

# 光伏高比例接入应对技术 白皮书



# CONTENTS

## 目录

<b>01.报告背景</b>	03
<b>02.光伏高比例接入当前主要问题</b>	04
1. 影响配电电压水平及增加调压难度	04
2. 影响电网电能质量	04
3. 影响配网自动化保护	04
4. 对电力市场交易的影响	04
5. 对电网调度业务的影响	05
<b>03.光伏高比例接入应对策略</b>	06
1. 改善设备对弱电网的适应性	06
2. 积极响应电网调控手段	09
3. 采用新型接入方案	10
4. 合理配置储能	12
5. 积极部署应用层	16
<b>04.总结与展望</b>	19

# 01. 报告背景

新型电网是以光伏发电、风力发电等新能源和火力发电等传统能源结合的形式，由于新能源具备随机性、波动性和间隙性，导致了新型电力系统呈现出“一低、两高、双峰、双随机”的特点，即低系统转动惯量、高比例新能源和高比例电力电子装备、夏冬负荷双高峰、发电出力和用电负荷双侧随机波动，给电力系统稳定运行带来了挑战。

本文主要探讨光伏高比例接入对电网的影响，同时分享固德威在应对光伏高比例接入应对方面所采用的技术与经验。



## 02. 光伏高比例接入当前主要问题

多元、互动、灵活的用能设备大量接入对配电网运行控制、终端电能质量等造成重大影响。分布式能源、储能、电动汽车、智能用电等大量交互式设备接入，导致电网潮流方向发生改变，电压分布、谐波等影响配电网电能质量，终端无序用电将会增大净负荷峰谷差，功率波动问题更加突出。配电网对光伏的接纳能力和消纳能力面临严峻考验，安全稳定运行受到影响，主要表现在以下几个方面：

### 1. 影响配电电压水平及增加调压难度

分布式光伏接入配电网末端，出力高发时段容易抬升并网点电压，直接影响周边用户用电质量，甚至导致部分负载无法正常工作，同时并网点电压过高会导致分布式光伏脱网。

高渗透的分布式光伏发电功率受天气影响间歇性大幅波动，导致光伏出力波动较大，会造成10kV/35kV母线电压的跳变，影响大电网的稳定性。

### 2. 影响电网电能质量

分布式光伏高渗透及电力电子比例升高，对谐波、电压、闪变、三相不平衡等电能质量指标产生不利影响。因此分布式光伏以及整个县域整县推进应开展电能质量检测和治理，保证正常状态下的电能质量，尤其是谐波电流的超标。

### 3. 影响配网自动化保护

光伏高比例接入将配电网单向潮流改变为往复潮流，单端保护适用范围受到影响，双端或多段保护将广泛应用。譬如四象限的无功补偿控制器、电能表等；其次是重合闸、备自投、主变保护、线路保护及解列装置相互配合更加复杂。

