

AI用电的“困”与“破”

证券分析师：唐仁杰 S0370524080002

行业评级：增持

摘要

- 随着近些年AI模型竞赛日益激烈，训练最先进人工智能模型所需的数据量和计算量呈指数级增长。训练是一个耗时且耗能的过程，计算在GPU/ASIC等专用芯片上进行。当前，单个GPU的最大额定功耗可达1000瓦。GPT-4训练时间约95天（2280小时），采用84%的负载因子计算，其训练能耗需求约为38.2GWh，折合训练期间内日均能耗约0.40吉瓦时（40万度电），如果以一个家庭单日电力消耗约为10度，GPT-4日均能耗约等于4万个家庭单日用电量。
- 不同于训练，推理任务的能耗需要考虑因素较多。比如，输入Token量及输出Token量、硬件配置以及批处理规模、键值缓存管理、注意力机制等操作优化策略的多重影响。此外，由于面向用户的商业AI模型在规模与实施细节方面缺乏透明度，难以精确测算其算力需求及后续能耗。不过随着长上下文任务及多模态模型的加速渗透，即使通过MoE或其他算法提升效率，但是总耗能或仍然持续提升
- 2024年全球数据中心用电量达415TWh，约占全球总用电量的1.5%，但耗电量较为集中。美国、欧洲及中国的数据中心用电量合计约占全球总量的85%。其中，美国自2015-2024年期间，数据中心电力消耗以每年约12%的速度增长，增量约250TWh。2024年美国数据中心的用电量约为180TWh，占全球数据中心总用电量近45%，并且占据美国全口径总用电量的4%。根据IEA预测，基准情况下2030年数据中心电力消耗将增长至约 945 TWh，比2024年翻倍以上，年均增长率约15%，占2030年全球电力消耗的近3%。其中，美国是最大市场，在基准情况中，2030年消耗将增至约420 TWh（比2024年增长130%），占全球增长的40%。
- 用电方面，真正的挑战在于电力基础设施制造周期与AI需求周期错配。为满足数据中心电力需求可来源于多种途径，每种技术性能、成本、排放、开发流程和建设周期方面都具有独特特性。随着数据中心预计在未来数年快速增长，构建并确保稳定高效电力来源的战略变得尤为关键。目前，美国唯一能在较短时间开发完成的可靠电力来源是太阳能光伏和燃气轮机，与数据中心的典型建设时间线相吻合。但即使在这些情况下，供应链延迟或供应紧张也可能进一步延长开发时间。但是，光伏输出受到太阳辐射的自然周期影响，发电功率在白天高、夜间为零，且实时随天气变化。对于7×24小时持续运行的AI算力中心来说，太阳能本身并不是稳定的电源。通常数据中心的负荷昼夜相差不大（甚至夜间仍维持高负荷以连续运行训练任务），而光伏在日落后完全停发电，白天的峰值出力也不一定刚好匹配数据中心负荷曲线。如果没有储能或其他调节手段，光伏对削减数据中心用电高峰的作用将十分有限。
- 完整的电化学储能系统主要由：电池组、电池管理系统(BMS)、能量管理系统(EMS)、储能变流器(PCS)，统称为“3S”以及其他电气设备构成。大型储能PCS多采用硅基IGBT（绝缘栅双极型晶体管）作为主功率开关器件。IGBT在PCS中的作用包括电压变换、DC/AC逆变以及功率控制等，直接决定了储能逆变器的性能指标。变流器市场，2024年全球变流器市场规模约1292亿美元。当前主流应用在工业电机、光伏及xEV，BESS市场规模约84亿美元。根据YOLE预测，BESS（电池储能系统）应用端增速最高，预计2024-2030年前期年复合增速18.5%，BESS应用市场预计至2030年达到233亿美元，或将成为变流器应用新增量。
- 功率市场方面，IGBT、硅基MOSFET占比份额较大。2024年，IGBT分立+模块市场规模约88.87亿美元，预计至2030年将达到161.51亿美元，年复合增长率10.47%。面对国内储能、光伏、新能源车推动下，国内厂商快速渗透，有望在市场规模增长+国产替代推动下加速增长。其次，随着储能及AI数据中心模块化和高压需求，碳化硅MOS模块、碳化硅分立器件、碳化硅整流器件也有望维持高增长，2024年三者合计市场规模29.67亿美元，预计至2030年市场规模增长至95.20亿美元，年复合增长率达21.45%。
- 相关公司：斯达半导（603290.SH）、扬杰科技（300373.SZ）、芯联集成-U（688469.SH）、士兰微（600460.SH）、东微半导（688261.SH）等
- 风险提示：1、国内厂商渗透率不及预期：当前功率器件市场仍以海外厂商为主，国内厂商渗透进展存在不确定性，或导致业绩波动或不及预期；2、产能扩张导致的价格风险：国内厂商在功率器件市场布局较多，竞争剧烈或导致价格压力；3、技术风险：当前功率器件技术路线较多，如平面及沟槽型MosFET，新技术的应用或导致其他产品销量不及预期。



目录

一、AI推升电力消耗

二、解决方案一：燃气轮机

三、解决方案二：光伏+储能

四、储能+光伏或带动功率器件需求

五、相关公司

风险提示：

国内厂商渗透率不及预期：
当前功率器件市场仍以海外厂商为主，国内厂商渗透进展存在不确定性，或导致业绩波动或不及预期

产能扩张导致的价格风险：
国内厂商在功率器件市场布局较多，竞争剧烈或导致价格压力

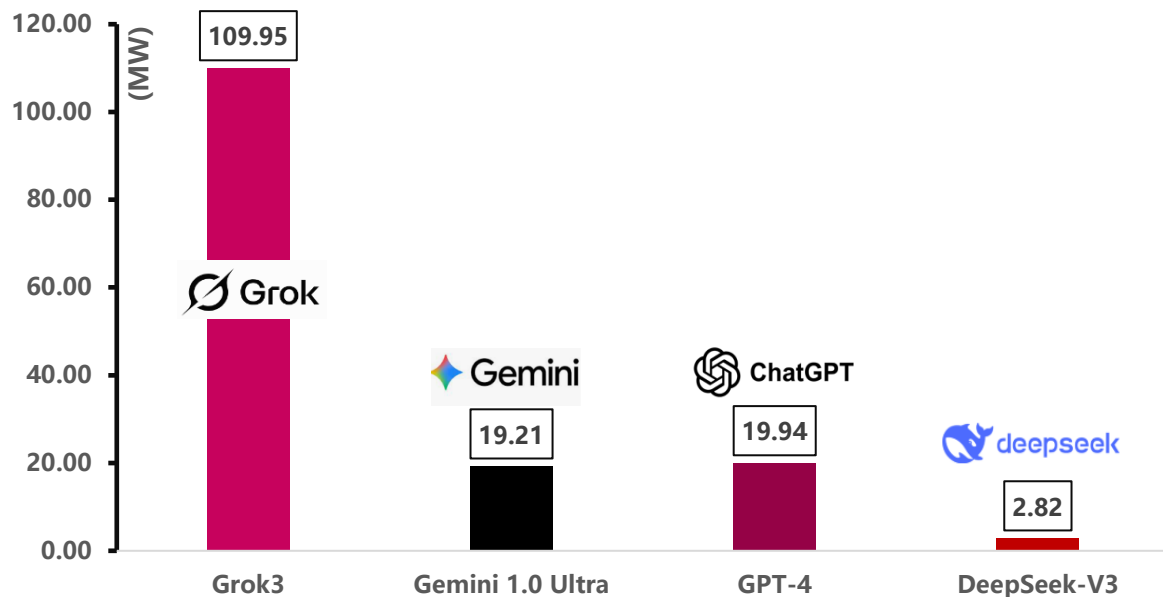
技术风险：当前功率器件技术路线较多，如平面及沟槽型MosFET，新技术的应用或导致其他产品销量不及预期。



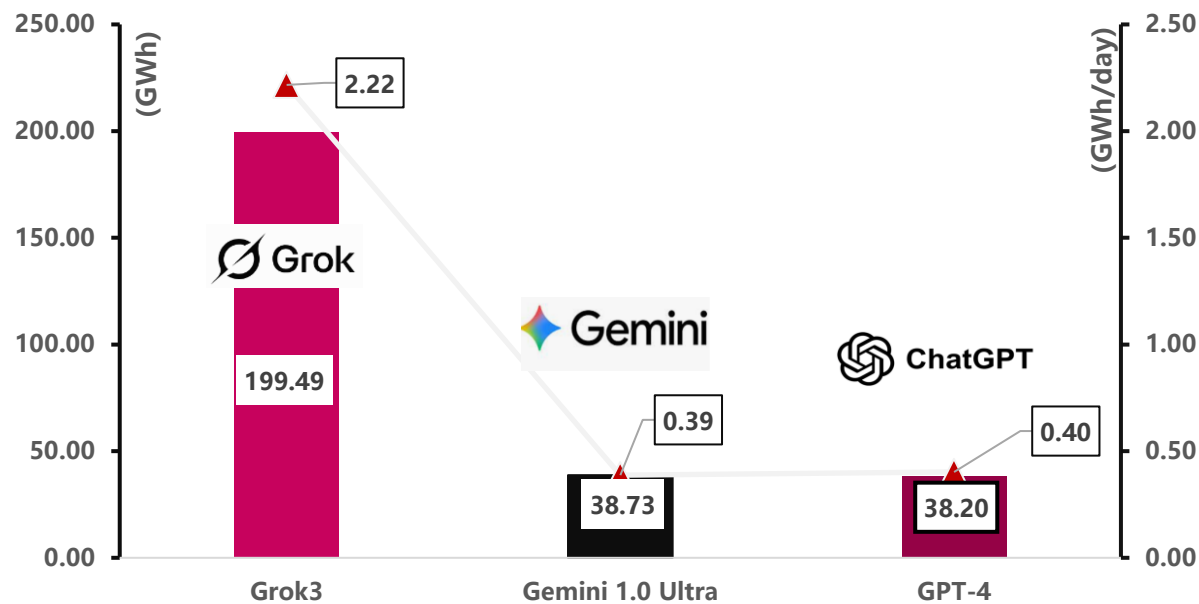
AI推升电力消耗

- 随着近些年AI模型竞赛日益激烈，训练最先进人工智能模型所需的数据量和计算量呈指数级增长。例如，GPT-4的训练数据量约为4.9万亿个数据点（Data Points），训练计算量约为22万亿亿次（即 2.2×10^{25} ）。
- 训练是一个耗时且耗能的过程，计算在GPU/ASIC等专用芯片上进行。当前，单个GPU的最大额定功耗可达1000瓦，这与一台烤面包机的功耗相当。超大型的模型是在由多个GPU组成的集群上进行训练的。例如，GPT-4是在25,000个GPU上经过多日训练而成，算力芯片合计额定功率近10MW。除此之外，加上用于模型训练的其他服务器部件包括CPU、内存、网络设备和交换机等以及非IT设备功耗，用于训练GPT-4的设备总额定功率高达约20MW。
- 并且，GPT-4训练时间约95天（2280小时），采用84%的负载因子计算，其训练能耗需求约为38.2GWh，折合训练期间内日均能耗约0.40吉瓦时（40万度电），如果以一个家庭单日电力消耗约为10度，GPT-4日均能耗约等于4万个家庭单日用电量。

➤ 图表：典型模型IT设备额定功率（MW）



➤ 图表：典型模型IT设备训练期间用电量及日均用电量



AI推升电力消耗

- 不同于训练，推理任务的能耗需要考虑因素较多。比如，输入Token量及输出Token量、硬件配置以及批处理规模、键值缓存管理、注意力机制等操作优化策略的多重影响。此外，由于面向用户的商业AI模型在规模与实施细节方面缺乏透明度，难以精确测算其算力需求及后续能耗。不过随着长上下文任务及多模态模型的加速渗透，即使通过MoE或其他算法提升效率，但是总耗能或仍然持续提升。

➤ 图表：推理及生成任务的用电量受多重因素影响

更长的输入问题和输出答案需要更多计算资源，因而消耗更多电能

输入问题规模与输出答案长度

算法效率优化

业界正采用不同策略降低推理计算强度，例如混合专家模型（MoE）。MoE模型在推理时仅激活与当前查询最相关的模型部分，从而在保持性能的同时节约计算量与能耗

OpenAI的o1模型与DeepSeek的R1等新模型采用推理时缩放技术提升在推理/规划任务中的表现。直观来说，这使模型在作答前进行更密集的“思考”，但会显著增加计算量与能耗成本

推理时缩放程度

模型规模

在同等条件下，参数量更大的模型处理输入输出所需计算量更大，能耗更高

视频和图像生成的计算强度通常远高于文本生成，能耗也相应更大

输入输出模式

硬件实施方案

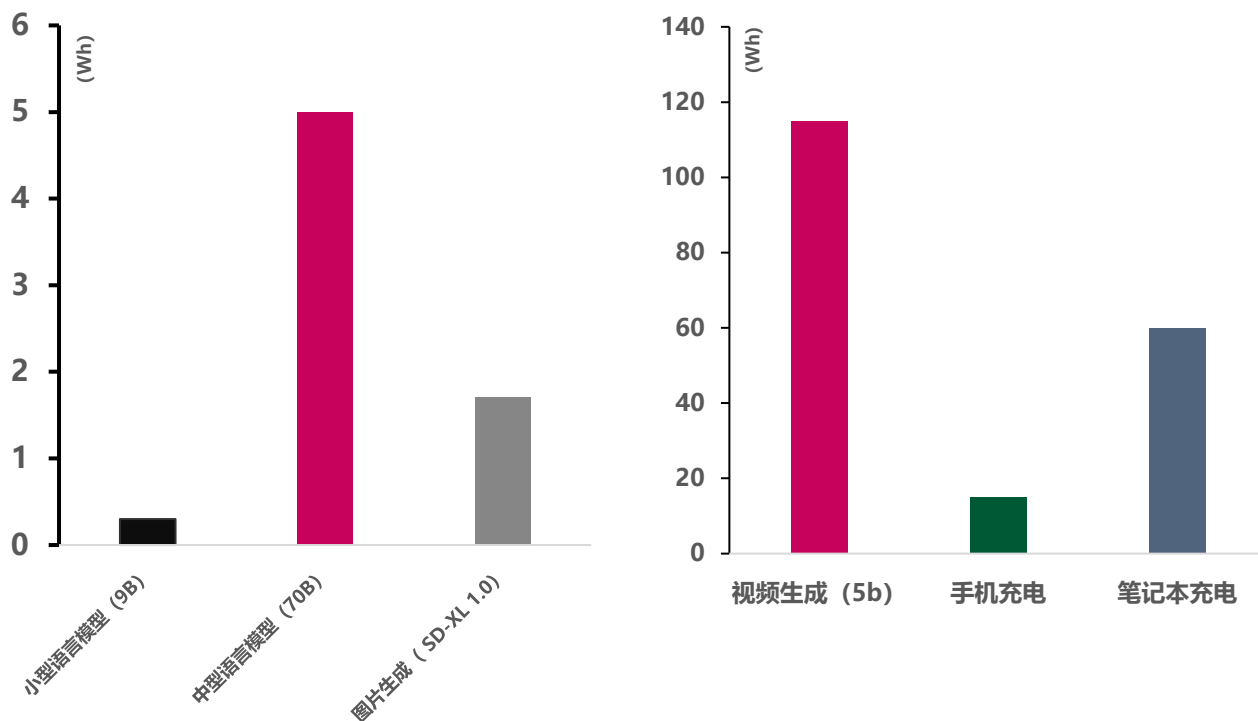
运行AI模型的专用硬件能效持续提升。以最新一代B200 GPU为例，其FLOP/瓦特能效较上一代H100提升60%，而H100较前代A100提升80%。具体硬件方案会显著影响能源强度



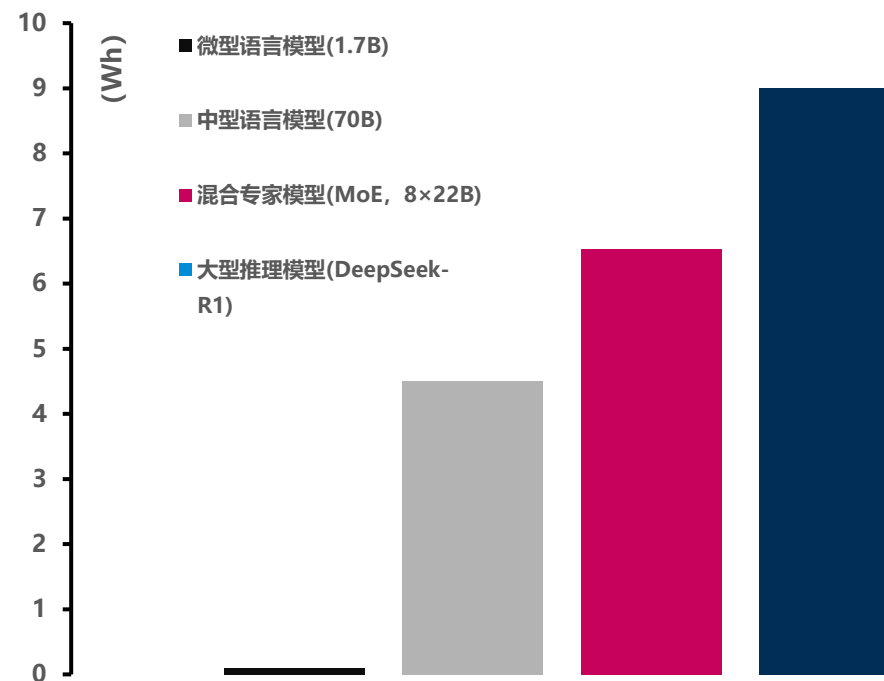
AI推升电力消耗

- **基于不同的生成任务，能耗差异较大。**使用小型语言模型进行文本生成约消耗0.3瓦时，中型语言模型则需消耗约5瓦时。图像生成任务每项约耗电1.7瓦时。而视频生成的能耗强度高出两个数量级，生成一段短时长、相对低质量的视频（时长6秒，每秒8帧）需消耗约115瓦时。
- **采用混合专家模型能耗改善明显，而推理模型则产生较大能耗。**混合专家模型参数总量是中型模型的2.5倍，但能耗仅增加约45%。推理模型通过推理时缩放技术在处理数学、编程等复杂问题时需要进行更深入的“思考”。**但将推理模型用于简单文本生成任务时，其耗电量将达到同等规模常规模型的2倍。**

