

团体标准

T/DZJN 386—2025

智算中心冷却设计要求

Cooling design requirements for artificial
intelligence data center

2025 - 01 - 15 发布

2025 - 01 - 17 实施

中国电子节能技术协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语 1

4 基本要求 7

5 末端冷却 7

6 冷源 11

7 监测与控制 12

8 配套设施 13

9 热回收利用 15

10 能效评价 16

参考文献 19

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国电子节能技术协会数据中心节能技术分会提出。

本文件由中国电子节能技术协会归口。

本文件起草单位：深圳易信科技股份有限公司、西安工程大学、中国电子节能技术协会数据中心节能技术分会、浙江大学、中国电信股份有限公司浙江分公司、北京工业大学、中国建筑标准设计研究院有限公司、曙光数据基础设施创新技术（北京）股份有限公司、中通服咨询设计研究院有限公司、百度在线网络技术（北京）有限公司、北京科技大学、上海邮电设计咨询研究院有限公司、深圳市共济科技股份有限公司、中能数投（北京）科技有限公司、北京空间飞行器总体设计部、江苏澜天传热科技有限公司、南方电网大数据服务有限公司、深圳安腾创新科技有限公司、上海电子工程设计研究院有限公司、中建一局集团第三建筑有限公司、青岛海信网络能源股份有限公司、苏州超集信息科技有限公司、北京领智信通节能技术研究院、中国移动通信集团设计院有限公司、中讯邮电咨询设计院有限公司。

本文件主要起草人：黄翔、白本通、韩晓红、贾继伟、刘和军、周峰、王欣、吴晓晖、常乾坤、赵春晓、王桂坤、刘广辉、吴延鹏、孙颖、李依轩、万凯、陈夏、王亚龙、田振武、叶军、刘运、徐欣、敬福林、高远、马敏、冯晓亮、刘敏学、牛琳、郭陆蒙。

智算中心冷却设计要求

1 范围

本文件规定了智算中心冷却系统设计选用的基本规定、末端冷却、冷源、监测与控制、配套设施、热回收利用、能效评价。

本文件适用于新建、改建和扩建的智算中心的冷却系统设计及部署了算力业务的数据中心冷却系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 7190.1 机械通风冷却塔第1部分：中小型开式冷却塔
- GB/T 7190.2 机械通风冷却塔第2部分：大型开式冷却塔
- GB/T 7190.3 机械通风冷却塔 第3部分：闭式冷却塔
- GB/T 18430.1 蒸气压缩循环冷水(热泵)机组 第1部分：工业或商业用及类似用途的冷水(热泵)机组
- GB/T 25860—2010 蒸发式冷气机
- GB/T 25861—2023 蒸气压缩循环水源高温热泵机组
- GB 40879 数据中心能效限定值及能效等级
- GB 50019 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
- GB 50174 数据中心设计规范
- GB 50736 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范
- YD/T 3980 数据中心冷板式液冷服务器系统技术要求和测试方法
- YD/T 3981 数据中心喷淋式液冷服务器系统技术要求和测试方法
- YD/T 4274 单相浸没式液冷数据中心设计要求
- T/CIE 098 液/气双通道热管冷板间接液冷数据中心设计规范
- T/CECS 487 数据中心制冷与空调设计标准

3 术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

数据中心 data center

为集中放置的电子信息服务设备提供运行环境的建筑场所，可以是一栋或几栋建筑物，也可以是一栋建筑物的一部分，包括主机房、辅助区、支持区和行政管理区等。

[来源：GB 50174—2017，2.0.1]

3.2

智算中心（人工智能算力中心的简称，AIDC），artificial intelligence data center

指基于 GPU、FPGA 等芯片构建智能计算服务器集群，为人工智能应用提供算力服务、数据服务和算法服务的公共算力新型基础设施。

3.3

IT 设备 IT equipment

包括数据中心中的计算、存储、网络等不同类型的设备，用于承载数据中心应用系统，为用户提供信息处理和存储、通讯等服务，同时支撑数据中心的监控管理、运行维护。

3.4

风冷服务器 air cooling server

依赖空气流动来实现散热，通过风扇将冷空气吹入服务器内部，与服务器内部的热空气进行热交换，从而降低服务器温度。

3.5

液冷机柜 liquid cooling rack

承载数据中心电子信息设备和液体冷却介质，实现电子信息设备冷却的容器。

[来源：YD/T 4274—2023，3.1.5]

3.6

液冷服务器 liquid cooling server

采用液体冷却液作为散热介质，通过高效的散热泵将液体冷却液输送到服务器内部的散热模块，快速吸收并带走服务器内部产生的热量，再通过热交换器将热量散发到外部环境。

3.7

液体冷却介质 liquid cooling medium

智算中心液体冷却介质是智算中心液冷系统中循环的液体，通过与发热元件直接或间接接触，吸收并带走热量，以维持设备的正常工作温度。

3.8

冷却液分配单元 coolant distribution unit

用于进行液冷电子设备间的冷却液体分配的系统，提供二次侧流量分配、压力控制、物理隔离、防凝露等功能。以下简称 CDU。

[来源：YD/T 3980—2021，3.1.4]

3.9

分液歧管 manifold

用于向机柜内各液冷节点冷板分配液冷工质,一般介于液冷管网与液冷服务器之间的液冷工质供回装置。

[来源: YD/T 6049—2024 , 3.3]

3.10

冷却系统 cooling system

为保证 IT 设备运行所需温、湿度环境而建立的配套设施,主要由空调末端设备、冷源设备、输配系统等组成。

3.11

一次侧冷却循环系统 primary cooling circulation system

冷量分配单元(外循环通道部分)、冷却单元、外循环泵、补液装置、连接管路等组成的冷却水或冷冻水循环系统,负责将液冷服务器元件产生的热量散发至环境中。指冷源部分。

[来源: YD/T 3981—2021 , 3.1.7]

