



intel®

英特尔中国 绿色数据中心 创新实践手册

聚焦数据中心全生命周期碳足迹
构建个性化节能减排解决方案



Contents
目录

导言

绿色可持续成为数据中心产业发展的基本方向

- 06 低碳减排成为产业基本方向
- 06 多因素驱动数据中心迈向可持续发展
- 07 可持续走向产业生态化
- 07 英特尔创新技术架构，助力数据中心加速走向可持续

挑战篇

从碳足迹计算到定制化解决方案

- 10 可持续评估体系和定制化方案
- 10 产业链协同，立体化实施
- 10 构建可持续能力
- 10 产业链不同角色的各自需求和面临挑战

技术篇

英特尔中国绿色数据中心技术框架 2.0

- 14 通过碳足迹计算选择针对性组合技术方案
- 15 英特尔中国绿色数据中心技术框架 2.0
- 16 绿菜单 2.0 技术介绍

案例篇

助力产业伙伴灵活打造和部署节能减排方案

- 26 基于英特尔® 架构的京东云绿色数据中心高密度算力方案
- 28 英特尔电源汇流排技术携至强® 可扩展平台助烽火超微服务器提升竞争力
- 30 采用至强® 可扩展平台的京东云冷板液冷参考解决方案
- 32 基于第四代至强® 可扩展平台的浪潮信息全液冷服务器方案
- 34 基于第四代至强® 可扩展处理器的超聚变整机液冷服务器
- 36 英特尔助力阿里云优化浸没式液冷方案
- 38 英特尔助力腾讯构建数据中心算力 - 电力协同方案及实践
- 40 英特尔软件技术助力电信行业实现能效管控，加速网络绿色转型
- 42 遵循 OCSP 规范，长江电脑科技以模块化设计大降成本
- 44 采用 OTII-E 标准，新华三打造模块化边缘服务器

结语

携手加速绿色数据中心创新实践

- 48 附录一 英特尔联合产业生态伙伴开发的技术和设计规范明细列表
- 48 附录二 名词中英文对照表



导言

绿色可持续成为数据中心
产业发展的基本方向

过去 10 年，全球温室气体排放量创下“历史新高”，每年排放的二氧化碳高达几百亿吨，导致全球以前所未有的速度变暖。

基于实现可持续发展的内在要求，以及构建人类命运共同体的责任担当，中国将生态文明发展模式明确为国家战略，宣布“双碳”目标，使绿色减碳成为社会重要议题及产业发展的重要方向。同时，随着中国建设现代化产业体系、推进高质量发展等国策的深入实施，产业低碳化进程进一步加速，数字经济发展势头更加强劲，让数字化、绿色化协同转型不仅已是大势所趋，而且成为应对环境等急迫挑战，促进经济社会可持续发展的必由之路。

数据中心作为支撑未来经济社会发展的战略资源和公共基础设施，是新型基础设施节能降耗的关键环节。面对可持续这一世纪议程和全球战略，数据中心既要满足社会发展和经济增长带来的巨大算力需求，又要走向绿色发展之路，实现自身的可持续性，同时助力实现“双碳”目标，以应对环境问题的严重挑战。在此背景下，低碳减排已成为产业的基本方向，也驱动整个数据中心产业进入转型升级的关键时期，迈向产业的绿色重构。

低碳减排成为产业基本方向

■ 规模继续扩展，碳排处于增长态势

社会经济的网络化、数字化与智能化转型带来了数据爆炸，驱动了数据中心规模快速扩张，随之带来的总能耗也在快速攀升。数据显示，中国数据中心机架规模近 5 年年均增速超过 30%¹，使其用电量和二氧化碳排放量均处于快速增长态势，预计到 2030 年碳排放增长率将超过 300%²，让整个数据中心产业面临巨大的降碳减排压力，从而备受社会关注。

■ 能效水平不断提升，低碳化加速

面对巨大挑战，数据中心行业也在通过创新技术和多样化的解决方案，加速提高能效水平和走向低碳化。有专家指出，液冷技术逐渐开始应用和规模化，正在加速数据中心脱碳，预计到 2030 年液冷技术规模落地后，PUE 会接近 1³。

■ 提高存量数据中心能源利用效率成为一大关键

存量数据中心降碳减排已成为产业绿色发展的一个关键领域。统计数据⁴，截至 2022 年底，中国数据中心机架总规模已超过 650 万标准机架，平均上架率达 58%，利用并不充分。相比新建数据中心，存量数据中心能效水平存在较大差距，PUE 值一般比较高，甚至达到 2-3 之间⁵。因此，国家和多个省市也已出台相关规定，驱动 PUE 超 1.5 的老旧数据中心进行节能降碳改造，提高其电能利用效率和算力供给能力。

■ ESG 战略让可持续成为企业发展新赛道

在“双碳”目标驱动下，中国数据中心产业践行绿色低碳和可持续发展理念的脚步越来越坚实，相关企业 ESG⁶ 发展进入新阶段，不仅成为提升品牌的重要抓手和吸引人才的亮眼名片，而且可持续作为企业核心战略，正在直接驱动数据中心加速绿色转型，并为整个产业未来拓展提供新赛道和新机遇。

多因素驱动数据中心迈向可持续发展

■ 减碳减排政策走向严格、细化

随着“3060”目标⁷实现期限逐步临近，关于驱动提高能源效率和减碳水平的政策进一步趋向严格，走向细化。《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023 年）》⁸具体指出，新型数据中心需要运用绿色低碳技术，提供高效算力服务，具备高算力、高能效等特征，以及建立新的标准体系；《绿色数据中心政府采购需求标准（试行）》⁹明确提出，设备运维服务采购，应有利于节约能源、环境保护和资源循环利用；工信部也逐年对大型、超大型数据中心开展能效专项监察¹⁰。2023 年 7 月，中央全面深化改革委员会第二次会议审议通过《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》，进一步完善减污降碳激励约束政策¹¹。

¹ 国家互联网信息办公室发布《数字中国发展报告（2022 年）》，http://www.cac.gov.cn/2023-05/22/c_1686402318492248.htm

² 开放数据中心委员会（ODCC）《数据中心算力碳效白皮书》，<http://www.odcc.org.cn/download/24>

³ 中国信通院发布的《中国绿色算力发展研究报告（2023 年）》，http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202308/t20230801_458686.htm

⁴ 国家互联网信息办公室发布《数字中国发展报告（2022 年）》，http://www.cac.gov.cn/2023-05/22/c_1686402318492248.htm

⁵ <http://www.dlnet.com/cio/cionews/578050.html>

⁶ ESG 是环境、社会和治理（Environmental, Social and Governance）的简称，从这三个维度来评估企业经营的可持续性与对社会价值观念的影响。

⁷ 中国提出，二氧化碳排放力争 2030 年前达到峰值，力争 2060 年前实现碳中和。

⁸ https://www.miit.gov.cn/jgsj/txs/wjfb/art/2021/art_12cc04dc9daf4d57a7038811a57383b6.html

⁹ https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-04/22/content_5752654.htm

¹⁰ 工业和信息化部办公厅发布的《关于组织开展 2023 年度工业节能监察工作的通知》

https://www.miit.gov.cn/jgsj/jns/wjfb/art/2023/art_2bd04cad79af4cb1b725b55e6dc7f293.html

¹¹ <http://www.xinhuanet.com/energy/20230714/1907af1248bd4f769c715b0eb42d4e15/c.html>

■ 各地出台相关政策，严格管理数据中心建设与“能效”

为了响应国家号召，各省市积极推动数据中心行业绿色发展，并按照各自区域特性和发展目标，出台各有特色的政策。多个省市出台规范，推动“老旧”数据中心加快应用高密度、高效率的IT设备和基础设施系统进行改造升级，通过迁移、整合、甚至腾退，提高“老旧小散”数据中心电能利用效率^{12、13}。

■ 政策驱动让数据中心可持续走向多力并发

在严控能耗、加速低碳减碳政策驱动和产业积极行动进程中，数据中心可持续之路也逐步拓展，从新的视角，依托创新技术，乃至联动更广泛的上下游企业不断推出创新方案，比如通过计算跨时空动态调度、电力用户侧协同¹⁴等，提升计算“绿度”，同时降低运营成本。

■ 降本增效等内在需求驱动数据中心加速走向绿色

优化成本、提升运行效率，并提升整体效益与市场竞争力，被认为是数据中心积极推动绿色策略、走向可持续之路的重要驱动力。它鼓励数据中心积极探索和实施各种适合的解决方案，以实现节能降耗和优化运行。在整个产业中，已有许多数据中心成功实施并展示了绿色节能方案，为提升空间利用效率、大幅降低用电量、提升服务品质等都带来强大助力，为数据中心行业实现进一步的降本增效提供了巨大空间。

可持续走向产业生态化

数据中心可持续发展涉及到复杂的产业链，据开放数据中心委员会（ODCC）发布的《数据中心可持续发展能力要求》¹⁵，如图1



图1 数据中心可持续发展要求框架

所示，其涵盖楼宇平台（L0）、基础设施（L1）、ICT硬件层（L2）、基础软件层（L3）和应用平台（L4），产业生态庞大、链条长。

其中，产业链上游为ICT硬件和基础设施。ICT硬件分为计算设备（IT）和通信设备（CT），计算设备主要为服务器，这其中最重要的又是CPU和内存；通信设备包括交换机、路由器等网络设备和光模块，构成了算力与网络传输的基础；基础设施分为电力设备、监控设备、温控设备和发电机组，主要为IT硬件提供稳定电力供应和适宜的温度环境。中游是数据中心运营商，狭义的运营商指为下游客户提供机房托管及增值服务，参与者只有电信运营商和第三方IDC运营商两类，广义的IDC运营商还包括云厂商自建自用IDC机房；产业链最下游则是云计算服务。

无疑，降碳减排涉及从芯片设计制造到原始设备制造商（OEM）/原始设计制造商（ODM），直至能源供应、日常运营服务等多元化主体，需要产业联动，创新和采用多种方案组合，实施全生命周期驱动。

英特尔创新技术架构，助力数据中心加速走向可持续

英特尔胸怀创造改变世界的科技，造福地球上每一个人的宏旨，矢志于成为可持续发展的全球领导者，并实施RISE战略¹⁶，以可持续为重要目标，以“数字化x绿色化”双轮驱动，并通过积极行动和创新技术，推动“以可持续计算，通往可持续未来”，携手合作伙伴减少环境影响，共同呵护青山绿水，助力“双碳”目标实现和可持续发展。

英特尔部署战略投资，长期坚守环境承诺，并发挥自身技术和产业等优势，推出绿色数据中心技术框架2.0（简称“绿菜单”2.0），聚焦产品全生命周期碳足迹，以碳排放来源为抓手，让自身技术成果赋能行业，为绿色数据中心建设和产业发展提供可持续技术路径，以及系列整体解决方案和参考设计，并积极推动绿色数据中心相关标准化工作，深化与生态伙伴的开放合作，驱动全栈联动节能，系统化加速减少碳足迹。

¹² <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1743920941597798043&wfr=spider&for=pc>

¹³ <https://news.bjx.com.cn/html/20220318/1211280.shtml>

¹⁴ <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1748284286014613637&wfr=spider&for=pc>

¹⁵ <http://www.odcc.org.cn/download/22>

¹⁶ RISE: 履责 (Responsible)、包容 (Inclusive)、可持续 (Sustainable)、赋能 (Enabling)



挑战篇

从碳足迹计算到
定制化解决方案

数据中心是技术密集型基础设施，其碳足迹可以大致分为三类，即数据中心的建造及其购买的设备、日常运营，以及设备的报废处置和数据中心的退役，贯穿于其生命周期全过程，涉及的问题复杂、技术多样。

尽管近年来，在技术创新推动下，数据中心可持续发展步伐正在加速，在低碳运行方面已取得长足进步，但仍面临诸多问题，如节能新技术的应用程度有待提高、数据中心建设模式需要调整、对清洁能源的开发利用还有较大提升空间、数据中心能耗测算方法存在“双重失真”等等¹⁷。因此，寻找适合绿色转型的切入点和实施路径，以及设计、开发和运营可持续数据中心等，都让开发人员、托管运营商、云计算提供商和超大规模企业都面临巨大挑战。

面对这众多问题，探索和构建解决方案无疑是数据中心及相关行业共同推动的一个系统工程，需要设备制造、技术研发、各类用户和其他合作伙伴发挥各自的专业能力，寻找切实可行的方法，方能集腋成裘，从业务各个层面来提升效率和构建可持续性。

有研究指出，打造一个属于“新基建”时代的数据中心，既需要底层性能卓越的产品承载，也需要顶层设计进行合理的牵引，经过“自上而下”、“自下而上”的合理统筹，来构建面向全生命周期的端到端解决方案服务；需要经由咨询、设计、实施、调测、验证、评估优化、运维等过程，针对数据中心生命周期各个阶段提供相应服务¹⁸，才能推动系统性变革。

此外，在当下还存在大量的传统数据中心，需要通过技术改造，实现低碳减排目标。与新建数据中心希望从一开始就解决可持续性挑战不同，这些存量数据中心因建设年代、技术架构各异，更需要通过全面评估，依其实际需求和资源禀赋找到合适的切入点，方能有条不紊实施改造。

可持续评估体系和定制化方案

数据中心是一个包含复杂技术和设备堆栈的系统。为了帮助产业界系统化地评估数据中心的碳排放和减碳能力，相关规则和标准的研究和制定正在紧锣密鼓地进行，GABI、LCAIT、PEMS、PAIA 等生命周期评估（LCA）软件都已逐步推出。其中，PAIA 是由麻省理工学院推出，英特尔也在其模型创建中做出了贡献，它不仅考虑了产品的重要属性，也简化了 LCA，广泛应用于产品的“碳足迹”计算。

然而，尽管数据中心碳排放评估已有丰富的模型支持，但在如何根据现有的数据，按照具体的降碳目标，准确找到技术实施的切入点以及构建系统的解决方案方面，还没有通用的标准和体系可供参考。因此，相关的技术和解决方案的落地应用也并非易事。

产业链协同，立体化实施

数据中心可持续发展是一个全方位的概念，涵盖多个层次和维度。在实现这一目标的过程中，不仅需要围绕数据中心的设备，如计算、存储、网络以及降温设备进行优化，同时也要考虑设备设施的更新迭代与回收，以提升设备效能、降低能耗、节省空间和提升效率。此外，设备设施功能的优化及其之间的均衡协调也属于关键因素，需要依托于 CPU 等部件的设计制造企业、OEM/ODM、独立软件开发商 (ISV)/ 系统集成商 (SI)、云服务提供商 (CSP)、CoSP 等产业各主体的共同努力。在面向数据中心的建设或改造项目时，需要多方紧密携手合作，才能“端到端”推出适用的解决方案，从多角度和全局角度推进可持续发展。

构建可持续能力

可持续方面的人才、技术储备欠缺也是目前数据中心产业绿色转型面临的问题之一。主要原因在于，随着近年来数据中心保持高速增长，以及算力向着高效、安全、绿色等方向发展，数据中心对运维、管理也就提出了更高的要求，这使得人才数量缺口增大的同时，也让从业人员原有的知识结构面临了挑战。

面对这一问题，业界普遍认为，有效的应对方法是建立智能化运营与管理体系，推动运维无人化，以及通过遥测、预测提升运维效率，构建和提升自动化的可持续能力，同时降低运维成本。

产业链不同角色的各自需求和面临挑战

面对上述复杂而严峻的挑战，以及绿色转型所带来的巨大机遇，数据中心产业链中的每个环节，包括 OEM/ODM、CSP、CoSP 以及 ISV/IS、政企客户等不同主体，在实施节能降碳，进而支持社会经济高质量发展的进程中，都会遭遇和应对各自的问题，承担不同的责任，实现各自目标。

■ 原始设备制造商 / 原始设计制造商

作为硬件设备制造商，OEM/ODM 既需要满足自身作为产业链中的一环，而必须要实现的减碳降耗目标，还需面向不同数据中心提供多元化的产品，并通过提供针对性解决方案，迎合不同数据中心设备采购设定的能效指标。

但是，面对设备提效降耗这一复杂问题，比如作为数据中心算力核心的服务器，如何将降碳目标分解，并分配给 CPU、降温、电源等各部件，以及系统和应用软件，尚无统一方案可循。

