

- 液冷利用了液体的高导热、高热容特性替代空气作为散热介质，具有低能耗、高散热、低噪声、低TCO等优势。液冷主要包含冷板式、浸没式和喷淋式等技术路线，目前，冷板式和浸没式是行业共存的两条主流技术路线，考虑到技术成熟度、可靠性、技术通用性、结构颠覆性等方面，当前液冷数据中心仍以冷板式占据主流地位；浸没式在一些超算中心项目上成功实现应用。
- 政策端，“双碳”目标下，数据中心向绿色可持续发展。2022年，全国数据中心PUE约为1.57，中央和多地方政策对新建数据中心PUE提出要求。2022年6月，工信部等六部门印发《工业能效提升行动方案》提出，到2025年，新建大型、超大型数据中心PUE优于1.3；2022年1月，国家发改委同意启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的系列复函中指出，国家算力东、西部枢纽节点数据中心PUE分别控制在1.25、1.2以下。采用液冷技术可以大幅降低数据中心能耗，PUE可降低至1.2以下，满足数据中心绿色可持续发展需求。
- 产业端，算力密度提升和低TCO促进液冷快速发展，未来5年复合增速超40%。数据中心算力规模高速增长、高功率单机柜快速普及，预计2025年全球数据中心平均功率达25kW，相较于2020年16.5kW的平均单机柜功率明显提升，液冷技术可以满足高密度数据中心散热需求。根据Omdia数据，2023年数据中心液冷渗透率约为13%，预计在2030年提升至33%左右，获得55亿美元（约合400亿元人民币）的市场规模，2023-2028年CAGR为41%。
- 我们认为，随着数据中心算力规模高速增长，液冷技术市场渗透率的持续提升，数据中心液冷进入高景气发展阶段。随着解耦交付的推进，产业生态逐步成熟，液冷将进入标准化、规模化推广和部署期，拥有产业链一体化解决方案的配套商、以及与芯片厂商/服务器厂商/运营商建立稳固合作的配套商具有更强的竞争优势，建议关注英维克、申菱环境、曙光数创、科华数据、飞荣达、高澜股份等。
- 风险提示：市场需求不及预期；产业链各环节竞争加剧；技术路线创新产生的风险等。

目录

- 一 | **数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔**
- 二 | **液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟**
- 三 | **算力密度提升和低TCO促进液冷快速发展，未来5年复合增速超40%**
- 四 | **相关上市公司**
- 五 | **风险提示**



—

数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔

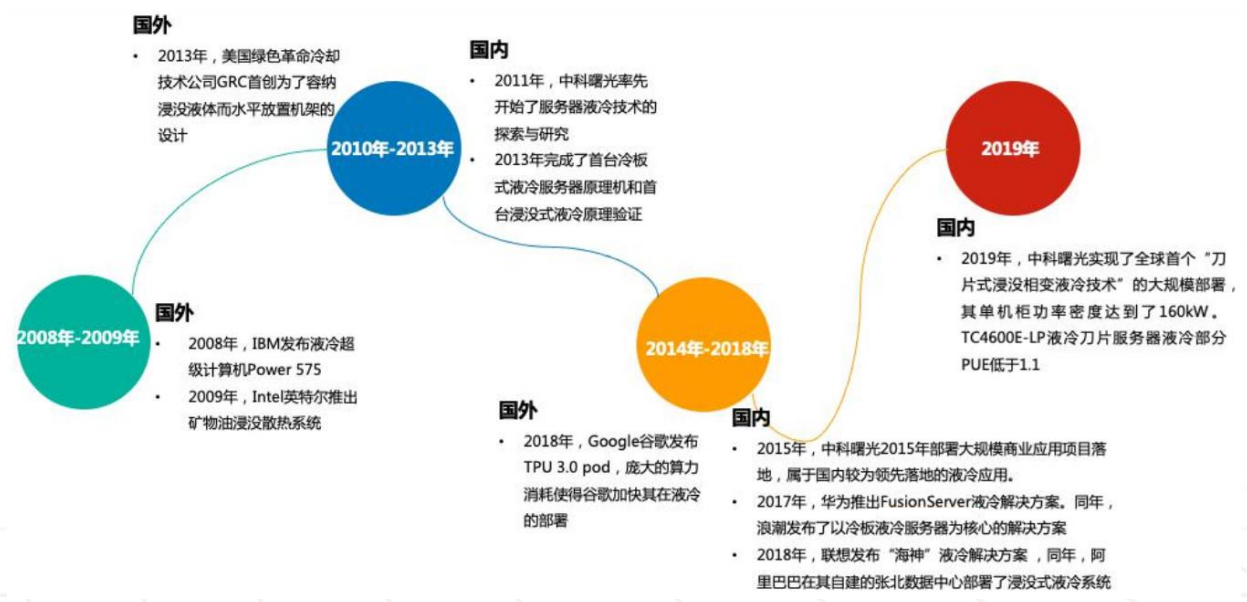
- 1.1 数据中心液冷始于1964年，近几年我国发展迅速
- 1.2 “双碳”目标下，数据中心向绿色可持续发展
- 1.3 液冷技术低能耗、高散热优势显著

一、数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔

1.1 数据中心液冷始于1964年，近几年我国发展迅速

- 数据中心持续运行产生大量热量，冷却系统是数据中心重要组成。根据冷却介质的不同，数据中心冷却系统分为风冷和液冷。数据中心液冷始于1964年，IBM公司推出首款System 360冷冻水冷却计算机，开创性地采用了液冷技术。2008年，IBM公司重回液冷后，在其Power 575的处理器上首次应用铜水冷板方案。
- 我国的液冷行业起步较晚，但发展迅速。2011年，中科曙光率先打破了中国液冷行业的空白，率先开始服务器液冷技术的研究探索，2013年推出了首台冷板式液冷服务器原理机和首台浸没式液冷原理验证机。近几年，英维克、申菱环境、科华数据、飞荣达、高澜股份等公司积极布局液冷，促进国内数据中心液冷快速发展。

