

国家绿色算力设施先进经验与典型案例之三： 互联网领域

2025 年度互联网领域国家绿色算力设施共有 17 家，分别为克拉玛依碳和水冷数据中心、新丝绸之路云计算中心、抖音—中联绿色大数据产业基地 6 号楼、泽悦数据中心 A—1、数据港—阿里巴巴广东云计算数据中心河源集群源城机房 C 栋、华章数据佛山蓝湾云计算产业园 C1、C2 栋数据中心、广州懋源云 5G 交互中心、浩云长盛中卫 2 号数据中心、尚航华东云基地 1 号楼数据中心、四川能投天府云数据产业基地 D1 楼、阿里飞天云智能华东算力中心项目枫泾基地 B 楼、互盟 5G 数据交换中心、快手智能云乌兰察布大数据二园区数据中心项目 B1 机房楼、昆山博浩 5G 大数据创新中心、美利云中卫数据中心 C1 数据机房楼项目、合盈数据（怀来）科技产业园 ND11 数据中心、润泽数据中心 A—8。其绿色化建设的先进经验做法如下：

一、运维持续优化提升电能利用效率

数据港—阿里巴巴广东云计算数据中心河源集群源城机房 C 栋面对全年温湿度相对较高的气候条件，通过探索调配设备运行状态，将原设计的湿球温度 $\leq 16^{\circ}\text{C}$ 时运行预冷模式，湿球温度 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 时运行自然冷却模式，提升至湿球温度 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 运行预冷模式，湿球温度 $\leq 14^{\circ}\text{C}$ 运行自然冷却模式，使全年自

然冷源应用占比提升至 42%。通过探索机房内温湿度组合边界条件，该数据中心在将湿度上限由 60% 放宽至 70% 的同时，控制全年 60%~70% 湿度区间时长不超过 3600 小时，在保证信息设备安全前提下，降低除湿系统能耗 60%。同时，该中心还通过采取管控冷水机组冷凝器平均换热温差小于 0.5°C，应用人工智能（AI）技术综合调控变频离心式冷水机组、变频水泵及冷却塔风机运行状态等组合措施，使制冷单元综合能效达到 8.0。2024 年度电能利用效率（PUE）值达到 1.19。



图 1：数据港—阿里巴巴广东云计算数据中心运维管理现场

阿里飞天云智能华东算力中心项目枫泾基地 B 楼采用水冷冷水机组+板式换热器+并联蓄冷罐架构——在将年均信息设备负荷使用率调节至约 60% 的同时，对于冷水机组采取低负载时利用蓄冷罐小负荷供冷、高负载时合理调控制冷单元数量方式，确保冷水机组处于最佳效率区间；对于末端空调设备，在满足服务器温湿度服务水平协议（SLA）要求前提

下，将送风温度从 22°C 调至 23°C，控制送回风温差不低于 11°C，并限制风机转速在 30%~60% 之间；对于冷却水泵，在保证流量需求的同时压低其运行频率；当采用机械制冷模式时，手动隔离板换，减小局部压损，并减少蓄冷罐充冷流量。通过以上措施，结合人工智能（AI）技术对设备调优及包间级能耗监测与管理，该数据中心 2024 年度电能利用效率（PUE）值达到 1.18。

