

# 面向建筑与电力交互的 光储直柔技术应用分析

李雨桐

深圳市建筑科学研究院股份有限公司  
中国建筑节能协会光储直柔专委会

实验室副主任  
副主任委员

2022-08-02

## 两份电费账单

抄见数		倍率	千瓦时	电价分类	计费	千瓦时	单价	金额	
主	189	1432.06	1419.97	1000.00000	12090	基本电费1	252	34.0200	8573.04
峰		412.86	409.67		3190	一般大商(分)-2峰	3190	1.0434	3328.45
平1		553.87	549.87		4000	一般大商(分)-2平	4920	0.6302	3100.58
平2		168.16	167.24		920	一般大商(分)-2谷	3980	0.3135	1247.73
谷		297.15	293.17		3980	小计			16249.80
无		107.79	107.68		110	其中输配费用			1739.75
无		7.55	7.02		530	其中代征费用			352.00
峰MD		0.0319	0		32	力率调整	-1.10%		-174.88
平1MD		0.0249	0		25				
平2MD		0.0194	0		19				
低谷MD		0.0258	0		26				

**2022年5月平均电价1.33元/每度**

如贵户存在非电网直供电情况，且终端用户电费收取标准不符合《关于进一步规范本市非电网直供电价格行为的通知》（沪市监价价〔2021〕508号）文件要求，请尽快开展内部核查整改，切实降低终端用户负担。

国网上海市电力公司 账单专用章

无功: 640 0.05 本月份应付账款: 16074.92  
有功: 12090 其中: 净电费: 0.00  
功率因数 1.00 标准 0.85 增值税: 0.00  
功率因数调整百分数 -1.10% 减已结算之账款: 16074.92  
本月应付尾差或溢付: 16074.92

2022 06 电费结算通知

备注: 本路电源5月平均电价: 1.3296元/千瓦时  
本次电量的结算周期是2022年05月01日到2022年05月31日  
2021年12月起, 我司每月提前3日, 发布次月代理购电价格表, 可通过线下营业厅、“国网上海电力”微信公众号; 网上营业厅-服务指南-政策法规、“网上国网”: 代理购电服务专区-信息发布等渠道按月查询。

抄见数		倍率	千瓦时	电价分类	计费	千瓦时	单价	金额	
主	187	2506.74	2448.95	1000.00000	57790	基本电费1	252	34.0200	8573.04
峰		711.54	695.78		15760	一般大商(分)-2峰	15760	1.0359	16325.79
平1		872.43	851.27		21160	一般大商(分)-2平	26890	0.6257	16825.07
平2		208.92	203.19		5730	一般大商(分)-2谷	15140	0.3112	4711.57
谷		713.84	698.7		15140	小计			46435.47
无		669.99	652.25		17740	其中输配费用			8315.95
无		0.24	0.24		0	其中代征费用			1682.55
峰MD		0.1575	0		158	力率调整	-1.10%		-492.28
平1MD		0.1832	0		183	本月财政补贴	-10.00%		-4594.32
平2MD		0.1629	0		163				
低谷MD		0.113	0		113				

**2022年6月平均电价0.715元/每度**

如贵户存在非电网直供电情况，要按照我市相关文件规定，将此次阶段性财政补贴政策红利传导到终端用户，切实降低终端用户电价水平。如不符合《关于进一步规范本市非电网直供电价格行为的通知》（沪市监价价〔2021〕508号）文件规定的，请尽快开展内部核查整改。

