

新型智算中心改造系列报告二：

拉动全球电力消耗增长，液冷渗透率快速提升

行业研究 · 行业专题

计算机 · 人工智能

投资评级：优于大市（维持评级）

证券分析师：熊莉
021-61761067
xiONGLI1@guosen.com.cn
S0980519030002

联系人：艾宪
0755-22941051
aixian@guosen.com.cn

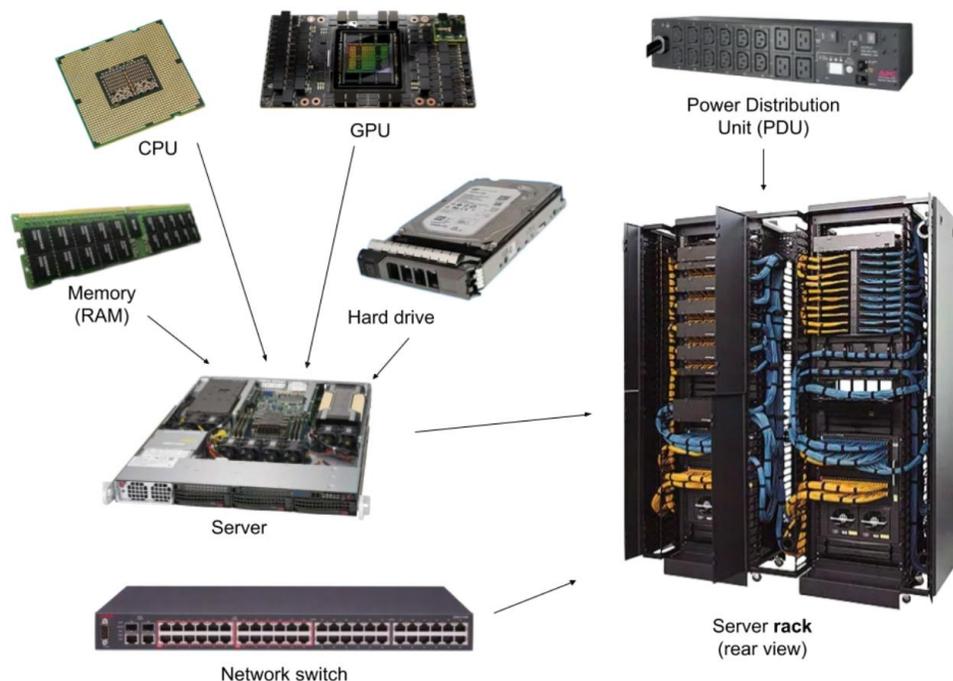
- **能源侧：智算中心电力消耗测算。** 1) **单POD功率：**以目前最常用的英伟达DGX H100计算集群（POD）为例，单POD（127节点）功率合计为1411.176kw，其中计算部分占比最高（为89.83%，即DGX H100服务器），其次为计算用交换机（为5.72%）； 2) **单位算力能耗模型：**以英伟达DGX H100服务器为例，假设利用率为80%，PUE为1.25，可知单台服务器对应智算中心功率消耗为11,112w，对应年度用电量为97,338KWh；TF32下单位petaFLOPS算力对应智算中心年度用电量为12,167 Kwh，FP16下单位petaFLOPS算力对应智算中心年度用电量为6,084 Kwh； 3) **对全球电力影响：**根据华为GIV发布的《智能世界2030》预测，预计2030年全球AI算力将超过105ZFLOPS（FP16），对应每年638.82太瓦时用电量，以22年为基年，额外带来2.4%的全球用电增量。
- **供电侧：多种配电方案并存。**目前主流的供电方案包括交流UPS架构、高压直流架构、机架式直流架构，智能算力（单一服务器加装8张GPU算力卡）带来高功率需求，对供电侧零部件提出更高要求。
- **冷却侧：液冷将替代传统风冷方案。** 1) **国内液冷渗透率将进入加速期：**AI算力芯片功率持续提升，设备功率密度接近风冷极限，同时叠加智算中心PUE考核趋紧，24年国内液冷渗透率将进入加速期； 2) **液冷市场规模快速增长：**据中商产业研究院披露数据，预计24年中国液冷服务器市场规模将达到201亿人民币，预计27年将增长至682亿人民币，对应24-27年CAGR为50.3%，市场规模快速增长。
- **投资建议：**随着中国智能人工智能算力的快速发展，将拉动全社会用电量的增长；根据我们测算，FP16精度下智算中心单PetaFLOPS算力对应1年耗电量为6,084Kwh（以英伟达DGX H100服务器为例），若替换成国产算力芯片，单PetaFLOPS耗电量仍将提升（受制于芯片制程）；同时，智能算力（单一服务器加装8张GPU算力卡）带来高功率需求，对配电侧提出更高要求，建议关注虚拟电厂和配网侧方向，重点关注朗新集团、国网信通。
- **风险提示：**宏观经济波动、互联网及运营商资本开支不及预期、美国继续收缩对华算力芯片出口政策、国产算力卡研发进展不及预期等。

- [01] 能源侧：智算中心电力消耗测算
- [02] 供电侧：多种配电方案并存
- [03] 冷却侧：液冷将替代传统风冷方案
- [04] 案例研究：新型绿色智算中心分析
- [05] 投资建议及风险提示

智算中心：服务器机柜内外组成结构

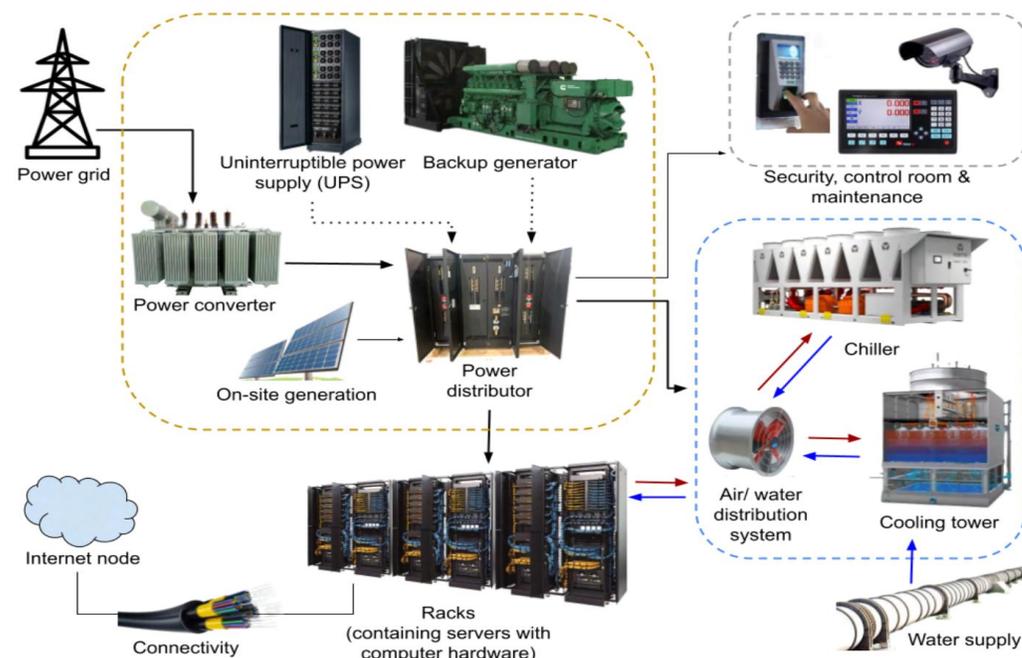
- 服务器机柜内：主要包括GPU、CPU、内存（RAM）、硬盘（Hard Drive）、网络交换机（Network Switch）、配电单元（PDU）等；
- 服务器机柜外：主要包括供电系统（功率转化器、功率分配器等）、冷却系统（制冷机、冷却塔、气/水分配系统）、安全及监控系统、网络系统（连接件）等。

图1：服务器机柜内主要包括CPU、GPU、存储、硬盘、交换机、电源分配单元



资料来源：Konstantin等著-《Compute at Scale - A broad investigation into the data center industry》-ArXiv（2023）-P5，国信证券经济研究所整理

图2：服务器机柜外部包括供电系统、冷却系统、安全及监控系统、网络系统

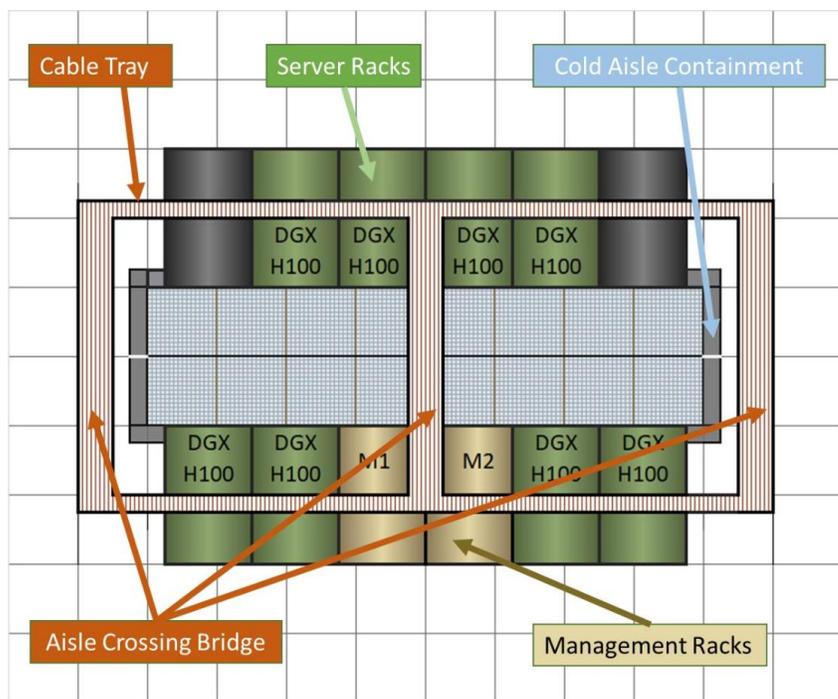


资料来源：Konstantin等著-《Compute at Scale - A broad investigation into the data center industry》-ArXiv（2023）-P6，国信证券经济研究所整理

智算中心：单一POD（集群）拆解-外部

- 单一POD（集群）组成：由服务器（例如英伟达DGX系统）、InfiniBand和以太网网络、管理节点（Management Node/Management Racks）、存储（Storage）、电缆桥架（Cable Tray）、冷通道（Cold Aisle Containment）、跨桥通道（Aisle Crossing Bridge）组成；

图3：单一Pod（集群）结构



资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD Data Center Design》，国信证券经济研究所整理

图4：英伟达典型单一SU组成

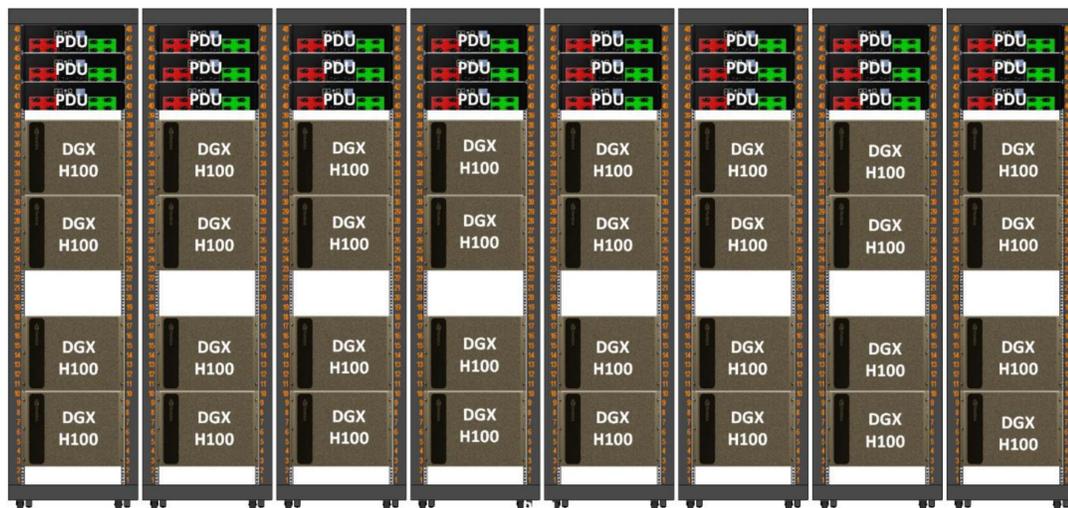


资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD Data Center Design》，国信证券经济研究所整理

智算中心：单一POD（集群）拆解-内部

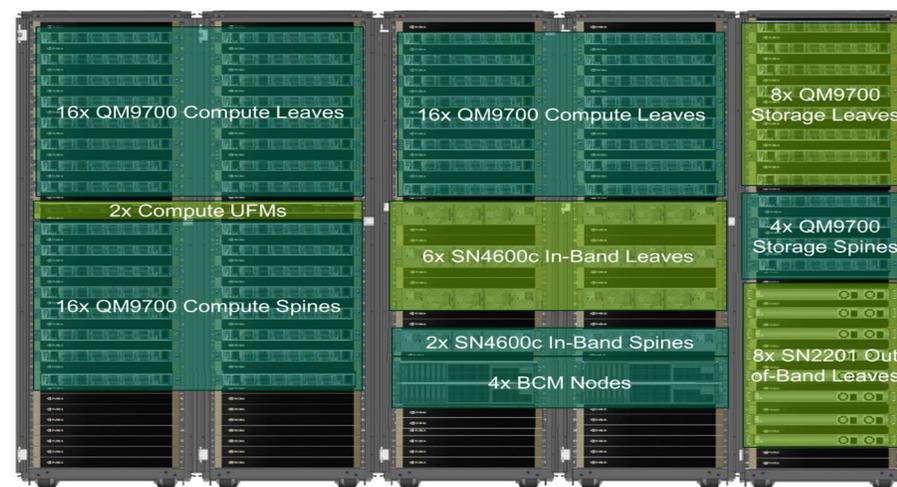
- 单个SU架构：由8个服务器机柜组成，每个服务器机构中放置4台DGX H100服务器（包含8颗H100 GPU芯片）和3个配电单元（PDU），即单一SU包含32台DGX H100服务器（对应256颗H100芯片）和24个配电单元（PDU）；
- 管理机柜（Management Rack）：包含网络交换机、管理服务器、存储阵列（Storage Array）和UFM控制器（Unified Fabric Manager）；以英伟达管理机柜为例，其包含32个QM9700 Compute Leaves、16个QM 9700 Compute Spines、2个Compute UFM、6个SN4600c In-Band Leaves、2个SN4600c In-Band Spines、4个BCM Nodes、8个QM9700 Storage Leaves、4个QM9700 Storage Spines、8个SN2201 Out of-Band Leaves。

图5：英伟达单个SU（Scalable Unit）架构



资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

图6：英伟达管理机柜（Management Rack）架构

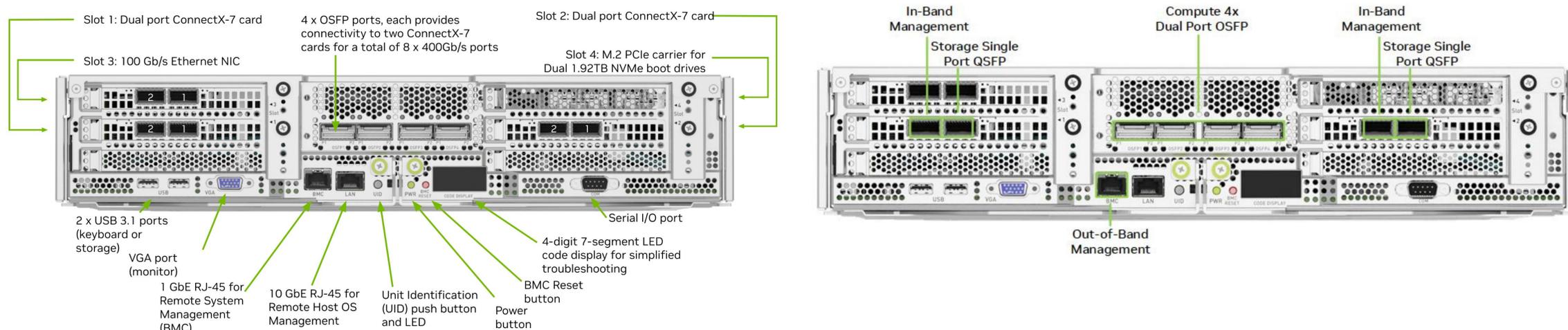


资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

单一POD（集群）网络结构（Network Fabrics）

- 单个POD（集群）网络结构（Network Fabrics）通常包括计算网络、存储网络、In-Band管理网络、Out-of-Band管理网络。
 - 计算网络（Compute Fabrics）：主板中间的4个OSFP端口留给计算网络，每个端口直连到2颗Connect-7X卡（共计8×400Gb/s端口）；
 - 存储网络（Storage Fabrics）：主板两侧各1个QSFP单向存储端口，连接内部ConnectX-7 card；
 - In-Band管理网络（In-Band Management Network）：主板两侧各1个In-Band管理端口，连接内部ConnectX-7 card；
 - Out-of-Band管理网络（Out-of-Band Management Network）：主板中间下部1个Out-of-Band管理端口（1GbE RJ-45端口）；

图7：英伟达DGX H100网络端口（服务器背面）



资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》、英伟达，国信证券经济研究所整理

单一POD（集群）网络结构-计算网络

- 计算网络：AI大模型的训练，通常需要多个GPU协同工作，计算网络可实现数据跨GPU计算；
- 计算网络层数：通常POD（集群）计算网络可包含三层交换机，分别是Leaf交换机、Spine交换机和Core交换机；在英伟达127节点计算网络中，仅使用两层交换机（Leaf和Spine，型号为Mellanox QM9700），且每个SU中有8台交换机和32台DGX H100服务器，则每台服务器应和8台交换机相连，而如前文所述，单台服务器背面仅4个800G OSFP端口（用于计算网络），则需要在端口接入光模块后，通过拓展端口将1个OSFP端口拓展成2个QSFP端口，进而实现连接。

