



开放计算标准
工作委员会
Open Compute Technology
Committee

整机柜服务器产业研究报告

2025年6月



版权保护文件

版权所有归属于该文件的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以任何形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

前言：

本文件由中国电子技术标准化研究院提出。

本文件起草单位：中国电子技术标准化研究院、中国电子工业标准化技术协会开放计算标准工作委员会、浪潮电子信息产业股份有限公司、中研益企（北京）信息技术研究院有限公司、华为技术有限公司、超聚变数字技术有限公司、新华三技术有限公司、山东省计算中心、曙光信息产业（北京）有限公司、中科可控信息产业有限公司、宁畅信息产业（北京）有限公司、超云数字技术集团有限公司、联想（北京）信息技术有限公司、长城电源技术有限公司、史陶比尔（杭州）精密机械电子有限公司、广能智能装备（浙江）有限公司、中国质量认证中心有限公司、南方电网大数据服务有限公司、北京计算机技术及应用研究所、之江实验室、中航光电科技股份有限公司、深圳瀚宏电气有限公司、浪潮计算机科技有限公司、中兵长智科技有限责任公司。

本文件主要起草人：张群、陈海、张斌、方芳、张广彬、刘晓蕾、戴裕晟、包振忠、杨金谕、丁俊峰、万晓兰、王继彬、刘兵、朱卫华、孙振、郭盟、李阳、李彦、李鹏、郭宏艳、陈凯、刘运、胡晗、曾令仿、任玉迎、陈向明、刘汉华、逢锦山、毛峰、张晶、周平角、徐梦馨、谢成国、韩宝媛、徐位墅、姜有田、程稳、李文方、刘耀阳、刘小虎、蒋正顺、李进宝、李有全、张德胜。

目录

- 1 算力基础设施产业现状及产业政策要求6
 - 1.1 全球算力基础设施产业现状及趋势6
 - 1.2 中国算力基础设施产业政策导向7
 - 1.3 整机柜服务器技术特性与产业政策趋势的契合10
 - 1.4 整机柜服务器起源及技术演进11
 - 1.4.1 整机柜服务器发展简史11
 - 1.4.2 整机柜服务器典型技术路线18
 - 1.5 液冷及 AI 的发展进一步推动整机柜服务器产业进程21
- 2 整机柜服务器产业需求及技术分析23
 - 2.1 整机柜服务器产业需求及典型场景分析23
 - 2.1.1 互联网头部用户及大型 CSP 用户需求分析23
 - 2.1.2 通用行业头部用户及互联网领先用户需求分析27
 - 2.1.3 高性能计算及人工智能典型场景需求分析29
 - 2.2 整机柜服务器技术现状及趋势分析32
 - 2.2.1 整机柜服务器整体技术现状及发展趋势32
 - 2.2.2 整机柜服务器机柜柜体发展趋势34
 - 2.2.3 整机柜服务器供电系统发展趋势35
 - 2.2.4 整机柜服务器液冷系统发展趋势36
 - 2.2.5 整机柜服务器网络互连技术趋势39
 - 2.2.6 整机柜服务器节点发展趋势41
 - 2.2.7 整机柜服务器一体化交付工程趋势44
- 3 国内整机柜服务器产业现状及设计实例47
 - 3.1 整机柜服务器国内产业现状概述47
 - 3.2 整机柜服务器国内主要设计实例47
 - 3.2.1 浪潮信息整机柜服务器设计实例48
 - 3.2.2 华为整机柜服务器设计实例50
 - 3.2.3 宁畅整机柜服务器设计实例52
 - 3.2.4 超聚变整机柜服务器设计实例54
 - 3.2.5 超云整机柜服务器设计实例56
 - 3.2.6 中科可控整机柜服务器设计实例58
 - 3.2.7 联想整机柜服务器设计实例60
- 4 倡议：共同推进整机柜服务器标准和生态建设62

5 附录及参考文献63

1 算力基础设施产业现状及产业政策要求

1.1 全球算力基础设施产业现状及趋势

人工智能产业市场的兴起，成为推动全球经济发展的新动力。IDC预测，全球以AI为中心的各类系统的软件、硬件与服务支出，2023年已达到1540亿美元，到2026年将超过3000亿美元，预计2022年至2026年间复合年增长率（CAGR）为27%。而聚焦到算力方面，全球AI计算市场规模将从2022年的195.0亿美元增长到2026年的346.6亿美元。国内AI服务器市场同样保持高速增长，2021年中国AI服务器市场规模为53.9亿美元，预计2025年将达到103.4亿美元，2021年至2025年间CAGR达17.7%。

受人工智能产业促进，全球算力稳步增长。据中国信息通信研究院统计，截至到2022年底，全球算力总规模达到650 EFLOPS。其中，通用算力规模为498 EFLOPS，智能算力规模为142 EFLOPS，超算算力规模为10 EFLOPS。智能算力规模与21年相比增加了25.7%，规模占比达到21.9%。

国内总体算力设施方面，据中国信息通信研究院统计，我国数据中心在用机架数量三年复合增长率约30%，截至2023年底，全国在用总规模已超过810万标准机架，算力总规模达到230 EFLOPS，位居全球第二，其中智能算力70 EFLOPS，增速超过70%。预计到2026年，人工智能技术对于全行业的渗透率将超过20%。

据IDC预计，未来五年，中国算力中心服务市场将以18.9%的复合增速持续增长，预计2027年市场规模达3075亿元人民币。智能算力超过通用算力成为我国算力规模增长的主要驱动力。据中国信息通信研究院统计，截至2023年6月底，我国智能算力规模占整体算力规模的比例提高到25.4%，智能算力规模同比增长45%，较整体算力规模增速高出15个百分点，且随着AI大模型的快速发展，智能算力需求呈现爆发式增长态势，未来智能算力将迎来更加快速的增长，预计到2025年智能算力占比达到35%。

随着整体算力规模的快速攀升，作为算力核心承载主体的数据中心在单体规模、平均单机架功率方面稳步提高，新型数据中心逐步向绿色低碳、集约高效、智能运维方向发展：

1) 绿色低碳：随着能源消耗和碳排放问题受到越来越多的关注，更先进的制冷和供电技术被普遍采用，比如冷板式液冷方案，可降低制冷能耗，支持更高的服务器功率密度，显著优化数据中心PUE（电能利用效率）数值；同时加大对太阳能、风能、水能等可再生能源的利用，降低数据中心整体碳排放。

2) 集约高效：随着人工智能对算力需求的高速增长，更高的单体算力性能、更高的算力部署密度和更大的算力集群规模成为新型数据中心的显著特征。大模型的快速迭代加速了更先进的算力芯片模组、更高带宽的大容量显存和内存、更大规模的高速互连网络的部署，推动了大规模、高密度、高效协同的算力集群部署和发展。

3) 智能运维：随着数据中心规模的扩展，智能化运维成为必然路径。依托智能监控设备、自动化管理软件的普遍部署和应用，实现对数据中心设备的实时监测、故障预警和自动修复，提高数据中心的运营稳定性和可靠性，并对资源分配和设备调度进行优化，实现增值运维。

1.2 中国算力基础设施产业政策导向

“十四五”时期，我国数字经济转向深化应用、规范发展、普惠共享的新阶段。在国家“碳达峰、碳中和”战略目标的引领下，新兴产业加速布局，算力基础设施作为新型信息基础设施的重要组成部分，呈现多元泛在、智能敏捷、安全可靠、绿色低碳等特征，为实现“十四五”规划和2035年远景目标纲要中明确提出的“加快构建全国一体化大数据中心体系，建设若干国家枢纽节点和大数据中心集群”，实现“新基建”、“东数西算”以及“双碳”等系列目标，国家及地方出台了一系列政策文件，以此推动数据中心产业向节能降耗、绿色环保方向发展。

表1-1 国家及地方算力基础设施建设相关政策及核心要求

发文部门	相关政策文件	要点
国家发改委	《关于深入实施“东数西算”工程加快构建全国一体化算力网的实施意见》	持续开展绿色数据中心建设，推进数据中心用能设备节能降碳改造，推广液冷等先进散热技术，加强全链条节能管理，提升数据中心能源利用效率和可再生能源利用率。（2023年12月）
工信部	《算力基础设施高质量发展行动计划》	结合算力基础设施产业现状和发展趋势，提出坚持多元发展路线，调动各类市场主体积极性，构建通用、智能和超级算力协同发展的供给体系。通过对算力中心的设计建设、技术选型和设备选择等方面的引导，提升算力碳效水平，推动算力基础设施进一步向绿色低碳方向演进。（2023年10月）
国务院	《数字中国建设整体布局规划》	夯实数字中国建设基础，系统优化算力基础设施布局，促进东西部算力高效互补和协同联动，引导通用数据中心、超算中心、智能计算中心、边缘数据中心等合理梯次布局。（2023年2月）
国务院	《关于数字经济发展情况的报告》	提出适度超前部署数字基础设施建设，统筹布局绿色智能的数据与算力基础设施，推进“东数西算”工程，建设完善全国一体化大数据中心体系，加快国家绿色数据中心建设。（2022年10月）
国务院	《“十四五”数字经济发展规划》	优化升级数字基础设施，有序推进基础设施智能升级。按照绿色、低碳、集约、高效的原则，持续推进绿色数据中心建设，加快推进数据中心节能改造，持续提升数据中心可再生能源利用水平。（2022年1月）
国家发改委	《贯彻落实碳达峰碳中和目标要求推动数据中心和5G等新型基础设施绿色高质量发展实施方案》	提出发挥市场主体作用，强化标准引领，促进全产业链绿色低碳发展。在创新节能技术方面支持数据中心采用新型机房精密空调、液冷、机柜式模块化、余热综合利用等方式建设数据中心。（2021年12月）
工信部	《“十四五”工业绿色发展规划》	着力打造能源资源消耗低、环境污染少、附加值高、市场需求旺盛的产业发展新引擎作为推进产业结构高端化转型的目标之一。（2021年11月）
工信部	《新型数据中心发展三年行动计划》	大力推动绿色数据中心创建、运维和改造，鼓励应用高密度集成等高效IT设备、液冷等高效制冷系统、高压直流等高效供电系统、能效环境集成检测等高效辅助系统技术产品，全面提高新型数据中心能源利用效率。（2021年7月）
北京市	《北京市促进通用人工智能创新发展的若干措施》	高效推动新增算力基础设施建设，将新增算力建设项目纳入算力伙伴计划，加快推动海淀区、朝阳区建设北京人工智能公共算力中心、北京数字经济算力中心，形成规模化先进算力供给能力，支撑千亿级参数量的大型语言模型、大型视觉模型、多模态大模型、科学计算大模型、大规模精细神经网络模拟仿真模型、脑启发神经网络等研发。（2023年8月）
上海市	《上海市进一步推进新型基础设施建设行动方案（2023-2026年）》	加快建成支撑人工智能大模型和区块链创新应用的高性能算力和高质量数据基础设施。建成多元供给、云边协同、按需调度、高效绿色的城市高性能算力网络体系，力争建成支撑万亿级参数大模型训练的智能算力资源、高质量语料库和专业数据集，初步建成以浦江数链为核心的城市区块链基础设施。（2023年9月）
广东省	《广东省新一代人工智能创新发展行动计划（2022-2025年）》	依托全国一体化算力网络粤港澳大湾区国家枢纽节点韶关数据中心集群、国家超级计算广州中心、国家超级计算深圳中心等超算平台，以及广州人工智能公共算力中心、横琴先进智能计算平台、“鹏城云脑”等智算平台，研究探索广东省人工智能一体化算力网络，为广东企业和科研院所提供公共算力服务和应用创新孵化支持。（2022年12月）

表1-1续 国家及地方算力基础设施建设相关政策及核心要求

发文部门	相关政策文件	要点
内蒙古自治区	《内蒙古自治区促进通用人工智能发展若干措施》	加快推进全国一体化大数据中心算力枢纽体系内蒙古算力网络枢纽节点建设，优先保障数据中心的用能指标，加快绿电、中水等配套建设和改造升级，推动数据中心适度超前建设。推动绿色节能算力基础设施，新建大型数据中心设计电能利用效率（PUE）不高于1.2，水资源利用效率（WUE）不高于1.2。（2024年2月）
贵州省	《面向全国的算力保障基地建设规划》	围绕高可靠、高可用目标，从备份中心提升为计算中心、效益中心，重点布局智算基础设施，形成低时延人工智能算力基地、全国低成本中心、高安全中心。2025年实现全省数据中心标准机架达到80万架、服务器达到400万台，PUE小于1.2。（2023年3月）
宁夏自治区	《促进人工智能创新发展政策措施》	基于宁夏枢纽算力能力，加快建设一批与制造、水利、交通、教育、文化及生物医药、新材料等领域紧密结合的超算、智算中心。（2023年8月）
甘肃省	《关于支持全国一体化算力网络国家枢纽节点（甘肃）建设运营的若干措施》	以服务算力需求、打造算力能力、发展人工智能产业为目标，重点发展能够汇聚多元数据资源、提供高效算力服务、进行海量规模数据集中处理的新型算力数据中心，打造面向全国的算力保障基地。（2022年9月）

表1-2 全国各地区数据中心PUE相关政策要求

国家/地区	相关政策文件	PUE要求
国家	《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》	“到2025年底，新建及改扩建大型和超大型数据中心电能利用效率降至1.25以内，国家枢纽节点数据中心项目电能利用效率不得高于1.2。”（2024年7月）
	《绿色数据中心政府采购需求标准（试行）》	“2023年6月起数据中心电能比不高于1.4，2025年起数据中心电能比不高于1.3。”（2023年3月）
	《推动数据中心和 5G 等新型基础设施绿色高质量发展实施方案》	“全国新建大型、超大型数据中心平均电能利用效率降到 1.3 以下，国家枢纽节点进一步降到 1.25 以下，绿色低碳等级达到 4A 级以上。”（2021年11月）
	《“东数西算”工程实施方案》	“在西部地区建立的数据中心，PUE应逐步降低至1.2以下，特别是承担东部算力需求的关键节点，应积极采用绿色能源。”（2022年2月）
北京市	《北京市关于加快推动数据中心绿色发展指导意见》	“北京市新建和扩建的数据中心PUE应低于1.3，力争达到1.2。对于现有数据中心，应通过技术改造和设备升级，使PUE降至1.4以下。”（2022年3月）
上海市	《上海市新基建行动方案（2021-2023年）》	“新建数据中心PUE不应超过1.3；对符合条件的现有数据中心，积极鼓励进行节能改造，争取PUE降至1.4以下。”
广东省	《广东省绿色数据中心建设指导意见》	“广东省新建数据中心的PUE应控制在1.3以下，重点发展区域的数据中心，鼓励将PUE降低至1.25或更低。”（2023年4月）
浙江省	《关于进一步加强浙江省数据中心能效管理的通知》	“全省新建数据中心PUE应控制在1.3以下，重点区域的新建数据中心PUE应达到1.25以下，鼓励采用先进的节能技术。”（2023年5月）
江苏省	《江苏省数字经济发展“十四五”规划》	“江苏省新建数据中心PUE应低于1.3，支持现有数据中心进行设备更新和技术改造，以提高能效，力争PUE达到更低水平。”（2021年10月）
山东省	《山东省推进新型基础设施建设行动计划（2021-2025年）》	“山东省新建数据中心PUE不得超过1.3，特别是在济南、青岛等重点区域，鼓励新建数据中心PUE达到1.25，推动绿色数据中心发展。”
重庆市	《重庆市推动数据中心绿色发展的实施意见》	“重庆市新建数据中心PUE应控制在1.3以下，优先支持PUE达到1.2的项目。对现有数据中心，应通过改造提升能效，力争PUE降至1.4。”（2022年9月）

表1-2续 全国各地区数据中心PUE相关政策要求

国家/地区	相关政策文件	PUE要求
四川省	《四川省推动绿色数据中心建设实施方案》	“四川省新建数据中心PUE应控制在1.3以下，重点区域的新建数据中心PUE应降至1.2以下，积极推进节能减排措施的落实。”（2023年3月）
贵州省	《贵州省大数据产业发展“十四五”规划》	“贵州省新建数据中心PUE应控制在1.25以下，作为‘东数西算’枢纽的重点项目，力争达到更低的PUE标准，积极采用清洁能源。”（2021年12月）
内蒙古自治区	《内蒙古自治区促进数据中心高质量发展指导意见》	“内蒙古自治区新建数据中心的PUE应达到1.2以下，对于承担全国算力资源调配的关键项目，要求PUE达到1.15以下。”（2022年8月）

自2021年起，算力基础设施相关政策要求出台紧锣密鼓，鼓励算力基础设施集约化、规模化、绿色化、智能化高质量建设发展，加速了绿色、智能技术创新和产业化落地，加速了集约、高效的工程化技术规模化推广。

2023年8月，工信部、科技部、国家能源局、国家标准化管理委员会等四部门联合发布《新产业标准化领航工程实施方案（2023—2035年）》，提出聚焦新一代信息技术等新兴产业，持续完善新兴产业标准体系建设，前瞻布局未来产业标准研究，充分发挥新产业标准对推动技术进步、服务企业发展、加强行业指导、引领产业升级的先导性作用，不断提升新产业标准的技术水平和国际化程度，为加快新产业高质量发展、建设现代化产业体系提供坚实的技术支撑。

因此，强化标准引领，有助于推动绿色低碳、集约高效和智能化的新技术产业化进展，从而推动算力基础设施创新产品形态大规模部署，进而促进全产业链绿色低碳发展，助力双碳目标实现成为趋势和必然。

1.3 整机柜服务器技术特性与产业政策趋势的契合

全球各国政府都在加大对于数据中心绿色节能的关注和投资，美国、中国和一些欧洲国家的政府也在考虑规划更加绿色高效的 IT 基础设施。



图1-1 Google规模化扩展的数据中心

数据中心绿色低碳、集约高效、智能化建设，对算力基础设施提出了升级转型要求，整机柜服务器以其高密算力部署、高效供电制冷、便捷部署运维等核心特性，成为新型数据中心建设的理想选择。

1) **提升单机柜算力密度，支撑高效算力集群部署。**随着我国大型数据中心的建设加速及以ChatGPT为代表的新人工智能时代的到来，大规模数据处理和复杂计算任务所需的算力需求高速增长。整机柜服务器高密部署的特点，能够有效应对数据中心受环境保护规定和建设周期等客观因素限制所导致的增长节奏滞后性问题，疏解不断上涨的高质量算力增长需求；另一方面，整机柜服务器可显著提升高速互连网络的端口密度和传输效率，实现更大规模高效协同算力集群的建设，精确匹配了以单台服务器为颗粒的算力单元向机柜级转变的趋势。

2) **高效散热和供电方案，满足先进算力部署和绿色低碳需求。**目前，单GPU芯片的功耗已超过1000W，单机柜功率密度则高达140kW。数据中心迫切需要采用更高效的供电和散热方案，来解决大功率供电传输路径损耗高、IT设备散热功耗加速上涨、散热设备容量不足和PUE居高不下等问题，以确保服务器和IT设备的正常运行与数据中心高效运营。资源池化是整机柜服务器的核心特征：大功率电源模块集中供电方案可以显著提升供电转换效率，降低传输路径电能损耗，且更易于实现电源的液冷散热，为日益严峻的电源模块本体散热问题提供了新思路；随着核心算力组件功耗的增长，液冷成为必然选择，整机柜服务器的高密度和高耦合度更加契合液冷方案，

可大幅提升散热效率，降低风扇散热功耗，显著降低数据中心PUE数值，并有效分摊基础设施成本，实现数据中心绿色低碳高效运营。

3) 快速交付便捷运维，满足数据中心规模化、集约化建设需求。国家在政策上引导超大型、大型数据中心集聚发展，形成多地布局的国家枢纽节点。超大规模数据中心的建设，对快速部署和便捷运维提出了严峻挑战。整机柜服务器具有模块化架构，支持工厂预装和一体化交付，相比传统机柜，交付部署效率提升8~10倍。同时，整机柜服务器的盲插总线接口和前I/O等特性，支持即插即用和同侧运维，可大幅提升运维便捷性。