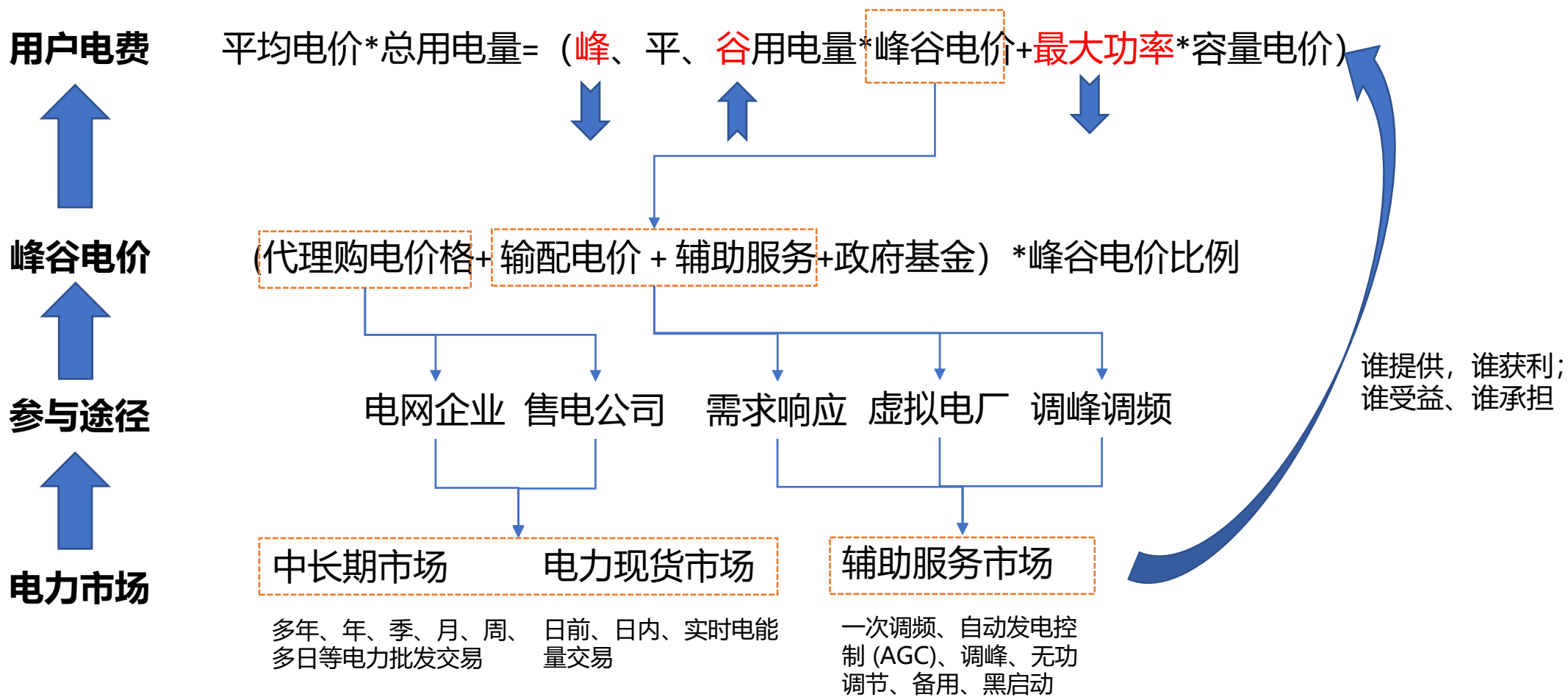
国网上海市电力公司 账单专用章

无功: 17740 本月份应付账款: 41348.87  
有功: 57790 其中: 净电费: 0.00  
功率因数 0.96 标准 0.85 增值税: 0.00  
功率因数调整百分数 -1.10% 减已结算之账款: 41348.87  
本月应付尾差或溢付: 41348.87

2022 07 电费结算通知

备注: 本路电源6月平均电价: 0.7155元/千瓦时  
本次电量的结算周期是2022年06月01日到2022年06月30日  
2021年12月起, 我司每月提前3日, 发布次月代理购电价格表, 可通过线下营业厅、“国网上海电力”微信公众号; 网上营业厅-服务指南-政策法规、“网上国网”: 代理购电服务专区-信息发布等渠道按月查询。

