

ICS 33.040.40

M32

YD

中华人民共和国通信行业标准

YD/T XXXXX-XXXX

数据中心喷淋式液冷服务器系统技术要求和测试方法

Technical requirements and test methods for spray liquid cooling server system of
data center

(报批稿)

行业标准信息服务平台

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言.....	IIII
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义和缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	2
4 基本要求.....	2
4.1 概述.....	2
4.2 喷淋式液冷机柜.....	3
4.3 喷淋式液冷服务器.....	4
4.4 CDU.....	5
4.5 换热系统.....	6
5 管路布置.....	7
6 冷却液体.....	8
6.1 基本要求.....	8
6.2 贮藏与使用.....	9
6.3 回收与废弃.....	9
7 监控系统.....	9
7.1 传感器.....	910
7.2 控制系统.....	10
8 供配电系统.....	10
8.1 配电系统.....	10
8.2 电子信息设备不间断供电系统.....	10
8.3 散热系统供电.....	10
8.4 辅助设备供电.....	10
8.5 防雷接地.....	1011
9 消防系统.....	11
10 供排液.....	11
11 PUE 测试.....	11
12 运维规定.....	11
12.1 一般规定.....	11
12.2 电子信息设备搬运.....	12
12.3 电子信息设备清洗.....	12
12.4 液体补充.....	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020给出的规则起草。

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。

本文件由中国通信标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：中国信息通信研究院、北京百度网讯科技有限公司、深圳市腾讯计算机系统有限公司、北京三快云计算有限公司、中国移动通信集团有限公司、中国电信集团有限公司、广东合一新材料研究院有限公司、联想（北京）信息技术有限公司、施耐德电气信息技术（中国）有限公司、深圳绿色云图科技有限公司、曙光节能技术（北京）股份有限公司、中兴通讯股份有限公司、国际商业机器（中国）投资有限公司、新华三技术有限公司。

本文件主要起草人：郭亮、谢丽娜、吴宏杰、梁旭飞、梅方义、胡湘涛、汪斌强、向军、吴永明、程思聪、郭振海、娄小军、王峰、赵继壮、李洁、季伟光、范振国、刘奉君、张剑、王中平、马弛州、田婷、张鹏、崔新涛、林密、石葆春、李棒、秦振、柴宏生、田耕、吕海超、万晓兰。

行业标准信息服务平台

数据中心喷淋式液冷服务器系统技术要求和测试方法

1 范围

本文件规定了数据中心喷淋式液冷服务器系统的管路布置、冷却液体及监控、供配电、消防等子系统的技术要求与测试方法。

本文件适用于喷淋式液冷服务器系统的设计、施工、部署、运维等环节的技术指导。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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/T261	闪点的测定
GB/T11133	石油产品、润滑油和添加剂中水含量的测定 卡尔费休库仑滴定法
GB30000	化学品分类和标签规范
GB50016	建筑设计防火规范
GB50052	供配电系统设计规范
GB50057	建筑物防雷设计规范
GB50343	建筑物电子信息系统防雷技术规范
YD/T2442	互联网数据中心资源占用、能效及排放技术要求和评测方法
YD/T2542	电信互联网数据中心（IDC）总体技术要求
YD/T2543	电信互联网数据中心（IDC）的能耗测评方法

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语、定义适用于本文件

3.1.1

液冷 liquid cooling

采用冷却液带走发热器件热量的数据中心冷却技术，适用于需提高计算能力、能源效率、部署密度等应用场景。

注：液冷分为接触式及非接触式液冷两种，接触式液冷是指将冷却液与发热器件直接接触的一种液冷形式，包括浸没式和喷淋式液冷等具体方案。非接触式液冷是指冷却液与发热器件不直接接触的一种液冷形式，包括冷板式等具体方案。

