

# T/CAEE

团 体 标 准

T/CAEE XXX—2026

## 数据中心液冷系统用管路及组件 冷板式

Piping and components for liquid cooling systems of data centers- Cold plate liquid cooling modules

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国电子装备技术开发协会 发布

# 目 次

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 前 言 .....                    | III |
| 1 范围 .....                   | 1   |
| 2 规范性引用文件 .....              | 1   |
| 3 术语和定义 .....                | 1   |
| 4 分类与标记 .....                | 1   |
| 5 材料与工艺的特殊要求 .....           | 2   |
| 6 结构与尺寸的特殊要求 .....           | 2   |
| 7 性能的特殊要求 .....              | 3   |
| 8 试验方法 .....                 | 4   |
| 9 检验规则 .....                 | 5   |
| 10 标志、包装、运输和贮存 .....         | 6   |
| 附录 A（规范性）冷板散热效率与热阻测试方法 ..... | 8   |

## 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专利的责任。

本文件由中国电子装备技术开发协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。



# 数据中心液冷系统用管路及组件 冷板式

## 1 范围

本文件规定了数据中心冷板式液冷模块（含冷板本体、波纹管及金属软管连接组件、密封件及接头）的分类、材料与工艺、结构与尺寸、性能、试验方法、检验规则及标志包装的特殊要求。

本文件适用于服务器CPU、GPU等高热流密度芯片散热的冷板式液冷模块。

## 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。

T/XXX XXXX.1 数据中心液冷系统用管路及组件 第1部分：通用技术要求

GB/T 5231 加工铜及铜合金牌号和化学成分

GB/T 5237.1 铝合金建筑型材 第1部分：基材

## 3 术语和定义

T/XXX XXXX.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**冷板式液冷模块** cold plate liquid cooling module

由冷板本体、连接用不锈钢波纹管或金属软管、快速接头及密封件组成的集成散热单元。

### 3.2

**接触热阻** contact thermal resistance

冷板底座与被冷却芯片表面之间，由于微观不平整和界面材料存在而产生的热阻。

### 3.3

**均温性** temperature uniformity

冷板底面在额定工况下，最高温度与最低温度的差值。

## 4 分类与标记

### 4.1 分类

冷板式液冷模块按连接组件形式分为：

- a) 硬管连接式；
- b) 不锈钢波纹管连接式；
- c) 金属软管连接式。

### 4.2 标记

产品标记应包含连接组件类型代码。

示例：适配350W，铜基，带DN8金属软管，标记为：冷板模块 MC-350W-Cu-H08 T/XXX XXXX.2—2026。

## 5 材料与工艺的特殊要求

### 5.1 一般规定

除本文件5.2~5.3条外，其余材料要求应符合T/XXX XXXX.1第5章的规定。

### 5.2 冷板基板材料补充

冷板基板材料除满足T/XXX XXXX.1的要求外，还应符合以下补充规定：

- a) 铜基材料：
- b) 纯度应不低于 99.9%，导热系数应不低于 380 W/(m·K)。材料应提供符合 GB/T 5231-2022 相关牌号要求的化学成分证明。
- c) 铝基材料：导热系数应不低于 200 W/(m·K)。材料应选用符合 GB/T 5237.1-2017 规定的高导热铝合金型材或板材。
- d) 复合材料：当采用铜-铝复合、铝-石墨烯复合或其他非均质材料时，制造商需提供材料热膨胀系数（CTE）与被冷却芯片材料相匹配的证明文件，并说明界面结合工艺及长期热循环可靠性数据。

### 5.3 连接软管材料与工艺补充

连接软管材料与工艺除满足T/XXX XXXX.1的要求外，还应符合以下补充规定：

- a) 材质强制要求：对于使用氟化液、高氯离子冷却液或其他具有强腐蚀性、氧化性的冷却介质的数据中心液冷系统，波纹管或金属软管的本体材料应采用 022Cr17Ni12Mo2（316L）不锈钢。
- b) 焊接工艺：波纹管与接头、金属软管与接头的连接应采用自动激光焊接工艺。焊接过程应进行实时监控，确保焊缝熔深、宽度一致。不应使用未经 100 万次压力脉冲疲劳试验验证的机械压接、钎焊或其他非熔焊连接工艺。
- c) 焊缝检验：所有焊缝应进行 100%氦质谱检漏，漏率应符合本文件 7.4 条的规定。

