



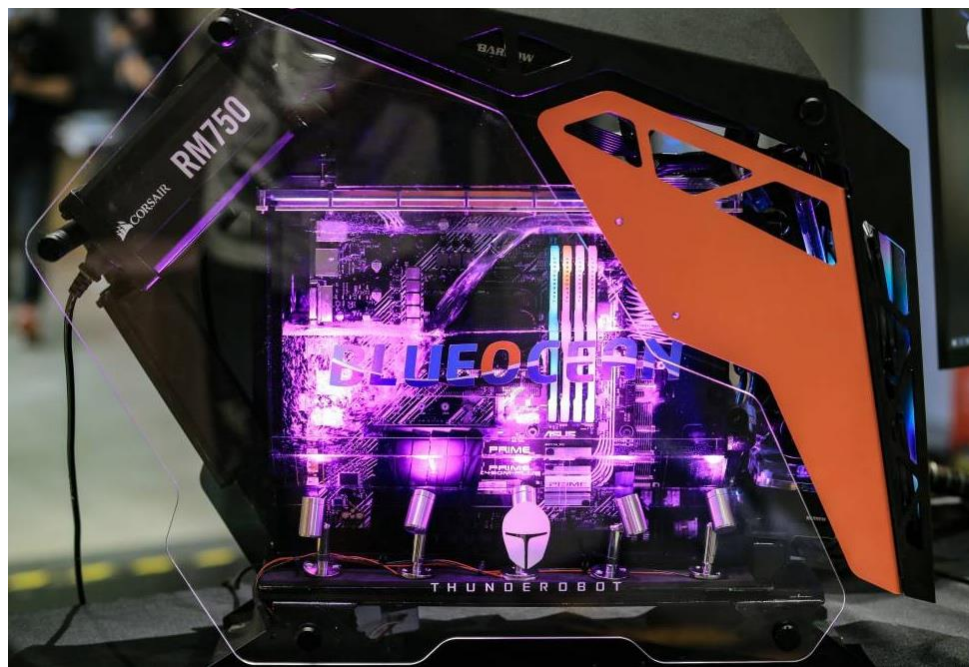
# 液冷挑战与 实践思考



ZOMI

# Content

- 液冷不应该很简单吗？我自己家的炫酷游戏主机都上了液冷，我理解服务器应该都可以直接上液冷！！！！





# Content [github.com/Infrasys-AI/AIInfra](https://github.com/Infrasys-AI/AIInfra)

AI 系统 + 大模型全栈架构图

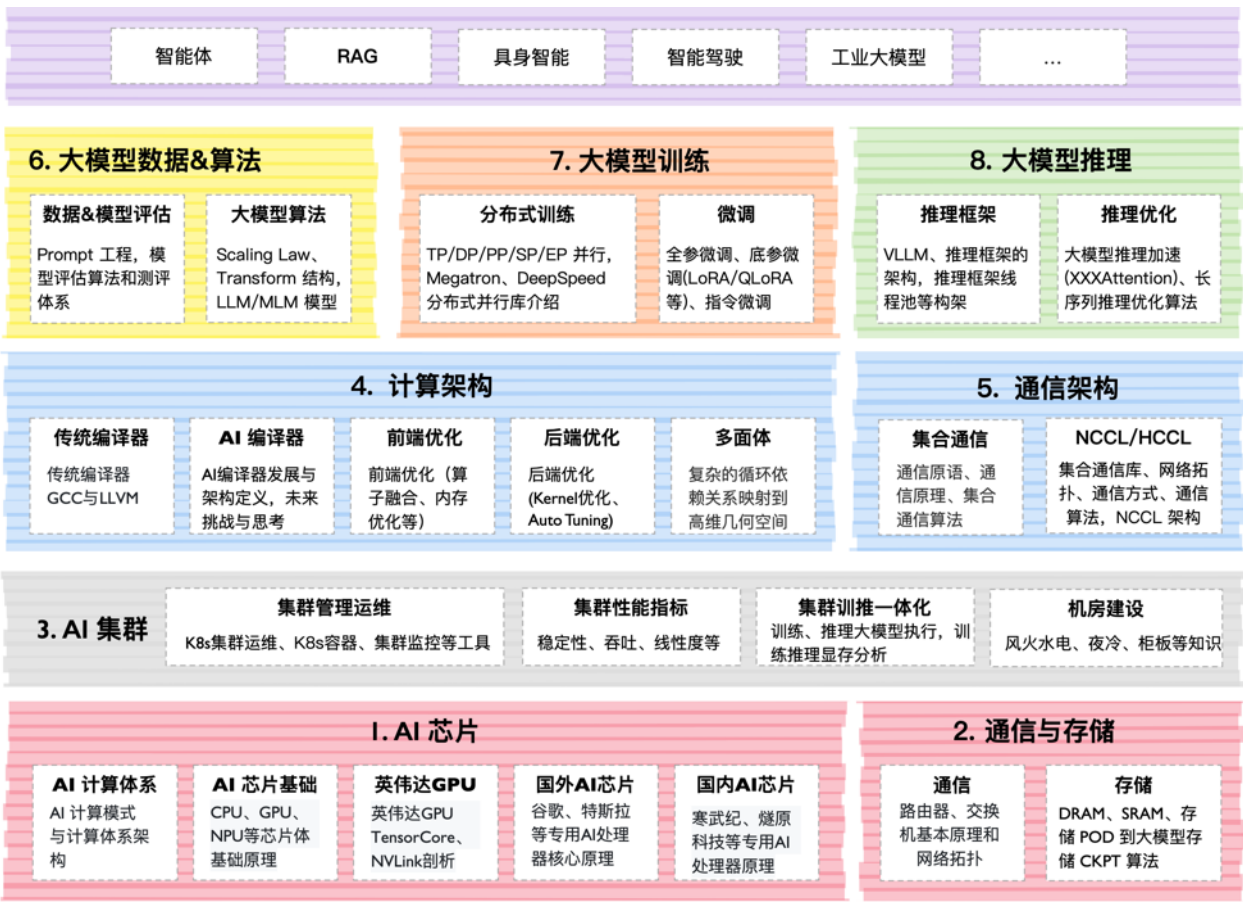


时事  
热点

大模型  
训推

编译  
计算  
架构

硬件  
体系  
结构



# Content

## L0 集群基础设施建设

### 服务器节点

通用服务器、AI 服务器 (GPU/NPU)

