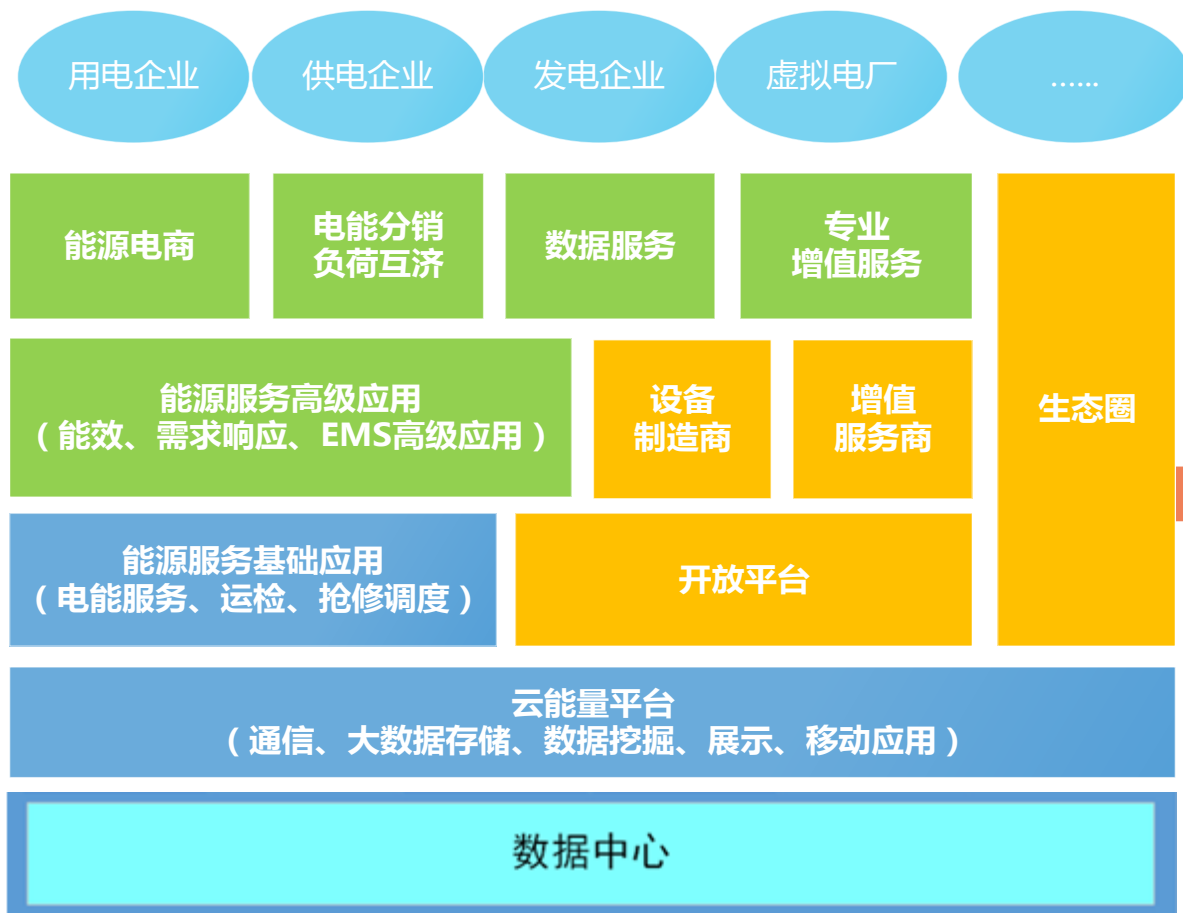
### (1) 智能需求侧管理模式 (SDSM)



- (1) 智能采集提高系统的可观性, 实现用户侧的数据测量、收集、存储、分析与双向传输。
- (2) 智能微网技术提高系统的兼容性, 实现信息和能量的双向互动, 支持大量DER接入并提供通信和报价手段实现需求侧竞价, 不仅限于电力能源, 还包含其他形式能源的协同互动。
- (3) 智能用能提高系统的可控性, 通过智能决策或者以基于价格或基于激励的需求响应形式对用户侧用电进行引导和协调, 以实现运行效率的优化和系统安全性的改善, 满足各类不同的用户需求。

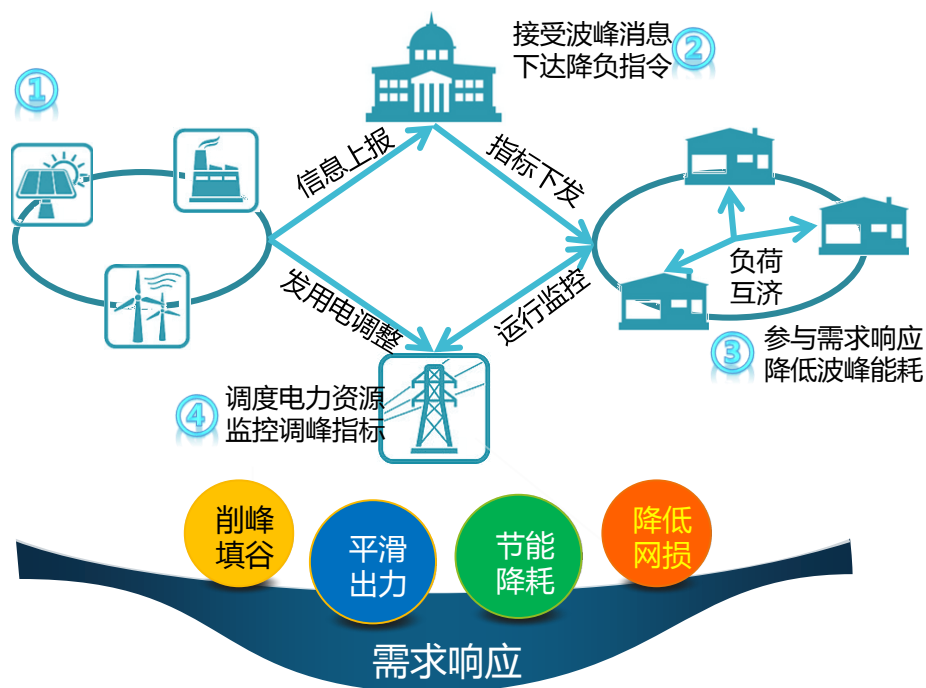
## 2.5 需求侧响应

### (2) 需求侧管理生态圈



生产业务、电子商务两条线

### (3) 智能需求响应技术框架

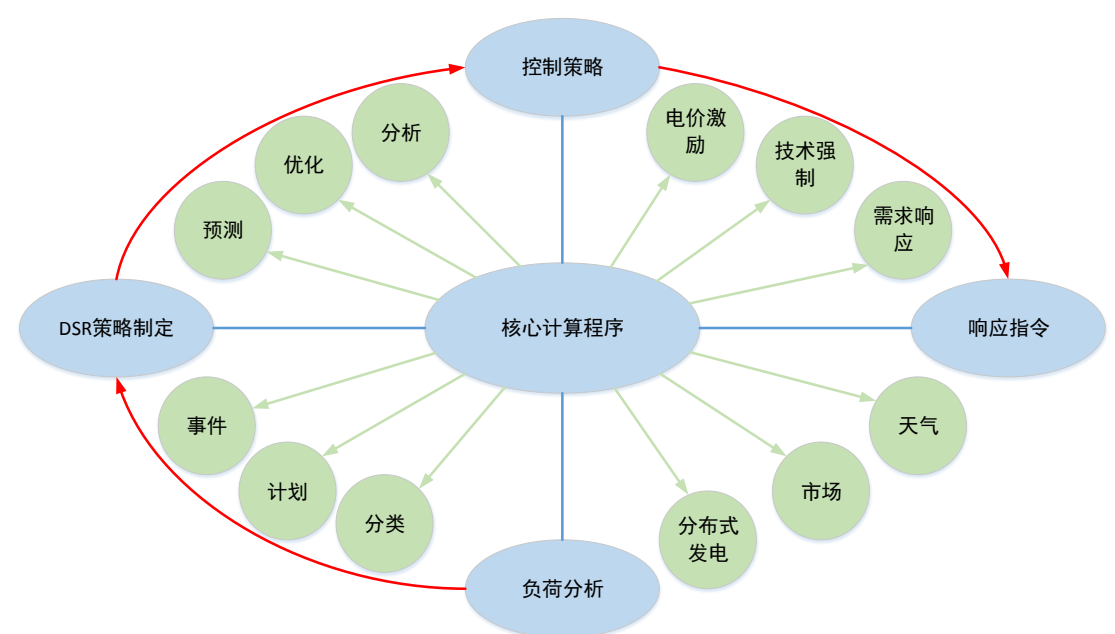


**智能需求响应四个步骤：**

- ◆ 运行监控
- ◆ 信息上报
- ◆ 指标下发
- ◆ 发、用电调整

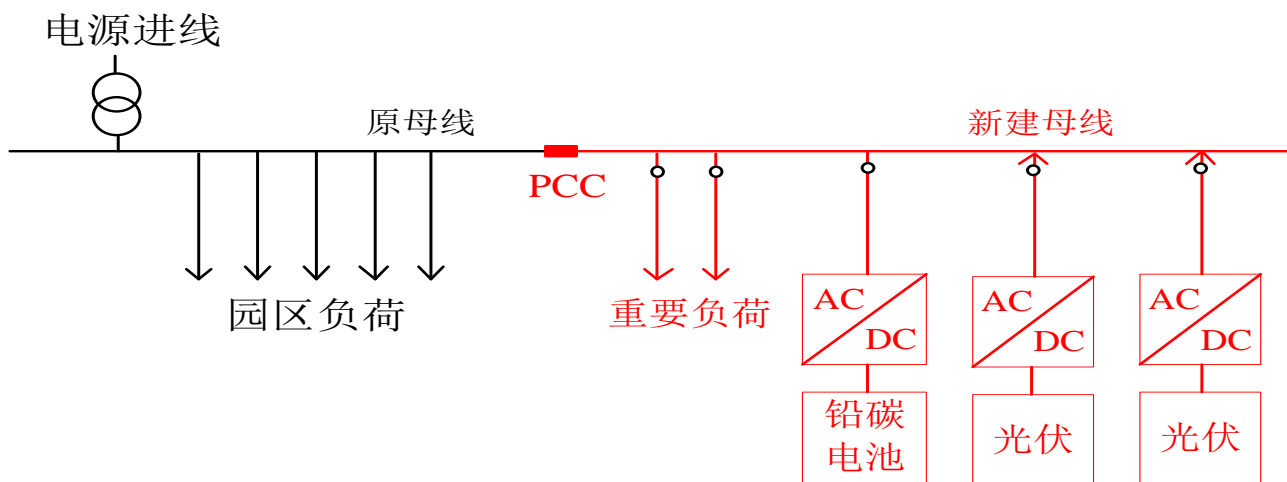
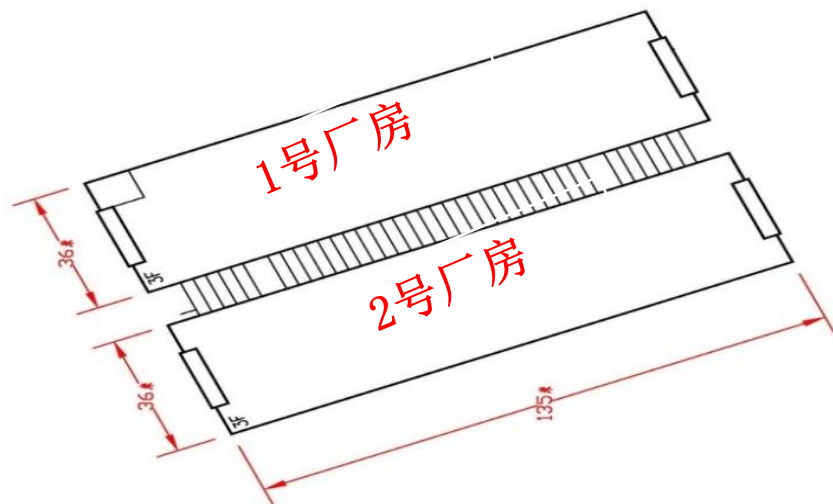
**发用电需求响应策略四个步骤：**