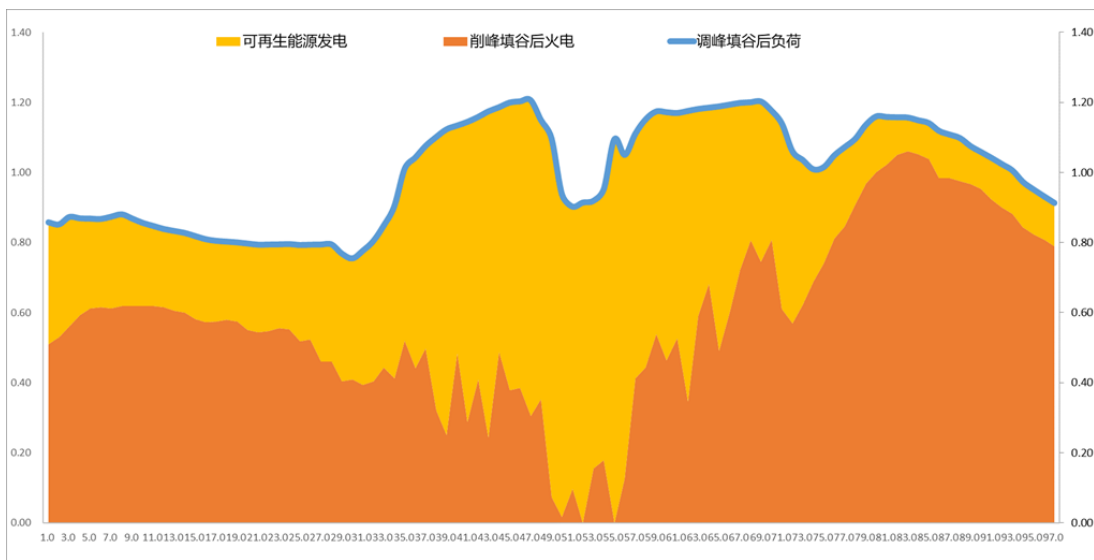
## 建筑与电网互动的价格机制



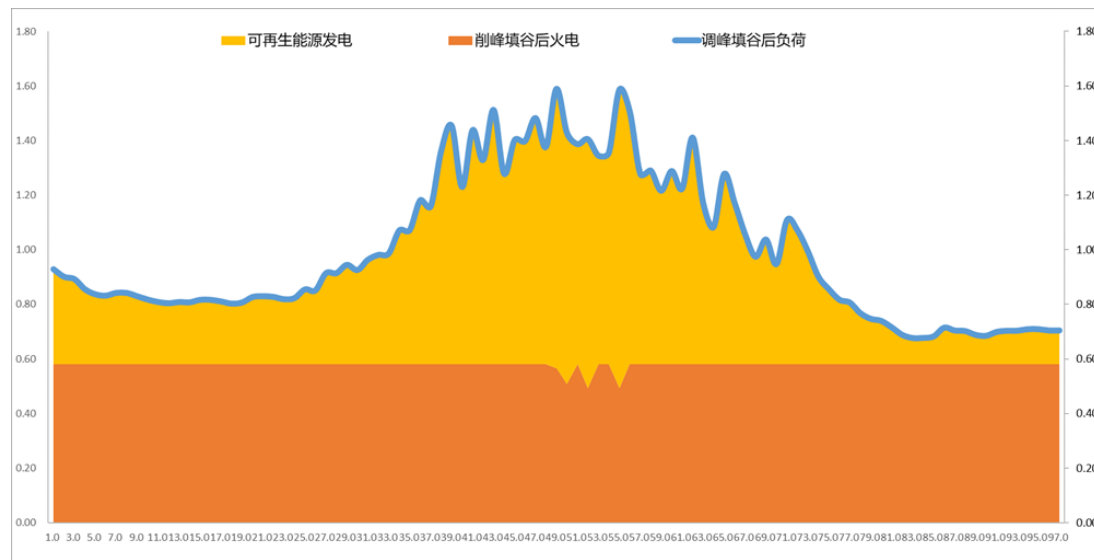
## 建筑与电网互动需求

电网调节需求：荷随源动，用电负荷随可再生能源发电变化，降低火电、气电发电功率波动

源随荷动  
火电承担负荷和风光波动



荷随源动  
火电尽可能稳定输出，负荷承担可再生能源波动



## 建筑与电网互动形式

**与电网关系：**通过电价机制或激励机制与电网**间接联系**。

**关注指标：**调节能量值、调节功率；经济和环境效益。

**与电网关系：**电网**直接监测**建筑运行状态，通过响应机制接收电网**间接指令**。

**电网关注指标：**响应功率、响应能量、响应价格

**建筑关注指标：**响应成本、响应功率、响应时长；各类负载响应特性。

**与电网关系：**电网**直接监测、控制**建筑内部可调节资源。

**电网关注指标：**可用性、调节速率、响应速度。

**建筑关注指标：**成本与收益

长期削峰填谷、跟随峰谷电价/本地光伏的运行优化

需求响应

调频、爬坡、备用等辅助服务

年

季

周

天

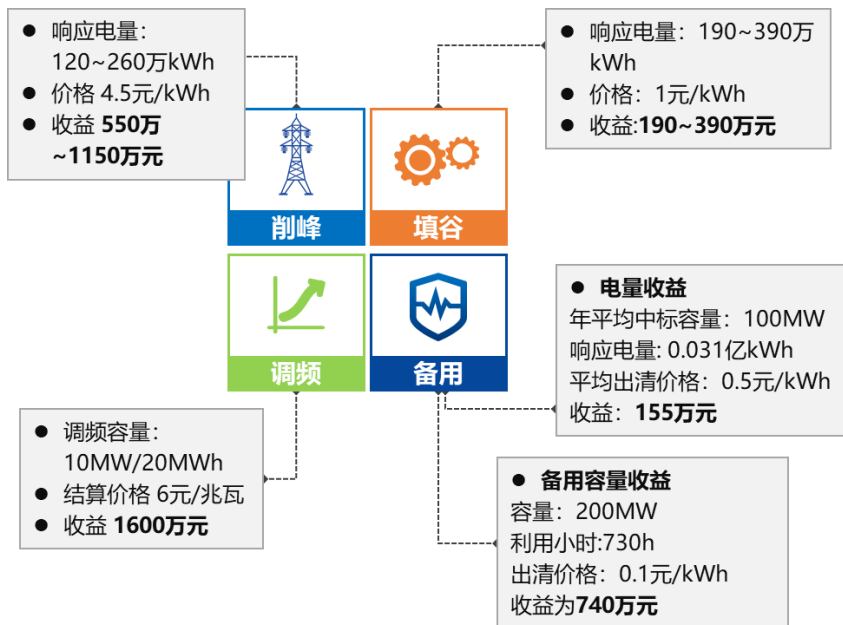
小时

分钟

秒

## 建筑与电网互动政策

- 电网发布响应邀约，用户参与并中标后按照要求在特定时段减少/增加用电量，获得经济补偿
- 需求响应政策资金来源市场化，补偿金额由所有电力市场用户分摊



200MW容量参与不同辅助服务收益

省市	政策名/日期	需求响应类型	补偿标准
浙江	《省能源局关于开展2020年度浙江省电力需求响应工作的通知》2020/7/2	削峰日前需求响应；填谷日前需求响应；实时需求响应	(1) 削峰日前需求响应按照单次响应的出清价格、有效响应电量进行补贴，出清价格设置4元/千瓦时价格上限。 (2) 填谷日前需求响应执行1.2元/千瓦时年度固定补贴单价。 (3) 实时需求响应执行4元/千瓦时年度固定补贴单价。
江苏	江苏省电力需求响应实施细则（修订版）2020/5/26	约定需求响应；实时需求响应	(1) 需求响应可中断负荷：小于等于60分钟，10元/千瓦；60-120分钟，12元/千瓦；大于120分钟，15元/千瓦。 (2) 临时填谷负荷：响应谷时段可再生能源消纳补贴5元/千瓦，平时段补贴8元/千瓦
广东	广东省市场化需求响应实施方案（试行）（征求意见稿）2020/11/30	(1) 非现货环境下：日前需求响应 (2) 现货环境下：日前需求响应、实时需求响应	(1) 市场化交易电力用户参与需求响应的服务费价格标准定为20元/千瓦·天 (2) 非市场化交易电力用户参与需求响应的服务费价格标准定为10元/千瓦·天
山东	《关于做好2021年全省电力市场交易有关工作的通知》（鲁发改能源〔2020〕1342号）2020/11/24	(1) 紧急型需求响应（系统导向）容量竞价 (2) 经济型需求响应（价格导向）现货电能竞价	(1) 经济型需求响应：按照实际有效响应容量和日前市场填谷时段出清价格结算； (2) 紧急型需求响应：国网山东省电力公司负责补偿费用结算工作。用户由负荷聚合商代理参与响应的，以电力营销户号为单位计算需求响应补偿费用，并按照代理关系将补偿费用发放给负荷聚合商，负荷聚合商按照协议约定自行支付所代理用户需求响应补偿费用。
重庆	2019年重庆电网丰水期需求响应实施方案2019/7/2	约定需求响应；实时需求响应	(1) 低谷电增量交易：按电力交易合同双边协商价格结算，电力用户按照实际低谷电增量获取收益，暂按价差空间70%进行分配，并实现激励机制。 (2) 移峰负荷补偿：按照方案确定标准计算补贴金额，暂定10元/千瓦/次
天津	天津市2020年春节期间电力需求响应实施细则2020/1/14	约定需求响应	固定补偿价格模式的补偿，价格为1.2元/千瓦时，竞价模式的补偿价格上限为2.0元/千瓦时。
河南	关于2019年开展电力需求响应工作的通知2019/3/26	约定需求响应 实时需求响应	约定需求响应：60<T<=120，补贴6元/千瓦·次；T>120，补贴9元/千瓦·次 实时需求响应：30<T<=60，补贴12元/千瓦·次；60<T<=120，补贴18元/千瓦·次

