

智算中心液冷应用的思考与实践

临港算力（上海）科技有限公司

姜鎏

2025年6月

Decorative wavy lines in shades of yellow and red are located in the bottom-left corner of the slide.



中国电信响应临港新片区建设号召，支撑人工智能产业发展，加大智算基础设施投入

2021年，成立临港算力（上海）科技有限公司建设运营临港信息园区，并将园区打造成临港智算产业生态谷。



建设运营的中国电信临港智算谷作为“东数西算”战略重要节点

将承载国家一体化大数据中心，中国电信智算公共服务平台、国产GPU创新联合基地、天翼云核心节点等重要信息基础设施。





总体规划

总建筑面积40万平方米，主体建筑包括

数据机楼

10栋

综合楼

2栋

海缆登陆站

1座

220KV变电站

3座

动力楼

若干

规划总机架数约4万个

- 包括标准8KW风冷机柜
- 适应智算的20KW、40KW、60KW冷板
- 浸没式液冷机柜



建设规划

项目采用滚动发展规划、分2期分批投资的方式，计划分6批次开发

一期占地**119亩**，已建市电**126兆瓦*2**

后续将扩容至**200兆瓦*2**

规划建设**10万卡**高端智算集群

- 2023年9月，1.1期全面投产。A4+A5规划总功耗73兆瓦，已占用空间及功耗约40%
- 2024年9月，1.2期A2+A3具备进机电条件，A2+A3规划总功耗85兆瓦，首批机房计划12月份正式投产

二期占地**214亩**，规划市电**480兆瓦*2**

规划建设**20万卡**高端智算集群

- 预计2025年三季度动工，约12个月交付正式投产
- 每栋机楼规划总功耗大于40兆瓦



一

智算中心发展背景

二

液冷技术应用分析

三

算力应用实践思考

背景：数据中心绿色低碳发展日益趋严



■ 2024年7月23日 国家发改委等四部门印发《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》（发改环资〔2024〕970号），加大节能降碳工作力度，推动数据中心绿色低碳发展。

- 到2025 年底，全国数据中心布局更加合理，整体上架率不低于60%，**平均PUE < 1.5**，**可再生能源利用率年均增长10%**，平均单位算力能效和碳效显著提高。
- 到2030 年底，全国数据中心平均PUE、单位算力能效和碳效达到国际先进水平，可再生能源利用率进一步提升，北方采暖地区新建大型及以上数据中心余热利用率明显提升。

完善数据中心建设布局

- 强化布局刚性约束，新建大型、超大型数据中心**优先布局枢纽节点、集群**范围内；
- 到2025年底，枢纽节点新增算力占全国新增的**60%**以上。

严格新上项目能效水效要求

- 数据中心应采用能效达到**节能水平及以上**服务器产品；
- 到2025年底，大型、超大型数据中心**PUE < 1.25**，枢纽节点内数据中心**PUE ≤ 1.2**。

推进存量项目节能降碳改造

- 加快推进低效数据中心**节能降碳改造**和“老旧小散”数据中心整合改造；
- 推进技术升级和优化升级，减少冗余设备。

提升可再生能源利用水平

- 到2025年底，**算力电力双向协同**机制初步形成，国家枢纽节点新建数据中心**绿电占比超过80%**。

加强资源节约集约利用

- 支持数据中心探索应用工业**余热**和液化天然气气化站**余冷**等资源。

推广应用节能技术装备

- 推广高效节能产品、人工智能节能技术的应用；
- 降低存储系统功耗，提升设备利用率。

绿色数据中心的建设势在必行

PUE

- 明确要求：到2025年底，全国数据中心**平均PUE < 1.5**。

对比	以前	现在
类型	大型、超大型	
PUE	≤1.3	< 1.25
枢纽PUE	≤ 1.25	≤1.2

可再生能源利用率

- **以前**：到2025年，政府采购数据中心可在生能源利用率最低达到30%。
- **现在**：可再生能源利用率年均增长10%。

推广节能技术

- **推动液冷**、蒸发冷却等高效技术应用；
- 加强人工智能节能技术应用

背景：未来算力规模将进一步增长

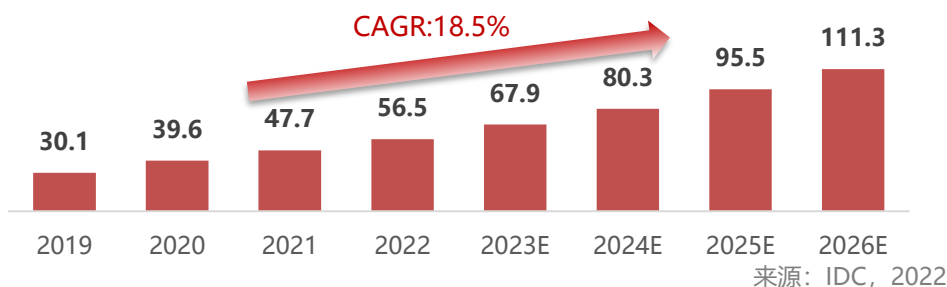


- 中国服务器市场整体保持高速发展，据IDC数据显示，2022年中国服务器出货量达到56.5万台，受AI需求暴涨，整机市场支出将向GPU服务器倾斜
- 随着产业智能化转型提速、高算力基础设施升级和应用场景商业化发展，各大厂商将持续加码布局AI大模型，智能算力需求将呈现爆发式增长态势，IDC预测到2026年期间中国智能算力规模年复合增长率为52.3%，远高于同期预测的基础算力的增长率