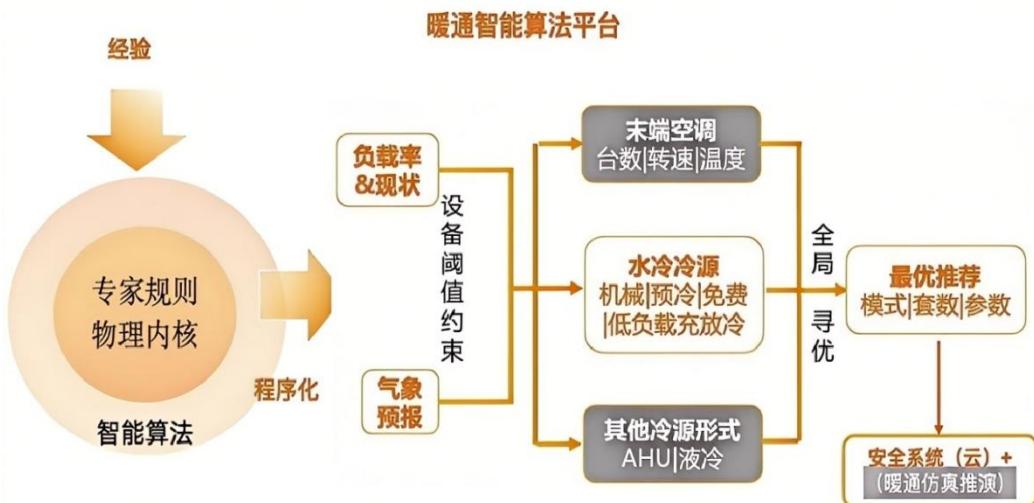


图 2：阿里飞天云智能华东算力中心项目枫泾基地 B 楼暖通智能算法
华章数据佛山蓝湾云计算产业园 C1、C2 栋数据中心结合人工智能（AI）技术对基础设施运行状况与信息设备进行协同管理，在跟踪信息设备运行负荷基础上，协同采取调整制冷单元制冷量、水泵运行频率、供电设施模块休眠、末端空调风机转速等措施减少基础设施无效能耗，并可智能生成能效分析报告，为持续优化能效提供决策支持。通过协同优化，该数据中心 2024 年度电能利用效率（PUE）值相比设计值降低 0.023。



图 3: 华章数据佛山蓝湾云计算产业园 C1、C2 栋数据中心基础设施与信息设备协同管理系统

广州懋源云 5G 交互中心在项目投产初期电能利用效率 (PUE) 值远高于设计值。该数据中心引入大数据分析及人工智能 (AI) 控制技术方案，在获取冷机、末端空调、温湿度、列头柜等设备参数之后，确定信息设备冷却所需冷量，每隔 12 秒给出控制建议，调控冷却系统制冷量与需冷量动态平衡，减少冷量浪费，且通过能耗预测，相比传统群控系统可提前 5 到 10 分钟做出响应，使设备始终运行于高效区间，年节电超过 100 万千瓦时。