- ◆ 负荷分析
- ◆ DSR策略制定
- ◆ 控制策略制定
- ◆ 响应指令下发



## 2.5 需求侧响应

### 需求响应案例分析



# 2.5 需求侧响应

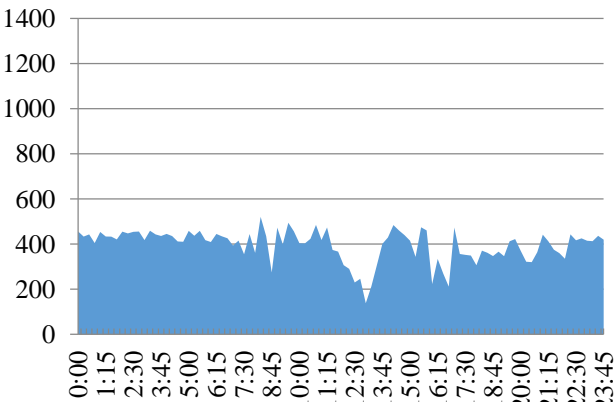
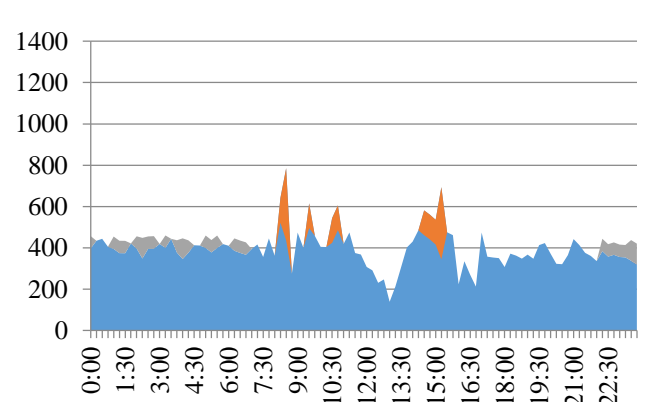
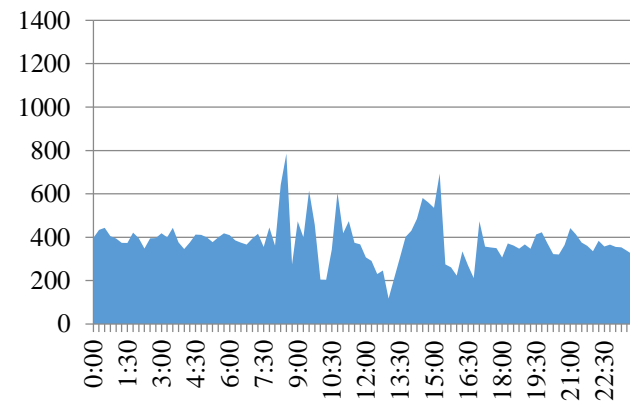
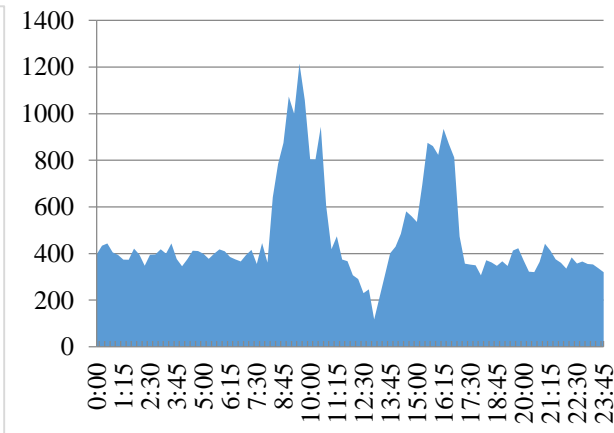
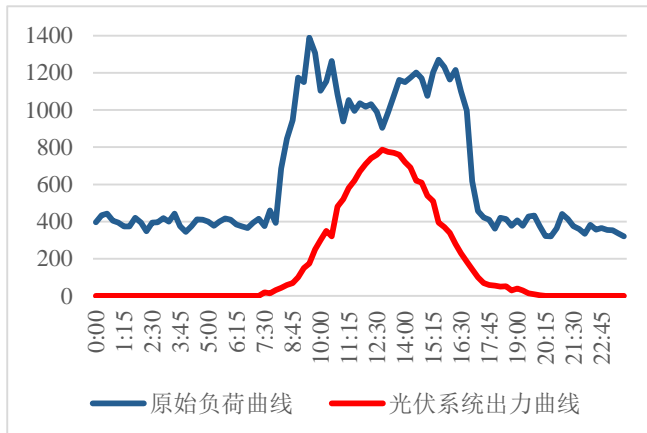
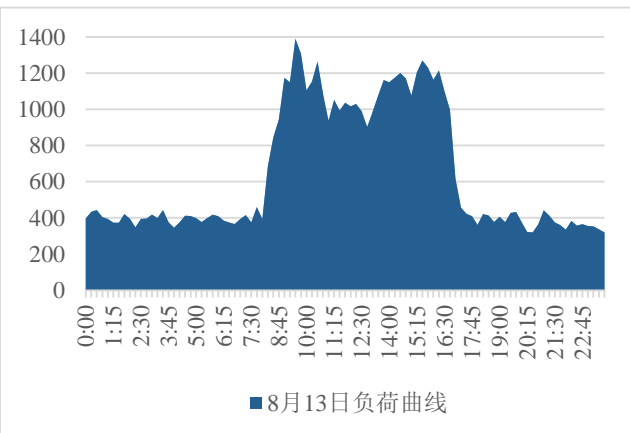
## 需求响应案例分析

