



下一代基础设施- 绿色浸没液冷一体化方案

天津提尔科技有限公司

汇报人: 秦国强

目录

一、数据中心发展现状与挑战

二、单相浸没液冷系统构建

三、单相浸没液冷技术应用实践

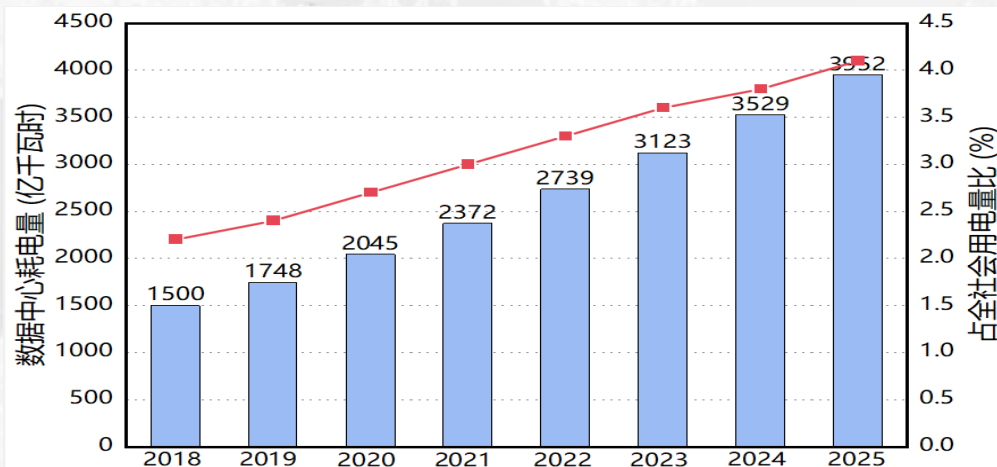
四、发展与展望

五、总结

一、数据中心发展现状与挑战

3/30

□ 数据中心耗电需求随数据化技术革新而指数级增长



中国数据中心耗电量

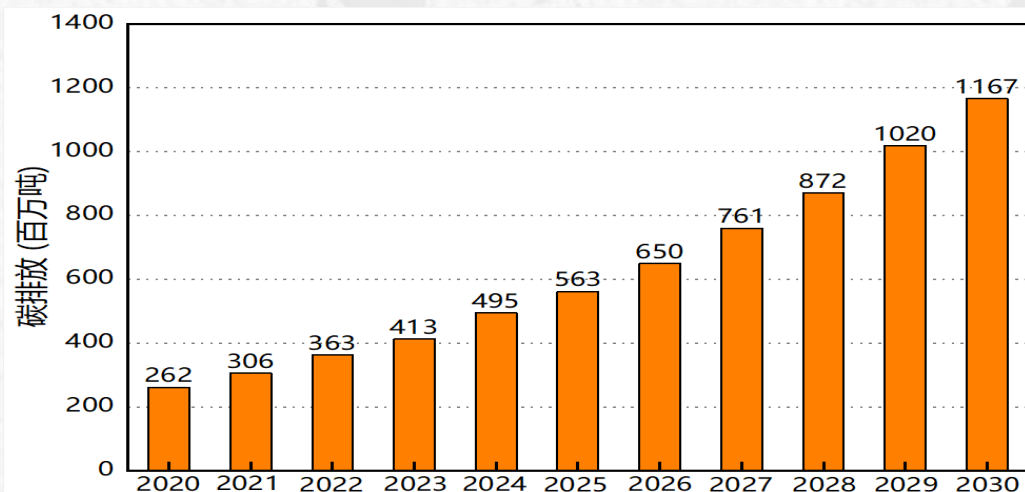
(数据来源: 中国信息通信研究院)



OpenAI公司GPT-3模型训练一次的耗能需求

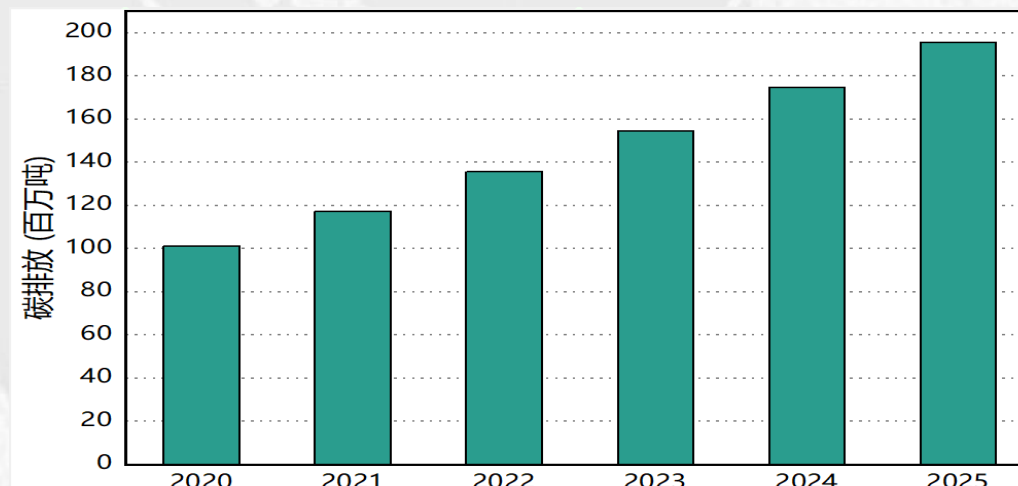
(数据来源: 中国信息通信研究院)

□ 巨大的能源消耗也导致碳排放激增



全球数据中心碳排放量预测

(数据来源: 中国信息通信研究院)



中国数据中心碳排放量预测

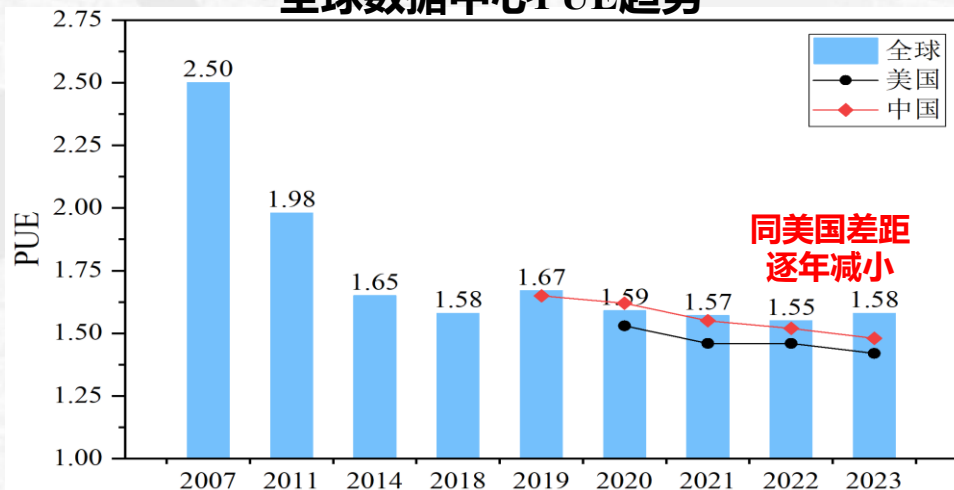
(数据来源: 中国信息通信研究院)

一、数据中心发展现状与挑战

4/30

□ 我国数据中心能耗现状

全球数据中心PUE趋势



中国数据中心平均PUE
低于全球平均水平

全国各区域数据中心平均PUE

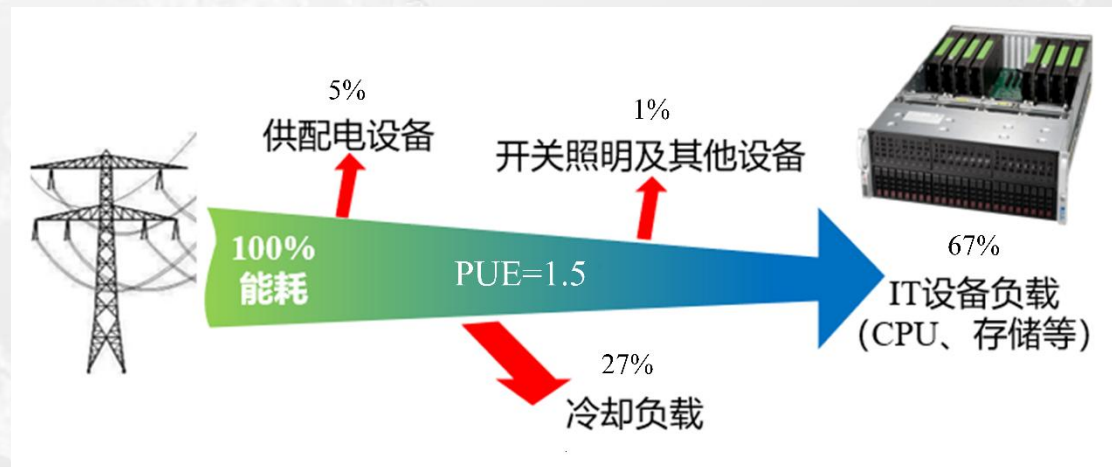


同年美国平均PUE1.42

数据来源：中国信息通信研究院

□ 数据中心能源分布

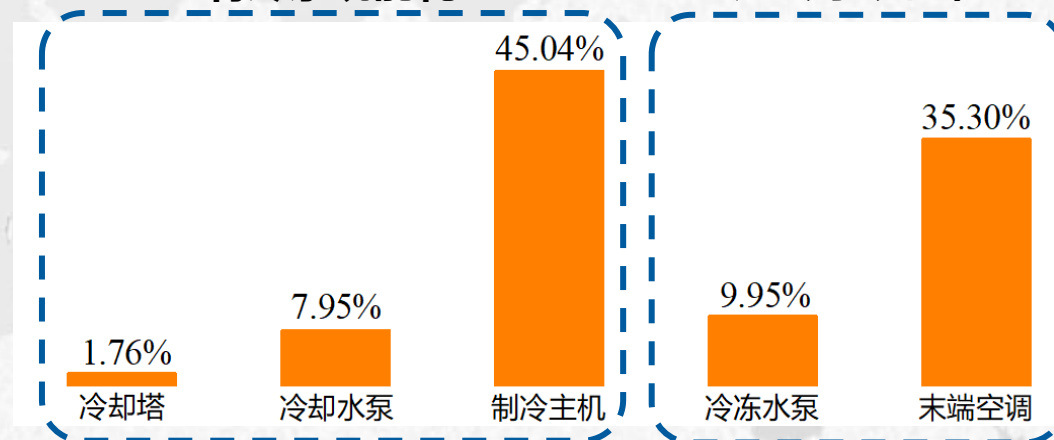
对于传统的数据中心来说，其冷却系统所消耗的电力占所消耗总电力的30%-50%，几乎与IT负载相当。



制冷系统能耗

送冷系统能耗

冷却负载能耗分布



◆ 降低数据中心冷却能耗，是降低PUE的关键

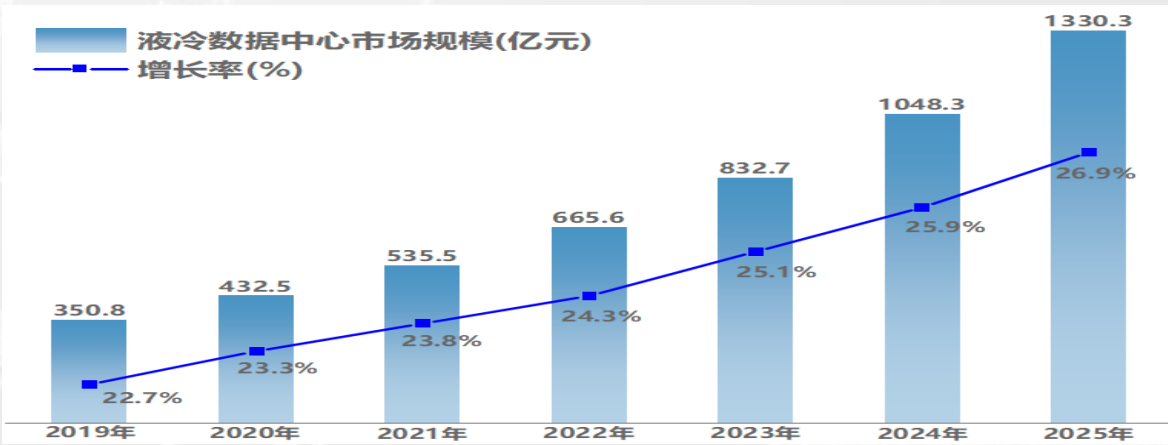
我国数据中心政策现状

时间	发布部门	政策
2020.12	国家发改委、网信办、工信部等	《关于加快构建全国一体化大数据中心协同创新体系的指导意见》 大型、超大型数据中心运行电能利用效率降低至1.3以下
2021.05	国家发改委、网信办、工信部等	《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》 鼓励应用液冷、机柜模块化等
2021.07	工信部	《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》 鼓励应用液冷等高效制冷技术，加大液冷设施基础技术研发
2021.11	国家发改委、网信办、工信部、能源局	《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》 支持液冷机柜模块化、余热综合利用等方式建设数据中心
2023.03	中央网络安全和信息化委员会	《绿色数据中心政府采购需求标准（试行）》 优先选用液冷、分布式供电模块化机房等高效方案
2023.10	国务院、工信部等	《算力基础设施高质量发展行动计划》 明确推动绿色低碳算力发展