面对这一现状，OEM/ODM 要走向可持续，首当其冲的挑战就是，寻求和采用成熟的碳足迹计算模型，清晰核算自身所设计生产的产品各模块、部件的碳排量，以及通过采用液冷等技术，或通过

¹⁷ 《“碳达峰、碳中和”背景下数据中心绿色高质量发展研究报告》<http://www.sic.gov.cn/archiver/SIC/UpFile/Files/Default/20220527100509602351.pdf>

¹⁸ <https://www.51cto.com/article/633108.html>

软硬件优化，实现何种程度的减排。也只有规划出明晰的节能减碳框架图，才能针对整个供应链进行降碳指标分解，进而联手各部件厂商进行针对性测试、设计、改进，并遵循统一标准，来落地方案，实现降耗和增绿目标。

■ 云服务提供商

对于 CSP，虽然其已将促进可持续发展，甚至实现零碳，并借此提升运行效率和降低成本作为至关重要的竞争差异化因素，但面对如何实现可持续运营目标这一问题，也是既要找到最佳切入点，也需要切合实际的可落地解决方案，难度极大。

虽有观点认为，CSP 的可持续发展方案设计须从多维度出发，包括设计高效的运行系统、优化运营效率、提升可再生能源使用比例、实现供应链脱碳及处理废弃物排放等。然而，鉴于数据中心包含从处理器至服务器、一直至系统平台及其各类应用的复杂结构，再辅以计算、网络、冷却等多个子系统，CSP 必须依照一定的模型和结构单元的实际能耗、性能优化参数，对整个体系进行全面的分析和细化指标颗粒，这样才能寻找到可行的执行路径和解决方案。例如，参照经过验证的 CPU、供电、服务器及机架等降碳指标体系，对数据中心的基础设施结构、周边环境及运行状况进行具体化分析，由此反推每个层级和子系统可能达到的减排量，才能明确数据中心要如何通过自身的节能改造，并将降碳指标分配给供应链中各环节的软硬件供应商，来共同推动减碳目标的实现。

■ 电信运营商

目前 5G 等技术应用使得云网边端呈现加速融合态势，推动 CoSP 在寻找减碳增效、提高灵活性、发现并实施新商业模式和降低成本新方法的同时，不断在软件定义网络（Software Defined Network, SDN 和网络功能虚拟化（Network Functions Virtualization, NFV）方面发力。而 SDN 和 NFV 领域创新技术的发展和运用，反过来又推动着 CoSP 传统端局机房边缘演进方法走向重大变革，进而让探索可持续发展之旅又提升了复杂度。

此外，CoSP 承担了多重角色，既要作为通信服务提供商，保证自身基础设施和核心业务运营走向节能绿色，比如通过液冷、新的供电技术以及智能化辅助运营等提高其新建数据中心能效，同时还需作为互联网服务商、平台服务商，为行业用户实现可持续目标提供支撑，绿色减碳之路呈现多头、交叉的特点。面对“着力推进重点设施能效水平和行业绿色用能水平提升，着力推进行业赋能全社会节能降碳技术供给能力和行业绿色低碳监测管理能力提升，全面系统提高信息通信行业绿色低碳发展质量”¹⁹任务，以及到 2025 年，信息通信行业单位信息流量、单位电信业务总量综合能耗分别比“十三五”期末下降 20% 和 15% 的目标²⁰，业界普遍认为通过技术创新，一方面实现单基站功耗下降；另一方面系统性优化网络大结构，通过“四新”（新架构、新功能、新材料、

新能源）、“两化”（一是引入人工智能技术，让网络运转更加智能化；二是协同化，通过终端、基站、网络、动力环境设备协调共享，进一步降低能耗），才能够明显节能降耗减排²¹。

而这无疑需要产业链协作，立体化解决多领域的技术问题，才能帮助运营商结合自身运营目标，找准突破口，构建涵盖从设备层减碳、网络虚拟化等等，直到低能耗高效率云边端架构的端到端解决方案。

■ 软件开发商 / 系统集成商

随着可持续逐渐成为促进增长的新赛道，以及“软件定义一切”成为主流，ISV/SI 有机会借助产业的绿色转型实现新的发展。然而，如何将可持续理念融入到业务实践中，从软件开发、运行到维护的全流程中实现降碳，构建更加绿色的软件生态，仍面临多重挑战。随着云服务的发展，尤其是软件即服务（SaaS）的广泛应用，尽管降低了软件应用环节对环境的影响，然而软件全生命周期的低碳、减碳仍然是软件行业需要关注的核心问题。而评估软件的“绿色”程度目前尚无明确标准，具有指导工程实践意义的体系化解决方案也尚未成熟。

■ 政企用户

政企用户群是大规模存量数据中心的主要用户，而这类数据中心形式多样、规模不一，相比新建数据中心，能效水平更是存在较大差距。因此，其走向可持续的路径除了实施节能降碳技术改造，将其上应用迁移到云端也是便捷可行的策略。

从整体来看，存量数据中心节能降碳面临两大问题，一是在运行维护方面，很多数据中心由于管理和技术措施不到位，实际运行的 PUE 远不及设计值；二是在基础设施方面，从产品级、系统级、项目级和园区级四个维度都需采取措施，加以优化²²。两大问题交叉，让其改造牵一发而动全身，需要综合考虑，选择合适的技术路线，进行适度优化。

另外，不同数据中心的架构也存在差异。因此，对存量数据中心进行节能降碳的改造方案也不能一概而论，需要对具体项目进行深入诊断，找出能耗产生的环节和原因，确定可能的优化方式；根据节能诊断结果，考虑其可操作性、投资需求、改造效果等因素，以确定最终的改造方案；若评估后发现无需进一步投资改造，则可以转变策略，通过业务上云来更轻松、快捷地解决运营基础设施带来的碳排放压力，进一步迈向低碳目标。

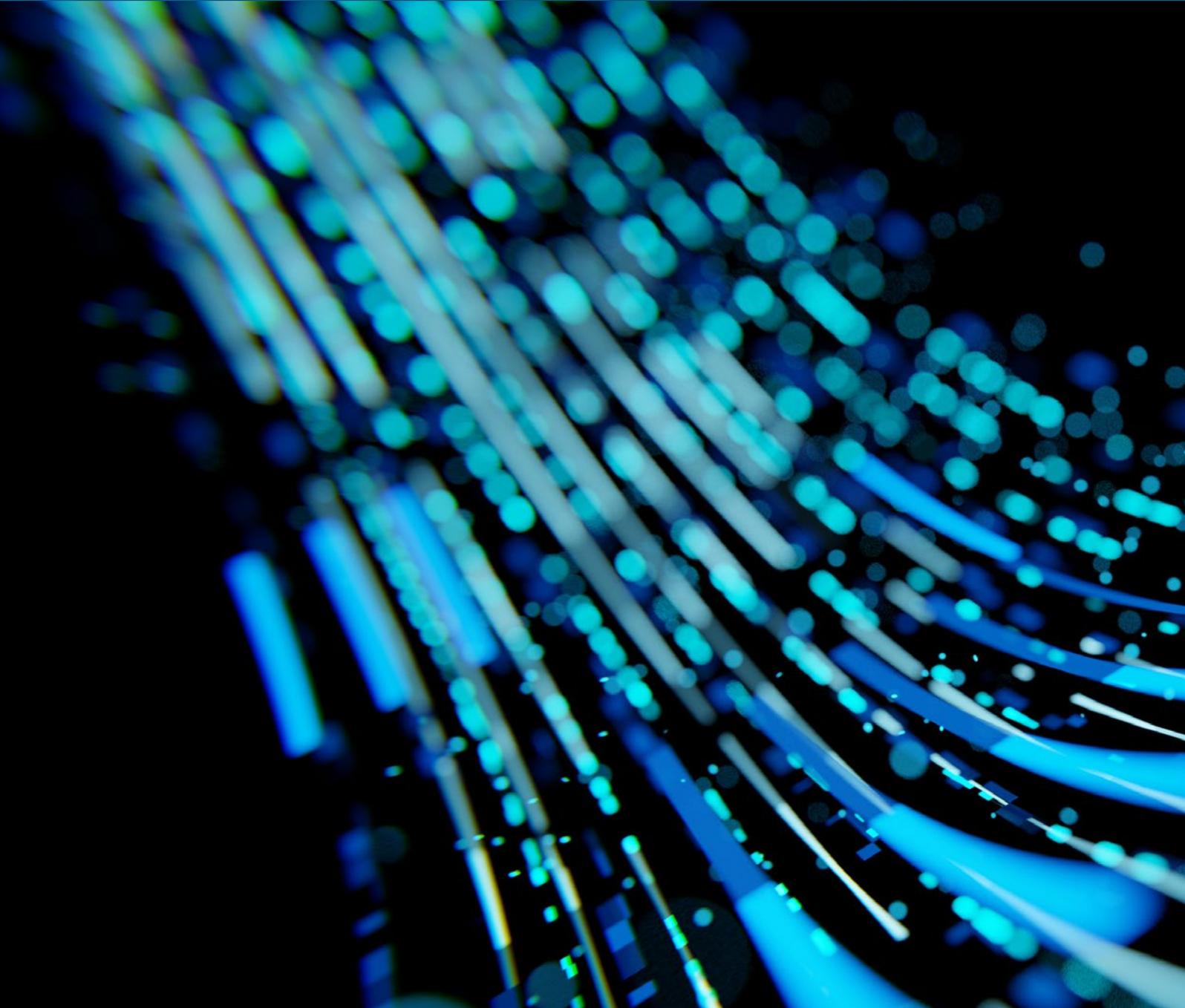
有专家指出，尽管对存量数据中心进行低碳改造的步伐正在加速，但其基本策略仍是明确现状，精确定位需求，发现潜在差距，并借助能源计量数据分析，指导节能技术改造。同时，专家们也强调了与用户共同探讨和评估具体改造项目的重要性²³，以便积累经验，并进一步探索与验证解决方案。

¹⁹ <http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/26/5706914/files/8b3089a27f214478a18049d452f2f38d.pdf>

²⁰ <http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/26/5706914/files/8b3089a27f214478a18049d452f2f38d.pdf>

²¹ http://www.ce.cn/cysc/tech/gd2012/202109/24/t20210924_36944462.shtml

^{22, 23} http://www.cgpnews.cn/epapers/63909?epaper_period_id=7331



技术篇

英特尔中国绿色数据
中心技术框架 2.0

通过碳足迹计算选择针对性组合技术方案

在数字化蓬勃发展的势头下，构建可持续发展的未来离不开数字化和绿色化的协同。英特尔秉承着对可持续发展的长期承诺，努力从多维度塑造更加负责任、包容且可持续的未来。一方面，英特尔将可持续发展的理念贯穿产品、平台、软件和服务设计的始终；另一方面，广泛携手产业伙伴共同减少碳足迹，并通过推动开放式创新，支持合作伙伴实现可持续发展目标。

面对数据中心产业可持续发展的挑战，英特尔积极推动数据中心系统级碳测量工具的更新和发展，基于现有的云计算工作负载和计算设备全生命周期来构建新的评估标准，帮助数据中心有效度量计算效能；并将多种技术和最佳实践进行整合，推出了绿色数据中心技术框架，以便于数据中心和产业链上下游制造商根据碳足迹评估来选择合适的技术方案，达成节能减碳的目标。

从碳足迹的分布看系统优化方向

温室气体核算体系（GHG Protocol）定义了一个完整的产品生命周期碳足迹产生过程，如图2所示，共包含五个阶段：材料、生产、分销、使用和报废。而IT设备的碳足迹既包含原材料、制造和组装等带来的隐含碳，也包括IT系统运营等带来的运营碳。服务器与台式机、笔记本这些人们每天都可以直接或间接接触设备的碳排放形态不同，其90%的碳排放来自于运营，10%来自于隐含碳排放。



图2 完整的产品生命周期碳足迹

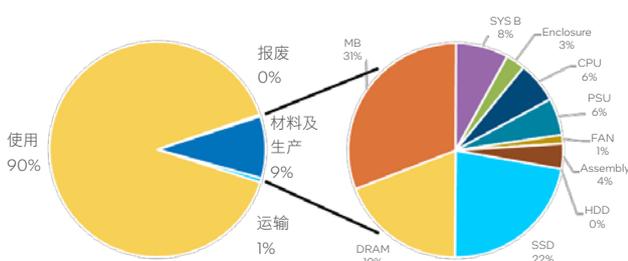


图3 典型双路服务器的生命周期碳足迹分布

隐含碳：约占数据中心碳足迹的10%，主要来源于服务器系统组件的原材料、制造和组装。英特尔不仅在芯片制造上领先实现了低碳化，更通过平台方案优化、供应商赋能等措施，驱动整个产业链走向隐含碳减排。

运营碳：约占数据中心碳足迹的90%，主要来源于IT系统运营能耗和数据中心配套（制冷、配电、照明等）的能耗。英特尔提供了从数据中心到处理器的可持续技术参考方案及实践路径，助力运营碳减排。

运营碳可以通过可再生能源与高效方案的使用来快速降低；隐含碳虽然占比不高，但是削减困难，需要从设计端着手来解决问题。

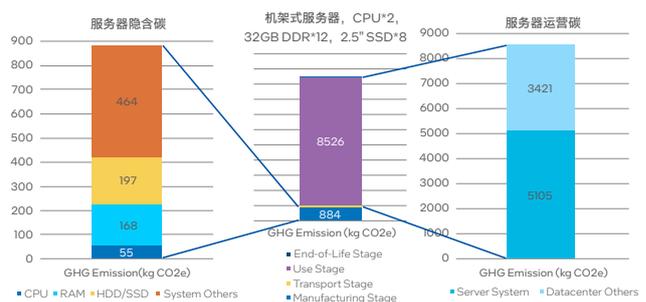


图4 典型双路服务器的隐含碳和运营碳²⁴

另外，随着服务器性能的提升，其系统功耗也在逐渐增加，给碳排放控制带来了更大的挑战。如图5所示，如果在材料、设计、制造及使用过程中不采取有效措施，相对于2020年这个基准点，2030年的单台双路服务器将产生2.5倍左右的碳排放量²⁵，显然会让可持续发展面临更加严峻的挑战。这就需要基于对数据中心设备、设施全生命周期碳足迹的精准测算，有针对性地采取组合技术方案，方能予以应对。

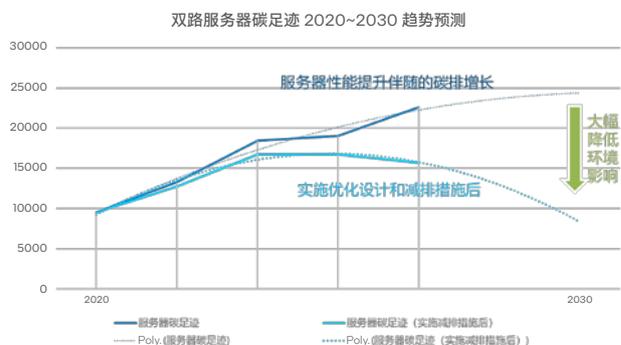


图5 典型双路服务器碳足迹的趋势预测

²⁴ 基于 PAIA v1.3.2 分析，数据按电力碳强度更新调整，数据来源引自：carbon intensity of electricity generation in selected regions in the sustainable Development scenario, 2020-2040-Charts-Data& Statistics-IEA

²⁵ 基于 PAIA 计算模型，现有双路服务器碳排数据及服务器系统功耗变化趋势的预测

英特尔中国绿色数据中心技术框架 2.0



图6 英特尔中国绿色数据中心技术框架 2.0

为应对数据中心产业的绿色转型这一系统性巨大挑战，英特尔致力于推动立体式节能和综合性减排，并通过一系列的创新技术和方案，构建了绿色数据中心的技術框架，协助产业伙伴和客户，从多个角度降低由碳排放所带来的风险，并确保在提升系统性能的过程中，实现到2030年碳排放绝对值下降的目标。为实现这一转型，英特尔已在多个领域做出积极努力并推动相关变革：

- **从制造与供应链入手：**
 - 降低芯片生产制造过程中的碳排放；
 - 提高处理器的性能 / 功耗比。
- **在平台设计上引入可持续的系统设计考量：**
 - 推动电源效率优化（48V 解决方案、电源汇流排技术）；
 - 推动模块化服务器设计落地（DC-MHS、OCSP、其它行业标准）；
 - 推动能效核（E-core）产品线的落地。
- **在产品使用过程中推进减碳：**
 - 软件调优优化负载，释放产品高效能特性；
 - 加速液冷技术落地（包括冷板式液冷及浸没式液冷方案）。
- **完善生命周期 / 产品碳足迹核算工具，来持续评估和探索优化方向。**