实施效果：

减少备容费

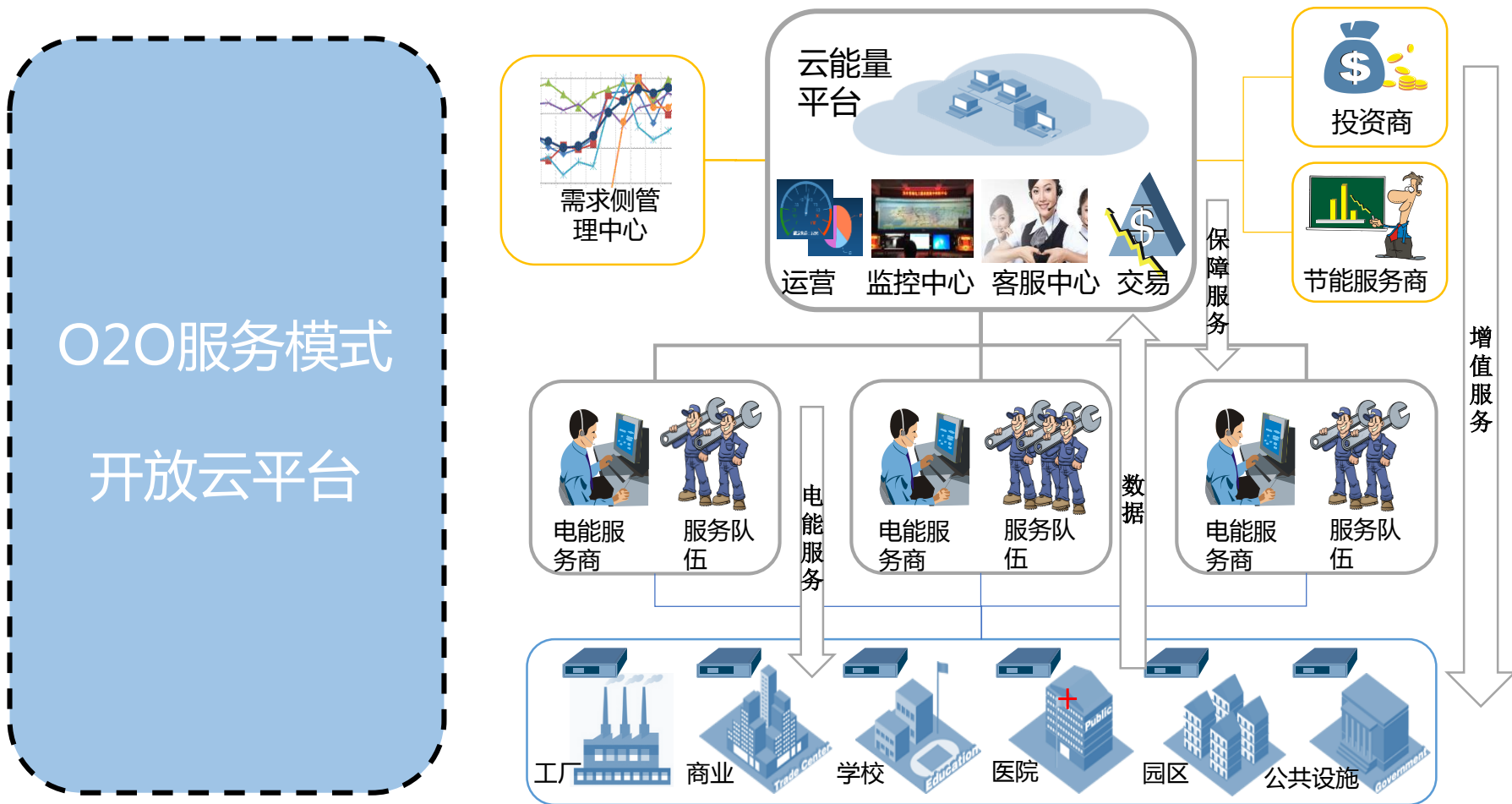
经济用电

节能减排



## 2.6 高级应用服务

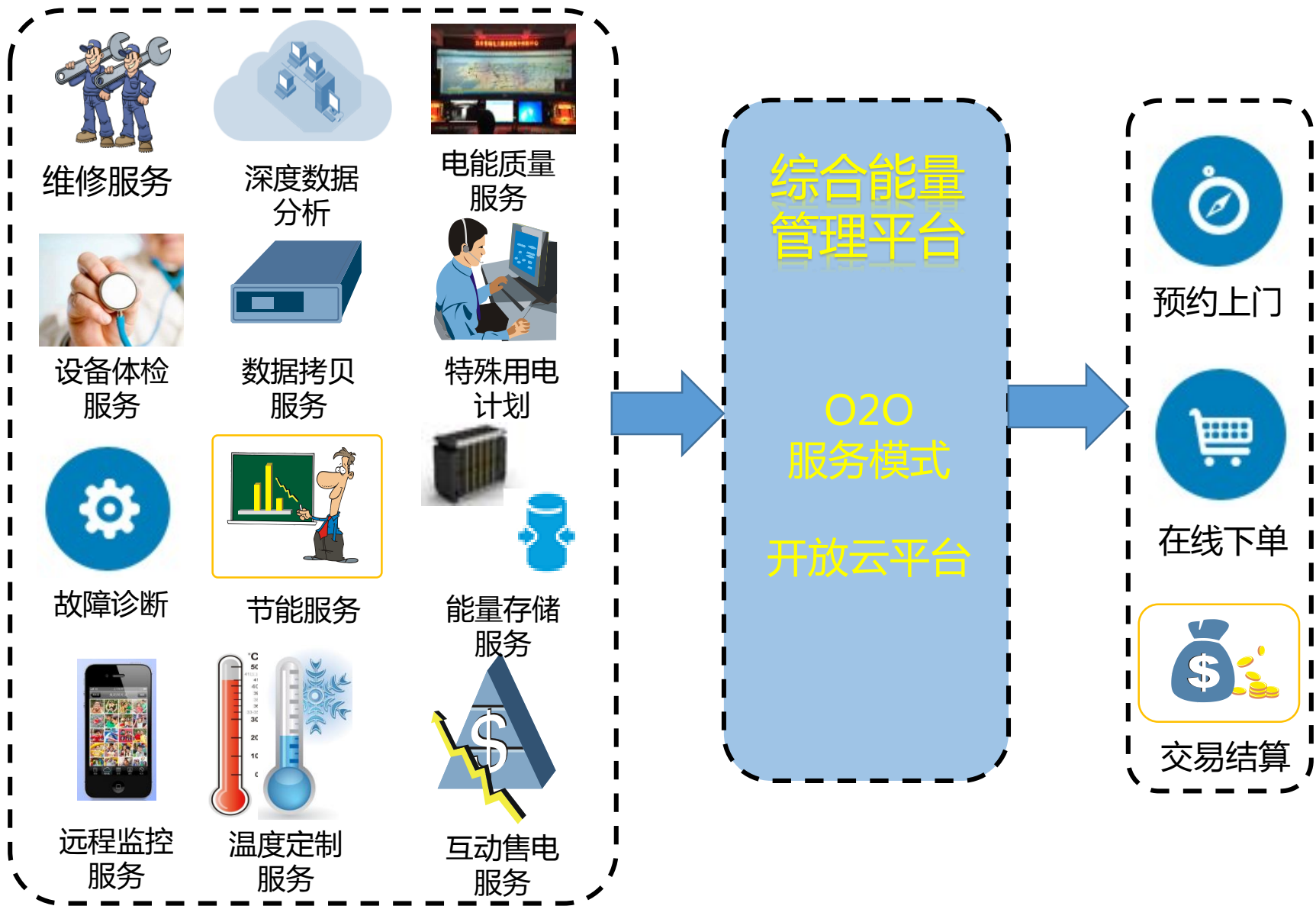
### 高级应用服务模式框架



能量管理平台基于开放云平台形式和O2O服务模式，可以实现多种能源应用服务

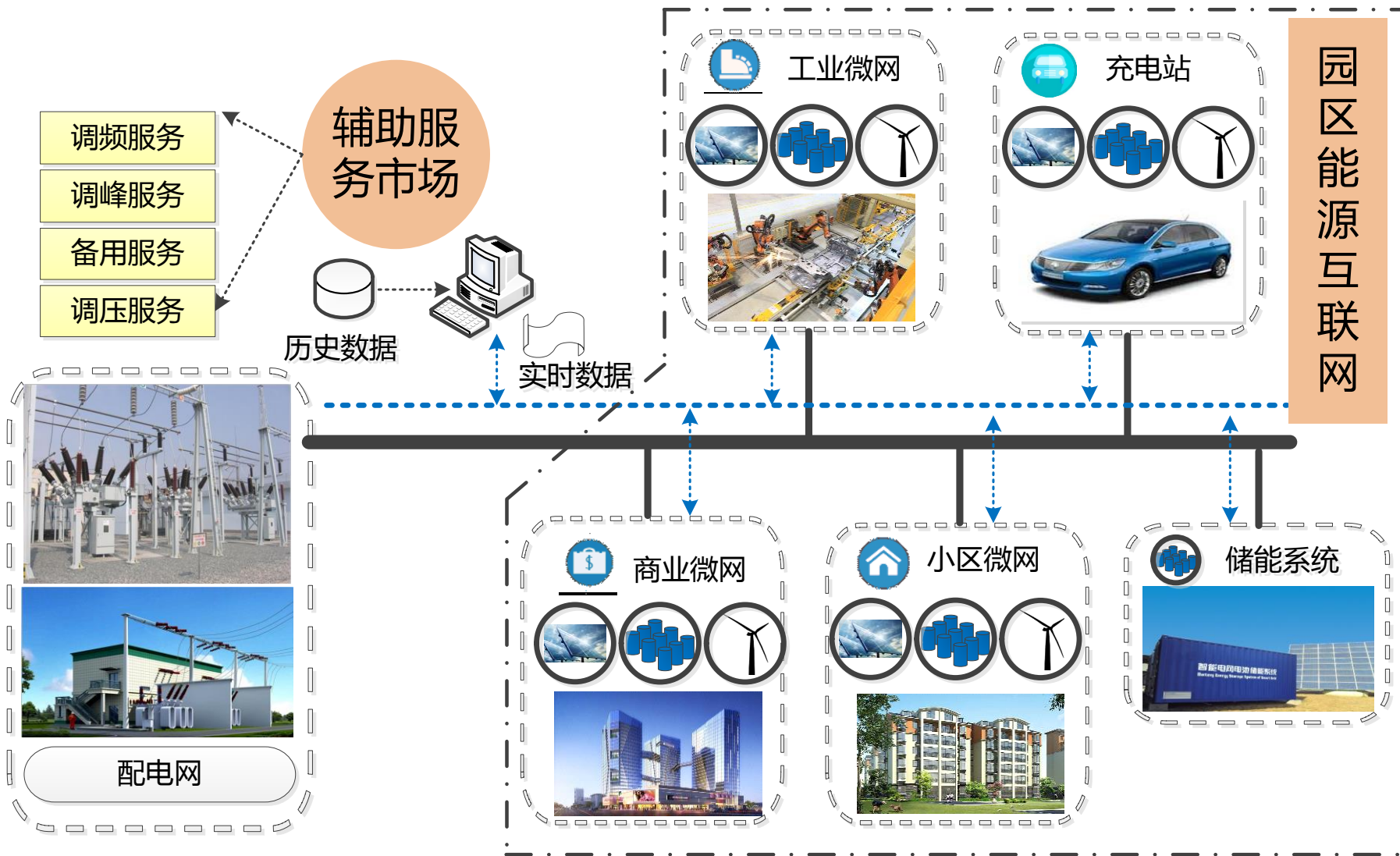


## (2) 用户定制服务



用户可以根据需求通过O2O服务模式预约维修、设备体检、故障诊断、能量存储、节能、温度定制、深度数据分析、远程监控、互动售电等多种形式的服务。可以通过在线下单结算方式预约上门服务或者远程服务。

### (3) 电网辅助服务



园区能源互联网具有多种可用形式的能源和可控负荷，从电网侧看，既可以用电，也可以发电，是一种主动负荷的形式，可以按照辅助服务市场规则，合理调整园区发电和用电计划，为大电网实现调频、调峰、备用和调压。

# 1 能源互联网概述

1.1 能源互联网研究背景

1.2 园区能源互联网

1.3 能源互联网商业模式和服务业态

# 2 园区能源互联网综合能量管理系统

2.1 智能信息感知

2.2 智能通信与信息系统

2.3 能量及负荷预测

2.4 多能源优化调度

2.5 需求侧响应

2.6 高级应用服务

# 3 研究基础及关键创新点

---

3.1 研究基础与成果

3.2 关键创新点

# 3.1 相关研究成果与基础

## 国家863计划：微型电网并网、控制和保护技术（2008AA05Z216）

### 1. 微网运行保护技术的研究

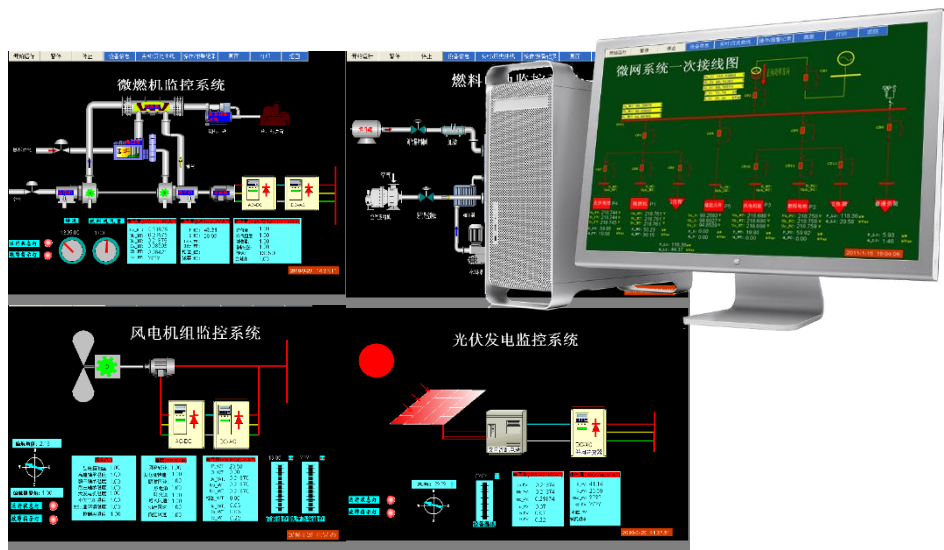
- 微网并网对短路容量的影响
- 微网运行继电保护特性研究
- 微网并网后保护系统拟解决的关键问题

### 2. 微网并网技术的研究

- 微网运行对接入配电网的影响研究
- 微网机组并网技术与方式

### 3. 微网协调、运行和控制技术的研究

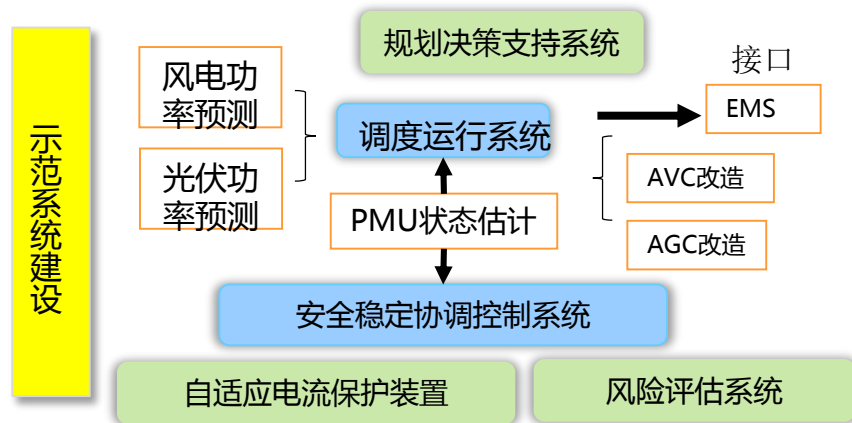
- 计及分布式电源配电网随机潮流的稳态分析研究
- 微网并网运行的暂态仿真模型研究
- 微网电压/无功优化控制的方案研究
- 微网动态监测和协调控制可行性研究



