

绿色节能液冷数据中心 白皮书

Management White Paper
of Energy-saving Liquid Data Center
(2023)

国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟 (NIISA)
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
联合发布

编审委员会

指导编委会

李国杰、历军、何继盛、姚勇、李斌、王卫钢、姜海旺、马庆怀、李程

主编单位

国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟（NIISA）

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

总编委

杨志国、李一昂、纪钟、常乾坤

编委会（排名不分先后）

曙光数据基础设施创新技术（北京）股份有限公司：刘凯艳、徐欣、白泽阳、崔新涛、井光磊、王国龙、苏振彤、刘佳伟、苗绪虎、彭晶楠、高立伟、李西会、郭领波、张明、刘浩鹏、李兰兰

曙光信息产业股份有限公司：崔雨萍、杨博、舒彬、焦向昆、赵瑞强、李昊、赵嘉诚、樊华、牛旭

国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟（NIISA）：杜倩、荣静

责任编辑：田晓刚

美术编辑：滕华青

评审专家委员会

尼米智、苗晓军、李茂谦、乐嘉伟、常冬冬、马德辉、吕晓强、彭晓、于锋、陈钟、刘大成、句赫、李笠、赵亮、杨惜琳、张冰、陈晓冰、杨天翔

目录

1 绿色节能数据中心发展趋势	1
1.1 全球数据中心低碳发展概要	1
1.2 我国数字经济与“双碳”目标协同发展战略	3
1.2.1 国家宏观政策	4
1.2.2 地方层面政策	6
1.2.3 绿色低碳成为必然发展趋势	8
1.3 液冷让数据中心更绿色更低碳	9
1.3.1 液冷成为绿色数据中心制冷解决方案的最佳选择	11
1.3.2 液冷技术先进优势	14
1.3.3 液冷技术路线	15
1.3.4 液冷助力金融行业数据中心节能降碳	18
1.4 液冷行业标准化研究现状	19
2 液冷数据中心建设与运维	20
2.1 液冷数据中心设计	20
2.1.1 液冷数据中心建筑设计及工艺布局	20
2.1.2 液冷数据中心的冷却系统设计	21
2.1.3 液冷数据中心的供配电系统设计	22
2.1.4 液冷数据中心的环境和设备监控系统设计	23
2.1.5 液冷数据中心的能源再利用	24
2.2 液冷数据中心智能监控与管理	24
2.2.1 IT设备监控与管理	24
2.2.2 CDU/CDM监控与管理	24
2.2.3 机房环境监控与管理	25
2.2.4 供电系统监控与管理	25
2.3 液冷数据中心运维	26
2.3.1 液冷数据中心部件更换管理要求	27
2.3.2 液冷系统运维管理要求	27

3 液冷基础设施关键设备	30
3.1 冷板式液冷基础设施	30
3.1.1 冷板式液冷技术简介.....	30
3.1.2 冷板式液冷系统结构组成	30
3.1.3 液冷机柜	32
3.1.4 液冷换热单元 (CDU)	33
3.1.5 垂直分液单元 (VCDU)	34
3.1.6 冷却介质	35
3.2 单相浸没式液冷基础设施	37
3.2.1 单相浸没式液冷技术简介	37
3.2.2 单相浸没式液冷系统结构组成.....	38
3.2.3 浸没腔体 (Tank).....	39
3.2.4 液冷换热单元 (CDU)	39
3.2.5 冷却介质	40
3.3 相变浸没式液冷基础设施	41
3.3.1 相变浸没式液冷技术简介	41
3.3.2 相变浸没式液冷系统结构组成.....	42
3.3.3 液冷换热模块 (CDM)	42
3.3.4 水平分液集气单元 (HCDU)	44
3.3.5 垂直分液单元 (VCDU)	45
3.3.6 液冷充放液工装设备.....	45
3.3.7 冷却介质	46
4 液冷IT设备	47
4.1 冷板式液冷IT设备	47
4.1.1 冷板式液冷系统设计总体要求.....	47
4.1.2 液冷部件的设计要求.....	49
4.1.3 冷板的设计关键技术.....	51
4.1.4 各类型液冷服务器	54
4.2 浸没式液冷IT设备	63

4.2.1	单相浸没液冷技术	64
4.2.2	相变浸没液冷技术	64
4.3	液冷IT设备监管控制设计规范	68
4.3.1	IT设备监控接口标准	68
4.3.2	IT设备远程管理接口标准	70
5	案例	75
5.1	某大型国有银行液冷数据中心建设	75
5.2	西部（重庆）某先进数据中心	76
5.3	常熟某数据中心液冷集成项目	77
5.4	广东省某大学海洋工程仿真集群	78
5.5	某医院国家转化医学中心精准医疗项目	79
5.6	河北某国际信息港	80
附录	83
1	名词解释	83
2	缩略语	84

专家评审

2023年4月8日国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟（NIISA）组织召开了《绿色节能液冷数据中心白皮书》（以下简称“白皮书”）专家评审会，与会专家审阅了白皮书全部内容，听取了白皮书编制背景、思路大纲及意见修改情况汇报，经质询、讨论和审议，形成如下评审意见：

一、液冷技术符合当下节能政策要求和市场快速发展需求，该白皮书选题具有较强的实践应用价值和较高的行业指导意义。

二、白皮书主题围绕冷板式液冷、单相浸没式液冷和相变浸没式液冷等三大主流液冷方式展开，全面阐述了液冷数据中心机房建设与运维要求、液冷基础设施关键设备技术要求、液冷IT设备技术要求等内容，并提供了不同行业实际建设案例，该白皮书内容详实完整，框架结构合理，在部分技术替代和工程落地方面有所创新。

三、编写组认真吸取了白皮书编制过程中征集的专家意见，并对意见进行归纳、整理，该白皮书内容质量得到进一步提升。

专家组一致同意《绿色节能液冷数据中心白皮书》通过评审，建议编写组根据专家意见修改完善后尽快发布。

1 绿色节能数据中心发展趋势

1.1 全球数据中心低碳发展概要

数据中心是指为具备计算能力、存储能力以及信息交互能力的IT应用系统提供集中存放的场所，通过统一标准建设，可以实现系统的稳定、可靠运行。目前，全球数字化技术蓬勃发展，数据被作为新一代生产要素得到广泛共识。其中，被数字化技术所赋能的千行百业企业级服务，以及所有支撑数字化经济的“基座”，均源自数据中心。据中国信息通信研究院《数据中心白皮书（2022）》所述，全球数据中心市场规模近5年维持平稳增长，如图所示，2021年全球数据中心市场规模超过679亿美元¹，较2020年增长9.8%，2017年至今，增长率均达到9%以上。

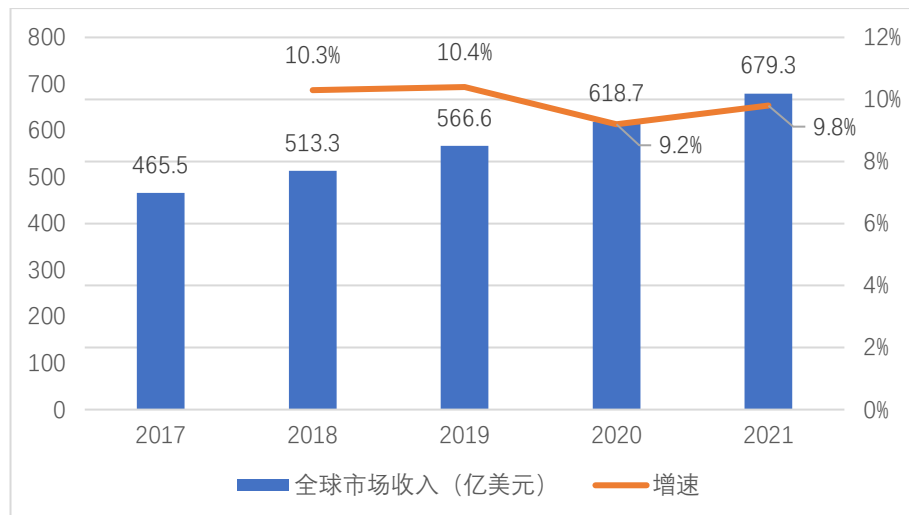


图 1.1 全球数据中心市场规模

在数据中心建设部署持续增长的大背景下，市场规模稳步上升，总耗能也呈增长趋势。2015年通过的《巴黎协定》指出，要将全球平均气温较前工业化时期上升幅度控制在2°C以内，并努力将温度上升幅度限制在1.5°C以内。据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）测算，全球必须在2050年达到二氧化碳净零排放（又称“碳中和”），即每年二氧化碳排放量等于其通过植树等方式减排的抵消量。而2022年的最新报告再次指出，当前温室气体排放已经处在历史最高水平，

¹ 数据来源：中国信息通信研究院。全球数据中心市场收入来自于数据中心服务商的收入统计，仅包括数据中心基础设施相关收入，不包括云服务等收入，主要为数据中心产生的收入，企业自用数据中心不产生相关收入。

全球平均气温已经比工业化前（1850年-1900年）升高了1.1℃，若要实现《巴黎协定》控温目标，全球温室气体排放量最迟应在2025年前达峰，并在2030年前减少27%至43%。

目前，全球已有超过130个国家以不同形式提出碳中和的目标，其中46个国家承诺2050年前实现碳中和，亦针对包括信息通信业在内的多个行业提出具体的减碳措施及目标²，如表所示。

表 1.1 全球低碳数据中心相关政策规划

国家/地区	政策	内容
美国	DCOI 数据中心优化倡议 FDCCI 美国联邦数据中心整合计划 FITARA 联邦政府信息技术采购改革法案等	整合和关闭数据中心、资源虚拟化、可用性、设定数据中心 PUE 及服务器使用率具体标准、退役老旧机器的方式，实现了数据中心数量减少 7000 个，大约占比 50%；数据中心 PUE 从平均 2.0 以上下降到近一半，大型数据中心达到 1.5 甚至 1.4 以下，部分服务器使用率从 5%提升到 65%以上。
欧盟	《2020 年欧盟数据中心能源效率行为准则的最佳实践指南》 《欧洲数据中心能源效率现状白皮书》 《塑造欧洲的数字未来》	进一步细化和规范了数据中心 PUE、SUE、DCiE 等绿色指标。ICT 基础设施和数据中心应确保在 2030 年之前达到气候中性，在 2050 年成为世界第一个实现气候中性的陆地。
新加坡	《绿色数据中心技术线路图》	需在不影响系统性能和安全要求的情况下尽可能降低数据中心能源消耗，并提出提高冷却设备效率、IT 设备温湿度耐受能力、数据中心的资源调度和负荷分配集成优化能力等建议。
日本	《绿色增长战略》	发展目标：将数据中心市场规模从 2019 年的 1.5 万亿日元提升到 2030 年的 3.3 万亿日元，届时实现将数据中心的能耗降低 30%； 重点任务：扩大可再生能源电力在数据中心的应用，打造绿色数据中心等。

国际数据中心龙头企业也纷纷提出低碳节能发展措施。微软的“纳提克”海底数据中心研究计划，将服务器部署在钢制容器内，沉入苏格兰奥尼克附近的北海水域，利用海水冷却服务器以达到降低能耗的目的；谷歌在芬兰的数据中心，依托临近芬兰湾的地理优势，冷却系统直接连入芬兰湾的冰冷海水来进行冷却作业，

² 资料来源：开放数据中心委员会ODCC《数据中心算力碳效白皮书》

处理规模巨大的数据中心产生的大量热量；常年处于极低温的南极和北极也都已建造起数据中心，美国国家科学基金会将数据中心建在了南极，Facebook则选择了靠近北极圈的瑞典吕勒奥镇，利用自然优势进行散热，将天然的低温环境作为制冷剂，大量减少设备冷却所需的能耗。



图 1.2 国际数据中心企业数据中心³
(左上) 微软海底数据中心 (右上) 谷歌芬兰数据中心
(左下) 美国国家科学基金会南极数据中心
(右下) Facebook 瑞典吕勒奥镇数据中心

1.2 我国数字经济与“双碳”目标协同发展战略

近年来，随着5G、云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术的快速发展，信息技术向传统产业加速渗透，产业数字化转型深刻改变着人类社会的生产和生活方式。数字技术与实体经济的深度融合创新，推动数据资源计算、存储和应用需求大幅提升，数据中心产业快速发展壮大，数字产业化成为新的经济增长点。在新一轮产业变革大背景下，我国抢抓数字经济历史新机遇，积极部署、加快推进数字经济高质量发展。2021年3月，我国在“十四五”规划纲要中将数字化发展作为重要的发展方向，并提出打造数字经济新优势的重要纲领，要求充分发挥海量数据和丰富应用场景优势，促进数字技术与实体经济深度融合，赋能传统产业转型升级，催生新产业新业态新模式，壮大经济发展新引擎。2021年12月，国务

³ 图片来源：互联网

院印发《“十四五”数字经济发展规划》，要求大力推进产业数字化转型、大力推进数字产业化发展，到2025年数字经济迈向全面扩展期，数字经济核心产业增加值占GDP比重达到10%，数字化创新引领发展能力大幅提升，智能化水平明显增强，数字技术与实体经济融合取得显著成效，我国数字经济竞争力和影响力实现稳步提升。

数据中心作为支撑数字经济发展的坚实底座，市场规模增长迅速，据中国信通院发布的《数据中心白皮书（2022年）》显示，我国数据中心机架规模近五年平均复合增速超过30%。但是，随着数据中心行业的高速发展，其高能耗和碳排放问题备受社会关注。国家层面从现代化、数字化、绿色化方面对新型基础设施建设提出了方针指引，关于碳达峰、碳中和的战略决策又对信息通信业数字化和绿色化协同发展提出了更高要求。2021年2月，国务院发布《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》，要求到2025年基础设施绿色化水平不断提高，能源资源配置更加合理、利用效率大幅提高，碳排放强度明显降低，市场导向的绿色技术创新体系更加完善。2021年9月，《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》要求推动互联网、大数据、人工智能、第五代移动通信（5G）等新兴技术与绿色低碳产业深度融合，提升数据中心、新型通信等信息化基础设施能效水平，助力实现碳达峰、碳中和目标。

1.2.1 国家宏观政策

国家层面，各部委相继出台了关于绿色数据中心建设、新型数据中心绿色高质量发展的指导意见（详见表1.2），通过构建全国一体化大数据中心协同创新体系，在京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝、内蒙古、贵州、甘肃、宁夏等8地启动建设国家算力枢纽节点，并规划了10个国家数据中心集群，由此我国“东数西算”工程正式全面启动。另外，工信部提出“新型数据中心”的概念，指出“新型数据中心是以支撑经济社会数字转型、智能升级、融合创新为导向，以5G、工业互联网、云计算、人工智能等应用需求为牵引，汇聚多元数据资源、运用绿色低碳技术、具备安全可靠能力、提供高效算力服务、赋能千行百业应用的新型基础设施，具有高技术、高算力、高效能、高安全的特征。

数据中心作为“新基建”重要内容，被赋予了技术先进、绿色低碳等新内涵。在落实节能降碳方面，政策明确要求到2023年底新建大型及以上数据中心PUE降低到1.3以下；到2025年全国新建大型、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。

表 1.2 国家宏观政策梳理

发文名称	发布时间	发文机构	重点内容
《关于加强绿色数据中心建设的指导意见》	2019年1月	工业和信息化部等三部门	建立健全绿色数据中心标准评价体系和能源资源监管体系，打造一批绿色数据中心先进典型。
《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》	2021年5月	国家发展和改革委员会	加强绿色集约建设。完善覆盖电能使用效率、算力使用效率、可再生能源利用率等指标在内的 数据中心综合节能评价标准体系 。
《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》	2021年7月	工业和信息化部	到2023年底，全国数据中心机架规模年均增速保持在20%左右，平均利用率力争提升到60%以上，总算力超过200 EFLOPS，高性能算力占比达到10%。国家枢纽节点算力规模占比超过70%。 新建大型及以上数据中心PUE降低到1.3以下，严寒和寒冷地区力争降低到1.25以下。
《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》	2021年11月	国家发改委等四部门	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。数据中心运行电能利用效率和可再生能源利用率明显提升， 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。
《深入开展公共机构绿色低碳引领行动促进碳达峰实施方案》	2021年11月	国家机关事务管理局等四部门	推动数据中心绿色化。 推动存量“老旧”数据中心升级改造，“小散”数据中心腾退、整合，降低“老旧小散”数据中心能源消耗。 新建大型、超大型数据中心全部达到绿色数据中心要求，绿色低碳等级达到4A级以上， 电能利用效率（PUE）达到1.3以下。 鼓励申报绿色数据中心评价，发挥示范引领作用。
《工业能效提升行动计划》	2022年6月	工业和信息化部等六部门	推进重点领域能效提升绿色升级。持续开展国家绿色数据中心建设，发布名单及典型案例，加强绿色设计、运维和能源计量审查。引导数据中心扩大绿色能源利用比例，推动老旧数据中心实施系统节能改造。 到2025年，新建大型、超大型数据中心电能利用效率（PUE，指数据中心总耗电量与信息设备耗电量的比值）优于1.3。
《信息通信行业绿色低碳发展行动计划（2022-2025年）》	2022年8月	工业和信息化部等七部门	加大先进节能节水技术应用。 强化绿色设计，加快自然冷源、近端制冷、液冷等制冷节能技术应用，鼓励采用预制模块化机房及高密度、虚拟化等高效IT系统方案，推广高压直流供电、高效交流不间断电源、集成式电力模块等技术和产品，发展智能化能源管控系统。

1.2.2 地方层面政策

地方层面，“东数西算”工程的10个数据中心集群明确了起步区建设目标（详见表1.3）。北京、上海、深圳等地也出台政策，进一步细化落实各地数据中心绿色建设、可持续发展要求和措施（详见表1.4）。可以看出，国内各地新建大型及以上数据中心PUE值均要求达到1.3以下；在气候、能源、环境等方面具有天然地域优势的内蒙古和林格尔集群、贵州省贵安集群等则提出更为严格的不高于1.25甚至1.2的指标；北京提出打造建设全球数字经济标杆城市的发展目标，并在绿色节能审查管理中制定不同规模数据中心能耗水平分级管理的措施。

表 1.3 “东数西算”数据中心集群政策梳理

枢纽	集群	文件	绿色节能水平要求
京津冀枢纽	张家口集群	《关于同意京津冀地区启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函》	张家口数据中心集群起步区为张家口市怀来县、张北县、宣化区。围绕数据中心集群，抓紧优化算力布局，积极承接北京等地实时性算力需求。张家口数据中心集群应抓紧完成起步区建设目标：数据中心平均上架率不低于65%。数据中心电能利用效率指标控制在1.25以内，可再生能源使用率显著提升。
成渝枢纽	天府集群	《关于同意成渝地区启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函》	成渝枢纽规划设立天府数据中心集群和重庆数据中心集群。其中，天府数据中心集群起步区为成都市双流区、郫都区、简阳市。重庆数据中心集群起步区为重庆市两江新区水土新城、西部（重庆）科学城璧山片区、重庆经济技术开发区。围绕两个数据中心集群，抓紧优化算力布局，平衡好城市与城市周边的算力资源部署，做好与“东数西算”衔接。天府、重庆数据中心集群应抓紧完成起步区建设目标：数据中心平均上架率不低于65%。数据中心电能利用效率指标控制在1.25以内，可再生能源使用率显著提升。
	重庆集群		
长三角枢纽	长三角生态绿色一体化发展示范区集群	《关于同意长三角地区启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函》	长三角枢纽规划设立长三角生态绿色一体化发展示范区数据中心集群和芜湖数据中心集群。其中，长三角生态绿色一体化发展示范区数据中心集群起步区为上海市青浦区、江苏省苏州市吴江区、浙江省嘉兴市嘉善县。芜湖数据中心集群起步区为芜湖市鸠江区、弋江区、无为市。围绕两个数据中心集群，抓紧优化算力布局，积极承接长三角中心城市实时性算力需求，引导温冷业务向西部迁移，构建长三角地区算力资源“一体协同、辐射全域”的发展格局。长三角生态绿色一体化发展示范区、芜湖数据中心集群应抓紧完成起步区建设目标：数据中心平均上架率不低于65%。数据中心电能利用效率指标控制在1.25以内，可再生能源使用率显著提升。
	芜湖集群		
粤港澳大湾区	韶关集群	《关于同意粤港澳大湾区启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函》	粤港澳大湾区枢纽规划设立韶关数据中心集群，起步区边界为韶关高新区。围绕韶关数据中心集群，抓紧优化算力布局，积极承接广州、深圳

枢纽	集群	文件	绿色节能水平要求
湾区枢纽		动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函》	等地实时性算力需求，引导温冷业务向西部迁移，构建辐射华南乃至全国的实时性算力中心。 韶关数据中心集群应抓紧完成起步区建设目标：数据中心平均上架率不低于65%。数据中心电能利用效率指标控制在1.25以内，可再生能源使用率显著提升。
内蒙古枢纽	和林格尔集群	《关于同意内蒙古自治区启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函》	内蒙古枢纽规划设立和林格尔数据中心集群，起步区边界为和林格尔新区和集宁大数据产业园。充分发挥集群与京津冀毗邻的区位优势，为京津冀高实时性算力需求提供支援，为长三角等区域提供非实时算力保障。 和林格尔数据中心集群应抓紧完成起步区建设目标：数据中心平均上架率不低于65%。数据中心电能利用效率控制在1.2以下，可再生能源使用率显著提升。
		《关于内蒙古和林格尔新区推进数据中心项目绿色化建设的意见》	绿色化要求方面，设计方案符合绿色数据中心要求，采用绿电替代、分布式新能源发电、余热回收、多元化储能、动力电池梯次利用、高压直流等高效供配电系统、高密度集成等高效IT设备、新型机房精密空调、液冷、水资源综合利用等绿色节能技术。 和林格尔数据中心集群对于规模超过10000个标准机柜的以自用为主的数据中心项目，设计PUE值不高于1.25，项目建成投用后，PUE第二年度平均值不高于1.4，第三年度及以后年度平均值不高于1.25。
贵州枢纽	贵安集群	《关于同意贵州省启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函》	贵州枢纽规划设立贵安数据中心集群，起步区边界为贵安新区贵安电子信息产业园。围绕贵安数据中心集群，抓紧优化存量，提升资源利用效率，以支持长三角、粤港澳大湾区等为主，积极承接东部地区算力需求。贵安数据中心集群应抓紧完成起步区建设目标：数据中心平均上架率不低于65%。数据中心电能利用效率控制在1.2以下，可再生能源使用率显著提升。
		《关于加快推进“东数西算”工程建设全国一体化算力网络国家(贵州)枢纽节点的实施意见》	推广使用绿色化技术。鼓励采用新型节能技术和绿色建筑技术，充分利用本地自然资源制冷，降低数据中心能耗水平。 到2025年，贵安集群新建大型以上数据中心PUE(电能利用效率)低于1.2；贵安集群数据中心平均上架率不低于65%。贵安集群数据中心平均上架率不低于65%。
甘肃枢纽	庆阳集群	《甘肃省启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函》	甘肃枢纽设立庆阳数据中心集群，起步区边界为庆阳西峰数据信息产业聚集区。要尊重市场规律、注重发展质量，打造以绿色、集约、安全为特色的数据中心集群，重点服务京津冀、长三角、粤港澳大湾区等区域的算力需求。 庆阳数据中心集群应抓紧完成起步区建设目标：数据中心平均上架率不低于65%。数据中心电能利用效率控制在1.2以下，可再生能源使用率显著提升。