图8：127节点计算网络（Compute Fabrics）架构

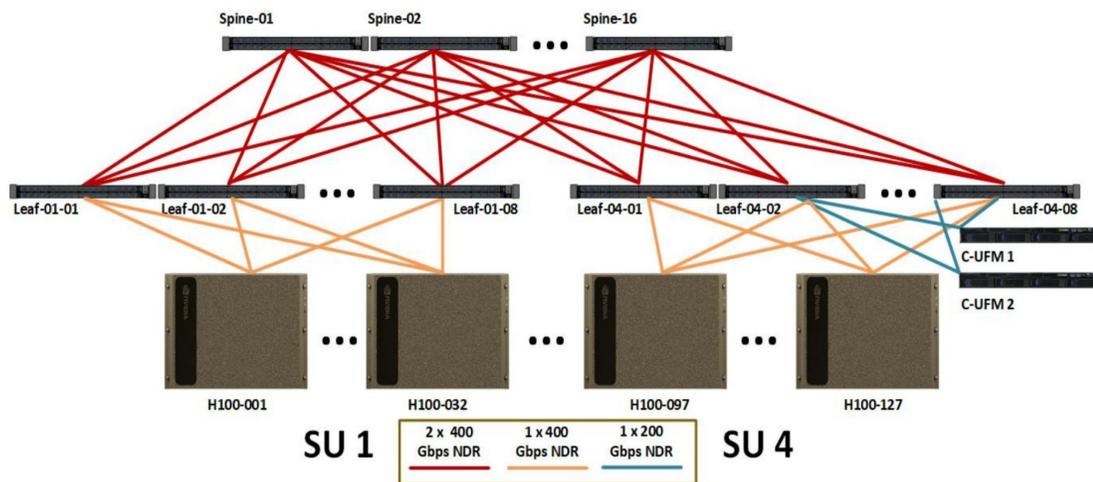


表1：计算网络节点测算

SU数量	节点数量	GPU数量	InfiniBand Switch 数量		电缆Count	
			Leaf	Spine	Compute+ UFM	Spine-Leaf
1	31	248	8	4	252	256
2	63	504	16	8	508	512
3	95	760	24	16	764	768
4	127	1016	32	16	1020	1024

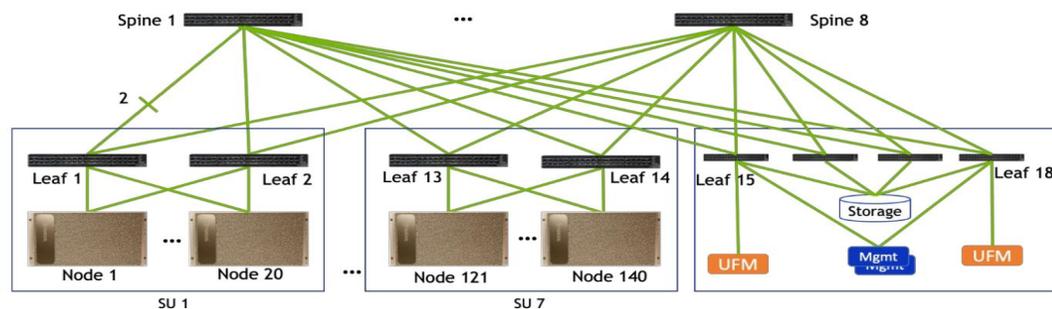
资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理（注：通常需要1个服务器用于UFM连接，所以1个SU对应31个节点）

单一POD（集群）网络结构-存储网络

- 存储网络：英伟达SuperPOD使用InfiniBand网络（每节点I/O速率要超过40GBps），以满足服务器集群共享存储的需要；
- 存储网络层数：A100和H100超级集群均采用两层交换机，以140节点的A100超级集群存储网络为例，共使用26台交换机（包括18台leaf交换机和8台Spine交换机）。

图9：140节点存储网络（Storage Fabrics）架构-DGX SuperPOD-A100



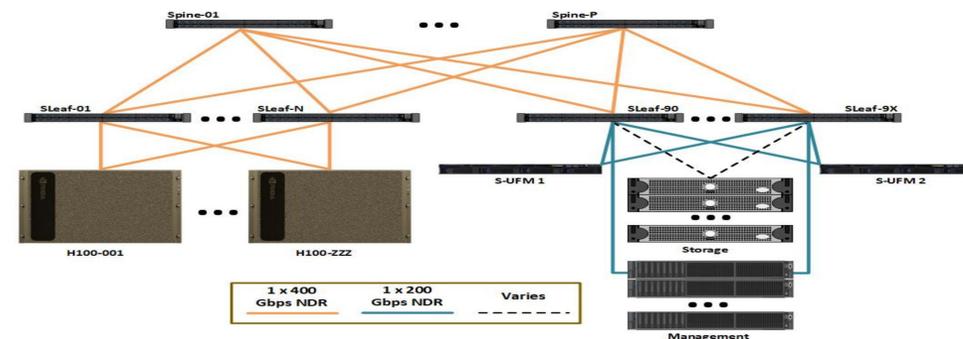
资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

表2：DGX SuperPOD-A100存储网络交换机和线缆数测算

SU数量	节点数量	存储端口	QM8790 Switches数量		电缆		
			Leaf	Spine	To-Node	To-Storage	Spine
1	20	24	4	2	40	36	64
2	40	40	6	4	80	52	96
3	60	40	8	4	120	52	128
4	80	56	12	8	160	68	192
6	120	80	16	8	240	92	256
7	140	80	18	8	280	92	288

资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

图10：存储网络架构（Storage Fabrics）架构-DGX SuperPOD-H100



资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

图11：MQM9700-NS2F交换机

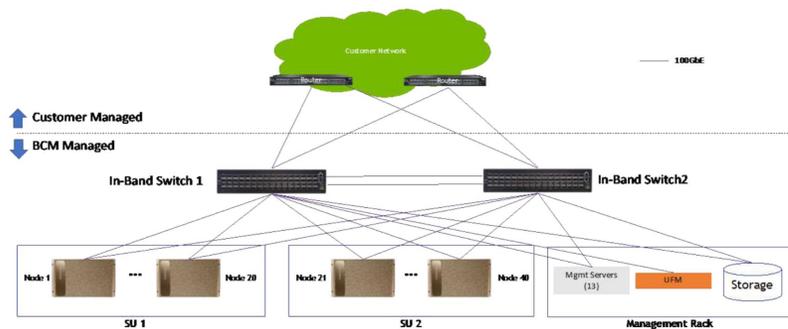


资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

单一POD（集群）网络结构-In-Band管理网络

- In-Band管理网络（In-Band Management Fabrics）：In-Band管理网络连接计算节点和管理节点（基于以太网），主要为集群提供以下功能：1）连接管理集群的所有服务；2）管控集群中节点访问主文件系统和存储池；3）连接集群内外服务（集群内服务：Base Command Manager、Slurm等；集群外服务：NGC登记、代码仓库、数据资源等）。以DGX SuperPOD-A100 In-Band管理网络架构为例，140个节点对应8台交换机（6台Leaf交换机、2台Spine交换机）。

图12：2个SU的In-Band管理网络架构-DGX SuperPOD-A100



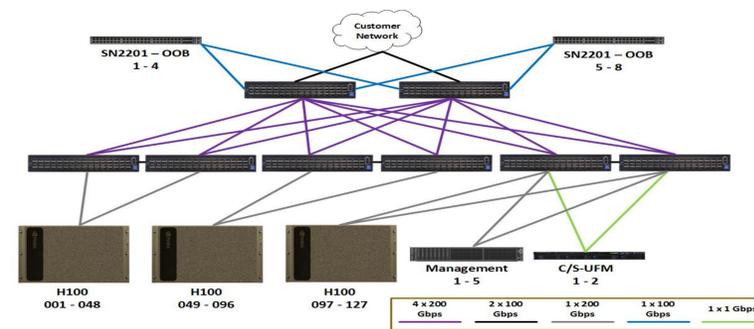
资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

表3：DGX SuperPOD-A100带内管理网络交换机测算

SU数量	节点数量	Leaf交换机	Spine交换机
1	20 (Single SU)	2	0
2	40	2	0
3	60	4	2
4	80	4	2
6	120	6	2
7	140 (DGX SuperPOD)	6	2

资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

图13：In-Band管理网络架构-DGX SuperPOD-H100



资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

图14：AS4610交换机

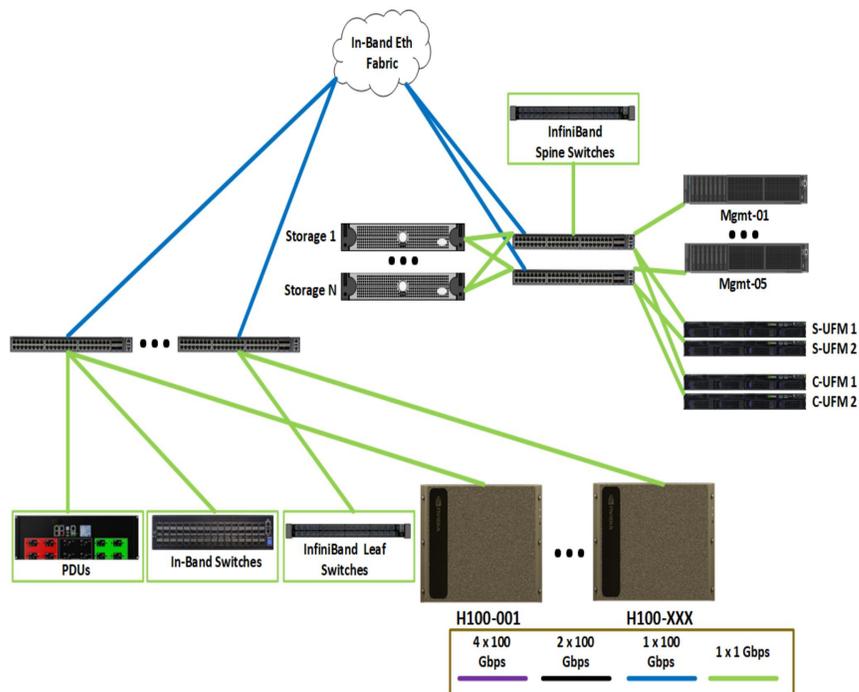


资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

单一POD（集群）网络结构-Out-of-Band管理网络

- Out-of-Band管理网络：使用以太网，连接所有设备的管理端口，包括DGX服务器、管理服务器、存储、网络设备（Networking gear）、机柜PDUs以及其他设备，140个节点对应10台交换机（使用SN2201交换机）。

图15：Out-of-Band管理网络架构-DGX SuperPOD-H100



资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

图4：Out-of-Band管理网络交换机测算

SU数量	节点数量	Leaf交换机
1	20 (Single SU)	2
2	40	3
3	60	4
4	80	5
6	120	8
7	140 (DGX SuperPOD)	10

资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

图16：SN2201交换机



资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

智算中心超级POD（集群）拓展测算

- 超级POD（集群）可根据计算要求进行拓展。目前，常见的POD由4个SU组成，对应128个计算节点（服务器）和1024颗GPU芯片，包含32个InfiniBand Switch-Leaf和16个InfiniBand Switch-Spine；目前最大可拓展至64个SU，对应2048个计算节点（服务器）和16,348颗GPU芯片，包含512个InfiniBand Switch-Leaf&Spine和256个InfiniBand Switch Core。

表5：超级POD（集群）拓展测算

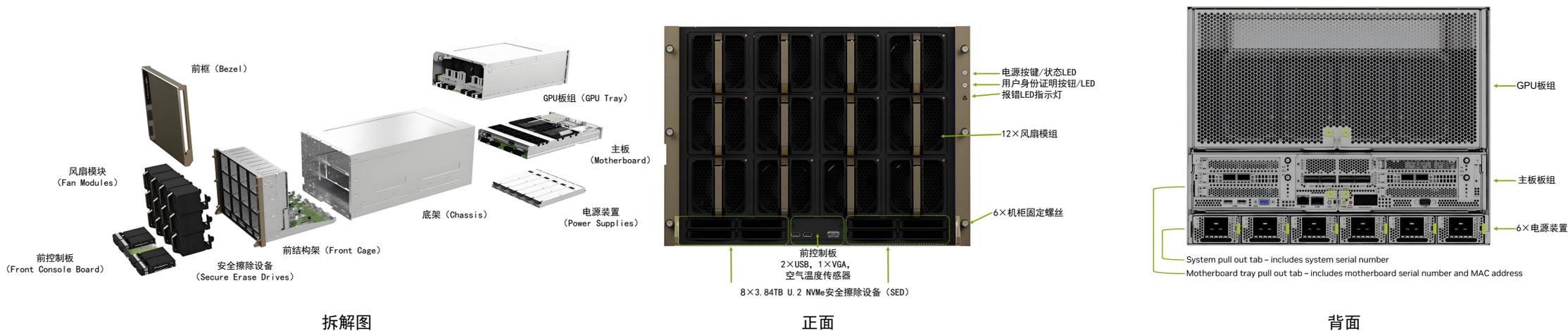
SU数量	节点（服务器）数量	GPU数量	InfiniBand Switch数量				电缆Count		
			Leaf	Spine	Core	Node-Leaf	Leaf-Spine	Spine-Core	
4	128	1024	32	16	-	1024	1024	1024	
8	256	2048	64	32	-	2048	2048	2048	
16	512	4096	128	128	64	4096	4096	4096	
32	1024	8192	256	256	128	8192	8192	8192	
64	2048	16348	512	512	256	16384	16384	16384	

资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD: Next Generation Scalable Infrastructure for AI Leadership》，国信证券经济研究所整理

智算中心：服务器拆解（以DGX H100为例）

- 服务器拆解：以英伟达DGX H100为例，服务器通常包括GPU卡组、主板、电源、风扇模块、结构件板块（前框、底架、前结构架）等，其中服务器正面提供电源按键、2个USB接口和1个VGA接口，背面提供6个电源接口以及网络端口（链接主板，实现POD内数据传输）。

图17：英伟达DGX H100服务器拆解

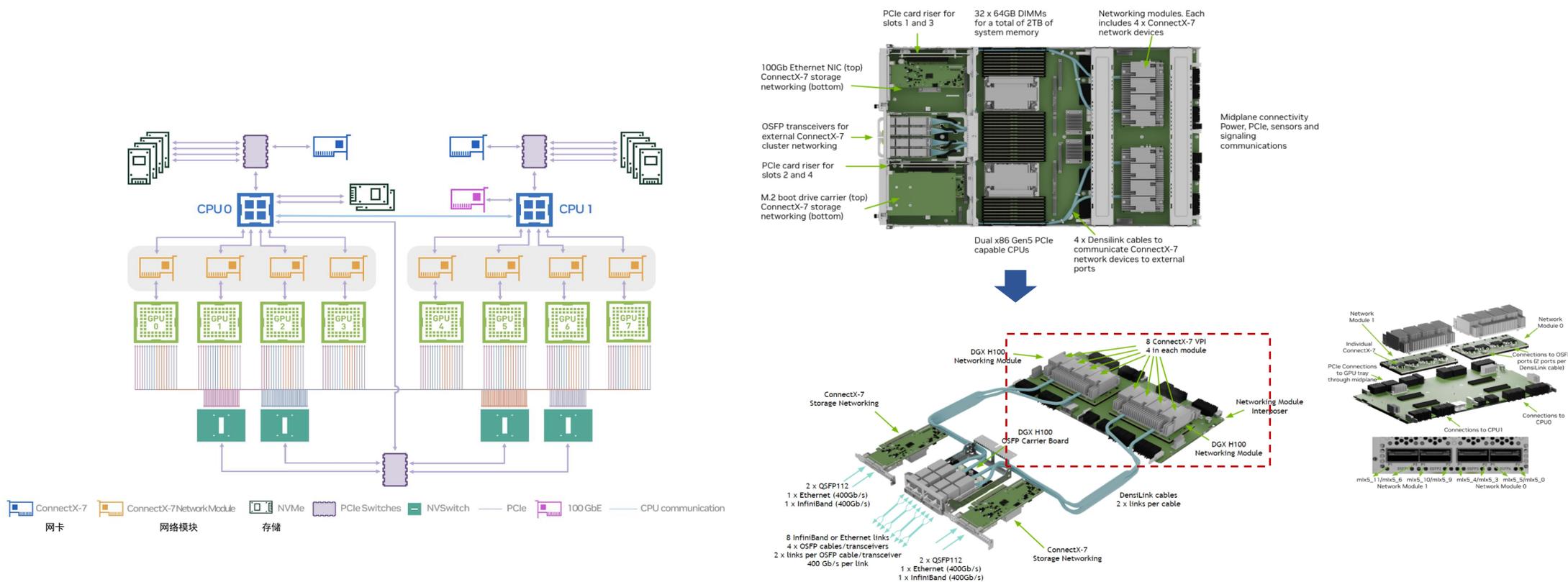


资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

智算中心：服务器拆解（以DGX H100为例）

- 服务器内部：包括2颗CPU和8颗GPU、2个网络模组（每个包含4颗ConnectX-7）、32颗内存（64GB）、PCIe Switches、NvSwitch、线缆等。
- 负载数据流：1) 当执行AI工作负载时，数据通过存储网络进入机器，经CPU处理后，送到GPU进行计算；2) GPU计算完成后，数据会被发回存储或进行进一步处理。

图18：服务器内部网络连接



资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

请务必阅读正文之后的免责声明及其项下所有内容

智算中心：单POD耗能测算

- 单POD IT耗能测算：根据英伟达披露数据，127节点POD功率合计为1411.176kw，其中计算部分占比最高（为89.83%，即DGX H100服务器），其次为计算用交换机（为5.72%）。

表6：单POD耗能测算

		服务器				交换机			
		计算 (Compute)	存储 (Storage)	管理 (Mgmt)	网络 (Fabric)	计算 (Compute)	存储 (Storage)	In-Band管 理	Out-of- Band管理
对应产品		DGX H100	多种	PowerEdge R750	NVIDIA UFM 3.1	QM9700	QM9700	SN4600C	SN2201
数量		127	/	5	4	48	16	8	8
平均功率 (Watts)	单一	10,200	2880	704	600	1,376	1,376	466	98
	加总	1,295,400	17,280	3,520	2,400	66,048	22,016	3,728	784
峰值功率 (Watts)	单一	10,200	3,600	880	750	1,720	1,720	820	135
	加总	1,295,400	21,600	4,400	3,000	82,560	27,520	6,560	1080
峰值热负荷 (BTU/h)	单一	34,804	12,284	3,003	2,559	5,869	5,869	2,798	461
	加总	4,420,088	73,702	15,013	10,236	281,706	93,902	22,384	3,685
系统占比		89.83%	1.50%	0.31%	0.21%	5.72%	1.91%	0.45%	0.07%

资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD Data Center Design》，国信证券经济研究所整理

智算中心：单位算力能耗模型

- **单台服务器对应IT设备功率**：以英伟达DGX H100服务器为例，单台服务器功率为10,200w；如前文所述，已知127节点SuperPOD中服务器部分（存储、网络、管理）和交换机部分（计算、存储、In-Band管理、Out-of-Band管理）功率，则对应单台服务器为911.62w, 加总可知单台服务器对应IT设备功率要求为11,112w；
- **单台服务器对应智算中心用电量**：假设利用率为80%，PUE为1.25，可知单台服务器对应智算中心功率消耗为11,112w，对应年度用电量为97,338KWh；
- **单位算力对应智算中心用电量**：已知单台DGX H100服务器算力为8 petaFLOPS（TF32）和16 petaFLOPS（FP16），则TF32下单位petaFLOPS算力对应智算中心年度用电量为12,167 Kwh，FP16下单位petaFLOPS算力对应智算中心年度用电量为6,084 Kwh。