### 风冷：实践与思考

挑战、设计原则、实践与思考

### 液冷：技术发展趋势

风冷挑战、液冷发展、风液混合

### 液冷：实践与思考

液冷挑战、实践与思考

### 服务器机柜

风冷柜、板冷柜、全液冷柜

### 集群机房供电

供电技术、供电分类



# Content

1. 集群硬件的液冷挑战
2. 集群硬件的液冷实践



# 风冷 3 级换热

- 风冷服务器端到端换热链路：3 级换热

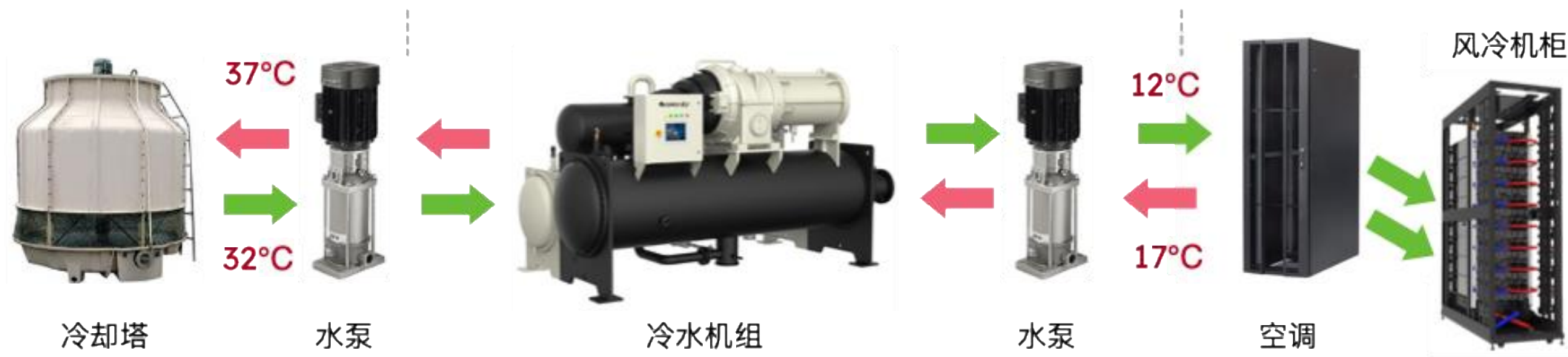


# 风冷问题

1. **换热介质**: 空气, 物理特性稳定
2. **介质温度**: 低温, 不超过  $27^{\circ}\text{C}$
3. **换热通道**: 机框结构件 + 翅片散热器
4. **介质动力**: 服务器自带风扇
5. **耦合参数**: 风温差、进风温度

