

团体标准
《浸没式液冷冷却液选型要求》
编制说明

标准编制小组
2024 年 4 月

一、标准制定的必要性

云计算、大数据、人工智能等新技术层出不穷，在这些新技术的背后，数据中心的基础设施和相关技术也不断演进，高性能带来高功耗高密度的提升，必然带来热密度的上升，直接导致芯片功耗及散热成为新挑战，对于支撑服务器稳定运行的数据中心而言则带来巨大的能耗挑战。在“双碳”等政策的指引下，数据中心亟需寻求更为先进的散热技术，构建可持续算力，满足绿色环保要求，助力应对环境挑战。

数据中心的液冷技术是指使用高比热容的液体作为热量传输的工质满足服务器等IT设备散热需求的冷却方式。这种技术主要是针对高热流密度的场景，提供了一种节能先进的冷却方法。热流密度，也称为热通量，是指单位时间通过单位面积的热能，其单位为 W/cm^2 ，即瓦特每平方厘米）。在高热流密度的场景下，如何带走大量的热，是需要考虑各种限制条件，进行具体设计的。液体的比热远远大于空气，有利于提高传热效率，降低传热耗能。基于这个特点，采用液冷进行冷却服务器内部的高热流密度芯片，是可以更加节能高效的。从芯片的应用来看，目前大数据，云计算，人工智能等新技术日新月异，对于大功率处理器的需求也增长迅速；这也直接导致了数据中心部署大量的高功率机柜，为各种算力需求提供基础条件。对于大型数据中心，高功率机柜更加凸显节能的重要性，采用液冷解决方案可以直接为数据中心业主降低PUE，节约大量的电费。从液冷技术的不断发展，我们可以总结看到数据中心液冷技术演进：早期的精密空调→微模块辅助换热→冷板式液冷→浸没式液冷，冷却液体越靠近芯片器件，整体液冷越高效。

浸没液冷方案是使用特殊液体(如碳氢化合物或氟化物)作为冷媒的散热技术。经过多年发展，其已形成喷淋、冷板、浸没等多种部署方式。如单相浸没式液冷方式，是将发热器件全部浸泡在冷却液中，通过液体循环流动带走热量。与风冷等传统散热方式相比，浸没式液冷方式在换热效果、散热效率等方面都有着更优异的表现，已成为散热技术发展的重要趋势。

浸没式液冷，其核心要素是将带电运行状态下的完整服务器浸没在冷却液中，因此充当换热介质的冷却液必须是换热能力强但不导电的高稳定介电液体，这样的介电液体通常不溶（或难溶）于水介质，可最大限度保障其绝缘性不被轻易破坏。其本身在气味、毒性、降解难易、可维护性等方面特性对环境 and 操作人员应尽可能友好。最为重要的是浸没在液体的部件，在部件选型时需要与

冷却液进行验证兼容性和可靠性，才能提供部件与冷却液的兼容性质保。市场上绝缘液体众多，对于液体的材料兼容性和可靠性，需要一个有效的规划来筛选和评估满足自身业务需要；从冷却液材料的规格书可以发现，其参数众多，对于不同应用场景，需要考量不同的参数，液体的规格参数众多，对于浸没液冷应用，如何对其定义标准化对规模化应用至关重要。

二、标准编制原则及依据

1、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》要求进行编写。

2、参照相关法律、法规和规定，在编制过程中着重考虑了科学性、适用性和可操作性。

三、主要试验（或验证）情况分析

本文件主要包含浸没液冷系统所使用关键冷却液所涉及到的相关参数选型要求，包括使用，维护，测试等方面。

3.1 毒性

IT 设备在浸没式液冷的运行环境中，在使用过程中不可避免人体与其接触，应尽量减少对人类健康和环境的任何潜在危害。任何化学品对人类健康的不利影响可能是不同的，包括口服/皮肤/吸入毒性、眼睛刺激、器官毒性、生殖毒性和致癌性，所有这些都必须仔细评估。生态毒性包括在环境中的持续性、在食物链中的生物积累、水生毒性和陆地毒性，解决对生态的潜在危害。

- a) 人体毒性：必须对人体健康的影响最小到没有影响。接触危险化学品可造成急性和慢性健康影响，具体取决于该物质的毒性和接触方式。急性健康影响包括皮肤刺激/损害、眼睛刺激/损害和致命。慢性健康影响是长期接触的结果，包括致敏(皮肤和呼吸)、器官损伤和致癌性。根据 GB 30000-2013《化学品分类和标签规范》系列国家标准，冷却液所含物质应属于“非危险物质”，冷却液应属于“无需分类”的范畴，在慢性毒性吸入测试中的表现应归类为“实用无毒”物质；同时必须根据 GBZ 2.1—2019《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》对职业暴露限值(OEL)一起考虑，以确定可能进行人体暴露的工作场所的安全性。