枢纽	集群	文件	绿色节能水平要求
宁夏枢纽	中卫集群	《关于同意宁夏回族自治区启动建设全国一体化算力网络国家枢纽节点的复函》	宁夏枢纽规划设立中卫数据中心集群，起步区边界为中卫工业园西部云基地。要充分发挥区域可再生能源富集的优势， 积极承接东部算力需求 ，引导数据中心走高效、清洁、集约、循环的绿色发展道路。中卫数据中心集群应抓紧完成起步区建设目标：数据中心平均上架率不低于65%。 数据中心电能利用效率控制在1.2以下 ，可再生能源使用率显著提升。

表 1.4 地方政策梳理

地方	文件	绿色节能水平要求
北京	《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》	项目规模 < 1万吨标准煤（电力按等价值计算，下同）PUE值不应高于1.3；1万吨≤项目规模 < 2万吨标准煤，PUE值不应高于1.25；2万吨≤项目规模 < 3万吨标准煤，PUE值不应高于1.2；项目规模≥3万吨标准煤，PUE值不应高于1.15
上海	《上海市数据中心建设导则》	新建大型数据中心设计PUE不超过1.3（集聚区降至1.25左右）、边缘数据中心不应高于 1.5，简称运行第一年PUE综合不高于 1.4，第二年不高于 1.3。
	《关于推进本市数据中心健康有序发展的实施意见》	集聚区新建大型数据中心综合 PUE降至 1.25 左右，绿色低碳等级达到 4A 级以上。
	《新型数据中心“算力浦江”行动计划（2022-2024年）》	加快绿色节能技术应用。推动数据中心采用液冷、蒸发冷却、近端制冷等制冷技术，采用模块化机房、预制化电力模块、余热综合利用、智能运维、锂电池等节能产品和技术。
深圳	《关于加快推进新型基础设施建设的实施意见（2020-2025年）》	集中布局建设适用于中时延类业务的超大型数据中心，分布布局PUE值小于1.25的适用于低时延类业务和边缘计算类业务的中小型数据中心。
贵州	《关于支持贵州在新时代西部大开发上闯新路的意见》	实施数字产业强链行动。培育壮大人工智能、大数据、区块链、云计算等新兴数字产业。加快推进“东数西算”工程，布局建设主数据中心和备份数据中心，建设全国一体化算力网络国家枢纽节点，打造面向全国算力保障基地。支持贵阳大数据交易所建设，促进数据要素流通。建设国家大数据安全靶场，开展数据跨境传输安全管理试点。推动在矿产、轻工、新材料、航天航空等产业领域建设国家级、行业级工业互联网平台，促进产业数字化转型。适度超前布局新型基础设施，推动交通、能源等基础设施智能化改造升级。

1.2.3 绿色低碳成为必然发展趋势

数据中心作为数据枢纽和应用载体，是推动我国数字经济发展重要抓手。随

着数据中心数量与日俱增，用电规模也随之急剧攀升。根据有关统计数据结果，2021年我国数据中心用电量2166亿度，碳排放量达1.35亿吨，占全国二氧化碳排放量的1.14%左右；预计到2030年将超过3800亿度，碳排放超过2亿吨。在“双碳”目标驱动下，为解决数据中心能源利用率低、技术水平不足等问题，我国政府出台系列政策，通过限定数据中心能效水平、鼓励采用绿色节能技术、加强节能审查管理等手段，引导粗放、低能效的传统数据中心建设向集约、高技术、高能效的新型数据中心变革。目前数据中心产业绿色高质量可持续发展已成为社会共识，建设绿色低碳、集约高效、安全可靠的新型数据中心成为行业发展的必然趋势。

1.3 液冷让数据中心更绿色更低碳

在大力建设绿色数据中心的大环境下，国内外众多数字化厂商纷纷进行数据中心制冷技术的探索与尝试。千岛湖数据中心采用湖水自然冷却技术，将工业和景观用水与数据中心冷却用水结合起来，以实现更低PUE值。贵安七星数据中心建设于隧洞中，使用间接换热制冷设备，利用当地年均温度15摄氏度的自然条件，建成后极限PUE达1.1左右。海南三亚海底数据中心（UDC）示范项目将数据中心放在海底，利用海水自然冷却，省去制冷设备用电，建成后预计单舱实际运行PUE低于1.15。此外，国外厂商尝试将数据中心建在极寒地区或是深海中，利用天然的气候及地理优势进行冷却，有效降低用于制冷的能耗。然而这些数据中心的建设很大程度上依赖于仅极少地区才具备的天然地理优势及气候条件，对于建设于常规地域的数据中心很难参考及复制，探索能够应用于常规多样化场景的、更具有普适性的绿色高效制冷技术，仍是建设绿色数据中心的一大挑战。

随着冷却技术的发展，在满足IT设备安全平稳运行的前提下，数据中心冷却方式呈现从空气冷却向液体冷却方式转变、从机械制冷到充分利用自然冷源方向发展。从适用环境、制冷效率、建设运维成本等多维度对比分析几种常见制冷方式，可以看出液冷方式具有不受地域气候限制、制冷效率高、服务器无局部热点等优势。

表 1.5 几种制冷方式对比

制冷方式	风冷直膨式系统	水冷冷水系统	氟泵系统	间接蒸发系统	液冷系统
适用环境	对环境无要求, 但是无法实现自然冷却	水资源充沛地区	低温高寒地区	常年干燥低湿地区	全年全地域自然冷却, 不受气候影响
安装方式要求	对安装距离和高差有要求	安装距离、安装方式不受限制	对安装距离和高差有要求	设备体型较大, 对建筑的层高要求高, 安装方式较为单一, 老旧厂房改造难度大	安装距离、安装方式不受限制
热流密度	低热流密度	低热流密度	低热流密度	低热流密度	中高热流密度或超高热流密度
适用配置	适合小型数据中心	适合中大型数据中心	适合小型数据中心	适合中大型数据中心	适合各种场景, 尤其适用中大型数据中心
制冷效率	制冷效率低	制冷效果一般	制冷效率较高	制冷效率较高	全年自然冷却, 无机械制冷, 制冷效率极高
建设及运营成本	建设成本低, 运行成本高, 运维工作量小	建设成本高, 运行成本较低, 运维工作量大	建设成本适中, 运行成本较低, 运维简单	建设成本适中, 运行成本较低, 运维工作量大	建设成本适中, 运行成本极低, 运维工作量小
散热能力	单机柜15kW以内 (采用列间空调, 小规模部署, 易产生局部热点)	单机柜15kW以内 (采用列间空调, 小规模部署, 易产生局部热点)	单机柜15kW以内 (采用列间空调, 小规模部署, 易产生局部热点)	单机柜8kW以内, 易产生局部热点	单机柜20kW以上最大可达到单机柜200kW, 无局部热点
噪音及振动	高	高	高	高	低振动或无振动
热回收	无法热回收	热回收利用率低, 建设及运行成本高	热回收利用率低, 建设及运行成本高	无法热回收	热回收利用率高, 易于热回收, 建设及运行成本低
成熟度	成熟度高	成熟度高	成熟度适中	成熟度适中	成熟度适中
可维护性	维护简便	维护复杂	维护简便	维护复杂	可维护性适中

1.3.1 液冷成为绿色数据中心制冷解决方案的最佳选择

目前，传统数据中心面临前所未有的能耗和散热挑战，伴随节能降碳政策驱动，液冷技术正逐渐取代风冷模式，成为新型数据中心制冷解决方案的最佳选择。

政策推动液冷技术推广应用。工业和信息化部、国家发改委等部门在引导数据中心绿色低碳发展的多个文件中均明确表示，鼓励、推荐包括液冷在内的先进绿色技术和产品应用（如表1.6所示）。

表 1.6 鼓励应用先进绿色技术产品

发文机构	文件	先进绿色技术产品
工业和信息化部	《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》	加快先进绿色技术产品应用，鼓励应用高密度集成等高效IT设备、液冷等高效制冷系统技术产品、高压直流等高效供配电系统。
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》	创新节能技术。鼓励使用高效环保制冷技术降低能耗。支持数据中心采用新型机房精密空调、液冷、机柜式模块化、余热综合利用等方式建设数据中心。
工业和信息化部等七部门	《信息通信行业绿色低碳发展行动计划（2022-2025年）》	强化绿色设计。加快自然冷源、近端制冷、液冷等制冷节能技术应用。

液冷技术解决能耗和散热发展瓶颈。液冷技术经过几十年的发展，以其低PUE（冷板式液冷技术PUE低至1.2以下、浸没式液冷技术PUE低至1.1以下，节能20%-30%以上）、满足高密度部署（解决风冷散热瓶颈、降低占地和建设成本）、服务器运行更加安全可靠（CPU温度低至65℃以下）、全年全地域适用等优势，被广泛认为是最行之有效的绿色高效制冷技术。具体分析如下：

1) 传统数据中心能耗成本巨大

众所周知，数据中心是“能耗大户”，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显示，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%）。根据《Uptime Institute 全球数据中心调查报告 2022》，2022年调查对象（全球范围数据中心样本）的年平均PUE为1.55，自2014年以来年平均PUE值维持在1.55-1.65范围内，即IT设备自身能耗占比约为61%-65%，以制冷为主的其他能耗占比约为35%-39%。可见传统数据中心散热成本及碳排放水平不容忽视，而液冷技术革命性地

改变传统散热方式，取代大部分空调系统（压缩机）、风扇等高能耗设备，可实现节能20%-30%以上。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。此外，在同样外电容量条件下，液冷方式允许配置更多的IT设备，可最大化提高能源利用率；在IT设备负载功率确定前提下，总供电容量需求大幅减少，可有效节省供电系统建设投资和运营成本。因此，无论是从环境保护出发还是从企业自身经济效益考虑，建设液冷节能型绿色数据中心是最佳路径。

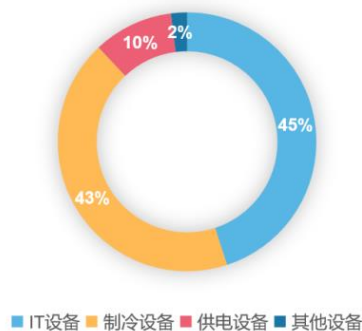


图 1.3 数据中心能耗分布⁴

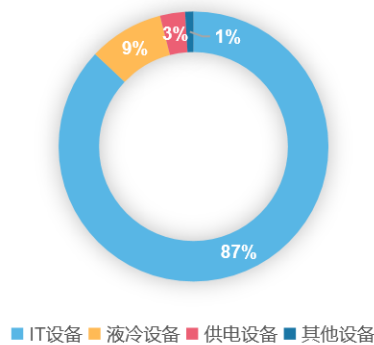


图 1.4 某液冷数据中心能耗分布

2) 计算密度提升面临散热挑战

随着金融行业信息化规模的日益庞大，新一代数据资源存储、计算和应用需求大幅提升。在此背景下，算力成为核心生产力。在过去，算力性能提升主要通过半导体工艺增加晶体管密度实现，而芯片性能增长趋势总体跟随摩尔定律，约

⁴ 数据来源：赛迪顾问, 2020.10

每10年性能增长1000倍。但最近10年，随着摩尔定律失效，芯片性能增长明显放缓。通过异构计算等技术在持续提高芯片和系统的能效比，但单个芯片的功耗仍然增加迅速，当前主流处理器芯片CPU功率约为200W，最新发布的CPU已经突破350W，GPGPU等异构加速芯片已经突破700W。算力性能的提升驱动着服务器功耗和热密度的不断增加，风冷方式已无法满足高热流密度电子器件的散热；另一方面，城市建设数据中心在面积受限情况下，部署高功率密度机柜成为有效解决方案，但已远超风冷方案散热极限。在这样的背景下，需要更加高效的冷却技术去解决高功率、高热流密度、高计算密度的芯片和系统散热问题。液冷技术利用液体高比热容/蒸发潜热优势，实现对发热元器件精准散热，完美解决高功率密度机柜散热问题。液冷技术经过几十年发展，被广泛认为是解决散热挑战最行之有效的方法。

3) 高温对电子元器件产生不利影响

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。而对于大量数据中心，由于电子设备集中部署，这种由于过热造成的安全隐患更值得注意，尤其对于在高温下易燃易爆的设备，更易引起火灾等安全事故，引发数据中心瘫痪，从而给24小时连续性的业务造成不可逆的损失。

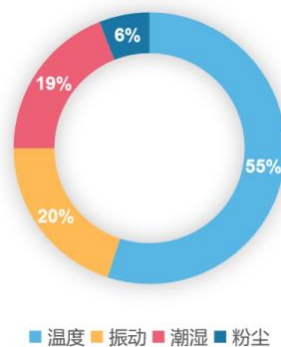


图 1.5 电子元器件故障原因统计⁵

另外，大电流的持续作用，还会降低服务器内部电子部件的使用寿命。尤其在高温的环境下，电子产品产生的热量得不到及时疏散，造成了电子产品工作温

⁵ 数据来源：美国空军航空电子整体研究项目

度升高。电容温度每升高10℃，平均电子元器件的寿命会降低一半，且更容易造成击穿。在这种重负荷状态下工作，会加大电子部件的消耗，从而降低服务器的使用寿命。因此，对服务器尤其是对关键电子部件的散热冷却提出了更加严格的要求。

液体冷却相较于传统风冷可以带来更好的冷却效果，尤其是对关键电子部件，例如中央处理器CPU、加速计算芯片GPU和内存。当服务器满载运行时，CPU温度为50-65℃，比风冷降低约25℃，完全释放CPU超频性能。通过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。

1.3.2 液冷技术先进优势

液冷技术是指使用液体取代空气作为冷却介质，与发热部件进行热交换，利用液体的温升或相变带走热量的技术（如图1.6所示）。最早在80年代已经有初尝试，90年代也出现了一些通信设备的液冷基站。随着21世纪初云计算时代的到来，数据中心需要更高功率、大规模部署，液冷概念正式被提出，液冷技术开始逐步走向成熟。

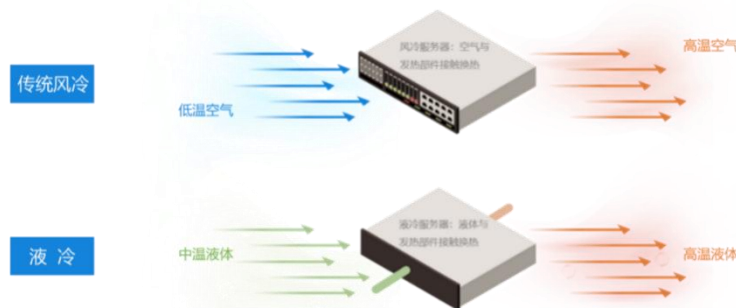


图 1.6 传统风冷及液冷工作原理

液冷技术的先进优势主要体现在以下方面：

液冷换热效率更高。液体的体积比热容是空气的1000-3500倍，液体的导热系数是空气的20-30倍，同等空间情况液冷的冷却能力远高于空气。

液冷服务器的安全可靠更有保障。液冷利用液体的比热容较大或相变潜热的优势，可高效吸收元器件产生的热量，不仅实现对发热元器件的精确制冷，确保CPU核温低至65℃以下（比风冷方式降低约25℃），且在突发高频运行时不会引起CPU温度瞬间大幅变化，保障了系统运行的安全可靠，同时还允许芯片超

频运行，芯片性能约可提升10-30%。精确的部件级制冷，保证元器件高性能、高可靠工作。

液冷方式节能效果更加优异。由于液冷数据中心冷却系统采用中高温水即可完成散热需求（一次侧进水温度35℃，二次侧供液温度40℃），可实现全年全地域自然冷却，而传统风冷方式冷冻水机组出水温度需低至15-20℃，在大部分地域、大部分时间段均需开启制冷压缩机才能满足条件，因此液冷方式省去大部分风扇及空调系统能耗，相比传统风冷机房节能20%-30%以上，冷板式液冷PUE低至1.2以下、浸没式液冷PUE低至1.1以下。

液冷方式降低机房噪音，工作环境更舒适。由于液冷机房减少了服务器风扇及空调风机高速运转带来的噪音，机房噪音问题得到显著缓解，尤其浸没式液冷机房噪音甚至可降至60dB以下，实现“静音机房”的效果。

液冷方式支持高密度部署。液冷方式可满足中高功率密度乃至超高功率密度数据中心散热需求。单机柜功率密度得到极大提升，节省主机房空间50%-80%。

1.3.3 液冷技术路线

液冷技术是指利用液体取代空气作为冷却介质，与服务器发热元器件进行热交换，将服务器元器件产生的热量带走，以保证服务器工作在安全温度范围内的一种冷却方法。根据冷却介质与服务器接触方式的不同，可分为间接冷却和直接冷却两种方式。间接冷却一般为冷板式液冷，根据冷却介质是否发生相变又可分为单相冷板式和两相冷板式。直接冷却包括浸没式和喷淋式，其中浸没式根据冷却介质是否发生相变又可分为单相浸没式和相变浸没式。

其中，两相冷板式主要利用高效的两相沸腾和冷凝过程实现热量转移，2022年9月ZutaCore公司宣称其HyperCool™冷却技术通过其核心——增强型成核蒸发冷却器(ENE)，可以有效地将功耗高达1000W的服务器芯片的大量热量转移出去，ZutaCore与合作伙伴World Wide Technology (WWT) 获得了以色列-美国两国工业研究发展基金会 (BIRD) 提供的创新资金补助。喷淋式液冷通过将冷却介质直接喷淋到发热元器件表面或者是与发热元器件接触的扩展表面上吸热后并排走。目前两相冷板式、喷淋式两种液冷技术主要以小范围应用验证为主，尚无大规模部署案例，因此本报告仅就现阶段主流液冷技术即单相冷板式液冷（以下简称“冷板式液冷”）、单相浸没式液冷和相变浸没式液冷技术展开详细介绍。

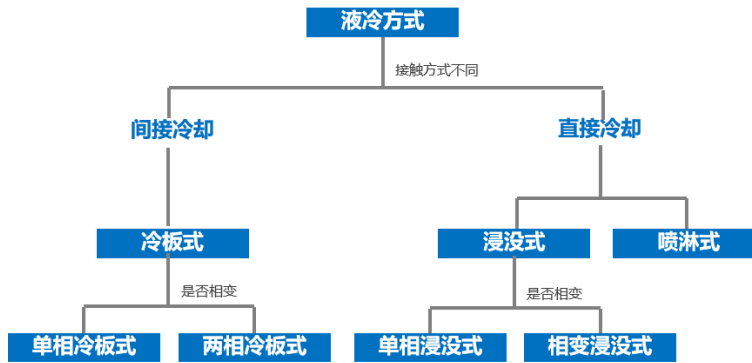


图 1.7 液冷技术路线

1.3.3.1 冷板式液冷技术

冷板式液冷服务器一般是流体作为中间热量传输的媒介，将导热性较好的金属例如铜、铝等冷板散热器覆盖于主要的发热元器件上，将热量传导给散热器中的冷却液体，由热区传递到远处的冷却模块中进行冷却，再将冷却后的液体循环至冷板中。在该技术中，液体冷却介质与发热元器件不直接接触，而是通过高导热性的冷板传递热量，因此冷板式液冷技术又称为间接液冷技术。

冷板式液冷技术相较于传统风冷技术，不需改变现有服务器的形态，使用、维护等方面与现有服务器也较为接近。工作液体与被冷却对象分离，不与电子器件直接接触，而是通过液冷板等高效热传导部件将被冷却对象的热量传递到冷却介质中，对冷却介质的兼容性较强。

1.3.3.2 单相浸没式液冷技术

单相浸没式液冷技术是以液体作为导热介质，将发热电子元器件完全浸没于单相、绝缘的冷却介质中，利用冷却介质良好的热力学显热传热性能，通过冷却介质的流动性把热量带走，对发热电子元器件进行散热的液冷技术。

浸没式液冷技术因需要冷却液体与电子器件直接接触，对冷却介质的兼容性较差，同时冷却设备建设与原有风冷式服务器差别较大，需进行大规模改造。

1.3.3.3 相变浸没式液冷技术

相变浸没式液冷技术是通过电子信息设备与绝缘冷却介质直接接触，利用冷却介质相变潜热特性，带走服务器运转产生的热量。当液体冷却介质吸收系统温度，达到系统压力所对应的沸点，冷却液发生相变由液态变化为气态，通过汽化吸热实现冷却。