## 缺点:

- 风冷导热系数低
- 散热能力一般
- 比热容小



# 01

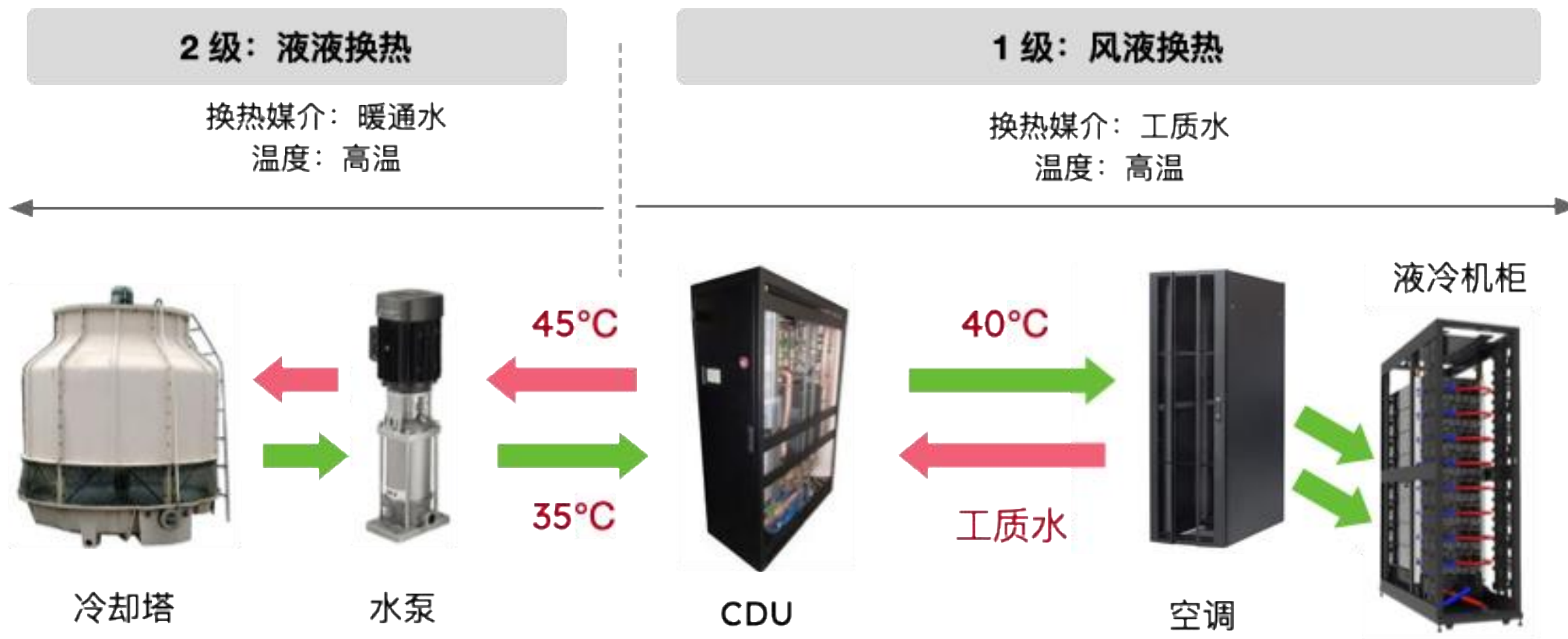
## 集群硬件 液冷挑战





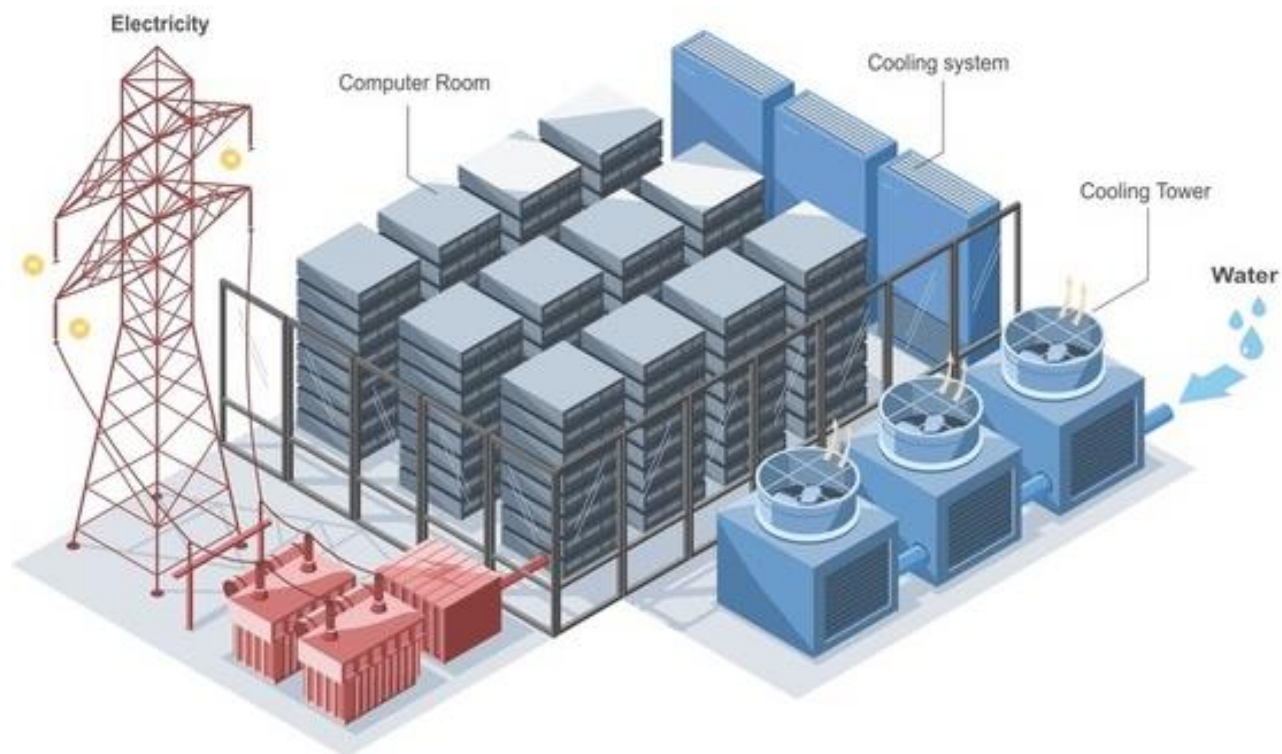
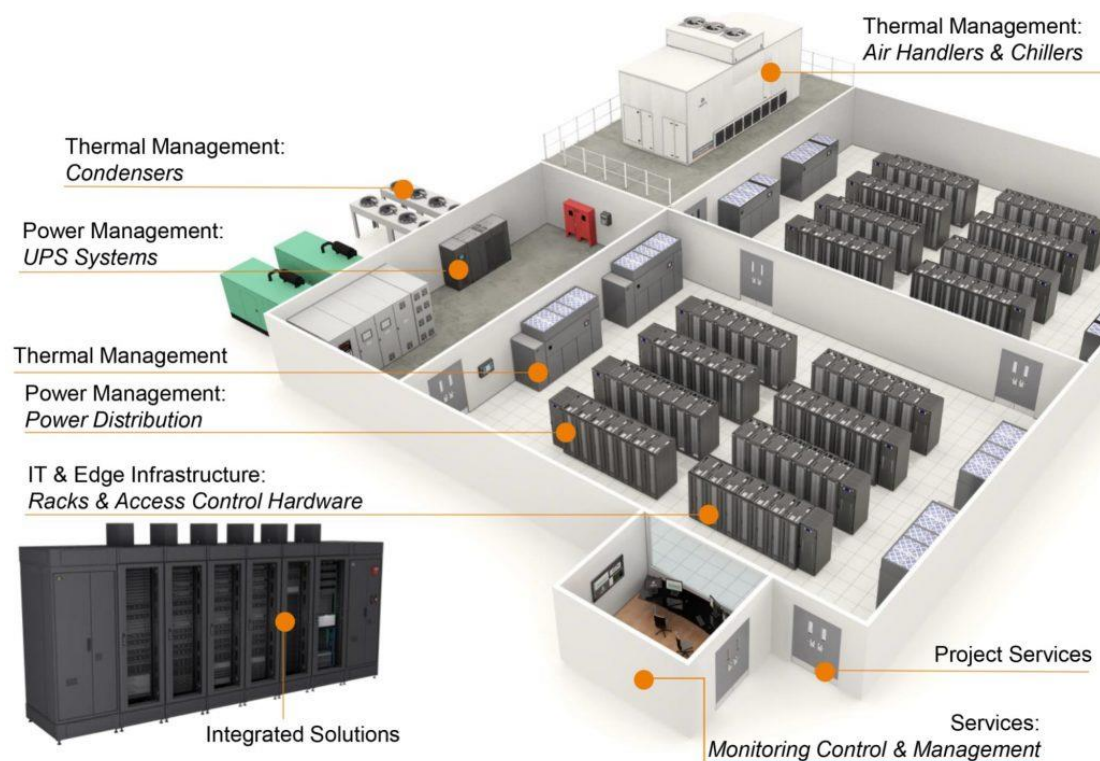
# 液冷 2 级换热