3.1.2

喷淋式液冷 spray liquid cooling

面向芯片级器件精准喷淋、直接接触式，通过重力或系统压力直接将冷却液喷洒至发热

IT 器件或与之连接的导热元件上的液冷形式。

注：在热交换的工作过程中，IT 设备内冷却液的自由液面低于被冷却的发热器件或与之连接的固体导热材料，系统通过 IT 设备外部的换热单元对冷却液换热并循环使用。

3.1.3

喷淋式液冷机柜 spray liquid cooling cabinet

冷却方式的服务器机柜，通常包括机柜框架、管路系统、布液系统、喷淋模块、回液系统、PDU、冷却液等。

3.1.4

喷淋式液冷服务器 spray liquid cooling server

含有喷淋模块、进液口、出液口的服务器，冷却液通过喷淋模块以喷淋方式将服务器内部所有发热器件进行直接接触式冷却。

3.1.5

冷量分配单元 coolant distribution unit

主要由循环泵、变频器、过滤器、换热器、电控单元、监控传感单元、连接管路与阀门等组成的装置，实现经换热处理后的冷却液各分支的流量和压力控制。

3.1.6

分配单元 power distribution unit

机柜用电源分配插座，是将电流分配到各个IT设备的末端配电设备，是连接供电等基础设施与IT系统、关联机房内所有设备正常运转的关键设备。

3.1.7

一次侧冷却循环系统 primary side 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。

3.1.8

二次侧冷却循环系统 secondary side 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。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件

CDU	冷量分配单元	Coolant Distribution Unit
IDC	互联网数据中心	Internet Data Center
PUE	电能利用效率	Power Usage Effectiveness
UPS	不间断电源	Uninterrupted Power Supply

4 基本要求

4.1 概述

喷淋式液冷的实现方式为冷却液体直接喷淋到发热器件表面或与之接触的扩展表面，吸

热后进入外循环冷却，接着重新回到设备内部进行再次换热。

其主要特征如下：

a) 相对于空气，液体具有极为可观的体积比热容，冷却效率高，废热排放过程能充分利用自然冷源；

b) 由于系统能充分利用自然冷源，所以节约冷却设备的能耗；

c) 能适应高热流密度的机柜，冷却设备占地面积小；

d) 无需风扇，大幅降低数据机房的噪声；

e) IT设备能够通过在其表面流动的冷却液实现防静电、防积尘。

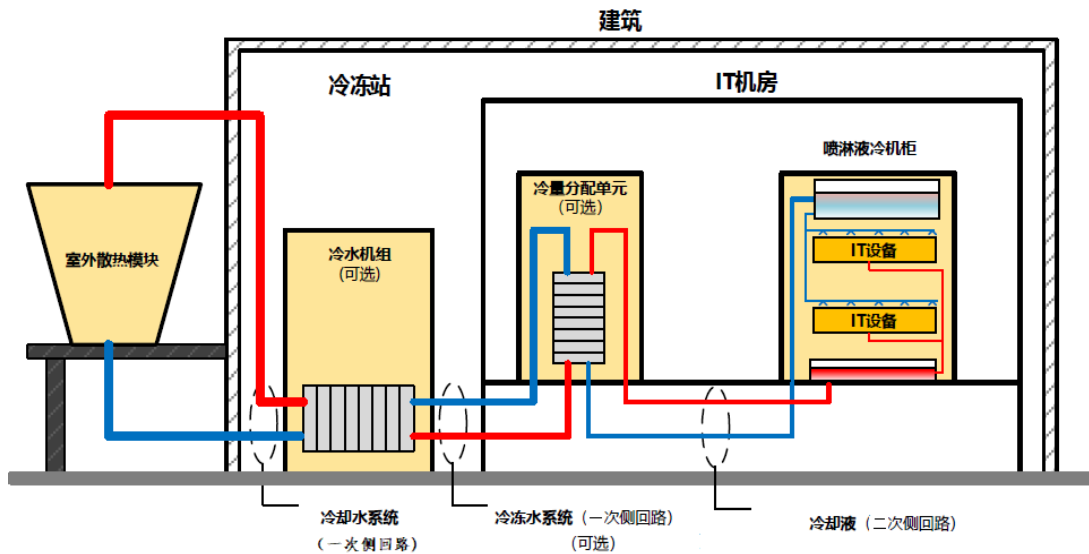


图 1 喷淋液冷系统工艺流程原理图

图 1 示意了一种典型的喷淋式液冷系统原理图，分为冷却水循环、冷冻水循环和冷却液循环。设备主要由冷却塔、冷水机组、CDU、喷淋液冷机柜构成。上图的冷却循环可以是分布式的、也可以是集群式的，但分布式的冷却方案具有更高的可靠性、灵活性以及可扩展性。在实际项目中，冷冻水或冷却水建议分配到多个 CDU 中，CDU 中的冷却液也分配到多个机柜。