1.4 整机柜服务器起源及技术演进

整机柜服务器可以是一种较为单纯的交付方式，即通用化的服务器与标准机柜简单的机械组合，两者的本体基本保持不变。机柜对服务器只起承载、固定的作用，负责配电的PDU也挂载在机柜上的特定区域，但并不属于机柜本体的一部分，三者之间除了尺寸、位置之外没有其他约束或耦合关系。

这种整体交付方式相当于将服务器上架的过程从数据中心现场转移到条件通常更完备的工厂里完成，也可以算是一种预制模块化。对服务器保有量在十万百万台量级、需要一次在一个数据中心部署成百上千台服务器的超大规模用户（hyperscaler）来说，服务器部署的颗粒度从一台上升到几十台，交付速度提升可达10倍。

同时，与分别运送（空）机柜和（机架式）服务器进入机房，然后再组装到一起（上架）相比，部署整机柜服务器对数据中心的地面承重、电梯、通道设计等场地元素也提出了更高的要求。

更进一步，扩大到机柜的尺度上看待服务器，即把机柜及其中的服务器节点作为一个整体来设计，实现基础设施（如供电、散热）和/或ICT资源（如CPU、GPU、内存、存储）的集中、池化，这样的整机柜服务器就成为一种产品，即实现产品化，而不仅仅是一种交付方式。

1.4.1 整机柜服务器发展简史

现代意义上的整机柜服务器可以追溯到Google在1999年部署的“软木板服务器”：每个机柜分为20层，每层是一个软木板(Corkboard)承载4个单路“服务器”主板并配备8个PATA硬盘，通过电源连接器共享一个400W(瓦)电源模块，每个机柜的后门上安装60个风扇，它们再共用2个电源模块(PSU)。

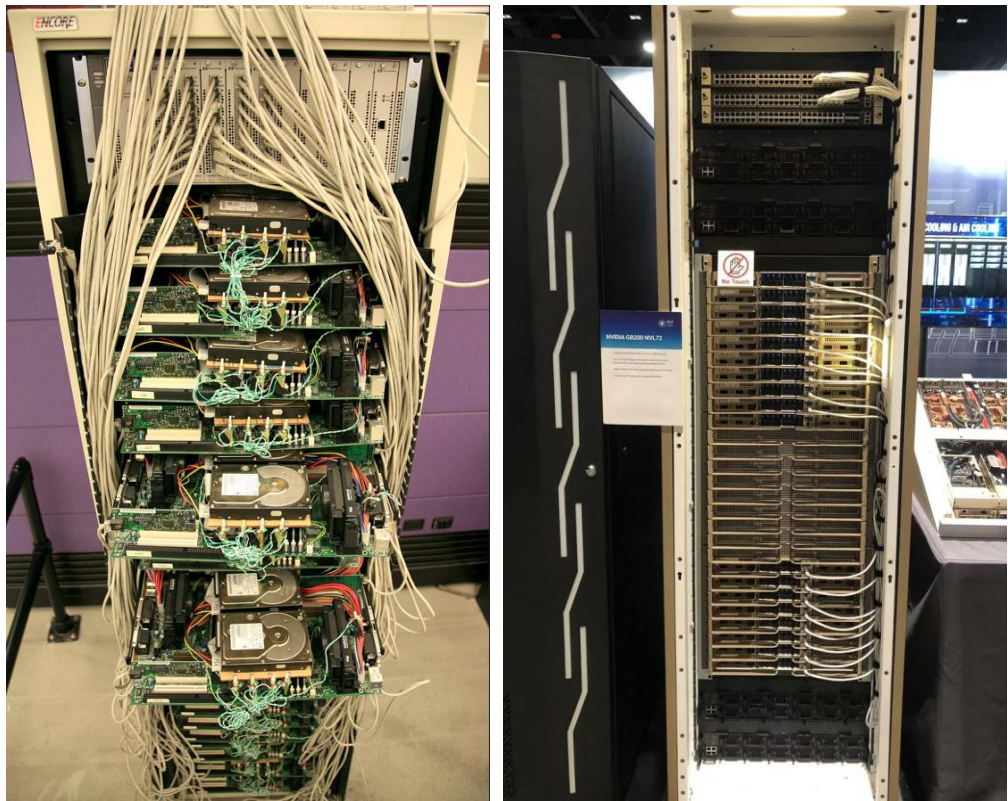


图1-2（互联网行业）整机柜服务器开山之作“Corkboard Server”以及其2024年最炙手可热的传承者GB200 NVL72

Google临时CEO Larry Page参与了“软木板服务器”的设计，每机柜80台单路服务器，21个机柜共1680台，使得Google的服务器规模在一两个月内暴涨15倍，甩开了包括Inktomi在内的一众搜索竞争对手。

用户深度参与产品设计，架构共享供电和散热。纯靠“手搓”的“软木板服务器”，在核心理念上开了行业风气之先。

随着互联网和云计算行业的蓬勃发展，整机柜服务器在2010年代掀起了第一波热潮，可以进一步细分为三个阶段。



图1-3 开放整机柜服务器发展重要时间线

一、形态探索阶段

2010年代的前半程可以认为是开放市场上整机柜（服务器）发展的第一个阶段，云服务商（CSP）们合纵连横，争相把机柜装满。

2011年，Facebook（现Meta）牵头成立开放计算项目（Open Compute Project, OCP），BAT（百度、阿里、腾讯）也共同发起了天蝎项目（Project Scorpio）。

这时x86 CPU的功率还不高，HDD（机械硬盘）也相当主流，整机柜服务器的一条路线是增大机柜内部的可用空间，以容纳更多的服务器和存储节点。

OCP的第一版机柜规范叫Open Compute Rack V1，就是Facebook当时在用的19英寸三联柜（Triplet），宽度比三个并排的EIA 310规格机柜（600mm×3）略窄，为1713mm。高度47U，可容纳30个1.5U服务器（共45U）和交换机。一组三联柜装满90个服务器后总重近1200公斤，两组三联柜中间共享一个铅酸电池柜。

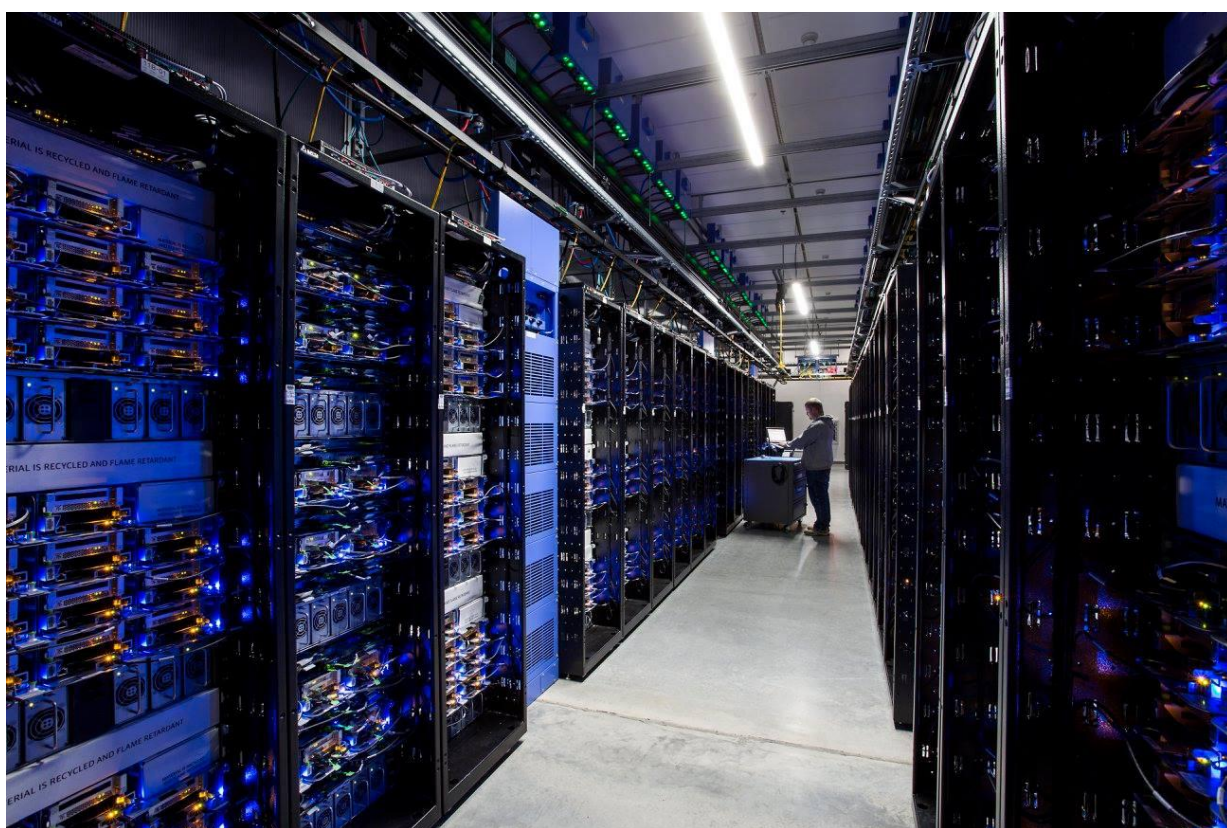


图1-4 Facebook数据中心曾经采用2个三联柜共享1个铅酸电池柜的布局（2014年，Altoona Data Center）

2012年公布的Open Rack 1.0规范把机柜内部的宽度扩大为21英寸（538mm），横向空间的实际利用率提高近20%。单位高度也放大到48mm，名为OpenU（OU），分为3个供电区，每个供电区13 OU，再加2 OU交换机，共41 OU。

12V直流集中供电是Open Rack V1架构上的另一特点，每个供电区的下方3 OU是电源框，通过3根在机柜后端（横向）对称分布的铜排（Busbar）为上面10 OU空间内的IT设备供电，整个机柜共9段铜排。配套的第三代OCP服务器为2 OU并排3个双路节点的设计（与铜排一一对应），机柜装满可达45个服务器节点，比之前的单柜增长50%。

Open Rack V2 (ORV2) 的主要变化也是在供电架构：

- 铜排只保留位于正中间的1组 (3→1) ；
- 供电区由3个减少到2个；
- 供电柜内除了PSU，还有BBU（电池备份单元），用分布式的锂电池替代铅酸电池柜。

天蝎2.0也采用了内宽21英寸、集中供电的设计，但在三个方面与Open Rack (V2) 有较大区别：

- 每U高度：在标准Rack U (RU, 44.45mm) 的基础上增加了2mm，达到46.5mm，命名为SU (Scorpio rack Unit)，比OU少1.5mm；
- 铜排位置：机柜后方（正面视角）靠左，且不与ORV1中靠左的铜排重合；
- 集中散热：节点不配风扇，通过机柜后方的风扇墙散热，每4U高度安装3个140×38 (mm) 的风扇，能够以1U为单位固定或调整上下位置。风扇墙的设计，与Google的“软木板服务器”遥相呼应。

2014年，微软携其开放云服务器（Open Cloud Server，OCS）加入OCP，并迅速公开了第二版。OCS采用适配19英寸机柜的12U机箱，和天蝎整机柜一样采用集中供电、散热（风扇）、管理的架构，但其整体风格更接近传统的刀片服务器，支持多达24个半宽的计算或存储（JBOD）刀片，放满一个机柜可达96台双路服务器。



图1-5 多元化发展阶段的整机柜服务器

（自左依次为：Project Olympus Rack、Open Rack V2、天蝎2.0、Open19、OCS）

二、 多元发展阶段

2016年，开放生态中的整机柜玩家和体系得到进一步扩充。既有向前看，也不乏回头者，进入了多元化的第二阶段。

几乎与AlphaGo大战李世石同时，Google亮相OCP美国峰会并宣布（已经）加入OCP。作为互联网基础设施与人工智能（AI）领域的先行者，Google带来了其48V供电架构，可以帮助Open Rack提高供电能力，为芯片功耗的攀升做好准备。

LinkedIn（领英）高调推出Open19项目与被微软收购几乎同步发生，但保持相对独立运作，似乎并未影响Open19的技术走向。正如其名，Open19立足19英寸机柜生态，8U或12U的机箱选项和全宽/半宽节点设计都与微软OCS有相似之处，增加了双倍高度选项而不集中风扇，最关键是集成功电的方式不同——节点的电力和网络连接都通过特制的电缆提供，据说可以较为显著的降低网络成本。LinkedIn认为Open19更适合中小型（互联网）公司，但这种架构与其他的19英寸服务器方案都不能直接兼容，自成体系同样需要有足够大的规模作为保证。

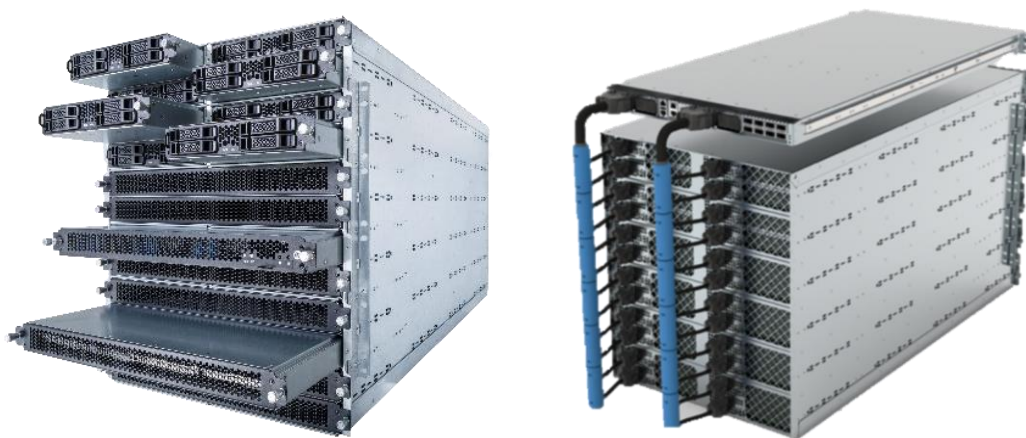


图1-6 Open19的类刀片架构及盲插网络线缆方案

微软的思路确实与LinkedIn不同，在2016年早些时候公开了Project Olympus——一个高度兼容EIA-310规范的19英寸机柜及服务器体系。在广泛使用的19英寸机柜基础上，微软加入了集中供电和管理的元素，体现为固定在机柜左侧后方集成了RMC（Rack Management Card，机柜管理）的PMDU，不集中PSU和风扇，仅保留了集中管理。PMDU在机柜上的相对位置与OCS、天蝎2.0类似，支持（服务器/存储等）节点盲插，方便部署和维护。

可以认为，Project Olympus是传统19英寸EIA-310体系的一个运维优化版。很重要的一点是满足云计算的业务要求——譬如全球部署。随着云计算业务的遍地开花，仅凭自建或定制的数据中心很难快速满足客户的需求，必然要使用相当比例的第三方数据中心。定制化程度过高的整机柜服务器，需要数据中心协同设计才能提供很好的支持，而大部分第三方数据中心设定的服务对象仍然是EIA-310体系的标准机柜，于是尽可能的兼容EIA-310又成为云服务商的优先选择。



图1-7 Project Olympus的PMDU接口

三、兼收并蓄阶段

2019年前后，相对传统的EIA-310机柜生态“回流”之势渐显。

曾用名“Converged Open Rack Frame”的Open Rack V3 (ORV3) 体现了融合的 (Converged) 的野心。一款能够适配开放社区内不同需求的通用机柜 (common rack frame) 是ORV3的首要目标，具体说来就是在几个关键环节提供了可选项，让用户和供应商可以根据实际需求灵活选择原本属于EIA-310或定制路线的特性，如：

- 高度单位可以是48mm的OpenU (OU) 或44.45mm的常规RackU (RU)；
- 机柜高度由41 OU增改为44 OU或48 (R)U；
- 线缆管理系统和后部数据线缆均为可选项；
- 机柜侧板增加了可用于安全考虑的选项；
- 支持安装机柜前后的安全门；
- 供电框 (Power Shelf) 和BBU成为独立组件，可以位于机柜中的任意位置——只要能连上铜排。

其中一些特性，早已有类似OBR (Open Bridge Rack) 等社区方案可以提供，进入Open Rack V3的意义在于，那些曾经从EIA-310方案上拿掉的东西 (如机柜前后门)，现在又可以装回来了。一个与节点松耦合，既支持传统EIA-310配置、又支持不同定制选项 (包括19英寸和21英寸) 的机柜规范，是迈向“兼收并蓄”的关键一步。

中国的三大互联网和云计算供应商也集中拥抱19英寸生态：

- 百度发展“支持21英寸，兼容19英寸”的天蝎3.0；
- 阿里巴巴宣布“方升”开放项目，在19英寸服务器基础上改进PSU、I/O线缆的维护放到前端，支持整机柜集成交付；
- 京东云“天枢” (JDCloud Rack) 整机柜服务器继承了天蝎2.x的SU和铜排设计，但也可使用标准PSU或对接铜排的电源转换模组，采用风扇后置的19英寸节点并支持冷板式液冷、前后I/O灵活配置，堪称19英寸体系的集大成之作。

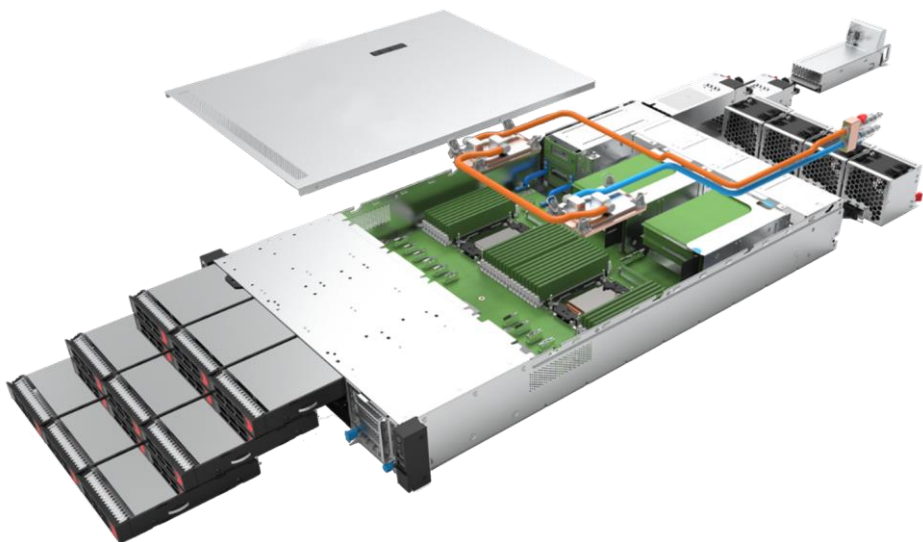


图1-8 天枢服务器节点兼容设计方案

（液冷兼容/集中供电兼容/I/O前出线兼容；风扇后置可以降低对硬盘的影响，也便于维护）

第三阶段可谓承前启后。

虽然是开放的生态，一套整机柜服务器规范体系要获得更多超大型用户的支持，也需要做出很大的调整。

以开放计算项目的Open Rack为例，作为OCP创始成员之一的Facebook（Meta）是其基本盘，广泛部署Open Rack机柜以提高数据中心的密度和能效，同时降低成本。

Google是Open Rack的另一大支持者，但是ORV3的Google实现，与Meta有着很大的区别，首先就是机柜的内外尺寸全然不同。谷歌数据中心里的机柜布局具有多项特点，包括采用定制的48V供电POL服务器、将48V电源插框放置在机柜顶部、48V锂电池放置在机柜底部等，着眼于支撑未来单机柜功率密度的增加，并提高整个数据中心的能效。

在追求单机柜密度的领域如超级计算机（超算），这种采用非通用机柜尺寸的例子更多，典型如TOP500最新榜单前10名中有其7的的HPE Cray EX，支持多种处理器架构和加速器选项，采用冷板式液冷技术。

表1-3 整机柜分类对比表

项目名称	天蝎 2.x	天蝎 3.0	京东云天枢	Open Rack V2	Open Rack V3	OCS	Project Olympus	Open19
机柜内宽/设备宽度	21 英寸	21/19 英寸	19 英寸	21 英寸	21/19 英寸	19 英寸	19 英寸	19 英寸
单位高度	46.5mm(SU)	SU	SU	48mm(OU)	OU/RU	RU	RU	RU
机柜内空间/设备高度	40+ (S)U		40+ (S)U	40+ (O)U	40+ (O)U	12 RU	40+ RU	8/12 RU
集中供电	√		可选	√	可选	√	× (PMDU)	√
48Vdc		√	√		√		N/A	