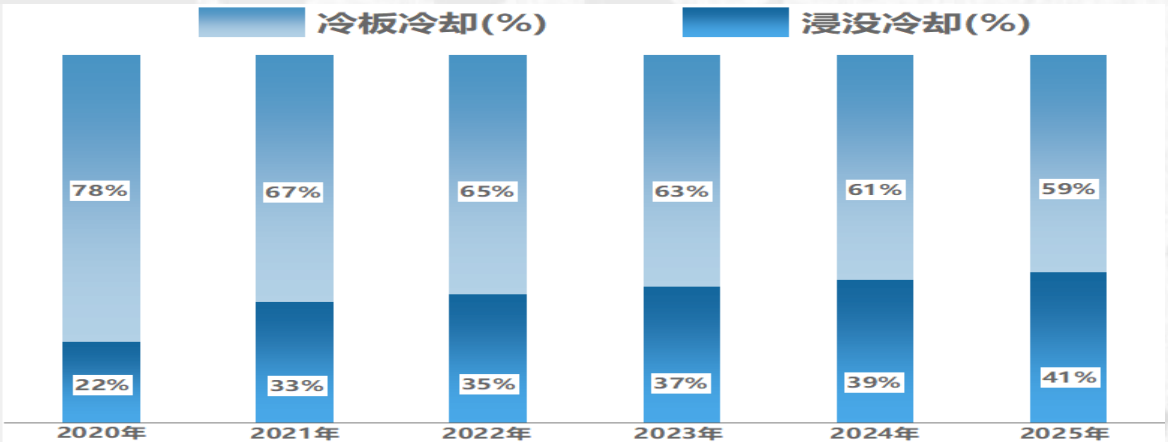
◆ 为解决能源消耗问题，我国出台了一系列政策推动液冷数据中心的发展。

我国液冷数据中心发展现状

随着政策的推动，液冷市场规模逐年扩大，**年增长率在20%以上**。预计到2025年，液冷数据中心市场规模将达到1330.3亿元，其中浸没冷却中心将占比**41%**。



液冷数据中心发展趋势 (数据来源：科智咨询)



液冷数据中心市场占比 (数据来源：科智咨询)

目录

一、数据中心发展现状与挑战

二、单相浸没液冷系统构建

三、单相浸没液冷技术应用实践

四、发展与展望

五、总结

二、单相浸没液冷系统构建

7/30

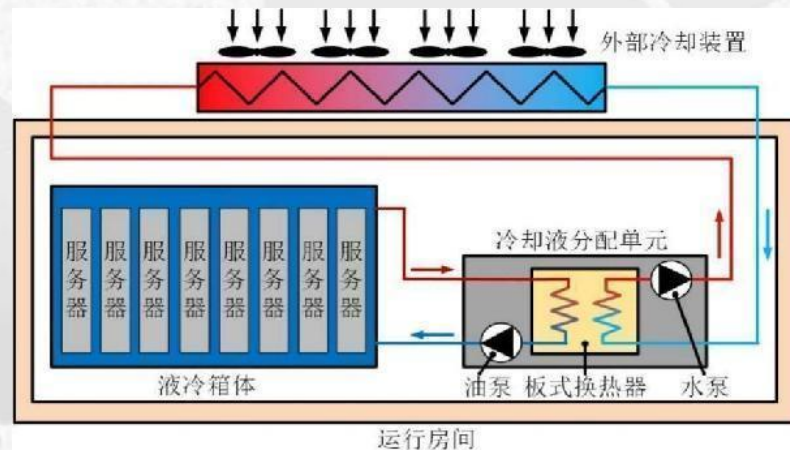
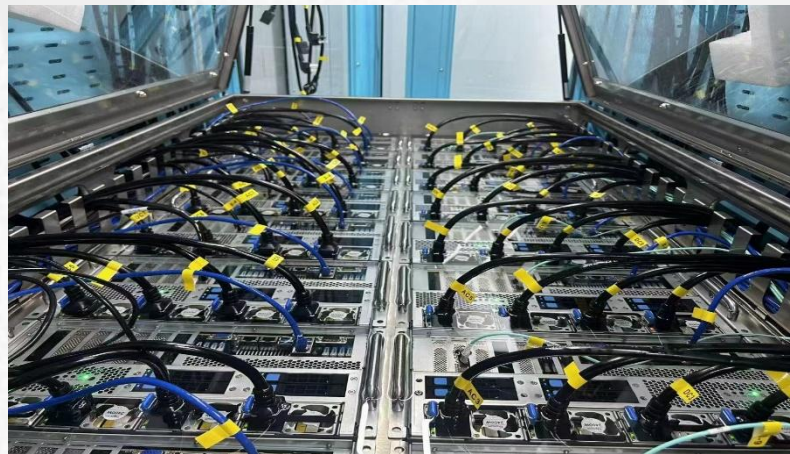
□ 单相浸没液冷技术

单相浸没液冷系统是将服务器放置在液冷箱体中，利用**冷却液的流动**带走服务器产生的热量。升温后的冷却液流入板式换热器中，与冷却水进行热量交换后流回液冷箱体中。该冷却技术具有以下技术优势：

较高的冷却能力：冷却液与服务器直接接触，散热量达 $100\text{W}/\text{cm}^2$ 。

充分释放芯片性能：由于良好的散热条件，芯片支持超功率运行。

单机柜功率高：电子设备布置密度高，单缸体功率可达 200kW 。



低故障率：全浸没保护，服务器故障率较风冷技术降低50%左右。

低噪音：取消了服务器内部风扇，机房噪音低至45dB以下。

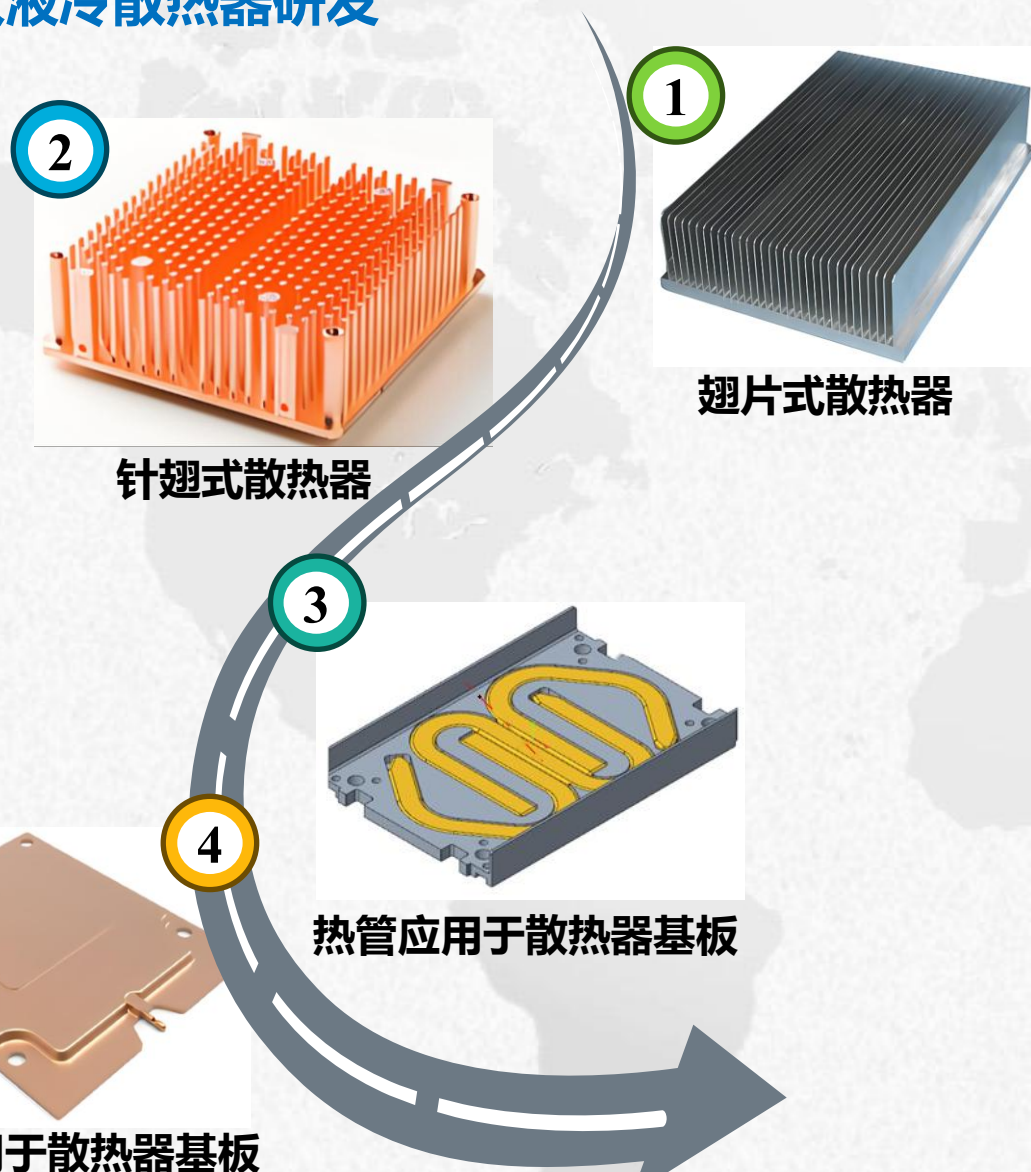
极低能耗：无需外部空调系统，PUE可降低至1.1以下。

二、单相浸没液冷系统构建

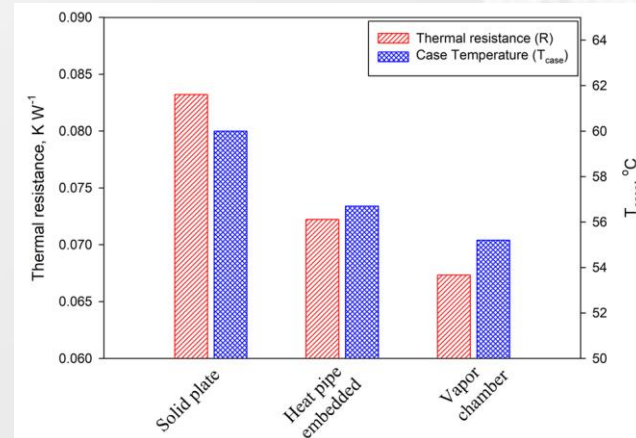
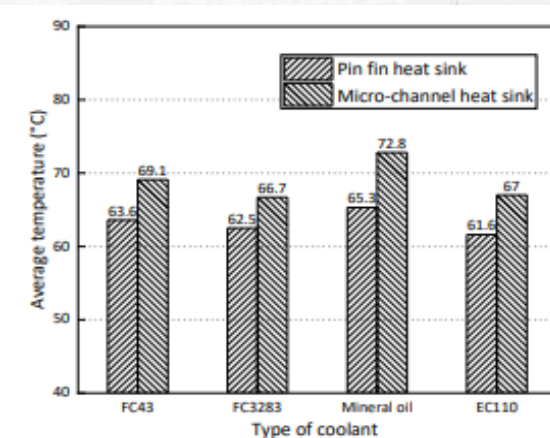
8/30

□ 高效液冷散热器研发

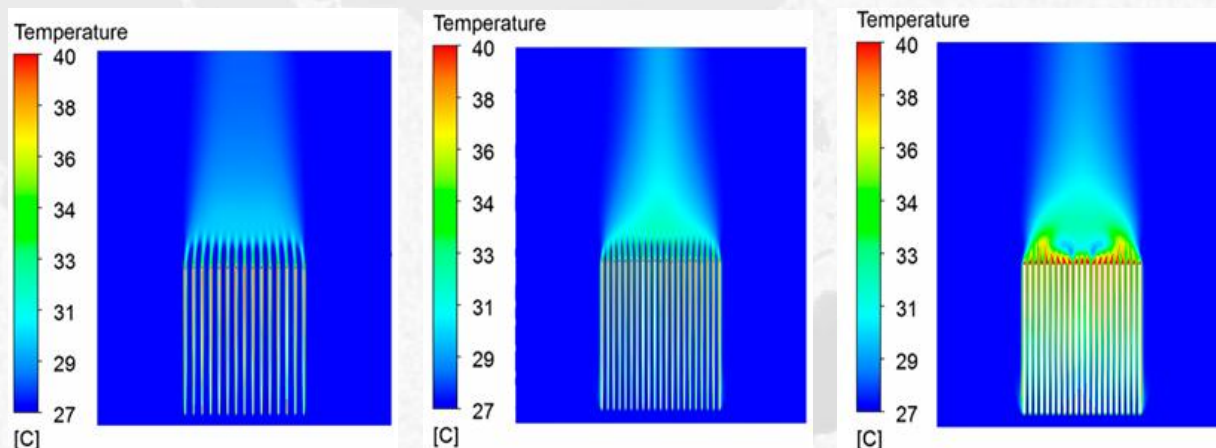
技术路线



针对液冷环境对散热器进行了优化设计，结果表明针翅式散热器由于流动阻力小，比较适用于单相浸没冷却方式，**将其与热管、VC板进行结合，将使散热效果“事半功倍”**。



不同类型散热器的性能对比



特定散热器的结构优化

来源: S.C. Liu, et al. Optimization of the single-phase immersion cooling system: Impact of heat sink and coolant, Energy Proceedings
M. Muneeshwara et al. Performance analysis of single-phase immersion cooling system of data center using FC-10 dielectric fluid, Appl. Therm; Eng.

