

中兴通讯技术

简讯

ZTE TECHNOLOGIES | 第30卷 第8期 · 2026年8月

视点

4 固态变压器：重塑AIDC供电架构

6 800V高压直流，面向未来的供电架构

专题：数字能源

10 算电协同：智能算力时代的绿色供电架构创新与实践





1996年创办

第30卷 总第454期

2026年08月 第8期（月度出版）

中兴通讯技术（简讯）

ZHONGXING TONGXUN JISHU (JIANXUN)

《中兴通讯技术（简讯）》顾问委员会

主任：刘健

副主任：方晖 彭爱光 孙方平 张万春

顾问：柏钢 陈新宇 董伟杰 胡俊勤

胡立华 华新海 阚杰 李强

李晓彤 唐雪 王全 杨运东

郑鹏

《中兴通讯技术（简讯）》编辑委员会

主任：林晓东

副主任：卢丹

编委：邓志峰 代岩斌 关凯 黄新明

梁大鹏 林晓东 卢丹 马小松

孙岳 施军 王卫斌 肖伟

杨兆江 余方宏 赵建超

《中兴通讯技术（简讯）》编辑部

总编：林晓东

常务副总编：卢丹

编辑部主任：刘杨

执行主编：方丽

发行：王萍萍

主管：中兴通讯股份有限公司

主办：中兴通讯技术杂志社

出版：《中兴通讯技术（简讯）》编辑部

编辑部地址：深圳市科技南路55号中兴通讯研发大楼

发行部地址：合肥市金寨路329号国轩凯旋大厦12楼

发行部电话：0551-65533356

<https://www.zte.com.cn/china/about/magazine>

发行范围：国内业务相关单位

印数：5000本

设计：深圳市奥尔美广告有限公司

印刷：深圳市旺盈彩盒纸品有限公司

印刷日期：2026年08月25日

未经中兴通讯股份有限公司书面授权，禁止以转载、
摘编、复制等方式使用本资料的任何内容。



彭爱光

中兴通讯高级副总裁、
数字能源经营部总裁

驭“绿电”之风，启“算力”新程 ——在算电协同时代浪潮中锚定 高质量发展坐标

人工智能算力增长正在重塑数字基础设施与能源体系的边界。大模型训练、超节点集群带来极高功率密度与毫秒级功率波动，既对数据中心供电可靠性与散热能效提出考验，也使算力负荷从能源消费者转变为新型电力系统的柔性资源。算电协同成为AIDC高质量发展的必由之路——面向智算场景，需构建以极致能效AIDC为载体、多级储能体系为核心的新型基础设施。

中兴通讯数字能源围绕“连接+算力”核心战略，将绿色能源嵌入算力生产全生命周期，打造最优TCO的AI工厂坚实底座。公司深度参与算电协同产业，依托自研体系提供全栈产品，参与信通院十大方向技术攻关，在800V高压直流、构网型PCS/SST、液冷散热、算力柔性调度、储能平抑功率波动等领域推进技术验证与方案落地。

在“东数西算”工程中，中兴通讯AIDC方案已在全部枢纽节点落地。截至2025年底，中兴通讯在全球交付500+数据中心项目，总算力达3200MW，服务国内外头部互联网企业、电信运营商、算力基础设施提供商、金融机构及政企客户，充分验证技术实力与竞争力。

随着储能成为AIDC刚需，我们构建覆盖储能与能源运营的一体化解决方案，具备从微网设计到EPC总包的全球全流程交付能力，以“绿电先行”为原则，为算力基地提供可持续能源基础。同时，通信能源持续稳健发展，重构5G基站动力架构，推动智能锂电全网化部署，充分释放储能全生命周期价值，有力支撑运营商网络绿色升级。

面向“十五五”，中兴通讯数字能源将深化AI与能源融合创新，持续夯实功率变换、能量存储、能源运营、智能温控、电气配电五大根技术能力，打造自主可控的产品竞争力。立足AI与能源变革交汇点，我们将携手产业链伙伴，探索算电协同的中国方案，为全球可持续发展贡献中兴智慧与力量。

目次

中兴通讯技术（简讯）2026年第8期



算电协同：智能算力时代的绿色供电架构创新与实践

随着人工智能大模型的快速发展，全球算力需求正以前所未有的速度攀升。在此背景下，算电协同应运而生，成为连接数字经济和能源经济的核心纽带。

10

视点

- 4 固态变压器：重塑AIDC供电架构
汪尔敏，胡先红
- 6 800V高压直流，面向未来的供电架构
曾荣坤

专题：数字能源

- 10 算电协同：智能算力时代的绿色供电架构创新与实践
汪尔敏，王威，柯文
- 15 间接蒸发冷却空调解决方案，助力金融数据中心绿色高效转型
谢凯，刘小光
- 18 高密智算数据中心CDU解决方案
林智
- 20 数智赋能，低碳筑基——中兴通讯通信站点综合供电解决方案
陈鹏
- 23 通信基站储能方案，重构通信网络能源运营体系
郝乃哲

- 26 新能源光储微电网发展趋势分析
桑凯

- 29 通信站点储能入局电力市场，解锁全新增长赛道——虚拟电厂发展现状与趋势分析
张长岭

技术论坛

- 33 高热流密度算力中心液冷技术及能-水协同研究进展
娄淑雅，朱冰，董传帅

成功故事

- 37 中国移动中卫数据中心：预制方舱极速交付，打造高密算力建设新范式
宋兴宇，许国辉
- 40 缅甸ATOM携手中兴通讯部署光储微网系统，重塑数据中心能源底座
王芸

- 2 新闻资讯

中兴OEX超节点发布： 打造TCO最优的AI工厂

近日，在2026世界人工智能大会期间，中兴通讯正式发布OEX超节点新品。中兴通讯OEX超节点的此次发布，不只是单品迭代，更是一次面向智算时代的系统级跃迁。它以开放解耦打通生态壁垒，依托底层协议标准化与接口统一，全面兼容国内多元GPU生态，支持客户结合业务特征灵活匹配算力；以架构创新重构智算底座，首创OEX正交无背板架构，实现二零线缆设计，内部互联成本大幅下降，叠加“OEX算力集装箱”与前置式开发，有效压缩上市周期，确保“上线即领先”并显著降低试错风险；以多芯协同释放集群潜能，支持自主选择最优芯片组合，通过高速互联总线协议与大容量交换芯片，打通GPU机内高速互联与机间无损交换，充分释放“1+1>2”的集群效能；以极致性能拥抱Token经济，围绕吞吐、能效与体验做系统级协同优化，从芯片、算法、整机、集群到软件全栈拉通，确保每一瓦电力转化为最大Token产出，打造全生命周期成本最优的“AI工厂”。

依托在智算领域持续的技术创新与落地实践，中兴通讯携手合作伙伴已连续两年荣登世界人工智能大会SAIL榜单。中兴通讯践行超节点先锋使命，打通“AI芯片-OEX服务器-算力集群”自主可控产业闭环，打造TCO最优的AI工厂，深度赋能AI产业跃升。

中兴通讯超节点二度荣膺WAIC SAIL大奖

近日，在2026世界人工智能大会上，中兴通讯联合曦智科技、壁仞科技、沐曦股份、燧原科技、天数智芯等合作伙伴，凭借“基于OEX+dOCS架构的国产高性能Matrix超节点”项目，斩获本届SAIL之星奖项。这是继2025年首次获奖后，中兴通讯及合作伙伴连续第二年摘得SAIL系列荣誉，彰显其在AI基础设施创新、全栈协同优化与规模化落地方面的领先实力。

该获奖方案以OEX正交超节点为基座，通过分布式dOCS光交换实现动态拓扑编排，原生平滑扩展，包含三大核心技术创新：

生态创新：构建开放解耦生态，支持多芯协同，择优与选适并重，自主选择国产最优芯片组合，实现

1+1>2的集群性能。

架构创新：首创OEX正交无背板互联，零线缆设计，支持128卡/柜超高集成；缩短SerDes链路，消除物理插损，满足未来6—8年演进需求。依托前置式开发与深厚工程经验，为AI芯片厂商提供“即插即用”算力集装箱，研发周期从18~24个月缩短至3~6个月，加速芯片商业化进程，大幅降低试错与迭代风险。

互联创新：首创光交换+电交换融合组网，兼顾规模扩展与性能优化。柜内依托自研57.6T芯片实现高密电交换；柜间通过dOCS光交换芯片实现光互联，灵活重构物理拓扑，减少光电转换层级，大幅降低功耗，时延低至百纳秒。

中兴通讯发布新支点AIOS：构筑智能体时代操作系统，驱动产业智能化新引擎

2026世界人工智能大会（WAIC）期间，中兴通讯正式发布面向AI时代的创新技术底座——新支点AIOS。这一系统正从试点验证迈向规模化应用新阶段，全面展现了在行业场景、家端产品、终端产品三大方向的技术突破与应用成果，加速从技术底座向“端一边一云”协同的智能生态体系演进。

新支点AIOS不仅让设备拥有AI能

力，更致力于为行业、家端、终端应用场景构建一个统一、安全、轻量、高效的智能体运行底座，推动AI从单点工具走向系统化、场景化落地。

在行业场景，新支点AIOS以智能体操作系统的形态，正在成为产业智能化升级的核心底座。在家端产品领域，新支点AIOS已在AI中屏和AI路由器两大核心场景完成试点验证，展现出家庭AI入口的巨大应用潜力。

5G-ATG四方合作签约仪式

中国·上海
2026年7月

中国移动、中国东航、中国商飞、中兴通讯 签署5G-ATG四方合作协议

7月17日，中国移动通信集团有限公司、中国东方航空集团有限公司、中国商用飞机有限责任公司、中兴通讯股份有限公司在上海举行5G-ATG四方合作协议签约仪式。中国移动副总经理陈怀达、中国东航副总经理李智勇、中国商飞副总经理李玲、中兴通讯高级副总裁林炳出席签约仪式。

四方落实《国务院关于推进服务业扩能提质的意见》工作要求，加快促进先进制造业、现代服务业双向深度融合，依托我国5G产业带动作用，

以“优势互补、协同创新、互利共赢”的发展理念，统筹整合各自行业顶尖资源、核心技术与产业平台能力，共同推动旅客航空出行与5G-ATG通信技术、智能算力技术和大模型智能技术的深度融合，切实提升广大旅客的航空出行获得感与幸福感。

下一步，四方将在上级部门的指导下，加快促进航空互联网从“机上能上网”迈向“网络更高速、服务更普惠、运营更智慧、产业更自主”的新阶段。

中兴通讯全系列OTN 产品通过欧盟EUCCE Substantial等级认证

近日，中兴通讯涵盖骨干、城域、边缘接入全场景的全系列光传输（OTN）产品顺利通过欧盟基于通用准则的网络安全认证方案（EUCCE）实质性（Substantial）保障等级严苛审核，成为全球首家全系列OTN产品整体通过该高阶认证的光传输设备供应商。此次认证落地，进一步巩固了中兴通讯在全球光传送网络领域的安全技术领先地位，彰显企业全球化合规与网络安全核心实力。

EUCCE是欧盟网络安全局（ENISA）依托《网络安全法案（CSA）》推出的欧盟首个统一通用标准网络安全认证体系，旨在替代SOG-IS互认协议框架下欧洲各国分散的CC认证，拥有全域统一、跨国互认的核心优势，是欧洲权威高端网络安全认证体系。目前，该认证已成为欧盟运营商、政务、能源、交通、金融等关键信息基础设施领域设备选型、项目采购的重要准入门槛，也是通信企业提升产品安全资质、满足欧洲高端市场准入要求的关键认证之一。

本次EUCCE Substantial等级认证，是中兴通讯网络安全体系建设成果与全球化合规实力的有力佐证。继2023年取得CC EAL3+国际安全认证后，中兴通讯持续搭建覆盖芯片、硬件、软件、服务、运维的一体化安全体系，不断迭代产品安全能力，筑牢全球光传输网络安全根基。

GoldenDB荣膺政务行业领航者 持续领跑金融电信领域

7月9日，2026可信数据库发展大会主论坛在北京成功召开。会上，中国信息通信研究院正式发布《中国数据库产业图谱（2026年）》。中兴通讯旗下金篆数据库GoldenDB（简称GoldenDB）蝉联金融、电信行业事务型数据库领航者第一排名，并首次获得政务行业领航者地位；与此同时，GoldenDB同步跻身交通、能源、医疗、互联网、制造等重点行业事务型

数据库前列，行业覆盖广度与落地深度实现双重跃升。

根据图谱对“领航”的定义，该地位代表企业产品在特定行业的关键业务系统中已具备规模化、高可靠的落地能力和较高的市场认可度。本次发布的2026版图谱，系统而全面地体现了GoldenDB在多个重点行业市场取得的丰硕成果。



汪尔敏
中兴通讯IDC产品规划总工



胡先红
中兴通讯数字能源技术总工

固态变压器：重塑AIDC供电架构

当

人工智能技术全面落地，大模型、智能算力、云端服务迎来爆发式增长，AI数据中心（AIDC）作为数字产业的核心基础设施，正朝着超高算力、高密度部署、规模化集群的方向快速迈进。与此同时，国内“双碳”战略持续深化，能耗管控、绿色用电、节能减排成为数据中心行业的硬性要求。传统供电架构变换层级多、能效不足、调控能力薄弱，已难以兼顾高算力承载与低碳运营两大核心目标，行业亟需一场供电体系的技术革新。

在此背景下，SST（solid state transformer）固态变压器凭借领先的电力电子技术、碳化硅半导体应用以及智能化调控能力，强势入局AIDC赛道，成为破解算力供电难题、助力行业绿色转型的核心解决方案。

传统供电链路架构的四大瓶颈

长期以来，绝大多数数据中心沿用传统工频变压器完成

电能转换与输送。该技术架构依靠铁芯、铜线实现电磁感应工作，技术路线成熟但短板十分突出。

- 供电架构端对端能效短板明显

传统供电架构电能转换环节多、能量损耗大，整体运行效率常年维持在93.5%左右，且在负载偏低的场景下效率会进一步下滑，造成电力浪费。

- 设备重量体积效率限制算力密度

传统变压器体积庞大、配套附属设备繁多，占据机房大量有效空间。如今AIDC单机柜功率不断突破上限，传统供电设备臃肿的形态严重制约机房算力扩容。

- 设备响应滞后影响系统稳定性

传统设备响应速度慢，电能质量调控能力弱，面对算力负载瞬时波动，容易出现电压不稳、谐波超标等问题，影响AI服务器稳定运行。

- 多能源接入能力薄弱

现有供电方案对于光伏、储能等新能源接入不友好，需

要配置多种功率变换设备，投资成本高、接入手续复杂。

SST技术破局：从“被动变压”到“智能能源路由”

SST固态变压器彻底颠覆了百年电磁变压模式，开启电力变换新时代。SST固态变压器融合第三代碳化硅半导体、高频变换技术与智能控制算法，采用一体化模块化拓扑架构，摒弃传统铁芯结构，可直接完成10kV、35kV中压交流电到800V高压直流电的一站式转换。

● 效率跃升

依托全碳化硅功率器件，SST固态变压器电能综合转换效率可达98%~98.5%，相比传统变压器方案提升3%~5%。对于一座百兆瓦级别的大型AIDC来说，仅供电环节每年就能节约数千万度电能，直接减少海量碳排放。更值得关注的是，SST拥有超宽高效运行区间，在20%~100%全负载范围内都能保持高效运转，解决数据中心夜间、闲时轻载运行能耗偏高的痛点。

● 空间集约化

SST经过小型化、轻量化设计，体积相比传统设备缩减40%~60%，重量降低40%以上，同等功率下占地面积仅为传统方案的1/3。这对于寸土寸金的数据中心而言，意味着更多空间可用于部署服务器算力集群，充分满足数据中心高密度算力堆叠需求。

● 智能柔性调控

SST具备微秒级极速响应能力，可实时监测并稳定电压、抑制谐波、治理电能扰动，为精密AI芯片提供稳定的电力保障。更重要的是，SST具备双向电能流动能力，可无缝对接分布式光伏、储能电站等新能源系统，构建“光伏+储能+固态变压器+算力”一体化微电网。

● 多端口能量路由

中兴通讯创新性地提出三端口SST架构，实现10kV交流、800V直流、1500V直流三端口能量双向流动。这一设计打破了传统单一输入输出的限制，让数据中心能够灵活接入光伏、储能、充电桩等多种能源，真正实现源网荷储一体化。