### 4. 对电力市场交易的影响

大量分布式电源，加大电网预测难度，给电网负荷和潮流带来极大的随机性和波动性，将对现货市场中母线负荷预测准确度产生较大影响，预测偏差将影响日前市场和实时市场价格。



## 5. 对电网调度业务的影响

### 一是调度对象日益多元化。

随着配网新业态的发展，地调、县调的调度对象从传统的供电设备和大用户，向储能、微电网、虚拟电厂等新型负荷侧可控资源快速发展，形成了巨大的挑战。

### 二是电网负荷调节能力亟待提升。

新能源快速增长，导致了电网运行面临系统安全、新能源弃光等突出问题，亟需引导负荷参与到电网调节，提升电网调节能力，尤其是新能源充电桩、换电站的投入。

### 三是源网荷储协同控制的要求更加迫切。

分布式电源和储能设备基本部署在中低配电网，配网调度需覆盖到中低配电网设备，调度技术支撑手段应加强源网荷储协同控制功能建设，统筹主网运行要求和配网负荷控制功能。

### 四是相关技术的成熟度，源网荷储各类信息采集不足，数据治理、分析应用仍需加强。

分布式电源功率预测水平不足，缺乏精准的分布式发电功率预测，大量分布式电源有很强随机性，将对电网阻塞管理和调频备用等多方面提出更高的要求。



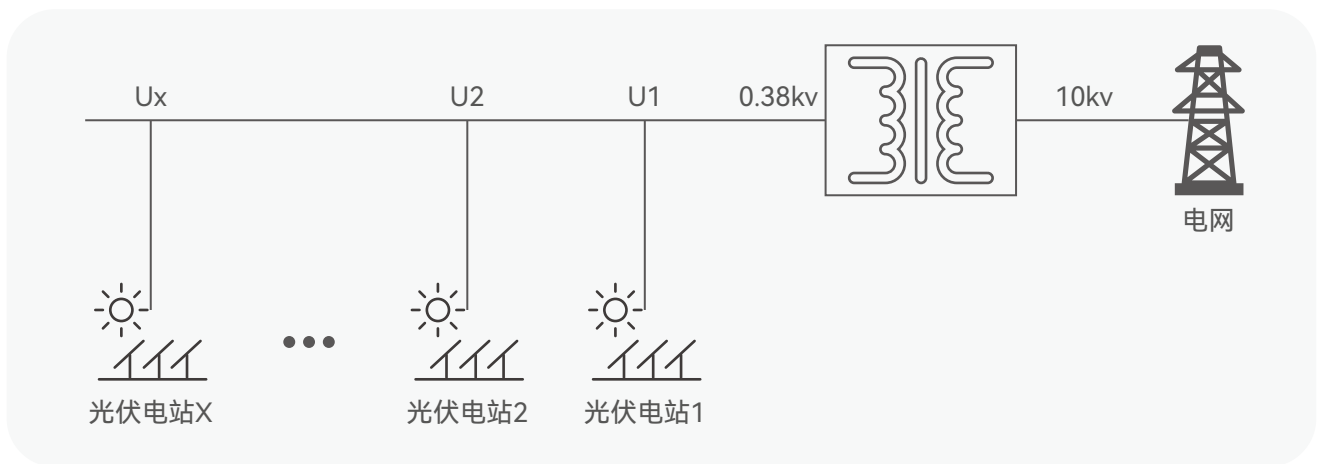
# 03. 光伏高比例接入应对策略

固德威作为一家深耕电力电子领域多年的高新技术企业，对光伏逆变器、储能变流器接入电网的特性进行了大量、深入、细致的研究，结合行业的发展，提出以下几点应对措施：

## 1. 改善设备对弱电网的适应性

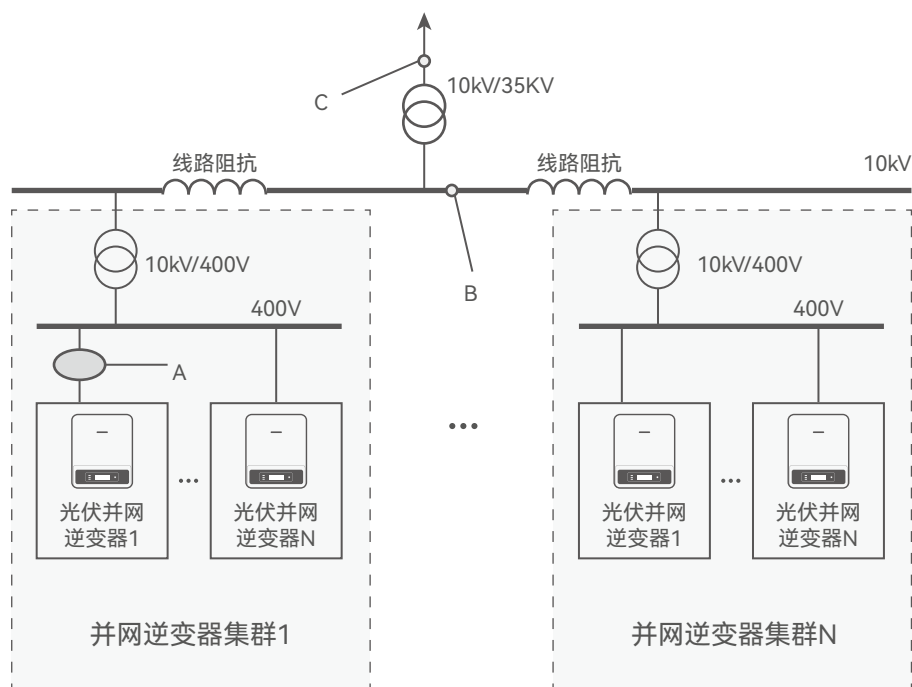
### 1.1 逆变器调压技术

光伏逆变器作为电力电子设备，发电功率控制完全依赖于软件控制算法，其输出电压及频率由外电路（电网）决定，当多个光伏电站沿一条长距离线路传输，叠加的电流会在线路上产生很大的压降，导致逆变器并网端电压快速上升，当电压超过法规允许电压时，逆变器无法工作，通过对逆变器的安规电压进行调整（通常安规电压不能高于电网要求），可以让逆变器在更高的交流电压下持续工作。



### 1.2 逆变器谐振抑制技术

弱网条件下的单机高阻抗谐振或者多机并联谐振会引起逆变器输出电流震荡，电感声响异常；输出特性变差，严重的会导致逆变器过流脱网。



图：并网逆变器多机并联运行

### 多机并联谐振原因有以下几点：

- ① 多机并网逆变器系统中，单个并网逆变器大都采用无隔离变压器的拓扑结构，且一般采用LCL滤波器，后面的L为等效电感。采用LCL滤波器的设计会使逆变器系统频带中存在谐振频率点。
- ② 无隔离变压器的拓扑结构客观上又建立了多逆变器间的关联与耦合，其中各自逆变器的LCL滤波回路相互的关联以及线路上分布参数阻抗的影响，使多逆变器的输出回路构成了一个复杂的高阶电网络。这一高阶电网络的存在不仅会导致逆变器输出谐波电流放大，严重时则可能会导致多逆变器并联系统的谐振。
- ③ 随着并网发电系统穿透率的提升，公共连接点(points of common connection, PCC)阻抗的变化会使PCC处的电压对功率波动更加敏感，而PCC处的电压波动又可能导致局部逆变器并网系统的谐振，这一局部逆变器并网系统的谐振又可能进一步导致全局并网系统谐振的发生。

解决这一问题的方案是逆变器软件中增加了**智能有源阻尼抑制算法**，一种既保证正常情况下的输出特性，又能保证高阻抗等谐振状态下系统的稳定性的谐振抑制方法，得以较好的解决了弱网条件下谐振的问题。

### 1.3 从“适应电网”到“支撑电网”

我国最新发布的GB 38755-2019电网安全稳定导则中，用“短路比”（Short Circuit Ratio，缩写SCR）描述新能源电站并网点的电网强弱，其定义为：“电网同步短路容量与电站装机容量的比值”，SCR越高电网越坚强，SCR越低电网越脆弱。

在较低的SCR情况下，逆变器注入的任何扰动都将被弱电网放大。因此电站保持稳态运行、维持电能质量、完成暂态故障穿越显得非常重要。任何一方面性能不达标，都有可能导电站无法并网，或者频繁遭遇限发的局面。在新能源渗透率急速提高的背景下，改进逆变器的控制性能，使之与弱电网特征相匹配，甚至更好的去支撑电网。

新国标GB/T 37408-2019技术规范标准较之前使用版本，强化了高穿有功稳定性、高低电压穿越能力、频率适应性等电网适应性要求，提高了准入门槛，逆变器能适应西北、西南电网HVDC(特高压直流)新能源送出要求，更有利于光伏并入电网的安全稳定性。