表1-3续 整机柜分类对比表

项目名称	天蝎 2.x	天蝎 3.0	京东云天枢	Open Rack V2	Open Rack V3	OCS	Project Olympus	Open19
集中风扇	√		×	×	×	√	×	×
液冷选项		√	√		√			√
集中管理	√			×		√	√	×
机柜门	×		×	×	可选			
后出线	×		可选	×	可选			

1.4.2 整机柜服务器典型技术路线

回顾2010年代开放整机柜服务器的发展史，可以着眼在以下几个方面：

一、 机柜本体：

除少数玩家如Google外，机柜的外部尺寸都落在600mm宽、高度2.2米上下、深度1~1.2米的范围，变化主要在内部的可用宽度和单位高度（U高）：

- Open Rack和天蝎努力拓宽的21英寸，并没动摇19英寸的主流地位；
- 伴随21英寸出现的OU和SU，与传统RU相差较大的OU，最终选择了与RU并存（ORV3），倒是较为接近的SU，在有些场景下替代了RU。

显然，向21英寸的努力丰富了机柜生态，但“传统”仍需保持。

“池化”则是整机柜服务器作为一种产品的核心要件，基础设施层面的池化意味着服务器（节点）上的部分或全部相应功能要向机柜转移，深化彼此间的依赖关系。

二、 供电：

电源（模块）的池化，或者说集中供电，可以说是机柜与服务器融合的首选落脚点。通过把节点上功率较小但总数较多的PSU，替换为机柜上数量较少、单个功率更大的PSU，有降低（不必要的）冗余和故障点、改善能效等好处。

以32个1U节点的天蝎2.0整机柜为例，按每节点有2个PSU（1+1冗余）计算，总数64个；转移到机柜的电源框里最多10个PSU，N+N或N+1冗余。不仅PSU的数量减少80%以上，而且大功率的PSU通常具有更高的能效。

PSU集中到电源框通过后置铜排供电的方式，在机柜前端即可实现节点上下电（盲插）和电源模块的维护，运维便利性也要超过Project Olympus这种PSU仍分布于各节点中的设计。

三、 管理：

电源集散地是管理的关键节点，电源框中可以安装PMC（Power Management Controller，电源管理模块），或者功能更为全面的RMC（Rack Management Controller，机柜管理控制器）。微软Project Olympus也在PMDU中集成了RMC。

四、 散热：

在风冷时代，把节点内的风扇取消，集中到机柜上形成风扇墙，在整机柜服务器的众多流派中，占比并不高。理论上，少量大风扇比大量小风扇更节能，噪音也更低；而在实践中，这种做法对节点形态的影响较大。

没有采用集中散热方案的Open Rack更偏爱可以使用较（1U）大风扇的2（0）U节点，计算节点用2U3（配3铜排）的做法提升密度，存储节点（OpenVault）则是里面的硬盘托架分上下两层，相当于2个1U节点共享2U机箱的80mm风扇。ORV2时代更是推出了4（0U）的存储服务器，后部“外挂”4个92mm双转子风扇，维护便利性可以媲美（天蝎整机柜）风扇墙上的140mm风扇。

由于节点内不用布置风扇，在相当长一段时间内，天蝎整机柜的计算和存储节点都是1（S）U规格，提高部署密度简单直接。

但是风扇墙的设计不能很好的化解局部热点，应对较高功率的节点也颇感吃力。作为参照，形态上可以算是OCS“后来者”的Open19，不仅集中供电还集中了网络（线缆），却没有集中散热（风扇）。

不过，“风水轮流转”或许适合形容来到液冷时代的集中散热。就冷板式液冷而言，在风液混合的状态下，虽然每个节点仍可保留内部的风扇，但大部分热量会由冷板内的液体带走，这些液体都要流经固定在机柜上的分集水器（Manifold，供回歧管）。集中散热成为液冷整机柜服务器上的事实存在，而整机柜交付方式也更适合液冷服务器的（规模化）部署。



图1-9 天蝎2.0架构支持集中供电、集中散热、集中管理

五、 ICT资源：

在ICT层面，资源池化的一个体现是节点间的分工，譬如CPU节点、GPU节点、存储节点（HDD/SSD）都已不同程度的实现。难度比较大的是内存的池化，CXL（Compute eXpress Link）正在解决这一问题，而把HDD、SSD、GPU从服务器（节点）中拿出来，组成单独的JBOD、JBOF、JBOG节点，与CPU节点协同工作，就要简单一些。

GPU（及其内存）资源的池化已经成为业界的热点，有望把整机柜服务器推向新一波热潮。以英伟达为例，其通过高速的NVSwitch互连多个GPU，在服务器节点级（目前不超过10U）的DGX/HGX方案中，这个互连的范围是8个GPU；而在机柜级的GH200/GB200方案中，这个互连的范围可达32~72个GPU。

2023年5月底发布的NVIDIA DGX GH200，最初版本是基于Open Rack的风冷方案：每个机柜上有2个宽度538mm（21英寸）、15 OU高的机箱，各有8个GH200计算节点和3个NVLink Switch节点，后部正中有通过铜排取电的接口。

半年后迭代到NVIDIA GH200 NVL32，看来是基于ORV3的液冷整机柜方案：机柜后面中间是供电铜排，液冷Manifold左右相对靠边对称布置；16个双GH200计算节点与9个NVLink Switch节点通过后部的铜缆互连，共32个GH200 GPU和32个Grace CPU。两个电源框分别位于节点区的上方和下方，宽度略宽，就像21英寸与19英寸之间的差别。

2024年3月发布的NVIDIA DGX GB200 NVL72芯片数量和功率暴涨，18个（1U高的）双GB200节点共有72个GB200 GPU和36个Grace CPU，整机柜功率随之来到132kW（千瓦）。大规模AI集群不断增长的性能需求，要求机柜内有更多的GPU/加速器且互连为有机的整体，叠加单个芯片的功耗增长，液冷已经成为必选项，从业务到基础设施，都是整机柜的利好消息。

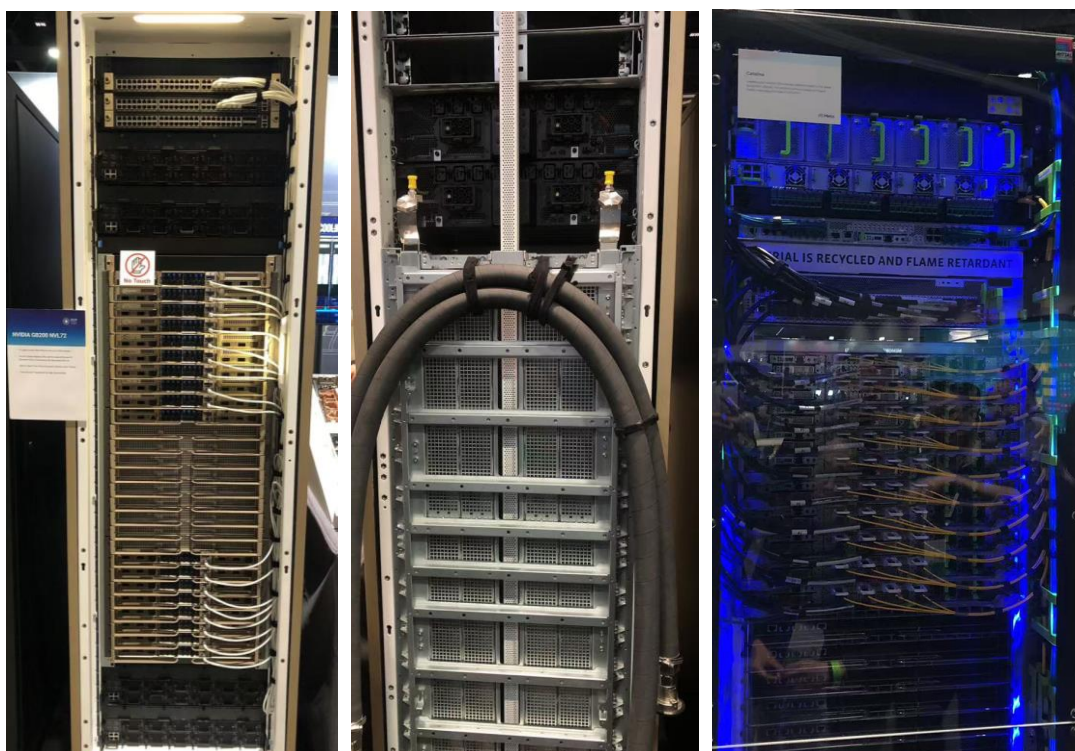


图1-10 同样基于ORV3体系的GB200 NVL72和Meta Catalina AI Rack

1.5 液冷及 AI 的发展进一步推动整机柜服务器产业进程

前面提到，液冷服务器天然适合整机柜方式交付，而在实际上，整机柜和液冷技术的共同点或曰结合点，不止于此。

作为一类产品的整机柜服务器，最成功的特征是供电池化，而目前主流的冷板式液冷也需要机柜级的池化组件如Manifold（还有分布式CDU）。集中供电的整机柜和（集中散热的）液冷不仅会改变服务器的设计，对数据中心基础设施也有不同的要求。因此，在2022年以前，对大多数用户而言，采用整机柜和/或液冷的代价和收益（如快速交付、提高能效）主要集中在基础设施层面，推动力更多来自较大规模用户的节能降本诉求和以“双碳”为代表的国家政策要求。

国内互联网、金融等行业及大型企业的数据中心面临节能、部署密度、管理、交付等一系列问题，整机柜服务器因具有提升供电系统效率，增大部署密度以及缩短交付时间等优势，在大规模数据中心占有了一席之地。而液冷技术不仅在节能方面表现出色，还能有效降低数据中心的运营成本。液冷系统相比传统风冷系统，能够显著提高电能利用效率、降低数据中心的PUE，在保证高效散热的同时，减少能耗和运营费用。

随着液冷技术和整机柜服务器的推广应用，用户群体逐渐向更广泛的行业延伸。除了传统的互联网公司，如BAT、京东等，通信和金融领域的头部用户也纷纷加入液冷整机柜服务器的应用行列。中国移动、中国电信和中国联通等通信巨头，积极推动液冷技术在5G基站和核心路由器中的应用，已经取得显著成效。金融行业的代表，如工商银行等，也开始尝试在高密度数据中心中引入液冷整机柜服务器方案，以期在保证高性能计算的同时，实现节能减排的目标。

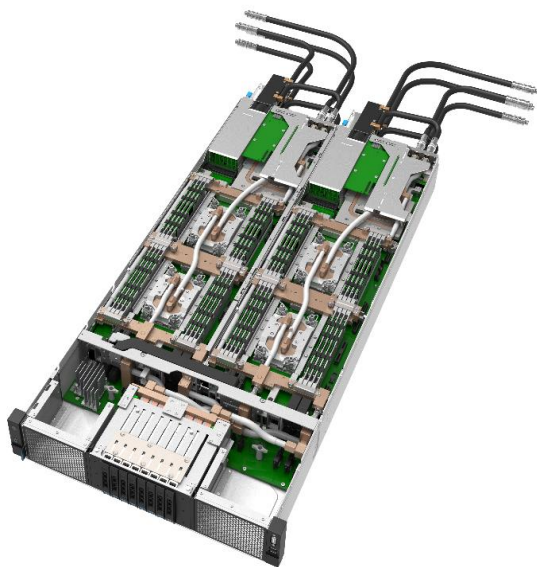


图1-11a 冷板式液冷方案



图1-11b 浸没式液冷方案

整机柜和液冷的另一个结合点是高部署密度，因为整机柜服务器的特征之一就是机柜内的空间要尽可能的用于部署服务器，理论上的很多优点才能体现出来（越满越好）；而随着芯片和机柜功率的增长，液冷技术的必要性也就愈发凸显。以核心算力部件如处理器和GPU来看，单颗CPU芯片的设计功耗已经达到500W，单颗GPU芯片的

功耗则超过1000W，未来还将继续增长。芯片功耗的不断攀升使得传统风冷系统难以满足散热需求，而液冷技术利用液体的高比热容和换热能力，可以高效地从这些核心部件中移走热量，确保系统的稳定运行。

在这种情况下，整机柜服务器的功率也水涨船高，进一步加速了液冷技术的应用推广。

2023年开始达到新一波高潮的人工智能（AI）表明，上层应用需求正在成为整机柜和液冷技术应用的主要推动力。在持续增长的AI算力需求驱动下，不仅单个GPU或加速器的功耗上升，单个机柜所能容纳的芯片或服务器节点，也是多多益善。尤其是以Nvidia DGX GB200 NVL72为代表的液冷整机柜方案，单机柜内超高的GPU算力部署能够有效降低GPU间数据传输时延，大幅优化GPU集群协同性能，是大模型训练GPU集群的必然选择，成为新的整机柜服务器的发展方向。

整机柜服务器的集中供电、散热（液冷）等特性，在基础设施（Infrastructure）层面有降本增效、绿色节能等优势，同时对数据中心的场地（Facility）条件提出了更高的要求。随着AI应用的兴起，其高功率芯片、大规模集群等特征，从上层业务需求的角度，与液冷整机柜服务器能够提供的高密度供电能力和优越散热性能完美契合，已成为整机柜服务器继续向前发展的主要推动力。未来，随着ICT资源池化技术的日趋成熟、液冷产业生态的不断完善、标准化进程的推进和第三方认证的发展，液冷通算及AI整机柜服务器将在更多行业和应用场景中发挥重要作用，为我国数字经济的发展提供坚实的基础。

2 整机柜服务器产业需求及技术分析

2.1 整机柜服务器产业需求及典型场景分析

从上文中整机柜服务器的发展历史可知，现代意义上的整机柜服务器源自于行业头部用户的需求，属于一种典型的面向规模化交付、部署密度增强、成本和能效优化的产品形态。行业大型头部用户以及目标部署场景的定向优化需求，对于整机柜服务器的产品技术和形态的发展具有决定性的意义。

根据采购规模和创新理念的差异性，我们将整机柜服务器的典型用户划分为两大类型：第一类为互联网头部用户和云服务提供商（CSP），这类用户赋予整机柜服务器颠覆性技术创新的特质；第二类为通用行业头部用户和互联网领先用户，这类用户则赋予整机柜服务器兼容性技术创新的特质。

在典型场景上，我们选取了AI和HPC这两个对于密度和单机柜功率有着同样极致需求，集群性能与单机性能同等重要的典型场景，相较于传统的HPC，无疑AI将是推进整机柜服务器全新形态发展的重要源动力。

2.1.1 互联网头部用户及大型 CSP 用户需求分析

头部互联网及大型CSP用户往往具有领先的规模化、集中化数据中心基础设施，其算力设备采购规模巨大，业务模型收敛。在需求层面往往会采用高度定制化的策略来追求底层算力设备与其业务场景、数据中心环境、运维的极致贴合。对于能带来业务收益的新技术尝试积极性最高，在整机柜服务器的产品技术发展中，起到了技术牵引和实践引领的角色。

对于头部互联网公司和云服务提供商而言，整机柜服务器最初仅仅是众多面向业务和场景的可选产品形态之一，整机柜服务器如何在众多产品形态中脱颖而出，成为头部互联网用户的首选，我们可以从业务适配性、设计成本、部署密度、形态兼容性、运维便利性、运营成本几个核心维度进行分析：

1) **业务适配性**：这是头部互联网用户和大型CSP的考量重点。结合上层业务应用场景，对产品配置进行收敛，适当考虑未来一到两年的业务发展扩展性，形成计算、I/O和存储的基础规格，最大限度的减少规格浪费，实现产品规格与应用规格的一致。体现在整机柜服务器的需求上，反映到节点的规格配置上，OCP Open Rack的1/3宽2OU节点，面向计算场景，大幅精简I/O扩展和存储扩展，实现Meta早期业务场景的匹配就是一个典型的实例。天蝎整机柜服务器，在1 SU高度下，扩展服务器节点宽度，精简I/O扩展数量，支持更高密度的硬盘，来实现早期百度搜索和云盘业务场景的匹配。此外，如果将视角移到现在，在大模型蓬勃发展的当下，对于AI算力的爆炸式增长需求，加之AI训练集群集中性偏好的特点，开始了AI整机柜服务器的定向优化。

2) **设计成本优化**：满足产品规格和应用规格的一致性，最大程度减少规格浪费同样也是成本优化的有效手段。此外，通过提取共性功能，实现资源池化，从而降低部件数量，同样也是优化L6成本的有效手段。这需要配合架构的优化调整，而这也是整机柜形态最初演化的决定性因素。比如延续至今的集中供电的电源池化方案，比

如风扇墙形式的共享风扇方案。另外，去除所有与产品功能无关的内容，实现产品设计极简化的同时也是手段之一。

Open Rack最初的计算和存储节点，去除前窗，网口裸露在外，状态上近似工程样机，将这种理念发挥到极致。

3) 部署密度提升：部署密度提升往往与交付效率和机柜组件成本均摊彼此渗透。一方面，单机柜内部署服务器节点数量越多，相应的机柜、电源框、供电铜排等共享组件的均摊费用也就越低。单机柜部署密度提升，同等面积的数据中心，可以部署更多的服务器设备，则数据中心建设均摊也相应大大降低。另一方面，单机柜服务器部署密度提升，在一体化交付时，交付效率也会同比例提升。在早期的开放整机柜服务器产品上，密度提升的追求压缩了服务器节点的高度空间，作为补偿则带来了产品横向尺寸上的扩展，诞生了21英寸的服务器节点形态。

4) 形态兼容性：可以提升产品的组件复用性，扩大产品的适用场景，从而实现成本和供货周期的优化。但也会带来诸多限制，因为要兼容，因而在面对特定的场景时，往往无法做到极致优化。对于形态兼容性的关注程度，也是头部互联网用户和大型CSP这一整机柜服务器用户群体显著有别于其他用户的一个特征。由于采购体量的支撑，这些巨型用户往往可以把兼容性放在一个不太重要的位置上。比如21英寸的服务器节点、大功率的集中供电电源、供电铜排接口、前I/O等等特性，对传统的IT机柜基本没有兼容性可言。

5) 运营成本优化：运营成本包含了运维便利性、散热效率、供电效率三方面的内容。当数据中心规模迅速扩展，设备保有量急剧增加时，运维的便利性，将会变得非常重要。服务器节点盲插、核心组件热插拔、冷通道维护如前I/O、电源模块前维护等运维便捷提升设计，都需要在架构层面和硬件设计上来实现。而固件操作界面和数据协议的一致性、故障诊断定位分析准确性、集中管理等功能则需要固件来实现。散热效率决定了生命周期的系统能耗，散热方案的优化，除了能够支撑更高性能的处理器的配置之外，在特定处理器配置下，能够大幅降低系统散热功耗，对于降低运营成本尤为重要，风道优化、风扇调控策略优化、高热传导率的材料选择和散热器方案优化都有助于优化系统散热功耗。风扇的选择也是一个重要因素，比如Open Rack的2 OU节点设计，除了密度和扩展性考量，风扇的选择也是一个重要因素。国内的天蝎，则选用了风扇墙，大扇径、低转速的共享风扇，在系统散热能耗的降低上，也起到了非常显著的作用。提升系统电源的供电转化效率，则是直接优化系统功耗的重要手段。通过电源池化，提升单电源模块供电功率，一方面有助于大幅缩减电源数量，同时也使得电源转化效率提升更有价值。

以上各个方向的优化，由专业的技术团队在服务器配置收敛的前提下，通过定制优化和规模化采购落地业务场景收益，才能够形成正向业务闭环，赋予整机柜服务器长久的生命力。



图2-1 作为整机柜服务器最早期的用户之一百度积极推动天蝎整机柜服务器的批量部署

头部互联网公司和云服务提供商对于整机柜服务器的研究可以回溯到2010年前后，爆发性的业务增长，促使头部互联网用户出于对未来业务乐观的发展预期，开始进行自建数据中心和算力设备形态创新变革的思考。