二、单相浸没液冷系统构建

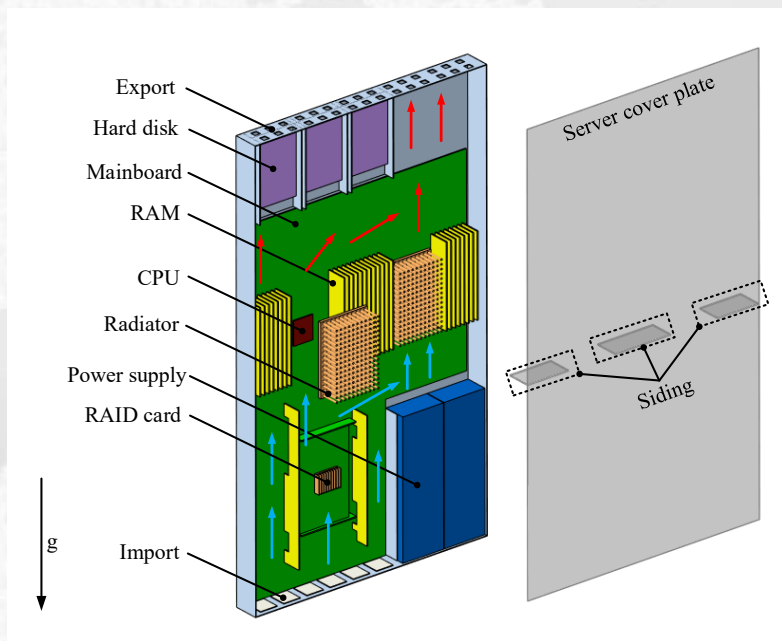
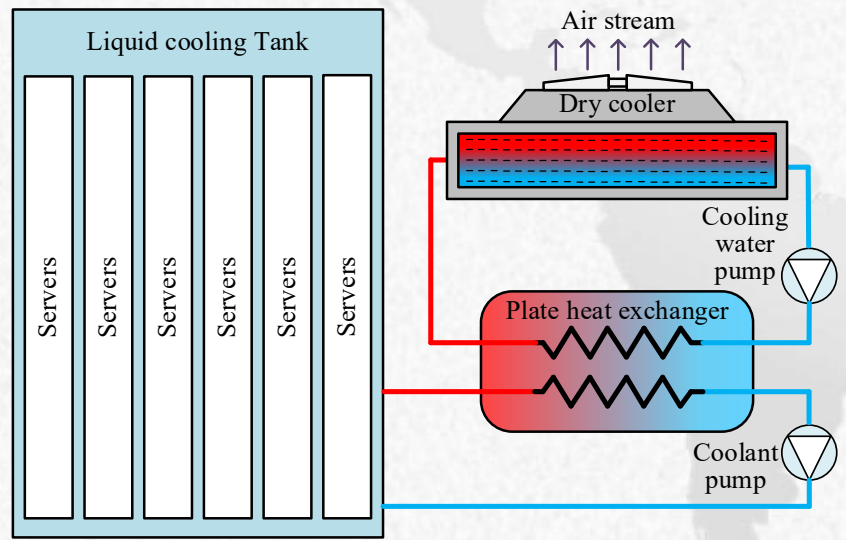
□ 高效冷却液研发

- ◆ 选择合适的冷却液至关重要，**运动粘度越低、热膨胀系数越高**，冷却液的热性能越好。
- ◆ 常见冷却液包括电子氟化液与合成油：
- ◆ 电子氟化液以其优秀的**化学稳定性、耐高温性**和**流动性**而广泛应用于液冷数据中心。
- ◆ 合成油以其良好的**热传导性**和**环境友好性**受到重视，同电子氟化液相比有较**低成本**。

常见的数据中心冷却液

冷却液	导热系数 (W/(m·°C))	比热 (J/(kg·°C))	粘度 (mPa·s)	密度 (kg/m³)
FC-40	0.065	1100	4.08	1850
Novec 7500	0.065	1128	1.2	1614
SF10	0.078	1230	1.12	1580
EC-110	0.1376	2155	16.54	820
VP-3	0.117	1630	2.59	930
冰夷797	0.36	2154	6.1	797

■ 模型结构



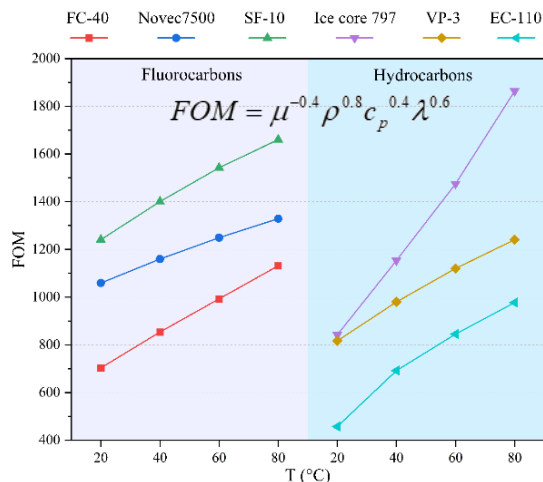
- 冷却液的性能针对**高热流密度** (20×6.2 kW) 的数据中心。
- 数据中心位于温带季风气候区**全年运行**。
- 干冷器和冷却水泵功率根据设定温度**PID控制器自动调节**。
- 物性及成本等相关参数**源自其生产商**

二、单相浸没液冷系统构建

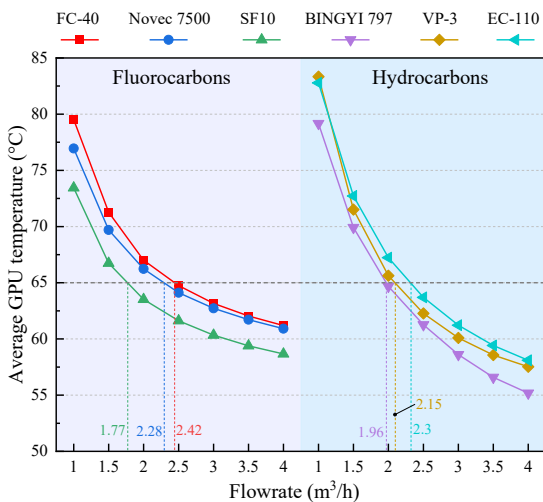
10/30

高效冷却液研发

热性能分析

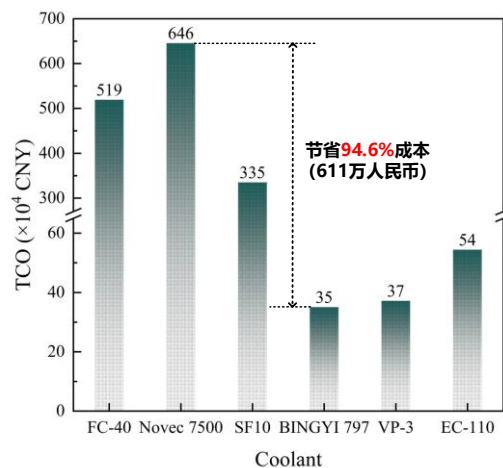


传热优值(FOM)

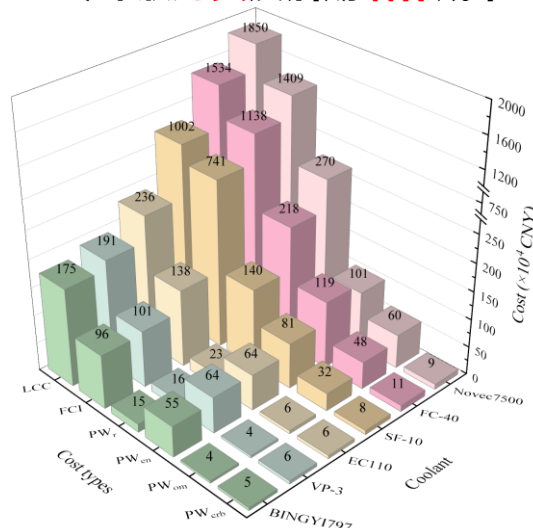


平均GPU温度

经济性分析

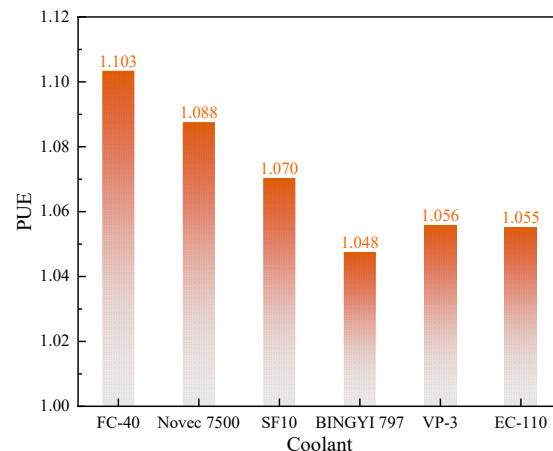


冷却液购买及后期增补成本

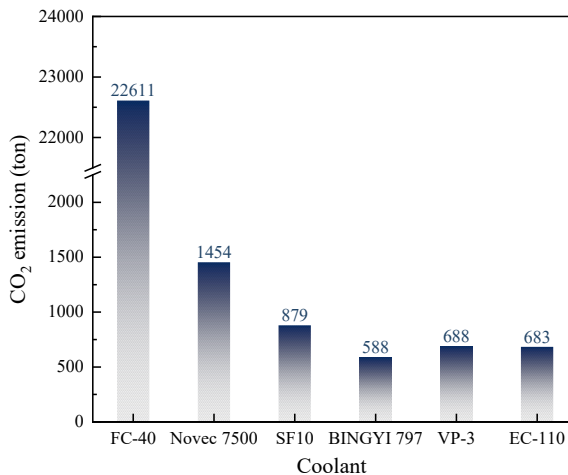


SPILC系统生命周期成本

能效与环保



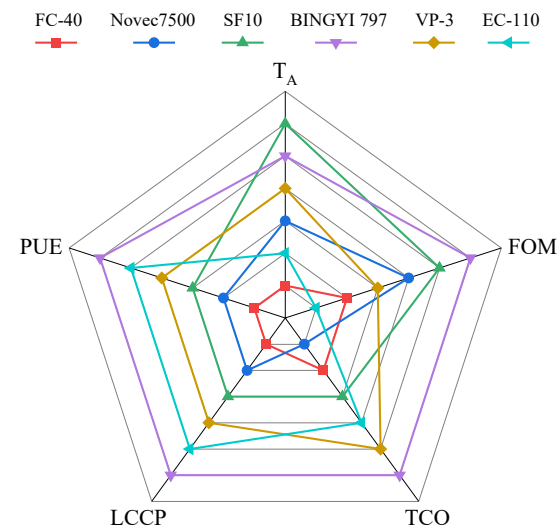
不同冷却液系统的PUE



SPILC系统生命周期内的CO₂排放

综合评价

使用**冰夷797**冷却液的系统可实现：
减少能耗14%-54%，
降低成本5.7%-94.6%，
减少CO₂排放13.9%-97.4%。

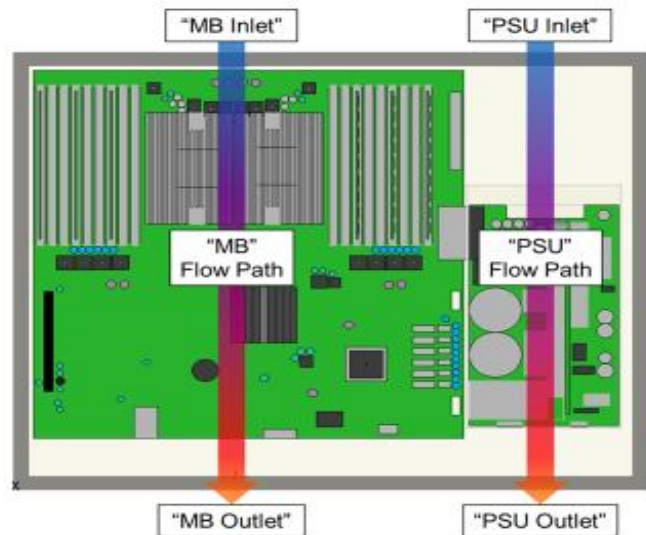


二、单相浸没液冷系统构建

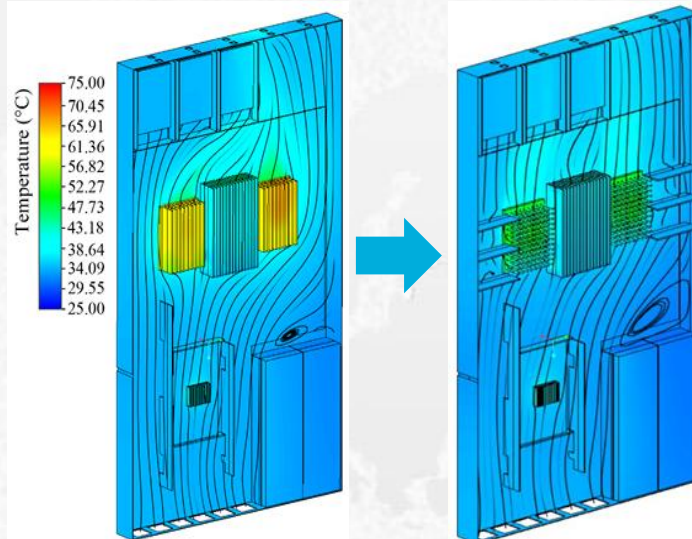
11/30

□ 冷却液与服务器结构耦合关系

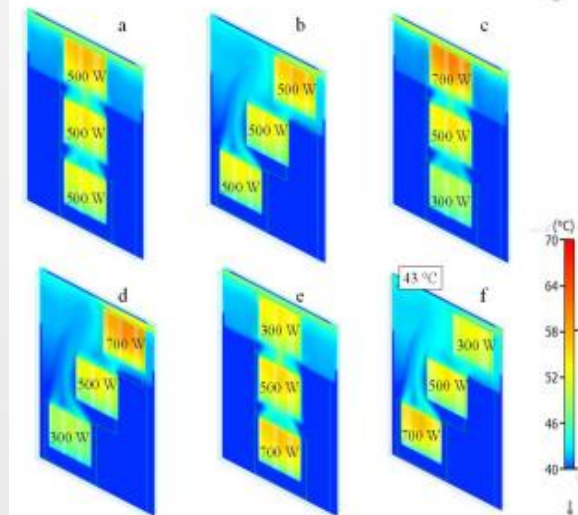
流道位置



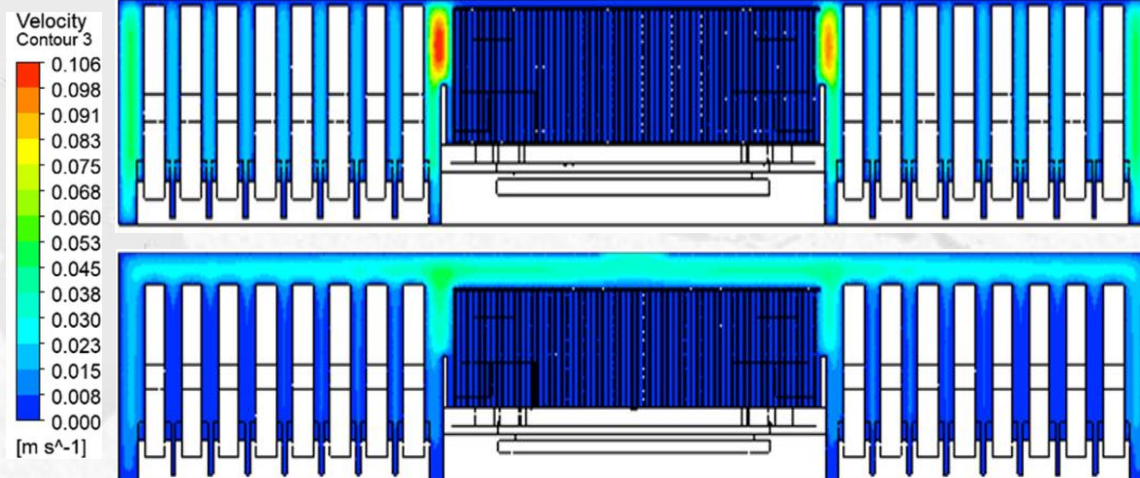
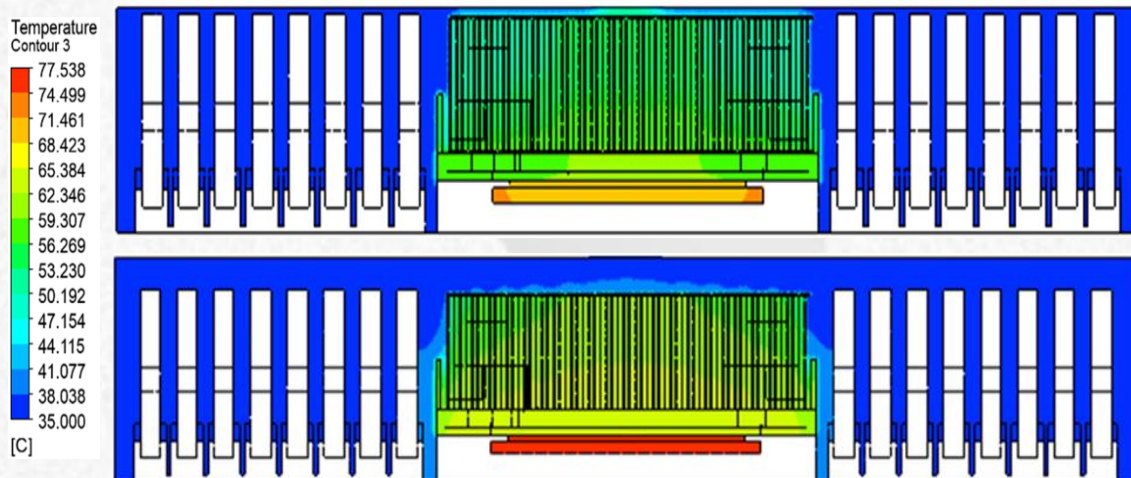
增设挡板