中国通用算力规模及预测，2019-2026

预计21至26年复合增长率为18%，26年通算规模达到111Eflops

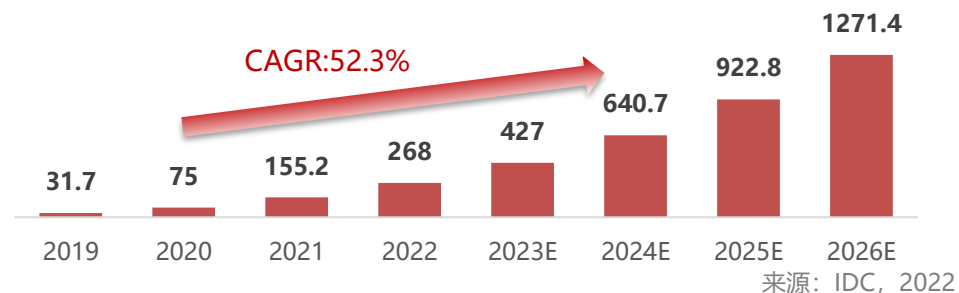
单位：百亿亿浮点运算/秒（Eflops）



中国智能算力规模及预测，2019-2026

预计21至26年复合增长率为52%，26年通算规模达到1271Eflops

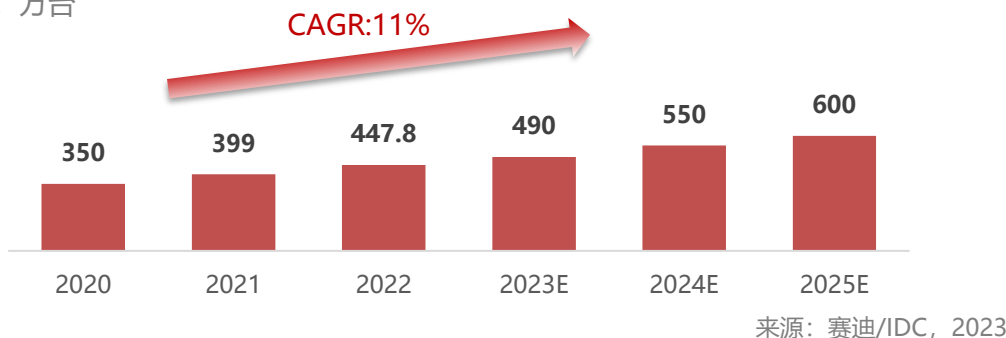
单位：百亿亿浮点运算/秒（Eflops）



中国服务器出货量规模及预测，2020-2025

预计23至25年复合增长率为11%，25年服务器规模达到600万台

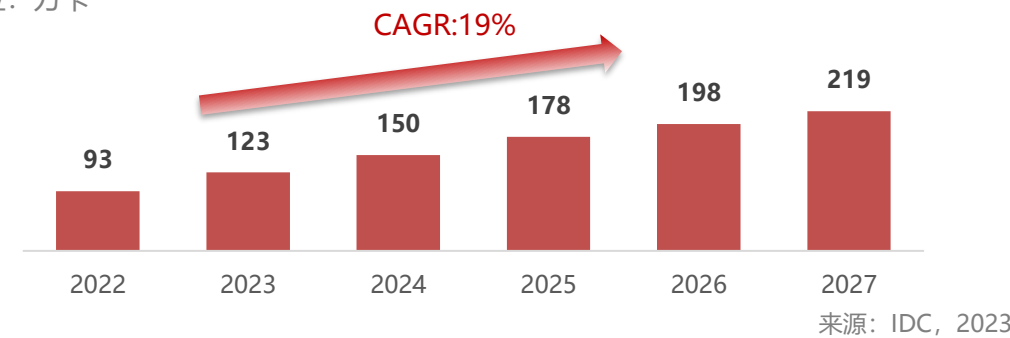
单位：万台



中国GPU卡出货量规模及预测，2019-2026

预计22至27年复合增长率为19%，26年GPU卡出货规模达到219万卡

单位：万卡

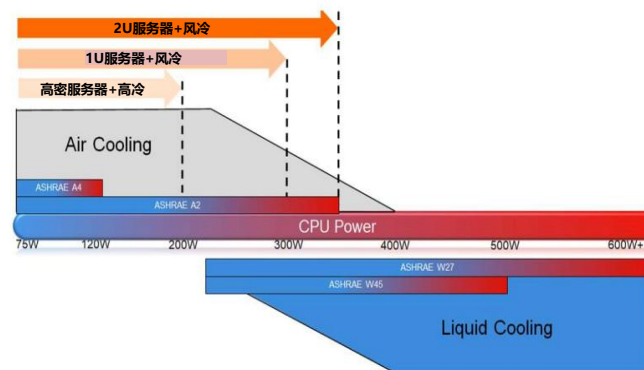


背景：算力发展带来的高功耗促进液冷技术广泛应用

- 芯片制程技术升级带来数据中心设备总功耗不断增加，现有低功耗密度的风冷机柜逐渐无法适应将造成浪费
 - CPU：核心数量增加，内存带宽增大、I/O速度翻倍增长，尽管制程工艺持续优化，功耗快速上涨，目前功耗已达350W
 - 训练GPU卡：功耗普遍超500w，单台服务器8卡GPU典型功耗为5-10kw
 - 推理GPU卡：功耗普遍大于150w，单台服务器6卡功耗普遍大于2kw；
 - 核心交换机：随云和AI发展，网络性能需求增加，核心交换机功率可达60kw