SST产业落地路径：三阶段逐步推进

作为一项新技术，SST当前还面临成本高、技术成熟度需要长期验证等问题，其规模化产业落地预计要经过三个阶段：

段：试点验证期、规模导入期、规模商用与应用拓展期。

● 2026—2027年：试点验证期

行业普遍开展试点，验证工程应用长期可靠性、实际负载的适应性、工程可维护性等；产品进一步优化，SiC器件应用、多模块串并联、中压绝缘、模块故障冗余控制、构网等关键技术进一步提升；产品行业标准处于研究阶段。

● 2027—2029年：产品规模商用导入期

3300V SiC Mos等关键器件成熟，成本逐渐下降，产业链逐步成熟；验证期主要工程化问题逐步解决，SST在AIDC数据中心实现小规模商用；行业标准完成发布。

● 2029—2031年：规模商用与应用拓展期

整体成本与工频变压器供电架构方案相当，SST在AIDC数据中心园区供电规模商用，特别是十五五国家规划下，算电协同SST方案成为最优最经济选择；在新能源汽车大功率超充站、储能电站、新能源发电站、新型柔性配电及微电网等场景开始广泛应用。

新一代AIDC供电架构

SST不仅仅是“变压器”，更是“未来的能源路由器雏形”。随着碳化硅产业链成熟、设备成本下探，SST将成为新一代AIDC的标准供电配置，并具有以下发展趋势：

- 从被动到主动：SST将从被动电能转换设备进化为主动能源管理器，实时优化能源流向，最大化绿电利用率。
- 从单一到融合：三端口架构打破能源边界，让电网、光伏、储能、算力在同一平台上无缝协同，实现真正的源网荷储一体化。
- 从简单到智能：微秒级响应、双向功率流动、电能质量治理，SST让数据中心供电从“粗糙配送”走向“精细调控”。
- 从孤立到互联：通过标准化接口，多台SST可并行运行，实现“即插即用”的模块化扩展，满足未来算力指数级增长需求。

算力是数字经济的基石，绿色是产业发展的底色。在AI浪潮与双碳目标的双重驱动下，中兴SST固态变压器以高效、集约、智能、低碳四大优势，打通数据中心绿色供电全链路。未来，它将助力各大算力园区完成技术升级与低碳转型，让强大算力向着更节能、更智能、更环保的方向迈进，为数字经济高质量发展与国家双碳战略落地注入动能。ZTE中兴



曾荣坤

中兴通讯IDC产品规划专家级工程师

800V高压直流，面向未来的供电架构

AI算力需求的爆发，驱动数据中心供电架构变革，800V高压直流（HVDC）供电架构应运而生，它并非简单的电压提升，而是面向未来高密度算力基础设施的一场系统性供电革命。

随着人工智能（AI）爆发式增长，大模型的训练与推理24小时不间断运行，推动着全球算力需求呈指数级增长。GPU可以并行处理大量数据，适合高并行、高本地化数据场景，是目前主流的人工智能计算架构。作为算力的核心器件，英伟达（NVIDIA）GPU迭代加速，功耗惊人攀升，从GB200到Feynman，单柜稳态功率实现了超10倍的增长，从百千瓦级直接跨入兆瓦级。

GPU的应用使得数据中心的工作负载能够跨数据中心实现同步，但会导致电力负荷在极短时间内出现剧烈波动，引入储能系统可有效平抑此类波动。为满足未来算力需求，必须重构电力方

案。为应对毫秒级功率震荡及铜耗极限，英伟达积极推动800V高压直流（HVDC）架构，摒弃传统交流配电架构。HVDC架构能最大程度减少计算空间的电能转换环节与线路路由体积，同时有效降低数据中心配电损耗及端到端整体转换级数。与机架内采用的54VDC或设施级480VAC系统相比，800VDC在确保安全性与可扩展性的同时，显著降低了电流强度、铜材用量及线缆体积。

800VDC将是未来AIDC供电架构的发展趋势

800VDC供电系统是在-48V直流供电基础上

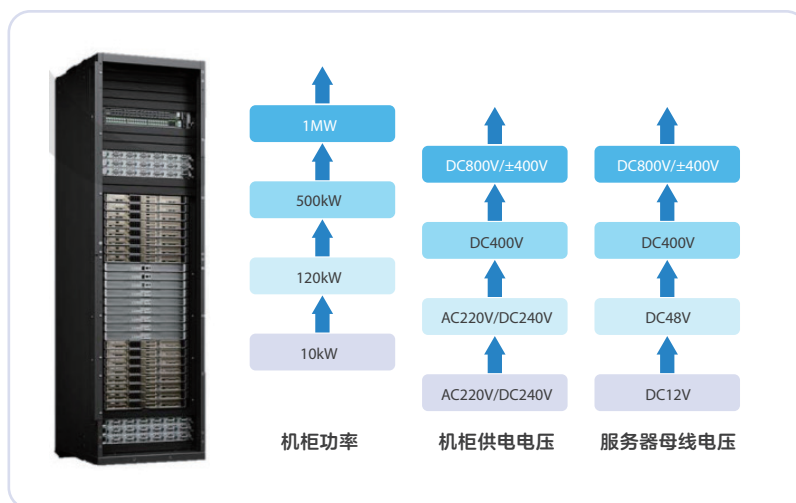
发展而来，引入240VDC和360VDC标称电压制式后，由于没有逆变环节、蓄电池直挂母线，供电效率得到显著提升，已经成为传统UPS的替代方案。随着IT机柜密度提升，数据中心趋向更高直流电压等级，具备800VDC或 ± 400 VDC输出能力的HVDC和直流不间断电源，后续会被逐步获得市场认可。当前有两种AIDC设施级直流架构：800VDC和 ± 400 VDC。

- 800VDC（NVIDIA架构）：直接支持NVIDIA 800VDC机柜架构。氮化镓与碳化硅转换器件的日益成熟及广泛实践，在电源转换中提升能效和缩小体积，是800V架构落地的技术支撑。
- ± 400 VDC（OCP开放计算标准）：技术可行且基于早期400V直流架构发展；采用中性点接地方案，在接地、极性平衡及故障检测方面较为复杂，是谷歌、META、微软等公司主推的电压制式。

图1为机柜功率与供电电压的匹配关系。随着机柜功率的快速提升，相对交流架构，基于直流技术的架构电压提升更易于实施，具有成熟的技术和设备基础。因此，800VDC或 ± 400 VDC将是未来AIDC供电架构的发展趋势，其中 ± 400 VDC既可以作为800VDC使用，也可以作为400VDC使用。

AIDC面向未来的供电架构

图2展示了数据中心配电系统从当前交流架构向满足AI工厂需求的800VDC系统的演进路径。各种架构中，第3种架构工频变压器+800V HVDC和第4种架构固态变压器为AIDC适配的2种架构。采用工频变压器+800V HVDC整流方案可以快速落地，利用成熟变压器技术，率先享受800V带来的线损降低与传输能量的提升。而固态变压器架构代表AIDC供电架构的终极形态，兼具电压降损与高频微型化双重优势，助力AIDC供电密度实现指数级跃升，不过短期内不具备工程落地的条件。相较而言，工频变压器+800V架构更具有工程可行性，产业化推进节奏会明显快于固



▲ 图1 AIDC机柜功率与电压关系

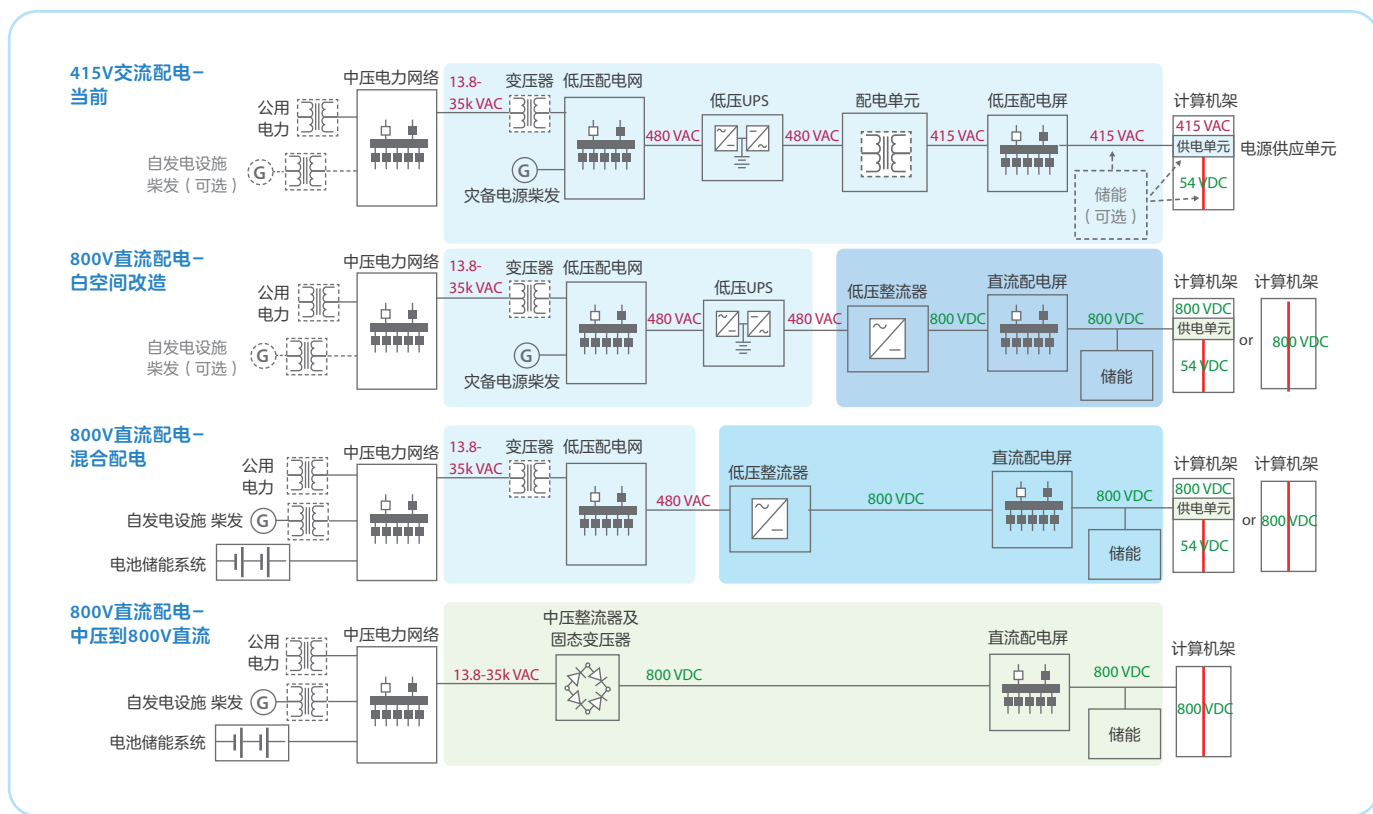
态变压器。

当前交流电源架构

现有415VAC系统包含多个组件，电力以415VAC输送至各计算柜，由计算柜内电源架单元转换为54VDC后分配给IT设备。可选的外部储能系统可用于缓冲GPU工作负载产生的动态功率波动。此架构复杂，电力需经过多次转换，效率较低，且难以支撑兆瓦级机架密度。

过渡性800VDC架构：电源机架（边柜）

该架构将交直流转换环节移至计算机柜外部，通过在计算机柜旁部署一个专用的“电源机架（边柜）”，将AC/DC转换环节从IT机柜中剥离出来。它接收480VAC，输出800VDC给相邻的计算机架。该架构虽然增加了额外转换环节，并非端到端最优解，但通过将电源转换移出计算机柜能实现快速部署，并支持更高密度的计算部署，显著提升计算密度。针对白空间改造场景，800VDC侧向供电机架作为专用电源柜，内置整流器与配电单元，可在每个机柜附近完成交流至直流的本地转换。在800VDC数据中心组件尚未完全普及的现阶段，该过渡方案具备现实应用价



▲ 图2 AIDC供电架构

值。随着800VDC配电设备与数据中心运营方案日趋成熟，侧向供电机架可被更高功率密度的整流器替代，并部署在配电系统的上游位置。

第3架构：工频变压器+800V高压直流

工频变压器+800V整流的800V高压直流方案，可从低压交流电输入，通过整流直接输出800VDC。该系统部署在低压配电柜下游或变压器后方，既能降低机柜层级复杂度，又支持在直流输出端集成储能。该架构能够精简电力传输链路，并以最小空间扩展支持高密度计算需求。当前多家主流高压直流厂家均采用此方案作为AIDC的电源架构。该架构本质上是对传统240V/336V HVDC方案的平滑升级。它最大的优势是可以最大化利用现有产业链和工程经验，实现快速落地，率先享受800V架构带来的降低线损、节省铜

材、提升单柜功率密度等核心收益。它是一个更侧重工程快速落地的务实方案。

下面是这个方案的具体实现过程：

- 第一步，AC 10kV→AC 380V（利用工频变压器降压）：通过一台普通的工频（50Hz）变压器，将电网引入的10kV中压交流电，降压为数据中心常见的380V低压交流电。
- 第二步，AC 380V→DC 800V（通过整流模块升压）：这里的AC/DC整流模块不再是输出240V或336V，而是直接将380V交流电转换为800V的直流电。整流模块通常还会集成PFC（功率因数校正）功能，以减少对电网的谐波污染。
- 第三步，直流母线配电与备电：这一步与传统HVDC方案架构类似，但电压等级整体提升。800V的直流电被输送到一条公共的“直

工频变压器+800V方案凭借其高可靠性与快速产业化能力，将成为未来3—5年行业的主流选择；而固态变压器具备技术领先性，但受限于高压器件（如高压SiC）的工艺成熟度、高频隔离的拓扑优化以及系统可靠性验证，距大规模工程落地尚需时日。

流母线”上，作为整个供电系统的“主动脉”；蓄电池组（或飞轮储能系统）通过DC/DC变换器挂载在800V直流母线上，市电正常时充电，市电故障时为负载提供不间断的电力支持，保障AI训练任务的连续性。

- 第四步，按需变换，为各类负载供电：800V直流母线汇集了电力后，需要根据不同设备的电压需求进行“按需分配”。不同设备的供电方式如下：
- 核心IT设备（服务器、GPU等）：通过800V DC/DC变换器降压转换，输出48V或12V给IT设备供电。
- 新型AI服务器：通过800V直流直接接入，这是未来趋势，可省去一级转换，效率最高；英伟达等厂商正推动此项应用。
- 交流设备（部分空调等）：通过DC/AC逆变器输出380V/220V交流电给设备供电，在数据中心全面直流化前，部分老旧空调、监控等仍需逆变器供电。

第4架构：固态变压器

为满足AI工厂日益增长的电力需求，英伟达正探索中压整流器的应用（将中压交流电转换为800VDC）并研发固态变压器（solid state transformer）技术，以此作为面向未来的设施级

配电解决方案。如图2最底部架构所示，中压整流器与固态变压器旨在实现从中压（如35kV交流电）到800VDC的直接转换，从而消除传统低压（480VAC）配电层级，简化设施供电架构。中压整流器与固态变压器的单台容量最高可达7.5 MVA，转换效率不低于98.5%。固态变压器系统整合了中压交流输入端、功率整流模块与直流输出配电单元，其紧凑型高功率容量设计可支撑计算机柜密度增长，凭借直流电源设备实现可扩展性与显著空间节省。然而将固态变压器扩展至兆瓦级容量时，高功率整流模块的开发与可靠性保障，以及高密度下的热管理和电气应力控制仍存在挑战。

在AIDC供电架构的创新竞速中，“工程可行性”与“技术领先性”的权衡是关键。工频变压器+800V方案凭借其高可靠性与快速产业化能力，将成为未来3—5年行业的主流选择；而固态变压器具备技术领先性，但受限于高压器件（如高压SiC）的工艺成熟度、高频隔离的拓扑优化以及系统可靠性验证，距大规模工程落地尚需时日。两者并非简单的替代关系，而是共同构成了AIDC供电体系从“高压化”走向“全数字化、高密度化”的完整技术图谱，为算力基础设施的绿色、高效、可持续发展提供源动力。ZTE中兴