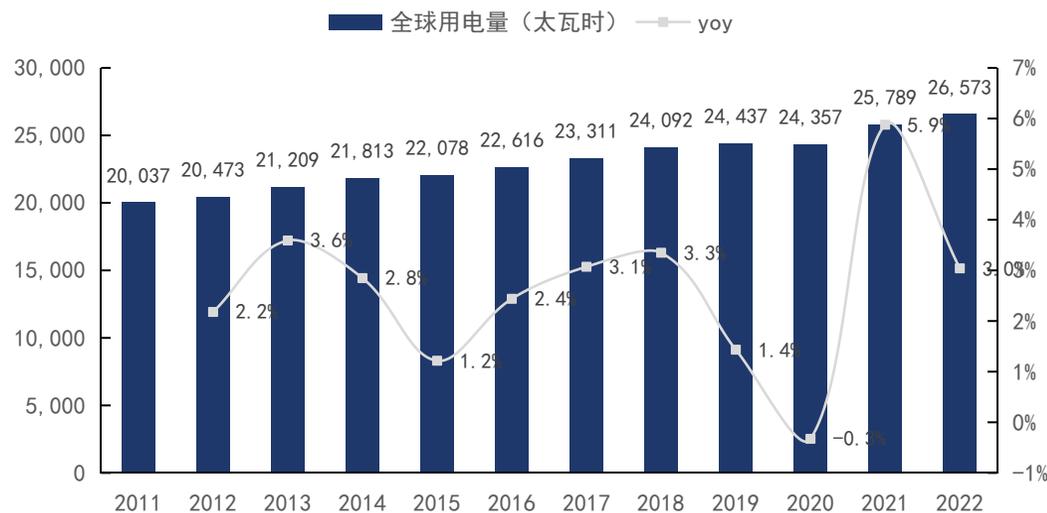
表7：单位算力能耗模型

		功率 (W)		
DGX H100服务器		10,200	单台服务器对应IT设备功率要求	11,112 (加总)
	AI算力-GPU	5600		利用率 80% (假设)
	H100 SXM	700	单台服务器对应IT设备功率消耗	8,889
	数量 (颗)	8	PUE (=数据中心总能耗/IT设备能耗)	1.25 (假设)
	其他-CPU、网络模组、PCIe Switch、NVSwitch等	4600	单台服务器对应智算中心功率消耗	11,112
127节点服务器-存储部分		17,280	单台服务器对应智算中心年度用电量	97,338 (KWh)
	对应单节点服务器存储	136	单台DGX H100服务器对应算力	
127节点服务器-管理部分		3,520	TF32	8 petaFLOPS
	对应单节点服务器管理	28	单petaFLOPS对应智算中心年度用电量 (TF32)	12,167 Kwh/petaFLOPS
127节点服务器-网络部分		2,400	FP16	16 petaFLOPS
	对应单节点服务器网络	19	单petaFLOPS对应智算中心年度用电量 (FP16)	6,084 Kwh/petaFLOPS
127节点对应交换机-计算部分		66,048		
	对应单节点服务器对应交换机-计算部分	520		
127节点对应交换机-存储部分		22,016		
	对应单节点服务器对应交换机-存储部分	173		
127节点对应交换机-In-Band管理部分		3,728		
	对应单节点服务器对应交换机-In-Band管理部分	29		
127节点对应交换机-Out-of-Band管理部分		784		
	对应单节点服务器对应交换机-Out-of-Band管理部分	6		
单台服务器对应IT设备功率要求		11,112 (加总)		

智算中心：对电力的影响

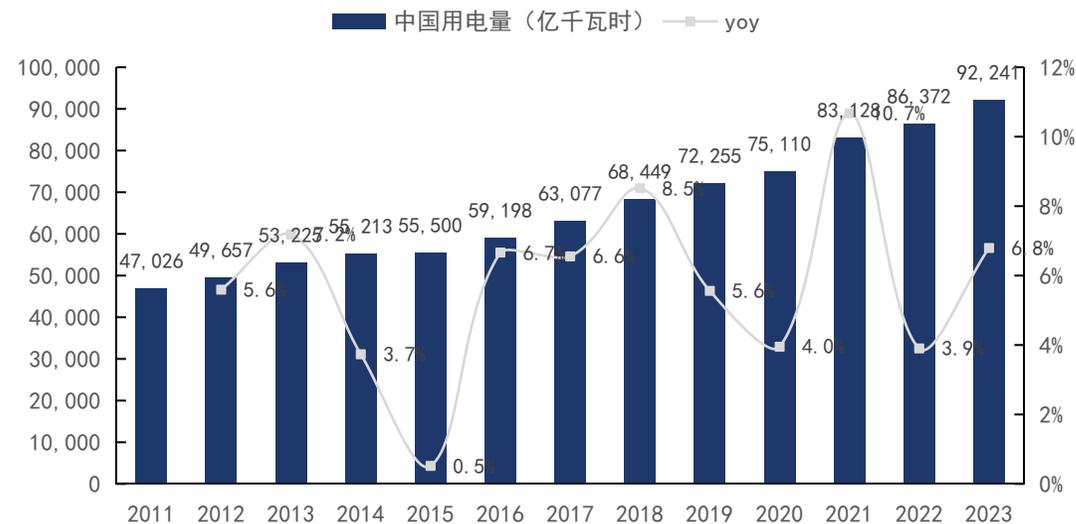
- **智算中心对全球用电量的影响：**根据华为GIV发布的《智能世界2030》预测，预计2030年全球通用算力将达到3.3ZFLOPS (FP32)，其中AI算力将超过105ZFLOPS (FP16)，增长500倍。根据上文测算结果，FP16下单位petaFLOPS算力对应智算中心一年用电量为6,084kWh，则105ZFLOPS对应每年638.82太瓦时用电量，以22年为基年，额外带来2.4%的全球用电增量。但是由于智算中心全球分布不均匀，主要集中在美国、中国等地区，根据Wind数据，美国23年总计用电量为4,000.22太瓦时，假设全球智算中心美国占比60%（对应383.29太瓦时用电），则额外带来9.6%的用电增量（以23年为基年）。
- **智算中心对中国用电量的影响：**根据IDC和浪潮联合发布的《2023-2024年中国人工智能计算力发展评估报告》数据，预计27年中国智能算力规模将达到1117.4EFLOPS (FP16)，根据上文测算结果，对应67.98亿千瓦时增量。

图19：全球用电量情况（单位：太瓦时）



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

图20：中国用电量情况（单位：亿千瓦时）



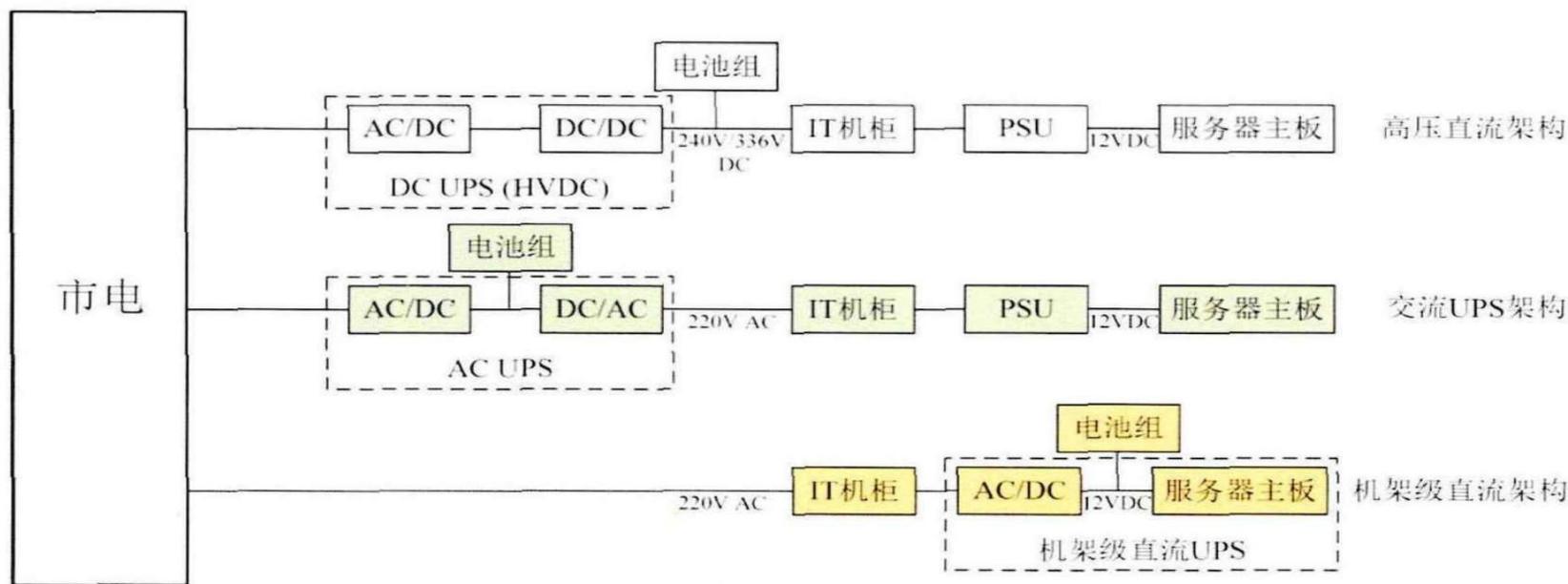
资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

- [01] 能源侧：智算中心电力消耗测算
- [02] 供电侧：多种配电方案并存
- [03] 冷却侧：液冷将替代传统风冷方案
- [04] 案例研究：新型绿色智算中心分析
- [05] 投资建议及风险提示

供电侧：主流供电方案

- 供电方案：目前主流的供电方案包括交流UPS架构、高压直流架构、机架式直流架构。
 - 交流UPS架构：当市电正常供电时，UPS为电池组充电；当市电中断时，电池组放电，经逆变电路为服务器机柜提供持续的电力供应。目前该架构为行业内最成熟的供电技术，但也存在单点故障、电能变换效率低、设备拓展性差、多机并联易出现环流等问题；
 - 高压直流架构：其具备效率高、并机方便等优势，在智算中心占比逐步提升，例如阿里巴巴杭州东冠机房采用高压直流架构，但仍存在单点故障问题，且对器件可靠性和直流断路器等设备要求较高；
 - 机架式直流架构：谷歌等公司最早提出了机架式UPS架构，将服务器、UPS设备和电池组集成到服务器机柜内部，避免了单点故障。

图21：智算中心常见供电方案

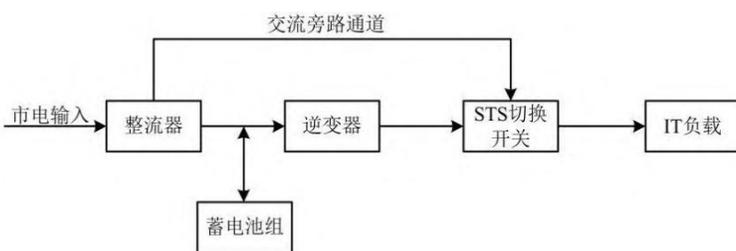


资料来源：叶桂森著-《数据中心供电-负载协同优化运行技术研究》-山东大学（2023年）-P7，国信证券经济研究所整理

供电侧：主流供电方案-交流UPS供电架构

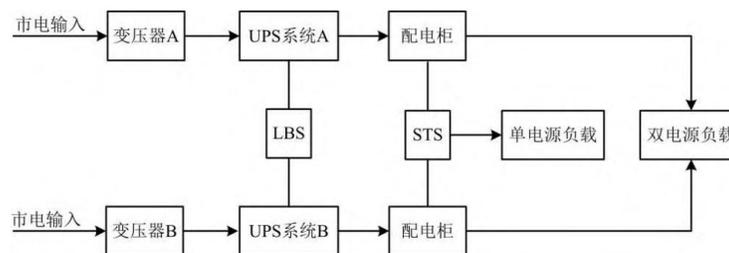
- **交流UPS供电架构：**由整流器、逆变器、蓄电池组、静态STS切换开关组成，实际应用中主要分为UPS 2N架构和市电+UPS架构。
 - 1) **市电正常：**市电通过整流器、逆变器向负载供电，同时为蓄电池充电；
 - 2) **市电异常或中断：**蓄电池作为电源，通过逆变器向负载供电；
 - 3) **逆变器、蓄电池等中间环节故障：**通过STS切换开关，改由交流旁路向负载供电；
 - **优势：**1) **输出电能品质高：**对负载供电均由逆变器提供，能消除市网电压波动和干扰，实现无干扰稳压供电；2) **无转换时间：**市电供电或蓄电池供电，UPS内部无转化运作；
 - **劣势：**1) **供电效率低，电能损失严重：**电能自输入系统到IT设备主板，需反复多次AC和DC转换，产生损耗；2) **结构复杂，维护困难：**为提高可靠性，通常采用冗余供电，导致结构负载，同时逆变、蒸馏任何环节出现故障，导致系统故障，维修难度较大；3) **可靠性差：**市电中断，蓄电池放电通过逆变模块输出，若其损坏，则无法供电给负载。
- **UPS 2N架构：**由两套完全独立的UPS系统、同步LBS控制器、静态STS切换开关、变压器等设备组成；两套UPS系统从不同的低压配电系统引电，平时每套系统带载一半电荷，当一套系统出现故障时，另外一套系统带载全部电荷。
- **市电+UPS架构：**由一路市电和一路UPS系统组成；平时市电作为主用电源带载全部电荷，当市电断电或者质量不满足要求时转由UPS供电。

图22：交流UPS供电架构



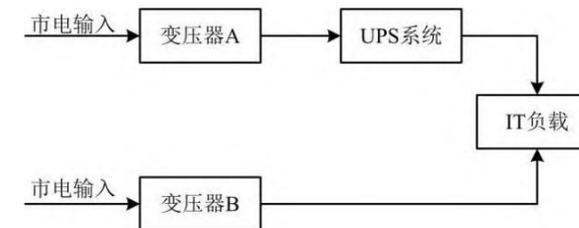
资料来源：周京华、王江博著-《数据中心供电架构概述与展望》-电源学报（2023）-P3，国信证券经济研究所整理

图23：UPS 2N架构



资料来源：周京华、王江博著-《数据中心供电架构概述与展望》-电源学报（2023）-P3，国信证券经济研究所整理

图24：市电+UPS架构

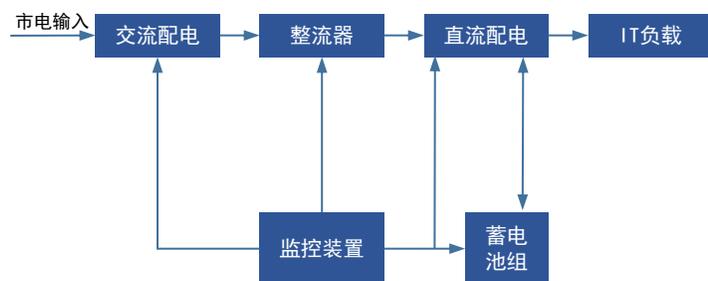


资料来源：周京华、王江博著-《数据中心供电架构概述与展望》-电源学报（2023）-P4，国信证券经济研究所整理

供电侧：主流供电方案-高压直流供电架构

- **高压直流供电架构**：由交流配电模块、整流器、直流配电模块、蓄电池组和监控装置组成，包括336V高压直流和240V高压直流两种标准，336V为中国移动标准，需要改造设备和定制电源模块，240V为中国电信标准，配置时基本不需要进行设备改造和电源定制，应用范围更广，实际应用中主要分为240V 2N直流供电架构和市电+240V直流供电架构。
 - **工作原理**：整流器为核心部件，交流电通过整流器、直流配电模块为IT设备供电，且为蓄电池充电，保障在市电中断或市电质量不满足要求时，通过蓄电池实现不间断供电；
 - **优势**：1) **节能**：没有逆变环节，减少转换步骤和电路设备，且高压直流集肤效应小于交流电，输电损耗小；2) **可靠性高**：蓄电池为负载直接供电且没有逆变环节，设备数量少，故障点减少，可靠性提高；3) **无“零地”电压问题**：直流输入，系统无零线，避免不明故障；4) **利于新能源接入**：减少分布式发电系统（如光伏）及直流负荷接入电网的中间环节，进而降低接入成本，提高功率转换效率和电能质量；
 - **劣势**：1) **对配电开关灭弧性能要求高**：由于直流电不存在零点，灭弧相对困难，直流配电所需开关性能要求高；2) **换流设备成本高**：直流换流站比交流变电所的设备多，结构复杂，造价高，损耗大，运行费用高。
- **240V 2N直流供电架构**：由两套完全独立的2套240V直流系统组成，2套直流系统从不同的低压配电系统引电，平时每套240V直流系统带一半负载，当一套系统出现故障时，另一套系统带全部负载。
- **市电+240V直流供电架构**：由一路市电供电和一路240V直流系统供电组成，平时市电供电作为主用电源带全部负载，当市电断电或质量不满足要求时，转由240V直流系统供电。

图25：高压直流供电架构



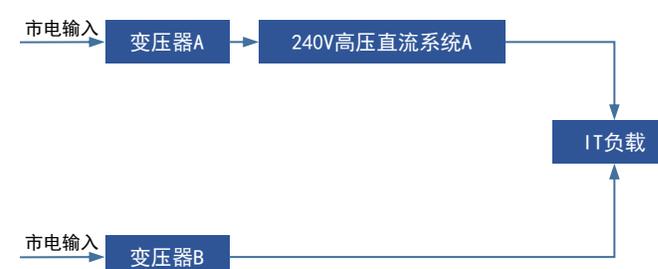
资料来源：周京华、王江博著-《数据中心供电架构概述与展望》-电源学报（2023）-P4，国信证券经济研究所整理

图26：240V 2N架构



资料来源：周京华、王江博著-《数据中心供电架构概述与展望》-电源学报（2023）-P5，国信证券经济研究所整理

图27：市电+240V直流架构



资料来源：周京华、王江博著-《数据中心供电架构概述与展望》-电源学报（2023）-P5，国信证券经济研究所整理

供电侧：DGX H100机架配电要求

- **DGX H100机架配电要求：** DGX H100机架可在全球范围内部署，其机架式配电单元（rPDU）将三相输入电路转化为200-240 VAC的单项电路；通常高密度部署模式下，首选415 VAC、32A、三相、N+1部署规格。
- **配电冗余：** DGX H100系统拥有6个内部电源接口，至少4个电源接口通电才可以保证服务器运行；从输入电路（Power Source）来看，计算机架（DGX H100服务器机架）使用N+1冗余方案（此处N=2），管理机架可以使用2N冗余方案（此处N=2）。