3.12

二次侧冷却循环系统 secondary cooling circulation system

冷量分配单元(内循环通道部份)、液冷 IT 设备、连接管路等组成的冷却液循环系统,负责将液冷服务器元件的发热量带出 IT 机房,送至冷量分配单元。指冷却液部分。

[来源: YD/T 3981—2021 , 3.1.8]

3.13

不间断电源系统(UPS) uninterruptible power system

由变流器、开关和储能装置组合构成的系统,在输入电源正常和故障时,输出交流或直流电源,在一定时间内,维持对负载供电的连续性。

[来源: GB 50174—2017 , 2.0.40]

3.14

供配电系统 power supply and distribution system

用于提供满足设备使用的电压和电流,并保证供电的安全性和可靠性,供配电系统通常由变压器配电柜、发电机、UPS、高压直流、电池、机柜配电单元等设备组成。

3.15

数据中心总耗电量 total electricity consumption of data center

维持数据中心运行所耗电量的总和。包括信息设备、冷却设备、供配电系统和其它辅助设施的耗电量。

[来源: GB 40879—2021 , 3.2]

3.16

水资源利用效率(WUE) water usage effectiveness

表征数据中心水资源利用效率的参数，其数值为数据中心水资源全年消耗量与数据中心 IT 设备全年耗电量的比值，单位是 L/kWh。

3.17

冷却系统负载系数 (CLF) cooling load factor

表征数据中心冷却系统总耗电量与 IT 设备总耗电量的比值。

3.18

冗余 redundancy

重复配置系统的部分或全部部件，当系统发生故障时，冗余配置的部件介入并承担故障部件的工作，由此延长系统的平均故障间隔时间。

[来源：GB 50174—2017，2.0.11]

3.19

N-基本需求 N-base requirement

系统满足基本需求，没有冗余。

[来源：GB 50174—2017，2.0.12]

3.20

N+X 冗余 N+X redundancy

系统满足基本需求外，增加了 X 个组件、X 个单元、X 个模块或 X 个路径。任何 X 个组件、单元、模块或路径的故障或维护不会导致系统运行中断 ($X=1\sim N$)。

[来源：GB 50174—2017，2.0.13]

3.21

机械制冷 mechanical refrigeration

根据热力学第一、第二定律，利用专用的技术设备，在机械能、热能或其他外界能源驱动下，迫使热量转移的热力学过程称为机械制冷。

[来源：T/CECS 487—2017，2.0.12，有修改]

3.22

自然冷却 free cooling

自然冷却是通过热传导、对流、热辐射等热传递形式由物体向环境介质排出热量，降低物体的温度。

3.23

部分自然冷却 partial free cooling

在气象条件允许的情况下，利用室外空气的冷量进行部分冷却、冷量不足部分由机械制冷补充的冷却过程称为部分自然冷却。

[来源：T/CECS 487—2017，2.0.14]

3.24

直接自然冷却 direct free cooling

采用自然冷却的热传递形式，由物体向环境介质排出热量时，冷却介质和被冷却介质同时进行热交换和质交换，两种介质混合后进入需冷却区域。

3.25

间接自然冷却 indirect free cooling

采用自然冷却的热传递形式，由物体向环境介质排出热量时，冷却介质和被冷却介质只进行热交换不进行质交换，冷却介质不进入需冷却区域。

3.26

水侧自然冷却 water-side free cooling

在气象条件允许的情况下，利用室外空气对载冷流体（冷冻水或乙二醇水溶液）进行冷却，而不需要机械制冷的冷却过程称为水侧自然冷却。水侧自然冷却属于间接自然冷却，与室外低温空气仅进行热交换，不进行质交换，室外空气不会直接进入电子信息设备所在的区域。

[来源：T/CECS 487—2017，2.0.15]

3.27

空气侧自然冷却 air-side free cooling

在气象条件允许的情况下，利用室外空气对载冷空气进行冷却而不需要机械制冷的冷却过程称为空气侧自然冷却。空气侧自然冷却分为直接空气侧自然冷却和间接空气侧自然冷却：①直接空气侧自然冷却过程中，室外空气携带冷量直接进入电子信息设备所在的区域，吸取设备散热量后再次排风至室外，热交换和质交换会同时发生；②间接空气侧自然冷却过程中，循环风与室外空气仅进行热交换，不进行质交换，室外空气不会直接进入电子信息设备所在的区域。

[来源：T/CECS 487—2017，2.0.16]

3.28

蒸发冷却 evaporative cooling

液体在蒸发成气体过程中会吸热，从而降低周围温度起到冷却作用，这一热力过程就是蒸发冷却。条件适宜时，数据中心可采用水蒸发冷却的制冷方式，让水流接触干热空气，发生汽化，吸收热量，降低温度。

[来源：T/CECS 487—2017，2.0.23]

3.29

梯级冷却 cascade cooling

鉴于智算中心算力设备排风温度较高，冷却系统采用高品质冷源为冷源品质需求不同的服务对象从高品质需求至低品质需求逐级提供冷却的一种用能方式，称为梯级冷却。

3.30

末端冷却 cool at the ends

末端冷却，是指智算中心冷却系统中的非冷源部分的系统或设备的统称。主要指算力主机房、配电辅助用房等房间的室内冷却系统及设备的统称。

3.31

近端冷却 close to cooling

近端冷却，是指将冷却设备、设施贴近算力设备布置以便就近提供冷却能力并可针对算力设备发热功率变化及时调整投入的冷却方式。近端冷却主要包括行级冷却、柜级冷却和芯片级冷却，芯片级冷却一般为液冷。

3.32

连续供冷 continuous cooling

保障工艺设备不因市电中断、冷机重启等事件引起冷却中断导致宕机的能力或措施。

[来源：T/CECS 487—2017，2.0.9，有修改]