- 风冷服务器端到端换热链路：2 级换热



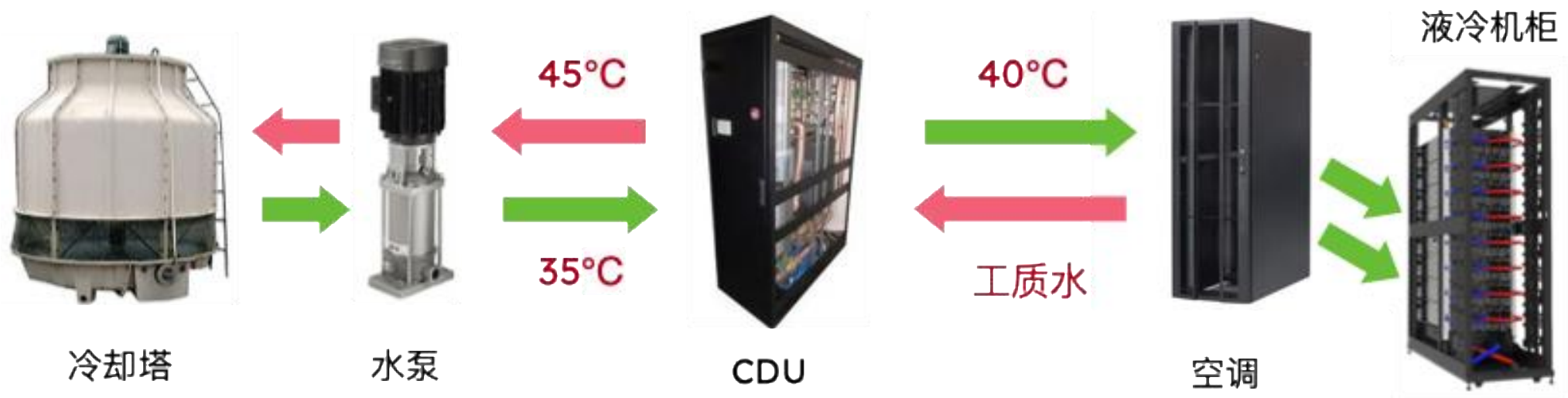
# 液冷是复杂系统工程

- 换热介质改变，决定了液冷的耦合特性
- 必须从芯片到机房端到端考虑，以系统工程视角进行服务器液冷设计



# 液冷服务器问题

1. **换热介质**: 工质水, 特殊物化特性, 厂家独有配方 → 材料兼容性
2. **介质温度**: 高温, 最高可达40°C → 热容灾能力弱
3. **换热通道**: 高密铲齿流道 → 杂质耐受度极低, 100um, 头发丝
4. **介质动力**: 服务器本身无动力, 依赖CDU部件 → 机房设施强耦合
5. **耦合参数**: 风液占比、水温差、水温、水压、压降、工质特性等



# 液冷建设成本高

1. **水冷管道等器材和设备昂贵。** 整机风扇总成本通常 x000 美元；而水冷系统中仅一个水泵就超过 x000 美元，加上管道、接头等组件，整体造价显著上升。
2. **基础设施投入大。** 水冷系统含液态冷却介质后重量接近 xx 公斤，接近满配服务器的重量，需配备高强度机架和加固地基，增加部署成本。
3. **环境安全成本高。** 系统需长期储存数吨非饮用水，涉及泄漏、防火、污染等风险，环境评估和合规管理复杂，进一步推高运维与监管成本。





