

面向AI高密算力:
抖音数据中心CDU技术工程实践

郭杰

Open AI Infra 社区液冷项目组项目经理
字节跳动技术专家

演讲目录

01 算力升级驱动CDU演进

单柜功率攀升，倒逼从项目定制走向规格统一

02 标准化 CDU 的工程设计

统一设计输入、产品矩阵、核心部件与维护性

03 负压 CDU：一条安全架构演进分支

把"破口喷液"变成"破口进气"的物理原理与验证边界

04 未来方向与思考

从单台产品走向系统、控制与生态的整体能力

行业需求与工程痛点，共同推动 CDU 走向标准化

从行业发展与市场变化出发，识别现状痛点，再形成可复制的解决路径

01 行业发展及市场分析

算力密度持续提升

AI 计算推动单柜功率与冷却需求快速增长，冷板式液冷成为高密度场景的重要基础设施

液冷市场加速扩展

项目规模扩大、交付数量增加，行业需要更稳定、更易复制的 CDU 产品与技术体系

02 现状及痛点分析

系统复杂度与水质要求

高功率密度推升机柜液冷系统复杂度，冷板 fin gap 持续收窄至工艺极限，对水质的要求同步提升

CDU定制化程度高

规格、接口与控制逻辑分散，系统集成成本高、周期长，难以形成通用方案

节能与运维压力

换热效率、泵耗、复杂水质与专业运维要求并存，系统可靠性管理难度较高

漏液检测存在局限

传统检测多依赖漏液传感器事后告警，难覆盖冷板、快接与管路的全部潜在漏点

03 解决路径

标准化 CDU 为主线

统一冷量档位、核心部件、接口布局、测试与运维规范，降低集成成本并支撑规模化复制

负压 CDU 作为补充

引入负压架构：根除漏液；低承压需求，简化冷板密封并降低水质与运维要求

主线：以标准化 CDU 解决规模化交付问题，以负压 CDU 作为液冷技术路线的重要补充。

标准化 CDU：以冷量档位收敛为起点

从设计边界出发，经 2N / 4DR、液冷占比与冗余方式校核，形成 650 / 850 / 1300kW 标准颗粒度

统一设计输入

先锁定边界，再收敛规格

- **架构约束**
  2N / 4DR、冗余方式
- **水力边界**
  流量、压降、资用压差
- **换热需求**
  单柜功率、温差、压差需求
- **部署边界**
  维护面、管路与接口

从电力架构到单台 CDU 冷量

推导链路

电力架构（2N / 4DR 带载能力） → 液冷承担（不同液冷占比场景） → 冗余分摊（2+1 / 3+1 运行架构） → 颗粒归并（跨场景复用、减少 SKU）

极限架构场景校核

4DR · 5400kW
90% 液冷 · 3+1 单台需求约 891kW

2N · 4500kW
80% 液冷 · 3+1 单台需求约 660kW

在不同占比与 **2+1 / 3+1** 分摊下，将连续需求区间归并为少数通用档位。

收敛结果

三档标准颗粒度

650 kW
可向上覆盖约 750kW

850 kW
可向上覆盖约 980kW

1300 kW
可向上覆盖约 1500kW

板换裕量适度增加拓展覆盖范围

收敛原则：覆盖主流架构与液冷比例 · 兼容 2+1 / 3+1 · 提升跨项目复用 · 控制 SKU 数量

工况定边界，维护定形态：CDU跨区域、多场景兼容

工况定义解决“如何稳定运行”，单面维护解决“如何高密部署与高效运维”