# 3.1 相关研究成果与基础

## 国家863计划：多类型新能源发电综合消纳的关键技术（2012AA050201）

1. 含新能源的电网复杂性特征
2. 综合规划关键技术
3. 优化调度与互补运行关键技术研究
4. 高可靠性继电保护系统研究
5. 安全稳定协调控制体系研究
6. 防灾技术及应急机制研究
7. 实时数字仿真研究



# 多类型新能源发电综合消纳

源网荷

规划  
电源 网架

主要问题

调度  
绿色 经济

问题与对策

规划  
如何规划电网结构  
何处接入以提高消纳能力



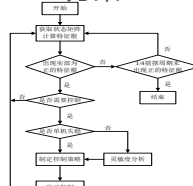
运行  
如何实现互补运行技术  
新能源时空互补特性



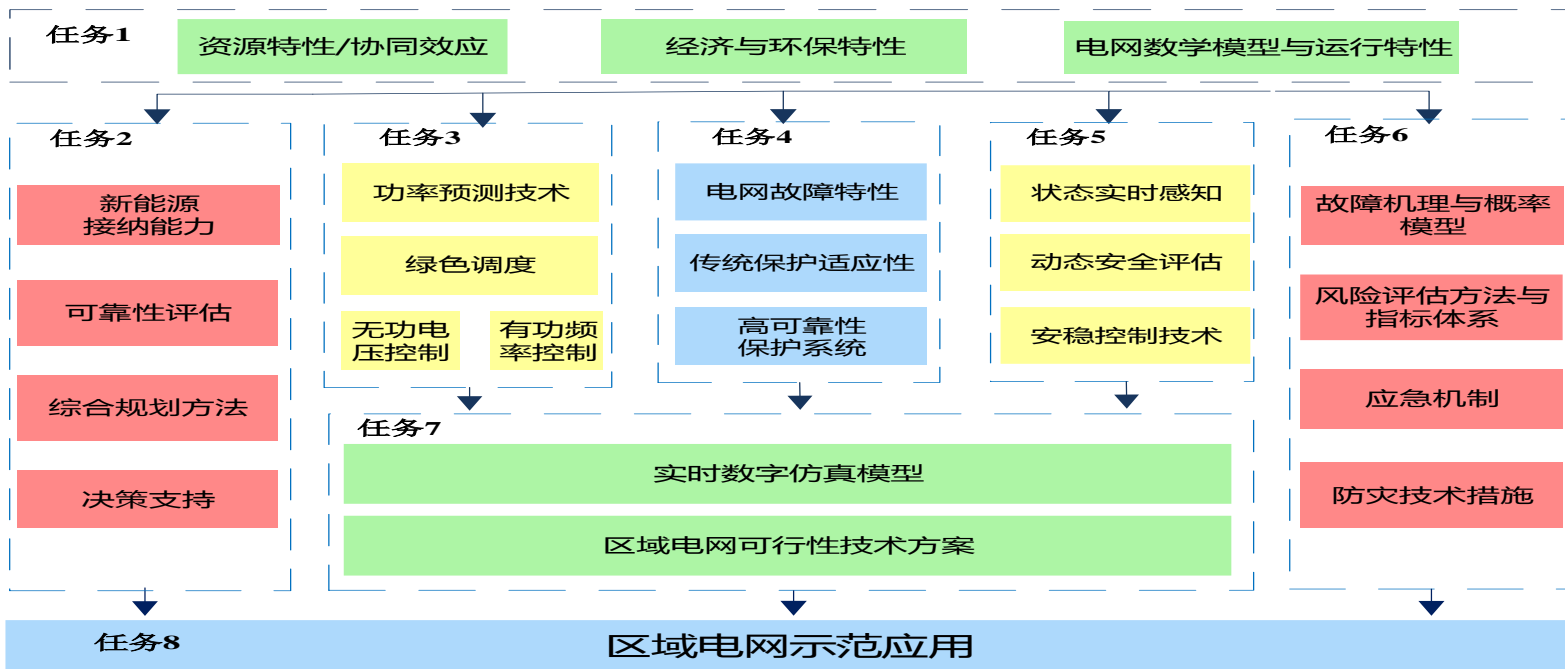
保护  
如何保证高可靠性保护



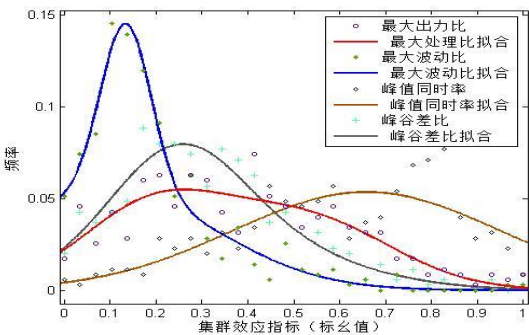
控制  
安全稳定协调控制实现  
方案



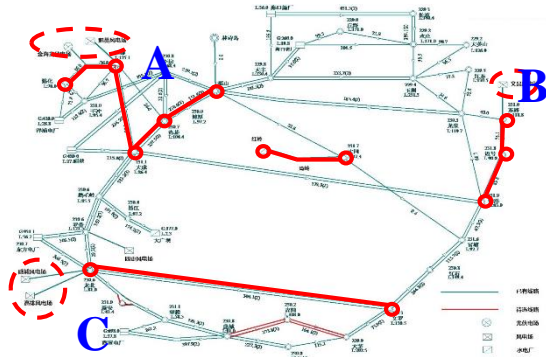
主要内容及思路



# 含新能源的电网复杂性特征及综合规划



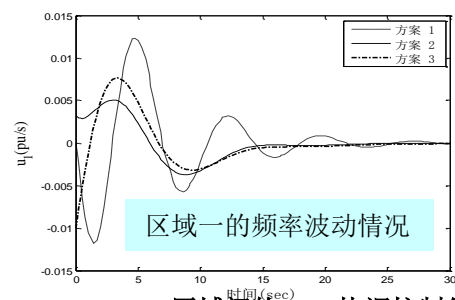
集群效应指标概率面密度曲线



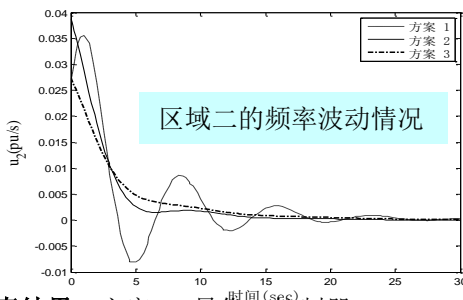
15%新能源渗透率下海南电网规划方案

综合评价指标	投资费用 (万元)	网络损耗成本 (万元)	发电成本 (万元)
评价指标值	63217	1024.96	178079.41
综合评价指标	停电损失期望值 (MWh/a)	失负荷概率值	网架可扩展负荷 (MW)
评价指标值	5914.901	0.0046	648.174
综合评价指标	线路高负载率	线路低负载率	线路平均负载率
评价指标值	0.35%	48.6%	23.52%

## 优化调度与互补运行关键技术

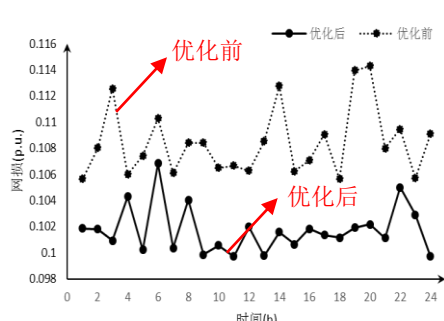


区域一的频率波动情况

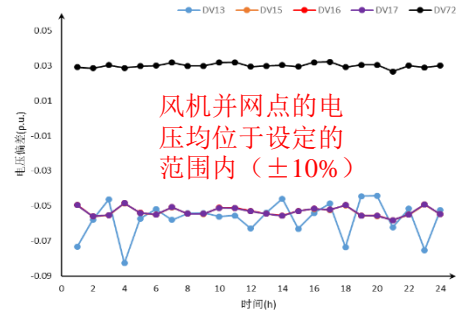


区域二的频率波动情况

方案1: 最优PI控制器  
方案2: 最优控制器  
方案3: 基于微分博弈理论的控制

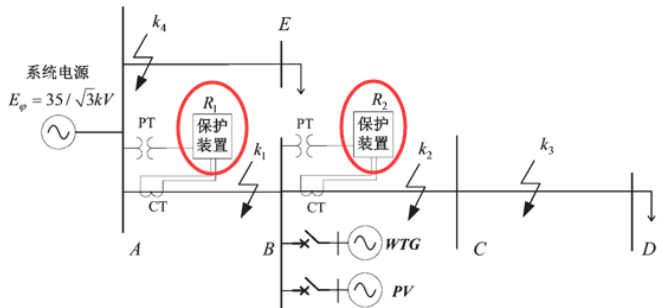


多目标无功优化前后的系统网损



多目标无功优化后风机并网点电压

## 高可靠性继电保护系统



新能源接入导致传统电流保护I段可能误动、II段可能拒动,单相接地故障识别可能错误。

提出了自适应电流保护及单相接地识别方案

开发了自适应短路及接地的综合保护装置APR-01

新能源分散接入配电网

### 自适应电流保护方案

- 自适应于运行方式变化
- 自适应于故障类型—故障选相
- 自适应于故障方向

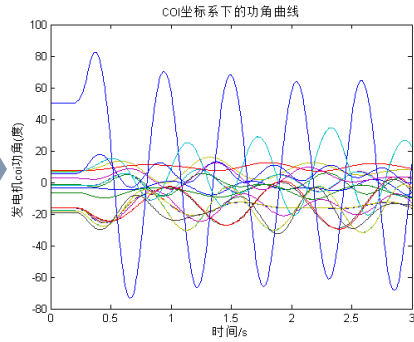
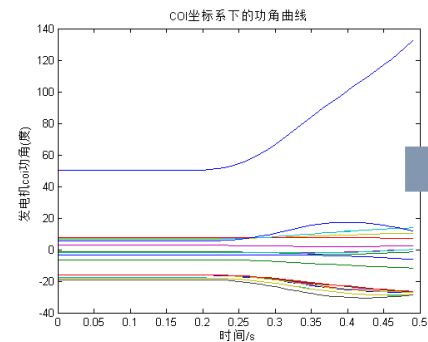
### 单相接地识别方案

- 利用暂态量构成单相接地识别判据

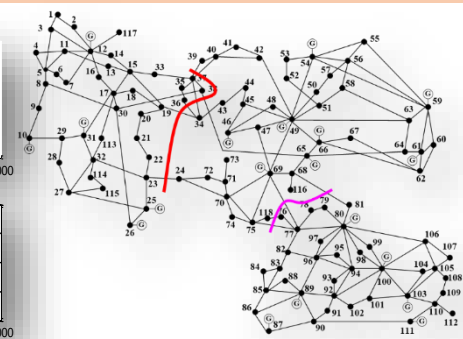
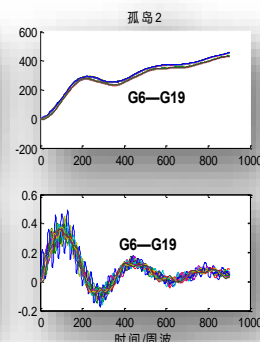
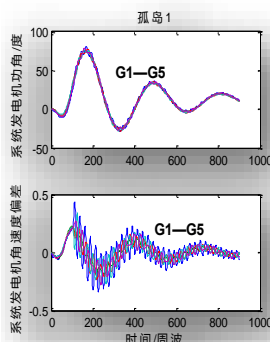
$$K = \frac{\text{故障相中电流的(暂态)故障分量}}{\text{健全相中电流的(暂态)故障分量}}$$