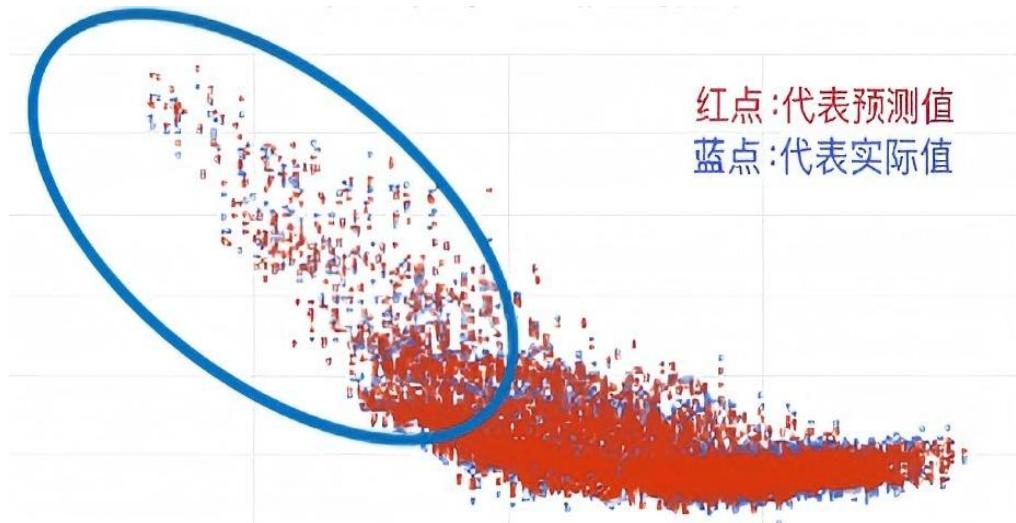


图 4: 广州懋源云 5G 交互中心能耗预测效果

互盟 5G 数据交换中心采用水冷方案，原冷冻水进回水设计温差为 6°C（进水 17°C，回水 23°C）。该数据中心根据当地气候特点调整板式换热器与机械制冷之间的切换条件，并优化设备自控系统控制策略后，将运行温差提升 1.5°C 至 7.5°C。该方案在冷负荷不变的前提下，降低了水系统流量，减少冷冻水循环泵能耗约 30%；提高了冷媒蒸发温度与压力，降低冷水机组系统能耗约 2.5%；板换使用率提升 24.2%，全年板换运行时间达 3872 小时，其中完全自然冷却时间达 1781 小时。

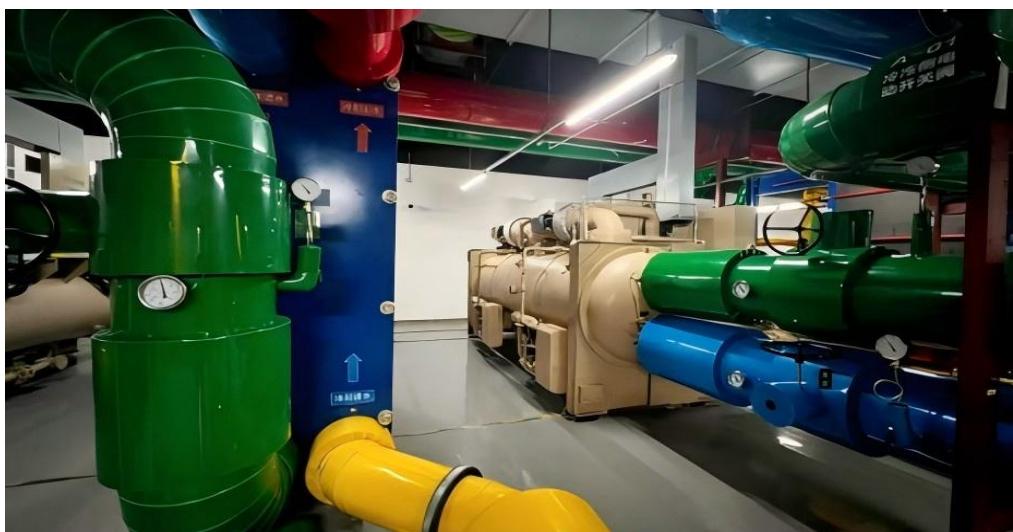


图 5：互盟 5G 数据交换中心冷水机组及自然冷却用板式换热器

昆山博浩 5G 大数据创新中心为应对投产后负荷逐步增加的情况，采用蒸发冷复合多联空调解决方案，通过分布式架构与末端多联设计，支持分区投用，但同时也增加了系统架构复杂度。为优化运维参数，该数据中心首先在实验室搭建整套系统模型，模拟实际项目交付落地的场景，验证不同运行负载率情况下的运行参数，积累经验后，在待投产的数

据中心搭建整套试验系统，验证实验室测试过程摸索的各项参数在实际生产场景下的效果，挖掘该方案节能潜力。该数据中心投用后，在上负荷过程中，电能利用效率（PUE）值始终低于 1.30。