图表1：国内外液冷发展大事记



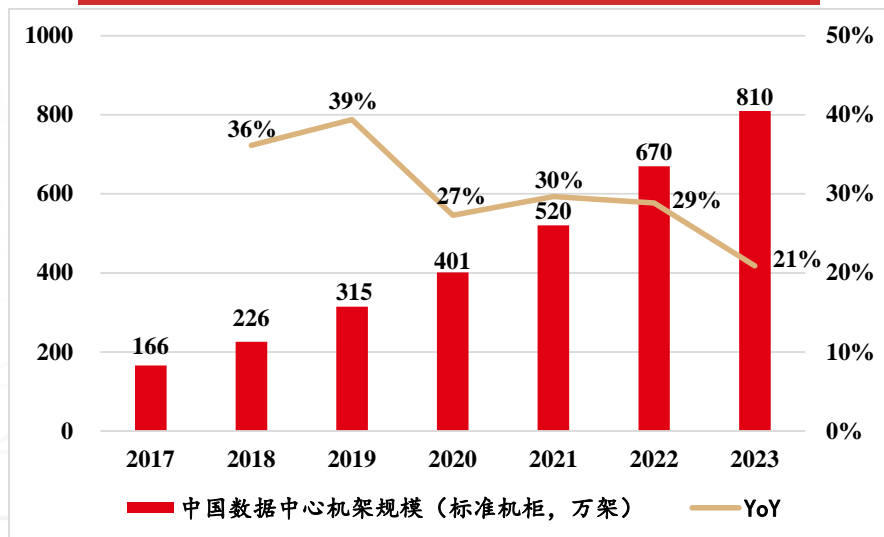
资料来源：《中国液冷数据中心发展白皮书》-赛迪顾问，中邮证券研究所

一、数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔

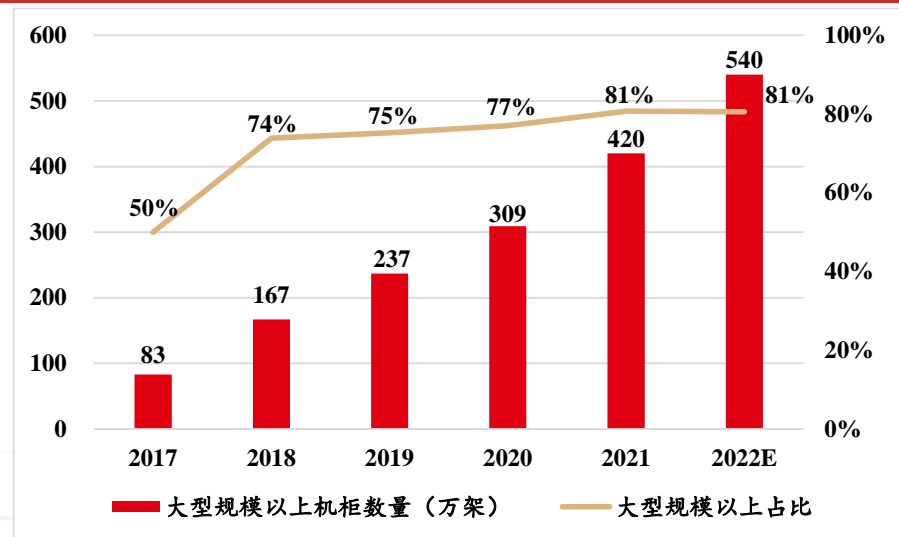
1.2 “双碳”目标下，数据中心向绿色可持续发展

- 数据中心算力规模高速增长，大型数据中心成为主流模式。**随着各行业数字化转型，以及人工智能、大数据、5G、AIGC等技术推动，我国算力中心建设规模高速增长。截至2023年，我国提供算力服务的在用机架数达810万标准机架，算力规模230EFLOPS。2023年10月，工信部等六部门发布《算力基础设施高质量发展行动计划》，到2025年，中国算力规模将超过300EFLOPS，其中，智能算力占比将达到35%。大型以上算力中心机架数量占比逐年提升，2021年大型规模以上算力中心机架数占比81%。

图表2：算力规模



图表3：大型以上算力中心机架数及占比



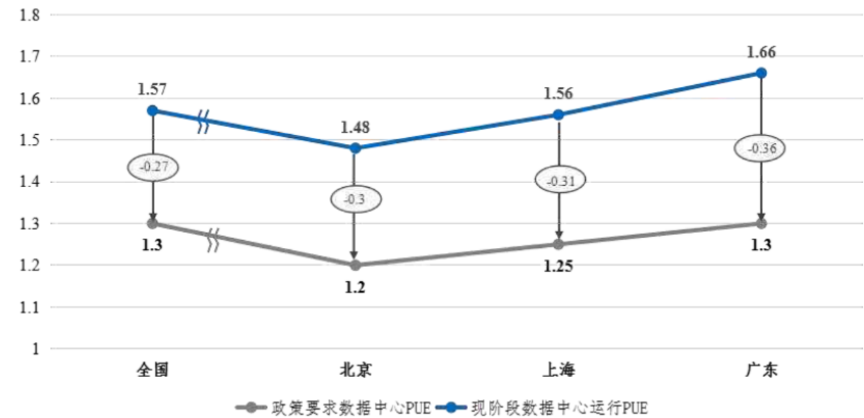
资料来源：《算力中心冷板式液冷发展研究报告》-中国信通院云计算与大数据研究所，《中国液冷数据中心市场深度研究报告》-科智咨询、中国信通院产业与规划研究所，新京报，中

一、数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔

1.2 “双碳”目标下，数据中心向绿色可持续发展

- 2021年7月，工信部印发《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》明确提出，到2023年底，新建大型及以上数据中心PUE降到1.3以下；2022年6月，工信部等六部门印发《工业能效提升行动方案》提出，到2025年，新建大型、超大型数据中心PUE优于1.3。北上广深一线城市对于PUE限制更为严格。需要采用更加高效节能的技术及设备，降低数据中心能耗。

图表4：2022年数据中心PUE与政策要求



图表5：国家对于数据中心PUE的相关要求

时间	部门	文件	相关内容
2021年7月	工信部	《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》	到2023年底，新建大型及以上数据中心PUE降低到1.3以下，严寒和寒冷地区降低到1.25以下
2021年12月	国家发改委等四部门	《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》	到2025年，数据中心和5G基本形成绿色集约的一体化运行格局。全国新建大型超大型数据中心平均电能利用效率降到1.3以下，国家枢纽节点进一步降到1.25以下，绿色低碳等级达到4A级以上
2022年6月	工信部等六部门	《工业能效提升行动计划》	到2025年，新建大型、超大型数据中心PUE优于1.3
2022年8月	工信部等七部门	《信息通信行业绿色低碳发展行动计划（2022-2025年）》	到2025年，全国新建大型、超大型数据中心PUE降到1.3以下，改建核心机房PUE降到1.5以下