# 虚拟电厂互动响应实践

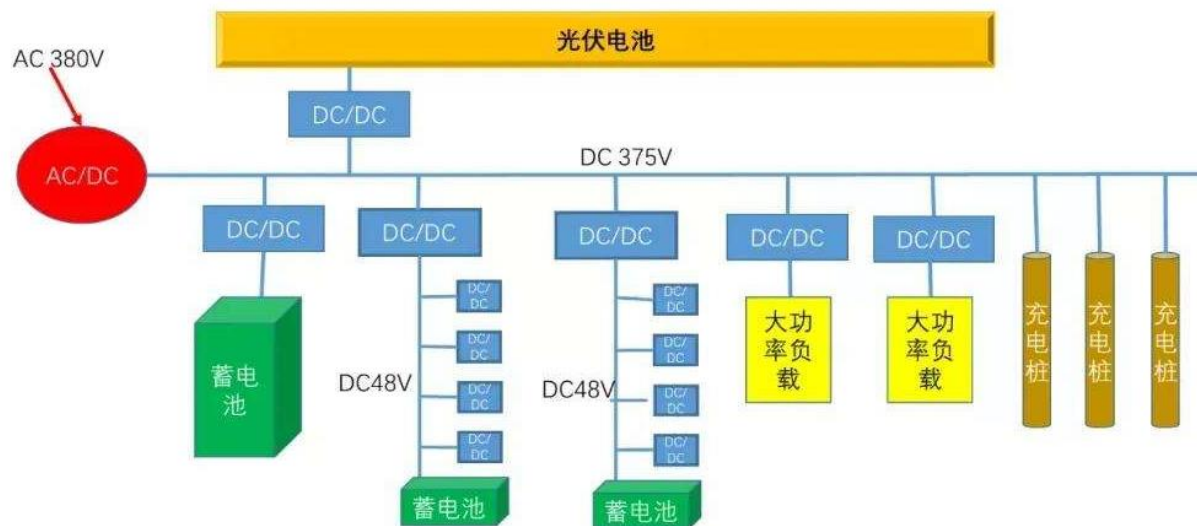
## “光储直柔”推动建筑与电网友好互动

**光**——利用建筑表面发展光伏

**储**——链接建筑物内外充电桩或蓄电池

**直**——内部直流配电

**柔**——可调负载 柔性用电



➤ 《2030年前碳达峰行动方案》指出，建设集光伏发电、储能、直流配电、柔性用电于一体的“光储直柔”建筑。

● **建筑**：提升建筑接入和消纳光伏能力，改善建筑用电规律、降低能量损耗，提升供电可靠性，实现建筑由“能源消耗”者向“能源产销+调节”者转变。

● **电网**：挖掘和聚合“光储直柔”建筑负荷的可调节能力，参与电网互动甚至提供电力辅助服务；可有效缓解负荷逐年增长压力，缩小电力负荷峰谷差，提升电网安全稳定水平，提高新能源消纳利用能力，促进电网从“源随荷动”向“源荷互动”转变。