图 6: 昆山博浩 5G 大数据创新中心蒸发冷复合多联空调解决方案架构

美利云中卫数据中心 C1 数据机房楼项目采用由间接蒸发冷却机组制冷的风冷方案，结合当地气候条件持续对设备运行参数进行调优——将启动喷淋模式所需风机转速边界值由 60% 调整至 45%，减少风机高转速运行时间；将启动混合模式（压缩机机械补冷）所需湿球温度边界值由 18.8°C 调整至 19.8°C，全年自然冷却时间提升至 60% 以上；将机房内冷热通道温差值由 12°C 调整为 13°C，减少间接蒸发冷却机组制冷负荷；应用人工智能（AI）管理平台实现对每一台间接蒸发冷却机组风机系统、喷淋系统、机械补冷系统的综合调控。通过上述措施，该数据中心 2024 年度电能利用效率（PUE）值同比降低 0.02。



图 7: 美利云中卫数据中心 C1 数据机房楼项目间接蒸发冷却空调机组

润泽数据中心 A—8 原制冷系统为独立控制架构, 各设备仅可进行独立调优。该数据中心结合节能降碳诊断, 对冷冻水泵进行变频升级, 支持冷却塔、制冷机组与空调末端联动联控, 引入人工智能 (AI) 控制技术后, 实现多参数下动态协同寻优。在此基础上, 该数据中心还结合廊坊地区气候特点优化制冷模式切换工况, 2024 年度实现全自然冷却近 150 天。



图 8: 润泽数据中心 A—8 冷冻水泵变频改造现场图

四川能投天府云数据产业基地 D1 楼基于 42kW 风冷高功率机柜，采用列间空调结合全封闭冷热通道模块化方案，每个模块均具备独立智能管理平台，可实现制冷系统与信息设备联动调优。该方案采用空调双群控策略，嵌套两组轮巡调控算法，可避免局部热点超温问题，在提升系统可靠性的同时提升制冷系统能效比。围绕该方案，该数据中心通过将冷冻水回水温度提升至 24°C、控制变频设备频率在最佳节能区间、提高循环水质要求保证板式换热器换热效率等措施，全年自然冷却时间达 5 个月，2024 年度电能利用效率（PUE）值达到 1.26。