资料来源：《中国液冷数据中心市场深度研究报告》-科智咨询、中国信通院产业与规划研究所，中国政府网，国家发改委官网，中邮证券研究所

一、数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔

1.2 “双碳”目标下，数据中心向绿色可持续发展

- “东数西算”：2022年1月，国家发改委同意启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的系列复函中指出，国家算力东、西部枢纽节点数据中心PUE分别控制在1.25、1.2以下。
- 长三角一体化示范区执委会会同相关部门联合印发《关于在长三角生态绿色一体化发展示范区加快数字经济发展推进先行先试的若干举措》，提出新建大型、超大型数据中心PUE不超过1.25。

图表6：“东数西算”布局图



8个算力枢纽和10个集群

“东数” PUE < 1.25
 “西算” PUE < 1.2

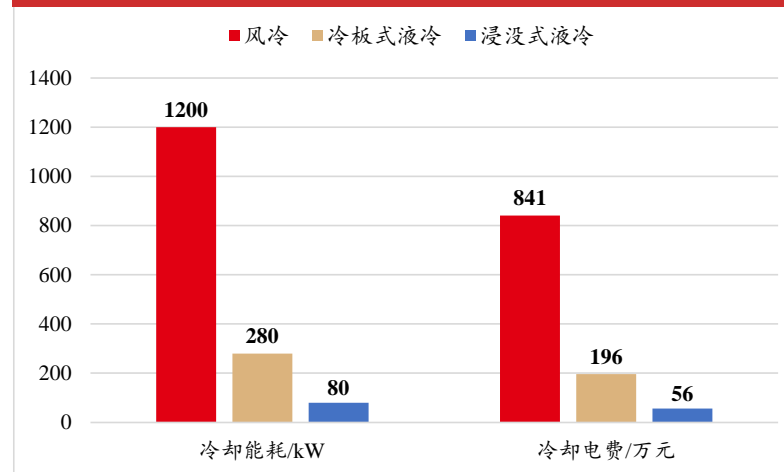
资料来源：国家发改委官网，《算力中心液冷式液冷发展研究报告》-中国信通院云计算与大数据研究所，上海发布微信公众号，中邮证券研究所

一、数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔

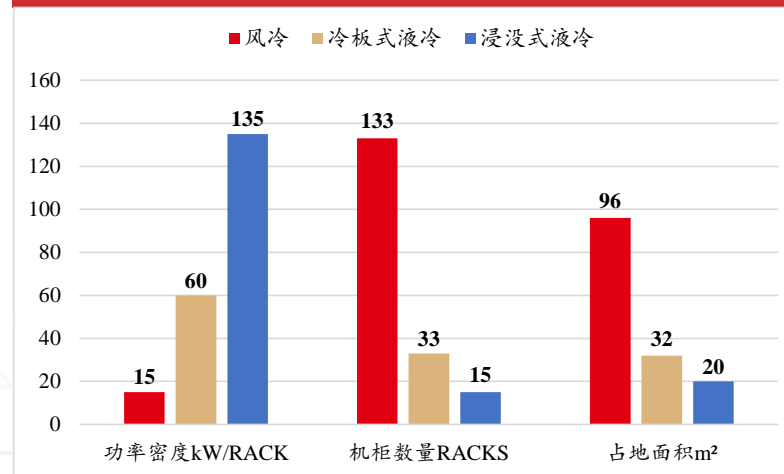
■ 1.3 液冷技术低能耗、高散热优势显著

- 液冷利用了液体的高导热、高热容特性替代空气作为散热介质，具有低能耗、高散热、低噪声、低TCO等优势。
- 低能耗：**液冷散热技术传热路径短、换热效率高、制冷能效高的特点促成液冷技术低能耗优势。
- 高散热：**液体的载热能力、导热能力和强化对流换热系数均远大于空气，相比风冷散热能力更强。
- 低噪声：**液冷散热利用泵驱动冷却介质在系统内循环流动，解决噪声污染问题。
- 低TCO：**液冷数据中心PUE可降至1.2以下，每年可节省大量电费，降低数据中心运行成本。以10MW数据中心为例，液冷方案（PUE1.15）和冷冻水方案（PUE1.35），预计约2.2年收回增加的基础设施初投资。

图表7：能耗对比（2MW机房）



图表8：散热能力对比（2MW机房）



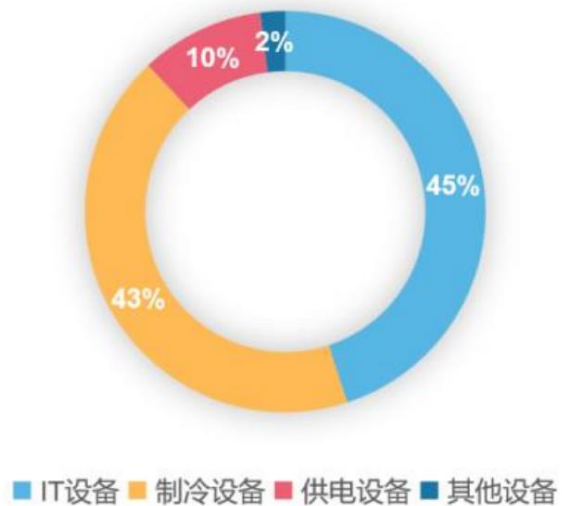
资料来源：《中兴通讯液冷技术白皮书》-中兴通讯，中邮证券研究所

一、数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔

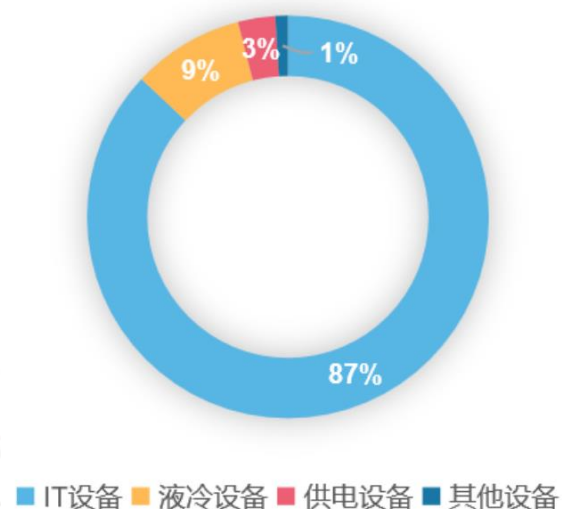
■ 1.3 液冷技术低能耗、高散热优势显著

- **数据中心制冷能耗占比较高。**全国数据中心耗电量约占全国用电量的2%-3%，传统风冷数据中心建成后，电费占运维总成本的60%-70%。根据赛迪顾问统计数据 displays，2019年中国数据中心主要设备能耗占比中，制冷耗电占比（约为43%）位居第二，仅次于IT设备自身能耗占比（约为45%）。
- **采用液冷可以大幅降低数据中心能耗，提高PUE。**以某液冷数据中心为例，液冷设备取代空调设备，耗能占比仅为9%，数据中心PUE降低至1.2以下。