2009年，Meta（当时公司名称是Facebook）的业务突飞猛进，服务器需求量激增，因此开始重新思考服务器应该如何承载其指数级增长的数据，并有效控制成本和能耗。于是，Meta启动了首个自建超大规模数据中心的项目，计划建设出世界上能效利用率最高、具备空前扩展性和极致经济性的数据中心。在经过细致的论证、比较之后，结合Meta其时的业务诉求，Open Rack整机柜服务器的产品形态，开始进入孵化进程。

无独有偶，同样在2009年，腾讯也开始启动其最早的自建数据中心，而对于整机柜服务器的需求，则源自于腾讯对于未来业务增量所带来的服务器爆发性采购的交付焦虑，为了避免一年中大部分时间都在疲于应对海量的服务器设备交付，迫切需要一种在原生架构上更加简化，并且支持一体化快速交付的产品形态。另一家整机柜服务器的最早用户，也是后来国内的最大用户百度，则在2011年开始启动其阳泉数据中心的规划和建设，如何实现基础设施的联动优化，满足贴合业务、成本优化、交付运维高效、运营经济全方位要求，在经过多种服务器形态收益论证之后，百度的目光也聚焦在整机柜服务器上。

由此可见，采购规模庞大、业务场景聚焦、自建或合建数据中心、专业的ICT设备技术团队是整机柜服务器最初用户群体的典型特征。

在国内最早开展整机柜服务器研究并实现批量部署的用户中，中国移动无疑是非常独特的存在。伴随着业务的发展和变化，中国移动整机柜服务器的研究和应用，涵盖了从21英寸风冷到19英寸风冷，再到21英寸液冷的全部形态，我们以中国移动为例，来梳理业务的发展对于产品形态选择的影响。

早在2013年中国移动就开始开展整机柜服务器的技术研究，并在2014年与国内互联网大客户和系统厂商共同进行国内最早的整机柜服务器的技术规范《天蝎整机柜服务器技术规范》的编制工作，推动了国内早期整机柜服务器的产品形态和技术规格的统一。

2016年，中国移动开始启动整机柜服务器的试点部署，一次性批量采购超过100柜近3000台服务器节点。首批应用试点主要集中在“计算型”和“存储型”两类业务模型，均采用1U节点形态，围绕一体化交付、现场工程化部署界面分工、机房运输/供电/散热环境适配改造、交换机集成及并柜等开展试点，并在业务上线后持续进行能耗、业务稳定性的检测，从而积累了整机柜服务器应用的丰富经验和翔实业务数据。

随着移动云业务的快速成长，所承载的场景愈发丰富，对于服务器的扩展性和均衡性要求进一步提升，以1U节点形态为主的早期整机柜服务器标准，难以匹配最新的业务需求。在此背景下，2019年，中移信息技术有限公司采用更为灵活的“通用服务器形态预制集成交付”的业务模式，在湖南和河北数据中心集中部署共计近3000台各类节点。



图2-2 中国移动推动“通用服务器形态预制集成交付”试点

结合业务发展需要及前两次整机柜服务器的试点应用经验，自2019年开始，中国移动开始推动业界共同开展面向运营商通用云场景的整机柜服务器开发工作，在保留整机柜服务器集中供电、集中管理高效特性的基础之上，提升服务器节点的扩展能力和适配灵活性，并联合行业伙伴推出标准宽度的2U、4U解耦服务器节点、供电转接模组及标准化机柜，显著提升了整机柜服务器的适用场景。

而随着双碳目标的提出，CPU、GPU核心算力芯片功率密度的大幅提升，以及各地节能产业政策的陆续出台，中国移动开始将目光聚焦在液冷散热方案与整机柜服务器的有机融合和标准化生态的建设上。2023年6月中国移动联合国内另外两家运营商及液冷产业链的相关代表企业共同发布了《电信运营商液冷技术白皮书》，开启了液冷整机柜服务器技术推广和应用的序幕。2024年，中国移动牵头启动液冷整机柜服务器的技术规范制定工作，并同步推进运营商液冷整机柜服务器的标准化和产业化工作。在服务器节点的技术规范定义时，强调液冷服务器节点扩展性和液冷基础设施成本均摊的经济性，选用了1U 21英寸的节点形态。在液冷机柜的技术规范定义上，强调绿色低碳特性和灵活性，液冷门能够进一步降低数据中心的散热要求，分布式CDU则进一步提升了部署交付的

灵活性。在服务器节点和液冷机柜的接口界面上，则强调标准化解耦、部署及运维的便捷性、通用性，液冷盲插接口、供电盲插接口可以显著提升部署和运维的便捷性，标准网络的采用则大大提升了服务器节点的通用性。

2.1.2 通用行业头部用户及互联网领先用户需求分析

通用行业头部用户及互联网领先用户，在ICT设备采购规模上较头部互联网及云服务提供商有一定差距，往往对于头部用户新技术、新产品的示范性应用密切关注，对于创新形态的产品，需要经过充分的论证，从而形成了一套完整的产品收益模型后，才会跟进采购部署。

在互联网行业的早期竞争中，商业模式和盈利模式的探索贯穿其中，在这些领先的互联网用户成长为某一领域的TOP1，取得绝对的份额领先优势，且探索出稳定可持续的商业盈利模式之前，往往存在着较大的不确定性，因而往往更倾向于轻资产的投入模式，会采用租赁数据中心或者直接租赁云服务的形式来支撑应用部署。租用数据中心机架，采购通用服务器设备进行填充或直接购买更加灵活的云服务，足以支撑其早期业务需要。整机柜服务器这样面向场景优化的产品形态，在其业务完成“打怪升级”之后，方才进入其重点考量目标。

整机柜服务器在通用行业头部用户的部署进程，较互联网行业存在阶段性的延后。在头部互联网用户及大型CSP已经开始批量部署整机柜服务器时，通用行业头部用户的ICT设备保有量及年采购增量仍然较为有限，专业的硬件设备选型团队规模较小，限制了定制化产品的研发和引入。部分通用行业头部用户的数据中心或机房建设较早，但往往规划前瞻性不足，甚至相当一部分用户的机房由其办公大楼分隔而出，货梯和机房入口并未面向整机柜服务器优化调整，地板承重也未定向强化，单机柜的供电和制冷功率密度都比较低，偏向于传统的服务器部署形态支持，相较整机柜服务器在运输、承重、供电、制冷等方面的苛刻要求，往往存在一定差距。

随着云计算的进一步普及，上述的用户群体采购规模得到快速提升，开始了自建、合建或者对既有的数据中心的改造扩建，整机柜服务器的产品形态也得到了更多的关注。

以头部金融客户为例，工商银行早在2014年前就建成了“两地三中心”的数据中心架构。随着业务数字化和智能化的发展，随着云计算技术的成熟和进一步落地，工行业务对于底层算力的需求相较最初的规划有显著的增长。得益于早期数据中心规划时就使用了差异化的功率密度设计，分别规划建设了低密度机房、中密度机房、高密度机房区域，其中高密度机房功率密度达到5.0KVA/平方米，为后续的算力高密部署提供了前瞻性的基础。

结合基础设施特点，工行数据中心在设备选型上，对底层IT设备进行细分规划，实现了计算、存储业务的机型分离。在“高密服务器部署”部署区域，匹配了近15kW的单柜供电功率，充分挖掘了基础设施的算力承载潜力，实现了算力的高密部署。

自2020年以后，工行IT算力需求增长保持高位；AI服务器功耗的提升，传统的风冷散热技术已经不能满足散热需求；此外2020年双碳目标的提出，各地方政府陆续出台数据中心PUE要求。在多重因素的交织之下，液冷技术路线正式纳入工行IT基础设施建设规划之中。

在早期液冷技术的研究和探索方面，工行走在了银行同业的前列。早在2019年就开始部署液冷服务器，进行测试和试点。在进行了不同液冷技术路线的充分的比较和测试之后，结合既有数据中心的改造评估，工行最终确定了冷板式液冷方案。为此工行数据中心实施了数据中心的液冷改造，开辟出独立的液冷机房区域。

最初的液冷机型试点，延续了计算、存储分离的产品形态规划，液冷方案所带来的节能效应，进一步提升了单机的算力部署密度，提升到惊人的每机柜80台计算节点。传统的供电、液冷和网络线缆形态，给现场的工程化部署带来巨大的挑战。因而在产品规划需求中，能够大幅降低线缆数量，提升部署和运维难度的盲插方案成为优选方案——一切入到整机柜服务器的产品形态上来。

从工行整机柜服务器的需求过程演化来看，几个因素尤为关键：

- a) IT算力设备快速增长；
- b) 数据中心前瞻性的分区规划；
- c) 液冷方案的落地促成了部署密度的显著提升；
- d) 早期高密机型部署所积累的运维经验。

2022年，工行在建成的液冷机房实现了批量的液冷服务器部署。

结合工行的案例，我们继续从业务适配性、设计成本、部署密度、形态兼容性、运维便利性、运营成本几个方面来分析该用户群体的需求特点：

1) 业务适配性：通用行业头部用户的场景有别于早期互联网用户，配置复杂，扩展性的均衡要求更高，更倾向于采用部件层面的冗余来解决可靠性问题，比如冗余网卡、RAID卡的使用。通用行业头部用户对于硬件设备单体的可靠性、稳定的关注度更高，在新技术的采用上不会像互联网用户那样激进。整体上来看，通用行业头部用户的ICT设备配置，延续性更高，反映在整机柜服务器的节点规格上，其综合扩展性与通用服务器配置更接近。而互联网行业领先用户，则紧跟头部互联网用户步伐，走出一条类似的技术路径：结合业务，对产品配置进行收敛，最大限度的减少规格浪费，追求产品规格与应用规格的一致，在头部用户对整机柜服务器的可靠性、稳定性充分验证之后开始批量部署，硬件设备单体上往往也需要采用部件冗余的方案来保障产品可靠性。

2) 设计成本优化：受采购体量的影响，设计成本优化对于该用户群体的杠杆作用不及头部互联网用户和大型CSP用户。在满足业务应用和未来预期扩展需求基础上，相较既有的ICT设备成本的优化对于推动企业内部整机柜服务器的选型有一定程度的帮助，但并非首要因素。虽然同样采用了整机柜服务器形态，但是服务器节点技术规格的激进程度、相比通用服务器的差异性要更弱化，比如将风扇从服务器节点中剥离的共享风扇的池化方案，在该用户群体的整机柜方案中，往往较少被提及——这也与其整机柜服务器部署的时机有一定关系。

3) 部署密度提升：如前文所述，ICT设备部署密度受客户数据中心条件限制，不同客户的数据中心条件差异较大，对于部署密度的需求大相径庭。金融客户早期数据中心，往往更靠近城市中心区域，空间可扩展性非常有限，而金融属性业务的安全等级要求较高，租用数据中心的的态度更加审慎，在多重条件的加持之下，往往倾向

于充分发掘既有数据中心的潜力，在有限空间内部署最大化的ICT资源，促成了算力部署密度的普遍性需求。领先的互联网用户，随着采购增量提速，陆续加入新建数据中心的群体，在单机柜供电功率方面显著提升，为部署密度的提升创造了利好条件。液冷对于部署密度提升带来技术支撑，也伴随着更进一步的要求，一方面液冷方案能够有效降低系统风扇功耗，进而压低服务器节点系统的功耗，另一方面，更高的部署密度往往也意味着更低的液冷基础设施投入分摊。

4) 形态兼容性：对于形态兼容性的关注是该类用户群体显著区别于头部互联网用户和大型CSP用户的关键需求项。面向场景的定制化产品在采购量无法达到平衡点时，会带来定制组件成本增加、供应周期延长、库存风险增大等问题。采购量级不足，工程费用分摊居高不下，设计成本优化所带来的收益无法抵消定制投入和工程化分摊，甚至会带来自研组件备份厂商难题，使用户面临供应风险和成本的艰难抉择。定制化组件的库存风险显著提升，对于采购计划的准确性要求也更高。鉴于以上种种定制化产品带来的挑战，在整体采购量级受限的条件下，要追求面向场景的优化，通过兼容性设计来提升核心组件复用性，扩大总量，从而实现降成本、优化供应、降低库存风险无疑是更优方案。在21英寸服务器节点已经批量部署的背景下，19英寸整机柜服务器节点的出现是形态兼容的平衡抉择，兼容设计也解决了年度业务潮汐所带来的业务搬迁问题。

5) 运营成本优化：随着该类用户群体数据中心规模快速扩展，设备保有量快速增加，对于运营成本的关注与日俱增。与头部互联网用户和大型CSP相同，运维便利性、散热效率、供电效率成为其关注热点，往往在硬件和固件两个层面并行优化，来进行优化提升。

2.1.3 高性能计算及人工智能典型场景需求分析

相比于近年来爆发的AI应用场景，HPC的行业应用由来已久，HPC场景中对于大规模、高主频、高核心算力节点低网络时延集群的偏好，促成了高密算力部署、高功率机柜供电、高效散热的典型方案需求，传统的标准化机柜部署难以满足，因而HPC的整体方案往往囊括了机柜、供电、网络、计算、存储等一体化方案，尤其近年来随着处理器功耗的提升，液冷散热方案往往成为HPC行业首选，这与整机柜服务器的特征有着较高的契合度。

典型的AI大模型训练和推理应用，对于AI加速服务器有着同样大规模低时延集群的偏好，而以GPU为典型代表的AI加速器单模组功耗相较CPU还要远远高出，这促成了液冷方案在AI加速服务器上的应用。前面章节提到的2024年最新推出的NVL72 AI整机柜服务器产品方案则代表着未来一段时间内AI加速服务器集群的基础物理单元形态。

一、高性能计算场景需求

高性能计算（HPC）在超算中心、大学高校、科学研究、工程模拟、气象海洋、基因测序、能源及材料等领域有着广泛的应用，起着至关重要的作用。以济南超算中心为例，典型的业务场景包括天气预报与气候预测、海洋环境模拟分析、信息安全、电磁仿真、工程计算、金融大数据分析、新材料和新能源分析等，承载了1000余家

科研院所、高新技术企业、政府机构等单位用户的业务需求，是山东省新一代信息技术、医养健康、高端装备、新能源新材料、智慧海洋等新旧动能转换重大工程“十强”优势产业发展的算力引擎。

HPC应用的核心特性在于需要处理极其庞大和复杂的数据计算，往往涉及多核并行、高精度计算（如FP64）以及海量数据的存储与分析。

高性能计算需要极高的计算能力和大规模的计算资源。大型HPC系统多达上万个计算节点，这些节点需要紧密协同精确调度才能完成复杂的计算任务。高带宽、低时延的网络是计算任务高效执行的关键要素，像流体力学、电磁仿真、汽车碰撞等场景对网络时延要求极高，而基因测序、气象预报等场景同样需要较高的网络带宽和一定的时延要求。因而高密部署的计算集群和集成高效算力芯片（高主频多核CPU和支持FP64的GPU）的计算节点是HPC系统的关键需求，对于处理复杂的科学计算任务至关重要。

此外，HPC应用还需要处理和存储海量数据，包括模拟输入、计算结果和中间数据。快速的数据访问和高效的存储性能对于确保计算任务的顺利进行同样至关重要。HPC计算过程中会产生大量突发性I/O，存储系统需要能够应对这些高频次的数据读写操作。

HPC计算过程中单机的功率密度极高，目前较为领先的方案中，单机柜功率密度达到120kW，这给机柜的供电和散热提出了极为严苛的要求。高效的供电和散热方案对于保持系统在高负载下的稳定运行至关重要，54V集中供电方案和液冷散热方案的组合成为众多客户和系统厂商的首选技术路径。

二、 人工智能场景需求

人工智能（AI）技术的迅猛发展正在重塑各行各业，大模型（LLM）的训练与推理几乎成为了AI技术相关应用的核心驱动力，为各领域带来了前所未有的创新和效率提升。AI大模型相关应用需要各个节点之间频繁同步信息，如参数、梯度、优化器状态等，大模型训练和推理过程中对计算资源、存储资源和数据传输的需求远远超过了传统计算模型，对服务器的计算密度、存储性能、网络带宽、系统稳定性以及供电和散热等提出了更高的要求。

随着大模型向更加通用发展，模型参数量越来越大，数据量越大，对GPU等加速器的算力和内存需求也越高。AI模型训练和推理过程需要大量的GPU、TPU等高效计算加速器。参数达到万亿规模的大模型需要高达数十万个高效的计算加速器并行工作才能完成训练任务。目前主要有三种并行方式：数据并行（DP）、流水线并行（PP）、张量并行（TP）。为了最大化 MFU（Model FLOPS Utilization，模型浮点运算利用率），通常会结合以上三种并行形式，形成 3D 并行：服务器内部多个高效的计算加速器（如GPU）之间用张量并行；机柜内部多个服务器之间用流水线并行；机柜之间用数据并行（因为数据并行通信量最低，并且机柜之间的网络连接相比于机柜内会慢一些）。

AI应用涉及海量数据的存储和处理，特别是训练数据集和模型参数的存储需求。比如GPT-4 这样的万亿参数模型，仅仅是模型权重和优化器状态在训练时就需要高达 10.8TB 的内存。近些年，用于训练大模型的数据集规模呈现显著增长趋势，如2018年开发的GPT-1模型采用了大约4.6 GB的数据集，而到了2021年引入的Gopher模型

数据集规模激增至10550 GB。由于大模型参数量大于千亿参数后会出现“涌现”现象，现有模型参数也呈现指数倍增长，如OpenAI的GPT-3训练参数量大小为175 B（10亿，下同），而等到阿里巴巴发布的M6-10T训练参数量则达到了10000 B。据统计，近五年模型参数大小每年增长约3至4倍，并且模型训练过程中会产生海量临时参数，如梯度、优化器状态、激活值等，这些数据均需要高效存取。因而快速的数据访问和高效的存储性能对于确保训练过程的顺利进行至关重要。

AI模型训练过程中需要频繁的数据交换和大规模分布式计算，对网络带宽和低时延提出了极高的要求。由数千甚至数万张计算加速卡组成的集群，在网络互连方案上，需要考虑诸多需求：超大规模、超高带宽、超低时延、超高稳定性，因而需要采用新型高效的网络拓扑，需要应用高效的拥塞控制与负载均衡等技术。

AI计算过程中，单机的功率密度往往非常高，这对机柜的供电和散热提出了严格要求。最高单颗GPU芯片功率高达1000W（B200），而CPU和GPU组成的模组最高功率可达2700W（GB200，由1颗Grace CPU和2颗B200 GPU构成），且系统内其它组件会带来额外的功率消耗。集群内的存储服务器、管理节点、网络交换机、光模块等设备还会额外增加10%左右的的集群总功耗。供电和散热面临着巨大的挑战。

超大规模AI加速器集群、超大规模超高带宽超低时延的互连网络、大幅提升的AI加速器单卡功耗，多重极限需求加持下，液冷AI整机柜服务器形态成为最优解决方案。以Nvidia NVL72液冷整机柜服务器为例，在单一机柜内集成了36个GB200超级芯片（36个Grace中央处理器和72个Blackwell图形处理器）和9个NVLink交换机托盘的Nvidia NVLink Switch系统，通过盲插信号接口和铜缆实现柜内GPU间高达130TB/S的NVLink互连带宽（相比光互连，铜缆方案能够大幅降低互连方案功耗和散热挑战）。整机柜功耗高达132kW，采用冷板式液冷散热方案，并实现了液冷接口盲插。全球互联网巨头和头部CSP用户，虽然在AI加速算力芯片上各有选择，但在液冷AI整机柜服务器的物理形态上形成共识——这也呼应了在本节开篇我们对于AI加速服务器集群的基础物理单元形态的表述。