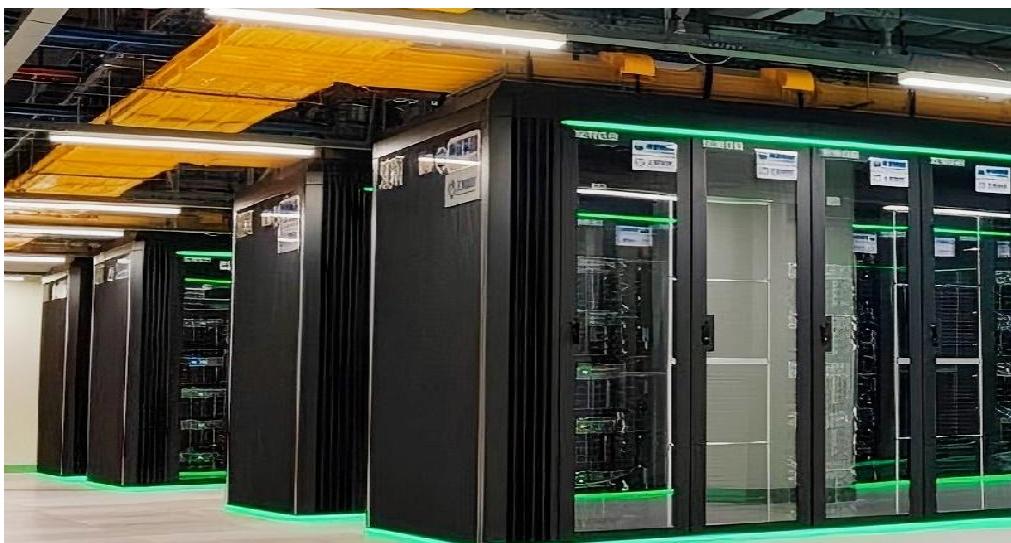


图 9：四川能投天府云数据产业基地 D1 楼 42kW 风冷高功率机柜

二、主动作为提供用电负荷调节匹配能力

浩云长盛中卫 2 号数据中心主动对接供电部门，与电力调度侧建立联动机制，在及时掌握负荷预测、调峰目标、风险预警等关键信息的基础上，建立用电方案及不同类型突发

情况专项预案，并事先预留 200kW 的专项负荷调整空间，明确该部分负荷的管控规则，在夏季、冬季等用电高峰季节前每月开展 1 次负荷应急调整实操演练。2025 年该数据中心主动响应调峰需求 5 次，应对紧急情况 3 次，并在每次响应完成后，及时向国家电网调度部门反馈负荷削减实际情况，配合完成效果评估，在保证自身用电安全的同时，为电网提供用电负荷调节匹配能力，支持新型电力系统建设。



图 10：浩云长盛中卫 2 号数据中心进行需求侧调峰响应现场图

三、因地制宜提升余热利用水平

克拉玛依碳和水冷数据中心建有液冷系统，余热品位相对较高，且所在地年取暖期在 180 天以上。在取暖期，该数据中心通过大流量小温差换热器提取液冷系统中服务器冷却循环内高温回水（ $40^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ ）余热，并视供热距离由太阳能槽式聚光光热系统及热泵系统提质。该系统初期已实现向数据中心自有生产及办公区域（约 4400 m^2 ）稳定供暖，年节电约 130 万千瓦时，远期将实现向周边市政及设施农业供暖。

同时，为在非取暖期充分利用余热及太阳能聚光光热系统，该数据中心在积极探索结合低温溴化锂吸收式制冷系统实现“热制冷”。

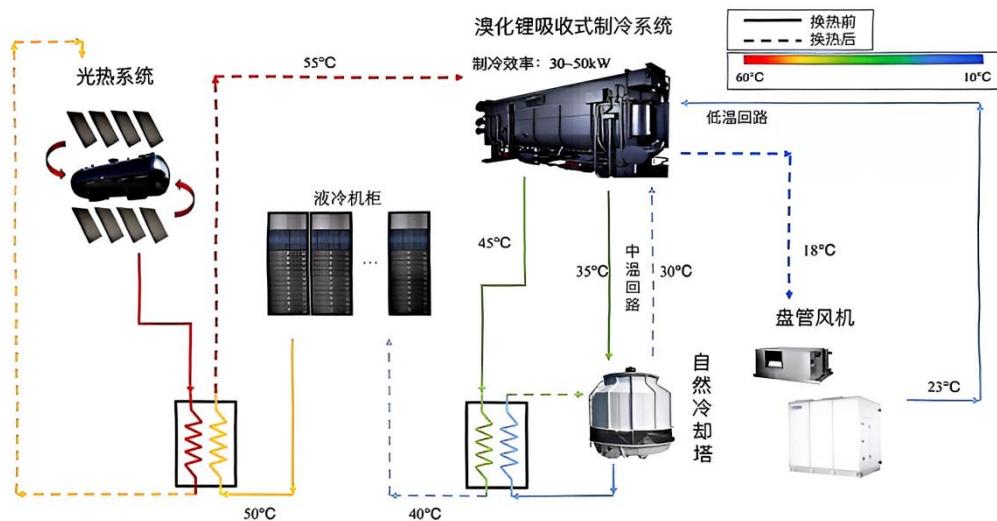


图 11：低温溴化锂吸收式制冷系统架构

合盈数据（怀来）科技产业园 ND11 数据中心为大型数据中心，余热量相对较大，在自用同时，通过配套建设独立换热站与市政管网联通探索为周边产业园区提供市政供暖。该数据中心在冷冻站回水管网部署余热回收用板式换热器提取机房冷冻水高温回水（23°C）余热，使其分别经水源多联机组向机房楼和柴发楼房间供热，经水源热泵提质到 40°C 用于办公楼供热，进一步提升到 60°C 用于市政供热，2024 年度实现节能 677 吨标准煤（按燃气锅炉用能折算）。同时，该数据中心推动合作金融机构认可余热回收实践为数据中心用能绿色转型的重要特征之一，将其纳入绿色信贷评估体系，并据此发放数据中心碳中和可持续发展贷款。