图表9：数据中心能耗分布



图表10：某液冷数据中心能耗分布



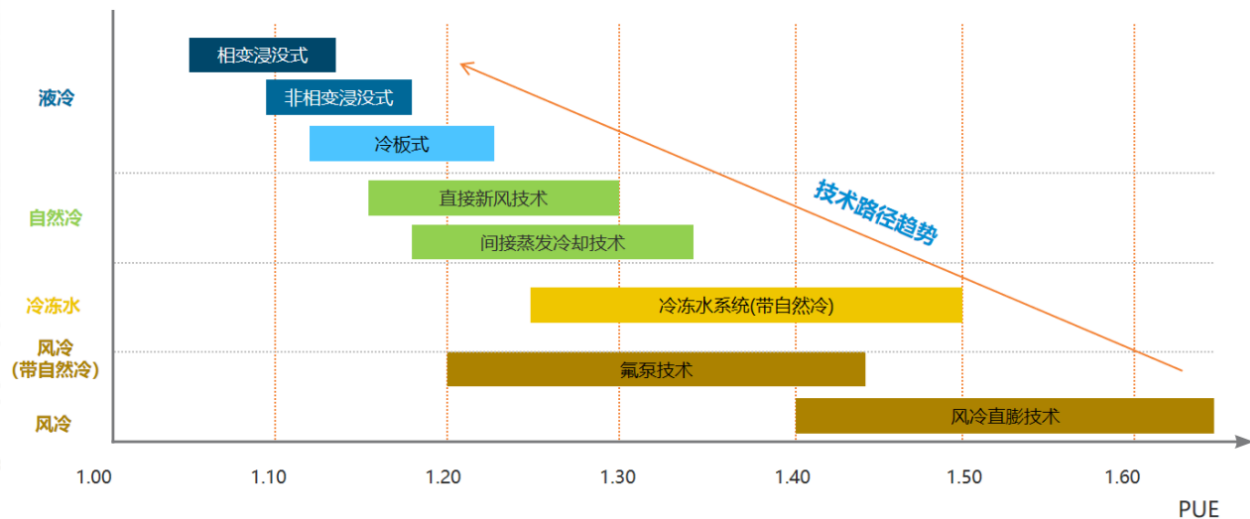
资料来源：《绿色节能液冷数据中心白皮书》-国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟、曙光数据基础设施创新技术（北京）股份有限公司、曙光信息产业股份有限公司，中邮证券研究所

一、数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔

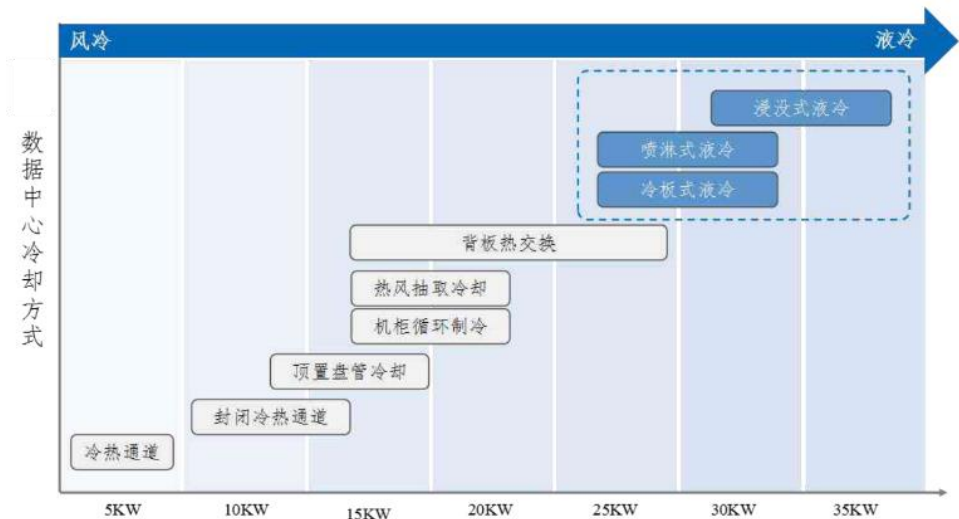
1.3 液冷技术低能耗、高散热优势显著

- 冷却系统能耗方面，液冷利用液体的高导热、高传热特性，在进一步缩短传热路径的同时充分利用自然冷源，实现了PUE小于1.25的极佳节能效果。
- 散热能力方面，不同数据中心冷却方式散热效果存在差异，单机柜功率在20kW以下的数据中心，采用风冷即可满足散热要求，功率超过20kW则需要采用液冷技术。

图表11：数据中心制冷技术对应PUE范围



图表12：数据中心不同冷却技术制冷效果



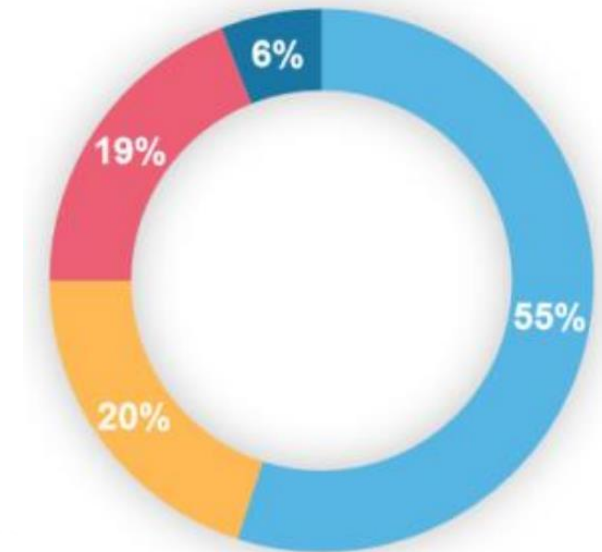
资料来源：《中兴通讯液冷技术白皮书》-中兴通讯，《中国液冷数据中心市场深度研究报告》-科智咨询、中国信通院产业与规划研究所，中邮证券研究所

