

# 浅谈模块化智算中心建设

罗松华 王洪亮 薛帮国

河南省信息咨询设计研究有限公司 河南 郑州 450008

**摘要:** 模块化智算中心建设以其高效、灵活、节能的特点成为智算中心领域的新趋势。通过将智算中心拆解为可预制、预测试的模块单元,如机柜、供电、制冷等,实现快速部署与按需扩容。该模式降低了建设成本,提高了能源利用效率,并增强了系统的可靠性与可维护性。然而,技术兼容性、供应链风险等问题仍需解决。未来,应推动标准化进程,加强技术创新,以应对智算中心行业日益增长的需求与挑战。

**关键词:** 模块化智算中心; 建设; 关键技术

**引言:** 随着人工智能的飞速发展,智算中心作为信息基础设施的核心,正面临着前所未有的挑战与机遇。模块化智算中心建设作为一种新兴的智算中心部署模式,凭借其高效、快速、灵活的特点,日益受到业界的广泛关注。本文旨在深入探讨模块化智算中心建设的优势、关键技术、面临的挑战及应对策略,以期为智算中心行业的可持续发展提供新的思路与解决方案,推动智算中心建设向更加高效、智能、绿色的方向发展。

## 1 模块化智算中心概述

### 1.1 定义与特点

#### 1.1.1 模块化智算中心的概念

模块化智算中心是基于人工智能发展起来的新一代智算中心部署形式。它秉持模块化设计理念,把智算中心拆解为多个功能独立却能灵活组合的模块单元,像机柜模块、供电模块、制冷模块等。各模块在工厂完成预制与预测试,能独立发挥特定功能,通过它们的灵活搭配,可快速完成智算中心的规划、设计与建设工作。该模式最大程度降低了基础设施对机房环境的耦合,还集成了供配电、制冷、机柜、气流遏制、综合布线、动环监控等子系统。

#### 1.1.2 主要特点

(1) 高可靠: 采用模块化、标准化设计,系统稳定度高。可依客户需求与实际情况,在供电和制冷核心设备配置上,提供N+1、N+X、2N等设计方案,满足Tier3到Tier4各种等级标准,安全可靠。(2) 高效节能: 实现IT设备按需供电与制冷,供电和制冷系统容量与负载需求更匹配,提高工作效率并减少过度配置。例如微模块电源转换率高达95%,采用冷通道封闭隔离,冷热气流互不干扰,避免热岛效应与风量冷量损耗,结合水冷、自然冷却系统,PUE可降至1.3以下。(3) 整体快速部署: 模块在工厂预制,提高规划设计效率。批量生产

加快供货速度,标准化组件减少现场装配工作量,且模块可在工厂组装并预先测试,保障调试速度与可靠性。采用模块化设计,结合基础设施+IT设备一体化交付,能将智算中心部署周期缩短至数周<sup>[1]</sup>。

### 1.2 发展历程与现状

(1) 模块化智算中心的发展历程: 20世纪90年代起源于美国,起初主要以集装箱式智算中心为主。21世纪初,国内开始关注,逐步形成一定市场规模。近年来,伴随云计算、大数据等新兴技术发展,市场需求日益旺盛,行业竞争愈发激烈。(2) 当前市场状况及发展趋势: 国内模块化智算中心市场处于高速增长阶段,已成为智算中心行业公认趋势。重量级厂商纷纷发布基于模块化的智算中心综合解决方案,并投入大量研发力量,将智能化技术应用其中。未来,模块化智算中心将朝着绿色节能、智能化、云边协同、区域化方向发展,以满足智算中心集中化、大型化、高密化、复杂化趋势的需求。

## 2 模块化智算中心建设的优势

### 2.1 高效部署与灵活性

(1) 工厂预制,缩短现场工期: 模块化智算中心的核心组件(如机柜、供电模块、制冷模块)均在工厂完成预制生产与集成调试,涵盖电气接线、管路连接、系统测试等全流程。现场仅需进行模块运输、定位拼接与接口对接,无需传统智算中心繁琐的现场土建、管线铺设与设备组装工作。以中小型智算中心为例,传统建设模式需6-12个月,而模块化模式通过工厂预制可将现场工期压缩至1-3个月,大幅提升建设效率,满足企业对智算中心快速投产的需求。(2) 独立模块单元,按需自由组合,实现按需部署: 每个模块单元功能独立且接口标准化,企业可根据业务发展阶段与算力需求,灵活选择模块数量与类型。例如,初期业务规模较小时,可仅部署2-3个IT机柜模块与1个配套供电、制冷模块;随着业务增

长,无需对现有系统大规模改造,直接新增同标准模块即可完成扩容。这种“按需部署”模式避免了传统智算中心初期过度投资、资源闲置的问题,实现资源配置与业务需求的精准匹配。