英特尔中国绿色数据中心技术框架 2.0

英特尔于2022年初面向中国市场推出了绿色数据中心技术框架1.0，并于2023年对其进行了更新，升级为绿色数据中心技术框架2.0，简称绿菜单2.0。

绿菜单2.0聚焦产品全生命周期，以碳排放来源为抓手，涵盖了一系列可以帮助数据中心实现节能减碳，走向绿色可持续发展的技术、能力与解决方案，并经过市场一年的检验，其中的多项技术和方案已实现了落地实施。产业伙伴和用户可以根据所处行业的特性与自身的成熟度，来选择适合的方案。

如图6所示，绿菜单2.0分为四横四纵，其中四横代表的是从数据中心最核心的XPU层到服务器层，经机架层再到数据中心基础设施层；四纵代表了英特尔探索出的可帮助客户实现节能减碳的四种技术抓手。

- **高效能与高功率密度：**通过推动机柜供电密度与多种高效能技术的使用，来帮助服务器硬件方案更好地实现能效提升。
- **先进散热技术：**液冷等先进散热技术可以直接降低PUE。在这一领域英特尔已与多个大型云服务提供商和行业头部客户展开技术与商务合作，落地相关技术。
- **基础设施智能化：**对于难以采用液冷等新技术新方案的用户，比如那些基础设施升级改造有局限的存量数据中心，可以借助一系列英特尔软件解决方案，有效降低对于基础设施改造的依赖，进一步实现节能降耗的目标。
- **材料与可循环设计：**英特尔专注于从负责任的材料、可降解印刷电路板（PCB）到模块化服务器设计，减少隐含碳——也就是数据中心产品在制造过程中产生的碳排放。其中的模块化设计能够延长服务器使用时间，并降低隐含碳排放，是一个有

效且发展比较快的项目。由英特尔驱动的开放通用服务器平台（Open Common Server Platform, OCSP）社区，目前已经接近 200 个伙伴参与其中，共同推动模块化服务器设计项目。基于第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器的产品设计方案也已于 2023 年 9 月推向市场。

绿菜单 2.0 技术介绍

模块 1

- 48V 模块
- 通用冗余电源模块
- 电源汇流排技术

▪ 48V 解决方案

随着处理器功率一代代稳步上升，其它的用电单位如内存、GPU 卡等功率也逐步提高，使得服务器整机系统功率从以前单机 800W，迅速向未来单机 2000W+ 前进，供电挑战日益严峻。

这些挑战主要有随着传输电流的增长，传输路径上的损耗功率将以电流平方的关系增加。假定当下电流是 1，未来电流增加 1 倍变成 2，那么损耗则是以平方关系——也就是 4 倍的增长。惊人的损耗增加速度，使得整体供电转换效率降低，用电成本上升，性价比下降。这促使在系统设计中不得不考虑更高的电压传输手段，如 48V 技术，来提升整体的供电效率。另外，由于当下 12V 的传输系统随着电流的增加，会使得连接器承受的电流到达极值，不得不选择更高电流等级的连接器，以满足设计规范。而更大电流的连接器无疑成本更高、尺寸更大，使得本已经拥挤的主板器件摆放更加局促。

48V 解决方案将是未来数据中心建设的一个关键技术，能够确保在系统功率增加的前提下，系统效率仍然保持在很高的状态。当下，48V 的电源单元（Power Supply Unit, PSU）已经逐步在市场上流行，符合 CRPS 电源标准的 3000W PSU 也开始推出，并在一些数据中得以部署。

集中式的 48V 解决方案使得单机柜的电源冗余设计变得更加简单灵活，不仅可减少 PSU 的个数，还可以提高单机柜的密度。假定单机柜设计指标为 20KW、单机功率 2KW，那么采用传统 12V 电源设计方案，每块主板要配 1+1 PSU 冗余设计，总共需要 20 台 PSU；如果采用 48V 集中式电源解决方案，那么只需要 7+1 也就是 8 台 PSU，比前者省下 12 台 PSU，可大幅降低成本，同时后期维护也更加简便。

当下，48V 直接进主板并不是最优选项，一个原因是由于单机功率并没有上升到连接器无法承受的范围，其次是主板上用电单元很多仍然采用 12V 的设计，导致 48V 进主板仍然需要重新转换成 12V，需要一个由 48V 到 12V 转换的系统板来适应当下的系统设计。未来如果整个系统都重新以 48V 进行优化，那么全 48V 设计必然成为主流。所以，当下要研发各种解决方案来应对目前的挑战，同时也要着眼发展，研制更加高效的电源转换系统来满足未来需要。

效率提升是个永恒话题，永无止境，需要一步步挖掘，点滴积累。除了上述 48V 解决方案外，实际上还有氮化镓（GaN）的 PSU 和高压直流电源（HVDC）等技术，来提升整个数据中心的效率。此外，材料端的突破、拓扑端的优化，也有助于逐步提升数据中心的效率，使能耗和性能更佳。

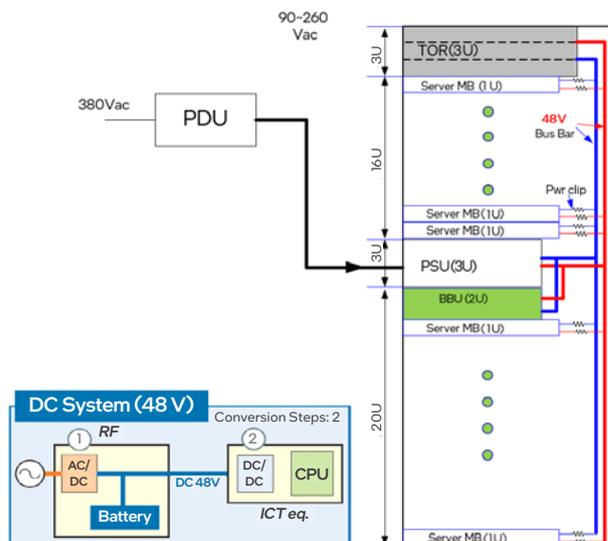


图 7 48V 系统架构



《基于英特尔® 架构的京东云绿色数据中心高密度算力方案》

▪ 电源汇流排技术

随着数据量的增长和云计算等需求的提升，处理器的功耗也越来越高。英特尔® 至强® 可扩展处理器（代号为 Skylake）的热设计功耗（Thermal Design Power, TDP）最高为 205W，到了最新发布的第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器，单颗处理器的 TDP 增加至 350W。随着功耗的增加，用电损耗也水涨船高，让如何实现低能源损耗的主板设计成为了一个重要的课题。



图 8 传统提升供电布线方法 (左) 与电源汇流排技术提升供电布线方法 (右)

电源汇流排技术 (Power Corridor Solution) 可以大幅降低服务器主板在 CPU 供电部分的传输损耗, 并满足电源性能要求, 提高服务器的能源转换效率。

为满足高功耗处理器的性能要求, 主板设计需尽量降低电源供电传输路径上的阻抗, 即从给处理器供电的主电源 VCCin 的电源转换控制器 (Voltage Regulator, VR) 的输出, 到插槽 (Socket) 端的电源传输路径阻抗 R_{path} , 包含印刷电路板、封装和插槽部分。

传统解决方法是增加 PCB 叠层或铺更厚的铜, 以增加电源层导体的总截面积。但这种方案会带来成本的大幅上升, 譬如 PCB 从 12 层变更为 14 层, 会增加 20% 左右的成本。

电源汇流排技术并不增加 PCB 叠层, 而是通过在主板背面增加额外的供电铜排来实现, 如图 8 所示, 该技术给原有主板设计带来的改动影响很小, 只需要将一定厚度 (0.8mm) 的铜排, 用表面贴装技术 (SMT) 组装到主板, 即可提升电流导通能力。

电源汇流排技术除了直接提升能效, 还间接提升了系统稳定性和平台的升级潜力。譬如, 从降低插座底部温度看, 一方面是由于阻抗减小使得损耗废热随之减少; 另一方面, 铜排本身也提供了导热和散热功能, 使服务器主板以及元器件能将热量均衡快速地释放到外部, 保障系统运行更加稳定。面向未来发展, 该技术也可使原有主板额外支持更高功耗的处理器, 而不需要增加 PCB 电源叠层或者增厚铜箔。

综合测试评估显示, 应用该新技术的产品平台可以满足服务器系统量产测试标准, 能够进行规模化生产与推广; 由此还可提升第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器的竞争力, 从节能降本、提升稳定性、扩展升级潜力等方面为客户提供更多价值。这也有助于促进产业链全生命周期的节能减排, 进而为实现双碳战略提供有力支持。



《英特尔电源汇流排技术携至强® 可扩展平台助烽火超微服务器提升竞争力》

模块 2 · 液冷解决方案

为了应对持续增长的处理器的芯片功耗、可持续发展和快速增长的边缘计算等所带来的挑战, 数据中心服务器的冷却技术已从传统的风冷向液冷转型。目前主要的数据中心液冷技术包含冷板式液冷和浸没式液冷, 这两种液冷技术均包含单相式和两相式。

考虑到技术复杂性、成本以及液冷工质环境友好性等因素, 目前主要选用单相式冷板式液冷和单相浸没式液冷, 来冷却数据中心服务器, 亦即冷却工质在整个循环过程中始终保持液态, 没有汽化和冷凝的相变化。

· 冷板式液冷

冷板式液冷是将液冷冷板固定在服务器的主要发热器件上, 依靠流经冷板的液体将热量带走来达到散热目的。冷板式液冷目前主要用于解决服务器内发热量大的器件 (如 CPU, GPU 等) 的散热, 其余低功耗器件还是以风冷为主。这种风液混合的方案有助于将数据中心的 PUE 降到 1.3 以下, 而要想进一步降低数据中心的 PUE, 则可以通过提高服务器和整机柜内液冷占比来实现。冷板式全液冷方案有助于数据中心 PUE 降至 1.1 以下, 能够媲美浸没式液冷。图 9 是一个基于冷板式全液冷服务器机柜的例子。



图 9 全液冷机柜 (图片来源: 浪潮信息)

全液冷机柜通过冷板及自然冷源，并利用液冷背门，可以实现散热量 100% 由液体带走。相比传统风冷数据中心机房，其能耗可以降低 60% 以上。通过服务器内和整机柜的优化设计，这种全液冷方案可支持高达 50°C 的冷板进液温度，以及最高 32°C 的背门进液温度；背门管路可直接连接冷却塔设备，采用液冷循环系统一次侧冷源提供的中高温水，不需要制冷机组提供低温冷冻水，进而省去数据中心空调制冷系统和室外冷却机组，做到真正的“去空调化”和系统极简，实现高集成化和高便捷性，并使年平均 PUE 可低至 1.1 以下，进一步推进绿色数据中心的高效发展。

为了加速冷板液冷在数据中心的快速部署和落地应用，英特尔与包括浪潮信息在内的多家数据中心生态伙伴制定并正式发布了四个冷板液冷行业标准，以面向更广泛的产业伙伴，规范冷板液冷技术关键部件的设计要求和测试方法，共同促进标准化，降低冷板液冷设计与使用成本，推动建立并完善冷板液冷的生态系统，推进数据中心行业加速脱碳转型，并以此支持千行百业实现低碳发展。

■ 单相浸没式液冷

单相浸没式液冷的冷却机理是通过机柜（TANK²⁶）里面的冷却液体，与待冷却部件之间的自然对流来散热。其优点是可以相对比较容易地做到对系统的各个部件进行散热，对产生的热量进行 100% 捕捉，余热回收及二次利用相对容易处理。除了适用于大型数据中心场景外，单相浸没式液冷在边缘侧也有其独特优势，在一些外部自然环境恶劣或者不具备修建数据中心的情况下，通过把服务器或者边缘设备密闭在 TANK 中，可以快速部署浸没式液冷的计算能力。对于冷却液的选择，业界正在共同寻找一种理想的浸没式液冷冷却液，以期实现散热能力高、成本优化和绿色环保的目标。例如，业界希望通过创新得以实现可以处理更高发热部件的浸没式冷却能力，探索采取改进 TANK 设计以及优化流道设计等措施。对此，英特尔提供了一些具有自主知识产权的技术，可以将基于油类冷却工质的单相浸没式液冷冷却能力提高 70% 以上。



《采用至强® 可扩展的京东云冷板液冷参考解决方案》

模块 3

- 浸没式液冷参考设计
- 冷板式液冷参考设计
- 先进风冷参考设计

英特尔践行可持续性发展以及生态合作的理念，来加速数据中心先进冷却技术的开发，并行拓展风冷、冷板式液冷和浸没式液冷的冷却能力，促进冷板液冷落地应用，合作推动浸没式液冷关键技术实现突破。

首先是帮助客户部署高性能的英特尔® 至强® 可扩展处理器和高性能 GPU 服务器。英特尔工程研发团队可协同现场应用工程师和数据中心平台应用工程师为客户提供设计和优化支持，解决高性能处理器的散热问题，满足客户的投资回报率（ROI）、PUE 和总体拥有成本（Total Cost of Ownership, TCO）等要求。

其次是为客户提供数据中心服务器先进冷却技术。英特尔持续开发并优化各种风冷以及液冷先进冷却方案，帮助客户产品实现差异化和技术领先性。英特尔已与中国本土产业伙伴合作，开发了浸没式液冷方案的样机以及基于冷板液冷技术的全液冷服务器样机。

另外，英特尔一直在着力于推进中国本土液冷生态链建设，为客户提供安全可靠及成本优化的数据中心先进冷却方案，并通过支持中国本土的冷板液冷集成方案供应商以及液冷关键部件供应商成长，来降低液冷方案开发、交付和运维成本。

同时，英特尔还与业界头部厂商合作，并带动数十家产业生态伙伴，共同开发了多项技术和设计规范（明细详见附件一），助力液冷产业标准化建设。



* 基于开放标准的通用服务器模块化设计

* 主导发布第一版浸没式液冷液体规范



图 10 英特尔与产业上下游共同发布的技术和设计规范



《基于第四代至强® 可扩展平台的浪潮信息全液冷服务器方案》

《基于第四代至强® 可扩展处理器的超聚变整机柜液冷服务器》

《英特尔助力阿里云优化浸没式液冷方案》

²⁶ TANK，就是用于安装服务器、交换机等 IT 设备的浸没式箱体。

模块 4

- 数据中心管理平台
- 英特尔® 智慧节能

▪ 数据中心管理平台

英特尔® 数据中心管理平台 (Data Center Management, DCM) 可实时监控、计算、收集和预测数据中心 IT 设备的能耗、温度和碳排放等数据, 简化复杂的设备碳排放测量、建模和控制任务, 为 IT 设备和设施管理人员提供综合性工具, 助其全面了解和梳理数据中心能源消耗的位置、时间等信息, 进而为配置能源使用策略、管理和优化服务器集群与数据中心能耗、以及采用人工智能 / 机器学习 (AI/ML) 智能调节、干预功耗提供依据, 并采取针对性措施, 提高数据中心的运维效率, 且无需额外安装任何软硬件插件。



英特尔助力腾讯构建数据中心算力 - 电力协同方案及实践

▪ 英特尔智慧节能方案

英特尔® 智慧节能方案依托英特尔® 人工智能方案和服务器平台技术, 采用智能遥测 (Intelligent Telemetry)、基于 Chronos 的时序数据分析, 以及英特尔® 至强® 可扩展平台的能效控制、基于容器运行时接口的资源管理器 (CRI-RM) 动态资源管理策略等, 实现对英特尔® 至强® 可扩展处理器的各种运行指标的智能遥测, 并在提供可视化监视支持的同时, 将遥测数据输入到闭环控制逻辑之中, 在操作系统层面、处理器能效级别、处理器能级状态进行细粒度控制, 进而针对不同场景实现能效优化。

此外, 该方案在单节点闭环控制的基础上, 还能够便捷地实施集群闭环控制, 有效提升数据中心的整体能效水平。另外, 这一基于 AI 模型和软件方案进行功率预测和干预来实现节能降耗的方案, 还支持根据业务服务级别协议 (Service Level Agreements,

