



艾 瑞 咨 询

# 虚拟电厂行业研究报告

2023年

部门：投资研究部

署名：赵坤、邱斯瑶

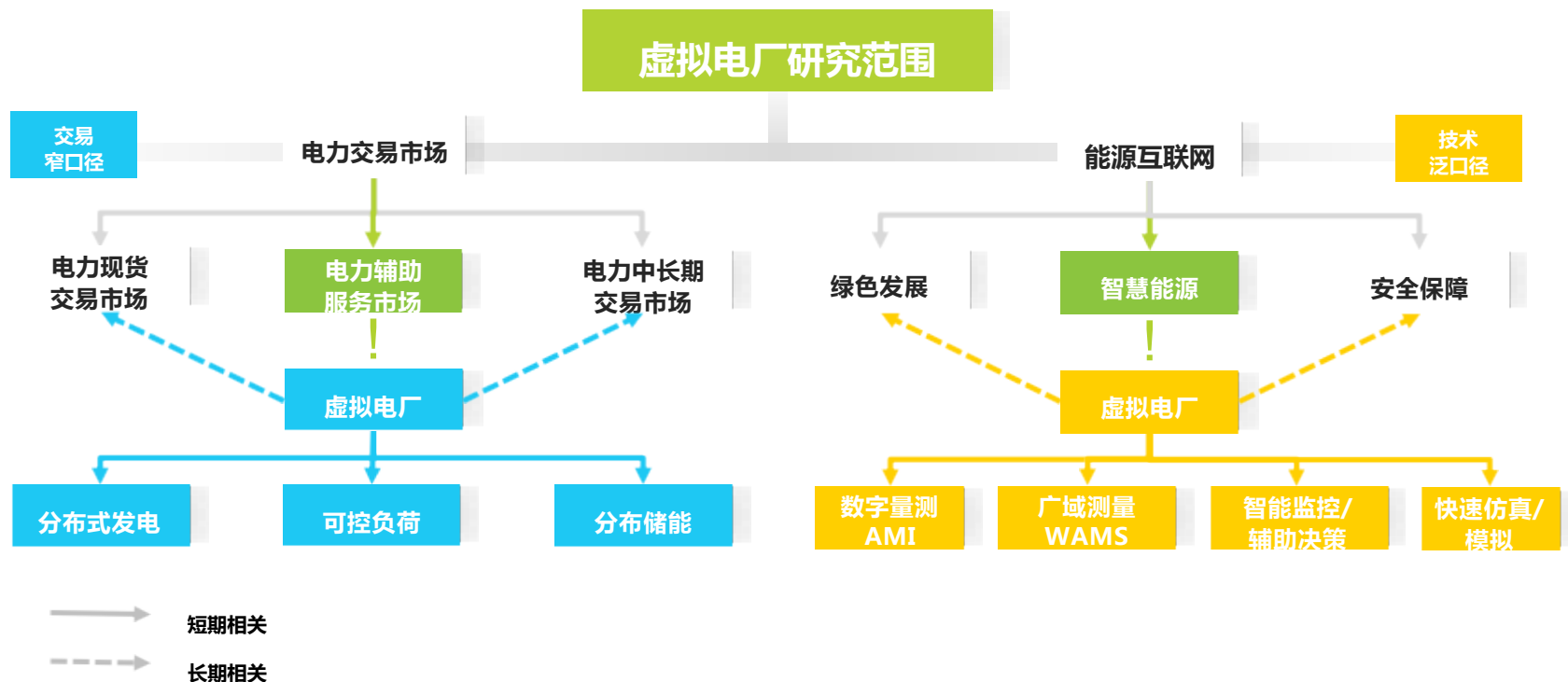
©2023 iResearch Inc.

# 虚拟电厂VPP研究范畴界定

虚拟电厂既是电力交易市场的重要组成部分，也是能源互联网的有机节点

分别从VPP的两个核心驱动要素来看，其中商业化主要对应了“电力交易市场”的逐渐迭代，技术应用驱动，主要是对应了“能源互联网”的大技术系统研究范式。当然，考虑本报告的阅读主体主要是企业经营者、投资机构、第三方研究机构等更加侧重于市场商业化、企业案例分析等方向，所以本文的研究范围主要聚焦在VPP在电力交易市场背景下的商业范式研究。

## 虚拟电厂不同行业落位分类



来源：国家电网、国家电力调度控制中心、艾瑞咨询研究院自主研究及绘制。

## CONTENTS

# 目录

---

**01** 虚拟电厂行业发展背景  
Development background

---

**02** 全球虚拟电厂行业发展现状  
Global Industrial perspective

---

**03** 虚拟电厂行业发展现状  
China Industrial perspective

---

**04** 国内外典型企业案例  
Case study

# 01 / 虚拟电厂行业 发展背景

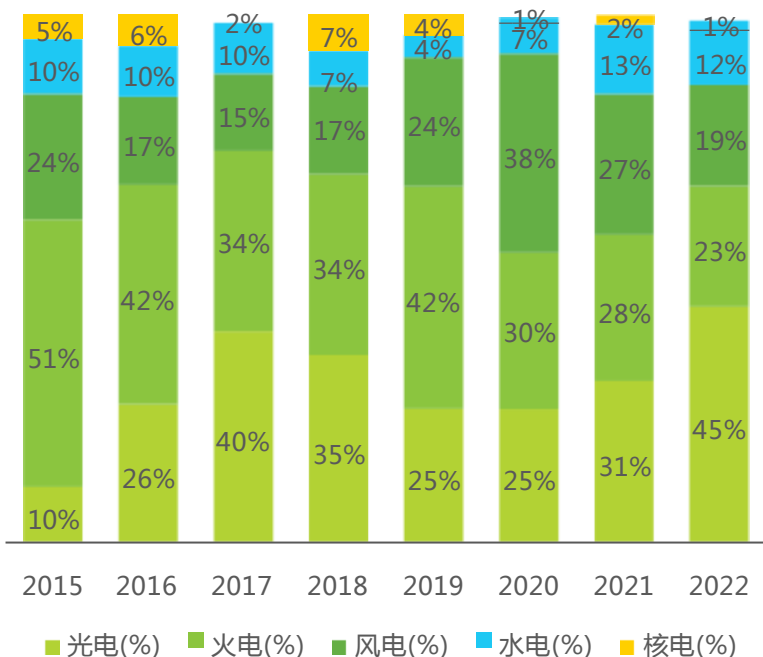
Development background

# 1.1 电力能源供给端

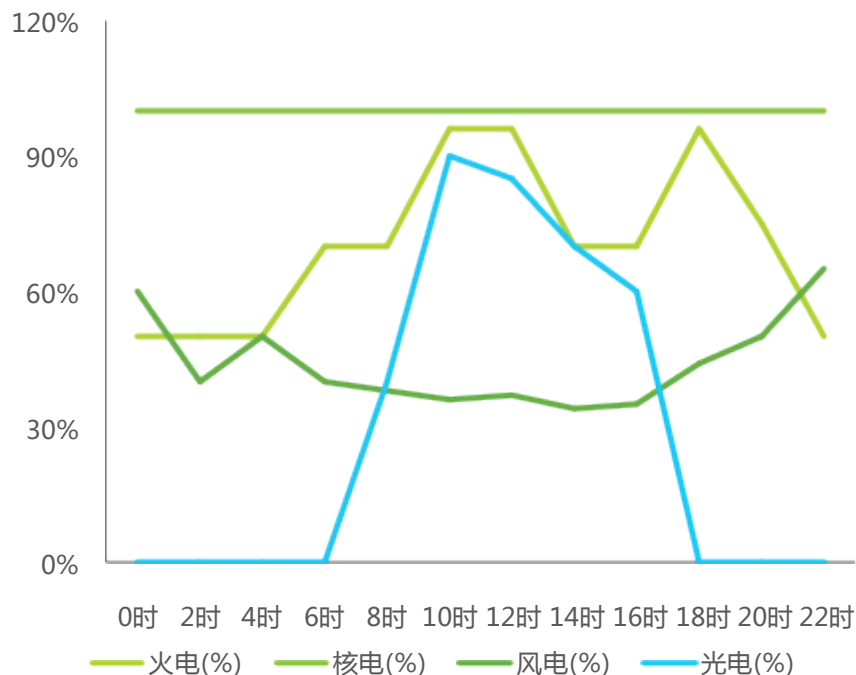
## 风光发电装机量递增，对应峰谷调拨及合理消纳需求旺盛

从每年新增发电装机量来看，风光电装机量虽然存在一定的投资周期性，但是长期来看，仍是比较核心的成长型电力资产。结合其在全天候场景下存在明显的“波动性”、“低出力”特征。从长期的投资收益角度考虑，需要结合“补贴叠加充分交易”来实现经济效益和绿色效益的双提升。