算电协同：智能算力时代的 绿色供电架构创新与实践



汪尔敏

中兴通讯IDC产品规划总工



王威

中兴通讯TE产品规划总工



柯文

中兴通讯数字能源市场
研究专家

随着人工智能大模型的快速发展，全球算力需求正以前所未有的速度攀升。数据中心作为算力的物理载体，其单机柜功率密度已从传统的5~8kW跃升至50~100kW甚至以上，耗电量占全社会总用电量的比例持续增长。传统供电模式正面临严峻挑战：一方面，算力中心追求极高供电可靠性和稳定性，通常配置冗余系统和备用电源，导致报装容量远超实际需求；另一方面，电力系统需要应对新能源接入带来的巨大波动性，同时又要实现“双碳通信”目标。在此背景下，算力电力协同（简称“算电协同”）应运而生，成为连接数字经济和能源经济的核心纽带。



图片由AI辅助生成

算电协同定义及其面临的挑战

算电协同的核心定义是：以新型电力系统为支撑，综合考虑全要素和全生命周期，通过深化智能调度、源网荷储、新型供电与备电、绿电聚合供应等技术机制创新，使算力与电力两大生产力在产业规划、生产运营、资源调度、市场体系等层面实现全局优化，打造技术先进、供需匹配、绿色低碳、安全可靠的绿色算力中心集群。从2021年开始，国家在东数西算、全国一体化算力网、新型电力系统、人工智能与能源双向赋能、人工智能+能源高质量发展、绿电直连等方面陆续发布了多项重磅政策。2026年政府工作报告首次将算电协同纳入新基建工程，标志着算电协同正式上升为国家战略。

算电协同体系经历了初期探索、起步发展到深度协同、全面融合四个阶段。其关键实现模式涵盖六大方向：源荷互动与绿电消纳、储荷互动、网荷协同、源网荷储多层次一体化融合、算力负载调度/时空匹配供需、绿电交易。

目前算电协同正处于从“起步发展”向“深度协同”过渡的关键节点。

算电协同的深度发展面临四大挑战：

- 算力需求集聚化加剧局部电网压力

随着“东数西算”国家战略的推进，新建算力中心，尤其是大型、超大型算力中心正快速向八大枢纽节点转移。中国信息通信研究院数据显示，截至2025年6月，八大枢纽节点机架数占全国72%以上，其中京津冀和长三角在用机架数的全国占比分别达到47%、49%。这种负荷高度集聚的发展态势，给局部地区电网的扩容和稳定运行带来巨大压力。

- 高标准供电需求与低负载运行严重失衡

算力中心对供电系统的稳定性和可靠性要求极高，通常基于最不利工况估算用电需求并进行冗余设计，导致报装电力容量显著高于实际需求。更值得关注的是，部分算力中心园区的实际入驻规模与招商预期存在较大差异，服务器上架

率长期处于较低水平。据统计，部分城市算力中心的电力接入变压器年平均负载率仅维持在30%左右，实际电力负载与电源容量配置之间存在严重失衡。这种供需不匹配不仅造成电力资源和基础设施的闲置浪费，还额外增加了电力系统的运行成本和维护负担。

- 绿电供不应求，交易面临多重障碍

根据中国电力企业联合会数据，2024年全年绿电省内交易电量仅占全国省内交易电量的4.3%。据北京电力交易中心调研统计，2023年105家参与绿电绿证交易的数据中心，其绿色用能合计占其总用电量的11%。该机构预测，到2030年数据中心的绿电消费需求预计将达到3600亿千瓦时，绿电供需缺口将持续扩大。

当前算力企业参与绿电交易面临三大难点：

东西部绿电供需不平衡，东部发达地区绿电资源紧张且溢价较高；受省间输送通道受限、交易时机不确定、区域市场壁垒等因素影响，跨省绿电交易存在障碍；部分数据中心尚未获得独立市场主体资格，通过运营单位参与交易后，绿色环境权益难以精确核定。

- 绿电直供模式落地缓慢，源网荷储应用不足

早在2021年，国家便前瞻性地提出了绿电直供概念，并有多省份出台支持政策，但目前国内实际落地并成功运营的绿电直供项目屈指可数。在数据中心领域，相关技术仍停留在设计建设阶段的探索，尚未有实际项目落地应用。

区级源网荷储一体化是绿电直供的主要实现模式，但面临诸多现实障碍：集中式新能源电站占地面积较大，配套储能设施进一步推高用地成本；绿电长距离输送所需的输电线路和变电站投资高昂；各方主体的费用分摊机制尚不明确；源网荷储相关的技术细则和标准规范仍处于空白状态。这些因素使得许多算力企业对这一模式持观望态度。

技术破局：算电协同三层架构体系

面对上述挑战，行业经过这几年的研究和发

展，逐渐形成算电协同的三层协同架构体系。

- 底层-电力基础设施层

电力基础设施层实现对智算负载波动性的电能质量治理，以及对多种能源（风、光等）的接入、应用和管理。

核心挑战包括：服务器单机柜功率密度上升带来的供电瓶颈；系统短路电流增大导致的燃弧风险；AI负载冲击造成的过载问题；多能源协同管理的复杂性；灵活改造需求和节能降碳要求。

针对这些挑战，需选择更大容量的配电设备，选用具备抗燃弧能力的产品，后备电源需具备抗过载和联合供电功能，并加强电能质量监测和治理。

- 中层-算电热协同层

算电热协同层的核心任务是挖掘IT负载的灵活性调节空间，并以IT负载的变化确定非IT负载的出力管理，综合调度实现园区级算电热的协同。算力需求本身就具有灵活性——在数据中心内部，通过对IT服务器GPU工作频率进行动态调整，可以使其匹配用电信号。

具体技术路径包括：利用人工智能模型预测未来算力需求和用能，塑造列头柜用能特征；根据预测结果动态调整服务器GPU等工作频率；在总计算量和计算时间不变的前提下，实现算力需求与电力供给的平衡。

- 上层-算电网调度层

算电网调度层本质是建立算电双向调节的决策框架，通过数据、算法和激励的整合，构建电力-算力联合优化模型。

目前，业内发力重点主要集中在底层的新能源引入，对于供电基础设施的适配性升级还存在较大空白；中层方面，对非IT负载的能效管理已在推广，但对IT负载的算力灵活性挖掘尚未引起广泛重视；上层算电协同机制目前仍停留在科研阶段，真正实现全局最优的智算中心精益管控，还需要在算力需求的实时动态调节算法方面取得突破。

典型能源供给模式

当前数据中心从电力供给侧参与算电协同的模式仍处于探索阶段，针对数据中心算力需求与场地条件，以下三种能源供给模式以其独特优势正受到越来越多的关注。

- 综合能源基地模式

在大型能源基地内整合多种能源形式（光伏电站、风电场站、储能电站、小型核电站等），通过智能调度系统实现能源的稳定供应和高效利用。宁夏中卫大唐云基地绿电直供项目是该模式的典型代表。该项目总投资87亿元，一期总装机200万千瓦（50万千瓦光伏+150万千瓦风电），配置100MWh储能系统，年供绿电超过25亿度，采用物理直供与虚拟直供双模式，成为全国首个大规模“算电协同”绿电直供项目。

- 分布式能源或微电网模式

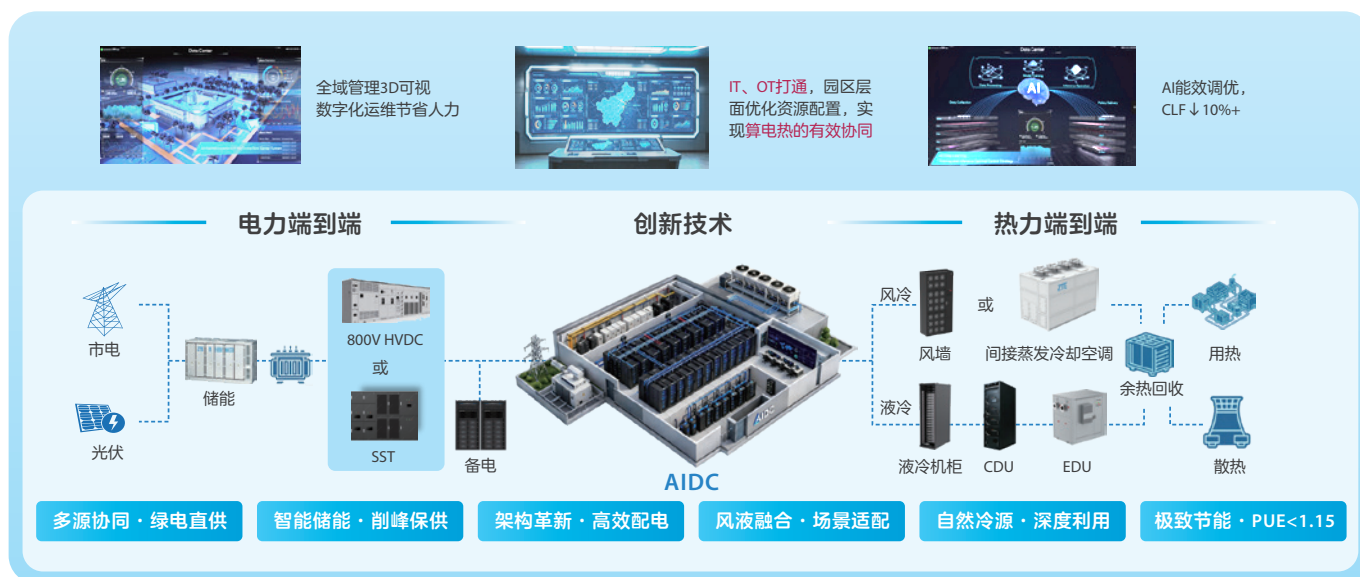
利用园区内光伏、小型风电、储能等分布式能源设施，为数据中心提供更灵活的供电，提升用能稳定性和经济性，提高绿电就地消纳率。园区级源网荷储一体化项目的特征是以负荷为中心配置新能源发电站，以绿电直供模式为算力中心供能，实现可再生能源的就近就地消纳。内蒙古和林格尔数据中心集群绿电直供示范项目通过建设41公里110kV专用直供线路，实现风光绿电点对点直供，年供绿电7.6亿度，服务四大数据中心企业。

- 虚拟电厂与市场交易模式

通过虚拟电厂聚合分布式能源、储能和负荷资源，作为独立市场主体参与电力市场交易，实现能源优化配置和成本控制。这一模式不依赖物理连接，而是依托市场机制和数据交互，灵活性更高。算力中心作为可调负荷资源，可参与需求响应和辅助服务市场，获得额外收益。

算电协同的调度实现

中兴通讯通过自研的智慧能量管理系统（iEMS）平台实现算电协同的调度。在底层电力



▲ 图1 基于源网荷储的AIDC基础设施互联和电算热协同

供电设备和基于源网荷储的AIDC互联的支撑下，通过IT、OT域数据互联和打通，先完成算力和热力的协同，然后基于中兴通讯iEMS，实现园区层面的电力供给和算热资源的综合调度，完成园区层面的算电热协同。

以绿电直连园区场景为例，iEMS系统联动储能系统削峰填谷，实现绿电储能-算力-制冷的闭环协同，从而大幅提升绿电占比，降低算力碳排放（见图1）。

这个场景的调度逻辑为：电随算用，iEMS首先获取用电需求和动态电价，再对接算力调度预测IT负荷和非IT负荷，最终iEMS结合储能的配置容量、余电上网电价，决策出储能的充放电最优解；算随电调，当风光发电大于AIDC实时负荷时，算力API上调GPU功率上限，当风光出力小于AIDC实时负荷时，算力API降低非紧急GPU频率。

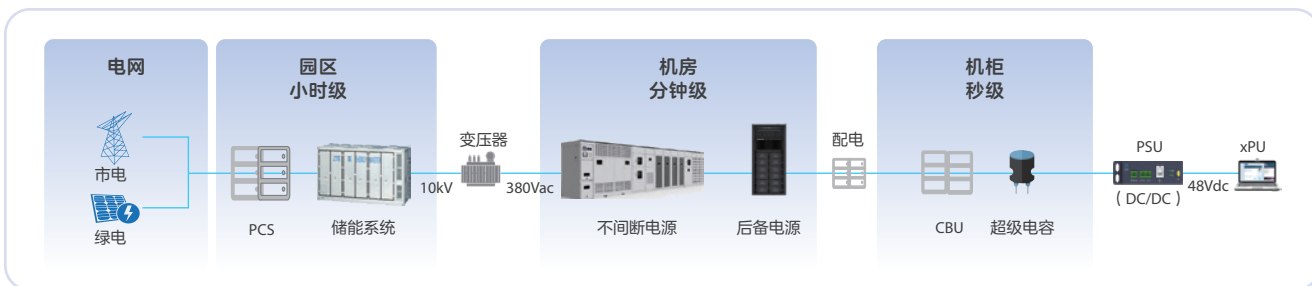
若要实现跨园区的算电协同调度，需考虑到分省分区的电力交易系统、虚拟电厂（VPP）系统、相关储能系统以及算力负荷在多个园区数据中心之间的时空联动，在算力网、电力网层面进行综合的资源调度和协同。需重点关注三方面的问题：算电协同从规划到市场全链条多个环节的

标准目前还不完善，需强化跨领域的协同(术语/标准/评价体系等)；数据域打通，除了DC层面IT、OT域的数据，还需要iEMS和电力交易系统、虚拟电厂、顶层调度系统等进行数据打通；建立算电双向调节的决策框架，通过数据、算法和激励的整合，构建电力-算力联合优化模型，综合决策进行全局资源配置优化和调度。

技术实现路径为：根据各数据中心的电力供应情况和算力需求，将算力任务在数据中心间迁移，实现负荷合理分配；利用跨区域智能调度系统对算力任务进行优化调度，再在各园区落实如上的调度逻辑，以提高资源利用率，降低能耗，促进新能源消纳。技术难点在于准确量化各调节手段（频率、电压、数量）对GPU功耗和计算性能的影响。需要建立不同类别、功能和场景下算力负载的用电负荷模型，准确刻画和定量评估算力资源的调节潜力，同时加强对新能源发电特性的预测，以更好地匹配供需。

储能是平抑算力负荷波动的刚需

储能系统的配套建设是保障AI算力供电稳定



▲ 图2 AIDC场景下机柜-机房-园区三级联合储能的部署

性的刚需。AIDC高功率、高波动的用电场景，需要储能系统快速平抑电网电压波动，避免电网过载或崩溃，保障电网供电质量。同时，AIDC电力成本占比60%~70%，“绿电+储能+碳成本”成为AIDC的核心成本变量，绿电获取、能效优化、储能协同成为AIDC核心运营能力。

因此，算电协同中数据中心储能的配套建设是重大的市场机会。图2显示了AIDC场景下，“机柜-机房-园区”三级联合储能架构。其中瞬态峰值冲击（毫秒到秒级）由超级电容或PSU吸收；稳态波动（秒到分钟级）由不间断电源后备电池承担，转为锂电备电；源网荷储（分钟级到小时级）由电网侧储能系统承担，同时用于设施级的削峰填谷并保障电网稳定。

当前，搭配314Ah电芯的5MWh集装箱储能是AIDC储能系统的主流产品。系统在1个20尺的集装箱内，集成电池、电池管理系统、液冷系统、消防系统、配电照明等设备。外部与PCS变流升压一体机、能量管理系统等配合，可实现电网调峰/调频、削峰填谷等功能，并提供无功支撑、电压缺陷弥补、电能质量治理等功能，保证电网系统的稳定运行。

储能系统呈现以下技术演进趋势：

- 大容量电芯驱动系统容量提升，储能电芯容量从314Ah向500Ah+甚至1000Ah+演进，推动集装箱储能系统容量提升至6MWh+。
- 高效化与交直流一体化：储能逆变器的能量转换效率持续提升，新材料和拓扑结构优化

推动转换效率突破99%；系统交直流一体化设计，直流不出舱，安全可靠，提升系统全生命周期发电量，扩容灵活。

- 构网型储能加速渗透：构网型逆变器技术增强电网支撑能力，解决新能源波动性问题。
- 智能化升级：通过AI算法实现自主决策和动态优化，构建全域AI储能业务能力。

未来展望：从能源黑洞到电网稳定器

算电协同的本质是智能与电能的双螺旋共舞。当数据中心兼具“绿电消纳的广度、数字管理的精度、柔性调节的敏捷度”，便能从能源黑洞蜕变为新型电力系统的“稳定器”与“减碳引擎”。

这一转型不仅关乎企业降本增效，更是支撑国家“双碳”战略与算力基础设施量级跃升的必然选择。算电协同机制建设需要横跨能源领域和算力领域，全局最优的终极目标实现需要通过多方参与和合作，打通数据壁垒，让能源流和数据流无缝衔接。

