



数据中心节能降碳之算电协同： 背景、技术、实践和展望

王永真

北京理工大学 机械与车辆学院 能源与动力系
多栖平台驱动系统全国重点实验室
碳中和系统工程北京实验室
wyz80hou@bit.edu.cn

中文网址: me.bit.edu.cn

英文网址: me-english.bit.edu.cn



2026年初 算力设施的两件“大事”

政府工作报告

——2026年3月5日在第十四届全国人民代表大会第四次会议上

实施算电协同等新基建工程
加强全国一体化算力监测调度

1. 算电协同**背景**：交叉发展协同共赢
2. 算电协同**技术**：提质增效之四部曲
3. 理论回归**实践**：多主体博弈经济账
4. 算电协同**展望**：发展对策思考建议

中共中央办公厅 国务院办公厅关于更高水平更高质量做好节能降碳工作的意见

2026-04-22 17:22 来源：新华社

字号：默认 大 超大 | 打印 收藏 分享 |

协同推进节能降碳与绿色转型
加快数字基础设施节能降碳

（六）加快数字基础设施节能降碳。推进算力、通信基站和机房等基础设施节能降碳改造，推动设备选型、制冷架构、机柜功率密度、系统智能运行策略等优化升级，持续提高单位算力能效和单位信息流量能效。

加强算力基础设施项目评估论证和源头把关，严格电能利用效率等能效指标准入管理，提高可再生能源消费和余热资源回收利用水平，支持发展绿色低碳、集约循环的算力设施。

.....



目 录

1. 算电协同背景：交叉发展协同共赢
2. 算电协同技术：提质增效之四部曲
3. 理论回归实践：多主体博弈经济账
4. 算电协同展望：发展对策思考建议

1.1 现代人类社会发展的基本要素：物质、能源、信息

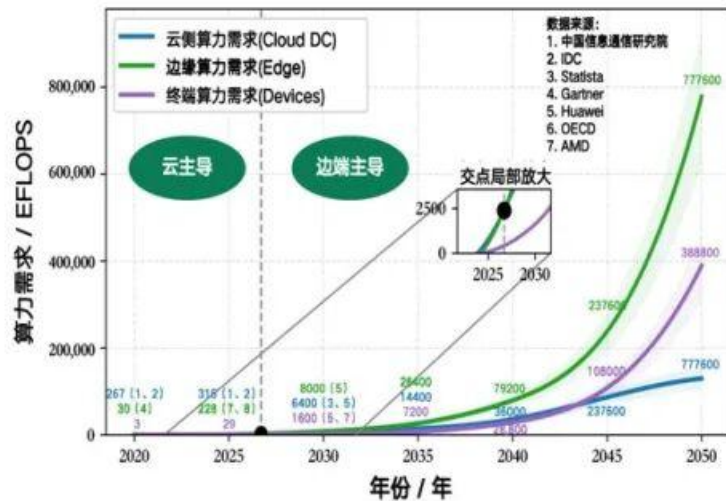
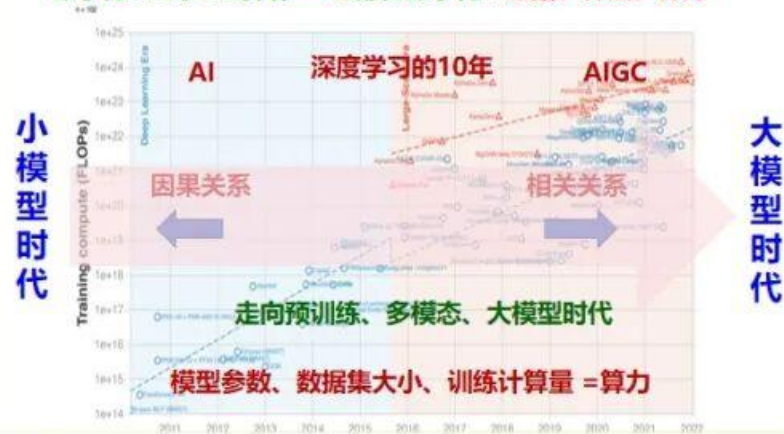


“信息” 已与能源并列为经济社会发展的核心生产要素

1.1 多元信息消费场景驱动异构算力需求

AI驱动“世界范式”逐步由小模型时代因果分析，走向大模型时代相关分析（左图）

数字化1.0到3.0时代，一切都在数字化：数据、算法、算力



多类场景驱动多元“数据”业务和“云、边、端”算力爆发式增长（右图）

1.1 AI爆发引发算力设施（数据中心）的大基建

数字经济下海量的数据需要感知、存储、加密、传输、调用、计算以及交易

算力基础设施——数据中心



数据中心不知不觉已成为“无烟囱的电老虎”

高PUE
(电)

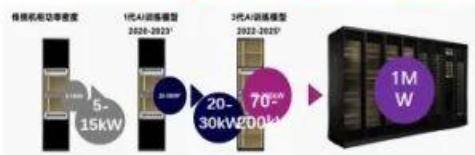
高WUE
(水)

高CO₂
(碳)

1.2 算力的尽头是电力吗？源于美国

- 全球范围内，算力的核心基础设施——数据中心，其用电量呈现快速（大于年均15%）增长
- 部分国家和地区出现AI的电荒问题，“算力的尽头是电力”成为热点关注话题

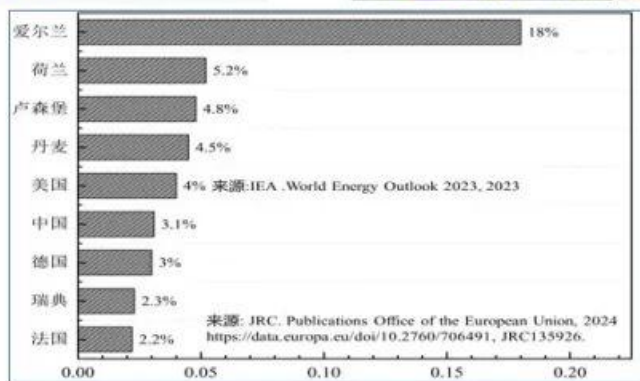
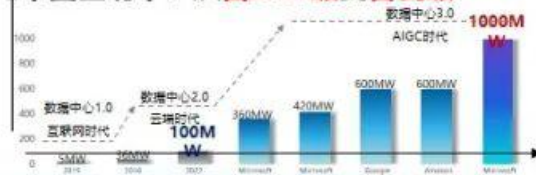
单机柜功率：从几kW、几十kW到几百kW级



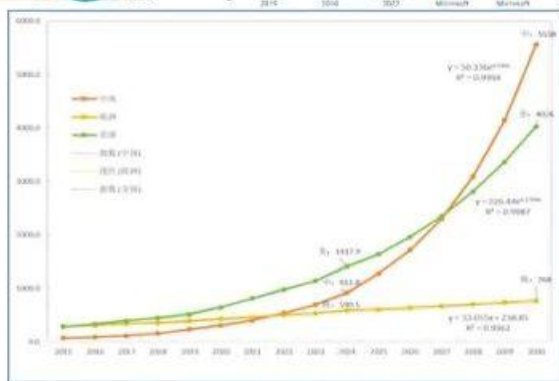
单楼宇功率：从MW级到百MW级



单园区功率：从百MW级到吉瓦级



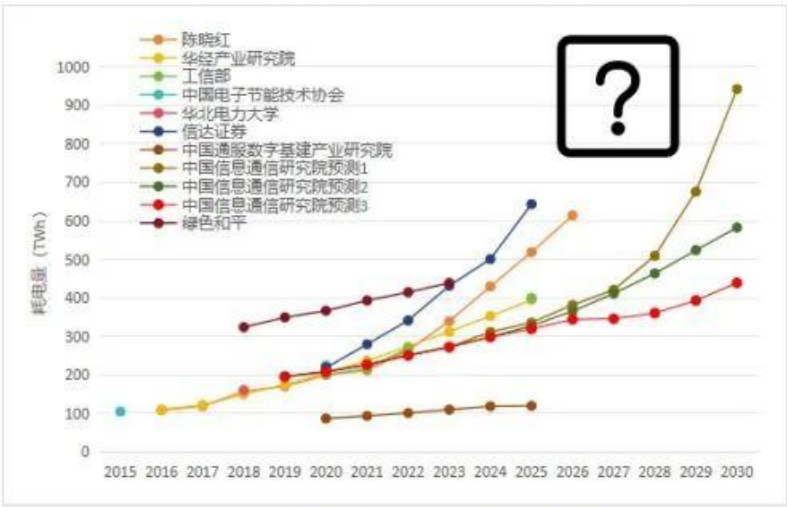
数据中心各国用电占比 (2023)



各国数据中心用电量预测 (基于增长率直接趋势外推)

1.2 数据中心能耗统计及预测的现有问题

受数据中心上架率、利用率、地域特征以及供需动态关系的多重不确定性影响，现有自上而下的方式统计所得的用电量统计结果呈现差异大、不确定性大的问题。



方法	从基础设施测算	从时空地域测算	外推法
关键数据	①设备规格，例如机柜设计功耗； ②数据中心基础设施特性，例如 PUE、上架率。	政府或组织进行测量汇总	①基准年份值（来自自下而上或自上而下的模型）； ②增长率（可能考虑能源效率提高以及数据量或客户数量的增长）；
主要限制	①已安装机柜的利用率；②未来数据中心的能源效率提升和设备变更趋势。	① 相关组织统计数据的准确性和可用性；② 预测能源效率未来趋势的能力；③ 输入之间的相关性。	① 输入之间的相关性，例如，每单位数据的能耗；② 预测能源效率未来趋势的能力。

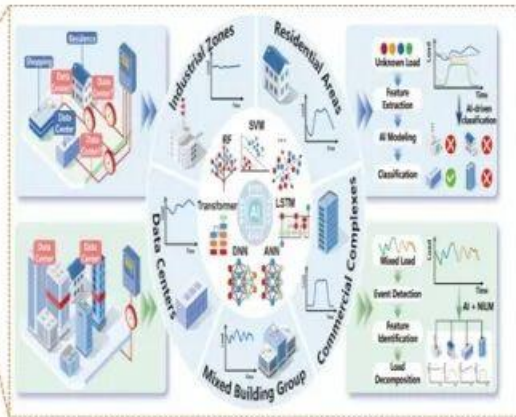
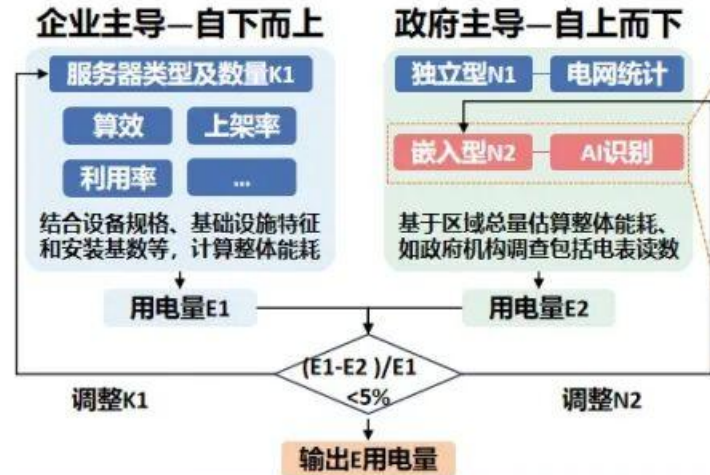
数据中心能耗统计数据呈现较大的不确定性

2024年我国数据中心用电量估计在700至6000亿kWh之间，差距超过10倍

田磊,郭巧敏,王永真,等.关于数据中心用电量统计的研究及对策建议[J]. 中国能源, 2025,10.

1.2.1 我国数据中心综合能耗预见——模型方法

受国家数据局委托，中国电力企业联合会（牵头），我方参与，对我国数据中心用电量进行了多维度的统计和监测，并形成了“自上而下”和“自下而上”相结合的用电量监测方法。



基于负载曲线特性的智能识别算法

国家数据局数字科技和基础设施建设司
研究课题申报书

项目名称：数据中心用电量监测研究

申报单位：

协作单位：

项目负责人：

申报时间：

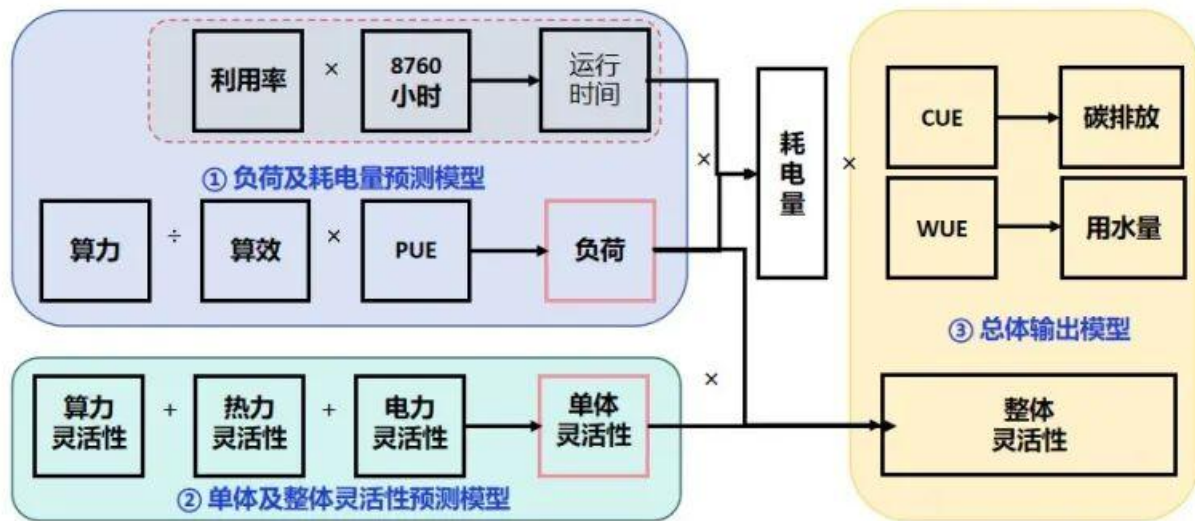
国家数据局数字科技和基础设施建设司
2025年6月

数据中心能耗统计新方法：以自下而上方法获得细致结构信息，以自上而下统计作为总量约束，通过反复校准、比对和修正，使微观估算与宏观统计在数值上逐步趋于一致。

1.2.1 我国数据中心综合能耗预见——模型方法

目标：数据中心的电力、电量，水耗、碳排以及灵活性

边界：2024~2030年；全国数据中心（不包括基站和小机房）



输入项：27项；

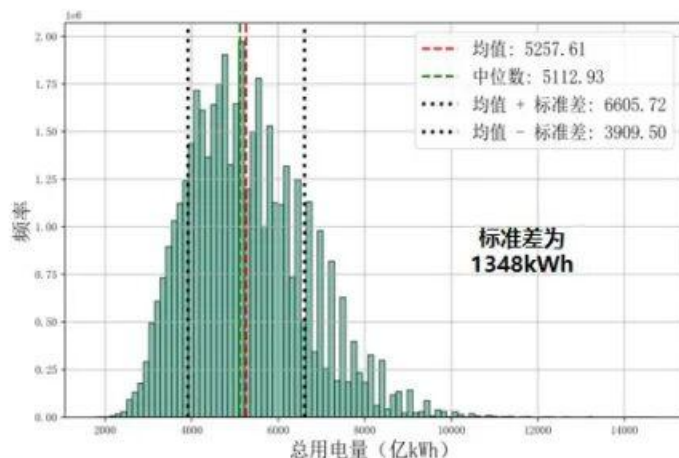
模型：大类3项，小类9项；

输出：5大类

1.2.2 结果：我国数据中心综合能耗预见——用电量

2030年全国数据中心用电量将达到5257亿kWh（均值）

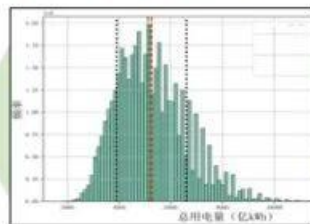
用电量：数据中心 > 采矿业、计算机、通信电子制造业等行业



2030年数据中心预测用电量占全国用电量估计*

2.3%

均值-标准差



5.1%

均值+标准差

用电量：数据中心 > 采矿业、计算机、通信电子制造业等行业

预计到2030年全国数据中心用电量将占2030年全社会用电量的3.5% (均值)

数据中心2030年全年负荷数据落在均值 ± 标准差范围内的比例为70%

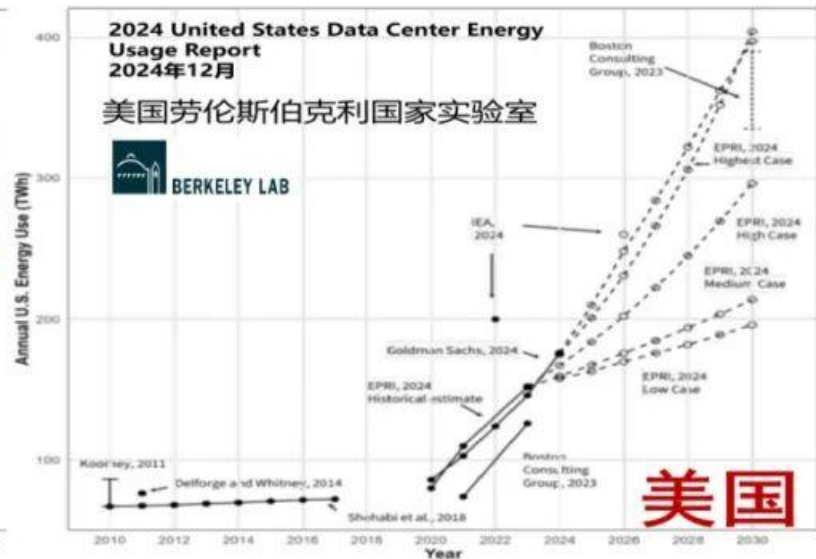
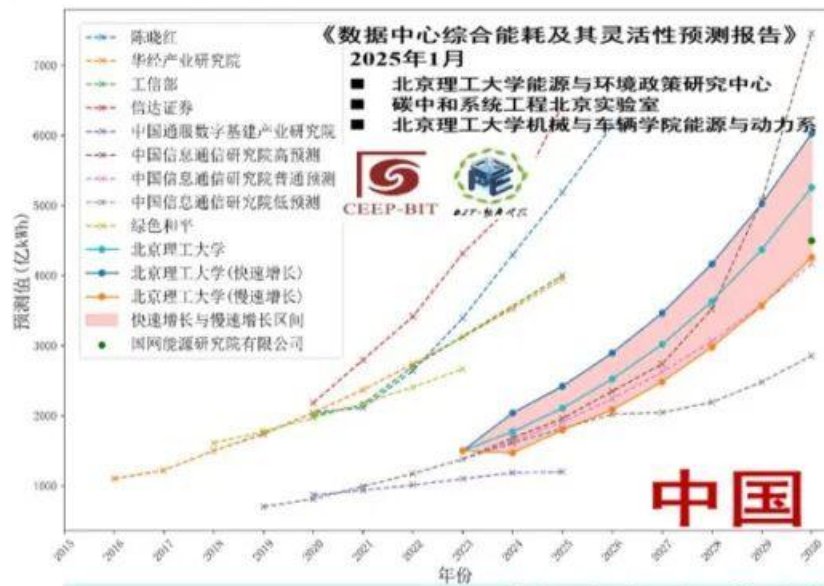
* 2030年全国用电量按13万亿kWh计

1.2.2 结果：我国数据中心能耗预见+中美对比 (2030)



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

数据中心耗电在全社会用电量占比中国 (3.5%, 2030) 显著低于美国 (13.3%, 2028)

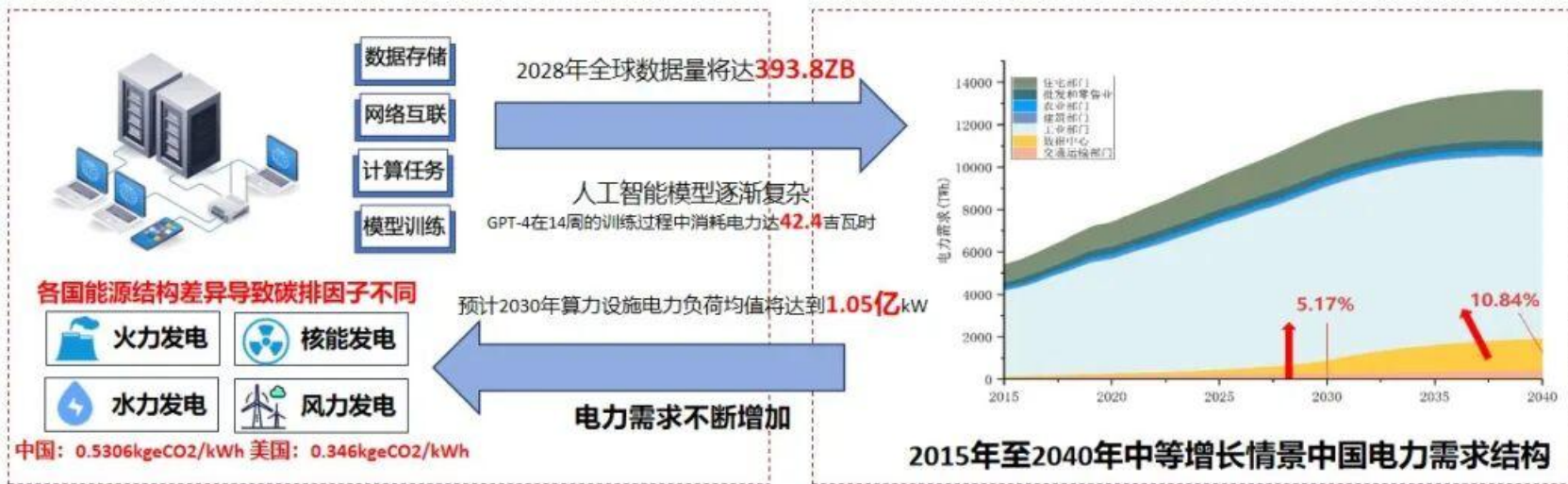


数据中心 (AI算力基础设施) 能耗对比2030

算电协同一个“伪说法”：总量和占比上，中国并不缺电，电网也优于美国

1.2.2 结果：我国数据中心能耗预见 (2040)

算力设施任务量增加导致电力需求在全社会占比显著增加，2040年占比超过10%。



但我国应该要未雨绸缪，特别是在局部区域未来增速很快

局部地区数据中心用电占比早已超过10% (2025年：北京11%，廊坊13%，张家口23%，贵安新区50%.....)