### 2015-2022年新增发电装机量结构分布



### 电源出力全天候分布特征



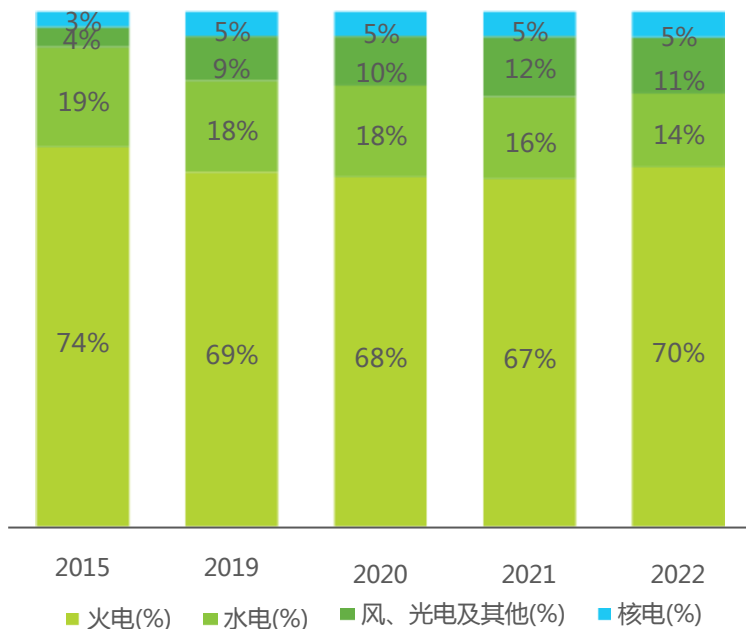
来源：国家能源局，中电联，艾瑞咨询研究院自主研究及绘制。

# 1.1 电力能源供给端

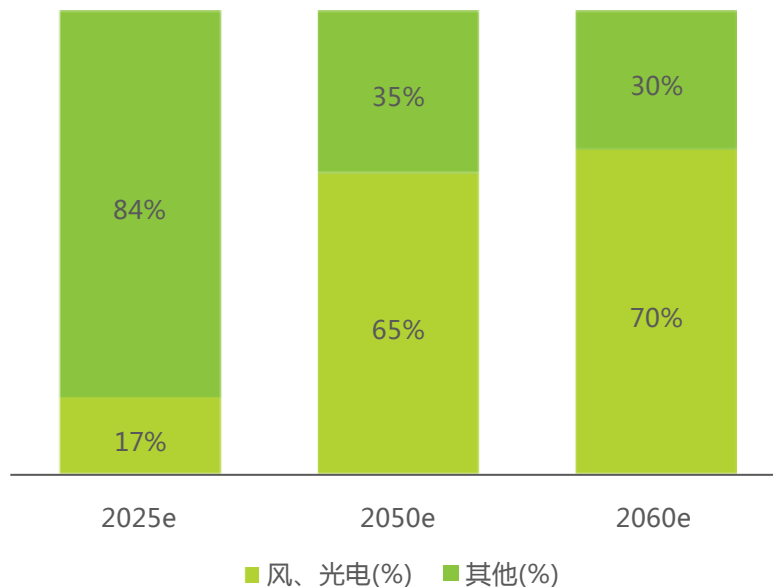
## 风光发电规模扩大，未来有效消纳成为绿色经济持续发展的首要目标

从能源发电结构来看，能源发电量占比中，风光发电的占比出现明显的扩大趋势。当然聚焦2022年，可以看到，发电量相对占比出现了一定程度的下滑。考虑到发电装机量（前置投资因素），有效并网量（后置消纳因素）。当下节点，需要有效的解决风光电长期、合理消纳的问题。才能在相对理想的条件下，实现在2025年达到16.5%发电占比的目标。当然，从整个电力网络的有效运营角度来看，有效解决其“峰谷调拨”及“合理消纳”问题，将成为能源市场持续繁荣的重中之重。

### 2015-2022年能源发电量结构



### 2025-2060年能源发电量结构预测



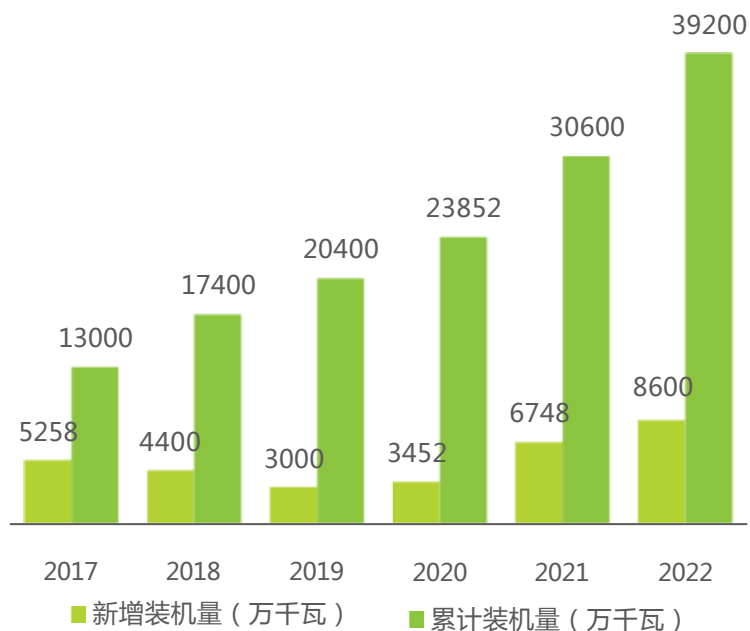
来源：国家能源局，全球能源互联网发展合作组织，艾瑞咨询研究院自主研究及绘制。

# 1.1 电力能源供给端

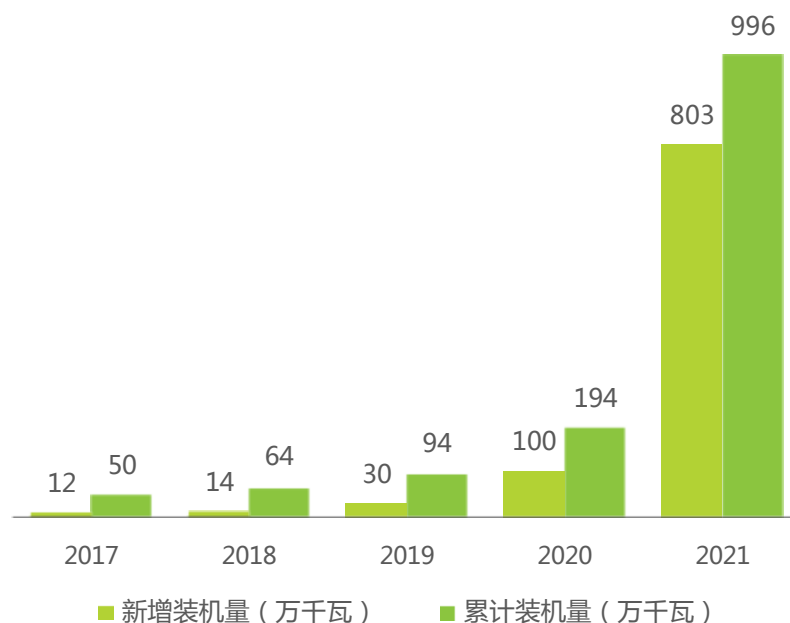
## 分布式发电摊薄集中投资收益，平抑长期供需缺口及短期波动性

从政策推动性角度来看，分布式风光电自2021年起，开始进入强政策推动期。国家能源局及其他相关部委，分别按照不同行政层级（省、县、市、区），以及不同执行主体（公共机构、政府机构、企业单位等）推动分布式光伏、分散式风电的加快发展。比如在2022年5月发布的《关于促进新时代新能源 高质量发展的实施方案》，明确提出到 2025 年，公共机构新建建筑屋顶光伏覆盖率力争达到 50%。当然，国内分散式风电，相较分布式光电，仍存在较为明显的技术商业化差距。

### 2017-2022年分布式光电装机量



### 2017-2021年分散式风电装机量

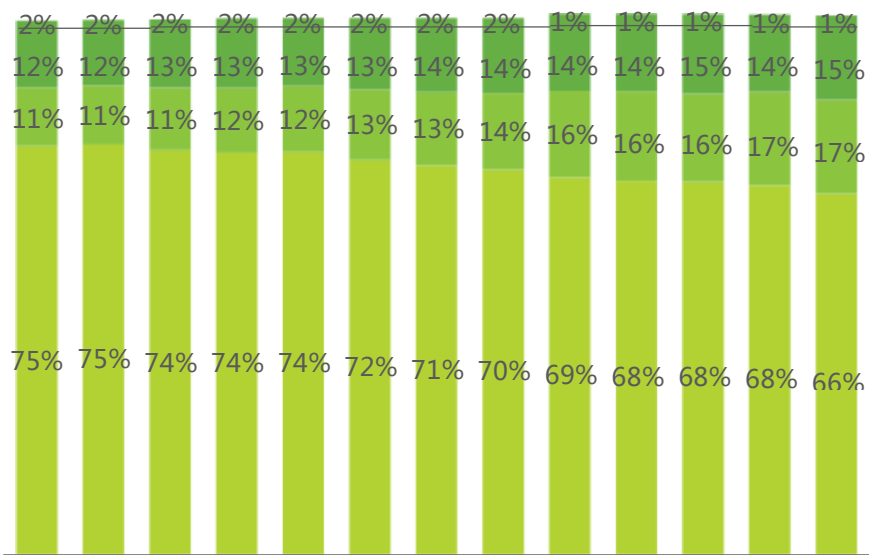


# 1.2 电力能源需求端

## 第三产业+居民电力消费比重逐年升高，弹性系数分布区间长期上移

从整体电力消费结构来看，第三产业+居民用电的消费比重逐年升高，一方面对应了整体经济结构发展中，泛口径下的高端制造业和软件服务业、物流服务业等，肩负了更强的新经济动能。同时另一方面，基于全产业数字化的背景下，用电终端（包括居民用户）的用电依赖性也在逐渐增强。结合长周期下的，在未来国内经济增速维持温和增长的前提下，考虑到第三产业+居民用电的分布式+储能渗透率逐渐提升，电力消费弹性系数，大概率会进入低波动、高运行的新区间。