## 6 结构与尺寸的特殊要求

### 6.1 一般规定

除本文件6.2~6.3条外，其余尺寸公差、结构形式等要求应符合T/XXX XXXX.1第6章的规定。

### 6.2 最小弯曲半径

- 6.2.1 金属软管或波纹管连接组件的动态最小弯曲半径应不大于其公称外径的 4 倍。
- 6.2.2 在弯曲至该 4 倍外径半径的状态下，软管或波纹管内部通流横截面积的减少量应不大于 5%。
- 6.2.3 制造商应在产品技术文件中明确标注该动态最小弯曲半径值。

### 6.3 长度公差与防呆结构

- 6.3.1 软管总成长度公差：
- 6.3.2 包含两端接头的金属软管或波纹管组件，其总成（两端密封面之间的中心距）长度公差应严格控制在不大于±2mm 的范围内。
- 6.3.3 防旋转定位结构：
- 6.3.4 所有快速接头应具备有效的防旋转（防呆）定位结构。
- 6.3.5 接口兼容性：

冷板侧的流体接口尺寸和螺纹规格，除应符合T/XXXXXXX.1的规定外，还应优先采用行业通用的服务器冷却接口标准（如ODCC、OCP相关规范中推荐的接口形式），以确保与主流服务器平台和分配单元（CDU）的兼容性。

## 7 性能的特殊要求

### 7.1 一般规定

除本文件7.2~7.6条外，其余性能指标（如基础静液压强度、爆破压力、通用气密性）应符合T/XX X XXXX.1第7章的规定。

### 7.2 散热性能

7.2.1 冷板式液冷模块的散热性能（包括总热阻和均温性）应符合制造商声明的额定值。

7.2.2 散热性能测试应按8.2条及附录A规定的方法进行。测试应在规定的额定工况下执行，包括冷却液流量、进口温度及环境温度。

7.2.3 测试结果判定：

- a) 总热阻：实测总热阻R应不大于标称值；
- b) 均温性：冷板底面最高温度与最低温度之差应不大于规定限值。

### 7.3 流体阻力特性

#### 7.3.1 冷板压降：

在模块设计规定的额定流量下，冷板本体（不含连接软管）产生的压力降应不大于制造商声明值。

#### 7.3.2 软管流阻：

连接用金属软管或波纹管组件，其单位长度（每米）在额定流量下产生的压力降应不大于15kPa/m。

### 7.4 密封性

整机（包含冷板所有焊缝、软管连接焊缝及所有接头密封界面）的氦质谱检漏漏率应不大于 $1 \times 10^{-9}$  Pa·m<sup>3</sup>/s。

### 7.5 疲劳寿命

#### 7.5.1 脉冲疲劳

冷板式液冷模块应能承受不少于500,000次的压力脉冲循环试验而不发生泄漏或结构损坏。

#### 7.5.2 高频振动疲劳

冷板式液冷模块应能承受模拟服务器内部风扇及硬盘引起的随机振动环境。在频率范围20Hz至2000Hz、总均方根加速度为10Grms的振动条件下，持续振动时间应不少于48小时，试验后无泄漏、结构松动或性能衰减。

#### 7.5.3 复合疲劳

冷板式液冷模块中的软管连接组件在弯曲至4倍公称外径的动态最小弯曲半径状态下，应能同时承受上述压力脉冲和高频振动复合的疲劳试验，试验后无失效。

## 7.6 长期可靠性

冷板式液冷模块应保证在数据中心典型工况下的长期运行可靠性。在额定工况（温度、压力、流量）下持续运行不少于10,000小时后，应满足：

- 软管组件无因蠕变或应力松弛导致的泄漏。
- 模块的散热性能（以热阻表征）衰减率应不大于5%。
- 所有密封界面保持完好，漏率仍能满足7.4条的要求。

## 8 试验方法

### 8.1 通则

除本文件8.2~8.4条规定的试验方法外，冷板式液冷模块的其他性能试验方法均应按T/XXX XXXX.1第8章的规定执行。

### 8.2 散热性能测试

#### 8.2.1 测试平台要求

测试平台应包含经校准的精密加热系统、流体循环系统及数据采集系统：

- 热源模拟：应采用精密电加热器模拟芯片热源，加热功率应可调，稳态波动范围不超过额定值的 $\pm 1\%$ ；
- 温度测量：应采用T型或K型热电偶，精度不低于 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，传感器布置位置应符合附录A的规定；
- 流量测量：应采用精度不低于 $\pm 1\%$ 的流量计。

#### 8.2.2 测试步骤

- 设定冷却液流量和进口温度至额定工况值；
- 施加额定加热功率P，直至系统达到热稳态（温度变化率小于 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ ）；
- 记录稳态下的加热功率P、冷却液进口温度 $T_{in}$ 、出口温度 $T_{out}$ 以及冷板底面各测点温度；
- 按附录A给出的公式计算总热阻R和均温性 $\Delta T$ 。

