

国家绿色算力设施先进经验与典型案例之二： 信息通信领域

2025 年度信息通信领域国家绿色算力设施共有 26 家，分别为中国电信杭州智算中心 1 号楼、中国电信浙江分公司温州滨海数据中心、中国电信昌吉云基地 4 号数据中心、中国电信兰州新区大数据产业园 A 座机楼、中国电信东数西算国家枢纽庆阳算力中心、中国电信无锡国际数据中心三期 A 栋、中国电信苏州公司吴江算力调度中心 1# 算力机楼、中国移动长三角（金华）数据中心、中国电信临港信息园区 A4 数据研发机楼、中国电信云计算内蒙古信息园 A8 数据中心、中国联通（青岛）智算中心 DC1、中国电信安徽智算中心 A2 楼、中国移动长三角（南京）数据中心 1 号楼、中国电信云计算贵州信息园 A9 数据中心、北京联通首钢园数据中心、中国电信中部云计算大数据中心（临空基地）、中国移动（甘肃庆阳）绿色智算中心、中国电信四川公司西信二期数据中心、中国电信陕西公司西咸云基地 5# 数据中心、中国移动（重庆）数据中心 C 栋、中国移动京津冀（天津）西青数据中心 A1 机楼、中国联通福州智云数据中心、中国移动（福建福州）数据中心 A—1 栋、中国移动（云南昆明）数据中心 B02 栋、中国电信东盟国际信息园 2 号数据中心、中国移动长三角（无锡）数据中心 3 号楼。其绿色化建设的先进经验做法如下：

一、多形式绿色化改造提升算力设施能效

中国电信浙江分公司温州滨海数据中心原机房设计方案老旧、设备老化，能耗高且影响运行安全。但作为市级核心机房，该数据中心无法整体搬迁或停机改造。基于温州地区气候特点，结合节能降碳诊断工作，该数据中心在原系统基础上构建“自然冷源+机械制冷”的制冷系统，采用在室外增设间接蒸发冷却冷水机组，在室内用双冷源精密空调替换原有冷却水型氟系统精密空调，同时部署智能化冷源切换管理系统的方案进行改造，并在改造期间保证了数据中心的持续稳定运行。改造完成后，全年可利用自然冷却时长占全年总时长 40%以上，相比改造前节能约 35%，2024 年度电能利用效率（PUE）值达到 1.19。

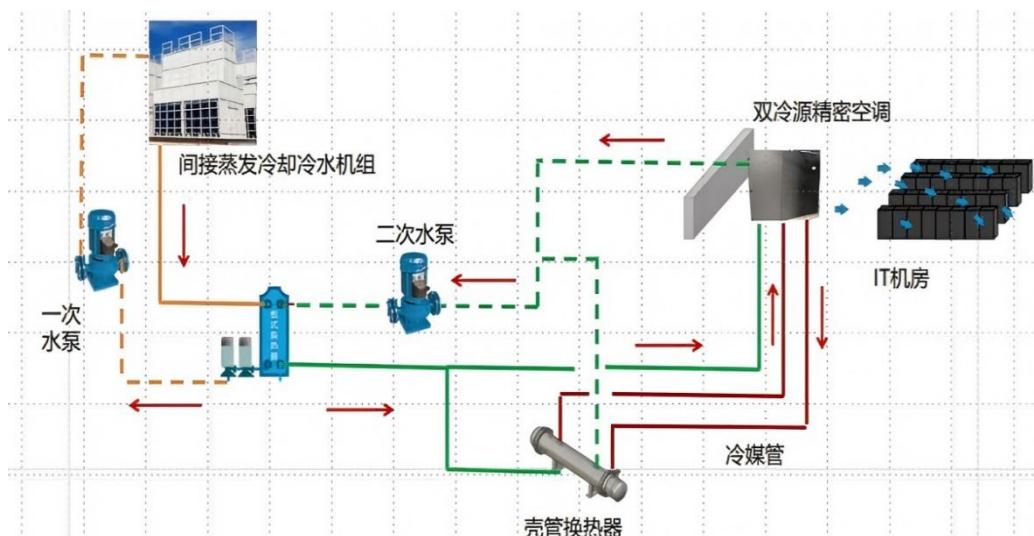


图 1：中国电信浙江分公司温州滨海数据中心冷却系统架构

中国电信四川公司西信二期数据中心为减少气流冲突引起的冷量浪费，常态化迭代优化气流组织方案，定期利用专业仿真软件结合末端机柜温湿度实测数据验证方式对机房气

流组织情况进行分析，并制定出新增回风管、配置机柜盲板、加装冷通道导流板、恢复热通道地板等组合改造方案。结合设备运行状态调优，2024 年度电能利用效率（PUE）值相比投入运行初期降低 15%。同时该数据中心借鉴成功经验，积极探索复制合同能源管理（EMC）模式实现轻资产运营。



图 2：中国电信四川公司西信二期数据中心末端机柜温湿度监控系统

中国移动（福建福州）数据中心 A—1 栋原始设计冷却系统整体能效偏低。该数据中心开展节能降碳诊断工作，结合当地气候特点，确定自然冷源利用方案——在不影响数据中心运行的情况下，在冷冻水系统中串联接入板式换热器，并对原单点运行冷却塔进行并联改造，在人工智能（AI）群控系统支持下实现多塔协同调度与动态调节，充分利用全部冷却塔冷却容量。改造完成后，冷却系统优先启用板式换热器-冷却塔运行模式，全年自然冷却可利用时长接近 4000 小时，相比改造前节能约 30%。