表8：SU部署电压、电流要求

相 (Phase)	配电电压 (Distribution Voltage, V)	线路电压 (Line Voltage, V)	电流 (Amps)	断路器折减 (Breaker Derating)	电路容量 (Circuit Capacity, kW)	最大单机柜承载DGX H100服务器数量 (个)	单电路服务器峰值需求 (kW)	标准容量 (峰值需求, kW)
1 Φ	230	230	63	100%	13.7	2	10.2	3.5
3 Φ Delta	208	208	60	80%	32.8	4	20.4	12.4
3 Φ Wye	400	230	32	100%	21	4	20.4	0.6
3 Φ Wye	415	240	32	100%	21.8	4	20.4	1.4
3 Φ Wye	415	240	60	80%	32.7	4	20.4	12.3

注：

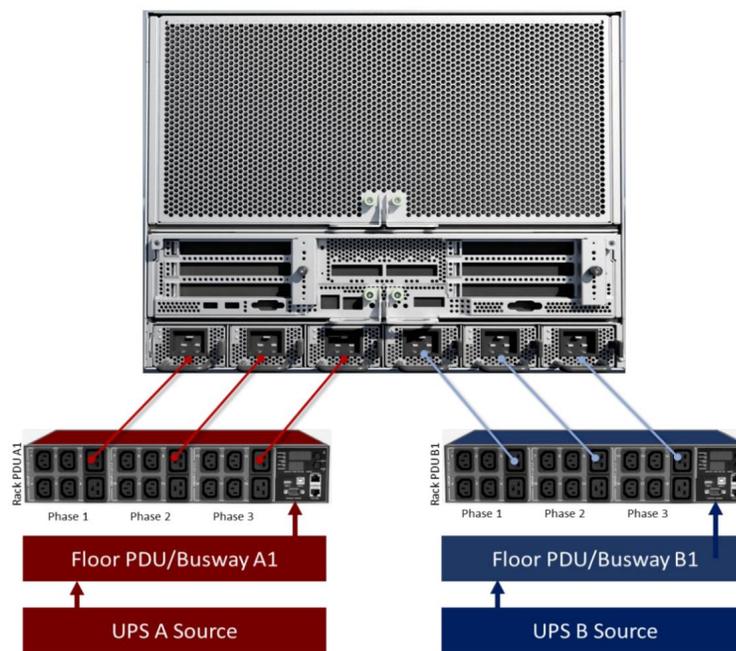
- 1) 电路容量计算使用0.95功率因数 (Power factor)；
- 2) 以上计算基于三电路N+1供电方案，没有电路承载超过50%的负载；
- 3) 从热力学角度考虑，不推荐单机柜服务器数量超过4；

资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD Data Center Design》，国信证券经济研究所整理

供电侧：DGX H100机架配电要求-传统2N冗余方案（管理机柜）

- **传统2N冗余方案：**两路输入电路经由UPS（即UPS A Source和UPS B Source）进入Floor PDU，再接入rPDU（机架式PDU）；在2个rPUD中每一相中选择1个电源接口连入服务器，为服务器供电。
 - **优势：**传统的2N冗余方案适用于传统的IT设备和网络设备，亦适用于管理机柜，同绝大多数数据中心适配；
 - **劣势：**若其中1个输入电路（Power Source）中断，则服务器通电的电源接口则少于4个，进而导致整个系统的中断，AI工作负载将中止。

图28：传统2N冗余方案（管理机柜）

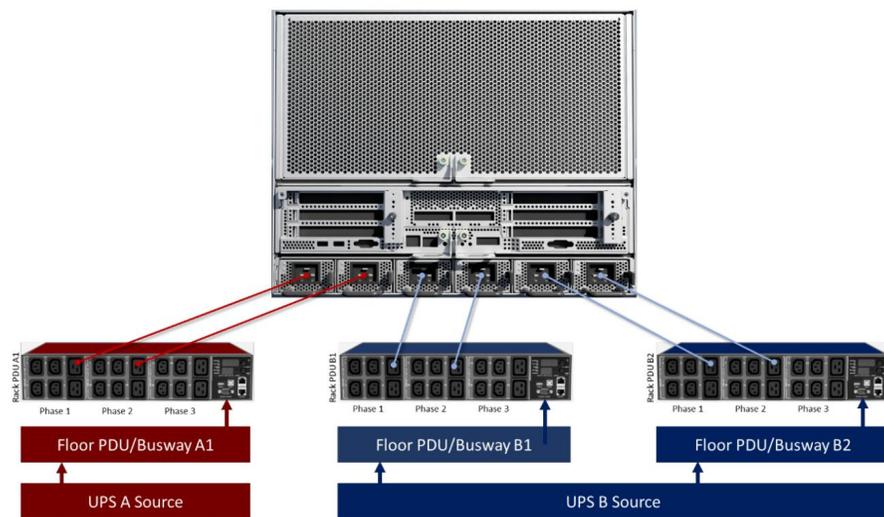


资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD Data Center Design》，国信证券经济研究所整理

供电侧：DGX H100机架配电要求-N+1冗余方案（计算机柜）

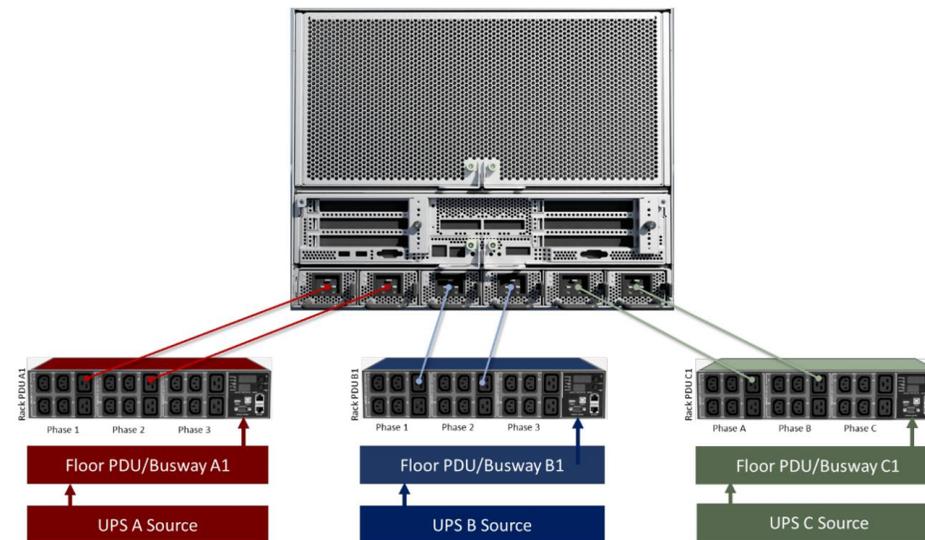
- **N+1冗余方案**：两个UPS向电源提供三条电源通路，如下图所示，该机架承接两路来自UPS B的馈电，下一个机架将承接两路来自UPS A的馈电，将最小化对指定UPS源的依赖，并平衡其间负载。
 - **优势**：提供基本的电池冗余，在系统PSU、单个rPDU或单个Floor PDU/RPP损害情况下，仍能支持AI负载工作；与大多数数据中心兼容；
 - **劣势**：成本上升，结构更加复杂，3个rPDU中2个由相同的UPS供电，则主UPS（例如下图UPS B）损害或故障，将导致系统断电。
- **增长N+1冗余方案**：使用3个离散的UPS系统供电，提供3条离散的配电路径；
 - **优势**：每个rPDU由离散的UPS供电，单一UPS损坏或中断，系统仍能支持AI负载工作；
 - **劣势**：兼容性较差，很多数据中心的设计不支持。

图29：N+1冗余方案



资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD Data Center Design》，国信证券经济研究所整理

图30：增强N+1冗余方案

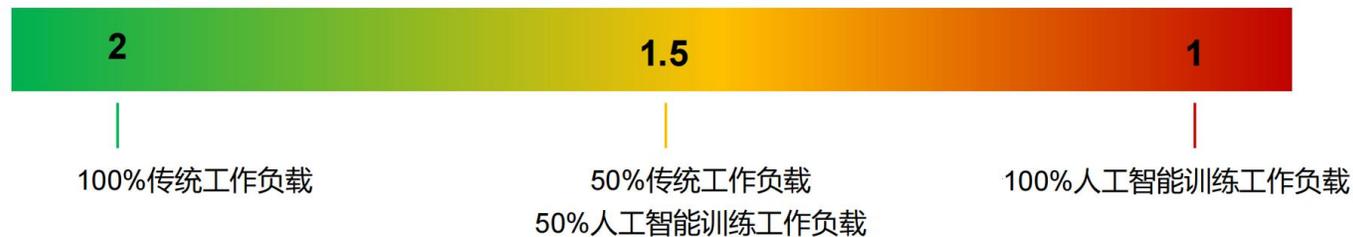


资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD Data Center Design》，国信证券经济研究所整理

供电侧：弧闪危险及上游断路器脱扣风险

- **弧闪危险增加：**弧闪指电流击穿空气形成短路电弧时的情况，发生弧闪时，电流穿过空气从一点流向另一点，在一秒钟的时间内释放出大量的能量（即入射能量），能量以热、声、光和爆炸压力的形式释放出来，可能对工作人员造成伤害（烧伤、失明、触电、听力丧失和骨折等）。智算中心的高功率对应更大的额定电流，弧闪的风险随rPDU额定电流值提升而增加。
 - **解决方案：**首先进行弧闪风险评估，配置阻抗电压更高的上游变压器，使用线路电抗器来阻止短路电流的流动，使用限流器、限流断路器等；
- **上游断路器脱扣风险：**数据中心不同工作负载通常会随机达到峰值，这些峰值同时出现的概率极低，典型数据中心的峰均值（=所有单个工作负载峰值相加/总平均功耗）达到1.5到2或者更高，但人工智能负载缺乏变化（人工智能集群中的加速器在大部分训练时间内都以接近100%的利用率运行，训练集群的平均耗电量几乎等于其峰值耗电量，峰均比 ≈ 1 ），增加了上游大型断路器脱扣的可能性。
 - **解决方案：**如果数据中心AI训练工作负载超过60%-70%，应根据下游各馈线断路器总和来确定主断路器的大小。

图31：从100%传统工作负载转向100%人工智能工作负载



资料来源：《人工智能带来的颠覆：数据中心设计的挑战及相关指南》，国信证券经济研究所整理

供电侧：机架温度过高，增加了故障和安全隐患

- **机架温度过高，增加了故障和安全隐患：**随着机柜功率密度的提升，IT环境的温度升高，对元器件造成更大压力；当元器件暴露在非额定温度下时，可能导致元器件过早故障以及安全隐患。
 - **元器件过早故障：**元器件暴露在规定范围之外，预期寿命会大幅缩短；
 - **安全隐患：**使用不符合额定工作范围的电线可能导致线缆融化等安全隐患。
- **解决方案：**AI服务器通常配备高温额定值的线缆/插座，但机柜上其他设备（例如机柜顶部的交换机）可能没有，应了解设备的运行环境，确保所有设备都达到相应额定值；建议在机柜后面放置温度传感器（由DCIM监控），验证工作条件是否符合预期。

图32： 标准C19/C20连接器和高温C21/C22连接器对比

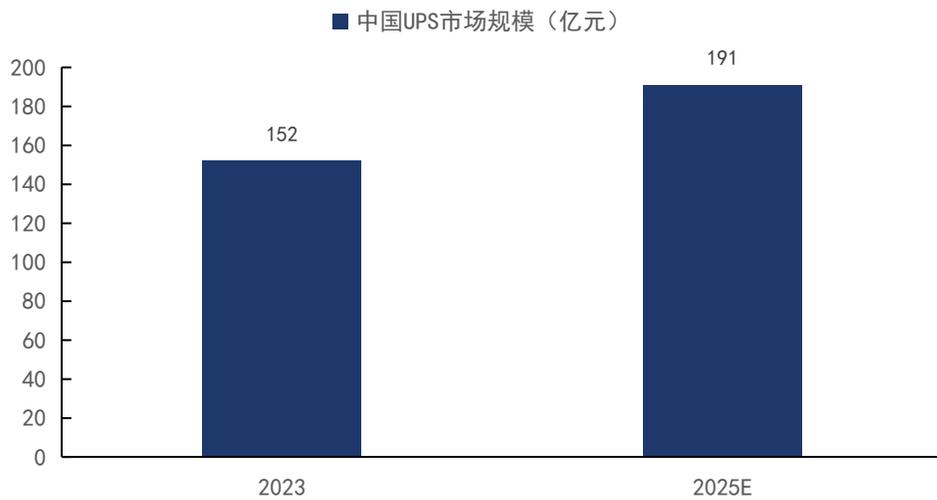
	母头	公头	限值	备注
标配	 C19	 C20	65°C	C20常用作跳线，从机架式PUD向大功率IT设备供电
高温	 C21	 C22	155°C	C21可与C22或C20连接器配接，在温度超过C19额定值时使用

资料来源：《人工智能带来的颠覆：数据中心设计的挑战及相关指南》，国信证券经济研究所整理

UPS：市场规模稳步增长，科华数据、华为、Vertiv市占率较高

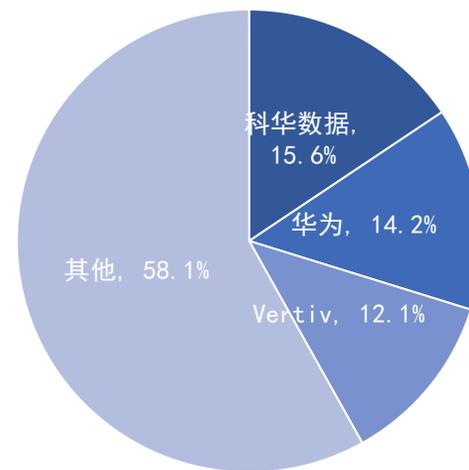
- **UPS市场规模稳步增长。**UPS是信息化基础设施建设的重要组成部分，下游可应用于数据中心、通信基站、制造业设备等领域，UPS需求持续增长；根据智研咨询披露数据，23年中国UPS市场规模为152亿人民币，对应13-23年CAGR为15.73%，预计25年市场规模将增长至191亿人民币，对应CAGR为12.1%，市场规模稳步增长。
- **科华数据、华为、Vertiv占据主要市场份额。**根据智研咨询披露数据，23年中国UPS市场市占率前三厂商分别为科华数据（15.6%）、华为（14.2%）和Vertiv（12.1%），三家合计为41.9%，占据主要市场份额。

图33：23年中国UPS市场规模为152亿元，预计25年为191亿元，对应CAGR为12.1%



资料来源：智研咨询，国信证券经济研究所整理

图34：科华数据、华为、Vertiv市占率较高（2023年）



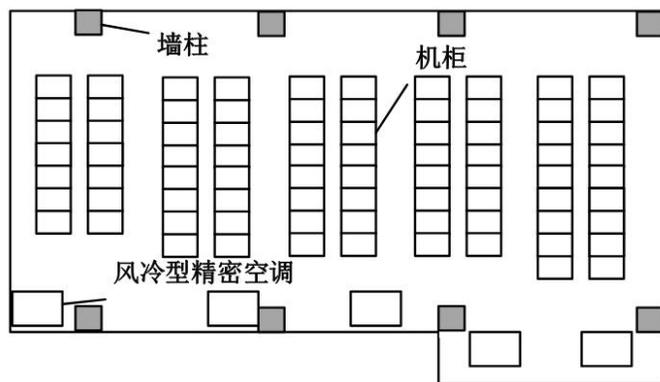
资料来源：智研咨询，国信证券经济研究所整理

- [**01**] 能源侧：智算中心电力消耗测算
- [**02**] 供电侧：多种配电方案并存
- [**03**] 冷却侧：液冷将替代传统风冷方案
- [**04**] 案例研究：新型绿色智算中心分析
- [**05**] 投资建议及风险提示

传统冷却方式：风冷-直膨式精密空调

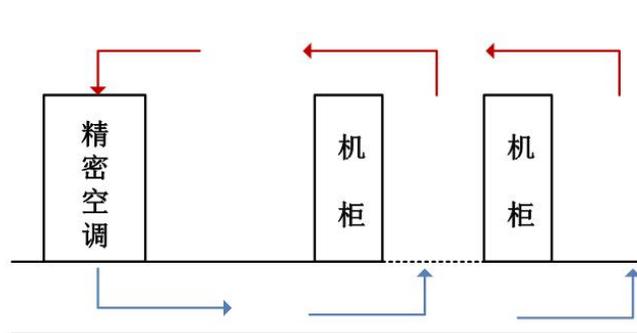
- 直膨式（DX）精密空调风冷：通过直膨式（DX）精密空调对数据中心进行制冷，先冷环境，再冷设备，设备构成简单、部署灵活，能满足低功率的制冷需求，早期多用于运营商、互联网等小规模机房。精密空调的蒸发器置于数据中心机房内，为服务器等IT设备提供冷量；冷凝器置于机房外，与环境空气进行换热，其中冷凝器形式多样化（可一对一或集中式部署）。

图35：直膨式精密空调风冷机房内布局



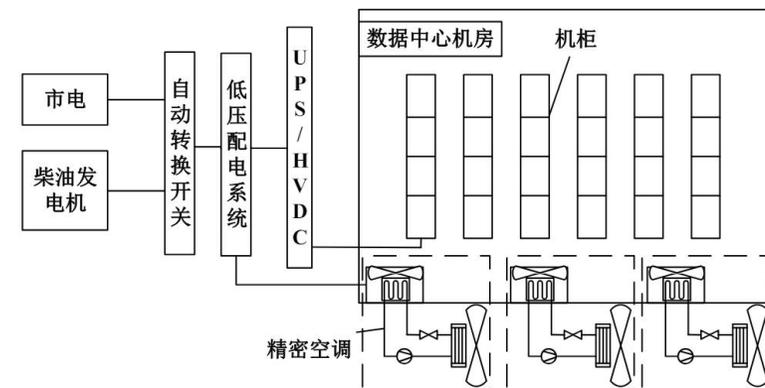
资料来源：刘宏伟等著-《风冷精密空调数据中心的能耗分析研究》-制冷技术（2023）-P67，国信证券经济研究所整理