➤ 图表：不同规模及不同任务类型的能耗差异较大



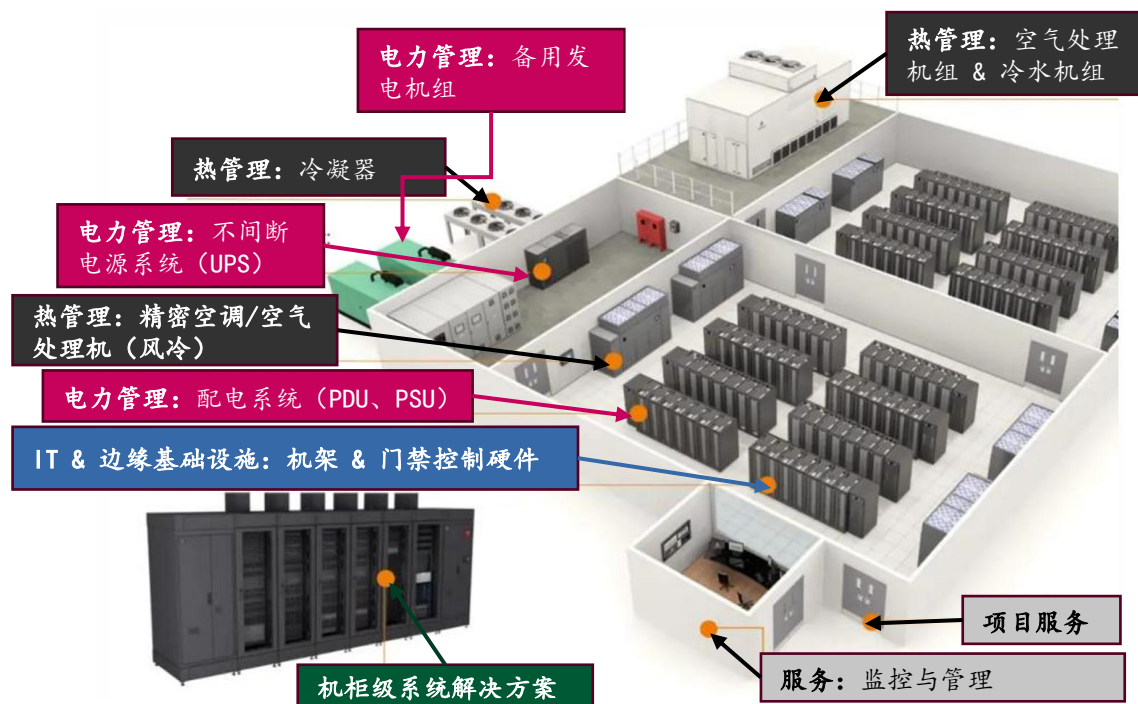
➤ 图表：不同类型模型能耗对比



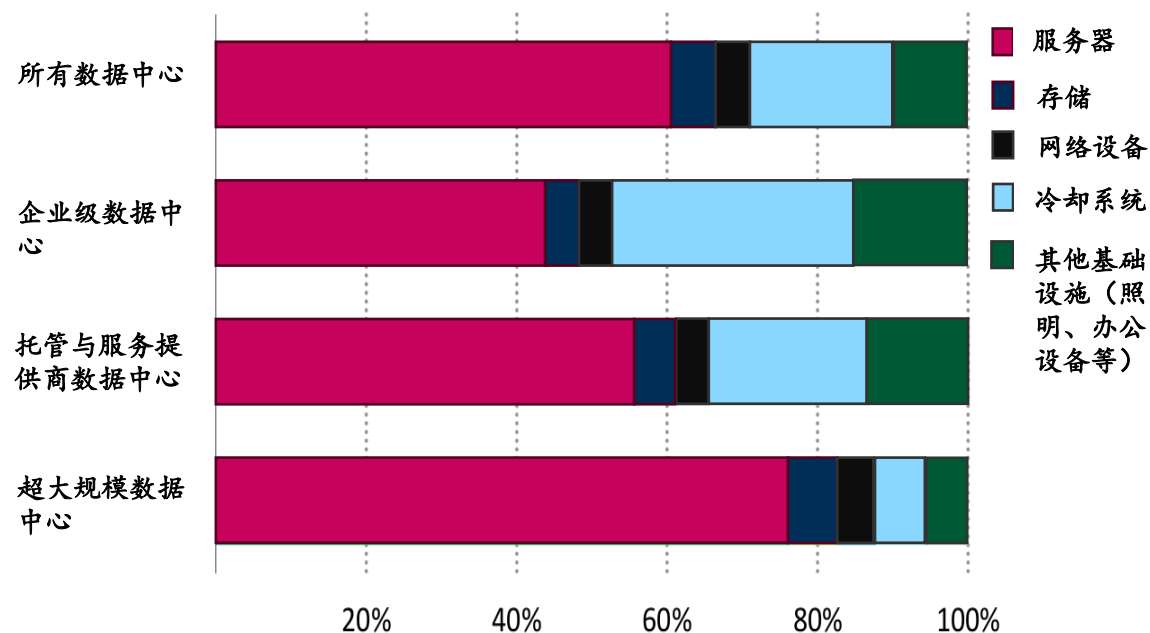
AI提升电力消耗

➤ 数据中心是一种集中式设施，主要用于容纳大量计算机服务器、网络设备、存储系统及IT组件。所有上述设备均需配备专用电源单元，以确保为每台设备提供适配的输入电压。**当前数据中心中，服务器平均约占60%的用电需求，但比例因数据中心类型存在显著差异。**存储系统是用于集中化数据存储与备份的设备，约占总耗电量的5%。网络设备包括连接数据中心的交换机、引导流量的路由器以及优化性能的负载均衡器，其电力消耗最高可达总需求的5%。冷却与环境控制系统通过调节温湿度确保IT设备处于最佳运行状态。**冷却系统能耗占比差异显著，高效能的超大规模数据中心约为7%，而能效较低的企业数据中心可能超过30%。**不间断电源电池与备用发电机可在断电时维持数据中心运行。这些设备虽很少启用，但对保障数据中心必须实现的超高可靠性至关重要

➤ 图表：数据中心电力及热管理



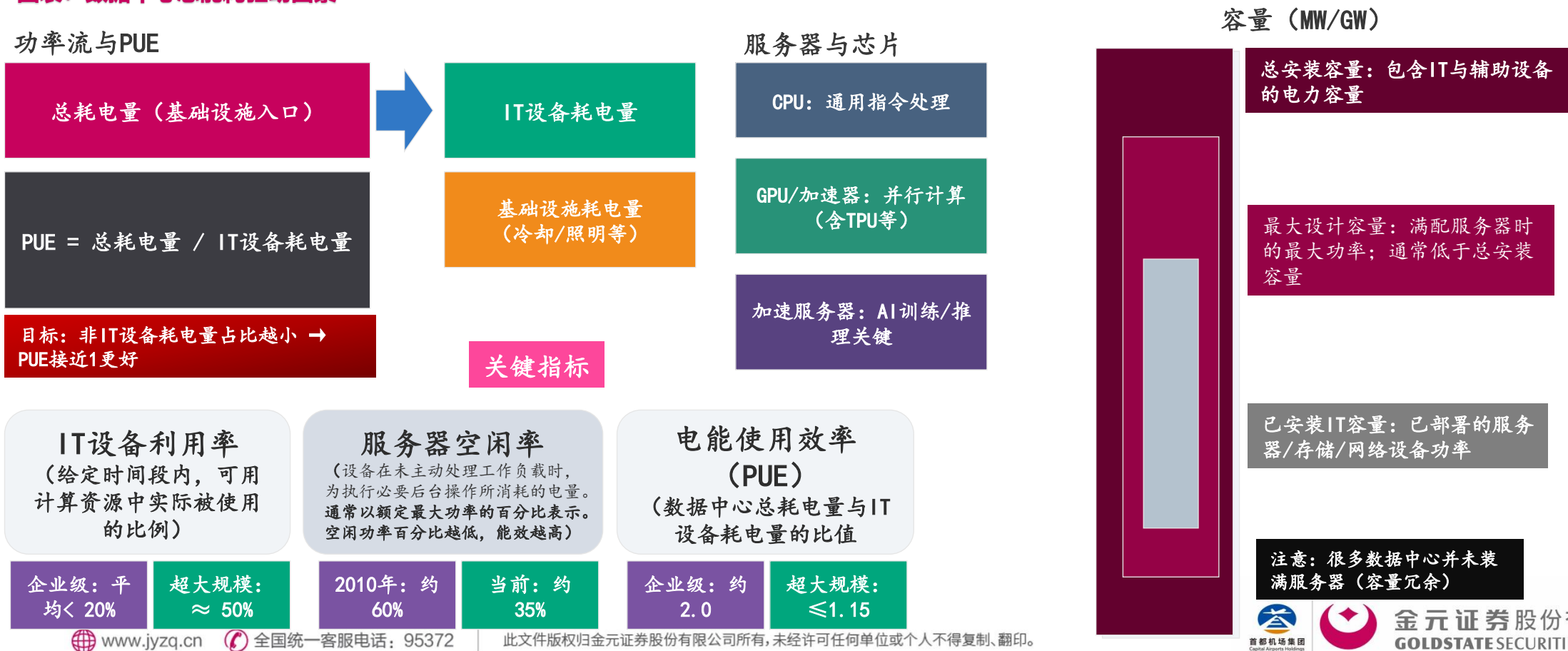
➤ 图表：不同类型数据中心各类设备的能耗占比



AI推动电力消耗

- **数据中心总能耗** $\approx [\Sigma (\text{服务器空闲功耗} + (\text{峰值功耗} - \text{空闲功耗}) * \text{利用率})] * \text{PUE} * \text{运行时间}$ 。数据中心的电力消耗由IT设备容量、利用率、空闲功率及基础设施能效（PUE）共同决定，并受其内部CPU、GPU等计算架构的直接影响。**提高IT设备利用率、降低空闲功耗、降低PUE是管理能耗的核心要素。**
- **总安装容量**包括IT容量和辅助设备的电力容量。一般情况下，数据中心并未完全装满服务器。最大设计容量指的是数据中心若装满服务器所能达到的最大功率容量；通常，该值小于总安装容量。

➤ 图表：数据中心总能耗驱动因素



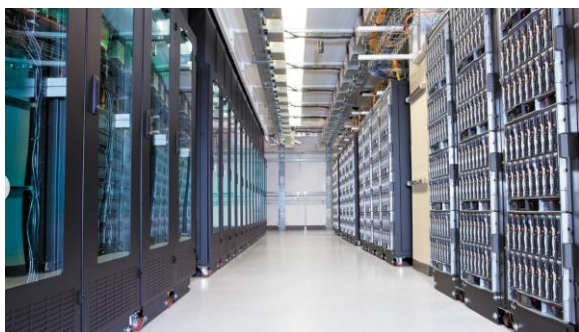
AI提升电力消耗

- **功率与能耗之比是多少？** 数据中心并非全天24小时、全年8760小时都消耗满负荷功率，因为其计算负载会随用户需求和计划任务而波动，导致全年（如节假日、维护周期等期间）的功耗使用情况变化不定。因此，相应的有效满功率运行小时数应进行微调。
- 考虑一个典型的使用场景：P为数据中心额定最大功率，2/3的时间处于75%负载，1/3的时间处于25%负载。能耗计算如下： $(75\% P \times 2/3 + 25\% P \times 1/3) \times 24 \text{ 小时} \times 365 \text{ 天} \approx 5,110 \times P$ 。以IT设备额定容量1GW时计算，年能耗约为5000GWh。若1GW为IT设备额定功率，则还需要考虑PUE的影响。

➤ 图表：功率与能耗之比及数据中心有效工作时长推算



16小时处于75%负载



8小时处于25%负载

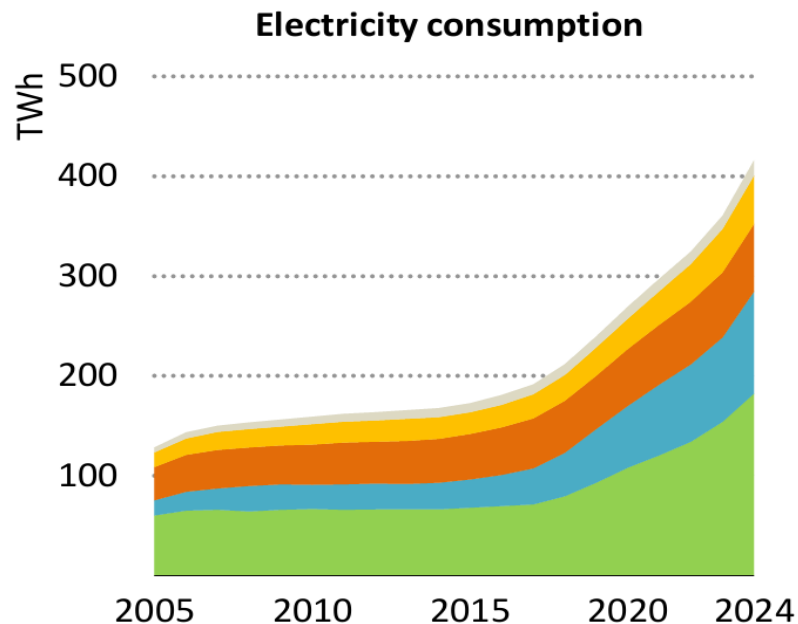
数据中心1年有效工作时长约为5000小时，即能耗与功率比值约为5000，1GW数据中心年耗电量约为5000GWh



AI提升电力消耗

- 2024年全球数据中心用电量达415TWh，约占全球总用电量的1.5%，但耗电量较为集中。美国、欧洲及中国的数据中心用电量合计约占全球总量的85%。其中，美国自2015-2024年期间，数据中心电力消耗以每年约12%的速度增长，增量约250TWh。2024年美国数据中心的用电量约为180TWh，占全球数据中心总用电量近45%，并且占据美国全口径总用电量的4%。2024年欧洲数据中心耗电量约为70TWh，约占欧洲总用电量比重略低于2%。
- 中国数据中心也在2015年开始扩张，2015-2024年的电力需求年复合增长率达到15%。2024年国内数据中心用电量约为100TWh，大致与中国电动汽车的用电量相当，2024年占国内用电量比重约1.1%。不过，中国占全球数据中心耗电量的份额从十年前的不足20%升至25%

- 图表：2024年全球数据中心用电量达415TWh，约占全球总用电量的1.5%，美国、中国、欧洲数据中心用电量合计约占全球数据中心用电量的85%



United States China Europe Asia-Pacific excl. China Rest of world Global average



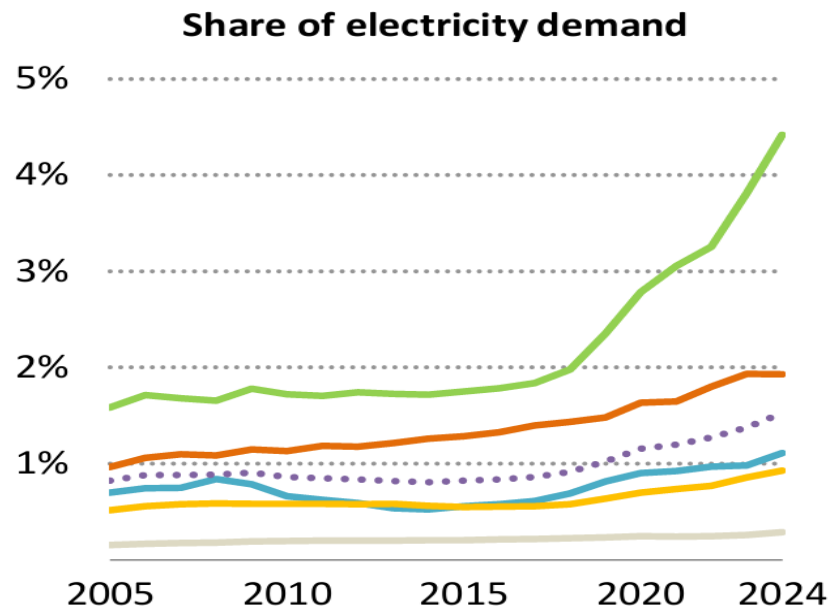
www.jyzq.cn



全国统一客服电话：95372

此文件版权归金元证券股份有限公司所有，未经许可任何单位或个人不得复制、翻印。

- 图表：数据中心用电量占各国总用电量份额，2024年美国数据中心用电量达180TWh，占该国总用电量的4%

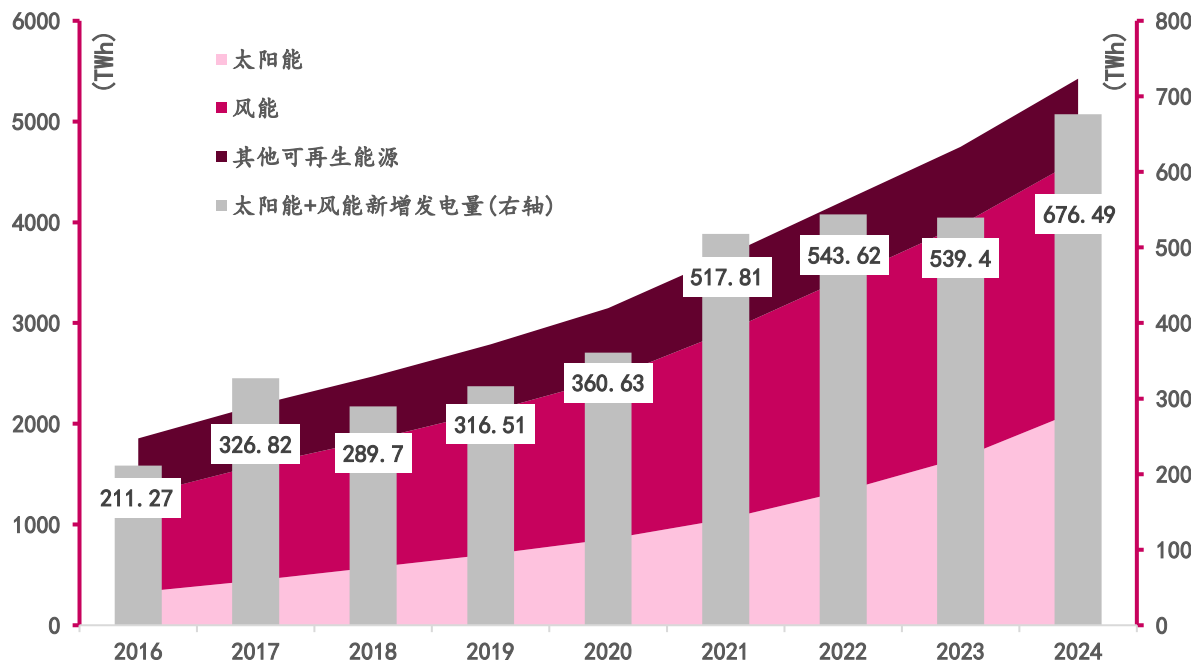


金元证券股份有限公司
GOLDSTATE SECURITIES CO., LTD.