- 高功耗设备增加带来液冷技术应用，数据中心设备散热方式已从全风冷逐步转变为风冷+液冷模式
 - 服务器：以冷板式液冷方案为主，方案包含液冷风冷两套冷却部件，冷板结构多数仅覆盖CPU、GPU等高功耗发热部件，其余以风冷辅助冷却
 - 网络设备：业内已分别对浸没式和冷板式液冷交换机的尝试，集中在接入盒式交换机。冷板结构主要针对交换芯片和端口光模块进行覆盖，其余以风冷辅助冷却

目前芯片TDP已接近风冷/液冷切换临界点



来源：美国采暖、制冷与空调工程师学会ASHRAE

- 风冷和液冷支持的芯片功耗取决于服务器外形（例如U数及单服务器点数）及其他配置
- 风冷的风机转速超过4000转/分后，**流速增加对流换热系数改善不明显，只能改善与空气的导热传热，散热效果降低，一般最大支持400W**
- 液冷中水的热导率是空气的 23 倍以上，可延伸至更高的TDP范围。
- **GREEN GRID认为每机柜 15-25 kW 的功率密度作为风冷解决方案的上限**

处理器核心数量多、内存带宽大、功耗高、I/O速率翻倍增长是CPU技术发展趋势

intel	28C/56T 205W 6 CH DDR4 48*PCIe 3.0 Purley (14nm) 2017	40C/80T 270W 8 CH DDR4 64*PCIe 4.0 Whitley (10-14nm) 2020	56C/112T 350W 8 CH DDR5 80*PCIe 5.0 Eagle Stream (7-10nm) 2022	80C/160T 350W 8CH DDR5 88*PCIe5.0 Birch Stream-SP 2024+	120C/240T 500W 12CH DDR5 96*PCIe 5.0 Birch Stream-AP 2024+
AMD	64C/128T 200W 8CH DDR4 128*PCIe4.0 Rome (7nm) 2018	64C/128T 280W 8CH DDR4 128*PCIe4.0 Milan(7nm+) 2021	96C/192T 400W 12CH DDR5 128*PCIe5.0 Genoa (5nm) 2022	TBD 600W Genoa Next 2024+	

背景：多种业务形态催生机柜宽幅功率需求



智能化时代，数据中心业务形式多样，多种业务的算力特征和功耗要求有明显差异

AI训练业务



- **算力特征：**GPU服务器集群，单服务器配置多张GPU卡，训练期间设备利用率高
- **功耗要求：**单台服务器功耗5kw-7kw，高密部署下单机柜功耗可达50kw

公有云业务



- **算力特征：**CPU服务器集群，追求资源复用，设备利用率高
- **功耗要求：**单台服务器功耗1kw以内，高密部署下单机柜功耗超过10kw

AI推理业务



- **算力特征：**GPU服务器集群，追求扩展性，设备利用率与最终客户访问并发有关
- **功耗要求：**单台服务器功耗3kw以内，高密部署下单机柜功耗超过10kw

私有云业务



- **算力特征：**CPU服务器集群，追求资源稳定运行，设备利用率中等
- **功耗要求：**单台服务器功耗1kw以内，一般不进行高密部署，机柜功耗在8kw以内

数据中心面向各类客户，客户业态丰富多样，具有多样化的算力和功耗需求

资源池形态一：纯AI

面向大模型训练池。
机柜功率35kW以上，全液冷形式。



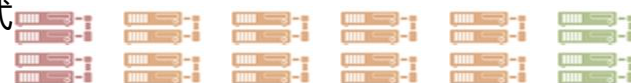
资源池形态二：云智一体

通算与智算一体。
机柜功率8-15kW或35kW以上，风液混合形式。



资源池形态三：普智一体

普算与智算一体。
机柜功率2-8kW或35kW以上，风液混合、风冷为主要形式。



- 数据中心是长周期基础设施，电源空调系统满足**宽频功率需求**，才能满足不同客户群对单机柜功率需求、制冷量的差异化需求；
- 智算设备功率密度较普算设备大大增加，冷却形式从纯风冷升级为风液混合或全液冷。