图36：直膨式精密空调风冷送风形式



资料来源：刘宏伟等著-《风冷精密空调数据中心的能耗分析研究》-制冷技术（2023）-P67，国信证券经济研究所整理

图37：直膨式精密空调风冷结构设计

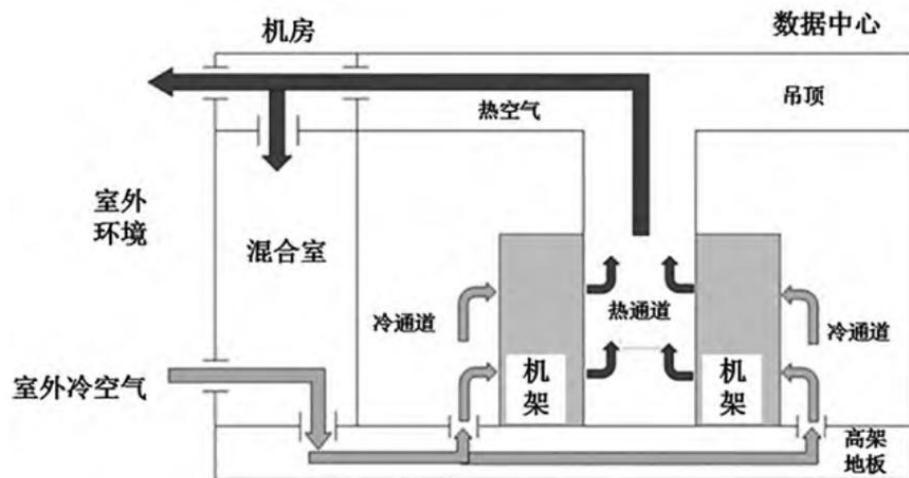


资料来源：刘宏伟等著-《风冷精密空调数据中心的能耗分析研究》-制冷技术（2023）-P68，国信证券经济研究所整理

传统冷却方式：风冷-直接自然冷却&间接自然冷却

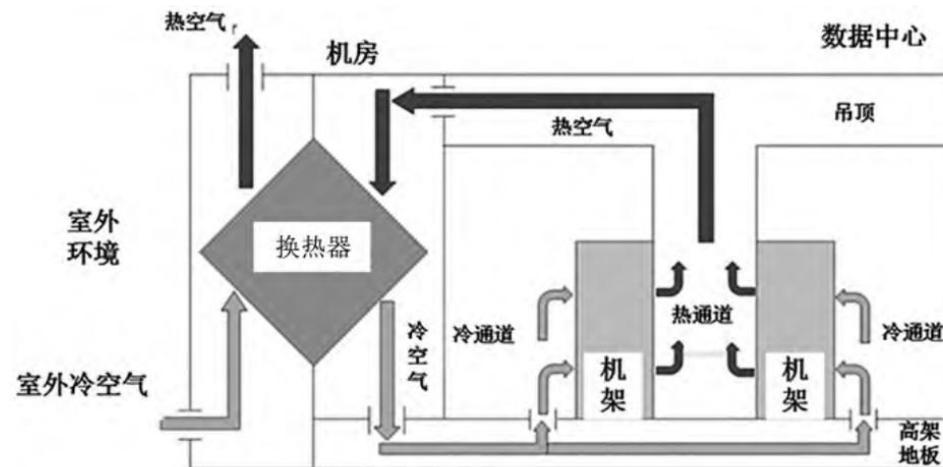
- 风侧自然冷却技术：利用室外冷风对数据中心进行冷却，使用自然冷源代替制冷机为空调系统提供部分或全部冷量，实现空调系统节能，目前主要分为直接风侧自然冷却和间接风侧自然冷却。
 - 直接风侧自然冷却：将室外低温空气直接引进机房与室内气体混合，室外冷空气通过侧墙百叶窗流入机房，室内热空气上升至建筑顶部从窗流出，形成热空气的自然对流；其适用于寒冷、干燥气候条件，对空气质量要求严格（潮湿、颗粒物、污染物会限制其使用）；由于不需要辅助冷却系统，可以将数据中心PUE大幅降低。
 - 间接风侧自然冷却：同直接风侧自然冷却相比，增加了换热器设备，通过换热器实现对室外冷空气的利用，保证数据中心不受室外环境的干扰（外部气流不会进入机房，降低室外空气污染物对数据中心的影响）。由于该系统增加了额外介质换热过程，系统效率会降低，数据中心PUE高于直接风侧自然冷却。

图38：直接风侧自然冷却系统



资料来源：赵晓等著-《自然冷源技术研究综述》-暖通空调（2023）-P3，国信证券经济研究所整理

图39：间接风侧自然冷却系统

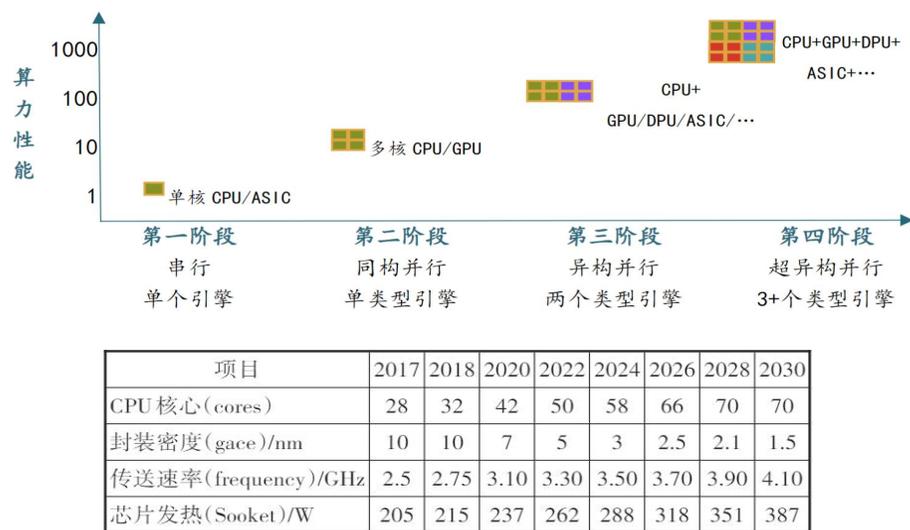


资料来源：赵晓等著-《自然冷源技术研究综述》-暖通空调（2023）-P4，国信证券经济研究所整理

功率密度持续提升，对数据中心散热提出更高要求

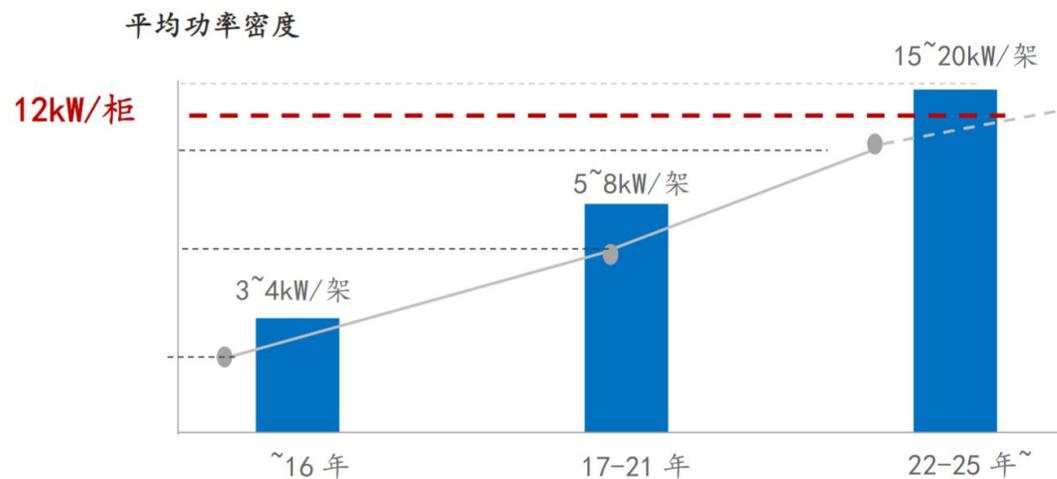
- **单台服务器功率密度持续提升：**1) 处理器核数增长：CPU核心数持续增长，单卡功率及芯片发热随之提升；2) 异构并行：为满足AI工作要求，服务器加装GPU/Asic等AI加速卡，单台服务器功率提升；3) 单服务器内部AI加速卡数量增长：目前，单台服务器内部通常配置8张GPU卡，24年3月英伟达发布的GB200-NVL72服务器，配置72颗Blackwell GPU芯片，未来单台服务器内部加速卡数量有望持续增长。
- **不同发热器件功率梯度不同，对数据中心散热提出更高要求。**传统风冷式方案仅能对机房整体或局部环境温度进行调节，但机柜内服务器不同发热期间功率梯度不同（例如CPU、GPU功率远高于其他器件，而内存、PSU仅占服务器功耗的20%-30%），则传统风冷方案会导致不同器件“过冷”或“过热”，无法实现精确制冷，若通过加大制冷量等方式降低“过热”器件温度，则会导致能源浪费。

图40：数据中心处理器核数增加、异构并行，单台服务器功率上升



资料来源：《中国数据中心产业低碳发展实践研究（2023年，华信咨询）》，柯媛华-《数据中心液冷技术研究》-邮电设计技术（2023）-P36,国信证券经济研究所整理

图41：机柜平均功率持续提升



资料来源：《中国数据中心产业低碳发展实践研究（2023年，华信咨询）》，国信证券经济研究所整理

各地对新建数据中心PUE提出要求，液冷渗透率有望提升



- 各地对新建数据中心PUE提出要求。近期北京、上海、深圳、江苏等地区发布相关文件，对新建数据中心的PUE指标提出要求，其中上海、深圳、江苏等地区将新家数据中心的PUE值限制在1.25以下。
- 液冷技术可显著降低PUE，渗透率有望提升。液冷技术制冷效果出色，可以支撑更高功率密度机柜；同时，根据Intel发布的《绿色数据中心创新实践-冷板液冷系统设计参考白皮书》披露数据，采用液冷散热方案的数据中心PUE比采用风冷的常规冷冻水系统降低0.15以上，全年PUE可达到1.2以下。

表9：各地对新建数据中心PUE指标提出要求

省市	日期	文件	部门	内容
全国	2022年6月	《工业能效提升行动计划》	工业和信息化部等六部门	到2025年，新建大型、超大型数据中心电能利用效率（PUE）优于1.3；
北京	2024年3月	《北京市算力基础设施建设实施方案（2024—2027年）》	北京市经济和信息化局、通信管理局	本市新建和改扩建智算中心PUE值一般不超过1.25，年能耗超过3万吨标准煤的大规模先进智算中心PUE值一般不超过1.15；
北京	2023年7月	《北京市发展和改革委员会关于印发进一步加强数据中心项目节能审查若干规定的通知》	北京市发改委	新建、扩建数据中心，年能源消费量小于1万吨标准煤（电力按等价值计算，下同）的项目PUE值不应高于1.3；年能源消费量大于等于1万吨标准煤且小于2万吨标准煤的项目，PUE值不应高于1.25；年能源消费量大于等于2万吨标准煤且小于3万吨标准煤的项目，PUE值不应高于1.2；年能源消费量大于等于3万吨标准煤的项目，PUE值不应高于1.15；
上海	2024年4月	《上海市推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动计划（2024-2027年）》	上海市人民政府	新建数据中心能源利用效率（PUE）不高于1.25；加快既有数据中心升级改造，加大高效制冷技术和新能源推广应用力度，力争改造后能源利用效率（PUE）不高于1.4；
深圳	2023年12月	《深圳市算力基础设施高质量发展行动计划（2024-2025）》	深圳市工业和信息化局	到2025年，新建数据中心电能利用效率（PUE）降低到1.25以下；
江苏	2023年12月	《推进长三角枢纽节点芜湖数据中心集群建设若干举措》	安徽省人民政府办公厅	平均上架率不低于65%，数据中心电能利用效率（PUE）小于1.25；

资料来源：政府文件，国信证券经济研究所整理

液冷：主要包括冷板式液冷、浸没式液冷、喷淋式液冷

- **液冷的优势：**同传统制冷方式相比，液冷具有高效能、高可靠、超静音、节省空间等优势，根据《数据中心液冷技术研究（柯媛华等著，2023年）》披露数据，CPU芯片热设计功耗（TDP）超过200W时，建议采用液冷散热。
 - **高效能：**末端或冷却液更靠近发热源，能直接把热量进行转移，实现精准制冷，减少沿程冷损耗；
 - **高可靠：**特别是直接液冷技术，将发热设备完全浸没在不导电冷却液中，使发热设备完全脱离空气，避免了风机震动及空气灰尘影响；
 - **超静音：**对于直接液冷服务器，需拆除风扇组件，使系统运行时，无气流及风扇震动噪声；间接式液冷通过冷板解决主要器件发热问题，其他热量通过风扇组件进行气流循环换热，该情境下风扇转速低，降低了气流流速及震动噪声；
 - **节省空间：**针对AI场景，采用液冷技术可以在同等空间里部署更高算力；同时，无压缩机配置，无需专用动力机房配置，降低空调系统占地面积；
- **液冷的分类：**根据冷却液是否与发热器件接触，将液冷划分为直接式液冷技术和间接式液冷技术，其中直接式液冷技术包括浸没式液冷和喷淋式液冷，间接式液冷技术以冷板式液冷为主。

图42：冷板式液冷

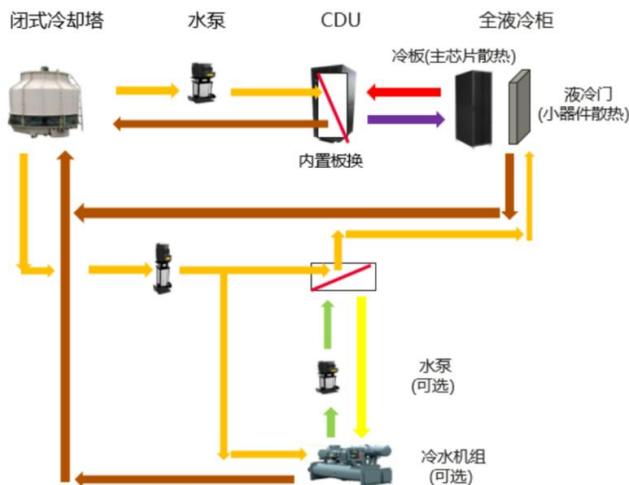


图43：浸没式液冷

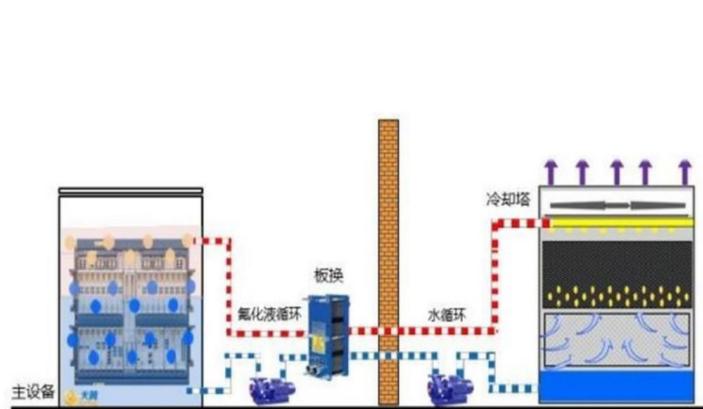
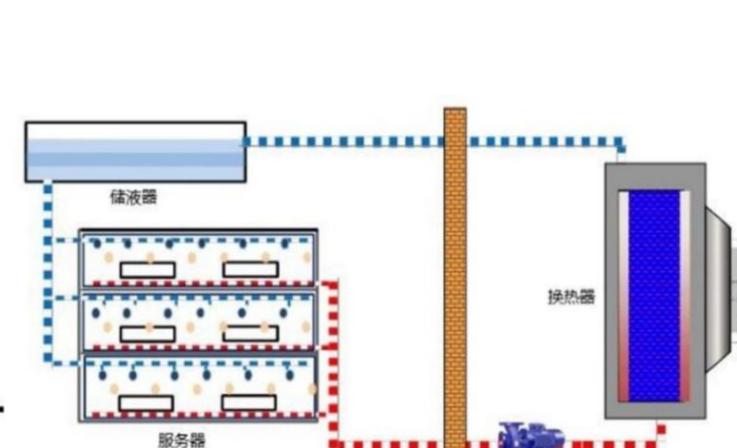


图44：喷淋式液冷



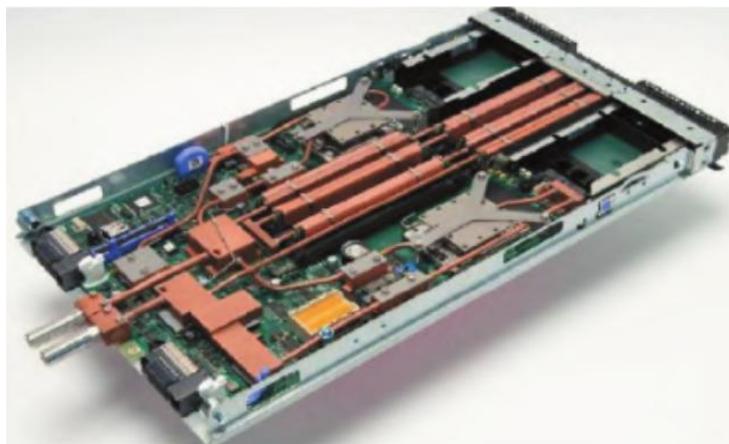
资料来源：《中国数据中心产业低碳发展实践研究（2023年，华信咨询）》，国信证券经济研究所整理

资料来源：《中国数据中心产业低碳发展实践研究（2023年，华信咨询）》，国信证券经济研究所整理

资料来源：《中国数据中心产业低碳发展实践研究（2023年，华信咨询）》，国信证券经济研究所整理

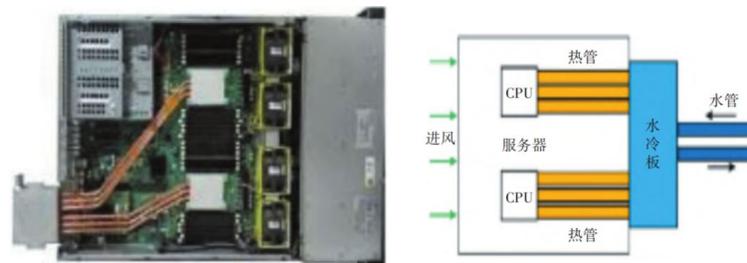
- **冷板式液冷**：1) 类别：属于间接式液冷，通过换热冷板将发热器件的热量传递给封闭在循环管路中的冷却液体，完成换热；2) 作用器件：主要解决了高功率密度发热器散热问题，对于低功率密度发热器（例如服务器内存、PSU等）仍采用风冷散热；3) 分类：按热传递过程不同，可以分为温水式冷板和热管式冷板；目前常用冷板式服务器有1U单节点服务器、2U 4节点服务器等。
 - 温水式冷板：存在多个发热器件连路管路，连通管路可采用硬接（紫铜或无氧铜进行焊接，安装难度较大）和软接（波纹管、橡胶管，安装要求低），通常供回液温度采用40°C/45°C，则在大部分区域内可实现全年自然冷，进一步降低数据中心功耗；
 - 热管式冷板：通过热管实现发热器件和水环路之间的热传导；相比于温水式冷板，其水环路不进服务器，避免了渗水导致的PCB短路风险。