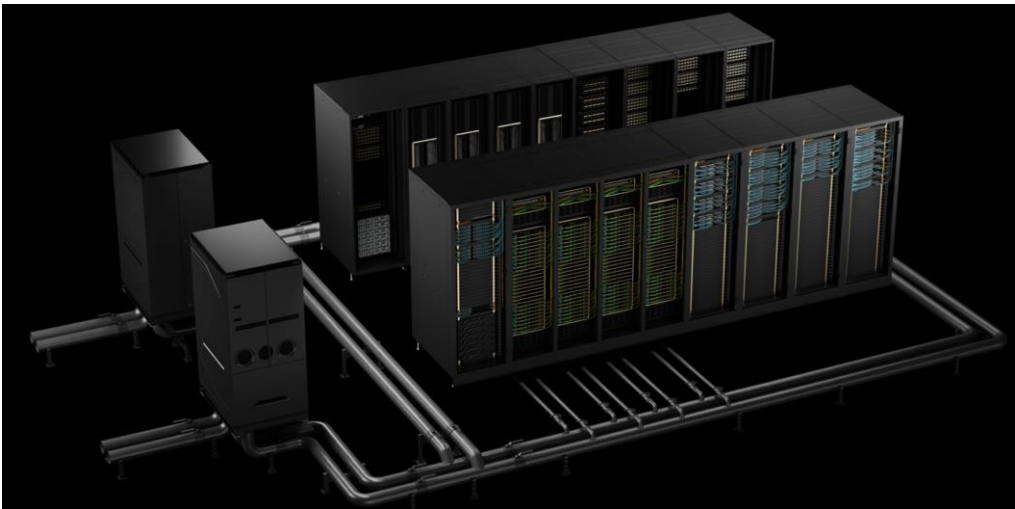


图2-3 典型的以NVL72 AI Rack为基础物理单元的大模型训练集群

（2台机架式CDU、8柜GB200 NVL72 AI Rack、若干柜NV Switch交换机实现8柜AI Rack全互连）

2.2 整机柜服务器技术现状及趋势分析

供给侧技术准备度，决定了整机柜服务器面对客户场景化、极致优化的需求时，阶段性可达成的上限。在此章节，我们先从整体上对供给侧的阶段性演进和预期发展的方向进行阐述，再分方向进行阶段性演进和预期发展方向说明。

2.2.1 整机柜服务器整体技术现状及发展趋势

整机柜服务器是一种对计算、存储、交换和异构加速功能节点与供电、散热（当前以液冷散热方案为主）、管理基础架构功能进行系统性整合和集成的算力基础设施单元物理形态。相较于传统的分离式的算力基础单元，具有更高的部署密度、更优的供电和散热效率、更高交付效率和更加高效的智能化管理等显著优势。

伴随着AI产业的爆发性增长及AI算力的快速迭代、云计算和传统计算的算力升级，整机柜服务器适应产业的发展要求，在算力密度、能效、互连、一体化交付、运维等方面追求更高、更快、更智能的发展和演进。

1) **更高的功率密度：**随着芯片技术的发展和算力需求的增大，CPU、AI加速单元等芯片的功率不断增大，2024年各厂商陆续推出最新芯片产品，其中CPU功率已达到400W-500W、GPU功率已达到1200W，并且未来每年芯片功率将以平均20%的增速迭代。计算、异构加速、交换和存储功能节点功率的增长推升了整机柜服务器的整体功率，2024年发布的AI整机柜服务器单机柜功率已经达到140kW，以通用算力应用为主要场景的整机柜服务器功率也显著提升，接近或超过20kW，远远超过全球平均机架功率水平。追求更高的功率密度，以支撑更高算力密度的部署，进而提升AI算力的集群性能是近期整机柜服务器的核心发展方向。

2) **更高效的散热方案：**随着整机柜服务器功率密度和算力密度的持续提升，风冷散热方案的解热能力已经趋近极限，而高功率风扇所带来的额外功耗，给数据中心的整体制冷带来了巨大的负担。在高密度部署的AI和通算算力集群中，液冷散热方案凭借其较高的导热系数、较高的比热容实现高热流密度，可以在更紧凑的空间下更快速的将热量从发热部件传递到冷却液中，并通过冷却液的循环将热量带走。液冷系统还可以通过增加散热接触面积、提高冷却液流速等方式进一步提高散热能力。根据研究和项目实践，液冷散热方案可以将PUE从风冷散热方案的1.4左右降低至1.05~1.15，进一步提升数据中心电能利用效率。高效液冷方案的整合无疑是整机柜服务器当前的重要技术发展方向。

3) **更高的供电效率：**整机柜服务器功率密度的不断攀升，给系统的供电带来巨大的挑战。整机柜服务器的供电功率从云计算时代的10kW量级激增到AI时代的100kW量级，早期12Vdc供电技术方案难以承载量级倍增的功率需求，转向48Vdc的更高供电电压方案以降低机柜内供电铜排母线的电流承载要求和损耗，PSU转换效率也由白金能效等级进一步向钛金能效等级升级，以减少供电转换损耗，并结合新型材料、功率拓扑来进一步降低开关损耗和导通损耗。目前，整机柜服务器的供电效率最高可以达到95%~97%，并且还将持续进行技术优化。

4) **更高带宽和灵活可选的网络互连方案：**标准机架式服务器的网络互连主要通过标准接口的光模块、光纤

或铜缆实现，伴随着整机柜服务器计算能力的显著提升、应用场景的显著扩展和算力规模的提升，对网络互连的带宽、时延和损耗提出了更高的要求，带来了更大的复杂性和难度，新的网络互连方案在整机柜服务器上得到了率先的部署和应用。LinkedIn、华为云等用户在云计算时代就率先批量部署了整机柜层级的网络盲插技术方案——取代了标准的网线和光纤，精简化的安装可大幅提升交付效率，克服了小区域PCB走线的串扰难题，提升了互连效率。在AI时代，超高密度和大规模的AI算力部署、超高带宽和超低延时的网络互连需求，以及相对固化的互连拓扑，无疑将进一步推动网络盲插方案的应用，如NVL72 AI整机柜服务器。在广泛的云计算场景和通用计算场景下，标准接口的网络方案，凭借其标准化和灵活性的特点，也将长期并存，同样向更高带宽和更低时延的技术方向持续发展。

5) 多元、异构算力平台兼容：随着人工智能、大数据和云计算等应用的发展和算力需求的持续提升，基础算力平台呈现百花齐放的态势。未来多元、异构算力部署方案将成为常态。CPU+GPU+TPU架构方案已经在整机柜服务器上得到部署实施，可以显著提高计算能力和计算效率。

6) 智能化管理和运维：随着算力集群规模的显著提升，自动化和智能化管理变得越来越重要。集中管理套件已成为整机柜服务器的标准配件，对系统的环境和各组件状态进行实时监控和管理。专家数据库系统和学习算法为智能化管理运维提供了数据基础和升级迭代能力。

7) 预制化生产及一体化交付：整机柜服务器采用模块化架构，将功能节点与供电、散热、管理等基础架构进行系统性整合与集成。供电、液冷及网络盲插接口能够大幅减少柜内线缆数量、简化布线方案、提升部署密度，同时机柜柜体强度得到提升——这些架构上的原生优势为整机柜服务器的预制化生产和一体化交付提供了便利和基础。经过实际测算，整机柜服务器的交付效率相较传统的服务器节点交付能够提升5~10倍，可以显著降低数据中心的投产的建设周期和运营成本。

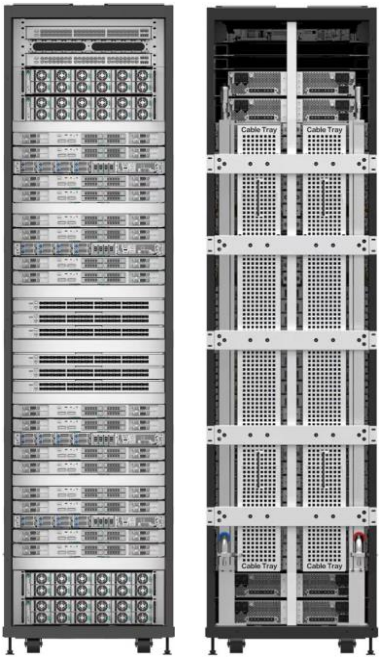


图2-4 AI整机柜服务器的诸多特征某种程度上也代表了通算整机柜服务器的技术方向

2.2.2 整机柜服务器机柜柜体发展趋势

整机柜服务器的柜体相较标准机柜具备两个显著的特点：一是兼容设计，二是结构强化。

一、随着CPU和AI算力的多元化发展，还有液冷散热方案的普及，整机柜服务器的应用场景开始越来越广泛，对于机柜设计上的兼容要求显著提升。

1) **兼容不同尺寸的节点：**服务器节点尺寸目前有较多选择，在宽度上主要有21英寸节点和19英寸节点两种，通常可以通过转接架实现兼容；在基准U高上，则包含44.45mm标准单位U高（RU）以及后来衍生而来的45.5mm、46.5mm（SU）以及48mm单位U高（OU），通过机柜立柱设置不同的U高刻度通常可以满足至少两种U高单位的兼容支持；在深度上变化会更多，除服务器节点自身的规格扩展以外，液冷方案也会对服务器节点的深度有所影响。

2) **兼容不同的散热方案：**液冷散热逐渐普及，但风冷散热方案在传统数据中心的仍然是相对主流的选择。液冷系统需要考虑安装循环泵来推动冷却液流动，需要额外的空间来容纳冷却液容器、管道和泵等组件。而风冷系统则需要预留充足的风扇静压腔来提升效率，更注重风扇和散热片的布局。因此，需要提前规划柜内空间，考虑到机柜内设备的布局、散热需求以及冷却方案的特性，确保可以兼容两种散热方案。设计上需要预留液冷组件的安装和固定接口，并考虑到未来可能的升级和扩展需求。

3) **兼容不同的供电功率：**集中供电方案已经成为整机柜服务器的标配，但在单机柜功率密度支持上，对于不同的应用存在显著的差异。AI加速整机柜服务器和高性能整机柜服务器的单机柜功率可达到100kW以上，而通用的风冷整机柜服务器可能仅需20kW。因而机柜需要在设计上兼容一个和多个电源框（Power Shelf）的安装，铜排（Busbar）也需要预留相应的接口。

二、柜体强度主要由整机柜服务器的高密算力部署和一体化交付的特性所决定，整机柜服务器柜体需要定向强化。

极限情况下，液冷整机柜服务器的算力部署密度相较通用机型提升一倍以上，并且要同时承载CDU、Manifold、Power Shelf和Busbar等液冷供电组件，服务器节点内集成的冷板也会大幅增加机柜内的重量。在此基础上，还要满足一体化交付过程中的长途运输可靠性需求和通信用户数据中心的八级抗震要求。

1) 机柜应采用高强度材料制造，如高强度钢材或铝合金等，以提高其整体结构的稳定性和抗冲击能力。在机柜内部或底部安装减震装置，如减震垫、减震弹簧等，以吸收地震波和运输过程中的震动冲击能量，减少对内部设备的冲击。

2) 通过地震破坏性和运输震动冲击仿真分析，对机柜及其内部设备的布局进行优化设计，确保在地震发生时和运输过程中能够最大限度地保护内部设备的安全，在各种实地部署条件下都能满足YD 5083-2005抗震9烈度和运输过程中的震动冲击。

3) 机柜制造过程需要坚守高标准制造工艺，各部件之间的连接应紧密可靠，无松动或脱落现象。此外，机

柜还应具备易于维修和更换内部设备的能力，以便在设备出现故障时能够快速恢复运行。

2.2.3 整机柜服务器供电系统发展趋势

整机柜服务器供电系统由电源框（Power Shelf）、电源模块（PSU）、机柜主铜排（Busbar）、服务器模组连接器（Clip）以及电源管理控制器（PMC）组成，目前主流供电方案采用48Vdc铜排集中供电总线架构，将市电或柴发电源输入转换为高可用48Vdc，通过铜排输出至整机柜内各模组。单个电源框一般占用2~4U空间，PSU采用模块化设计方案，可提供双路输入冗余，可选择支持 220Vac、380Vac、240Vdc、336Vdc 等多种输入规格，支持 N+N 或 N+1 模块冗余。机柜主铜排可采用分段设计方案。



图2-5 集中供电Power Shelf、PSU及管理控制器

一、 电源框（Power Shelf）

AI应用的兴起，GPU算力的增长，推动了整机柜服务器供电需求的快速增加。英伟达GB200 NVL72 AI加速整机柜服务器单机柜用电需求将会增加到132kW。为了适配整机柜大功率的供电需求，机柜需要为Power Shelf预留足够的空间(通常需要预留至少2个Power Shelf的安装空间)，常用Power Shelf的宽度有19英寸和21英寸，适配19英寸和21英寸内宽的机柜。19英寸Power Shelf通常适配68mm宽度的PSU，而21英寸Power Shelf则可以适配68mm和73.5mm宽度的PSU。

由于输出电流高达上千安培，Power Shelf输出连接器一般会选择铜排，通过锁螺丝的方式固定到机架的汇流铜排上。若Power Shelf有盲插需求，则可以选择特殊设计的连接器，比如安费诺公司的Barklip系列。盲插设计通常配备有防误插机制，确保了供电连接的准确性和安全性。

二、 电源供电模块（Power Supply Unit, PSU）

整机柜服务器PSU需要具备高功率、高效率、高瞬时功率(Peak Power)及高动态响应等特点。

由于机柜功率密度的高速增长，近年来，新的材料应用到PSU中，配合架构的优化来实现功率密度的提升。

效率的提高是近年来整机柜服务器PSU的另一个重要技术方向，不仅能降低机柜转换损耗，还可以优化数据中心制冷功耗。整机柜服务器PSU目前已经普遍能够达到钛金能效等级96%，下一步将继续向97%乃至98%的能效升级。

为满足突发业务处理的瞬时需求，整机柜服务器PSU需要具备快速的动态响应。

初代整机柜服务器电源通常采用单输入设计，电源冗余代价高，为实现N+N冗余，需要增加一倍数量的冗余电源。随着整机柜服务器电源功率激增，双输入电源在空间和成本上的优势愈加明显。ATS (Auto Transfer Switch) 电源本身为双输入，正常情况下工作在主路。当主路掉电时，电源会在保持时间内切换到辅路，保证输出不掉电。如果使用ATS电源，可以不必考虑输入备份，而只需考虑电源备份，即从N+N模式转为N+M模式。假设整机柜功率为120kW，N+N模式下需要的单输入5.5kW电源数量为44个，而ATS 5.5kW电源N+1备份数量仅为23个，空间和成本优势巨大。

随着 PSU 模块功率快速增加，从现在的3.3kW、5.5kW逐步提高到10kW甚至20kW，带来了散热和输入功率限制的巨大挑战。由单相输入转为三相输入或高压直流（ $\pm 400\text{Vdc}$ ）能够显著突破输入功率限制，这需要数据中心基础设施的支持。整机柜服务器中，集中供电方案天然有利于液冷散热方案，随着功率的增加整机柜PSU液冷散热也变得更加急迫，通过全栈液冷，实现冷板覆盖PSU，可以较好的解决PSU的散热问题。

三、 电源管理控制器 (Power Management Controller)

不同于传统的服务器电源，Power Shelf中的电源需要额外的一个PMC作为管理单元，负责电源管理、电源监测等，同时通过以太网向系统进行通信汇报。除此之外，如果Power Shelf增加额外信号接口，PMC还可以辅助管理机架中的其它功能，例如漏液检测等。

2.2.4 整机柜服务器液冷系统发展趋势

一、 液冷快速接头及Manifold

液冷快速接头应具备可实现的快速连接和断开功能，方便带压连接和断开的同时确保流体不会泄露到系统外。单个液冷快速接头包含主体和末端两个部分，主体是实现液体快速接头连接与密封功能的主要单元，末端为接头的安装接口，用于液体快速接头的安装固定。

早期液冷服务器由风冷标准机适配而来，受结构设计限制和对插精度要求，主要采用手动式快接头。根据不同的锁紧机制，手动式快速接头常见有推拉式、旋转式以及球锁式等。手动式快接头需要考虑软管折弯半径、运维操作空间，对于机柜空间预留有更高的要求，往往需要对机柜做宽度和深度上的延展。一些较早实施的高性能计算的高密液冷集群方案，会采用800mm宽1350mm深的液冷机柜。

近年以来，随着液冷方案部署规模日渐提升，液冷服务器架构历经多代演进得到了显著优化，盲插液冷接头在液冷整机柜服务器上得到了率先应用。盲插设计的快速接头本身具备浮动容差等特定的对准机制，并通过机架

上精确的滑轨设计和定位销来引导公头正确地插入到母头，并要保持导通所需要的锁紧力，以避免公头母头因弹簧力和流体压力导致液冷回路断开。为避免插拔过程中出现液体喷溅，造成整机系统故障，需要增加配套防喷溅结构组件，并部署漏液检测传感器进行检测。相比手动式快接液冷插头，盲插液冷接口去除了服务器节点和机柜之间的液冷软管，免去手动操作的运维空间，在结构设计上更加紧凑，也可以显著提高部署和运维效率。但盲插方案对整机柜的公差控制能力提出更高的要求，需要系统提供更大的容差能力（如径向轴向浮动，角度容差等）来满足服务器的设计需求，目前主流的的解决方案是通过外置的浮动模块来提高容差阈值。

随着全球液冷服务器市场规模的快速提升，带动关键部件之一快速连接器需求骤增。为了满足快速接头批量供应和安全可靠的要求，通用设计标准的快速接头成为市场新趋势。比如UQD（手插）和UQDB（盲插）是目前接受度较高的面向多种场景的液冷快接头技术规范，初衷是通过开放的设计标准来实现不同厂商间液冷快接头的兼容互连——为了进一步推动该目标实现，配合该技术规范的认证项目于2024年8月正式立项开展。

为满足运营商、互联网等客户对整机柜服务器快接头解耦采购、降低成本等诉求，促进各快接头厂家同型号快接头互插互配，国产化液冷盲插快接头通过开放设计图纸、检验方案和质量工艺管控要求等数据资料，实现液冷盲插快接头互配。产业链用户、服务器厂商和快接头厂商共同联合，促进生态发展、优化、演进。

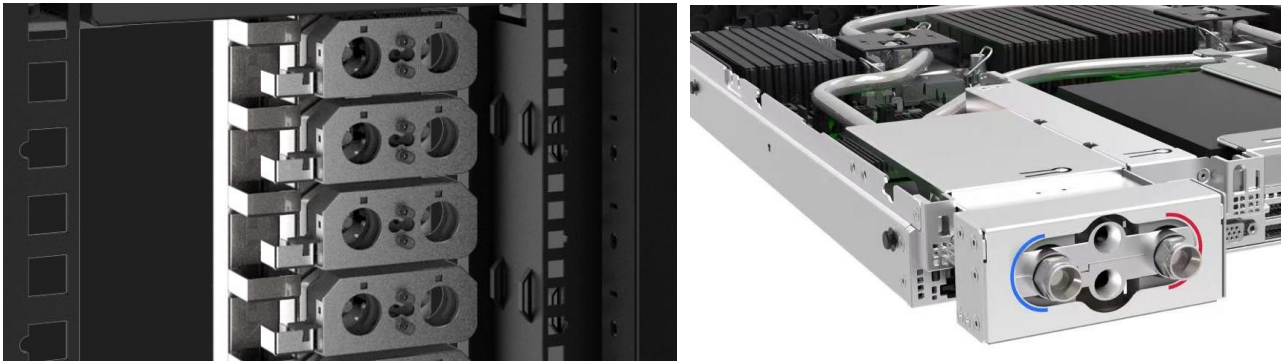


图2-6 机柜端及节点端盲插液冷接口

二、CDU

冷板式液冷冷量分配单元（Coolant Distribution Unit，简称“CDU”），是指用于二次侧高温液态冷却介质与一次侧冷源进行换热，并对液冷 IT 设备提供冷量分配和智能管理的模块。CDU 为室内系统的冷却液提供循环动力，保证冷却介质持续循环，源源不断地带走负载热量，具备自动监控、智能调节冷却液的压力、流量、温度，实时调配负载均衡等功能，是整个液冷冷却系统的控制核心。部分 CDU 集成了冷却液净化、储液等功能。冷板式液冷 CDU 由换热器、循环泵、过滤器、储液罐、定压补液系统，以及附件（阀门、管路、接头、传感器等）组成。

根据布置方式不同，CDU分为集中式和分布式两种。分布式CDU一般安装在机柜下方，高度多为4U~8U。集中式CDU一般采用入列或设备间集中部署的方式：入列方式二次侧管网为环网形式，CDU采用1+1冗余设计；设备间集中部署多适用于大规模液冷机房，二次侧管网为主环网+分支环网形式，CDU采用N+1冗余设计。在前期设计时，应结合液冷规模、业务安全等级、成本等因素综合分析确定采用不同部署方式。