3.33

服务器液体冷却系统 server liquid cooling system

一种采用液体带走发热器件热量的冷却系统，适用于需提高计算能力、能源效率、部署密度等应用场景。

3.34

风液混合冷却系统 mixed air-liquid cooling system

智算中心风液混合冷却系统，是指智算中心冷却系统既能支持纯风冷算力服务器部署，也能兼容液冷算力服务器部署，包括冷板式液冷、浸没式液冷、喷淋式液冷等，末端环境冷却可按照不同风液比进行弹性适配。

3.35

间接蒸发冷一体式冷水机组 indirect evaporative cooling integrated chiller

一种集成了间接蒸发冷却塔、冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵、板式换热器及其它冷源系统设备的一体式冷水机组，为智算中心提供冷源。

3.36

蓄冷罐 thermal energy tank

一种水蓄冷设施，利用水在不同温度时密度不同的特性，通过布水系统使不同温度的水保持分层，从而避免冷水和温水混合造成冷量损失，达到蓄冷目的，通常包含水罐本体、布水器、液位计、测温元件、保冷层、爬梯、栏杆和防雷装置等。

[来源：T/CECS 487—2017，2.0.10]

3.37

热/冷通道 cold/hot aisle

将机架面对面、背对背成列摆放，机架面与面之间的通道称为冷通道，机架背与背之间的通道称为热通道。机架内的电子信息设备自带风扇从冷通道取风，吸热后将热风排入热通道。

[来源：T/CECS 487—2017，2.0.11]

4 基本要求

4.1 智算中心内舒适性或其他功能用的供暖、通风、制冷与空调系统应符合 GB 50736 和 GB 50019 的相关规定。

4.2 智算中心冷却系统应根据电子信息设备的通风和环境要求特性、所在地区的气象条件、能源状况和价格等条件，节能环保和安全要求等因素，并结合国家节能减排和环保政策的相关规定，对可行方案进行技术经济比较，综合论证确定。

4.3 智算中心冷却系统应与智算中心的整体建设要求协调统一，应与近期建设规模和远期发展规划协调一致，应为施工安装、操作运行、维修检测、安全保护以及设备搬运等提供便利条件。

4.4 智算中心需要分期部署时，应有技术措施避免新增设备和管路影响已有电子信息设备的正常运行。

4.5 当智算中心内部署的算力设备功耗、冷却方式未确定时，可采用风液混合冷却系统部署，既能支持纯风冷算力服务器部署，也能兼容液冷算力服务器部署；既能满足低密度 IT 服务器冷却需求，也可以满足高密度 IT 服务器的冷却需求。

4.6 智算中心宜根据当地气候特点，采用长时间利用自然冷源的冷却技术。

4.7 智算中心室内外设计计算参数应满足数据中心相关规范的有关规定。

5 末端冷却**5.1 一般规定**

5.1.1 智算中心需要排热的房间，采用直接通风达不到室内设备温度、湿度、洁净度等要求或条件不允许、不经济时，应设置冷却系统。

5.1.2 智算中心主机房宜采用靠近智算服务器发热源头的近端冷却方式，如列间级、机柜级、芯片级等冷却方式。

5.1.3 下列情况，宜对冷却系统进行全年能耗模拟计算：

- a) 需要对冷却系统设计方案进行对比分析和优化时；
- b) 需要对冷却系统节能措施进行评估时；
- c) 需要对冷却系统全年能耗、耗水量做出预判并计算冷却系统负载系数（CLF）和水资源利用效率（WUE）时。

5.1.4 智算中心液冷系统设计阶段，应明确所承载智算业务设备的类型、典型配置、关键元器件能耗情况。

5.1.5 智算中心液冷技术分类可参考表 1。

表 1 智算中心液冷技术分类

液体冷却		
间接冷却	直接冷却	
冷板式	浸没式	喷淋式

5.2 负荷计算

5.2.1 电子信息设备和其它设备的散热量应根据设备实际用电量进行计算，当无计算资料时可以安装功率为依据。

5.2.2 冷却系统夏季冷负荷应包括下列内容：

- a) 智算中心内设备的散热；
- b) 建筑围护结构得热；
- c) 通过外窗进入的太阳辐射热；
- d) 人体散热；
- e) 照明装置散热；
- f) 渗透空气带入的热量；
- g) 其他设备、器具、管道及其他内部热源的散热量；
- h) 伴随各种散湿过程产生的潜热。

5.2.3 冷却系统湿负荷应包括下列内容：

- a) 人体散湿；
- b) 新风湿负荷；
- c) 渗透空气湿负荷；
- d) 围护结构散湿；
- e) 其他散湿量。

5.2.4 冷板式液冷系统冷负荷应单独计算，并以其中拟采用液冷散热的高热流密度元件的最高发热量作为液冷通道散热负荷基准值。

5.2.5 冷板式液冷系统冷负荷计算应将工艺设备必要的设计选用参数及液冷部分与风冷部分散热量数据明确在设计文件中，在极端气候条件下冷却系统也应满足末端冷却要求。

5.2.6 直接液冷冷却系统的冷负荷计算应根据实际液冷设备特点、实际应用场景等条件综合考虑。

5.3 冷却系统

5.3.1 智算中心末端冷却系统应满足电子信息设备对运行环境的要求和电子信息设备内部热管理的要求，同时兼顾运维管理的需要。

5.3.2 智算中心主机房末端冷却系统形式应由服务器散热技术决定。可采用多种冷却系统形式（如风冷+间接液冷、纯风冷、直接液冷等）。对于智算中心机柜功耗密度过大的场景，末端冷却宜采用液体冷却形式，同时需要结合算力设备的散热特点，可额外设置风冷冷却作为末端冷却的补冷措施。