图 12：合盈数据（怀来）科技产业园 ND11 数据中心
余热回收用板式换热器

抖音—中联绿色大数据产业基地 6 号楼采用间接蒸发冷却与氟泵空调组合制冷的风冷方案。针对风冷系统因空气热容低，余热回收功率有限问题，该数据中心在空调冷凝侧加装冷媒—水换热器，解耦压缩机与风机联动控制关系，并结合当地气候条件寻找制冷模式最经济切换点。当制冷模式切换至冬季运行状态时，冷媒与热通道回风换热汽化后，在关闭风机状态下由压缩机将常温常压冷媒蒸汽加温加压至 $80^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ 并输送至冷媒—水换热器，将循环水加温至 $50^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ 用于供暖，系统性能系数（COP）达 9.7，2024 年度实现为办公楼及配电间、柴油机房等附属用房共 14500 m^2 提供冬季供暖及生活热水。为充分利用余热，该数据中心目前正在相关主管部门协调下探索冬季为设施农业供热。

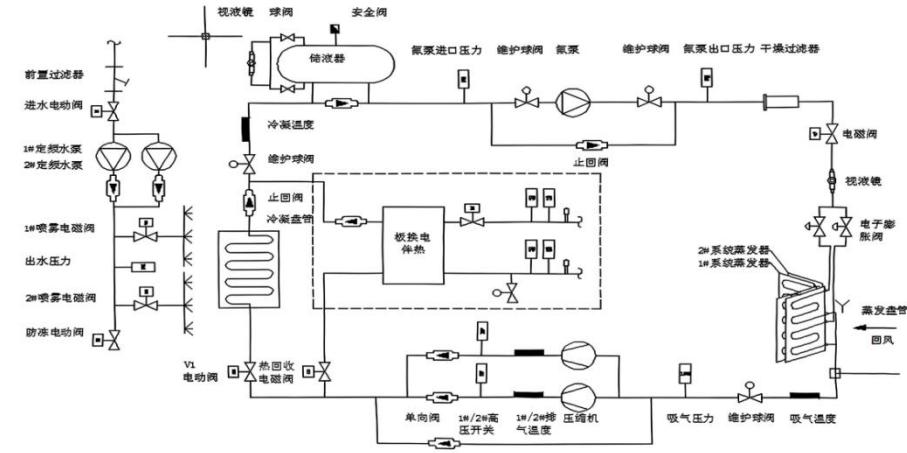


图 13：带热回收系统氟泵空调架构

四、人工智能（AI）技术赋能降低用水量

快手智能云乌兰察布大数据二园区数据中心项目 B1 机房楼采用由间接蒸发冷却机组制冷的风冷方案。该数据中心通过设备机理模型综合预测设备耗电量、耗水量，并设定判断权重，取综合比较后最优解设定机组制冷模式。在需启动喷淋模式和混合制冷模式时，该系统可采用人工智能（AI）技术对用水和用电进行同步调控，减少无效喷淋，并通过全天能耗预测控制喷淋时间，将有限供水量用于全日能耗最高时段。2024 年度电能利用效率（PUE）值达到 1.23，同时，单位信息设备能耗用水量（WUE）达到 $0.05\text{L}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