## 2.2 节能环保与智能管理

(1) 精准送风技术,提高空调效率,降低能耗:模块化智算中心普遍采用封闭冷通道(或热通道)设计,结合列间空调、地板下送风等精准送风技术,将冷空气直接输送至服务器进风口,减少冷热气流混合造成的冷量损耗。相比传统机房“全面送风”模式,精准送风技术可使空调制冷效率提升30%以上,有效降低智算中心PUE(能源使用效率),部分先进项目PUE可降至1.2以下,每年减少大量电力消耗,符合绿色低碳发展要求。

(2) 智能管理系统,实现智算中心运行状态的实时监控与优化:模块化智算中心集成了统一的智能管理平台,通过传感器实时采集各模块的电力参数、温湿度、设备运行状态等数据,并以可视化界面呈现。系统可自动识别异常情况(如温度超标、设备故障),触发报警并推送至运维人员;同时基于AI算法分析能耗数据,优化供电与制冷系统运行策略,例如根据服务器负载自动调节空调风量、动态分配电力资源,进一步提升运行效率与稳定性<sup>[2]</sup>。

## 2.3 成本节约与运维简化

(1) 标准化设计,降低采购与运维成本:模块化组件遵循统一标准,企业采购时可对比不同厂商产品,避免单一供应商垄断导致的高价采购;同时,标准化组件的备件通用性强,减少备件库存种类与数量,降低库存成本。在运维阶段,标准化设计使运维人员无需熟悉多种不同规格设备的操作,简化培训流程,降低人力成本,且故障排查时可快速定位问题模块,减少停机时间带来的损失。(2) 模块化结构,便于维护与升级:各模块单元物理隔离且功能独立,维护时仅需针对故障模块进行操作,无需中断整个智算中心运行。例如,某一供电模块故障时,可直接将备用模块替换,整个过程仅需数小时,而传统智算中心类似故障修复可能需要1-2天。在设备升级方面,模块化结构支持单模块内服务器、电源等设备的独立更新,无需对整体系统架构进行改造,降低升级难度与成本,延长智算中心整体使用寿命。

## 3 模块化智算中心建设的关键技术

### 3.1 标准化设计

(1) 模块化组件的统一设计规范:围绕供电、制冷、机柜等核心组件,制定涵盖尺寸、接口、性能参数的统一标准。例如,机柜模块需遵循统一的高度、宽度

及承重标准,供电模块接口需符合行业通用电气参数,确保不同厂商生产的同类型组件可无缝适配,避免因设计差异导致的兼容性问题,为模块化智算中心的规模化建设奠定基础。(2) 标准化带来的兼容性与互换性优势:兼容性让智算中心可灵活选用不同品牌的合格组件,降低对单一供应商的依赖,增强供应链弹性;互换性则便于组件的快速替换与升级,当某一组件出现故障时,无需对整体系统进行大规模改造,仅需更换符合标准的备用组件,大幅缩短故障修复时间,同时减少后期扩容或改造的成本与难度。

### 3.2 独立模块单元

(1) 模块的功能划分与资源配置:依据智算中心业务需求,将整体系统划分为供电模块、制冷模块、IT机柜模块等功能单元。供电模块配置UPS、配电柜等设备,满足模块内IT设备的电力需求;制冷模块配备精密空调、气流控制装置,保障模块内温湿度稳定;IT机柜模块则根据服务器密度,合理规划机柜数量与布局,确保资源配置与功能需求精准匹配。(2) 模块的独立运行与协同工作能力:每个模块具备独立的供配电、制冷及监控系统,可脱离其他模块单独运行,降低单一模块故障对整体系统的影响。同时,通过统一的监控与管理平台,各模块能实现协同工作,例如当某一IT模块负载增加时,监控系统可联动制冷模块自动调节冷量输出,保障整体系统运行效率与稳定性<sup>[3]</sup>。

### 3.3 工厂预制与现场组装

(1) 工厂预制阶段的生产与质量控制:在工厂内搭建专业生产线,按照标准化设计方案进行组件组装与系统集成。引入自动化生产设备,确保组件安装精度,并建立全流程质量检测体系,对模块的电气性能、制冷效果、结构稳定性等进行逐一测试,生成详细检测报告,杜绝不合格产品流入现场,保障模块出厂质量。(2) 现场组装的快速与高效性:工厂预制完成的模块运输至现场后,仅需进行简单的拼接与接口连接。由于模块在工厂已完成大部分集成与调试工作,现场无需复杂施工,大幅缩短建设周期。以中小型智算中心为例,传统建设需数月,采用工厂预制+现场组装模式可将时间压缩至数周,同时减少现场施工人员数量与作业强度,降低安全风险。

