



通算液冷技术应用策略探讨

王祎晨

中国移动数智事业部 项目经理



通算液冷技术应用策略探讨

王祎晨

中国移动数智事业部
项目经理



- **智算液冷**：智算中心的高密、高功耗、集群化部署特性，使其面临着散热、供电、互联三大技术挑战，液冷散热与智算中心的天生亲和性，使其替代风冷散热逐渐从边缘走向舞台中心。
- **通算液冷 ≠ 智算液冷**：通算体量更大、存量更多、影响更广。通算引入液冷，不能简单复制智算方案，必须结合自身实际，稳妥布局、有序推进、制定专属策略

政策驱动

2024.7.23 国家发展改革委等部门《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》

- 到2025年，新建及改扩建大型和超大型数据中心电能利用效率降至**1.25**以内，国家枢纽节点数据中心项目电能利用效率不得高于**1.2**。

经济价值驱动

数据中心的电力成本占总成本**40%**以上

- 2024年数据中心用电量达1660亿度，占全社会用电量**1.68%**
- 预计2030年用电量将达5257.6亿度，占比升至**4.8%**
- PUE值每降低**0.1**，电费平均下降约**7%**



智算液冷

- 高密、高功耗、新建为主
- 浸没 / 冷板均可接受
- 投资力度大、见效快
- 行业已形成共识

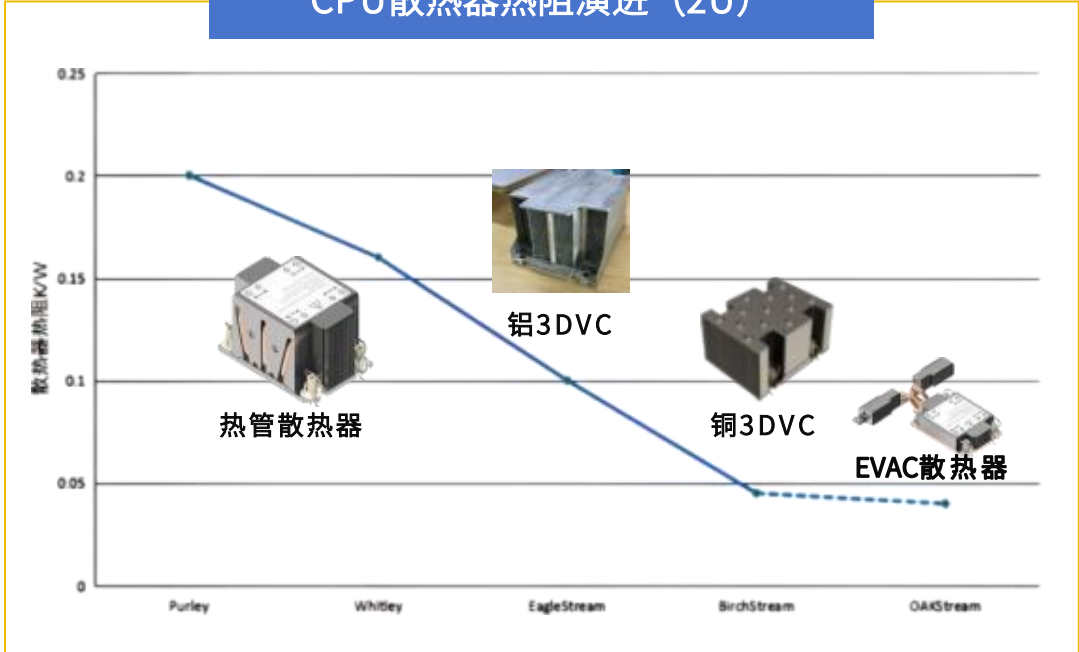


通算液冷

- 存量机房巨大、机型复杂
- 中低密度为主（10-30kW / 柜）
- 对成本、运维、改造更敏感
- 不能简单照搬智算方案

针对高功率芯片的散热需求，业界通过优化热阻与散热面积，并引入热管、EVAC及3DVC等新型散热器提升风冷技术的散热极限，目前标准**2U2P**服务器风冷最大散热能力**750W**左右。

CPU散热器热阻演进（2U）



新型散热器发展：针对高功率芯片散热，散热器技术已从传统型材发展到**热管、3DVC、EVAC**等先进方案。其通过相变冷却与增大散热面积，实现了热阻的降低与散热性能的飞跃。