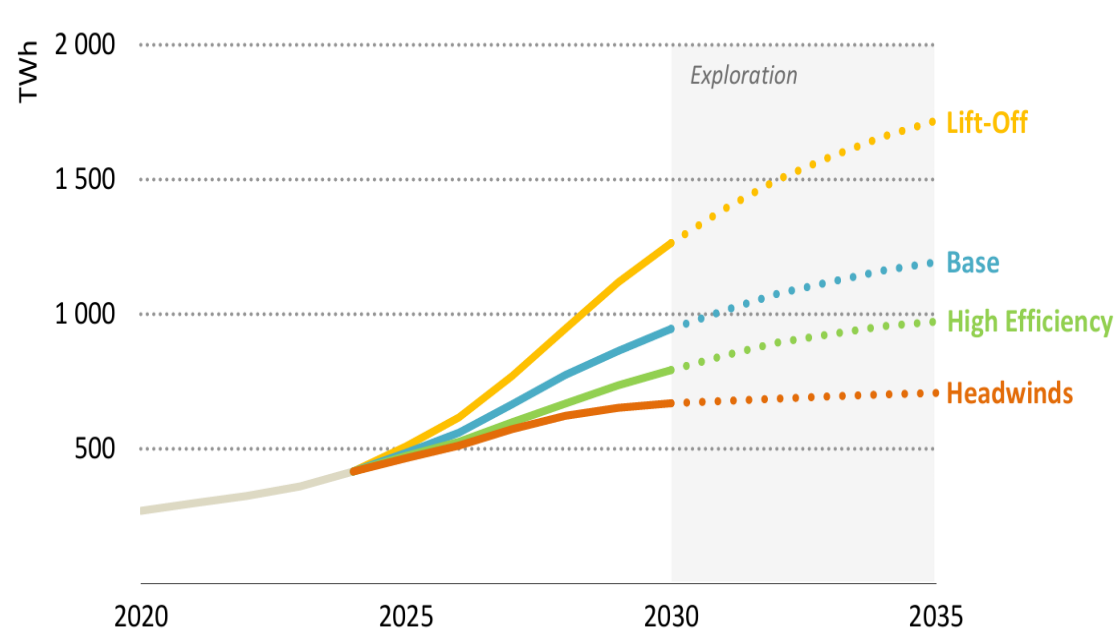
AI推升电力消耗

- 是否有用电量顾虑？全球2024年新增太阳能发电量达474TWh，新增太阳能发电量已经可以完全覆盖数据中心用电量（415TWh）。以Ember数据口径计算，2024年全球太阳能+风能合计发电量约为4625.45TWh，同比增长16.55%，约占全球用电量（以30,000TWh估算）的15.41%。其中，光伏2024年累计发电量2131.01TWh，约占全球用电量的7.1%。
- 根据IEA预测，基准情况下，2030年数据中心电力消耗将增长至约 945 TWh，比2024年翻倍以上，年均增长率约15%，占2030年全球电力消耗的近3%。其中，美国是最大市场，在基准情况中，2030年消耗将增至约420 TWh（比2024年增长130%），占全球增长的40%。人均消耗从2024年的540 kWh升至2030年的1,200 kWh。预计中国2030年达约275 TWh（比2024年增长170%）。欧洲增长较缓，预计2030年消耗约115 TWh（比2024年增长70%），但效率较高。

➤ 图表：2024年全球太阳能发电量达474TWh，全球太阳能+风能合计发电量约为4625.45TWh



➤ 图表：IEA预测，2030年基准情况下数据中心电力消耗将增长至945TWh，占2030年全球电力消耗的近3%



www.jyzq.cn



全国统一客服电话：95372

此文件版权归金元证券股份有限公司所有，未经许可任何单位或个人不得复制、翻印。



金元证券股份有限公司
GOLDSTATE SECURITIES CO., LTD.

AI推升电力消耗

- 采购可靠且成本效益高的电力供应，对于满足数据中心快速增长的电力需求至关重要。许多科技公司和大型数据中心运营商已设定了减少排放和采购清洁能源的目标。为实现这些目标，数据中心运营商采用了多种采购策略。

公司	预计数据中心容量 (MW)	净零排放目标年份	企业清洁/绿色/可再生电力目标	当前占比	小时匹配目标
Meta	9,780	2030	自2020年起100%可再生能源	100%	无
谷歌	8,960	2030	自2017年起100%可再生能源	100%	2030年前达100%
亚马逊	7,660	2040	自2023年起100%可再生能源	100%	无
微软	6,970	2030	2025年前实现100%可再生能源	100%	2030年前达100%
Equinix	1,850	2030	2030年前实现100%可再生能源	96%	无
腾讯	1,760	2030	2030年前实现100%绿色电力	12%	无
阿里云	1,660	2030	2030年前实现100%清洁电力（仅数据中心）	56%（自建数据中心）	无
Aligned	1,290	2040	自2020年起100%可再生能源	100%	无
华为	1,260	2040	未设定	> 50%	无
苹果	1,240	2020	自2018年起100%可再生能源	100%	无
Vantage	1,180	2030	未设定	58%	无
CyrusOne	1,120	2030	2030年前实现100%无碳能源	62%	无
NTT Data	1,110	2035	2030年前实现100%可再生能源（仅数据中心）	49%	无
百度	980	2030	未设定	5%	无
GDS	980	2030	2030年前实现100%可再生能源	36%	无
Chindata	900	2060	2040年前实现100%可再生能源（仅数据中心）	7%	无
Switch	660	2021	自2016年起100%可再生能源	100%	无
Princeton Digital	620	2030	2030年前实现100%绿色电力	14%	无



解决方案一：燃气轮机

➤ **用电方面，真正的挑战在于电力基础设施制造周期与AI需求周期错配。**为满足数据中心电力需求可来源于多种途径，每种技术性能、成本、排放、开发流程和建设周期方面都具有独特特性。随着数据中心预计在未来数年快速增长，构建并确保稳定高效电力来源的战略变得尤为关键。**目前，美国唯一能在较短时间开发完成的可靠电力来源是太阳能光伏和燃气轮机，与数据中心的典型建设时间线相吻合。**但即使在这些情况下，**供应链延迟或供应紧张也可能进一步延长开发时间**

➤ **图表：各种数据中心电力供应建设周期对比**

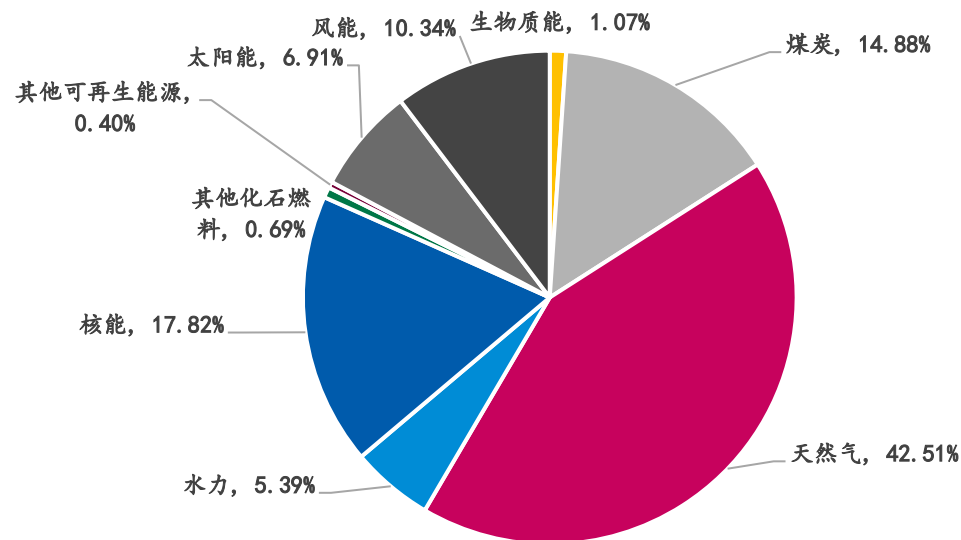
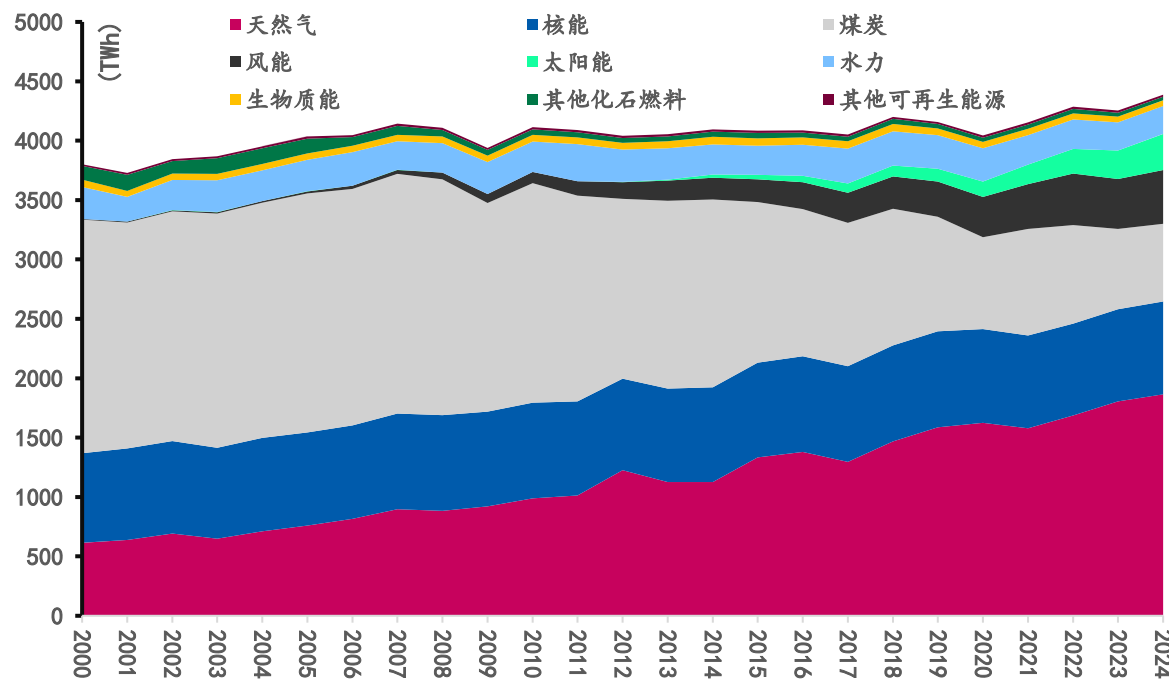
电力来源	建设周期	变化/可调度	全球平均CO ₂ 强度 (g CO ₂ /kWh)	全球平均平准化度电成本 (USD/MWh)
太阳能光伏	1-4 年	可变	0	60
陆上风电	2-5 年	可变	0	50
海上风电	3-7 年	可变	0	110
水电站	5-15 年	可变（径流式）/ 可调度（水库式）	0	80
常规地热	3-8 年	可调度	0	80
核电（新建，小型核反应堆）	5-15 年	可调度	0	90
核电（重启）	2-5 年	可调度	0	60
煤电	3-6 年	可调度	960	80
天然气联合循环（CCGT）	2-4 年	可调度	390	80
天然气轮机（GT）	1-3 年	可调度	620	220
电网连接	3-7+ 年	可调度	美国：350 中国：600 东南亚：610 欧洲：240 全球：460	-



解决方案一：燃气轮机

- 以用电量视角看，2024年美国全国电力需求约3975.38TWh，若美国至2030年数据中心用电量达420TWh，约占全国用电量的10%（假设其他用电量不变，若其他用电量增加，此比值下降）。电力供给方面，天然气是美国发电量最大的单一来源（2024年约占发电量的42.5%），得益于页岩气革命带来的低价天然气，大量替代了传统的煤电。近期数据中心电力需求的激增，导致对额外天然气发电的兴趣显著增加，主要是在天然气作为低成本燃料的美国。
- 例如，在路易斯安那州，Entergy Louisiana 正计划增加超过2GW的天然气发电能力，为 Meta 的数据中心供电。NextEra Energy 和 GE Vernova 也计划在美国各地开发天然气发电项目，主要是为了满足数据中心日益增长的电力需求。为了降低排放，一些数据中心运营商正考虑从长远来看为天然气发电厂配备碳捕获技术。

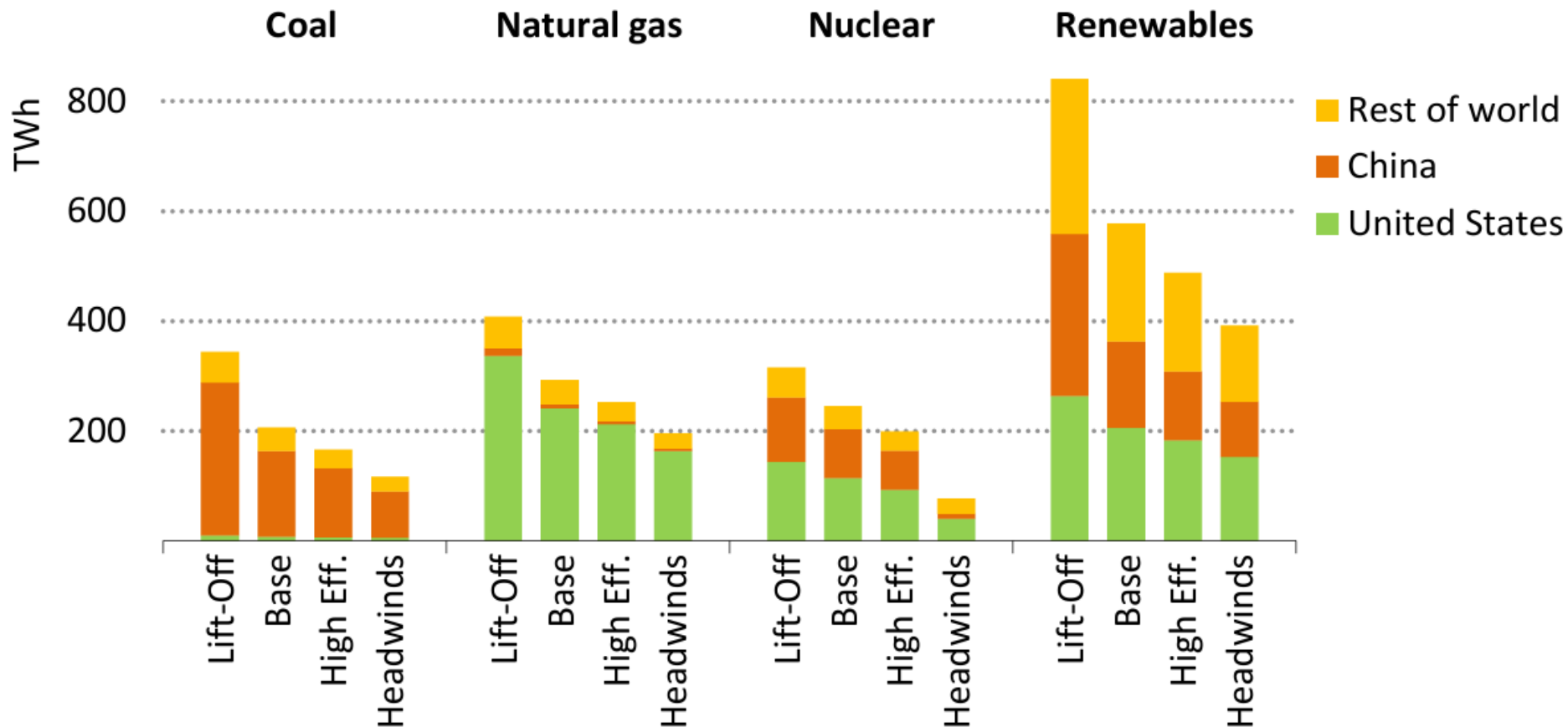
➤ 图表：美国电力供给以天然气、核能及煤炭构成。随着数据中心日益增长的电力需求，导致对天然气发电需求增加



解决方案一：燃气轮机

➤ 基于IEA预测，在多种情境下，天然气发电量对于美国而言均至关重要。在加速情景中，2024-2030年间数据中心近50%的新增发电量来自化石燃料（包括煤炭和天然气），天然气发电增速较基准快1.5倍（美国增量最显著）。至2035年，所有情景下化石燃料在数据中心发电结构中的占比仍维持在40%左右。

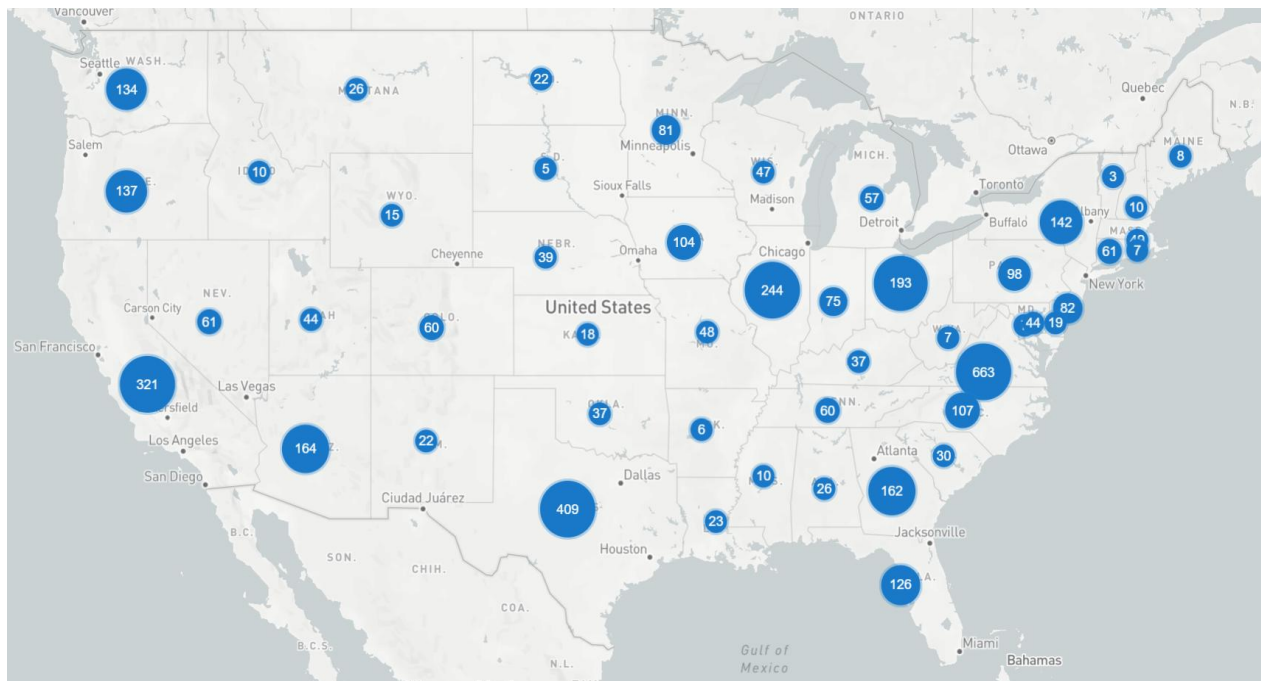
➤ 图表：数据中心用电量来源预测，燃气+新能源是核心



解决方案一：燃气轮机

- Data Center Map显示，正在开发的超大规模数据中心的排名最高的州是弗吉尼亚、俄亥俄、佐治亚、德克萨斯和伊利诺伊，它们占美国正在开发的超大规模数据中心的近三分之二。
- 该地区属于美国最大的区域输电组织PJM Interconnection (PJM) 的管辖范围，覆盖13个州，其中一半的装机容量来自燃气发电。PJM的峰值负载预测在过去几年中飙升