展望未来，随着AI负载特性的精确预测、跨区域算力调度系统的成熟，以及电力市场机制的完善，算电协同将从概念探索走向规模化落地，成为数字时代能源转型的核心驱动力。对于算力企业而言，提前布局算电协同能力，不仅是应对能源成本上升和碳排放监管的有效策略，更将在未来数字经济竞争中构建起差异化的绿色优势。ZTE中兴

间接蒸发冷却空调解决方案

助力金融数据中心绿色高效转型

在“双碳”战略深入推进与数字化转型加速的双重驱动下，金融行业对数据中心的绿色化、高可靠与快速交付能力提出更高要求。作为支撑核心业务连续运行的“算力底座”，数据中心面临PUE（电能使用效率）严控、水资源利用效率提升、建设周期缩短等多重挑战。传统冷冻水系统虽技术成熟，但存在能耗高、水耗大、施工复杂等问题，难以满足新建大型金融数据中心绿色低碳发展的新需求。

中兴通讯基于“自然冷却为主、机械制冷为辅”的设计理念，推出高效节能的间接蒸发冷却空调（indirect evaporative cooling, IEC）解决方案，已在多个金融数据中心项目中实现规模化部署，助力客户达成绿色目标（ $PUE \leq 1.2$ 、 $WUE \leq 1.0L/kWh$ ），显著降低全生命周期运营成本，为金融行业构建新型绿色数字基础设施提供可复制、可落地的技术路径。

高效节能：最大化利用自然冷源，显著降低PUE与WUE

间接蒸发冷却空调通过高效换热芯体实现室内外空气的物理隔离与显热交换，利用室外空气干湿球温度差，结合水蒸发吸热原理，实现对机房热回风的等湿降温。系统具备干模式、湿模式与混合模式三种运行工况，可根据

室外气候条件自动切换，最大限度减少压缩机制冷运行时间。

在干模式下（室外温度较低），仅风机运行，不喷水、不启动压缩机，实现100%自然冷却；在湿模式下（中高温环境），通过喷淋蒸发增强换热能力，仍无需启动压缩机；仅在极端高温或高负载场景下进入混合模式，由DX（direct expansion）系统辅助补冷。该策略使全年自然冷却时长占比超80%，显著降低制冷系统能耗。

以1000机柜（单机柜8kW）项目为例，采用中兴IEC方案后年均制冷能耗约8409.6万kWh，相较传统冷冻水系统（ $PUE 1.5$ ）年节电超2100万kWh，节省电费约1261万元；年均耗水量约7.01万 m^3 （ $WUE \leq 1.0L/kWh$ ），较传统冷却塔系统节水超5.6万 m^3 ，节约水费约33.6万元，节能与成本效益显著。

中兴通讯第三代高分子换热芯体采用防腐涂层技术，通过AASS盐雾试验达1000小时，寿命较传统金属芯体延长5年以上，全生命周期免更换，降低维护成本。同时，系统配备动态湿度控制策略，可根据室外湿度自动调节喷淋流量与频率，避免湿空气含湿量过高影响换热效率，延长自然冷却运行时间，确保全年WUE稳定控制在1.0L/kWh以内，实现节能与节水双重优化。



谢凯

中兴通讯IDC智能温控
产品市场总监



刘小光

中兴通讯IDC金融行业
市场总监

高可靠与智能运维

中兴IEC方案采用全封闭设计，室内外气流完全隔离，有效阻隔沙尘、柳絮等污染物进入机房，IT设备故障率降低20%；系统无复杂冷冻水管路，漏水风险较传统方案降低90%，大幅提升运行安全性，减少因基础设施故障导致的业务中断隐患。

同时，系统集成AI驱动的智能温控策略，可基于金融业务负载规律（如工作日高峰、夜间低谷）提前1小时预测负载变化并动态调整运行模式，避免突发高负载引发温度波动，保障IT设备稳定运行。AI模型还能结合当地峰谷电价与水价差异，自动优化运行策略：在电价高峰时段增加喷淋运行时长、减少压缩机使用，降低电费支出；在夏季用水高峰期则适度减少喷淋频率，节约水资源，实现综合运营成本最优。

系统支持远程监控与智能诊断，实时采集300余项运行参数，故障响应时间从小时级缩短

至分钟级。运维人员可通过移动端或PC端平台实现远程巡检与参数调整，大幅减少现场人工干预。以1000机柜项目为例，运维团队可从传统模式下的6人精简至2人，年节省人工成本约80万元；关键部件如滤网、喷嘴采用卡扣式设计，更换便捷，年维护时间由120小时压缩至30小时，且支持在线维护，日常保养不影响设备正常运行，显著提升运维效率与系统可用性。

敏捷部署与前瞻演进

中兴IEC机组采用高度模块化设计，将换热芯体、风机、喷淋系统、电气控制、结构框架等部件在工厂完成预制并集成，所有管路与线缆均标准化连接，现场仅需完成“三管一线”（给水管、排水管、风管、电源线）对接与螺栓固定，实现“即吊即用”。单台机组吊装就位时间小于30分钟，极大缩短现场施工周期。

在建设银行和林格尔数据中心项目中，中兴通讯部署480套间接蒸发冷却机组，整体安装周期仅2个月，较传统冷冻水系统建设周期缩短60%以上，充分体现了“去工程化”交付的优势，满足金融客户对数据中心快速上线、尽早投产的需求。

面向金融数据中心未来高密度演进趋势（单机柜功率超20kW），中兴通讯前瞻性布局“间接蒸发冷却+液冷”融合制冷技术路径。通过风冷系统承担基础散热，液冷系统精准应对高热密度区域，实现冷量按需分配、协同调控，进一步将PUE降至1.15以下，满足未来AI算力、高性能计算等场景的散热需求。该融合方案支持从风冷到液冷的平滑演进，保护客户既有投资，助力金融数据中心实现长期绿色高效发展。

规模商用验证，打造金融绿色标杆

中兴通讯间接蒸发冷却空调解决方案已在多



建设银行和林格尔数据中心间接蒸发冷却空调项目实景



乌兰察布中国银保信数据中心稳定运行的间接蒸发冷却空调

个金融行业重点项目中成功应用，经受了严苛环境与长期运行的考验。

2023年，中兴通讯为乌兰察布中国银保信数据中心项目提供34套IEC机组。该项目地处北方严寒地区，冬季极端低温达-30℃，夏季高温可达35℃。系统通过智能防冻结模式，在低温环境下自动排空水循环系统，防止结冰损坏；在高温季节高效运行湿模式与混合模式，保障机房稳定散热。历经3个完整空调运行周期，系统运行稳定可靠，未发生任何重大故障，充分验证了产品在极端气候条件下的适应性与可靠性。

2025年，中兴通讯中标建设银行和林格尔数据中心项目，提供480套间接蒸发冷却空调，成为金融行业迄今为止最大规模的IEC应用案例。

该项目不仅实现了高效节能与快速交付，更通过AI智能调控与远程运维平台，构建了现代化、智能化的绿色数据中心运维体系，成为金融行业绿色转型的标杆实践。

从节能降耗到智能运维，从快速交付到平滑演进，中兴通讯间接蒸发冷却空调解决方案不仅精准匹配国家绿色低碳政策要求，更以全生命周期价值优化助力金融客户实现“绿色、可靠、高效”的数据中心转型升级。

未来，中兴通讯将持续创新，推动风冷与液冷技术深度融合，为金融行业数字化发展构筑更绿色、更智能的算力底座。 **ZTE中兴**

高密智算数据中心CDU解决方案



林智

中兴通讯液冷规划专家



2023年起，人工智能产业高速发展，智算中心（AIDC）建设迎来爆发期。AI算力高负载、低延迟、高密度的运行特性，彻底改变了传统数据中心的散热逻辑，对液冷CDU（cooling distribution unit）产品提出了更高要求。

一方面，AI芯片功耗持续攀升，叠加智算业务对低延迟的刚性需求，单机柜功率密度跨越式增长，从48kW/Rack快速升级至120kW/Rack，再从120kW/Rack迭代至240kW/Rack。高密度算力场景直接推动CDU向超大冷量方向迭代，2MW及以上大冷量CDU成为高密智算中心的标配设备。

另一方面，智算场景对系统可靠性、控制稳定性、工质洁净度提出全方位升级要求。首先，智算业务连续性要求极高，NVIDIA最新规范明确：水泵故障切换时间需 $< 5s$ ，切换后30s内流量、压力波动 $\leq \pm 5\%$ ，温度波动 $\leq \pm 2^\circ C$ ，且电源、水泵、核心传感器等关键器件必须全面冗余配置。其次，AI推理运算负载波动极强，瞬时负载区间可达25%~150%，对CDU动态温控、稳压调流能力提出极大考验。此外，高功率AI芯片普遍采用微通道细密冷板结构，极易被微小杂质堵塞，系统过滤精度由此从 $50\mu m/100\mu m$ 升级至 $25\mu m$ ，对液冷系统洁净度管控提出全新挑战。

作为冷板式液冷二次侧的换热与循环中枢，CDU主要承担两大核心作用：为二次侧冷却工质提供循环动力与精准换热冷却能力；对整个二次侧液冷系统实现集中监测与智能调控。面对智算行业的全新场景需求，CDU升级不再是简单的冷量扩容，而是围绕高可靠、高稳定、高精度、高洁净的系统性技术革新。中兴通讯致力于为客户

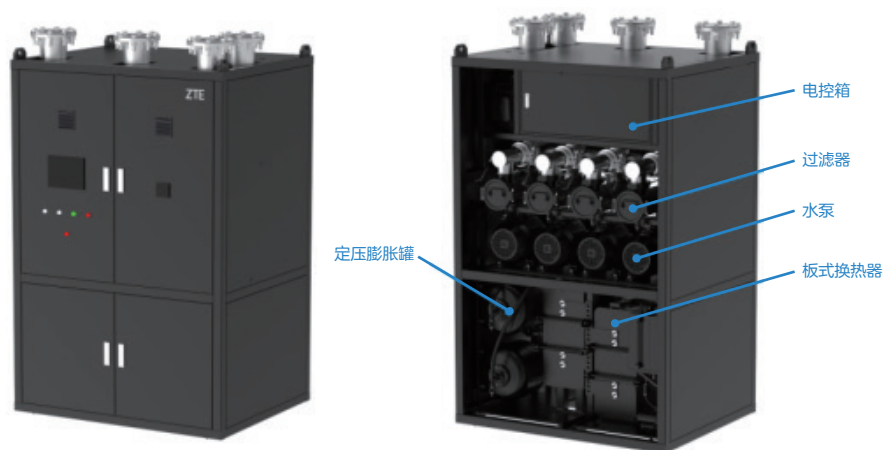
提供完整的智算解决方案，CDU产品通过架构优化、冗余升级、算法迭代、精细化水质管控，全面适配超高密度智算散热场景。

全维度冗余设计，保障业务连续运行

为适配智算中心不间断运行需求，方案采用冗余架构设计，实现任意单点故障不影响核心制冷功能。供电系统设计上，沿用成熟的2N冗余架构，双路电源无缝切换，杜绝供电中断风险。核心部件层面，水泵、过滤器采用N+1冗余配置，单个部件故障不影响整机制冷性能。传感器配置上，将传统1+1传感器冗余升级为2+1冗余架构，可精准甄别异常漂移数据，大幅提升监测可信度。同时新增温湿度、液位传感器冗余配置，为防凝露控制、高低液位告警等关键防护功能增加硬件冗余。控制系统设计上，采用“稳态可控、故障保持”的设计理念，CDU虽只配置了一套控制器，但即使控制器故障或控制信号中断，水泵、电动阀等核心部件仍可保持原状态运行，避免控制失效引发的系统停机，全方位保障算力业务连续稳定。

多泵并联架构，实现参数精确稳定控制

温度、压力、流量的动态稳定控制，是衡量CDU产品核心性能的关键指标。常规稳态工况下，主流CDU产品均可实现较高控制精度（温度波动 $\leq \pm 0.5^\circ C$ 、压力波动 $\leq \pm 0.05bar$ ）。但在水泵故障、机组故障切换等突发工况下，系统参数会出现剧烈波动，这也是长期困扰行业的技术难



▲ 图1 CDU结构示意图

题。为破解这一痛点，本方案创新性采用多泵并联架构，摒弃传统单泵驱动模式，通过多台小功率水泵并联协同实现系统额定制冷能力，同时，遵循 $N \geq 2$ 的水泵 $N+1$ 冗余配置。该架构最大优势在于容错能力极强，单台水泵突发故障退出运行时，对系统总流量、压力的冲击极小；搭配调优的PID（Proportional-Integral-Derivative）控制逻辑，可有效抑制切换过程中的参数波动，满足智算场景严苛的稳定性要求。

与此同时，多泵并联设计具备加减载响应速度快的特点，可满足负载快速变化的需求。系统设计上配合缓冲罐，可有效抑制推理场景25%~150%的瞬时负载剧烈波动对系统温度的影响，实现温度精确、稳定控制。从工程角度来看，该架构设计存在一定取舍，多泵并联可提升部分负载工况下运行效率，但在满载工况下多泵并联会产生轻微的水力损耗，导致机组运行效率略有下降，但综合故障容错、动态调控等优点，多泵并联架构的优势远大于劣势，是适配高密智算场景的最优工程方案。多泵并联架构CDU结构示意图见图1。

精细化水质管控，守护系统长效运行

高密微通道冷板对冷却液洁净度、水质稳

定性高度敏感，水质管控已成为智算液冷系统长效稳定运行的核心关键。针对 $25\mu\text{m}$ 超高过滤精度要求，考虑与多泵并联架构适配，本方案采用多组过滤器并联的设计，在实现高精度过滤的同时，提升滤芯过流面积，降低系统流阻，兼顾过滤性能与设备能效，同时优化设备内部空间结构。

在水质智能运维层面，新一代CDU标配多种水质监测传感器，可实现电导率、PH值、浊度等关键指标的实时监测，直观反映系统腐蚀、脏堵风险以及工质寿命，有效降低金属材料腐蚀、工质劣化、细菌滋生等问题的风险，全方位保障高密智算液冷系统长期高效、安全、稳定运行。

中兴通讯高密智算CDU解决方案，通过全维度冗余防护、多泵并联精准控参、智能化水质管控三大核心设计对传统CDU进行了全面升级，彻底解决高密度算力场景下功耗高、负载波动大、洁净度要求高、可靠性要求高等行业痛点。方案全面保障算力业务不间断运行，降低设备故障率与运维成本，支撑超高密智算集群规模化高效部署，显著提升智算中心运行容错能力与综合效益。ZTE中兴

数智赋能，低碳筑基——中兴通讯

通信站点综合供电解决方案



陈鹏

中兴通讯通信能源策划
总监

随着5G网络深度覆盖、算力网络加速部署以及多站融合场景的普及，通信站点部署场景呈现多元化特点，能耗规模持续增长，运维管控复杂度提升，资源复用需求凸显。传统单一功能、碎片化的站点设备模式已无法适配绿色低碳、数智高效、极简运维的网络建设新要求。

紧扣行业发展趋势与运营商核心痛点，中兴通讯整合V6智能电源、高效站点光伏、智能机柜V3.0三大核心产品，打造全场景、一体化、可演进的通信站点综合解决方案。方案围绕“节能降碳、极简部署、智能管控、安全可靠、平滑演进”五大核心价值，构建覆盖站点能源“发-转-储-用-管”的全链路能力体系，系统性解决站点建设改造、能耗管控、日常运维难题，助力通信网络实现集约化、智能化、低碳化升级。

全模块化智能供电，构筑高效供电底座

通信电源作为通信站点的核心能源设备，其转换效率、智能化水平直接决定全网能耗水平与供电可靠性，是运营商网络节能降碳的核心切入点。面对全网能耗攀升、多场景供电适配难、电费成本高企、老旧站点改造难等痛点，中兴通讯第六代V6智能电源打破传统电源设备的固化设计局限，以全模块化、高效率、强智能、可演进的

核心优势，为各类通信站点提供极简高效的供电支撑。

在能效升级层面，V6电源搭载业界领先的功率转换技术，形成3kW、4kW全系列整流模块及太阳能功率模块矩阵，核心能效指标行业领先。其中整流模块最高转换效率可达98%，功率密度达70.2W/in³，太阳能功率模块效率高达99.3%，相较行业通用设备，系统整体效率提升近2%，从能源转换源头实现高效节能。