4.2 喷淋式液冷机柜

喷淋式液冷机柜是整个系统中实现液冷过程的核心部件，图 2 示意了两种典型喷淋式液冷的实现方法。

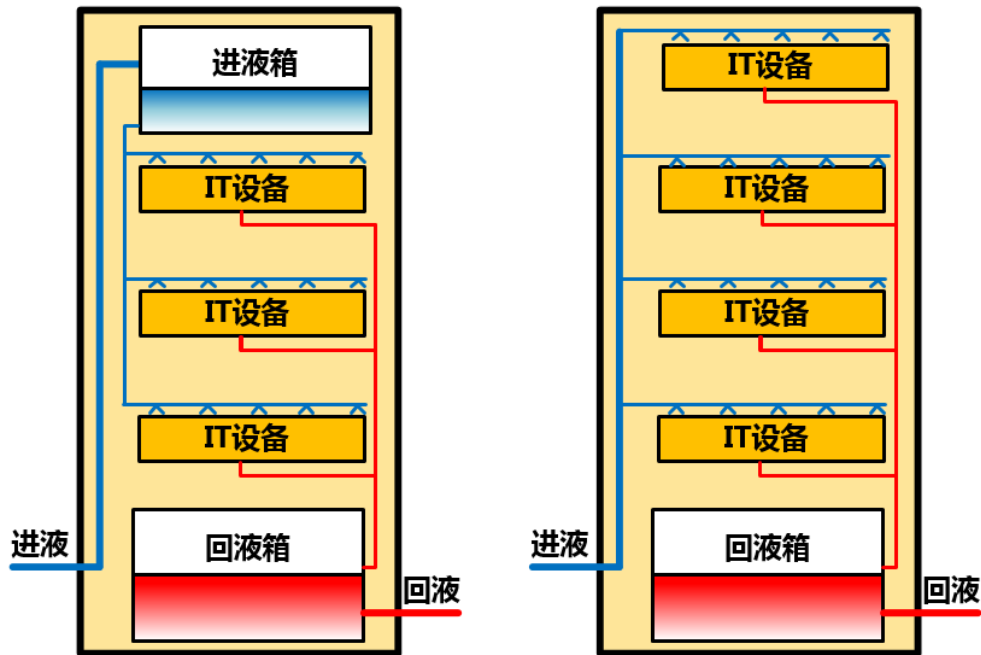
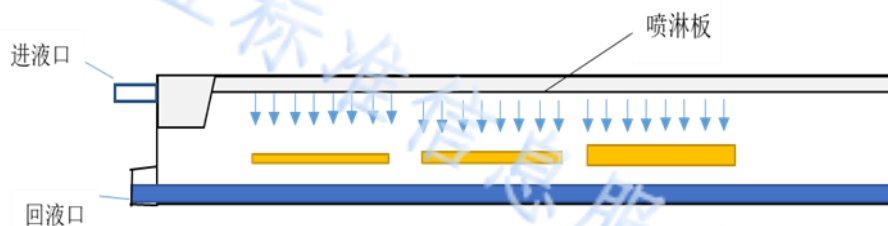


图 2 两种典型喷淋式液冷实现方法

对上述两种典型喷淋液冷机柜的基本工作原理描述如下：

- a) 被 CDU 冷却之后的冷却液被泵通过管路输送至机柜内部；
- b) 冷却液进入机柜后直接通过分液支管进入与服务器相对应的布液装置，或者将冷却液输送至储液箱以提供固定大小的重力势能以驱动冷却液通过布液装置进行喷淋；
- c) 冷却液通过布液装置对 IT 设备中的发热器件或与之相连的导热材料（如金属散热器、热管等）进行喷淋制冷；
- d) 被加热后的冷却液将通过集液装置（如回液管、集液箱等）进行收集并通过泵输送至 CDU 进行下一次制冷循环。

4.3 喷淋式液冷服务器



(a)