相变浸没式通过冷却液相变吸热进行制冷，汽化潜热载热能力极高，降耗节能效果最好。相变浸没式液冷技术同样需要冷却液体与电子器件直接接触，对冷

却介质的兼容性较差，同时冷却设备建设与原有风冷式服务器差别较大，需进行大规模改造。

1.3.3.4 液冷技术路线对比选型

综合对比市场主流冷却技术（见表1.7所示），对比结果如下：

满足解热能力方面，相变浸没式的散热性能最优，冷板式其次，单相浸没式采用的氟化液/油类冷却介质，由于介质比热容及流速有限，其散热密度相对较差。

维护性难易方面，冷板式在服务器内部替代风冷散热器，冷却液不与服务器直接接触，维护较为简便；单相浸没式液冷维护时需要通过专用机械吊臂，液体需要处理干净后进行维护，尤其油类冷却介质还需要专用的中和剂清洗处理，维护难度较大；相变浸没式液冷由于沸点低，开箱维护难度较大，在实际部署应用时，通过密封刀片式服务器产品设计，支持热插拔，可实现单个刀片独立下架维护，而不需要整体停机维护，且回收冷却液时可采用专业设备自动排液后开箱维护，因此相变浸没式液冷对服务器产品和维护设备的设计要求较高，成本略高，但实际运维操作简便。

节能效果方面，相变浸没式通过冷却液体相变吸热，汽化潜热载热能力极高，故节能效果最好；单相浸没式与冷板式节能效果相当，单相浸没式需要采用专用的绝缘电子氟化液，冷板式采用乙二醇水溶液，电子氟化液密度是水的1.6-1.8倍，比热是水的1/3-1/4，导热系数是水的1/10，导致单相浸没液体流量更大，两项技术节能效果基本相当。因冷板式液冷根据服务器配置及散热部件不同液冷散热占比约50%-80%，仍有一部分热量需要配置常规空调系统提供制冷，因此冷板式液冷整体节能效果相比单相浸没式液冷略差；但冷板式可解决芯片的功率密度上限比浸没单相更高。

建设成本方面，冷板式液冷技术工艺相对成熟，加工难度低，冷却介质主要采用乙二醇水溶液，是业界最通用的工业产品，成本低，可获得性最佳，且节省了部分冷水机组等冷源设备，故总成本最低；浸没单相式液冷技术使用的冷却介质为油类或专用的绝缘电子氟化液，整体部署成本偏高；浸没相变式液冷技术对系统密封性及控制要求高，设计成本偏高，且冷却介质主要采用专用的绝缘电子氟化液，故综合成本最高。

产业链成熟度方面，冷板式液冷技术推广应用时间久、应用面最广，产业链成熟度最高；单相浸没式和相变浸没式液冷近几年迅速成长，并有多个典型应用案例，产业链仍有很大发展空间。

综上所述，相变浸没式液冷散热效果最优，随着市场推广规模的扩大，其维护性和产业链也会逐步优化、成熟；冷板式液冷技术成熟度更高，产业链也最为成熟，更易于建设、维护。

表 1.7 液冷技术路线对比

项目	风冷（水冷冷水系统）	冷板	单相浸没	相变浸没
解热能力 (供液温度 40°C)	★ 0~10W/cm ²	★★★★★ 0~100W/cm ²	★★ 0~40W/cm ²	★★★★★ 0~150W/cm ²
易维护性	★★★★★	★★★★☆	★★☆	★★★
节能效果	★☆	★★★	★★★★☆	★★★★★
建设成本	★★★★★	★★★★★	★★	★
产业链成熟度	★★★★★	★★★★★	★★	★★

注：对比程度用“★”数量示意，其中1星表示最差，5星表示最优。

1.3.4 液冷助力金融行业数据中心节能降碳

数字化技术为金融行业发展提供了前所未有的机遇和挑战，与支付清算、借贷融资、财富管理等领域的融合创新成为主流趋势。金融产业数字化转型和创新颠覆式改变了传统金融行业经营模式，对改变生产方式、提高社会生产效率、推动经济进步具有重要意义。随着金融行业数字化转型的改革深化，金融科技业务对算力、算法、数据存储等需求旺盛，云计算、大数据等信息技术迅速发挥赋能助力作用。作为支撑数字化转型的关键基础设施，金融行业数据中心建设和改造成为金融科技发展的重要一环。在我国“双碳”战略推动下，2021年12月中国人民银行发布《金融科技发展规划（2022-2025年）》，提出金融业数字化转型更深化、数字基础设施建设更先进的发展目标，同时要求新建大型、超大型数据中心电能利用效率不超过1.3；到2025年，数据中心电能利用效率普遍不超过1.5。2022年1月中国银保监会制定《关于银行业保险业数字化转型的指导意见》，要求到2025年银行业保险业数字化转型取得明显成效，在科技能力建设方面积极推进数据中心绿色转型。

据统计，目前大型银行新建数据中心规模设计电力容量为兆伏安（MVA）级，年电费达亿元级，能耗水平巨大。为响应国家碳中和、碳减排政策，采用先进节能技术、推进节能降碳工作意义重大。液冷技术可实现服务器高效散热，在能效

水平方面实现全年PUE值低于1.2, 节能20%-30%以上。同时还可解决城市地区建设数据中心面临的占地不足问题, 满足高功率密度机柜散热需求(如冷板式液冷可解决60kW/单机柜的散热需求; 相变浸没式液冷可解决200kW/单机柜的散热需求), 大幅降低占地和建设成本。并且液冷方式可实现元器件精准制冷, CPU温度低至65°C以下, 服务器运行更加可靠, 最大化保障金融业务安全、稳定运行。

1.4 液冷行业标准化研究现状

为引导数据中心市场健康有序发展, 我国数据中心标准体系已建设形成涵盖国家标准、行业标准、地方标准、团体标准等在内的多层次标准体系架构。近年来随着国家及各地对数据中心绿色可持续发展的持续政策推动, 液冷技术在数据中心行业应用持续提速, 但液冷机房设计建设、产品质量规格及其通用性、设备验收测试要求、液冷机房运维等尚未建立起完善的标准规范。目前不同团体、协会积极牵头液冷技术团体标准的立项编制工作, 不仅弥补了液冷行业标准的缺失, 也为培育行业高质量权威标准和构建液冷领域标准体系打下基础。液冷行业标准现状梳理结果表1.8所示。

表 1.8 液冷标准现状梳理

类型	标准名称	发布机构
行业标准	(1) YD/T 4024-2022 数据中心液冷服务器系统总体技术要求和测试方法 (2) YD/T 3981-2021 数据中心喷淋式液冷服务器系统技术要求和测试方法 (3) YD/T 3979-2021 数据中心浸没式液冷服务器系统技术要求和测试方法 (4) YD/T 3980-2021 数据中心冷板式液冷服务器系统技术要求和测试方法 (5) YD/T 3982-2021 数据中心液冷系统冷却液体技术要求和测试方法 (6) YD/T 3983-2021 数据中心液冷服务器系统能源使用效率技术要求和测试方法	中华人民共和国工业和信息化部 (由中国通信标准化协会提出并归口)
团体标准	(1) T/CIE 087-2020 单相浸没式直接液冷数据中心设计规范 (2) T/CIE 096-2020 相变浸没式直接液冷数据中心设计规范 (3) T/CIE 091-2020 温水冷板式间接液冷数据中心设计规范 (4) T/CIE 090-2020 数据中心温水冷板式间接液冷设备通用技术要求	中国电子学会
	(5) 《服务器及存储用液冷部件技术规范 第1部分: 冷板》(已立项) (6) 《服务器及存储用液冷部件技术规范 第2部分: 连接系统》(已立项) (7) 《服务器及存储用液冷部件技术规范 第3部分: 冷量分配单元》(已立项) (8) 《服务器及存储用液冷部件技术规范 第4部分: 监控系统》(已立项) (9) 《高性能计算机 浸没式液冷系统技术要求》(已立项)	中国电子工业标准化技术协会

2 液冷数据中心建设与运维

2.1 液冷数据中心设计

液冷数据中心设计主要依据GB 50174《数据中心设计规范》，与风冷数据中心设计要求基本一致。液冷数据中心设计与风冷数据中心主要区别是取代大部分冷机等高能耗制冷设备，增加了液冷系统。液冷方式对数据中心的设计要求主要体现在占地面积更小、主机房设计荷载要求更高（因液冷方式允许部署高功率密度机柜，高功率密度机柜对荷载要求更高，其他房间无区别）、需预留液冷管路铺设空间和液冷设备检修维护空间等。正因为液冷系统取代冷机等高能耗制冷设备，液冷数据中心可实现更低PUE值、更加节能低碳，在同样外电容量下，液冷方式允许配置更多的IT设备，可最大化提高能源和空间利用率。

2.1.1 液冷数据中心建筑设计及工艺布局

液冷技术利用液体作为换热媒介在靠近热源处进行换热制冷，由于液体具有相对较高的比热容，其解热能力远高于风冷，因此液冷数据中心的单机柜功率密度往往是传统风冷数据中心的数倍甚至几十倍，这就使得液冷数据中心对主机房的面积占用远低于传统风冷数据中心。

此外，在液冷数据中心项目中，总冷负荷中液冷负荷占比较大，液冷负荷主要通过冷却塔等散热设备直接将热量排往室外，因此液冷数据中心对于冷机等机械制冷设备的需求较小，从而对制冷机房、蓄冷设备等机械制冷系统占地面积需求也更小，因此同等IT规模的液冷数据中心的建筑面积往往小于采用传统风冷模式建设的数据中心。

在主机房的设备布置上，采用冷板型液冷系统散热的液冷机房与传统风冷的数据机房的布置基本相同，但是由于需要在架高地板内敷设冷板液冷二次侧管路，因此架高地板的敷设高度一般建议不低于600mm，通道架高地板下敷设冷板液冷二次侧管路时，通道的宽度一般建议不小于1200mm，从而为二次侧管路的敷设及日后的检修维护保留足够的空间。液冷系统对机房楼板防水性无特殊要求，管道敷设也无特殊要求，与冷冻水行间空调的管路基本一致。液冷系统二次侧管路宜增加接水盘，接水盘内设置漏水检测。

浸没液冷系统，单相液冷系统多采用“卧式”机柜作为浸没腔体，二次侧管路可敷设于机柜侧面，也可敷设于架高地板内。当在架高地板内敷设冷板液冷二次

侧管路时，架高地板的敷设高度一般建议不低于600mm，通道宽度一般建议不小于1200mm，确保二次侧管路的敷设及维修所需空间。相变浸没液冷系统其单机柜的功率密度更高，最大甚至可达500kW，采用相变浸没液冷系统散热的液冷机房往往需要1500mm以上的架高地板空间用于部署浸没液冷的换热设备，机柜间的通道宽度除了满足散热系统管路敷设空间要求外，还需要保留1400mm以上的净宽度用于地板下浸没液冷散热设备的检修维护。由于IT机柜的设备热量全部由浸没冷却液体带走，因此IT机柜的摆放不必像传统风冷机房一样布置成冷热通道的样子，在满足设备检修维护的情况下，可以灵活布置。

更高的单机柜功率密度意味着更大的设备自重，液冷机柜在功率密度提高的同时，设备自重也显著增加，因此液冷数据中心的主机房设计荷载一般需要达到10-25kN/m²。一般情况下，冷板式液冷技术对于主机房的楼板承重要求为10-15kN/m²，单相浸没式和相变浸没式液冷技术对于主机房的楼板承重要求为20-25kN/m²，最终根据设备机柜高度不同、设备机柜内存放的服务器数量不同、服务器种类不同，对于楼板的承重要求会有所差异，具体以项目情况为准，以上数据仅供参考。

2.1.2 液冷数据中心的冷却系统设计

按液冷室内末端与服务器等发热热源接触方式不同可将液冷分为间接液冷技术和直接液冷技术，间接液冷以冷板为主，其中单相冷板式液冷解决方案较为常见，直接液冷主要是浸没式。液冷系统主要是解决IT设备部分或全部发热零部件的散热问题，系统中仍然有部分IT设备或IT设备零部件如硬盘、交换机等需要采用风冷形式散热，整个数据中心的配电系统冷负荷、维护结构冷负荷、照明系统冷负荷、通风系统冷负荷等无法通过液冷系统提供制冷。因此，液冷数据中心中仍然会有一部分热量是需要机械制冷系统来进行散热的，这部分的设计和传统风冷型数据中心的机械制冷系统并无不同。

液冷系统的换热主要分为一次侧换热系统和二次侧换热系统两个部分，二次侧系统与服务器等发热热源通过直接式/间接式换热的方式获取热量并将其传递给一次侧换热系统，一次侧换热系统通过室外散热设备将热量传递至室外完成整个散热过程。一次侧换热系统与二次侧换热系统通过液冷换热单元（简称“CDU”）或液冷换热模块（简称“CDM”）的换热器进行换热。

CDU/CDM设备往往对水质有较高的要求，因此液冷数据中心一次侧通常采

用闭式冷却水循环系统，闭式冷却塔是液冷系统通常采用的散热设备，如采用开式冷却塔设备则需要在冷却塔与CDU/CDM间增加中间板换，以保证CDU/CDM设备的进出水水质。液冷系统对一次侧的水温适用范围更广，CDU/CDM设备一般支持33℃以上的一次侧进入温度，8-10℃的换热温差，因此在全国范围均可全年进行自然冷却散热。

在一次侧水处理设备的选择上，由于CDU/CDM设备对于一次侧的水质要求比传统风冷型数据中心更为严格，因此除了设置加药装置、软化水装置等必要的水处理装置外，还需在CDU/CDM设备入口设置更高目数的过滤器，系统中全程/旁流水处理设备也需采用更高过滤精度的设备。

在系统设计上，如果需要达到A级数据中心等级，液冷系统的一次侧与二次侧除了在设备的选择上按照N+X冗余配置以及采用环形管网外，液冷散热系统的不间断供冷是通过给冷却塔配备满足所需的补水蓄水池来实现。

2.1.3 液冷数据中心的供配电系统设计

液冷数据中心单机柜密度远高于传统风冷数据中心，因此末端的配电线缆截面更大，管线空间要求更高。浸没液冷计算设备，宜采用直流380V供电，降低线路损耗。适用于超高功率计算机的供电方式。数据中心的传统供电方式为交流供电，通过UPS实现不间断供电。其供电方式为10kV电源经过10kV/400V配电变压器、低压配电柜、UPS，最终为服务器提供380V交流电源。然而服务器是直流用电设备，末端仍要配置开关电源将交流电进行整流和DC/DC变换，才可供服务器主板上各类元件使用。

近些年来，直流电相关技术在电力（直流输电）、通讯（240V、336V高压直流电源）、电动汽车（直流充电）等领域发展迅猛。随着电力电子技术的发展，以及末端用电设备中的直流设备的比重与日俱增，直流供配电的技术优势逐步显现。采用高压直流供电的数据中心，10kV电源经过10kV/400V配电变压器、低压配电柜、高压直流电源，最终为服务器提供380V直流电源。

高压直流供电系统提出的背景及现状。数据中心的传统供电方式是使用交流供电系统对ICT服务器进行供电，整个供电系统主要由电源切换开关、交流不间断供电电源以及为ICT设备提供能量的接口变换设备（PSU电源）构成。从系统的能量传递效率上看，整个系统从电网电源侧传递至最终的服务器，先后经历了AC/DC、DC/AC、AC/DC、DC/DC四个能量变换环节，而每一个环节都有相应的能量损耗，

所以从总体来看，整个交流供电系统的能量传递效率相对较低。

从系统的可靠性角度考虑，每增加一个能量传递环节，系统的可靠性就会相应的有所下降，而交流供电系统的能量传递环节多达四个，且各个环节为串连结构，所以每个能量传递环节出问题，系统都无法正常工作，系统的可靠性同样相对较低。

如需建设A级数据中心，宜按容错配置变配电系统、不间断电源系统等，且互为备份的设备应分别布置在不同的物理隔间内。数据中心不间断电源系统电池备用时间应不小于15min。

液冷系统二次侧的CDU、液冷换热单元CDM、液冷配套的冷却水泵及冷塔、机房空调等设备需根据机房等级，配置不间断电源系统，后备时间应满足《数据中心设计规范》对空调系统配电的要求。空调系统配电应采用双AC380V/220V电源，末端切换。

此外，A级数据中心应由双重电源供电，并应配置10KV或0.4KV备用电源。备用电源可采用后备柴油发电机系统，也可采用供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路。

数据中心配变电所位置选择，宜靠近负荷中心、便于电源进出线、及设备运输及安装。抗震设防烈度为6度及以上地区，配变电所的设计和电气设备安装应采取必要的抗震措施。供电系统中，配电变压器宜选用D，yn11接线组别的干式变压器。

备用柴油发电机组的带载特性应不低于GB/T 2820 G3等级，低压发电机的绝缘等级不低于H级，中压发电机的绝缘等级不低于F级。A级数据中心备用柴油发电机组宜采用COP、70%的PRP功率或、DCP功率选型（注：国标GB/T2820.1-2022《往复式内燃机驱动的交流发电机组 第1部分：用途、定额和性能》2023年7月1日将实施，增加了柴油发机数据中心（DCP）功率）。

A级数据中心备用柴油发电机组，应按N+X冗余配置方式，燃油储存量宜不小于12h。当外部供油时间有保障时，燃料储存量仅需大于外部供油时间。

2.1.4 液冷数据中心的环境和设备监控系统设计

液冷数据中心由于在系统配置上相较传统风冷数据中心增加了液冷系统，因此设备监控系统宜对液冷系统的机电设备的运行状态、能耗进行监视、报警并记录，CDU、CDM、PDM、稳压泵站等设备自身应配带监控系统，监控的主要参数

应纳入设备监控系统，通信协议应满足设备监控系统的要求。

浸没液冷设备（浸没液冷机柜、CDM、稳压泵站等）布置的房间、有浸没液冷二次侧管路穿过的房间以及浸没液冷冷却介质存放的房间等所有可能发生浸没液冷冷却介质泄露的房间应设置制冷剂浓度探测装置及与其联动控制的事故通风系统。

2.1.5 液冷数据中心的能源再利用

液冷数据中心因其散热特性相较传统风冷型数据中心能用更低的成本提供更高的余热资源，适合办公及生活供暖、泳池加热、设施农业玻璃温室供热、粮食与木材烘干、林木育苗、工业化水产养殖、禽畜舍供暖等多种用热场景，结合液冷数据中心液冷系统的全年全地域自然冷却特性，液冷数据中心可依据余热利用场景灵活选择设置，就近消纳余热资源。

数据中心热回收可采用自建或合同能源管理等模式，供数据中心项目或周边厂房生活热水或冬季取暖使用。另外，在国家智慧农业的统一布局下，数据中心余热用于北方农业蔬果大棚的供暖也是发展趋势之一。

2.2 液冷数据中心智能监控与管理

液冷数据中心对液冷IT设备、CDU/CDM及机房环境进行实时智能监控与管理，保障液冷系统安全可靠运行。相关数据显示，相变浸没式液冷已在北京、成都、昆山、西安等多个大型数据中心推广应用，其中北京某信息中心自建成后已安全平稳运行长达7年；冷板式液冷已在互联网、金融、科研、气象、医疗、电力等行业多个数据中心项目中推广应用，中科院某所数据中心自建成后已安全平稳运行长达8年。

2.2.1 IT设备监控与管理

冷板式液冷服务器对CPU温度进行实时监测，根据功率变化实时调整流量大小，维持服务器元器件稳定的工作温度。应对漏液进行实时监测。

浸没式液冷服务器要求实现对压力、液位、温度参数的实时监控，通过对液位的精确控制，维持浸没腔体内元器件稳定的散热环境，并且要实现联动控制策略，如出现超出阈值情况，可实现自动减小负载或紧急关机等保护措施。

2.2.2 CDU/CDM监控与管理

CDU/CDM监控与管理具体要求如下：

(1) CDU/CDM均需支持双路供电，并能够对供电状态进行监测，保证系统运行的高可靠性。

(2) CDU/CDM可实现冷却介质供给与服务器散热量的实时精准匹配，以达到节省能耗的目的。在监控参数超出阈值时，可实现告警、数据片段记录和应急保护措施。不同液冷方式监控对象分别如下：

冷板式CDU的监控对象应包含液体温度、液位、液体电导率、泵状态、供液压力及流量，一次侧的供水温度、供水压差、阀开度等参数；

单相浸没式CDU的监控对象应包含液体温度、液位、泵状态、供液压力及流量，一次侧的供水温度、供水压差、阀开度等参数；

相变浸没式CDM的监控对象应包含系统压力、液位、液体温度、泵状态、供液压力及流量，一次侧的供水温度、供水压差、阀开度，机柜配电模块的电压、电流等参数。

(3) 漏液监测传感器应合理布置监测点，对可能出现泄漏的接头、管路或穿壁密封点实现多点监测，同时考虑液体挥发的影响，可通过软件策略实现泄漏位置范围的锁定。

2.2.3 机房环境监控与管理

机房环境监控包括温度、湿度、漏液、烟雾、房间级精密空调、新风系统、排风系统、空气质量等。液冷机房排风系统应与漏液监测实现联动机制，在机房内监测到液体泄漏且达到一定浓度时，可自动控制排风系统启动，确保机房环境安全。

2.2.4 供电系统监控与管理

采用中压直转设备配电系统时，中压综保整定值应躲过移相变压器的励磁涌流。移相变压器温控器应具备采集绕组温度、过温报警，超温联动跳闸命令，并应具备监控风扇的启停状态、报警信息。当采用气体绝缘的SF6柜型时，应设置事故通风及气体检测联动及报警系统。

每套中压直转宜采用一个总通信接口，可以实时设备组内监控系统的系统电压、电流和状态信息，当有告警时可简单显示告警信息。对整流模块的检测具有遥测（电压、电流）、遥信（工作状态）、遥控（开关机，均/浮充/测试）功能。

可对直流配电单元的检测具备输出电压、总负荷电流、功率、电量、主要分路电流、蓄电池充/放电电流等参数遥测功能，一级输出电压过压/欠压、蓄电池熔断器状态、均/浮充/测试、主要分路熔断器/开关状态，蓄电池二次下电等参数遥信功能。能根据需求设置相关的运行参数，具备掉电存储功能。所设置的运行参数在系统掉电时不会丢失，来电后自动恢复。当采用分类监控时，整流柜宜采用CAN总线管理整流模块，中压柜、移相变压器、输出柜宜采用RS485总线。