在场景适配与投资优化层面，V6电源实现插箱、整流器、配电、电池等核心部件全模块化设计，支持模块灵活混插、容量平滑扩容，可满足单租户到多租户场景的渐进式升级需求，让运营商按需投入、逐级扩容，有效规避过度投资、资源闲置问题。同时，设备支持市电、光伏、油机等多能源混合输入，具备免市电改造叠光、智能削峰、错峰用电、油机负载动态优化等智能化能力，可精准适配5G新建站点、老旧机房改造、多站融合等全场景需求，大幅降低电费支出与改造成本。

在精细化运维管控层面，V6电源搭载智能配电与高精度CSU计量系统，实现运维能力全面升级。设备支持分租户、分负载独立下电、差异化备电与电量计量，智能空开可对每一路负载精准统计耗电量、自定义备电时长，无需额外加装电表即可完成多租户用电量精准核算，大幅减少配

套投资。同时系统兼容不同类型电池混用，通过充放电管理策略统一调配电池资源，最大化盘活现网电池资产价值，延长电池使用寿命，降低设备迭代成本。

全域高效光伏，打造零碳节能新动能

双碳目标下，通信站点清洁能源替代已成为行业发展的必然趋势。光伏方案凭借清洁低碳、部署灵活、降本显著的优势，成为运营商优化能源结构、降低OPEX的核心举措。针对传统光伏方案发电量低、部署场景受限、远距离供电损耗大、扩容繁琐等短板，中兴通讯推出业界领先的sPV站点光伏解决方案，以极致能效、全场景适配、灵活演进的能力，助力站点实现绿色能源高效利用。

方案核心搭载单组件独立最大点功率追踪技术（maximum power point tracking, MPPT），突破传统光伏阵列整体管控的技术瓶颈，即便在建筑遮挡、树荫遮挡等复杂场景下，仍可保持单组件高效发电，相较传统方案发电量提升20%以上，极大提升了复杂户外场景的光伏利用效率。方案可适配房站、柜站、杆站等全类型通信站点，支持容量平滑扩容升级，无需大规模

改造站点基础设施，即可快速完成光伏系统部署与迭代。

针对楼顶光伏部署等远距离场景，4kW PU光伏产品采用400V高压供电架构，相较传统低压方案可降低线路损耗约2%，在无遮挡的开阔场景下具备极高性价比，有效解决远距离光伏供电损耗难题。

中兴通讯站点光伏方案已在全球规模化部署，累计部署容量达680MW，每年可节电7.6亿度、减碳35万吨，为运营商绿色网络建设提供坚实支撑。

三防智控一体化机柜，实现站点安全极简运维

室外通信站点部署环境复杂，面临沿海高腐蚀、温差大、设备运维难等多重难题，还存在各种安全隐患，影响网络设备稳定性与使用寿命。中兴通讯智能机柜V3.0聚焦户外站点全场景适配、节能温控、安全防护、灵活扩容需求，打造一体化室外机柜解决方案，以模块化、智能化、高可靠设计，破解户外站点运维痛点。方案构建差异化场景适配体系，支持镀锌钢板、夹芯板、三元合金板多种材质设计，精准匹配不同部



中兴通讯通信站点综合方案，深度贴合运营商降本、节能、安全、提质的核心诉求，以成熟的硬件产品矩阵、创新的能源管控技术、全场景的适配能力，破解传统站点建设与运维痛点。

署环境。

在节能温控与灵活迭代方面，智能机柜V3.0实现热控设备模块化、接口归一化设计，空调、热交换器、风扇、加热器等温控设备可自由选配、互换升级，支持现场快速扩容与备件替换，客户可按需利旧改造，最大化盘活现有资产。同时设备支持多热控设备协同运行，搭配专属导风、风道隔离组件，实现智能混合温控，精准调节柜内温度，最大限度降低温控能耗，实现运维节能与设备稳定运行双向赋能。

在安全防护方面，机柜搭载双重安全保障体系，全方位守护站点设备安全。防盗方面，预留标准化锁盖、防盗带、防盗挡板安装接口，可按需选配防盗组件；防火方面，创新采用“自动触发+远程手动”双模式灭火机制，内置温感、烟感传感器实时监测柜内工况，火情触发后瞬时精准灭火，遏制火势蔓延，同时支持后台远程一键处置，实现无人值守站点火情秒级响应，将设备故障与资产损失降至最低，保障站点长期安全稳定运行。

一体化端到端综合方案，赋能站点数智升级

中兴通讯通信站点供电综合方案并非产品的简单叠加，而是以客户全生命周期价值为核心，

整合智能电源、高效站点光伏、智能机柜三大核心产品，搭配高效能源网管系统，构建“硬件集约化+管控智能化+能源低碳化”的一体化站点解决方案，实现从设备部署、能源供给到智能运维的全流程升级。

依托数字化能源网管平台，方案实现站点能源设备可视化监控、智能化分析、主动式优化，打破传统被动告警的运维模式，可精准分析全网能耗数据、设备运行状态、资产利用率，帮助运营商实现全网供电可靠性提升、资产盘活、运维提效、TCO持续优化，推动站点运维从人工粗放式管理向数智精细化运营转型。

面向5G规模化深耕、算力网络普及、双碳战略落地的行业新周期，通信站点作为网络基础设施的核心单元，其绿色化、智能化、集约化升级已成为行业刚需。中兴通讯通信站点综合方案，深度贴合运营商降本、节能、安全、提质的核心诉求，以成熟的硬件产品矩阵、创新的能源管控技术、全场景的适配能力，破解传统站点建设与运维痛点。

未来，中兴通讯将持续技术创新，迭代优化全场景站点解决方案，挖掘节能降碳、智能运维、资产复用价值，助力运营商打造极简、高效、低碳、可靠的新型通信站点体系，为数字网络高质量、可持续发展筑牢根基。ZTE中兴

通信基站储能方案

重构通信网络能源运营体系

5G单站满载功耗为4G的2~3倍，随着5G规模化覆盖与边缘算力布局，叠加基站、数据中心集中建设，2018年—2022年运营商电费持续攀升，并在2022年触顶。后续依托基站共建共享、AI智能休眠、高能效设备及绿电采购等措施，全网总电费逐步回落，但基站空载能耗高、峰谷用电差异大的结构性用电矛盾依然突出。

传统铅酸备电电池寿命短、环境适应性弱、缺少智能调度能力，仅可应急备电，难以契合降碳、电力市场化运营需求。兼具应急保通、峰谷套利、需求响应功能的基站储能成为通信能源升级的主流解决方案，助力运营商持续降本增收，

推动通信能源绿色数字化转型。

通信基站储能整体技术方案

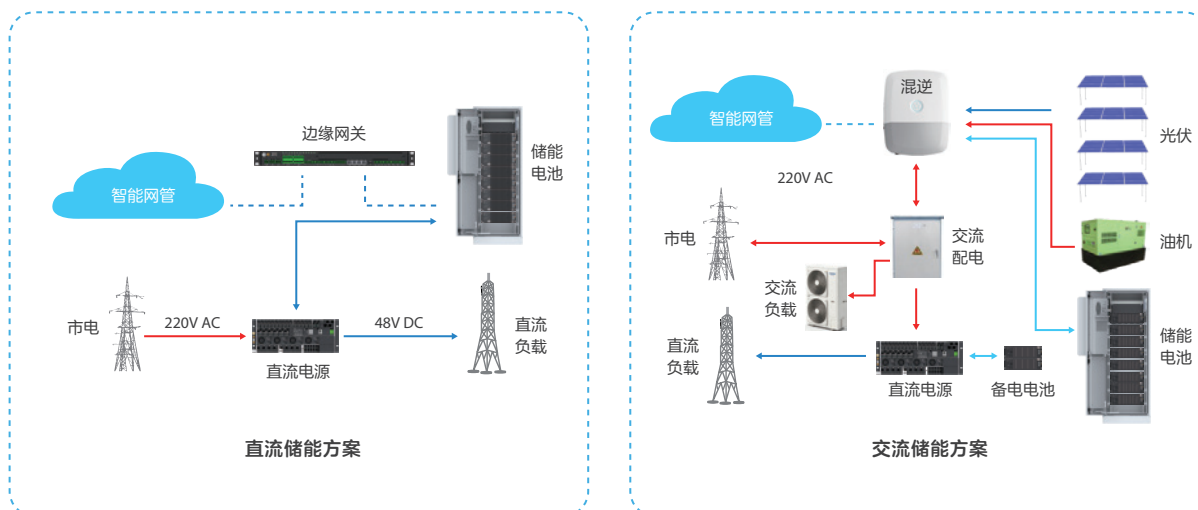
针对城区密集基站、郊区偏远基站、光伏配套基站、老旧改造基站等不同场景的差异化需求，行业形成两套成熟的储能方案：直流储能方案（网管+网关+智能锂电池）和交流储能方案（混合逆变器+普通锂电池）。两套方案可根据基站配电结构、场地条件、功能需求等进行灵活选择，兼顾改造性价比与功能扩展性，覆盖存量改造与新建部署场景。方案如图1所示。

通信基站储能方案，依托差异化的硬件架



郝乃哲

中兴通讯通信电池产品
市场总监



▲ 图1 通信基站储能方案

构、场景化的适配能力与智能化的调度体系，彻底打破了传统基站电源仅能应急备电的单一局限，重构通信网络能源运营体系。其中，直流储能方案轻量化、低成本、高可靠，完美适配存量基站规模化改造需求，可快速落地降成本；交流储能方案大容量、多功能、高拓展性，聚焦新建基站与新能源配套场景，最大化挖掘储能资源市场化价值，助力运营商增收创收。

直流储能方案：网管+网关+智能锂电池

直流储能方案为基站专属轻量化储能架构，完全适配通信基站-48V直流供电体系，核心由智能网管系统、边缘网关、智能磷酸铁锂电池三部分组成，全程直流耦合、无多余电能转换环节，是存量基站改造的优选方案。该方案无需改动基站原有直流配电架构，可直接并联于基站直流母排，兼容原有整流设备，部署便捷、改造周期短、运维难度低。

其中，智能锂电池为系统核心储能载体，相较于传统铅酸电池，具备高能量密度、长循环寿命、宽温域工作优势，循环寿命可达6000次以上，大幅降低迭代更换成本。同时内置电芯均衡，电压、电流、温度检测及保护，故障隔离等多重安全机制，适配基站室外、机房等复杂部署环境。边缘网关承担数据采集、协议适配、本地调度核心功能，实时采集电池电压、电流、温度、SOC状态，实现数据本地分析与快速响应。网管系统作为云端管控核心，负责批量设备管理、储能策略配置、能耗数据分析、故障远程告警，支持多站点集群管控，可灵活设置设备阈值、峰谷充放电策略，同时可扩展虚拟电厂功能，实现智能化无人值守运行。

该方案核心优势为转换效率高、响应速度快、改造成本低、运行稳定性强，通过智能锂电池双向直流升降功率变换功能实现电池自主充放电，全程直流传输无多余交直流转换损耗，电

能转换效率可达92%以上，在实现储能功能的同时保证市电中断时无缝切换至电池备电，全方位保障基站传输、射频等核心设备不间断运行。方案主打精准节能降耗、基础峰谷套利、应急安全备电三大核心功能，无需大幅改造基站基础设施，适配城区中小型存量基站、密集组网基站的规模化改造场景，是目前运营商存量基站能源升级的高性价比优选方案。

交流储能方案：混合逆变器+普通锂电池

交流储能方案为通用型光储一体化架构，核心由混合逆变器、磷酸铁锂电池组构成，采用交流耦合模式，独立于基站原有供电系统，不依赖基站直流配电设备，适配大功率、多功能、新能源配套型基站场景。方案核心设备混合逆变器集成光伏逆变、双向PCS变流、稳压滤波、智能调度多重功能，可实现市电、光伏、储能、负载四方电能交互，既能在市电正常时完成电池精准充放电，也可在市电断电时独立为基站负载供电。

系统运行过程中，混合逆变器实时监测市电状态、电价时段、光伏出力情况，自动执行最优调度策略：电价低谷时段吸收市电进行储能，电价高峰时段电池放电为基站负载供电；光伏配套场景下，优先消纳光伏直流电，多余电能存储至电池，最大化利用清洁能源。同时，交流储能系统独立组网，不会对基站原有直流供电系统造成干扰，安全性与扩展性极强。

相较于直流储能方案，交流储能方案功率容量更大、功能维度更广、拓展性更强，依托独立的交流耦合架构，完全脱离基站原有直流供电体系限制，可承载更大用电负荷。除基础的应急备电、峰谷套利功能外，还可实现光伏储能联动、电网调频调压、冗余电能并网售卖等增值业务，功能覆盖基础运维与市场化增收两大场景。该方案主打商业化增值运营，完美适配5G大型宏基站、边缘算力高功耗基站、光伏配套基站、郊区

在通信网络持续迭代、站点功耗不断增大、能源市场化改革不断深化的行业背景下，基站储能已成为运营商降本增收、绿色转型的关键路径。

大容量新建基站等场景，是运营商盘活基站能源资源、拓展新业态的重要技术支撑。

核心价值：助力运营商降本增收

基站储能改变了传统电源只有投入没有收益的模式，通过智能调度实现全方位降本、多路径增收，助力运营商高质量运营。

在降本层面，效益主要体现在用电开支、设备投入和网络风险管控三个方面：

- 节约电费开支：基站储能可用于电价峰谷套利，单站每年可节约15%~25%电费。
- 压缩设备及运维费用：配套长寿命锂电池循环寿命超6000次，远优于传统铅酸电池，大幅减少设备更换投入；依托云端远程运维平台，可显著降低运维人力成本。
- 减少网络隐性损耗：储能可实现断电无缝切换并提供更长时间备电，避免基站退服、信号中断引发的抢修、用户赔付等隐性成本，保障网络稳定运行。

除降低内部运营成本之外，基站储能还可向外挖掘商业价值，创造新增收益：

- 峰谷套利收益：海量基站储能可聚合为分布式资源池，城区直流轻量化、郊区交流规模化开展峰谷套利，形成稳定持续性收入。
- 光储协同收益：基站搭配光伏可就地消纳绿电，完成双碳考核。
- 电网辅助服务收益：运营商可聚合全网储能资源参与电网调峰、调频等有偿辅助服务，盘活现有基站基础设施，开辟能源服务全新增收渠道。

在通信网络持续迭代、站点功耗不断增大、能源市场化改革不断深化的行业背景下，基站储能已成为运营商降本增收、绿色转型的关键路径。通信基站储能系统，不仅是优化网络供电稳定性、精简运营成本的核心技术手段，更是盘活全网海量站址资源、拓展能源服务新业态、打造新盈利增长点的重要战略布局。未来，随着储能集群化、调度智能化、能源协同化水平持续提升，基站储能将深度融合算力网络与新型电力系统，持续为运营商创造长效经济价值与社会价值，助力通信行业实现绿色低碳、高效高质发展。ZTE中兴

新能源光储微电网发展趋势分析



桑凯

中兴通讯数字能源产品
规划高级工程师

微

电网以新能源为主要电源，具备一定的智能调节和自平衡能力，属于可独立运行也可与大电网联网运行的小型发配电系统。在全球能源转型与电力系统升级背景下，微电网已成为新型电力系统的关键支撑单元。本文将对全球微电网行业发展环境、商用场景、关键技术进行深入分析。

微电网行业环境整体研判

各国受到电网转型、光储系统平价、柴油发电昂贵、降碳政策升级等影响，涌现出很多微电网需求。国内依托主配微分级协同，可破解高比例新能源消纳难题，降低系统运行与输变电投资成本；欧洲政策与市场双轮驱动，工商业微电网经济性突出。用户侧微电网可助力降本增收，国内外因电力市场化进程差异呈现不同盈利节奏，长期投资价值明确。

国内：微电网新模式保障新能源高质量发展

双碳战略落地以来，我国新能源产业高速发展，风光装机规模持续大幅扩容。按照“十五五”规划布局，2030年我国风光总装机将突破30亿千瓦，新能源装机占比将超50%，正式成为电力系统主体能源。伴随新能源装机容量持续攀升，电力系统适配性短板逐步凸显。当前电网存在源荷时空错配、结构性供需矛盾、跨区域输送瓶颈、电力市场机制不完善等问题，制约新能源高效消纳，成为新型电力系统建设

的核心痛点。

相较于单一依赖源网侧改造的高成本模式，主配微分级协同调控模式具备显著降本增效优势。通过电网末端微电网实现区域负荷自平衡，可有效优化电力系统运行结构，助力系统整体运行成本下降15%~20%，同时延缓15%~20%的输变电工程新增投资，大幅缓解电网建设与运营压力。依托主配微分级协同调控、在电网末端布局建设微电网，将成为未来电网规模化消纳新能源的必选路径。