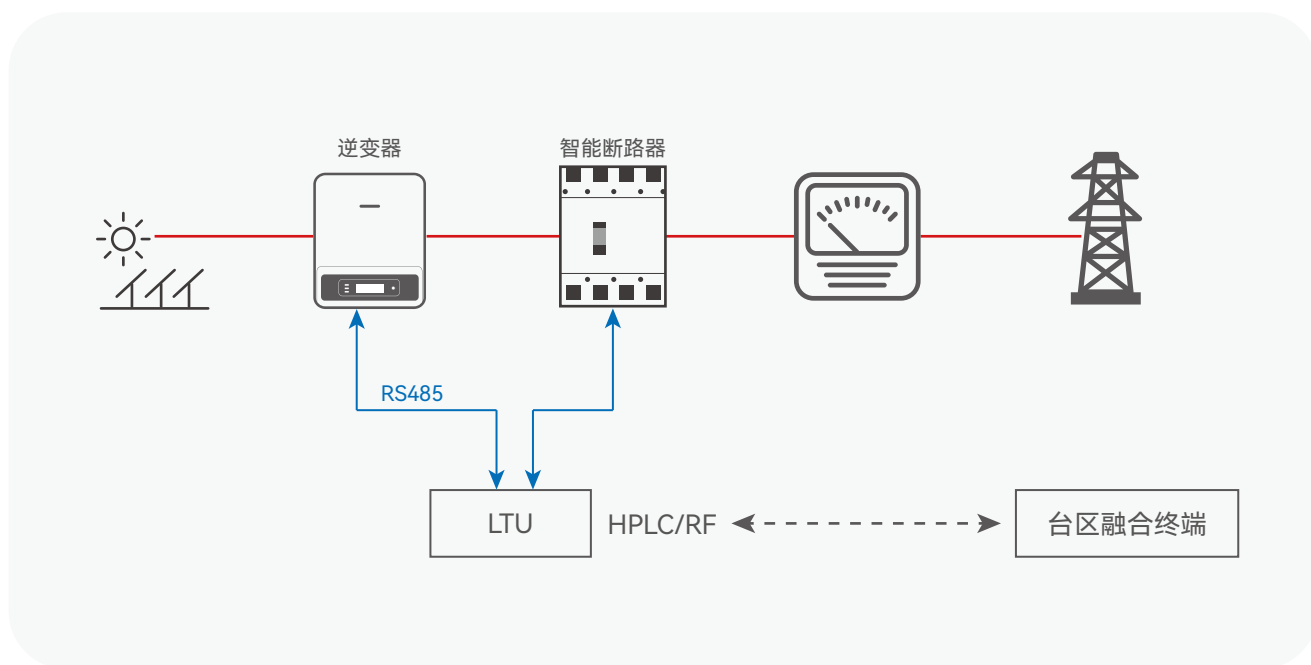




## 2. 积极响应电网调控手段

分布式电源的大规模发展都离不开数字化赋能实现“可观可测可调可控”，光伏接入比例高的电网对光伏接入提出了进一步的要求：加快推进220V/380V分布式接入改造，也就是要求户用分布式也需要纳入调度范围，方便调峰。加快推动存量10千伏场站AGC功能改造，

220/380V分布式采用基于台区智能融合终端的光伏直采直控技术，是基于台区智能融合终端、LTU、光伏监测终端等感知设备，对台区终端功能应用的拓展，可实现台区内低压光伏发电状态监测、主动防孤岛及台区电能质量优化等功能。智能融合终端可向光伏逆变器下达相关决策指令，实现对光伏设备离网、并网、无功出力调节等远程控制。



图：智能融合终端示意

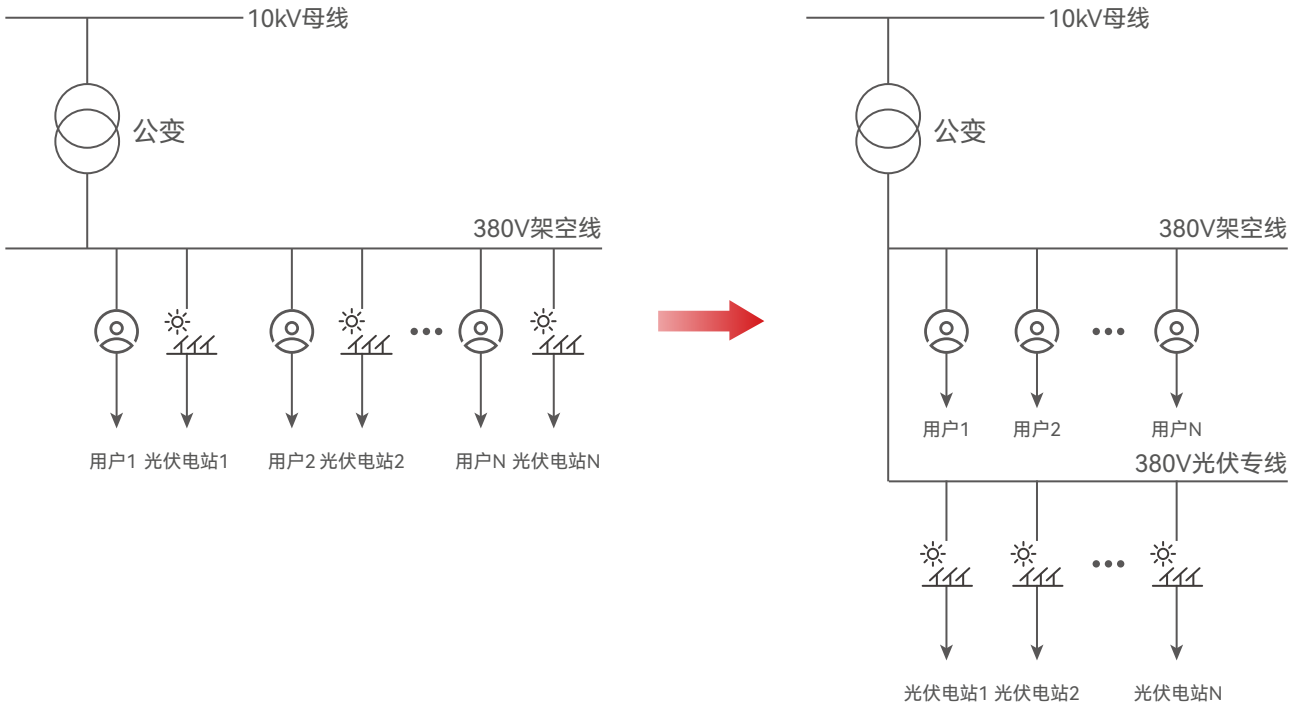
以10kV电压等级接入的分布式光伏本体远动系统功能宜由本体监控系统集成,本体监控系统具备信息远传和功率控制功能;本体不具备条件时,应独立配置远方终端实现采集控制功能。