1.3 中美算力碳排放对比 (火电+新能源模式: ESG视角)



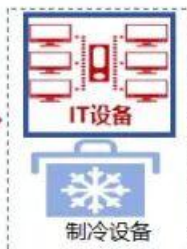
北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

① IT设备碳排因子 或 碳利用率

电网排放因子



千瓦
kW



范围1+2
碳排放
kg



浮点运算
FLOPS

$$\text{IT设备碳排因子} = \frac{\text{碳排放量}}{\text{IT耗电量}} = \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$

$$\text{碳利用率} = 0.5942 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \times \text{PUE}$$

② 单位算力碳排



范围1+2
碳排放
kg



浮点运算
FLOPS

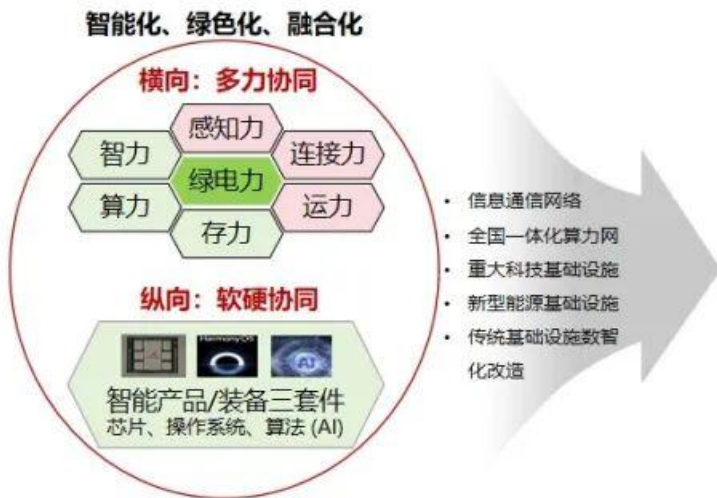
$$\text{单位算力碳排} = \frac{\text{碳排放量}}{\text{计算量}} = \frac{\text{g}}{\text{PFLOPs}}$$

$$\text{单位算力碳排} = 0.21 \text{ gCO}_2/\text{PFLOPs}$$

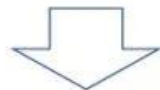
中美对比: (电力侧) 火电占比高 ✖ (算力侧) 功耗比 差 ✖ (冷力侧) PUE大
= **单位算力碳排高** (我国是美国的3倍以上!!!)

1.3 中美AI发展路线对比（未来场景：新能源模式）

我国芯片技术落后1-2代：聚力攻坚芯片设计、芯片制造等核心“卡脖子”技术，突破算力硬件核心瓶颈，持续提升自主研发与产业化能力，夯实全链条国产化的算力供给根基，从源头掌握算力发展主动权



绿色瓦特赋能劣势比特



《算力基础设施高质量发展行动计划》工信
部联通信〔2023〕180号

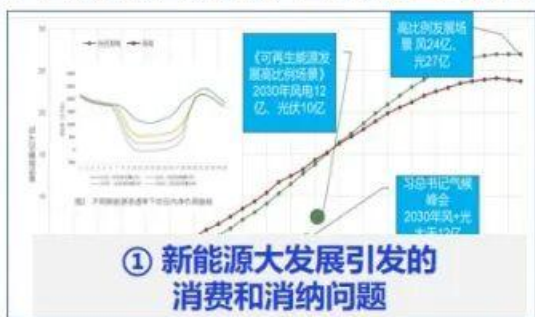
“算力” + “能源”

中国特色的算电协同之路：新增的绿色瓦特赋能劣势比特

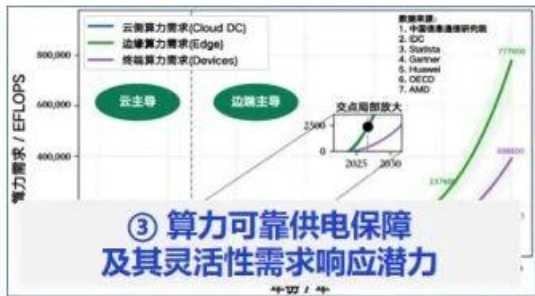
1.4 绿电电力与算力协同：中国特色路线（国家视角）



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY



② 碳中和（背后的强国路线）



中国的算电协同之路
(80%绿电要求)



中华人民共和国中央人民政府

国家发展改革委等部门关于印发
《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》的通知

“国家枢纽节点新建数据中心绿电占比超80%...鼓励其实现100%绿色电力消费”

—— 发改能源262号文

发改数据〔2023〕1779号
2026年《政府工作报告》

算电协同

绿电模式下：中国单位token的生成成本约为美国的一半

1.4 绿电电力与算力协同：中国特色路线（行业参与者视角）



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

修改自岳昊，蒋维娜

电网公司需保障电力供需平衡、新能源消纳 并建设新型电力系统

发电企业
卖出更多的绿电



根本需求：保障电力供需平衡
责任需求：促进新能源消纳
发展需求：新型电力系统建设

储能企业
参与更多的调度

算力用户要求高可靠、低成本、少碳排

Google Tencent

ByteDance
字节跳动

根本需求：算力供应可靠性
效益需求：成本优化
责任需求：绿色低碳发展



多方合作共赢

算力运营商追求电力可靠及经济运行



根本需求：电力供应可靠性
效益需求：用能成本降低
责任需求：PUE及能耗优化

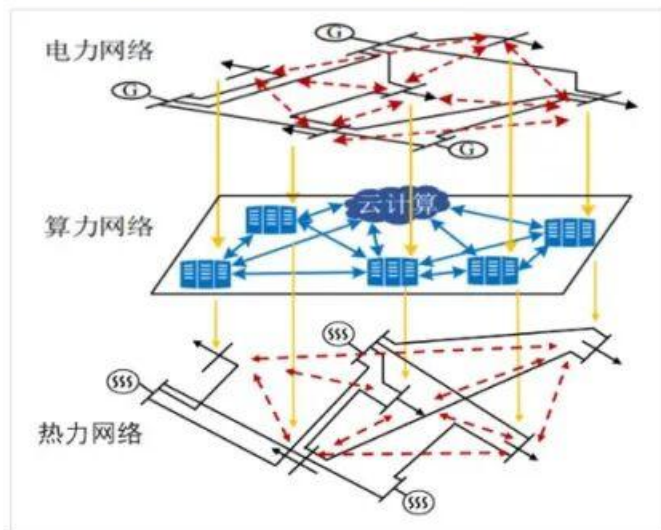
北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

- 算力-电力-热力协同
数据中心综合能源技术发展白皮书

18/110

1.4 算力-电力-热力协同：信息视角

**系统思维，跨界创新，三网协同赋能数据中心能效治理
关系碳中和下新型电力系统的建设，更加关系数字经济新质生产力的高质量发展**



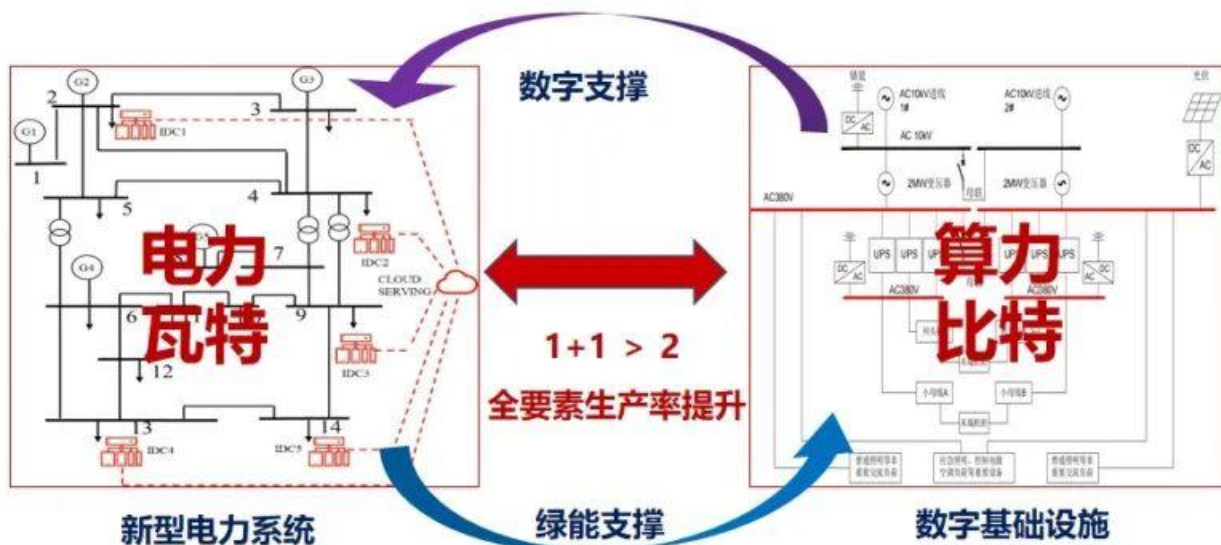
注：热力网络具有余热和冷却之意

1.5 算电协同的几个终极目标



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

- 绿电消费
- 综合能效
- 安全可靠



- ◆ 绿色发展
- ◆ 可靠性高
- ◆ 普惠共享

**强国战略：算力和电力基础设施优化布局、利用率均大幅度提升
供给侧和需求侧优化匹配、综合能效提升、清洁普惠发展**

1.5 算电协同的几个发展阶段

中华人民共和国中央人民政府

www.gov.cn

工业和信息化部关于印发《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》的通知——工信部通信〔2021〕76号

“广义算电协同”：含原有算力设施建设，节能降碳

“狭义算电协同”：绿电消费大于80%的算力设施

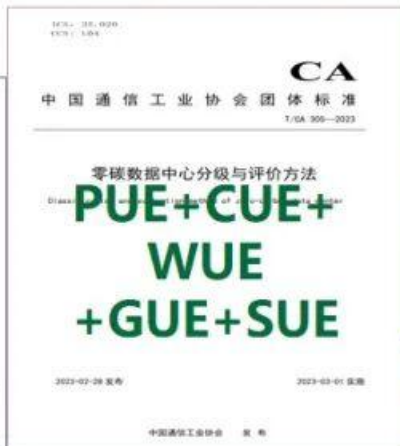
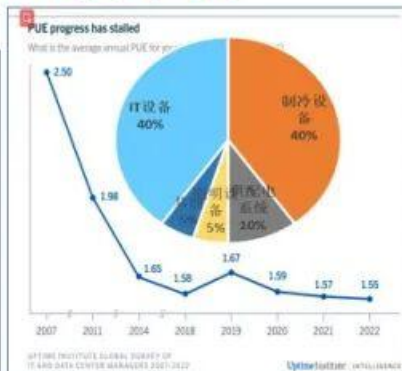
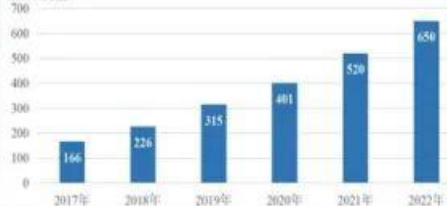
4. 慧服务

3. 绿不绿

2. 省不省

1. 有没有

单位：万架



1.5 算电协同的几个落地阶段



现有概念梳理



中国电促会《电力与算力协同发展蓝皮书（2024）》：

电力与算力协同发展内涵是以**新型电力系统与新型能源体系为支撑**，推动算力产业绿色供能、节能降碳；以**电力算力调度与市场协同为手段**，发挥算力资源的灵活调节和跨区互济能力，助力缓解电力供需矛盾；推进产业装备升级，以**算力赋能电力、以电力保障算力**，共同推动能源数字经济高质量发展。



南方电网《电力算力协同行动计划》：

开展“电算协同”十大行动：“4”类技术攻关、“2”类产品孵化和“4”大示范工程建设，加速构建电力与算力协同规划、建设、调度、交易的新基建模式，以“充裕瓦特”支撑“规模比特”，以“高效瓦特”助力“能效比特”，以“清洁瓦特”催生“绿色比特”，进一步推动电力与算力深度融合，服务数字经济高质量发展。



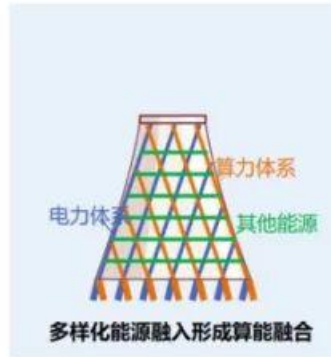
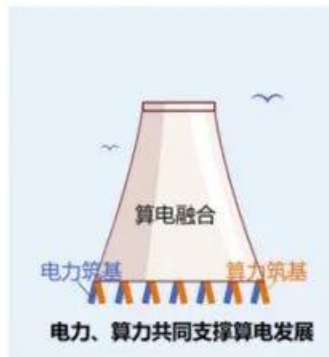
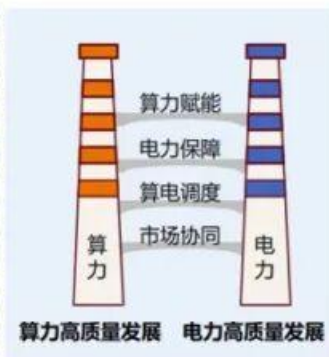
北京理工大学《算力-电力-热力协同:数据中心综合能源技术发展白皮书》：

“算力-电力-热力协同的数据中心综合能源，以充分挖掘数据中心上游多类能源供应、中游计算任务及灵活性资源、下游制冷和余热回收的互动潜能，提高能源利用效率和可再生能源消纳能力，降低运行成本和环境影响。”



能源算力融合（哈密）研究院理事长陈学义：

介绍了能源算力融合的发展构架，指出当前正处于能源产业大变革的时代，当前的任务是将**数据、算力、电网与能源**储存这四个关键领域紧密结合，以实现资源共享和技术融合，进而有力推动算电协同这一国家重大战略的深入贯彻与实施。



算电协同：

两个领域

- 算力赋能电力
- 电力支撑算力
- 算、电发展相对独立
- 通过平台市场有机协调互动

算电融合：

一个领域

- 算、电两个领域紧密结合，形成了一个新的产业
- 技术渗透融合
- 产业边界模糊化，彼此功能互补
- 算力电力经济高质量发展

算能融合：

一个领域

- 其他能源进一步融进算电体系
- 其他能源包括氢能、地热能、核能、天然气等
- 算、电、能、碳、数等市场体系相互打通
- 算力能源经济高质量发展

引自：中国信通院

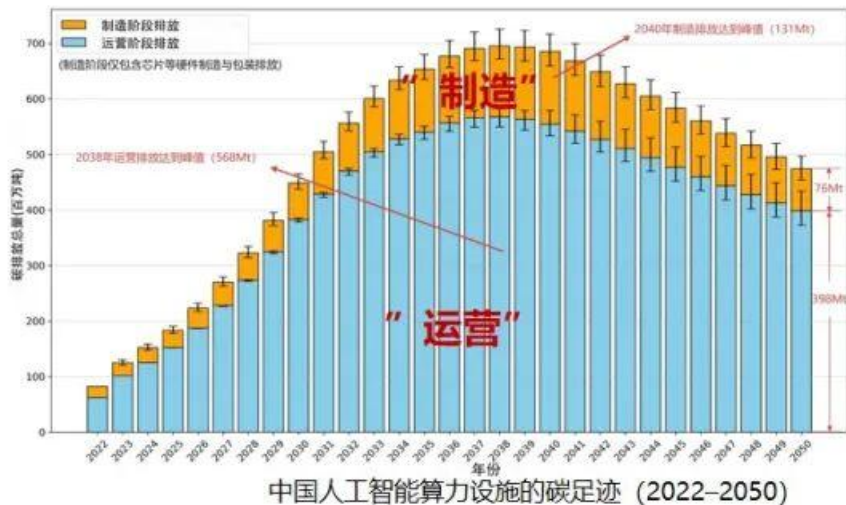


目 录

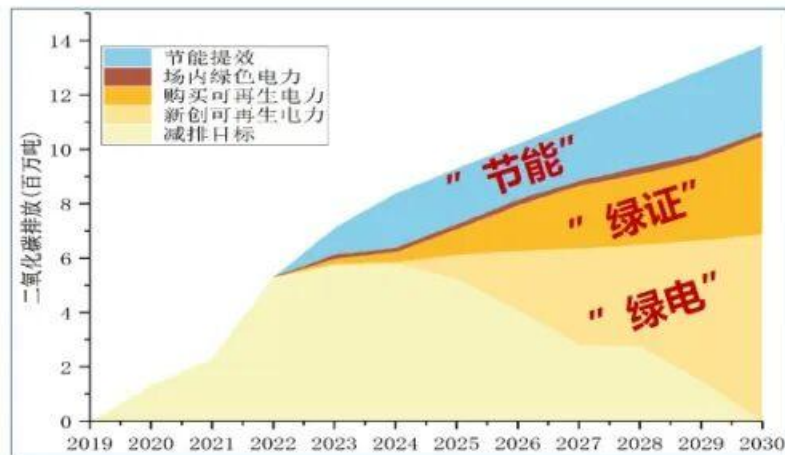
1. 算电协同背景：交叉发展协同共赢
2. 算电协同技术：提质增效之四部曲
3. 理论回归实践：多主体博弈经济账
4. 算电协同展望：发展对策思考建议

2.0 算力设施的减排路线

全生命周期看，算力设施“运营”阶段排放大于“制造”阶段（左图）。
 需要结合“节能低碳与绿电、绿证等减碳”措施实现算力设施的可持续发展（右图）



AI算力设施预计在2038年达到峰值(695Mt)并在2050年降至474Mt; 制造排放平均占比约18%

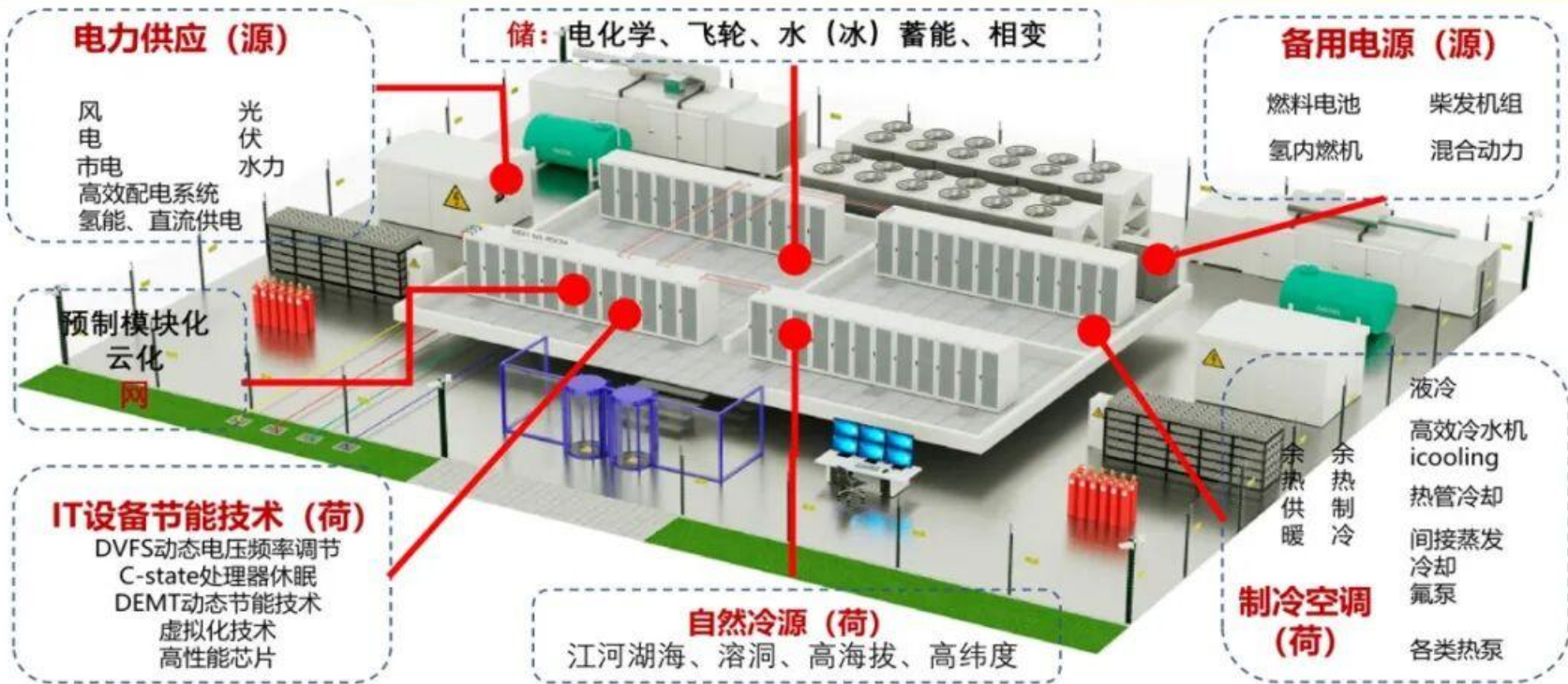


需结合节能低碳、场内绿色电力等方式实现减排
 预计节能低碳路径的CO₂减排贡献为8%-14%

数据中心的绿色化、高效化、经济化



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY



节能1.0：设备级“能量数量”上的“高效节能”遇到“天花板”