### 3.4 高效冷却与能源管理

(1) 封闭冷通道与精准送风技术:通过物理隔离手段构建封闭冷通道,将冷空气限定在通道内,避免与热空气混合。结合地板下送风或机柜列间空调,实现精准送风,让冷空气直接输送至服务器进风口,提升冷却效

率,降低冷量损耗,使智算中心PUE(能源使用效率)有效下降。(2)热回收与液冷技术的应用:热回收技术将服务器产生的废热收集,用于办公楼供暖、热水供应等场景,实现能源二次利用;液冷技术则针对高功率密度服务器,通过冷却液直接与发热部件接触,相比传统风冷具备更强的散热能力,适用于AI计算、高性能计算等高密度算力场景,解决高密环境下的散热难题。(3)能源管理系统与绿色节能策略:部署智能化能源管理系统,实时监测智算中心各模块的电力消耗、制冷能耗等数据,通过数据分析优化能源分配。同时,结合绿色节能策略,如采用光伏供电、储能系统,利用自然冷源等,减少对传统能源的依赖,推动智算中心向低碳、绿色方向发展,符合“双碳”目标要求<sup>[4]</sup>。

#### 4 模块化智算中心建设的挑战与对策

##### 4.1 技术挑战

(1)模块间的兼容性与稳定性问题:不同厂商的模块组件在接口协议、数据传输标准上存在差异,导致跨品牌模块拼接时易出现兼容性故障,如供电模块与IT机柜模块通信中断。同时,模块长期运行中,各单元协同工作时的负载波动可能引发系统稳定性问题,例如某一制冷模块故障后,其他模块无法及时补位,导致局部温度异常。(2)高效冷却与能源管理的技术瓶颈:面对高密服务器算力提升,传统封闭冷通道技术难以满足局部高热密度散热需求,易出现热点聚集。在能源管理方面,现有系统多聚焦单一模块能耗监控,缺乏对整体能源分配的动态优化能力,且新能源(如光伏)与智算中心能源系统的协同融合技术尚不成熟,绿色能源利用率较低。

##### 4.2 市场挑战

(1)厂商锁定与供应链风险:部分厂商通过proprietary(专有)技术设计模块组件,使客户后续扩容或更换组件时只能依赖原厂商,形成“厂商锁定”,增加客户成本。同时,全球供应链波动(如芯片短缺、物流受阻)导致模块核心组件(如精密空调、UPS设备)供货延迟,影响项目建设进度,加剧供应链风险。(2)市场需求与定制化需求的平衡:市场主流需求偏向标准化模块以降低成本、加快部署,但不同行业客户(如金融、医疗)存在个性化需求,例如金融行业需更高等级

的冗余供电设计,医疗行业对温湿度控制精度要求更严。过度强调标准化会失去定制化客户,而过度定制化又会增加生产复杂度,推高成本,难以平衡二者关系。

##### 4.3 对策与建议

(1)加强标准化与互操作性研究:由行业协会牵头,联合头部厂商制定统一的模块接口、通信协议等标准,强制要求厂商遵循通用规范,打破技术壁垒。同时,建立第三方互操作性测试平台,对模块组件进行兼容性认证,确保跨品牌模块稳定协同。(2)推动技术创新与产业升级:加大研发投入,攻关高密散热技术(如浸没式液冷)和智能能源管理系统,实现多模块能源动态调配;探索“光伏+储能+智算中心”一体化技术,提升绿色能源利用率。鼓励高校、企业共建实验室,加速技术成果转化,推动产业向高效化、低碳化升级。(3)拓展市场份额与增强供应链韧性:厂商需优化产品矩阵,在标准化基础上提供模块化定制服务,满足不同行业需求,同时通过联合分销、区域合作拓展市场。供应链方面,建立核心组件多供应商体系,与上游企业签订长期合作协议,搭建供应链预警平台,提前应对断供风险,保障项目稳定推进。

##### 结束语

模块化智算中心建设凭借其快速部署、高效运营及灵活扩展等优势,正逐步改变智算中心行业的发展格局。面对技术融合、标准化需求及供应链安全等挑战,业界需不断探索创新,深化模块化设计的应用,加强产业链协同。未来,模块化智算中心将成为推动智算中心行业转型升级的重要力量,助力实现智算中心的高效、智能与可持续发展,为社会信息化进程贡献力量。

##### 参考文献

- [1]张春艳.对建设模块化数据中心机房的思考[J].金融科技时代,2023,(06):69-71.
- [2]王涛,陈昊阳.关于预制模块化数据中心建设发展的研究[J].中国金融电脑,2022,(09):86-87.
- [3]杨辰,李俊山.基于模块化数据中心的低碳化技术分析[J].信息技术与标准化,2021,(12):57-58.
- [4]赵富山.绿色节能模块化数据中心建立的探讨[J].租售情报,2021,(14):159-161.