液冷数据中心宜设置PUE管理系统平台，实时检测PUE。测点位置、测量仪表精度、测量方法等均应符合《GB 40879-2021 数据中心能效限定值及能效等级》。

除相变浸没系统对供电系统有特殊要求外，单相浸没系统和冷板液冷系统的供电系统整体与风冷系统无本质区别，下面以精密配电管理系统和电源分配单元为例进行介绍：

(1) 液冷设备末端配电。末端配电列头柜宜采用精密配电管理系统，对输入回路可监控：开关状态、电压、电流、频率、功率因数、谐波、有功功率、无功功率、有功电度、故障信息、报警信息等；输出回路可监控：开关状态、电流、有功功率、故障信息、报警信息。应设置电流预警报警阈值，末端宜采用在线可调相位的热插拔开关，每个机柜供电回路末端开关不宜超过63A，当超过63A可采用多回路分配供电方式。

(2) 电源分配单元。电源分配单元可采用基本功能型、也可采用监控型电源分配单元。当采用监控型PDU时，应具有LED数字式电流指示，负载过流时PDU可发出告警信号。电源分配单元通过通信协议连接，传输相关信息，实现对PDU的分路或者总控的监测和管理。支持本地查看电压、总电流、分电流、告警状态、温湿度值、设备等信息；并且根据客户需求定制不同的监测功能，如：多个温度、湿度、烟雾、门禁、水浸、红外监测。

2.3 液冷数据中心运维

液冷数据中心较风冷方式减少了空调、冷机等制冷设备的维护，增加液冷系统的运维。液冷系统架构简单，通过气密性测试验收交付后，出现漏液等故障的概率极低，且通过产品设计及维护工装设计，可显著降低运维复杂度。即使出现极低概率的冷板漏液或刀片服务器漏液，也不影响其他服务器正常运行，可按照操作流程快速更换冷板或刀片服务器；其他液冷部件故障时可最大限度满足不停机在线更换。

2.3.1 液冷数据中心部件更换管理要求

液冷数据中心需要更换的部件主要包含CDU、CDM内部件，液冷管路部件及冷板相关部件。运维及售后使用文档应对部件维护及更换频次、更换操作步骤等详细说明。另外针对常用部件，应建立完善的备件库及成套检修设备，并储存在项目现场，定期维护，以保证更换的时效性。部件需要更换时，根据情况提前与服务器、基建等相关部门做好对接，以免影响业务。主要包含以下细节：

(1) CDU、CDM内部循环泵，关键传感器应考虑冗余配置，温度传感器尽量套管安装，压力传感器前增加关断阀。可满足在线更换，更换时不影响运行。

(2) 液冷管路环路设计，各机柜进出管路增加关断阀门。保证单点隔离，可满足在线维护。

(3) 运维及售后用手册应包括但不限于循环泵、传感器、电动调节阀、变频器、接头、滤网等关键部件的更换频次及更换操作步骤。

(4) 备品备件库包括但不限于温度传感器、压力传感器、快插接头、密封圈、卡箍等部件；检修设备包括但不限于内六角扳手、十字一字螺丝刀、活扳手、试电笔、万用表等设备。

(5) 根据更换部件是否需要停机，是否影响参数显示确认告知部门。能在线维护部件告知基建部门即可；若涉及到设备停机，需协调服务器部门确认停机时间。

2.3.2 液冷系统运维管理要求

液冷系统运维管理一般要求如下：

(1) 运维人员需定期对液冷系统进行巡检。具体产品根据相应运维手册做标准作业和维护。运维人员资质、数量应符合运维手册要求。

日常巡检主要检查并记录动环监控采集的液冷系统的几个关键运行参数，并对数据进行存档，以备后期系统优化或故障分析之用。

季度巡检一般是在每季度最后一周巡检时增加并对异常进行维护：

检查CDU/CDM报警显示界面是否有报警记录，并及时处理；

检查CDU/CDM电控系统散热风扇运行是否正常；

检查CDU/CDM后部管路连接处是否有泄漏；

检查电动调节阀手自动控制功能；

校验压差旁通阀和安全阀功能；

循环泵手自动控制和轮切检查，异常及时维护；

对本体进行除尘去污；

检查二次侧回液压力与系统压力差，如异常清洗系统过滤器滤芯。

(2) 在液冷机房现场的工作人员，应拥有国家规定的相应资质证件，同时要遵守机房的相关规定。

(3) 工作人员应按职业健康防护及相应运维手册要求，佩戴必要的劳动保护器具，如手套、防护口罩、防护服及护目镜等。

(4) 应为运维人员配备全套工具及工装，如十字螺丝刀、一字螺丝刀、活动扳手、六角扳手、保压工装、充排液工装等。

(5) 在进行有冷却液暴露可能的操作性工作时，需要提前检查机房通风情况，最大限度地利用房间内的新排风系统进行换气。

(6) 相变浸没式液冷刀片服务器需要下架维护时，使用自动充排液设备对刀片进行一键自动排液；新刀片或维护后刀片服务器上架时使用自动充排液设备对刀片进行一键自动充液。

冷却液日常运维要求如下：

(1) 日常巡检时需对储液箱的液面情况进行观察。当液面低于指定刻度，或液位传感器已触发低液位告警时，根据实际情况进行液体补充作业。

补充冷却液前，核实冷却液种类、型号等，严禁混用不同种类、型号的冷却液。根据系统功能设计及现场情况，选择手动补液或通过补液系统进行补液。

(2) 运维人员需对冷却介质进行定期质量监测，若出现超标或污垢腐蚀等情况时，需要依据相关规定进行补液、更换冷却介质等。在冷却介质的充排液处理时，应该参照维护手册进行并遵守相关规程，最大限度地降低容器或管路的对外裸露面积。

(3) 冷却液需存放在阴凉、干燥、通风处，避免长期敞开容器，不使用时请确保容器密封。每年按照数据中心总用量的3%-5%进行备液。

(4) 冷却液废弃处置应按照当地相关法规，交由有资质的化学品处理机构或回收点完成。

冷却液泄漏应急处置要求如下：

(1) 设备使用和维护过程中应尽量避免冷却介质溢出，针对冷却介质可能发生泄漏情况，应制定冷却介质泄漏应急处置方案。

(2) 运维人员巡检发现冷却介质泄漏时，判断为轻度溢出时可以使用专用材

料吸收，并对残留液体做清洁；对大量的溢出或泄露的冷却液，用泵抽回到专用容器中，交到专业机构进行提纯（针对浸没式冷却液）、回收或废弃处理，严禁直接使用或排放至外界环境中。

3 液冷基础设施关键设备

3.1 冷板式液冷基础设施

3.1.1 冷板式液冷技术简介

冷板式液冷是指采用液体作为传热工质在冷板内部流道流动，通过热传递对热源实现冷却的非接触液体冷却技术。其中，热量通过装配在需要冷却的电子元器件上的冷板，再通过冷板与液体工质的热交换实现的方式，称为间接式液冷。其与浸没式液冷技术不同，是以可流动的液冷为冷却介质，通过冷板内部液体流动方式交换热量，而后者主要是指电子元器件（通常在热源表面也需要安装散热翅片，以增加热交换面积）与冷却介质直接接触的冷却方式。

冷板式液冷系统可以基于原风冷的交换模式通过液冷提高散热器的热交换能力并减少风扇等易损件的使用，相较于传统风冷散热，具有集成度高、散热效率高、降低噪音及震动、静音节能、成熟度较高等特点，是解决大功耗元件部署、提高能源利用效率的有效手段之一。

3.1.2 冷板式液冷系统结构组成

冷板式液冷系统主要由以下几部分组成：冷却介质、冷板套件、液冷机柜、液冷换热单元(CDU)和室外冷却设备。

冷板式液冷工作原理如图3.1所示，冷板式液冷是将服务器内的主要散热元器件CPU、GPU、内存等产生的热量通过与冷板内的液体进行热交换并带出服务器，这一部分的热量占服务器总热量的50%-80%，剩余少部分的热量采用传统的风冷技术，通过空气与服务器进行热交换。冷板液冷系统中的二次侧的中高温液体带走服务器的热量，流经室内热交换单元CDU，一次侧闭式冷却塔处理的中温循环水流经到CDU时对二次侧液体进行持续性的降温处理，这一过程中的主要动力装置为循环水泵以及闭式冷却塔中的风机。冷板式液冷方案相比于传统风冷行间空调方案，减少了风冷行间空调中主要能耗部件——压缩机以及室内侧风机的数量，故可以有效降低能耗。

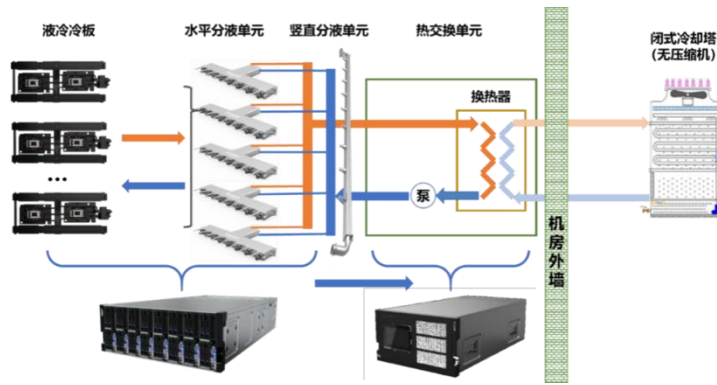


图 3.1 冷板液冷系统原理图

CPU的 $T_{case_max} < 85^{\circ}C$ 即可保证CPU正常运行，然而若能保障运行温度越低，则故障率越低，并且使用寿命越长；由理论和实践经验可知，液冷方式热阻远小于风冷散热方式热阻。因此，在保证CPU满足正常使用的情况下，可以提高室外冷源的进水温度至 $35^{\circ}C$ 以上，这样实现液冷系统采用高温水冷源供冷设计，可实现全年自然冷却，即无需采用冷冻水机组压缩机制冷，冷板液冷微模块及冷板液冷整体解决方案如下图所示。



图 3.2 冷板液冷微模块

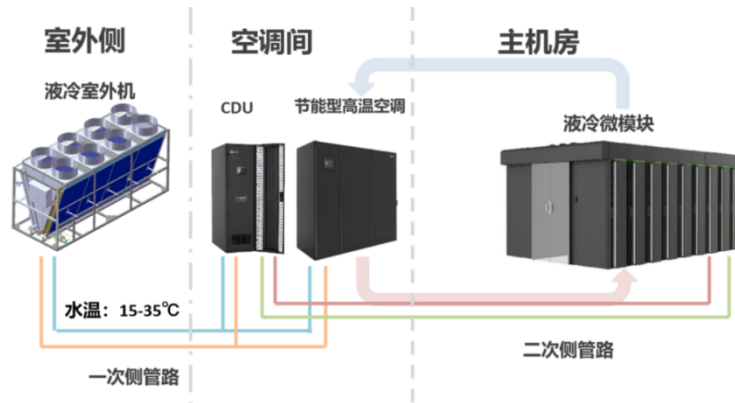


图 3.3 冷板液冷整体解决方案

采用冷板液冷的散热系统，优点是保留现有计算机系统形态，仅需将原风冷散热模块替换为液冷散热模块，并将冷却介质管路引出机箱即可，冷却介质在冷板及管路中传输有其自身通路，并不与电子器件直接接触。

冷板液冷方案一般具备以下特点：

- (1) 兼容性好，在不改变目前服务器主板的情况下即可实现，拆卸简单，安装方便。
- (2) 冷却介质成本较低，系统对冷却介质的要求较低，多种冷却介质均可。
- (3) 维护方便，服务器上下架可实现热插拔，服务器与机柜的连接采用快速接头形式，另外未改变客户使用习惯，保留了原有服务器的形态及维护方式。
- (4) 性价比高、噪音低、节能环保。
- (5) 技术成熟度高，产业链更成熟，落地性更强。

3.1.3 液冷机柜

冷板式液冷机柜形态如图3.4所示，一般采用标准19英寸设计，可兼容现有标准19英寸冷板液冷服务器，前后门宜采用网孔门利于风冷部分散热，材质铝镁合金，自重轻、承载能力大。考虑安装维护便利性，宜通过结构设计，实现支持液冷垂直分液单元免工具安装、支持大功率PDU免工具安装的功能，在支持液冷相关设备的同时，宜考虑最大程度利用现有空间，机柜框架深度尺寸可实现不超过1200mm。



图 3.4 冷板式液冷机柜示意图（左：正面 右：背面）

3.1.4 液冷换热单元（CDU）

液冷换热单元又称“冷量分配单元”，简称“CDU”，是指用于二次侧高温液态冷却介质与一次侧冷源进行换热，并对液冷IT设备提供冷量分配和智能管理的模块。

CDU应具备以下功能：

（1）为室内系统的冷却介质提供循环动力，保证冷却介质持续循环，源源不断地带走负载热量。

（2）综合分析系统运行状态，调节系统中总冷却介质的流量、流速，实时调配负载均衡。

（3）二次侧与一次侧通过CDU进行热交换，最终将负载产生的热量高效传递到室外。

目前市场主流CDU设备一般具备如下特点：

（1）规格丰富：具备机架式和机柜式两种类型，且规格型号丰富(如表3.1所示)，可根据应用场景灵活选择。

（2）可靠性高：关键部件进行冗余设计，系统可靠性更高。

（3）精确控制：出液温度稳态控制精度可达 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，动态控制精度可达 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

（4）易于维护：关键部件支持在线更换，移除故障无需停机，且内置储液装置，可进行在线自动补液，运维方便。

（5）功能齐全：可选配电导率监测、补液系统等功能，带载范围支持无级调节。

（6）机柜式CDU支持并机、热备及群控功能。

表 3.1 某品牌系列产品规格类型

安装形式	机架式	机架式	机柜式	机柜式	机柜式
换热形式	风-液	液-液	液-液	液-液	液-液
制冷量	10kW	30/55kW	300kW	600kW	1200kW
尺寸	8U	6U	600*1200*2000	900*1200*2200	1200*1200*2200
额定工况	25°C进风温度	一次侧进出液温度35/45°C，二次侧供回水温度40/50°C			

注：按照一二次侧供回温差为10°C计算

3.1.5 垂直分液单元 (VCDU)

垂直分液单元简称“VCDU”，又称分集液器 (Manifold)，VCDU垂直安装在机柜内后部，一供一回两根管路分别挂接在机柜两侧或同侧，主要作用是将液冷换热单元CDU提供的冷却介质分配到机柜各台液冷服务器中。

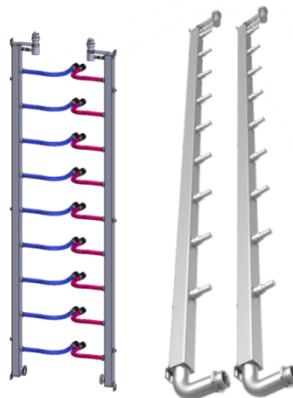


图 3.5 垂直分液单元 VCDU

VCDU应具备以下属性：

- (1) 供液均流性，即确保将冷却介质均匀分配至每台冷板式液冷服务器；
- (2) 部署灵活性，即可根据实际部署服务器灵活选择分支口数及接口形式。

另外，为防止液冷渗漏，确保施工维护便利性，VCDU分支路管线接口应采用防滴漏快速连接器，快速连接器可实现免工具插拔，插拔的同时不会造成液体滴漏，同时大大减少施工难度、缩短工期。

3.1.6 冷却介质

3.1.6.1 冷却介质

液冷系统中用于实现热量交换的冷却液体，统称冷却介质，在二次侧循环系统中流动，常用的工质按照是否水基进行划分。其选择时要主要考量与二次侧液冷模组中所有浸润材料的相容性、可靠性、危害性、成本优劣等。

将不同冷却介质的优缺点罗列如下表3.2、3.3、3.4、3.5。

表 3.2 水基冷却介质优缺点

水基冷却介质	
优点	缺点
纯水	
冷却介质性能稳定，测量、判定指标简单，通常是通过电导率去判定。	因纯水保持条件受环境影响较大，故其二次侧循环系统需要有去离子装置，同时需要定期更换装置。
低成本、易得、理想冷却水材料、冷却效率高、粘度低。	对环境要求较为苛刻，伴随杂质的溶解，其电导率上升，导电。
配方液	
传热优良，可防止腐蚀、微生物滋生	配方剂量（浓度）会随时间耗散，失去原有的缓蚀、杀生、抑菌作用，且在何时会处于某种品质、该品质是否能满足当下需求，都无法直观体现，需要外部资源介入分析。对定时监测要求高。
	导电率高，不推荐使用。
	配方液一般配方不公开，不同配方液不能混用，更换一种配方液都需要重新清洗整个系统。不推荐使用。

表 3.3 防冻液优缺点

防冻剂	
优点	缺点
可以通过调整体积浓度，适应具体环境	乙二醇(CH ₂ OH) ₂ 等醇类，醇类的氧化产物与醇的结构有很大关系，①若羟基的α-C连接了2个氢原子，氧化之后产物先为醛后被氧化为酸；②若羟基的α-C连接了1个氢原子，则被氧化为酮；③若羟基的α-C没有连接氢原子，则不能被一般的氧化剂氧化。易得乙二醇的结构为（键线式），均为sp ³ 杂化的碳，则可知乙二醇羟基的α-C上连的氢原子均为两个可以被氧化。形成的酸对金属有腐蚀。
一定浓度的丙二醇/乙二醇，可抑制细菌生长	乙二醇含有羟基，长期在80℃-90℃下工作，乙二醇会先被氧化成乙酸，再被氧化成草酸，即乙二酸（草酸），有毒。

	<p>随着乙二醇含量的增加，系统粘性增加，散热性能降低。</p> <p>丙二醇对金属不易腐蚀，毒性和刺激性都非常小，通常无成本要求的情况下优先使用。</p>
--	--

表 3.4 介电液体优缺点

介电液体	
优点	缺点
纯水液	
导电率低，低流速下可实现高风速下的同等对流换热系数，可替代风冷，安静散热。	氟化液厂商有限（已大规模量产使用的厂家有限）
	成本相对较高
	对硬件有一定电气要求
	密度大、重、比热低
	因涉氟，必要时需要考量对环境的影响

表 3.5 冷却介质优缺点

冷却介质	
优点	缺点
冷却介质应用时间比较久，技术已趋于成熟化，可替代型号较多，同时其环评也在可接受范围，对环境的影响小。	通常其工作压力较高，若要牺牲其工作压力，则其对应潜热降低、即牺牲一部分性能。
冷却介质只有物理变化，无化学变化，没有分解作用，不用考量分解物对于金属的化学反应，无腐蚀性。	
可以是惰性的-无毒/不易燃/不导电	理想冷却介质是无毒、不爆炸、对环境无害的，但一些合成物会对环境有一定影响，使用时因做已区分。
较高的潜热	对散热模组、液冷模组通道内部结构有一定要求，因其自身比重较低，故其动能和水有一定差异。
通过自身的物理变化，吸收或释放热量，不需要额外做工，从而节省系统的风机、泵类部件的输出。	储存、注入工序对设备有一定要求，同时要注意一定压强。

3.1.6.2 冷却介质设计要求

应有良好的载冷能力，密度和比热的乘积应很高。

应有良好的环境适应能力，更低的凝固点和更高的沸点。有利于防冻，以及有利于降低系统压力和降低系统设计的复杂性。

应有良好的材料兼容性，应与管路材料（包括金属和非金属）有良好的兼容

性，保障长期运行的可靠性。

应有良好的环保特性，低GWP(全球变暖潜值)和低ODP（臭氧消耗潜值），满足当地环保法规。

应有良好的低粘度性能，在工作温度10-45℃范围内，粘度<1cp。

根据《YDT 3983-2021 数据中心冷板式液冷服务器系统技术要求和测试方法》和《T/CIE 088-2020 非水冷板式间接液冷机房设计规范》，二次侧冷却介质水质需满足要求如表3.6所示。

表 3.6 冷却介质设计要求

项目	单位	去离子水水质	二次侧水质	
			铜冷板	铝冷板
pH (25℃)		6.5-7.5	8.0~11.0	7.0~8.7
菌落总数	cfu/ml	<100	<100	<100
浊度	NTU	<1	<5	<5
氯离子	mg/L	<5	<30	<30
总硬度	mg/L, as CaCO ₃	<5	<20	<20
电导率	μs/cm	<5	<2000	<2,000
硫酸根	mg/L	<5	<10	<10
铜离子	mg/L	<0.1	<0.5	<0.5
铁离子	mg/L	<0.1	<0.5	<0.5
铝离子	mg/L	<0.1	NA	<0.5
缓蚀剂	mg/L	NA	必须	必须
杀菌剂	mg/L	NA	必须	必须

3.2 单相浸没式液冷基础设施

3.2.1 单相浸没式液冷技术简介

单相浸没式液冷是以液体作为传热介质，将发热电子元件直接浸没于冷却液中，通过冷却液与电子元件的直接接触进行热交换的液冷技术。在此热交换过程中冷却液仅温度发生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。相比于传统的风冷散热系统，单相浸没液冷技术能够有效地降低服务器的工作温度，提高数据中心的能效水平。

单相浸没式液冷技术具有如下优点：

- (1) 更高的散热效率

单相浸没冷却系统中冷却介质与发热器件直接接触，减少了热阻；与风冷方式相比，使用的冷却介质相同体积下的散热效率提升1000倍以上，换热效率高。

(2) 更高的设备可靠性

采用单相浸没散热方式，降低了部件和元器件的运行温度，设备内部温度场均匀，部件可靠性更加有保障；另外由于采用了密闭的浸没腔，避免了外界环境（如温湿度、盐度、灰尘和振动）对服务器的影响。

(3) 更高的能源利用率；

单相浸没散热系统实现了电子设备的全液冷散热，内部无风扇部件，PUE值低至1.1以下。

(4) 更高的功率密度

单相浸没式液冷散热系统不需要使用大量的风扇和其他空气流动设备，因此能够节省更多的空间，可以将单机架功率提升到80kW以上，满足高密度计算场景对散热的需求。

(5) 更低的噪音影响

单相浸没散热系统内部无风扇部件，噪音可以低至45dB，提高了机房的环境舒适度。

3.2.2 单相浸没式液冷系统结构组成

单相浸没式液冷系统主要由以下几部分组成：冷却介质、浸没腔体（Tank）、液冷换热单元(CDU)和室外冷却设备。其中，Tank又由密闭箱体、液体分配单元、温度传感器、液位传感器等组成，作为电子元件与液体进行热交换的场所，为电子元器件提供安全可靠的冷却环境，是单相浸没式液冷系统的核心部件；室外冷却设备可选择干冷器、开式冷却塔或闭式冷却塔等。

