

构建多时空尺度电算协同新范式 ——上海虚拟电厂的创新路径与成效

国网上海市电力公司

2025年9月



目录

CONTENTS

一

基本情况

二

技术路线

三

商业模式

四

运营挑战



—

基本情况



国家政策明确“电算协同”发展方向



国家电网
STATE GRID

国网上海营服中心
STATE GRID SHANGHAI MARKETING SERVICE CENTER

□ 国家层面密集出台政策，为电算协同指明路径。

《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》

明确提出，构建国家算力网络体系，启动实施“东数西算”工程，探索建立跨地区算力调度与算电融合机制。

- 在京津冀、长三角、粤港澳大湾区等地布局建设全国一体化算力网络国家枢纽节点，发展数据中心集群；
- 国家枢纽节点之间进一步打通网络传输通道，加快实施“东数西算”工程，提升跨区域算力调度水平。

《加快构建新型电力系统行动方案（2024-2027年）》

- 明确提出“实施一批算力与电力协同项目，整合调节资源，提升算力与电力协同运行水平”；
- 要求充分激发需求侧响应活力，着力推动具备条件的典型地区需求侧响应能力达到最大用电负荷的10%左右。

附件

全国一体化大数据中心协同创新体系 算力枢纽实施方案

党的十八大以来，我国数字经济蓬勃发展，对构建现代化经济体系、实现高质量发展的支撑作用不断凸显。随着各行业数字化转型升级进度加快，特别是5G等新技术的快速普及应用，全社会数据总量爆发式增长，数据资源存储、计算和应用需求大幅提升，迫切需要推动数据中心合理布局、供需平衡、绿色集约和互联互通，构建数据中心、云计算、大数据一体化的新型算力网络体系，促进数据要素流通应用，实现数据中心绿色高质量发展。根据《关于加快构建全国一体化大数据中心协同创新体系的指导意见》（发改高技〔2020〕1922号）部署要求，为加快建设全国一体化大数据中心算力枢纽体系，制定本方案。

一、总体要求

（一）指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中全会精神，深入贯彻落实习近平总书记关于建设全国一体化大数据中心的重要讲话精神，坚持新发展理念，坚持改革创新、先行先试，推动数据中心、云服务、数据流通与治理、数据应用、数据安全等统筹协调、一体

加快构建新型电力系统行动方案 （2024—2027年）

为深入贯彻落实习近平总书记关于构建新型电力系统的重要指示精神和《中共中央办公厅、国务院办公厅关于深化电力体制改革加快构建新型电力系统的意见》有关要求，进一步加大工作力度，在一些关键环节争取取得新突破，加快推进新型电力系统建设，为实现碳达峰目标提供有力支撑，制定本行动方案。

一、总体要求

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党的二十大精神，完整、准确、全面贯彻新发展理念，加快构建新发展格局，着力推动高质量发展，切实落实“四个革命、一个合作”能源安全新战略，系统规划建设新型能源体系，加快构建新型电力系统的总目标，坚持清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的基本原则，聚焦近期新型电力系统建设亟待突破的关键领域，选取典型性、代表性的方向开展探索，以“小切口”解决“大问题”，提升电网对清洁能源的接纳、配置、调控能力。在2024—2027年重点开展9项专项行动，推进新型电力系统建设取得突破。

二、电力系统稳定保障行动

（一）优化加强电网主网架。适应电力发展新形势需要，组织

上海电网面临“算力负荷”新挑战

□ 上海作为全国经济中心和重要算力枢纽，面临着独特的电网压力。



大受端电网

上海区域负荷密度高、峰谷差悬殊，最大用电峰谷差达48.5%，本地机组调节能力有限，外来电力占比长期处于高位，呈现典型的“能源大受端”特性。



算力增速迅猛

算力产业已从“通算时代”迈入“智算时代”，算力中心将成为上海主要电力负荷之一。截至2024年6月，上海已建成通用算力7.7EFLOPS、智能算力超54EFLOPS，算力中心总用电量占全市用电总量的2.4%，年增速达20%。

算力负荷
独特优势



瞬时跨域转移

目前已知**唯一一种**不依赖电网就能突破地理与时间约束的新型柔性负荷。



如何挖掘这一潜力，缓解电网调峰压力，成为上海这座超大城市新型电力系统建设的核心命题。

算力中心面临“降本、增效、减碳”三重诉求

□ 算力中心在运营过程中直面降本增效、节能降碳等生产需求。

降本需求

- 对算力运营商而言，电力成本已成为制约发展的关键因素。

电力设备成本

电费

算力中心
建设成本

运营成本

55%

28%

电力成本

算力总成本

40%

增效需求

- 上海需求响应电能量补贴区间为2.4-9元/kWh，商业模式优势显著。
- 探索电算协同参与电网调节，成为运营商获取额外收益的重要途径。



减碳需求

- 国家对数据中心的“低碳”要求日益严格，不仅明确电能利用效率（PUE），还要求绿电消费比例持续提升，倒逼算力中心必须与电力系统深度协同，可持续运营。



可调节资源

0

1

蓄冷设备



02

柴油发电机



03

储能系统



03

可调节算力



数据中心可
调节资源



二

技术路线



场景策略：制定 “一调一切一转” 调控方案



国家电网
STATE GRID

国网上海营服中心

STATE GRID SHANGHAI MARKETING SERVICE CENTER

为适配多时空尺度调节场景，针对性制定 “一调一切一转” 算力中心负荷灵活调控策略集，覆盖不同电网需求与算力运营场景。

对数据中心内硬件设施的柔性负荷进行灵活调节，包括液冷系统、空调系统以及算力机柜的可调负荷，通过优化设备运行模式，在不影响算力输出的情况下，实现用电负荷的小幅、快速调整。