SLA) 进行智能调频, 提供更细粒度控制, 以及更多功耗控制, 帮助数据中心在业务 SLA 要求与节能效果之间实现平衡, 且无需对应用进行更改, 为其走向可持续开辟了新路径, 尤其适合于难以实施基础设施改造的存量数据中心实施节能降耗。

随着 5G 网络的大规模商用, 加速的服务创新对电信网络的智能化提出了更高要求。将 AI 技术与通信网络的硬件、软件、系统等深度融合, 来实现网络运营、运维和网络服务的智能化, 成为应对网络转型挑战的关键举措。比如, 通过 AI 创新方案来提高能效比, 进而实现 5G 网络的节能减排, 不仅能够帮助运营商节省运行成本, 而且有助于实现“双碳”目标; 另外在一些网络的应用管理领域, AI 也能够帮助提升网络自动化和服务保障水平, 提高运行效率。



《英特尔软件技术助力实现能效管控, 加速网络绿色转型》

▪ 基于英特尔 Chronos 网络智能化的解决方案

英特尔和电信设备商通过在用户面功能 (User Plane Function, UPF) 网元内置 AI 智能引擎, 对设备流量进行实时跟踪及预测; 通过与管控系统配合, 智能执行节能动作; UPF 进行各种性能指标的采集, 与基于英特尔 BigDL/Chronos 的时间序列预测 AI 模型和英特尔原生的深度学习推理框架 OpenViNO™ 工具套件进行流量推理交互, 并根据预先设定的节能策略来对处理器实施降频或者关闭 / 休眠部分物理核, 即可在保证 SLA 的情况下, 显著实现节能降耗。

图 11 的模块交互图比较直观地展示了 UPF 集成 AI 的软件框架。UPF 采集流量、负载、丢包率等数据, 发送给 AI 模块预测流量值, 根据事先构建的策略表, 来选择执行相应的电源管理策略。同时, 整个交互过程的数据都可以写入时序数据库, 然后以图形用户界面 (GUI) 可视化方式显示。图 12 是业务流量实际测量值与预测值按照时间序列的实时对比。

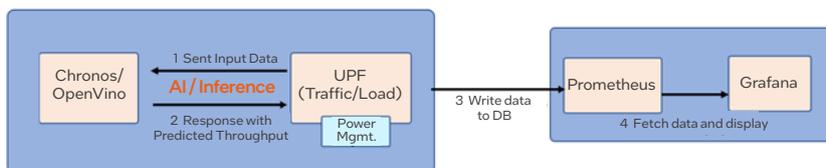


图 11 融合智能节能新方案的 UPF 框图

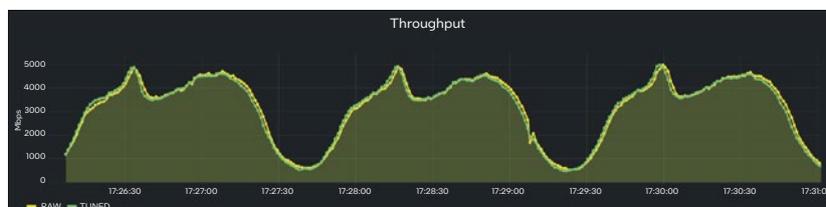


图 12 基于 AI 的 5G 业务负载预测实时效果图

▪ 基于基础设施电源管理模块 (IPM) 的节能方案

基础设施电源管理模块 (Infrastructure Power Management Module, IPM) 是基于英特尔平台的遥测技术和 CPU 动态电源管理特性构建的通用节能方案。该方案通过实时探测平台的业务负载, 经过内置智能算法, 根据节能策略对处理器实施降频或者关闭 / 休眠部分物理核, 在保证 SLA 的情况下, 能够有效地降低无效的电力消耗。

运营商的现网流量随时间变化呈明显的“潮汐效应”, 忙时与闲时负载差别相当大。而当前的 UPF 是基于通用处理器实现的 NFV 数据面网元, 基本上都是基于数据平面开发套件 (Data Plane Development Kit, DPDK) 开发。所有的处理器内核都是用 PMD driver 进行报文的 I/O 收发, 属于 busy polling 的收包模式, 无论是忙时还是闲时, 其 busy 状态都是 100%, 也就是按照最高流量状态运行。通过引入 IPM, 如图 14 所示, 处理器可以随着工作负载 / 流量的变化而相应变化频率, 进而降低功耗。

模块 5

- 机柜功率钳制管理
- 英特尔® Turbo 机柜技术

▪ 机柜功率钳制管理

互联网业务负载的动态性导致机柜层面的用电呈现明显的峰谷形态, 通常需要整机柜功率配置在保证峰值的基础上留有一定裕量。另外, 现存大量老旧数据中心总体配电额度仍然较低, 而服务器功率每隔 2-3 年就会更新换代, 导致功率上升迅速。受这两个因素影响, 今天的数据中心普遍存在服务器上架密度不高, 且机柜层面功率利用率偏低等诸多问题, 给数据中心带来较大的 TCO 压力。

机柜功耗钳制技术 (Group Power Capping, GPC) 通过将服务器功耗调配统一到机柜一级, 形成一个机柜层面功耗分配的资源池, 并根据预设的功耗分配策略, 利用英特尔® 至强® 可扩展处理器的

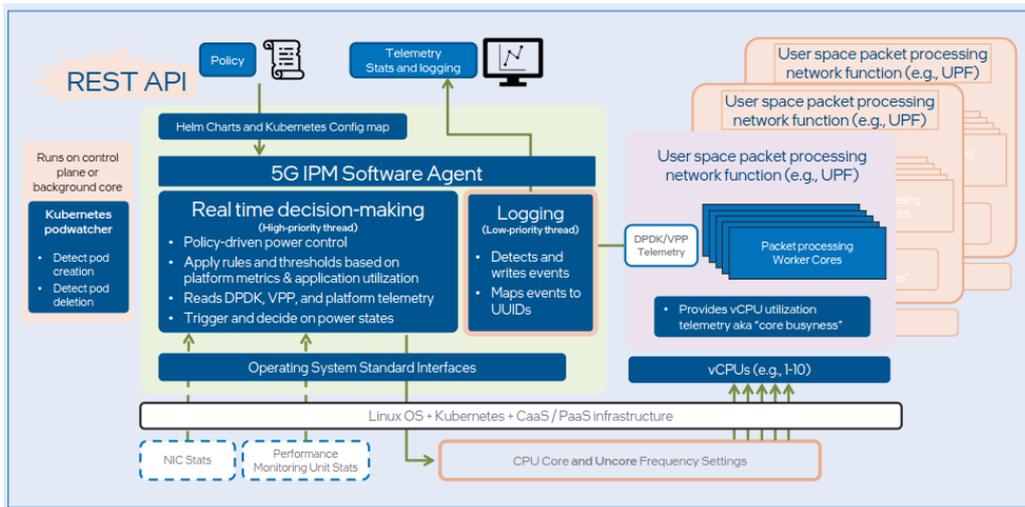


图 13 IPM 节能方案技术实现架构



图 14 基于 IPM 的 UPF 负载功耗实时效果图

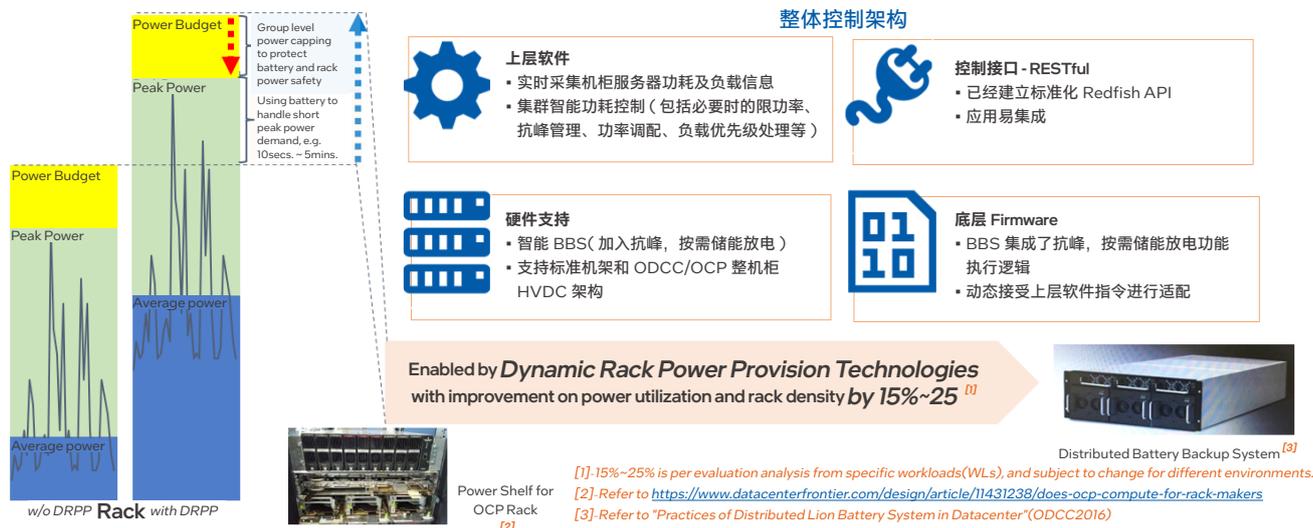


图 15 动态机柜电源供应解决方案 (Turbo Rack)

功耗钳制 (Power Capping) 以及动态电压频率调节 (DVFS) 技术, 来实现机柜层面功耗在超电时的封顶功耗控制。这项技术既保障了服务器及机柜层面的用电安全, 又通过对机柜功耗资源的池化管理, 提高了实际建设功率的利用率, 还可把服务器的上架密度最高提升 20%。

英特尔® Turbo 机柜技术

为了弥补在少数极端负载情况下机柜功耗钳制带来的性能下降, 英特尔还通过英特尔® Turbo 机柜 (Turbo Rack) 技术, 引入创新的智能分布式电池 BBS (Battery Backup System)。相比传统 BBS, 智能 BBS 加入了智能抗峰 (削峰填谷) 和特定场景按需充放电 (比如峰谷电价套利) 新功能。分布式 BBS 将传统主要做不间断电源 (UPS) 掉电保护的集中式储能单元备用电池的能力分散到机柜层级。

由于中国电网比较稳定, 这部分机柜层面的 BBS 能力极少被使用。Turbo 机柜技术可以把一部分 BBS 储能在机柜的部分峰值功耗超电时用来做智能抗峰, 从而把机柜输入侧功耗控制在许可范围内。当 BBS 放电超过允许阈值时, GPC 可以作为最后一道防线来保障机柜不超电。由此, 在大部分典型峰谷类型的业务负载应用场景, Turbo 机柜技术既可以保证机柜上架率提高 20~30%, 又不会导致系统性能下降。

GPC 和 Turbo 机柜技术采用 DMTF 的 Redfish 标准的 API, 部署简单方便。传统的数据中心硬件管理架构通常基于多种协议, 比如服务器领域通常采用基于智能平台管理接口 (IPMI) 的带外管理方式, 网络设备通常采用基于 SNMP 的管理协议, 机柜

供电设备则采用 485 接口或者以太网接口, 通过将接口统一到 Redfish, 可以帮助数据中心实现设备互通以及数据交互, 进而降低部署的复杂度以及成本。

GPC 和 Turbo 机柜技术对于当下许多数据中心上架率偏低导致 TCO 面临的挑战, 是一个比较直接且简单有效的解决方案。

模块 6

- 待机功耗优化技术
- 服务器状态感知
- 节点管理技术

待机功耗优化技术

随着架构的不断演进, 处理器已采用“CPU 核心 (die) + I/O die”的组合方式来提升算力。随着 I/O 链接频率的持续增加, I/O die 的功耗也随之迅速增长, 这在很大程度上抵消了对计算核心优化带来的能耗消减。因此, 非核心部分的功耗优化成为提升处理器的可持续性以及降低待机功耗的又一关键所在。

Active Idle Power: 这是第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器在节能方面的一个典型代表技术。它在传统处理器已经具备的核心功耗调节基础上, 进一步增加了非核心部分功耗的智能调节。在现代处理器算力不断增强, 内部功能越来越复杂、精细的发展趋势下, 非核心部分消耗的功耗显著增加, 导致处理器在待机状态下, 即使核心功耗已经很低, 但整体功耗仍然较高。而 Active Idle Power 可以根据处理器实际工作负载的繁忙程度, 来动态调整处理器核心和非核心功耗, 双管齐下有效降低处理器待机功耗。

FCIE(Fast C1E): 第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器引入这一技术, 来解决节能和性能方面的矛盾。首先, FCIE 可使颗粒度精细化到处理器每个核心级别; 其次, 相比以前的 C1E, 最重要的一项改善是 FCIE 的退出时延可以缩短到和 C1 一个级别, 但节能更明显, 消除了客户长期以来一直担心 C1E 由于退出时延较大而对性能带来负面影响的顾虑, 真正实现更多节能, 又不影响性能。

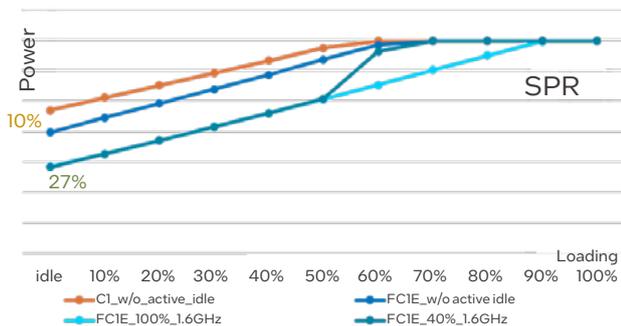


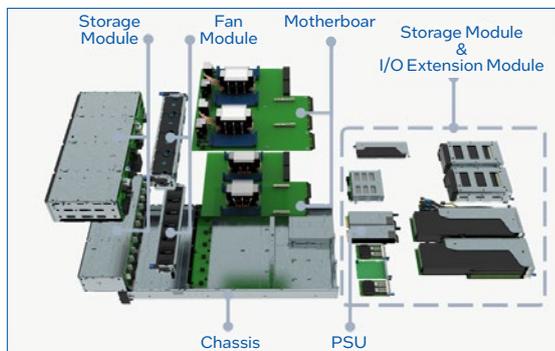
图 16 第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器待机功耗优化提升

模块 7

- 负责任材料计划
- 可降解 PCB
- 模块化服务器设计

由于数据中心正朝着低碳、绿色、可持续的方向迈进, 同时新的技术、设备和使用模式在数据中心行业中层出不穷, 设备的升级周期也在不断缩短。这使得服务器内部各子系统的高度定制和紧密耦合的传统开发模式面临巨大的挑战。

为了帮助 OEM 等行业用户有效应对计算基础设施需求的持续增长, 英特尔正在积极推动模块化服务器设计, 满足不断多样化的应用场景需求, 以及通过提升模块的复用性和通用性等来降低设计和开发成本、缩短产品上市时间。这种做法对于推动整个计算产业实现节能减排和可持续发展具有重要意义。



机箱市场
M 种型号

- 提供符合模块界面标准的机箱



模块部件市场
 $N = a * b * c * d$ 种组合

- 提供符合标准接口设计的模块产品包括
- 存储 x a
 - 散热 x b
 - I/O 扩展 x c
 - 电源 x d



系统厂商
M x N 种配置

- 开发主板
- 整合各个模块到机箱
- 开发软件
- 集成测试
- 出货

图 18 OCSP 可扩展性

▪ 开放通用服务器平台

为了打造一个多元、高效、灵活的服务器部件生态系统, 并提高资源利用效率, 提升 OEM 供应商和系统制造商在小规模定制、质量和成本方面的竞争力, 英特尔创建了 OCSP 社区。该社区以服务器硬件垂直领域为主, 采用开放通用服务器平台, 联合 OEM 等产业合作伙伴, 制定并持续更新服务器系统设计标准及各分模块规范。通过这种机制, OEM 和其他生态伙伴即可基于英特尔® 至强® 可扩展平台, 共同定义开放机箱、电源、主板、硬盘、风扇及 I/O 扩展模块的解耦标准, 进而通过模块化设计, 加快产品研发和上市时间, 降低生产成本, 提升市场竞争力。基于 OCSP 规范的系统解耦如图 17 所示。