芯片位置



流道位置



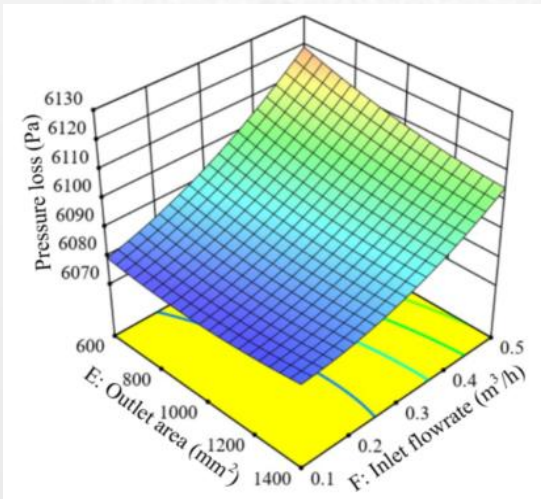
液冷服务器：多参数交互影响

影响服务器冷却性能的参数有很多。因此，在优化服务器结构时，有必要考虑多参数的影响，以及参数之间的交互作用。

关键参数

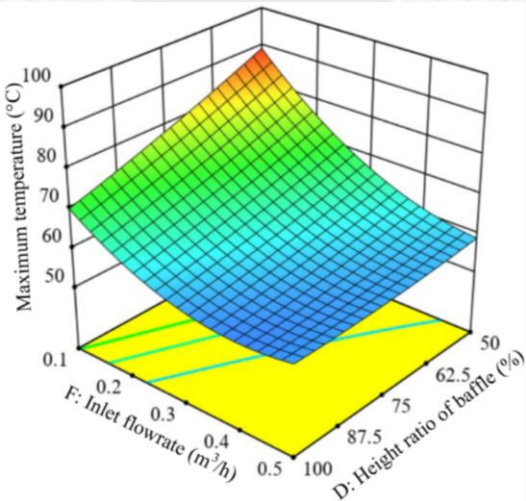
Item	Parameter	Unit	Item	Parameter	Unit
A	翅片高度	mm	E	出口面积	mm ²
B	翅片间距	mm	F	入口流量	m ³ /h
C	散热器的导热系数	W/(m·°C)	G	入口温度	°C
D	挡板高度	mm			

交互作用对压力损失的影响

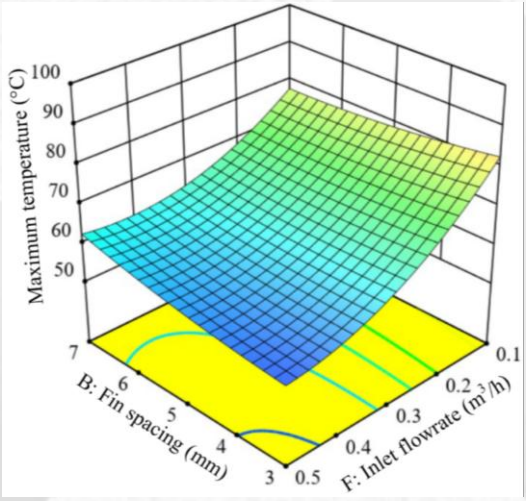


E与F交互作用的影响

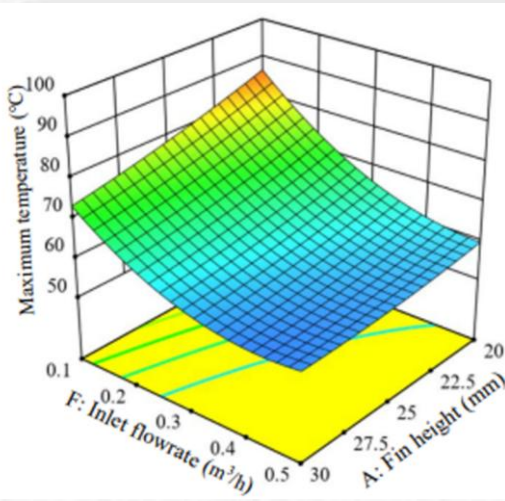
交互作用对芯片温度的影响



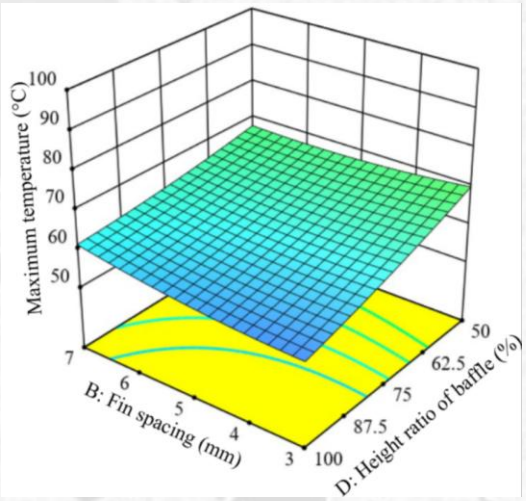
D与F交互作用的影响



B与F交互作用的影响



A与F交互作用的影响



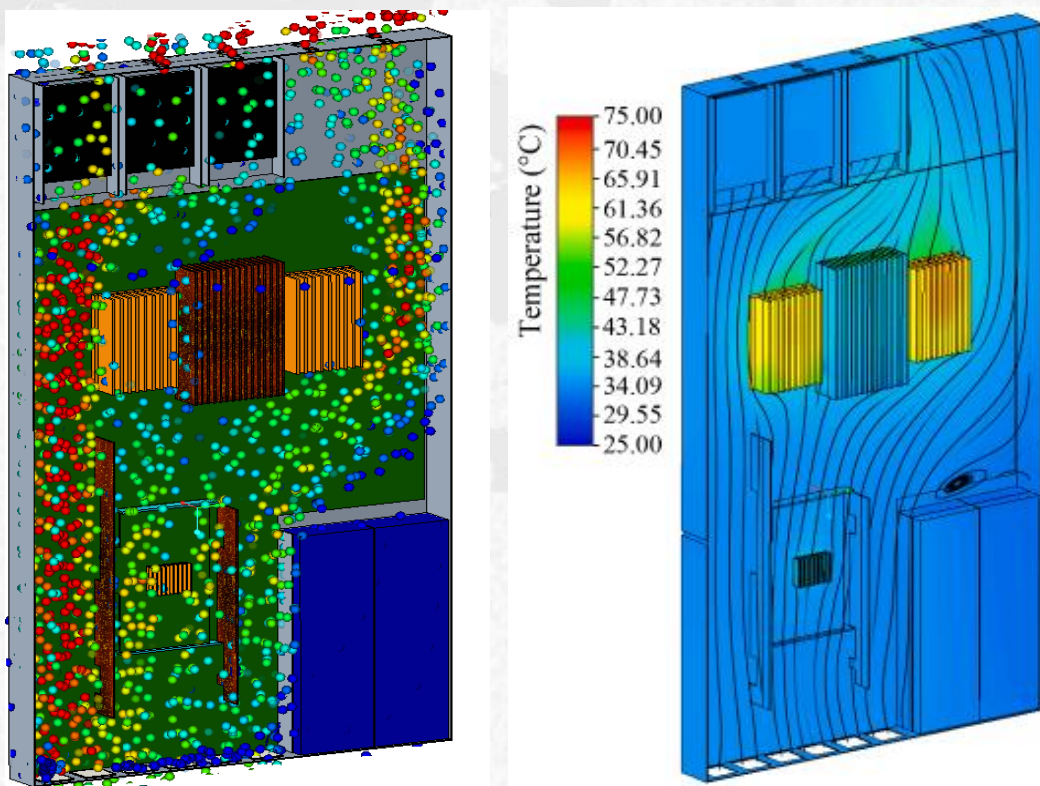
B与D交互作用的影响

来源：X.Q. Li et al. Server performance optimization for single-phase immersion cooling data center, Appl. Therm. Eng.