2010-2022年电力消费分布结构



2010-2021年电力消费弹性系数



■ 第二产业 ■ 第三产业 ■ 居民用电 ■ 第一产业

来源：国家能源局，中电联，艾瑞咨询研究院自主研究及绘制。

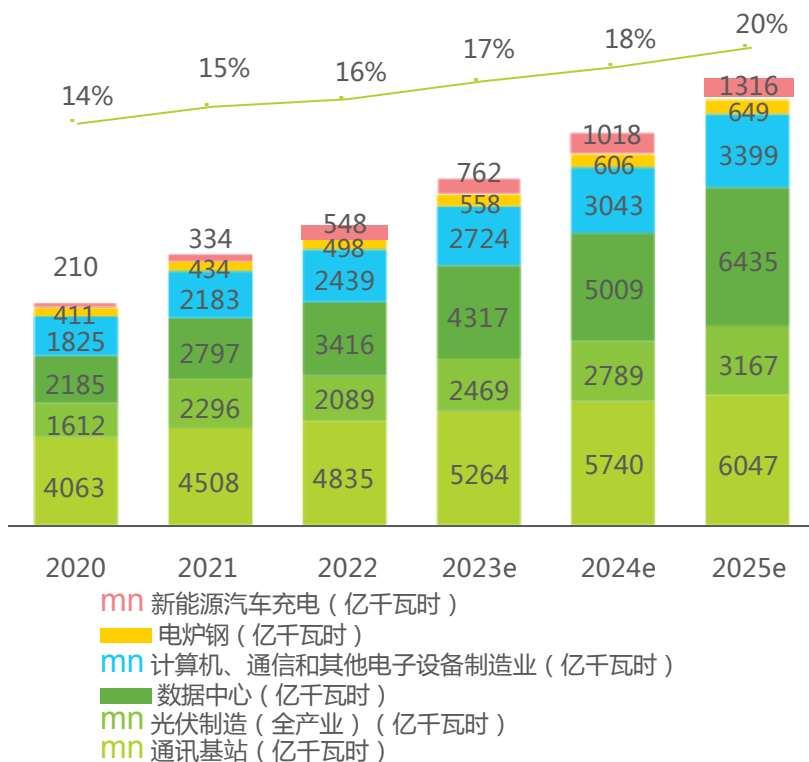


# 1.2 电力能源需求端

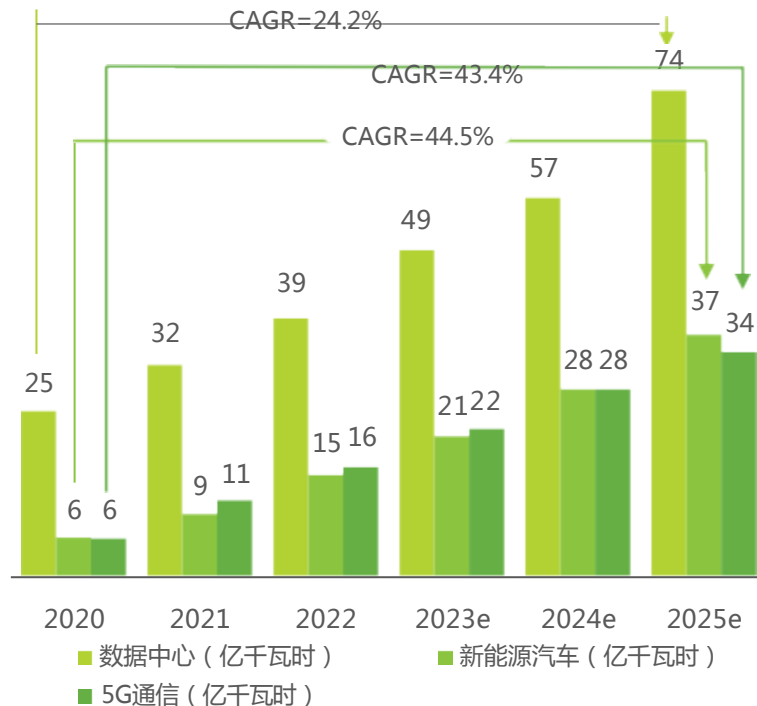
## 新兴行业电力依赖性与日俱增，负荷特征呈现复杂化趋势

作为国内新经济增长的典型电力负荷需求方，数据算力、5G通信、新能源汽车等，其电力需求在量级增速方面，呈现出明显的快速增长。当然从负荷特征来看，数据中心因为其产业发展的应用场景已经开始从“中心化网络”向“边缘计算”过渡，所以有可能呈现出“大者更大，小者更密”的分布特征，对应电力负荷特征也会出现两极分化。新能源汽车，特别是BEV车型的高渗透率，也对应会增加电力负荷的随机性。从整体来看，更加系统化、动态化的电力系统，会成为未来电力供需网络的核心形态。