一、数据中心向绿色可持续发展，液冷方案空间广阔

■ 1.3 液冷技术低能耗、高散热优势显著

- **液冷有助于服务器充分释放性能，提升安全性和可靠性。**相较于传统风冷，液冷带来更好的冷却效果，尤其是对关键电子部件，例如CPU、GPU和内存。当服务器满载运行时，CPU温度为50-65°C，比风冷降低约25°C，完全释放CPU超频性能。
- 电子元器件使用故障中，有半数以上是由于温度过高引起的。半导体元器件温度每升高10°C，反向漏电流将增加1倍。此外，在高温的环境下，机件材料、导线绝缘保护层、防水密封胶更容易老化，造成安全隐患。
- 液冷可以降低部件和元器件的运行温度，收窄部件和元器件随负载的温度变化幅度，从而避免设备局部热点，使运行可靠性大幅提升。

图表13：电子元器件故障原因统计



■ 温度 ■ 振动 ■ 潮湿 ■ 粉尘

资料来源：《绿色节能液冷数据中心白皮书》-国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟、曙光数据基础设施创新技术（北京）股份有限公司、曙光信息产业股份有限公司，中邮证券研究所

二

液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟

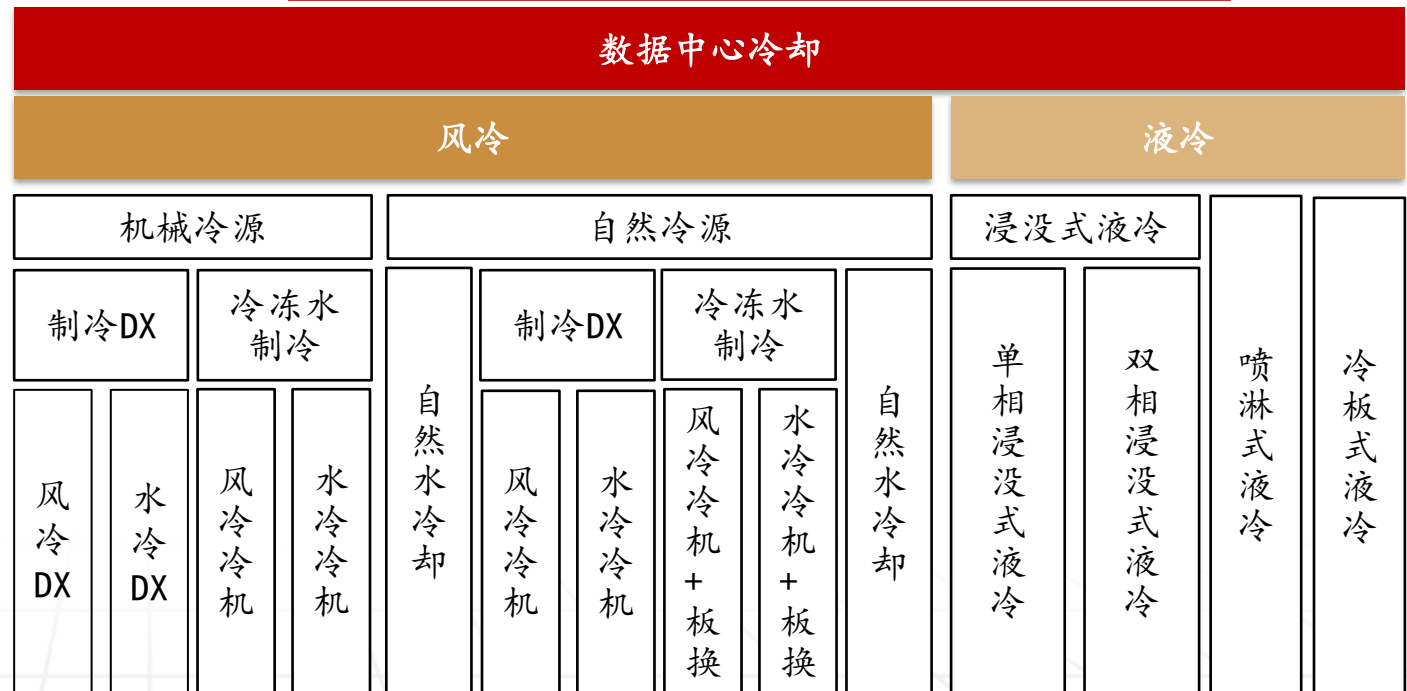
- 2.1 液冷包含冷板式、浸没式和喷淋式三类主流技术路线
- 2.2 冷板式液冷：当期技术成熟，是液冷主要应用形式
- 2.3 浸没式液冷：可以分为单相浸没式液冷和两相浸没式液冷两类
- 2.4 喷淋式液冷：面向芯片级器件的精准喷淋散热方式

二、液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟

2.1 液冷包含冷板式、浸没式和喷淋式三类主流技术路线

- 液冷技术分为接触式及非接触式两种：1) 接触式液冷是指将冷却液体与发热器件直接接触的一种液冷实现方式，包括浸没式和喷淋式液冷等具体方案；2) 非接触式液冷是指冷却液体与发热器件不直接接触的一种液冷实现方式，包括冷板式等具体方案。
- 冷板式液冷采用微通道强化换热技术具有极高的散热性能，目前行业成熟度最高；而浸没式和喷淋式液冷实现了100%液体冷却，具有更优的节能效果。

图表14：数据中心冷却技术路线



资料来源：《中国液冷数据中心市场深度研究报告》-科智咨询、中国信通院产业与规划研究所，中邮证券研究所

二、液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟

2.1 液冷包含冷板式、浸没式和喷淋式三类主流技术路线

- 目前，冷板式液冷和浸没式液冷是行业共存的两条主流技术路线，考虑到技术成熟度、可靠性、技术通用性、结构颠覆性等多方面，当前液冷数据中心仍以冷板式液冷占据主流地位。

图表15：三类液冷技术的多维度分析

液冷技术	应用场景	行业应用现状	技术优势	技术瓶颈
冷板式液冷	单柜功率大于等于15kW，PUE为1.15-1.2	现阶段成熟度最高，供应链最完善，市场应用最广；较多主流厂家支持冷板式液冷技术	可靠性高、维护方便；对现有机房的改造工程小，机房适应性强	机柜功耗较低时，节能收益不显著；液冷系统设计需要考虑现有设备的器件布局
浸没式液冷	单个容器功率大于等于80kW，PUE为1.04-1.1	现阶段行业应用成熟度不高，供应链相对完善，市场应用不断扩展；支持厂家较少	散热效率高，机房PUE相比于冷板式液冷更低；所有器件均浸没于液体中，液冷结构设计相对简单	光缆接口浸入介质流体中时会出现信号完整性、信号耗损等问题；需要配置单独的专用维护设备进行单板清洗、废液处理；对环境洁净度要求高，灰尘混入液体将导致硬件故障
喷淋式液冷	单柜功率大于等于30kW，PUE为1.05-1.1	现阶段成熟度最低，供应链仍在发展，市场应用案例较少；支持厂家很少	加强了芯片表面与冷却液之间的对流换热，散热效率更高；冷却液集中收集在储液箱中，冷却液需求量较浸没式少	光缆接口浸入介质流体中时会出现信号完整性、信号耗损等问题；喷淋过程中冷却液会出现飘逸，从而对机房及设备环境产生影响