•  $K > k_1$  故障线路;  $K < k_2$  健全线路

# 安全稳定协调控制体系



暂态失稳趋势预判 → 比实际失稳时间 0.5s 提前了 0.19s

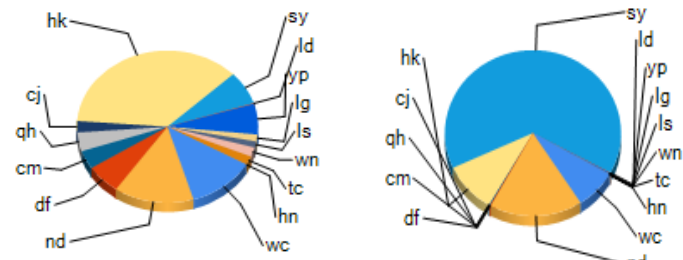
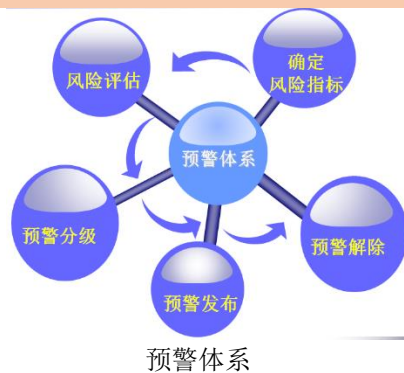


基于实时量测的慢同调划分与解列

# 防灾技术及应急机制

## 预警分级算例

分级指标	失负荷风险	电压越限风险	过负荷风险	综合风险	预警级别
数值	0.0696	0.0721	0.0906	0.0697	黄色

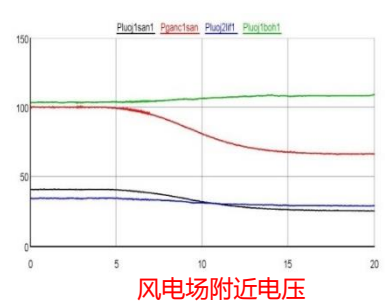


夏大、小运行方式电压越限情况分区分布

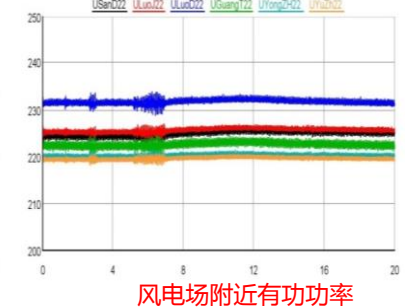
# 实时数字仿真



多类型新能源渗透率超过30%的电力系统实时数字仿真平台



风电场附近电压



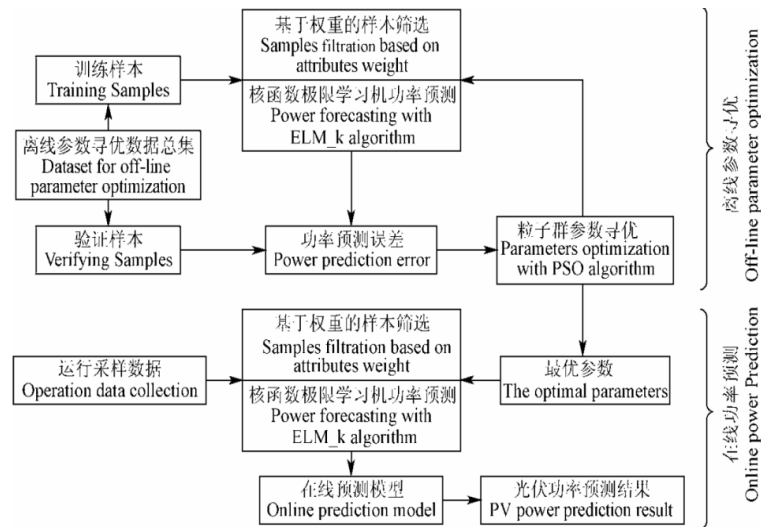
风电场附近有功功率

峨蔓风场风速从4.8m/s (0.4pu) 上升至12m/s (1.0pu) 仿真结果

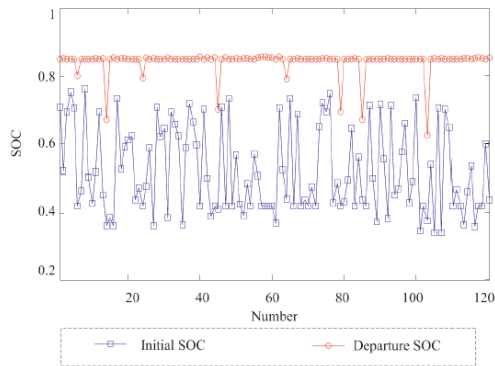
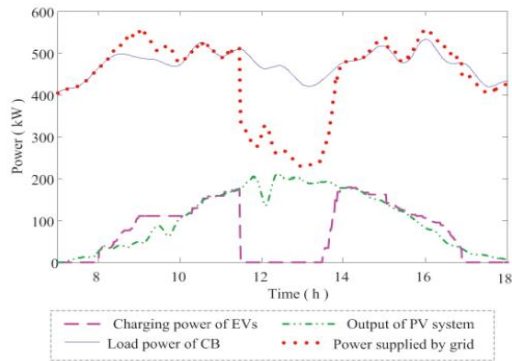
# 3.1 相关研究成果与基础

## 微电网环境下电动汽车与可再生能源的协同增效机理与优化方法 国家自然科学基金 (51277067)

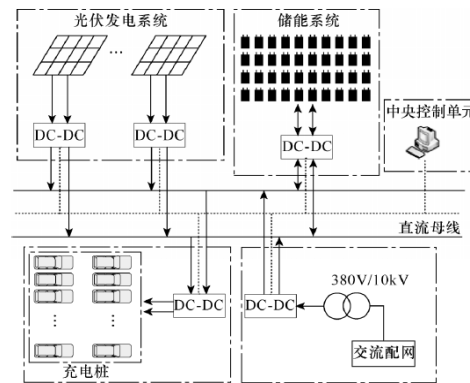
1. 典型集成模式及效益评价指标体系
2. 充电负荷的随机性及充放电设施的可控性
3. 电动汽车与可再生能源间的资源和能量利用策略
4. 充放电设施与可再生能源发电系统优化配置方法
5. 充放电设施与可再生能源发电的优化调度方法



充放电设施与可再生能源发电系统优化配置

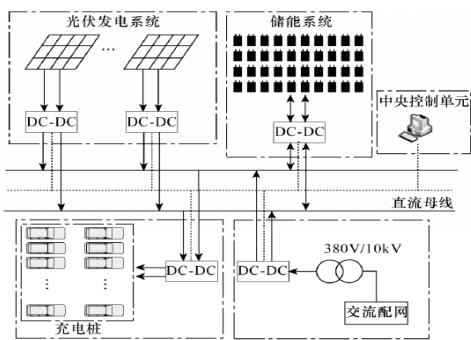


充放电设施与可再生能源发电的优化调度方法

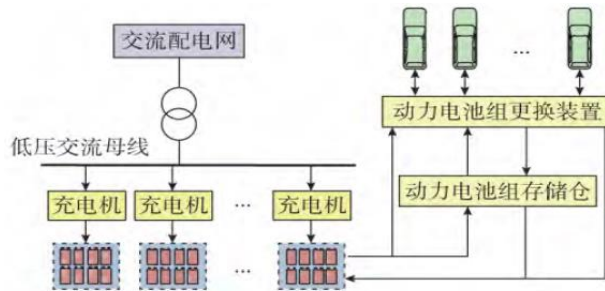


直流集成模式

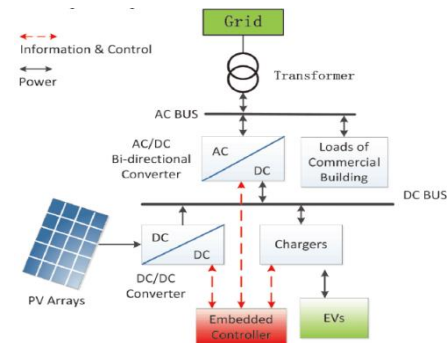
# 典型集成模式及效益评价指标体系



直流集成模式

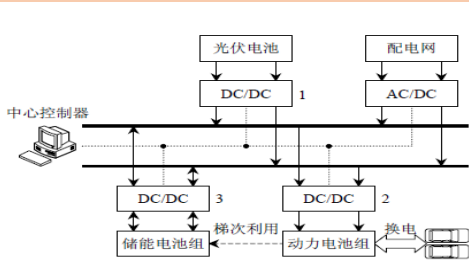


交流集成模式

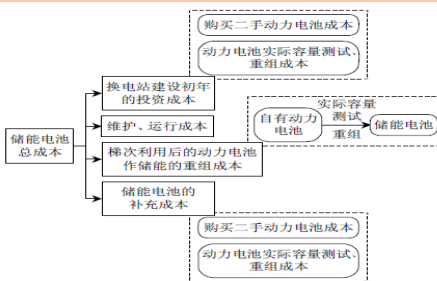


混合集成模式

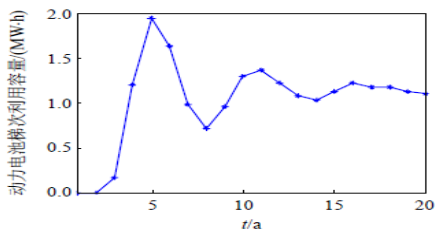
## 电动汽车与可再生能源间的资源和能量利用策略



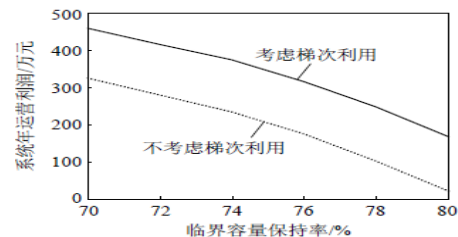
换电站典型结构



梯次利用储能系统成本



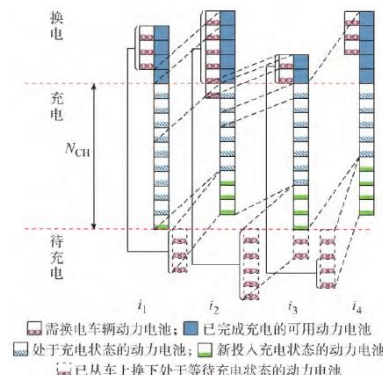
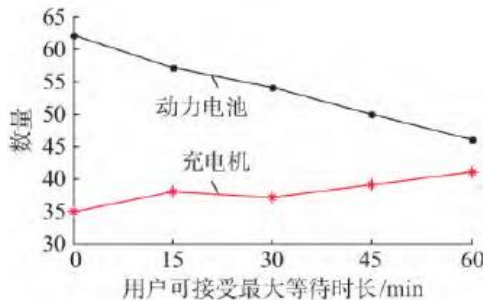
梯次利用容量