“一调” —— 硬件设施柔性调节

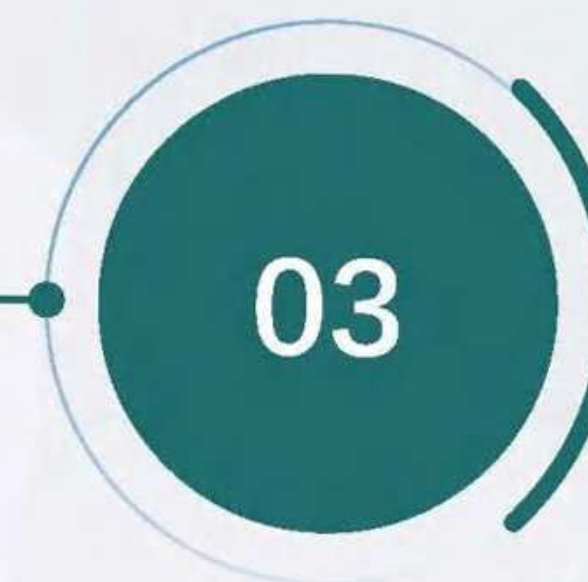


“一切” —— 柴发带负荷切换

柴油发电机组全负荷替代市电供能，支持孤网运行、并网运行、短时并网切换孤网三种模式，实现算力中心用电负荷与市电的暂时“断连”，在保障算力任务正常执行的前提下，缓解电网供电压力

针对不同时空尺度的调节需求，制定点对点、点对多、多对多、跨技术架构等算力转移策略，在不同时空维度实现算力任务转移调度，确保算力调度与电网需求精准匹配。

“一转” —— 算力任务迁移



功能研发：打造虚拟电厂电算协同模块

依托上海市虚拟电厂运营管理平台，专项研发“电算协同”功能模块，实现算力资源与电力系统的数字化协同管理，为百万兆瓦级“电算协同”资源提供核心调节中枢。



资源统筹管理调用

- 算力中心、服务器集群等算力负荷资源的线上接入和监测，实时采集功耗、算力利用率、任务队列等数据，构建算力资源全景视图，开展不同算力资源调用。
- 算力资源全景化看板
- 算力中心用户画像
- 算力负荷实时监测
- 算力资源统计分析
- 算力时空调节能力
- 电算协同建议调用方案