通算服务器风冷极限能力评估

	普通型材散热器	热管散热器	EVAC	3DVC (+外延)
1U2P	100~165W	200~300W	250~400W	450~500W
2U1P	250~300W	300~500W	400~700W	650~850W
2U2P	150~250W	300~450W	400~650W	500~750W
2U4P	100~165W	250~300W	350~400W	600W
成本	100%	200%	400%	1300~3000%

散热能力：散热技术历经从型材、热管到EVAC，乃至3DVC加扩展散热的演进，推动散热能力显著增强。以2U2P形态为例，其**散热能力已从250W提升至750W，但与此同时也伴随着成本上升约13至30倍。**

风冷已进入“高成本、低边际收益”阶段，800W接近物理极限。

CPU将持续向多核心、多内存通道、多PCIe通道及先进制程方向演进，并带动热设计功耗（TDP）攀升。

Intel	Purley		Whitley	EagleStream	Birch Stream			OakStream
架构	Skylake	Cacade lake	Cooper lake Icelake	Sapphire Rapids Emerald Rapids	Sierra Forest	Granite Rapids	Clearwoter Forest	Diamond Rapids
发布时间	2017	2020	2021	2022	2024	2025	2026	2026
制程	14nm	14nm	10nm	Intel 7	Intel 3	Intel 3	Intel 18A	Intel 18A
核心数	28Core	48Core	40Core	60Core	144Core	86Core	288Core	192Core
标称TDP	205W	300W	270W	350W	350W	500W	500W	550W

AMD	SP3			SP5	SP6	SP5	SP5	SP7
代号	Naples	Rome	Milan	Genoa	Siena	Bergamo	Turin	Venice
架构	Zen	Zen3	Zen3	Zen4	Zen4	Zen4	Zen5	Zen6
发布时间	2017	2019	2021	2022	2023	2023	2024	2026
制程	14nm	7nm	7nm	5nm	5nm	5nm	3nm	2nm
核心数	32Core	64Core	64Core	96Core	64Core	128Core	120Core	256Core
标称TDP	180W	280W	280W	400W	225W	360W	500W	700-1400W

HYGON	SL1（SP3）		SL2(SP5)		SL100
代号	2号-729x	3号-739X	4号	4号升级	4号升级
发布时间	2017	2022	2023	2025	2026
制程	\	\	\	\	\
核心数	32Core	32Core	64Core	96Core	未知
标称TDP	260W	280W	400W	500W	800W

HUAWEI	鲲鹏920	鲲鹏920T	鲲鹏950	鲲鹏960
架构	ARM	ARM	ARM	
发布时间	2023	2024	2026	2028
制程	\	\	\	\
核心数	64Core	120Core	192Core	≥256core
标称TDP	300W	385W	未知	未知