### 3. 采用新型接入方案

项目备案和并网时采用一种新型的接入方案，该方案对台区的电压和电能质量、周边的负载影响较小。

#### 3.1 集中汇流方案

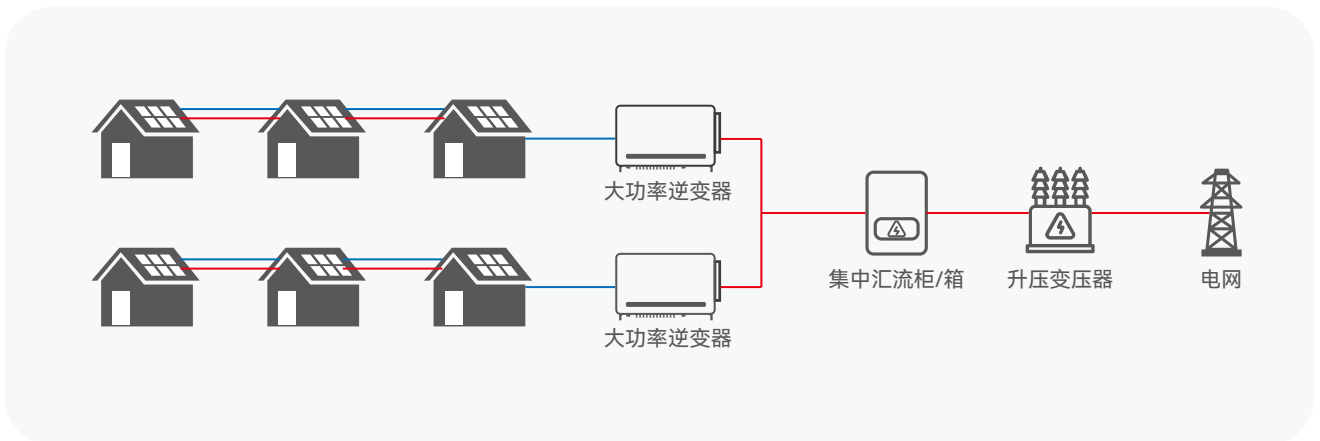
“公用公变接入”指低压分布式光伏与其他供电客户接入同一公用变压器。部分光伏接入点周边客户出现过电压时，对靠近台区末端、容量较大的低压分布式光伏接入方式进行改造，将其并网点前移，采用接入低压干线（分支箱）或配变低压母线措施，缓解因末端低压分布式光伏潮流反送导致的周边客户过电压问题。



传统并网模式

改造方案：台区所有光伏电站并网点前移

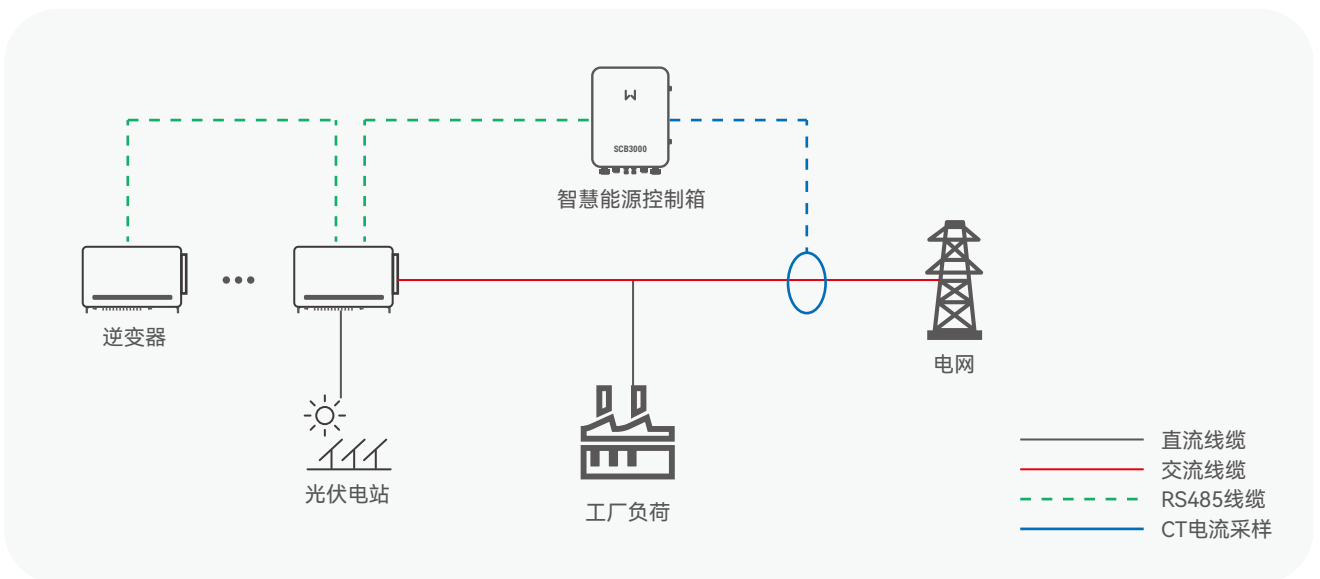
“专用公变接入”则是对单个或多个台区内的全部低压分布式光伏或部分大容量低压分布式光伏进行改造，集中汇流后，通过专门的升压变压器接入10千伏配电网。传统配电供电台区与低压分布式光伏台区独立运行，实现低压分布式光伏在中压配电网的平衡消纳，从根本上解决现有含高渗透分布式光伏台区客户过电压和配变反送重过载等问题。