电算协同过程监控

- 实时监测电力算力协同参与响应的全过程，监测响应时间、调节精度、调节速率等关键指标，确保协同过程可控、可追溯。

电算调控效果评估

- 统计每次电算协同的度电成本节约、需求响应收益及碳减排量等指标，生成调控效果评估报告，平台实时可视化展示

“算网荷储”一体化协同场景构建

通过储能实现算力资源柔性化、可调节，使算力中心从刚性负荷转变为电网的主动调节单元，发挥储能“算力缓冲器”作用，平抑绿电波动、放大算力弹性、增强电网调节能力。

绿电波动下的算力维稳。通过储能储存绿电，在绿电出现波动时，通过储能隔墙直供，保障算力中心绿电供应，实现绿色低碳化电算协同。

电网高峰期的储算联调。基于需求响应信号，依托储能充放电，实现电网响应调节。



为验证模式可行性与技术有效性，基于“一调一切一转”策略，结合关键技术开展多场景、全链路示范验证。

示范验证：多维度技术实证及场景构建-调



国家电网
STATE GRID

国网上海营服中心

STATE GRID SHANGHAI MARKETING SERVICE CENTER

上海达卯科技有限公司——商汤数据中心



智算中心
规模24000P+

商汤临港AIDC蓄冷罐削峰填谷响应策略

蓄冷



夜间利用低谷电和低温环境，高效制冷15 °C冷水注入6组蓄冷罐中，总容量15MWh。释冷单小时可削峰电量2.2MWh（占总容量14%）。

指令执行

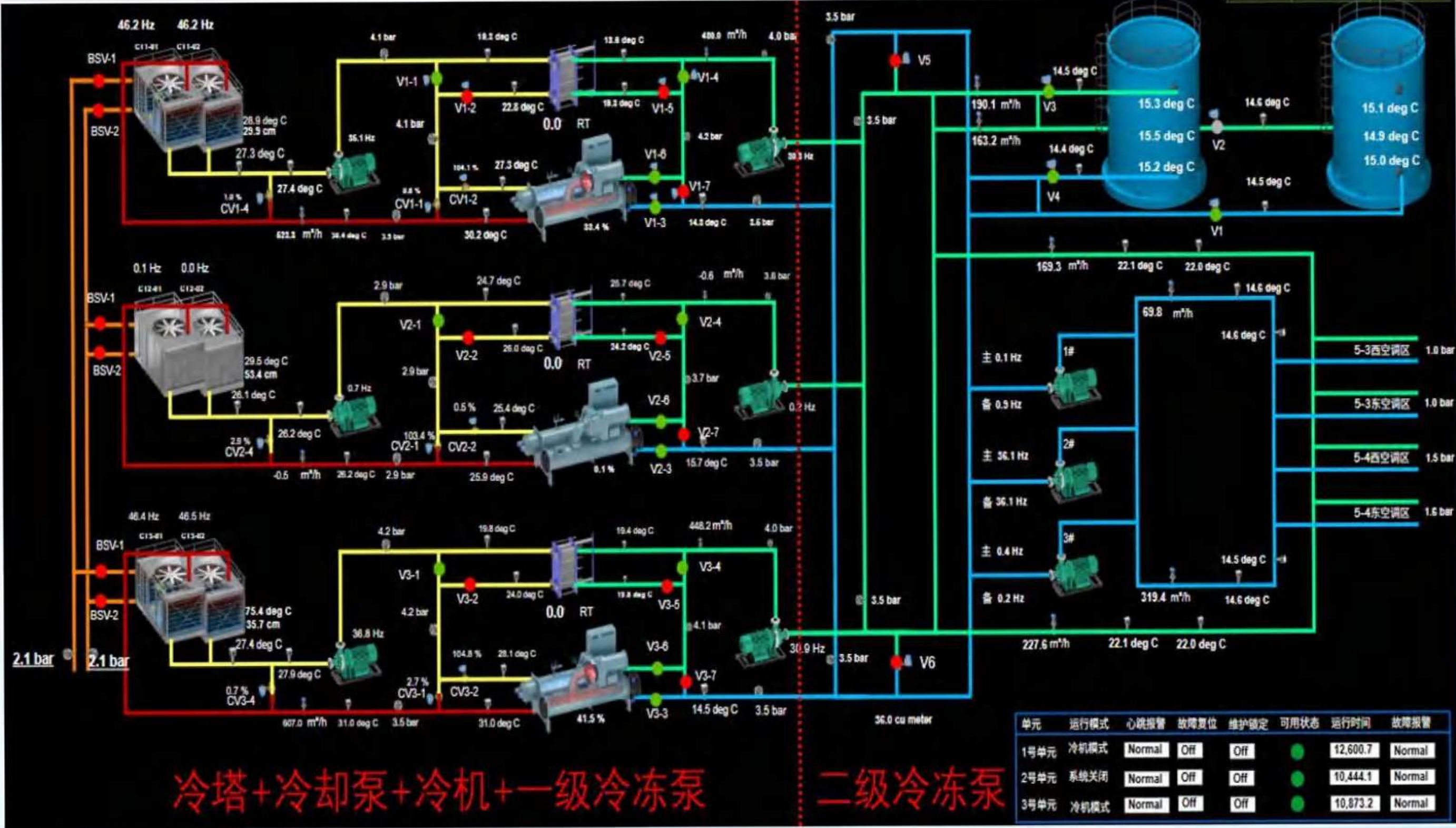


响应指令一到，按既定时间线(T-10 min→T+5 min)依次打开各模组放冷阀，由蓄冷罐直接承担2200 kW瞬时冷负荷，冷机、冷却塔、冷却泵、一级冷冻泵全部或部分停机。

响应统计



放冷时冷源功率由常规模式（冷塔+冷却泵+冷机+一次泵+二次泵）骤降至仅二次泵，实测净削峰**2144 kW**，持续65min，等效向电网“让出”**2.1MW负荷**，完成需求响应。