5.3.3 满足电子信息设备对运行环境及热管理的要求且技术经济合理时，智算中心应采用自然冷却技术。

5.3.4 采用风侧自然冷却技术来承担算力主机房的全部冷负荷或部分冷负荷时，应符合下列规定：

- a) 采用风侧自然冷却系统，宜对送风的温度、湿度、含尘量进行自动控制。室外空气质量不满足电子信息设备要求时，宜采用间接风侧自然冷却形式；
- b) 极端气象或某些特定条件下，采用风侧自然冷却设施不经济、不合理或无法满足使用要求时，应设置机械制冷设施进行补充；
- c) 风侧自然冷却装置宜根据当地气象条件、水资源情况、智算中心建筑条件等，与蒸发冷却技术、液冷技术、氟泵技术、热管技术等结合使用；
- d) 冬季需要运行的系统、设备和有冻结风险的水管和阀门应设有防冻措施；
- e) 应避免冷却的送风与回风或者排风之间发生气流短路。

5.3.5 智算中心采用冷冻水型机房空调时，可以结合水侧间接蒸发冷却技术，进一步提高冷却系统的节能水平。

5.3.6 智算中心采用风冷直膨机房空调时，空调室外机设置应符合下列规定：

- a) 应确保进风、排风通畅，在排出空气与吸入空气之间不发生明显的气流短路，避免发生热岛效应；
- b) 应避免污浊气流的影响；
- c) 噪声和排热应满足周围环境需求；
- d) 室外机的维护和更换应便利；
- e) 在能够消除电子信息设备运行时产生的热负荷前提下，宜提高蒸发温度，宜采用变容量机组；
- f) 室内机与室外机的安装空间、室内机与室外机之间的最大管长和最大高差，均应符合对应产品的技术标准，同时兼顾能效比。

5.3.7 末端机房空调或风冷 CDU 的风机宜设置有效控制，确保输送的冷风量略大于电子信息设备的需求，避免风量过大。机房空调宜采用变风量风机，低负荷时可通过调节风量，降低能耗。

5.3.8 智算中心采用液冷 CDU 时，应符合下列规定：

- a) 末端机房液冷 CDU 的水泵宜设置有效控制，确保输送的冷量充分满足并留有10%余量；
- b) 对于液冷 CDU，泵作为唯一动力部件，在整个系统的冷却液泄漏量中占比高，在泵密封性上挑战极大，特别是相变液冷工质；
- c) 液泵、过滤器、阀门等的设置应满足系统运行安全性及可维护性要求，其中泵、过滤器应具备在线维护条件；设有空调的供配电房间，空调设施的冗余应与电气系统的可靠性要求保持一致；
- d) 与冷却工质接触的部件应与冷却工质相容，表面无溶解现象或明显腐蚀现象；
- e) 液冷 CDU 应具备漏液监测功能，用于检测工质的泄漏，对于单相液冷，底部需设计集液盘和漏液传感器，对于相变液冷，应在一定高度设置漏液检测报警传感器；
- f) 液冷 CDU 需作密闭处理，避免引入空气和水；
- g) 液冷 CDU 泵应冗余备份，使用泵与备份泵具备定时切换功能，轮换中应保持压力稳定。

5.3.9 宜根据使用环境决定设置过滤器的等级及类别，如果设置中效或者亚高效过滤器，宜在中效或者亚高效过滤器前加设初效过滤器，以提升高级别过滤器的使用寿命。

5.3.10 主机房新风系统应符合下列规定：

- a) 集中新风系统应根据建筑形式、分期计划、负荷变化等条件进行划分；
- b) 新风系统宜承担空调区的全部除湿负荷，其处理方式应根据室外计算湿球温度、露点温度和送风状态点的要求，通过技术经济比较后确定；
- c) 新风机组选型条件可按极端气象参数；
- d) 承担除湿功能的新风系统，每个新风区宜设置不少于两套新风机组，单台机组维护时，其余机组承担70%以上的负荷；
- e) 室外空气质量不满足电子信息设备要求时，新风系统应增加相应的处理措施；
- f) 新风系统的风机宜采用变风量的调节方式；
- g) 集中处理的新风应采取有效措施，确保房间送风口表面不会结露，送风口宜位于机房空调回风区。

5.4 气流组织

5.4.1 智算中心主机房的冷却方式和气流组织应满足房间内所有对应设备的散热要求，其中的算力设备风冷冷却系统可通过气流组织模拟进行方案比选。

5.4.2 主机房需要的操作层高度，除应满足机柜高度、管线安装建筑条件等因素外，还应满足气流组织的需要。

5.4.3 主机房机架内、相邻机架内的电子信息设备气流方向宜保持一致，机架宜按冷/热通道分离的方式布置，冷/热通道均宜采用封闭措施。

5.4.4 机架采用前进后出的气流方向时，机架门宜为可拆卸型。

5.4.5 机房设置冷/热通道隔离时，应满足下列要求：

- a) 机房设置冷/热通道隔离时，机架排列宜保持连续不间断，无法连续时，可采用插满盲板的空机架或在机架间安装固定隔板等方式进行补位；
- b) 机房设置冷/热通道隔离时，冷/热通道之间应避免孔洞隙，确实需要管线穿越处应设置毛刷、密封胶封堵、防火封堵材料封堵、金属板封堵等封堵方式；
- c) 机房设置冷/热通道隔离时，不应影响消防系统的灭火效果及人员的安全疏散。

5.4.6 技术经济合理且满足电子信息设备对运行环境的要求时，空调冷却系统宜加大送回风温差。

5.5 管路

5.5.1 智算中心的服务器风冷部分的空调水管路、二次侧的高温水液冷管道不应穿越与之无关的主机房或供配电房间，检修口不应设在主机房或供配电房间内。

5.5.2 智算中心液冷管道宜采用不锈钢管道，液冷二次侧管道宜采用预制管的方式。

5.5.3 冷却系统管道、阀门、仪表、附件等设施应预留检修空间。

5.5.4 液冷系统管路宜按照如下要求设置：

- a) 液冷管路系统的管路和管件的材料应与冷却介质兼容；
- b) 一次侧冷冻水管路应采取保温措施，避免产生冷凝水；
- c) 管路的水流方向需要有合适的标记，防止紧急状态人为失误关错阀门；