### 3.2 防逆流方案

当变压器容量不足或电网承载能力不足的时候，电网不允许光伏电站发出的电能反送至变压器上级，对配电网造成冲击，通过“光伏电站+防逆流控制装置”可实现光伏的电“自发自用，余电不上网”。

具体原理是通过电流互感器检测电网的上行电量，然后通过智慧能源控制器给逆变器下达功率调节指令，使逆变器输出功率同步调整，实现光伏出力与负荷消纳相平衡，从而达到防逆流的目的，最大限度减少与电网的交互。



## 4. 合理配置储能

由于大量新能源发电馈入原有的电网系统，一定程度上打乱了传统能源供应系统的相对独立性，降低了可控性。原有的电网系统不仅仅承担输配电的任务，同时也必须被迫处理新能源配置的消纳。很多地区的电网架构无法承担大幅度新增的光伏电源，而导致电网频率不稳定等问题。

我们上节的防逆流方案是在新能源高出力的情况下削减新能源出力，相当于光伏弃光，既不经济又对电网无调节能力；将储能应用到输配电领域，参与调频调峰、备用容量无功支持、缓解线路阻塞、延缓输配电扩容升级，可以很好地缓解新能源并网带来的一系列问题。其中，在新能源功率输出平抑、计划出力跟踪等应用场景下，储能将配置在新能源发电侧；在电网频率调整、网络潮流优化等应用场景下，储能将配置在输电侧；在分布式、移动式储能等应用场景下，储能将配置在用户侧。因此，储能技术是推进可再生能源的普及应用，实现节能减排的关键核心技术。

以下介绍用户侧储能的几个应用场景：

### 1. 户用储能

在欧美发达国家，得益于高电价和储能补贴以及各种商业模式，户储的发展非常迅速；在中国，居民用电以阶梯和峰谷电价（价差一般）为主，电价相对欧美发达国家偏低，不具备成熟的经济效益和峰谷套利的空间。故目前国内户储依然停留在示范阶段，储能的作用主要是提升自用比例，减少与电网的交互，并提供重要负荷备电的功能。未来随着储能成本进一步下降，地方储能政策性补贴等，户储将具备投资价值。



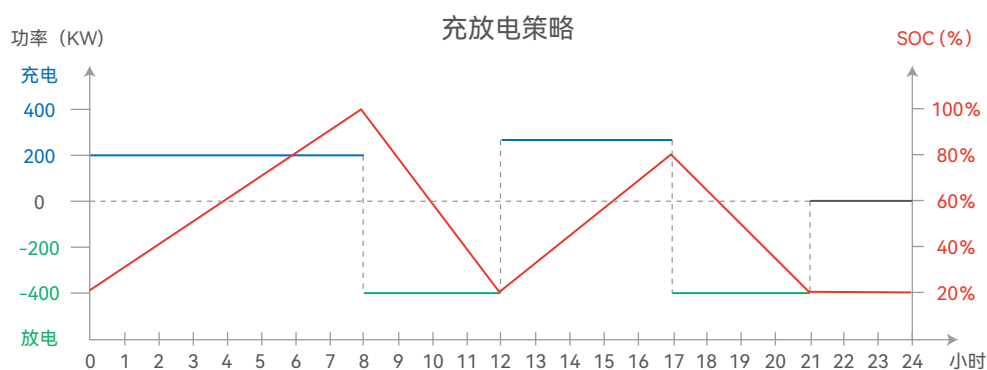
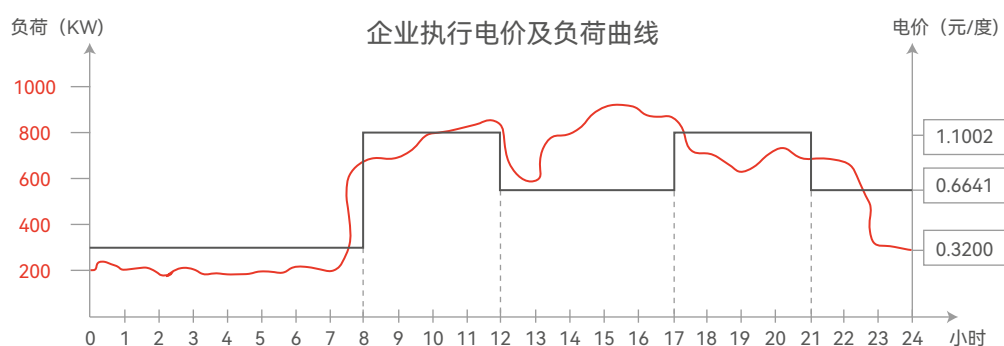
图：家庭光储充系统