### 2020-2025年新兴产业电力消费结构



### 2020-2025年新兴产业电力负荷结构



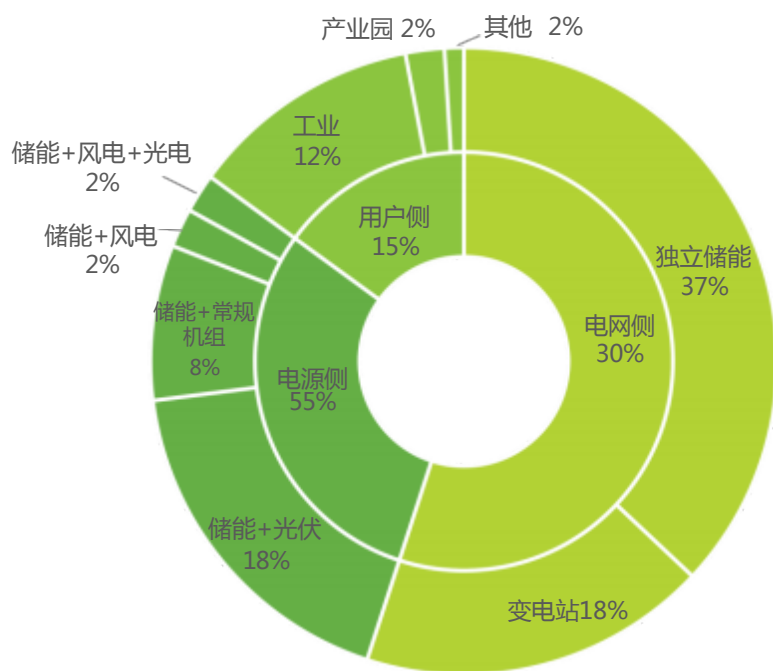
来源：信达证券研究中心，艾瑞咨询研究院自主研究及绘制。

# 1.3 电力能源服务端

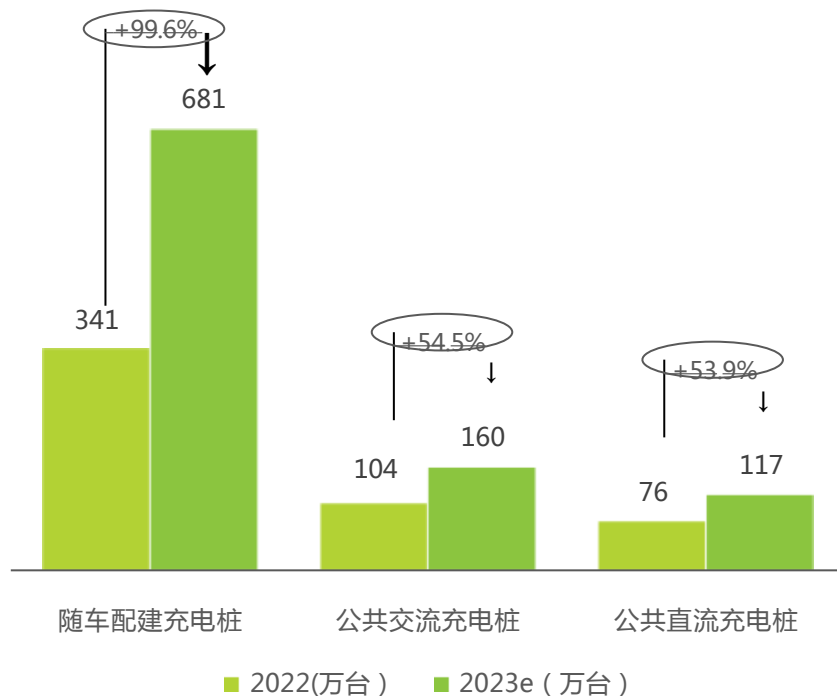
## 分布式储能技术的规模化应用，将成为电力供需结构矛盾的核心节点

结合前面讨论的新能源发电的并网量级矛盾、结果矛盾来看，新型储能技术的规模化，一方面能够在时间层面解决“并网错峰”的现实问题；同时也能主动促进电力负荷端的“源荷一体化”改善。从产业供需两端，改善电力能源的市场化应用的问题。同样以新能源汽车相关配套的充电桩为例，伴随着其作为电力负荷端的基础设施密度的快速增长，“光储冲放一体”模式，结合BEV的先天储能属性，亦能从负荷端，实现分布式源荷载体的经济及社会效益优化。

2022年Q1-Q3新型储能装机规模  
(新增投运)



2022年-2023年充电桩保有量



来源：CNESA，充电联盟，艾瑞咨询研究院自主研究及绘制。

# 1.3 能源管理端

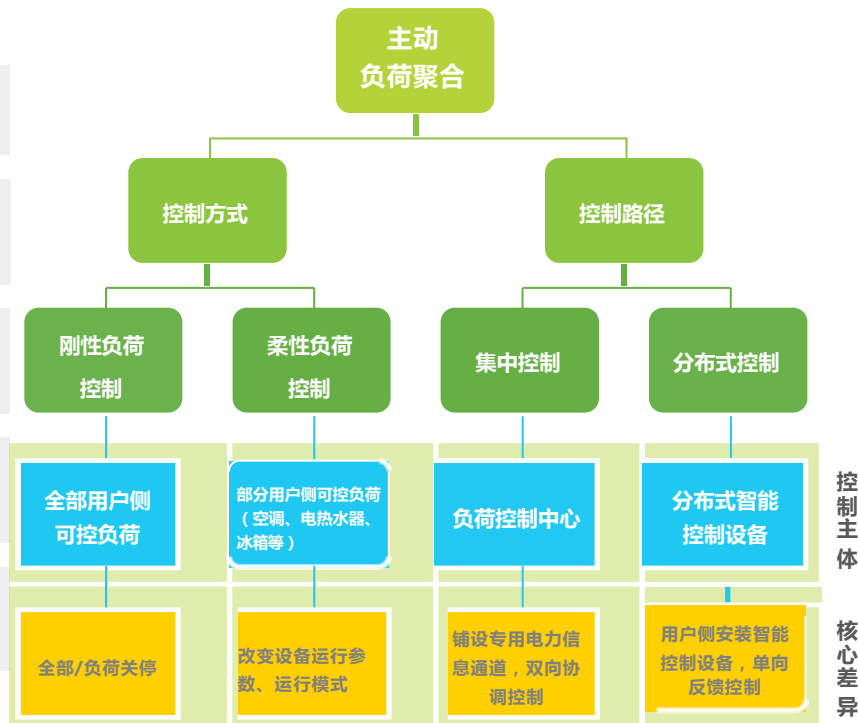
## 负荷聚合从被动向主动过渡，高基数能源需求的精益效益显现

从能源需求端的负荷特征来看，本身相较供给端就具备更强的“分散性”、“随机性”。同时，随着需求端电动汽车、储能设备的快速应用扩张，未来负荷的主动优化的需求，也推动从过往相对中心化的被动聚合，向主动聚合过渡。同时，未来亦存在分布能高渗透率场景下的“源荷一体”趋势，该场景下的，自发电/并网收益双运行模式，更加依赖主动聚合方式下的有效精益控制，实现公共效益和个体效益的双平衡。

### 被动负荷聚合方法及相关负荷特征

	调压	
	功率平衡、有功备用等	
	平抑可再生能源波动、调压、需求响应用户最低舒适度分析等	
	负荷跟踪等	

### 主动负荷聚合方式及相关控制路径



来源：《负荷聚合技术及其应用》，艾瑞咨询研究院自主研究及绘制。

# 02 / 全球虚拟电厂行业 发展研究

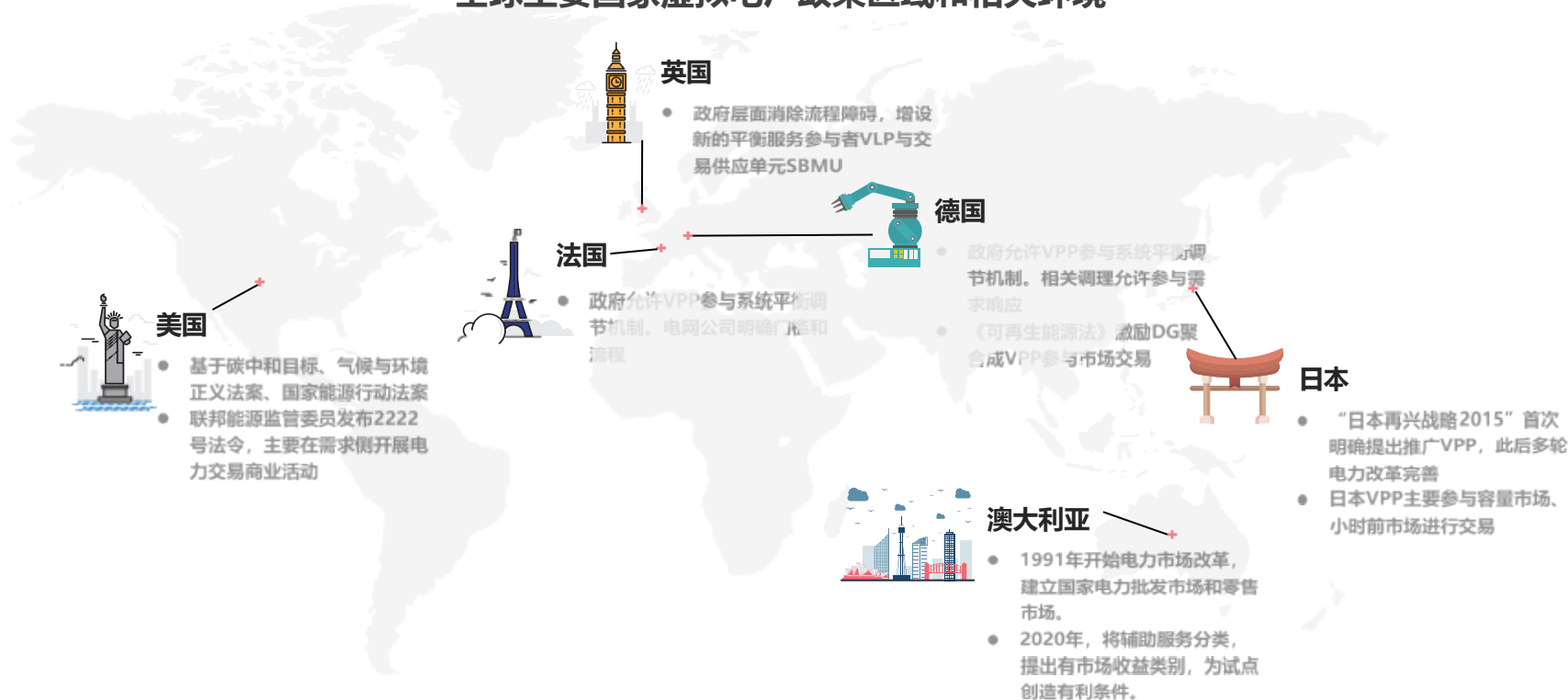
Development status

# 2.1 全球虚拟电厂市场发展历程

## 政策环境对比：各国基于本国电力市场现状，在推动切入点存在差异

结合各国在自身市场环境下的政策差异，可以看出，宏观层面碳中和目标是较为一致的长期目标。另外考虑到电力市场交易天然具备较强的垄断性禀赋和安全性要求，所以几乎都是“电力市场改革+虚拟电厂技术商业化”并行推动。并且从投资视角来看，虚拟电厂明显具备“强政策驱动”+“强技术投资前置”的双特征，所以核心市场主体更适配“资产运营收益”的投资模型。