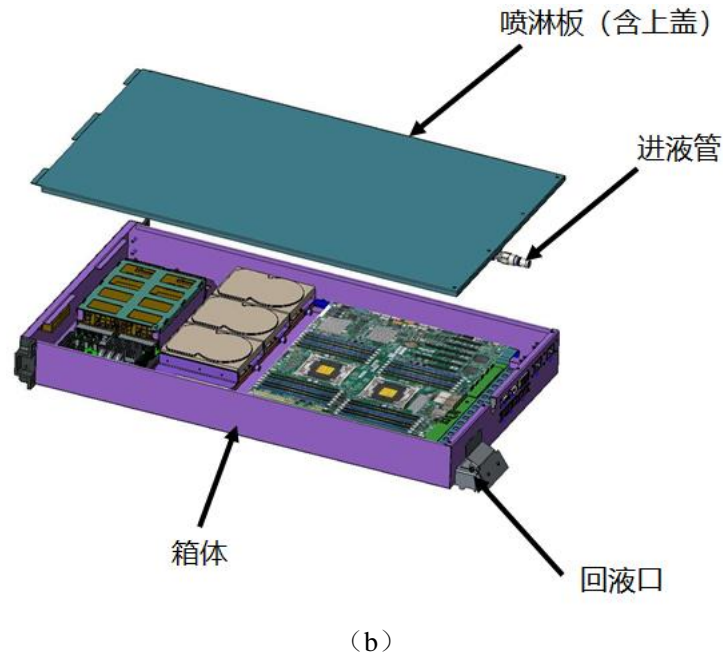


图 3 喷淋式液冷服务器示意图

喷淋式液冷服务器由喷淋板、进液口、回液口和箱体组成，如图 3(a)所示。冷却液进入机柜内部的各层服务器，经喷淋板（特制的机箱顶盖）喷淋至各发热器件，升温后的冷却液由箱体收集后经回液口回流至集液箱，各部分结构如图 3(b)所示。

4.4 CDU

CDU 是被推荐使用的一个中间换热设备。CDU 并非只是承担一个换热器的功能，该设备还肩负着制冷量（而不仅是冷却液流量）分配的功能。CDU 的主要功能及特点如下：