## 2. 工商业储能

### 1) 降低电量电费+峰谷套利

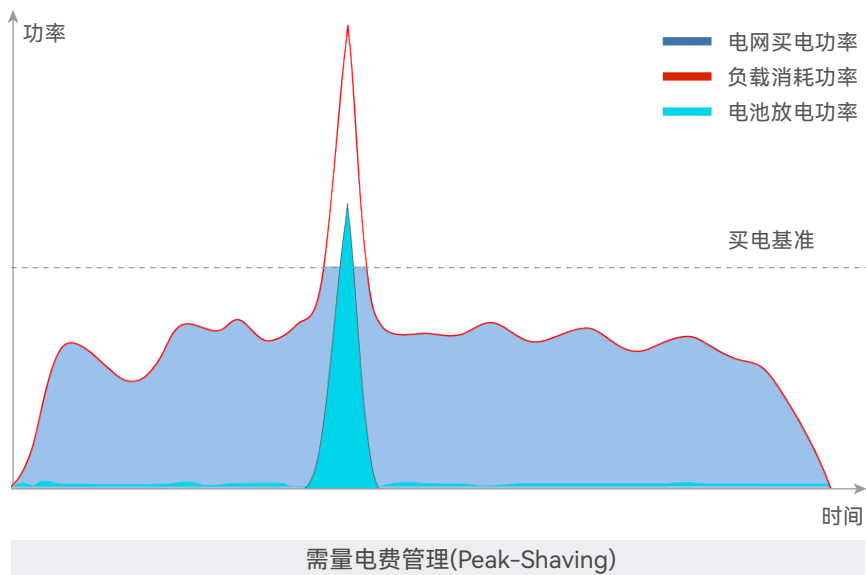
工商业企业执行一般工商业或大工业电价，在用电高峰甚至承受高昂的尖峰电价，工业电价实行分时电价策略，峰谷价差较大，具备套利空间。如下是某企业执行电价及负荷曲线以及两充两放的储能，利用储能进行充放电，降低企业用电成本。



储能充放电策略

### 2) 需量电费+动态扩容

需量电费——基于云端的负荷预测，通过Peak Shaving减小最大需量电费，节约基本电费。选择月最大负荷而非变压器固定容量收费，通过储能进行需量管理时，能量管理系统可准确识别尖峰负荷，并向电池发出调度，从而降低企业用电成本。



动态增容——在特殊场合下，业主或建设企业的一种刚需。比如已建成小区进行充电桩改造或电梯改造，完毕后突然发现满额运行时，变压器容量超额了，向电力局提出静态扩容申请，费用较高，手续繁琐；通过加装储能系统来实现动态容量扩增，动态扩容不但节约扩容费用，还可以用户带来长期稳定收益，譬如未来的快充充电桩就适合配储能来实现动态增容。

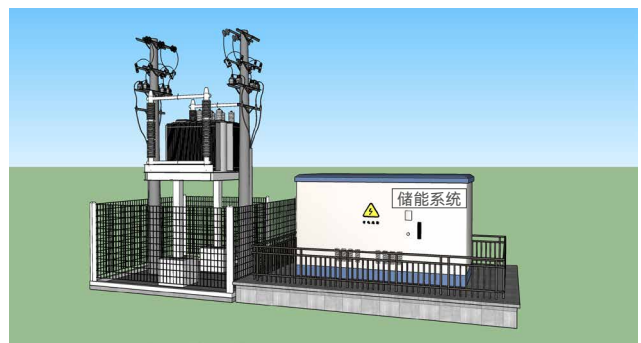
### 3) 需求侧响应

电网公司通过调度储能系统的容量来实现对电网整体负荷供需平衡的调节。电网租借运营商的储能系统出力，按照调度容量给予一定补偿。

#### 整县推进台区储能

在双碳目标和整县推进的背景下，台区变压器下级安装了大量的分布式光伏，造成台区电压抬升，尤其是中午出力高峰，电网都要对分布式光伏进行关停，若在每个变压器旁边配置一套储能装置，可提升光伏发电收益和台区供电稳定可靠性。

储能主要是抵消中午光伏峰值发电的时段，减少光伏发电对台区电压的抬升和电网的冲击；放电时间设置在光伏不足负荷攀升阶段，抵消变压器下负荷攀升的影响，具体放充电时间可由运营商进行控制。



台区变压器侧配储能

随着新能源装机比例的不断攀升，中午时段的新能源发电出力远大于消纳，政府、电网为引导储能产业的发展，通过降低发电高峰时段的用户电价或通过储能补贴，去促使工商业用户去合理配置储能。

**适用于户用储能的储能产品主要有：**

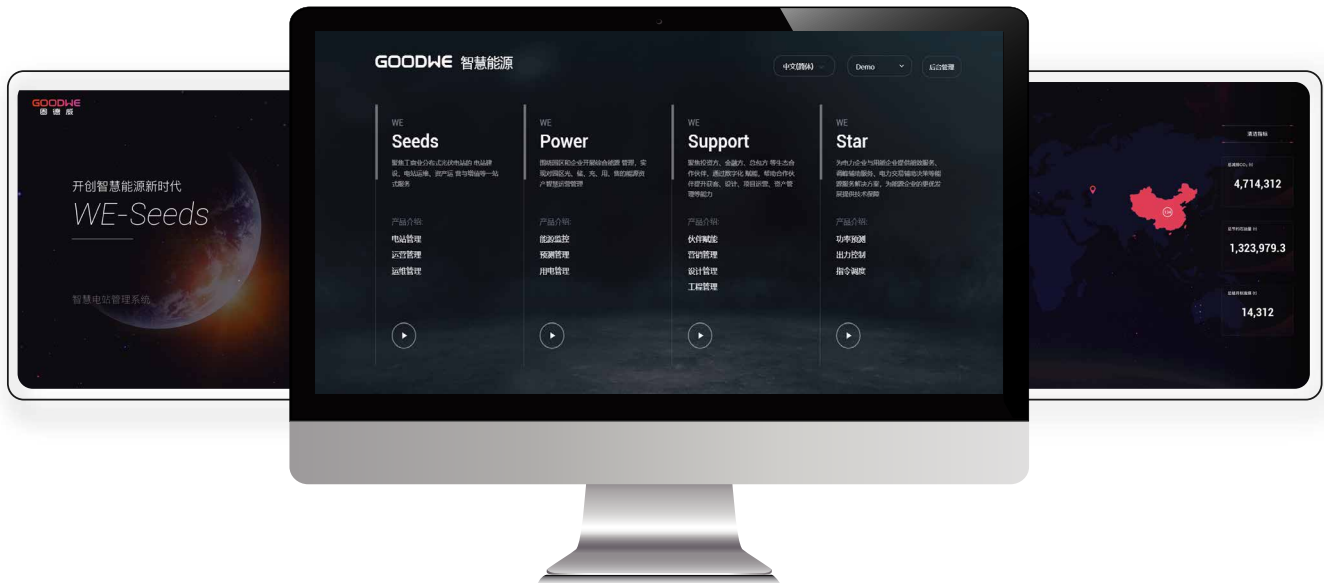


**适用于工商业储能的储能产品主要有：**



## 5. 积极部署应用层

固德威通过对光伏电站以及园区、城市数字化转型升级，促进微电网、虚拟电厂等新形态发展，改善了能源消纳的环境，实现了区域的能源自治，为光伏高比例接入电网提供了实施路径。