欧洲政策、市场双轮驱动微电网增速发展

欧洲以能源转型、能源安全双轮驱动持续完善微电网顶层政策体系，为行业发展提供了制度支撑。2025年欧洲议会电网决议再度加码，呼吁各成员国加速微电网与能源社区规模化部署，同步推进配电网数字化升级。与此同时，德国、意大利、西班牙、罗马尼亚等国纷纷落地本土化激励政策，鼓励微电网建设与分布式能源就地自消费。

除政策红利外，能源安全刚需推动微电网成为欧洲电力系统升级的关键抓手。俄乌冲突充分暴露了欧洲传统集中式能源体系的脆弱性，而微电网可有效整合本地分布式新能源资源，实现电能就地生产、就地消纳，大幅降低区域对集中式大电网和进口化石能源的依赖，筑牢区域能源安全屏障。

从市场经济性来看，欧洲电力市场环境为微电网发展创造了良好的盈利条件。欧洲各国电价

普遍偏高且波动幅度大，叠加成熟的电力市场化交易机制，让微电网具备稳定的盈利空间。

电力市场化背景下用户侧微电网建设逻辑与价值

随着国内电力市场化改革持续推进，传统工商业用户的用电与盈利逻辑发生根本性转变，面临多重经营压力。一方面，市场化交易全面普及后，工商业用户购电由传统固定电价转变为中长期议价叠加现货实时波动定价模式，峰谷价差逐步拉开，企业用电开支不确定性显著增加，用能成本持续走高；另一方面，单一用户体量有限，无法独立参与电力现货交易、需求响应、电网辅助服务等市场化增值业务，错失电力体制改革下的增收机会。

用户侧布局微电网成为破解当前痛点、实现降本增收与安全保供的核心方案：

- 降低外购电量：搭建以光伏、储能、本地负荷为一体的微电网，最大化实现光伏电量自发自用，减少外购电量；
- 降低用能成本：依托智能化微电网EMS（energy management system），预测光伏电价、市场化电价、用户负荷，选择最优用电方案；
- 拓宽额外收益：依托微电网聚合体量参与各类电力辅助服务。

从收益维度来看，国内外电力市场成熟度差异造就了不同的微电网盈利环境。当前国内电力市场化仍处于初期阶段，现货交易占比偏低，峰谷价差仅为0.1~0.6元/度，微电网套利空间相对有限；但随着2030年国内电力现货市场逐步成熟，峰谷价差将持续扩大，微电网的综合收益水平将显著提升，长期具备良好的投资价值。反观欧洲，电力市场化交易机制高度完善，峰谷价差可达1.2元/度，微电网套利模式成熟、经济性突出，已具备稳定的盈利空间。

微电网应用场景商业价值分析

虽然微电网行业整体发展势头较好，但微电网落地场景繁多，并非所有场景都具有商业价值，综合政策导向、经济性、商业成熟度几个维度判断，具有商用价值的场景包括：离网替代柴发场景、煤矿应急电源场景、工商业园区微电网场景、光储充一体化场景。

● 离网替代柴发场景

离网替代柴发场景已率先实现商业化落地，2026年起正式具备明确商业价值。该场景主要涵盖工商业园区并离网型光储微电网、矿山离网型光储柴微电网。海外市场数据显示，光储系统度电成本（LCOE）仅为0.55元/kWh，远低于传统柴油发电2.5元/kWh的度电成本，经济性优势极为突出，可替代传统柴发供电模式。

● 煤矿应急电源场景

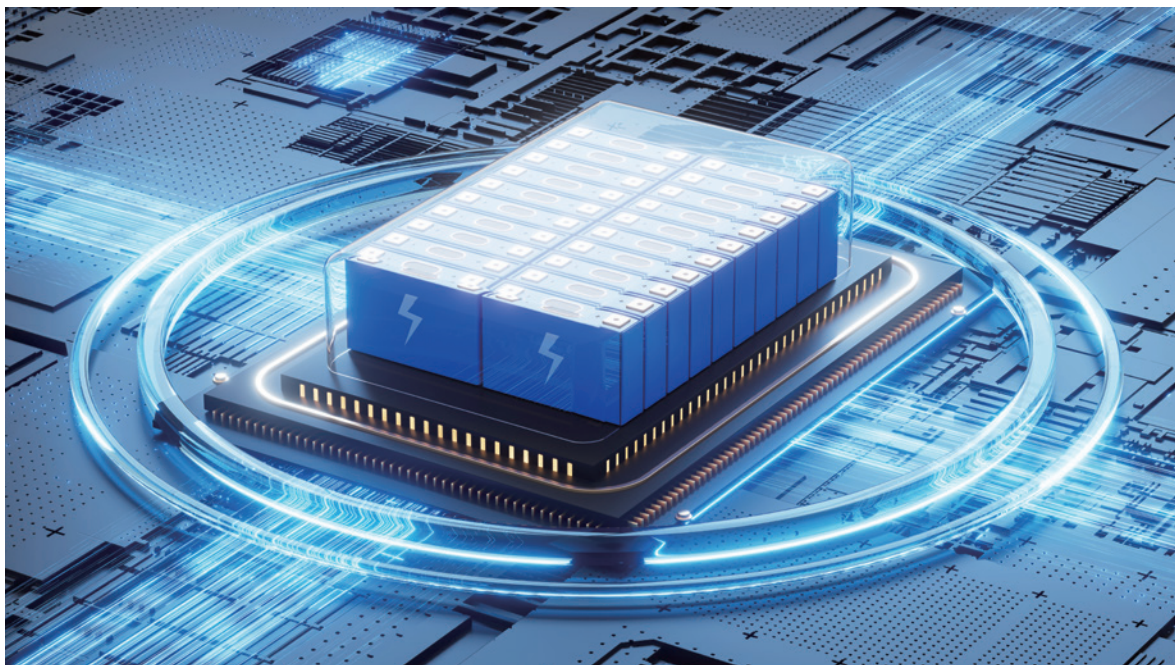
煤矿应急电源场景具备强政策驱动属性，依托行业强制性规范要求，2025年已进入明确的落地窗口期，是当前确定性最高的微电网落地场景之一。

● 工商业园区微电网场景

工商业园区微电网场景国内外经济性表现存在显著差异。国内2026—2029年期间，无专项政策加持的普通园区微电网暂不具备独立经济性，现阶段仅在有硬性脱碳指标、绿色考核要求的场景中具备落地价值；欧洲电力市场化体系完善、价差收益空间充足，工商业园区微电网已整体具备经济性。

● 光储充一体化场景

光储充一体化场景的发展逻辑与工商业园区场景高度契合。国内现阶段无市场化盈利优势，仅适合依托脱碳考核、绿色转型需求的场景拓展落地；欧洲市场凭借成熟的电力交易机制与电价波动优势，光储充一体化微电网已具备商业化条件，通过多重套利运营模式可实现稳定收益。



微电网关键技术成熟度及挑战

当前微电网规模化推广应用过程中，在设备稳定控制、运行调度保供、网源协同等方面仍存在技术瓶颈。

- 多机并联集群控制与系统稳定难题

大规模构网型变流器集群运行存在振荡风险，多台构网设备并联工况下极易引发次同步、超同步振荡现象；行业尚未形成标准化的集群协同控制方案，同时缺少统一、通用的系统稳定判定依据，难以保障集群长期安全运行。

- 复杂场景下能量调度优化管控短板

极端天气、突发公共事件会大幅降低负荷预测准确度，能量管理系统预判偏差显著。微电网运行需兼顾经济运行、供电可靠、低碳环保多重目标，多维度指标平衡优化难度大，现有调度算法适配性不足。

- 纯新能源离网系统供电保障能力不足

纯新能源离网微电网抗波动能力弱，遇长期

连续阴雨等光照不足工况时易出现供电中断；配套备用柴油发电机组存在启动延时、响应速度慢的缺陷，无法快速弥补功率缺口，整体供电可靠性难以保障。

- 微电网与主网双向协同互动机制不完善

一方面硬件调度接口不统一，微电网与大电网调度体系对接困难；另一方面市场化配套机制缺失，缺少成熟交易规则支撑二者双向功率互动，且微电网参与电网辅助服务市场准入门槛偏高，侧资源价值难以充分释放。

微电网市场空间孕育着海量增量市场空间。与此同时，行业仍需破解多机并联稳定控制、能量智能调度、标准体系统一、储能安全与收益确定性等核心挑战。未来随着技术迭代、市场机制完善与产业链协同升级，微电网将逐步实现规模化、标准化落地，成为推动源网荷储深度协同、构建新型电力系统的核心支撑力量。ZTE中兴

通信站点储能入局电力市场， 解锁全新增长赛道

——虚拟电厂发展现状与趋势分析

虚

拟电厂概念于1997年首次提出，2012年在欧洲开启商业试点，2022年欧洲能源危机进一步催生行业热度。随着风光电源大规模并网，电网供电波动性加剧，亟需更多的灵活性资源，而用电侧海量分布式储能、可调负荷等资源因单点容量小、分散孤立，无法单独参与电网调度，虚拟电厂是唯一规模化聚合解决方案。通信行业拥有规模庞大、广泛分布的基站锂电池资源，且仅承担备电功能，导致大量电池资产闲置，研究虚拟电厂应用对通信锂电的价值挖掘具有重要借鉴意义。

虚拟电厂依托数字化系统聚合储能等分布式资源，是分布式资源业务创新的重要形式。本文通过分析虚拟电厂海内外发展现状与发展趋势，为运营商发展虚拟电厂提供建议。

虚拟电厂发展现状

区别于传统实体电厂，虚拟电厂基于数字技术聚合分布式零散资源，实现电力资源的统一调度、市场化交易。虚拟电厂是智能电网建设的重要组成部分，是分布式资源所有者进行业务创新的重要形式。

国际电工委员会（IEC）于2023年9月发布的IEC 63189-1技术规范，为虚拟电厂

（virtual power plant, VPP）的架构设计和功能要求建立了首个国际标准化框架。根据其定义，虚拟电厂是实现分布式发电、储能设备和可控负载的聚合、优化和控制的主体或系统（见图1）。

海外虚拟电厂发展现状

在电力市场机制完善的国家，虚拟电厂业务正快速发展，欧盟区的虚拟电厂业务品种多样，是跨区协同典范，本节重点介绍欧盟市场虚拟电厂发展现状。

● 欧盟虚拟电厂市场政策

欧盟于1993年开始规划建设统一电力市场，已形成7大电力交易所和4大平衡服务交易平台，是全球虚拟电厂的发源地与领跑者。2012年实现虚拟电厂商业化运营，2019年通过立法（《第三能源法案》《能效指令》《电力市场改革》等）确立虚拟电厂独立市场主体地位，2024年后随着能源危机与新能源高渗透，虚拟电厂被赋予法定灵活性资源角色，成为电网调峰、调频、阻塞管理与惯量支撑的关键支柱，具有稳定收益渠道。

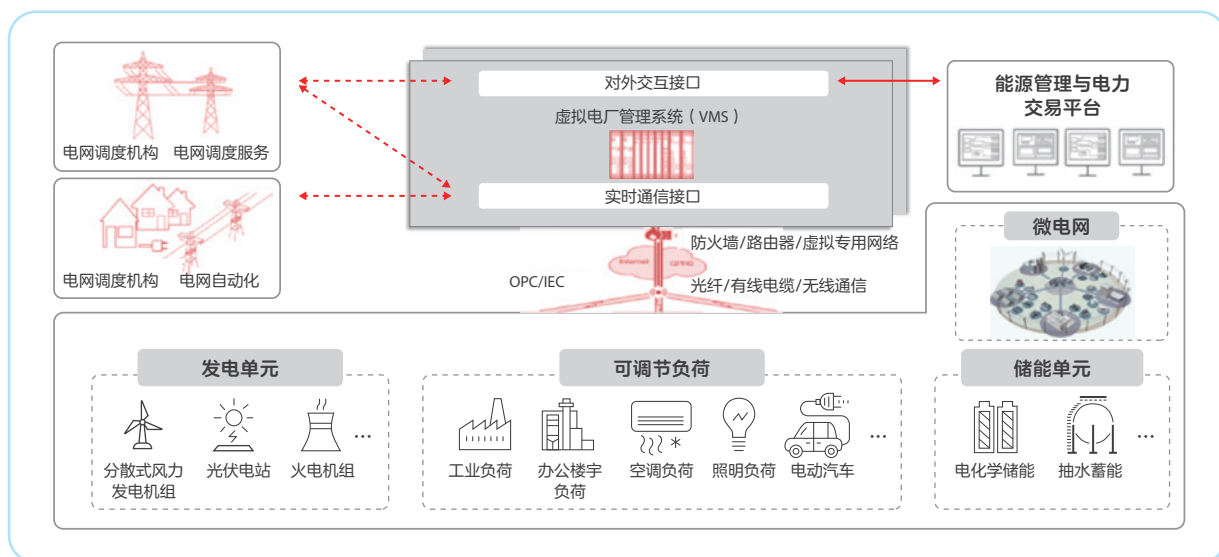
● 欧盟虚拟电厂市场交易品种与规模

虚拟电厂既可以参加电量市场，也可以参加以辅助服务为主的平衡市场。辅助服务包含有功服务、无功服务（AVC、调相等）和应急恢复

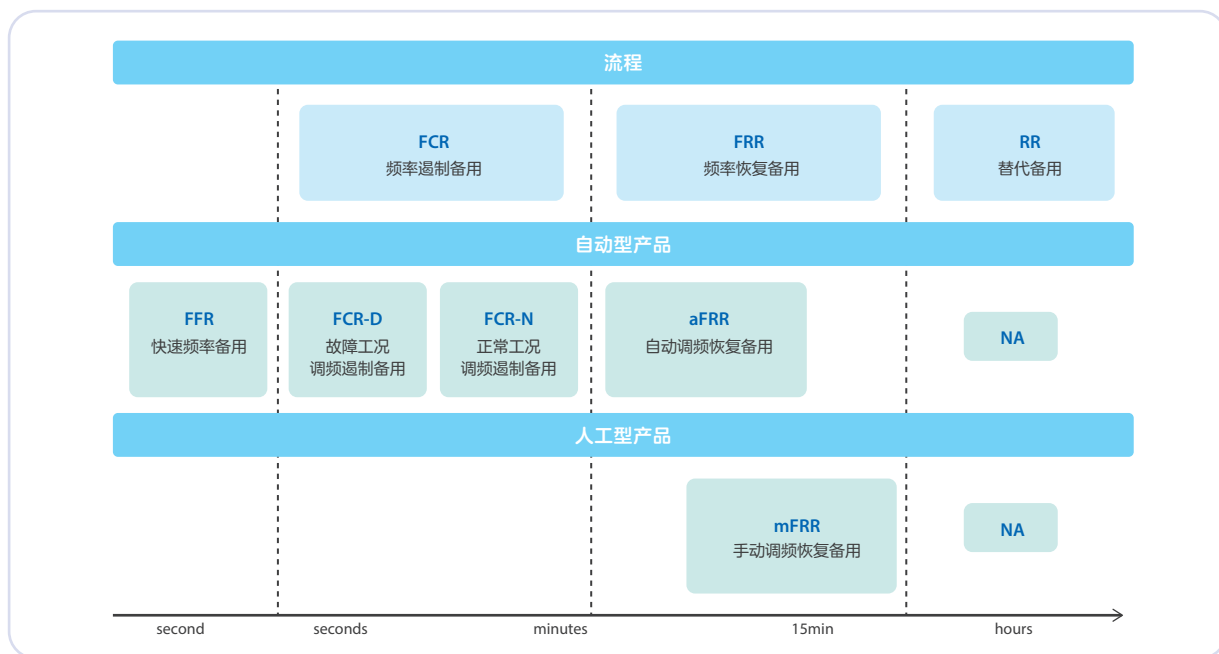


张长岭

中兴通讯通信能源产品
规划总工



▲ 图1 虚拟电厂组成 (IEC63189)



▲ 图2 欧洲辅助服务市场有功调频交易品种

（黑启动等）。其中有功服务分为一次调频FCR、二次调频aFRR和三次调频mFRR（见图2）。

欧盟辅助服务市场以有功频率控制为绝对核心（≈55%），其中aFRR、FCR、mFRR构成虚拟电厂的主战场，贡献70%~80%的收益。虚拟电厂资源结构呈现“储能第一（35%~45%）、光伏第