- 提供并调节冷却液的流量或供液压力；
- 调节冷却液的温度；
- 对冷却液进行在线过滤或旁路过滤。

上述功能并非在所有应用中都是必须的，可以根据实际需求进行选择。

图 4 示意了一种典型的 CDU 实现形式。示意的 CDU 为众多实现方式的一种，其中示意的部件并非是充分的或必须的。

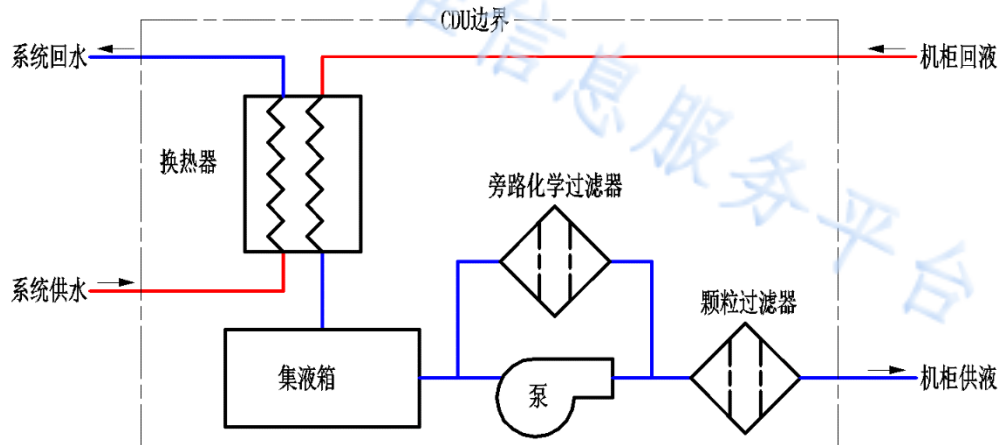


图 4 一种典型的 CDU 实现形式

4.5 换热系统

换热系统是喷淋式液冷服务器系统的关键部分，具体换热方式等要求如下：

a) 换热方式

在具体工程项目中，喷淋液冷系统的换热器不是固定的，根据环境的干球温度、湿球温度、建筑物规模、供液温度等因素，选择冷却循环与室外散热模块。

例如图 5 所示的冷却循环与室外散热模块方式均可以实现。

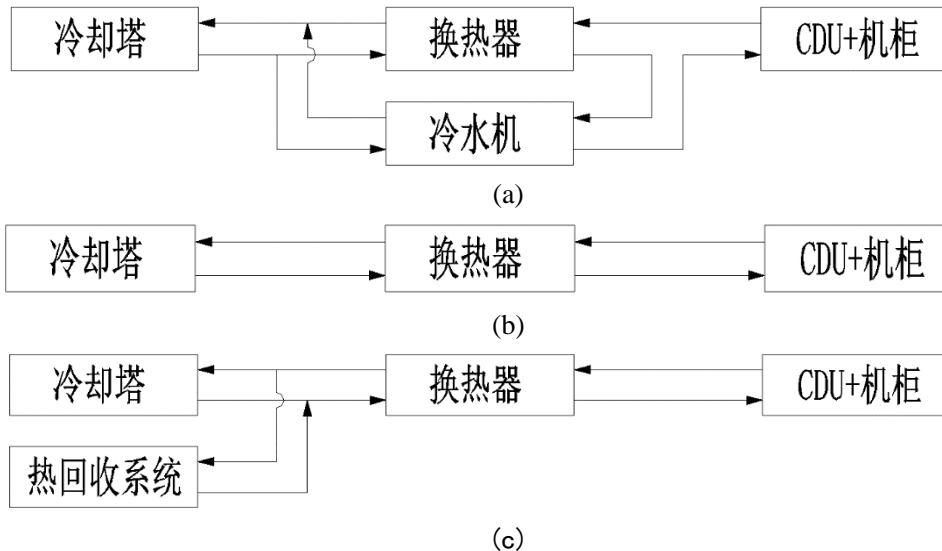


图 5 几种常见喷淋式液冷系统原理图

b) 换热设备

1) 各类换热设备

整个喷淋液冷工艺流程循环通过换热设备串联不同的子循环过程，其中换热设备的具体形式需要根据换热温差（接近点温差或对数平均温差）、安全性、体积、重量、成本、可靠性等参数确定。以下给出几种常见换热器的接近点温度，见表 1。

表 1 常见换热器的接近点温度

换热器类型	使用场景	参考温度类型	接近点温度
开式冷却塔	废热排放	空气湿球温度	3°C-4°C
闭式冷却塔	废热排放	空气湿球温度	4°C-7°C
干式换热器	废热排放	空气干球温度	8°C-11°C
板式换热器	中间换热器	流体介质温度	2°C-3°C
管壳式换热器	中间换热器	流体介质温度	3°C-10°C

在使用冷却塔的时候，需按照相关标准配置或用户要求配置足够大的补水箱或水塔，大型数据中心通常需储备 24h-72h 的补水量。

2) 冷水机组

冷水机组按照废热排放方式分为风冷式冷水机组与水冷式冷水机组，两种形式的冷水机组均可以在系统中使用。

冷水机组的设计出水温度通常为 7°C，回水温度通常为 12°C。除非在有除湿需求的运用工况下，这样的温度对于任何形式的液冷系统往往是过低。对于喷淋液冷散热需求，可

适当调高出水温度来降低能耗，比如 25°C 进，20°C 回，同时防止冷冻水管的结露。

为了防冻，可以在水中添加防冻液降低凝固点，但需注意，防冻液的添加会导致混合液的物理性质和换热设备的性能产生变化。

3) 冷却水循环（属一次侧循环系统）

冷却水循环宜具有以下特点：

- 该循环为最顶层的厂房级水循环过程，通常连接冷却塔与冷水机组（或换热器）；
- 该循环系统中的废热排放装置可以采用干式制冷或蒸发制冷；
- 若采用干式换热器，需保证干球温度与供液温度具有足够的换热温差。

4) 冷冻水循环（属一次侧循环系统）

冷冻水循环宜具有以下特点：

- 该循环属于厂房级设备，连接了冷水机组（或换热器）与 CDU；
- 该循环主要包括冷水机组（或换热器）、水泵、必要的管道附件（管件、阀门等）、分配管路（很可能分配到若干个 CDU）；
- 冷水机组（或换热器）需考虑必要的冗余；
- 该系统与冷却液循环系统会通过换热器进行热交换，需采取措施防止冷冻水与冷却液之间的串液。

5 管路布置

管路布置时，管道不架空或尽量减少管道架空，避免管道敷设在电子设备上方；回液主管道应布置在静电地板下；布置管道需考虑阀门和端口的可操作性，是否穿越防火墙等问题，同时考虑操作性、能耗和冗余；设计同时应该考虑管道的热膨胀和收缩，以及地震的影响；二次侧管路的布置有多种方式，应根据实际情况及经济性选择合适的方式。图 6 至图 8 示意了几种典型机房级的管路布置方式。