## 基于低压直流配电的“光储直柔”新型建筑配电系统架构

**多种场景：**办公、居住、实验、数据中心以及市政用电

**多种功能：**光伏消纳、需求响应、可靠供电、安全用电



未来大厦“光储直柔”系统示意图



直流配电  
实现光伏、储能和用电负载的自平衡，提高建筑光伏发电消纳率！



双向充电桩



双极直流变换器



直流空调

直流照明

DC375V/48V  
一体机

直流展示屏



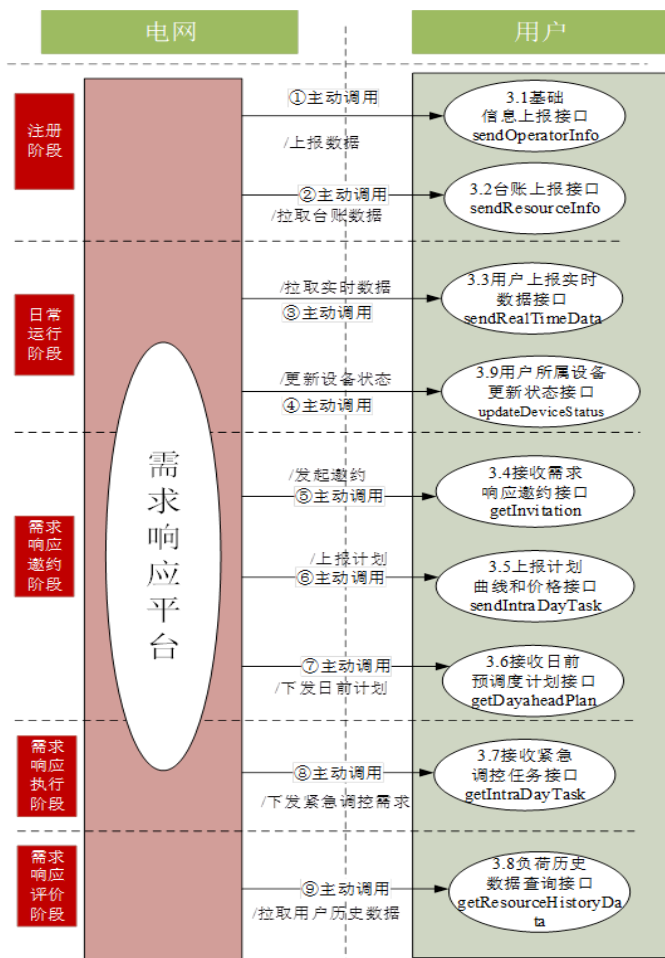
办公场景-会议厅

实现终端电器的直流化，提高使用的便捷性和智能化水平

## 南方电网：智能互动VPP云平台“1+N”示范工程



## 建立与电网VPP平台的接口协议



**交互流程：**分为用户认证、运行监测、响应邀约、指令执行和效果评价等5个阶段；

**交互方式：**全部采用电网主动调用的方式，电网需求响应平台主动调用负荷聚合商平台接口，拉取台账、实时数据等信息，并推送调度计划。

**用户接口：**身份认证、访问权限、实时数据、响应邀约、上报曲线/价格、日前计划接口、紧急邀约接口、历史数据接口。

电网下达96点功率目标值

参数名	类型	是否必选	描述
00:15	double	否	00:00-00:15 区间运行的平均功率值(kW)
00:30	double	否	00:15_00:30 区间运行的平均功率值(kW)
00:45	double	否	00:30_00:45 区间运行的平均功率值(kW)
.....			
23:45	double	否	23:30-23:45 区间运行的平均功率值(kW)
00:00	double	否	23:45-00:00 区间运行的平均功率值(kW)

用户上传可调资源状态和特性

参数	必填	类型	描述
resourceId	是	String	工厂/园区/大楼唯一标识(用电户号)
resourceName	是	String	工厂/园区/大楼中文名称
resourceType	是	Int	资源类型, (1 发电资源、2 储电资源、3 用电资源)
resourceState	是	String	资源状态(测试、投运、停机、退役)
maxAdjustablePower	是	Double	最大可调节功率(kW), 需用户自行评估可减少的功率范围。