- b) 致癌性：必须没有已知的致癌物。化学品的致癌性列在 OSHA 标准 1910, 1915 和 1926。对于添加添加剂以增强性能的冷却液，必须遵循由国际癌症研究机构 (IARC) 提供的指南。该液体中任何含量大于或等于 0.1% 的成分均未被确定为可能、可能或确认的人类致癌物。
- c) 水生毒性：通过测量藻类（按照 GB/T 21805-2008 《化学品藻类生长抑制试验》）、溞类（按照 GB/T 21830-2008 《化学品溞类急性活动抑制试验》）、鱼类（按照 GB/T 27861-2011 《化学品鱼类急性毒性试验》、GB/T 21854-2008 《化学品鱼类早期生活阶段毒性试验》、GB/T 21806-2008 《化学品鱼类幼体生长试验》）的 LC50(致死浓度)、EC50(抑制生长浓度) 和 NOEC(最大无影响浓度) 衡量对水生生物的毒性。LC50/EC50/NOEC 较低的化学品对水生生物具有较高的毒性风险，不建议使用。
- d) 陆生毒性：通过测量蚯蚓(按照 GB/T 21809-2008 《化学品蚯蚓急性毒性试验》)、土壤微生物(按照 GB/T 27855-2011 《化学品土壤微生物碳转化试验》)、植物(按照 GB/T 27851-2011 《化学品陆生植物生长活力试验》) 和蜜蜂(按照 GB/T 21812-2008 《化学品蜜蜂急性经口毒性试验》) 的致死剂量浓度 (LD50) 和 NOEC(最大无影响浓度) 来衡量对陆生生物的毒性。较低的化学品具有较高的毒性风险，不建议使用。
- e) 生物累积性：根据国家《新化学物质环境管理登记管理办法》中的管理方法，对未列入《中国现有化学物质名录》的物质，参照 GB/T 24782—2009 《持久性、生物累积性和毒性物质及高持久性和高生物累积性物质的判定方法》评估其生物累积性。
- f) 持久性：根据国家《新化学物质环境管理登记管理办法》中的管理方法，对未列入《中国现有化学物质名录》的物质，参照 GB/T 24782—2009 《持久性、生物累积性和毒性物质及高持久性和高生物累积性物质的判定方法》评估长期存在于环境抗光解性、化学分解和生物降解性的能力。

3.2 环保性能要求

冷却液应符合环保要求。

- a) 冷却液的臭氧消耗潜值 (ODP) 应为 0；参考《蒙特利尔议定书》；
- b) 冷却液的全球变暖潜值 (GWP) 应较低，考虑到浸没液冷系统部署都有多个影响气候的来源，必须全面考虑，而冷却液的选择是其中之一；参考《京都议定书》；
- c) 冷却液应不含生态环境部颁发的《有毒有害大气污染物名录》中限制使用的有机化合物 (VOC) 物质；

- d) 冷却液应不含生态环境部颁发的《重点管控新污染物清单》中限制使用的物质；

3.3 消防安全选型要求

宜选择不可燃液体作为冷却液；当选择可燃液体作为冷却液时，在特定条件下如高温或与其他易燃物质接触时，可能引发火灾。为预防冷却液本身引发火灾，保护设备和人员的安全。

- a) 闪点（闭口）：是指化学品能火花或引燃的环境温度(如果遇到引燃源)，在1个大气压0海拔条件下冷却液的闪点（闭口）宜大于150℃。在1个大气压1500米海拔条件下冷却液的闪点（闭口）宜大于155℃。该温度限制参考 IEC 62368-1: 2023《音频/视频、信息和通信技术设备 — 第1部分：安全要求》与绝缘液体接触的零件温度不要超过绝缘液体的闪点，测试标准参考 GB/T 261-2021《闪点的测定 宾斯基-马丁闭口杯法》。
- b) 自燃点：是指化学品能自燃(没有引燃源)的最低环境温度，该温度限制由 IEC 62368-1: 2023《音频/视频、信息和通信技术设备 — 第1部分：安全要求》定义(目前第4版为300℃)。