单相浸没系统原理图如下所示，单相浸没液冷是将服务器放置于密闭的浸没腔中，此时，服务器设备内所有发热电子元器件均需浸没在腔体的冷却介质中，服务器运行时发热器件会产生大量的热量，该热量会被冷却介质吸收并导致冷却介质的温度升高，在底部低温冷却介质的注入和对流现象的影响下，高温冷却介质会向上流动并被收集后送入CDU中进行热交换排出热量，使冷却介质恢复低温再次被注入浸没腔中，使得冷却系统中的服务器运行稳定。

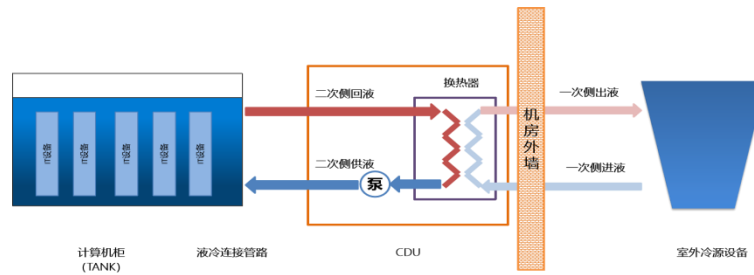


图 3.6 单相浸没系统原理图

3.2.3 浸没腔体 (Tank)

Tank形态如下图所示，Tank的设计主要考量可靠性、气密性、均流性、降低流阻、强化散热等方面。Tank底部宜采用多孔板加填充块设计，需要注意保证进入各节点的液体流量均匀。填充块固定在Tank两侧和下部，形成Tank内液体流道，同时起到减少液体使用量的作用。

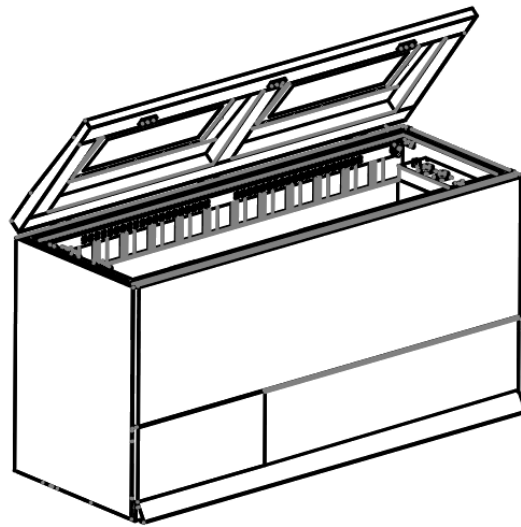


图 3.7 Tank 形态示意图

3.2.4 液冷换热单元 (CDU)

CDU的设计主要是考量整系统设计进行功能性适配。可以选择性能较强的CDU采用1拖多的CDU设计，也可以选择小型化一拖一设计，需根据实际需求进行整系统的成本分析计算（如下图所示）。在流量控制上推荐选择温差控制，其他显示、监控、报警功能根据实际需求增减即可。

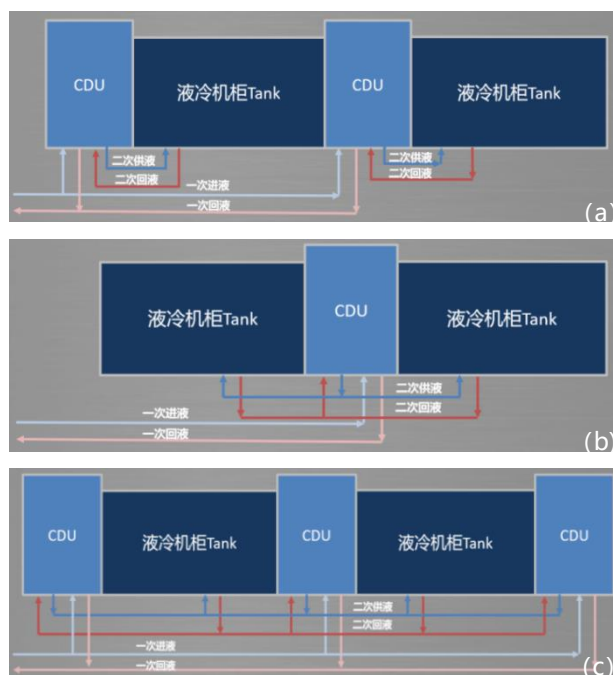


图 3.8 单相浸没系统配置示意图

(a) “一拖一”配置 (b) “一拖二”配置 (c) “N+1拖N”配置

3.2.5 冷却介质

浸没式液冷冷却介质与服务器直接接触，应具有良好的化学稳定性和良好的热稳定性，同时应具备良好的绝缘性和电气特性，材料兼容性优，且安全、环保、无毒。单相浸没式液冷冷却介质还应具备较高的沸点。碳氟化合物是满足以上条件的最佳材料，也是单相浸没式液冷核心技术之一。以下为国内外主流低沸点氟化液产品参数对比。

表 3.7 国内外主流氟化液产品参数对比

型号 参数	Noah 3000EP	FC-3283	FC-40
沸点 °C (常压)	124.4	128	155
密度 kg/m ³	1855	1820	1850
比热 J/kg.K	-	1100	1100
运动粘度 cSt	1.376	0.75	1.8
介电常数 1kHz	2.09	1.9	1.9
臭氧消耗潜值 ODP	0	0	0
温室效应值 GWP	108	-	-

3.3 相变浸没式液冷基础设施

3.3.1 相变浸没式液冷技术简介

相变浸没式液冷是以低沸点液体作为传热介质，将发热电子元件直接浸没于冷却液中，通过冷却液与电子元件的直接接触进行热交换的液冷技术。在此热交换过程中冷却液不仅温度发生变化相态也会发生变化，过程中主要依靠物质的潜热传递热量。因为冷却液相变潜热极大，相变浸没式液冷换热能力更大，可满足超高热流密度服务器散热需求，同时显著提升数据中心能效水平。

相变浸没式技术具有如下优点：

(1) 更高的散热效率

相变浸没冷却系统中冷却介质与发热器件直接接触，减少了热阻；与非相变浸没散热方式相比，相变换热效率极高，潜热（相变）为显热（非相变）的数百倍。通过表面处理技术强化沸腾传热，可大大提高传热效率，相变浸没式液冷技术可使CPU核温低于65℃。可允许芯片超频运行，性能约可提升10-30%，相当于单位算力的拥有成本可降低10-25%。

(2) 更高的设备可靠性

采用相变浸没散热方式，通过相变换热有效降低了部件和元器件的运行温度，减小了部件和元器件随负载的温度变化幅度；设备内部温度场均匀，从而避免了局部热点，部件可靠性更加有保障；另外由于采用了密闭的浸没腔，避免了外界环境（如温湿度、盐度、灰尘和振动）对服务器的影响。

(3) 更高的能源利用率

浸没相变液冷服务器取消了传统风冷服务器风扇、CPU散热器，同时液冷配套的冷却系统中，取消传统风冷系统的压缩机及其相关部件，且室外侧可实现全年全地域自然冷却，PUE值低至1.1以下，比传统风冷机房节能30%以上。

(4) 更高的功率密度

可实现计算节点紧凑化部署，大幅提高节点部署密度，可将单机架功率提升到200kW以上，完全可以满足高密度计算场景对散热的需求，并且节省主机房空间约80%。

(5) 更低的噪音影响

浸没相变式液冷系统无需配置任何风扇，噪音低至45dB，真正实现“静音机房”效果。而传统风冷数据中心噪音水平的典型范围为70dB至80dB。

3.3.2 相变浸没式液冷系统结构组成

相变浸没式液冷系统主要由以下几部分组成：冷却介质、密封浸没腔体、液冷连接系统、液冷换热模块（CDM）和室外散热设备。考虑到相变过程导致的压力控制问题和运行维护的便利性，相变浸没式液冷的密封浸没腔体设计需与IT设备相匹配，因此关于密封浸没腔体的相关技术要求将在本白皮书第4章展开介绍；CDM由循环管道、液气换热器（冷凝器）、循环泵、储液器和阀门等组成，其作为一次冷却环路和二次冷却环路的中间节点，为电子元器件提供安全可靠的冷却环境，是相变浸没式液冷系统的核心部件；室外冷却设备可选择干冷器、开式冷却塔或闭式冷却塔等。

相变浸没液冷是将服务器放置于密封的浸没腔中，此时，服务器设备内所有发热电子元器件均需浸没在腔体的冷却介质中，服务器运行时发热器件会产生大量的热量，该热量会被冷却介质吸收；由于冷却液沸点较低，如FCM-47在47°C时沸腾，冷却液吸收热量后从液态转化为气态从而带走热量。气态冷却介质经过收集并回到CDM的冷凝器中，被冷却水冷凝，实现热量从蒸汽传递给冷却水，再经过一次侧冷却塔将冷却水携带的热量散发到室外，完成热量的传递（如下图所示）。二次侧冷却介质通过加热-沸腾-冷凝-回流进行循环，循环过程中相变浸没冷却系统温度恒定在冷却液的沸点，该沸点温度低于发热电子元器件的最高正常工作温度，继而使得冷却系统中的服务器的运行稳定。

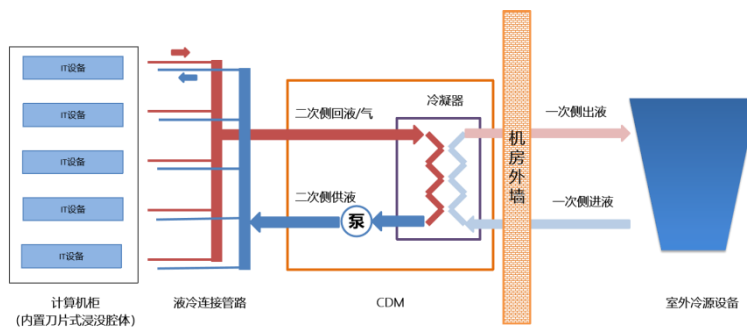


图 3.9 相变浸没液冷系统原理图

3.3.3 液冷换热模块（CDM）

液冷换热模块简称“CDM”，是为解决相变浸没式液冷服务器散热问题所推出的一体化散热模块，具有超低能耗、高制冷效率、低噪声、高可靠性等特点。CDM是指用于二次侧气态冷却介质与一次侧冷源进行换热，对液冷IT设备提供冷量分配与智能管理的模块。CDM具体工作原理如下：

在二次侧循环中，低温液态冷却介质由液冷换热模块CDM输送至热源散热器（蒸发器）中，冷却介质在热源散热器中吸热，升温、沸腾变成气态冷却介质，然后冷却介质气体汇集进入CDM的换热器（冷凝器）中与一次侧水进行换热，冷凝成为低温液态冷却介质，然后再次被CDM输送至热源散热器中，完成二次侧循环。在二次侧循环中，通过冷却介质的相变实现热量的转移；

在一次侧循环中，低温水在CDM换热器中升温后变成高温水，高温水由一次侧循环水泵输送到室外冷却塔中与大气进行换热，变成低温水。然后低温水再被输送到CDM换热器中，完成一次侧循环。在一次侧循环中，通过水的温升实现热量的转移。

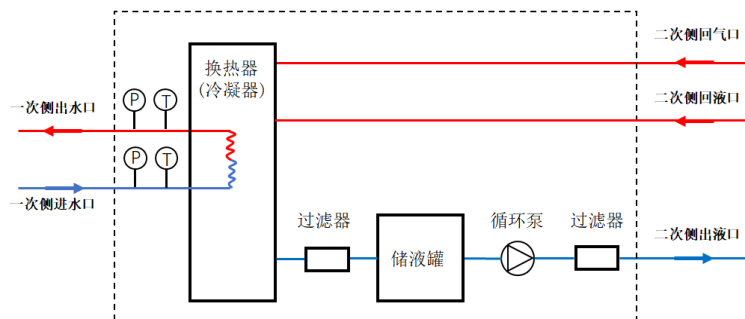


图 3.10 CDM 原理图

CDM应具备以下功能：

（1）为冷却介质提供循环动力

在二次侧循环中，CDM为整个液冷系统内的冷却介质提供循环动力，保证系统中的冷却介质持续循环，源源不断地带走负载热量。

（2）控制循环系统中冷却介质的温度、压力和流量

在二次侧循环中，CDM是整个系统的控制核心，所有系统内关键点的信号均汇总到CDM中。CDM综合分析系统运行状态，根据预定策略，调节系统中总冷却介质的流量、温度和压力。

（3）将冷却介质携带的热量传递到一次侧

CDM是室内机部分与室外机部分物理上的连接点。室内机部分与室外机部分通过CDM进行热交换，最终将负载产生的、由冷却介质携带的热量高效传递到室外，通过室外机部分的系统循环将热量最终释放到自然环境中。

（4）服务器充排液

根据使用需求支持刀片运维下架时的排液功能，可对单个刀片服务器进行排液。

计算单元配套标准化预制机柜设备支撑架（以下简称“设备底座”）。设备底座不仅为计算机柜和CDM提供支撑，也为CDM提供水力调节和冷却介质循环功能。如下图所示，设备底座内置蝶阀、过滤器、电动平衡阀、流量计、电动调节阀及机械压力表等部件。供回水管路均应采用SUS304材质管件，管件宜采用快装卡盘连接，确保系统结构紧凑、安装简单、维护便捷。

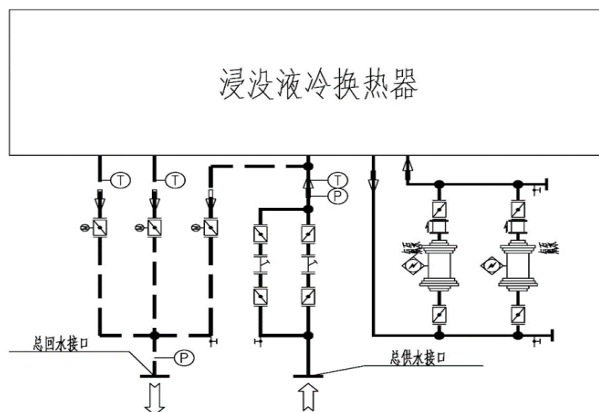


图 3.11 设备底座原理图

3.3.4 水平分液集气单元（HCDU）

水平分液集气单元简称“HCDU”，分为集气器和水平分液器两部分。集气器用于汇集由计算刀片流出的制冷蒸汽，并与回气管连接，将制冷剂蒸汽送入CDM中；水平分液器将CDM送入的冷却介质平均分配进入刀箱内的各个计算刀片。

一般HCDU部署于计算刀箱的后部，通过快速连接器与浸没腔体的气相和液相口相连。在工作时，由制冷模块送来的液态冷却介质经设备机箱的输入主冷却介质连接器进入HCDU液仓后，平均分配进入浸没腔体内；浸没腔体内产生的气态冷却介质送到HCDU汽仓，集中后经由VCDU送至制冷模块中进行冷凝。另外，系统内应设控制系统，用以控制设备内所有部件的工作运行温度，以保障设备安全、可靠地运行。具体结构如下图所示：

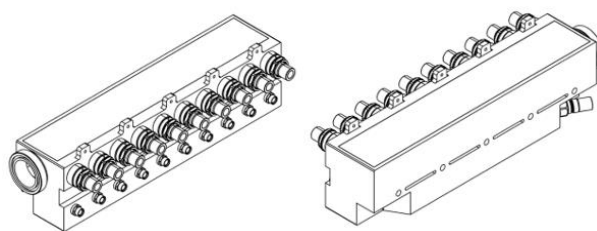


图 3.12 水平分液集气单元 HCDU 示意图

快速接头是一种不需要工具就能实现管路连通或断开的接头，具有防止液体

泄漏和支持热插拔的特性，保证系统安装或维护过程中冷却介质不泄漏。在液冷系统的实际应用部署时，不但要考虑系统基本功能，还需考虑液冷系统的易用性、安全性，以便于系统安装、施工、运输、维护。

3.3.5 竖直分液单元 (VCDU)

竖直分液单元简称“VCDU”，又称分集液器 (Manifold)，主要功能是将经过CDM换热后的低温冷却介质均匀地分配到计算柜前舱的HCDU与各个后舱网络模块冷板中（如下图所示），流体吸热后再通过VCDU汇集进入CDM中。

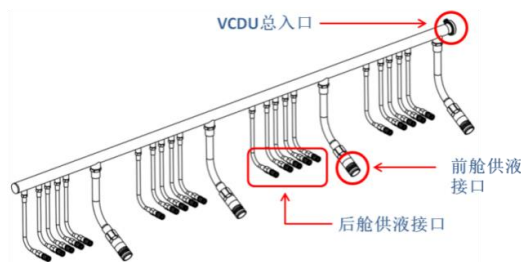


图 3.13 竖直分液单元 VCDU 示意图

3.3.6 液冷充放液工装设备

液冷充排液工装主要辅助实施及运维人员进行操作，包含浸没服务器专用冷却液自吸式充排液泵，充排液工装可根据需求进行充液和排液切换，充排液泵具有足够的吸程和扬程，满足在机房内和机房外充排液的需求。

充排液工装不仅可实现液冷换热模块的充排液，还可根据使用需求实现刀片运维下架时的排液功能，可对单个刀片服务器进行排液。

在实际应用时，为提升实施和运维的操作便利性，充排液工装设备还可通过模块化设计，满足所有日常运维刀片排液和CDM补液要求，同时还可采用车载式集成设计，以提供更轻松便捷的使用体验。

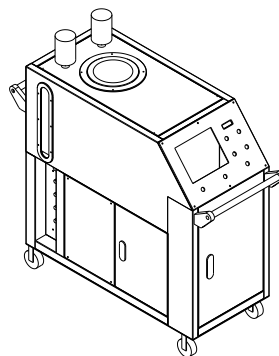


图 3.14 充排液工装示意图

3.3.7 冷却介质

浸没式液冷冷却介质与服务器直接接触，应具有良好的化学稳定性和良好的热稳定性，同时应具备良好的绝缘性和电气特性，材料兼容性优，且安全、环保、无毒。相变浸没式液冷冷却介质还应具备较低的沸点和较高的汽化潜热。碳氟化合物是满足以上条件的最佳材料，也是相变浸没式液冷核心技术之一。

目前国内厂家已可实现低沸点电子氟化液的国产自主可控，完成各项参数的长周期测试，并在国内多个大型和超大型液冷数据中心中规模化应用。国产电子氟化液的产品参数可媲美进口电子氟化液参数，甚至个别参数优于进口指标，国产电子氟化液的产品成本较进口产品也有大幅度下降。以下为国内外主流低沸点氟化液产品参数对比。

表 3.8 国内外主流氟化液产品参数对比

型号 参数	SFM-5016N	FC-72	Novec7100
沸点 °C (常压)	50	56	61
密度 kg/m ³	1618	1680	1510
比热 J/kg.K	1220	1100	1183
潜热 kJ/kg	90	88	112
运动粘度 cSt	0.37	0.38	0.38
介电常数 1kHz	1.9	1.8	7.4
臭氧消耗潜值 ODP	0	0	0
温室效应值 GWP	20	7400	297

4 液冷IT设备

4.1 冷板式液冷IT设备

4.1.1 冷板式液冷系统设计总体要求

4.1.1.1 环境要求

根据《GB/T 9813.3-2017 计算机通用规范 第三部分：服务器》中环境温度及流体工作温度等要求如下：

IT设备需要满足其产品PRD需求，当需求方环温要求低于或高于国际标准要求时，需根据实际情况另做讨论，同时二次侧供液温度应尽可能满足参考值。

表 4.1 冷板式液冷系统环境温湿度要求

环境要求	参数值		
	1级	2级	3级
电子设备工作 环境温度	10°C ~ 35°C	0°C ~ 40°C	-10°C ~ 55°C
流体工作 温度	一次侧供液温度参考值：5°C ~ 32°C（视实际情况而定）		
	一次侧供回液温差参考值：5 ~ 10°C		
	二次侧供液温度参考值：凝露温度+3°C ~ 40°C（视实际情况而定）		
	二次侧供回液温差参考值：5 ~ 15°C（视实际情况而定）		
存储温度	-40 ~ 55°C		
湿度要求	存储运输：20% ~ 93%（40°C）；工作时：35% ~ 80%		
结露要求	不得结露（供水温度应比室内露点温度高出3°C以上）		
海拔要求	900米以下无需修正，超过900米，最高支持环温标准每300米降低1°C进行设计		

4.1.1.2 性能要求

(1) 液冷占比LPE

衡量液冷系统性能时还需引入液冷占比概念，液冷占比是液冷系统中直接通过液体带走的热量(功耗)与设备总功耗的比值。液冷占比体现液冷系统直接利用液体冷却带走热量的效率，液冷占比越高，冷却效率更高。推荐采用高液冷占比的系统提升能源利用效率。

根据《YD/T 3980-2021数据中心冷板式液冷服务器系统技术要求和测试方法》，液冷占比计算公式如式（1）所示：

$$LPE=PL/P0 \quad (1)$$

式中：

LPE:liquid performance efficiency, 液冷性能效率, 简称液冷占比;

PL:直接液冷功耗, 为直接由液冷带走的冷却功耗;

P0:系统总功耗, 包含直接液冷功耗, 风冷功耗两部分;

根据《YD/T 3980-2021数据中心冷板式液冷服务器系统技术要求和测试方法》, 液冷占比等级可分为四级, 详见表4.2。

表 4.2 液冷占比分级

液冷占比等级	液冷占比 (总负载100%)	备注
LPE: 1	< 50%	低
LPE: 2	50%~70%	中
LPE: 3	70%~80%	中高
LPE: 4	> 80%	高