- d) 管路应设计切断阀；
- e) CDU内已设置过滤器，故建议取消供水主管上设置过滤器的要求。

5.5.5 液冷系统管路宜按照如下要求设置冗余：

- a) 一次侧主管路可按用户的特殊需求进行冗余设计；
- b) 冷板式液冷二次侧管路系统布置应采用环网或双管路设计，则需要对管路上设计的过滤器和关键接口部分设置旁通做到局部管道冗余，以方便过滤器、关键接口更换、维护。

5.5.6 液冷柜内配流管路组件支路接口宜采用自封式快速接头，并满足快速接头通用性标准要求，具备不同厂家产品兼容性。

5.5.7 液冷管路密封件等易损件不应采用再生料，应避免生料带的使用，应避免金属面密封的设计。

5.5.8 液冷通道的配置设计应满足下列要求：

- a) 设计冷负荷不小于液冷IT设备在极端气温工况下的冷却需求；
- b) 液冷温控单元、换热设备等在采用系统级冗余CDU时，也可以CDU为基准实现 $N+X$ （ $X=1\sim N$ ）冗余配置；
- c) 一次冷却环路管路宜于架空地板下走管，宜采用环路供回水设计等具备单点故障隔离功能的管路配置方案，以提高机架之间供液平衡度和故障保障能力；一次冷却环路管路如采用机房顶部走管，宜将管网层设置于机架顶部与电缆层之间的空间，并设置必要的集液槽，避免管网泄漏时冷却介质进入机架、电缆层、配电柜等设施；
- d) 同一套液冷系统的液冷管路设计原则上应相同。

6 冷源

6.1 冷源选择

智算中心冷源应优先考虑利用自然冷却资源、余热余冷和非压缩式制冷冷源，可根据场地周边条件设置梯级冷源系统，将自然冷源、吸收式制冷冷源、压缩式制冷冷源统筹结合以获得更高的效率。

6.2 系统配置

6.2.1 智算中心的制冷机组台数及单机制冷量的设置，宜与智算中心的建设分期匹配。

6.2.2 智算中心采用自然冷源、吸收式制冷冷源、机械制冷冷源结合的方式时，自然冷源设施不应降低数据中心冷源系统的性能等级。

6.2.3 智算中心冷冻水系统与舒适性空调或其他功能用房的冷冻水系统宜分别设置。

6.2.4 智算中心内，承载显热负荷的冷水系统，在满足电子信息设备散热要求的前提下，应提高冷水系统的供水温度，加大供回水温差。

6.2.5 智算中心的冷冻水系统可采用模块化设计。

6.3 设备要求

6.3.1 制冷机组宜采用高效节能型产品。

6.3.2 置于室外或与室外环境直接接触的冷源设施需要冬季运行时，应根据当地气候特点设置有效的防冻措施，设防温度应参照当地极端最低温度。

6.3.3 布置在室外的一体式冷水机组、干冷器、冷却塔、蒸发式冷凝器等设备，应满足下列规定：

- a) 进风和排风应通畅，在排出空气和吸入空气之间不发生明显的气流短路。应避免进风受到污浊气流的影响。屋面集群布置的一体式冷水机组、干冷器、冷却塔、蒸发式冷凝器等设备，可利用仿真模拟技术分析最不利散热情况下的散热效果；
- b) 噪声和排热应满足周围环境的需求；
- c) 布置在室外的设备宜设置有清扫维护的措施。

6.3.4 智算中心的冷却系统可采用间接蒸发冷却设备进一步降低冷却系统能耗。

6.3.5 间接蒸发冷却设备材料的燃烧性能等级不得低于 B1 级。

6.3.6 冷却系统的循环水系统应配置水处理措施，宜采用物理、化学相结合的处理方式。

6.3.7 冷却塔、一体式冷水机组、蒸发式冷凝器等设备的循环水系统应采用节水设备。

6.3.8 智算中心有连续供冷需求，且采用蓄冷罐的冷冻水系统，满负荷的放冷能力应满足连续供冷需要支持的时间。

6.3.9 蓄冷罐应设置有效保温措施，寒冷或严寒地区布置室外的蓄冷罐，还应有防结冻措施。

6.3.10 蓄冷罐的供回水管宜设有自动切断阀，当蓄冷罐发生故障，可自动关闭，使得蓄冷罐与空调水系统分离。

6.3.11 水泵和风扇采用变频设备时，应满足长期低负荷的运行工况的要求。

6.3.12 若采用开式冷却塔，补水箱(池)的容量宜按照不低于 12h 配置。

7 监测与控制

7.1 智算中心冷却系统监测与控制系统应能长久且稳定的维持智算中心的各项运行数据正常，同时应能满足节能降耗以及运维需求。

7.2 智算中心冷却系统监测与控制系统宜单独设置，当与其他系统合并时，需要考虑系统的可靠性，并具备故障时自主运行的能力。

7.3 智算中心冷却系统监测与控制系统应具备以下功能：

- a) 应具备可靠设施或应采取可靠措施；
- b) 系统应纳入智算中心冷却系统的各项运行指标及设备运行参数，同时设置故障自动告警功能；
- c) 冷、热通道的温、湿度的监测与控制宜纳入系统；
- d) 系统应设置群控功能，设置系统冗余，冷却系统应能监测设备运行状态，执行投运决策、加减机功能、故障代偿功能；
- e) 系统若设置有多种运行模式，系统应能根据室外气象参数进行平滑切换运行模式，避免造成系统振荡；
- f) 根据智算中心的地区不同，宜考虑冬季运行下有冻结风险的冷却塔、干冷器、新风机组、空调机组等设备的防冻措施，并对防冻效果进行监测；