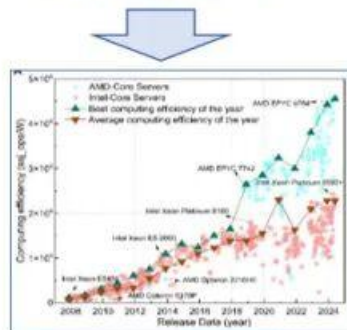
热一律视角：供电-计算-制冷



算力设施能源转换图示

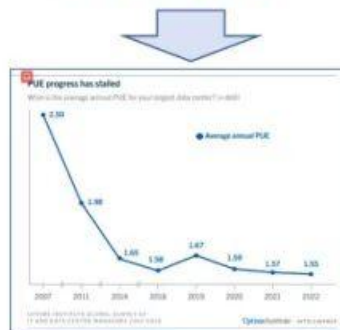
设备级能效节能

①计算端：
功耗比/算效 CE



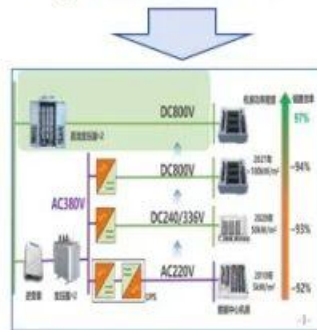
计算功耗比提升数十倍

②制冷端：
COP / CLF/PUE



PUE从2.0以上降低到1.42

③配电端：
 η /PLF:AC $\rightarrow$ DC



AC89% $\rightarrow$ DC96%

1.0 的节能：供配电（基尔霍夫定律等）-算存运（量子宏观效应等）-热环控（热力学第一定律等）
局部链条上单设备的局部能效的提升，不少设备能效即将逼近现有技术路径“天花板”

节能2.0：系统级 “能量数量及品位” 上的 “高效节能”

热一律视角：数量
供电-计算-制冷

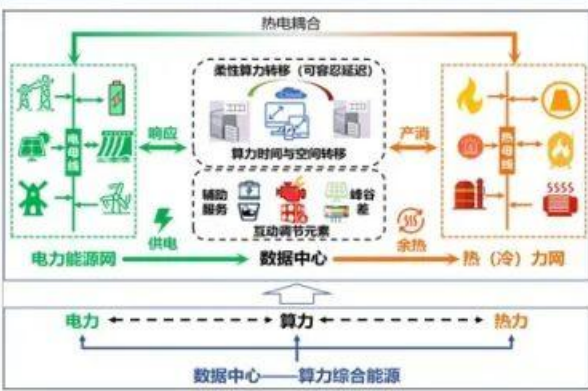


数据中心能源转换图示 (热一律/数量/分块)

燃料电池，支持清洁能源替代。

(六) 加快数字基础设施节能降碳。推进算力、通信基站和机房等基础设施节能降碳改造，推动设备选型、制冷架构、机柜功率密度、系统智能运行策略等优化升级，持续提升高算力能效和单位信息流量能效。加强算力基础设施项目评估论证和源头把关，严格能效利用效率等能效标准准入管理，提高可再生能源消费和余热资源回收利用水平，支持发展绿色低碳、集约循环的算力设施。

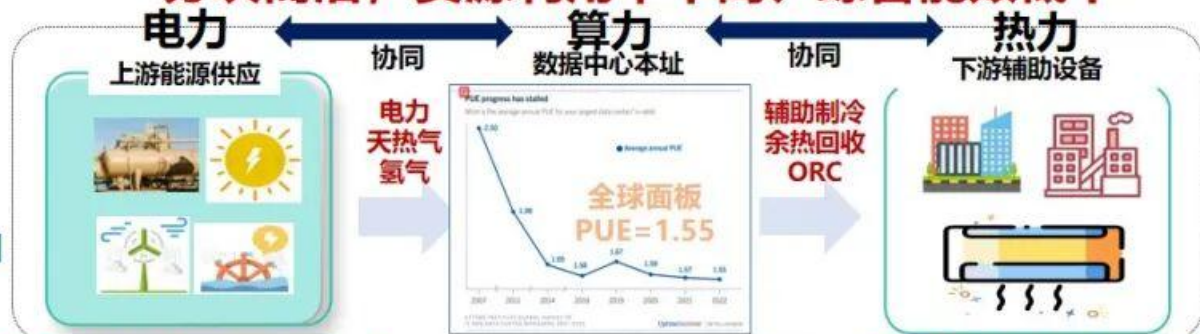
热二律视角：品位
热电联产/梯级利用/余热回收



数据中心综合能源源示意(热二律/品位/系统)

2.0 的节能：基于热力学第二定律：梯级利用/热电联产(天然气、生物质等)-余热回收 (热泵、吸收式制冷等) 多链条上多设备的系统级能效的提升，综合能效也即将逼近系统能效天花板

分块而治，资源利用率不高、综合能效低下



源头供电碳排放高

化石能源电力为主:

581g CO₂/kWh

柴油备用:

1.58x10⁶ LCO₂/L

制约碳中和愿景的实现



下游余热排放浪费



制冷系统耗电占比

老旧高能耗精密空调

制冷系统占到**40%**左右电力

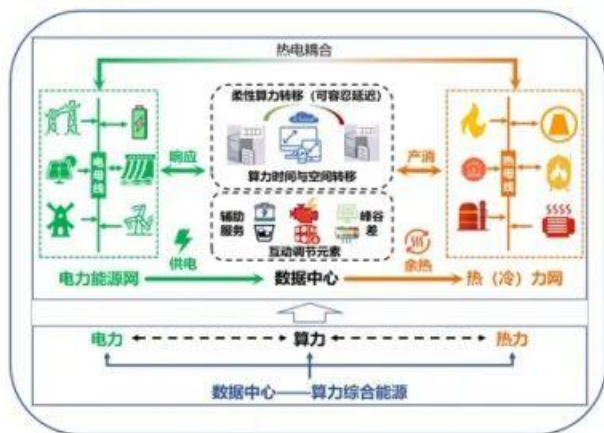
中低温余热回收利用

能效联动 (负载占比与负荷需求匹配)

集约化的动态产消新模式

节能2.0：系统级“能量品位”上的“高效节能”

热二律视角：
热电联产/梯级利用/产消者



系统级能效节能

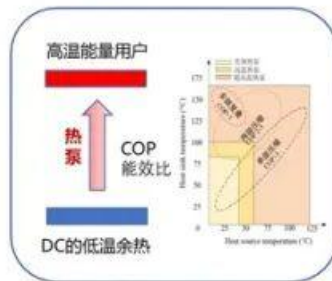
①热电联产：
天然气热电联产



大于85%

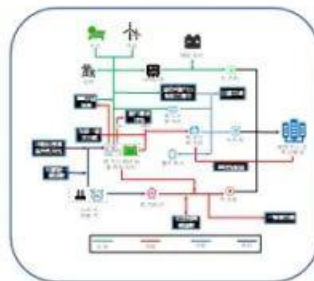
①150.5-116.7

②余热回收：
热泵



PUE_p 可以 < 1
余热回收系数

③综合能源
多能互补



节能减排

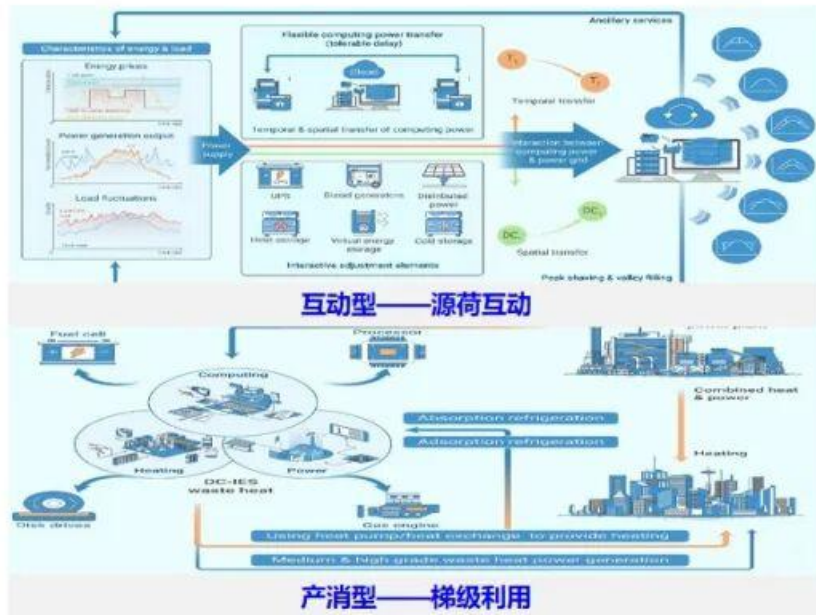
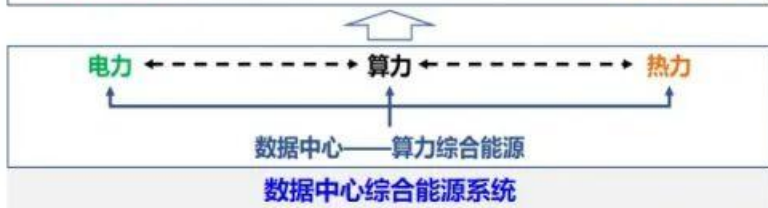
2.0 的节能：基于热力学第二定律：梯级利用/热电联产(天然气、生物质等)-余热回收(热泵、吸收式制冷等) 多链条上多设备的系统级能效的提升，综合能效也即将逼近系统能效天花板

2.2.1 节能低碳1.0→2.0: 算力综合能源系统——概念

提出构建算力、电力、热力协同的数据中心综合能源系统 (DC-IES) 模式 (左图)。

一是挖掘数据中心内部大量的灵活性资源, 构建算力网与电力网**互动型DC-IES**模式, 以在平抑新型电力系统电网波动、提升可再生能源消纳能力的同时, 优化数据中心的利用率及综合能效;

二是利用中低温热能高效利用的手段, 挖掘数据中心邻域用户的冷、热、电的综合能源服务的空间, 构建算力网与热力网耦合的**产消型DC-IES**模式, 提升数据中心能量梯级利用水平, 实现能效的提升及增量收益

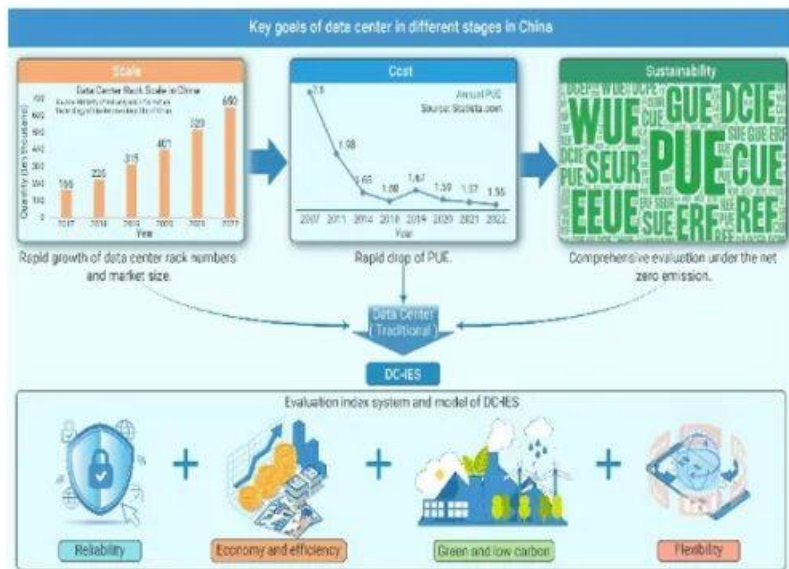
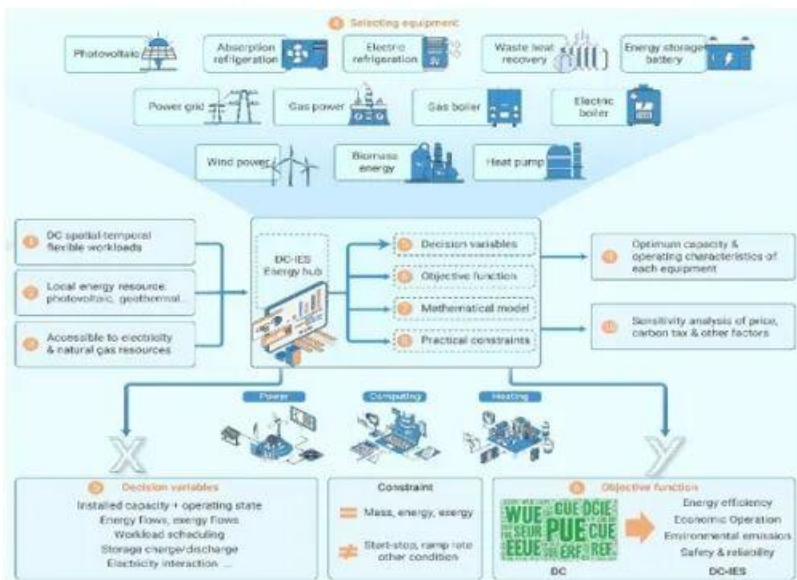


2.2.1 节能低碳1.0→2.0: 算力综合能源系统——模型/评价



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

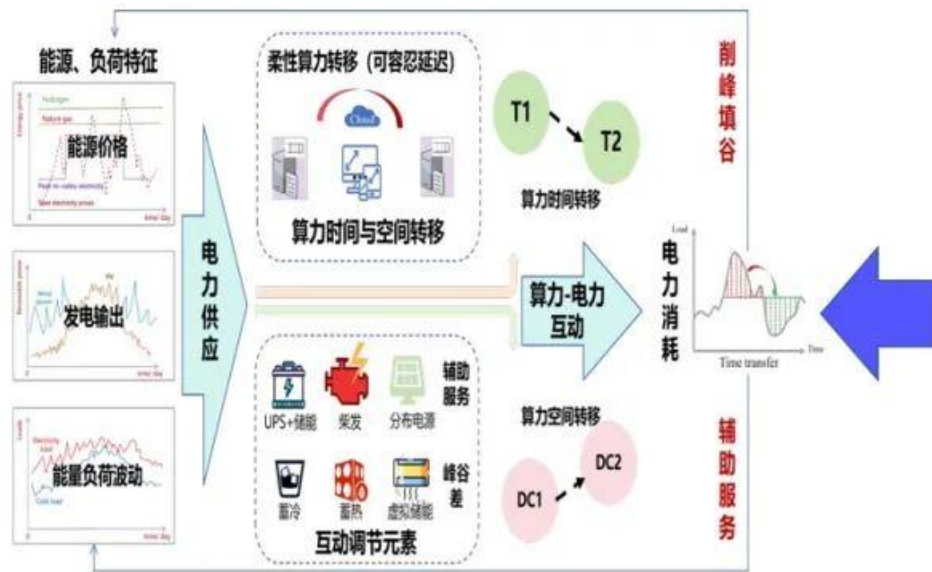
不同于传统数据中心较为明晰的系统设计及运维模式，DC-IES内部多变量、非线性、强耦合以及多时间尺度和不确定性的挑战尤为突出。针对此问题，提出了DC-IES“一步式”拓扑设计、容量规划及运行优化的优化设计方法（左图）。



分析了电能利用效率（PUE，Power Usage Effectiveness）指标在评价DC-IES产消性、绿色性以及灵活性等方面存在的局限性，提出了构建DC-IES综合评价体系的方向及指标（右图）

2.2.1.1 算电协同型——算力业务时空迁移

灵活调节计算任务，促进可再生能源消纳，降低用能成本和碳排放是实现数据中心绿色、高效和经济的重要途径。



交互性计算任务：在线工作负载

- 主要包括电商业务 (交易、付款、网页请求等)

- 需要实时响应，时间延迟敏感

网页服务

流式计算

电商业务



延迟容忍任务：离线工作负载

- 主要包括计算任务、算法服务、数据统计和数据处理
- 处理时间长，对数据和资源依赖性强，异地转移难度大
- 时间维度灵活性：可在截止时间前推迟执行

数据库服务 (SQL)

大语言模型训练

机器学习

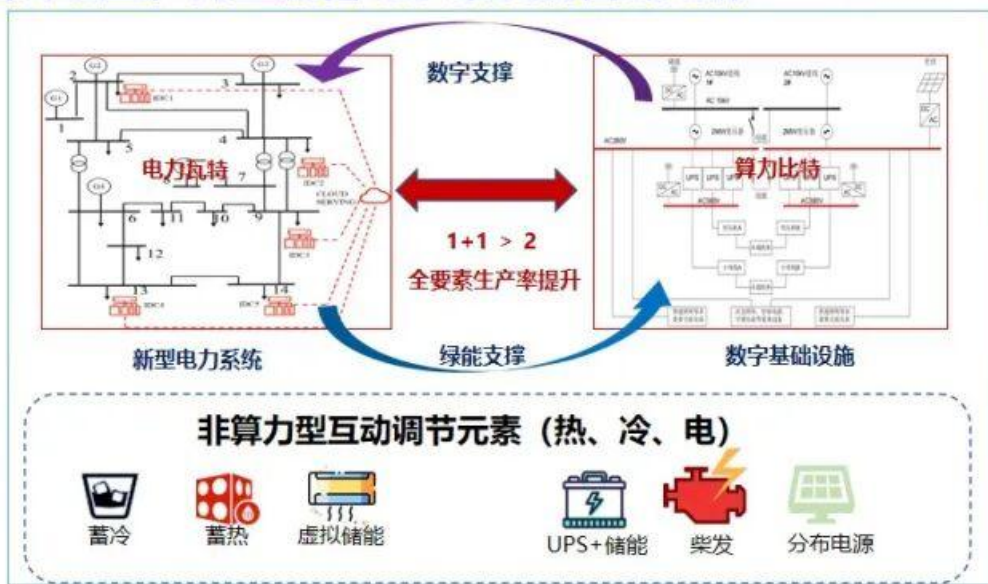
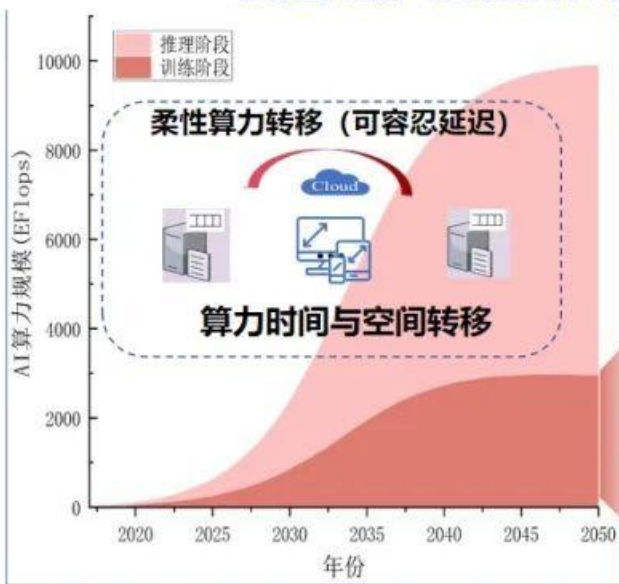


计算任务侧：数据中心由于其独特的运行特性，通过离线/在线工作负载的灵活调控可以调节其用电负荷的时间分布，具有用能侧调节灵活性。

2.2.1.1 算电协同型——多元柔性资源的灵活性



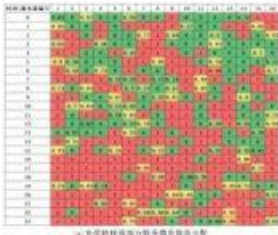
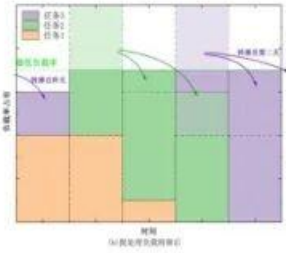
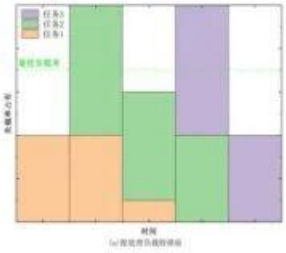
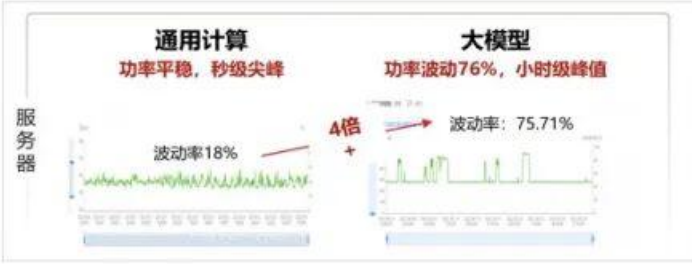
以训练为主的算力需求，具有时空柔性的灵活性；
加之内部可观的制冷、蓄冷装置，海量的蓄电、柴发的备用电源