# 液冷器件设计

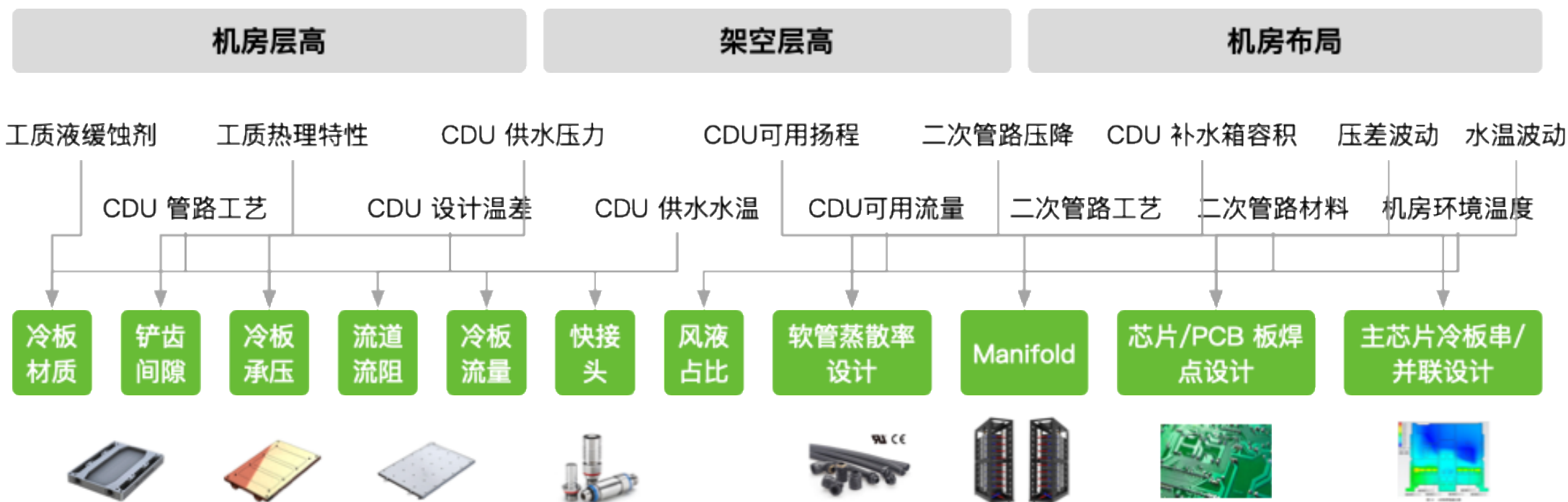
- 液冷设计规格与机房 L1 设备以及 L0 基建贯穿耦合

集群机房  
布局

↓  
机房关键  
参数

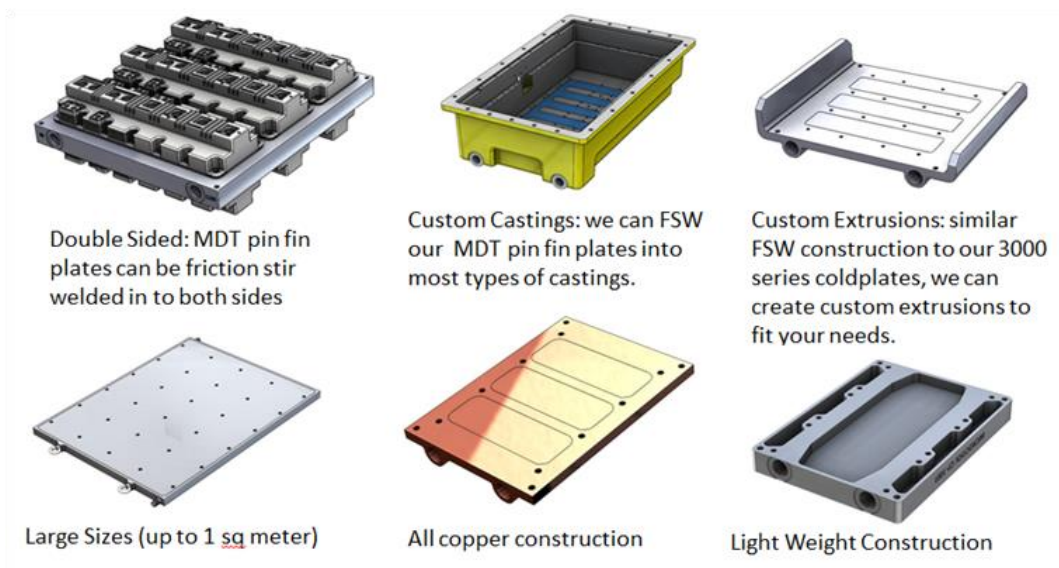
↓  
液冷设计  
规格

↓  
液冷器件



# 液冷器件设计

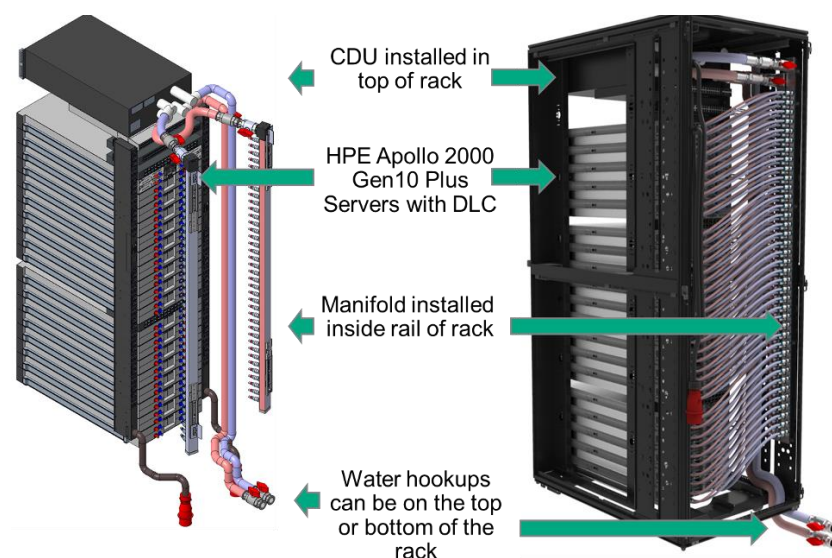
- 液冷设计规格与机房 L1 设备以及 L0 基建贯穿耦合，其中器件包括（冷板、快接头、Manifold、低热器件冷板、非金属软管）



冷板



快接头&非金属软管

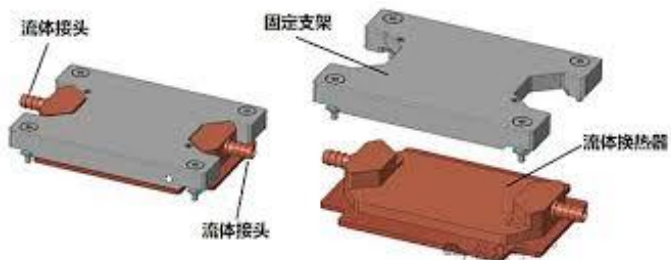


Manifold

# 液冷与机房部署、运维强关联

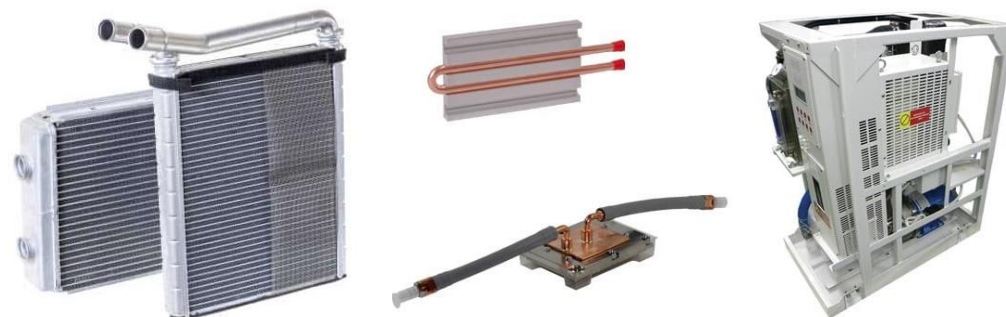
## 机房部署

- 二次管路交叉施工，工质结晶冷板堵塞，超温告警
- 冷板内部流道出现异物，造成流道堵塞，影响流速
- 机房焊接产生金属进入管路，与工质发生反应



## 机房运维

- 采购不合格工质液，导致冷板腐蚀
- 二次管路工艺不合格，导致冷板堵塞
- 插拔时快接头粘连异物，导致快接头漏液
- 系统滋生菌落，堵塞冷板，导致漏液
- 缓蚀剂消耗，系统产生金属离子，腐蚀冷板