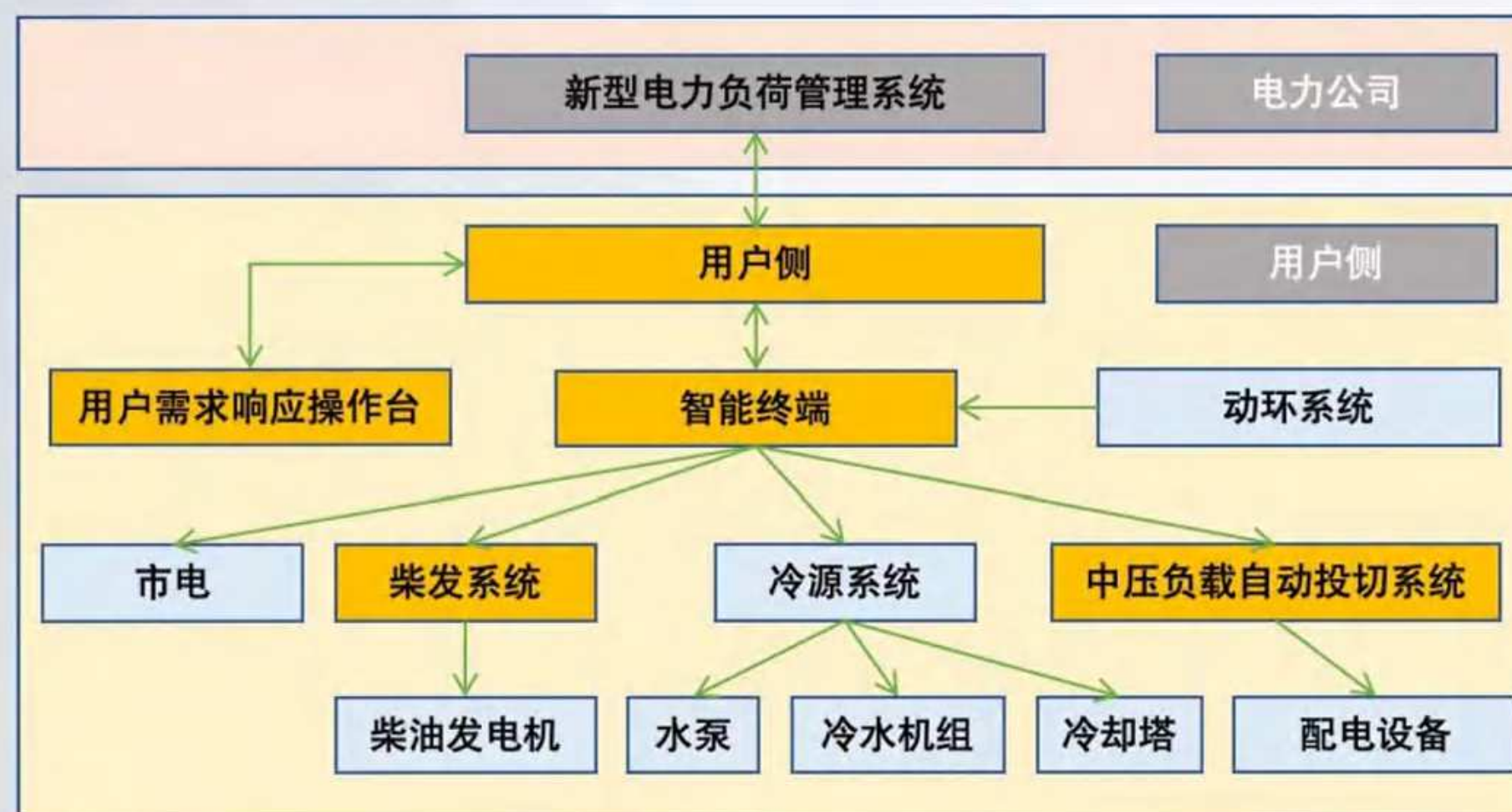


冷源耗电	正常模式	削峰模式
冷源耗电总功率 P(KW)	P冷塔+P冷却泵+P冷机+P一级冷冻泵 +P二级冷冻泵	P二级冷冻 泵

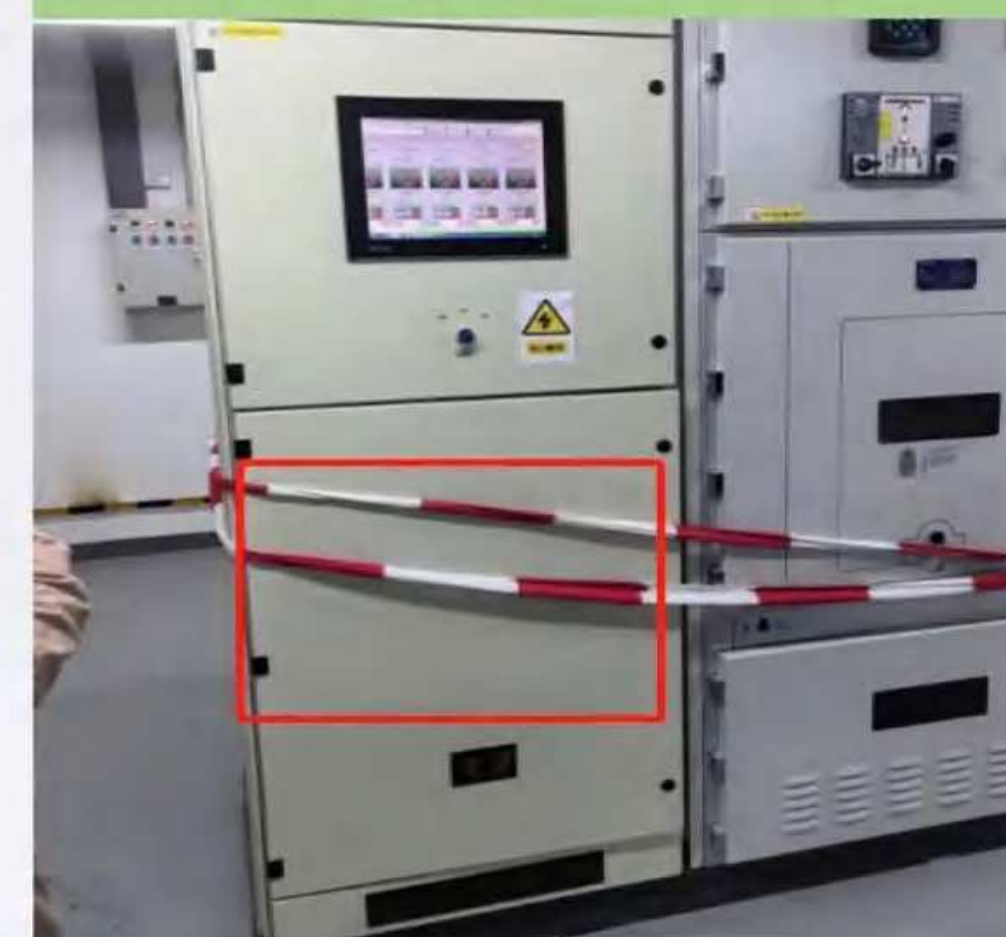
电算协同全负荷调节能力测试验证

闸北电厂上海七宝电信数据中心项目验证测试： 研发了一套数据中心柴发并网系统，通过对柴发系统进行改造，加装并网控制器，设计自动投切逻辑，实现柴发系统与市电的短时并网、负载切换功能。

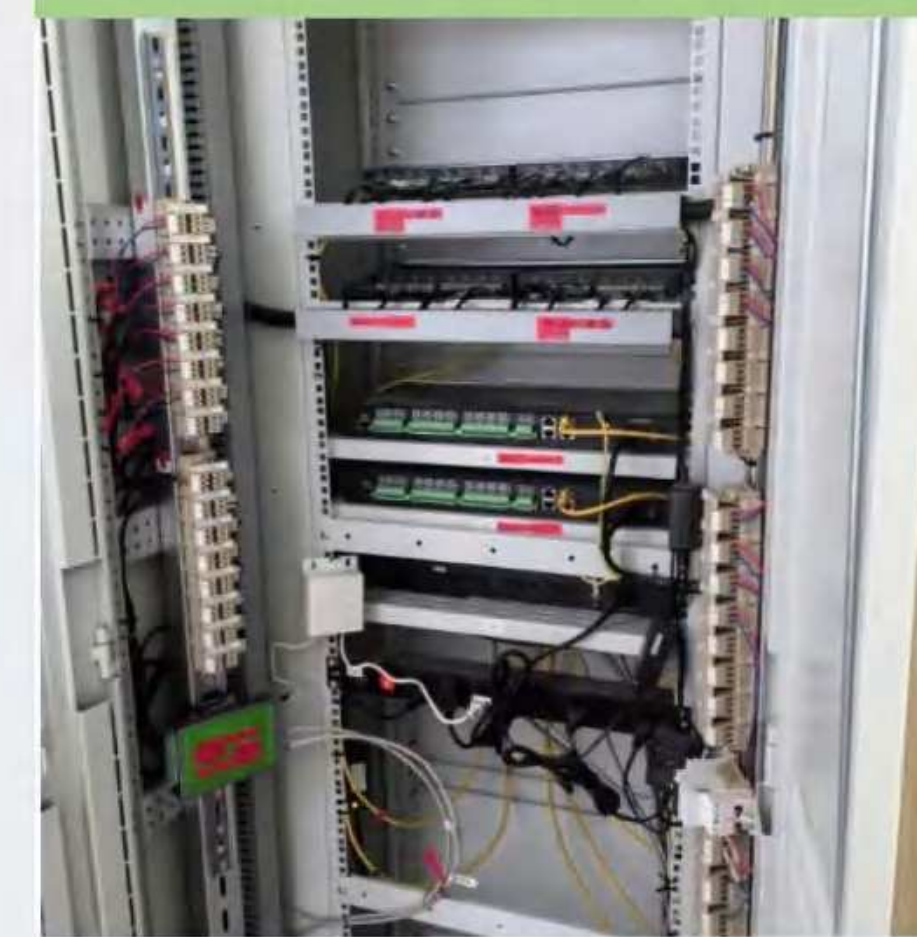
- ✓ 数据中心增加智能控制终端，智能控制终端与柴油发电系统、动环系统、冷源系统、配电柜电表进行对接，实现相应的采集、控制逻辑。
- ✓ 改造柴发系统实现并网孤岛模式进行大网互动。
- ✓ 建设中压负载自动投切系统实现全自动孤岛模式进行大网互动，同时增强数据中心设备供电安全能力



并网控制柜改造



配电柜改造



中压负载自动投切系统



代表新增或改造内容

6月26日，闸北电厂在七宝通信枢纽楼成功开展了首次柴油发电机全自动短并网测试试验。七宝通信枢红楼一期柴发群组3台柴发成功实现10千伏侧与市电的短时并网后转孤岛试验。

实验过程

柴发并网系统自动执行柴发侧与市电侧同期、柴发开关合闸、负载转移、市电开关分闸孤岛运行等操作，完成负载由市电供电至柴发孤岛供电的无感切换。孤岛模式运行一段时间后再通过一键退出的方式自动完成柴发侧与市电侧同期、市电开关合闸、负载转移、柴发开关分闸关闭柴发系统等操作，完成负载由柴发供电切回市电供电的无感切换。