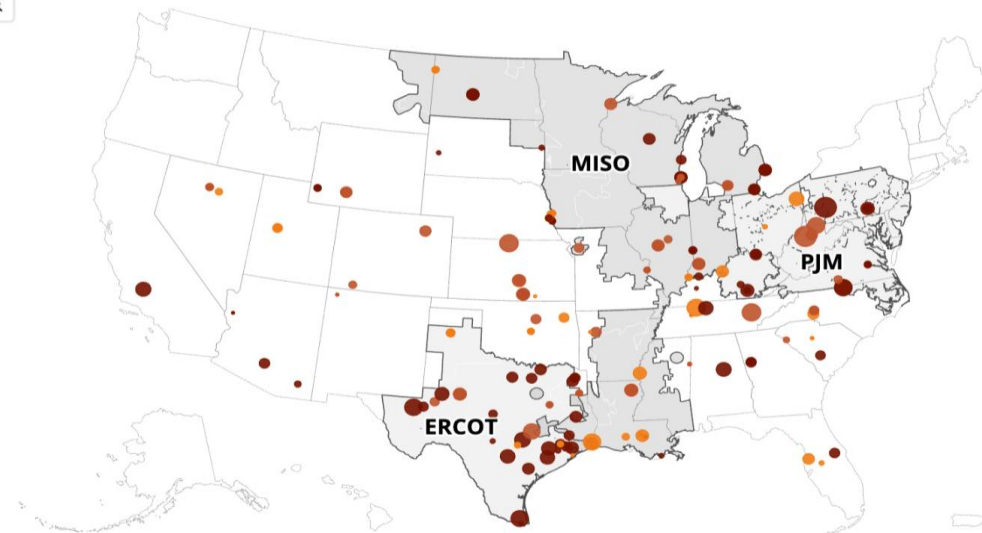
➤ 图表：美国数据中心分布



➤ 图表：规划中的燃油和燃气发电厂：三家电网运营商占据了早期开发阶段总容量的三分之二

Capacity (in MW): 250 ○ 1000

Status: ■ announced ■ pre-construction ■ construction



www.jyzq.cn



全国统一客服电话：95372

此文件版权归金元证券股份有限公司所有，未经许可任何单位或个人不得复制、翻印。

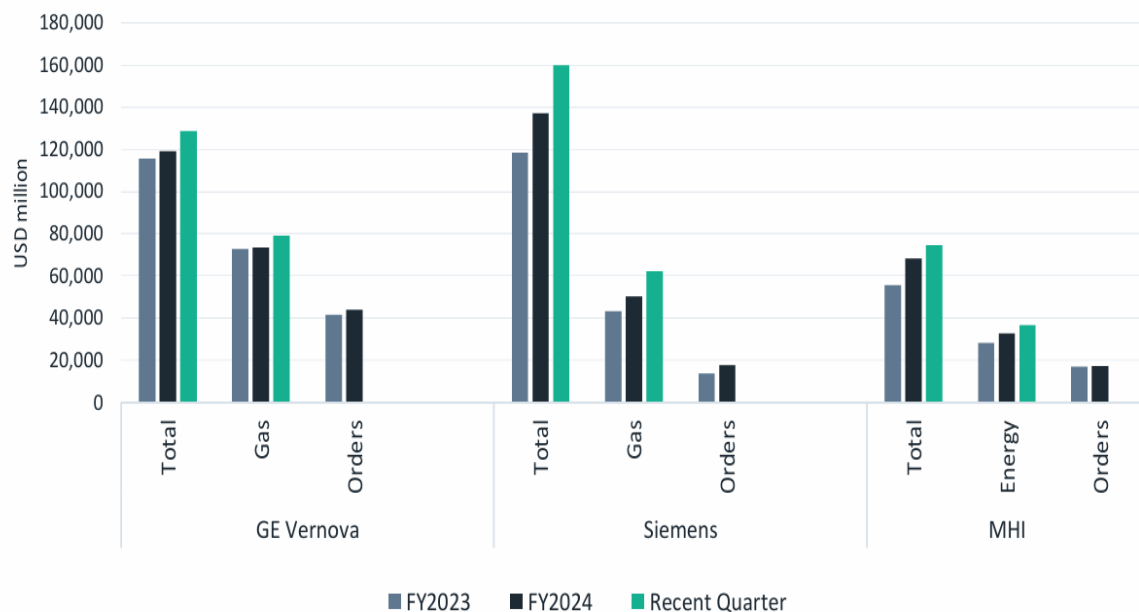


金元证券股份有限公司
GOLDSTATE SECURITIES CO., LTD.

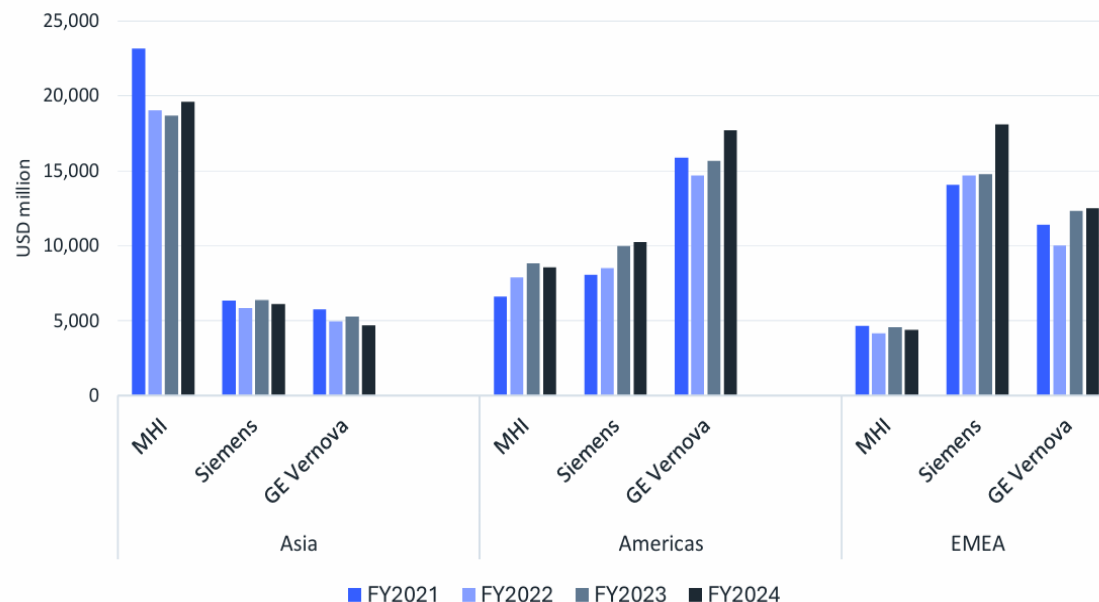
解决方案一：燃气轮机

- **三大制造商——GE Vernova、西门子能源和三菱动力为全球目前约三分之二在建的燃气电厂供应轮机，并且积压订单不断增长。2024年的燃气轮机订单量是自2002年以来的最高水平。订单规模约为80吉瓦，而三大原始设备制造商（OEM）的预估年产能合计仅略高于30吉瓦。预计从2027年开始，年订单量将超过100吉瓦。**
- **年订单量超过生产能力导致不断增长的生产积压订单。三大OEM的总积压订单量，尤其是其燃气轮机的订单已急剧增加。例如，GE Vernova在2025年第二季度的总排队订单量（包括已签订合同和产能席位预留协议的轮机）已达到54GW。**
- **三大制造商均指向北美燃气轮机订单显著增加。三菱重工的报告称来自美洲和中东的轮机订单近年来大幅增长。GE Vernova大约60%的燃气轮机订单集中在美国。与此同时，自2021财年以来，这三家公司在亚洲的总收入均有所下降，但在美洲地区的收入却急剧增长。**

➤ **图表：燃气轮机订单积压明显，三大制造商年产能仅略高于30GW，预计2027年，年订单将达到100GW**



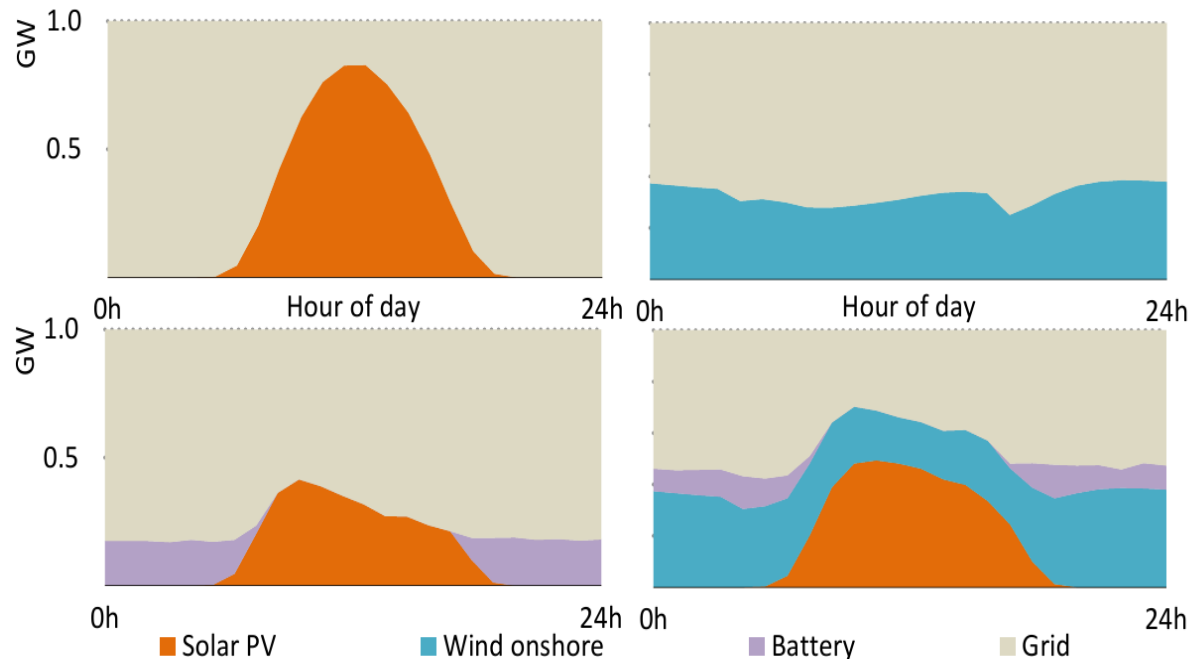
➤ **图表：从地区销售来看，北美市场燃气轮机需求持续扩大**



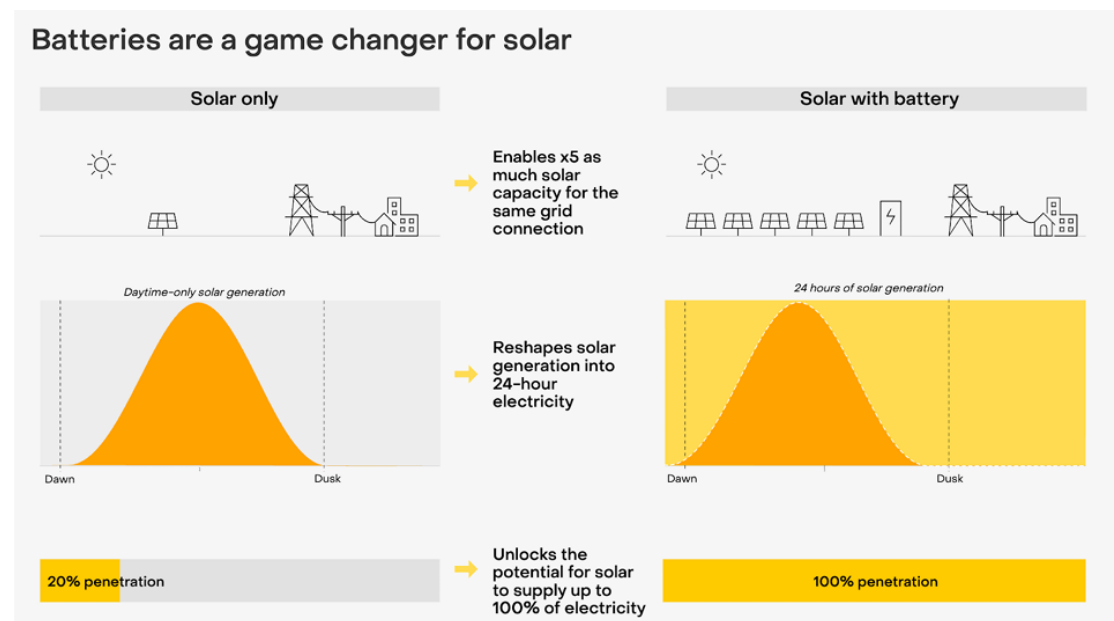
解决方案二：光伏+储能

- 光伏发电具有建设周期短、安装灵活的独特优势。一般而言，一座大型地面光伏电站从规划到并网发电只需1~2年时间，部分中小规模项目甚至在数月内即可建成。光伏组件和逆变器等设备模块化程度高，可并行施工部署，同时光伏选址相对自由（只要有足够日照和用地，无需像水电那样依赖特殊地理条件）
- **但是，光伏输出受到太阳辐射的自然周期影响，发电功率在白天高、夜间为零，且实时随天气变化。**对于7×24小时持续运行的AI算力中心来说，太阳能本身并不是稳定的电源。通常数据中心的负荷昼夜相差不大（甚至夜间仍维持高负荷以连续运行训练任务），而光伏在日落后完全停发电，白天的峰值出力也不一定刚好匹配数据中心负荷曲线。**如果没有储能或其他调节手段，光伏对削减数据中心用电高峰的作用将十分有限**

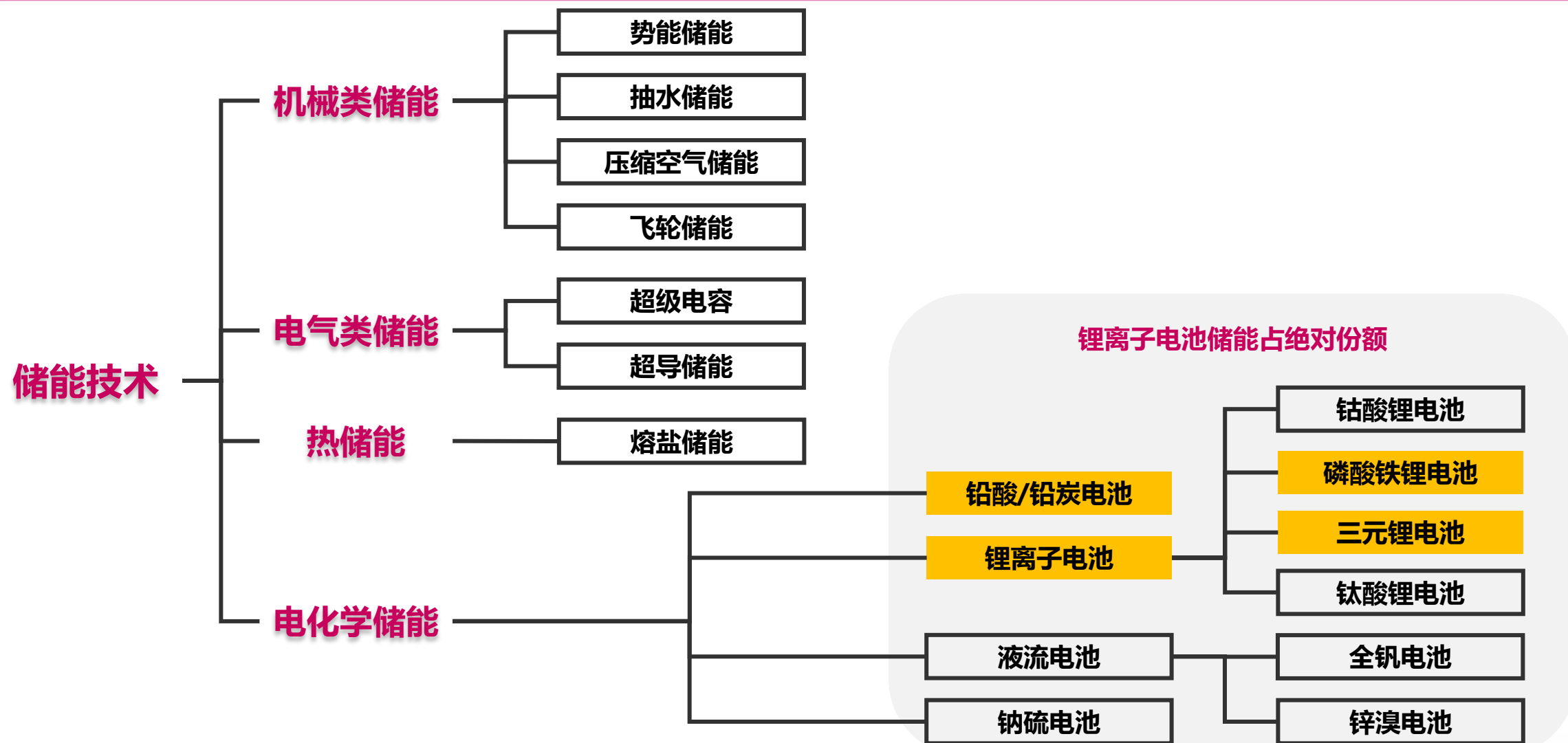
➤ 图表：光伏输出无法匹配数据中心小时级供电，需要混合电力供应方案



➤ 图表：储能有助于平滑可再生能源的波动性出力



解决方案二：光伏+储能



解决方案二：光伏+储能

储能类型		响应时间	放电时长	综合效率 (%)	寿命 (年)	技术成熟度	应用场景
物理储能	抽水储能	s-min级	1-24h	75-85	40-60	成熟	调峰、备用
	空气储能	min级	1-24h	70-89	20-40	成熟	调峰、备用
	飞轮储能	ms-min级	ms-15min	93-95	15+	商业化早期	调频、平滑波动
电磁储能	超导储能	<100ms	ms-8s	95-98	20+	开发阶段	调频、平滑波动
	超级电容	ms级	ms-60min	90-95	20+	开发阶段	调频、平滑波动
电化学储能	铅蓄电池	ms-min级	min-h	75-90	5	商业化	调峰、调频、通讯基站备用电源
	钠硫电池	ms级	s-h级	80-90	10-15	商业化	调峰、调频、能量管理、备用
	液流电池	ms级	s-h级	60-85	5-10	商业化早期	调峰、调频、能量管理、备用
	锂离子电池	ms-min级	min-h级	98-95	5-15	商业化	调峰、调频、能量管理、备用