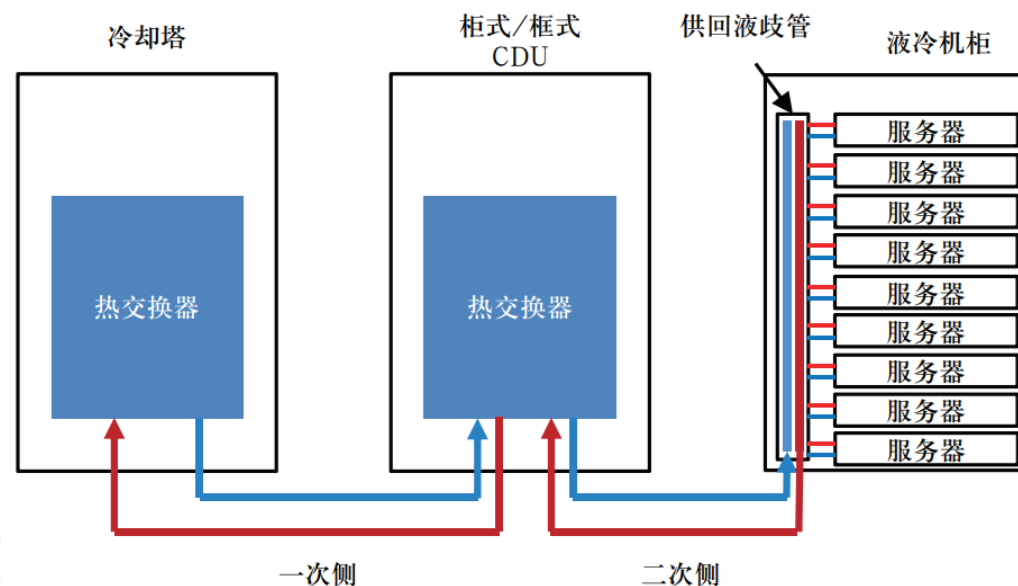
资料来源：《液冷数据中心硬件系统集成技术方案探讨》-杨同鹏等，中邮证券研究所

二、液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟

■ 2.2 冷板式液冷：当期技术成熟，是液冷主要应用形式

- 冷板式液冷是非接触式液冷，通过液冷板（通常为铜铝等导热金属构成的封闭腔体）将芯片等发热器件的热量间接传递给封闭在循环管路中的冷却液体，通过冷却液体将热量带走的一种散热形式。
- 冷板式液冷系统主要由冷却塔、CDU、一次侧&二次侧液冷管路、冷却介质、液冷机柜组成；其中液冷机柜内包含液冷板、设备内液冷管路、流体连接器、分液器等。
- 为了满足低发热器件散热，冷板式液冷一般增设风冷散热单元。所以，冷板式液冷未能实现100%液体冷却，因此存在**机柜功耗低、液冷占比低时，节能收益不显著**问题；且液冷板设计需要考虑现有设备的器件布局，结构设计和实现的难度较大，标准化推进难度大。

图表16：冷板式液冷架构示意图

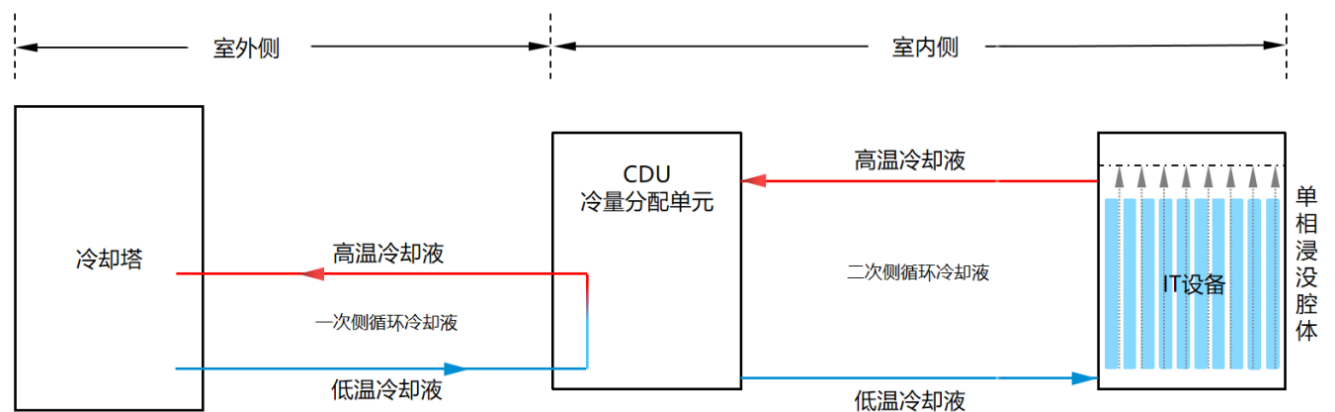


二、液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟

■ 2.3 浸没式液冷：可以分为单相浸没式液冷和两相浸没式液冷两类

- 浸没式液冷是以冷却液作为传热介质，将发热器件完全浸没在冷却液中，发热器件与冷却液直接接触并进行热交换的制冷形式。按照热交换过程中冷却液是否存在相态变化，可分为单相浸没液冷和两相浸没液冷两类。
- 浸没式液冷系统室外侧包含冷却塔、一次侧管网、一次侧冷却液；室内侧包含 CDU、浸没腔体、IT 设备、二次侧管网和二次侧冷却液。使用过程中 IT 设备完全浸没在二次侧冷却液中，因此二次侧循环冷却液需要采用不导电液体，如矿物油、硅油、氟化液等。
- **单相浸没式液冷：**作为传热介质的二次侧冷却液在热量传递过程中仅发生温度变化，而不存在相态转变，过程中完全依靠物质的显热变化传递热量。