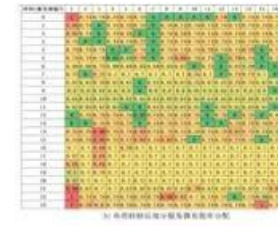
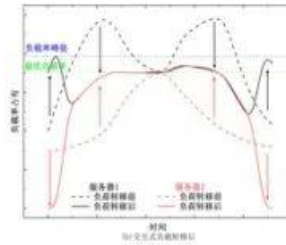
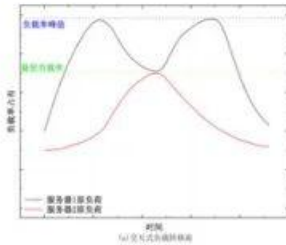
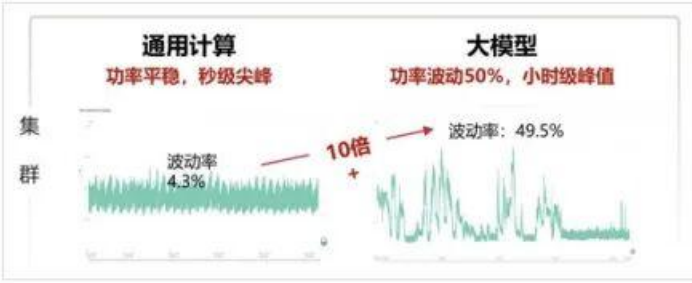
赋予数据中心多元柔性资源参与新能源电网多级响应的可调能力和价值。

2.2.1.1 算电协同型——算力业务时空迁移

负载突增突减，智算AI集群计算与集群通讯模式，导致智算中心功率不再是一个稳定负载，集群小时级波动率是云计算的10倍，高达50%。



批处理负载转移原理



交互式负载转移原理

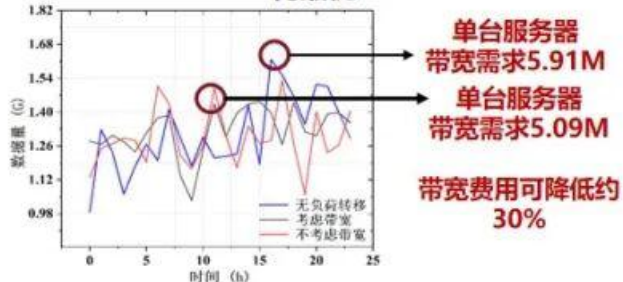
2.2.1.1 算电协同型——算力业务时空迁移

负荷调节之必要性



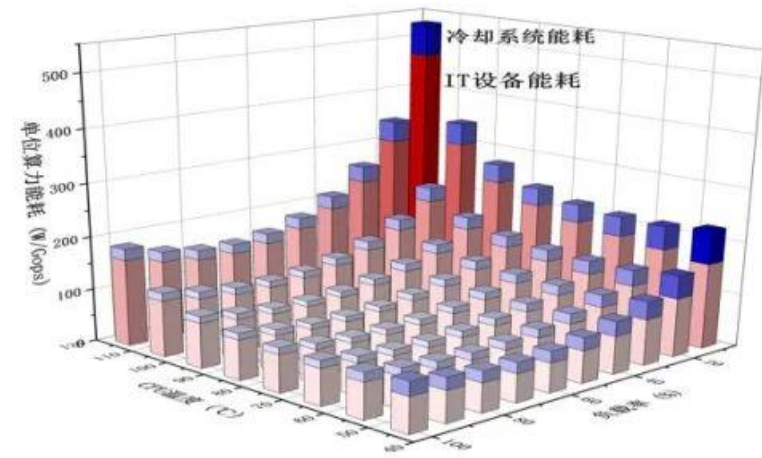
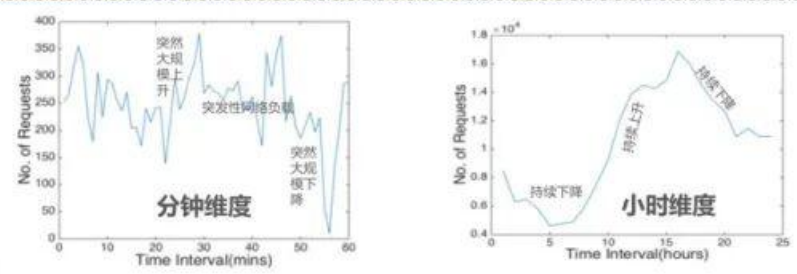
华为1288H V5
Intel Xeon Platinum 8280
UNIWIDE RC2212
Intel(R) Xeon(R) Silver 4210

调节负载率时空分布可使单位算力能耗及功耗最优



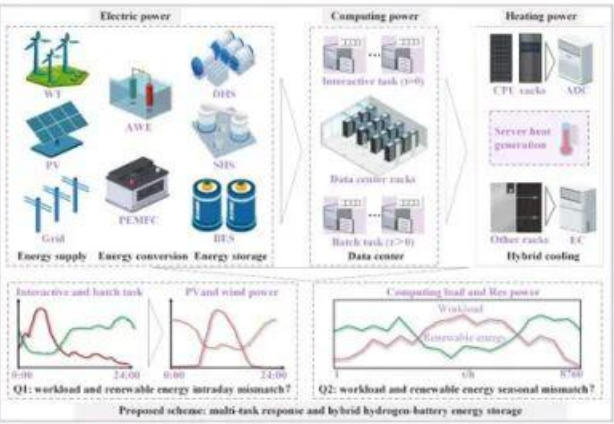
单台服务器
带宽需求5.91M
单台服务器
带宽需求5.09M
带宽费用可降低约
30%

转移负荷降低带宽需求

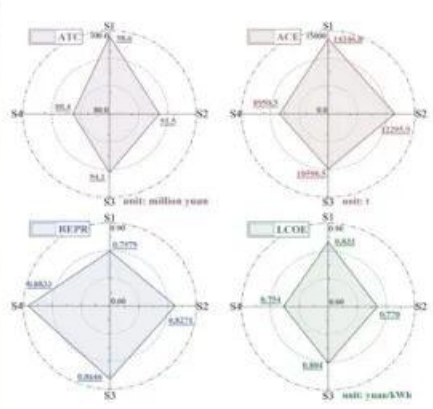


2.2.1.1 算电协同型——算力业务时空迁移+长短时储能

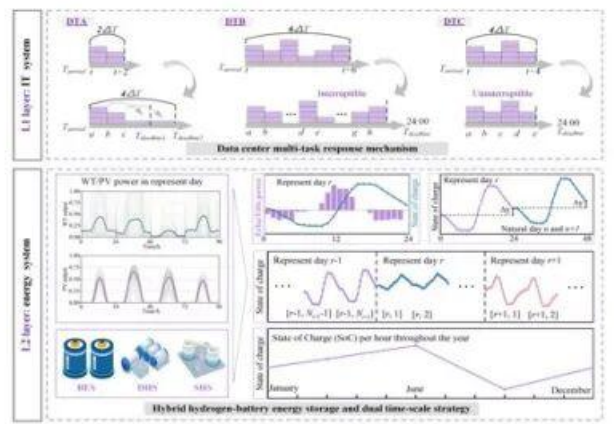
为解决数据中心工作负载与可再生能源电力的季节性不匹配，根据工作负载特性制定多种计算任务响应机制，利用日内-日间状态叠加策略，开发了集成多任务响应机制和长短期氢-电池储能的双时间尺度优化模型



数据中心能源系统架构



系统指标的比较分析

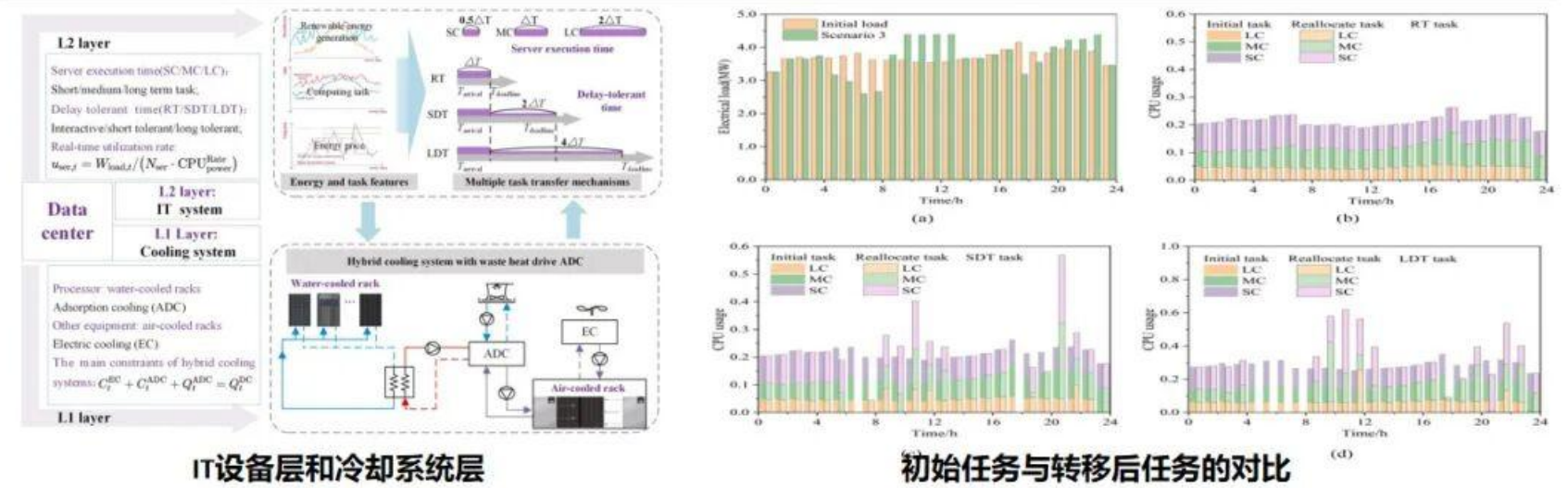


多任务响应机制和混合储能多时间尺度建模策略

所提出的方案考虑了多任务响应机制和长短期氢-电池储能，实现年化总成本、年碳排放量和平准化用电成本分别降低了 11.5 %、37.6 % 和 9.4 %，可再生能源渗透率提高了 8.5 %，整体性能优于传统模式

2.2.1.1 算电协同型——算力业务时空迁移+风光不确定性

为了解决数据中心时变任务与可再生能源不确定性电力的不匹配，提出集成短期、中期和长期计算任务以刻画数据中心计算任务响应机制，建立数据驱动分布鲁棒优化模型实现数据中心算力电力的协同优化。

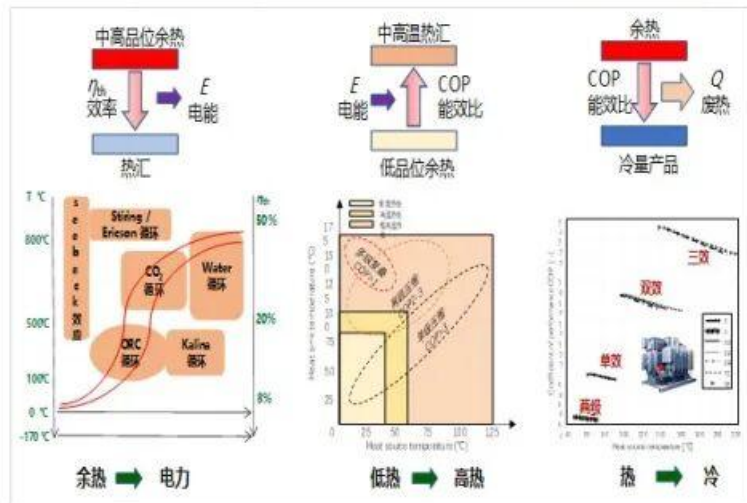


所提议融合长中短期计算任务和可再生能源不确定性的数据中心两阶段分布鲁棒优化模型，可降低数据中心总成本和CO2排放量23.2%和28.4%。此外，可再生能源弃风弃电降低了7.4%，电池储能装置最优配置容量可减少26.5%。

2.2.1.2 算热耦合型——算力余热再利用

算力-热力耦合 Coupling of computing and heating

指利用余热回收技术实现数据中心低品位热能的再利用，或利用低温余冷资源实现与数据中心冷却的耦合。

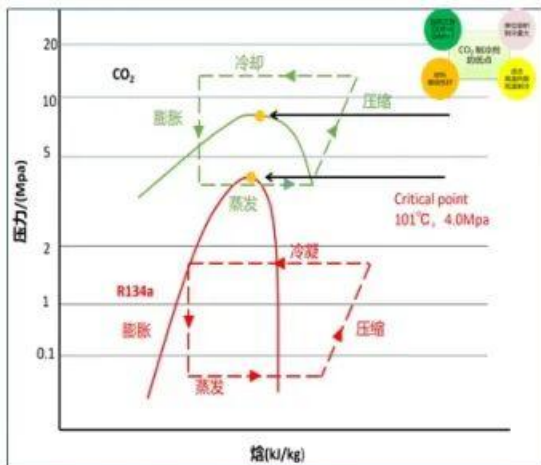


注：**低品位热能**指可开发利用的品质较低的余热，包括液体、乏汽、烟气等。**余冷资源**包括自然冷源、LNG的汽化冷能、液化空气的冷能等。**余热回收的方式**一版包括余热发电、余热供热、余热制冷等。

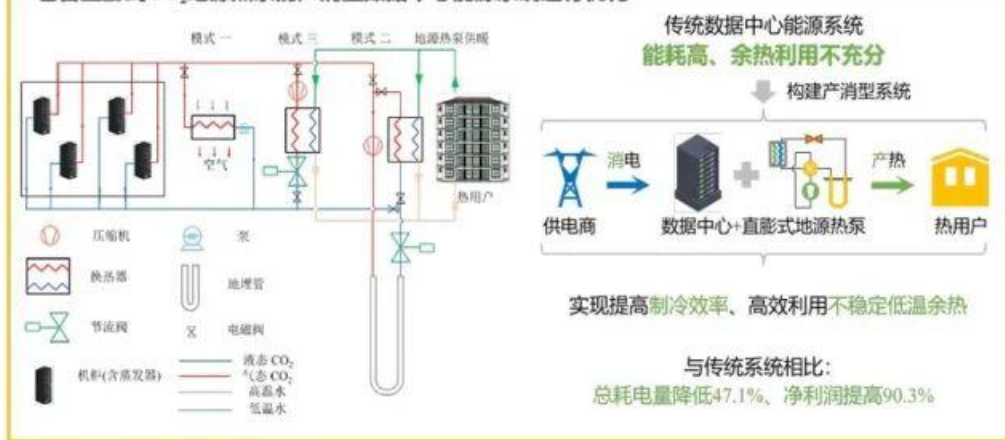
数据中心低品位余热再利用的方式：液冷+各类热泵；吸收式制冷/吸附式制冷，或成为未来趋势

2.2.1.2 算热耦合型——基于CO₂直膨热泵的余热回收

CO₂ 优良的热力学性能：相比于同条件的制冷剂，压力高6-12倍、比容低5-35倍、粘度低4-16倍，表面张力低3-100倍。**单位容积制冷量大，制冷量易于调节，压缩比小，换热器效率高**

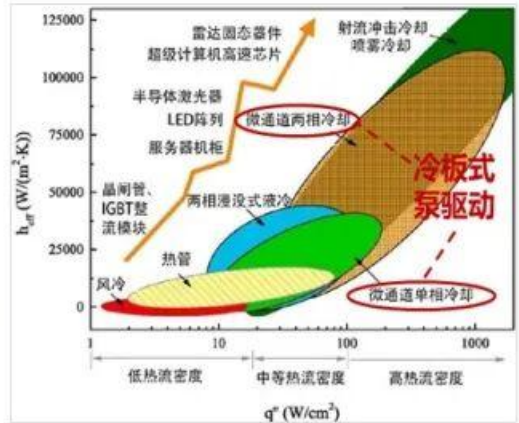
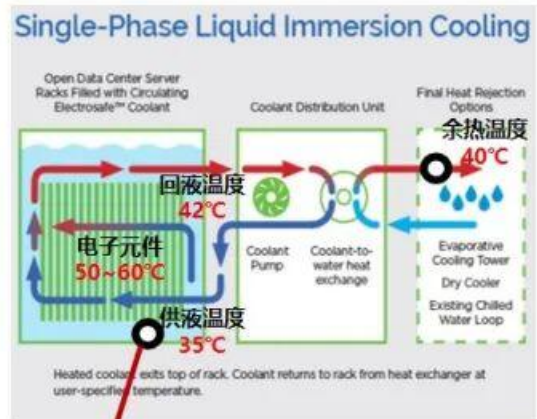
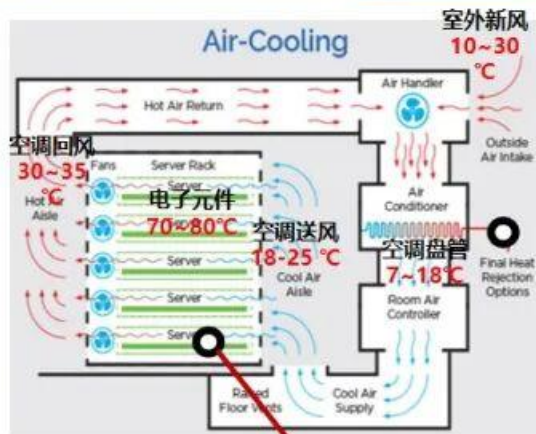


包含直膨式CO₂地源热泵的产消型数据中心能源系统运行优化^[1]



利用土壤源地热的长时储能特性，构建了基于**CO₂直膨地源热泵**的**产消型数据中心能源系统**，实现最大程度利用自然冷却，设置采用空气直接冷却、直膨式CO₂地埋管冷却和建筑供暖末端冷却三种模式。

2.2.1.2 算热耦合型——风转液的余热利用优势



更高的二次侧温度

$$COP = \frac{q_1}{w_0} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$



	蒸发侧	温度提升	理论COP
空气源		0℃→60℃	5.10
地源		15℃→60℃	6.22
液冷余热		40℃→60℃	14.8

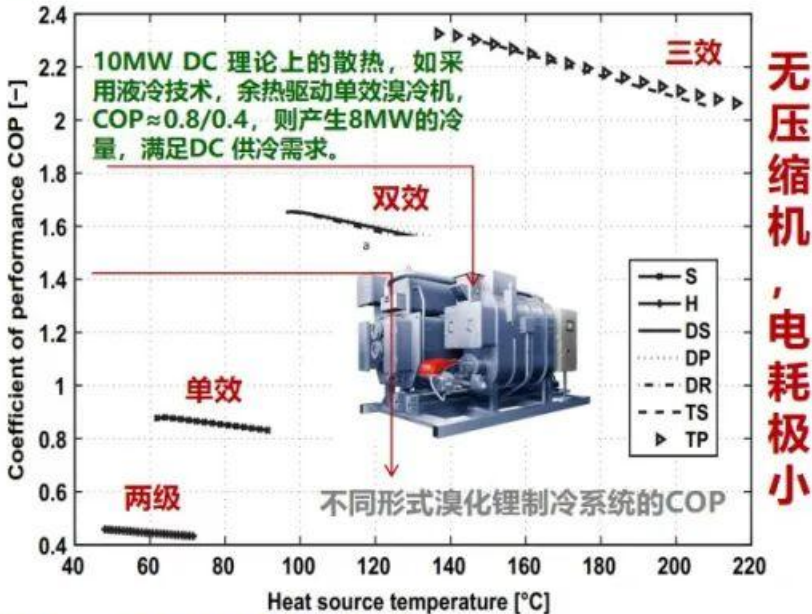
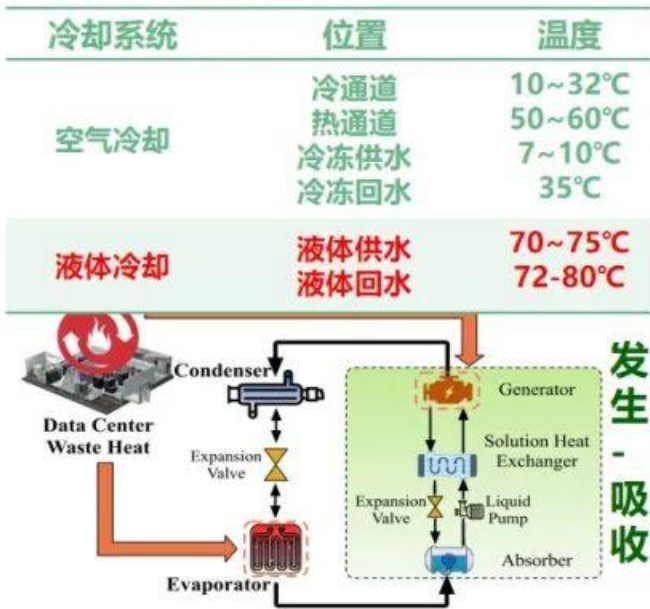
图片来源：行业分析报告；孔庆一，OPPO

高密算力引发液冷大规模应用，液冷的部署将大幅度提升余热回收的能效

[1]王永真,宋阔,韩恺,等.算力-电力-热力协同视角下数据中心高密机柜全栈联动研究[J].中国科学:技术科学,2025,55(02):213-232.