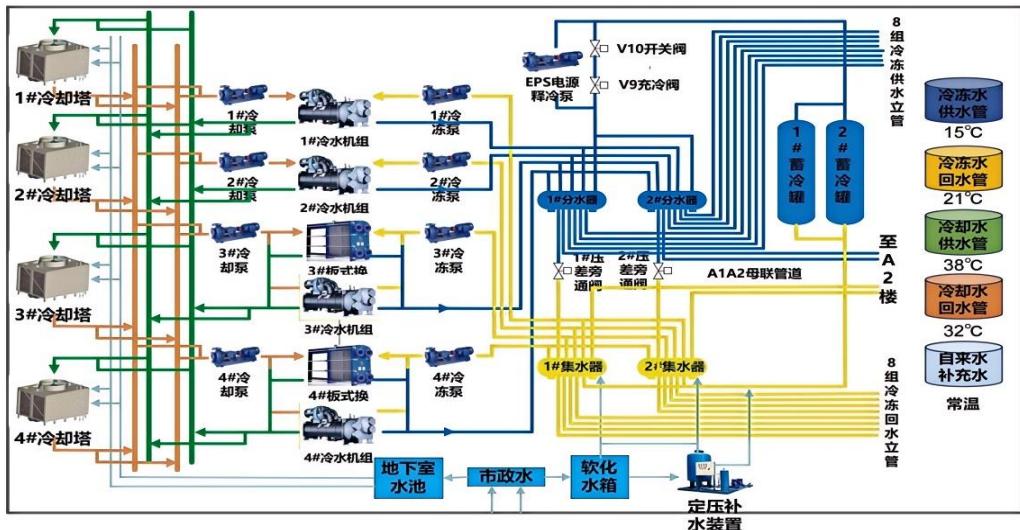


图 3：中国移动（福建福州）数据中心 A—1 栋冷却系统架构

二、人工智能（AI）技术赋能电能利用效率提升

中国移动长三角（无锡）数据中心 3 号楼采用灰箱化人工智能（AI）能耗控制模型对冷源制冷机组、冷却塔、水泵三大主要设备运行状态进行综合寻优。针对模型控制状态与设备实际工作状态之间的偏差，该模型支持导出人工智能（AI）调控逻辑，协助运维人员核查人工智能（AI）决策合理性。针对设备性能退化导致寻优失效的情况，该模型支持通过再训练方式进行迭代校准。当实际能耗对比模型预测能耗偏离度超过 10% 时，运维人员可根据动环、楼宇自控（BA）系统采集的冷源用电量、设备能效、管路流量、负载率等 300 组典型运行工况参数，对模型拟合参数进行修正，直至模型能耗预测准确性达 95% 以上。通过对该灰箱化模型的采用及调优，该数据中心实现节能 15% 以上。

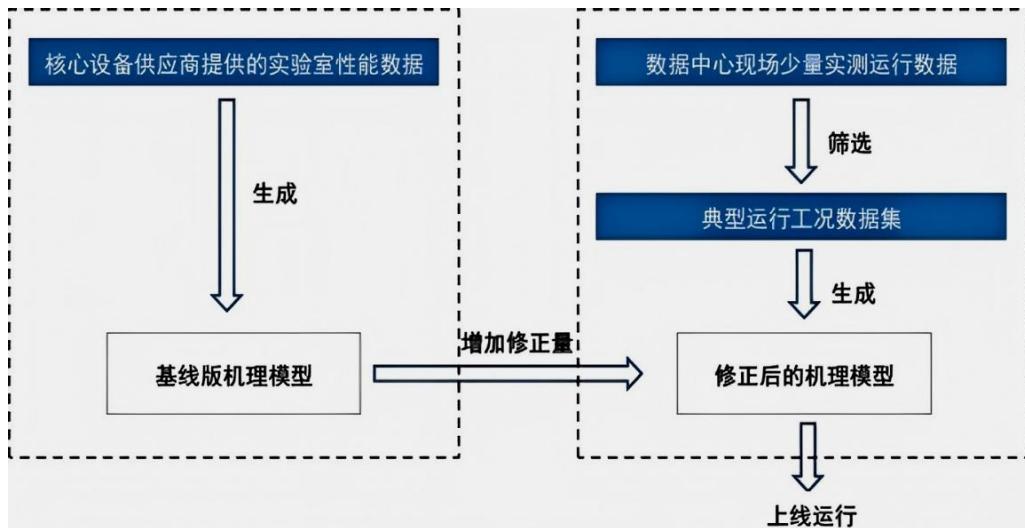


图 4：中国移动长三角（无锡）数据中心 3 号楼能控模型再训练流程

中国电信东盟国际信息园 2 号数据中心针对引入的人工智能（AI）节能系统内置策略不完全符合冷却系统运行需要和所在地气候特征的情况，对其进行了深度调试。首先由专家团队基于运维经验制定冷却系统运行参数及调控策略，经运维团队观察并反馈冷却系统运行状况，再由人工智能（AI）节能系统分析专家所给出参数的内在逻辑并可视化展现实施效果，进而优化自身控制算法。通过此种方式，固化了专家经验，提升了冷却系统智能化管控水平。同时，人工智能（AI）节能系统调试的效率相较传统模式提升 2 倍以上。