01 工况定义逻辑

一次侧 · 区域边界

北方地区

EG52 34 / 42℃

南方地区

去离子水 35 / 43℃

设计基线

二次侧 EG25 38 / 46℃
1.8+ LPM/kW

工况为什么这样定？

能效 × 用水

34℃取干冷器 28℃ + 6℃逼近度；再降温会显著增加用水时长。

工质 × 温差

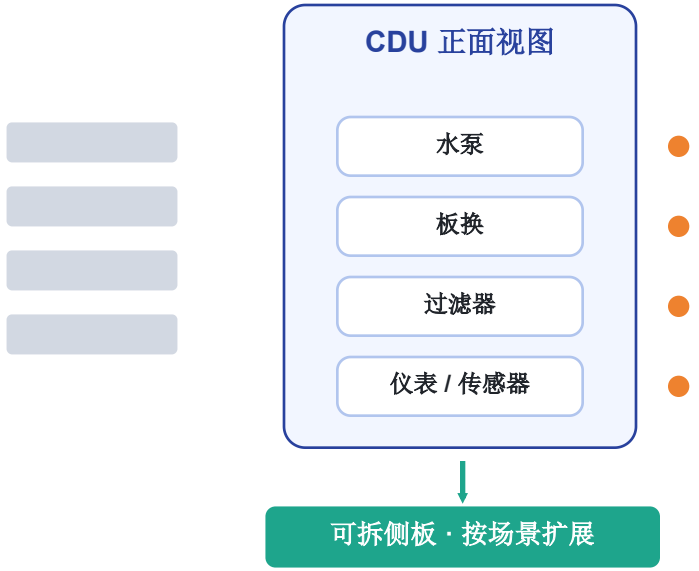
EG25作为核算基线，PG25性能相当；去离子水性能更优。

压差 × 演进

一次侧压降≤150kPa；
二次侧160kPa，结构兼容260kPa。

02 为什么选择单面维护

部署约束 → 多场景兼容的维护形态



统一工况锁定性能边界 · 单面维护释放部署密度 · 可拆侧板保留多场景灵活性

技术规格与通用设计要求

明确三档 CDU 的工况、流量、压降与过滤边界，统一管路、监测、排液与补液四类设计规则

01 核心技术规格：工况、压降与过滤边界

工况 1 · 北方基线

一次 EG52 34/42℃ · 二次 EG25 38/46℃ · AT=4℃

工况 2 · 南方基线

一次 Water 35/43℃ · 二次 PG25 38/46℃ · AT=3℃

核心指标	650 kW	850 kW	1300 kW
额定换热量	650 kW	850 kW	1300 kW
一次侧额定流量	81 / 73 m³/h	106 / 94m³/h	162 / 145 m³/h
二次侧额定流量	74 / 72.9 m³/h	96.8 / 95.3 m³/h	148 / 145.7 m³/h
一次侧压降	工况1 ≤150 kPa；工况2 ≤120 kPa		
二次侧压差	标准 160 kPa；高流阻 260 kPa；内部总压降 ≤150 kPa		
过滤器要求	一次侧 优于270 μm；二次侧 50 μm 可选25 μm；2×双过滤器配置		