预计2026年起，海光与AMD的处理器TDP将率先突破700W。

目前业界主要通过优化CPU&服务器选型、进一步优化风冷散热材料及技术、引入液冷散热等方式应对即将到来的风冷散热瓶颈。

选型优化

• CPU选型

鉴于AI算力（特别是浮点运算）正持续从CPU卸载，在CPU选型时可规避顶配高功率型号，这有助于降低对系统功率密度的要求，从而维持现有风冷散热架构。

• 服务器选型

为匹配CPU多核、高功耗、强I/O及大芯片的发展趋势，并突破风冷散热瓶颈，需提前开展**2U1N机型**研究，以保障顶配CPU性能的充分发挥。

风冷优化

• 增大散热面积

若热流密度达到瓶颈，可通过扩大CPU与散热器间的热传导面积来增强整体散热效能。

• 减低热阻

优化散热器与TIM的材质和工艺，是降低热阻、突破现有散热瓶颈的关键路径。

• 优化风扇

优化风扇性能（如提升转速与风压）并同步控制噪声，是提升系统散热能力的关键手段。

引入液冷

• 引入液冷突破风冷散热极限

液冷采用水或氟化液作为介质，其热学特性使同等流量的散热能力远超空气千倍。因此，简单的铝/铜沟槽冷板即可**满足千瓦级CPU的散热需求**。

• 引入液冷降低PUE

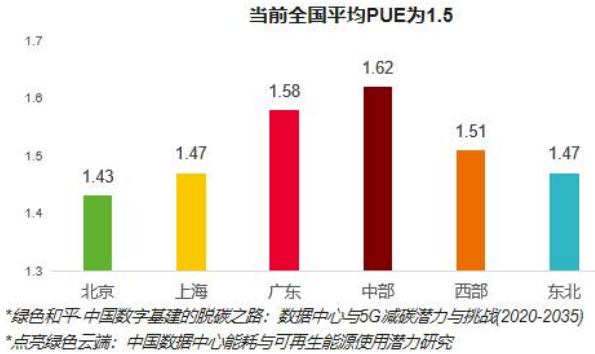
风冷改良仅解决设备散热极限问题，但其仍需依赖列间空调等传统设施将热量排出机房，故对降低PUE贡献有限。而液冷技术则可实现系统级能效革新，**将PUE降至1.25以下**。

液冷技术能够大幅提升散热效率与业务可靠性，同时具备良好的环境适应性，可有效减少土地占用
在通用计算散热领域，风冷技术即将触及性能上限，液冷已不再是选择题，而是必答题。

核心物理优势

比项	空气	水/氟化液
比热容	1.0 kJ/(kg·K)	4.2 kJ/(kg·K)
导热系数	0.026 W/(m·K)	0.6 W/(m·K)
同流量散热能力	1x	1000x+

简单冷板即可满足千瓦级CPU散热需求



超低能耗，省电减碳

- 100柜20kW液冷机柜: PUE 1.45 → 1.15
- 年省电1000万度，电费节省700万+元，减碳6000吨

稳定可靠、高效运维

- 芯片10°C法则: 温度每降10°C，寿命延长约一倍
- 液冷可降低结温10°C以上 → 服务器寿命显著延长

环境适应好，减少土地占用

- 液冷机柜密度是风冷的3~4倍
- 相同算力下，机房面积节省约75%
- 无需空调、冷水机组，简化基础设施



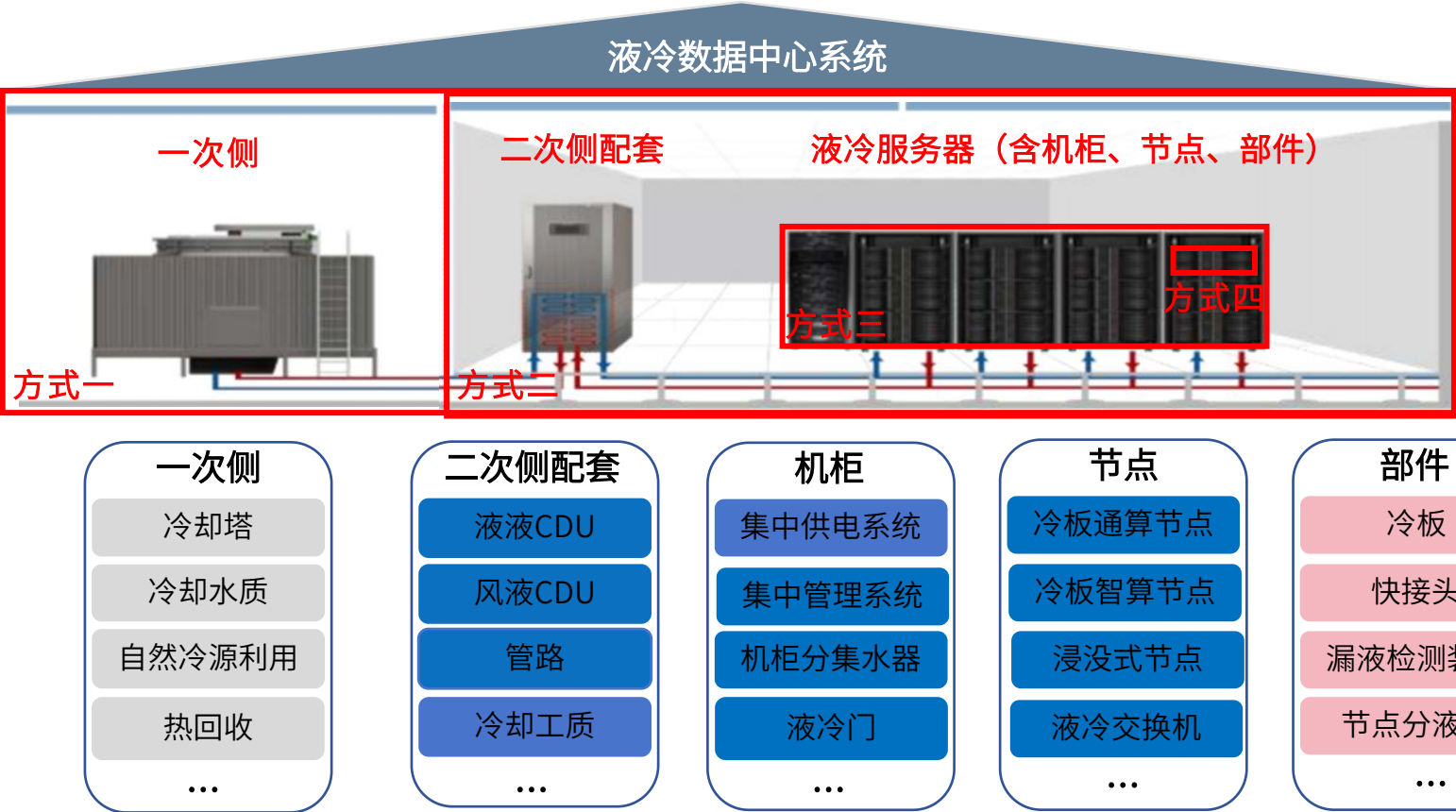
液冷干冷方案&水冷方案 全年PUE估算			
项目	日平均温度	干冷方案全年PUE	水冷方案全年PUE
一月	6	1.054	1.032
二月	7	1.055	1.032
三月	12	1.058	1.034
四月	18	1.067	1.038
五月	23	1.075	1.040
六月	26	1.084	1.044
七月	31.5	1.109	1.055
八月	30.5	1.101	1.051
九月	26	1.084	1.044
十月	21	1.072	1.039
十一月	15	1.064	1.037
十二月	8	1.056	1.033
年均PUE		1.073	1.040