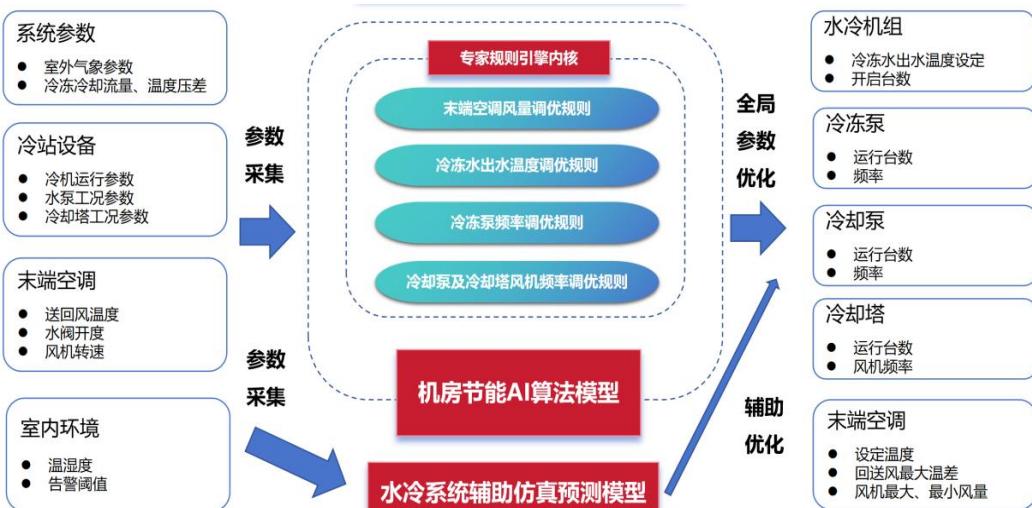


图 5：中国电信东盟国际信息园 2 号数据中心节能智能控制系统

中国移动（云南昆明）数据中心 B02 栋利用建设阶段的建筑信息模型（BIM）构建数据中心基础设施管理（DCIM）系统，实现机房资源三维可视化管理，并支持智能巡检机器人进行机柜级定位精度巡检及数据实时采集，提升运维效率 50% 以上。系统可实时结合机房模型建立三维温度场并模拟机房气流组织，以此为基础，在人工智能（AI）技术及物联网（IoT）技术支持下，对机房环境和冷源运行工况进行协同分析后生成运维优化策略，充分挖潜昆明空气干燥、昼夜温差大的气候优势，2024 年度电能利用效率（PUE）值达到 1.22。

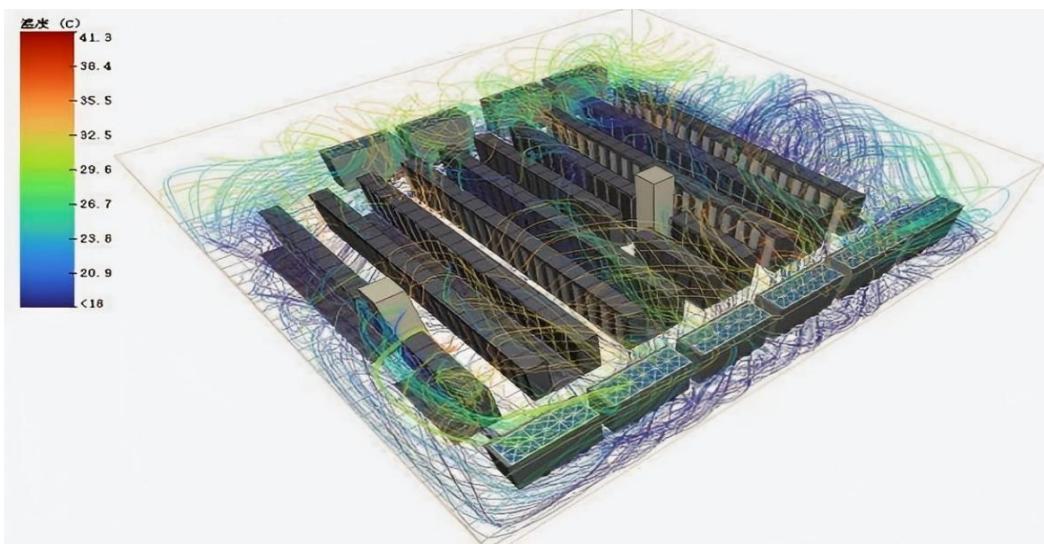


图 6：中国移动（云南昆明）数据中心 B02 栋机房气流组织模拟

中国电信兰州新区大数据产业园 A 座机楼为提高制冷效率，解决冷量分配不均、调控响应滞后等问题，对传统数据中心精密空调群控系统进行智能化算法改进，引入基于历史温度 - 风量数据训练形成的人工智能（AI）专业小模型，结合物联网（IoT）技术，使该系统支持多参数下自动寻优及动

态调整每个风阀的开度，实现机柜级按需送风，响应时间可达到秒级，并支持远程管理与可视化。引入该技术后，单位信息系统能耗所需冷却系统制冷功耗降低 16.4%。

温湿度总览															
数据中心1F		数据中心2F		数据中心5F		动力中心1F		动力中心2F							
	1#冷	2#冷	3#冷	4#冷	5#冷	6#冷	7#冷	8#热	9#热	10#热	11#热	12#热	13#热	14#热	15
温度	26.2°C	22.5°C	22.5°C	20.7°C	21.7°C	24.5°C	22.3°C	22.3°C	21.3°C	20.8°C	20°C	21.3°C	20.5°C	18°C	23.
湿度	30.9%	41.5%	44.7%	46.4%	43.4%	37.4%	41.6%	44.7%	50.7%	51.1%	50.1%	43.5%	45.4%	54%	40
101机房															
	1#			2#			3#								
温度	19.5°C			18.3°C			18.5°C								
湿度	21.1%			23.4%			23.4%								
101电池室															
	1#			2#			3#								
温度	24.3°C														
湿度	14.6%														
102机房															
	1#冷	2#冷	3#冷	4#冷	5#冷	6#冷	7#冷	8#热	9#热	10#热	11#热	12#热	13#热	14#热	15
温度	22°C	25.4°C	22.7°C	21.3°C	25.3°C	20.8°C	23.7°C	23.1°C	23°C	22.8°C	23.1°C	22.8°C	22.8°C	23°C	22.
湿度	31.7%	23.9%	30.7%	36.5%	27.4%	35.5%	29.8%	31.4%	32%	29.6%	31.4%	30.9%	33.9%	30.9%	30

图 7：中国电信兰州新区大数据产业园 A 座机楼机柜状态监控系统

中国电信云计算贵州信息园 A9 数据中心为减少传统群控系统粗放调节导致的时间滞后和冷量浪费，首先采用环形控制架构替代传统“星形”控制架构。该架构使制冷设备相互间可通过通信自动协调运行状态，实现互为备份，还能通过增强操作弹性维持设备在高效区间工作。在此基础上，该数据中心结合历史负荷数据、室外湿球温度及专家经验，训练形成人工智能（AI）专业小模型，用于分析机房空调末端换热负荷的变化趋势，进而预判对冷冻水的需求，并以此控制冷冻水泵转速，减少制冷设备输出冷量与末端换热负荷需求在数量与时间上匹配的波动，减少由此造成的冷量浪费及输送能耗，2024 年度电能利用效率（PUE）值达到 1.23。