2U 双路通用服务器系统内部结构组成

六大标准化模块组成通用服务器系统

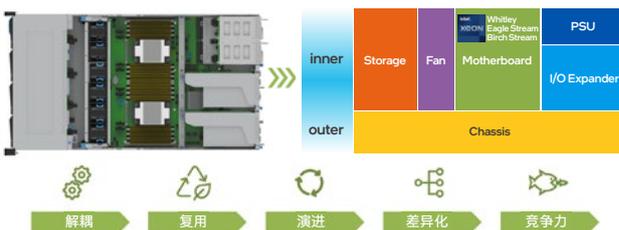


图 17 OCSP 解耦概念

OCSP 社区现已经建立了四大工作组, 包括系统工作组、存储工作组、散热工作组和 I/O 扩展工作组, 定义和复用了六大标准模块组件: 机箱、存储、风扇、主板、电源和输入输出扩展, 以期达到强制标准最小化, 推进多样的模块设计, 促进生态健康有序发展, 实现供应链上的每个合作伙伴利益最大化。

经过近一年的发展, OCSP 社区已是成果丰硕, 会员增加到 123 家, 发布了 OCSP 1.X 规范、OCSP 2.0 及各个模块规范, 并有 7 家主板、4 家机箱、6 家模组厂商的多个产品在跟进。



《遵循 OCSP 规范, 长江电脑科技以模块化设计大降成本》



图 19 英特尔可持续服务器设计指南涵盖内容

基于 ODCC 的 OTII-E

为促进基础设施规模化落地，尤其满足边缘基础设施大规模建设之需，英特尔于 2022 年在 ODCC 牵头发起成立 OTII-E (Open Telecom IT Infrastructure - Extension) 模块化边缘服务器项目，并于 2023 年联合合作伙伴推出《OTII-E 模块化服务器技术规范》，推动边缘计算产品和解决方案走向成熟，促进更高能效、更低成本的服务器产品的研制和部署。

OTII-E 模块化服务器作为 OTII 最新推出的设计规范，是基于插槽形式的模块化设计，除了具备 OTII 系列服务器共有的前维护、宽工作温度范围、支持 600mm 深机柜等优点，还可以通过模块化设计实现多个网元在一台 2U 边缘服务器上融合部署，同时支持网元间硬件独立和冗余备份，在保障 5G 通信可靠性的同时也提升了部署密度。同时 OTII-E 服务器通过不同模块组合，还可以提供边缘侧大容量存储和弹性扩展能力。

基于 OTII-E 标准，英特尔也联合新华三等产业伙伴通过“模块化 + 融合”的方式，推出了多款边缘平台产品，助力 5G、AI 等创新业务和传统业务的融合部署与迭代，很好满足边缘差异化需求，提升了部署和运营效率。



《采用 OTII-E 标准，新华三打造模块化边缘服务器》

英特尔可持续服务器设计指南 (RDC #788905)

全社会对气候变化和环境可持续性的关注在日益提升，对数据密集型服务和应用的需求也在不断增加，这些都需要建立并不断完善可持续的服务器生态系统、设计方法和全生命周期管理流程来给予支撑，并实现政府监管目标和更好履行社会责任。特别是在当前全球迈向碳中和的大背景下，作为算力平台核心的服务器实现绿色节能和可持续变得尤为重要。然而，计算产业生态链一直缺乏系统性的指导文件，来规范服务器设计、优化、部署及生命周期的能耗管理。

为填补这一空白，英特尔发挥技术优势，结合与产业界合作的经验，集思广益，创建了可持续服务器设计指南 (Intel Sustainable Server Design Guide)，帮助 OEM 等厂商加速高效、绿色计算产品的研发和工程实践，促进整个服务器生态链更快迈向可持续的未来。

如图 19 所示，这份指南涵盖了材料、设计、工厂制造、包装、生命周期、优化、认证及工具等丰富内容，以及北美、欧盟、英国、中国及日本等地区或国家的认证标准，例如北美的 EPEAT、Energy Star、欧盟的 EU LOT9、TCO Certified、中国的 CQC 服务器节能技术认证规范、GBxxx 服务器能效限定值及能效等级、日本的 Top Runner，以及测试工具如 SERT、BenchSEE 等，以期帮助产业伙伴基于高效的英特尔® 架构，实现可循环及更优的功耗及散热设计。此外，该设计指南还提供了系统设置的 BKM，以及英特尔和业界的负载优化工具、碳排放评估工具，如 Granulate，PAIA 等，为服务器可持续设计提供了极大助益：

- 统一的一站式的系统级可持续设计指南，其中包含支持客户整个生命周期设计、配置、优化和部署的方法等；
- 通过循环设计和数据中心能效改进，来提高 TCO；
- 合规指导 /BKM 以及参考资料。

第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器²⁷

第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器采用 CPU+ 内置加速器的创新方式，大幅推动算力与能效双维度增长，具备可持续发展特性。

- 制造过程中使用 93% 的可再生能源，大大降低产品本身的碳足迹；²⁸
- 内置的能耗优化模式 (Optimized Power Mode)，可以很方便地在 BIOS 设置中打开，让处理器功耗最高可节省 20%，对性能的影响则小于 5%；²⁹
- 集成多种加速器，能带来平均 2.7 倍的能效提升³⁰，以及高达 14 倍的 AI 负载能效提升³¹。

intel
XEON

²⁷ 第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器 (产品简介)

<https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/customer-spotlight/cases/4th-gen-xeon-scalable-processors-product-brief.html>

²⁸ 关于在处理器生产过程中使用 93% 可再生能源的表述请见 <https://csrreportbuilder.intel.com/pdfbuilder/pdfs/CSR-2022-23-Full-Report.pdf>

²⁹、³⁰、³¹ 数据源自 <https://edc.intel.com/content/www/us/en/products/performance/benchmarks/4th-generation-intel-xeon-scalable-processors/>



案例篇

助力产业伙伴灵活打造
和部署节能减排方案



基于英特尔® 架构的 京东云绿色数据中心 高密度算力方案



扫描二维码阅读完整案例

面临降低能耗挑战

业务的持续发展使京东对计算、存储、网络等基础资源的需求出现了爆发式增长，更面临降低能耗的挑战，希望解决如下问题以改善机架式服务器的空间利用率与功率密度：

- 12V 总线电压设计的损耗较高；
- 功率瓶颈导致机柜空间浪费；
- 传统冷却方式的效率不足；
- 提升服务器的算力能效比。

构建高密度算力方案

面向新需求，京东云推出高密度算力方案，加速绿色数据中心建设。其高密度服务器的典型模块如图 20 所示，由标准电源、前 I/O 模组、液冷模组、内置 PCIe 模组、风扇模组、电源转换模组、后 I/O 模组等构成。

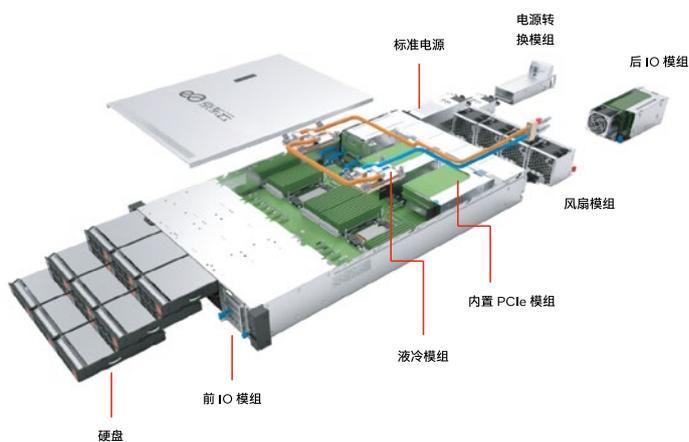


图 20 京东云高密度服务器的模块化设计

■ 以 54V 总线电压提供更高电源效率

京东云绿色数据中心高密度算力方案采用了天枢机架式机柜，中央电源选用 54V 高功率支持模式，能够在更高的机架功率下提供更好的整体机架效率。

■ 以冷板液冷整体解决方案实现液冷计算节点的循环冷却

京东还部署了从数据中心级到微处理器级的冷板液冷整体解决方案，在冷却液分配单元 (CDU)、工作液、歧管、服务器等方面进行了针对性的创新设计，实现液冷计算节点的液冷循环。

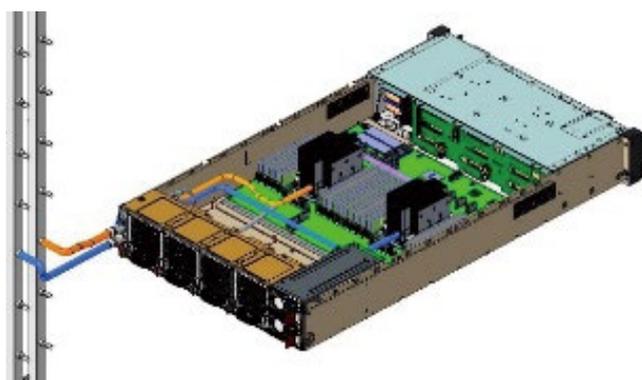


图 21 京东服务器冷板液冷方案

■ 以第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器提升算力和能效

方案采用了第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器，帮助京东云提高数据中心在计算、存储、网络层面的基础资源供给能力，同时降低能耗：

- 在制造过程中使用 93% 的可再生能源³²，大大降低产品本身的碳足迹；
- 通过内置的 Optimized Power Mode，对于大部分工作负载能带来最高 20% 的能耗减低；³³
- 通过创新架构增加了每个时钟周期的指令，提升了内存带宽与速度；
- 通过集成多种加速器，提升负载能效。

■ 以更高供电效率，实现节能减排³⁴

- 铜排效率提升 3.8%，铜排损耗减少 770W；
- 54V 转 12V 模组效率达到 97.7%；
- 5 年生命周期内，500 个机架可节省电力高达 1500 万元；
- 单个机柜每年可减少多达 87 吨的二氧化碳排放。

³² 关于在处理器生产过程中使用 93% 可再生能源的表述请参见 <https://csrreportbuilder.intel.com/pdfbuilder/pdfs/CSR-2022-23-Full-Report.pdf>

³³ 关于能耗优化模式 (Optimized Power Mode) 带来的能耗节约与潜在的对性能的影响请参见 <https://edc.intel.com/content/www/us/en/products/performance/benchmarks/4th-generation-intel-xeon-scalable-processors/>

³⁴ 截止至 2023 年 4 月京东和英特尔联合测试得出的数据，通过比较 54V 天枢机架和 12V 传统机架的数据得出。
测试配置：第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器 ES2 XCC，48 核，2 x 350 W；2048 GB 总内存 (32 x 64 GB)；2 x 240 GB M.2 + 16 x 2 TB NVMe。
实际性能受使用情况、配置和其他因素的差异影响。更多信息请见 www.Intel.com/PerformanceIndex

英特尔电源汇流排技术 携至强® 可扩展平台助 烽火超微服务器提升竞争力

FS·IT 烽火超微



扫描二维码阅读完整案例

大电流带来的损耗挑战

数据量增长和云计算等需求的提升，使 CPU 功耗与服务器能耗日益上升。高功耗 CPU 需要主板电源线路承载更大的电流，电流增加又导致损耗水涨船高。因应新时代节能减排大势，产业界需要创新主板设计，降低能源损耗。

英特尔电源汇流排技术提高服务器能源转换效率

英特尔电源汇流排技术不像传统解决方法，通过增加印刷电路板 (PCB) 叠层或铺更厚的铜来降低供电传输路径阻抗，而是在主板背面增加额外的供电铜排来实现降耗，对原有主板设计的改动影响很小。

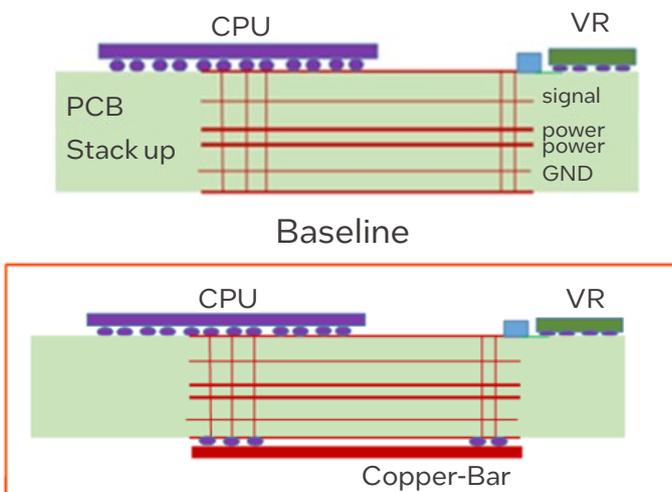


图 22 传统提升供电布线方法 (上)
与电源汇流排技术提升供电布线方法 (下)

英特尔电源汇流排技术助烽火超微服务器提升竞争力

基于第四代至强® 可扩展平台的烽火超微服务器导入英特尔电源汇流排技术，构建低能耗方案，来提升了市场竞争力；并依据服务器量产的所有测试标准，全方位、系统性地评估方案可行性。

■ 量产标准测试

测试结果显示³⁵，对于配置了 350W TDP CPU 的基于第四代至强® 可扩展平台的双路服务器系统，使用英特尔电源汇流排技术可以满足量产标准要求，在 CPU 满载压力下的系统性能有多项直接提升：

- 整机功耗降低约 10W；
- CPU 处理器供电传输路径阻抗在 remote sense 点降低 24%，在远端降低 31%；
- 电源转换控制器 VR 效率额外提升 0.7%；
- SPECpower 在满载时的测试分数提高 1%，优化了系统能效比；
- CPU 插座底部附近温度最高降低 4° C。



图 23 烽火超微应用电源汇流排技术的主板 CPU 插座背面的前后对比图

■ 电源仿真分析

多种功耗下的测试表明，在 CPU 非满载下，CPU 功耗越高，电源汇流排技术带来的节能效果越可观，并间接提升了系统稳定性和平台的升级潜力，表现亮眼：

- 如 80% TDP 负载时，整机能耗依然可以节省多达 7W；
- 在 50% TDP 负载下，整机能耗可节省 3W。

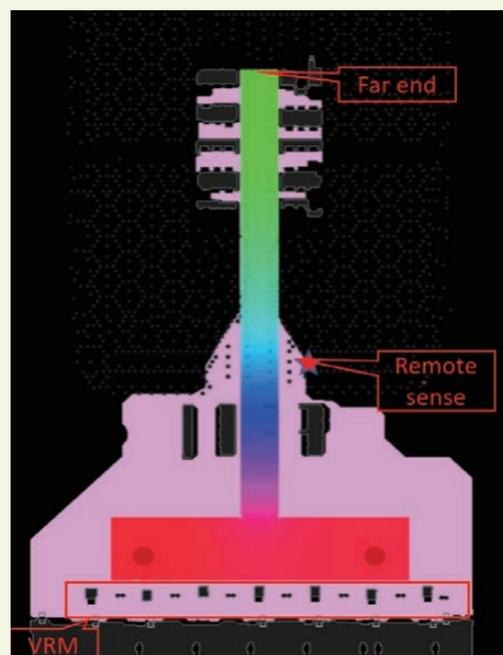


图 24 电源仿真分析

英特尔电源汇流排技术带来的明显降耗效果，无疑可帮助数据中心获得可观的电费成本效益，同时实现节能减排、绿色低碳。据测算，假设一个数据中心部署 20 万台基于第四代至强® 可扩展处理器的双路服务器，按满负荷下的能耗计算，5 年内节省电费最高可达 931 万美元。

³⁵ 数据源自白皮书《巧设计，大电流；从长计，很节能——英特尔电源汇流排技术助烽火超微 Eagle Stream 平台服务器竞争力提升》，<https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/now/data-centric/power-corridor-solution-fiberhome-supermicro-eagle.html>

采用至强® 可扩展平台的 京东云冷板液冷参考 解决方案



扫描二维码阅读完整案例

数据中心能耗持续增长，需液冷 散热显优势

现代化高密度数据中心不断提升的整体功耗，给散热效率、节能减排、运营成本等带来了极大挑战。液冷方案可帮助应对挑战，相比传统的空气冷却方案，有多项优势：

- 热量能够在更靠近其来源的地方与液冷介质进行交换；
- 同体积的传热介质，冷却剂传递热量的速度是空气的 6 倍，蓄热量是空气的 1000 倍³⁶；
- 冷却液传热次数更少，容量衰减更小，可更有效降低 XPU 等关键组件的运行温度及性能损失；
- 液冷系统能够支持 XPU 运行在较高频率上，从而提升性能。