实验结果

该试验带载运行10分钟，带载1100kW。这次验证试验的成功标志着数据中心柴发资源在参与虚拟电厂响应时能在不中断主电源情况下实现市电与柴发灵活切换，实现降低区域用电负荷的作用。

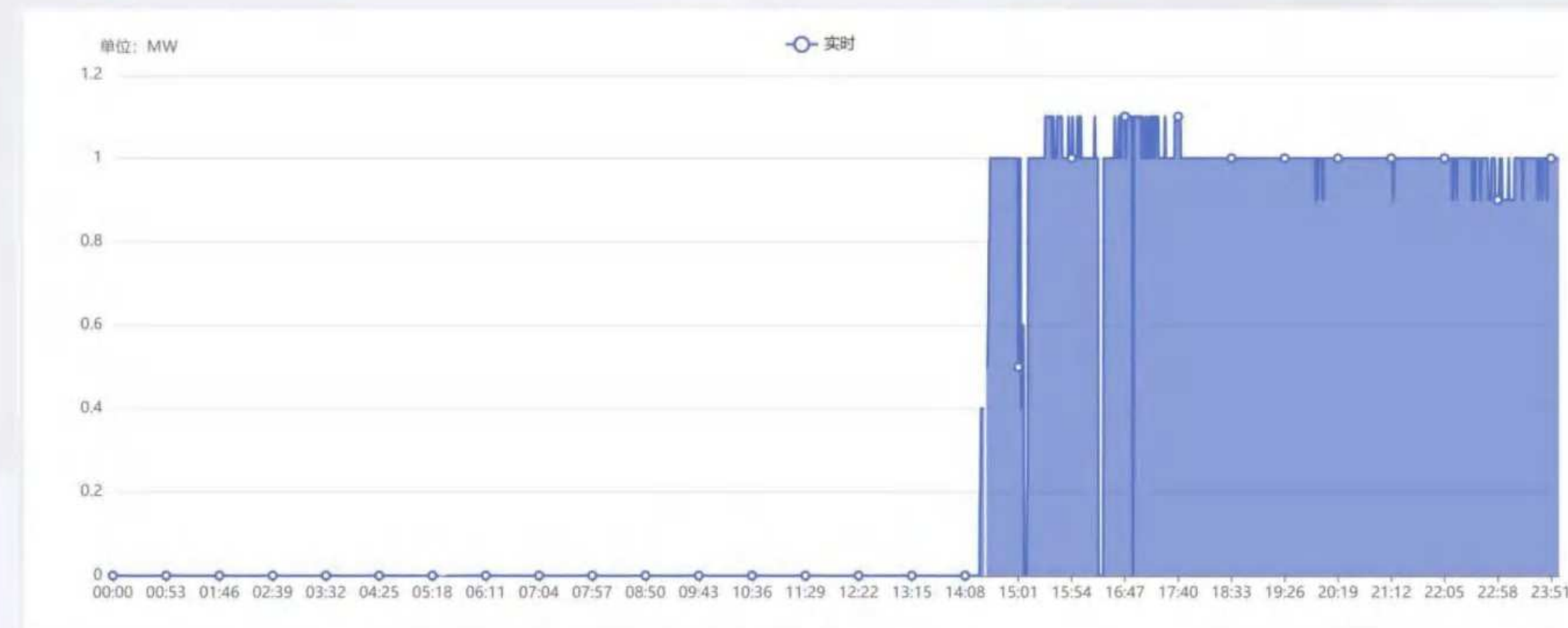


图1 1#主变进线柜功率曲线

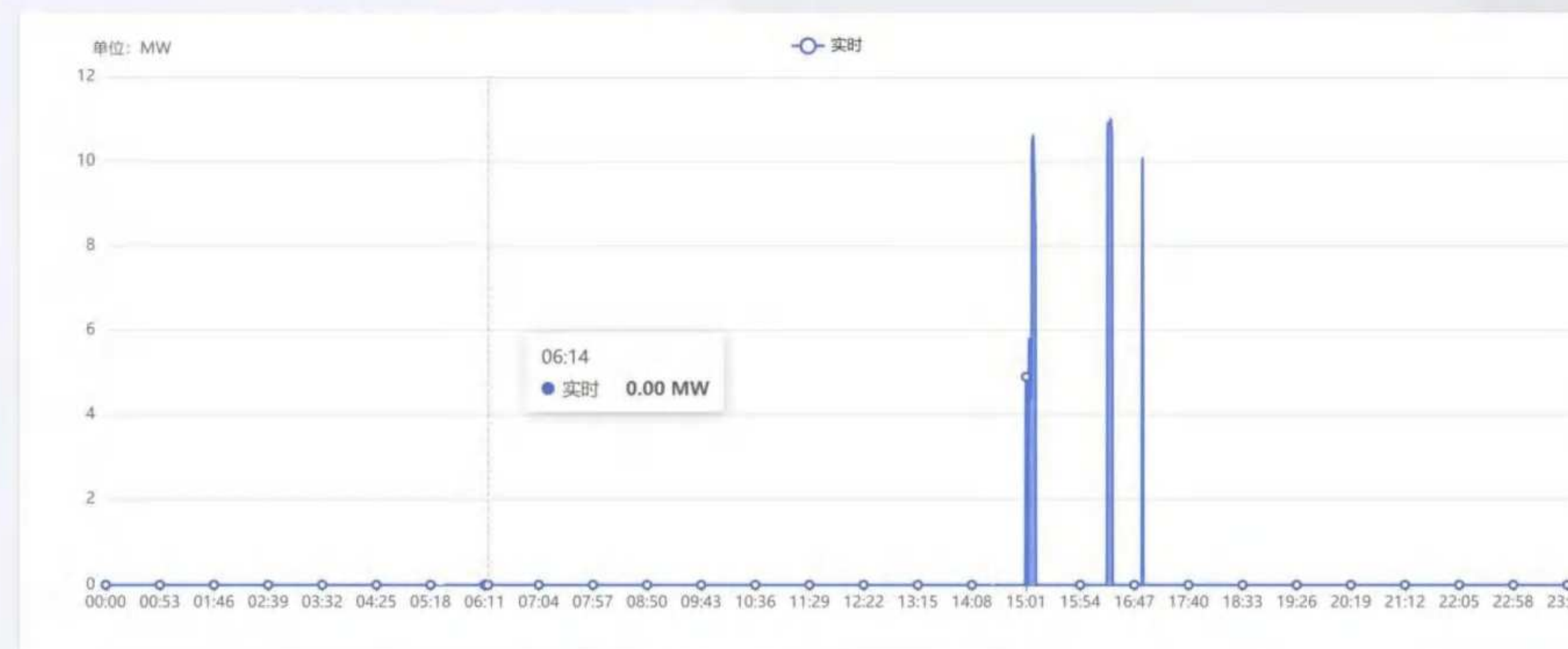
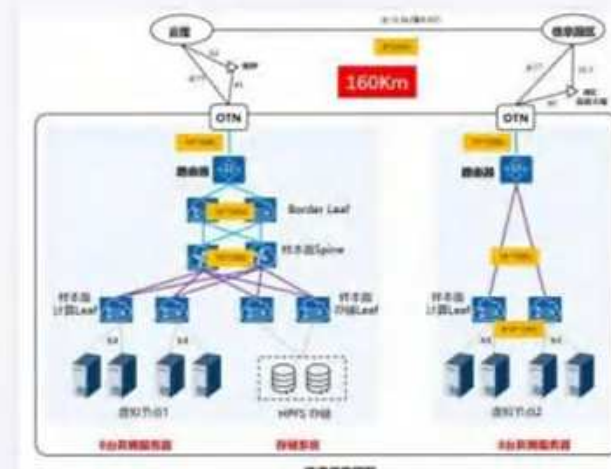
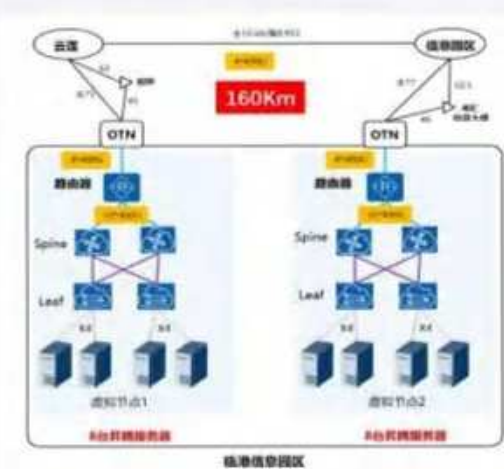
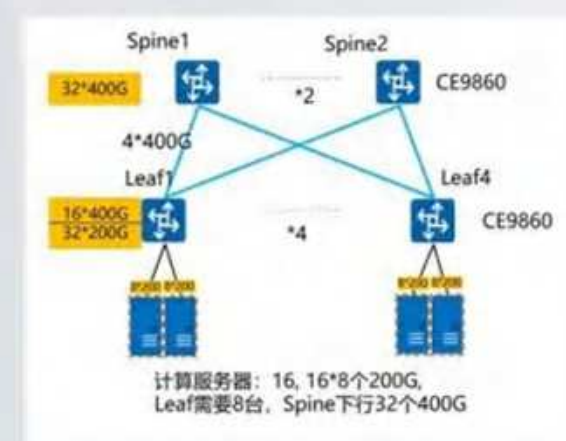


图2 1#发电机进线柜功率曲线

全国首次跨域智能算力转移实践

2025年7月4日，联合中国电信公司开展全国首次跨域智能算力转移实践，并成功实现算力任务迁移。

- 2025年7月4日14时14分，位于浦东临港的中国电信智算中心接收到虚拟电厂的调度指令。仅仅3分钟后，该中心正在运行的人工智能推理任务便“跨越千里”，平稳转移到了湖北十堰的数据中心。与此同时，临港智算中心的单机柜用电负荷则下降了75%。



使用 Checkpoint 技术安全转移大模型推理任务

算力也能调峰？上海临港成功验证虚拟电厂“电算协同”新模式

新民晚报 2025-07-08 19:25

新民·上观

日前，一项关乎未来城市智慧用电的创新实践在上海临港成功落地。国网上海浦东供电公司联合多方力量，成功完成了国家电网公司系统内首次利用跨省算力转移技术参与虚拟电厂调峰响应的验证测试。这项突破性技术，为大型数据中心这类“用电大户”如何更灵活、更绿色地参与电网调节，保障城市电力供应稳定，提供了全新的解决方案。