解决方案二：光伏+储能

上游

中游

下游

原材料及设备

储能电芯



电气件、电子件和结构件等



储能设备生产、系统集成及运营维护

模组、电池PACK、电池簇



电池管理系统BMS



能量管理系统EMS



协调控制系统PMS

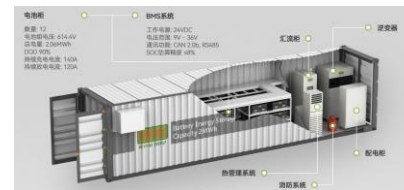


储能变流器PCS等电力设备



集成技术

储能系统集成及安装



储能系统运营维护

应用场景

电源侧



电网侧



用户侧



www.jyzq.cn



全国统一客服电话：95372

此文件版权归金元证券股份有限公司所有，未经许可任何单位或个人不得复制、翻印。

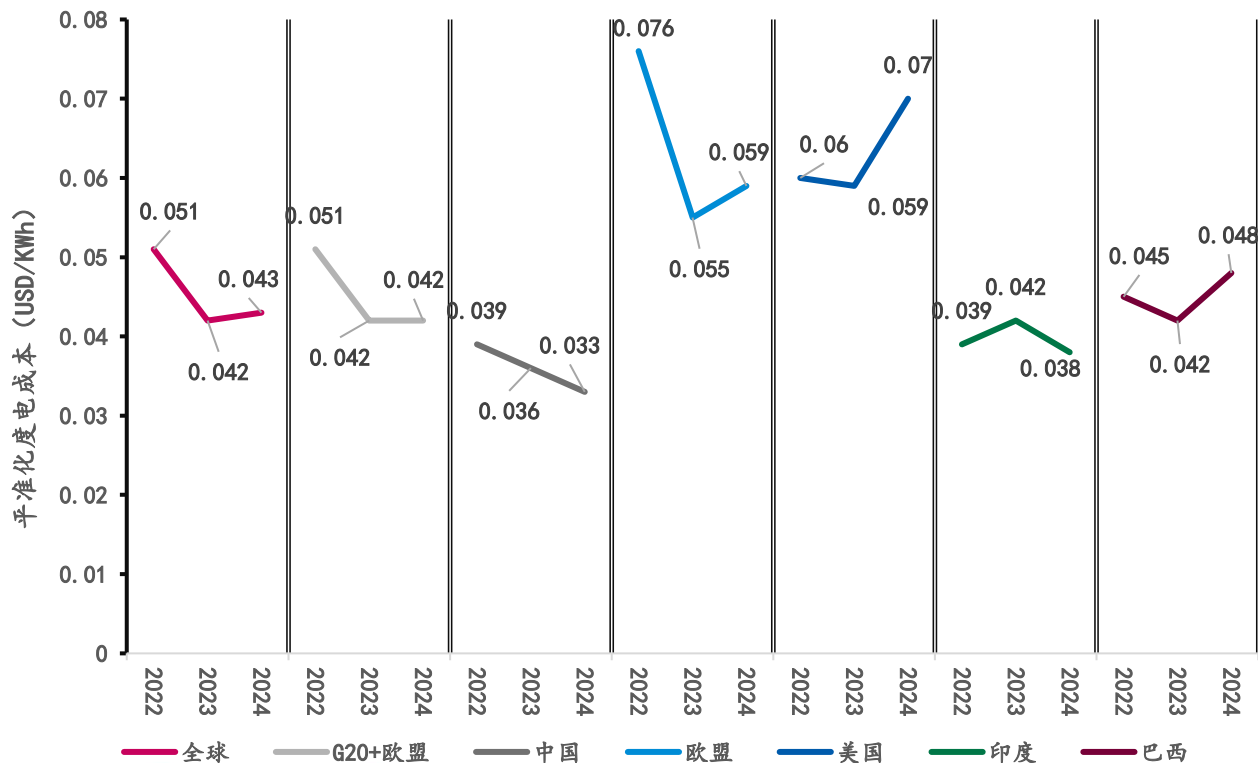


金元证券股份有限公司
GOLDSTATE SECURITIES CO., LTD.

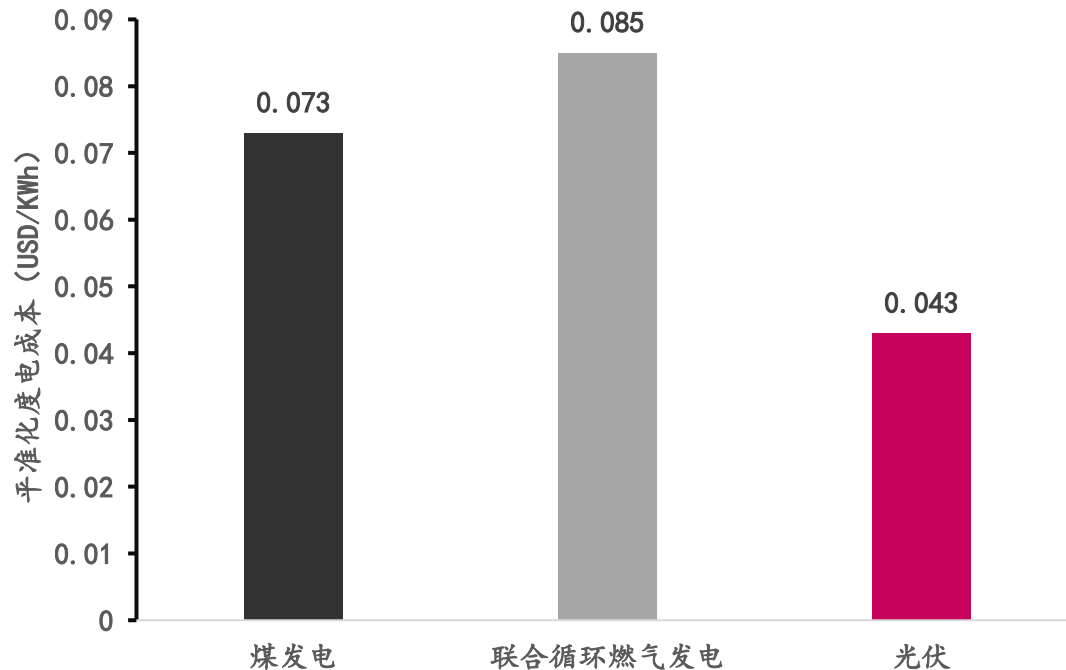
解决方案二：光伏+储能

- 截至2024年，全球公用事业规模太阳能光伏的加权平均平准化度电成本已稳定在0.043美元/千瓦时，使其比成本最低的化石燃料发电替代方案便宜41%。
- 由于垂直整合的供应链和强大的国内制造能力持续对成本构成下行压力，光伏LCOE已降至0.033美元/千瓦时。印度也具有一定成本，约为0.038美元/千瓦时。与之形成对比的是，美国和欧盟的光伏LCOE却出现上涨。这些地区审批延迟、并网瓶颈以及较高的系统配套成本限制了下游成本的进一步下降。

图表：2024年，全球公用事业规模太阳能光伏的加权平均平准化度电成本已稳定在0.043美元/千瓦时



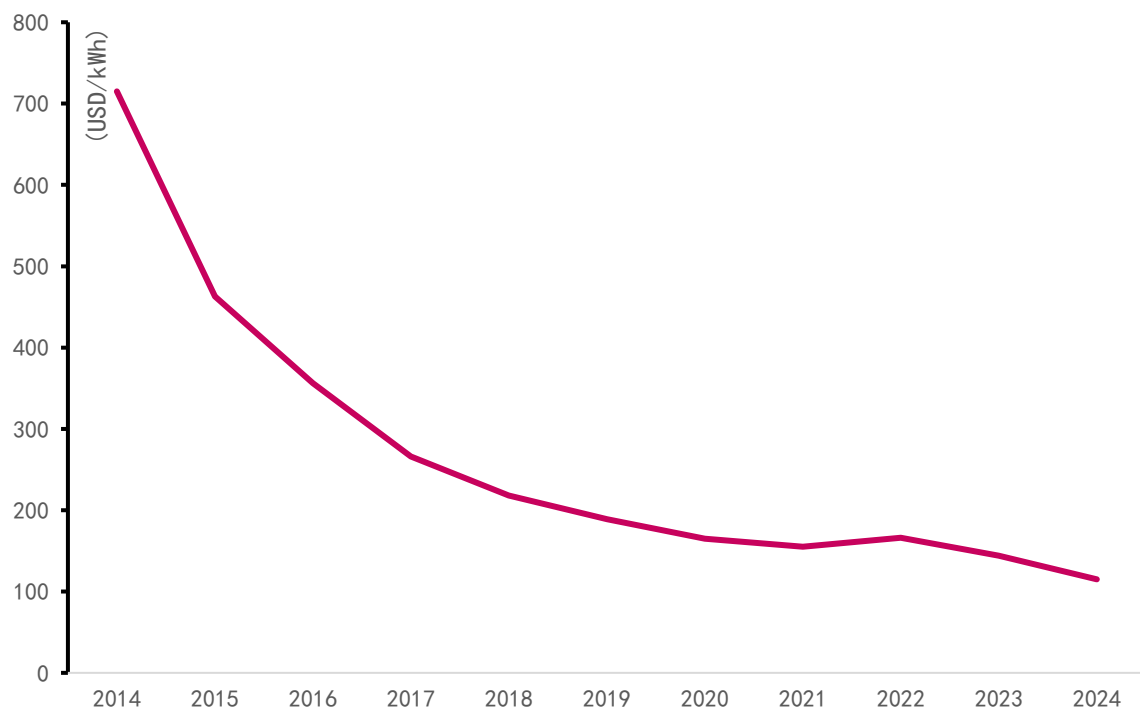
图表：光伏LCOE已降至0.033美元/千瓦时，远低于化石燃料发电方案



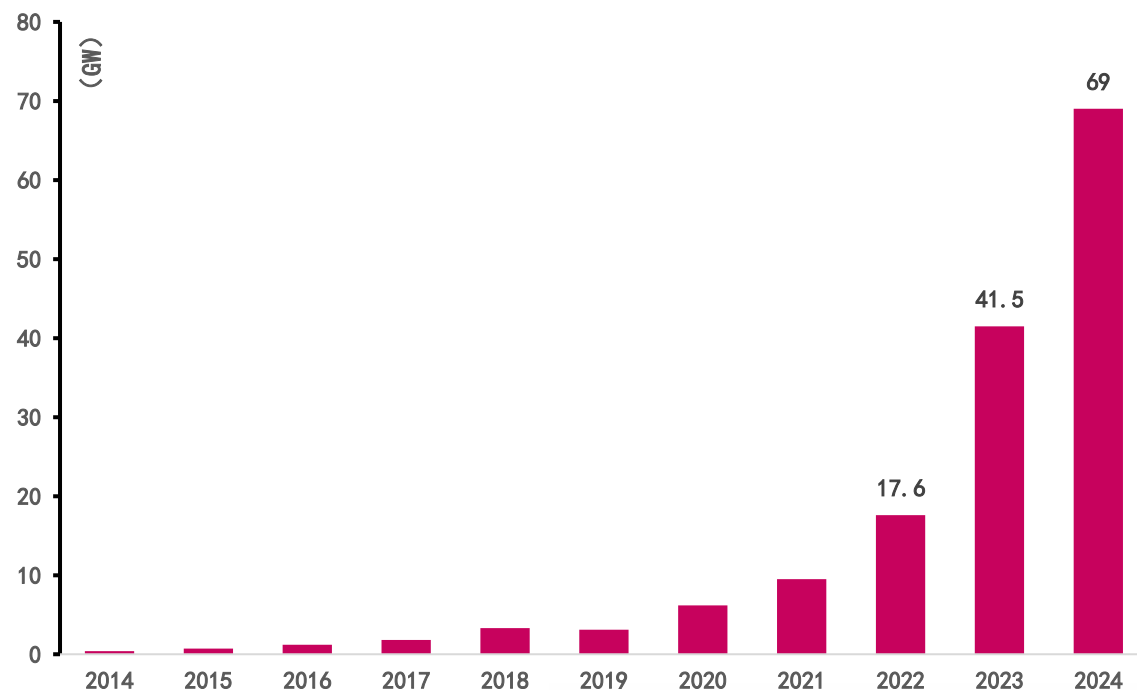
解决方案二：光伏+储能

- 2024年，锂离子电池组的平均价格降至115美元/千瓦时，较23年成本下降20%，比十年前的平均成本下降84%。随着电池价格的下降，锂电池储能新增装机容量持续增长。2024 年锂离子电池储能新增装机容量由2023年的41.5GW增长至69GW。

➤ 图表：锂离子电池组平均价格降至115美元/kWh



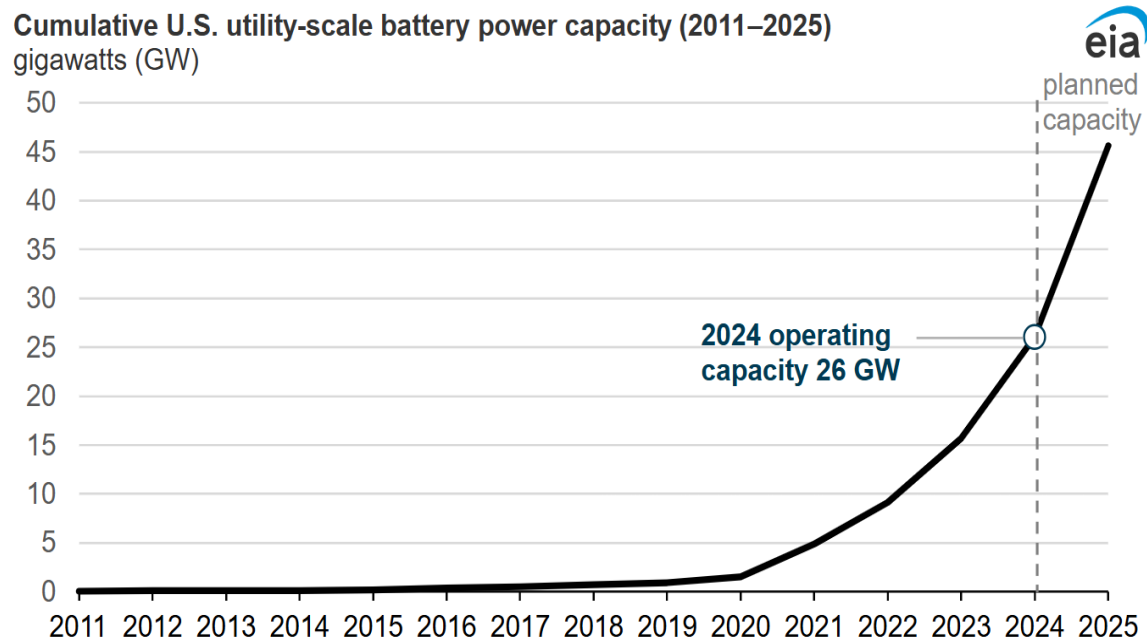
➤ 图表：随着电池成本下行，带来储能新增装机容量持续增长



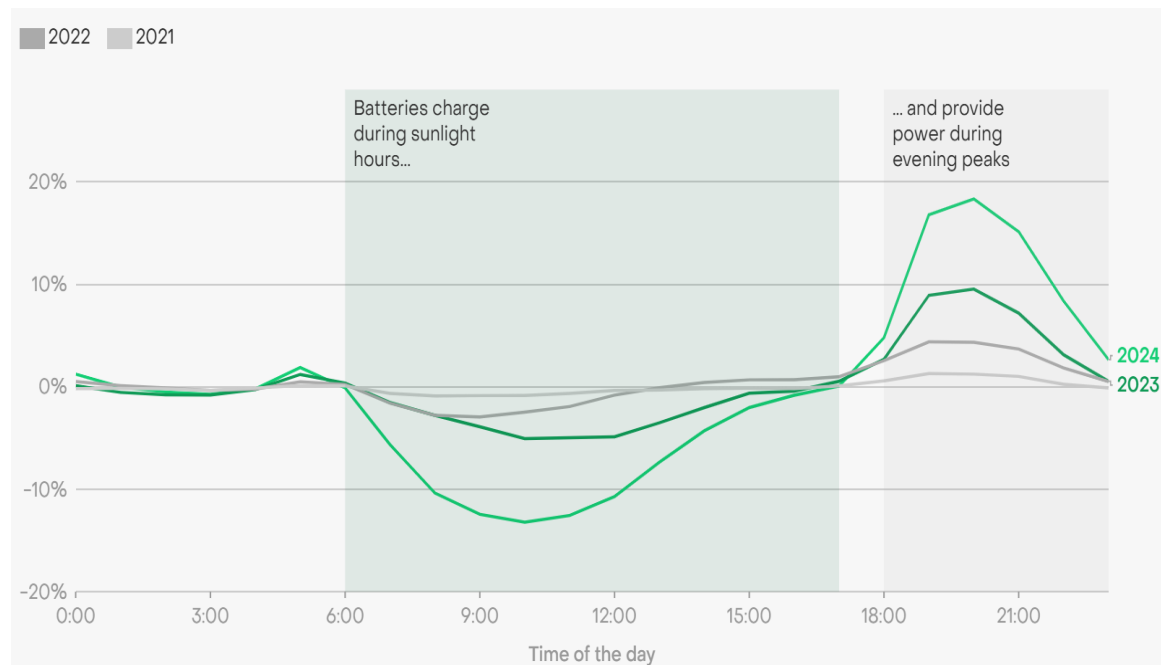
解决方案二：光伏+储能

- 加利福尼亚州在光伏+储能方面处于领先地位。2024 年，储能提供的用电量通常会在晚上达到每日峰值负载的近五分之一。
- 此外，2025年美国储能容量增长可能会续创新高。EIA预计将有 19.6 GW 的公用事业规模储能并网。美国储能在 2024 年已经实现10.3 GW的新增装机容量。高速增长凸显了储能+可再生能源的重要性，有助于平衡供需并提高电网稳定性。储能系统并不是主要电力来源，这意味着该技术不会从燃料或自然资源中产生电力。相反，电池存储已经由发电机或电网产生的电力，这使得储能系统成为二次电力来源。