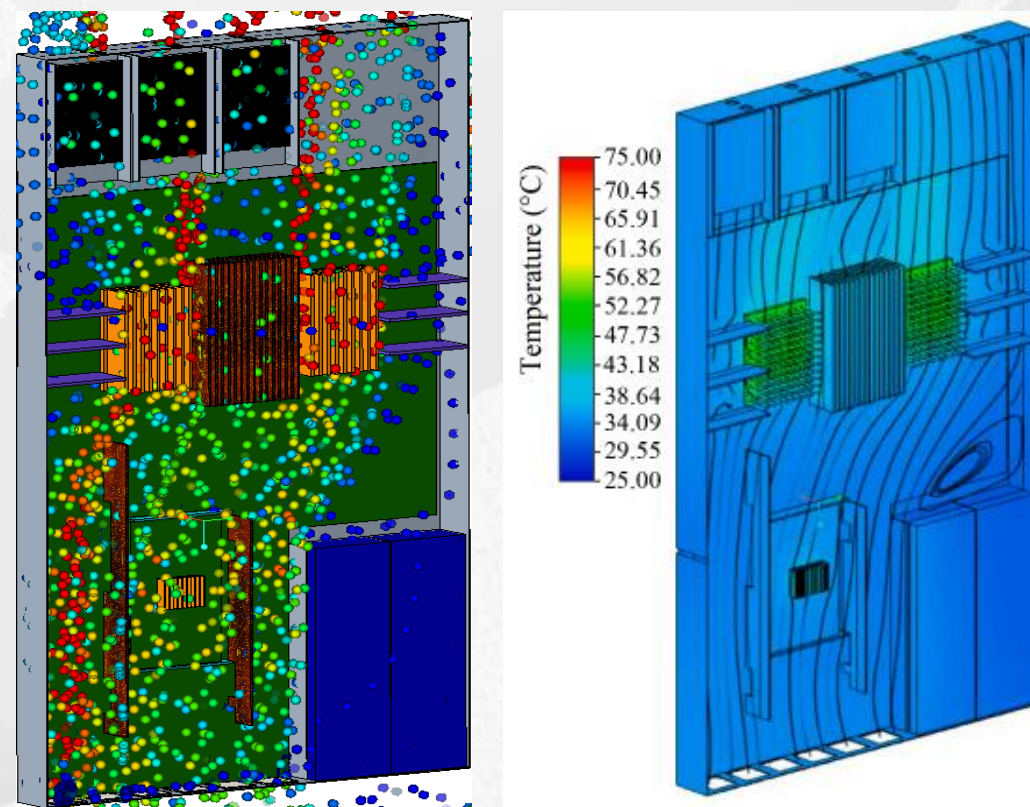
液冷服务器

优化后，服务器的散热性能得到极大的提升。

基础结构



优化结构

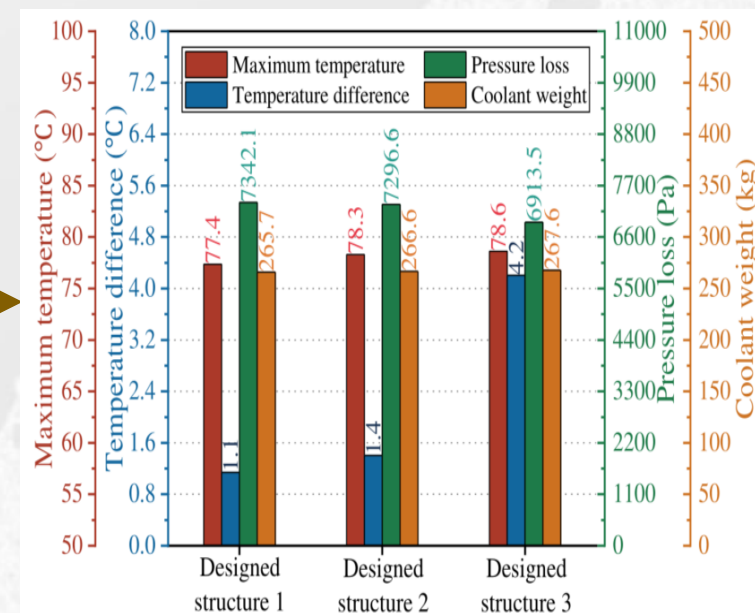
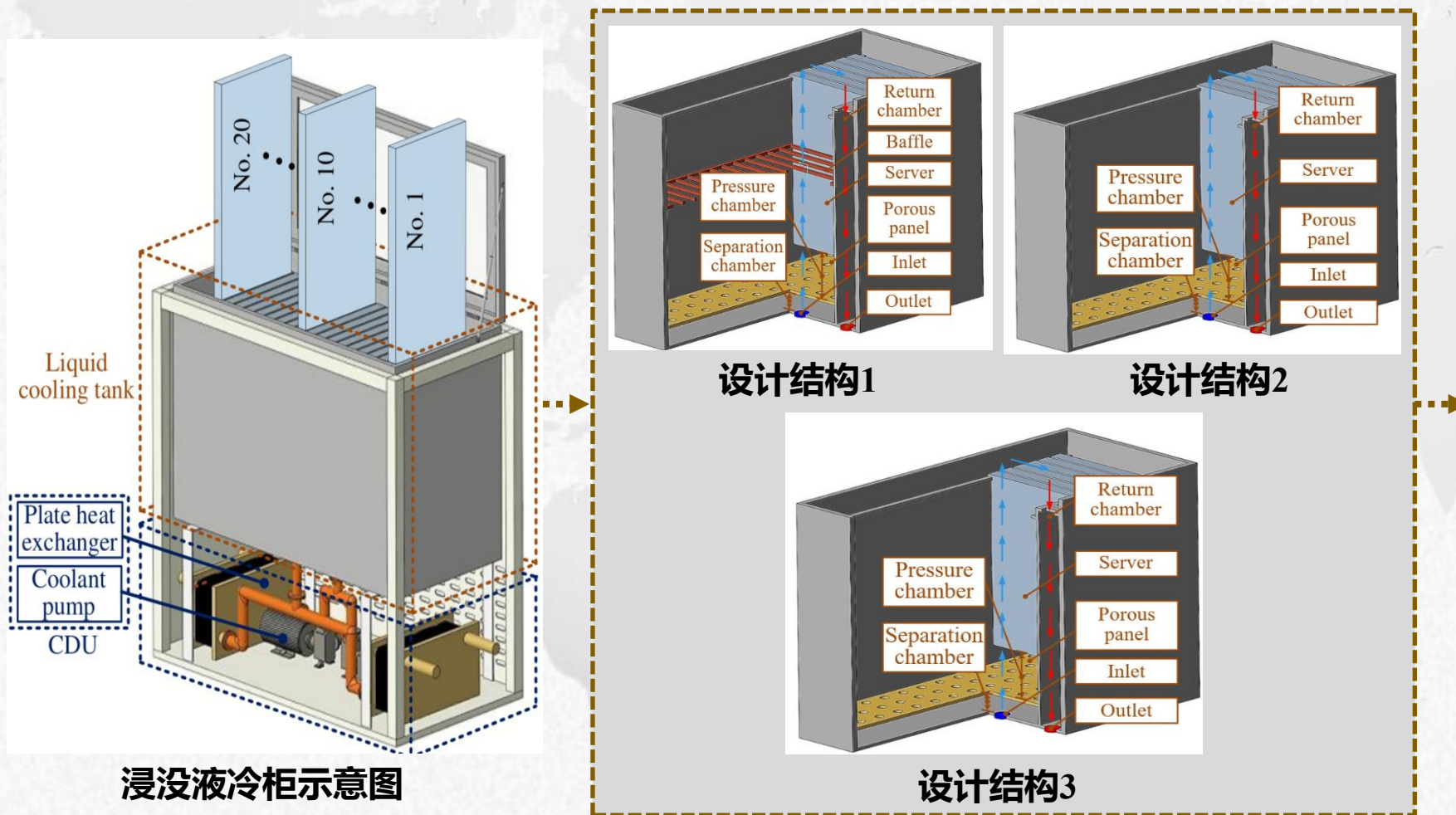


二、单相浸没液冷系统构建

14/30

□ 冷却液、服务器、液冷箱体耦合关系

在实际的运行过程中，液冷箱体作为服务器与冷却液发生热量交换的场所，**需要保证流量均匀的进入到每个服务器中。**因此，有必要对液冷箱体进行优化设计并进行综合评价。

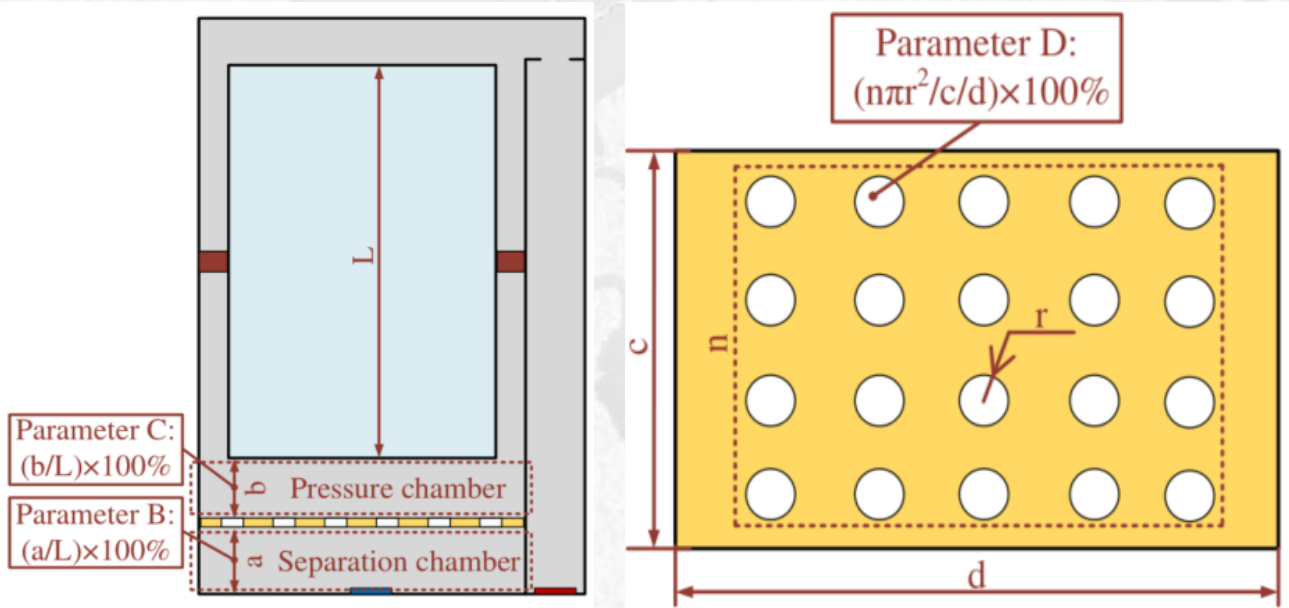


不同箱体结构的性能对比

液冷箱体优化及综合评价

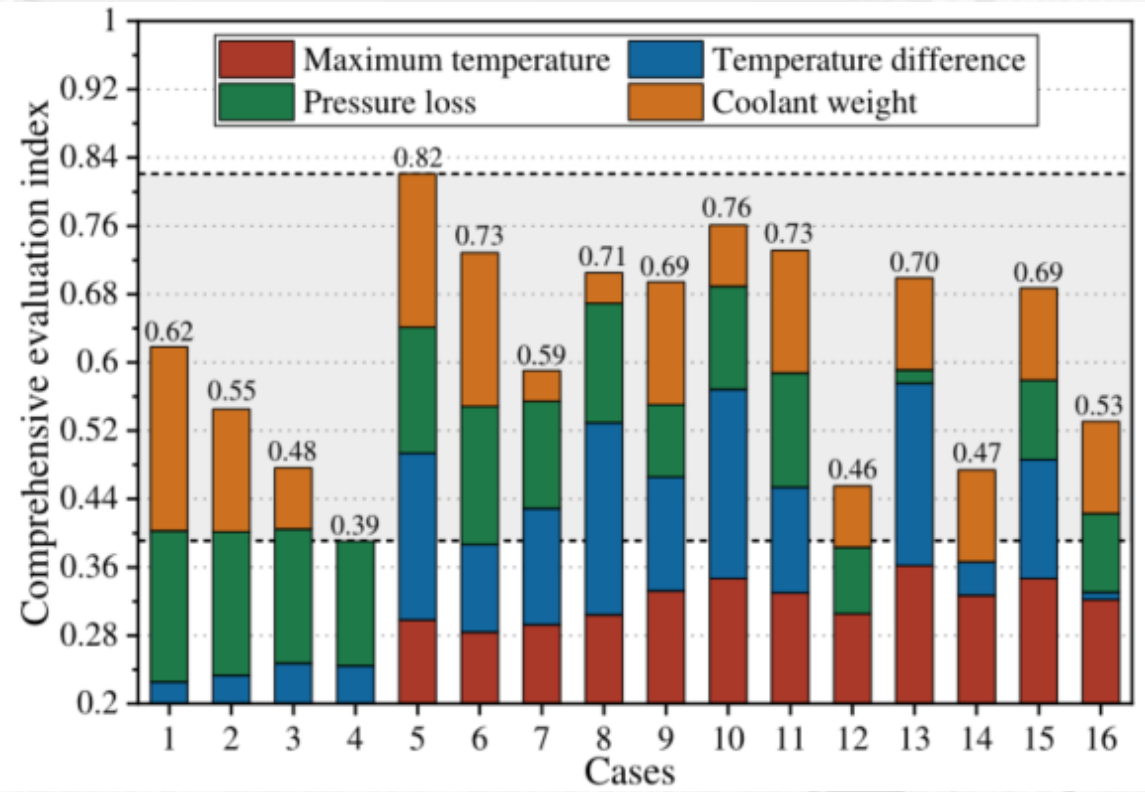
液冷箱体的关键参数

Item	Parameter	Equation
A	箱体入口流量	/
B	分液腔高度	$(a/L) \times 100\%$
C	压力腔高度	$(b/L) \times 100\%$
D	分液板开孔率	$(n\pi r^2/c/d) \times 100\%$



箱体细节示意图

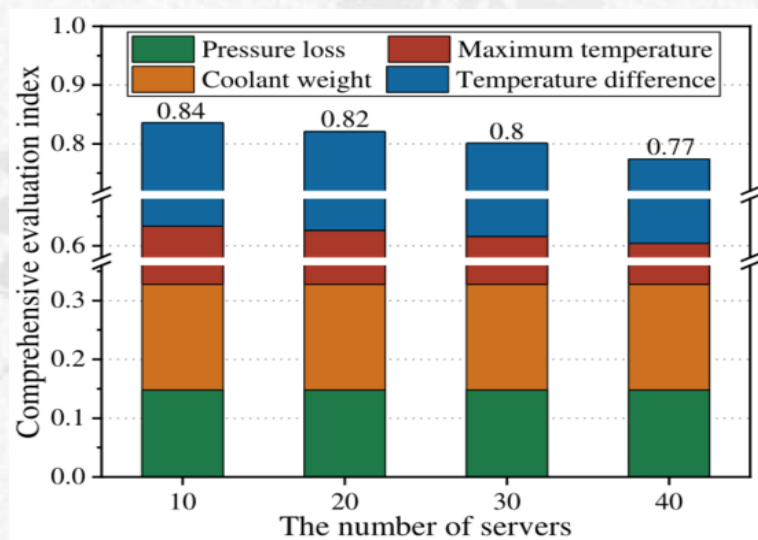
在确定了最佳的箱体结构后，利用正交分析法对其进行进一步优化。综合考虑箱体热性能（最高温度、温差），压力损失与轻量化（冷却液重量）之间的关系，相关的综合评价结果如下所示。



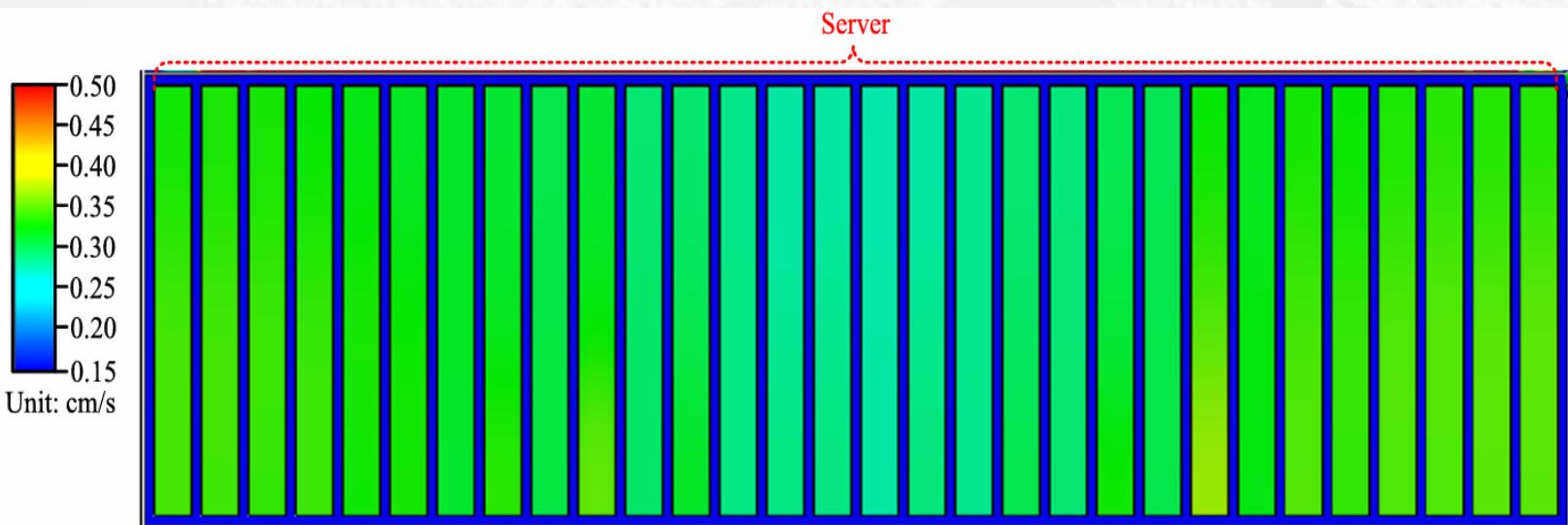
正交工况的综合评价

来源：S.C. Liu, et al. Optimization and evaluation of comprehensive evaluation of liquid cooling tank for single-phase immersion cooling data center, Appl. Therm. Eng.