2.2.1.2 算热耦合型——液冷+吸收式制冷

液冷技术给数据中心余热吸收式/吸附式制冷的条件。较高温度的IT冷却液，可以驱动单效溴冷机实现直接制冷。油田、石化、钢铁的余热可以驱动烟气型溴化锂制冷。



液冷+溴化锂制冷=免费的冷量

2.2.1.2 算热耦合型——液冷+高温蒸汽热泵



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

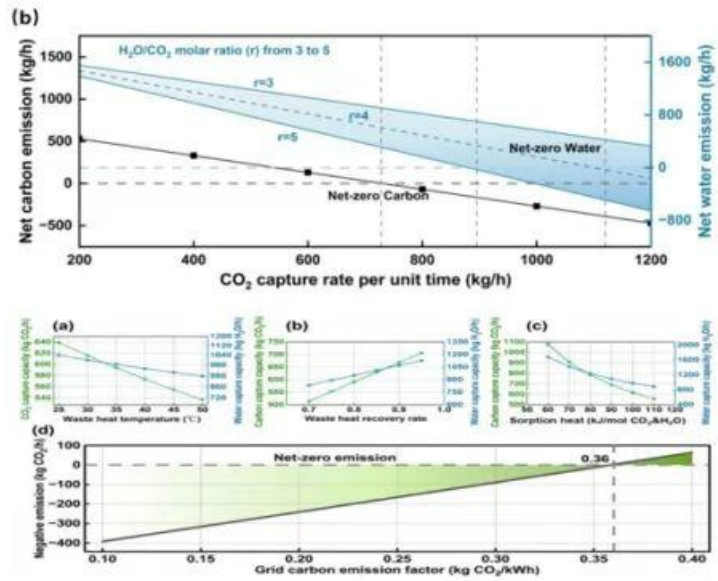
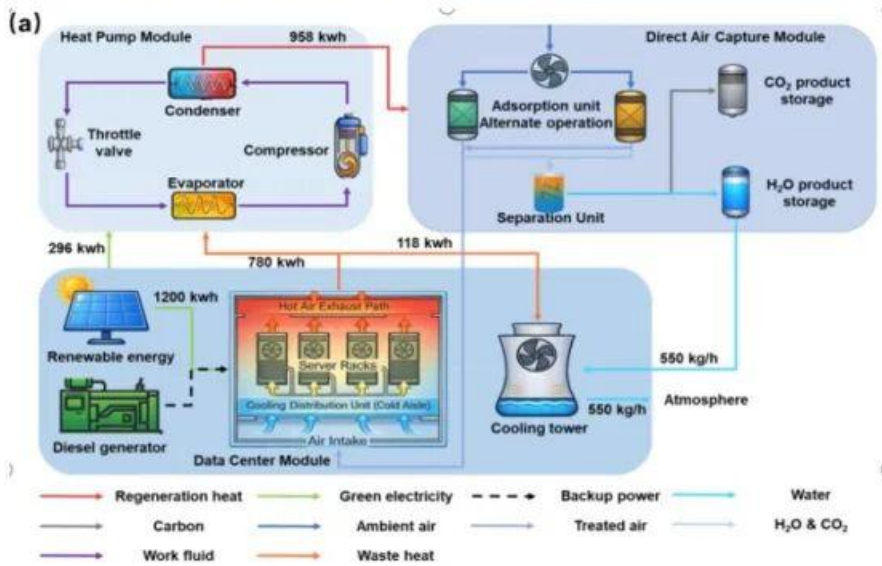


- 热泵COP: > 3.5
- 热源温度: 50~70 °C
- 热泵形式: 余热回收
- 热泵工质: 低GWP
- 蒸汽温度: 130 °C以上
- 蒸汽压力: ~ 0.4 MPa
- 单机功率: ~2 MW
- 行业情况: 几乎空白

液冷+高温热泵=大量的蒸汽需求 (引自 北理工-姜玉雁教授)

2.2.3 打造零水零碳算力中心

直接空气捕集 (DAC) 作为一种新兴的负排放技术，可成为保障数据中心实现碳水净零排放的兜底解决方案。
本研究提出一种将直接空气捕集技术与数据中心运营相耦合的策略，利用数据中心产生的余热为直接空气捕集的解吸过程供能。该方法既能实现余热的高效利用，又能同步降低数据中心的水耗与碳排放。



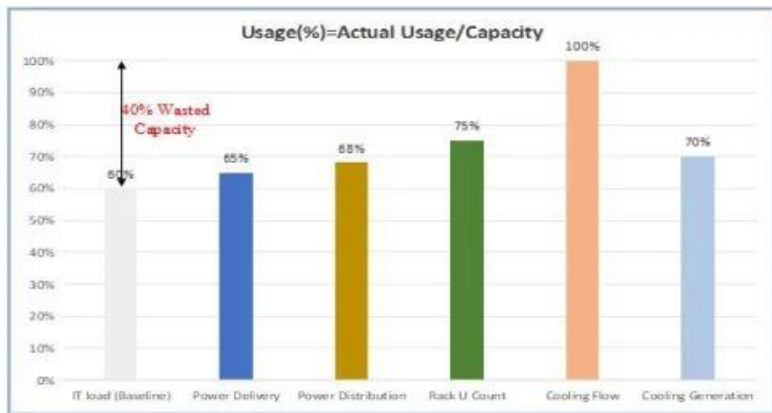
当电力排放因子为 0.36 千克二氧化碳 / 千瓦时，依托现有直接空气捕集吸附容量即可实现数据中心的零碳运营；而当直接空气捕集技术的水碳吸附比为 4 时，需捕集约 1100 千克二氧化碳才能实现数据中心的水平衡。

2.3 节能低碳 3.0：规划设计 → 运行优化

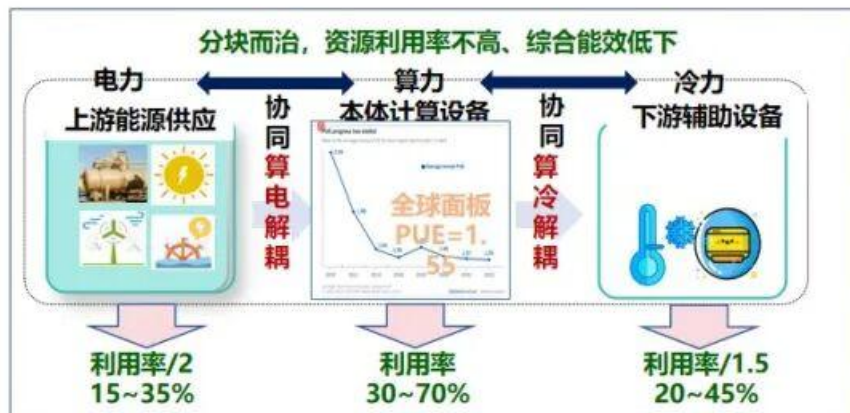


热力学指明了算力设施规划设计阶段节能的方向和天花板——设计规划

但为保障可靠性，运行阶段“违背了”算力设施各设备在系统规划阶段的“最优解”：
导致在能量层面的资源利用不匹配性和多重的冗余运行，且设备自身能效直接呈现多元的非线性特性；



算力设施综合能源示意



算力设施综合能源示意

需要从运行阶段，思考设备效率之间的动态匹配关系，实现多系统之间的多目标互动

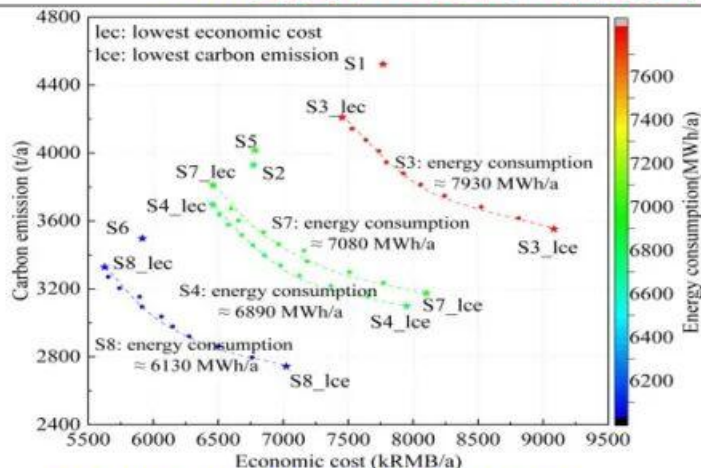
2.3 节能低碳 3.0：算效-电效-热效的动态匹配-单体园区



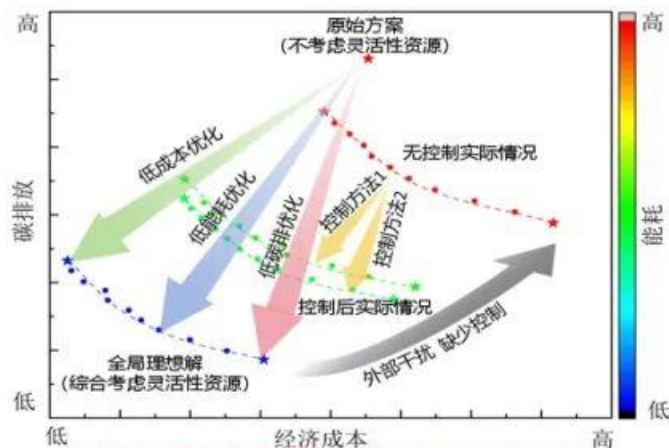
北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

如何统筹安排（规划和调度）？让不同目标和工况下各设备组合出力落在系统最优的能效匹配可行域
同时，要考虑设备容量和数量的组合及多维的非线性约束——**最高效、最低碳、最经济设计和运行**

基于算效-电效-热效协同的多目标容量规划与运行调度方法



算效-电效-热效协同的多目标优化潜力



算效-电效-热效协同多目标优化示意

以单体算力设施为规划调度的结果表明（左图）**算-电-热协同的运行模式**比原始方案能够**降低**该算力设施**23.2%的碳排放、16.9%的能耗及21.3%的经济成本**。**且耦合度越高，综合效益越大**（右图）

2.4 节能低碳 4.0 算力时空跨区域调度与匹配

节能低碳4.0：打破时空错配 = 区域级“规划布局”上的“高效利用”

东数西算+全国一体化算力网

系统级能效节能

东数西算图示

算力供需错配



算网协同不足



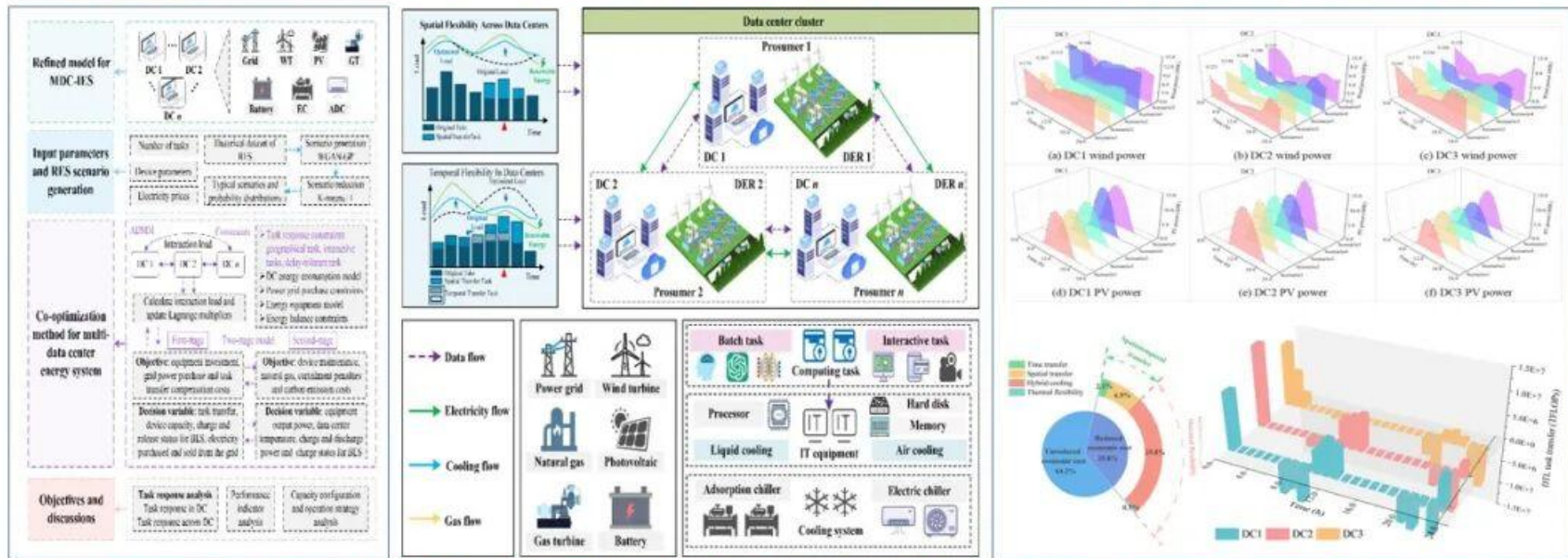
市场机制有待完善



耦合能源禀赋及芯片技术的劣势
导致算力利用率 < 60%，算力排放高 0.5 kg/kWh，算力价格贵 等系列问题

2.4.1 节能低碳 4.0 算力调度与匹配: 多主体算力时空匹配

可再生能源资源地域分布不均, “东数西算” 多数据中心算力、能源双向时空协联合优化促进绿色能源利用。

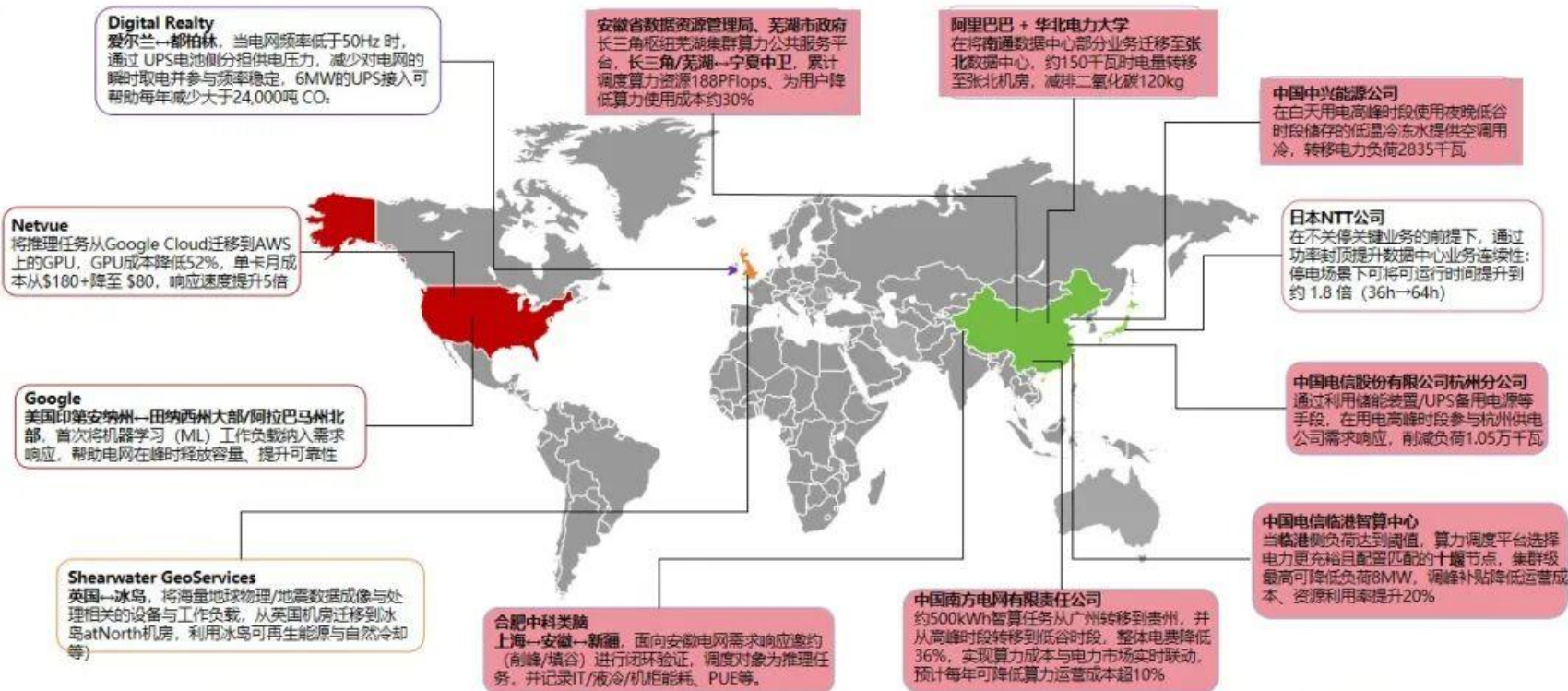


充分考虑数据中心任务时空响应特性和可再生能源出力特征的多数据中心能源管理为可再生能源消纳和低碳运行提供重要路径。所开发能源管理框架实现系统总运营成本降低30%以上, 减低了可再生能源弃风弃光现象。(投稿)

目 录

1. 算电协同背景：交叉发展协同共赢
2. 算电协同技术：提质增效之四部曲
3. 理论回归实践：多主体博弈经济账
4. 算电协同展望：发展对策思考建议

3.1 算电协同全球行动 (起步晚、速度快)



中国还有：中国移动，中科类脑，中金数据、世纪互联、国电投、华为、商汤、海兰云等等案例

3.1 算电协同国际行动 (相关案例)

Google

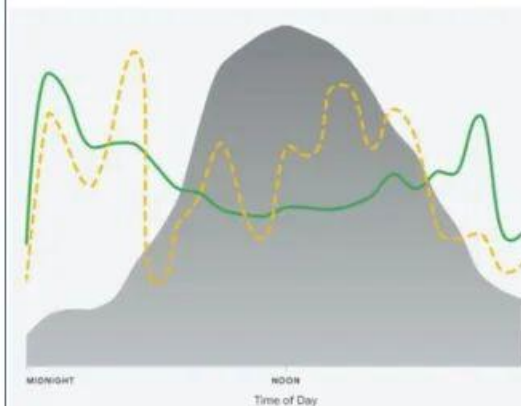
基于碳强度的算力负荷调节

计算全天碳排放强度，优化调节算力负载到碳强度更低的时间段和地区。



Baseline versus Carbon-aware Load

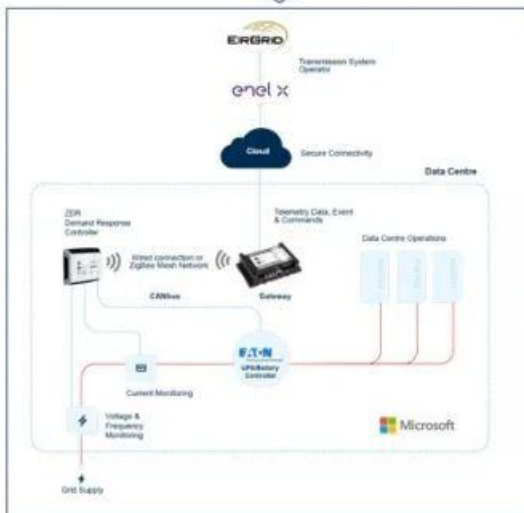
Baseline Load Carbon-aware Load Carbon Intensity



Microsoft

数据中心参与电网辅助服务

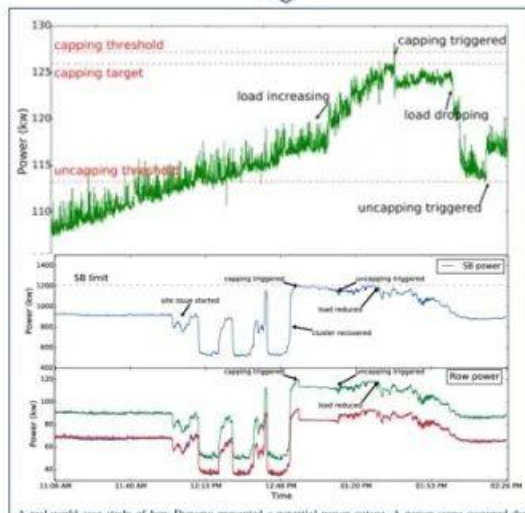
利用数据中心的电池 (UPS)，为电网提供调频服务。



facebook

数据中心参与电网辅助服务

对服务进行优先级分类，弹性压缩服务器用电。



3.1 算电协同我国行动（示范工程）

2024年12月13日，在2024绿色网格算力论坛上，中国信通院联合中国通信标准化协会绿色网格标准推进委员会发布了“算力与电力协同”典型案例名单。

算力与电力协同典型案例名单（设计阶段）

序号	项目名称	申报单位
1	世纪互联乌兰察布源网荷储一体化项目	北京世纪互联宽带数据中心有限公司
2	中国联通三江源绿电智慧融合示范园	联通（青海）产业互联网有限公司 数字广西集团有限公司
3	来宾新能源数据中心项目	广西壮族自治区大数据发展局 广东省电信规划设计院有限公司
4	阿里云张北数据中心	浙江阿里巴巴云计算有限公司 北京清源新能投资有限公司
5	中关村科学城数字能源城市综合体	国网北京海淀供电公司
6	直接利用海洋清洁能源的海底数据中心	深圳海兰云数据中心科技有限公司