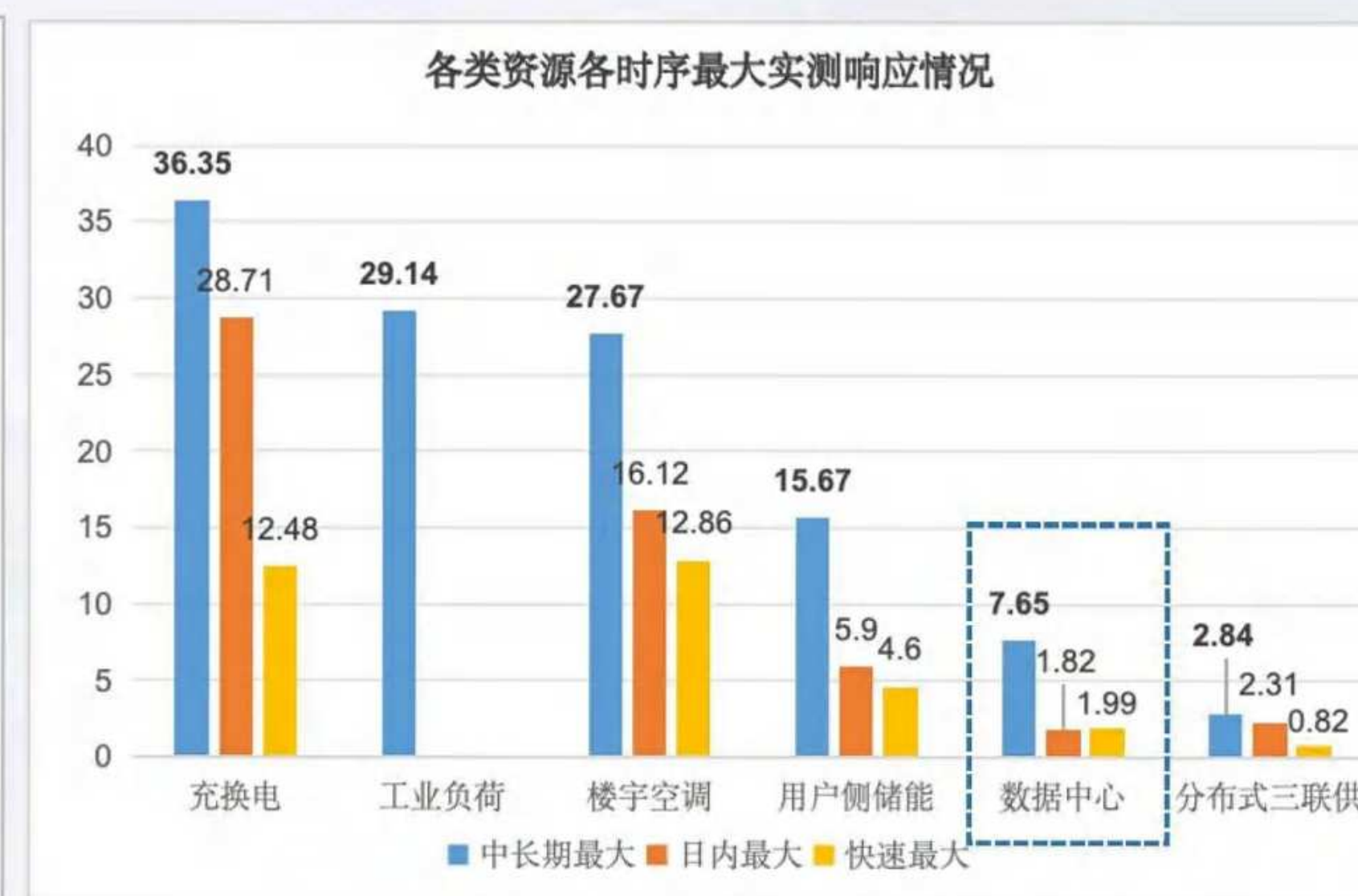
参与百万规模响应能力实测验证

截至2025年8月，上海市级平台接入虚拟电厂运营商**49家**，总申报可调能力**203.24万千瓦**，较2024年底**增长81.17%**。

- 数据中心助力国内首次城市虚拟电厂百万千瓦规模调用：**2025年8月14日开展夏季高峰日前及快速削峰调用，47家虚拟电厂参与申报，最大响应容量**116.27万千瓦**创国内新高。
- 数据中心参与调用成效明显：**此次总申报能力203.24万千瓦，其中**数据中心**规模占到**11.20万千瓦**，调用成功压降电网短时尖峰负荷，实现电力系统优化运行。



2025年1至8月虚拟电厂历次响应情况



各类资源各时序最大实测响应情况



三

商业模式

多时空尺度电算协同新范式有望显著提升算力负荷灵活调节能力，同步实现电网调节韧性增强、算力运营成本优化与能效碳效协同升级，形成经济性、安全性、低碳性三位一体的“能源-算力”基础设施双向赋能示范样板。

预期成效

01

电力经济效益显著提升

以技术手段优化资源配置，大幅降低电源与电网投资成本，提高负荷利用效率，同时通过跨省算力转移形成的电价套利模式，为运营商、用户、数据中心拓展盈利空间，提升市场参与积极性。



电网尖峰负荷条件调节成本

1%

用电成本

1%

需求响应补贴收益

20%



02

电网安全性显著增强

新范式根据电网调节需求，匹配柴发切换、柔性调节、算力任务转移等策略，充分发挥算力资源调节能力，有效助力电网“削峰填谷”，保障供电安全稳定，增强电网调节灵活性。



算力可调节容量

30%

秒级资源可调节容量

50%

算力负荷柔性调节能力

20%

03

低碳效能显著优化

创新实现算力负荷与绿色电力的动态匹配，借助算力任务的灵活转移与实时调控，优先将高耗能任务调度至绿电供应充足的区域，大幅提升清洁电力消纳规模，同时降低本地区碳排放，支撑上海建设更清洁低碳的城市能源体系。



PUE

0.1

达到国家标准



聚焦电算协同的全链突破联通

“机理创新+技术突破+场景示范”
三位一体协同推进架构

- 全局视角出发，通过理论梳理、技术研究和示范验证，实现机理-技术-场景的全链条突破，有效破解多时空尺度算力调度数字化协同难题。
- 调控对象：首次将“**算力负荷**”作为**核心调控对象**，借助其可瞬时跨域转移的特性，为虚拟电厂赋予更快速、有效的响应能力。
- 效能优化：在国内**率先实现人工智能大模型“智算任务”用能建模**，突破传统算力调度仅关注“通算任务”的局限。



聚焦电算协同的全域可塑融合

“能源智能检测+平台一体管理”
算电协同调控方案

- 首次把传统“设备级节能”升级为“**跨系统、跨地域、跨业务的算电全域协同**”，实现从“被动响应”到“主动编排”的范式跃迁。
- 打破传统负荷调控的局部优化模式，通过“算力-电力”实时耦合，使智算中心既可作为“千瓦级可中断负荷”，又可作为“PFLOPS级可调算力”，真正实现“瓦特”随“比特”动态联动，实时参与电网互动。