一

智算中心发展背景

二

液冷技术应用分析

三

算力应用实践思考

□ **液冷定义：**指用高比热容的液体作为冷却介质手段，将IT设备的CPU、芯片组、存储等功能器件在运行时所产生的热量带走。

主要区别于目前常用的风冷（空气作为冷却介质散热）。

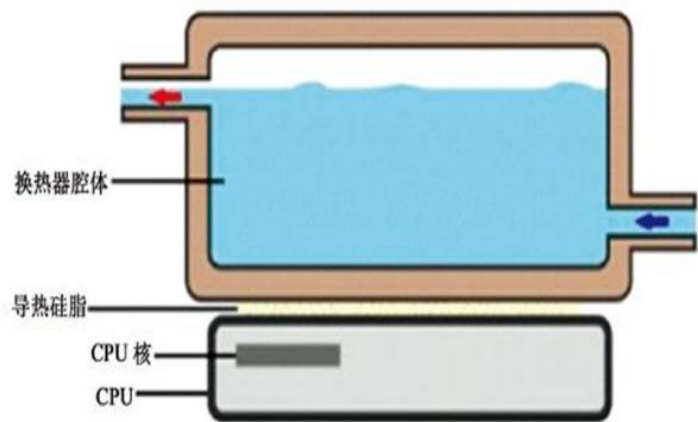
□ **诞生背景：**单机柜功率密度的增加成为调节不断增长的算力需求和有限的数据中心承载能力的解决途径，数据中心面临前所未有的散热挑战。

液冷技术的诞生是为了解决高密度的服务器的散热问题，同时因为冷媒更贴近核心散热部件，冷媒温度更高，可以仅采用冷却塔散热，具有更好节能性。

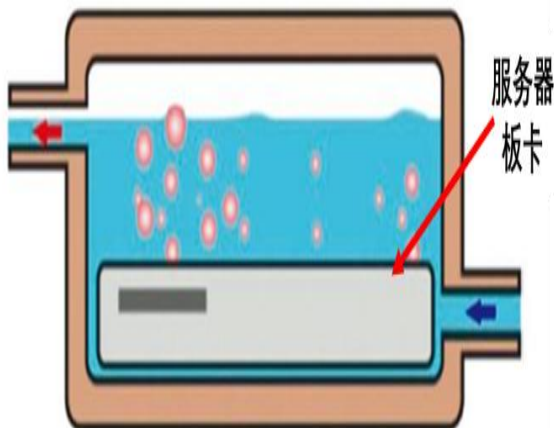
□ **技术分类：**目前国内外公认的数据中心最为节能的空调技术产品。液冷可以分为**直接冷却**和**间接冷却**。

目前，间接冷却以**冷板式液冷**为主，直接冷却以**浸没式液冷**、**喷淋式冷却**为主。

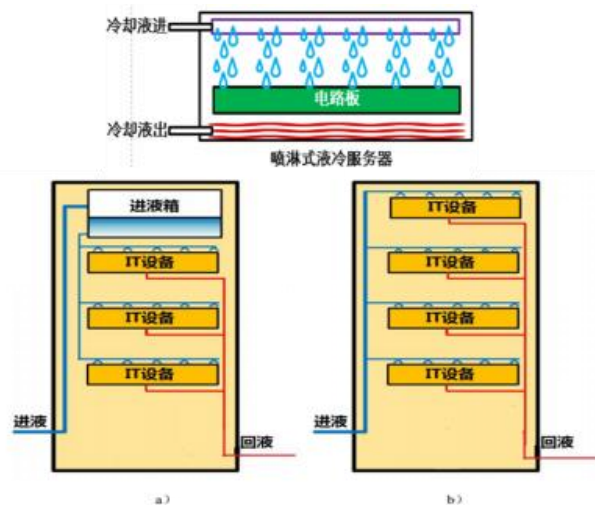
冷板式液冷



浸没式液冷



喷淋式液冷



液冷技术对比 (1/2)



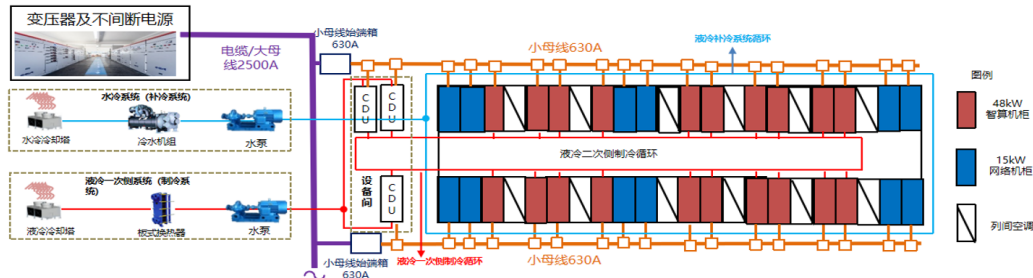
◆ **技术分类：**目前国内外公认的数据中心最为节能的空调技术产品。液冷可以分为直接冷却和间接冷却。目前，**间接冷却以冷板式液冷为主，直接冷却有浸没式液冷和喷淋式冷却**，其中喷淋式液冷产品厂商单一，市场应用少，成熟度低。

◆ **液冷特点：**冷板式只能带走机架功耗的70-80%，需其他空调形式补冷；浸没式可带走机架功耗的100%，无需补冷。

液冷方案	冷板式液冷	浸没式液冷
单机柜功率	15~100kW(建议40kW以上)	20~200kW
PUE	1.1~1.15	1.07~1.13
冷却液	去离子水，乙二醇、丙二醇水溶液； 存在凝露/泄漏/腐蚀风险	氟化液、矿物油、合成油； 存在少量挥发性、微毒性等环保隐患，缺少验证的安全替代产品
液体成分要求	液体与服务器器件不接触，甚至可以用纯水工质冷却液	液体与服务器器件接触，液体安全性要求高，需要非水工质冷却液
耦合情况	机柜耦合受限于芯片服务器厂商，厂家一对多耦合，小范围内适配	需定制IT设备器件匹配液冷工质
液冷覆盖面	70%	100%
空间利用率	高	中
维护&服务	微模块集中部署，服务器支持冷、电、网盲插，维护简单	运行维护复杂:节点需机械吊装，液体清理困难，部件拆卸更换困难，液体易挥发 维护成本高
安全&环保	工质安全无毒，可生物降解	无法降解，污染环境；机房运维人员存在EHS安全风险
机房	1000 kg/m ² ~1600kg/m ² (可利用风冷机房)	≤1600kg/m ² (现有数据中心只能部署在1楼)
优缺点	成本优势明显，产业链成熟；需其他空调形式补冷	可带走机架功耗的100%；液体与服务器器件接触，安全性要求高，兼容性差