算力与电力协同典型案例名单（运行阶段）

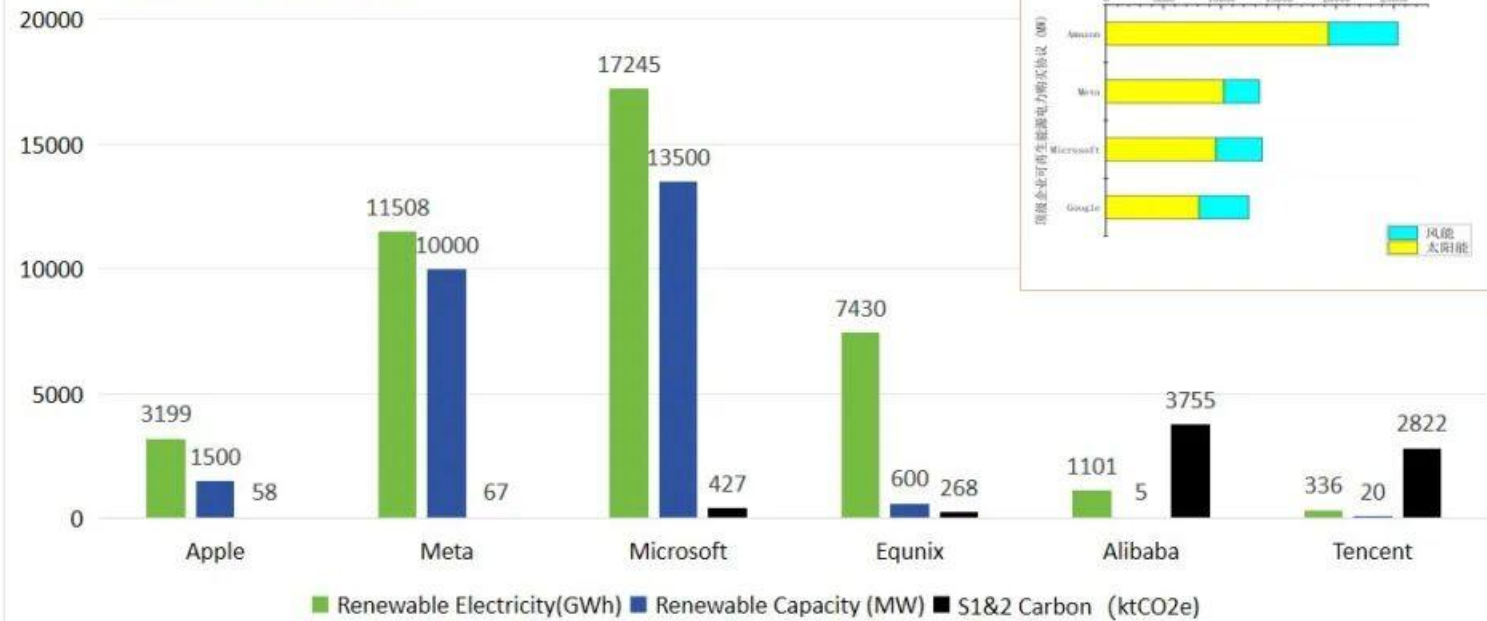
序号	项目名称	申报单位
1	怀来合盈大数据产业园项目	北京中科合盈数据科技有限公司
2	杭州泛亚运“源网荷储”能源互联示范区	国网浙江省电力有限公司杭州供电公司 中国移动通信集团浙江有限公司杭州分公司
3	世纪互联苏州市太倉大数据产业园项目	中能智新科技产业发展有限公司 北京世纪互联宽带数据中心有限公司
4	绿算创新联动电力 助推鹏城极速先锋建设	中国电信股份有限公司深圳分公司 深圳供电局有限公司
5	中国移动（湖南株洲）数据中心	中国移动通信集团湖南有限公司

甘肃庆阳“东数西算”源网荷储一体化智慧零碳大数据产业园
中国移动（甘肃·庆阳）数据中心、庆阳联通数据中心园区

贵阳、安徽、上海、青海、新疆、内蒙……等等
腾讯，阿里，华为，移动，联通，电信，等
国网、南网、国电投、国家能源、中能建……诸多民企

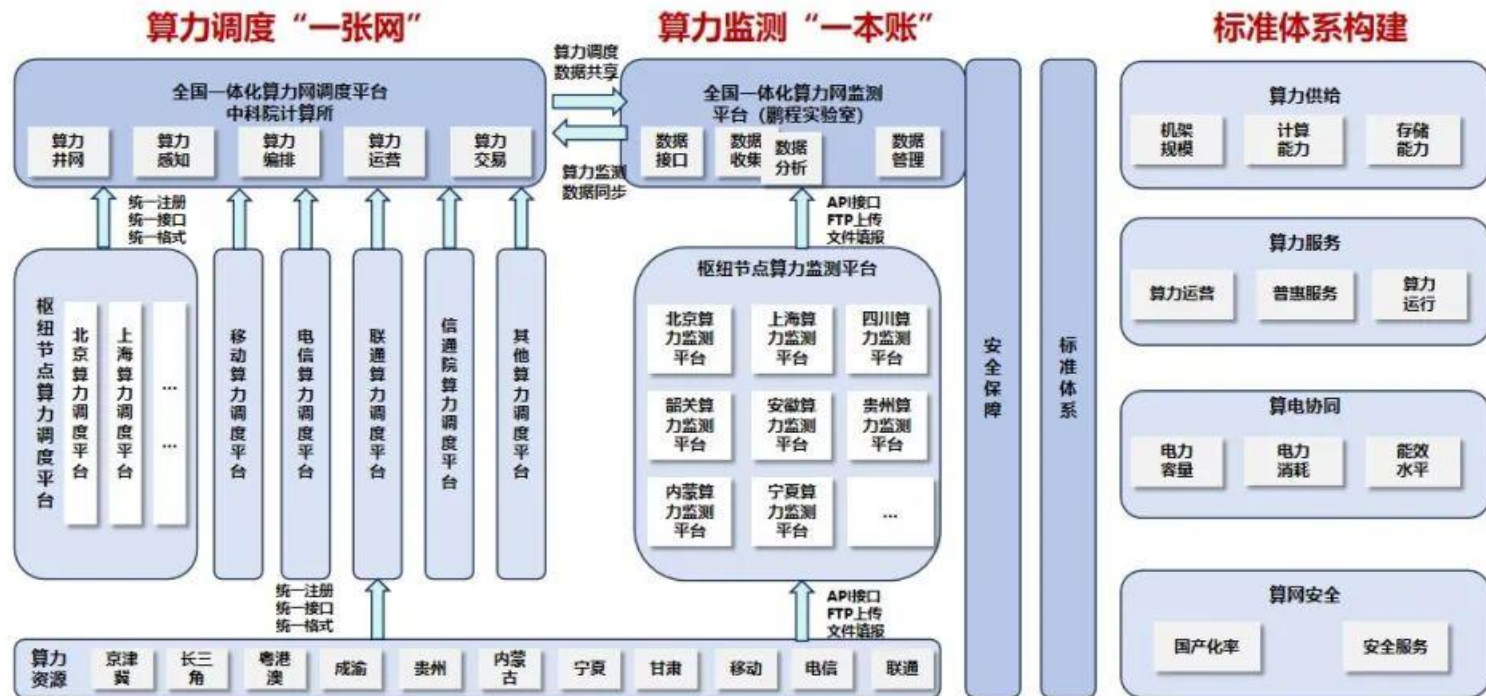
3.1 国内外数据中心的ESG

Peer Analysis 2022 and BD 2023



不同于国外直连的方式，我国绿电直连少，多采用PPA的进行绿电的认证。此，引发后续标准问题

3.1 算电协同我国行动（一体化算力网）



普惠算力的实现依托**跨域调度与市场建设**，而非以算力供给扩张作为主要路径

3.1 算电协同我国行动（一体化算力网）



“十五五”规划将全国一体化算力网列入109项重大工程之一。

今年政府工作报告提出“实施超大规模智算集群、算电协同等新基建工程，加强全国一体化算力监测调度，支持公共云发展”，为算力高质量供给与高效能利用指明了方向

3.1 算电协同我国行动（一体化算力网）

全国一体化算力网 监测调度平台建设指南

绿色运行

监测接口

能力评估

算力并网

算效衡量

算力池化

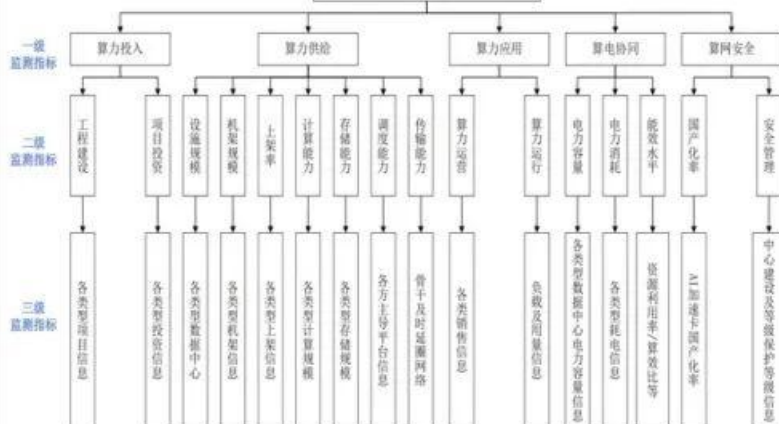
算力计费

算力调度

运营交易

安全保障

全国一体化算力网监测体系（三横）



全国一体化算力网监测调度试验验证平台-算力监测系统功能架构

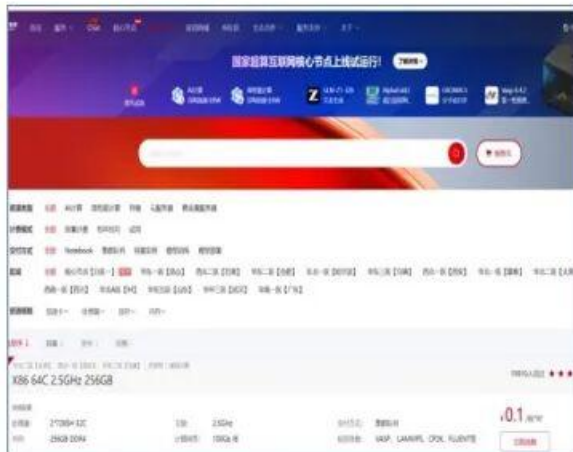


3.1 算电协同我国行动 (相关平台)

① 北京市数据中心
能耗与碳排放监测管理平台



② 国家超算互联网平台
曙光智算信息技术有限公司



③ 全国一体化算力网服务平台:

研发单位: 中国科学院计算技术研究所、中科南京信息高铁研究院、中科苏州智能计算技术研究院

运营单位: 曙光智算信息技术有限公司、天翼云科技有限公司、中移(苏州)软件技术有限公司、联通数字科技有限公司

北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

- [illegible]

负荷预测 → 功率预测 → 指标选取 → 系统建模 → 容量规划 → 运行调度 → 绩效评价

3.1 算电协同展示平台（信通院）

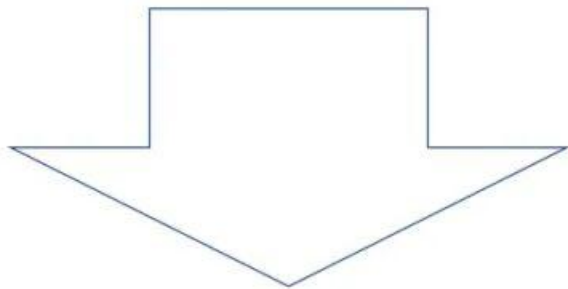
中国信通院 算电协同公共服务平台网址：



- 态势感知：汇聚算、电、碳多维数据，形成算电协同统一视图，支撑全局研判与动态监测。
- 技术服务：提供源网荷储建设、算电协同调度、绿电聚合交易等一站式技术供给方案，推动协同技术应用。
- 协同共创：聚焦核心技术攻关方向，加速技术成果转化，孵化算电协同新模式与新业态。
- 标准建设：整合多方力量，系统推进算电协同标准化、体系化建设，形成行业规范参考体系。



(未来的) 梦想很美好
(目前的) 现实很骨感



遇到了哪些问题？ 规模化落地难

当下算电协同示范遇到了哪些问题？ 阻碍了其规模化发展

3.2.1 共性问题：多主体壁垒、算力画像、算力定价

- ① 业务不直接可控，级别要求高的业务服务质量约束；
- ② 多层次异构，业主驱动力小

3.2.2 跨区域型算电协同——规模小，体量少：

以MW级以下的短时试验、单点算力为主、单一主体内为主。

3.2.3 绿电直连型算电协同——绿电占比低、经济性问题

高绿电占比引发的经济性问题，需要变相的进行成本疏导。

3.2.4 面向算电协同的热控问题

不敢调，不能调，真假灵活性



回归市场的第一性原理：“经济性”

3.2.1 共性问题①：数据中心总体拥有成本（TCO）构成

数据中心总体拥有成本（TCO）包括建设成本（Capex）和运营成本（Opex）



3.2.1 共性问题①：算电协同受建设成本投入制约

算电协同电力成本优势对算力调度行为的影响并不完全取决于其绝对值 需考虑电力成本与建设成本投入之间的相对关系

国家发展改革委等部门关于印发《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》的通知
发改环资〔2024〕970号

各省、自治区、直辖市、新疆生产建设兵团发展改革委、工业和信息化主管部门、能源局、数据管理机构，

市域内已有建成投用1年以上数据中心，且整体上架率低于50%的，原则上不再规划建设新的数据中心集群及大型和超大型数据中心项目。

“东数西算”堵点透视

2024-01-15 18:24:39 来源：瞭望 2024年第3期

目前东部数据‘西算’意愿不强，西部数据中心‘存多算少’

新华社·合肥·正文

2025

06/19

08:47:12

来源：经济参考报

全国首批两只数据中心REITs获批

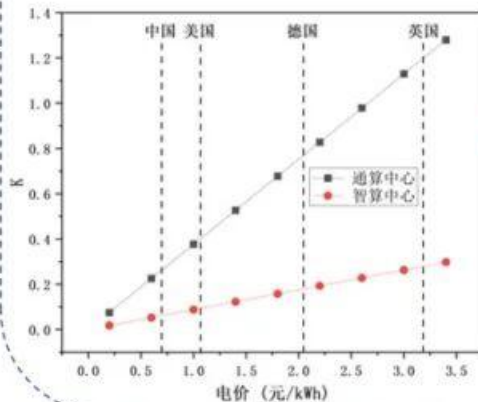
分享 评论 收藏 点赞

数据中心行业属于典型的重资产模式，投资规模大、回报周期长，

头部企业的机柜数量往往以万计，资本开支压力巨大

算电协同激励系数 $K = \frac{\text{年度电力成本}}{\text{年均化建设成本}}$

$K \uparrow$ ，电价差异越容易转化为算力调度的经济驱动力



智算中心建设成本约束更强

中国电价较低，K不高

算电协同的现实边界，K小于0.2，因此，电力成本与高附加值的建设成本投入难协同

3.2.1 共性问题①：算电协同总收益占电力成本较低



算电协同收益占比有限，难以有效覆盖电力成本，项目实施缺乏经济驱动力

数据中心参与算电协同的三种典型收益方式

①调频辅助服务：

年收益 = 调频里程 × 出清价格 × 性能系数

②电力峰谷价差：

年收益 = 用电量 × (峰电价 - 谷电价) × 可转移比例

③需求响应：

年收益 = 响应容量 × 补偿单价 × 响应次数

算电协同总收益/年电力成本



通算中心

20.9%



智算中心

21.1%

算电协同收益受限原因：



可调负荷比例有限



电力市场价格水平较低



调用频次与中标不确定

算电协同总收益/年电力成本约等于20%

因此，需要给出积极的、有吸引力的算电协同价格激励机制

3.2.1 共性问题②：算力市场的不对称性及多主体性



算力市场的不对称性与多主体性引发算力调度的难度，具体表现为：

目前算力市场：

主流云算力服务商

阿里云



腾讯云



华为云

零售型算力服务商



CoreWeave



AutoDL

PARATERA 并行

供给方

合约交易

需求方

**多主体博弈
信息不对称**



AI训练



视频渲染



科学仿真



实时监控

问题1：多供给主体存在算力孤岛

问题2：算力需求高度异构且隐私重要



算力交易平台

问题3：缺少统一的算力交易平台，信息不对称

3.2.1 共性问题③：算力任务画像难构建，形成了源头制约



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

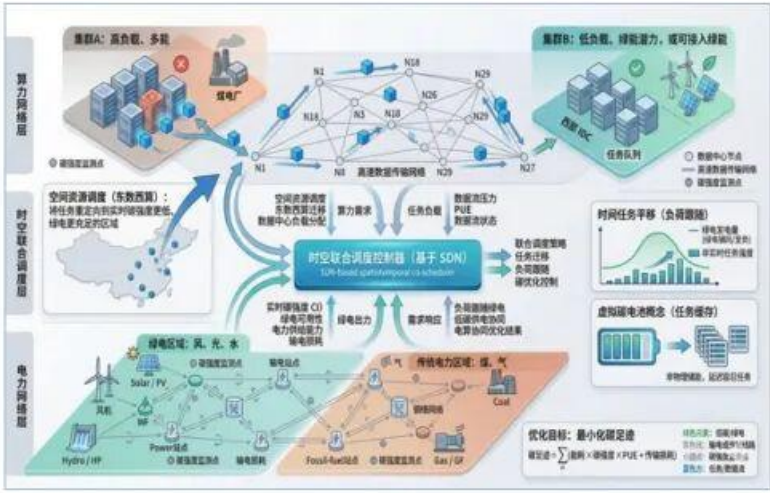
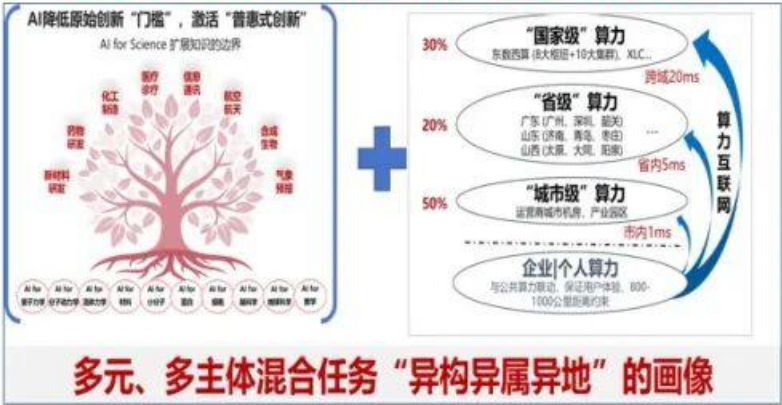
四类三级算力体系布局、多力协同、扬长补短
(以网强算、以存强算、以软补硬、毫秒算网)、**标准先行、生态加速**



多元、多主体混合任务 “异构异属异地” 的画像

3.2.2 跨区域型算电协同算电协同场景

算力与电力在时间和空间上的错配



错配引发跨区域型算电协同的巨大潜力场景

1.0: 点与面的协同

- ① 适应100%新能源的全直流数据中心高效可靠供电技术及应用
 - ② 算力基础设施集群高比例新能源供电与电算时空协同调控示范工程
 - ③ 规模化算力弹性调度驱动的电力系统-数据中心低碳协同优化关键技术及仿真平台研究
 - ④ 产消型数据中心能量转换机制及可持续评价
 - ⑤ 低碳算力服务系统管理
- 火电/核电/海风/压差/深地/共享储能~~AI

新建算力 $\longleftrightarrow$ 电力

面向企业

单点工程或示范

服务于电网或者数据中心

2.0: 面与面的协同 (双“活”)



面向企业及决策者

交易服务平台



算电协同调度器

难题：网络级 多主体：两网/区域级/一体化算力网 (边界相似且可控)

3.2.2 绿电直连型算电协同：高绿电占比难实现

《关于深入实施“东数西算”工程 加快构建全国一体化算力网的实施意见》部署要求：
实现“到2025年底，**国家枢纽节点新建数据中心绿电占比超过80%**”的建设目标。



集群名称	电网绿电占比		数据中心绿电交易 电量（绿电交易+ 绿证）	集群自发电 绿电电量	数据 中心 总用电 量	当前绿电占比
	入网绿 电电量	总电源发 电量				
内蒙古						73.46%
宁夏						28.65%
甘肃						11.5%*
四川						26.72%
贵州						45.87%
重庆						91.02%
广东						3.79%
香港						—
澳门						25%*
北京						54%*
天津						—

物理直连绿电
< < 80%

适配数据中心资源及负荷特性的算电协同机制成为必然要求

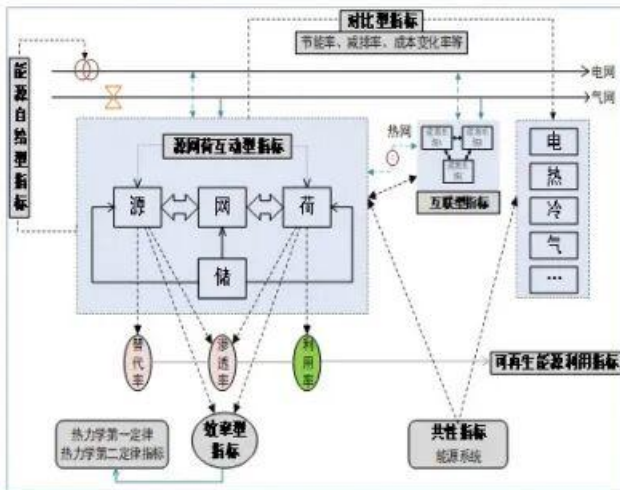
3.2.2 绿电直连型算电协同：现有国标不含电网隐含绿电

可再生能源利用率 Renewable energy factor

指数据中心可再生能源的能耗量与所有能源消耗总量的比值。

[来源：GB/T 32910.4-2021 3.4 有修改]

注：可再生能源，一次能源的一类，在一定程度上，地球上此类能源可在自然过程中再生。



该示例假设公用电力中可再生能源的部分为0；物理实际中应加上公用电网中的可再生能源占比（尚未标准）。

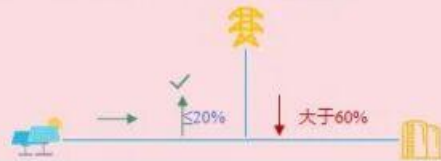
3.2.2 绿电直连型算电协同：度电成本高

在基准情景的参数设定条件下，**并网型直连模式的单位用电成本最低。**

一方面，借助“绿电直连”机制，数据中心可直接获取物理可溯源的绿色电力，同时锁定具有成本优势的绿电价格；另一方面，通过保留与公共电网的连接，数据中心可获得电网备用支持，满足调峰、备用等不确定性电力需求，显著降低对储能的依赖。

离网型直连模式需要大量的储能进行调峰，因此**度电成本最高。**

并网型：项目整体接入公共电网，与电网形成清晰产权和安全责任界面（电源位于用户侧产权分界点）。



离网型：完全独立运行，与公共电网无电气连接。



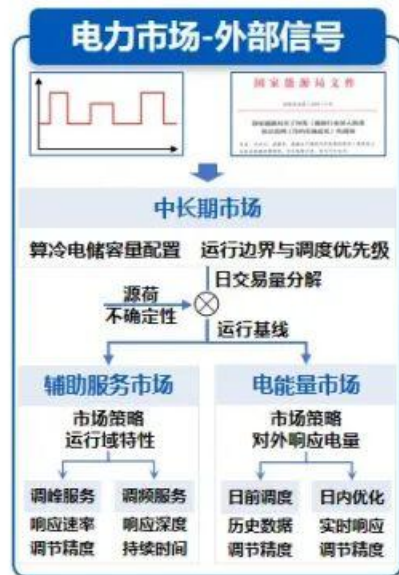
价格由低到高



引自 岳昊, 冀北电力公司)

3.2.4 如何实现安全可控的算电协同? ——全栈控制

在(宏观)多级电力市场的充分经济激励及(介观)算电协同的充分响应下
如何保证业务服务质量的情况下让数据中心(热控)安全可靠(微观)的运行响应?