- g) 对设置的应急冷源，系统应根据设置条件自动切换放冷模式、蓄冷模式及联合供冷模式；
- h) 系统应具备历史运行数据储存功能，同时对重要运行指标进行自动分析归类，为优化系统运行提供数据支撑；
- i) 系统应具备区分操作权限及访问权限的功能；
- j) 系统应具备后期扩容及再次编程的功能需求。

7.4 智算中心冷却监测与控制系统应明确系统的运行逻辑、监控点位、自控仪表、控制阀门及数据分析采集的内容。

7.5 A级智算中心的冷却监测与控制系统宜符合下列要求：

- a) 系统应设置冗余组件，任一组件发生故障或需要维护，不应造成智算中心的供冷中断或供冷量不足；
- b) 系统通信路径应设置冗余，任一通信路径发生故障或需要维护，不应造成智算中心的供冷中断或供冷量不足；
- c) 智算中心分期部署时，新增的设备不能造成已运行设备供冷中断或供冷量不足。

7.6 智算中心应对冷却监测与控制系统进行现场调试，并宜进行工厂仿真模拟测试与验证。

7.7 智算中心冷却系统控制方式可独立增加冷却设备级的自控功能，防止BA系统故障导致冷却系统失控。

8 配套设施

8.1 供配电

8.1.1 电子信息设备设置后备电源系统时，智算中心冷却系统也应设置后备电源系统。

8.1.2 A级主机房冷却系统设施的供配电系统应与智算中心的性能等级保持一致。

8.1.3 A级主机房监控系统的控制器电源、控制阀门电源应采用不间断电源供电。

8.1.4 连续供冷的智算中心，采用冷冻水系统且设有蓄冷罐时，冷源的控制系统、冷冻水末端循环泵、末端空调风机应采用不间断电源供电。电池后备时间不应低于连续供冷的时间要求。

8.1.5 智算中心采用不同冷却形式时供电系统宜符合下列要求：

- a) 连续供冷的智算中心，采用风冷或水冷直膨型机房空调时，空调室内室外机组、制冷剂泵等均应采用不间断电源供电；
- b) 连续供冷的末端风冷智算中心，采用冷却塔作为室外散热的冷源，且没有蓄冷系统时，冷却塔、循环水泵、末端机房空调均应采用不间断电源供电；
- c) 连续供冷的末端液冷智算中心，且没有蓄冷系统时，整个液冷冷却系统均应采用不间断电源供电；
- d) 控制系统应采用不间断电源供电。

8.2 给水与排水

8.2.1 智算中心的机房冷却设备集中安装区应设置地面排水设施，采用集中冷源时应设置事故应急排水系统。排水管路宜设置在冷却设备区内，且不应布置在电子信息设备或供配电设备的正上方。

8.2.2 智算中心的冷冻站内应设置给水与排水设施，满足水系统冲洗、排水、排污要求，此外还应采取必要措施防止水淹。

8.2.3 冷冻水、冷却水、液冷、补水等系统应设置相应的水质控制装置，水质应符合现行有关国家标准的相关规定。

8.2.4 智算中心冷却系统的冷却水补水装置，应符合下列规定：

- a) 补水系统应满足智算中心冷却系统相对应的性能等级要求，其流量和压力应满足使用设备的要求；
- b) 冷却水补水中断，会导致冷却系统中断时，应设置补水储存装置，储存时间不应低于当地应急水车抵达现场的时间，无法确定时，不宜低于12h。补水储存装置上宜预留补水接入口；
- c) 冷却水补水宜采用市政自来水，也可采用水质满足要求的再生水、井水、湖水、河水等；
- d) 冷却水补水的储存应采取措施，防止水质变坏；
- e) 间接式液冷系统应设置补液定压系统，所补充的液体的成分及参数应满足间接式液冷系统设计的要求；
- f) 直接式液冷的补液定压系统应根据实际设计方式、运维特点等综合考虑。

8.2.5 主机房的加湿水质应满足加湿设备对水质的要求且应满足卫生要求。

8.2.6 敷设在主机房和供配电房间的给排水管道应采取防渗和防结露措施。

8.3 建筑与装修

8.3.1 智算中心的建筑空间布置应满足冷却系统设备的运行、维护、扩充、更换等要求，且便于易损件、维护工具等设施的运输和使用。

8.3.2 智算中心人流、物流路线排布，应保障设备运输和运维线路短直。

8.3.3 智算中心内通道的宽度及门的尺寸无法满足冷却系统设备、材料、工具的运输要求时，应设置设备搬运口。

8.3.4 智算中心的主机房不宜设置外窗。设有外窗时，应有措施避免阳光直射。

8.3.5 智算中心的外围护结构长期发热房间的外围护结构（如主机房、变配电室）夏季保冷，冬季散热，必要时可采用可变热工性能外围护结构。

8.3.6 当地板下综合敷设近端冷却系统、液冷一次侧及二次侧等冷却介质管道时，其活动地板的架空高度应充分考虑管线敷设及维护空间，且不宜小于800mm。

8.3.7 集中式冷源设备布置在建筑屋面时，应充分考虑其荷载能力、设备基础及管道敷设。

8.3.8 智算中心冷源集中布置时，应采取合理的降噪和减振措施。

8.4 供暖与通风

8.4.1 在技术经济合理且安全可靠时，智算中心需要供暖的区域宜利用主机房的余热。

8.4.2 智算中心内存在冻结风险的房间室内温度应保持在0℃以上，当利用房间蓄热量不能满足要求时，应按不低于5℃设置值班供暖，工艺有特殊要求时，也可按工艺要求确定供暖温度。