图45：温水式冷板液冷



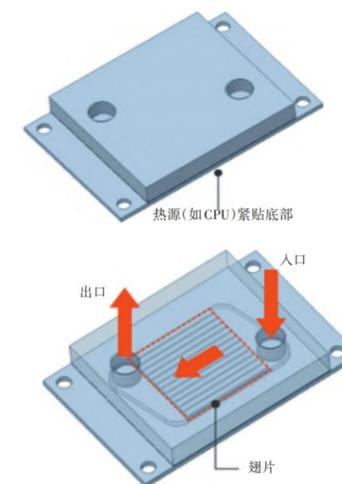
资料来源：柯媛华-《数据中心液冷技术研究》-邮电设计技术（2023）-P37，国信证券经济研究所整理

图46：热管式冷板液冷



资料来源：柯媛华-《数据中心液冷技术研究》-邮电设计技术（2023）-P38，国信证券经济研究所整理

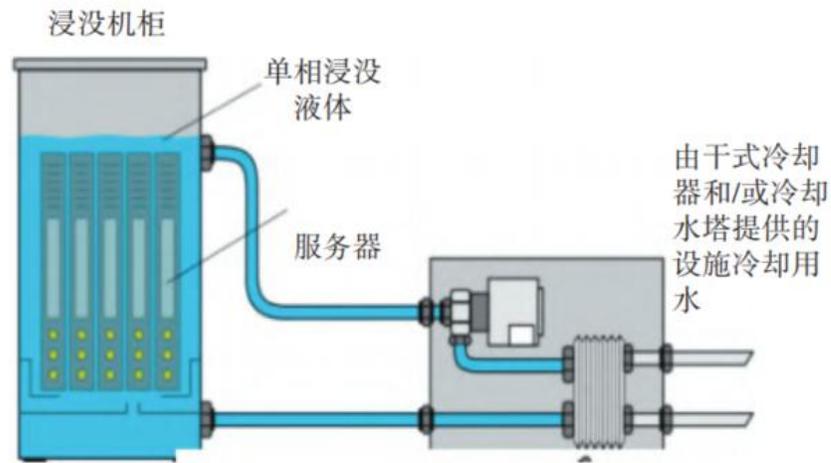
图47：冷板结构



资料来源：柯媛华-《数据中心液冷技术研究》-邮电设计技术（2023）-P38，国信证券经济研究所整理

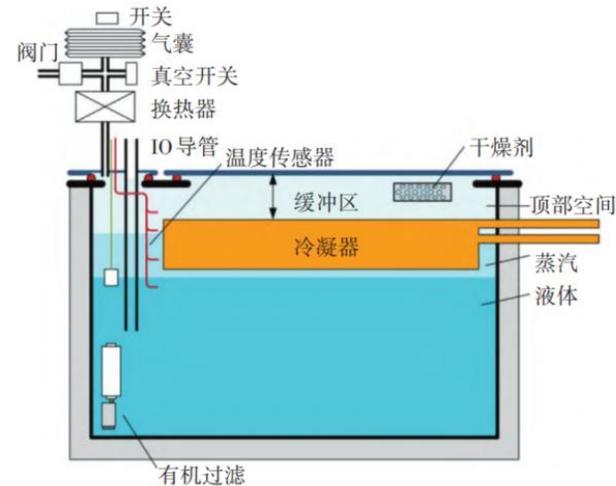
- **浸没式液冷：**1) 类别：属于直接式液冷，通过发热期间浸没在冷却液中进行热量交换；2) 作用器件：所有高功率密度发热器件和低功率密度发热器件完全浸没在冷却液中，服务器本身结构设计及特殊器件（例如光模块、机械硬盘等）均需要特殊处理；3) 分类：根据所使用冷却液在冷却电子器件的过程中是否发生状态变化，可分为单相浸没式液冷和相变浸没式液冷。
 - 单相浸没式液冷：通过循环冷却液消除设备产生的热量，热量从设备传递到液体中，使用循环泵将带有热量的冷却液送到热交换器进行换热，达到持续为设备降温的目的；单相浸没式液冷冷却液挥发控制相对简单，在密封性良好的情况下，冷却液损失较小，无需频繁补充。
 - 相变浸没式液冷：将设备浸入到易挥发冷却液（沸点低）中，在环境热量达到一定条件时，会利用潜热吸收热量并发生沸腾相变，从而为设备降温，冷却液再被冷凝管冷凝为液态，回到液冷槽内循环换热；相变浸没式液冷可以满足更高的服务器功率，去除风扇噪音，并减少制冷设备的占地面积，但对冷却液蒸发损失的控制相对复杂，且易受到污染，施工难度和成本有所增加。

图48：单相浸没式液冷



资料来源：柯媛华-《数据中心液冷技术研究》-邮电设计技术（2023）-P38，国信证券经济研究所整理

图49：相变浸没式液冷

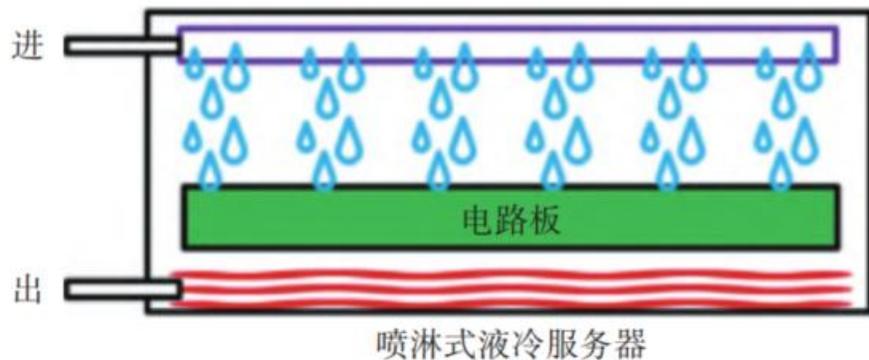


资料来源：柯媛华-《数据中心液冷技术研究》-邮电设计技术（2023）-P38，国信证券经济研究所整理

液冷：喷淋式液冷

- **喷淋式液冷**：1) 类别：属于直接式液冷，采用喷淋式结构设计，喷射的冷却液同发热器件接触进行热量交换；2) 作用：喷淋液体可以完全覆盖服务器发热器件，同时根据不同发热器件的功率密度，对喷淋板的液孔进行精准化开孔，满足不同功率发热器件的散热需求。3) 冷却液：通常选择硅油、矿物油或植物油等；4) 优势：不需要改变服务器部署形态（每台服务器独立化液冷设计）以及成本较低（冷却液价格低）。

图50：喷淋式液冷原理



资料来源：柯媛华-《数据中心液冷技术研究》-邮电设计技术（2023）-P39，国信证券经济研究所整理

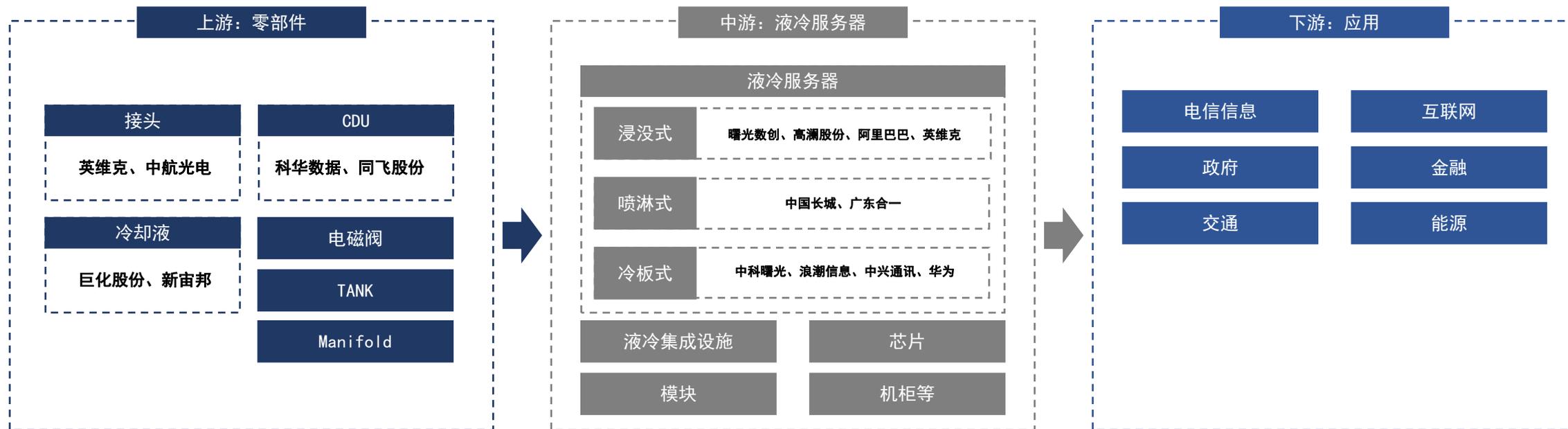
图51：喷淋式液冷服务器



资料来源：柯媛华-《数据中心液冷技术研究》-邮电设计技术（2023）-P39，国信证券经济研究所整理

- 液冷产业链：主要包括上游（零部件）、中游（液冷服务器相关）、下游（应用）。
 - 上游（零部件）：包括液冷服务器接头（英维克、中航光电）、CDU（科华数据、同飞股份）、冷却液（巨化股份、新宙邦）、电磁阀、TANK、Manifold等；
 - 中游（液冷服务器相关）：包括液冷服务器制造商、液冷集成设施、芯片、模块和机柜等，其中曙光数创、高澜股份、阿里巴巴、英维克以浸没式液冷服务器为主；中国长城、广东合一以喷淋式液冷服务器为主；中科曙光、浪潮信息、中兴通讯、华为以冷板式液冷服务器为主；
 - 下游（行业应用）：液冷主要应用与电信信息（例如基站、路由、服务器）、互联网（服务器等）、政府、金融、交通、能源等领域。

图52：液冷产业链



资料来源：中商产业研究院，国信证券经济研究所整理

液冷：以冷板式液冷为主，其他液冷方案快速发展

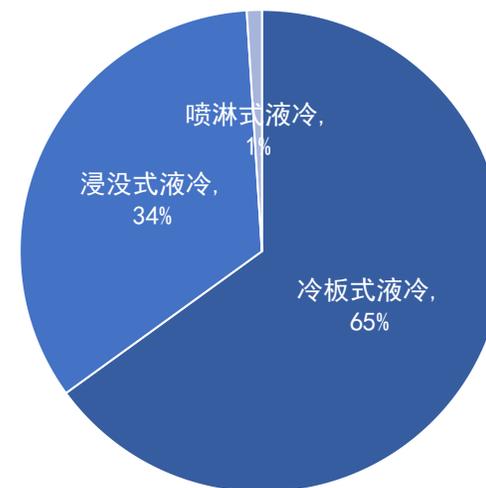
- 冷板式液冷方案起步较早，相对成熟。相比于其他液冷方案，冷板式液冷方案在我国起步较早，在可靠性、可维护性、技术成熟度等方面具备优势，且对服务器与动力系统改造较小，IT设备维护较为简单；浸没式液冷方案散热能力强，噪音小，但定制化程度较高（例如IT设备需要定制），且其他部件（例如光模块）的兼容性仍在验证；喷淋式液冷方案噪音低，且节省冷却液，但目前生态建设仍不完善，供应商较少。
- 目前国内以冷板式液冷为主。根据赛迪顾问披露数据，22年冷板式液冷占比达65%，其次为浸没式液冷（占比为34%），喷淋式液冷占比较低，仅1%。

表10：三种液冷方式比较

分类	冷板式液冷	浸没式液冷		喷淋式液冷
		相变浸没式	单相浸没式	
原理	<ul style="list-style-type: none"> 冷板贴近服务器芯片等高发热元件，利用冷板中冷却液带走热量； 同时增设风冷单元带走低发热元件散热； 	<ul style="list-style-type: none"> 服务器完全浸没在冷却液中，冷却液产生蒸发冷凝相变，并带走热量； 	<ul style="list-style-type: none"> 服务器完全浸没在冷却液中，冷却液循环流动并带走热量； 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却液从服务器机箱顶部喷淋下来，通过对流换热为器件降温；
技术特点	<ul style="list-style-type: none"> 服务器与动力系统改造较小，IT设备维护较为简单； 管路接头、密封件较多，漏液维护复杂； 	<ul style="list-style-type: none"> 散热能力强、功率密度高，IT设备无风扇，静音； 服务器改为刀片式，专用机柜，管理要求高，控制复杂； 	<ul style="list-style-type: none"> 散热能力强、功率密度高，IT设备无风扇，静音； 机械式吊臂拆装，液体清理和拆卸难、运维经验少； 	<ul style="list-style-type: none"> IT设备静音，节省液体； 需保证冷却液按需分配，运维复杂，排液、补液，维护时破坏服务器原有密封结构；
生态	<ul style="list-style-type: none"> IT设备、冷却液、管路、供配电等不统一，服务器多与机柜深耦合，支持厂家较多； 	<ul style="list-style-type: none"> IT设备需定制化，普通光模块等兼容性待验证； 	<ul style="list-style-type: none"> IT设备需定制化，普通光模块等兼容性待验证； 国产冷媒待验证； 	<ul style="list-style-type: none"> 目前厂商较少
主流厂商	华为、浪潮、曙光、新华三、英维克等	曙光、诺亚等	阿里、绿色云图、云酷等	广东合一

资料来源：《电信运营商液冷技术白皮书（2023年）》，国信证券经济研究所整理

图54：22年中国液冷技术市场占比

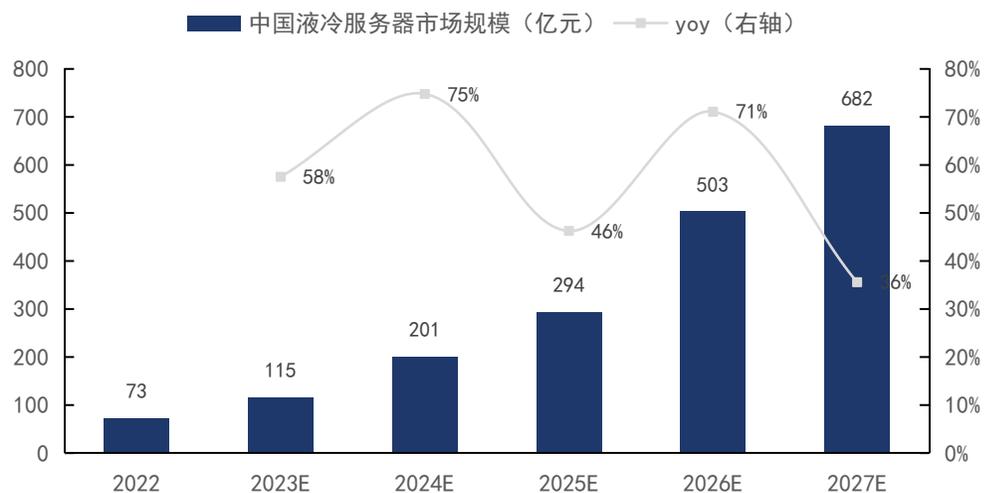


资料来源：赛迪顾问，中商产业研究院，国信证券经济研究所整理

液冷：市场规模快速增长，浪潮、超聚变市占率较高

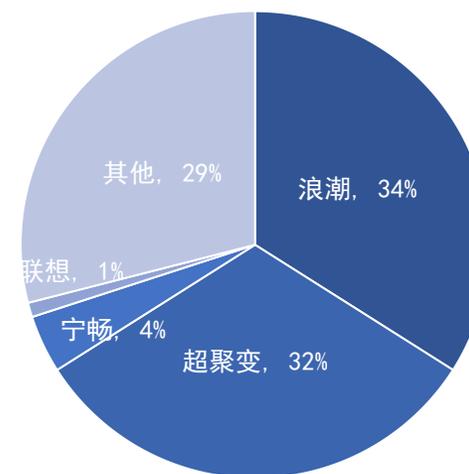
- **液冷服务器市场规模快速增长。**根据中商产业研究院披露数据，预计24年中国液冷服务器市场规模将达到201亿人民币，预计27年将增长至682亿人民币，对应24-27年CAGR为50.3%，市场规模快速增长。
- **浪潮、超聚变占据主要中国液冷服务器份额。**根据中商产业研究院披露数据，22年浪潮、超聚变市占率分别为34%、32%，合计为66%，占据中国液冷服务器市场主要份额。

图55：预计24年中国液冷服务器市场规模达201亿人民币，市场规模快速增长



资料来源：中商产业研究院，国信证券经济研究所整理

图56：浪潮、超聚变占据主要中国液冷服务器份额（22年）

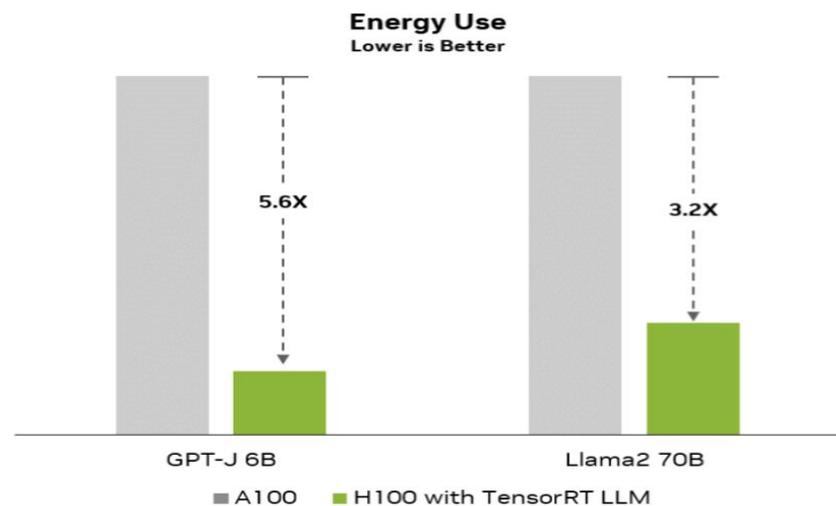


资料来源：中商产业研究院，国信证券经济研究所整理

- [**01**] 能源侧：智算中心电力消耗测算
- [**02**] 供电侧：多种配电方案并存
- [**03**] 冷却侧：液冷将替代传统风冷方案
- [**04**] 案例研究：新型绿色智算中心分析
- [**05**] 投资建议及风险提示