高密度工作负载计算能力需求不断提升，使京东云面向 XPU 的冷却系统设计遭遇挑战：

- 芯片整体 TDP 随性能增加而增加，2013 年京东云 x86 处理器典型 TDP 为 105 瓦，2022 年为 350 瓦以上³⁷，并呈现持续增长趋势；
- CPU 漏电功率随结温升高而增加，占用更多功率预算，冷却系统要帮助将热阻降低到典型范围 0.3-0.5C/W³⁸；
- 液冷与风冷在设计上有较大差异，在效率、稳定性、经济性等方面还有很大优化空间。

^{36, 37, 38} 数据源自白皮书《面向可持续数据中心的京东云冷板液冷参考解决方案》，<https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/now/data-centric/jd-cloud-liquid-cooling-solution.html>

面向可持续数据中心，京东云构建冷板液冷参考解决方案

面向数据中心可持续发展新需求，京东云构建冷板液冷解决方案，从数据中心级到系统级，涵盖 CDU、机架、服务器等不同层级的产品与技术，在 CDU、工作液、歧管、服务器等方面进行了针对性的设计。

CDU

在整体液冷解决方案中，CDU 必须具有泵、热交换器、过滤器、补水系统、变频器、监视器功能（如温度和压力传感器）和其他组件。

工作液

一次回路侧选择去离子水 + 乙二醇作为工作流体，去离子水有低电阻特性，乙二醇确保流体在低环境温度下冻结而导致管道破裂的低风险；二次回路选择纯去离子水以提高热性能。

歧管

安装在机架上的歧管将冷流体分配到每个服务器节点，在歧管顶部的快速连接器可方便机架部署；歧管底端设计了手动排污口，方便系统排水维护。

服务器

服务器液冷方案主要由冷板、管路、快速接头和检漏线组成。单相冷板供液温度范围为 40~45°C，工作液兼容乙二醇溶液（去离子水）。为防范液体泄露，京东云采用检漏线包裹液冷系统，特别是在冷板和管路接头处，确保漏液情况下及时报告并启动漏液应急措施。

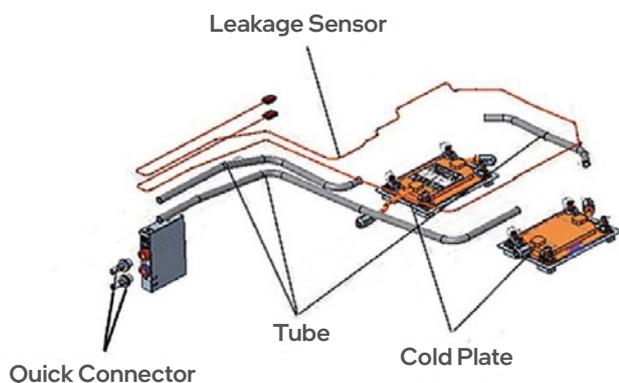


图 25 京东云服务器液冷方案组成

至强®可扩展平台助力服务器液冷设计

第三代英特尔® 至强® 可扩展处理器相比前代具备更优异的特性：

- 提供 8 个插槽配置的多插槽内核计数密度；
- 性能、吞吐量和 CPU 频率显著提升；
- 内置 AI 加速功能，提供无缝性能基础，加快多云、智能边缘和后端等数据的变革性影响。

京东云已于 2021 年第二季度在数据中心部署了冷板液冷解决方案，采用了基于第三代英特尔® 至强® 可扩展处理器的定制化服务器，调整了核心数、基础和 Turbo 频率、TDP、RAS 特性、T 机箱等主要参数，以适配其可持续的液冷数据中心。

实际工程部署结束，冷板液冷方案优势显著

通过部署冷板液冷整体解决方案，京东云自建数据中心实现³⁹：

- PUE 从 1.3 降至 1.1；
- 每个 14KW 机柜每年节电 31031 度；
- 每个 14KW 机柜每年碳减排 24.4 吨。

³⁹ 数据源自白皮书《面向可持续数据中心的京东云冷板液冷参考解决方案》，<https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/now/data-centric/jd-cloud-liquid-cooling-solution.html>

基于第四代至强® 可扩展平台的浪潮信息全液冷服务器方案

浪潮信息

高算力拉动全液冷服务器需求

随着 AI、智算的飞速发展，高密、高算力等算力正在拉动服务器制冷的需求，让液冷凭借其散热能力和经济性等明显优势，逐渐成为科学计算服务器的“必选项”，来帮助数据中心大幅节省部署空间，实现绿色节能，同时节约电力成本。液冷覆盖率越高，对数据中心高效率、高密度等绿色发展的帮助就越大。因此，全液冷方案已经成为 AI、科学计算等领域的重要发展方向。

冷板式液冷在整体系统架构改造、产业链成熟度、初投资和环保等方面具备优势，但目前冷板液冷主要覆盖 CPU、GPU 等高功耗部件，液冷覆盖率在 60%~80%。要进一步提高冷板液冷数据中心的能效，让更多的电力消耗用于提升算力，那就意味着更多的服务器部件需要被冷板覆盖，这无疑将提升服务器内部冷板方案设计复杂度及成本。且业界对除 CPU、GPU 之外的系统内其他部件如何通过冷板液冷实现高效且低成本散热，尚无成熟的方案和产业链可供选择，而业界已发布的少量全液冷服务器方案也多基于高度定制化的需求，基于通用的科学计算服务器架构的全液冷方案更少，且冷板设计大都比较复杂，成本高昂，对很多需要热插拔的部件无法支持。

基于第四代英特尔® 至强® 可扩展平台，探索全液冷服务器参考设计

为了进一步推动液冷技术发展和生态成熟，英特尔联合浪潮信息深耕高密服务器液冷优化设计，对 CPU、高功耗内存、NVMe 硬盘、OCP 网卡、电源、PCIe 转接卡和光模块等服务器内主要发热部件，探索系统级优化液冷解决方案，提高液冷覆盖率。

■ 构建高能效的系统级解决方案

全液冷预研项目基于浪潮信息 i24M7 2U 四节点高密计算服务器，每个液冷节点支持两颗第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器，整体设计理念是在满足性能和可靠性要求的基础上，从系统级解决方案开始，探索高能效、低成本和易于运维的全液冷服务器全新设计之道：

- 节点与硬盘区域实现内部水电盲插结构共用，单节点运行即可支持多张 NVMe 固态硬盘液冷；
- 简化液冷环路设计，管路和接头数目明显减少，漏液风险减低；
- OCP 网卡和硬盘液冷方案均可支持多次热插拔，提高运维便利；
- 沿用风冷部件和现有成熟的冷板和风冷散热器加工技术，避免定制化液冷部件和复杂的液冷管道生产工艺，以降低成本。



图 26 全液冷服务器

■ 应对成本高、开发周期长及设计复杂难题

全液冷方案探索采用了诸多设计创新，不但可以大幅降低成本、缩短开发周期、提升可靠性，还可提高可维护性及方案可复制性。

■ 内存液冷解决方案 - 枕木 (Crosstie) 液冷方案

内存枕木散热器方案将传统风冷散热和冷板散热相结合，通过内置热管的铝板 (或纯铝板) 把内存上的热量传导至内存散热器两端，与冷板通过导热垫片接触，实现内存散热。此方案具备多项优势：

- **模块化设计：**可灵活兼容不同内存间距及不同厚度内存颗粒散热需求；
- **组装便捷：**内存和散热器可在系统外用治具完成组装，降低内存上器件和导热材料在系统内组装造成破坏的风险；
- **高散热能力：**在 0.3 英寸内存间距下仍可实现单根内存 30 瓦以上散热需求；
- **成本低：**冷板焊接工艺简单，内存散热器可按需配置；
- **高可靠性：**焊点减少，漏液风险降低；避免了金手指和插槽间接触不良风险。

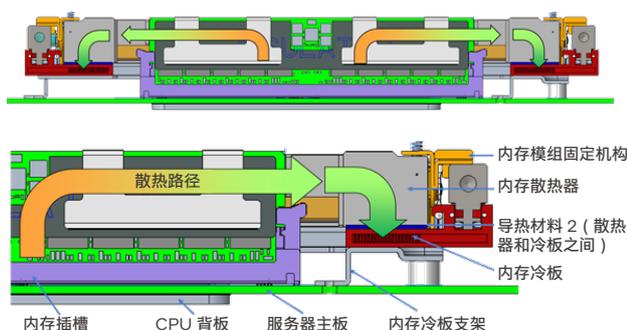


图 27 创新的内存枕木液冷方案

■ 固态硬盘液冷解决方案

固态硬盘液冷解决方案通过内置热管的铝板把热量导出，与硬盘区域外冷板接触换热，实现硬盘区域无水换热与热插拔，带来多项优势：

- 方案直接沿用传统的固态硬盘模组，只需设计与固态硬盘匹配的标准导热板，即可实现液冷散热；
- 硬盘间采用无水设计，降低了方案设计和加工的复杂性，减少接头数量，降低漏液风险；
- 支持 25W 及以上固态硬盘散热需求，并可灵活适配不同厚度的固态硬盘；
- 支持热插拔，且多次插拔后，仍能保持固态硬盘良好的散热、机械和电气性能。



图 28 创新的硬盘液冷方案

■ 电源液冷解决方案

针对电源液冷这一全液冷服务器设计的难题，采用在现有风冷电源的基础上通过外接一个风液换热器的方式，来冷却电源出口处的高温空气，能够减少系统对外界数据中心环境的预热，且可以灵活适配多家厂商的电源方案，比常规的在现有电源里面直接内嵌冷板的方案能节约 60% 以上成本。

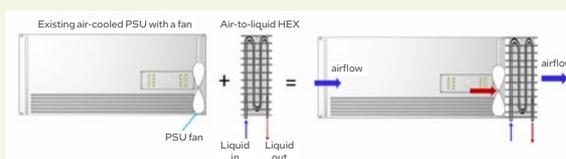


图 29 创新的电源液冷解决方案

在冷板材质方面，此次全液冷系统设计创新实践，分别基于铜材质和铝合金材质冷板，从换热性能、可靠性、成本、重量等多方面进行对比及优化，同时对与铝质冷板液冷循环回路相匹配的液冷工质，进行了选型和相应的腐蚀性测试验证，为进一步降低冷板液冷成本提供了丰富的实践数据支持。

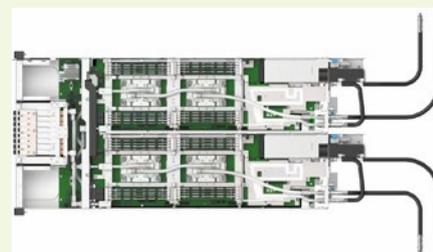


图 30 铝冷板全液冷系统

此全液冷实践是基于通用高密服务器架构，通过冷板及风液热交换器实现接近 100% 液冷散热，意义重大：

- 相比传统风冷机房，能耗降低 60% 以上，能够帮助数据中心实现“去空调化”和系统极简；
- 年均 PUE 可低至 1.1 以下，有助于数据中心绿色高效发展。

基于第四代至强® 可扩展 处理器的超聚变整机柜 液冷服务器

 FUSION

数据中心高密部署，亟需创新液冷方案

东数西算和“双碳”目标的加速实施，驱动中国数据中心建设走向绿色可持续。提升 IT 设备机柜的上架率并实现业务的快速部署上线，同时满足绿色能耗指标要求，已经成为数据中心建设和运营的紧迫需求。

数据中心高密部署和零碳运营成为未来的发展方向，而冷板式液冷服务器为这一目标的实现提供了可行方案。其采用全接触式换热，能够达到系统 100% 液冷换热，可以应对高密计算的散热能耗问题，保障系统可靠运行。

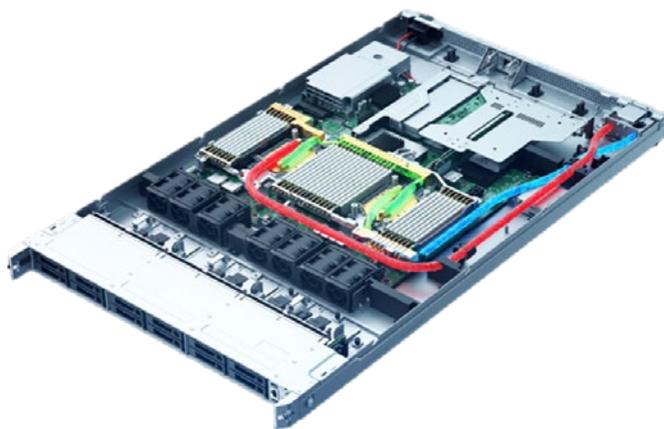


图 31 高密铲齿冷板，直接液冷换热

算力对芯片和系统架构提出更高要求

高密部署对服务器设计提出更苛刻要求，需要更高能效平台来提供支持。超聚变采用第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器，面向数据中心未来发展，创新推出 FusionPoD 整机柜液冷服务器，满足云计算和科学计算液冷数据中心快速部署、高效节能、可维节碳等迫切需求。



图 32 超聚变整机柜液冷服务器 FusionPoD (图片来源: 超聚变)

第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器内置多款加速器，可为快速增长的工作负载提供性能加速。超聚变与英特尔深度合作，基于第四代至强® 的创新特性，在处理器、主板、存储等方面进行了大量的异构创新，在功率密度和计算性能提升等方面，都取得显著成效。

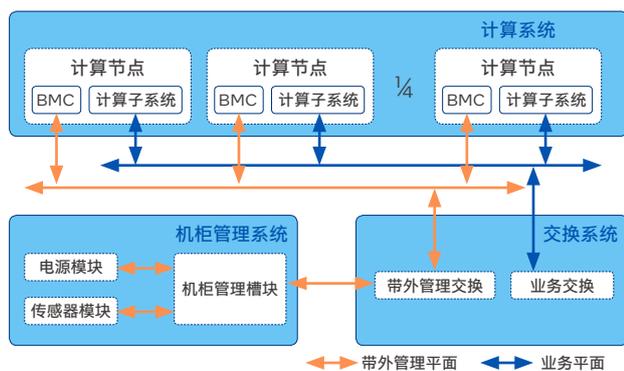


图 33 FusionPoD 系统逻辑架构

实现高液冷散热能力与规模商用

FusionPoD 整机柜液冷服务器供电容量最高达到 105KW，可容纳 64-72 个双路 CPU 节点，或 64 个 GPU 模组液冷服务器。整机柜采用 100% 全液冷，局部 PUE (Partial PUE, pPUE) 可达 1.06 以下，同时支持 100% 上架高密部署，综合性能处于行业领先地位。

经落地部署显示，FusionPoD 在某金融用户的大型数据中心已实现了整机柜高密计算，以及超低能耗运营和极简运维，满足了用户业务发展的需求。



图 34 从芯片到机柜，全面液冷散热构建，实现 100% 液冷散热

超聚变致力于成为全球领先的算力基础设施与服务提供者，秉承“让算力更好地服务您”的愿景和使命，推进架构开放与生态共赢，也将继续与英特尔深化合作，致力于数据中心计算和液冷解决方案创新、创建，为用户提供绿色、安全、可靠的算力与服务，贡献可持续发展。

英特尔助力阿里云优化 浸没式液冷方案




扫描二维码阅读完整案例

数据中心持续算力扩容带来能耗挑战

为应对全球气候变化带来的挑战，世界多国纷纷制定引导低碳发展的相关政策。并且，中国也在 2020 年 9 月明确提出 2030 年“碳达峰”与 2060 年“碳中和”的双碳目标。

然而，在数字经济迅猛发展的大背景下，数据中心作为算力的主要承载体，为满足日益增长的算力需求而不断“扩容”，也不可避免地带来了功耗和能耗上升。因此，数据中心亟需通过节能减排等方式来降低 PUE 和能源使用效率（Total-power Usage Effectiveness, TUE），以提升绿色环保水平。

数据中心核心能耗指标定义：PUE 与 TUE

PUE: 数据中心总能耗 / IT 设备能耗

TUE: 数据中心总能耗 / 核心数据处理设备（处理器、存设备以及网络设备等）能耗

$$PUE = \frac{P_{Total}}{P_{IT}}$$

P_{Total} 数据中心总能耗

P_{IT} 数据中心 IT 相关能耗

$$TUE = \frac{P_{Total}}{P_P}$$

P_P 数据中心核心数据处理设备能耗

PUE 的数值越接近 1，表示数据中心的能效越高。TUE 的数值越接近 1，表示 IT 的能效也越高，最理想的情况是 IT 设备的能耗全部都用于数据处理而不需要耗费在散热上