02

# 集群硬件 液冷实践





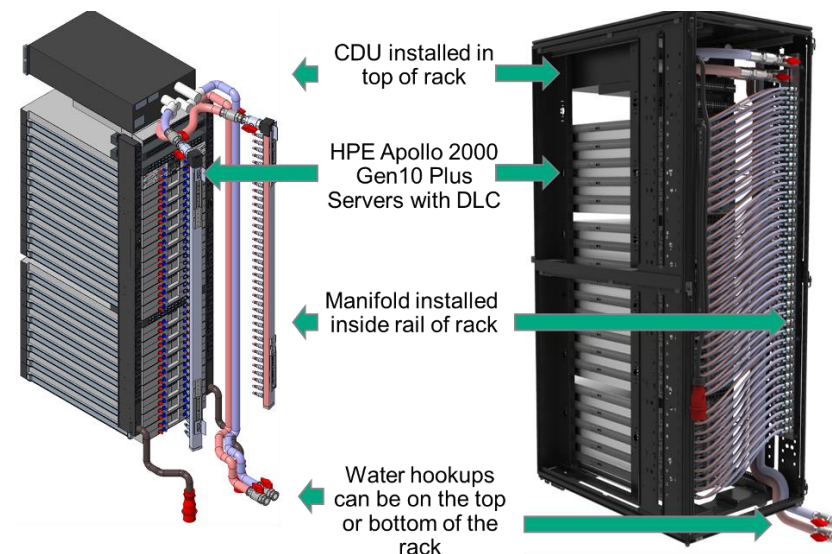
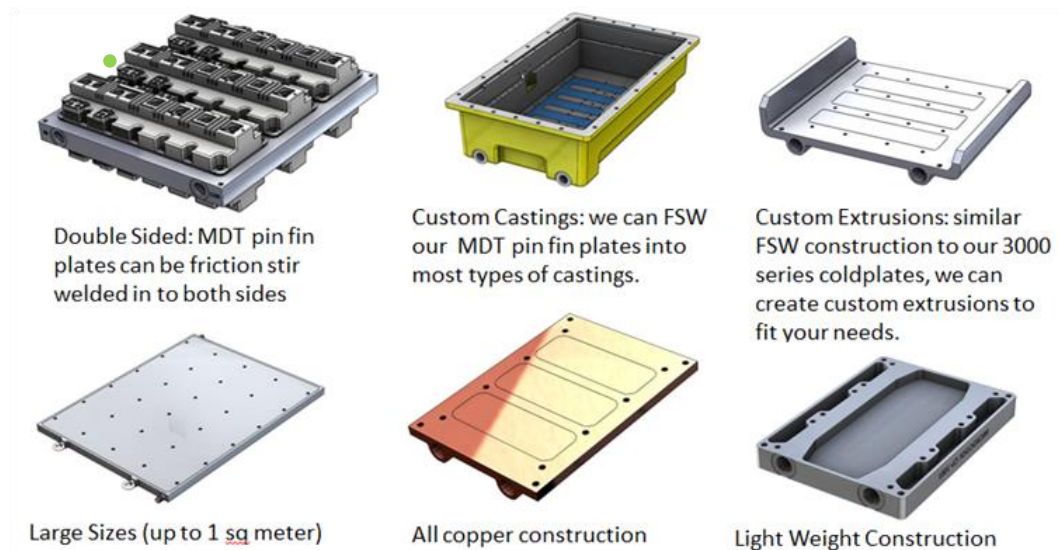
# 液冷器件设计与创新实践