概览									
送风温度控制算法		干模式切换阈值算法		压缩机加载裕度算法		节水算法		老化预测算法	
策略启用状态：启用 手动/自动(当前)：手动 设置：		调用序							
最近值班日期	2025-12-31	最近值班时间	00:01	压缩机制冷上启(Hz)	100.0	当日可用水量(m³)	500.0	室外用水量设置(m³)	183.6
必备用水量(℃)	30.0	必备用水量时间段	07:00-08:00,11:00-12:00,14:00-19:00	必备用水量预测(m³)	75.6	单台AHU用水量分配(m³)	12.56	室外可用水量预测(m³)	424.4
室外用水小时预测 荐	00:00-07:00,08:00-11:00,12:00-13:00,19:00-24:00	当日总用水量预测(m³)	259.2	当日总用电量预测(kWh)	8149.87				
执行日志：									
AHU	最近值班 时间	最近值班 时间	点名称	对应数据点	启值	准启值	当前值	手动/自动 状态	启/停下 发状态
AH001	2025-12-31 00:01	AJ_启停开闭时间推荐	启闭开闭时间设置	14.0	00:00	14.00	手控	启行	--
AH001	2025-12-31 00:01	AJ_启停开闭时间推荐	启闭开闭时间设置	14.0	14:00	14.00	手控	启行	--
AH001	2025-12-31 00:01	AJ_启停开闭时间推荐	启闭开闭时间设置	21.0	24:00	21.00	手控	启行	--
AH001	2025-12-31 00:01	AJ_启停开闭时间推荐	启闭开闭时间设置	21.0	13:00	21.00	手控	启行	--
AH002	2025-12-31 00:01	AJ_启停开闭时间推荐	启闭开闭时间设置	21.0	13:00	21.00	手控	启行	--
AH002	2025-12-31 00:01	AJ_启停开闭时间推荐	启闭开闭时间设置	14.0	00:00	14.00	手控	启行	--
AH002	2025-12-31 00:01	AJ_启停开闭时间推荐	启闭开闭时间设置	21.0	24:00	21.00	手控	启行	--

图 14：快手智能云乌兰察布大数据二园区数据中心项目 B1 机房楼水电同步调控系统

五、算力调度提升信息设备负荷使用率

泽悦数据中心 A—1 围绕万卡级智算算力集群，构建全局智能调度系统并持续优化控制策略，实现算力牵引、设施随动。在算力集群处理人工智能（AI）大模型训练及推理任务时，该系统将算力资源转化为虚拟资源池，根据算力任务优先级、算力负载需求等参数，通过算力切分、跨节点聚合、内存虚拟化等技术，实现对池内算、存、运物理资源的统一动态调配，让信息设备运行在最优负载区间，并自动休眠闲置算力，降低能耗。同时，该系统支持制冷、供电等基础设施运行状态与信息系统运行状态同步调整，减少无效供冷与供电。相比投运初期，该数据中心已实现节能 20%以上。