阿里云单相浸没式液冷方案具备 更高散热效率

阿里云把握数据中心散热技术趋势，在浸没式液冷技术研究方面迈入行业前列。部署有阿里云单相浸没式液冷方案的数据中心，各类服务器、交换机等设备将全部浸没在 TANK 内的冷却液中。冷却液会始终保持在液态，当设备工作时，热量会直接传导到冷却液中，通过循环管线（红热蓝冷）将热量带到热交换区，并最终通过室外冷源散热。

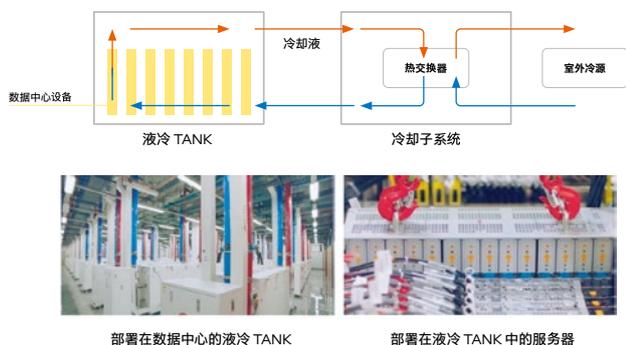


图 35 部署阿里云单相浸没式液冷方案的数据中心

与传统风冷方式和冷板液冷方式相比，阿里云单相浸没式液冷方案有着更高的散热效率：

- 当器件全部浸没在 TANK 内的冷却液中时，热量可以很均匀地传导到液体中，从而实现 100% 的热捕获效果；
- 单机柜可以支持更高的功耗密度，可在 TANK 内部署更多器件；
- 在省去各类引风、排风设备和管道后，数据中心还可释放更多空间用于 IT 设备部署。

英特尔与阿里云携手优化浸没式液冷方案

如图 36 所示，从 2015 年前后，英特尔与阿里云就开始在浸没式液冷技术领域开展广泛合作，协同开发浸没式液冷服务器，并在材料兼容性、芯片电气特性、服务器系统结构设计以及产业链拓展等方面获得了巨大成功。

材料兼容性：英特尔针对芯片材料兼容性设计了一整套测试方案和数据分析方法，并通过大量的实验来验证英特尔® 至强® 可扩展处理器等硬件产品在浸没式液冷环境下运行的可靠性。

芯片电气特性：英特尔和阿里云对英特尔® 至强® 可扩展处理器、英特尔® Agilex™ FPGA 芯片等产品的高速接口电路在浸没式液冷

的工作环境中，重新做了信号完整性仿真分析和测试验证，并与其它零部件和服务器整机厂商合作改进了高速信号连接方案，确保几十乃至上百 G 赫兹、皮秒级别的高速信号，在浸没式液冷方案中也能具备与风冷方案相同的信号完整性和系统可靠性指标。

服务器系统结构设计：英特尔和阿里云搭建了浸没式液冷服务器系统散热仿真模型和测试验证平台，对服务器内部的液体流场和温度分布、液体的自然对流和强制对流等效应做了深入研究；并与其他合作伙伴携手，共同开发高性能的浸没式液冷散热器方案，优化服务器系统结构设计。

产业链拓展：英特尔与阿里云积极推进液冷技术的标准化，以及跨区域的行业合作。目前，英特尔在 OCP 组织中已发布了多个关于液冷技术的白皮书和设计规范，同时也与阿里云一起，通过与 ODCC 组织的紧密合作，全力支持本土标准的制订和技术白皮书的推广。

单相浸没式液冷方案已获得成功部署与验证

来自一线应用的数据表明，该方案在散热效率等多方面有着显著优势⁴⁰：

- 采用浸没式液冷方案的数据中心 PUE 值可极至 1.09，对比风冷方案的年均 1.5，下降幅度达 34.6%；
- 采用浸没式液冷方案，机柜功耗密度得到显著提升，单机柜功率可达 100 千瓦以上；
- 与风冷方案相比，浸没式液冷方案的资源利用率提升 50% 以上；
- 与风冷方案相比，浸没式液冷方案的设备故障率下降 50%；
- 节省大量时间和物料成本，并使环境噪音大幅下降。

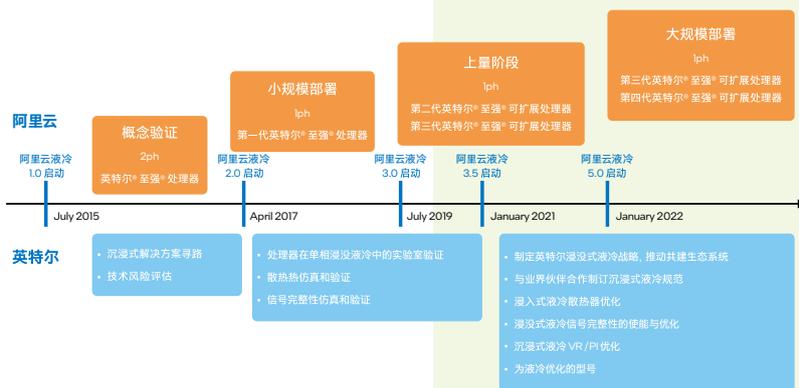


图 36 英特尔与阿里云在浸没式液冷领域的合作历程

⁴⁰ 数据源自白皮书《可持续，共未来——阿里云携手英特尔构建绿色高效数据中心，推动液冷技术普惠发展》，<https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/customer-spotlight/cases/ali-cloud-green-efficient-dc-liquid-cooling.html>

英特尔助力腾讯构建数据中心 算力 - 电力协同方案及实践

Tencent 腾讯

用户侧响应走向节能减碳前台

发展风电、太阳能等新能源正在变革以火电为主的电力结构和用能模式，但是新能源的使用需要解决其间歇性、随机性以及不可控问题，也需调动用户侧灵活地深度参与系统平衡。然而，用户侧负载与人们生活、企业生产等直接相关，对其控制面临挑战：

- 高度分散的特性，决定了对其控制需要从生产到电力的整体协同；
- 用户侧响应可调节资源类型复杂，数据统计分析工作量大，传统手段难以应对。

大数据、人工智能、物联网等技术的应用与融合，使得对用户侧负载进行有的放矢地实时调节成为可能，其在数据中心等高能耗领域的应用探索和推广，也将为绿色可持续发展提供创新动力。

英特尔携手腾讯推进数据中心 需求侧响应实践

随电力调频、调峰、备用等服务逐步开放，以及用户侧需求响应逐步常态化，数据中心借由数智技术，来提升电力灵活性，实现节能降碳成为现实。通过腾讯与英特尔联合对数据中心算力 - 电力灵活性方案进行探索，其优势也逐步展现：

- 数据中心数字化程度高，可秒级响应并精准跟随指定负荷；
- 无额外硬件购置成本；
- 适合任意大小的数据中心、集群和服务器。

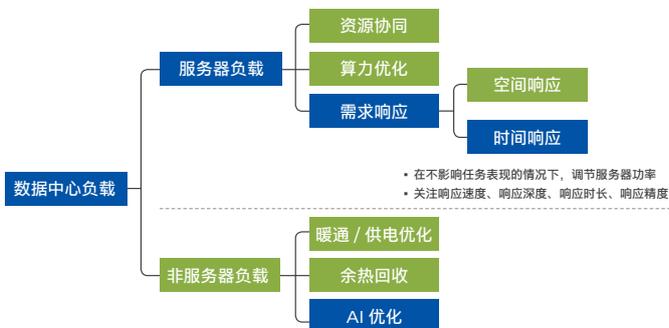


图 37 数据中心节能方案主要对象和领域

构建数据中心算力 - 电力灵活性方案

腾讯与英特尔合作，对数据中心通过算力调节进行需求响应，来提供电力辅助服务的实现策略进行了系统分析，提出利用空载服务器功耗切换、利用服务器硬件资源消耗不均衡性、平移和伸缩实时性不敏感任务，以及跨数据中心转移任务四种策略。

前三个策略的实现，需要业务 - 算力 - 电力三者的精准关联和协同，但适用于各种规模、形式的数据中心、机房、集群和服务器，也是本研究的重点，并搭建了一个服务器集群作为测试环境，运用如下状态监测工具和功率调整工具，进行研究和测试：

- **英特尔® 数据中心管理平台 (DCM)：**通过带外读取系统整体电力和关键使用指标，高频获取 CPU 及内存实时用电功率信息，同时其 PowerCap 功能还能够提供高精度的 CPU 和内存功率限制；
- **Linux 系统工具：**mpstat、free、iostat、nicstat，用于读取 CPU、内存、硬盘和网络的使用状态信息。

基于上述环境和工具，通过利用空载服务器在不同功耗状态之间切换测试、计算任务在服务器硬件资源消耗上的不均衡性策略测试，以及平移和伸缩实时性不敏感的计算任务策略，对多种负载进行了测试，结果显示：

- 通过空载服务器功耗切换、硬件资源性能调节，即可实现可秒级响应，将功耗分别降低达 100%、26%；
- 经过平移和伸缩实时性不敏感任务，可实现计算负荷分布控制，响应电网邀约。

未来启示

本项目对数据中心算力 - 电力协同需求响应进行了初步可行性研究，已经显示出数据中心作为电力需求侧推进节能的巨大潜力，为未来进一步研究指明了方向：

由实验研究到应用解决方案：要针对实际运行的数据中心打造需求响应能力，并提供精准的电力辅助服务，无疑需要有自动化的软件，还需要集合提供对业务 - 算力 - 电力三者实施监控、预测、响应策略规划和调节控制的四项能力，方能对服务器集群和其各组件进行敏锐监测和灵活调控，进而实现协同响应。

开放式协同与特性数据库：要对一个数据中心进行电力灵活性预测，需要不同负载在不同服务器以及其子部件（包括 CPU、硬盘、内存等）的电力响应特性数据作为基础，更需要业务（程序）开发方、硬件生产商、业务运行方，甚至硬件调度方（例如云或超算中心运营商）开放式协作，制定和采用标准的测试方法、数据格式和数据共享网络来共同推进。

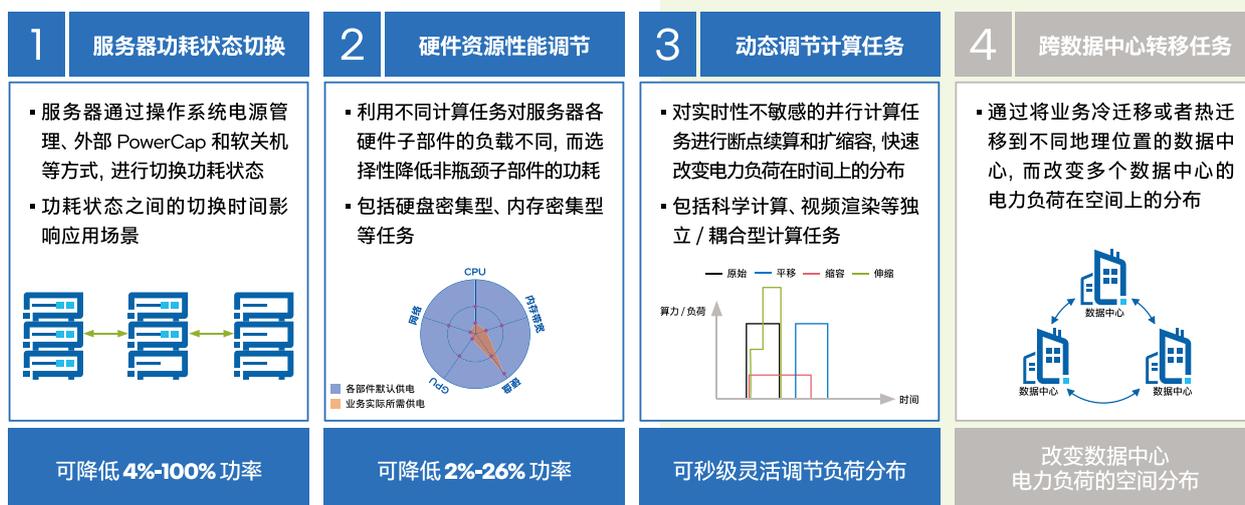


图 38 探索数据中心服务器负荷灵活性的主要策略

英特尔软件技术助力电信行业实现能效管控，加速网络绿色转型

ZTE中兴

China
unicom中国联通

AsialInfo
亚信科技

扫描二维码阅读完整案例



中国联通数据中心节能减排方案



中国联通 5G 网络动态节能方案



亚信科技 5G 基站智能节能方案

5G 业务特性需要动态节能

伴随着 5G 网络的大规模商用，服务创新加速对电信网络智能化提出了更高的挑战。在“双碳”目标的关键实现期和智能化转型的加速阶段，这两大因素叠加互动，推动通信网络运营更快走向智能化和绿色化。

5G 业务负载的变化多受时间影响，其波动性明显，且波峰与波谷的差异较大。在某些热点地区或特定应用场景，更会出现爆发性流量负载，这使得依靠传统的设备能耗调控方式难以适应这种动态的网络流量变化。此外，基站的不同位置也会造成流量状况差异化，加之基站的物理设施分散、且数量繁多，更改设备配置具有相当的难度，更不易于实现性能与节能的平衡。因此，引入人工智能技术，通过软件平台实现功耗优化成为刚需。其可以在保证满足业务工作负载的 SLA 的情况下，对从服务器到业务集群再到整个数据中心进行动态调控，还可以灵活支持人工调控和全自动模式之间的切换，进而显著提升节能降耗效果。

英特尔软件技术助力能效管控

英特尔采用多种软件技术，推出智能化节能方案，帮助通信服务提供商从核心网到基站等诸多场景，涵盖基础业务、CDN 和边缘应用等广泛的工作负载，灵活实施动态的节能减排策略。

英特尔智慧节能方案采用智能遥测技术，收集和聚合指标作为时间序列数据；通过 Chronos 框架训练回归模型，并在模型推理中预测工作负载变化；通过英特尔® 至强® 平台级处理器的底层接口，借助英特尔® Speed Select 技术（英特尔® SST）和英特尔 P/C-state 等技术，帮助 CoSP 实现更主动也更全面的 CPU 性能管理，进而根据不同的工作负载，灵活地进行实时调整。

此外，基于容器运行时接口的 CRI-RM 能够提供动态资源管理策略，通过在计算节点上的动态划分系统资源，配合 Kubernetes 调度器，在节点层面上实现合理的任务编排，并将英特尔平台的特性高效适配到 Kubernetes 的集群环境，实现 CPU 类和 Balloon 大小配置的动态调控，有效管控功耗。

英特尔智慧节能方案还能够对英特尔® 至强® 平台的各种运行指标进行智能遥测，以及输入到闭环控制逻辑之中，在操作系统层面、处理器能效级别、处理器能效状态方面实现细粒度控制，进而不同的使用场景中，从单节点到集群，从基站到数据中心实现全闭环控制，在不影响 SLA 的情况下，有效提升全网的整体能效水平。

此外，还有一点值得特别强调，那就是由于这是基于软件的节能方案，无需对硬件设备、设施进行改动，因而易于部署。这对于存量数据中心来说，实施节能升级变得尤其便利。

英特尔智慧节能方案显著降耗降本

基于英特尔端到端的智慧节能技术栈，中兴通讯、中国联通和亚信科技等产业伙伴落地节能方案，获得显著降耗降本效果，为绿色智能网络建设展现了广阔前景，其实现路径和经验值得借鉴和推广。

■ 中兴通讯 5G UPF 节能解决方案

中兴通讯构建绿色可持续的 5G UPF 节能方案，基于运营商现网流量的“潮汐效应”、忙时闲时负载差别较大等特性，通过对 CPU 降频或者关闭 / 休眠部分物理核的方式，在保证 SLA 的情况下，减少无效的电力消耗，实现 5G 网络的节能减排，使中兴 UPF 实现 20% 以上节能，显著节省运行成本。