二（25%~35%）、负荷第三（15%~25%）”的特征。

通信运营商利用基站备电储能，也在积极探索虚拟电厂业务创新。在海外，中兴通讯与芬兰Elisa、意大利WT、奥地利H3A等运营商已在合作推进虚拟电厂应用落地。

● 标准发展现状

欧洲虚拟电网标准已形成“1个核心系列（IEC 63189）+3大配套体系（并网/通信/安全）+欧盟市场规则”的完整框架。

其中63189-1《架构与功能要求》，定义辅助服务的分级和性能要求（响应时间、调整速率、调节精度）。63189-2《用例》，包括峰谷套利和调频应用。IEC 63189-3/-4/-5将陆续发布，涉及VPP测试、FCR/aFRR专项标准补齐。

中国虚拟电厂发展现状

中国虚拟电厂自2015开始试点，2022年明确虚拟电厂运营商市场主体地位，收益模式不断丰富。能源局357号文件明确2030年市场目标，加速推进虚拟电厂技术准入标准和商业化落地。

357号文件即2025年3月份发布的《国家发展改革委国家能源局关于加快推进虚拟电厂发展的指导意见》，是中国虚拟电厂的纲领性文件。明确符合条件即可作为独立主体注册，参与全品类电力市场：中长期/现货电力交易、辅助服务、需求响应。

● 市场品种与市场规模

实践中，虚拟电厂运营商的主要获利方式来自峰谷套利，需求响应的调度频次具有不确定性，聚合商参与辅助服务，仍处于技术验证阶段。

根据国家能源局统计数据，截至2025年底，全国在运、具备电网实测调度能力的虚拟电厂最大可调容量16.85GW，在运营项目470个，同比增长70%。

目前国内铁塔、运营商均已开展峰谷套利的基站储能业务创新试点，部分省份实现规模应用。如湖北国网联合湖北铁塔进行调频辅助服务应用、上海铁塔通过FCU+电源调控电池参加调频测试。

● 标准发展现状

2024年已发布两项国标：GB/T44241《虚拟电厂管理规范》和GB/T44260《虚拟电厂资源配置与评估技术规范》。虚拟电厂的标准体系已完成规划，将有序推出。

中国辅助服务市场将K值（调节速率、响应速度、调节精度）作为技术准入和收入结算的重要参考指标。其中调节速率（爬坡速度）权重最高，磷酸铁锂电池具备快速响应和快速调节的能力，在辅助服务市场具有技术优势。

虚拟电厂发展趋势

风光为主的新能源规模持续扩大、锂电池技术进步、大模型和AI技术高速发展，这三大因素促进虚拟电厂发展，虚拟电厂系统能效和收益能力不断提升。

根据彭博新能源财经、MarketsandMarkets等机构预测，2030年虚拟电厂市场规模将达数百亿美元，5年CAGR达20%~40%。根据357号文件规划，中国市场虚拟电厂规模到2027和2030年分别超过20GW和50GW。

业务融合发展趋势

各国持续完善虚拟电厂电力市场准入和交易规则，行业规范化发展提速；虚拟电厂从工业领域向全场景渗透，通信站点储能、工商业园区、民用分布式光伏储能全面入局，商业模式从单一套利向“综合能源服务+电力交易+电网服务”多元变现升级。随着市场纵深发展，业主或虚拟电厂运营商必然寻求更多的收益模式和更高的收入。电力市场内联合出清、电力市场外与碳市场综合寻优，实现利益最大化，是虚拟电厂业务发展的趋势。

技术发展趋势

业务融合推动虚拟电厂核心技术迭代：从单一负荷聚合向“储能+负荷+新能源”多资源融合升级，从被动响应电网调度向主动预判、智能优化演进。同时，网络安全的需求与日俱增。

● 网络安全要求提升

重要汇聚点成为网络攻击关键；数据成为资产，数据安全重要度提升；满足欧盟CRA2.0技术要求成为必选。

虚拟电厂可助力电网消纳新能源、平抑峰谷差，同时盘活通信基站闲置储能资源，为运营商带来电费节约、辅助服务等多重收益。

- 聚合资源，快速响应
参与辅助服务的容量门槛可能逐步提升，对聚合规模及聚合响应速度提出更高要求。
- AI自智，快速寻优
SOX估算优化，最大化储能容量应用；多能调度，通过停电规律、光伏发电预测及负荷预测，实现实时多能调度策略寻优，最大化绿能发电，或最优经济收益；现货交易价格预测，优化充放电深度、频次，实现最优经济效益；碳排放交易价格预测，引入碳排放因子后预测最优收益。

通信运营商虚拟电厂业务拓展建议

虚拟电厂可助力电网消纳新能源、平抑峰谷差，同时盘活通信基站闲置储能资源，为运营商带来电费节约、辅助服务等多重收益。通信运营商及铁塔运营商具有发展虚拟电厂的天然优势：海量分布式资源——260多万5G基站可控空调/负载、千万级备电锂电（备电电池年均利用率不足5%）；天然通信与数据底座，遥测遥控基础坚实。同时也存在发展短板：电力市场资质缺失、平台与算法不足（缺VPP调度EMS、AI预测算法和交易结算系统），并面临安全与合规压力。

对于具备一定峰谷价差（ ≥ 0.6 元/kWh）或具有潜在需求响应和辅助服务电力市场政策的国家、区域，通信运营商可以逐步推进备储一体化应用。运营商可通过两步走的方式，先完成基站

锂电双向改造、开展区域试点；再根据实际情况自建或合作建设虚拟电厂能力平台，拓展IDC、充电桩等多元调节资源，深度挖掘综合能源变现空间。

- 资源池化、区域试点
资源池化主要包括基站储能改造和边缘智能网关部署。基站储能，将铅酸电池升级为磷酸铁锂，后者支持双向充放电、远程控制；边缘智能网关集成5G/4G、电力协议，实现秒级响应、精准调节、数据加密上链。

完成基础设施改造后，可自主或联合能源运营商开展试点，验证收入稳定性（电费节省+辅助服务收益+政府补贴）。

- 自主/合作建设虚拟电厂能力平台
在商业收入稳定的市场，运营商可自建平台、获取电力交易资格，实现能源业务拓展；存在能源商机的市场，运营商聚焦通信主业的同时，可与能源运营商合作，由后者提供平台和运营服务，坐享基站能源降费收益。虚拟电厂运营平台具备资源管理、预测调度、交易申报、结算对账、安全监控等功能。

通过对欧盟、中国的虚拟电厂现状回顾、虚拟电厂业务和技术趋势分析，结合通信运营商能源设施的优劣势分析，我们看到虚拟电厂为通信运营商或铁塔运营商盘活储能资产、拓展能源收入提供了可选路径。[ZTE中兴](#)

高热流密度算力中心液冷技术及能-水协同研究进展

大

模型训练和高性能计算负载正在改变数据中心的功率分布。热设计问题已由传统的机房平均负荷，转变为高功率芯片、内存、供电模块和高速光电互连共同形成的多尺度热点。

随着高功率器件所需封装至冷却介质热阻持续降低，液冷正由辅助强化措施转变为部分高密度设备的必要散热方式。能源利用效率（PUE）用于表征数据中心设施能源效率，水资源使用效率（WUE）用于表征现场用水强度，不同冷却方案需在一致的年度负载、气象条件和统计范围内进行分析比较。

液冷数据中心的典型换热架构如图1所示。本文围绕液冷技术的热管理能力、能-水绩效、运行可靠性及设备兼容性对主要液冷技术及其室

外排热方式进行综合分析。

液冷技术方案及性能分析

高热流密度算力中心液冷技术主要包括冷板液冷、单相与两相浸没液冷、喷淋液冷以及热管或泵驱两相循环等。液冷技术评价不能局限于局部换热性能，还应综合考虑芯片结温、系统降压、辅助功耗、故障恢复能力及全寿命可靠性。

冷板液冷

冷板液冷通过导热界面与芯片封装接触，冷却液在内部通道吸收显热或发生沸腾。该技术保留服务器板卡、维护方式和空气隔离界面，适于存量机房扩容及异构设备共存。其关键环节包括



姜淑雅

中兴通讯数据中心温控工程师



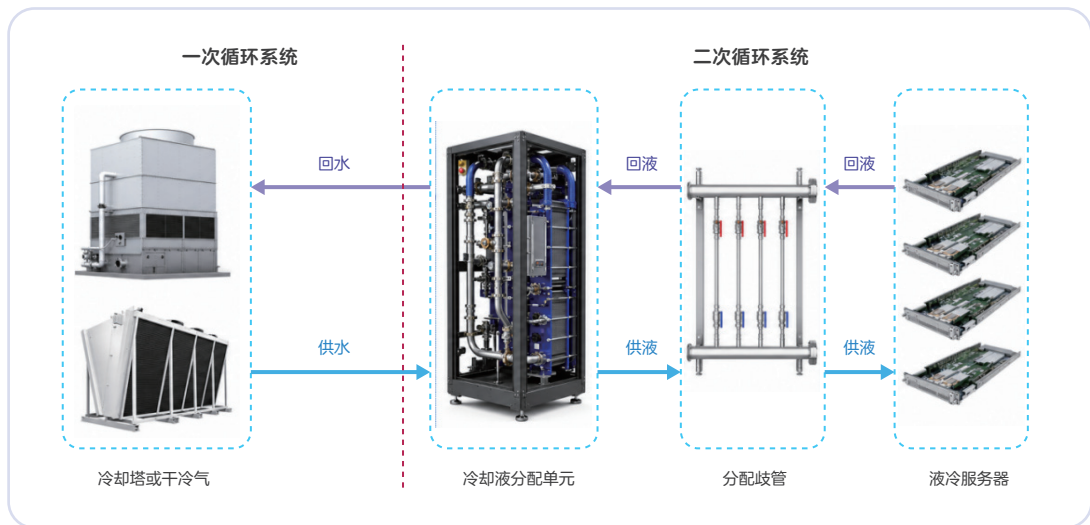
朱冰

中兴通讯数据中心暖通研发总工



董传帅

华南理工大学副教授、博士生导师



▲ 图1 液冷数据中心热量传递架构

冷板底板与微通道结构、歧管均流、冷却液分配单元（CDU）、快速接头、二次侧水质及设施供回水温度。

单相与两相浸没液冷

单相浸没将服务器或板卡置于高沸点介电液中，依靠自然对流或泵驱循环带走显热。该方案可覆盖CPU、GPU之外的内存和供电模块，并减少服务器风扇功耗。其性能受冷却液导热系数、比热、黏度、密度及温度依赖性影响，槽体进出口位置、服务器间距和局部导流同样重要。

两相浸没液冷利用低沸点介电液在器件表面的沸腾潜热传递高热流，蒸气经冷凝器液化后依靠重力回流。与单相系统相比，两相系统在较小温差下具有较高换热能力和较低循环流量潜力。系统实验表明，两相浸没在适宜工况下具有较高的热力性能，但其综合经济性与运行效果取决于冷凝条件和辅助设备能耗。此外，两相系统对成核稳定性、蒸气逸出、冷凝能力、非凝性气体和液位控制更为敏感。

喷淋与泵驱两相循环液冷

喷淋液冷通过射流或薄液膜定点强化热点，

适用于热源高度集中的场景，但喷孔堵塞、局部干涸和较高压降等问题限制其规模化应用。

泵驱两相双循环系统可由芯片级两相冷板循环与机柜背板循环构成。前者利用制冷剂在冷板内沸腾吸收CPU、GPU的高热流负荷，后者移除内存、电源及其他未被冷板覆盖部件的余热，热量经板式换热器传递至室外冷源。

表1从传热机制、主要优势、关键制约和工程成熟度等方面对主要液冷技术进行归纳，以便在统一的系统层次上比较各类技术的适用特征。

低水耗排热与能-水协同

如图1所示，液冷机柜排出的热量仍需经过CDU、设施水环路和室外排热设备释放或利用。若仅评价冷板或浸没槽，无法判定数据中心的PUE与WUE。

相关系统研究表明，干式排热、湿式强化、机械制冷与余热利用的分级组合有利于降低全年综合能耗与水耗。缺水地区可在少量高温时段采用机械制冷，以降低全年用水量；水资源压力较低且气候干燥的地区则可通过受控蒸发减少制冷用电。不同方案的相对优势取决

▼ 表1 主要液冷技术类型的对比

技术类型	传热机制	主要优势	关键约束	工程成熟度
冷板液冷	通道内单相对流或沸腾	兼容既有服务器；高温供液；便于分区维护	流量均匀、接头泄漏、泵功及残余风冷	高
单相浸没	介电液自然/强制对流	全器件覆盖；温度均匀；低噪声	黏度、材料相容、带液维护与消防	中
两相浸没	介电液沸腾-冷凝	小温差、高热流潜力、循环流量低	CHF、密封、冷凝、工质环境属性	中低
喷淋液冷	射流冲击与薄液膜换热	定点强化热点；响应快	堵塞、压降、液滴管理和局部干涸	中低
热管/两相环路	相变潜热及毛细/重力输运	低泵功、远距离输热	启动、姿态、充液率和冷凝冗余	中

▼ 表2 主要室外排热方式的对比

排热方式	电能特征	直接水耗	适用条件	主要风险
干式冷却	温和天气较低； 高温时风机或机械辅助增加	低	缺水地区；较高设施水温	极端高温时逼近温差不足
间接蒸发及闭式 干湿复合冷却	按需喷淋降低高温电耗	中，可控	气候波动且水资源受约束	结垢、水质及控制复杂度
直接蒸发冷却	干燥气候电耗低	较高	干燥且水源可持续地区	蒸发、排污与漂水；WUE上升
膜蒸发冷却	自然冷却潜力；需计膜侧压降	中	干燥且缺水地区	膜污染等
机械制冷	高温工况电耗高	取决于冷凝方式	极端天气与冗余保障	压缩机电耗和制冷剂环境影响

于逐时气象条件、IT负荷、水资源稀缺程度及电力碳排放强度。主要室外排热方式及对比如表2所示。

蒸发、干湿复合与膜蒸发

蒸发冷却能够利用空气湿球温度降低冷却水温，其电耗优势通常较明显。干湿复合设备通过控制喷淋启停和风机转速，可在能耗与水耗之间形成可调工作区间。

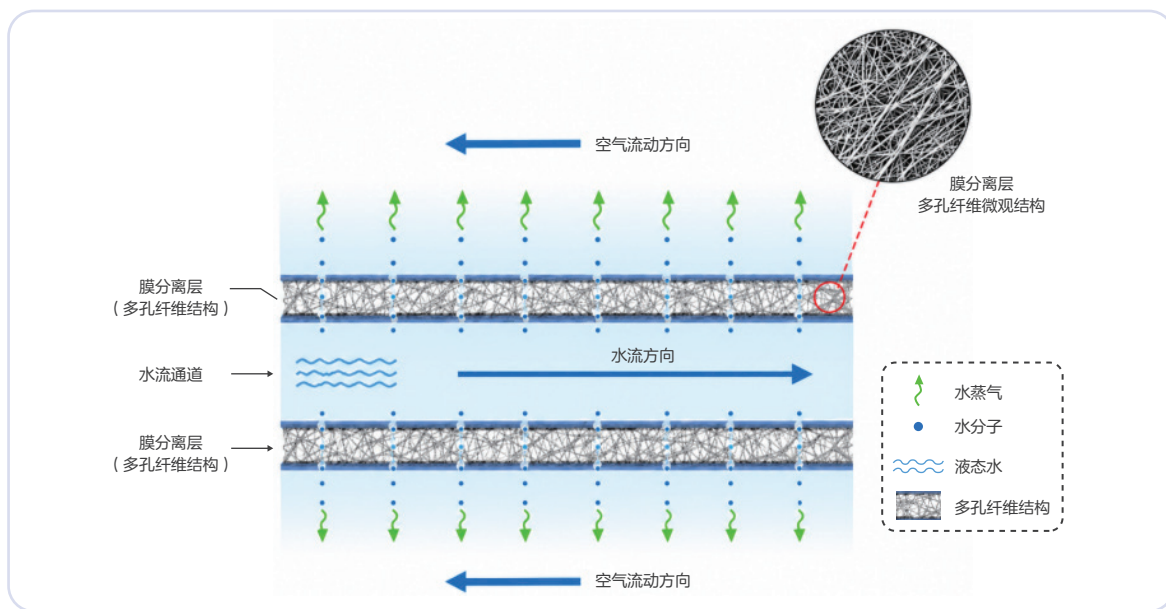
膜蒸发冷却利用疏水多孔膜将循环水与空气物理隔离，在膜两侧水蒸气分压力差的驱动下，水分以蒸气形式通过膜孔迁移，并通过相变潜热带走循环水中的热量，其工作原理如图2所示。相较于直接蒸发冷却，该过程避免了循环水与室外空气的直接接触，可显著减少灰尘、微生物及气溶胶对水质的影响，降低因污染和浓缩而产生的排污水量及水处理需求。已有研究表明，合理设计的膜蒸发系统具有降低现场补水量和水资源使用效率（WUE）的潜力，因而可作为水资源紧缺地区协调数据中心排热需求与用水约束的重要技术途径。然而，其节水效果受膜材料孔隙率、疏水稳定性、空气湿度、膜侧压降及水质条件等