### 8.3 软管专项复合疲劳试验

软管连接组件的复合疲劳试验用于验证其在严苛服务器环境下的耐久性，试验方法如下：

- 试验样品：试验应在完整的冷板式液冷模块上进行，或使用与产品同批次材料、同工艺制造的软管组件总成。
- 试验状态：将软管组件弯曲至其标称的动态最小弯曲半径（4倍公称外径），并使用专用工装固定该弯曲形态。
- 试验装置：将固定好的样品安装于符合振动试验标准的振动台上。同时，将样品接入压力脉冲试验回路，确保在振动过程中压力介质可正常循环。
- 应力施加：启动试验装置，同时施加以下两种应力：
  - 压力脉冲：按T/XXX XXXX.1规定的压力脉冲试验条件（如 $0.1\text{MPa}$ 至工作压力，频率 $1\text{Hz}$ ）进行。
  - 随机振动：施加频率范围为 $20\text{Hz}$ 至 $2000\text{Hz}$ 、总均方根加速度为 $10\text{Grms}$ 的宽带随机振动谱。
- 试验监测与判定：在整个试验过程中，应持续监测样品是否发生泄漏。试验结束后，检查软管、焊缝及接头有无可见裂纹、永久变形或松动。试验周期应能覆盖7.5条c)款的要求。

## 8.4 流阻测试

冷板式液冷模块及其组件的流体阻力特性通过流阻测试获得，即测量压力降与流量关系(P-Q曲线)，方法如下：

- a) 冷板流阻测试：将冷板本体（不含软管）接入测试回路，使用精度不低于±0.5%的压力变送器测量冷板进口与出口之间的压差。在测试介质温度恒定的条件下，从零开始逐步调节流量至超过额定流量，记录一系列稳定流量点及其对应的压差值，绘制P-Q曲线。额定流量下的压差应符合7.3条a)款的要求。
- b) 软管组件流阻测试：将软管组件拉直安装（避免弯曲影响），采用与冷板测试相同的装置和方法，测量其进口与出口之间的压差与流量关系，绘制P-Q曲线。计算单位长度压降时，应使用软管的有效长度（两端接头密封面之间的中心距）。单位长度流阻应符合7.3条b)款的要求。
- c) 测试介质：测试应使用与实际应用兼容的冷却液或物理性质相近的液体（如去离子水），并在报告中注明介质类型和测试温度。

## 9 检验规则

### 9.1 出厂检验

每批冷板式液冷模块产品出厂前，应在T/XXX XXXX.1第9章规定的出厂检验项目基础上，增加以下检验项目，并满足相应要求：

- a) 软管流阻抽检：从每生产批次中随机抽取不少于10%的样品（至少3件），按本文件8.4条b)款的方法进行流阻测试。单位长度压降应符合7.3条b)款的规定。若抽检不合格，应加倍抽样复检，复检仍不合格则判定该批次产品出厂检验不合格。
- g) 外观、防呆及弯曲半径检查：对每件产品进行100%全检。检查内容包括：
  - 1) 产品外观有无磕碰、划伤、锈蚀等缺陷。
  - 2) 接头防旋转定位结构是否清晰、完整、无损坏。
  - 1) 使用通止规或专用检具验证软管组件是否能在不小于其标称动态最小弯曲半径（4D）的弧形模具中自由通过，且无干涉或永久变形。
- h) 氦检漏率复测：在完成T/XXX XXXX.1规定的通用气密性检验后，应对每件产品按本文件7.4条要求的漏率指标（ $\leq 1 \times 10^{-9}$  Pa·m<sup>3</sup>/s）进行氦质谱检漏复测，确保满足更严格的密封性要求。

### 9.2 型式检验

当出现T/XXX XXXX.1规定的需进行型式检验的情况时，或产品设计、材料、工艺发生重大变更时，应进行型式检验。型式检验的样品应从出厂检验合格的产品中随机抽取。检验项目应包含T/XXX XXXX.1未涵盖的、以及本文件有特殊要求的以下项目：

- a) 散热性能：按本文件8.2条及附录A的方法，测试热阻和均温性，结果应符合7.2条的规定。
- b) 压力脉冲疲劳试验：按T/XXX XXXX.1规定的方法，但循环次数应达到本文件7.5条a)款规定的500,000次。
- c) 高频振动疲劳试验：按本文件8.3条描述的振动条件（不含压力脉冲），对样品进行不少于48小时的持续随机振动试验，试验后检查有无泄漏及结构损坏。