(2) 液冷系统PUE

PUE是表征数据中心电能利用效率的参数, 是数据中心内所有用电设备消耗的总电能与所有电子信息设备消耗总电能源的比值。PUE是一个大于1的值, 其值越接近1, 表明数据中心的绿色节能程度越高。公式如下:

$$\begin{aligned}
 PUE &= \frac{\text{数据中心总能耗}}{\text{IT设备总能耗}} \\
 &= \frac{\text{IT设备总能耗} + \text{空调调系统能} + \text{供配电配电系统} + \text{其他能耗}}{\text{IT设备总能耗}} \quad (2) \\
 &= 1.0 + \text{空调调能效因子} + \text{供配电配电能效} + \text{其他能效因子}
 \end{aligned}$$

(3) 液冷系统WUE

WUE是表征数据中心水利用效率的参数, 其数值为数据中心内所有用水设备消耗的总水量与所有电子信息设备消耗的总电能之比。

$$WUE = \frac{\text{数据中心水资源的全年消耗量}}{\text{IT设备全年耗电量}} \quad (3)$$

采用水冷空调系统的数据中心, 其耗水主要包括冷却水蒸发、冷却水排水、IT房间加湿用水、软化水设备用水、设备维护用水和柴发系统运行及维护用水。

目前PUE及WUE指标尚未形成行业内通用计算标准, 故前期液冷系统设计时主要参考散热性能及液冷占比指标, PUE及WUE指标为辅。

4.1.2 液冷部件的设计要求

4.1.2.1 浸润材料

内部常用胶圈材料有氟硅橡胶、三元乙丙橡胶、丁晴橡胶，选用胶圈材质时需兼容流体介质。壳体材料和镀层需要具有较强的耐磨和抗腐蚀能力，结构强度满足服务器机械性能要求，尤其适合动态应用(如冲击，振动等)。不同厂商供应的连接器禁止互换插合，有漏液风险。

液冷模组表面或内部结构和冷却介质有接触的材料，必须和冷却介质之间具备相容性，从而避免局部泄露的发生，溶剂混溶性如表4.3所示。

表 4.3 溶剂混溶性表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1	乙醇																														乙醇	
2	丙酮																															丙酮
3	乙醚																															乙醚
4	苯																															苯
5	正丁醇																															正丁醇
6	四氯化碳																															四氯化碳
7	氯仿																															氯仿
8	环己烷																															环己烷
9	环戊烷																															环戊烷
10	二氯乙烷																															二氯乙烷
11	二氯甲烷																															二氯甲烷
12	二甲基甲酰胺																															二甲基甲酰胺
13	二甲基亚砜																															二甲基亚砜
14	二氯六环																															二氯六环
15	乙酸乙酯																															乙酸乙酯
16	乙醇																															乙醇
17	乙醚																															乙醚
18	正庚烷																															正庚烷
19	正己烷																															正己烷
20	甲醇																															甲醇
21	甲乙醇																															甲乙醇
22	异辛烷																															异辛烷
23	戊烷																															戊烷
24	异丙醇																															异丙醇
25	二丙醇																															二丙醇
26	四氯乙烷																															四氯乙烷
27	四氢呋喃																															四氢呋喃
28	甲苯																															甲苯
29	三氯乙烷																															三氯乙烷
30	水																															水
31	二甲苯																															二甲苯

不互溶
 可互溶

4.1.2.2 过滤清洁装置

二次侧过滤精度推荐值为50μm，一次侧过滤精度推荐值180μm。尽可能地减少过滤器的压降从而提高系统冷却效率。可根据开式系统或密闭式系统选择过滤装置的精度。

通常情况下，连接器对装置的过滤精度要求是系统中最高的，连接器要求的

清洁度标准与系统冷却介质的过滤精度相匹配，避免冷却介质中的颗粒物堆积到密封胶圈上，影响连接器的密封功能。

4.1.2.3 液冷连接器设计要求

接头应具备红蓝两种颜色标识，在使用时遵循蓝色为进液口，红色为出液口。

根据节点锁紧结构，有手动锁紧和盲插锁紧两种形式。手动锁紧：通过推拉实现锁紧与断开，操作便捷；盲插锁紧：无锁紧结构，需要外部结构进行锁紧。

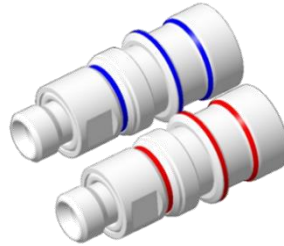


图 4.1 快接头示意图

液冷连接器在设计或者选型时需要考量关键的技术参数如下：

表 4.4 连接器设计选型关键技术要求

维度	技术指标	单位	规范力度
性能设计	通径流量设计	mm & LPM	要求
	插入过程泄漏量要求	ml	要求
	通径-压力损失设计	mm & Pa	要求
	水力特性曲线	Pa & LPM	按需设计
	盲插连接器浮动量设计	mm	要求
	工作温度	°C	要求
	自泄压功能、带压插拔功能选择	MPa	要求
	洁净度要求：与冷板整体系统保持一致	μm	要求
可靠性	胶圈材质：满足液体兼容性	/	要求
	最大插拔次数：不小于1000次	次	要求

4.1.2.4 节点内管路设计要求

节点管路进出口处均需要有明确的颜色区分，一般供水管道采用蓝色标识，回水管道采用红色标识。如连接器上有红蓝色环标识，则无需在管路上进行二次标识。节点管路在排布时应合理规避器件、便于拆装，满足折弯半径并在折弯点采用结构固定，同时整体排布要具有美观性。PTFE波纹管最小弯曲半径应该 $\geq 2 \times$ 外径。节点管路优选软管，材质优选PTFE EPDM材质。节点管路颜色外观宜处理为黑色（硬管可直接进行表处理，软管可缠绕醋酸胶带或热缩套管等）。

表 4.5 节点管路设计要求

维度	技术指标	单位	规范力度
节点管路总体设计	进出口颜色区分：供水蓝色、回水红色	/	要求
	排布具备美观性、易拆性、满足折弯半径	/	要求
	最小弯曲半径： $\geq 2 \times$ 外径	mm	要求
	材质：优选软管（PTFE EPDM）	/	要求
	外观颜色：黑色	/	要求
	管径：主管&支管（GB/T1047）	mm	要求
	接口形式	mm	按需设计
	防漏设计	/	要求
	密封设计	/	要求
节点管路可靠性	承压能力：耐压1.0MPa，保液压10min无泄露	MPa	要求
	寿命：10年以上	年	要求
	工作温度&储存温度：覆盖液冷系统要求	°C	要求
	兼容性	/	要求
	洁净度：杂质颗粒 $< 50\mu\text{m}$	μm	要求

4.1.3 冷板的设计关键技术

冷板式液冷是指热源通过液板接触面导热至鳍片模组，然后冷却介质通过和鳍片对流换热从而实现换热的技术。

冷板的设计形态、加工工艺多样，可以依据不同的需求对其进行优化，其内部流道从设计层面可以是埋管（嵌入/钎焊）、沟槽（机加/铸造）、扣合翅片（连续模）、铲齿（机加）、冷锻针翅状（锻造成型）、折叠翅片等。对于高热密度元器件的散热设计，流道设计通常会考虑微通道结构、射流结构等较为复杂的内部结构来通过增大过流面积及强制对流换热系数来增强换热能力。

冷板一般由冷头和固定支架模组构成，固定支架模组设计应满足各平台（HG、Intel、AMD、others）技术白皮书要求。根据冷头和固定支架模组之间的连接方式可分为分体式液冷冷板、一体式液冷冷板。根据密封形式则可分为密封圈组装式、焊接密封、一体成型等。

分体式液冷冷板为冷头与固定支架模组由螺钉等部件连接，可根据需求进行拆卸与组装；一体式液冷冷板的冷头与固定支架模组一般为一体加工成型或焊接成型，不可拆卸与组装。

冷板（见图4.2）的选择取决于散热要求、成本要求、操作参数及使用的浸润材料等因素。二次侧冷却回路中与冷却介质接触的所有部件所使用的材料必须要和冷却介质的浸润材料清单（WML）相符。



图 4.2 冷板示意图（分体式）

冷板的设计应综合各项因素，设计最佳的冷板。

4.1.3.1 冷板设计考量指标

应符合芯片对散热器重量的要求。

冷板基板和流道宜采用铜或铝合金材质，一个系统中不应有两种电位差较大的金属。其它与液体接触的材料，均需要满足与液体的兼容性要求。

应满足芯片的扣合力技术要求，安装拆除后散热基板底面满足平面度技术要求。

应保障满足CPU或GPU等芯片插座的载荷及其他结构性要求。

应考虑冷板的安装及拆卸顺序，满足芯片的操作规范。

漏液风险点与电子器件之间应设计物理结构隔离，提升可靠性。

根据散热要求的高低，考虑加工的经济性，合理设计水道，减少生产成本。根据流量需求大小，合理的设计接口通径。

方案设计开始，应仔细对液冷板设计的关键技术参数进行仔细核对，可参考表4.6进行设计，最终达成可用、合理的冷板热性能和流阻曲线，如图4.3所示。

表 4.6 冷板设计选型关键技术要求

维度	技术指标	单位	规范力度
总体设计	重量、材质、扣合力	g	按需设计
	其它		
外观要求	NA、表处方式	/	要求
结构	管路连接结构：软管&硬管	/	按需设计
工艺	进出水口规格设计：螺纹接口&规格尺寸	Inches	要求
性能要求	边界输入：进液温度、冷却介质、流量、流阻、芯片TDP、待冷却部件功耗、壳温Tc等	/	要求
	热性能：芯片实际温度 < Tc/Tj	°C	要求
	冷却能力及流阻冗余	/	推荐
	冷却介质流速： < 1.5m/s	m/s	要求
	单节点供回温差： 5~15°C	°C	要求
	界面材料选型： Grease & PAD	/	推荐
	流量-流阻曲线	LPM & kPa	按需设计
	流量-热阻曲线	LPM & °C /W	按需设计
	保压、泄露相关	kPa	要求
可靠性	引流装置及漏液检测线布置要求	/	要求
其他	分体冷板固定要求	/	推荐

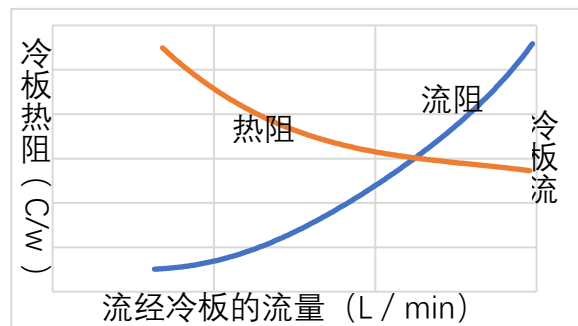


图 4.3 冷板热性能和流阻曲线

4.1.4 各类型液冷服务器

4.1.4.1 机架式液冷服务器

机架式液冷服务器指的是使用冷板散热方式基于服务器使用在标准19英寸安装标准下类型的服务器产品，可通过热交换性能的提升来提高服务器设计的功率密度。通常需要使用冷板的部位为CPU、DIMM、VR等发热量较大的部件，通过冷板将服务器主要热量带走，提高服务器的散热性能，并且降低风扇能耗及噪声。

(1) 机架式液冷服务器展示

机架式液冷服务器在传统整机结构下将CPU散热从风冷升级到液冷，从布局上与传统风冷架构类似，可做到根据散热需求模块化更好的方式，通过液冷进一步提高热交换能力。如下图所示，两个CPU冷板通过波纹管串联的方式连接在一起，并分别安装在两颗CPU上，液体从CPU1冷板进入流经两个冷板内部散热结构从CPU0冷板流出，并带走两CPU的热量，达到散热效果。

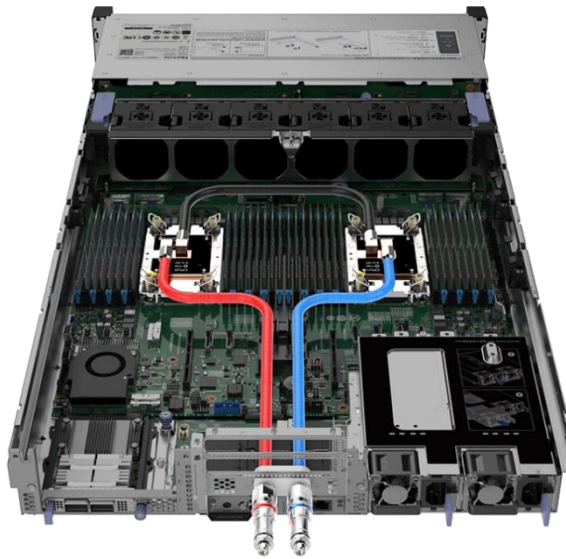


图 4.4 机架式 CPU 冷板设计方案图示

(2) 机架式液冷冷板设计概要

a) 液冷模组概述

通过内部液体的流动将电子信息设备的热量实现传递的紧凑型换热单元。因不同类别的电子信息设备形态差异较大，冷板组件的结构也不尽相同。除需要适配不同电子信息设备进行定制化设计的冷板、节点连接管路、接头等部件外，不同组件还需要增加便于装夹、连接、检测的部件等。

以CPU冷板组件为例，通常由冷板、配套节点连接管路、扣具、转接头、液体

连接器、漏液检测绳等主要零部件构成。

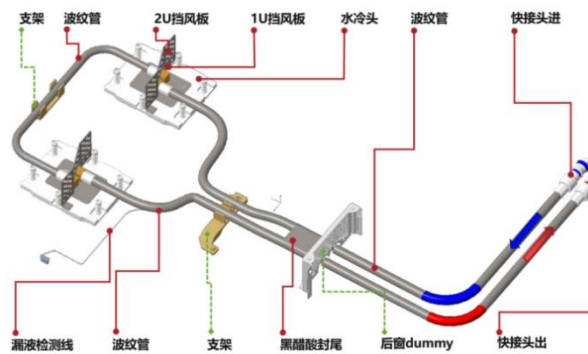


图 4.5 液冷模组图示

b) 冷板

冷板是与发热器件接触实现换热的核心部件，主要由冷板基板、流道盖板、流体通道构成，冷板基板为液冷冷板的底层部件，与发热器件直接接触，流道盖板为冷板的顶层部件，与基板密封形成封闭的腔体，冷板整体预留有配管或接口模块接口，流体通道为散热核心部件，冷却液流过流体通道，并通过与流体通道的接触实现换热。

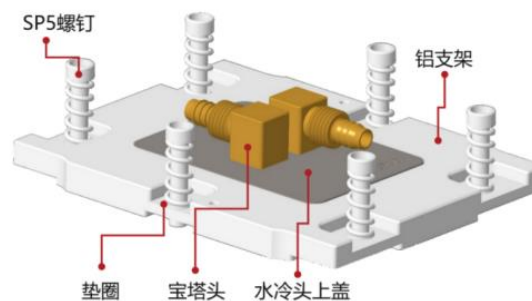


图 4.6 冷板正面图示

c) 快接头

快接头是实现液冷系统带液插拔维护功能的一种包含插头和插座、且插头和插座都带流体截断功能的快速插拔组件。快换接头用于帮助维护人员检修而提供快速连接，或者断开IT设备或其组件与液冷系统的连接并确保具备自封功能，进而确保冷却介质不会泄露，液冷系统运行不受影响，IT设备可持续安全运行。

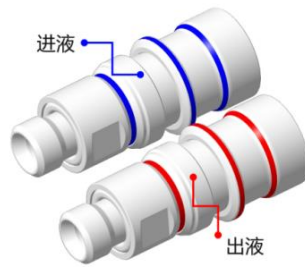


图 4.7 快接头型号图示

d) 漏液检测线

在节点内冷却回路中，需要在可能存在泄露风险的位置进行监测，采用直接监测的方法在高风险区域部署专用泄露监测线缆，当其与泄露的导电冷却液接触时会记录并且报警，为了进行可靠的泄漏检测，其传感器布置在水冷流道及各个节点处。

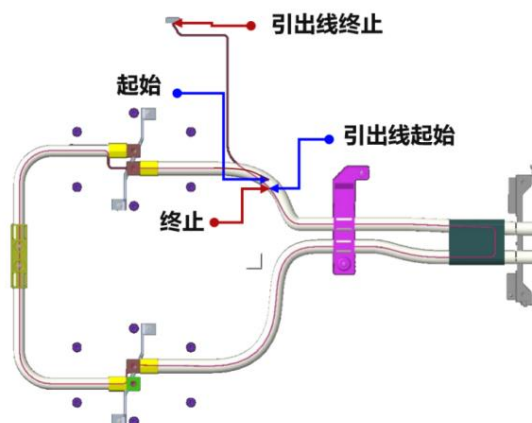


图 4.8 漏液检测线图示

4.1.4.2 高性能液冷服务器

高性能液冷服务器能够在更小的物理空间内集成更多的处理器和IO扩展能力，极大的降低了客户的空间成本并显著提升计算性能，同时应对用户需求，可以灵活的扩展。高性能服务器跟普通机架服务器使用独立电源和风扇的设计不同，在同一个机箱里由多台服务器节点共享电源和风扇，从而大大提高电源和散热系统的使用效率，并使得整机在重量上更轻，成本更低。而高性能液冷服务器就是在高性能服务器的主要散热芯片（比如CPU、CPU VR及DIMM）增加液冷模组，使得高性能服务器的电能利用率（PUE）可以做到更低，性能也可以进一步提高。

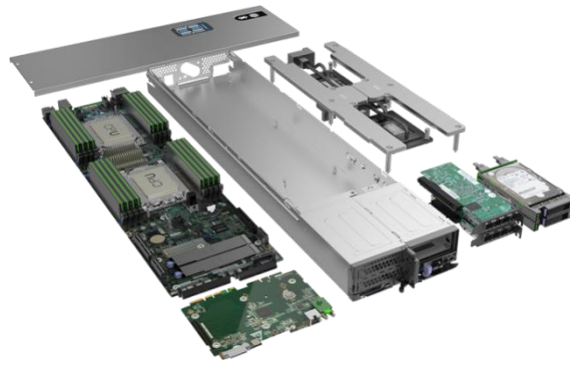


图 4.9 高性能液冷服务器冷板设计

高性能液冷服务器CPU与VR芯片采用冷板进行散热，CPU与VR芯片的冷板通过串联的方式进行搭配，冷板与冷板之间通过硬管进行连接；工作液通过分液器后流到节点中，会先流经后置CPU冷板，再流到VR芯片处的冷板最后流到前置CPU冷板后，最后再汇入分液器。

而内存处的散热为：内存颗粒的温度传导到内存马甲上，内存马甲能快速均温，可以使热量传递到内存马甲的顶部，而内存马甲顶部又与均热板相连，可以使热量扩散到均热板上，均热板又与VR芯片的冷板相连，这样就可以使均热板上的热量被VR芯片冷板带走。

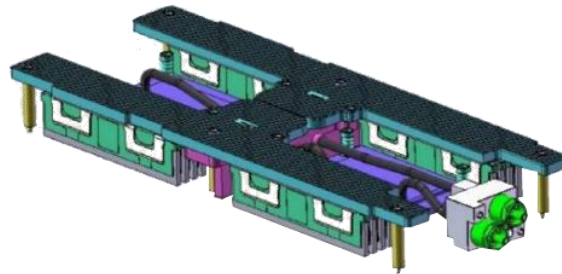


图 4.10 液冷模组 3D 视图

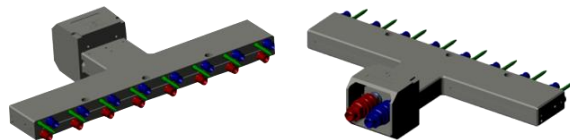


图 4.11 分液器模组图示

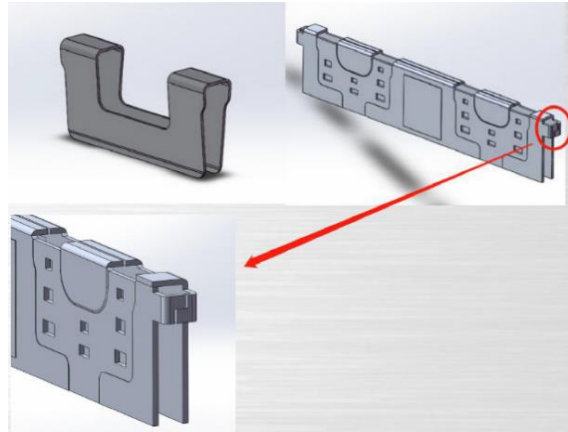


图 4.12 内存马甲模组图示

对于其他部件的散热，如HDD，PCIe卡等部件散热，主要通过系统的风扇进行散热。



图 4.13 散热部件图示

4.1.4.3 人工智能型液冷服务器

人工智能或称智算系统，属于异构设计，系统设计在标准的计算服务器结构下通常配置一个或多个专用计算加速模块以实现在图像或人工智能等专用计算性能上的高速计算能力，具备强大的AI计算和通用计算能力，主要由高性能的中央处理器、高容量的内存和高性能的显卡组成，以满足人工智能计算的高计算能力和高存储能力需求。它们为图像识别、语音识别、自然语言处理、科学研究和工程仿真等人工智能和高性能计算应用提供强大的计算能力。冷板覆盖GPU、CPU等大功率部件，专为解决计算能力持续提升带来的能耗大幅增长的难题而设计。

(1) 人工智能型液冷服务器展示

人工智能型液冷服务器的CPU和GPU采用冷板式液冷方案进行散热。如下图所示，两个CPU冷板通过波纹管串联的方式连接，并与8个GPU冷板并联，冷却液由总进液口进入分液器，被分液器均匀分至CPU和GPU中，均匀流至每块冷板内部流道中，通过导热和对流吸收CPU和GPU产生的热量，最后通过分液器和总出液口流至系统外。



图 4.14 人工智能型液冷服务器冷板设计方案图示

(2) 人工智能冷板设计概述

a) 液冷模组概述

通过内部液体的流动将电子信息设备的热量实现传递的紧凑型换热单元。因不同类别的电子信息设备形态差异较大，冷板组件的结构也不尽相同。除需要适配不同电子信息设备进行定制化设计的冷板、节点连接管路、接头等部件外，不同组件还需要增加便于装夹、连接、检测的部件等。