以“分阶段、递进式”路径推动算力参与多市场协同



常态化电力市场

推动算力资源常态化参与需求响应、辅助服务与绿电交易，夯实市场参与基础；



电碳协同市场

探索与“电碳协同”市场的衔接机制，将算力调节的碳减排效益纳入考量范围，开发新型交易品种，实现算力价值转化；



算电市场耦合

推动电力市场与算力市场深度耦合，打破市场边界，实现“电力流 - 算力流 - 价值流”的协同联动。



四

未来展望：多维度推动电算协同规模化



三大创新突破，引领行业发展新方向



国家电网
STATE GRID

国网上海营服中心

STATE GRID SHANGHAI MARKETING SERVICE CENTER

聚焦电算协同的全流程升级联动。创新实施“同步规划、实时监测、精准调用”的全流程协同机制，变“单点创新”为“系统变革”。



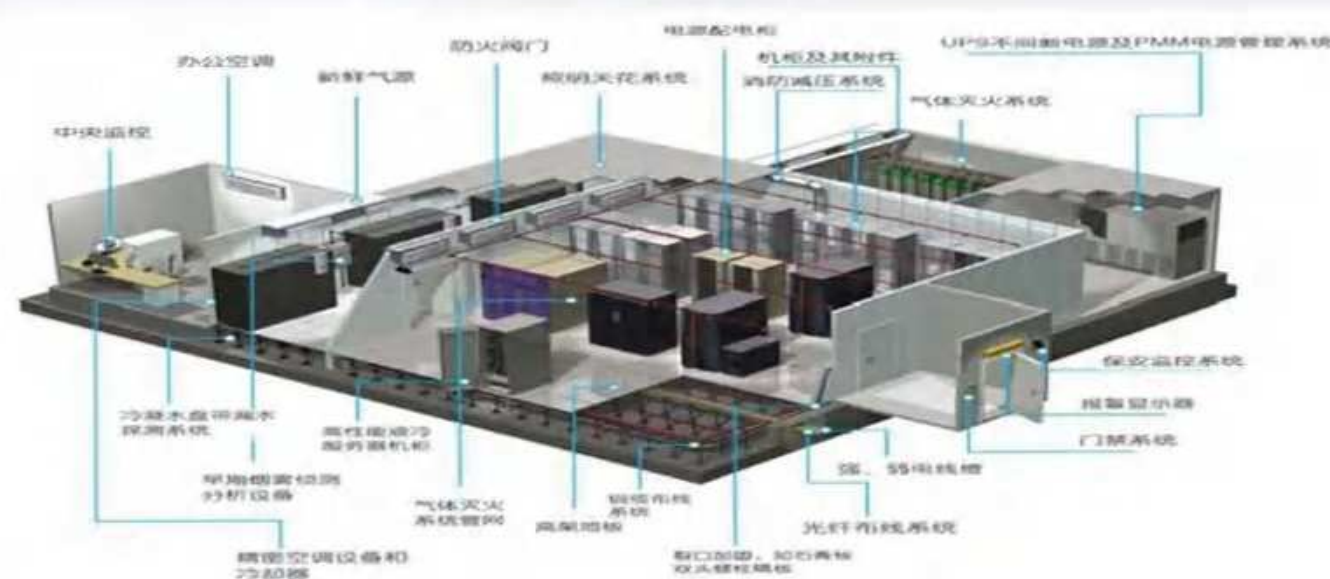
规划建设阶段

打破“先建算力、后配电力”的传统思维，将电算协同需求**提前嵌入数据中心建设蓝图**，根据算力规模匹配相应的电力容量和配套设施，为后续联动筑牢基础。



用电监测阶段

针对数据中心这一核心产业链节点，电网不仅**实时追踪数据中心自身的用电负荷**，还延伸覆盖其上下游重点企业的用电情况、增长态势，提前掌握负荷波动规律，让调节决策更具前瞻性。



电算协同阶段

基于前期规划和数据积累，**根据电网负荷缺口、调峰调频需求**，开展“实战响应”，通过柔性负荷、柴发顶用、算力转移开展调用，实现“电网有需求，数据中心即刻响应”的高效协同。



IT设备

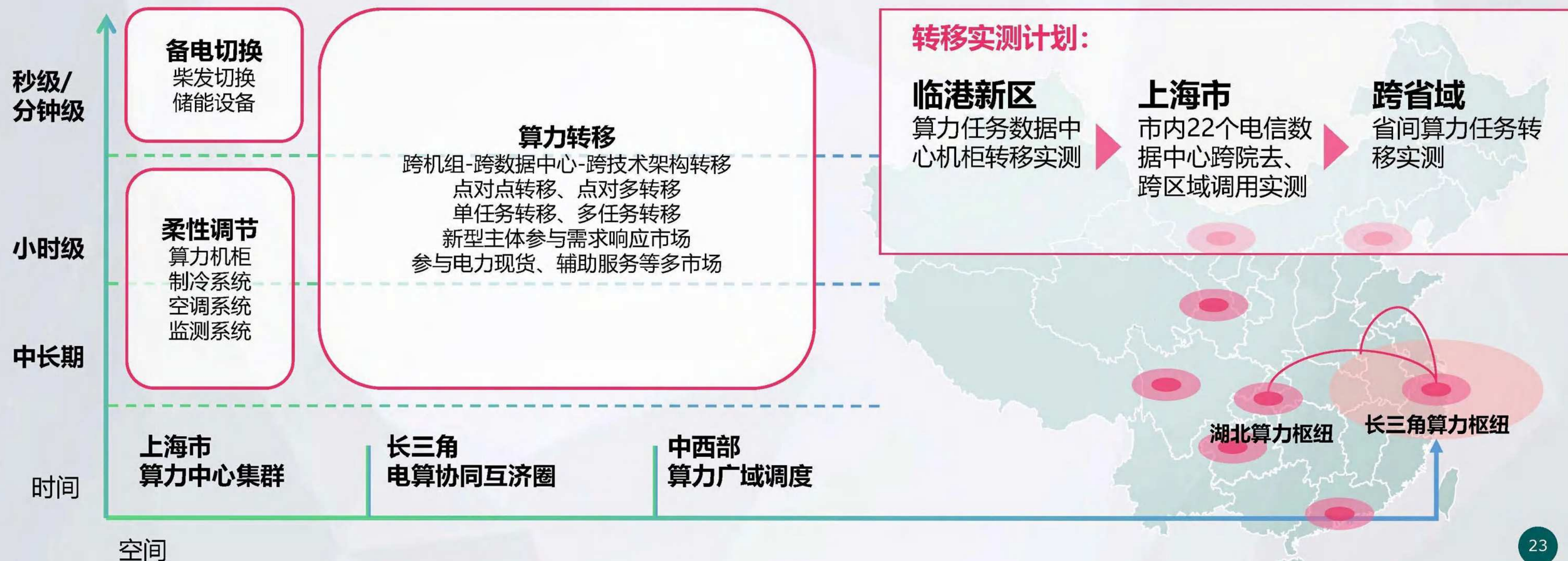


制冷系统



柴油发电机

以中国电信临港智算中心为核心进行场拓展，逐步调用上海 22 个数据中心集群以及省外数据中心，开展多维空间转移技术实测，实现常态化、规模化电算协同。



联合政府部门、算力中心、设备厂商、科研院所等，打造“电算协同生态圈”。



资源池建设

持续扩大资源覆盖面，培育**百万兆瓦级算力资源池**，引导更多市场主体参与；



政策标准出台

加快电算协同规划建设、调度运行等**政策标准出台**，以标准引领发展。



生态
建设

The background features a wide, horizontal teal band across the middle. Above and below this band are faint, light gray line drawings of high-voltage power transmission towers and their associated power lines, extending from the right side towards the left.

谢谢!