- d) 焊缝金相分析：从完成疲劳试验的样品或同批次预留样品上，截取波纹管/软管与接头的焊缝截面，制备金相试样。在显微镜下观察并评估焊缝熔深、熔宽、是否存在未熔合、气孔、裂纹等内部缺陷，并记录分析报告。
- e) 长期可靠性评估（如适用）：通过加速寿命试验或提供有效的长期运行数据，评估产品在额定工况下运行 10,000 小时后的性能衰减情况，验证是否符合 7.6 条的要求。

### 9.3 判定规则

型式检验结果的判定应遵循以下规则：

- a) 若散热性能（热阻或均温性）、密封性（氦检漏率）或软管专项复合疲劳试验中任一项不符合本文件规定的要求，则判定该次型式检验不合格。
- b) 若压力脉冲疲劳试验、高频振动疲劳试验或焊缝金相分析中任一项不符合要求，允许加倍抽样，仅对不合格项目进行复检。若复检合格，则判定该项目合格；若复检仍不合格，则判定该次型式检验不合格。
- c) 型式检验不合格，则代表该产品设计或生产批次不符合本文件要求，应停止该批次产品的出厂，并分析原因，采取纠正措施。

## 10 标志、包装、运输和贮存

### 10.1 标志

除T/XXX XXXX.1第10章规定的通用标志要求外，冷板式液冷模块及其软管组件上还应增加以下永久性标志：

- a) 最小弯曲半径标志：在金属软管或波纹管的外护套上，应采用激光打标或其他不易磨损的方式，清晰、永久地标注。
- b) 流向箭头：在软管组件或冷板的进、出口接头附近，应清晰地标注冷却液流向箭头，箭头方向应与产品设计流向一致。
- c) 防呆标识：接头上的防旋转定位键槽或标记处，应有明显的视觉标识（如颜色标记、凸点）。

### 10.2 包装

产品的包装除应符合T/XXX XXXX.1第10章的通用规定外，还应满足以下特殊要求，其严格程度高于通用规定：

- a) 软管定型包装：包装箱内应使用与产品形状匹配的定型模具、泡沫衬垫或支架来固定软管组件。包装应确保软管在运输和贮存过程中，其弯曲形态得到有效支撑。
- b) 防扭曲固定：包装设计应能防止软管组件围绕其轴线发生扭转。固定方式应确保产品从包装中取出时，其两端的接头相对角度与出厂设定一致，扭转角偏差不大于 5°。
- c) 防潮与清洁：包装材料应具有防潮性能。对于内部流道清洁度有极高要求的冷板，应采用真空包装或充氮包装，并在包装外明确标示“清洁包装，拆封后请勿污染流道”。
- d) 随附文件：每个包装箱内应附有产品合格证、安装示意图（重点说明最小弯曲半径、流向和防呆结构对接方法）以及清洁度检测报告（如适用）。

### 10.3 运输与贮存

产品的运输与贮存条件除参照T/XXX XXXX.1的规定外，还需注意以下事项：

- a) 运输过程应避免剧烈震动、碰撞和挤压，尤其要防止对软管定型包装的破坏。堆叠层数不应超过包装箱上标识的限重和限高层数。

- b) 贮存环境应保持清洁、干燥、通风良好，远离腐蚀性化学品。贮存温度建议在 $-10^{\circ}\text{C}$ ~ $+50^{\circ}\text{C}$ 之间，避免长期暴露在阳光直射或高温热源附近。
- c) 对于铝制冷板与不锈钢软管组成的模块，若长期贮存，建议在连接界面处检查是否有电化学腐蚀迹象。在潮湿地区，可考虑在包装内添加气相防锈剂。
- d) 产品自出厂之日起，在符合本文件规定的贮存条件下，库存时间不宜超过 12 个月。超过 12 个月的产品，在发货前应重新进行出厂检验中的关键密封性测试。

附录 A  
(规范性)  
冷板散热效率与热阻测试方法

### A.1 测试原理

本方法通过电加热模拟芯片热源,在可控的冷却液循环条件下,测量冷板式液冷模块的稳态热性能。核心原理是构建从模拟热源到冷却液的一维热传递模型,通过测量施加的加热功率 $P$ 、冷却液进口温度 $T_{in}$ 、冷板与热源接触面的基准温度 $T_{base}$ ,计算模块的总热阻 $R$ 。同时,通过测量冷板底面上多个点的温度,评估其均温性。总热阻 $R$ 的计算公式为:  $R = (T_{base} - T_{in}) / P$ 。其中, $T_{base}$ 通常取冷板底面中心或规定测点的温度。