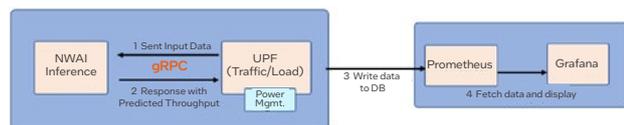


图 39 英特尔 AI 方案助力中兴通讯降低 UPF 功耗

■ 中国联通数据中心节能减排方案

中国联通充分利用英特尔智慧节能方案，在数据中心实现节能减排。该方案通过软件和 AI 模型对服务器能耗进行预测和干预，提高数据中心的运行能效，同时满足业务工作负载对于 SLA 的要求，且无需对应用进行更改，效益显著：

- 英特尔智慧节能方案比基准方案节能 28.6%⁴¹；
- 推行到整体云资源池中，每年可直接节电数千百度；
- 预计每年可减少二氧化碳排放数万吨。

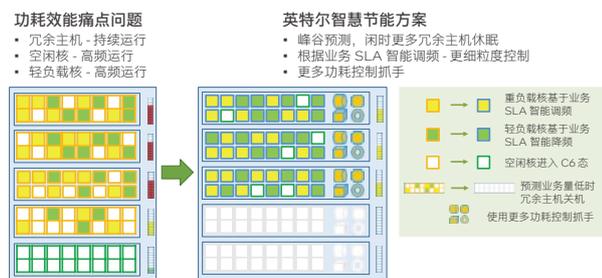


图 40 英特尔智慧节能方案提供更动态、更智能的能耗控制能力

■ 中国联通 5G 网络动态节能方案

中国联通引入 BigDL Chronos 框架，采用大规模时间序列分析模式，结合 5G 等业务特有的性能和质量指标，通过底层数据采集、AI 建模与预测等措施，对部署在通信云资源池中的 5G 网元资源占用率做出预测，打造更精准的预测方案，实现动态节能。新方案能带来⁴²：

- 处理器占用率预测值与实际值对比的最终 MSE 结果仅为 1.71；
- 实际的处理器占用率预测绝对误差平均小于 1.4%；
- 新方案预计可使单台服务器能耗降低超过 15%；
- 新方案预计可使整个云资源池每年节电 4600 万度。

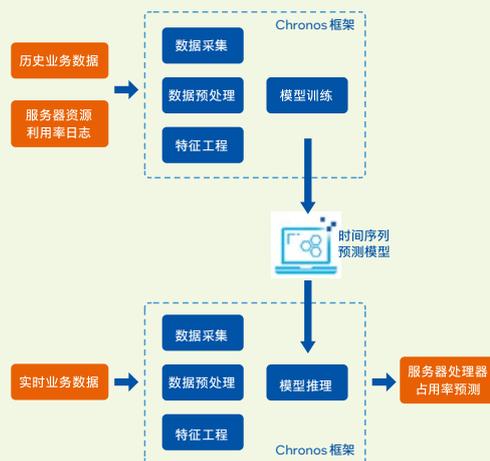


图 41 中国联通基于 Chronos 框架的时间序列预测方案基本流程

■ 亚信科技 5G 基站智能节能方案

亚信科技采用 BigDL Chronos 框架与英特尔 P/C-state 技术，为 5G 基站产品打造全新的智能节能方案。新方案以 Chronos 框架内置的多种时间序列预测 AI 和机器学习模型为核心，构建了包括时序数据采集、模型训练、基站性能指标预测以及能耗指令调整的完整工作闭环。

通过一系列测试与实验室验证表明，新方案不仅能在保证基站业务不受影响的前提下，带来 15%-30% 的综合节能，也能有效应对流量负载剧增等突发情况，为 5G 云化基站节能标准的制定提供有效参考。

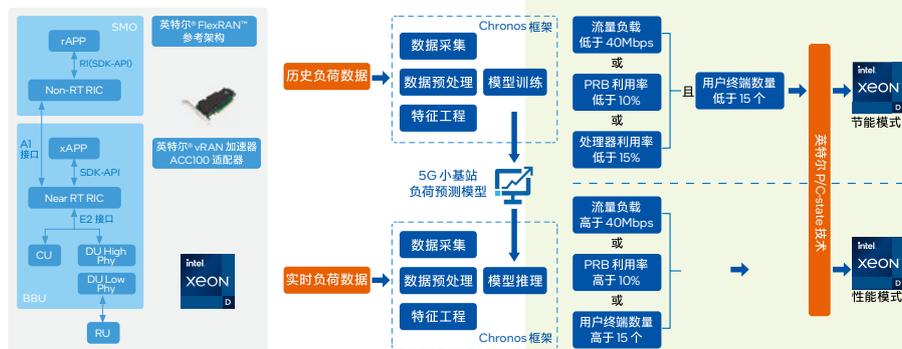


图 42 亚信科技 5G 基站智能节能方案技术架构

⁴¹ 数据源自白皮书《中国联通基于英特尔智慧节能方案推动数据中心节能减排》

<https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/cloud-computing/smart-energy-saving-solution-china-unicom-dc.html>

⁴² 数据源自白皮书《中国联通采用 Big DL Chronos 框架实现 5G 网络动态节能，打造新型数字信息基础设施》，<https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/customer-spotlight/cases/china-unicom-bigdl-chronos-framework-5gc.html>

遵循 OCSP 规范，长江电脑科技以模块化设计大降成本



長江電腦科技
—PRIVER—

计算产业发展对服务器设计提出新需求

随着计算产业的飞速发展和新应用场景的不断涌现，现有的服务器机箱外壳种类单一、产品难以实现按需定制等问题日益凸显，通过采用模块化设计可以解决这些问题，以适应计算基础设施的快速发展需求，实现降本增效，并推动实现绿色、可持续的发展目标：

- 在满足主板、外设模块解耦的同时，各个模块可独立迭代，外设模块可跨代际使用，延长生命周期；
- 主板模块、挂耳模块可以跨机箱使用（将来会增加 BMC 模块），当需要适配不同的机箱时，可以快速组成不同机型，无需重新开发设计；
- 通过清晰的模块规范边界定义，减少系统厂商和部件厂商之间的技术对接需求；按照规范文档设计，即可以做出相互匹配的系统方案，降低定制沟通成本；
- 通过不同的模块组合优化使用，快速交付更高效、可扩展的产品和方案，打造良性的行业生态，引导 IT 产业走向集约高效、绿色节能。

采用 OCSP 规范推出模块化服务器机壳产品

作为 OCSP 社区成员，专注于服务器机壳生产的东莞长江电脑制品有限公司（以下简称“长江电脑科技”）依托 OCSP 社区资源和设计规范，发挥自身服务器全制程能力，推出全球第一款基于 OCSP 1.0 规范的全模组 / 模块化通用计算型 2U 机箱——长宏机箱 V1.0，实现了模块化和可定制，具备模组规范化、免工具拆卸维护等优势 and 特性，帮助产业伙伴降低产品研发门槛和交付复杂性，打破产品同质化窘境，实现差异化和定制化，并促进 IT 产业走向集约高效和绿色节能。



图 43 长江电脑科技全模块化机箱——长宏机箱 V1.0

■ 产品特性：

- 全模块化设计，免工具维护；
- OCSP 原生态设计，开放式 IP；
- 支持差异化定制，满足不同场景下需求。

■ 符合 OCSP 规范的模组：

- 存储模组：快拆式设计，免工具可更换 12*3.5HDD、24*2.5HDD 或 8*3.5HDD；
- 散热模组：免工具拆卸，可快速更换 60XX*6 风扇和 80XX*4 风扇模组；
- I/O 模块：支持各种符合 OCSP 规范的主板，进行差异化定制和快速更换。

此外，长宏机箱原生态支持第三代和第四代英特尔®至强®可扩展处理器平台，并可延续至下一代平台；在通用计算场景下能覆盖大部分客户需求，同时支持适应不同场景要求的差异化定制；可在基于模块化设计，按需进行自由搭配、差异化调整的基础上，帮助硬件厂商避免重复投入，且大幅缩短研发周期，加速产品上市。

广受市场青睐，展现创新优势

凭借创新设计和高度的标准化、模块化等特性，长宏机箱甫一推出就受到市场广泛青睐。有厂商已经基于长宏机箱进行了复用、定制，还有更多厂商通过套用 OCSP 规范的硬盘模组和风扇模组，实现了差异化迭代和全新产品风格。相比全新开模，研发成本最高可节约 90% 以上。

采用 OTII-E 标准，新华三 打造模块化边缘服务器

H3C

新华三发挥边缘算力赋能行业客户

适应边缘算力的广泛布局，推动算力深化发展的潮流，新华三以“边边协同”为能力支撑，打造满足不同场景的边缘算力解决方案。

业界首款基于 OTII-E 标准开发的模块化边缘服务器

面向 5G 及边缘计算深度定制，以及通过高复用性和通用性，降低设计、制造成本，全生命周期减少能耗碳排等需求，新华三推出完全自主研发的新一代多节点边缘服务器——H3C UniServer E3300 G6，也是业界首款基于 ODCC 的 OTII-E 技术规范开发的模块化边缘服务器极大提升了可扩展性，能够高效满足 5G+AI 等创新业务、视频处理等多种边缘应用及边缘行业解决方案部署所需。

H3C UniServer E3300 G6 边缘服务器为应对复杂多变的边缘场景而生，在 2U 机箱中可以同时插入多个节点（最多 4 个），节点可以是 1U 半宽、1U 全宽、2U 半宽，如图 44 所示，具备多项特性：

- 模块化设计，可以根据用户的不同需求，选配节点类型和数量；
- 每个节点支持独立热维护；
- 支持 CT 和 IT 业务融合部署；
- 半宽节点采用 1P 设计，CPU 故障解耦；
- 电源采用 M_CRPS 钛金电源。



图 44 H3C UniServer E3300 G6 的主要特点

与通用 / 传统边缘服务器相比，H3C UniServer E3300 G6 模块化边缘服务器能够为用户带来多项受益，是满足不同边缘场景需求的更优选择：

- 融合部署：边缘侧 IT、CT 和 OT 业务融合部署，能够降低成本，并广泛适用多种复杂的边缘场景；
- 使用便捷：多节点小尺寸，高密度部署，各节点之间不耦合，支持热维护；
- 投资保护：节点 / 组件可跨平台复用，升级方便，有利于投资保护。



图 45 H3C UniServer E3300 G6 的典型应用场景



结语

携手加速绿色数据中心创新实践

随着数字化浪潮奔涌向前，如何融合绿色低碳的需求，通过创新实现可持续，成为经济社会发展的关键课题之一。英特尔公司高级副总裁、英特尔中国区董事长王锐指出，数字化和绿色化共同构筑的数字基础设施，推动着数字化转型的增长和升级，并向着更宽广的发展前景持续进发。

自上世纪 80 年代以来，英特尔一直坚守“可持续发展”的理念，并将其贯穿在公司的业务、技术和产品全链条中。为了进一步优化数字基础设施并加速实现碳中和转型，英特尔创新地将绿色低碳的要求融入到数字化中。

作为计算行业的创新领导者，英特尔以其可持续的计算解决方案，帮助产业共同走向可持续的未来。为了满足数据中心的低碳绿色发展需求，英特尔升级、推出了绿色数据中心技术框架 2.0，推动新型基础设施建设全生命周期的低碳增效；并发布了第四代英特尔® 至强® 可扩展处理器这一新一代数据中心平台，多方位帮助数据中心更好实现可持续发展目标。

此外，英特尔积极发挥产业优势，携手广泛的合作伙伴、高校与科研机构等，不断推动产业协同创新和标准化建设，推进技术、产品互操作性，加速数据中心绿色化实践的步伐。

凭借坚持不懈的技术创新和产业协同实践，英特尔为广阔的可持续发展愿景贡献巨大力量，助推数据中心为经济社会的全面数智化转型提供更强算力，同时积极降低碳排放，进一步策源技术变革，为高质量发展、以及人与自然和谐共生的现代化贡献更大力量。

附录一 英特尔联合产业生态伙伴开发的技术和设计规范明细列表

《绿色数据中心创新实践——冷板液冷系统设计参考》
《服务器及存储设备液冷装置技术规范 第一部分：冷板》
《服务器及存储设备液冷装置技术规范 第二部分：连接系统》
《服务器及存储设备液冷装置技术规范 第三部分：冷量分配单元》
《服务器及存储设备液冷装置技术规范 第四部分：监控系统》
《OCP whitepaper: Cold Plate Development and Qualification》
《OCP whitepaper: Rack Manifold Requirement and Qualification Guidelines》
《Guidelines for Using Propylene Glycol Based Heat Transfer Fluids, 2022》
《Guidelines for Using Water Based Transfer Fluids, 2022》
《Developing a Mobile Cart for Data Center Fluid Servicing, 2022》
《Development and Testing of UQD-B, 2021》
《Leak Detection and Intervention, 2021》
《ACS Liquid Cooling Cold Plate Requirements, 2019》
《UQD Specification, 2020》
《UQD-B Specification, 2021》
《Base Specification for Immersion Fluids, 2022》
《ODCC 浸没式液冷技术材料兼容性测试规范》
《ODCC 单相浸没式液冷散热技术白皮书》

附录二 名词中英文对照表（按首字母顺序排序）

序号	英文缩写	英文全称	中文全称
1	AI	Artificial Intelligence	人工智能
2	BBS	Battery Backup System	电池备份系统
3	BMC	Baseboard Management Controller	底板管理控制器
4	CDN	Content Delivery Network	内容分发网络
5	CDU	Coolant Distribution Unit	冷却液分配单元
6	CoSP	Communication Service Provider	通信服务提供商
7	CPU	Central Processing Unit	中央处理器
8	CSP	Cloud Service Provider	云服务提供商
9	DCM	Data Center Management	数据中心管理平台
10	DC-MHS	Data Center - Modular Hardware System	数据中心模块化硬件系统

序号	英文缩写	英文全称	中文全称
11	DPDK	Data Plane Development Kit	数据平面开发套件
12	DVFS	Dynamic Voltage and Frequency Scaling	动态电压频率调节
13	ESG	Environmental, Social and Governance	环境、社会和治理的简称
14	GHG Protocol	Greenhouse Gas Protocol	温室气体核算体系
15	GPC	Group Power Capping	功耗钳制技术
16	GPU	Graphics Processing Unit	图形处理器
17	GUI	Graphical User Interface	图形用户界面
18	ICT	Information and Communications Technology	信息与通信技术
19	IDC	Internet Data Center	互联网数据中心
20	IPM	Infrastructure Power Management Module	基础设施电源管理模块
21	IPMI	Intelligent Platform Management Interface	智能平台管理接口
22	ISV	Independent Software Vendor	独立软件开发商
23	ML	Machine Learning	机器学习
24	NFV	Network Functions Virtualization	网络功能虚拟化
25	OCP	Open Compute Project	开放计算项目
26	OCSP	Open Common Server Platform	开放通用服务器平台
27	ODCC	Open Data Center Committee	开放数据中心委员会
28	ODM	Original Design Manufacturer	原始设计制造商
29	OEM	Original Equipment Manufacturer	原始设备制造商
30	OTII	Open Telecom IT Infrastructure	开放电信 IT 基础设施
31	PCB	Processing Control Block	进程控制块
32	PSU	Power Supply Unit	电源单元
33	PUE	Power Usage Effectiveness	电能使用效率
34	ROI	Return on Investment	投资回报率
35	SaaS	Software as a Service	软件即服务
36	SDN	Software Defined Network	软件定义网络
37	SI	System Integrator	系统集成商
38	SLA	Service Level Agreements	服务级别协议
39	SNMP	Simple Network Management Protocol	简单网络管理协议
40	TCO	Total Cost of Ownership	总体拥有成本
41	TDP	Thermal Design Power	热设计功耗
42	TUE	Total-power Usage Effectiveness	能源使用效率
43	UPF	User Plane Function	用户面功能
44	VR	Voltage Regulator	电源转换控制器



英特尔并不控制或审计第三方数据。请您审查该内容，咨询其他来源，并确认提及数据是否准确。

描述的成本降低情景均旨在特定情况和配置中举例说明特定英特尔产品如何影响未来成本并提供成本节约。情况均不同。英特尔不保证任何成本或成本降低。

英特尔技术特性和优势取决于系统配置，并可能需要支持的硬件、软件或服务得以激活。产品性能会基于系统配置有所变化。没有任何产品或组件是绝对安全的。

更多信息请从原始设备制造商或零售商处获得，或请见 [intel.com](https://www.intel.com)。

英特尔、英特尔标识以及其他英特尔商标是英特尔公司或其子公司在美国和 / 或其他国家的商标。

© 英特尔公司版权所有。