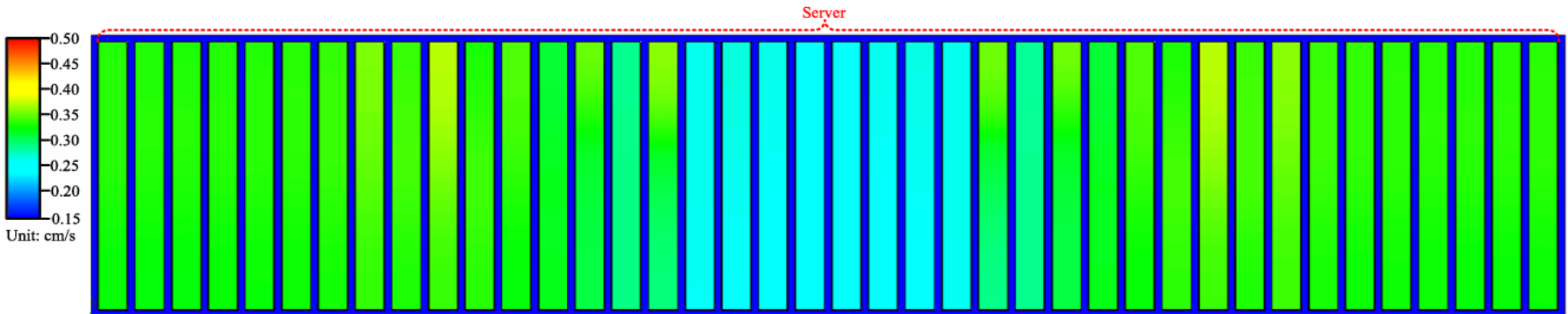
液冷箱体通用性验证



不同服务器数量的综合评价



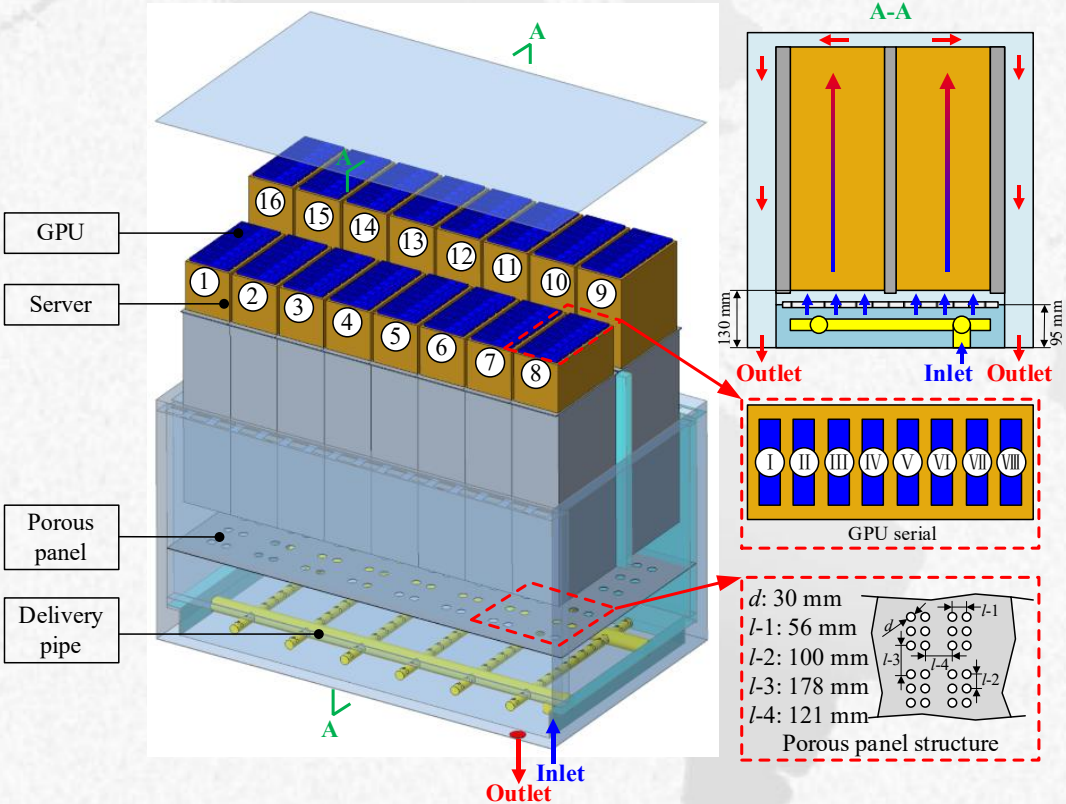
装有30台服务器的箱体流场



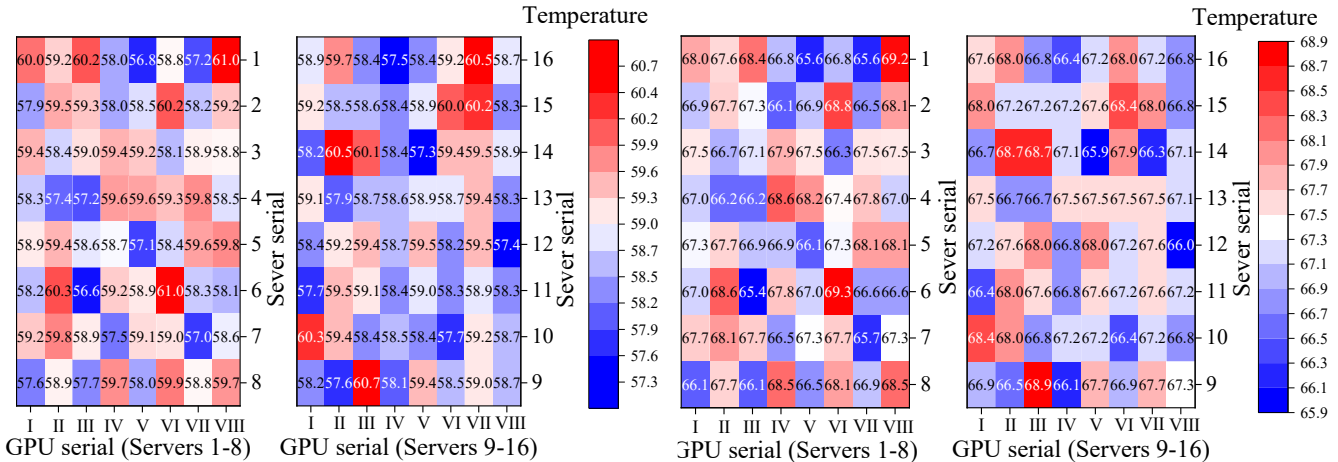
装有40台服务器的箱体流场

液冷箱体均温性验证

当入口温度从 20 °C 上升到 50 °C 时，出口温度上升了 30 °C，但 GPU 平均温度仅上升了 21 °C。所设计的液体冷却槽**显示出良好的温度均匀性**，温度偏差在 5 °C 以内，平方偏差在 1.0-1.5 之间。

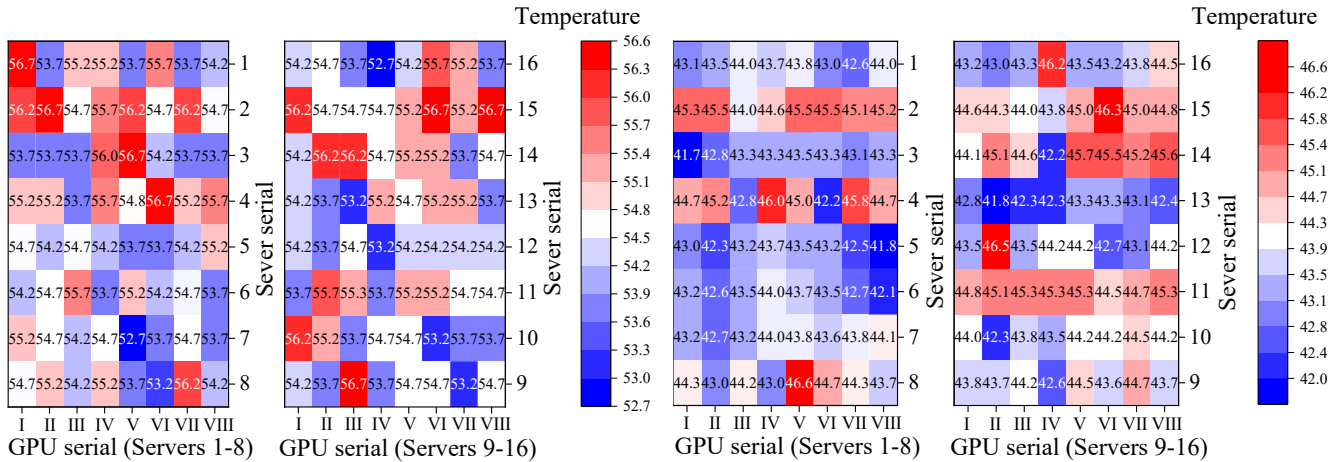


GPU温度分布



入口温度25 °C, 10 m³/h, 100%负载

入口温度40 °C, 10 m³/h, 100%负载



入口温度25 °C, 32 m³/h, 100%负载

入口温度25 °C, 32 m³/h, 50%负载

检测报告

TEST REPORT

潍坊赛宝工业技术研究院有限公司
Weifang CEPREI Industrial Technology
Research Institute Co., Ltd

检测报告
TEST REPORT

WFC-4-21A-V1/0-2022

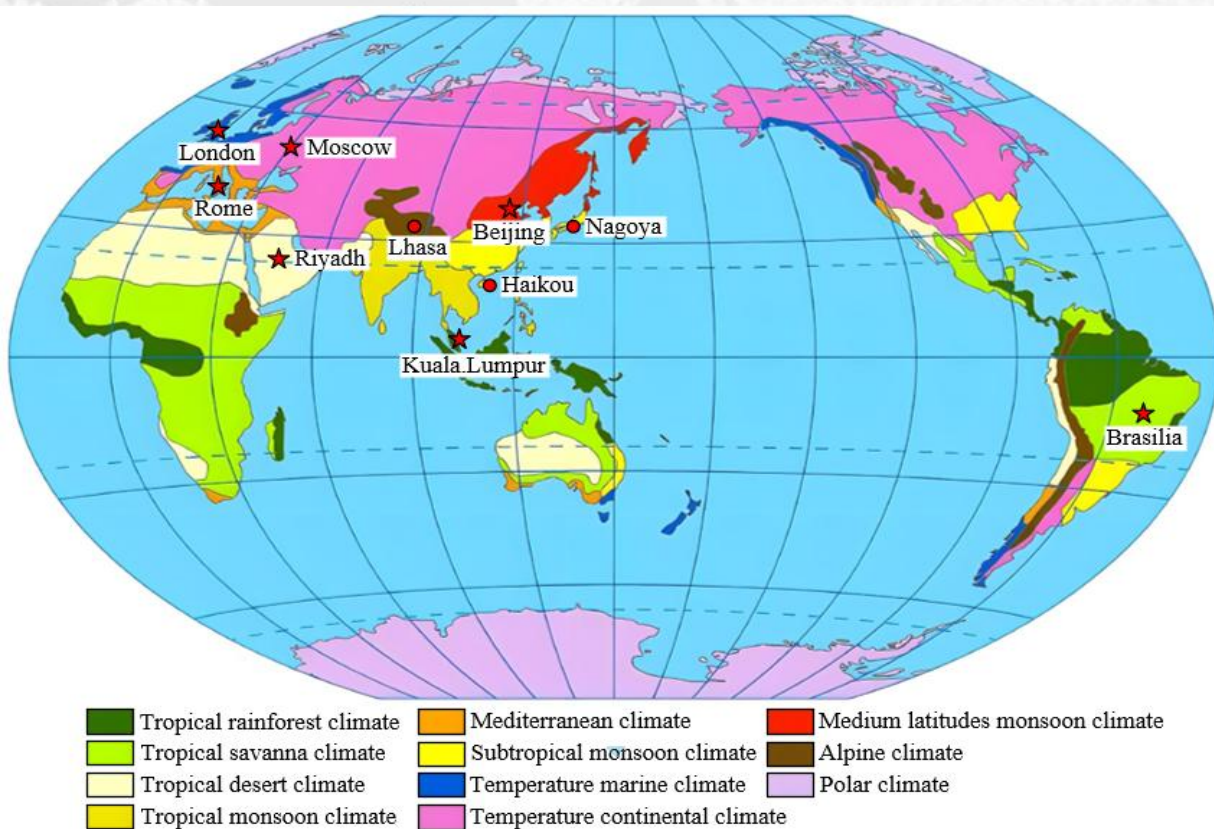
序号 No.	检测项目 Test Items	检测要求 Test Requirement	检测结果 Test Results	结论 Conclusion
1	测试工况①: 冷却液温度 20℃	调节冷却液温度至 20℃, 验证极端低温条 件下服务器能够正常使 用, 并记录芯片组的温 度。	GPU 平均温度为 51.5℃; 服务器正常运行。	符合要求
2	测试工况②: 冷却液温度 30℃~40℃	调节冷却液温度至 30℃ /40℃, 验证服务器能 否正常使用, 并记录芯 片组的温度。	GPU 平均温度为 57.5℃; 服务器正常运行。	符合要求
3	测试工况③: 冷却液温度 50℃	将冷却液温度至 50℃, 验证极端高温条件下服 务器能够正常使用, 并 记录芯片组的温度。	GPU 平均温度为 68.5℃; 服务器正常运行。	符合要求
4	测试工况④: 极限温度	继续调节冷却液温度直 至系统停止服务, 并记 录芯片组的温度。	GPU 平均温度为 76.7℃; 进液温度升温直至 60.8℃时, 此时 GPU 最 高温度为 91℃, 服务器 正常工作; 进液温度为 60.9℃时, 服务器宕机。	符合要求