冷板式液冷支持机房风液混布，平滑演进

◆ 冷板式液冷可直接部署到已有微模块机房



- ◆ 承重与通用标准($1000 \text{ kg/m}^2 \sim 1600 \text{ kg/m}^2$), 老机房可适配
- ◆ 运维习惯与风冷完全相同
- ◆ 工质采用乙二醇配方液, 可降解, 安全环保

浸没式液冷需对机房承重、运维、换气系统改造

◆ 浸没式液冷机房需要做大量定制



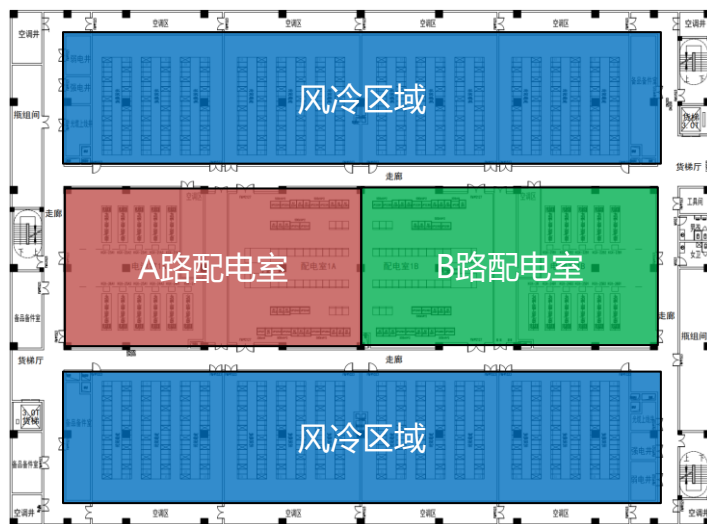
- ◆ 承重 $>1600 \text{ kg/m}^2$, 等同电池室, 老机房无法适配, 新建机房只能建在一楼, 应用环境约束较大
- ◆ 插拔服务器必须依赖机械手, 液冷清理难度高
- ◆ 设备维护时液冷挥发不可避免, 必须严格防护
- ◆ 机房换热次数4次/小时, 大于通用2次/小时

冷板式液冷对机房影响小, 与风冷兼容, 支持平滑演进

不同冷却技术单位面积IT产出对比

以建筑面积约23000平方机楼为例，计算风冷、冷板式液冷、浸没式液冷IT产出

风冷 (8kW,)



标准层平面图 (共4层)

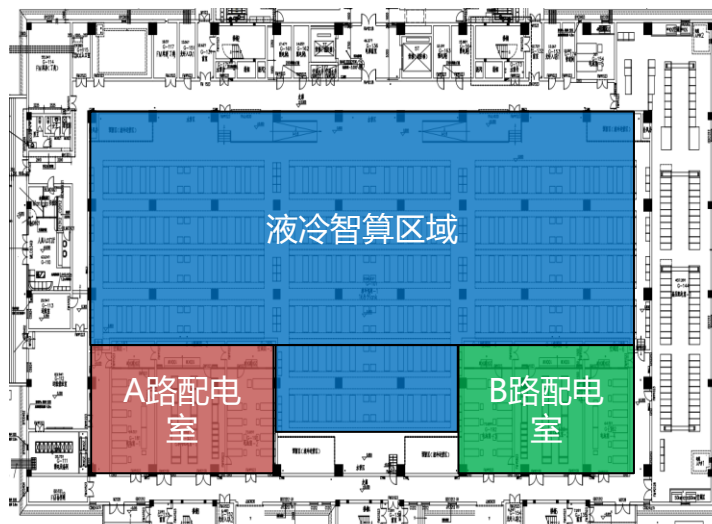
标准层面积: 5700m²

总IT负载: 16.2MW

机柜尺寸 (m) : 1.2*0.6*2.2

单位面积IT产出: **kW/m²

浸没式液冷 (23kW)



标准层平面图 (共4层)