算电协同

价格激励

需求响应

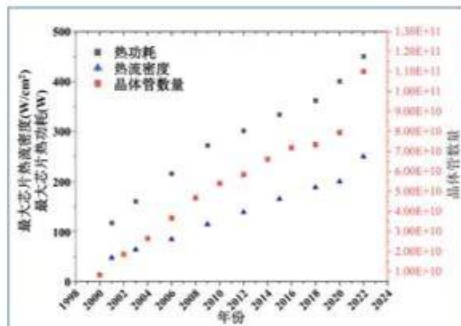


数据中心安全运维:可靠热控

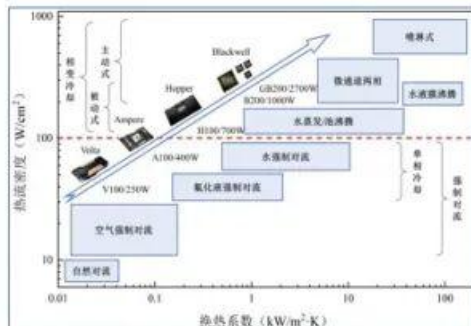
3.2.4 如何实现安全可控的算电协同? ——环控设备



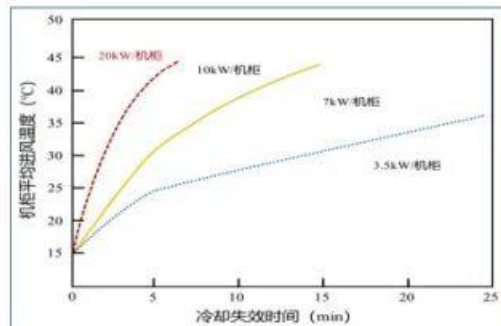
再次, 随着热流密度的增加: 制冷环控面临“风液混合、热惯性大”的挑战。
且热控响应要求越来越快 (右图), 引发算、电、冷多时间尺度协同控制难题 (下三图)



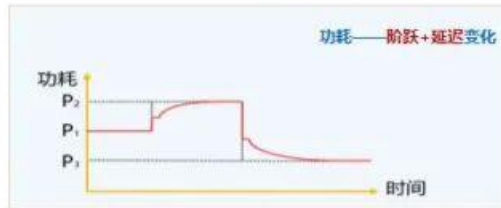
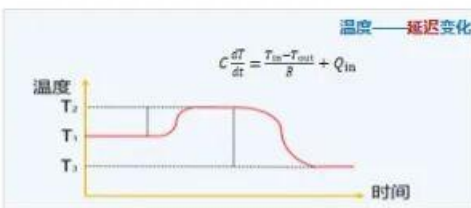
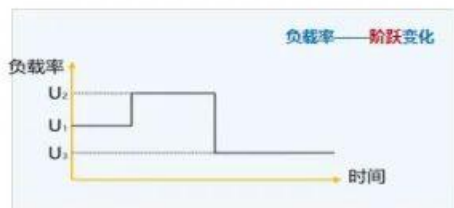
热流密度增大



风液兼容到液冷普及



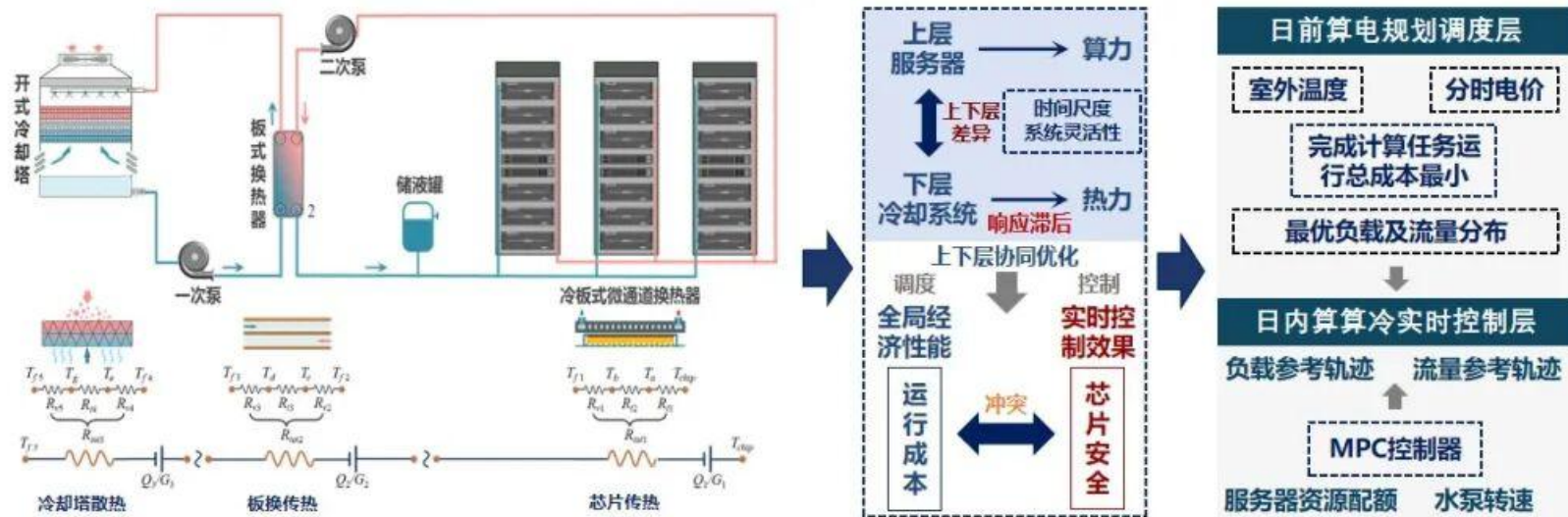
热控的响应时间减小



算电协同的底座是“算冷全栈的热控”

3.2.4 面向算电协同的算冷全栈控制—方法模型

单一策略以及单一时间尺度难以同时兼顾**全局经济性和控制安全性**，针对该问题：
提出“**日前算电协同经济调度+日内算冷全栈动态调控**”分层优化策略
在**满足芯片温度安全及服务质量约束下**实现负载分配与冷却流量的协同优化与跟踪控制



相较于非全栈的解耦模式（方案1），算力-冷力协同的全栈模式（方案2）可使系统平均PUE由1.18降至1.14，总运行成本降低13.3%。进一步（方案3）服务水平协议违约率SLAV作为优化目标后，SLAV均值显著降低34%，有效兼顾了经济性、能效与服务质量。

方案1：当前液冷数据中心常规解耦运行模式。

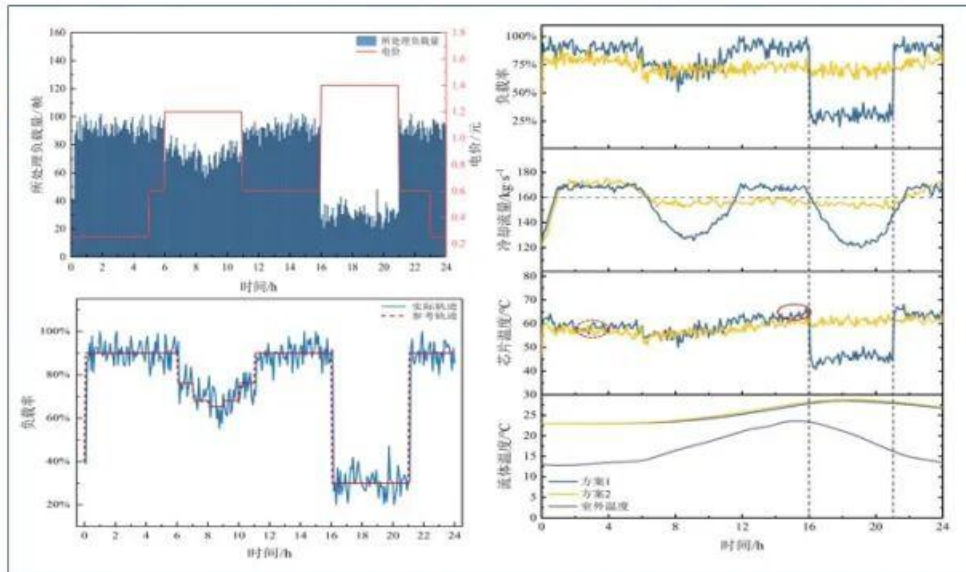
方案2：算力-冷力协同双层优化策略。

方案3：在方案2的基础上进一步将SLAV纳入优化目标

	方案1	方案2
服务器功耗	111612.01	111603.84
冷却系统功耗	11335.98	10492.36
实际完成任务	21616.11	21606.87
系统总成本	104042.03	90168.79
平均PUE	1.18	1.14

	系统总能耗(kWh)	SLAV均值
方案2	126 922.68	1.44%
方案3	127 455.76	0.948%

多方案设置及节能效果分析



双层协同优化相关参数动态分布

不同方案下相关运行参数动态分布

目 录

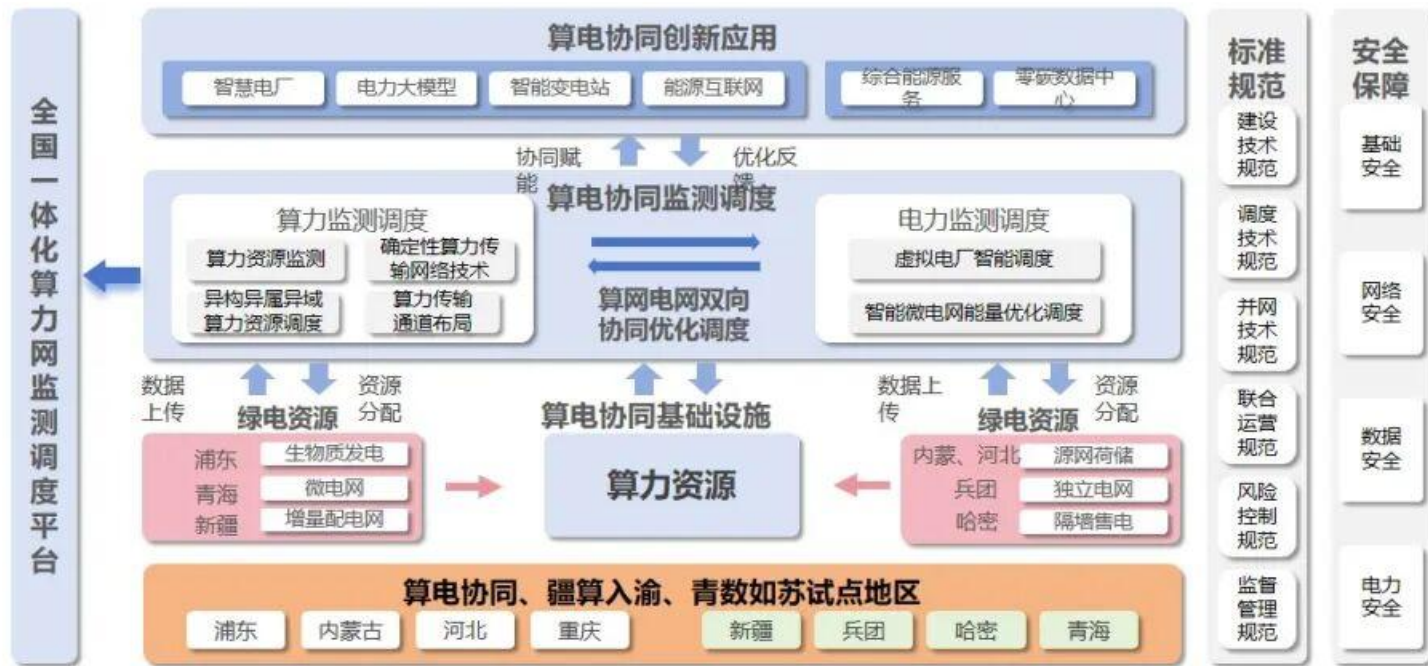
1. 算电协同背景：交叉发展协同共赢
2. 算电协同技术：提质增效之四部曲
3. 理论回归实践：多主体博弈经济账
4. 算电协同展望：发展对策思考建议



绿色
Token

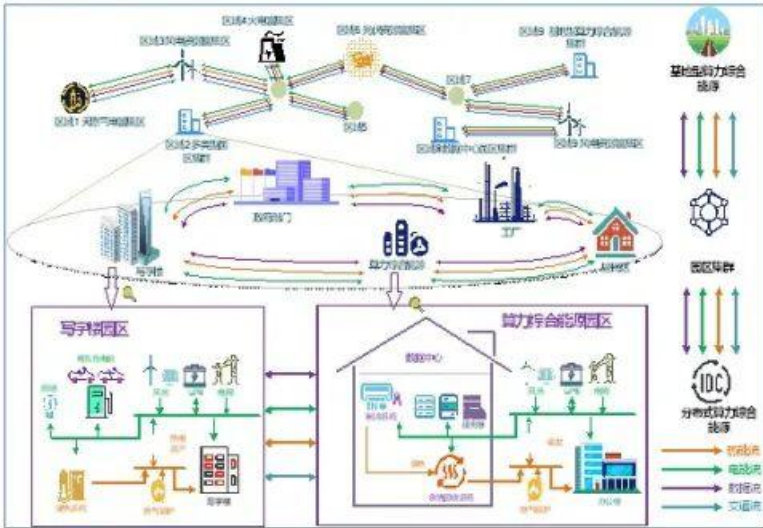
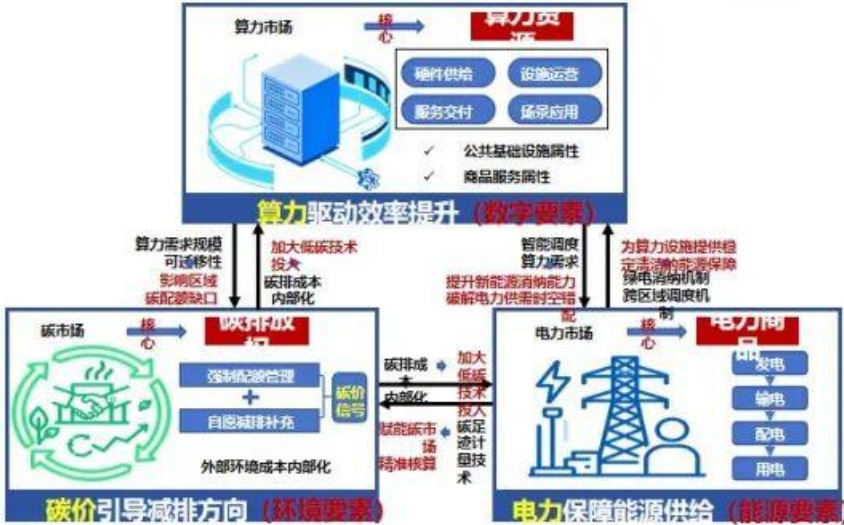
能源强国+网络强国+算力强国

4.1 建议①：扩大算电协同试点示范，鼓励百花齐放，多点开花



多举措并举：东数西算+东数东算+地数天算+地数深算+车基边缘算力

问题：算力迁移的驱动力不足，碳约束作用尚未凸显！



措施：“算-电-碳”多市场平权博弈（动态碳成本，时空稀缺成本）
如何按照token 计费？体现算力产品的“商品”特性（含碳，含电）

4.1 建议③：构建底层的算力业务多维画像



问题：算力画像刻画，很模糊和异构的一件事情



中国AI模型出海 ≠ 中国本地算力出海

$$\begin{array}{l} \text{中国本地算力} \\ \text{承接的全球份额} \end{array} = \begin{array}{l} \text{中国模型} \\ \text{全球调用占比} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{在中国境内} \\ \text{完成推理的比例} \end{array}$$

15.3% 61% 25%

真正与中国算力（中国电力）绑定的只是约15.3%的全球调用份额

低电价成本优势存在，但会被明显抵消

中国西部电价 (\$ / kWh)

0.035

欧美均值的1/5

芯片能效



华为昇腾910B 英伟达H100

H100的1/3

PUE (中国平均)

1.3-1.5

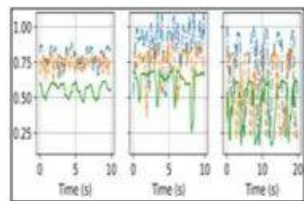
西方先进数据中心
可达1.1

出海的是“模型能力”，不是“中国本地算力跨境直供”

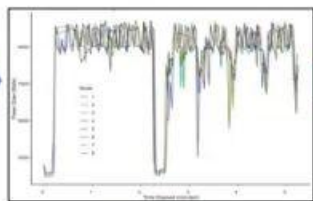
4.1 建议⑤：算力的电力画像——用电量监测及波动性



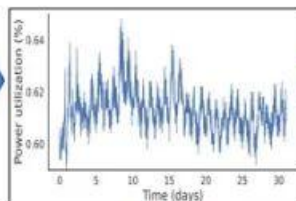
北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY



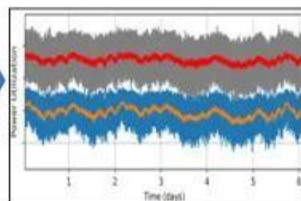
芯片级



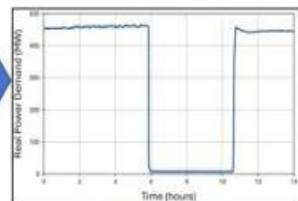
服务器级



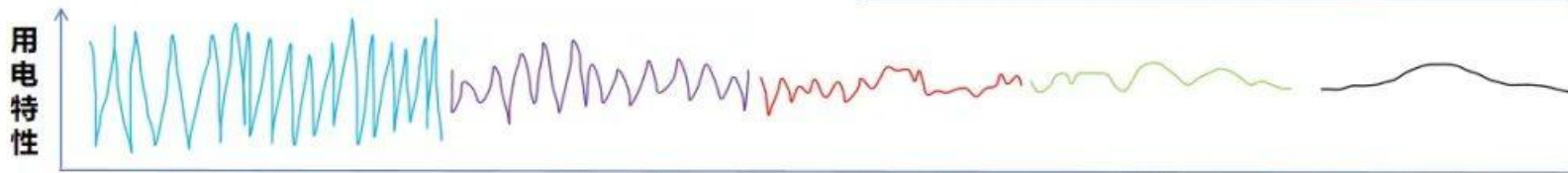
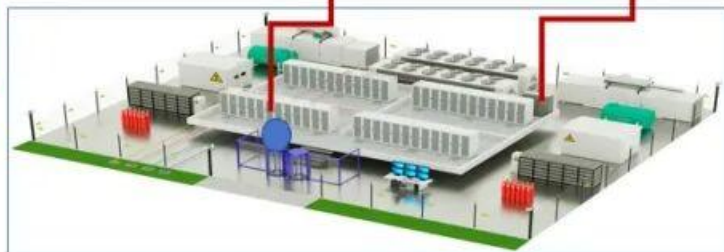
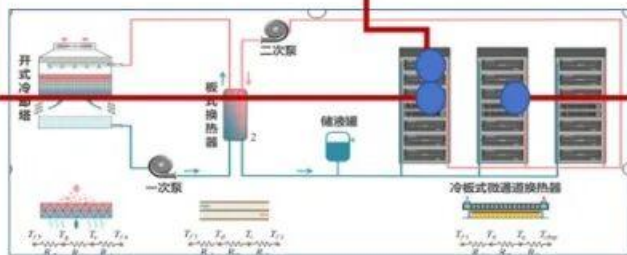
机柜级