### A.2 测试设备与装置

测试系统应包含以下主要设备,其精度应满足测试要求:

#### a) 模拟热源与加热控制系统:

- 1) 加热器:应采用平面加热器,其尺寸、功率密度应能模拟目标芯片的发热情况。加热功率应可调、可稳定控制,功率测量精度不低于 $\pm 0.5\%$ 。
- 2) 导热界面材料:测试时应使用规定的标准导热硅脂或相变材料,并严格控制涂抹厚度和均匀性,以减少界面热阻的测试误差。

#### a) 温度测量系统:

- 1) 冷却液温度传感器:在冷板进口和出口管路中,应安装经校准的温度传感器(如铂电阻PT100或热电偶),用于测量 $T_{in}$ 和 $T_{out}$ ,单点精度不低于 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。
- 2) 冷板底面温度传感器:在冷板与加热器接触的底面上,应布置不少于9个温度测点(例如 $3 \times 3$ 网格),以充分反映温度分布。测点应优先布置在预计的高温区和低温区。传感器可采用埋入式热电偶或表面贴装热电偶,安装应确保良好的热接触。所有传感器精度应一致,不低于 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

#### a) 流量与压力控制系统:

- 1) 流量计:用于测量流经冷板的冷却液体积流量,精度不低于 $\pm 1\%$ 。
- 2) 循环系统:包括储液罐、泵、换热器(用于控制进口液温 $T_{in}$ )、过滤器等。系统应能提供稳定、可调的流量和温度。
- 3) 压力传感器:用于监测冷板进口压力,确保测试在规定的压力工况下进行。

- a) 数据采集系统:应能同步、实时采集所有温度、流量、功率、压力信号,采样频率和精度满足稳态判据的要求。

### A.3 测试步骤

测试应按以下步骤顺序进行:

#### a) 样品安装与准备:

- 1) 将冷板式液冷模块的冷板底面清洁干净。
- 2) 按照规定的方法和用量,在冷板底面均匀涂抹标准导热界面材料。
- 3) 将模拟加热器紧密贴合在涂有界面材料的冷板底面上,施加适当的夹紧力以确保接触热阻稳定可重复。夹紧力的大小和施加方式应在测试报告中注明。
- 4) 将冷板的进、出口与测试循环系统可靠连接。
- 5) 安装并连接所有温度、流量、压力传感器。

#### a) 系统调试与排气:

- 1) 启动循环系统,逐步提高泵速,排出测试回路及冷板流道内的所有气体。
- 2) 调节换热器,将冷却液进口温度 $T_{in}$ 稳定在规定的测试值(如 $45^\circ\text{C} \pm 0.2^\circ\text{C}$ )。

- a) 稳态测试:
- 1) 设定冷却液流量至规定值。
  - 2) 施加初始加热功率（例如额定功率的50%），等待系统达到热稳态。稳态判据为：在10分钟时间内， $T_{in}$ 波动不超过 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ， $T_{out}$ 波动不超过 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，加热器功率波动不超过 $\pm 0.5\%$ 。
  - 3) 达到稳态后，记录所有数据：加热功率 $P$ 、流量 $Q$ 、 $T_{in}$ 、 $T_{out}$ 、冷板底面各点温度（ $T_1, T_2, \dots, T_n$ ）、进口压力。
  - 4) 逐步增加加热功率（如每次增加额定功率的10%），重复步骤2)和3)，直至达到额定热功率或测试上限。在每个功率点均需达到稳态并记录数据。

- a) 数据处理:
- 1) 热阻计算：选取额定功率点或指定功率点的稳态数据，根据公式 $R = (T_{base} - T_{in}) / P$ 计算总热阻。 $T_{base}$ 通常取冷板底面中心测点的温度，或取所有底面测点温度的平均值（应在报告中明确）。
  - 2) 均温性计算：选取同一功率点下记录的冷板底面所有测点温度，找出最大值 $T_{max}$ 和最小值 $T_{min}$ ，计算温差 $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ 。
  - 3) 绘制性能曲线：可绘制热阻 $R$ 随功率 $P$ 变化的曲线，以及底面温差 $\Delta T$ 随功率 $P$ 变化的曲线。

#### A.4 测试报告与判定

测试报告应至少包含以下内容：样品信息（型号、编号）、测试日期、测试人员、测试设备清单及校准状态、测试条件（冷却液类型、 $T_{in}$ 设定值、流量设定值、夹紧力）、原始数据记录表、计算得到的热阻值和均温性值、性能曲线图。判定时，将实测热阻值与产品标称值进行对比，实测热阻应不大于标称值。实测均温性 $\Delta T$ 应满足本文件7.2条的要求。

---