3.4 物理化学稳定性型要求

为确保冷却液在IT设备运行周期内正常运行，冷却液应具有良好的物理化学稳定性。

- a) 高温稳定性：冷却液的高温稳定性决定了液冷热管理材料的使用寿命。所选冷却液应按照标准 T/CI208-2023《液冷热管理材料高温稳定性及基材兼容性测试方法》通过高温稳定性测试。对于业务可靠性需求选择不同分级要求。
- b) 化学稳定性：冷却液应为惰性液体，不与空气中常见的水、氧气等物质发生化学反应。
- c) 耐久性：在10年的正常工作使用条件下，冷却液应满足性能规范和要求。

3.5 传热性能选型要求

由于电子设备系统的复杂性和随机性，浸没液冷系统的冷却液传热性能选型通常需要大量的计算资源和时间消耗。为了提前定量评估不同型号冷却液的热性能，建议采用品质因子（FOM）来对不同冷却液的传热性能比较：

- a) 单相浸没自然对流场景；冷却液的传热性能选型比较通过以下品质因子 FOM_1 来比较

$$FOM_1 = \beta^{0.25} \rho^{0.5} C_p^{0.25} \lambda^{0.75} \mu^{-0.25}$$

式中：

- β : 热膨胀系数 [1/K]
 μ : 动力粘度 [N·s/m²]
 C_p : 比热容 [J/kg·K]
 ρ : 液体密度 [kg/m³]
 λ : 导热系数 [W/m·K]

- b) 单相浸没强制对流场景；冷却液的传热性能选型比较通过以下品质因子 FOM_2 来比较

$$FOM_2 = \rho^{0.8} C_p^{0.4} \lambda^{0.6} \mu^{-0.4}$$

式中：

- μ : 动力粘度 [N·s/m²]
 C_p : 比热容 [J/kg·K]
 ρ : 液体密度 [kg/m³]
 λ : 导热系数 [W/m·K]

- c) 两相浸没沸腾场景；冷却液的传热性能选型比较通过以下品质因子 FOM_3 来比较

$$FOM_3 = \sqrt{\rho_g} h_{fg} [\sigma g (\rho_f - \rho_g)]^{0.25}$$

式中：

- ρ_g : 蒸汽密度 [kg/m³]
 ρ_f : 液体密度 [kg/m³]
 h_{fg} : 液体蒸发潜热 [J/kg]
 σ : 液体表面张力 [N/m]
 g : 重力加速度 [m/s²]

3.6 电气和信号完整性性能选型要求

为确IT设备在浸没式液冷环境中可以长期可靠稳定运行，需要考虑冷却液对IT设备电气和信号完整性的影响。

- a) 击穿电压：击穿电压是指在绝缘介质中，当外加的电压超过一定的临界值时，介质内会出现电击穿现象，即电流会快速增大，绝缘介质失去绝缘

性能,导电通路形成。击穿电压也可以称为绝缘强度或绝缘破坏电压,是评价绝缘材料和绝缘结构性能的重要指标之一。击穿电压受含水量、污染物和温度的影响。参照 GB50150-2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》推荐击穿电压为 $\geq 35\text{kV}/2.5\text{mm}$ 。测试方法参照标准 GB/T 507-2002《绝缘油击穿电压测定法》。

- b) 体积电阻率: 体积电阻率是材料每单位体积对电流的阻抗,用来表征材料的电性质(单位 $\Omega \cdot \text{cm}$),参照 GB50150-2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》推荐 $\geq 6 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 。测试方法参照标准 GB/T 5654-2007《液体绝缘材料相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量》。
- c) 介电常数: 液体的介电常数(D_k)是温度和频率的函数,介电常数与电磁波在介质中的传播速度成反比。因此,较低的介电常数会导致信号传输速度更快,而较高的介电常数则会降低信号的传输速度,高介电常数会对高速信号产生负面影响。对于具体应用场景。在工作温度范围和工作频率范围内介电常数(E_r)应小于 2.2。测试方法参照标准 GB/T 5654-2007《液体绝缘材料相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量》。
- d) 介质损耗因数: 液体的介电常数(D_f)是衡量介质损耗程度的参数,介质损耗因数越大,说明介质对电磁波的吸收能力越强。当电磁波通过介质时,介质的分子或原子会吸收电磁波的能量并转化为内部能量。这种吸收能力会导致电磁波的能量逐渐减弱,从而造成信号衰减和能量损耗。对于具体应用场景。在工作温度范围和工作频率范围内介电常数(E_r)应小于 0.02。测试方法参照标准 GB/T 5654-2007《液体绝缘材料相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量》。

3.7 材料兼容性选型要求

为确保设备在浸没液冷系统运行周期内正常运行,冷却液应具有良好的材料兼容性。所有浸没在液体材料中的基材(金属、有机材料、无机非金属材料等)与冷却液中长期浸泡。所选冷却液应按照标准 T/CI208-2023《液冷热管理材料高温稳定性及基材兼容性测试方法》通过材料兼容性测试。对于业务可靠性需求选择不同分级要求。