图表17：单相浸没式液冷示意图

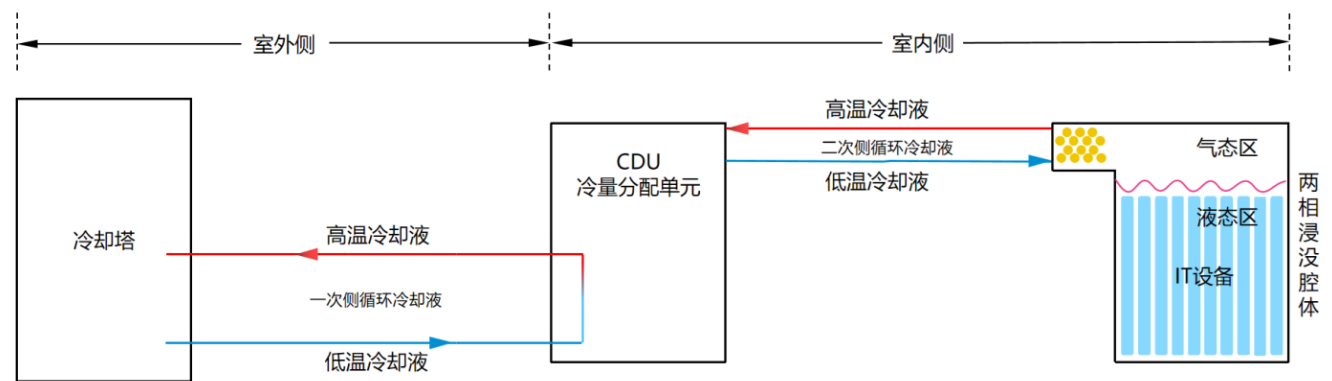


二、液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟

■ 2.3 浸没式液冷：可以分为单相浸没式液冷和两相浸没式液冷两类

- **两相浸没式液冷**：作为传热介质的二次侧冷却液在热量传递过程中发生相态转变，依靠物质的潜热变化传递热量。
- 两相浸没液冷的传热路径与单相浸没液冷基本一致，主要差异在于**二次侧冷却液仅在浸没腔体内部循环**，浸没腔体内顶部为气态区、底部为液态区，冷却液吸热气化后与安装在顶部的冷凝器发生换热、冷凝为低温液态冷却液，并在重力作用下回流至腔体底部。
- **浸没式液冷的优势**：
 - **节能 (PUE < 1.13)**：传热效率更高，无需压缩机冷水机组；
 - **紧凑**：支持高密机柜，单柜散热量高达160kW；
 - **高可靠**：设备完全浸没在液体中，排除温度、风机振动、灰尘等影响；
 - **低噪声**：无需配置风扇。

图表18：两相浸没式液冷示意图

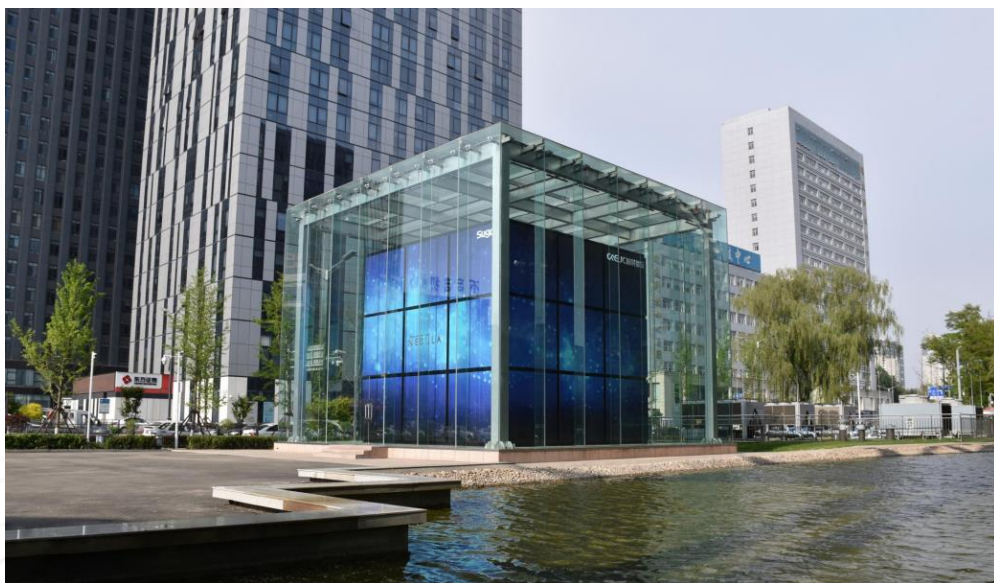


二、液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟

■ 2.3 浸没式液冷：可以分为单相浸没式液冷和两相浸没式液冷两类

- 硅立方采用浸没式相变液冷，将服务器芯片、主板在内的所有计算部件浸没于液态冷媒中，实现高效散热。硅立方单机柜功率达160kW，是传统风冷数据中心的4-5倍，PUE低至1.04。

图表19：中科曙光硅立方液体相变冷却计算机



图表20：阿里巴巴浙江云计算仁和数据中心



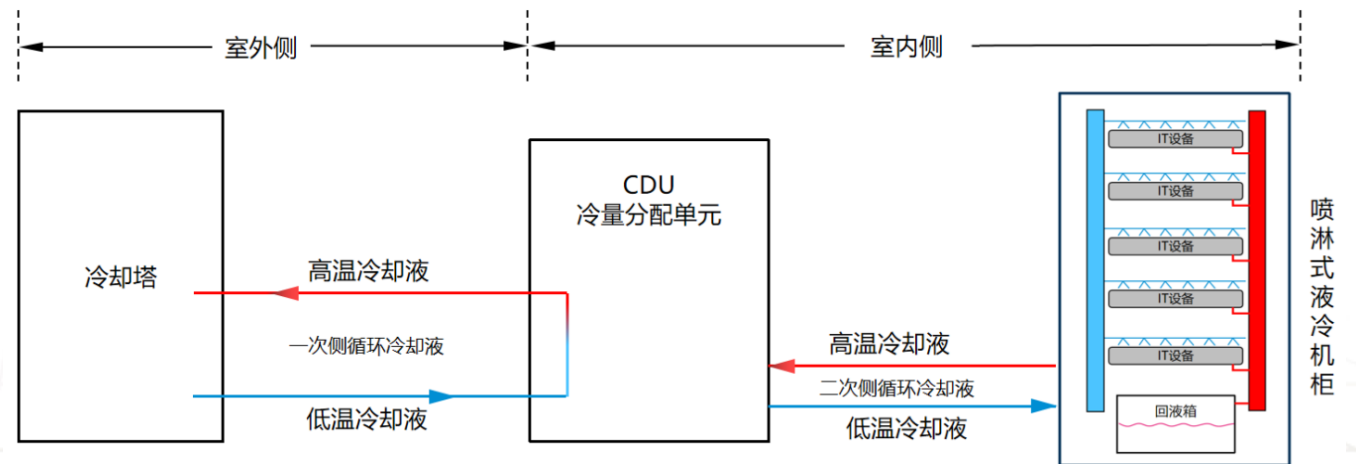
- 作为全中国首座绿色等级达5A的液冷数据中心，仁和液冷数据中心采用了服务器全浸没液冷等多项节能技术进行规划设计与建造，PUE低至1.09。