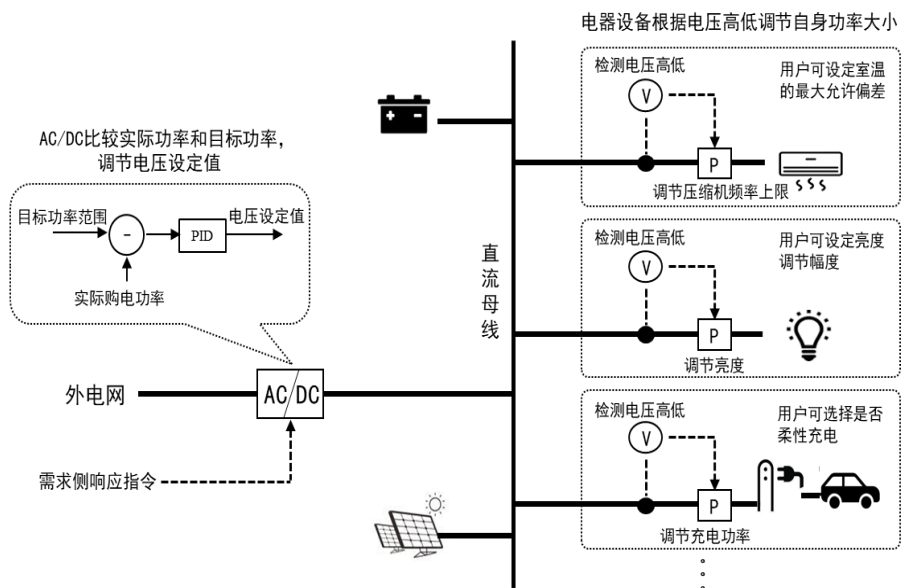
# 虚拟电厂互动响应实践

深圳建科院虚拟电厂子平台--具备接入多栋建筑，进行负荷聚集的条件，具备日前和紧急调度条件。



基于建筑能源管理系统的用户响应平台

## 建筑需求侧响应可行性和潜力评估

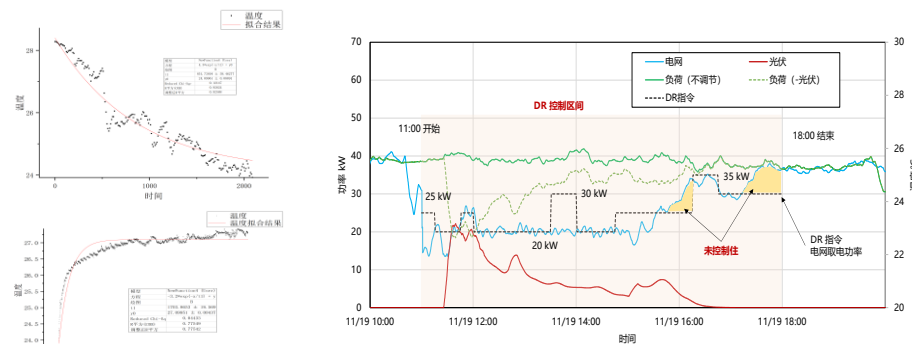


可调节负载

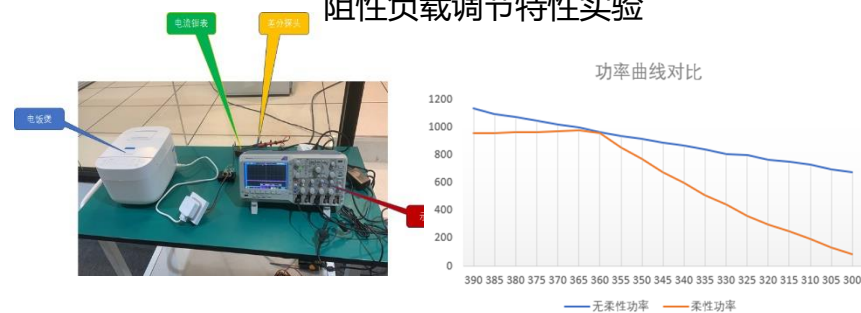
可中断延迟负载

直接控制负载

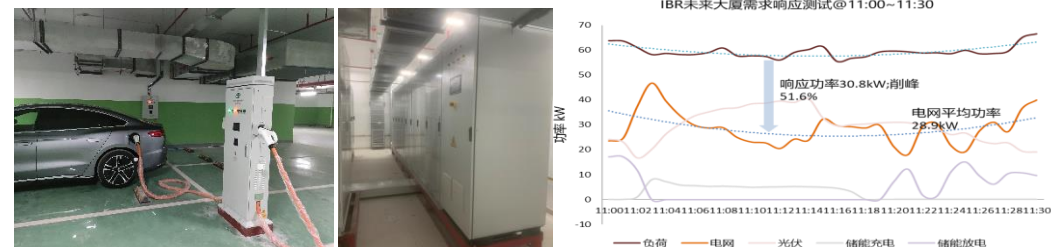
## 空调负荷调节特性实验



## 阻性负载调节特性实验



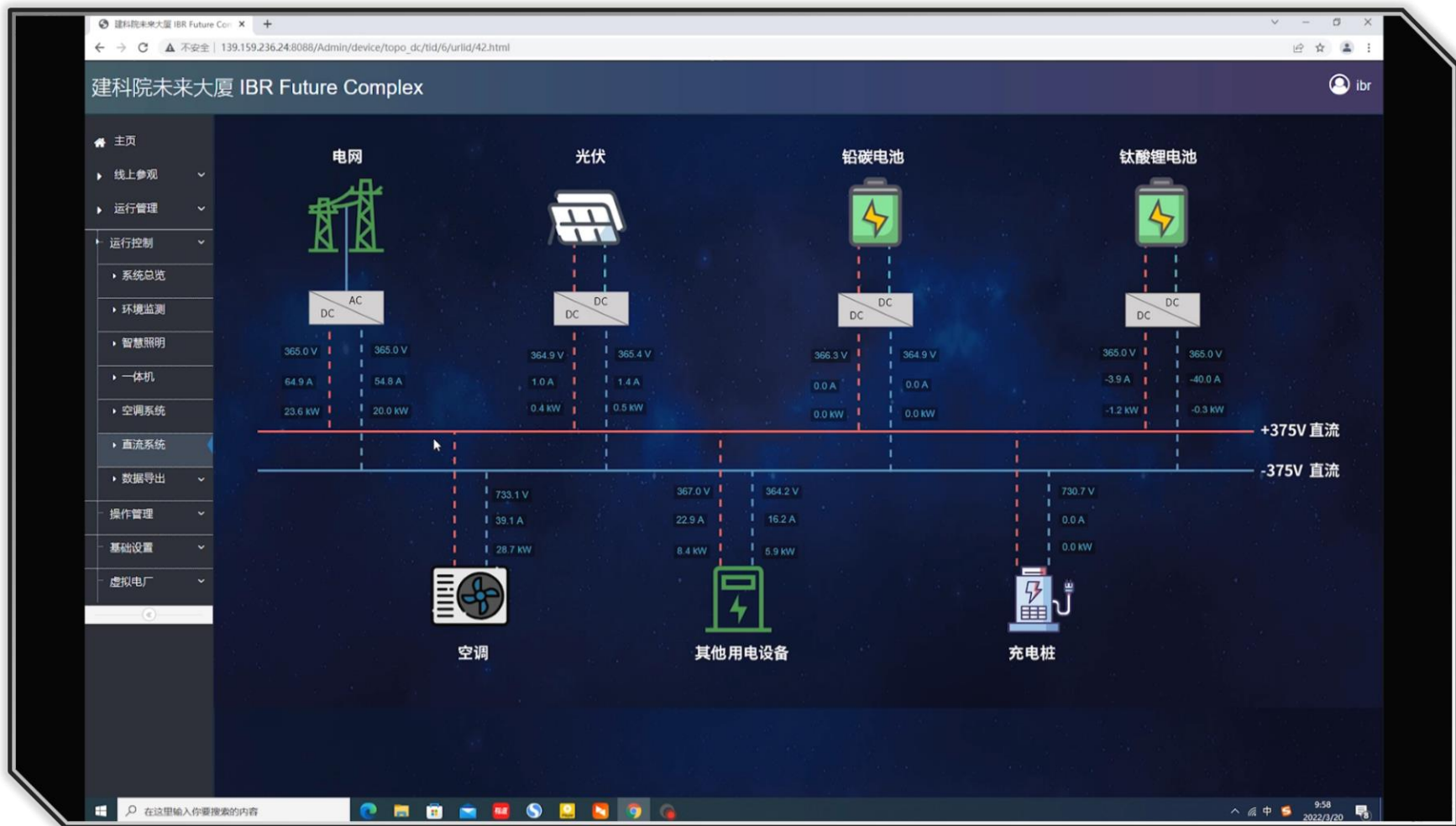
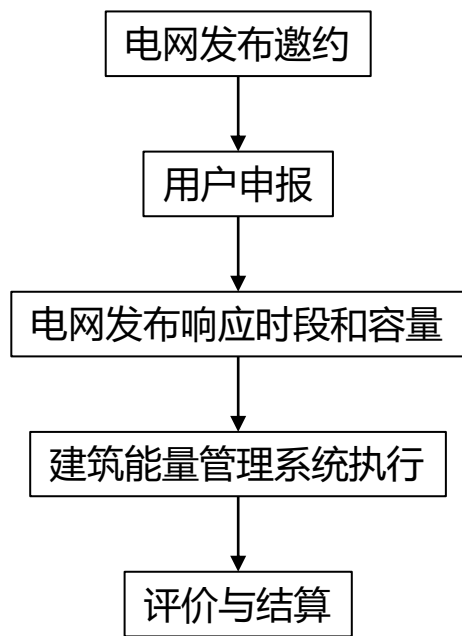
## 储能电池调节特性实验