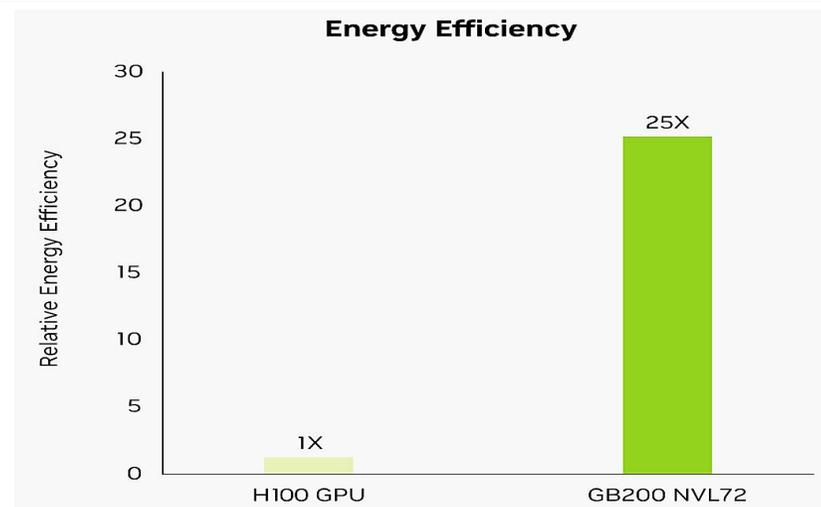
- 英伟达GPU快速迭代，能源使用效率持续提升。1) H100：22年3月，英伟达发布H100芯片，单卡算力TF32 989TFLOPS、FP16 3,958TFLOPS，功率700W，相比于上一代A100芯片，在运行60亿GPT-J模型、700亿Llama 2模型时，能耗分别下降5.6倍、3.2倍；2) GB200：24年3月，英伟达发布GB200 NVL72方案，同H100相比，同样完成训练1.8万亿参数模型，能源使用效率提升25倍。

图57：H100相较于A100能耗大幅下降



资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

图58：GB200相较于H100，能效提升25倍

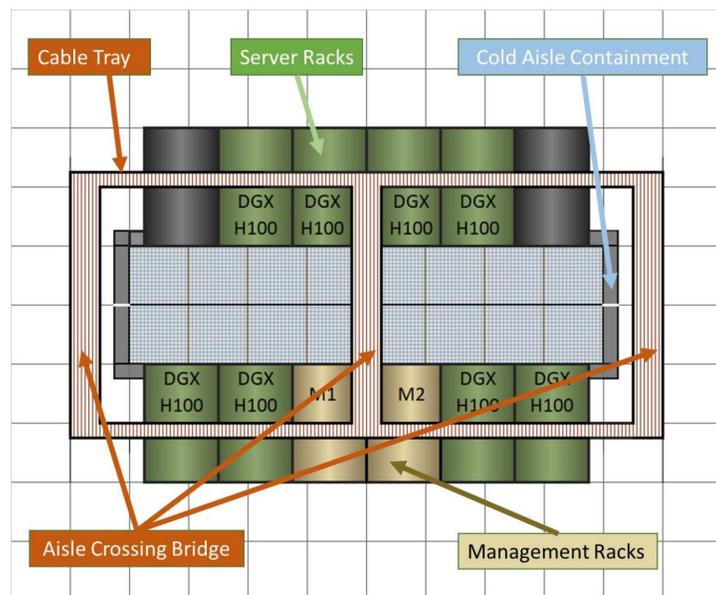


资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-英伟达：逐步引入液冷方案

- 英伟达智算中心将逐步引入液冷方案。传统的英伟达SuperPOD智算中心采用风冷技术，内部包括服务器机柜、管理机柜、存储、InfiniBand Leaf/Spine、跨道桥架（Aisle Crossing Bridge）、电缆桥架（Cable Tray）、冷通道（Cold Aisle Containment）等，24年3月英伟达CEO黄仁勋在2024SIEPR经济峰会上透露，下一代DGX AI系统将采用液冷散热。

图59：英伟达智算中心设计



资料来源：《NVIDIA DGX SuperPOD Data Center Design》，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-AMD：芯片制程持续迭代，降低功耗

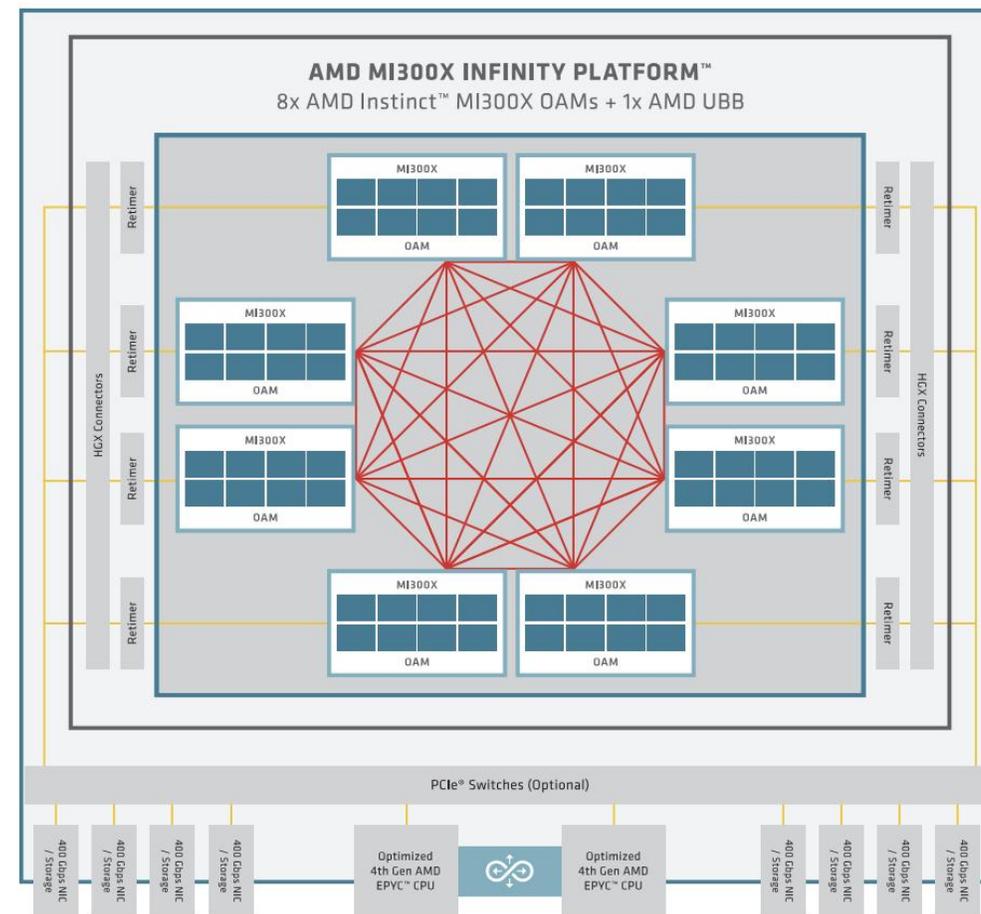
- **AMD算力卡制程持续迭代，降低功耗。**21年AMD发布MI250和MI250X算力卡，采用6nm FinFET工艺；23年发布MI300A和MI300X算力卡，采用5nm|6nm FinFET工艺，24年6月，AMD宣布将在25年发布MI350系列，采用3nm工艺制程，芯片制程持续提升，晶体管间距离缩小，芯片能效比提升。
- **AMD互联方式：**1) GPU互联：8颗通过AMD Infinity Fabric 双向连接技术互联；2) GPU同CPU连接：每个MI300X芯片通过第五代Pcie与CPU进行连接，采用OCP制定的UBB通用方案，同网络设备广泛设配；3) CPU互联：2颗CPU通过AMD Infinity Fabric 双向连接技术互联。

表11：AMD算力芯片制程持续迭代

产品	MI250	MI250X	MI300A	MI300X	MI325X	MI350系列	MI400系列
发布时间	2021年11月	2021年11月	2023年12月	2023年12月	2024年6月	2025年	2026年
制程	6nm FinFET	6nm FinFET	5nm 6nm FinFET	5nm 6nm FinFET	\	3nm	\

资料来源：AMD，国信证券经济研究所整理

图60：AMD MI300X Infinity平台架构（8 GPU型）



资料来源：AMD，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-AMD：服务器开始引入液冷



- AMD服务器开始引入液冷。根据AMD披露的服务器合作方及其产品情况，其同HPE Cray和超微电脑合作的服务器SC XD675和AS-4125CS-TNMR2开始引入液冷方案，分别为8U、4U机架数，配置EPYC9004 CPU及8颗MI300X GPU芯片，I/O采用PCIe Gen5 OAM。

表12：AMD服务器开始引入液冷

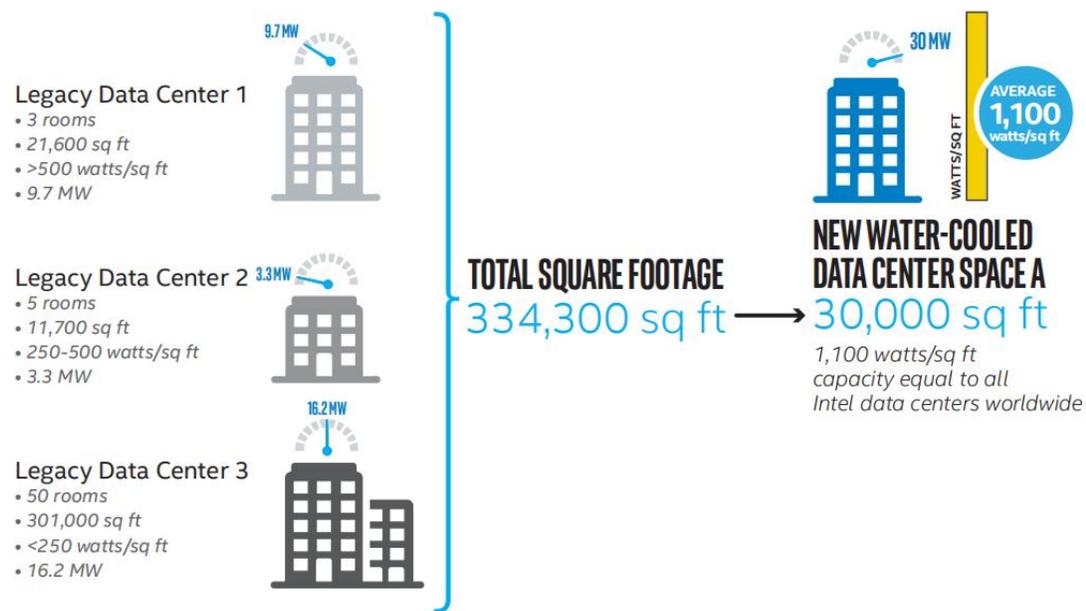
合作方	产品	机架数	冷却方式	CPU系列	最大GPU数	AMD Instinct Model	I/O
AMAX	AceleMax A-528X Server	5U	风冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
	AceleMax A-828X Server	8U	风冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
Colfax	CX8850s-E19	8U	风冷	4th Gen Xeon	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
Dell	PowerEdge XE9680 Rack Server	6U	风冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
Exxact	TensorEX TS4-185328443	8U	风冷	4th Gen Xeon	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
GIGABYTE	G593-SX1 Server	5U	风冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
	G593-ZX1 Server	5U	风冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
HPE Cray	SC XD675	8U	风冷/液冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
KOI	XC22-5UDPZX1/ZX2	5U	风冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
Lenovo	ThinkSystem SR685a V3	8U	风冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
Supermicro	AS-8125CS-TNMR2	8U	风冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM
	AS-4125CS-TNMR2	4U	液冷	EPYC 9004	8 (UBB)	MI300X	PCIe Gen 5 OAM

资料来源：AMD，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-Intel：高算力密度、低PUE方案

- Intel高算力密度、低PUE智算中心方案。Intel的智算中心可以实现高功率密度（单机柜达43 kW）、低PUE值（PUE达1.06），主要通过以下方式：
 - a) 定制机架设计：更好地优化空间和机柜功率密度，其可以在相同的占地面积下额外提供70%以上的空间；
 - b) 先进的配电系统：使用800A、415/240 VAC配电，实现单机架单路25-43kW功率密度；使用定制高效变压器，损失仅有1%；
 - c) 出色的冷却方案：采用紧耦合蒸发冷却方案和自然风冷方案，降低PUE值。

图61：Intel 智算中心可实现高算力密度、低PUE值

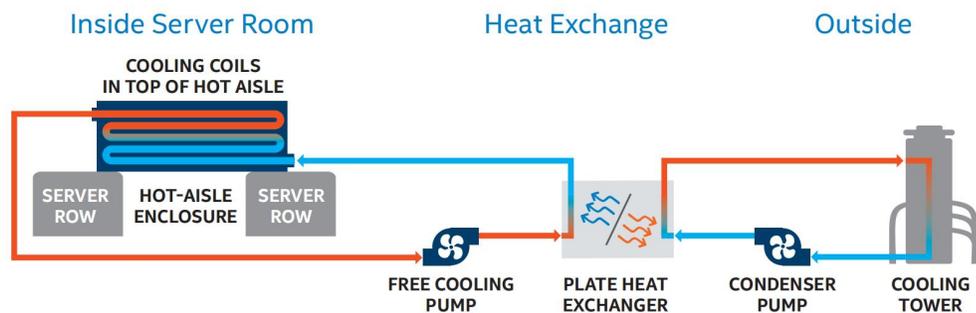


资料来源：Intel，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-Intel：紧耦合（Close-Coupled）冷却

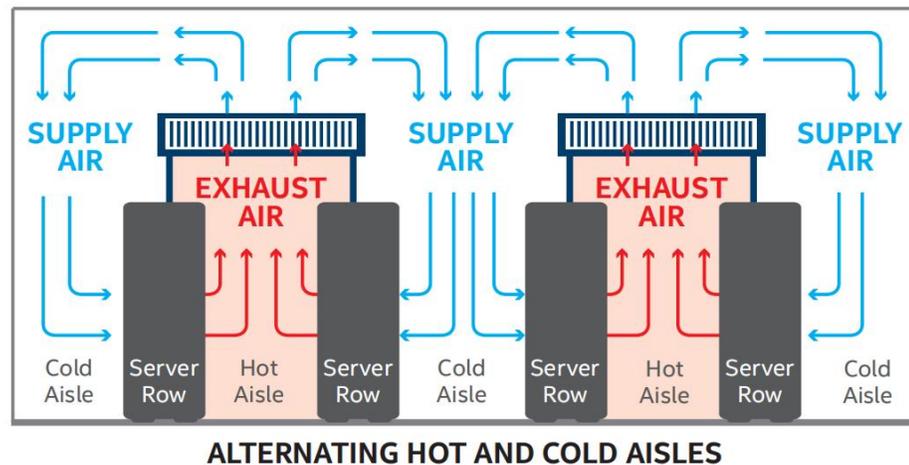
- 紧耦合（Close-Coupled）冷却设计：1) 数据中心内部：水冷通道置于室内天花板上，对服务器产生的热空气进行冷却；2) 数据中心外部：使用CUD实现机房排除的热流和冷却塔排出的冷流进行热量交换，达到冷却循环的目的。
- 设计优势：1) 更广泛的热工作条件：在该设计下，服务器可以在0°C-40°C的室温环境下工作；2) 减少能量损失：热气从服务器排除到水冷管道冷却，距离平均为20英尺，减少热量损失。

图62：紧耦合（Close-Coupled）冷却设计



资料来源：Intel，国信证券经济研究所整理

图63：水冷通道放置于天花板

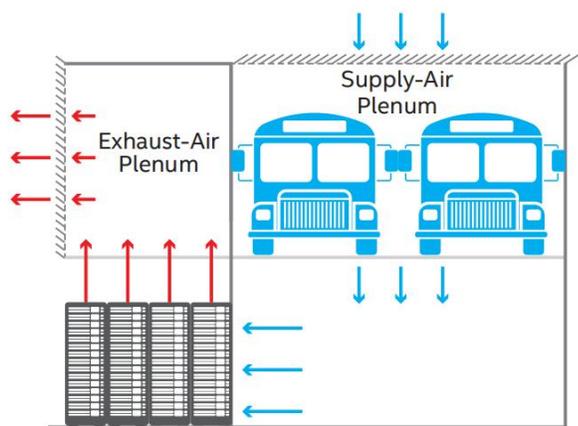


资料来源：Intel，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-Intel：自然冷却

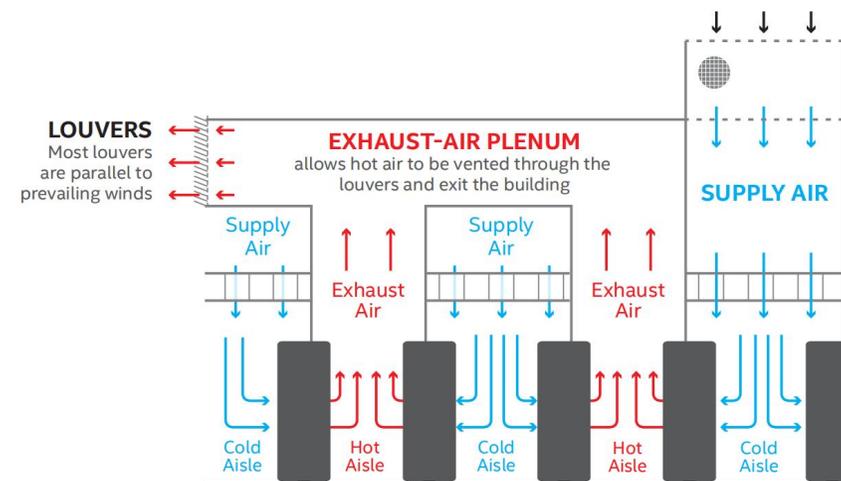
- Intel自然冷却设计方案：1) 数据中心外：使用超大的房顶送风室，每分钟可以提供572,000立方英尺冷空气，提升散热效率；2) 数据中心内：使用半透明的隔离材料保证冷、热通道之间有效的空气隔离，供风通过冷管道进入服务器，服务器排出的热空气进入排气增压室，通过百叶窗排出。
- 设计优势：在一年中大多数时间内仅需自然风冷却即可（室温不超过32°C的情况下），在高温情况下补充水冷即可实现冷却。

图64：屋顶送风室足够大，可以容纳两辆并行的校车



资料来源：Intel，国信证券经济研究所整理

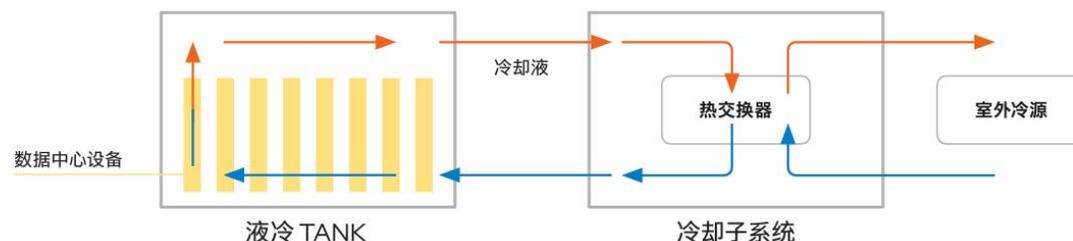
图65：冷通道和热通道提供了有效的空气隔离



资料来源：Intel，国信证券经济研究所整理

- 阿里云浸没式液冷：阿里云在多个智算中心采用单相浸没式液冷方案，实现了：1) PUE值可达1.09，对比风冷方案年均1.5，下降了34.6%；2) 机柜功率密度显著提升，单机功率可达100千瓦以上；3) 与风冷方案相比，浸没式液冷的资源利用率提升50%以上，设备故障率下降50%。
 - 材料兼容性：芯片浸没在冷却液中可能发生物理特性变化，甚至与液体发生化学反应；其对材料的兼容性进行充分的分析和验证；
 - 芯片电气特性：浸没式液冷方案中电信号传输介质从空气变成液体，可能出现波形失真、时序错误等问题，应对接口电路进行仿真分析和测试验证，并同合作伙伴改进了高速信号连接方案；
 - 服务器结构设计：对服务器内部的液体流场和温度分布、液体的自然对流和强制对流等效应进行深入分析，对服务器结构进行优化设计。