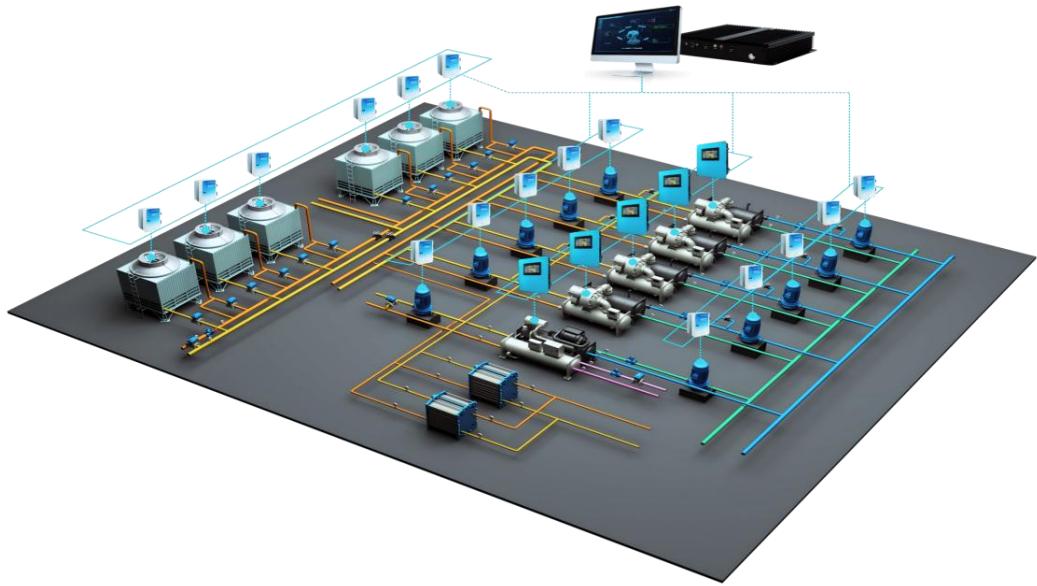


图 8：中国电信云计算贵州信息园 A9 数据中心制冷设备控制架构

三、利用蓄冷系统改善低负荷期电能利用效率

中国移动长三角（金华）数据中心内的 D07 楼在投产初期，负荷不足设计值的 20%，制冷系统按设计策略运行将导致冷机喘振、冷量浪费等问题。该机房楼利用配套建设的 1 座 702 m^3 蓄冷罐（蓄冷量 $5275 \text{ kW}\cdot\text{h}$ ），基于室外湿球温度波动规律，在低温季节（湿球温度 $< 17^\circ\text{C}$ ）采取单台板式换热器与蓄冷罐组合交替供冷策略，在过渡季节（湿球温度在 $17^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ 之间）采取多台板式换热器与蓄冷罐组合交替供冷策略，在高温季节（湿球温度 $> 20^\circ\text{C}$ ）采取单台制冷机组与蓄冷罐组合交替供冷策略。在保证供冷可靠性的前提下，年度制冷能耗下降 29%，冷源能效比提升 40.8%，实现数据中心电能利用效率（PUE）值“投产即达标”。



图 9：中国移动长三角（金华）数据中心 D07 楼蓄冷系统外观

四、探索算电协同调度，提高电力需求侧响应能力

中国电信临港信息园区 A4 数据研发机楼依托算电协同调度与管理系统，在兼顾全局调度效率和流量切换平滑度前提下，实现不同算力设施间分钟级调度能力，在收到当地电网发出的需求侧响应调度信号后，在 3 分钟内将运行中的人工智能（AI）推理任务无感迁移至湖北十堰的数据中心运行，调度结束后，相关任务无缝切换回原信息设备。本次调度涉及智算算力 10PFlops，调度期间用电负荷功率下降 75%，累计降低用电量 200kW·h。经核算，若全部算力资源参与响应，最高可降低用电负荷 8MW，可发挥小型调峰电站作用。



图 10：中国电信临港信息园区 A4 数据研发机楼算电协同调度过程

五、算电协同布局提升可再生能源利用水平

中国电信东数西算国家枢纽庆阳算力中心、中国移动(甘肃庆阳)绿色智算中心位于甘肃省布局建设的全国一体化算力网络国家枢纽节点，其通过甘肃省电力交易中心搭建的区域电力交易平台及“省间+省内”协同平台，采用“绿电交易+绿证核销”模式，参与“中长期合约+现货交易+辅助服务”立体化交易，灵活调整交易策略，提升绿电采购效率，2024年度可再生能源利用率均达80%以上。



图 11：电力交易辅助决策系统

中国电信云计算内蒙古信息园A8数据中心位于内蒙古自治区布局建设的全国一体化算力网络国家枢纽节点，2024年度可再生能源利用率达89.4%。该数据中心探索“绿电直供”形式应用可再生能源电力，在所在地政府牵头下，通过与新能源发电公司合作分工建设供电线路及变电站，以及签订绿电直供协议，2024年度直供绿电已占消纳可再生能源电力总