二、单相浸没液冷系统构建

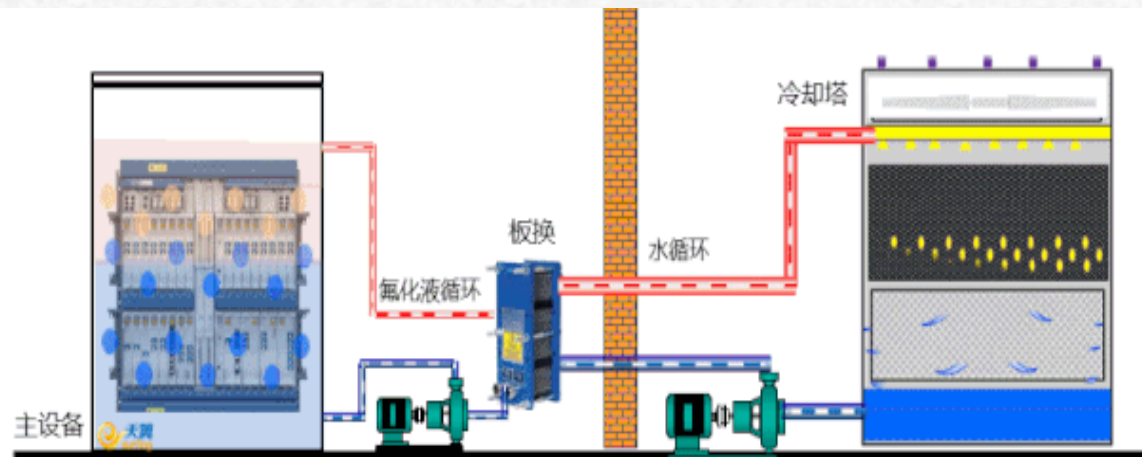
19/30

□ 系统构建与性能预测

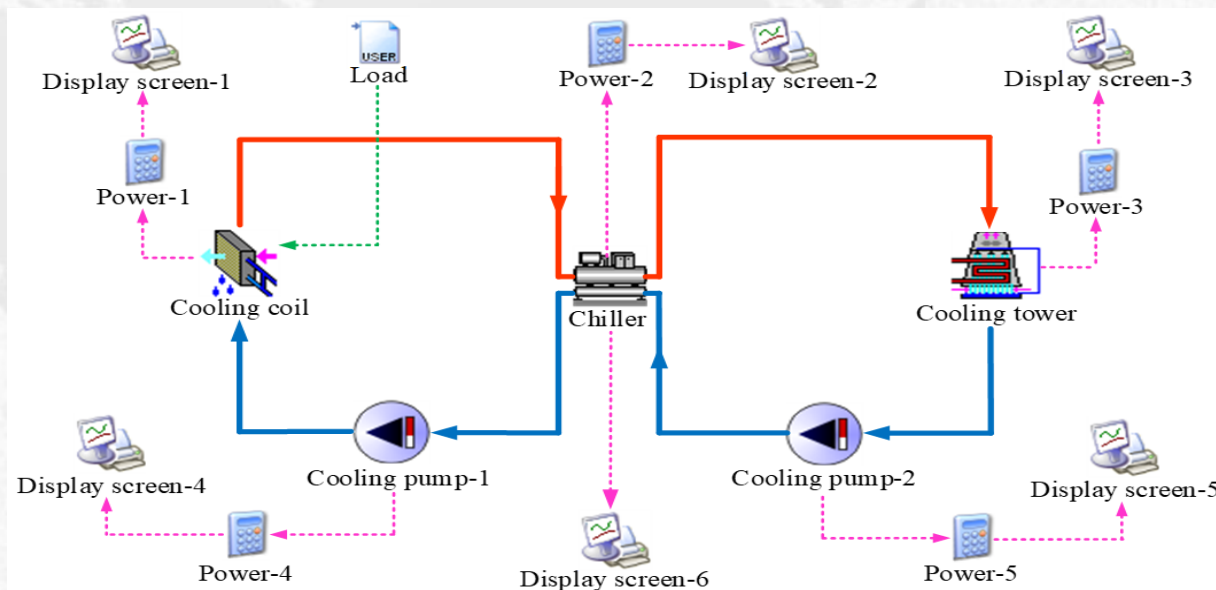
- ◆ 单相浸没液冷系统可以省去机械制冷设备的使用，充分利用自然冷源。但环境对冷却塔、干冷器等冷却设备的性能影响较大。因此，有必要针对不同气候对系统进行能效分析、经济性分析以及碳排放分析。



不同气候区的典型城市



数据中心用单相浸没液冷系统



液冷系统TRNSYS模型

目录

一、数据中心发展现状与挑战

二、单相浸没液冷系统构建

三、单相浸没液冷技术应用实践

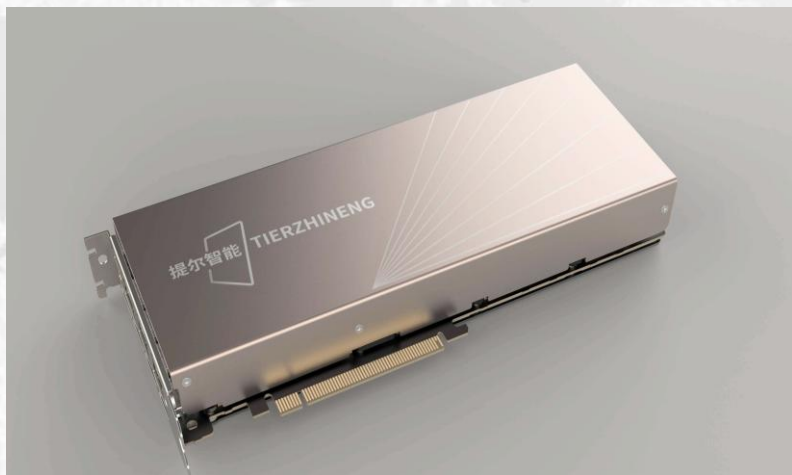
四、发展与展望

五、总结

三、单相浸没液冷技术应用实践

21/30

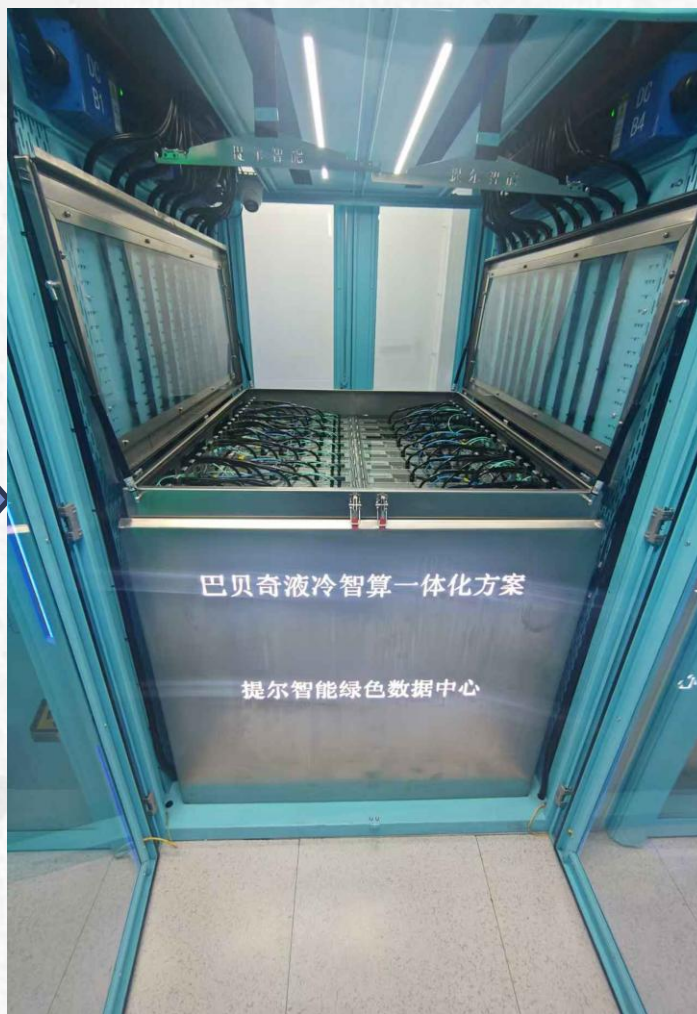
天津提尔科技有限公司联合天津商业大学等多所高校历时四年，共同开发出单相浸没液冷一体化解决方案，包括液冷专用服务器、液冷箱体以及单相浸没液冷一体化柜，目前形成规模化的商业应用，总装机容量超过35MW。