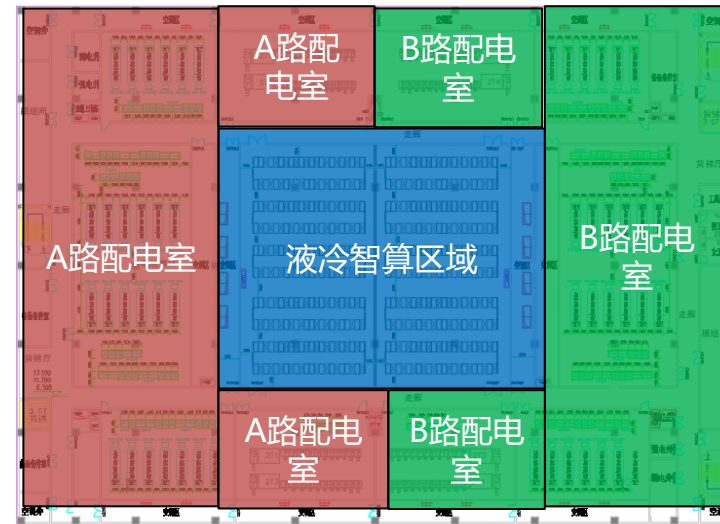
标准层面积: 5600m²

总IT负载: 17.7MW

机柜尺寸 (m) : 2.6*0.8*1.4

单位面积IT产出: **kW/m²

冷板式液冷 (48kW)



标准层平面图 (共4层)

标准层面积: 5700m²

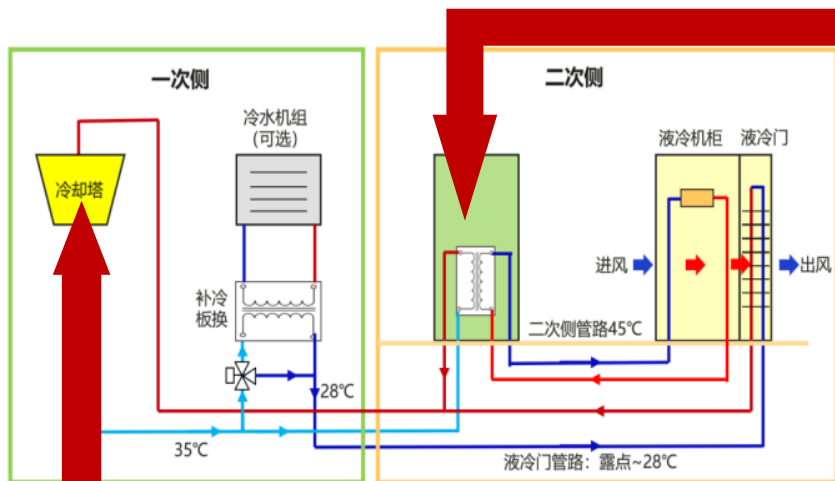
总IT负载: 30.7MW

机柜尺寸 (m) : 1.2*0.6*2.2

单位面积IT产出: **kW/m²

高密度场景宜采用冷板式液冷技术

- 目前冷板式液冷技术产业链成熟、应用规模大、对服务器影响较小，具备成本优势，应用广泛；而浸没式、喷淋式液冷由于其冷却介质缺少安全替代产品等因素，因此当前**智算中心建议采用冷板式液冷技术**。



液冷制冷架构示意图



CDU分配单元:

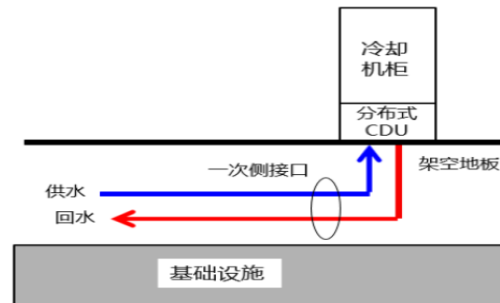
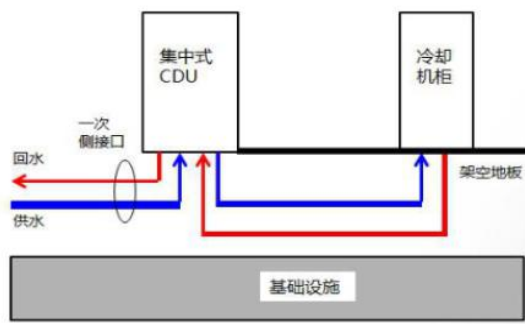
CDU分配单元分为集中式CDU和分布式CDU两种形式，首选集中式CDU，采用N+1冗余备份方式。

冷却塔:

- 1) 适用于全国各种气候资源条件；受南北区域差异影响小。
- 2) 适用于建设容量、安装空间等因素。

干冷器:

- 1) 适用于严寒、寒冷地区，对防冻有要求的场景；
- 2) 适应于对水源WUE有极致要求的区域。

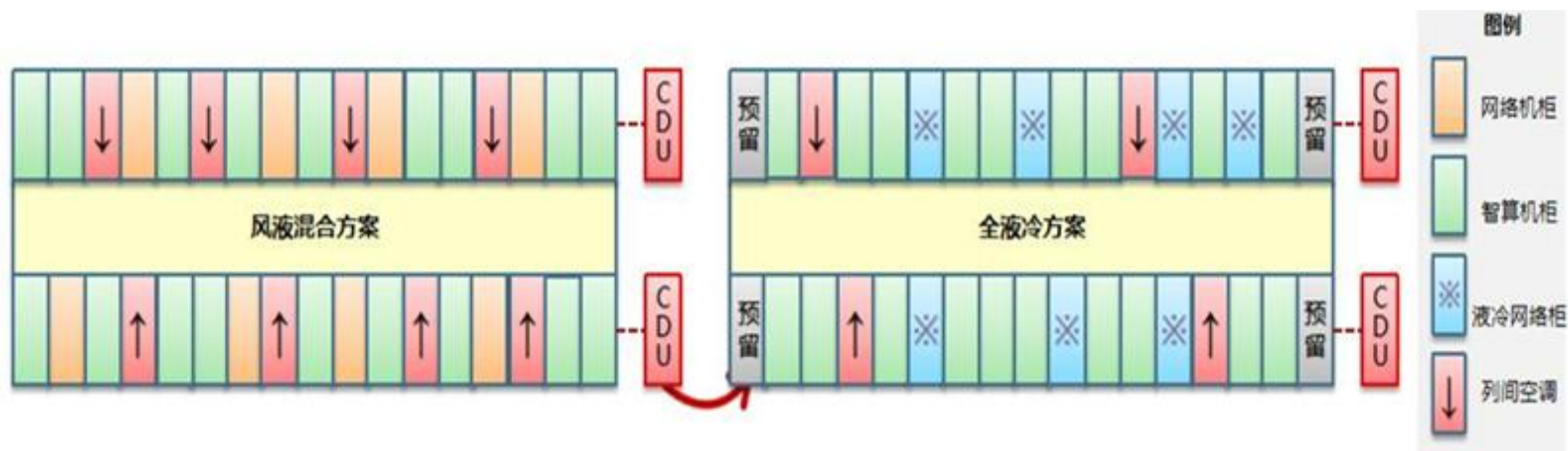


冷板式液冷发展趋势：ICT设备全液冷化演进

为了实现智算中心的绿色节能，ICT设备的全面液冷化已经势在必行。

首先是算力服务器全面液冷化，**采用全冷板液冷服务器，可实现内部CPU、GPU、硬盘、主板、网卡冷板液冷全覆盖，节点内液冷覆盖率接近100%**，以冷板式液冷技术为基础，进一步提升了液冷散热能力，降低了冷却系统的投资成本和复杂度。

其次交换机、网络设备等的液冷化，实现弹性方舱的全液冷冷却。



风液混合向全液冷模式的演进示意

一

智算中心发展背景

二

液冷技术应用分析

三

算力应用实践思考

“两弹一优” 高标准AIDC

满足智算中心**供电、散热、制冷、承重**等基础设施能力提出新要求，打造中国电信“两弹一优”高标准AIDC示范基地



⚡ 电力充足

220KV双路市电满足智算集群**高功率、高质量、安全稳定**的用电需求

❄️ 弹性供冷

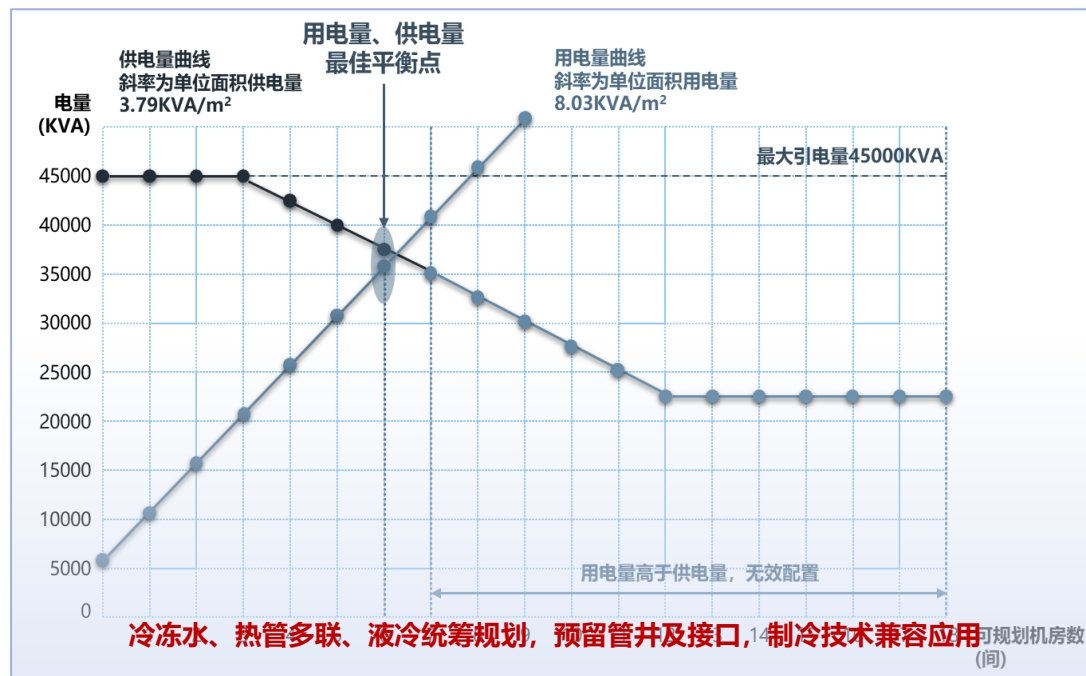
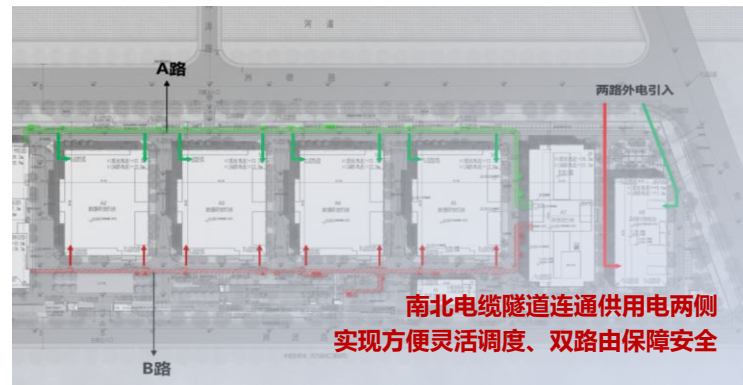
水、风、液三系统统筹规划，管井预留、多种冷源支持不同发热量的机架供冷