量的 63.7%。

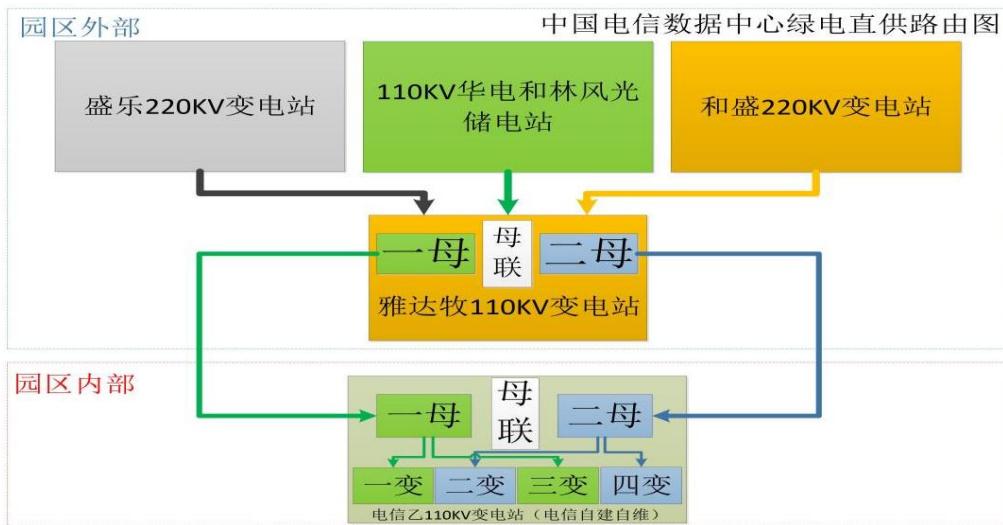


图 12: 中国电信云计算内蒙古信息园 A8 数据中心绿电直供路由图

六、协同数据处理支持算电协同布局

“闽宁云”为中国联通为充分发挥不同地区算力设施优势，依托 400G 带宽直达网络，在福建和宁夏布局建设的算力联合体项目。中国联通福州智云数据中心为“闽宁云”在福建的载体之一。实际运行过程中，该数据中心识别并区分数据处理业务类型及需求，与在宁夏中卫布局的数据中心协同进行处理。如某自动驾驶项目，该数据中心首先对原始数据进行封装及标识，将封装后的海量数据发送至中卫进行长期存储及人工智能（AI）大模型训练，训练成果回传至该数据中心用于支持属地自动驾驶控制业务。通过分工合作，两地数据中心可发挥各自低时延及可再生能源优势。



图 13：“闽宁云”中国联通中卫云数据中心

七、利用蓄冷系统提高用电负荷调节能力并节能

中国移动京津冀（天津）西青数据中心 A1 机楼充分利用配套建设的 750 m^3 蓄冷罐蓄冷能力，基于实时空调负荷分析结果，结合峰平谷电价政策，对制冷负荷与蓄冷罐释冷负荷进行动态分配与协同调度——在电价低谷期及用冷低谷期重合时段将冗余冷量以低温水（ $14^{\circ}\text{C} \sim 18^{\circ}\text{C}$ ）形式储存到蓄冷罐，使其达到满容量蓄冷状态；在电价高峰期及用冷高峰期重合时段优先启用蓄冷罐释冷满足负荷需求，替代或减少制冷机组运行，使制冷机组始终保持在 $30\% \sim 70\%$ 负荷水平的高能效区间，并为电网提供调节能力，实现错峰用能。采用此种模式后，制冷系统节电 30% 以上，同时增强了系统运行的稳定性与可靠性。

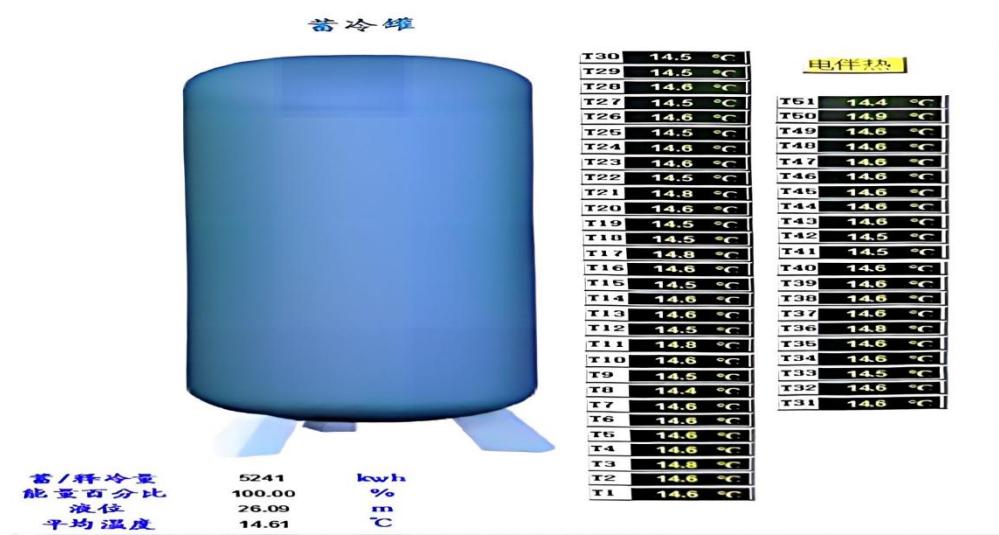


图 14: 中国移动京津冀 (天津) 西青数据中心 A1 机楼
蓄冷罐控制系统

八、结合管理体系创新提升数字化能碳管理水平

中国电信安徽智算中心 A2 楼按照中国电信安徽公司创新建立的“碳长制+链长制”管理体系，由省公司相关领导担任“链长”，负责按数据中心全生命周期时间链实施节能降碳管理。同时，数据中心被划分为 32 个“碳排放管理单元”，在每个单元设立“碳长”，具体负责本单元的能耗监测、节能优化等工作。中国电信安徽公司结合该管理体系建设双碳数字化管理平台，将机架利用情况、能耗、碳排放、费用支出等数据拉通并进行融合分析，并向“碳长”“链长”智能化发送具体任务单，实现数字化能碳管理“纵向到底、横向到边、全面覆盖”，2024 年度该数据中心电能利用效率 (PUE) 值同比降低 5.3%。