以CPU冷板组件为例，通常由冷板、配套节点连接管路、扣具、转接头、液体连接器、漏液检测绳等主要零部件构成。冷板是与发热器件接触实现换热的核心部件，主要由冷板基板、流道盖板、流体通道构成，冷板基板为液冷冷板的底层部件，与发热器件直接接触，流道盖板为冷板的顶层部件，与基板密封形成封闭的腔体，冷板整体预留有配管或接口模块接口，流体通道为散热核心部件，冷却液流过流体通道，并通过与流体通道的接触实现换热。

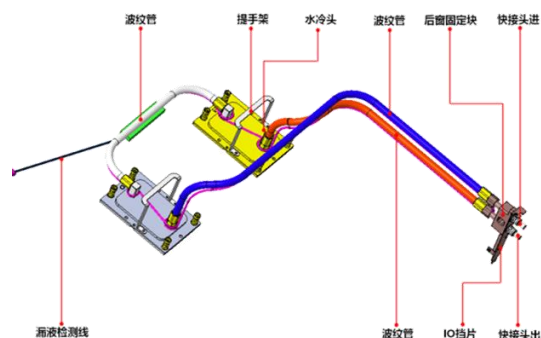


图 4.15 CPU 液冷模组图示

b) GPU卡液冷模组概述

以GPU冷板组件为例，通常由冷板、转接头等主要零部件构成，冷板是与发热器件接触实现换热的核心部件，主要由冷板基板、流体通道构成，冷板基板为冷板的底层部件，与发热器件直接接触，冷板整体预留有配管或接口模块连接口，流体通道为散热核心部件，冷却液流过流体流道，并通过与流体流道的接触实现换热。

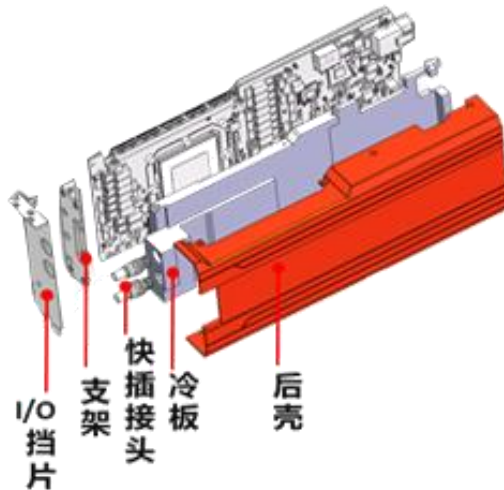


图 4.16 全高全长双宽 GPU 卡液冷模组图示

c) 漏液检测线设计参数说明

在二次侧冷却回路中，需要在可能存在泄露风险的位置进行监测，采用直接监测的方法在高风险区域部署专用泄露监测线缆，当其与泄露的导电冷却液接触时会记录并且报警。为了进行可靠的泄漏检测，其传感器布置在水冷流道及各个节点处。

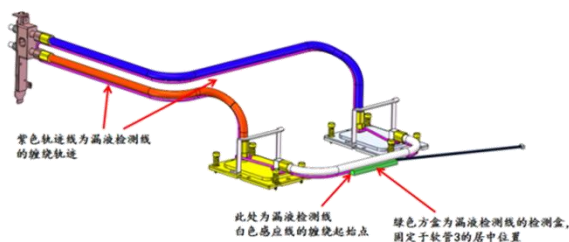


图 4.17 漏液检测线图示

4.1.4.4 存储型液冷服务器

(1) 存储型液冷服务器展示

基于传统服务器计算系统外重点设计大规模大容量的存储系统，通过液冷散热方式解决计算机存储部分的热交换，能够显著降低存储关键部件的工作温度，

提高系统可靠性。



图 4.18 存储型液冷服务器

硬盘阵列和存储控制器是存储系统中的主要发热部件，因此需要液冷系统来降温。冷却液由总进液口进入分液器，被分液器均匀分至两块分水冷板中，再经由分水冷板与冷板之间的连接口均匀流至每块冷板内部流道中，通过导热和对流吸收硬盘阵列和存储控制器产生的热量，最后从冷板出口汇集到分水冷板出液回路，并通过分液器和总出液口流至系统外。

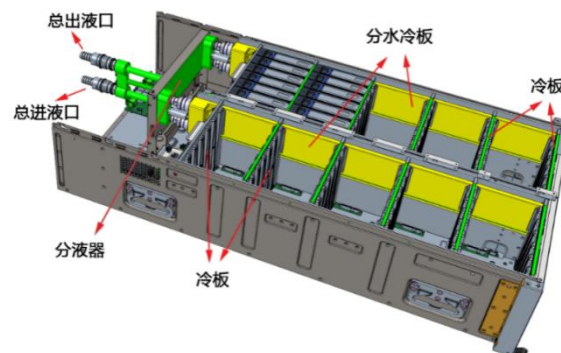


图 4.19 液冷系统设计概述和流道示意图

(2) 存储型液冷服务器设计概述

a) 冷板模组概述

硬盘通过螺丝锁附至硬盘盒内表面并在二者之间填充导热垫片，以减小接触热阻。硬盘盒再通过侧面的凸台与冷板上的导轨利用楔形结构完成装配，并且中间使用耐磨导热垫片进行填充，减小热阻，热传导路径如下图所示。

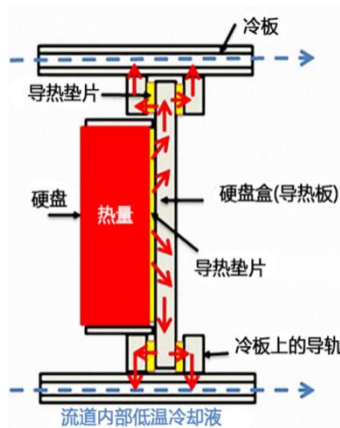


图 4.20 硬盘热传导路径示意图

b) 漏液检测概述

冷板与分水冷板连接处是冷却液泄露检测的重点，在二者连接处之间布置导流槽和漏液收集槽，当有冷却液渗出时可以随导流槽流入下方的漏液收集槽中，并通过在收集槽内布置的漏液检测线检测漏液情况。

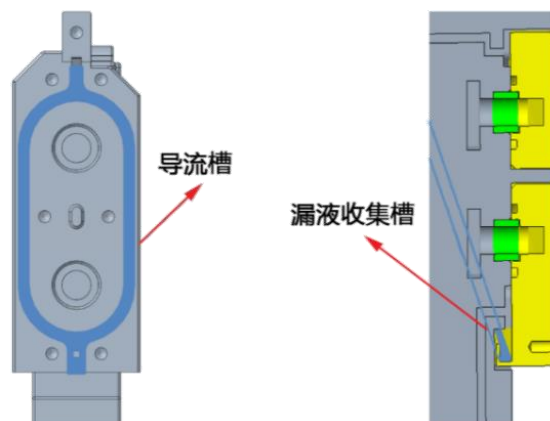


图 4.21 冷板导流槽和漏液收集槽示意图

冷板内部也需布置导流槽，并在导流槽下方设置漏液出口和漏液收集槽，当冷却液渗漏时可以随着导流槽流出冷板，并聚集到下方的漏液收集槽，漏液检测线检测到漏液发生，发送漏液信号至控制系统并发布漏液警报。

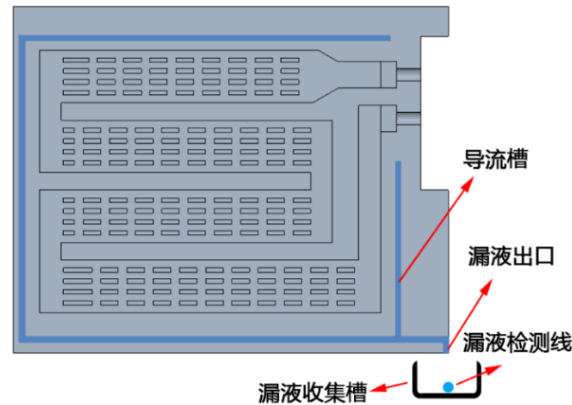


图 4.22 冷板导流槽和漏液收集槽示意图

分水冷板、分液器等同样可以在其下方设计漏液收集槽，收集泄露的冷却液，并通过在收集槽内布置的漏液检测线检测漏液情况。

4.2 浸没式液冷IT设备

由于信息计算发展和应用，对于计算、存储、网络的性能需求也不断提升，伴随硬件性能提升一方面是集成电路计算的发展，一方面带来的就是功耗的提升，为了满足功耗提升带来的散热问题，散热能力的方案从传统的风冷、间接式液冷向更高性能的浸没式液冷计算探索。与高能耗相伴的是巨大的散热量，当传统风冷面对高热已经力不从心、散热效率跟不上计算效率时，液冷的时代也就重新来临。所谓液冷，是将液体作为传热介质，通过系统设计和配套设施的运用，让液体直接或间接接触发热器件带走热量的技术。

浸没液冷则是一种以液体作为传热介质，将发热器件完全浸没在液体中，发热器件与液体直接接触并进行热交换的冷却技术。按照热交换过程中传热介质是否存在相态变化，可分为单相浸没液冷和相变浸没液冷两类。单相浸没液冷是作为传热介质的液体在散热过程中仅发生温度变化，而不存在传热介质相变过程，完全依靠物质的显热变化传递热量。相变浸没液冷是作为传热介质的液体在散热过程中发生相态转变，依靠物质的潜热变化传递热量。

浸没式液冷系统作为一种新型高效、绿色节能的数据中心冷却解决方案，具有如下特征：

节能：主要是冷却介质和发热器件直接接触，有效降低热交换过程的接触损耗，提高热交换效率；

高密度：以液体直接接触不需要散热器及冷板等结构，散热性能相对传统方式效率高，最大程度提高部件的结构密度；

4.2.1 单相浸没液冷技术

4.2.1.1 液冷服务器设计概述

单相浸没液冷服务器的设计可以参考风冷服务器，保持相似的架构可以大幅提升物料的共用性。主要有几点差异需要注意，首先，液冷服务器中不能有风扇等转动部件，包括系统风扇以及PSU等部件上的风扇；其次，部件兼容性是需要重点考量的要素，需要通过试验确认部件与冷却液的兼容情况；最后，散热的设计也需要做出相应的优化，如将导风罩替换为填充块，机箱开孔优化等等。

4.2.1.2 单相液冷服务器产品展示

下图为单相浸没液冷服务器产品结构，由左侧的CDU和右侧的Tank构成，液冷服务器内置于Tank内部，CDU与Tank之间由管道链接，下部管道输送低温冷却介质到tank内，液冷介质吸收了液冷服务器的热量，温度上升后流回CDU，热量由CDU带走。此种结构可实现服务器的全液冷，无风扇的设计使功率密度更高，相比风冷PUE更低。

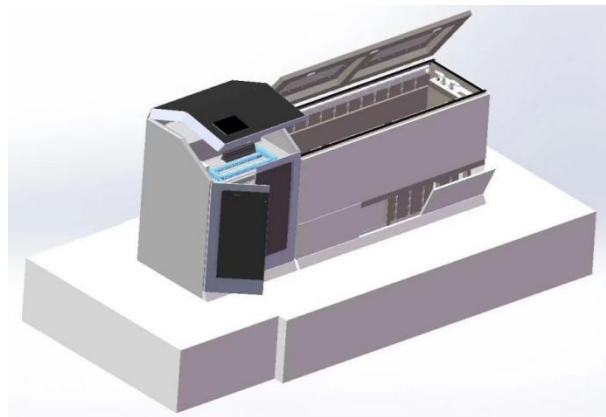


图 4.23 单相浸没液冷服务器产品示意图

4.2.2 相变浸没液冷技术

4.2.2.1 相变浸没液冷服务器设计要素

4.2.2.2 刀片式相变腔设计概述

相变浸没腔为独立可插拔设计，完全解耦节点与节点之间的热循环路径，使得每一个节点都可以进行独立的插拔，方便用户对单独的节点进行硬件升级或维护。



图 4.24 刀片式相变腔

4.2.2.3 服务器内部导流结构概述

浸没液冷服务器在工作过程中，冷却介质剧烈沸腾产生的气流会对内部相邻发热器件的散热造成相互影响，同时内部沸腾蒸汽流出壳体时会携带大液态冷却介质，一方面增加了冷却介质在回气管路中的流动阻力，另一方面这部分液体并未得到有效利用，降低了系统的效率。故需要在服务器壳体盖板上增加导流结构设计，并在壳体出口处增加气液分离件设计。

4.2.2.4 排液管设计概述

因服务器排液接头通常与服务器底端有一定距离，该部分空间会在排液时残留部分液体，造成冷却介质浪费。为了尽可能多地排出和收集冷却介质，需要在服务器内部排液出口设计一段排液管。



图 4.25 排液管设计示意图

4.2.2.5 泄压阀设计概述

在集气HCDU上安装泄压阀，实现对系统部件进行超压保护。当与集气HCDU联通的服务器内压力超过某一值时，泄压阀打开，以降低服务器内压力；当压力降到一定值后，泄压阀关闭，使系统压力维持在一个恒定的范围内，避免因压力升高对服务器造成损坏。

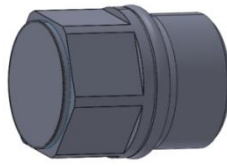


图 4.26 泄压阀示意图

4.2.2.6 接头设计概述

采用快速接头用于服务器与HCDU相连,一方面支持管路热插拔,另一方面保证系统安装或维护过程中冷却介质不泄漏。选型时应保证在满足流量要求的情况下,阻力尽量小。

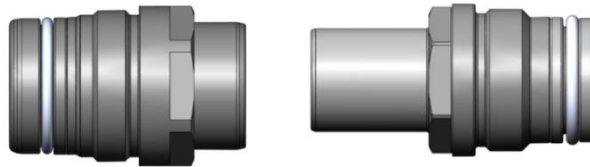


图 4.27 接头示意图

4.2.2.7 电磁阀设计概述

在HCDU上安装供排液电磁阀,通过HCDU的供液分液及排液汇流实现满刀箱刀片的供液和排液功能。进液电磁阀是控制液冷服务器供液的开关,当服务器冷却介质不足时,电磁阀打开,在泵的供液压力下,低温冷却介质通过电磁阀进入服务器;当服务器内冷却介质富裕量足够时,电磁阀关闭,停止供液。排液电磁阀是控制服务器排液的开关,当服务器需要排液下架时,排液电磁阀开启,开始排液;当服务器内冷却介质排尽后,排液电磁阀关闭。



图 4.28 电磁阀示意图

4.2.2.8 芯片散热设计概述

为了进一步提升相变浸没冷却效率,需要对芯片进行强化沸腾散热设计。通

常采取改变芯片结构或改变冷却介质与芯片接触区域，来减少界面热阻以获得更低的芯片核心温度。如冷却介质直接与芯片lid接触散热、芯片直接与散热片(BEC)焊接等结构方案。

4.2.2.9 相变浸没液冷服务器产品展示

下图为一种“1拖2”单元结构的浸没式液冷服务器，即由中间CDM液冷柜和左右两侧计算机柜构成。两侧机柜内服务器产生的热量由中间CDM液冷机柜带走。中间液冷柜内集成CDM、循环管路等系统。此种结构可以大幅度提升系统功率密度，降低数据中心建设难度。



图 4.29 浸没式液冷服务器“1拖2”单元结构

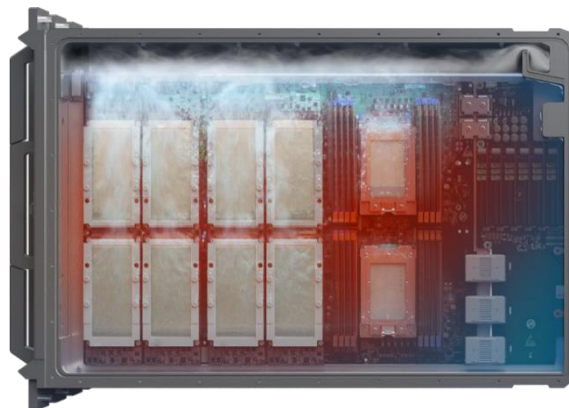


图 4.30 双路刀片服务器结构

4.3 液冷IT设备监管控制设计规范

如下图所示，通过BMC（Baseboard Management Controller）芯片来实现对液冷芯片的监控和管理控制：

- (1) BMC通过I2C接口获取液冷芯片的气压、液位等信息。
- (2) BMC获取主板的功耗等信息然后通过I2C告知液冷芯片。
- (3) BMC通过UART接口实现对液冷芯片的固件更新。
- (4) BMC通过I2C接口实现对液冷芯片工作模式的控制。
- (5) BMC通过自身的网络跟用户交互、实现用户远程的信息查询、工作模式切换和固件更新。

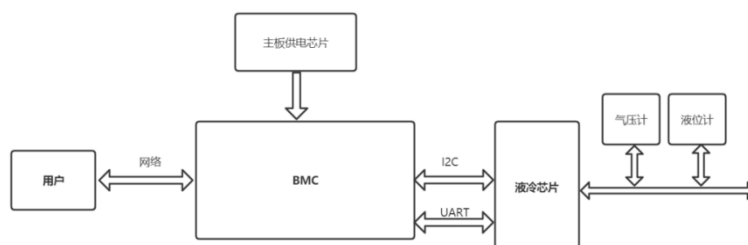


图 4.31 BMC 监控和管理控制示意图

4.3.1 IT设备监控接口标准

监控的接口需要设计如下三种接口：

(1) I2C

液冷芯片作为从设备、定义寄存器、让主设备BMC进行读写以获取气压功耗等信息和实现工作模式的控制、详细的寄存器定义规范如下表。

(2) UART

用来固件更新和查看液冷芯片串口打印的接口

(3) GPIO

提供ISP和RESET PIN、辅助完成固件更新

寄存器	读写	Sensor Name	含义	数据类型	数量/级别	单位	数值计算	数值范围	告警阈值					
									LNR	LC	LNCR	UNCR	UC	UNR
0x01 - 0x02	R	Liqd_Press_Gas	气压	int16	1/刀片	kPa	-	-50~50	NA	-15	NA	NA	15	20
0x03 - 0x04	R	Liqd_Level	液位	int16	1/刀片	mm	a<<8 b	-400~150	NA	10	NA	NA	NA	NA

寄存器	读写	Sensor Name	含义	数据类型	数量/级别	单位	数值计算	数值范围	告警阈值					
									LNR	LC	LNC	UNC	UC	UNR
0x07	R/W	Liqd_Temp_Liqd	液体温度	uint8	1/刀片	°C	-	0~100	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0x08	R/W	Liqd_Temp_Gas	出气温度	uint8	1/刀片	°C	-	0~100	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0x09	R	Liqd_ElecMagic	电磁阀状态 bit0 进阀A bit1 进阀B bit2 排阀	uint8	1/刀片	0-关 1-开	-	0/1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0x0A	R	Liqd_Error_Code	故障代码	uint8	1/刀片	-	-	0~255	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0x0D	R/W	Liqd_Work_Mode	工作模式	uint8	1/刀片	-	-	1~10	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0x0E-0x0F	R/W	Sys_Power	功率	uint16	1/刀片	W	$a*256+b$	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0x12-0x13	R	FW_Version	固件版本	uint16	1/刀片	-	$(a*256+b)/100$	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0x17-0x18	R/W	48V_Power	48V总功率	uint16	1/刀片	W	$a*256+b$	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0x19-0x1A	R/W	12V_Power	12V总功率	uint16	1/刀片	W	$=a*256+b$	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0x23-0x24	R	CDM_SysPress	系统压力	uint16	1/—拖二	kPa	-		与CDM一致					
0x25-0x26	R	CDM_SupplyPress	供液压力	int16	1/—拖二	kPa								
0x27-0x28	R	CDM_SupplyTemp	供液温度	int16	1/—拖二	°C								
0x29-0x2A	R	CDM_WaterTemp	供水温度	int16	1/—拖二	°C								
0x2B-0x2C	R	CDM_WaterPressDif	供水压差	int16	1/—拖二	kPa								
0x2D-0x2E	R	CDM_LiquidLevel	系统液位	int16	1/—拖二	mm								
0x33	R	CDM_Alarm	CDM告警	uint8	1/刀	0/1			NA					

寄存器	读写	Sensor Name	含义	数据类型	数量/级别	单位	数值计算	数值范围	告警阈值					
									LNR	LC	LNC	UNC	UC	UNR
0x34	W/R	BMC_Alar m	BMC 告警	unt 8	1/刀	0 / 1			NA					

4.3.2 IT设备远程管理接口标准

BMC通过网络提供标准的IPMI、REDIFSH和Curl接口给用户、以达到远程查看信息、控制工作模式和固件更新的功能。

4.3.2.1 数据查看接口

各个监控指标以ipmi sensor的方式实现、提供两种接口数据查看接口,下表是各个sensor的定义规范:

Sensor Name	Sensor Num(D)	Entity ID	Entity Instanc	Event Type	Sensor Type	Assert Mask	Desset Mask	Reading	LNR (Dec)	LC (Dec)	LNC (Dec)	UNC (Dec)	UC (Dec)	UNR (Dec)
Liqd_Level	239	07h	00h	00h	cch	7004h	7004h	3f02h	N/A	-60	-48	N/A	N/A	N/A
Liqd_ElecMagic_A	240	07h	00h	00h	cch	7004h	7004h	3f02h	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Liqd_ElecMagic_B	241	07h	00h	00h	cch	7004h	7004h	3f02h	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Liqd_ElecMagic_C	242	07h	00h	00h	cch	7004h	7004h	3f02h	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Liqd_Error_Code	243	07h	00h	01h	cch	7204h	7204h	3f02h	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Liqd_Work_Mode	244	07h	00h	01h	cch	7204h	7204h	3f02h	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Liqd_Press_Gas	245	07h	00h	01h	1h	7204h	7204h	3f02h	N/A	N/A	N/A	N/A	18.000	25.000