### 全球主要国家虚拟电厂政策区域和相关环境



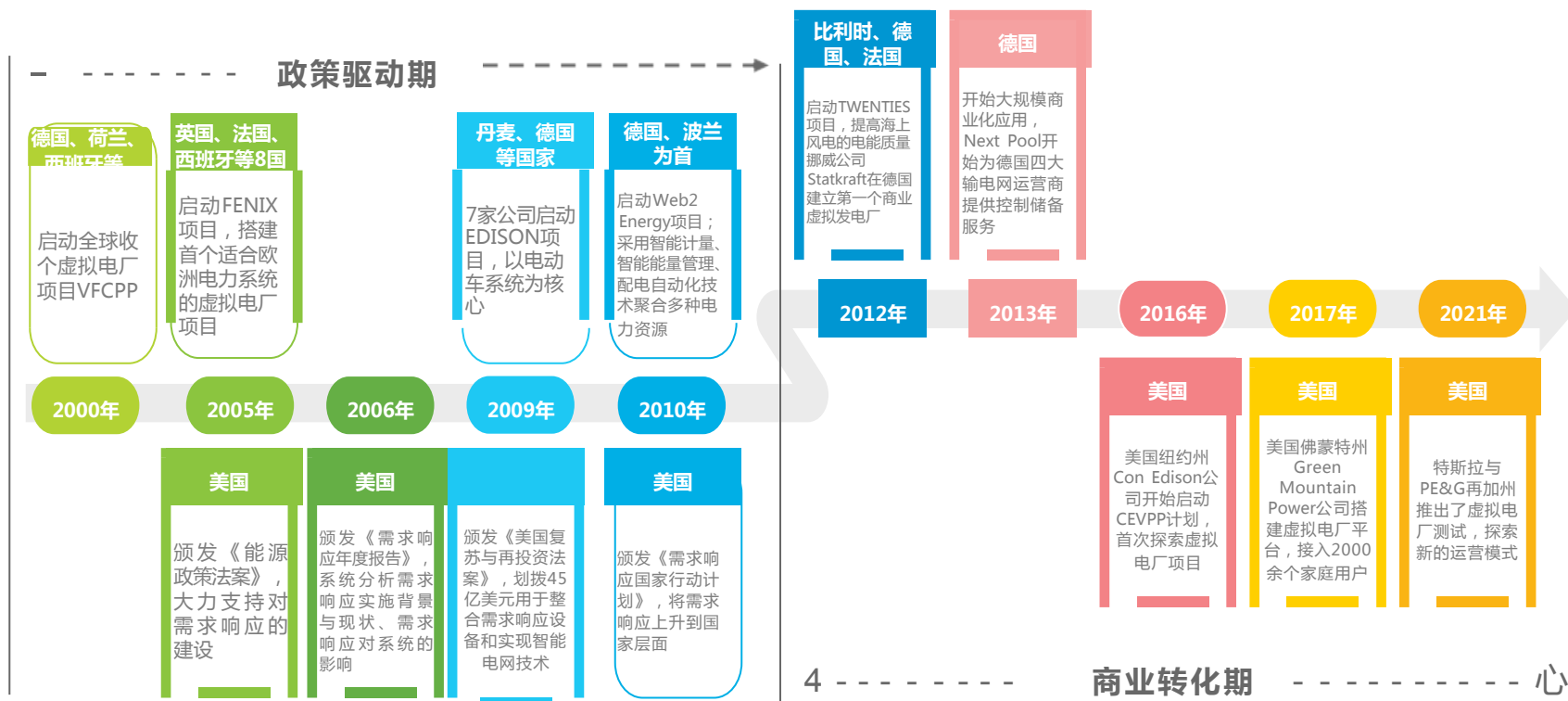
来源：GEIDCO，艾瑞咨询研究院整理及绘制。

# 2.1 全球虚拟电厂市场发展历程

## 发展路径对比：欧洲国家侧重电源端整合，美国市场侧重需求侧管理

追溯至欧洲的能源行业上游，能源紧缺性和可再生能源的蓬勃发展互为因果，所以如果长期有效的解决多形态能源的电源侧资源整合是其需要核心解决的主要问题。同时，考虑到各国下游能源需求结构的明显差异性，跨区协作以及长效交易也是其在电源端推动虚拟电厂建设的主要原因。在美国市场，一方面由于大部分州的电力市场上游基本处于寡头垄断状态（部分州是基于行政原因，部分州是基于市场原因），新进入者和技术商业化玩家考虑到市场进入成本、资源整合成本等问题，主要在需求响应侧进行项目建设。

### 欧洲国家/美国虚拟电厂市场化发展历程对比



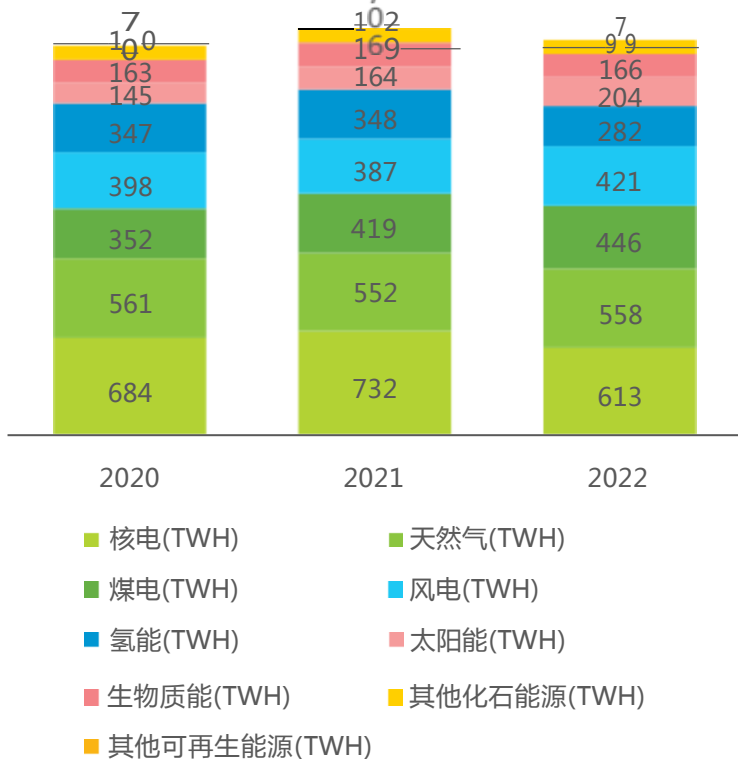
来源：GEIDCO，艾瑞咨询研究院整理及绘制。

## 2.2 欧洲虚拟电厂市场发展现状

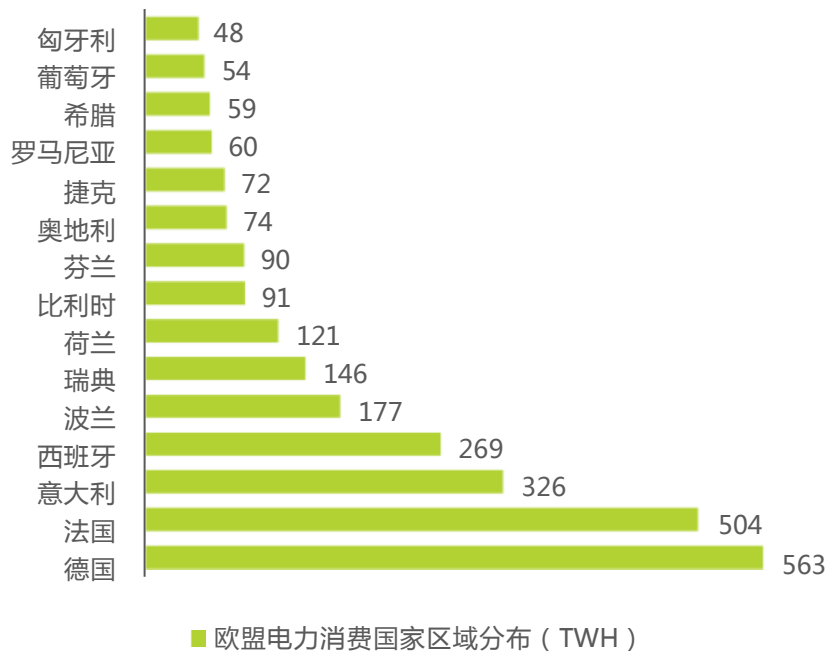
### 能源结构现状：非再生能源相对紧缺，各类型资源禀赋分散

欧盟电力生产结构中，风电、氢能、太阳能的相对增幅是最为直观的。当然考虑到近两年因为地缘政治等因素，导致的传统能源（非再生能源）存在较大的波动性，这也在一定程度上，通过非政策因素加速了相关新能源的替代。同时结合对头部电力消费国家的电力市场观察，其实也都存在一定程度的电价保护机制（避免能源危机对需求终端产生破坏性传导），所以可能在实际的虚拟电厂业务运营层面，在多个财务年度下，会产生新能源补贴电价和电价保护机制下的利差对冲。这一点在文末的案例中，会有所涉及。