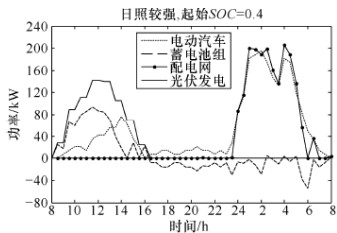
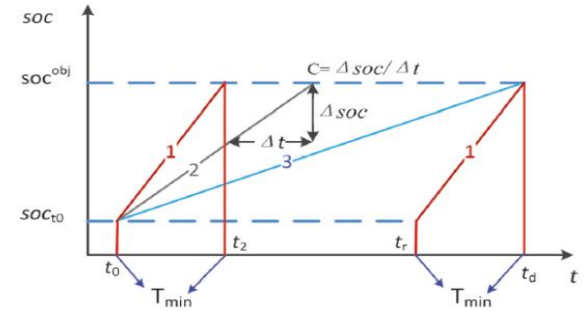
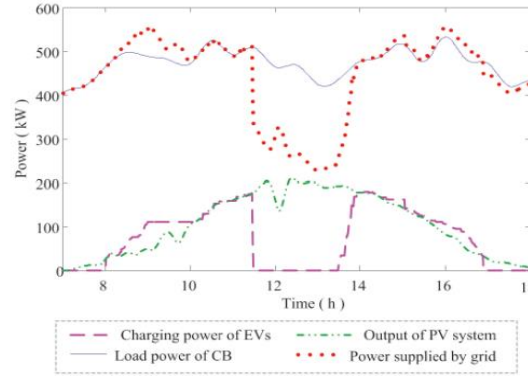
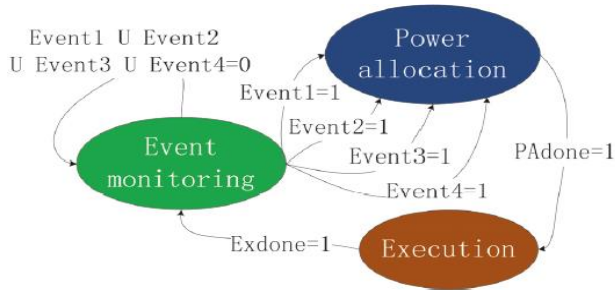
系统年利润对比

## 充放电设施与可再生能源发电系统优化配置方法

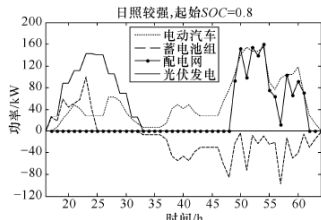
方案	车辆进站时间的分布规律	最大等待时长(时段数)	日服务可用率最小值/%	充电机数量	动力电池组数量	成本等年值/万元
1	均匀分布	0	100.00	35	162	1 119.1
	正态分布	0	100.00	25	195	1 169.2
2	均匀分布	2	99.82	37	154	1 106.9
	正态分布	2	99.96	25	192	1 164.1
3	均匀分布	4	99.13	41	146	1 095.8
	正态分布	4	99.43	26	180	1 144.5



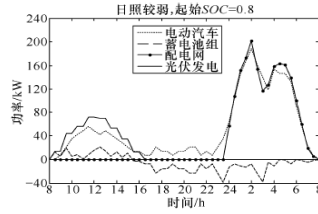
# 充放电设施与可再生能源发电的优化调度方法



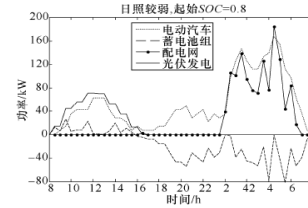
日照较强, 起始 SOC 较低情况下蓄电池组循环电量约为 200kW·h 时各部分功率



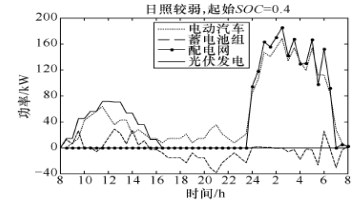
日照较强, 起始 SOC 较高情况下蓄电池组循环电量约为 500kW·h 时各部分功率



日照较弱, 起始 SOC 较高的情况下蓄电池组循环电量约为 200kW·h 时各部分功率



日照较弱, 起始 SOC 较高的情况下蓄电池组循环电量约为 500kW·h 时各部分功率



日照较弱, 起始 SOC 较低的情况下蓄电池组循环电量约为 192.10kW·h 时各部分功率

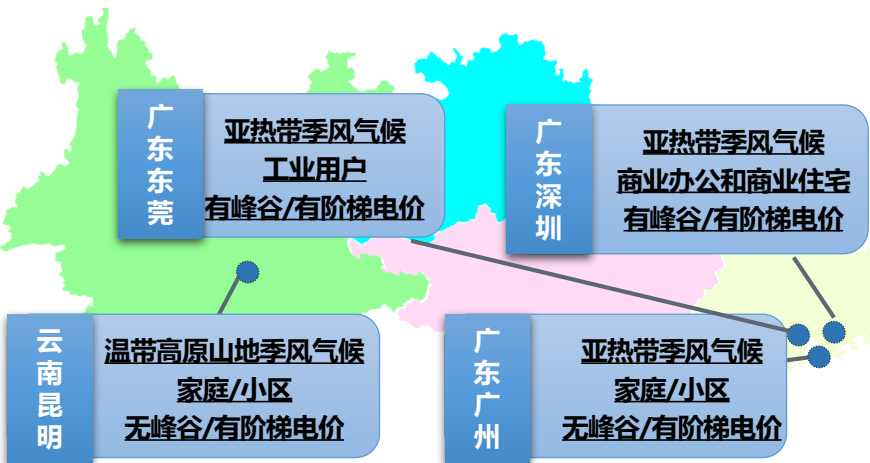
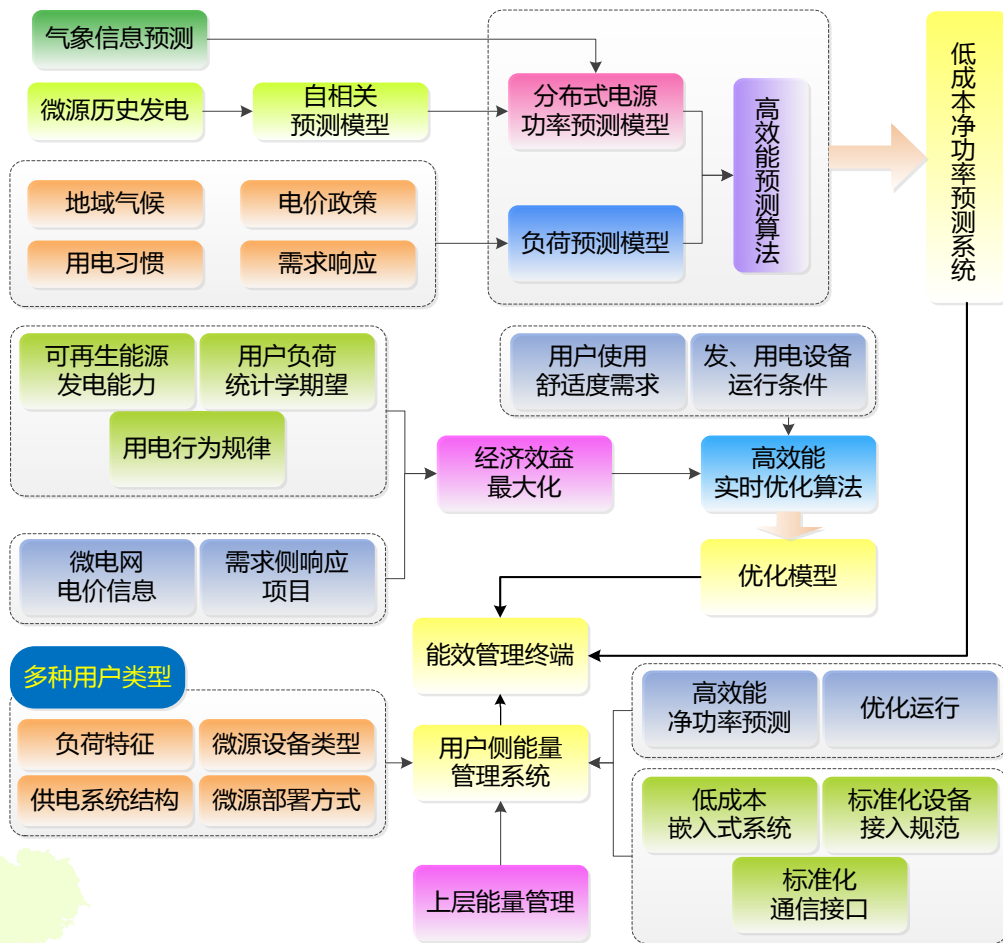
## 国家自然科学基金项目取得的理论成果

- 国际学术期刊、国际会议及国内核心期刊上发表论文17篇，被SCI收录4篇、EI收录13篇。
- 国家发明专利2项。
- 培养硕士8名，博士2名。

# 3.1 相关研究成果与基础

## 国家863计划：基于分布式能源的用户侧智能微电网（2014AA052001）

1. 微电网环境下低成本的分布式**电源功率预测**与**用户负荷预测**技术
2. 多类型用户的**互动用电行为特性**及**能耗分析方法** **Load characteristics and loss analysis method**
3. 面向多类型用户的**微电网优化运行**与**能量管理技术** **Optimal operation and efficiency management**
4. 低成本嵌入式的用户**能效管理终端** **Low cost & plug-in terminal unit for customer efficiency management**



# 平台与示范工程建设

- ✓ 用户侧微电网的数字与物理仿真实验平台研发
- ✓ 深圳湾生态科技园智能微电网示范工程
- ✓ 广州沿海地区家庭/小区智能微电网示范工程
- ✓ 东莞信义玻璃厂及易事特厂区智能微电网示范工程
- ✓ 昆明高海拔地区家庭/小区智能微电网示范工程

## 平台与示范工程

### 样机研制

- ✓ 用户侧微电网双向计量与监控一体化终端研发
- ✓ 面向多类型用户的微电网能效管理终端
- ✓ 适用于用户侧微电网的中央控制器研发

### 系统开发

- ✓ 用户侧微电网能量管理系统
- ✓ 用户侧微电网技术经济评价系统

## 系统开发与样机研制

### 用户侧智能微电网双向计量与监控技术研究

- ✓ 考虑互操作性的用户侧智能微电网的监控与接口技术
- ✓ 适用于用户侧微电网的双向计量技术与计费模式

### 用户侧智能微电网优化运行与能效管理技术

- ✓ 分布式电源功率预测与用户负荷预测技术
- ✓ 多类型用户的互动用电行为特性及能耗分析方法
- ✓ 面向多类型用户的微电网优化运行与能效管理技术

### 保障安全可靠用电的用户侧微电网控制保护技术

- ✓ 用户侧微电网的孤岛检测与运行方式控制
- ✓ 用户侧微电网的保护与主动安全控制技术
- ✓ 用户侧多微网互联运行的群组协调控制技术

## 关键技术

# 用户侧智能微电网的供电模式与规划设计

- ✓ 用户侧微电网的供电模式与系统架构
- ✓ 用户侧智能微电网的规划设计
- ✓ 用户侧微电网的综合评价指标体系与方法

## 体系架构与规划设计

# 用户侧智能微电网的典型运营模式与技术经济评价

- ✓ 用户侧微电网商业运营模式研究
- ✓ 适用于用户侧微电网的激励机制与需求响应策略研究
- ✓ 考虑全寿命周期的用户侧微电网技术经济评价

## 技术经济评价

## 广东广州和云南昆明家庭/小区智能微电网示范工程



广东广州-荔城碧桂园小区

云南昆明-西山别墅小区

针对沿海地区和高海拔地区的居民用户气候条件、太阳能资源条件、光伏发电特性、用电特性等方面的差异，选择广州市和昆明市内的住宅小区示范。每个住宅家庭/小区型微电网示范工程的用户数不少于20户，平均每户分布式光伏容量不小于3千瓦，光伏功率渗透率不小于40%。