二、液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟

■ 2.4 喷淋式液冷：面向芯片级器件的精准喷淋散热方式

- **喷淋式液冷**属于直接接触式液冷，是面向芯片级器件精准喷淋，通过重力或系统压力直接将冷却液喷洒至发热器件或与之连接的导热元件上的液冷形式。喷淋式液冷系统主要由冷却塔、CDU、一次侧&二次侧液冷管路、冷却介质和喷淋式液冷机柜组成；其中喷淋式液冷机柜通常包含管路系统、布液系统、喷淋模块、回液系统等。
- 喷淋式液冷系统中，冷却液通过布液装置直接喷淋在IT设备中的发热器件或与之相连的导热材料上完成冷却，吸收后的冷却液通过回液箱进行收集，并通过泵输送至CDU进行下一个制冷循环。
- 喷淋式液冷一般不需要对数据中心的基础设施进行大幅度改动。与浸没式液冷相比，喷淋式液冷同样实现了100%液冷，但节能效果差于浸没式液冷，且存在与浸没式液冷相同的局限性问题。

图表21：喷淋式液冷示意图



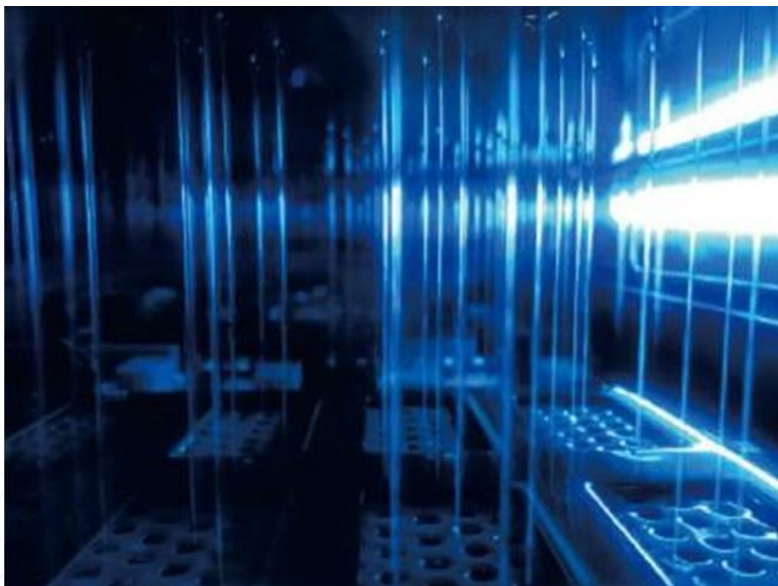
资料来源：《中兴通讯液冷技术白皮书》-中兴通讯，中邮证券研究所

二、液冷包含三种主流技术路线，冷板式液冷最为成熟

■ 2.4 喷淋式液冷：面向芯片级器件的精准喷淋散热方式

- 2020年，中国长城推出我国首台国产化喷淋式液冷服务器。通过喷淋系统，实现了服务器件精准散热。某公司将长城喷淋液冷服务器应用于云计算大数据中心，项目中，中国长城共提供了由16个喷淋液冷微模块组成的数据中心，每个微模块由一套控制系统、一套WCU单元、2个列头柜、24个液冷机柜（配置384台服务器）组成。采用喷淋系统，单机架功耗可提升至56KW以上，北京地区PUE为1.05-1.1。

图表22：喷淋系统



图表23：集装箱式喷淋液冷数据中心





算力密度提升和低TCO促进液冷快速发展，未来5年复合增速超40%

- 3.1 产业链相对集中，多家公司拥有液冷一体化解决方案
- 3.2 AI等需求推动算力密度提升，液冷技术加快导入
- 3.3 液冷低TCO优势显著，冷板式液冷初投资已低于风冷
- 3.4 冷板式液冷交付模式：解耦交付实现液冷设备标准化
- 3.5 液冷渗透率有望快速提升，预计未来5年复合增速超40%

■ 3.1 产业链相对集中，多家公司拥有液冷一体化解决方案

- 液冷产业链包括上游的产品零部件提供商、中游的液冷服务器和基础设施提供商及下游的数据中心运营商和使用人。
 - **产业链上游：**主要为产品零部件及液冷设备，包括快速接头、CDU、电磁阀、浸没液冷Tank、manifold、冷却液等组件或产品供应商。部分代表厂商有英维克、3M、云酷、竞鼎、诺亚、广东合一、绿色云图等。
 - **产业链中游：**主要为液冷服务器、芯片厂商以及液冷集成设施、模块与机柜等，部分代表厂商有华为、中兴、浪潮、曙光、新华三、联想、超聚变、英特尔等。
 - **产业链下游：**主要包括三家电信运营商，百度、阿里巴巴、腾讯、京东等互联网企业以及信息化行业应用客户，主要在电信信息、互联网、政府、金融、交通和能源等信息化应用。目前，阿里巴巴以单相浸没式液冷为主要发展方向，其他用户以冷板式液冷试点应用居多。

三、算力密度提升和低TCO促进液冷快速发展，未来5年复合增速超40%

■ 3.1 产业链相对集中，多家公司拥有液冷一体化解决方案

- 冷板式液冷：核心设备包括液冷换热单元（CDU）、分集液器（manifold）、液冷模组、冷板、快接头、漏液检测线、快接头等。
- 国内，英维克推出Coolinside全链条液冷解决方案；曙光数创拥有液冷服务器和数据中心基础设施产品；申菱环境推出“天枢”液冷温控系统；科华数据、飞荣达、高澜股份等也拥有冷板式液冷技术。

图表24：冷板式液冷整体解决方案及冷板式液冷微模块



资料来源：《绿色节能液冷数据中心白皮书》-国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟、曙光数据基础设施创新技术（北京）股份有限公司、曙光信息产业股份有限公司，中邮证券研究所

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/495323101120011300>