4.3.2.1.1 IPMI接口

查看各指标的IPMI命令如下:

```
ipmitool sensor list |grep Liqd
```

结果如下:

```
[systemuser@SIT-Manager ~]$ ipmitool -I lanplus -H 172.17.23.1 -U admin -P admin sensor |grep Liqd
Liqd_Inlet_Temp | 45.000 | degrees C | ok | na | na | na | na | 80.000 | 100.000 | 110.00
Liqd_Outlet_Temp | 46.000 | degrees C | ok | na | na | na | na | 80.000 | 100.000 | 110.00
Liqd_Level | 48.000 | reserved | ok | -60.000 | -48.000 | na | na | na | na | na
Liqd_ElecMagic_A | 0.000 | reserved | ok | na | na | na | na | na | na | na
Liqd_ElecMagic_B | 0.000 | reserved | ok | na | na | na | na | na | na | na
Liqd_ElecMagic_C | 0.000 | reserved | ok | na | na | na | na | na | na | na
Liqd_Error_Code | 0.000 | reserved | ok | na | na | na | na | na | na | 1.000
Liqd_Work_Mode | 2.000 | reserved | ok | na | na | na | na | na | na | na
```

4.3.2.1.2 Curl接口

查看各指标的URL如下:

```
https://BMCIP/com/oembmc/liquid/system/status
```

并提供直观的web用户页面,如下:

液冷系统

液冷信息

当前FW版本	11209	电磁阀状态	关
表压(与标准大气压差值kPa)	0	故障代码	N/A
进液温度(°C)	45	出液温度(°C)	46
液位高度(mm)	53		

液冷设置

关于工作模式的描述如下:

- 模式1: 初始化模式 (只读)
- 模式2: 运行模式 (只读)
- 模式3: 清除故障, 清除后自动变为模式2 (读写)
- 模式4: 进液模式 (读写)
- 模式5: 排液模式 (只读)
- 模式6: 故障模式 (只读)
- 模式7: 传感器故障模式 (只读)

固件更新

0

1

2

3

4

5

6

7

工作模式

4.3.2.2 模式控制接口

<https://BMCIP/com/oemibmc/liquid/system/control/attr/SetWorkModel>

工作模式定义规范如下:

工作模式 编码	模式定义	服务器开关机控制	电磁阀控制
1	充液模式	液位>-50可以开机	常开
2	运行模式	允许开机	根据电容液位计控制开关
3	复位模式	允许开机	常开
4	手动模式1	允许开机	单阀常开
5	排液模式	禁止开机	关闭
6	故障停机模式	禁止开机	关闭
7	故障运行模式	允许开机	常开
8	手动模式2	允许开机	双阀常开
9	冲洗模式	允许开机	进液阀/排液阀交替开

4.3.2.3 远程固件更新接口

远程固件更新接口基于redfish协议(DMTF DSP0266)、必须按照如下接口实现:

4.3.2.3.1 文件上传

接口如下：

```
https://BMCIP/redfish/v1/UpdateService/FirmwareInventory
```

请求方式：POST

请求头信息：

```
X-Auth-Token: auth_value
```

请求消息体：

```
表单形式 <input name=name type="file">
```

字段列表：

字段	参数名称	数据类型	描述
请求 字段	bmc_ip	BMC IP地址	IPV4地址
	auth_value	字符串	执行该GET请求时，必须在“Headers”中携带“X-Auth-Token”值用于鉴权。可通过/redfish/v1/SessionService/Sessions创建会话时获得
	name	字符串	上传文件的名称
响应 字段	code	字符串	指示消息注册表中特定消息ID的字符串
	message	字符串	与消息注册表中的消息对应的易读的错误消息
	Message.ExtendedInfo	消息的扩展信息	
	@odata.type	字符串	消息资源的OData类型
	MessageId	字符串	消息ID
	RelatedProperties	数组	消息相关属性
	Message	字符串	详细信息
	MessageArgs	数组	信息参数
	Severity	字符串	严重性，包括 OK Warning Critical
Resolution	字符串	解决建议	

4.3.2.3.2 固件更新

接口如下：

```
https://BMCIP/redfish/v1/UpdateService/Actions/UpdateService.SimpleUpdate
```

请求方式：POST

请求头信息：

```
X-Auth-Token: auth_value
```

请求消息体：

```
{
  "TransferProtocol": transfer_protocol,
  "ImageURI": image_uri,
  "SaveConfig": save_config,
  "TargetType": target_type,
  "Targets": targets
}
```

字段列表：

字段	参数名称	数据类型	描述
请求 字段	bmc_ip	BMC IP地址	IPV4地址
	auth_value	字符串	执行该GET请求时，必须在“Headers”中携带“X-Auth-Token”值用于鉴权。可通过/redfish/v1/SessionService/Sessions创建会话时获得
	name	字符串	上传文件的名称
	image_uri	字符串	升级包的URL，文件名需要包含liquid字段，后缀为.hex
	targets	字符串数组	表示待更新的Firmware的对象，可以从形式为[“/redfish/v1/UpdateService/FirmwareInventory/liquid”]。当该字段存在时，不再关注image_uri中的文件名称定义，会直接将相关Firmware文件应用到该对象，建

字段	参数名称	数据类型	描述
			议采用该字段进行Firmware刷新
响应 字段	code	字符串	指示消息注册表中特定消息ID的字符串
	message	字符串	与消息注册表中的消息对应的易读的错误消息
	Message.ExtendedInfo	消息的扩展信息	
	@odata.type	字符串	消息资源的OData类型
	MessageId	字符串	消息ID
	RelatedProperties	数组	消息相关属性
	Message	字符串	详细信息
	MessageArgs	数组	信息参数
	Severity	字符串	严重性, 包括 OK Waring Critical
	Resolution	字符串	解决建议

5 案例

5.1 某大型国有银行液冷数据中心建设

随着信息技术与金融业的深度融合，以及分布式架构转型的深入推进，金融行业数据中心的规模日益庞大，数据中心能耗不断增加。面对金融数据中心不断增长的数据以及算力密度，传统风冷散热模式已无法满足更高性能、更低能耗的目标，而曙光液冷方案则可破解这一难题。在国家碳中和、碳达峰大背景下，某大型国有银行贯彻新发展理念，积极探索服务器前沿节能技术，响应保障资源环境可持续的基本要求，选择曙光液冷技术方案，在金融行业率先规模使用国产冷板式液冷服务器技术，可大幅降低数据中心能耗，创建绿色数据中心。

该银行建设绿色节能数据中心作为构建夯实新一代信息基础设施的重要任务，曙光积极推动和响应行方液冷数据中心项目建设要求，在液冷数据中心建设工作中，始终秉承着功能与节能、环保与效率、便利与安全协调统一的理念，将绿色、节能、环保落实在规划、设计、建设、运营等数据中心全生命周期。

本项目前期部署3个通道，液冷机柜58台，单机柜功率可达20kw。布置制冷量200kw的CDU共计8台，1+1热备，整体管路环网布置，保证系统的安全及稳定。

液冷系统基础设施和服务器等集群设备统一为曙光自主研发和生产的自有产品，并由曙光统一提供一站式售后服务，行间空调和机柜在风量、风压、风温上可以实现与服务器的最佳匹配，外观一致、美观，各系统的集成性高，有效避免不同品牌设备搭建系统的离散性。

本方案中刀片服务器全部采用曙光冷板式液冷服务器。这款服务器以曙光原有的TC4600风冷型刀片为原型，在原来纯风冷解决方案的基础上，去除CPU、VR、内存风冷式散热器改造为液冷冷板，发热量由液冷冷板带走（发热量根据不同运行工况，预计占刀片服务器的50%-80%），主板上剩余元器件发热量还是由冷空气带走，但此时刀片所需风量大大降低，预计为原风量的30-40%，风扇功耗降低80%，风机噪音降低约为30-40dB。经专业机构检测，在CPU满载情况下，服务器噪音值不高于55dB，而风冷散热服务器满载噪音值约为85-90dB。由于液冷系统采用中温水冷源设计，可实现全年自然冷却（不用冷冻机或者压缩机制冷），液冷机房设计PUE可达1.2以下，提升基础设施利用效能。

采用曙光冷板式液冷服务器技术对于金融行业降耗增效、建设绿色节能数据中心有显著意义：

(1) 液冷服务器及配套制冷解决方案可充分结合机房基础设施与服务器两个层面的节能技术，灵活构建绿色节能数据中心，不依赖于极端气候或地理环境，不受季节及地域限制，实现全年全地域低耗冷却，有效降低数据中心整体能耗，全年PUE值约为1.2，较金融行业数据中心平均PUE值有大幅下降。

(2) 单位空间整体算力也得到了极大提升，单机柜可安装72台2路曙光服务器计算节点，可提供计算能力9216核，可承载4核/16G内存规格虚拟机约2300余套，提高资源使用率，有力推动了金融科技分布式架构转型工作。

(3) 同时还可显著降低工作噪声，曙光液冷服务器采用液冷+风冷混合散热的模式，根据不同运行工况，50-80%以上的热量可通过液冷方式带走，仅服务器内部其它元器件剩余的不到10%的热量仍然采用风冷散热方式，因而对服务器内部风扇的转速要求大大降低，从而风扇的功耗和噪声也随之减小，与普通服务器相比，噪声可降低约30dB左右。

5.2 西部（重庆）某先进数据中心

2021年，围绕《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》中的相关指导意见，曙光公司协同当地政府相关机构，在协同创新体系下建设高技术、高算力、高效能、高安全的先进数据中心。



图 5.1 西部（重庆）某先进数据中心

先进数据中心是助力重庆示范国家一体化大数据中心的新措施，是推动重庆地区数据要素流通的新平台，是促进重庆城市发展的新底座，同时也是落实国家“东数西算”工程的重要举措。对于在重庆构建国内国际双循环相互促进的新发展格局，深入实施“一带一路”、长江经济带发展、西部大开发等重大战略，稳步推

进西部（重庆）科学城建设极具战略意义。

先进数据中心的建设技术含量高、功能强，能够承载高端的科技应用，聚集高水平的人才，可提升所在城市地方科技实力，提升城市的教育、科研水平和质量，也将改善区域投资环境，促进城市招商引资。

在冷却装置方面，先进数据中心采用了全浸式相变液冷技术，此技术是国际上最高效、最先进的服务器冷却技术，能减少热阻和传热温差，保证换热效率，大幅度降低核心系统PUE（最低可达1.04）。此外，先进数据中心在超高部署密度下实现了高度集约化，单机架功率密度等级大幅度提升（常规数据中心单机柜8-10kW，行业最新进技术可提升到90kW），单机架设备密度大幅度提高（约9倍），因此提高了机房单位面积设备量，大幅节约建筑面积（约50%）。

在兼顾政府、企业等机构的常规信息化需求和以人工智能为代表的新兴计算需求的情况下，先进数据中心计算系统通过资源池化技术实现资源的动态调度，能支持通用计算、云计算、大数据计算、科学计算、人工智能计算等多场景应用，提升了东数西算的跨区域算力调度水平。

先进数据中心以先进冷却技术和国产全栈云为基础，构建全国产、安全可控的数据中心机房及配套工程、专用基础设施、基础数据服务平台和应用数据服务平台等服务内容，实现了数据中心、云计算、大数据一体化的新型算力网络节点。此外，先进数据中心还采用了集约化建设、规模化经营、产业化管理等模式，整体实现了优势资源的共享，从根本上解决资源浪费、能源损耗等问题。

作为数据中心集群起步区中的关键节点，先进数据中心将有效助力地区大力培育新经济，打造独具魅力的数字化试验区，加快推动区域数字产业化、产业数字化，持续赋能量子信息安全托管全国运营中心和中新（重庆）国际互联网数据专用通道示范园区，推动区域加快建设高质量发展样板区。

先进数据中心在各方面提供的高价值数据服务，将有效实现数据增值赋能产业发展，为农畜渔等乡村振兴产业，交通水利环保等城市基础设施建设，以及汽车、电子制造等支柱产业提供可靠、稳定的数字化转型升级底层支撑，预计可带动相关领域2-3倍投资，实现5-8倍新增GDP，带动云计算、大数据、区块链等新一代信息技术产业3-5倍投资，实现10倍以上新增GDP。

5.3 常熟某数据中心液冷集成项目

随着移动互联网、云计算、大数据的蓬勃发展，以及数字中国和大数据等国

家战略的落地，经济社会运行产生的数据量将快速扩张。为应对数据价值洪流，数据中心发展迅速。数据中心是指按照统一标准建设，为集中存放的具备计算能力、存储能力、信息交互能力的IT应用系统提供稳定、可靠运行环境的场所。

在政策拉动以及数据中心减本增效等自身需求的驱动下，整个IDC产业都积极采用创新技术和模式，围绕降低PUE这一关键指标，通过推进基础设施智能化，创新和采用制冷散热技术，以及提升能效与供电密度等系统化措施和多元化技术与解决方案，综合性的创新数据中心高效节能体系，推动数据中心全生命周期降耗增效。



图 5.2 常熟某数据中心

曙光公司在本项目中提供整套C7000冷板式液冷解决方案，采用了冷板式液冷专用低能耗CDU，不仅为服务器提供了稳定可靠的工作环境，保证服务器芯片的良好运行温度，同时极大释放出了CPU的超频性能，提升集群运行效率。

随着一系列液冷设备及其配套产品的迭代发展，液冷生态系统将逐步完善。不仅如此，作为液冷生态系统运行的主要保障，监控与运维设备也在不断发展，提高数据中心运行和运维效率。

相比传统风冷数据中心，曙光冷板式液冷数据中心方案，可让数据中心PUE降至1.2以下，与国内新建数据中心平均PUE标准相比，节能效率可提升25%以上，助推客户建设绿色低碳的新一代液冷数据中心。

5.4 广东省某大学海洋工程仿真集群

广东省某大学为商用船舶设计提供算力支撑平台，助力商船驶向“深蓝”，从“实尺度实海况综合性能”学科研究方向出发，先行建设“海路通”集群平台，形

成学校的后发优势和研究特色。

商用船舶的设计与研发，已步入“数字化”与“精细化”时代。绿色、智能、安全的商用船舶设计，离不开大量的仿真计算与分析，进而需要高功率计算节点，而传统风冷技术对芯片散热效率低，因此，为商用船舶设计提供算力支撑的数据中心，保证性能与稳定性以及散热效果，尤为关键。

曙光在此项目中负责机房基础设施整体建设，包含2套C7000及相关供配电工程，提供了从冷板式液冷服务器到液冷基础设施的一体化交付。

本项目采用了曙光冷板式液冷刀箱计算节点搭配冷板式液冷系统专用低能耗CDU，不仅为服务器提供了稳定可靠的工作环境，保证服务器芯片的良好运行温度，同时极大释放出了CPU的超频性能，提升集群运行效率。

相比传统风冷数据中心，曙光冷板式液冷数据中心方案，可让数据中心PUE降至1.2以下，与国内新建数据中心平均PUE标准相比，节能效率可提升25%以上。

项目落地后，可辐射大湾区，为国家、大湾区和广东省海洋及工程设计院所、海洋装备制造企业等提供仿真、优化和安全评估及风险控制等方面的强力技术支撑；科学研究方面，面向CAE仿真、流体力学等问题进行大规模计算（10-50亿网格），实现装备研发的“数字化”和“精细化”；可支持在智能、绿色和安全等方面开展的新理论与新方法研究，培养精通专业领域的研发创新人才。

5.5 某医院国家转化医学中心精准医疗项目

由某医院承担建设的国家转化医学中心(上海)聚焦危害中国人群健康的重大疾病，包括白血病在内的血液系统恶性肿瘤及胃肠肿瘤、糖尿病等代谢性疾病，以及冠心病、高血压等心脑血管疾病，让写在纸上的论文尽快变成用于临床的新治疗方法，联手攻关危害中国人群健康的重大疾病。

该医院资源深度分析和挖掘测序模块计算系统充分采用符合国际标准的、先进并且成熟的计算机系统、存储系统、集群相关软件系统等先进技术和产品，具有高可靠性、高可用性、高可维护性，并能满足将来业务的增长和新技术发展的要求，要在确保系统完整性不受影响的基础上，方便地对系统进行平滑升级、扩容。



图 5.3 某医院国家转化医学中心精准医疗项目

经过多方调研、方案设计、产品选型等前期工作，最终在2019年选择曙光公司共同建设转化医学中心的基础实施。本项目充分考虑集群设施和基础设施的双层融合，其中计算节点设计采用先进的液冷服务器技术，统一规划考虑到基础设施的供电、供冷等能力问题，提供一套易管理、易维护、便于扩展、高效节能的机柜级制冷、配电、布线一体化解决方案，与IT硬件设备配套集成一站式服务。

系统整体包括液冷双路计算节点、登录节点、8路胖节点、GPU节点、多核心节点、分布式存储系统等部分。其中计算节点、登录节点和存储系统通过100Gb EDR网络互连，用于存储访问及进程通信。管理网使用千兆网络，分布式存储提供cifs、nfs等协议文件服务

除IT设备外，曙光公司为用户提供整套的机房装修、机房基础设施等一整套解决方案，项目成为交钥匙工程，为用户减少设备集成及设备兼容的问题，采用曙光C7000液冷解决方案，为用户提供了一套高效节能的集群系统。实现数据中心PUE降至1.2以下，与国内新建数据中心平均PUE标准相比，节能25%以上。

曙光公司针对此项目建设紧贴用户需求，包括节能减排、针对基因测序应用特点的配置优化、海量存储空间等，为用户建设了一套贴合应用的集群。为用户提供了机房装修、机房基础设施等一整套解决方案，项目成为交钥匙工程，为用户减少设备集成及设备兼容的问题。上海首套液冷刀片落地、首套C7000池级机房解决方案落地，在上海地区树立了医疗科研领域，特别是转化医学方面的标杆，为二期扩容打下良好基础。

5.6 河北某国际信息港

某国际信息港为河北省重点产业项目，2010年5月落户河北省廊坊国家可持

续发展实验区，被确定为河北省“十二五”、“十三五”规划重点产业项目。

该国际信息港为全国最大规模的数据中心产业园，规划建筑面积262万平方米，建设亚洲最大的云数据中心集聚港，共规划建设22栋高等级云计算数据中心，规划专业数据中心机房面积100万平方米，可容纳约13万架机柜，满足260万台服务器稳定运行，

该国际信息港以数据中心服务为基础，致力于满足IT行业日益增长的互联网数据中心（IDC）需求的同时，全面进军迅速兴起的云计算和物联网领域，逐步打造成国际一流、国内顶尖的数据存储中心，国家机构和企事业单位数据灾备中心，增值信息服务和高新技术应用的孵化、研发、生产基地。



图 5.4 河北某国际信息港

曙光公司参与建设的国际信息港A-7数据中心工程总建筑面积43563.14平米，建筑高度约为42.05m。数据中心制冷系统通信系统、控制系统等工程均遵守Uptime Tier3标准，采用N模式部署，设计计算PUE值小于等于1.3。

本项目为液冷改造，采用冷板式液冷技术，满足未来液冷服务器上架需求，并实现建设PUE值小于等于1.3，满足行业能效指标要求。根据实际需求前期共部署3个通道，液冷机柜74台。单机柜功率不小于20kw，布置制冷量300kw的CDU共计6台，1+1热备，整体管路环网布置，保证系统的安全及稳定。除此之外，对应配置垂直分液单元、分液单元套件、无滴漏快速连接器、连接软管、CDU二次管路、阀门等部分的选型、供货、安装、工厂检验、运输、仓储、施工、调试及初验、试运行、最终验收、保修及售后服务工作。

本项目采用曙光冷板式液冷技术，机柜密度较高，且服务器部件级制冷，设备运行更稳定，实现建设PUE值小于等于1.3，满足能效指标要求；二次管路深化，

通过双回路管路、阀门深化设计，满足A级机房要求，成功达成本次项目先进性、节能性的目标。

附录

1 名词解释

1.1 液冷 Liquid cooling

利用液体作为冷却介质,与IT设备发热元器件进行热交换,将IT设备元器件产生的热量带走的一种冷却方法。适用于需提高计算能力、能源效率、部署密度等应用场景。

1.2 冷板式液冷 Cold plate liquid cooling

通过冷板(通常为铜铝等导热金属构成的封闭腔体)将发热元器件的热量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实现形式。

1.3 浸没式液冷 Immersion liquid cooling

将发热元器件完全浸没在冷却液体中,通过直接接触带走热量的一种实现方式。

根据冷却介质吸热后是否发生相变,又分为单相浸没式液冷和相变浸没式液冷。单相浸没式液冷的冷却液体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传递热量。相变浸没式液冷的冷却液体在热量传递过程中发生相态转变,依靠物质的潜热传递热量。

1.4 液冷系统 Liquid cooling system

液冷系统由液冷IT设备、液冷连接部件、CDU/CDM,及室外冷却系统等构成。室外冷却系统主要采用冷却塔或干冷器供冷。

1.5 二次侧冷却环路 Secondary cooling loop

简称“二次侧”,液冷系统内负责将电子信息设备高热流密度元件的发热量带出机房,送抵与外循环系统做热交换的冷量分配单元的冷却介质循环系统。主要由冷量分配单元(二次侧循环通道部分)、液冷设备、冷却介质供回歧管、循环管路、连接管路等构成。

1.6 一次侧冷却环路 Primary cooling loop

简称“一次侧”,液冷系统内负责将二次侧冷却环路送抵的机房内元件产生的热量排至室外大气环境或通过热回收系统取热单元回收利用,同时实现冷却介质循环的冷却系统。一次侧冷却环路由冷量分配单元(一次侧循环通道部分)、冷却水循环管路、水泵、冷源等构成。

1.7 液冷换热单元 Coolant distribution unit

又称“冷量分配单元”,简称“CDU”。用于二次侧高温液态冷却介质与一次侧冷源进行换热,并对液冷IT设备提供冷量分配和智能管理的模块。CDU主要应用于冷板式液冷、单相浸没式液冷。

1.8 液冷换热模块 Coolant distribution module

简称“CDM”。用于二次侧气态冷却介质与一次侧冷源进行换热,对液冷IT设备提供冷量分配与智能管理的模块。CDM主要应用于相变浸没式液冷。

2 缩略语

CDU	液冷换热单元 (Coolant Distribution Unit)
CDM	液冷换热模块 (Coolant Distribution Module)
VCDU	垂直分液单元 (Vertical Coolant Distribution Unit)
HCDU	水平分液集气单元 (Horizontal Coolant Distribution Unit)
GWP	全球变暖潜值 (Global Warming Potential)
ODP	臭氧消耗潜值(Ozone Depletion Potential)