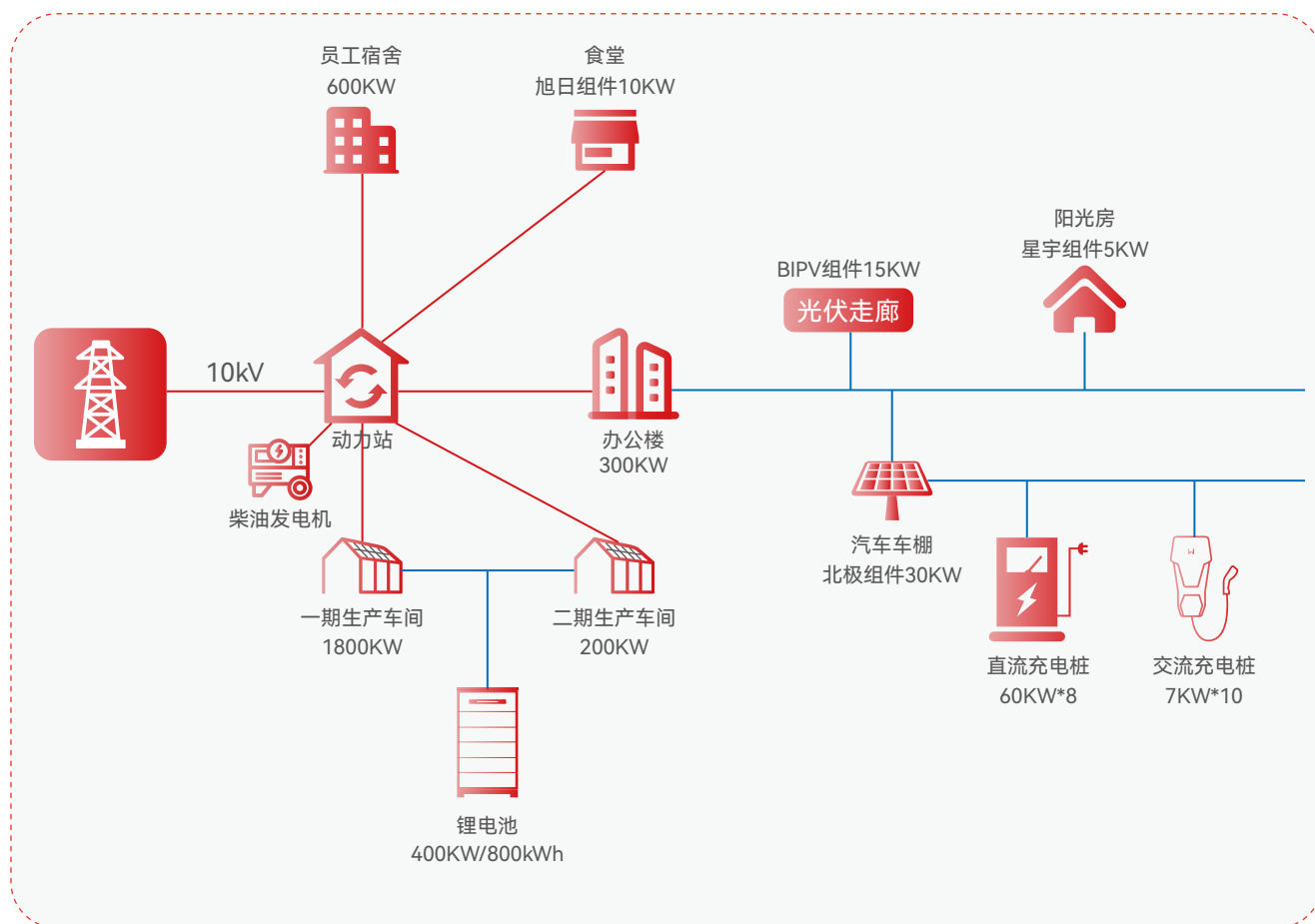
固德威WE平台

### 5.1 园区微电网

微电网（Micro-Grid）是一个可以实现自我控制、保护和管理的自治系统，它作为完整的电力系统，依靠自身的控制及管理供能实现功率平衡控制、系统运行优化、故障检测与保护、电能质量治理等方面的功能；既可以与外部电网运行，也可以孤立运行。由分布式电源、储能装置、能量转换装置、负荷、监控和保护装置等组成的小型发配电系统。

固德威广德工厂搭建了一套对各能源系统进行统一监控与协调管理的微电网系统，通过采集各子系统运行数据，掌握运行工况，应用智能分析及园区实际情况对各系统进行能源调度与管控，实现系统运行最优化、能源利用率最佳化。主要功能包括：负荷预测、系统运行策略切换、发供配电设备运行状态监测、能耗数据采集、分布式发电系统电量采集、储能系统充放电控制及电量采集、柔性用电负荷控制、可视化展示等。