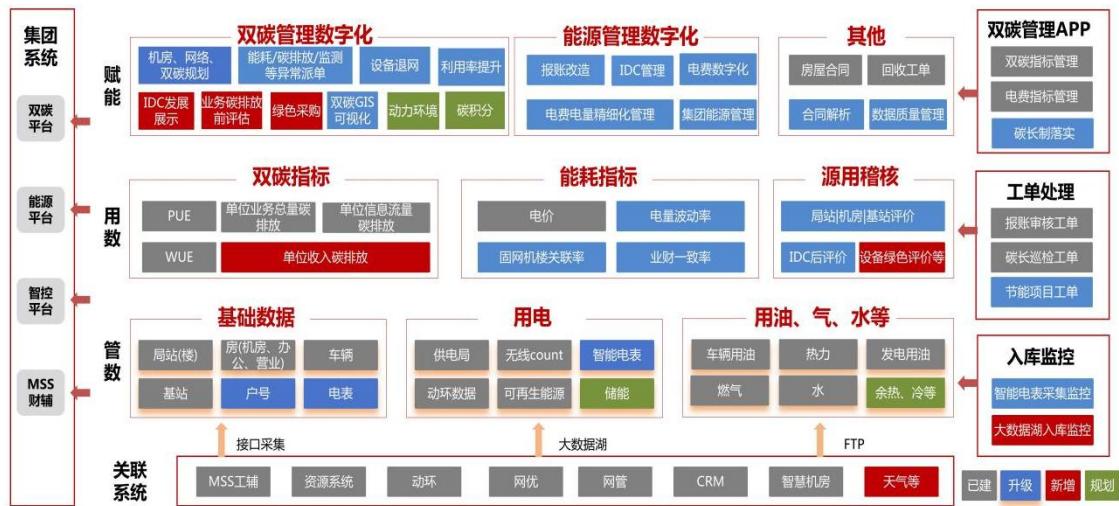


图 15：中国电信安徽公司双碳管理平台系统架构

中国移动（重庆）数据中心 C 栋在执行中国移动重庆公司为落实“碳达峰、碳中和”战略决策以及“节能、洁能、赋能”工作目标而提出的“C²三能计划”过程中，明确能耗总量及电能利用效率（PUE）值具体目标，结合数据中心实际情况提出识别并清退低效设备、既有设施能效深度挖潜、碳排放量实时对标分析及报警等具体任务，并将任务过程、领导小组及归口管理组的职责与数据中心数字化能碳管理平台相结合，实现任务节点责任到人、任务效果直观可见，支持对具体目标完成情况可管、可控。2024 年度电能利用效率（PUE）值较设计值降低 0.03，年度单位信息流量综合能耗下降 5.9%。

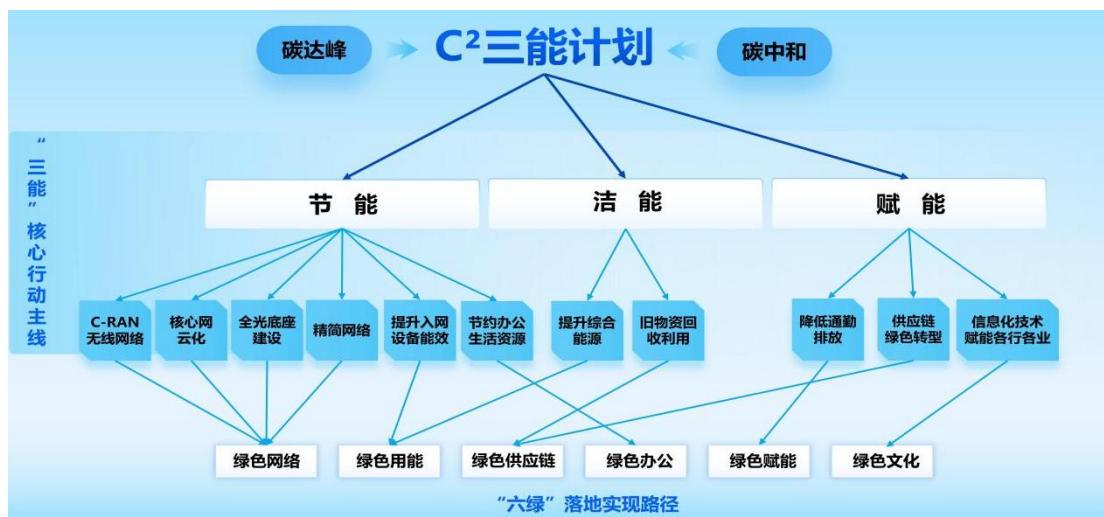


图 16：中国移动重庆公司“C²三能计划”架构

九、多策并举提高水资源利用水平

中国移动长三角（南京）数据中心 1 号楼为定制化机房楼，设有 4 套不同架构的制冷系统。为提高运维效率，该数据中心综合采用数字孪生技术及人工智能（AI）技术，对机房环境进行数字化建模，并建立动环、电力、暖通等 11 类数据接口，探寻制冷系统综合节能节水配合运维经验调优措施，在日常水量分析基础上，动态调整冷却塔风机的转速和冷却水流量，及时关闭冗余冷却塔模组，同时更新水处理设备为自动加药及排污装置，实现综合节水 60% 以上。2024 年度电能利用效率（PUE）值达到 1.25，单位信息设备能耗用水量（WUE）低至 $0.66\text{L}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