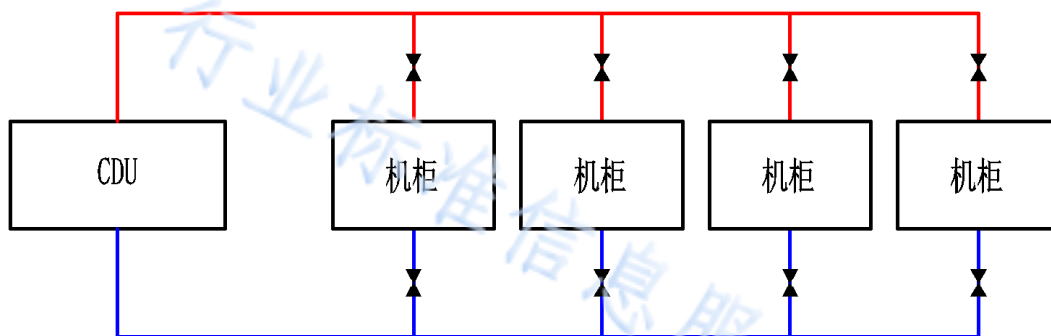


图 6 单路供液

单路供液成本更低廉，操作简单，但管道无冗余，可靠性差，主管道任何部分失效后均需停机维护。

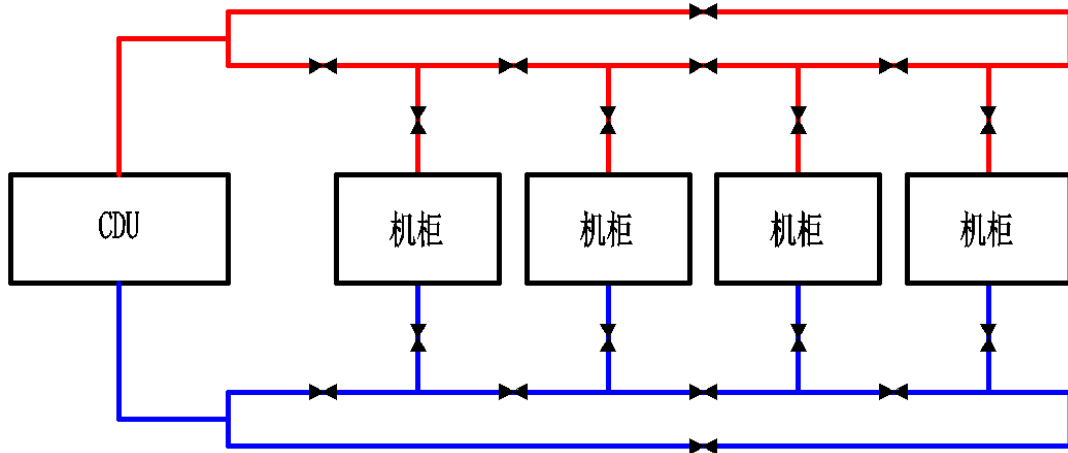


图7 单源双环路供液

单源双环路供液实现管路的环路部分，提高设备的可靠性，但会增加一次性投入和系统的操作难度，此外网管中部分主管道缺少冗余配置。

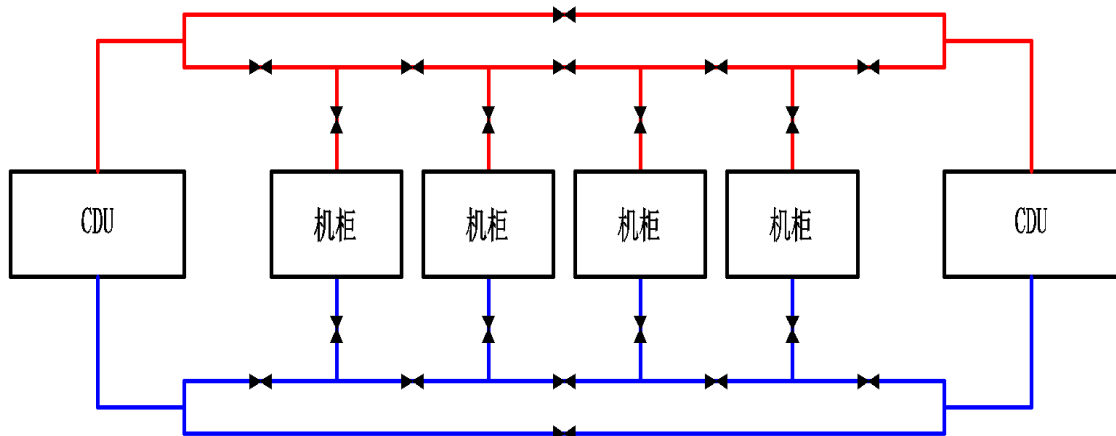


图8 二源双环路供液

二源双环路供液方式实现所有管道的冗余配置，进一步提高系统的可靠性，同时也进一步增加一次性投入成本和操作的难度。

6 冷却液体

6.1 基本要求

喷淋式液冷服务器系统的基本要求如下：

a) 安全性要求

- 1) 喷淋式液冷系统使用的冷却液要求闪点（闭口） $\geq 120^{\circ}\text{C}$ 或无闪点，闪点测试标准按照 GB/T 261 执行；
- 2) 冷却液应具备化学品安全技术说明书（MSDS），按照 GB 30000 执行；
- 3) 冷却液应按照现行 GB 30000 完成毒理学试验和分类，冷却液应属于“无需分类”的范畴；
- 4) 冷却液应不含环境保护标准和废弃排放及降解管控标准等政策标准限制使用的物质，且应按国家相关规定对废弃物和排放物进行管理。