## 深圳商业办公楼宇和商业住宅型微电网示范工程



针对沿海地区的商业办公和商业住宅用户，建设商业楼宇型微电网示范工程，结合深圳市峰谷电价和阶梯电价的相关政策，对办公用户的基于电价和激励的用户能效管理策略等进行全面验证。选取深圳湾生态科技园的2幢综合办公楼和1幢商业住宅楼进行示范。光伏和储能总容量不小于100千瓦，光伏功率渗透率不小于15%。

## 东莞工业园区智能微电网示范工程



东莞信义玻璃厂示范工程

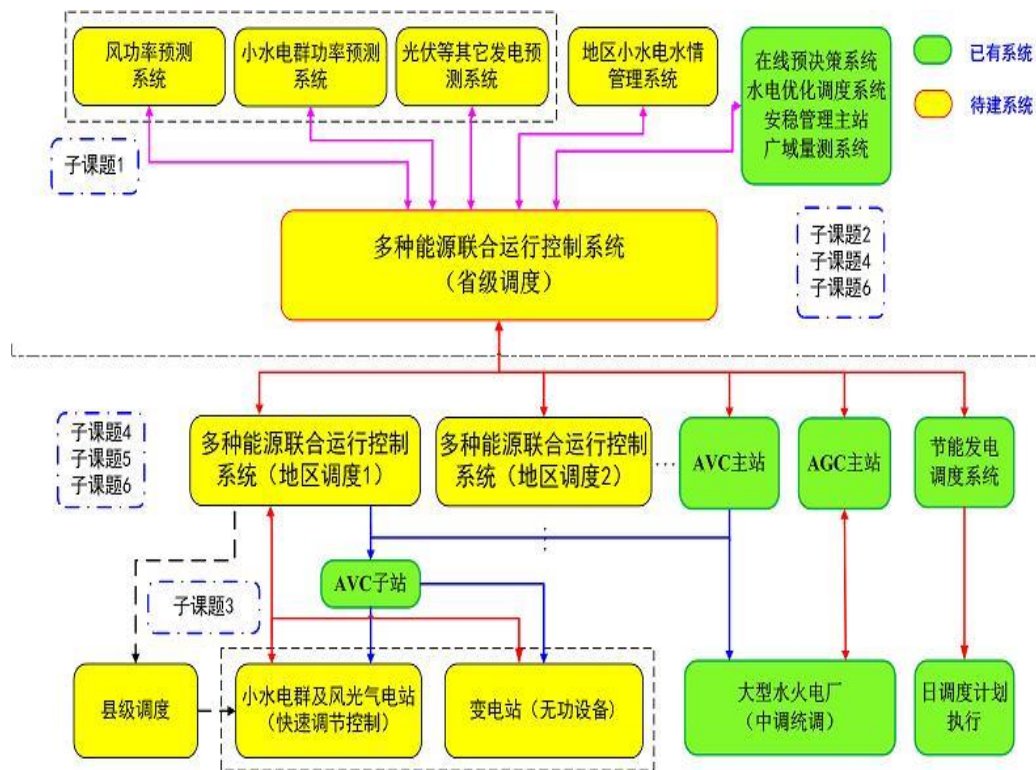
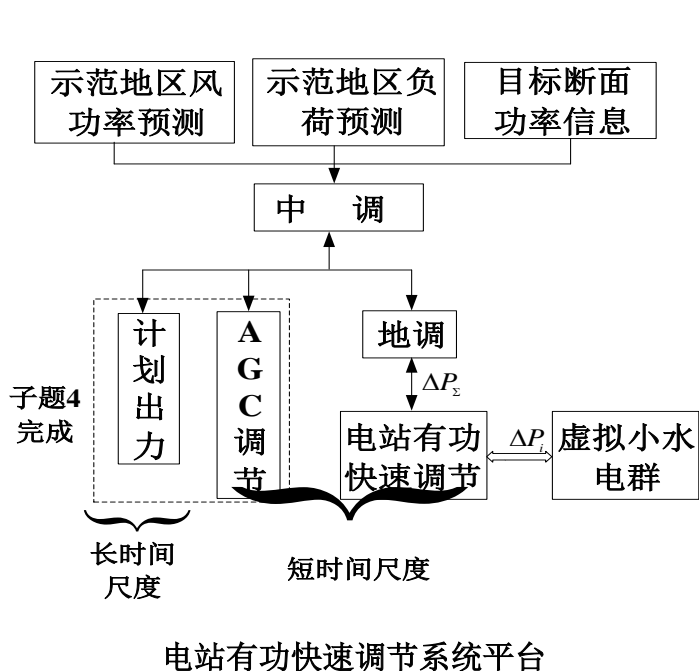
东莞易事特公司厂区示范工程

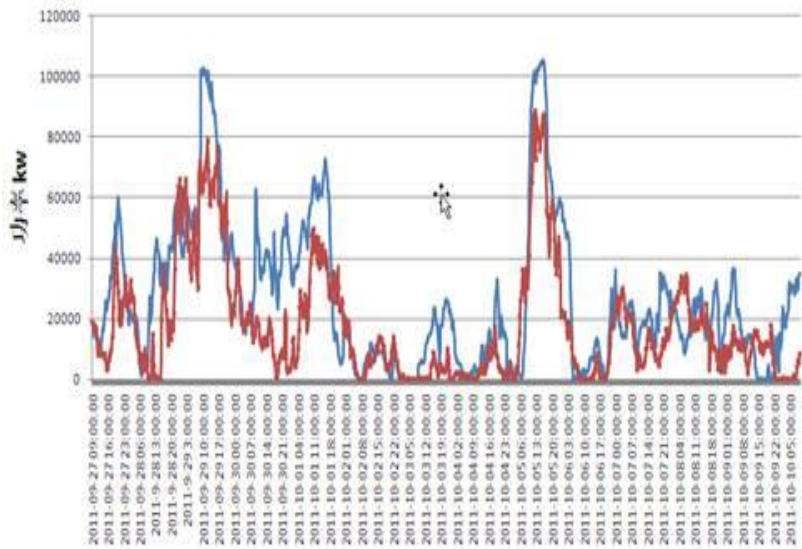
针对沿海地区的工业用户，结合厂区的电源与负荷特点，建设工业型光伏发电/余热发电的微电网示范工程以及光伏/储能微电网示范工程。以东莞市信义玻璃厂和易事特公司厂区为依托，建设工业园区型微电网示范工程。分布式光伏并网电压等级覆盖0.4kV到10kV，光伏和储能总容量不小于2万千瓦，光伏功率渗透率不小于20%。

# 3.1 相关研究成果与基础

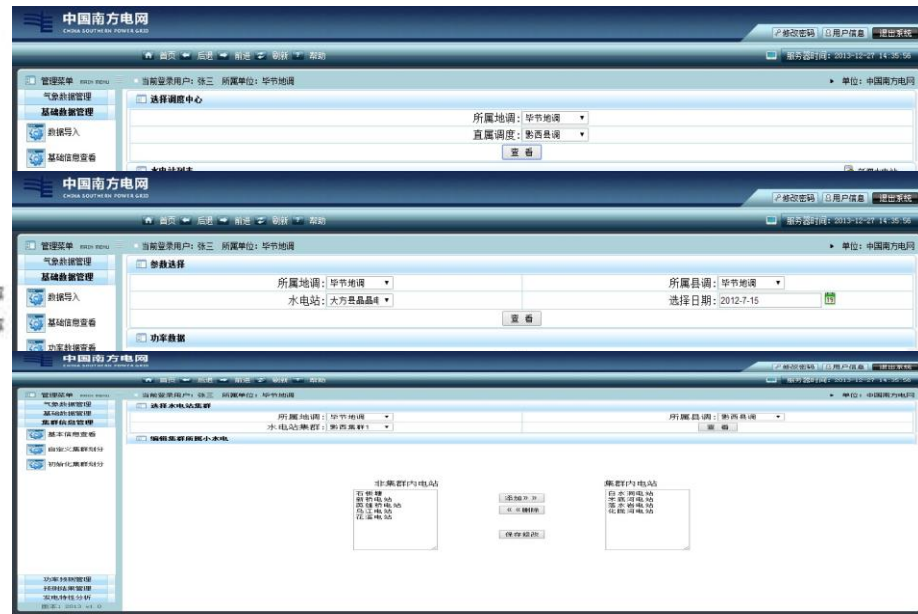
## 国家支撑计划 规模化小水电群与风光气发电联合运行控制关键技术研究及示范

通过依托贵州小水电群，结合电网自身特点，开展**规模化小水电群与风光气发电联合运行控制**等关键技术的示范应用，实现贵州省电网与地区电网多个层面上**能源互补**的经济优化运行，以提高风、光、水、气等**多种能源综合利用效率**，为清洁能源并网和能源安全高效综合利用提供技术支撑。

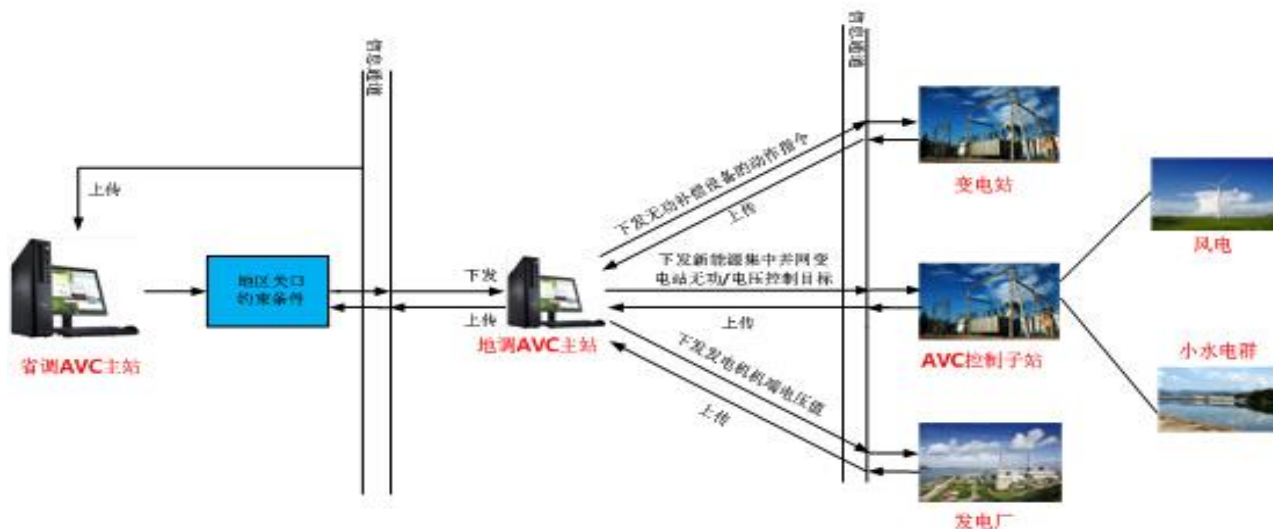




基于多元信息的密集小水电短期功率集群预测



山区小水电集群功率预测系统



多种能源发电系统多级协调无功/电压控制技术



RESULT OF VOTING ON NEW WORK ITEM PROPOSAL


IEC/TC or SC TC8	Date of circulation 2013-10-11
Allocated project number <b>IEC/TS 62898-2 Ed.1</b>	
Reference number of the proposal 8/1327/NP	Title of the TC or SC concerned Systems aspects for electrical energy supply
Title of proposal: Technical requirements for Operation and Control of Micro-Grid	