## 未来大厦需求响应实验

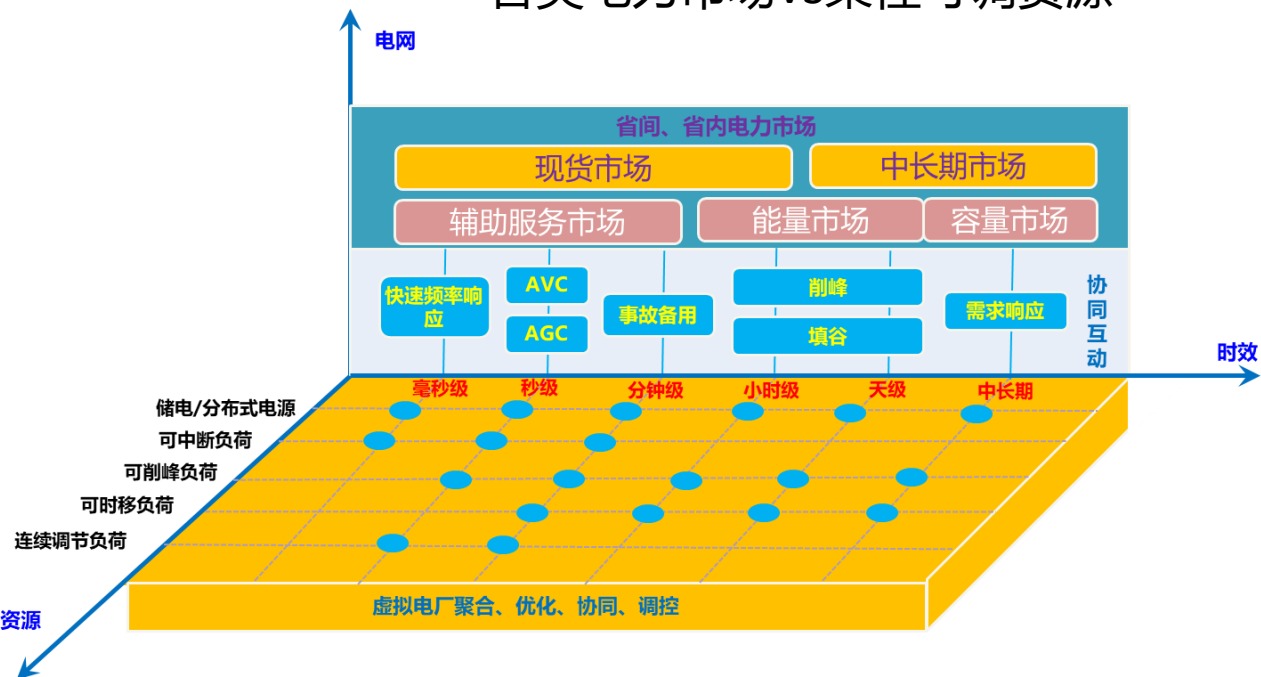
### 需求响应实验

#### 建筑参与需求响应流程



双碳目标下，能源“商品”属性将日趋凸显，将为建筑用能“柔性”提供多样的价值实现渠道。

### 各类电力市场vs柔性可调资源



## 广东省能源局 国家能源局南方监管局

粤能电力函〔2020〕642号

### 广东省能源局 国家能源局南方监管局关于 征求《广东电力市场容量补偿管理 办法（试行，征求意见稿）》等 文件意见的函

各地级以上市发展改革委（委），广州、深圳、汕尾市工业和信息化局，惠州市能源和重点项目局，广东电网公司、深圳供电局有限公司，各有关发电企业、电力用户、售电公司：

为贯彻落实国家和省深化电力体制改革要求，完善广东电力市场运行机制，我们组织广东电网公司、广东电力交易中心研究编制了《广东电力市场容量补偿管理办法（试行，征求意见稿）》《广东电力现货市场机组发电成本测算办法（试行，征求意见稿）》《广东省市场化需求响应实施方案（试行，征求意见稿）》等文件，现发你们征求意见。请你们认真研究，并于12月25日（星期五）前将有关意见和建议反馈我们（邮箱：nyjdlc@gd.gov.cn），同时