某数据中心液冷全年不用温度PUE变化

综合考量初始投资成本、可维护性、PUE 表现及产业成熟度等因素，冷板式液冷与现有机房、服务器及运维模式衔接最为平滑，投资适中、TCO 表现更优，且厂商生态最为完善，是当前业界主流解决方案。

液冷方案	非接触式液冷		接触式液冷		
	★ 冷板式	热管式	浸没式液冷		喷淋式
			相变浸没式	单相浸没式	
投资成本	初始投资中等，运维成本低	初始投资中等，运维成本低	初始投资及运维成本高	初始投资及运维成本高	结构改造及液体消耗成本大，液冷系统初始投资成本低
PUE	1.1-1.2	1.15-1.25	<1.05	<1.09	<1.1
可维护性	较简单	简单	复杂		复杂
供应商	华为、浪潮、曙光、联想、超聚变等主流供应商	仅浪潮	仅曙光	阿里巴巴、H3C、绿色云图、云酷智能	仅广东合一
应用案例	多	少	超算领域较多	较多	数据中心场景无批量使用
分析	初始投资中等，运维成本低，PUE收益中等，部署方式与风冷相同，从传统模式过渡较平滑	初始投资中等，运维成本低，热管的散热能力有限，PUE收益较低	初始投资最高，PUE收益最高，需使用专用机柜，服务器结构需改造为刀片式	初始投资较高，PUE收益较高，部分部件不兼容，服务器结构需改造	初始投资较高，运维成本高，液体消耗成本高，PUE收益中等，部署方式同浸没式，服务器结构需改造
通算适用性	★★★★★（首选）	★★★☆☆（暂不规模）	★★★☆☆（超算）	★★★☆☆（高密）	★★★☆☆（暂不规模）

冷板式液冷数据中心的建设是一个系统工程，整体系统架构包含一次侧散热、二次侧配套、液冷机柜、液冷节点和液冷部件等，预计将来主流交付方式为整机柜交付和柜内解耦交付。



交付方式分析

- 1、液冷数据中心主要交付方式：
 - 方式一：整体打包交付
 - 方式二：二次侧打包交付
 - 方式三：液冷整机柜
 - 方式四：柜内解耦
- 2、发展方向为由整体打包交付逐渐向液冷整机柜和柜内解耦方式交付，
- 3、目前较主流交付方式为二次侧打包交付和液冷整机柜交付。
- 4、考虑到和现网分工方式相统一，预计整体打包交付和二次侧打包交付将逐渐退出主流。
- 5、考虑到液冷服务器与供电、散热系统的紧耦合性，预计**整机柜交付和柜内解耦将共存较长时间。**