b) 稳定性要求

- 1) 冷却液应具有良好的化学稳定性且无反应性危害；
- 2) 冷却液在设计最高工作温度下应有良好的热稳定性，允许有极少量的挥发，但不允许发生分解反应；
- 3) 喷淋式液冷系统的冷却液宜具有较高的常压沸点，宜选择沸点 $\geq 110^{\circ}\text{C}$ 的物质。

c) 绝缘性要求

喷淋液冷系统的冷却液应具备一定的绝缘性，同时不应对设备上的信号传输产生不良影响。具体指标要求及测试标准应符合表 4 规定。

表 4 喷淋系统冷却液测试指标

项目	指标	测试标准
体积电阻率/ (Ω, cm)	$\geq 5 \times 10^9$	按照 GB/T 5654 执行
介质损耗因素	$< 4\%$	
相对介电常数	< 2.5	
水含量	$\leq 300\text{ppm}$	

应要求冷却液的水含量 $\leq 300\text{ppm}$ ，水含量测试标准按 GB/T11133 执行。

d) 材料兼容性要求

冷却液不应对电子信息设备上所使用的主要材料造成不良影响。

6.2 贮藏与使用

冷却液的贮藏和使用要求如下：

- a) 冷却液的贮藏与使用应遵循对应的化学品安全说明书的指导；
- b) 冷却液储存与使用应在有足够通风的条件下进行。液冷机房内应定期检测空气质量，除了检测空气中的粒子浓度外，还要检测冷却液蒸气及其可能的分解产物的浓度，其浓度应控制在该类物质的职业接触限值以内；
- c) 冷却液质量指标应取样定期检测，冷却液首次注入系统，系统完成调试后应在 3 个月内进行首次检测，在用冷却液至少每年取样检测 1 次。主要检测指标包括：外观、运动粘度、闪点、酸值、体积电阻率、含水量、固体颗粒物含量。

6.3 回收与废弃

冷却液废弃处理应按当地法规进行，且由有资质的化学品处理机构完成。使用过的冷却液包装物应送至许可的废弃物处理场所进行循环利用或处置。

7 监控系统

监控系统应符合现行国家标准的相关规定。监控系统使用标准的通讯协议是被推荐的。

7.1 传感器

传感器的选择不仅需要考虑到量程、精度、分辨率等指标，还需考虑容错性、易用性、可靠性等问题。

传感器的失效引起的系统误动作或误报警可能出现事故,为避免或减少传感器的失效宜采用下列措施:

- a) 使用可靠性更高的传感器;
- b) 尽量考虑传感器的易用性和可维护性;
- c) 必要时设置传感器的冗余;
- d) 改善程序的鲁棒性。

7.2 控制系统

控制系统不仅需要考虑控制逻辑的可行性,同时需要考虑控制系统在执行过程中是否会因为执行机构的动作产生其他的系统危害,应对控制系统的参数进行充分的计算。

8 供配电系统

供配电应按照 GB 50052 执行。

对于经常停电的地区,应将冷却液循环系统的供电接入 UPS。对于喷淋式液冷系统,一旦冷却液停止供液,服务器将脱离冷却介质工作,并且很有可能对服务器造成热害。

8.1 配电系统

数据中心用电负荷等级及供电要求应根据机房的等级,按现行国家标准 GB 50052 执行。供配电系统应为电子信息系统的可扩展性预留备用容量。

8.2 电子信息设备不间断供电系统

电子设备用不间断供电系统的连接形式及电池后备时间根据机房等级和业务需求,可参考现行国家标准执行。

8.3 散热系统供电

散热系统如冷源、液冷主机、冷却水泵、补水泵等宜采用 UPS 供电。散热系统 UPS 采用交流系统时,不应与电子信息设备共享一组 UPS 系统。采用直流电源系统作为 UPS 时,可与电子信息设备共享一组 UPS 系统,但应采用独立的逆变器供电,逆变器应支持双路电源输入,如一路交流输入、一路直流输入。