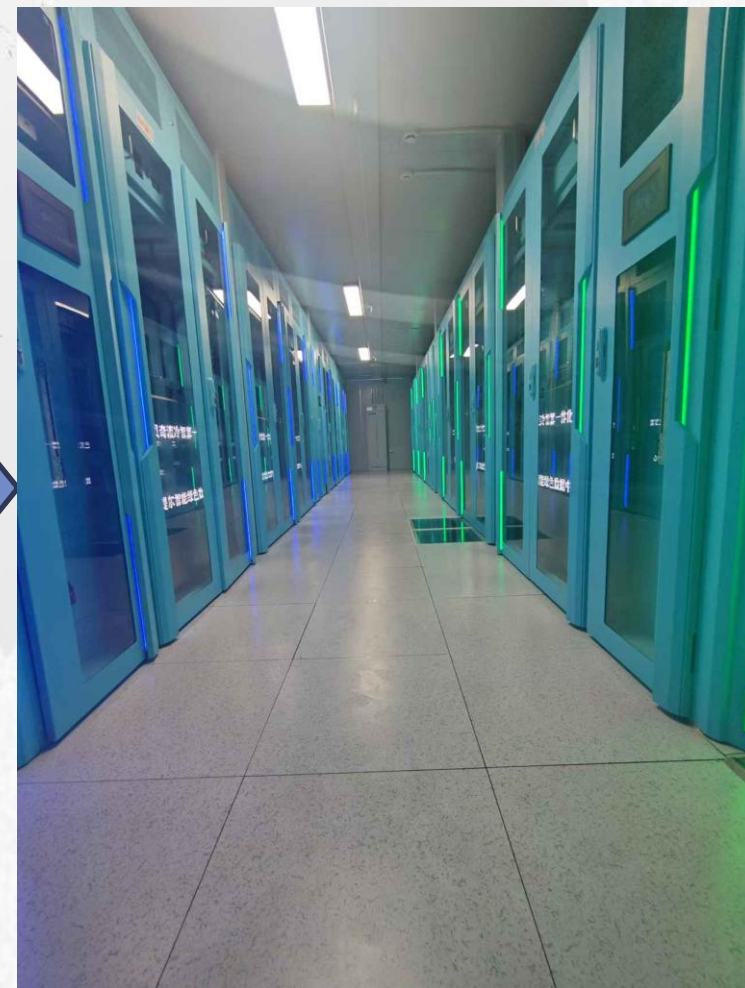
浸没液冷专用GPU



浸没液冷专用服务器



浸没液冷一体化机柜



浸没液冷干卡模组

三、单相浸没液冷技术应用实践-预制集装箱一站式交付

22/30



工厂预制预装



水泥基础预制



专车点对点运输



外立面装饰美化



并箱、防水、内部管线连接



现场专业吊装

四、单相浸没液冷技术应用实践-算电融合零碳园区

23/30

□ 算电融合零碳园区-提尔科技“长三角”芜湖节点液冷集群6月30日开机，首批上线2000卡RTX5880/5090

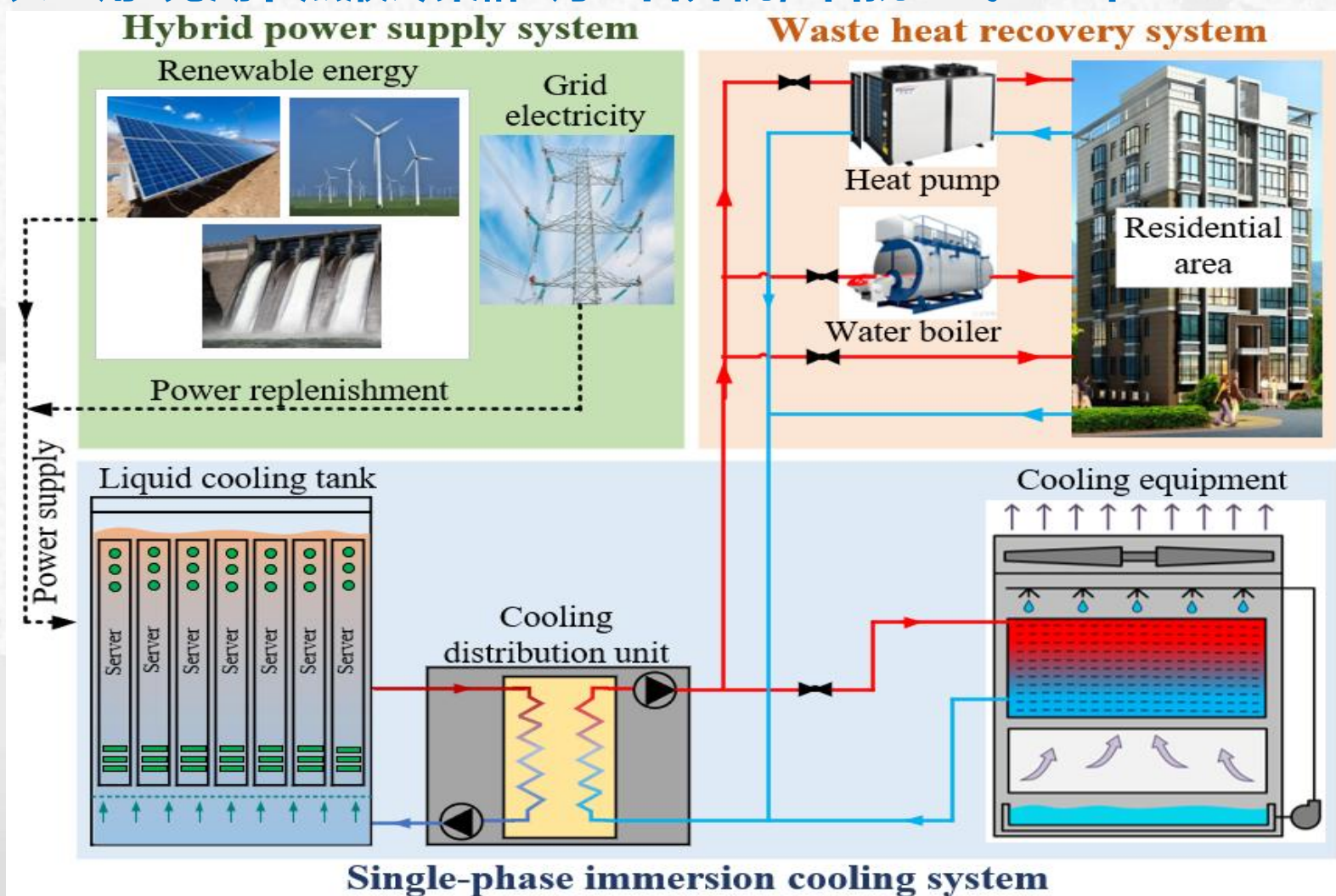
清洁供能



高效热管理技术

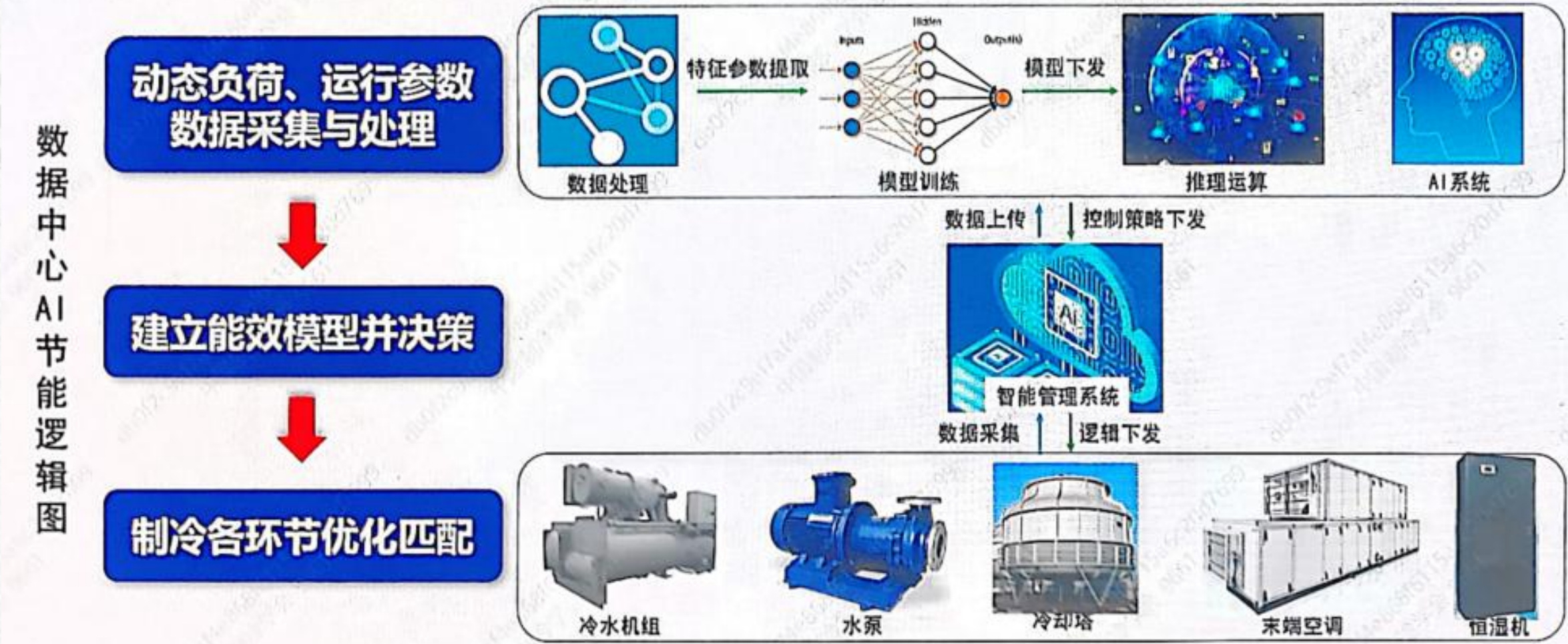


废热利用技术



- 结合可再生能源（太阳能、风能、地热能、水能等）的有效应用，合理设计并充分利用数据中心内各种冷媒传输和热交换过程中的能量交换，实现不需要机械式制冷的自然环境冷却，革命性建设100%可再生能源功能、“零”排放绿色数据中心。

AI技术多目标优化：从“制冷”到“智冷”



- 通过AI机器学习建立能效模型，可准确预测下一阶段的符合需求，并作出节能控制解决方案；
- AI模型对制冷设备的运行参数进行优化，可实现设备运行最优设置，从而达到制冷系统的全局优化。

目录

一、数据中心发展现状与挑战

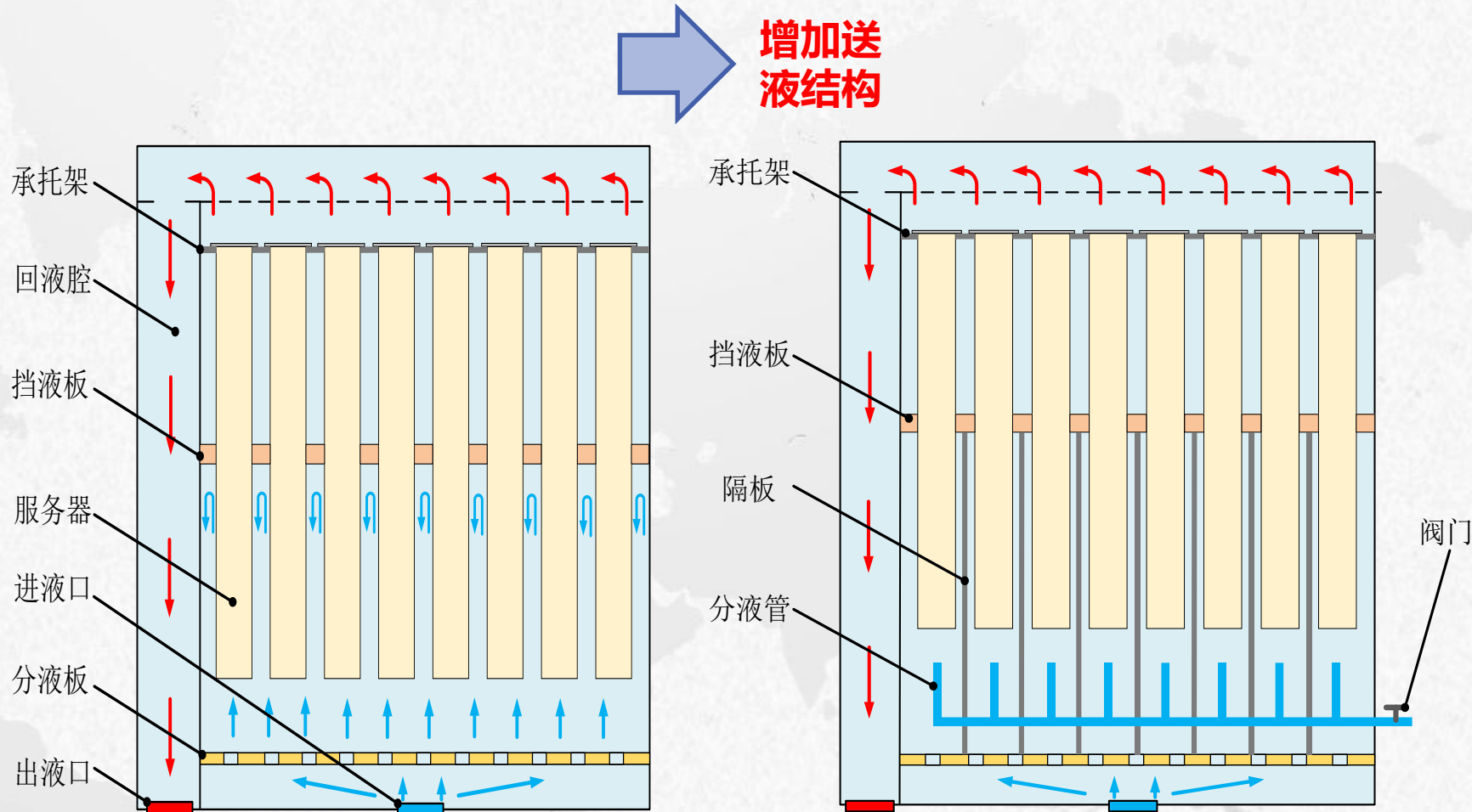
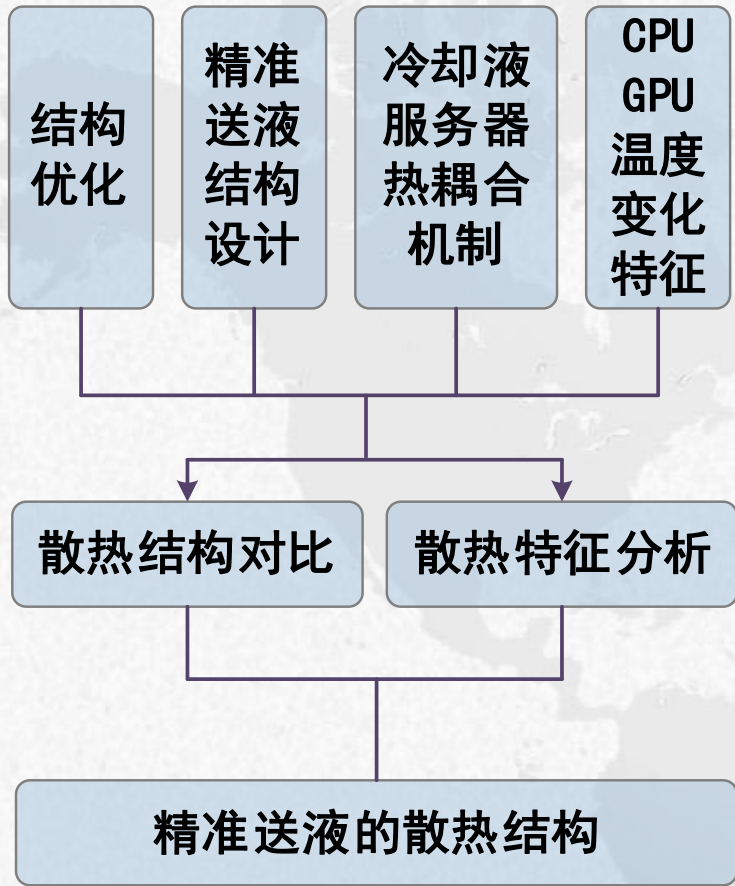
二、单相浸没液冷系统构建

三、单相浸没液冷技术应用实践

四、发展与展望

五、总结

精准送液的箱体结构



- 如何有效地控制液体在输送过程中的流场，保证冷却液可以**精准送至**需被冷却的器件是液冷系统有待提高的问题。通过散热结构优化，实现单相浸没液冷数据中心的精准送液技术，为大幅度**降低能耗**提供了研究思路。

全浸没液冷架构

不止浸没液冷智算服务器

浸没液冷智算服务器

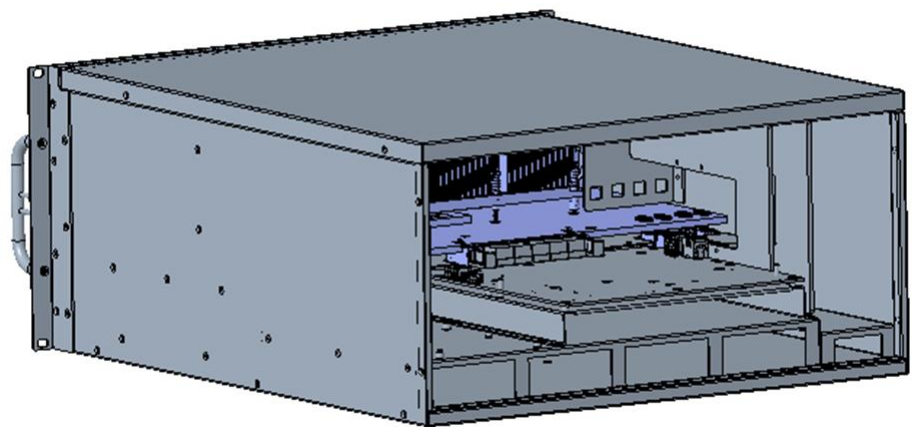
浸没液冷存储服务器

浸没液冷400G交换机

浸没液冷防火墙

实现真正意义的“全液冷”。

节能、高效、静音、安全、环保



全直流电气架构

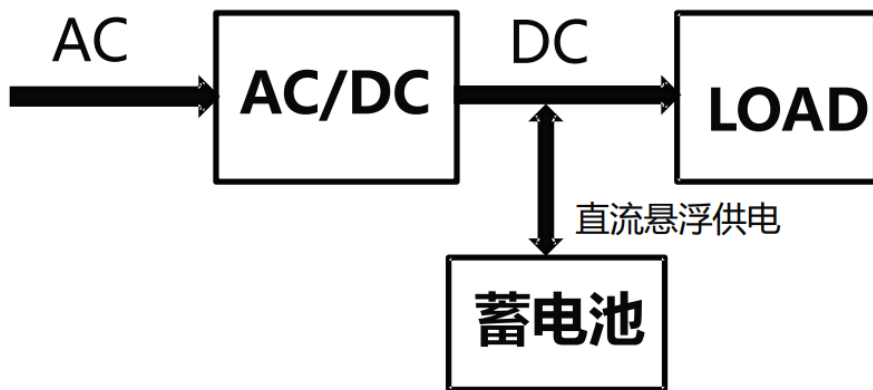
直流供电不止服务器

浸没液冷系统辅助设备（冷却液泵、冷却水泵、冷塔或干冷器）相当于传统风冷散热的风扇，也需要不间断电源供电。

直流供电优势：

电池直挂母线，系统基本无掉电风险

电池放电无需考虑逆变损耗。



目录

一、数据中心发展现状与挑战

二、单相浸没液冷系统构建

三、单相浸没液冷技术应用实践

四、发展与展望

五、总结

- ◆伴随着数据中心的快速发展，液冷技术的应用是数据中心走出“能耗困境”的必要手段；
- ◆要实现单相浸没液冷技术的高效应用，需从液冷服务器、液冷箱体与液冷系统三个角度进行优化设计；
- ◆结合可再生能源与余热利用，是单相浸没液冷系统未来的研究方向。
- ◆统一接口标准，推动行业标准的制定，共同推动浸没液冷技术的应用。

当算力突破物理极限，液冷是打开新次元的钥匙！

感谢聆听， 敬请批评指正！