2020-2022年欧盟电力生产量及结构分布



2021年欧盟电力消费国家区域分布



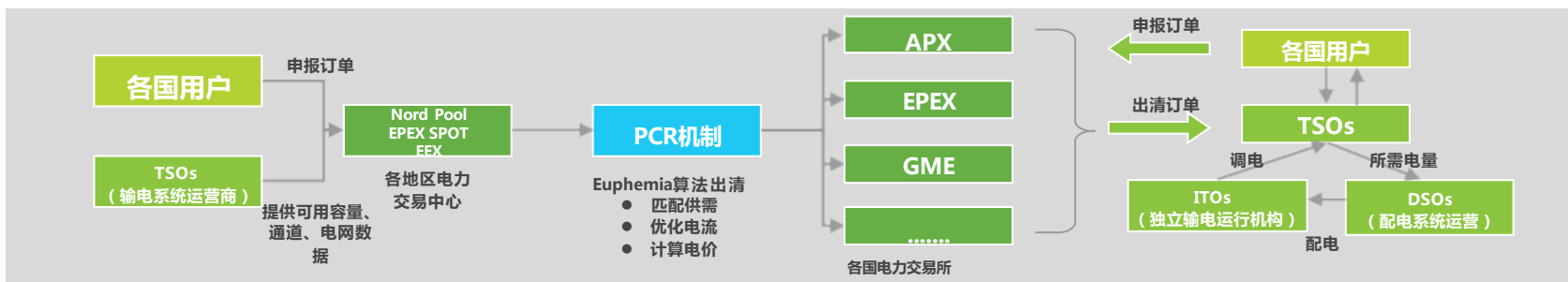
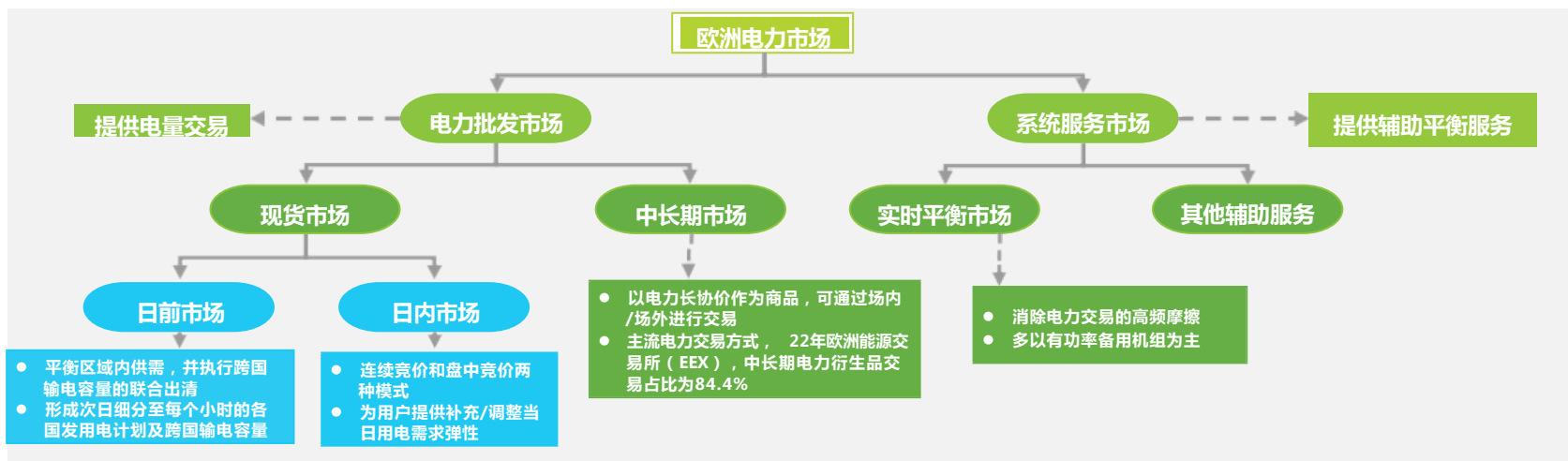
来源：Ember，艾瑞咨询研究院整理及绘制。

## 2.2 欧洲虚拟电厂市场发展现状

### 电力市场现状：市场结构相对完善，形成跨区互联动态出清网络

欧洲统一电力市场在整体欧盟的一体化框架下，主要目标为三个方向：1、引入竞争机制，同时提高运营效率和经济效益；2、因为各国能源禀赋差异较大，促进能源资源整合，提升能源系统安全；3、基于低碳目标，促进清洁能源渗透。当然，其近30年电力体制改革，一方面形成了输电网资产产权和经营权的有效独立等一系列市场化制度，另一方面也建设成了相对有效的统一电力交易市场。

#### 欧洲电力市场分类及相关交易结构



来源：东证期货，艾瑞咨询研究院整理及绘制。

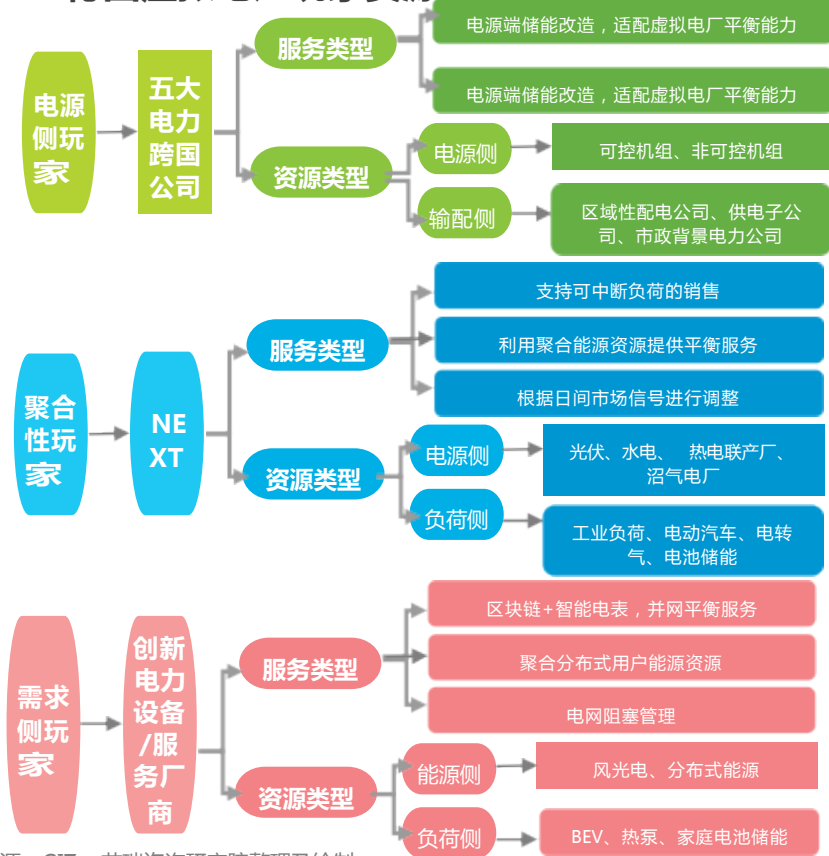


# 2.2 欧洲虚拟电厂市场发展现状

## 虚拟电厂发展现状：以德国市场为典型案例，多样性虚拟电厂主体

参考目前德国市场的商业化路径和案例，不同参与主体其实在运营端具备不同的起点/能力差异性。其中，以电力公司为代表的传统型玩家，明显具备规模优势和资源优势，更加着重于资产优化的商业逻辑。以创新电力设备厂商为代表的的需求侧玩家，更具备服务主体的灵活性，并且长期来看能够实现从“设备渗透”向“服务能力”的业务升级。聚合型玩家虽然在商业模式底层更偏向轻资产运营模式，但是考虑到其天然的“平台性”+“聚合性”，在实现全链路服务、全资源覆盖的拐点前，将始终处于强资本支出状态。