散热系统 UPS 供电的后备时间应与电子信息设备 UPS 的后备时间一致。

8.4 辅助设备供电

辅助设备如空调设备、新风机组、风机等可采用市电直供,并应设置备用电源。

8.5 防雷接地

防雷与接地应符合 GB 50057、GB 50343。

9 消防系统

液冷数据中心防火和灭火系统设计除了应符合 GB50016，在消防方式的选择上还应符合冷却液的化学品安全说明书的要求。

10 供排液

根据使用需求，为便于快速向喷淋式液冷系统内补充冷却液，可设置供液系统。储液罐的容量应根据需求设计，但有效容量不宜小于系统总容量的 10%。

液冷机柜、冷却液管道下方应设置档液围堰，并配置漏液检测系统，冷却液体通过专用地漏排至冷却液收集系统，或通过专用抽液泵收集。冷却液严禁直接排放到下水道或室外。

11 PUE 测试

数据中心的能源利用率通常用 PUE 进行评估，是指数据中心总用电量和 IT 设备的总用电量的比值。

PUE 测定按照 YD/T2442、YD/T2542、YD/T2543 执行。

12 运维规定

12.1 一般规定

数据中心喷淋式液冷服务器系统对运维要求的一般规定如下：

a) 人员资质

上岗人员应具备国家要求的相应资格证书。

b) 个体防护

在进行液冷机房运维的过程中，操作人员应按职业健康防护要求，佩戴必要的个体防护器具，如手套、口罩、护目镜等。具体操作注意事项及防护要求应遵循液冷机房运维手册相关规定。

c) 技术文档

完整并准确的技术文档是后期运行、维护、维修、故障诊断、优化改造的基础。液冷机房运维值班室，应有场地基础设施的全套相关文档，包括但不限于：机房的规划设计资料及竣工图纸、反映机房最近一次改造后真实现状的图纸、全套设备的清单及相关操作文档和保养保修资料、机房自动操作系统的逻辑图及说明文档、监控系统的点表、验收测试文档等。

d) 培训

场地基础设施运维团队员工应接受完整及严格的培训，以确保其尽快具备岗位需要之知识及能力，培训内容应包括数据中心基础设施的所有系统的工作原理、操作流程、应急预案、以及管理制度等。

e) 工具与备件管理

运维团队应根据资产分类清单及其分类制定最低备件库存清单并及时补充备件。

测试分析仪器仪表方面可配备进行电气性能参数测试、电池测试、接地电阻测试、绝缘

性能测试、设备运行温度测试、液冷系统压力测试、噪音测试、水分测定仪、击穿电压检测仪等的仪器仪表。仪器仪表应定期校准。

应制定相关规定对操作工具、仪器仪表实行人员负责制或者交接班负责制等管理制度。备件和工具应定期进行盘点。

f) 冷却液处置

在液冷机房建设完成交付后，投入使用前，应制定相应的冷却液泄漏应急处置程序，并在程序中规定冷却液的收集、回收、废弃处理方式，严禁直接排放至下水道或环境中。

机房使用过程中应尽量防止冷却液溢出，轻度溢出可以使用惰性材料吸收，并用清洁剂清洁残留液体；对大量的溢出、泄露的冷却液进行围液处理，并用泵抽回预定容器中。

12.2 电子信息设备搬运

运维时电子信息设备的搬运、转移要求如下：

a) 应使用专用起重设备进行较重电子信息设备的上下架操作。起重设备牢固、可靠、不宜颠覆。起重设备尺寸设计合理，满足使用功能的同时，便于在有限空间内移动。起重设备底部有刹停功能，确保在非移动状态时可完全固定。

b) 应使用专门的搬运车搬运带有冷却液的电子信息设备。搬运车具备盛装液体的功能，避免冷却液滴落地面。搬运车设计合理，在搬运过程中稳定、无明显震动，且不易于倾覆。搬运车尺寸设计合理，满足使用功能的同时，便于在有限空间内移动。搬运车底部应有刹停功能，确保在非移动状态时可完全固定。

12.3 电子信息设备清洗

根据冷却液特性，选择合适清洗液进行电子信息设备清洗。清洗后的废液收集至专门的容器内，并按规定的程序处理。严禁直接把废液排至下水道或环境中。

12.4 液体补充

冷却液体的补充应按照如下要求进行：

a) 根据运维手册，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。

b) 补充冷却液前，核实该液冷机柜的冷却液种类、型号，严禁混用不同种类、型号的冷却液。

c) 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。补液程序严格遵守操作文档。

行业标准信息服务平台