## 冷板优化

- 材料：铜合金为主，结合硅脂/液态金属界面材料降低接触热阻
- 结构：采用自适应流速算法，动态匹配业务负载，实现能耗降

## 低热器件冷板

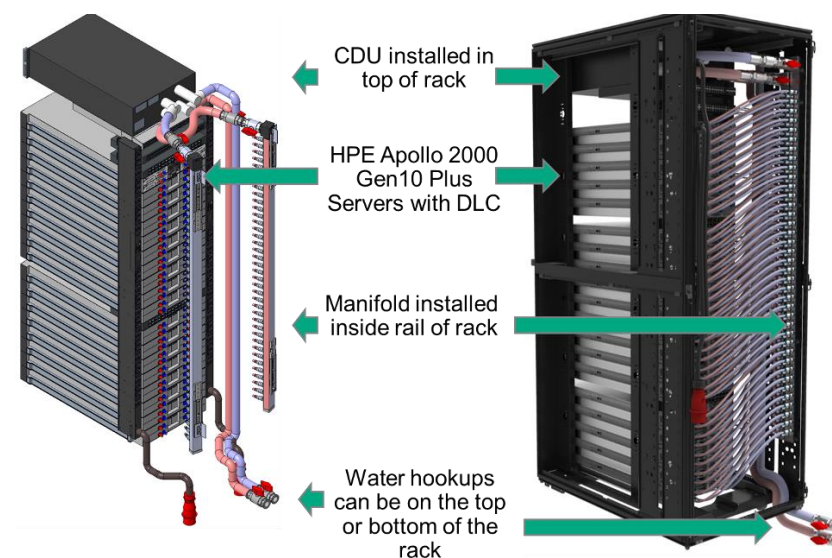
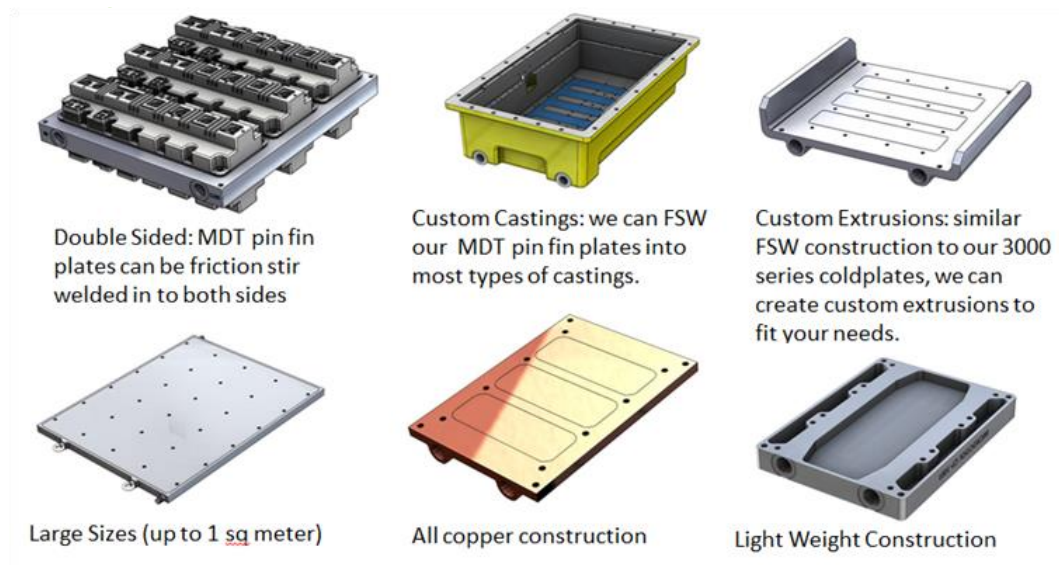
- 针对内存/电源模块等中低功耗器件，采用铝制轻量化冷板，集成至液冷回路



# 液冷器件设计与创新实践

## ● 管路与连接系统

- 快接头：盲插式设计实现多支路同步连接，降低维护复杂度
- Manifold：定制化分液器优化流量分配，减少装配时间
- 非金属软管：PTFE + PVC 复合管路轻量化防腐蚀，弯曲半径小，适配狭小空间



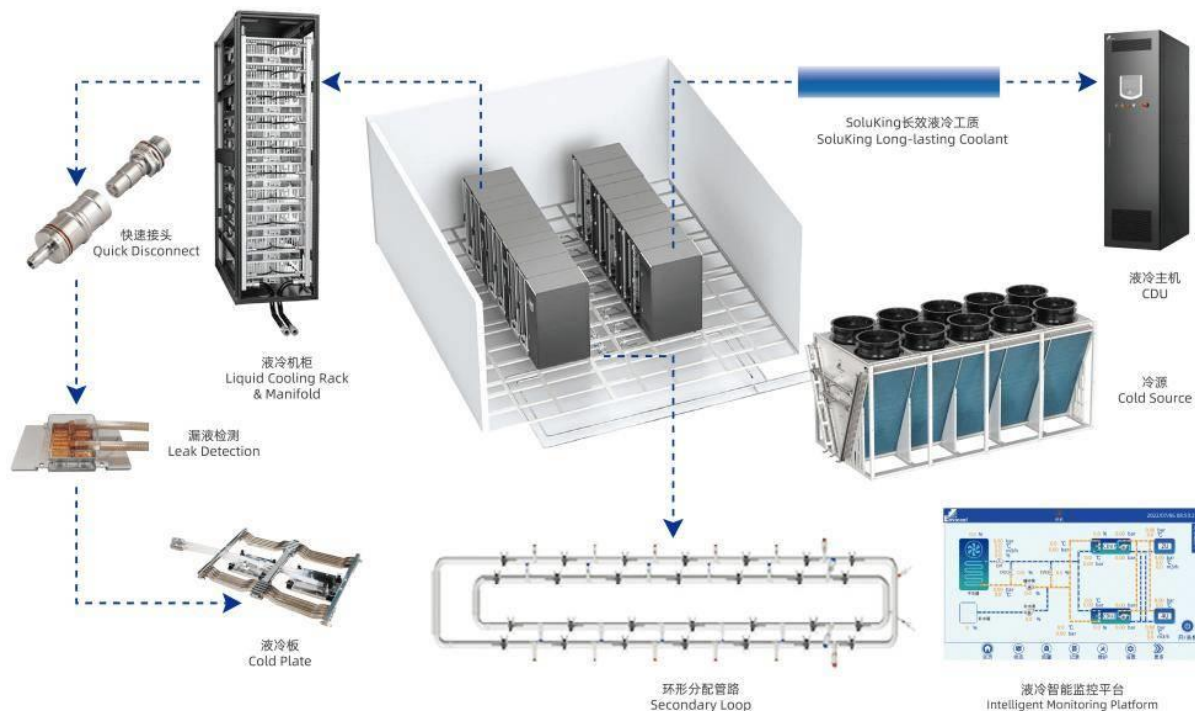
# 系统级优化与能效管理

- **动态热管理系统 (DTMS) :**
  - 智能调控: Google DeepMind 利用 PPO 算法实时优化冷却液分配, 泵功降低 40%
  - 拓扑设计: 并联管路 + 环形冗余避免单点故障, 金融/超算场景需配置流量平衡阀
- **L0-L1 基础设施耦合:**
  - 冷却分配单元 (CDU) : 多柜级联, 功率300kW-1MW+, 通过设施水系统 (FWS) 散热
  - 余热回收: 60C 以上冷却液驱动吸收式制冷机
  - 供排液管网: 地板夹层仅用于液冷管网布置, 避免电缆与液体共存风险
  - 供配电系统: 液冷设备需独立供电回路, 并配置泄漏检测与应急排水设施
  - 统一规划: 地面防水处理、排水路径规划, 以及液冷机柜与CDU (冷却液分配单元) 的空间布局