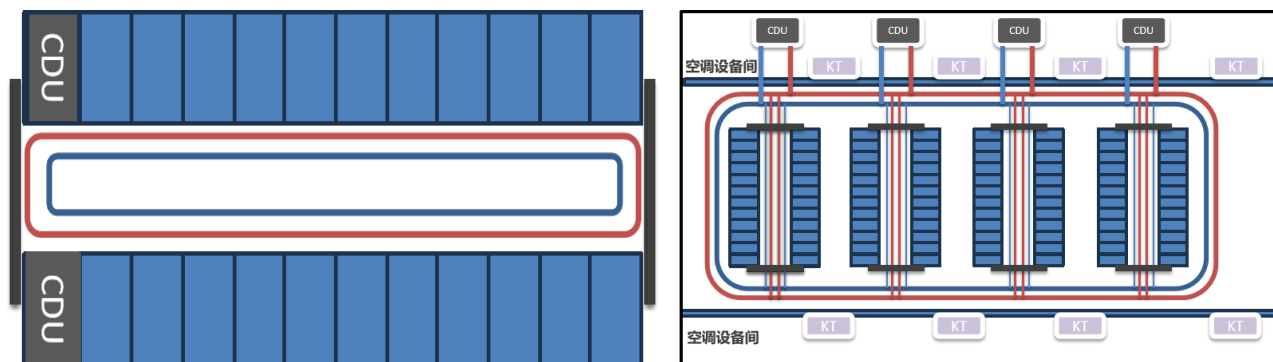


图2-7 CDU入列（左）及设备间集中部署（右）方式

近年以来，随着液冷散热方案的广泛应用，CDU 适应部署场景和用户需求，在更高智能化、更高集成度、更高能效、更高可靠性的技术方向上得到了长足的发展：

1) **更高智能化：**智能化监控和管理，对于提升液冷系统的日常工作和运维效率具有重要作用。目前 CDU 管理系统中普遍集成了智能算法对工作状态和环境数据进行智能分析，并下发最优调节策略，确保液冷系统始终处于最佳的工作状态。CDU 智能控制系统还可以与数据中心的整体管理系统进行集成，实现远程监控和管理。

2) **更高的集成度：**用户集约化部署需求，推动 CDU 系统中集成了更多的功能模块，如储液罐、阀门、传感器等，减少设备的占用空间，提高系统的紧凑性，便于安装和维护，还能降低系统的复杂性和成本。

3) **更高能效：**通过采用更高效的泵技术，如变频泵、磁力泵等，提高泵的效率，降低系统能耗；通过优化泵的控制策略，根据系统的实际需求自动调节泵的转速和流量，实现节能；对 CDU 的流道进行优化设计，提高冷却液的流动效率，实现系统能耗的进一步降低。

4) **更高的安全性和可维护性：**漏液是液冷系统的首要问题。通过采用新型的密封材料和结构设计，提高 CDU 的密封性，通过集成漏液检测传感器，预设处理方案，及时发现并采取相应的措施进行处理，可以有效降低漏液的发生和潜在影响。通过模块化、可替换的冗余设计，提升设备出现问题时的处理效率，从而提升系统可用性，也是一个重要技术方向。



图 2-8 模块化 CDU 整体方案

2.2.5 整机柜服务器网络互连技术趋势

网络性能直接影响到服务器的数据处理能力和响应速度，近年以来，随着AI大模型参数和数据规模的爆发性增长，以及AI加速算力单元和通用处理器计算能力的大幅提升，对网络带宽和时延的要求也越来越高。以GB200 NVL72为例，其单机柜NVLink全互连总带宽达到130TB/s（单通道传输速率高达224Gbps），以支撑万亿参数大模型训练所需的GPU集群数据传输需求。

在整机柜服务器高速网络互连方案上，以AOC（Active Optical Cable）和DAC（Direct Attach Cable）为典型代表的标准接口网络互连方案与系统厂商、核心供应商、头部用户自定义的盲插网络背板互连方案并存演进，以适应迥异的应用场景和业务需求。

标准接口网络互连方案在具有最优的兼容性、可供应性和最广泛的用户接受度，在绝大多数业务场景下，仍然是用户的首选方案。头部互联网用户的通用算力设备，I/O数量往往已经极为精简，在高密部署时不会像AI加速算力集群那样存在巨大的布线挑战，而借助于前I/O网络布局方案，则可以进一步实现高速网络与供电、液冷总线分离，具有更优异的运维便捷性和安全性：

1) 前I/O网络布局的标准接口网络互连方案被互联网头部用户普遍采用。高速网络位于服务器节点前方，供电和液冷接口位于服务器节点后部。由于服务器节点的网卡位于进风区，工作环温显著降低，解决了100G网络时代AOC光模块的发热难题，也大大降低了系统散热能耗。与此同时，冷风区运维也更加便捷、友好。由于服务器节点的I/O、存储都集中位于前部，其综合扩展规格较通用服务器有所收敛——对于已经实现存算分离的用户而言，这或许不是问题。国内外头部互联网用户早在多年前就已经规模化采用前I/O网络布局，一直延续至今。



图2-9 天枢前出线服务器架构及上架前侧板布线方案

2) 后I/O网络布局的标准接口网络互连方案则在通用行业用户更为广泛：高速网络位于服务器节点后方，与供电和液冷接口位于同侧，I/O走线所预留的布线空间非常有限，往往需要与供电或液冷共用同一区域。通过增加位于机柜后部的垂直理线架可以一定程度上扩展走线空间。当服务器节点高密部署且I/O扩展的数量规格较高时，网络布线会面临巨大的挑战。

近年以来，线缆背板形态的网络盲插方案在整机柜服务器上得到了一定范围内的部署和应用。

2016年，LinkedIn主导的Open19技术规范中，定义了Open19组织的线缆背板盲插标准，并推出了相应网络和供电产品组件。次年，该方案在LinkedIn的数据中心中实现了批量部署，网络和供电盲插方案大大提升了产品的交付和运维效率，并优化了网络互连整体成本。

大约同时期，以液冷方案试点为契机，国内CSP用户开始同步开发供电、液冷和网络三网盲插的液冷整机柜服务器技术方案。国内除头部互联网用户以外，绝大多数数据中心用户更倾向于采用I/O后出线的传统布线方案来实现通用机型的兼容和规划的一致性。液冷散热方案在网络和供电线缆基础上额外增加了液冷管路，这些管路都集中在机柜后部，空间局促，部署和运维面临的困难加剧。三网盲插的方案去除了物理线缆，很好应对了这样的挑战，可实现现场零安装，上线效率提升10倍以上，可支撑面向未来的机器人无人化运维。

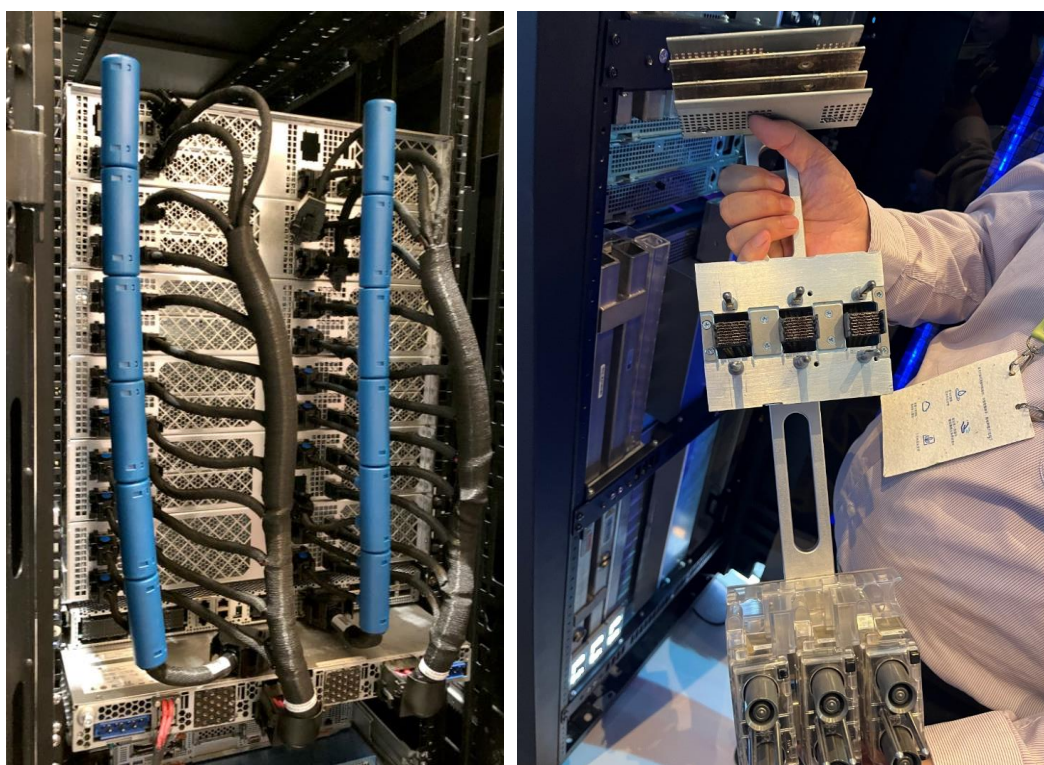


图2-10 Open19盲插线缆方案与国内线缆背板方案

网络盲插设计采用高速线缆背板直连，实现芯片间的数据传输，提高整体计算能力，满足人工智能和深度学习的需要。相对于光纤解决方案，铜缆解决方案具有成本低、布线便捷、故障率低的优点。以当前所推出的AI整机柜服务器集群方案推断，未来一段时间铜缆背板技术将成为AI加速服务器柜内网络互连主流方案。

线缆背板技术已经存在10余年，初期在核心交换机领域应用较为广泛，近年来逐渐推广到服务器系统柜内互连，线缆背板具有以下主要优势：

1) **显著提升电气性能：**使用高速线缆背板相比PCB背板可显著提高25Gbps及以上数据传输速率下的电气性能，有效降低信号插损、回损、时延等，传输距离可达到PCB背板的2~4倍，可支持机柜内全长度链路高质量信号传输。

2) **显著提升部署密度**: 相较光纤互连, 线缆及高密端子方案更加适用于较大规模计算和交换系统, 降低工程化布线复杂度和互连端口功耗压力, 能够显著提升部署密度。

3) **路由更灵活**: 利用线缆系统, 互连产品制造商可灵活选择设计方法, 以最优方案匹配设计需求。子卡平行安装、正交安装, 来匹配热管理和密度要求, 通过电缆组合来实现最优的电气性能和信号完整性。

整机柜网络盲插技术具有广泛的应用场景, 典型应用场景梳理如下:

一、AI加速算力集群和高性能计算集群:

AI加速算力集群和高性能计算集群对网络带宽和数据传输速度及时延要求极高。整机柜网络盲插方案可以显著提升机柜内算力部署密度, 并实现柜内算力节点间的高带宽、低时延网络连接, 确保节点之间的数据传输高效稳定, 满足大规模并行计算的精密协同需求, 提高AI加速和高性能计算的效率和性能。

随着计算任务的不断变化和技术的不断发展, 计算集群需要定期进行系统升级。整机柜网络盲插技术使得在升级过程中更换设备变得更加容易, 减少了系统升级的难度和停机时间。

二、云计算服务提供商和一般类数据中心用户:

云计算服务提供商需要根据用户的需求快速分配和调整计算资源。整机柜网络盲插技术能够快速将新的服务器设备接入云计算平台, 实现资源的快速交付, 满足用户对云计算服务的弹性需求。

整机柜网络盲插技术可以通过自动识别和配置设备, 运维人员可以实时监控设备的连接状态和网络流量等信息, 及时发现和解决问题, 提高数据中心的可靠性和稳定性。减少设备安装和维护的人力成本和时间成本, 提高云计算服务提供商的运营效率, 从而降低整体运营成本, 增强市场竞争力。

整机柜设计结合盲插技术可以减少线缆的数量和杂乱程度, 优化机柜内部空间布局, 提高空间利用率, 使得在有限的空间内能够容纳更多的设备, 降低数据中心的运营成本。

三、电信运营商:

5G 网络需要大量的基站来提供覆盖和服务, 而基站中的服务器设备需要高效的连接和管理。整机柜网络盲插技术可以应用于 5G 基站的服务器机柜中, 实现基站设备的快速部署和稳定运行, 为 5G 网络的建设提供有力支持。

电信运营商的核心网机房承载着大量的通信业务, 对服务器的性能和可靠性要求极高。整机柜网络盲插技术可以提高核心网机房的设备管理效率, 保障通信业务的顺畅进行。

2.2.6 整机柜服务器节点发展趋势

服务器节点是整机柜服务器的算力核心, 其算力类型、物理尺寸、结构形态主要由其所承载的业务和应用类型所决定。随着所承载的业务应用越来越广泛, 服务器节点也开始多元演化。而随着计算性能的要求越来越高,

液冷散热方案的应用越来越普及，进一步丰富了服务器节点的形态。

大模型训练、科学计算、基因测序、自动驾驶等领域的发展，对服务器节点的性能提出了更高要求，未来服务器节点将向更高计算性能、更低时延、更强扩展性方向发展。

人工智能尤其是生成式AI的快速发展，要求服务器节点具备更强大的算力和更高的安全性，GPU、FPGA等异构计算将成为服务器节点的重要形态，AI芯片和专用加速卡将得到广泛应用。与高功率算力芯片散热压力相伴而来的，是绿色节能减排共识与要求，未来服务器节点将采用更先进的制程工艺、更高效的散热技术、更智能的能耗管理，实现绿色可持续发展。

在节点形态上，整机柜服务器经历了一个螺旋式发展的过程。

最初互联网头部用户在定义基于其特定应用场景的整机柜服务器时，无疑期望能够通过重新定义服务器节点的尺寸为服务器节点拓展更大的空间，实现相较通用服务器在满足规格要求的前提下，达到密度、效率的双重超越。从实践上看，国内的天蝎、国外的Open Rack都走上了更宽、更高、更简约的设计路径。而宽度和高度空间的扩展，在设计方案上给系统架构师更多的用武之地，以2 OU高度的Open Rack计算节点为例，在21英寸的宽度下可以塞下3个节点（20U3Node），而散热效率和部署密度得到了双重提升。一个SU高度（46.5mm）的天蝎整机柜服务器存储型节点，可以塞下18块3.5英寸机械式硬盘，带来了存储密度的显著提升。在智算时代还未到来，液冷尚未普及时，21英寸的GPU服务器节点在国内和国外的整机柜服务器上都实现了批量的部署。

随着用户的业务发展，场景变得越来越多元，面向场景优化的服务器节点类型开始纷纷涌现：高密计算型、通用计算型、热存储型、温冷存储型、异构加速型、关键计算型。每一种都实现了其专长场景下的业务收益。原本收敛的服务器机型和配置，开始与场景的多元产生对抗。由于通用服务器在尺寸上与整机柜服务器节点的不兼容，对于整机柜服务器的用户来说，面临着十字路口的选择：是否每一种场景都能够采用定制化的服务器节点来覆盖，需要对投入和场景收益进行量化的分析。



图2-11 ORV2 20U3Node布局与21英寸1U液冷节点布局

结果就是产生了整机柜服务器节点的分化。

1) 部分头部互联网用户和大型CSP坚持21英寸服务器节点的规格，尤其在液冷配置下，液冷管路会占据必要的服务器扩展空间，更宽的节点在扩展性上和可维护性上更加友好，如果把液冷基础设施的分摊也考虑进来，更高的部署密度，更低的基础设施均摊，对于21英寸的服务器节点宽度是一个利好。

2) 另外一部分整机柜服务器的用户，开始转向标准宽度的整机柜服务器节点，并且通过设计上的派生，通

过局部模块的替换即可实现整机柜服务器节点向通用服务器的灵活转换，用最小的代价解决了部署环境的依赖，也为将来可能发生的搬迁做好了充足的准备。

随着绿色节能政策的陆续出台和核心算力芯片功耗的增长，液冷服务器的部署占比逐渐走高。而随着液冷服务器部署规模的扩大，冷板式液冷的技术方案在技术和生态上也更加成熟，对于主流厂商高规格的CPU和AI加速单元而言，液冷已经成为一个必选项。

冷板式液冷方案，以CPU和AI加速单元为中心，逐渐向外围功率较高的芯片开始扩展。CPU和AI加速单元供电VR芯片由于其位置最靠近CPU和AI加速单元，首当其冲走上液冷的技术路径。紧随其后的则是在HPC领域中普遍部署的高密多节点机型中的内存条。欧洲的科研单位和高校用户，将整机系统中的液冷散热的占比做为一个核心技术指标加以要求，一定程度上推进了内存的液冷散热技术进步和生态建设。但传统形态内存的冷板，受限于空间和安装工艺，设计较为复杂，成本居高不下，无法根据内存的实配数量灵活调整，限制了内存冷板在HPC以外的领域应用。但随着CPU核心数量的持续增加，内存配比急需提升，内存颗粒容量在显著增加，内存颗粒功耗加速增长，未来内存的液冷方案将毫无疑问会更加普及。而随着Nvida GB200超节点GPU服务器的推出，板载内存颗粒方案则为低成本的一体化冷板方案提供了更大的可行性，也有助于内存液冷的进一步普及。

NVMe、E1.S、E3.S等新一代存储方案的推出，单位空间内存储功耗大幅提升。网络互连带宽的提升，网络芯片功耗大幅增加，而光模块的热敏特性进一步加剧了散热挑战。从功耗和散热角度来看，硬盘和网卡具备液冷散热的驱动力，但硬盘、网卡等部件的液冷技术方案及生态，与内存、处理器、AI加速单元相距甚远。虽然多家系统厂商提出了全液冷服务器的概念，并且推出相应的产品，但在带来极致节能绿色的同时，也带来高昂的成本，虽然系统液冷散热占比提升的趋势不会逆转，但距离全液冷的时代，无论在技术上还是在生态上，都还有很长的路要走。

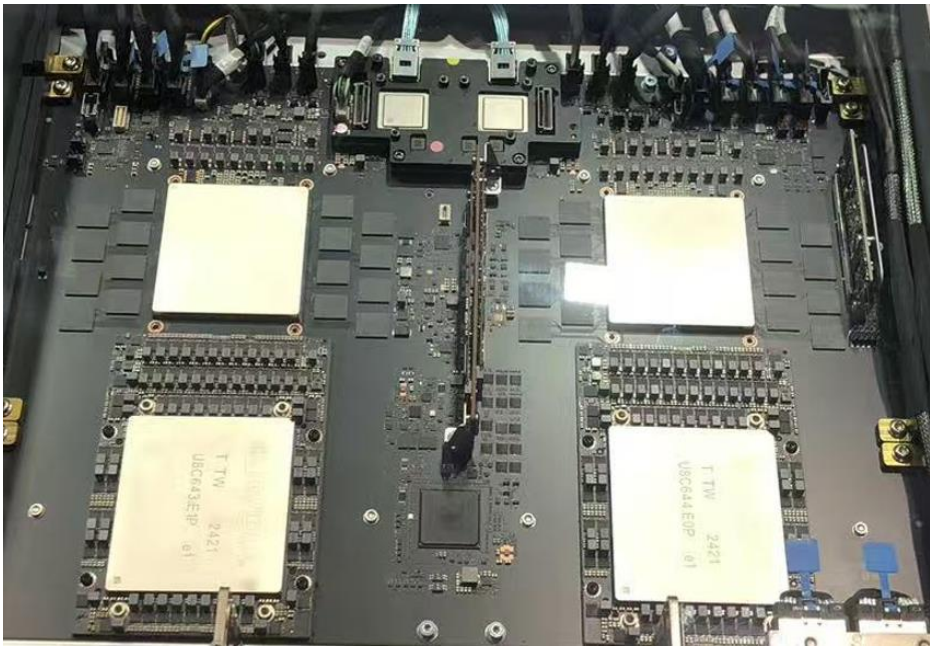


图2-12 NV GB200的CPU模块直接集成贴片式内存颗粒为低成本内存冷板铺平道路

2.2.7 整机柜服务器一体化交付工程趋势

一体化交付等同于L11级别整机柜交付，特指机柜在工厂完成PDU及其它机柜配件装配，完成服务器上架安装及交换机上架安装（可选），并完成柜内布线等原本需要在数据中心部署现场进行的装配活动，以整机柜颗粒形态进行运输并最终交付的形式。