图66：Intel 智算中心可实现高算力密度、低PUE值



部署在数据中心的液冷 TANK



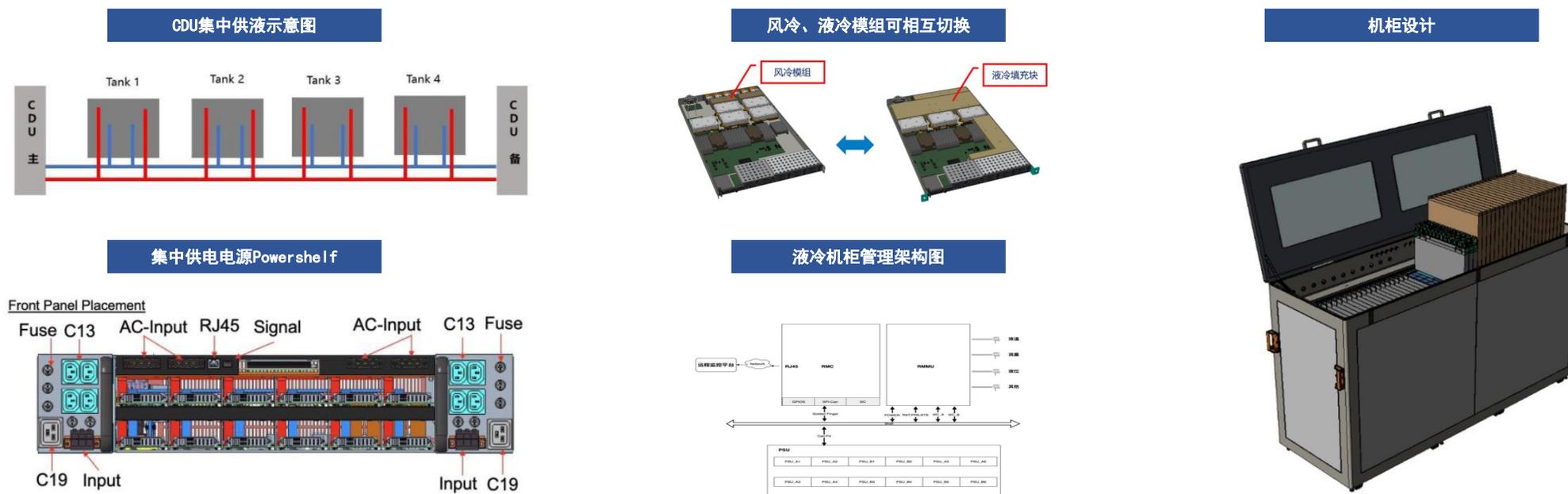
部署在液冷 TANK 中的服务器

资料来源：阿里云，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-百度云：浸没式液冷方案

- 百度云浸没式液冷：以天蝎5.0浸没式液冷为例，其技术规范涵盖了数据中心侧、服务器侧及网络侧三大模块，包含浸没式液冷服务器的环境条件、冷却循环子系统、机柜子系统、节点子系统、供电子系统、管理子系统及运维子系统等。
 - 冷却液：采用单项氟化物，对人体无害、对环境友好、热力学及化学性能稳定；
 - 冷却循环子系统：单柜总散热量 $\geq 36\text{kW}$ ，冷却液循环热量 $\leq 200\text{LPM}$ ；
 - 管路设计：CDU采用集中供液方案，满足集中换热，且可单独运维；供、回液管路与机柜之间采用法兰连接，管路上设置手动阀门，可以拆卸维护；
 - 供电子系统：采用集中供电，兼容分布式PDU供电；
 - 节点子系统：浸没式液冷节点和风冷节点设计兼容，可互相切换；
 - 管理子系统：硬件架构简单高效，Tank内设置传感器，实现远程报警和监控；
 - 机柜设计：Tank为52U机柜，横放部署；IT设备和Power shelf供电均采用Clip插拔结构，Tank内部布局可根据需求进行灵活调整。

图67：百度云天蝎5.0浸没式液冷设计



资料来源：百度云，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-百度云：浸没式液冷方案



- 同传统方案相比，百度云浸没式液冷方案具备优势。在相同的条件设置下，对百度云天蝎5.0浸没式液冷和传统液冷方案进行对比测试，浸没式液冷在以下几个领域存在优势：
 - 1) 在功耗有30W+优势，利于节能减排；
 - 2) CPU温度下降7°C，能让CPU在更低温度下运行，服务器稳定性增强；
 - 3) 低温有助于CPU实际性能的提升，CPU SPECint性能提升8.7%。

表13：百度云浸没式液冷和风冷效果对比

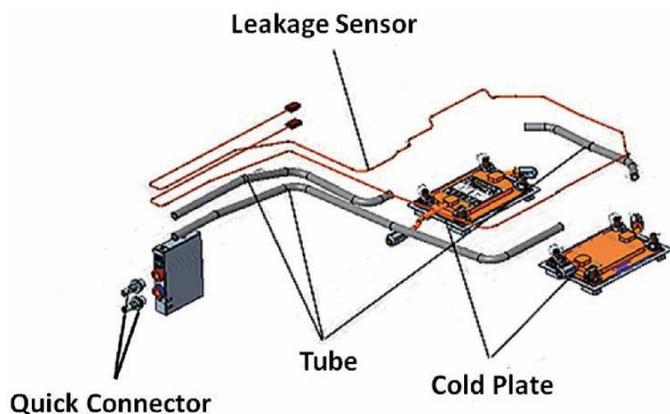
关键项	风冷服务器	浸没液冷服务器
进风口温度/入液温度	30°C	35°C
CPU 温度	79°C/78°C	71°C/71°C
CPU 性能 (SPEC-rate) Gflops	1541.76	1657.48
整机功耗	Base	-30W+

资料来源：百度云，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-京东云：冷板液冷方案

- 京东云冷板液冷方案：其涵盖了CDU、机架、服务器等不同层级的产品与技术，在CDU、工作液、歧管、服务器等方面进行了针对性设计。
- 冷却效果大幅提升：在相同服务器节点配置下，在25°C和35°C环境温度下，相比于空气冷却，冷板液冷风扇功率显著降低了18%和44%，服务器节点出口温度降低11-16°C，噪音降低1.0到7.0 dBA。
- 京东云PUE值大幅下降。京东云智算中心PUE从1.3下降至1.1，每个14kW机柜可节电31031度，碳减排24.4吨；在服务器系统方面，每个服务器节点可以节省大约4%的电量。

图68：京东云液冷方案组成



资料来源：京东云，国信证券经济研究所整理

表14：京东云空气冷却和冷板冷却效果对比

实验室测试项目	液冷对比风冷 (25°C 环境温度)	液冷对比风冷 (35°C 环境温度)
CPU 机箱温度	降低 27°C	降低 27°C
风扇负载	降低 5%	降低 15%
风扇功率 (节点级)	降低 18%	降低 44%
服务器节点出口温度	降低 11°C	降低 16°C
噪音	降低 1.0dBA	降低 7.0dBA
备注		
1. 具有相同服务器节点配置的空气冷却是比较的基准。		
2. "-" 表示低于基线。		
3. 用于风冷的 CPU 散热器高度为 64mm，而冷板液冷则为 17mm。		

资料来源：京东云，国信证券经济研究所整理

表15：京东云空气冷却和冷板节能减排效果对比

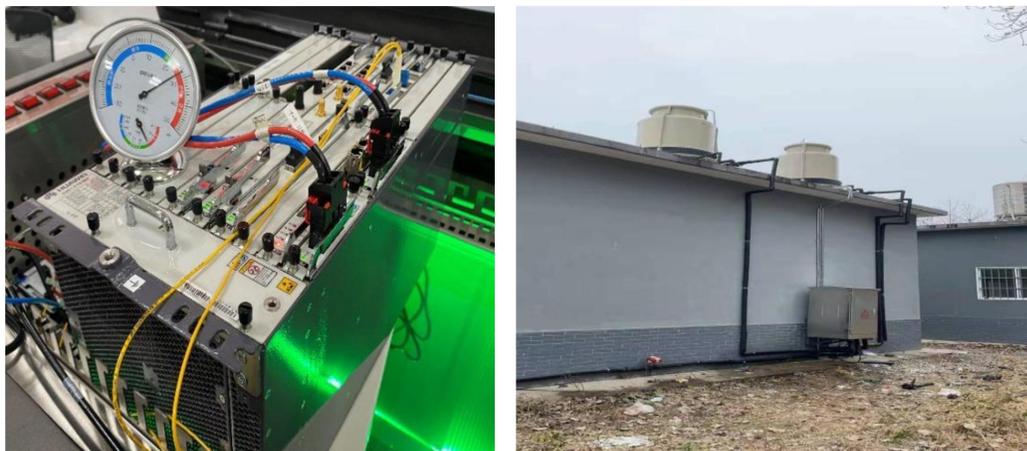
热型	空气冷却	液体冷却
机架电源	高达 14kW	
服务器节点省电	1	0.96
PUE 值	1.3	1.1
总功率比 (包括直流)	1	0.813
总电力成本	1	0.813
成本节约成本单位 - 元	21722	
节电 (千瓦时/年)	31031	
碳排放量 (公斤)	24360	
碳减排量 (吨)	24.4	

资料来源：京东云，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-运营商：已经开启数据中心液冷试点工作

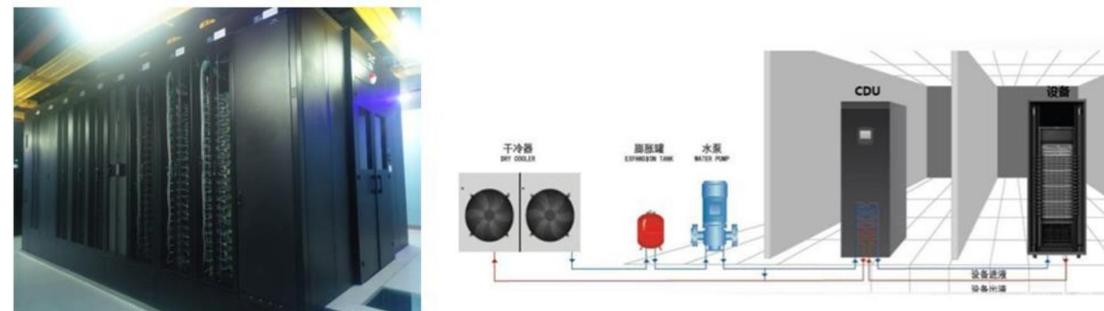
- **中国移动**：主要应用冷板式液冷与浸没式液冷，在数据中心和5G基站等场所开展液冷系统试点工作；在先行试点阶段，17年在呼和浩特组织热管水冷、两级热管和水冷冷板等三种冷板式液冷测试，19-21年在浙江组织机房浸没式液冷试点；在规模试点阶段，23年在呼和浩特数据中心国家发改委绿色节能示范项目以及智算中心项目中启动液冷规模试点。
- **中国电信**：主要应用冷板式液冷与浸没式液冷，在5G BBU站点和数据中心展开液冷试点工作，18年在广州安装冷板式液冷微模块和风冷模块，冷板式液冷节能效果明显；23年计划在京津冀数据中心实施30个液冷服务器机柜，在安徽建设3列（每列7台）36kW冷板液冷机柜，并预留8台40kW浸没式液冷机柜，同时在广州开展1个冷板式液冷服务器项目。
- **中国联通**：主要针对冷板式液冷，在德清云数据基地采用冷板式液冷，安装机柜32架，已于21年投产，已稳定运行3年，制冷效果良好。

图69：中国移动浙江浸没式液冷试点



资料来源：《电信运营商液冷技术白皮书（2023年）》，国信证券经济研究所整理

图70：中国电信广州数据中心冷板式液冷试点



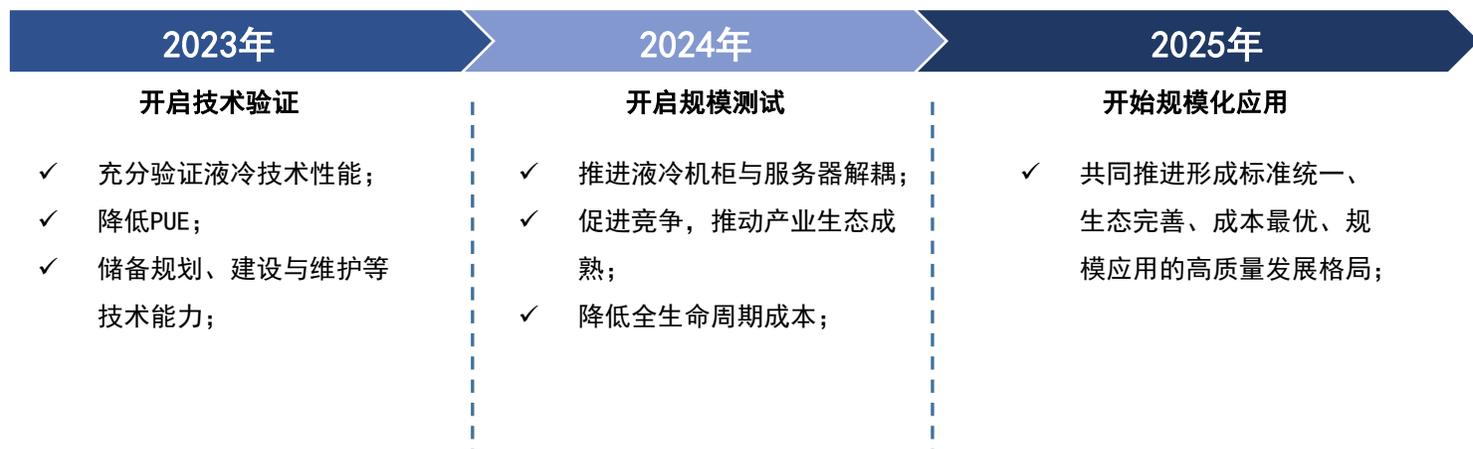
资料来源：《电信运营商液冷技术白皮书（2023年）》，国信证券经济研究所整理

绿色智算中心设计-运营商：发布三年愿景，推进液冷发展



- 运营商提出液冷技术发展三年愿景：23年6月，中国移动、中国电信、中国联通在算力创新发展高峰论坛上发布《电信运营商液冷技术白皮书》，提出了电信运营商液冷技术发展三年愿景和具体技术路线。
 - **三年愿景：**1) 23年开启技术验证，充分验证液冷技术性能，降低PUE，储备规划、建设与维护等技术能力；2) 24年开启规模测试，推进液冷机柜与服务器解耦，促进竞争，推动产业生态成熟，降低全生命周期成本；3) 23年开始规模化应用，共同推进形成标准统一、生态完善、成本最优、规模应用的高质量发展格局。
 - **技术路线：**主要推进冷板式液冷和浸没式液冷两种技术路演，未来一段时间内两种液冷方式并存发展；
 - **目标：**1) 构建开放生态，推挤液冷机柜与服务器解耦，引领形成统一标准，既要降低PUE，又要获取最低TCO（全生命周期成本）；发挥规模优势，大力拓展应用；2) 冷板式液冷：推进形成拥有原创技术、接口标准统一、产业生态完善、应用规模最大的发展态势；3) 浸没式液冷：推进形成标准统一化、产品国产化、实施工程化、推广规模化的高质量发展格局。

图71：运营商三年愿景



资料来源：《电信运营商液冷技术白皮书（2023年）》，国信证券经济研究所整理

- [**01**] 能源侧：智算中心电力消耗测算
- [**02**] 供电侧：多种配电方案并存
- [**03**] 冷却侧：液冷将替代传统风冷方案
- [**04**] 案例研究：新型绿色智算中心分析
- [**05**] 投资建议及风险提示

- 随着中国智能人工智能算力的快速发展，将拉动全社会用电量的增长；根据我们测算，FP16精度下智算中心单PetaFLOPS算力对应1年耗电量为6,084Kwh（以英伟达DGX H100服务器为例），若替换成国产算力芯片，单PetaFLOPS耗电量仍将提升（受制于芯片制程）；同时，智能算力（单一服务器加装8张GPU算力卡）带来高功率需求，对配电侧提出更高要求，建议关注虚拟电厂和配网侧方向，重点关注朗新集团、国网信通。

第一，宏观经济波动。若宏观经济波动，产业变革及新技术的落地节奏或将受到影响，宏观经济波动还可能对 IT 投资产生负面影响，从而导致整体行业增长不及预期。

第二，互联网及运营商资本开支不及预期。若下游智算中心建设需求不及预期，相关的数字化投入增长或慢于预期，致使行业增长不及预期。

第三，美国继续收缩对华算力芯片出口政策。若美国进一步收缩对华算力芯片出口政策，高端AI算力卡无法进口，将放缓智算中心建设进度。

第四，国产算力卡研发进展不及预期。在美国限制对华出口高端算力卡的背景下，若国产算力卡研发进度不及预期，不能满足客户对智算中心的需求，国内智算中心建设进度将放缓。

国信证券投资评级

投资评级标准	类别	级别	说明
报告中投资建议所涉及的评级（如有）分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的6到12个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A股市场以沪深300指数（000300.SH）作为基准；新三板市场以三板成指（899001.GSI）为基准；香港市场以恒生指数（HSI.HI）作为基准；美国市场以标普500指数（SPX.GI）或纳斯达克指数（IXIC.GI）为基准。	股票投资评级	优于大市	股价表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	股价表现介于市场代表性指数±10%之间
		弱于大市	股价表现弱于市场代表性指数10%以上
		无评级	股价与市场代表性指数相比无明确观点
	行业投资评级	优于大市	行业指数表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	行业指数表现介于市场代表性指数±10%之间
		弱于大市	行业指数表现弱于市场代表性指数10%以上

分析师承诺

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。



国信证券

GUOSEN SECURITIES

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路125号国信金融大厦36层

邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路1199弄证大五道口广场1号楼12楼

邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街6号国信证券9层

邮编：100032