02 通用设计规则

01 管路与承压

一次/二次侧流速≤3 m/s；管路承压≥10 bar

02 监测与冗余

关键压力、温度传感器冗余；板换一二次侧压差监测

03 补液与水质

二次侧自动补液；膨胀罐/水箱支持循环，避免死水

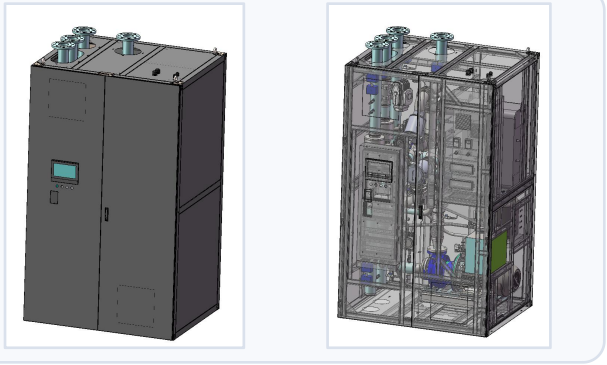
04 排气/排液/漏水检测

高点排气、低点泄水；积水盘+漏水绳形成闭环监测

结构平台：同一设计语言覆盖 650 / 850 / 1300kW

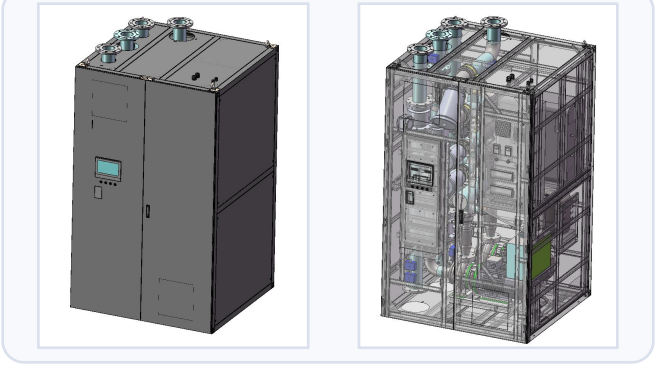
外观与内部轴测对照，明确结构尺寸、接管口径及上下走管兼容能力

650 kW



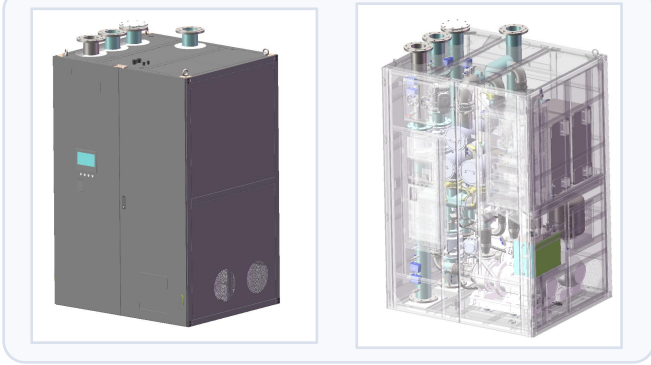
核心配置	单泵 · 单板换
结构尺寸	≤1500 × 1400 × 2500 mm
接管尺寸	一次 / 二次侧：DN100 卡盘或法兰
支持上下走管	

850 kW



核心配置	双泵 · 单板换
结构尺寸	≤1500 × 1400 × 2500 mm
接管尺寸	一次 / 二次侧：DN125 法兰
支持上下走管	

1300 kW

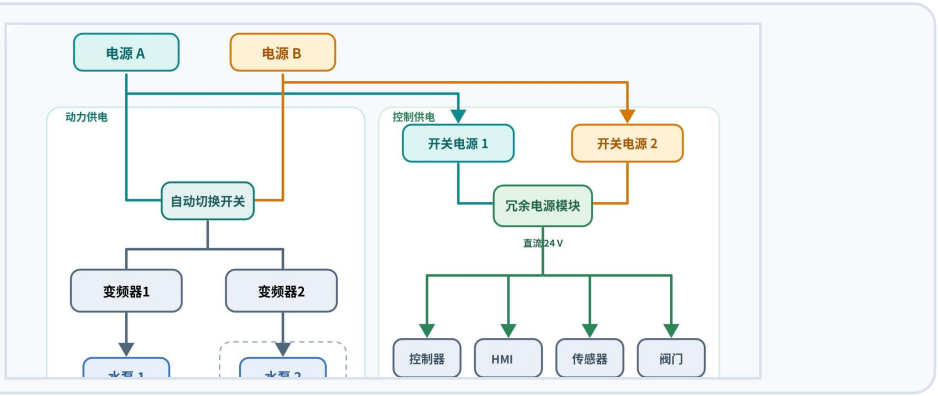


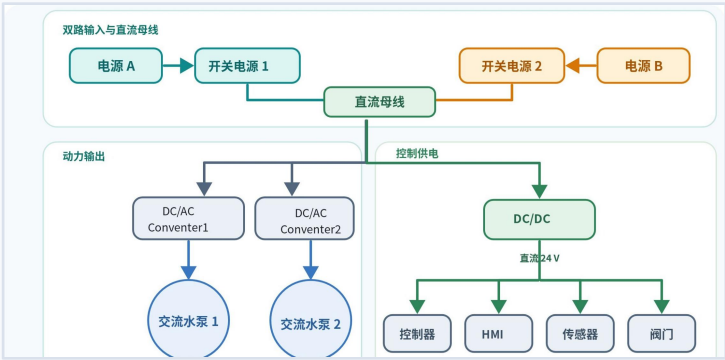
核心配置	双泵 · 双板换
结构尺寸	≤1700 × 1400 × 2500 mm
接管尺寸	一次 / 二次侧：DN150 法兰
支持上下走管	