2024年，中国移动结合“东数西算”战略，通过在苏州、内蒙古部署不同业务场景与产品形态，采用冷板式方案，验证通算液冷数据中心建设的可行性与收益。

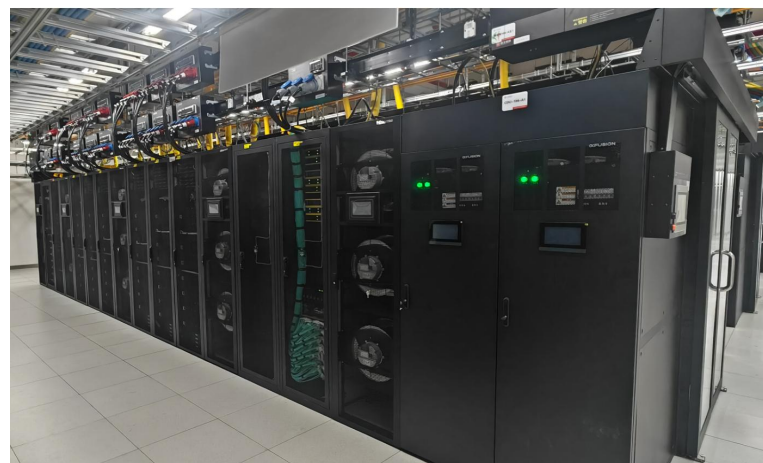
东数：苏州数据中心

- 数据中心：在电费较高地区进行现有机房改造；
- 业务场景：贴近用户侧的高算力密度、核心应用场景；
- 产品形态：2U标准机+**柜内解耦交付**，15KW/柜；
- 散热方式：冷板式，**风液混合**（液冷比例70%）；
- 供电方式：分布式供电；
- PUE效果：**1.17~1.25**



西算：内蒙数据中心

- 数据中心：在电费较高地区进行现有机房改造；
- 业务场景：AI训练模型计算资源和海量数据存储场景；
- 产品形态：1U高密部署+**整机柜交付**，20KW/柜；
- 散热方式：冷板式，**全液冷**（液冷比例100%）；
- 供电方式：分布式供电；
- PUE效果：**1.1~1.15**



为突破冷板式液冷的规模化部署瓶颈，亟需进行顶层设计，系统性地解决部件标准化、系统可靠性与机房基础设施三大挑战，并加速推动产业生态成熟

标准化生态不成熟

• 产品形态

业界主流的2U19英寸标准与1U21英寸高密等多种液冷服务器形态，在成本、性能及能效上各有侧重。

• 关键部件

关键部件（如服务器快接头、机柜接口）的接口与尺寸标准不一，导致互换性差，从而冲击现有的采购、分工与运维模式，并抬高了相较于风冷的交付复杂度和成本。

系统可靠性亟待提升

• 冷却液工质

冷却液的腐蚀性及其在二次侧系统的广泛分布，带来了材料兼容性与长期可靠性风险，而统一质量检测标准的缺失加剧了这一问题。

• 漏液防护标准

液冷技术显著增加了制冷系统的复杂性与潜在故障点。随着设备功耗攀升，其热失效响应时间急剧缩短，使得漏液风险日益凸显。然而，行业目前尚缺乏统一的漏液防护标准，这进一步加剧了可靠性挑战。

数据中心基础设施建设滞后

• 供电

当前5-7kW/机柜的功率密度，远未达到冷板式液冷实现良好TCO所需的15kW门槛，严重制约了其批量部署。

• 一次侧&管路

冷却系统：需使用闭式冷却塔以满足高水质要求，但现网普遍为开式系统。

空间架构：其密集管路要求600-800mm的架空地板高度，而现有机房标准仅为500-600mm。

建议先行选择**冷板式液冷**，进行系统化的技术及标准化储备，推动系统可靠性机制建设，并同步推动符合液冷部署要求的机房配套储备。

技术及标准化储备

• 系统化技术储备

液冷技术是一项涉及产品形态、交付方式、分工界面、接口标准与可靠性的系统性工程。必须通过体系化的技术储备与标准化建设，才能有效推动整个产业的成熟。

• 策略建议

建议整体路径分两步走：现阶段优先采用**整机柜交付**模式，以此统一机房建设、外部接口及可靠性等技术标准，并明确分工界面与检测规范；待产业成熟后，再逐步向**柜内解耦**与部件定制化方向演进。