➤ 图表：美国计划新增装机量，储能续创新高



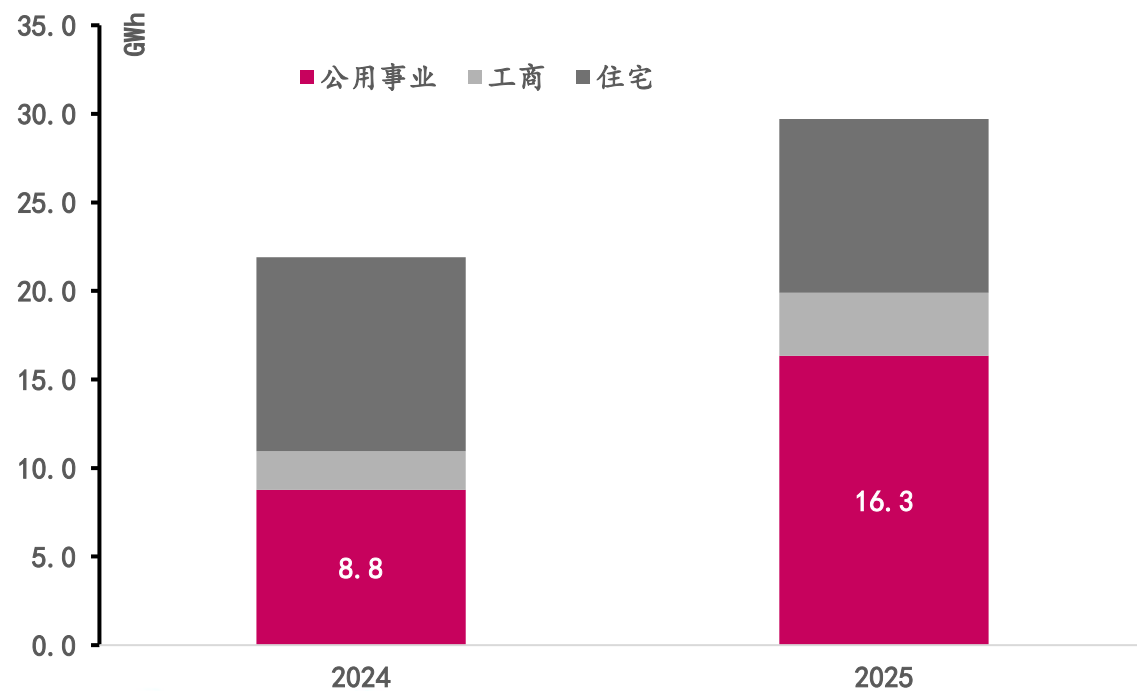
➤ 图表：加利福尼亚州储能供电量已能覆盖约20%的晚间峰值负载



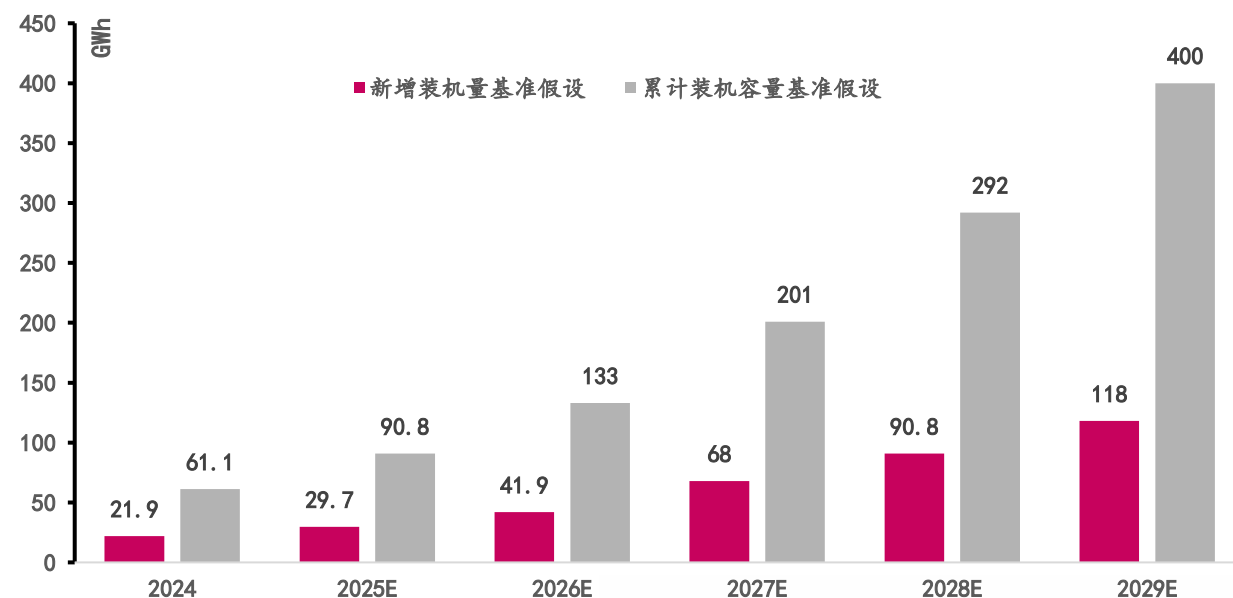
解决方案二：光伏+储能

- 除北美外，欧洲储能也仍处于高景气阶段。2024年欧洲新增储能系统有望达21.9GWh，虽然增长率有所放缓，但主要是住宅储能拖累，公用事业规模储能新增8.8GWh，同比增长79%，市场份额约40%，工商储新增2.2GWh，同比增长17%，占市场份额10%。住宅储能新增10.8GWh，同比下降11%，约占市场份额50%。
- 根据SolarPower Europe预测，基准假设下，至2029年，欧洲年度新增量将达到118GWh，累计装机量将达到400GWh。公用事业规模储能将成为绝对主力。至2029年，新增装机量有望超80GWh，占新增装机量的68%。

➤ 图表：欧洲公用事业规模储能持续增长



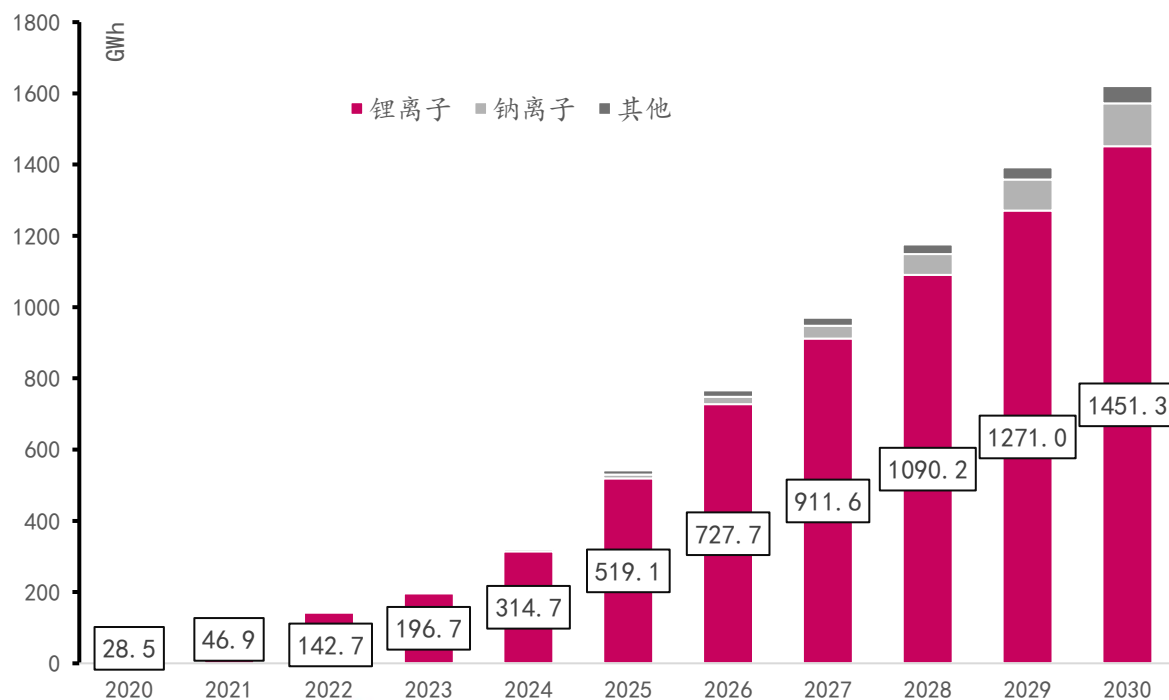
➤ 图表：基准假设下，2029年欧洲年度新增装机量达118GWh，累计装机量达400GWh



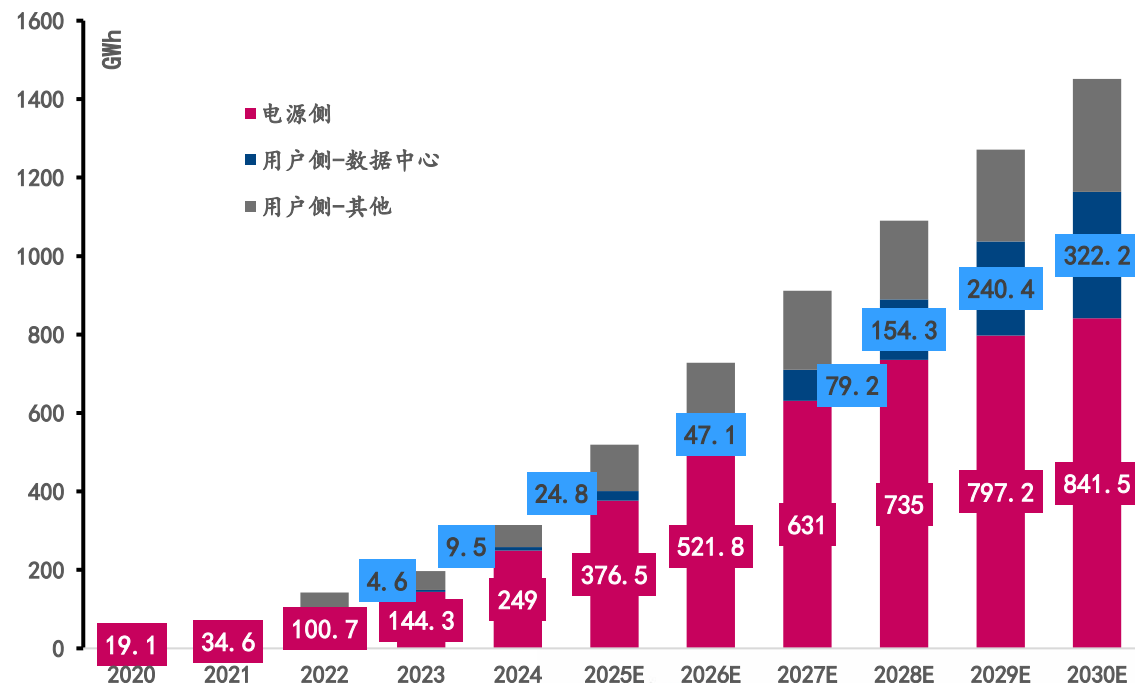
解决方案二：光伏+储能

- 锂离子电池储能是当前最主要的电化学储能技术。锂离子电池构建了成熟的产业链并具备显著的成本优势，已在储能领域迅速实现产业化。凭借其快速响应能力、灵活部署等特性，锂离子储能已成为电网重要的调节性资源之一。预计到2030年，全球锂离子电池储能电池出货量将达1,451.3GWh，约占电化学储能电池出货量的90.0%。
- 全球锂离子电池储能电池出货量从2020年的28.5GWh增长至2024年的314.7GWh，预计到2030年，锂离子电池储能电池出货量将进一步提升至1,451.3GWh，2024至2030年的年复合增长率达29.0%。源网侧储能是储能市场最大的应用场景。同时，人工智能推动数据中心快速发展，数据中心场景下的锂离子电池储能电池需求将由2024年的9.5GWh增长至2030年的322.2GWh，期间年复合增长率预计高达80.0%。

➤ 图表：预计到2030年，全球锂离子电池储能电池出货量约占电化学储能电池出货量的90.0%



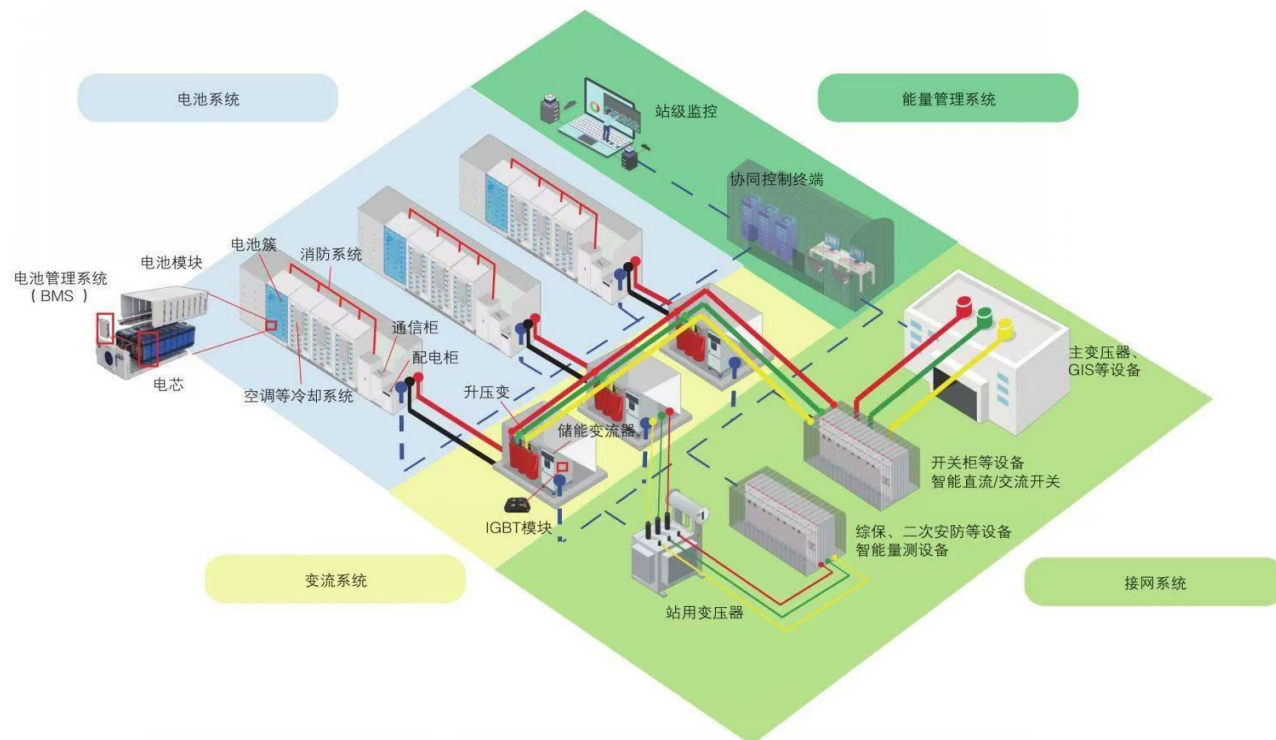
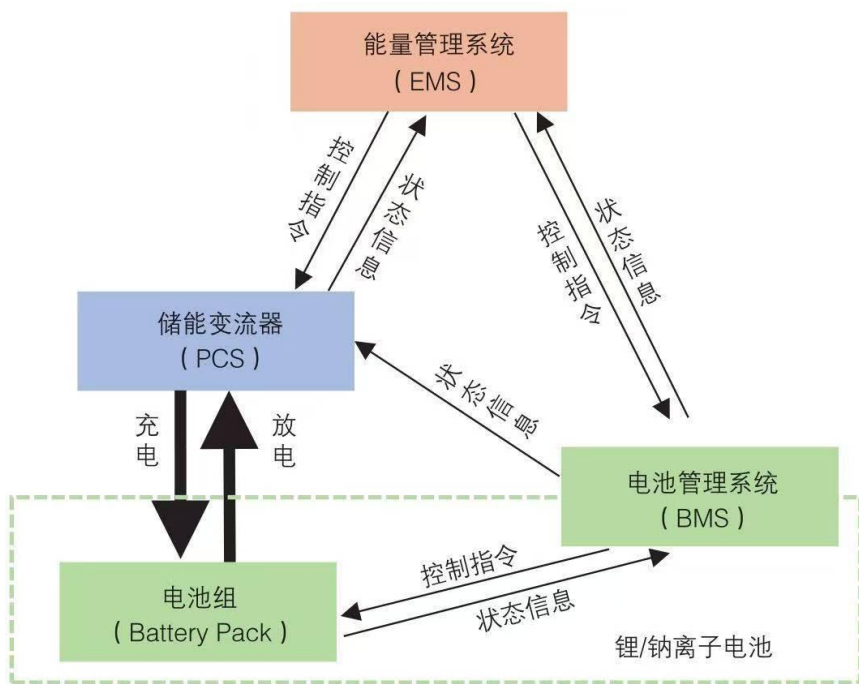
➤ 图表：源网侧是储能市场最大应用场景，同时人工智能将推动储能第二增长曲线



解决方案二：光伏+储能

- 完整的电化学储能系统主要由：电池组、电池管理系统(BMS)、能量管理系统(EMS)、储能变流器(PCS)，统称为“3S”以及其他电气设备构成：
- 电池组**：担任关键的储能角色，是储能系统最核心的构成部分；**电池管理系统BMS**：担任感知角色，主要负责电池的监测、评估、保护以及均衡等；**能量管理系统EMS**：担任决策角色，主要负责数据采集、网络监控和能量调度等；**储能变流器PCS**：担任执行角色，主要功能为控制储能电池组的充电和放电过程，进行交直流的变换。