包间级



园区级



芯片级

服务器级

机架级

包间级

园区级

波动性

4.1 建议⑥：加强系统科普，形成全行业算电协同的理念共识

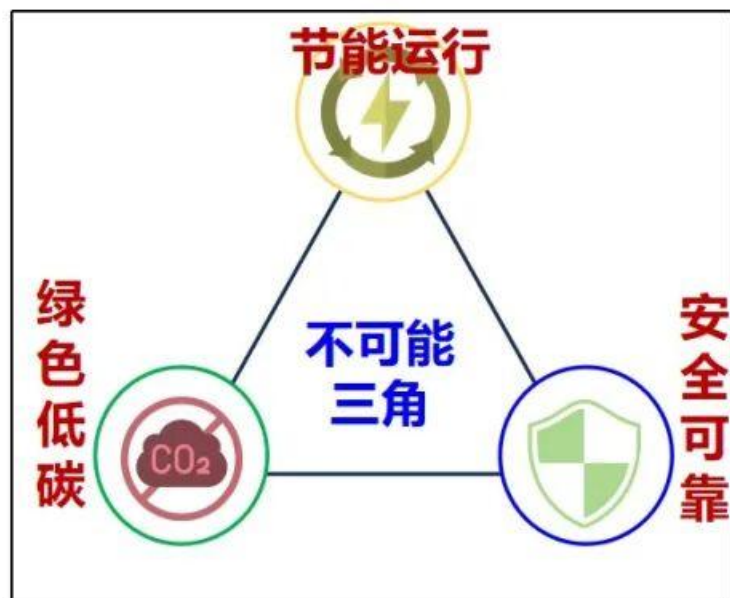


北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

问题：政府共识 + 民间共识 = 群体共识：算电协同是有多维目标价值的！



助力
打破

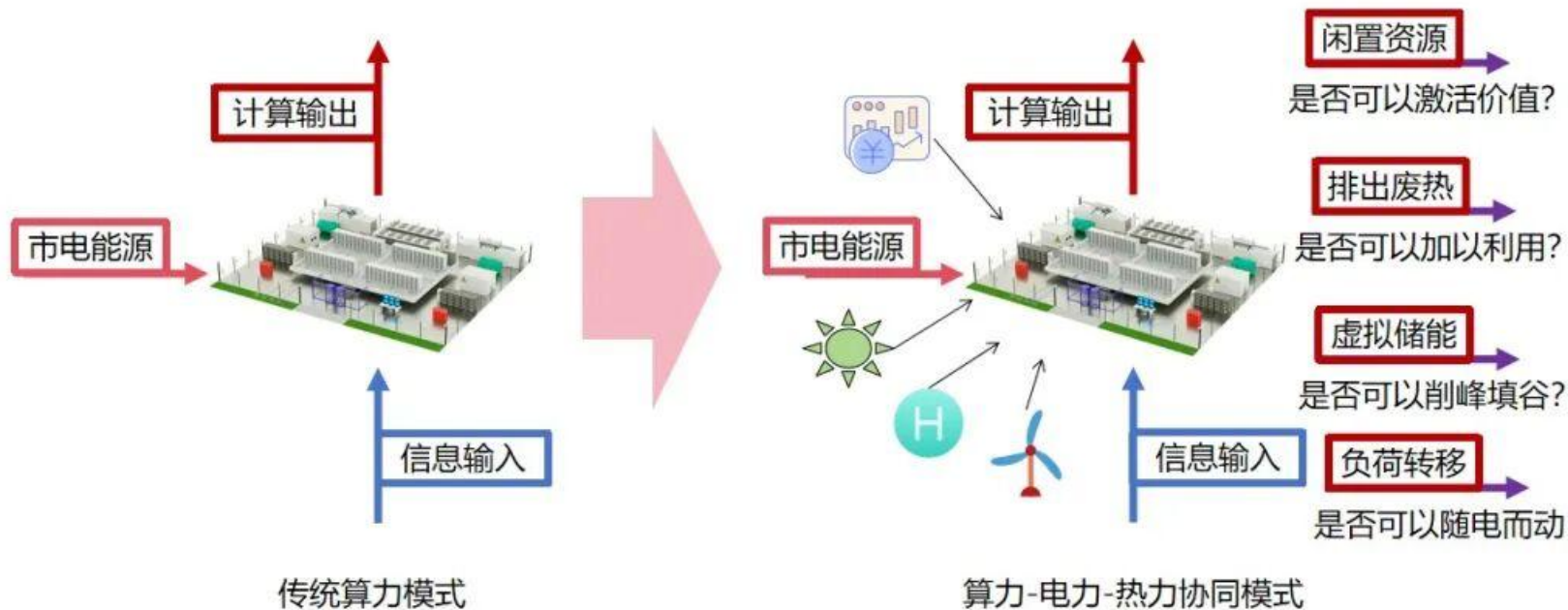


措施：多点示范，坚持理论与实践的齐头并进

4.1 建议⑥：加强系统科普，形成全行业算电协同的理念共识



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY



算电协同的基础理念：算力设施要从单纯的消费者向灵活的产消者转变

4.1 建议⑥：加强系统科普，形成全行业算电协同的理念共识



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

2024年8月27日，由中国通信工业协会数据中心委员会主办，算-电-热-碳协同创新中心、北京理工大学重庆创新中心、碳中和系统工程北京实验室（北京理工大学）、北京理工大学先进储能与低碳技术研究中心、中国系统工程学会承办的“算电热碳高效协同关键技术与创新方案研讨会”在上海成功举办（左图）。



8月29日，南方电网公司联合中国电力企业联合会、中国信息通信研究院举办的“电力算力协同暨电力数据要素市场发展”交流活动在贵州省贵阳市举行（右图）。

中国电力发展促进会电力与算力协同发展专业委员会成立.....

4.1 建议⑦：加快算电协同相关术语建设

加快实现“电-算-热”协同海量泛在、高效调度、绿色低碳、灵活供给、服务智能，对数字经济高质量发展意义重大。“电-算-热”协同作为新时代电力、算力高质量发展的必由之路，必将推动一场深彻的系统性变革。



算力—电力—热力协同

背景概述及标准框架

算力—电力—热力协同

通用术语

算力—电力—热力协同

集成优化术语

算力—电力—热力协同

评价术语

ICS 27.160
CCS F20

CA

中国通信工业协会团体标准

T/CA 310—2024

数据中心算力-电力-热力协同 术语

Synergy of Computing-Power-Heating in data center Vocabulary



2024-11-26 发布

2024-12-01 实施

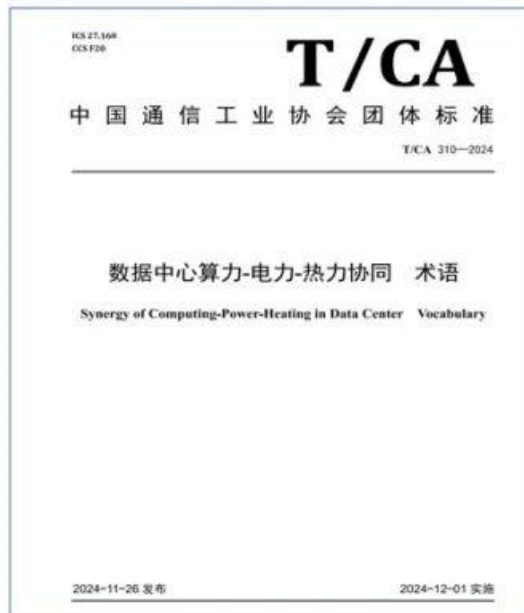
中国通信工业协会 发布

[1]王永真,韩艺博,郭凯,等.面向算力-电力-热力协同的术语及标准体系初探[J].电力建设,2025,46(04):71-83.

4.1 建议⑧：加快算电协同相关标准建设



算电协同多环节标准缺失，需从规划设计到市场全链条构建统一标准体系，强化跨领域协同制定



序号	标准/技术文件名称	类型	工作组/行业组
47	全国一体化算力网 数据中心可调节负荷潜力评估技术要求	指导性技术文件	WG6
48	全国一体化算力网 电力算力资源协同规划技术导则	指导性技术文件	WG6
49	全国一体化算力网 基础术语	指导性技术文件	WG6
50	全国一体化算力网 算电协同参考架构	指导性技术文件	WG6
51	全国一体化算力网 算力负荷特性分析与建模实施指南	指导性技术文件	WG6
52	全国一体化算力网 运维技术要求	指导性技术文件	WG6
53	全国一体化算力网 服务交付要求	指导性技术文件	WG6
54	全国一体化算力网 数算协同系统架构与技术要求	指导性技术文件	WG6

从业务、规划、设计、调度、运行、评价、市场等协同方面

北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

1) 生产制造、电信、互联网、公共机构、能源、金融、电子商务

2) 原则上推荐的数据中心规模应不小于3000个标准机架(公共机构、金融领域数据中心除外)

3) 机柜资源、算力负荷、网络资源等算力资源利用水平处于行业内先进水平,算力能效水平高;能源利用效率高,电能利用效率原则上应达到《数据中心能效限定值及能效等级》(GB 40879)中的2级及以上水平,风电、光伏等可再生能源利用水平高,积极利用储能、氢能等技术

潍坊市数据中心第三方评价表					
序号	指标	权重分值	得分	扣分理由及理由说明	扣分原因和扣分说明
一、数据资源利用					
1	电子政务成熟度	40			(此项满分为10分,因材料、证明资料不全,扣分,下同)
2	公共信息资源开放水平	10			
3	电子政务系统安全防护水平	2			
4	数据资源共享程度	5			
5	数据安全保障水平	4			
二、数据安全保障					
6	安全保障水平	4			
7	数据安全水平	4			
8	数据备份水平	4			
9	数据恢复水平	2			
10	数据安全水平	3			
三、数据资源管理					
11	数据资源管理	3			
12	数据资源管理	3			
四、数据资源应用					
13	数据资源利用(上一步)水平	4			
14	数据资源应用水平	3			
15	数据资源应用水平	3			
16	数据资源应用及单位信息资源产出水平	2			

中国工程建设协会标准
数据中心等级评定标准
施行日期：2017年12月1日

数据中心等级评定标准
Rating standard for data centers
T/CECS 488-2017

几个A



中国电子学会关于开展绿色数据中心等级评估工作 (试行)
广州赛宝认证中心服务有限公司
(工业和信息化部电子第五研究所认证中心)

T/CIE 049A-2020

《绿色数据中心评估准则》

GBT32910.3-2016

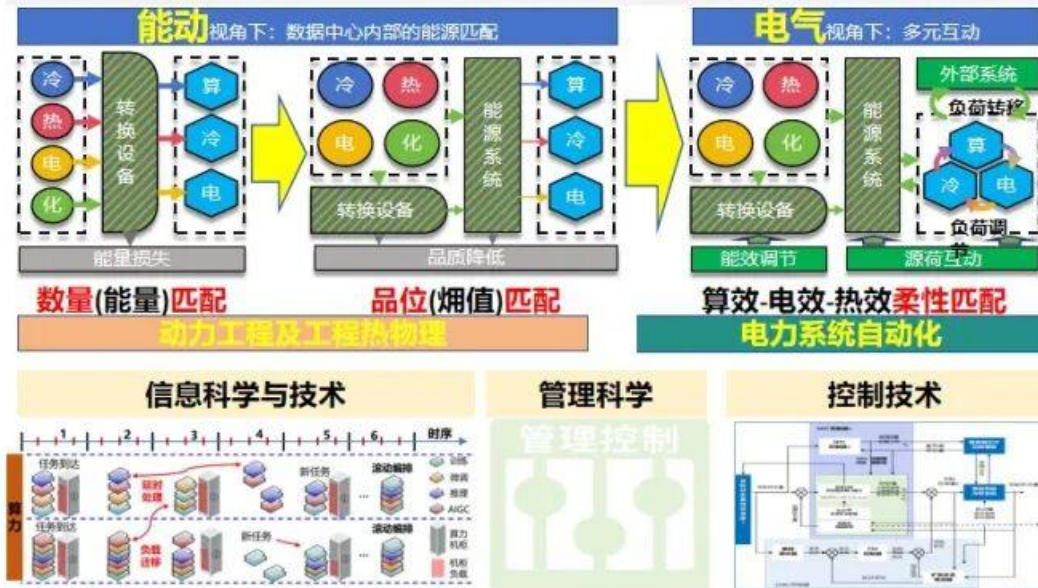
《数据中心资源利用第3部分：电能能效要求和测量方法》

评分标准按评价要素权重确定。			8 绿色采购			2		
绿色采购中心系统			二、能源资源绿色管理					
相应评分标准			9 能源资源管理			4		
能源	65 分-75 分 (≥ 65 分 < 75 分)		10 水资源使用管理			2		
能源	75 分-85 分 (≥ 85 分)		11 节能诊断服务			2		
金额	85 分-95 分 (≥ 95 分)		12 第三方评测			2		
白电类	95 分以上		四、设备绿色管理					
			13 电器电子产品有害物质限制使用管理			2		
			14 废旧电器电子产品处理			2		
			15 报废处置			2		
2. 评价指标			五、加分项					
序号	指标	权重分值	16 可再生能源电力采购及绿色电力证书消费			3		
一、能源资源高效利用情况			17 标准绿色公共云服务			2		
1 电能利用效率 (PUE)	60		18 新一轮试点示范			4		
2 设计能效达标情况	3		19 企业社会责任报告			1		
3 IT 设备负荷使用率	3							
4 可再生能源使用比率	2							
5 水资源使用率	2							
二、绿色设计与绿色采购								
6 绿色设计应用绿色产品应用	10							
7 绿色能源利用系统	2							

工业和信息化部：国家绿色算力设施（国家绿色数据中心）

4.2 展望 ①：培养“算电协同”多学科交叉及人才研究

问题：算电协同面临跨学科、跨行业的知识及协同壁垒！



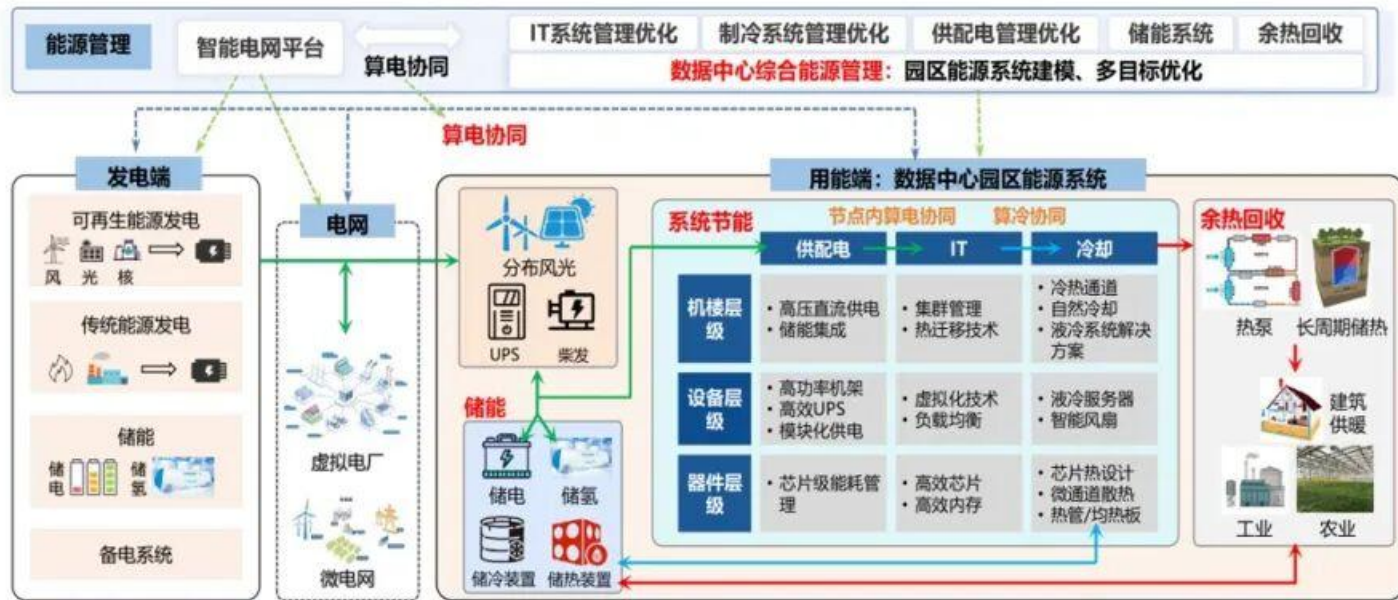
以**电力-算力-热力-碳力协同**为学科交叉的载体，深化与算力与电力基础设施相关企业、协会、政府部门的交流合作（实习生、培训），在人才培养、社会经济和生态文明的做出贡献

4.2 展望③：从设备供应方向多链条解决方案服务商转变



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

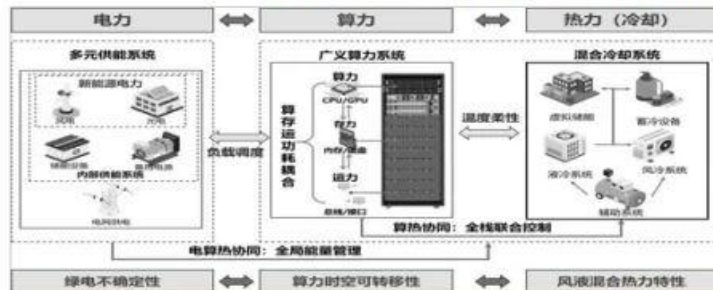
问题：设备供应方思维枷锁制约系统的节能减排绩效！



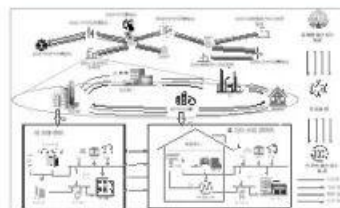
措施：从设备供应方向多链条解决方案服务商转变

4.2 展望③：从设备供应方向多链条解决方案服务商转变

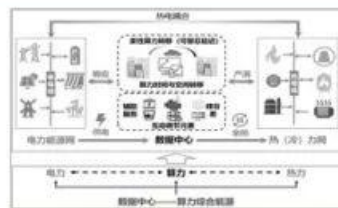
算力综合能源可分为宏观、介观、微观算力综合能源系统
现有研究多集中在宏观和介观的场景边界（新建）、微观研究不足



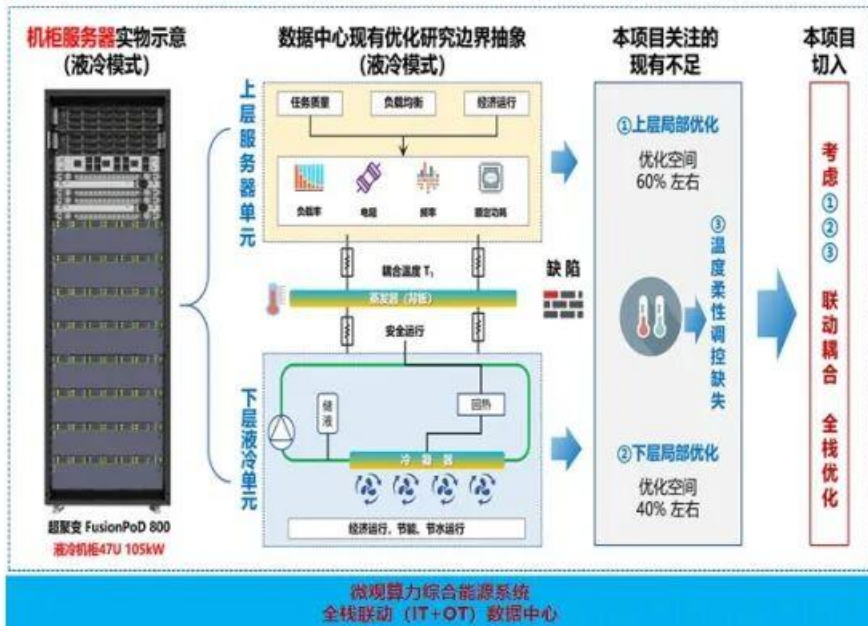
电力-算力-热力协同示意



宏观算力综合能源系统
广义算力网（运、算、存）与电力网



介观算力综合能源系统
产消型（算电热协同）数据中心



微观算力综合能源系统
全栈联动（IT+OT）数据中心

北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY



4.3 基础③：管控平台

- 主持的国自然基金《产消型数据中心》被评为优秀结题，构建了零碳算力园区综合智慧能源规划设计软件
- 出版专著《数据中心综合能源》1本，参与北京市及全国数据中心节能改造的行动方案



北理工 零碳算力园区综合智慧能源规划优化平台



专著



服务于 北京市数据中心的节能减排

4.3 基础④：相关成果



北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY



电力-算力-热力 协同：行业首部白皮书与发展报告



出版书籍教材（科学出版社）



引领电力-算力-热力 协同领域：国标，团标



高水平论文发表



受邀重要媒体专访（CGTN、新华社、财经社、澎湃）





北京理工大学
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

北京理工大学机械与车辆学院 能源与动力系

研究领域已经涵盖动力工程及工程热物理一级学科五个二级学科方向。致力于发展“运转速度更快、功率密度更高、承载能力更强、更加节能环保的新型动力系统”。
在数据中心、综合能源、热泵、氢能、制冷低温、热管理等方面积累了丰富的基础。



110人
教职工

13
牵头国家/国防奖



**多栖平台驱动系统
全国重点实验室**

NATIONAL KEY LABORATORY OF MULTI-PERCH
VEHICLE PROPULSION SYSTEMS



碳中和系统工程北京实验室
Beijing Laboratory for System Engineering of Carbon Neutrality

牵头单位：北京理工大学
联合单位：北京理工大学
北京科学技术研究院
交通运输部科学研究院
北京京能集团有限责任公司

国家电网有限公司大数据中心
北京市生态环境保护科学研究院
中国电信股份有限公司北京研究院

北京市教育委员会制
二〇二三年十一月



开放交流

共筑算电热协同行业发展

王永真

北京理工大学 机械与车辆学院 能源与动力系
多栖平台驱动系统全国重点实验室
碳中和系统工程北京实验室
wyz80hou@bit.edu.cn