- a) 金属材料: 电子系统中包括铜、铝、钢、银、锌、铁、锡及相关合金等;
- b) 有机材料: 电子系统中包括塑料材料有聚氯乙烯、聚氨酯、聚苯乙烯、聚碳酸酯等; 粘合剂有双面胶、环氧树脂、丙烯酸等; 电绝缘材料有聚

酰亚胺、聚氨酯、聚酰胺等。密封填料有橡胶、硅橡胶、氟橡胶、乙丙橡胶、丁基橡胶、丁晴橡胶、氯丁橡胶等；

- c) 无机非金属材料：电子系统中包括硅及氧化物、金属氧化物、碳化硅、氮化硅、碳化硼、陶瓷和玻璃等。

3.8 其他选型参数要求

为确保设备在浸没液冷系统运行周期内正常运行，冷却液应具有良好的材料兼容性。所有浸没在液体材料中的基材（金属、有机材料、无机非金属材料等）与冷却液中长期浸泡。所选冷却液应按照标准T/CI208-2023《液冷热管理材料高温稳定性及基材兼容性测试方法》通过材料兼容性测试。对于业务可靠性需求选择不同分级要求。

- a) 颜色：参考 ASTM D1500 色标 ≤ 0.5 ；
- b) 倾点：是指液体在规定的试验条件下，被冷却的试样能够流动的最低温度(单位 $^{\circ}\text{C}$)。参考 ASTM D97 为适应寒冷环境中的户外边缘场景应用，建议倾点为 -30°C 或更低。
- c) 密度：装满液体的浸没式机柜可能会很重，数据中心的地板需要设计来承受整体的重量。根据液体的密度，容器的重量也会相应改变。机柜设计应尽量减少液体的使用，以保持液体成本和重量的最低。参考 ASTM D4052，建议冷却液密度不超过为 $2000\text{kg}/\text{m}^3$ 或更低。
- d) 气味：单相浸没液冷冷却液应在 $<60^{\circ}\text{C}$ 的操作条件下运行大于或等于 10 年，具有低气味。根据 ASTM E544-18 测定，低气味定义为相对气味小于溶于水的 200ppb 的正丁醇。在使用寿命范围内，冷却液不应含有或分解成已知气味的物质。对于两相流体，气味应在冷却液的操作温度下评估。

四、项目背景及工作情况

（一）、任务来源

根据《中国国际科技促进会标准化工作委员会团体标准管理办法》的有关规定，经中国国际科技促进会标准化工作委员会及相关专家技术审核，批准《浸没式液冷冷却液选型要求》团体标准制定计划，计划编号为：CI 2023512。本标准由阿里云计算有限公司提出，中国国际科技促进会归口。

根据计划要求，本标准完成时限为6个月。

（二）、标准起草单位

本标准的主要起草单位是阿里云计算有限公司，负责标准文档起草及相关文件的编制工作等。东南大学，浙江音默森网能科技有限公司、北京化工大学、浙江巨化技术中心有限公司、中国科学院上海有机化学研究所等单位参与起草，开展标准研制，结合多年科研积累、实际工作经验实际工作经验及工业发展需求，开展了浸没式液冷冷却液选型要求技术规范研究，旨在助于浸没式液冷数据中心设计要求搭建工作，帮助数据中心运营商实现加速向绿色低碳转型。

本标准主要起草人有：钟杨帆、张程宾、陈建峰、周黎暘、鲍处瑾、张亮亮、王树华、郑积林、雷志刚、吴鸣浩、张伟、鲍思远、郑泊远等人。

（三）标准研制过程及相关工作计划

1、前期准备工作

项目立项前，团体标准编制小组查阅、研读相关国内外文献，广泛搜集浸没液冷冷却液相关规格及对应测试技术相关的材料。同时，多次与相关行业人员进行调研、交流，广泛征求标准制定方面的意见和建议。

2、标准起草过程

2023年12月团体标准立项通知公示后，标准编制小组首先组织了标准制定工作会议，各编写人员根据工作计划分工和编写要求开展了相关工作。在标准起草期间，编制小组主编单位及参编单位组织了2次内部研讨会和专家咨询会，经过多次修改，于2024年1月完成了标准初稿及编制说明的撰写工作。