因素影响。

气候适应性与水资源约束

室外排热系统的全年性能具有显著的地域差异。干燥地区湿球温度较低，有利于蒸发冷却，但耗水量受高温季持续时间影响；湿热地区蒸发冷却潜力受限，机械制冷需求相应增加；寒冷地区自然冷却时段较长，但需考虑设备防冻和低负荷运行问题。因此单一设计工况难以反映排热系统的全年性能。研究中可采用典型气象年逐时模拟，并结合年度现场监测数据进行校核，综合分析供液温度、干冷器风量、喷淋状态、冷却塔浓缩倍数及机械制冷投入比例对PUE、WUE、峰值用电和峰值补水量的影响。

水资源短缺地区的排热系统需兼顾能源消耗、现场用水和运行可靠性。提高液冷供液温度、增强干式换热能力、采用夜间蓄冷及限制湿式设备运行时数，均可降低全年补水需求；膜蒸发冷却还可减少循环水污染及排污损失。对于极端高温持续时间较短的地区，可由干式排热承担基础负荷，从而在保障热安全的同时降低全年耗水量。



▲ 图2 膜蒸发冷却的工作原理

能耗与水耗的协同优化

PUE与WUE之间不存在确定的单调关系，其耦合特征受室外气象参数、冷源形式、排热方式及运行控制策略共同影响。提高蒸发冷却投入比例通常可降低冷却水温度并减少压缩机制冷能耗，但同时会增加蒸发补水量。干式排热能够显著降低现场耗水，却可能因高温工况下换热温差减小而引起风机功率和机械制冷能耗上升。因此，液冷数据中心的能源效率与用水效率不宜依据单一设计工况评价，而需结合全年逐时气象数据和IT负荷变化，对PUE、WUE、峰值功率及峰值补水量进行综合分析。相关优化可将年度电耗、现场用水量、运行费用和碳排放量构建为多目标函数，并综合考虑地区电价、水价、供水可靠性、水资源稀缺程度。

能耗与水耗的协同优化本质上是不同排热模式及其运行参数的动态匹配问题。系统控制需综合考虑室外干球温度、湿球温度、IT负荷、设施供回液温度、设备部分负荷效率及水资源约束，协调干式冷却、蒸发冷却、膜蒸发冷却和机械制冷的运行比例。膜蒸发冷却可作为干式排热与传统蒸发冷却之间的补充方式，在降低循环水污染及非挥发性水损失的同时提供一定的蒸发冷却能

力，因此具有重要的应用前景。基于气象与负荷预测的模型预测控制可提前调整供液温度、泵速、风机转速及湿式冷却投入程度，并在传感器异常、通信中断或模型偏差增大时切换至安全控制模式。通过全年连续计量与模型校正，可获得不同控制策略下PUE与WUE的变化规律，为液冷数据中心PUE与WUE的联合评价提供依据。

结论

液冷系统的能源与水资源利用水平取决于芯片捕热、冷却液输配、室外排热等环节的协同。提高供回液温度并采用干式优先、湿式调节的复合排热方式，可扩大自然冷却时段并改善PUE与WUE，膜蒸发冷却在降低循环水污染、排污损失和现场补水量方面具有应用潜力。现有研究在评价方法、年度实测及跨气候区验证方面尚不充分，后续研究可围绕统一能水统计方法、关键部件寿命评价和多工况连续测试展开，并结合气象与IT负荷预测优化系统运行参数，为不同气候和资源条件下液冷系统的技术选择与运行调控提供依据。ZTE中兴

中国移动中卫数据中心： 预制方舱极速交付， 打造高密算力建设新范式

随着AI大模型产业的蓬勃发展，算力基础设施需求激增。作为国家“东数西算”核心算力节点，宁夏中卫数据中心在项目交付周期、机柜承载密度、绿色低碳指标等方面的要求不断升级。中兴通讯深耕本地市场，累计承接中卫数据中心项目总装机规模超300MW，其中为中国移动落地算力规模160MW以上，服务美团、腾讯、阿里等头部互联网企业。

中国移动中卫B03数据中心项目是落地阿里巴巴5.0架构的标杆智算中心，项目遵循阿里全套技术标准，IT总功耗超40MW，单机柜峰值功率达33kW，承载阿里云计算、大模型训练核心算力业务。项目采用全直流供电架构、方舱化

模块部署模式，叠加跨春节施工周期、冬季严寒施工环境、多方协同管理等多重制约。中兴通讯坚持以客户需求为导向，依托端到端全栈解决方案能力，联动设计院、设备供应商、施工单位等多方主体，打通从方案设计到系统联调的全链条交付，成功打造零安全事故、零质量返工的标杆工程。

挑战：高密度算力时代的“极限考题”

面向高密度智算建设场景，项目同时面临工期约束、严苛技术规范、复杂施工、多方协同管理四大难题，对综合交付能力提出极高要求：

- 交付周期极度紧张



宋兴宇

中兴通讯数据中心
方案经理



许国辉

中兴通讯数据中心
方案经理

项目施工周期横跨春节，中卫冬春低温、大风沙尘天气频发，高空吊装、管道焊接、线缆敷设作业受限；土建工作面滞后，有效施工窗口期被大幅压缩，而整体交付节点刚性不可延后。

● 技术规范远超国标

项目全面遵循阿里技术规范及运维标识体系，设备选型、线路布置等均需符合特定标准，SLA（服务等级协议）对负荷计算、CFD仿真、配电可靠性等环节要求“零妥协”，暖通、供电、洁净度等多项技术指标高于国家标准。

● 现场施工约束多，容错率极低

本项目整栋机房仅设置一处设备吊装口，所有设备方舱需分批吊装进场，吊顶支架、隔墙、管线需等方舱就位后施工，工序容错率极低。方舱内置大量设备，土建排水点位预埋精度要求极高，微小偏差都会引发大面积拆改。同时供电配套构件仅支持上挂安装，挤占顶部空间，与给排水管道、线缆桥架排布存在冲突。

● 多方协同组织难度大

项目涉及中国移动、阿里巴巴、设计院、设备供应商、施工单位等多方主体，大量现场问题需协调解决。项目初期设计方案在供配电、暖通设备方面设计冗余量大，需要联合各方开展方案优化。

行动：深度协同前置设计，以系统思维重构建设路径

项目摒弃传统“按图施工”模式，以前置协同设计、全系统方案优化、工厂预制集成交付、全周期资源管控为核心抓手，在完全满足阿里技术规范的前提下，实现了工程效率与建设质量的双重保障。

● 前置BIM三维协同设计，从源头规避冲突，控制工程成本

搭建全专业三维BIM（building information

modeling）模型，提前完成管线综合碰撞校验：

优化干冷器、冷却水管道安装形式，释放吊顶空间；改良方舱外置接线端头箱，减少舱内布线，节约层高；同步优化机房设备布局，统筹母线、线缆部署，从设计端规避后期现场改造工作。

● 全系统方案优化，释放机房空间与能效潜力

原有机房平面排布存在散热不均、设备资源闲置等问题。中兴通讯联合空调厂商开展气流仿真模拟，重新规划机柜与冷源设备排布，大幅提升机房散热效率；同步优化空调运行工况，精简供配电设备与布线，提高配电资源利用率，实现系统整体能效与设备利用率的大幅提升。

● 方舱集成模式，打造“工厂预制+现场拼装”的敏捷交付体系

项目全面采用IT方舱、冷却/配电方舱模式，机柜、配电、暖通、监控等设备均在方舱内集成，出厂前完成通电预调试，中兴通讯安排工程师驻厂全程质量管控。采用方舱集成模式，90%的装配工作前置至工厂，现场“即插即用”，规避现场焊接、接线作业。暖管道采用工厂分段预制模式，衬塑管道在工厂完成成品加工，现场仅拼接直线段，缩短管道施工工期7天以上。

依托“模块化设计、工厂化生产、装配化施工”模式，显著缩短现场作业时间，设备到货后3个月完成安装、1个月一次性完成全系统联调测试。

● 全链条资源保障体系，保障按期交付

项目打通供应链绿色通道，春节前完成全部主材、方舱及配电设备到货；协调设备供应商驻场排产，定制专项物流保障方案，规避春节供货中断风险。核心工序实行两班倒、多班组并行施工，多作业面同步推进，弥补土建滞后工期。项目每日组织跨专业进度协调例会，动态调配人力、设备资源；夜间配置专职安全员盯控高空、吊装作业，全过程落实安全生产管控，守住零安

“中国移动宁夏中卫项目的成功，彰显了中兴通讯在高密度智算中心领域的差异化核心竞争力。”

全事故底线。

成果：打造行业标杆，获得客户高度认可

尽管面临多重挑战，项目严格兑现交付节点，三方综合测试一次性通过，实现零安全事故、零质量返工；BIM设计、方舱预制模式将现场整体施工周期缩短40%，打造阿里5.0技术架构全国极速交付标杆。

该项目的按期高质量完成交付，全方位验证中兴通讯端到端智算中心交付能力，为客户创造多元长期价值：

- 系统能效持续优化：通过优化系统配置降低空调能耗，推动PUE降至1.2以下，预计每年可节约电量达千万度级别，助力客户达成绿色低碳发展目标。
- 方案具备平滑演进能力：供电、暖通架构适配未来液冷算力扩容需求，无需大规模改造机房基础设施。
- 形成标准化可复制交付范本：项目完整落地阿里5.0架构方案，形成标准化设计、预

制、施工、调调整套交付流程，可复制推广至全国东数西算枢纽。

项目严格执行阿里5.0规范与标准，交付质量与速度获得中国移动和阿里的认可，客户评价：“这不是一次简单的工程建设，而是一场面向未来的算力基础设施重构。我们看到的是一个能够理解并承载高标准需求的交付伙伴，他们让‘不可能的任务’变成了现实。”

中国移动宁夏中卫项目的成功，彰显了中兴通讯在密度智算中心领域的差异化核心竞争力：前置BIM深度优化能力、全预制方舱集成交付能力、全链条资源统筹能力、头部互联网企业技术规范适配能力，以及全直流绿色低碳整体方案能力。

面向全国“东数西算”算力枢纽建设，中兴通讯可提供从方案规划、产品方案制定、设备集成、现场施工、系统调试到验收运维的一站式EPC整体解决方案，为客户打造高可靠、快交付、可演进的下一代绿色智算基础设施，携手各方共建算力产业新生态。ZTE中兴



缅甸ATOM携手中兴通讯部署光储微网系统，重塑数据中心能源底座



王莹

中兴通讯能源品牌策划
资深专家

在全球能源革命与数字基建浪潮的交汇点上，通信与数据中心行业正经历前所未有的双重考验。一方面，业务扩张驱动能耗激增；另一方面，在新兴市场，脆弱的市电网络与居高不下的燃油成本，已成为制约运营商财务健康与业务连续性的核心瓶颈。市场亟需一种能够根本性重构用能模式，同时兼顾极致可靠性与经济性的系统性解决方案。中兴通讯凭借端到端的光储微电网核心能力，在缅甸仰光成功打造大型低压光储微网标杆——ATOM数据中心项目。该项目不仅为客户化解了迫在眉睫的能源危机，更在全球“缺电”市场中树立了可复制的绿色能源新范式。

ATOM Myanmar：数字化转型先锋，深陷电力困局

ATOM Myanmar（前身为Telenor Myanmar）是缅甸领先的移动运营商，拥有超过9300个基

站，网络覆盖全国约95%的人口。在从传统电信运营商向数字服务提供商加速转型的进程中，其位于仰光工业区的核心数据中心，承载着1800万用户的通信命脉，年耗电量高达1000万kWh。然而，缅甸电力供给极度匮乏——每天可靠市电仅有4小时，其余20小时完全依赖柴油发电机，高昂的燃油成本与不稳的供电质量，长期侵蚀着ATOM的运营利润与业务安全。引入绿色能源系统，大幅降低油机依赖，成为ATOM可持续发展的核心命题。

三重技术险峰，极限环境下的严苛考验

ATOM数据中心项目面临的挑战远不止“缺电”本身，更叠加了三大技术难题：

- 老旧配电兼容性挑战：ATOM现网的AVR（自动稳压器）对电压波动极为敏感，新系统必须做到输出电压精准受控，否则将触发连锁保护风险；

- 严苛并离网切换要求：市电断电后，系统须在极短时间内完成切换，避免油机误启动及过电压导致PCS保护重启，进而引发业务中断；
- 弱电网频率适应性：缅甸电网频率波动剧烈，远超标准PCS工作范围，极易造成储能设备脱网停机，对数据中心高可靠供电构成直接威胁。

破局：构建自给自足的绿色电力底座

中兴通讯为ATOM量身打造了大型光储微网系统，光伏组件覆盖地面与仓库屋顶，通过“光伏发电、储能调节、智能协同”模式，构建起稳定、高效、自主运行的绿色供电体系。

协同智能：将每一度绿电用到极致

中兴通讯EMS能源管理系统，基于AI预测性调度算法，实现光伏、储能、柴油机和市电的无缝协同。策略严格遵循“光伏优先、储能补能、柴油机兜底”的优先级，不仅保障数据中心供电高可靠，更实现能效与成本的双重优化。针对客户“零弃光”的刚性诉求，EMS精细调控光伏电力流向：优先为储能充电，剩余部分供给负载，确保每一度绿电都被充分利用，大幅压缩油机运行时间，从根本上降低供电成本。

攻克技术难关，全场景兼容与配电标准化

面对老旧AVR（自动稳压器）及复杂配电环境，技术团队对输出电压进行精细化调测与逻辑定制，确保电压稳定输出，完美兼容现网。针对并离网切换，项目实现了从“计划性离网”到“非计划性自动切换”的能力跃升，通过优化控制逻辑与PCS参数，成功消除过电压和谐波风险。系统可在突发停电时自动、快速（分钟级）完成切换，确保油机不轻易启动，全程遵循最优供电路径，业务零感知、零中断。同时，针对仰光电网频率超限问题，通过扩展PCS宽频率稳定运行能力，彻底杜绝脱网停机隐患。

极致安全与离网技术，构筑坚实电力底座

储能安全是数据中心的生命线。项目植入多重安全防护体系——采用顶级电芯、三级BMS电池防护、多级主动消防系统，全方位守护核心负载。在离网能力方面，系统采用先进的离网型储能技术，可主动构建并稳定电网电压与频率，完美适配弱电网及完全离网场景；同时支持黑启动功能，即便电网全黑，也能快速自恢复供电，确保业务永不掉线。

一站式快速交付，5个月从工勘到并网

从前端工勘、初设与外部资源协调，到需求锁定、逻辑定制、工程交付，中兴通讯展现了强大的端到端整合能力。项目仅用5个月即完成全部设计与交付，联调联试一次性通过，并离网切换、功率响应等核心性能指标全部达标，刷新了当地同类项目的交付纪录。

价值重塑：降本超35%，碳减排7万吨

项目投入运营后，取得显著成效，且为ATOM的可持续发展奠定了坚实基础。

- 经济价值：预计每年节省超过35%的能源开支，年发绿电354万度，大幅削减柴油采购成本，释放资金投入核心业务拓展；
- 环境价值：全生命周期内可实现碳减排7万吨，有力支撑ATOM实现ESG承诺，塑造绿色品牌形象；
- 社会与战略价值：该项目成为缅甸乃至东南亚电力不稳定区域中，低压并离网大型微电网的示范样板，验证了中兴通讯在极端电网环境下的方案可靠性与交付能力。

缅甸的电力基础设施对任何供应商都是严酷的试炼场，而这恰恰是中兴通讯最能施展价值之处。我们交付的不止是设备，而是一套从咨询、设计、交付到运维的一站式交钥匙工程。中兴通讯携手ATOM，不仅攻克了“缺电与高油价”的现实难题，更共同点亮了数字缅甸的绿色未来。 ZTE中兴

ZTE中兴

致力于成为网络连接和智能算力的领导者
让沟通与信任无处不在