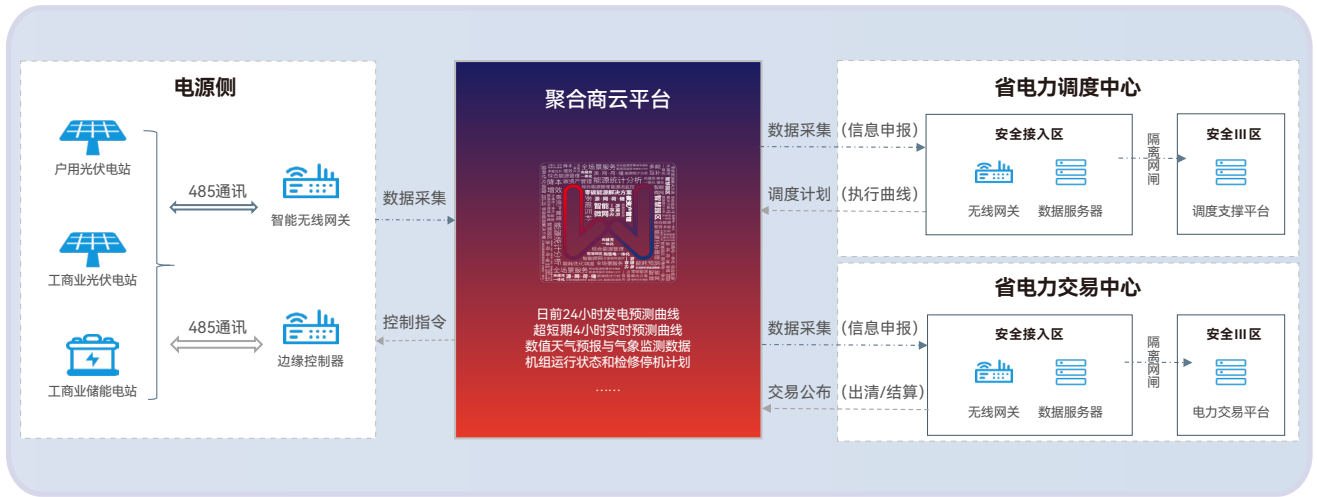
固德威广德工厂微电网系统

## 5.2 虚拟电厂

虚拟电厂 (virtual power plant) 将不同空间的可调负荷、储能、微电网、电动汽车、分布式电源等一种或多种可控资源聚合起来，实现自主协调优化控制，参与电力系统运行和电力市场交易的智慧能源系统。

虚拟电厂并没有改变现有资源与电网的连接方式，而是通过通信技术、电能计量技术，进行有效聚合、优化控制和管理，形成更加稳定、可控的“大电厂”，实现发电和用电的自我调节，为电网提供源网荷储售一体化服务。这些可控资源不受电网运行调度中心的直接调度，而是通过资源聚合商参与到电网的运行和调度中。

固德威通过聚合广德市开发区分布式光伏电站11万kw、储能电站90kWh，形成新能源负荷聚合平台，与宣城市电力公司，开展需求侧响应服务，在降低广德市峰谷差，提高电网安全稳定经济运行，同时，进一步验证了以新能源参与的新型电力系统运行模式，以补偿激励为手段，提升新能源和储能、用电企业参与的市场积极性。



现货交易案例

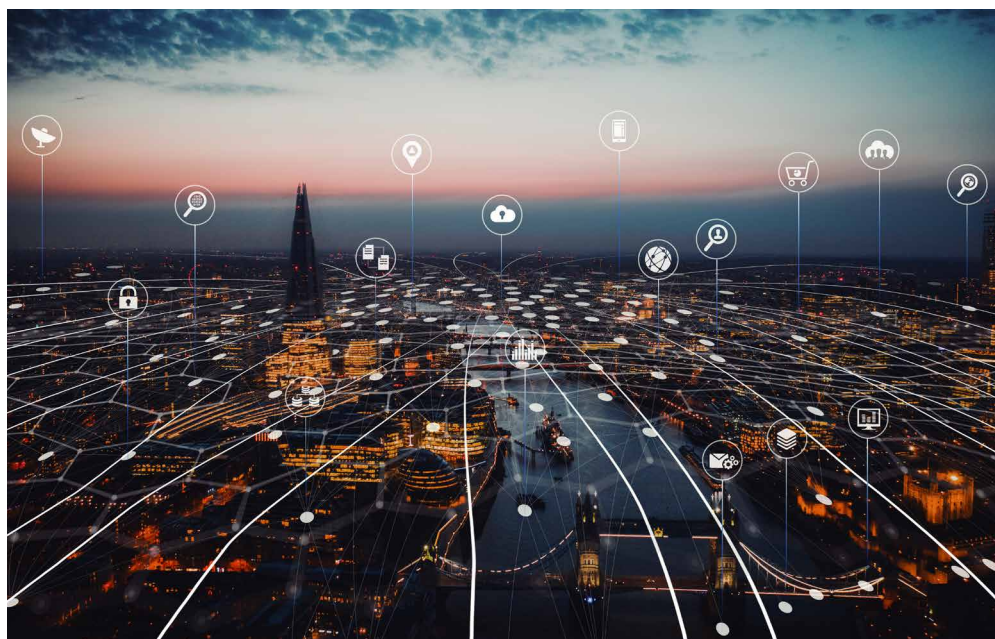


## 04. 总结与展望

过去十几年，光伏电站的单瓦成本不断降低，未来以光伏、风能为主体的新能源有望成为能源生产和消费的主力电源。

从电网层面来看，需要统筹资源，推进风、光、水、火、储、氢多能互补，加快特高压线路的建设，加快新型储能技术规模化、商业化、市场化应用；需要不断优化调度，提升电网对源、网、荷、储的协同调度能力，实施数字化转型升级，促进微电网、虚拟电厂等新形态发展，提高系统消纳能力和平衡能力。

固德威将依托现有的光伏&储能逆变器、储能电池及智慧能源平台技术，加快在电力电子和数字化应用领域的研究，研究各场景光伏友好接入技术，保障光伏高比例、高质量接入到电网。





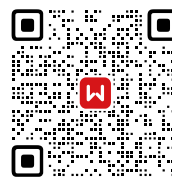
固德威技术股份有限公司

GOODWE TECHNOLOGIES CO., LTD.

电话：0512-69582253

网址：[www.goodwe.com](http://www.goodwe.com)

地址：江苏省苏州市高新区紫金路90号



固德威官方微信



固德威光伏社区