⚡ 弹性供电

通过**电缆隧道、大小母线**等技术实现跨机楼、跨楼层、跨机房电力按需敏捷调度

🌀 优化流体组织

依托AI优化机房供冷高效的气流组织，液冷通道长度优化



最短距离全互联

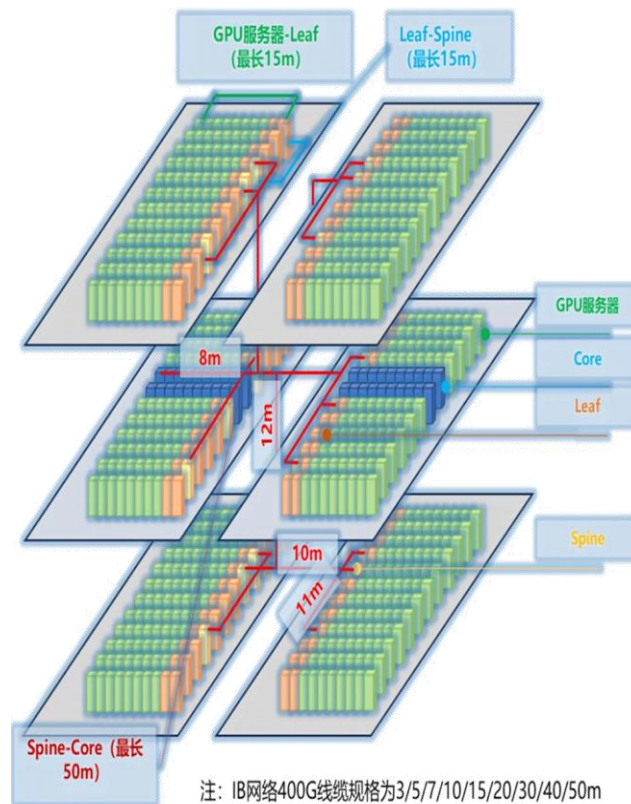
中间楼层设置核心交换机集群，实现Spine层最短距离全互联，**解决IB网络50米传输距离限制**对基础配套的苛刻要求，突破万卡集群的部署门槛

高带宽

服务器内GPU间总线带宽达T比特级，**服务器对外侧能提供400Gx8的接入能力**，服务器间可采用IB与ROCE组网

低延时/ 零丢包

满足IB时延 < 1us, ROCE无损以太网 < 10us时延要求，实现零丢包



5F

公共算力池（风冷区）

4F

智算液冷机房

3F

智算液冷机房（核心交换集群）

2F

智算液冷机房

1F

接待室+动力机房+接入机房

风液混合满足不同场景需求

业态一：纯智算

- ◆ 通用大模型训练池：48kW及以上

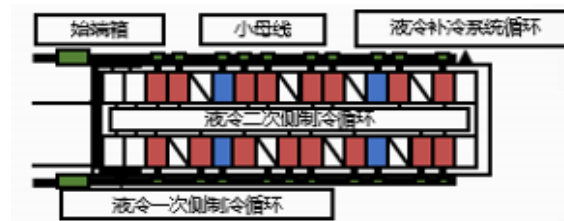
业态二：云智一体

- ◆ 重点发展训推一体公有云，头部互联网公司：8-15kW

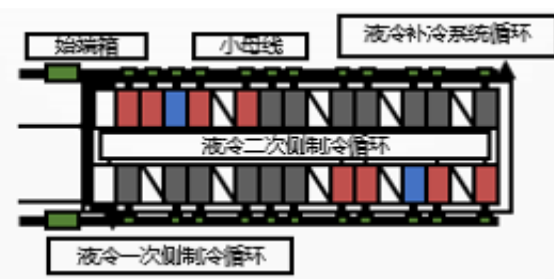
业态二：普智一体

- ◆ 数据不出域的专属场景和极低时延的端侧推理；私有云，政府及产数客户：2-8kW

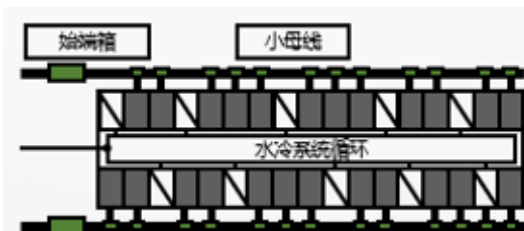
布局一：全液冷布局



布局二：风液混合布局



布局三：全风冷布局



高功率密度场景需求

推进冷板式液冷智算建设

中功率密度场景需求

推进风液混合/风液同源
智算建设

低功率密度场景需求

推进风冷建设

路虽远，行则将至
共建产业生态，助力算力发展