一体化交付不是整机柜服务器的独有特性，但整机柜服务器原生的模块化架构、免除或大幅减少线缆的盲插总线设计，无疑为一体化交付的开展提供了最大的便利性，可以说整机柜服务器从诞生之初就为一体化交付做好了最充足的准备。

整机柜服务器的一体化交付具有交付颗粒大幅提升，现场实施工作量显著减少，交付窗口期大幅缩短，集成质量显著优化等特点，从而最大化满足数据中心高效、高质量部署的业务需求。

一、集成度越高，交付时间越短，交付成本越低，相较传统的交付模式，整机柜一体化交付效率可提升10倍。

传统的交付模式，需要庞大的交付团队，冗长的交付周期，完全无法满足互联网行业灵活、快速的业务节奏。以某行业用户3,000台设备传统交付场景为例，一支12人的交付团队，持续交付、实施、调测超过一个月时间。

数据中心规模化扩张加速的背后是庞大的运维交付团队，不断增长的人力成本，持续延长的交付时间窗口，以及跨地域远程支持的重重困难，都对一体化交付提出迫切的诉求。以国内头部互联网用户为例，其数据中心的服务器年需求量可达20-60万台，交付季持续6个月，高峰期每日交付量超过10,000台节点。

为了提升交付时效、交付安全，降低交付成本，美国的大型数据中心早于十几年前便已开始逐步尝试从传统的单设备交付切换为以整机柜颗粒形态完成运输交付、拆箱即用的L11交付模式。发展至今，一体化交付已成为欧美数据中心的主流交付模式。全球最大共享出行服务商Uber业务覆盖全球63个国家，其数据中心位于美国Phoenix和Ashburn，一体化交付模式因设备上架、理线的工作在工厂端就已提前完成，大大缩短了设备上架的时间，生产团队依照客户理线标准完成相应的预制布线，在交付时现场只需雇佣极少的人力，花费很短的时间即可完成交付，又能节省一笔不少的人力费用，一举多得。

国内头部互联网用户在一体化交付的路径上，则更加登峰造极。2019年，在百度顺义数据中心，百度采用一体化交付的模式，创造了8小时交付1万台天蝎整机柜服务器节点的业界服务器交付最高记录，可谓前无来者。

表2-1 整机柜服务器交付效率提升数据

施工项目	服务器上架	PDU/机柜供电模块安装	交换机上架电源线绑扎	柜内及并柜/网络布线	线缆标签标识	加电测试	网络联调	总人天
单节点传统交付	280	18	14	120	8	20	40	500
整机柜不带交换机	0	0	14	80	2	10	40	146
整机柜集成交换机	0	0	0	38	0	5	5	48

二、 整机柜一体化交付的收益不仅仅表现在时间和人力成本的降低，交付时间窗口的缩短和现场交付人员数量的大幅减少对于保障数据中心安全运营，以及数据安全也大有裨益。

我们可以想象一下，在交付高峰期，为了保障传统交付模式的交付效率，需要维持近百人的实施团队在承载企业核心业务的数据中心热火朝天的忙碌长达近半年时间，关键业务应用和重要数据所面临的风险不言而喻。整机柜的一体化交付形式则可以极大程度地减轻大量实施人员长期驻留对数据中心安全性的冲击。

三、 交付质量和可靠性提升是整机柜一体化交付所带来的另一个明显优势。

整机柜服务器的组装、调试、强弱电布线等现场部署工序前移到工程流水线完成，大大简化了现场交付的技术复杂度。通过整机柜可靠性设计保障、原厂工艺集成、机柜级出厂老化测试，最大程度保障了交付质量，避免了在传统单节点交付模式下，第三方交付人员由于经验不足、人为疏忽或各类突发事件造成的交付问题。

为支持整机柜一体化交付运输可靠性及质量要求，系统厂商需要完成大量的测试和优化：在机柜顶部、节点、托盘、运输车盘等部位安装感应器在全国范围内实地运输路线进行路谱监测及收集，并据此对产品包装、防护及运输策略进行全方位优化，才能实现DOA（到货即损率）数据目标。

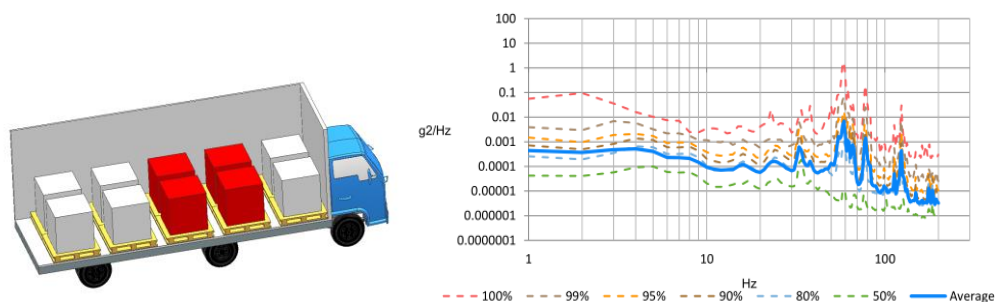


图2-13 路谱智能监控及数据整合分析

为支撑一体化交付的强度要求，机柜自身的强度是基础，在原生设计阶段就要考虑各种极端情况。地震破坏

性仿真就是一种提升机柜设计强度的有效方法。结合仿真结果对机柜、IT设备导轨托架、柜内IT设备布局进行了全方位针对性设计优化，并与客户联合制定数据中心IT设备底座强度及设计要求，必要时需要增加机柜与数据中心IT设备底座的专用连接加固件。确保整机柜服务器一体化交付除满足运输过程要求，在各种实地部署条件下，均可满足抗震要求，从而满足客户最严苛的安全性要求。

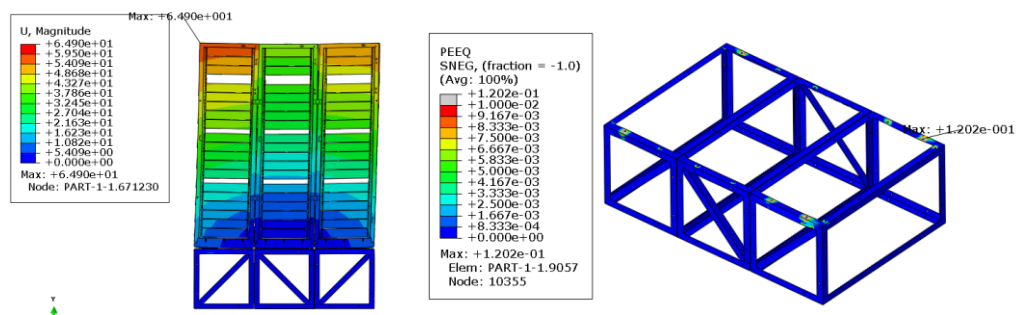


图2-14 机柜设计抗震仿真形变分析

随着当前数据中心走向集中化和规模化，快速部署、智能运维、灵活扩展的整机柜服务器一体化交付模式逐渐成为数据中心建设的新常态。

3 国内整机柜服务器产业现状及设计实例

3.1 整机柜服务器国内产业现状概述

同许多新技术新产品一样，国内整机柜服务器的发展同样经历着一个螺旋形的上升过程。在2011年~2015年的最初5年是充满激情的探索阶段，整机柜服务器的技术准备和产品形态逐渐成熟、统一；2016年~2020年的5年间受互联网头部用户的大规模部署支撑，进入第一个用户产业化高峰；2021年至今，受到核心算力芯片功率提升、绿色低碳产业政策出台、液冷方案日益成熟和普及尤其是大模型对AI算力的无止境扩展要求和AI加速超节点服务器的出现和AI高密度集群部署的趋势，进入第二个系统厂商产业化入局的高峰，CPU算力整机柜服务器、AI算力整机柜服务器双线布局，多种形态和规格的整机柜服务器百花齐放，市面上产品一片繁荣。

但我们同时能够清醒的感受到，相比于产业供应侧技术升级的繁荣，市场需求侧仍然集中在头部用户。作为一种面向业务场景优化的产品形态，整机柜服务器并未进一步扩展到更广泛的市场和行业中，仍然处于曲高和寡的境地。

但随着越来越多的用户单位直接下场牵头或参与到整机柜服务器的技术规范制定中，生态也将更加完善，带动更多的行业用户加入整机柜服务器的用户群体中。

3.2 整机柜服务器国内主要设计实例

当前各主流服务器厂商都推出了独具特色的整机柜服务器。下面从设计理念、核心特性、产品规格等方面对各家整机柜服务器实例进行介绍。

3.2.1 浪潮信息整机柜服务器设计实例



图3-1 浪潮信息ORS6000整机柜服务器

浪潮信息是国内最早布局整机柜服务器产品系列的系统厂商之一，历经多年迭代升级，已形成涵盖全球三大开放计算组织标准的全系列整机柜服务器产品，在全球互联网、通信、金融、能源、交通等众多行业实现批量交付部署，满足客户快速增长的算力需求，为千行百业数字化、智能化转型提供有力支持。

ORS6000整机柜服务器是浪潮信息2024年最新推出的一款算力整合方案产品，该产品基于《整机柜服务器通用规范》打造，是国内首个设计完全开放的整机柜服务器产品，为数据中心建设提供了前瞻性、开放、绿色、智能的解决方案：

服务器节点宽度、架构兼容：为满足用户更高密度的算力部署和更强的I/O和存储综合扩展能力，ORS6000原生架构兼容19/21英寸服务器节点，兼容前/后出线维护，也为下一代处理器最高规格的内存扩展提供了更大的扩展空间。通过机柜后部可选垂直布线架组件，扩展了后部网络布线空间，同时兼容前I/O布线，兼顾互联网和通用不同行业用户的布线需求，显著提升场景适配性。

液冷、风冷散热兼容，高效盲插运维：ORS6000在原生架构上实现了冷板式液冷和风冷散热方案的兼容，提供了集中式Manifold、冷板门、分布式CDU等丰富的可选液冷组件。支持供电/供液盲插，全面消除线缆、简化布线，让运维更加简单。

标准化接口，灵活交付：充分考虑客户数据中心的差异性，ORS6000通过工程化集成和整合，提供一体化交付或解耦部署两种模式。基于标准化工艺和标准化组件设计，支持现场“乐高式”升级扩展，实现与用

户业务的发展共同成长。在液冷部署日益广泛的时代，给出了最为灵活便捷的标准化解决方案。

元脑ORS6000整机柜服务器具有原生整机柜液冷架构，兼容风冷/液冷散热方案，兼容19/21英寸节点尺寸，支持液冷/供电双总线盲插，具备高密度、高能效、高可靠、低TCO等特点。液冷散热比例高达90%，最高可实现数据中心能耗降低25%以上，PUE低至1.1。支持机柜和服务器节点标准化解耦，满足多元算力部署需求。

表3-1 浪潮信息ORS6000整机柜服务器产品规格

组件	规格描述
机柜柜体	<ul style="list-style-type: none">尺寸：高 2200mm，深 1200mm，宽 600mm，兼容 19 英寸/21 英寸宽度内部空间：44.45mm U 高设备部署空间 47U；46.5mm U 高设备部署空间 45U组件支持：U 位定位系统、温湿度传感器、漏液传感器、液冷门、前后网孔门、分布式 CDU、Powershelf、Busbar、Manifold便捷升级：支持以上组件现场快速装配
供电模块	<ul style="list-style-type: none">Powershelf高度为3U，默认装配位置19~21U，支持顶置安装，最大支持两组最大输出功率:单组Powershelf 36kW/两组Powershelf 72kWPSU支持A/B两路双输入，48Vdc输出Busbar默认位置在机柜后方右侧，可支持中间、左侧安装
智能管理	<ul style="list-style-type: none">机柜级智能管理模块RMC，实现柜内核心组件实时监控，智能调控及预警支持ISPIM，实现智能运维和管理
交换机模块	<ul style="list-style-type: none">最高可支持7台交换机，支持中置和顶置
U 位定位	<ul style="list-style-type: none">支持 RFID
Manifold	<ul style="list-style-type: none">可选手动维护和盲插两种液冷快接头
液冷门	<ul style="list-style-type: none">实现机柜出风温度 30~40℃可调，大幅减少机房制冷空调部署
CDU	<ul style="list-style-type: none">柜内可配置分布式 CDU，4U 高度，45~60kW 制冷能力，流量≥69L/min
节点配置	<ul style="list-style-type: none">多场景服务器节点兼容：Intel/AMD/ARM、1U/2U、风冷/液冷、19 英寸/21 英寸

3.2.2 华为整机柜服务器设计实例

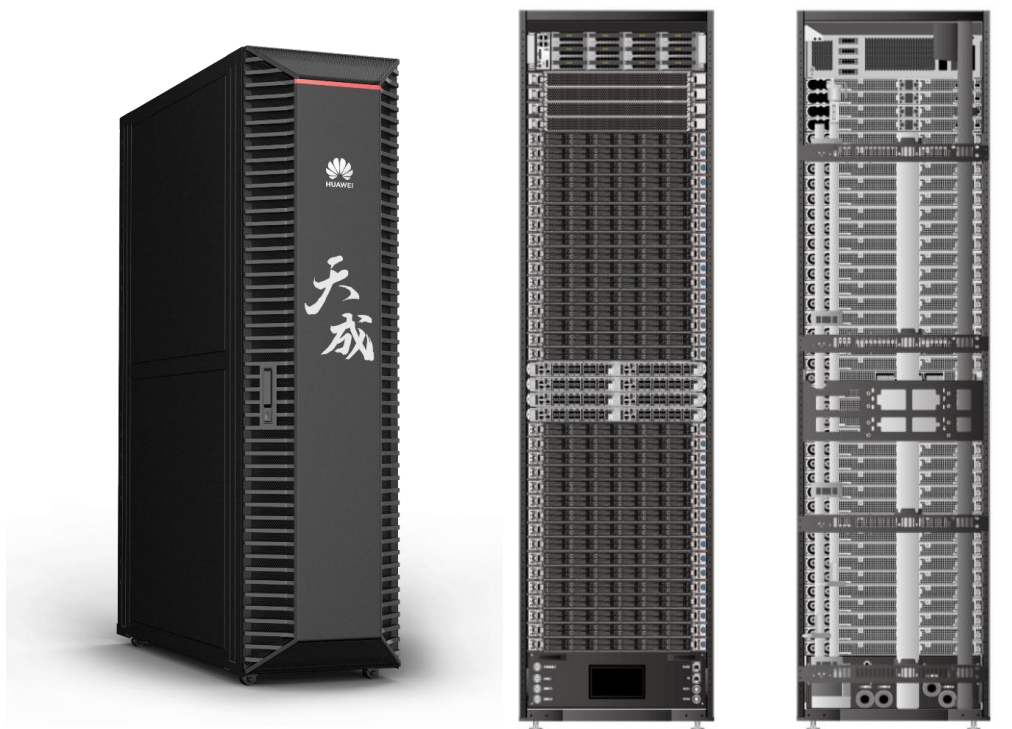


图3-2 华为三盲插整机柜服务器

华为整机柜服务器业界首创水、电、网三总线盲插架构，兼容2+X总线盲插，可实现全柜无线缆全盲插，实现极简安装、极简运维和高可靠性。机柜内1U2P计算节点高密部署，实现超强算力和单柜功率60kW。单柜兼容通算节点、超算节点、智算节点，实现一柜多用。主要特点：

强算力：单计算节点1U2P，整柜36个计算节点高密部署，辅以PowerTurbo技术，实现超强算力；

高密度：高密部署，单柜功率最高60kW+；

全液冷：使用液冷门+冷板组合，实现100%全液冷；

高效能：L1/L2/L3联动，PUE低至1.15；

高可靠：液冷漏液检测、漏液隔离，供电防短路，液冷快接头盲插无滴漏；

交付快：水、电、网三总线盲插实现极简安装，工厂预装、整机柜运输+交付，交付部署速度提升4倍，TCO降低20%；

运维易：水、电、网三总线盲插，设备自动发现，运维效率提升3倍；全场景资产/资源可视，利用率提升20%。

表3-2 华为天成整机柜服务器产品规格

组件	规格描述
机柜柜体	<ul style="list-style-type: none"> 尺寸：高 2200mm（不带滑轮），深 1200mm，宽 600mm，21 英寸宽度 内部空间：44.45mm U 高设备部署空间 47U 组件支持：U 位定位系统、温湿度传感器、漏液传感器、液冷门、前后网孔门、分布式 CDU、Powershell、Busbar、Manifold
供电模块	<ul style="list-style-type: none"> Powershell高度为3U，默认装配位置1~3U，最大支持两组 最大输出功率：单组Powershell 36kW/两组Powershell 72kW PSU支持A/B两路双输入，48Vdc输出 Busbar默认位置在机柜后方右侧
智能管理	<ul style="list-style-type: none"> 机柜级智能管理模块RMC，实现柜内核心组件实时监控，智能调控及预警 支持智能运维和管理
交换机模块	<ul style="list-style-type: none"> 支持中部和上部
Manifold	<ul style="list-style-type: none"> 位于机柜后侧左部，支持液冷盲插，支持防喷射装置
CDU	<ul style="list-style-type: none"> 柜内可配置分布式 CDU，4U 高度，80kW 制冷能力，流量$\geq 90\text{L/min}$
节点配置	<ul style="list-style-type: none"> 多场景服务器节点兼容，1U/2U/4U、21 英寸
场景	<ul style="list-style-type: none"> 通算、智算、HPC 等

3.2.3 宁畅整机柜服务器设计实例



图3-3 宁畅B8000整机柜服务器

宁畅B8000整机柜服务器支持第三方标准交换机及标准电源箱部署在机柜内，支持标准19英寸服务器上架，可支持整柜、半柜、多节点出货等一体化交付模式，满足用户部署标准机架式服务器实现计算、存储、AI扩展。

B8000整机柜尺寸为标准19英寸机柜尺寸：2000mm（高）×600mm（宽）×1200mm（深）；可用标准U数：42U；支持电、液、网三总线盲插与非盲插节点的安装，同时支持风冷及全液冷等不同U数标准服务器产品上架。集高密算力、轻松部署、绿色节能、快速交付、智能运维等众多优势于一体，全液冷整机柜服务器节点设计，服务器液冷占比100%，散热效率提升50%，N+1/N+N冗余集中供电设计，高效节能，支持快速运维部署，交付速度相比传统提升10倍。适用于云计算、虚拟化、大数据、高性能计算等应用，让数据中心建设“更快、更好、更省”。整体产品特点如下：

配置灵活 智能运维：电、网、液三总线设计，支持节点全盲插，实现高效运维；标准19英寸服务器、第三方标准交换机、电源箱一体化集成于整机柜，部署便捷，整机柜一体化交付，极大节省上架时间；精准的U位识别，集中式管理设计，通过机柜级RMC模块，可有效监控、管理整机柜各模块；液冷防护设计实现液体全隔离，水质水温实时检测，四重漏液检测机制，智慧精准运维；灵活搭配出货方式：支持风冷、液冷，整机柜整柜、半柜、外置电源箱及多节点服务器出货方式，满足不同客户、场景需求。

高密算力 极致性能：标准 42U 高度，兼容标准19英寸服务器节点，整机柜高密设计，可实现单机柜68节点。服务器整机无风扇全液冷冷板式散热，核心器件温度降低不低于15℃，释放更强性能；液冷设计覆盖率可达100%，PUE低至1.08，降低TCO，液冷部件高可靠性，严控部件材质选型，发挥高效性能；

高效互连 网络灵活： B8000整机柜服务器采用MCR内存模组，MCR内存模组采用了LRDIMM“1+10”的基础架

构，与普通 LRDIMM相比，MCR内存模组可以同时访问内存模组上的两个阵列，提供双倍带宽，最高支持8800MT/s 速率。针对传统双路节点上相邻两颗CPU上的进程跨节点通信性不均衡问题，采用Multi-Host高速网络技术作为解决方案，所有CPU都直连到共享400Gb/s网络上，CPU间是对等的关系，性能更卓越。