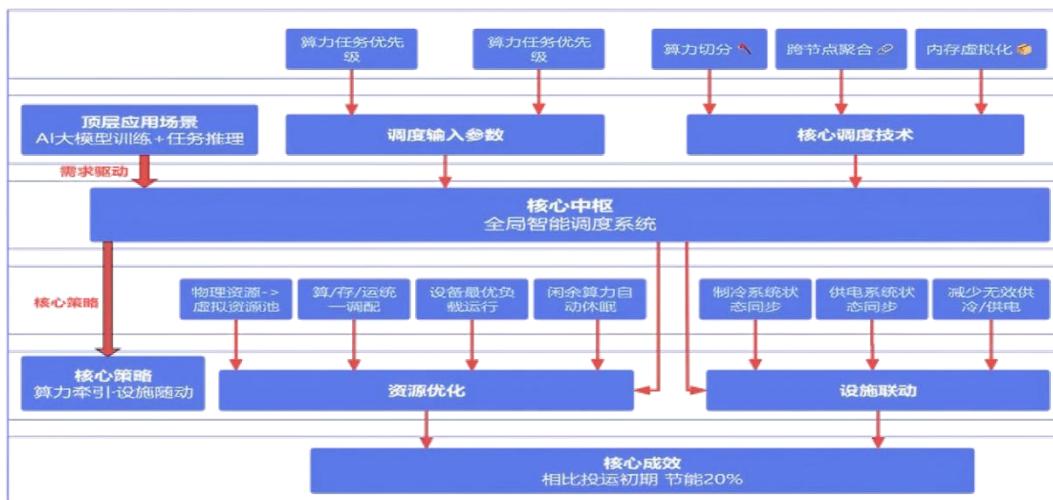


图 15：泽悦数据中心 A—1 万卡级智算算力智能调度系统架构

尚航华东云基地 1 号楼数据中心通过对计算资源进行虚拟化拆解和池化整合并建立异构算力调度中枢提供云化算力服务。该数据中心为客户建立专属算力单元，既可保证客户数据安全，又可根据客户业务波动随时调整单元容量，将闲

置资源调整至备份状态，用于应对新客户或现有客户的临时扩容需求。该数据中心结合客户对算力服务的需求提供多种商业模式，推动客户快速释放闲置算力资源。针对不同业务类型，该数据中心优化算力资源配置，充分发挥算力资源配置性能。同时，该数据中心加入无锡算力服务体系，使算力资源形成互补。通过上述措施，尚航华东云基地 1 号楼数据中心 2024 年度信息设备负荷利用水平达到 61.3%，单位电能消耗产出效益处于行业先进水平。



图 16：无锡城市智算云平台

新丝绸之路云计算中心建有多源异构算力统一调度平台，该平台通过机器学习分析历史负载数据，提前 72 小时预测算力需求峰值，可基于预测调整算力资源分配策略，对于实时需求也可实现算力资源秒级响应，从而实现对算力资源动态分配，避免传统静态分配导致的资源闲置。2024 年度信息设备负荷使用率达 60.65%。该平台可实时监控设备状态与能耗数据，当某机房服务器利用率低于 30% 时，系统自动将业务

负载迁移至相邻高负载区域，同时关闭闲置服务器，降低能耗。结合其他节能措施，该计算中心 2024 年度电能利用效率（PUE）值达到 1.25。

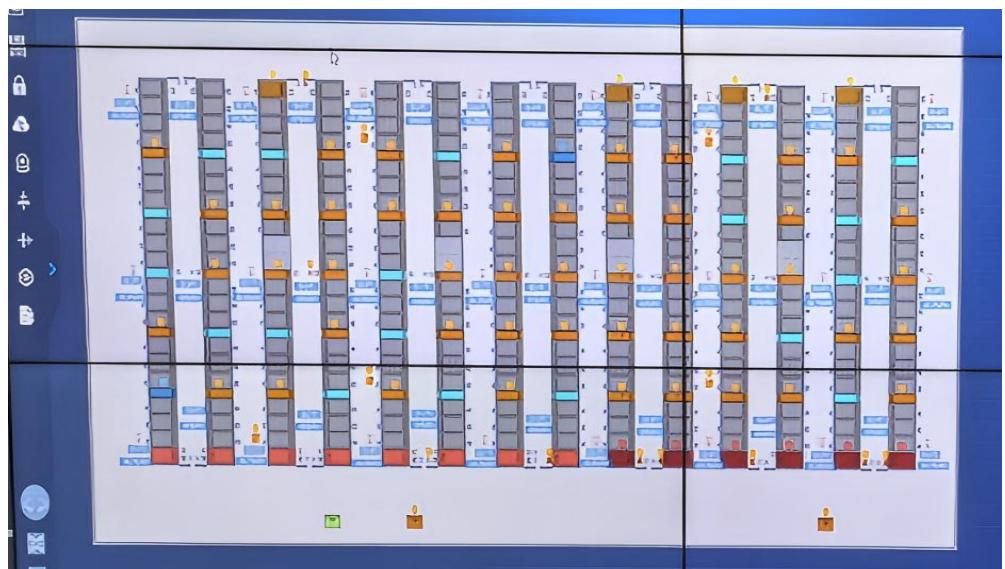


图 17：新丝绸之路云计算中心一体化综合管理与治理系统