德国虚拟电厂玩家资源类型及服务类型对比



来源：GIZ，艾瑞咨询研究院整理及绘制。

德国虚拟电厂玩家电厂规模及能力分布

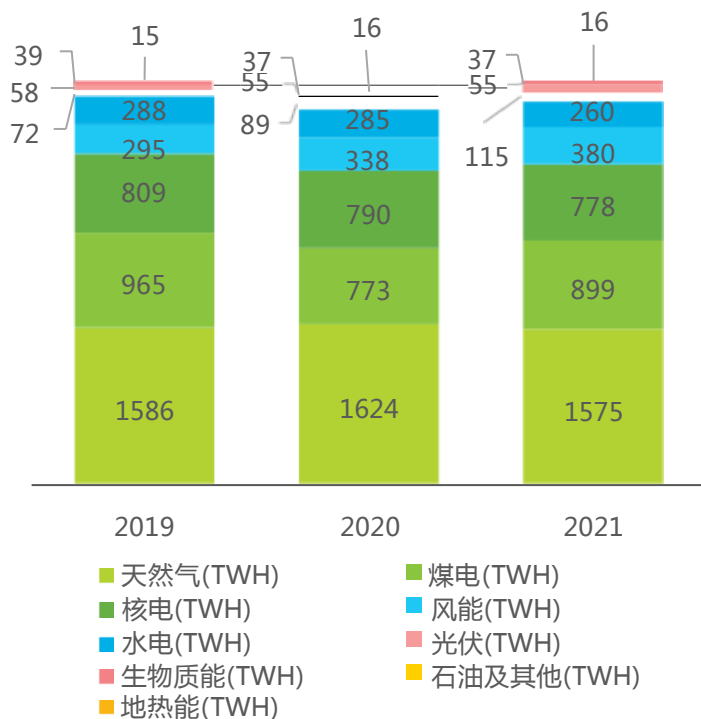
	Next Kraftwerke	e2m	Entelios	GETEC Energie	MVV Energie	BayWa.re	Sonnen
<b>能源资源组合</b>	发电侧+需求侧+储能	发电侧+需求侧+储能	需求侧	发电侧+需求侧	发电侧+需求侧	发电侧	储能
<b>电厂规模</b>	9016 MW (2021年)	3.26 MW (2021年)	>1GW (2018年)	3000 MW以上	500MW (2015年)	3.3MW (2019年)	—
<b>资源管理与优化</b>	√	√	√	√	√	√	√
<b>平衡服务</b>	√	√	√	√	√	√	√
<b>直接销售</b>	√	√	√	√	√	√	
<b>电力公司白标解决方案</b>	√	√	√				
<b>需求响应 (商业和工业)</b>	√	√	√	√	√		√
<b>需求响应 (家庭)</b>							√
<b>零售业务</b>					√	√	√

## 2.3 美国虚拟电厂市场发展现状

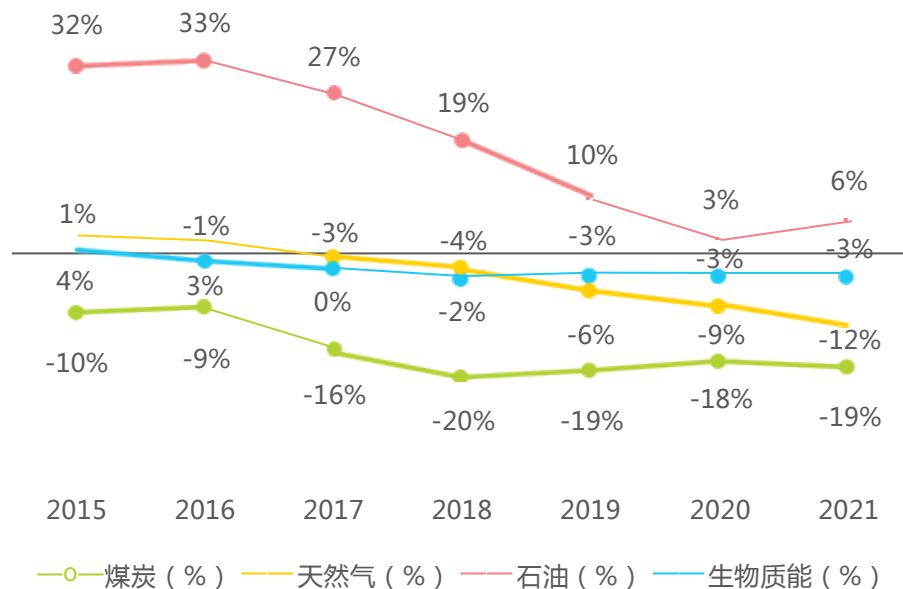
### 能源结构现状：能源对外依存度持续下降，可再生能源比例变化缓慢

从整体来看，美国能源结构中相关不可再生能源储量相对丰富，所以外部依存度始终处于弱平衡（战争等极端情况除外）。从长周期来看，美国能源效率也经历过基于典型经济周期的起伏。结合当前时点，美国能源政策的典型变化，未来存在较为典型的两极分化趋势，一方面基于美国政府的对于化石能源的战略变化，推动了可再生能源进入新的增长通道。另一方面的小型新能源商业市场，较为典型的需求端商业主体正在发挥更强的商业主体作用。

2019-2021年美国电力生产量及结构分布



2015-2021年美国能源对外依存度



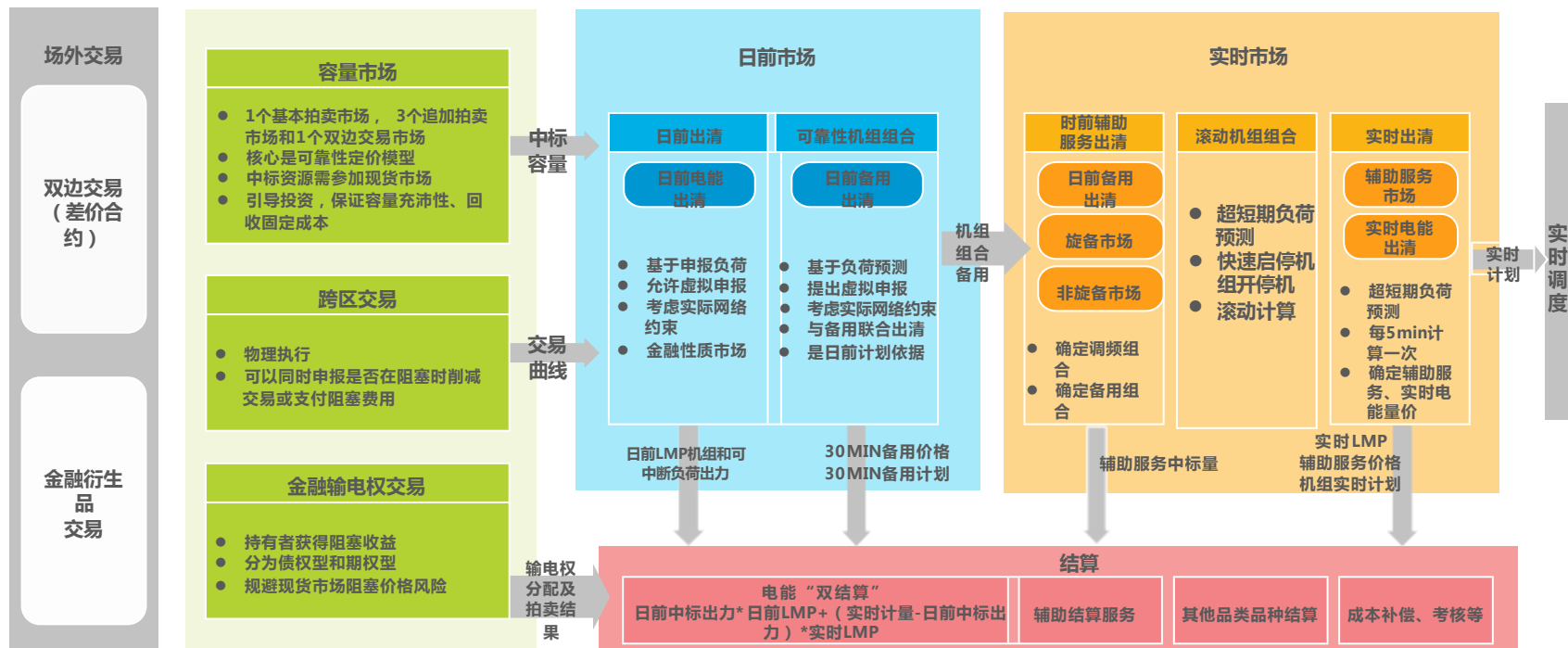
来源：EIA，艾瑞咨询研究院整理及绘制。

# 2.3 美国虚拟电厂市场发展现状

## 电力市场现状：以PJM电力市场为代表的集中式电力市场

美国整体电力市场主体相对多元化，同时分布较为分散。基于电力市场有效服务的用户数量来看，市属电力公司占比15%，私有电力公司占比68%，农村电力合作社占比13%，电力经销商占比4%。PJM作为第一个电力联营组织，目前无论在时间维度的多周期覆盖，还是多商品品种、多参与主体的覆盖，均较为全面。其中，其市场机制中，关于“电能与辅助服务联合出清机制”（实现整体社会效益最大化）、“虚拟申报机制”（增加非实体主体参与度，提高交易流动性）、“双结算机制”（综合对冲价格风险）。