8.4.3 技术经济合理时，柴油发电机房的供暖温度可按10℃设置。

8.4.4 智算中心人员集中的辅助区、行政办公区，其供暖设施应满足人员的舒适性要求。

8.4.5 智算中心供配电房间内，采用热水型风机盘管等方式供暖时，空调设备宜设置在房间外部，通过设置送/回风管路系统实现热量输送。

8.4.6 智算中心供配电房间采用热水型散热器供暖时，应符合下列规定：

- a) 散热器的安装位置应远离供配电设备；
- b) 供暖水管宜短直，应减少接头和附件，阀门宜设置在供配电房间外。

8.4.7 智算中心的电池间宜设置独立的通风系统，当通风无法保证电池间设备的环境要求时，宜设置空调冷却系统。

8.4.8 设有空调系统的电池间，应设置排风装置，换气次数不宜小于 0.5 次/h。

8.4.9 智算中心柴油发电机房的通风系统应符合下列规定：

- a) 柴油发电机房的进风口应设在室外空气较清洁处，进风量应为排风量与发电机组燃烧空气量之和；
- b) 柴油发电机房宜利用自然通风排除房间余热，当自然通风不能满足发电机组运行的温度要求时，应设机械通风装置；
- c) 柴油发电机房的进、排风系统宜与柴油发电机设备一一对应；
- d) 柴油发电机房的进、排风系统应设有自动启停装置，设有风阀时，风阀的开启速度不应影响柴油发电机的正常启动和运行，风阀的电动执行机构应由不间断电源供电；
- e) 寒冷和严寒地区的柴油发电机房的进风口处宜装设能严密关闭的保温风阀，冬季运行时应有措施避免因冷风侵入导致的机房内设施冻结；
- f) 进、排风口宜设置消声装置，满足环保和劳动保护要求；
- g) 柴油发电机房的排风系统应满足最大排风量的需要，其室外出口应避免与进风发生短路，应避开人员密集区。

8.4.10 无外窗或设置固定窗的房间设有气体自动灭火系统时，宜设置灾后排风系统，灾后排风系统应符合下列规定：

- a) 多个房间可以共用一套灾后排风系统，但应满足最不利房间的使用要求，每个房间的通风支管上均应设置防火阀；
- b) 灾后排风系统的换气次数不应小于 5 次/h，其通风设备的开关应设在机房的外面；
- c) 灾后排风系统的吸风口应位于房间下部，设有活动地板的房间，当活动地板高度超过 800mm 时，地板上、下宜同时设置吸风口，不使用期间，应避免地板上、下的气流出现混合；
- d) 灾后排风系统应与消防系统联动，消防气体喷洒过程中，灾后排风系统严禁开启；
- e) 设有灾后排风系统的区域，应设置补风措施。补风措施可利用新风或其他通风系统。

8.4.11 电池室应设置事故通风系统，可与灾后排风系统合用，事故通风量应按照不小于 12 次/小时的换气次数来计算。

9 热回收利用

9.1 热回收形式应根据建筑环境、类型和设计而确定，形式包括但不限于楼宇供暖、近距离低温水回收等。

- 9.2 热回收利用设计应考虑智算中心负荷的变化情况，具备热能波动平衡能力。
- 9.3 热泵回收类设计应避免回收设备故障对智算中心冷却系统散热能力的影响，应具备散热设备实时切换及冷量自适应能力，热泵类热库系统设计应遵循 GB/T 25861-2023 等相关设计标准规范要求。
- 9.4 液冷系统的热回收系统取热点不宜位于二次侧冷却环路，避免直接和智算设备相连接，热回收系统的取热点应位于一次侧冷却环路并采用间接换热方式。

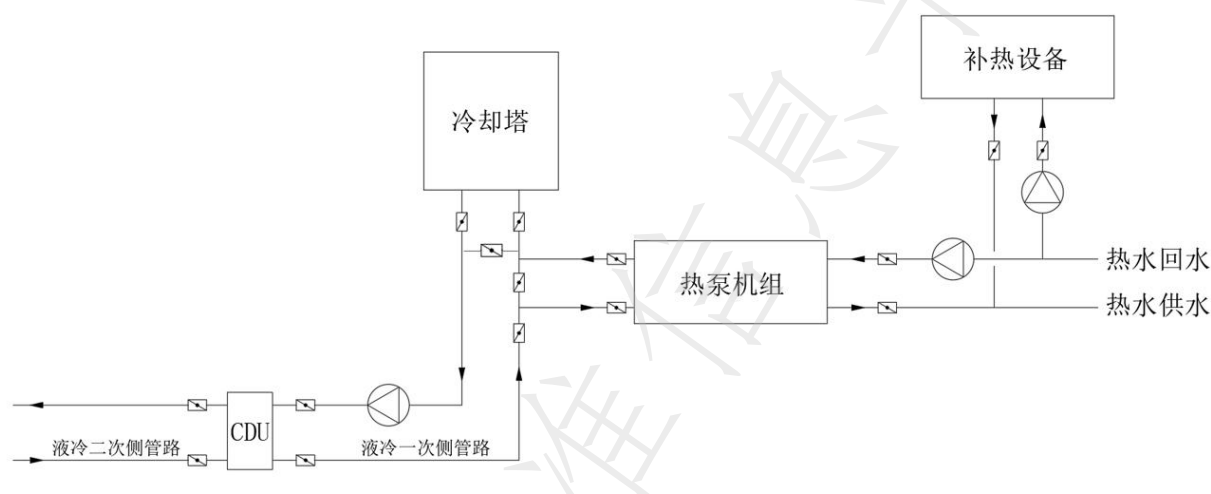


图 1 液冷系统热回收原理图

- 9.5 使用热回收系统的液冷智算中心应将一次侧冷却环路供液量和供液温度作为最高优先级控制目标，优先保证智算设备的液冷环境稳定运行。

10 能效评价

10.1 电能评价

10.1.1 液冷系统电能比

按 GB 40879 规定的测试与计算方法，测算液冷系统的电能比。
按5个特性工况点测算的液冷系统电能比根据公式（1）计算：

$$R_{c1} = \frac{E_{c1} + E_{IT1}}{E_{IT1}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 R_{c1} ——按5个特性工况点测算的液冷系统电能比；
 E_{c1} ——按5个特性工况点测算的服务器液冷系统制冷设备耗电量（kW·h）；
 E_{IT1} ——按5个特性工况点测算的信息设备耗电量（kW·h）。