双路配电与控制逻辑设计

动力与控制供电解耦设计，叠加多模式、PID、补液与故障保持逻辑

01 配电架构：双路输入，动力与控制供电分别冗余





02 控制逻辑：模式平滑切换 + 安全兜底

水力控制

二次泵支持压差 / 流量 PID；优先调频，最低频率后旁通阀接管；

温度控制

一次侧调节阀按二次侧供液温度进行 PID 调节。切换时继承当前指令与参数，避免扰动；

运行模式

本地 / 远程；
单机/ 群控；

安全兜底

露点+2℃报警；冗余信号全失效时保持故障前输出。

为什么需要负压：从防漏液到安全、水质与可靠性提升

正压架构成熟，但高压力、连接规模与长期水质管理放大风险；负压从机理上改变泄漏方向并优化全生命周期表现

高压喷液后果

二次侧运行压力最高可超过 3 bar；冷板焊接缺陷、快接或密封失效、软管脱落，可能引发喷液、短路与设备损伤。

规模化累积风险

机柜功率与接口数量持续增长，连接节点、密封件和软管增多，小概率故障的累计暴露与处置复杂度同步上升。

为什么采用负压

管路维持在大气压以下，破口时空气进入而冷却液不外溢；低压力运行降低连接与密封负荷，并支持在线维护。

负压带来的系统级收益

防泄漏与电气安全

避免高压喷涌，降低短路、设备损伤和停机风险。

水质与材料保护

低溶解气体抑制铜吸氧腐蚀与微生物滋生，减少工质维护。

可靠性与可维护性

真空压力告警、积气监测与持续负压维持，支持快速定位和在线维护。

运维与 TCO 优化

可简化自封阀、节点快接和检漏绳配置，减少易漏点、备件与维护投入。

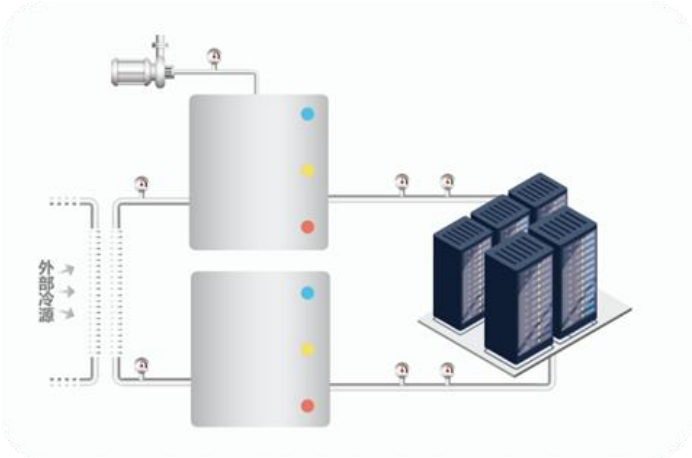
定位：成熟正压架构之上的安全、水质与可靠性增强分支

3.负压 CDU：安全架构补充分支

负压液冷系统：工作原理、关键特性与运行模式

聚焦高负压腔—冷板—低负压腔

原理示意



负压系统特点

无泄漏风险
破口时空气进入，冷却液不外喷

无水锤冲击风险
负压抑制管路压力波动冲击

纯水冷却液
高效抑制微生物滋生

溶解气体量极低
高效抑制铜吸氧腐蚀

系统承压要求低
简化管路与密封件设计

运维高效且降本
无带压操作；简化水质管理

负压维持模块与运行模式

M 负压维持模块
真空泵持续抽气，破口后及时抽离，维持系统负压。

运行模式

A 全负压模式 驱动压力可达 0.6 bar 甚至更高

B 部分负压模式 与正压 CDU 同等驱动压差，整体压力更低、可靠性更高

系统侧拓扑



核心机制：持续抽气维持负压，双模式兼顾驱动能力与系统可靠性

3.负压 CDU：安全架构补充分支

负压的核心价值：安全、水质、可靠性与全生命周期成本

样机持续迭代，并完成实验室与灰度机房多轮验证；用故障注入和极端工况验证系统边界

核心价值：从系统风险到全生命周期收益

安全防泄漏

破口时空气进入而非冷却液外喷，从物理机理降低短路和设备损伤风险。

水质与材料保护

低溶解气体抑制铜吸氧腐蚀与微生物滋生，减少工质维护。

可靠性与在线维护

持续负压、告警与积气监测支持快速定位、在线维护和故障止损。

连接简化与 TCO

减少自封阀、节点快接和检漏绳配置，降低易漏点、备件与运维投入。

实战验证：样机—实验室—灰度机房多轮推进

样机验证 → 实验室机房验证 → 灰度机房验证 → 多轮联合验证

露空测试

小尺度无可见外泄；中尺度仅空气进入；大尺度验证温升可控与停机策略。

空气进入后，真空维持系统动作；压力与流量波动但冷却回路仍可运行。

局部沸腾测试

进液55℃、出液65℃等极端条件下，验证压差、负压维持与系统保护。

水量波动测试

水量的增加或减少对系统的压力控制的影响。

结论：持续负压实现物理防泄漏，并兼顾水质、可靠性与 TCO；多轮测试验证方向可行，是高密度液冷的重要探索方向

结论 · SUMMARY

标准化筑底，负压拓展安全边界

01 标准化 CDU 通过统一设计边界与 650 / 850 / 1300kW 产品矩阵，形成跨项目复用和规模化交付的产品平台。

02 与多厂商认证的全链路验证，保障标准化 CDU 质量稳定、交付一致、跨项目互认。

03 负压 CDU 以物理防泄漏为核心，兼顾水质、可靠性、在线维护与 TCO，是高密度液冷的重要探索方向。

标准化是规模化主线，负压是安全补充分支，系统工程与持续验证决定最终竞争力。

Global Computing Consortium
全球计算联盟

2026全球计算大会(CGC2026)

COMPUTING GLOBAL CONFERENCE 2026

谢谢！