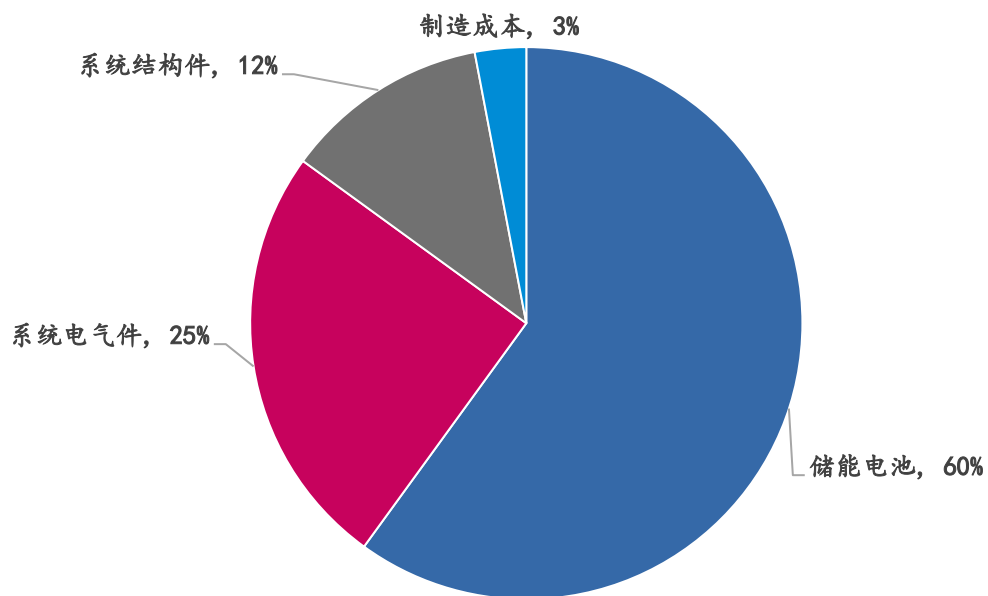
➤ 图表：PCS、BMS、EMS



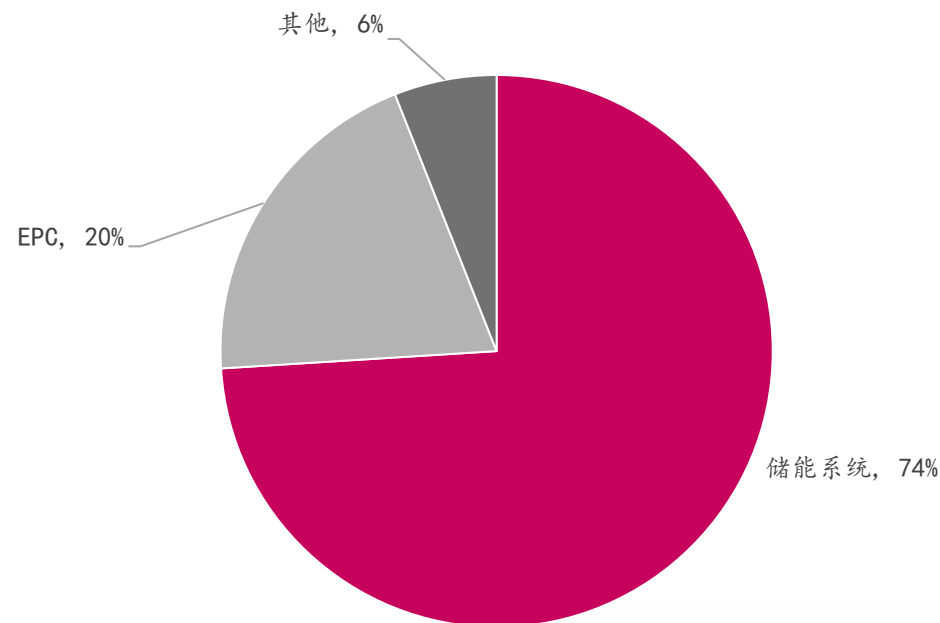
解决方案二：光伏+储能

- 从成本结构来看，314Ah电芯是构成大型储能系统的基本单元，约占储能系统的60%。电芯的成本直接受大宗商品（如锂、磷、钴等）价格波动的影响。近年来，随着锂价下跌和技术进步，电芯成本持续下降，是储能系统降本的主要驱动力。
- 一个5MWh的储能系统（通常是一个20英尺的集装箱）中，系统电气件、系统结构件以及制造成本分别约占储能系统25%、12%、3%，**其中PCS是电气设备中成本占比最高的部分，也是技术壁垒最高的部分之一**，负责直流电（电池）与交流电（电网）的转换，其效率直接影响系统收益。
- 储能系统解决方案的成本主要来自储能系统及相关服务，储能系统占比约为74%，EPC约为20%，运维等服务约占6%。

➤ 图表：储能系统成本构成



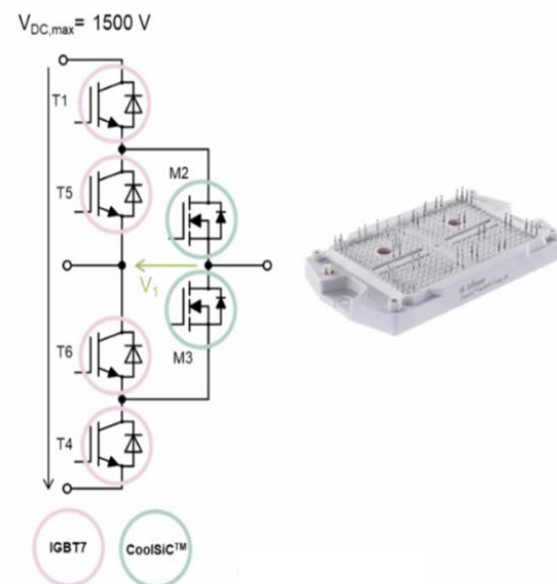
➤ 图表：储能解决方案成本构成



储能+光伏或带动功率器件需求

- 大型储能PCS多采用硅基IGBT（绝缘栅双极型晶体管）作为主功率开关器件。IGBT在PCS中的作用包括电压变换、DC/AC逆变以及功率控制等，直接决定了储能逆变器的性能指标。IGBT成本占储能PCS硬件成本的20%~30%，属于价值占比最高的核心部件之一。
- IGBT的性能（如耐压水平、开关速度、导通压降等）很大程度上限制和决定了PCS的转换效率、输出电能质量以及功率密度。因此，提升功率器件性能是提高储能系统性能的关键路径之一。
- 在储能PCS内部，一般采用逆变桥等功率电路拓扑，将直流电池电能与交流电网互相转换。传统方案大量使用硅基IGBT器件组成功率半桥，近年来也逐步引入SiC MOSFET器件以提高效率。混合ANPC（三电平有源中点钳位）逆变器拓扑，每相桥臂模块中集成2个SiC MOSFET和4个Si IGBT，其中IGBT工作在工频、SiC MOSFET工作在高频，从而在降低滤波器体积的同时，用较少的SiC器件实现高效率并控制成本。

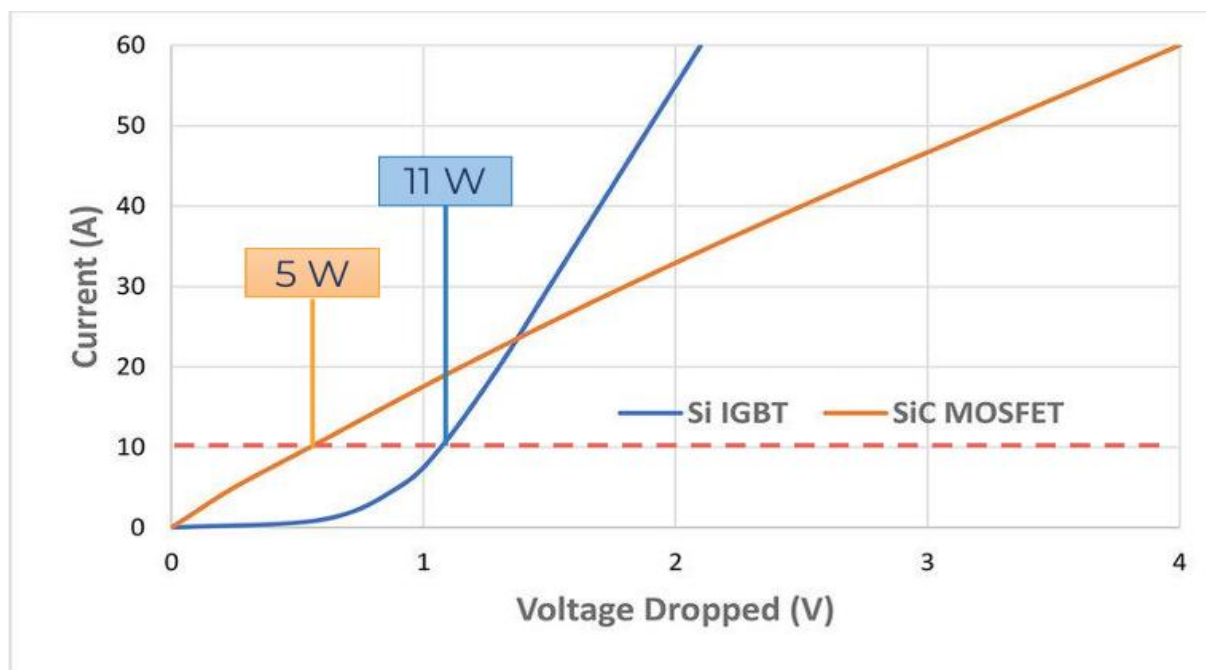
➤ 图表：混合ANPC（三电平有源中点钳位）逆变器拓扑



储能+光伏或带动功率器件需求

- **IGBT和SiC MOSFET在导通特性和开关损耗方面存在明显差异。** IGBT为双极型器件，其输出特性曲线有明显“拐点”，在小电流（轻载）时因阈值电压导致损耗较高；SiC MOSFET属单极型器件，导通特性近似线性，在轻载下损耗远低于IGBT
- 在约10A的低电流下IGBT损耗约为SiC的两倍，而约25A时两者损耗相当；在更高电流（重载）下，IGBT的效率甚至略优于SiC。这意味着在不同负载条件下，两种器件各有优势：**SiC器件在部分负载下显著提高逆变器效率，而IGBT在满载高压下仍具备性价比优势。**

➤ 图表：Si IGBT vs SiC MOSFET



储能+光伏或带动功率器件需求

- 近年来，储能系统在电网中的角色正从“跟随电网”向“构建电网”转变，即所谓构网型（Grid-Forming）储能变流器逐渐兴起。这类储能PCS不仅能够像传统逆变器那样向电网输送功率，还能在孤岛状态下主动形成稳定的交流电压和频率，担当虚拟同步机的功能，从而支撑电网的稳定性。

更高过载能力：构网型PCS需要在电网扰动时提供短时大电流支撑。例如在故障电压跌落时输出高达额定3倍的电流用于支撑（即提供足够的短路容量），国内领先企业的构网型储能变流器已实现10秒内300%的过载能力，而常规并网型PCS一般只能承受120%左右过载。如此高的过载能力要求功率器件能够短时通过数倍额定电流且不损坏，器件的结温上升要足够缓慢并快速恢复。这促使器件制造商在芯片设计和封装上加强，例如提高芯片安全工作区（SOA）以及采用更高散热效率的封装材料等。

更高工作电压：为了提升储能系统功率容量并减少并联系统数目，行业正探索更高的直流母线电压等级。近年来光伏逆变器的直流电压标准已从1000V提升到1500V，而储能系统同样朝此方向发展。主流储能PCS已普遍支持1500V直流电压，一些厂商更发布了2000V直流储能逆变器来进一步降低系统成本。相应地，功率半导体器件需要提供>1700V甚至2000V以上耐压。传统硅IGBT在1200V以上性能受限且选择有限，而SiC MOSFET由于材料本征优势，可以更容易地实现1700V、3300V乃至更高电压等级器件。目前国际主流半导体公司正陆续推出1700V级SiC MOSFET，满足2kV直流储能系统的需求。在更高电压下，器件的封装、栅极驱动和串并联均衡也提出新课题，例如减少封装电感、防止多芯片动态电压不均等。这些都需要产业链共同攻关，以满足高电压构网型储能的需求。

更快动态响应：构网型逆变器要模拟同步机惯性、提供瞬时无功支撑，就要求功率器件配合实现极快的功率输出调整。这实际上需要PCS具备更高的开关频率和更精准的控制，这对器件的开关速度和可靠性提出双重考验。一方面，SiC器件由于开关速度快，非常适合高频快速响应的应用，可满足构网型控制算法的需求。另一方面，高dV/dt和di/dt条件下器件的稳定工作和低损耗表现也需要通过改进栅极驱动、减小寄生参数等手段来实现。因此，构网型方案客观上加速了SiC替代IGBT的进程，因为SiC更容易满足快速控制和高频运行的条件，而IGBT在这方面相对迟

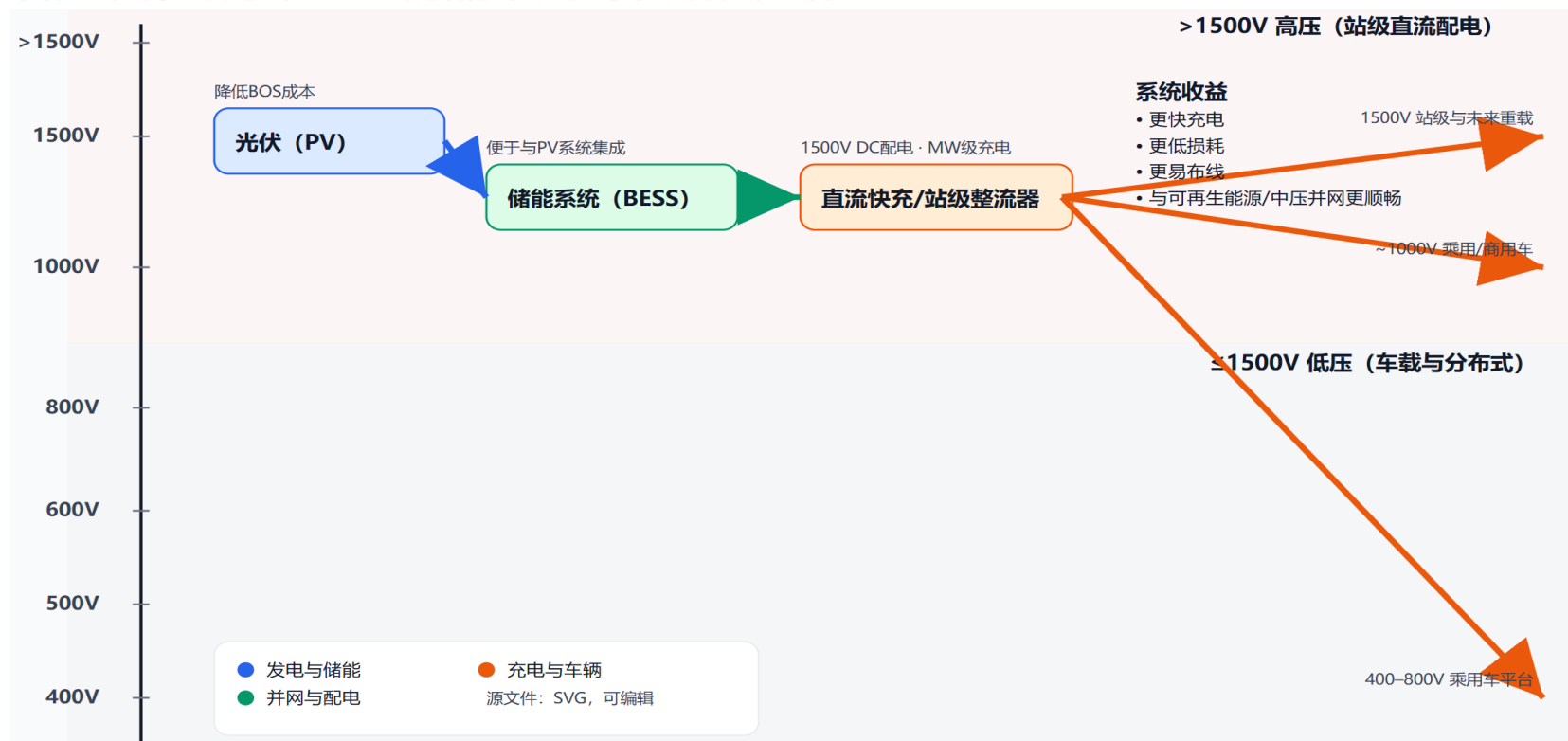
更强的高温耐受：构网型储能电站往往与新能源电源并网，可能部署在高温严酷环境（如沙漠光伏+储能基地）。在环境温度上升以及构网工况下器件发热增加的双重作用下，要求功率器件具有更高的结温余量和可靠性。SiC器件在高温下性能衰减减小，漏电流低，许多器件保证最高结温175℃甚至200℃，对比IGBT常用125℃标准具有明显优势。因此高温应用场景也更青睐SiC等宽禁带器件。总的来说，构网型储能为功率器件产业提出了“高压、高频、高可靠、高瞬态”的要求，推动功率器件向更高性能迭代。



储能+光伏或带动功率器件需求

- 更高直流母线电压正成为储能和光伏等系统的发展趋势，以提升转换效率并降低系统成本。过去常见BESS直流额定电压为500~1000V，如今新一代系统已提升至1500V DC，并探索进一步提高到近2000V。
- 储能系统电压正从1000V迈向1500V乃至2000V区间。这一趋势与光伏逆变器同步（光伏早已从1000V升级到1500V），使储能系统可直接对接高压光伏直流母线，减少级联变换损耗。更高电压也对功率器件提出要求，业界已推出1700V、3300V乃至6500V等级的IGBT和SiC MOSFET来满足应用。