系统可靠性提升

• 可靠性机制建设

液冷系统的可靠性涉及从部件选型到运维响应的漫长链条，任何环节的缺失都可能成为短板。因此，必须进行前瞻性的体系化机制建设，方能规避风险，确保系统的高可靠性。

• 策略建议

建议遵循“**预防为主、防治结合**”的原则，系统提升液冷可靠性。首先，通过优化设计规范与关键部件选型，从源头杜绝漏液风险；其次，建立漏液后的分级响应机制，依次实现不扩散、不烧机与不宕机，

机房配套储备

• 机房配套储备

液冷规模化部署面临双重制约：存量机房受限于承重、空间与能源等方面限制难以平滑演进至高密液冷架构，改造成本高；而新建机房又存在建设周期长的问题。

• 策略建议

前瞻性布局液冷数据中心基础设施，系统规划机房配套与供电能力。

建议优先选择海光、AMD平台，在虚拟化、容器、分布式应用等服务器场景，使用1U21英寸高密定制化节点的方式，进行内部液冷应用与推广。

时间及平台引入建议

• 选择因素分析

CPU芯片发展趋势：预计至2026年，海光与AMD的CPU TDP将率先突破700W，而Intel与鲲鹏同期产品仍将维持在600W以内；
风冷散热极限：2U2P机型约500~750W；

• 策略建议

结合CPU高功耗发展趋势与风冷散热瓶颈，在**2026年可优先在海光、AMD** CPU平台上规模化部署液冷服务器。此举旨在突破风冷散热限制的同时，同步完成对液冷技术可靠性、投资收益、分工模式及运维特性的系统性验证。

业务场景选择建议

• TCO影响因素分析

液冷系统的TCO主要由运行能效（PUE）与初始投资成本决定，其核心影响因素是液冷部件的功耗占比（当前产业主要是CPU液冷）与单机柜的部署节点密度。

• 策略建议

将公司现有服务器典型配置按照CPU功耗占比排序、按照部署密度排序：

- 优先选择功耗占比高、生态成熟、且支持1U部署的场景
- 主要为虚拟化、容器、分布式应用相关场景

机型选择建议

• 行业主要产品形态分析

2U19英寸标准节点：生态成熟，易于解耦（手插）；部署密度与TCO收益较低；
1U21英寸高密节点：部署密度与TCO收益高，连接便捷（盲插）；生态封闭，解耦性差。

• 策略建议

推荐选择**1U21英寸高密定制化节点**，该节点具备卓越的部署密度、TCO收益与系统可靠性，并能全面覆盖相关业务场景。该方案已通过前期项目验证，有效解决了高密节点的解耦性差与生态封闭问题，初步具备规模化部署条件。

- **通算液冷应用策略研究：**针对用户侧，制定行业认可的通算场景液冷技术应用推进策略，指导用户方在通算领域开展绿色低碳算力建设及数据中心基础设施储备
- **冷板式液冷标准规范建设：**液冷整机柜的通算服务器节点规范、推动漏液检测相关标准规范立项

序号	分类	研究点	计划产出
1	通算液冷应用策略	针对用户侧，制定行业认可的通算场景液冷技术在应用推进策略，指导用户方在通算领域开展绿色低碳算力建设及数据中心基础设施储备	通算场景液冷技术应用推进策略研究报告
2	液冷服务器设计规范	制定通用计算场景下液冷服务器节点的设计要求，推动服务器节点与液冷机柜解耦部署，推进相关标准在社区开放共建、持续完善	通算液冷服务器设计规范
3	漏液监测及防护	现有标准未对液冷系统各部件的漏液监测要求与测试方法作出专项规定，拟制定冷板式液冷信息设备（含节点单元、机柜、液冷环路、CDU 等）的漏液防护、监测、报警技术要求及配套试验方法	冷板式液冷漏液防护系统通用规范

谢谢