美国PJM市场总体架构



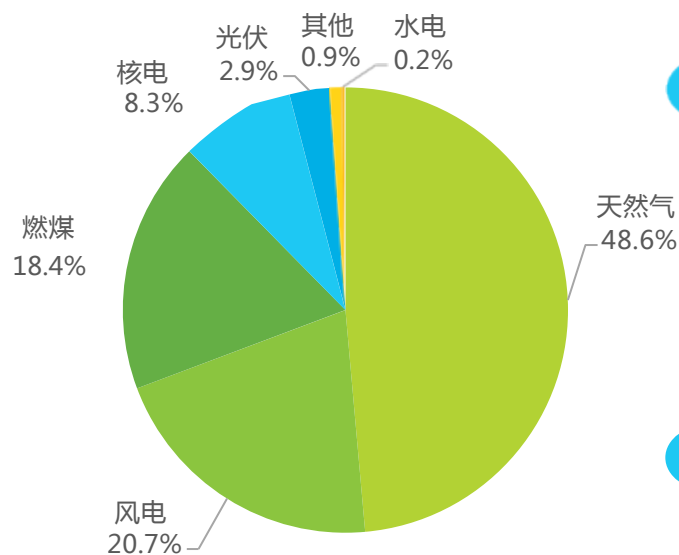
来源：国家电力调度控制中心组，艾瑞咨询研究院整理及绘制。

## 2.3 美国虚拟电厂市场发展现状

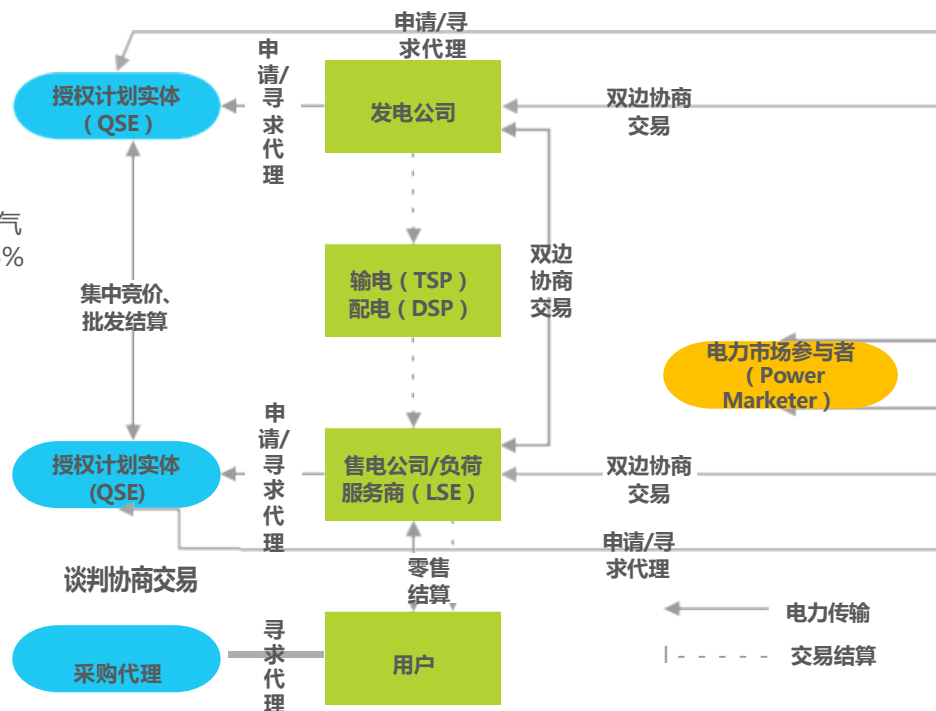
### 电力市场现状：以ERCOT电力市场为代表的零售侧竞争电力市场

相较PJM电力市场，ERCOT市场作为一个独立电网，和其他州并没有交流互联。但是其作为早在2002年就开启了零售侧竞争市场。其用户侧自主选择电力供应商比例超过30%，连续8年被评为美国和加拿大最具竞争性的电力零售市场。同时相对PJM市场，其因为没有设立容量市场，上游电源端投建性成本，主要通过发电本身收益，以及相关辅助服务收入回收。当然，相对应的这对该市场的价格有效性就提出了更高的要求。

2021年美国ERCOT电力市场发电量结构



美国ERCOT售电市场及电力交易结构



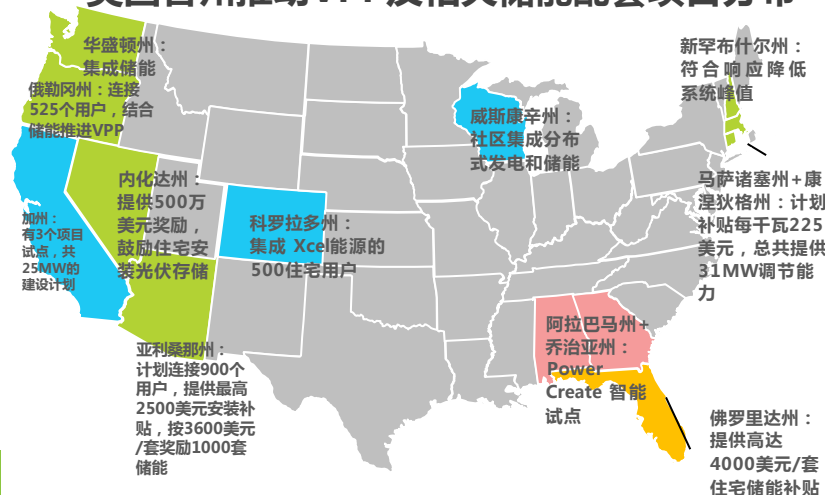
来源：国家电力调度控制中心组，艾瑞咨询研究院整理及绘制。

# 2.3美国虚拟电厂市场发展现状

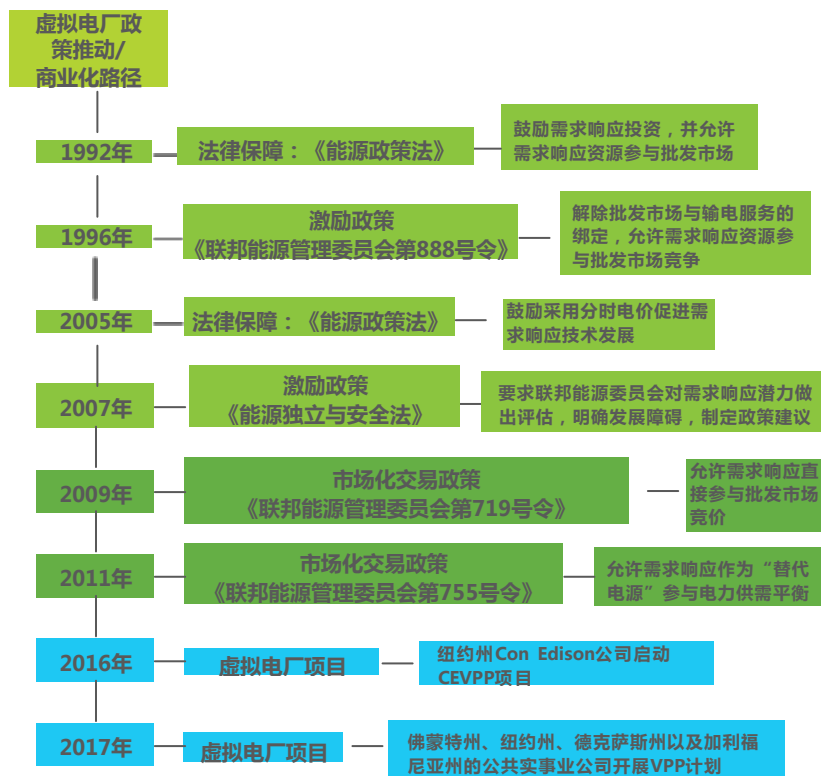
## 虚拟电厂市场现状：需求响应改革政策+商业化配套并行

考虑到美国电力市场的独立性和分散性，VPP相关项目的有效实施也具备明显的差异性。当然因为其虚拟电厂的发展路径脱胎于“能源需求侧响应”，所以可以看到其在需求负荷端更加侧重。同时可以看到因为主要聚焦用户侧场景，所以除了配售电公司等公共服务性公司以外，第三方独立的VPP商业公司具备多元化特征，诸如能源/储能相关硬件装备制造、平台软件服务商、第三方平台聚合商等商业主体。当然，值得一提的是，为了有效提高用户侧影响灵活性和构建分布式集约化的能量市场，储能配套也是商业化的重要环节。

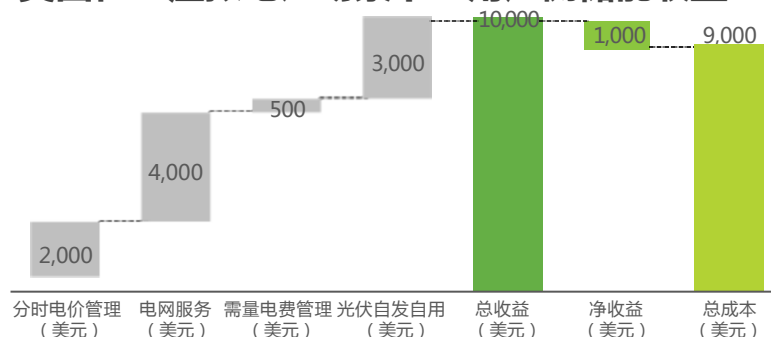
美国各州推动VPP及相关储能配套项目分布



美国VPP政策推动/商业化路径



美国在“虚拟电厂场景下”用户侧储能收益



来源：中电智库、国网能源院，艾瑞咨询研究院整理及绘制。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：  
<https://d.book118.com/587133130126010004>