提案建议

Approval				
P-Members Voting	P-Members Approving	Approval %	Criteria	Result
20	17	85	>50%	APPROVED
Participation				
Number of P-Members	P-Members approving and participating	Criteria		Result
31	6	>=4 (if <= 16) >= 5 (if >= 17)		APPROVED


投票结果

2013年10月，IEC投票通过由中国主导制定两项IEC微电网国际标准。2014年1月，IEC/TC8/WG7国内工作组成立，该工作组致力于IEC/TS 62898-1 与 IEC/TS 62898-2 两项标准的制定与工作组组织协调工作。



**IEC/TS62898-1: Guidelines for General Planning and Design of Microgrids**  
《微电网规划与设计导则》

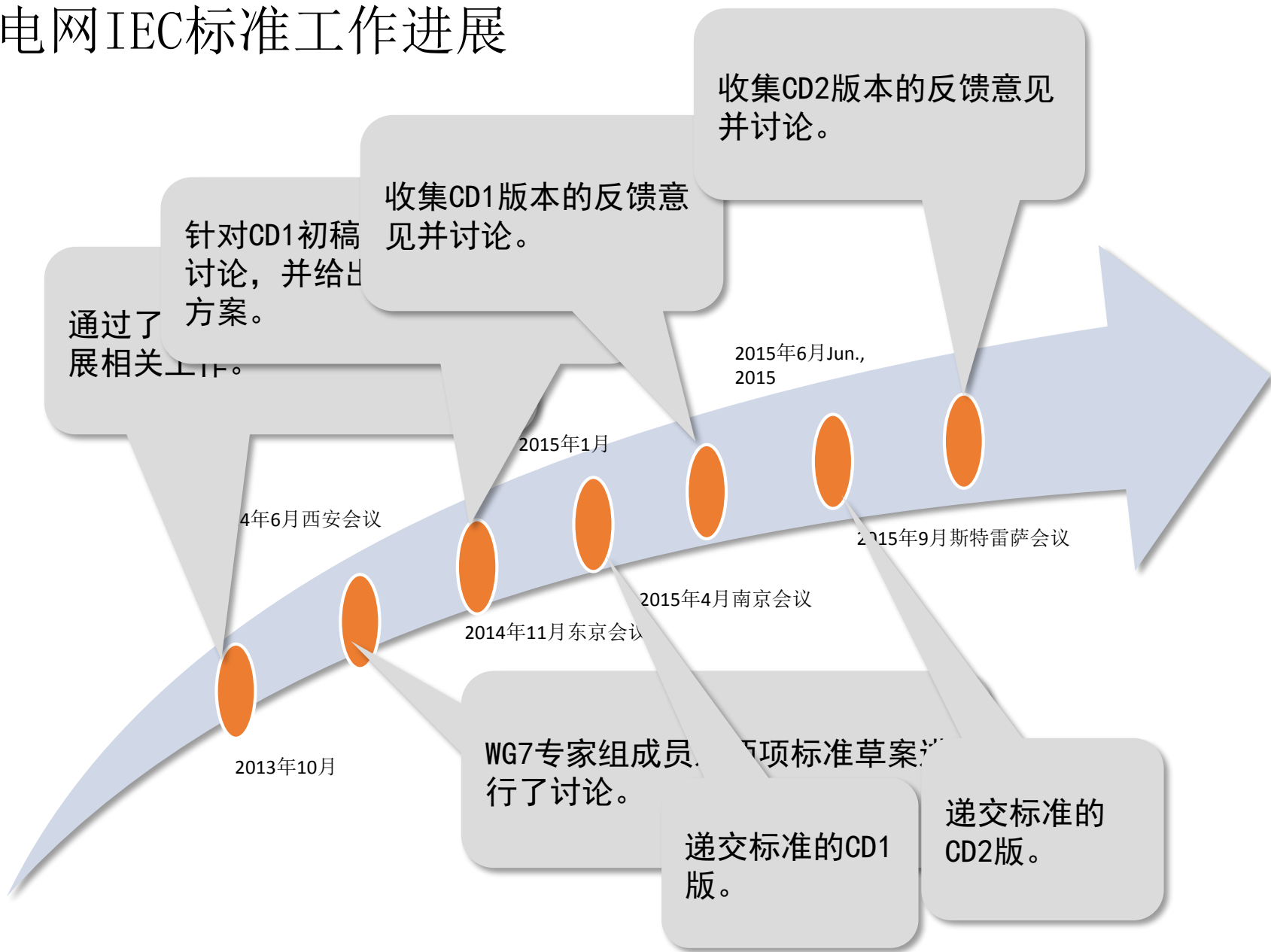
微电网的建设意义以及应用领域  
微电网规划的必要性，包括资源分析、负荷预测以及分布式电源规划  
微电网规划阶段所需满足的要求  
微电网评估中最优规划方案的选择



**IEC/TS62898-2: Technical Requirements for Operation and Control of Microgrids**  
《微电网运行与控制技术规范》

不同运行模式下（并网、孤岛及隔离型微网）的运行要求及控制目标  
不同运行模式下的基本控制策略和算法  
不同模式下的储能系统、保护系统以及监测通信系统的运行要求  
微电网的电能质量要求

# 微电网IEC标准工作进展



# TC 8 Systems aspects for electrical energy supply

Scope Structure Projects / Publications Documents Votes Meetings Collaboration Tools

Work programme Publications Stability Dates Project files

Mr Jianhua Zhang (cn-jh-zh)

Log out

En Fr

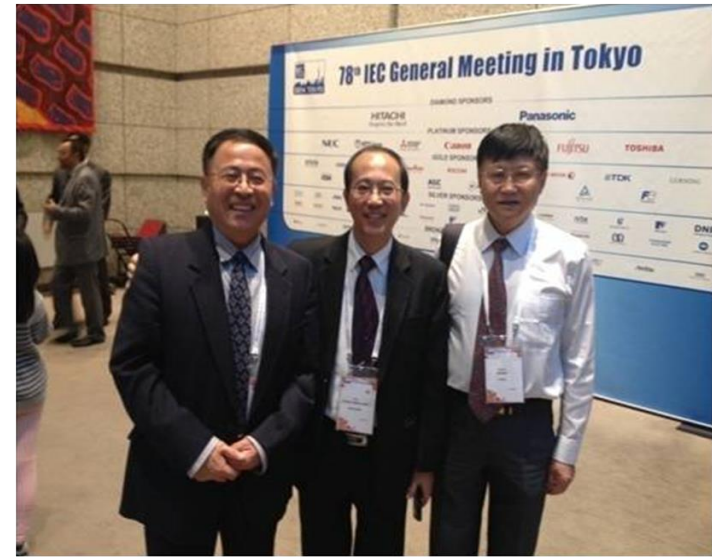
## TC 8 Work programme (5)



Project Reference	Document Reference	Init. Date	Current Stage	Next Stage	Working Group	Project Leader	Fcst. Publ. Date
<a href="#">IEC 60038 am1 f1 Ed. 7.0</a> Standard voltages for LVDC supply and LVDC equipment (Proposed horizontal standard)	<a href="#">8/1405/CD</a> 145 kB	2015-05	<a href="#">1CD</a> 2015-06	<a href="#">A2CD</a> 2016-02	MT 1	D. Sweeting	2018-04
<a href="#">IEC 60038 am1 f2 Ed. 7.0</a> Standard voltages for AC supply and AC equipment (Proposed horizontal standard)	<a href="#">8/1406/CD</a> 190 kB	2015-05	<a href="#">1CD</a> 2015-06	<a href="#">A2CD</a> 2016-02	MT 1	D. Sweeting	2018-04
<a href="#">IEC/TS 62786 Ed. 1.0</a> Distributed Energy Resources Interconnection with the Grid	<a href="#">8/1401/CD</a> 352 kB	2012-02	<a href="#">CDM</a> 2015-08	<a href="#">A4CD</a> 2016-01	PT 62786	L. Z. Yao and G. Dell'Olio	2015-12
<a href="#">IEC/TS 62898-1 Ed. 1.0</a> Guidelines for general planning and design of microgrids	<a href="#">8/1407/CD</a> 416 kB	2013-10	<a href="#">2CD</a> 2015-06	<a href="#">A3CD</a> 2016-02	WG 7	Z. Bie, P. Zhang	2016-08
<a href="#">IEC/TS 62898-2 Ed. 1.0</a> Technical Requirements for Operation and Control of Microgrids	<a href="#">8/1408/CD</a> 759 kB	2013-10	<a href="#">2CD</a> 2015-06	<a href="#">A3CD</a> 2016-02	WG 7	J. Zhang, P. Zhang	2016-08



2015年10月在明斯克IEC年会议与IEC副主席舒印彪合影



2014年11月在东京IEC年会议与新加坡IEC主席Peter合影

# 国际合作

与法国电力公司合作  
*Collaboration with EDF*



2014年9月18日与2015年3月19日，法电代表参观北京金风科技集团，并讨论IEC TS62898相关事宜。

2015年9月28日，华电及金风相关代表参观法国电力公司并进行技术交流。

与TC8/MT 62749合作  
*Collaboration with TC8/MT 62749*



2015年6月TC8/WG7南京工作组会议，WG7工作组专家与MT 62749工作组专家进行交流并探讨微电网电能质量问题。

## 3.2 关键创新点

# 关键 创新 点

分析历史数据及负荷特性，建立园区能源互联网电负荷、气负荷和热负荷的精细化负荷分类模型，提出基于机器学习的大数据挖掘分析技术，实现电、气、热负荷的精细化分类预测方法；

分析历史数据及多类型新能源发电特性，研究基于机器学习的大数据挖掘分析技术，实现多类型新能源发电功率的高精度预测；

研究电、气、热、车、储等多种能源的协同增效机理，实现能源互联网多种能源间的协同优化调度方法，提出一套园区级综合能效监测、分析及评价方法；

研究多种能源和负荷对价格（电、气、热价格）的响应机理，实现园区级能源互联网高效需求响应策略；

结合互联网思维探索一套大众参与，集通用服务与个性化定制于一体服务的商业服务模式，设计和开发一套经济高效和可进行商业复制的园区能源互联网综合能量管理系统平台。

谢谢！  
THANK YOU