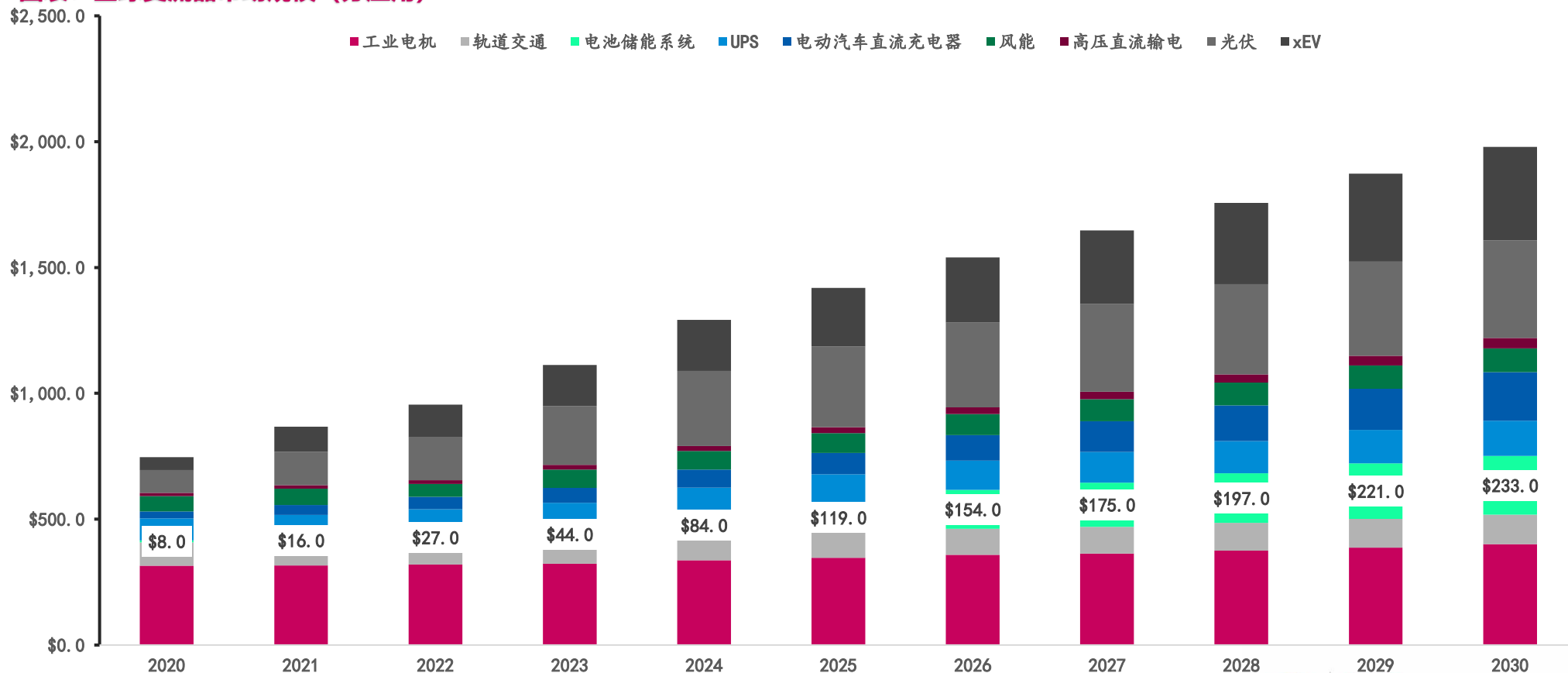
➤ 图表：更高直流母线电压正成为储能和光伏等系统的发展趋势



储能+光伏或带动功率器件需求

- 变流器市场，2024年全球变流器市场规模约1292亿美元。当前主流应用在工业电机、光伏及xEV，BESS市场规模约84亿美元。根据YOLE预测，BESS应用端增速最高，预计2024-2030年前期年复合增速18.5%，BESS应用市场预计至2030年达到233亿美元，或将成为变流器应用新增量。此外HVDC、UPS等数据中心供电需求也将持续扩大变流器市场规模。

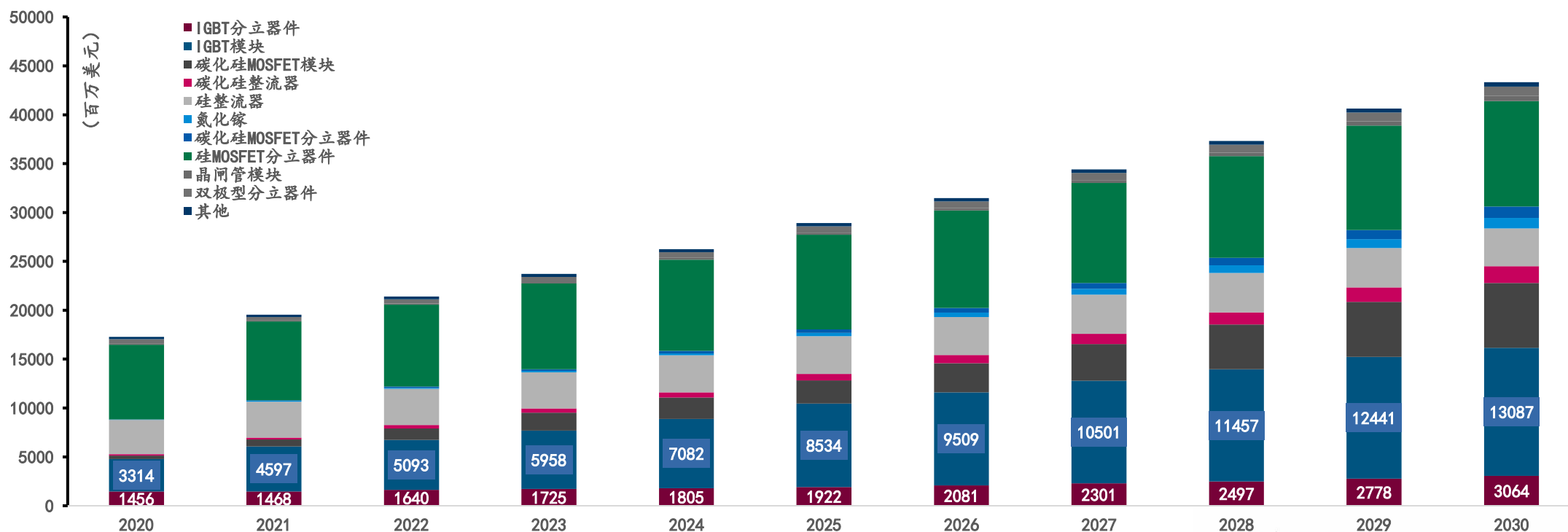
➤ 图表：全球变流器市场规模（分应用）



储能+光伏或带动功率器件需求

- 功率市场方面，IGBT、硅基MOSFET占比份额较大。2024年，IGBT分立+模块市场规模约88.87亿美元，预计至2030年将达到161.51亿美元，年复合增长率10.47%。面对国内储能、光伏、新能源车推动下，国内厂商快速渗透，有望在市场规模增长+国产替代推动下加速增长。
- 其次，随着储能及AI数据中心模块化和高压需求，碳化硅MOS模块、碳化硅分立器件、碳化硅整流器件也有望维持高增长，2024年三者合计市场规模29.67亿美元，预计至2030年市场规模增长至95.20亿美元，年复合增长率达21.45%。

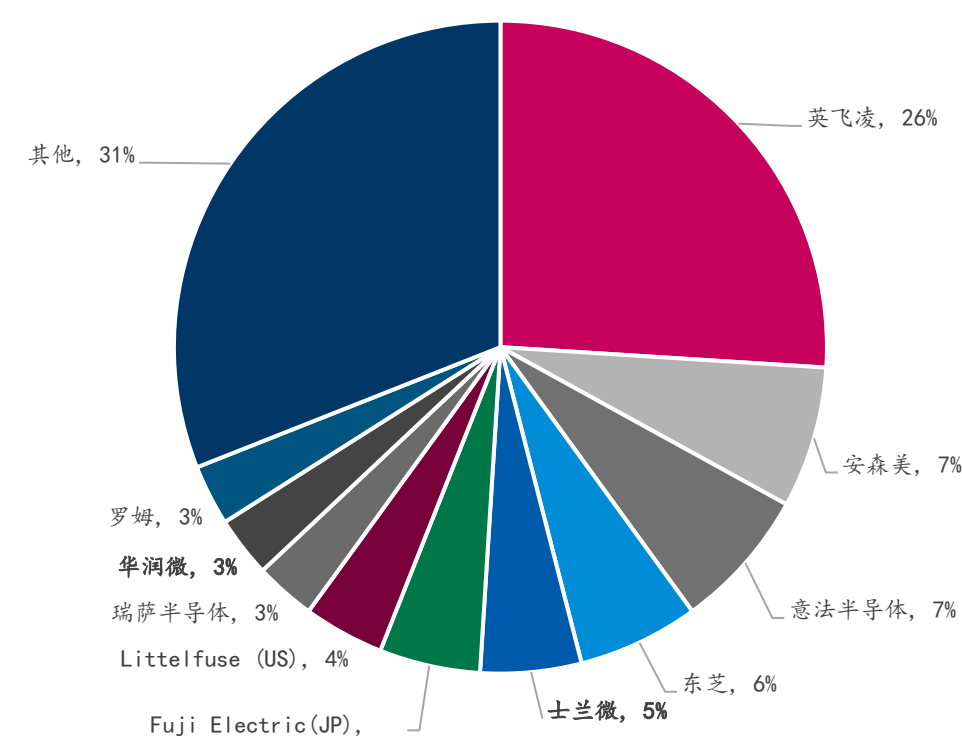
➤ 图表：功率器件市场规模



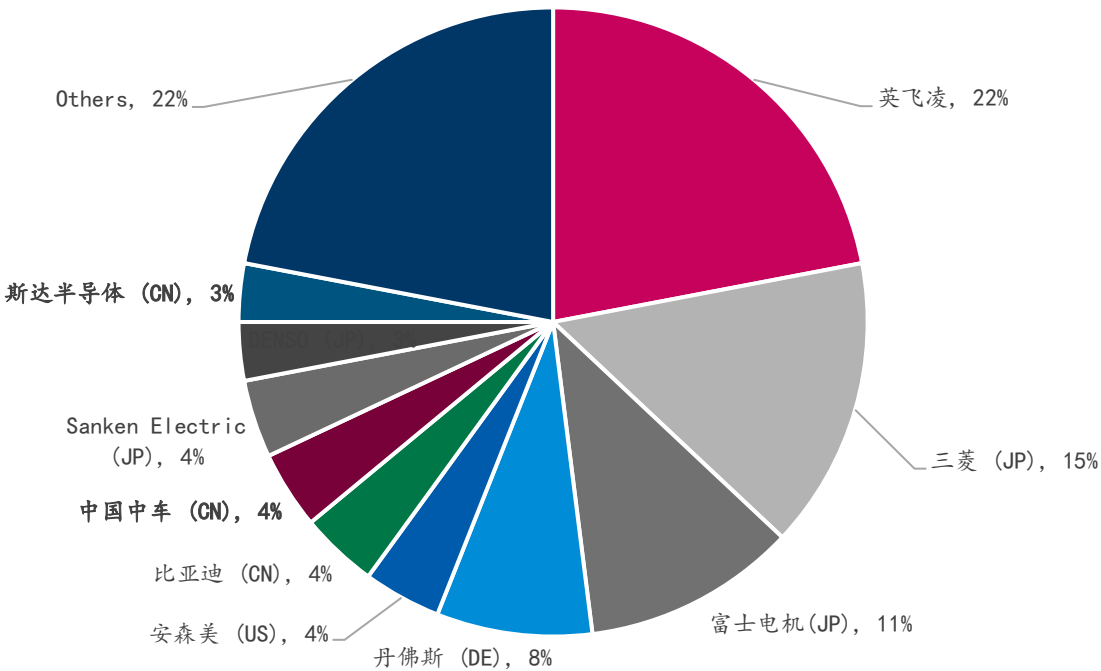
储能+光伏或带动功率器件需求

- 硅基分立IGBT方面，英飞凌占据主导位置，2024年占全球IGBT市场规模约26%，中国企业士兰微（5%）、华润微（3%）也进入全球TOP10，但是相对于海外厂商市场份额，仍有较大提升空间。国内拥有最大的储能、新能源车市场，国内厂商在硅基IGBT市场将持续提升份额。
- 硅基IGBT模组方面，英飞凌市场份额仍位居首位，国内厂商中国中车（4%）、比亚迪（4%）、斯达半导体（3%）位列Top10内。

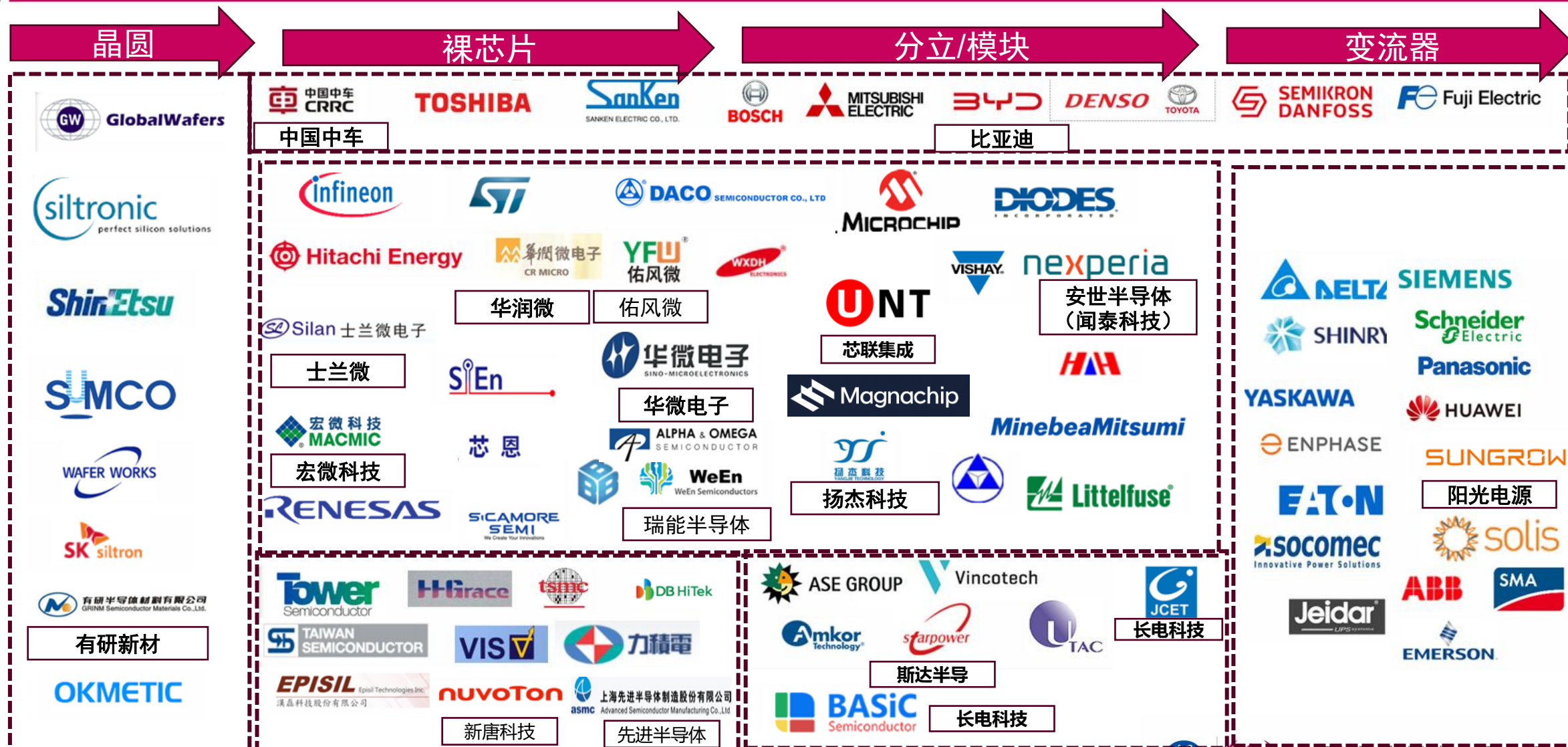
➤ 图表：硅基分立IGBT市场份额



➤ 图表：硅基IGBT模组市场份额



储能+光伏或带动功率器件需求



www.jyzq.cn



全国统一客服电话: 95372

此文件版权归金元证券股份有限公司所有, 未经许可任何单位或个人不得复制、翻印。



首都机场集团
Capital Airport Group



金元证券股份有限公司
GOLDSTATE SECURITIES CO., LTD.

相关公司

➤ 斯达半导 (603290.SH)

- 2025年，公司推出适用于光储行业的第八代微沟槽 Trench Field Stop 1400V IGBT 芯片平台和适用于光储行业的 1400V 第二代 SiC MOSFET 芯片平台，大幅提高芯片出流能力。
- 基于第八代微沟槽 Trench Field Stop 1400V IGBT 芯片平台和第二代1400V SiC MOSFET 芯片平台，公司发布了全球首个光伏地面电站组串式 2000V 系统 500KW 逆变器功率模块解决方案，该方案是目前全球组串式光伏逆变器最大功率产品。
- 公司基于第七代微沟槽 Trench Field Stop 技术的 IGBT 分立器件在户用式光储与工商业光储市场持续大批量装机，与公司组串式模块方案系列、集中式模块方案系列一起为客户提供一站式全套解决方案，继续巩固公司在光储行业的领先优势。

➤ 扬杰科技 (300373.SZ) :

- 公司聚焦全球能源转型与智能化升级，重点深耕光伏储能领域，已实现行业TOP大客户全覆盖。在IGBT产品方面，通过高密度器件结构设计与先进背面加工工艺，显著降低器件饱和压降和关断损耗，提升系统效率，适配光伏逆变器与储能变流器的高可靠性需求。
- IGBT模块方面，针对新能源光储应用，公司开发了涵盖60kW-320kW功率段的I型和T型三电平拓扑结构模块产品，电压覆盖650V/1000V/1200V，电流范围160A-600A，已实现上架并批量应用。碳化硅模块方面，应用于光伏、储能、充电桩等场景，产品系列包括FJ、62mm、Easy Pack等，已实现量产并持续扩大市场份额。

➤ 其他相关公司：芯联集成-U (688469.SH) 、士兰微 (600460.SH) 、东微半导 (688261.SH) 等



风险提示

- 国内厂商渗透率不及预期：当前功率器件市场仍以海外厂商为主，国内厂商渗透进展存在不确定性，或导致业绩波动或不及预期
- 产能扩张导致的价格风险：国内厂商在功率器件市场布局较多，竞争剧烈或导致价格压力
- 技术风险：当前功率器件技术路线较多，如平面及沟槽型MosFET，新技术的应用或导致其他产品销量不及预期。



投资评级说明

金元证券行业投资评级标准：

增持：行业股票指数在未来6 个月内超越大盘；

中性：行业股票指数在未来6 个月内基本与大盘持平；

减持：行业股票指数在未来6 个月内明显弱于大盘。

金元证券股票投资评级标准：

买入：股票价格在未来6个月内超越大盘15%以上；

增持：股票价格在未来6个月内相对大盘变动幅度为5%~15%；

中性：股票价格在未来6个月内相对大盘变动幅度为-5%~+5%；

减持：股票价格在未来6 个月内相对大盘变动幅度为-5%~-15%； 。



免责声明

本报告由金元证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格）制作。本报告所载资料的来源及观点的出处皆被金元证券认为可靠，但金元证券不保证其准确性或完整性。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业财务顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，金元证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。投资者需自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告所载的信息、材料或分析工具仅提供给阁下作参考用，不是也不应被视为出售、购买或认购证券或其他金融工具的要约或要约邀请。该等信息、材料及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，金元证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

金元证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。金元证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。金元证券的自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

在法律许可的情况下，金元证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。因此，投资者应当考虑到金元证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。

本报告的版权仅为金元证券所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式转发、翻版、复制、刊登、发表或引用。