服务器液冷系统制冷设备耗电量根据温度分布系数和公式（2）计算：

$$E_{c1} = 8760 * T_a P_{ac} + 8760 * T_b P_{bc} + 8760 * T_c P_{cc} + 8760 * T_d P_{dc} + 8760 * T_e P_{ec} \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 E_{c1} ——服务器液冷系统制冷设备耗电量（kW·h）；
 $P_{ac} \sim P_{ec}$ ——在五个特性工况下测算的服务器液冷系统制冷设备输入功率（kW）；

$T_a \sim T_e$ ——温度分布系数，表示五个特性工况点所代表的温度区间在某地区全年温度分布的时间占比。

信息设备耗电量温度分布系数和公式（3）计算：

$$E_{IT1} = 8760 * T_a P_{aIT} + 8760 * T_b P_{bIT} + 8760 * T_c P_{cIT} + 8760 * T_d P_{dIT} + 8760 * T_e P_{eIT} \dots (3)$$

式中：

E_{IT1} ——信息设备耗电量（kW·h）；

$P_{aIT} \sim P_{eIT}$ ——在5个特性工况下测算的信息设备功率（kW）；

$T_a \sim T_e$ ——温度分布系数，表示5个特性工况点所代表的温度区间在某地区全年温度分布的时间占比。

10.1.2 按全年耗电量测算液冷系统电能比

按全年耗电量测算的液冷系统电能比根据公式（4）计算：

$$R_{c2} = \frac{E_{c2} + E_{IT2}}{E_{IT2}} \dots (4)$$

式中：

R_{c2} ——按全年耗电量测算的液冷系统电能比；

E_{c2} ——按全年耗电量测算的服务器液冷系统制冷设备耗电量（kW·h）；

E_{IT2} ——按全年耗电量测算的信息设备耗电量（kW·h）。

10.1.3 制冷量

冷却系统的设备制冷量按照对应产品的相关标准测量：

- a) 开式冷却塔：GB/T 7190.1、GB/T 7190.2；
- b) 闭式冷却塔：GB/T 7190.3；
- c) 冷水机组：GB/T 18430.1。

10.1.4 制冷消耗功率

冷却系统的设备制冷消耗功率按照对应产品的相关标准测量：

- a) 开式冷却塔：GB/T 7190.1、GB/T 7190.2；
- b) 闭式冷却塔：GB/T 7190.3；
- c) 冷水机组：GB/T 18430.1。

10.1.5 冷却系统负载系数（CLF）

冷却系统负载系数（CLF）根据公式（5）计算：

$$CLF = \frac{P_{Cooling}}{P_{IT}} \dots (5)$$

式中：

$P_{Cooling}$ ——智算中心制冷设备耗电量，单位为千瓦（kW）；

P_{IT} ——智算中心IT设备耗电量（kW）。

10.2 水资源评价

10.2.1 耗水量

液冷系统的设备耗水量按 GB/T 25860—2010 附录 D.3.3 规定的蒸发量试验方法测量。

10.2.2 水资源利用效率（WUE）

智算中心水资源全年消耗量与智算中心IT设备全年耗电量的比值，单位是L/kWh。智算中心液冷系统一次侧可优先采用普通的自来水土质，二次侧可优先采用纯水、乙二醇水溶液、氟化液等特殊工质。

注：选用干冷器作为冷源的智算中心，一次侧基本没有水资源的消耗，二次侧水资源的消耗与二次侧管路系统的工艺水平、质量水平、运维水平等可靠性有关系，因为二次侧本身作为闭式系统，对水的消耗很有限。而大部分液冷数据中心会选用闭式冷却塔作为冷源，闭式冷却塔对水资源的消耗对比开始冷却塔而言会少一些、同时也可以通过控制手段达到一些节水的效果。

参考文献

- [1] GB/T 3299.1 数据中心 资源利用 第1部分：术语
 - [2] GB/T 19413 数据中心和通信机房用空气调节机组
 - [3] GB/T 30192 水蒸发冷却空调机组
 - [4] GB/T 32910 数据中心资源利用
 - [5] GB 50016 建筑设计防火规范
 - [6] YD/T 3982 数据中心液冷系统冷却液体技术要求和测试方法
 - [7] YD/T 4024 数据中心液冷服务器系统总体技术要求和测试方法
 - [8] T/CIE 09 液/气双通道热管冷板间接液冷数据中心散热设备通用技术规范
 - [9] T/DZJN 10 数据中心蒸发冷却空调技术规范
 - [10] T/DZJN 27 数据中心蒸发冷却空调设备
 - [11] T/DZIN 81 数据中心蒸发冷却水质标准
 - [12] T/CIE 088 非水冷板式间接液冷数据中心设计规范
 - [13] T/DZJN 164 数据中心蒸发冷凝氟泵热管空调技术规范
 - [14] T/DZJN 249 数据中心间接蒸发冷却塔
 - [15] T/DZJN 252 直接蒸发冷却预制化数据中心模块
 - [16] T/CRAAS 1015 数据中心间接蒸发冷却系统设计规范
 - [17] T/CECS 1722 数据中心液冷系统技术规程
-