3、征求意见情况

2024年3月初，标准编制小组先后通过现场会议、电话、微信、邮件等多种形式征集行业专家相关意见和建议。针对征集的意见，标准编制小组召开了2次研讨会，将收集到的意见进行汇总处理分析，在充分吸纳合理意见的基础上，先后修改和完成标准内容，于2024年4月初根据在各单位反馈意见基础上，形成了标准征求意见稿并由中国国际科技促进会提交全国标准信息平台公示。

五、标准制定的基本原则

标准编制过程中，遵循了以下基本原则：

- 1、标准需要具有行业特点，指标及其对应的分析方法要积极参照采用国家标准和行业标准。
- 2、标准能够体现出产品的具有关键共性的技术要素。
- 3、标准需要具有科学性、先进性和可操作性。
- 4、要能够结合行业实际情况和产品特点。
- 5、与相关标准法规协调一致。
- 6、促进行业健康发展与技术进步。

六、标准主要内容

本标准以国家环境保护和污染防治相关法律、法规、规章、技术政策和规划为依据，促进环境效益、经济效益和社会效益的统一为原则，在标准的编写结构和内容编排等方面根据 GB/T1.1《标准化工作 导则、指南和编写规则》系列标准的要求，在考量国内一体化复合滤筒主要性能指标时，综合考虑生产企业的能力和用户利益，结合国际学术界使用的先进科学表征手段，从几何特性，理化性能及工艺特性等多方面选取对大气污染物控制装备生产和运行最具影响的关键因素作为评价指标，充分体现标准在评价方法和评价技术上的科学性、先进性、可操作性。

本标准所涉及的主要内容为：

1、适用范围：包括数据中心浸没式液冷系统中液冷热管理材料（冷却液）的选型要求，包括使用、维护、测试等方面。数据中心企业部署浸没式液冷系统或液冷热管理材料生产厂商参考。

2、规范性引用文件：列出了标准中规范性引用其它文件的文件清单，共引用国家标准 18个，国际标准4个，这些标准是本标准在应用时必不可少的文件。

3、术语和定义：共给出6个术语的定义。

4、要求内容：规定了本标准所涉及的内容，主要包括七部分，环境安全选型要求、消防安全选型要求、物理化学稳定性要求、传热性能选型要求、电气和信号完整性性能选型要求、材料兼容性选型要求、其他选型参数要求。

5、检测指标及方法：主要对指标及检测方法进行了详细的规定。

七、与有关法律法规和强制性标准的关系

遵守和符合相关法律法规和强制性标准要求。规范性引用文件包括：

GBZ 2.1—2019	工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素
GB/T 261-2021	闪点的测定 宾斯基-马丁闭口杯法
GB/T 507-2002	绝缘油击穿电压测定法
GB/T 3535-2006	石油产品倾点测定法
GB/T 6540-86	石油产品颜色测定法
GB/T 21805-2008	化学品藻类生长抑制试验
GB/T 21830-2008	化学品溞类急性活动抑制试验
GB/T 27861-2011	化学品鱼类急性毒性试验
GB/T 21854-2008	化学品鱼类早期生活阶段毒性试验
GB/T 21806-2008	化学品鱼类幼体生长试验
GB/T 21809-2008	化学品蚯蚓急性毒性试验
GB/T 27855-2011	化学品土壤微生物碳转化试验
GB/T 27851-2011	化学品陆生植物生长活力试验
GB/T 21812-2008	化学品蜜蜂急性经口毒性试验
GB/T 24782-2009	持久性、生物累积性和毒性物质及高持久性和高生物累积性物质的判定方法
GB 30000-2013	化学品分类和标签规范
GB/T 35680-2017	液体材料微波频段使用开口同轴探头的电磁参数测量方法
GB 50150-2006	电气装置安装工程电气设备交接试验标准

IEC 62368-1:2023	音频/视频、信息和通信技术设备 — 第1部分：安全要求
OSHA 1910	SAFETY AND HEALTH STANDARDS FOR INDUSTRY
OSHA 1915	SAFETY AND HEALTH REGULATION FOR SHIPYARD EMPLOYMENT
OSHA 1926	SAFETY AND HEALTH REGULATION FOR CONSTRUCTION

八、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准起草过程中没有重大分歧意见，本标准不涉及专利问题。

九、后续贯彻措施

在相关的政府机关、行业协会、企事业单位内部，以及媒体等渠道宣传本标准的作用、意义和内容，建立标准宣传员制度，增强社会各界对本标准的认识和信任。

通过宣传推广、会议培训、现场交流学习等方式，促进相关企事业单位和生产者有序实施本标准，发挥标准在质量管理、产品质量控制、技术升级、市场竞争等方面的引导作用，提升相关产品的竞争力。建议本标准发布之日起半年内实施。

标准编制小组

2024年4月