高效率集中式供电：宁畅B8000整机柜服务器采用54V集中式供电。整机柜54V集中供电是现代数据中心的一种高效、可靠的电源方案，在电源损耗上，相较于更高电压的交流供电，54V直流供电的损耗相对较低，能更高效地将电能传输到设备。其次，集中供电可以减少冗余电源模块和插座的需求，节省机柜内部的空间。同时，集中供电简化电源布线，便于后期的扩展和维护。在故障与管理方面，宁畅B8000整机柜采用54V集中供电系统配备了冗余电源，支持N+1/N+N冗余，有助于提高整体供电的稳定性和可靠性，同时，在确保供电设备的绝缘性能和防护措施外，相较于高电压交流供电，直流供电的电压较低，更能有效降低电击风险。根据《数据中心设计规范》GB50174的规定A级数据中心配电设计要求具有容错能力，发生单点故障时，系统能够继续可靠运行。

100%全液冷服务器节点，创新液冷设计：三盲插浮动模块设计，快插接头选用UQDB04和UQD04、CG005，做到厂商解耦；盲插manifold本体共用，通过更换不同的底座和转接头可以兼容适配多种规格盲插接头；整机无风扇全液冷冷板式设计，冷板覆盖率100%，关键核心部件温度下降超过15度，设备散热效率提升50%；一体化液冷方式，不改变冷板前提下支持多款标准网卡和OCP网卡、硬盘等，热管内存方案更具无漏液可靠性设计；流量调节泵支持PWM调速，根据BMC监控的液冷部件温度做到精准调控。

表3-3 宁畅B8000整机柜服务器产品规格

组件	规格描述
整机柜	标准 42U 高度，兼容标准 19 英寸服务器节点
节点服务器	支持 34 台 1U 服务器 68 节点
高速网络	预留 4U/6U 灵活空间，可选支持 1G、10G、25G、100G、200G、400G 等不同速率交换机可灵活搭配
电源模块	集中供电模块可位于机柜上部、中部和下部最大支持两个 54V 电源箱，最大支持 120kW，24 个 PSU 可支持 N+1/N+N 冗余
散热模块	支持风冷、液冷、整机无风扇全液冷，高度解耦，根据节点配置可实时更换
管理模块	支持 Redfish、SNMP、IPMI2.0 等标准接口，基于 iKVM/HTML5 的远程管理界面，提供全面的故障诊断、自动化运维、远程管理的功能；机柜级双 RMC 模块，可有效监控、管理整机柜各模块的状态、资产信息，简化系统管理工作，提高运维效率
配套介质	选配带内管理交换机、业务交换机、IB 交换机、配套线缆、USB Hub 等
Manifold	整体规格 50×50×1600（mm），底部为 1.5 法兰卡盘接口 机柜流量：0~200L/min，节点流量 0~7.3 L/min，采用盲插连接 支持去离子水/25%乙二醇/25%丙二醇等常规冷却介质 支持漏液导流、收集和告警功能；支持节点插拔防喷溅功能 支持机柜排气阀快捷拆装、支持机柜底部快速排液
外形尺寸	2000.0mm(高)×600.0mm(宽)×1200.0mm(深)

3.2.4 超聚变整机柜服务器设计实例



图3-4 超聚变FusionPoD通算和智算整机柜服务器

超聚变FusionPoD系列服务器采用一种整机柜架构兼容通用算力和智能算力。

超聚变打造创新架构整机柜液冷服务器，整机柜使用机柜上走电下走水架构，原生液冷设计实现天然可靠性保障，支持100%液冷散热，PUE达1.10以下，满足国家政策要求，是东数西算最佳的液冷解决方案，整机柜支持高密部署，整机柜可支持144个CPU或64GPU；业界首创液、网、电三总线盲插，机柜内0线缆部署，实现即插即用，即拔即断的极简部署，支持机房向机器人运维演进，同时配套超聚变智能运维管理软件业务上线效率提升10倍以上。

在供液上，采用浮动盲插快接、漏液隔离、漏液导流与防喷射技术，实现原生液冷的高可靠连接和漏液预防，保障液冷系统稳定可靠运行。

在网络上，采用全铜缆cable背板的方式，实现了112G高速互连，并向224G/448G持续演进。

在供电上，采用集中式供电，独特的电源STS设计，在支持2N供电输入的同时，整机供电效率提升1%，功率密度提升45%，单柜支持105kW+供电，具备进一步演进的能力。

超聚变通过架构创新和整机工程技术创新打造最佳的商用液冷方案，致力为客户提供绿色节能算力，为东数西算主要枢纽节点提供优质方案。

在国内某液冷数据中心布署有超聚变上万液冷节点，是全球最大液冷集群，TCO降低30%，交付效率提升100%。

超聚变数字技术有限公司经过10年可靠性积累，170余项可靠性测试，已经成功在国内外交付商用液冷服务器70000+台，商用案例有互联网、高校、云数据中心、政企、超算、金融等。

表3-4 超聚变FusionPoD整机柜服务器产品规格

组件	规格描述
机柜柜体	<ul style="list-style-type: none"> 尺寸：高 2200mm（不带脚轮），深 1200mm，宽 600mm，节点 21 英寸宽度 可用空间：46 槽位，最高 36 个 1U 通用服务器节点，8 个 4U GPU 节点
选配	<ul style="list-style-type: none"> 液冷门
供电模块	<ul style="list-style-type: none"> Powershell高度为3U，默认装配位置1~3U，最大支持两组 最大输出功率:FusionPoD 33kW； FusionPoD for AI 120kW 电源框A/B路输入，N+N'冗余 双输入PSU，48Vdc输出，电源模块N+M冗余
智能管理	<ul style="list-style-type: none"> 支持PSU、传感器、漏液监控、资产管理等功能 支持智能运维和管理
交换机模块	<ul style="list-style-type: none"> 支持5个交换槽位，最多支持7台交换机（19槽位支持3台定制交换机）
Manifold	<ul style="list-style-type: none"> 位于机柜后侧左部，支持液冷盲插，支持防喷射装置
节点配置	<ul style="list-style-type: none"> 多场景服务器节点兼容，1U/4U、21 英寸
机柜尺寸	<p>FusionPoD</p> <ul style="list-style-type: none"> 带液冷门（含脚轮）：600x2250x1225mm 不带液冷门（含脚轮）：600x2250x1175mm <p>FusionPoD for AI</p> <ul style="list-style-type: none"> 带液冷门（含脚轮）：600x2250x1325mm 不带液冷门（含脚轮）：600x2250x1200mm
场景	<ul style="list-style-type: none"> 通算、智算、HPC 等

3.2.5 超云整机柜服务器设计实例



图3-5 超云整机柜服务器

超云新型整机柜服务器架构，以期提供更高效、高密、低碳、易用、快速部署的绿色智算中心和数据中心解决方案。整机柜服务器**核心特性**：

节能型IT硬件设备：支持节能型液冷和48V直流供电服务器，使用液冷技术和高压直流供电技术提升IT设备算例的同时降低设备能耗。

配套液冷热控系统：支持一种一体式液冷循环系统，配套节能型IT硬件设备应用，具有管理IT硬件设备在内的整体散热能效控制系统。

配套48V高压直流供电系统：支持48V直流供电系统，配套节能型IT硬件设备应用，包括液冷电源设备和备用电池设备在内的供电架构，液冷电源部分可监测供电系统电压、电流及温度参数，满足稳定直流电源输入IT硬件设备，保障设备稳定高效运行。

高效冗灾系统：支持备电10分钟及以上，备用电池部分采用新型高效锂电池，在节能性、效率寿命、体积、质量、安全方面，对比传统磷酸铁锂电池显著优化。

柜级消防系统：支持柜级消防系统，包括BMS控制系统和新型灭火剂，快速探测控制系统，具备更精准、快速灭火特性，新型环保灭火冷剂在满足灭火特性条件下，有良好环境友好性，具备ODP值为0和较低的GWP值。

超云新型整机柜服务器，**应用场景广泛**，面向高性能计算中心和一体化大数据中心场景，支持云计算、存储、网络、能源的原生一体化整机柜，具有高能效、绿色节能、极简运维等特点，帮助构建高能效的超大规模智算中心和数据中心集群。

表3-5 超云SUPER RACK整机柜服务器产品规格

组件	规格描述
机柜系统	兼容19、21英寸，42U标准机柜
	机柜系统尺寸（H*W*D）：2045×600×1200（mm）
	机柜兼容液冷和风冷配置、兼容PDU供电和Busbar铜排安装、支持水、电、网二总线/三总线盲插
服务器节点	通用算力节点（2U2S/1U2N/4S）
	网络算力节点，交换模块的带宽支持 $\geq 25.6\text{T}$
	智算算力节点（4U2S80AM/4U2S16GPU）
供电系统	传统PDU供电和Busbar集中供电模式可选
	33kW/U电源，支持N+N冗余模式
	转换效率高达96%以上
液冷系统	支持机架式和柜式CDU覆盖30-700kW
	液冷覆盖整机柜不少于60%散热量
特点	密度提升，优化后的散热与供电架构，单柜功率密度可提升至30-120kW
	灵活定制，全模块化设计，根据需求灵活搭配
	高度集成，柜内集成机柜系统、供配电系统、制冷系统、备电系统、消防系统

3.2.6 中科可控整机柜服务器设计实例



图3-6 中科可控D9000 G5整机柜服务器

中科可控高融合一体化算力平台D9000 G5整机柜服务器，满足“算、存、管、用”多维需求，“全屋定制”般部署。

高密算力：D9000 G5节点有单节点256核心512线程的算力产品，算力密度提高4~8倍以上。

存算合力一机制胜：全闪升级，满足语料读取，大模型Checkpoint需求，实现高全闪存储，高IOPS带宽，实现全闪和混闪灵活配置。

快速部署，智能运维：自研“积木式”模块化部署，周期节省80%，服务器节点、交换节点、管理模块、电源模块一体化集成，一体化运输，机柜级交付。

半柜、整柜“全家桶”，实现灵活配置：电源箱，交换机，节点位置可以根据现场的基础设施灵活调整，支持整柜、半柜形态。整机柜设计适用于高端计算、通信、金融、科教等用户，半机柜适用于中小型数据中心，科研高校等用户

中科可控融合一体化算力平台D9000 G5整机柜服务器，核心特性如下：

全盲插，智能操作高效，节点级MTTR节省30%以上；

精准的U位识别，RMC整柜和节点信息全掌握，简化远程智能运维场景；

智能双重（节点级与机柜级）漏液防控设计，远程和智能操控供电和供液，面向机房无人化运维场景；

绿色节能，智能供电节能，集中供电效率提升，整柜节能20%以上；

覆盖风冷，风液等节能模式，最大程度扩展机房兼容性；

液冷覆盖率超95%，智能CDU流量调节，二次流量泵调节，最高节能56%。

表3-6 中科可控D9000 G5整机柜服务器产品规格

D9000 G5 整机柜服务器机柜系统	
形态	标准 42U 高度，兼容 19 英寸服务器节点
散热方式	支持风冷与液冷，高度解耦，根据节点配置可实时更换
电源模块	集中供电模块可位于机柜上部、中部和下部 最大支持两个 12V 电源框，最大支持 44kW，16 个 PSU，可支持 N+2/N+N 冗余
网络模块	预留 4U/6U/8U 灵活空间，可选支持 1G、10G、25G、100G、200G、400G IB 等不同速率交换机
管理功能	支持 Redfish、SNMP、IPMI2.0 等标准接口，基于 iKVM/HTML5 的远程管理界面，提供全面的故障诊断、自动化运维、远程管理的功能，支持 BMC 双 flash 冗余备份机柜级双 RMC 模块，可有效监控、管理整机柜各模块的状态、资产信息，简化系统管理工作，提高运维效率
分液单元	机柜流量：0~200L/min，节点流量 0~5.5 L/min，最大支持 36 组支路，去离子水、EG25（25%乙二醇水溶液）、PG25（25%丙二醇水溶液）等常规冷却介质支持漏液导流、收集和告警功能；支持节点插拔放喷溅功能支持机柜排气阀快捷拆装、支持机柜底部快速排液
结构尺寸	2000.0mm(高)×600.0mm(宽)×1200.0mm(深)
工作温度	5℃~45℃
整机净重	330Kg（不包含节点）
N6150H0L 节点系统	
处 理 器	支持两颗 Hygon7400 系列处理器
内 存	提供 24 根内存插槽，支持 RDIMM 内存，支持 ECC
网络	可选 1 个 OCP3.0 1G/10G/25G 网卡
	支持标准 PCIe 1G/10G/25G/40G/100G/200G/400G 网卡
PCIe 扩展	最大扩展 2 个 PCIe x16 扩展插槽
存储控制器	板载 SATA 硬盘控制器 SAS 卡控制器，支持 RAID 0/1/10；RAID 卡控制器支持 RAID 0/1/5/6/10/50/60，支持 Cache 超级电容保护，提供 RAID 状态迁移、RAID 配置记忆等功能
显示系统	集成显示控制器，32MB 显存，最大分辨率 1920×1200
存储方案	前置：4x2.5” SAS/SATA/NVMe 或 4x3.5” SAS/SATA 支持热插拔支持 1 个 M.2 SSD
其他端口	2 个 VGA 接口，1 个位于机箱后部，1 个位于机箱前部 4 个 USB 接口，2 个位于机箱后部、2 个位于机箱前部 1 个 RJ-45 管理接口位于机箱后部 1 个 Type-C Debug 接口位于机箱前部
电源	机柜集中供电
散热	支持风冷和液冷两种散热方式：风冷支持 8 个热插拔风扇模组，支持 N+2 冗余；液冷支持冷板散热
机箱尺寸	43.2mm(高) × 435mm(宽) × 917mm(深)
	43.2mm(高) × 551mm（含助推器）mm(宽) × 917mm(深)
工作温度	5℃~45℃

3.2.7 联想整机柜服务器设计实例



图3-7 联想整机柜服务器

联想整机柜服务器设计理念：

整机柜服务器设计致力于简化服务器与机柜的安装、提高部署效率，降低运营成本。

通过48V整机柜电源与全液冷结合的技术，持续追求整机柜能效极致。

在针对计算的节点上，坚持高计算密度、高稳定性、高安全性和低PUE的“三高一低”设计理念，致力于未来构建多元算力低碳数据中心。

设计最大兼容性，支持19寸节点，支持超节点整机柜中计算/交换节点的部署，风冷液冷兼容，机柜支持托架及滑轨安装以满足不同上架需求。

机柜预留水冷门设计，用于不同散热密度的机房或数据中心，可以解决机房气流组织紊乱，局部热点等问题，同时可以减少数据中心的能耗。

高强度，支持高密度整机柜运输交付。

核心特性及典型应用场景：

整机柜专为高性能、高可用的服务器和存储环境而设计，它们经过优化，最大限度在工厂一体化集成于整机柜，加快部署速度，简化线缆管理，以提高维护便捷性，同时提供灵活性配置，针对超节点整机柜，支持多家GPU设计，节点水冷模块，供电模块，总线模块均可实现盲插，提高运维效率。

机柜系统支持风冷或液冷（冷板式）的散热方式，采用液冷散热比传统风冷散热更能降系统功耗和噪音，解决热流密度高部件及整机柜的散热问题，同时可降低数据中心的PUE值，主要液冷部件采用模块化设计，支持多种配置，歧管通过快速连接直接为水冷服务器供排水，支持计算节点的实时盲插，易于维护、扩展和升级。

直接水冷设计最高可散除机架中的服务器生成的95%热量，使处理器工作温度比通常风冷设计更低，系

统整体性能提升高达10%，进水可使用50度温水，可以减少甚至无需昂贵的数据中心冷却装置，不但可以节省设备成本，也减少了占地空间，出水可用于园区建筑供暖，以减少总体能源消耗，进一步降低能源成本。液冷技术可实现温水液冷和数据中心热能回收，既可以提升5%的算力，还可以降低42%的能耗，并创造高达90%热能的回收再利用，为多元的计算场景进行全面的绿色赋能。

产品规格概要介绍：

机柜48U，长宽高分别为：1200mm × 600mm × 2277mm。

Busbar支持在机柜尾部不同位置安装以适配不同服务器的安装。

机柜尾部侧边预留固定PDU及manifold结构满足传统服务器的安装，机柜正后方预留固定manifold结构以满足水冷模块盲插需求。

机柜方孔条设计支持位置可调以兼容不同rack post 滑轨。

可选支持Power shelf集中供电模式或者PDU供电方式，机柜侧边支持1U PDU安装，不占用机柜U数。

机柜可承载服务器最大重量1.2T，机柜可经受8级烈度抗震。

机柜支持服务器节点前后出线，整机柜带有防震托盘设计，便于运输。

计算节点在机柜中最多可以支持144张GPU和72个CPU,单机柜达到约7.5PFlops双精度计算能力，采用了冷板全水冷设计方案，功耗器件覆盖高达98%，可将数据中心PUE降到1.1以下，覆盖了CPU/GPU/内存/硬盘等所有关键部件，并且无风扇的设计，能够减少风扇故障点。

4 倡议：共同推进整机柜服务器标准和生态建设

目前，国内外整机柜服务器标准不一，头部用户各自主导制订面向特定业务场景的整机柜服务器技术规范，对其他用户的场景覆盖不足，难以形成事实上的统一标准，给整机柜服务器的规模化推广带来极大困难，大大限制了整机柜服务器在更广泛的行业和用户的产业化落地。

随着AI产业的蓬勃发展，高质量算力迭代加速，加之政策引导，整机柜服务器契合了绿色低碳、集约高效的发展要求，其产品形态相较传统机架式服务器的优势日益凸显。

因此，有必要制定一套面向整机柜服务器的通用技术标准，覆盖AI、云计算、高性能及通用计算等广泛的业务场景，兼容风冷、液冷及混合散热方案，兼容盲插和手动装配总线集成方案，解决由于标准不统一所带来的生态构建和产业化推广问题，给数据中心基础设施提供标准支撑，构建完善的整机柜服务器产业生态并实现大规模部署，推动液冷、集中供电等高效技术方案的产业化进程，实现算力基础设施绿色低碳高效运营，助力双碳目标实现。

配合标准规范，积极推广第三方认证评测来提升标准化质量，完善标准体系。通过引入专业的第三方认证机构，对整机柜服务器进行全面的性能测试和评估，提升产品质量，确保产品的性能和可靠性，增强用户信心，促进产品的市场推广和应用，推动技术创新，进而推动产业健康发展。

5 附录及参考文献

- [1]. Achiam J, Adler S, Agarwal S, et al. Gpt-4 technical report[J]. arXiv preprint arXiv:2303.08774, 2023.
- [2]. Rae J W, Borgeaud S, Cai T, et al. Scaling language models: Methods, analysis & insights from training gopher[J]. arXiv preprint arXiv:2112.11446, 2021.
- [3]. Touvron H, Lavril T, Izacard G, et al. Llama: Open and efficient foundation language models[J]. arXiv preprint arXiv:2302.13971, 2023.
- [4]. Zeng W, Ren X, Su T, et al. PanGu- α : Large-scale autoregressive pretrained Chinese language models with auto-parallel computation[J]. arXiv preprint arXiv:2104.12369, 2021.
- [5]. Artetxe M, Bhosale S, Goyal N, et al. Efficient large scale language modeling with mixtures of experts[J]. arXiv preprint arXiv:2112.10684, 2021.
- [6]. Fedus W, Zoph B, Shazeer N. Switch transformers: Scaling to trillion parameter models with simple and efficient sparsity[J]. The Journal of Machine Learning Research, 2022, 23(1): 5232–5270.
- [7]. Lin J, Yang A, Bai J, et al. M6-10t: A sharing-delinking paradigm for efficient multi-trillion parameter pretraining[J]. arXiv preprint arXiv:2110.03888, 2021.
- [8]. OpenBMB. BMList. <https://openbmb.github.io/BMList/list/>.
- [9]. NVIDIA Blackwell Architecture Technical Brief.
- [10]. Strubell E, Ganesh A, McCallum A. Energy and policy considerations for deep learning in NLP[J]. arXiv preprint arXiv:1906.02243, 2019.