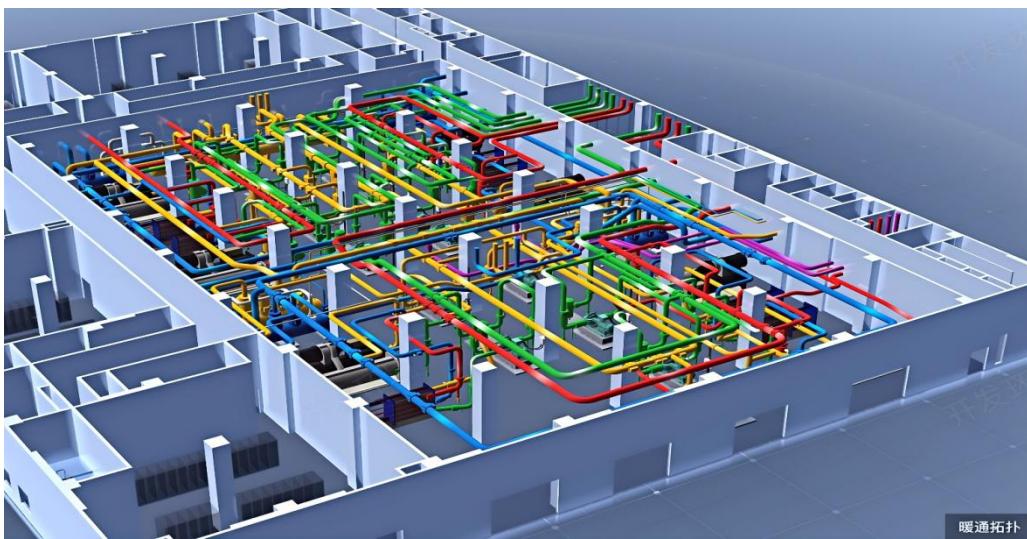


图 17：中国移动长三角（南京）数据中心 1 号楼数字孪生系统

中国电信昌吉云基地 4 号数据中心所在地水资源较为紧张，该数据中心结合“间接蒸发冷却冷水机组+水冷冷冻水空调机组”组合模式用水特点，针对不同室外温湿度工况不断探索总结优化节水设置，并通过动态调整风机转速使冷却系统能耗匹配负载变化，对喷淋废水也实现了 95% 循环回用，在

充分利用自然冷源的同时，力争按需耗水。2024 年度单位信息设备能耗用水量 (WUE) 低至 $0.62\text{L}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。



图 18：中国电信昌吉云基地 4 号数据中心间接蒸发冷却冷水机组

中国电信无锡国际数据中心三期 A 栋利用所在地空气湿度相对较大的特点，在制冷机房顶面增设水平收集管，并通过重力自流回水设计，使空调机组产生的冷凝水流入沉淀水箱，再经自然沉淀过滤去除杂质后输送至地下蓄水池，回用于冷却塔补水。2024 年度该数据中心回收冷凝水 12790 吨，可减少水资源消耗量 76%，单位信息设备能耗用水量 (WUE) 低至 $0.68\text{L}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

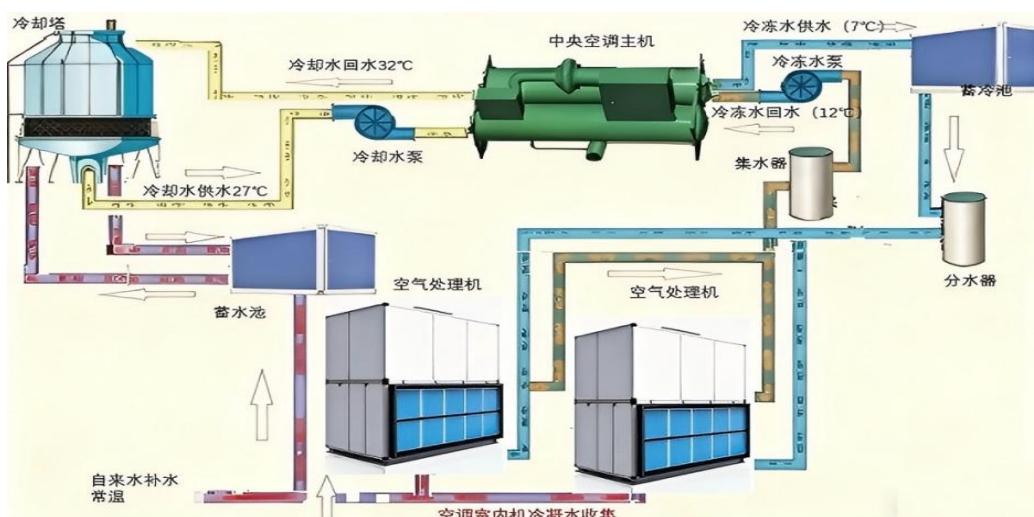


图 19：中国电信无锡国际数据中心三期 A 栋水回收利用系统架构

中国电信中部云计算大数据中心（临空基地）所在地江西省南昌市夏季高温多雨、冬季温和少雨，且年温差较大，针对此种气候条件，该数据中心在规划阶段优选“直膨式风冷空调机组+蒸发冷却磁悬浮变频离心机组”组合方案，兼顾节水与节能。在实际运行过程中，该数据中心通过定期清洁保证室外散热器散热效率，及引入人工智能（AI）群控系统实现所有空调设备的智能化联动控制，在充分利用自然冷源的同时，减少对水资源的消耗。2024 年度电能利用效率（PUE）值实现 1.21，单位信息设备能耗用水量（WUE）仅为 0.33L/（kW·h）。

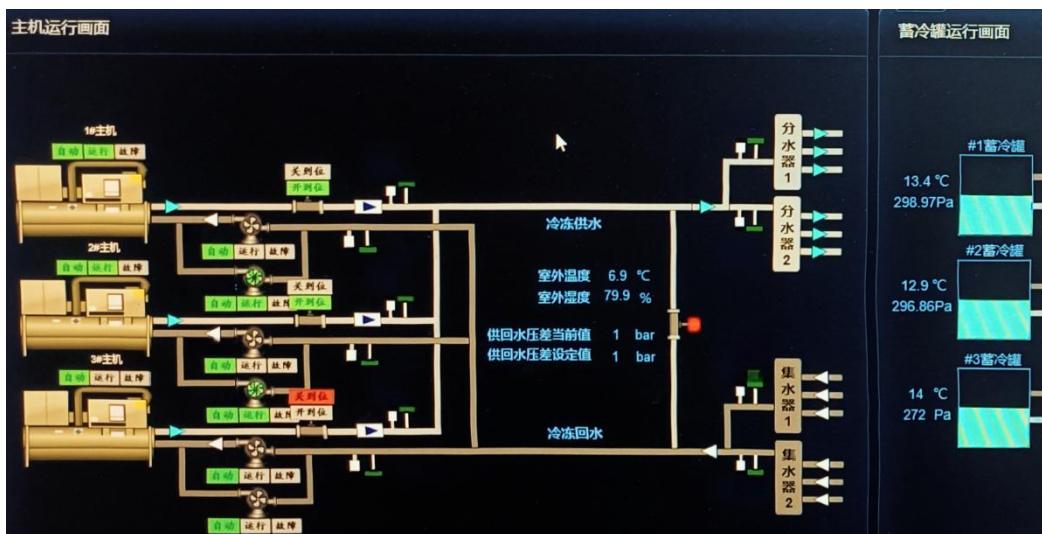


图 20：中国电信中部云计算大数据中心（临空基地）设备联控系统

十、结合老工业区改造升级实现集约建设

北京联通首钢园数据中心依托中国联通、中国人保、首钢集团三方战略合作，将原利用首钢老工业区建设的冬奥会技术运行中心进一步改造升级为数据中心。该数据中心结合金融业务需要统筹规划布局，标准机架数达 3236 个，节省新建投资 40%。在充分利用原有 5G+边缘计算、智能环控等核