# 机房部署、运维实践总结

1. 明确对机房环境要求，液冷相关设备进场前验收机房环境
2. 液冷器件，e.g. 快接头密封圈由单密封圈改双密封圈，增强耐杂质能力
3. 设计整体运维解决方案，提升定期对工质液进行维护，提升服务器器件内部耐受能力





# 总结与思考

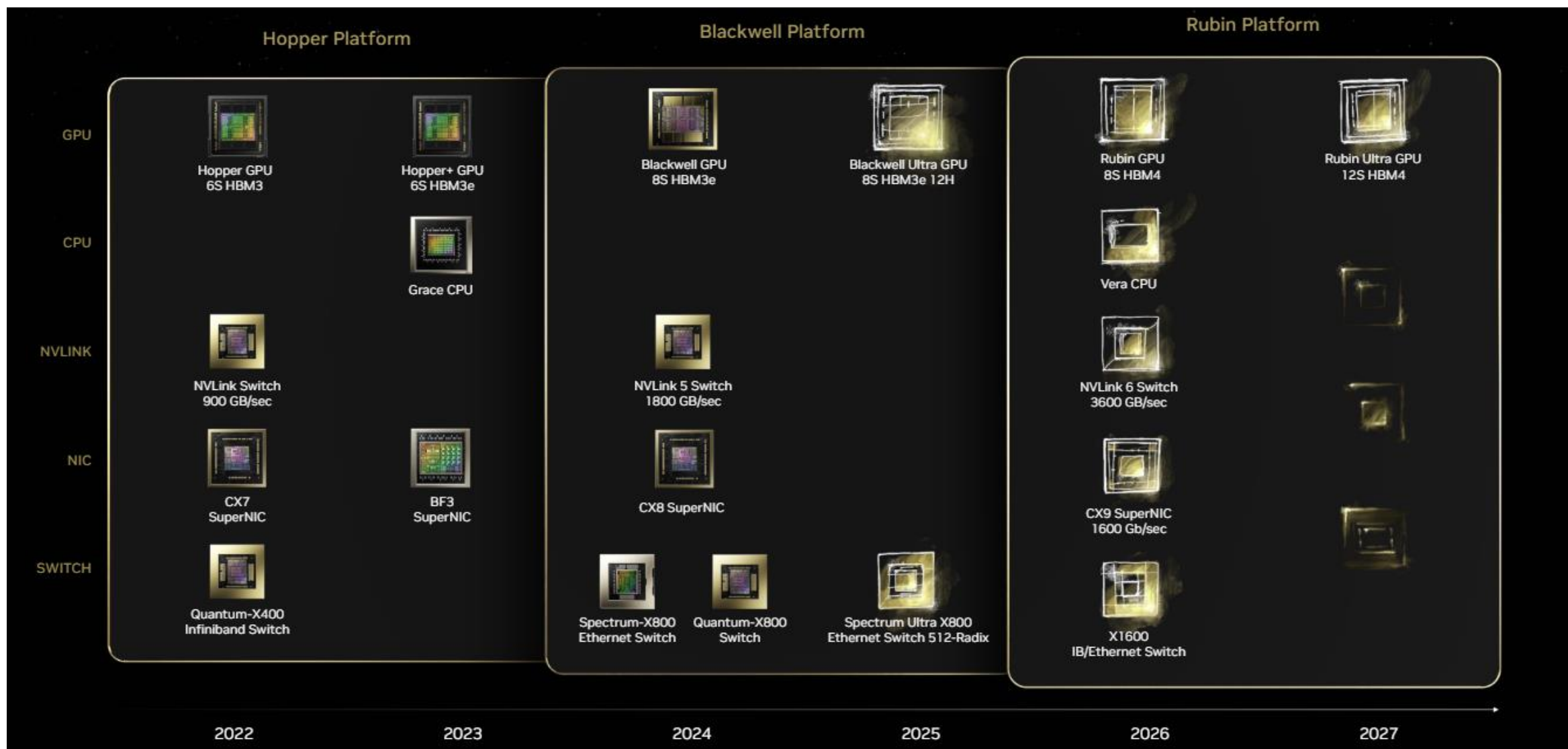


# 总结与思考

- **液冷系统**以全栈耦合思维设计，纳入整体解决方案：
  1. 芯片级选低热阻界面材料，服务器级优化冷板与Manifold布局，机房级匹配CDU与散热拓扑。
  2. 当前冷板式液冷是性价比最高的过渡方案，而浸没式为超算与AI训练集群的终极路径。
  3. 实施过程可以注重动态调控算法与模块化部署，同时推动冷却液回收与余热利用。



# 大功率芯片+高密机柜，未来散热走向何方？





# Thank you

把 AllInfra 带入每个开发者、每个家庭、  
每个组织，构建万物互联的智能世界

Bring AI Infra to every person, home and  
organization for a fully connected,  
intelligent world.

Copyright © 2025 [Infrasys-AI](#) org. All Rights Reserved.

The information in this document may contain predictive statements including, without limitation, statements regarding the future financial and operating results, future product portfolio, new technology, etc. There are a number of factors that could cause actual results and developments to differ materially from those expressed or implied in the predictive statements. Therefore, such information is provided for reference purpose only and constitutes neither an offer nor an acceptance. [Infrasys-AI](#) org. may change the information at any time without notice.



**ZOMI**

GitHub [github.com/Infrasys-AI/AllInfra](https://github.com/Infrasys-AI/AllInfra)

Book [infrasys-ai.github.io](https://infrasys-ai.github.io)





# 引用与参考

1. <https://community.hpe.com/t5/servers-systems-the-right/keep-cool-lower-power-usage-effectiveness-with-direct-liquid/ba-p/7093514>
2. <https://ph.parker.com/cn/zh/product-list/flat-face-hydraulic-liquid-cooling-quick-connect-couplings-nsp-series>
3. <https://www.nextplatform.com/2024/06/02/nvidia-unfolds-gpu-interconnect-roadmaps-out-to-2027/>

PPT 开源在: <https://github.com/Infrasys-AI/AllInfra>