## 国家能源局

### 国家能源局综合司关于报送整县（市、区） 屋顶分布式光伏开发试点方案的通知

各省（自治区、直辖市）能源局，有关省（自治区、直辖市）及新疆生产建设兵团发展改革委，各派出机构，国家电网、南方电网、内蒙古电力公司：

我国建筑屋顶资源丰富、分布广泛，开发建设屋顶分布式光伏潜力巨大。开展整县（市、区）推进屋顶分布式光伏建设，有利于整合资源实现集约开发，有利于削减电力尖峰负荷，有利于节约优化配电网投资，有利于引导居民绿色能源消费，是实现“碳达峰、碳中和”与乡村振兴两大国家重大战略的重要措施。

为加快推进屋顶分布式光伏发展，拟在全国组织开展整县（市、区）推进屋顶分布式光伏开发试点工作。有关事项通知如下。

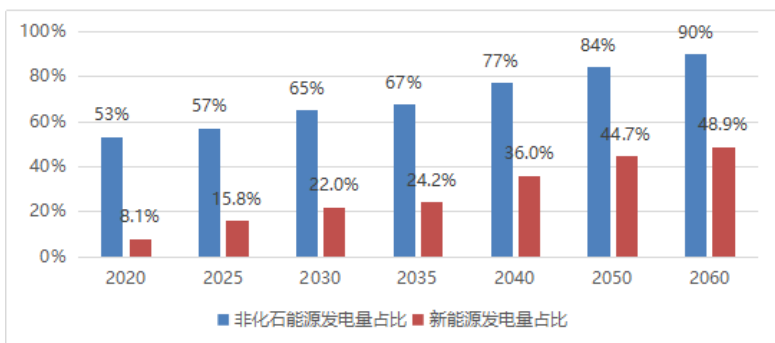
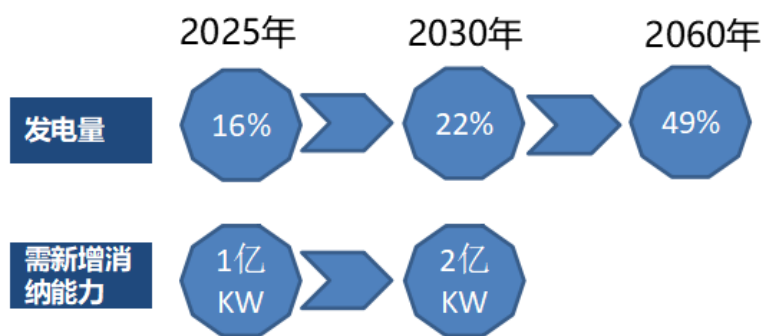
#### 一、申报试点条件

申报开展整县（市、区）推进屋顶分布式光伏开发试点的县（市、区）应符合以下条件：

（一）具有比较丰富的屋顶资源，有利于规模化开发屋顶分布式光伏。

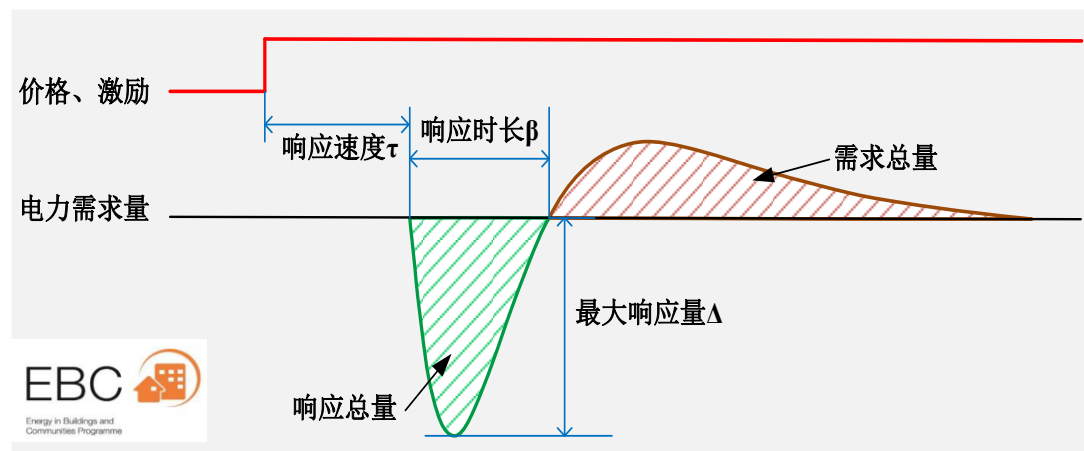
来源：南方电网研究院

双碳目标下，新能源消纳压力将日趋凸显，建筑是否能达到与协同的技术要求？是否低于电网侧调节成本？



来源：南方电网科研院

- 建筑/设备**调节特性**：评估上调/下调能力、响应持续时间、调节速率、响应时间等，选择可以参与的辅助服务。
- 建筑/设备**调节成本**：功率调节或启停的影响可接受，**接入、调节和聚合的综合成本**小于电网侧调节资源。



谢谢!