心技术基础上，该数据中心引入并应用水蓄冷、全直流变频氟泵空调、余热回收、冷机智能群控等先进节能降碳技术，在实现“工业遗存活化+奥运遗产转化”的同时，2024年度电能利用效率（PUE）值降至1.27，可再生能源利用率达80.9%，余热回收率达15.7%。



图 21：首钢老工业区内改造完成的北京联通首钢园数据中心

十一、综合调控稳定信息设备负荷使用率并节能

中国电信苏州公司吴江算力调度中心1#算力机楼与国内高等院校、设计院所联合研发融合负荷调控与机房空调运行调优为一体的控制平台，将数据中心视为有机整体进行系统调控。平台在对各信息设备负荷进行毫秒级监测与分析的基础上，通过负荷预测模型提前预判，自动将冗余数据处理任务调度至低负载节点，维持信息设备负荷稳定在60%左右，避免低负载导致的资源闲置，也避免超负荷运行引发设备故障。同时，平台结合苏州本地温湿度、降水等气候数据及机房负载数据预测并设置空调运行参数与制冷策略，使冷量供给与设备散热需求匹配的同时，减少运行状态波动，实现数据中心空调系统节电10%。



图 22: 中国电信苏州公司吴江算力调度中心 1#算力机楼联控平台

十二、优化配置提升网络资源利用率

中国电信陕西公司西咸云基地 5#数据中心深化应用流量特征识别，将业务流量识别并区分为核心业务流量、辅助应用流量与冗余流量，动态分配带宽，同时基于 12 个月流量时序数据，构建人工智能（AI）决策体系，提前 2 至 4 小时预警链路与集群拥塞，结合动态调度技术，使拥塞发生率下降 60% 以上。在此基础上，该数据中心自动分析客户流量特征，智能生成低高峰期算力调整、路由优化等定制化优化方案，在优化用户体验的同时减少数据中心带宽占用。2024 年度网络资源年平均利用率达 50.04%。



图 23: 中国电信陕西公司西咸云基地 5#数据中心网络智能调控架构

青岛作为中国联通在山东的核心节点之一，出口流量持续增长，网络带宽资源相对紧张。中国联通（青岛）智算中心 DC1 通过分析并建立内容分发网络（CDN）、算力服务、容灾备份等不同业务流量模型，合理调配网络接入设备，同时建立具有量化业务权重的网络资源管理制度实现小时级监控管理，减少网络带宽资源占用。对于网络资源需求较大的算力服务业务，该数据中心通过算力池化技术整合分布式算力资源，根据任务需求统一调配网络资源，并合理组织数据流传输路径，在保障数据传输速度不受影响的前提下，2024 年度网络资源年平均利用率达 52.36%。

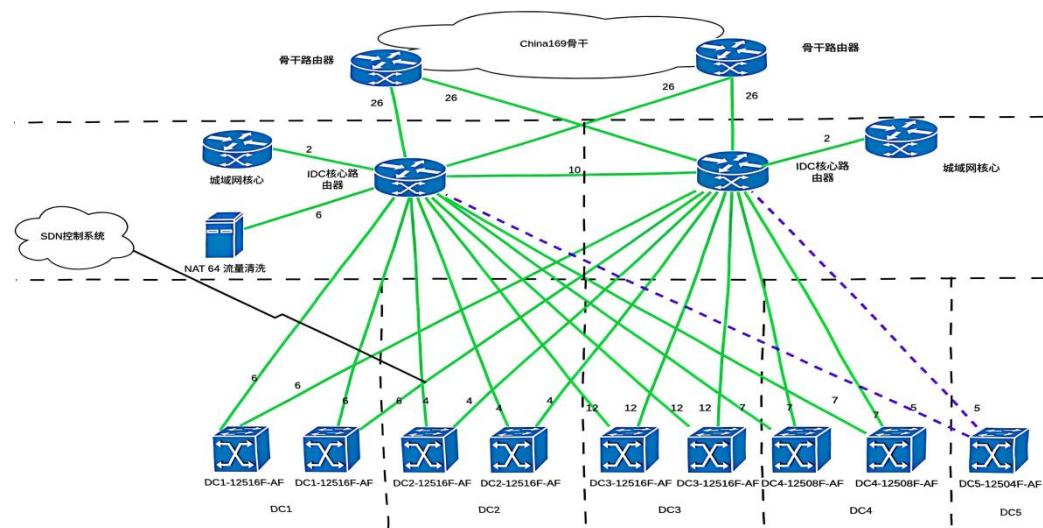


图 24: 青岛联通数据中心网络拓扑图

十三、发挥算力效能，提升单位电能消耗产出效益

中国电信杭州智算中心 1 号楼在算力建设方面探索实践自主可控与高效能并重的建设理念，综合部署了国产神经网络处理器（NPU）、张量处理器（TPU）及类脑处理器，并辅以部分进口通用图形处理器（GPU），总算力规模达到

715PFlops，其中国产芯片算力占比超过 70%。为充分发挥算力效能，杭州智算中心 1 号楼依托算力分发网络平台，实现异构算力资源的智能识别整合及池化，并可根据客户个性化需求，定制建设私有算力池，同时根据数据处理任务类型优化计算路径规划，充分发挥国产张量处理器（TPU）和类脑处理器特定场景下高能效特点。据中国电信集团测算，中国电信杭州智算中心 1 号楼算力的单位电能消耗产出效益达到同领域先进水平。



图 25：中国电信杭州智算中心 1 号楼综智监控中心